N32H49x 系列

基于 32 位 ARM Cortex®-M4F 微控制器

用户手册 V1.0.0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

目录

目录 **2**

表目录 **49**

图目录 **62**

1 文中的缩写 **76**

1.1 寄存器描述表中使用的缩写列表 76
1.2 可用的外设 76

2 存储器和总线架构 **77**

2.1 系统架构 77
2.1.1 总线架构 77
2.1.2 总线地址映射 78
2.1.2.1 Bit banding 79
2.1.3 启动管理 80
2.1.3.1 启动地址 80
2.1.3.2 外部启动 81
2.1.3.3 启动配置 82
2.1.3.4 内嵌启动程序 83
2.2 存储系统（Memory system） 83
2.2.1 FLASH 规格 83
2.2.1.1 存储地址 83
2.2.1.2 读写操作 85
2.2.1.3 Flash 解锁操作 85
2.2.1.4 擦除和编程 85
2.2.1.4.1 主存储区擦除 85
2.2.1.4.2 主存储区编程 86
2.2.1.4.3 选项字节区擦除和编程 86
2.2.1.4.4 ROW 编程 87
2.2.1.4.5 读写同时操作 87
2.2.1.5 ECC 功能 88
2.2.1.6 指令预取 88
2.2.1.7 选项字节 88
2.2.1.8 写保护 91
2.2.1.9 读保护 92
2.2.2 ICache 99
2.2.2.1 软件接口 100
2.2.2.2 寄存器描述 100
2.2.2.3 操作流程 100
2.2.2.3.1 iCache 启用与禁用 100
2.2.2.3.2 iCache 数据刷新 100

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

2.2.2.3.3 ICache 锁定 100
2.2.3 DCache 101
2.2.3.1 软件接口 101
2.2.3.2 寄存器描述 102
2.2.3.3 操作流程 102
2.2.3.3.1 DCache 启用与禁用 102
2.2.3.3.2 DCache 数据刷新 102
2.2.3.3.3 DCache 锁定 102
2.2.4 SRAM 102
2.2.5 CCM SRAM 103
2.2.6 BKP SRAM 104
2.2.7 FLASH 寄存器 105
2.2.7.1 FLASH 控制和状态寄存器 105
2.2.7.1.1 FLASH 访问控制寄存器（FLASH_AC) 105
2.2.7.1.2 FLASH 控制寄存器（FLASH_CTRL) 106
2.2.7.1.3 FLASH 状态寄存器（FLASH_STS) 108
2.2.7.1.4 FLASH 地址寄存器（FLASH_ADD) 110
2.2.7.1.5 FLASH 键寄存器（FLASH_KEY) 110
2.2.7.1.6 FLASH OPTKEY 寄存器（FLASH_OPTKEY) 111
2.2.7.1.7 FLASH 选项字节寄存器（FLASH_OB) 111
2.2.7.1.8 FLASH 写保护寄存器（FLASH_WRP) 112
2.2.7.1.9 FLASH ECC 寄存器（FLASH_ECC） 113
2.2.7.1.10 FLASH RDN 寄存器（FLASH_RDN） 113
2.2.7.1.11 FLASH CAHR 寄存器（FLASH_CAHR) 114
2.2.7.1.12 FLASH ROW 编程寄存器（FLASH_ROWP) 115
2.2.7.1.13 CCM 写保护寄存器 1 (CCM_WRP1) 115
2.2.7.1.14 CCM 键寄存器（CCM_KEY) 116
2.2.7.1.15 CCM 擦除寄存器（CCM_ERASE) 116
2.2.7.1.16 CCM 模式寄存器（CCM_MODE) 117
2.2.7.1.17 XSPI 解密开始地址寄存器（XSPI_DSTRADD) 117
2.2.7.1.18 XSPI 解密结束地址寄存器（XSPI_DENDADD) 118
2.2.7.1.19 FEMC 解密开始地址寄存器（FEMC_DSTRADD) 118
2.2.7.1.20 FEMC 解密结束地址寄存器（FEMC_DENDADD) 118
2.2.7.1.21 RTPD 解密键寄存器（RTPD_KEY) 119
2.2.7.1.22 JTAG 封口寄存器(JTAG_SEAL) 119
2.2.7.1.23 RTPD_KEY 寄存器写入次数寄存器（RTPD_KEY_WCNT) 120
2.2.7.1.24 XSPI_FEMC 解密使能寄存器（XSPI_FEMC_DEN) 120
2.2.7.1.25 XUID 寄存器（XUID) 121
2.2.7.1.26 FLASH 分区跳转控制寄存器（FLASH_PJCTRL) 121

3 电源控制（PWR）........ 77

3.1 通用描述 123
3.1.1 电源 123
3.1.2 电压监控 124

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

3.1.2.1 上电复位（POR）和下电复位（PDR） 124
3.1.2.2 可编程电压监测器（PVD） 125
3.1.2.3 Brown_out 复位（BOR） 126
3.2 功耗模式 126
3.2.1 SLEEP 模式 130
3.2.1.1 进入 SLEEP 模式 130
3.2.1.2 退出 SLEEP 模式 130
3.2.2 STOP0 模式 130
3.2.2.1 进入 STOP0 模式 130
3.2.2.2 退出 STOP0 模式 131
3.2.3 STANDBY 模式 131
3.2.3.1 进入 STANDBY 模式 131
3.2.3.2 退出 STANDBY 模式 131
3.2.4 VBAT 模式 132
3.2.4.1 进入 VBAT 模式 132
3.2.4.2 退出 VBAT 模式 132
3.3 低功耗自动唤醒（AWU）模式 132
3.4 低速时钟输出（LCO） 132
3.5 PWR 寄存器 134
3.5.1 PWR 寄存器总览 134
3.5.2 电源控制寄存器（PWR_CTRL） 135
3.5.3 电源控制状态寄存器（PWR_CTRLSTS） 137
3.5.4 电源控制寄存器 2（PWR_CTRL2） 141
3.5.5 电源控制寄存器 3（PWR_CTRL3） 141
3.5.6 电源控制寄存器 4（PWR_CTRL4） 142
3.5.7 NRST 控制寄存器 4（PWR_NRSTCTRL） 143
3.5.8 电源控制寄存器 5（PWR_CTRL5） 143
3.5.9 电源控制寄存器 6（PWR_CTRL6） 144
3.5.10 EMC 控制寄存器（PWR_EMCCTRL） 145
3.5.11 EMC 控制寄存器 2（PWR_EMCCTRL2） 147
4 复位和时钟控制(RCC) 150
4.1 复位控制单元 150
4.1.1 电源复位 150
4.1.2 系统复位 150
4.1.2.1 软件复位 151
4.1.2.2 低功耗管理复位 151
4.1.3 备份域复位 151
4.2 时钟控制单元 152
4.2.1 时钟树 154
4.2.2 HSE 时钟 155
4.2.2.1 外部时钟源(HSE 旁路模式) 155
4.2.2.2 晶体/陶瓷谐振器(HSE 晶体模式) 155
4.2.3 HSI 时钟 155

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

4.2.4 PLL 时钟 156
4.2.5 EXTPLL 时钟 156
4.2.6 USB 时钟 157
4.2.6.1 USBHS 时钟 157
4.2.6.2 USBFS 时钟 157
4.2.7 LSE 时钟 158
4.2.7.1 LSE 外部时钟源(LSE 旁路) 158
4.2.8 LSI 时钟 158
4.2.8.1 LSI 校准 158
4.2.9 系统时钟(SYSCLK)选择 158
4.2.10 时钟安全系统(CLKSS) 158
4.2.10.1 HSE 时钟安全系统 159
4.2.10.2 HSI 时钟安全系统 159
4.2.10.3 LSE 时钟安全系统 159
4.2.11 RTC 时钟 159
4.2.12 看门狗时钟 159
4.2.13 时钟输出(MCO) 160
4.3 RCC 寄存器 160
4.3.1 时钟控制寄存器(RCC_CTRL) 160
4.3.2 时钟配置寄存器(RCC_CFG) 162
4.3.3 时钟配置寄存器 2 (RCC_CFG2) 164
4.3.4 时钟配置寄存器 3 (RCC_CFG3) 167
4.3.5 时钟中断寄存器(RCC_CLKINT) 169
4.3.6 控制/状态寄存器(RCC_CTRLSTS) 173
4.3.7 AHB 外设时钟使能寄存器(RCC_AHBPCLKEN) 175
4.3.8 APB1 外设时钟使能寄存器 (RCC_APB1PCLKEN) 177
4.3.9 APB2 外设时钟使能寄存器(RCC_APB2PCLKEN) 180
4.3.10 AHB 外设复位寄存器(RCC_AHBPRST) 182
4.3.11 APB1 外设复位寄存器(RCC_APB1PRST) 185
4.3.12 APB2 外设复位寄存器(RCC_APB2PRST) 188
4.3.13 MCO 配置寄存器(RCC_MCOCFG) 190
4.3.14 备份域控制寄存器(RCC_BDCTRL) 191
4.3.15 时钟安全系统控制寄存器(RCC_CSSCTRL) 193
4.3.16 AHB1 外设时钟使能寄存器(RCC_AHB1PCLKEN) 195
4.3.17 PLL 时钟控制寄存器 (RCC_PLLCTRL) 196
4.3.18 VREFBUF 控制寄存器 (RCC_VREFCTRL) 198
4.3.19 EXTPLL 时钟控制寄存器(RCC_EXTCTRL) 199
4.3.20 SRAM 配置寄存器 1（RCC_SRAMCFG1） 201
4.3.21 SRAM 配置寄存器 2（RCC_SRAMCFG2） 203
4.3.22 SRAM 配置寄存器 3（RCC_SRAMCFG3） 203
4.3.23 SRAM 配置寄存器 4（RCC_SRAMCFG4） 204
4.3.24 USBHS 时钟控制寄存器 1 (RCC_USBHSCTRL1) 204
4.3.25 USBHS 时钟控制寄存器 2 (RCC_USBHSCTRL2) 206
4.3.26 BOOT 重映射寄存器 (RCC_BOOTREMAP) 207

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

4.3.27 FDCAN 基地址寄存器 (RCC_FDCANBADDR)......208
5 GPIO 和 AFIO......209
5.1 概述......209
5.2 IO 功能描述......210
5.2.1 IO 模式配置......210
5.2.1.1 输入模式......211
5.2.1.2 输出模式......212
5.2.1.3 复用功能模式......213
5.2.1.4 模拟模式......214
5.2.2 复位后状态......215
5.2.3 单独的位设置和位清除......215
5.2.4 外部中断/唤醒线......216
5.2.5 复用功能......216
5.2.5.1 时钟输出 MCO......216
5.2.5.2 备电域 PC13～PC15 功能重映射......217
5.2.5.3 HSE/LSE 管脚用作 GPIO 端口......218
5.2.5.4 JTAG/SWD 复用功能重映射......218
5.2.5.4.1 SWJ_CFG 配置事项......218
5.2.5.4.2 上下拉配置......219
5.2.5.5 ATIMx 复用功能重映射......219
5.2.5.5.1 ATIM1 复用功能重映射......219
5.2.5.5.2 ATIM2 复用功能重映射......221
5.2.5.5.3 ATIM3 复用功能重映射......223
5.2.5.6 GTIMx 复用功能重映射......224
5.2.5.6.1 GTIM1 复用功能重映射......224
5.2.5.6.2 GTIM2 复用功能重映射......225
5.2.5.6.3 GTIM3 复用功能重映射......226
5.2.5.6.4 GTIM4 复用功能重映射......226
5.2.5.6.5 GTIM5 复用功能重映射......227
5.2.5.6.6 GTIM6 复用功能重映射......227
5.2.5.6.7 GTIM7 复用功能重映射......228
5.2.5.6.8 GTIM8 复用功能重映射......228
5.2.5.6.9 GTIM9 复用功能重映射......229
5.2.5.6.10 GTIM10 复用功能重映射......230
5.2.5.7 LPTIMx 复用功能重映射......231
5.2.5.7.1 LPTIM1 复用功能重映射......231
5.2.5.7.2 LPTIM2 复用功能重映射......232
5.2.5.8 FDCAN 复用功能重映射......232
5.2.5.8.1 FDCAN1 复用功能重映射......232
5.2.5.8.2 FDCAN2 复用功能重映射......233
5.2.5.8.3 FDCAN3 复用功能重映射......233
5.2.5.9 DVP 复用功能重映射......234
5.2.5.10 FEMC 复用功能重映射......236

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

5.2.5.11 SDRAM 复用功能重映射......238
5.2.5.12 USARTx 复用功能重映射......241
5.2.5.12.1 USART1 管脚重映射......241
5.2.5.12.2 USART2 管脚重映射......242
5.2.5.12.3 USART3 管脚重映射......243
5.2.5.12.4 USART4 管脚重映射......244
5.2.5.12.5 USART9 管脚重映射......244
5.2.5.13 UARTx 复用功能重映射......245
5.2.5.13.1 UART5 管脚重映射......245
5.2.5.13.2 UART6 管脚重映射......246
5.2.5.13.3 UART7 管脚重映射......246
5.2.5.13.4 UART8 管脚重映射......247
5.2.5.13.5 UART10 管脚重映射......248
5.2.5.14 I2C 复用功能重映射......248
5.2.5.14.1 I2C1 管脚重映射......248
5.2.5.14.2 I2C2 管脚重映射......249
5.2.5.14.3 I2C3 管脚重映射......250
5.2.5.14.4 I2C4 管脚重映射......251
5.2.5.15 SPI/I2S 复用功能重映射......252
5.2.5.15.1 SPI1 管脚重映射......252
5.2.5.15.2 SPI2/I2S2 管脚重映射......252
5.2.5.15.3 SPI3/I2S3 管脚重映射......254
5.2.5.15.4 I2S 管脚重映射......255
5.2.5.15.5 SPI4 管脚重映射......255
5.2.5.15.6 SPI5 管脚重映射......256
5.2.5.15.7 SPI6 管脚重映射......256
5.2.5.16 SDIO 复用功能重映射......257
5.2.5.17 XSPI 复用功能重映射......258
5.2.5.18 ETH 复用功能重映射......261
5.2.5.19 RTC 复用功能重映射......262
5.2.5.20 USB_HS 复用功能重映射......262
5.2.5.21 DSMU 复用功能重映射......263
5.2.5.22 EVENT 管脚重映射......264
5.2.6 外设的 IO 配置......265
5.2.7 GPIO 锁定机制......270
5.3 GPIO 寄存器......270
5.3.1 GPIO 寄存器总览......270
5.3.2 GPIO 端口模式配置寄存器（GPIOx_PMODE）......272
5.3.3 GPIO 端口上下拉配置寄存器（GPIOx_PUPD）......272
5.3.4 GPIO 输出类型配置寄存器（GPIOx_POTYPE）......273
5.3.5 GPIO 端口复用功能配置寄存器 0（GPIOx_AFSEL0）......274
5.3.6 GPIO 端口复用功能配置寄存器 1（GPIOx_AFSEL1）......275
5.3.7 GPIO 端口复用功能配置寄存器 2（GPIOx_AFSEL2）......275
5.3.8 GPIO 端口复用功能配置寄存器 3（GPIOx_AFSEL3）......276

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

5.3.9 GPIO 驱动能力配置寄存器（GPIOx_DS）........277
5.3.10 GPIO 翻转率配置寄存器（GPIOx_SR）........278
5.3.11 GPIO 端口位设置/清除寄存器（GPIOx_PBSC）........278
5.3.12 GPIO 端口位清除寄存器（GPIOx_PBC）........279
5.3.13 GPIO 端口输入数据寄存器（GPIOx_PID）........279
5.3.14 GPIO 端口输出数据寄存器（GPIOx_POD）........280
5.3.15 GPIO 端口锁定配置寄存器（GPIOx_PLOCK）........280
5.4 AFIO 寄存器........282
5.4.1 AFIO 寄存器总览........282
5.4.2 AFIO 复用功能重映射寄存器（AFIO_RMP_CFG）........283
5.4.3 AFIO 外部中断配置寄存器 1（AFIO_EXTI_CFG1）........285
5.4.4 AFIO 外部中断配置寄存器 2（AFIO_EXTI_CFG2）........286
5.4.5 AFIO 外部中断配置寄存器 3（AFIO_EXTI_CFG3）........287
5.4.6 AFIO 外部中断配置寄存器 4（AFIO_EXTI_CFG4）........288
5.4.7 AFIO IO 端口模拟信号通道配置寄存器 1（AFIO_ANAEN_CFG1）........290
5.4.8 AFIO IO 端口模拟信号通道配置寄存器 2（AFIO_ANAEN_CFG2）........290
5.4.9 AFIO IO 端口模拟信号通道配置寄存器 3（AFIO_ANAEN_CFG3）........291
5.4.10 AFIO IO 端口模拟信号通道配置寄存器 4（AFIO_ANAEN_CFG4）........291
5.4.11 AFIO IO 端口数字滤波配置寄存器 1（AFIO_FILTER_CFG1）........292
5.4.12 AFIO IO 端口数字滤波配置寄存器 2（AFIO_FILTER_CFG2）........293
5.4.13 AFIO IO 端口数字滤波配置寄存器 3（AFIO_FILTER_CFG3）........293
5.4.14 AFIO IO 端口数字滤波配置寄存器 4（AFIO_FILTER_CFG4）........294
5.4.15 AFIO EMC 配置寄存器（AFIO_EMC_CFG）........294
5.4.16 AFIO EMC 计数寄存器（AFIO_EMC_CNT）........297

6 中断和事件........298

6.1 嵌套向量中断寄存器........298
6.1.1 SysTick 校准值寄存器........298
6.1.2 中断和异常向量........298
6.2 外部中断/事件控制器（EXTI）........302
6.2.1 简介........302
6.2.2 主要特性........302
6.2.3 功能描述........303
6.2.4 EXTI 线路映射........304
6.3 EXTI 寄存器........305
6.3.1 EXTI 事件屏蔽寄存器（EXTI_EMASK）........305
6.3.2 EXTI 中断屏蔽寄存器（EXTI_IMASK）........305
6.3.3 EXTI 下降沿触发配置寄存器（EXTI_FT_CFG）........306
6.3.4 EXTI 上升沿触发配置寄存器（EXTI_RT_CFG）........306
6.3.5 EXTI 挂起寄存器（EXTI_PEND）........307
6.3.6 EXTI 软件中断事件寄存器（EXTI_SWIE）........307
6.3.7 EXTI 时间戳触发源选择寄存器（EXTI_TS_SEL）........308

7 DMA 控制器........309

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

7.1 简介 309
7.2 主要特性 309
7.3 功能框图 310
7.4 功能描述 310
7.4.1 DMA 操作 310
7.4.2 通道优先级和仲裁器 311
7.4.3 DMA 通道和传输数量 311
7.4.4 可编程的数据位宽 311
7.4.5 外设/内存地址递增 313
7.4.6 单次传输和突发传输 313
7.4.7 通道配置流程 313
7.4.8 流量控制 315
7.4.9 循环模式 315
7.4.10 错误管理 315
7.4.11 中断 315
7.4.12 DMA 请求映射 316
7.5 DMA 寄存器 318
7.5.1 DMA 通道 x 配置寄存器(DMA_CHCFGx) 318
7.5.2 通道 x 存储器地址寄存器(DMA_MADDRx) 320
7.5.3 通道 x 外设地址寄存器(DMA_PADDRx) 320
7.5.4 DMA 通道 x 通道选择寄存器(DMA_CHSELx) 321
7.5.5 DMA 通道 x 传输数量寄存器(DMA_TXNUMx) 325
7.5.6 DMA 中断标志清除寄存器(DMA_INTCLR) 325
7.5.7 DMA 中断状态寄存器(DMA_INTSTS) 326
7.5.8 DMA 突发传输使能寄存器(DMA_BURSTEN) 327

8 CRC 计算单元 328

8.1 简介 328
8.2 主要特性 328
8.2.1 CRC32 328
8.2.2 CRC16 328
8.3 功能描述 329
8.3.1 CRC32 使用流程 329
8.3.2 CRC16 使用流程 329
8.3.3 LRC 使用流程 330
8.4 CRC 寄存器 330
8.4.1 CRC 寄存器总览 330
8.4.2 CRC32R 控制寄存器（CRC_CRC32CTRL） 331
8.4.3 CRC32 待校验数据寄存器（CRC_CRC32DAT） 331
8.4.4 CRC32 独立数据寄存器（CRC_CRC32IDAT） 331
8.4.5 CRC32 校验结果寄存器（CRC_CRC32D） 332
8.4.6 CRC16 控制寄存器（CRC_CRC16CTRL） 332
8.4.7 CRC16 待校验数据寄存器（CRC_CRC16DAT） 333
8.4.8 CRC16 校验结果寄存器（CRC_CRC16D） 333

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

8.4.9 LRC 校验值寄存器（CRC_LRC）......334

9 高级控制定时器（ATIM1/ ATIM2/ ATIM3）......335

9.1 ATIMx（x=1-3）简介......335
9.2 ATIMx（x=1-3）主要特性......335
9.3 ATIMx（x=1-3）框图......336
9.4 ATIMx（x=1-3）的引脚及内部信号......336
9.4.1 ATIMx 的 tim_ti1/ tim_ti2/ tim_ti3/ tim_ti4 信号源......337
9.4.2 ATIMx 的 tim_itr 信号源......338
9.4.3 ATIMx 的 tim_etr 信号源......339
9.4.4 ATIMx 的刹车 1 输入信号源......340
9.4.5 ATIMx 的刹车 2 输入信号源......340
9.4.6 ATIMx 的 tim_ocref_clr 输入信号源......340
9.5 ATIMx（x=1-3）功能描述......341
9.5.1 时基单元......341
9.5.1.1 预分频器描述......341
9.5.2 计数器模式......341
9.5.2.1 向上计数模式......341
9.5.2.2 向下计数模式......344
9.5.2.3 中央对齐模式......345
9.5.2.3.1 中央对齐对称模式......345
9.5.2.3.2 中央对齐非对称模式......347
9.5.3 重复计数器......351
9.5.4 时钟选择......353
9.5.4.1 内部时钟源(CK_INT)......353
9.5.4.2 外部时钟源模式 1......354
9.5.4.3 外部时钟源模式 2......355
9.5.5 捕获/比较通道......357
9.5.6 输入捕获模式......359
9.5.7 PWM 输入模式......360
9.5.8 强制输出模式......361
9.5.9 输出比较模式......361
9.5.10 PWM 模式......363
9.5.10.1 PWM 中央对齐模式......363
9.5.10.2 PWM 中央对齐非对称模式......364
9.5.10.3 PWM 边沿对齐模式......364
9.5.11 单脉冲模式......365
9.5.11.1 特殊情况：OCx 快速使能：......366
9.5.12 在外部事件上清除 OCxREF 信号......367
9.5.13 互补输出和死区插入......368
9.5.13.1 重定向 OCxREF 到 OCx 或 OCxN......369
9.5.14 刹车功能......370
9.5.14.1 刹车滤波......374
9.5.15 双向刹车......374

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

9.5.16 调试模式 376
9.5.17 ATIMx 定时器和外部触发的同步 376
9.5.17.1 从模式：复位模式 376
9.5.17.2 从模式：触发模式 377
9.5.17.3 从模式：门控模式 378
9.5.17.4 从模式：触发模式 +外部时钟模式 2 378
9.5.17.5 从模式：组合复位＋触发模式 379
9.5.17.6 从模式：组合门控+复位模式 380
9.5.18 定时器同步 381
9.5.19 触发 ADC 381
9.5.20 产生六步 PWM 输出 381
9.5.21 编码器接口模式 382
9.5.21.1 正交编码模式 382
9.5.21.2 脉冲电平编码模式 386
9.5.21.3 双脉冲编码模式 387
9.5.22 与霍尔传感器的接口 389
9.6 ATIMx 寄存器描述 391
9.6.1 控制寄存器 1（TIMx_CTRL1） 391
9.6.2 控制寄存器 2（TIMx_CTRL2） 394
9.6.3 状态寄存器（TIMx_STS） 396
9.6.4 事件产生寄存器（TIMx_EVTGEN） 399
9.6.5 从模式控制寄存器（TIMx_SMCTRL） 400
9.6.6 DMA/中断使能寄存器（TIMx_DINTEN） 403
9.6.7 捕获/比较模式寄存器 1（TIMx_CCMOD1） 405
9.6.8 捕获/比较模式寄存器 2（TIMx_CCMOD2） 408
9.6.9 捕获/比较模式寄存器 3（TIMx_CCMOD3） 410
9.6.10 捕获/比较使能寄存器（TIMx_CCEN） 411
9.6.11 捕获/比较寄存器 1（TIMx_CCDAT1） 414
9.6.12 捕获/比较寄存器 2（TIMx_CCDAT2） 415
9.6.13 捕获/比较寄存器 3（TIMx_CCDAT3） 416
9.6.14 捕获/比较寄存器 4（TIMx_CCDAT4） 417
9.6.15 捕获/比较寄存器 5（TIMx_CCDAT5） 417
9.6.16 捕获/比较寄存器 6（TIMx_CCDAT6） 418
9.6.17 预分频器（TIMx_PSC） 418
9.6.18 自动重装载寄存器（TIMx_AR） 419
9.6.19 计数器（TIMx_CNT） 419
9.6.20 重复计数寄存器（TIMx_REPCNT） 420
9.6.21 刹车和死区寄存器（TIMx_BKDT） 420
9.6.22 捕获/比较寄存器 7（TIMx_CCDAT7） 423
9.6.23 捕获/比较寄存器 8（TIMx_CCDAT8） 424
9.6.24 捕获/比较寄存器 9（TIMx_CCDAT9） 424
9.6.25 刹车 1 滤波寄存器（TIMx_BKFR） 425
9.6.26 输入选择寄存器（TIMx_INSEL） 425
9.6.27 复用功能寄存器 1（TIMx_AF1） 427

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

9.6.28 复用功能寄存器2（TIMx_AF2）...428
9.6.29 刹车2滤波寄存器（TIMx_BKFR2）...429
9.6.30 滑动滤波预分频寄存器（TIMx_SLIDFPSC）...430
9.6.31 DMA 控制寄存器（TIMx_DCTRL）...430
9.6.32 连续模式的DMA地址（TIMx_DADDR）...431

10 通用定时器（GTIM1/ GTIM4）...433

10.1 GTIMx（x=1,4）简介...433
10.2 GTIMx（x=1,4）主要特性...433
10.3 GTIMx（x=1,4）框图...434
10.4 GTIMx（x=1,4）的引脚及内部信号...434
10.5 GTIMx（1,4）功能描述...434
10.5.1 时基单元...434
10.5.1.1 预分频器描述...434
10.5.2 计数器模式...435
10.5.2.1 向上计数模式...435
10.5.2.2 向下计数模式...437
10.5.2.3 中央对齐模式...438
10.5.3 时钟选择...440
10.5.3.1 内部时钟源(CK_INT)...441
10.5.3.2 外部时钟源模式 1...442
10.5.3.3 外部时钟源模式 2...443
10.5.4 捕获/比较通道...444
10.5.5 输入捕获模式...447
10.5.5.1 通道输入滤波...448
10.5.6 PWM 输入模式...448
10.5.7 强制输出模式...449
10.5.8 输出比较模式...449
10.5.9 PWM 模式...451
10.5.9.1 PWM 中央对齐模式...451
10.5.9.2 PWM 边沿对齐模式...452
10.5.10 单脉冲模式...453
10.5.10.1 特殊情况：OCx 快速使能：...454
10.5.11 在外部事件上清除 OCxREF 信号...455
10.5.12 调试模式...456
10.5.13 GTIMx 定时器和外部触发的同步...456
10.5.13.1 从模式：复位模式...456
10.5.13.2 从模式：触发模式...457
10.5.13.3 从模式：门控模式...458
10.5.13.4 从模式：触发模式 +外部时钟模式 2...458
10.5.14 定时器同步...459
10.5.14.1 主定时器作为另一个定时器的预分频器...460
10.5.14.2 主定时器使能另一个定时器...460
10.5.14.3 主定时器启动另一个定时器...462

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

10.5.14.4 使用一个外部触发同步地启动 2 个定时器 463
10.5.15 触发 ADC 464
10.5.16 编码器接口模式......464
10.5.16.1 正交编码模式......464
10.5.16.2 脉冲电平编码模式......468
10.5.16.3 双脉冲编码模式......469
10.5.17 与霍尔传感器的接口 471
10.6 GTIMx（x=1,4）寄存器描述......472
10.6.1 控制寄存器 1（TIMx_CTRL1）......473
10.6.2 控制寄存器 2（TIMx_CTRL2）......475
10.6.3 状态寄存器（TIMx_STS）......476
10.6.4 事件产生寄存器（TIMx_EVTGEN）......477
10.6.5 从模式控制寄存器（TIMx_SMCTRL）......479
10.6.6 DMA/中断使能寄存器（TIMx_DINTEN）......481
10.6.7 捕获/比较模式寄存器 1（TIMx_CCMOD1）......484
10.6.8 捕获/比较模式寄存器 2（TIMx_CCMOD2）......487
10.6.9 捕获/比较使能寄存器（TIMx_CCEN）......489
10.6.10 捕获/比较寄存器 1（TIMx_CCDAT1）......490
10.6.11 捕获/比较寄存器 2（TIMx_CCDAT2）......491
10.6.12 捕获/比较寄存器 3（TIMx_CCDAT3）......491
10.6.13 捕获/比较寄存器 4（TIMx_CCDAT4）......492
10.6.14 预分频器（TIMx_PSC）......492
10.6.15 自动重装载寄存器（TIMx_AR）......493
10.6.16 计数器（TIMx_CNT）......493
10.6.17 通道 1 滤波寄存器（TIMx_C1FILT）......494
10.6.18 通道 2 滤波寄存器（TIMx_C2FILT）......495
10.6.19 通道 3 滤波寄存器（TIMx_C3FILT）......495
10.6.20 通道 4 滤波寄存器（TIMx_C4FILT）......496
10.6.21 输入通道滤波输出寄存器（TIMx_FILTO）......497
10.6.22 输入选择寄存器（TIMx_INSEL）......498
10.6.23 滑动滤波预分频寄存器（TIMx_SLIDFPSC）......499
10.6.24 DMA 控制寄存器（TIMx_DCTRL）......500
10.6.25 连续模式的 DMA 地址（TIMx_DADDR）......501
11 通用定时器（GTIM2/ GTIM3/ GTIM5/ GTIM6/ GTIM7）......502
11.1 GTIMx（x=2,3,5,6,7）简介......502
11.2 GTIMx（x=2,3,5,6,7）主要特性......502
11.3 GTIMx（x=2,3,5,6,7）框图......503
11.4 GTIMx 的引脚及内部信号......503
11.4.1 GTIMx 的 tim_ti1/ tim_ti2/ tim_ti3/ tim_ti4 信号源......504
11.4.2 GTIMx 的 tim_itr 信号源......506
11.4.3 GTIMx 的 tim_etr 信号源......507
11.4.4 GTIMx 的 tim_ocref_clr 输入信号源......508
11.5 GTIMx（x=2,3,5,6,7）功能描述......508

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

11.5.1 时基单元 508
11.5.1.1 预分频器描述 508
11.5.2 计数器模式 509
11.5.2.1 向上计数模式 509
11.5.2.2 向下计数模式 511
11.5.2.3 中央对齐模式 512
11.5.3 时钟选择 514
11.5.3.1 内部时钟源(CK_INT) 515
11.5.3.2 外部时钟源模式 1 516
11.5.3.3 外部时钟源模式 2 517
11.5.4 捕获/比较通道 518
11.5.5 输入捕获模式 521
11.5.5.1 通道输入滤波 522
11.5.6 PWM 输入模式 522
11.5.7 强制输出模式 523
11.5.8 输出比较模式 523
11.5.9 PWM 模式 525
11.5.9.1 PWM 中央对齐模式 525
11.5.9.2 PWM 边沿对齐模式 526
11.5.10 单脉冲模式 527
11.5.10.1 特殊情况：OCx 快速使能： 528
11.5.11 在外部事件上清除 OCxREF 信号 529
11.5.12 调试模式 530
11.5.13 GTIMx 定时器和外部触发的同步 530
11.5.13.1 从模式：复位模式 530
11.5.13.2 从模式：触发模式 531
11.5.13.3 从模式：门控模式 532
11.5.13.4 从模式：触发模式 +外部时钟模式 2 532
11.5.14 定时器同步 533
11.5.14.1 主定时器作为另一个定时器的预分频器 534
11.5.14.2 主定时器使能另一个定时器 534
11.5.14.3 主定时器启动另一个定时器 536
11.5.14.4 使用一个外部触发同步地启动 2 个定时器 537
11.5.15 触发 ADC 538
11.5.16 编码器接口模式 538
11.5.16.1 正交编码模式 538
11.5.16.2 脉冲电平编码模式 542
11.5.16.3 双脉冲编码模式 543
11.5.17 与霍尔传感器的接口 545
11.6 GTIMx（x=2,3,5,6,7）寄存器描述 545
11.6.1 控制寄存器 1（TIMx_CTRL1） 546
11.6.2 控制寄存器 2（TIMx_CTRL2） 548
11.6.3 状态寄存器（TIMx_STS） 549
11.6.4 事件产生寄存器（TIMx_EVTGEN） 550

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

11.6.5 从模式控制寄存器（TIMx_SMCTRL）...552
11.6.6 DMA/中断使能寄存器（TIMx_DINTEN）...554
11.6.7 捕获/比较模式寄存器 1（TIMx_CCMOD1）...557
11.6.8 捕获/比较模式寄存器 2（TIMx_CCMOD2）...560
11.6.9 捕获/比较使能寄存器（TIMx_CCEN）...562
11.6.10 捕获/比较寄存器 1（TIMx_CCDAT1）...563
11.6.11 捕获/比较寄存器 2（TIMx_CCDAT2）...564
11.6.12 捕获/比较寄存器 3（TIMx_CCDAT3）...564
11.6.13 捕获/比较寄存器 4（TIMx_CCDAT4）...565
11.6.14 预分频器（TIMx_PSC）...566
11.6.15 自动重装载寄存器（TIMx_AR）...566
11.6.16 计数器（TIMx_CNT）...567
11.6.17 通道 1 滤波寄存器（TIMx_C1FILT）...567
11.6.18 通道 2 滤波寄存器（TIMx_C2FILT）...568
11.6.19 通道 3 滤波寄存器（TIMx_C3FILT）...569
11.6.20 通道 4 滤波寄存器（TIMx_C4FILT）...569
11.6.21 输入通道滤波输出寄存器（TIMx_FILTO）...570
11.6.22 输入选择寄存器（TIMx_INSEL）...571
11.6.23 滑动滤波预分频寄存器（TIMx_SLIDFPSC）...572
11.6.24 DMA 控制寄存器（TIMx_DCTRL）...573
11.6.25 连续模式的 DMA 地址（TIMx_DADDR）...574

12 通用定时器（GTIM8/ GTIM9/ GTIM10）...578

12.1 GTIMx（x=8-10）简介...578
12.2 GTIMx（x=8-10）主要特性...578
12.3 GTIMx（x=8-10）框图...579
12.4 GTIMx（x=8-10）的引脚及内部信号...579
12.4.1 GTIMx 的 tim_ti1/ tim_ti2/ tim_ti3/ tim_ti4 信号源...580
12.4.2 GTIMx 的 tim_itr 信号源...581
12.4.3 GTIMx 的 tim_etr 信号源...582
12.4.4 GTIMx 的刹车 1 输入信号源...583
12.4.5 GTIMx 的 tim_ocref_clr 输入信号源...583
12.5 GTIMx（x=8-10）功能描述...583
12.5.1 时基单元...583
12.5.1.1 预分频器描述...584
12.5.2 计数器模式...584
12.5.2.1 向上计数模式...584
12.5.2.2 向下计数模式...587
12.5.2.3 中央对齐模式...587
12.5.2.3.1 中央对齐对称模式...587
12.5.2.3.2 中央对齐非对称模式...589
12.5.3 重复计数器...590
12.5.4 时钟选择...593
12.5.4.1 内部时钟源(CK_INT)...593

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

12.5.4.2 外部时钟源模式 1.....594
12.5.4.3 外部时钟源模式 2.....595
12.5.5 捕获/比较通道.....596
12.5.6 输入捕获模式.....598
12.5.7 PWM 输入模式.....599
12.5.8 强制输出模式.....600
12.5.9 输出比较模式.....600
12.5.10 PWM 模式.....602
12.5.10.1 PWM 中央对齐模式.....602
12.5.10.2 PWM 中央对齐非对称模式.....603
12.5.10.3 PWM 边沿对齐模式.....603
12.5.11 组合 PWM 模式.....604
12.5.12 单脉冲模式.....606
12.5.12.1 特殊情况：OCx 快速使能：.....607
12.5.13 可再触发单脉冲模式.....607
12.5.14 在外部事件上清除 OCxREF 信号.....607
12.5.15 互补输出和死区插入.....609
12.5.15.1 重定向 OCxREF 到 OCx 或 OCxN.....610
12.5.16 刹车功能.....611
12.5.16.1 刹车滤波.....613
12.5.17 双向刹车.....614
12.5.18 调试模式.....615
12.5.19 GTIMx 定时器和外部触发的同步.....615
12.5.19.1 从模式：复位模式.....615
12.5.19.2 从模式：触发模式.....616
12.5.19.3 从模式：门控模式.....617
12.5.19.4 从模式：触发模式 +外部时钟模式 2.....618
12.5.19.5 从模式：组合复位＋触发模式.....619
12.5.19.6 从模式：组合门控+复位模式.....620
12.5.20 定时器同步.....621
12.5.21 触发 ADC.....621
12.5.22 产生六步 PWM 输出.....621
12.5.23 编码器接口模式.....622
12.5.23.1 正交编码模式.....622
12.5.23.2 脉冲电平编码模式.....626
12.5.23.3 双脉冲编码模式.....627
12.5.24 与霍尔传感器的接口.....629
12.5.25 UDITF 位重映射.....629
12.6 GTIMx(x=8,9,10)寄存器描述.....629
12.6.1 控制寄存器 1（TIMx_CTRL1）.....630
12.6.2 控制寄存器 2（TIMx_CTRL2）.....632
12.6.3 状态寄存器（TIMx_STS）.....634
12.6.4 事件产生寄存器（TIMx_EVTGEN）.....636
12.6.5 从模式控制寄存器（TIMx_SMCTRL）.....637

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

12.6.6 DMA/中断使能寄存器（TIMx_DINTEN） 640
12.6.7 捕获/比较模式寄存器 1（TIMx_CCMOD1） 642
12.6.8 捕获/比较模式寄存器 2（TIMx_CCMOD2） 646
12.6.9 捕获/比较模式寄存器 3（TIMx_CCMOD3） 650
12.6.10 捕获/比较使能寄存器（TIMx_CCEN） 651
12.6.11 捕获/比较寄存器 1（TIMx_CCDAT1） 653
12.6.12 捕获/比较寄存器 2（TIMx_CCDAT2） 654
12.6.13 捕获/比较寄存器 3（TIMx_CCDAT3） 655
12.6.14 捕获/比较寄存器 4（TIMx_CCDAT4） 656
12.6.15 捕获/比较寄存器 5（TIMx_CCDAT5） 657
12.6.16 预分频器（TIMx_PSC） 657
12.6.17 自动重装载寄存器（TIMx_AR） 658
12.6.18 计数器（TIMx_CNT） 658
12.6.19 重复计数寄存器（TIMx_REPCNT） 659
12.6.20 刹车和死区寄存器（TIMx_BKDT） 659
12.6.21 刹车 1 滤波寄存器（TIMx_BKFR） 661
12.6.22 通道 1 滤波寄存器（TIMx_C1FILT） 662
12.6.23 通道 2 滤波寄存器（TIMx_C2FILT） 663
12.6.24 通道 3 滤波寄存器（TIMx_C3FILT） 664
12.6.25 通道 4 滤波寄存器（TIMx_C4FILT） 665
12.6.26 输入通道滤波输出寄存器（TIMx_FILTO） 665
12.6.27 输入选择寄存器（TIMx_INSEL） 666
12.6.28 复用功能寄存器 1（TIMx_AF1） 667
12.6.29 滑动滤波预分频寄存器（TIMx_SLIDFPSC） 669
12.6.30 DMA 控制寄存器（TIMx_DCTRL） 669
12.6.31 连续模式的 DMA 地址（TIMx_DADDR） 670

13 基本定时器 (BTIM1/BTIM2) 672

13.1 BTIMx（x=1-2）简介 672
13.2 BTIMx（x=1-2）主要特性 672
13.3 BTIMx（x=1-2）功能描述 672
13.3.1 时基单元 672
13.3.1.1 预分频器描述 672
13.3.2 计数模式 673
13.3.2.1 向上计数模式 673
13.3.3 时钟选择 676
13.3.3.1 内部时钟源 (CK_INT) 676
13.3.4 调试模式 676
13.4 BTIMx（x=1-2）寄存器描述 676
13.4.1 寄存器总览 676
13.4.2 控制寄存器 1 (TIMx_CTRL1) 676
13.4.3 控制寄存器 2（TIMx_CTRL2） 678
13.4.4 状态寄存器 (TIMx_STS) 678
13.4.5 事件产生寄存器 (TIMx_EVTGEN) 679

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

13.4.6 DMA/中断使能寄存器 (TIMx_DINTEN) 679
13.4.7 预分频器 (TIMx_PSC)...... 680
13.4.8 自动重装载寄存器 (TIMx_AR) 681
13.4.9 计数器 (TIMx_CNT)...... 681
14 低功耗定时器（LPTIM） 682
14.1 简介 682
14.2 主要特性 682
14.3 功能框图 683
14.4 功能描述 683
14.4.1 复位和时钟 683
14.4.2 分频系数 684
14.4.3 毛刺滤波器 684
14.4.4 开启定时器 685
14.4.5 多路触发器 685
14.4.6 工作模式 685
14.4.7 波形发生器 688
14.4.8 寄存器更新 689
14.4.9 计数器模式 690
14.4.10 编码器模式 690
14.4.11 非正交编码器模式 691
14.4.12 超时功能 693
14.4.13 LPTIM 中断 693
14.5 LPTIM 寄存器 694
14.5.1 LPTIM 寄存器总览 694
14.5.2 LPTIM 中断状态寄存器（LPTIM_INTSTS） 695
14.5.3 LPTIM 中断清除寄存器（LPTIM_INTCLR） 695
14.5.4 LPTIM 中断使能寄存器（LPTIM_INTEN） 697
14.5.5 LPTIM 配置寄存器（LPTIM_CFG） 698
14.5.6 LPTIM 控制寄存器（LPTIM_CTRL） 701
14.5.7 LPTIM 比较寄存器（LPTIM_CMP） 702
14.5.8 LPTIM 自动重载寄存器（LPTIM_ARR） 702
14.5.9 LPTIM 计数寄存器（LPTIM_CNT） 703
14.5.10 LPTIM 选项寄存器（LPTIM_OPT） 703
15 独立看门狗（IWDG） 705
15.1 简介 705
15.2 主要特征 705
15.3 功能描述 705
15.3.1 寄存器访问保护 706
15.3.2 调试模式 706
15.3.3 IWDG 冻结 706
15.4 用户界面 706
15.4.1 操作流程 706

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15.4.2 IWDG 配置流程 707
15.5 IWDG 寄存器 708
15.5.1 IWDG 寄存器总览 708
15.5.2 IWDG 密钥寄存器（IWDG_KEY） 708
15.5.3 IWDG 状态寄存器（IWDG_STS） 708
15.5.4 IWDG 预分频寄存器（IWDG_PREDIV） 709
15.5.5 IWDG 重装载寄存器（IWDG_RELV） 710
16 窗口看门狗（WWDG） 711
16.1 简介 711
16.2 主要特征 711
16.3 功能描述 711
16.4 刷新看门狗和中断产生的时序 712
16.5 调试模式 713
16.6 用户界面 713
16.6.1 WWDG 配置流程 713
16.7 WWDG 寄存器 714
16.7.1 WWDG 寄存器总览 714
16.7.2 WWDG 配置寄存器（WWDG_CFG） 714
16.7.3 WWDG 控制寄存器（WWDG_CTRL） 715
16.7.4 WWDG 状态寄存器（WWDG_STS） 715
17 模拟数字转换（ADC） 716
17.1 简述 716
17.2 ADC 主要特征 716
17.3 ADC 功能描述 718
17.3.1 ADC 时钟 719
17.3.2 ADC 开关控制 720
17.3.3 通道选择 720
17.3.4 内部通道 722
17.3.5 单端与差分输入通道 722
17.3.6 ADC 校准 723
17.3.7 单次转换模式 724
17.3.8 连续转换模式 724
17.3.9 扫描模式 725
17.3.10 注入通道管理 725
17.3.10.1 自动注入 725
17.3.10.2 触发注入 725
17.3.11 间断模式 726
17.3.11.1 规则通道 726
17.3.11.2 注入通道 726
17.3.12 停止正在进行的转换 727
17.3.13 时序图 727
17.3.14 采样结束、转换结束标志 728

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

17.3.15 模拟看门狗 728
17.3.15.1 模拟看门狗 1 728
17.3.15.1.1 模拟看门狗 1 滤波 729
17.3.15.2 模拟看门狗 2/3 729
17.3.15.3 ADCy_AWDx_OUT 信号输出生成 730
17.3.15.4 带增益补偿和偏移补偿的看门狗 731
17.3.16 增益补偿 731
17.3.17 偏移补偿 731
17.3.18 FIFO 功能 732
17.4 数据对齐 733
17.5 可独立编程的通道采样时间 734
17.6 外部触发与触发极性选择 735
17.6.1 外部极性选择 735
17.6.2 外部触发源 735
17.7 过采样 736
17.7.1 触发模式 738
17.7.2 规则通道过采样 738
17.7.3 注入通道过采样 739
17.7.4 规则和注入通道过采样 739
17.7.5 带注入转换的触发规则通道过采样 739
17.7.6 自动注入模式 740
17.7.7 多 ADC 模式 740
17.8 DMA 请求 741
17.9 多 ADC 模式 742
17.9.1 独立模式 743
17.9.2 同步规则模式 743
17.9.2.1 双 ADC 模式 743
17.9.2.2 三 ADC 模式 744
17.9.3 同步注入模式 744
17.9.3.1 双 ADC 模式 744
17.9.3.2 三 ADC 模式 745
17.9.4 交叉模式 746
17.9.4.1 双 ADC 模式 746
17.9.4.2 三 ADC 模式 746
17.9.5 交替触发模式 747
17.9.5.1 双 ADC 模式 747
17.9.5.2 三 ADC 模式 749
17.9.6 混合的同步规则+同步注入模式 750
17.9.7 混合的同步规则+交替触发模式 750
17.9.8 混合的同步注入+交叉模式 752
17.10 温度传感器 752
17.10.1 测量温度值 753
17.11 ADC 中断 754
17.12 ADC 寄存器 755

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

17.12.1 ADC 寄存器总览 755
17.12.2 ADC 状态寄存器(ADC_STS) 759
17.12.3 ADC 控制寄存器 1(ADC_CTRL1) 760
17.12.4 ADC 控制寄存器 2(ADC_CTRL2) 763
17.12.5 ADC 控制寄存器 3 (ADC_CTRL3) 767
17.12.6 ADC 采样时间寄存器(ADC_SAMPT1) 770
17.12.7 ADC 采样时间寄存器(ADC_SAMPT2) 770
17.12.8 ADC 采样时间寄存器(ADC_SAMPT3) 771
17.12.9 ADC 差分模式选择寄存器(ADC_DIFSEL) 772
17.12.10 ADC 校正因子(ADC_CALFACT) 772
17.12.11 ADC 数据偏移寄存器 x(ADC_OFFSETx)(x=1..4) 773
17.12.12 ADC 看门狗 1 高阈值寄存器(ADC_AWD1HIGH) 774
17.12.13 ADC 看门狗 1 低阈值寄存器(ADC_AWD1LOW) 775
17.12.14 ADC 看门狗 2 高阈值寄存器(ADC_AWD2HIGH) 775
17.12.15 ADC 看门狗 2 低阈值寄存器(ADC_AWD2LOW) 776
17.12.16 ADC 看门狗 3 高阈值寄存器(ADC_AWD3HIGH) 776
17.12.17 ADC 看门狗 3 低阈值寄存器(ADC_AWD3LOW) 777
17.12.18 ADC 模拟看门狗 2 配置寄存器（ADC_AWD2EN） 777
17.12.19 ADC 模拟看门狗 3 配置寄存器（ADC_AWD3EN） 778
17.12.20 ADC 模拟看门狗 2 中断使能寄存器（ADC_AWD2INTEN） 778
17.12.21 ADC 模拟看门狗 3 中断使能寄存器（ADC_AWD3INTEN） 779
17.12.22 ADC 模拟看门狗 2 状态寄存器（ADC_AWD2STS） 779
17.12.23 ADC 模拟看门狗 3 状态寄存器（ADC_AWD3STS） 780
17.12.24 ADC 规则序列寄存器 1（ADC_RSEQ1） 780
17.12.25 ADC 规则序列寄存器 2（ADC_RSEQ2） 781
17.12.26 ADC 规则序列寄存器 3（ADC_RSEQ3） 782
17.12.27 ADC 注入序列寄存器（ADC_JSEQ） 782
17.12.28 ADC 注入数据寄存器 x(ADC_JDATx)(x = 1..4) 783
17.12.29 ADC 规则数据寄存器 (ADC_DAT) 784
17.12.30 ADC FIFO 配置寄存器 (ADC_FIFOCFG) 784
17.12.31 ADC FIFO 状态寄存器 (ADC_FIFOSTS) 786
17.12.32 ADC 电源控制寄存器（ADC_PCTRL） 787
17.12.33 ADC 控制寄存器 4（ADC_CTRL4） 787
17.12.34 ADC 中断使能寄存器 (ADC_INTEN) 788
17.12.35 ADC 增益补偿寄存器 (ADC_GCOMP) 789
17.12.36 ADC DSMU 通道屏蔽寄存器 (ADC_DSMUCHMASK) 790
18 数字/模拟转换（DAC） 791
18.1 DAC 介绍 791
18.2 DAC 主要特性 791
18.3 DAC 总览 791
18.4 DAC 功能描述与操作说明 793
18.4.1 DAC 开启 793
18.4.2 DAC 输出缓冲器 793

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

18.4.3 DAC 数据格式 793
18.4.3.1 数据对齐 793
18.4.3.2 有符号/无符号数据 795
18.4.4 DAC 触发 795
18.4.5 DAC 转换 797
18.4.6 DAC 输出电压 798
18.4.7 DMA 请求 798
18.4.7.1 DMA 下溢 798
18.4.7.2 DMA 双数据模式 799
18.4.8 噪声产生 799
18.4.9 三角波产生 800
18.4.10 锯齿波产生 801
18.4.11 DAC 缓冲器校准 803
18.5 双 DAC 转换操作 804
18.5.1 不使用波形发生器的独立触发 804
18.5.2 产生相同噪声的独立触发 804
18.5.3 产生不同噪声的独立触发 805
18.5.4 产生相同三角波的独立触发 805
18.5.5 产生不同三角波的独立触发 806
18.5.6 产生相同锯齿波的独立触发 806
18.5.7 产生不同锯齿波的独立触发 807
18.5.8 同时软件启动 807
18.5.9 不使用波形发生器的同步触发 807
18.5.10 产生相同噪声的同步触发 808
18.5.11 产生不同噪声的同步触发 808
18.5.12 产生相同三角波的同步触发 808
18.5.13 产生不同三角波的同步触发 809
18.5.14 产生相同锯齿波的同步触发 809
18.5.15 产生不同锯齿波的同步触发 810
18.6 DAC 中断 810
18.7 DAC 寄存器 811
18.7.1 DAC 寄存器总览 811
18.7.2 DACxy 控制寄存器（DACxy_CTRL）(xy = 12) 812
18.7.3 DACxy 软件触发寄存器（DACxy_SOTTR） 816
18.7.4 DACx 数据输出寄存器（DACx_DATO） 816
18.7.5 DACy 数据输出寄存器（DACy_DATO） 817
18.7.6 DACx 的 8 位右对齐数据保持寄存器（DACx_DR8） 817
18.7.7 DACx 的 12 位左对齐数据保持寄存器（DACx_DL12） 818
18.7.8 DACx 的 12 位右对齐数据保持寄存器（DACx_DR12） 818
18.7.9 DACy 的 8 位右对齐数据保持寄存器（DACy_DR8） 819
18.7.10 DACy 的 12 位左对齐数据保持寄存器（DACy_DL12） 819
18.7.11 DACy 的 12 位右对齐数据保持寄存器（DACy_DR12） 820
18.7.12 双 DACxy 的 8 位右对齐数据保持寄存器（DACxy_DR8D） 820
18.7.13 双 DACxy 的 12 位左对齐数据保持寄存器（DACxy_DL12D） 821

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

18.7.14 双 DACxy 的 12 位右对齐数据保持寄存器（DACxy_DR12D） 821
18.7.15 DACxy 选择控制寄存器（DACxy_SELCTRL） 822
18.7.16 DACxy 状态寄存器（DACxy_STS） 825
18.7.17 DACxy 通用控制寄存器（DACxy_GCTRL） 826
18.7.18 DACxy 锯齿波步进寄存器（DACxy_STINC） 827
18.7.19 DACxy 锯齿波复位寄存器（DACxy_ STRST） 828
18.7.20 DACxy 校准控制寄存器（DACxy_ CALC） 828

19 电压参考缓冲器（VREFBUF） 829

19.1 VREFBUF 简介 829
19.2 VREFBUF 功能描述 829
19.2.1 VREFBUF 修调 830
19.3 VREFBUF 寄存器 831
19.3.1 VREFBUF 寄存器总览 831
19.3.2 VREFBUF 控制寄存器 (VREF_CTRL) 831

20 CORDIC 处理器（CORDIC） 833

20.1 简介 833
20.2 主要特性 833
20.3 功能框图 833
20.4 功能描述 834
20.4.1 CORDIC 函数 834
20.4.2 数据格式 839
20.4.3 比例因子 839
20.4.4 精度 840
20.4.5 工作模式 841
20.4.5.1 零开销模式 841
20.4.5.2 轮询模式 842
20.4.5.3 中断模式 842
20.4.5.4 DMA 模式 843
20.5 CORDIC 寄存器 844
20.5.1 CORDIC 控制状态寄存器（CORDIC_CTRLSTS） 844
20.5.2 CORDIC 写数据寄存器（CORDIC_WDAT） 846
20.5.3 CORDIC 读数据寄存器（CORDIC_RDAT） 847

21 通用同步异步收发器(USART) 849

21.1 简介 849
21.2 主要特性 849
21.3 功能框图 850
21.4 功能描述 850
21.4.1 USART 帧格式 851
21.4.2 USART FIFO 和阈值 852
21.4.3 发送器 853
21.4.3.1 空闲帧 853
21.4.3.2 字符发送 853

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

21.4.3.3 停止位 853
21.4.3.4 断开帧 854
21.4.3.5 发送流程 854
21.4.3.6 单字节通信 855
21.4.4 接收器 856
21.4.4.1 起始位检测 856
21.4.4.2 停止位 857
21.4.4.3 接收流程 857
21.4.4.4 空闲帧检测 858
21.4.4.5 断开帧检测 858
21.4.4.6 帧错误 858
21.4.4.7 溢出错误 858
21.4.4.8 噪声错误 858
21.4.5 分数波特率计算 859
21.4.5.1 分频系数 USARTDIV 与 USART_BRCF 寄存器配置 859
21.4.6 USART 接收器容忍时钟的变化 862
21.4.7 校验控制 862
21.4.8 DMA 通信 863
21.4.8.1 DMA 发送 863
21.4.8.2 DMA 接收 864
21.4.9 硬件流控 865
21.4.9.1 RTS 流控制 865
21.4.9.2 CTS 流控制 866
21.4.10 多处理器通信 866
21.4.10.1 空闲总线检测 867
21.4.10.2 地址标识检测 867
21.4.11 同步模式 868
21.4.11.1 同步时钟 868
21.4.11.2 同步发送 868
21.4.11.3 同步接收 868
21.4.12 单线半双工模式 870
21.4.13 接收器超时 871
21.4.14 数据错误丢弃功能 871
21.4.15 串行 IrDA 红外编解码模式 871
21.4.15.1 IrDA 正常模式 871
21.4.15.2 IrDA 低功耗模式 872
21.4.16 LIN 模式 873
21.4.16.1 LIN 发送 873
21.4.16.2 LIN 接收 873
21.4.17 智能卡模式（ISO7816） 875
21.5 中断请求 877
21.6 模式配置 880
21.7 USART 寄存器 880
21.7.1 UART 寄存器总览 880

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

21.7.2 USART 控制寄存器 1(USART_CTRL1)......881
21.7.3 USART 控制寄存器 2(USART_CTRL2)......883
21.7.4 USART 控制寄存器 3(USART_CTRL3)......886
21.7.5 USART 状态寄存器 (USART_STS)......887
21.7.6 USART 数据寄存器(USART_DAT)......890
21.7.7 USART 波特率配置寄存器 (USART_BRCF)......891
21.7.8 USART 保护时间和预分频寄存器(USART_GTP)......891
21.7.9 USART FIFO 寄存器(USART_FIFO)......892
21.7.10 USART 空闲帧宽度寄存器(USART_IFW)......893
21.7.11 USART 接收超时宽度寄存器(USART_RTO)......894

22 内部集成电路总线(I^2C)......895

22.1 简介......895
22.2 主要特性......895
22.3 功能描述......895
22.3.1 SDA/SCL 控制......895
22.3.2 软件通讯流程......896
22.3.2.1 开始和停止条件......897
22.3.2.2 时钟同步与仲裁......897
22.3.2.3 I^2C 数据通信流程......898
22.3.2.4 I^2C 从机发送模式......898
22.3.2.5 I^2C 从机接收模式......901
22.3.2.6 I^2C 主机发送模式......903
22.3.2.7 I^2C 主机接收模式......906
22.3.3 错误条件......909
22.3.3.1 应答错误 (ACKFAIL)......909
22.3.3.2 总线错误 (BUSERR)......910
22.3.3.3 仲裁丢失 (ARLOST)......910
22.3.3.4 过载/欠载错误 (OVERRUN)......910
22.3.4 DMA 应用......910
22.3.4.1 发送流程......911
22.3.4.2 接收流程......912
22.3.5 包错误校验 (PEC)......913
22.3.6 超时错误......913
22.3.7 噪声滤波......914
22.3.8 SMBus......914
22.3.8.1 介绍......914
22.3.8.2 SMBus 用途......914
22.3.8.3 设备标识......915
22.3.8.4 总线协议......915
22.3.8.5 地址解析协议 (ARP)......915
22.3.8.6 SMBus 提醒模式......915
22.3.8.7 SMBus 通信流程......915
22.4 调试模式......916

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

22.5 监控模式 916
22.6 中断请求 916
22.7 I2C 寄存器 917
22.7.1 I2C 控制寄存器 1 (I2C_CTRL1) 917
22.7.2 I2C 控制寄存器 2 (I2C_CTRL2) 920
22.7.3 I2C 自身地址寄存器 1 (I2C_OADDR1) 922
22.7.4 I2C 自身地址寄存器 2 (I2C_OADDR2) 923
22.7.5 I2C 数据寄存器 (I2C_DAT) 923
22.7.6 I2C 状态寄存器 1 (I2C_STS1) 924
22.7.7 I2C 状态寄存器 2 (I2C_STS2) 928
22.7.8 I2C 时钟控制寄存器 (I2C_CLKCTRL) 929
22.7.9 I2C 上升时间寄存器 (I2C_TMRISE) 930
22.7.10 I2C 主机接收字节寄存器 (I2C_BYTENUM) 931
22.7.11 I2C 数字滤波控制寄存器 (I2C_GFLTRCTRL) 931
22.7.12 I2C FIFO 数据寄存器 (I2C_FIFODAT) 932

23 数据波特率可变的控制器局域网（FDCAN） 934

23.1 概述 934
23.2 主要特性 934
23.3 消息 RAM 935
23.3.1 消息 RAM 配置 935
23.3.2 专用接收缓冲和接收 FIFO 935
23.3.3 发送缓冲 937
23.3.4 发送事件 FIFO 939
23.3.5 标准消息 ID 过滤器 940
23.3.6 扩展消息 ID 过滤器 941
23.3.7 触发存储器 942
23.4 基本功能描述 944
23.4.1 工作模式 945
23.4.1.1 软件初始化 945
23.4.1.2 正常工作模式 946
23.4.1.3 CAN FD 工作模式 946
23.4.1.4 收发器延迟补偿 947
23.4.1.5 受限工作模式 949
23.4.1.6 总线监控模式（静默模式） 949
23.4.1.7 禁止自动重传（DAR）模式 949
23.4.1.8 掉电（休眠）模式 950
23.4.1.9 测试模式 950
23.4.1.10 外部回环模式 951
23.4.1.11 内部回环模式 951
23.4.1.12 应用看门狗 951
23.4.1.13 时间戳生成 952
23.4.1.14 超时计数器 952
23.4.2 接收处理 952

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

23.4.2.1 接收过滤器 952
23.4.2.1.1 范围过滤 953
23.4.2.1.2 特定 ID 过滤 953
23.4.2.1.3 经典位掩码过滤 954
23.4.2.1.4 标准消息 ID 过滤 954
23.4.2.1.5 扩展消息 ID 过滤 955
23.4.2.2 接收 FIFO 956
23.4.2.2.1 接收 FIFO 阻止模式 957
23.4.2.2.2 接收 FIFO 覆盖模式 958
23.4.2.3 专用接收缓冲 959
23.4.2.4 调试消息过滤 960
23.4.3 发送处理 960
23.4.3.1 发送暂停 960
23.4.3.2 专用发送缓冲 961
23.4.3.3 发送 FIFO 961
23.4.3.4 发送队列 962
23.4.3.5 专用发送缓冲与发送 FIFO 混合使用 962
23.4.3.6 专用发送缓冲与发送队列混合使用 962
23.4.3.7 发送取消 963
23.4.3.8 发送事件 FIFO 963
23.4.4 FIFO 确认 964
23.4.5 位时序 964
23.5 TTCAN 功能描述 965
23.5.1 参考消息 965
23.5.1.1 Level 1 965
23.5.1.2 Level 2 966
23.5.1.3 Level 0 966
23.5.2 TTCAN 配置 966
23.5.2.1 TTCAN 时序 966
23.5.2.1.1 接口信号时序 968
23.5.2.2 消息调度 968
23.5.2.3 触发存储器 969
23.5.2.3.1 触发器类型 969
23.5.2.3.2 节点触发器列表的限制条件 970
23.5.2.3.3 触发器处理示例 971
23.5.2.3.4 配置错误检测 972
23.5.2.4 调度初始化 972
23.5.2.4.1 时间被控节点 972
23.5.2.4.2 潜在时间主控节点 973
23.5.3 TTCAN 间隙控制 973
23.5.4 停止监视 974
23.5.5 本地时间、周期时间、全局事件和外部时钟同步 974
23.5.6 TTCAN 错误级别 977
23.5.7 TTCAN 消息处理 978

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

23.5.7.1 参考消息 978
23.5.7.2 消息接收 978
23.5.7.3 消息发送 979
23.5.7.3.1 在专用时间窗口中发送 979
23.5.7.3.2 在仲裁时间窗口中发送 980
23.5.7.3.3 在合并仲裁时间窗口中发送 980
23.5.8 TTCAN 中断和错误处理 980
23.5.9 Level 0 981
23.5.9.1 同步 981
23.5.9.2 错误级别处理 982
23.5.9.3 主控/被控节点关系 982
23.5.10 与外部时间调度同步 983
23.6 FDCAN 寄存器 984
23.6.1 FDCAN 内核释放寄存器(FDCAN_CREL) 984
23.6.2 FDCAN 字节序寄存器(FDCAN_ENDN) 984
23.6.3 FDCAN 数据位定时和预分频寄存器(FDCAN_DBTP) 985
23.6.4 FDCAN 测试寄存器(FDCAN_TEST) 986
23.6.5 FDCAN RAM 看门狗寄存器(FDCAN_RWD) 987
23.6.6 FDCAN 控制寄存器(FDCAN_CCCR) 987
23.6.7 FDCAN 标称位定时和预分频寄存器(FDCAN_NBTP) 989
23.6.8 FDCAN 时间戳计数器配置寄存器(FDCAN_TSCC) 990
23.6.9 FDCAN 时间戳计数器值寄存器(FDCAN_TSCV) 991
23.6.10 FDCAN 超时计数器配置寄存器(FDCAN_TOCC) 991
23.6.11 FDCAN 超时计数器值寄存器(FDCAN_TOCV) 992
23.6.12 FDCAN 错误计数器寄存器(FDCAN_ECR) 993
23.6.13 FDCAN 协议状态寄存器(FDCAN_PSR) 993
23.6.14 FDCAN 发生器延迟补偿寄存器(FDCAN_TDCR) 995
23.6.15 FDCAN 中断寄存器(FDCAN_IR) 996
23.6.16 FDCAN 中断使能寄存器(FDCAN_IE) 999
23.6.17 FDCAN 中断线选择寄存器(FDCAN_ILS) 1001
23.6.18 FDCAN 中断线使能寄存器(FDCAN_ILE) 1004
23.6.19 FDCAN 全局过滤器配置寄存器(FDCAN_GFC) 1004
23.6.20 FDCAN 标准 ID 过滤器配置寄存器(FDCAN_SIDFC) 1005
23.6.21 FDCAN 扩展 ID 过滤器配置寄存器(FDCAN_XIDFC) 1006
23.6.22 FDCAN 扩展 ID 和掩码寄存器(FDCAN_XIDAM) 1007
23.6.23 FDCAN 高优先级消息状态寄存器(FDCAN_HPMS) 1007
23.6.24 FDCAN 新数据 1 寄存器(FDCAN_NDAT1) 1008
23.6.25 FDCAN 新数据 2 寄存器(FDCAN_NDAT2) 1009
23.6.26 FDCAN 接收 FIFO 0 配置寄存器(FDCAN_RXF0C) 1009
23.6.27 FDCAN 接收 FIFO 0 状态寄存器(FDCAN_RXF0S) 1010
23.6.28 FDCAN 接收 FIFO 0 确认寄存器(FDCAN_RXF0A) 1011
23.6.29 FDCAN 接收缓冲区配置寄存器(FDCAN_RXBC) 1011
23.6.30 FDCAN 接收 FIFO 1 配置寄存器(FDCAN_RXF1C) 1012
23.6.31 FDCAN 接收 FIFO 1 状态寄存器(FDCAN_RXF1S) 1013

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

23.6.32 FDCAN 接收 FIFO 1 确认寄存器(FDCAN_RXF1A) 1013
23.6.33 FDCAN 接收缓冲区/FIFO 元素大小配置寄存器(FDCAN_RXESC) 1014
23.6.34 FDCAN 发送缓冲区配置寄存器(FDCAN_TXBC) 1015
23.6.35 FDCAN 发送 FIFO/队列状态寄存器(FDCAN_TXFQS) 1016
23.6.36 FDCAN 发送缓冲区元素大小配置寄存器(FDCAN_TXESC) 1017
23.6.37 FDCAN 发送缓冲区请求挂起寄存器(FDCAN_TXBRP) 1018
23.6.38 FDCAN 发送缓冲区添加请求寄存器(TXBAR) 1019
23.6.39 FDCAN 发送缓冲区取消请求寄存器(FDCAN_TXBCR) 1019
23.6.40 FDCAN 发送缓冲区发送已发生寄存器(FDCAN_TXBTO) 1020
23.6.41 FDCAN 发送缓冲区取消完成寄存器(FDCAN_TXBCF) 1020
23.6.42 FDCAN 发送缓冲区发送中断使能寄存器(FDCAN_TXBTIE) 1021
23.6.43 FDCAN 发送缓冲区取消完成中断使能寄存器(FDCAN_TXBCIE) 1021
23.6.44 FDCAN 发送事件 FIFO 配置寄存器(FDCAN_TXEFC) 1022
23.6.45 FDCAN 发送事件 FIFO 状态寄存器(FDCAN_TXEFS) 1022
23.6.46 FDCAN 发送事件 FIFO 确认寄存器(FDCAN_TXEFA) 1023
23.6.47 FDCAN TT 触发存储器配置寄存器(FDCAN_TTTMC) 1024
23.6.48 FDCAN TT 参考消息配置寄存器(FDCAN_TTRMC) 1024
23.6.49 FDCAN TT 运行配置寄存器(FDCAN_TTOCF) 1025
23.6.50 FDCAN TT 矩阵限制寄存器(FDCAN_TTMLM) 1027
23.6.51 FDCAN TUR 配置寄存器(FDCAN_TURCF) 1028
23.6.52 FDCAN TT 运行控制寄存器(FDCAN_TTOCN) 1029
23.6.53 FDCAN TT 全局时间预值寄存器(FDCAN_TTGTP) 1031
23.6.54 FDCAN TT 时间标记寄存器(FDCAN_TTTMK) 1032
23.6.55 FDCAN TT 中断寄存器(FDCAN_TTIR) 1033
23.6.56 FDCAN TT 中断使能寄存器 (FDCAN_TTIE) 1035
23.6.57 FDCAN TT 中断线选择寄存器(FDCAN_TTILS) 1036
23.6.58 FDCAN TT 运行状态寄存器(FDCAN_TTOST) 1038
23.6.59 FDCAN TUR 分子实际寄存器(FDCAN_TURNA) 1040
23.6.60 FDCAN TT 本地和全局时间寄存器(FDCAN_TTLGT) 1041
23.6.61 FDCAN TT 周期时间和计数寄存器(FDCAN_TTCTC) 1041
23.6.62 FDCAN TT 捕获时间寄存器(FDCAN_TTCPT) 1042
23.6.63 FDCAN TT 周期同步标记寄存器(FDCAN_TTCSM) 1042
23.6.64 FDCAN 外部信号选择寄存器(FDCAN_TTSS) 1043

24 串行外设接口/内置音频总线（SPI/I2S） 1045

24.1 SPI/I2S 简介 1045
24.1.1 SPI 主要特性 1045
24.1.2 I²S 主要特性 1045
24.2 SPI 功能描述 1046
24.2.1 通用描述 1046
24.2.2 SPI 工作模式 1049
24.2.3 状态标志 1055
24.2.4 关闭 SPI 1055
24.2.5 使用 DMA 进行 SPI 通讯 1056

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

24.2.6 CRC 计算 1057
24.2.7 FIFO 功能 1059
24.2.8 错误标志位 1059
24.2.9 SPI 中断 1060
24.3 I²S 功能描述 1061
24.3.1 I2S 全双工 1062
24.3.2 支持的音频协议 1063
26.4.2.1 飞利浦标准 1064
26.4.2.2 MSB 对齐标准 1065
26.4.2.3 LSB 对齐标准 1066
26.4.2.4 PCM 标准 1067
24.3.3 时钟发生器 1068
24.3.4 I²S 发送和接收流程 1070
24.3.5 I2S 主模式 1071
26.4.5.1 主模式发送流程 1071
26.4.5.2 主模式接收流程 1071
24.3.6 I2S 从模式（全双工） 1072
26.4.6.1 从模式发送流程 1072
26.4.6.2 从模式接收流程 1072
24.3.7 状态标识 1073
24.3.8 错误标志位 1074
24.3.9 I²S 中断 1074
24.3.10 DMA 功能 1074
24.4 SPI 和 I²S 寄存器 1075
24.4.1 SPI 寄存器总览 1075
24.4.2 SPI 控制寄存器 1（SPI_CTRL1） 1076
24.4.3 SPI 控制寄存器 2（SPI_CTRL2） 1078
24.4.4 SPI 状态寄存器（SPI_STS） 1080
24.4.5 SPI 数据寄存器（SPI_DAT） 1081
24.4.6 SPI 发送 CRC 寄存器（SPI_CRCTDAT） 1082
24.4.7 SPI 接收 CRC 寄存器（SPI_CRCRDAT） 1082
24.4.8 SPI CRC 多项式寄存器（SPI_CRCPOLY） 1083
24.4.9 SPI_I2S 配置寄存器（SPI_I2S_CFGR） 1083
24.4.10 SPI_I2S 预分频寄存器（SPI_I2S_PREDIV） 1085
24.4.11 SPI 接收 FIFO 数据寄存器（SPI_RX_FIFO） 1085
24.4.12 SPI FIFO 个数配置寄存器（SPI_FIFO_NUM） 1086
24.4.13 SPI FIFO 计数配置寄存器（SPI_FIFO_CNT） 1086
24.4.14 SPI 传输个数配置寄存器（SPI_TRANS_NUM） 1086
24.4.15 SPI 时钟采样延迟寄存器（SPI_CR3） 1087
24.4.16 I2S_EXT 控制寄存器（I2S_CTRL2） 1088
24.4.17 I2S_EXT 状态寄存器（I2S_STS） 1089
24.4.18 I2S_EXT 数据寄存器（I2S_DAT） 1090
24.4.19 I2S_EXT 配置寄存器（I2S_CFGR） 1090
25 实时时钟(RTC) 1092

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

25.1 简介 1092
25.1.1 主要特性 1093
25.2 RTC 功能描述........ 1094
25.2.1 RTC 框图 1094
25.2.2 RTC 控制的 GPIO 1095
25.2.3 RTC 寄存器写保护........ 1095
25.2.4 RTC 时钟和预分频........ 1095
25.2.5 RTC 日历 1096
25.2.6 日历初始化和配置 1096
25.2.7 日历读取........ 1096
25.2.8 校准时钟输出 1097
25.2.9 可编程闹钟 1098
25.2.10 闹钟配置........ 1098
25.2.11 闹钟输出 1098
25.2.12 周期性自动唤醒 1098
25.2.13 唤醒定时器配置 1099
25.2.14 时间戳功能........ 1099
25.2.15 入侵检测........ 1099
25.2.16 夏时令功能配置 1100
25.2.17 RTC 亚秒寄存器位移操作........ 1100
25.2.18 RTC 数字时钟精密校准........ 1101
25.2.19 RTC 低功耗模式........ 1102
25.2.20 RTC_OUT1(PC13)和 RTC_OUT2(PB2)配置选中映射关系 1103
25.3 RTC 寄存器........ 1104
25.3.1 RTC 寄存器总览........ 1104
25.3.2 RTC 初始状态寄存器 (RTC_INITSTS)........ 1105
25.3.3 RTC 控制寄存器(RTC_CTRL) 1107
25.3.4 RTC 日历时间寄存器（RTC_TSH） 1110
25.3.5 RTC 日历日期寄存器 (RTC_DATE) 1110
25.3.6 RTC 写保护寄存器(RTC_WRP)........1111
25.3.7 RTC 平移控制寄存器(RTC_ SCTRL) 1111
25.3.8 RTC 亚秒寄存器(RTC_SUBS) 1112
25.3.9 RTC 时间戳时间寄存器 (RTC_TST)........1113
25.3.10 RTC 闹钟 A 寄存器(RTC_ALARMA) 1113
25.3.11 RTC 预分频寄存器(RTC_PRE) 1114
25.3.12 RTC 闹钟 B 寄存器 (RTC_ ALARMB) 1115
25.3.13 RTC 唤醒定时器寄存器(RTC_WKUPT) 1116
25.3.14 RTC 入侵配置寄存器（RTC_ TMPCFG） 1116
25.3.15 RTC 闹钟 A 亚秒寄存器(RTC_ ALRMASS) 1119
25.3.16 RTC 选项寄存器 (RTC_OPT)........ 1120
25.3.17 RTC 闹钟 B 亚秒寄存器 (RTC_ ALRMBSS)........ 1120
25.3.18 RTC 校准寄存器(RTC_CALIB)........ 1121
25.3.19 RTC 时间戳亚秒寄存器(RTC_TSSS) 1122
25.3.20 RTC 时间戳日期寄存器 (RTC_TSD)........ 1122

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

25.3.21 RTC 备份寄存器 (RTC_ BKP(1~20)) 1123
26 多线串行外设接口（xSPI） 1124
26.1 xSPI 简介 1124
26.2 xSPI 主要特性 1124
26.3 功能描述 1125
26.3.1 双数据速率 (DDR) 支持 1125
26.3.1.1 描述 1126
26.3.1.2 传输数据 1126
26.3.2 xSPI 命令序列 1126
26.3.3 XIP 1127
26.3.3.1 XIP 传输 1128
26.3.3.2 AHB WAIT 传输 1128
26.4 操作流程 1129
26.4.1 xSPI 间接模式 1129
26.4.2 xSPI 间接发送操作 1129
26.4.3 xSPI 间接接收操作 1131
26.5 xSPI 寄存器 1133
26.5.1 xSPI 控制寄存器 0（XSPI_CTRL0） 1133
26.5.2 xSPI 控制寄存器 1（XSPI_CTRL1） 1135
26.5.3 xSPI 使能寄存器（XSPI_EN） 1136
26.5.4 xSPI Microwire 控制寄存器（XSPI_MW_CTRL） 1136
26.5.5 xSPI 从设备使能寄存器（XSPI_SLAVE_EN） 1137
26.5.6 xSPI 波特率选择寄存器（XSPI_BAUD） 1138
26.5.7 xSPI 发送缓存阈值寄存器（XSPI_TXFT） 1138
26.5.8 xSPI 接收缓存阈值寄存器（XSPI_RXFT） 1139
26.5.9 xSPI 发送缓存数据量寄存器（XSPI_TXFN） 1139
26.5.10 xSPI 接收缓存数据量寄存器（XSPI_RXFN） 1140
26.5.11 xSPI 状态寄存器（XSPI_STS） 1140
26.5.12 xSPI 中断屏蔽寄存器（XSPI_IMASK） 1141
26.5.13 xSPI 中断状态寄存器（XSPI_ISTS） 1142
26.5.14 xSPI 原始中断状态寄存器（XSPI_RISTS） 1143
26.5.15 xSPI 发送缓存上/下溢中断清除寄存器（XSPI_TXEICR_CLR） 1144
26.5.16 xSPI 接收缓存上溢中断清除寄存器（XSPI_RXFOI_CLR） 1145
26.5.17 xSPI 接收缓存下溢中断清除寄存器（XSPI_RXFUI_CLR） 1145
26.5.18 xSPI 多主冲突中断清除寄存器（XSPI_MMC_CLR） 1145
26.5.19 xSPI 中断清除寄存器（XSPI_ICLR） 1146
26.5.20 xSPI DMA 控制寄存器（XSPI_DMA_CTRL） 1146
26.5.21 xSPI DMA 发送阈值控制寄存器（XSPI_DMATDL_CTRL） 1147
26.5.22 xSPI DMA 接收阈值控制寄存器（XSPI_DMARDL_CTRL） 1147
26.5.23 xSPI 识别码配置寄存器（XSPI_IDR） 1148
26.5.24 xSPI 组件版本寄存器（XSPI_VERSION_ID） 1148
26.5.25 xSPI 数据寄存器（XSPI_DATx） 1149
26.5.26 xSPI 接收采样延迟寄存器（XSPI_RX_DELAY） 1149

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

26.5.27 xSPI 增强型 SPI 模式控制寄存器（XSPI_ENH_CTRL0） 1150
26.5.28 xSPI 发送驱动边沿寄存器（XSPI_DDR_TXDE） 1152
26.5.29 xSPI XIP 模式位寄存器（XSPI_XIP_MODE） 1152
26.5.30 xSPI XIP 读 INCR 传输操作码寄存器（XSPI_XIP_INCR_TOC） 1153
26.5.31 xSPI XIP 读 WRAP 传输操作码寄存器（XSPI_XIP_WRAP_TOC） 1153
26.5.32 xSPI XIP 读控制寄存器（XSPI_XIP_CTRL） 1154
26.5.33 xSPI XIP 从设备使能寄存器（XSPI_XIP_SLAVE_EN） 1156
26.5.34 xSPI XIP 接收缓存上溢中断清除寄存器（XSPI_XIP_RXFOI_CLR） 1157
26.5.35 xSPI XIP 连续传输超时寄存器（XSPI_XIP_TOUT） 1157
26.5.36 xSPI XIP 写 INCR 传输操作码寄存器（XSPI_XIP_WRITE_INCR_INST） 1158
26.5.37 xSPI XIP 写 WRAP 传输操作码寄存器（XSPI_XIP_WRITE_WRAP_INST） 1158
26.5.38 xSPI XIP 写控制寄存器（XSPI_XIP_WRITE_CTRL） 1159

27 DVP 接口（DVP） 1161

27.1 简介 1161
27.2 主要特性 1161
27.3 功能框图 1161
27.4 接口时序 1162
27.5 DVP 时钟 1162
27.6 功能描述和操作说明 1162
27.6.1 操作流程 1162
27.6.2 数据传输和同步 1163
27.6.2.1 硬件同步模式 1163
27.6.2.2 内嵌码同步模式 1163
27.6.3 捕获模式 1164
27.6.3.1 快照模式（单帧捕获） 1164
27.6.3.2 连续采集模式 1165
27.6.4 裁剪功能 1165
27.6.5 跳行功能 1166
27.6.6 FIFO 和 DMA 1168
27.6.7 中断 1168
27.7 DVP 寄存器 1169
27.7.1 DVP 寄存器总览 1169
27.7.2 DVP 控制寄存器（DVP_CTRL） 1171
27.7.3 DVP 中断使能寄存器（DVP_INTEN） 1172
27.7.4 DVP 中断状态寄存器（DVP_INTSTS） 1173
27.7.5 DVP 端口配置寄存器（DVP_PORTCFG） 1175
27.7.6 DVP FIFO 配置寄存器（DVP_FIFOCFG） 1178
27.7.7 DVP 起始存储地址 1 寄存器（DVP_SMADDR1） 1180
27.7.8 DVP 起始存储地址 2 寄存器（DVP_SMADDR2） 1180
27.7.9 DVP 缓存区大小寄存器（DVP_FBS） 1181
27.7.10 DVP 区块 1 像素字节计数寄存器（DVP_FPBC1） 1181
27.7.11 DVP 区块 2 像素字节计数寄存器（DVP_FPBC2） 1182
27.7.12 DVP 裁剪起始 XY 坐标寄存器（DVP_CSXY） 1182

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

27.7.13 DVP 裁剪终止 XY 坐标寄存器（DVP_CEXY） 1183
27.7.14 DVP 内嵌码同步标志寄存器（DVP_EMSC） 1184
27.7.15 DVP 内嵌码同步掩码寄存器（DVP_EMSCM） 1185

28 灵活的外部存储控制器（FEMC） 1186

28.1 FEMC 功能描述 1186
28.2 框图 1186
28.3 AHB 接口 1187
28.4 外部设备地址映像 1188
28.4.1 NOR 和 PSRAM 地址映像 1189
28.4.2 NAND 地址映像 1190
28.5 NOR 闪存和 PSRAM 控制器 1190
28.5.1 外部存储器接口信号 1191
28.5.1.1 NOR Flash 1191
28.5.1.1.1 非复用接口 1191
28.5.1.1.2 复用接口 1192
28.5.1.2 PSRAM 1192
28.5.2 支持的存储器及其操作 1192
28.5.3 时序规则 1193
28.5.3.1 信号同步 1193
28.5.4 NOR 闪存和 PSRAM 控制器时序图 1193
28.5.4.1 异步静态存储器（NOR 闪存和 PSRAM） 1193
28.5.4.2 模式 1 - SRAM/CRAM 1194
28.5.4.2.1 模式 1 相关寄存器配置 1195
28.5.4.3 模式 A - SRAM/PSRAM（CRAM） OE 翻转 1196
28.5.4.3.1 模式 A 相关寄存器配置 1197
28.5.4.4 模式 2/B - NOR 闪存 1199
28.5.4.4.1 模式 2/B 相关寄存器配置 1200
28.5.4.5 模式 C - NOR 闪存 - OE 翻转 1202
28.5.4.5.1 模式 C 相关寄存器配置 1203
28.5.4.6 模式 D - 带地址扩展的异步操作 1204
28.5.4.6.1 模式 D 相关寄存器配置 1205
28.5.4.7 复用模式 - 地址/数据复用的 NOR 闪存异步操作 1207
28.5.4.7.1 复用模式相关寄存器配置 1208
28.5.4.8 异步模式下的等待管理 1209
28.5.5 同步的成组读 1211
28.5.5.1 数据延时与 NOR 闪存的延时 1212
28.5.5.2 单次成组传输 1212
28.5.5.3 等待管理 1212
28.5.5.3.1 同步复用读模式相关寄存器配置 1213
28.5.5.3.2 同步复用写模式相关寄存器配置 1215
28.6 NAND 闪存控制器 1217
28.6.1 外部存储器接口信号 1217
28.6.1.1 8 位 NAND 闪存 1217

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

28.6.1.2 16 位 NAND 闪存 1217
28.6.2 NAND 闪存支持的存储器及其操作 1218
28.6.3 NAND 闪存时序图 1218
28.6.4 NAND 闪存操作 1219
28.6.5 NAND 闪存预等待功能 1220
28.6.6 NAND 闪存的纠错码 ECC 计算（NAND 闪存） 1221
28.7 FEMC 寄存器 1223
28.7.1 FEMC 寄存器地址映象 1223
28.7.2 NOR 闪存和 PSRAM 控制器寄存器 1225
28.7.2.1 SRAM/NOR 闪存片选控制寄存器 1/2/3/4（FEMC_SNCTRL1/2/3/4） 1225
28.7.2.2 SRAM/NOR 闪存片选时序寄存器 1/2/3/4（FEMC_SNTCFG1/2/3/4） 1227
28.7.2.3 SRAM/NOR 闪存写时序寄存器 1/2/3/4（FEMC_ SNWTCFG1/2/3/4） 1229
28.7.3 NAND 闪存控制器寄存器 1231
28.7.3.1 NAND 闪存控制寄存器 2/3（FEMC_NCTRL2/3） 1231
28.7.3.2 FIFO 状态和中断寄存器 2/3（FEMC_NSTS2/3） 1232
28.7.3.3 通用存储空间时序寄存器 2/3（FEMC_NCMEMTM2/3） 1233
28.7.3.4 属性存储空间时序寄存器 2/3（FEMC_NATTMEMTM2/3） 1234
28.7.3.5 ECC 结果寄存器 2/3（FEMC_ECC2/3） 1236

29 SDRAM 控制器 1237

29.1 简介 1237
29.2 主要特性 1237
29.3 功能框图 1237
29.4 引脚定义 1238
29.5 功能描述 1239
29.5.1 SDRAM 时钟 1239
29.5.2 SDRAM 初始化 1239
29.5.2.1 SDRAM 设备初始化序列 1239
29.5.2.2 SDRAM 初始化示例 1239
29.5.2.3 SDRAM 模式寄存器值要求 1243
29.5.3 SDRAM 设备地址范围 1243
29.5.4 访问 SDRAM 设备时序图 1245
29.5.4.1 行激活 1245
29.5.4.2 Single 写传输，不带自动预充 1246
29.5.4.3 Single 写传输，带自动预充 1246
29.5.4.4 Burst 写传输，不带自动预充 1247
29.5.4.5 Burst 写传输，带自动预充 1248
29.5.4.6 Single 读传输，不带自动预充 1249
29.5.4.7 Single 读传输，带自动预充 1249
29.5.4.8 Burst 读传输，不带自动预充 1250
29.5.4.9 Burst 读传输，带自动预充 1251
29.5.4.10 预充电选定 Bank 1252
29.5.4.11 预充电所有 Banks 1252
29.5.4.12 自动刷新 1253

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

29.5.5 SDRAM 设备挂起和唤醒序列 1253
29.5.5.1 暂停序列 1253
29.5.5.2 唤醒序列 1254
29.5.6 内存数据缓冲 1254
29.5.6.1 写入数据缓冲 1254
29.5.6.2 读取数据缓冲 1255
29.5.7 写保护 1255
29.6 SDRAMC 寄存器 1255
29.6.1 SDRAM1 基地址寄存器 (SDRAM_BADD1) 1255
29.6.2 SDRAM1 地址掩码寄存器 (SDRAM_ADDMASK1) 1256
29.6.3 SDRAM2 基地址寄存器 (SDRAM_BADD2) 1256
29.6.4 SDRAM2 地址掩码寄存器 (SDRAM_ADDMASK2) 1257
29.6.5 SDRAM1 配置寄存器 (SDRAM_CFG1) 1257
29.6.6 SDRAM2 配置寄存器 (SDRAM_CFG2) 1259
29.6.7 SDRAM Row Active 时序寄存器 (SDRAM_RAT) 1260
29.6.8 SDRAM Row Cycle 时序寄存器 (SDRAM_RCT) 1261
29.6.9 SDRAM Row Active to Row Active Delay 寄存器 (SDRAM_RRDLY) 1261
29.6.10 SDRAM Precharge 时序寄存器 (SDRAM_PT) 1262
29.6.11 SDRAM Write Recovery 时序寄存器 (SDRAM_WRT) 1263
29.6.12 SDRAM Refresh Cycle 时序寄存器 (SDRAM_RFCT) 1263
29.6.13 SDRAM RAS to CAS Delay 寄存器 (SDRAM_RCDLY) 1264
29.6.14 SDRAM Refresh Interval 寄存器 (SDRAM_RI) 1264
29.6.15 SDRAM Controller Buffer Operation 寄存器 (SDRAM_CBO) 1265
29.6.16 SDRAM Operation Request 寄存器 (SDRAM_OR) 1265
29.6.17 SDRAM Operation Setup 寄存器 (SDRAM_OS) 1266
29.6.18 SDRAM 地址保护寄存器 (SDRAM_WP) 1267

30 SDIO 接口（SDIO） 1269

30.1 SDIO 主要功能 1269
30.2 SDIO 总线拓扑 1269
30.3 SDIO 功能描述 1271
30.3.1 SDIO 适配器 1272
30.3.1.1 适配器寄存器模块 1273
30.3.1.2 控制单元 1273
30.3.1.3 命令通道 1274
30.3.1.4 命令通道状态机（CPSM） 1274
30.3.1.5 数据通道 1277
30.3.1.6 数据通道状态机（DPSM） 1278
30.3.1.7 数据传输 1279
30.3.1.8 数据 FIFO 1280
30.3.2 SDIO AHB 接口 1280
30.3.2.1 SDIO 中断 1280
30.3.2.2 SDIO/DMA 接口 1281
30.4 卡功能描述 1281

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

30.4.1 工作电压范围确认 1281
30.4.2 卡复位 1282
30.4.3 卡识别模式 1282
30.4.4 卡识别过程 1282
30.4.5 写数据块 1283
30.4.6 读数据块 1284
30.4.7 数据流操作（只适用于多媒体卡） 1284
30.4.7.1 数据流写 1284
30.4.7.2 数据流读 1285
30.4.8 擦除 1285
30.4.9 宽总线选择和解除选择 1286
30.4.10 保护管理 1286
30.4.10.1 内部卡的写保护 1286
30.4.10.2 物理写保护开关 1286
30.4.10.3 密码保护 1287
30.4.10.4 设置密码 1287
30.4.10.5 清除密码 1288
30.4.10.6 卡上锁 1288
30.4.10.7 卡解锁 1288
30.4.10.8 强制擦除 1289
30.4.11 卡状态寄存器 1289
30.4.11.1 卡状态寄存器 1289
30.4.11.2 SD 状态寄存器 1291
30.4.12 SD 的 I/O 模式 1295
30.4.12.1 I/O 中断 1295
30.4.12.2 I/O 暂停和恢复 1295
30.4.12.3 I/O 读等待（ReadWait） 1296
30.5 命令与响应 1296
30.5.1 应用相关命令和通用命令 1296
30.5.2 多媒体卡/SD 卡模块的命令 1297
30.5.3 命令类型 1298
30.5.4 命令格式 1299
30.5.5 响应格式 1300
30.6 硬件流控制 1302
30.7 SDIO 寄存器 1303
30.7.1 SDIO 寄存器总览 1303
30.7.2 SDIO 电源控制寄存器（SDIO_PWRCTRL） 1304
30. 7. 3 SDIO 时钟控制寄存器（SDIO_CLKCTRL） 1304
30. 7. 4 SDIO 参数寄存器（SDIO_CMDARG） 1305
30. 7. 5 SDIO 命令寄存器（SDIO_CMDCTRL） 1306
30. 7. 6 SDIO 命令响应寄存器（SDIO_CMDRESP） 1307
30. 7. 7 SDIO 响应 1..4 寄存器（SDIO_RESPONSEx） 1307
30. 7. 8 SDIO 数据定时器寄存器（SDIO_DTIMER） 1308
30. 7. 9 SDIO 数据长度寄存器（SDIO_DATLEN） 1308

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

30.7.10 SDIO 数据控制寄存器（SDIO_DATCTRL） 1308
30.7.11 SDIO 数据计数器寄存器（SDIO_ DATCOUNT） 1310
30.7.12 SDIO 状态寄存器（SDIO_STS） 1310
30.7.13 SDIO 清除中断寄存器（SDIO_INTCLR） 1311
30.7.14 SDIO 中断使能寄存器（SDIO_INTEN） 1312
30.7.15 SDIO FIFO 计数器寄存器（SDIO_ FIFOCOUNT） 1315
30.7.16 SDIO 数据 FIFO 寄存器（SDIO_ DATFIFO） 1315
31 适用于 ΣΔ 调制器的数字滤波器(DSMU) 1316
31.1 简介 1316
31.2 主要特性 1316
31.3 功能资源 1317
31.4 DSMU 功能描述 1318
31.4.1 DSMU 框图 1318
31.4.2 DSMU 信号 1319
31.4.2.1 外部信号连接 1319
31.4.2.2 外部触发信号 1319
31.4.2.3 刹车信号连接 1320
31.4.3 DSMU 复位和时钟 1320
31.4.3.1 DSMU 时钟 1321
31.4.3.2 时钟配置序列 1321
31.4.4 串行通道收发器 1321
31.4.4.1 通道输入选择 1321
31.4.4.2 输出时钟配置 1322
31.4.4.3 SPI 数据输入格式操作 1323
31.4.4.4 曼彻斯特编码数据输入格式操作 1323
31.4.4.5 时钟缺失检测 1323
31.4.4.6 曼彻斯特/SPI 格式数据同步 1325
31.4.4.7 外部串行时钟频率测量 1325
31.4.4.8 通道偏移校准设置 1326
31.4.4.9 数据右移 1326
31.4.4.10 配置输入串行接口 1326
31.4.5 并行通道收发器 1326
31.4.5.1 从内部 ADC 输入 1327
31.4.5.2 从存储器输入(通过 CPU/DMA 直接写入) 1327
31.4.6 通道选择 1328
31.4.7 数字滤波器配置 1329
31.4.8 积分器单元 1330
31.4.9 模拟看门狗 1331
31.4.10 短路检测器 1332
31.4.11 极值检测器 1333
31.4.12 数据输出单元 1333
31.4.13 有符号数据格式 1334
31.4.14 启动转换 1334

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31.4.14.1 注入转换（Injected conversion） 1334
31.4.14.2 规则转换（Regular conversions） 1335
31.4.15 连续和快速模式 1335
31.4.16 请求优先级 1335
31.4.17 DSMU 中断 1336
31.4.18 DSMU DMA 传输 1338
31.5 DSMU 寄存器 1338
31.5.1 DSMU 寄存器总览 1338
31.5.2 DSMU 通道 y 配置寄存器 1 (DSMU_CHyCFG1) 1345
31.5.3 DSMU 通道 y 配置寄存器 2 (DSMU_CHyCFG2) 1347
31.5.4 DSMU 通道 y 短路检测与模拟看门狗寄存器(DSMU_CHyAWDSCDET) 1348
31.5.5 DSMU 通道 y 看门狗滤波结果寄存器(DSMU_CHyAWDDAT) 1349
31.5.6 DSMU 通道 y 输入数据寄存器(DSMU_CHyDATIN) 1349
31.5.7 DSMU 滤波器 x 控制寄存器 1 (DSMU_FLTxCTRL1) 1350
31.5.8 DSMU 滤波器 x 控制寄存器 2 (DSMU_FLTxCTRL2) 1353
31.5.9 DSMU 滤波器 x 状态寄存器 (DSMU_FLTxSTS) 1354
31.5.10 DSMU 滤波器中断标志清除寄存器 (DSMU_FLTxINTCLR) 1356
31.5.11 DSMU 滤波器 x 注入通道组寄存器(DSMU_FLTxJCHG) 1357
31.5.12 DSMU 滤波器 x 配置寄存器 (DSMU_FLTxFCTRL) 1358
31.5.13 DSMU 滤波器 x 注入转换结果寄存器 (DSMU_FLTxJDAT) 1359
31.5.14 DSMU 滤波器 x 规则转换结果寄存器 (DSMU_FLTxRDAT) 1359
31.5.15 DSMU 滤波器 x 模拟看门狗高阈值寄存器(DSMU_FLTxAWDHT) 1360
31.5.16 DSMU 滤波器 x 模拟看门狗低阈值寄存器 (DSMU_FLTxAWDLT) 1361
31.5.17 DSMU 滤波器 x 模拟看门狗状态寄存器(DSMU_FLTxAWDSTS) 1361
31.5.18 DSMU 滤波器 x 模拟看门狗清除标志寄存器 (DSMU_FLTxAWDCLR) 1362
31.5.19 DSMU 滤波器 x 极值检测器最大值寄存器 (DSMU_FLTxEXDETMAX) 1363
31.5.20 DSMU 滤波器 x 极值检测器最小值寄存器 (DSMU_FLTxEXDETMIN) 1363
31.5.21 DSMU 滤波器 x 转换时间寄存器 (DSMU_FLTxCOVTIM) 1364

32 通用串行总线全速设备接口（USB_FS_Device） 1365

32.1 简介 1365
32.2 主要特征 1365
32.3 时钟配置 1366
32.4 功能描述 1366
32.4.1 访问 Packet Buffer Memory 1366
32.4.1.1 USB 模块访问 Packet Buffer Memory 1367
32.4.1.2 用户应用程序访问 Packet Buffer Memory 1367
32.4.2 缓冲区描述表 1367
32.4.3 双缓冲端点 1368
32.4.3.1 双缓冲端点功能介绍 1368
32.4.3.2 双缓冲端点使用 1369
32.4.4 USB 传输 1370
32.4.4.1 USB 传输概述 1370
32.4.4.2 IN 事务 1371

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

32.4.4.3 OUT 和 SETUP 事务 1371
32.4.4.4 控制传输 1372
32.4.4.5 同步传输 1373
32.4.5 USB 事件和中断 1374
32.4.5.1 复位事件 1374
32.4.5.1.1 系统复位和上电复位 1374
32.4.5.1.2 USB 复位（复位中断） 1375
32.4.5.2 挂起和唤醒事件 1375
32.4.5.2.1 挂起事件 1375
32.4.5.2.2 唤醒事件 1375
32.4.5.3 USB 中断 1375
32.4.6 端点初始化 1376
32.5 USB 寄存器 1376
32.5.1 USB 寄存器总览 1376
32.5.2 USB 端点 n 寄存器（USB_EPn）, n=[0..7] 1377
32.5.3 USB 控制寄存器（USB_CTRL） 1379
32.5.4 USB 中断状态寄存器（USB_STS） 1381
32.5.5 USB 分组缓冲区描述表地址寄存器（USB_BUFTAB） 1383
32.5.6 USB 帧编号寄存器（USB_FN） 1383
32.5.7 USB 设备地址寄存器（USB_ADDR） 1384
缓冲区描述表 1384
32.5.8 发送缓冲区地址寄存器 n（USB_ADDRn_TX） 1385
32.5.9 发送数据字节数寄存器 n（USB_CNTn_TX） 1385
32.5.10 接收缓冲区地址寄存器 n（USB_ADDRn_RX） 1385
32.5.11 接收数据字节数寄存器 n（USB_CNTn_RX） 1386

33 通用串行总线高速双角色接口（USB_HS_Host/Device） 1388

33.1 概述 1388
33.2 USBHS 主要特性 1388
33.3 USBHS 功能说明 1389
33.3.1 USBHS 框图 1389
33.3.2 USBHS 引脚和内核信号 1389
33.3.3 USBHS 内置高速 PHY 1389
33.4 USBHS 双角色设备 (DRD) 1390
33.4.1 ID 线检测 1390
33.5 USB 设备 1390
33.5.1 USB 设备状态 1390
33.5.1.1 供电状态 1390
33.5.1.1.1 默认状态 1390
33.5.1.1.2 软断开 1390
33.5.1.1.3 挂起状态 1390
33.5.2 USB 设备端点 1391
33.5.2.1 端点控制 1391
33.5.2.2 端点传输 1391

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

33.5.2.3 端点状态/中断 1391
33.6 USB 主机 1392
33.6.1 USB 主机状态 1392
33.6.1.1 给主机端口供电......1392
33.6.1.2 主机检测设备连接......1392
33.6.1.3 主机检测设备断开......1392
33.6.1.4 主机枚举 1392
33.6.1.5 主机挂起 1392
33.6.2 主机通道 1393
33.6.2.1 主机通道控制......1393
33.6.2.2 主机通道传输......1393
33.6.2.3 主机通道状态/中断......1393
33.6.3 主机调度器 1394
33.7 SOF 帧......1394
33.7.1 主机 SOF......1395
33.7.2 设备 SOF......1395
33.7.3 动态更新 USBHS_HFRI 寄存器 1395
33.8 电源选项 1395
33.9 USB 数据 FIFO 1396
33.9.1 设备 FIFO 架构 1396
33.9.1.1 设备 RX FIFO 1396
33.9.1.2 设备 TX FIFO......1397
33.9.2 主机 FIFO 架构 1397
33.9.2.1 主机 RX FIFO 1397
33.9.2.2 主机 TX FIFO......1397
33.9.3 FIFO RAM 分配 1398
33.9.3.1 Device 模式 1398
33.9.3.2 Host 模式......1399
33.10 USBHS 配置流程 1399
33.10.1 模块初始化......1399
33.10.2 主机初始化......1400
33.10.3 设备初始化......1400
33.11 USBHS 寄存器 1401
33.11.1 USBHS 全局控制和状态寄存器......1401
33.11.1.1 USBHS 全局控制和状态寄存器（USBHS_GCTRLSTS） 1401
33.11.1.2 USBHS 全局 AHB 配置寄存器（USBHS_GAHBCFG） 1402
33.11.1.3 USBHS 全局配置寄存器（USBHS_GCFG） 1403
33.11.1.4 USBHS 全局复位控制寄存器（USBHS_GRSTCTRL） 1405
33.11.1.5 USBHS 全局中断状态寄存器（USBHS_GINTSTS） 1407
33.11.1.6 USBHS 全局中断使能寄存器（USBHS_GINTEN） 1410
33.11.1.7 USBHS 全局接收状态寄存器/接收状态读取和弹出寄存器（USBHS_GRXSTS/USBHS_GRXSTSP）......1413
33.11.1.8 USBHS 全局接收 FIFO 大小寄存器（USBHS_GRXFSIZ） 1414
33.11.1.9 USBHS 全局非周期性发送 FIFO 大小寄存器（USBHS_GNPTXFSIZ）/设备 IN 端点 0 发送 FIFO 大小寄存器（USBHS_DINEP0TXFSIZ） 1415

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

33.11.1.10 USBHS 全局非周期性发送 FIFO 状态寄存器（USBHS_GNPTXFSTS）......1416
33.11.1.11 USBHS ID 寄存器（USBHS_CID）......1417
33.11.1.12 USBHS 全局断电寄存器（USBHS_GPD）......1417
33.11.1.13 USBHS 主机周期性发送 FIFO 大小（USBHS_HPTXFSIZ）......1418
33.11.1.14 USBHS 设备 IN 端点周期性发送 FIFO 大小（USBHS_DINEPPTXFSIZx）(x=[1..8])......1419
33.11.2 USBHS 主机控制和状态寄存器......1419
33.11.2.1 USBHS 主机配置寄存器（USBHS_HCFG）......1419
33.11.2.2 USBHS 主机帧间隔寄存器（USBHS_HFRI）......1420
33.11.2.3 USBHS 主机帧编号/帧剩余时间寄存器（USBHS_HFNUM）......1421
33.11.2.4 USBHS 主机周期性发送 FIFO/队列状态寄存器（USBHS_HPTXFQSTS）......1421
33.11.2.5 USBHS 主机所有通道中断寄存器（USBHS_HACHINT）......1422
33.11.2.6 USBHS 主机所有通道中断使能寄存器（USBHS_HACHINTEN）......1423
33.11.2.7 USBHS 主机端口控制和状态寄存器（USBHS_HPCS）......1423
33.11.2.8 USBHS 主机通道控制寄存器（USBHS_HCHxCTRL）(x=[0..15])......1425
33.11.2.9 USBHS 主机通道分裂控制寄存器（USBHS_HCHxSCTRL）(x=[0..15])......1427
33.11.2.10 USBHS 主机通道中断状态寄存器（USBHS_HCHxINTSTS）(x=[0..15])......1427
33.11.2.11 USBHS 主机通道中断使能寄存器（USBHS_HCHxINTEN）(x=[0..15])......1429
33.11.2.12 USBHS 主机通道传输大小寄存器（USBHS_HCHxTXSIZ）(x=[0..15])......1430
33.11.2.13 USBHS 主机通道 DMA 地址寄存器（USBHS_HCHxDMADD）(x=[0..15])......1431
33.11.3 USBHS 设备控制和状态寄存器......1431
33.11.3.1 USBHS 设备配置寄存器（USBHS_DCFG）......1431
33.11.3.2 USBHS 设备控制寄存器（USBHS_DCTRL）......1433
33.11.3.3 USBHS 设备状态寄存器（USBHS_DSTS）......1434
33.11.3.4 USBHS 设备 IN 端点通用中断寄存器（USBHS_DINEPINTEN）......1435
33.11.3.5 USBHS 设备 OUT 端点通用中断寄存器（USBHS_DOUTEPINTEN）......1436
33.11.3.6 USBHS 设备所有端点中断状态寄存器（USBHS_DAEPINTSTS）......1437
33.11.3.7 USBHS 设备所有端点中断使能寄存器（USBHS_DAEPINTEN）......1438
33.11.3.8 USBHS 设备阈值控制寄存器（USBHS_DTHRCTRL）......1439
33.11.3.9 USBHS 设备 IN 端点 FIFO 空中断使能寄存器（USBHS_DINEPFEINTEN）......1440
33.11.3.10 USBHS 设备每个端点中断状态寄存器（USBHS_DEEPINTSTS）......1440
33.11.3.11 USBHS 设备每个端点中断使能寄存器（USBHS_DEEPINTEN）......1441
33.11.3.12 USBHS 设备每个 IN 端点中断寄存器（USBHS_DINEPxINTEN）(x=[0..8])......1442
33.11.3.13 USBHS 设备每个 OUT 端点中断寄存器（USBHS_DOUTEPxINTEN）(x=[0,9..15])......1443
33.11.3.14 USBHS 设备 IN 端点 0 控制寄存器（USBHS_DINEP0CTRL）......1444
33.11.3.15 USBHS 设备每个 IN 端点控制寄存器（USBHS_DINEPxCTRL）(x=[1..8])......1445
33.11.3.16 USBHS 设备每个 IN 端点中断状态寄存器（USBHS_DINEPxINTSTS）(x=[0..8])......1448
33.11.3.17 USBHS 设备 IN 端点 0 传输大小寄存器（USBHS_DINEP0TXSIZ）......1449
33.11.3.18 USBHS 设备每个 IN 端点传输大小寄存器（USBHS_DINEPxTXSIZ）(x=[1..8])......1450
33.11.3.19 USBHS 设备每个 IN 端点 DMA 地址寄存器（USBHS_DINEPxDMADD）(x=[0..8])......1451
33.11.3.20 USBHS 设备每个 IN 端点 TX FIFO 状态寄存器（USBHS_DINEPxTXFSTS）(x=[0..8])......1451
33.11.3.21 USBHS 设备 OUT 端点 0 控制寄存器（USBHS_DOUTEP0CTRL）......1452
33.11.3.22 USBHS 设备每个 OUT 端点控制寄存器（USBHS_DOUTEPxCTRL）(x=[9..15])......1453
33.11.3.23 USBHS 设备每个 OUT 端点中断状态寄存器（USBHS_DOUTEPxINTSTS）(x=[0,9..15])......1455
33.11.3.24 USBHS 设备 OUT 端点 0 传输大小寄存器（USBHS_DOUTEP0TXSIZ）......1457

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

33.11.3.25 USBHS 设备每个 OUT 端点传输大小寄存器（USBHS_DOUTEPxTXSIZ）(x=[9..15])............................1458
33.11.3.26 USBHS 设备每个 OUT 端点 DMA 地址寄存器（USBHS_DOUTEPxDMADD）(x=[0,9..15])....................1459
33.11.4 USBHS 电源控制寄存器 1459
33.11.4.1 USBHS 电源控制寄存器（USBHS_PWRCTRL） 1459
33.11.4.2 USBHS 电源控制寄存器 1（USBHS_PWRCTRL1） 1460

34 以太网（ETH） 1461

34.1 简介 1461
34.2 主要特性 1461
34.2.1 MAC 特性 1461
34.2.2 事务层（MTL）特性 1462
34.2.3 DMA 特性 1463
34.2.4 总线接口特性 1464
34.2.5 监控、测试和调试特性 1464
34.3 功能框图 1464
34.3.1 DMA 1465
34.3.2 MTL 1465
34.3.3 MAC 1465
34.4 引脚和信号 1466
34.5 功能描述 1467
34.5.1 DMA 功能描述 1467
34.5.1.1 总线突发访问 1468
34.5.1.2 数据缓冲区对齐 1468
34.5.1.3 缓冲区大小计算 1469
34.5.1.4 DMA 仲裁 1469
34.5.1.5 发送操作：非 OSP 模式 1469
34.5.1.6 发送操作：OSP 模式 1471
34.5.1.7 发送数据包处理 1474
34.5.1.8 发送轮询暂停 1474
34.5.1.9 接收操作 1474
34.5.1.10 接收描述符获取 1476
34.5.1.11 接收数据包处理 1476
34.5.1.12 对 DMA 的错误响应 1477
34.5.2 MTL 功能描述 1477
34.5.2.1 发送操作 1477
34.5.2.2 单数据包发送操作 1478
34.5.2.3 双数据包发送操作 1479
34.5.2.4 冲突期间的重传 1480
34.5.2.5 发送状态字 1480
34.5.2.6 接收操作 1480
34.5.2.7 多数据包接收操作 1481
34.5.2.8 接收操作中的错误处理 1481
34.5.2.9 接收状态字 1481
34.5.3 MAC 功能描述 1481

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

34.5.3.1 MAC 发送 1481
34.5.3.2 发送总线接口单元模块......1483
34.5.3.3 发送数据包控制器模块......1483
34.5.3.4 发送协议引擎模块......1484
34.5.3.5 发送调度模块......1485
34.5.3.6 发送 CRC 模块......1485
34.5.3.7 发送流量控制器模块......1485
34.5.3.8 MAC 接收 1486
34.5.3.9 接收协议引擎模块......1486
34.5.3.10 接收 CRC 模块......1488
34.5.3.11 接收数据包控制器模块......1488
34.5.3.12 接收流量控制器模块......1489
34.5.3.13 接收总线接口单元模块......1490
34.5.3.14 地址过滤模块......1490
34.5.4 PHY 接口描述 1490
34.5.4.1 站管理代理（SMA） 1490
34.5.4.2 介质独立接口（MII） 1493
34.5.4.3 精简介质独立接口（RMII） 1494
34.5.5 数据包过滤 1497
34.5.5.1 MAC 源地址或目的地址过滤......1497
34.5.5.2 VLAN 过滤 1499
34.5.6 IEEE 1588 时间戳 1501
34.5.6.1 时钟类型 1501
34.5.6.2 延迟请求-响应机制 1502
34.5.6.3 点对点 PTP 透明时钟（P2P TC）消息......1504
34.5.6.4 时间戳校准 1505
34.5.6.5 PTP 处理和控制......1506
34.5.6.6 发送路径功能......1509
34.5.6.7 接收路径功能......1509
34.5.6.8 IEEE 1588 系统时间源 1510
34.5.6.9 系统时间寄存器模块......1510
34.5.6.10 秒脉冲输出（PPS） 1512
34.5.6.11 一步时间戳......1513
34.5.7 发送校验和减荷 1515
34.5.7.1 IP 报头校验和引擎......1515
34.5.7.2 TCP/UDP/ICMP 校验和引擎......1516
34.5.8 接收校验和减荷 1517
34.5.9 低功耗管理（PMT） 1518
34.5.9.1 魔术数据包模式......1519
34.5.9.2 远程唤醒数据包模式......1519
34.5.10 MAC 管理计数器 1522
34.5.11 Loopback 模式 1523
34.5.12 描述符 1523
34.5.12.1 描述符结构 1524

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

34.5.12.2 发送描述符 1525
34.5.12.3 接收描述符 1533
34.5.13 以太网中断 1540
34.5.13.1 DMA 中断 1541
34.5.13.2 MTL 中断 1542
34.5.13.3 MAC 中断 1542
34.5.14 编程指南 1543
34.5.14.1 DMA 初始化 1543
34.5.14.2 MTL 初始化 1544
34.5.14.3 MAC 初始化 1544
34.5.14.4 执行正常接收和发送操作 1545
34.5.14.5 停止和开始发送 1545
34.5.14.6 在 Rx DMA 中切换到新描述符列表 1546
34.5.14.7 切换 AHB 时钟频率 1546
34.5.14.8 PHY 接口链路状态转换 1546
34.5.14.9 IEEE 1588 时间戳--系统时间生成 1547
34.5.14.10 IEEE 1588 时间戳--系统时间粗略校准 1547
34.5.14.11 IEEE 1588 时间戳--系统时间精密校准 1548
34.5.14.12 接收路径上的 VLAN 过滤 1548
34.6 ETH 寄存器 1549
34.6.1 ETH MAC 寄存器 1549
34.6.1.1 ETH MAC 配置寄存器（ETH_MACCFG） 1549
34.6.1.2 ETH MAC 扩展配置寄存器（ETH_MACEXTCFG） 1553
34.6.1.3 ETH MAC 数据包过滤器寄存器（ETH_MACPFLT） 1555
34.6.1.4 ETH MAC 看门狗超时寄存器（ETH_MACWDGTO） 1557
34.6.1.5 ETH MAC 哈希表寄存器 0（ETH_MACHASHTR0） 1558
34.6.1.6 ETH MAC 哈希表寄存器 1（ETH_MACHASHTR1） 1559
34.6.1.7 ETH VLAN 标签寄存器（ETH_MACVLANTAG） 1560
34.6.1.8 ETH VLAN 哈希表寄存器（ETH_MACVHASHT） 1562
34.6.1.9 ETH MAC 发送流量控制寄存器（ETH_MACTXFLWCTRL） 1562
34.6.1.10 ETH MAC 接收流量控制寄存器（ETH_MACRXFLWCTRL） 1564
34.6.1.11 ETH MAC 中断状态寄存器（ETH_MACINTSTS） 1565
34.6.1.12 ETH MAC 中断使能寄存器（ETH_MACINTEN） 1567
34.6.1.13 ETH MAC 接收发送状态寄存器（ETH_MACRXTXSTS） 1568
34.6.1.14 ETH PMT 控制状态寄存器（ETH_MACPMTCTRLSTS） 1570
34.6.1.15 ETH MAC 远程唤醒过滤寄存器（ETH_MACRWUPFLT） 1572
34.6.1.16 ETH MAC 版本寄存器（ETH_MACVER） 1572
34.6.1.17 ETH MAC 调试寄存器（ETH_MACDBG） 1573
34.6.1.18 ETH MAC 硬件特性寄存器 0（ETH_MACHWF0） 1574
34.6.1.19 ETH MAC 硬件特性寄存器 1（ETH_MACHWF1） 1576
34.6.1.20 ETH MAC 硬件特性寄存器 2（ETH_MACHWF2） 1579
34.6.1.21 ETH MAC 硬件特性寄存器 3（ETH_MACHWF3） 1580
34.6.1.22 ETH MAC MDIO 地址寄存器（ETH_MACMDIOADDR） 1584
34.6.1.23 ETH MAC MDIO 数据寄存器（ETH_MACMDIODATA） 1586

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

34.6.1.24 ETH CSR 软件控制寄存器（ETH_MACCSRSWCTRL） 1586
34.6.1.25 ETH MAC 地址 0 高位寄存器（ETH_MACADDR0H） 1587
34.6.1.26 ETH MAC 地址 0 低位寄存器（ETH_MACADDR0L） 1588
34.6.1.27 ETH MAC 地址 1 高位寄存器（ETH_MACADDR1H） 1588
34.6.1.28 ETH MAC 地址 1 低位寄存器（ETH_MACADDR1L） 1589
34.6.1.29 ETH MAC 地址 2 高位寄存器（ETH_MACADDR2H） 1590
34.6.1.30 ETH MAC 地址 2 低位寄存器（ETH_MACADDR2L） 1591
34.6.1.31 ETH MAC 地址 3 高位寄存器（ETH_MACADDR3H） 1591
34.6.1.32 ETH MAC 地址 3 低位寄存器（ETH_MACADDR3L） 1592
34.6.1.33 ETH MMC 控制寄存器（ETH_MMCCTRL） 1593
34.6.1.34 ETH MMC 接收中断寄存器（ETH_MMCRXINT） 1594
34.6.1.35 ETH MMC 发送中断寄存器（ETH_MMCTXINT） 1596
34.6.1.36 ETH MMC 接收中断屏蔽寄存器（ETH_MMCRXINTMSK） 1597
34.6.1.37 ETH MMC 发送中断屏蔽寄存器（ETH_MMCTXINTMSK） 1598
34.6.1.38 ETH 发送单次冲突良好数据包寄存器（ETH_MMCTXSCGP） 1599
34.6.1.39 ETH 发送多次冲突良好数据包寄存器（ETH_MMCTXMCGP） 1599
34.6.1.40 ETH 发送良好数据包寄存器（ETH_MMCTXPCG） 1600
34.6.1.41 ETH 接收广播良好数据包寄存器（ETH_MMCRXBPG） 1600
34.6.1.42 ETH 接收多播良好数据包寄存器（ETH_MMCRXMPG） 1600
34.6.1.43 ETH 接收 CRC 错误数据包寄存器（ETH_MMCRXCRCEP） 1601
34.6.1.44 ETH 接收对齐错误数据包寄存器（ETH_MMCRXAEP） 1601
34.6.1.45 ETH 接收单播良好数据包（ETH_MMCRXUPG） 1602
34.6.1.46 ETH MAC 时间戳控制寄存器（ETH_MACTSCTRL） 1602
34.6.1.47 ETH MAC 亚秒增量寄存器（ETH_MACSUBSINC） 1605
34.6.1.48 ETH MAC 系统时间秒寄存器（ETH_MACSYSTS） 1606
34.6.1.49 ETH MAC 系统时间纳秒寄存器（ETH_MACSYSTNS） 1606
34.6.1.50 ETH MAC 系统时间秒更新寄存器（ETH_MACSYSTSUP） 1607
34.6.1.51 ETH MAC 系统时间纳秒更新寄存器（ETH_MACSYSTNSUP） 1607
34.6.1.52 ETH MAC 时间戳加数寄存器（ETH_MACTSADD） 1608
34.6.1.53 ETH MAC 时间戳状态寄存器（ETH_MACTSSTS） 1609
34.6.1.54 ETH MAC 发送时间戳状态纳秒寄存器（ETH_MACTXTSSTSNS） 1610
34.6.1.55 ETH MAC 发送时间戳状态秒寄存器（ETH_MACTXTSSTSS） 1611
34.6.1.56 ETH MAC 时间戳入口校正纳秒寄存器（ETH_MACTSIGCNS） 1611
34.6.1.57 ETH MAC 时间戳出口校正纳秒寄存器（ETH_MACTSEGCNS） 1611
34.6.1.58 ETH MAC 时间戳入口时延寄存器（ETH_MACTSIGLAT） 1612
34.6.1.59 ETH MAC 时间戳出口时延寄存器（ETH_MACTSEGLAT） 1612
34.6.1.60 ETH MAC PPS 控制寄存器（ETH_MACPPSCTRL） 1613
34.6.1.61 ETH MAC PPS 目标时间秒寄存器（ETH_MACPPSTTS） 1614
34.6.1.62 ETH MAC PPS 目标时间纳秒寄存器（ETH_MACPPSTTNS） 1614
34.6.2 ETH MTL 寄存器 1616
34.6.2.1 ETH MTL 操作模式寄存器（ETH_MTLOPMOD） 1616
34.6.2.2 ETH MTL 中断状态寄存器（ETH_MTLINTSTS） 1616
34.6.2.3 ETH MTL 发送队列操作模式寄存器（ETH_MTLTXQOPMOD） 1617
34.6.2.4 ETH MTL 发送队列下溢寄存器（ETH_MTLTXQUDF） 1618

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

34.6.2.5 ETH MTL 发送队列调试寄存器（ETH_MTLTXQDBG）......1619
34.6.2.6 ETH MTL 队列中断控制状态寄存器（ETH_MTLQINTCTRLSTS）......1620
34.6.2.7 ETH MTL 接收队列操作模式寄存器（ETH_MTLRXQOPMOD）......1621
34.6.2.8 ETH MTL 接收队列丢失和上溢数据包计数寄存器（ETH_MTLRXQMPOFCNT）......1622
34.6.2.9 ETH MTL 接收队列调试寄存器（ETH_MTLRXQDBG）......1623
34.6.3 ETH DMA 寄存器......1625
34.6.3.1 ETH DMA 模式寄存器（ETH_DMAMODE）......1625
34.6.3.2 ETH DMA 系统总线模式寄存器（ETH_DMASBMODE）......1626
34.6.3.3 ETH DMA 中断状态寄存器（ETH_DMAINTSTS）......1627
34.6.3.4 ETH DMA 调试状态寄存器（ETH_DMADBGSTS）......1628
34.6.3.5 ETH DMA 通道 0 控制寄存器（ETH_DMACH0CTRL）......1629
34.6.3.6 ETH DMA 通道 0 发送控制寄存器（ETH_DMACH0TXCTRL）......1630
34.6.3.7 ETH DMA 通道 0 接收控制寄存器（ETH_DMACH0RXCTRL）......1631
34.6.3.8 ETH DMA 通道 0 发送描述符列表地址寄存器（ETH_DMACH0TXDLA）......1632
34.6.3.9 ETH DMA 通道 0 接收描述符列表地址寄存器（ETH_DMACH0RXDLA）......1633
34.6.3.10 ETH DMA 通道 0 发送描述符尾指针寄存器（ETH_DMACH0TXDTP）......1634
34.6.3.11 ETH DMA 通道 0 接收描述符尾指针寄存器（ETH_DMACH0RXDTP）......1634
34.6.3.12 ETH DMA 通道 0 发送描述符环长度寄存器（ETH_DMACH0TXDRLEN）......1635
34.6.3.13 ETH DMA 通道 0 接收控制寄存器 2（ETH_DMACH0RXCTRL2）......1635
34.6.3.14 ETH DMA 通道 0 中断使能寄存器（ETH_DMACH0INTEN）......1636
34.6.3.15 ETH DMA 通道 0 接收中断看门狗定时器寄存器（ETH_DMACH0RXINTWT）......1638
34.6.3.16 ETH DMA 通道 0 当前应用程序发送描述符寄存器（ETH_DMACH0CATXD）......1639
34.6.3.17 ETH DMA 通道 0 当前应用程序接收描述符寄存器（ETH_DMACH0CARXD）......1639
34.6.3.18 ETH DMA 通道 0 当前应用程序发送缓冲区寄存器（ETH_DMACH0CATXB）......1640
34.6.3.19 ETH DMA 通道 0 当前应用程序接收缓冲区寄存器（ETH_DMACH0CARXB）......1640
34.6.3.20 ETH DMA 通道 0 状态寄存器（ETH_DMACH0STS）......1641
34.6.3.21 ETH DMA 通道 0 丢失帧计数寄存器（ETH_DMACH0DPCNT）......1645
34.6.3.22 ETH DMA 通道 0 接收 ERI 计数寄存器（ETH_DMACH0RXERICNT）......1646
35 密码算法硬件加速引擎(SAC)......1647
36 模块级联......1648
36.1 ADC 内部触发源......1648
36.2 DAC 内部触发源......1649
36.3 ATIM/GTIM 内部触发输入......1650
36.4 ATIM/GTIM 外部触发输入......1651
36.5 ATIM/GTIM 输入通道......1652
37 调试支持（DBG）......1648
37.1 简介......1657
37.2 JTAG/SWD 功能......1658
37.2.1 切换 JTAG/SWD 接口......1658
37.2.2 引脚分配......1658
37.3 MCU 调试功能......1659
37.3.1 低功耗模式支持......1659

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

37.3.2 外设调试支持 1659
37.4 寄存器 1659
37.4.1 ID 寄存器（DBG_ID） 1659
37.4.2 调试控制寄存器（DBG_CTRL） 1660

38 唯一设备序列号 (UID) 1663

38.1 简介 1663
38.2 UID 寄存器 1663
38.3 UCID 寄存器 1663

39 版本历史 1664

40 声明 1665

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表目录

表 2-1 单 Bank 启动模式列表 82
表 2-2 双 Bank 启动模式列表 82
表 2-3 存储总线地址列表 83
表 2-4 选项字节列表 89
表 2-5 读保护配置列表 92
表 2-6 存储区读写擦(1)权限控制表 93
表 2-7 SRAM 访问地址段-未使能 ECC 103
表 2-8 SRAM 访问地址段-使能 ECC 103
表 3-1 功耗模式 126
表 3-2 模块运行状态(1) 128
表 3-3 PWR 寄存器总览 134
表 5-1 IO 端口配置表 210
表 5-2 IO 不同配置的输入输出特性 211
表 5-3 MCO 复用功能重映射 216
表 5-4 时间戳输入复用功能重映射 217
表 5-5 调试端口重映射 218
表 5-6 ATIM1 复用功能重映射 219
表 5-7 ATIM2 复用功能重映射 221
表 5-8 ATIM3 复用功能重映射 223
表 5-9 GTIM1 复用功能重映射 224
表 5-10 GTIM2 复用功能重映射 225
表 5-11 GTIM3 复用功能重映射 226
表 5-12 GTIM4 复用功能重映射 226
表 5-13 GTIM5 复用功能重映射 227
表 5-14 GTIM6 复用功能重映射 227
表 5-15 GTIM7 复用功能重映射 228
表 5-16 GTIM8 复用功能重映射 228
表 5-17 GTIM9 复用功能重映射 229
表 5-18 GTIM10 复用功能重映射 230
表 5-19 LPTIM1 复用功能重映射 231
表 5-20 LPTIM2 复用功能重映射 232

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 5-21 FDCAN1 复用功能重映射.. 232
表 5-22 FDCAN2 复用功能重映射.. 233
表 5-23 FDCAN3 复用功能重映射.. 233
表 5-24 DVP 复用功能重映射 234
表 5-25 FEMC 复用功能重映射 236
表 5-26 SDRAM 复用功能重映射... 238
表 5-27 USART1 复用功能重映射 241
表 5-28 USART2 复用功能重映射 242
表 5-29 USART3 复用功能重映射 243
表 5-30 USART4 复用功能重映射 244
表 5-31 USART9 复用功能重映射 244
表 5-32 UART5 复用功能重映射 245
表 5-33 UART6 复用功能重映射 246
表 5-34 UART7 复用功能重映射 246
表 5-35 UART8 复用功能重映射 247
表 5-36 UART10 复用功能重映射 248
表 5-37 I2C1 复用功能重映射 248
表 5-38 I2C2 复用功能重映射 249
表 5-39 I2C3 复用功能重映射 250
表 5-40 I2C4 复用功能重映射 251
表 5-41 SPI1 复用功能重映射 252
表 5-42 SPI2/I2S2 复用功能重映射.. 252
表 5-43 SPI3/I2S3 复用功能重映射.. 254
表 5-44 I2S 复用功能重映射 255
表 5-45 SPI4 复用功能重映射 255
表 5-46 SPI5 复用功能重映射 256
表 5-47 SPI6 复用功能重映射 256
表 5-48 SDIO 管脚重映射.. 257
表 5-49 XSPI 管脚重映射 258
表 5-50 ETH 管脚重映射 261
表 5-51 RTC 管脚重映射 262
表 5-52 USB_HS 管脚重映射 262

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 5-53 DSMU 管脚重映射 263
表 5-54 EVENT 管脚重映射 264
表 5-55 ADC/DAC 265
表 5-56 ATIM1/2/3 265
表 5-57 GTIM1~7 265
表 5-58 GTIM8/9/10 265
表 5-59 LPTIM1/2 265
表 5-60 FDCAN 265
表 5-61 DVP 266
表 5-62 FEMC 266
表 5-63 SDRAM 266
表 5-64 U(S)ART 267
表 5-65 I2C 267
表 5-66 SPI 267
表 5-67 I2S 267
表 5-68 SDIO 268
表 5-69 XSPI 268
表 5-70 ETH 268
表 5-71 USB FS Device 269
表 5-72 USB HS Host/Device 269
表 5-73 DSMU 269
表 5-74 其他 269
表 5-75 GPIO 寄存器总览 271
表 5-76 AFIO 寄存器总览 282
表 6-1 向量表 298
表 7-1 可编程的数据宽度和大小端操作(当 PINC = MINC = 1) 311
表 7-2 流量控制表 315
表 7-3 DMA 中断请求 316
表 7-4 DMA 请求映射 316
表 8-8-1 CRC 寄存器总览 330
表 9-1 ATIMx 输入/输出引脚 336
表 9-2 ATIMx 内部输入/输出信号 337

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 9-3 tim_ti1 输入信号源 337
表 9-4 tim_ti2 输入信号源 338
表 9-5 tim_ti3 输入信号源 338
表 9-6 tim_ti4 输入信号源 338
表 9-7 tim_itr 输入信号源 338
表 9-8 tim_etr 输入信号源 339
表 9-9 ATIMx 的刹车 1 输入信号源 340
表 9-10 ATIMx 的刹车 2 输入信号源 340
表 9-11 ATIMx 的 tim_ocref_clr 输入信号源 340
表 9-12 定时器输出行为与 tim_brk/ tim_brk2 输入 373
表 9-13 刹车保护状态解除条件 375
表 9-14 计数方向与编码器信号的关系（CC1P=CC2P=0） 383
表 9-15 计数方向与编码器信号和极性设置的关系 387
表 9-16 带刹车功能的互补输出通道 OCx 和 OCxN 的控制位 413
表 10-1 计数方向与编码器信号的关系（CC1P=CC2P=0） 465
表 10-2 计数方向与编码器信号和极性设置的关系 469
表 10-3 标准 OCx 的输出控制位 490
表 11-1 GTIMx 输入/输出引脚 503
表 11-2 GTIMx 内部输入/输出信号 504
表 11-3 tim_ti1 输入信号源 504
表 11-4 tim_ti2 输入信号源 504
表 11-5 tim_ti3 输入信号源 505
表 11-6 tim_ti4 输入信号源 505
表 11-7 tim_itr 输入信号源 506
表 11-8 tim_etr 输入信号源 507
表 11-9 GTIMx 的 tim_ocref_clr 输入信号源 508
表 11-10 计数方向与编码器信号的关系（CC1P=CC2P=0） 539
表 11-11 计数方向与编码器信号和极性设置的关系 543
表 11-12 标准 OCx 的输出控制位 563
表 12-1 GTIMx 输入/输出引脚 579
表 12-2 GTIMx 内部输入/输出信号 580
表 12-3 tim_ti1 输入信号源 580

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 12-4 tim_ti2 输入信号源 581
表 12-5 tim_ti3 输入信号源 581
表 12-6 tim_ti4 输入信号源 581
表 12-7 tim_itr 输入信号源 581
表 12-8 tim_etr 输入信号源 582
表 12-9 GTIMx 的刹车 1 输入信号源 583
表 12-10 GTIMx 的 tim_ocref_clr 输入信号源 583
表 12-11 刹车保护状态解除条件 614
表 12-12 计数方向与编码器信号的关系（CC1P=CC2P=0） 623
表 12-13 计数方向与编码器信号和极性设置的关系 627
表 12-14 带刹车功能的互补输出通道 OCx 和 OCxN 的控制位 652
表 14-1 预分频因子 684
表 14-2 LPTIM_CFG.TRGSEL[3:0]对应的 6 个触发输入 685
表 14-3 编码器计数的场景 691
表 14-4 中断事件 693
表 14-5 LPTIM 寄存器总览 694
表 15-1 IWDG 计数最大和最小复位时间 707
表 15-2 IWDG 寄存器总览 708
表 16-1 WWDG 的最大和最小计数时间 713
表 16-2 WWDG 寄存器总览 714
表 17-1 ADC 引脚 718
表 17-2 模拟看门狗通道选择 729
表 17-3 模拟看门狗 1/2/3 比较 729
表 17-4 不同分辨率的数据处理 732
表 17-5 为规则或注入通道外部触发配置极性 735
表 17-6 规则/注入通道的外部触发源选择 735
表 17-7 经过过采样处理后的最大输出结果 737
表 17-8 ADC 中断 754
表 17-9 ADC 寄存器总览 755
表 18-1 DAC 特性 791
表 18-2 DAC 引脚 792
表 18-3 DAC1/2/输出特性 793

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 18-4 12-bit 数据格式 795
表 18-5 DAC 外部触发 795
表 18-6 DAC 锯齿波步进触发源信号 796
表 18-7 DAC1-DAC2 转换时间描述 797
表 18-8 DAC 寄存器总览 811
表 20-1 CORDIC 函数总览 834
表 20-2 Cosine 参数 834
表 20-3 Sine 参数 835
表 20-4 Phase 参数 835
表 20-5 Modulus 参数 836
表 20-6 Arctangent 参数 837
表 20-7 Hyperbolic cosine 参数 837
表 20-8 Hyperbolic sine 参数 837
表 20-9 Hyperbolic arctangent 参数 838
表 20-10 Natural logarithm 参数 838
表 20-11 Square root 参数 838
表 20-12 CORDIC 精度 840
表 20-13 PHASE 和 MODULUS 精度补充表 841
表 21-1 停止位配置 853
表 21-2 噪声检测的数据采样 859
表 21-3 设置波特率时的误差计算 860
表 21-4 设置波特率时的误差计算 861
表 21-5 当 DIV_Decimal =0 时，USART 接收器的容忍度 862
表 21-6 当 DIV_Decimal !=0 时，USART 接收器的容忍度 862
表 21-7 帧格式 862
表 21-8 USART 中断请求 877
表 21-9 USART 模式设置[1] 880
表 21-10 UART 寄存器总览 880
表 22-1 SMBus 与 I^2C 的比较 914
表 22-2 I^2C 中断请求 916
表 23-1 接收缓冲与接收 FIFO 数据结构 936
表 23-2 专用发送缓冲与发送 FIFO/发送队列数据结构 937

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 23-3 发送事件 FIFO 数据结构 939
表 23-4 标准消息 ID 过滤器数据结构 940
表 23-5 扩展消息 ID 过滤器数据结构 941
表 23-6 触发存储器数据结构 942
表 23-7 CAN FD 数据域长度定义 947
表 23-8 CAN FD 数据域长度定义 957
表 23-9 专用接收缓冲过滤器配置示例 959
表 23-10 调试消息过滤器配置示例 960
表 23-11 发送消息帧配置 960
表 23-12 专用发送缓冲、发送 FIFO/队列元素大小 961
表 23-13 Level 1 参考消息的第一个字节 965
表 23-14 Level 2 参考消息的前四个字节 966
表 23-15 Level 0 参考消息的前四个字节 966
表 23-16 TUR 配置示例 967
表 23-17 系统矩阵，节点 A 971
表 23-18 触发器列表，节点 A 971
表 23-19 随参考消息一起发送的数据字节数 978
表 24-1 SPI 中断请求 1060
表 24-2 使用标准的 8MHz HSE 时钟得到精确的音频频率 1070
表 24-3 I^2S 中断请求 1074
表 24-4 SPI 寄存器总览 1075
表 25-1 RTC 功能支持 1093
表 25-2 RTC OUT 映射 1103
表 25-3 RTC 寄存器总览 1104
表 26-1 从 HSIZE 值映射的数据帧大小 1127
表 26-2 HBURST 值解码后的数据帧数 1128
表 27-1 DVP 接口信号 1163
表 27-2 DVP 寄存器总览 1169
表 28-1 NOR/PSRAM 存储块选择 1189
表 28-2 外部存储器地址 1189
表 28-3 存储器映像和时序寄存器 1190
表 28-4 NAND 存储块区域选择 1190

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 28-5 可编程的 NOR/PSRAM 访问参数 1191
表 28-6 非复用信号的 NOR 闪存接口 1191
表 28-7 复用 NOR 闪存接口 1192
表 28-8 非复用信号的 PSRAM 接口 1192
表 28-9 FEMC 支持的 NOR 闪存/PSRAM 存储器和操作方式 1193
表 28-10 FEMC_SNCTRLx 寄存器配置（模式 1） 1195
表 28-11 FEMC_SNTCFGx 寄存器（模式 1） 1196
表 28-12 FEMC_SNCTRLx 寄存器配置（模式 A） 1197
表 28-13 FEMC_SNTCFGx 寄存器（模式 A） 1198
表 28-14 FEMC_SNWTCFGx 位域（模式 A） 1198
表 28-15 FEMC_SNCTRLx 寄存器配置（模式 2/B） 1200
表 28-16 FEMC_SNTCFGx 寄存器（模式 2/B） 1201
表 28-17 FEMC_SNWTCFGx 位域（模式 B） 1201
表 28-18 FEMC_SNCTRLx 寄存器配置（模式 C） 1203
表 28-19 FEMC_SNTCFGx 寄存器（模式 C） 1203
表 28-20 FEMC_SNWTCFGx 位域（模式 C） 1203
表 28-21 FEMC_SNCTRLx 寄存器配置（模式 D） 1205
表 28-22 FEMC_SNTCFGx 寄存器（模式 D） 1206
表 28-23 FEMC_SNWTCFGx 位域（模式 D） 1206
表 28-24 FEMC_SNCTRLx 寄存器配置（模式 D） 1208
表 28-25 FEMC_SNTCFGx 寄存器（模式 D） 1209
表 28-26 FEMC_SNCTRLx 寄存器配置（同步模式） 1213
表 28-27 FEMC_SNTCFGx 寄存器（同步模式） 1214
表 28-28 FEMC_SNCTRLx 寄存器配置（同步模式） 1215
表 28-29 FEMC_SNTCFGx 寄存器（同步模式） 1216
表 28-30 可编程 NAND 1217
表 28-31 8 位 NAND 闪存 1217
表 28-32 16 位 NAND 闪存 1217
表 28-33 支持的存储器及其操作 1218
表 28-34 ECC 错误 bit 与 ECC 校验值对照表 1222
表 28-35 FEMC 寄存器地址映像 1223
表 28-36 ECC 结果有效位 1236

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 29-1 SDRAMC 引脚定义 1238
表 29-2 SDRAM 设备型号的存储器大小 1239
表 29-3 SDRAM 设备型号的模式寄存器 1240
表 29-4 SDRAM 设备模式的时序要求 1240
表 29-5 SDRAM 初始化流程示例 1240
表 29-6 SDRAM 设备支持的地址范围 1244
表 30-1 MMC/SD/SD I/O 卡总线引脚定义 1272
表 30-2 命令通道状态标志 1276
表 30-3 数据令牌格式 1279
表 30-4 发送 FIFO 状态标志 1280
表 30-5 接收 FIFO 状态标志 1280
表 30-6 上锁/解锁数据结构 1287
表 30-7 卡状态 1289
表 30-8 SD 状态 1292
表 30-9 速度类型代码 1293
表 30-10 移动性能代码 1293
表 30-11 AU_SIZE 代码 1294
表 30-12 最大的 AU 长度 1294
表 30-13 ERASE_SIZE 代码 1294
表 30-14 擦除超时代码 1294
表 30-15 擦除偏移代码 1295
表 30-16 基于块传输的写命令 1297
表 30-17 基于块传输的写保护命令 1297
表 30-18 擦除命令 1297
表 30-19 I/O 模式命令 1298
表 30-20 上锁命令 1298
表 30-21 应用相关命令 1298
表 30-22 命令格式 1299
表 30-23 短响应格式 1299
表 30-24 长响应格式 1299
表 30-25 R1 响应 1300
表 30-26 R2 响应 1300

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 30-27 R3 响应 1301
表 30-28 R4 响应 1301
表 30-29 R4b 响应 1301
表 30-30 R5 响应 1302
表 30-31 R6 响应 1302
表 30-32 SDIO 寄存器总览 1303
表 30-33 响应类型和 SDIO_RESPONSEx 寄存器 1307
表 31-1 DSMU 功能资源列表 1317
表 31-2 DSMU 外部信号 1319
表 31-3 DSMU 外部触发信号 1319
表 31-4 DSMU 刹车信号 1320
表 31-5 DSMU_CHyDATIN 数据组合模式 1328
表 31-6 不同 FOSR 配置下滤波器最大输出分辨率示例 1330
表 31-7 不同 IOSR 配置下的积分器最大分辨率（Sinc3 滤波，FOSR=256） 1330
表 31-8 DSMU 中断请求 1337
表 31-9 DSMU 寄存器总览 1338
表 32-1 DATTOG 和 SW_BUF 定义 1369
表 32-2 双缓冲使用方法 1369
表 32-3 同步双缓冲使用方法 1374
表 32-4 唤醒事件检测 1375
表 32-5 USB 寄存器总览 1376
表 32-6 接收状态编码 1379
表 32-7 发送状态编码 1379
表 32-8 端点数据包接收缓冲区大小定义 1387
表 33-1 USBHS 输入/输出信号 1389
表 33-2 TRDTIM 值（FS） 1404
表 33-3 TRDTIM 值（HS） 1405
表 34-1 以太网外设引脚 1466
表 34-2 以太网内部信号 1467
表 34-3 数据缓冲区对齐示例 1468
表 34-4 暂停数据包位域 1486
表 34-5 Tx MAC 流量控制 1486

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 34-6 Rx MAC 流量控制 1489
表 34-7 MDIO 帧格式（Clause 45） 1491
表 34-8 MDIO 帧格式（Clause 22） 1491
表 34-9 DA 过滤 1499
表 34-10 SA 过滤 1499
表 34-11 VLAN 匹配状态 1500
表 34-12 普通时钟：快照的 PTP 消息 1501
表 34-13 端对端透明时钟：快照的 PTP 消息 1502
表 34-14 点对点透明时钟：快照的 PTP 消息 1502
表 34-15 PTP 消息格式 1506
表 34-16 IPv4-UDP PTP 数据包控制和状态所需字段 1507
表 34-17 IPv6-UDP PTP 数据包控制和状态所需字段 1507
表 34-18 以太网 PTP 数据包控制和状态所需字段 1508
表 34-19 时间戳快照与 ETH_MACTSCTRL 寄存器的关系 1510
表 34-20 MAC 发送 PTP 模式和一步时间戳操作(1) 1513
表 34-21 不同数据包类型的发送校验和减荷引擎功能 1516
表 34-22 不同数据包类型的接收校验和减荷引擎功能 1518
表 34-23 远程唤醒过滤寄存器 1520
表 34-24 最大接收数据包大小 1523
表 34-25 发送正常描述符（读格式） 1526
表 34-26 TDES0 正常描述符（读格式） 1526
表 34-27 TDES1 正常描述符（读格式） 1526
表 34-28 TDES2 正常描述符（读格式） 1526
表 34-29 TDES3 正常描述符（读格式） 1527
表 34-30 发送正常描述符（回写格式） 1528
表 34-31 TDES0 正常描述符（回写格式） 1528
表 34-32 TDES1 正常描述符（回写格式） 1528
表 34-33 TDES2 正常描述符（回写格式） 1529
表 34-34 TDES3 正常描述符（回写格式） 1529
表 34-35 发送上下文描述符 1531
表 34-36 TDES0 上下文描述符 1531
表 34-37 TDES1 上下文描述符 1532

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 34-38 TDES2 上下文描述符 1532
表 34-39 TDES3 上下文描述符 1532
表 34-40 接收正常描述符（读格式） 1533
表 34-41 RDES0 正常描述符（读格式） 1533
表 34-42 RDES1 正常描述符（读格式） 1534
表 34-43 RDES2 正常描述符（读格式） 1534
表 34-44 RDES3 正常描述符（读格式） 1534
表 34-45 接收正常描述符（回写格式） 1535
表 34-46 RDES0 正常描述符（回写格式） 1535
表 34-47 RDES1 正常描述符（回写格式） 1535
表 34-48 RDES2 正常描述符（回写格式） 1537
表 34-49 RDES3 正常描述符（回写格式） 1537
表 34-50 接收上下文描述符 1539
表 34-51 RDES0 上下文描述符 1539
表 34-52 RDES1 上下文描述符 1540
表 34-53 RDES2 上下文描述符 1540
表 34-54 RDES3 上下文描述符 1540
表 34-55 传输完成中断行为 1542
表 34-56 基于 S2KP 和 JE 位的巨型数据包状态 1553
表 36-1 ADC 触发源 1648
表 36-2 DAC 更新/复位触发源 1649
表 36-3 DAC1/2 步进触发源 1650
表 36-4 ATIM1~3/GTIM1~4 内部触发输入信号源 1650
表 36-4 GTIM5~10 内部触发输入信号源 1651
表 36-5 ATIM1~3/GTIM1~4 外部触发输入信号源 1651
表 36-12 GTIM5~10 外部触发输入信号源 1652
表 36-18 ATIM1~3/GTIM1~4 输入通道 1 信号源 1652
表 36-18 GTIM5~10 输入通道 1 信号源 1652
表 36-18 ATIM1~3/GTIM1~4 输入通道 2 信号源 1653
表 36-18 GTIM5~10 输入通道 2 信号源 1653
表 36-20 ATIM1~3/GTIM1~4 输入通道 3 信号源 1653
表 36-20 GTIM5~10 输入通道 3 信号源 1653

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 36-20 ATIM1~3/GTIM1~4 输入通道 4 信号源 1653
表 36-20 GTIM5~10 输入通道 4 信号源 1654
表 36-20 ATIM1~3/GTIM8~10 刹车 1 输入信号源 1654
表 36-20 ATIM1~3 刹车 2 输入信号源 1654
表 36-20 LPTIM1~2 触发信号源 1654
表 36-20 DSMU 注入转换触发信号源 1655
表 36-20 FDCAN 事件触发信号源 1656
表 36-20 FDCAN 停止监视信号源 1656
表 37-1 调试端口引脚 1658

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图目录

图 2-1 总线架构图 77
图 2-2 总线地址映射图 79
图 3-1 电源框图 124
图 3-2 上电复位和掉电复位的波形图 125
图 3-3 PVD 阈值波形图 125
图 3-4 BOR 阈值波形图 126
图 4-1 复位电路 151
图 4-2 时钟树 154
图 4-3 HSE/LSE 时钟源 155
图 5-1 I/O 端口的基本结构 210
图 5-2 输入浮空/上拉/下拉/复用配置 212
图 5-3 输出模式配置 213
图 5-4 复用功能配置 214
图 5-5 高阻抗的模拟模式配置 215
图 6-1 外部中断/事件控制器框图 303
图 6-2 外部中断通用 I/O 映射 304
图 7-1 DMA 框图 310
图 8-1 CRC 计算单元框图 329
图 9-1 ATIMx 框图 336
图 9-2 当预分频的参数从 1 到 4，计数器的时序图 341
图 9-3 当内部时钟分频因子 = 2/N 时，向上计数的时序图 343
图 9-4 当 ARPEN=0/1 产生更新事件时，向上计数的时序图 344
图 9-5 内部时钟分频因子 = 2/N 时，向下计数时序图 345
图 9-6 内部时钟分频因子 = 2/N，中央对齐时序图 346
图 9-7 包含计数器上溢和下溢的中央对齐时序图(ARPEN=1) 347
图 9-8 非对称模式对应的输出波形 348
图 9-9 CCDATx(x=4,7,8,9),当 DIR = 0 时触发 ADC 349
图 9-10 CCDATx(x=4,7,8,9), 当 DIR = 1 时触发 ADC 350
图 9-11 CCDATx(x=4,7,8,9), 当 DIR = 1 或 DIR = 0 时触发 ADC 351
图 9-12 向下计数模式下的重复计数时序图 352
图 9-13 向上计数模式下的重复计数时序列图 352

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-14 中央对齐模式下的重复计数时序图 353
图 9-15 正常模式下的控制电路，内部时钟除以 1 354
图 9-16 TI2 外部时钟连接示例 354
图 9-17 外部时钟模式 1 的控制电路 355
图 9-18 外部触发输入框图 356
图 9-19 外部时钟模式 2 的控制电路 356
图 9-20 捕获/比较通道（例如：通道 1 输入级） 357
图 9-21 捕获/比较通道 1 主电路 358
图 9-22 通道 x 的输出部分（x= 1,2,3,4；以通道 1 为例子） 359
图 9-23 PWM 输入模式时序 361
图 9-24 输出比较模式，开启 OC1 362
图 9-25 中央对齐的 PWM 波形 (AR=8) 364
图 9-26 边沿对齐 PWM 波形 (AR=8) 365
图 9-27 单脉冲模式示例 366
图 9-28 外部事件清除 OCxREF 信号 367
图 9-29 清除 TIMx 的 OCxREF 368
图 9-30 带死区插入的互补输出 369
图 9-31 刹车输入 371
图 9-32 响应刹车的输出行为 372
图 9-33 tim_brk 和 tim_brk2 使能后的 PWM 输出状态（OSSI=1） 373
图 9-34 tim_brk 使能后的 PWM 输出状态（OSSI=0） 374
图 9-35 滑动滤波 374
图 9-36 输出重定向 376
图 9-37 复位模式下的控制电路 377
图 9-38 触发器模式下的控制电路 377
图 9-39 门控模式下的控制电路 378
图 9-40 外部时钟模式 2＋触发模式下的控制电路 379
图 9-41 组合复位+触发模式下的控制电路 380
图 9-42 组合门控+复位模式下的控制电路 381
图 9-43 产生六步 PWM，使用 COM 的例子（OSSR=1） 382
图 9-44 编码器仅在 TI1 计数 383
图 9-45 编码器仅在 TI2 计数 384

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-46 编码器在 TI1 和 TI2 上计数 384
图 9-47 T2 是高电平时，计数器只在 TI1 计数 384
图 9-48 T1 是高电平时，计数器只在 TI2 计数 385
图 9-49 编码器模式下的计数器操作实例 385
图 9-50 IC1FP1 反相的编码器接口模式实例 386
图 9-51 脉冲电平编码模式（CC1P=CC2P=0） 387
图 9-52 双脉冲编码模式 (CC1P = CC2P = 0) 388
图 9-53 双脉冲编码模式 (CC1P = CC2P = 1) 388
图 9-54 霍尔传感器接口的实例 390
图 10-1 GTIMx（x=1,4）框图 434
图 10-2 当预分频的参数从 1 到 4，计数器的时序图 435
图 10-3 当内部时钟分频因子 = 2/N 时，向上计数的时序图 436
图 10-4 当 ARPEN=0/1 产生更新事件时，向上计数的时序图 437
图 10-5 内部时钟分频因子 = 2/N 时，向下计数时序图 438
图 10-6 内部时钟分频因子 = 2/N，中央对齐时序图 439
图 10-7 包含计数器上溢和下溢的中央对齐时序图(ARPEN=1) 440
图 10-8 正常模式下的控制电路，内部时钟除以 1 441
图 10-9TI2 外部时钟连接示例 442
图 10-10 外部时钟模式 1 的控制电路 443
图 10-11 外部触发输入框图 443
图 10-12 外部时钟模式 2 的控制电路 444
图 10-13 捕获/比较通道（例如：通道 1 输入级） 445
图 10-14 捕获/比较通道 1 主电路 446
图 10-15 通道 x 的输出部分（x = 1/2/3/4，以通道 4 为例子） 447
图 10-16 滑动滤波 448
图 10-17 PWM 输入模式时序 449
图 10-18 输出比较模式，开启 OC1 450
图 10-19 中央对齐的 PWM 波形 (AR=8) 452
图 10-20 边沿对齐 PWM 波形 (AR=8) 453
图 10-21 单脉冲模式示例 454
图 10-22 外部事件清除 OCxREF 信号 455
图 10-23 清除 TIMx 的 OCxREF 456

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 10-24 复位模式下的控制电路 457
图 10-25 触发器模式下的控制电路 457
图 10-26 门控模式下的控制电路 458
图 10-27 外部时钟模式 2＋触发模式下的控制电路 459
图 10-28 主/从定时器的例子 460
图 10-29 GTIM2 由 ATIM1 的 OC1REF 门控 461
图 10-30 GTIM2 由 ATIM1 的使能门控 462
图 10-31 使用 ATIM1 的更新触发 GTIM2 463
图 10-32 使用 ATIM1 的 TI1 输入触发 ATIM1 和 GTIM2 464
图 10-33 编码器仅在 TI1 计数 466
图 10-34 编码器仅在 TI2 计数 466
图 10-35 编码器在 TI1 和 TI2 上计数 466
图 10-36 T2 是高电平时，计数器只在 TI1 计数 467
图 10-37 T1 是高电平时，计数器只在 TI2 计数 467
图 10-38 编码器模式下的计数器操作实例 468
图 10-39 IC1FP1 反相的编码器接口模式实例 468
图 10-40 脉冲电平编码模式（CC1P=CC2P=0） 469
图 10-41 双脉冲编码模式 (CC1P = CC2P = 0) 470
图 10-42 双脉冲编码模式 (CC1P = CC2P = 1) 471
图 11-1 GTIMx（x=2,3,5,6,7）框图 503
图 11-2 当预分频的参数从 1 到 4，计数器的时序图 509
图 11-3 当内部时钟分频因子 = 2/N 时，向上计数的时序图 510
图 11-4 当 ARPEN=0/1 产生更新事件时，向上计数的时序图 511
图 11-5 内部时钟分频因子 = 2/N 时，向下计数时序图 512
图 11-6 内部时钟分频因子 = 2/N，中央对齐时序图 513
图 11-7 包含计数器上溢和下溢的中央对齐时序图(ARPEN=1) 514
图 11-8 正常模式下的控制电路，内部时钟除以 1 515
图 11-9TI2 外部时钟连接示例 516
图 11-10 外部时钟模式 1 的控制电路 517
图 11-11 外部触发输入框图 517
图 11-12 外部时钟模式 2 的控制电路 518
图 11-13 捕获/比较通道（例如：通道 1 输入级） 519

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 11-14 捕获/比较通道 1 主电路 520
图 11-15 通道 x 的输出部分（x = 1/2/3/4，以通道 4 为例子） 521
图 11-16 滑动滤波 522
图 11-17 PWM 输入模式时序 523
图 11-18 输出比较模式，开启 OC1 524
图 11-19 中央对齐的 PWM 波形 (AR=8) 526
图 11-20 边沿对齐 PWM 波形 (AR=8) 527
图 11-21 单脉冲模式示例 528
图 11-22 外部事件清除 OCxREF 信号 529
图 11-23 清除 TIMx 的 OCxREF 530
图 11-24 复位模式下的控制电路 531
图 11-25 触发器模式下的控制电路 531
图 11-26 门控模式下的控制电路 532
图 11-27 外部时钟模式 2＋触发模式下的控制电路 533
图 11-28 主/从定时器的例子 534
图 11-29 GTIM2 由 ATIM1 的 OC1REF 门控 535
图 11-30 GTIM2 由 ATIM1 的使能门控 536
图 11-31 使用 ATIM1 的更新触发 GTIM2 537
图 11-32 使用 ATIM1 的 TI1 输入触发 ATIM1 和 GTIM2 538
图 11-33 编码器仅在 TI1 计数 540
图 11-34 编码器仅在 TI2 计数 540
图 11-35 编码器在 TI1 和 TI2 上计数 540
图 11-36 T2 是高电平时，计数器只在 TI1 计数 541
图 11-37 T1 是高电平时，计数器只在 TI2 计数 541
图 11-38 编码器模式下的计数器操作实例 542
图 11-39 IC1FP1 反相的编码器接口模式实例 542
图 11-40 脉冲电平编码模式（CC1P=CC2P=0） 543
图 11-41 双脉冲编码模式 (CC1P = CC2P = 0) 544
图 11-42 双脉冲编码模式 (CC1P = CC2P = 1) 545
图 12-1 GTIMx 框图 579
图 12-2 当预分频的参数从 1 到 4，计数器的时序图 584
图 12-3 当内部时钟分频因子 = 2/N 时，向上计数的时序图 585

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 12-4 当 ARPEN=0/1 产生更新事件时，向上计数的时序图 586
图 12-5 内部时钟分频因子 = 2/N 时，向下计数时序图 587
图 12-6 内部时钟分频因子 = 2/N，中央对齐时序图 588
图 12-7 包含计数器上溢和下溢的中央对齐时序图(ARPEN=1) 589
图 12-8 非对称模式对应的输出波形 590
图 12-9 向下计数模式下的重复计数时序图 591
图 12-10 向上计数模式下的重复计数时序列图 592
图 12-11 中央对齐模式下的重复计数时序图 592
图 12-12 正常模式下的控制电路，内部时钟除以 1 593
图 12-13 TI2 外部时钟连接示例 594
图 12-14 外部时钟模式 1 的控制电路 595
图 12-15 外部触发输入框图 595
图 12-16 外部时钟模式 2 的控制电路 596
图 12-17 捕获/比较通道（例如：通道 1 输入级） 596
图 12-18 捕获/比较通道 1 主电路 597
图 12-19 通道 x 的输出部分（x= 1；以通道 1 为例子） 598
图 12-20 通道 x 的输出部分（x= 2，3，4；以通道 4 为例子） 598
图 12-21 PWM 输入模式时序 600
图 12-22 输出比较模式，开启 OC1 601
图 12-23 中央对齐的 PWM 波形 (AR=8) 603
图 12-24 边沿对齐 PWM 波形 (AR=8) 604
图 12-25 通道 1 和通道 3 上的组合 PWM 模式 605
图 12-26 单脉冲模式示例 606
图 12-27 可再触发单脉冲模式 1 607
图 12-28 外部事件清除 OCxREF 信号 608
图 12-29 清除 TIMx 的 OCxREF 608
图 12-30 带死区插入的互补输出 610
图 12-31 刹车输入 611
图 12-32 响应刹车的输出行为 613
图 12-33 滑动滤波 613
图 12-34 输出重定向 615
图 12-35 复位模式下的控制电路 616

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 12-36 触发器模式下的控制电路 617
图 12-37 门控模式下的控制电路 618
图 12-38 外部时钟模式 2＋触发模式下的控制电路 619
图 12-39 组合复位+触发模式下的控制电路 620
图 12-40 组合门控+复位模式下的控制电路 621
图 12-41 产生六步 PWM，使用 COM 的例子（OSSR=1） 622
图 12-42 编码器仅在 TI1 计数 623
图 12-43 编码器仅在 TI2 计数 624
图 12-44 编码器在 TI1 和 TI2 上计数 624
图 12-45 T2 是高电平时，计数器只在 TI1 计数 624
图 12-46 T1 是高电平时，计数器只在 TI2 计数 625
图 12-47 编码器模式下的计数器操作实例 625
图 12-48 IC1FP1 反相的编码器接口模式实例 625
图 12-49 脉冲电平编码模式（CC1P=CC2P=0） 627
图 12-50 双脉冲编码模式 (CC1P = CC2P = 0) 628
图 12-51 双脉冲编码模式 (CC1P = CC2P = 1) 628
图 13-1 BTIMx 的框图（x = 1,2） 672
图 13-2 预分频器分频从 1 到 4 的计数器时序图 673
图 13-3 向上计数时序图，内部时钟分频因子 = 2/N 674
图 13-4 ARPEN=0/1 时向上计数、更新事件的时序图 675
图 13-5 正常模式下的控制电路，内部时钟分频系数为 1 676
图 14-1 LPTIM 主框图 683
图 14-2 毛刺滤波器时序图 684
图 14-3 LPTIM 输出波形，连续计数模式配置 686
图 14-4 LPTIM 输出波形，单触发计数模式配置 687
图 14-5 LPTIM 输出波形，一次模式 687
图 14-6 波形发生器 689
图 14-7 编码器模式计数序列 691
图 14-8 非正交编码器正常工作 Input1、Input2 波形 692
图 14-9 非正交编码器非正常工作 Input1、Input2 波形 692
图 15-1 独立看门功能框图 705
图 16-1 窗口看门狗功能框图 711

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 16-2 WWDG 的刷新窗口和中断时序 712
图 17-1 ADC 框图 718
图 17-2 ADC 时钟 720
图 17-3 ADC1 与 ADC2 通道连接 721
图 17-4 ADC3 通道连接 722
图 17-5 校准时序图 724
图 17-6 注入转换延时 726
图 17-7 停止正在转换的规则通道 727
图 17-8 时序图 728
图 17-9 ADCx_AWDy_OUT 生成(在单个规则通道上) 730
图 17-10 ADCx_AWDy_OUT 生成(在多个规则通道上) 730
图 17-11 ADCx_AWDy_OUT 生成(在多个注入通道上) 731
图 17-12 数据右对齐 733
图 17-13 数据左对齐 734
图 17-14 20-bit 数据截断为 16-bit 示意图 737
图 17-15 经过 5-bit 右移和四舍五入后的数据处理示意图 737
图 17-16 外部触发规则过采样模式 738
图 17-17 常规过采样连续模式 738
图 17-18 常规过采样重置模式 739
图 17-19 规则和注入过采样 739
图 17-20 带注入转换的触发规则通道过采样 740
图 17-21 自动注入模式下的过采样 740
图 17-22 双 ADC 框图 742
图 17-23 16 个通道的同步规则模式 743
图 17-24 16 个通道的同步规则模式 744
图 17-25 双 ADC 的 4 个通道的同步注入模式 745
图 17-26 三 ADC 的 4 个通道的同步注入模式 745
图 17-27 1 个通道的连续转换的快速交叉模式转换示意图 746
图 17-28 1 个通道的连续转换的快速交叉模式转换示意图 747
图 17-29 交替触发：注入通道组 748
图 17-30 交替触发：在间断模式下注入通道组 748
图 17-31 交替触发：注入通道组 749

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 17-32 交替触发：在间断模式下注入通道组 750
图 17-33 交替模式和规则同步模式组合 751
图 17-34 在注入转换期间发生注入触发 751
图 17-35 交叉的单通道转换被注入序列 CH3 和 CH4 中断 752
图 17-36 温度传感器通道框图 753
图 18-1 DAC 的框图 792
图 18-2 单 DAC 模式的数据寄存器 794
图 18-3 DAC 同步输出时的数据格式 794
图 18-4 触发禁能时转换时序图(HFSEL = 0b’10) 798
图 18-5 DAC LFSR 算法 800
图 18-6 带 LFSR 波形生成的 DAC 转换（使能软件触发） 800
图 18-7 DAC 三角波生成 801
图 18-8 带三角生成的 DAC 转换（使能软件触发，HFSEL[1:0] = 0b’01） 801
图 18-9 递减锯齿波生成 802
图 18-10 DAC 递增锯齿波复位信号触发与步进触发优先级 803
图 20-1 CORDIC 框图 833
图 21-1 USART 框图 850
图 21-2 字长=8 设置 851
图 21-3 字长=9 设置 852
图 21-4 停止位配置 854
图 21-5 发送时 TXC/TXDE 的变化情况 856
图 21-6 起始位检测 857
图 21-7 DMA 发送 864
图 21-8 DMA 接收 865
图 21-9 两个 USART 间的硬件流控制 865
图 21-10 RTS 流控制 866
图 21-11 CTS 流控制 866
图 21-12 静默模式下的空闲总线检测 867
图 21-13 静默模式下的地址标识检测 868
图 21-14 USART 同步传输示例 869
图 21-15 USART 数据时钟时序示例（WL=0） 869
图 21-16 USART 数据时钟时序示例（WL=1） 870

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 21-17 RX 数据采样/保持时间 870
图 21-18 IrDA SIR ENDEC–框图 872
图 21-19 IrDA 数据调制 (3/16)-正常模式 873
图 21-20 LIN 模式下的断开检测（11 位断开帧长度–设置了 LINBDL 位） 874
图 21-21 LIN 模式下的断开检测与帧错误的检测 875
图 21-22 ISO7816-3 异步协议 876
图 21-23 使用 1.5 停止位检测奇偶检验错误 877
图 21-24 USART 中断请求 879
图 22-1 I²C 功能框图 897
图 22-2 I²C 总线协议 897
图 22-3 从发送器传送序列 899
图 22-4 FIFO 使能从发送器传送序列 900
图 22-5 从机接收器传送序列 901
图 22-6 FIFO 使能从机接收器传送序列 902
图 22-7 主发送器传送序列 904
图 22-8 FIFO 使能主发送器传送序列 905
图 22-9 主接收器传送序列图 907
图 22-10 FIFO 使能主接收器传送序列图 909
图 23-1 FDCAN 消息 RAM 分配示例图 935
图 23-2 FDCAN 功能框图 944
图 23-3 FDCAN 收发器延迟测量 948
图 23-4 FDCAN 总线监控模式引脚控制 949
图 23-5 FDCAN 外部回环模式引脚控制 951
图 23-6 FDCAN 内部回环模式引脚控制 951
图 23-7 FDCAN 标准消息 ID 过滤流程 955
图 23-8 FDCAN 扩展消息 ID 过滤流程 956
图 23-9 FDCAN Rx FIFO 状态图 957
图 23-10 FDCAN Rx FIFO 已满 958
图 23-11 FDCAN Rx FIFO 覆盖示例 959
图 23-12 FDCAN 专用 Tx buffer 与 Tx FIFO 混合配置示例图 962
图 23-13 FDCAN Tx buffer 与 Tx 队列混合配置示例图 963
图 23-14 FDCAN 位时序 964

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 23-15 周期时间和全局事件同步 975
图 23-16 TTCAN 0 级和 2 级偏移补偿 976
图 23-17 0 级调度同步状态机 982
图 23-18 0 级主控和被控节点关系 983
图 24-1 SPI 框图 1046
图 24-2 硬件/软件的从选择管理 1047
图 24-3 单主和单从应用 1047
图 24-4 数据时钟时序图 1049
图 24-5 主机全双工模式下连续传输时，SPI_STS.TE/RNE/BUSY 的变化示意图 1050
图 24-6 主机单向只发送模式下连续传输时，SPI_STS.TE/BUSY 变化示意图 1051
图 24-7 只接收模式（BIDIRMODE = 0 且 RONLY = 1）下连续传输时，RNE 变化示意图 1051
图 24-8 从机全双工模式下连续传输时，SPI_STS.TE/RNE/BUSY 的变化示意图 1052
图 24-9 从机单向只发送模式下连续传输时，SPI_STS.TE/BUSY 变化示意图 1053
图 24-10 BIDIRMODE = 0，RONLY = 0 非连续传输发送时，SPI_STS.TE/BUSY 变化示意图 1054
图 24-11 使用 DMA 发送 1057
图 24-12 使用 DMA 接收 1057
图 24-13 I²S 框图 1061
图 24-14 I²S 飞利浦协议波形（16/32 位全精度，CLKPOL = 0） 1064
图 24-15 I²S 飞利浦协议标准波形（24 位帧，CLKPOL = 0） 1064
图 24-16 I²S 飞利浦协议标准波形（16 位扩展至 32 位包帧，CLKPOL = 0） 1065
图 24-17 MSB 对齐 16 位或 32 位全精度，CLKPOL = 0 1065
图 24-18 MSB 对齐 24 位数据，CLKPOL = 0 1066
图 24-19 MSB 对齐 16 位数据扩展到 32 位包帧，CLKPOL = 0 1066
图 24-20 LSB 对齐 16 位或 32 位全精度，CLKPOL = 0 1066
图 24-21 LSB 对齐 24 位数据，CLKPOL = 0 1067
图 24-22 LSB 对齐 16 位数据扩展到 32 位包帧，CLKPOL = 0 1067
图 24-23 PCM 标准波形（16 位） 1068
图 24-24 PCM 标准波形（16 位扩展到 32 位包帧） 1068
图 24-25 I²S 时钟发生器结构 1069
图 24-26 音频采样频率定义 1069
图 25-1 RTC 功能框图 1094
图 26-1 Octal SPI 框图 1125

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 26-2 Octal SPI 命令序列........1127
图 27-1 DVP 框图........1161
图 27-2 DVP 接口时序示例........1162
图 27-3 普通模式下的帧组成........1164
图 27-4 索尼模式下的帧组成........1164
图 27-5 DVP 裁剪功能........1166
图 27-6 跳行功能：HISKIP=3，HRSKIP=3........1167
图 27-7 跳行功能：HISKIP=3，HRSKIP=14........1168
图 28-1 FEMC 框图........1187
图 28-2 FEMC 存储块........1188
图 28-3 模式 1 读操作........1194
图 28-4 模式 1 写操作........1195
图 28-5 模式 A 读操作........1196
图 28-6 模式 A 写操作........1197
图 28-7 模式 2/B 读操作........1199
图 28-8 模式 2 写操作........1199
图 28-9 模式 B 写操作........1200
图 28-10 模式 C 读操作........1202
图 28-11 模式 C 写操作........1202
图 28-12 模式 D 读操作........1204
图 28-13 模式 D 写操作........1205
图 28-14 复用读操作........1207
图 28-15 复用写操作........1208
图 28-16 异步等待读操作........1210
图 28-17 异步等待写操作........1211
图 28-18 同步复用读模式—NOR, PSRAM（CRAM）........1213
图 28-19 同步复用写模式 – PSRAM（CRAM）........1215
图 28-20 NAND 控制器通用存储空间的访问时序........1219
图 28-21 操作 CE 敏感型 NAND 闪存........1220
图 29-1 SRAM 控制器框图........1238
图 29-2 SDRAM 行激活........1245
图 29-3 Single 写传输，不带自动预充........1246

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 29-4 Single 写传输，带自动预充 1246
图 29-5 Burst 写传输，不带自动预充 1247
图 29-6 Burst 写终止 1248
图 29-7 Burst 写传输，带自动预充 1248
图 29-8 Single 读传输，不带自动预充 1249
图 29-9 Single 读传输，带自动预充 1249
图 29-10 Burst 读传输，不带自动预充 1250
图 29-11 Burst 读传输，带自动预充 1251
图 29-12 预充选定 Bank 1252
图 29-13 预充所有 Banks 1252
图 29-14 自动刷新 1253
图 30-1 SDIO“无响应”和“无数据”操作 1270
图 30-2 SDIO（多）数据块读操作 1270
图 30-3 SDIO（多）数据块写操作 1270
图 30-4 SDIO 连续读操作 1271
图 30-5 SDIO 连续写操作 1271
图 30-6 SDIO 框图 1271
图 30-7 SDIO 适配器 1272
图 30-8 SDIO 适配器控制单元 1273
图 30-9 SDIO 适配器命令通道 1274
图 30-10 命令通道状态机（CPSM） 1275
图 30-11 SDIO 命令传输 1276
图 30-12 SDIO 数据通道 1277
图 30-13 数据通道状态机（DPSM） 1278
图 31-1 DSMU 功能框图 1318
图 31-2 DSMU channel mux 1322
图 31-3 SPI 格式时钟缺失检测时序图 1324
图 31-4 曼彻斯特编码时钟缺失检测时序图 1324
图 31-5 曼彻斯特编码首次解码 (曼彻斯特同步) 1325
图 31-6 数据右移示例 1326
图 31-7 Sinc3 滤波频率响应示例图 1330
图 32-1 USB 设备框图 1366

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 32-2 USB 模块和微控制器上的用户应用程序访问 Packet Buffer Memory 方式 1367
图 32-3 缓冲区描述表和端点数据包缓冲区的关系 1368
图 32-4 双缓冲批量端点示例 1370
图 32-5 控制传输 1373
图 33-1 USBHS 模块框图 1389
图 33-2 设备模式下的 FIFO 地址映射 1396
图 33-3 主机模式下的 FIFO 地址映射 1397
图 34-1 以太网功能框图 1466
图 34-2 Tx DMA 操作流程图（非 OSP 模式） 1471
图 34-3 Tx DMA 操作流程图（OSP 模式） 1473
图 34-4 Rx DMA 操作流程图 1476
图 34-5 MTL 单数据包发送流程图.. 1479
图 34-6 MAC 发送流程图 1483
图 34-7 MAC 接收流程图 1488
图 34-8 SMA 接口 1491
图 34-9 MII 信号 1493
图 34-10 RMII 信号 1495
图 34-11 RMII 发送位序图 1496
图 34-12 RMII 接收位序图 1497
图 34-13 网络时间同步 1503
图 34-14 支持点对点路径校准的时钟的传播延迟计算 1504
图 34-15 使用精密方法更新系统时间 1511
图 34-16 描述符环结构 1524
图 34-17 DMA 描述符环 1525
图 37-1 芯片级别和 Cortex™-M4F 级别的调试框图 1657

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

1 文中的缩写

1.1 寄存器描述表中使用的缩写列表

在对寄存器的描述中使用了下列缩写：

read/write(rw)	软件能读写此位。
read-only(r)	软件只能读此位。
write-only(w)	软件只能写此位，读此位将返回复位值。
read/clear(rc_w1)	软件可以读此位，也可以通过写‘1’清除此位，写‘0’对此位无影响。
read/clear(rc_w0)	软件可以读此位，也可以通过写‘0’清除此位，写‘1’对此位无影响。
read/clear by read(rc_r)	软件可以读此位，读此位将自动地清除它为‘0’，写‘0’对此位无影响。
read/set(rs)	软件可以读也可以设置此位，写‘0’对此位无影响。
read-only write trigger(rt_w)	软件可以读此位，写‘0’或‘1’触发一个事件但对此位数值没有影响。
toggle(t)	软件只能通过写‘1’来翻转此位，写‘0’对此位无影响。
Reserved(Res.)	保留位，必须保持默认值不变。

1.2 可用的外设

有关 N32H49x 系列全部型号，某外设存在与否及其数量，请查阅相应型号的数据手册。

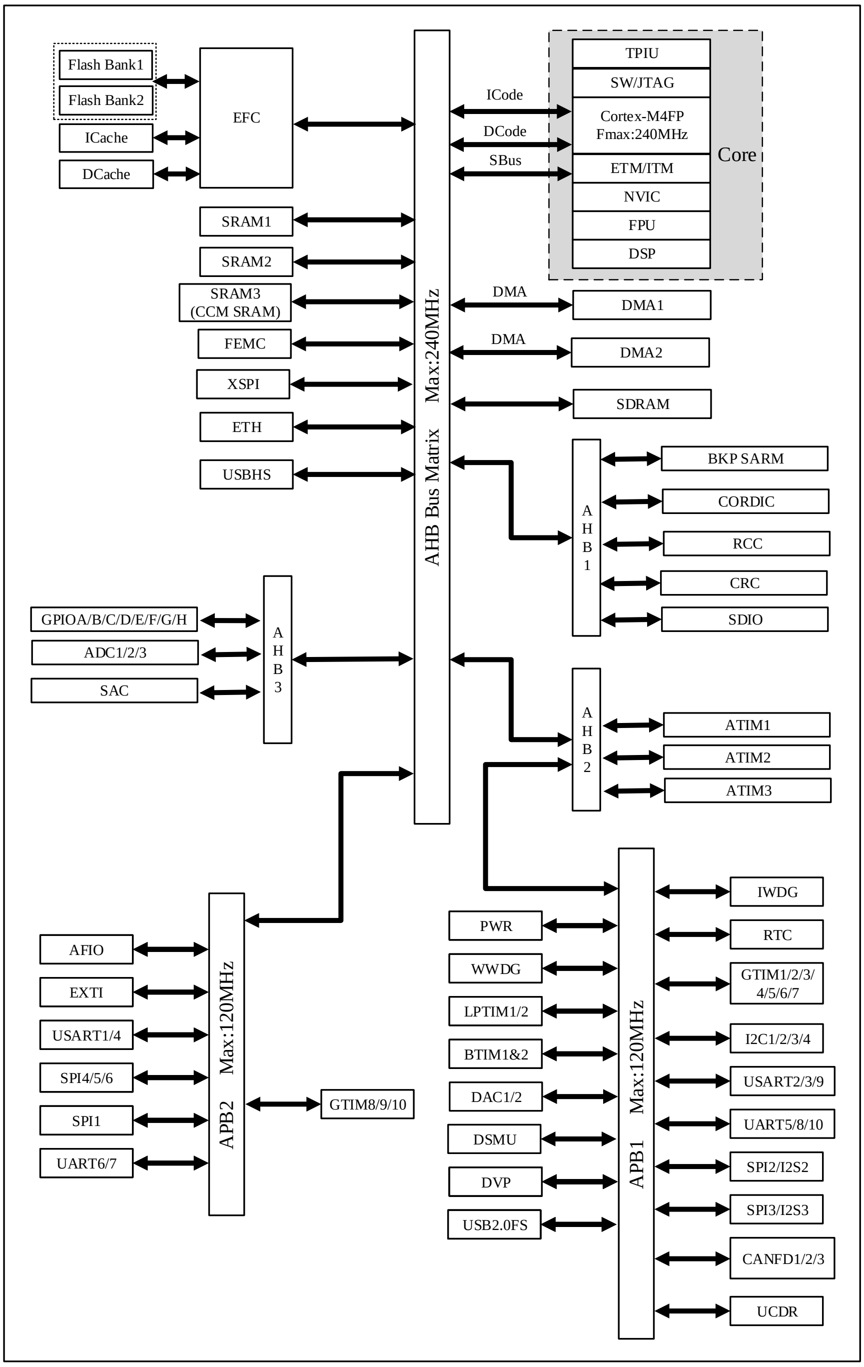
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

2 存储器和总线架构

2.1 系统架构

2.1.1 总线架构

图 2-1 总线架构图



■ ICode 总线：将 Cortex™-M4FP 内核的 ICode 总线与闪存指令接口相连接。指令预取在此总线上完成。

■ DCode 总线将 Cortex™-M4FP 内核的 DCode 总线与闪存存储器的数据接口相连接（常量加载和调试访

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

问）。

- SBus 总线连接 Cortex™-M4FP 内核的 SBus 总线（外设总线）到总线矩阵

总线系统采用 BusMatrix 和 AHB/APB 总线互联的架构。总线矩阵采用循环调度机制（Round-Robin）,协调着内核的 ICode/DCode/SBus 和 DMA1/DMA2/ETH/USB HS/CANFD/DVP 对 FLASH/SRAM/外设的访问。同时访问 FLASH 时，Dcode 的优先级高于 ICode。

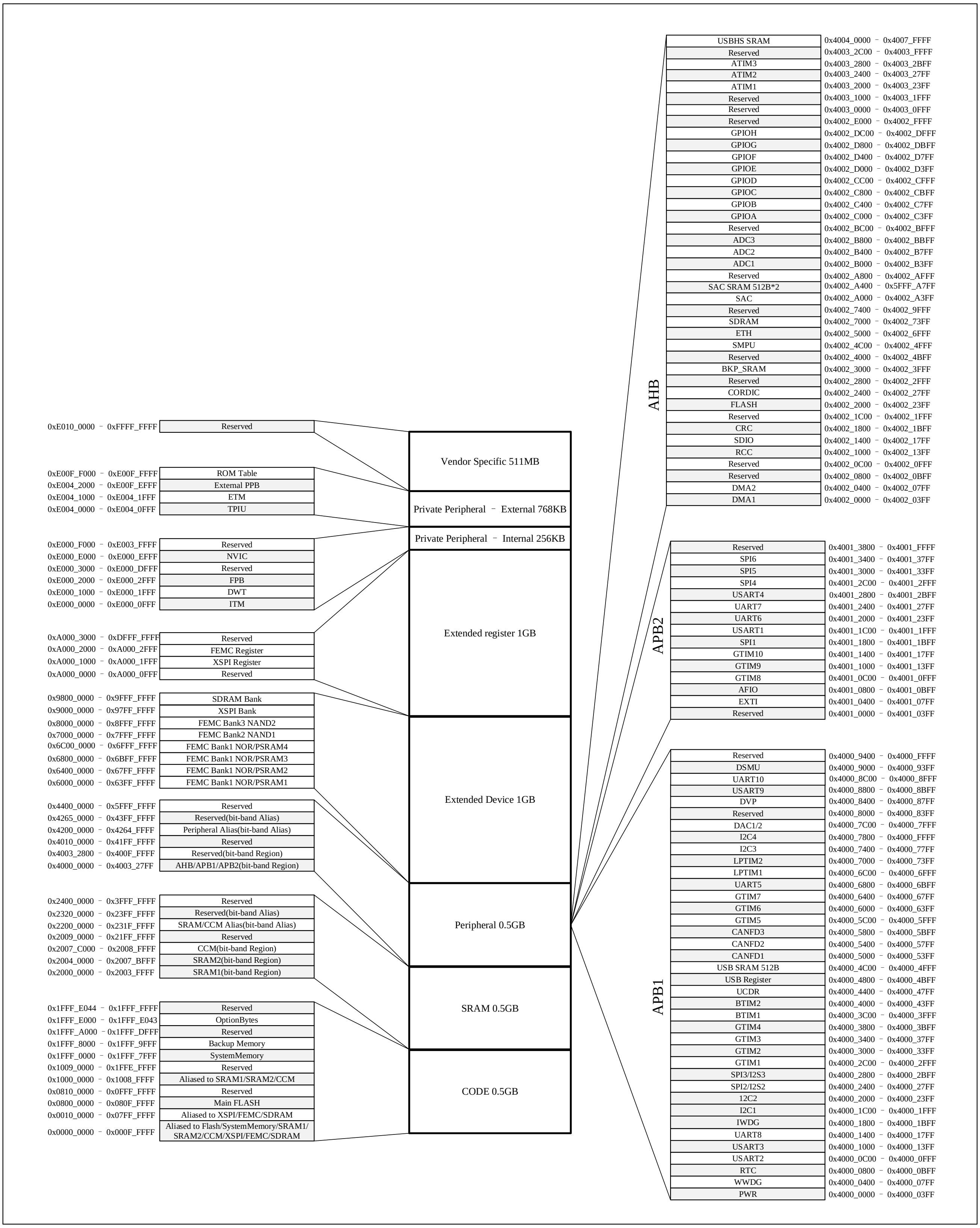
- SAC/CRC 设计了矩阵互联，支持软件触发的方式进行 DMA 传输。
- 总线矩阵包含 9 个 AHB 主机：ICode/DCode/SBus/DMA1/DMA2/ETH/USB HS/CANFD/DVP；包含 11 个 AHB 从机：EFCICode，EFCDCode，SRAM1/2，CCM，FEMC，XSPI，SDRAM，AHB1/2/3；HCLK 的最高速度为 240MHz。
- 系统包含 2 个 AHB2APB 桥，即 AHB2APB1 和 AHB2APB2。其中 APB1 包含 36 个低速 APB 外设，PCLK1 的最高速度为 120MHz；APB2 包含 13 个高速 APB 外设，PCLK2 最高速度等于 120MHz。

2.1.2 总线地址映射

总线地址映射包括所有 AHB 和 APB 外设：AHB 外设、APB1 外设、APB2 外设、Flash、SRAM、SystemMemory 等。SRAM/CCM 的地址空间位于 SRAM 的 bit-band 区，可以通过 bit-band Alias 进行原子访问，以完成唯一性的读-改-写操作。所有 APB 和 AHB 外设的地址空间均位于外设的 bit-band 区，可以通过 bit-band Alias 位带别名进行原子访问，以完成唯一性的读-改-写操作。具体映射如下：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 2-2 总线地址映射图



2.1.2.1 Bit banding

Cortex™-M4FP 存储器映像包括两个位段（bit-band）区。这两个位段区将别名存储器区中的每个字映射到

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位段存储器区的一个位，在别名存储区写入一个字具有对位段区目标位执行读-改-写操作的相同效果。

外设寄存器和 SRAM 都被映射到一个位段区里，这允许执行单一的位段区写和读操作。

下面的映射公式给出了别名区中的每个字节是如何对应位段区的相应位的：

bitband_byte_addr = bitband_base + (byte_offset×32) + (bit_number×4)

其中：

bitband_byte_addr 是别名存储器区中字节的地址，它映射到某个目标位;

bitband_base 是别名区的起始地址;

byte_offset 是包含目标位的字节在位段里的序号;

bit_number 是目标位所在位置（0-7）。

举个例子：

下面的例子说明如何映射别名区中 SRAM 地址为 0x20000400 的字节中的位 4：

0x22008010 = 0x22000000 + (0x400×32) + (4×4).

对 0x22008010 地址的写操作与对 SRAM 中地址 0x20000400 字节的位 4 执行读-改-写操作有着相同的效果。

读 0x22008010 地址返回 SRAM 中地址 0x20000400 字节的位 4 的值（0x01 或 0x00）。请参考《Cortex™-M4 技术参考手册》以了解更多有关位段的信息。

2.1.3 启动管理

2.1.3.1 启动地址

在系统启动时，可以通过 BOOT0 引脚和选项字节 boot 配置来选择在复位后的启动模式，在系统复位后或从待机模式退出时，BOOT 引脚的值将被重新锁存，选项字节 boot 配置会重新被读取。经过启动延迟之后，CPU 从地址 0x0000_0000 获取堆栈顶的地址，并从地址 0x0000_0004 指示的复位向量地址开始执行代码。由于 Cortex-M4FP 始终通过 ICode 总线从地址 0x0000_0000 和 0x0000_0004 获取堆栈顶指针和复位向量，所以启动仅适合于从 CODE 代码区开始，设计上需要对启动空间进行地址重映射。有三种启动模式可选：

- 从主闪存存储器(Main Flash（0x0800 0000）)启动：
  - 主闪存存储器被映射到启动空间（0x0000_0000）（ICode/DCode/DMA1/DMA2）;
  - 主闪存存储器可在两个地址区域访问，0x0000_0000 或 0x0800_0000（ICode/DCode/DMA1/DMA2）;
- 从系统存储器(System Memory)启动：
  - 系统存储器被映射到启动空间（0x0000_0000）（ICode/DCode/DMA1/DMA2）;
  - 系统存储器可在两个地址区域访问，0x0000_0000 或 0x1FFF_0000（ICode/DCode/DMA1/DMA2）;
- 从内置 SRAM 启动：
  - 内置 SRAM 被映射到启动空间（0x0000_0000）（ICode/DCode/DMA1/DMA2）;
  - 内置 SRAM 可在两个地址区域访问，0x0000_0000（ICode/DCode/DMA1/DMA2）或 0x2000_0000（ICode/DCode/SBus/DMA1/ DMA2）;

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

2.1.3.2 外部启动

在以上三种自启动以外，还可以通过配置 RCC_BOOTREMAP.REMAPSEL[2:0]进行物理 0 号地址重映射，具体描述见 4.3.26。

- 从外存储器 XSPI remap 启动：
    - 外存储器 XSPI 被映射到启动空间（0x0000_0000）（ICode/DCode/DMA1/DMA2）；
    - 外存储器 XSPI 可在两个地址区域访问，0x0000_0000 或 0x9000_0000（ICode/DCode/SBus/DMA1/DMA2）；
- 从外存储器 FEMC remap 启动：
    - 外存储器 FEMC remap 被映射到启动空间（0x0000_0000）（ICode/DCode/DMA1/DMA2）；
    - 外存储器 FEMC remap 可在两个地址区域访问，0x0000_0000 或 0x6000_0000（ICode/DCode /DMA1/DMA2）；
- 从外存储器 SDRAM remap 启动：
    - 外存储器 SDRAM remap 被映射到启动空间（0x0000_0000）（ICode/DCode/DMA1/DMA2）；
    - 外存储器 SDRAM remap 可在两个地址区域访问，0x0000_0000 或 0x9800_0000（ICode/DCode/DMA1/ DMA2）；

代码/数据存储在外部存储器（XSPI/FEMC）中时可以通过密文的形式以避免被盗取，加密下载可以使用国民技术提供的下载工具实现。

当代码/数据被加密下载到外部存储器时，MCU 使用外部存储器时需要进行解密。

XSPI 的解密的操作流程如下：

- 向 XSPI_DSTRADD.ADD 写入 XSPI 外部存储器的解密开始地址
- 向 XSPI_DENDADD.ADD 写入 XSPI 外部存储器的解密结束地址
- 若 RTPD_KEY.KEY 值与加密使用 KEY 不一致，还需更新 RTPD_KEY.KEY 值
- XSPI_FEMC_DEN.EN 置 1

FEMC 的解密的操作流程如下：

- 向 FEMC_DSTRADD.ADD 写入 FEMC 外部存储器的解密开始地址
- 向 FEMC_DENDADD.ADD 写入 FEMC 外部存储器的解密结束地址
- 若 RTPD_KEY.KEY 值与加密使用 KEY 不一致，还需更新 RTPD_KEY.KEY 值
- XSPI_FEMC_DEN.EN 置 1

注：1) XSPI_FEMC_DEN.EN 置 1 需在写地址和 KEY 后配置；

2) 软件加密的密钥与硬件加密的密钥是以 word 倒序的，如软件加密的密钥为 0x01234567、0x89abcdef、0xfedcba98、0x76543210；那么，硬件配置解密的密钥顺序要配置为：

FLASH->RTPD_KEY = 0x76543210;

FLASH->RTPD_KEY = 0xfedcba98;

FLASH->RTPD_KEY = 0x89abcdef;

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

FLASH->RTPD_KEY = 0x01234567;

3) 若开启了解密功能，则无法使用 swd debug，防止在 debug 模式下读取用户数据；

2.1.3.3 启动配置

另外，SRAM 还可以通过虚拟地址段 0x1000_0000 进行存取访问，这使得 CPU 从 Main Flash 或 System Memory 启动后，可跳转到 SRAM 通过 ICode/DCode 运行程序（注意不是从 SRAM 启动程序，不属于启动模式）。除了 BOOT 引脚配置启动程序外，还有两种方式可以在 SRAM 运行程序：

- 直接跳转到 SRAM 的物理地址段 0x2000_0000 运行程序，此时将通过 SBus 运行程序；
- 跳转到 SRAM 的虚拟地址段 0x1000_0000，内部重映射到物理地址段 0x2000_0000 运行程序，此时将通过 ICode/DCode 高效运行程序。

表 2-1 单 Bank 启动模式列表

Option Byte				引脚	启动模式	对应启动模式下，访问内存空间的起始地址			
FLASH_BOOT	nBOOT1	nBOOT0	nSWBOOT0	BOOT0		Main Flash 前半部分	Main Flash 后半部分	System Memory	SRAM
1	x	x	1	0	Main Flash 前半部分启动	**0x0000_0000** **0x0800_0000**	0x0808_0000(1)	0x1FFF_0000	0x1000_0000 0x2000_0000
1	x	1	0	x					
0	x	x	1	0	Main Flash 后半部分启动	0x0808_0000(1)	**0x0000_0000** **0x0800_0000**	0x1FFF_0000	0x1000_0000 0x2000_0000
0	x	1	0	x					
x	1	x	1	1	SystemMemory 启动	0x0800_0000	0x0808_0000	**0x0000_0000** **0x1FFF_0000**	0x1000_0000 0x2000_0000
x	1	0	0	x					
x	0	x	1	1	SRAM 启动	0x0800_0000	0x0808_0000	0x1FFF_0000	**0x0000_0000** **0x1000_0000** **0x2000_0000**
x	0	0	0	x					

注 1. MCU 的 Flash 容量为 512KB 情况下，起始地址为 0x0804_0000；MCU 的 Flash 容量为 1MB 情况下，起始地址为 0x0808_0000。

表 2-2 双 Bank 启动模式列表

Option Byte				引脚	启动模式	对应启动模式下，访问内存空间的起始地址			
FLASH_BOOT	nBOOT1	nBOOT0	nSWBOOT0	BOOT0		Main Flash BANK1	Main Flash BANK2	System Memory	SRAM
1	x	x	1	0	Main Flash BANK1 启动	**0x0000_0000** **0x0800_0000**	0x0808_0000(1)	0x1FFF_0000	0x1000_0000 0x2000_0000
1	x	1	0	x					
0	x	x	1	0	Main Flash BANK2 启动	0x0808_0000(1)	**0x0000_0000** **0x0800_0000**	0x1FFF_0000	0x1000_0000 0x2000_0000
0	x	1	0	x					
x	1	x	1	1	SystemMemory 启动	0x0800_0000	0x0808_0000	**0x0000_0000** **0x1FFF_0000**	0x1000_0000 0x2000_0000
x	1	0	0	x					
x	0	x	1	1	SRAM 启动	0x0800_0000	0x0808_0000	0x1FFF_0000	**0x0000_0000** **0x1000_0000** **0x2000_0000**
x	0	0	0	x					

注 1. MCU 的 Flash 容量为 512KB 情况下，起始地址为 0x0804_0000，MCU 的 Flash 容量为 1MB 情况下，

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

起始地址为 0x0808_0000

2.1.3.4 内嵌启动程序

内嵌的自举程序存放在系统存储器 System Memory 内，进一步的细节请查询自举程序手册。

2.2 存储系统（Memory system）

程序存储器、数据存储器、寄存器和输入输出端口被组织在同一个 4GB 的线性地址空间内。数据字节以小端格式存放在存储器中，一个字里的最低地址字节被认为是该字的最低有效字节，而最高地址字节是最高有效字节。对程序存储器和数据存储器的规格说明如下。

2.2.1 FLASH 规格

Flash 由主存储区、信息区组成，以下分别进行说明：（以下说明中的容量值不含 ECC）

- 主存储区最大为 1024KB，也称作主闪存存储器，由 2 片 512KB 的 Flash 组成。单 Bank 模式下包含 64 个 Page，每页 16KB；双 Bank 模式下包含 128 个 Page，每页 8KB；用于用户程序的存放和运行，以及数据存储。
- 信息区为 64KB，包含 8 个 Page，Page 大小不受 Bank 模式影响，由系统存储区（32KB）、系统配置区（8KB）、选项字节区（8KB）、Backup Memory（8KB）和 Reserved Memory（8KB）组成：
  - 系统存储区为 32KB，包含 4 个 Page，也称作 System Memory，用于引导程序（BOOT）的存放和运行。
  - 系统配置区为 8KB，包含 1 个 Page。
  - 选项字节区为 8KB，包含 1 个 Page，也称作 OptionByte，有效空间为 68B，BOOT 程序、用户程序均可以读写擦。

2.2.1.1 存储地址

主存储区、信息区都分配了总线地址空间。

表 2-3 存储总线地址列表

存储区	页名称	地址范围	大小
主存储区（双 BANK 模式）	页 0	0x0800_0000 – 0x0800_1FFF	8KB
	页 1	0x0800_2000 – 0x0800_3FFF	8KB
	页 2	0x0800_4000 – 0x0800_5FFF	8KB
	⋮	⋮	⋮
	页 127	0x080F_E000 – 0x080F_FFFF	8KB
主存储区（单 BANK 模式）	页 0	0x0800_0000 – 0x0800_3FFF	16KB
	页 1	0x0800_4000 – 0x0800_7FFF	16KB
	页 2	0x0800_8000 – 0x0800_BFFF	16KB
	⋮	⋮	⋮
	页 63	0x080F_C000 – 0x080F_FFFF	16KB

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

存储区	页名称	地址范围	大小
信息区	系统存储区	0x1FFF_0000 – 0x1FFF_7FFF	32KB
	Backup Memory	0x1FFF_8000 – 0x1FFF_9FFF	8KB
	Reserved Memory	0x1FFF_A000 – 0x1FFF_BFFF	8KB
	系统配置区	0x1FFF_C000 – 0x1FFF_DFFF	8KB
	选项字节区	0x1FFF_E000 – 0x1FFF_E043	68B
存储区接口寄存器	FLASH_AC	0x4002_2000 – 0x4002_2003	4B
	FLASH_CTRL	0x4002_2004 – 0x4002_2007	4B
	FLASH_STS	0x4002_2008 – 0x4002_200B	4B
	FLASH_ADD	0x4002_200C – 0x4002_200F	4B
	FLASH_KEY	0x4002_2010 – 0x4002_2013	4B
	FLASH_OPTKEY	0x4002_2014 – 0x4002_2017	4B
	FLASH_OB	0x4002_2018 – 0x4002_201B	4B
	FLASH_WRP	0x4002_201C – 0x4002_201F	4B
	FLASH_ECC	0x4002_2020 – 0x4002_2023	4B
	保留	0x4002_2024 – 0x4002_202B	4B
	FLASH_RDN	0x4002_202C – 0x4002_202F	8B
	FLASH_CAHR	0x4002_2030 – 0x4002_2033	4B
	FLASH_ROWP	0x4002_2034 – 0x4002_2037	4B
	CCM_WRP1	0x4002_2038 – 0x4002_203B	4B
	CCM_KEY	0x4002_203C – 0x4002_203F	4B
	CCM_ERASE	0x4002_2040 – 0x4002_2043	4B
	CCM_WRP2	0x4002_2044 – 0x4002_2047	4B
	CCM_MODE	0x4002_2048 – 0x4002_204B	4B
	XSPI_DSTRADD	0x4002_204C – 0x4002_204F	4B
	XSPI_DENDADD	0x4002_2050 – 0x4002_2053	4B
	FEMC_DSTRADD	0x4002_2054 – 0x4002_2057	4B
	FEMC_DENDADD	0x4002_2058 – 0x4002_205B	4B
	RTPD_KEY	0x4002_205C – 0x4002_205F	4B
	JTAG_SEAL	0x4002_2060 – 0x4002_2063	4B
	RTPD_KEY_WCNT	0x4002_2064 – 0x4002_2067	4B
	保留	0x4002_2068 – 0x4002_206C	4B
	XSPI_FEMC_DEN	0x4002_206C – 0x4002_206F	4B
	XUID	0x4002_2070 – 0x4002_2073	4B
	FLASH_PJCTRL	0x4002_2074 – 0x4002_2077	4B

单 bank 模式下，闪存存储器被组织成 256 位宽的存储器单元，双 bank 模式下，闪存存储器被组织成 128 位宽的存储器单元，可以存放代码和数据常数。

信息区分为五个部分：

- 系统存储区是用于存放在系统存储器自举模式下的启动程序。
- 系统配置区，包含芯片基本信息。
- Backup Memory 区用于 BOOT 或系统配置区的备份存储

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- Reserved Memory 是预留区域
- 选项字节区，对主存储器和信息块的写入由内嵌的闪存编程/擦除控制器管理。

闪存存储器有两种保护方式防止非法的访问（读、写、擦除）：

- 页写入保护（WRP）
- 读出保护（RDP）

进行闪存编程操作时（写或擦除），必须打开内部的 RC 振荡器（HSI）。

注： 在低功耗模式下，所有闪存存储器的操作都被中止。

2.2.1.2 读写操作

Flash 写操作仅支持 64 位操作，写操作之前先擦除 Flash，擦除最小块大小是一个页 8KB(双 BANK 模式)/16KB（单 BANK 模式）。写操作分为擦除和编程阶段。

读 Flash 时，读的等待周期数可以通过寄存器配置。使用时，需要结合 AHB 接口时钟频率进行计算。比如：当 HCLK<=48MHz 时，等待周期数最小为 0；当 48MHz<HCLK<=96MHz 时，等待周期数最小为 1；当 96MHz<HCLK<=144MHz 时，等待周期数最小为 2；当 144MHz<HCLK<=192MHz 时，等待周期数最小为 3；当 192MHz<HCLK<=240MHz 时，等待周期数最小为 4。

注意：等待周期数不为零时，启用预取缓冲功能可以提高整体效率。

2.2.1.3 Flash 解锁操作

复位后，Flash 模块是被保护的，不能写入 FLASH_CTRL 寄存器，以防因电气干扰等原因产生对 Flash 的意外操作。通过写入特定的键值序列到 FLASH_KEY 寄存器，可以开启对 FLASH_CTRL 寄存器的操作权限，这个特定的序列是：第一次在 Flash 密钥寄存器（FLASH_KEY）中写入 KEY1 = 0x45670123，第二次则在 Flash 密钥寄存器（FLASH_KEY）中写入 KEY2 = 0xCDEF89AB。

如果顺序出现错误或键值出现错误，将返回总线错误并锁定 FLASH_CTRL 寄存器，直到下一次复位，软件可以通过查看 FLASH_CTRL.LOCK 位来确认 Flash 是否已解锁。若需要进行正常的锁定设置，可以通过软件将 FLASH_CTRL.LOCK 位置 1 来实现，此后可以通过在 FLASH_KEY 中写入正确的键值系列来对 Flash 解锁。

2.2.1.4 擦除和编程

2.2.1.4.1 主存储区擦除

主存储区可以按页擦除或者整片擦除

页擦除

页擦除流程：

- 通过检查 FLASH_STS.BUSY 位来确保没有正在进行闪存操作；
- 设置 FLASH_CTRL.PER 为'1'；
- 将要擦除的页起始地址写入 FLASH_ADD 寄存器；
- 设置 FLASH_CTRL.START 为'1'；
- 等待 FLASH_STS.BUSY 变为'0'；
- 读出被擦除页的内容检查是否被擦除。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

片擦除

片擦除流程：

- 通过检查 FLASH_STS.BUSY 位来确保没有正在进行闪存操作；
- 设置 FLASH_CTRL.MER1 和 FLASH_CTRL.MER2 为'1'；
- 设置 FLASH_CTRL.START 为'1'；
- 等待 FLASH_STS.BUSY 位变为'0'；
- 读出所有被擦除页的内容检查是否被擦除。

BANK1/2 片擦除(仅在双 BANK 模式下生效，即 DBANK=1)

BANK 片擦除流程：

- 通过检查 FLASH_STS.BUSY 位来确保没有正在进行闪存操作；
- 根据要擦除的 Bank，设置 FLASH_CTRL.MER1 或 MER2 为'1'；
- 设置 FLASH_CTRL.START 为'1'；
- 等待 FLASH_STS.BUSY 位变为'0'；
- 读出所有被擦除页的内容检查是否被擦除。

注意：

（1） 擦除或写某片 Flash，访问该片 Flash 的动作会被 Hold 住，直到该片 Flash 擦除或写操作结束。如果需要在写某片 Flash 时执行程序，建议把程序搬运到另外一片 Flash 或 SRAM 执行。如果要响应中断，FLASH 操作、中断处理以及中断向量表都要放在另外一片 Flash 或 SRAM 中运行。

（2） 当 DBANK=0 时，只配置 MER1 或 MER2，Flash 不会执行擦除动作。

2.2.1.4.2 主存储区编程

对主存储区编程每次可以写入 64 位。当 FLASH_CTRL.PG 为'1'时，在一个闪存地址写入两个字将启动一次编程；写入任何半字的数据，都会产生总线错误。在编程过程中(FLASH_ STS.BUSY 为'1')，任何读写闪存的操作都会使 CPU 暂停，直到此次闪存编程结束。

主存储区编程流程：

- 通过检查 FLASH_STS.BUSY 位来确保没有正在进行闪存操作；
- 设置 FLASH_CTRL.PG 为'1'；
- 在指定的地址写入要编程的双字；
- 等待 FLASH_STS.BUSY 变为'0'；
- 读出写入地址的数据检查是否正确。

注意： 当 FLASH_STS.BUSY 为'1'时，不能对任何 Flash 寄存器执行写操作。

2.2.1.4.3 选项字节区擦除和编程

对选项字节区的编程与主存储区不同。选项字节的数目只有 16 个选项字节(4 个字节作为写保护，2 个字节

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

作为读保护，2 个字节作为配置选项，4 个字节由用户定义，1 个字节作为 CCMSRAM_RST，1 个字节作为 DBANK 配置，1 个字节作为 SRAM2_ECC_ENABLE，1 个字节作为 SRAM3_ECC_ENABLE)。对 Flash 解锁后，必须分别写入 KEY1 和 KEY2(见 2.2.1.3)到 FLASH_OPTKEY 寄存器，再设置 FLASH_CTRL.OPTWE 为'1'，此时可以对选项字节区进行编程：设置 FLASH_CTRL.OPTPG 为'1'后写入字到指定的地址。

对选项字节区字编程时，使用半字中的低字节并自动地计算出高字节(高字节为低字节的补码)，并开始编程操作，这将保证选项字节和它的补码始终是正确的。

选项字节区擦除过程：

- 通过检查 FLASH_STS.BUSY 位来确保没有正在进行闪存操作；
- 解锁 FLASH_CTRL.OPTWE；
- 设置 FLASH_CTRL.OPTER 为'1'；
- 设置 FLASH_CTRL.START 为'1'；
- 等待 FLASH_STS.BUSY 变为'0'；
- 读出被擦除选项字节的内容检查是否被擦除。

选项字节区编程流程：

- 通过检查 FLASH_STS.BUSY 位来确保没有正在进行闪存操作；
- 解锁 FLASH_CTRL.OPTWE；
- 设置 FLASH_CTRL.OPTPG 为'1'；
- 在指定的地址写入要编程的双字；
- 等待 FLASH_STS.BUSY 变为'0'；
- 读出写入地址的数据检查是否正确。

2.2.1.4.4 ROW 编程

ROW 编程和双字编程的操作都一样，在开始编程前需要提前配置如下寄存器：

- 设置 FLASH_ROWP. RPEN 为'1'，选择 ROW 编程；
- 设置 FLASH_ROWP. RPNUM 位选择 ROW 编程的字长度；
- 设置 FLASH_ROWP. RPADD 位选择 ROW 编程的开始地址；
- 设置 FLASH_ROWP. RPAREA 位选择 ROW 编程的区域。

注意：

1. 向指定的地址写要编程的数据时，编程地址要和 ROW 编程的开始地址及字长度一致。

2. ROW 编程不能跨 512 字节。

2.2.1.4.5 读写同时操作

双 Bank 模式下，即 DBANK=1，允许读写同时进行。该功能使得在对一个 Bank 进行擦除或编程操作的同时，可以从另一个 Bank 执行读操作。写写同时操作是不允许的。例如，在一个 Bank 进行擦除操作的同时，不可以对另一个 Bank 进行编程操作。

支持的操作如下：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

1. 在 Bank1 读取时，Bank2 执行页擦操作（或反之亦然）。
2. 在 Bank1 读取时，Bank2 执行片擦操作（或反之亦然）。
3. 在 Bank1 读取时，Bank2 执行编程操作（或反之亦然）。

注意：选项字节和 BANK1 位于同一片 Flash，因此选项字节和 BANK1 不可同时操作；选项字节和 BANK2 不位于同一片 Flash，因此选项字节和 BANK2 可同时操作。

2.2.1.5 ECC 功能

Flash 模块支持 ECC 功能，实现 2-bit 检错和 1-bit 纠错。ECC 编码、解码（纠错、检错）由硬件自动执行，如果检测到错误，置错误位并产生中断。

2.2.1.6 指令预取

Flash 模块的指令预取功能，支持 64B 的预取 Buffer。通过指令预取操作，可提高 CPU 的指令执行效率。指令预取功能可以通过寄存器配置为使能或除能，默认使能。

2.2.1.7 选项字节

选项字节块主要用于配置读写保护、软件/硬件看门狗配置、启动模式配置以及系统处于 STANDBY/STOP 模式下的复位选项，并分配了总线地址空间，可以进行读写访问。它们由有 16 个选项字节组成：4 个字节作为写保护，2 个字节作为读保护，2 个字节作为配置选项，4 个字节由用户定义，1 个字节作为 CCMSRAM_RST，1 个字节作为 DBANK 配置，1 个字节作为 SRAM2_ECC_ENABLE，1 个字节作为 SRAM3_ECC_ENABLE，这 16 个字节需要通过总线写入。选项字节块同时还包含与这 16 个选项字节相对应的补码，这些补码需要在总线写入选项字节时，由硬件自动计算出来，一起写入 Flash，并用于选项字节读取时的验证。

默认状态下，选项字节块始终是可以读且被写保护。要想对选项字节块进行写操作（编程/擦除），首先要解锁 Flash，然后解锁选项字节：在 FLASH_OPTKEY 中写入正确的键值序列（KEY1＝0x45670123，KEY2＝0xCDEF89AB），随后对选项字节块的写操作将被允许。如果顺序出现错误或键值出现错误，将返回总线错误并锁定选项字节，直到下一次复位。若需要正常进行锁定设置，可以通过软件将 FLASH_CTRL.OPTWE 位写 0 来实现，此后可以通过在 FLASH_OPTKEY 中写入正确的键值系列来对选项字节解锁。

每次系统复位后，从 Flash 的选项字节块中读出选项字节数据，并保存在具有只读属性的选项字节寄存器（FLASH_OB/FLASH_WRP）中；同时一起读出来的选项字节补码数据，将用于验证选项字节数据是否正确，如果不匹配，将产生一个选项字节错误标志（FLASH_OB.OBERR）。当发生选项字节错误时，对应的选项字节被强置为 0xFF。当选项字节和它的补码均为 0xFF 时（擦除后的状态），则略过上述验证步骤，无需进行验证。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 2-4 选项字节列表

地址	[31:24] 补码	[23:16] 选项字节	[15:8] 补码	[7:0] 选项字节
0x1FFF_E000	nRDP2	RDP2	nRDP1	RDP1
0x1FFF_E004	nCCMSRAM_RST	CCMSRAM_RST	nDBANK	DBANK
0x1FFF_E008	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved
0x1FFF_E00C	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved
0x1FFF_E010	nUSER2	USER2	nUSER	USER
0x1FFF_E014	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved
0x1FFF_E018	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved
0x1FFF_E01C	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved
0x1FFF_E020	nWRP1	WRP1	nWRP0	WRP0
0x1FFF_E024	nWRP3	WRP3	nWRP2	WRP2
0x1FFF_E028	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved
0x1FFF_E02C	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved
0x1FFF_E030	nData1	Data1	nData0	Data0
0x1FFF_E034	nData3	Data3	nData2	Data2
0x1FFF_E038	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved
0x1FFF_E03C	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved
0x1FFF_E040	nSRAM3_ECC_ENABLE	SRAM3_ECC_ENABLE	nSRAM2_ECC_ENABLE	SRAM2_ECC_ENABLE

- 读保护 L1 等级：RDP1
  - 保护存储在闪存中的代码；
  - 当写入正确的数值时，将禁止读出闪存存储器；
  - RDP1 是否开启的结果，可通过 FLASH_OB[0]查询；
- 读保护 L2 等级：RDP2
  - 在 L1 的基础上增加保护功能，具体见 2.2.1.9 读保护的详细描述；
  - RDP2 是否开启的结果，可通过 FLASH_OB[1]查询；
- DBANK：配置 FLASH 为单 Bank 模式或双 Bank 模式
  - 值为 0x5A，单 Bank 模式
  - 值不为 0x5A，双 Bank 模式

注：使用选项字节进行 BANK 模式切换后，Main FLASH 结构发生变化，需要重新刷写 FLASH。

- CCMSRAM_RST：配置 CCMSRAM 在复位释放后是否擦除
  - 值为 0xAB，CCMSRAM_RSTEN 为 0，执行擦除
  - 值不为 0xAB，CCMSRAM_RSTEN 为 1，不执行擦除
- 用户配置选项: USER
  - USER[7]：Reserved；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- USER[6]：IWDGSLEEPFRZ，可通过 FLASH_OB[8]查询；

  0: iwdg 在 sleep 模式下冻结

  1: iwdg 在 sleep 模式下非冻结

- USER[5]：IWDGSTDBYFRZ，可通过 FLASH_OB[7]查询；

  0: iwdg 在 standby 模式下冻结

  1: iwdg 在 standby 模式下非冻结

- USER[4]：Reserved

- USER[3]：IWDGSTOPFRZ，可通过 FLASH_OB[5]查询；

  0: iwdg 在 STOP 模式下冻结

  1: iwdg 在 STOP 模式下非冻结

- USER[2]：nRST_STDBY 配置选项，可通过 FLASH_OB[4]查询

  0：当进入 Standby 模式时产生复位

  1：进入 Standby 模式时不产生复位

- USER[1]：nRST_STOP 配置选项，可通过 FLASH_OB[3]查询

  0：当进入 STOP 模式时产生复位

  1：进入 STOP 模式时不产生复位

- USER[0]：IWDG_SW 配置选项，可通过 FLASH_OB[2]查询

  0：硬件看门狗

  1：软件看门狗

■ 用户配置选项：USER2

- USER2[7:5]：BOR_LVL，BOR 复位电压控制：

  000：复位电平阈值 1.6V（上升 1.66V/下降 1.62V），默认档位

  001：复位电平阈值 2.0V（上升 2.1V/下降 2.0V）

  010：复位电平阈值 2.2V（上升 2.3V/下降 2.2V）

  011：复位电平阈值 2.5V（上升 2.6V/下降 2.5V）

  100：复位电平阈值 2.8V（上升 2.9V/下降 2.8V）

- USER2[4]：Reserved；

- USER2[3]：FLASH_BOOT 控制，在启动分区为 main Flash 时有效：

  0：main flash 后半部分启动执行

  1：main flash 前半部分启动执行，默认值

- USER2[2]：nSWBOOT0 控制位，默认值为 1；

- USER2[1]：nBOOT1 控制位，默认值为 1；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- ◆ USER2[0]：nBOOT0 控制位，默认值为 1；

■ 4 字节用户数据：Datax

- ◆ Data3
- ◆ Data2
- ◆ Data1 (FLASH_OB[27:20])
- ◆ Data0 (FLASH_OB [19:12])

■ 写保护选项字节：WRP0～3，可通过寄存器 FLASH_WRP[31:0]查询

单 BANK 模式下

- ◆ WRP0：第 0～15 页的写保护，bit[0]对应 Page0/1，……，bit[7]对应 Page14/15；
- ◆ WRP1：第 16~31 页的写保护，bit[0]对应 Page16/17，……，bit[7]对应 Page30/31；
- ◆ WRP2：第 32~47 页的写保护，bit[0]对应 Page32/33，……，bit[7]对应 Page46/47；
- ◆ WRP3：第 48~63 页的写保护，bit[0]对应 Page48/49，……，bit[7]对应 Page62~63；

双 BANK 模式下

- ◆ WRP0：第 0～31 页的写保护，bit[0]对应 Page0~3，……，bit[7]对应 Page28~31；
- ◆ WRP1：第 32~63 页的写保护，bit[0]对应 Page32~35，……，bit[7]对应 Page60~63；
- ◆ WRP2：第 64~95 页的写保护，bit[0]对应 Page64~67，……，bit[7]对应 Page92~95；
- ◆ WRP3：第 96~127 页的写保护，bit[0]对应 Page96~99，……，bit[7]对应 Page124~127；

■ SRAM2_ECC_ENABLE：配置 SRAM2 的 ECC 功能使能

0：SRAM2 的 ECC 功能禁能

1：SRAM2 的 ECC 功能使能

■ SRAM3_ECC_ENABLE：配置 SRAM3 的 ECC 功能使能

0：SRAM3 的 ECC 功能禁能

1：SRAM3 的 ECC 功能使能

2.2.1.8 写保护

可以对 Flash 主存储区（最大 1024KB）的所有 Page 配置写保护，以防在程序跑飞或电气干扰等原因导致的意外写操作，写保护的基本单位是：双 Bank 模式下，每 4 页(32KB)为一个基本保护单元；单 Bank 模式下，每 2 页(32KB)为一个基本保护单元；。写保护可以通过设置选项字节块中的 WRP0~3 来进行配置；每次进行配置后，需要进行一次系统复位，配置的值才能生效。如果对一个受保护的页面进行编程或擦除操作，FLASH_STS 中将会返回一个保护错误标志。

系统信息区中的系统存储块（32KB），存放了 BOOT 程序，不可更改。

系统信息区中的系统配置块（8KB），存放了芯片基本信息，不可更改。

系统信息区中的选项字节块（8KB），存放了用户可配置选项字节信息，将 FLASH_CTRL.OPTWE 写 0 使能选项字节块的写保护，之后通过在 FLASH_OPTKEY 中写入正确的键值序列，来对选项字节解除写保护。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

2.2.1.9 读保护

Flash 中的用户代码可以通过设置读保护来防止被非法读取。读保护主要是针对芯片完成封口操作后，保护主存储区和选项字节块的访问操作。读保护通过配置选项字节块中的 RDP 字节进行设置，可以配置 3 种不同的读保护级别，如下列表：

表 2-5 读保护配置列表

读保护等级	RDP1	nRDP1	nRDP2	RDP2
L0 level	0xA5	0x5A	RDP2! = 0xCC || nRDP2! = 0x33	
L2 level	0xXX	0xXX	0x33	0xCC
L1 level	非以上两种配置			

- L0 等级：
  - 处于未保护状态，(RDP1 == 0xA5 & nRDP1 == 0x5A) && (RDP2!= 0xCC | nRDP2!= 0x33)
  - 主存储区和选项字节可以被任意读取
  - 主存储区和选项字节可以进行编程和擦除，可配置读写保护
- L1 等级：
  - ~ (((RDP1 == 0xA5 & nRDP1 == 0x5A) && (RDP2!= 0xCC | nRDP2!= 0x33)) | (RDP2 == 0xCC & nRDP2 == 0x33))
  - 只允许从用户代码中对主存储区的读操作，即以非调试方式从主闪存存储器启动程序的情况才允许对主存储区的读操作
  - 所有 Page 可以通过在主闪存存储器中执行的代码进行编程（实现 IAP 或数据存储等功能）
  - 全部主存储区页不允许在调试模式下或从内部 SRAM 启动后执行写或擦除操作（整片擦除除外）
  - 所有通过 JTAG/SWD 向内置 SRAM 装载代码并执行代码的功能依然有效，亦可以通过 JTAG/SWD 从内置 SRAM 启动，这个功能可以用来解除读保护；
  - 当读保护的选项字节被改写为未保护的 L0 级别时，将会自动擦除全部主存储区，执行的过程如下：（擦除选项字节块不会导致自动的整片擦除操作，因为擦除的结果是 0xFF，相当于仍然处于 L1 级别的保护状态）
    - 在 FLASH_OPTKEY 中写入正确的键值序列解锁选项字节区；
    - 总线发起命令擦除整个选项字节区（Page 擦）；
    - 总线写入读保护选项字节 0xA5；
    - 内部自动擦除全部主存储区；
    - 内部自动写入 0xA5 到读保护选项字节；
    - 进行系统复位（如软件复位等），选项字节块（包括新的 RDP 值 0xA5）将被重新加载到系统中，读保护被解除；
  - 以下对闪存的访问操作都将被禁止：
    - 通过从内置 SRAM 启动执行代码（包括使用 DMA）访问主闪存存储器；
    - 通过 JTAG、SWV（串行线观察器）、SWD（串行线调试）和边界扫描方式访问主闪存存储

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

器；

■ L2 等级：除了 SRAM 启动被禁止、调试模式被禁止、选项字节写/页擦被禁止、保护级别不可修改（不可逆）之外，其余特性同 L1 级别。L2 级别通过配置另一个选项字节 RDP2 来实现，不管 RDP1 为何值，只要满足（RDP2=0xCC & nRDP2=0x33）即为 L2 级别

表 2-6 存储区读写擦[1]权限控制表

启动对象:System memory											
权限级别	被访问区域 \ 执行用户		区域容量	System memory	Main flash	FEMC/XSPI memory 加解密段[2]	FEMC/XSPI memory 非加解密段	CCM SRAM[2][4]	SRAM[5]	SDRAM	JTAG&SWD
L0	System memory		32KB	RWE	NA	NA	NA	RWE[2]/NA[2]	NA	NA	NA
L0	Option byte		8KB	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE
L0	Backup memory		8KB	RWE	NA	NA	NA	RWE[2]/NA[2]	NA	NA	NA
L0	Reserved memory		8KB	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE
L0	Main flash	NOT WRP	1024KB	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME
L0	Main flash	WRP	1024KB	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO
L0	FEMC/xSPI memory[2][6]	加解密段	可用户配置	RW[2]/NA[2]	RW[2]/NA[2]	RW[2]/NA[2]	NA	RW[2]/NA[2]	RW[2]/NA[2]	NA	NA
L0	FEMC/xSPI memory[2][6]	非加解密段	可用户配置	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
L0	SDRAM		用户确定	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
L0	CCM SRAM[2]	NOT WRP	80KB	RW[2]/NA[2]	RW[2]/NA[2]	RW[2]/NA[2]	RW[2]/NA[2]	RW[2]/NA[2]	RW[2]/NA[2]	RW[2]/NA[2]	NA
L0	CCM SRAM[2]	WRP	80KB	RO2)/NA[2]	RO2)/NA[2]	RO2)/NA[2]	RO2)/NA[2]	RO2)/NA[2]	RO2)/NA[2]	RO2)/NA[2]	NA
L0	SRAM[4]	不禁能调试接口访问	576KB/496KB	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
L0	SRAM[4]	禁能调试接口访问	576KB/496KB	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	NA
L0	Backup SRAM		4KB	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
L0	Backup Register		20*32bits	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
L1	System memory		32KB	RWE	NA	NA	NA	RWE[2]/NA[2]	NA	NA	NA
L1	Option byte		8KB	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

	Backup memory		8KB	RWE	NA	NA	NA	RWE(2)/NA(2)	NA	NA	NA
	Reserved memory		8KB	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE
	Main flash	NOT WRP	1024KB	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME	NA	RWE/ME	NA	NA	NA
		WRP		RO	RO	RO	NA	RO	NA	NA	NA
	FEMC/xSPI memory(2)(6)	加解密段	可用户配置	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	NA	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	NA	NA
		非加解密段		RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
	SDRAM		用户确定	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
	CCM SRAM(2)	NOT WRP	80KB	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	NA
		WRP		RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	NA
	SRAM(4)	不禁能调试接口访问	576KB/496KB	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
		禁能调试接口访问		RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	NA
	Backup SRAM		4KB	NA	RW(3)	RW(2)/NA(2)	NA	RW(2)/NA(2)	NA	NA	NA
	Backup Register		20*32bits	NA	RW(3)	RW(2)/NA(2)	NA	RW(2)/NA(2)	NA	NA	NA
L2	System memory		32KB	RWE	NA	NA	NA	RWE(2)/NA(2)	NA	NA	--
	Option byte		8KB	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	--
	Backup memory		8KB	RWE	NA	NA	NA	RWE(2)/NA(2)	NA	NA	--
	Reserved memory		8KB	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	--
	Main flash	NOT WRP	1024KB	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME	NA	RWE/ME	NA	NA	--
		WRP		RO	RO	RO	NA	RO	NA	NA	--
	FEMC/xSPI memory	加解密段	可用户配置	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	NA	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	NA	--
		非加解密段		RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	--
	SDRAM		用户确定	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
	CCM SRAM	NOT WRP	80KB	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	--

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		WRP		RO(2)/NA(2)	RO(2)/NA(2)	RO(2)/NA(2)	RO(2)/NA(2)	RO(2)/NA(2)	RO(2)/NA(2)	RO(2)/NA(2)	--
	SRAM(4)	不禁能调试接口访问	576KB/496KB	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	--
		禁能调试接口访问		RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	--
	Backup SRAM		4KB	NA	RW(3)	RW(2)/NA(2)	NA	RW(2)/NA(2)	NA	NA	--
	Backup Register		20*32bits	NA	RW(3)	RW(2)/NA(2)	NA	RW(2)/NA(2)	NA	NA	--
启动对象:Main Flash											
权限级别	执行用户 被访问区域		区域容量	System memory	Main flash	FEMC/XSPI memory 加解密段(2)	FEMC/XSPI memory 非加解密段	CCM SRAM(2)(4)	SRAM(5)	SDRAM	JTAG&SWD
L0	System memory		32KB	RWE	NA	NA	NA	RWE(2)/NA(2)	NA	NA	NA
	Option byte		8KB	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE
	Backup memory		8KB	RWE	NA	NA	NA	RWE(2)/NA(2)	NA	NA	NA
	Reserved memory		8KB	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE
	Main flash	NOT WRP	1024KB	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME
		WRP		RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO
	FEMC/xSPI memory(2)(6)	加解密段	可用户配置	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	NA	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	NA	NA
		非加解密段		RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
	SDRAM		用户确定	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
	CCM SRAM(2)	NOT WRP	80KB	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	NA
		WRP		RO(2)/NA(2)	RO(2)/NA(2)	RO(2)/NA(2)	RO(2)/NA(2)	RO(2)/NA(2)	RO(2)/NA(2)	RO(2)/NA(2)	NA
	SRAM(4)	不禁能调试接口访问	576KB/496KB	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
		禁能调试接口访问		RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	NA
	Backup SRAM		4KB	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

	Backup Register		20*32bits	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
L1	System memory		32KB	RWE	NA	NA	NA	RWE[2]/NA[2]	NA	NA	NA
	Option byte		8KB	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE
	Backup memory		8KB	RWE	NA	NA	NA	RWE[2]/NA[2]	NA	NA	NA
	Reserved memory		8KB	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE
	Main flash	NOT WRP	1024KB	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME	NA	RWE/ME	NA	NA	NA
		WRP		RO	RO	RO	NA	RO	NA	NA	NA
	FEMC/xSPI memory[2][6]	加解密段	可用户配置	RW[2]/NA[2]	RW[2]/NA[2]	RW[2]/NA[2]	NA	RW[2]/NA[2]	RW[2]/NA[2]	NA	NA
		非加解密段		RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
	SDRAM		用户确定	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
	CCM SRAM[2]	NOT WRP	80KB	RW[2]/NA[2]	RW[2]/NA[2]	RW[2]/NA[2]	RW[2]/NA[2]	RW[2]/NA[2]	RW[2]/NA[2]	RW[2]/NA[2]	NA
		WRP		RO[2]/NA[2]	RO[2]/NA[2]	RO[2]/NA[2]	RO[2]/NA[2]	RO[2]/NA[2]	RO[2]/NA[2]	RO[2]/NA[2]	NA
	SRAM[4]	不禁能调试接口访问	576KB/496KB	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
		禁能调试接口访问		RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	NA
	Backup SRAM		4KB	NA	RW[3]	RW[2]/NA[2]	NA	RW[2]/NA[2]	NA	NA	NA
	Backup Register		20*32bits	NA	RW[3]	RW[2]/NA[2]	NA	RW[2]/NA[2]	NA	NA	NA
	System memory		32KB	RWE	NA	NA	NA	RWE[2]/NA[2]	NA	NA	--
	Option byte		8KB	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	--
	Backup memory		8KB	RWE	NA	NA	NA	RWE[2]/NA[2]	NA	NA	--
	Reserved memory		8KB	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	--
	Main flash	NOT WRP	1024KB	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME	NA	RWE/ME	NA	NA	--
		WRP		RO	RO	RO	NA	RO	NA	NA	--
	FEMC/xSPI	加解密段	可用户配置	RW[2]/NA[2]	RW[2]/NA[2]	RW[2]/NA[2]	NA	RW[2]/NA[2]	RW[2]/NA[2]	NA	--
		非加解密段		RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	--

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

	memory										
	SDRAM		用户确定	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
	CCM SRAM	NOT WRP	80KB	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	--
		WRP		RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	--
	SRAM(4)	不禁能调试接口访问	576KB/496KB	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	--
		禁能调试接口访问		RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	--
	Backup SRAM		4KB	NA	RW(3)	RW(2)/NA(2)	NA	RW(2)/NA(2)	NA	NA	--
	Backup Register		20*32bits	NA	RW(3)	RW(2)/NA(2)	NA	RW(2)/NA(2)	NA	NA	--
启动对象:SRAM											
权限级别	执行用户 被访问区域		区域容量	System memory	Main flash	FEMC/XSPI memory 加解密段(2)	FEMC/XSPI memory 非加解密段	CCM SRAM(2)(4)	SRAM(5)	SDRAM	JTAG&SWD
	System memory		32KB	RWE	NA	NA	NA	RWE(2)/NA(2)	NA	NA	NA
	Option byte		8KB	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE
	Backup memory		8KB	RWE	NA	NA	NA	RWE(2)/NA(2)	NA	NA	NA
	Reserved memory		8KB	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE
	Main flash	NOT WRP	1024KB	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME
		WRP		RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO
	FEMC/xSPI memory(2)(6)	加解密段	可用户配置	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	NA	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	NA
		非加解密段		RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
	SDRAM		用户确定	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
	CCM SRAM(2)	NOT WRP	80KB	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	NA
		WRP		RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	NA

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

	SRAM(4)	不禁能调试接口访问	576KB/496KB	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
		禁能调试接口访问		RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	NA
	Backup SRAM		4KB	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
	Backup Register		20*32bits	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
	System memory		32KB	RWE	NA	NA	NA	RWE(2)/NA(2)	NA	NA	NA
	Option byte		8KB	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE
	Backup memory		8KB	RWE	NA	NA	NA	RWE(2)/NA(2)	NA	NA	NA
	Reserved memory		8KB	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE	RWE
	Main flash	NOT WRP	1024KB	RWE/ME	RWE/ME	RWE/ME	NA	RWE/ME	NA	NA	NA
		WRP		RO	RO	RO	NA	RO	NA	NA	NA
	FEMC/xSPI memory(2)(6)	加解密段	可用户配置	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	NA	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	NA
		非加解密段		RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
	SDRAM		用户确定	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
	CCM SRAM(2)	NOT WRP	80KB	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	RW(2)/NA(2)	NA
		WRP		RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	RO2)/NA(2)	NA
	SRAM(4)	不禁能调试接口访问	576KB/496KB	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW
		禁能调试接口访问		RW	RW	RW	RW	RW	RW	RW	NA
	Backup SRAM		4KB	NA	RW(3)	RW(2)/NA(2)	NA	RW(2)/NA(2)	NA	NA	NA
	Backup Register		20*32bits	NA	RW(3)	RW(2)/NA(2)	NA	RW(2)/NA(2)	NA	NA	NA
	System memory		32KB	--	--	--	--	--	--	--	--
	Option byte		8KB	--	--	--	--	--	--	--	--
	Backup memory		8KB	--	--	--	--	--	--	--	--
	Reserved memory		8KB	--	--	--	--	--	--	--	--
	Main flash	NOT WRP	1024KB	--	--	--	--	--	--	--	--
		WRP		--	--	--	--	--	--	--	--

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

	FEMC/xSPI memory	加解密段	可用户配置	--	--	--	--	--	--	--	--
		非加解密段		--	--	--	--	--	--	--	--
	SDRAM		用户确定	--	--	--	--	--	--	--	--
	CCM SRAM	NOT WRP	80KB	--	--	--	--	--	--	--	--
		WRP		--	--	--	--	--	--	--	--
	SRAM[4]	不禁能调试接口访问	576KB/496KB	--	--	--	--	--	--	--	--
		禁能调试接口访问		--	--	--	--	--	--	--	--
	Backup SRAM		4KB	--	--	--	--	--	--	--	--
	Backup Register		20*32bits	--	--	--	--	--	--	--	--

注：

1、R 代表 Read，W 代表 Write，E 代表 Erase，RO 代表 Read only，PE 代表 Page Erase，ME 代表 Mass Erase，NA 代表不能访问（NOT Access）--代表不适用

2、FEMC/XSPI memory 加密段和 CCM SRAM 的访问权限（执行用户）和被访问权限等同对其进行设置的用户。例如在 Main Flash 中执行代码将 SRAM 使能为 CCMSRAM，CCMSRAM 和 Main Flash 的权限一致。

3、仅 USER1 用户有权限访问

4、CCM SRAM，CCM 使能后的逻辑地址范围

5、SRAM 最大容量包括 576KB 和 496KB 两种情形，当 CCM 使能，SRAM 最大容量为 496KB，CCM 不使能，最大容量为 576KB

6、仅代表 XIP 方式读写，当成外设通讯接口访问，不做管控

7、DMA 对 System memory、Main flash、FEMC/XSPI memory、SRAM 访问等同启动 DMA 的用户对相应的存储进行访问的权限

8、当对 FEMC/XSPI 存储外设通过接口发送命令方式执行读写擦，将不进行权限管理，仅当 XIP 方式访问时才进行权限管理。

2.2.2 ICache

为了达到更高的系统性能，高速 CPU 与低速 Flash 之间需要增加指令缓存器，以提高指令执行效率。由于指令缓存器的存在，CPU 将可以工作在更高的主频。当 CPU 请求的指令在指令缓存器里面时，CPU 将可以无延时地获得指令、实现零等待执行。当前指令序列、指令预取序列、指令缓存器均未命中时，将重新读取 Flash，并回填更新 Cache 缓存；依此，相当于 Cache 中只存储了程序的跳转头。

指令缓存器的主要特性如下：

- 8KB iCache
- 支持相联方式：4WAY

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

■ 双 Bank 模式下，每 Bank Flash 对应 4KB ICache；单 Bank 模式下，Flash 整体对应 8KB Icache

注：ICache 只对应了 main Flash，程序在 System Memory 运行不会存入 ICache。

2.2.2.1 软件接口

双 Bank 模式下，8KB ICache 分成 2 个 4KB ICache，分别对应到 2 个 Bank Flash。所以双 Bank 模式下，有 2 套软件接口分别控制 2 个 ICache。单 Bank 模式下，只有 1 套软件接口生效，即 FLASH_AC.ICAHEN2 和 FLASH_AC.ICAHRST2 不生效。

■ 使能

◆ 提供软件使能/关闭 Icache 的配置。开关切换条件无限制（见 FLASH_AC.ICAHEN1 和 FLASH_AC.ICAHEN2 位）。

■ 复位

◆ 提供软件清空 iCache 接口，必须在 iCache 关闭时才发起。复位与使能不可同时切换，先关闭 FLASH_AC.ICAHENx，然后 FLASH_AC.ICAHRSTx 写 1，然后就可打开 FLASH_AC.ICAHENx。

■ 锁定

◆ 支持 iCache 锁定机制，软件配置将程序放入其指定的 way 中。当所有 way 均锁定完成后，新的数据将不会写入 cache 中。软件复位 cache 后，锁定状态自动清除。

■ 补充说明

◆ 不支持 iCache 替换算法选择。

◆ 为指令 Cache，不存在 CPU 写操作时 WB/WT 选择。

2.2.2.2 寄存器描述

FLASH_AC.ICAHENx 及 FLASH_AC.ICAHRSTx，其分别为 iCache 使能开关以及 iCache 数据清零开关。

FLASH_CAHR.ILOCKSTRTx 及 FLASH_CAHR.ILOCKSTOPx，其分别为 iCache 对应方式锁定的开始锁存和停止锁存。iCache 复位后，FLASH_CAHR 寄存器自动恢复为复位值。iCache 锁定的详细使用方法见 2.2.2.3.3 ICache 锁定。

2.2.2.3 操作流程

2.2.2.3.1 **iCache 启用与禁用**

用户软件可以随时开关，iCache 开关切换条件无限制（见 FLASH_AC.ICAHEN1 和 FLASH_AC.ICAHEN2 位）。

2.2.2.3.2 **iCache 数据刷新**

iCache 设计为指令 Cache，当指令被应用软件更新时，软件必须将 FLASH_AC.ICAHRSTx 位置 1 来清除指令 Cache 内的数据。

注意：FLASH_AC.ICAHRSTx 位是只写位，读该位时返回为 0。

2.2.2.3.3 **ICache 锁定**

用户软件控制 FLASH_CAHR 寄存器来将一些重复使用的代码锁存在 iCache 中来提高代码执行的效率。iCache 模块有 4 个锁存通道，每个通道的大小为整个 Cache 的 1/4。在使用单个通道时，必须确保需要锁存的代码量小于每个通道的大小。否者需要用更多的通道来锁存代码。可以按照下面的控制流程来使用锁存

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

功能：

1. 将 FLASH_CAHR.ILOCKSTRTx[0]置 1；
2. 执行需要锁存在通道 0 的函数 1（函数 1 的代码量应该小于单个通道的大小）；
3. 函数 1 执行完成后，将 FLASH_CAHR.ILOCKSTOPx[0]置 1；
4. 接着将 FLASH_CAHR.ILOCKSTRTx[1]置 1；
5. 执行需要锁存在通道 1 的函数 2（函数 2 的代码量应该小于单个通道的大小）；
6. 函数 2 执行完成后，将 FLASH_CAHR.ILOCKSTOPx[1]置 1；

注意：1.通道锁存时寄存器操作必须要按照固定的流程 – 先设置 FLASH_CAHR.ILOCKSTRTx – 再设置 FLASH_CAHR.ILOCKSTOPx;

2.通道锁存的顺序必须要按照 0~3，否者会降低执行效率。

3.如果 Flash 的写入或擦除涉及到指令缓存中的某些数据，建议在 Flash 访问前通过控制寄存器（FLASH_AC）中设置 FLASH_AC.ICAHRSTx 来刷新指令缓存。

2.2.3 DCache

为了达到更高的取数性能，高速 CPU 与低速 Flash 之间需要增加数据缓存器，以提高读取数据的效率。由于数据缓存器的存在，CPU 将可以工作在更高的主频。当 CPU 请求的数据在数据缓存器里面时，CPU 将可以无延时地获得数据、实现零等待读取数据。当数据缓存器未命中时，将重新读取 Flash，并回填更新 DCache 缓存。

注：当使用 DMA 访问 FLASH 时，必须关闭 DCache。

数据缓存器的主要特性如下：

- 1KB DCache
- 支持相联方式：4WAY

注：DCache 只对应了 main Flash，System Memory 中的数据不会存入 DCache。

2.2.3.1 软件接口

- 使能
  - 提供软件使能/关闭 DCache 的配置。开关切换条件无限制（见 FLASH_AC.DCAHEN 位）。
- 复位
  - 提供软件清空 DCache 接口，必须在 DCache 关闭时才发起。复位与切换不可同时切换，先关闭 FLASH_AC.DCAHEN，然后 FLASH_AC.DCAHRST 写 1，然后就可打开 FLASH_AC.DCAHEN。
- 锁定
  - 支持 DCache 锁定机制，软件配置将数据放入其指定的 way 中。当所有 way 均锁定完成后，新的数据将不会写入 DCache 中。软件复位 DCache 后，锁定状态自动清除。
- 补充说明
  - 不支持 DCache 替换算法选择。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

◆ 为数据 Cache，不存在 CPU 写操作时 WB/WT 选择。

2.2.3.2 寄存器描述

FLASH_AC.DCAHEN 及 FLASH_AC.DCAHRST，其分别为 DCache 使能开关以及 DCache 数据清零开关。

FLASH_CAHR.DLOCKSTRT 及 FLASH_CAHR.DLOCKSTOP，其分别为 DCache 对应方式锁定的开始锁存和停止锁存。DCache 复位后，FLASH_CAHR 寄存器自动恢复为复位值。DCache 锁定的详细使用方法见 2.2.3.3.3 DCache 锁定。

2.2.3.3 操作流程

2.2.3.3.1 **DCache 启用与禁用**

用户软件可以随时开关 DCache。开关切换条件无限制（见 FLASH_AC.DCAHEN 位）。

2.2.3.3.2 **DCache 数据刷新**

DCache 设计为数据 Cache，如果 Flash 的写入或擦除涉及到数据缓存中的某些数据，建议软件在 Flash 访问前通过控制寄存器（FLASH_AC）中设置 FLASH_AC.DCAHRST 来清除数据缓存。

注意：FLASH_AC.DCAHRST 位是只写位，读该位时返回为 0。

2.2.3.3.3 **DCache 锁定**

用户软件控制 FLASH_CAHR 寄存器来将一些重复使用的数据锁存在 DCache 中来提高代码执行过程中读取数据的效率。DCache 模块有 4 个锁存通道，每个通道的大小为整个 DCache 的 1/4。在使用单个通道时，必须确保需要锁存的数据量小于每个通道的大小。否者需要用更多的通道来锁存数据。可以按照下面的控制流程来使用锁存功能：

1. 将 FLASH_CAHR.DLOCKSTRT[0]置 1；
2. 执行需要锁存在通道 0 的数据组 1（数据组 1 的代码量应该小于单个通道的大小）；
3. 数据组 1 执行完成后，将 FLASH_CAHR.DLOCKSTOP[0]置 1；
4. 接着将 FLASH_CAHR.DLOCKSTRT[1]置 1；
5. 执行需要锁存在通道 1 的数据组 2（数据组 2 的数据量应该小于单个通道的大小）；
6. 数据组 2 执行完成后，将 FLASH_CAHR.DLOCKSTOP[1]置 1；

注意：1.通道锁存时寄存器操作必须要按照固定的流程 – 先设置 FLASH_CAHR.DLOCKSTRT – 再设置 FLASH_CAHR.DLOCKSTOP;

2.通道锁存的顺序必须要按照 0~3，否则会降低数据读取效率。

3.如果 Flash 的写入或擦除涉及到数据缓存中的某些数据，建议在 Flash 访问前通过控制寄存器（FLASH_AC）中设置 FLASH_AC.DCAHRST 来刷新数据缓存。

2.2.4 **SRAM**

SRAM 主要用于代码运行，存放程序执行过程中的变量和数据或堆栈，容量最大为 496KB。

SRAM 支持字节、半字、字的读写访问。

SRAM 支持代码运行（支持 SBus 和 ICode、DCode 的访问），可以在 SRAM 全速运行程序。SRAM 分为 SRAM1 和 SRAM2，SRAM1 最大容量 256K，最大地址范围是 0x2000_0000~0x2003_FFFF；SRAM2 最大容

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

量 240K，最大地址范围是 0x2004_0000~0x2007_BFFF。

不同容量系列 SRAM 访问地址段如下表：

表 2-7 SRAM 访问地址段-未使能 ECC

存储区	SBus 总线访问地址段	ICode/DCode 总线访问地址段	SIZE
SRAM1	0x2000_0000~0x2003_FFFF	0x1000_0000~0x1003_FFFF	256KB
SRAM2	0x2004_0000~0x2007_BFFF	0x1004_0000~0x1007_BFFF	240KB
SRAM3(CCM SRAM)	0x2007_C000~0x2008_FFFF	0x1007_C000~0x1008_FFFF	80KB

表 2-8 SRAM 访问地址段-使能 ECC

存储区	SBus 总线访问地址段	ICode/DCode 总线访问地址段	SIZE
SRAM1	0x2000_0000~0x2003_FFFF	0x1000_0000~0x1003_FFFF	256KB
SRAM2	0x2004_0000~0x2006_FFFF	0x1004_0000~0x1006_FFFF	192KB
SRAM3(CCM SRAM)	0x2007_0000~0x2007_FFFF	0x1007_0000~0x1007_FFFF	64KB

SRAM 在 VBAT 和 Standby 模式下数据不能保持；其他工作模式（Run/Sleep/Stop）数据可以正常保持。

主要特性如下：

- 容量最大总共为 496KB
- 支持字节/半字/字读写
- I/D/S/DMA1/DMA2 均可访问
- I/D BUS 可以 Remap 到 SRAM 全速运行程序
- SRAM1 不支持校验。SRAM2 支持 ECC 校验，使能 ECC 功能后，SRAM2 的存储空间变为 192KB。

同时，SRAM 还支持一键初始化，可以将设定范围内的数据修改为同一初始值，流程如下：

1. 配置 RCC_SRAMCFG3.INISTART 和 RCC_SRAMCFG4.INIEND，确认一键初始化范围的起始地址和结束地址
2. 配置 RCC_SRAMCFG2.INIDAT，确认初始值
3. 使能 RCC_SRAMCFG1.CSRINIEN，开始一键初始化
4. 等待 RCC_SRAMCFG1.CSRINIF 为 1，初始化完成，配置范围内的 SRAM 数据都被写为初始值

2.2.5 CCM SRAM

CCM SRAM 也是主要用于代码运行，存放程序执行过程中的变量和数据或堆栈，容量总共为 80KB，支持 ECC 校验。CCM SRAM 的总线地址与 SRAM 是连续相接的，应用上，可以把 SRAM 和 CCM SRAM 当做一块普通 SRAM 来处理。最大情况下，CCM SRAM 的 0 号物理地址对应总线起始地址为 0x2007 C000，对应的总线地址范围为 0x2007 C000~0x2008 FFFF。CCM SRAM 支持字节、半字、字的读写访问，支持 SBus、DMA1、DMA2 的访问。

CCM 作为普通 SRAM 使用时，读写的保护功能 bypass。

因为 CCM SRAM 的总线地址与 SRAM 是连续相接的，而对于不同的产品型号，SRAM 可供有效使用的容量是不同的，所以对于不同的产品型号来说，CCM SRAM 的总线起始地址是不一样的。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

CCM SRAM 主要特性如下：

- 容量总共为 80KB(支持 ECC 校验;使用前需初始化;使能 ECC 后容量变为 64KB)
- 支持 ECC 校验，检二纠一：
  - CCM SRAM 的 ECC 使能/禁用通过 OptionByte 配置，默认不使能
  - 使能 ECC 校验之前应该先初始化 CCM SRAM，再开始 ECC 校验；CCM SRAM 初始化配置见寄存器 RCC_SRAMCFG1/2/3/4，CCM 初始化配置需在 CCM SRAM 使能之前。
- 字节/半字/字读写
- I/D/SBus/DMA1/DMA2 均可访问
- 总线起始地址与主存储器 SRAM 连续相接
- 总线起始地址跟随主存储器 SRAM 容量变化
- 支持写保护
  - 每个 page 大小 2KB，共 32page，共可以保护 64KB 大小，当不使能 CCM SRAM ECC 时，超出 64KB 部分 16KB CCM SRAM 不支持写保护；
  - 通过 CCM_WRP1 寄存器配置写保护，每个 bit 软件只能由 0 置 1，写保护后对 CCM 写会报错；
  - 写保护设置后，软件可擦
  - 只能通过系统复位解除 CCM SRAM 的写保护
- 擦除
  - 软件全擦除：通过向 CCM_KEY.KEY 位依次写入 0xCA，0x53 来解锁 CCM_ERASE.EN 位的写保护，然后 CCM_ERASE.EN 位置 1 开启 CCM 全擦。
  - 系统复位时自动全擦除：通过选项字节 CCMSRAM_RST 使能/禁用 CCM SRAM 系统复位时全擦：

    0：全擦

    1：不擦除
  - RDP L1 降级成 L0 时强制全擦除，擦除的值由 RCC 寄存器决定
- 读保护
  - 支持，详情见 2.2.1.9 节。
  - 出厂时默认 L1，用户可设置成 L0。

2.2.6 BKP SRAM

BKP SRAM 也是主要用于数据存储，容量总共为 4KB，支持 ECC 校验（纠一检二）。BKP SRAM 的总线地址在外设地址区域，应用上，可以把 BKP SRAM 当作外设寄存器使用。BKP SRAM 的 0 号物理地址对应总线起始地址为 0x4002 3000，对应的总线地址范围为 0x4002 3000~0x4002 3FFF。BKP SRAM 支持字节、半字、字的读写访问，支持 SBus、DMA1、DMA2 的访问。

SRAM 在 VBAT 和 Standby 模式下数据可选保持；其他工作模式（Run/Sleep/Stop）数据可以正常保持。

主要特性如下：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 容量最大总共为 4KB
- 支持字节/半字/字读写
- SBus/DMA1/DMA2 均可访问
- 支持 ECC 校验

2.2.7 FLASH 寄存器

必须以字（32 位）的方式操作寄存器。

2.2.7.1 FLASH 控制和状态寄存器

有关寄存器说明中的缩写，请见 1.1 节

2.2.7.1.1 FLASH 访问控制寄存器 (FLASH_AC)

偏移地址：0x00

复位值：0x0000 00C0

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				DCAH RST	DCAH EN	ICAH RST2	ICAHEN2	PRFTBFE	PRFTBFS	ICAH RST1	ICAHEN1	Reserved	LATENCY		
				rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw		rw		

位域	名称	描述
31:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11	DCAHRST	Dcache 复位 0：写’0’无效； 1：写’1’复位。
10	DCAHEN	Dcache 使能 0：关闭 Icache； 1：启用 Icache。
9	ICAHRST2	BANK2 Icache 复位 0：写’0’无效； 1：写’1’复位。
8	ICAHEN2	BANK2 Icache 使能 0：关闭 Icache； 1：启用 Icache。
7	PRFTBFE	预取缓冲区使能 0：关闭预取缓冲区；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：启用预取缓冲区。
6	PRFTBFS	预取缓冲区状态 该位指示预取缓冲区的状态 0：预取缓冲区关闭； 1：预取缓冲区开启。
5	ICAHRST1	BANK1 Icache 复位 0：写'0'无效； 1：写'1'复位。
4	ICAHEN1	BANK1 Icache 使能 0：关闭 Icache； 1：启用 Icache。
3	Reserved	保留，必须保持复位值。
2:0	LATENCY	时延 这些位表示 SYSCLK（系统时钟）周期与闪存访问时间的比例 000：零周期时延，当 0 < SYSCLK <= 48MHz 001：一个周期时延，当 48MHz < SYSCLK <= 96MHz 010：两个周期时延，当 96MHz < SYSCLK <= 144MHz 011：三个周期时延，当 144MHz < SYSCLK <=192MHz 100：四个周期时延，当 192MHz < SYSCLK <= 240MHz 其他值：保留

2.2.7.1.2 FLASH 控制寄存器（FLASH_CTRL）

偏移地址：0x04

复位值：0x0000 0001

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved														BANKEXERRITE	MER2
														rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RPADDERRITE	DECCERRITE	EC2ERRITE	JSERRITE	EC1ERRITE	FERRITE	ERRITE	EOPITE	OPTWE	OPTER	OPTPG	START	MER1	PER	PG	LOCK
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:18	Reserved	保留，必须保持复位值
17	BANKEXERRITE	BANK 交换错误中断 该位允许在 FLASH_STS.BANKEXERR 位变为'1'时产生中断。 0：禁止产生中断； 1：允许产生中断。
16	MER2	BANK2 片擦除 0：不开启片擦除模式

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：开启片擦除模式
15	RPADDERRITE	Row 编程地址错误中断 该位允许在 FLASH_STS.RPADDERR 位变为'1'时产生中断。 0：禁止产生中断； 1：允许产生中断。
14	DECCERRITE	XSPI/FEMC 解密配置错误中断 该位允许在 FLASH_STS.DECCERR 位变为'1'时产生中断。 0：禁止产生中断； 1：允许产生中断。
13	EC2ERRITE	2bit ECC 错误中断 该位允许在 FLASH_STS.ECC2ERR 位变为'1'时产生中断。 0：禁止产生中断； 1：允许产生中断。
12	JSERRITE	JTAG 封口错误中断 该位允许在 FLASH_STS.JSERR 位变为'1'时产生中断。 0：禁止产生中断 1：允许产生中断
11	EC1ERRITE	1bit ECC 错误中断 该位允许在 FLASH_STS.ECC1ERR 位变为'1'时产生中断。 0：禁止产生中断； 1：允许产生中断。
10	FERRITE	擦除/编程校验错误中断 该位允许在 FLASH_STS.EVERR/PVERR 位变为'1'时产生中断。 0：禁止产生中断； 1：允许产生中断。
9	ERRITE	允许错误状态中断 该位允许在发生 Flash 错误时产生中断（当 FLASH_STS.PGERR/WRPERR 置为'1'时）。 0：禁止产生中断 1：允许产生中断
8	EOPITE	允许操作完成中断 该位允许在 FLASH_STS.EOP 位变为'1'时产生中断。 0：禁止产生中断 1：允许产生中断
7	OPTWE	允许写选项字节 当该位为'1'时，允许对选项字节进行编程操作。当在 FLASH_OPTKEY 寄存器写入正确的键序列后，该位被置为'1'。 软件可清除此位。
6	OPTER	擦除选项字节 0：不开启选项字节擦除模式 1：开启选项字节擦除模式
5	OPTPG	编程选项字节

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：不开启选项字节编程模式 1：开启选项字节编程模式
4	START	开始 当该位为'1'时将触发一次擦除操作。该位只可由软件置为'1'并在 FLASH_STS.BUSY 变为'1'时清除为'0'。
3	MER1	BANK1 片擦除 0：不开启片擦除模式 1：开启片擦除模式
2	PER	页擦除 0：不开启页擦除模式 1：开启页擦除模式
1	PG	编程 *注：调试模式下，Row/双字编程过程中不要打断点，否则会导致编程错误* 0：不开启编程模式 1：开启编程模式
0	LOCK	锁定 只能写'1'。当该位为'1'时表示 Flash 和 FLASH_CTRL 被锁住。在检测到正确的解锁序列后，硬件清除此位为'0'。 在一次不成功的解锁操作后，下次系统复位前，该位不能再被改变。

注:关于编程及擦除请参考 2.2.1.4 节。

2.2.7.1.3 FLASH 状态寄存器（FLASH_STS)

偏移地址：0x08

复位值：0x0004 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved													BANK MODE	BANKEX ERR	RPADD ERR
													r	rc_w1	rc_w1

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
FWORDF	DECCER R	DECCRD F	ECC2ERR	RTPDKEY ERR	JSERR	NRDKEY EN	RDXKEY ERR	RDKEY ERR	ECC1ERR	EVERR	PVERR	WRPERR	PGERR	BUSY	EOP
r	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	r	r	r	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	r	rc_w1

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必须保持复位值
18	BANKMODE	BANK 模式 0：单 BANK 1：双 BANK
17	BANKEXERR	BANK 交换错误 当从 BANK2 启动，所有 USER 区需要是未封口的。否则会触发此位置 1。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
16	RPADDERR	Row 编程地址错误（起始地址不是配置的起始地址，或编程地址超过 512Byte 的范围地址） *注：当此错误发生后需要 FLASH_ROWP.RPEN 置 0，重新开启 ROW 编程*
15	FWORDF	首字写入标志位 在双字程序中，总线发送第一个字后，该信号置 1。
14	DECCERR	XSPI/FEMC 解密配置顺序错误 1）配置 KEY+起始地址+结束地址的 UID 不一致 2）解密使能之后配置以上三个地址
13	DECCRDF	XSPI/FEMC 解密配置完成标志位 指示是否配置了一个或全部（xspi 和 femc）str 地址、结束地址、RTPD_KEY。
12	ECC2ERR	2bit ECC 错误 读 FLASH 时报错，硬件设置这位为’1’，写入’1’可以清除这位状态。
11	RTPDKEYERR	指示 RTPD_KEY 寄存器和硬件备份的的值是否相等。 配置完 RTPD_KEY，会自动写入到硬件备份如果这两个寄存器的值不相等，则会发出警报，提示配置处于错误状态。可用于硬件层面的非法篡改。
10	JSERR	JTAG 或 SRAM 访问 JTAG_SEAL 寄存器错误 JTAG 或 SRAM 访问 JTAG_SEAL 寄存器时报错，硬件设置这位为’1’，写入’1’可以清除这位状态。
9	NRDKEYEN	不允许读 RTPD_KEY 使能 0:允许通过 SystemMemory API 读 RTPD_KEY 值; 1:不允许通过 SystemMemory API 读 RTPD_KEY 值; *注：仅允许一次置 1 操作，置 1 后无法置 0，此芯片不可再读解密 KEY*
8	RDXKEYERR	xFlash key 错误. 0:FEMC/XSPI 存储器解密密钥匹配它的备份值。 1:FEMC/XSPI 存储器解密密钥不匹配它的备份值。
7	RDKEYERR	读 KEY 错误 读 KEY 时报错，硬件设置这位为’1’。
6	ECC1ERR	1bit ECC 错误 读 FLASH 时报错，硬件设置这位为’1’，写入’1’可以清除这位状态。
5	EVERR	擦除校验错误 当页擦除后校验时报错，硬件设置这位为’1’，写入’1’可以清除这位状态。
4	PVERR	编程校验错误 当编程后校验时报错，硬件设置这位为’1’，写入’1’可以清除这位状态。
3	WRPERR	写保护错误 试图对写保护的闪存地址编程时，硬件设置这位为’1’，写入’1’可以清除这位状态。
2	PGERR	编程错误 试图对内容不是’0xFFFF_FFFF’的地址编程时，硬件设置这位为’1’，写

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		入'1'可以清除这位状态。 *注：进行编程操作之前，必须先清除 FLASH_CTRL.START 位。*
1	BUSY	忙 该位指示闪存操作正在进行。在闪存操作开始时，该位被设置为'1'；在操作结束或发生错误时该位被清除为'0'。
0	EOP	操作结束 当闪存操作（编程/擦除）完成时，硬件设置这位为'1'，写入'1'可以清除这位状态。 *注：每次成功的编程或擦除都会设置 EOP 状态。*

2.2.7.1.4 **FLASH 地址寄存器（FLASH_ADD)**

偏移地址：0x0C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
FADD[31:16]															
w															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
FADD[15:0]															
w															

位域	名称	描述
31:0	FADD	闪存地址 当进行编程时选择要编程的地址，当进行页擦除时选择要擦除的页。 *注意：当 FLASH_STS.BUSY 位为'1'时，不能写这个寄存器。*

2.2.7.1.5 **FLASH 键寄存器（FLASH_KEY)**

偏移地址：0x10

复位值：0xXXXX XXXX

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
FKEY[31:16]															
w															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
FKEY[15:0]															
w															

位域	名称	描述
31:0	FKEY	用于解锁 FLASH_CTRL.LOCK 位

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

2.2.7.1.6 **FLASH OPTKEY 寄存器（FLASH_OPTKEY)**

偏移地址：0x14

复位值：0xXXXX XXXX

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
OPTKEY[31:16]															
w															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
OPTKEY[15:0]															
w															

位域	名称	描述
31:0	OPTKEY	用于解锁 FLASH_CTRL.OPTWE 位

2.2.7.1.7 **FLASH 选项字节寄存器（FLASH_OB)**

偏移地址：0x18

复位值：0x7FFF F1BC

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
OBERR	nSW BOOT0	nBOOT1	nBOOT0	Data1								Data0			
r	r	r	r	r								r			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Data0				Reserved		Reserved	IWDGSLEEPFRZ	IWDGSTDBYFRZ	Reserved	IWDG STOPFRZ	nRST_STOP	nRST_STDBY	IWDG_SW	RDPRT2	RDPRT1
r							r	r		r	r	r	r	r	r

位域	名称	描述
31	OBERR	选项字节错误 当该位为'1'时表示选项字节和它的补码不匹配 *注：只读位。*
30	nSWBOOT0	使用规则见 2.1.3.3 启动配置章节。
29	nBOOT1	使用规则见 2.1.3.3 启动配置章节。
28	nBOOT0	使用规则见 2.1.3.3 启动配置章节。
27:20	Data1[7:0]	Data1 *注：只读位。*
19:12	Data0[7:0]	Data0 *注：只读位。*
11:10	Reserved	保留，必须保持复位值
9	Reserved	未使用（如果对应选项字节位被写入，则可以从该寄存器中读到，对芯片没有影响）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
8	IWDGSLEEPFRZ	IWDG 在 sleep 模式下冻结使能 0: iwdg 在 sleep 模式下冻结 1: iwdg 在 sleep 模式下非冻结 注：只读位
7	IWDGSTDBYFRZ	IWDG 在 standby 模式下冻结使能 0: iwdg 在 standby 模式下冻结 1: iwdg 在 standby 模式下非冻结 注：只读位
6	Reserved	未使用（如果对应选项字节位被写入，则可以从该寄存器中读到，对芯片没有影响）
5	IWDGSTOPFRZ	IWDG 在 stop 模式下冻结使能 0: iwdg 在 stop 模式下冻结 1: iwdg 在 stop 模式下非冻结 注：只读位
4	nRST_STDBY	进入 Standby 模式复位配置 0：进入 Standby 模式后立即产生复位； 1：进入 Standby 模式后不产生复位。 *注：该位为只读。*
3	nRST_STOP	进入 STOP 模式复位配置 0：进入 STOP 模式后立即产生复位； 1：进入 STOP 模式后不产生复位。 *注：该位为只读。*
2	IWDG_SW	独立看门狗设置 0：硬件看门狗 1：软件看门狗 *注：只读位。*
1	RDPRT2	读保护 L2 级别 0：读保护 L2 级别未使能 1：读保护 L2 级别使能 *注：只读位。*
0	RDPRT1	读保护 L1 级别 0：读保护 L1 级别未使能 1：读保护 L1 级别使能 *注：只读位。*

2.2.7.1.8 **FLASH 写保护寄存器 (FLASH_WRP)**

偏移地址：0x1C

复位值：0xFFFF FFFF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
WRPT[31:16]															
w															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
WRPT[15:0]															
w															

位域	名称	描述
31:0	WRPT	写保护 该寄存器包含由选项字节区加载的写保护选项字节。 0：写保护生效； 1：写保护失效。 *注：只读位。*

2.2.7.1.9 **FLASH ECC 寄存器（FLASH_ECC）**

偏移地址：0x20

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ECCHW2								ECCLW2							
r								r							

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ECCHW1								ECCLW1							
r								r							

位域	名称	描述
31:24	ECCHW2	向一个 BANK2 中 128 位 Flash 地址写字后，对应的高 64bit 的 ECC 值。
23:16	ECCLW2	向一个 BANK2 中 128 位 Flash 地址写字后，对应的低 64bit 的 ECC 值。
15:8	ECCHW1	向一个 BANK1 中 128 位 Flash 地址写字后，对应的高 64bit 的 ECC 值。
7:0	ECCLW1	向一个 BANK1 中 128 位 Flash 地址写字后，对应的低 64bit 的 ECC 值。

2.2.7.1.10 **FLASH RDN 寄存器（FLASH_RDN）**

偏移地址：0x2C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	FLASH2_RDN1						Reserved	FLASH2_RDN0							
	r							r							

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	FLASH1_RDN1						Reserved	FLASH1_RDN0							
	r							r							

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31	Reserved	保留，必须保持复位值。
30:24	FLASH2_RDN1	BANK2 Flash 冗余块页 1 的地址
23	Reserved	保留，必须保持复位值。
22:16	FLASH2_RDN0	BANK2 Flash 冗余块页 0 的地址
15	Reserved	保留，必须保持复位值。
14:8	FLASH1_RDN1	BANK1 Flash 冗余块页 1 的地址
7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6:0	FLASH1_RDN0	BANK1 Flash 冗余块页 0 的地址

2.2.7.1.11 FLASH CAHR 寄存器（FLASH_CAHR）

偏移地址：0x30

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved								DLOCKSTOP[3:0]				DLOCKSTRT[3:0]			
								rw				rw			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ILOCKSTOP2[3:0]				ILOCKSTRT2[3:0]				ILOCKSTOP1[3:0]				ILOCKSTRT1[3:0]			
rw				rw				rw				rw			

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必须保持复位值
23:20	DLOCKSTOP[3:0]	DCache 锁定停止（详细操作说明见 2.2.3.3.3 DCache 锁定章节） 0：不使能 1：使能
19:16	DLOCKSTRT[3:0]	DCache 锁定开始 0：不使能 1：使能
15:12	ILOCKSTOP2[3:0]	BANK2 ICache 锁定停止（详细操作说明见 2.2.2.3.3 iCache 锁定章节） 0：不使能 1：使能
11:8	ILOCKSTRT2[3:0]	BANK2 ICache 锁定开始 0：不使能 1：使能
7:4	ILOCKSTOP1[3:0]	BANK1 ICache 锁定停止（详细操作说明见 2.2.2.3.3 iCache 锁定章节） 0：不使能 1：使能
3:0	ILOCKSTRT1[3:0]	BANK1 ICache 锁定开始 0：不使能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：使能

2.2.7.1.12 FLASH ROW 编程寄存器 (FLASH_ROWP)

偏移地址：0x34

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved								RPAREA	RPADD						
								rw	rw						

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RPADD											RPNUM				RPEN
rw											rw				rw

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必须保持复位值
23	RPAREA	ROW 编程区域 1: system memory 区 0: main flash 区
22:5	RPADD	ROW 编程地址： AHB bus [19:2]
4:1	RPNUM	ROW 编程字数量: 0/1：2 字编程 2/3：4 字编程 ... 14/15：16 字编程 *注：不支持单字编程*
0	RPEN	ROW 编程使能位： 1: row 编程 0:双字编程

2.2.7.1.13 CCM 写保护寄存器 1 (CCM_WRP1)

偏移地址：0x38

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
WRPT[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
WRPT[15:0]															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

rw

位域	名称	描述
31:0	WRPTx	WRPTx（x = 0 至 31）： CCM SRAM 第 x 页写保护 这些位由软件设置，只有系统复位时才会清零。 0：禁用 CCM SRAM 第 x 页的写保护。 1：启用 CCM SRAM 第 x 页的写保护。

2.2.7.1.14 CCM 键寄存器 (CCM_KEY)

偏移地址：0x3C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								KEY							
								w							

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值
7:0	KEY	用于软件解除 CCM_ERASE.EN 位写保护： 要解除 CCM_ERASE.EN 位的写保护，需要采取以下步骤： 1. 向 KEY 写入“0xCA” 2. 向 KEY 写入“0x53” 写入错误的 KEY 会重新激活写保护。

2.2.7.1.15 CCM 擦除寄存器 (CCM_ERASE)

偏移地址：0x40

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved														BUSY	EN
														r	rw

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:2	Reserved	保留，必须保持复位值
1	BUSY	CCM SRAM 忙于擦除操作 0：无 CCM SRAM 擦除操作。 1：CCM SRAM 正在进行擦除操作。
0	EN	CCM SRAM 擦除 设置该位可启动硬件 CCM SRAM 擦除操作。CCM SRAM 擦除操作结束后，该位将自动清零。 *注：* *1. 该位受写保护：只有在 CCM_KEY.KEY 中按顺序写入正确的 KEY 后，才能设置该位。* *2. 系统复位后，该位自动置 1 并导致 CCM 全擦。全擦结束后此位自动清 0。*

2.2.7.1.16 **CCM 模式寄存器 (CCM_MODE)**

偏移地址：0x48

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															EN
															rw

位域	名称	描述
31:1	Reserved	保留，必须保持复位值
0	EN	启用 CCM SRAM 模式。 只有当 UID 与上次配置的此寄存器的 UID 相匹配时才能配置。 如果另一个 UID 想要配置该值，则需要此寄存器值为 0。 0：无 CCM 模式，CCM 作为普通 SRAM 使用 1：CCM 模式，CCM 用作 CCM SRAM

2.2.7.1.17 **XSPI 解密开始地址寄存器 (XSPI_DSTRADD)**

偏移地址：0x4C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ADD[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

ADD[15:0]
rw

位域	名称	描述
31:0	ADD	XSPI 解密开始地址 *注：若 XSPI_FEMC_DEN.EN = 0，则此位无效。*

2.2.7.1.18 XSPI 解密结束地址寄存器（XSPI_DENDADD）

偏移地址：0x50

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ADD[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADD[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	ADD	XSPI 解密结束地址 *注：若 XSPI_FEMC_DEN.EN = 0，则此位无效。*

2.2.7.1.19 FEMC 解密开始地址寄存器（FEMC_DSTRADD）

偏移地址：0x54

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ADD[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADD[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	ADD	FEMC 解密开始地址 *注：若 XSPI_FEMC_DEN.EN = 0，则此位无效。*

2.2.7.1.20 FEMC 解密结束地址寄存器（FEMC_DENDADD）

偏移地址：0x58

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ADD[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADD[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	ADD	FEMC 解密结束地址 *注：若 XSPI_FEMC_DEN.EN = 0，则此位无效。*

2.2.7.1.21 RTPD 解密键寄存器（RTPD_KEY)

偏移地址：0x5C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
KEY[31:16]															
w															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
KEY[15:0]															
w															

位域	名称	描述
31:0	KEY	KEY 共有 128bit,需要分四次向此寄存器写入. *注：需要在同一 UID 下配置*

2.2.7.1.22 JTAG 封口寄存器(JTAG_SEAL)

偏移地址：0x60

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								DATA							
								rw							

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值
7:0	DATA	DATA = 0x5A, JTAG SEAL 使能 DATA ≠ 0x5A, JTAG SEAL 不使能 *注：JTAG 和 SRAM 用户不可以配置此寄存器*

2.2.7.1.23 **RTPD_KEY 寄存器写入次数寄存器（RTPD_KEY_WCNT）**

偏移地址：0x64

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved													CNT[2:0]		
														r	

位域	名称	描述
31:3	Reserved	保留，必须保持复位值
2:0	CNT[2:0]	RTPD_KEY 写次数计数器。 当写入 RTPD_KEY 寄存器时，计数器将加 1，当计数器为 3'd7 时，继续写入这两个寄存器，计数器将返回 1，并在下次写入后加 1。

2.2.7.1.24 **XSPI_FEMC 解密使能寄存器（XSPI_FEMC_DEN）**

偏移地址：0x6C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															EN
															rw

位域	名称	描述
31:1	Reserved	保留，必须保持复位值
0	EN	启用 XSPI 和 FEMC 解密。 它必须在（xspi 和 femc）开始地址、结束地址、RTPD_KEY 之后配置。如

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		果 EN 为 1，则无法配置（xspi 和 femc）开始 地址、结束地址和 RTPD_KEY。 *注：由 1 置 0 会清除（xspi 和 femc）开始地址、结束地址、RTPD_KEY。*

2.2.7.1.25 **XUID 寄存器 (XUID)**

偏移地址：0x70

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved						CCMUID					XFUID				
								r					r		

位域	名称	描述
31:10	Reserved	保留，必须保持复位值
9:5	CCMUID	配置 ccm 的用户 uid。 Bit0: system memory Bit1: user1 Bit2: user2 Bit3: user3 Bit4: SRAM
4:0	XFUID	配置（xspi 和 femc）开始地址、结束地址、RTPD_KEY 的用户的 uid。 Bit0: system memory Bit1: user1 Bit2: user2 Bit3: user3 Bit4: SRAM 注：当用户将 xspi_femc_dec_en 由 1 配置为 0 时，XFUID 将被设置为 5'h0。

2.2.7.1.26 **FLASH 分区跳转控制寄存器 (FLASH_PJCTRL)**

偏移地址：0x74

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Reserved	U3EN	U2EN	U1EN	BOOTEN
	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3	U3EN	USER3 区域跳转控制使能位 设置此寄存器将暂时禁用跳转保护机制，允许程序跳转到另一个用户区域，然后再跳回来。此位只能由 USER3 用户设置。 0：禁止跳转 1：允许跳转
2	U2EN	USER2 区域跳转控制使能位 设置此寄存器将暂时禁用跳转保护机制，允许程序跳转到另一个用户区域，然后再跳回来。此位只能由 USER2 用户设置。 0：禁止跳转 1：允许跳转
1	U1EN	USER1 区域跳转控制使能位 设置此寄存器将暂时禁用跳转保护机制，允许程序跳转到另一个用户区域，然后再跳回来。此位只能由 USER1 用户设置。 0：禁止跳转 1：允许跳转
0	BOOTEN	BOOT 区域跳转控制使能位 设置此寄存器将暂时禁用跳转保护机制，允许程序跳转到另一个用户区域，然后再跳回来。此位只能由 BOOT 用户设置。 0：禁止跳转 1：允许跳转

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

3 电源控制（PWR）

3.1 通用描述

PWR 是用于控制不同模块在不同功耗模式下的状态的电源管理单元。它的主要功能是控制 MCU 进入不同的功耗模式，并在事件或中断发生时唤醒。MCU 支持 RUN、SLEEP、STOP0、STANDBY 和 VBAT 模式。

3.1.1 电源

MCU 工作电压为 1.8V~3.6V，电源控制系统描述如下，具体请参考图 3-1 电源框图。

- ✧ 5 个外部电源：VDD、VDDIO、VDDA、VREF、VBAT。其中 VDD 是芯片电源，主要给供电系统、时钟系统供电；VDDA 为模拟外设电源，主要给模拟外设供电；VREF 给模拟外设提供参考电源，以提供更高的精度。VBAT 连接电池，为备份域提供电源。
- ✧ 5 个电源区域，通过外部电源给不同电源区域供电：
  - V_{DD} 域：电压范围为 1.8V~3.6V，主要为 MR、大部分 GPIO、HSE、 HSI、 PLL、 POR/PDR、BOR、 PVD、 USB PHY 供电。
  - V_{DDIO} 域：电压范围为 1.8~3.6V，独立于 VDD 给特定 IO(PD6~PD7、PG9~15)供电。
  - V_{DDA} 域：电压范围为 1.8V~3.6V，主要为 ADC、DAC、VREFBUF、TS 等供电。
  - V_{DDBK} 域：电压范围为 1.8V~3.6V，主要为 WKUP 引脚、NRST、PC13/14/15、LSE、LSI 等供电。
  - V_{DDD} 域：电压为 1.1V 或 0.9V，主要为 CPU、AHB、APB、SRAM、FLASH、RCC、TRNG 和大部分外设供电
  - V_{DDDBK} 域：电压为 0.9V 或 0.8V，主要为 PWR、Backup SRAM(4KB)、RTC、LPTIM、WKUP 引脚、NRST、PC13/14/15、备份 IOM、 IWDG 和 RCC_BDCTRL 寄存器供电

在 VDD 关闭状态下，VDDBK 域通过 SW1 选择 VBAT 供电；在 VDD 打开状态下，VDDBK 域通过 SW1 选择 VDD 供电。如果应用中不需要外部电池，建议 VBAT 引脚连接到 VDD 上，同时并一个 100nF 的陶瓷电容。

- ✧ 2 个电压调节器，为数字模块提供低压电源：
  - **MR**

  为内部主电域控制器，主要用在 RUN 模式、SLEEP 模式以及 STOP0 模式。MR 有两种模式，正常模式和低功耗模式，低功耗模式用于 STOP0 来进一步降低功耗。

  当 MR 进入低功耗模式时，CPU 会进入深度睡眠状态。此时应设置 PWR_CTRL.PDS 位为 0，PWR_CTRL.LPS 位为 1。当 MR 进入正常模式，此时需要设置 PWR_CTRL.PDS 位为 0，PWR_CTRL.LPS 位也为 0。

  - **BKR**

  为内部备电域控制器，主要用在 STANDBY 和 VBAT 模式，通过 PWR_CTRL3.BKRSEL 配置 BKR 输出电压为 0.9V 或 0.8V。

VDDDBK 域在所有模式下保持有电，在 RUN、SLEEP、STOP0 模式时，VDDDBK 域通过 SW2 选择 MR 输

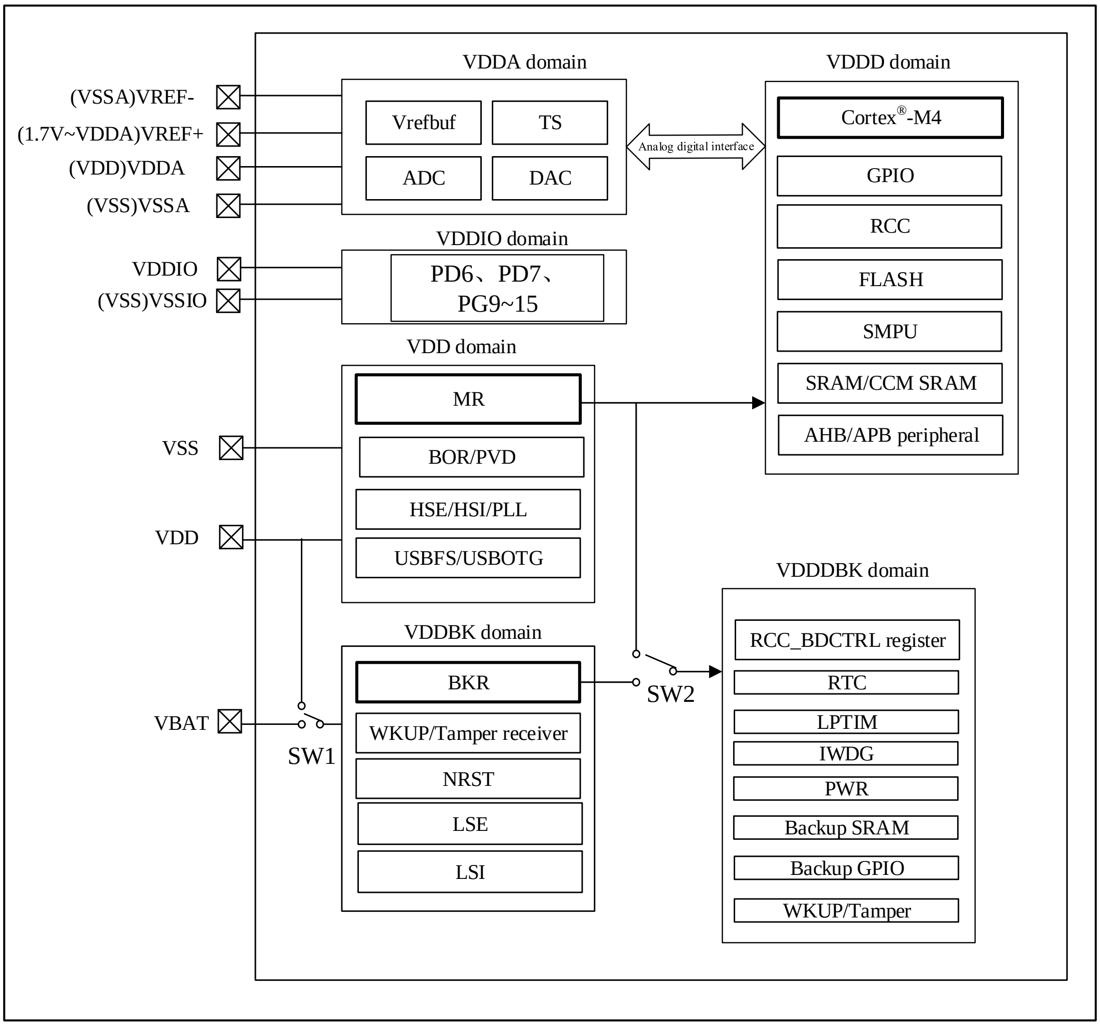
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

出作为供电电压。在 STANDBY 和 VBAT 模式时，VDDDBK 域通过 SW2 选择 BKR 的输出作为供电电压。

注意：

1. *在 VDD 上升阶段或者 PDR 被检测到时，在 VBAT 和 VDD 之间的开关保持连接到 VBAT 区域。*
2. *在启动阶段，如果 VDD 快速建立，并且 VDD > VBAT，电流可以通过内部二极管连接注入到 VBAT。如果连接到 VBAT 引脚的电源或者电池无法承受该电流的注入，则强烈建议在该电源和 VBAT 引脚之间加一个低压的二极管。*
3. *低压(1.8v)应用场景为使功耗更低，建议将使用的外设模块分批打开(配置 RCC AHBPCLKEN 等寄存器的外设对应位)，每一批模块不超过 4 个，每两批模块打开的时钟间隔 1ms。*

图 3-1 电源框图



3.1.2 电压监控

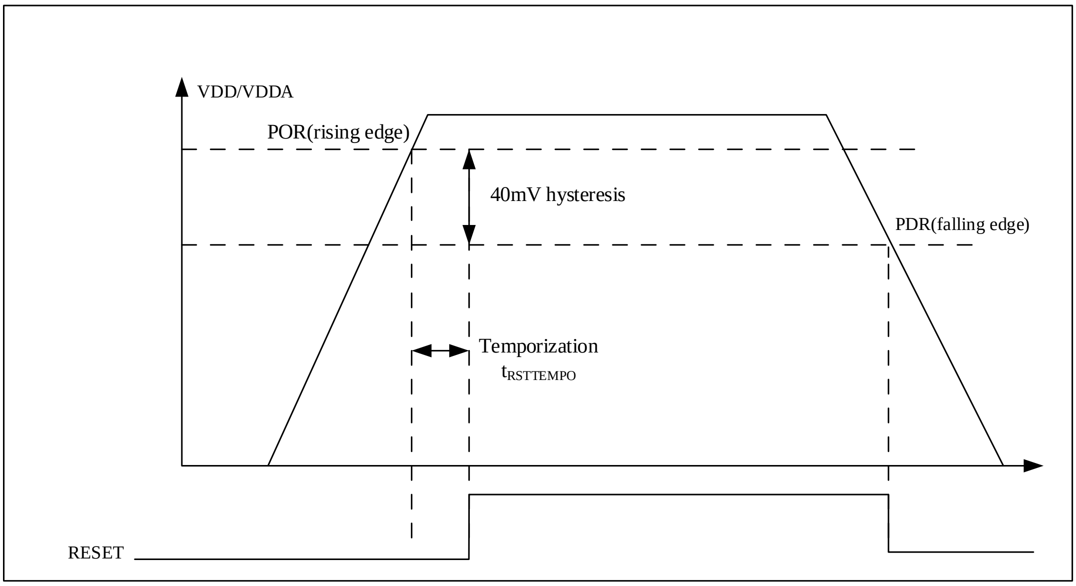
3.1.2.1 上电复位（POR）和下电复位（PDR）

上电复位（POR）和与下电复位（PDR）电路集成在芯片内部。可以工作在最低 1.8V 的电压。不需要外部的复位电路，当 VDD 或者 VDDA 低于规定的阈值（$V_{POR/PDR}$）时，芯片会保持复位状态。

有关开关电源复位阀值的详细信息，请参阅相关数据手册电气特性部分。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 3-2 上电复位和掉电复位的波形图



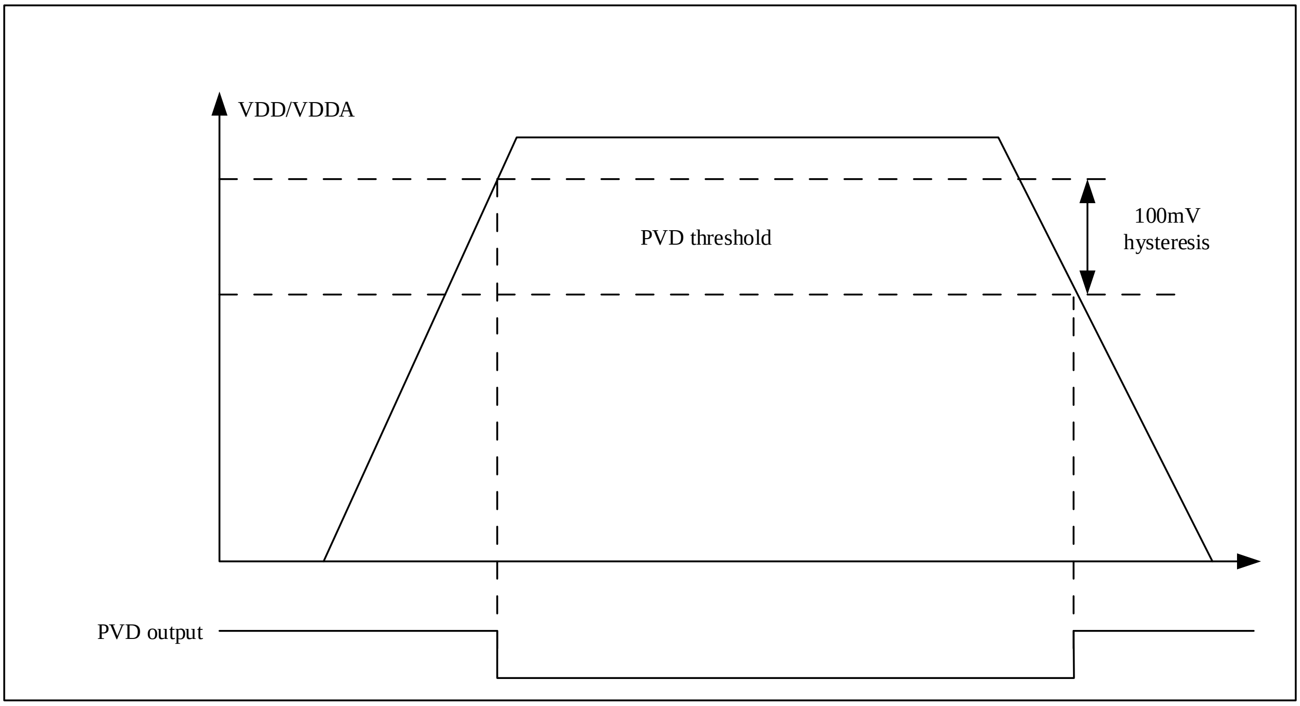
3.1.2.2 可编程电压监测器（PVD）

通过与电源控制寄存器 PWR_CTRL.PRS[2:0]位设置的阈值进行比较，PVD 可用于监控 VDD/VDDA 电源。通过设置 PWR_CTRL.PVDEN 启用 PVD。

PWR_CTRLSTS.PVDO 标志用于指示 VDD/VDDA 是否高于/低于 PVD 电压阈值。该事件在内部连接到外部中断的中断线 16，如果在外部中断寄存器中使能了中断，则会产生中断。根据外部中断线 16 的上升/下降沿触发设置，当 VDD/VDDA 下降到 PVD 阈值以下或 VDD/VDDA 上升到 PVD 阈值以上时，会发生 PVD 中断。例如，此功能可用于执行紧急关机任务。

注：PVD 阈值需要配合寄存器 PWR_CTRL.MSB 使用，具体见 PWR_CTRL.PRS[2:0]描述。

图 3-3 PVD 阈值波形图



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

3.1.2.3 Brown_out 复位（BOR）

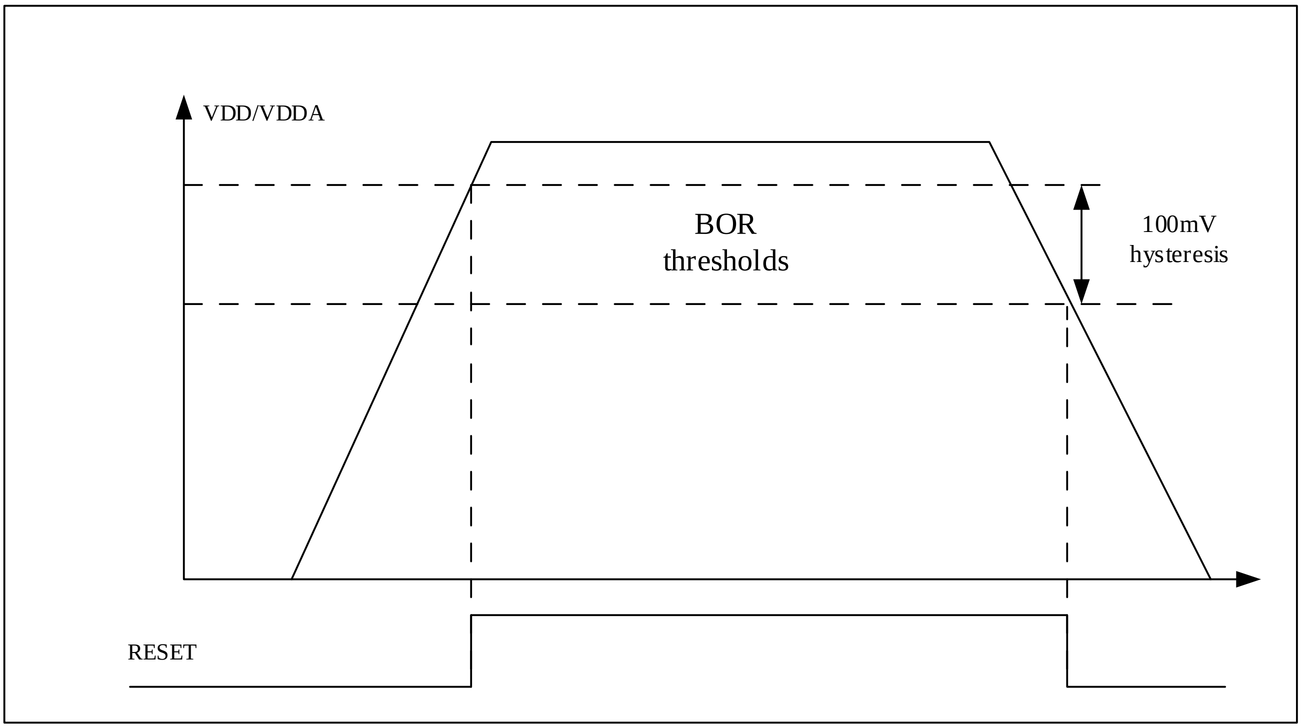
上电期间，欠压复位 (BOR) 将使器件保持复位状态，直到电源电压达到指定的 V_{BOR} 阈值。

V_{BOR} 通过选项字节进行配置，可以选择 5 个 V_{BOR} 阈值。

- BOR 等级 0-复位电平阈值 1.62 V（释放电平阈值 1.66V）
- BOR 等级 1-复位电平阈值 2.0 V（释放电平阈值 2.1V）
- BOR 等级 2-复位电平阈值 2.2V（释放电平阈值 2.3V）
- BOR 等级 3-复位电平阈值 2.5V（释放电平阈值 2.6V）
- BOR 等级 4-复位电平阈值 2.8 V（释放电平阈值 2.9V）

当电源电压 (VDD) 降至所选 V_{BOR} 阈值以下时，将使器件复位。

图 3-4 BOR 阈值波形图



3.2 功耗模式

MCU 共有 5 种功耗模式：RUN、SLEEP、STOP0、STANDBY 和 VBAT，不同的模式具有不同的性能和功耗。MCU 功耗模式总结如下所示。

表 3-1 功耗模式

模式	条件	进入	退出
RUN	CPU 启动 外设配置	上电，系统复位，低功耗唤醒	进入睡眠、STOP0、待机和 VBAT 模式

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

模式	条件	进入	退出
SLEEP	CPU 进入睡眠模式，内核停止。所有的外设配置，电压调节器仍在运行。任一中断和事件都可以唤醒 CPU	立即休眠模式： 1）SCB_SCR.SLEEPDEEP = 0,SCB_SCR.SLEEPONEXIT = 0 2）WFI/WFE 退出时休眠模式： 1）SCB_SCR.SLEEPDEEP = 0, SCB_SCR.SLEEPONEXIT = 1, 2）WFI 没有中断等待，CPU 返回来自 ISR	如果通过 WFI 进入，则 NVIC 向量表任一中断都可以唤醒； 如果通过 WFE 进入，则 SCB_SCR.SEVONPEND=1，任一外设中断（无需使能 NVIC）都可以唤醒，SCB_SCR.SEVONPEND=0，任何 EXTI 线唤醒事件
STOP0[1]	CPU 进入深度睡眠模式。 外设时钟，所有数字模块和电压调节器仍运行。HSE / HSI / PLL 关闭。LSE/LSI 可配置。 所有的 SRAM 保持数据。 唤醒之后开启 HSI，代码从挂起的地方启动。	WFI/WFE： 1）SCB_SCR.SLEEPDEEP = 1，PWR_CTRL.PDS＝0， 2）PWR_CTRL.LPS=0 或 1，选择主电压调节器工作模式	如果由 WFI 进入，则任何来自 EXTI 线中断（需使能 NVIC）都可以唤醒； 如果由 WFE 进入，则任何 EXTI 线唤醒事件
STANDBY	CPU 进入深度睡眠模式。 主电压调节器关闭，HSE/HSI/PLL 关闭。LSE/LSI 可配置。 备份域工作，主电域关闭，通过 PWR_CTRL2.BSRSTBRET 配置 backup SRAM 保持。其他的 SRAM 和寄存器数据都丢失。 所有 IO 口状态可配置为输出保持。	WFI/WFE： 1）SCB_SCR.SLEEPDEEP = 1 中断/事件 2）PWR_CTRL.PDS=1	WKUP 引脚 (PA0，PE6，PC13，PA2，PC5，PD2，PD3) 高电平或低电平， RTC 闹钟事件， RTC 唤醒事件， RTC 时间戳事件， RTC 入侵事件， LPTIM1/2 唤醒事件， NRST 复位， IWDG 复位
VBAT	CPU 关闭。 所有的外设关闭，主电压调节器关闭，LSE/LSI 可配置，HSE/HSI/PLL 关闭。 通过 PWR_CTRL2 寄存器中	VDD 关闭	VDD 开启

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

模式	条件	进入	退出
	BSRVBRET 位配置 backup SRAM 保持。 除了 NRST/PC13-TAMPER /PC14-OSC32_IN/PC15-OSC32_OUT/ WKUP(PA0，PE6，PC13，PA2，PC5，PD2，PD3)，大部分 IO 口处于高阻态。		

注意:

1. *STOP0 模式，在唤醒后，代码可以从停止位置继续运行。*

不同模块在不同功耗模式下的运行使能情况如下表所示：

表 3-2 模块运行状态(1)

Peripheral	Run	Sleep	Stop0		Standby		VBAT
			-	Wakeup capability	-	Wakeup capability	
CPU	Y	-	-	-	-	-	-
Flash memory	O(2)	O(2)	-	-	-	-	-
SRAM (576 KB) (include CCM SRAM)	Y	Y	Y	-	-	-	-
Backup SRAM (4 KB)	Y	Y	Y	-	O(3)	-	O(3)
MR	Y	Y	Y	-	-	-	-
POR(VDDD)	Y	Y	Y	Y	-	-	-
POR(VDDA)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-
POR(VDDBK)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
BOR	Y	Y	Y	Y	-	-	-
PVD	O	O	O	O	-	-	-
HSI	O	O	-(4)	-	-	-	-
HSE	O	O	-	-	-	-	-
LSI	O	O	O	-	O	-	O
LSE	O	O	O	-	O	-	O
HSE CSS	O	O	-	-	-	-	-
LSE CSS	O	O	O	Y	O	Y	Y
OSC300M(UCDR)	O	O	-	-	-	-	-
PLL	O	O	-	-	-	-	-
EXTPLL	O	O	-	-	-	-	-
RTC / Auto wakeup	O	O	O	O	O	O	O

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Backup Registers	Y	Y	Y	-	Y	-	Y
Number of RTC Tamper pins	3	3	3	O	3	O	3
ATIMx (x=1,2,3)	O	O	-	-	-	-	-
GTIMx (x=1~10)	O	O	-	-	-	-	-
BTIMx (x=1,2)	O	O	-	-	-	-	-
LPTIMx(x=1,2)	O	O	O	O	O	O	O
IWDG	O	O	O	O	O	O	-
WWDG	O	O	-	-	-	-	-
SysTick timer	O	O	-	-	-	-	-
U(S)ARTx(x=1~10)	O	O	-	-	-	-	-
I2Cx (x=1,2,3,4)	O	O	-	-	-	-	-
SPIx (x=1~6)	O	O	-	-	-	-	-
I2Sx (x=2,3)	O	O	-	-	-	-	-
FDCANx(x=1,2,3)	O	O	-	-	-	-	-
USB HS Host/Device	O	O	O(6)	O	-	-	-
USB FS DEVICE	O	O	O(6)	O	-	-	-
xSPI	O	O	-	-	-	-	-
SD&MMC	O	O	-	-	-	-	-
FEMC	O	O	-	-	-	-	-
SDRAM	O	O	-	-	-	-	-
DVP	O	O	-	-	-	-	-
ETH MAC	O	O	O(7)	O	-	-	-
VREFBUF	O	O	O	O	-	-	-
ADCx (x=1,2,3)	O	O	-	-	-	-	-
DACx (x=1,2)	O	O	-	-	-	-	-
Temperature sensor	O	O	-	-	-	-	-
SAC	O	O	-	-	-	-	-
RNG	O	O	-	-	-	-	-
CRC	O	O	-	-	-	-	-
Cordic	O	O	-	-	-	-	-
DSMU	O	O	-	-	-	-	-
GPIOs	O	O	O	O	7pin(5)	7 pin(5)	-

注意：

1. *Y 代表 Yes（使能），O 代表 Optional（默认禁能，可以软件使能），- 代表不可用。*
2. *Flash 可以配置为power-down 模式，默认不是处于 power-down 模式。*
3. *Backup SRAM 的内容可以保留，通过控制电源控制寄存器的相关位实现。*
4. *有些可以从 Stop 模式下唤醒的外设可以要求 HSI 被使能，在这种情况下，HSI 被外设使能，并且仅仅供给该外设，当外围不在需要，HSI 自动关掉。*
5. *具备从 Standby 唤醒能力的管脚是 PE6(WKUP0)、PA0(WKUP1)、PC13(WKUP2)、PA2(WKUP3)、PC5(WKUP4) 、PD2(WKUP5) 、PD3(WKUP6)和 NRST。*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

6. *USB 模块仅与唤醒相关的逻辑工作，通过 EXTI 唤醒。*

7. *ETH MAC 模块仅与唤醒相关的逻辑工作，通过 EXTI 唤醒。*

3.2.1 SLEEP 模式

CPU 停止，所有外围设备，包括 Cortex®-M4F 内核周围的外围设备（如 NVIC、SysTick 等）都可以运行，在中断或事件发生时唤醒 CPU。在 SLEEP 模式下，所有 I/O 引脚保持与运行模式下相同的状态/功能。

3.2.1.1 进入 SLEEP 模式

通过执行 WFI（等待中断）或 WFE（等待事件）指令和 SCB_SCR.SLEEPDEEP＝0 进入 SLEEP 模式。根据 SCB_SCR.SLEEPONEXIT，进入 SLEEP 模式有两种方式：

- SLEEP-NOW：如果 SCB_SCR.SLEEPONEXIT＝0，则立即执行 WFI 或 WFE 指令，系统立即进入 SLEEP 模式。
- SLEEP-ON-EXIT：如果 SCB_SCR.SLEEPONEXIT＝1，系统从最低优先级 ISR 退出时立即进入 SLEEP 模式。

在 SLEEP 模式下，所有 I/O 引脚保持与运行模式下相同的状态/功能。

3.2.1.2 退出 SLEEP 模式

如果使用 WFI 指令进入 SLEEP 模式，任何 NVIC 中断都可以将设备从 SLEEP 模式唤醒。

如果使用 WFE 指令进入 SLEEP 模式，MCU 将在事件发生时立即退出 SLEEP 模式。唤醒事件可以通过以下方式生成：

- 在外设控制寄存器而不是 NVIC 中使能中断，并使能 SCB_SCR.SEVONPEND。当 MCU 被 WFE 唤醒时，外设中断挂起位和外设 NVIC 中断通道挂起位（在 NVIC 中断清除挂起寄存器中）必须清零。
- 配置外部或内部 EXTI 事件模式。当 MCU 唤醒时，不需要清除外设中断挂起位和外设 NVIC 中断通道挂起位（在 NVIC 中断清除挂起寄存器中），因为没有设置事件线对应的挂起位。该模式提供最短的唤醒时间，因为没有时间花在中断进入或退出上。

3.2.2 STOP0 模式

STOP0 模式基于 Cortex®-M4 深度睡眠模式，并结合外设时钟控制机制。电压调整器可以配置为正常或低功耗模式。在 STOP0 模式下，核心域中的时钟源大多数都是禁用的，如 PLL、HSI 和 HSE。但是 SRAM、CCM SRAM、backup-SRAM 和所有寄存器内容都被保存。

在 STOP0 模式下，所有 I/O 引脚都保持与运行模式相同的状态。

3.2.2.1 进入 STOP0 模式

进入 STOP0 模式时，设置 SCB_SCR.SLEEPDEEP= 1，PWR_CTRL.PDS=0。另外，MR 可以运行在正常模式或者低功耗模式，配置 PWR_CTRL.LPS＝1 时，MR 运行在低功耗模式；PWR_CTRL.LPS＝0 时，MR 运行在正常模式。

在 STOP0 模式下，所有 I/O 引脚保持与运行模式下相同的状态和功能。

如果正在进行 FLASH 操作，则进入 STOP0 模式的时间将被延迟，直到完成内存访问。

如果对 APB 区域的访问正在进行，则进入 STOP0 模式的时间将被延迟，直到 APB 访问完成。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

在 STOP0 模式下，可以通过对各个控制位进行编程来选择以下特性：

■ 独立看门狗（IWDG）：在它相关寄存器软件写入或者硬件操作时，独立看门狗将被启动，一旦启动将一直工作，直到产生一个复位

■ RTC：可以通过寄存器 RCC_BDCTRL.RTCEN 位来开启

■ 内部 RC 振荡器（LSI RC）：可以通过寄存器 RCC_CTRLSTS.LSIEN 位来开启

■ 外部的 32.768kHz 晶振（LSE OSC）：可以通过寄存器 RCC_BDCTRL.LSEEN 位来开启

ADC 或 DAC 也可以在 STOP0 模式下耗电，可以在进入 STOP0 模式之前禁用 ADC 和 DAC。

注意：如果应用程序需要在进入停止模式之前禁用外部时钟，则必须首先禁用 RCC_CTRL.HSEEN 位，然后将系统时钟切换到 HSI。否则，如果在进入停止模式时，RCC_CTRL.HSEEN 位保持使能，并且去掉外部时钟（外部振荡器），则必须启用时钟安全系统（HSECSS）功能，以检测任何外部振荡器故障，并避免进入停止模式时出现故障行为。

3.2.2.2 退出 STOP0 模式

通过中断或唤醒事件退出 STOP0 模式时，自动选择 HSI RC 振荡器作为系统时钟。

当电压调整器在低功率模式下工作时，从 STOP0 模式中唤醒时会产生额外的启动延迟。在 STOP0 模式下，通过内部调节器处于普通模式，这样可以减少启动时间，但相应的功耗会增加。

3.2.3 STANDBY 模式

STANDBY 模式是基于 Cortex®-M4 的 Deep-Sleep 模式，可获得更低功耗。通过 BKR 输出供电，备电区域打开。

3.2.3.1 进入 STANDBY 模式

当进入 STANDBY 模式。主要的区别是设置 SCB_SCR.SLEEPDEEP= 1，PWR_CTRL.PDS=1。

在 STANDBY 模式中，所有 IO 引脚状态可配置为输出保持。

如果正在对 FLASH 进行操作时，则进入 STANDBY 模式的时间将被延迟，直到完成内存访问。

如果对 APB 区域的访问正在进行，则进入 STANDBY 模式的时间将被延迟，直到 APB 访问完成。

在 STANDBY 模式下，可以通过对各个控制位进行编程来选择以下特性：

■ 独立看门狗(IWDG)可选：在它相关寄存器软件写入或者硬件操作时，独立看门狗将被启动，一旦启动将一直工作，直到产生一个复位。

■ RTC 可选：可以通过 RCC_BDCTRL.RTCEN 开启。

■ 内部 RC 振荡器（LSI RC）：一直打开，且一旦停振可执行自动恢复。

■ 外部 32.768kHz 晶振（LSE OSC）可选：可通过 RCC_BDCTRL.LSEEN 开启。

■ Backup SRAM 数据保持，可以通过寄存器 PWR_CTRL2.BSRSTBRET 位来开启

3.2.3.2 退出 STANDBY 模式

当外部复位（NRST 引脚）、IWDG 复位、WKUP 引脚的边沿、RTC 闹钟、唤醒、入侵或时间戳事件发生时，MCU 退出 STANDBY 模式。除 PWR_CTRLSTS 寄存器和 RTC 备份寄存器外，所有寄存器在从 STANDBY 状态唤醒后都会被复位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

从 STANDBY 模式唤醒后，代码执行与复位相同（检测 BOOT 引脚、获取复位向量等）。PWR_CTRLSTS.SBF 状态标志表示 MCU 由 STANDBY 模式退出，需要通过对 PWR_CTRL.CSBVBF 位写 1 清除。

3.2.4 VBAT 模式

在 VBAT 模式下 CPU 关闭，所有的外设关闭，主电压调节器关闭，LSE/LSI 可配置，HSE/HSI/PLL 关闭。除了 NRST、WKUP(PA0，PE6，PC13，PA2，PC5，PD2，PD3)、PC13_TAMPER、PC14、PC15，大部分 IO 口处于高阻态。

在 VBAT 模式下，根据 VDD 掉电之前的配置，可以使用以下特性：

- RTC：可以通过寄存器 RCC_BDCTRL.RTCEN 位来开启
- 内部 RC 振荡器（LSI RC）：可以通过寄存器 RCC_CTRLSTS.LSIEN 位来开启
- 外部的 32.768kHz 晶振（LSE OSC）：可以通过寄存器 RCC_BDCTRL.LSEEN 位来开启
- Backup SRAM 数据保持，可以通过寄存器 PWR_CTRL2.BSRVBRET 位来开启

3.2.4.1 进入 VBAT 模式

当 VDD 掉电时，将在任何时候进入 VBAT 模式。

3.2.4.2 退出 VBAT 模式

当 VDD 恢复到上电复位阈值时，MCU 退出 VBAT 模式。在 VDD 恢复后，MCU 主电域将完整执行按照上电顺序。从 VBAT 模式唤醒后，代码执行等同于复位后的执行。PWR_CTRLSTS.VBATF 状态标志表明 MCU 由 VBAT 模式退出，需要通过对 PWR_CTRL.CSBVBF 位写 1 清除。

3.3 低功耗自动唤醒（AWU）模式

自动唤醒模式下，RTC 可以用于从不同的低功耗模式中唤醒，而不需要依赖外部中断。RTC 提供了一个可编程的时钟基准，用于从 STOP0 和 STANDBY 模式中定时唤醒。为此，可以通过软件编程 RCC_BDCTRL.RTCSEL[1:0]来选择三个可选的 RTC 时钟源中的如下两个：

- 32.768kHz 外部晶振时钟（LSE OSC）

  这个时钟源提供了一个精确的时钟基准，并且有非常低的功耗。
- RC 内部晶振时钟（LSI RC）

  这个时钟源具有节省 32.768 kHz 晶振成本的优势，但是时钟精准度比 LSE 差。

若要使用 RTC 闹钟事件从 STOP0 模式唤醒，需要：

- 配置 EXTI 17 上升沿触发
- 配置 RTC 开启 RTC 闹钟事件

若要使用 RTC 闹钟事件从 STANDBY 模式中唤醒，不需要配置 EXTI 17。

VBAT 模式无法通过 RTC 唤醒。

3.4 低速时钟输出（LCO）

芯片支持在 STOP0 或 STANDBY 模式下，通过 PA2 引脚输出低速时钟，通过 PWR_CTRL6.LCOSEL 选择

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

输出时钟为 LSI 或 LSE，通过 PWR_CTRL6.LCOEN 使能低速时钟输出功能。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

3.5 PWR 寄存器

3.5.1 PWR 寄存器总览

PWR 基地址：0x40000000

表 3-3 PWR 寄存器总览

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
00h	PWR_CTRL	Reserved														CWKUP6F	CWKUP5F	CWKUP4F	CWKUP3F	CWKUPPF	CWKUP2F	CWKUP1F	CWKUP0F	MSB	DBKP	PLS[2:0]			PVDEN	CSBVBF	Reserved	PDS	LPS
	Reset Value															0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
04h	PWR_CTRLSTS	Reserved				WKUP5F	WKUP6POL	WKUP6EN	PVDRDF	WKUP5EN	WKUP5F	WKUP4F	WKUP3F	WKUP4POL	WKUP3POL	WKUP4EN	WKUP3EN	VBATF	WKUP2POL	WKUP1POL	WKUP0POL	WKUPP1EN	WKUP2EN	WKUP1EN	WKUP0EN	WKUPP0EN	WKUPPF	WKUP2F	WKUP1F	WKUP0F	PVDO	SBF	WKUP5POL
	Reset Value					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08h	PWR_CTRL2	Reserved																					IWDGRSTEN	Reserved							BSRSTBRET	BSRVBRET	Reserved
	Reset Value																						1								1	0	
0Ch	PWR_CTRL3	Reserved																	BKRSEL	Reserved													
	Reset Value																		1														
10h	PWR_CTRL4	Reserved																					LSENIMEN	Reserved									
	Reset Value																						0										
20h	PWR_NRSTCTRL	Reserved																				NRSTDFW[7:0]								NRSTDFEN	NRSTAFEN	Reserved	
	Reset Value																					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
28h	PWR_CTRL5	LSECSSCRYIEN	Reserved	LSECSSCRYF	Reserved																												
	Reset Value	0		0																													
2Ch	PWR_CTRL6	LSECSSSW	LPWKUPSEL	Reserved	NRSTOUTBP	LSEFHF	LSEFLF	LSECSSF	Reserved																								
	Reset Value	0	0		1	0	0	0																									
C0h	PWR_EMCCTRL	Reserved																BSRECCF[1:0]		BSRECCRSTEN[1:0]		BSRECCIEN[1:0]		EMCRST	BKPGBRST	BKPGBNRST	BKPCLPRST	BKPGBDET	BKPGBNDET	BKPCLPDET	Reserved		
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
C4h	PWR_EMCCTRL2	Reserved																BKPGBF	BKPGBNF	BKPCLPF	GB3F	GB2F	GB1F	GB0F	GBN3F	GBN2F	GBN1F	GBN0F	CLP3F	CLP2F	CLP1F	CLP0F	EMCFCLR
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.

地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

3.5.2 电源控制寄存器（PWR_CTRL）

偏移地址：0x00

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved														CWKUP 6F	CWKUP 5F
														w	w

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CWKUP 4F	CWKUP 3F	CWKUP PF	CWKUP 2F	CWKUP 1F	CWKUP 0F	MSB	DBKP	PLS[2:0]			PVDEN	CSBVBF	Reserved	PDS	LPS
w	w	w	w	w	w	rw	rw	rw			rw	w		rw	rw

位域	名称	描述
31:18	Reserved	保留，必须保持复位值。
17	CWKUP6F	清除 PD3 唤醒位。 始终读出为 0 0：无效 1：2 个系统时钟周期后清除 PWR_CTRLSTS.WKUP6F 唤醒位
16	CWKUP5F	清除 PD2 唤醒位。 始终读出为 0 0：无效 1：2 个系统时钟周期后清除 PWR_CTRLSTS.WKUP5F 唤醒位
15	CWKUP4F	清除 PC5 唤醒位。 始终读出为 0 0：无效 1：2 个系统时钟周期后清除 PWR_CTRLSTS.WKUP4F 唤醒位
14	CWKUP3F	清除 PA2 唤醒位。 始终读出为 0 0：无效 1：2 个系统时钟周期后清除 PWR_CTRLSTS.WKUP3F 唤醒位
13	CWKUPPF	清除外设唤醒位（RTC/LSECSS/LPTIM1/LPTIM2）。 始终读出为 0 0：无效 1：2 个系统时钟周期后清除 PWR_CTRLSTS.WKUPPF 唤醒位
12	CWKUP2F	清除 PC13 唤醒位。 始终读出为 0 0：无效 1：2 个系统时钟周期后清除 PWR_CTRLSTS.WKUP2F 唤醒位
11	CWKUP1F	清除 PA0 唤醒位。 始终读出为 0 0：无效

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

<table>
<tr><th>位域</th><th>名称</th><th>描述</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>1：2 个系统时钟周期后清除 PWR_CTRLSTS.WKUP1F 唤醒位</td></tr>
<tr><td>10</td><td>CWKUP0F</td><td>清除 PE6 唤醒位。
始终读出为 0
0：无效
1：2 个系统时钟周期后清除 PWR_CTRLSTS.WKUP0F 唤醒位</td></tr>
<tr><td>9</td><td>MSB</td><td>PVD 监测电压阈值档位选择。
当 MSB 位使能或清零时，PWR_CTRL.PRS[2:0]对应的 PVD 检测电压阈值档位不同，具体档位见 PWR_CTRL.PRS[2:0]寄存器描述。
0：PVD 监测电压阈值范围 2.18V~2.88V
1：PVD 监测电压阈值范围 1.78V~3.60V
注意：PWR_CTRL3.EXMODE = 1 时，该位才可操作。</td></tr>
<tr><td>8</td><td>DBKP</td><td>取消备电域的写保护。
在复位状态下，RTC 和备电域寄存器要保护起来，防止非法写入。必须设置此位以启用对这些寄存器的写访问。
0：禁用对 RTC 和备份寄存器的访问
1：启用对 RTC 和备份寄存器的访问
注意: 如果 RTC 时钟为 HSE/128，这个位必须保持为 1。</td></tr>
<tr><td>7:5</td><td>PLS[2:0]</td><td>PVD 监测电压阈值选择。
结合 PWR_CTRL.MSB 不同位的组合代表电压检测器不同的电压阈值。
当 MSB 位为 0 时，阈值如下：
<table>
<tr><th>PRS[2:0]</th><th>电压</th></tr>
<tr><td>000</td><td>2.18v</td></tr>
<tr><td>001</td><td>2.28v</td></tr>
<tr><td>010</td><td>2.38v</td></tr>
<tr><td>011</td><td>2.48v</td></tr>
<tr><td>100</td><td>2.58v</td></tr>
<tr><td>101</td><td>2.68v</td></tr>
<tr><td>110</td><td>2.78v</td></tr>
<tr><td>111</td><td>2.88v</td></tr>
</table>
当 MSB 位为 1 时，阈值如下：
<table>
<tr><th>PRS[2:0]</th><th>电压</th></tr>
<tr><td>000</td><td>1.78v</td></tr>
<tr><td>001</td><td>1.88v</td></tr>
<tr><td>010</td><td>1.98v</td></tr>
<tr><td>011</td><td>2.08v</td></tr>
<tr><td>100</td><td>3.28v</td></tr>
<tr><td>101</td><td>3.38v</td></tr>
<tr><td>110</td><td>3.48v</td></tr>
<tr><td>111</td><td>3.58v</td></tr>
</table>
注意：详细说明参见数据手册中的电气特性部分。</td></tr>
<tr><td>4</td><td>PVDEN</td><td>电源电压监测器（PVD）使能。</td></tr>
</table>

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：禁止 PVD 1：开启 PVD
3	CSBVBF	清除 STANDBY 和 VBAT 标志位。 始终读出为 0 0：无效 1：清除 PWR_CTRLSTS.SBF 和 PWR_CTRLSTS.VBATF 标志位
2	Reserved	保留，必须保持复位值。
1	PDS	掉电深睡眠位。 与 LPS 位协同操作 0：当 CPU 输出 DEEPSLEEP 为'1'，芯片进入停机模式，调压器的状态由 LPS 位控制。 1：当 CPU 输出 DEEPSLEEP 为'1'，芯片进入待机模式。
0	LPS	深睡眠下的低功耗。 PDS=0 时，调节调压器工作模式。 0：在停机模式下电压调压器处于正常模式 1：在停机模式下电压调压器处于低功耗模式

3.5.3 电源控制状态寄存器（PWR_CTRLSTS）

偏移地址：0x04

复位值：0x0000 0000(从待机模式唤醒时不被清零)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				WKUP6F	WKUP6 POL	WKUP6 EN	PVD RDF	WKUP5 EN	WKUP5F	WKUP4F	WKUP3F	WKUP4 POL	WKUP3 POL	WKUP4 EN	WKUP3 EN
				r	rw	rw	r	rw	r	r	r	rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
VBATF	WKUP2 POL	WKUP1 POL	WKUP0 POL	WKUPP1 EN	WKUP2 EN	WKUP1 EN	WKUP0 EN	WKUPP0 EN	WKUPPF	WKUP2F	WKUP1F	WKUP0F	PVDO	SBF	WKUP5 POL
r	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	r	r	r	r	r	r	rw

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必须保持复位值。
27	WKUP6F	WKUP6 引脚 PD3 唤醒标志位。 该位由硬件置 1，由系统复位或设置 PWR_CTRL.CWKUP5F 位清除。 0：没有发生唤醒事件 1：在 WKUP 引脚上发生唤醒事件 *注：当 WKUP 引脚已经是高电平时，在使能 WKUP 引脚唤醒时，会检测到一个额外的唤醒事件。*
26	WKUP6POL	WKUP6 引脚 PD3 的唤醒极性。 使用高电平或低电平唤醒待机模式，确保在更改唤醒方式时禁止唤醒启用。 0：高电平唤醒

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：低电平唤醒
25	WKUP6EN	WKUP6 引脚 PD3 唤醒使能 0：WKUP 引脚为通用 I/O，WKUP 引脚上的事件不能将芯片从待机模式唤醒 1：WKUP 引脚用于将芯片从待机模式唤醒，被强置为输入下拉的配置（WKUP 引脚上的上升沿将唤醒待机模式） *注意：在系统复位时清除这一位。*
24	PVDRDF	PVD 就绪标志 0：PVD 未就绪 1：PVD 已就绪
23	WKUP5EN	WKUP5 引脚 PD2 唤醒使能 0：WKUP 引脚为通用 I/O，WKUP 引脚上的事件不能将芯片从待机模式唤醒 1：WKUP 引脚用于将芯片从待机模式唤醒，被强置为输入下拉的配置（WKUP 引脚上的上升沿将唤醒待机模式） *注意：在系统复位时清除这一位。*
22	WKUP5F	WKUP5 引脚 PD2 唤醒标志位。 该位由硬件置 1，由系统复位或设置 PWR_CTRL.CWKUP5F 位清除。 0：没有发生唤醒事件 1：在 WKUP 引脚上发生唤醒事件 *注：当 WKUP 引脚已经是高电平时，在使能 WKUP 引脚唤醒时，会检测到一个额外的唤醒事件。*
21	WKUP4F	WKUP4 引脚 PC5 唤醒标志位。 该位由硬件置 1，由系统复位或设置 PWR_CTRL.CWKUP4F 位清除。 0：没有发生唤醒事件 1：在 WKUP 引脚上发生唤醒事件 *注：当 WKUP 引脚已经是高电平时，在使能 WKUP 引脚唤醒时，会检测到一个额外的唤醒事件。*
20	WKUP3F	WKUP3 引脚 PA2 唤醒标志位。 该位由硬件置 1，由系统复位或设置 PWR_CTRL.CWKUP3F 位清除。 0：没有发生唤醒事件 1：在 WKUP 引脚上发生唤醒事件 *注：当 WKUP 引脚已经是高电平时，在使能 WKUP 引脚唤醒时，会检测到一个额外的唤醒事件。*
19	WKUP4POL	WKUP4 引脚 PC5 的唤醒极性。 使用高电平或低电平唤醒待机模式，确保在更改唤醒方式时禁止唤醒启用。 0：高电平唤醒 1：低电平唤醒
18	WKUP3POL	WKUP3 引脚 PA2 的唤醒极性。 使用高电平或低电平唤醒待机模式，确保在更改唤醒方式时禁止唤醒启用。 0：高电平唤醒

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：低电平唤醒
17	WKUP4EN	WKUP4 引脚 PC5 唤醒使能 0：WKUP 引脚为通用 I/O，WKUP 引脚上的事件不能将芯片从待机模式唤醒 1：WKUP 引脚用于将芯片从待机模式唤醒 *注意：在系统复位时清除这一位。*
16	WKUP3EN	WKUP3 引脚 PA2 唤醒使能 0：WKUP 引脚为通用 I/O，WKUP 引脚上的事件不能将芯片从待机模式唤醒 1：WKUP 引脚用于将芯片从待机模式唤醒 *注意：在系统复位时清除这一位。*
15	VBATF	VBAT 标志位。 该位由硬件设置，设置 PWR_CTRL.CSBVBF 位清除。 0：设备不在 VBAT 模式 1：设备进入 VBAT 模式
14	WKUP2POL	WKUP2 引脚 PC13 的唤醒极性。 使用高电平或低电平唤醒待机模式，确保在更改唤醒方式时禁止唤醒启用。 0：高电平唤醒 1：低电平唤醒
13	WKUP1POL	WKUP1 引脚 PA0 的唤醒极性。 使用高电平或低电平唤醒待机模式，确保在更改唤醒方式时禁止唤醒启用。 0：高电平唤醒 1：低电平唤醒
12	WKUP0POL	WKUP0 引脚 PE6 的唤醒极性。 使用高电平或低电平唤醒待机模式，确保在更改唤醒方式时禁止唤醒启用。 0：高电平唤醒 1：低电平唤醒
11	WKUPP1EN	RTC/LSECSS 外设唤醒使能 0：RTC/LSECSS 外设不能将芯片从待机模式唤醒 1：RTC/LSECSS 外设可以将芯片从待机模式唤醒
10	WKUP2EN	WKUP2 引脚 PC13 唤醒使能 0：WKUP 引脚为通用 I/O，WKUP 引脚上的事件不能将芯片从待机模式唤醒 1：WKUP 引脚用于将芯片从待机模式唤醒 *注意：在系统复位时清除这一位。*
9	WKUP1EN	WKUP1 引脚 PA0 唤醒使能 0：WKUP 引脚为通用 I/O，WKUP 引脚上的事件不能将芯片从待机模式唤醒 1：WKUP 引脚用于将芯片从待机模式唤醒

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		注意：在系统复位时清除这一位。
8	WKUP0EN	WKUP0 引脚 PE6 唤醒使能 0：WKUP 引脚为通用 I/O，WKUP 引脚上的事件不能将芯片从待机模式唤醒 1：WKUP 引脚用于将芯片从待机模式唤醒 *注意：在系统复位时清除这一位。*
7	WKUPP0EN	LPTIM1/LPTIM2 外设唤醒使能 0：LPTIM1/LPTIM2 外设不能将芯片从待机模式唤醒 1：LPTIM1/LPTIM2 外设可以将芯片从待机模式唤醒
6	WKUPPF	外设唤醒标志位（RTC/LSECSS/LPTIM1/LPTIM2） 该位由硬件置 1，由系统复位或设置 PWR_CTRL.CWKUPPF 位清除。 0：没有发生外设唤醒事件 1：发生了外设唤醒事件
5	WKUP2F	WKUP2 引脚 PC13 唤醒标志位。 该位由硬件置 1，由系统复位或设置 PWR_CTRL.CWKUP2F 位清除。 0：没有发生唤醒事件 1：在 WKUP 引脚上发生唤醒事件 *注：当 WKUP 引脚已经是高电平时，在使能 WKUP 引脚唤醒时，会检测到一个额外的唤醒事件。*
4	WKUP1F	WKUP1 引脚 PA0 唤醒标志位。 该位由硬件置 1，由系统复位或设置 PWR_CTRL.CWKUP1F 位清除。 0：没有发生唤醒事件 1：在 WKUP 引脚上发生唤醒事件 *注：当 WKUP 引脚已经是高电平时，在使能 WKUP 引脚唤醒时，会检测到一个额外的唤醒事件。*
3	WKUP0F	WKUP0 引脚 PE6 唤醒标志位。 该位由硬件置 1，由系统复位或设置 PWR_CTRL.CWKUP0F 位清除。 0：没有发生唤醒事件 1：在 WKUP 引脚上发生唤醒事件 *注：当 WKUP 引脚已经是高电平时，在使能 WKUP 引脚唤醒时，会检测到一个额外的唤醒事件。*
2	PVDO	PVD 输出。 当 PVD 被 PWR_CTRL.PVDEN 位使能后该位才有效 当 PWR_CTRL6.PVDSRC=0 时： 0：VDD/VDDA 高于由 PWR_CTRL.PRS[2:0]选定的 PVD 阀值 1：VDD/VDDA 低于由 PWR_CTRL.PRS[2:0]选定的 PVD 阀值 当 PWR_CTRL6.PVDSRC=1 时： 0：PVD_IN 引脚电压高于 Vrefint 1：PVD_IN 引脚电压低于 Vrefint *注意：在待机模式下 PVD 被停止。因此，待机模式后或复位后，直到设置 PWR_CTRL.PVDEN 位之前，该位为 0。*
1	SBF	待机标志位。 该位由硬件设置，由 POR/PDR（上电/掉电复位）或设置

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		PWR_CTRL.CSBVBF 位清除。 0：系统不在待机模式 1：系统进入待机模式
0	WKUP5POL	WKUP5 引脚 PD2 的唤醒极性。 使用高电平或低电平唤醒待机模式，确保在更改唤醒方式时禁止唤醒启用。 0：高电平唤醒 1：低电平唤醒

3.5.4 电源控制寄存器 2（PWR_CTRL2）

偏移地址：0x08

复位值：0x0000 2704

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved					IWDG RSTEN	Reserved							BSRSTB RET	BSRVB RET	Reserved
					rw								rw	rw	

位域	名称	描述
31:11	Reserved	保留，必须保持复位值。
10	IWDGRSTEN	独立看门狗复位使能。 0：独立看门狗不能产生复位给 RCC 1：独立看门狗能产生复位给 RCC
9:3	Reserved	保留，必须保持复位值。
2	BSRSTBRET	BKP SRAM 在待机模式下保持使能位。 0：在待机模式下，BKP SRAM 不保持 1：在待机模式下，BKP SRAM 保持
1	BSRVBRET	BKP SRAM 在 VBAT 模式下保持使能位。 0：在 VBAT 模式下，BKP SRAM 不保持 1：在 VBAT 模式下，BKP SRAM 保持
0	Reserved	保留，必须保持复位值。

3.5.5 电源控制寄存器 3（PWR_CTRL3）

偏移地址：0x0C

复位值：0x0009DB2F

该寄存器有写保护，软件每次对该寄存器进行写操作前，必须先写入密钥 0x55AA 解锁。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	BKRSEL	Reserved													
	rw														

位域	名称	描述
31:15	Reserved	保留，必须保持复位值。
14	BKRSEL	BKR 调压器输出电平选择 0: 0.8V 1: 0.9V.
13:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

3.5.6 电源控制寄存器 4（PWR_CTRL4）

偏移地址：0x10

复位值：0x00000145

该寄存器有写保护，软件每次对该寄存器进行写操作前，必须先写入密钥 0x55AA 解锁。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved					LSENIMEN	Reserved								LSEDRVRIM[1:0]	
					rw									rw	

位域	名称	描述
31:11	Reserved	保留，必须保持复位值。
10	LSENIMEN	消除 LSE 噪音使能。 由软件置位或清除，用于消除噪音，优化占空比为 50%。 0：关闭噪音消除 1：开启噪音消除（需在 RCC_BDCTRL.LSERD 位置起后使能）
9:2	Reserved	保留，必须保持复位值。
1:0	LSEDRVRIM[1:0]	LSE 跨导 gm 选择 00：13(μA/V) 01：20(μA/V) 11：40(μA/V)

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

3.5.7 NRST 控制寄存器 4（PWR_NRSTCTRL）

偏移地址：0x10

复位值：0x00000000

该寄存器有写保护，软件每次对该寄存器进行写操作前，必须先写入密钥 0x55AA 解锁。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				NRSTDFW[7:0]								NRST DFEN	NRST AFEN	Reserved	
				rw								rw	rw		

位域	名称	描述
31:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11:4	NRSTDFW[7:0]	NRST 数字滤波宽度 滤波宽度 = sysclk * NRSTDFW 注意： sysclk = 240M 时 NRSTDFW 推荐配置为 0x9，需根据使用场景做调整，环境恶劣时数值适当调大。
3	NRSTDFEN	NRST 数字滤波器使能 0：使能 1：禁用
2	NRSTAFEN	NRST 模拟滤波器使能 0：使能 1：禁用
1:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

3.5.8 电源控制寄存器 5（PWR_CTRL5）

偏移地址：0x28

复位值：0x00A91099

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
LSECSSC RYIEN	Reserved	LSECSSC RYF	Reserved												
rw		r													

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31	LSECSSCRYIEN	LSE 晶体模式时钟安全系统中断使能 由软件置位和清零以启用和禁用时钟安全系统中断。 0：禁用 LSE 时钟晶体模式安全系统中断 1：使能 LSE 时钟晶体模式安全系统中断
30	Reserved	保留，必须保持复位值。
29	LSECSSCRYF	LSE 晶体模式时钟安全故障标志 当在外部 LSE 振荡器中检测到故障时由硬件置位，通过对 PWR_CTRL6.LSECSSF 位写 1 清零。 0：晶体模式下无 LSE 时钟故障引起的时钟安全系统故障 1：晶体模式下 LSE 时钟故障引起的时钟安全系统故障
28:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

3.5.9 电源控制寄存器 6（PWR_CTRL6）

偏移地址：0x2C

复位值：0x316681C4

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
LSECSSSW	LPWKUPSEL	Reserved	NRSTOUTBP	LSEFHF	LSEFLF	LSECSSF	Reserved								
rw	rw		rw	r	r	rc_w1									

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved			LCOSEL	LCOEN	LSEFHTHR	Reserved				PVDSRC	Reserved				
			rw	rw	rw					rw					

位域	名称	描述
31	LSECSSSW	LSE 时钟安全系统切换 由软件置位和清零，选择当 LSE 时钟失效时是否将 RTC 时钟源从 LSE 切换至 LSI。 0：发生 LSE 失效时不切换 RTC 时钟源 1：发生 LSE 失效时 RTC 时钟源切换为 LSI 时钟
30	LPWKUPSEL	低功耗模式唤醒时钟选择 由软件设置和清除，切换时需确保 LSI 时钟和 LSE 时钟都打开。 0：使用 LSI 唤醒 1：使用 LSE 唤醒
29	Reserved	保留，必须保持复位值。
28	NRSTOUTBP	NRST 引脚复位信号输出配置 0：芯片发生复位时，NRST 引脚不输出复位脉冲信号 1：芯片发生复位时，NRST 引脚输出 1 个复位脉冲信号
27	LSEFHF	LSE 频率超出高限制值标志

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		LSE 频率高于高限制值时由硬件置 1，通过对 PWR_CTRL6.LSECSSF 位写 1 清零。 晶体模式高限制值固定为 160KHz； 旁路模式时高限制值可通过 PWR_CTRL6.LSEFHTHR 配置为 160KHz 或 1MHz。 0：未发生频率超出高限制值 1：已发生频率超出高限制值
26	LSEFLF	LSE 频率超出低限制值标志 LSE 频率低于 20KHz 时由硬件置 1，通过对 PWR_CTRL6.LSECSSF 位写 1 清零。 0：未发生频率超出低限制值 1：已发生频率超出低限制值
25	LSECSSF	LSE 时钟安全系统标志 当在外部 LSE 振荡器中检测到故障时由硬件置位，通过对 PWR_CTRL6.LSECSSF 位写 1 清零。 0：无 LSE 时钟故障引起的时钟安全系统故障 1：LSE 时钟故障引起的时钟安全系统故障
24:13	Reserved	保留，必须保持复位值。
12	LCOSEL	LCO 低速时钟输出选择 0：PA2 输出 LSI 时钟 1：PA2 输出 LSE 时钟
11	LCOEN	LCO 低速时钟输出使能 支持 STOP0 和 STANDBY 模式下时钟输出。 0：禁能 1：使能
10	LSEFHTHR	旁路模式 LSE 频率高限制值配置 0：旁路模式高限制值为 1M 1：旁路模式高限制值为 160K
9:6	Reserved	保留，必须保持复位值。
5	PVDSRC	PVD 输入源选择 0：PVD 输入源为 VDD 1：PVD 输入源为 PVD_IN 引脚 *注意：当 PVDSRC 配置为 1 时，将 PVD_IN 引脚输入电压与 Vrefint（1.2V 基准电压）作比较，PVD_IN 可复用为 PB7 或 PA10（默认为 PA10）。*
4:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

3.5.10 EMC 控制寄存器（PWR_EMCCTRL）

偏移地址：0xC0

复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
BSRECCF[1:0]		BSRECCRSTEN[1:0]		BSRECCIEN[1:0]		EMCRST	BKPGB RST	BKPGBN RST	BKPCLP RST	BKPGB DET	BKPGBN DET	BKPCLP DET	Reserved		
rc_w1		rw		rw		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw			

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:14	BSRECCF[1:0]	BKP SRAM ECC 错误标志位 00：无 ECC 错误发生 01：发生 1bit ECC 错误 10：发生 2bit ECC 错误 11：发生 1bit 和 2bit ECC 错误
13:12	BSRECCRSTEN[1:0]	BKP SRAM ECC 错误复位使能 00：当检测到 ECC 错误时不产生复位 01：当检测到 1bit ECC 错误时产生复位 10：当检测到 2bit ECC 错误时产生复位 11：当检测到 1bit 和 2bit ECC 错误时产生复位
11:10	BSRECCIEN[1:0]	BKP SRAM ECC 错误中断使能 00：当检测到 ECC 错误时不触发中断 01：当检测到 1bit ECC 错误时触发中断 10：当检测到 2bit ECC 错误时触发中断 11：当检测到 1bit 和 2bit ECC 错误时触发中断
9	EMCRST	主电域和备份域 EMC 复位使能 这个位由软件置 1 和清除，置 1 则主电域或备份域在 GB、GBN、clamp 时均会产生复位。 0:禁止复位请求 1:开启复位请求
8	BKPGBRST	备份域 EMC GB 复位使能 这个位由软件置 1 和清除。 0:禁止复位请求 1:开启复位请求
7	BKPGBNRST	备份域 EMC GBN 复位使能 这个位由软件置 1 和清除。 0:禁止复位请求 1:开启复位请求
6	BKPCLPRST	备份域 EMC Clamp 复位使能 这个位由软件置 1 和清除。 0:禁止复位请求 1:开启复位请求

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
5	BKPGBDET	备份域 EMC GB 检测使能 这个位由软件置 1 和清除。 0:禁止检测 1:开启检测
4	BKPGBNDET	备份域 EMC GBN 检测使能 这个位由软件置 1 和清除。 0:禁止检测 1:开启检测
3	BKPCLPDET	备份域 EMC Clamp 检测使能 这个位由软件置 1 和清除。 0:禁止检测 1:开启检测
2:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

3.5.11 EMC 控制寄存器 2（PWR_EMCCTRL2）

偏移地址：0xC4

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
BKPGBF	BKP GBNF	BKPCLPF	GB3F	GB2F	GB1F	GB0F	GBN3F	GBN2F	GBN1F	GBN0F	CLP3F	CLP2F	CLP1F	CLP0F	EMCF CLR
r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	w

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15	BKPGBF	备份域 EMC GB 标志 备份域检测到 EMC GB 事件时，该位由硬件设置。向 EMCFCLR 位写 1 清除该位。 0：无 EMC GB 事件 1：发生 EMC GB 事件
14	BKPGBNF	备份域 EMC GBN 标志 备份域检测到 EMC GBN 事件时，该位由硬件设置。向 EMCFCLR 位写 1 清除该位。 0：无 EMC GBN 事件 1：发生 EMC GBN 事件
13	BKPCLPF	备份域 EMC Clamp 标志 备份域检测到 EMC Clamp 事件时，该位由硬件设置。向 EMCFCLR 位写 1 清除该位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：无 EMC Clamp 事件 1：发生 EMC Clamp 事件
12	GB3F	主电域 EMC GB3 标志 主电域检测到 EMC GB3 事件时，该位由硬件设置。向 EMCFCLR 位写 1 清除该位。 0：无 EMC GB3 事件 1：发生 EMC GB3 事件
11	GB2F	主电域 EMC GB2 标志 主电域检测到 EMC GB2 事件时，该位由硬件设置。向 EMCFCLR 位写 1 清除该位。 0：无 EMC GB2 事件 1：发生 EMC GB2 事件
10	GB1F	主电域 EMC GB1 标志 主电域检测到 EMC GB1 事件时，该位由硬件设置。向 EMCFCLR 位写 1 清除该位。 0：无 EMC GB1 事件 1：发生 EMC GB1 事件
9	GB0F	主电域 EMC GB0 标志 主电域检测到 EMC GB0 事件时，该位由硬件设置。向 EMCFCLR 位写 1 清除该位。 0：无 EMC GB0 事件 1：发生 EMC GB0 事件
8	GBN3F	主电域 EMC GBN3 标志 主电域检测到 EMC GBN3 事件时，该位由硬件设置。向 EMCFCLR 位写 1 清除该位。 0：无 EMC GBN3 事件 1：发生 EMC GBN3 事件
7	GBN2F	主电域 EMC GBN2 标志 主电域检测到 EMC GBN2 事件时，该位由硬件设置。向 EMCFCLR 位写 1 清除该位。 0：无 EMC GBN2 事件 1：发生 EMC GBN2 事件
6	GBN1F	主电域 EMC GBN1 标志 主电域检测到 EMC GBN1 事件时，该位由硬件设置。向 EMCFCLR 位写 1 清除该位。 0：无 EMC GBN1 事件 1：发生 EMC GBN1 事件
5	GBN0F	主电域 EMC GBN0 标志 主电域检测到 EMC GBN0 事件时，该位由硬件设置。向 EMCFCLR 位写 1 清除该位。 0：无 EMC GBN0 事件 1：发生 EMC GBN0 事件

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
4	CLP3F	主电域 EMC Clamp3 标志 主电域检测到 EMC Clamp3 事件时，该位由硬件设置。向 EMCFCLR 位写 1 清除该位。 0：无 EMC Clamp3 事件 1：发生 EMC Clamp3 事件
3	CLP2F	主电域 EMC Clamp2 标志 主电域检测到 EMC Clamp2 事件时，该位由硬件设置。向 EMCFCLR 位写 1 清除该位。 0：无 EMC Clamp2 事件 1：发生 EMC Clamp2 事件
2	CLP1F	主电域 EMC Clamp1 标志 主电域检测到 EMC Clamp1 事件时，该位由硬件设置。向 EMCFCLR 位写 1 清除该位。 0：无 EMC Clamp1 事件 1：发生 EMC Clamp1 事件
1	CLP0F	主电域 EMC Clamp0 标志 主电域检测到 EMC Clamp0 事件时，该位由硬件设置。向 EMCFCLR 位写 1 清除该位。 0：无 EMC Clamp0 事件 1：发生 EMC Clamp0 事件
0	EMCFCLR	EMC 标志位清除 0：无效果 1：清除 EMC 标志位

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

4 复位和时钟控制(RCC)

最高主频是 240MHz，不同系列不同型号支持的外设及数量也不同，具体请查阅相应型号的数据手册。

4.1 复位控制单元

支持以下三种复位方式：

- 电源复位
- 系统复位
- 备份域复位

4.1.1 电源复位

在以下情况下会发生电源重置：

- 上电复位（POR 复位）
- 掉电复位（PDR 复位）
- 从 STANDBY 模式中返回

电源复位将复位除了备份区域外的所有寄存器。(见图 3-1 电源框图)。

图中复位源将最终作用于 NRST 引脚，并在复位过程中保持低电平。复位入口矢量被固定在地址 0x0000_0004。更多细节，参阅表 6-1 向量表。

4.1.2 系统复位

除了控制/状态寄存器(RCC_CTRLSTS)中的复位标志和备份域中的寄存器（参见图 3-1），系统复位会将所有寄存器设置为其复位值。

发生以下事件之一时会产生系统复位：

- NRST 引脚上的低电平（外部复位）
- 窗口看门狗计数终止（WWDG 复位）
- 独立看门狗计数终止（IWDG 复位）
- 软件复位（SW 复位）
- 低功耗管理复位
- SMPU 保护复位
- RAM ECC 复位
- FLASH ECC 复位
- 备份域 EMC 复位
- 主电域 EMC 复位
- BOR 复位

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

可通过查看RCC_CTRLSTS控制状态寄存器中的复位状态标志位识别复位事件来源。

4.1.2.1 软件复位

可以通过设置 Cortex™-M4 应用中断和复位控制寄存器中的 SYSRESETREQ 位来产生软件复位。有关详细信息，请参阅 Cortex™-M4 技术参考手册。

4.1.2.2 低功耗管理复位

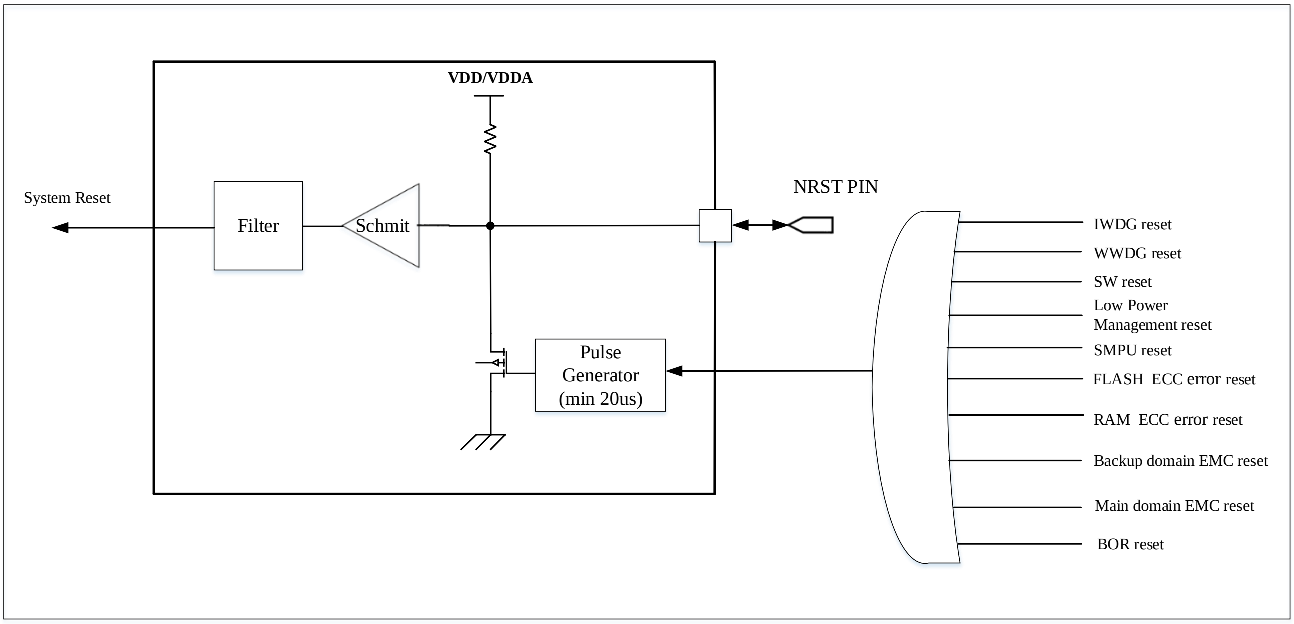
可以通过以下方式产生低功耗管理复位：

- 在进入 STANDBY 模式时产生低功耗管理复位：通过将用户选项字节中的 nRST_STDBY 位置 1 将使能该复位。这时，即使执行了进入 STANDBY 模式的过程，系统将被复位而不是进入 STANDBY 模式。
- 在进入 STOP0 模式时产生低功耗管理复位：通过将用户选项字节中的 nRST_STOP 位置 1 将使能该复位。这时，即使执行了进入 STOP0 模式的过程，系统将被复位而不是进入 STOP0 模式。

提供给芯片的系统复位信号会在 NRST 引脚上输出。脉冲发生器保证每个复位源（外部或内部）的复位脉冲至少持续时间 20μs。对于外部复位，当 NRST 引脚置为低电平时会产生复位脉冲。

下图展示了复位电路：

图 4-1 复位电路



4.1.3 备份域复位

备份区域拥有两个专门的复位，它们只影响备份区域（见图 3-1 电源框图）。

发生以下事件之一时会产生备份域复位：

- 软件复位：备份域复位可由设置 RCC_BDCTRL.BDSFTRST 位产生。
- 在 V_{DD} 和 V_{BAT} 两者掉电的前提下，V_{DD} 或 V_{BAT} 上电才会引发备份区域复位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

4.2 时钟控制单元

可以使用五种不同的时钟源来驱动系统时钟(SYSCLK)：

- HSI 时钟；
- HSE 时钟；
- PLL 时钟；
- EXTPLL 时钟；
- USBHS240M 时钟。

通过 RCC_CFG.SCLKSW 选择时钟源。

有两种二级时钟源：

- LSI：32kHz 低速内部 RC，可以用于驱动独立看门狗和通过程序选择驱动 RTC。RTC 用于从 STOP0 /STANDBY 模式下自动唤醒系统。
- LSE：32.768kHz 低速外部晶体，也可用来通过程序选择驱动 RTC（RTCCLK）。

每个时钟源可以在不被使用时独立打开或关闭，以此优化系统功耗。

多个预分频器可用于配置 AHB、高速 APB(APB2)和低速 APB(APB1)的频率。AHB、APB1/2 的最大频率分别为 240MHz、120MHz。

SDIO、USBHS、ETH、FEMC、SAC、xSPI、CORDIC 接口的时钟频率可配置为 HCLK 或 HCLK/2（当 HCLK 频率大于 120MHz 时，必须选择 HCLK/2）。

RCC 为 Cortex 系统定时器(SysTick)提供外部时钟：AHB 时钟(HCLK)8 分频。可以通过编程 SysTick 控制和状态寄存器来选择上述时钟或 Cortex 时钟(HCLK)来驱动 SysTick。

ADC 工作时钟由 AHB 时钟、PLL 时钟或 USBHS240M 分频产生；ADC1M 时钟由 HSE 或 HSI 分频产生。

FDCAN 时钟源可选 EXTPLL 分频时钟、PLL 分频时钟或 HSE，频率必须配置为 20M 的倍数。

I2S2 和 I2S3 的时钟源可选 SYSCLK、EXTPLL、HSI 或 I2S_CLKIN 引脚。

LPTIM1 和 LPTIM2 的时钟源可选 LSI、LSE、HSI、HSE 或 PCLK1。

对于定时器 GTIM1/2/3/4/5/6/7 和 BTIM1/2/3 的时钟频率由硬件自动设置，分以下两种情况：

- 如果 APB1 预分频为 1，则定时器时钟频率与 SYSCLK 频率相同。
- 如果 APB1 预分频不为 1，则定时器时钟频率为(SYSCLK 频率/(分频值/2))。

举例：若 SYSCLK 为 240M，HCLK 为 240M，PCLK1 为 60M（APB1 预分频值为 4），那么定时器工作时钟为 SYSCLK/(4/2)=120M。

对于定时器 GTIM8/9/10，时钟频率由硬件自动设置，分以下两种情况，或选择直连 SYSCLK：

- 如果 APB2 预分频为 1，则定时器时钟频率与 SYSCLK 频率相同。
- 如果 APB2 预分频不为 1，则定时器时钟频率为(SYSCLK 频率/(分频值/2))。

对于定时器 ATIM1/2/3，时钟源可选 HCLK 或 SYSCLK，当选择 HCLK 时，时钟频率由硬件自动设置，分以下两种情况：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

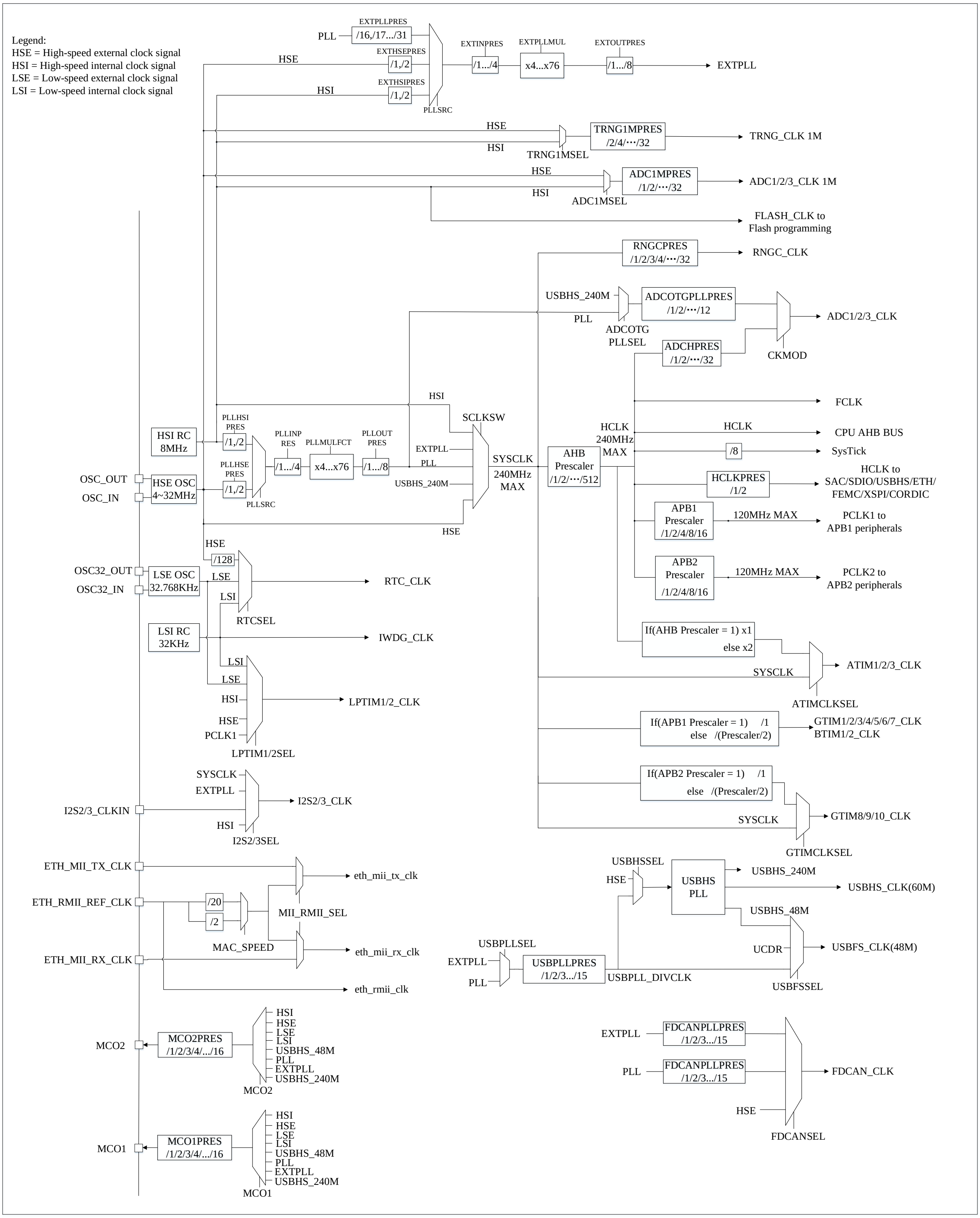
- 如果 AHB 预分频为 1，则定时器时钟频率与 AHB 频率相同。
- 如果 AHB 预分频不为 1，则定时器时钟频率是 AHB 频率的 2 倍。。

FCLK 是 Cortex™-M4F 的自由运行时钟。有关更多详细信息，请参阅 ARM Cortex™-M4 技术参考手册。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

4.2.1 时钟树

图 4-2 时钟树



1. 有关内部和外部时钟源特性的详细信息，请参阅产品数据手册中的“电气特性”部分。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

2. 输入时钟小于 4MHz 时，不能使用该时钟作为 PLL 时钟源。

3. FDCAN 模块时钟源（FDCAN_CLK）应配置为以下频率：20M、40M、80M，并且不能高于 APB1 时钟频率（PCLK1）。

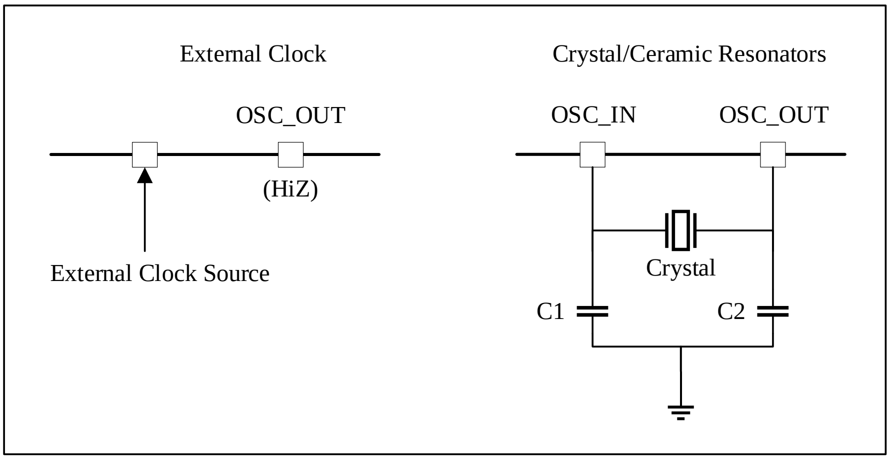
4.2.2 HSE 时钟

高速外部时钟信号（HSE）可以由以下两个时钟源产生：

- HSE外部晶体/陶瓷谐振器
- HSE用户外部时钟

为了减少时钟输出的失真和缩短启动稳定时间，晶体/陶瓷谐振器和负载电容器必须尽可能地靠近振荡器引脚。负载电容值必须根据所选择的振荡器来调整。

图 4-3 HSE/LSE 时钟源



4.2.2.1 外部时钟源(HSE 旁路模式)

在这种模式下，用户必须提供外部时钟源。它的频率范围为 1~50MHz。用户可以通过设置 RCC_CTRL.HSEBP 和 RCC_CTRL.HSEEN 位来选择该模式。外部时钟信号（50%占空比的方波、正弦波或三角波）必须连接到 OSC_IN 引脚，而 OSC_OUT 引脚必须悬空(Hi-Z)。见图 4-3。

4.2.2.2 晶体/陶瓷谐振器(HSE 晶体模式)

4~32MHz 外部振荡器具有为系统产生更准确的主时钟的优势。相关的硬件配置如图 4-3 所示。更多详细信息，请参阅数据手册的电气特性部分。

RCC_CTRL.HSERDF 位指示高速外部振荡器是否稳定。在启动时，直到该位被硬件设置，时钟才会被释放。如果在时钟中断寄存器(RCC_CLKINT)中使能对应位，则可以产生中断。

通过设置 RCC_CTRL.HSEEN 位可以打开和关闭 HSE 时钟。

4.2.3 HSI 时钟

HSI（高速内部）时钟信号由内部 8MHz RC 振荡器产生，可直接作为系统时钟或 2 分频后作为 PLL 输入。HSI RC 振荡器无需任何外部设备即可提供时钟源。它启动时间比 HSE 晶体振荡器更短。然而，即使经过校准它的频率精度仍较差。

每个芯片的 HSI 时钟频率在出厂前已经被校准到 1%（25°C）。系统复位后，出厂校准值会加载到

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

RCC_CTRL.HSICAL[11:0]里。

由于用户的应用场景会受到电压或温度变化的影响，这也会影响 RC 振荡器的频率精度。用户可以使用 RCC_CTRL.HSITRIM[6:0]位调整 HSI 频率。

RCC_CTRL.HSIRDF 位指示内部 RC 振荡器是否稳定。在启动时，直到该位被硬件设置，HSI 输出时钟才会被释放。可以通过设置 RCC_CTRL.HSIEN 位打开和关闭 HSI 时钟。

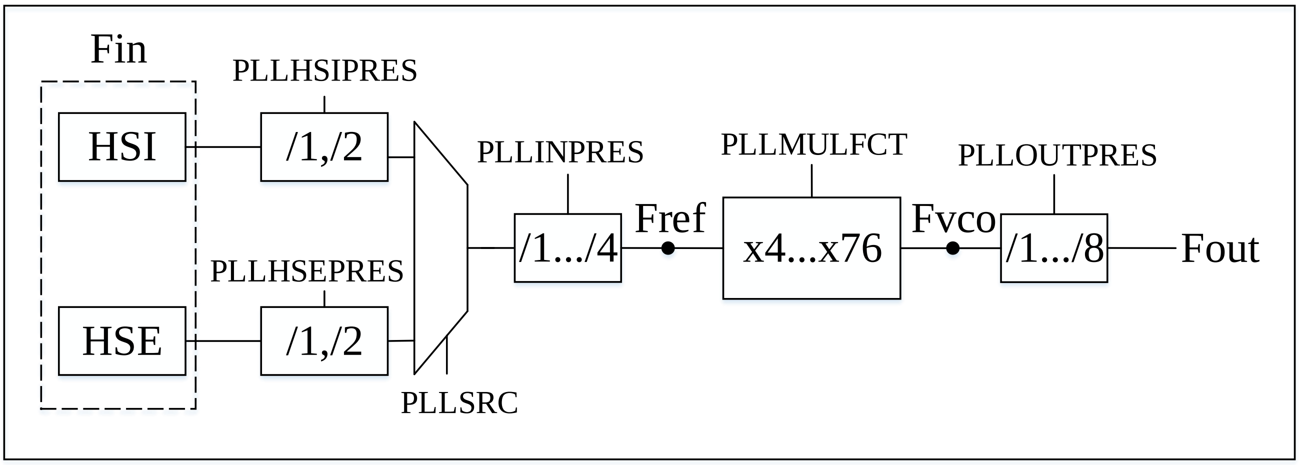
如果 HSE 晶体振荡器失效，HSI 时钟会被作为备用时钟源。参考 4.2.10 节时钟安全系统。

4.2.4 PLL 时钟

内部 PLL 可用于倍频 HSI 或 HSE 时钟频率作系统时钟源，参考图 4-2 时钟树。必须在使能 PLL 之前完成配置（选择 PLL 输入时钟（HSI/HSE 及分频）、配置倍频因子、输入输出分频系数）。一旦 PLL 被使能，这些参数就不能改变。通过 RCC_CTRL、RCC_CFG 和 RCC_PLLCTRL 寄存器中的控制位来配置 PLL。

如果 PLL 中断在时钟中断寄存器里被允许，当 PLL 准备就绪时，可产生中断请求。

如下图所示，其中 Fin 频率要求在 4MHz ~ 50MHz 范围内，Fref 频率要求在 4MHz ~ 25MHz 范围内，Fvco 频率要求在 64MHz ~ 500MHz 范围内，PLLMULFCT 倍频系数需不低于 8 倍频。

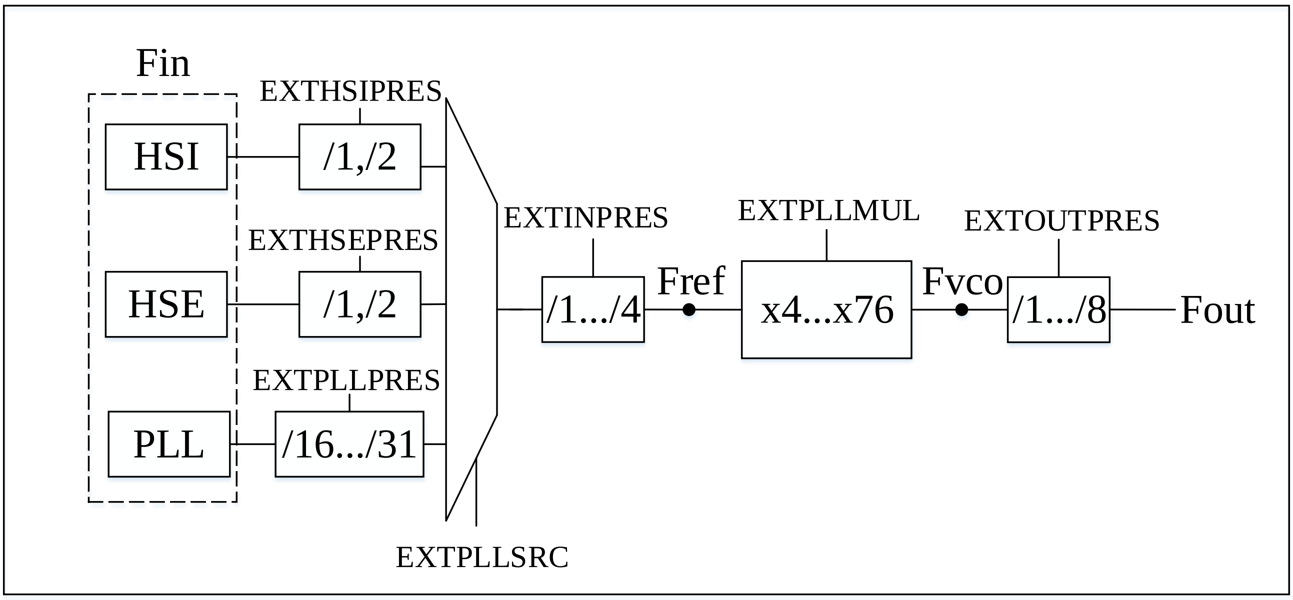


4.2.5 EXTPLL 时钟

EXTPLL 同 PLL 一样，仅时钟源新增 PLL 选择。必须在使能 EXTPLL 之前完成配置（选择 EXTPLL 输入时钟（HSI/HSE/PLL 及分频）、配置倍频因子、输入输出分频系数）。一旦 EXTPLL 被使能，这些参数就不能改变。通过 RCC_PLLCTRL 和 RCC_EXTCTRL 寄存器中的控制位来配置 EXTPLL。

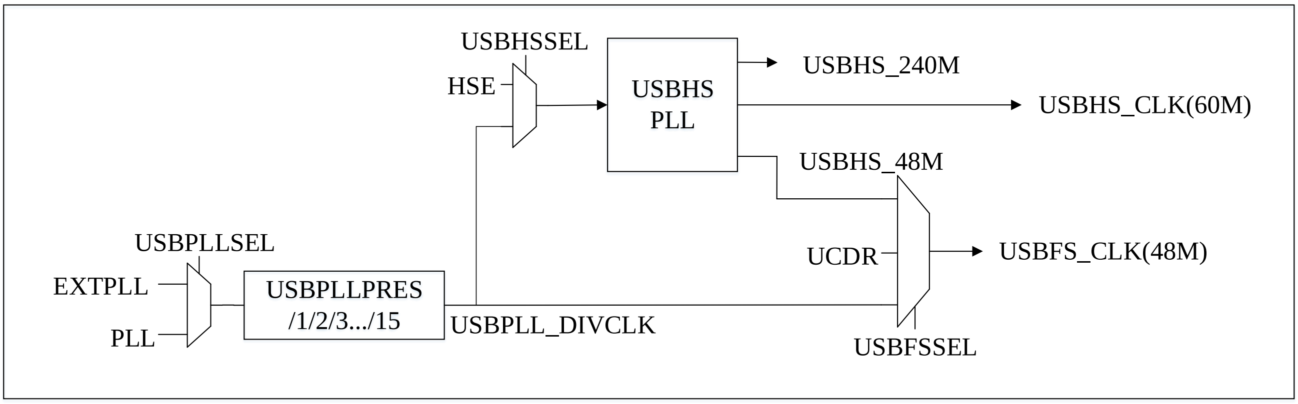
如下图所示，其中 Fin 频率要求在 4MHz ~ 50MHz 范围内，Fref 频率要求在 4MHz ~ 25MHz 范围内，Fvco 频率要求在 64MHz ~ 500MHz 范围内，EXTPLLMUL 倍频系数需不低于 8 倍频。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057



4.2.6 USB 时钟

内部有专门的 PLL 用于生成 USB 时钟，参考图 4-2 时钟树。通过 RCC_CFG3.USBPLLSEL 和 RCC_CFG3.USBPLLPRES[3:0]配置 USB PLL 的时钟源和分频系数，得到的 USBPLL 分频时钟可作 USBHS 或 USBFS 模块的工作时钟源。



4.2.6.1 USBHS 时钟

通过 RCC_USBHSCTRL1.USBHSSEL 选择时钟源为 HSE，此时需确保时钟源的实际频率为 16M、19.2M、20M、24M、26M 或 32M，并通过 RCC_USBHSCTRL1.USBHSFSEL 确认频率选择，通过 RCC_USBHSCTRL1.PLLBW 确认带宽选择；再由 USBHS PLL 模块自动倍频得到 USBHS240M、USBHS48M 和 USBHSCLK 三个时钟，其中 USBHS240M 可作为系统时钟源或 ADC 工作时钟源；USBHS48M 可作为 USBFS 时钟源；USBHSCLK 即为 USBHS 模块的工作时钟源。

4.2.6.2 USBFS 时钟

通过 RCC_CFG3.USBFSSEL 选择时钟源为 USBHS48M、UCDR 或 USBPLL 分频时钟，当选择 USBPLL 分频时钟源时，输出频率必须配置为 48M。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

4.2.7 LSE 时钟

LSE 晶体是一个 32.768KHz 的低速外部晶体或陶瓷谐振器。它为实时时钟或者其他定时功能提供一个低功耗且精确的时钟源。

LSE 时钟通过 RCC_BDCTRL.LSEEN 位启动和关闭。

RCC_BDCTRL.LSERD 位指示 LSE 时钟是否稳定。在启动阶段，直到这个位被硬件置 1 后，LSE 时钟信号才被释放出来。如果在时钟中断寄存器里被允许，可产生中断请求。

4.2.7.1 LSE 外部时钟源(LSE 旁路)

在这种模式下，可以提供频率高达 1MHz 的外部时钟源。用户可以通过设置 RCC_BDCTRL.LSEBP 和 RCC_BDCTRL.LSEEN 位来选择该模式。占空比为 50%的外部时钟信号（方波、正弦波或三角波）必须连接到 OSC32_IN 引脚，而 OSC32_OUT 引脚必须悬空（Hi-Z）。

4.2.8 LSI 时钟

LSI RC 可以在 STOP0 和 STANDBY 模式下为 IWDG 和 AWU 提供时钟。LSI 时钟频率约为 32kHz。进一步信息请参考数据手册中有关电气特性部分。

通过 RCC_CTRLSTS.LSIEN 位打开或关闭 LSI 时钟。

RCC_CTRLSTS.LSIRD 位指示 LSI 时钟是否稳定。在启动时，直到该位被硬件设置，时钟才会被释放。如果在时钟中断寄存器(RCC_CLKINT)中使能对应位，则可以产生中断。

内部嵌入 LSI 时钟检测系统，当检测到 LSI 频率过低时会执行自动恢复。

4.2.8.1 LSI 校准

可以通过校准补偿内部低速振荡器 LSI 频率误差，以获得更高精度的 RTC 时基和 IWDG 超时（当这些外设由 LSI 提供时钟时）。

校准可以通过使用 GTIM1 的通道 3、GTIM5 的通道 1 或 GTIM7 的通道 2 捕获测量 LSI 时钟频率来实现。软件可以通过调整 RTC 的 22 位预分频器来获得准确的 RTC 时钟基准，以及通过计算获得准确的 IWDG 超时时间。

4.2.9 系统时钟(SYSCLK)选择

系统复位后，HSI 振荡器被选为系统时钟。当时钟源被直接或通过 PLL 间接作为系统时钟时，它将不能被停止。

只有当目标时钟源准备就绪了（经过启动稳定阶段的延迟或 PLL 稳定），从一个时钟源到另一个时钟源的切换才会发生。在被选择时钟源没有就绪时，系统时钟的切换不会发生，直至目标时钟源就绪，才发生切换。

在时钟控制寄存器（RCC_CTRL）里的状态位指示哪个时钟已经准备好了，哪个时钟目前被用作系统时钟。

4.2.10 时钟安全系统(CLKSS)

HSE、HSI、LSE 分别有各自的时钟安全系统，用于检测时钟故障。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

4.2.10.1 HSE 时钟安全系统

通过设置 RCC_CTRL.HSECSSEN 位激活 HSE 时钟安全系统。一旦被激活，时钟检测器在 HSE 振荡器的启动延时后被启用，并在 HSE 时钟关闭时被禁用。

如果 HSE 振荡器直接或间接用作系统时钟（间接的意思是：HSE 用作 PLL 输入时钟，PLL 时钟用作系统时钟），时钟失效会导致系统时钟切换到 HSI 振荡器，并且外部 HSE 振荡器被禁用。如果选择 HSE 时钟（分频或不分频）作为 PLL 输入时钟，那么当 HSE 时钟故障时，PLL 将被关闭。

如果时钟出现故障，时钟失效事件将发送到高级定时器的刹车输入端，并产生时钟安全系统中断，中断连接到 Cortex™-M4F 的 NMI（不可屏蔽）中断，允许软件在中断中执行营救措施，设置清除中断。

HSE 时钟安全系统可使能不同的错误条件检测，分别为相位偏移超范围、频率超出高限制值、频率超出低限制值，相关阈值灵活可配，具体描述见相关寄存器章节 4.3.15。

4.2.10.2 HSI 时钟安全系统

通过设置 RCC_CSSCTRL.HSICSSEN 位激活 HSI 时钟安全系统。一旦被激活，时钟检测器在 HSI 振荡器的启动延时后被启用，并在 HSI 时钟关闭时被禁用。若使能了 RCC_CLKINT.HSICSSIEN，则发生 HSI CSS 事件发生时会产生中断。

4.2.10.3 LSE 时钟安全系统

通过设置 RCC_BDCTRL.LSECSSEN 位激活 LSE 时钟安全系统。一旦被激活，时钟检测器在 LSE 振荡器的启动延时后被启用，并在 LSE 时钟关闭时被禁用。若使能了 RCC_CLKINT.LSECSSIEN，则发生 LSE CSS 事件发生时会产生中断。

如果 LSE 振荡器作 RTC 时钟源，可通过 PWR_CTRL6.LSECSSSW 配置当时钟失效时硬件自动将 RTC 时钟源切换到 LSI 振荡器。

4.2.11 RTC 时钟

通过对 RCC_BDCTRL.RTCSEL[1:0]位进行编程，RTCCLK 时钟源可以是 HSE/128、LSE 或 LSI 时钟。除非备份域复位，否则无法修改此选择。

LSE、LSI 时钟在备份域里，但 HSE 时钟不是。因此：

- 如果 LSE、LSI 被选为 RTC 时钟：
  - 只要 V_{BAT} 维持供电，尽管 V_{DD} 供电被切断，RTC 仍继续工作。
- 如果 HSE 时钟 128 分频后作为 RTC 时钟：
  - 如果 V_{DD} 供电被切断或电压调压器被关闭，则 RTC 状态不确定。
  - 必须设置电源控制寄存器 PWR_CTRL.DBKP 位为 1（取消备电域的写保护）。

4.2.12 看门狗时钟

如果 IWDG 由硬件选项或软件访问启动，LSI 振荡器将被强制开启并且不能被禁用。LSI 振荡器稳定后，时钟被提供给 IWDG。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

4.2.13 时钟输出(MCO)

RUN 模式下，微控制器时钟输出(MCO)功能允许将时钟信号输出到外部 MCO 引脚，对应的 GPIO 口寄存器必须配置为对应的功能。

通过 RCC_MCOCFG.MCO1[3:0]位选择 MCO1 时钟，RCC_MCOCFG.MCO2[3:0]位选择 MCO2 时钟，有以下输出时钟源可选：

- USBHS48M
- HSI
- HSE
- PLL
- EXTPLL
- USBHS240M
- LSI
- LSE

还可以通过 RCC_MCOCFG.MCOP1RES[3:0]和 RCC_MCOCFG.MCOP2RES[3:0]分别对选择之后的时钟源进行分频。

4.3 RCC 寄存器

RCC 寄存器可通过 AHB 总线访问，寄存器说明如下。

4.3.1 时钟控制寄存器(RCC_CTRL)

偏移地址：0x00

复位值：0x84057C0C

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved					HSITRIM[6:0]							HSICAL[11:0]			
					rw							r			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
HSICAL[11:0]								HSECSSEN	HSEBP	HSERDF	HSEEN	HSIRDF	HSIEN	PLLRDF	PLLEN
r								rw	rw	r	rw	r	rw	r	rw

位域	名称	描述
31:27	Reserved	保留，必须保持复位值
26:20	HSITRIM[6:0]	内部高速时钟修正值 由软件写入。这些位的值将被添加到 HSICAL[11:0]位，以形成校准内部 HSI RC 振荡器频率的最终值。 默认值为 64，调节步长为 5KHz。
19:8	HSICAL[11:0]	内部高速时钟校准值

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		这些位在上电启动时自动初始化。
7	HSECSSEN	HSE 时钟安全系统使能位 由软件置位和清零。 0：禁用时钟检测器 1：如果 HSE 振荡器就绪，则使能时钟检测器
6	HSEBP	外部高速时钟旁路使能位 由软件置位和清零。该位只能在 HSE 振荡器被禁止时写入。 0：禁止 HSE 振荡器的旁路功能 1：使能 HSE 振荡器的旁路功能
5	HSERDF	外部高速时钟就绪标志位 HSE 就绪后由硬件置位。该位在 HSEEN 位清零后需要 6 个 HSE 时钟周期来清零。 0：HSE 未就绪 1：HSE 就绪
4	HSEEN	外部高速时钟使能位 由软件置位和清零。进入 STOP0 或 STANDBY 模式时，由硬件清零。当 HSE 直接或间接用作系统时钟时，该位不能被清零。 0：禁止 HSE 振荡器 1：使能 HSE 振荡器
3	HSIRDF	内部高速时钟就绪标志位 HSI 就绪后由硬件置位。HSIEN 位清零后，该位需要 6 个内部 8MHz 振荡器时钟周期才能清零。 0:HSI 未就绪 1:HSI 就绪
2	HSIEN	内部高速时钟使能 由软件置位和清零。当 HSI 用作系统时钟时，该位不能清零。当从 STOP0 或 STANDBY 模式返回或发生 HSE 故障时，由硬件置位以启用 HSI 振荡器。如果 HSI 直接或间接用作系统时钟，则该位不能复位。 0：禁止 HSI 振荡器 1：使能 HSI 振荡器
1	PLLRDF	PLL 时钟就绪标志位 PLL 时钟就绪后由硬件置位. 0:PLL 未就绪 1:PLL 已就绪
0	PLLEN	PLL 使能位 由软件置位和清零。进入 STOP0/STANDBY 模式时，由硬件清零。当 PLL 用作系统时钟时，该位不能清零。 当 HSI/HSE 作为 PLL 的时钟源时，PLL 不会被打开直到 HSI/HSE 时钟就绪 0：禁用 PLL 1：使能 PLL

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

4.3.2 时钟配置寄存器(RCC_CFG)

偏移地址：0x04

复位值：0xC0008004

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
VIOPORRSTF	APBALIGN	SCLKSW[2:0]			SCLKSTS[2:0]			Reserved				AHBPRES[3:0]			
r	r	rw			r							rw			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
VIOPOREN	APB2PRES[2:0]			APB1PRES[2:0]			PLLMULFCT[5:0]						PLLHSIPRES	PLLHSEPRES	PLLSRC
rw	rw			rw			rw						rw	rw	rw

位域	名称	描述
31	VIOPORRSTF	VDDIO POR 复位状态 0：VDDIO POR 复位未释放 1：VDDIO POR 复位释放
30	APBALIGN	APB1 和 APB2 分频时钟上升沿对齐状态 0：APB1 和 APB2 分频时钟上升沿未对齐 1：APB1 和 APB2 分频时钟上升沿已对齐
29:27	SCLKSW[2:0]	系统时钟切换 由软件置位和清零以选择系统时钟源。 当退出 STOP0 或 STANDBY 模式或 HSE 振荡器发生故障（RCC_CTRL.HSECSSEN 启用）时，由硬件设置以强制选择 HSI。 000: 选择 HSI 作为系统时钟 001: 选择 HSE 作为系统时钟 010：选择 PLL 作为系统时钟 011：不可用 100：不可用 101：选择 USBHS240M 作为系统时钟 110：选择 EXTPLL 作为系统时钟 111：不可用
26:24	SCLKSTS[2:0]	系统时钟切换状态 由硬件置位和清零以指示使用哪个时钟源作为系统时钟 000：系统时钟来自 HSI 001：系统时钟来自 HSE 010：系统时钟来自 PLL 011：不可用 100：不可用 101：系统时钟来自 USBHS240M 110：系统时钟来自 EXTPLL 111：不可用

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
23:20	Reserved	保留，必须保持复位值
19:16	AHBPRES[3:0]	AHB 预分频器 由软件置位和清零，配置 AHB 时钟(HCLK)的分频系数。 0xxx:SYSCLK 不分频 1000:SYSCLK 2 分频 1001:SYSCLK 4 分频 1010:SYSCLK 8 分频 1011:SYSCLK 16 分频 1100:SYSCLK 64 分频 1101:SYSCLK 128 分频 1110:SYSCLK 256 分频 1111:SYSCLK 512 分频
15	VIOPOREN	VDDIO POR 复位使能 0：不使能 VDDIO POR 复位功能，当 VDDIO 低于电压阈值时不会产生 POR 1：使能 VDDIO POR 复位，当 VDDIO 低于电压阈值时产生 POR
14:12	APB2PRES[2:0]	APB 高速(APB2)预分频器 由软件置位和清零，配置 APB2 时钟(PCLK2)的分频系数。需确保 PCLK2 不超过 120MHz。 0xx:HCLK 不分频 100:HCLK 2 分频 101:HCLK 4 分频 110:HCLK 8 分频 111:HCLK 16 分频
11:9	APB1PRES[2:0]	APB 低速(APB1)预分频器 由软件置位和清零，配置 APB1 时钟(PCLK1)的分频系数。需确保 PCLK1 不超过 120MHz。 0xx:HCLK 不分频 100:HCLK 2 分频 101:HCLK 4 分频 110:HCLK 8 分频 111:HCLK 16 分频
8:3	PLLMULFCT[5:0]	PLL 倍频系数 倍频系数由软件写入。这些位只能在 PLL 被禁用时写入。 *注意：建议倍频系数不低于 8 倍* 000000:PLL 输入时钟×4 000001:PLL 输入时钟×6 000010:PLL 输入时钟×8 000011:PLL 输入时钟×10 000100:PLL 输入时钟×12 000101:PLL 输入时钟×14 000110:PLL 输入时钟×16

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		000111:PLL 输入时钟×18 001000:PLL 输入时钟×20 … 011100:PLL 输入时钟×60 011101:PLL 输入时钟×62 011110:PLL 输入时钟×64 011111:PLL 输入时钟×66 100000:PLL 输入时钟×68 100001:PLL 输入时钟×70 100010:PLL 输入时钟×72 100011:PLL 输入时钟×74 100100:PLL 输入时钟×76 其他值：禁止
2	PLLHSIPRES	PLL 输入的 HSI 预分频器 由软件置位和清零，配置进入 PLL 之前 HSI 的分频。该位只能在 PLL 禁用时写入。 0：HSI 时钟不分频 1：HSI 时钟 2 分频
1	PLLHSEPRES	PLL 输入的 HSE 预分频器 由软件置位和清零，配置进入 PLL 之前 HSE 的分频。该位只能在 PLL 禁用时写入。 0：HSE 时钟不分频 1：HSE 时钟 2 分频
0	PLLSRC	PLL 时钟源 由软件置位和清零，配置选择 PLL 时钟源。该位只能在 PLL 禁用时写入。 0：选择 HSI（或 2 分频）时钟作为 PLL 输入时钟 1：选择 HSE（或 2 分频）时钟作为 PLL 输入时钟

4.3.3 时钟配置寄存器 2 (RCC_CFG2)

偏移地址：0x08

复位值：0x04007000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved			ATIMCLKSEL	GTIMCLKSEL	HCLKPRES	HSERSTEN	RNGCPRES[4:0]					ADC1MSEL	DSMUFLTPRES[1:0]		ADC1MPRES[4:0]
			rw	rw	rw	rw	rw					rw	rw		rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADC1MPRES[4:0]				SDRAMPRES[2:0]			ADCOTGPLLEN	ADCOTGPLLSEL	ADCOTGPLLPRES[2:0]			ADCHPRES[3:0]			
rw				rw			rw	rw	rw			rw			

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:29	Reserved	保留，必须保持复位值
28	ATIMCLKSEL	ATIM1/2/3 时钟源选择 软件置位和清零。 0：如果 AHB 预分频器为 1，则选择 HCLK 作为 ATIM1/2/3 时钟源。否则，选择 HCLK×2 1：选择 SYSCLK 作为 ATIM1/2/3 时钟源
27	GTIMCLKSEL	GTIM8/9/10 时钟源选择 软件置位和清零。 0：如果 APB2 预分频器为 1，则选择 SYSCLK 作为 GTIM8/9/10 时钟源。否则，选择 SYSCLK/(APB2 预分频值/2) 1：选择 SYSCLK 作为 GTIM8/9/10 时钟源
26	HCLKPRES	SAC/SDIO/USBHS/ETH/FEMC/XSPI/CORDIC 访问时钟 HCLK 预分频器 由软件置位和清零，配置 SDIO、USBHS、ETH、FEMC、SAC、xSPI、CORDIC 的预分频系数。 0:HCLK 不分频 1:HCLK 2 分频
25	HSERSTEN	HSE 模拟电路复位 当 HSEEN=0 时，HSERSTEN 配置为 1 可强制将 HSE 的模拟电路复位；当 HSEEN=1 时，HSERSTEN 必须保持为 0。 0：不复位 HSE 模拟电路 1：强制复位 HSE 模拟电路
24:20	RNGCPRES[4:0]	RNGC 预分频。 软件设置或清除这些位来配置 RNGC 时钟的预分频系数。 00000：SYSCLK 不分频 00001：SYSCLK 2 分频 00010：SYSCLK 3 分频 ... 11110：SYSCLK 31 分频 11111：SYSCLK 32 分频
19	ADC1MSEL	ADC 1M 时钟源选择。 软件置位或清零。 0：选择 HSI 振荡器时钟作为 ADC 1M 的输入时钟 1：选择 HSE 振荡器时钟作为 ADC 1M 的输入时钟
18:17	DSMUFLTPRES[1:0]	DSMU filter 时钟分频 DSMU filter 时钟分频来源于系统时钟。 00：DSMU filter 时钟不分频 01：DSMU filter 时钟 2 分频 10：DSMU filter 时钟 4 分频 11：DSMU filter 时钟 6 分频
16:12	ADC1MPRES[4:0]	ADC 1M 时钟分频 软件置位和清零这些位来配置 ADC1M 时钟源的预分频系数. 00000：ADC 1M 时钟源不分频 00001：ADC 1M 时钟源 2 分频

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		00010：ADC 1M 时钟源 3 分频 ... 11110：ADC 1M 时钟源 31 分频 11111：ADC 1M 时钟源 32 分频 *注意：ADC 该时钟必须配置成 1M*
11:9	SDRAMPRES[2:0]	SDRAM 内核时钟分频 SDRAM 内核时钟分频来源于 HCLK 000: SDRAM 内核时钟源不分频 001: SDRAM 内核时钟源 2 分频 010: SDRAM 内核时钟源 3 分频 011: SDRAM 内核时钟源 4 分频 ... 111: SDRAM 内核时钟源 8 分频
8	ADCOTGPLLEN	ADC USBHS 240M 或 PLL 使能 ADC 工作时钟源通过 RCC_CFG.ADCOTGPLLSEL 位选择为 USBHS 240M 或 PLL 时钟时，再通过此位配置是否使能。 0：ADC USBHS 240M 或 PLL 时钟禁用 1：ADC USBHS 240M 或 PLL 时钟使能
7	ADCOTGPLLSEL	ADC 时钟源 USBHS 240M 或 PLL 选择。 ADC 工作时钟源通过 ADC_CTRL3.CKMOD 位选择为 PLL 时，再通过此位进一步配置具体 PLL 时钟源。 0：选择 PLL 时钟作为分频源 1：选择 USBHS 240M 时钟作为分频源
6:4	ADCOTGPLLPRES[2:0]	ADC USBHS 240M 或 PLL 预分频 ADC 工作时钟源通过 RCC_CFG.ADCOTGPLLSEL 位选择为 USBHS 240M 或 PLL 时钟时，再通过此位配置具体分频。 000：USBHS 240M 或 PLL 时钟不分频 001：USBHS 240M 或 PLL 时钟 2 分频 010：USBHS 240M 或 PLL 时钟 3 分频 011：USBHS 240M 或 PLL 时钟 4 分频 100：USBHS 240M 或 PLL 时钟 6 分频 101：USBHS 240M 或 PLL 时钟 8 分频 110：USBHS 240M 或 PLL 时钟 10 分频 111：USBHS 240M 或 PLL 时钟 12 分频
3:0	ADCHPRES[3:0]	ADC HCLK 预分频 软件置位和清零这些位以配置 HCLK 时钟到 ADC 的分频系数，ADC 工作时钟源通过 ADC_CTRL.CKMOD 位选择为 HCLK 时钟时，再通过此位配置分频。 0000：HCLK 时钟不分频 0001：HCLK 时钟 2 分频 0010：HCLK 时钟 3 分频 0011：HCLK 时钟 4 分频 0100：HCLK 时钟 6 分频

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0101：HCLK 时钟 8 分频 0110：HCLK 时钟 10 分频 0111：HCLK 时钟 12 分频 1000：HCLK 时钟 16 分频 其他：HCLK 时钟 32 分频

4.3.4 时钟配置寄存器 3 (RCC_CFG3)

偏移地址：0x0C

复位值：0xC00C0071

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
FDCANPLLPRES[3:0]				I2S3SEL[1:0]		I2S2SEL[1:0]		FDCANSEL[1:0]		Reserved		USBPLLPRES[3:0]			
rw				rw		rw		rw				rw			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
USBPLLSEL	RPDMAEN	RPINTEN	RPINTF	USBFSSEL[1:0]		USBFSTM	TRNG1MPRES[3:0]				Reserved		TRNG1MEN	TRNG1MSEL	BORRSTEN
rw	rw	rw	r	rw		rw	rw						rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:28	FDCANPLLPRES[3:0]	FDCAN1/2/3 PLL 时钟源预分频器 0000：未使用 0001：PLL 或 EXTPLL 时钟除以 1 0010：PLL 或 EXTPLL 时钟除以 2 0011：PLL 或 EXTPLL 时钟除以 3 ... 1110：PLL 或 EXTPLL 时钟除以 14 1111：PLL 或 EXTPLL 时钟除以 15
27:26	I2S3SEL[1:0]	I2S3 时钟源选择 I2S3 时钟源选择，必须配置为不超过 180M。 00：选择 SYSCLK 作为输入时钟 01：选择 EXTPLL 时钟作为输入时钟 10：选择 I2S_CLKIN 引脚时钟作为输入时钟 11：选择 HSI 时钟作为输入时钟
25:24	I2S2SEL[1:0]	I2S2 时钟源选择 I2S2 时钟源选择，必须配置为不超过 180M。 00：选择 SYSCLK 作为输入时钟 01：选择 EXTPLL 时钟作为输入时钟 10：选择 I2S_CLKIN 引脚时钟作为输入时钟 11：选择 HSI 时钟作为输入时钟
23:22	FDCANSEL[1:0]	FDCAN1/2/3 时钟源选择 00：选择 PLL 分频作为输入时钟

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		01：选择 EXTPLL 分频作为输入时钟 1x：选择 HSE 时钟作为输入时钟
21:20	Reserved	保留，必须保持复位值
19:16	USBPLLPRES[3:0]	USB PLL 时钟源预分频器 0000：未使用 0001：PLL 或 EXTPLL 时钟除以 1 0010：PLL 或 EXTPLL 时钟除以 2 0011：PLL 或 EXTPLL 时钟除以 3 ... 1110：PLL 或 EXTPLL 时钟除以 14 1111：PLL 或 EXTPLL 时钟除以 15
15	USBPLLSEL	USB PLL 分频时钟源选择 当 USBHS 或 USBFS 时钟源选择为 PLL 分频时钟时，可通过该位进一步选择 PLL 时钟源为 PLL 时钟或 EXTPLL 时钟。 0：选择 PLL 时钟 1：选择 EXTPLL 时钟
14	RPDMAEN	DMA 在 Row 编程时访问 Flash 权限使能 0：DMA 可以访问 Flash 空间 1：DMA 禁止访问 Flash 空间
13	RPINTEN	Row 编程打断标志使能 0：发生 Row 编程打断事件时对应标志位 RCC_CFG3.RPINTF 不置 1 1：发生 Row 编程打断事件时对应标志位 RCC_CFG3.RPINTF 置 1
12	RPINTF	Row 编程打断标志位。 该位在在 RCC_CFG3.RPINTEN = 1 且发生 row 编程打断事件时由硬件置位 1，通过对 RCC_CFG3.RPINTEN 置 0 清零。 0：未发生 Row 编程打断事件 1：已发生 Row 编程打断事件
11:10	USBFSSEL[1:0]	USBFS 时钟源选择 USBFS 时钟源选择，必须配置为 48M。 00：选择 UCDR 时钟 01：选择 PLL 分频时钟 1x：选择 USBHS 48M 时钟 *注意：当选择 PLL 分频时钟时，可通过 RCC_CFG3.USBPLLSEL 选择 PLL 分频时钟源为 PLL 时钟或 EXTPLL 时钟。*
9	USBFSTM	USBFS48M 时序模式选择 0：USBFS 的 PCLK 时钟频率小于 120M 时优化时序 1：USBFS 的 PCLK 时钟频率大于等于 120M 时优化时序
8:5	TRNG1MPRES[3:0]	TRNG 1M 时钟预分频。 软件设置或清除这些位以生成 TRNG 1M 时钟。 0000：TRNG 1M 时钟源 2 分频 0001：TRNG 1M 时钟源 4 分频 0010：TRNG 1M 时钟源 6 分频

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0011：TRNG 1M 时钟源 8 分频 0100：TRNG 1M 时钟源 10 分频 ... 1101：TRNG 1M 时钟源 28 分频 1110：TRNG 1M 时钟源 30 分频 1111：TRNG 1M 时钟源 32 分频
4:3	Reserved	保留，必须保持复位值
2	TRNG1MEN	TRNG 模拟接口时钟使能。 软件置 1 或清零。 0：关闭 TRNG 模拟接口时钟 1：使能 TRNG 模拟接口时钟
1	TRNG1MSEL	TRNG 1M 时钟选择。 软件置 1 或清零。 0：选择 HSI 振荡器作为 TRNG 1M 输入时钟 1：选择 HSE 振荡器作为 TRNG 1M 输入时钟
0	BORRSTEN	BOR 复位使能。 软件置 1 或清零。 0：不使能 BOR 复位 1：使能 BOR 复位

4.3.5 时钟中断寄存器(RCC_CLKINT)

偏移地址：0x10

复位值：0x00000000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		HSICSSIF	HSICSSF	HSECSSF	LSECSSF	HSICSSIEN	HSICSSICLR	LSECSSICLR	BORICLR	LSERDICLR	LSIRDICLR	HSECSSICLR	HSERDICLR	HSIRDICLR	PLLRDICLR
		r	r	r	r	rw	w	w	w	w	w	w	w	w	w

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
LSECSSIEN	BORIEN	LSERDIEN	LSIRDIEN	HSECSSIEN	HSERDIEN	HSIRDIEN	PLLRDIEN	LSECSSIF	BORIF	LSERDIF	LSIRDIF	HSECSSIF	HSERDIF	HSIRDIF	PLLRDIF
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	r	r	r	r	r	r	r	r

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值
29	HSICSSIF	HSI 时钟安全系统中断标志 当 HSICSSIEN 置位且外部 HSI 振荡器中检测到故障时由硬件置位。 该位由软件通过设置 HSICSSICLR 位来清除。 0：无 HSI 时钟故障引起的时钟安全系统中断 1：HSI 时钟故障引起的时钟安全系统中断

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
28	HSICSSF	HSI 时钟安全系统标志 当在外部 HSI 振荡器中检测到故障时由硬件置位。 0：无 HSI 时钟故障引起的时钟安全系统故障 1：HSI 时钟故障引起的时钟安全系统故障
27	HSECSSF	HSE 时钟安全系统标志 当在外部 HSE 振荡器中检测到故障时由硬件置位。 0：无 HSE 时钟故障引起的时钟安全系统故障 1：HSE 时钟故障引起的时钟安全系统故障
26	LSECSSF	LSE 时钟安全系统标志 当在外部 LSE 振荡器中检测到故障时由硬件置位。 0：无 LSE 时钟故障引起的时钟安全系统故障 1：LSE 时钟故障引起的时钟安全系统故障
25	HSICSSIEN	HSI 时钟安全系统中断使能 由软件置位和清零以启用和禁用时钟安全系统中断。 0：禁用 HSI 时钟安全系统中断 1：使能 HSI 时钟安全系统中断
24	HSICSSICLR	HSI 时钟安全系统中断清除 由软件置位以清除 HSICSSIF 标志。 0：无效果 1：清除 HSICSSIF 标志
23	LSECSSICLR	LSE 时钟安全系统中断清除 由软件置位以清除 LSECSSIF 标志。 0：无效果 1：清除 LSECSSIF 标志
22	BORICLR	BOR 中断清除 由软件置位以清除 BORIF 标志。 0：无效果 1：清除 BORIF 标志
21	LSERDICLR	LSE 就绪中断清除 由软件置位以清除 LSERDIF 标志。 0：无效果 1：清除 LSERDIF 标志
20	LSIRDICLR	LSI 就绪中断清除 由软件置位以清除 LSIRDIF 标志。 0：无效果 1：清除 LSIRDIF 标志
19	HSECSSICLR	HSE 时钟安全系统中断清除 由软件置位以清除 HSECSSIF 标志。 0：无效果 1：清除 HSECSSIF 标志
18	HSERDICLR	HSE 就绪中断清除 由软件置位以清除 HSERDIF 标志。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：无效果 1：清除 HSERDIF 标志
17	HSIRDICLR	HSI 就绪中断清除 由软件置位以清除 HSIRDIF 标志。 0：无效果 1：清除 HSIRDIF 标志
16	PLLRDICLR	PLL 就绪中断清除 由软件置位以清除 PLLRDIF 标志。 0：无效果 1：清除 PLLRDIF 标志
15	LSECSSIEN	LSE 时钟安全系统中断使能 由软件置位和清零以启用和禁用时钟安全系统中断。 0：禁用 LSE 时钟安全系统中断 1：使能 LSE 时钟安全系统中断
14	BORIEN	BOR 中断使能 由软件置位和清零以启用和禁用 BOR 中断。 0：禁用 BOR 中断 1：使能 BOR 中断
13	LSERDIEN	LSE 就绪中断使能 由软件置位和清零以启用和禁用 LSE 就绪中断。 0：禁用 LSE 就绪中断 1：使能 LSE 就绪中断
12	LSIRDIEN	LSI 就绪中断使能 由软件置位和清零以启用和禁用 LSI 就绪中断。 0：禁用 LSI 就绪中断 1：使能 LSI 就绪中断
11	HSECSSIEN	HSE 时钟安全系统中断使能 由软件置位和清零以启用和禁用时钟安全系统中断。 0：禁用 HSE 时钟安全系统中断 1：使能 HSE 时钟安全系统中断
10	HSERDIEN	HSE 就绪中断使能 由软件置位和清零以启用和禁用 HSE 就绪中断。 0：禁用 HSE 就绪中断 1：使能 HSE 就绪中断
9	HSIRDIEN	HSI 就绪中断使能 由软件置位和清零以启用和禁用 HSI 就绪中断。 0：禁止 HSI 就绪中断 1：使能 HSI 就绪中断
8	PLLRDIEN	PLL 就绪中断使能 由软件置位和清零以启用和禁用 PLL 就绪中断 0：禁用 PLL 就绪中断 1：使能 PLL 就绪中断

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
7	LSECSSIF	LSE 时钟安全系统中断标志 当 LSECSSIEN 置位且外部 LSE 振荡器中检测到故障时由硬件置位。 该位由软件通过设置 LSECSSICLR 位来清除。 0：无 LSE 时钟故障引起的时钟安全系统中断 1：LSE 时钟故障引起的时钟安全系统中断
6	BORIF	BOR 中断标志 当 BORIEN 置位且 BOR 发生时由硬件置位。 该位由软件通过设置 BORICLR 位来清除。 0：未发生 BOR 复位中断 1：已发生 BOR 复位中断。
5	LSERDIF	LSE 就绪中断标志 当 LSERDIEN 置位且 LSE 时钟准备好时由硬件置位。 该位由软件通过设置 LSERDICLR 位来清除。 0：无由 LSE 振荡器引起的时钟就绪中断 1：由 LSE 振荡器引起的时钟就绪中断
4	LSIRDIF	LSI 就绪中断标志 当 LSIRDIEN 置位且 LSI 时钟就绪时由硬件置位。 该位由软件通过设置 LSIRDICLR 位来清除。 0：无由 LSI 振荡器引起的时钟就绪中断 1：LSI 振荡器引起的时钟就绪中断
3	HSECSSIF	HSE 时钟安全系统中断标志 当 HSECSSIEN 置位且外部 HSE 振荡器中检测到故障时由硬件置位。 该位由软件通过设置 HSECSSICLR 位来清除。 0：无 HSE 时钟故障引起的时钟安全系统中断 1：HSE 时钟故障引起的时钟安全系统中断
2	HSERDIF	HSE 就绪中断标志 当 HSERDIEN 置位且 HSE 时钟准备好时由硬件置位。 该位由软件通过设置 HSERDICLR 位来清除。 0：无由 HSE 振荡器引起的时钟就绪中断 1：HSE 振荡器引起的时钟就绪中断
1	HSIRDIF	HSI 就绪中断标志 当 HSIRDIEN 置位且 HSI 时钟准备好时由硬件置位。 该位由软件通过设置 HSIRDICLR 位来清除。 0：无由 HSI 振荡器引起的时钟就绪中断 1：由 HSI 振荡器引起的时钟就绪中断
0	PLLRDIF	PLL 就绪中断标志 当 PLLRDIEN 置位且 PLL 时钟准备好时，该位由硬件置位。 该位由软件通过设置 PLLRDICLR 位来清除。 0：无由 PLL 锁定引起的时钟就绪中断 1：由 PLL 锁定引起的时钟就绪中断

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

4.3.6 控制/状态寄存器(RCC_CTRLSTS)

偏移地址：0x14

复位值：0x0C000003

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
LPWRRSTF	WWDGRSTF	IWDGRSTF	SFTRSTF	PORRSTF	PINRSTF	SMPURSTF	Reserved	RAMERSTF	Reserved	BKPEMCF	MAINEMCF	BORRSTF	Reserved		
r	r	r	r	r	r	r		r		r	r	r			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved												RMRSTF	Reserved	LSIRD	LSIEN
												rw		r	rw

位域	名称	描述
31	LPWRRSTF	低功耗复位标志 当发生低功耗管理复位时由硬件设置。 软件通过写入 RMRSTF 位清零。 0：未发生低功耗管理复位 1：发生低功耗管理复位
30	WWDGRSTF	窗口看门狗复位标志 发生窗口看门狗复位时由硬件置位。 软件通过写入 RMRSTF 位清零。 0：未发生窗口看门狗复位 1：发生窗口看门狗复位
29	IWDGRSTF	独立看门狗复位标志 发生独立看门狗复位时由硬件置位 软件通过写入 RMRSTF 位清零。 0：未发生独立看门狗复位 1：发生独立看门狗复位
28	SFTRSTF	软件复位标志 发生软件复位时由硬件置位。 软件通过写入 RMRSTF 位清零。 0：未发生软件复位 1：发生软件复位
27	PORRSTF	上电/掉电复位标志 发生上电/掉电复位时由硬件置位 软件通过写入 RMRSTF 位清零。 0：未发生上电/断电复位 1：发生上电/掉电复位
26	PINRSTF	外部引脚复位标志 当 NRST 引脚发生复位时由硬件置位。 软件通过写入 RMRSTF 位清零。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：未发生 NRST 引脚复位 1：发生 NRST 引脚复位
25	SMPURSTF	SMPU 复位标志 发生 SMPU 复位时由硬件置位。 软件通过写入 RMRSTF 位清零。 0：未发生 SMPU 复位 1：发生 SMPU 复位
24	Reserved	保留，必须保持复位值
23	RAMERSTF	RAM ECC 或奇偶校验错误复位标志。 在 RAM ECC 或奇偶校验错误复位发生时由硬件置 1，软件通过写 RMRSTF 位清除。 0：无 RAM 校验复位发生 1：有 RAM 校验复位发生
22	Reserved	保留，必须保持复位值
21	BKPEMCF	备份域 EMC 复位标志。 在备份域 EMC 复位发生时由硬件置 1，软件通过写 RMRSTF 位清除。 0：无备份域 EMC 复位发生 1：有备份域 EMC 复位发生
20	MAINEMCF	主电域 EMC 复位标志。 在主电域 EMC 复位发生时由硬件置 1，软件通过写 RMRSTF 位清除。 0：无主电域 EMC 复位发生 1：有主电域 EMC 复位发生
19	BORRSTF	BOR 复位标志。 在 BOR 复位发生时由硬件置 1，软件通过写 RMRSTF 位清除。 0：无 BOR 复位发生 1：有 BOR 复位发生
18:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3	RMRSTF	清除复位标志 软件通过置 1 该位来清除所有复位标志。 0:无作用 1:清除复位标志
2	Reserved	保留，必须保持复位值
1	LSIRD	内部低速振荡器就绪 由硬件置位和清零以指示内部 RC 32kHz 振荡器是否就绪。LSIEN 清零后，LSIRD 在 3 个内部 RC 32kHz 振荡器时钟周期后清零。 0：内部 32kHz RC 振荡器时钟未就绪 1：内部 32kHz RC 振荡器时钟就绪
0	LSIEN	内部低速振荡器使能 软件置位和清零。 0：禁用内部 RC 32kHz 振荡器 1：使能内部 RC 32kHz 振荡器

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

4.3.7 AHB 外设时钟使能寄存器(RCC_AHBPCLKEN)

偏移地址：0x18

复位值：0x00000003

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved														ATIM3EN	ATIM2EN
														rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ATIM1EN	DVPEN	CORDICEN	SDRAMEN	USBHSEN	ETHEN	CRCEN	DMA2EN	DMA1EN	SDIOEN	XSPIEN	RNGCEN	BKPSRAMEN	FEMCEN	FLITFEN	SRAMEN
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:18	Reserved	保留，必须保持复位值
17	ATIM3EN	ATIM3 时钟使能 软件置位和清零. 0：ATIM3 时钟禁能 1：ATIM3 时钟使能
16	ATIM2EN	ATIM2 时钟使能 软件置位和清零. 0：ATIM2 时钟禁能 1：ATIM2 时钟使能
15	ATIM1EN	ATIM1 时钟使能 软件置位和清零. 0：ATIM1 时钟禁能 1：ATIM1 时钟使能
14	DVPEN	DVP 时钟使能 软件置位和清零. 0：DVP 时钟禁能 1：DVP 时钟使能
13	CORDICEN	CORDIC 时钟使能 软件置位和清零. 0：CORDIC 时钟禁能 1：CORDIC 时钟使能
12	SDRAMEN	SDRAM 时钟使能 软件置位和清零. 0：SDRAM 时钟禁能 1：SDRAM 时钟使能
11	USBHSEN	USBHS 时钟使能 软件置位和清零. 0：USBHS 时钟禁能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：USBHS 时钟使能
10	ETHEN	ETH 时钟使能 软件置位和清零. 0：ETH 时钟禁能 1：ETH 时钟使能
9	CRCEN	CRC 时钟使能 软件置位和清零. 0：CRC 时钟禁能 1：CRC 时钟使能
8	DMA2EN	DMA2 时钟使能 软件置位和清零. 0：DMA2 时钟禁能 1：DMA2 时钟使能
7	DMA1EN	DMA1 时钟使能 软件置位和清零. 0：DMA1 时钟禁能 1：DMA1 时钟使能
6	SDIOEN	SDIO 时钟使能 软件置位和清零. 0：SDIO 时钟禁能 1：SDIO 时钟使能
5	XSPIEN	XSPI 时钟使能 软件置位和清零. 0：XSPI 时钟禁能 1：XSPI 时钟使能
4	RNGCEN	RNGC 时钟使能 软件置位和清零. 0：RNGC 时钟禁能 1：RNGC 时钟使能
3	BKPSRAMEN	Backup SRAM 时钟使能 软件置位和清零. 0：Backup SRAM 时钟禁能 1：Backup SRAM 时钟使能
2	FEMCEN	FEMC 时钟使能 软件置位和清零. 0：FEMC 时钟禁能 1：FEMC 时钟使能
1	FLITFEN	闪存接口电路时钟使能。 软件置位或清零。 0：闪存接口电路时钟禁能 1：闪存接口电路时钟使能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
0	SRAMEN	SRAM 时钟使能 在 SLEEP 模式下，软件置位和清零以启用/禁用 SRAM 时钟。 0：在 SLEEP 模式下 SRAM 时钟禁能 1：在 SLEEP 模式下 SRAM 时钟使能

4.3.8 APB1 外设时钟使能寄存器 (RCC_APB1PCLKEN)

偏移地址：0x1C

复位值：0x00000000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
DSMUEN	DAC12EN	WWDGEN	I2C4EN	I2C3EN	FDCAN3OFFEN	FDCAN2OFFEN	FDCAN1OFFEN	BTIM2EN	BTIM1EN	FDCAN3EN	FDCAN2EN	FDCAN1EN	USBFSEN	UCDREN	GTIM7EN
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
GTIM6EN	GTIM5EN	GTIM4EN	GTIM3EN	GTIM2EN	GTIM1EN	SPI3EN	SPI2EN	I2C2EN	I2C1EN	UART5EN	UART8EN	USART3EN	USART2EN	BKPEN	PWREN
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31	DSMUEN	DSMU 时钟使能 软件置位和清零. 0：DSMU 时钟禁能 1：DSMU 时钟使能
30	DAC12EN	DAC1/2 时钟使能 软件置位和清零. 0：DAC1/2 时钟禁能 1：DAC1/2 时钟使能
29	WWDGEN	WWDG 时钟使能 软件置位和清零. 0：WWDG 时钟禁能 1：WWDG 时钟使能
28	I2C4EN	I2C4 时钟使能 软件置位和清零. 0：I2C4 时钟禁能 1：I2C4 时钟使能
27	I2C3EN	I2C3 时钟使能 软件置位和清零. 0：I2C3 时钟禁能 1：I2C3 时钟使能
26	FDCAN3OFFEN	FDCAN3 关闭请求信号使能 该位使能后给 FDCAN 模块发送关闭请求，CPU 接收到 FDCAN 模块的关闭应答后清除该位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：不发送关闭请求 1：发送关闭请求
25	FDCAN2OFFEN	FDCAN2 关闭请求信号使能 该位使能后给 FDCAN 模块发送关闭请求，CPU 接收到 FDCAN 模块的关闭应答后清除该位。 0：不发送关闭请求 1：发送关闭请求
24	FDCAN1OFFEN	FDCAN1 关闭请求信号使能 该位使能后给 FDCAN 模块发送关闭请求，CPU 接收到 FDCAN 模块的关闭应答后清除该位。 0：不发送关闭请求 1：发送关闭请求
23	BTIM2EN	BTIM2 时钟使能 软件置位和清零. 0：BTIM2 时钟禁能 1：BTIM2 时钟使能
22	BTIM1EN	BTIM1 时钟使能 软件置位和清零. 0：BTIM1 时钟禁能 1：BTIM1 时钟使能
21	FDCAN3EN	FDCAN3 时钟使能 软件置位和清零. 0：FDCAN3 时钟禁能 1：FDCAN3 时钟使能
20	FDCAN2EN	FDCAN2 时钟使能 软件置位和清零. 0：FDCAN2 时钟禁能 1：FDCAN2 时钟使能
19	FDCAN1EN	FDCAN1 时钟使能 软件置位和清零. 0：FDCAN1 时钟禁能 1：FDCAN1 时钟使能
18	USBFSEN	USBFS 时钟使能 软件置位和清零. 0：USBFS 时钟禁能 1：USBFS 时钟使能
17	UCDREN	UCDR 时钟使能 软件置位和清零. 0：UCDR 时钟禁能 1：UCDR 时钟使能
16	GTIM7EN	GTIM7 时钟使能 软件置位和清零.

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：GTIM7 时钟禁能 1：GTIM7 时钟使能
15	GTIM6EN	GTIM6 时钟使能 软件置位和清零. 0：GTIM6 时钟禁能 1：GTIM6 时钟使能
14	GTIM5EN	GTIM5 时钟使能 软件置位和清零. 0：GTIM5 时钟禁能 1：GTIM5 时钟使能
13	GTIM4EN	GTIM4 时钟使能 软件置位和清零. 0：GTIM4 时钟禁能 1：GTIM4 时钟使能
12	GTIM3EN	GTIM3 时钟使能 软件置位和清零. 0：GTIM3 时钟禁能 1：GTIM3 时钟使能
11	GTIM2EN	GTIM2 时钟使能 软件置位和清零. 0：GTIM2 时钟禁能 1：GTIM2 时钟使能
10	GTIM1EN	GTIM1 时钟使能 软件置位和清零. 0：GTIM1 时钟禁能 1：GTIM1 时钟使能
9	SPI3EN	SPI3 时钟使能 软件置位和清零. 0：SPI3 时钟禁能 1：SPI3 时钟使能
8	SPI2EN	SPI2 时钟使能 软件置位和清零. 0：SPI2 时钟禁能 1：SPI2 时钟使能
7	I2C2EN	I2C2 时钟使能 软件置位和清零. 0：I2C2 时钟禁能 1：I2C2 时钟使能
6	I2C1EN	I2C1 时钟使能 软件置位和清零. 0：I2C1 时钟禁能 1：I2C1 时钟使能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
5	UART5EN	UART5 时钟使能 软件置位和清零. 0：UART5 时钟禁能 1：UART5 时钟使能
4	UART8EN	UART8 时钟使能 软件置位和清零. 0：UART8 时钟禁能 1：UART8 时钟使能
3	USART3EN	USART3 时钟使能 软件置位和清零. 0：USART3 时钟禁能 1：USART3 时钟使能
2	USART2EN	USART2 时钟使能 软件置位和清零. 0：USART2 时钟禁能 1：USART2 时钟使能
1	BKPEN	Backup 接口使能 软件置位和清零. 0：Backup 接口禁能 1：Backup 接口使能
0	PWREN	电源接口时钟使能 软件置位和清零. 0：电源接口时钟禁能 1：电源接口时钟使能

4.3.9 **APB2 外设时钟使能寄存器(RCC_APB2PCLKEN)**

偏移地址：0x20

复位值：0x00000000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	USART4EN	UART10EN	USART9EN	Reserved	GTIM10EN	GTIM9EN	GTIM8EN	UART7EN	UART6EN	USART1EN	SPI1EN	SPI4EN	SPI5EN	SPI6EN	AFIOEN
	rw	rw	rw		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:15	Reserved	保留，必须保持复位值
14	USART4EN	USART4 时钟使能 软件置位和清零.

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：USART4 时钟禁能 1：USART4 时钟使能
13	UART10EN	UART10 时钟使能 软件置位和清零. 0：UART10 时钟禁能 1：UART10 时钟使能
12	USART9EN	USART9 时钟使能 软件置位和清零. 0：USART9 时钟禁能 1：USART9 时钟使能
11	Reserved	保留，必须保持复位值
10	GTIM10EN	GTIM10 时钟使能 软件置位和清零. 0：GTIM10 时钟禁能 1：GTIM10 时钟使能
9	GTIM9EN	GTIM9 时钟使能 软件置位和清零. 0：GTIM9 时钟禁能 1：GTIM9 时钟使能
8	GTIM8EN	GTIM8 时钟使能 软件置位和清零. 0：GTIM8 时钟禁能 1：GTIM8 时钟使能
7	UART7EN	UART7 时钟使能 软件置位和清零. 0：UART7 时钟禁能 1：UART7 时钟使能
6	UART6EN	UART6 时钟使能 软件置位和清零. 0：UART6 时钟禁能 1：UART6 时钟使能
5	USART1EN	USART1 时钟使能 软件置位和清零. 0：USART1 时钟禁能 1：USART1 时钟使能
4	SPI1EN	SPI1 时钟使能 软件置位和清零. 0：SPI1 时钟禁能 1：SPI1 时钟使能
3	SPI4EN	SPI4 时钟使能 软件置位和清零. 0：SPI4 时钟禁能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：SPI4 时钟使能
2	SPI5EN	SPI5 时钟使能 软件置位和清零. 0：SPI5 时钟禁能 1：SPI5 时钟使能
1	SPI6EN	SPI6 时钟使能 软件置位和清零. 0：SPI6 时钟禁能 1：SPI6 时钟使能
0	AFIOEN	AFIO 时钟使能 软件置位和清零. 0：AFIO 时钟禁能 1：AFIO 时钟使能

4.3.10 **AHB 外设复位寄存器(RCC_AHBPRST)**

偏移地址：0x24

复位值：0x00000040

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ETHRST	USBHSRST	SDRAMRST	CORDICRST	ATIM3RST	ATIM2RST	ATIM1RST	DVPRST		Reserved		ADC3RST	ADC2RST	ADC1RST	IOPHRST	IOPGRST
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw				rw	rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
IOPFRST	IOPERST	IOPDRST	IOPCRST	IOPBRST	IOPARST	Reserved	FEMCRST	SDIORST	USBHSPHYRST	XSPIRST	RNGCRST	SACRST		Reserved	
rw	rw	rw	rw	rw	rw		rw	rw	rw	rw	rw	rw			

位域	名称	描述
31	ETHRST	ETH 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 ETH
30	USBHSRST	USBHS 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 USBHS
29	SDRAMRST	SDRAM 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 SDRAM
28	CORDICRST	CORDIC 复位。 软件置位或清零。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：清除复位 1：复位 CORDIC
27	ATIM3RST	ATIM3 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 ATIM3
26	ATIM2RST	ATIM2 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 ATIM2
25	ATIM1RST	ATIM1 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 ATIM1
24	DVPRST	DVP 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 DVP
23:21	Reserved	保留，必须保持复位值
20	ADC3RST	ADC3 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 ADC3
19	ADC2RST	ADC2 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 ADC2
18	ADC1RST	ADC1 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 ADC1
17	IOPHRST	GPIOH 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 GPIOH
16	IOPGRST	GPIOG 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 GPIOG
15	IOPFRST	GPIOF 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：复位 GPIOF
14	IOPERST	GPIOE 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 GPIOE
13	IOPDRST	GPIOD 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 GPIOD
12	IOPCRST	GPIOC 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 GPIOC
11	IOPBRST	GPIOB 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 GPIOB
10	IOPARST	GPIOA 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 GPIOA
9	Reserved	保留，必须保持复位值
8	FEMCRST	FEMC 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 FEMC
7	SDIORST	SDIO 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 SDIO
6	USBHSPHYRST	USBHS PHY POR 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 USBHS PHY *注：使用 USBHS 模块前应先将该位清零*
5	XSPIRST	XSPI 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 XSPI
4	RNGCRST	RNGC 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：复位 RNGC
3	SACRST	SAC 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 SAC
2:0	Reserved	保留，必须保持复位值

4.3.11 **APB1 外设复位寄存器(RCC_APB1PRST)**

偏移地址：0x28

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	DAC12RST	WWDGRST	I2C4RST	I2C3RST	DSMURST	UART10RST	USART9RST	BTIM2RST	BTIM1RST	FDCAN3RST	FDCAN2RST	FDCAN1RST	USBFSRST	UCDRRST	GTIM7RST
rw	rw	rw	rw	rw				rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
GTIM6RST	GTIM5RST	GTIM4RST	GTIM3RST	GTIM2RST	GTIM1RST	SPI3RST	SPI2RST	I2C2RST	I2C1RST	UART5RST	UART8RST	USART3RST	USART2RST	BKPRST	PWRRST
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31	Reserved	保留，必须保持复位值
30	DAC12RST	DAC1/2 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 DAC1/2
29	WWDGRST	WWDG 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 WWDG
28	I2C4RST	I2C4 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 I2C4
27	I2C3RST	I2C3 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 I2C3
26	DSMURST	DSMU 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 DSMU

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
25	UART10RST	UART10 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 UART10
24	USART9RST	USART9 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 USART9
23	BTIM2RST	BTIM2 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 BTIM2
22	BTIM1RST	BTIM1 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 BTIM1
21	FDCAN3RST	FDCAN3 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 FDCAN3
20	FDCAN2RST	FDCAN2 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 FDCAN2
19	FDCAN1RST	FDCAN1 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 FDCAN1
18	USBFSRST	USBFS 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 USBFS
17	UCDRRST	UCDR 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 UCDR
16	GTIM7RST	GTIM7 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 GTIM7
15	GTIM6RST	GTIM6 复位。 软件置位或清零。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：清除复位 1：复位 GTIM6
14	GTIM5RST	GTIM5 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 GTIM5
13	GTIM4RST	GTIM4 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 GTIM4
12	GTIM3RST	GTIM3 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 GTIM3
11	GTIM2RST	GTIM2 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 GTIM2
10	GTIM1RST	GTIM1 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 GTIM1
9	SPI3RST	SPI3 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 SPI3
8	SPI2RST	SPI2 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 SPI2
7	I2C2RST	I2C2 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 I2C2
6	I2C1RST	I2C1 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 I2C1
5	UART5RST	UART5 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 UART5

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
4	UART8RST	UART8 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 UART8
3	USART3RST	USART3 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 USART3
2	USART2RST	USART2 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 USART2
1	BKPRST	Backup 接口复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 Backup 接口
0	PWRRST	电源接口复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位电源接口

4.3.12 **APB2 外设复位寄存器(RCC_APB2PRST)**

偏移地址：0x2C

复位值：0x00000000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	USART4RST	Reserved			GTIM10RST	GTIM9RST	GTIM8RST	UART7RST	UART6RST	USART1RST	SPI1RST	SPI4RST	SPI5RST	SPI6RST	AFIORST
	rw				rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:15	Reserved	保留，必须保持复位值
14	USART4RST	USART4 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 USART4
13:11	Reserved	保留，必须保持复位值
10	GTIM10RST	GTIM10 复位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 GTIM10
9	GTIM9RST	GTIM9 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 GTIM9
8	GTIM8RST	GTIM8 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 GTIM8
7	UART7RST	UART7 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 UART7
6	UART6RST	UART6 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 UART6
5	USART1RST	USART1 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 USART1
4	SPI1RST	SPI1 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 SPI1
3	SPI4RST	SPI4 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 SPI4
2	SPI5RST	SPI5 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 SPI5
1	SPI6RST	SPI6 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 SPI6
0	AFIORST	AFIO 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：复位 AFIO

4.3.13 MCO 配置寄存器(RCC_MCOCFG)

偏移地址：0x30

复位值：0x00002200

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved														MCO2EN	MCO1EN
														rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MCO2PRES[3:0]				MCO1PRES[3:0]				MCO2[3:0]				MCO1[3:0]			
rw				rw				rw				rw			

位域	名称	描述
31:18	Reserved	保留，必须保持复位值
17	MCO2EN	MCO2 输出使能： 0：关闭 MCO2 输出 1：使能 MCO2 输出
16	MCO1EN	MCO1 输出使能： 0：关闭 MCO1 输出 1：使能 MCO1 输出
15:12	MCO2PRES[3:0]	MCO2 分频系数 0000: MCO2 输出不分频 0001: MCO2 输出 2 分频 0010: MCO2 输出 3 分频 0011: MCO2 输出 4 分频 … 1111: MCO2 输出 16 分频
11:8	MCO1PRES[3:0]	MCO1 分频系数 0000: MCO1 输出不分频 0001: MCO1 输出 2 分频 0010: MCO1 输出 3 分频 0011: MCO1 输出 4 分频 … 1111: MCO1 输出 16 分频
7:4	MCO2[3:0]	微控制器时钟输出 2 由软件设置和清除。 0000：选择系统时钟 0001：选择 HSI 时钟 0010：选择 HSE 时钟

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0011: 选择 LSI 时钟 0100: 选择 LSE 时钟 0101: 不可用 0110: 选择 USBHS48M 时钟 0111: 选择 PLL 时钟 1000: 选择 EXTPLL 时钟 1001: 选择 USBHS240M 时钟 其他值：不可用 *注意：* *该时钟输出在启动和切换 MCO 时钟源时可能会被截断。* *在系统时钟作为输出至 MCO 引脚时，应保证输出时钟频率不超过 I/O 口最高频率 50MHz。*
3:0	MCO1[3:0]	微控制器时钟输出 1 由软件设置和清除。 0000: 选择系统时钟 0001: 选择 HSI 时钟 0010: 选择 HSE 时钟 0011: 选择 LSI 时钟 0100: 选择 LSE 时钟 0101: 不可用 0110: 选择 USBHS48M 时钟 0111: 选择 PLL 时钟 1000: 选择 EXTPLL 时钟 1001: 选择 USBHS240M 时钟 其他值：不可用 *注意：* *该时钟输出在启动和切换 MCO 时钟源时可能会被截断。* *在系统时钟作为输出至 MCO 引脚时，应保证输出时钟频率不超过 I/O 口最高频率 50MHz。*

4.3.14 备份域控制寄存器(RCC_BDCTRL)

偏移地址：0x34

复位值：0x00000000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		LPTIM2RST	LPTIM1RST	LPTIM2EN	LPTIM2SEL[2:0]			LPTIM1EN	LPTIM1SEL[2:0]			Reserved			BDSFTRST
		rw	rw	rw		rw		rw		rw					rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RTCEN	Reserved					RTCSEL[1:0]		Reserved				LSECSSEN	LSEBP	LSERD	LSEEN
rw						rw						rw	rw	r	rw

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值
29	LPTIM2RST	LPTIM2 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 LPTIM2
28	LPTIM1RST	LPTIM1 复位。 软件置位或清零。 0：清除复位 1：复位 LPTIM1
27	LPTIM2EN	LPTIM2 时钟使能 软件置位和清零. 0：LPTIM2 时钟禁能 1：LPTIM2 时钟使能
26:24	LPTIM2SEL[2:0]	LPTIM2 时钟源选择。 软件置位或清零。 010：选择 HSI 作为输入时钟 011：选择 HSE 作为输入时钟 100：选择 PCLK1 作为输入时钟 110：选择 LSI 作为输入时钟 111：选择 LSE 作为输入时钟 其他值：不允许配置
23	LPTIM1EN	LPTIM1 时钟使能 软件置位和清零. 0：LPTIM1 时钟禁能 1：LPTIM1 时钟使能
22:20	LPTIM1SEL[2:0]	LPTIM1 时钟源选择。 软件置位或清零。 010：选择 HSI 作为输入时钟 011：选择 HSE 作为输入时钟 100：选择 PCLK1 作为输入时钟 110：选择 LSI 作为输入时钟 111：选择 LSE 作为输入时钟 其他值：不允许配置
19:17	Reserved	保留，必须保持复位值
16	BDSFTRST	备份域软件复位。 软件置 1 或清零。 0：无作用 1：复位整个备份域
15	RTCEN	RTC 时钟使能 软件置位和清零. 0:禁能 RTC 时钟

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1:使能 RTC 时钟
14:10	Reserved	保留，必须保持复位值
9:8	RTCSEL[1:0]	RTC 时钟源选择 由软件设置以选择 RTC 时钟源。一旦选择了 RTC 时钟源，在下次备份域复位之前无法更改。这些位可以通过设置 BDSFTRST 位来复位。 00：无时钟 01：选择 LSE 振荡器作为 RTC 时钟 10：选择 LSI 振荡器作为 RTC 时钟 11：选择 HSE 振荡器 128 分频为 RTC 时钟
7:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3	LSECSSEN	LSE 时钟安全系统使能 软件置位或清零。 0：关闭 LSE 时钟检测器 1：如果 LSE 就绪，开启 LSE 时钟检测器
2	LSEBP	外部低速振荡器旁路 在调试模式下，软件置位和清零旁路振荡器。该位只能在外部低速振荡器禁用时写入。 0：LSE 振荡器未旁路 1：LSE 振荡器旁路
1	LSERD	外部低速时钟振荡器就绪 由硬件置位和清零以指示 LSE 振荡器是否就绪。LSEEN 位清零后，LSERD 在 LSE 时钟的 6 个周期后清零。 0：外部低速振荡器未就绪 1：外部低速振荡器就绪
0	LSEEN	外部低速时钟振荡器使能 软件置位和清零。 0：禁止外部低速振荡器 1：使能外部低速振荡器。

注意：该寄存器处于备份域，因此，这些位在复位后是写保护的，只有在 PWR_CTRL.DBKP 位置位后才能更改。这些位只能由备份域复位清除。任何内部或外部复位都不会影响这些位。

4.3.15 时钟安全系统控制寄存器(RCC_CSSCTRL)

偏移地址：0x38

复位值：0x0000 0848

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved									HSICSSEN	Reserved	WKUPCLKSEL	Reserved	HSEPOF	HSEFHF	HSEFLF
									rw		rw		r	r	r

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
HSEPOEN	HSEFHEN	HSEFLEN	HSEDLSEL	HSEPOTHR[3:0]				HSEFHTHR[3:0]				HSEFLTHR[3:0]			

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

rw rw rw rw rw rw rw

位域	名称	描述
31:23	Reserved	保留，必须保持复位值
22	HSICSSEN	HSI 时钟安全系统使能位 由软件置位和清零。 0：禁用时钟检测器 1：如果 HSI 振荡器就绪，则使能时钟检测器
21	Reserved	保留，必须保持复位值
20	WKUPCLKSEL	STOP0 模式唤醒时钟选择 由软件设置和清除。 0：使用 HSI 唤醒 1：使用 HSE 唤醒
19	Reserved	保留，必须保持复位值
18	HSEPOF	HSE 频率变化率超范围标志 0：未发生频率变化率超范围 1：已发生频率变化率超范围
17	HSEFHF	HSE 频率超出高限制值标志 0：未发生频率超出高限制值 1：已发生频率超出高限制值
16	HSEFLF	HSE 频率超出低限制值标志 0：未发生频率超出低限制值 1：已发生频率超出低限制值
15	HSEPOEN	HSE 频率变化率超范围检测使能 0：检测禁能 1：检测使能
14	HSEFHEN	HSE 频率超出高限制值检测使能 0：检测禁能 1：检测使能
13	HSEFLEN	HSE 频率超出低限制值检测使能 0：检测禁能 1：检测使能
12	HSEDLSEL	HSE 检测延时选择 0：基于 HSE 时钟延时 128 个周期 1：基于 LSI 时钟延时 32 个周期（LSI 需使能）
11:8	HSEPOTHR[3:0]	HSE 频率变化率阈值配置 HSE 相邻 cycle 的周期值差值大于(tHSI * (HSEPOTHR-2)/32) us 时报错
7:4	HSEFHTHR[3:0]	HSE 频率高限制值配置 频率大于(2*32/HSEFLTHR)MHz 时报错
3:0	HSEFLTHR[3:0]	HSE 频率低限制值配置 频率小于(32/(HSEFLTHR+1))MHz 时报错

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

4.3.16 AHB1 外设时钟使能寄存器(RCC_AHB1PCLKEN)

偏移地址：0x3C

复位值：0x00000000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SACEN	Reserved			ADC3EN	ADC2EN	ADC1EN	IOFILTSEL	IOPHEN	IOPGEN	IOPFEN	IOPEEN	IOPDEN	IOPCEN	IOPBEN	IOPAEN
rw				rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15	SACEN	SAC 时钟使能 软件置位和清零. 0：SAC 时钟禁能 1：SAC 时钟使能
14:12	Reserved	保留，必须保持复位值
11	ADC3EN	ADC3 时钟使能 软件置位和清零. 0：ADC3 时钟禁能 1：ADC3 时钟使能
10	ADC2EN	ADC2 时钟使能 软件置位和清零. 0：ADC2 时钟禁能 1：ADC2 时钟使能
9	ADC1EN	ADC1 时钟使能 软件置位和清零. 0：ADC1 时钟禁能 1：ADC1 时钟使能
8	IOFILTSEL	GPIO 滤波时钟选择 0：选择 HCLK 时钟 1：选择 HCLK/2 时钟
7	IOPHEN	GPIOH 时钟使能 软件置位和清零. 0：GPIOH 时钟禁能 1：GPIOH 时钟使能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
6	IOPGEN	GPIOG 时钟使能 软件置位和清零. 0：GPIOG 时钟禁能 1：GPIOG 时钟使能
5	IOPFEN	GPIOF 时钟使能 软件置位和清零. 0：GPIOF 时钟禁能 1：GPIOF 时钟使能
4	IOPEEN	GPIOE 时钟使能 软件置位和清零. 0：GPIOE 时钟禁能 1：GPIOE 时钟使能
3	IOPDEN	GPIOD 时钟使能 软件置位和清零. 0：GPIOD 时钟禁能 1：GPIOD 时钟使能
2	IOPCEN	GPIOC 时钟使能 软件置位和清零. 0：GPIOC 时钟禁能 1：GPIOC 时钟使能
1	IOPBEN	GPIOB 时钟使能 软件置位和清零. 0：GPIOB 时钟禁能 1：GPIOB 时钟使能
0	IOPAEN	GPIOA 时钟使能 软件置位和清零. 0：GPIOA 时钟禁能 1：GPIOA 时钟使能

4.3.17 PLL 时钟控制寄存器（RCC_PLLCTRL)

偏移地址：0x40

复位值：0x0F345686

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
EXTPLLPRES[3:0]				Reserved						EXTRSTEN	PLLRSTEN	PLLOUTPRES[1:0]		PLLINPRES[1:0]	
rw										rw	rw	rw		rw	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DEADZEN	LPFC2[2:0]			LPFR[3:0]				LPFC1[3:0]				Reserved			
rw	rw			rw				rw							

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:28	EXTPLLPRES[3:0]	EXTPLL 时钟源为 PLL 时的分频配置 当 EXTPLLSRC=2’b10 时生效，PLL 时钟经过分频之后给到 EXTPLL 作为时钟源。 0000：16 分频 0001：17 分频 0010：18 分频 … 1110：30 分频 1111：31 分频
27:22	Reserved	保留，必须保持复位值
21	EXTRSTEN	EXTPLL 模拟电路复位 当 EXTPLLEN=0 时，EXTRSTEN 配置 0 可强制将 EXTPLL 的模拟电路复位；当 EXTPLLEN=1 时，EXTRSTEN 必须保持为 1。 0：强制复位 EXTPLL 模拟电路 1：不复位 EXTPLL 模拟电路
20	PLLRSTEN	PLL 模拟电路复位 当 PLLEN=0 时，PLLRSTEN 配置 0 可强制将 PLL 的模拟电路复位；当 PLLEN=1 时，PLLRSTEN 必须保持为 1。 0：强制复位 EXTPLL 模拟电路 1：不复位 EXTPLL 模拟电路
19:18	PLLOUTPRES[1:0]	PLL 输出分频： 00：不分频 01：2 分频 10：4 分频 11：8 分频 *注意：配置为不分频时，占空比偏差为 50%+-5%，功耗较小；配置为分频时，占空比偏差 50%+-1%，但功耗更大*
17:16	PLLINPRES[1:0]	PLL 输入分频 00：不分频 01：2 分频 10：3 分频 11：4 分频
15	DEADZEN	PLL 监频监相器死区调整
14:12	LPFC2[2:0]	PLL 滤波环路的积分电容控制 根据 RCC_CFG.PLLMULFCT[5:0]对应的倍频系数选择不同的配置。 4~24 倍放大频率：配置 6 24~40 倍放大频率：配置 6 40~76 倍放大频率：配置 6
11:8	LPFR[3:0]	PLL 滤波环路的零点电阻控制 根据 RCC_CFG.PLLMULFCT[5:0]对应的倍频系数选择不同的配置。 4~24 倍放大频率：配置 3 24~40 倍放大频率：配置 7 40~76 倍放大频率：配置 12

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
7:4	LPFC1[3:0]	PLL 滤波环路的旁路电容控制 根据 RCC_CFG.PLLMULFCT[5:0]对应的倍频系数选择不同的配置。 4~24 倍放大频率：配置 4 24~40 倍放大频率：配置 4 40~76 倍放大频率：配置 4
3:0	Reserved	保留，必须保持复位值

4.3.18 **VREFBUF 控制寄存器（RCC_VREFCTRL）**

偏移地址：0x44

复位值：0x0000001F

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	TRIMEN	Reserved	RDY	Reserved		HIM	EN	VLSEL[1:0]		TRIMDATA[5:0]					
	rw		r			rw	rw	rw		rw					

位域	名称	描述
31:15	Reserved	保留，必须保持复位值
14	TRIMEN	VREFBUF 修调选择 0：VREFBUF 修调由硬件配置 1：VREFBUF 修调由用户配置
13	Reserved	保留，必须保持复位值
12	RDY	VREFBUF 准备就绪标志 0：VREFBUF 输出未完成 1：VREFBUF 输出准备好
11:10	Reserved	保留，必须保持复位值
9	HIM	高阻态模式使能 0：REF+引脚内部弱下拉 1：REF+引脚处于高阻态.
8	EN	VREFBUF 使能 0：禁能 1：使能
7:6	VLSEL[1:0]	电压档位选择 00：VREFBUF 输出 2.048V 01：VREFBUF 输出 2.5V 10：VREFBUF 输出 2.9V 其他值：不允许设置

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

5:0	TRIMDATA[5:0]	VREFBUF 校准 VLSEL[1:0] = 00（VREFBUF 输出 2.048V）时： 调节步长为 1.7mV VLSEL[1:0] = 01（VREFBUF 输出 2.5V）时： 调节步长为 2.1mV VLSEL[1:0] = 10（VREFBUF 输出 2.9V）时： 调节步长为 2.5mV

4.3.19 **EXTPLL 时钟控制寄存器(RCC_EXTCTRL)**

偏移地址：0x48

复位值： 0x00845686

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
EXTPLLRDF	EXTPLLEN	EXTPLLMUL[5:0]						EXTHSIPRES	EXTHSEPRES	EXTPLLSRC[1:0]		EXTOUTPRES[1:0]		EXTINPRES[1:0]	
r	rw	rw						rw	rw	rw		rw		rw	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
EXTDEADZEN	EXTLPFC2[2:0]			EXTLPFR[3:0]				EXTLPFC1[3:0]				Reserved			
rw	rw			rw				rw							

位域	名称	描述
31	EXTPLLRDF	EXTPLL 时钟就绪标志位 EXTPLL 时钟就绪后由硬件置位. 0:EXTPLL 未就绪 1:EXTPLL 已就绪
30	EXTPLLEN	EXTPLL 使能位 由软件置位和清零。 进入 STOP0/STANDBY 模式时，由硬件清零。当 EXTPLL 用作系统时钟时，该位不能清零。 0：禁用 EXTPLL 1：使能 EXTPLL
29:24	EXTPLLMUL[5:0]	EXTPLL 倍频系数 倍频系数由软件写入。这些位只能在 EXTPLL 被禁用时写入。 *注意：建议倍频系数不低于 8 倍* 000000:EXTPLL 输入时钟×4 000001:EXTPLL 输入时钟×6 000010:EXTPLL 输入时钟×8 000011:EXTPLL 输入时钟×10 000100:EXTPLL 输入时钟×12 000101:EXTPLL 输入时钟×14

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		000110:EXTPLL 输入时钟×16 000111:EXTPLL 输入时钟×18 001000:EXTPLL 输入时钟×20 … 011001:EXTPLL 输入时钟×54 011010:EXTPLL 输入时钟×56 011011:EXTPLL 输入时钟×58 011100:EXTPLL 输入时钟×60 011101:EXTPLL 输入时钟×62 011110:EXTPLL 输入时钟×64 011111:EXTPLL 输入时钟×66 100000:EXTPLL 输入时钟×68 100001:EXTPLL 输入时钟×70 100010:EXTPLL 输入时钟×72 100011:EXTPLL 输入时钟×74 100100:EXTPLL 输入时钟×76 其他值：禁止
23	EXTHSIPRES	EXTPLL 输入的 HSI 预分频器 由软件置位和清零，配置进入 EXTPLL 之前 HSI 的分频。该位只能在 EXTPLL 禁用时写入。 0：HSI 时钟不分频 1：HSI 时钟 2 分频
22	EXTHSEPRES	EXTPLL 输入的 HSE 预分频器 由软件置位和清零，配置进入 EXTPLL 之前 HSE 的分频。该位只能在 EXTPLL 禁用时写入。 0：HSE 时钟不分频 1：HSE 时钟 2 分频
21:20	EXTPLLSRC[1:0]	EXTPLL 时钟源 由软件置位和清零，配置选择 EXTPLL 时钟源。该位只能在 EXTPLL 禁用时写入。 00：选择 HSI（或 2 分频）时钟作为 EXTPLL 输入时钟 01：选择 HSE（或 2 分频）时钟作为 EXTPLL 输入时钟 10：选择 PLL（16~31 分频）时钟作为 EXTPLL 输入时钟 11：禁止
19:18	EXTOUTPRES[1:0]	EXTPLL 输出分频： 00：不分频 01：2 分频 10：4 分频 11：8 分频 *注意：配置为不分频时，占空比偏差为 50%+-5%，功耗较小；配置为分频时，占空比偏差 50%+-1%，但功耗更大*
17:16	EXTINPRES[1:0]	EXTPLL 输入分频 00：不分频

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		01：2 分频 10：3 分频 11：4 分频
15	EXTDEADZEN	EXTPLL 监频监相器死区调整
14:12	EXTLPFC2[2:0]	EXTPLL 滤波环路的积分电容控制 根据 RCC_EXTCTRL.EXTPLLMUL[5:0]对应的倍频系数选择不同的配置。 4~24 倍放大频率：配置 6 24~40 倍放大频率：配置 6 40~76 倍放大频率：配置 6
11:8	EXTLPFR[3:0]	EXTPLL 滤波环路的零点电阻控制 根据 RCC_EXTCTRL.EXTPLLMUL[5:0]对应的倍频系数选择不同的配置。 4~24 倍放大频率：配置 3 24~40 倍放大频率：配置 7 40~76 倍放大频率：配置 12
7:4	EXTLPFC1[3:0]	EXTPLL 滤波环路的旁路电容控制 根据 RCC_EXTCTRL.EXTPLLMUL[5:0]对应的倍频系数选择不同的配置。 4~24 倍放大频率：配置 4 24~40 倍放大频率：配置 4 40~76 倍放大频率：配置 4
3:0	Reserved	保留，必须保持复位值

4.3.20 SRAM 配置寄存器 1（RCC_SRAMCFG1）

偏移地址：0x70

复位值：0x00000001

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		CSRECCF[1:0]		SR2ECCF[1:0]		Reserved		FECCRSTEN	CSRECCCLR	SR2ECCCLR	Reserved	CSRECCRSTEN[1:0]		CSRECCIEN[1:0]	
		r		r				rw	w	w		rw		rw	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SR2PERSTEN		SR2PEIEN		Reserved					SRAMFIN	SRAMWEF	SRAMREF	SRINIF	SRINIEN	Reserved	SRAMPEN
rw		rw							rw	r	r	r	rw		rw

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值
29:28	CSRECCF[1:0]	CCM SRAM ECC 错误标志位 00：无 ECC 错误发生 01：发生 1bit ECC 错误 10：发生 2bit ECC 错误 11：发生 1bit 和 2bit ECC 错误
27:26	SR2ECCF[1:0]	SRAM2 ECC 错误标志位

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		00：无 ECC 错误发生 01：发生 1bit ECC 错误 10：发生 2bit ECC 错误 11：发生 1bit 和 2bit ECC 错误
25:24	Reserved	保留，必须保持复位值
23	FECCRSTEN	FLASH ECC 错误复位使能 0：当检测到 ECC 错误时产生复位 1：当检测到 ECC 错误时不产生复位
22	CSRECCCLR	CCM SRAM ECC 错误标志位清除 由软件置位以清除 CSRECCF 标志。 0：无效果 1：清除 CSRECCF 标志
21	SR2ECCCLR	SRAM2 ECC 错误标志位清除 由软件置位以清除 SR2ECCF 标志。 0：无效果 1：清除 SR2ECCF 标志
20	Reserved	保留，必须保持复位值
19:18	CSRECCRSTEN[1:0]	CCM SRAM ECC 错误复位使能 00：当检测到 ECC 错误时不产生复位 01：当检测到 1bit ECC 错误时产生复位 10：当检测到 2bit ECC 错误时产生复位 11：当检测到 1bit 和 2bit ECC 错误时产生复位
17:16	CSRECCIEN[1:0]	CCM SRAM ECC 错误中断使能 00：当检测到 ECC 错误时不触发中断 01：当检测到 1bit ECC 错误时触发中断 10：当检测到 2bit ECC 错误时触发中断 11：当检测到 1bit 和 2bit ECC 错误时触发中断
15:14	SR2ECCRSTEN[1:0]	SRAM2 ECC 错误复位使能 00：当检测到 ECC 错误时不产生复位 01：当检测到 1bit ECC 错误时产生复位 10：当检测到 2bit ECC 错误时产生复位 11：当检测到 1bit 和 2bit ECC 错误时产生复位
13:12	SR2ECCIEN[1:0]	SRAM2 ECC 错误中断使能 00：当检测到 ECC 错误时不触发中断 01：当检测到 1bit ECC 错误时触发中断 10：当检测到 2bit ECC 错误时触发中断 11：当检测到 1bit 和 2bit ECC 错误时触发中断
11:7	Reserved	保留，必须保持复位值
6	SRAMFIN	SRAM 注入 ECC 错误使能 0：ECC 校验错误注入禁能 1：ECC 校验错误注入使能
5	SRAMWEF	ECC SRAM 写错误标志位

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：无写错误发生 1：有写错误发生
4	SRAMREF	ECC SRAM 读错误标志位 0：无读错误发生 1：有读错误发生
3	SRINIF	SRAM 初始化完成标志位 0：SRAM 初始化未完成 1：SRAM 初始化已完成
2	SRINIEN	SRAM 初始化使能 软件置位后往 RCC_SRAMCFG3.INISTART~RCC_SRAMCFG4.INIEND 地址范围内写入 RCC_SRAMCFG2.INIDAT 0：SRAM 初始化禁能 1：SRAM 初始化使能
1	Reserved	保留，必须保持复位值
0	SRAMPEN	CCM SRAM 和 BKP SRAM ECC 使能 0：禁止 1：使能

4.3.21 SRAM 配置寄存器 2（RCC_SRAMCFG2）

偏移地址：0x74

复位值：0x00000000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
INIDAT[31:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
INIDAT[31:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	INIDAT[31:0]	SRAM 初始化数据

4.3.22 SRAM 配置寄存器 3（RCC_SRAMCFG3）

偏移地址：0x78

复位值：0x00000000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

INISTART[31:0]
rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
INISTART[31:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	INISTART[31:0]	SRAM 初始化起始地址

4.3.23 SRAM 配置寄存器 4（RCC_SRAMCFG4）

偏移地址：0x7C

复位值：0x00000000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
INIEND[31:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
INIEND[31:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	INIEND[31:0]	SRAM 初始化结束地址

4.3.24 USBHS 时钟控制寄存器 1 (RCC_USBHSCTRL1)

偏移地址：0x84

复位值：0x080B900C

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	RXTXPATH	BSTHEN	BSTLEN	Reserved				USBHSSEL	SEBP	Reserved		RESSEL	Reserved		
	rw	rw	rw					rw	rw			rw			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PDSEL	Reserved			PLLBW	USBHSFSEL			Reserved			WKUPSEL	Reserved			
rw				rw	rw						rw				

位域	名称	描述
31	Reserved	保留，必须保持复位值

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
30	RXTXPATH	收发器异步控制 0：选择 FS 发送/接收路径 1：选择 HS 发送/接收路径
29	BSTHEN	高字节传输 Bit-Stuffing 使能 0：禁能 Bit-Stuffing 1：使能 Bit-Stuffing
28	BSTLEN	低字节传输 Bit-Stuffing 使能 0：禁能 Bit-Stuffing 1：使能 Bit-Stuffing
27:24	Reserved	保留，必须保持复位值
23	USBHSSEL	USBHS 时钟源选择 时钟源频率必须为 16M、19.2M、20M、24M、26M 或 32M。 0：选择 HSE 时钟作为 USBHS 输入时钟 1：选择 PLL 分频时钟作为 USBHS 输入时钟 *注意：当选择 PLL 分频时钟时，可通过 RCC_CFG3.USBPLLSEL 选择 PLL 分频时钟源为 PLL 时钟或 EXTPLL 时钟。*
22	SEBP	静噪均衡器旁路 0：均衡器启用 1：均衡器旁路
21:20	Reserved	保留，必须保持复位值
19	RESSEL	校准电阻选择 用来校准 USB 2.0 femto PHY 的高速源阻抗 0：TXRTUNE 需要连接外部电阻（REXT） 1：使用内部电阻校准
18:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15	PDSEL	Common 模块的 Power-Down 控制信号选择 0：在暂停或睡眠模式下，REFCLK_LOGIC、Bias 和 PLL 模块保持供电（此时输入时钟保持打开并有效） 1：在暂停模式下，REFCLK_LOGIC、Bias 和 PLL 模块掉电；在睡眠模式下，Bias 和 PLL 模块掉电
14:12	Reserved	保留，必须保持复位值
11	PLLBW	USBHSPLL 带宽调节 0：输入时钟频率为 16M 时选择该位 1：输入时钟频率为 19.2M、20M、24M、26M 或 32M 时选择该位
10:8	USBHSFSEL	USBHS 时钟源频率选择 000：19.2M 001：20M 010：24M 011：16M 或 32M 110：26M 其他值：不允许设置
7:5	Reserved	保留，必须保持复位值

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
4	WKUPSEL	唤醒模式选择 0：选择 suspend 模式唤醒 1：选择 sleep 模式唤醒
3:0	Reserved	保留，必须保持复位值

4.3.25 USBHS 时钟控制寄存器 2 (RCC_USBHSCTRL2)

偏移地址：0x88

复位值：0x00805D33

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved												IDDQEN	Reserved		
												rw			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
IMPTRIM		RFTRIM		CROSTRIM		DATAVTRIM		HDCVTRIM				FLIMPTRIM			
rw		rw		rw		rw		rw				rw			

位域	名称	描述
31:20	Reserved	保留，必须保持复位值
19	IDDQEN	IDDQ 测试使能 0：IDDQ 模拟模块上电 1：IDDQ 模拟模块掉电
18:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:14	IMPTRIM	USB 信号源阻抗调整 00：源阻抗增加约 1.5 欧姆 01：0（默认） 10：源阻抗降低约 2 欧姆 11：源阻抗降低约 4 欧姆
13:12	RFTRIM	HS 发送器上升/下降时间调整 00：+5% 01：0（默认） 10：-3% 11：-7%
11:10	CROSTRIM	发送器高速分频器调整 00：保留 01：-15 mV 10：+15 mV 11：0（默认）
9:8	DATAVTRIM	数据检测电压调整 00：+10% 01：0（默认）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		10：-10% 11：-20%
7:4	HDCVTRIM	HS 直流电压电平调整 0000：-9% 0001：-6% 0010：-3% 0011：0（默认） 0100：+3% 0101：+6% 0110：+9% 0111：+12% 1000：+15% 1001：+18% 1010：+21% 1011：+24% 1100：+27% 1101：+30% 1110：+33% 1111：+36%
3:0	FLIMPTRIM	FS/LS 信号源阻抗调整 0000：+5% 0001：+2.5% 0011：0（默认） 0111：-2.5% 1111：-5%

4.3.26 BOOT 重映射寄存器（RCC_BOOTREMAP)

偏移地址：0x8C

复位值：0x00000000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
REMAPKEY[7:0]								Reserved						REMAPSEL[2:0]	
rw														rw	

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:8	REMAPKEY[7:0]	系统重映射使能 对 REMAPKEY[7:0]写 0xCC，会触发启动模式重映射并产生 CPU 软复位。
7:3	Reserved	保留，必须保持复位值
2:0	REMAPSEL[2:0]	重映射启动模式选择 000：从 system memory 启动； 001：从 flash main 前 bank 启动； 010：从 flash main 后 bank 启动； 011：从 SRAM 启动 100：从 FEMC 外挂的 NORFLASH 启动 101：从 XSPI 外挂的存储器启动 110：从 SDRAM 外挂的存储器启动 其他值：禁止

4.3.27 FDCAN 基地址寄存器 (RCC_FDCANBADDR)

偏移地址：0x90

复位值：0x20000000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
BADDR[31:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
BADDR[31:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	BADDR[31:0]	FDCAN 模块存放数据的 SRAM 基地址

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

5 GPIO 和 AFIO

5.1 概述

GPIO（General purpose input/output）即通用型 I/O，AFIO（Alternate-function input/output）即复用功能 I/O。芯片最多支持 118 个 GPIO，共被分为 8 组（GPIOA/GPIOB/GPIOC/GPIOD/GPIOE/GPIOF/GPIOG/GPIOH），每组 16 个端口（H 组共 6 个）。GPIO 端口和其他的复用外设共用引脚，用户可以根据需求灵活配置。每个 GPIO 引脚都可以独立配置成输出（推挽或开漏）、输入（浮空、上拉或下拉）或复用的外设功能端口。除了模拟功能引脚外，其他的 GPIO 引脚都有大电流通过能力。

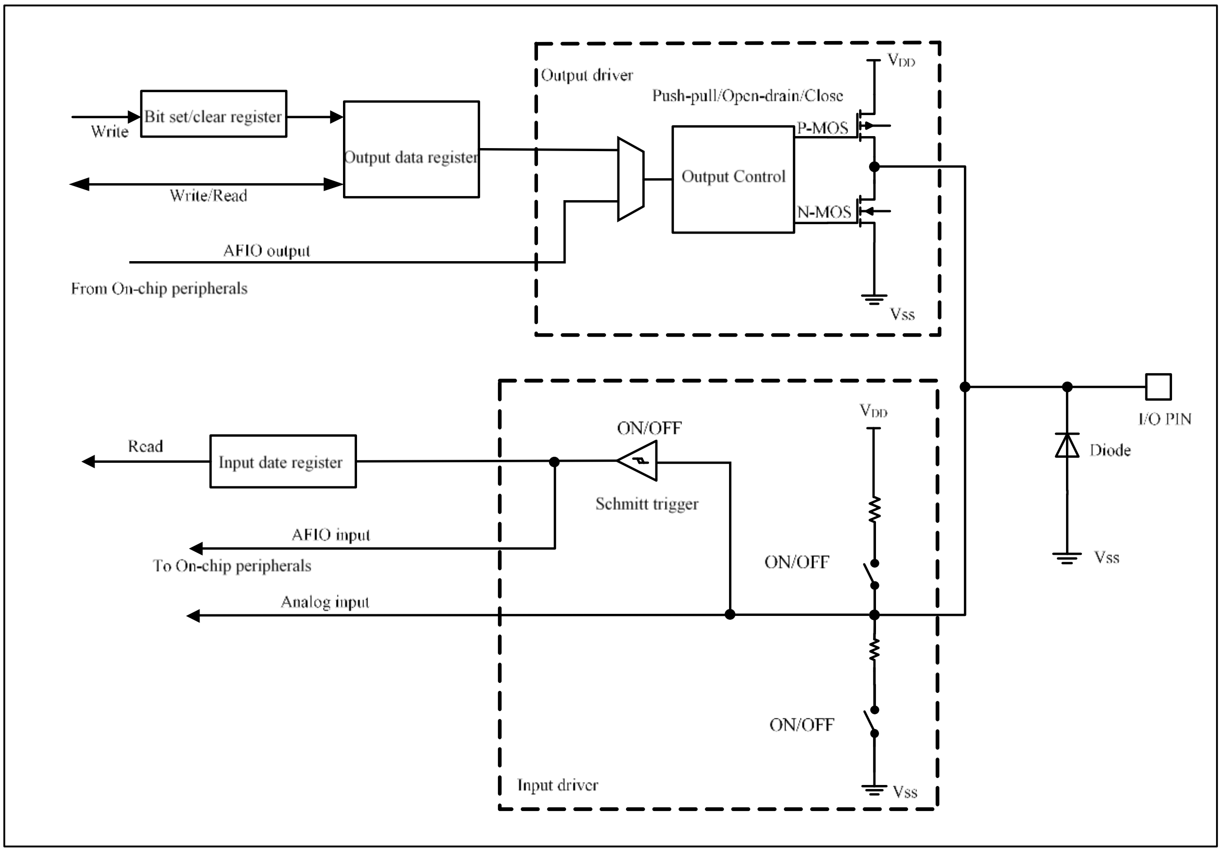
GPIO 端口特性如下：

- 每个 GPIO 端口可由软件分别配置成以下模式：
  - 输入浮空
  - 输入上拉
  - 输入下拉
  - 输入复用，上下拉可配置
  - 模拟功能
  - 开漏输出，上下拉可配置
  - 推挽输出，上下拉可配置
  - 推挽复用功能，上下拉可配置
  - 开漏复用功能，上下拉可配置
- 独立的位设置或位清除功能
- 所有 IO 支持外部中断
- 所有 IO 支持低功耗模式唤醒，上升或下降沿可配置
  - 16 个 EXTI 可用于 STOP0 模式唤醒，所有 IO 可复用为 EXTI
  - PA0/PA2/PC5/PC13/PE6/PD2/PD3 可用于 STANDBY 模式唤醒
- 支持软件重映射 IO 复用功能
- 支持 GPIO 锁定机制，锁定后只能通过复位清除

每个 I/O 端口位可以任意编程，但必须按照 32 位字访问 I/O 端口寄存器（不允许 16 位半字或 8 位字节访问）。下图给出了一个 I/O 端口的基本结构。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 5-1　I/O 端口的基本结构



大部分 I/O 端口可配置兼容 5V。

5.2 IO 功能描述

5.2.1 IO 模式配置

IO 的模式控制由配置寄存器 GPIOx_PMODE、GPIOx_POTYPE 以及 GPIOx_PUPD（x=A,B,C,D,E,F,G,H）来设置，不同的操作模式下的配置如下表所示：

表 5-1 IO 端口配置表

PMODE[1:0]	POTYPE	PUPD[1:0]		I/O 配置
01	0	0	0	通用输出推挽（Push-Pull）
	0	0	1	通用输出推挽（Push-Pull）+上拉
	0	1	0	通用输出推挽（Push-Pull）+下拉
	0	1	1	保留
	1	0	0	通用输出开漏（Open-Drain）
	1	0	1	通用输出开漏（Open-Drain）+上拉
	1	1	0	通用输出开漏（Open-Drain）+下拉
	1	1	1	保留
10	0	0	0	复用功能+推挽（Push-Pull）
	0	0	1	复用功能+推挽（Push-Pull）+上拉

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

PMODE[1:0]	POTYPE	PUPD[1:0]		I/O 配置
	0	1	0	复用功能+推挽（Push-Pull）+下拉
	0	1	1	保留
	1	0	0	复用功能+开漏（Open-Drain）
	1	0	1	复用功能+开漏（Open-Drain）+上拉
	1	1	0	复用功能+开漏（Open-Drain）+下拉
	1	1	1	保留
00	x	0	0	浮空输入
	x	0	1	上拉输入
	x	1	0	下拉输入
	x	1	1	保留
11	x	0	0	模拟模式
	x	0	1	保留
	x	1	0	
	x	1	1	

IO 在不同的配置下的输入输出特性如下表所示：

表 5-2 IO 不同配置的输入输出特性

特性	GPIO输入	GPIO输出	模拟模式	外设复用
输出缓冲器	禁能	使能	禁能	根据外设功能自动配置
施密特触发器	使能	使能	禁能 输出值被强制为0	使能
上下拉/浮空	可配	可配	禁能	可配
开漏模式	禁能	可配， 输出数据为“0”时GPIO输出0，“1”时GPIO高阻	禁能	可配， 输出数据为“0”时GPIO输出0，“1”时GPIO高阻
推挽模式	禁能	可配， 输出数据为“0”时GPIO输出0，“1”时GPIO输出1	禁能	可配， 输出数据为“0”时GPIO输出0，“1”时GPIO输出1
输入数据寄存器（IO状态）	可读	可读	读出为0	可读
输出数据寄存器（写入值）	无效	可读写	无效	可读

5.2.1.1 输入模式

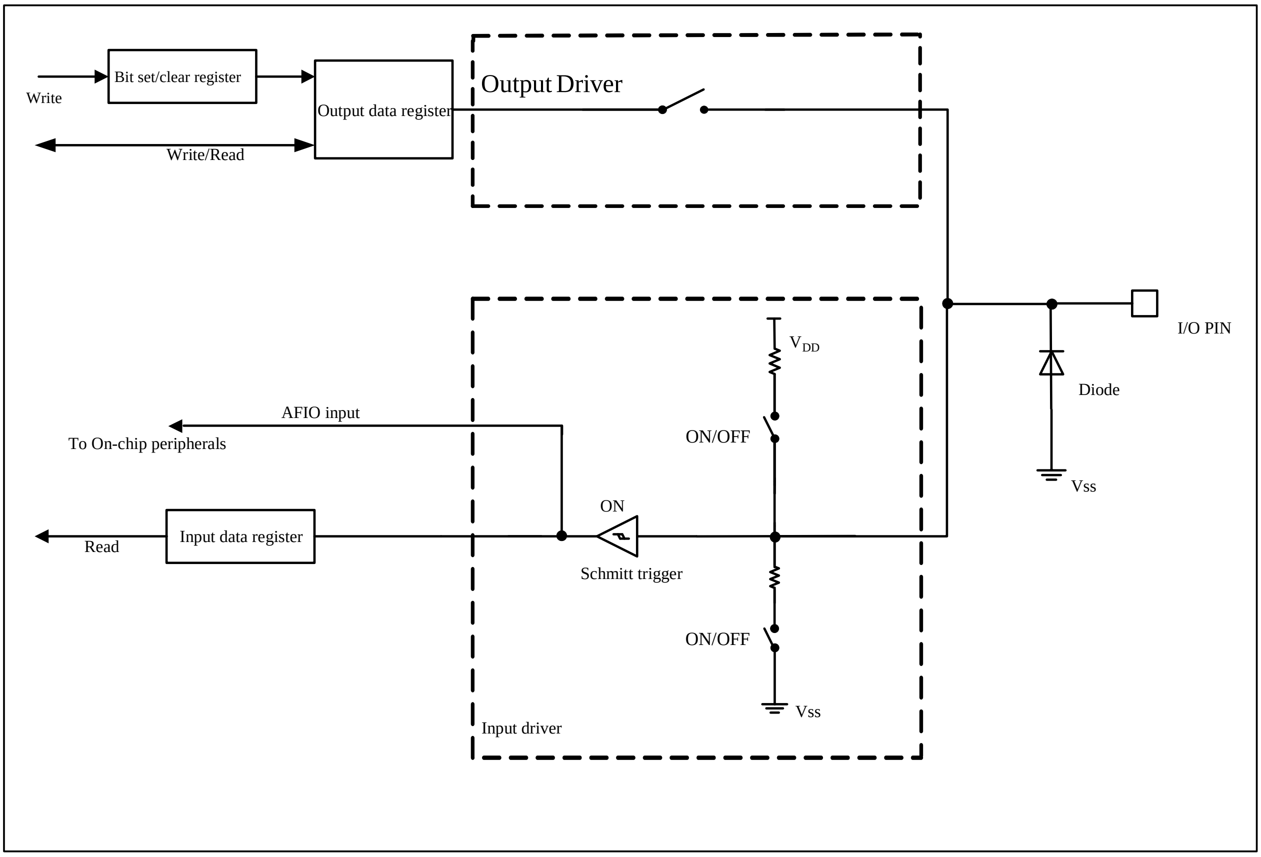
当 I/O 端口配置为输入模式时：

- 输出缓冲器被禁止
- 施密特触发输入被激活
- 根据 GPIOx_PUPD 寄存器的值决定是否打开弱上拉或弱下拉电阻
- 出现在 I/O 脚上的数据在每个 AHB 时钟被采样到输入数据寄存器
- 对输入数据寄存器的访问可以得到 I/O 状态

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com　邮编：518057

■ 用作复用输入时，需要同时配置对应 GPIOx_AFSELy 寄存器

图 5-2 输入浮空/上拉/下拉/复用配置



5.2.1.2 输出模式

当 I/O 端口配置为输出时：

■ 输出缓冲器被激活

◆ 开漏模式： 输出寄存器上的’0’激活 N-MOS，引脚输出低电平

输出寄存器上的’1’使端口置于高阻状态（P-MOS 从不被激活）

◆ 推挽模式： 输出寄存器上的’0’激活 N-MOS，引脚输出低电平

输出寄存器上的’1’激活 P-MOS，引脚输出高电平

■ 施密特触发输入被激活

■ 根据 GPIOx_PUPD 寄存器的值决定是否打开弱上拉或弱下拉电阻

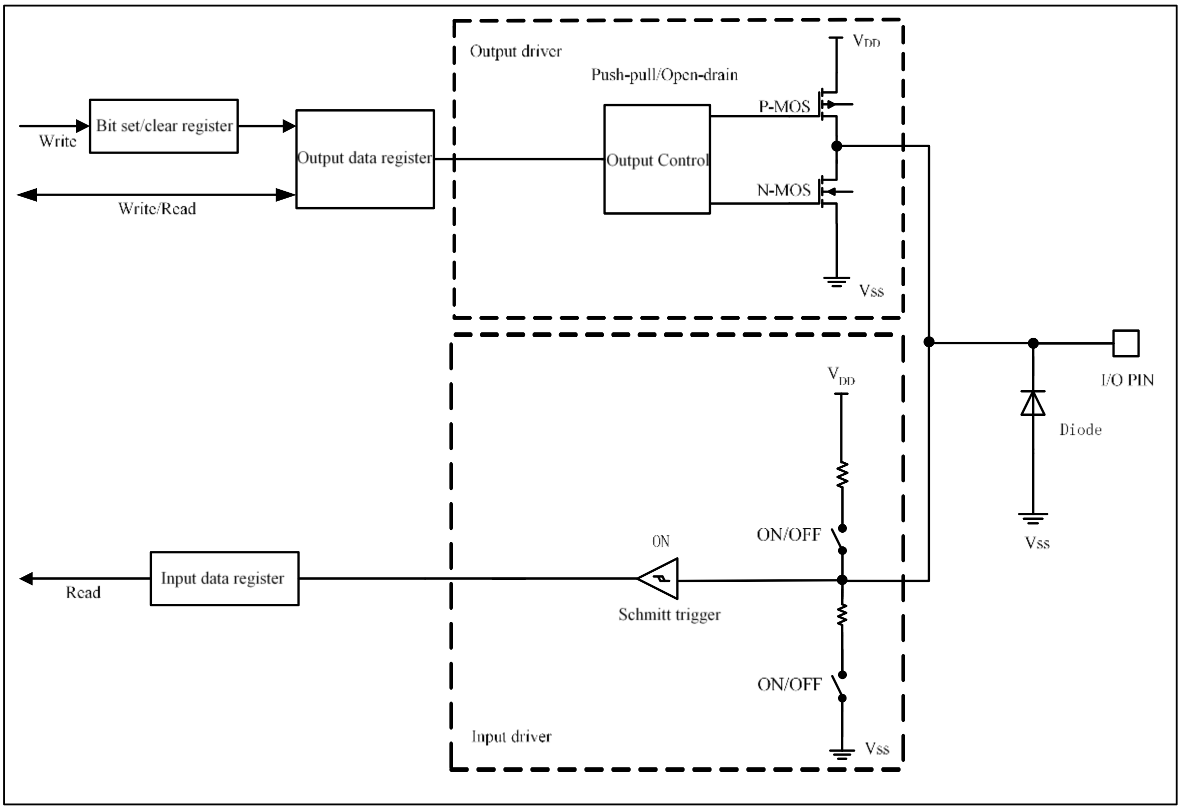
■ 出现在 I/O 脚上的数据在每个 AHB 时钟被采样到输入数据寄存器

■ 对输入数据寄存器的读访问可得到 I/O 状态

■ 对输出数据寄存器的读访问可得到最后写入的值

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 5-3 输出模式配置



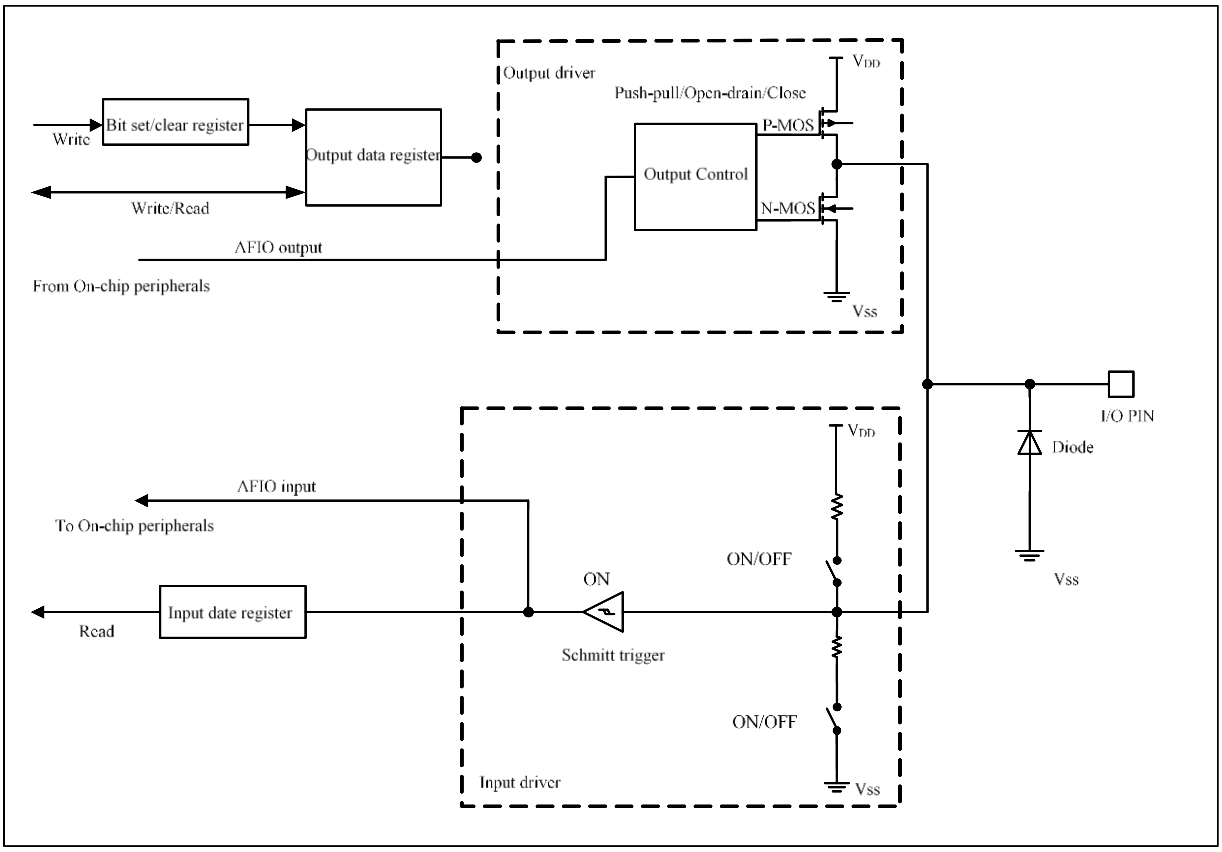
5.2.1.3 复用功能模式

当 I/O 端口配置为复用功能时：

- 输出缓冲器在推挽或开漏输出模式下由来自外设的信号（发送器使能和数据）驱动
- 施密特触发输入被激活
- 根据 GPIOx_PUPD 寄存器的值决定是否打开弱上拉或弱下拉电阻
- 出现在 I/O 脚上的数据在每个 AHB 时钟被采样到输入数据寄存器
- 对输入数据寄存器的读访问可得到 I/O 状态
- 必须同时配置对应 GPIOx_AFSELy 寄存器

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 5-4 复用功能配置



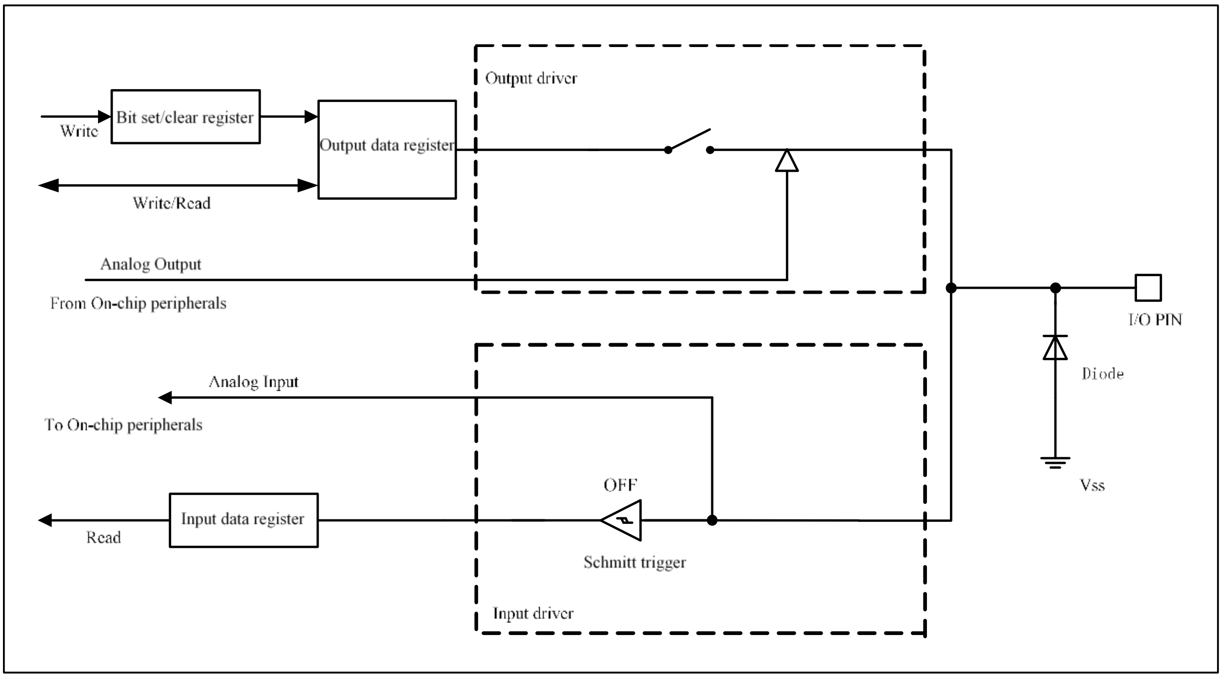
5.2.1.4 模拟模式

当 I/O 端口被配置为模拟模式时：

- 输出缓冲器被禁止
- 施密特触发输入被禁止，输出值被强置为'0'（实现了每个模拟 I/O 引脚上的零消耗）
- 弱上拉和下拉电阻被禁止
- 读取输入数据寄存器时数值为'0'

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com　邮编：518057

图 5-5 高阻抗的模拟模式配置



5.2.2 复位后状态

复位期间和刚复位后，复用功能未开启，绝大部分 I/O 端口被配置成模拟功能模式（GPIOx_PMODE.PMODEy[1:0]=11b）。但以下几个特殊端口需要注意：

- PH4-BOOT0、PH0-OSC_IN、PH1-OSC_OUT 默认无 GPIO 功能：
  - PH4-BOOT0 默认为 BOOT0 引脚，置于下拉输入模式
  - PH0-OSC_IN、PH1-OSC_OUT 引脚默认为 OSC_IN、OSC_OUT 引脚，置于模拟模式
- 复位后，调试系统相关的引脚默认状态为启动 SWD-JTAG，JTAG 引脚被置于输入上拉或下拉模式：
  - PA15:JTDI 置于上拉输入模式
  - PA14:JTCK 置于下拉输入模式
  - PA13:JTMS 置于上拉输入模式
  - PB4:NJTRST 置于上拉输入模式
  - PB3:JTDO 置于浮空输入模式
- PC13、PC14、PC15：
  - PC13～15 为备电域下的三个 IO，备份域初次上电默认为模拟模式；

5.2.3 单独的位设置和位清除

通过将置位寄存器（GPIOx_PBSC）和复位寄存器（GPIOx_PBC）中要改变的位写“1”，可以实现数据寄存器（GPIOx_POD）的单独位操作，可以设置/复位一个或多个位，写入'1'的位相应置位或清除，未写入'1'的

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位不会改变。软件不需要禁止中断，并且在单次 AHB 写操作里完成。

5.2.4 外部中断/唤醒线

所有端口都有外部中断能力，可以在 EXTI 模块中配置：

- 端口必须配置成输入模式
- 所有端口可配置用于 SLEEP/STOP0 模式唤醒，支持上升或下降沿可配
- PA0/PA2/PC5/PC13/PE6/PD2/PD3 可用于 STANDBY 模式唤醒
- 所有 I/O 端口可任意连接到 16 个外部中断/事件线上，由寄存器 AFIO_EXTI_CFGx 配置

5.2.5 复用功能

当 I/O 端口用作复用功能时，使用前必须对端口模式寄存器（GPIOx_PMODE）、输出类型配置寄存器（GPIOx_POTYPE）、以及复用功能配置寄存器（GPIOx_AFSEL0/1/2/3）编程，具体如下：

- 复用输入功能：端口必须配置为输入模式（浮空、上拉或下拉）且输入引脚必须由外部驱动。
- 复用输出功能：端口必须配置成复用输出模式（推挽或开漏）。
- 双向复用功能：端口必须配置成复用输出模式（推挽或开漏）。此时，输入驱动器被自动配置成浮空输入模式。
- 必须同时编程复用功能配置寄存器，将端口重映射为期望的复用功能。

端口在复用输出模式下，引脚和输出数据寄存器断开，并和片上外设的输出信号连接。如果软件把一个 GPIO 脚配置成复用输出功能，但是外设没有被激活，它的输出将不确定。

5.2.5.1 时钟输出 MCO

微控制器允许输出时钟信号到外部 MCO 管脚，共两路 MCO 输出（MCO1/MCO2），可通过 PA3/PA7/PA8/PC9/PF13/PF14 管脚输出。MCO 管脚必须被配置为复用推挽输出模式。以下 6 个时钟信号可被选作 MCO 时钟，时钟的选择由时钟配置寄存器 RCC_MCOCFG 控制：

- SYSCLK
- HSI
- HSE
- PLL
- LSI
- LSE

MCO1和MCO2信号映射关系如下表所示：

表 5-3 MCO 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
MCO1	PA7	AF13
	PA8	AF10

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PF13	AF6
MCO2	PA3	AF15
	PC9	AF10
	PF14	AF6

5.2.5.2 备电域 PC13～PC15 功能重映射

PC14/PC15 的模式按照下面优先级顺序决定：

- 当 LSE 使能（RCC_LDCTRL.LSEEN 置位），PC14/PC15 管脚会被强制为模拟模式。如果 LSE 配置为外部时钟模式（RCC_LDCTRL.LSEBP 置位），PC14（OSC32_IN）强制为模拟模式，PC15（OSC32_OUT）还可用作其他用途。
- 如果 LSE 没有使能，且备电域由 VDD 供电时，PC14/PC15 可用作 GPIO。

PC13 的模式按照下面优先级顺序决定：

- 当 RTC-TAMP1 使能时，PC13 用作入侵检测输入引脚。
- 如果 RTC-TAMP1 不使能，但 RTC-OUT 使能（闹钟输出、校准时钟输出、自动唤醒输出或入侵事件输出使能），PC13 用作 RTC 输出引脚。
- 如果上述功能都未使能，且备电域由 VDD 供电时，PC13 可用作 GPIO。

PC13～PC15 不同模式的配置条件如下表所示：

PC14和PC15	条件	PAD模式配置	优先级
LSE	LSE使能	模拟模式	高
GPIO	LSE关闭，备份域由VDD供电，且不进入低功耗模式（STANDBY, STOP0）。	GPIO的模式由应用决定	低
PC13	条件	PAD模式配置	
RTC-TAMP1	RTC-TAMP1使能	浮空输入	高
RTC-OUT	RTC-TAMP1禁用，闹钟输出、校准时钟输出、自动唤醒输出或入侵事件输出使能	复用推挽输出	中
GPIO	RTC-TAMP1禁用，RTC-OUT禁用，备份域由VDD供电，且不进入低功耗模式（STANDBY, STOP0）时	GPIO的模式由应用决定	低

PC14~PC15 用作 GPIO 时，可配置为时间戳触发输入管脚，详见下表：

表 5-4 时间戳输入复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
时间戳触发输入	**PC14**	**AF9**
	PC15	**AF9**

注意：PC13~PC15 用作 GPIO 时，必须同时使能 GPIOF 时钟（在 RCC_AHB1PCLKEN 寄存器中将 bit[5] IOPFEN 置 1）。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

5.2.5.3 HSE/LSE 管脚用作 GPIO 端口

HSE 的 OSC_IN 和 OSC_OUT 分别映射到 PH0 和 PH1，LSE 的 OSC32_IN 和 OSC32_OUT 分别映射到 PC14 和 PC15。如果 HSE 或 LSE 关闭，相应管脚可以用作 GPIO。如果 HSE 或 LSE 开启，相应管脚进入模拟模式并绕开 GPIO 配置。

HSE 或 LSE 配置为旁路模式时，管脚保持为外部时钟输入，OSC_OUT 或 OSC32_OUT 仍然可以用作 GPIO。

5.2.5.4 JTAG/SWD 复用功能重映射

芯片上电默认使能 SWD-JTAG 调试接口，调试接口被映射到 GPIO 端口上，如下表所示。

复用功能	GPIO端口	重映射
JTMS/SWDIO	PA13	AF0
JTCK/SWCLK	PA14	AF0
JTDI	PA15	AF0
JTDO	PB3	AF0
NJTRST	PB4	AF0

如调试期间需要使用其 GPIO 功能，可通过设置 AFIO_RMP_CFG. SWJ_CFG[2:0]位，可以改变上述重映像配置。参见下表。

表 5-5 调试端口重映射

SWJ_CFG [2:0]	可能的调试端口	SWD_JTAG I/O引脚分配				
		PA13/ JTMS/ SWDIO	PA14/ JTCK/ SWCLK	PA15/ JTDI	PB3/ JTDO	PB4/ NJTRST
000	完全SWD_JTAG（JTAG-DP + SW-DP）（复位状态）	I/O不可用	I/O不可用	I/O不可用	I/O不可用	I/O不可用
001	完全SWD_JTAG（JTAG-DP + SW-DP）但没有NJTRST	I/O不可用	I/O不可用	I/O不可用	I/O不可用	I/O可用
010	关闭JTAG-DP， 启用SW-DP	I/O不可用	I/O不可用	I/O可用	I/O可用	I/O可用
100	关闭JTAG-DP， 关闭SW-DP	I/O可用	I/O可用	I/O可用	I/O可用	I/O可用
其它	禁用					

注意：当调试端口复用为其他外设端口时，需要禁用相关调试功能。如 PA15 用作 I2C1_SCL 时，需要将 SWJ_CFG 配置为 010 或 100 以释放 PA15。

5.2.5.4.1 SWJ_CFG 配置事项

当 APB 桥的写缓冲区满了的时侯，在写 AFIO_RMP_CFG 寄存器时需要多用一个额外的 APB 周期。这是因为 SWD_JTAG 脚的释放需要两个 APB 周期完成，以保证 NJTRST 和 JTCK 的输入信号为一个干净的电平。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

5.2.5.4.2 上下拉配置

由于 JTAG 的引脚直接连接到内部的调试寄存器上(JTCK/SWCLK 直接连接到时钟端)，因此必须保证 JTAG 的输入引脚不能处于浮空态。为了避免任何非可控的 IO 电平，JTAG 的输入引脚固定内部的上下拉：

- NJTRST：内部上拉
- JTDI：内部上拉
- JTMS/SWDIO: 内部上拉
- JTCK/SWCLK: 内部下拉

注意：一旦JTAG接口被用户软件释放，GPIO控制器重新获得控制权，需要保证GPIO寄存器的复位态和上述保持一致。

5.2.5.5 ATIMx 复用功能重映射

5.2.5.5.1 ATIM1 复用功能重映射

表 5-6 ATIM1 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
ATIM1_ETR	PA12	AF3
	PC4	AF6
	PE7	AF2
	PG5	AF3
ATIM1_CH1	PA8	AF3
	PC0	AF3
	PE9	AF3
	PH8	AF8
ATIM1_CH2	PA9	AF3
	PB13	AF3
	PC1	AF3
	PE11	AF3
	PG7	AF13
	PH9	AF10
ATIM1_CH3	PA10	AF3
	PC2	AF3
	PD8	AF5
	PE13	AF3
	PH11	AF11
ATIM1_CH4	PA11	AF3
	PC3	AF3
	PD2	AF10
	PD10	AF5
	PE14	AF3

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PF11	AF12
	PH10	AF11
ATIM1_BKIN	PA6	AF5
	PA14	AF7
	PA15	AF8
	PB8	AF8
	PB10	AF5
	PB12	AF5
	PC13	AF6
	PE15	AF2
	PH7	AF8
ATIM1_BKIN2	PA11	AF7
	PC3	AF6
	PE6	AF2
	PE14	AF2
	PF6	AF1
	PG4	AF3
ATIM1_CH1N	PA7	AF5
	PA11	AF6
	PB13	AF5
	PC13	AF3
	PE8	AF3
	PE10	AF5
	PG7	AF11
	PH9	AF9
ATIM1_CH2N	PA12	AF6
	PB0	AF7
	PB14	AF5
	PE10	AF3
	PG8	AF13
ATIM1_CH3N	PB1	AF7
	PB9	AF8
	PB15	AF5
	PD9	AF5
	PE12	AF3
	PF11	AF13
	PH0	AF3
	PH10	AF10

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
ATIM1_CH4N	PC5	AF3
	PD5	AF3
	PE15	AF3
	PG10	AF14

5.2.5.5.2 ATIM2 复用功能重映射

表 5-7 ATIM2 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
ATIM2_ETR	PA0	AF8
	PB4	AF5
	PB6	AF8
	PG8	AF3
ATIM2_CH1	PA15	AF6
	PB6	AF7
	PC6	AF3
	PD14	AF6
	PF0	AF13
	PF14	AF2
ATIM2_CH2	PA14	AF6
	PB8	AF5
	PC6	AF15
	PC7	AF3
	PD15	AF6
	PF1	AF14
	PF8	AF12
	PF15	AF2
ATIM2_CH3	PB9	AF5
	PC8	AF3
	PF2	AF14
	PH6	AF9
ATIM2_CH4	PB15	AF3
	PC9	AF3
	PD1	AF3
	PF3	AF14
	PG14	AF11
	PH5	AF7
ATIM2_BKIN	PA0	AF6
	PA6	AF6
	PA10	AF7

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PA12	AF11
	PB3	AF11
	PB7	AF6
	PD2	AF5
	PG2	AF2
ATIM2_BKIN2	PA8	AF12
	PB6	AF5
	PC9	AF5
	PD1	AF5
	PG3	AF5
ATIM2_CH1N	PA5	AF6
	PA7	AF6
	PA15	AF7
	PB3	AF6
	PC10	AF5
	PD15	AF7
	PF1	AF13
	PF8	AF13
ATIM2_CH2N	PB0	AF6
	PB4	AF7
	PB14	AF6
	PC7	AF15
	PC11	AF5
	PC12	AF10
	PF10	AF13
ATIM2_CH3N	PA11	AF9
	PB1	AF6
	PB5	AF7
	PB15	AF6
	PC9	AF12
	PC12	AF5
	PD2	AF6
	PF3	AF13
	PG5	AF9
ATIM2_CH4N	PC13	AF5
	PD0	AF3
	PD2	AF7
	PG15	AF2

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PH3	AF6

5.2.5.5.3 ATIM3 复用功能重映射

表 5-8 ATIM3 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
ATIM3_ETR	PA15	AF13
	PD10	AF3
	PE0	AF6
	PF11	AF3
	PG5	AF2
ATIM3_CH1	PB2	AF6
	PE2	AF3
	PF0	AF3
	PF12	AF3
ATIM3_CH2	PB10	AF10
	PC2	AF6
	PC11	AF12
	PE3	AF3
	PF1	AF3
	PF4	AF14
	PF13	AF3
	PH3	AF3
ATIM3_CH3	PB11	AF10
	PC8	AF1
	PC12	AF12
	PF2	AF3
	PF14	AF3
ATIM3_CH4	PB12	AF10
	PD0	AF5
	PD2	AF14
	PE1	AF3
	PF3	AF3
	PF15	AF3
	PG2	AF9
ATIM3_BKIN	PC13	AF13
	PF7	AF3
	PF9	AF3
	PG3	AF2
	PG6	AF2

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PH3	AF5
ATIM3_BKIN2	PF8	AF3
	PF10	AF3
	PG4	AF2
	PH2	AF3
ATIM3_CH1N	PB6	AF0
	PE4	AF3
	PF4	AF3
	PF13	AF2
	PG0	AF3
	PH0	AF6
ATIM3_CH2N	PB7	AF10
	PE5	AF3
	PF5	AF3
	PG1	AF3
	PH1	AF6
ATIM3_CH3N	PA0	AF7
	PB8	AF10
	PC4	AF3
	PE6	AF3
	PF15	AF5
	PG2	AF3
ATIM3_CH4N	PA1	AF6
	PB9	AF10
	PE0	AF2
	PG3	AF3

5.2.5.6 GTIMx 复用功能重映射

5.2.5.6.1 GTIM1 复用功能重映射

表 5-9 GTIM1 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
GTIM1_ETR	PA0	AF10
	PA5	AF2
	PA15	AF15
	PD3	AF2
GTIM1_CH1	PA0	AF3
	PA5	AF3

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PA15	AF3
	PD3	AF3
GTIM1_CH2	PA1	AF3
	PB3	AF3
	PD4	AF5
GTIM1_CH3	PA2	AF3
	PA9	AF2
	PB10	AF3
	PD7	AF5
GTIM1_CH4	PA3	AF3
	PA10	AF2
	PB2	AF8
	PB11	AF3
	PC4	AF0
	PD6	AF5

5.2.5.6.2 **GTIM2 复用功能重映射**

表 5-10 GTIM2 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
GTIM2_ETR	PB3	AF8
	PD2	AF3
	PE2	AF5
GTIM2_CH1	PA6	AF3
	PB4	AF3
	PC6	AF6
	PE2	AF2
	PE3	AF8
	PE10	AF6
GTIM2_CH2	PA4	AF3
	PA7	AF3
	PB5	AF3
	PC7	AF6
	PE3	AF2
	PE4	AF9
GTIM2_CH3	PB0	AF3
	PC8	AF6
	PE4	AF2
	PE5	AF11
GTIM2_CH4	PB1	AF3

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PB7	AF7
	PC9	AF6
	PE5	AF2
	PE6	AF11

5.2.5.6.3 GTIM3 复用功能重映射

表 5-11 GTIM3 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
GTIM3_ETR	PA8	AF2
	PB3	AF7
	PE0	AF3
GTIM3_CH1	PA11	AF2
	PB6	AF3
	PD12	AF5
GTIM3_CH2	PA12	AF2
	PB7	AF3
	PD13	AF5
GTIM3_CH3	PA13	AF2
	PB8	AF3
	PD14	AF5
GTIM3_CH4	PB9	AF3
	PC2	AF10
	PD15	AF5
	PF6	AF3
	PH2	AF7

5.2.5.6.4 GTIM4 复用功能重映射

表 5-12 GTIM4 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
GTIM4_ETR	PB12	AF3
	PD11	AF2
	PF6	AF5
GTIM4_CH1	PA0	AF2
	PB2	AF3
	PF6	AF6
	PH4	AF5

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
GTIM4_CH2	PA1	AF2
	PC12	AF3
	PE7	AF5
	PF7	AF6
GTIM4_CH3	PA2	AF2
	PE8	AF5
	PF8	AF6
GTIM4_CH4	PA3	AF2
	PE9	AF5
	PF9	AF6

5.2.5.6.5 GTIM5 复用功能重映射

表 5-13 GTIM5 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
GTIM5_ETR	PC5	AF8
	PG2	AF5
GTIM5_CH1	PA2	AF7
	PB14	AF8
	PE5	AF5
	PF4	AF5
	PH3	AF10
GTIM5_CH2	PA3	AF7
	PD2	AF15
	PE6	AF5
	PF5	AF5
GTIM5_CH3	PH0	AF5
GTIM5_CH4	PH1	AF5

5.2.5.6.6 GTIM6 复用功能重映射

表 5-14 GTIM6 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
GTIM6_ETR	PB2	AF13
	PG4	AF5
GTIM6_CH1	PA6	AF9
	PB8	AF6
	PD5	AF5

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PD12	AF2
	PF6	AF2
	PF8	AF8
GTIM6_CH2	PD13	AF2
	PG9	AF5
GTIM6_CH3	PD14	AF2
	PG14	AF3
GTIM6_CH4	PD15	AF2
	PG15	AF3

5.2.5.6.7 GTIM7 复用功能重映射

表 5-15 GTIM7 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
GTIM7_ETR	PD9	AF2
GTIM7_CH1	PA4	AF12
	PA7	AF12
	PB9	AF7
	PF7	AF2
	PF9	AF12
	PG10	AF3
GTIM7_CH2	PA5	AF7
	PG0	AF5
	PG11	AF3
GTIM7_CH3	PC14	AF7
	PG1	AF5
	PG12	AF3
GTIM7_CH4	PC15	AF7
	PE12	AF8
	PG13	AF3

5.2.5.6.8 GTIM8 复用功能重映射

表 5-16 GTIM8 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
GTIM8_ETR	PA2	AF14
	PF7	AF5
GTIM8_CH1	PA2	AF12

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PB14	AF3
	PC12	AF14
	PD15	AF3
	PE5	AF9
	PF9	AF5
	PG10	AF8
GTIM8_CH2	PA3	AF12
	PB15	AF7
	PC7	AF0
	PF10	AF5
	PE6	AF9
	PG11	AF13
GTIM8_CH3	PA13	AF13
	PC9	AF0
	PG3	AF9
GTIM8_CH4	PA14	AF13
	PG4	AF9
GTIM8_BKIN	PA0	AF14
	PA9	AF7
	PC5	AF6
	PD2	AF12
	PE3	AF5
	PH7	AF9
GTIM8_CH1N	PA1	AF8
	PB15	AF2
	PE4	AF7
	PG9	AF3

5.2.5.6.9 **GTIM9 复用功能重映射**

表 5-17 GTIM9 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
GTIM9_ETR	PB4	AF11
	PD6	AF7
	PF4	AF13
	PF5	AF13
GTIM9_CH1	PA6	AF2
	PA12	AF7

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PB4	AF13
	PB8	AF7
	PE0	AF1
	PE10	AF8
	PF6	AF8
	PF8	AF2
GTIM9_CH2	PA7	AF7
	PB14	AF7
	PG7	AF14
	PH7	AF10
GTIM9_CH3	PB12	AF6
	PD9	AF3
	PG0	AF2
	PG8	AF14
	PH2	AF5
GTIM9_CH4	PB8	AF9
	PB13	AF7
	PC10	AF6
	PE7	AF6
	PG1	AF1
GTIM9_BKIN	PB5	AF6
	PC0	AF0
	PF10	AF2
GTIM9_CH1N	PA13	AF6
	PB6	AF6
	PF8	AF1

5.2.5.6.10 GTIM10 复用功能重映射

表 5-18 GTIM10 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
GTIM10_ETR	PC11	AF11
GTIM10_CH1	PA7	AF2
	PB5	AF5
	PB9	AF6
	PC0	AF6
	PC2	AF0
	PD8	AF3

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PE1	AF1
	PE15	AF1
	PF7	AF8
	PF9	AF2
GTIM10_CH2	PB13	AF6
	PC1	AF6
	PD9	AF6
GTIM10_CH3	PC2	AF7
	PD11	AF3
GTIM10_CH4	PC3	AF7
	PD14	AF3
	PH5	AF8
GTIM10_BKIN	PA10	AF0
	PB4	AF14
	PG6	AF11
GTIM10_CH1N	PB7	AF5
	PF9	AF7
	PH4	AF6

5.2.5.7 LPTIMx 复用功能重映射

5.2.5.7.1 LPTIM1 复用功能重映射

表 5-19 LPTIM1 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
LPTIM1_ETR	PB6	AF14
	PC3	AF5
	PE0	AF11
	PG12	AF15
	PG14	AF31
LPTIM1_IN1	PB5	AF14
	PC0	AF5
	PD12	AF15
	PD13	AF9
	PG10	AF7
	PG12	AF0
	PG14	AF0
LPTIM1_IN2	PA2	AF9
	PB7	AF14

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PC2	AF5
	PG11	AF12
	PG13	AF13
LPTIM1_OUT	PA14	AF10
	PB2	AF9
	PC1	AF5
	PG15	AF14

5.2.5.7.2 LPTIM2 复用功能重映射

表 5-20 LPTIM2 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
LPTIM2_ETR	PA5	AF10
	PC3	AF9
	PC13	AF7
	PD11	AF15
	PE0	AF12
LPTIM2_IN1	PB1	AF8
	PB4	AF10
	PD12	AF3
	PE0	AF13
	PE6	AF6
	PH3	AF9
LPTIM2_IN2	PA4	AF13
	PD11	AF14
	PD13	AF11
LPTIM2_OUT	PA8	AF6
	PC4	AF15
	PD13	AF12

5.2.5.8 FDCAN 复用功能重映射

FDCAN 支持管脚全映射，即 FDCANx_RX 与 FDCANx_TX 可被映射到任意 GPIO 端口。

5.2.5.8.1 FDCAN1 复用功能重映射

表 5-21 FDCAN1 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
FDCAN1_TX	PAx（x=0~15）	AF25
	PBx（x=0~15）	AF25
	PCx（x=0~15）	AF25

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PDx（x=0~15）	AF25
	PEx（x=0~15）	AF25
	PFx（x=0~15）	AF25
	PGx（x=0~15）	AF25
	PHx（x=0~11）	AF25
FDCAN1_RX	PAx（x=0~15）	AF26
	PBx（x=0~15）	AF26
	PCx（x=0~15）	AF26
	PDx（x=0~15）	AF26
	PEx（x=0~15）	AF26
	PFx（x=0~15）	AF26
	PGx（x=0~15）	AF26
	PHx（x=0~11）	AF26

5.2.5.8.2 **FDCAN2 复用功能重映射**

表 5-22 FDCAN2 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
FDCAN2_TX	PAx（x=0~15）	AF27
	PBx（x=0~15）	AF27
	PCx（x=0~15）	AF27
	PDx（x=0~15）	AF27
	PEx（x=0~15）	AF27
	PFx（x=0~15）	AF27
	PGx（x=0~15）	AF27
	PHx（x=0~11）	AF27
FDCAN2_RX	PAx（x=0~15）	AF28
	PBx（x=0~15）	AF28
	PCx（x=0~15）	AF28
	PDx（x=0~15）	AF28
	PEx（x=0~15）	AF28
	PFx（x=0~15）	AF28
	PGx（x=0~15）	AF28
	PHx（x=0~11）	AF28

5.2.5.8.3 **FDCAN3 复用功能重映射**

表 5-23 FDCAN3 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
FDCAN3_TX	PAx（x=0~15）	AF29
	PBx（x=0~15）	AF29

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PCx（x=0~15）	AF29
	PDx（x=0~15）	AF29
	PEx（x=0~15）	AF29
	PFx（x=0~15）	AF29
	PGx（x=0~15）	AF29
	PHx（x=0~11）	AF29
FDCAN3_RX	PAx（x=0~15）	AF30
	PBx（x=0~15）	AF30
	PCx（x=0~15）	AF30
	PDx（x=0~15）	AF30
	PEx（x=0~15）	AF30
	PFx（x=0~15）	AF30
	PGx（x=0~15）	AF30
	PHx（x=0~11）	AF30

5.2.5.9 DVP 复用功能重映射

表 5-24 DVP 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
DVP_PIXCLK	PA3	AF10
	PA6	AF10
	PE4	AF6
DVP_HSYNC	PA1	AF9
	PA4	AF10
	PE2	AF6
DVP_VSYNC	PA2	AF10
	PB7	AF12
	PE3	AF6
	PG9	AF9
DVP_D0	PA4	AF6
	PA9	AF10
	PC6	AF8
	PD6	AF8
	PE5	AF7
DVP_D1	PA5	AF5
	PA10	AF10
	PC7	AF8
	PE6	AF7

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
DVP_D2	PA6	AF14
	PC0	AF9
	PC8	AF8
	PE0	AF8
	PG10	AF9
DVP_D3	PA7	AF14
	PA8	AF15
	PB2	AF11
	PC9	AF8
	PE1	AF8
	PE2	AF13
	PG11	AF9
DVP_D4	PB10	AF12
	PC4	AF1
	PC11	AF8
	PE4	AF8
	PF12	AF8
DVP_D5	PB6	AF12
	PB11	AF12
	PC5	AF1
	PD3	AF8
	PF13	AF8
DVP_D6	PB0	AF11
	PB8	AF12
	PE5	AF8
	PF14	AF8
DVP_D7	PB1	AF11
	PB9	AF12
	PE6	AF8
	PF15	AF8
DVP_D8	PC10	AF8
DVP_D9	PC12	AF8
DVP_D10	PB5	AF0
	PD6	AF13
DVP_D11	PD2	AF8
	PF10	AF8
	PG12	AF7
	PH5	AF9

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
DVP_D12	PD12	AF14
	PF11	AF8
	PG6	AF9
	PH3	AF7
DVP_D13	PB14	AF11
	PD13	AF7
	PG7	AF9
	PG15	AF8
	PH2	AF9
DVP_D14	PB15	AF9
	PF6	AF13
DVP_D15	PC0	AF12
	PF9	AF8

5.2.5.10 FEMC 复用功能重映射

表 5-25 FEMC 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
FEMC_A0	PF0	AF10
	PF10	AF10
FEMC_A1	PF1	AF10
	PF7	AF10
FEMC_A2	PF2	AF10
FEMC_A3	PF3	AF10
FEMC_A4	PF4	AF10
FEMC_A5	PF5	AF10
FEMC_A6	PF12	AF10
FEMC_A7	PF13	AF10
FEMC_A8	PF14	AF10
FEMC_A9	PF15	AF10
FEMC_A10	PG0	AF10
FEMC_A11	PG1	AF10
FEMC_A12	PG2	AF10
FEMC_A13	PG3	AF10
FEMC_A14	PG4	AF10
FEMC_A15	PG5	AF10
FEMC_A16	PC6	AF14
	PD11	AF10
FEMC_A17	PC7	AF14
	PC8	AF10

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PD12	AF10
FEMC_A18	PD13	AF10
FEMC_A19	PE3	AF10
FEMC_A20	PE4	AF10
FEMC_A21	PE5	AF10
FEMC_A22	PE6	AF10
FEMC_A23	PE2	AF10
FEMC_A24	PF8	AF10
	PG13	AF10
FEMC_A25	PC0	AF15
	PF9	AF10
	PG14	AF10
FEMC_D0	PD14	AF10
FEMC_D1	PD15	AF10
FEMC_D2	PD0	AF10
FEMC_D3	PD1	AF10
FEMC_D4	PE7	AF10
FEMC_D5	PE8	AF10
FEMC_D6	PE9	AF10
FEMC_D7	PE10	AF10
FEMC_D8	PE11	AF10
FEMC_D9	PE12	AF10
FEMC_D10	PE13	AF10
FEMC_D11	PE14	AF10
	PB10	AF14
FEMC_D12	PE15	AF10
	PB11	AF14
FEMC_D13	PD8	AF10
FEMC_D14	PD9	AF10
FEMC_D15	PD10	AF10
FEMC_NE1	PB9	AF0
	PC7	AF31
	PD7	AF11
FEMC_NE2	PB6	AF15
	PC8	AF11
	PG9	AF10
FEMC_NE3	PG6	AF6
	PG8	AF10

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PG10	AF10
FEMC_NE4	PF11	AF10
	PG12	AF10
FEMC_NCE2	PB9	AF9
	PC7	AF9
	PD7	AF10
FEMC_NCE3	PB6	AF10
	PC8	AF12
	PG9	AF11
FEMC_NOE	PA8	AF9
	PC9	AF14
	PD4	AF10
FEMC_NWE	PA7	AF9
	PA9	AF9
	PA10	AF15
	PD5	AF10
FEMC_NADV	PB7	AF13
FEMC_NWAIT	PC6	AF11
	PD6	AF10
FEMC_NBL0	PE0	AF10
FEMC_NBL1	PA15	AF12
	PB11	AF9
	PE1	AF10
FEMC_ALE	PC8	AF9
	PD12	AF11
FEMC_CLE	PC6	AF9
	PD11	AF11
FEMC_CLK	PD3	AF10
FEMC_INT2	PC8	AF14
	PG6	AF10
FEMC_INT3	PG7	AF10

5.2.5.11 SDRAM 复用功能重映射

表 5-26 SDRAM 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
SDRAM_A0	PF0	AF11
	PF10	AF11

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PG4	AF12
SDRAM_A1	PF1	AF11
	PF7	AF13
	PG5	AF12
SDRAM_A2	PF2	AF11
	PG6	AF12
SDRAM_A3	PF3	AF11
	PG7	AF12
SDRAM_A4	PF4	AF11
	PG8	AF12
SDRAM_A5	PF5	AF11
	PH10	AF1
SDRAM_A6	PF12	AF11
	PG15	AF15
SDRAM_A7	PF13	AF11
	PH6	AF5
SDRAM_A8	PF14	AF11
	PG14	AF12
SDRAM_A9	PF15	AF11
	PG13	AF14
SDRAM_A10	PG0	AF11
	PG3	AF12
SDRAM_A11	PF12	AF13
	PG1	AF11
	PG12	AF31
SDRAM_A12	PG2	AF11
	PH11	AF1
SDRAM_D0	PD14	AF7
	PF6	AF14
SDRAM_D1	PD15	AF8
	PF7	AF14
SDRAM_D2	PD0	AF7
	PF8	AF14
SDRAM_D3	PD1	AF8
	PF9	AF14
SDRAM_D4	PE7	AF3
	PF10	AF14
SDRAM_D5	PE8	AF6

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PH8	AF1
SDRAM_D6	PE9	AF6
	PH9	AF1
SDRAM_D7	PE10	AF11
	PF11	AF14
SDRAM_D8	PE11	AF11
	PH5	AF1
SDRAM_D9	PE12	AF11
	PH7	AF1
SDRAM_D10	PE13	AF11
	PF0	AF12
SDRAM_D11	PB10	AF15
	PE14	AF11
	PF1	AF12
SDRAM_D12	PB11	AF15
	PE15	AF11
	PF2	AF12
SDRAM_D13	PD8	AF6
	PF3	AF12
SDRAM_D14	PD9	AF7
	PF4	AF12
SDRAM_D15	PD10	AF7
	PF5	AF12
SDRAM_BA0	PF12	AF14
	PG4	AF11
SDRAM_BA1	PG2	AF12
	PG5	AF11
	PH11	AF2
SDRAM_CKE0	PC3	AF14
	PC5	AF2
	PG11	AF15
SDRAM_CKE1	PB5	AF10
SDRAM_CLK	PG8	AF11
	PG10	AF12
SDRAM_DQM0	PE0	AF5
	PG1	AF12
SDRAM_DQM1	PA15	AF31
	PB11	AF13

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PE1	AF5
	PG9	AF31
SDRAM_NRAS	PF11	AF9
	PF14	AF13
SDRAM_NCAS	PF15	AF13
	PG15	AF10
SDRAM_NWE	PA7	AF31
	PC0	AF13
	PG0	AF12
SDRAM_NCE0	PC2	AF14
	PC4	AF2
	PF13	AF13
SDRAM_NCE1	PB6	AF9
	PH2	AF13
	PH4	AF7

5.2.5.12 USARTx 复用功能重映射

5.2.5.12.1 USART1 管脚重映射

表 5-27 USART1 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
USART1_TX	PA4	AF15
	PA9	AF5
	PA15	AF10
	PB6	AF1
	PB14	AF13
	PC4	AF5
	PE0	AF7
	PG9	AF8
	PH4	AF1
USART1_RX	PA5	AF15
	PA10	AF5
	PB3	AF13
	PB7	AF1
	PB15	AF13
	PC5	AF5
	PE1	AF7

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PG10	AF6
	PG15	AF5
	PH2	AF6
USART1_CK	PA8	AF5
	PG13	AF12
USART1_CTS	PA11	AF5
	PG11	AF11
USART1_RTS_DE	PA12	AF5
	PG12	AF13

5.2.5.12.2 **USART2 管脚重映射**

表 5-28 USART2 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
USART2_TX	PA2	AF5
	PA14	AF5
	PB3	AF9
	PB4	AF8
	PC8	AF15
	PD5	AF6
	PH1	AF2
USART2_RX	PA3	AF5
	PA15	AF5
	PB4	AF9
	PB5	AF15
	PC9	AF15
	PD6	AF6
	PH0	AF2
USART2_CK	PA4	AF5
	PB5	AF9
	PD7	AF6
USART2_CTS	PA0	AF5
	PA15	AF14
	PC6	AF10
	PD3	AF6
USART2_RTS_DE	PA1	AF5
	PB3	AF10
	PC7	AF10
	PD4	AF6

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

5.2.5.12.3 USART3 管脚重映射

USART3 部分信号支持管脚全映射，详见下表。

表 5-29 USART3 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
USART3_TX	PAx（x=0~15）	AF17
	PBx（x=0~15）	AF17
	PCx（x=0~15）	AF17
	PDx（x=0~15）	AF17
	PEx（x=0~15）	AF17
	PFx（x=0~15）	AF17
	PGx（x=0~15）	AF17
	PHx（x=0~11）	AF17
USART3_RX	PAx（x=0~15）	AF18
	PBx（x=0~15）	AF18
	PCx（x=0~15）	AF18
	PDx（x=0~15）	AF18
	PEx（x=0~15）	AF18
	PFx（x=0~15）	AF18
	PGx（x=0~15）	AF18
	PHx（x=0~11）	AF18
USART3_CK	PB0	AF14
	PB12	AF9
	PC12	AF6
	PD10	AF6
	PF2	AF5
USART3_CTS	PA13	AF5
	PB13	AF9
	PB15	AF11
	PD11	AF6
	PF5	AF2
USART3_RTS_DE	PAx（x=0~15）	AF16
	PBx（x=0~15）	AF16
	PCx（x=0~15）	AF16
	PDx（x=0~15）	AF16
	PEx（x=0~15）	AF16
	PFx（x=0~15）	AF16
	PGx（x=0~15）	AF16
	PHx（x=0~11）	AF16

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

5.2.5.12.4 USART4 管脚重映射

表 5-30 USART4 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
USART4_TX	PA11	AF14
	PB0	AF13
	PC0	AF10
	PC6	AF5
	PD11	AF12
	PE2	AF7
	PE10	AF9
	PG14	AF6
USART4_RX	PA12	AF14
	PB1	AF13
	PC1	AF10
	PC7	AF5
	PE3	AF7
	PE11	AF9
	PE15	AF5
	PG9	AF6
USART4_CK	PB14	AF9
	PC8	AF5
	PG7	AF6
USART4_CTS	PG13	AF6
	PG15	AF6
USART4_RTS_DE	PG8	AF6
	PG12	AF6
	PH2	AF2

5.2.5.12.5 USART9 管脚重映射

表 5-31 USART9 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
USART9_TX	PE3	AF11
	PG12	AF14
	PH9	AF8
USART9_RX	PE2	AF11
	PG11	AF10
	PH8	AF7
USART9_CK	PD1	AF13
	PE15	AF8

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PG15	AF11
	PH7	AF7
USART9_CTS	PG13	AF11
	PH11	AF10
USART9_RTS_DE	PG14	AF13
	PH10	AF9

5.2.5.13 UARTx 复用功能重映射

5.2.5.13.1 UART5 管脚重映射

UART5 部分信号支持管脚全映射，详见下表。

表 5-32 UART5 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
UART5_TX	PAx（x=0~15）	AF20
	PBx（x=0~15）	AF20
	PCx（x=0~15）	AF20
	PDx（x=0~15）	AF20
	PEx（x=0~15）	AF20
	PFx（x=0~15）	AF20
	PGx（x=0~15）	AF20
	PHx（x=0~11）	AF20
UART5_RX	PAx（x=0~15）	AF21
	PBx（x=0~15）	AF21
	PCx（x=0~15）	AF21
	PDx（x=0~15）	AF21
	PEx（x=0~15）	AF21
	PFx（x=0~15）	AF21
	PGx（x=0~15）	AF21
	PHx（x=0~11）	AF21
UART5_CTS	PB5	AF8
	PC9	AF9
	PD0	AF11
UART5_RTS_DE	PAx（x=0~15）	AF19
	PBx（x=0~15）	AF19
	PCx（x=0~15）	AF19
	PDx（x=0~15）	AF19
	PEx（x=0~15）	AF19
	PFx（x=0~15）	AF19

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PGx（x=0~15）	AF19
	PHx（x=0~11）	AF19

5.2.5.13.2 UART6 管脚重映射

表 5-33 UART6 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
UART6_TX	PA0	AF11
	PA12	AF8
	PA13	AF12
	PB2	AF12
	PB9	AF14
	PC10	AF7
	PD0	AF6
	PD12	AF7
UART6_RX	PA1	AF11
	PA11	AF8
	PA14	AF12
	PB8	AF14
	PC11	AF7
	PD1	AF6
	PD11	AF7
	PE7	AF8
UART6_CTS	PB0	AF12
	PB7	AF8
UART6_RTS_DE	PA15	AF11
	PB14	AF14

5.2.5.13.3 UART7 管脚重映射

表 5-34 UART7 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
UART7_TX	PA2	AF11
	PB11	AF8
	PC1	AF7
	PC2	AF13
	PC4	AF13
	PE1	AF9
	PE2	AF12
	PE8	AF9
	PF7	AF12

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PG0	AF8
	PG7	AF8
UART7_RX	PA3	AF11
	PB10	AF8
	PC0	AF7
	PC3	AF13
	PC5	AF13
	PE0	AF9
	PE7	AF9
	PF6	AF12
	PG1	AF8
	PG8	AF8
UART7_CTS	PA6	AF11
	PB13	AF8
	PD14	AF8
	PG5	AF8
UART7_RTS_DE	PB1	AF9
	PB12	AF8
	PD15	AF11
	PG6	AF8

5.2.5.13.4 UART8 管脚重映射

UART8 部分信号支持管脚全映射，详见下表。

表 5-35 UART8 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
UART8_TX	PAx（x=0~15）	AF23
	PBx（x=0~15）	AF23
	PCx（x=0~15）	AF23
	PDx（x=0~15）	AF23
	PEx（x=0~15）	AF23
	PFx（x=0~15）	AF23
	PGx（x=0~15）	AF23
	PHx（x=0~11）	AF23
UART8_RX	PAx（x=0~15）	AF24
	PBx（x=0~15）	AF24
	PCx（x=0~15）	AF24
	PDx（x=0~15）	AF24
	PEx（x=0~15）	AF24

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PFx（x=0~15）	AF24
	PGx（x=0~15）	AF24
	PHx（x=0~11）	AF24
UART8_CTS	PB13	AF14
	PB15	AF8
	PE10	AF13
	PF0	AF6
	PF9	AF13
	PH3	AF2
UART8_RTS_DE	PAx（x=0~15）	AF22
	PBx（x=0~15）	AF22
	PCx（x=0~15）	AF22
	PDx（x=0~15）	AF22
	PEx（x=0~15）	AF22
	PFx（x=0~15）	AF22
	PGx（x=0~15）	AF22
	PHx（x=0~11）	AF22

5.2.5.13.5 **UART10 管脚重映射**

表 5-36 UART10 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
UART10_TX	PE10	AF15
	PF2	AF6
	PG3	AF8
UART10_RX	PE9	AF8
	PF5	AF6
	PG2	AF7
UART10_CTS	PB3	AF5
	PE8	AF8
UART10_RTS_DE	PC5	AF7
	PE7	AF12

5.2.5.14 I2C 复用功能重映射

5.2.5.14.1 **I2C1 管脚重映射**

表 5-37 I2C1 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
I2C1_SCL	PA9	AF15

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PA13	AF8
	PA15	AF9
	PB6	AF2
	PB8	AF2
	PD0	AF14
	PD6	AF14
	PD11	AF5
	PG14	AF7
I2C1_SDA	PA14	AF11
	PB7	AF2
	PB9	AF13
	PD1	AF7
	PD7	AF2
	PE15	AF9
	PG13	AF9
	PG15	AF7
I2C1_SMBA	PB5	AF12
	PG9	AF14
	PG15	AF12

5.2.5.14.2 **I2C2 管脚重映射**

表 5-38 I2C2 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
I2C2_SCL	PA4	AF11
	PA9	AF11
	PB10	AF7
	PC4	AF7
	PF1	AF7
	PF6	AF7
	PG2	AF6
	PH1	AF7
	PH11	AF8
I2C2_SDA	PA5	AF11
	PA8	AF11
	PA10	AF11
	PB3	AF12
	PB11	AF7
	PB12	AF15
	PC12	AF9

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PF0	AF7
	PG3	AF6
	PH0	AF7
	PH6	AF7
I2C2_SMBA	PA8	AF8
	PA10	AF8
	PB12	AF7
	PB13	AF15
	PF2	AF7
	PH5	AF5

5.2.5.14.3 **I2C3 管脚重映射**

表 5-39 I2C3 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
I2C3_SCL	PA8	AF7
	PC0	AF8
	PC4	AF14
	PC8	AF7
	PD12	AF12
	PF3	AF7
	PF4	AF6
	PG7	AF7
	PH7	AF3
I2C3_SDA	PB4	AF12
	PB5	AF11
	PC1	AF9
	PC5	AF14
	PC9	AF7
	PC11	AF9
	PD13	AF3
	PF4	AF7
	PF5	AF7
	PG6	AF3
	PG8	AF7
	PH10	AF6
I2C3_SMBA	PA9	AF8
	PB2	AF7
	PG6	AF7
	PH5	AF3

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PH11	AF9

5.2.5.14.4 **I2C4 管脚重映射**

表 5-40 I2C4 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
I2C4_SCL	PA9	AF13
	PA13	AF7
	PB6	AF31
	PC6	AF7
	PD12	AF9
	PD14	AF9
	PF5	AF1
	PF14	AF7
	PG3	AF7
	PG7	AF1
	PG10	AF11
	PH8	AF3
I2C4_SDA	PA10	AF6
	PB7	AF9
	PC7	AF7
	PD13	AF1
	PD15	AF9
	PF15	AF7
	PG4	AF7
	PG6	AF1
	PG11	AF14
	PG15	AF13
	PH9	AF3
I2C4_SMBA	PA14	AF8
	PD11	AF9
	PF13	AF7
	PG9	AF15
	PH6	AF8

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

5.2.5.15 SPI/I2S 复用功能重映射

5.2.5.15.1 SPI1 管脚重映射

表 5-41 SPI1 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
SPI1_NSS	PA4	AF1
	PA15	AF2
	PB2	AF14
	PE12	AF9
	PG5	AF1
	PG10	AF1
SPI1_SCK	PA5	AF1
	PB3	AF2
	PE7	AF1
	PE13	AF8
	PG2	AF1
	PG11	AF6
SPI1_MISO	PA6	AF1
	PB4	AF2
	PE8	AF1
	PE14	AF6
	PG3	AF1
	PG9	AF0
SPI1_MOSI	PA7	AF1
	PB5	AF2
	PD7	AF1
	PE9	AF1
	PE15	AF6
	PG4	AF1

5.2.5.15.2 SPI2/I2S2 管脚重映射

表 5-42 SPI2/I2S2 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
SPI2_NSS/ I2S2_WS	PA11	AF12
	PA12	AF9
	PB9	AF2
	PB12	AF1
	PC6	AF13
	PD0	AF12
	PD1	AF1

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PD15	AF1
	PE10	AF1
	PH0	AF1
SPI2_SCK/ I2S2_ CK	PA9	AF12
	PA12	AF12
	PB10	AF2
	PB13	AF1
	PC7	AF13
	PD1	AF12
	PD3	AF1
	PE11	AF6
	PF9	AF1
	PF10	AF1
	PH1	AF1
SPI2_MISO	PA10	AF1
	PB14	AF1
	PC2	AF1
	PC8	AF13
	PD3	AF11
	PE12	AF6
	PG9	AF7
	PG14	AF9
SPI2_ MOSI/ I2S2__SD	PA11	AF1
	PB15	AF1
	PC1	AF2
	PC3	AF1
	PC9	AF13
	PD2	AF11
	PD4	AF1
	PE13	AF6
	PG1	AF2
	PG9	AF2
I2S2_MCK	PA3	AF9
	PA6	AF12
	PA8	AF1
	PC6	AF1
I2S2_AUX_SD	PA10	AF13
	PB14	AF2

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PC2	AF2
	PC8	AF31
	PD3	AF12
	PE12	AF13
	PG9	AF7
	PG14	AF9

5.2.5.15.3 SPI3/I2S3 管脚重映射

表 5-43 SPI3/I2S3 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
SPI3_ NSS/ I2S3__WS	PA4	AF2
	PA15	AF1
	PC2	AF12
	PD2	AF1
	PD7	AF3
	PD8	AF1
	PG12	AF9
	PH6	AF3
	PH7	AF6
SPI3_SCK/ I2S3_ CK	PB3	AF1
	PC3	AF2
	PC10	AF1
	PD9	AF1
	PG9	AF1
	PH8	AF6
SPI3_MISO	PA0	AF12
	PB4	AF1
	PC11	AF1
	PD11	AF1
	PG10	AF2
	PH9	AF6
SPI3_ MOSI/ I2S3 _SD	PA1	AF12
	PB0	AF9
	PB2	AF1
	PB5	AF1
	PC1	AF1
	PC12	AF1
	PD0	AF2
	PD6	AF1

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PD12	AF1
	PG11	AF7
	PH11	AF6
I2S3_MCK	PA9	AF1
	PC7	AF1
	PH10	AF8
I2S3_AUX_SD	PA0	AF13
	PB4	AF15
	PC11	AF3
	PD11	AF31
	PG10	AF13
	PH9	AF7

5.2.5.15.4 I2S 管脚重映射

I2S_CKIN 是 I2S 外部参考时钟输入引脚，同时适用于 I2S2 和 I2S3。

表 5-44 I2S 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
I2S_CKIN	PA2	AF15
	PA12	AF1
	PB11	AF5
	PC9	AF1

5.2.5.15.5 SPI4 管脚重映射

表 5-45 SPI4 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
SPI4_ NSS	PB12	AF12
	PE3	AF1
	PE4	AF1
	PE11	AF1
	PG14	AF8
SPI4 _SCK	PB13	AF12
	PE2	AF1
	PE12	AF1
	PG11	AF8
SPI4_MISO	PA11	AF13
	PD0	AF1

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PE5	AF1
	PE13	AF1
	PG12	AF8
SPI4_ MOSI	PA1	AF13
	PA12	AF13
	PE6	AF1
	PE14	AF1
	PG13	AF8

5.2.5.15.6 **SPI5 管脚重映射**

表 5-46 SPI5 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
SPI5_ NSS	PB1	AF14
	PE11	AF5
	PF6	AF11
SPI5 _SCK	PB0	AF8
	PE12	AF5
	PF7	AF11
SPI5_MISO	PE13	AF5
	PF8	AF11
SPI5_ MOSI	PA10	AF14
	PB8	AF0
	PE14	AF5
	PF9	AF11
	PF11	AF11

5.2.5.15.7 **SPI6 管脚重映射**

表 5-47 SPI6 复用功能重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
SPI6_ NSS	PA0	AF9
	PA2	AF6
	PA4	AF7
	PG8	AF2
	PG15	AF1
	PH7	AF5
	PH10	AF7

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
SPI6 _SCK	PA1	AF14
	PA5	AF0
	PC12	AF7
	PG13	AF7
	PH8	AF5
SPI6_MISO	PA4	AF14
	PA6	AF7
	PG12	AF2
	PH6	AF2
	PH11	AF7
SPI6_ MOSI	PA5	AF14
	PA7	AF0
	PG14	AF14
	PH9	AF5

5.2.5.16 SDIO 复用功能重映射

表 5-48 SDIO 管脚重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
SDIO_D0	PA10	AF9
	PB4	AF6
	PB13	AF10
	PC8	AF2
	PE8	AF2
SDIO_D1	PA8	AF14
	PB0	AF10
	PC9	AF2
	PE9	AF2
SDIO_D2	PA9	AF14
	PB1	AF10
	PC10	AF2
	PE10	AF2
SDIO_D3	PC11	AF2
	PE11	AF2
SDIO_D4	PB8	AF1
SDIO_D5	PB9	AF1
SDIO_D6	PC6	AF2
SDIO_D7	PB10	AF1

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PC7	AF2
SDIO_CLK	PB2	AF10
	PC12	AF2
	PE12	AF2
SDIO_CMD	PA6	AF13
	PD2	AF2
	PE13	AF2

5.2.5.17 XSPI 复用功能重映射

表 5-49 XSPI 管脚重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
XSPI_NSS0	PA2	AF8
	PB11	AF6
	PC11	AF14
	PD3	AF9
	PE11	AF7
	PG6	AF5
	PH1	AF8
	PH2	AF10
	PH10	AF3
	PH11	AF3
XSPI_NSS1	PA4	AF9
	PB10	AF9
	PC10	AF13
	PF0	AF9
	PG8	AF5
	PG15	AF9
	PH2	AF11
	PH10	AF5
XSPI_CLK	PA3	AF8
	PA5	AF9
	PB4	AF31
	PB10	AF6
	PB12	AF0
	PB15	AF0
	PC11	AF13
	PE10	AF7
	PF1	AF9
	PF10	AF9

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PF11	AF2
	PG13	AF5
	PH8	AF2
XSPI_IO0	PA5	AF8
	PA6	AF15
	PB1	AF2
	PC3	AF12
	PC9	AF11
	PC12	AF13
	PD11	AF13
	PE12	AF7
	PF2	AF9
	PF8	AF9
	PG14	AF5
	PH9	AF2
XSPI_IO1	PA7	AF15
	PB0	AF2
	PC10	AF11
	PD0	AF9
	PD12	AF13
	PE13	AF7
	PF3	AF9
	PF9	AF9
	PG12	AF5
	PH6	AF6
XSPI_IO2	PA7	AF8
	PC2	AF9
	PC4	AF9
	PD1	AF9
	PE2	AF9
	PE14	AF7
	PF4	AF9
	PF7	AF9
	PG10	AF5
	PH7	AF2
XSPI_IO3	PA1	AF15
	PA6	AF8
	PC5	AF9

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PD2	AF9
	PD13	AF6
	PE15	AF7
	PF5	AF9
	PF6	AF9
	PG11	AF5
	PH3	AF11
	PH10	AF2
	PH11	AF5
XSPI_IO4	PC1	AF8
	PD4	AF9
	PE7	AF11
	PF13	AF1
	PH0	AF8
	PH4	AF8
	PH6	AF1
XSPI_IO5	PB2	AF2
	PC2	AF8
	PC6	AF0
	PD5	AF9
	PE8	AF11
	PF14	AF1
	PG9	AF13
	PH3	AF1
XSPI_IO6	PC3	AF8
	PC7	AF12
	PD6	AF9
	PE9	AF11
	PF15	AF1
	PG9	AF12
	PH5	AF2
XSPI_IO7	PC0	AF14
	PC4	AF8
	PD7	AF9
	PE10	AF14
	PG0	AF1
	PG14	AF15
	PH2	AF12

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
XSPI_RXDS	PA1	AF0
	PC0	AF11
	PC5	AF0
	PC13	AF8
	PD13	AF8

5.2.5.18 ETH 复用功能重映射

表 5-50 ETH 管脚重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
ETH_ MDC	PC1	AF11
ETH_MDIO	PA2	AF1
ETH_PPS_OUT	PB5	AF13
	PB6	AF13
	PG8	AF1
ETH_MII_TXD3	PB7	AF15
	PB8	AF13
	PE2	AF8
ETH_MII_TXD2	PC2	AF11
ETH_MII_TXD1	PB13	AF13
	PB15	AF14
	PG12	AF11
	PG14	AF1
ETH_MII_TXD0	PB12	AF13
	PC10	AF14
	PG13	AF1
ETH_MII_TX_CLK	PC3	AF11
ETH_MII_TX_EN	PA5	AF12
	PB11	AF1
	PG11	AF1
ETH_MII_TX_ER	PA9	AF0
ETH_MII_RXD3	PB1	AF1
	PD12	AF8
ETH_MII_RXD2	PB0	AF1
	PD11	AF8
ETH_MII_RXD1	PC5	AF11
	PD10	AF8
ETH_MII_RXD0	PC4	AF11
	PD9	AF8
ETH_MII_RX_CLK	PA1	AF1

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
ETH_MII_RX_DV	PA7	AF10
	PD8	AF8
ETH_MII_RX_ER	PB10	AF13
ETH_MII_COL	PA3	AF1
ETH_MII_CRS	PA0	AF1
ETH_RMII_TXD1	PB13	AF2
	PB15	AF15
	PG12	AF12
	PG14	AF2
ETH_RMII_TXD0	PB12	AF2
	PC10	AF15
	PG13	AF2
ETH_RMII_TX_EN	PA5	AF13
	PB11	AF2
	PG11	AF2
ETH_RMII_RXD1	PC5	AF10
	PD10	AF9
ETH_RMII_RXD0	PC4	AF10
	PD9	AF9
ETH_RMII_REF_CLK	PA1	AF7
ETH_RMII_CRS_DV	PA7	AF11
	PD8	AF9

5.2.5.19 RTC 复用功能重映射

表 5-51 RTC 管脚重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
RTC_REIN	PA1	AF10
	PB15	AF12
RTC_OUT1	PC13	AF2
RTC_OUT2	PB2	AF15

5.2.5.20 USB_HS 复用功能重映射

表 5-52 USB_HS 管脚重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
USB_HS_ID	PB12	AF14
USB_HS_SOF	PA4	AF8

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

5.2.5.21 DSMU 复用功能重映射

表 5-53 DSMU 管脚重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
DSMU_CKIN0	PA11	AF11
	PC0	AF1
	PD4	AF2
DSMU_DATIN0	PA10	AF12
	PC1	AF12
	PD3	AF5
DSMU_CKIN1	PB2	AF5
	PB13	AF11
	PC2	AF15
	PD7	AF8
DSMU_DATIN1	PB1	AF5
	PB12	AF11
	PC3	AF15
	PD6	AF12
DSMU_CKIN2	PB15	AF10
	PC4	AF12
	PE8	AF7
DSMU_DATIN2	PB14	AF10
	PC5	AF12
	PE7	AF7
DSMU_CKIN3	PC6	AF12
	PD8	AF7
	PE5	AF6
DSMU_DATIN3	PC7	AF11
	PD9	AF11
	PE4	AF5
DSMU_CKIN4	PC1	AF13
	PD6	AF11
	PE11	AF12
	PH2	AF8
DSMU_DATIN4	PC0	AF2
	PD7	AF7
	PE10	AF12
	PH3	AF8
DSMU_CKIN5	PB7	AF11
	PC10	AF10

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复用功能	GPIO端口	重映射
	PE13	AF12
DSMU_DATIN5	PB6	AF11
	PC11	AF10
	PE12	AF12
DSMU_CKIN6	PA9	AF6
	PD0	AF8
	PF14	AF9
DSMU_DATIN6	PA8	AF13
	PD1	AF11
	PF13	AF9
DSMU_CKIN7	PA2	AF13
	PB8	AF11
	PB11	AF11
	PD1	AF2
DSMU_DATIN7	PA3	AF13
	PB9	AF11
	PB10	AF11
	PD0	AF13
DSMU_CKOUT	PB0	AF5
	PC2	AF31
	PD3	AF7
	PD10	AF11
	PE9	AF7

5.2.5.22 EVENT 管脚重映射

EVENT 支持管脚全映射，详见下表。

表 5-54 EVENT 管脚重映射

复用功能	GPIO端口	重映射
EVENT_OUT	PAx（x=0~15）	AF4
	PBx（x=0~15）	AF4
	PCx（x=0~15）	AF4
	PDx（x=0~15）	AF4
	PEx（x=0~15）	AF4
	PFx（x=0~15）	AF4
	PGx（x=0~15）	AF4
	PHx（x=0~11）	AF4

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

5.2.6 外设的 IO 配置

表 5-55 ADC/DAC

ADC/DAC引脚	GPIO配置
ADC	模拟模式
DAC	模拟模式

表 5-56 ATIM1/2/3

ATIM引脚	配置	GPIO配置
ATIM1/2/3_CHx(x=1~4)	输入捕获通道x	输入模式+复用功能
	输出比较通道x	推挽复用
ATIM1/2/3_CHxN(x=1~4)	互补输出通道x	推挽复用
ATIM1/2/3_BKIN ATIM1/2/3_BKIN2	刹车输入	输入模式+复用功能
	双向刹车	开漏复用
ATIM1/2/3_ETR	外部触发时钟输入	输入模式+复用功能

表 5-57 GTIM1~7

GTIM引脚	配置	GPIO配置
GTIM1~7_CHx(x=1~4)	输入捕获通道x	输入模式+复用功能
	输出比较通道x	推挽复用
GTIM1~7_ETR	外部触发时钟输入	输入模式+复用功能

表 5-58 GTIM8/9/10

GTIM引脚	配置	GPIO配置
GTIM8/9/10_CHx(x=1~4)	输入捕获通道x	输入模式+复用功能
	输出比较通道x	推挽复用
GTIM8/9/10_CH1N	互补输出通道1	推挽复用
GTIM8/9/10_BKIN	刹车输入	输入模式+复用功能
	双向刹车	开漏复用
GTIM8/9/10_ETR	外部触发时钟输入	输入模式+复用功能

表 5-59 LPTIM1/2

LPTIM引脚	配置	GPIO配置
LPTIM1/2_INx(x=1，2)	输入通道x	输入模式+复用功能
LPTIM1/2_OUT	PWM输出	推挽复用
LPTIM1/2_ETR	外部触发输入	输入模式+复用功能

表 5-60 FDCAN

FDCAN引脚	GPIO配置
FDCAN_TX	推挽复用

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

FDCAN_RX	输入模式+复用功能

表 5-61 DVP

DVP引脚	GPIO配置
DVP_HSYNC	输入模式+复用功能
DVP_VSYNC	输入模式+复用功能
DVP_PCLK	输入模式+复用功能
DVP_Dx（x=0~7）	输入模式+复用功能

表 5-62 FEMC

FEMC引脚	GPIO配置
FEMC_Ax（x=0~25）	推挽复用
FEMC_Dx（x=0~15）	推挽复用
FEMC_CLK	推挽复用
FEMC_NOE	推挽复用
FEMC_NWE	推挽复用
FEMC_NE（x=1~4）	推挽复用
FEMC_NCE（x=2~3）	推挽复用
FEMC_ALE	推挽复用
FEMC_CLE	推挽复用
FEMC_NBLx（x=0~1）	推挽复用
FEMC_NADV	推挽复用
FEMC_NWAIT	输入模式+复用功能
FEMC_INTx（x=2~3）	输入模式+复用功能

表 5-63 SDRAM

SDRAM引脚	GPIO配置
SDRAM_Ax（x=0~12）	推挽复用
SDRAM_Dx（x=0~15）	推挽复用
SDRAM_BAx（x=0~1）	推挽复用
SDRAM_CKEx（x=0~1）	推挽复用
SDRAM_CLK	推挽复用
SDRAM_DQMx（x=0~1）	推挽复用
SDRAM_NCAS	推挽复用
SDRAM_NRAS	推挽复用
SDRAM_NWE	推挽复用
SDRAM_NCEx（x=0~1）	推挽复用

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 5-64 U(S)ART

U(S)ART引脚	配置	GPIO配置
U(S)ARTx_TX	全双工模式	推挽复用+上拉
	半双工同步模式	推挽复用+上拉
	单线模式	输入模式+复用功能
U(S)ARTx_RX	全双工模式	推挽复用+上拉
	半双工同步模式	未用，可作为通用I/O
USARTx_CK	同步模式	推挽复用
U(S)ARTx_RTS_DE	硬件流量控制	推挽复用
U(S)ARTx_CTS	硬件流量控制	输入模式+复用功能

表 5-65 I2C

I2C引脚	配置	GPIO配置
I2Cx_SCL	I2C时钟	开漏复用
I2Cx_SDA	I2C数据	开漏复用
I2Cx_SMBA	SMBA数据	推挽复用

表 5-66 SPI

SPI引脚	配置	GPIO配置
SPIx_SCK	主模式	推挽复用
	从模式	输入模式+复用功能
SPIx_MOSI	全双工模式/主模式	推挽复用
	全双工模式/从模式	输入模式+复用功能
	简单的双向数据线/主模式	推挽复用
	简单的双向数据线/从模式	未用，可作为通用I/O
SPIx_MISO	全双工模式/主模式	输入模式+复用功能
	全双工模式/从模式	推挽复用
	简单的双向数据线/主模式	未用，可作为通用I/O
	简单的双向数据线/从模式	推挽复用
SPIx_NSS	硬件从模式	输入模式+复用功能
	硬件主模式/NSS输出使能	推挽复用
	软件模式	未用，可作为通用I/O

表 5-67 I2S

I2S引脚	配置	GPIO配置
I2Sx_WS	主模式	推挽复用
	从模式	输入模式+复用功能
I2Sx_CK	主模式	推挽复用
	从模式	输入模式+复用功能
I2Sx_SD	发送器	推挽复用

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

I2S引脚	配置	GPIO配置
	接收器	输入模式+复用功能
I2Sx_AUX_SD	发送器	输入模式+复用功能
	接收器	推挽复用
I2Sx_MCK	主模式	推挽复用
	从模式	未用，可作为通用I/O
I2S_CKIN	-	输入模式+复用功能

表 5-68 SDIO

SDIO引脚	GPIO配置
SDIO_CLK	推挽复用
SDIO_CMD	推挽复用
SDIO_DATx（x=0~7）	推挽复用

表 5-69 XSPI

XSPI引脚	配置	GPIO配置
XSPI_IO x（x=0~7）	主/从模式	推挽复用
XSPI_CLK	主模式	推挽复用
	从模式	输入模式+复用功能
XSPI_NSS	主模式	推挽复用
	从模式	输入模式+复用功能
XSPI_RXDS	主模式	输入模式+复用功能

表 5-70 ETH

MAC信号	GPIO配置
ETH_MDC	推挽复用+快速翻转
ETH_MDIO	推挽复用+快速翻转
ETH_PPS_OUT	推挽复用+快速翻转
ETH_MII_CRS	输入模式+复用功能
ETH_MII_COL	输入模式+复用功能
ETH_MII_RX_ER	输入模式+复用功能
ETH_MII_RX_DV ETH_RMII_CRS_DV	输入模式+复用功能
ETH_MII_RXD3	输入模式+复用功能
ETH_MII_RXD2	输入模式+复用功能
ETH_MII_RXD1 ETH_RMII_RXD1	输入模式+复用功能
ETH_MII_RXD0 ETH_RMII_RXD0	输入模式+复用功能
ETH_MII_RX_CLK ETH_RMII_REF_CLK	输入模式+复用功能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

MAC信号	GPIO配置
ETH_MII_TX_ER	输入模式+复用功能
ETH_MII_TX_EN ETH_RMII_TX_EN	推挽复用+快速翻转
ETH_MII_TX_CLK	输入模式+复用功能
ETH_MII_TXD3	推挽复用+快速翻转
ETH_MII_TXD2	推挽复用+快速翻转
ETH_MII_TXD1 ETH_RMII_TXD1	推挽复用+快速翻转
ETH_MII_TXD0 ETH_RMII_TXD0	推挽复用+快速翻转

表 5-71 USB FS Device

USB引脚	GPIO配置
USB_DM USB_DP	一旦使能了USB模块，这些引脚会自动连接到内部USB收发器

表 5-72 USB HS Host/Device

USB引脚	GPIO配置
USB_HS_DM USB_HS_DP	模拟模式
USB_HS_ID	输入模式+复用功能
USB_HS_SOF	推挽复用

表 5-73 DSMU

DSMU引脚	GPIO配置
DSMU_CKINx（x=0~7）	输入模式+复用功能
DSMU_DATINx（x=0~7）	输入模式+复用功能
DSMU_CKOUT	推挽复用

表 5-74 其他

引脚	复用功能	GPIO配置
RTC_REFIN	RTC参考时钟输入	输入模式+复用功能
RTC_OUT1/2	RTC事件或校准输出	推挽复用
时间戳	时间戳触发输入	输入模式+复用功能
MCO	时钟输出	推挽复用
EXTI输入线	外部中断输入	输入模式
EVENT_OUT	事件输出	推挽复用

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

5.2.7 GPIO 锁定机制

锁定机制用于冻结 IO 配置以防止被意外更改。当在一个端口位上执行了锁定（LOCK）程序，在下一次复位之前，不能再更改端口的配置，参考端口配置锁定寄存器 GPIOx_PLOCK。

- PLOCKK 即 GPIOx_PLOCK[16]，只有在对 PLOCKK 按照正确的序列 w1->w0->w1->r0（此处 r0 必须有）操作之后，才会变为 1；之后只有在进行系统复位才会变为 0。
- PLOCKy 即 GPIOx_PLOCK [15:0]，只有在 PLOCKK=0，也就是未锁定的时候才能进行修改。
- PLOCKK 只有在和非 0 的 GPIOx_PLOCK[15:0]同时写入的情况下，序列 w1->w0->w1->r0 才会有效；序列写入的过程中，GPIOx_PLOCK[15:0]必须不能改变；
- 只要 PLOCKK_CFG=0，所有的配置和复用功能都能修改，不受 GPIOx_PLOCK [15:0]配置的影响。
- PLOCKK=1，相应的配置和复用功能位受 GPIOx_PLOCK [15:0]的控制，对应 PLOCK_CFGy（y＝0…15）=1，为锁定配置，不可修改，PLOCK_CFGy=0，可以修改。
- 假如序列操作错误，必须重新进行 w1->w0->w1->r0 才能再次发起锁定操作。

5.3 GPIO 寄存器

必须以 32 位字的方式操作这些外设寄存器。

5.3.1 GPIO 寄存器总览

GPIOA 基地址：0x4002C000

GPIOB 基地址：0x4002C400

GPIOC 基地址：0x4002C800

GPIOD 基地址：0x4002CC00

GPIOE 基地址：0x4002D000

GPIOF 基地址：0x4002D400

GPIOG 基地址：0x4002D800

GPIOH 基地址：0x4002DC00

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 5-75 GPIO 寄存器总览

Offset	Register		31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
000h	GPIOx_PMODE		PMODE15[1:0]		PMODE14[1:0]		PMODE13[1:0]		PMODE12[1:0]		PMODE11[1:0]		PMODE10[1:0]		PMODE9[1:0]		PMODE8[1:0]		PMODE7[1:0]		PMODE6[1:0]		PMODE5[1:0]		PMODE4[1:0]		PMODE3[1:0]		PMODE2[1:0]		PMODE1[1:0]		PMODE0[1:0]	
	Reset Value	x=A	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		x=B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
		x=C,D,E,F,G	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		x=H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
004h	GPIOx_PUPD		PUPD15[1:0]		PUPD14[1:0]		PUPD13[1:0]		PUPD12[1:0]		PUPD11[1:0]		PUPD10[1:0]		PUPD9[1:0]		PUPD8[1:0]		PUPD7[1:0]		PUPD6[1:0]		PUPD5[1:0]		PUPD4[1:0]		PUPD3[1:0]		PUPD2[1:0]		PUPD1[1:0]		PUPD0[1:0]	
	Reset Value	x=A	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		x=B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		x=C,D,E,F,G,H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
008h	GPIOx_POTYPE		Reserved																POT15	POT14	POT13	POT12	POT11	POT10	POT9	POT8	POT7	POT6	POT5	POT4	POT3	POT2	POT1	POT0
	Reset Value																		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00Ch	GPIOx_AFSEL0		Reserved			AFSEL3[4:0]					Reserved			AFSEL2[4:0]					Reserved			AFSEL1[4:0]					Reserved			AFSEL0[4:0]				
	Reset Value					0	0	0	0	0				0	0	0	0	0				0	0	0	0	0				0	0	0	0	0
010h	GPIOx_AFSEL1		Reserved			AFSEL74:0]					Reserved			AFSEL6[4:0]					Reserved			AFSEL5[4:0]					Reserved			AFSEL4[4:0]				
	Reset Value					0	0	0	0	0				0	0	0	0	0				0	0	0	0	0				0	0	0	0	0
014h	GPIOx_AFSEL2		Reserved			AFSEL11[4:0]					Reserved			AFSEL10[4:0]					Reserved			AFSEL9[4:0]					Reserved			AFSEL8[4:0]				
	Reset Value					0	0	0	0	0				0	0	0	0	0				0	0	0	0	0				0	0	0	0	0
018h	GPIOx_AFSEL3		Reserved			AFSEL15[4:0]					Reserved			AFSEL14[4:0]					Reserved			AFSEL13[4:0]					Reserved			AFSEL12[4:0]				
	Reset Value					0	0	0	0	0				0	0	0	0	0				0	0	0	0	0				0	0	0	0	0
01Ch	GPIOx_DS		DS15[1:0]		DS14[1:0]		DS13[1:0]		DS12[1:0]		DS11[1:0]		DS10[1:0]		DS9[1:0]		DS8[1:0]		DS7[1:0]		DS6[1:0]		DS5[1:0]		DS4[1:0]		DS3[1:0]		DS2[1:0]		DS1[1:0]		DS0[1:0]	
	Reset Value		0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
020h	GPIOx_SR		Reserved																SR15	SR14	SR13	SR12	SR11	SR10	SR9	SR8	SR7	SR6	SR5	SR4	SR3	SR2	SR1	SR0
	Reset Value																		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
024h	GPIOx_PBSC		PBC15	PBC14	PBC13	PBC12	PBC11	PBC10	PBC9	PBC8	PBC7	PBC6	PBC5	PBC4	PBC3	PBC2	PBC1	PBC0	PBS15	PBS14	PBS13	PBS12	PBS11	PBS10	PBS9	PBS8	PBS7	PBS6	PBS5	PBS4	PBS3	PBS2	PBS1	PBS0
	Reset Value		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
028h	GPIOx_PBC		Reserved																PBC15	PBC14	PBC13	PBC12	PBC11	PBC10	PBC9	PBC8	PBC7	PBC6	PBC5	PBC4	PBC3	PBC2	PBC1	PBC0
	Reset Value																		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02Ch	GPIOx_PID		Reserved																PID15	PID14	PID13	PID12	PID11	PID10	PID9	PID8	PID7	PID6	PID5	PID4	PID3	PID2	PID1	PID0
	Reset Value																		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
030h	GPIOx_POD		Reserved																POD15	POD14	POD13	POD12	POD11	POD10	POD9	POD8	POD7	POD6	POD5	POD4	POD3	POD2	POD1	POD0
	Reset Value	x=A																	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		x=B																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
		x=C,D,E,F,G,H																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
034h	GPIOx_PLOCK		Reserved															PLOCKK	PLOCK15	PLOCK14	PLOCK13	PLOCK12	PLOCK11	PLOCK10	PLOCK9	PLOCK8	PLOCK7	PLOCK6	PLOCK5	PLOCK4	PLOCK3	PLOCK2	PLOCK1	PLOCK0
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

5.3.2 GPIO 端口模式配置寄存器（GPIOx_PMODE）

偏移地址：0x00

复位值：0x03FF FFFF（x=A）；0xFFFF FC3F（x=B）；0xFFFFFFFF（x=C,D,E,F,G），0x00FFFFFF（x=H）

31 30	29 28	27 26	25 24	23 22	21 20	19 18	17 16
PMODE15[1:0]	PMODE14[1:0]	PMODE13[1:0]	PMODE12[1:0]	PMODE11[1:0]	PMODE10[1:0]	PMODE9[1:0]	PMODE8[1:0]
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
15 14	**13 12**	**11 10**	**9 8**	**7 6**	**5 4**	**3 2**	**1 0**
PMODE7[1:0]	PMODE6[1:0]	PMODE5[1:0]	PMODE4[1:0]	PMODE3[1:0]	PMODE2[1:0]	PMODE1[1:0]	PMODE0[1:0]
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:30	PMODE15[1:0]	端口 15 模式配置位，参照 PMODE0[1:0]描述。
29:28	PMODE14[1:0]	端口 14 模式配置位，参照 PMODE0[1:0]描述。
27:26	PMODE13[1:0]	端口 13 模式配置位，参照 PMODE0[1:0]描述。
25:24	PMODE12[1:0]	端口 12 模式配置位，参照 PMODE0[1:0]描述。
23:22	PMODE11[1:0]	端口 11 模式配置位，参照 PMODE0[1:0]描述。
21:20	PMODE10[1:0]	端口 10 模式配置位，参照 PMODE0[1:0]描述。
19:18	PMODE9[1:0]	端口 9 模式配置位，参照 PMODE0[1:0]描述。
17:16	PMODE8[1:0]	端口 8 模式配置位，参照 PMODE0[1:0]描述。
15:14	PMODE7[1:0]	端口 7 模式配置位，参照 PMODE0[1:0]描述。
13:12	PMODE6[1:0]	端口 6 模式配置位，参照 PMODE0[1:0]描述。
11:10	PMODE5[1:0]	端口 5 模式配置位，参照 PMODE0[1:0]描述。
9:8	PMODE4[1:0]	端口 4 模式配置位，参照 PMODE0[1:0]描述。
7:6	PMODE3[1:0]	端口 3 模式配置位，参照 PMODE0[1:0]描述。
5:4	PMODE2[1:0]	端口 2 模式配置位，参照 PMODE0[1:0]描述。
3:2	PMODE1[1:0]	端口 1 模式配置位，参照 PMODE0[1:0]描述。
1:0	PMODE0[1:0]	端口 0 模式配置位： 00：输入模式 01：通用输出模式 10：复用功能模式 11：模拟模式

5.3.3 GPIO 端口上下拉配置寄存器（GPIOx_PUPD）

偏移地址：0x04

复位值： 0x6400 0000（x=A）；0x0000 0100（x=B）；0x0000 0000（x=C,D,E,F,G,H）

31 30	29 28	27 26	25 24	23 22	21 20	19 18	17 16
PUPD15[1:0]	PUPD14[1:0]	PUPD13[1:0]	PUPD12[1:0]	PUPD11[1:0]	PUPD10[1:0]	PUPD9[1:0]	PUPD8[1:0]
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15-14	13-12	11-10	9-8	7-6	5-4	3-2	1-0
PUPD7[1:0]	PUPD6[1:0]	PUPD5[1:0]	PUPD4[1:0]	PUPD3[1:0]	PUPD2[1:0]	PUPD1[1:0]	PUPD0[1:0]
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:30	PUPD15[1:0]	端口 15 上下拉配置位，参照 PUPD0[1:0]描述。
29:28	PUPD14[1:0]	端口 14 上下拉配置位，参照 PUPD0[1:0]描述。
27:26	PUPD13[1:0]	端口 13 上下拉配置位，参照 PUPD0[1:0]描述。
25:24	PUPD12[1:0]	端口 12 上下拉配置位，参照 PUPD0[1:0]描述。
23:22	PUPD11[1:0]	端口 11 上下拉配置位，参照 PUPD0[1:0]描述。
21:20	PUPD10[1:0]	端口 10 上下拉配置位，参照 PUPD0[1:0]描述。
19:18	PUPD9[1:0]	端口 9 上下拉配置位，参照 PUPD0[1:0]描述。
17:16	PUPD8[1:0]	端口 8 上下拉配置位，参照 PUPD0[1:0]描述。
15:14	PUPD7[1:0]	端口 7 上下拉配置位，参照 PUPD0[1:0]描述。
13:12	PUPD6[1:0]	端口 6 上下拉配置位，参照 PUPD0[1:0]描述。
11:10	PUPD5[1:0]	端口 5 上下拉配置位，参照 PUPD0[1:0]描述。
9:8	PUPD4[1:0]	端口 4 上下拉配置位，参照 PUPD0[1:0]描述。
7:6	PUPD3[1:0]	端口 3 上下拉配置位，参照 PUPD0[1:0]描述。
5:4	PUPD2[1:0]	端口 2 上下拉配置位，参照 PUPD0[1:0]描述。
3:2	PUPD1[1:0]	端口 1 上下拉配置位，参照 PUPD0[1:0]描述。
1:0	PUPD0[1:0]	端口 0 上下拉配置位： 00：无上/下拉 01：上拉 10：下拉 11：保留

5.3.4 GPIO 输出类型配置寄存器（GPIOx_POTYPE）

偏移地址：0x08

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
POT15	POT14	POT13	POT12	POT11	POT10	POT9	POT8	POT7	POT6	POT5	POT4	POT3	POT2	POT1	POT0
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，硬件强制为 0
15	POT15	端口 15 输出类型控制位，参照 POT0 描述。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
14	POT14	端口 14 输出类型控制位，参照 POT0 描述。
13	POT13	端口 13 输出类型控制位，参照 POT0 描述。
12	POT12	端口 12 输出类型控制位，参照 POT0 描述。
11	POT11	端口 11 输出类型控制位，参照 POT0 描述。
10	POT10	端口 10 输出类型控制位，参照 POT0 描述。
9	POT9	端口 9 输出类型控制位，参照 POT0 描述。
8	POT8	端口 8 输出类型控制位，参照 POT0 描述。
7	POT7	端口 7 输出类型控制位，参照 POT0 描述。
6	POT6	端口 6 输出类型控制位，参照 POT0 描述。
5	POT5	端口 5 输出类型控制位，参照 POT0 描述。
4	POT4	端口 4 输出类型控制位，参照 POT0 描述。
3	POT3	端口 3 输出类型控制位，参照 POT0 描述。
2	POT2	端口 2 输出类型控制位，参照 POT0 描述。
1	POT1	端口 1 输出类型控制位，参照 POT0 描述。
0	POT0	端口 0 输出类型控制位： 0：推挽输出 1：开漏输出

5.3.5 GPIO 端口复用功能配置寄存器 0（GPIOx_AFSEL0）

偏移地址：0x0C

复位值： 0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved			AFSEL3[4:0]					Reserved			AFSEL2[4:0]				
			rw								rw				

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved			AFSEL1[4:0]					Reserved			AFSEL0[4:0]				
			rw								rw				

位域	名称	描述
31:29	Reserved	保留，硬件强制为 0。
28:24	AFSEL3[4:0]	端口 3 复用输出类型配置位，参照 AFSEL0[4:0]描述。
23:21	Reserved	保留，硬件强制为 0。
20:16	AFSEL2[4:0]	端口 2 复用输出类型配置位，参照 AFSEL0[4:0]描述。
15:13	Reserved	保留，硬件强制为 0。
12:8	AFSEL1[4:0]	端口 1 复用输出类型配置位，参照 AFSEL0[4:0]描述。
7:5	Reserved	保留，硬件强制为 0。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
4:0	AFSEL0[4:0]	端口 0 复用输出类型配置位： 00000：AF0 00001：AF1 00010：AF2 ...... 11110：AF30 11111：AF31

5.3.6 GPIO 端口复用功能配置寄存器 1（GPIOx_AFSEL1）

偏移地址：0x10

复位值： 0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved			AFSEL7[4:0]					Reserved			AFSEL6[4:0]				
			rw								rw				

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved			AFSEL5[4:0]					Reserved			AFSEL4[4:0]				
			rw								rw				

位域	名称	描述
31:29	Reserved	保留，硬件强制为 0。
28:24	AFSEL7[4:0]	端口 7 复用输出类型配置位，参照 AFSEL4[4:0]描述。
23:21	Reserved	保留，硬件强制为 0。
20:16	AFSEL6[4:0]	端口 6 复用输出类型配置位，参照 AFSEL4[4:0]描述。
15:13	Reserved	保留，硬件强制为 0。
12:8	AFSEL5[4:0]	端口 5 复用输出类型配置位，参照 AFSEL4[4:0]描述。
7:5	Reserved	保留，硬件强制为 0。
4:0	AFSEL4[4:0]	端口 4 复用输出类型配置位： 00000：AF0 00001：AF1 00010：AF2 ...... 11110：AF30 11111：AF31

5.3.7 GPIO 端口复用功能配置寄存器 2（GPIOx_AFSEL2）

偏移地址：0x14

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值： 0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved			AFSEL11[4:0]					Reserved			AFSEL10[4:0]				
			rw								rw				
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved			AFSEL9[4:0]					Reserved			AFSEL8[4:0]				
			rw								rw				

位域	名称	描述
31:29	Reserved	保留，硬件强制为 0。
28:24	AFSEL11[4:0]	端口 11 复用输出类型配置位，参照 AFSEL8[4:0]描述。
23:21	Reserved	保留，硬件强制为 0。
20:16	AFSEL10[4:0]	端口 10 复用输出类型配置位，参照 AFSEL8[4:0]描述。
15:13	Reserved	保留，硬件强制为 0。
12:8	AFSEL9[4:0]	端口 9 复用输出类型配置位，参照 AFSEL8[4:0]描述。
7:5	Reserved	保留，硬件强制为 0。
4:0	AFSEL8[4:0]	端口 8 复用输出类型配置位： 00000：AF0 00001：AF1 00010：AF2 ...... 11110：AF30 11111：AF31

5.3.8 GPIO 端口复用功能配置寄存器 3（GPIOx_AFSEL3）

偏移地址：0x18

复位值： 0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved			AFSEL15[4:0]					Reserved			AFSEL14[4:0]				
			rw								rw				
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved			AFSEL13[4:0]					Reserved			AFSEL12[4:0]				
			rw								rw				

位域	名称	描述
31:29	Reserved	保留，硬件强制为 0。
28:24	AFSEL15[4:0]	端口 15 复用输出类型配置位，参照 AFSEL12[4:0]描述。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
23:21	Reserved	保留，硬件强制为 0。
20:16	AFSEL14[4:0]	端口 14 复用输出类型配置位，参照 AFSEL12[4:0]描述。
15:13	Reserved	保留，硬件强制为 0。
12:8	AFSEL13[4:0]	端口 13 复用输出类型配置位，参照 AFSEL12[4:0]描述。
7:5	Reserved	保留，硬件强制为 0。
4:0	AFSEL12[4:0]	端口 12 复用输出类型配置位： 00000：AF0 00001：AF1 00010：AF2 ...... 11110：AF30 11111：AF31

5.3.9 GPIO 驱动能力配置寄存器（GPIOx_DS）

偏移地址：0x1C

复位值：0x5555 5555（x = A,B,C,D,E,F,G）；0x0055 5555（x=H）

31 30	29 28	27 26	25 24	23 22	21 20	19 18	17 16
DS15[1:0]	DS14[1:0]	DS13[1:0]	DS12[1:0]	DS11[1:0]	DS10[1:0]	DS9[1:0]	DS8[1:0]
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
15 14	**13 12**	**11 10**	**9 8**	**7 6**	**5 4**	**3 2**	**1 0**
DS7[1:0]	DS6[1:0]	DS5[1:0]	DS4[1:0]	DS3[1:0]	DS2[1:0]	DS1[1:0]	DS0[1:0]
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:30	DS15[1:0]	端口 15 驱动能力配置位，参照 DS0[1:0]描述。
29:28	DS14[1:0]	端口 14 驱动能力配置位，参照 DS0[1:0]描述。
27:26	DS13[1:0]	端口 13 驱动能力配置位，参照 DS0[1:0]描述。
25:24	DS12[1:0]	端口 12 驱动能力配置位，参照 DS0[1:0]描述。
23:22	DS11[1:0]	端口 11 驱动能力配置位，参照 DS0[1:0]描述。
21:20	DS10[1:0]	端口 10 驱动能力配置位，参照 DS0[1:0]描述。
19:18	DS9[1:0]	端口 9 驱动能力配置位，参照 DS0[1:0]描述。
17:16	DS8[1:0]	端口 8 驱动能力配置位，参照 DS0[1:0]描述。
15:14	DS7[1:0]	端口 7 驱动能力配置位，参照 DS0[1:0]描述。
13:12	DS6[1:0]	端口 6 驱动能力配置位，参照 DS0[1:0]描述。
11:10	DS5[1:0]	端口 5 驱动能力配置位，参照 DS0[1:0]描述。
9:8	DS4[1:0]	端口 4 驱动能力配置位，参照 DS0[1:0]描述。
7:6	DS3[1:0]	端口 3 驱动能力配置位，参照 DS0[1:0]描述。
5:4	DS2[1:0]	端口 2 驱动能力配置位，参照 DS0[1:0]描述。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
3:2	DS1[1:0]	端口 1 驱动能力配置位，参照 DS0[1:0]描述。
1:0	DS0[1:0]	端口 0 驱动能力配置位： 00：2mA 01：8mA 10：4mA 11：12mA

5.3.10 GPIO 翻转率配置寄存器（GPIOx_SR）

偏移地址：0x20

复位值：0x0000 FFFF（x= A,B,C,D,E,F,G）；0x0000 0FFF（x=H）

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SR15	SR14	SR13	SR12	SR11	SR10	SR9	SR8	SR7	SR6	SR5	SR4	SR3	SR2	SR1	SR0
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	SRy	端口 y 翻转率配置位（y = 0…15） 这些位只能以 16 位字的形式读或写操作。 0：快速翻转 1：慢速翻转

5.3.11 GPIO 端口位设置/清除寄存器（GPIOx_PBSC）

偏移地址：0x24

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
PBC15	PBC14	PBC13	PBC12	PBC11	PBC10	PBC9	PBC8	PBC7	PBC6	PBC5	PBC4	PBC3	PBC2	PBC1	PBC0
w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PBS15	PBS14	PBS13	PBS12	PBS11	PBS10	PBS9	PBS8	PBS7	PBS6	PBS5	PBS4	PBS3	PBS2	PBS1	PBS0
w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w

位域	名称	描述
16	PBCy	清除端口 GPIOx 的位 y （y = 0…15）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		这些位只能写入并只能以字（16 位）的形式操作。 0：对相应的 PODy 位不产生影响 1：清除对应的 PODy 位为 0 *注：如果同时设置了 PBSy 和 PBCy 的对应位，PBSy 位起作用。*
0	PBSy	设置端口 GPIOx 的位 y （y = 0…15） 这些位只能写入并只能以字（16 位）的形式操作。 0：对相应的 PODy 位不产生影响 1：设置对应的 PODy 位为 1

5.3.12 GPIO 端口位清除寄存器（GPIOx_PBC）

偏移地址：0x28

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PBC15	PBC14	PBC13	PBC12	PBC11	PBC10	PBC9	PBC8	PBC7	PBC6	PBC5	PBC4	PBC3	PBC2	PBC1	PBC0
w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	PBCy	清除端口 GPIOx 的位 y （y = 0…15） 这些位只能写入并只能以字（16 位）的形式操作。 0：对相应的 PODy 位不产生影响 1：清除对应的 PODy 位为 0

5.3.13 GPIO 端口输入数据寄存器（GPIOx_PID）

偏移地址：0x2C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PID15	PID14	PID13	PID12	PID11	PID10	PID9	PID8	PID7	PID6	PID5	PID4	PID3	PID2	PID1	PID0
r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	PIDy	端口输入数据（y = 0…15） 这些位为只读并只能以 16 位字的形式读出，读出的值为对应 I/O 口的状态。

5.3.14 GPIO 端口输出数据寄存器（GPIOx_POD）

偏移地址：0x30

复位值：　0x0000 A000（x=A）；0x0000 0010（x=B）；0x0000 0000（x=C,D,E,F,G,H）

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
POD15	POD14	POD13	POD12	POD11	POD10	POD9	POD8	POD7	POD6	POD5	POD4	POD3	POD2	POD1	POD0
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	PODy	端口输出数据（y = 0…15） 这些位只能以 16 位字的形式读或写操作。对 GPIOx_PBSC（x = A…H），可以对相应的 POD 位进行独立的设置/清除。

5.3.15 GPIO 端口锁定配置寄存器（GPIOx_PLOCK）

偏移地址：0x34

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															PLOCKK
															rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PLOCK15	PLOCK14	PLOCK13	PLOCK12	PLOCK11	PLOCK10	PLOCK9	PLOCK8	PLOCK7	PLOCK6	PLOCK5	PLOCK4	PLOCK3	PLOCK2	PLOCK1	PLOCK0
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:17	Reserved	保留，必须保持复位值。
16	PLOCKK	锁键。该位可随时读出，它只可通过锁键写入序列修改。 0：端口配置锁键位激活 1：端口配置锁键位被激活，下次系统复位前 GPIOx_PLOCK 寄存器被锁住。 锁键的写入序列： 写 1 -> 写 0 -> 写 1 -> 读 0 -> 读 1 最后一个读可省略，但可以用来确认锁键已被激活。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		*注：在操作锁键的写入序列时，不能改变*PLOCK [15:0]*的值。操作锁键写入序列中的任何错误将不能激活锁键。*
15:0	PLOCKy	端口 GPIOx 的配置锁定位 y （y = 0…15） 这些位可读可写但只能在 PLOCKK 位为 0 时写入。 0：不锁定端口的配置 1：锁定端口的配置

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

5.4 AFIO 寄存器

5.4.1 AFIO 寄存器总览

AFIO 基地址：0x40010800

表 5-76 AFIO 寄存器总览

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0x00	AFIO_RMP_CFG	XSPI_FLASH2	XSPI_NSS_SEL	XSPI_NSS_IN	ETH_MODE	XSPI_DUAL_QUAD	XSPI_HALF_DUPLEX	XSPI_XIP_WR_BE	EXTI_FILTER	FEMC_NADV	IO_FILTER[5:0]						SWJ_CFG[2:0]			SPI6_NSS	SPI5_NSS	SPI4_NSS	SPI3_NSS	SPI2_NSS	SPI1_NSS	Reserved							
	Reset value	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
0x04	AFIO_EXTI_CFG1	Reserved	EXTI3[6:0]							Reserved	EXTI2[6:0]							Reserved	EXTI1[6:0]							Reserved	EXTI0[6:0]						
	Reset value		0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
0x08	AFIO_EXTI_CFG2	Reserved	EXTI7[6:0]							Reserved	EXTI6[6:0]							Reserved	EXTI5[6:0]							Reserved	EXTI4[6:0]						
	Reset value		0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
0x0C	AFIO_EXTI_CFG3	Reserved	EXTI11[6:0]							Reserved	EXTI10[6:0]							Reserved	EXTI9[6:0]							Reserved	EXTI8[6:0]						
	Reset value		0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
0x10	AFIO_EXTI_CFG4	Reserved	EXTI15[6:0]							Reserved	EXTI14[6:0]							Reserved	EXTI13[6:0]							Reserved	EXTI12[6:0]						
	Reset value		0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
0x14	AFIO_ANAEN_CFG1	Reserved				PB11ANAEN	PB10ANAEN	Reserved							PB2ANAEN	PB1ANAEN	PB0ANAEN	Reserved					PA10ANAEN	PA9ANAEN	PA8ANAEN	PA7ANAEN	PA6ANAEN	PA5ANAEN	PA4ANAEN	PA3ANAEN	PA2ANAEN	PA1ANAEN	PA0ANAEN
	Reset value					1	1								1	1	1						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0x18	AFIO_ANAEN_CFG2	Reserved												PD3ANAEN	PD2ANAEN	Reserved												PC5ANAEN	PC4ANAEN	PC3ANAEN	PC2ANAEN	PC1ANAEN	PC0ANAEN
	Reset value													1	1													1	1	1	1	1	1
0x1C	AFIO_ANAEN_CFG3	Reserved					PF10ANAEN	PF9ANAEN	PF8ANAEN	PF7ANAEN	PF6ANAEN	PF5ANAEN	PF4ANAEN	PF3ANAEN	Reserved												PE6ANAEN	Reserved					
	Reset value						1	1	1	1	1	1	1	1													1						
0x20	AFIO_ANAEN_CFG4	Reserved												PH3ANAEN	Reserved	PH1ANAEN	PH0ANAEN	Reserved															
	Reset value													1		1	1																
0x24	AFIO_FILTER_CFG1	PB_FILTER[15:0]																PA_FILTER[15:0]															
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x28	AFIO_ FILTER _CFG2	PD_FILTER[15:0]																PC_FILTER[15:0]															
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x2C	AFIO_ FILTER _CFG3	PF_FILTER[15:0]																PE_FILTER[15:0]															
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x30	AFIO_ FILTER _CFG4	Reserved				PH_FILTER[11:0]												PG_FILTER[15:0]															
	Reset value					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x34	AFIO_EMC_CFG	Reserved		XSPI_DLY[1:0]		XSPI_RD_BE	XSPI_WR_BE	XSPI_RXDS[1:0]		GB4_DET	GB3_DET	GB2_DET	GB1_DET	GBN4_DET	GBN3_DET	GBN2_DET	GBN1_DET	CLAMP4_DET	CLAMP3_DET	CLAMP2_DET	CLAMP1_DET	GB4_RST	GB3_RST	GB2_RST	GB1_RST	GBN4_RST	GBN3_RST	GBN2_RST	GBN1_RST	CLAMP4_RST	CLAMP3_RST	CLAMP2_RST	CLAMP1_RST
	Reset value			0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0x38	AFIO_EMC_CNT	Reserved																	PC_RD_DELAY_EN	XSPI_NSS_HIGH [3:0]				EMC_CNT									
	Reset value																		0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1

5.4.2 AFIO 复用功能重映射寄存器（AFIO_RMP_CFG）

偏移地址：0x00

复位值：0x0200 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
XSPI_FLASH2	XSPI_NSS_SEL	XSPI_NSS_IN	ETH_MODE	XSPI_DUAL_QUAD	XSPI_HALF_DUPLEX	XSPI_XIP_WR_BE	EXTI_FILTER	FEMC_NADV	IO_FILTER[5:0]						SWJ_CFG[2]
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	w

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SWJ_CFG[1:0]		SPI6_NSS	SPI5_NSS	SPI4_NSS	SPI3_NSS	SPI2_NSS	SPI1_NSS	Reserved							
w		rw	rw	rw	rw	rw	rw								

位域	名称	描述
31	XSPI_FLASH2	双四线模式 FLASH2 配置使能位。 0：禁止 FLASH2 配置 1：使能 FLASH2 配置
30	XSPI_NSS_SEL	主机模式 CS 输入使能后，有效的 CS 输入引脚选择位。 0：NSS0 有效 1：NSS1 有效
29	XSPI_NSS_IN	主机模式下，CS 输入使能位，用于多主冲突测试 0：CS 输入禁止 1：CS 输入使能
28	ETH_MODE	以太网 PHY 接口模式配置位。 0：MII 1：RMII
27	XSPI_DUAL_QUAD	XSPI 双四线模式使能位 0：禁用双四线模式 1：使能双四线模式
26	XSPI_HALF_DUPLEX	XSPI 半双工模式使能位 0：禁用半双工模式 1：使能半双工模式
25	XSPI_XIP_WR_BE	XSPI XIP 模式写操作大小端模式配置位。 0：小端模式 1：大端模式
24	EXTI_FILTER	EXTI 模拟滤波旁路控制位 0：使能 EXTI 模拟滤波

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：禁用 EXTI 模拟滤波
23	FEMC_NADV	FEMC NADV 信号控制位 0：NADV 信号连接到外部管脚 1：NADV 与外部管脚断开连接
22:17	IO_FILTER[5:0]	IO 数字滤波控制位 000000：不启用 IO 数字滤波，最小有效脉冲宽度为 1HCLK 000001：IO 滤波使能，最小有效脉冲宽度为 2HCLK 000010：IO 滤波使能，最小有效脉冲宽度为 3HCLK .... 111111：IO 滤波使能，最小有效脉冲宽度为 64HCLK
16:14	SWJ_CFG[2:0]	串行线 JTAG 配置 （Serial wire JTAG configuration） 这些位只可由软件写（读这些位，将返回未定义的数值），用于配置 SWD_JTAG 复用功能的 I/O 口。SWD_JTAG（串行线 JTAG）支持 JTAG 或 SWD 访问 Cortex 的调试端口。系统复位后的默认状态是启用 SWD_JTAG，这种状态下可以通过 JTMS/JTCK 脚上的特定信号选择 JTAG 或 SW（串行线）模式。 000：完全 SWD_JTAG（JTAG-DP + SW-DP）：复位状态； 001：完全 SWD_JTAG（JTAG-DP + SW-DP）但没有 NJTRST； 010：关闭 JTAG-DP，启用 SW-DP； 100：关闭 JTAG-DP，关闭 SW-DP； 其它值：无作用。
13	SPI6_NSS	SPI6 NSS 空闲状态配置位 0：空闲时 NSS 为高阻态 1：空闲时 NSS 为高电平
12	SPI5_NSS	SPI5 NSS 空闲状态配置位 0：空闲时 NSS 为高阻态 1：空闲时 NSS 为高电平
11	SPI4_NSS	SPI4 NSS 空闲状态配置位 0：空闲时 NSS 为高阻态 1：空闲时 NSS 为高电平
10	SPI3_NSS	SPI3 NSS 空闲状态配置位 0：空闲时 NSS 为高阻态 1：空闲时 NSS 为高电平
9	SPI2_NSS	SPI2 NSS 空闲状态配置位 0：空闲时 NSS 为高阻态 1：空闲时 NSS 为高电平
8	SPI1_NSS	SPI1 NSS 空闲状态配置位 0：空闲时 NSS 为高阻态 1：空闲时 NSS 为高电平
7:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

5.4.3 AFIO 外部中断配置寄存器 1（AFIO_EXTI_CFG1）

偏移地址：0x04

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	EXTI3[6:0]							Reserved	EXTI2[6:0]						
	rw								rw						

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	EXTI1[6:0]							Reserved	EXTI0[6:0]						
	rw								rw						

位域	名称	描述
31 23 25 7	Reserved	保留，必须保持复位值。
30:24 22:16 14:8 6:0	EXTIx[6:0]	EXTIx 配置（x = 0 … 3） 这些位可由软件读写，用于选择 EXTIx 外部中断的输入源。 0000000:PA[0] 0000001:PB[0] 0000010:PC[0] 0000011:PD[0] 0000100:PE[0] 0000101:PF[0] 0000110:PG[0] 0000111:PH[0] 0001000:PA[1] 0001001:PB[1] 0001010:PC[1] 0001011:PD[1] 0001100:PE[1] 0001101:PF[1] 0001110:PG[1] 0001111:PH[1] 0010000:PA[2] 0010001:PB[2] 0010010:PC[2] 0010011:PD[2] 0010100:PE[2] 0010101:PF[2] 0010110:PG[2] 0010111:PH[2] 0011000:PA[3] 0011001:PB[3] 0011010:PC[3] 0011011:PD[3] 0011100:PE[3] 0011101:PF[3] 0011110:PG[3] 0011111:PH[3] 0100000:PA[4] 0100001:PB[4] 0100010:PC[4] 0100011:PD[4] 0100100:PE[4] 0100101:PF[4] 0100110:PG[4] 0100111:PH[4] 0101000:PA[5] 0101001:PB[5] 0101010:PC[5] 0101011:PD[5] 0101100:PE[5] 0101101:PF[5] 0101110:PG[5] 0101111:PH[5] 0110000:PA[6] 0110001:PB[6] 0110010:PC[6] 0110011:PD[6] 0110100:PE[6] 0110101:PF[6] 0110110:PG[6] 0110111:PH[6] 0111000:PA[7] 0111001:PB[7] 0111010:PC[7] 0111011:PD[7] 0111100:PE[7] 0111101:PF[7] 0111110:PG[7] 0111111:PH[7] 1000000:PA[8] 1000001:PB[8] 1000010:PC[8] 1000011:PD[8] 1000100:PE[8] 1000101:PF[8] 1000110:PG[8] 1000111:PH[8] 1001000:PA[9] 1001001:PB[9] 1001010:PC[9] 1001011:PD[9] 1001100:PE[9] 1001101:PF[9] 1001110:PG[9] 1001111:PH[9] 1010000:PA[10] 1010001:PB[10] 1010010:PC[10] 1010011:PD[10] 1010100:PE[10] 1010101:PF[10] 1010110:PG[10] 1010111:PH[10] 1011000:PA[11] 1011001:PB[11] 1011010:PC[11] 1011011:PD[11] 1011100:PE[11] 1011101:PF[11] 1011110:PG[11] 1011111:PH[11]

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1100000:PA[12] 1100001:PB[12] 1100010:PC[12] 1100011:PD[12] 1100100:PE[12] 1100101:PF[12] 1100110:PG[12] 1101000:PA[13] 1101001:PB[13] 1101010:PC[13] 1101011:PD[13] 1101100:PE[13] 1101101:PF[13] 1101110:PG[13] 1110000:PA[14] 1110001:PB[14] 1110010:PC[14] 1110011:PD[14] 1110100:PE[14] 1110101:PF[14] 1110110:PG[14] 1111000:PA[15] 1111001:PB[15] 1111010:PC[15] 1111011:PD[15] 1111100:PE[15] 1111101:PF[15] 1111110:PG[15] 其他值：保留

5.4.4 AFIO 外部中断配置寄存器 2（AFIO_EXTI_CFG2）

偏移地址：0x08

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	EXTI7[6:0]							Reserved	EXTI6[6:0]						
	rw								rw						

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	EXTI5[6:0]							Reserved	EXTI4[6:0]						
	rw								rw						

位域	名称	描述
31 23 25 7	Reserved	保留，必须保持复位值。
30:24 22:16 14:8 6:0	EXTIx[6:0]	EXTIx 配置（x = 4 … 7） 这些位可由软件读写，用于选择 EXTIx 外部中断的输入源。 0000000:PA[0] 0000001:PB[0] 0000010:PC[0] 0000011:PD[0] 0000100:PE[0] 0000101:PF[0] 0000110:PG[0] 0000111:PH[0] 0001000:PA[1] 0001001:PB[1] 0001010:PC[1] 0001011:PD[1] 0001100:PE[1] 0001101:PF[1] 0001110:PG[1] 0001111:PH[1] 0010000:PA[2] 0010001:PB[2] 0010010:PC[2] 0010011:PD[2] 0010100:PE[2] 0010101:PF[2] 0010110:PG[2] 0010111:PH[2] 0011000:PA[3] 0011001:PB[3] 0011010:PC[3] 0011011:PD[3] 0011100:PE[3] 0011101:PF[3] 0011110:PG[3] 0011111:PH[3] 0100000:PA[4] 0100001:PB[4] 0100010:PC[4] 0100011:PD[4] 0100100:PE[4] 0100101:PF[4] 0100110:PG[4] 0100111:PH[4] 0101000:PA[5] 0101001:PB[5] 0101010:PC[5] 0101011:PD[5] 0101100:PE[5] 0101101:PF[5] 0101110:PG[5] 0101111:PH[5]

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0110000:PA[6] 0110001:PB[6] 0110010:PC[6] 0110011:PD[6] 0110100:PE[6] 0110101:PF[6] 0110110:PG[6] 0110111:PH[6] 0111000:PA[7] 0111001:PB[7] 0111010:PC[7] 0111011:PD[7] 0111100:PE[7] 0111101:PF[7] 0111110:PG[7] 0111111:PH[7] 1000000:PA[8] 1000001:PB[8] 1000010:PC[8] 1000011:PD[8] 1000100:PE[8] 1000101:PF[8] 1000110:PG[8] 1000111:PH[8] 1001000:PA[9] 1001001:PB[9] 1001010:PC[9] 1001011:PD[9] 1001100:PE[9] 1001101:PF[9] 1001110:PG[9] 1001111:PH[9] 1010000:PA[10] 1010001:PB[10] 1010010:PC[10] 1010011:PD[10] 1010100:PE[10] 1010101:PF[10] 1010110:PG[10] 1010111:PH[10] 1011000:PA[11] 1011001:PB[11] 1011010:PC[11] 1011011:PD[11] 1011100:PE[11] 1011101:PF[11] 1011110:PG[11] 1011111:PH[11] 1100000:PA[12] 1100001:PB[12] 1100010:PC[12] 1100011:PD[12] 1100100:PE[12] 1100101:PF[12] 1100110:PG[12] 1101000:PA[13] 1101001:PB[13] 1101010:PC[13] 1101011:PD[13] 1101100:PE[13] 1101101:PF[13] 1101110:PG[13] 1110000:PA[14] 1110001:PB[14] 1110010:PC[14] 1110011:PD[14] 1110100:PE[14] 1110101:PF[14] 1110110:PG[14] 1111000:PA[15] 1111001:PB[15] 1111010:PC[15] 1111011:PD[15] 1111100:PE[15] 1111101:PF[15] 1111110:PG[15] 其他值：保留

5.4.5 AFIO 外部中断配置寄存器 3（AFIO_EXTI_CFG3）

偏移地址：0x0C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	EXTI11[6:0]							Reserved	EXTI10[6:0]						
	rw								rw						

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	EXTI9[6:0]							Reserved	EXTI8[6:0]						
	rw								rw						

位域	名称	描述
31 23 25 7	Reserved	保留，必须保持复位值。
30:24 22:16	EXTIx[6:0]	EXTIx 配置（x = 8 … 11） 这些位可由软件读写，用于选择 EXTIx 外部中断的输入源。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

<table>
<tr><th>位域</th><th>名称</th><th>描述</th></tr>
<tr><td>14:8
6:0</td><td></td><td>0000000:PA[0] 0000001:PB[0] 0000010:PC[0] 0000011:PD[0]
0000100:PE[0] 0000101:PF[0] 0000110:PG[0] 0000111:PH[0]
0001000:PA[1] 0001001:PB[1] 0001010:PC[1] 0001011:PD[1]
0001100:PE[1] 0001101:PF[1] 0001110:PG[1] 0001111:PH[1]
0010000:PA[2] 0010001:PB[2] 0010010:PC[2] 0010011:PD[2]
0010100:PE[2] 0010101:PF[2] 0010110:PG[2] 0010111:PH[2]
0011000:PA[3] 0011001:PB[3] 0011010:PC[3] 0011011:PD[3]
0011100:PE[3] 0011101:PF[3] 0011110:PG[3] 0011111:PH[3]
0100000:PA[4] 0100001:PB[4] 0100010:PC[4] 0100011:PD[4]
0100100:PE[4] 0100101:PF[4] 0100110:PG[4] 0100111:PH[4]
0101000:PA[5] 0101001:PB[5] 0101010:PC[5] 0101011:PD[5]
0101100:PE[5] 0101101:PF[5] 0101110:PG[5] 0101111:PH[5]
0110000:PA[6] 0110001:PB[6] 0110010:PC[6] 0110011:PD[6]
0110100:PE[6] 0110101:PF[6] 0110110:PG[6] 0110111:PH[6]
0111000:PA[7] 0111001:PB[7] 0111010:PC[7] 0111011:PD[7]
0111100:PE[7] 0111101:PF[7] 0111110:PG[7] 0111111:PH[7]
1000000:PA[8] 1000001:PB[8] 1000010:PC[8] 1000011:PD[8]
1000100:PE[8] 1000101:PF[8] 1000110:PG[8] 1000111:PH[8]
1001000:PA[9] 1001001:PB[9] 1001010:PC[9] 1001011:PD[9]
1001100:PE[9] 1001101:PF[9] 1001110:PG[9] 1001111:PH[9]
1010000:PA[10] 1010001:PB[10] 1010010:PC[10] 1010011:PD[10]
1010100:PE[10] 1010101:PF[10] 1010110:PG[10] 1010111:PH[10]
1011000:PA[11] 1011001:PB[11] 1011010:PC[11] 1011011:PD[11]
1011100:PE[11] 1011101:PF[11] 1011110:PG[11] 1011111:PH[11]
1100000:PA[12] 1100001:PB[12] 1100010:PC[12] 1100011:PD[12]
1100100:PE[12] 1100101:PF[12] 1100110:PG[12]
1101000:PA[13] 1101001:PB[13] 1101010:PC[13] 1101011:PD[13]
1101100:PE[13] 1101101:PF[13] 1101110:PG[13]
1110000:PA[14] 1110001:PB[14] 1110010:PC[14] 1110011:PD[14]
1110100:PE[14] 1110101:PF[14] 1110110:PG[14]
1111000:PA[15] 1111001:PB[15] 1111010:PC[15] 1111011:PD[15]
1111100:PE[15] 1111101:PF[15] 1111110:PG[15]
其他值：保留</td></tr>
</table>

5.4.6 AFIO 外部中断配置寄存器 4（AFIO_EXTI_CFG4）

偏移地址：0x10

复位值：0x0000 0000

<table>
<tr><td>31</td><td>30</td><td>29</td><td>28</td><td>27</td><td>26</td><td>25</td><td>24</td><td>23</td><td>22</td><td>21</td><td>20</td><td>19</td><td>18</td><td>17</td><td>16</td></tr>
<tr><td>Reserved</td><td colspan="7">EXTI15[6:0]</td><td>Reserved</td><td colspan="7">EXTI14[6:0]</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="7">rw</td><td></td><td colspan="7">rw</td></tr>
</table>

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	EXTI13[6:0]							Reserved	EXTI12[6:0]						
	rw								rw						

位域	名称	描述
31 23 25 7	Reserved	保留，必须保持复位值。
30:24 22:16 14:8 6:0	EXTIx[6:0]	EXTIx 配置（x = 12 … 15） 这些位可由软件读写，用于选择 EXTIx 外部中断的输入源。 0000000:PA[0] 0000001:PB[0] 0000010:PC[0] 0000011:PD[0] 0000100:PE[0] 0000101:PF[0] 0000110:PG[0] 0000111:PH[0] 0001000:PA[1] 0001001:PB[1] 0001010:PC[1] 0001011:PD[1] 0001100:PE[1] 0001101:PF[1] 0001110:PG[1] 0001111:PH[1] 0010000:PA[2] 0010001:PB[2] 0010010:PC[2] 0010011:PD[2] 0010100:PE[2] 0010101:PF[2] 0010110:PG[2] 0010111:PH[2] 0011000:PA[3] 0011001:PB[3] 0011010:PC[3] 0011011:PD[3] 0011100:PE[3] 0011101:PF[3] 0011110:PG[3] 0011111:PH[3] 0100000:PA[4] 0100001:PB[4] 0100010:PC[4] 0100011:PD[4] 0100100:PE[4] 0100101:PF[4] 0100110:PG[4] 0100111:PH[4] 0101000:PA[5] 0101001:PB[5] 0101010:PC[5] 0101011:PD[5] 0101100:PE[5] 0101101:PF[5] 0101110:PG[5] 0101111:PH[5] 0110000:PA[6] 0110001:PB[6] 0110010:PC[6] 0110011:PD[6] 0110100:PE[6] 0110101:PF[6] 0110110:PG[6] 0110111:PH[6] 0111000:PA[7] 0111001:PB[7] 0111010:PC[7] 0111011:PD[7] 0111100:PE[7] 0111101:PF[7] 0111110:PG[7] 0111111:PH[7] 1000000:PA[8] 1000001:PB[8] 1000010:PC[8] 1000011:PD[8] 1000100:PE[8] 1000101:PF[8] 1000110:PG[8] 1000111:PH[8] 1001000:PA[9] 1001001:PB[9] 1001010:PC[9] 1001011:PD[9] 1001100:PE[9] 1001101:PF[9] 1001110:PG[9] 1001111:PH[9] 1010000:PA[10] 1010001:PB[10] 1010010:PC[10] 1010011:PD[10] 1010100:PE[10] 1010101:PF[10] 1010110:PG[10] 1010111:PH[10] 1011000:PA[11] 1011001:PB[11] 1011010:PC[11] 1011011:PD[11] 1011100:PE[11] 1011101:PF[11] 1011110:PG[11] 1011111:PH[11] 1100000:PA[12] 1100001:PB[12] 1100010:PC[12] 1100011:PD[12] 1100100:PE[12] 1100101:PF[12] 1100110:PG[12] 1101000:PA[13] 1101001:PB[13] 1101010:PC[13] 1101011:PD[13] 1101100:PE[13] 1101101:PF[13] 1101110:PG[13] 1110000:PA[14] 1110001:PB[14] 1110010:PC[14] 1110011:PD[14] 1110100:PE[14] 1110101:PF[14] 1110110:PG[14] 1111000:PA[15] 1111001:PB[15] 1111010:PC[15] 1111011:PD[15] 1111100:PE[15] 1111101:PF[15] 1111110:PG[15]

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		其他值：保留

5.4.7 AFIO IO 端口模拟信号通道配置寄存器 1（AFIO_ANAEN_CFG1）

偏移地址：0x14

复位值：0xFFFF FFFF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				PB11A NAEN	PB10A NAEN	Reserved							PB2A NAEN	PB1A NAEN	PB0A NAEN
				rw	rw								rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved					PA10A NAEN	PA9A NAEN	PA8A NAEN	PA7A NAEN	PA6A NAEN	PA5A NAEN	PA4A NAEN	PA3A NAEN	PA2A NAEN	PA1A NAEN	PA0A NAEN
					rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必须保持复位值。
27:26	PBxANAEN	PBx 端口模拟信号通道使能位（x = 10 ,11） 0：禁用 PBx 端口模拟信号通道 1：使能 PBx 端口模拟信号通道
25:19	Reserved	保留，必须保持复位值。
18:16	PBxANAEN	PBx 端口模拟信号通道使能位（x = 0 … 2） 0：禁用 PBx 端口模拟信号通道 1：使能 PBx 端口模拟信号通道
15:11	Reserved	保留，必须保持复位值。
10:0	PAxANAEN	PAx 端口模拟信号通道使能位（x = 0 … 10） 0：禁用 PAx 端口模拟信号通道 1：使能 PAx 端口模拟信号通道

5.4.8 AFIO IO 端口模拟信号通道配置寄存器 2（AFIO_ANAEN_CFG2）

偏移地址：0x18

复位值：0xFFFF FFFF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved												PD3A NAEN	PD2A NAEN	Reserved	
												rw	rw		

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved										PC5A NAEN	PC4A NAEN	PC3A NAEN	PC2A NAEN	PC1A NAEN	PC0A NAEN
										rw	rw	rw	rw	rw	rw

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:20	Reserved	保留，必须保持复位值。
19:18	PDxANAEN	PDx 端口模拟信号通道使能位（x = 2 … 3） 0：禁用 PDx 端口模拟信号通道 1：使能 PDx 端口模拟信号通道
17:6	Reserved	保留，必须保持复位值。
5:0	PCxANAEN	PCx 端口模拟信号通道使能位（x = 0 … 5） 0：禁用 PCx 端口模拟信号通道 1：使能 PCx 端口模拟信号通道

5.4.9 **AFIO IO 端口模拟信号通道配置寄存器 3（AFIO_ANAEN_CFG3）**

偏移地址：0x1C

复位值：0xFFFF FFFF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved					PF10A NAEN	PF9A NAEN	PF8AN AEN	PF7A NAEN	PF6A NAEN	PF5A NAEN	PF4AN AEN	PF3A NAEN	Reserved		
					rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved									PE6A NAEN	Reserved					
									rw						

位域	名称	描述
31:27	Reserved	保留，必须保持复位值。
26:19	PFxANAEN	PFx 端口模拟信号通道使能位（x = 3 … 10） 0：禁用 PFx 端口模拟信号通道 1：使能 PFx 端口模拟信号通道
18:7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6	PE6ANAEN	PE6 端口模拟信号通道使能位 0：禁用 PE6 端口模拟信号通道 1：使能 PE6 端口模拟信号通道
5:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

5.4.10 **AFIO IO 端口模拟信号通道配置寄存器 4（AFIO_ANAEN_CFG4）**

偏移地址：0x20

复位值：0xFFFF FFFF

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				CLKINVEN	Reserved							PH3ANAEN	Reserved	PH1ANAEN	PH0ANAEN
				rw								rw		rw	rw
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必须保持复位值。
27	CLKINVEN	SDRAM 时钟取反使能 0：使能 1：禁能 *注意：当 SDRAM 时钟频率较高时可将该位置 0*
26:20	Reserved	保留，必须保持复位值。
19	PH3ANAEN	PH3 端口模拟信号通道使能位 0：禁用 PH3 端口模拟信号通道 1：使能 PH3 端口模拟信号通道
18	Reserved	保留，必须保持复位值。
17:16	PHxANAEN	PHx 端口模拟信号通道使能位（x = 0,1） 0：禁用 PHx 端口模拟信号通道 1：使能 PHx 端口模拟信号通道
15:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

5.4.11 AFIO IO 端口数字滤波配置寄存器 1（AFIO_FILTER_CFG1）

偏移地址：0x24

复位值：0x000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
PB_FILTER[15:0]															
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PA_FILTER[15:0]															
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:16	PB_FILTER[15:0]	PBx 端口数字滤波使能位（x = 0 … 15） 0：禁用 PBx 端口数字滤波 1：使能 PBx 端口数字滤波
15:0	PA_FILTER[15:0]	PAx 端口数字滤波使能位（x = 0 … 15）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：禁用 PAx 端口数字滤波 1：使能 PAx 端口数字滤波

5.4.12 AFIO IO 端口数字滤波配置寄存器 2（AFIO_FILTER_CFG2）

偏移地址：0x28

复位值：0x000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
PD_FILTER[15:0]															
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PC_FILTER[15:0]															
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:16	PD_FILTER[15:0]	PDx 端口数字滤波使能位（x = 0 … 15） 0：禁用 PDx 端口数字滤波 1：使能 PDx 端口数字滤波
15:0	PC_FILTER[15:0]	PCx 端口数字滤波使能位（x = 0 … 15） 0：禁用 PCx 端口数字滤波 1：使能 PCx 端口数字滤波

5.4.13 AFIO IO 端口数字滤波配置寄存器 3（AFIO_FILTER_CFG3）

偏移地址：0x2C

复位值：0x000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
PF_FILTER[15:0]															
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PE_FILTER[15:0]															
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:16	PF_FILTER[15:0]	PFx 端口数字滤波使能位（x = 0 … 15） 0：禁用 PFx 端口数字滤波

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：使能 PFx 端口数字滤波
15:0	PE_FILTER[15:0]	PEx 端口数字滤波使能位（x = 0 … 15） 0：禁用 PEx 端口数字滤波 1：使能 PEx 端口数字滤波

5.4.14 **AFIO IO 端口数字滤波配置寄存器 4（AFIO_FILTER_CFG4）**

偏移地址：0x30

复位值：0x000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				PH_FILTER[11:0]											
									rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PG_FILTER[15:0]															
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必须保持复位值。
27:16	PH_FILTER[11:0]	PHx 端口数字滤波使能位（x = 0 … 11） 0：禁用 PHx 端口数字滤波 1：使能 PHx 端口数字滤波
15:0	PG_FILTER[15:0]	PGx 端口数字滤波使能位（x = 0 … 15） 0：禁用 PGx 端口数字滤波 1：使能 PGx 端口数字滤波

5.4.15 **AFIO EMC 配置寄存器（AFIO_EMC_CFG）**

偏移地址：0x34

复位值：0x0C00 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		XSPI_EXTEND[1:0]		XSPI_RD_BE	XSPI_WR_BE	XSPI_RXDS [1:0]		GB4_DET	GB3_DET	GB2_DET	GB1_DET	GBN4_DET	GBN3_DET	GBN2_DET	GBN1_DET
								rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CLAMP4_DET	CLAMP3_DET	CLAMP2_DET	CLAMP1_DET	GB4_RST	GB3_RST	GB2_RST	GB1_RST	GBN4_RST	GBN3_RST	GBN2_RST	GBN1_RST	CLAMP4_RST	CLAMP3_RST	CLAMP2_RST	CLAMP1_RST
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值。
29:28	XSPI_EXTEND[1:0]	XSPI CS 建立与保持时间延长配置位。 00：禁用 CS 建立时间与保持时间延长功能 01：仅使能 CS 建立时间延长功能 10：仅使能 CS 保持时间延长功能 11：同时使能 CS 建立时间与保持时间延长功能
27	XSPI_ RD_BE	XSPI 普通模式（非 XIP）读操作大小端模式配置位。 0：小端模式 1：大端模式
26	XSPI_ WR_BE	XSPI 普通模式（非 XIP）写操作大小端模式配置位。 0：小端模式 1：大端模式
25：24	XSPI_RXDS[1:0]	XSPI RXDS 采样延迟时间配置位。 01：1HCLK 10：2HCLK other：Bypass
23	GB4_DET	EMC GB4 检测使能位（地弹检测）。 0：禁止 1：使能
22	GB3_DET	EMC GB3 检测使能位。 0：禁止 1：使能
21	GB2_DET	EMC GB3 检测使能位。 0：禁止 1：使能
20	GB1_DET	EMC GB1 检测使能位。 0：禁止 1：使能
19	GBN4_DET	EMC GBN4 检测使能位。 0：禁止 1：使能
18	GBN3_DET	EMC GBN3 检测使能位。 0：禁止 1：使能
17	GBN2_DET	EMC GBN2 检测使能位。 0：禁止 1：使能
16	GBN1_DET	EMC GBN1 检测使能位。 0：禁止 1：使能
15	CLAMP4_DET	针对 VDD_4 的 EMC_CLAMP4 检测使能位。 0：禁止

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：使能
14	CLAMP3_DET	针对 VDD_3 的 EMC_CLAMP3 检测使能位。 0：禁止 1：使能
13	CLAMP2_DET	针对 VDD_2 的 EMC_CLAMP2 检测使能位。 0：禁止 1：使能
12	CLAMP1_DET	针对 VDD_1 的 EMC_CLAMP1 检测使能位。 0：禁止 1：使能
11	GB4_RST	当检测到 EMC GB4 时，系统复位使能位。 0：禁止 1：使能
10	GB3_RST	当检测到 EMC GB3 时，系统复位使能位。 0：禁止 1：使能
9	GB2_RST	当检测到 EMC GB2 时，系统复位使能位。 0：禁止 1：使能
8	GB1_RST	当检测到 EMC GB1 时，系统复位使能位。 0：禁止 1：使能
7	GBN4_RST	当检测到 EMC GBN4 时，系统复位使能位。 0：禁止 1：使能
6	GBN3_RST	当检测到 EMC GBN3 时，系统复位使能位。 0：禁止 1：使能
5	GBN2_RST	当检测到 EMC GBN2 时，系统复位使能位。 0：禁止 1：使能
4	GBN1_RST	当检测到 EMC GBN1 时，系统复位使能位。 0：禁止 1：使能
3	CLAMP4_RST	当检测到 EMC CLAMP4 时，系统复位使能位。 0：禁止 1：使能
2	CLAMP3_RST	当检测到 EMC CLAMP3 时，系统复位使能位。 0：禁止 1：使能
1	CLAMP2_RST	当检测到 EMC CLAMP2 时，系统复位使能位。 0：禁止

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：使能
0	CLAMP1_RST	当检测到 EMC CLAMP1 时，系统复位使能位。 0：禁止 1：使能

5.4.16 AFIO EMC 计数寄存器（AFIO_EMC_CNT）

偏移地址：0x38

复位值：0x000 02D5

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		XSPI_NSS_HIGH[3:0]				EMC_CNT[9:0]									
		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:14	Reserved	保留，必须保持复位值。
13:10	XSPI_NSS_HIGH[3:0]	NSS 空闲时间（高电平）配置位，在 XSPI 主机单线模式通信时，如果 NSS 有效电平为低电平，支持每两个数据帧（4~32bit）之间的空闲时间将 NSS 置为高电平，通过 XSPI_CTRL0 寄存器 bit[14] SSTE 使能。SSTE=0 时，NSS 在通信开始时输出有效低电平，随后保持至所有数据帧发送完后，再输出空闲高电平。 SSTE=1 时，NSS 在在每个数据帧发送前输出有效低电平，并在每个数据帧发送完后输出空闲高电平。 此配置位用于 SSTE=1 时的 NSS 空闲高电平持续时间配置。 0000：数据帧之间的空闲高电平持续 1*xSPI_CLK 0001：数据帧之间的空闲高电平持续 2*xSPI_CLK ...... 0001：数据帧之间的空闲高电平持续 16*xSPI_CLK
9:0	EMC_CNT[9:0]	EMC 错误计数

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.

地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦

电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100

网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

6 中断和事件

6.1 嵌套向量中断寄存器

特性

- 112 个可屏蔽中断通道（不包含 16 个 Cortex-M4 的中断线）。
- 16 个可编程的优先等级（使用了 4 位中断优先级）；
- 低延迟的异常和中断处理；
- 电源管理控制；
- 系统控制寄存器的实现；

嵌套向量中断控制器（NVIC）和处理器核的接口紧密相连，可以实现低延迟的中断处理和高效地处理晚到的中断。嵌套向量中断控制器管理着包括内核异常等中断。

6.1.1 SysTick 校准值寄存器

系统嘀嗒校准值固定为 9000，当系统嘀嗒时钟设定为 9MHz 时，产生 1ms 时间基准。如果需要配成其他时间基准，请基于时钟源周期，配置对应的 SysTick.LOAD 寄存器。

6.1.2 中断和异常向量

表 6-1 向量表

位置	优先级	优先级类型	名称	说明	地址
	-	-	-	保留	0x0000_0000
	-3	固定	Reset	复位	0x0000_0004
	-2	固定	NMI	不可屏蔽中断 RCC时钟安全系统（CSS）联接到NMI向量	0x0000_0008
	-1	固定	硬件失效（HardFault）	所有类型的失效	0x0000_000C
	0	可设置	存储管理（MemManage）	存储器管理	0x0000_0010
	1	可设置	总线错误（BusFault）	预取指失败，存储器访问失败	0x0000_0014
	2	可设置	错误应用（UsageFault）	未定义的指令或非法状态	0x0000_0018
	-	-	-	保留	0x0000_001C ~0x0000_002B
	3	可设置	SVCall	通过SWI指令的系统服务调用	0x0000_002C
	4	可设置	调试监控（DebugMonitor）	调试监控器	0x0000_0030
	-	-	-	保留	0x0000_0034
	5	可设置	PendSV	可挂起的系统服务	0x0000_0038
	6	可设置	SysTick	系统嘀嗒定时器	0x0000_003C

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位置	优先级	优先级类型	名称	说明	地址
0	7	可设置	WWDG	窗口定时器中断	0x0000_0040
1	8	可设置	PVD	连到EXTI线16的电源电压检测（PVD）中断	0x0000_0044
2	9	可设置	RTC_TAMPER	连接到EXTI线19的RTC入侵检测或LSE-CSS中断	0x0000_0048
3	10	可设置	RTC_WKUP	连接到EXTI线20的实时时钟（RTC）唤醒中断	0x0000_004C
4	11	可设置	FLASH	闪存全局中断	0x0000_0050
5	12	可设置	RCC	复位和时钟控制（RCC）中断	0x0000_0054
6	13	可设置	EXTI0	EXTI线0中断	0x0000_0058
7	14	可设置	EXTI1	EXTI线1中断	0x0000_005C
8	15	可设置	EXTI2	EXTI线2中断	0x0000_0060
9	16	可设置	EXTI3	EXTI线3中断	0x0000_0064
10	17	可设置	EXTI4	EXTI线4中断	0x0000_0068
11	18	可设置	DMA1通道1	DMA1通道1全局中断	0x0000_006C
12	19	可设置	DMA1通道2	DMA1通道2全局中断	0x0000_0070
13	20	可设置	DMA1通道3	DMA1通道3全局中断	0x0000_0074
14	21	可设置	DMA1通道4	DMA1通道4全局中断	0x0000_0078
15	22	可设置	DMA1通道5	DMA1通道5全局中断	0x0000_007C
16	23	可设置	DMA1通道6	DMA1通道6全局中断	0x0000_0080
17	24	可设置	DMA1通道7	DMA1通道7全局中断	0x0000_0084
18	25	可设置	ADC1_2	ADC1和ADC2全局中断	0x0000_0088
19	26	可设置	USB_FS_HP	USB FS Device高优先级中断	0x0000_008C
20	27	可设置	USB_FS_LP	USB FS Device低优先级中断	0x0000_0090
21	28	可设置	FDCAN1_INT0	FDCAN1中断0	0x0000_0094
22	29	可设置	FDCAN1_INT1	FDCAN1中断1	0x0000_0098
23	30	可设置	EXTI9_5	EXTI线[9:5]中断	0x0000_009C
24	31	可设置	ATIM1_BRK	ATIM1刹车中断	0x0000_00A0
25	32	可设置	ATIM1_UP	ATIM1更新中断	0x0000_00A4
26	33	可设置	ATIM1_TRG_COM	ATIM1触发和通信中断	0x0000_00A8
27	34	可设置	ATIM1_CC	ATIM1捕获比较中断	0x0000_00AC
28	35	可设置	GTIM1	GTIM1全局中断	0x0000_00B0
29	36	可设置	GTIM2	GTIM2全局中断	0x0000_00B4
30	37	可设置	GTIM3	GTIM3全局中断	0x0000_00B8
31	38	可设置	I2C1_EV	I2C1事件中断	0x0000_00BC
32	39	可设置	I2C1_ER	I2C1错误中断	0x0000_00C0
33	40	可设置	I2C2_EV	I2C2事件中断	0x0000_00C4
34	41	可设置	I2C2_ER	I2C2错误中断	0x0000_00C8

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位置	优先级	优先级类型	名称	说明	地址
35	42	可设置	SPI1	SPI1全局中断	0x0000_00CC
36	43	可设置	SPI2_I2S2	SPI2/I2S2全局中断	0x0000_00D0
37	44	可设置	USART1	USART1全局中断	0x0000_00D4
38	45	可设置	USART2	USART2全局中断	0x0000_00D8
39	46	可设置	USART3	USART3全局中断	0x0000_00DC
40	47	可设置	EXTI15_10	EXTI线[15:10]中断	0x0000_00E0
41	48	可设置	RTCAlarm	连接到EXTI线17的RTC闹钟中断	0x0000_00E4
42	49	可设置	USB_FS_WKUP	连接到EXTI线18的USB FS Device唤醒中断	0x0000_00E8
43	50	可设置	ATIM2_BRK	ATIM2刹车中断	0x0000_00EC
44	51	可设置	ATIM2_UP	ATIM2更新中断	0x0000_00F0
45	52	可设置	ATIM2_TRG_COM	ATIM2触发和通信中断	0x0000_00F4
46	53	可设置	ATIM2_CC	ATIM2捕获比较中断	0x0000_00F8
47	54	可设置	ADC3	ADC3全局中断	0x0000_00FC
48	55	可设置	UCDR	UCDR错误中断	0x0000_0100
49	56	可设置	SDIO	SDIO全局中断	0x0000_0104
50	57	可设置	GTIM4	GTIM4全局中断	0x0000_0108
51	58	可设置	SPI3_I2S3	SPI3/I2S3全局中断	0x0000_010C
52	59	可设置	USART4	USART4全局中断	0x0000_0110
53	60	可设置	UART5	UART5全局中断	0x0000_0114
54	61	可设置	BTIM1	BTIM1全局中断	0x0000_0118
55	62	可设置	BTIM2	BTIM2全局中断	0x0000_011C
56	63	可设置	DMA2_Channel1	DMA2通道1全局中断	0x0000_0120
57	64	可设置	DMA2_Channel2	DMA2通道2全局中断	0x0000_0124
58	65	可设置	DMA2_Channel3	DMA2通道3全局中断	0x0000_0128
59	66	可设置	DMA2_Channel4	DMA2通道4全局中断	0x0000_012C
60	67	可设置	DMA2_Channel5	DMA2通道5全局中断	0x0000_0130
61	68	可设置	SRAM_ERR	SRAM ECC错误中断	0x0000_0134
62	69	可设置	USB_HS	USB HS全局中断	0x0000_0138
63	70	可设置	FDCAN2_INT0	FDCAN2中断0	0x0000_013C
64	71	可设置	FDCAN2_INT1	FDCAN2中断1	0x0000_0140
65	72	可设置	FDCAN3_INT0	FDCAN3中断0	0x0000_0144
66	73	可设置	FDCAN3_INT1	FDCAN3中断1	0x0000_0148
67	74	可设置	xSPI	xSPI全局中断	0x0000_014C
68	75	可设置	DMA2_Channel6	DMA2通道6全局中断	0x0000_0150
69	76	可设置	DMA2_Channel7	DMA2通道7全局中断	0x0000_0154
70	77	可设置	I2C3_EV	I2C3事件中断	0x0000_0158

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位置	优先级	优先级类型	名称	说明	地址
71	78	可设置	I2C3_ER	I2C3错误中断	0x0000_015C
72	79	可设置	I2C4_EV	I2C4事件中断	0x0000_0160
73	80	可设置	I2C4_ER	I2C4错误中断	0x0000_0164
74	81	可设置	UART6	UART6全局中断	0x0000_0168
75	82	可设置	UART7	UART7全局中断	0x0000_016C
76	83	可设置	DMA1_Channel8	DMA1通道8全局中断	0x0000_0170
77	84	可设置	DMA2_Channel8	DMA2通道8全局中断	0x0000_0174
78	85	可设置	DVP	DVP全局中断	0x0000_0178
79	86	可设置	SAC	SAC全局中断	0x0000_017C
80	87	可设置	SMPU	SMPU全局中断	0x0000_0180
81	88	可设置	FEMC_INT	FEMC NAND中断	0x0000_0184
82	89	可设置	USB_HS_EPx_OUT	USB HS端点输出全局中断	0x0000_0188
83	90	可设置	USB_HS_EPx_IN	USB HS端点输入全局中断	0x0000_018C
84	91	可设置	USB_HS_WKUP	连到EXTI线23的USB HS唤醒中断	0x0000_0190
85	92	可设置	UART8	UART8全局中断	0x0000_0194
86	93	可设置	SPI4	SPI4全局中断	0x0000_0198
87	94	可设置	ETH	ETH全局中断	0x0000_019C
88	95	可设置	ETH_WKUP	连接到EXTI线24的ETH唤醒中断	0x0000_01A0
89	96	可设置	GTIM5	GTIM5全局中断	0x0000_01A4
90	97	可设置	DSMU_FLT0	DSMU过滤器中断0	0x0000_01A8
91	98	可设置	DSMU_FLT1	DSMU过滤器中断1	0x0000_01AC
92	99	可设置	DSMU_FLT2	DSMU过滤器中断2	0x0000_01B0
93	100	可设置	DSMU_FLT3	DSMU过滤器中断3	0x0000_01B4
94	101	可设置	GTIM7	GTIM7全局中断	0x0000_01B8
95	102	可设置	GTIM8	GTIM8全局中断	0x0000_01BC
96	103	可设置	GTIM9	GTIM9全局中断	0x0000_01C0
97	104	可设置	GTIM10	GTIM10全局中断	0x0000_01C4
98	105	可设置	DAC1/2 Underflow	DAC1/2下溢中断	0x0000_01C8
99	106	可设置	ATIM3_BRK	ATIM3刹车中断	0x0000_01CC
100	107	可设置	ATIM3_UP	ATIM3更新中断	0x0000_01D0
101	108	可设置	ATIM3_TRG_COM	ATIM3触发和通信中断	0x0000_01D4
102	109	可设置	ATIM3_CC	ATIM3捕获比较中断	0x0000_01D8
103	110	可设置	GTIM6	GTIM6全局中断	0x0000_01DC
104	111	可设置	LPTIM1_WKUP	连接到EXTI线21的LPTIM1唤醒中断	0x0000_01E0
105	112	可设置	LPTIM2_WKUP	连接到EXTI线22的LPTIM2唤醒中断	0x0000_01E4
106	113	可设置	-	保留	0x0000_01E8
107	114	可设置	Cordic_IRQ	Cordic全局中断	0x0000_01EC

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位置	优先级	优先级类型	名称	说明	地址
108	115	可设置	SPI5	SPI5全局中断	0x0000_01F0
109	116	可设置	SPI6	SPI6全局中断	0x0000_01F4
110	117	可设置	USART9	USART9全局中断	0x0000_01F8
111	118	可设置	USART10	USART10全局中断	0x0000_01FC

6.2 外部中断/事件控制器（EXTI）

6.2.1 简介

外部中断/事件控制器包含 25 个产生中断/事件触发的边沿检测电路，每条输入线可以独立地配置脉冲或挂起输入类型，以及上升沿、下降沿或者双边沿 3 种触发事件类型，也可以独立地被屏蔽。挂起寄存器保持着状态线的中断请求，可通过在挂起寄存器的对应位写'1'操作，清除中断请求。

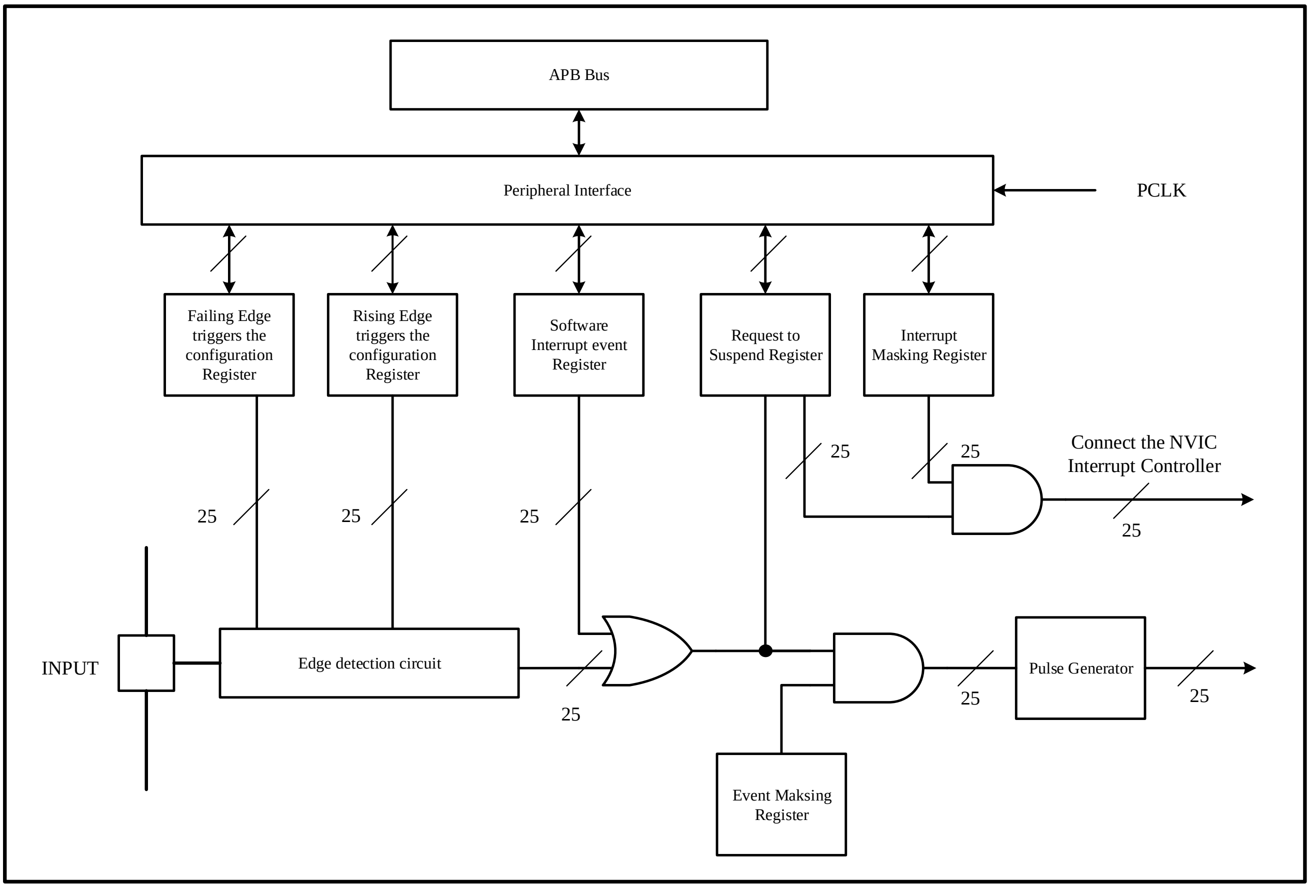
6.2.2 主要特性

EXTI 控制器的主要特性如下：

- 支持 25 个软件中断/事件请求
- 每条输入线对应的中断/事件都能独立配置触发或屏蔽
- 每条中断线都有独立的状态位
- 支持脉冲或挂起输入类型
- 支持三种触发事件：上升沿、下降沿或双边沿
- 可唤醒退出低功耗模式

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 6-1 外部中断/事件控制器框图



6.2.3 功能描述

EXTI 包含 25 条中断线，其中 16 条来自 I/O 管脚，另 9 条来自内部模块。要产生中断，必须配置外部中断控制器的 NVIC 中断通道使能相应的中断线。通过边沿触发配置寄存器 EXTI_RT_CFG 和 EXTI_FT_CFG 选择上升沿、下降沿或双边沿触发事件类型，并将中断屏蔽寄存器 EXTI_IMASK 的相应位写’1’开放允许中断请求。当外部中断线上检测到预设的边沿触发极性，将产生一个中断请求，对应的挂起位也随之被置’1’。在挂起寄存器的对应位写’1’，将清除该中断请求。

要产生事件，必须配置并使能对应的事件线。根据需要的边沿检测极性，设置上升/下降沿触发配置寄存器，同时在事件屏蔽寄存器的相应位写’1’允许事件请求。当事件线上发生预设的边沿时，将产生一个事件请求脉冲，对应的挂起位不被置’1’。

另外，通过在软件中断/事件寄存器写’1’，也可以通过软件产生中断/事件请求。

- 硬件中断配置，根据需要选择配置 25 条线路作为中断源：
  - 配置 25 条中断线的屏蔽位（EXTI_IMASK）；
  - 配置所选中断线的触发配置位（EXTI_RT_CFG 和 EXTI_FT_CFG）；
  - 配置对应到外部中断控制器的 NVIC 中断通道的使能和屏蔽位，使 25 条中断线中的请求可以被正确地响应。
- 硬件事件配置，根据需要选择配置 25 条线路作为事件源：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

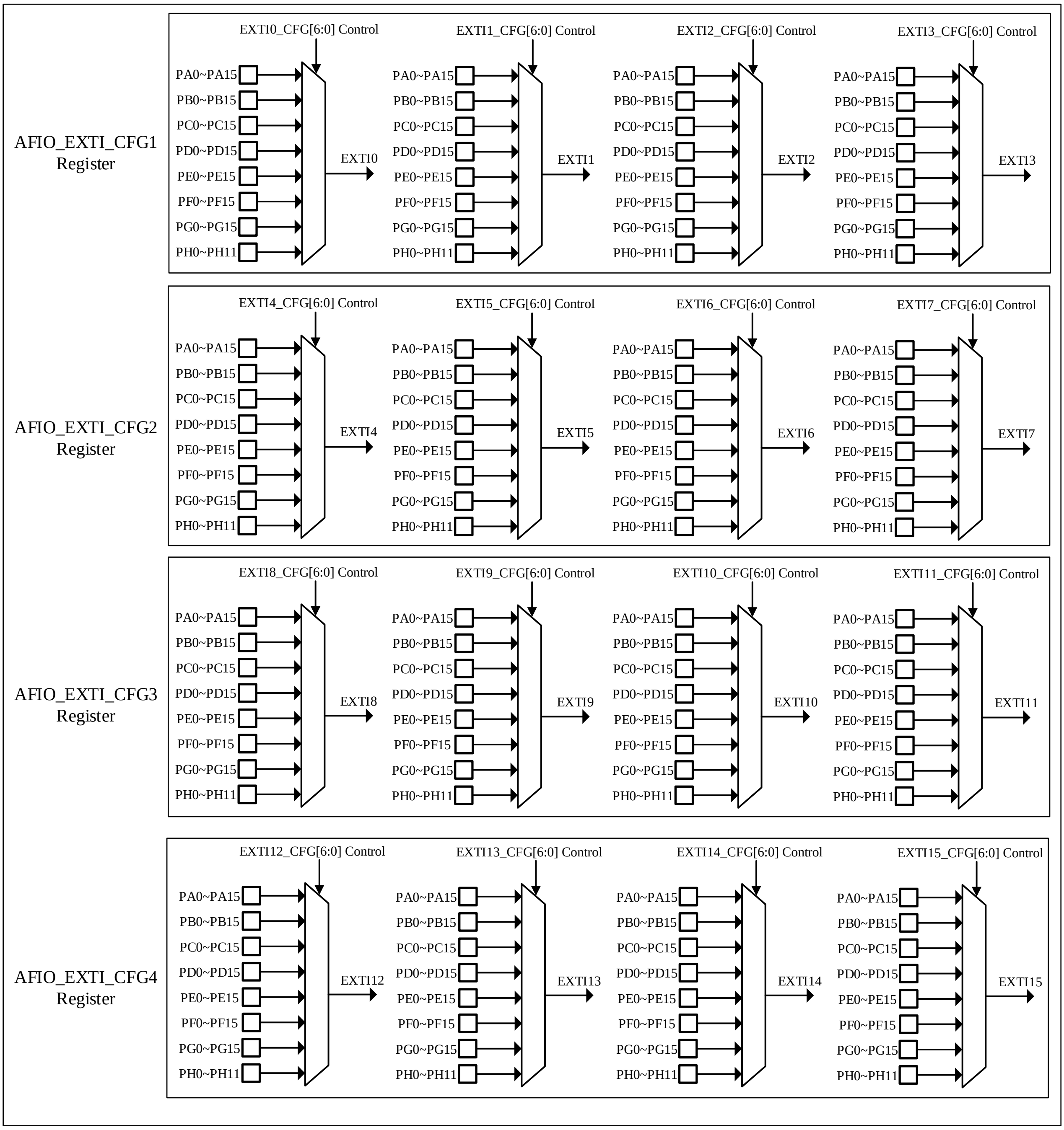
- ◆ 配置 25 条事件线的屏蔽位（EXTI_EMASK）；
- ◆ 配置所选事件线的触发配置位（EXTI_RT_CFG 和 EXTI_FT_CFG）。

■ 软件中断/事件配置，根据需要选择配置 25 条线路作为软件中断/事件线：

- ◆ 配置 25 条中断/事件线屏蔽位（EXTI_IMASK,EXTI_EMASK）；
- ◆ 配置软件中断事件寄存器的请求位（EXTI_SWIE）。

6.2.4 EXTI 线路映射

图 6-2 外部中断通用 I/O 映射



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

通过 AFIO_EXTI_CFGy 配置 GPIO 线上的外部中断/事件，必须先使能 AFIO 时钟。所有通用 I/O 端口可连接到 16 条外部中断/事件线的任意一条上。另外 9 条内部 EXTI 线的连接方式如下：

- EXTI 线 16 连接到 PVD 输出
- EXTI 线 17 连接到 RTC 闹钟事件
- EXTI 线 18 连接到 USB FS Device 唤醒事件
- EXTI 线 19 连接到 RTC 入侵检测或 LSE-CSS 事件
- EXTI 线 20 连接到 RTC 唤醒事件
- EXTI 线 21 连接到 LPTIM1 唤醒事件
- EXTI 线 22 连接到 LPTIM2 唤醒事件
- EXTI 线 23 连接到 USB HS Host/Device 唤醒事件
- EXTI 线 24 连接到以太网唤醒事件

6.3 EXTI 寄存器

EXTI 基地址：0x40010400

6.3.1 EXTI 事件屏蔽寄存器（EXTI_EMASK）

偏移地址：0x00

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved							EMASK[24:16]								
							rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
EMASK[15:0]															
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:25	Reserved	保留，必须保持复位值。
24:0	EMASKx	线 x 上的事件屏蔽位 0：屏蔽来自线 x 上的事件请求； 1：开放来自线 x 上的事件请求。

6.3.2 EXTI 中断屏蔽寄存器（EXTI_IMASK）

偏移地址：0x04

复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved							IMASK[24:16]								
							rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
IMASK[15:0]															
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:25	Reserved	保留，必须保持复位值。
24:0	IMASKx	线 x 上的中断屏蔽位 0：屏蔽来自线 x 上的中断请求； 1：开放来自线 x 上的中断请求。

6.3.3 EXTI 下降沿触发配置寄存器（EXTI_FT_CFG）

偏移地址：0x08

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved							FT_CFG[24:16]								
							rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
FT_CFG[15:0]															
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:25	Reserved	保留，必须保持复位值。
24:0	FT_CFGx	线 x 上的下降沿触发配置位 0：禁止输入线 x 上的下降沿触发（中断和事件） 1：允许输入线 x 上的下降沿触发（中断和事件）

6.3.4 EXTI 上升沿触发配置寄存器（EXTI_RT_CFG）

偏移地址：0x0C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved							RT_CFG[24:16]								
							rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RT_CFG[15:0]															
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:25	Reserved	保留，必须保持复位值。
24:0	RT_CFGx	线 x 上的上升沿触发配置位 0：禁止输入线 x 上的上升沿触发（中断和事件） 1：允许输入线 x 上的上升沿触发（中断和事件）

6.3.5 EXTI 挂起寄存器（EXTI_PEND）

偏移地址：0x10

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved							PEND[24:16]								
							rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PEND[15:0]															
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:25	Reserved	保留，必须保持复位值。
24:0	PENDx	线 x 上的挂起位 0：没有发生挂起请求 1：发生了挂起触发请求 当外部中断线上发生了选择的边沿触发事件，该位被置’1’。在该位中写入’1’可以清除它，也可以通过改变边沿检测的极性清除此位。

6.3.6 EXTI 软件中断事件寄存器（EXTI_SWIE）

偏移地址：0x14

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved							SWIE[24:16]								
							rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

SWIE[15:0]															
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:25	Reserved	保留，必须保持复位值。
24:0	SWIEx	线 x 上的软件中断 当该位为’0’时，写’1’将设置 EXTI_PEND 中相应的挂起位。如果在 EXTI_IMASK 和 EXTI_EMASK 中允许产生该中断，此时将产生一个中断。 *注：通过写入’1’清除 EXTI_PEND 的对应位，可以清除该位为’0’。*

6.3.7 EXTI 时间戳触发源选择寄存器（EXTI_TS_SEL）

偏移地址：0x18

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved												TSSEL[3:0]			
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:4	Reserved	保留，必须保持复位值。
3:0	TSSEL[3:0]	选择外部中断输入作为时间戳事件的触发源 0：选择 EXTI0 作为时间戳事件的触发源； 1：选择 EXTI1 作为时间戳事件的触发源； …… 15：选择 EXTI15 作为时间戳事件的触发源。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

7 DMA 控制器

7.1 简介

DMA 控制器由 CPU 控制以执行从源到目的的快速数据移动。配置完成后，无需 CPU 干预即可传输数据。因此，可以释放 CPU 用于其他计算/控制任务或节省整体系统功耗。

芯片有两个 DMA（DMA1、DMA2）控制器，每个 DMA 控制器有 8 个逻辑通道。每个逻辑通道用于服务来自单个或多个外设的内存访问请求。内部仲裁器控制不同 DMA 通道的优先级。

7.2 主要特性

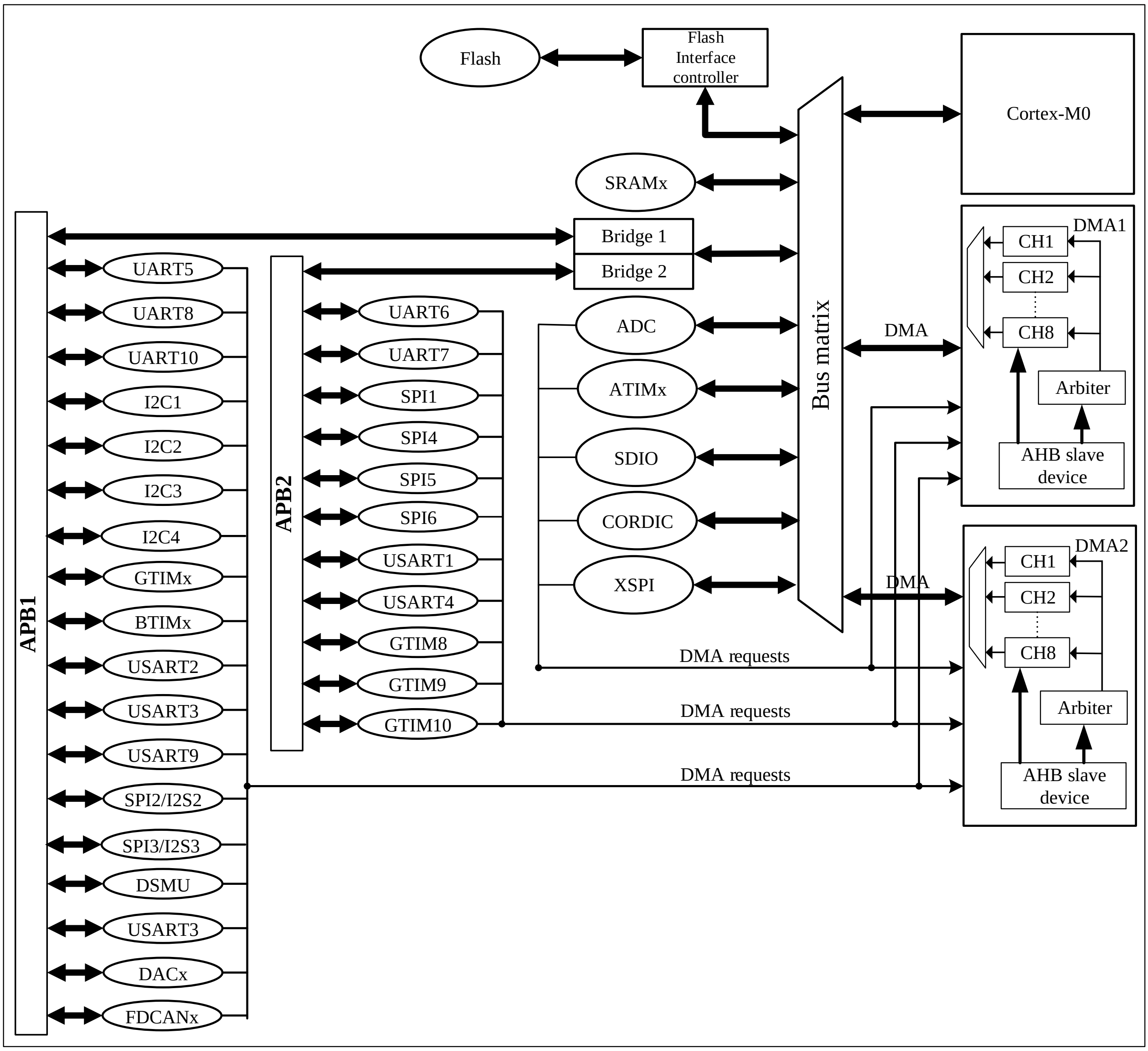
DMA 主要特性：

- 16 个可独立配置的 DMA 通道：DMA1 和 DMA2 各有 8 个通道。
- 支持内存到内存、内存到外设和外设到内存三种传输类型。
- 每个 DMA 通道支持硬件请求和软件触发来启动传输，并由软件配置。
- 每个 DMA 通道都有专用的软件优先级（DMA_CHCFGx.PRIOLVL[1:0]位，对应 4 个优先级），可以单独配置。具有相同软件优先级的通道将进一步比较硬件索引（通道号）以确定最终优先级（索引号越低的通道优先级越高）。
- 可配置的源和目标大小。地址设置应与数据大小相对应。
- 每个通道可配置循环传输模式。
- 每个通道有 3 个独立的事件标志和中断（传输完成、半传输、传输错误）和 1 个全局中断标志（由 3 个事件的逻辑或设置）。
- 可访问从机：Flash、Sram1、Sram2、Sram3（CCM Sram）、BKP Sram、XSPI、CRC、SDIO、SDRAM、CORDIC、APB1、APB2、ATIM、ADC。
- 可配置数据传输数（0~65535）。
- 支持突发传输，突发长度可配置，可设置 1/2/3/4/5/6/7/8 单元。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

7.3 功能框图

图 7-1 DMA 框图



7.4 功能描述

DMA 控制器和 Cortex™-M4 内核共享相同的系统数据总线。当 CPU 和 DMA 同时访问同一个目标（RAM 或外设）时，DMA 请求会暂停 CPU 访问系统总线几个周期，由总线仲裁器进行循环调度。这允许 CPU 获得至少一半的系统总线（内存或外围设备）带宽。

7.4.1 DMA 操作

DMA 请求可以由硬件外设或软件触发，DMA 控制器根据通道的优先级处理请求。根据配置的传输地址和位宽从源地址读取数据，然后将读取的数据存储在目的地址空间中。一次操作后，控制器计算剩余传输次数，并更新下一次传输的源地址和目的地址。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

每个 DMA 数据传输包括三个操作：

- 数据访问：根据传输方向确定源地址（DMA_PADDRx 或 DMA_MADDRx），从源地址读取数据。
- 数据存储：根据传输方向确定目的地址（DMA_PADDRx 或 DMA_MADDRx），将读取的数据存储到目的地址空间。
- 计算未完成操作的数量，对 DMA_TXNUMx 寄存器进行减量操作，更新下一个操作的源地址和目的地址。

7.4.2 通道优先级和仲裁器

DMA 使用仲裁策略来处理来自不同通道的多个请求。每个通道的优先级可在通道控制寄存器(DMA_CHCFGx)中进行编程。

4 个优先级：

- 非常高优先级。
- 高优先级。
- 中优先级。
- 低优先级。

默认情况下，如果编程的优先级相同，则索引较低的通道具有较高的优先级。

7.4.3 DMA 通道和传输数量

每个通道都可以在指定地址的外设寄存器和内存地址之间进行 DMA 传输。DMA 传输的数据数量是可编程的，最大支持值为 65535。DMA_TXNUM 寄存器在每次传输后递减。

7.4.4 可编程的数据位宽

外设和内存传输数据位宽支持字节、半字和字，可以通过 DMA_CHCFGx.PSIZE 和 DMA_CHCFGx.MSIZE 进行编程。

当 DMA_CHCFGx.PSIZE 和 DMA_CHCFGx.MSIZE 不同时，DMA 模块根据表 7-1 对齐数据。

表 7-1 可编程的数据宽度和大小端操作(当 PINC = MINC = 1)

Source width (bit)	Destination width (bit)	Number of transfer (Byte)	Source: Address / data	Transfer operations (R: Read, W: Write)	Destination: Address / data
8	8	4	0x0 / B0 0x1 / B1 0x2 / B2 0x3 / B3	1: R B0 [7:0] @0x0, W B0 [7:0] @0x0 2: R B1 [7:0] @0x1, W B1 [7:0] @0x1 3: R B2 [7:0] @0x2, W B2 [7:0] @0x2 4: R B3 [7:0] @0x3, W B3 [7:0] @0x3	0x0 / B0 0x1 / B1 0x2 / B2 0x3 / B3
8	16	4	0x0 / B0 0x1 / B1	1: R B0 [7:0] @0x0, W 00B0 [15:0] @0x0 2: R B1 [7:0] @0x1, W 00B1 [15:0] @0x2	0x0 / 00B0 0x2 / 00B1

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Source width (bit)	Destina-tion width (bit)	Number of transfer (Byte)	Source: Address / data	Transfer operations (R: Read, W: Write)	Destination: Address / data
			0x2 / B2 0x3 / B3	3: R B2 [7:0] @0x2, W 00B2 [15:0] @0x4 4: R B3 [7:0] @0x3, W 00B3 [15:0] @0x6	0x4 / 00B2 0x6 / 00B3
8	32	4	0x0 / B0 0x1 / B1 0x2 / B2 0x3 / B3	1: R B0 [7:0] @0x0, W 000000B0 [31:0] @0x0 2: R B1 [7:0] @0x1, W 000000B1 [31:0] @0x4 3: R B2 [7:0] @0x2, W 000000B2 [31:0] @0x8 4: R B3 [7:0] @0x3, W 000000B3 [31:0] @0xC	0x0 / 000000B0 0x4 / 000000B1 0x8 / 000000B2 0xC / 000000B3
16	8	4	0x0 / B1B0 0x2 / B3B2 0x4 / B5B4 0x6 / B7B6	1: R B1B0 [15:0] @0x0, W B0 [7:0] @0x0 2: R B3B2 [15:0] @0x2, W B2 [7:0] @0x1 3: R B5B4 [15:0] @0x4, W B4 [7:0] @0x2 4: R B7B6 [15:0] @0x6, W B6 [7:0] @0x3	0x0 / B0 0x1 / B2 0x2 / B4 0x3 / B6
16	16	4	0x0 / B1B0 0x2 / B3B2 0x4 / B5B4 0x6 / B7B6	1: R B1B0 [15:0] @0x0, W B1B0 [15:0] @0x0 2: R B3B2 [15:0] @0x2, W B3B2 [15:0] @0x2 3: R B5B4 [15:0] @0x4, W B5B4 [15:0] @0x4 4: R B7B6 [15:0] @0x6, W B7B6 [15:0] @0x6	0x0 / B1B0 0x2 / B3B2 0x4 / B5B4 0x6 / B7B6
16	32	4	0x0 / B1B0 0x2 / B3B2 0x4 / B5B4 0x6 / B7B6	1: R B1B0 [15:0] @0x0, W 0000B1B0 [31:0] @0x0 2: R B3B2 [15:0] @0x2, W 0000B3B2 [31:0] @0x4 3: R B5B4 [15:0] @0x4, W 0000B5B4 [31:0] @0x8 4: R B7B6 [15:0] @0x6, W 0000B7B6 [31:0] @0xC	0x0 / 0000B1B0 0x4 / 0000B3B2 0x8 / 0000B5B4 0xC / 0000B7B6
32	8	4	0x0 / B3B2B1B0 0x4 / B7B6B5B4 0x8 / BBBAB9B8 0xC / BFBEBDBC	1: R B3B2B1B0 [31:0] @0x0, W B0 [7:0] @0x0 2: R B7B6B5B4 [31:0] @0x4, W B4 [7:0] @0x1 3: R BBBAB9B8 [31:0] @0x8, W B8 [7:0] @0x2 4: R BFBEBDBC [31:0] @0xC, W BC [7:0] @0x3	0x0 / B0 0x1 / B4 0x2 / B8 0x3 / BC
32	16	4	0x0 / B3B2B1B0 0x4 / B7B6B5B4 0x8 / BBBAB9B8 0xC / BFBEBDBC	1: R B3B2B1B0 [31:0] @0x0, W B1B0 [15:0] @0x0 2: R B7B6B5B4 [31:0] @0x4, W B5B4 [15:0] @0x2 3: R BBBAB9B8 [31:0] @0x8, W B9B8 [15:0] @0x4 4: R BFBEBDBC [31:0] @0xC, W BDBC [15:0] @0x6	0x0 / B1B0 0x2 / B5B4 0x4 / B9B8 0x6 / BDBC
32	32	4	0x0 / B3B2B1B0 0x4 / B7B6B5B4 0x8 / BBBAB9B8 0xC / BFBEBDBC	1: R B3B2B1B0 [31:0] @0x0, W B3B2B1B0 [31:0] @0x0 2: R B7B6B5B4 [31:0] @0x4, W B7B6B5B4 [31:0] @0x4 3: R BBBAB9B8 [31:0] @0x8, W BBBAB9B8 [31:0] @0x8 4: R BFBEBDBC [31:0] @0xC, W BFBEBDBC [31:0] @0xC	0x0 / B3B2B1B0 0x4 / B7B6B5B4 0x8 / BBBAB9B8 0xC / BFBEBDBC

注意：

DMA 总是向 HWDATA[31:0]提供完整的 32 位数据，无论它是什么目标大小（HSIZE 仍然遵循设备支持字节/半字操作的目标大小设置）。它提供的 HWDATA[31:0]遵循以下规则：

- 当源大小小于目标大小时，DMA 用 0 填充 MSB，直到它们的大小匹配并将其复制为 32 位。例如，源是 8 位数据 0x55，目标大小是 16 位。DMA 用 0 填充源数据使其成为 16 位 0x0055，然后将其复制为 32 位数据 0x0055_0055 并提供给 HWDATA[31:0]；（如果目标大小为 32 位，则 DMA 只会用 0 填充源

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

数据）。

- 当源大小大于或等于目标大小且小于 32 位时，DMA 将源数据复制到 32 位数据。例如，源数据为 8 位数据 0x1F，HWDATA[31:0] = 0x1F1F_1F1F。如果源数据是 16 位数据 0x2345，则 HWDATA[31:0] = 0x2345_2345。

这保证了仅支持字操作的外设不会产生总线错误，并且所需的数据仍然可以通过额外的位（即 0 填充）移动到我们想要的位置。如果用户想要配置一个 8 位寄存器但与 32 位地址边界对齐，则源大小应设置为 8 位，目标大小应设置为 32 位，因此额外的位将用 0 填充。

7.4.5 外设/内存地址递增

DMA_CHCFGx.PINC 和 DMA_CHCFGx.MINC 分别控制外设地址和内存地址是否使能自动递增模式。软件在传输过程中不能写（可以读）地址寄存器。

- 在自动递增模式下，下一个要传输的地址在每次传输后根据数据位宽（1、2 或 4）自动增加。第一次传输的地址存储在 DMA_PADDRx 或 DMA_MADDRx 寄存器中。
- 在固定模式下，地址始终固定为初始地址。

  在传输结束时（即传输计数变为 0），将根据当前是否工作于循环模式进行不同的处理。
- 在非循环模式下，DMA 在传输完成后停止。要开始新的 DMA 传输，需要在禁用 DMA 通道的情况下重写 DMA_TXNUMx 寄存器中的传输数量。
- 在循环模式下，在传输结束时，DMA_TXNUMx 寄存器的内容会自动重新加载其初始值，并且当前内部外设或内存地址也会重新加载 DMA_PADDRx 或 DMA_MADDRx 寄存器设置的初始基地址。

7.4.6 单次传输和突发传输

DMA 控制器可产生单次传输或 2~8 个单元的突发传输，DMA_BURSTEN. BURST_BYPASS 控制是否使能突发模式，默认情况下不开启突发模式。

突发长度可配置，可设置 1/2/3/4/5/6/7/8 单元，当设置为 1 即为单次传输。单元取决于位宽设置（字\半字\字节）。

7.4.7 通道配置流程

不使用 DMA 突发功能详细配置流程如下：

1. 在 DMA_CHCFGx 寄存器中:
   a) 设置通道传输方向（DIR 位）
   b) 设置循环模式（CIRC 位）
   c) 设置外设地址和存储器地址增量（PINC 位和 MINC 位）
   d) 设置外设和存储器的数据位宽（PSIZE[1:0]位和 MSIZE[1:0]位）
   e) 设置通道优先级（PRIOLVL[1:0]位）
   f) 如果是存储器到存储器，设置 MEM2MEM 位（注：要配置 DMA 工作在 M2M 模式，用户需要将相应的通道选择值设置为保留值）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

2. 在 DMA_TXNUMx 寄存器中，设置通道传输数量。
3. 配置 DMA_MADDRx 寄存器设置通道外设地址。
4. 配置 DMA_PADDRx 寄存器设置存储器地址。
5. 配置 DMA_BURSTEN. BURST_BYPASS =1，此位默认为 1，1 表示不开启突发功能。
6. 配置 DMA_CHCFGx 寄存器中断位(传输半完成、传输完成和传输错误)，1：启用中断，0：禁用中断。
7. 在通道 1~8 上重复第 1~6 步。
8. 最后使能相应通道。

开启 DMA 突发功能详细配置流程如下：

1. 在 DMA_CHCFGx 寄存器中:
    a) 设置通道传输方向（DIR 位）
    b) 设置循环模式（CIRC 位）
    c) 设置外设地址和存储器地址增量（PINC 位和 MINC 位）
    d) 设置外设和存储器的数据位宽（PSIZE[1:0]位和 MSIZE[1:0]位）
    e) 设置通道优先级（PRIOLVL[1:0]位）
    f) 如果是存储器到存储器，设置 MEM2MEM 位（注：要配置 DMA 工作在 M2M 模式，用户需要将相应的通道选择值设置为保留值）
    g) 设置突发方式（BURST_MODE 位）
    h) 设置突发长度（BLEN[3:0]位）
2. 在 DMA_TXNUMx 寄存器中，设置通道传输数量。
3. 配置 DMA_MADDRx 寄存器设置通道外设地址。
4. 配置 DMA_PADDRx 寄存器设置存储器地址。
5. 配置 DMA_BURSTEN. BURST_BYPASS =0，此位默认为 1，1 表示不开启突发功能。
6. 配置 DMA_CHCFGx 寄存器中断位（传输半完成、传输完成和传输错误），1：启用中断，0：禁用中断。
7. 在通道 1~8 上重复第 1~6 步。
8. 最后使能相应通道。

注意：

1. 在打开某个通道使能前，该通道的寄存器必须在当前用户提前配置好，若其他用户配置了该通道寄存器会造成权限错误事件；
2. 如果使用软件提供中断服务，则软件必须查询中断状态寄存器以检查发生了哪个中断（软件需要向中断标志清除位写 1 来清除相应的中断）。在使能通道之前，应清除该通道对应的所有中断。
3. 如果中断是传输完成中断，软件可以配置下一次传输，或者向用户报告该通道传输完成。
4. 配置顺序必须按照用户手册配置流程顺序执行。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

7.4.8 流量控制

支持三种主要的流量控制：

- 存储器到存储器
- 存储器到外设
- 外设到存储器

流控制由每个 DMA 通道配置寄存器中的两个寄存器位控制。流控制用于控制 DMA 通道的源/目标和方向。

表 7-2 流量控制表

<table>
<tr><th>DMA_CHCFGx.MEM2MEM</th><th>DMA_CHCFGx.DIR</th><th>源</th><th>目标</th><th>传输方向(1)</th></tr>
<tr><td>1</td><td>x</td><td>存储器</td><td>存储器</td><td>AHB 读到 AHB 写</td></tr>
<tr><td rowspan="2">0</td><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">存储器</td><td>AHB 外设</td><td>AHB 读到 AHB 写</td></tr>
<tr><td>APB 外设</td><td>AHB 读到 APB 写</td></tr>
<tr><td rowspan="2">0</td><td rowspan="2">0</td><td>AHB 外设</td><td rowspan="2">存储器</td><td>AHB 读到 AHB 写</td></tr>
<tr><td>APB 外设</td><td>APB 读到 AHB 写</td></tr>
</table>

1) 支持背靠背传输

7.4.9 循环模式

循环模式用于处理循环缓冲区和连续数据传输（如 ADC 扫描模式）。DMA_CHCFGx.CIRC 用于启用此功能。激活循环模式时，如果要传输的数据数变为 0，则在配置通道时会自动恢复到初始值，继续进行 DMA 操作。

如果用户想关闭循环模式，用户需要向 DMA_CHCFGx.CHEN 写入 0 以禁用 DMA 通道，然后向 DMA_CHCFGx.CIRC 写入 0（当 DMA_CHCFGx.CHEN 为 1 时，DMA_CHCFGx 寄存器中的其他位不能被改写）。

7.4.10 错误管理

对保留地址区域的 DMA 访问会导致 DMA 传输错误。发生错误时，设置传输错误标志，硬件自动清除当前 DMA 通道使能位（DMA_CHCFGx.CHEN），通道操作停止。如果在 DMA_CHCFGx 寄存器中设置了传输错误中断使能位，则会产生中断。

7.4.11 中断

- 传输完成中断：

  通道数据传输完成时会产生中断。中断是一个电平信号。每个通道都有其专用的中断、中断屏蔽控制和中断状态位。当中断标志清除位被设置时，中断状态位被清除。

- 半传输中断：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

当传输了一半的通道数据时会产生中断。中断是一个电平信号。每个通道都有其专用的中断、中断屏蔽控制和中断状态位。当中断标志清除位被设置时，中断状态位被清除。

- 传输错误中断：

总线返回错误时产生中断。中断是一个电平信号。每个通道都有其专用的中断、中断屏蔽控制和中断状态位。当中断标志清除位被设置时，中断状态位被清除。

表 7-3 DMA 中断请求

中断事件	事件标志位	使能控制位
半传输	HTXF	HTXIE
传输完成	TXCF	TXCIE
传输错误	ERRF	ERRIE

7.4.12 DMA 请求映射

总共有来自所有外设的 143 个 DMA 请求。为了获得更好的支持和完全的灵活性，可以使用寄存器位来选择将哪个 DMA 请求映射到哪个 DMA 通道。下表显示了外设的 DMA 请求到 DMA 控制器的 DMA 通道的映射方案。

表 7-4 DMA 请求映射

DMA request source select	Peripheral DMA request	DMA request source select	Peripheral DMA request
Set = 0	ADC1	Set = 76	GTIM3_CH4
Set = 1	ADC2	Set = 77	GTIM3_UP
Set = 2	ADC3	Set = 78	GTIM3_TRIG
Set = 3	DSMU_FILT0	Set = 79	GTIM4_CH1
Set = 4	USART1_TX	Set = 80	GTIM4_CH2
Set = 5	USART1_RX	Set = 81	GTIM4_CH3
Set = 6	USART2_TX	Set = 82	GTIM4_CH4
Set = 7	USART2_RX	Set = 83	GTIM4_UP
Set = 8	USART3_TX	Set = 84	GTIM4_TRIG
Set = 9	USART3_RX	Set = 85	GTIM5_CH1
Set = 10	USART4_TX	Set = 86	GTIM5_CH2
Set = 11	USART4_RX	Set = 87	GTIM5_CH3
Set = 12	UART5_TX	Set = 88	GTIM5_CH4
Set = 13	UART5_RX	Set = 89	GTIM5_UP
Set = 14	UART6_TX	Set = 90	GTIM5_TRIG
Set = 15	UART6_RX	Set = 91	GTIM6_CH1
Set = 16	UART7_TX	Set = 92	GTIM6_CH2
Set = 17	UART7_RX	Set = 93	GTIM6_CH3
Set = 18	UART8_TX	Set = 94	GTIM6_CH4
Set = 19	UART8_RX	Set = 95	GTIM6_UP
Set = 20	SPI1_TX	Set = 96	GTIM6_TRIG
Set = 21	SPI1_RX	Set = 97	GTIM7_CH1
Set = 22	SPI2_I2S2_TX	Set = 98	GTIM7_CH2

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Set = 23	SPI2_I2S2_RX	Set = 99	GTIM7_CH3
Set = 24	-	Set = 100	GTIM7_CH4
Set = 25	-	Set = 101	GTIM7_UP
Set = 26	SPI3_I2S3_TX	Set = 102	GTIM7_TRIG
Set = 27	SPI3_I2S3_RX	Set = 103	GTIM8_CH1
Set = 28	-	Set = 104	GTIM8_CH2
Set = 29	DSMU_FILT1	Set = 105	GTIM8_CH3
Set = 30	SPI4_TX	Set = 106	GTIM8_CH4
Set = 31	SPI4_RX	Set = 107	GTIM8_COM
Set = 32	SPI5_TX	Set = 108	GTIM8_UP
Set = 33	SPI5_RX	Set = 109	GTIM8_TRIG
Set = 34	SPI6_TX	Set = 110	GTIM9_CH1
Set = 35	SPI6_RX	Set = 111	GTIM9_CH2
Set = 36	XSPI_TX	Set = 112	GTIM9_CH3
Set = 37	XSPI_RX	Set = 113	GTIM9_CH4
Set = 38	I2C1_TX	Set = 114	GTIM9_COM
Set = 39	I2C1_RX	Set = 115	GTIM9_UP
Set = 40	I2C2_TX	Set = 116	GTIM9_TRIG
Set = 41	I2C2_RX	Set = 117	GTIM10_CH1
Set = 42	I2C3_TX	Set = 118	GTIM10_CH2
Set = 43	I2C3_RX	Set = 119	GTIM10_CH3
Set = 44	I2C4_TX	Set = 120	GTIM10_CH4
Set = 45	I2C4_RX	Set = 121	GTIM10_COM
Set = 46	SDIO_DMA	Set = 122	GTIM10_UP
Set = 47	DAC1_DMA	Set = 123	GTIM10_TRIG
Set = 48	DAC2_DMA	Set = 124	ATIM1_CH1
Set = 49	DSMU_FILT2	Set = 125	ATIM1_CH2
Set = 50	DSMU_FILT3	Set = 126	ATIM1_CH3
Set = 51	USART9_TX	Set = 127	ATIM1_CH4
Set = 52	USART9_RX	Set = 128	ATIM1_COM
Set = 53	UART10_TX	Set = 129	ATIM1_UP
Set = 54	UART10_RX	Set = 130	ATIM1_TRIG
Set = 55	-	Set = 131	ATIM2_CH1
Set = 56	-	Set = 132	ATIM2_CH2
Set = 57	CORDIC_WR	Set = 133	ATIM2_CH3
Set = 58	CORDIC_RD	Set = 134	ATIM2_CH4
Set = 59	BTIM1_UP	Set = 135	ATIM2_COM
Set = 60	BTIM2_UP	Set = 136	ATIM2_UP
Set = 61	GTIM1_CH1	Set = 137	ATIM2_TRIG
Set = 62	GTIM1_CH2	Set = 138	ATIM3_CH1
Set = 63	GTIM1_CH3	Set = 139	ATIM3_CH2
Set = 64	GTIM1_CH4	Set = 140	ATIM3_CH3

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Set = 65	GTIM1_UP	Set = 141	ATIM3_CH4
Set = 66	GTIM1_TRIG	Set = 142	ATIM3_COM
Set = 67	GTIM2_CH1	Set = 143	ATIM3_UP
Set = 68	GTIM2_CH2	Set = 144	ATIM3_TRIG
Set = 69	GTIM2_CH3	-	-
Set = 70	GTIM2_CH4	-	-
Set = 71	GTIM2_UP	-	-
Set = 72	GTIM2_TRIG	-	-
Set = 73	GTIM3_CH1	-	-
Set = 74	GTIM3_CH2	-	-
Set = 75	GTIM3_CH3	-	-

注意：

1. *DMA 不同通道不能使用同一请求源，否则在多个通道都使能的情况下，只有高优先级通道会被触发；*
2. *当 DMA 设置为 memory 到 memory 模式时，DMA 请求映射需要设置为（Set = 28）。*

7.5 DMA 寄存器

7.5.1 DMA 通道 x 配置寄存器(DMA_CHCFGx)

x 为通道号，x=1 … 8

地址偏移：0x00 + 20 * (x – 1)

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved												BLEN[3:0]			
												rw			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
BURST_MODE	MEM2MEM	PRIOLVL[1:0]		MSIZE[1:0]		PSIZE[1:0]		MINC	PINC	CIRC	DIR	ERRIE	HTXIE	TXCIE	CHEN
rw	rw	rw		rw		rw		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:20	Reserved	保留，必须保持复位值。
19:16	BLEN[3:0]	突发长度 0~1：len = 1（此时 DMA 就是单次传输） 大于 8：len = 8
15	BURST_MODE	突发方式 0：在突发模式下，DMA 会尽量用突发的方式传输数据，只有末尾几个数据不够突发长度的时候才用单次传输； 1：在突发模式下，DMA 会根据外设给的请求和突发请求，动态用单次和突发的方式传输数据；
14	MEM2MEM	存储器到存储器模式。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		当通道尚未使能时，软件可以将此通道配置为存储器到存储器传输。 0：存储器和外设之间的通道传输。 1：通道设置为存储器到存储器间的传输。
13:12	PRIOLVL[1:0]	通道优先级。 当通道未使能时，软件可以编程通道优先级。 00：低 01：中 10：高 11：非常高
11:10	MSIZE[1:0]	存储器数据大小。 软件可以配置从/向存储器地址读取/写入的数据大小。 00：8 位 01：16 位 10：32 位 11：保留
9:8	PSIZE[1:0]	外设数据大小。 软件可以配置从/向外设地址读取/写入的数据大小。 00：8 位 01：16 位 10：32 位 11：保留
7	MINC	存储器地址递增模式。 软件可以使能/禁能存储器地址递增模式。 0：内存地址不会随着每次传输而递增。 1：内存地址随着每次传输而递增。
6	PINC	外设地址增量模式。 软件可以使能/禁能外设地址递增模式。 0：外设地址不会随着每次传输而递增。 1：外设地址随每次传输而递增。
5	CIRC	循环模式。 软件可以设置/清除该位。 0：经过一轮传输后通道停止。 1：通道配置为循环模式。
4	DIR	数据传输方向 软件可以设置/清除该位。 0：从外设到存储器的数据传输 1：从存储器到外设的数据传输。
3	ERRIE	传输错误中断使能。 软件可以使能/禁能传输错误中断。 0：禁止通道 x 的传输错误中断。 1：使能通道 x 的传输错误中断。
2	HTXIE	半传输中断使能。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		软件可以使能/禁能半传输中断。 0：禁止通道 x 的半传输中断。 1：使能通道 x 的半传输中断。
1	TXCIE	传输完成中断使能。 软件可以使能/禁能传输完成中断。 0：禁止通道 x 的传输完成中断。 1：使能通道 x 的传输完成中断。
0	CHEN	通道使能。 软件可以设置/复位该位。 0：禁用通道。 1：使能通道。

7.5.2 通道 x 存储器地址寄存器(DMA_MADDRx)

x 为通道号，x=1 … 8

地址偏移：0x04 + 20 * (x – 1)

复位值：0x0000 0000

只有在禁用通道(DMA_CHCFGx.CHEN = 0)时才能写该寄存器。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ADDR[31:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADDR[31:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	ADDR[31:0]	存储器地址。 DMA 读取/写入的存储器起始地址。 地址的递增由 DMA_CHCFGx.MSIZE 决定。 DMA_CHCFGx.MSIZE 等于‘01’，DMA 忽略 MADDR 的第 0 位。 DMA_CHCFGx.MSIZE 等于‘10’，DMA 将忽略 MADDR 的第 0 位和第 1 位。

7.5.3 通道 x 外设地址寄存器(DMA_PADDRx)

x 为通道号，x=1 … 8

地址偏移：0x08 + 20 * (x – 1)

复位值：0x0000 0000

只有在禁用通道(DMA_CHCFGx.CHEN = 0)时才能写该寄存器。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

ADDR[31:0]
rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADDR[31:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	ADDR[31:0]	外设地址。 DMA 读取/写入的外设起始地址。 地址的递增由 DMA_CHCFGx.PSIZE 决定。 DMA_CHCFGx.PSIZE 等于‘01’，DMA 忽略 PADDR 的第 0 位。 DMA_CHCFGx.PSIZE 等于‘10’，DMA 将忽略 PADDR 的第 0 位和第 1 位。

7.5.4 DMA 通道 x 通道选择寄存器(DMA_CHSELx)

x 为通道号，x=1 … 8

地址偏移：0x0C + 20 * (x – 1)

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								CH_SEL[7:0]							
								rw							

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值。
7:0	CH_SEL[7:0]	DMA 通道请求选择 0 :ADC1 1 :ADC2 2 :ADC3 3 :DSMU_FILT0 4 :USART1_TX 5 :USART1_RX 6 :USART2_TX 7 :USART2_RX 8 :USART3_TX 9 :USART3_RX 10 :USART4_TX 11 :USART4_RX 12 :UART5_TX 13 :UART5_RX

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		14 :UART6_TX 15 :UART6_RX 16 :UART7_TX 17 :UART7_RX 18 :UART8_TX 19 :UART8_RX 20 :SPI1_TX 21 :SPI1_RX 22 :SPI2_I2S2_TX 23 :SPI2_I2S2_RX 24 :FDCAN1 25 :FDCAN2 26 :SPI3_I2S3_TX 27 :SPI3_I2S3_RX 28 :FDCAN3 29 :DSMU_FILT1 30 :SPI4_TX 31 :SPI4_RX 32 :SPI5_TX 33 :SPI5_RX 34 :SPI6_TX 35 :SPI6_RX 36 :XSPI_TX 37 :XSPI_RX 38 :I2C1_TX 39 :I2C1_RX 40 :I2C2_TX 41 :I2C2_RX 42 :I2C3_TX 43 :I2C3_RX 44 :I2C4_TX 45 :I2C4_RX 46 :SDIO_DMA 47 :DAC1_DMA 48 :DAC2_DMA 49 :DSMU_FILT2 50 :DSMU_FILT3 51 :USART9_TX 52 :USART9_RX 53 :USART10_TX 54 :USART10_RX 55 :- 56 :-

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		57 :CORDIC_WR 58 :CORDIC_RD 59 :BTIM1_UP 60 :BTIM2_UP 61 :GTIM1_CH1 62 :GTIM1_CH2 63 :GTIM1_CH3 64 :GTIM1_CH4 65 :GTIM1_UP 66 :GTIM1_TRIG 67 :GTIM2_CH1 68 :GTIM2_CH2 69 :GTIM2_CH3 70 :GTIM2_CH4 71 :GTIM2_UP 72 :GTIM2_TRIG 73 :GTIM3_CH1 74 :GTIM3_CH2 75 :GTIM3_CH3 76 :GTIM3_CH4 77 :GTIM3_UP 78 :GTIM3_TRIG 79 :GTIM4_CH1 80 :GTIM4_CH2 81 :GTIM4_CH3 82 :GTIM4_CH4 83 :GTIM4_UP 84 :GTIM4_TRIG 85 :GTIM5_CH1 86 :GTIM5_CH2 87 :GTIM5_CH3 88 :GTIM5_CH4 89 :GTIM5_UP 90 :GTIM5_TRIG 91 :GTIM6_CH1 92 :GTIM6_CH2 93 :GTIM6_CH3 94 :GTIM6_CH4 95 :GTIM6_UP 96 :GTIM6_TRIG 97 :GTIM7_CH1 98 :GTIM7_CH2 99 :GTIM7_CH3

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		100 :GTIM7_CH4 101 :GTIM7_UP 102 :GTIM7_TRIG 103 :GTIM8_CH1 104 :GTIM8_CH2 105 :GTIM8_CH3 106 :GTIM8_CH4 107 :GTIM8_COM 108 :GTIM8_UP 109 :GTIM8_TRIG 110 :GTIM9_CH1 111 :GTIM9_CH2 112 :GTIM9_CH3 113 :GTIM9_CH4 114 :GTIM9_COM 115 :GTIM9_UP 116 :GTIM9_TRIG 117 :GTIM10_CH1 118 :GTIM10_CH2 119 :GTIM10_CH3 120 :GTIM10_CH4 121 :GTIM10_COM 122 :GTIM10_UP 123 :GTIM10_TRIG 124 :ATIM1_CH1 125 :ATIM1_CH2 126 :ATIM1_CH3 127 :ATIM1_CH4 128 :ATIM1_COM 129 :ATIM1_UP 130 :ATIM1_TRIG 131 :ATIM2_CH1 132 :ATIM2_CH2 133 :ATIM2_CH3 134 :ATIM2_CH4 135 :ATIM2_COM 136 :ATIM2_UP 137 :ATIM2_TRIG 138 :ATIM3_CH1 139 :ATIM3_CH2 140 :ATIM3_CH3 141 :ATIM3_CH4 142 :ATIM3_COM

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		143 :ATIM3_UP 144 :ATIM3_TRIG

7.5.5 DMA 通道 x 传输数量寄存器(DMA_TXNUMx)

x 为通道号，x=1 … 8

地址偏移：0x10 + 20 * (x – 1)

复位值：0x0000 0000

只有在禁用通道（DMA_CHCFGx.CHEN = 0）时才能写该寄存器。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
NDTX[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	NDTX[15:0]	数据传输数量。 要传输的数据数量（0～65535）。软件可以在通道禁用时写入/读出传输数量。 通道开启后该寄存器变为只读，指示剩余的待传输数据量。寄存器内容在每次DMA 传输后递减。 数据传输结束后，寄存器的内容或者变为 0； 如果使能循环模式，它会在达到零时自动重新加载预设值。 当寄存器的内容为 0 时，无论通道是否开启，都不会发生任何数据传输。

7.5.6 DMA 中断标志清除寄存器(DMA_INTCLR)

偏移地址：0xA0

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CERRF8	CHTXF8	CTXCF8	CGLBF8	CERRF7	CHTXF7	CTXCF7	CGLBF7	CERRF6	CHTXF6	CTXCF6	CGLBF6	CERRF5	CHTXF5	CTXCF5	CGLBF5
w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CERRF4	CHTXF4	CTXCF4	CGLBF4	CERRF3	CHTXF3	CTXCF3	CGLBF3	CERRF2	CHTXF2	CTXCF2	CGLBF2	CERRF1	CHTXF1	CTXCF1	CGLBF1
w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w

位域	名称	描述
31/27/23/19/15/11/7/3	CERRFx	清除通道 x(x = 1…8)的传输错误标志。 软件可以设置该位来清除相应通道的 ERRF。 0：无效果。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：复位相应通道的 DMA_INTSTS.ERRF 位。
30/26/22/18/14/10/6/2	CHTXFx	清除通道 x(x = 1…8)的半传输标志。 软件可以设置该位来清除相应通道的 HTXF。 0：无效果。 1：复位相应通道的 DMA_INTSTS.HTXF 位。
29/25/21/17/13/9/5/1	CTXCFx	清除通道 x(x = 1…8)的传输完成标志。 软件可以设置该位来清除相应通道的 TXCF。 0：无效果。 1：复位相应通道的 DMA_INTSTS.TXCF 位。
28/24/20/16/12/8/4/0	CGLBFx	清除通道 x(x = 1…8)的全局事件标志。 软件可以设置该位来清除相应通道的 GLBF。 0：无效果。 1：复位相应通道的 DMA_INTSTS.GLBF 位。

7.5.7 DMA 中断状态寄存器(DMA_INTSTS)

偏移地址：0xA4

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ERRF8	HTXF8	TXCF8	GLBF8	ERRF7	HTXF7	TXCF7	GLBF7	ERRF6	HTXF6	TXCF6	GLBF6	ERRF5	HTXF5	TXCF5	GLBF5
r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ERRF4	HTXF4	TXCF4	GLBF4	ERRF3	HTXF3	TXCF3	GLBF3	ERRF2	HTXF2	TXCF2	GLBF2	ERRF1	HTXF1	TXCF1	GLBF1
r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r

位域	名称	描述
31/27/23/19/15/11/7/3	ERRFx	通道 x(x = 1…8)的传输错误标志。 发生传输错误时，硬件设置该位。该位由软件通过向 DMA_INTCLR.CERRFx 位写 1 清零。 0：通道 x 上没有发生传输错误。 1：通道 x 上发生传输错误。
30/26/22/18/14/10/6/2	HTXFx	通道 x(x = 1…8)的半传输标志。 当半传输完成时，硬件设置该位。该位由软件通过向 DMA_INTCLR.CHTXFx 位写 1 清零。 0：通道 x 上的半传输尚未完成。 1：通道 x 上的半传输已完成。
29/25/21/17/13/9/5/1	TXCFx	通道 x(x = 1...8)的传输完成标志。 当传输完成时，硬件设置该位。该位由软件通过向 DMA_INTCLR.CTXCFx 位写 1 清零。 0：通道 x 上的传输尚未完成。 1：通道 x 上的传输已完成。
28/24/20/16/12/8/4/0	GLBFx	通道 x(x = 1…8)的全局标志。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		当该通道中发生任何中断事件时，硬件设置该位。该位由软件通过向 DMA_INTCLR.CGLBFx 位写 1 清零。 0：通道 x 上没有发生传输错误、半传输或传输完成事件。 1：通道 x 上发生传输错误、半传输或传输完成事件之一。

7.5.8 DMA 突发传输使能寄存器(DMA_BURSTEN)

地址偏移：0xA8

复位值：0x0000 0001

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															BURST_BYPASS
															rw

位域	名称	描述
31:1	Reserved	保留，必须保持复位值。
0	BURST_BYPASS	DMA 突发功能 1: 禁用 DMA 突发功能 0: 打开 DMA 突发功能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

8 CRC 计算单元

8.1 简介

该模块集成了 CRC32 和 CRC16 的功能，循环冗余校验（CRC）计算单元根据固定的生成多项式得到任意 CRC 计算结果。在其他应用中，CRC 技术主要用于验证数据传输或数据存储的正确性和完整性。EN/IEC 60335-1 提供了一种验证闪存完整性的方法。CRC 计算单元可以在程序运行时计算出软件的标识符，然后与连接时产生的参考标识符进行比较，然后存储在指定的内存空间中。

8.2 主要特性

8.2.1 CRC32

- CRC32（$X^{32} + X^{26} + X^{23} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^{8} + X^{7} + X^{5} + X^{4} + X^{2} + X + 1$)
- 32 位待校验数据和 32 位输出校验码
- CRC 计算时间：1 个 AHB 时钟周期（HCLK）
- 通用 8 位寄存器（可用于存放临时数据）
- 循环冗余计算初始值可配置

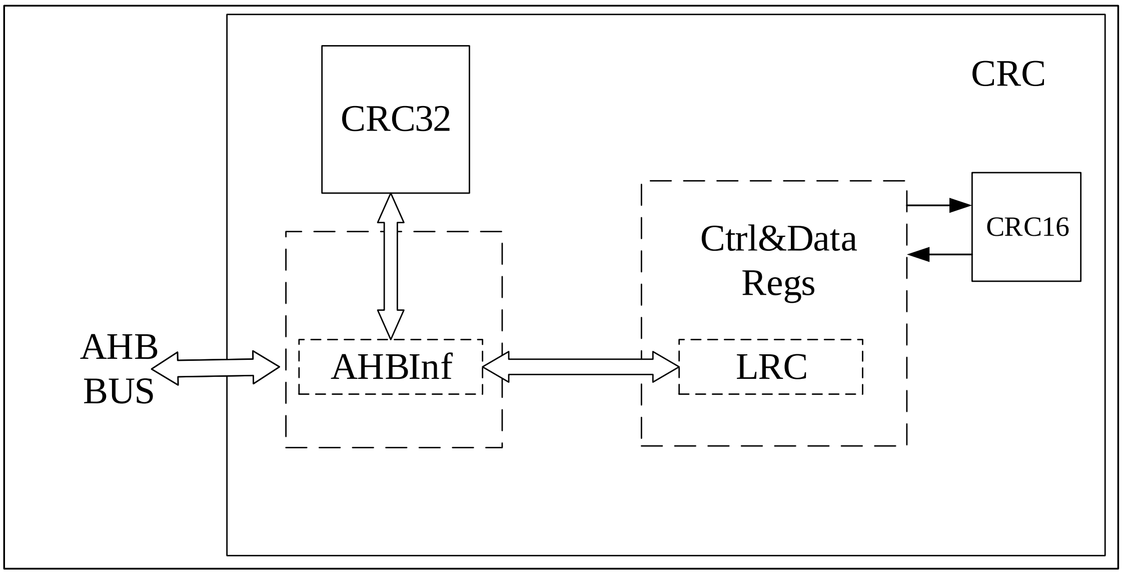
8.2.2 CRC16

- CRC16($X^{16} + X^{15} + X^{2} + 1$)
- 8 位待校验数据和 16 位输出校验码
- CRC 计算时间：1 个 AHB 时钟周期（HCLK）
- 可配置校验初始值，可配置待校验数据的大小端
- 支持 8bit LRC 校验值生成
- 循环冗余计算初始值可配置

下图为 CRC 计算单元框图

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 8-1 CRC 计算单元框图



8.3 功能描述

8.3.1 CRC32 使用流程

1) 配置RCC_AHBPCLKEN寄存器中的CRCEN位，开启CRC模块时钟；
2) 软件对CRC_CRC32CTRL寄存器第0位RESET写1可复位CRC计算单元，否则初值为上一次运算的结果；
3) 软件写CRC_CRC32D，设置计算初始值；
4) 软件写CRC_CRC32DAT寄存器，配置待校验数据；
5) 若需要继续校验，则跳转到步骤4
6) 软件读取CRC_CRC32D，读取CRC运算结果；

8.3.2 CRC16 使用流程

1) 配置RCC_AHBPCLKEN寄存器中的CRCEN位，开启CRC模块时钟；
2) 配置CRC_CRC16CTRL寄存器，决定数据的大小端；
3) 若需要清除上次CRC运算的结果，可通过配置CRC_CRC16CTRL.CLEAR为1或配置CRC_CRC16D为16’h00；
4) 若对CRC校验的初值有要求，则先配置CRC_CRC16D寄存器，否则初值为上次运算的结果；
5) 软件写CRC_CRC16DAT寄存器，配置待校验数据；
6) 若需要继续校验，则跳转到步骤5；
7) 软件读取CRC_CRC16D寄存器，读取CRC运算结果；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

8.3.3 LRC 使用流程

LRC计算过程跟CRC一样，需要说明的是CRC和LRC计算是同时进行的。用户可以根据实际需要选择读取CRC或者LRC。

1) 配置RCC_AHBPCLKEN寄存器中的CRCEN位，开启CRC模块时钟；
2) 若对LRC校验的初值有要求，则在运算前先配置CRC_LRC寄存器；
3) 软件写CRC_CRC16DAT寄存器，配置待校验数据；
4) 若需要继续校验，则跳转到步骤3；
5) 软件读取CRC_LRC寄存器，读取LRC运算结果；

8.4 CRC 寄存器

8.4.1 CRC 寄存器总览

表 8-8-1 CRC 寄存器总览

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
000h	CRC_CRC32CTRL	Reserved																															RESET
	Reset Value																																0
004h	CRC_CRC32DAT	CRC32DAT[31:0]																															
	Reset Value	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
008h	CRC_CRC32IDAT	Reserved																								CRC32IDAT[7:0]							
	Reset Value																									0	0	0	0	0	0	0	0
00Ch	CRC_CRC32D	CRC32D[31:0]																															
	Reset Value	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
010h	CRC_CRC16CTRL	Reserved																													CLEAR	ENDIAN	Reserved
	Reset Value																														0	0	
014h	CRC_CRC16DAT	Reserved																								CRC16DAT [7:0]							
	Reset Value																									0	0	0	0	0	0	0	0
018h	CRC_CRC16D	Reserved																CRC16D[15:0]															
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01Ch	CRC_LRC	Reserved																								LRCDAT [7:0]							
	Reset Value																									0	0	0	0	0	0	0	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

8.4.2 CRC32R 控制寄存器（CRC_CRC32CTRL）

地址偏移：0x00

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															RESET
															wo

位域	名称	描述
31:1	Reserved	保留，必须保持复位值
0	RESET	CRC32R 复位控制寄存器，设置 CRC32R 寄存器的值为 0xFFFF_FFFF，只能写 1，硬件自动清 0。

8.4.3 CRC32 待校验数据寄存器（CRC_CRC32DAT）

地址偏移：0x04

复位值：0xFFFF FFFF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CRC32DAT[31:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CRC32DAT[31:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	CRC32DAT[31:0]	数据寄存器 写入时作为输入寄存器，输入待计算的值 读取时返回 CRC 计算的结果

8.4.4 CRC32 独立数据寄存器（CRC_CRC32IDAT）

地址偏移：0x08

复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								CRC32IDAT[7:0]							
								rw							

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值
7:0	CRC32IDAT[7:0]	通用 8 位数据寄存器 可用于临时存放 1 字节的数据。 寄存器 CRC_CRC32CTRL 的 RESET 位产生的 CRC 复位对此寄存器没有影响。

注：该寄存器不是 CRC 计算的一部分，可用于存储任何数据。

8.4.5 CRC32 校验结果寄存器（CRC_CRC32D）

地址偏移：0x0C

复位值：0xFFFF FFFF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CRC32D[31:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CRC32D[31:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	CRC32D[31:0]	CRC32 校验结果 32 位寄存器。

8.4.6 CRC16 控制寄存器（CRC_CRC16CTRL）

地址偏移：0x10

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved													CLEAR	ENDIAN	Reserved
													w1c	rw	

位域	名称	描述
31:3	Reserved	保留，必须保持复位值。
2	CLEAR	清除 CRC_CRC16D 校验值寄存器 0：不清除 1：清除，采用默认值 0x0000 该位软件置 1，仅维持 1 个周期，由硬件自动清零（软件读恒为 0）
1	ENDIAN	待校验数据从低位还是高位开始运算： 0：从高位到低位 1：从低位到高位 该 bit 只针对待校验数据。
0	Reserved	保留，必须保持复位值。

注：支持 8 位、16 位、32 位操作

8.4.7 CRC16 待校验数据寄存器（CRC_CRC16DAT）

地址偏移：0x14

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								CRC16DAT[7:0]							
								rw							

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值。
7:0	CRC16DAT[7:0]	写入 CRC16 待校验数据。

注：支持 8 位、16 位、32 位操作

8.4.8 CRC16 校验结果寄存器（CRC_CRC16D）

地址偏移：0x18

复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CRC16D[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	CRC16D[15:0]	CRC16 校验结果 16 位寄存器。

注：支持 8 位、16 位和 32 位操作

8.4.9 LRC 校验值寄存器（CRC_LRC）

地址偏移：0x1C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								LRCDAT[7:0]							
								rw							

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值。
7:0	LRCDAT[7:0]	LRC 校验值寄存器： 1）该寄存器可直接读写，在使用之前，软件可以先配置初始值； 2）之后每次写入 CRCDR 寄存器的数值，都会跟 LRC 寄存器进行“异或”运算，结果回放在 CRC_LRC。软件读取 LRC 结果，下次运算前，应该软件清零。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

9 高级控制定时器（ATIM1/ ATIM2/ ATIM3）

9.1 ATIMx（x=1-3）简介

高级控制定时器（ATIMx）主要用于以下场合：对输入信号进行计数、测量输入信号的脉冲宽度和产生输出波形等。

高级定时器具有互补输出功能、死区插入和刹车功能。适用于电机控制。

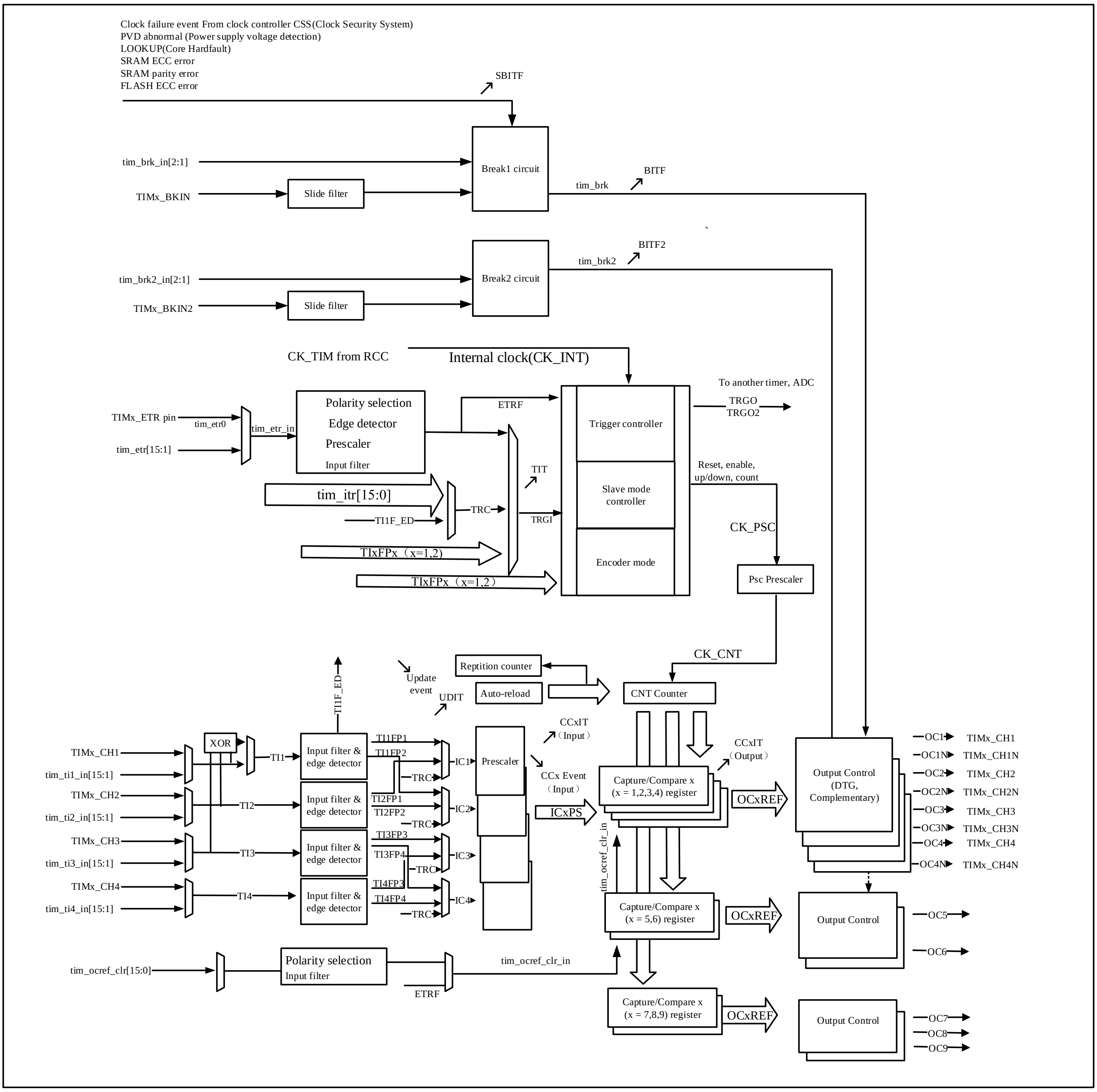
9.2 ATIMx（x=1-3）主要特性

- 16 位自动装载计数器。（可实现向上计数、向下计数、向上/下计数）
- 16 位可编程预分频器。（分频系数可配置为 1 到 65536 之间的任意值）
- 可编程重复计数器
- ATIMx 最多 9 个通道
- 4 个捕获/比较通道，工作模式为：PWM 输出、输出比较、单脉冲模式输出、输入捕获
- 2 个支持数字滤波的刹车输入信号
- 如下事件发生时产生中断/DMA：
  - 更新事件
  - 触发事件
  - 输入捕获
  - 输出比较
  - 刹车信号输入
- 死区时间可编程的互补输出
  - 对于 ATIMx，通道 1、2、3、4 支持此功能
- 可通过外部信号控制定时器
- 多个定时器内部连接在一起，以实现定时器的同步或链接
- 增量（正交）编码器接口：用于追踪运行轨迹和解析旋转方位
- 霍尔传感器接口：用于三相电机控制
- 触发输入作为外部时钟或者逐周期电流管理

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

9.3 ATIMx（x=1-3）框图

图 9-1 ATIMx 框图



9.4 ATIMx（x=1-3）的引脚及内部信号

下列表格描述了 ATIMx 的输入和输出引脚及信号

表 9-1 ATIMx 输入/输出引脚

引脚	类型	描述

TIMx_CH1 TIMx_CH2 TIMx_CH3 TIMx_CH4	Input/Output	每个通道都可以用于捕获、比较或产生 PWM。 TIM_CH1 和 TIM_CH2 还可以用作 作为外部时钟（低于 1/4 的内部时钟频率），外部触发器和正交编码器输入。 TIM_CH1、TIM_CH2 和 TIM_CH3 还可用于霍尔效应传感器的接口。
TIM_CH1N TIM_CH2N TIM_CH3N TIM_CH4N	Output	带有死区时间插入的定时器互补输出通道。
TIMx_ETR	Input	外部触发器输入。该输入可以作为外部触发器或外部时钟源。如果使用预分频器，输入信号 TIMx_ETR 可以为频率高于系统时钟频率的信号。
TIMx_BKIN TIMx_BKIN2	Input/Output	Break 和 Break2 输入。两个输入均可以配置为双向模式。

表 9-2 ATIMx 内部输入/输出信号

内部信号	类型	描述
tim_ti1_in[15:0] tim_ti2_in[15:0] tim_ti3_in[15:0] tim_ti4_in[15:0]	Input	定时器通道 1/2/3/4 输入信号。tim_ti1_in[15:0]和 tim_ti2_in[15:0]输入可用于捕获或作为外部时钟（低于系统时钟频率的 1/4）和用于正交编码器信号。
tim_etr[15:0]	Input	外部触发通道输入信号。这些输入可用作触发器、外部时钟或用于硬件逐周期脉宽控制。如果使用预分频器，输入信号 tim_etr 可以为频率高于系统时钟频率的信号。
tim_itr[15:0]	Input	内部触发输入信号。这些输入可以用在从模式控制器或作为输入时钟（低于系统时钟频率的 1/4）。
tim_trgo/tim_trgo2	Output	内部触发信号输出。这些触发信号可被其他定时器和/或其他外围设备使用。

9.4.1 ATIMx 的 tim_ti1/ tim_ti2/ tim_ti3/ tim_ti4 信号源

表 9-3 tim_ti1 输入信号源

tim_ti1 inputs	信号源

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

	ATIM1	ATIM2	ATIM3
tim_ti1_in0	ATIM1_CH1	ATIM2_CH1	ATIM3_CH1
tim_ti1_in[15:1]	Reserved		

表 9-4 tim_ti2 输入信号源

tim_ti2 inputs	信号源		
	ATIM1	ATIM2	ATIM3
tim_ti2_in0	ATIM1_CH2	ATIM2_CH2	ATIM3_CH2
tim_ti2_in1	GTIM7_CC1	GTIM7_CC2	GTIM7_CC3
tim_ti2_in[15:2]	Reserved		

表 9-5 tim_ti3 输入信号源

tim_ti3 inputs	信号源		
	ATIM1	ATIM2	ATIM3
tim_ti3_in0	ATIM1_CH3	ATIM2_CH3	ATIM3_CH3
tim_ti3_in[15:1]	Reserved		

表 9-6 tim_ti4 输入信号源

tim_ti4 inputs	信号源		
	ATIM1	ATIM2	ATIM3
tim_ti4_in0	ATIM1_CH4	ATIM2_CH4	ATIM3_CH4
tim_ti4_in[15:1]	Reserved		

9.4.2 ATIMx 的 tim_itr 信号源

表 9-7 tim_itr 输入信号源

ATIMx	ATIM1	ATIM2	ATIM3
tim_itr0	Reserved	ATIM1_TRGO	ATIM1_TRGO
tim_itr1	GTIM1_TRGO	GTIM1_TRGO	GTIM1_TRGO

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

tim_itr2	GTIM2_TRGO	GTIM2_TRGO	GTIM2_TRGO
tim_itr3	GTIM3_TRGO	GTIM3_TRGO	GTIM3_TRGO
tim_itr4	GTIM4_TRGO	GTIM4_TRGO	GTIM4_TRGO
tim_itr5	ATIM2_TRGO	Reserved	ATIM2_TRGO
tim_itr6	GTIM8_TRGO	GTIM8_TRGO	GTIM8_TRGO
tim_itr7	GTIM9_TRGO	GTIM9_TRGO	GTIM9_TRGO
tim_itr8	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO
tim_itr9	ATIM3_TRGO	ATIM3_TRGO	Reserved
tim_itr10			
tim_itr11	Reserve	Reserve	Reserve
tim_itr12	GTIM5_TRGO	GTIM5_TRGO	GTIM5_TRGO
tim_itr13	GTIM6_TRGO	GTIM6_TRGO	GTIM6_TRGO
tim_itr14	GTIM7_TRGO	GTIM7_TRGO	GTIM7_TRGO
tim_itr15	Reserve	Reserve	Reserve

9.4.3 ATIMx 的 tim_etr 信号源

表 9-8 tim_etr 输入信号源

ATIMx	ATIM1	ATIM2	ATIM3
tim_etr0	ATIM1_ETR	ATIM2_ETR	ATIM3_ETR
tim_etr_in[7:1]	Reserved	Reserved	Reserved
tim_etr8	ADC1_AWD1	ADC2_AWD1	ADC3_AWD1
tim_etr9	ADC1_AWD2	ADC2_AWD2	ADC3_AWD2
tim_etr10	ADC1_AWD3	ADC2_AWD3	ADC3_AWD3
tim_etr11	Reserved	ADC3_AWD1	ADC1_AWD1
tim_etr12	Reserved	ADC3_AWD2	ADC1_AWD2

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

tim_etr13	Reserved	ADC3_AWD3	ADC1_AWD3
tim_etr_in[15:14]	Reserved		

9.4.4 ATIMx 的刹车 1 输入信号源

表 9-9 ATIMx 的刹车 1 输入信号源

刹车输入	ATIM1	ATIM2	ATIM3
TIM_BKIN	ATIM1_BKIN pin	ATIM2_BKIN pin	ATIM3_BKIN pin
tim_brk_in1	tim_brk _dsmu0	tim_brk _dsmu0	tim_brk _dsmu0
tim_brk_in2	tim_brk _dsmu2	tim_brk _dsmu2	tim_brk _dsmu2
tim_brk_in[8:3]	Reserved		

9.4.5 ATIMx 的刹车 2 输入信号源

表 9-10 ATIMx 的刹车 2 输入信号源

刹车输入	ATIM1	ATIM2	ATIM3
TIM_BKIN2	ATIM1_BKIN2 pin	ATIM2_BKIN2 pin	ATIM3_BKIN2 pin
tim_brk2_in1	tim_brk2 _dsmu1	tim_brk2 _dsmu1	tim_brk2 _dsmu1
tim_brk2_in2	tim_brk2 _dsmu3	tim_brk2_dsmu3	tim_brk2 _dsmu3
tim_brk2_in[8:3]	Reserved		

9.4.6 ATIMx 的 tim_ocref_clr 输入信号源

表 9-11 ATIMx 的 tim_ocref_clr 输入信号源

OCREF 清除信号	ATIMx OCREF 清除信号分配		
	ATIM1	ATIM2	ATIM3
tim_ocref_in[15:0]	Reserved		

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

9.5 ATIMx（x=1-3）功能描述

9.5.1 时基单元

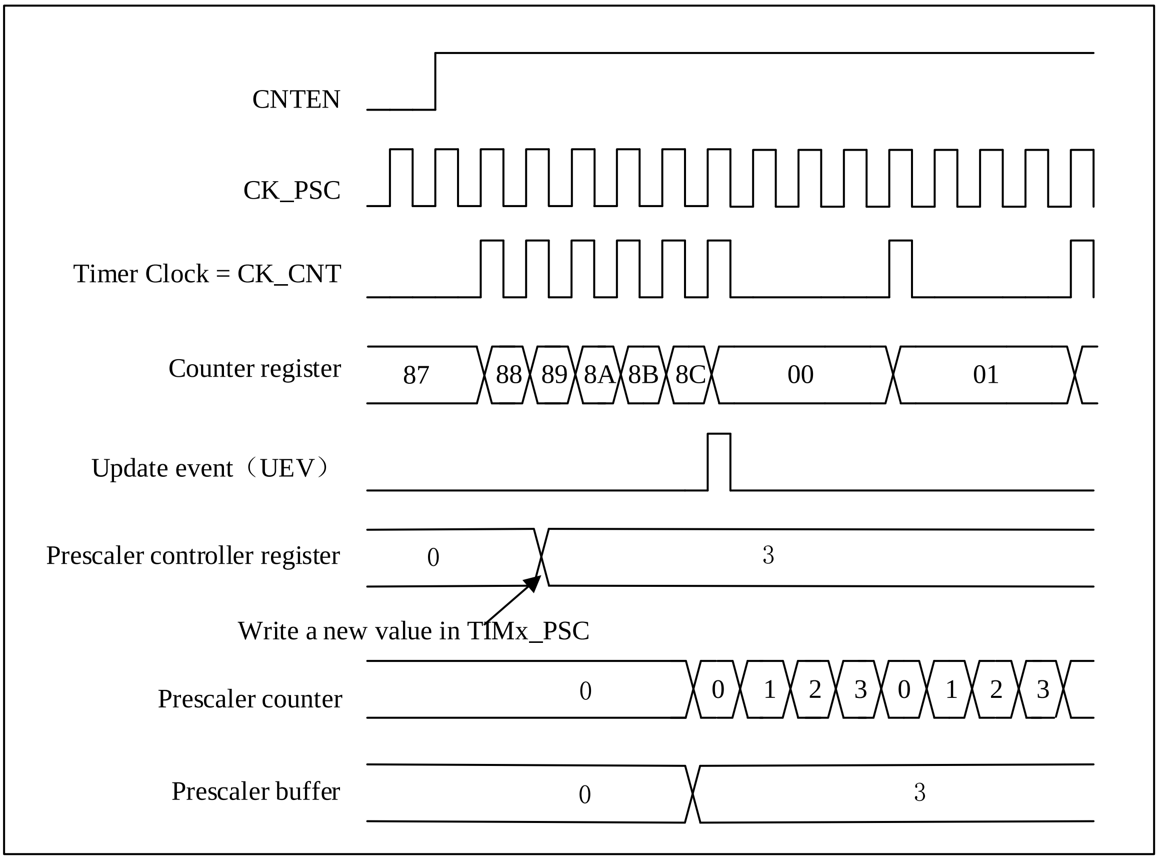
高级控制器的时基单元主要包括：预分频器、计数器、自动重装载寄存器和重复计数器。当时基单元工作时，软件可以随时读取和写入相应的寄存器（TIMx_PSC、TIMx_CNT、TIMx_AR 和 TIMx_REPCNT）。

根据自动重装载预装载使能位（TIMx_CTRL1.ARPEN）的设置，预装载寄存器的值会立即或在每次更新事件 UEV 时传输到影子寄存器。TIMx_CTRL1.UPDIS=0 时，计数器上溢/下溢或软件设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 将生成更新事件。计数器 CK_CNT 仅在 TIMx_CTRL1. CNTEN 位被设置时有效。计数器在 TIMx_CTRL.CNTEN 位被设置后一个时钟周期之后开始计数。

9.5.1.1 预分频器描述

TIMx_PSC 寄存器由一个 16 位计数器组成，可用于计数器时钟频率按 1 和 65536 之间的任意分频。因为这个控制器带有缓冲器，可以在运行时动态改变。新的预分频器值只有在下次更新事件中才会被采用。

图 9-2 当预分频的参数从 1 到 4，计数器的时序图



9.5.2 计数器模式

9.5.2.1 向上计数模式

使用向上计数模式，计数器将从 0 计数到寄存器 TIMx_AR 的值，然后重置为 0。并产生一个计数器溢出事件。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

如果设置 TIMx_CTRL1.UPRS 位（选择更新请求）和 TIMx_EVTGEN. UDGN 位，将产生一个更新事件（UEV）。但是 TIMx_STS.UDITF 不会被硬件置起，因此不会产生更新中断或 DMA 更新请求。这是为了避免清除计数器时产生更新中断。

取决于 TIMx_CTRL1.UPRS 的配置 ，当发生更新事件时，TIMx_STS.UDITF 被设置，所有寄存器都会更新：

- 重复计数器被重新加载为 TIMx_REPCNT 的内容
- 当 TIMx_CTRL1.ARPEN = 1，预装载寄存器(TIMx_AR)的值被更新到自动装载影子寄存器
- 预加载值（TIMx_PSC）被重新加载到预分频器影子寄存器中

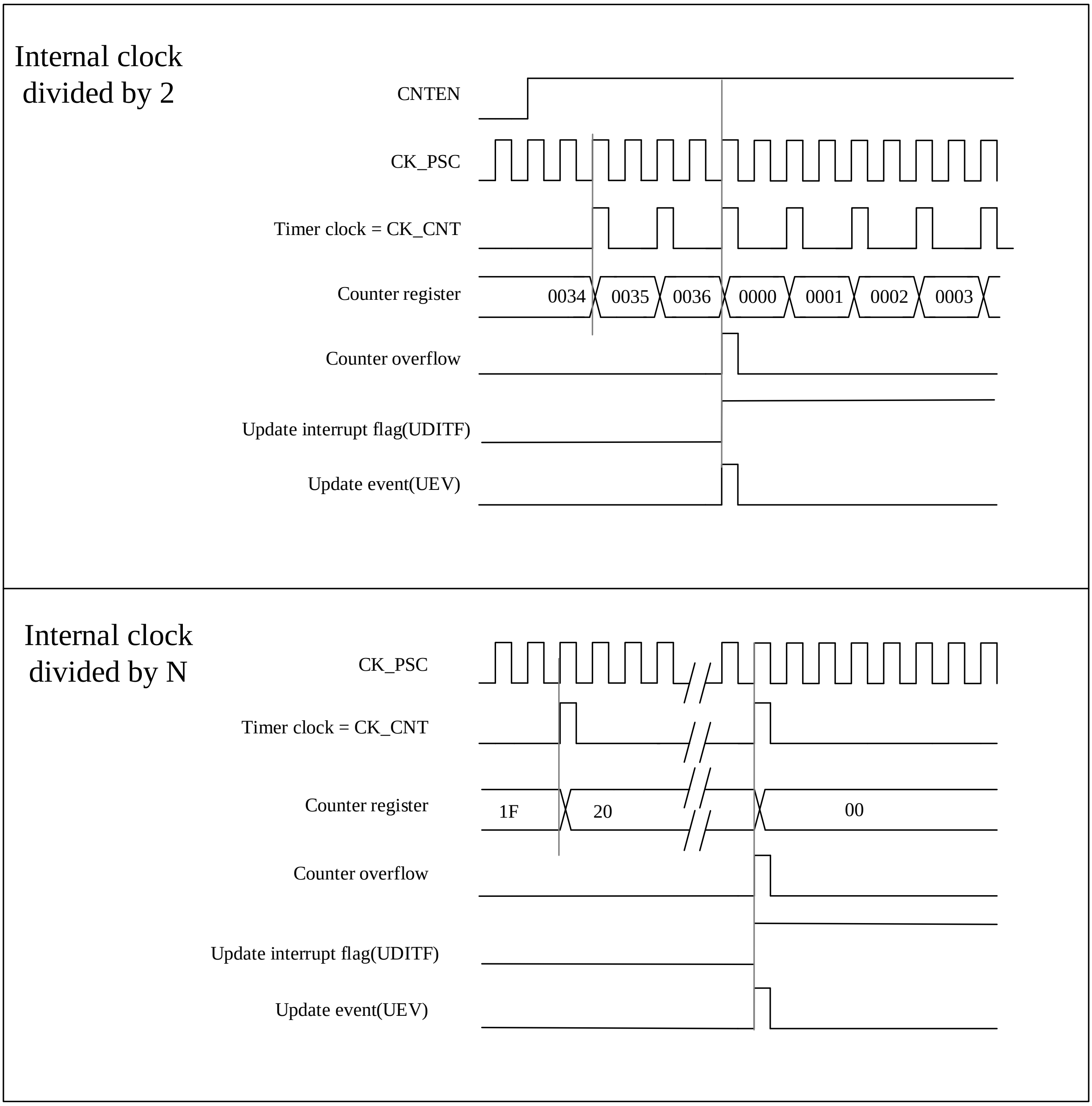
为了避免在向预装载寄存器中写入新值时更新影子寄存器，可以通过设置 TIMx_CTRL1.UPDIS=1 来禁止更新事件。

当产生一个更新事件时，计数器仍将被清除，预分频器计数器也将被设置为 0（但预分频器值将保持不变）。

下图给出一些示例，展示了向上计数模式计数器在不同分频因子下的动作。

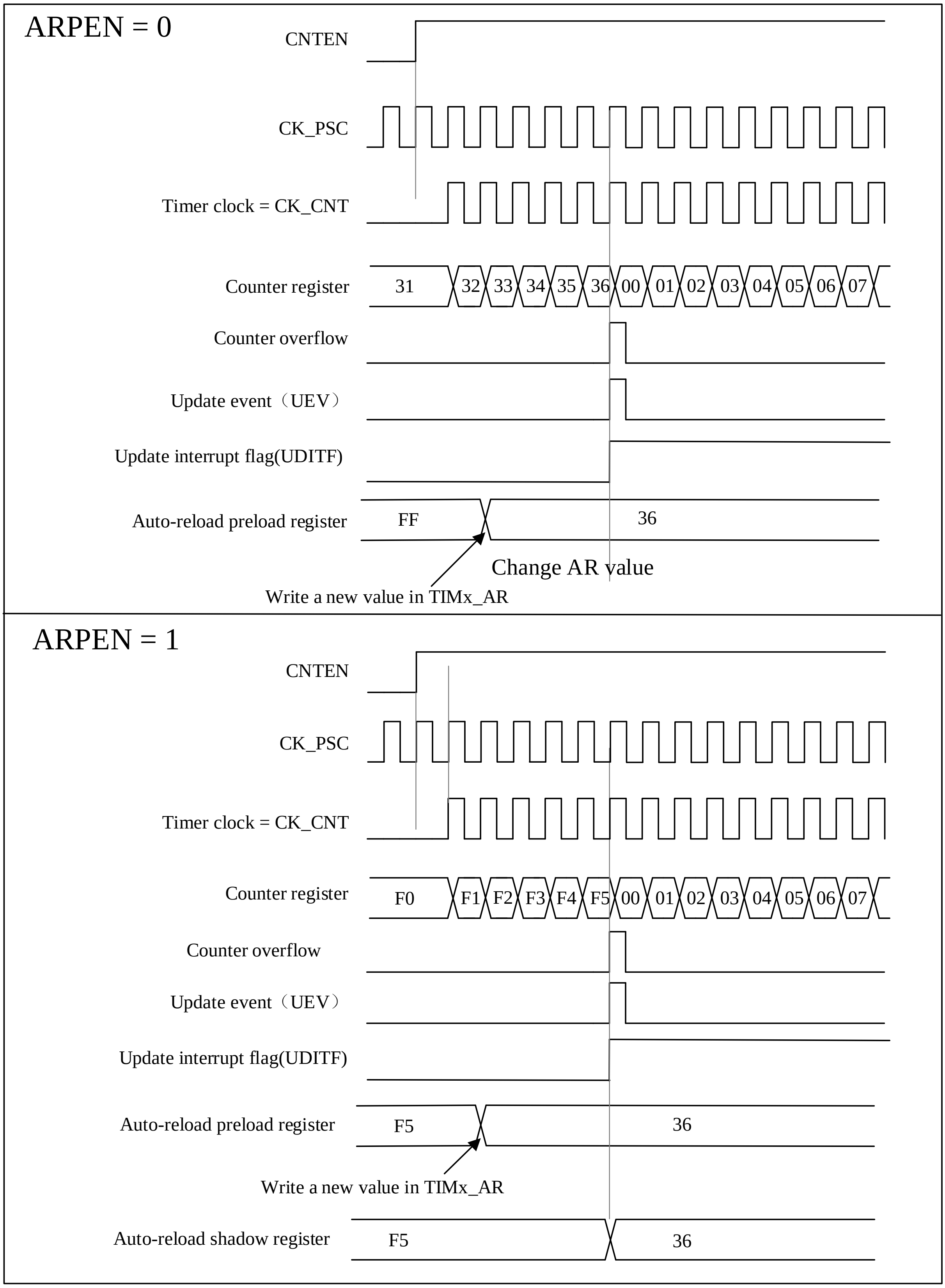
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-3 当内部时钟分频因子 =2/N 时，向上计数的时序图



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-4 当 ARPEN=0/1 产生更新事件时，向上计数的时序图



9.5.2.2 向下计数模式

向下计数模式，计数器将从寄存器 TIMx_AR 的值减至 0，然后从自动重装载值重新开始，并产生计数器向

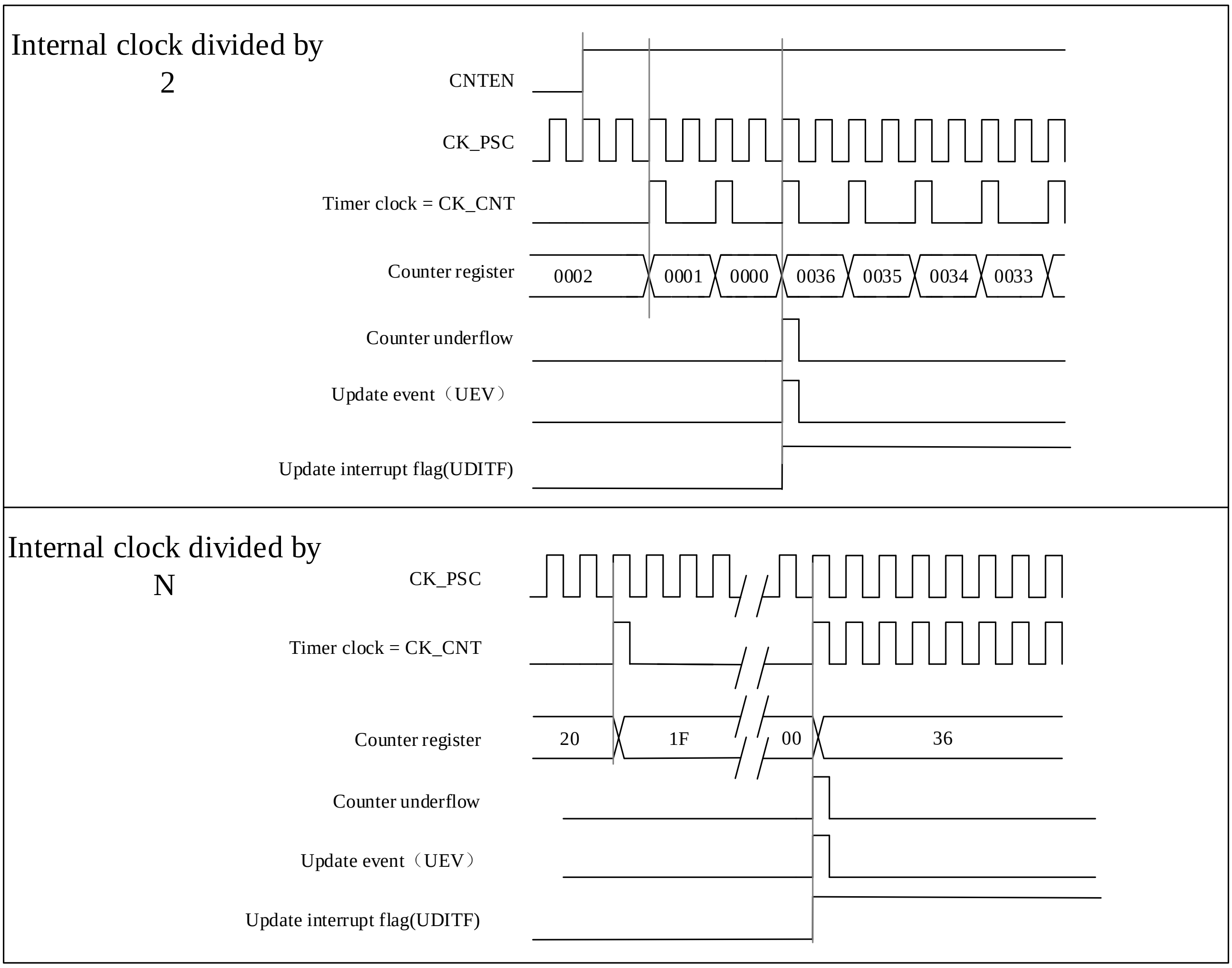
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

下溢出事件

向下计数模式和向上计数模式配置更新事件和更新寄存器的过程相同，请查阅 9.5.2.1 章节.

下图给出一些示例，展示了向下计数模式计数器在不同分频因子下的动作。

图 9-5 内部时钟分频因子 = 2/N 时，向下计数时序图



9.5.2.3 中央对齐模式

9.5.2.3.1 中央对齐对称模式

在中央对齐模式下，计数器从 0 增加到值（TIMx_AR）–1，产生计数器溢出事件。然后，它从自动重装载值（TIMx_AR）向下计数到 1，并生成一个计数器向下溢出事件。然后计数器重置为 0 并再次开始计数。

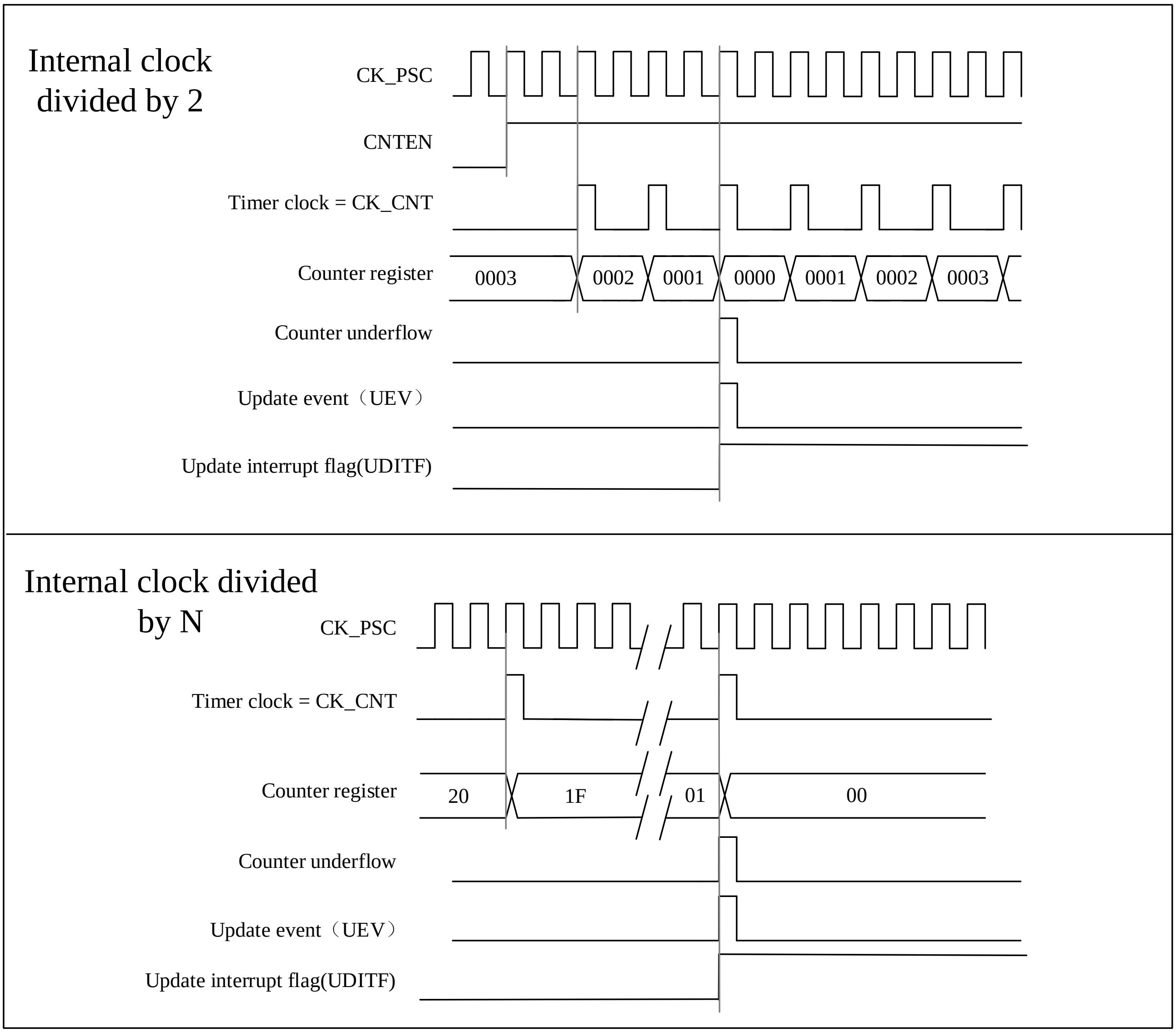
在这种模式下，TIMx_CTRL1.DIR 方向位无效，由硬件更新和指定当前计数方向。当 TIMx_CTRL1.CAMSEL 位不等于“00”时，中央对齐模式有效。

每次计数上溢和计数下溢时都会生成更新事件。或者，也可以通过设置 TIMx_EVTGEN. UDGN 位（通过软件或使用从模式控制器）来生成更新事件。在这种情况下，计数器从 0 重新开始计数，预分频器的计数器也从 0 重新开始计数。

注：如果因为计数器溢出而产生更新，自动重装载将在计数器重新载入之前被更新。

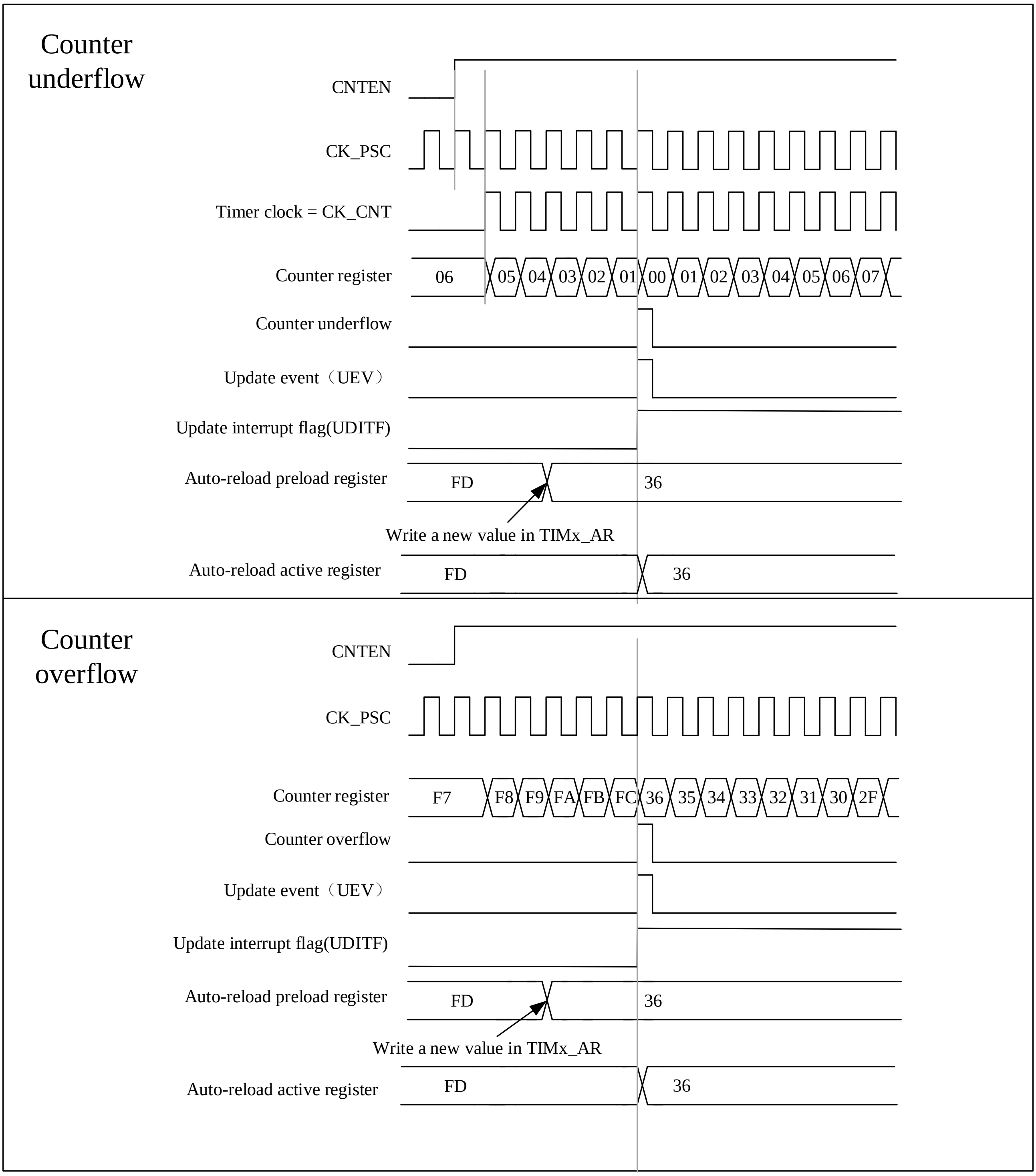
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-6 内部时钟分频因子 =2/N，中央对齐时序图



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-7 包含计数器上溢和下溢的中央对齐时序图(ARPEN=1)



9.5.2.3.2 中央对齐非对称模式

在中央对齐非对称模式下（TIMx_CTRL1. ASYMMETRIC 为 1，TIMx_CTRL1.CAMSEL[1:0]为非零），计数器从 0 计数到自动重载值（TIMx_AR）–1，并产生计数器溢出事件，然后从自动重载值计数到 1，并产生计数器向下溢出事件，然后从 0 重新开始计数。

TIMx_CTRL1.DIR 值不能在此模式下写入，它由硬件更新和指定当前计数方向。

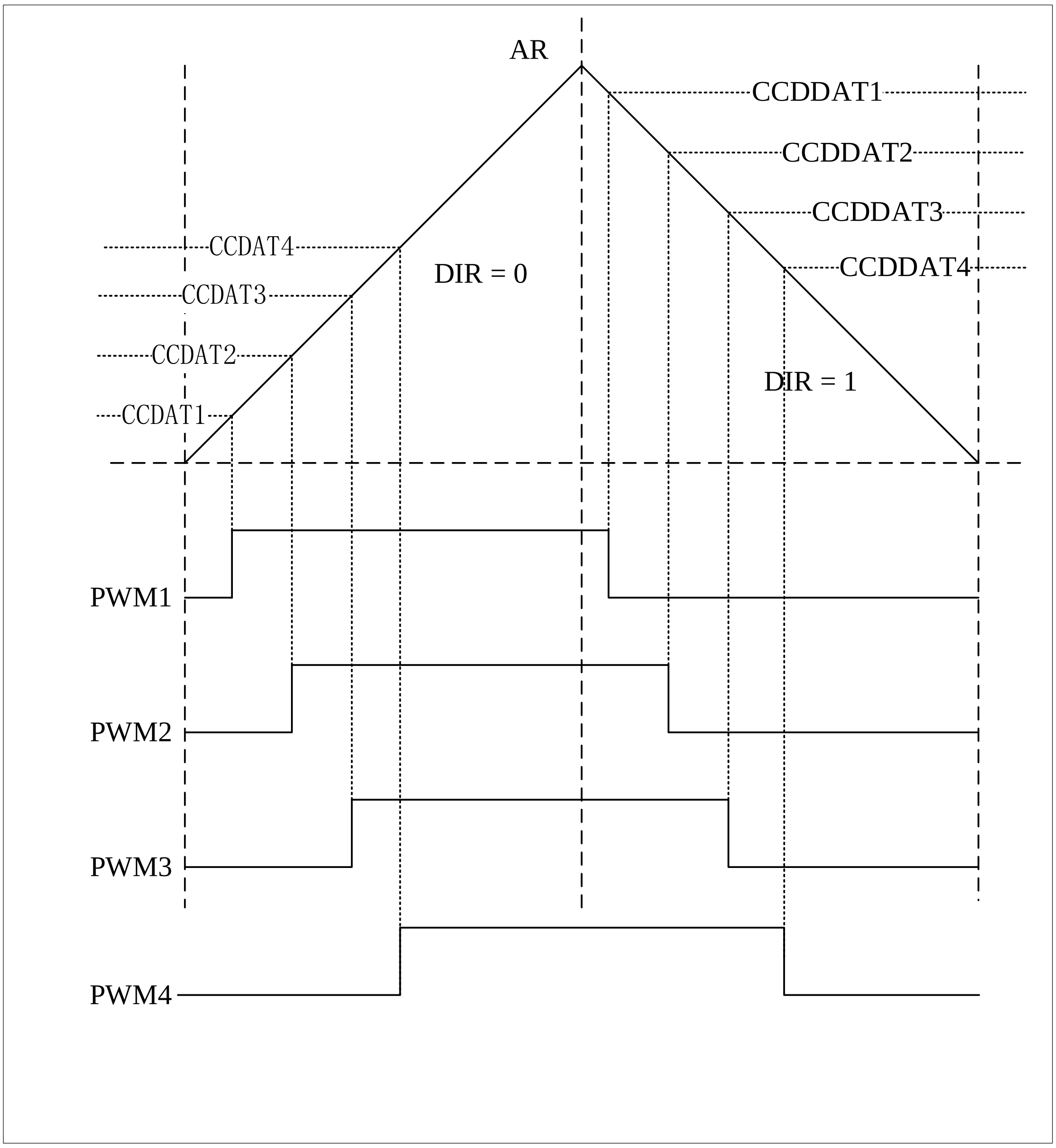
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

当通道不是 1,2,3,4 时，比较值是 CCDATx。当死区时间发生器打开时，请注意，当 DIR=0 时，死区时间插入点是计数器值等于 CCDATx（x=1,2,3,4），当 DIR=1 时，死区时间插入点是计数器值等于 CCDDATx（x=1,2,3,4）。

每次计数上溢和计数下溢时都会产生更新事件。或者，也可以通过设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 位（通过软件或使用从模式控制器）产生更新事件。在这种情况下，在这种情况下，计数器从 0 重新开始计数，预分频器的计数器也从 0 重新开始计数。

注：如果因为计数器溢出而产生更新，自动重装载将在计数器重新载入之前被更新。

图 9-8 非对称模式对应的输出波形

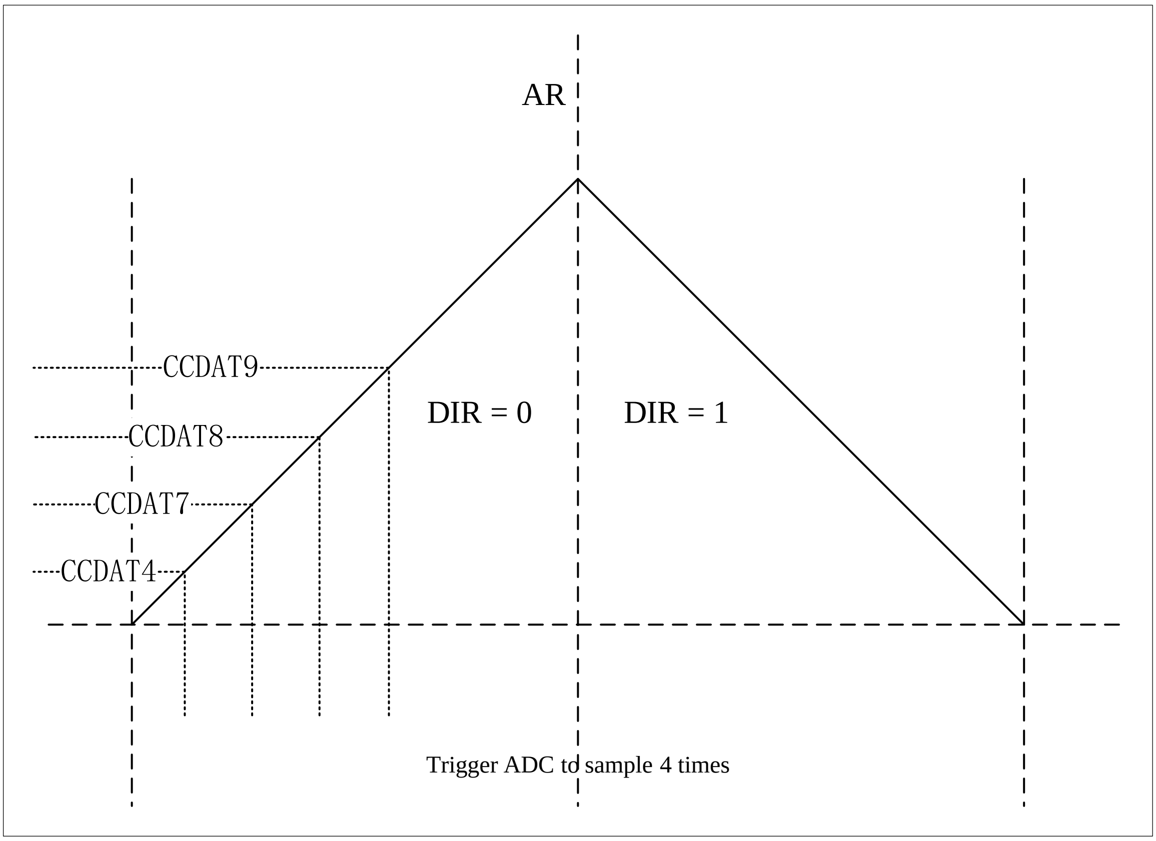


由于增加了 CC7/CC8/CC9 三个通道的触发功能，并对 CC4 的触发功能进行了修改，现在描述 CC4/CC7/CC8/CC9 通道对 ADC 触发的描述。

当定时器在中央对齐非对称模式下工作时，每个通道（CC4/CC7/CC8/CC9）都可以单独触发 ADC。如果 TIMx_CTRL1.CMODE[1:0]=00，在 CCDATx(x=4,7,8,9)中，CCDATx 的 CCDAT 值仅在 DIR=0 时触发 ADC。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

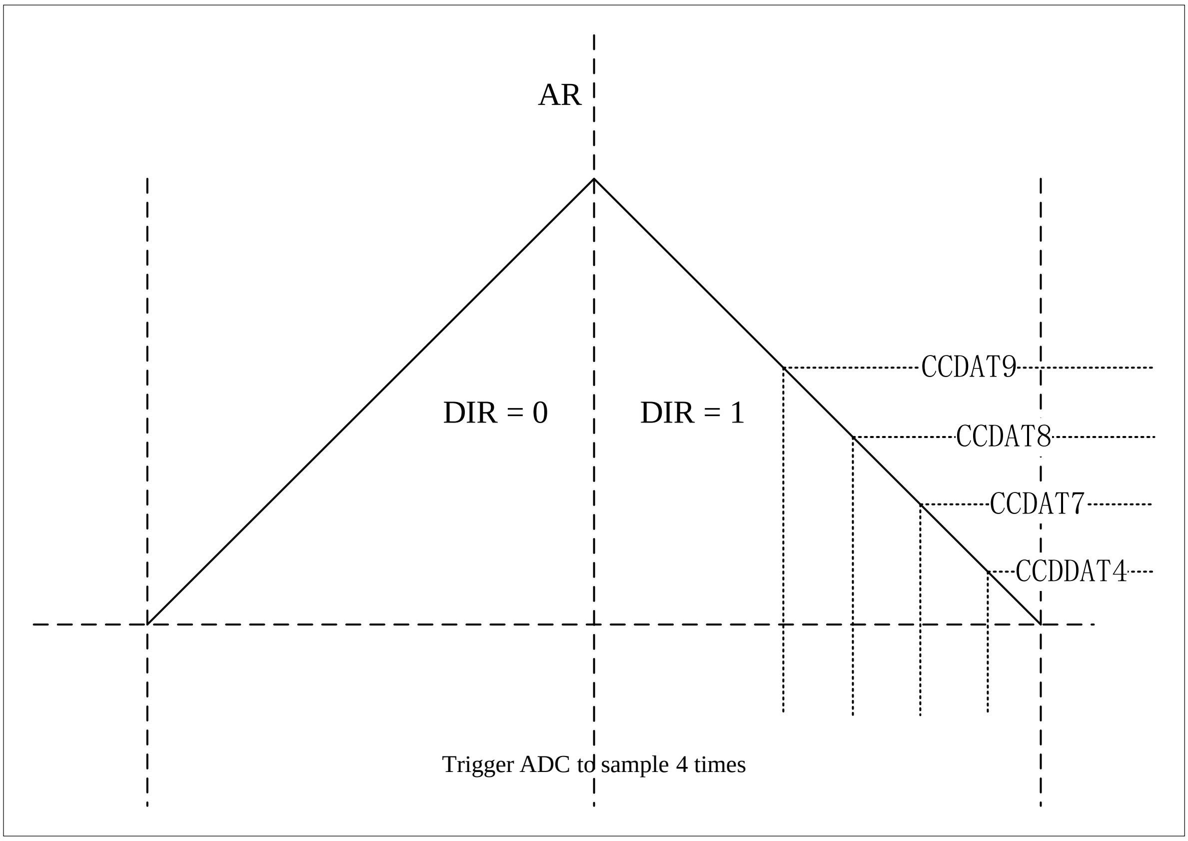
图 9-9 CCDATx(x=4,7,8,9),当 DIR = 0 时触发 ADC



如果 TIMx_CTRL1.CMODE [1:0]=01，在 CCDATx（x=4,7,8,9）中，CCDATx 的 CCDAT/CCDDAT 值仅在 DIR=1 时触发 ADC。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

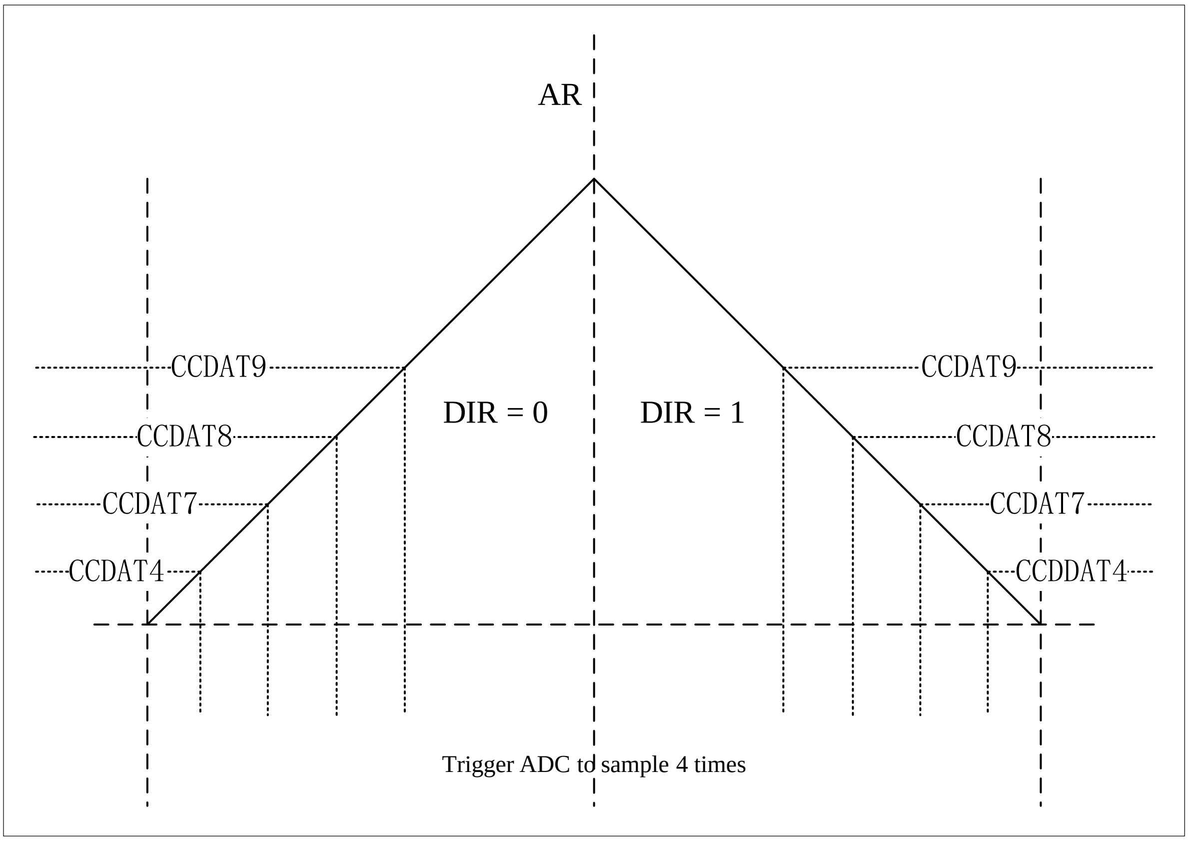
图 9-10 CCDATx(x=4,7,8,9)，当 DIR = 1 时触发 ADC



如果 TIMx_CTRL1.CMODE[1:0]=1x，在 CCDATx（x=4,7,8,9）中，当 DIR=0 或 DIR=1 时，CCDATx 的 CCDAT/CCDDAT 值将触发 ADC.

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-11 CCDATx(x=4,7,8,9)，当 DIR = 1 或 DIR = 0 时触发 ADC



在上图中，通道 4 向上计数至 CCDAT4 或向下计数至 CCDDAT4，通道 7/8/9 向上计数或向下计数至 CCDAT7/8/9，触发有效。

9.5.3 重复计数器

第 9.5.1 章节的基本单元描述了生成更新事件（UEV）的条件。更新事件（UEV）实际上仅在重复计数器达到零时生成，这对于生成 PWM 信号非常有用。

这意味着每 N+1 计数器溢出或下溢一次，数据就会从预加载寄存器传输到影子寄存器，其中 N 是 TIMx_REPCNT 中的值。

重复计数器递减：

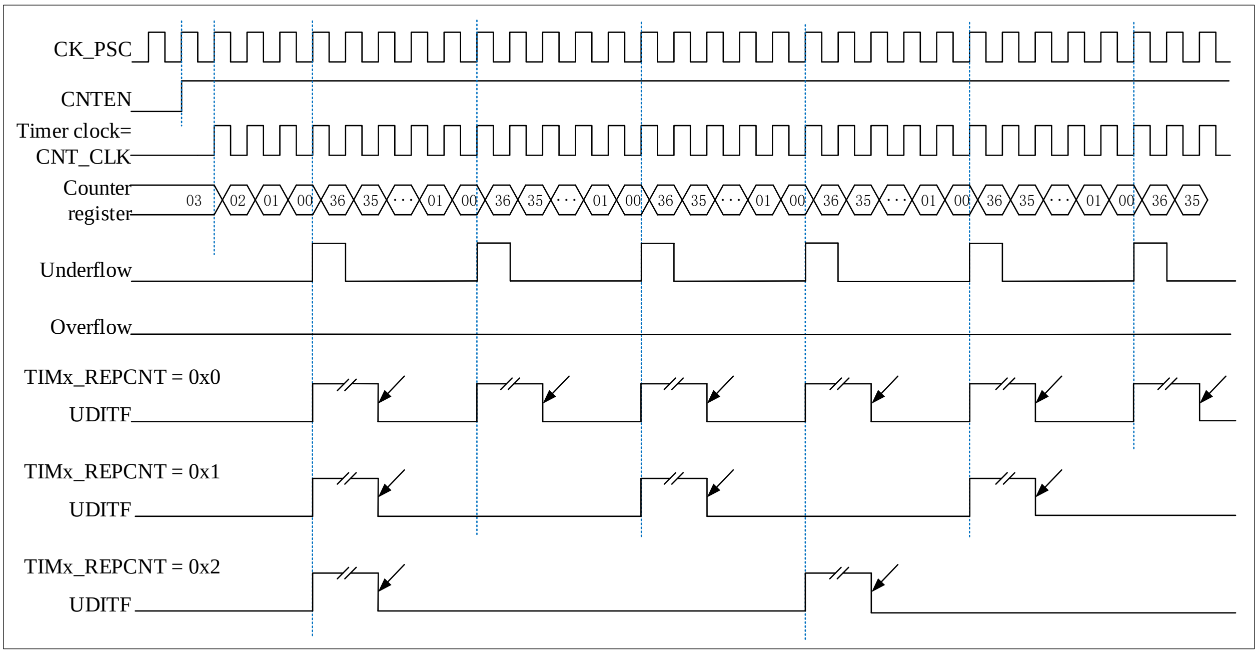
- 在向上计数模式下，每次计数器达到最大值时，都会发生溢出
- 在向下计数模式下，每次计数器减至最小值时，都会发生下溢
- 在中央对齐模式下，每次计数上溢或下溢时

其重复率由 TIMx_REPCNT 寄存器的值定。

重复计数器具有自动重新加载功能。 无论重复计数器的值如何，更新事件（通过从模式控制器设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 或硬件生成）都会立即发生。

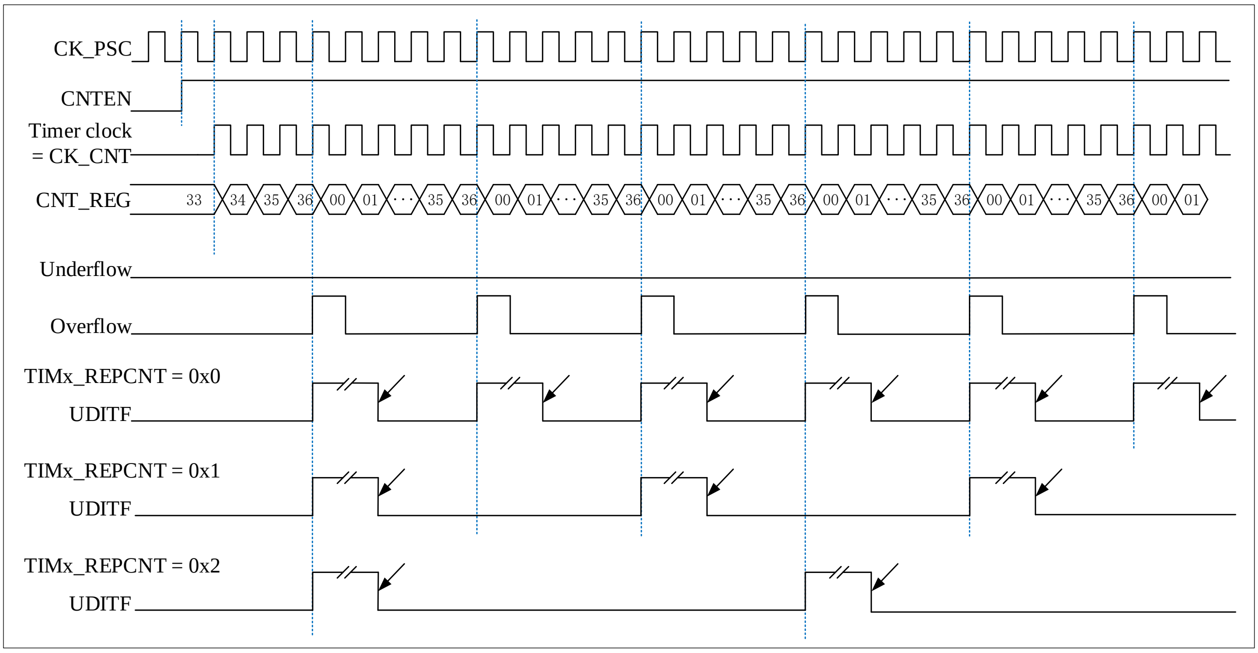
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-12 向下计数模式下的重复计数时序图



软件清除

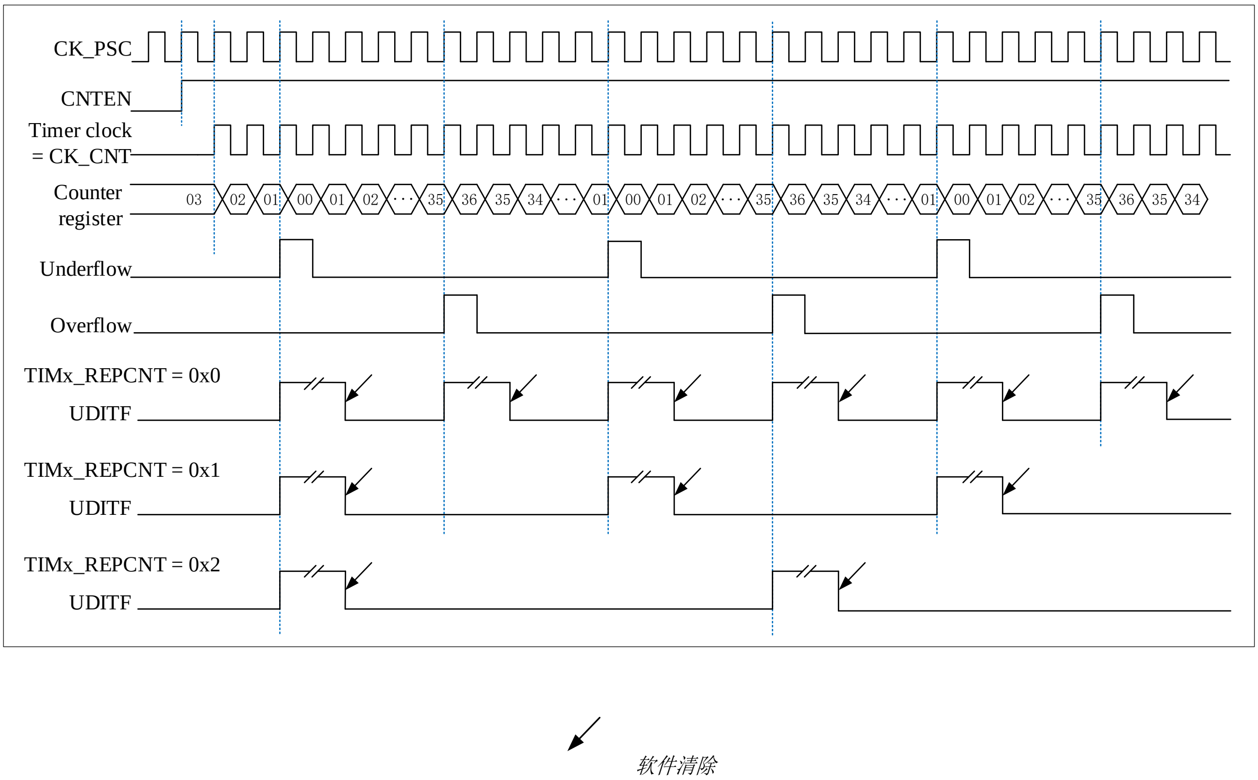
图 9-13 向上计数模式下的重复计数时序列图



软件清除

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-14 中央对齐模式下的重复计数时序图



9.5.4 时钟选择

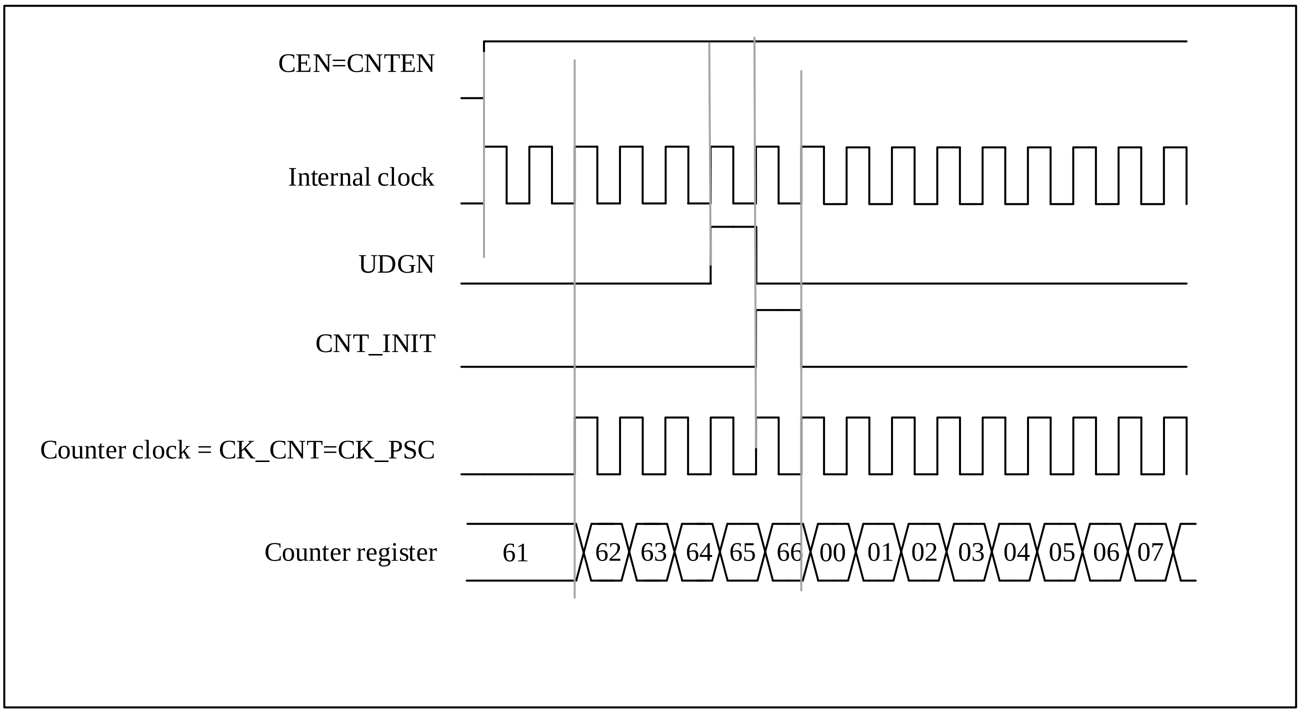
- CK_INT 高级控制定时器的内部时钟：CK_INT：
- 两种外部时钟模式：
  - 外部输入引脚
  - 外部触发输入 ETR
- 内部触发输入（ITRx)：一个定时器用作另一个定时器的预分频器

9.5.4.1 内部时钟源(CK_INT)

当 TIMx_SMCTRL.SMSEL 等于“0000”时，从模式控制器被禁用。 这三个控制位（TIMx_CTRL1.CNTEN、TIMx_CTRL1.DIR、TIMx_EVTGEN.UDGN）只能由软件改变（TIMx_EVTGEN.UDGN 除外，它保持自动清零）。 前提是 TIMx_CTRL1.CNTEN 位被软写为'1'，预分频器的时钟源由内部时钟 CK_INT 提供。

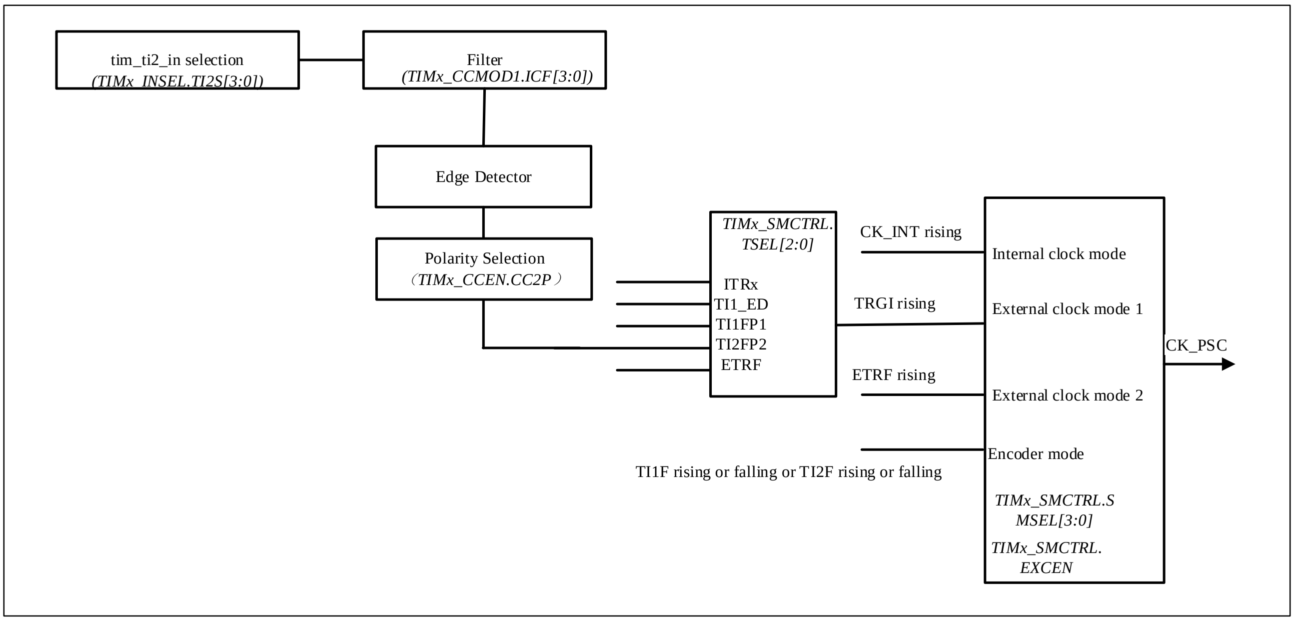
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-15 正常模式下的控制电路，内部时钟除以 1



9.5.4.2 外部时钟源模式 1

图 9-16 TI2 外部时钟连接示例



通过配置 TIMx_SMCTRL.SMSEL 等于‘0111’选择该模式。 计数器可以配置为在所选输入的时钟上升沿或下降沿进行计数。

例如，配置向上计数模式在 TI2 输入的时钟上升沿计数，配置步骤如下：

- 配置 TIMx_CCMOD1.CC2SEL 等于‘01’，CC2 通道配置为输入，IC2 映射到 TI2
- 配置 TIMx_CCEN.CC2P 等于‘0’，选择时钟上升沿极性

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

■ 通过配置 TIMx_CCMOD1.IC2F[3:0] 选择输入滤波器带宽（如果不需要滤波器，保持 IC2F 位为‘0000’）

■ 配置 TIMx_SMCTRL.SMSEL 等于‘0111’，选择定时器外部时钟模式 1

■ 配置 TIMx_ INSEL 寄存器 TIMx_INSEL. TI2S [3:0] 等于‘0000’，选择 TIM_CH2 作为 TI2 输入

■ 配置 TIMx_SMCTRL.TSEL 等于‘110’，选择 TI2 作为触发输入源

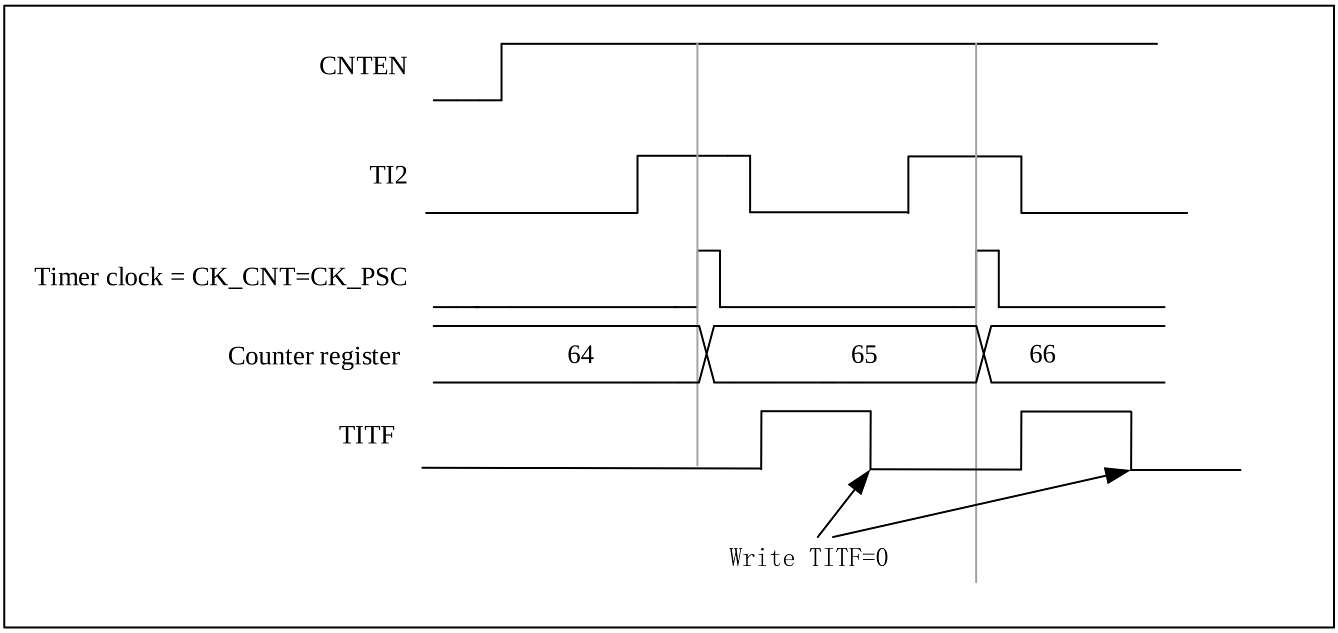
■ 配置 TIMx_CTRL1.CNTEN 等于 ‘1’ 以启动计数器

注意：捕获预分频器不用于触发，所以不需要配置

当定时器时钟的上升沿出现在 TI2=1 时，计数器计数一次并且 TIMx_STS .TITF 标志被拉高。

TI2 的上升沿与计数器实际时钟之间的延迟取决于 TI2 输入端的再同步电路。

图 9-17 外部时钟模式 1 的控制电路



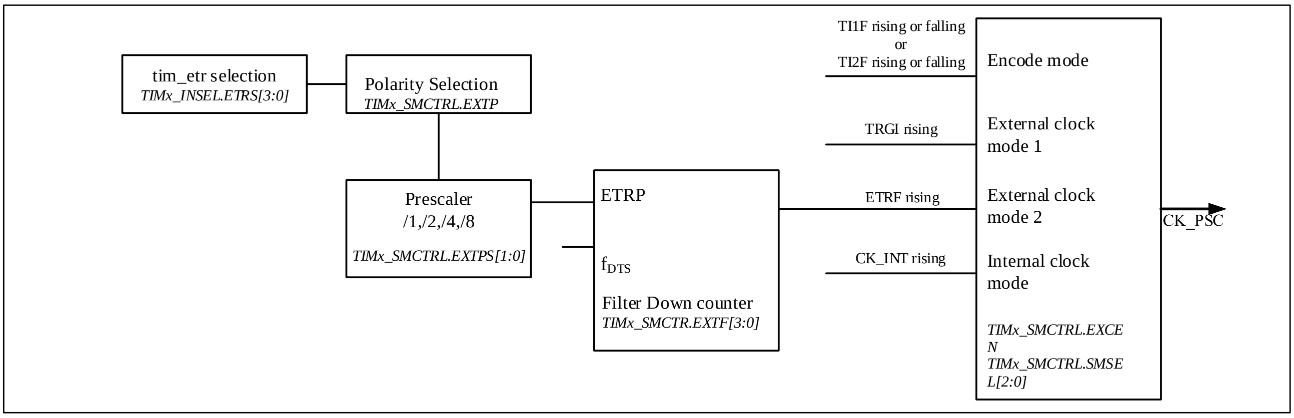
9.5.4.3 外部时钟源模式 2

此模式由 TIMx_SMCTRL.EXCEN 选择等于 1。计数器可以在外部触发输入 ETR 的每个上升沿或下降沿计数。

下图为外部时钟源模式 2 的外部触发输入模块示意图。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-18 外部触发输入框图

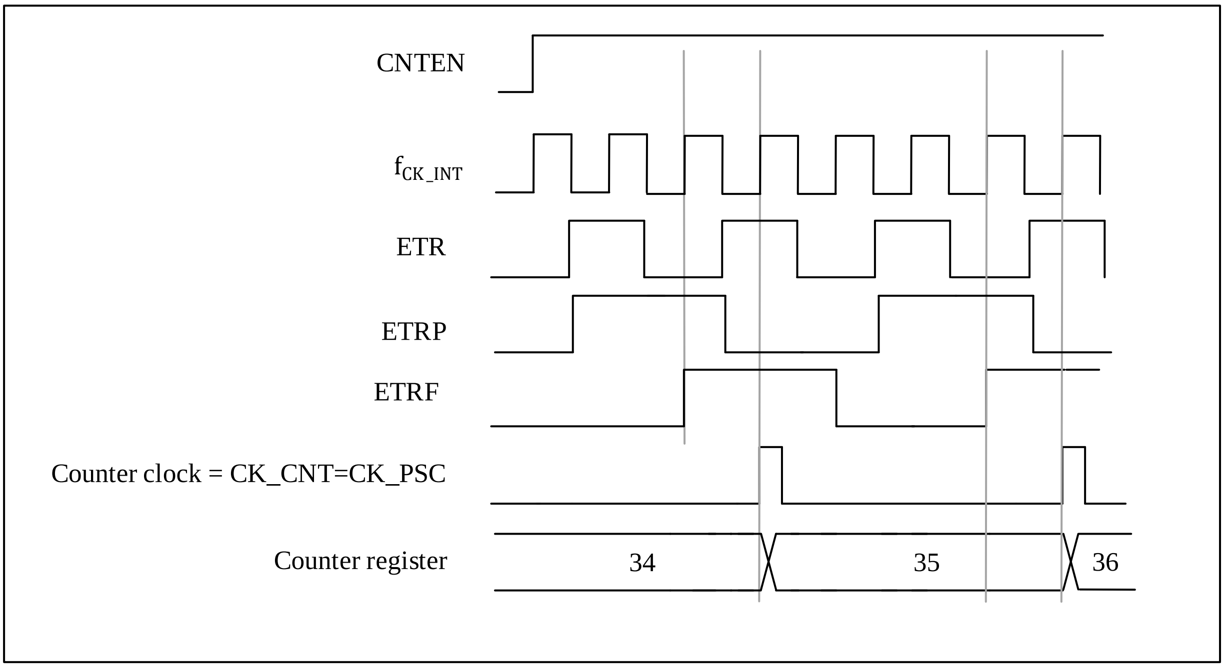


例如，使用以下配置步骤使向上计数器在 ETR 上每 2 个上升沿计数一次。

- 由于在这种情况下不需要滤波器，因此使 TIMx_SMCTRL .EXTF[3:0] 等于‘0000’
- 通过使 TIMx_SMCTRL.EXTPS[1:0] 等于 ‘01’ 来配置预分频器
- 通过设置 TIMx_SMCTRL.EXTP 等于‘0’来选择 ETR 引脚的极性，ETR 的上升沿有效
- 外部时钟模式 2 通过设置 TIMx_SMCTRL .EXCEN 等于‘1’来选择
- 通过设置 TIMx_CTRL1. CNTEN 等于“1”启动计数器。

计数器每 2 个 ETR 上升沿计数一次。 ETR 的上升沿与计数器的实际时钟之间的延迟是由于 ETRP 信号上的再同步电路造成的。

图 9-19 外部时钟模式 2 的控制电路



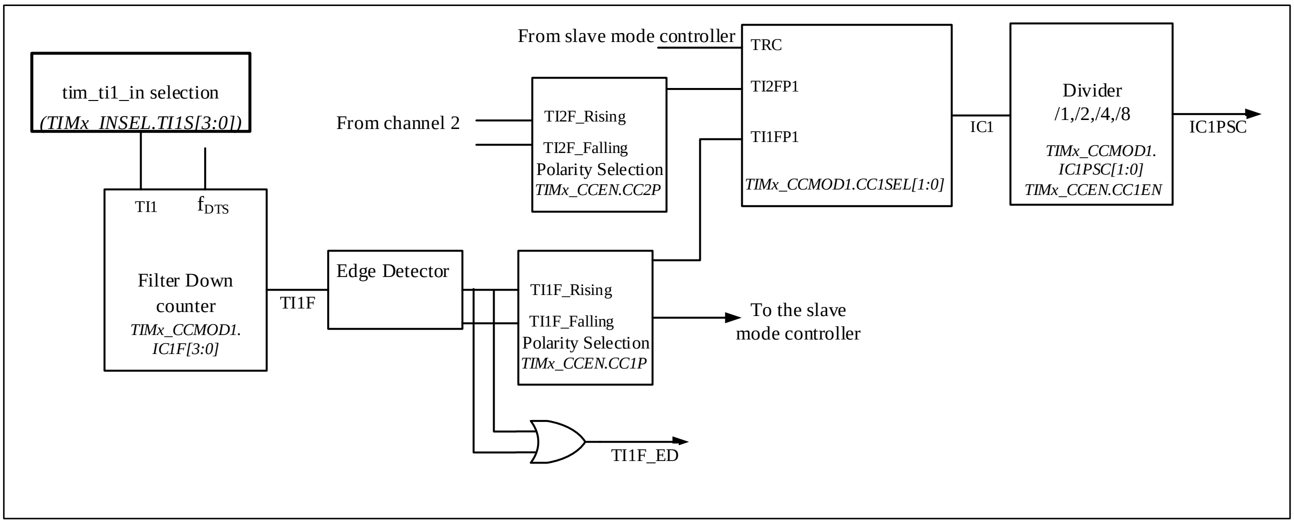
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

9.5.5 捕获/比较通道

捕获/比较通道包括捕获/比较寄存器和影子寄存器。 输入部分由数字滤波器、多路复用器和预分频器组成。输出部分包括比较器和输出控制。

输入信号 TIx 被采样和滤波以产生信号 TIxF。 然后由极性选择功能的边沿检测器生成信号（TIxF_rising 或 TIxF_falling），其极性由 TIMx_CCEN.CCxP 位选择。 该信号可用作从模式控制器的触发输入。 同时，信号 ICx 经过分频后送入捕获寄存器。 下图显示了捕获/比较通道的框图。

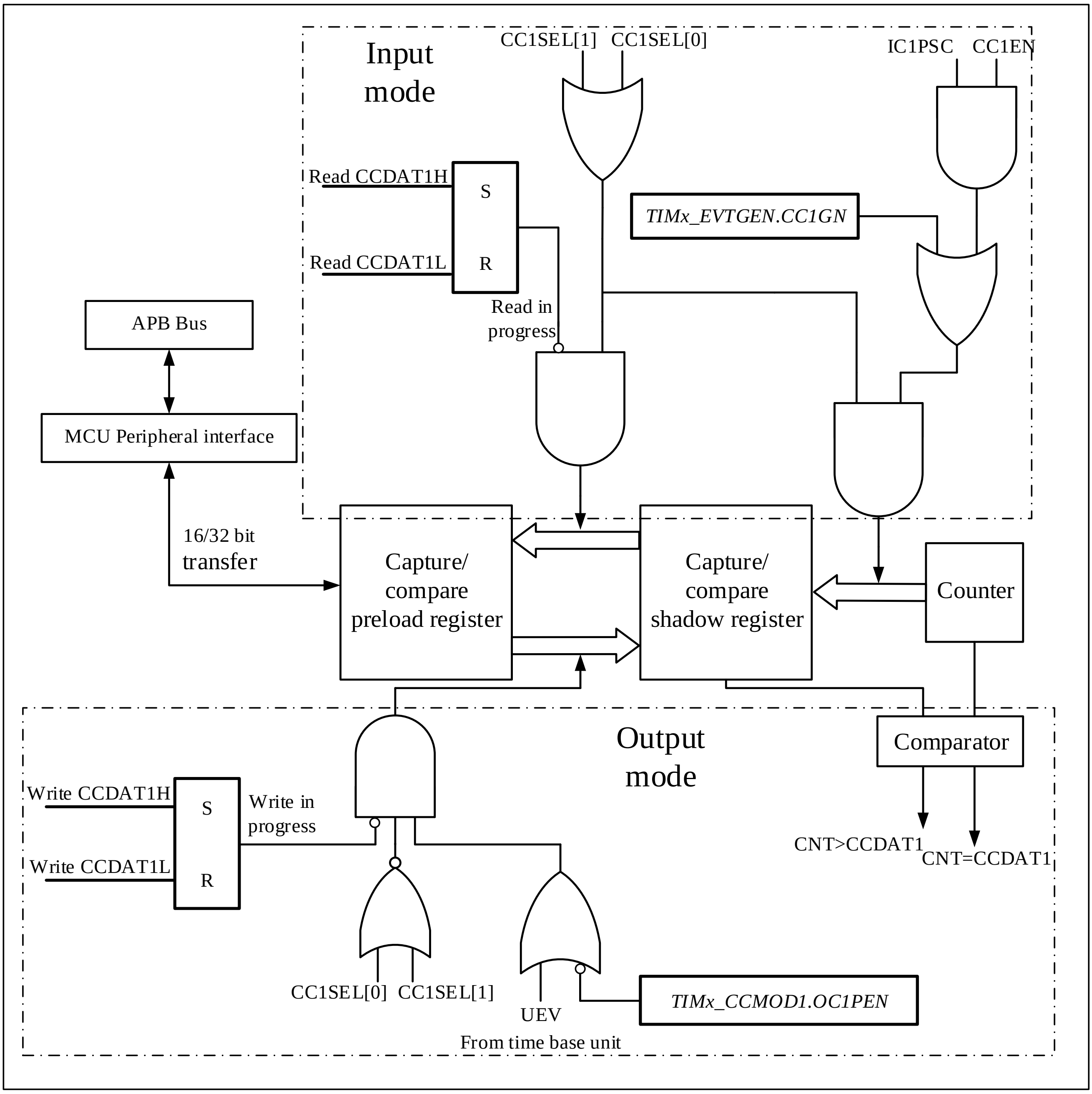
图 9-20 捕获/比较通道（例如：通道 1 输入级）



输出部分生成一个中间波形 OCxRef（高电平有效）作为参考。 极性作用在链的末端。

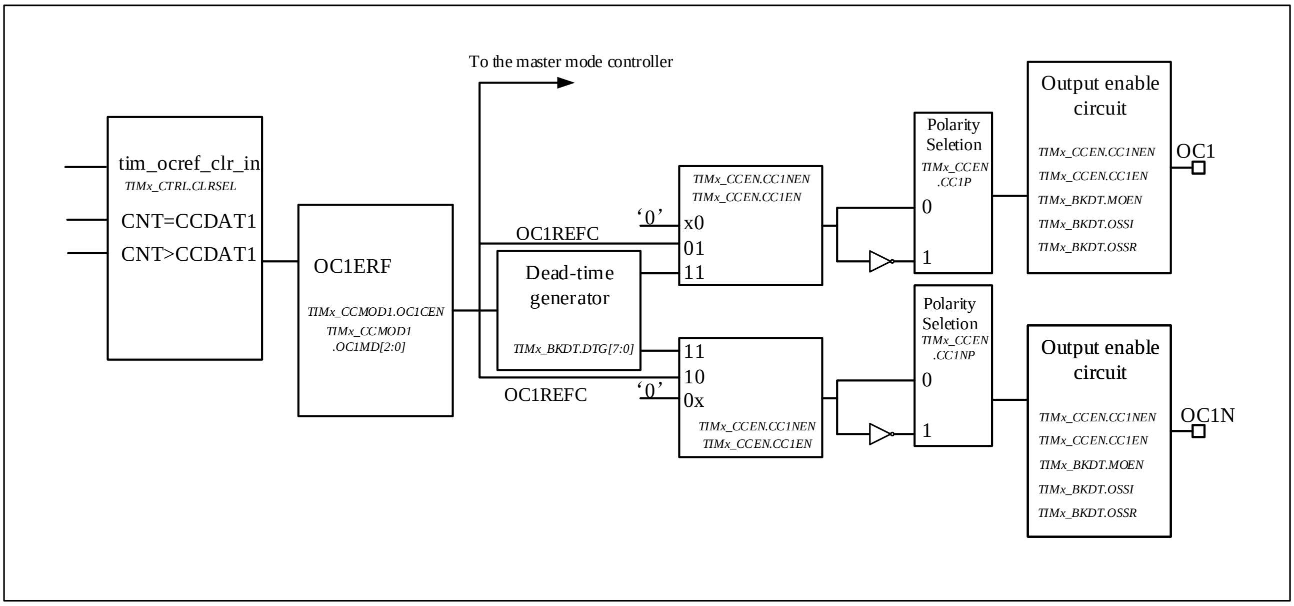
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-21 捕获/比较通道 1 主电路



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-22 通道 x 的输出部分（x= 1,2,3,4；以通道 1 为例子）



在捕获/比较时，读取和写入始终访问预加载的寄存器。 两个具体工作流程如下：

在捕获模式下，捕获实际上是在影子寄存器中完成的，然后将影子寄存器中的值复制到预加载寄存器中。

在比较模式下，与捕获模式相反，预加载寄存器的值被复制到影子寄存器中，并与计数器进行比较。

9.5.6 输入捕获模式

在捕获模式下，TIMx_CCDATx 寄存器用于在检测到 ICx 信号后锁存计数器值。

有一个捕获中断标志 TIMx_STS.CCxITF，如果相应的中断使能被拉高，它可以发出中断或 DMA 请求。

TIMx_STS.CCxITF 位在发生捕获事件时由硬件设置，并由软件或读取 TIMx_CCDATx 寄存器清零。

当 TIMx_CCDATx 寄存器中的计数器值被捕获并且 TIMx_STS.CC1ITF 被拉高时，重复捕获标志 TIMx_STS.CCxOCF 设置为 1。 与前者不同，TIMx_STS.CCxOCF 通过向其写入 0 来清除。

为实现 TI1 输入的上升沿将计数器值捕获到 TIMx_CCDAT1 寄存器中，配置流程如下：

■ 选择有效输入：

  将 TIMx_CCMOD1.CC1SEL 配置为“01”。 此时输入为 CC1 通道，IC1 映射到 TI1。

■ 编程所需的输入滤波器持续时间：

  通过配置 TIMx_CCMODx.ICxF 位来定义 TI1 输入的采样频率和数字滤波器的长度。 示例：如果输入信号抖动多达 5 个内部时钟周期，我们必须选择比这 5 个时钟周期更长的滤波器持续时间。 当检测到具有新电平的 8 个连续样本（以 f_{DTS} 频率采样）时，我们可以验证 TI1 上的转换。 然后配置 TIMx_CCMOD1. IC1F 到“0011”

■ 通过配置 TIMx_CCEN .CC1P=0，选择上升沿作为 TI1 通道的有效跳变极性

■ 配置输入预分频器。 在本例中，配置 TIMx_CCMOD1.IC1PSC= ‘00’ 以禁用预分频器，因为我们想要捕获每个有效转换

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

■ 通过配置 TIMx_CCEN .CC1EN = ‘1’ 启用捕获。

如果要使能 DMA 请求，可以配置 TIMx_DINTEN.CC1DEN=1。如果要使能相关中断请求，可以配置 TIMx_DINTEN.CC1IEN =1。

9.5.7 PWM 输入模式

PWM 输入模式和普通输入捕获模式有一些区别，包括:

■ 两个 ICx 信号映射到同一个 TIx 输入

■ 两个 ICx 信号在极性相反的边沿有效

■ 选择两个 TIxFP 信号之一作为触发输入

■ 从机模式控制器配置为复位模式

例如，下面的配置流程可以用来知道 TI1 上 PWM 信号的周期和占空比（这取决于 CK_INT 的频率和预分频器的值）。

■ 配置 TIMx_CCMOD1.CC1SEL 等于 ‘01’ 以选择 TI1 作为 TIMx_CCDAT1 的有效输入

■ 配置 TIMx_CCEN.CC1P 等于 ‘0’ 选择滤波定时器输入 1(TI1FP1) 的有效极性，在上升沿有效

■ 配置 TIMx_CCMOD1.CC2SEL 等于 ‘10’ 选择 TI1 作为 TIMx_CCDAT2 的有效输入

■ 配置 TIMx_CCEN.CC2P 等于‘1’选择滤波定时器输入 2(TI1FP2)的有效极性，下降沿有效

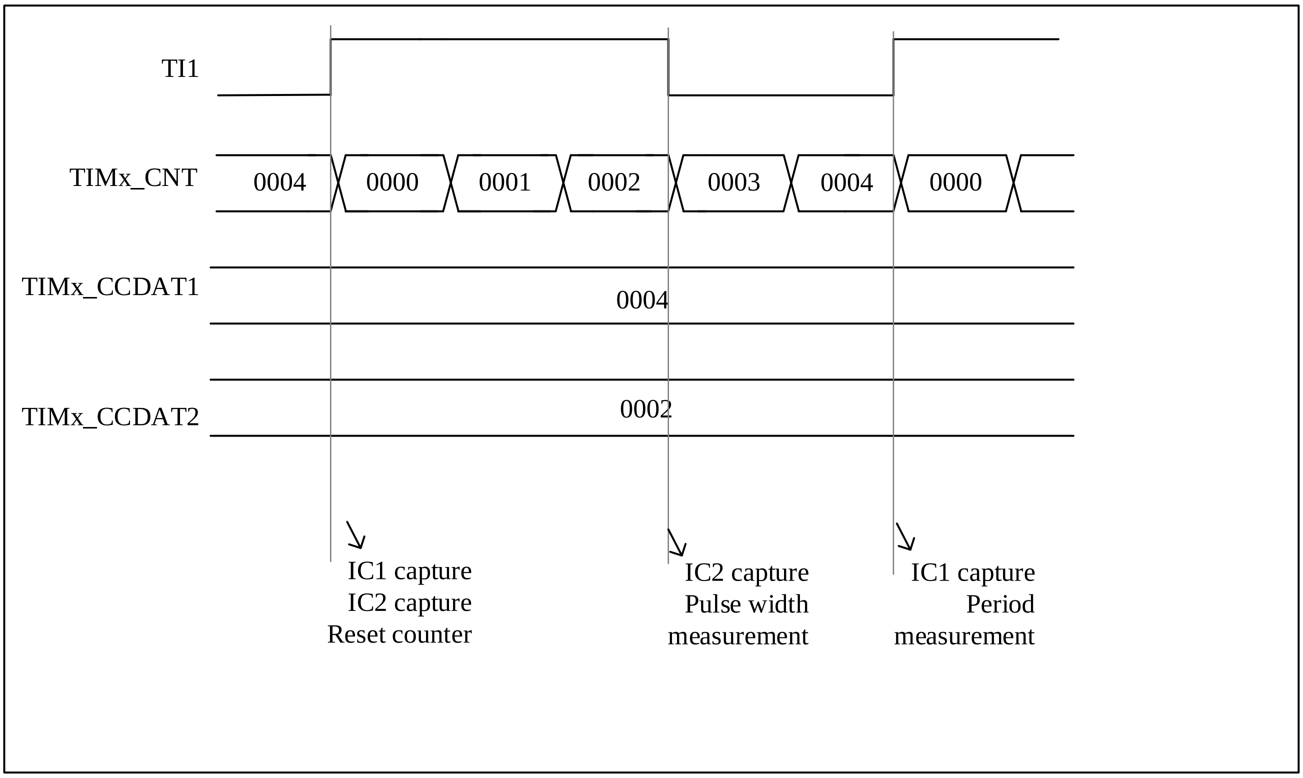
■ 配置 TIMx_SMCTRL.TSEL 等于‘101’ 选择 Filtered timer input 1 (TI1FP1) 作为有效触发输入

■ 配置 TIMx_SMCTRL.SMSEL 等于‘0100’ 配置从模式控制器为复位模式

■ 配置 TIMx_CCEN.CC1EN 等于‘1’和 TIMx_CCEN.CC2EN 等于‘1’以启用捕获

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-23 PWM 输入模式时序



由于只有滤波器定时器输入 1 (TI1FP1) 和滤波器定时器输入 2 (TI2FP2) 连接到从模式控制器，因此 PWM 输入模式只能与 TIMx_CH1/TIMx_CH2 信号一起使用。

9.5.8 强制输出模式

在输出模式（TIMx_CCMODx.CCxSEL 等于'00'）下，软件可以直接将输出比较信号强制为有效或无效电平。

用户可以设置 TIMx_CCMODx.OCxMD 等于'101' 强制输出比较信号为有效电平。OCxREF 将被强制为高电平，OCx 得到与 CCxP 极性位相反的值。另一方面，用户可以设置 TIMx_CCMODx.OCxMD 等于'100' 强制输出比较信号为无效电平，即 OCxREF 被强制为低电平。

在此模式下，TIMx_CCDATx 影子寄存器和计数器的值仍然相互比较。

输出比较寄存器 TIMx_CCDATx 和计数器 TIMx_CNT 之间的比较对 OCxREF 没有影响。并且仍然可以设置标志。因此，仍然可以发送中断和 DMA 请求。

9.5.9 输出比较模式

用户可以使用此模式来控制输出波形，或指示一段时间已过。

当捕获/比较寄存器和计数器的值相同时，输出比较函数的操作如下：

- TIMx_CCMODx.OCxMD 为输出比较模式，TIMx_CCEN.CCxP 为输出极性。当比较匹配时，如果设置 TIMx_CCMODx.OCxMD 等于'000'，则输出管脚将保持其电平；如果设置 TIMx_CCMODx.OCxMD 等于'001'，则设置输出管脚有效；如果设置 TIMx_CCMODx.OCxMD 等于'010'，则输出管脚将为 设置为无效；如果设置 TIMx_CCMODx.OCxMD 等于'011'，则输出引脚将设置为翻转。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 设置 TIMx_STS.CCxITF
- 如果用户设置了 TIMx_DINTEN.CCxIEN，将产生相应的中断
- 如果用户设置 TIMx_DINTEN.CCxDEN 并设置 TIMx_CTRL2.CCDSEL 选择 DMA 请求，将发送 DMA 请求

用户可以设置 TIMx_CCMODx.OCxPEN 来选择是否使用捕获/比较预加载寄存器（TIMx_CCDATx）来选择捕获/比较影子寄存器。

时间分辨率是计数器的一个计数周期。

在单脉冲模式下，输出比较模式也可用于输出单脉冲。

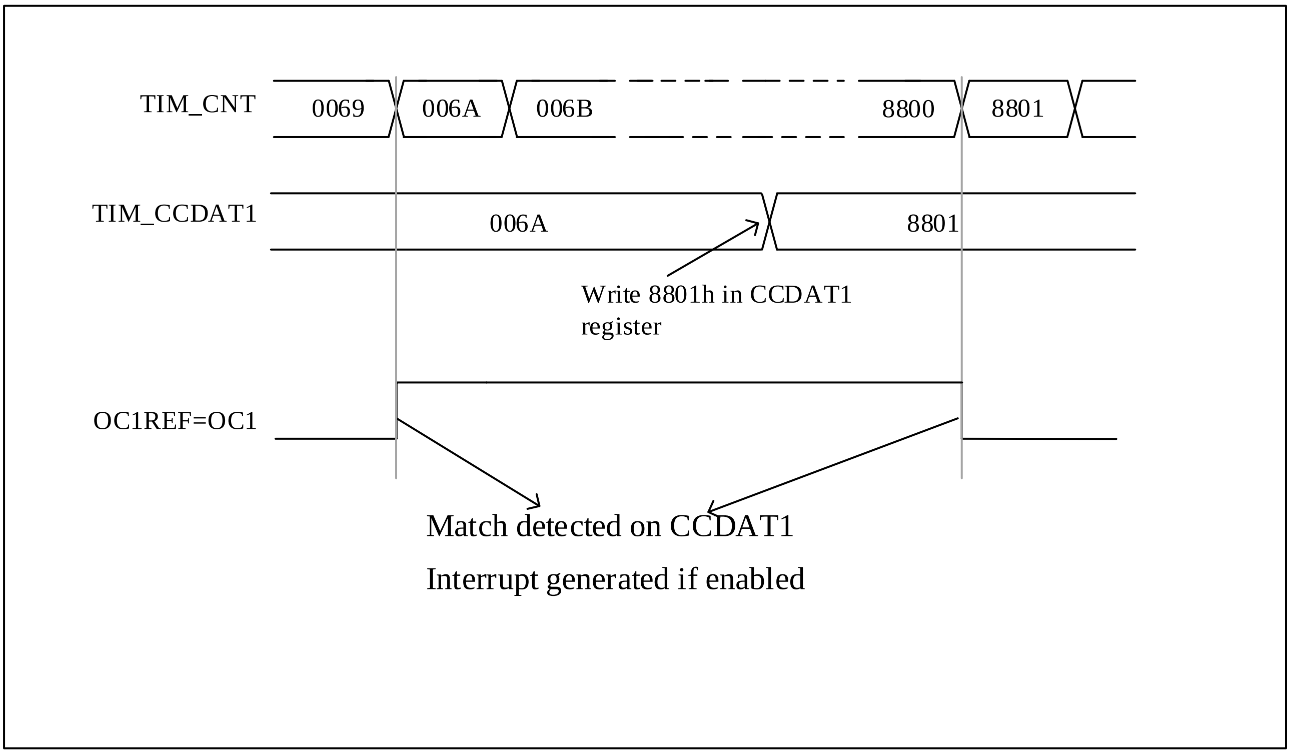
以下是输出比较模式的配置步骤：

- 首先，用户应该选择计数器时钟
- 其次，用所需数据设置 TIMx_AR 和 TIMx_CCDATx
- 如果用户需要产生中断，设置 TIMx_DINTEN.CCxIEN
- 然后通过设置 TIMx_CCEN.CCxP、TIMx_CCMODx.OCxMD、TIMx_CCEN.CCxEN 等选择输出模式
- 最后，设置 TIMx_CTRL1.CNTEN 启用计数器

用户可以随时通过设置 TIMx_CCDATx 来更新输出波形，只要不启用预加载寄存器。 否则，TIMx_CCDATx 影子寄存器将在下一次更新事件中更新。

例如：

图 9-24 输出比较模式，开启 OC1



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

9.5.10 PWM 模式

用户可以使用 PWM 模式产生一个信号，其占空比由 TIMx_CCDATx 寄存器的值决定，其频率由 TIMx_AR 寄存器的值决定。 并且取决于 TIMx_CTRL1.CAMSEL 的值，TIM 可以在边沿对齐模式或中央对齐模式下产生 PWM 信号。

用户可以通过设置 TIMx_CCMODx. OCxMD 等于'110' 或设置 TIMx_CCMODx.OCxMD 等于'111'来设置 PWM 模式 1 或 PWM 模式 2。 要使能预加载寄存器，用户必须设置相应的 TIMx_CCMODx.OCxPEN。然后设置 TIMx_CTRL1.ARPEN 自动重装载预加载寄存器。

用户可以通过设置 TIMx_CCEN.CCxP 来设置 OCx 的极性。 另一方面，要使能 OCx 的输出，用户需要在 TIMx_CCEN 和 TIMx_BKDT 中设置 CCxEN、CCxNEN、MOEN、OSSI 和 OSSR 的值的组合。

当 TIM 处于 PWM 模式时，TIMx_CNT 和 TIMx_CCDATx 的值总是相互比较。

只有当更新事件发生时，预加载寄存器才会转移到影子寄存器。 因此，用户必须在计数器开始计数之前通过设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 来复位所有寄存器。

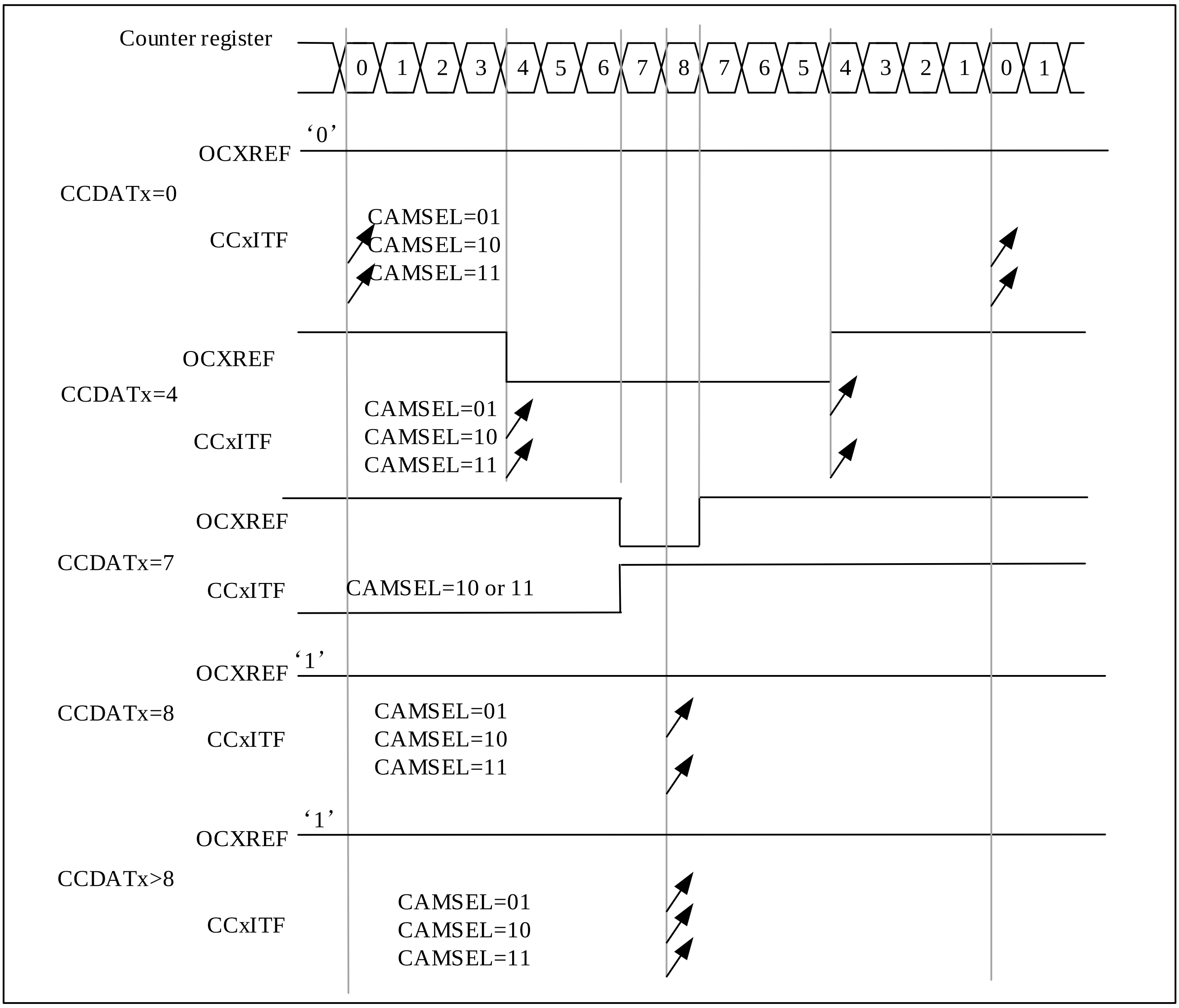
9.5.10.1 PWM 中央对齐模式

如果用户设置 TIMx_CTRL1.CAMSEL 等于'01'、 '10'或 '11'，PWM 中央对齐模式将被激活。 比较标志的设置取决于 TIMx_CTRL1.CAMSEL 的值。 设置比较标志的情况有 3 种，仅当计数器向上计数时，仅当计数器向下计数时，或当计数器向上计数和向下计数时。 用户不应通过软件修改 TIMx_CTRL1.DIR，它是由硬件更新的。

中央对齐 PWM 波形示例如下，波形设置为：TIMx_AR=8，PWM 模式 1，当计数器向下计数对应 TIMx_CTRL1.CAMSEL 等于'01' 时设置比较标志。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-25 中央对齐的 PWM 波形 (AR=8)



使用中央对齐模式时用户应注意的事项如下：

- 计数器向上或向下计数取决于 TIMx_CTRL1.DIR 的值。 注意不要同时更改 DIR 和 CAMSEL 位
- 用户在中央对齐模式下不要写计数器，否则会导致意想不到的结果。 例如：
  - 如果写入计数器的值为 0 或者是 TIMx_AR 的值，则方向会被更新，但不会产生更新事件
  - 如果写入计数器的值大于自动重载的值，则方向不会更新
- 为了安全起见，建议用户在启动计数器之前设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 以通过软件生成更新，并且在计数器运行时不要写入计数器

9.5.10.2 PWM 中央对齐非对称模式

关于 PWM 中央对齐非对称模式请查阅9.5.2.3.2。

9.5.10.3 PWM 边沿对齐模式

边沿对齐模式有两种配置，向上计数和向下计数。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- **向上计数**

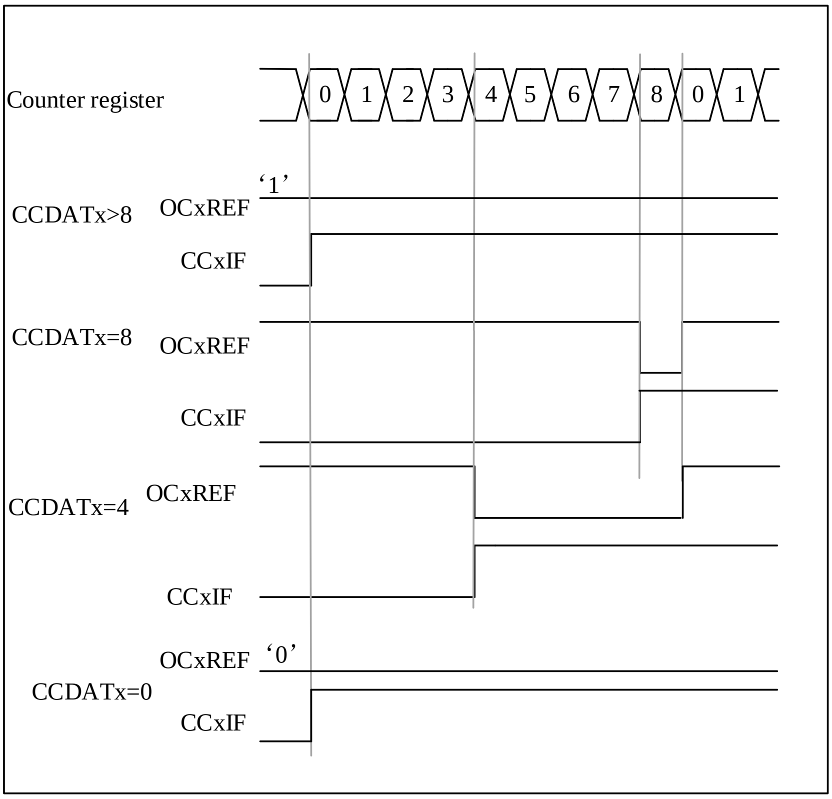
用户可以设置 TIMx_CTRL1.DIR 等于‘0’使计数器向上计数。

PWM 模式 1 的示例：

当 TIMx_CNT < TIMx_CCDATx 时， OCxREF 为高电平，否则为低电平。 如果 TIMx_CCDATx 中的比较值大于自动重载值，则 OCxREF 将保持为 1。相反，如果比较值为 0，则 OCxREF 将保持为 0。

当 TIMx_AR=8 时，PWM 波形如下：

图 9-26 边沿对齐 PWM 波形 (AR=8)



- **向下计数**

用户可以设置 TIMx_CTRL1.DIR 等于‘1’ 使计数器向下计数。
PWM 模式 1 的示例：

当 TIMx_CNT > TIMx_CCDATx 时，OCxREF 为低电平，否则为高电平。 如果 TIMx_CCDATx 中的比较值大于自动重载值，则 OCxREF 将保持为 1。

注：若第 n 个 PWM 周期 CCDATx 影子寄存器>=AR 值，第 n+1 个 PWM 周期 CCDATx 的影子寄存器值是 0。在第 n+1 个 PWM 周期的计数器为 0 的时刻，虽然计数器 = CCDATx 影子寄存器的值 = 0，OCxREF = ‘0’，但不会产生比较事件。

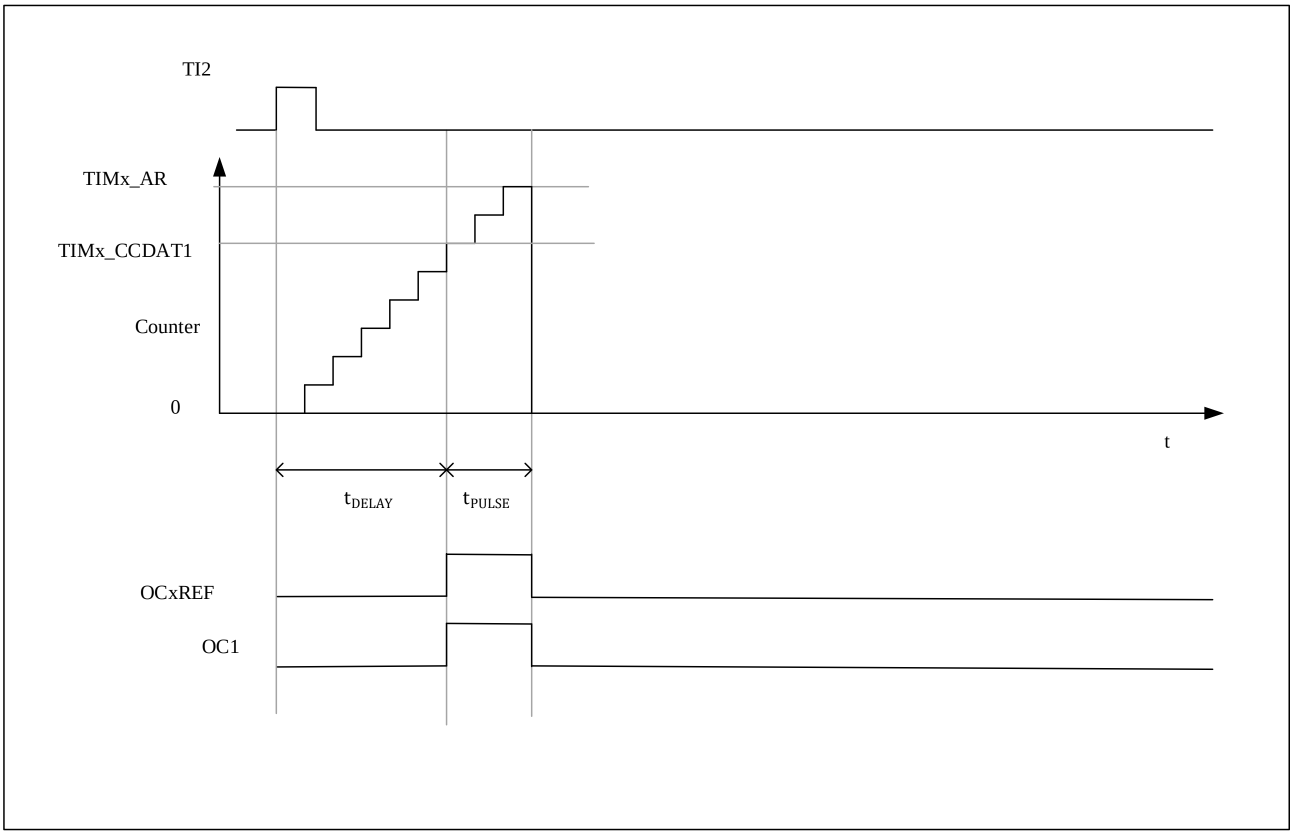
9.5.11 单脉冲模式

在单脉冲模式(ONEPM)中，接收到触发信号，经过可控延迟 t_{DELAY} 后产生脉宽可控的脉冲 t_{PULSE}。 输出模式需要配置为输出比较模式或 PWM 模式。 选择单脉冲模式后，计数器会在更新事件 UEV 产生后停

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

止计数。

图 9-27 单脉冲模式示例



以下是单脉冲模式的示例：

从 TI2 输入检测到上升沿触发，延迟 t_{DELAY} 后在 OC1 上产生宽度为 t_{PULSE} 的脉冲。

1. 计数器配置：向上计数，计数器 TIMx_CNT < TIMx_CCDAT1 ≤ TIMx_AR；
2. TI2FP2 映射到 TI2，TIMx_CCMOD1.CC2SEL 等于‘01’；TI2FP2 配置为上升沿检测，TIMx_CCEN.CC2P 等于‘0’；
3. TI2FP2 充当从模式控制器的触发器（TRGI）并启动计数器，TIMx_SMCTRL.TSEL 等于‘110’，TIMx_SMCTRL.SMSEL 等于‘0110’（触发模式）；
4. TIMx_CCDAT1 写入要延迟的计数值（t_{DELAY}），TIMx_AR-TIMx_CCDAT1 为脉宽 t_{PULSE} 的计数值；
5. 配置 TIMx_CTRL1.ONEPM 等于‘01’使能单脉冲模式，配置 TIMx_CCMOD1.OC1MD 等于‘111’选择 PWM2 模式；
6. 等待 TI2 有外部触发事件，OC1 输出一个单脉冲波形；

9.5.11.1 特殊情况：OCx 快速使能：

在单脉冲模式下，通过 TIx 输入检测到一个边沿，并触发计数器开始计数到比较值，然后输出一个脉冲。这些操作限制了可以达到的最小延迟 t_{DELAY}。

您可以设置 TIMx_CCMODx.OCxFEN 等于‘1’开启 OCx 快速使能，在触发上升沿后，OCxREF 信号将被强制转换为与比较匹配立即发生的电平相同的电平，而不管比较结果如何。 OCxFEN 快速使能仅在通道模

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

式配置为 PWM1 和 PWM2 模式时生效。

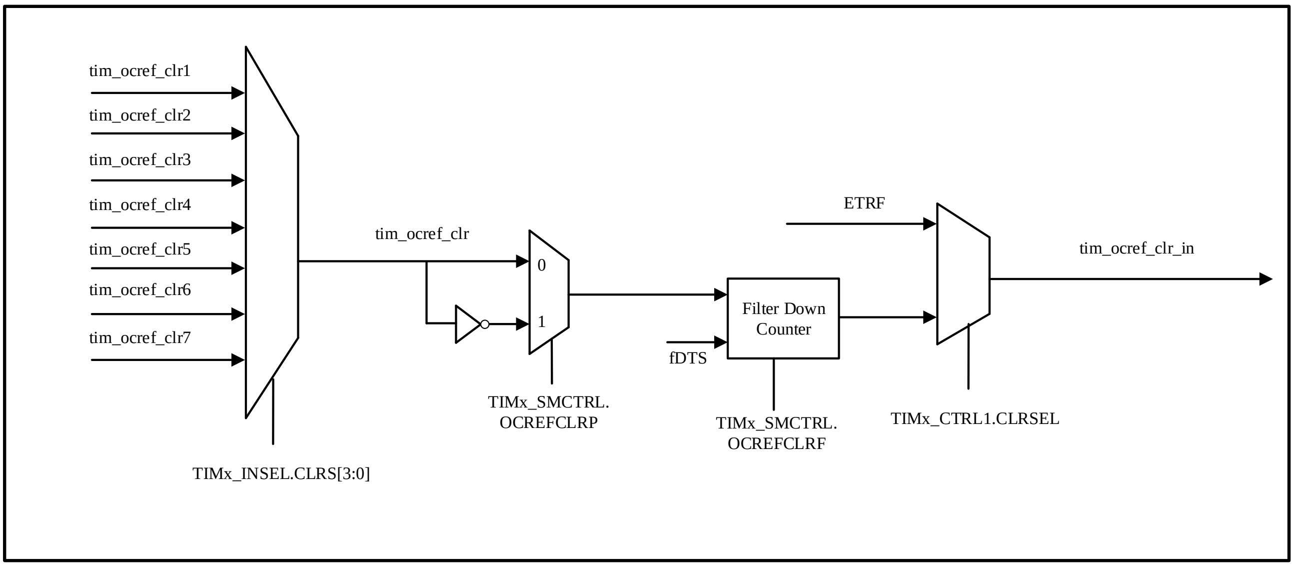
9.5.12 在外部事件上清除 OCxREF 信号

如果用户设置 TIMx_CCMODx.OCxCEN 等于‘1’， tim_ocref_clr_in 输入的高电平可用于驱动 OCxREF 信号为低电平，OCxREF 信号将保持低电平，直到下一次 UEV 发生。 只有输出比较和 PWM 模式可以使用该功能。 在强制模式下不能使用。

输入清除信号 tim_ocref_clr_in 可以通过 TIMx_CTRL1 寄存器中的 CLRSEL 位选择为 tim_ocref_clr 或者 ETRF。

tim_ocref_clr 信号可以通过 TIMx_INSEL 寄存器中的 CLRS[3:0]进行选择，如下图所示。

图 9-28 外部事件清除 OCxREF 信号



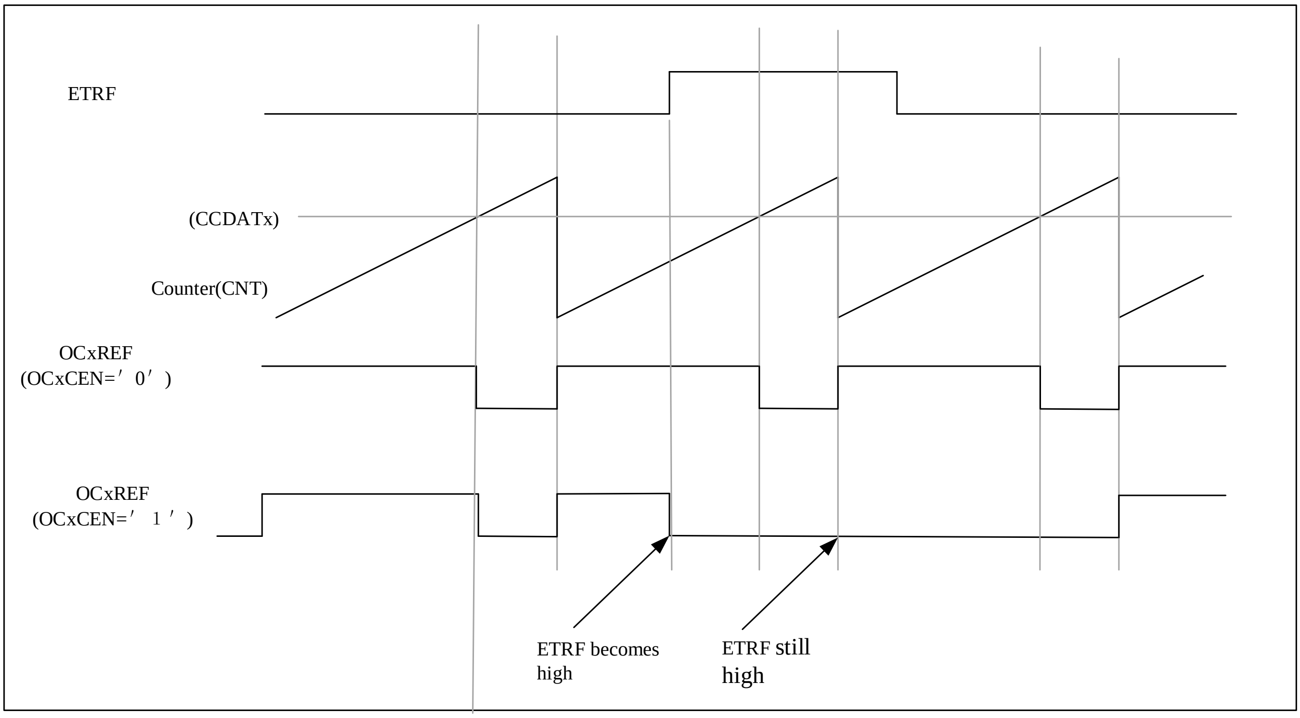
注意：OCxREF 清除信号有 ETRF 信号，没有 tim_ocref_clr 输入信号，上图供参考。

例：当 tim_ocref_clr_in 信号选择 ETRF 时，tim_etr_in 配置如下：

- 设置 TIMx_SMCTRL.EXTPS 等于‘00’ 禁用外部触发预分频器。
- 设置 TIMx_SMCTRL.EXCEN 等于‘0’ 禁用外部时钟模式 2。
- 设置 TIMx_SMCTRL.EXTP 和 TIMx_SMCTRL.EXTF，根据需要配置外触发极性和外触发滤波器。
- 当 ETRF 输入变高时，OCxREF 信号对于不同的 OCxCEN 值的行为。在这种情况下，定时器设置为 PWM 模式。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-29 清除 TIMx 的 OCxREF



9.5.13 互补输出和死区插入

高级控制定时器可以输出两个互补信号，并管理输出的关闭和打开。这称为死区时间。用户应根据连接到输出的设备及其特性调整死区时间。

用户可以通过设置 TIMx_CCEN.CCxP 和 TIMx_CCEN.CCxNP 来选择输出的极性。并且此选择对于每个输出都是独立的。

用户可以通过设置几个控制位的组合来控制互补信号 OCx 和 OCxN，它们分别是 TIMx_CCEN.CCxEN、TIMx_CCEN.CCxNEN、TIMx_BKDT.MOEN、TIMx_CTRL2.OIx、TIMx_CTRL2.OIxN、TIMx_BKDT.OSSI 和 TIMx_BKDT.OSSR。当切换到空闲状态时，死区时间将被激活。

如果用户同时设置 TIMx_CCEN.CCxEN 和 TIMx_CCEN.CCxNEN，则会插入死区时间。如果有刹车，还要设置 TIMx_BKDT.MOEN。每个通道都有 10 位死区时间发生器。

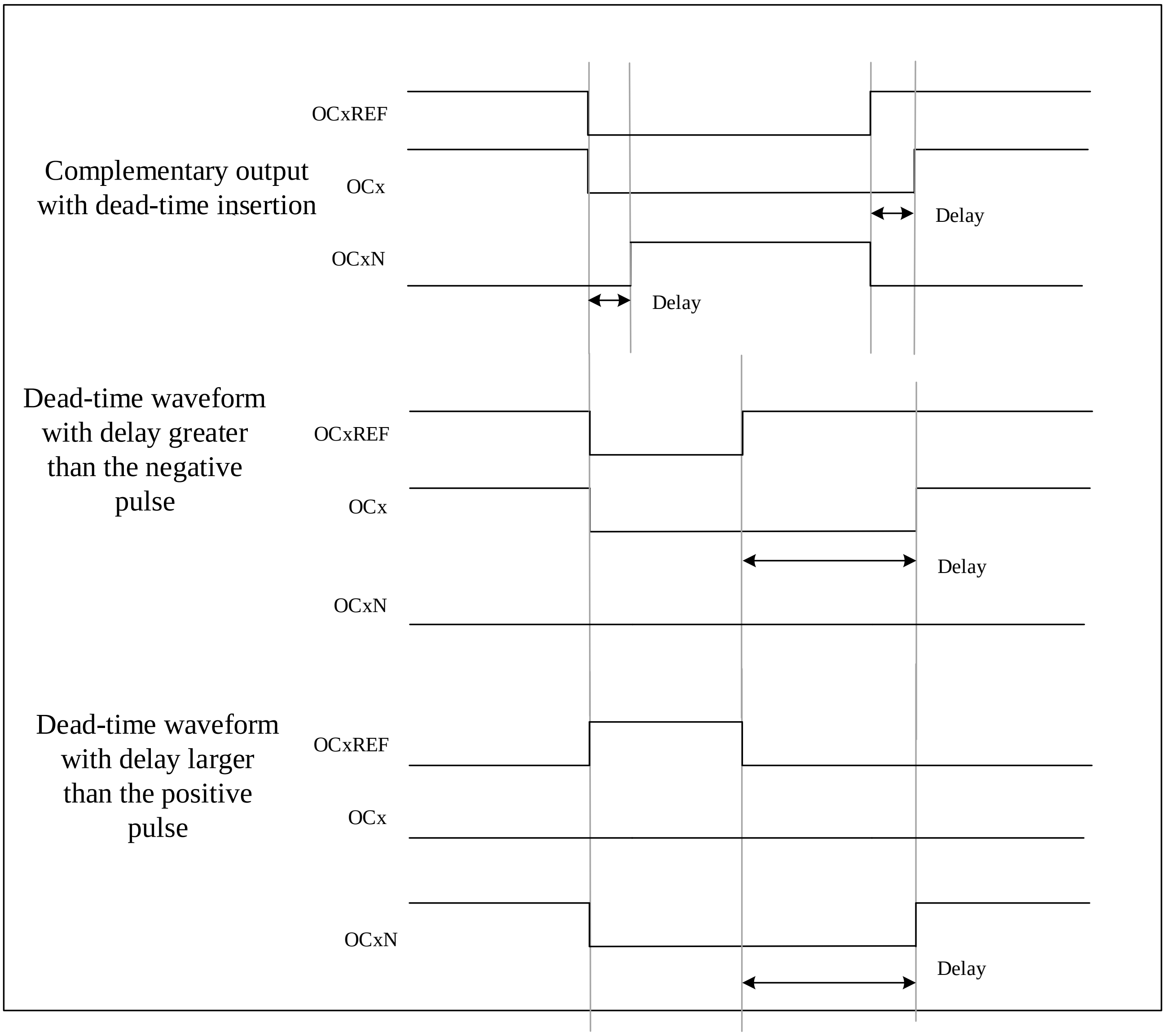
参考波形 OCxREF 可以生成 2 个输出 OCx 和 OCxN。如果 OCx 和 OCxN 为高电平有效，则 OCx 输出信号与参考信号相同，而 OCxN 输出信号与参考信号相反。但是，OCx 输出信号将相对于参考上升沿延迟，而 OCxN 输出信号将相对于参考下降沿延迟。如果延迟大于有效 OCx 或 OCxN 输出的宽度，则不会产生相应的脉冲。

死区时间发生器的输出信号与参考信号 OCxREF 之间的关系如下。

假设 TIMx_CCEN.CCxP=0，TIMx_CCEN.CCxNP=0，TIMx_BKDT.MOEN=1，TIMx_CCEN.CCxEN=1，TIMx_CCEN.CCxNEN=1。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-30 带死区插入的互补输出



用户可以设置 TIMx_BKDT.DTGN 来编程每个通道的死区时间延迟。

9.5.13.1 重定向 OCxREF 到 OCx 或 OCxN

在输出模式下，用户可以设置 TIMx_CCEN.CCxEN 和 TIMx_CCEN.CCxNEN 以将 OCxREF 重定向到 OCx 输出或 OCxN 输出。

这里有两种使用这个功能的方法。 当互补保持在其无效电平时，用户可以使用此功能发送特定波形，例如 PWM 或静态有效电平。用户还可以使用此功能将两个输出设置为无效电平，或将两个输出都设置为有效，两者互补且带死区。

如果用户设置 TIMx_CCEN.CCxEN=0 和 TIMx_CCEN.CCxNEN=1，两者不互补，当 OCxREF 为高电平时 OCxN 将变为有效。另一方面，如果用户设置 TIMx_CCEN.CCxEN=1 和 TIMx_CCEN.CCxNEN=1，当 OCxREF 为高电平时，OCx 将变为有效。相反，当 OCxREF 为低电平时，OCxN 将变为有效。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

9.5.14 刹车功能

使用刹车功能时，设置相应的控制位时会修改输出使能信号和无效电平。但是，无论何时，OCx 和 OCxN 的输出都不能同时处于有效电平，即需要满足（CCxP ^ OIx）^（CCxNP^OIxN）! = 0。

当启用多个刹车信号时，每个刹车信号构成一个 OR 逻辑。这里有一些信号可能是刹车的来源。

刹车 1：

- 刹车 1 输入引脚。
- 时钟失效事件，由时钟 RCC 中的时钟安全系统（CSS）生成。
- PVD 事件。
- 内核 Hardfault 事件。
- SRAM ECC 错误。
- SRAM 奇偶校验错误。
- FLASH ECC 错误。
- DSMU 的输出信号。
- 软件设置 TIMx_EVTGEN.BGN。

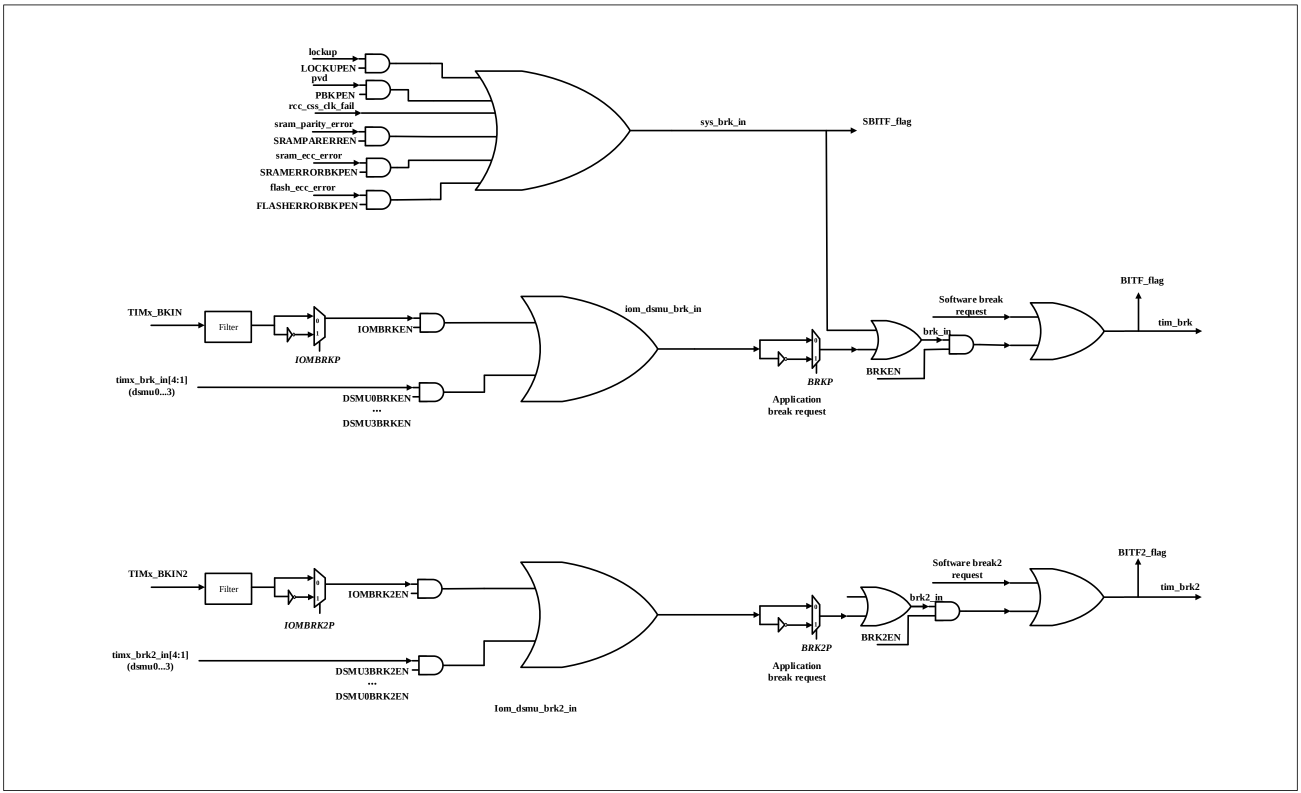
刹车 2：

- 刹车 2 输入引脚。
- DSMU 的输出信号。
- 软件设置 TIMx_EVTGEN.BGN。

在所有源进入定时器 tim_brk 或 tim_brk2 输入之前，对其进行或运算，如下图所示。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-31 刹车输入



注意：只有禁止可编程滤波器时才能保证异步（无时钟）操作。如果使能可编程滤波器，必须使用故障安全时钟模式（例如，使用内部 PLL 和/或 CSS）来保证能够处理断路事件。

复位后刹车电路将被禁用。 MOEN 位将为低电平。用户可以设置 TIMx_BKDT.BKEN/ BK2EN 来启用刹车功能。通过设置 TIMx_BKDT.BKP/BK2P 可以选择刹车输入信号的极性。用户可以同时修改 TIMx_BKDT.BKEN/BK2EN 和 TIMx_BKDT.BKP/BK2P 。用户设置 TIMx_BKDT.BKEN/BK2EN 和 TIMx_BKDT.BKP/BK2P 后，生效前有 1 个 APB 时钟周期延迟。因此，用户需要等待 1 个 APB 时钟周期才能读回写入位的值。

MOEN 的下降沿可以是异步的，所以在实际信号和同步控制位之间设置了一个再同步电路。该电路将导致异步和同步信号之间的延迟。当用户设置 TIMx_BKDT.MOEN 为低电平时，用户需要在读取该值之前插入一个延迟。因为写入了异步信号，但用户读取了同步信号。

刹车发生后的行为如下：

- TIMx_BKDT.MOEN 将被异步清除，然后输出将进入无效状态、空闲状态或复位状态。通过设置 TIMx_BKDT.OSSI 选择输出状态。即使 MCU 振荡器关闭，这也会生效。
- 一旦 TIMx_BKDT.MOEN=0，每个输出通道的输出将使用 TIMx_CTRL2.OIx 中编程的电平驱动。如果 TIMx_BKDT.OSSI=0，定时器将释放使能输出（由 GPIO 控制器接管），否则将保持高电平。
- 如果用户选择使用互补输出，TIM 的行为如下
  - 取决于极性，输出将首先设置为复位状态。它是一个异步选项，因此即使没有为计时器提供时钟，它仍然可以工作。
  - 如果仍然提供定时器时钟，死区发生器将重新激活，当（CCxP ^ OIx）^（CCxNP^OIxN）! = 0，即 OCx 和 OCxN 仍然不能同时被驱动到有效电平，在死区时间后时根据 TIMx_CTRL2.OIx 和

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

TIMx_CTRL2.OIxN 的值驱动输出。请注意，由于 MOEN 上的重新同步（大概 2 个 ck_tim 周期），死区时间将比平时长。

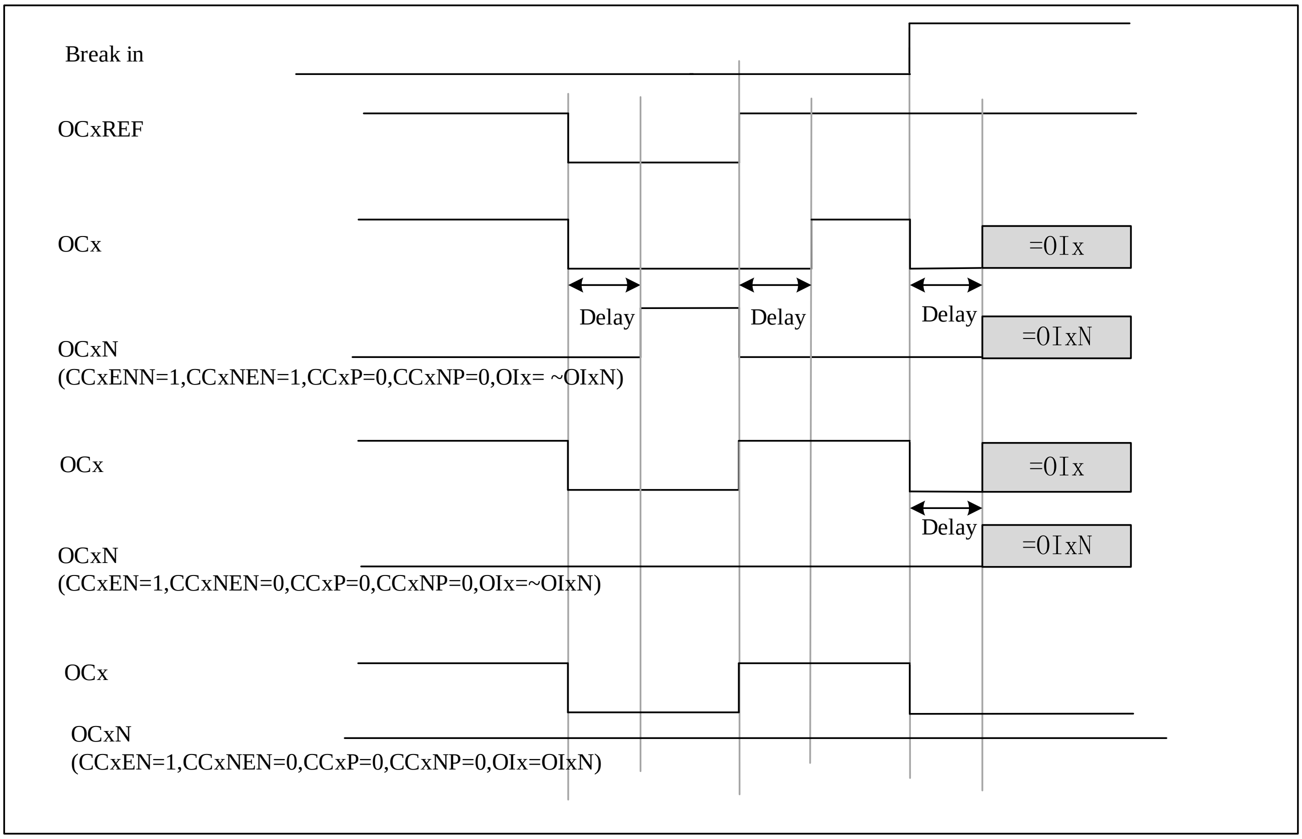
- 如果 TIMx_BKDT.OSSI=0，定时器将释放输出控制。否则，如果使能输出为高电平，它将保持为高电平。如果为低电平，则在 TIMx_CCEN.CCxEN 或 TIMx_CCEN.CCxNEN 为高电平时变为高电平。

- 如果 TIMx_DINTEN.BIEN=1，当 TIMx_STS.BITF=1 时，会产生中断。
- 如果用户设置了 TIMx_BKDT.AOEN，TIMx_BKDT.MOEN 将在下一次 UEV 发生时自动设置。用户可以使用它来调节。如果用户未设置 TIMx_BKDT.AOEN，则 TIMx_BKDT.MOEN 将保持低电平，直到再次设置为 1。在这种情况下，用户可以使用它来保证安全。用户可以将刹车输入连接到热传感器、电源驱动器警报或其他安全组件。
- 刹车输入有效时，TIMx_BKDT.MOEN 不能自动置位或软件同时置位，TIMx_STS.BITF 也不能清零。因为刹车输入在电平上处于有效状态。

为保证应用安全，刹车电路具有写保护功能，并有刹车输入输出管理。它允许用户冻结一些参数，例如死区持续时间、OCx/OCxN 极性和禁用时的状态、OCxMD 配置、刹车启用和极性。用户可以通过设置 TIMx_BKDT.LCKCFG 选择使用 3 种保护级别之一。但是，TIMx_BKDT.LCKCFG 只能在 MCU 复位后写入一次。

响应刹车的输出行为示例如下

图 9-32 响应刹车的输出行为



两个刹车输入针对定时器输出具有不同的行为：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

■ tim_brk 输入可禁止（无效状态）PWM 输出，也可将 PWM 输出强制为预定义的安全状态。

■ tim_brk2 只能禁止（无效状态）PWM 输出。

tim_brk 输入的优先级高于 tim_brk2 输入，如下表所示。

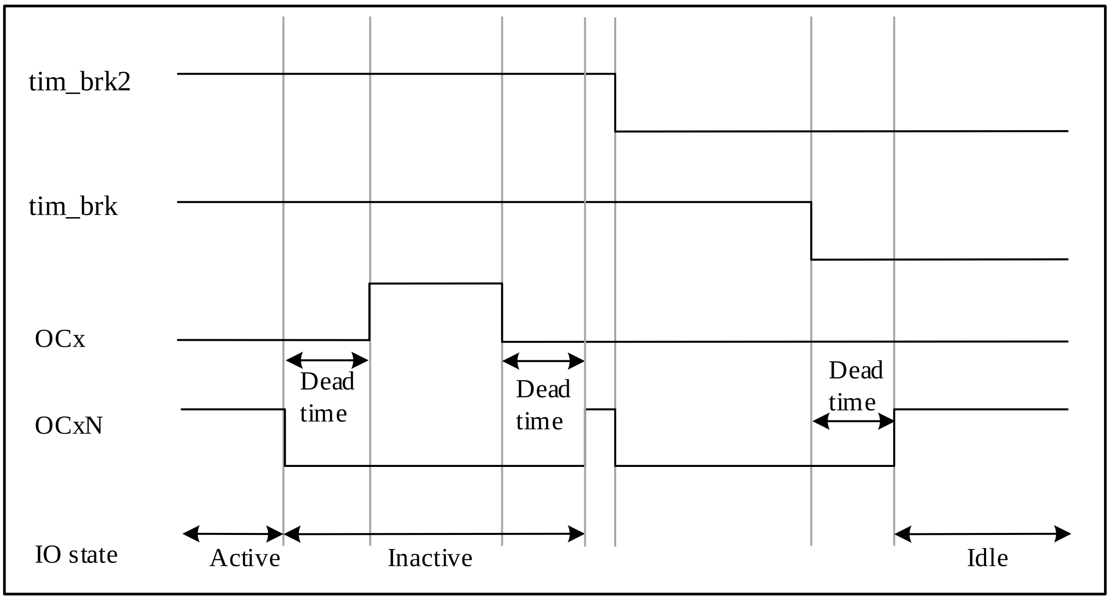
注意：tim_brk2 必须只在 OSSR = OSSI = 1 时使用。

表 9-12 定时器输出行为与 tim_brk/ tim_brk2 输入

tim_brk	tim_brk2	定时器输出状态	典型用例	
			OCxN 输出	OCx 输出
有效	X	– 无效，之后强制为输出状态（死区后） – 如果 OSSI = 0，则禁止输出（由 GPIO 逻辑接管控制）	死区插入后开启	关闭
无效	有效	无效	关闭	关闭

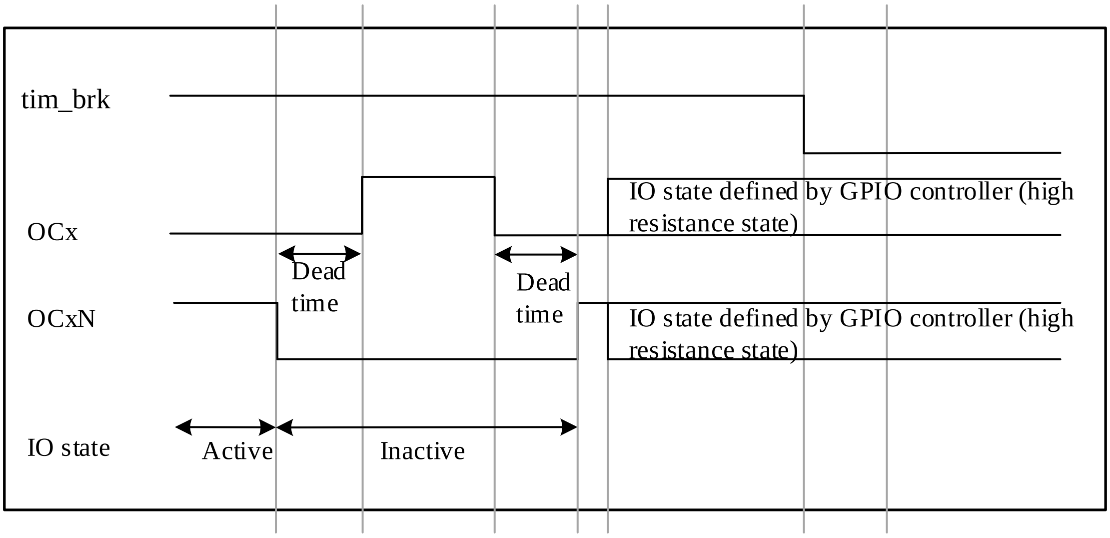
下图给出了 tim_brk 和 tim_brk2 输入上出现有效信号时 OCx 和 OCxN 输出行为示例。在这种情况下，两个输出的极性均为高电平有效（TIMx_CCEN 寄存器中的 CCxP = CCxNP = 0）。

图 9-33 tim_brk 和 tim_brk2 使能后的 PWM 输出状态（OSSI=1）



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

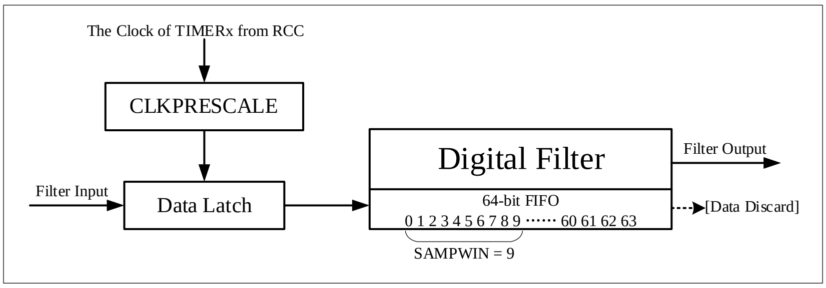
图 9-34 tim_brk 使能后的 PWM 输出状态（OSSI=0）



9.5.14.1 刹车滤波

寄存器 TIMx_BKFR 描述如下：

图 9-35 滑动滤波



- 数字滤波器通过 RCC 的 TIMx 时钟采样刹车信号，在 64 位 FIFO 中累积采样。 仅在 TIMx_BKFR.WSIZE [5:0] 中定义的窗口大小内采样数据，最大大小为 64。
- 过滤器输出采样窗口内的多数值，该值由 TIMx_BKFR.THRESH [5:0] 中的阈值定义，最大阈值为 63。此值应等于或大于窗口大小的一半。 如果采样窗口内的逻辑 1 和逻辑 0 计数均不大于阈值，则数字滤波器保持先前的输出值。
- TIM1_ SLIDFPSC. SLIDFPSC[15:0] 寄存器决定相应数字滤波器的采样率。 过滤器 FIFO 在每个采样时钟从输入中捕获一个采样值。
- 如果数字滤波器关闭，滤波器输入将像电线一样绕过输出。

9.5.15 双向刹车

ATIM1/ATIM2/ATIM3 具有双向刹车 I/O 功能。

应用支持：

- 一个板级的全局刹车信号，它可以通过一个独特的 IO（既是输入又是输出状态引脚）向外部 MCU 或门驱动器发出故障信号。
- 当多个内部和外部刹车源需要被合并时，他们通过“或”连接在一起去产生唯一的刹车事件。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

tim_brk 和 tim_brk2 输入通过控制 TIMx_BDTR 寄存器的 BRKBID/BRK2BID 来配置为双向模式。BRKBID/BRK2BID 可以使用 TIMx_BKDT 寄存器中的 LOCK 位以只读模式锁定(在 LOCK 级别 1 或以上)。

双向模式对 tim_brk 和 tim_brk2 输入都是可用的，要求 I/O 配置为开漏模式，极性为低电平（通过 TIMx_AF1.IOMBRKP，TIMx_ BKDT.BKP，TIMx_AF1.IOMBRK2P 和 TIMx_ BKDT.BK2P 位)。任何来自系统（如 CSS)、片上外设或刹车输入的刹车请求都会迫使刹车输入出现低电平，以示故障事件。为了安全起见，如果极性位没有被正确设置，双向模式就会被抑制（比如设置为高电平有效，双向模式不生效)。

软件刹车事件（TIMx_ EVTGEN.BGN 和 BGN2）也会导致刹车 IO 强制为“0”，以便向外部器件标明定时器进入刹车状态。然而，这只有当刹车被启用（TIMx_BKDT .BKEN 或 BK2EN=1）时才有效。当一个软件刹车事件产生（TIMx_BKDT .BKEN 或 BK2EN=0）时，输出被置于安全状态，并且刹车标志被设置。但对 TIMx_BKIN 和 TIMx_BKIN2 I/O 没有影响。

安全解除机制可防止系统被完全锁定(刹车输入上的低电平触发刹车，从而在同一输入上强制执行低电平)。

当 TIMx_BKDT .BRKDSRM（BRK2DSRM）位被设置为 1 时，就会释放刹车输出，以清除一个故障信号。并为重新启动系统提供了可能。

在任何时候，刹车保护电路都不能被禁用：

- 刹车输入路径始终是激活的：即使 TIMx_BKDT .BRKDSRM（BRK2DSRM）位被设置并且漏极开路控制被释放，刹车事件也处于激活状态。这可防止 PWM 输出在刹车条件存在时重新启动。
- 只要输出被启用（TIMx_BKDT .MOEN 位被设置），TIMx_BKDT .BRKDSRM（BRK2DSRM）位就不能解除刹车保护

表 9-13 刹车保护状态解除条件

MOEN	BRKBID (BRK2BID)	BRKDSRM (BRK2DSRM)	**刹车保护状态**
0	0	X	保护
0	1	0	保护
0	1	1	解除保护
1	X	X	保护

启用和重新启用刹车电路

默认情况下（在输入或双向模式下)，刹车电路处于待命状态（外设复位配置)。

刹车（刹车 2）事件后，必须遵循以下程序重新启用保护：

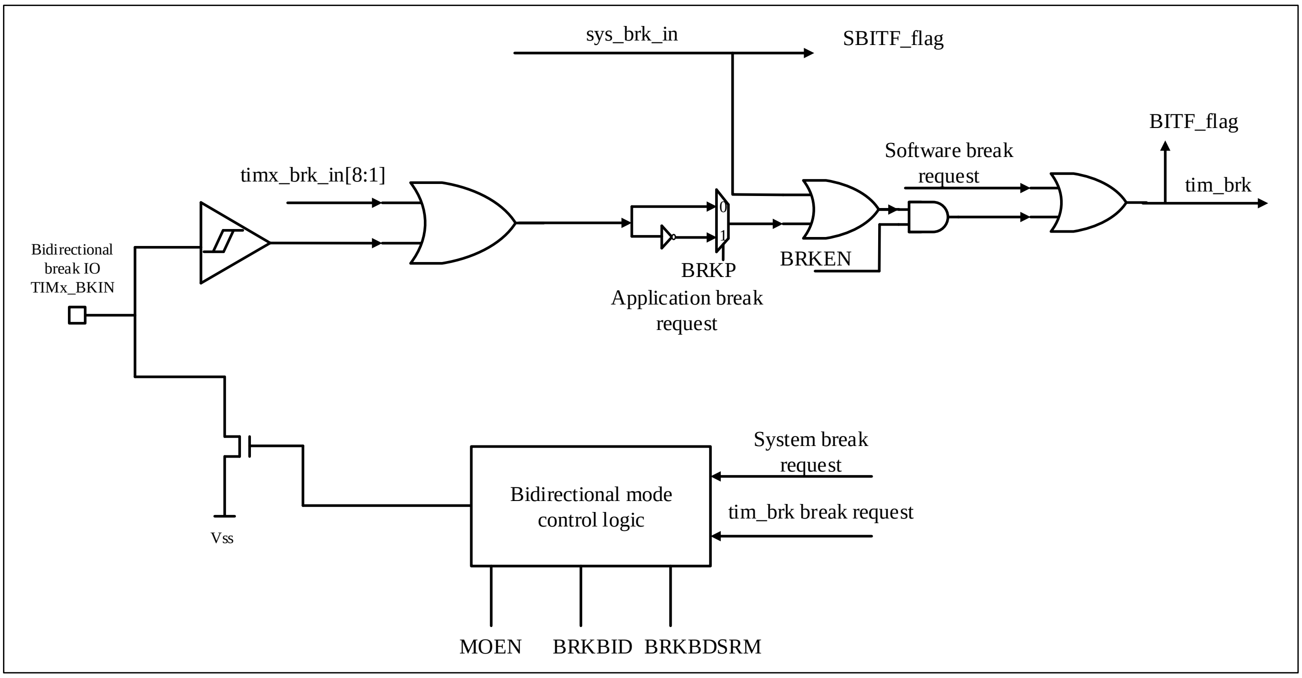
- 必须设置 TIMx_BKDT .BRKDSRM（BRK2DSRM）位以释放输出控制
- 软件必须等待系统刹车条件消失（如有)，并清除 TIMx_STS .SBIF 状态标志（或在重新启用前系统清除）
- 软件必须轮询 TIMx_BKDT .BRKDSRM（BRK2DSRM）位，直到被硬件清除（当应用程序刹车条件消失时）

从这一点开始，刹车电路处于待命状态并处于激活状态，并且可以设置 TIMx_BKDT .MOEN 位以重新启用

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

PWM 输出。

图 9-36 输出重定向



9.5.16 调试模式

当微控制器处于调试模式（Cortex-M4 内核停止）时，根据 DBG_CTRL. GTIMx_STOP 位配置，定时器计数器可以继续正常工作或停止。有关详细信息，请参阅 37.3.2 节。

9.5.17 ATIMx 定时器和外部触发的同步

定时器可以通过从模式（复位、触发和门控）中的触发器进行同步。

9.5.17.1 从模式：复位模式

在复位模式下，触发事件可以复位计数器和预分频器。更新预加载寄存器 TIMx_AR、TIMx_CCDATx，并产生更新事件 UEV（TIMx_CTRL1.UPRS=0）。

以下是复位模式的示例：

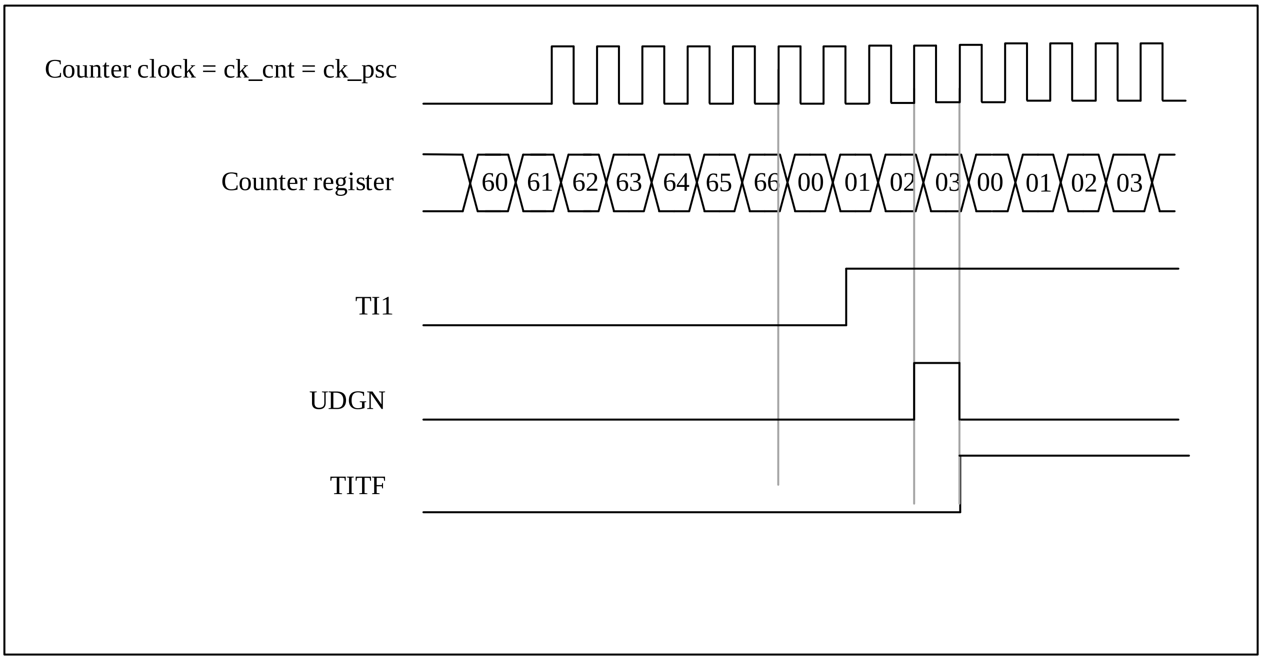
1. 通道 1 配置为输入检测 TI1 的上升沿（TIMx_CCMOD1.CC1SEL=01，TIMx_CCEN.CC1P=0）；
2. 从模式选择为复位模式（TIMx_SMCTRL.SMSEL=0100），触发输入选择为 TI1（TIMx_SMCTRL.TSEL=101）；
3. 启动计数器（TIMx_CTRL1.CNTEN = 1）

启动定时器后，当 TI1 检测到上升沿时，计数器复位并重新开始计数，并设置触发标志(TIMx_STS.TITF=1)；

TI1 的上升沿与实际计数器复位之间的延迟是由于 TI1 输入的重新同步电路引起的。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-37 复位模式下的控制电路



9.5.17.2 从模式：触发模式

在触发模式下，输入端口的触发事件（上升沿/下降沿）可以触发计数器开始计数。

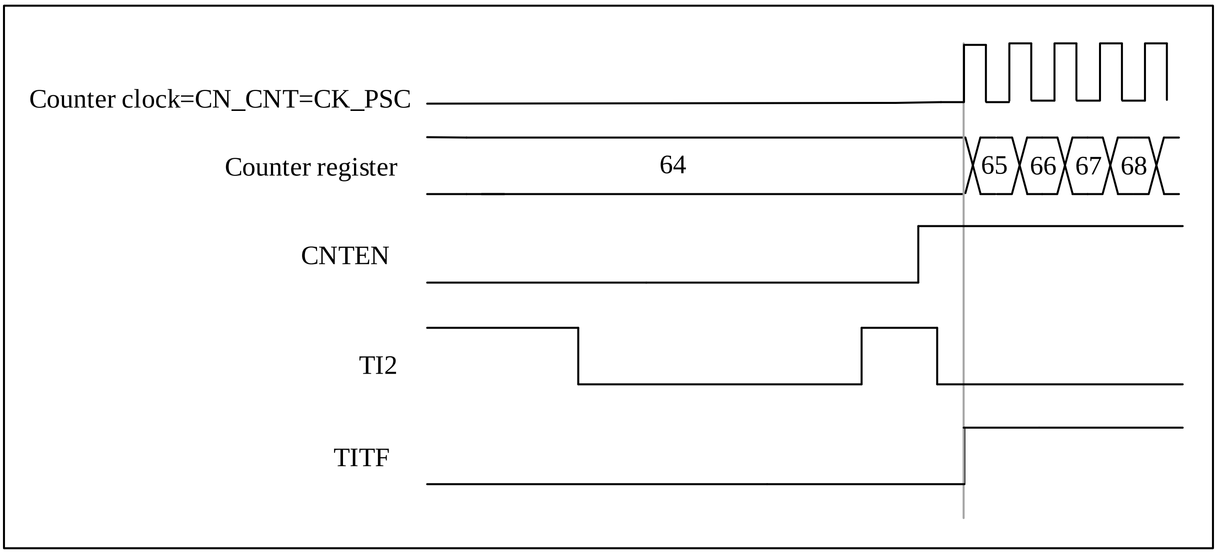
以下是触发模式的示例：

1. 通道 2 配置为输入，检测 TI2 的上升沿（TIMx_CCMOD1.CC2SEL=01，TIMx_CCEN.CC2P=0）；
2. 选择从模式为触发模式(TIMx_SMCTRL.SMSEL=0110)，触发输入选择 TI2(TIMx_SMCTRL.TSEL=110)；

当 TI2 检测到上升沿时，计数器开始计数，触发标志置位（TIMx_STS.TITF=1）；

TI2 的上升沿与实际计数器启动之间的延迟是由于 TI2 输入的重新同步电路引起的。

图 9-38 触发器模式下的控制电路



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

9.5.17.3 从模式：门控模式

在门控模式下，输入端口的电平极性可以控制计数器是否计数。

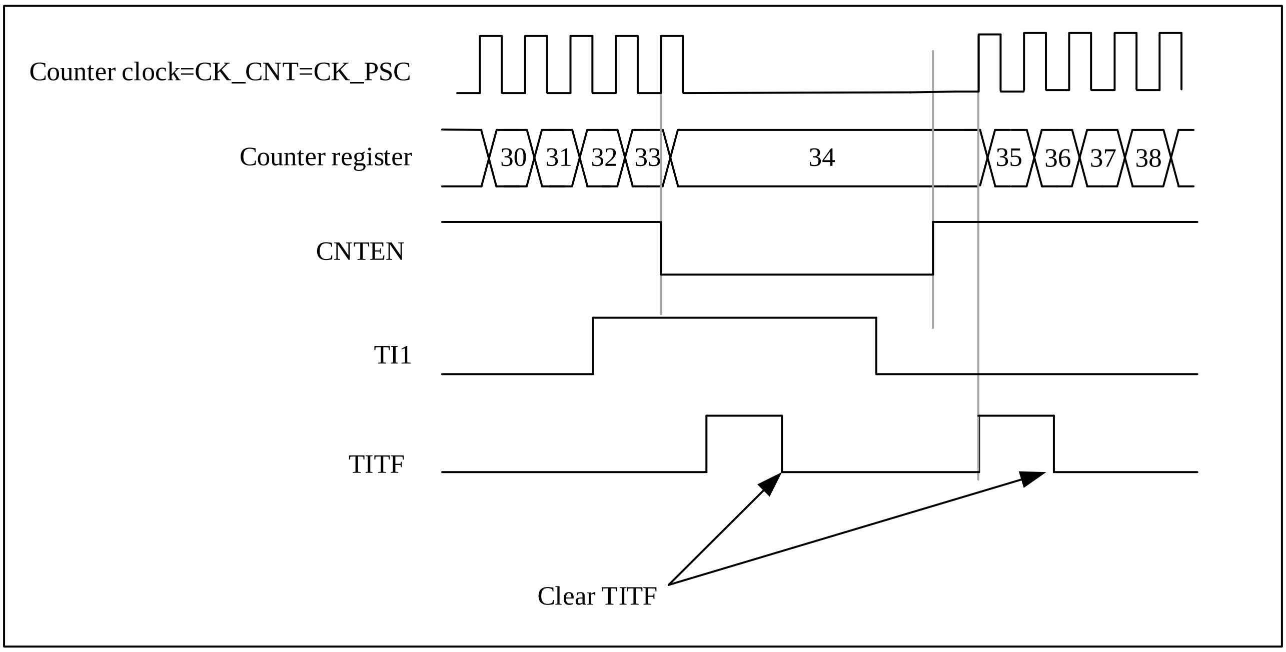
以下是门控模式的示例：

1. 通道 1 配置为 TI1 上的输入检测低电平有效 (TIMx_CCMOD1.CC1SEL=01, TIMx_CCEN.CC1P=1)；
2. 选择从模式为门控模式（TIMx_SMCTRL.SMSEL=0101），选择 TI1 作为 TRGI（TIMx_SMCTRL.TSEL=101)；
3. 启动计数器（TIMx_CTRL1.CNTEN = 1)；

当 TI1 检测到电平由低变高时，计数器停止计数，当 TI1 检测到电平由高变低时，计数器开始计数，开始或停止计数时触发标志置位（TIMx_STS .TITF=1)。

TI1 的上升沿与实际计数器停止之间的延迟是由于 TI1 输入的重新同步电路引起的。

图 9-39 门控模式下的控制电路



9.5.17.4 从模式：触发模式 +外部时钟模式 2

在复位模式、触发模式和门控模式下，计数器时钟可选择为外部时钟模式 2，ETR 信号作为外部时钟源输入。 这时候触发选择需要选择非 ETRF（TIMx_SMCTRL.TSEL=111)。

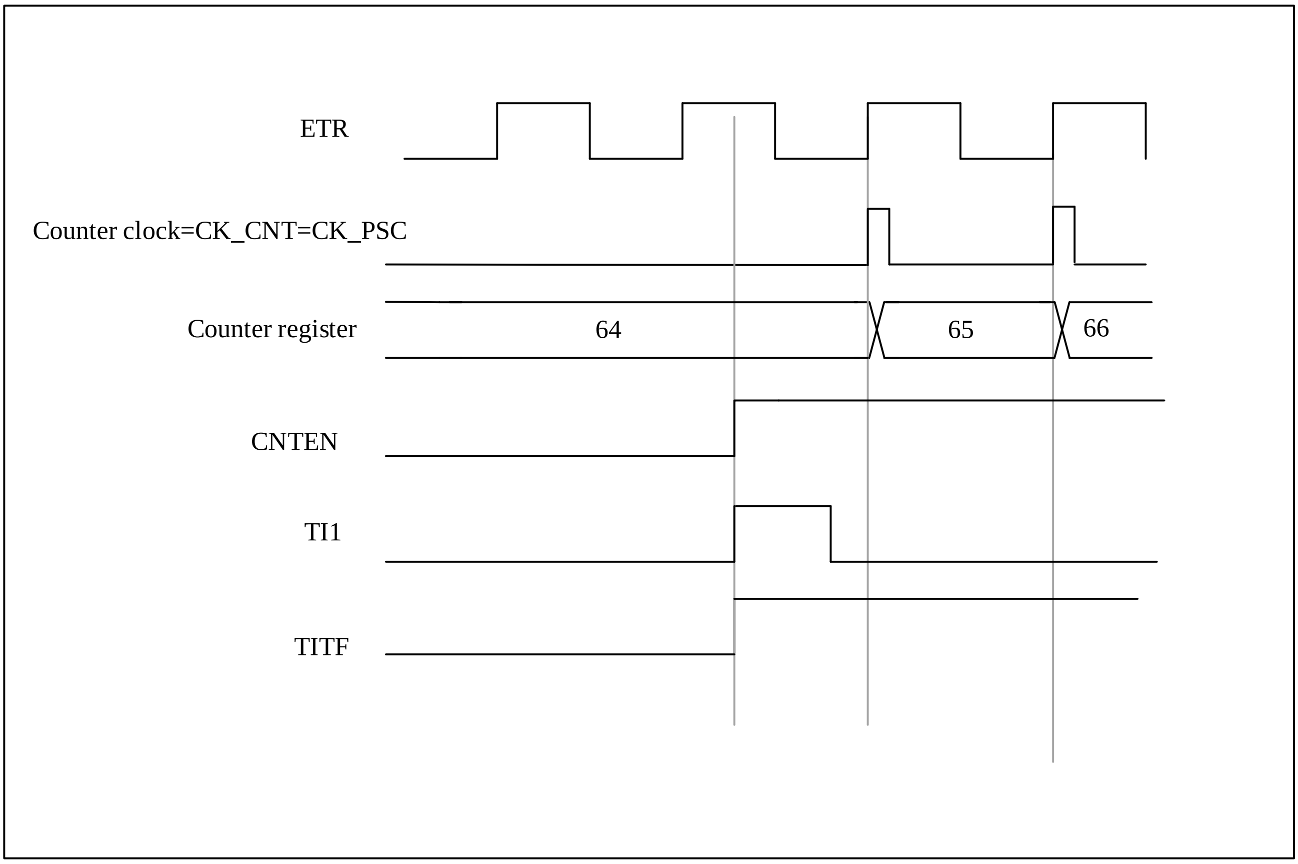
这是一个例子：

1. 通道 1 配置为输入检测 TI1 的上升沿（TIMx_CCMOD1.CC1SEL=01，TIMx_CCEN.CC1P=0)；
2. 使能外部时钟模式 2(TIMx_SMCTRL.EXCEN=1),外部触发极性选择上升沿(TIMx_SMCTRL.EXTP=0)，触发模式作为从模式（TIMx_SMCTRL.SMSEL=0110)，TRGI 选择 TI1（ TIMx_SMCTRL.TSEL=101);

当 TI1 检测到上升沿时，计数器在 ETR 的上升沿开始计数，并设置触发标志（TIMx_STS.TITF=1)；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-40 外部时钟模式 2＋触发模式下的控制电路



9.5.17.5 从模式：组合复位＋触发模式

在这种情况下，选定的触发器输入（trgi）的上升沿会重新初始化计数器，生成寄存器的更新，并启动计数器。

这种模式用于单脉冲模式。

输入端上选中的事件复位并使能计数器。

在下面的例子中，计数器在 TI2 输入的上升沿复位并开始向上计数：

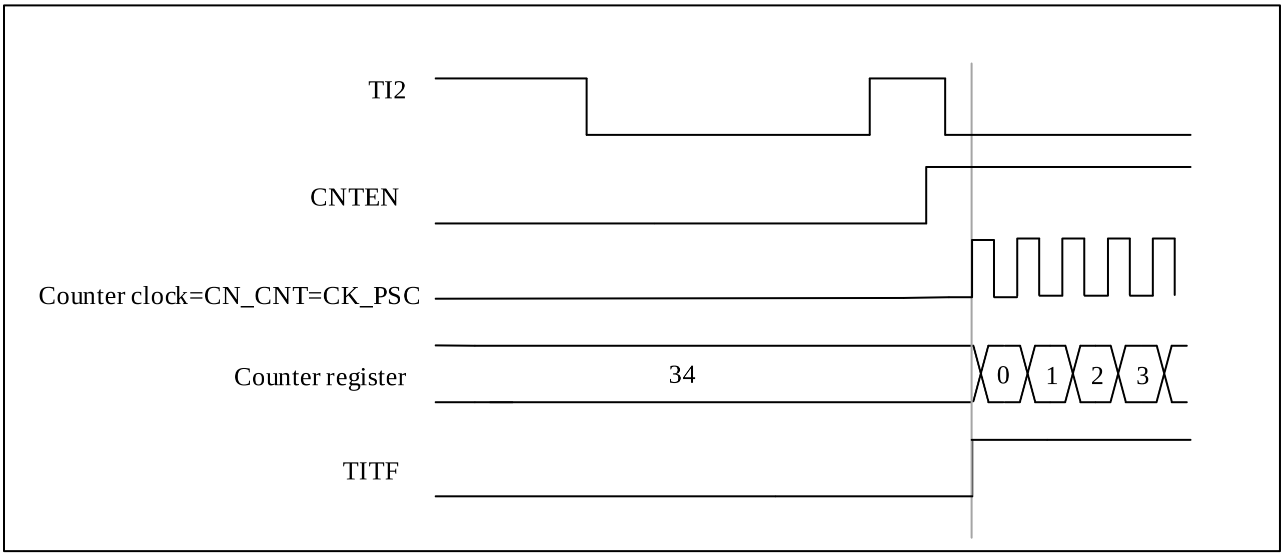
- 配置通道 2 检测 TI2 的上升沿。配置输入滤波器带宽(本例中，不需要任何滤波器，保持 TIMx_CCMOD1.IC2F=0000)。触发操作中不使用捕获预分频器，不需要配置。TIMx_CCMOD1.CC2SEL 位只用于选择输入捕获源，置 TIMx_CCMOD1.CC2SEL=01。置 TIMx_CCEN.CC2P=1 以确定极性(只检测低电平)
- 置 TIMx_SMCTRL.SMSEL=1110，配置定时器为组合复位+触发模式；置 TIMx_SMCTRL.TSEL=110，选择 TI2 作为输入源。

当 TI2 出现一个上升沿时，计数器开始在内部时钟驱动下计数，同时设置 TITF 标志。

TI2 上升沿和计数器启动计数之间的延时，取决于 TI2 输入端的重同步电路。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-41 组合复位+触发模式下的控制电路



9.5.17.6 从模式：组合门控+复位模式

当触发器输入（trgi）为高电平时，计数器时钟被启用。一旦触发器变为低电平，计数器就会停止，并被复位）。计数器的启动和停止都受到控制。

这种模式可以检测出超范围的 PWM 信号（占空比超过最大预期值）。

在如下的例子中，计数器只在 TI1 为低时向上计数，在 TI1 变为高时计数器停止并复位：

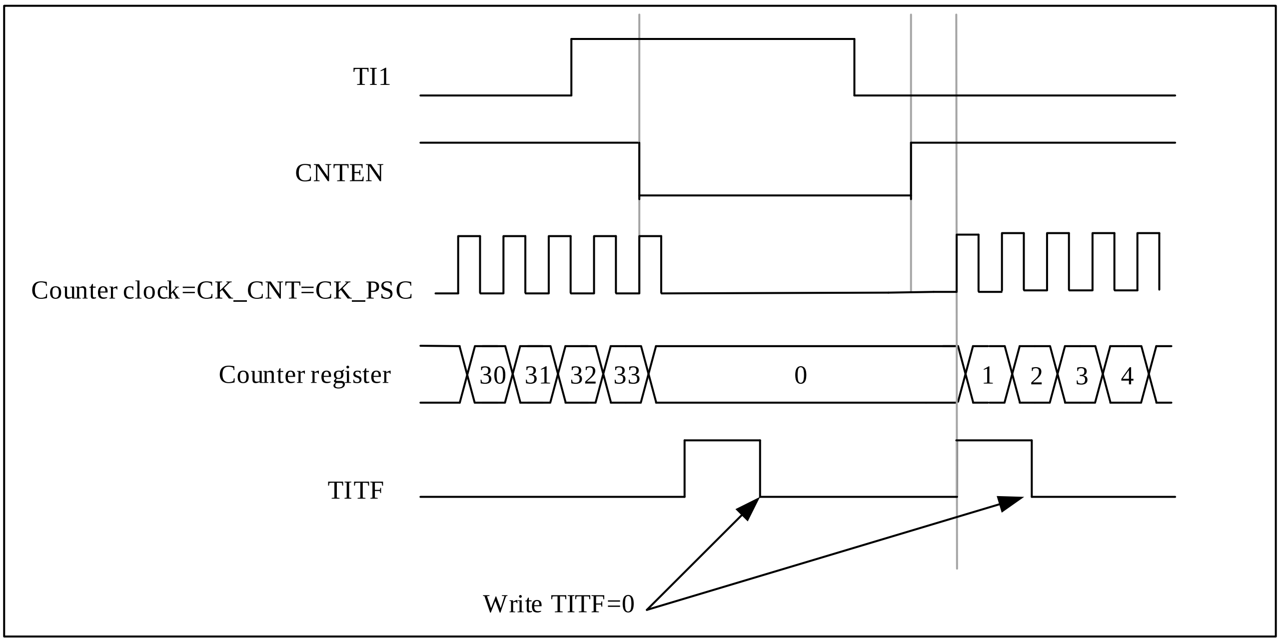
- 配置通道 1 以检测 TI1 上的低电平。配置输入滤波器带宽(本例中，不需要滤波，所以保持 TIMx_CCMOD1.IC1F=0000)。触发操作中不使用捕获预分频器，所以不需要配置。TIMx_CCMOD1.CC1SEL 位用于选择输入捕获源，置 TIMx_CCMOD1.CC1SEL=01。置 TIMx_CCEN.CC1P=1 以确定极性(只检测低电平)。
- 置 TIMx_SMCTRL.SMSEL=1101，配置定时器为门控+复位模式；置 TIMx_SMCTRL.TSEL=101，选择 TI1 作为输入源。
- 置 TIMx_CTRL1 寄存器中 CNTEN=1，启动计数器。在门控+复位模式下，如果 CNTEN=0，则计数器不能启动，不论触发输入电平如何。

只要 TI1 为低，计数器开始依据内部时钟计数，一旦 TI1 变高则停止计数。当计数器开始或停止时都设置 TIMx_STS 中的 TITF 标置。

TI1 上升沿和计数器实际停止之间的延时取决于 TI1 输入端的重同步电路。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-42 组合门控+复位模式下的控制电路



9.5.18 定时器同步

所有 TIM 定时器在内部相连，用于定时器同步或链接。参考 12.5.20。

9.5.19 触发 ADC

定时器可通过多种内部信号产生 ADC 触发事件，例如复位、使能或比较事件，也可生成由内部边沿检测器发出的脉冲触发。在重定向到 ADC 的 TRGO/TRGO2 内部线路上发出触发信号可通过 TIMx_CTRL2 寄存器中的 MMSEL2[3:0]、MMSEL[3:0]位选择。也可以通过配置 TIMx_CTRL2.TRIG4/ TRIG4/ TRIG8/ TRIG9 等于'1'来让通道 4/7/8/9 触发 ADC，此时通道 4/7/8/9 在比较匹配时会产生脉冲触发 ADC。

9.5.20 产生六步 PWM 输出

为了同时修改所有通道的配置，可以提前设置下一步的配置（预加载位为 OCxMD、CCxEN 和 CCxNEN）。当发生 COM 换相事件时，OCxMD、CCxEN 和 CCxNEN 预加载位被传送到影子寄存器位。

COM 换相事件生成方法：

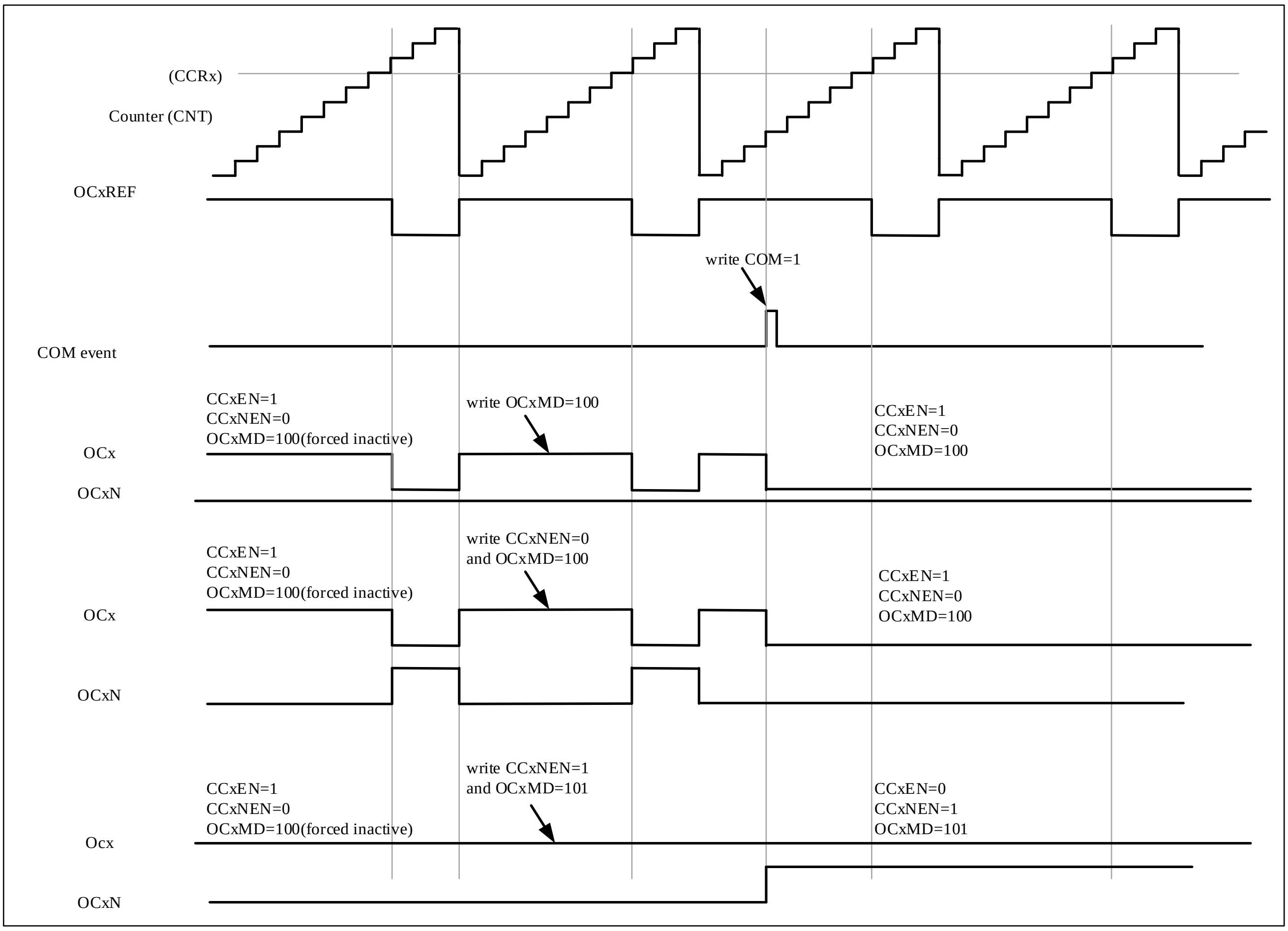
1. 软件设置 TIMx_EVTGEN.CCUDGN；
2. 在 TRGI 的上升沿由硬件产生；

当 COM 换相事件发生时，TIMx_STS.COMITF 标志将被设置，启用中断 (TIMx_DINTEN.COMIEN) 将产生中断，启用 DMA 请求 (TIMx_DINTEN.COMDEN) 将产生 DMA 请求。

下图显示了三种不同配置下发生 COM 换向事件时 OCx 和 OCxN 的输出时序图：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-43 产生六步 PWM，使用 COM 的例子（OSSR=1）



9.5.21 编码器接口模式

9.5.21.1 正交编码模式

编码器使用两个输入 TI1 和 TI2 作为接口，计数器对 TI1FP1 或 TI2FP2 上的每个边沿变化进行计数。计数方向由硬件 TIMx_CTRL1.DIR 自动控制。正交编码器计数模式共有五种：

- 编码器模式 1：计数器只在 TI1 的边沿计数，TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘0001’；
- 编码器模式 2：计数器只在 TI2 的边沿计数，TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘0010’；
- 编码器模式 3：计数器同时在 TI1 和 TI2 的边沿计数，TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘0011’；
- 编码器模式 4：T2 是高电平时，计数器只在 TI1 的边沿计数，TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘1001’；
- 编码器模式 5：T1 是高电平时，计数器只在 TI2 的边沿计数，TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘1010’；

编码器接口相当于使用带方向选择的外部时钟，计数器只在 0 和自动重载值(TIMx_AR.AR [15:0])之间连续计数。因此，需要提前配置自动重载寄存器 TIMx_AR。

注意：编码器模式和外部时钟模式 2 不兼容，不能同时选择。

计数方向与编码器信号的关系如下表：

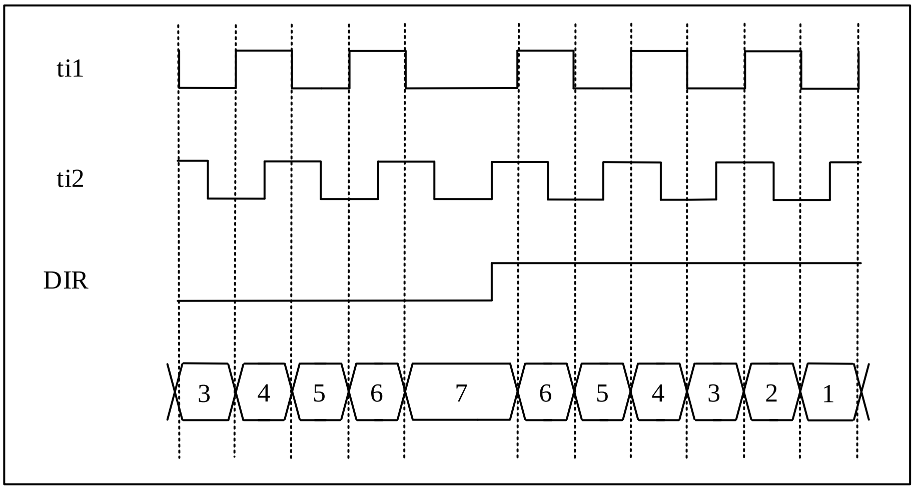
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 **9-14** 计数方向与编码器信号的关系（CC1P=CC2P=0）

有效边沿	SMSEL[3:0]	相对信号的电平（TI1FP1对应TI2, TI2FP2对应TI1）	TI1FP1信号		TI2FP2信号	
			上升	下降	上升	下降
仅在TI1计数	0001	高	向下计数	向上计数	不计数	不计数
		低	向上计数	向下计数	不计数	不计数
仅在TI2计数	0010	高	不计数	不计数	向上计数	向下计数
		低	不计数	不计数	向下计数	向上计数
在TI1和TI2上计数	0011	高	向下计数	向上计数	向上计数	向下计数
		低	向上计数	向下计数	向下计数	向上计数
仅在TI1计数且T2为高电平	1001	高	向下计数	向上计数	不计数	不计数
		低	不计数	不计数	不计数	不计数
仅在TI2计数且T1为高电平	1010	高	不计数	不计数	向上计数	向下计数
		低	不计数	不计数	不计数	不计数

计数器在各个模式下时计数器值的变化如下：

图 **9-44** 编码器仅在 TI1 计数



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-45 编码器仅在 TI2 计数

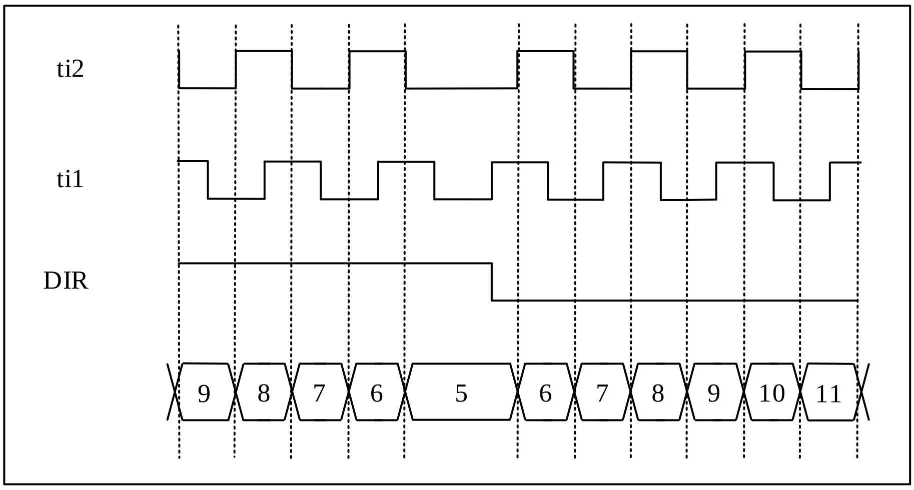


图 9-46 编码器在 TI1 和 TI2 上计数

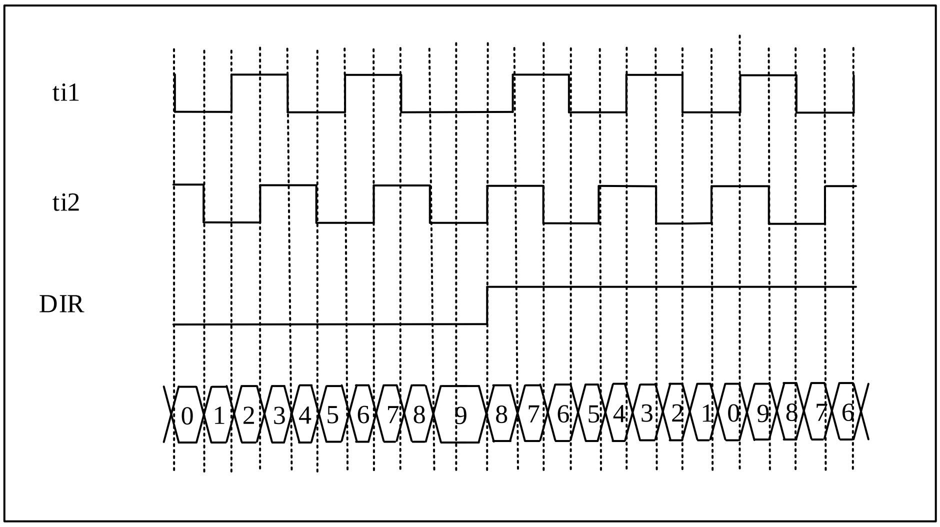
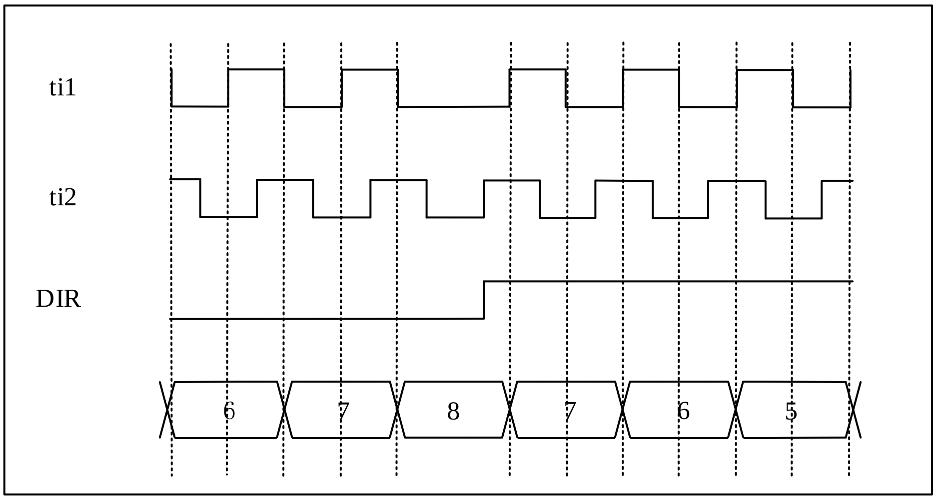
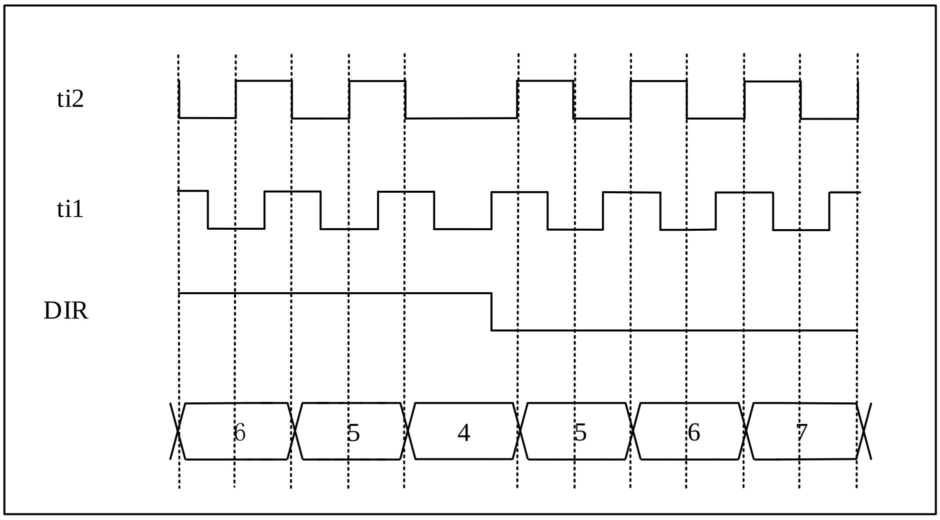


图 9-47 T2 是高电平时，计数器只在 TI1 计数



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

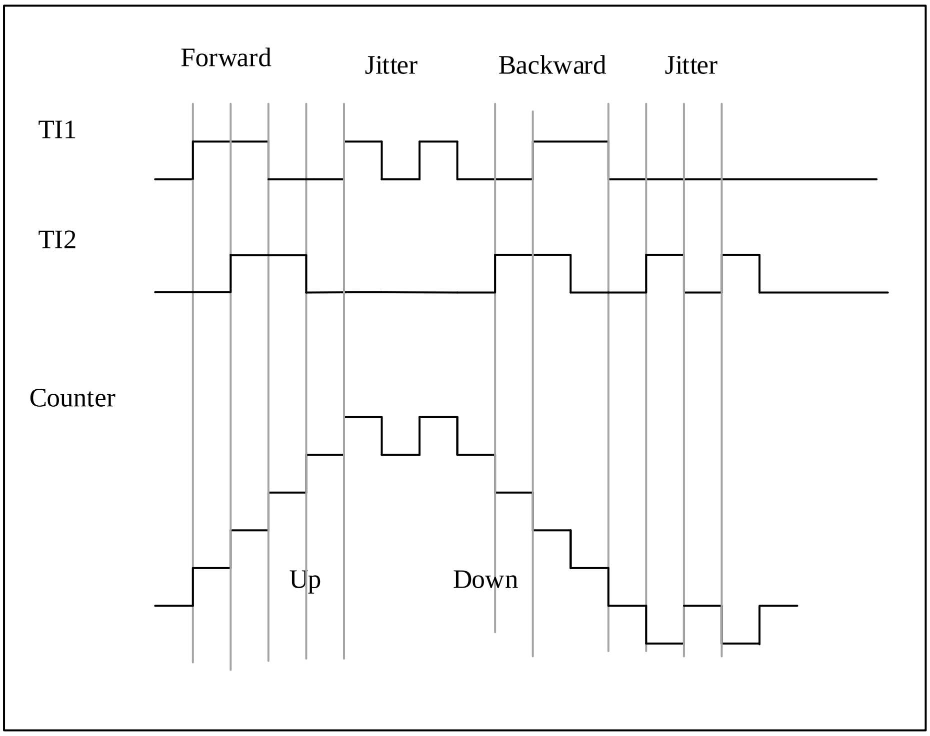
图 9-48 T1 是高电平时，计数器只在 TI2 计数



以下是选择了双边沿触发以抑制输入抖动的编码器示例：

1. IC1FP1 映射到 TI1（TIMx_CCMOD1.CC1SEL = ‘01’），IC1FP1 不反相（TIMx_CCEN.CC1P = ‘0’）；
2. IC1FP2 映射到 TI2（TIMx_CCMOD2.CC2SEL = ‘01’），IC2FP2 不反相（TIMx_CCEN.CC2P = ‘0’）；
3. 输入在上升沿和下降沿均有效（TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘0011’）；
4. 启用计数器 TIMx_CTRL1.CNTEN = ‘1’；

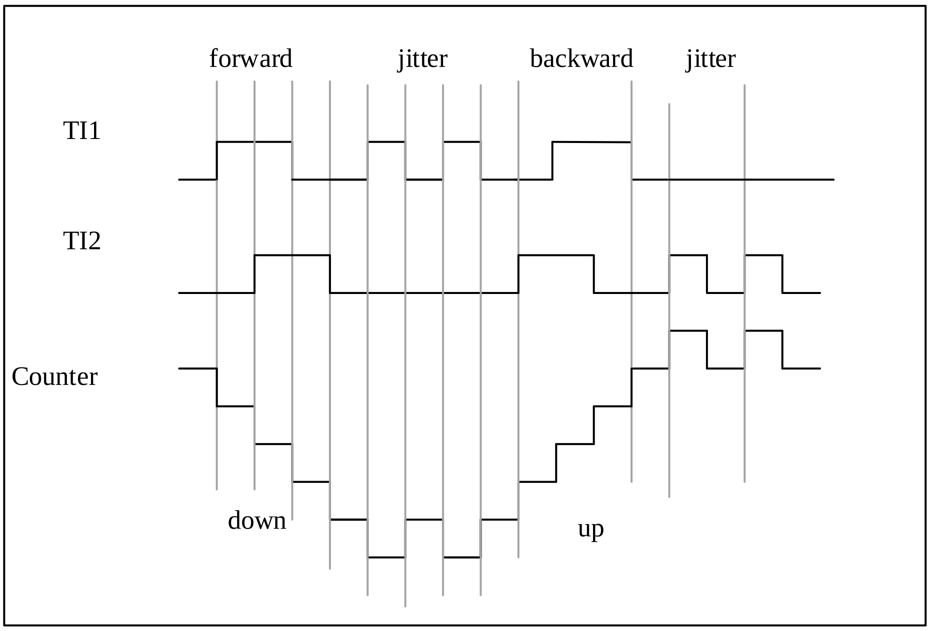
图 9-49 编码器模式下的计数器操作实例



下图为 IC1FP1 极性反转时的计数器行为示例（CC1P = '1'，其他配置同上）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-50 IC1FP1 反相的编码器接口模式实例



9.5.21.2 脉冲电平编码模式

脉冲电平编码模式中，时钟是在 TI2 上单线上提供的，而计数方向是 TI1 输入提供的。

该模式通过 TIMx_SMCTRL 寄存器中的 SMSEL[3:0]启用，具体如下。

1011：脉冲电平编码模式 2，计数器在时钟的上升沿和下降沿都被更新。

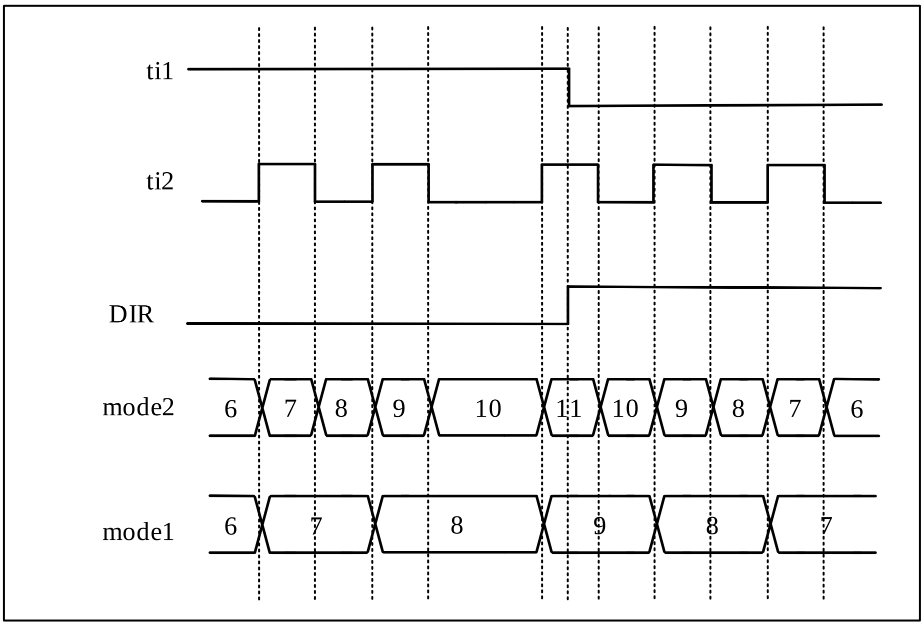
1100：脉冲电平编码模式 1，根据 CC2P 值，计数器在单个时钟沿上更新。CC2P = 0 对应于上升沿计数，CC2P = 1 对应于下降沿计数。

TI1 的方向信号的极性是通过 CC1P 位来设置的。CC2P＝0 时当 TI1 为高电平时向上计数，当 TI1 为低电平时向下计数；CC1P＝1 时当 TI1 为低电平时向上计数，TI1 为高电平时向下计数。

下图以 CC1P=CC2P=0 为例：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-51 脉冲电平编码模式（CC1P=CC2P=0）



9.5.21.3 双脉冲编码模式

双脉冲编码模式中，时钟在两条线上被提供，根据不同的方向，一次只能提供一条，这样就有一条向上计数的时钟线和一条向下计数的时钟线。

该模式通过 TIMx_SMCTRL 寄存器中的 SMSEL[3:0]位域启用，具体如下。

- 1000：双脉冲编码模式 2，计数器在两条时钟线中任何一条的上升沿和下降沿都被更新。CC1P 和 CC2P 位是对时钟空闲状态的编码。CCxP=0 对应于高电平空闲状态，CCxP=1 对应于低电平空闲状态。
- 1111：双脉冲编码模式 1，根据 CC1P 和 CC2P 位值，计数器在单个时钟沿上更新。CCxP＝0 对应下降沿和高电平状态，CCxP＝1 对应上升沿和低电平状态。

下表描述了计数方向与编码器信号和极性设置的关系

表 9-15 计数方向与编码器信号和极性设置的关系

双脉冲编码模式	SMSEL[3:0]	相对信号的电平(**TI1FP1** 对应 **TI2, TI2FP2** 对应 **TI1)**	**TI1FP1** 信号		**TI2FP2** 信号	
			上升	下降	上升	下降
模式 2 CCxP=0	1000	高	向下计数	向下计数	向上计数	向上计数
		低	不计数	不计数	不计数	不计数
模式 2	1000	高	不计数	不计数	不计数	不计数

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

CCxP=1		低	向下计数	向下计数	向上计数	向上计数
模式 1 CCxP=0	1111	高	不计数	向下计数	不计数	向上计数
		低	不计数	不计数	不计数	不计数
模式 1 CCxP=1	1111	高	不计数	不计数	不计数	不计数
		低	向下计数	不计数	向上计数	不计数

下图显示了双脉冲编码模式计数器计数方式

图 9-52 双脉冲编码模式（CC1P = CC2P = 0)

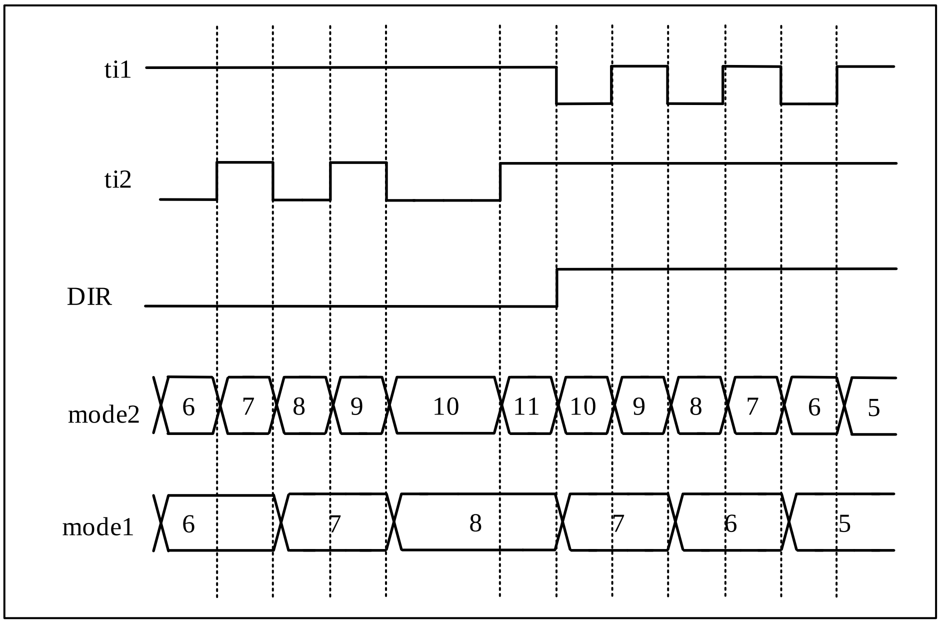
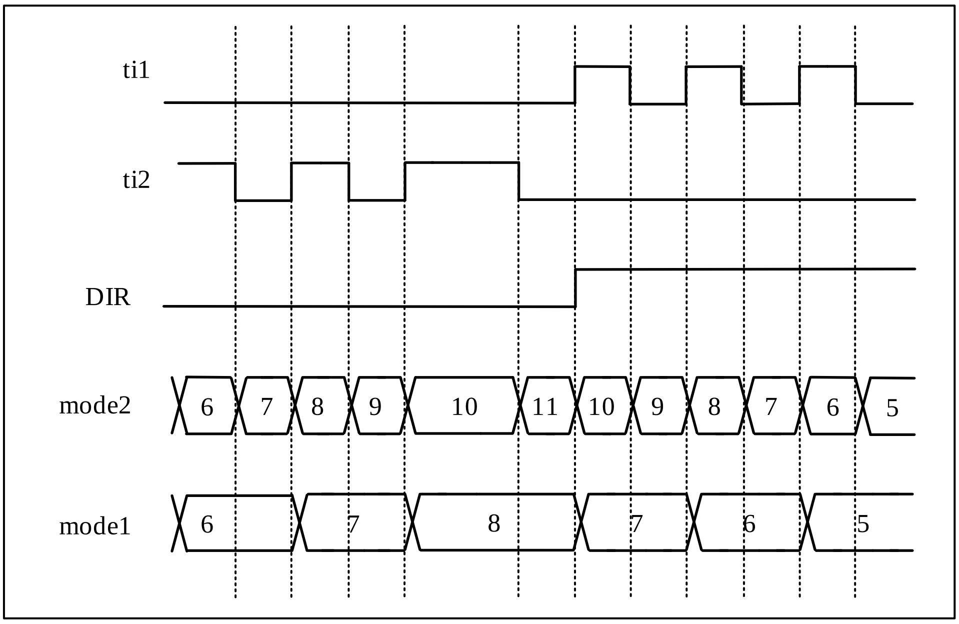


图 9-53 双脉冲编码模式（CC1P = CC2P = 1)



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

9.5.22 与霍尔传感器的接口

将霍尔传感器连接到定时器的三个输入引脚（CC1、CC2 和 CC3），然后选择异或功能将 TIMx_CH1、TIMx_CH2 和 TIMx_CH3 的输入通过异或门作为 TI1 的输出到通道 1 进行捕捉信号。

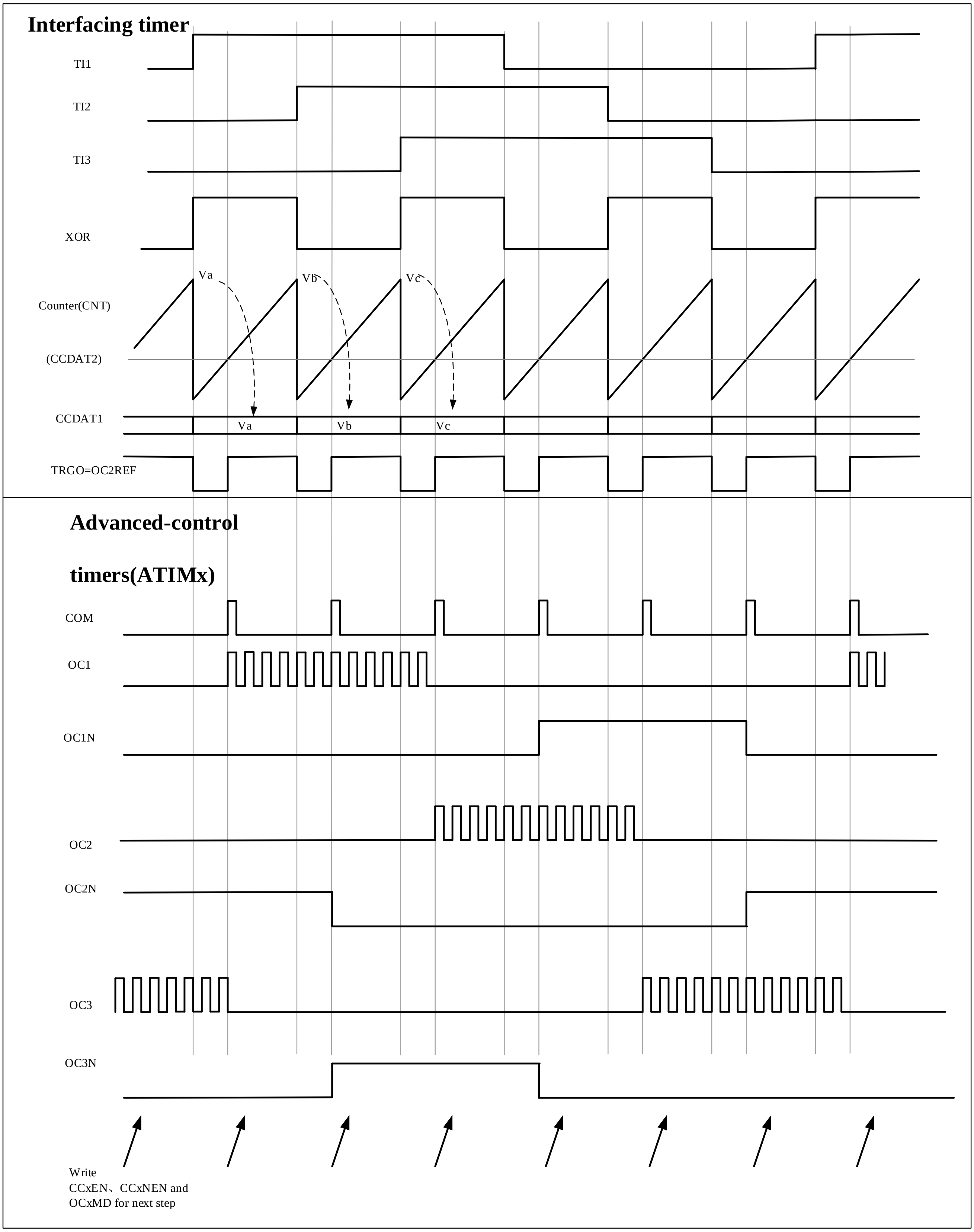
定时器需要配置为从模式下的复位模式（TIMx_SMCTRL.SMSEL=‘100’）；触发选择 TI1 的边沿触发 TI1F_ED (TIMx_SMCTRL.TSEL= ‘100’)，霍尔 3 输入的任何变化都会触发计数器重新计数，因此用作时间参考；捕获/比较通道 1 配置为捕获模式下的 TRC 信号（TIMx_CCMOD1.CC1SEL=‘11’），用于计算两个输入时间间隔，从而反映电机速度。

选择定时器通道 2 向高级定时器输出脉冲，触发高级定时器的 COM 事件，更新输出 PWM 的控制位。高级定时器的触发选择需要选择对应的内部触发信号（TIMx_SMCTRL.TSEL="ITRx"），捕获/比较预加载控制位需要配置为支持预加载（TIMx_CTRL2.CCPCTL=1）并支持上升沿 TRGI 边沿触发更新 (TIMx_CTRL2.CCUSEL=1)。

此示例如下图所示。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 9-54 霍尔传感器接口的实例



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

9.6 ATIMx 寄存器描述

关于在寄存器描述里面所用到的缩写，详见 **1.1** 节。

可以用半字（16 位）或字（32 位）的方式操作这些外设寄存器。

9.6.1 控制寄存器 1（TIMx_CTRL1）

偏移地址：0x00
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved								ASYMMETRIC	Reserved	CMODE[1:0]		Reserved			
								rw		rw					

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SRAMECCERREN	FLASHECCERREN	CLRSEL	SRAMPARERREN	PBKPEN	LBKPEN	ARPEN	ONEPM	CLKD[1:0]		UPDIS	UPRS	CAMSEL[1:0]		DIR	CNTEN
w	w	rw	w	w	w	rw	rw	rw		rw	rw	rw		rw	rw

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必须保持复位值
23	ASYMMETRIC	中央对齐非对称模式使能（Asymmetric mode enable in center-aligned mode） 0：禁用 1：使能（当TIMx_CTRL1.CAMSEL[1:0]非零时有效，每个通道向上计数时与CCDATx比较，向下计数时与CCDDATx比较）
22	Reserved	保留，必须保持复位值
21:20	CMODE	中心对齐模式(Center-aligned mode) 中心对齐非对称模式下，通道4/7/8/9触发的方式，只有当TIMx_CTRL2.MMSEL为’1xxx’的时候才会通过TRGO信号输出生效 00：向上计数达到CCDAT4/7/8/9的值，触发有效 01：向下计数，通道4达到CCDDAT4，通道7/8/9达到CCDAT7/8/9的值，触发有效 1x：通道4向上计数达到CCDAT4，向下计数达到CCDDAT4；通道7/8/9向上和向下计数达到CCDAT7/8/9的值，触发均有效。 中心对齐对称模式下，通道4/7/8/9触发的方式，只有当TIMx_CTRL2.MMSEL为’1xxx’的时候才会通过TRGO信号输出生效 00：向上计数达到CCDAT4/7/8/9的值，触发有效 01：向下计数达到CCDAT4/7/8/9的值，触发有效 1x：向上和向下计数达到CCDAT4/7/8/9的值，触发均有效
19:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15	SMECCERREN	SRAM ECC错误作为BRK使能（SRAM ECC error as brk Enable） 0：禁止

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：使能 注意：系统复位和上电复位可以将此位清0，定时器复位不能将此位清0
14	FLECCERREN	FLASH ECC错误作为BRK使能（FLASH ECC error as brk Enable） 0：禁止 1：使能 注意：系统复位和上电复位可以将此位清0，定时器复位不能将此位清0
13	CLRSEL	OcxRef清除选择（OcxRef clear selection） 0：选择外部Ocxclr (TIMx_ETR)信号，具体选择见TIMx_INSEL.ETRS 1：选择内部Ocxclr (tim_ocref_clr)信号，具体选择见TIMx_INSEL.CLRS
12	SMPARERREN	SRAM PAR错误作为BRK使能（SRAM parity error as brk Enable） 0：禁止 1：使能 注意：系统复位和上电复位可以将此位清0，定时器复位不能将此位清0
11	PBKPEN	PVD作为BRK使能（PVD as brk Enable） 0：禁止 1：使能 注意：系统复位和上电复位可以将此位清0，定时器复位不能将此位清0
10	LBKPEN	锁存作为BRK使能（LockUp as brk Enable）（Core Hardfault） 0：禁止 1：使能 注意：系统复位和上电复位可以将此位清0，定时器复位不能将此位清0
9	ARPEN	自动重装载预装载允许位 （Auto-reload preload enable） 0：TIMx_AR 寄存器的影子寄存器禁用 1：TIMx_AR 寄存器的影子寄存器使能
8	ONEPM	单脉冲模式 （One pulse mode） 0：禁用单脉冲模式，发生更新事件时不影响计数器计数。 1：使能单脉冲模式，下次更新事件发生时计数器停止计数
7:6	CLKD[1:0]	时钟分频因子 （Clock division） CLKD[1:0] 表示 CK_INT（定时器时钟）和 DTS（用于死区时间发生器和数字滤波器（ETR、TIx）的时钟）之间的分频比。 00：$t_{DTS} = t_{CK\_INT}$. 01：$t_{DTS} = 2 \times t_{CK\_INT}$ 10：$t_{DTS} = 4 \times t_{CK\_INT}$ 11：保留，不要使用这个配置

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
5	UPDIS	更新禁用（Update disable） 该位用于启用/禁用软件生成的更新事件 (UEV) 事件。 0：启用。 如果满足以下条件之一，将生成 UEV： – 计数器上溢/下溢 – TIMx_EVTGEN.UDGN 位被设置 – 从模式控制器的更新生成 影子寄存器将使用预加载值进行更新。 1：UEV 禁用。 不生成更新事件，影子寄存器（AR、PSC 和 CCDATx）保持它们的值。 如果 TIMx_EVTGEN.UDGN 位置位或从模式控制器发出硬件复位，则重新初始化计数器和预分频器。
4	UPRS	更新请求源（Update request source） 该位用于通过软件选择 UEV 事件源。 0：如果更新中断或 DMA 请求使能，以下任何事件都会产生更新中断或 DMA 请求： – 计数器上溢/下溢 – TIMx_EVTGEN.UDGN 位被设置 – 从模式控制器的更新生成 1：如果更新中断或 DMA 请求使能，只有计数器上溢/下溢会产生更新中断或 DMA 请求。
3:2	CAMSEL[1:0]	选择中央对齐模式 （Center-aligned mode selection） 00：边缘对齐模式。 TIMx_CTRL1.DIR 指定向上计数或向下计数。 01：中央对齐模式1。 计数器在中央对齐模式下计数，向下计数时输出比较中断标志位设置为 1。 10：中央对齐模式2。计数器在中央对齐模式下计数，向上计数时输出比较中断标志位设置为1。 11：中央对齐模式3。 计数器在中央对齐模式下计数，向上计数或向下计数时输出比较中断标志位设置为 1。 注意：当计数器仍然启用时（TIMx_CTRL1.CNTEN = 1），不允许从边缘对齐模式切换到中央对齐模式。
1	DIR	方向 （Direction） 0：计数器向上计数； 1：计数器向下计数。 注意：当计数器配置为中央对齐模式或编码器模式时，该位为只读。
0	CNTEN	使能计数器 （Counter enable） 0：禁止计数器； 1：使能计数器。 注意：在软件设置了CNTEN位后，外部时钟、门控模式和编码器模式才能工作。触发模式可以自动地通过硬件设置CNTEN位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

9.6.2 控制寄存器 2（TIMx_CTRL2）

偏移地址：0x04
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				MMSEL2[3:0]				TRIG9	TRIG8	TRIG7	TRIG4	TI1SEL	CCPCTL	CCDSEL	CCUSEL
				rw				rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MMSEL[3:0]				Reserved	OI6	Reserved	OI5	OI4N	OI4	OI3N	OI3	OI2N	OI2	OI1N	OI1
rw					rw		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必须保持复位值
27:24	MMSEL2[3:0]	主模式选择 这 4 位用于选择在主模式下发送出去的同步信息（TRGO2）。可能的组合如下： 0000：复位 - 当 TIMx_EVTGEN.UDGN 置位或从模式控制器产生复位时，将出现 TRGO2 脉冲。在后一种情况下，TRGO2 上的信号与实际复位相比有所延迟。 0001：使能 - TIMx_CTRL1.CNTEN 位用作触发输出 (TRGO2)。有时需要同时启动多个定时器或者在一段时间内开启从定时器。 当 TIMx_CTRL1.CNTEN 位置位或门控模式下的触发输入为高电平时，计数器使能信号置位。 当计数器使能信号由触发输入控制时，TRGO2 上有一个延迟，除非选择了主/从模式（参见 TIMx_SMCTRL.MSMD 位的说明）。 0010：更新 - 选择更新事件作为触发输出 (TRGO2)。例如，主定时器时钟可用作从定时器预分频器。 0011：比较脉冲 - 当 TIMx_STS.CC1ITF 被设置时（即使它已经是高电平），即捕获或比较成功时，触发输出发送一个正脉冲 (TRGO2)。 0100：比较 - OC1REF 信号用作触发输出 (TRGO2)。 0101：比较 - OC2REF 信号用作触发输出（TRGO2)。 0110：比较 - OC3REF 信号用作触发输出 (TRGO2)。 0111：比较 - OC4REF 信号用作触发输出 (TRGO2)。 1000：比较 – OC5REF 信号用作触发输出 (TRGO2)。 1001：比较 – OC6REF 信号用作触发输出 (TRGO2)。 1010：比较脉冲 - OC4REF上升沿或者下降沿时，触发输出发送一个正脉冲 (TRGO2)。 1011：比较脉冲 - OC6REF上升沿或者下降沿时，触发输出发送一个正脉冲 (TRGO2)。 1100：比较脉冲 - OC4REF上升沿或者OC6REF上升沿时，触发输出发送一个正脉冲 (TRGO2)。 1101：比较脉冲 - OC4REF上升沿或者OC6REF下降沿时，触发输出发送一个正脉冲 (TRGO2)。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1110：比较脉冲 – OC5REF上升沿或者OC6REF上升沿时，触发输出发送一个正脉冲(TRGO2)。 1111：比较脉冲 – OC5REF上升沿或者OC6REF下降沿时，触发输出发送一个正脉冲(TRGO2)。
23	TRIG9	通道9比较匹配时触发 ADC 使能 0：触发禁用 1：触发使能
22	TRIG8	通道8比较匹配时触发 ADC 使能 0：触发禁用 1：触发使能
21	TRIG7	通道7比较匹配时触发 ADC 使能 0：触发禁用 1：触发使能
20	TRIG4	通道4比较匹配时触发 ADC 使能 0：触发禁用 1：触发使能
19	TI1SEL	TI1选择 （TI1 selection） 0：TIMx_CH1引脚连到TI1输入； 1：TIMx_CH1、TIMx_CH2和TIMx_CH3引脚经异或后连到TI1输入。
18	CCPCTL	捕获/比较预装载控制位 （Capture/compare preloaded control） 0：CCxEN，CCxNEN和OCxMD位不是预装载的； 1：CCxEN，CCxNEN和OCxMD位是预装载的；设置该位后，它们只在设置了CCUDGN位后被更新。 注意：该位只对具有互补输出的通道起作用。
17	CCDSEL	捕获/比较的DMA选择 （Capture/compare DMA selection） 0：当发生CCx事件时，送出CCx的DMA请求； 1：当发生更新事件时，送出CCx的DMA请求。
16	CCUSEL	捕获/比较控制更新选择 （Capture/compare control update selection） 0：如果捕获/比较控制位是预装载的（CCPCTL =1），只能通过设置CCUDGN位更新它们； 1：如果捕获/比较控制位是预装载的（CCPCTL =1），可以通过设置CCUDGN位或TRGI上的一个上升沿更新它们。 注意：该位只对具有互补输出的通道起作用。
15:12	MMSEL[3:0]	主模式选择 这 4 位用于选择在主模式下发送出去的同步信息（TRGO）。可能的组合如下： 000：复位 - 当 TIMx_EVTGEN.UDGN 置位或从模式控制器产生复位时，将出现 TRGO 脉冲。在后一种情况下，TRGO 上的信号与实际复位相比有所延迟。 0001：使能 - TIMx_CTRL1.CNTEN 位用作触发输出 (TRGO)。有时需要同时启动多个定时器或者在一段时间内开启从定时器。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		当 TIMx_CTRL1.CNTEN 位置位或门控模式下的触发输入为高电平时，计数器使能信号置位。 当计数器使能信号由触发输入控制时，TRGO 上有一个延迟，除非选择了主/从模式（参见 TIMx_SMCTRL.MSMD 位的说明）。 0010：更新 - 选择更新事件作为触发输出 (TRGO)。例如，主定时器时钟可用作从定时器预分频器。 0011：比较脉冲 - 当 TIMx_STS.CC1ITF 被设置时（即使它已经是高电平），即捕获或比较成功时，触发输出发送一个正脉冲 (TRGO)。 0100：比较 - OC1REF 信号用作触发输出 (TRGO)。 0101：比较 - OC2REF 信号用作触发输出（TRGO）。 0110：比较 - OC3REF 信号用作触发输出 (TRGO)。 0111：比较 - OC4REF 信号用作触发输出 (TRGO)。 1xxx：比较-如果计数器为中央对齐模式：OC4REF/OC7REF/OC8REF/OC9REF的相应边沿信号作为触发输出（TRGO），向上/向下计数可配置，具体参考 TIMx_CTRL1.CMODE 。如果计数器为边沿对齐模式：OC4REF 信号用作触发输出 (TRGO)。
11	Reserved	保留，必须保持复位值
10	OI6	输出空闲状态6（OC6输出）。参见OI1位。
9	Reserved	保留，必须保持复位值
8	OI5	输出空闲状态5（OC5输出）。参见OI1位。
7	OI4N	输出空闲状态4（OC4N输出）。参见OI1N位。
6	OI4	输出空闲状态4（OC4输出）。参见OI1位。
5	OI3N	输出空闲状态3（OC3N输出）。参见OI1N位。
4	OI3	输出空闲状态3（OC3输出）。参见OI1位。
3	OI2N	输出空闲状态2（OC2N输出）。参见OI1N位。
2	OI2	输出空闲状态2（OC2输出）。参见OI1位。
1	OI1N	输出空闲状态1（OC1N输出） （Output Idle state 1N） 0：当MOEN=0时，死区后OC1N=0； 1：当MOEN=0时，死区后OC1N=1。 注意：已经设置了TIMx_BKDT.LCKCFG级别1、2或3后，该位不能被修改。
0	OI1	输出空闲状态1（OC1输出） （Output Idle state 1） 0：当MOEN=0时，如果实现了OC1N，则死区后OC1=0； 1：当MOEN=0时，如果实现了OC1N，则死区后OC1=1。 注意：已经设置了TIMx_BKDT.LCKCFG级别1、2或3后，该位不能被修改。

9.6.3 状态寄存器（TIMx_STS）

偏移地址：0x08
复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved					CC9ITF	CC8ITF	CC7ITF	Reserved		SBITF	BITF2	BITF	TITF	COMITF	UDITF
					rc_w0	rc_w0	rc_w0			rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				CC4OCF	CC3OCF	CC2OCF	CC1OCF	Reserved		CC6ITF	CC5ITF	CC4ITF	CC3ITF	CC2ITF	CC1ITF
				rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0			rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0

位域	名称	描述
31:27	Reserved	保留，必须保持复位值
26	CC9ITF	捕获/比较9中断标记 （Capture/Compare 9 interrupt flag） 参考CC1ITF描述。
25	CC8ITF	捕获/比较8中断标记 （Capture/Compare 8 interrupt flag） 参考CC1ITF描述。
24	CC7ITF	捕获/比较7中断标记 （Capture/Compare 7 interrupt flag） 参考CC1ITF描述。
23:22	Reserved	保留，必须保持复位值
21	SBITF	系统刹车中断标记(System break interrupt flag) 一旦系统刹车输入有效，由硬件对该位置’1’。如果系统刹车输入无效，则该位可由软件清’0’。 0：无刹车事件产生； 1：系统刹车输入上检测到有效电平。
20	BITF2	刹车2中断标记 （Break2 interrupt flag） 一旦刹车2输入有效，由硬件对该位置’1’。如果刹车2输入无效，则该位可由软件清’0’。 0：无刹车2事件产生； 1：刹车2输入上检测到有效电平。
19	BITF	刹车1中断标记 （Break1 interrupt flag） 一旦刹车1输入有效，由硬件对该位置’1’。如果刹车1输入无效，则该位可由软件清’0’。 0：无刹车1事件产生； 1：刹车1输入上检测到有效电平。
18	TITF	触发器中断标记 （Trigger interrupt flag） 当发生触发事件（当从模式控制器处于除门控模式外的其它模式时，在TRGI输入端检测到有效边沿，或门控模式下的任一边沿）时由硬件对该位置’1’。它由软件清’0’。 0：无触发器事件产生； 1：触发中断等待响应。
17	COMITF	COM中断标记 （COM interrupt flag） 一旦产生COM事件（当捕获/比较控制位：CCxEN、CCxNEN、OCxMD已被更新）该位由硬件置’1’。它由软件清’0’。 0：无COM事件产生； 1：COM中断等待响应。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
16	UDITF	更新中断标志（Update interrupt flag） 当在以下条件下发生更新事件时，该位由硬件设置： – 当 TIMx_CTRL1.UPDIS = 0 时，并且重复计数器值上溢或下溢（当重复计数器等于 0 时生成更新事件UEV）。 – 当 TIMx_CTRL1.UPRS = 0 时，TIMx_CTRL1.UPDIS = 0，并通过软件设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 位以重新初始化 CNT。 – 当 TIMx_CTRL1.UPRS = 0 时，TIMx_CTRL1.UPDIS = 0，并且计数器 CNT 由触发事件重新初始化。（参见 TIMx_SMCTRL 寄存器说明） 该位由软件清零。 0：未发生更新事件 1：发生更新中断
15:12	Reserved	保留，必须保持复位值
11	CC4OCF	捕获/比较4重复捕获标记 （Capture/Compare 4 overcapture flag） 参见CC1OCF描述。
10	CC3OCF	捕获/比较3重复捕获标记 （Capture/Compare 3 overcapture flag） 参见CC1OCF描述。
9	CC2OCF	捕获/比较2重复捕获标记 （Capture/Compare 2 overcapture flag） 参见CC1OCF描述。
8	CC1OCF	捕获/比较1重复捕获标记 （Capture/Compare 1 overcapture flag） 仅当相应的通道被配置为输入捕获时，该标记可由硬件置1。写0可清除该位。 0：无重复捕获产生； 1：计数器的值被捕获到TIMx_CCDAT1寄存器时，CC1ITF的状态已经为‘1’。
7:6	Reserved	保留，必须保持复位值
5	CC6ITF	捕获/比较6中断标记 （Capture/Compare 6 interrupt flag） 参考CC1ITF描述。
4	CC5ITF	捕获/比较5中断标记 （Capture/Compare 5 interrupt flag） 参考CC1ITF描述。
3	CC4ITF	捕获/比较4中断标记 （Capture/Compare 4 interrupt flag） 参考CC1ITF描述。
2	CC3ITF	捕获/比较3中断标记 （Capture/Compare 3 interrupt flag） 参考CC1ITF描述。
1	CC2ITF	捕获/比较2中断标记 （Capture/Compare 2 interrupt flag） 参考CC1ITF描述。
0	CC1ITF	捕获/比较1中断标记 （Capture/Compare 1 interrupt flag） **如果通道CC1配置为输出模式：** 除中央对齐模式外，当计数器值与比较值相同时，该位由硬件设置（参见 TIMx_CTRL1.CAMSEL 位描述）。 该位由软件清零。 0：未发生匹配。 1：TIMx_CNT 的值与 TIMx_CCDAT1 的值相同。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		当 TIMx_CCDAT1 的值大于 TIMx_AR 的值时，如果计数器溢出（在向上计数和向上/向下计数模式下）和向下计数模式下溢，则 TIMx_STS.CC1ITF 位将变为高电平。 **如果通道CC1配置为输入模式：** 当捕捉事件发生时，该位由硬件设置。 该位由软件或读取 TIMx_CCDAT1 清零。 0：未发生输入捕捉。 1：发生输入捕捉。 计数器值已在 TIMx_CCDAT1 中捕获。 在 IC1 上检测到与所选极性相同的边沿。

9.6.4 事件产生寄存器（TIMx_EVTGEN）

偏移地址:0x0C
复位值:0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved			BGN2	BGN	TGN	CCUDGN	UDGN	Reserved				CC4GN	CC3GN	CC2GN	CC1GN
			w	w	w	w	w					w	w	w	w

位域	名称	描述
31:13	Reserved	保留，必须保持复位值
12	BGN2	产生刹车2事件 （Break2 generation） 当由软件设置时，该位可以产生一个刹车2事件。 而此时TIMx_BKDT.MOEN = 0，TIMx_STS.BITF2 = 1，如果相应的中断和DMA被使能，就会产生相应的中断和DMA。该位由硬件自动清零。 0：无动作 1：产生刹车2事件
11	BGN	产生刹车1事件 （Break1 generation） 当由软件设置时，该位可以产生一个刹车1事件。 而此时TIMx_BKDT.MOEN = 0，TIMx_STS.BITF = 1，如果相应的中断和DMA被使能，就会产生相应的中断和DMA。 该位由硬件自动清零。 0：无动作 1：产生刹车1事件
10	TGN	产生触发事件 （Trigger generation） 当由软件置位时，该位可以产生一个触发事件。 而此时TIMx_STS.TITF = 1，如果相应的中断和DMA被使能，就会产生相应的中断和DMA。 该位由硬件自动清零。 0：无动作 1：产生触发事件

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
9	CCUDGN	捕获/比较事件，产生控制更新 （Capture/Compare control update generation） 该位由软件设置。 如果此时 TIMx_CTRL2.CCPCTL = 1，则允许更新 CCxEN、CCxNEN 和 OCxMD 位。 该位由硬件自动清零。 0：无动作 1：产生一个COM事件 注意：该位仅对具有互补输出的通道有效。
8	UDGN	产生更新事件 （Update generation） 该位由软件置’1’，由硬件自动清’0’。 当由软件设置时，该位可以生成更新事件。 而此时计数器会重新初始化，预分频计数器会被清零，计数器在中央对齐或向上计数模式下会被清零，但在向下计数模式下取TIMx_AR寄存器的值。 该位由硬件自动清零。 0：无动作 1：生成更新事件
7:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3	CC4GN	产生捕获/比较4事件 （Capture/Compare 4 generation） 参考CC1GN描述。
2	CC3GN	产生捕获/比较3事件 （Capture/Compare 3 generation） 参考CC1GN描述。
1	CC2GN	产生捕获/比较2事件 （Capture/Compare 2 generation） 参考CC1GN描述。
0	CC1GN	产生捕获/比较1事件 （Capture/Compare 1 generation） 当由软件设置时，该位可以产生一个捕获/比较事件。 该位由硬件自动清零。 **CC1对应通道为输出模式时：** TIMx_STS.CC1ITF 标志将被拉高，如果相应的中断和 DMA 被使能，就会产生相应的中断和 DMA。 **CC1对应通道为输入模式时：** TIMx_CCDAT1 将捕获当前计数器值，并将 TIMx_STS.CC1ITF 标志拉高，如果相应的中断和 DMA 被使能，则会产生相应的中断和 DMA。 如果 TIMx_STS.CC1ITF 已经拉高，则拉高 TIMx_STS.CC1OCF。 0：无动作 1：生成 CC1 捕获/比较事件

9.6.5 从模式控制寄存器（TIMx_SMCTRL）

偏移地址：0x10

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved								OCREFCLRF[3:0]				OCREF CLRP	Reserved		MSMD
								rw				rw			rw
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

EXTF[3:0]	EXTP	EXCEN	EXTPS[1:0]	SMSEL[3:0]	Reserved	TSEL[2:0]
rw	rw	rw	rw	rw		rw

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必须保持复位值
23:20	OCREFCLRF[3:0]	tim_ocref_clr信号滤波器(tim_ocref_clr signal filter) 这些位用于定义 tim_ocref_clr 信号的采样频率和 tim_ocref_clr 数字滤波的带宽。 实际上，数字滤波器是一个事件计数器，在记录连续 N 个事件后生成验证输出。 0000：无滤波器，以fDTS采样 1000：采样频率fSAMPLING=fDTS/8，N=6 0001：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=2 1001：采样频率fSAMPLING=fDTS/8，N=8 0010：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=4 1010：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=5 0011：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=8 1011：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=6 0100：采样频率fSAMPLING=fDTS/2，N=6 1100：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=8 0101：采样频率fSAMPLING=fDTS/2，N=8 1101：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=5 0110：采样频率fSAMPLING=fDTS/4，N=6 1110：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=6 0111：采样频率fSAMPLING=fDTS/4，N=8 1111：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=8
19	OCREFCLRP	tim_ocref_clr 信号极性 （tim_ocref_clr signal polarity） 该位选择是用tim_ocref_clr 还是tim_ocref_clr 的反相来作为触发操作 0：tim_ocref_clr 高电平或上升沿有效； 1：tim_ocref_clr 低电平或下降沿有效。
18:17	Reserved	保留，必须保持复位值
16	MSMD	主/从模式 （Master/slave mode） 0：无作用； 1：触发输入（TRGI）上的事件被延迟了，以允许在当前定时器（通过TRGO）与它的从定时器间的完美同步。这对要求把几个定时器同步到一个单一的外部事件时是非常有用的。
15:12	EXTF[3:0]	外部触发滤波 （External trigger filter） 这些位用于定义 ETRP 信号的采样频率和 ETRP 数字滤波的带宽。 实际上，数字滤波器是一个事件计数器，在记录连续 N 个事件后生成验证输出。 0000：无滤波器，以fDTS采样 1000：采样频率fSAMPLING=fDTS/8，N=6 0001：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=2 1001：采样频率fSAMPLING=fDTS/8，N=8 0010：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=4 1010：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=5 0011：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=8 1011：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=6 0100：采样频率fSAMPLING=fDTS/2，N=6 1100：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=8 0101：采样频率fSAMPLING=fDTS/2，N=8 1101：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=5 0110：采样频率fSAMPLING=fDTS/4，N=6 1110：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=6 0111：采样频率fSAMPLING=fDTS/4，N=8 1111：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=8
11	EXTP	外部触发极性 （External trigger polarity） 该位选择是用tim_etr_in还是tim_etr_in的反相来作为触发操作 0：tim_etr_in高电平或上升沿有效；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		1：tim_etr_in低电平或下降沿有效。
10	EXCEN	外部时钟使能位 （External clock enable） 该位启用外部时钟模式2 。启用后，计数器由ETRF信号上的任意有效边沿驱动。 0：禁止外部时钟模式2； 1：使能外部时钟模式2。 注意1：当同时使能外部时钟模式 1 和外部时钟模式 2 时，外部时钟的输入为 ETRF。 注意2：以下从机模式可以与外部时钟模式2同时使用：复位模式、门控模式和触发模式； 但是，TRGI 无法连接到 ETRF (TIMx_SMCTRL.TSEL ≠ '111')。 注意3：设置 TIMx_SMCTRL.EXCEN 位与选择外部时钟模式 1 并将 TRGI 连接到 ETRF（TIMx_SMCTRL.SMSEL = 0111 和 TIMx_SMCTRL.TSEL = 111）的效果相同
9:8	EXTPS[1:0]	外部触发预分频 （External trigger prescaler） 外部触发信号 ETRP 的频率必须最多为 TIMxCLK 频率的 1/4。 当输入更快的外部时钟时，可以使用预分频器来降低 ETRP 的频率。 00：关闭预分频； 01：ETRP频率除以2； 10：ETRP频率除以4； 11：ETRP频率除以8。
7:4	SMSEL[3:0]	从模式选择 （Slave mode selection） 当选择了外部信号，触发信号（TRGI）的有效边沿与选中的外部输入极性相关（见输入控制寄存器和控制寄存器的说明） 0000：关闭从模式 – 如果CNTEN=1，则预分频器直接由内部时钟驱动。 0001：编码器模式1 – 根据TI2FP2的电平，计数器在TI1FP1的边沿向上/下计数。 0010：编码器模式2 – 根据TI1FP1的电平，计数器在TI2FP2的边沿向上/下计数。 0011：编码器模式3 – 根据另一个信号的输入电平，计数器在TI1FP1和TI2FP2的边沿向上/下计数。 0100：复位模式 – 在选定触发输入 (TRGI) 的上升沿，计数器重新初始化并更新影子寄存器。 0101：门控模式 – 当触发输入（TRGI）为高时，计数器的时钟开启。一旦触发输入变为低，则计数器停止（但不复位）。计数器的启动和停止都是受控的。 0110：触发模式 – 计数器在触发输入TRGI的上升沿启动（但不复位），只有计数器的启动是受控的。 0111：外部时钟模式1 – 选中的触发输入（TRGI）的上升沿驱动计数器。 1000：双脉冲编码模式2。 1001：正交编码器模式4 – 根据TI2FP2的电平，计数器在TI1FP1的边沿向上/下计数。通过CC1P选择计数边沿。 1010：正交编码器模式5 – 根据TI1FP1的电平，计数器在TI2FP2的边沿向上/下计数。通过CC2P选择计数边沿。 1011：脉冲电平编码模式2。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		1100：脉冲电平编码模式1。通过CC2P设置TI2FP2的计数边沿。 1101：组合门控+复位模式 – 当触发输入（TRGI）为高时，计数器的时钟开启。一旦触发输入变为低，则计数器停止（且复位）。计数器的启动和停止都是受控的。 1110：组合复位+触发模式 – 计数器在触发输入TRGI的上升沿启动（且复位），只有计数器的启动是受控的。 1111：双脉冲编码模式1。通过CC1P和CC2P设置TI1FP1和TI2FP2的计数敏感边沿。 注意：如果TI1F_ED被选为触发输入（TSEL=100）时，不要使用门控模式。这是因为，TI1F_ED在每次TI1F变化时输出一个脉冲，然而门控模式是要检查触发输入的电平。
3	Reserved	保留，必须保持复位值
2:0	TSEL[2:0]	触发选择 （Trigger selection） 这3位选择用于同步计数器的触发输入。 0xx：内部触发（ITRx），根据TIMx_INSEL. ITRS选择ITR信号源 100：TI1的边沿检测器（TI1F_ED） 101：滤波后的定时器输入1（TI1FP1） 110：滤波后的定时器输入2（TI2FP2） 111：外部触发输入（ETRF） 注意：这些位只能在未用到（如SMSEL=000）时被改变，以避免在改变时产生错误的边沿检测。

9.6.6 DMA/中断使能寄存器（TIMx_DINTEN）

偏移地址：0x14

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved								CC9IEN	COMIEN	TDEN	COMDEN	UDEN	BIEN	TIEN	UIEN
								rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				CC4DEN	CC3DEN	CC2DEN	CC1DEN	CC8IEN	CC7IEN	CC6IEN	CC5IEN	CC4IEN	CC3IEN	CC2IEN	CC1IEN
				rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:22	Reserved	保留，必须保持复位值
23	CC9IEN	允许捕获/比较9中断 （Capture/Compare 9 interrupt enable） 0：禁止捕获/比较9中断； 1：允许捕获/比较9中断。
22	COMIEN	允许COM中断 （COM interrupt enable） 0：禁止COM中断； 1：允许COM中断。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
21	TDEN	允许触发DMA请求 （Trigger DMA request enable） 0：禁止触发DMA请求； 1：允许触发DMA请求。
20	COMDEN	允许COM的DMA请求 （COM DMA request enable） 0：禁止COM的DMA请求； 1：允许COM的DMA请求。
19	UDEN	允许更新的DMA请求 （Update DMA request enable） 0：禁止更新的DMA请求； 1：允许更新的DMA请求。
18	BIEN	允许刹车中断 （Break interrupt enable） 0：禁止刹车中断； 1：允许刹车中断。
17	TIEN	触发中断使能 （Trigger interrupt enable） 0：禁止触发中断； 1：使能触发中断。
16	UIEN	允许更新中断 （Update interrupt enable） 0：禁止更新中断； 1：允许更新中断。
15:12	Reserved	保留，必须保持复位值
11	CC4DEN	允许捕获/比较4的DMA请求 （Capture/Compare 4 DMA request enable） 0：禁止捕获/比较4的DMA请求； 1：允许捕获/比较4的DMA请求。
10	CC3DEN	允许捕获/比较3的DMA请求 （Capture/Compare 3 DMA request enable） 0：禁止捕获/比较3的DMA请求； 1：允许捕获/比较3的DMA请求。
9	CC2DEN	允许捕获/比较2的DMA请求 （Capture/Compare 2 DMA request enable） 0：禁止捕获/比较2的DMA请求； 1：允许捕获/比较2的DMA请求。
8	CC1DEN	允许捕获/比较1的DMA请求 （Capture/Compare 1 DMA request enable） 0：禁止捕获/比较1的DMA请求； 1：允许捕获/比较1的DMA请求。
7	CC8IEN	允许捕获/比较8中断 （Capture/Compare 8 interrupt enable） 0：禁止捕获/比较8中断； 1：允许捕获/比较8中断。
6	CC7IEN	允许捕获/比较7中断 （Capture/Compare 7 interrupt enable） 0：禁止捕获/比较7中断； 1：允许捕获/比较7中断。
5	CC6IEN	允许捕获/比较6中断 （Capture/Compare 6 interrupt enable） 0：禁止捕获/比较6中断；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：允许捕获/比较6中断。
4	CC5IEN	允许捕获/比较5中断 （Capture/Compare 5 interrupt enable） 0：禁止捕获/比较5中断； 1：允许捕获/比较5中断。
3	CC4IEN	允许捕获/比较4中断 （Capture/Compare 4 interrupt enable） 0：禁止捕获/比较4中断； 1：允许捕获/比较4中断。
2	CC3IEN	允许捕获/比较3中断 （Capture/Compare 3 interrupt enable） 0：禁止捕获/比较3中断； 1：允许捕获/比较3中断。
1	CC2IEN	允许捕获/比较2中断 （Capture/Compare 2 interrupt enable） 0：禁止捕获/比较2中断； 1：允许捕获/比较2中断。
0	CC1IEN	允许捕获/比较1中断 （Capture/Compare 1 interrupt enable） 0：禁止捕获/比较1中断； 1：允许捕获/比较1中断。

9.6.7 捕获/比较模式寄存器 1（TIMx_CCMOD1）

偏移地址：0x18
复位值：0x0000 0000
通道可用于输入（捕获模式）或输出（比较模式），通道的方向由相应的 CCxSEL 位定义。该寄存器其它位的作用在输入和输出模式下不同。OCx 描述了通道在输出模式下的功能，ICx 描述了通道在输入模式下的功能。因此必须注意，同一个位在输出模式和输入模式下的功能是不同的。
输出比较模式：

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
OC2MD[2:0]			OC2CEN	OC2FEN	OC2PEN	CC2SEL[1:0]		OC1MD[2:0]			OC1CEN	OC1FEN	OC1PEN	CC1SEL[1:0]	
rw			rw	rw	rw	rw		rw			rw	rw	rw	rw	

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:13	OC2MD[2:0]	输出比较2模式 （Output Compare 2 mode）
12	OC2CEN	输出比较2清0使能 （Output Compare 2 clear enable）
11	OC2FEN	输出比较2快速使能 （Output Compare 2 fast enable）
10	OC2PEN	输出比较2预装载使能 （Output Compare 2 preload enable）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
9:8	CC2SEL[1:0]	捕获/比较2选择。（Capture/Compare 2 selection） 该位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC2通道被配置为输出； 01：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TI2上； 10：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TI1上； 11：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 注意：CC2SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC2EN=0）才是可写的。
7:5	OC1MD[2:0]	输出比较1模式 （Output Compare 1 mode） 这些位用于管理输出参考信号 OC1REF，它决定了 OC1 和 OC1N 的值，在高电平有效，而 OC1 和 OC1N 的有效电平取决于 TIMx_CCEN.CC1P 和 TIMx_CCEN.CC1NP 位。 000：冻结。 TIMx_CCDAT1 寄存器和计数器 TIMx_CNT 之间的比较对 OC1REF 信号没有影响。 001：将通道 1 设置为匹配时的有效电平。当 TIMx_CCDAT1 = TIMx_CNT 时，OC1REF 信号将被强制为高电平。 010：将通道 1 设置为匹配时的无效电平。当 TIMx_CCDAT1 = TIMx_CNT 时，OC1REF 信号将被强制为低电平。 011：翻转。当 TIMx_CCDAT1 = TIMx_CNT 时，OC1REF 信号将被翻转。 100：强制无效电平。 OC1REF 信号被强制为低电平。 101：强制有效电平。 OC1REF 信号被强制为高电平。 110：PWM 模式 1 - 在向上计数模式下，如果 TIMx_CNT < TIMx_CCDAT1，则通道 1 的 OC1REF 信号为高电平，否则为低电平。在向下计数模式下，如果 TIMx_CNT > TIMx_CCDAT1，则通道 1 的 OC1REF 信号为低电平，否则为高电平。 111：PWM 模式 2 - 在向上计数模式下，如果 TIMx_CNT < TIMx_CCDAT1，则通道 1 的 OC1REF 信号为低电平，否则为高电平。在向下计数模式下，如果 TIMx_CNT > TIMx_CCDAT1，则通道 1 的 OC1REF 信号为高电平，否则为低电平。 注意：在 PWM 模式 1 或 PWM 模式 2 中，OC1REF 电平仅在比较结果改变或输出比较模式从冻结模式切换到 PWM 模式时才会改变。
4	OC1CEN	输出比较1清'0'使能 （Output Compare 1 clear enable） 0：OC1REF 不受tim_ocref_clr_in输入的影响； 1：一旦检测到tim_ocref_clr_in输入高电平（tim_ocref_clr_in由TIMx_CTRL1.CLRSEL控制来源），OC1REF=0。
3	OC1FEN	输出比较1 快速使能 （Output Compare 1 fast enable） 该位用于加快CC输出对触发输入事件的响应。 0：根据计数器与CCDAT1的值，CC1正常操作，即使触发器是打开的。当触发器的输入有一个有效沿时，激活CC1输出的最小延时为5个时钟周期。 1：输入到触发器的有效沿的作用就像发生了一次比较匹配。因此，OC1被设置为比较电平而与比较结果无关。采样触发器的有效沿和CC1输出间的延时被缩短为3个时钟周

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		期。 OCxFEN只在通道被配置成PWM1或PWM2模式时起作用。
2	OC1PEN	输出比较 1 预加载使能（Output Compare 1 preload enable） 0：禁用 TIMx_CCDAT1 寄存器的预加载功能。 支持随时对TIMx_CCDAT1寄存器进行写操作，写入的值立即生效。 1：使能 TIMx_CCDAT1 寄存器的预加载功能。 仅对预加载寄存器进行读写操作。当更新事件发生时，TIMx_CCDAT1 的值被加载到影子寄存器中。 注意：只有当 TIMx_CTRL1.ONEPM = 1（在单脉冲模式下）时，才能使用 PWM 模式而不验证预加载寄存器，否则无法预测其他行为。
1:0	CC1SEL[1:0]	捕获/比较1 选择。（Capture/Compare 1 selection） 这2位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC1通道被配置为输出； 01：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TI1上； 10：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TI2上； 11：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 注意：CC1SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC1EN=0）才是可写的。

输入捕获模式：

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
IC2F[3:0]				IC2PSC[1:0]		CC2SEL[1:0]		IC1F[3:0]				IC1PSC[1:0]		CC1SEL[1:0]	
rw				rw		rw		rw				rw		rw	

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:12	IC2F[3:0]	输入捕获2滤波器 （Input capture 2 filter）
11:10	IC2PSC[1:0]	输入/捕获2预分频器 （Input capture 2 prescaler）
9:8	CC2SEL[1:0]	捕获/比较2选择 （Capture/Compare 2 selection） 这2位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC2通道被配置为输出； 01：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TI2上； 10：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TI1上； 11：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 注意：CC2SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC2EN=0）才是可写的。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

7:4	IC1F[3:0]	输入捕获1滤波器 （Input capture 1 filter） 这几位定义了TI1输入的采样频率及数字滤波器长度。数字滤波器由一个事件计数器组成，它记录到N个事件后会产生一个输出的跳变： 0000：无滤波器，以f_{DTS}采样 1000：采样频率$f_{SAMPLING}$=f_{DTS}/8，N=6 0001：采样频率$f_{SAMPLING}$=f_{CK_INT}，N=2 1001：采样频率$f_{SAMPLING}$=f_{DTS}/8，N=8 0010：采样频率$f_{SAMPLING}$=f_{CK_INT}，N=4 1010：采样频率$f_{SAMPLING}$=f_{DTS}/16，N=5 0011：采样频率$f_{SAMPLING}$=f_{CK_INT}，N=8 1011：采样频率$f_{SAMPLING}$=f_{DTS}/16，N=6 0100：采样频率$f_{SAMPLING}$=f_{DTS}/2，N=6 1100：采样频率$f_{SAMPLING}$=f_{DTS}/16，N=8 0101：采样频率$f_{SAMPLING}$=f_{DTS}/2，N=8 1101：采样频率$f_{SAMPLING}$=f_{DTS}/32，N=5 0110：采样频率$f_{SAMPLING}$=f_{DTS}/4，N=6 1110：采样频率$f_{SAMPLING}$=f_{DTS}/32，N=6 0111：采样频率$f_{SAMPLING}$=f_{DTS}/4，N=8 1111：采样频率$f_{SAMPLING}$=f_{DTS}/32，N=8
3:2	IC1PSC[1:0]	输入/捕获1预分频器 （Input capture 1 prescaler） 这2位定义了CC1输入（IC1）的预分频系数。 一旦TIMx_CCEN.CC1EN=0，则预分频器复位。 00：无预分频器，捕获输入口上检测到的每一个边沿都触发一次捕获； 01：每2个事件触发一次捕获； 10：每4个事件触发一次捕获； 11：每8个事件触发一次捕获。
1:0	CC1SEL[1:0]	捕获/比较1选择 （Capture/Compare 1 Selection） 这2位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC1通道被配置为输出； 01：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TI1上； 10：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TI2上； 11：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 注意：CC1SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC1EN=0）才是可写的。

9.6.8 捕获/比较模式寄存器 2（TIMx_CCMOD2）

偏移地址：0x1C
复位值：0x0000 0000
参看以上 CCMOD1 寄存器的描述
输出比较模式：

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
OC4MD[2:0]			OC4CEN	OC4FEN	OC4PEN	CC4SEL[1:0]		OC3MD[2:0]			OC3CEN	OC3FEN	OC3PEN	CC3SEL[1:0]	
rw			rw	rw	rw	rw		rw			rw	rw	rw	rw	

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:13	OC4MD[2:0]	输出比较4模式 （Output compare 4 mode）
12	OC4CEN	输出比较4清0使能 （Output compare 4 clear enable）
11	OC4FEN	输出比较4快速使能 （Output compare 4 fast enable）
10	OC4PEN	输出比较4预装载使能 （Output compare 4 preload enable）
9:8	CC4SEL[1:0]	捕获/比较4选择 （Capture/Compare 4 selection） 该2位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC4通道被配置为输出； 01：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TI4上； 10：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TI3上； 11：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 注意：CC4SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC4EN=0）才是可写的。
7:5	OC3MD[2:0]	输出比较3模式 （Output compare 3 mode）
4	OC3CEN	输出比较3清0使能 （Output compare 3 clear enable）
3	OC3FEN	输出比较3快速使能 （Output compare 3 fast enable）
2	OC3PEN	输出比较3预装载使能 （Output compare 3 preload enable）
1:0	CC3SEL[1:0]	捕获/比较3选择 （Capture/Compare 3 selection） 这2位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC3通道被配置为输出； 01：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TI3上； 10：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TI4上； 11：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 注意：CC3SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC3EN=0）才是可写的。

输入捕获模式：

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
IC4F[3:0]				IC4PSC[1:0]		CC4SEL[1:0]		IC3F[3:0]				IC3PSC[1:0]		CC3SEL[1:0]	
rw				rw		rw		rw				rw		rw	

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:12	IC4F[3:0]	输入捕获4滤波器 (Input capture 4 filter)
11:10	IC4PSC[1:0]	输入/捕获4预分频器 (Input capture 4 prescaler)

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
9:8	CC4SEL[1:0]	捕获/比较4选择 (Capture/Compare 4 selection) 这2位定义通道的方向(输入/输出)，及输入脚的选择： 00：CC4通道被配置为输出； 01：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TI4上； 10：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TI3上； 11：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时(由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择)。 注意：CC4SEL仅在通道关闭时(TIMx_CCEN寄存器的CC4EN=0)才是可写的。
7:4	IC3F[3:0]	输入捕获3滤波器 (Input capture 3 filter)
3:2	IC3PSC[1:0]	输入/捕获3预分频器 (Input capture 3 prescaler)
1:0	CC3SEL[1:0]	捕获/比较3选择 (Capture/compare 3 selection) 这2位定义通道的方向(输入/输出)，及输入脚的选择： 00：CC3通道被配置为输出； 01：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TI3上； 10：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TI4上； 11：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时(由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择)。 注意：CC3SEL仅在通道关闭时(TIMx_CCEN寄存器的CC3EN=0)才是可写的。

9.6.9 捕获/比较模式寄存器 3（TIMx_CCMOD3）

偏移地址：0x20

复位值：0x0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved							OC9PEN	Reserved			OC8PEN	Reserved			OC7PEN
							rw				rw				rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
OC6MD[2:0]			OC6CEN	OC6FEN	OC6PEN	Reserved		OC5MD[2:0]			OC5CEN	OC5FEN	OC5PEN	Reserved	
rw			rw	rw	rw			rw			rw	rw	rw		

位域	名称	描述
31:25	Reserved	保留，必须保持复位值
24	OC9PEN	输出比较9预装载使能 （Output compare 9 preload enable）
23:21	Reserved	保留，必须保持复位值
20	OC8PEN	输出比较8预装载使能 （Output compare 8 preload enable）
19:17	Reserved	保留，必须保持复位值
16	OC7PEN	输出比较7预装载使能 （Output compare 7 preload enable）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
15:13	OC6MD[2:0]	输出比较6模式 （Output compare 6 mode）
12	OC6CEN	输出比较6清0使能 （Output compare 6 clear enable）
11	OC6FEN	输出比较6快速使能 （Output compare 6 fast enable）
10	OC6PEN	输出比较6预装载使能 （Output compare 6 preload enable）
9:8	Reserved	保留，必须保持复位值
7:5	OC5MD[2:0]	输出比较5模式 （Output compare 5 mode）
4	OC5CEN	输出比较5清0使能 （Output compare 5 clear enable）
3	OC5FEN	输出比较5快速使能 （Output compare 5 fast enable）
2	OC5PEN	输出比较5预装载使能 （Output compare 5 preload enable）
1:0	Reserved	保留，必须保持复位值

9.6.10 捕获/比较使能寄存器（TIMx_CCEN）

偏移地址：0x24
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved								CC6P	CC6EN	Reserved		CC5P	CC5EN	Reserved	
								rw	rw			rw	rw		

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CC4P	CC4EN	CC4NP	CC4NEN	CC3P	CC3EN	CC3NP	CC3NEN	CC2P	CC2EN	CC2NP	CC2NEN	CC1P	CC1EN	CC1NP	CC1NEN
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必须保持复位值
23	CC6P	捕获/比较6输出极性 （Capture/Compare 6 output polarity） 参考TIMx_CCEN.CC1P的描述。
22	CC6EN	捕获/比较6输出使能 （Capture/Compare 6 output enable） 参考TIMx_CCEN.CC1EN 的描述
21:20	Reserved	保留，必须保持复位值
19	CC5P	捕获/比较5输出极性 （Capture/Compare 5 output polarity） 参考TIMx_CCEN.CC1P的描述。
18	CC5EN	捕获/比较5输出使能 （Capture/Compare 5 output enable） 参考TIMx_CCEN.CC1EN 的描述
17：16	Reserved	保留，必须保持复位值
15	CC4P	捕获/比较4输出极性 （Capture/Compare 4 output polarity） 参考TIMx_CCEN.CC1P的描述。
14	CC4EN	捕获/比较4输出使能 （Capture/Compare 4 output enable）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		参考TIMx_CCEN.CC1EN 的描述。
13	CC4NP	捕获/比较4互补输出极性 （Capture/Compare 4 complementary output polarity） 参考TIMx_CCEN.CC1NP的描述。
12	CC4NEN	捕获/比较4互补输出使能 （Capture/Compare 4 complementary output enable） 参考TIMx_CCEN.CC1NEN的描述。
11	CC3P	捕获/比较3输出极性 （Capture/Compare 3 output polarity） 参考TIMx_CCEN.CC1P的描述。
10	CC3EN	捕获/比较3输出使能 （Capture/Compare 3 output enable） 参考TIMx_CCEN.CC1E 的描述。
9	CC3NP	捕获/比较3互补输出极性 （Capture/Compare 3 complementary output polarity） 参考TIMx_CCEN.CC1NP的描述。
8	CC3NEN	捕获/比较3互补输出使能 （Capture/Compare 3 complementary output enable） 参考TIMx_CCEN.CC1NEN的描述。
7	CC2P	捕获/比较2输出极性 （Capture/Compare 2 output polarity） 参考TIMx_CCEN.CC1P的描述。
6	CC2EN	捕获/比较2输出使能 （Capture/Compare 2 output enable） 参考TIMx_CCEN.CC1EN的描述。
5	CC2NP	捕获/比较2互补输出极性 （Capture/Compare 2 complementary output polarity） 参考TIMx_CCEN.CC1NP的描述。
4	CC2NEN	捕获/比较2互补输出使能 （Capture/Compare 2 complementary output enable） 参考TIMx_CCEN.CC1NEN的描述。
3	CC1P	捕获/比较1输出极性 （Capture/Compare 1 output polarity） **CC1对应通道为输出模式时：** 0：OC1 高电平有效 1：OC1 低电平有效 **CC1对应通道为输入模式时：** 此时，该位用于选择是使用IC1还是IC1的反相信号作为触发信号或捕捉信号。 0：非反相：当 IC1 产生上升沿时发生捕获动作。 当用作外部触发时，IC1 是非反相的。 1：反相：当 IC1 产生下降沿时发生捕获动作。 当用作外部触发时，IC1 被反相。
2	CC1EN	捕获/比较1输出使能 （Capture/Compare 1 output enable） **CC1通道配置为输出：** 0： 关闭－ OC1禁止输出，因此OC1的输出电平依赖于MOEN、OSSI、OSSR、OI1、OI1N和CC1NEN位的值。 1： 开启－ OC1信号输出到对应的输出引脚，其输出电平依赖于MOEN、OSSI、OSSR、OI1、OI1N和CC1NEN位的值。 **CC1通道配置为输入：** 该位决定了计数器的值是否能捕获入TIMx_CCDAT1寄存器。 0：捕获禁止； 1：捕获使能。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
1	CC1NP	捕获/比较1互补输出极性 （Capture/Compare 1 complementary output polarity） 0：OC1N高电平有效； 1：OC1N低电平有效。
0	CC1NEN	捕获/比较1互补输出使能 （Capture/Compare 1 complementary output enable） 0：禁用 - 禁用输出 OC1N 信号。 OC1N 的电平取决于TIMx_BKDT.MOEN、TIMx_BKDT.OSSI、TIMx_BKDT.OSSR、TIMx_CTRL2.OI1、TIMx_CTRL2.OI1N 和 TIMx_CCEN.CC1EN 的值。 1：使能 - 使能输出 OC1N 信号。 OC1N 的电平取决于TIMx_BKDT.MOEN、TIMx_BKDT.OSSI、TIMx_BKDT.OSSR、TIMx_CTRL2.OI1、TIMx_CTRL2.OI1N 和 TIMx_CCEN.CC1EN 的值。

表 9-16 带刹车功能的互补输出通道 OCx 和 OCxN 的控制位

<table>
<tr><th colspan="5">控制位</th><th colspan="2">输出状态(1)</th></tr>
<tr><th>MOEN</th><th>OSSI</th><th>OSSR</th><th>CCxEN</th><th>CCxNEN</th><th>OCx 输出状态</th><th>OCxN 输出状态</th></tr>
<tr><td rowspan="8">1</td><td rowspan="8">X</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>输出禁止（与定时器断开）
OCx=0，OCx_EN=0</td><td>输出禁止（与定时器断开）
OCxN=0，OCxN_EN=0</td></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>输出禁止（与定时器断开）
OCx=0，OCx_EN=0</td><td>OCxREF + 极性，
OCxN= OCxREF xor CCxNP，
OCxN_EN=1</td></tr>
<tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>OCxREF + 极性，
OCx= OCxREF xor CCxP，
OCx_EN=1</td><td>输出禁止（与定时器断开）
OCxN=0，OCxN_EN=0</td></tr>
<tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>OCxREF + 极性 + 死区，
OCx_EN=1</td><td>OCxREF 反相 + 极性 + 死区，
OCxN_EN=1</td></tr>
<tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>输出禁止（与定时器断开）
OCx=CCxP，OCx_EN=0</td><td>输出禁止（与定时器断开）
OCxN=CCxNP，OCxN_EN=0</td></tr>
<tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>关闭状态（输出使能且为无效电平）
OCx=CCxP，OCx_EN=1</td><td>OCxREF + 极性，
OCxN= OCxREF xor CCxNP，
OCxN_EN=1</td></tr>
<tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>OCxREF + 极性，
OCx= OCxREF xor CCxP，
OCx_EN=1</td><td>关闭状态（输出使能且为无效电平）
OCxN=CCxNP，OCxN_EN=1</td></tr>
<tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>OCxREF + 极性 + 死区，
OCx_EN=1</td><td>OCxREF 反相 + 极性 + 死区，
OCxN_EN=1</td></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>X</td><td>0</td><td>0</td><td colspan="2">输出禁止（与定时器断开）</td></tr>
</table>

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

	0		0	1	异步： OCx=CCxP， OCx_EN=0， OCxN=CCxNP，OCxN_EN=0； 若时钟存在：假设 (CCxP ^ OIx) ^ (CCxNP^OIxN)! = 0， 经过一个死区时间后 OCx=OIx，OCxN=OIxN
	0		1	0	
	0		1	1	
	1		0	0	关闭状态（输出使能且为无效电平） 异步： OCx=CCxP， OCx_EN=1， OCxN=CCxNP，OCxN_EN=1； 若时钟存在：假设 (CCxP ^ OIx) ^ (CCxNP^OIxN)! = 0， 经过一个死区时间后 OCx=OIx，OCxN=OIxN，
	1		0	1	
	1		1	0	
	1		1	1	

1. 如果一个通道的 2 个输出都没有使用（CCxEN = CCxNEN = 0），那么 OIx, OIxN, CCxP 和 CCxNP 都必须清零。

注意：引脚连接到互补的 OCx 和 OCxN 通道的外部 I/O 引脚的状态，取决于 OCx 和 OCxN 通道状态和 GPIO 以及 AFIO 寄存器。

9.6.11 捕获/比较寄存器 1（TIMx_CCDAT1）

偏移地址：0x28

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CCDDAT1[15:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CCDAT1[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	CCDDAT1[15:0]	捕获/比较通道1向下计数值(Capture/Compare 1 down-counting value)，专用于中央对齐非对称模式。 ■ CC1 通道只能配置为输出： CCDDAT1 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值（仅当 TIMx_CTRL1.DIR = 1 且处于非对称模式时），在 OC1 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD1.OC1PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。
15:0	CCDAT1[15:0]	捕获/比较通道1的值（Capture/Compare 1 value） ■ CC1 通道配置为输出： CCDAT1 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC1 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD1.OC1PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。 ■ CC1 通道配置为输入：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	CCDDAT1[15:0]	捕获/比较通道1向下计数值(Capture/Compare 1 down-counting value)，专用于中央对齐非对称模式。 ■ CC1 通道只能配置为输出： CCDDAT1 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值（仅当 TIMx_CTRL1.DIR = 1 且处于非对称模式时），在 OC1 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD1.OC1PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。
		CCDAT1 包含由最后一个输入捕获 1 事件 (IC1) 传输的计数器值。 当配置为输入模式时，寄存器 CCDAT1 和 CCDDAT1 只能读取。 当配置为输出模式时，寄存器 CCDAT1 和 CCDDAT1 是可读写的。

9.6.12 捕获/比较寄存器 2（TIMx_CCDAT2）

偏移地址：0x2C
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CCDDAT2[15:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CCDAT2[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	CCDDAT2[15:0]	捕获/比较通道2向下计数值(Capture/Compare 2 down-counting value)，专用于中央对齐非对称模式。 ■ CC2 通道只能配置为输出： CCDDAT2 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值（仅当 TIMx_CTRL1.DIR = 1 且处于非对称模式时），在 OC2 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD1.OC2PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。
15:0	CCDAT2[15:0]	捕获/比较通道2的值（Capture/Compare 2 value） ■ CC2 通道配置为输出： CCDAT2 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC2 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD1.OC2PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。 ■ CC2 通道配置为输入： CCDAT2 包含由最后一个输入捕获 2 事件 (IC2) 传输的计数器值。 当配置为输入模式时，寄存器 CCDAT2 和 CCDDAT2 只能读取。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	CCDDAT2[15:0]	捕获/比较通道2向下计数值(Capture/Compare 2 down-counting value)，专用于中央对齐非对称模式。 ■ CC2 通道只能配置为输出： CCDDAT2 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值（仅当 TIMx_CTRL1.DIR = 1 且处于非对称模式时），在 OC2 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD1.OC2PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。
		当配置为输出模式时，寄存器 CCDAT2 和 CCDDAT2 是可读写的。

9.6.13 捕获/比较寄存器 3（TIMx_CCDAT3）

偏移地址：0x30
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CCDDAT3[15:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CCDAT3[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	CCDDAT3[15:0]	捕获/比较通道3向下计数值(Capture/Compare 3 down-counting value)，专用于中央对齐非对称模式。 ■ CC3 通道只能配置为输出： CCDDAT3 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值（仅当 TIMx_CTRL1.DIR = 1 且处于非对称模式时），在 OC3 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD2.OC3PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。
15:0	CCDAT3[15:0]	捕获/比较通道3的值（Capture/Compare 3 value） ■ CC3 通道配置为输出： CCDAT3 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC3 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD2.OC3PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。 ■ CC3 通道配置为输入： CCDAT3 包含由最后一个输入捕获 3 事件 (IC3) 传输的计数器值。 当配置为输入模式时，寄存器 CCDAT3 和 CCDDAT3 只能读取。 当配置为输出模式时，寄存器 CCDAT3 和 CCDDAT3 是可读写的。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

9.6.14 捕获/比较寄存器 4（TIMx_CCDAT4）

偏移地址：0x34
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CCDDAT4[15:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CCDAT4[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	CCDDAT4[15:0]	捕获/比较通道4向下计数值(Capture/Compare 4 down-counting value)，专用于中央对齐非对称模式。 ■ CC4 通道只能配置为输出： CCDDAT4 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值（仅当 TIMx_CTRL1.DIR = 1 且处于非对称模式时），在 OC4 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD2.OC4PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。
15:0	CCDAT4[15:0]	捕获/比较通道4的值（Capture/Compare 4 value） ■ CC4 通道配置为输出： CCDAT4 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC4 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD2.OC4PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。 ■ CC4 通道配置为输入： CCDAT4 包含由最后一个输入捕获 4 事件 (IC4) 传输的计数器值。 当配置为输入模式时，寄存器 CCDAT4 和 CCDDAT4 只能读取。 当配置为输出模式时，寄存器 CCDAT4 和 CCDDAT4 是可读写的。

9.6.15 捕获/比较寄存器 5（TIMx_CCDAT5）

偏移地址：0x38
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CCDAT5[15:0]															
rw															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	CCDAT5[15:0]	捕获/比较通道5的值（Capture/Compare 5 value） ■ CC5 通道只能配置为输出： CCDAT5 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC5 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD3.OC5PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。

9.6.16 捕获/比较寄存器 6（TIMx_CCDAT6）

偏移地址：0x3C
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CCDAT6[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	CCDAT6[15:0]	捕获/比较通道6的值（Capture/Compare 6 value） ■ CC6 通道只能配置为输出： CCDAT6 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC6 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD3.OC6PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。

9.6.17 预分频器（TIMx_PSC）

偏移地址：0x40
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PSC[15:0]															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

rw

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	PSC[15:0]	预分频器的值 （Prescaler value） 计数器时钟 $f_{CK\_CNT} = f_{CK\_PSC}/ (PSC [15:0] +1)$。 每次发生更新事件时，PSC 值都会加载到预分频器的影子寄存器中。

9.6.18 自动重装载寄存器（TIMx_AR）

偏移地址:0x44
复位值: 0x0000 FFFF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
AR[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	AR[15:0]	自动重装载的值 （Auto-reload value） AR包含了将要装载入实际的自动重装载寄存器的值。详细参考9.5.1节：有关AR的更新和动作。 当自动重装载的值为空时，计数器不工作。

9.6.19 计数器（TIMx_CNT）

偏移地址：0x48
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CNT[15:0]															
rw															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	CNT[15:0]	计数器的值 （Counter value）

9.6.20 重复计数寄存器（TIMx_REPCNT）

偏移地址：0x4C
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								REPCNT[7:0]							
								rw							

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值
7:0	REPCNT[7:0]	重复计数器的值 （Repetition counter value） 重复计数器仅在给定数量 (N+1) 个计数器周期后用于生成更新事件或更新定时器寄存器，其中 N 是 TIMx_REPCNT.REPCNT 的值。 在向上计数模式下，每次计数器溢出，向下计数模式下每次计数器下溢或中央对齐模式下每次计数器溢出和每次计数器下溢时，重复计数器都会递减。 设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 位将重新加载 TIMx_REPCNT.REPCNT 的内容并生成更新事件。

9.6.21 刹车和死区寄存器（TIMx_BKDT）

偏移地址：0x50
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved										BRK2BID	BRKBID	BRK2 DSRM	BRK DSRM	BK2EN	BK2P
										rw	rw	rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
LCKCFG[1:0]		OSSR	OSSI	BKEN	BKP	AOEN	MOEN	DTGN[7:0]							
rw		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw							

注意：根据锁定设置，BRK2BID、BRKBID、BK2EN、BK2P、AOEN、BKP、BKEN、OSSI、OSSR 和 DTGN[7:0] 位均可被写保护，有必要在第一次写入 TIMx_BKDT 寄存器时对它们进行配置。

位域	名称	描述
31:22	Reserved	保留，必须保持复位值

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

21	BRK2BID	刹车2双向使能(Break2 bidirectional enable) 0：刹车2为输入模式 1：刹车2为双向模式 在双向模式下，刹车2输入被配置为在输入和开漏输出模式。任何刹车2事件会在刹车2输入IO上产生一个低电平，由此向外设显示内部发生了一个刹车2事件。 注意：一旦LOCK级别（TIMx_BKDT寄存器中的LCKCFG位）设为'1'，则该位不能被修改。 注意：任何对该位的写操作都需要一个APB时钟的延迟以后才能起作用。
20	BRKBID	刹车1双向使能(Break1 bidirectional enable) 0：刹车1为输入模式 1：刹车1为双向模式 在双向模式下，刹车1输入被配置为在输入和开漏输出模式。任何刹车1事件会在刹车1输入IO上产生一个低电平，由此向外设显示内部发生了一个刹车1事件。 注意：一旦LOCK级别（TIMx_BKDT寄存器中的LCKCFG位）设为'1'，则该位不能被修改。 注意：任何对该位的写操作都需要一个APB时钟的延迟以后才能起作用。
19	BRK2DSRM	刹车2解除(Break2 disarm) 0：刹车2输入预备 1：刹车2输入解除 刹车2输入无效时该位由硬件自动清零。 BRK2DSRM由软件设置以解除刹车2双向输出控制（开漏输出为高阻态），然后软件轮询该位直到其被硬件复位，表示刹车2事件已经消失。 注意：任何对该位的写操作都需要一个APB时钟的延迟以后才能起作用。
18	BRKDSRM	刹车1解除(Break1 disarm) 0：刹车1输入预备 1：刹车1输入解除 刹车1输入无效时该位由硬件自动清零。 BRKDSRM由软件设置以解除刹车1双向输出控制（开漏输出为高阻态），然后软件轮询该位直到其被硬件复位，表示刹车1事件已经消失。 注意：任何对该位的写操作都需要一个APB时钟的延迟以后才能起作用。
17	BK2EN	刹车2功能使能 （Break2 enable）,该位使能整个刹车2保护电路 0：禁止刹车2输入； 1：开启刹车2输入。 注意：刹车2只能在OSSI=OSSR=1时使用。 注意：当设置了LOCK级别1时（TIMx_BKDT寄存器中的LCKCFG位），该位不能被修改。 注意：任何对该位的写操作都需要一个APB时钟的延迟以后才能起作用。
16	BK2P	刹车2输入极性 （Break2 polarity） 0：刹车2输入低电平有效； 1：刹车2输入高电平有效。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		注意：一旦LOCK级别（TIMx_BKDT寄存器中的LCKCFG位）设为'1'，则该位不能被修改。 注意：任何对该位的写操作都需要一个APB时钟的延迟以后才能起作用。
15:14	LCKCFG[1:0]	锁定设置 （Lock configuration） 该位为防止软件错误而提供写保护。 这些位提供针对软件错误的写保护。 00: – 没有写保护。 01： – 锁定级别 1 TIMx_BKDT.DTGN、TIMx_BKDT.BKEN、TIMx_BKDT.BKP、TIMx_BKDT.AOEN、TIMx_CTRL2.OIx、TIMx_CTRL2.OIxN 位启用写保护。 10： – 锁定 2 级 除了 LOCK Level 1 模式下的寄存器写保护外，TIMx_CCEN.CCxP 和 TIMx_CCEN.CCxNP（如果相应通道配置为输出模式），TIMx_BKDT.OSSR 和 TIMx_BKDT.OSSI 位也使能写保护。 11: – 锁定 3 级 除了 LOCK Level 2 中的寄存器写保护外，TIMx_CCMODx.OCxMD 和 TIMx_CCMODx.OCxPEN 位（如果相应通道配置为输出模式）也启用写保护。 注意：定时器复位后，LCKCFG 位只能写一次。 一旦写入 TIMx_BKDT 寄存器，LCCKCFG 将受到保护，直到下一次复位。
13	OSSR	当 TIMx_BKDT.MOEN=1 且通道为互补输出时使用该位。 没有互补输出的定时器中不存在 OSSR 位。 0：当定时器不工作时，禁止OC/OCN输出（OC/OCN使能输出信号=0）； 1：当定时器不工作时，一旦CCxEN=1或CCxNEN=1，首先开启OC/OCN并输出无效电平，然后置OC/OCN使能输出信号=1。 有关更多详细信息，请参见第9.6.9节，捕获/比较启用寄存器 (TIMx_CCEN)。
12	OSSI	空闲模式下"关闭状态"选择 （Off-state selection for Idle mode） 当 TIMx_BKDT.MOEN=0 且通道配置为输出时使用该位。 0：当定时器不工作时，禁止OC/OCN输出（OC/OCN使能输出信号=0）； 1：当定时器不工作时，一旦CCxEN=1 或CCxNEN=1，OC/OCN首先输出其空闲电平，然后OC/OCN使能输出信号=1。 有关更多详细信息，请参见第9.6.9节，捕获/比较启用寄存器 (TIMx_CCEN)。
11	BKEN	刹车1功能使能 （Break1 enable） 0：禁止刹车1输入； 1：开启刹车1输入。 注意：任何对该位的写操作都需要一个APB时钟的延迟以后才能起作用。
10	BKP	刹车1输入极性 （Break1 polarity） 0：刹车1输入低电平有效；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		1：刹车1输入高电平有效。 注意：任何对该位的写操作都需要一个APB时钟的延迟以后才能起作用。
9	AOEN	自动输出使能 （Automatic output enable） 0：只有软件可以设置TIMx_BKDT.MOEN； 1：软件设置TIMx_BKDT.MOEN； 或者如果刹车输入未激活，则在下一次更新事件发生时，硬件自动设置 TIMx_BKDT.MOEN。
8	MOEN	主输出使能 （Main output enable） 该位可由软件或硬件根据 TIMx_BKDT.AOEN 位设置，一旦刹车输入有效，该位由硬件异步清零。 它仅对配置为输出的通道有效。 0：OC 和 OCN 输出被禁用或强制进入空闲状态。 1：如果设置了 TIMx_CCEN.CCxEN 或 TIMx_CCEN.CCxNEN 位，则使能 OC 和 OCN 输出。 有关更多详细信息，请参见第 9.6.9节捕获/比较使能寄存器 (TIMx_CCEN)。
7:0	DTGN[7:0]	死区发生器设置 （Dead-time generator setup） 这些位定义插入的互补输出之间的死区持续时间。 DTGN值与死区时间的关系如下： DTGN[7:5]=0xx => DT=DTGN[7:0] × T_{dtgn}，T_{dtgn} = T_{DTS}； DTGN[7:5]=10x => DT=(64+DTGN[5:0]) × T_{dtgn}，T_{dtgn} = 2 × T_{DTS}； DTGN[7:5]=110 => DT=(32+DTGN[4:0]) × T_{dtgn}，T_{dtgn} = 8 × T_{DTS}； DTGN[7:5]=111 => DT=(32+DTGN[4:0])× T_{dtgn}，T_{dtgn} = 16 × T_{DTS}；

9.6.22 捕获/比较寄存器 7（TIMx_CCDAT7）

偏移地址：0x54
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CCDAT7[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	CCDAT7[15:0]	捕获/比较通道7的值（Capture/Compare 7 value） ■ CC7 通道只能配置为输出： CCDAT7 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC7 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD3.OC7PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

9.6.23 捕获/比较寄存器 8（TIMx_CCDAT8）

偏移地址：0x58
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CCDAT8[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	CCDAT8[15:0]	捕获/比较通道8的值（Capture/Compare 8 value） ■ CC8 通道只能配置为输出： CCDAT8 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC8 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD3.OC8PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。

9.6.24 捕获/比较寄存器 9（TIMx_CCDAT9）

偏移地址：0x5C
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CCDAT9[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	CCDAT9[15:0]	捕获/比较通道9的值（Capture/Compare 9 value） ■ CC9 通道只能配置为输出： CCDAT9 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC9 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD3.OC9PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

9.6.25 刹车 1 滤波寄存器（TIMx_BKFR）

偏移地址：0x60

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		THRESH[5:0]						Reserved	WSIZE[5:0]						FILTEN
		rw							rw						rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值
29:24	THRESH[5:0]	采样逻辑电平有效的阈值数(Threshold)，最大 63： 有效逻辑电平的阈值。 在采样窗口内，如果逻辑高的数量大于或等于阈值，则下一个逻辑电平将为逻辑高。 同样的规则适用于逻辑低。 如果窗口内 1 和 0 的数量都小于阈值，则过滤器输出保持不变。 阈值应设置为大于或等于 Window 值的一半。 推荐阈值范围为： **最小值：**比最大毛刺大小的上限（预分频时钟周期）多 1 个预分频时钟周期，并且需要大于窗口大小的一半。 例如，如果毛刺大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为 $\lceil 3.2 \rceil = 4 + 1 = 5$ **最大值：**有效信号最小尺寸的底值（在预分频时钟周期内），需要小于窗口尺寸。 例如，如果最小信号大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为下限 (3.2) = 3。
23	Reserved	保留，必须保持复位值
22:17	WSIZE[5:0]	逻辑电平检查的窗口大小值（Window size），最大 63： 窗口大小决定了在获得下一个逻辑级别时将考虑多少采样值。 内置 FIFO 为 64 位，最大索引为 63，只能将窗口大小设置为 63。
16	FILTEN	滤波器使能（Filter enable）： 0：滤波器禁能 1：滤波器使能
15:0	Reserved	保留，必须保持复位值

9.6.26 输入选择寄存器（TIMx_INSEL）

注意：详细信号源选择见 9.4 章节。

偏移地址：0x78

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				CLRS[3:0]				ITRS[3:0]				ETRS[3:0]			

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

					rw				rw				rw		
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TI4S[3:0]				TI3S[3:0]				TI2S[3:0]				TI1S[3:0]			
rw				rw				rw				rw			

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必须保持复位值
27:24	CLRS[3:0]	选择tim_ocref_clr输入(Selects tim_ocref_clr input signal) 0000：tim_ocref_clr0 0001：tim_ocref_clr1 … 1111 ：tim_ocref_clr15 注：一旦LOCK级别（TIMx_BKDT寄存器中的LCKCFG位）设为'1'，则该位不能被修改。
23:20	ITRS[3:0]	选择tim_itr输入 0000：tim_itr0 0001：tim_itr1 … 1111 ：tim_itr15
19:16	ETRS[3:0]	选择tim_etr输入 0000：tim_etr0 0001：tim_etr1 … 1111 ：tim_etr15 注：一旦LOCK级别（TIMx_BKDT寄存器中的LCKCFG位）设为'1'，则该位不能被修改。
15:12	TI4S[3:0]	选择tim_ti4[15:0]输入 0000：tim_ti4_in0 0001：tim_ti4_in1 … 1111 ：tim_ti4_in15
11:8	TI3S[3:0]	选择tim_ti3[15:0]输入 0000：tim_ti3_in0 0001：tim_ti3_in1 … 1111 ：tim_ti3_in15
7:4	TI2S[3:0]	选择tim_ti2[15:0]输入 0000：tim_ti2_in0 0001：tim_ti2_in1

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		… 1111 ：tim_ti2_in15
3:0	TI1S[3:0]	选择tim_ti1[15:0]输入 0000：tim_ti1_in0 0001：tim_ti1_in1 … 1111 ：tim_ti1_in15

9.6.27 复用功能寄存器 1（TIMx_AF1）

偏移地址：0x7C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved			DSMU2BRKP	Reserved	DSMU0BRKP	IOMBRKP	Reserved					DSMU2BRKEN	Reserved	DSMU0BRKEN	IOMBRKEN
		rw	rw	rw	rw	rw		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:13	Reserved	保留，必须保持复位值
12	DSMU2BRKP	tim_brk_ dsmu2输入极性选择 0：tim_brk_ dsmu2输入极性不翻转（如果BKP=0,则低电平有效；如果BKP=1,则高电平有效） 1：tim_brk_ dsmu2输入极性翻转（如果BKP=0,则高电平有效；如果BKP=1,则低电平有效）
11	Reserved	保留，必须保持复位值
10	DSMU0BRKP	tim_brk_ dsmu0输入极性选择 0：tim_brk_ dsmu0输入极性不翻转（如果BKP=0,则低电平有效；如果BKP=1,则高电平有效） 1：tim_brk_ dsmu0输入极性翻转（如果BKP=0,则高电平有效；如果BKP=1,则低电平有效）
9	IOMBRKP	TIMx_BKIN刹车输入极性选择 0：TIMx_BKIN刹车输入极性不翻转（如果BKP=0,则低电平有效；如果BKP=1,则高电平有效） 1：TIMx_BKIN刹车输入极性翻转（如果BKP=0,则高电平有效；如果BKP=1,则低电平有效）
8:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3	DSMU2BRKEN	tim_brk_dsmu2输入使能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		0：tim_brk_dsmu2输入禁止 1：tim_brk_dsmu2输入使能
2	Reserved	保留，必须保持复位值
1	DSMU0BRKEN	tim_brk_dsmu0输入使能 0：tim_brk_dsmu0输入禁止 1：tim_brk_dsmu0输入使能
0	IOMBRKEN	TIMx_BKIN刹车输入使能 0：TIMx_BKIN刹车输入禁止 1：TIMx_BKIN刹车输入使能

9.6.28 复用功能寄存器 2（TIMx_AF2）

偏移地址：0x80

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		DSMU3 BRK2P	Reserved	DSMU1 BRK2P	Reserved	IOM BRK2P	Reserved				DSMU3 BRK2EN	Reserved	DSMU1B RK2EN	Reserved	IOM BRK2EN
		rw	rw	rw	rw	rw		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:14	Reserved	保留，必须保持复位值
13	DSMU3BRK2P	tim_brk2_dsmu3输入极性选择 0：tim_brk2_ dsmu3输入极性不翻转（如果BKP2=0,则低电平有效；如果BKP2=1,则高电平有效） 1：tim_brk2_ dsmu3输入极性翻转（如果BKP2=0,则高电平有效；如果BKP2=1,则低电平有效）
12	Reserved	保留，必须保持复位值
11	DSMU1BRK2P	tim_brk2_ dsmu1输入极性选择 0：tim_brk2_ dsmu1输入极性不翻转（如果BKP2=0,则低电平有效；如果BKP2=1,则高电平有效） 1：tim_brk2_ dsmu1输入极性翻转（如果BKP2=0,则高电平有效；如果BKP2=1,则低电平有效）
10	Reserved	保留，必须保持复位值
9	IOMBRK2P	TIMx_BKIN2刹车输入极性选择 0：TIMx_BKIN2刹车输入极性不翻转（如果BKP2=0,则低电平有效；如果BKP2=1,则高电平有效） 1：TIMx_BKIN2刹车输入极性翻转（如果BKP2=0,则高电平有效；如果BKP2=1,则低电

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		平有效）
8:5	Reserved	保留，必须保持复位值
4	DSMU3BRK2EN	tim_brk2_dsmu3输入使能 0：tim_brk2_ dsmu3输入禁止 1：tim_brk2_ dsmu3输入使能
3	Reserved	保留，必须保持复位值
2	DSMU1BRK2EN	tim_brk2_ dsmu1输入使能 0：tim_brk2_ dsmu1输入禁止 1：tim_brk2_ dsmu1输入使能
1	Reserved	保留，必须保持复位值
0	IOMBRK2EN	TIMx_BKIN2刹车输入使能 0：TIMx_BKIN2刹车输入禁止 1：TIMx_BKIN2刹车输入使能

9.6.29 刹车 2 滤波寄存器（TIMx_ BKFR2）

偏移地址：0x84

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		THRESH[5:0]						Reserved	WSIZE[5:0]						FILTEN
		rw							rw						rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值
29:24	THRESH2[5:0]	采样逻辑电平有效的阈值数(Threshold)，最大 63： 有效逻辑电平的阈值。 在采样窗口内，如果逻辑高的数量大于或等于阈值，则下一个逻辑电平将为逻辑高。 同样的规则适用于逻辑低。 如果窗口内 1 和 0 的数量都小于阈值，则过滤器输出保持不变。 阈值应设置为大于或等于 Window 值的一半。 推荐阈值范围为： **最小值**：比最大毛刺大小的上限（预分频时钟周期）多 1 个预分频时钟周期，并且需要大于窗口大小的一半。 例如，如果毛刺大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为 $\lceil 3.2 \rceil = 4 + 1 = 5$ **最大值**：有效信号最小尺寸的底值（在预分频时钟周期内），需要小于窗口尺寸。 例如，如果最小信号大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为下限 (3.2) = 3。
23	Reserved	保留，必须保持复位值
22:17	WSIZE2[5:0]	逻辑电平检查的窗口大小值（Window size），最大 63：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		窗口大小决定了在获得下一个逻辑级别时将考虑多少采样值。 内置 FIFO 为 64 位，最大索引为 63，只能将窗口大小设置为 63。
16	FILTEN2	滤波器使能（Filter enable）： 0: 滤波器禁能 1: 滤波器使能
15:0	Reserved	保留，必须保持复位值

9.6.30 滑动滤波预分频寄存器（TIMx_SLIDFPSC）

偏移地址：0x88
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SLIDFPSC [15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	SLIDFPSC [15:0]	滑动滤波采样时钟预分频寄存器（Prescaler）： 对于此过滤器，它支持 65535 分频（16 位）。 时钟预分频器将系统时钟缩放到采样时钟。采样时钟决定两个采样点之间的距离。只有采样点的值有效才会考虑的逻辑电平计算。 通过配置这些位来确定刹车1输入滑动滤波和刹车2输入滑动滤波采样时钟分频，与TIMx_BKFR、TIMx_BKFR2配合使用。

9.6.31 DMA 控制寄存器（TIMx_DCTRL）

偏移地址：0x94
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		DBADDR[5:0]						Reserved		DBLEN[5:0]					
		rw								rw					

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:14	Reserved	保留，必须保持复位值
13:8	DBADDR[5:0]	DMA基地址 （DMA base address） 该位字段定义 DMA 访问 TIMx_DADDR 寄存器的第一个地址。 当第一次通过 TIMx_DADDR 完成访问时，该位域指定您刚刚访问的地址。 然后第二次访问TIMx_DADDR，会访问到"DMA Base Address + 4"的地址 00000：TIMx_CTRL1， 00001：TIMx_CTRL2， 00010：TIMx_SMCTRL， ...... 10001：TIMx_BKDT 10010：TIMx_DCTRL
7:6	Reserved	保留，必须保持复位值
5:0	DBLEN[5:0]	DMA连续传送长度 （DMA burst length） 该位字段定义 DMA 将访问（写入/读取）TIMx_DADDR 寄存器的次数。 000000：1次传输 000001：2次传输 000010：3次传输 … 010001：18次传输 ...... 100010：35次传输 例：我们考虑这样的传输：DBLEN=7，DBADDR=TIMx_CTRL1 如果DBLEN=7，DBADDR=TIMx_CTRL1表示待传输数据的地址，那么传输的地址由下式给出： (TIMx_CTRL1的地址) + DBADDR + (DMA索引), 其中 DMA索引 = DBLEN 其中(TIMx_CTRL1的地址) + DBADDR再加上7，给出了将要写入或者读出数据的地址，这样数据的传输将发生在从地址(TIMx_CTRL1的地址) + DBADDR开始的7个寄存器。 如果设置数据为半字（16位），那么数据就会传输给全部7个寄存器。 如果设置数据为字节，数据仍然会传输给全部7个寄存器：第一个寄存器包含第一个MSB字节，第二个寄存器包含第一个LSB字节，以此类推。因此对于定时器，用户必须指定由DMA传输的数据宽度。

9.6.32 连续模式的DMA 地址（TIMx_DADDR）

偏移地址：0x98

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
BURST[31:0]															
rw															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
BURST[31:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	BURST[31:0]	DMA 访问缓冲区。 当对该寄存器分配读或写操作时，将访问位于地址范围（DMA base address + DMA burst length × 4）的寄存器。 DMA base address = The address of TIM_CTRL1 + TIMx_DCTRL. DBADDR * 4； DMA burst len = TIMx_DCTRL.DBLEN + 1. 例子： 如果 TIMx_DCTRL.DBLEN = 0x3（4 次传输），TIMx_DCTRL.DBADDR = 0xD (TIMx_CCDAT1)，DMA 数据长度 = 半字，DMA 存储器地址 =SRAM 中的缓冲区地址，DMA 外设地址 =TIMx_DADDR 地址。 当事件发生时，TIMx 将向 DMA 发送请求，并传输 4 次数据。 第一次，对 TIMx_DADDR 寄存器的 DMA 访问将映射到访问 TIMx_CCDAT1 寄存器； 第二次，对 TIMx_DADDR 寄存器的 DMA 访问将映射到访问 TIMx_CCDAT2 寄存器； …… 第四次，对 TIMx_DADDR 寄存器的 DMA 访问将映射到访问 TIMx_CCDAT4 寄存器；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

10 通用定时器（GTIM1/ GTIM4）

10.1 GTIMx（x=1,4）简介

通用定时器（GTIM1/ GTIM4）主要用于以下场合：对输入信号进行计数、测量输入信号的脉冲宽度和产生输出波形等。

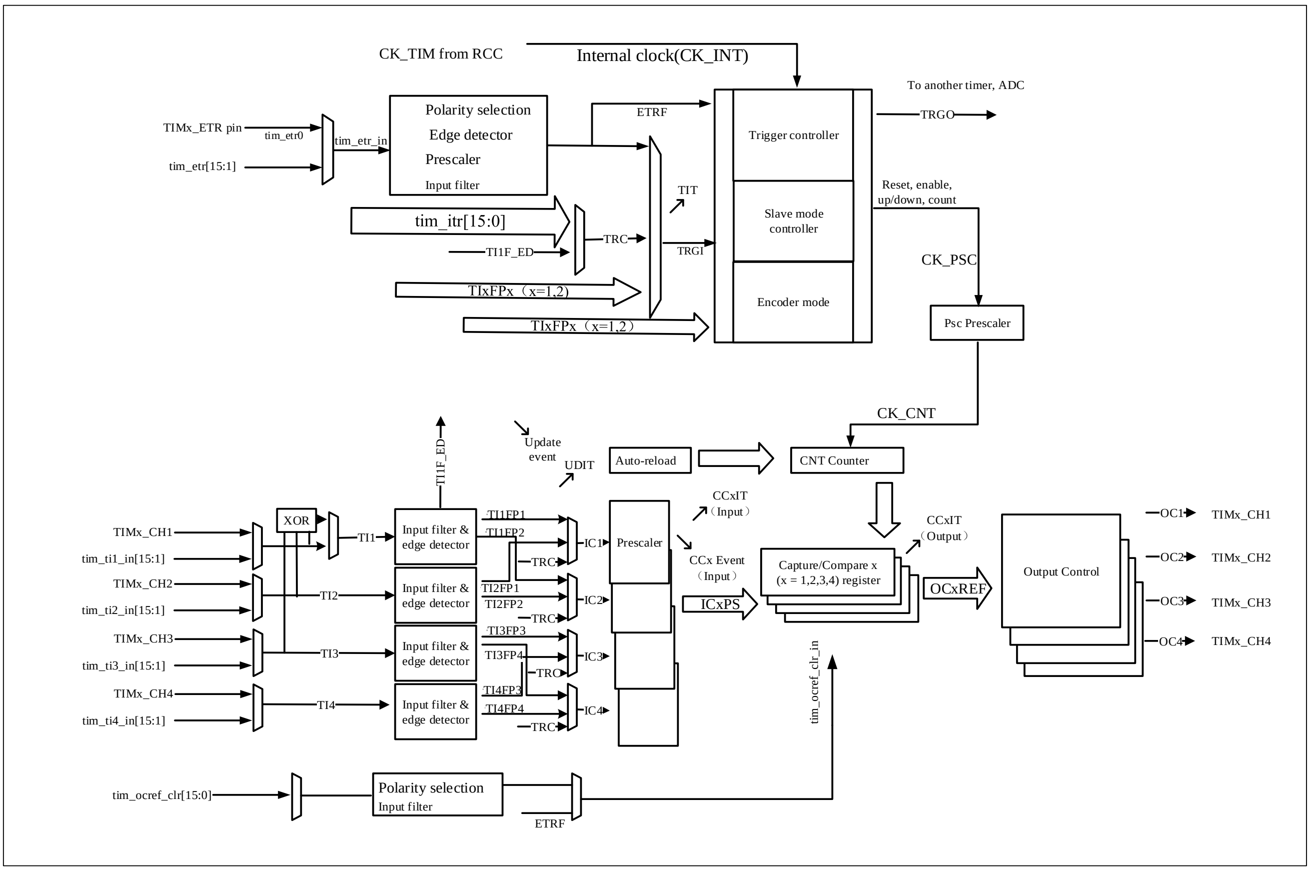
10.2 GTIMx（x=1,4）主要特性

- 32 位自动装载计数器。（可实现向上计数、向下计数、向上/下计数）。
- 16 位可编程预分频器。（分频系数可配置为 1 到 65536 之间的任意值）
- GTIMx 最多支持 4 个通道
- 通道工作模式：PWM 输出、输出比较、单脉冲模式输出、输入捕获
- 如下事件发生时产生中断/DMA：
  - 更新事件
  - 触发事件
  - 输入捕获
  - 输出比较
- 可通过外部信号控制定时器
- 多个定时器内部连接在一起，以实现定时器的同步或链接
- 增量（正交）编码器接口：用于追踪运行轨迹和解析旋转方位
- 霍尔传感器接口：用于三相电机控制

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

10.3 GTIMx（x=1,4）框图

图 10-1 GTIMx（x=1,4）框图



10.4 GTIMx（x=1,4）的引脚及内部信号

详细信息见 11.4 章节。

10.5 GTIMx（1,4）功能描述

10.5.1 时基单元

通用器的时基单元主要包括：预分频器、计数器和自动重装载寄存器。当时基单元工作时，软件可以随时读取和写入相应的寄存器（TIMx_PSC、TIMx_CNT 和 TIMx_AR）。

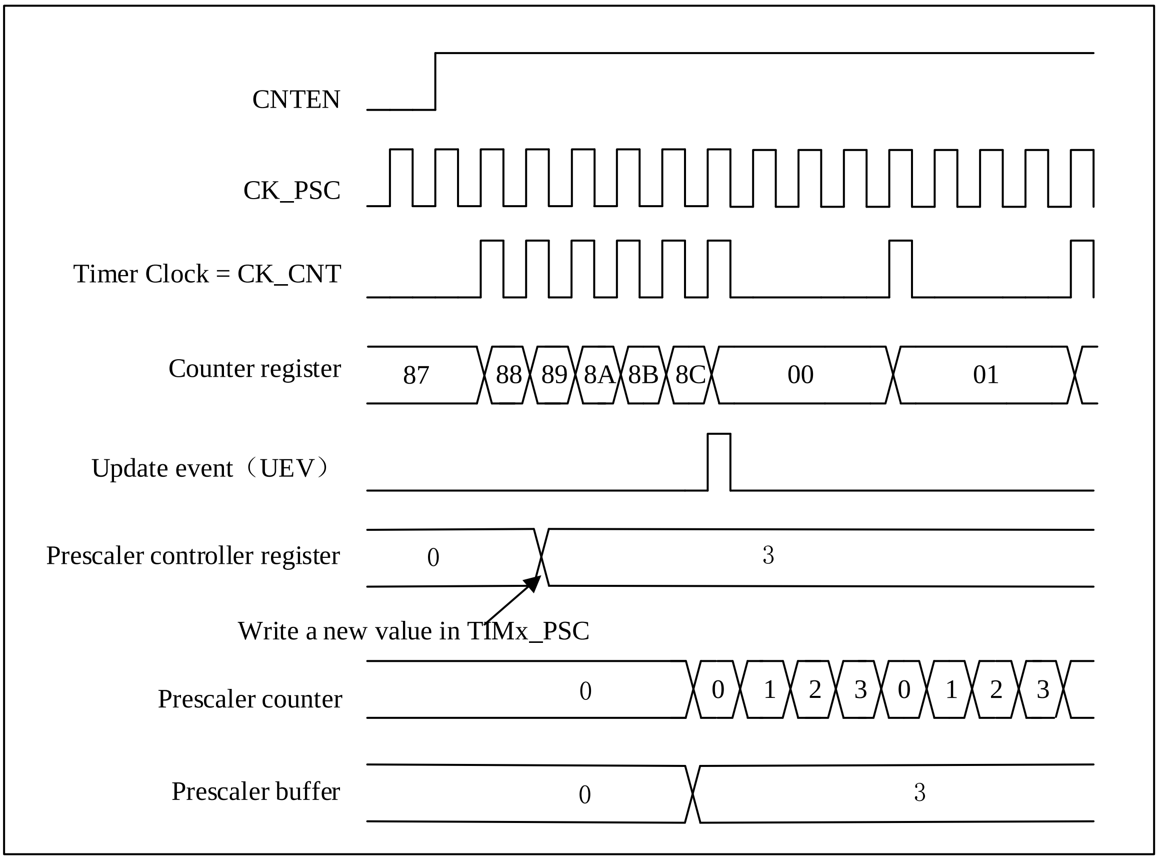
根据自动重装载预装载使能位（TIMx_CTRL1.ARPEN）的设置，预装载寄存器的值会立即或在每次更新事件 UEV 时传输到影子寄存器。TIMx_CTRL1.UPDIS=0 时，当计数器上溢/下溢或软件设置 TIMx_EVTGEN.UDGN，将生成更新事件。计数器 CK_CNT 仅在 TIMx_CTRL1. CNTEN 位被设置时有效。计数器在 TIMx_CTRL.CNTEN 位被设置后一个时钟周期之后开始计数。

10.5.1.1 预分频器描述

TIMx_PSC 寄存器由一个 16 位计数器组成，可用于计数器时钟频率按 1 和 65536 之间的任意分频。因为这个控制器带有缓冲器，可以在运行时动态改变。新的预分频器值只有在下次更新事件中才会被采用。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 10-2 当预分频的参数从 1 到 4，计数器的时序图



10.5.2 计数器模式

10.5.2.1 向上计数模式

使用向上计数模式，计数器将从 0 计数到寄存器 TIMx_AR 的值，然后重置为 0。并产生一个计数器溢出事件。

如果设置 TIMx_CTRL1.UPRS 位(选择更新请求)和 TIMx_EVTGEN. UDGN 位，将产生一个更新事件(UEV)。但是 TIMx_STS.UDITF 不会被硬件置起，因此不会产生更新中断或 DMA 更新请求。这是为了避免清除计数器时产生更新中断。

取决于 TIMx_CTRL1.UPRS 的配置，当发生更新事件时，TIMx_STS.UDITF 被设置，所有寄存器都会更新：

- 当 TIMx_CTRL1.ARPEN = 1，预装载寄存器(TIMx_AR)的值被更新到自动装载影子寄存器
- 预加载值（TIMx_PSC）被重新加载到预分频器影子寄存器中

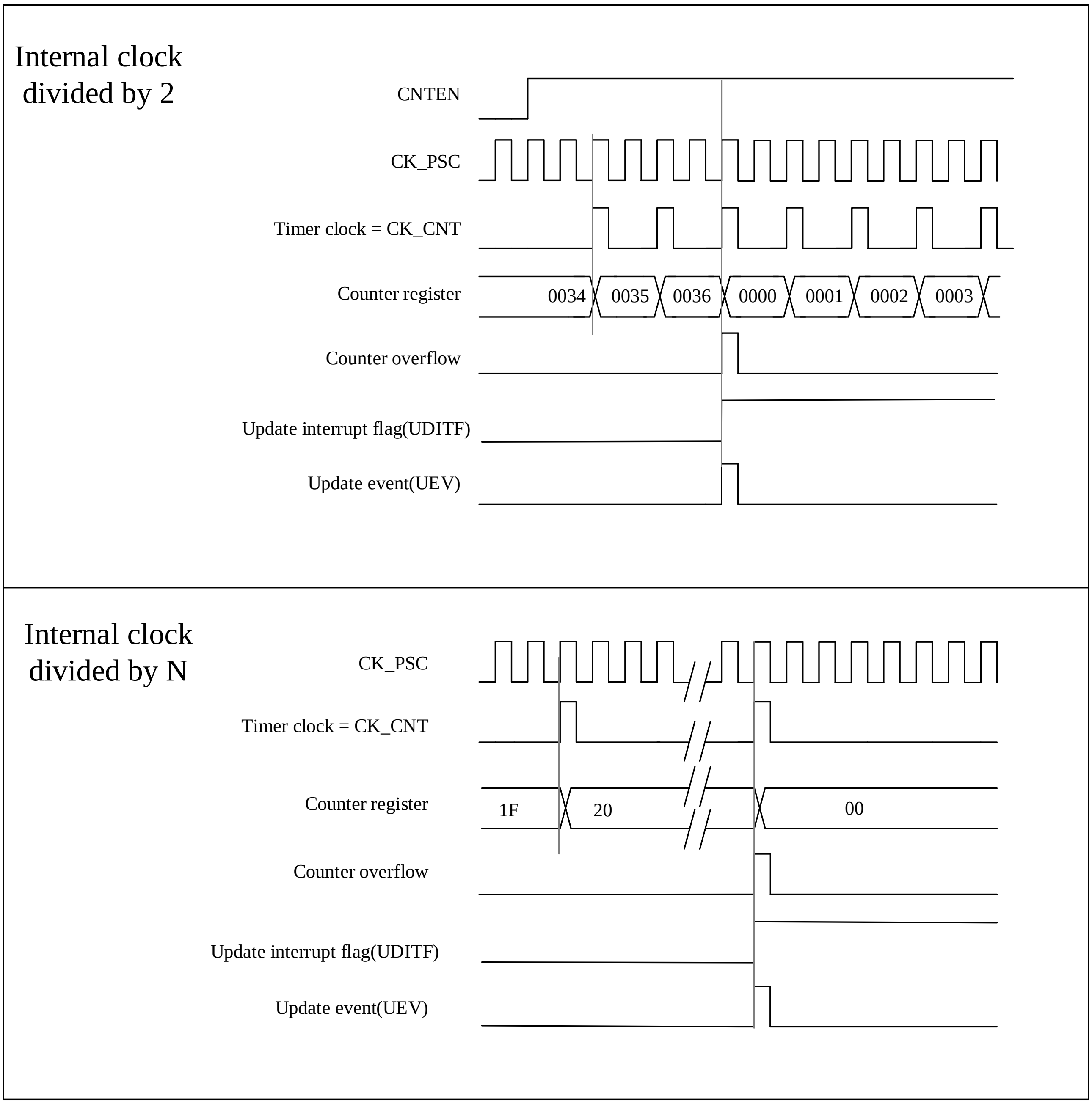
为了避免在向预装载寄存器中写入新值时更新影子寄存器，可以通过设置 TIMx_CTRL1.UPDIS=1 来禁止更新事件。

当产生一个更新事件时，计数器仍将被清除，预分频器计数器也将被设置为 0(但预分频器值将保持不变)。

下图给出一些示例，展示了向上计数模式计数器在不同分频因子下的动作。

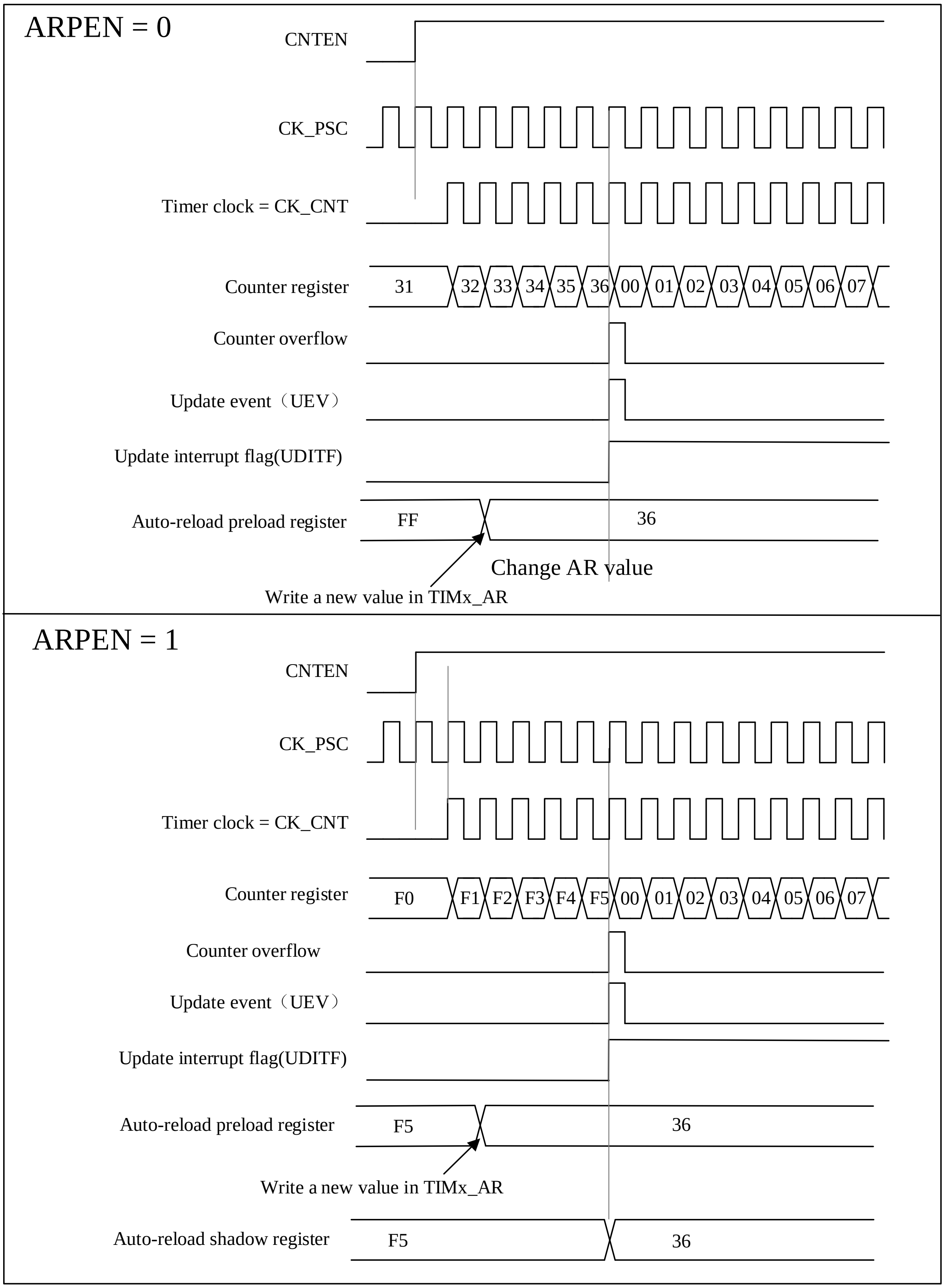
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com　邮编：518057

图 10-3 当内部时钟分频因子 =2/N 时，向上计数的时序图



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 10-4 当 ARPEN=0/1 产生更新事件时，向上计数的时序图



10.5.2.2 向下计数模式

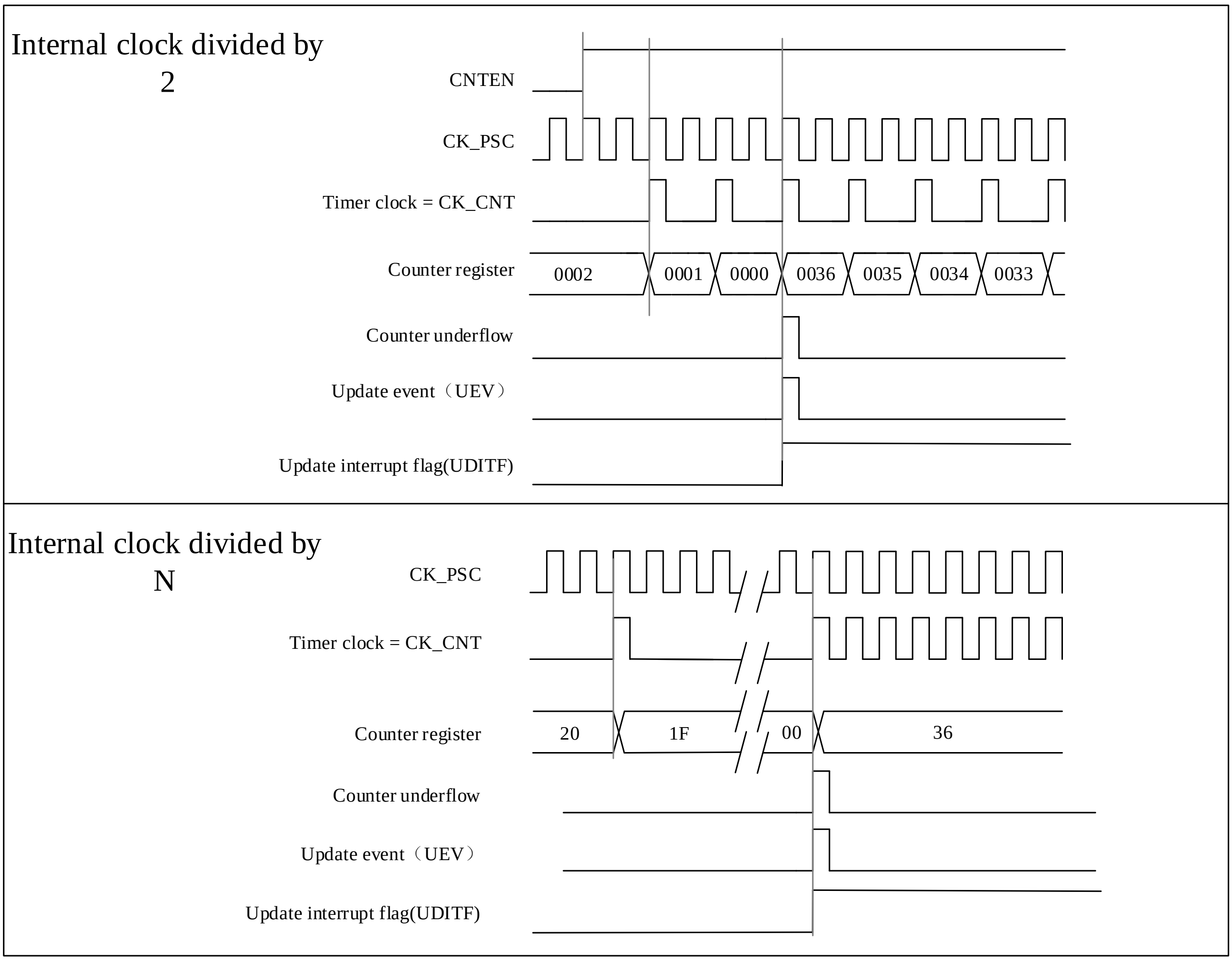
向下计数模式，计数器将从寄存器 TIMx_AR 的值减至 0，然后从自动重装载值重新开始，并产生计数器向下溢出事件

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

向下计数模式和向上计数模式配置更新事件和更新寄存器的过程相同，请查阅 11.5.2.1 章节.

下图给出一些示例，展示了向下计数模式计数器在不同分频因子下的动作。

图 10-5 内部时钟分频因子 ＝2/N 时，向下计数时序图



10.5.2.3 中央对齐模式

在中央对齐模式下，计数器从 0 增加到值（TIMx_AR）–1，产生计数器溢出事件。然后，它从自动重装载值（TIMx_AR）向下计数到 1，并生成一个计数器向下溢出事件。然后计数器重置为 0 并再次开始计数。

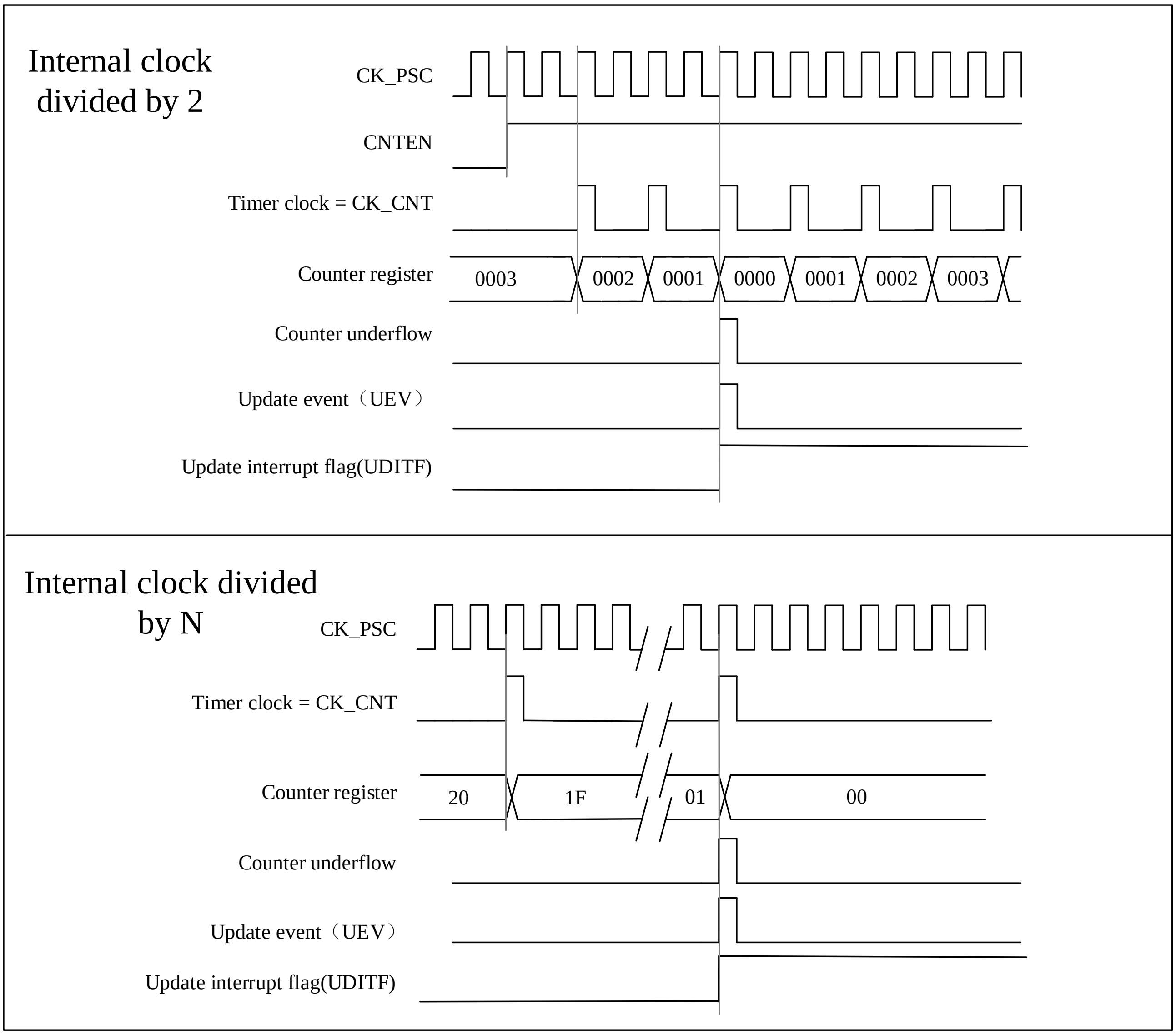
在这种模式下，TIMx_CTRL1.DIR 方向位无效，由硬件更新和指定当前计数方向。当 TIMx_CTRL1.CAMSEL 位不等于“00”时，中央对齐模式有效。

每次计数上溢和计数下溢时都会生成更新事件。或者，也可以通过设置 TIMx_EVTGEN. UDGN 位（通过软件或使用从模式控制器）来生成更新事件。在这种情况下，计数器从 0 重新开始计数，预分频器的计数器也从 0 重新开始计数。

注：如果因为计数器溢出而产生更新，自动重装载将在计数器重新载入之前被更新。

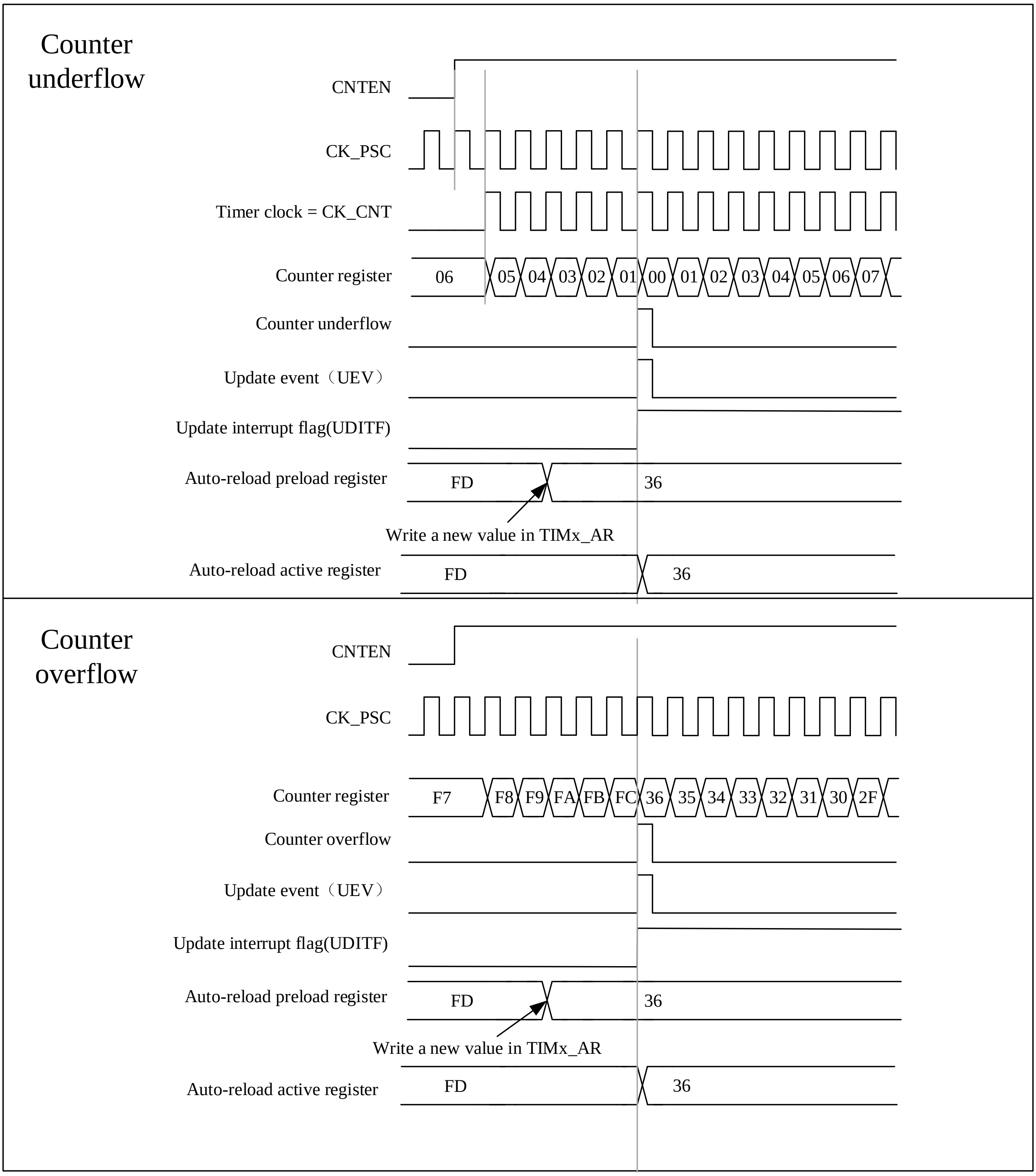
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 10-6 内部时钟分频因子 ＝2/N，中央对齐时序图



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 10-7 包含计数器上溢和下溢的中央对齐时序图(ARPEN=1)



10.5.3 时钟选择

- 通用定时器的内部时钟：CK_INT
- 两种外部时钟模式：
  - 外部输入引脚

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

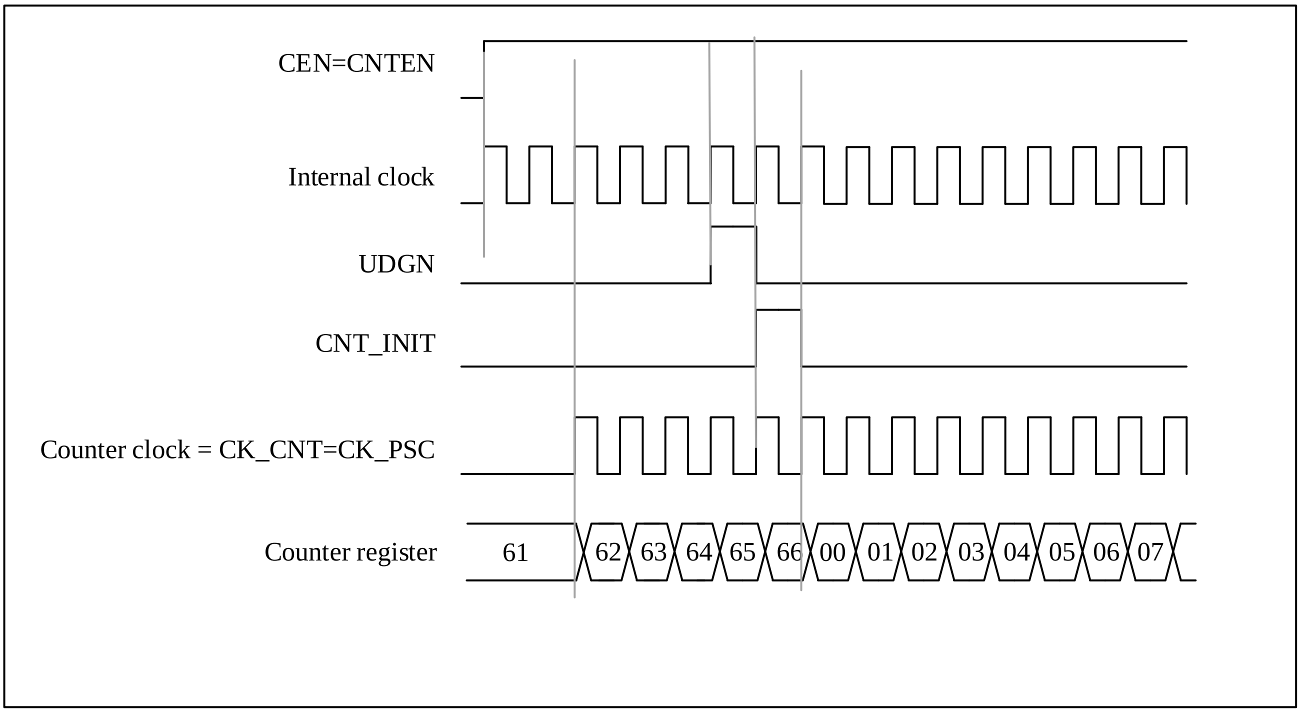
- ■ 外部触发输入 ETR

■ 内部触发输入（ITRx）：一个定时器用作另一个定时器的预分频器

10.5.3.1 内部时钟源(CK_INT)

当 TIMx_SMCTRL.SMSEL 等于“0000”时，从模式控制器被禁用。 这三个控制位（TIMx_CTRL1.CNTEN、TIMx_CTRL1.DIR、TIMx_EVTGEN.UDGN）只能由软件改变（TIMx_EVTGEN.UDGN 除外，它保持自动清零）。 前提是 TIMx_CTRL1.CNTEN 位被软写为'1'，预分频器的时钟源由内部时钟 CK_INT 提供。

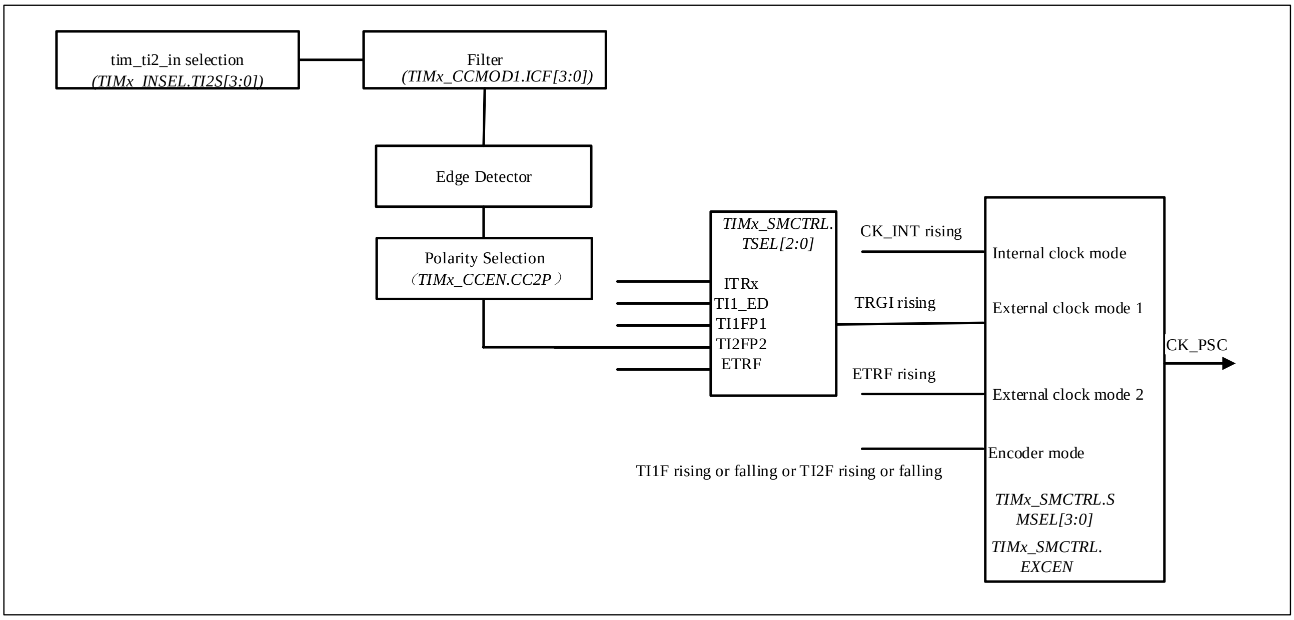
图 10-8 正常模式下的控制电路，内部时钟除以 1



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

10.5.3.2 外部时钟源模式 1

图 10-9TI2 外部时钟连接示例



通过配置 TIMx_SMCTRL.SMSEL=0111 选择该模式。 计数器可以配置为在所选输入的时钟上升沿或下降沿进行计数。

例如，配置向上计数模式在 TI2 输入的时钟上升沿计数，配置步骤如下：

- 配置 TIMx_CCMOD1.CC2SEL 等于‘01’，CC2 通道配置为输入，IC2 映射到 TI2
- 配置 TIMx_CCEN.CC2P 等于‘0’，选择时钟上升沿极性
- 通过配置 TIMx_CCMOD1.IC2F[3:0] 选择输入滤波器带宽（如果不需要滤波器，保持 IC2F 位为‘0000’）
- 配置 TIMx_SMCTRL.SMSEL 等于‘0111’，选择定时器外部时钟模式 1
- 配置 TIMx_SMCTRL.TSEL 等于‘110’，选择 TI2 作为触发输入源
- 配置 TIMx_CTRL1.CNTEN 等于 ‘1’ 以启动计数器

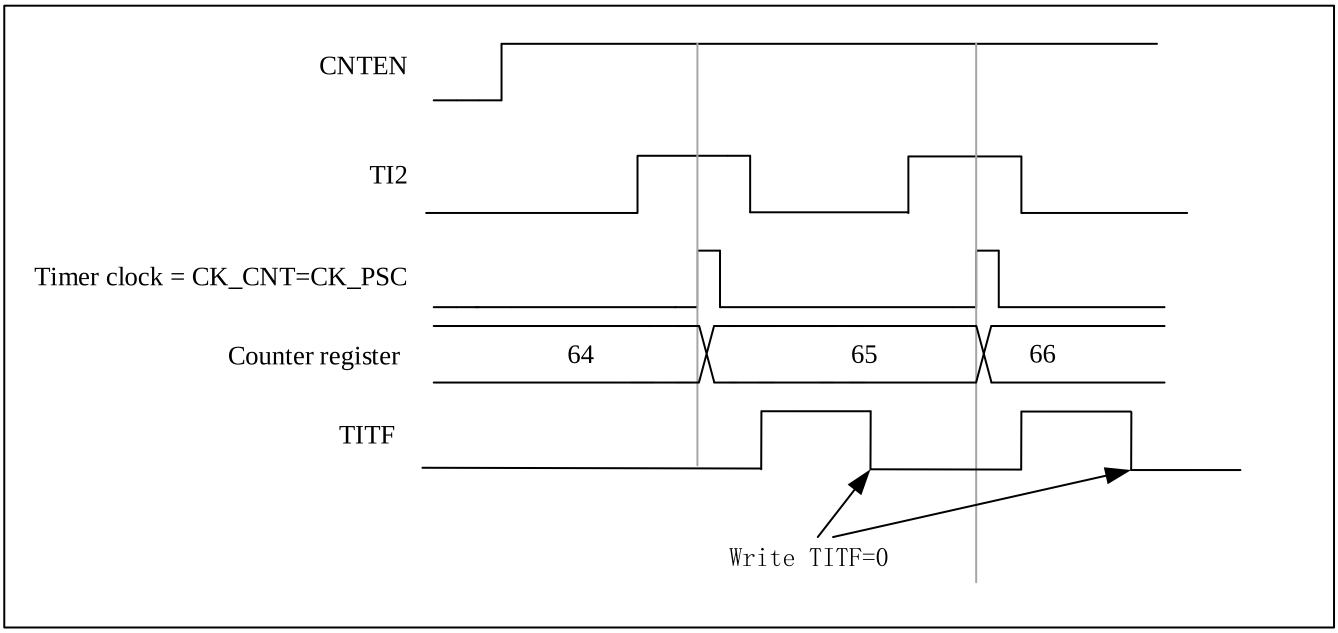
注意：捕获预分频器不用于触发，所以不需要配置

当定时器时钟的上升沿出现在 TI2=1 时，计数器计数一次并且 TIMx_STS .TITF 标志被拉高。

TI2 的上升沿与计数器实际时钟之间的延迟取决于 TI2 输入端的再同步电路。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 10-10 外部时钟模式 1 的控制电路

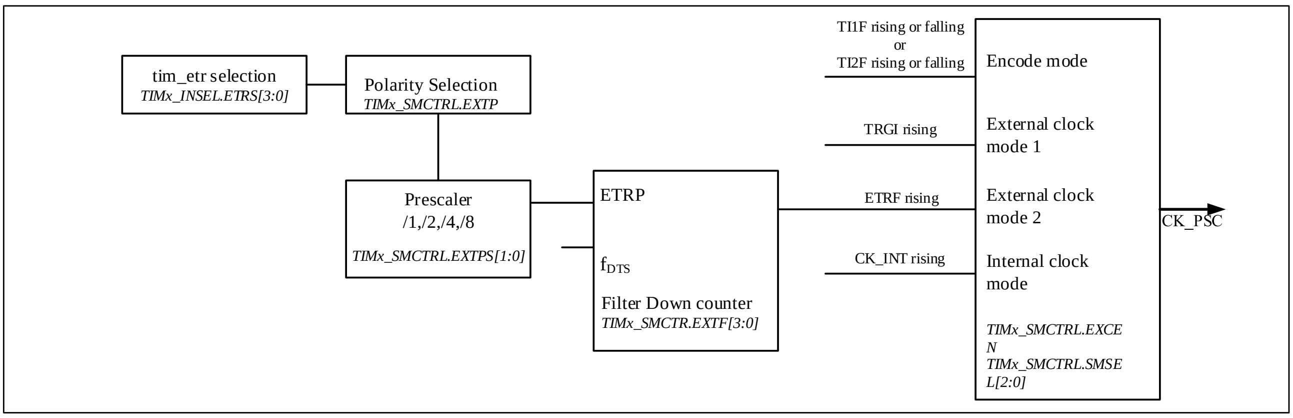


10.5.3.3 外部时钟源模式 2

此模式由 TIMx_SMCTRL.EXCEN 选择等于 1。计数器可以在外部触发输入 ETR 的每个上升沿或下降沿计数。

下图为外部时钟源模式 2 的外部触发输入模块示意图。

图 10-11 外部触发输入框图



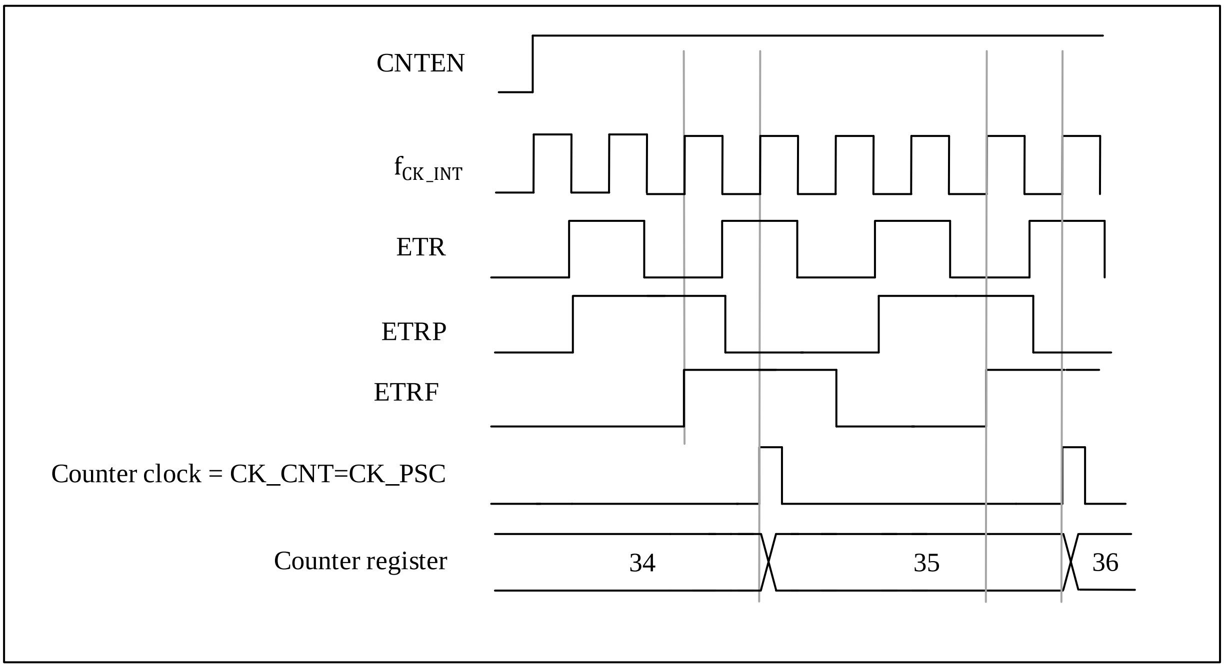
例如，使用以下配置步骤使向上计数器在 ETR 上每 2 个上升沿计数一次。

- 由于在这种情况下不需要过滤器，因此使 TIMx_SMCTRL .EXTF[3:0] 等于‘0000’
- 通过使 TIMx_SMCTRL.EXTPS[1:0] 等于 ‘01’ 来配置预分频器
- 通过设置 TIMx_SMCTRL.EXTP 等于‘0’来选择 ETR 引脚的极性，ETR 的上升沿有效
- 外部时钟模式 2 通过设置 TIMx_SMCTRL .EXCEN 等于‘1’来选择
- 通过设置 TIMx_CTRL1. CNTEN 等于“1”启动计数器。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

计数器每 2 个 ETR 上升沿计数一次。ETR 的上升沿与计数器的实际时钟之间的延迟是由于 ETRP 信号上的再同步电路造成的。

图 10-12 外部时钟模式 2 的控制电路



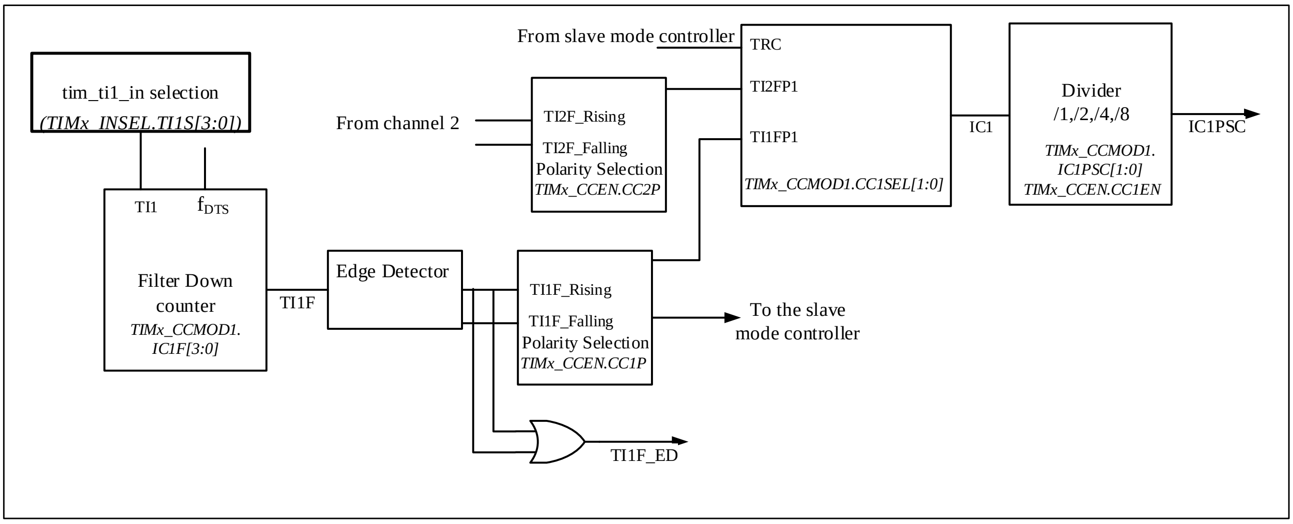
10.5.4 捕获/比较通道

捕获/比较通道包括捕获/比较寄存器和影子寄存器。输入部分由数字滤波器、多路复用器和预分频器组成。输出部分包括比较器和输出控制。

输入信号 TIx 被采样和滤波以产生信号 TIxF。然后由极性选择功能的边沿检测器生成信号（TIxF_rising 或 TIxF_falling)，其极性由 TIMx_CCEN.CCxP 位选择。该信号可用作从模式控制器的触发输入。同时，信号 ICx 经过分频后送入捕获寄存器。下图显示了捕获/比较通道的框图。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

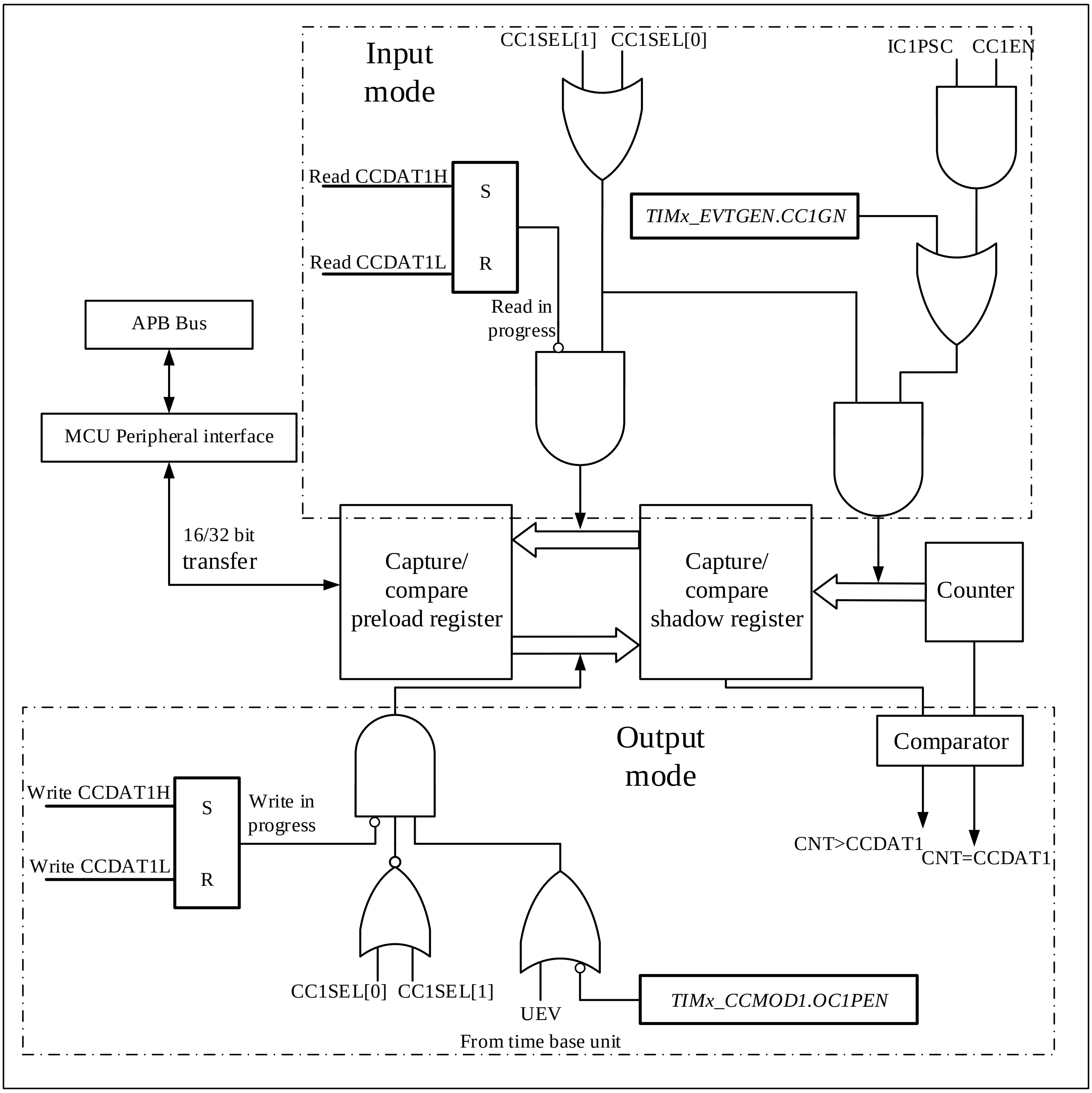
图 10-13 捕获/比较通道（例如：通道 1 输入级）



输出部分生成一个中间波形 OCxRef（高电平有效）作为参考。 极性作用在链的末端。

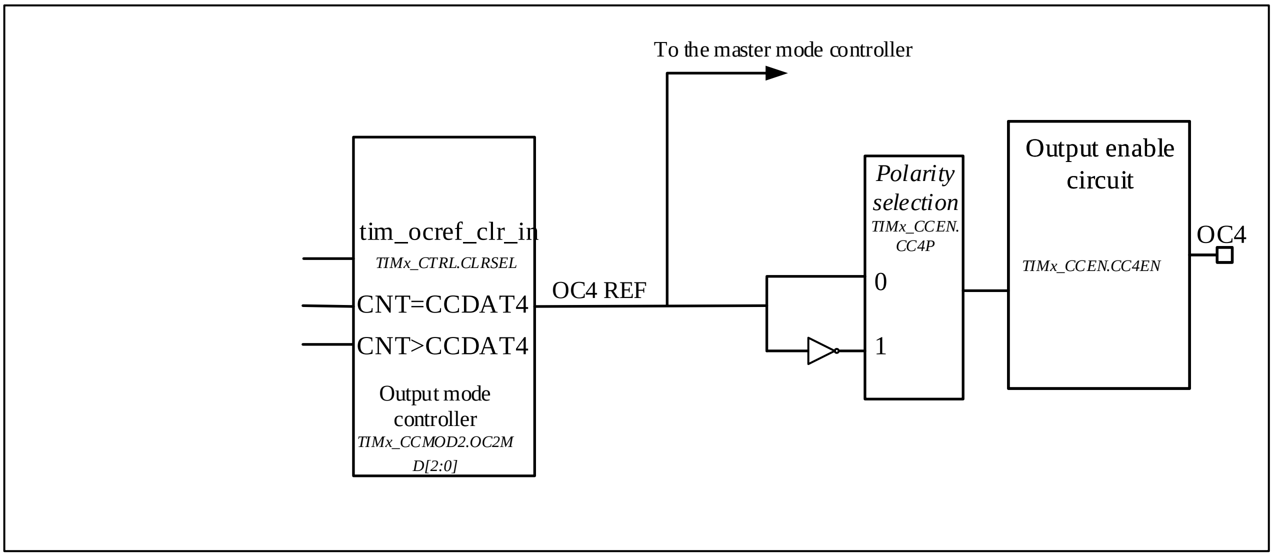
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 10-14 捕获/比较通道 1 主电路



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 10-15 通道 x 的输出部分（x = 1/2/3/4，以通道 4 为例子）



在捕获/比较时，读取和写入始终访问预加载的寄存器。 两个具体工作流程如下：

在捕获模式下，捕获实际上是在影子寄存器中完成的，然后将影子寄存器中的值复制到预加载寄存器中。

在比较模式下，与捕获模式相反，预加载寄存器的值被复制到影子寄存器中，并与计数器进行比较。

10.5.5 输入捕获模式

在捕获模式下，TIMx_CCDATx 寄存器用于在检测到 ICx 信号后锁存计数器值。

有一个捕获中断标志 TIMx_STS.CCxITF，如果相应的中断使能被拉高，它可以发出中断或 DMA 请求。

TIMx_STS.CCxITF 位在发生捕获事件时由硬件设置，并由软件或读取 TIMx_CCDATx 寄存器清零。

当 TIMx_CCDATx 寄存器中的计数器值被捕获并且 TIMx_STS.CC1ITF 已经被拉高时，重复捕获标志 TIMx_STS.CCxOCF 设置为 1。 与前者不同，TIMx_STS.CCxOCF 通过向其写入 0 来清除。

为实现 TI1 输入的上升沿将计数器值捕获到 TIMx_CCDAT1 寄存器中，配置流程如下：

- 选择有效输入：

  将 TIMx_CCMOD1.CC1SEL 配置为“01”。 此时输入为 CC1 通道，IC1 映射到 TI1。

- 编程所需的输入滤波器持续时间：

  通过配置 TIMx_CCMODx.ICxF 位来定义 TI1 输入的采样频率和数字滤波器的长度。 示例：如果输入信号抖动多达 5 个内部时钟周期，我们必须选择比这 5 个时钟周期更长的滤波器持续时间。 当检测到具有新电平的 8 个连续样本（以 f_{DTS} 频率采样）时，我们可以验证 TI1 上的转换。 然后配置 TIMx_CCMOD1. IC1F 到“0011”

- 通过配置 TIMx_CCEN .CC1P=0，选择上升沿作为 TI1 通道的有效跳变极性

- 配置输入预分频器。 在本例中，配置 TIMx_CCMOD1.IC1PSC= ‘00’ 以禁用预分频器，因为我们想要捕获每个有效转换

- 通过配置 TIMx_CCEN .CC1EN = ‘1’ 启用捕获。

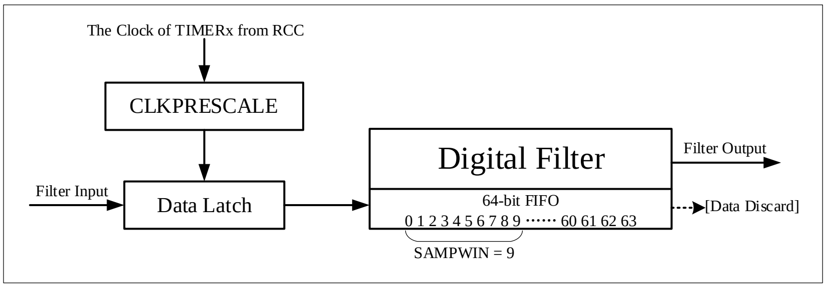
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

如果要使能 DMA 请求，可以配置 TIMx_DINTEN.CC1DEN=1。如果要使能相关中断请求，可以配置 TIMx_DINTEN.CC1IEN =1。

10.5.5.1 通道输入滤波

寄存器 TIMx_CxFILT(x = 1, 2, 3, 4) 描述如下：

图 10-16 滑动滤波



- 数字滤波器通过 RCC 的 TIMx 时钟采样通道输入信号，在 64 位 FIFO 中累积采样。 仅在 TIMx_CxFILT.WSIZE [5:0] 中定义的窗口大小内采样数据，最大大小为 64。
- 过滤器输出采样窗口内的多数值，该值由 TIMx_CxFILT.THRESH [5:0] 中的阈值定义，最大阈值为 63。此值应等于或大于窗口大小的一半。 如果采样窗口内的逻辑 1 和逻辑 0 计数均不大于阈值，则数字滤波器保持先前的输出值。
- TIMx_SLIDFPSC.PSC 寄存器决定相应数字滤波器的采样率。过滤器 FIFO 在每个采样时钟从输入中捕获一个采样值。
- 如果数字滤波器关闭，滤波器输入将像电线一样绕过输出。

10.5.6 PWM 输入模式

PWM 输入模式和普通输入捕获模式有一些区别，包括:

- 两个 ICx 信号映射到同一个 TIx 输入
- 两个 ICx 信号在极性相反的边沿有效
- 选择两个 TIxFP 信号之一作为触发输入
- 从机模式控制器配置为复位模式

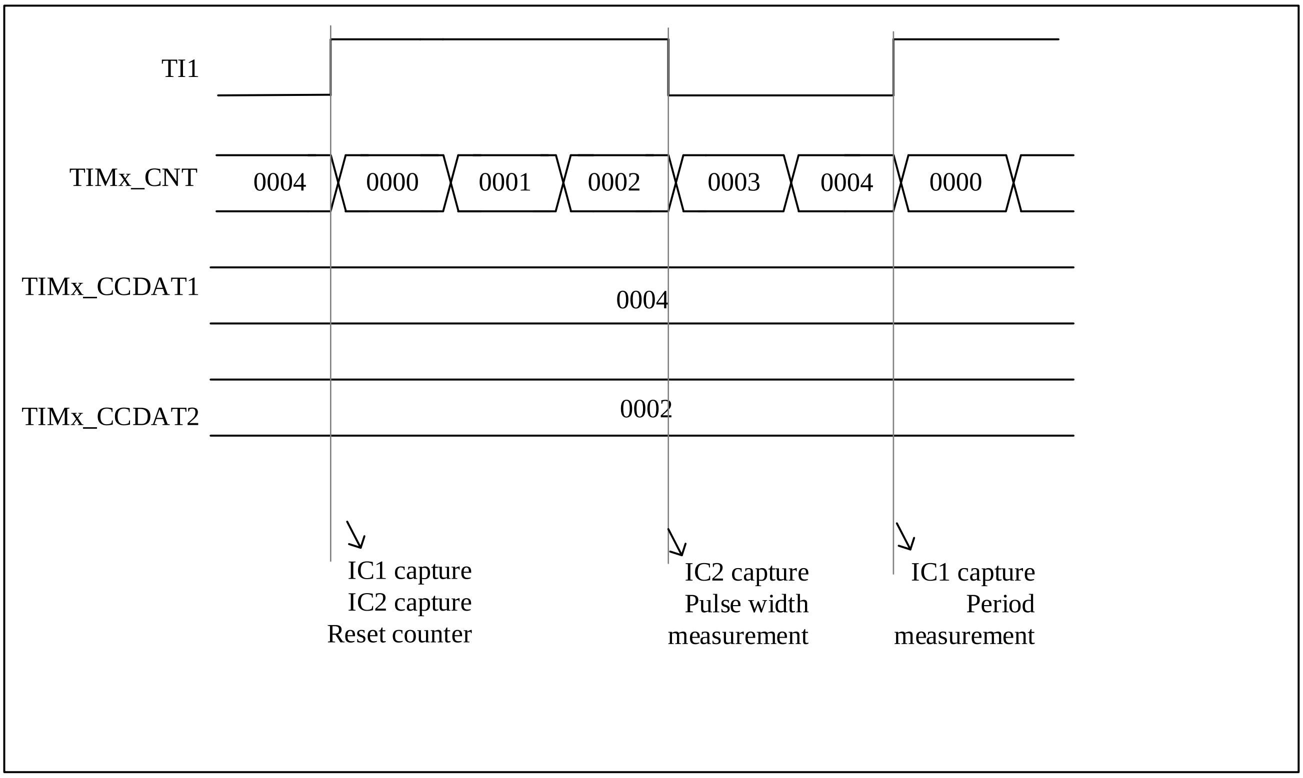
例如，下面的配置流程可以用来知道 TI1 上 PWM 信号的周期和占空比（这取决于 CK_INT 的频率和预分频器的值）。

- 配置 TIMx_CCMOD1.CC1SEL 等于 ‘01’ 以选择 TI1 作为 TIMx_CCDAT1 的有效输入
- 配置 TIMx_CCEN.CC1P 等于 ‘0’ 选择滤波定时器输入 1(TI1FP1) 的有效极性，在上升沿有效
- 配置 TIMx_CCMOD1.CC2SEL 等于 ‘10’ 选择 TI1 作为 TIMx_CCDAT2 的有效输入
- 配置 TIMx_CCEN.CC2P 等于 1 选择滤波定时器输入 2(TI1FP2)的有效极性，下降沿有效
- 配置 TIMx_SMCTRL.TSEL=101 选择 Filtered timer input 1 (TI1FP1) 作为有效触发输入
- 配置 TIMx_SMCTRL.SMSEL=100 配置从模式控制器为复位模式

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

■ 配置 TIMx_CCEN.CC1EN=1 和 TIMx_CCEN.CC2EN=1 以启用捕获

图 10-17 PWM 输入模式时序



由于只有滤波器定时器输入 1 (TI1FP1) 和滤波器定时器输入 2 (TI2FP2) 连接到从模式控制器，因此 PWM 输入模式只能与 TIMx_CH1/TIMx_CH2 信号一起使用。

10.5.7 强制输出模式

在输出模式（TIMx_CCMODx.CCxSEL=00）下，软件可以直接将输出比较信号强制为有效或无效电平。

用户可以设置 TIMx_CCMODx.OCxMD=101 强制输出比较信号为有效电平。 OCxREF 将被强制为高电平，OCx 得到与 CCxP 极性位相反的值。 另一方面，用户可以设置 TIMx_CCMODx.OCxMD=100 强制输出比较信号为无效电平， 即 OCxREF 被强制为低电平。

在此模式下，TIMx_CCDATx 影子寄存器和计数器的值仍然相互比较。

输出比较寄存器 TIMx_CCDATx 和计数器 TIMx_CNT 之间的比较对 OCxREF 没有影响。 并且仍然可以设置标志。 因此，仍然可以发送中断和 DMA 请求。

10.5.8 输出比较模式

用户可以使用此模式来控制输出波形，或指示一段时间已过。

当捕获/比较寄存器和计数器的值相同时，输出比较函数的操作如下：

■ TIMx_CCMODx.OCxMD 为输出比较模式，TIMx_CCEN.CCxP 为输出极性。 当比较匹配时，如果设置 TIMx_CCMODx.OCxMD=000，则输出管脚将保持其电平；如果设置 TIMx_CCMODx.OCxMD=001，则设置输出管脚有效；如果设置 TIMx_CCMODx.OCxMD=010，则输出管脚将为 设置为无效；如果设

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

置 TIMx_CCMODx.OCxMD=011，则输出引脚将设置为翻转。

- 设置 TIMx_STS.CCxITF
- 如果用户设置了 TIMx_DINTEN.CCxIEN，将产生相应的中断
- 如果用户设置 TIMx_DINTEN.CCxDEN 并设置 TIMx_CTRL2.CCDSEL 选择 DMA 请求，将发送 DMA 请求

用户可以设置 TIMx_CCMODx.OCxPEN 来选择是否使用捕获/比较预加载寄存器（TIMx_CCDATx）来选择捕获/比较影子寄存器。

时间分辨率是计数器的一个计数周期。

在单脉冲模式下，输出比较模式也可用于输出单脉冲。

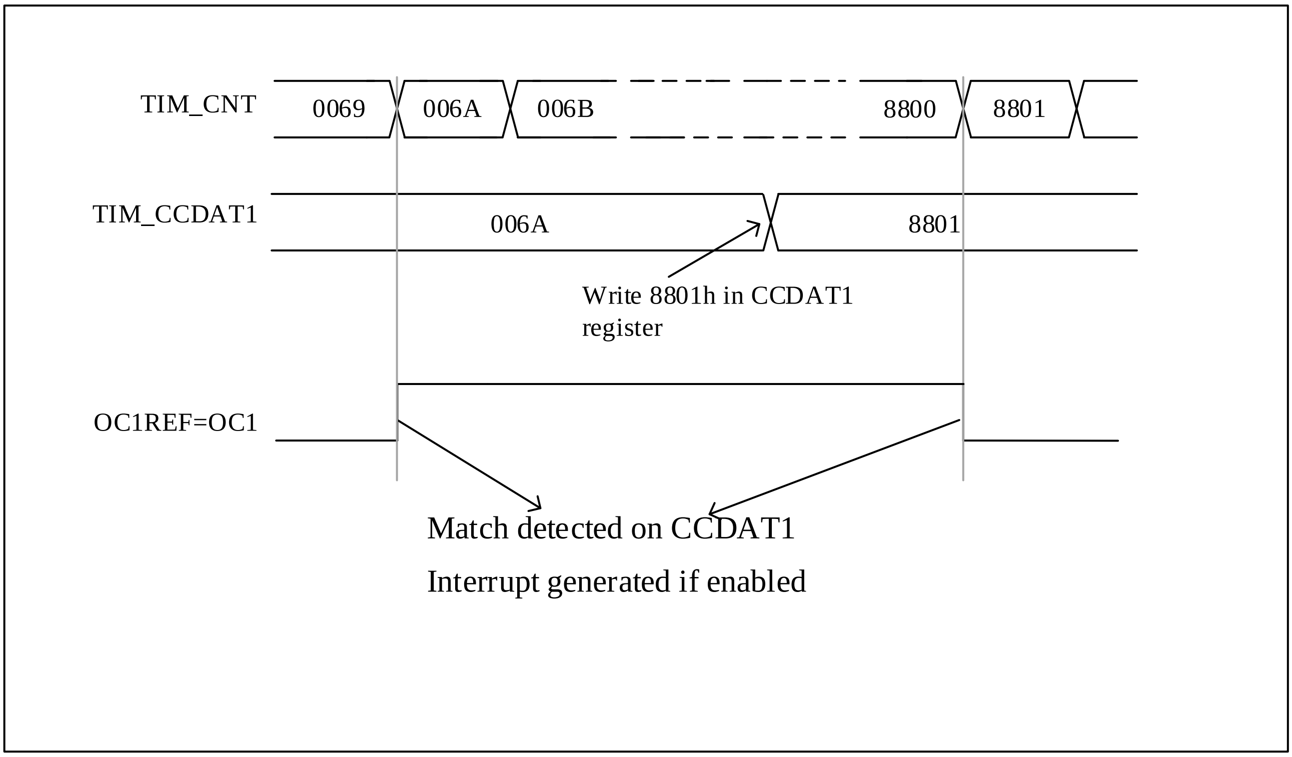
以下是输出比较模式的配置步骤：

- 首先，用户应该选择计数器时钟
- 其次，用所需数据设置 TIMx_AR 和 TIMx_CCDATx
- 如果用户需要产生中断，设置 TIMx_DINTEN.CCxIEN
- 然后通过设置 TIMx_CCEN.CCxP、TIMx_CCMODx.OCxMD、TIMx_CCEN.CCxEN 等选择输出模式
- 最后，设置 TIMx_CTRL1.CNTEN 启用计数器

用户可以随时通过设置 TIMx_CCDATx 来更新输出波形，只要不启用预加载寄存器。 否则，TIMx_CCDATx 影子寄存器将在下一次更新事件中更新。

例如：

图 10-18 输出比较模式，开启 OC1



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

10.5.9 PWM 模式

用户可以使用 PWM 模式产生一个信号，其占空比由 TIMx_CCDATx 寄存器的值决定，其频率由 TIMx_AR 寄存器的值决定。 并且取决于 TIMx_CTRL1.CAMSEL 的值，TIM 可以在边沿对齐模式或中央对齐模式下产生 PWM 信号。

用户可以通过设置 TIMx_CCMODx. OCxMD=110 或设置 TIMx_CCMODx.OCxMD=111 来设置 PWM 模式 1 或 PWM 模式 2。 要使能预加载寄存器，用户必须设置相应的 TIMx_CCMODx.OCxPEN。 然后设置 TIMx_CTRL1.ARPEN 自动重装载预加载寄存器。

用户可以通过设置 TIMx_CCEN.CCxP 来设置 OCx 的极性。

当 TIM 处于 PWM 模式时，TIMx_CNT 和 TIMx_CCDATx 的值总是相互比较。

只有当更新事件发生时，预加载寄存器才会转移到影子寄存器。 因此，用户必须在计数器开始计数之前通过设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 来复位所有寄存器。

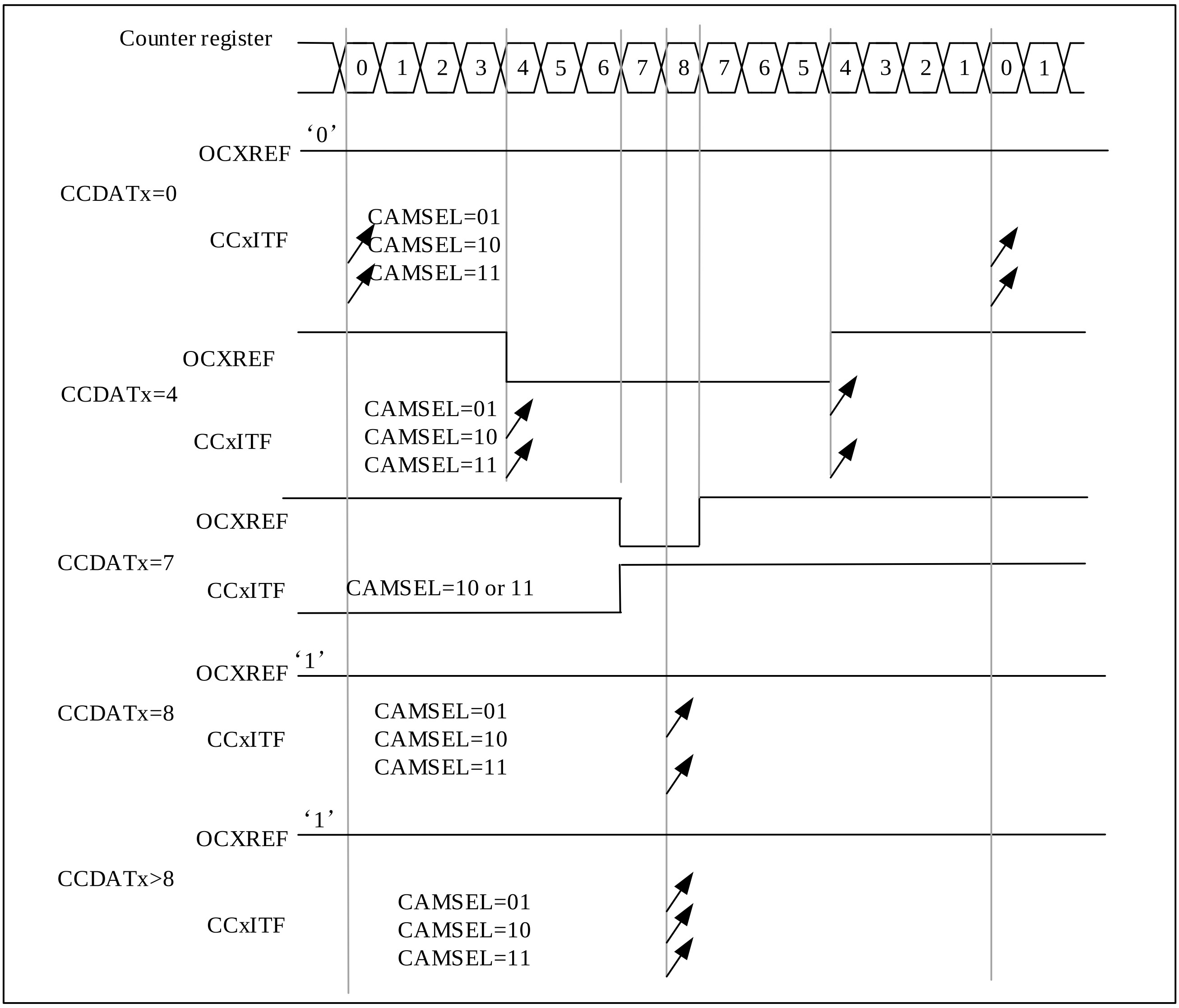
10.5.9.1 PWM 中央对齐模式

如果用户设置 TIMx_CTRL1.CAMSEL 等于 01、10 或 11，PWM 中央对齐模式将被激活。 比较标志的设置取决于 TIMx_CTRL1.CAMSEL 的值。 设置比较标志的情况有 3 种，仅当计数器向上计数时，仅当计数器向下计数时，或当计数器向上计数和向下计数时。 用户不应通过软件修改 TIMx_CTRL1.DIR，它是由硬件更新的。

中央对齐 PWM 波形示例如下，波形设置为：TIMx_AR=8，PWM 模式 1，当计数器向下计数对应 TIMx_CTRL1.CAMSEL=01 时设置比较标志。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 10-19 中央对齐的 PWM 波形 (AR=8)



使用中央对齐模式时用户应注意的事项如下：

- 计数器向上或向下计数取决于 TIMx_CTRL1.DIR 的值。 注意不要同时更改 DIR 和 CAMSEL 位
- 用户在中央对齐模式下不要写计数器，否则会导致意想不到的结果。 例如：
  - 如果写入计数器的值为 0 或者是 TIMx_AR 的值，则方向会被更新，但不会产生更新事件
  - 如果写入计数器的值大于自动重载的值，则方向不会更新
- 为了安全起见，建议用户在启动计数器之前设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 以通过软件生成更新，并且在计数器运行时不要写入计数器

10.5.9.2 PWM 边沿对齐模式

边沿对齐模式有两种配置，向上计数和向下计数。

- **向上计数**

用户可以设置 TIMx_CTRL1.DIR=0 使计数器向上计数。

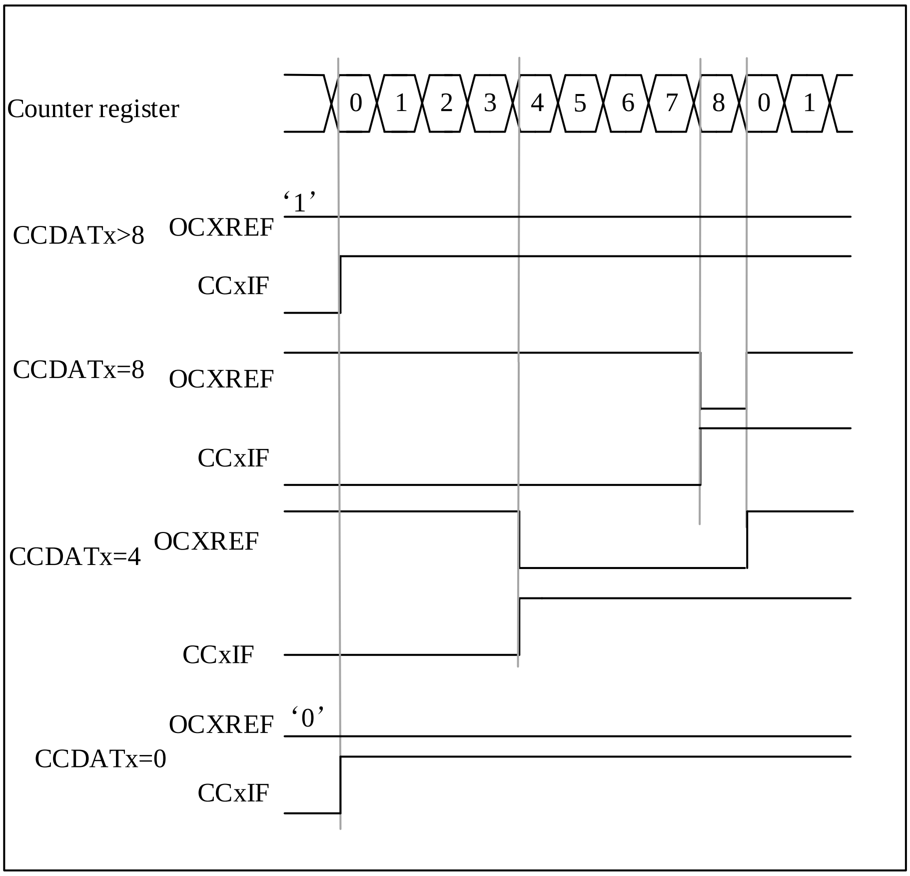
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

PWM 模式 1 的示例：

当 TIMx_CNT < TIMx_CCDATx 时， OCxREF 为高电平，否则为低电平。 如果 TIMx_CCDATx 中的比较值大于自动重载值，则 OCxREF 将保持为 1。相反，如果比较值为 0，则 OCxREF 将保持为 0。

当 TIMx_AR=8 时，PWM 波形如下：

图 10-20 边沿对齐 PWM 波形 (AR=8)



- **向下计数**

用户可以设置 TIMx_CTRL1.DIR=1 使计数器向下计数。
PWM 模式 1 的示例：

当 TIMx_CNT > TIMx_CCDATx 时，OCxREF 为低电平，否则为高电平。 如果 TIMx_CCDATx 中的比较值大于自动重载值，则 OCxREF 将保持为 1。

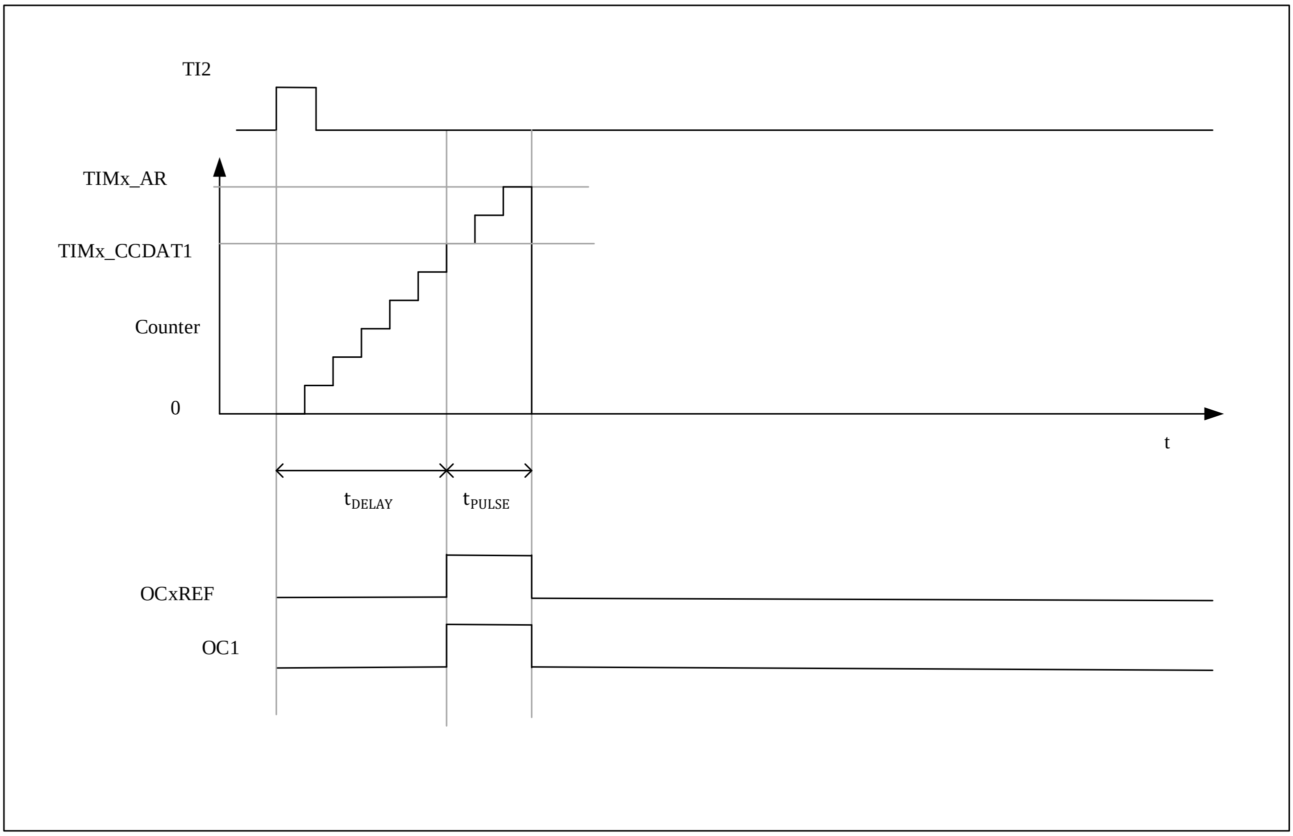
注：若第 n 个 PWM 周期 CCDATx 影子寄存器>=AR 值，第 n+1 个 PWM 周期 CCDATx 的影子寄存器值是 0。在第 n+1 个 PWM 周期的计数器为 0 的时刻，虽然计数器 = CCDATx 影子寄存器的值 = 0，OCxREF = '0'，但不会产生比较事件。

10.5.10 单脉冲模式

在单脉冲模式(ONEPM)中，接收到触发信号，经过可控延迟 t_{DELAY} 后产生脉宽可控的脉冲 t_{PULSE}。 输出模式需要配置为输出比较模式或 PWM 模式。 选择单脉冲模式后，计数器会在更新事件 UEV 产生后停止计数。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 10-21 单脉冲模式示例



以下是单脉冲模式的示例：

从 TI2 输入检测到上升沿触发，延迟 t_{DELAY} 后在 OC1 上产生宽度为 t_{PULSE} 的脉冲。

1. 计数器配置：向上计数，计数器 TIMx_CNT < TIMx_CCDAT1 ≤ TIMx_AR；
2. TI2FP2 映射到 TI2，TIMx_CCMOD1.CC2SEL= ‘01’； TI2FP2 配置为上升沿检测，TIMx_CCEN.CC2P= ‘0’；
3. TI2FP2 充当从模式控制器的触发器（TRGI）并启动计数器，TIMx_SMCTRL.TSEL= ‘110’，TIMx_SMCTRL.SMSEL= ‘110’（触发模式）；
4. TIMx_CCDAT1 写入要延迟的计数值（t_{DELAY}），TIMx_AR-TIMx_CCDAT1 为脉宽 t_{PULSE} 的计数值；
5. 配置 TIMx_CTRL1.ONEPM=1 使能单脉冲模式，配置 TIMx_CCMOD1.OC1MD= ‘111’选择 PWM2 模式；
6. 等待 TI2 有外部触发事件，OC1 输出一个单脉冲波形；

10.5.10.1 特殊情况：OCx 快速使能：

在单脉冲模式下，通过 TIx 输入检测到一个边沿，并触发计数器开始计数到比较值，然后输出一个脉冲。这些操作限制了可以达到的最小延迟 t_{DELAY}。

您可以设置 TIMx_CCMODx.OCxFEN=1 开启 OCx 快速使能，在触发上升沿后，OCxREF 信号将被强制转换为与比较匹配立即发生的电平相同的电平，而不管比较结果如何。 OCxFEN 快速使能仅在通道模式配置为 PWM1 和 PWM2 模式时生效。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

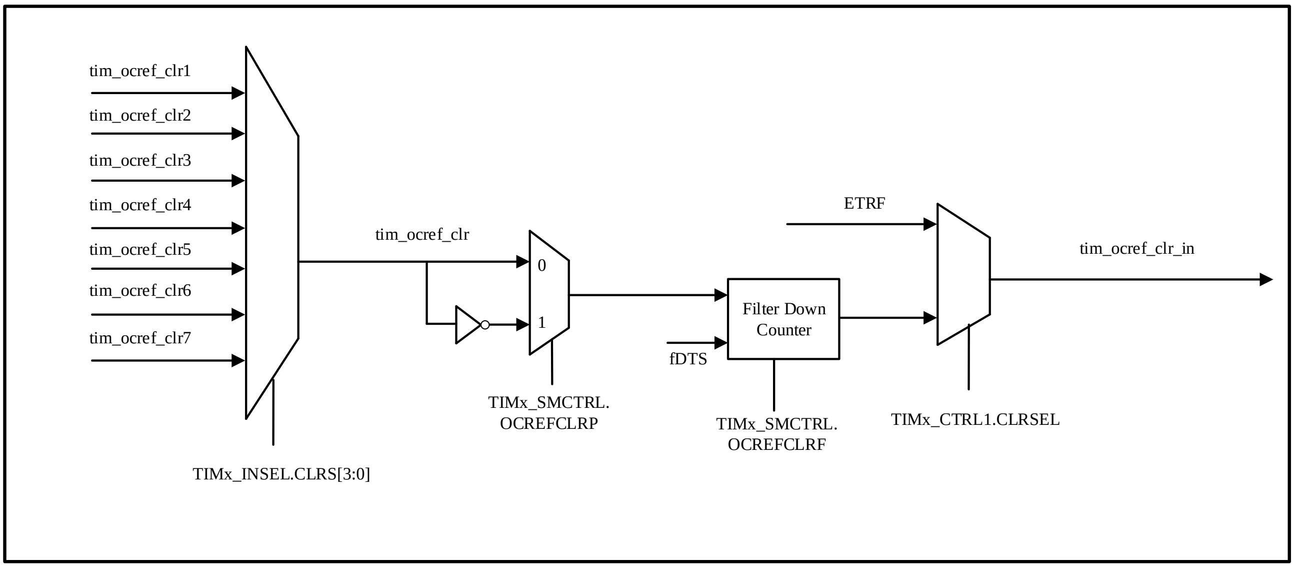
10.5.11 在外部事件上清除 OCxREF 信号

如果用户设置 TIMx_CCMODx.OCxCEN 等于'1'， tim_ocref_clr_in 输入的高电平可用于驱动 OCxREF 信号为低电平，OCxREF 信号将保持低电平，直到下一次 UEV 发生。 只有输出比较和 PWM 模式可以使用该功能。 在强制模式下不能使用。

输入清除信号 tim_ocref_clr_in 可以通过 TIMx_CTRL1 寄存器中的 CLRSEL 位选择为 tim_ocref_clr 或者 ETRF。

tim_ocref_clr 信号可以通过 TIMx_INSEL 寄存器中的 CLRS[3:0]进行选择，如下图所示。

图 10-22 外部事件清除 OCxREF 信号

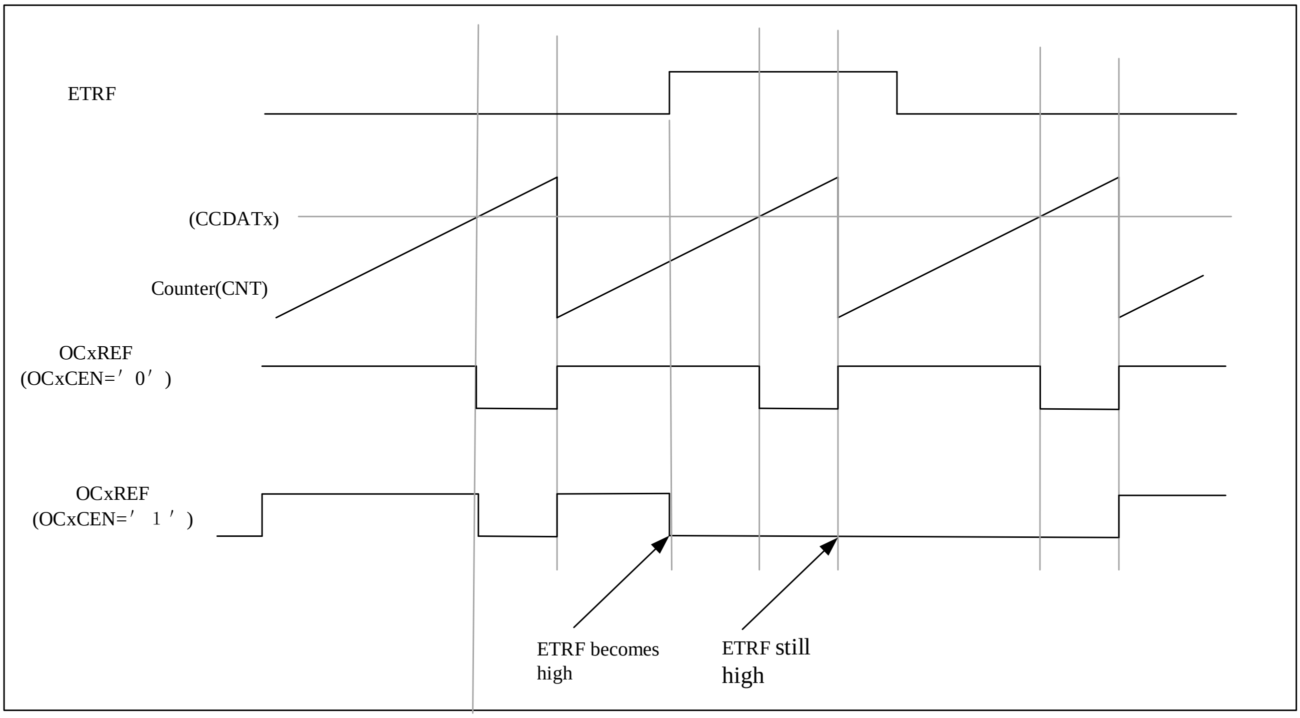


例：当 tim_ocref_clr_in 信号选择 ETRF 时，tim_etr_in 配置如下：

- 设置 TIMx_SMCTRL.EXTPS=00 禁用外部触发预分频器。
- 设置 TIMx_SMCTRL.EXCEN=0 禁用外部时钟模式 2。
- 设置 TIMx_SMCTRL.EXTP 和 TIMx_SMCTRL.EXTF，根据需要配置外触发极性和外触发滤波器。
- 当 ETRF 输入变高时，OCxREF 信号对于不同的 OCxCEN 值的行为。在这种情况下，定时器设置为 PWM 模式。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 10-23 清除 TIMx 的 OCxREF



10.5.12 调试模式

当微控制器处于调试模式（Cortex-M4 内核停止）时，根据 DBG_CTRL. GTIMx_STOP 位配置，定时器计数器可以继续正常工作或停止。有关详细信息，请参阅 37.3.2 节。

10.5.13 GTIMx 定时器和外部触发的同步

定时器可以通过从模式（复位、触发和门控）中的触发器进行同步。

10.5.13.1 从模式：复位模式

在复位模式下，触发事件可以复位计数器和预分频器。更新预加载寄存器 TIMx_AR、TIMx_CCDATx，并产生更新事件 UEV（TIMx_CTRL1.UPRS=0）。

以下是复位模式的示例：

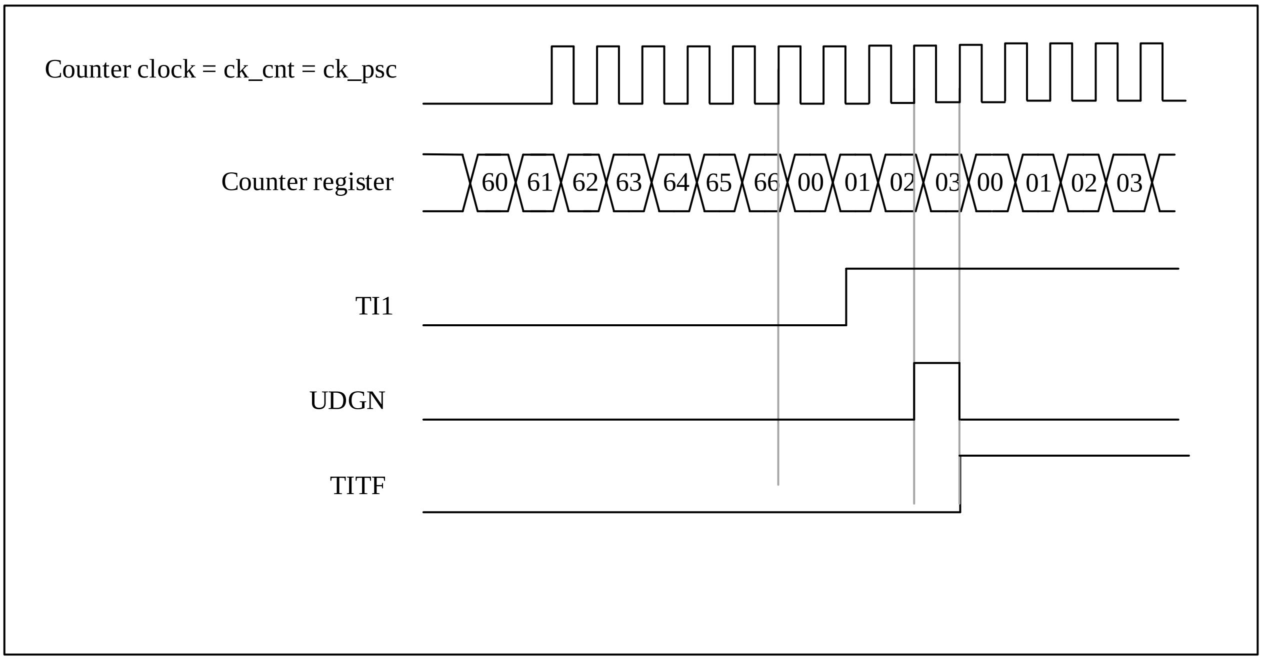
4. 通道 1 配置为输入检测 TI1 的上升沿（TIMx_CCMOD1.CC1SEL=01，TIMx_CCEN.CC1P=0）；
5. 从模式选择为复位模式（TIMx_SMCTRL.SMSEL=0100），触发输入选择为 TI1（TIMx_SMCTRL.TSEL=101）；
6. 启动计数器（TIMx_CTRL1.CNTEN = 1）

启动定时器后，当 TI1 检测到上升沿时，计数器复位并重新开始计数，并设置触发标志(TIMx_STS.TITF=1)；

TI1 的上升沿与实际计数器复位之间的延迟是由于 TI1 输入的重新同步电路引起的。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 10-24 复位模式下的控制电路



10.5.13.2 从模式：触发模式

在触发模式下，输入端口的触发事件（上升沿/下降沿）可以触发计数器开始计数。

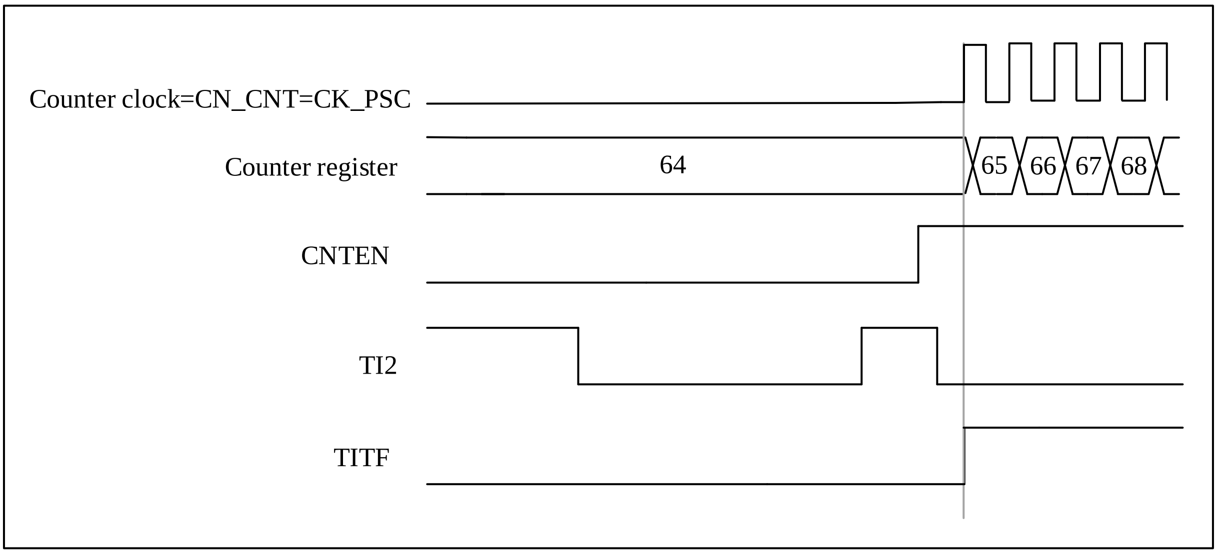
以下是触发模式的示例：

3. 通道 2 配置为输入，检测 TI2 的上升沿（TIMx_CCMOD1.CC2SEL=01，TIMx_CCEN.CC2P=0）；
4. 选择从模式为触发模式（TIMx_SMCTRL.SMSEL=0110），触发输入选择 TI2（TIMx_SMCTRL.TSEL=110）；

当 TI2 检测到上升沿时，计数器开始计数，触发标志置位（TIMx_STS.TITF=1）；

TI2 的上升沿与实际计数器启动之间的延迟是由于 TI2 输入的重新同步电路引起的。

图 10-25 触发器模式下的控制电路



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

10.5.13.3 从模式：门控模式

在门控模式下，输入端口的电平极性可以控制计数器是否计数。

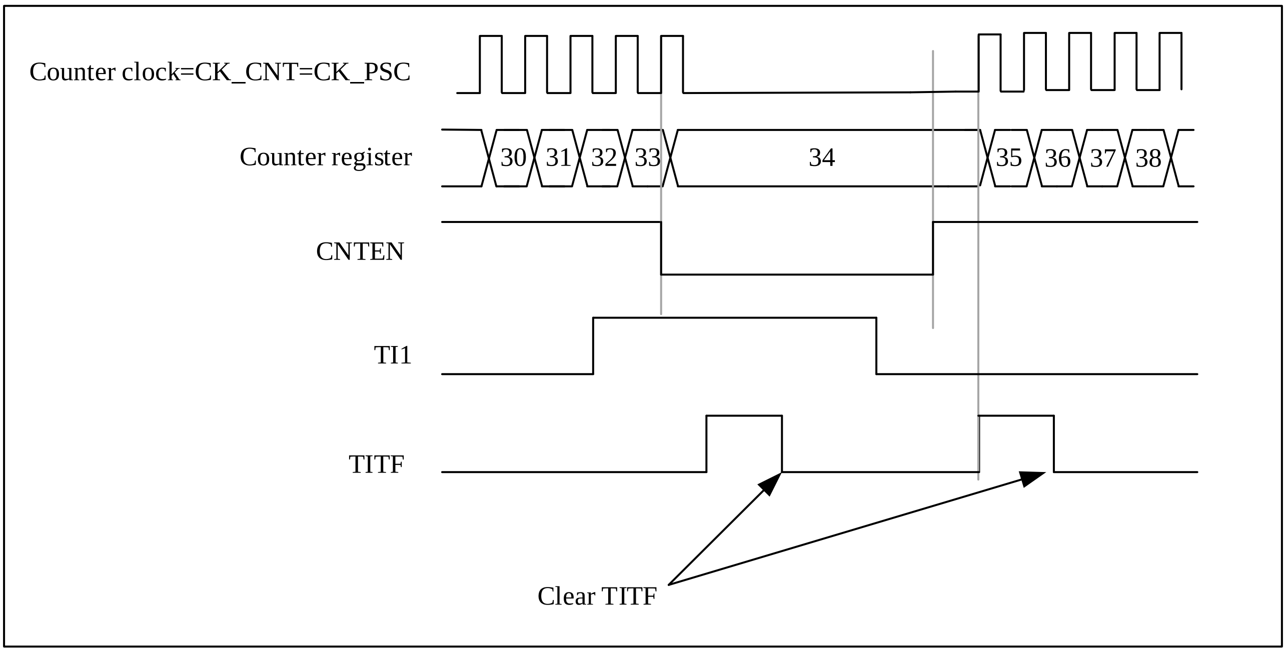
以下是门控模式的示例：

4. 通道 1 配置为 TI1 上的输入检测低电平有效 (TIMx_CCMOD1.CC1SEL=01, TIMx_CCEN.CC1P=1)；
5. 选择从模式为门控模式（TIMx_SMCTRL.SMSEL=0101），选择 TI1 作为 TRGI（TIMx_SMCTRL.TSEL=101）；
6. 启动计数器（TIMx_CTRL1.CNTEN = 1）；

当 TI1 检测到电平由低变高时，计数器停止计数，当 TI1 检测到电平由高变低时，计数器开始计数，开始或停止计数时触发标志置位（TIMx_STS .TITF=1)。

TI1 的上升沿与实际计数器停止之间的延迟是由于 TI1 输入的重新同步电路引起的。

图 10-26 门控模式下的控制电路



10.5.13.4 从模式：触发模式 +外部时钟模式 2

在复位模式、触发模式和门控模式下，计数器时钟可选择为外部时钟模式 2，ETR 信号作为外部时钟源输入。 这时候触发选择需要选择非 ETRF（TIMx_SMCTRL.TSEL=111）。

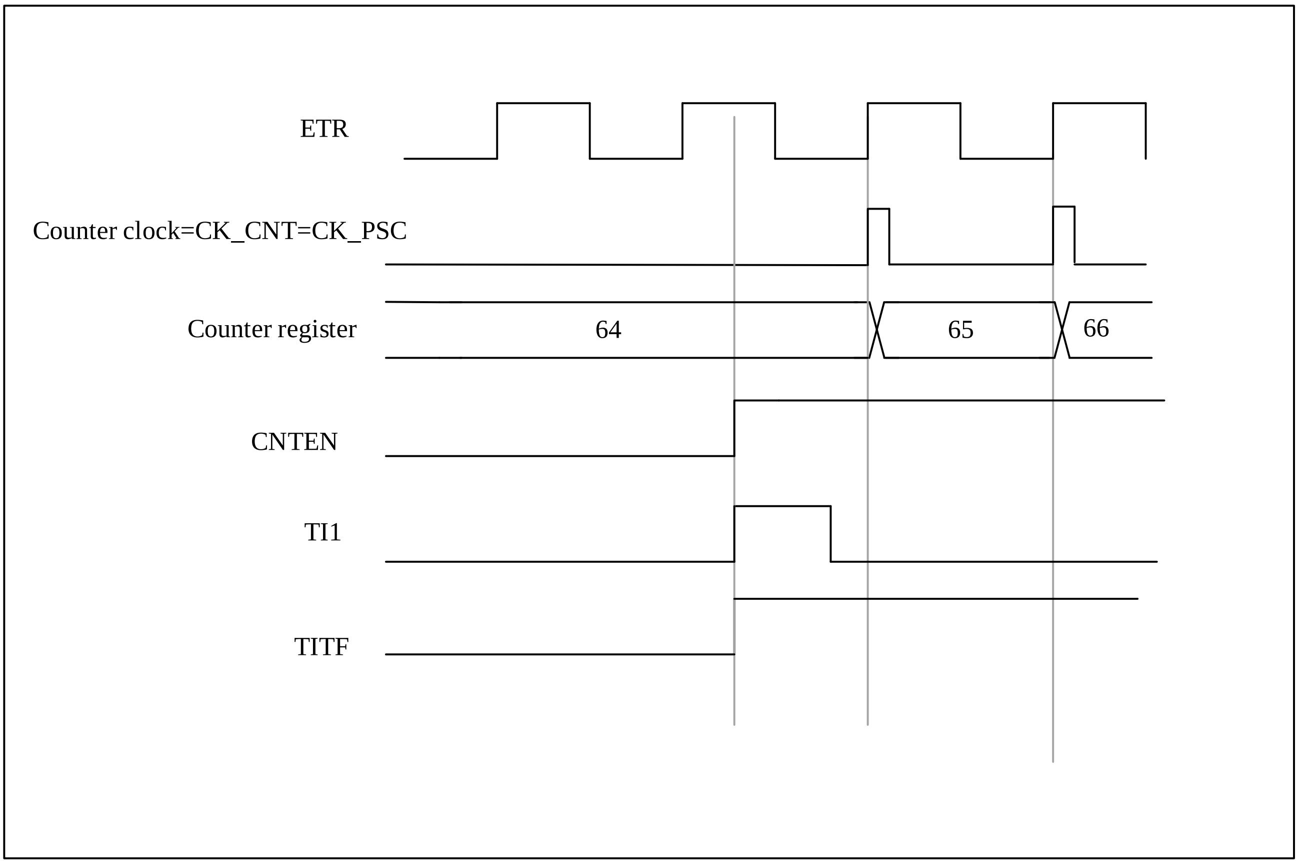
这是一个例子：

3. 通道 1 配置为输入检测 TI1 的上升沿（TIMx_CCMOD1.CC1SEL=01，TIMx_CCEN.CC1P=0）；
4. 使能外部时钟模式 2(TIMx_SMCTRL.EXCEN=1)，外部触发极性选择上升沿(TIMx_SMCTRL.EXTP=0)，触发模式作为从模式（TIMx_SMCTRL.SMSEL=0110），TRGI 选择 TI1（ TIMx_SMCTRL.TSEL=101);

当 TI1 检测到上升沿时，计数器在 ETR 的上升沿开始计数，并设置触发标志（TIMx_STS.TITF=1）；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 10-27 外部时钟模式 2+触发模式下的控制电路

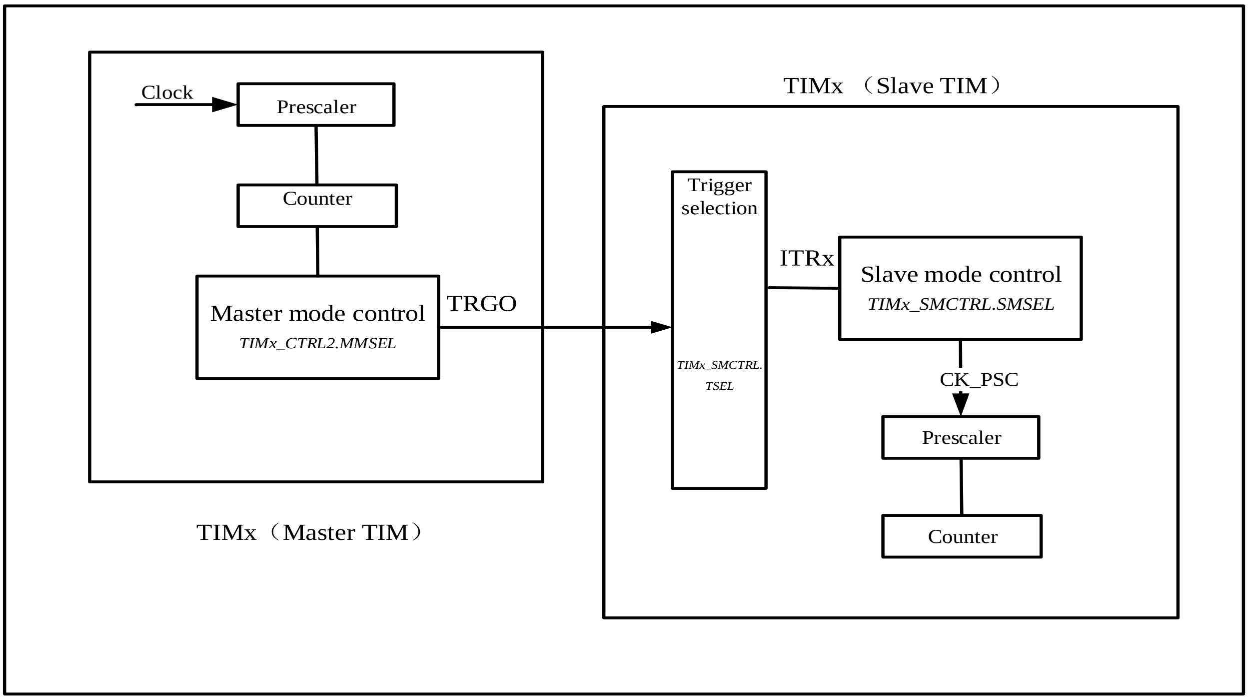


10.5.14 定时器同步

所有定时器都在内部相互连接。 该实现允许任何主定时器提供触发以复位、启动、停止或为其他从定时器提供时钟。 主时钟用于内部计数器，可以预分频。 下图为定时器互连框图。同步功能不支持连接的动态变化。 用户应在启用主定时器的触发器或时钟之前配置并启用从定时器。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 10-28 主/从定时器的例子



10.5.14.1 主定时器作为另一个定时器的预分频器

ATIM 1 作为 GTIM 1 的预分频器。ATIM 1 是主，GTIM 1 是从。

用户需要为此配置执行以下步骤。

- 设置 ATIM1_CTRL2.MMSEL='0010' 以使用 ATIM1 的更新事件作为触发输出。
- 配置 GTIM2_SMCTRL.TSEL=‘000’、GTIM2__INSEL. ITRS=‘000’，将 ATIM1 的 TRGO 连接到 GTIM2。
- 配置 GTIM2_SMCTRL.SMSEL = ‘0111’，从模式控制器将配置为外部时钟模式 1。
- 通过设置 GTIM2_CTRL1.CNTEN =“1” ,启动 GTIM2。
- 通过设置 ATIM1_CTRL1.CNTEN =“1” ,启动 ATIM1。

注：如果用户通过配置 MMSEL = ‘01xx’选择 OCx 作为 ATIM1 的触发输出，则 OCx 上升沿将用于驱动 TIM2。

10.5.14.2 主定时器使能另一个定时器

在本例中，GTIM2 通过 ATIM1 的输出比较使能。 ATIM1 的 OC1REF 输出为高电平后，GTIM2 计数器将开始计数。 两个计数器的时钟均基于 CK_INT，通过预分频器除以 3 (fCK_CNT = fCK_INT/3)。

配置步骤如下所示。

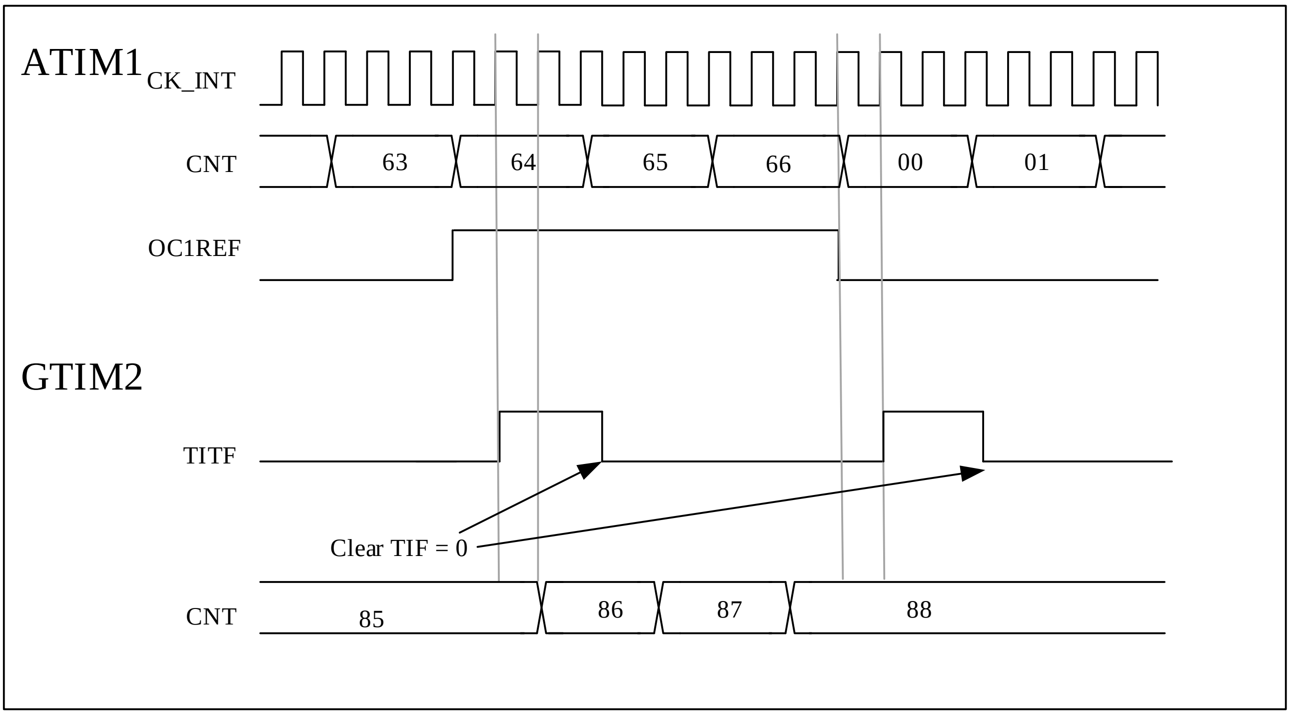
- 设置 ATIM1_CTRL2.MMSEL='0100' 以使用 ATIM1 的 OC1REF 作为触发输出。
- 配置 ATIM1_CCMOD1 寄存器来配置 OC1REF 输出波形。
- 设置 GTIM2_SMCTRL .TSEL = ‘000’ 、GTIM2__INSEL. ITRS=‘000’，将 ATIM1 的 TRGO 连接到 GTIM2。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 设置 GTIM2_SMCTRL .SMSEL= ‘0101’ 将 GTIM2 设置为门控模式。
- 设置 GTIM2_CTRL1.CNTEN= ‘1’ 来启动 GTIM2。
- 设置 ATIM1_CTRL1.CNTEN= ‘1’ 以启动 ATIM1。

注：GTIM2 时钟与 ATIM1 时钟不同步，该模式仅影响 GTIM2 计数器使能信号。

图 10-29 GTIM2 由 ATIM1 的 OC1REF 门控



在下一个示例中， 用 ATIM1 的使能信号门控 GTIM2，设置 ATIM1_CTRL1.CNTEN= ‘0’ 以停止 ATIM1。

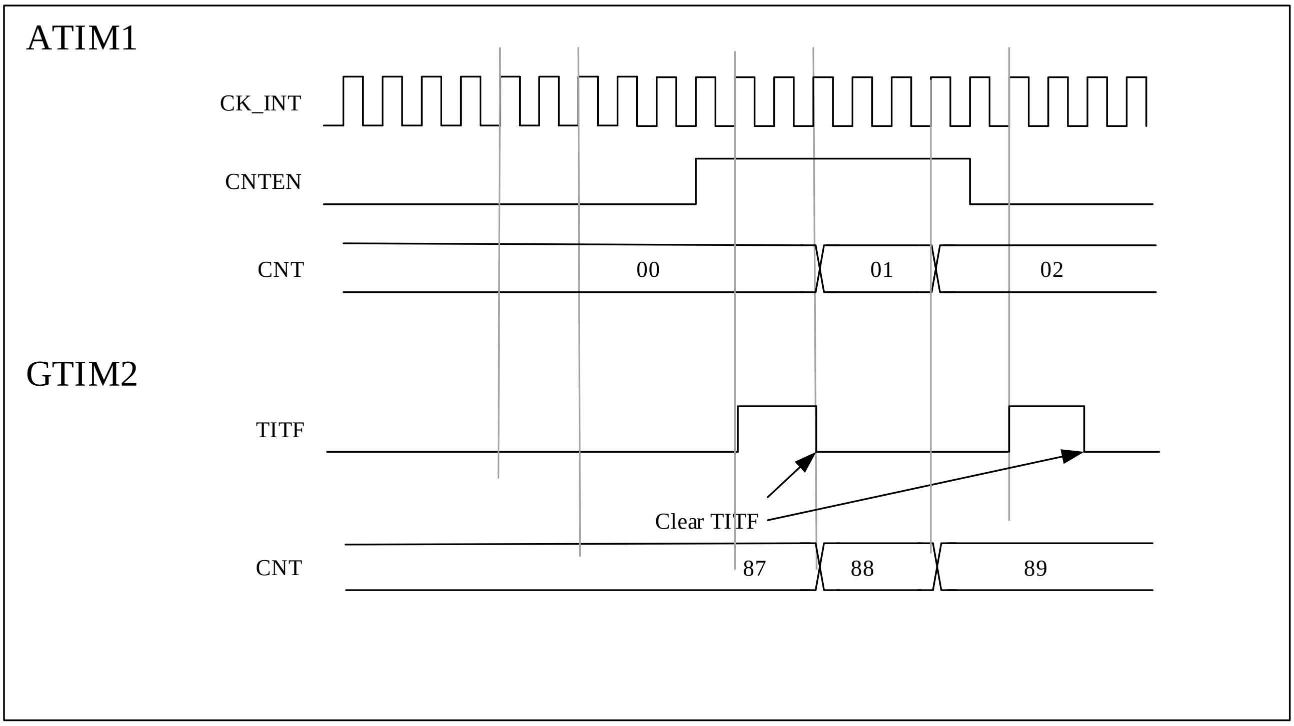
仅当 ATIM1 使能时，GTIM2 才基于分频的内部时钟计数。 两个计数器的时钟均基于 CK_INT，通过预分频器除以 3 (fCK_CNT = fCK_INT/3)。

配置步骤如下所示

- 设置 ATIM1_CTRL2.MMSEL='0001' 使用 ATIM1 的使能信号作为触发输出
- 设置 GTIM2_SMCTRL.TSEL = ‘000’ 、GTIM2__INSEL. ITRS=‘000’， 将 ATIM1 的 TRGO 连接到 GTIM2。
- 设置 GTIM2_SMCTRL.SMSEL = ‘0101’ 将 GTIM2 配置为门控模式。
- 设置 GTIM2_CTRL1.CNTEN= ‘1’ 来启动 GTIM2。
- 设置 ATIM1_CTRL1.CNTEN= ‘1’ 以启动 ATIM1。
- 设置 ATIM1_CTRL1.CNTEN= ‘0’ 以停止 ATIM1。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 10-30 GTIM2 由 ATIM1 的使能门控



10.5.14.3 主定时器启动另一个定时器

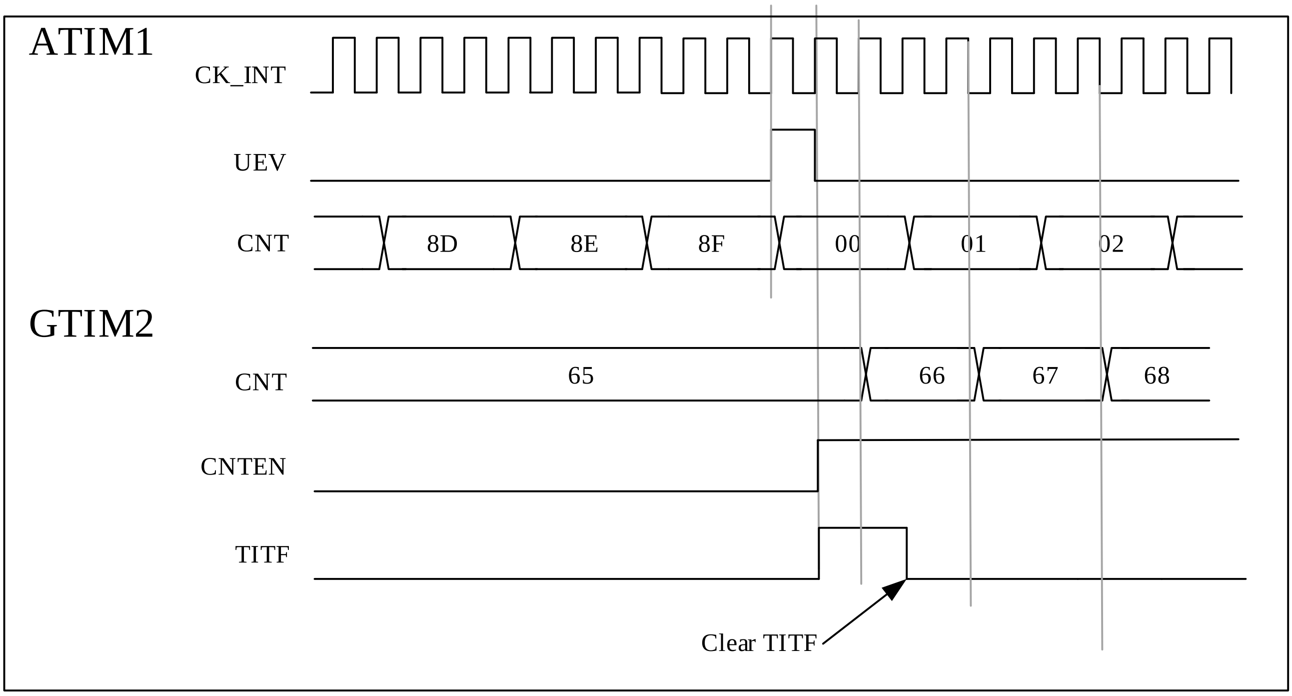
在这个例子中，我们可以使用更新事件作为触发源。ATIM1 是主，GTIM2 是从。

配置步骤如下图所示：

- 设置 ATIM1_CTRL2.MMSEL='0010' 使用 ATIM1 的更新事件作为触发输出
- 配置 ATIM1_AR 寄存器设置输出周期。
- 设置 GTIM2_SMCTRL .TSEL= ‘000’ 、GTIM2__INSEL. ITRS=‘000’，将 ATIM1 的 TRGO 连接到 GTIM2。
- 设置 GTIM2_SMCTRL.SMSEL = ‘0110’ 将 GTIM2 设置为触发模式。
- 设置 ATIM1_CTRL1.CNTEN=1 启动 ATIM1。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 10-31 使用 ATIM1 的更新触发 GTIM2



10.5.14.4 使用一个外部触发同步地启动 2 个定时器

在本例中，ATIM1 的 TI1 输入上升时使能 ATIM1，使能 ATIM1 时使能 GTIM2。为确保计数器对齐，ATIM1 必须配置为主/从模式。对于 TI1，ATIM1 是从；对于 GTIM2，TIM1 是主。

配置步骤如下图所示：

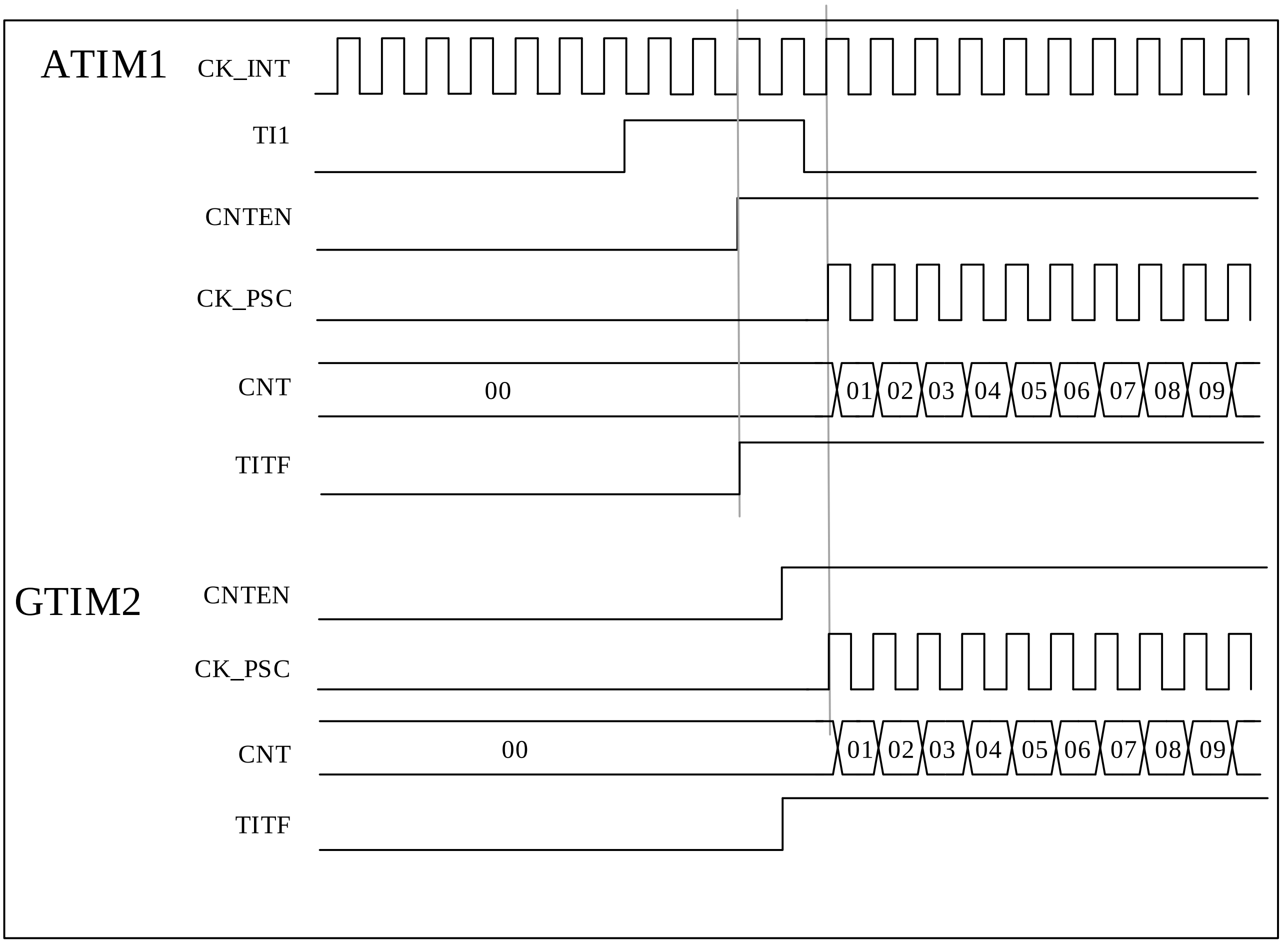
- 设置 ATIM1.MMSEL = ‘0001’ 使用使能信号作为触发输出
- 设置 ATIM1_SMCTRL.TSEL = ‘100’ 将 ATIM1 配置为从模式并接收 TI1 的触发输入。
- 设置 ATIM1_SMCTRL .SMSEL = ‘0110’ 将 ATIM1 配置为触发模式。
- 设置 ATIM1_SMCTRL .MSMD = ‘1’ 将 ATIM1 配置为主/从模式。
- 设置 GTIM2_SMCTRL .TSEL = ‘000’ 、GTIM2__INSEL. ITRS=‘000’，将 ATIM1 的 TRGO 连接到 GTIM2。
- 设置 GTIM2_SMCTRL.SMSEL = ‘0110’ 将 GTIM2 配置为触发模式。

当 TI1 上升沿到来时，两个定时器开始根据内部时钟同步计数，两个 TITF 标志同时置位。

注：下图显示了在主/从模式下 CNTEN 和 ATIM1 的 CK_PSC 之间的延迟。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 10-32 使用 ATIM1 的 TI1 输入触发 ATIM1 和 GTIM2



10.5.15 触发 ADC

定时器可通过多种内部信号产生 ADC 触发事件，例如复位、使能或比较事件，也可生成由内部边沿检测器发出的脉冲触发。在重定向到 ADC 的 TRGO 内部线路上发出触发信号可通过 TIMx_CTRL2 寄存器中的 MMSEL[3:0]位选择。

10.5.16 编码器接口模式

10.5.16.1 正交编码模式

编码器使用两个输入 TI1 和 TI2 作为接口，计数器对 TI1FP1 或 TI2FP2 上的每个边沿变化进行计数。计数方向由硬件 TIMx_CTRL1.DIR 自动控制。正交编码器计数模式共有五种：

- 编码器模式 1：计数器只在 TI1 的边沿计数，TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘0001’；
- 编码器模式 2：计数器只在 TI2 的边沿计数，TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘0010’；
- 编码器模式 3：计数器同时在 TI1 和 TI2 的边沿计数，TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘0011’；
- 编码器模式 4：T2 是高电平时，计数器只在 TI1 的边沿计数，TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘1001’；
- 编码器模式 5：T1 是高电平时，计数器只在 TI2 的边沿计数，TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘1010’；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

编码器接口相当于使用带方向选择的外部时钟，计数器只在 0 和自动重载值(TIMx_AR.AR [31:0])之间连续计数。因此，需要提前配置自动重载寄存器 TIMx_AR。

注意：编码器模式和外部时钟模式 2 不兼容，不能同时选择。

计数方向与编码器信号的关系如下表：

表 10-1 计数方向与编码器信号的关系（CC1P=CC2P=0）

有效边沿	**SMSEL[3:0]**	**相对信号的电平（TI1FP1对应TI2, TI2FP2对应TI1）**	**TI1FP1信号**		**TI2FP2信号**	
			上升	**下降**	**上升**	**下降**
仅在TI1计数	0001	高	向下计数	向上计数	不计数	不计数
		低	向上计数	向下计数	不计数	不计数
仅在TI2计数	0010	高	不计数	不计数	向上计数	向下计数
		低	不计数	不计数	向下计数	向上计数
在TI1和TI2上计数	0011	高	向下计数	向上计数	向上计数	向下计数
		低	向上计数	向下计数	向下计数	向上计数
仅在TI1计数且T2为高电平	1001	高	向下计数	向上计数	不计数	不计数
		低	不计数	不计数	不计数	不计数
仅在TI2计数且T1为高电平	1010	高	不计数	不计数	向上计数	向下计数
		低	不计数	不计数	不计数	不计数

计数器在各个模式下时计数器值的变化如下：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 **10-33** 编码器仅在 TI1 计数

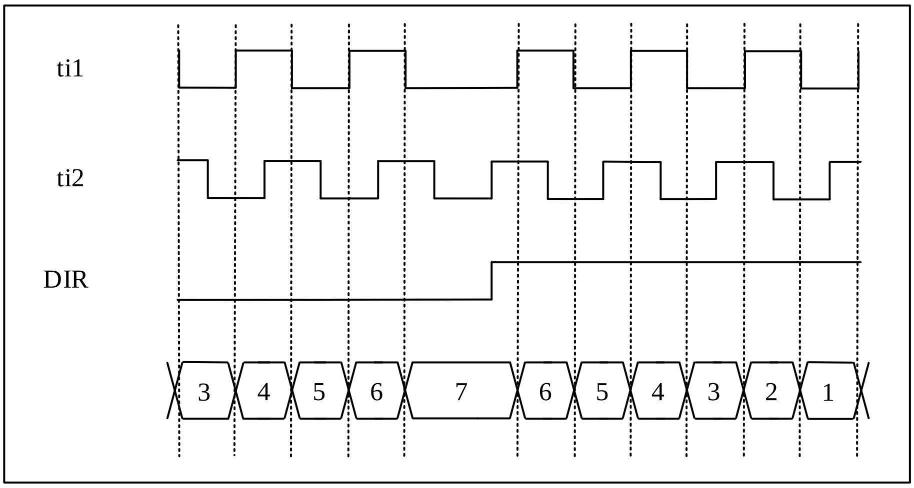


图 **10-34** 编码器仅在 TI2 计数

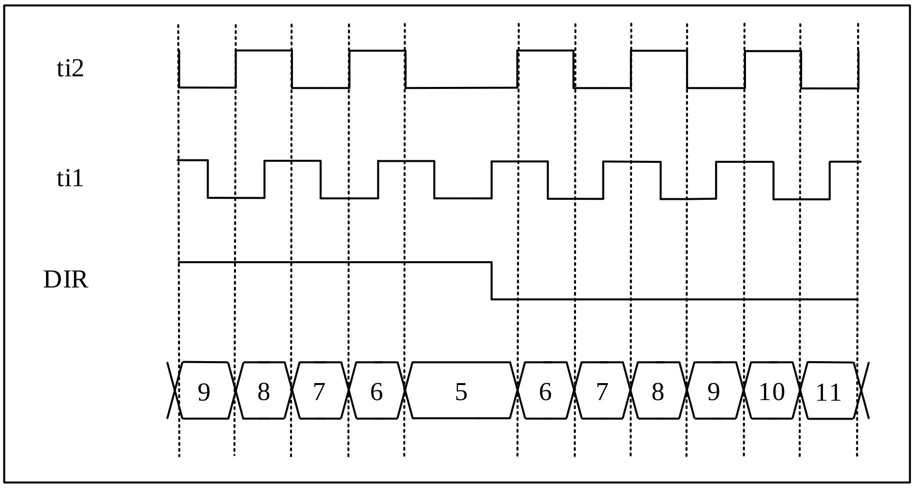
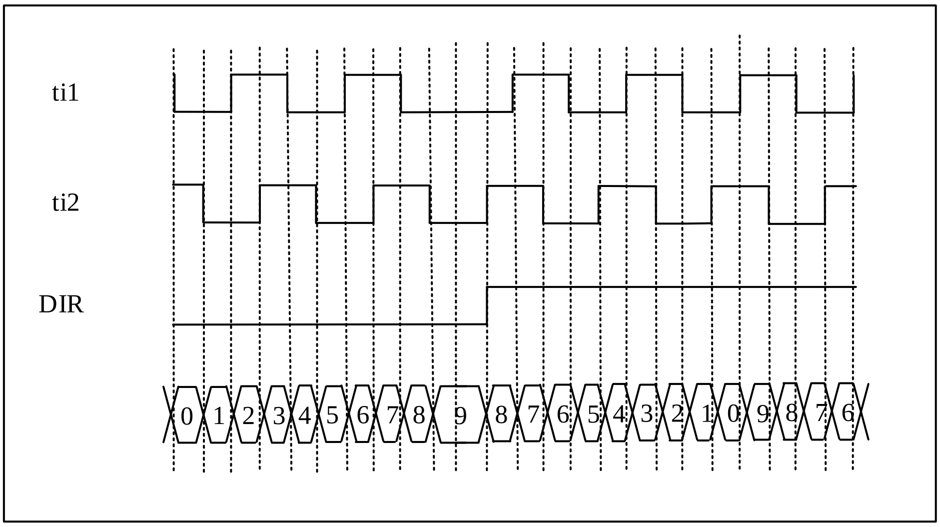


图 **10-35** 编码器在 TI1 和 TI2 上计数



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com　邮编：518057

图 10-36 T2 是高电平时，计数器只在 TI1 计数

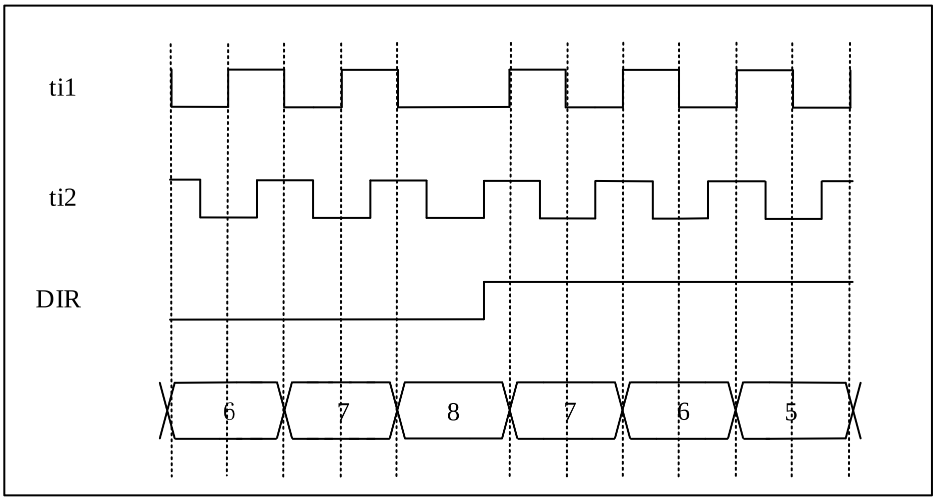
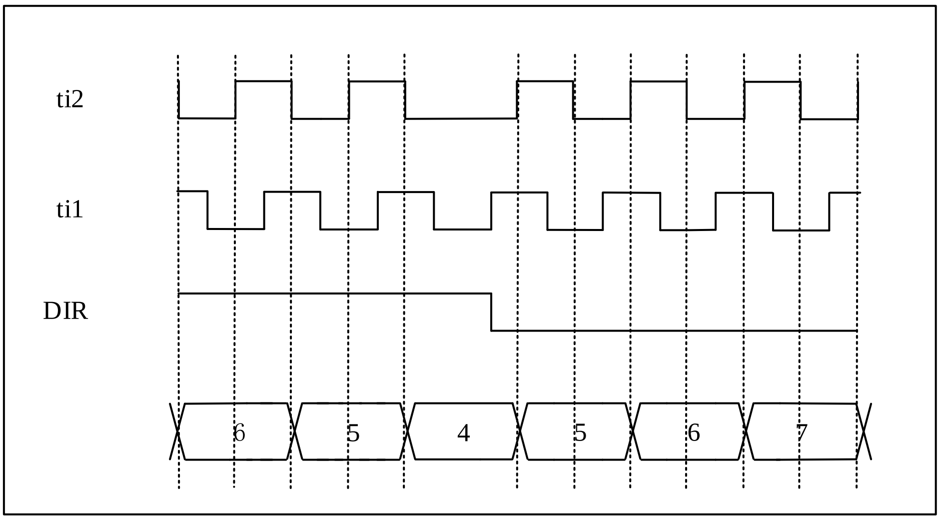


图 10-37 T1 是高电平时，计数器只在 TI2 计数

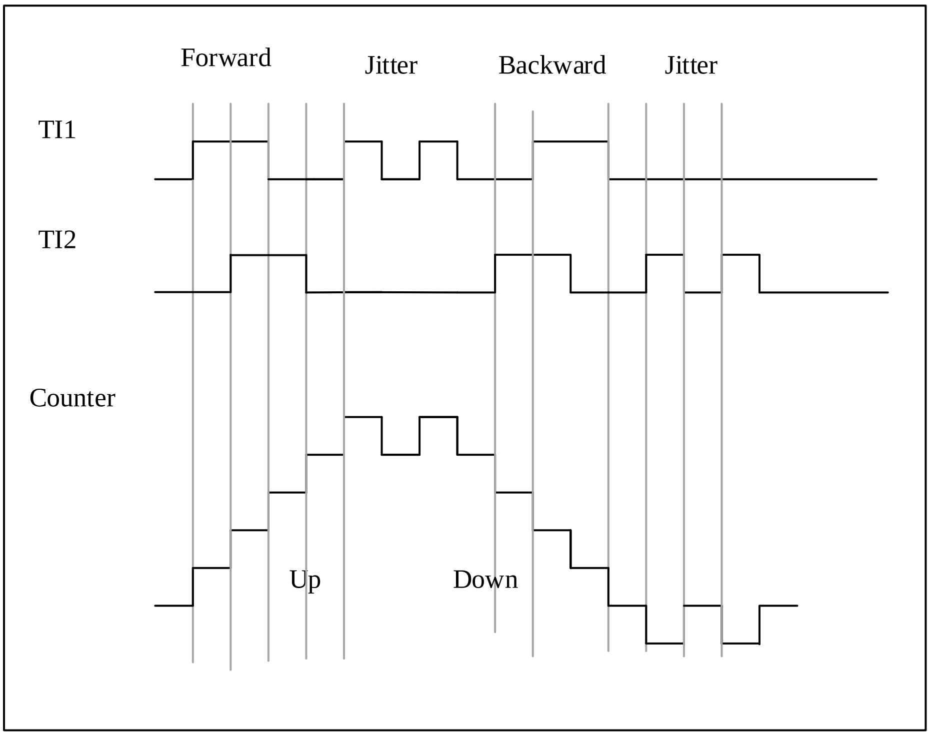


以下是选择了双边沿触发以抑制输入抖动的编码器示例：

5. IC1FP1 映射到 TI1（TIMx_CCMOD1.CC1SEL = ‘01’），IC1FP1 不反相（TIMx_CCEN.CC1P = ‘0’）;
6. IC1FP2 映射到 TI2（TIMx_CCMOD2.CC2SEL = ‘01’），IC2FP2 不反相（TIMx_CCEN.CC2P = ‘0’）;
7. 输入在上升沿和下降沿均有效（TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘0011’）;
8. 启用计数器 TIMx_CTRL1.CNTEN = ‘1’;

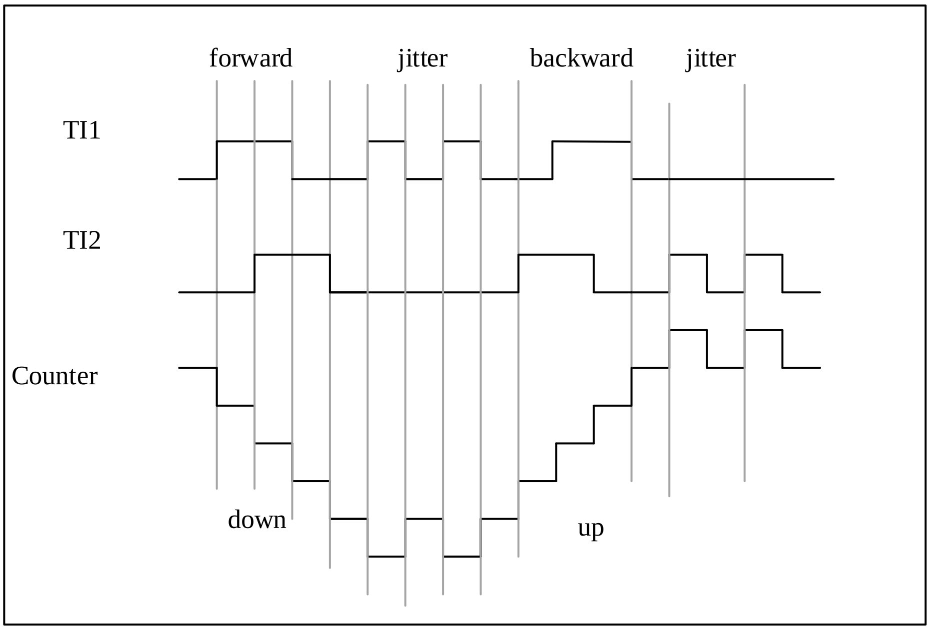
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 10-38 编码器模式下的计数器操作实例



下图为 IC1FP1 极性反转时的计数器行为示例（CC1P＝'1'，其他配置同上）

图 10-39 IC1FP1 反相的编码器接口模式实例



10.5.16.2 脉冲电平编码模式

脉冲电平编码模式中，时钟是在 TI2 上单线上提供的，而计数方向是 TI1 输入提供的。

该模式通过 TIMx_SMCTRL 寄存器中的 SMSEL[3:0]启用，具体如下。

1011：脉冲电平编码模式 2，计数器在时钟的上升沿和下降沿都被更新。

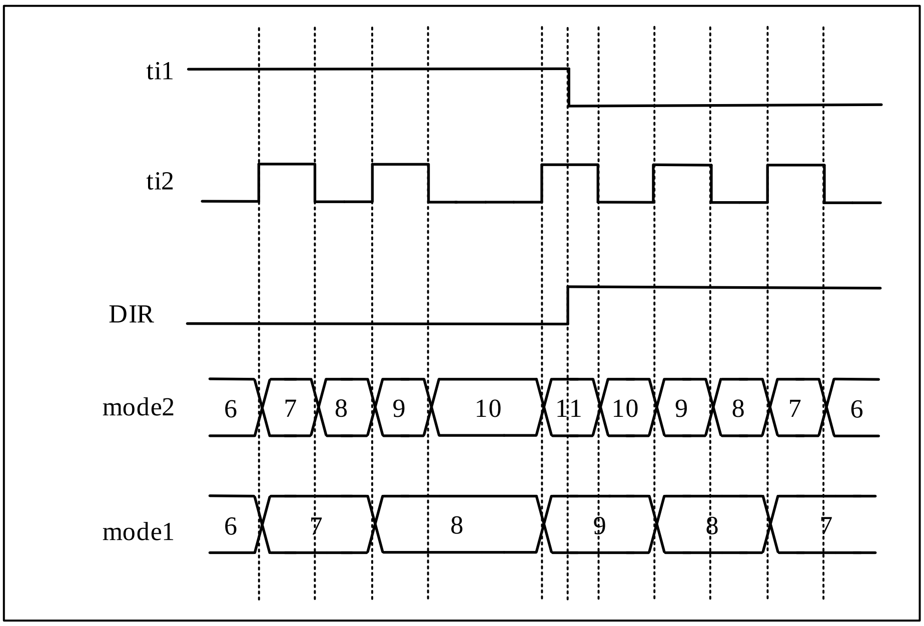
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

1100：脉冲电平编码模式 1，根据 CC2P 值，计数器在单个时钟沿上更新。CC2P = 0 对应于上升沿计数，CC2P = 1 对应于下降沿计数。

TI1 的方向信号的极性是通过 CC1P 位来设置的。CC2P＝0 时当 TI1 为高电平时向上计数，当 TI1 为低电平时向下计数；CC1P＝1 时当 TI1 为低电平时向上计数，TI1 为高电平时向下计数。

下图以 CC1P=CC2P=0 为例：

图 10-40 脉冲电平编码模式（CC1P=CC2P=0）



10.5.16.3 双脉冲编码模式

双脉冲编码模式中，时钟在两条线上被提供，根据不同的方向，一次只能提供一条，这样就有一条向上计数的时钟线和一条向下计数的时钟线。

该模式通过 TIMx_SMCTRL 寄存器中的 SMSEL[3:0]位域启用，具体如下。

- 1000：双脉冲编码模式 2，计数器在两条时钟线中任何一条的上升沿和下降沿都被更新。CC1P 和 CC2P 位是对时钟空闲状态的编码。CCxP=0 对应于高电平空闲状态，CCxP=1 对应于低电平空闲状态。
- 1111：双脉冲编码模式 1，根据 CC1P 和 CC2P 位值，计数器在单个时钟沿上更新。CCxP＝0 对应下降沿和高电平状态，CCxP＝1 对应上升沿和低电平状态。

下表描述了计数方向与编码器信号和极性设置的关系

表 10-2 计数方向与编码器信号和极性设置的关系

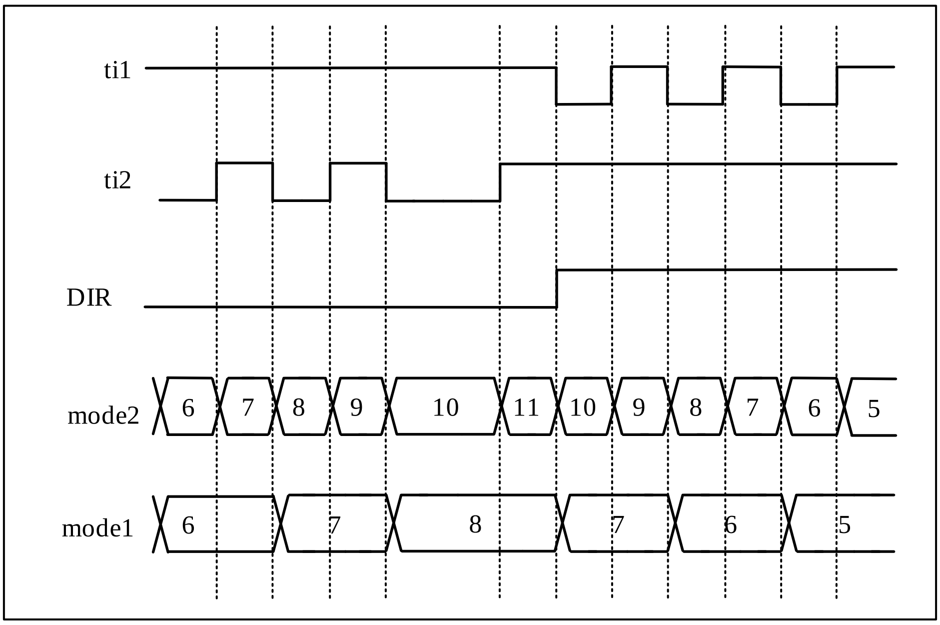
双脉冲编码模式	SMSEL[3:0]	相对信号的电平(**TI1FP1** 对应 **TI2, TI2FP2** 对应 **TI1)**	**TI1FP1** 信号		**TI2FP2** 信号	
			上升	下降	上升	下降

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

模式 2 CCxP=0	1000	高	向下计数	向下计数	向上计数	向上计数
		低	不计数	不计数	不计数	不计数
模式 2 CCxP=1	1000	高	不计数	不计数	不计数	不计数
		低	向下计数	向下计数	向上计数	向上计数
模式 1 CCxP=0	1111	高	不计数	向下计数	不计数	向上计数
		低	不计数	不计数	不计数	不计数
模式 1 CCxP=1	1111	高	不计数	不计数	不计数	不计数
		低	向下计数	不计数	向上计数	不计数

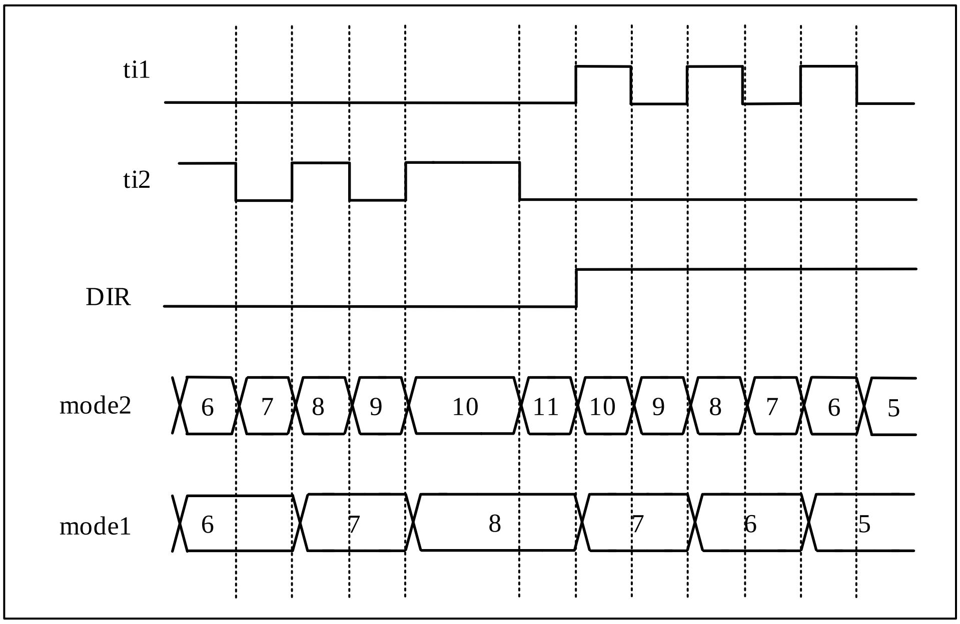
下图显示了双脉冲编码模式计数器计数方式

图 10-41 双脉冲编码模式（CC1P = CC2P = 0)



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 10-42 双脉冲编码模式 (CC1P = CC2P = 1)



10.5.17 与霍尔传感器的接口

请查阅9.5.22节

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

10.6 GTIMx（x=1,4）寄存器描述

关于在寄存器描述里面所用到的缩写，详见 **1.1** 节。

可以用半字（16 位）或字（32 位）的方式操作这些外设寄存器。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

10.6.1 控制寄存器 1（TIMx_CTRL1）

偏移地址：0x00

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved												C4SEL	C3SEL	C2SEL	C1SEL
												rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		CLRSEL	Reserved			ARPEN	ONEPM	CLKD[1:0]		UPDIS	UPRS	CAMSEL[1:0]		DIR	CNTEN
		rw				rw	rw	rw		rw	rw	rw		rw	rw

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必须保持复位值
19	C4SEL	通道4选择（Channel 4 selection） 0：选择CH4（具体选择见TIMx_INSEL.TI4S）信号 1：针对GTIM1选择HSE/128输入，选择CH4（来自HSE/128）信号
18	C3SEL	通道3选择（Channel 3 selection） 0：选择CH3（具体选择见TIMx_INSEL.TI3S）信号 1：针对GTIM1选择LSI输入，选择CH3（来自LSI）信号
17	C2SEL	通道2选择（Channel 2 selection） 0：选择CH2（具体选择见TIMx_INSEL.TI2S）信号 1：针对GTIM1选择LSE输入，选择CH1（来自LSE）信号
16	C1SEL	通道1选择（Channel 1 selection） 0：选择CH1（具体选择见TIMx_INSEL.TI1S）信号 1：保留
15:14	Reserved	保留，必须保持复位值
13	CLRSEL	OcxRef清除选择（OcxRef clear selection） 0：选择外部Ocxclr (TIMx_ETR)信号，具体选择见TIMx_INSEL.ETRS 1：选择内部Ocxclr (tim_ocref_clr)信号，具体选择见TIMx_INSEL.CLRS
12:10	Reserved	保留，必须保持复位值
9	ARPEN	自动重装载预装载允许位 （Auto-reload preload enable） 0：TIMx_AR 寄存器的影子寄存器禁用 1：TIMx_AR 寄存器的影子寄存器使能
8	ONEPM	单脉冲模式 （One pulse mode） 0：禁用单脉冲模式，发生更新事件时不影响计数器计数。 1：使能单脉冲模式，下次更新事件发生时计数器停止计数
7:6	CLKD[1:0]	时钟分频因子 （Clock division） CLKD[1:0] 表示 CK_INT（定时器时钟）和 DTS（用于死区时间发生器和数字滤波器

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		（ETR、TIx）的时钟）之间的分频比。 00：$t_{DTS} = t_{CK\_INT}$. 01：$t_{DTS} = 2 \times t_{CK\_INT}$ 10：$t_{DTS} = 4 \times t_{CK\_INT}$ 11：保留，不要使用这个配置
5	UPDIS	更新禁用（Update disable） 该位用于启用/禁用软件生成的更新事件 (UEV) 事件。 0：启用。 如果满足以下条件之一，将生成 UEV： – 计数器上溢/下溢 – TIMx_EVTGEN.UDGN 位被设置 – 从模式控制器的更新生成 影子寄存器将使用预加载值进行更新。 1：UEV 禁用。 不生成更新事件，影子寄存器（AR、PSC 和 CCDATx）保持它们的值。 如果 TIMx_EVTGEN.UDGN 位置位或从模式控制器发出硬件复位，则重新初始化计数器和预分频器。
4	UPRS	更新请求源（Update request source） 该位用于通过软件选择 UEV 事件源。 0：如果更新中断或 DMA 请求使能，以下任何事件都会产生更新中断或 DMA 请求： – 计数器上溢/下溢 – TIMx_EVTGEN.UDGN 位被设置 – 从模式控制器的更新生成 1：如果更新中断或 DMA 请求使能，只有计数器上溢/下溢会产生更新中断或 DMA 请求。
3:2	CAMSEL[1:0]	选择中央对齐模式 （Center-aligned mode selection） 00：边缘对齐模式。 TIMx_CTRL1.DIR 指定向上计数或向下计数。 01：中央对齐模式1。 计数器在中央对齐模式下计数，向下计数时输出比较中断标志位设置为 1。 10：中央对齐模式2。计数器在中央对齐模式下计数，向上计数时输出比较中断标志位设置为1。 11：中央对齐模式3。 计数器在中央对齐模式下计数，向上计数或向下计数时输出比较中断标志位设置为 1。 *注意：当计数器仍然启用时（TIMx_CTRL1.CNTEN = 1），不允许从边缘对齐模式切换到中央对齐模式。*
1	DIR	方向 （Direction） 0：计数器向上计数； 1：计数器向下计数。 *注：当计数器配置为中央对齐模式或编码器模式时，该位为只读。*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
0	CNTEN	使能计数器 （Counter enable） 0：禁止计数器； 1：使能计数器。 *注：在软件设置了CNTEN位后，外部时钟、门控模式和编码器模式才能工作。触发模式可以自动地通过硬件设置CNTEN位。*

10.6.2 控制寄存器 2（TIMx_CTRL2）

偏移地址：0x04
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved												TI1SEL	Reserved	CCDSEL	Reserved
												rw		rw	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MMSEL[3:0]				Reserved											
rw															

位域	名称	描述
31:20	Reserved	保留，必须保持复位值
19	TI1SEL	TI1选择 （TI1 selection） 0：TIMx_CH1引脚连到TI1输入； 1：TIMx_CH1、TIMx_CH2和TIMx_CH3引脚经异或后连到TI1输入。
18	Reserved	保留，必须保持复位值
17	CCDSEL	捕获/比较的DMA选择 （Capture/compare DMA selection） 0：当发生CCx事件时，送出CCx的DMA请求； 1：当发生更新事件时，送出CCx的DMA请求。
16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:12	MMSEL[3:0]	主模式选择 这 4 位用于选择在主模式下发送到从定时器的同步信息（TRGO）。可能的组合如下： x000：复位 - 当 TIMx_EVTGEN.UDGN 置位或从模式控制器产生复位时，将出现 TRGO 脉冲。在后一种情况下，TRGO 上的信号与实际复位相比有所延迟。 x001：使能 - TIMx_CTRL1.CNTEN 位用作触发输出 (TRGO)。有时需要同时启动多个定时器或者在一段时间内开启从定时器。 当 TIMx_CTRL1.CNTEN 位置位或门控模式下的触发输入为高电平时，计数器使能信号置位。 当计数器使能信号由触发输入控制时，TRGO 上有一个延迟，除非选择了主/从模式（参见 TIMx_SMCTRL.MSMD 位的说明）。 x010：更新 - 选择更新事件作为触发输出 (TRGO)。例如，主定时器时钟可用作从定时

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		器预分频器。 x011：比较脉冲 - 当 TIMx_STS.CC1ITF 被设置时（即使它已经是高电平），即捕获或比较成功时，触发输出发送一个正脉冲 (TRGO)。 x100：比较 - OC1REF 信号用作触发输出 (TRGO)。 x101：比较 - OC2REF 信号用作触发输出（TRGO）。 x110：比较 - OC3REF 信号用作触发输出 (TRGO)。 x111：比较 - OC4REF 信号用作触发输出 (TRGO)
11:0	Reserved	保留，必须保持复位值

10.6.3 状态寄存器（TIMx_STS）

偏移地址：0x08
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved													TITF	Reserved	UDITF
													rc_w0		rc_w0

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				CC4OCF	CC3OCF	CC2OCF	CC1OCF	Reserved				CC4ITF	CC3ITF	CC2ITF	CC1ITF
				rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0					rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必须保持复位值
18	TITF	触发器中断标记 （Trigger interrupt flag） 当发生触发事件（当从模式控制器处于除门控模式外的其它模式时，在TRGI输入端检测到有效边沿，或门控模式下的任一边沿）时由硬件对该位置’1’。它由软件清’0’。 0：无触发器事件产生； 1：触发中断等待响应。
17	Reserved	保留，必须保持复位值
16	UDITF	更新中断标志（Update interrupt flag） 当在以下条件下发生更新事件时，该位由硬件设置： – 当 TIMx_CTRL1.UPDIS = 0 时，并且重复计数器值上溢或下溢（当重复计数器等于 0 时生成更新事件UEV）。 – 当 TIMx_CTRL1.UPRS = 0 时，TIMx_CTRL1.UPDIS = 0，并通过软件设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 位以重新初始化 CNT。 – 当 TIMx_CTRL1.UPRS = 0 时，TIMx_CTRL1.UPDIS = 0，并且计数器 CNT 由触发事件重新初始化。 （参见 TIMx_SMCTRL 寄存器说明） 该位由软件清零。 0：未发生更新事件

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：发生更新中断
15:12	Reserved	保留，必须保持复位值
11	CC4OCF	捕获/比较4重复捕获标记 （Capture/Compare 4 overcapture flag） 参见CC1OCF描述。
10	CC3OCF	捕获/比较3重复捕获标记 （Capture/Compare 3 overcapture flag） 参见CC1OCF描述。
9	CC2OCF	捕获/比较2重复捕获标记 （Capture/Compare 2 overcapture flag） 参见CC1OCF描述。
8	CC1OCF	捕获/比较1重复捕获标记 （Capture/Compare 1 overcapture flag） 仅当相应的通道被配置为输入捕获时，该标记可由硬件置1。写0可清除该位。 0：无重复捕获产生； 1：计数器的值被捕获到TIMx_CCDAT1寄存器时，CC1ITF的状态已经为‘1’。
7:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3	CC4ITF	捕获/比较4中断标记 （Capture/Compare 4 interrupt flag） 参考CC1ITF描述。
2	CC3ITF	捕获/比较3中断标记 （Capture/Compare 3 interrupt flag） 参考CC1ITF描述。
1	CC2ITF	捕获/比较2中断标记 （Capture/Compare 2 interrupt flag） 参考CC1ITF描述。
0	CC1ITF	捕获/比较1中断标记 （Capture/Compare 1 interrupt flag） **如果通道CC1配置为输出模式：** 除中央对齐模式外，当计数器值与比较值相同时，该位由硬件设置（参见 TIMx_CTRL1.CAMSEL 位描述）。 该位由软件清零。 0：未发生匹配。 1：TIMx_CNT 的值与 TIMx_CCDAT1 的值相同。 当 TIMx_CCDAT1 的值大于 TIMx_AR 的值时，如果计数器溢出（在向上计数和向上/向下计数模式下）和向下计数模式下溢，则 TIMx_STS.CC1ITF 位将变为高电平。 **如果通道CC1配置为输入模式：** 当捕捉事件发生时，该位由硬件设置。 该位由软件或读取 TIMx_CCDAT1 清零。 0：未发生输入捕捉。 1：发生输入捕捉。 计数器值已在 TIMx_CCDAT1 中捕获。 在 IC1 上检测到与所选极性相同的边沿。

10.6.4 事件产生寄存器（TIMx_EVTGEN）

偏移地址:0x0C
复位值:0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved					TGN	Reserved	UDGN	Reserved				CC4GN	CC3GN	CC2GN	CC1GN
					w		w					w	w	w	w

位域	名称	描述
31:11	Reserved	保留，必须保持复位值
10	TGN	产生触发事件 （Trigger generation） 当由软件置位时，该位可以产生一个触发事件。 而此时TIMx_STS.TITF = 1，如果相应的中断和DMA被使能，就会产生相应的中断和DMA。 该位由硬件自动清零。 0：无动作 1：产生触发事件
9	Reserved	保留，必须保持复位值
8	UDGN	产生更新事件 （Update generation） 该位由软件置'1'，由硬件自动清'0'。 当由软件设置时，该位可以生成更新事件。 而此时计数器会重新初始化，预分频计数器会被清零，计数器在中央对齐或向上计数模式下会被清零，但在向下计数模式下取TIMx_AR寄存器的值。 该位由硬件自动清零。 0：无动作 1：生成更新事件
7:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3	CC4GN	产生捕获/比较4事件 （Capture/Compare 4 generation） 参考CC1GN描述。
2	CC3GN	产生捕获/比较3事件 （Capture/Compare 3 generation） 参考CC1GN描述。
1	CC2GN	产生捕获/比较2事件 （Capture/Compare 2 generation） 参考CC1GN描述。
0	CC1GN	产生捕获/比较1事件 （Capture/Compare 1 generation） 当由软件设置时，该位可以产生一个捕获/比较事件。 该位由硬件自动清零。 **CC1对应通道为输出模式时：** TIMx_STS.CC1ITF 标志将被拉高，如果相应的中断和 DMA 被使能，就会产生相应的中断和 DMA。 **CC1对应通道为输入模式时：** TIMx_CCDAT1 将捕获当前计数器值，并将 TIMx_STS.CC1ITF 标志拉高，如果相应的中断和 DMA 被使能，则会产生相应的中断和 DMA。 如果 TIMx_STS.CC1ITF 已经拉高，则拉高 TIMx_STS.CC1OCF。 0：无动作 1：生成 CC1 捕获/比较事件

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

10.6.5 从模式控制寄存器（TIMx_SMCTRL）

偏移地址：0x10
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved								OCREFCLRF[3:0]				OCREF CLRP	Reserved		MSMD
								rw				rw			rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
EXTF[3:0]				EXTP	EXCEN	EXTPS		SMSEL[3:0]				Reserved	TSEL[2:0]		
rw				rw	rw	rw		rw					rw		

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必须保持复位值
23:20	OCREFCLRF	tim_ocref_clr信号滤波器(tim_ocref_clr signal filter) 这些位用于定义 tim_ocref_clr 信号的采样频率和 tim_ocref_clr 数字滤波的带宽。 实际上，数字滤波器是一个事件计数器，在记录连续 N 个事件后生成验证输出。 0000：无滤波器，以fDTS采样 1000：采样频率fSAMPLING=fDTS/8，N=6 0001：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=2 1001：采样频率fSAMPLING=fDTS/8，N=8 0010：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=4 1010：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=5 0011：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=8 1011：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=6 0100：采样频率fSAMPLING=fDTS/2，N=6 1100：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=8 0101：采样频率fSAMPLING=fDTS/2，N=8 1101：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=5 0110：采样频率fSAMPLING=fDTS/4，N=6 1110：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=6 0111：采样频率fSAMPLING=fDTS/4，N=8 1111：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=8
19	OCREFCLRP	tim_ocref_clr 信号极性 （tim_ocref_clr signal polarity） 该位选择是用tim_ocref_clr 还是tim_ocref_clr 的反相来作为触发操作 0：tim_ocref_clr 高电平或上升沿有效； 1：tim_ocref_clr 低电平或下降沿有效。
18:17	Reserved	保留，必须保持复位值
16	MSMD	主/从模式 （Master/slave mode） 0：无作用； 1：触发输入（TRGI）上的事件被延迟了，以允许在当前定时器（通过TRGO）与它的从定时器间的完美同步。这对要求把几个定时器同步到一个单一的外部事件时是非常有用的。
15:12	EXTF[3:0]	外部触发滤波 （External trigger filter） 这些位用于定义 ETRP 信号的采样频率和 ETRP 数字滤波的带宽。 实际上，数字滤波器是一个事件计数器，在记录连续 N 个事件后生成验证输出。 0000：无滤波器，以fDTS采样 1000：采样频率fSAMPLING=fDTS/8，N=6 0001：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=2 1001：采样频率fSAMPLING=fDTS/8，N=8 0010：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=4 1010：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=5

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		0011：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=8 1011：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=6 0100：采样频率fSAMPLING=fDTS/2，N=6 1100：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=8 0101：采样频率fSAMPLING=fDTS/2，N=8 1101：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=5 0110：采样频率fSAMPLING=fDTS/4，N=6 1110：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=6 0111：采样频率fSAMPLING=fDTS/4，N=8 1111：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=8
11	EXTP	外部触发极性 （External trigger polarity） 该位选择是用tim_etr_in还是tim_etr_in的反相来作为触发操作 0：tim_etr_in高电平或上升沿有效； 1：tim_etr_in低电平或下降沿有效。
10	EXCEN	外部时钟使能位 （External clock enable） 该位启用外部时钟模式2 。启用后，计数器由ETRF信号上的任意有效边沿驱动。 0：禁止外部时钟模式2； 1：使能外部时钟模式2。 注意1：当同时使能外部时钟模式 1 和外部时钟模式 2 时，外部时钟的输入为 ETRF。 注意2：以下从机模式可以与外部时钟模式2同时使用：复位模式、门控模式和触发模式； 但是，TRGI 无法连接到 ETRF (TIMx_SMCTRL.TSEL ≠ '111')。 注意3：设置 TIMx_SMCTRL.EXCEN 位与选择外部时钟模式 1 并将 TRGI 连接到 ETRF （TIMx_SMCTRL.SMSEL = 111 和 TIMx_SMCTRL.TSEL = 111）的效果相同
9:8	EXTPS[1:0]	外部触发预分频 （External trigger prescaler） 外部触发信号 ETRP 的频率必须最多为 TIMxCLK 频率的 1/4。 当输入更快的外部时钟时，可以使用预分频器来降低 ETRP 的频率。 00：关闭预分频； 01：ETRP频率除以2； 10：ETRP频率除以4； 11：ETRP频率除以8。
7:4	SMSEL[3:0]	从模式选择 （Slave mode selection） 当选择了外部信号，触发信号（TRGI）的有效边沿与选中的外部输入极性相关（见输入控制寄存器和控制寄存器的说明） 0000：关闭从模式 – 如果CNTEN=1，则预分频器直接由内部时钟驱动。 0001：编码器模式1 – 根据TI2FP2的电平，计数器在TI1FP1的边沿向上/下计数。 0010：编码器模式2 – 根据TI1FP1的电平，计数器在TI2FP2的边沿向上/下计数。 0011：编码器模式3 – 根据另一个信号的输入电平，计数器在TI1FP1和TI2FP2的边沿向上/下计数。 0100：复位模式 – 在选定触发输入 (TRGI) 的上升沿，计数器重新初始化并更新影子寄存器。 0101：门控模式 – 当触发输入（TRGI）为高时，计数器的时钟开启。一旦触发输入变为低，则计数器停止（但不复位）。计数器的启动和停止都是受控的。 0110：触发模式 – 计数器在触发输入TRGI的上升沿启动（但不复位），只有计数器的启动是受控的。 0111：外部时钟模式1 – 选中的触发输入（TRGI）的上升沿驱动计数器。 1000：双脉冲编码模式2。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		1001：正交编码器模式4 – 根据TI2FP2的电平，计数器在TI1FP1的边沿向上/下计数。通过CC1P选择计数边沿。 1010：正交编码器模式5 – 根据TI1FP1的电平，计数器在TI2FP2的边沿向上/下计数。通过CC2P选择计数边沿。 1011：脉冲电平编码模式2。 1100：脉冲电平编码模式1。通过CC2P设置TI2FP2的计数边沿。 1101：组合门控+复位模式 – 当触发输入（TRGI）为高时，计数器的时钟开启。一旦触发输入变为低，则计数器停止（且复位）。计数器的启动和停止都是受控的。 1110：组合复位+触发模式 – 计数器在触发输入TRGI的上升沿启动（且复位），只有计数器的启动是受控的。 1111：双脉冲编码模式1。通过CC1P和CC2P设置TI1FP1和TI2FP2的计数敏感边沿。 注意：如果TI1F_ED被选为触发输入（TSEL=100）时，不要使用门控模式。这是因为，TI1F_ED在每次TI1F变化时输出一个脉冲，然而门控模式是要检查触发输入的电平。
3	Reserved	保留，必须保持复位值
2:0	TSEL[2:0]	触发选择 （Trigger selection） 这3位选择用于同步计数器的触发输入。 0xx：内部触发（ITRx），根据TIMx_INSEL. ITRS选择ITR信号源 100：TI1的边沿检测器（TI1F_ED） 101：滤波后的定时器输入1（TI1FP1） 110：滤波后的定时器输入2（TI2FP2） 111：外部触发输入（ETRF） 注意：这些位只能在未用到（如SMSEL=000）时被改变，以避免在改变时产生错误的边沿检测。

10.6.6 DMA/中断使能寄存器（TIMx_DINTEN）

偏移地址：0x14
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved										TDEN	Reserved	UDEN	Reserved	TIEN	UIEN
										rw		rw		rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				CC4DEN	CC3DEN	CC2DEN	CC1DEN	Reserved				CC4IEN	CC3IEN	CC2IEN	CC1IEN
				rw	rw	rw	rw					rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:22	Reserved	保留，必须保持复位值

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
21	TDEN	允许触发DMA请求 （Trigger DMA request enable） 0：禁止触发DMA请求； 1：允许触发DMA请求。
20	Reserved	保留，必须保持复位值
19	UDEN	允许更新的DMA请求 （Update DMA request enable） 0：禁止更新的DMA请求； 1：允许更新的DMA请求。
18	Reserved	保留，必须保持复位值
17	TIEN	触发中断使能 （Trigger interrupt enable） 0：禁止触发中断； 1：使能触发中断。
16	UIEN	允许更新中断 （Update interrupt enable） 0：禁止更新中断； 1：允许更新中断。
15:12	Reserved	保留，必须保持复位值
11	CC4DEN	允许捕获/比较4的DMA请求 （Capture/Compare 4 DMA request enable） 0：禁止捕获/比较4的DMA请求； 1：允许捕获/比较4的DMA请求。
10	CC3DEN	允许捕获/比较3的DMA请求 （Capture/Compare 3 DMA request enable） 0：禁止捕获/比较3的DMA请求； 1：允许捕获/比较3的DMA请求。
9	CC2DEN	允许捕获/比较2的DMA请求 （Capture/Compare 2 DMA request enable） 0：禁止捕获/比较2的DMA请求； 1：允许捕获/比较2的DMA请求。
8	CC1DEN	允许捕获/比较1的DMA请求 （Capture/Compare 1 DMA request enable） 0：禁止捕获/比较1的DMA请求； 1：允许捕获/比较1的DMA请求。
7:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3	CC4IEN	允许捕获/比较4中断 （Capture/Compare 4 interrupt enable） 0：禁止捕获/比较4中断； 1：允许捕获/比较4中断。
2	CC3IEN	允许捕获/比较3中断 （Capture/Compare 3 interrupt enable） 0：禁止捕获/比较3中断； 1：允许捕获/比较3中断。
1	CC2IEN	允许捕获/比较2中断 （Capture/Compare 2 interrupt enable） 0：禁止捕获/比较2中断； 1：允许捕获/比较2中断。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
0	CC1IEN	允许捕获/比较1中断 （Capture/Compare 1 interrupt enable） 0：禁止捕获/比较1中断； 1：允许捕获/比较1中断。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

10.6.7 捕获/比较模式寄存器 1（TIMx_CCMOD1）

偏移地址：0x18

复位值：0x0000 0000

通道可用于输入（捕获模式）或输出（比较模式），通道的方向由相应的 CCxSEL 位定义。该寄存器其它位的作用在输入和输出模式下不同。OCx 描述了通道在输出模式下的功能，ICx 描述了通道在输入模式下的功能。因此必须注意，同一个位在输出模式和输入模式下的功能是不同的。

输出比较模式：

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
OC2MD[2:0]			OC2CEN	OC2FEN	OC2PEN	CC2SEL[1:0]		OC1MD[2:0]			OC1CEN	OC1FEN	OC1PEN	CC1SEL[1:0]	
rw			rw	rw	rw	rw		rw			rw	rw	rw	rw	

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:13	OC2MD[2:0]	输出比较2模式 （Output Compare 2 mode）
12	OC2CEN	输出比较2清0使能 （Output Compare 2 clear enable）
11	OC2FEN	输出比较2快速使能 （Output Compare 2 fast enable）
10	OC2PEN	输出比较2预装载使能 （Output Compare 2 preload enable）
9:8	CC2SEL[1:0]	捕获/比较2选择。（Capture/Compare 2 selection） 该位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC2通道被配置为输出； 01：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TI2上； 10：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TI1上； 11：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 *注：CC2SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC2EN=0）才是可写的。*
7:5	OC1MD[2:0]	输出比较1模式 （Output Compare 1 mode） 这些位用于管理输出参考信号 OC1REF，它决定了 OC1 和 OC1N 的值，在高电平有效，而 OC1 和 OC1N 的有效电平取决于 TIMx_CCEN.CC1P 和 TIMx_CCEN.CC1NP 位。 000：冻结。 TIMx_CCDAT1 寄存器和计数器 TIMx_CNT 之间的比较对 OC1REF 信号没有影响。 001：将通道 1 设置为匹配时的有效电平。当 TIMx_CCDAT1 = TIMx_CNT 时，OC1REF 信号将被强制为高电平。 010：将通道 1 设置为匹配时的无效电平。当 TIMx_CCDAT1 = TIMx_CNT 时，OC1REF 信号将被强制为低电平。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		011：翻转。当 TIMx_CCDAT1 = TIMx_CNT 时，OC1REF 信号将被翻转。 100：强制无效电平。 OC1REF 信号被强制为低电平。 101：强制有效电平。 OC1REF 信号被强制为高电平。 110：PWM 模式 1 - 在向上计数模式下，如果 TIMx_CNT < TIMx_CCDAT1，则通道 1 的 OC1REF 信号为高电平，否则为低电平。在向下计数模式下，如果 TIMx_CNT > TIMx_CCDAT1，则通道 1 的 OC1REF 信号为低电平，否则为高电平。 111：PWM 模式 2 - 在向上计数模式下，如果 TIMx_CNT < TIMx_CCDAT1，则通道 1 的 OC1REF 信号为低电平，否则为高电平。在向下计数模式下，如果 TIMx_CNT > TIMx_CCDAT1，则通道 1 的 OC1REF 信号为高电平，否则为低电平。 *注 1：在 PWM 模式 1 或 PWM 模式 2 中，OC1REF 电平仅在比较结果改变或输出比较模式从冻结模式切换到 PWM 模式时才会改变。*
4	OC1CEN	输出比较1清'0'使能 （Output Compare 1 clear enable） 0：OC1REF 不受tim_ocref_clr_in输入的影响； 1：一旦检测到tim_ocref_clr_in输入高电平（tim_ocref_clr_in由TIMx_CTRL1.CLRSEL控制来源），OC1REF=0。
3	OC1FEN	输出比较1 快速使能 （Output Compare 1 fast enable） 该位用于加快CC输出对触发输入事件的响应。 0：根据计数器与CCDAT1的值，CC1正常操作，即使触发器是打开的。当触发器的输入有一个有效沿时，激活CC1输出的最小延时为5个时钟周期。 1：输入到触发器的有效沿的作用就像发生了一次比较匹配。因此，OC1被设置为比较电平而与比较结果无关。采样触发器的有效沿和CC1输出间的延时被缩短为3个时钟周期。 OCxFEN只在通道被配置成PWM1或PWM2模式时起作用。
2	OC1PEN	输出比较 1 预加载使能（Output Compare 1 preload enable） 0：禁用 TIMx_CCDAT1 寄存器的预加载功能。 支持随时对TIMx_CCDAT1寄存器进行写操作，写入的值立即生效。 1：使能 TIMx_CCDAT1 寄存器的预加载功能。 仅对预加载寄存器进行读写操作。当更新事件发生时，TIMx_CCDAT1 的值被加载到影子寄存器中。 *注 1：只有当 TIMx_CTRL1.ONEPM = 1（在单脉冲模式下）时，才能使用 PWM 模式而不验证预加载寄存器，否则无法预测其他行为。*
1:0	CC1SEL[1:0]	捕获/比较1 选择。（Capture/Compare 1 selection） 这2位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC1通道被配置为输出； 01：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TI1上； 10：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TI2上； 11：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 *注：CC1SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC1EN=0）才是可写的。*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

输入捕获模式：

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
IC2F[3:0]				IC2PSC[1:0]		CC2SEL[1:0]		IC1F[3:0]				IC1PSC[1:0]		CC1SEL[1:0]	
rw				rw		rw		rw				rw		rw	

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:12	IC2F[3:0]	输入捕获2滤波器　（Input capture 2 filter）
11:10	IC2PSC[1:0]	输入/捕获2预分频器　（Input capture 2 prescaler）
9:8	CC2SEL[1:0]	捕获/比较2选择　（Capture/Compare 2 selection） 这2位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC2通道被配置为输出； 01：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TI2上； 10：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TI1上； 11：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 *注：CC2SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC2EN=0）才是可写的。*
7:4	IC1F[3:0]	输入捕获1滤波器　（Input capture 1 filter） 这几位定义了TI1输入的采样频率及数字滤波器长度。数字滤波器由一个事件计数器组成，它记录到N个事件后会产生一个输出的跳变： 0000：无滤波器，以f_{DTS}采样　　1000：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/8$，N=6 0001：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{CK_INT}$，N=2　　1001：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/8$，N=8 0010：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{CK_INT}$，N=4　　1010：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/16$，N=5 0011：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{CK_INT}$，N=8　　1011：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/16$，N=6 0100：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/2$，N=6　　1100：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/16$，N=8 0101：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/2$，N=8　　1101：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/32$，N=5 0110：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/4$，N=6　　1110：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/32$，N=6 0111：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/4$，N=8　　1111：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/32$，N=8
3:2	IC1PSC[1:0]	输入/捕获1预分频器　（Input capture 1 prescaler） 这2位定义了CC1输入（IC1）的预分频系数。 一旦TIMx_CCEN.CC1EN=0，则预分频器复位。 00：无预分频器，捕获输入口上检测到的每一个边沿都触发一次捕获； 01：每2个事件触发一次捕获； 10：每4个事件触发一次捕获； 11：每8个事件触发一次捕获。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com　邮编：518057

1:0	CC1SEL[1:0]	捕获/比较1选择 （Capture/Compare 1 Selection） 这2位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC1通道被配置为输出； 01：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TI1上； 10：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TI2上； 11：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 *注：CC1SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC1EN=0）才是可写的。*

10.6.8 捕获/比较模式寄存器 2（TIMx_CCMOD2）

偏移地址：0x1C
复位值：0x0000 0000
参看以上 CCMOD1 寄存器的描述

输出比较模式：

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
OC4MD[2:0]			OC4CEN	OC4FEN	OC4PEN	CC4SEL[1:0]		OC3MD[2:0]			OC3CEN	OC3FEN	OC3PEN	CC3SEL[1:0]	
rw			rw	rw	rw	rw		rw			rw	rw	rw	rw	

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:13	OC4MD[2:0]	输出比较4模式 （Output compare 4 mode）
12	OC4CEN	输出比较4清0使能 （Output compare 4 clear enable）
11	OC4FEN	输出比较4快速使能 （Output compare 4 fast enable）
10	OC4PEN	输出比较4预装载使能 （Output compare 4 preload enable）
9:8	CC4SEL[1:0]	捕获/比较4选择 （Capture/Compare 4 selection） 该2位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC4通道被配置为输出； 01：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TI4上； 10：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TI3上； 11：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 *注：CC4SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC4EN=0）才是可写的。*
7:5	OC3MD[2:0]	输出比较3模式 （Output compare 3 mode）
4	OC3CEN	输出比较3清0使能 （Output compare 3 clear enable）
3	OC3FEN	输出比较3快速使能 （Output compare 3 fast enable）
2	OC3PEN	输出比较3预装载使能 （Output compare 3 preload enable）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
1:0	CC3SEL[1:0]	捕获/比较3选择 （Capture/Compare 3 selection） 这2位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC3通道被配置为输出； 01：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TI3上； 10：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TI4上； 11：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 *注：CC3SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC3EN=0）才是可写的。*

输入捕获模式：

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
IC4F[3:0]				IC4PSC[1:0]		CC4SEL[1:0]		IC3F[3:0]				IC3PSC[1:0]		CC3SEL[1:0]	
rw				rw		rw		rw				rw		rw	

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:12	IC4F[3:0]	输入捕获4滤波器 (Input capture 4 filter)
11:10	IC4PSC[1:0]	输入/捕获4预分频器 (Input capture 4 prescaler)
9:8	CC4SEL[1:0]	捕获/比较4选择 (Capture/Compare 4 selection) 这2位定义通道的方向(输入/输出)，及输入脚的选择： 00：CC4通道被配置为输出； 01：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TI4上； 10：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TI3上； 11：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时(由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择)。 *注：CC4SEL仅在通道关闭时(TIMx_CCEN寄存器的CC4EN=0)才是可写的。*
7:4	IC3F[3:0]	输入捕获3滤波器 (Input capture 3 filter)
3:2	IC3PSC[1:0]	输入/捕获3预分频器 (Input capture 3 prescaler)
1:0	CC3SEL[1:0]	捕获/比较3选择 (Capture/compare 3 selection) 这2位定义通道的方向(输入/输出)，及输入脚的选择： 00：CC3通道被配置为输出； 01：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TI3上； 10：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TI4上； 11：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时(由

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
		TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择)。 *注：CC3SEL仅在通道关闭时(TIMx_CCEN寄存器的CC3EN=0)才是可写的。*

10.6.9 捕获/比较使能寄存器（TIMx_CCEN）

偏移地址：0x24

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CC4P	CC4EN	Reserved		CC3P	CC3EN	Reserved		CC2P	CC2EN	Reserved		CC1P	CC1EN	Reserved	
rw	rw			rw	rw			rw	rw			rw	rw		

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15	CC4P	捕获/比较4输出极性 （Capture/Compare 4 output polarity） 参考TIMx_CCEN.CC1P的描述。
14	CC4EN	捕获/比较4输出使能 （Capture/Compare 4 output enable） 参考TIMx_CCEN.CC1EN 的描述。
13:12	Reserved	保留，必须保持复位值
11	CC3P	捕获/比较3输出极性 （Capture/Compare 3 output polarity） 参考TIMx_CCEN.CC1P的描述。
10	CC3EN	捕获/比较3输出使能 （Capture/Compare 3 output enable） 参考TIMx_CCEN.CC1E 的描述。
9:8	Reserved	保留，必须保持复位值
7	CC2P	捕获/比较2输出极性 （Capture/Compare 2 output polarity） 参考TIMx_CCEN.CC1P的描述。
6	CC2EN	捕获/比较2输出使能 （Capture/Compare 2 output enable） 参考TIMx_CCEN.CC1EN的描述。
5:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3	CC1P	捕获/比较1输出极性 （Capture/Compare 1 output polarity） **CC1对应通道为输出模式时：** 0：OC1 高电平有效 1：OC1 低电平有效

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		CC1对应通道为输入模式时： 此时，该位用于选择是使用IC1还是IC1的反相信号作为触发信号或捕捉信号。 0：非反相：当 IC1 产生上升沿时发生捕获动作。 当用作外部触发时，IC1 是非反相的。 1：反相：当 IC1 产生下降沿时发生捕获动作。 当用作外部触发时，IC1 被反相。
2	CC1EN	捕获/比较1输出使能 （Capture/Compare 1 output enable） **CC1通道配置为输出：** 0： 关闭－ OC1禁止输出，因此OC1的输出电平依赖于MOEN、OSSI、OSSR、OI1、OI1N和CC1NEN位的值。 1： 开启－ OC1信号输出到对应的输出引脚，其输出电平依赖于MOEN、OSSI、OSSR、OI1、OI1N和CC1NEN位的值。 **CC1通道配置为输入：** 该位决定了计数器的值是否能捕获入TIMx_CCDAT1寄存器。 0：捕获禁止； 1：捕获使能。
1:0	Reserved	保留，必须保持复位值

表 10-3 标准 OCx 的输出控制位

CCxEN	OCx output status
0	Disable output (OCx=0)
1	OCx = OCxREF + polarity

注：连接到标准 OCx 通道的外部 I/O 引脚的状态取决于 OCx 通道状态以及 GPIO 和 AFIO 寄存器。

10.6.10 捕获/比较寄存器 1（TIMx_CCDAT1）

偏移地址：0x28
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CCDAT1[31:0]															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CCDAT1[31:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	CCDAT1[31:0]	捕获/比较通道1的值（Capture/Compare 1 value） ■ CC1 通道配置为输出： CCDAT1 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC1 输出上发出信号。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		如果未在 TIMx_CCMOD1.OC1PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。 ■ CC1 通道配置为输入： CCDAT1 包含由最后一个输入捕获 1 事件 (IC1) 传输的计数器值。 当配置为输入模式时，寄存器 CCDAT1只能读取。 当配置为输出模式时，寄存器 CCDAT1是可读写的。

10.6.11 捕获/比较寄存器 2（TIMx_CCDAT2）

偏移地址：0x2C
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CCDAT2[31:0]															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CCDAT2[31:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	CCDAT2[31:0]	捕获/比较通道2的值（Capture/Compare 2 value） ■ CC2 通道配置为输出： CCDAT2 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC2 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD1.OC2PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。 ■ CC2 通道配置为输入： CCDAT2 包含由最后一个输入捕获 2 事件 (IC2) 传输的计数器值。 当配置为输入模式时，寄存器 CCDAT2只能读取。 当配置为输出模式时，寄存器 CCDAT2是可读写的。

10.6.12 捕获/比较寄存器 3（TIMx_CCDAT3）

偏移地址：0x30
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CCDAT3[31:0]															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

CCDAT3[31:0]

rw

位域	名称	描述
31:0	CCDAT3[31:0]	捕获/比较通道3的值（Capture/Compare 3 value） ■ CC3 通道配置为输出： CCDAT3 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC3 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD2.OC3PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。 ■ CC3 通道配置为输入： CCDAT3 包含由最后一个输入捕获 3 事件 (IC3) 传输的计数器值。 当配置为输入模式时，寄存器 CCDAT3只能读取。 当配置为输出模式时，寄存器 CCDAT3是可读写的。

10.6.13 捕获/比较寄存器 4（TIMx_CCDAT4）

偏移地址：0x34
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CCDAT4[31:0]															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CCDAT4[31:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	CCDAT4[31:0]	捕获/比较通道4的值（Capture/Compare 4 value） ■ CC4 通道配置为输出： CCDAT4 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC4 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD2.OC4PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。 ■ CC4 通道配置为输入： CCDAT4 包含由最后一个输入捕获 4 事件 (IC4) 传输的计数器值。 当配置为输入模式时，寄存器 CCDAT4只能读取。 当配置为输出模式时，寄存器 CCDAT4是可读写的。

10.6.14 预分频器（TIMx_PSC）

偏移地址：0x40
复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PSC[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	PSC[15:0]	预分频器的值 （Prescaler value） 计数器时钟 $f_{CK\_CNT} = f_{CK\_PSC} / (PSC[15:0] + 1)$。 每次发生更新事件时，PSC 值都会加载到预分频器的影子寄存器中。

10.6.15 自动重装载寄存器（TIMx_AR）

偏移地址:0x44

复位值: 0x0000 FFFF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
AR[31:0]															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
AR[31:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	AR[31:0]	自动重装载的值 （Auto-reload value） AR包含了将要装载入实际的自动重装载寄存器的值。详细参考9.5.1节：有关AR的更新和动作。 当自动重装载的值为空时，计数器不工作。

10.6.16 计数器（TIMx_CNT）

偏移地址：0x48

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CNT[31:0]															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CNT[31:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	CNT[31:0]	计数器的值 （Counter value）

10.6.17 通道 1 滤波寄存器（TIMx_C1FILT）

偏移地址：0x64

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		THRESH[5:0]						Reserved	WSIZE[5:0]						FILTEN
		rw							rw						rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值
29:24	THRESH[5:0]	采样逻辑电平有效的阈值数(Threshold)，最大 63： 有效逻辑电平的阈值。 在采样窗口内，如果逻辑高的数量大于或等于阈值，则下一个逻辑电平将为逻辑高。 同样的规则适用于逻辑低。 如果窗口内 1 和 0 的数量都小于阈值，则过滤器输出保持不变。 阈值应设置为大于或等于 Window 值的一半。 推荐阈值范围为： **最小值：**比最大毛刺大小的上限（预分频时钟周期）多 1 个预分频时钟周期，并且需要大于窗口大小的一半。 例如，如果毛刺大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为 ┌3.2┐= 4 + 1 =5 **最大值：**有效信号最小尺寸的底值（在预分频时钟周期内），需要小于窗口尺寸。 例如，如果最小信号大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为下限 (3.2) = 3。
23	Reserved	保留，必须保持复位值
22:17	WSIZE[5:0]	逻辑电平检查的窗口大小值（Window size），最大 63： 窗口大小决定了在获得下一个逻辑级别时将考虑多少采样值。 内置 FIFO 为 64 位，最大索引为 63，只能将窗口大小设置为 63。
16	FILTEN	滤波器使能（Filter enable）： 0：滤波器禁能 1：滤波器使能
15:0	Reserved	保留，必须保持复位值

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

10.6.18 通道 2 滤波寄存器（TIMx_C2FILT）

偏移地址：0x68
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		THRESH[5:0]						Reserved	WSIZE[5:0]						FILTEN
		rw							rw						rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值
29:24	THRESH[5:0]	采样逻辑电平有效的阈值数(Threshold)，最大 63： 有效逻辑电平的阈值。 在采样窗口内，如果逻辑高的数量大于或等于阈值，则下一个逻辑电平将为逻辑高。 同样的规则适用于逻辑低。 如果窗口内 1 和 0 的数量都小于阈值，则过滤器输出保持不变。 阈值应设置为大于或等于 Window 值的一半。 推荐阈值范围为： **最小值：**比最大毛刺大小的上限（预分频时钟周期）多 1 个预分频时钟周期，并且需要大于窗口大小的一半。 例如，如果毛刺大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为 $\lceil 3.2 \rceil = 4 + 1 = 5$ **最大值：**有效信号最小尺寸的底值（在预分频时钟周期内），需要小于窗口尺寸。 例如，如果最小信号大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为下限 (3.2) = 3。
23	Reserved	保留，必须保持复位值
22:17	WSIZE[5:0]	逻辑电平检查的窗口大小值（Window size），最大 63： 窗口大小决定了在获得下一个逻辑级别时将考虑多少采样值。 内置 FIFO 为 64 位，最大索引为 63，只能将窗口大小设置为 63。
16	FILTEN	滤波器使能（Filter enable）： 0：滤波器禁能 1：滤波器使能
15:0	Reserved	保留，必须保持复位值

10.6.19 通道 3 滤波寄存器（TIMx_C3FILT）

偏移地址：0x6C
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		THRESH[5:0]						Reserved	WSIZE[5:0]						FILTEN

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值
29:24	THRESH[5:0]	采样逻辑电平有效的阈值数(Threshold)，最大 63： 有效逻辑电平的阈值。 在采样窗口内，如果逻辑高的数量大于或等于阈值，则下一个逻辑电平将为逻辑高。 同样的规则适用于逻辑低。 如果窗口内 1 和 0 的数量都小于阈值，则过滤器输出保持不变。 阈值应设置为大于或等于 Window 值的一半。 推荐阈值范围为： **最小值：**比最大毛刺大小的上限（预分频时钟周期）多 1 个预分频时钟周期，并且需要大于窗口大小的一半。 例如，如果毛刺大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为 $\lceil 3.2 \rceil = 4 + 1 = 5$ **最大值：**有效信号最小尺寸的底值（在预分频时钟周期内），需要小于窗口尺寸。 例如，如果最小信号大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为下限 (3.2) = 3。
23	Reserved	保留，必须保持复位值
22:17	WSIZE[5:0]	逻辑电平检查的窗口大小值（Window size），最大 63： 窗口大小决定了在获得下一个逻辑级别时将考虑多少采样值。 内置 FIFO 为 64 位，最大索引为 63，只能将窗口大小设置为 63。
16	FILTEN	滤波器使能（Filter enable）： 0：滤波器禁能 1：滤波器使能
15:0	Reserved	保留，必须保持复位值

10.6.20 通道 4 滤波寄存器（TIMx_C4FILT）

偏移地址：0x70

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		THRESH[5:0]						Reserved	WSIZE[5:0]						FILTEN
		rw							rw						rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

位域	名称	描述

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31:30	Reserved	保留，必须保持复位值
29:24	THRESH[5:0]	采样逻辑电平有效的阈值数(Threshold)，最大 63： 有效逻辑电平的阈值。 在采样窗口内，如果逻辑高的数量大于或等于阈值，则下一个逻辑电平将为逻辑高。 同样的规则适用于逻辑低。 如果窗口内 1 和 0 的数量都小于阈值，则过滤器输出保持不变。 阈值应设置为大于或等于于 Window 值的一半。 推荐阈值范围为： **最小值：**比最大毛刺大小的上限（预分频时钟周期）多 1 个预分频时钟周期，并且需要大于窗口大小的一半。 例如，如果毛刺大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为 ┌3.2┐= 4 + 1 =5 **最大值：**有效信号最小尺寸的底值（在预分频时钟周期内），需要小于窗口尺寸。 例如，如果最小信号大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为下限 (3.2) = 3。
23	Reserved	保留，必须保持复位值
22:17	WSIZE[5:0]	逻辑电平检查的窗口大小值（Window size），最大 63： 窗口大小决定了在获得下一个逻辑级别时将考虑多少采样值。 内置 FIFO 为 64 位，最大索引为 63，只能将窗口大小设置为 63。
16	FILTEN	滤波器使能（Filter enable）： 0: 滤波器禁能 1: 滤波器使能
15:0	Reserved	保留，必须保持复位值

10.6.21 输入通道滤波输出寄存器（TIMx_FILTO）

偏移地址：0x74

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved												C4FILTO	C3FILTO	C2FILTO	C1FILTO
												r	r	r	r

位域	名称	描述
31:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3	C4FILTO	通道4滤波输出电平状态 0：输出低电平； 1：输出高电平；
2	C3FILTO	通道3滤波输出状态 0：输出低电平； 1：输出高电平；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

1	C2FILTO	通道2滤波输出状态 0：输出低电平； 1：输出高电平；
0	C1FILTO	通道1滤波输出状态 0：输出低电平； 1：输出高电平；

10.6.22 输入选择寄存器（TIMx_INSEL）

注意：详细信号源选择见 11.4 章节。

偏移地址：0x78

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				CLRS[3:0]				ITRS[3:0]				ETRS[3:0]			
				rw				rw				rw			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TI4S[3:0]				TI3S[3:0]				TI2S[3:0]				TI1S[3:0]			
rw				rw				rw				rw			

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必须保持复位值
27:24	CLRS[3:0]	选择tim_ocref_clr输入(Selects tim_ocref_clr input signal) 0000：tim_ocref_clr0 0001：tim_ocref_clr1 … 1111 ：tim_ocref_clr15 注：一旦LOCK级别（TIMx_BKDT寄存器中的LCKCFG位）设为’1’，则该位不能被修改。
23:20	ITRS[3:0]	选择tim_itr输入 0000：tim_itr0 0001：tim_itr1 … 1111 ：tim_itr15
19:16	ETRS[3:0]	选择tim_etr输入 0000：tim_etr0 0001：tim_etr1 … 1111 ：tim_etr15 注：一旦LOCK级别（TIMx_BKDT寄存器中的LCKCFG位）设为’1’，则该位不能被修

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		改。
15:12	TI4S[3:0]	选择tim_ti4[15:0]输入 0000：tim_ti4_in0 0001：tim_ti4_in1 … 1111 ：tim_ti4_in15
11:8	TI3S[3:0]	选择tim_ti3[15:0]输入 0000：tim_ti3_in0 0001：tim_ti3_in1 … 1111 ：tim_ti3_in15
7:4	TI2S[3:0]	选择tim_ti2[15:0]输入 0000：tim_ti2_in0 0001：tim_ti2_in1 … 1111 ：tim_ti2_in15
3:0	TI1S[3:0]	选择tim_ti1[15:0]输入 0000：tim_ti1_in0 0001：tim_ti1_in1 … 1111 ：tim_ti1_in15

10.6.23 滑动滤波预分频寄存器（TIMx_SLIDFPSC）

偏移地址：0x88

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SLIDFPSC [15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	SLIDFPSC [15:0]	滑动滤波器采样时钟的分频寄存器值（Prescaler）： 对于此过滤器，它支持 65535 分频（16 位）。 时钟分频器将系统时钟缩放到采样时钟。 采样时钟决定两个采样点之间的距离。 只有采样点的值有效才会考虑的逻辑电平计算。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		可通过配置这些位来确定通道1/2/3/4滑动滤波的采样时钟分频，与TIMx_C1FILT、TIMx_C2FILT、TIMx_C3FILT、TIMx_C4FILT配合使用。

10.6.24 DMA 控制寄存器（TIMx_DCTRL）

偏移地址：0x94

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		DBADDR[5:0]						Reserved		DBLEN[5:0]					
		rw								rw					

位域	名称	描述
31:14	Reserved	保留，必须保持复位值
13:8	DBADDR[5:0]	DMA基地址 （DMA base address） 该位字段定义 DMA 访问 TIMx_DADDR 寄存器的第一个地址。 当第一次通过 TIMx_DADDR 完成访问时，该位域指定您刚刚访问的地址。 然后第二次访问TIMx_DADDR，会访问到“DMA Base Address + 4”的地址 00000：TIMx_CTRL1， 00001：TIMx_CTRL2， 00010：TIMx_SMCTRL， ...... 10001：TIMx_BKDT 10010：TIMx_DCTRL
7:6	Reserved	保留，必须保持复位值
5:0	DBLEN[5:0]	DMA连续传送长度 （DMA burst length） 该位字段定义 DMA 将访问（写入/读取）TIMx_DADDR 寄存器的次数。 000000：1次传输 000001：2次传输 000010：3次传输 … 010001：18次传输 ...... 100010：35次传输 例：我们考虑这样的传输：DBLEN=7，DBADDR=TIMx_CTRL1 如果DBLEN=7，DBADDR=TIMx_CTRL1表示待传输数据的地址，那么传输的地址由下式给出：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		(TIMx_CTRL1的地址) + DBADDR + (DMA索引)，其中 DMA索引 = DBLEN 其中(TIMx_CTRL1的地址) + DBADDR再加上7，给出了将要写入或者读出数据的地址，这样数据的传输将发生在从地址(TIMx_CTRL1的地址) + DBADDR开始的7个寄存器。 如果设置数据为半字（16位），那么数据就会传输给全部7个寄存器。 如果设置数据为字节，数据仍然会传输给全部7个寄存器：第一个寄存器包含第一个MSB字节，第二个寄存器包含第一个LSB字节，以此类推。因此对于定时器，用户必须指定由DMA传输的数据宽度。

10.6.25 连续模式的 DMA 地址（TIMx_DADDR）

偏移地址：0x98

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
BURST[31:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
BURST[31:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	BURST[31:0]	DMA 访问缓冲区。 当对该寄存器分配读或写操作时，将访问位于地址范围（DMA base address + DMA burst length × 4）的寄存器。 DMA base address = The address of TIM_CTRL1 + TIMx_DCTRL. DBADDR * 4； DMA burst len = TIMx_DCTRL.DBLEN + 1. 例子： 如果 TIMx_DCTRL.DBLEN = 0x3（4 次传输），TIMx_DCTRL.DBADDR = 0xD (TIMx_CCDAT1)，DMA 数据长度 = 半字，DMA 存储器地址 = SRAM 中的缓冲区地址，DMA 外设地址 = TIMx_DADDR 地址。 当事件发生时，TIMx 将向 DMA 发送请求，并传输 4 次数据。 第一次，对 TIMx_DADDR 寄存器的 DMA 访问将映射到访问 TIMx_CCDAT1 寄存器； 第二次，对 TIMx_DADDR 寄存器的 DMA 访问将映射到访问 TIMx_CCDAT2 寄存器； …… 第四次，对 TIMx_DADDR 寄存器的 DMA 访问将映射到访问 TIMx_CCDAT4 寄存器；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

11 通用定时器（GTIM2/ GTIM3/ GTIM5/ GTIM6/ GTIM7）

11.1 GTIMx（x=2,3,5,6,7）简介

通用定时器（GTIM2/ GTIM3/ GTIM5/ GTIM6/ GTIM7）主要用于以下场合：对输入信号进行计数、测量输入信号的脉冲宽度和产生输出波形等。

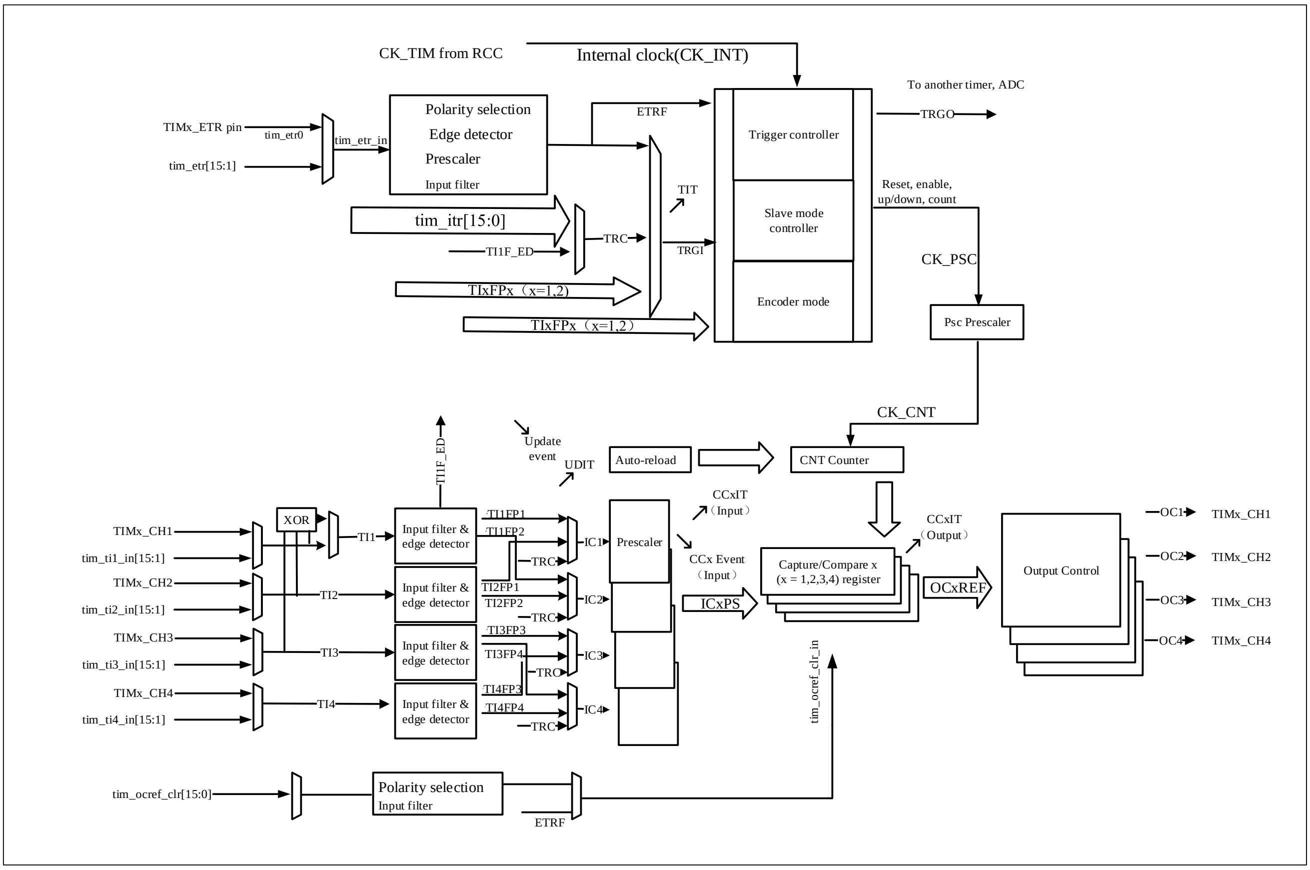
11.2 GTIMx（x=2,3,5,6,7）主要特性

- 16 位自动装载计数器。（可实现向上计数、向下计数、向上/下计数）。
- 16 位可编程预分频器。（分频系数可配置为 1 到 65536 之间的任意值）
- GTIMx 最多支持 4 个通道
- 通道工作模式：PWM 输出、输出比较、单脉冲模式输出、输入捕获
- 如下事件发生时产生中断/DMA：
  - 更新事件
  - 触发事件
  - 输入捕获
  - 输出比较
- 可通过外部信号控制定时器
- 多个定时器内部连接在一起，以实现定时器的同步或链接
- 增量（正交）编码器接口：用于追踪运行轨迹和解析旋转方位
- 霍尔传感器接口：用于三相电机控制

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

11.3 GTIMx（x=2,3,5,6,7）框图

图 11-1 GTIMx（x=2,3,5,6,7）框图



11.4 GTIMx 的引脚及内部信号

下列表格描述了 GTIMx 的输入和输出引脚及信号

表 11-1 GTIMx 输入/输出引脚

引脚	类型	描述
TIMx_CH1 TIMx_CH2 TIMx_CH3 TIMx_CH4	Input/Output	计时器多用途通道。 每个通道都可以用于捕获、比较或产生 PWM。 TIM_CH1 和 TIM_CH2 还可以用作 作为外部时钟（低于 1/4 的内部时钟频率），外部触发器和正交编码器输入。 TIM_CH1、TIM_CH2 和 TIM_CH3 还可用于霍尔效应传感器的接口。
TIMx_ETR	Input	外部触发器输入。该输入可以作为外部触发器或外部时钟源。如果使用预分频器，输入信号 TIMx_ETR 可以为频率高于系统时钟频率的信号。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 11-2 GTIMx 内部输入/输出信号

内部信号	类型	描述
tim_ti1_in[15:0] tim_ti2_in[15:0] tim_ti3_in[15:0] tim_ti4_in[15:0]	Input	定时器通道 1/2/3/4 输入信号。tim_ti1_in[15:0]和 tim_ti2_in[15:0]输入可用于捕获或作为外部时钟（低于系统时钟频率的 1/4）和用于正交编码器信号。
tim_etr[15:0]	Input	外部触发通道输入信号。这些输入可用作触发器、外部时钟或用于硬件逐周期脉宽控制。如果使用预分频器，输入信号 TIMx_ETR 可以为频率高于系统时钟频率的信号。
tim_itr[15:0]	Input	内部触发输入信号。这些输入可以用在从模式控制器或作为输入时钟（低于系统时钟频率的 1/4）。
tim_trgo	Output	内部触发信号输出。这些触发信号可被其他定时器和/或其他外围设备使用。

11.4.1 GTIMx 的 tim_ti1/ tim_ti2/ tim_ti3/ tim_ti4 信号源

表 11-3 tim_ti1 输入信号源

tim_ti1 inputs	**信号源**						
	GTIM1	**GTIM2**	**GTIM3**	**GTIM4**	**GTIM5**	**GTIM6**	**GTIM7**
tim_ti1_in0	GTIM1_CH1	GTIM2_CH1	GTIM3_CH1	GTIM4_CH1	GTIM5_CH1	GTIM6_CH1	GTIM7_CH1
tim_ti1_in[4:1]	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved
tim_ti1_in5	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	LSI	CAN2_TMP	HSE/128
tim_ti1_in6	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	CAN1_TMP	RTC Wake Up	Reserved
tim_ti1_in7	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	CAN1_RTP	CAN2_RTP	Reserved
tim_ti1_in[15:8]	Reserved						

表 11-4 tim_ti2 输入信号源

tim_ti2 inputs	**信号源**

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

	GTIM1	GTIM2	GTIM3	GTIM4	GTIM5	GTIM6	GTIM7
tim_ti2_in0	GTIM1_ CH2	GTIM2_ CH2	GTIM3_ CH2	GTIM4_ CH2	GTIM5_ CH2	GTIM6_ CH2	GTIM7_ CH2
tim_ti2_in[3:1]	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved
tim_ti2_in4	GTIM6_ CC1	GTIM6_ CC2	GTIM6_ CC3	GTIM6_ CC4	LSE	HSE/128	LSI
tim_ti2_in[15:5]	Reserved						

表 11-5 tim_ti3 输入信号源

tim_ti3 inputs	信号源						
	GTIM1	GTIM2	GTIM3	GTIM4	GTIM5	GTIM6	GTIM7
tim_ti3_in0	GTIM1_ CH3	GTIM2_ CH3	GTIM3_ CH3	GTIM4_ CH3	GTIM5_ CH3	GTIM6_ CH3	GTIM7_ CH3
tim_ti3_in1	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	HSE/128	LSI	Reserved
tim_ti3_in[15:2]	Reserved						

表 11-6 tim_ti4 输入信号源

tim_ti4 inputs	信号源						
	GTIM1	GTIM2	GTIM3	GTIM4	GTIM5	GTIM6	GTIM7
tim_ti4_in0	GTIM1_ CH4	GTIM2_ CH4	GTIM3_ CH4	GTIM4_ CH4	GTIM5_ CH4	GTIM6_ CH4	GTIM7_ CH4
tim_ti3_in1	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	MCO	MCO2
tim_ti3_in2	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	RTC Wake Up	Reserved	Reserved
tim_ti4_in[15:3]	Reserved						

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

11.4.2 GTIMx 的 tim_itr 信号源

表 11-7 tim_itr 输入信号源

GTIMx	GTIM1	GTIM2	GTIM3	GTIM4	GTIM5	GTIM6	GTIM7
tim_itr0	ATIM1_TRGO	ATIM1_TRGO	ATIM1_TRGO	ATIM1_TRGO	ATIM1_TRGO	ATIM1_TRGO	ATIM1_TRGO
tim_itr1	Reserve	GTIM1_TRGO	GTIM1_TRGO	GTIM1_TRGO	GTIM1_TRGO	GTIM1_TRGO	GTIM1_TRGO
tim_itr2	GTIM2_TRGO	Reserve	GTIM2_TRGO	GTIM2_TRGO	GTIM2_TRGO	GTIM2_TRGO	GTIM2_TRGO
tim_itr3	GTIM3_TRGO	GTIM3_TRGO	Reserve	GTIM3_TRGO	GTIM3_TRGO	GTIM3_TRGO	GTIM3_TRGO
tim_itr4	GTIM4_TRGO	GTIM4_TRGO	GTIM4_TRGO	Reserve	GTIM4_TRGO	GTIM4_TRGO	GTIM4_TRGO
tim_itr5	ATIM2_TRGO	ATIM2_TRGO	ATIM2_TRGO	ATIM2_TRGO	ATIM2_TRGO	ATIM2_TRGO	ATIM2_TRGO
tim_itr6	GTIM8_TRGO	GTIM8_TRGO	GTIM8_TRGO	GTIM8_TRGO	GTIM8_TRGO	GTIM8_TRGO	GTIM8_TRGO
tim_itr7	GTIM9_TRGO	GTIM9_TRGO	GTIM9_TRGO	GTIM9_TRGO	GTIM9_TRGO	GTIM9_TRGO	GTIM9_TRGO
tim_itr8	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO
tim_itr9	ATIM3_TRGO	ATIM3_TRGO	ATIM3_TRGO	ATIM3_TRGO	ATIM3_TRGO	ATIM3_TRGO	ATIM3_TRGO
tim_itr10							
tim_itr11	USB SOF SYNC	Reserve	Reserve	Reserve	CAN1_SOC	CAN2_SOC	ETH-PTP
tim_itr12	GTIM5_	GTIM5_	GTIM5_	GTIM5_	Reserve	GTIM5_	GTIM5_

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

	TRGO	TRGO	TRGO	TRGO		TRGO	TRGO
tim_itr13	GTIM6_TRGO	GTIM6_TRGO	GTIM6_TRGO	GTIM6_TRGO	GTIM6_TRGO	Reserve	GTIM6_TRGO
tim_itr14	GTIM7_TRGO	GTIM7_TRGO	GTIM7_TRGO	GTIM7_TRGO	GTIM7_TRGO	GTIM7_TRGO	Reserve
tim_itr15	Reserve						

11.4.3 GTIMx 的 tim_etr 信号源

表 11-8 tim_etr 输入信号源

GTIMx	GTIM1	GTIM2	GTIM3	GTIM4	GTIM5	GTIM6	GTIM7
tim_etr0	GTIM1_ETR	GTIM2_ETR	GTIM3_ETR	GTIM4_ETR	GTIM5_ETR	GTIM6_ETR	GTIM7_ETR
tim_etr_in[7:1]	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved
tim_etr8	GTIM2_ETR	GTIM1_ETR	GTIM2_ETR	GTIM1_ETR	GTIM6_ETR	GTIM5_ETR	GTIM5_ETR
tim_etr9	GTIM8_ETR	GTIM3_ETR	GTIM4_ETR	GTIM2_ETR	GTIM7_ETR	GTIM7_ETR	GTIM6_ETR
tim_etr10	ADC1_AWD3	GTIM9_ETR	GTIM10_ETR	GTIM8_ETR	GTIM9_ETR	GTIM10_ETR	GTIM8_ETR
tim_etr11	LSE	ADC2_AWD1	ADC3_AWD1	Reserved	ADC1_AWD1	ADC2_AWD1	ADC3_AWD1
tim_etr12	ADC1_AWD1	ADC2_AWD2	ADC3_AWD2	Reserved	ADC1_AWD2	ADC2_AWD2	ADC3_AWD2
tim_etr13	ADC1_AWD2	ADC2_AWD3	ADC3_AWD3	Reserved	ADC1_AWD3	ADC2_AWD3	ADC3_AWD3
tim_etr_in[15:14]	Reserved						

11.4.4 GTIMx 的 tim_ocref_clr 输入信号源

表 11-9 GTIMx 的 tim_ocref_clr 输入信号源

OCREF 清除信号	GTIMx OCREF 清除信号分配						
	GTIM1	GTIM2	GTIM3	GTIM4	GTIM5	GTIM6	GTIM7
tim_ocref_in[15:0]	Reserved						

11.5 GTIMx（x=2,3,5,6,7）功能描述

11.5.1 时基单元

通用器的时基单元主要包括：预分频器、计数器和自动重装载寄存器。当时基单元工作时，软件可以随时读取和写入相应的寄存器（TIMx_PSC、TIMx_CNT 和 TIMx_AR）。

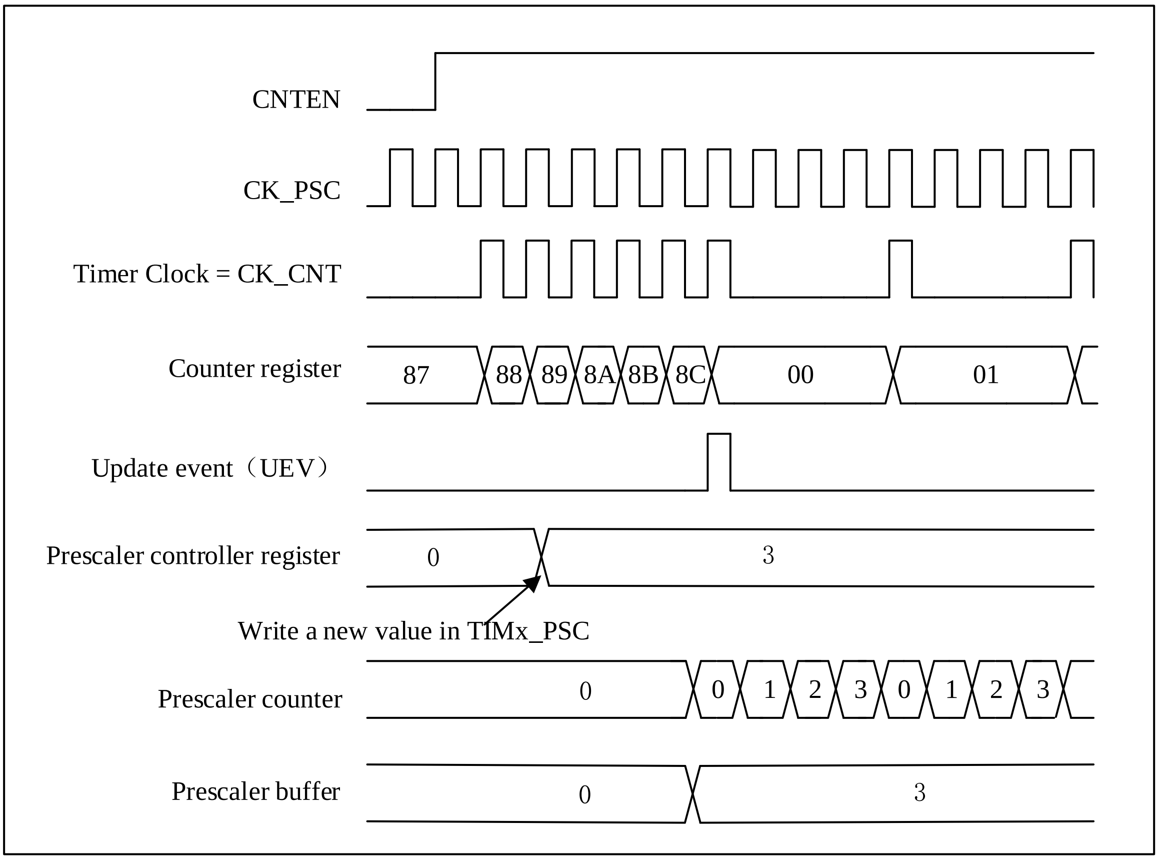
根据自动重装载预装载使能位（TIMx_CTRL1.ARPEN）的设置，预装载寄存器的值会立即或在每次更新事件 UEV 时传输到影子寄存器。TIMx_CTRL1.UPDIS=0 时，当计数器上溢/下溢或软件设置 TIMx_EVTGEN.UDGN，将生成更新事件。计数器 CK_CNT 仅在 TIMx_CTRL1. CNTEN 位被设置时有效。计数器在 TIMx_CTRL.CNTEN 位被设置后一个时钟周期之后开始计数。

11.5.1.1 预分频器描述

TIMx_PSC 寄存器由一个 16 位计数器组成，可用于计数器时钟频率按 1 和 65536 之间的任意分频。因为这个控制器带有缓冲器，可以在运行时动态改变。新的预分频器值只有在下次更新事件中才会被采用。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 11-2 当预分频的参数从 1 到 4，计数器的时序图



11.5.2 计数器模式

11.5.2.1 向上计数模式

使用向上计数模式，计数器将从 0 计数到寄存器 TIMx_AR 的值，然后重置为 0。并产生一个计数器溢出事件。

如果设置 TIMx_CTRL1.UPRS 位（选择更新请求）和 TIMx_EVTGEN. UDGN 位，将产生一个更新事件（UEV）。但是 TIMx_STS.UDITF 不会被硬件置起，因此不会产生更新中断或 DMA 更新请求。这是为了避免清除计数器时产生更新中断。

取决于 TIMx_CTRL1.UPRS 的配置，当发生更新事件时，TIMx_STS.UDITF 被设置，所有寄存器都会更新：

- 当 TIMx_CTRL1.ARPEN = 1，预装载寄存器(TIMx_AR)的值被更新到自动装载影子寄存器
- 预加载值（TIMx_PSC）被重新加载到预分频器影子寄存器中

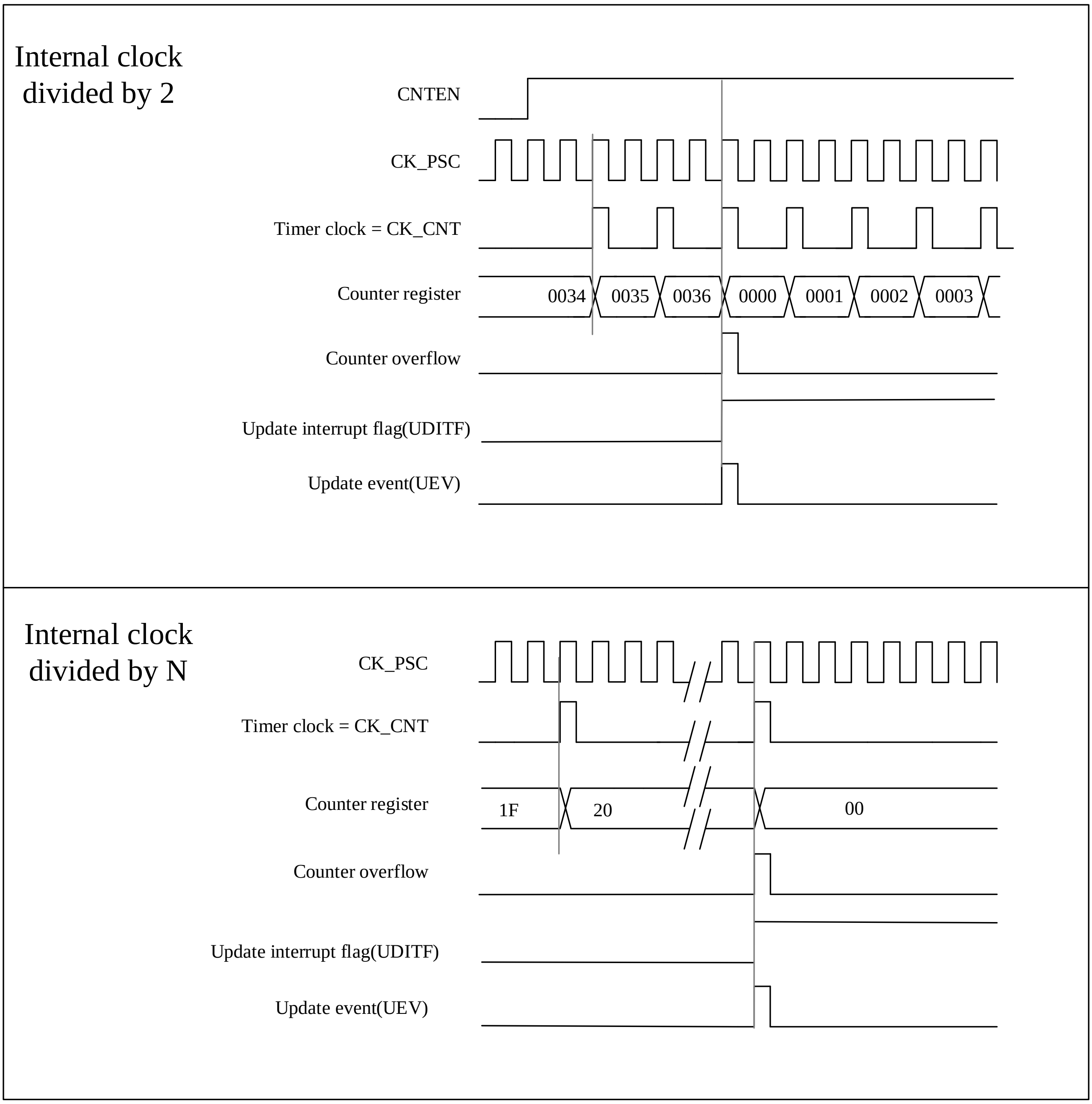
为了避免在向预装载寄存器中写入新值时更新影子寄存器，可以通过设置 TIMx_CTRL1.UPDIS=1 来禁止更新事件。

当产生一个更新事件时，计数器仍将被清除，预分频器计数器也将被设置为 0（但预分频器值将保持不变）。

下图给出一些示例，展示了向上计数模式计数器在不同分频因子下的动作。

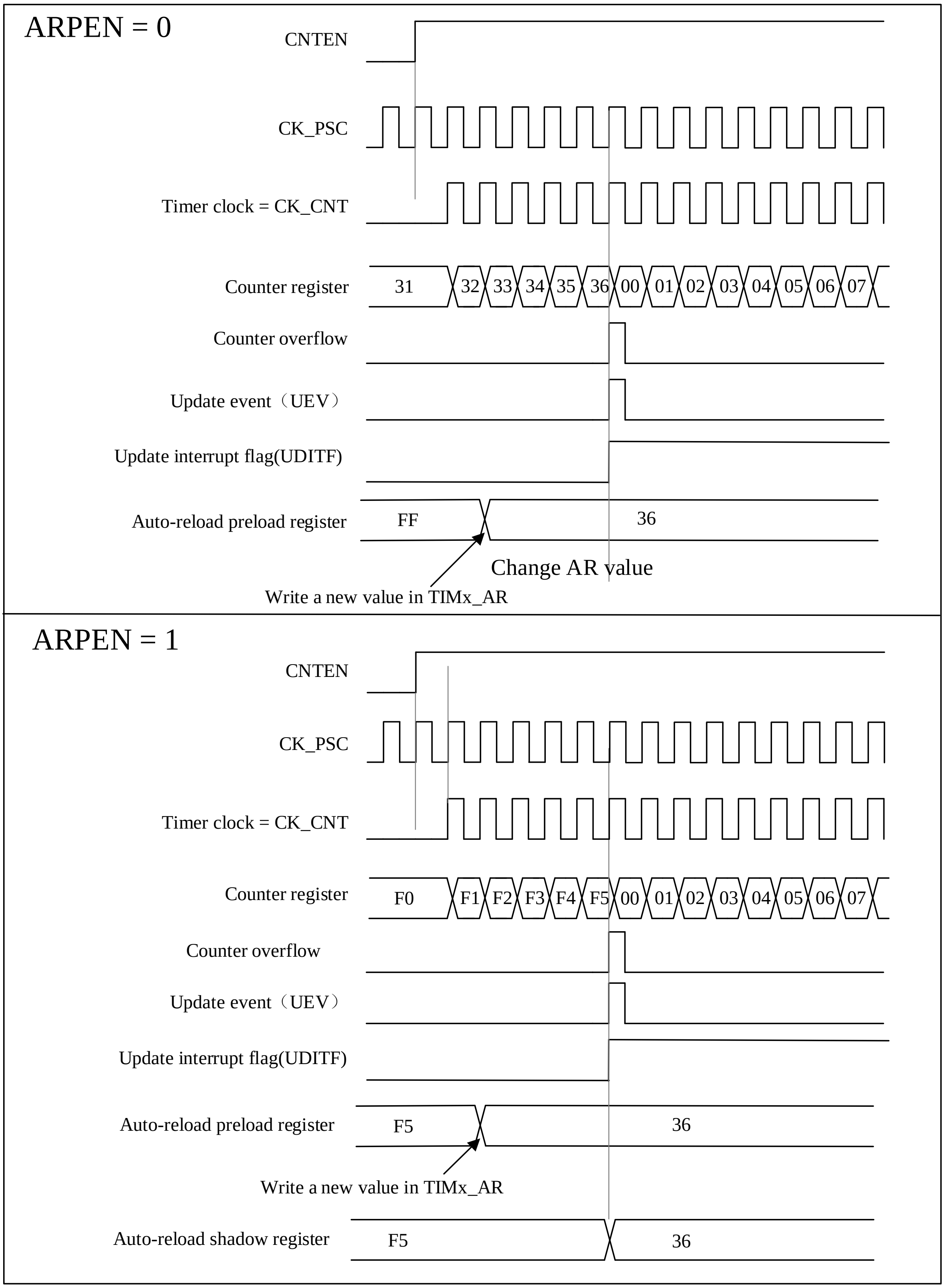
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 11-3 当内部时钟分频因子 ＝2/N 时，向上计数的时序图



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 11-4 当 ARPEN=0/1 产生更新事件时，向上计数的时序图



11.5.2.2 向下计数模式

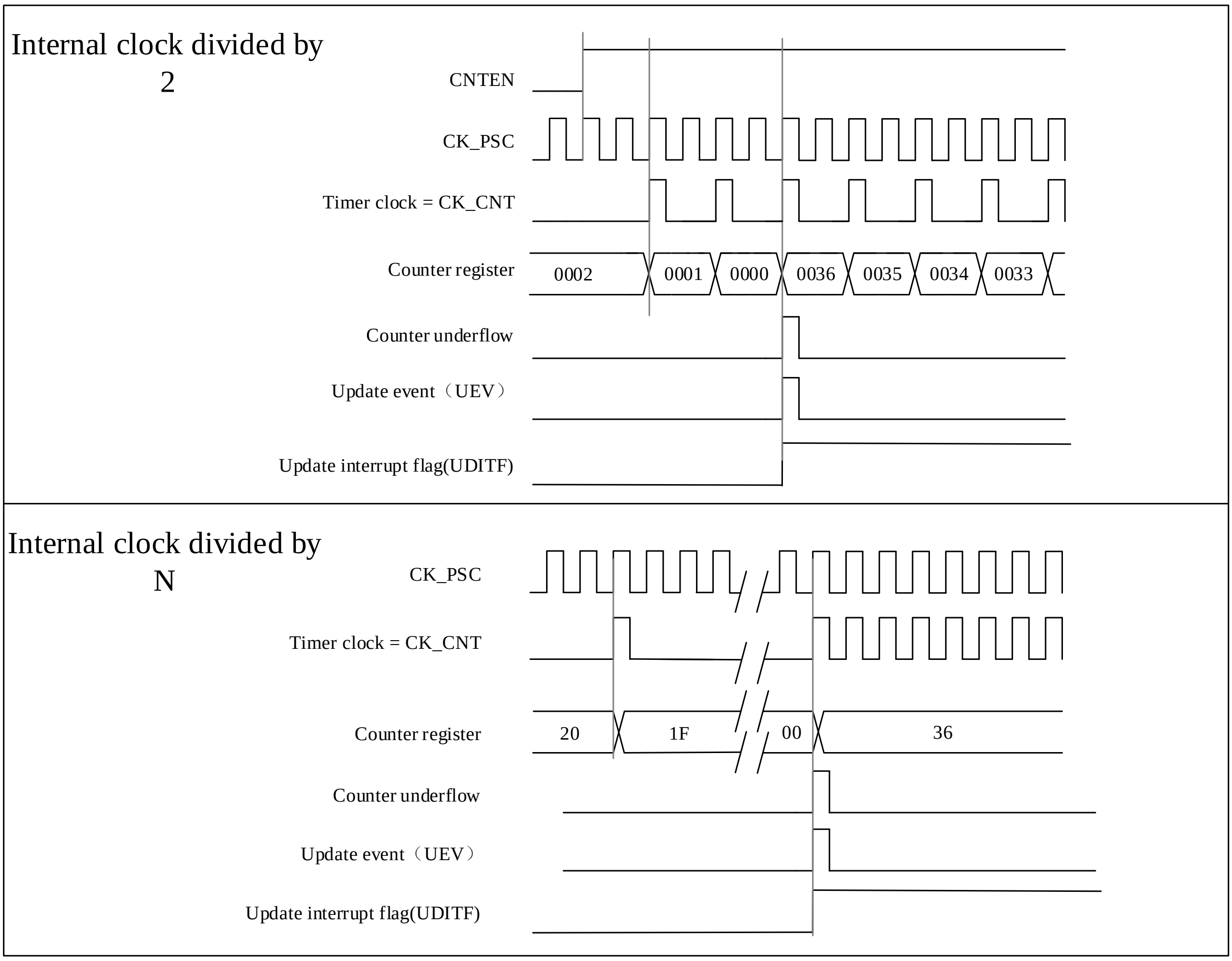
向下计数模式，计数器将从寄存器 TIMx_AR 的值减至 0，然后从自动重装载值重新开始，并产生计数器向下溢出事件

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

向下计数模式和向上计数模式配置更新事件和更新寄存器的过程相同，请查阅 11.5.2.1 章节.

下图给出一些示例，展示了向下计数模式计数器在不同分频因子下的动作。

图 11-5 内部时钟分频因子 = 2/N 时，向下计数时序图



11.5.2.3 中央对齐模式

在中央对齐模式下，计数器从 0 增加到值（TIMx_AR）–1，产生计数器溢出事件。然后，它从自动重装载值（TIMx_AR）向下计数到 1，并生成一个计数器向下溢出事件。然后计数器重置为 0 并再次开始计数。

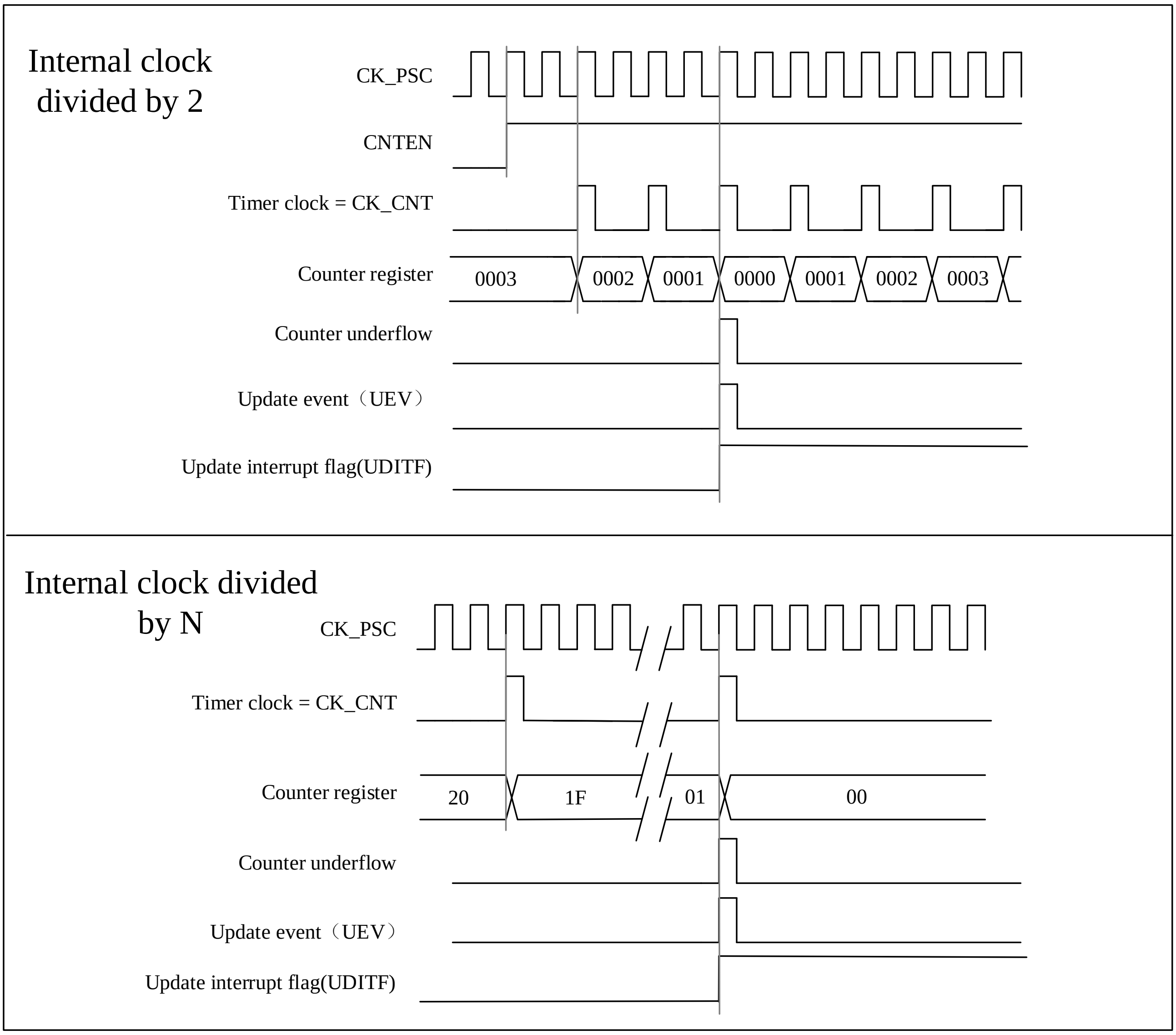
在这种模式下，TIMx_CTRL1.DIR 方向位无效，由硬件更新和指定当前计数方向。当 TIMx_CTRL1.CAMSEL 位不等于“00”时，中央对齐模式有效。

每次计数上溢和计数下溢时都会生成更新事件。或者，也可以通过设置 TIMx_EVTGEN. UDGN 位（通过软件或使用从模式控制器）来生成更新事件。在这种情况下，计数器从 0 重新开始计数，预分频器的计数器也从 0 重新开始计数。

注：如果因为计数器溢出而产生更新，自动重装载将在计数器重新载入之前被更新。

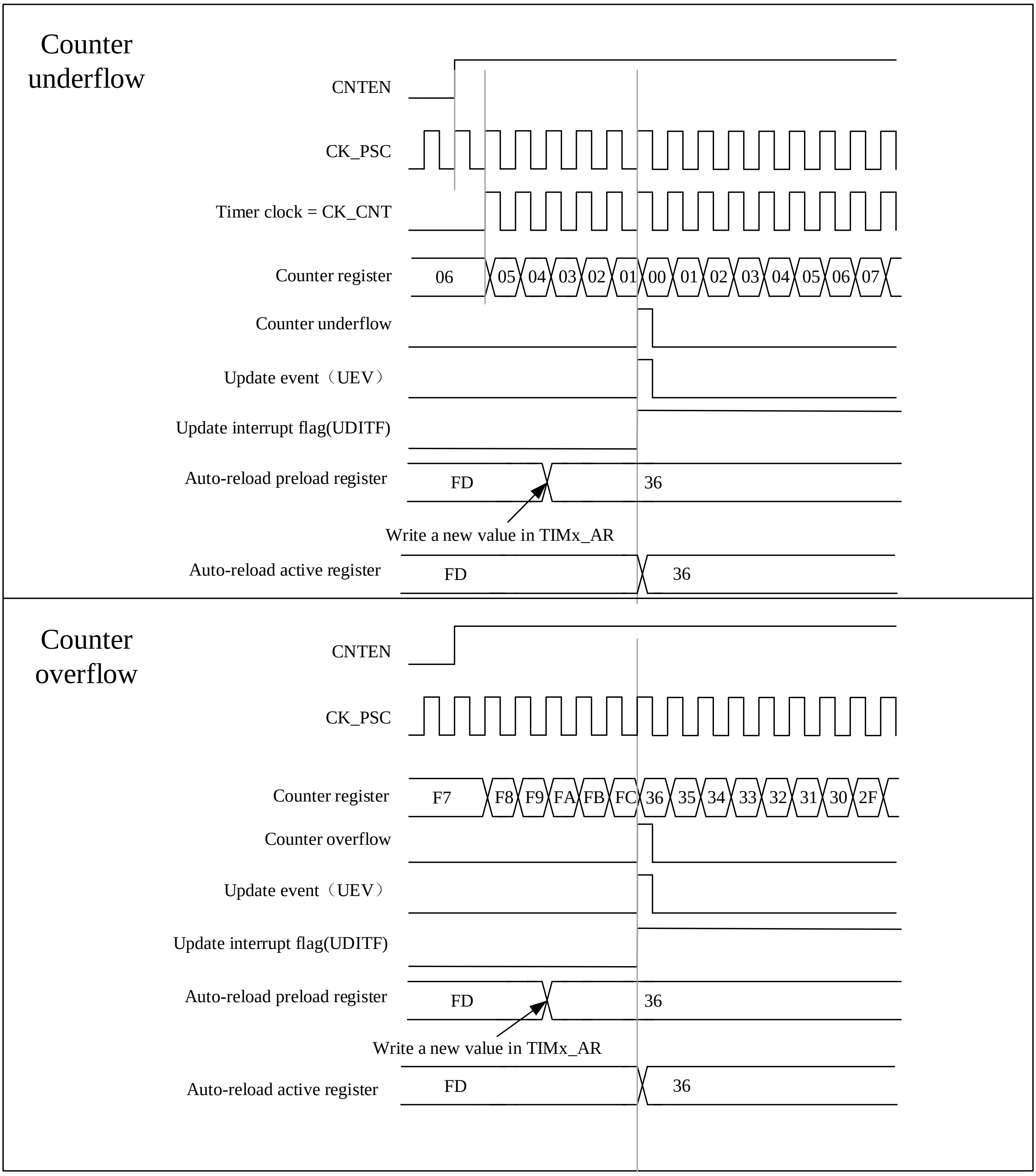
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 11-6 内部时钟分频因子 ＝2/N，中央对齐时序图



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 11-7 包含计数器上溢和下溢的中央对齐时序图(ARPEN=1)



11.5.3 时钟选择

- 通用定时器的内部时钟：CK_INT
- 两种外部时钟模式：
  - 外部输入引脚

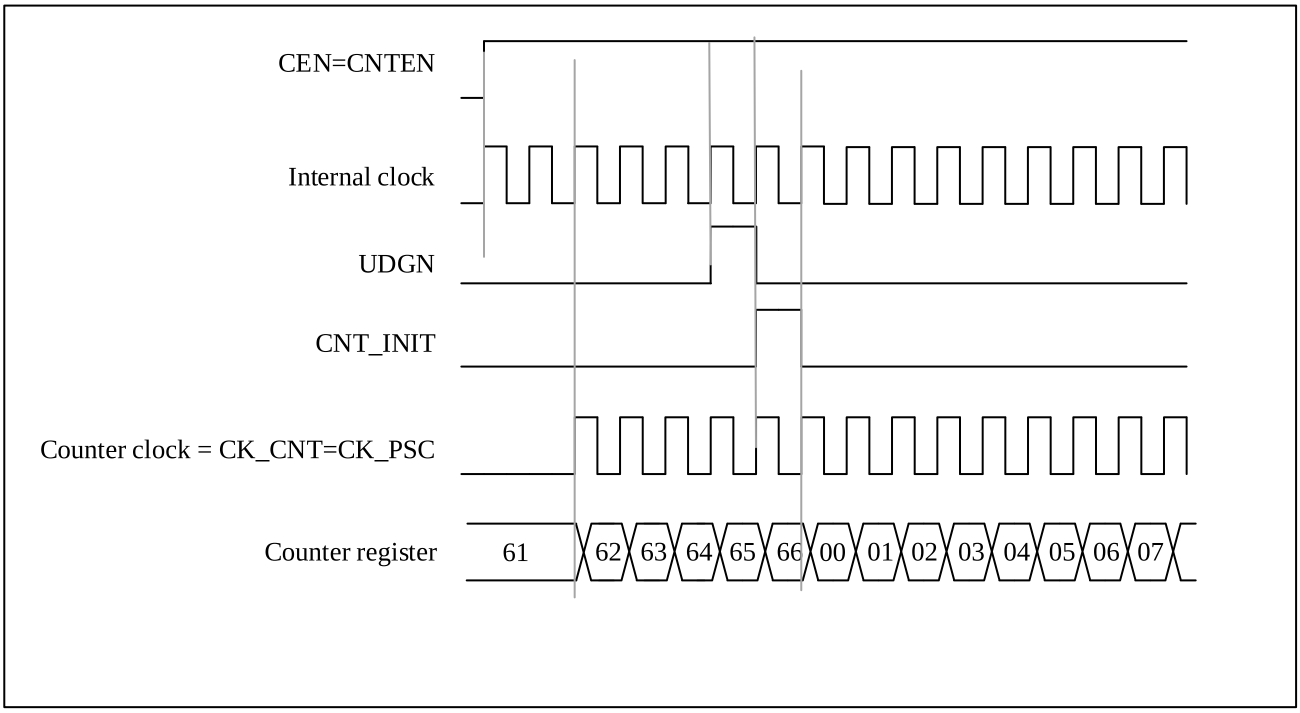
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

  - ■ 外部触发输入 ETR
- ■ 内部触发输入（ITRx）：一个定时器用作另一个定时器的预分频器

11.5.3.1 内部时钟源(CK_INT)

当 TIMx_SMCTRL.SMSEL 等于“0000”时，从模式控制器被禁用。 这三个控制位（TIMx_CTRL1.CNTEN、TIMx_CTRL1.DIR、TIMx_EVTGEN.UDGN）只能由软件改变（TIMx_EVTGEN.UDGN 除外，它保持自动清零）。 前提是 TIMx_CTRL1.CNTEN 位被软写为'1'，预分频器的时钟源由内部时钟 CK_INT 提供。

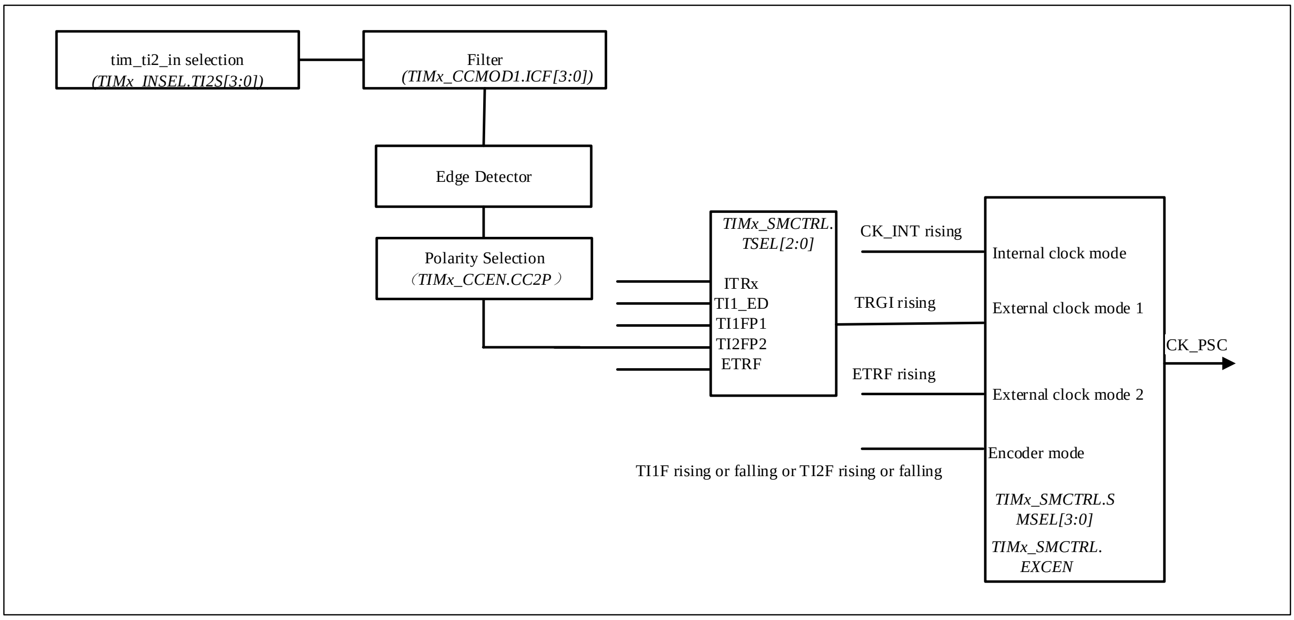
图 11-8 正常模式下的控制电路，内部时钟除以 1



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

11.5.3.2 外部时钟源模式 1

图 11-9TI2 外部时钟连接示例



通过配置 TIMx_SMCTRL.SMSEL=0111 选择该模式。 计数器可以配置为在所选输入的时钟上升沿或下降沿进行计数。

例如，配置向上计数模式在 TI2 输入的时钟上升沿计数，配置步骤如下：

- 配置 TIMx_CCMOD1.CC2SEL 等于‘01’，CC2 通道配置为输入，IC2 映射到 TI2
- 配置 TIMx_CCEN.CC2P 等于‘0’，选择时钟上升沿极性
- 通过配置 TIMx_CCMOD1.IC2F[3:0] 选择输入滤波器带宽（如果不需要滤波器，保持 IC2F 位为‘0000’）
- 配置 TIMx_SMCTRL.SMSEL 等于‘0111’，选择定时器外部时钟模式 1
- 配置 TIMx_SMCTRL.TSEL 等于‘110’，选择 TI2 作为触发输入源
- 配置 TIMx_CTRL1.CNTEN 等于 ‘1’ 以启动计数器

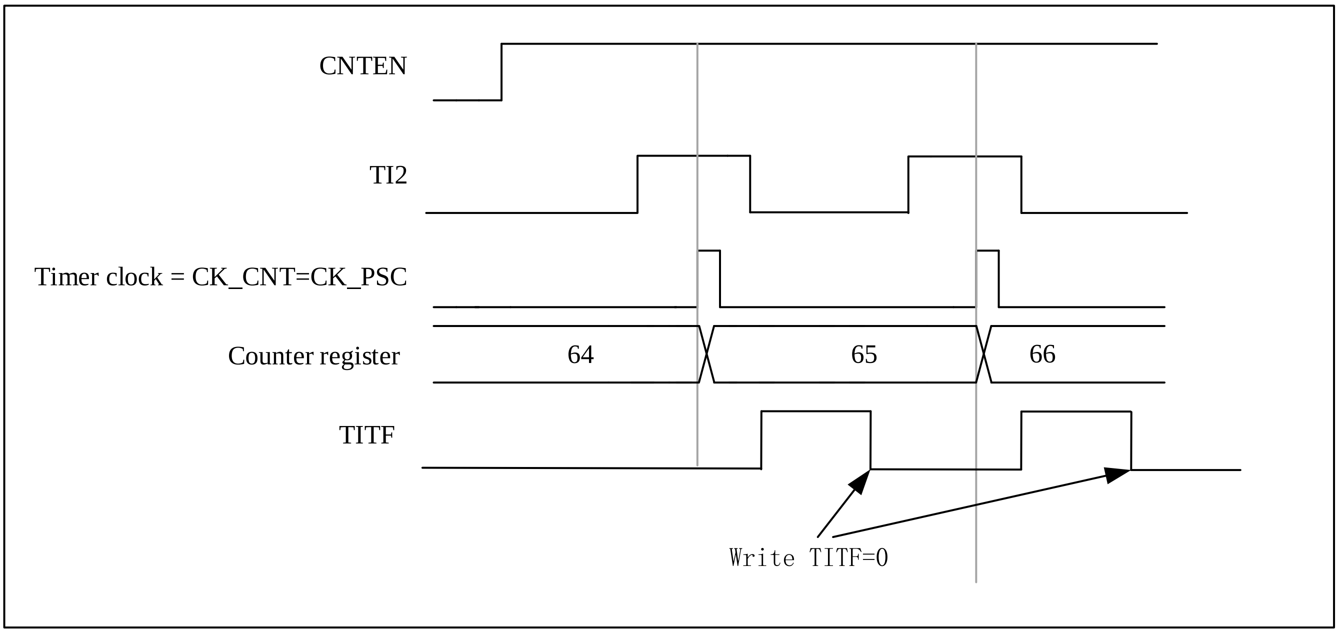
注意：捕获预分频器不用于触发，所以不需要配置

当定时器时钟的上升沿出现在 TI2=1 时，计数器计数一次并且 TIMx_STS .TITF 标志被拉高。

TI2 的上升沿与计数器实际时钟之间的延迟取决于 TI2 输入端的再同步电路。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 11-10 外部时钟模式 1 的控制电路

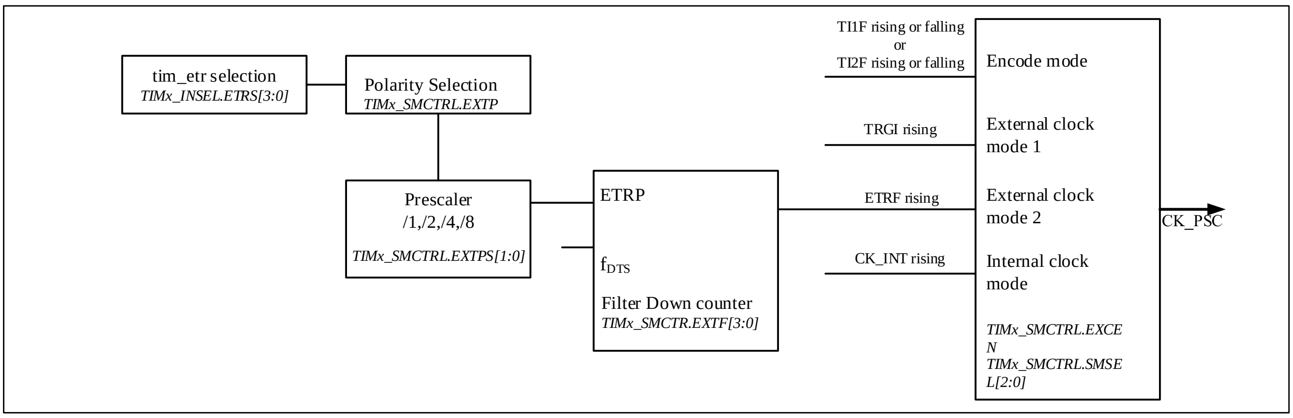


11.5.3.3 外部时钟源模式 2

此模式由 TIMx_SMCTRL.EXCEN 选择等于 1。计数器可以在外部触发输入 ETR 的每个上升沿或下降沿计数。

下图为外部时钟源模式 2 的外部触发输入模块示意图。

图 11-11 外部触发输入框图



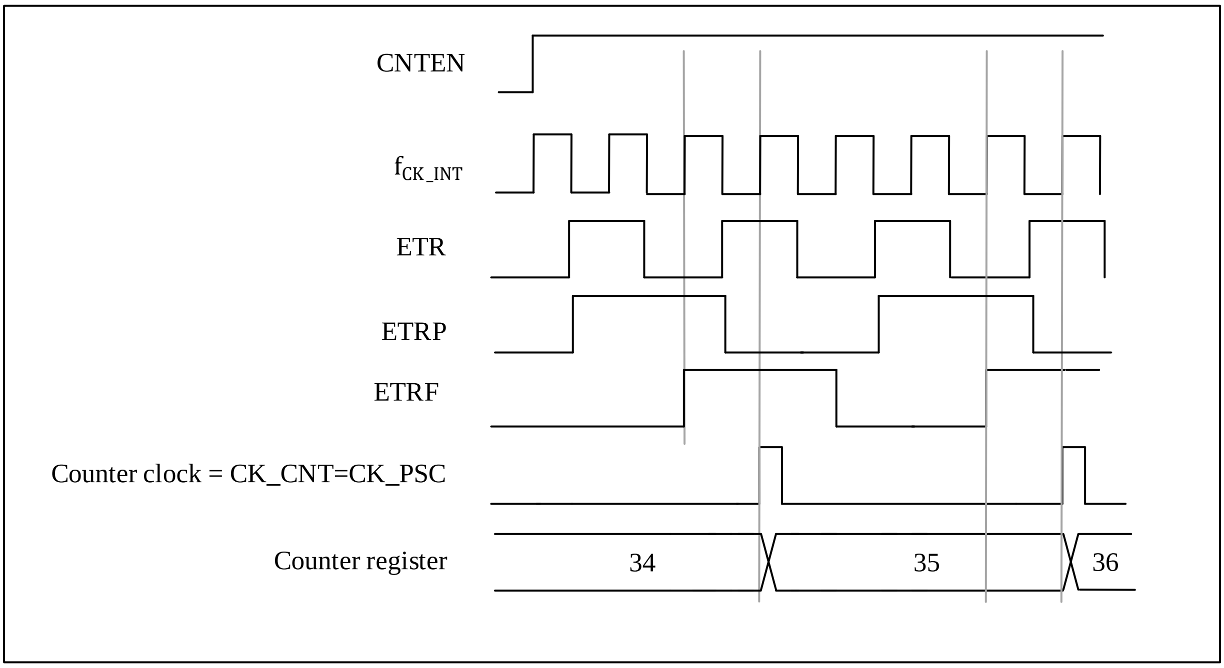
例如，使用以下配置步骤使向上计数器在 ETR 上每 2 个上升沿计数一次。

- 由于在这种情况下不需要过滤器，因此使 TIMx_SMCTRL .EXTF[3:0] 等于‘0000’
- 通过使 TIMx_SMCTRL.EXTPS[1:0] 等于 ‘01’ 来配置预分频器
- 通过设置 TIMx_SMCTRL.EXTP 等于‘0’来选择 ETR 引脚的极性，ETR 的上升沿有效
- 外部时钟模式 2 通过设置 TIMx_SMCTRL .EXCEN 等于‘1’来选择
- 通过设置 TIMx_CTRL1. CNTEN 等于“1”启动计数器。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

计数器每 2 个 ETR 上升沿计数一次。 ETR 的上升沿与计数器的实际时钟之间的延迟是由于 ETRP 信号上的再同步电路造成的。

图 11-12 外部时钟模式 2 的控制电路



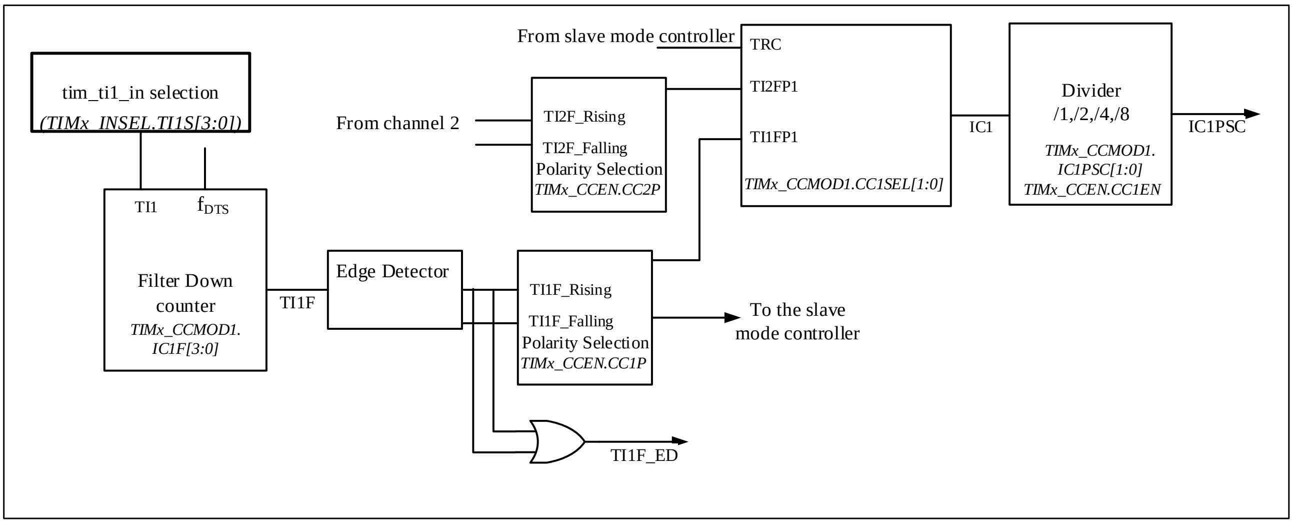
11.5.4 捕获/比较通道

捕获/比较通道包括捕获/比较寄存器和影子寄存器。 输入部分由数字滤波器、多路复用器和预分频器组成。输出部分包括比较器和输出控制。

输入信号 TIx 被采样和滤波以产生信号 TIxF。 然后由极性选择功能的边沿检测器生成信号（TIxF_rising 或 TIxF_falling），其极性由 TIMx_CCEN.CCxP 位选择。 该信号可用作从模式控制器的触发输入。 同时，信号 ICx 经过分频后送入捕获寄存器。 下图显示了捕获/比较通道的框图。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com　邮编：518057

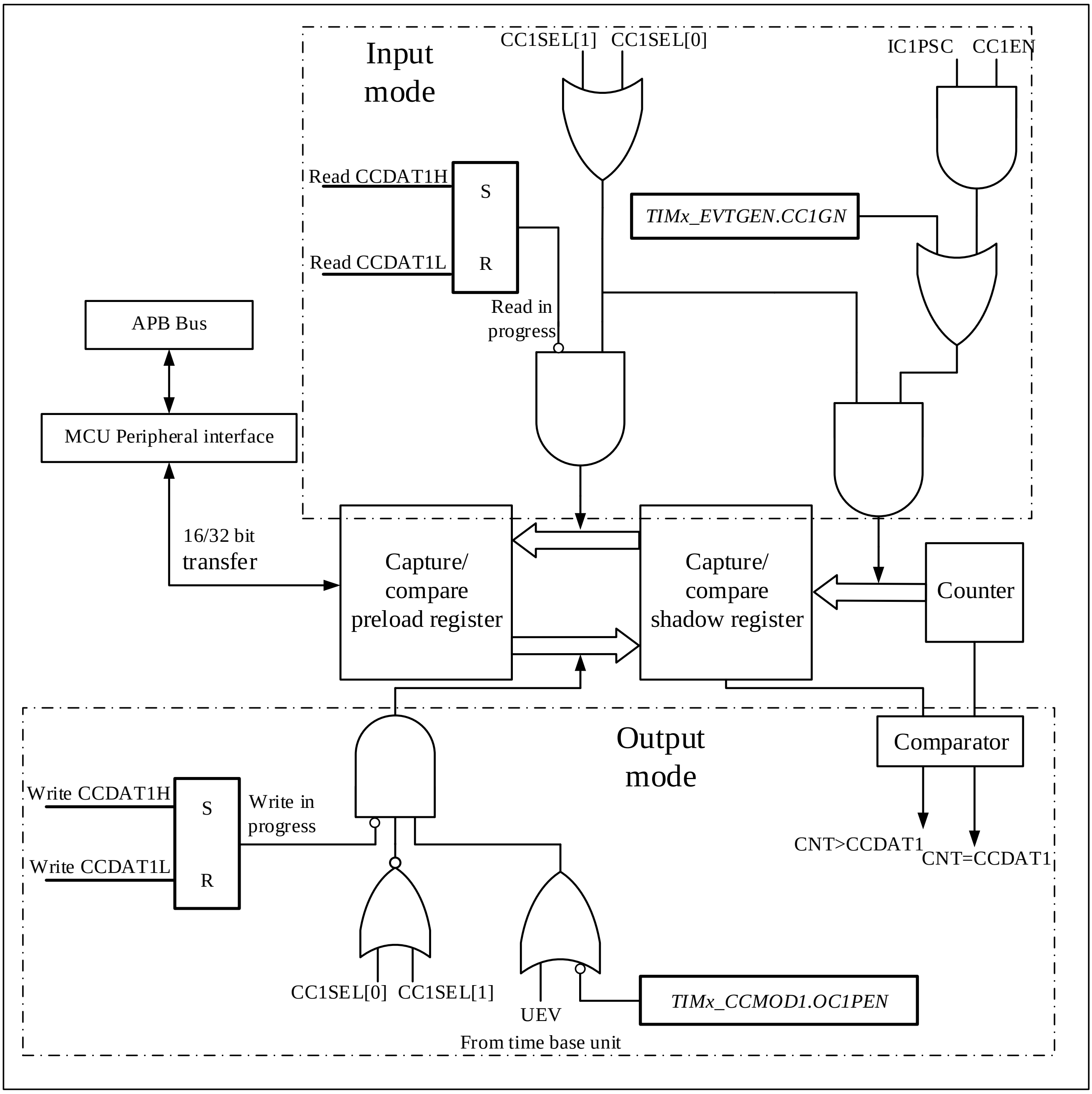
图 11-13 捕获/比较通道（例如：通道 1 输入级）



输出部分生成一个中间波形 OCxRef（高电平有效）作为参考。 极性作用在链的末端。

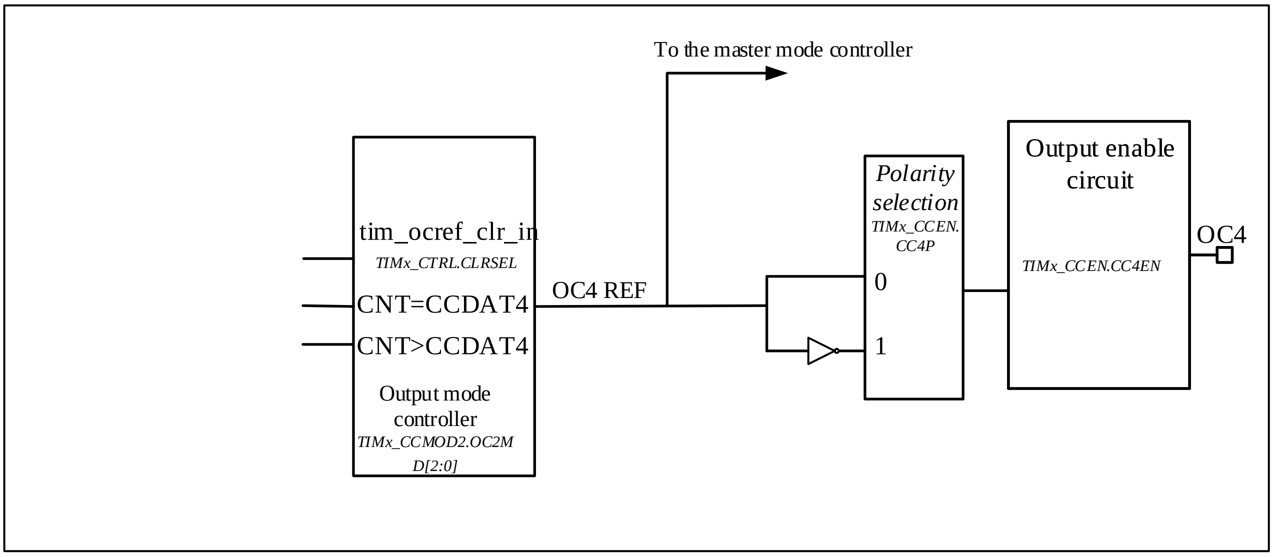
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 11-14 捕获/比较通道 1 主电路



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 11-15 通道 x 的输出部分（x = 1/2/3/4，以通道 4 为例子）



在捕获/比较时，读取和写入始终访问预加载的寄存器。 两个具体工作流程如下：

在捕获模式下，捕获实际上是在影子寄存器中完成的，然后将影子寄存器中的值复制到预加载寄存器中。

在比较模式下，与捕获模式相反，预加载寄存器的值被复制到影子寄存器中，并与计数器进行比较。

11.5.5 输入捕获模式

在捕获模式下，TIMx_CCDATx 寄存器用于在检测到 ICx 信号后锁存计数器值。

有一个捕获中断标志 TIMx_STS.CCxITF，如果相应的中断使能被拉高，它可以发出中断或 DMA 请求。

TIMx_STS.CCxITF 位在发生捕获事件时由硬件设置，并由软件或读取 TIMx_CCDATx 寄存器清零。

当 TIMx_CCDATx 寄存器中的计数器值被捕获并且 TIMx_STS.CC1ITF 已经被拉高时，重复捕获标志 TIMx_STS.CCxOCF 设置为 1。 与前者不同，TIMx_STS.CCxOCF 通过向其写入 0 来清除。

为实现 TI1 输入的上升沿将计数器值捕获到 TIMx_CCDAT1 寄存器中，配置流程如下：

- 选择有效输入：

  将 TIMx_CCMOD1.CC1SEL 配置为“01”。 此时输入为 CC1 通道，IC1 映射到 TI1。

- 编程所需的输入滤波器持续时间：

  通过配置 TIMx_CCMODx.ICxF 位来定义 TI1 输入的采样频率和数字滤波器的长度。 示例：如果输入信号抖动多达 5 个内部时钟周期，我们必须选择比这 5 个时钟周期更长的滤波器持续时间。 当检测到具有新电平的 8 个连续样本（以 f_{DTS} 频率采样）时，我们可以验证 TI1 上的转换。 然后配置 TIMx_CCMOD1. IC1F 到“0011”

- 通过配置 TIMx_CCEN .CC1P=0，选择上升沿作为 TI1 通道的有效跳变极性

- 配置输入预分频器。 在本例中，配置 TIMx_CCMOD1.IC1PSC= ‘00’ 以禁用预分频器，因为我们想要捕获每个有效转换

- 通过配置 TIMx_CCEN .CC1EN = ‘1’ 启用捕获。

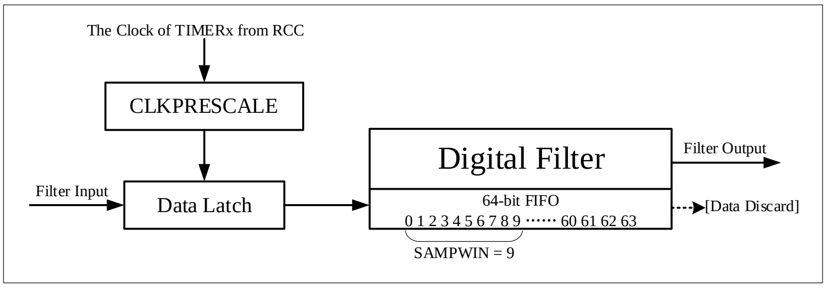
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

如果要使能 DMA 请求，可以配置 TIMx_DINTEN.CC1DEN=1。如果要使能相关中断请求，可以配置 TIMx_DINTEN.CC1IEN =1。

11.5.5.1 通道输入滤波

寄存器 TIMx_CxFILT(x = 1, 2, 3, 4) 描述如下：

图 11-16 滑动滤波



- 数字滤波器通过 RCC 的 TIMx 时钟采样通道输入信号，在 64 位 FIFO 中累积采样。 仅在 TIMx_CxFILT.WSIZE [5:0] 中定义的窗口大小内采样数据，最大大小为 64。
- 过滤器输出采样窗口内的多数值，该值由 TIMx_CxFILT.THRESH [5:0] 中的阈值定义，最大阈值为 63。此值应等于或大于窗口大小的一半。 如果采样窗口内的逻辑 1 和逻辑 0 计数均不大于阈值，则数字滤波器保持先前的输出值。
- TIMx_SLIDFPSC.PSC 寄存器决定相应数字滤波器的采样率。过滤器 FIFO 在每个采样时钟从输入中捕获一个采样值。
- 如果数字滤波器关闭，滤波器输入将像电线一样绕过输出。

11.5.6 PWM 输入模式

PWM 输入模式和普通输入捕获模式有一些区别，包括:

- 两个 ICx 信号映射到同一个 TIx 输入
- 两个 ICx 信号在极性相反的边沿有效
- 选择两个 TIxFP 信号之一作为触发输入
- 从机模式控制器配置为复位模式

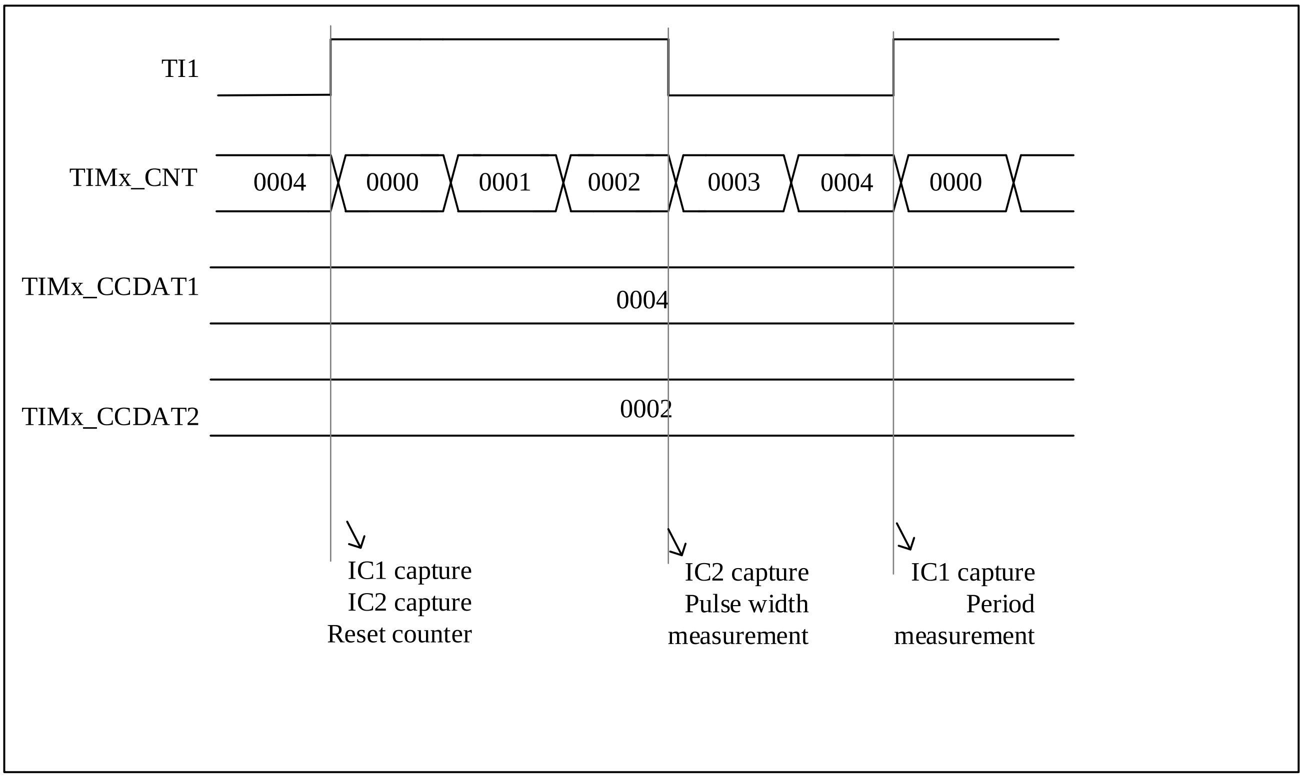
例如，下面的配置流程可以用来知道 TI1 上 PWM 信号的周期和占空比（这取决于 CK_INT 的频率和预分频器的值）。

- 配置 TIMx_CCMOD1.CC1SEL 等于 ‘01’ 以选择 TI1 作为 TIMx_CCDAT1 的有效输入
- 配置 TIMx_CCEN.CC1P 等于 ‘0’ 选择滤波定时器输入 1(TI1FP1) 的有效极性，在上升沿有效
- 配置 TIMx_CCMOD1.CC2SEL 等于 ‘10’ 选择 TI1 作为 TIMx_CCDAT2 的有效输入
- 配置 TIMx_CCEN.CC2P 等于 1 选择滤波定时器输入 2(TI1FP2)的有效极性，下降沿有效
- 配置 TIMx_SMCTRL.TSEL=101 选择 Filtered timer input 1 (TI1FP1) 作为有效触发输入
- 配置 TIMx_SMCTRL.SMSEL=100 配置从模式控制器为复位模式

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 配置 TIMx_CCEN.CC1EN=1 和 TIMx_CCEN.CC2EN=1 以启用捕获

图 11-17 PWM 输入模式时序



由于只有滤波器定时器输入 1 (TI1FP1) 和滤波器定时器输入 2 (TI2FP2) 连接到从模式控制器，因此 PWM 输入模式只能与 TIMx_CH1/TIMx_CH2 信号一起使用。

11.5.7 强制输出模式

在输出模式（TIMx_CCMODx.CCxSEL=00）下，软件可以直接将输出比较信号强制为有效或无效电平。

用户可以设置 TIMx_CCMODx.OCxMD=101 强制输出比较信号为有效电平。 OCxREF 将被强制为高电平，OCx 得到与 CCxP 极性位相反的值。 另一方面，用户可以设置 TIMx_CCMODx.OCxMD=100 强制输出比较信号为无效电平，即 OCxREF 被强制为低电平。

在此模式下，TIMx_CCDATx 影子寄存器和计数器的值仍然相互比较。

输出比较寄存器 TIMx_CCDATx 和计数器 TIMx_CNT 之间的比较对 OCxREF 没有影响。 并且仍然可以设置标志。 因此，仍然可以发送中断和 DMA 请求。

11.5.8 输出比较模式

用户可以使用此模式来控制输出波形，或指示一段时间已过。

当捕获/比较寄存器和计数器的值相同时，输出比较函数的操作如下：

- TIMx_CCMODx.OCxMD 为输出比较模式，TIMx_CCEN.CCxP 为输出极性。 当比较匹配时，如果设置 TIMx_CCMODx.OCxMD=000，则输出管脚将保持其电平；如果设置 TIMx_CCMODx.OCxMD=001，则设置输出管脚有效；如果设置 TIMx_CCMODx.OCxMD=010，则输出管脚将为 设置为无效；如果设

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

置 TIMx_CCMODx.OCxMD=011，则输出引脚将设置为翻转。

- 设置 TIMx_STS.CCxITF
- 如果用户设置了 TIMx_DINTEN.CCxIEN，将产生相应的中断
- 如果用户设置 TIMx_DINTEN.CCxDEN 并设置 TIMx_CTRL2.CCDSEL 选择 DMA 请求，将发送 DMA 请求

用户可以设置 TIMx_CCMODx.OCxPEN 来选择是否使用捕获/比较预加载寄存器（TIMx_CCDATx）来选择捕获/比较影子寄存器。

时间分辨率是计数器的一个计数周期。

在单脉冲模式下，输出比较模式也可用于输出单脉冲。

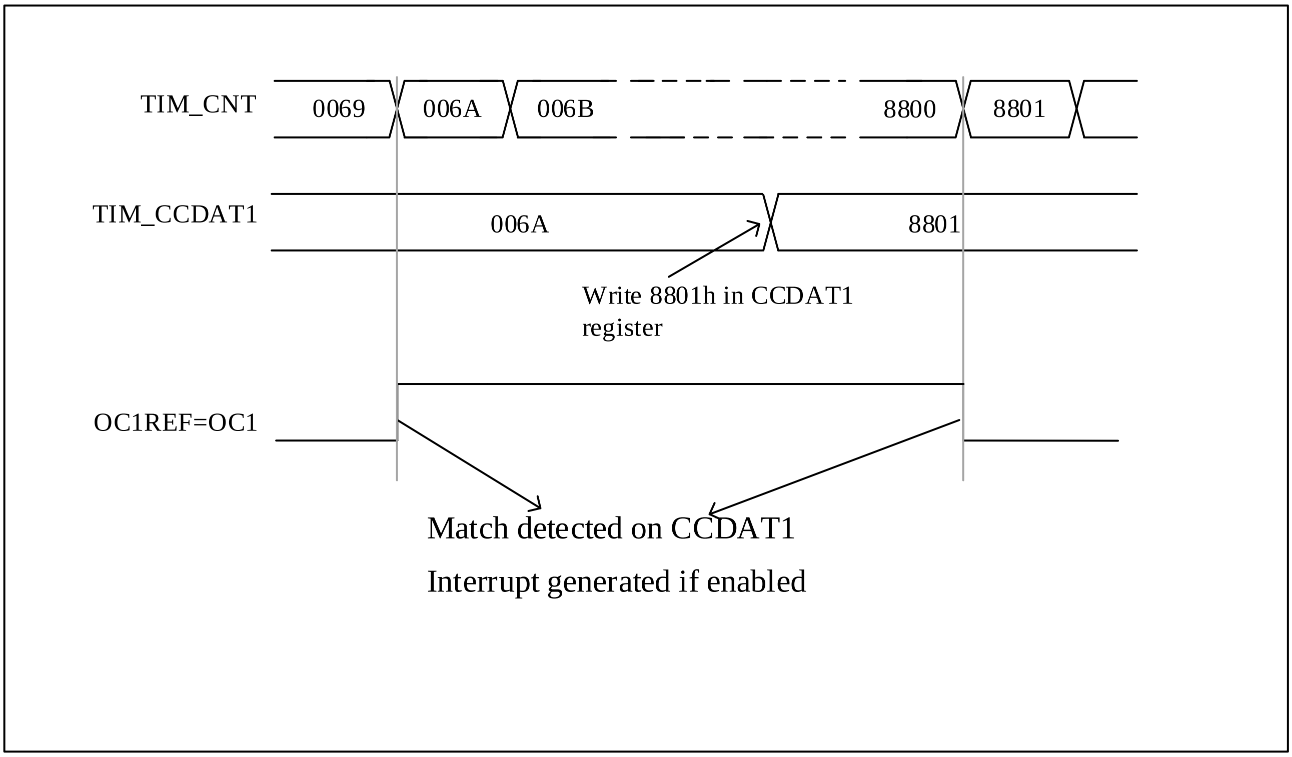
以下是输出比较模式的配置步骤：

- 首先，用户应该选择计数器时钟
- 其次，用所需数据设置 TIMx_AR 和 TIMx_CCDATx
- 如果用户需要产生中断，设置 TIMx_DINTEN.CCxIEN
- 然后通过设置 TIMx_CCEN.CCxP、TIMx_CCMODx.OCxMD、TIMx_CCEN.CCxEN 等选择输出模式
- 最后，设置 TIMx_CTRL1.CNTEN 启用计数器

用户可以随时通过设置 TIMx_CCDATx 来更新输出波形，只要不启用预加载寄存器。 否则，TIMx_CCDATx 影子寄存器将在下一次更新事件中更新。

例如：

图 11-18 输出比较模式，开启 OC1



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

11.5.9 PWM 模式

用户可以使用 PWM 模式产生一个信号，其占空比由 TIMx_CCDATx 寄存器的值决定，其频率由 TIMx_AR 寄存器的值决定。 并且取决于 TIMx_CTRL1.CAMSEL 的值，TIM 可以在边沿对齐模式或中央对齐模式下产生 PWM 信号。

用户可以通过设置 TIMx_CCMODx. OCxMD=110 或设置 TIMx_CCMODx.OCxMD=111 来设置 PWM 模式 1 或 PWM 模式 2。 要使能预加载寄存器，用户必须设置相应的 TIMx_CCMODx.OCxPEN。 然后设置 TIMx_CTRL1.ARPEN 自动重装载预加载寄存器。

用户可以通过设置 TIMx_CCEN.CCxP 来设置 OCx 的极性。

当 TIM 处于 PWM 模式时，TIMx_CNT 和 TIMx_CCDATx 的值总是相互比较。

只有当更新事件发生时，预加载寄存器才会转移到影子寄存器。 因此，用户必须在计数器开始计数之前通过设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 来复位所有寄存器。

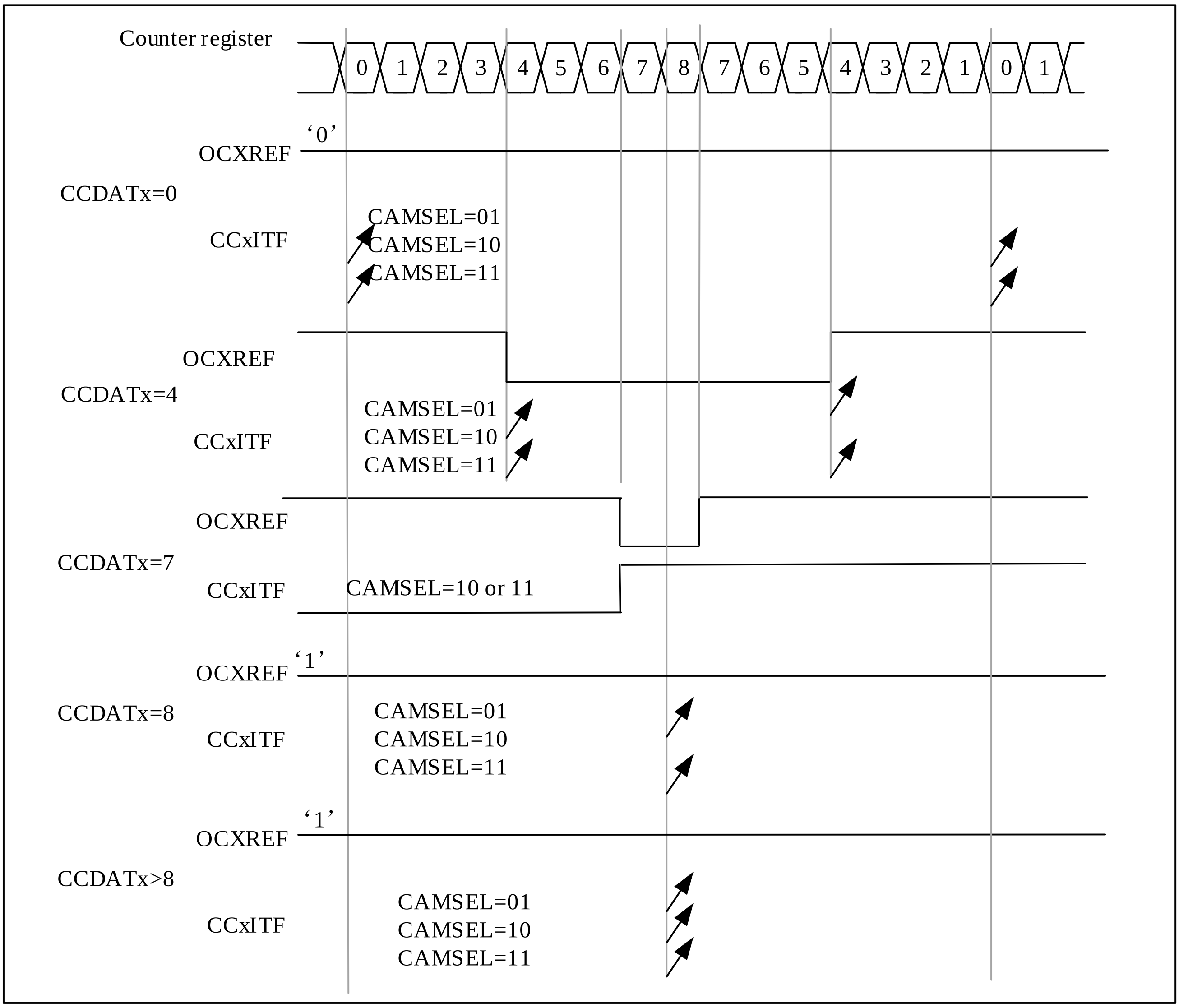
11.5.9.1 PWM 中央对齐模式

如果用户设置 TIMx_CTRL1.CAMSEL 等于 01、10 或 11，PWM 中央对齐模式将被激活。 比较标志的设置取决于 TIMx_CTRL1.CAMSEL 的值。 设置比较标志的情况有 3 种，仅当计数器向上计数时，仅当计数器向下计数时，或当计数器向上计数和向下计数时。 用户不应通过软件修改 TIMx_CTRL1.DIR，它是由硬件更新的。

中央对齐 PWM 波形示例如下，波形设置为：TIMx_AR=8，PWM 模式 1，当计数器向下计数对应 TIMx_CTRL1.CAMSEL=01 时设置比较标志。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 11-19 中央对齐的 PWM 波形 (AR=8)



使用中央对齐模式时用户应注意的事项如下：

- 计数器向上或向下计数取决于 TIMx_CTRL1.DIR 的值。 注意不要同时更改 DIR 和 CAMSEL 位
- 用户在中央对齐模式下不要写计数器，否则会导致意想不到的结果。 例如：
  - 如果写入计数器的值为 0 或者是 TIMx_AR 的值，则方向会被更新，但不会产生更新事件
  - 如果写入计数器的值大于自动重载的值，则方向不会更新
- 为了安全起见，建议用户在启动计数器之前设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 以通过软件生成更新，并且在计数器运行时不要写入计数器

11.5.9.2 PWM 边沿对齐模式

边沿对齐模式有两种配置，向上计数和向下计数。

- **向上计数**

用户可以设置 TIMx_CTRL1.DIR=0 使计数器向上计数。

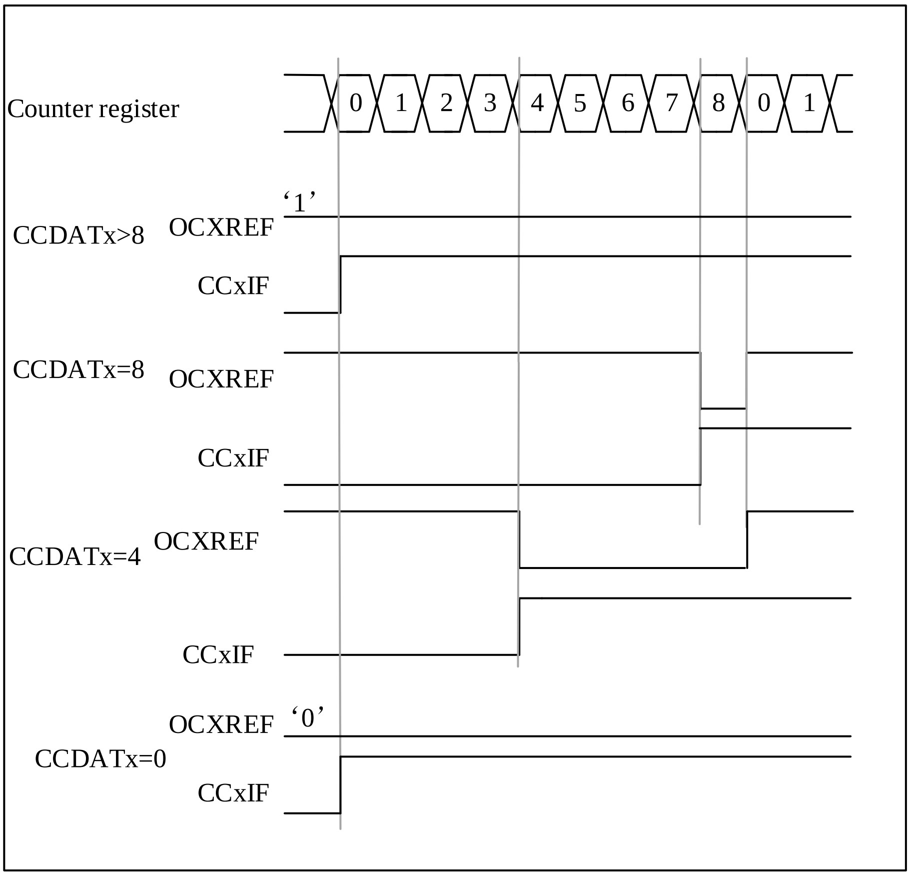
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

PWM 模式 1 的示例：

当 TIMx_CNT < TIMx_CCDATx 时， OCxREF 为高电平，否则为低电平。 如果 TIMx_CCDATx 中的比较值大于自动重载值，则 OCxREF 将保持为 1。相反，如果比较值为 0，则 OCxREF 将保持为 0。

当 TIMx_AR=8 时，PWM 波形如下：

图 11-20 边沿对齐 PWM 波形 (AR=8)



- **向下计数**

用户可以设置 TIMx_CTRL1.DIR=1 使计数器向下计数。
PWM 模式 1 的示例：

当 TIMx_CNT > TIMx_CCDATx 时，OCxREF 为低电平，否则为高电平。 如果 TIMx_CCDATx 中的比较值大于自动重载值，则 OCxREF 将保持为 1。

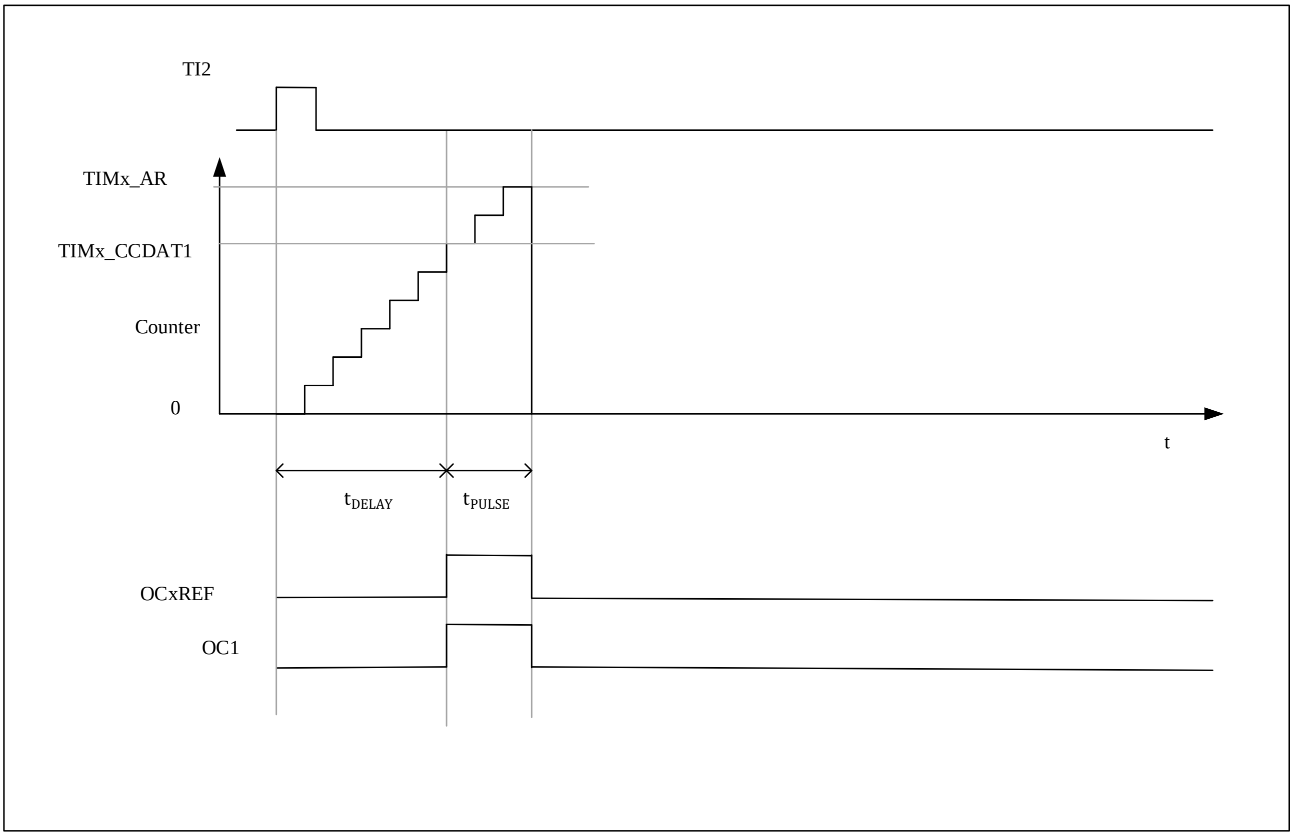
注：若第 n 个 PWM 周期 CCDATx 影子寄存器>=AR 值，第 n+1 个 PWM 周期 CCDATx 的影子寄存器值是 0。在第 n+1 个 PWM 周期的计数器为 0 的时刻，虽然计数器 = CCDATx 影子寄存器的值 = 0，OCxREF = '0'，但不会产生比较事件。

11.5.10 单脉冲模式

在单脉冲模式(ONEPM)中，接收到触发信号，经过可控延迟 t_{DELAY} 后产生脉宽可控的脉冲 t_{PULSE}。 输出模式需要配置为输出比较模式或 PWM 模式。 选择单脉冲模式后，计数器会在更新事件 UEV 产生后停止计数。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 11-21 单脉冲模式示例



以下是单脉冲模式的示例：

从 TI2 输入检测到上升沿触发，延迟 t_{DELAY} 后在 OC1 上产生宽度为 t_{PULSE} 的脉冲。

7. 计数器配置：向上计数，计数器 TIMx_CNT < TIMx_CCDAT1 ≤ TIMx_AR；
8. TI2FP2 映射到 TI2，TIMx_CCMOD1.CC2SEL= '01'； TI2FP2 配置为上升沿检测，TIMx_CCEN.CC2P= '0'；
9. TI2FP2 充当从模式控制器的触发器（TRGI）并启动计数器，TIMx_SMCTRL.TSEL= '110'，TIMx_SMCTRL.SMSEL= '110'（触发模式）；
10. TIMx_CCDAT1 写入要延迟的计数值（t_{DELAY}），TIMx_AR-TIMx_CCDAT1 为脉宽 t_{PULSE} 的计数值；
11. 配置 TIMx_CTRL1.ONEPM=1 使能单脉冲模式，配置 TIMx_CCMOD1.OC1MD= '111'选择 PWM2 模式；
12. 等待 TI2 有外部触发事件，OC1 输出一个单脉冲波形；

11.5.10.1 特殊情况：OCx 快速使能：

在单脉冲模式下，通过 TIx 输入检测到一个边沿，并触发计数器开始计数到比较值，然后输出一个脉冲。这些操作限制了可以达到的最小延迟 t_{DELAY}。

您可以设置 TIMx_CCMODx.OCxFEN=1 开启 OCx 快速使能，在触发上升沿后，OCxREF 信号将被强制转换为与比较匹配立即发生的电平相同的电平，而不管比较结果如何。 OCxFEN 快速使能仅在通道模式配置为 PWM1 和 PWM2 模式时生效。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

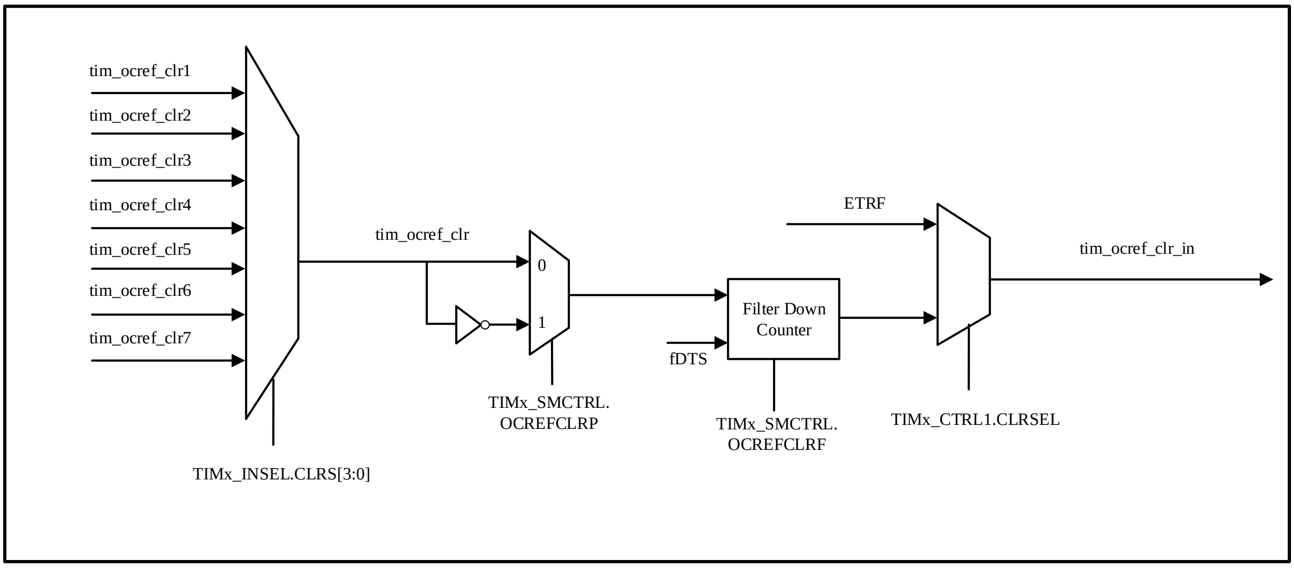
11.5.11 在外部事件上清除 OCxREF 信号

如果用户设置 TIMx_CCMODx.OCxCEN 等于‘1’， tim_ocref_clr_in 输入的高电平可用于驱动 OCxREF 信号为低电平，OCxREF 信号将保持低电平，直到下一次 UEV 发生。 只有输出比较和 PWM 模式可以使用该功能。 在强制模式下不能使用。

输入清除信号 tim_ocref_clr_in 可以通过 TIMx_CTRL1 寄存器中的 CLRSEL 位选择为 tim_ocref_clr 或者 ETRF。

tim_ocref_clr 信号可以通过 TIMx_INSEL 寄存器中的 CLRS[3:0]进行选择，如下图所示。

图 11-22 外部事件清除 OCxREF 信号

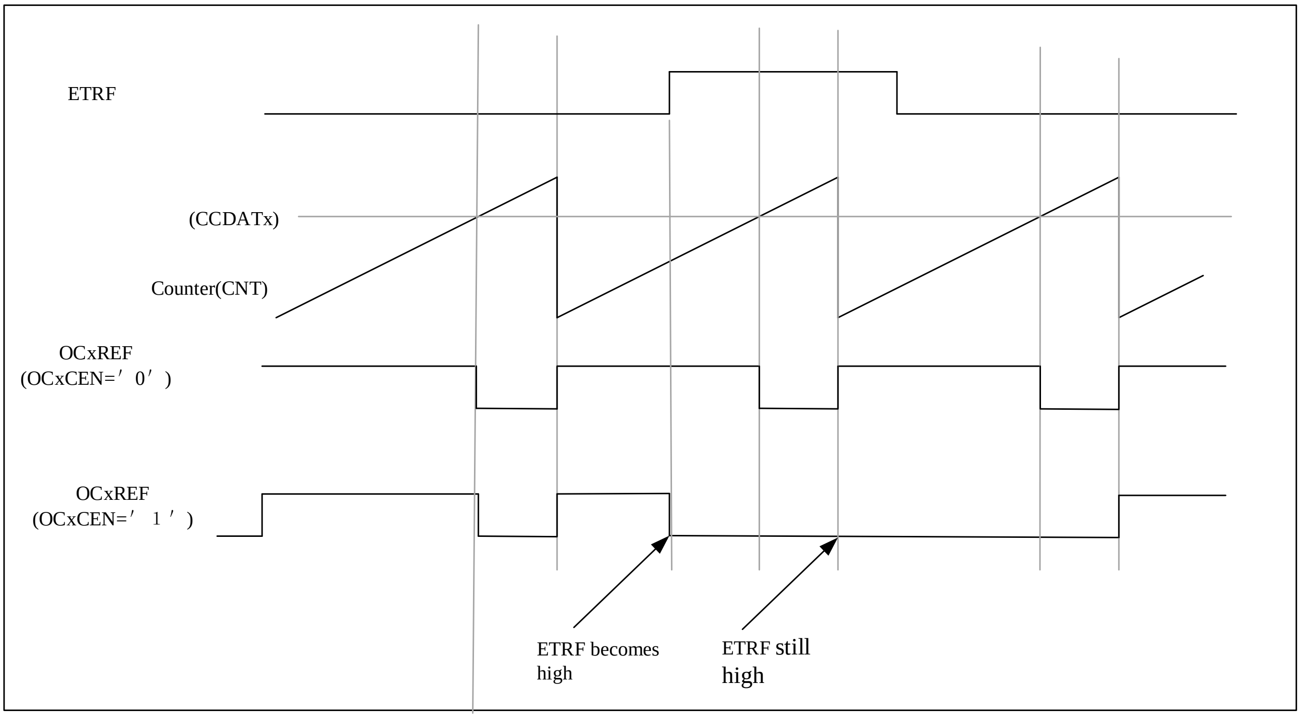


例：当 tim_ocref_clr_in 信号选择 ETRF 时，tim_etr_in 配置如下：

- 设置 TIMx_SMCTRL.EXTPS=00 禁用外部触发预分频器。
- 设置 TIMx_SMCTRL.EXCEN=0 禁用外部时钟模式 2。
- 设置 TIMx_SMCTRL.EXTP 和 TIMx_SMCTRL.EXTF，根据需要配置外触发极性和外触发滤波器。
- 当 ETRF 输入变高时，OCxREF 信号对于不同的 OCxCEN 值的行为。在这种情况下，定时器设置为 PWM 模式。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 11-23 清除 TIMx 的 OCxREF



11.5.12 调试模式

当微控制器处于调试模式（Cortex-M4 内核停止）时，根据 DBG_CTRL. GTIMx_STOP 位配置，定时器计数器可以继续正常工作或停止。有关详细信息，请参阅 37.3.2 节。

11.5.13 GTIMx 定时器和外部触发的同步

定时器可以通过从模式（复位、触发和门控）中的触发器进行同步。

11.5.13.1 从模式：复位模式

在复位模式下，触发事件可以复位计数器和预分频器。更新预加载寄存器 TIMx_AR、TIMx_CCDATx，并产生更新事件 UEV（TIMx_CTRL1.UPRS=0）。

以下是复位模式的示例：

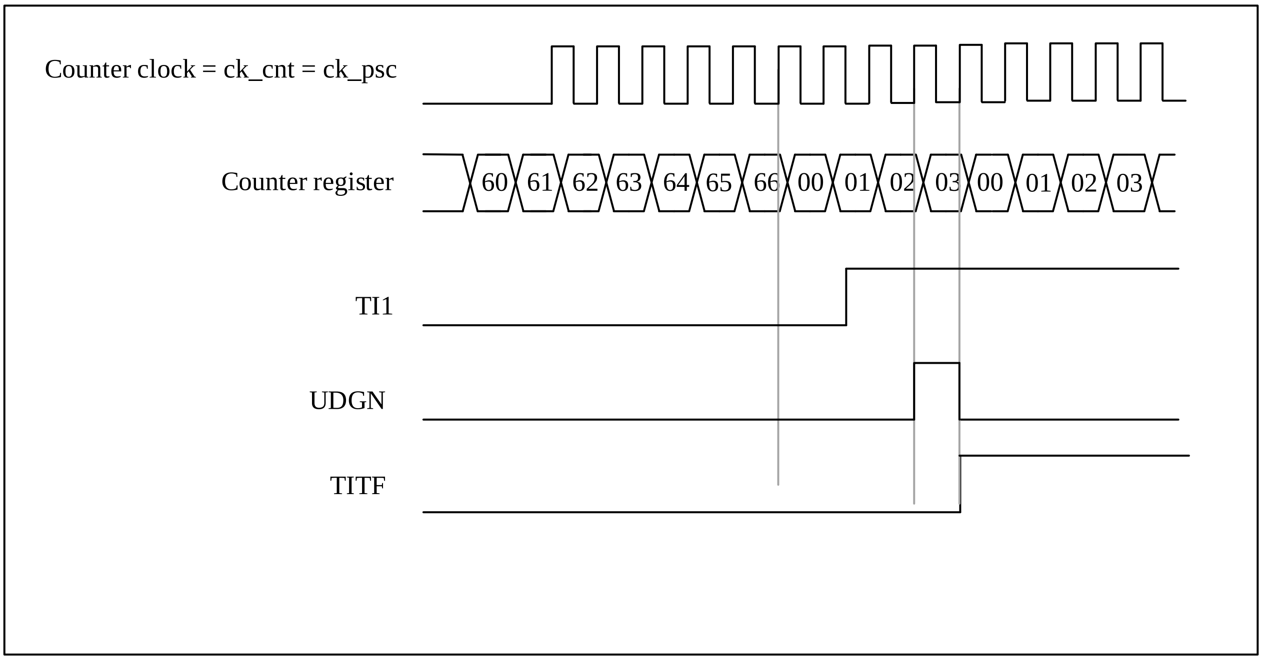
7. 通道 1 配置为输入检测 TI1 的上升沿（TIMx_CCMOD1.CC1SEL=01，TIMx_CCEN.CC1P=0）；
8. 从模式选择为复位模式（TIMx_SMCTRL.SMSEL=0100），触发输入选择为 TI1（TIMx_SMCTRL.TSEL=101）；
9. 启动计数器（TIMx_CTRL1.CNTEN = 1）

启动定时器后，当 TI1 检测到上升沿时，计数器复位并重新开始计数，并设置触发标志（TIMx_STS.TITF=1）；

TI1 的上升沿与实际计数器复位之间的延迟是由于 TI1 输入的重新同步电路引起的。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 11-24 复位模式下的控制电路



11.5.13.2 从模式：触发模式

在触发模式下，输入端口的触发事件（上升沿/下降沿）可以触发计数器开始计数。

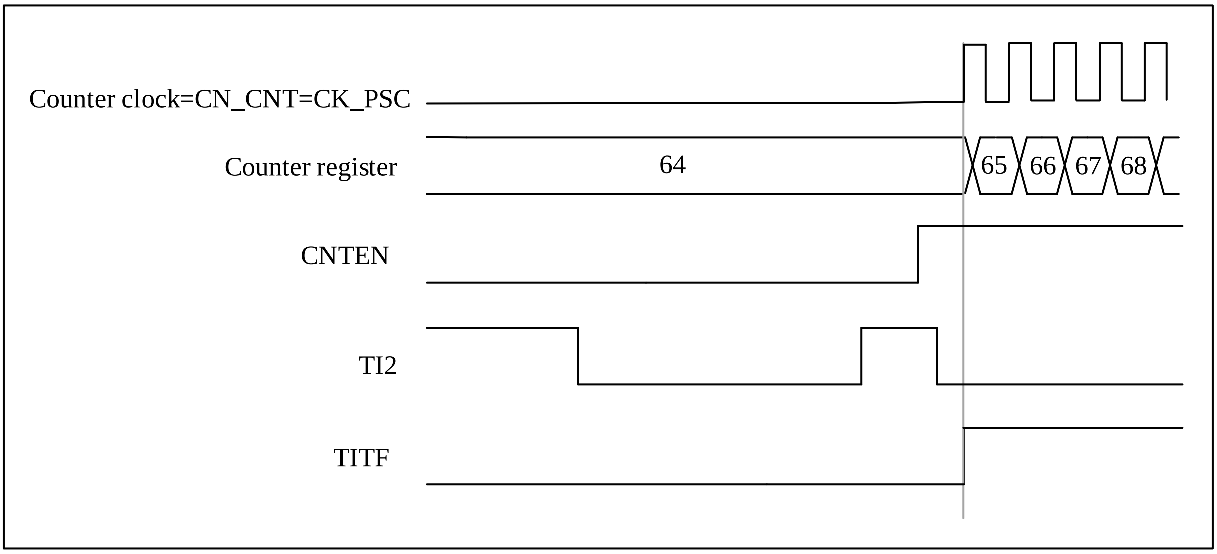
以下是触发模式的示例：

5. 通道 2 配置为输入，检测 TI2 的上升沿（TIMx_CCMOD1.CC2SEL=01，TIMx_CCEN.CC2P=0）；
6. 选择从模式为触发模式(TIMx_SMCTRL.SMSEL=0110)，触发输入选择 TI2(TIMx_SMCTRL.TSEL=110)；

当 TI2 检测到上升沿时，计数器开始计数，触发标志置位（TIMx_STS.TITF=1）；

TI2 的上升沿与实际计数器启动之间的延迟是由于 TI2 输入的重新同步电路引起的。

图 11-25 触发器模式下的控制电路



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

11.5.13.3 从模式：门控模式

在门控模式下，输入端口的电平极性可以控制计数器是否计数。

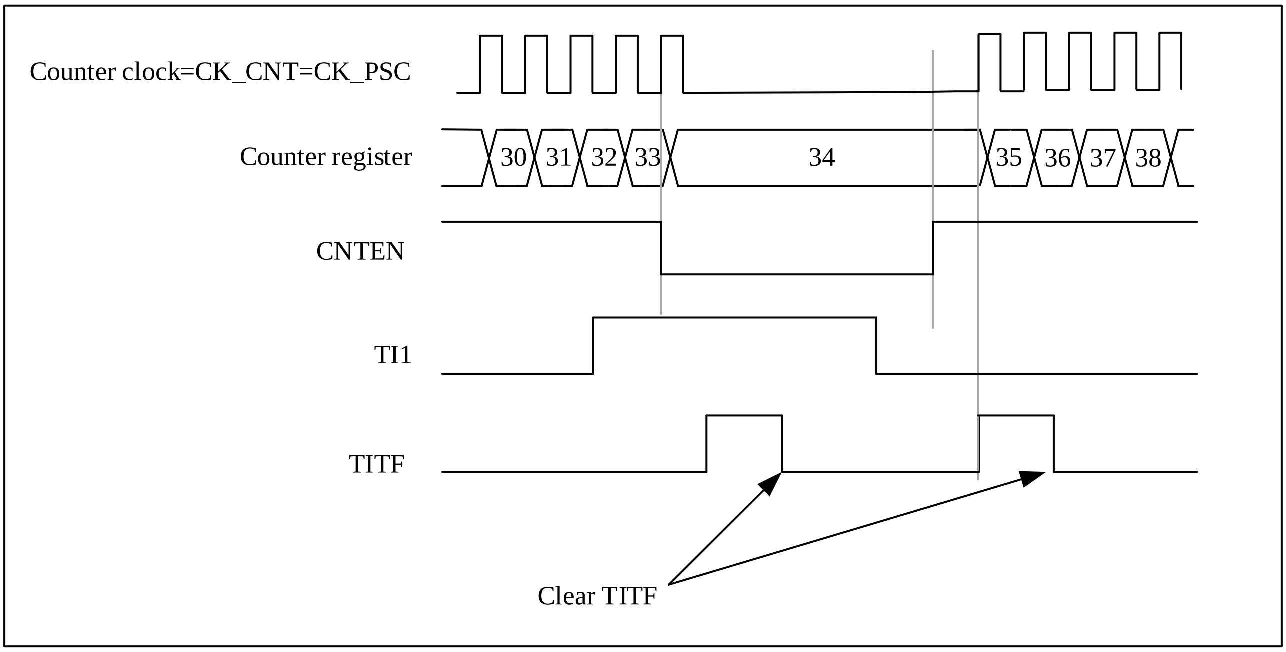
以下是门控模式的示例：

7. 通道 1 配置为 TI1 上的输入检测低电平有效 (TIMx_CCMOD1.CC1SEL=01, TIMx_CCEN.CC1P=1)；
8. 选择从模式为门控模式（TIMx_SMCTRL.SMSEL=0101），选择 TI1 作为 TRGI（TIMx_SMCTRL.TSEL=101）;
9. 启动计数器（TIMx_CTRL1.CNTEN = 1）;

当 TI1 检测到电平由低变高时，计数器停止计数，当 TI1 检测到电平由高变低时，计数器开始计数，开始或停止计数时触发标志置位（TIMx_STS .TITF=1)。

TI1 的上升沿与实际计数器停止之间的延迟是由于 TI1 输入的重新同步电路引起的。

图 11-26 门控模式下的控制电路



11.5.13.4 从模式：触发模式 +外部时钟模式 2

在复位模式、触发模式和门控模式下，计数器时钟可选择为外部时钟模式 2，ETR 信号作为外部时钟源输入。 这时候触发选择需要选择非 ETRF（TIMx_SMCTRL.TSEL=111）。

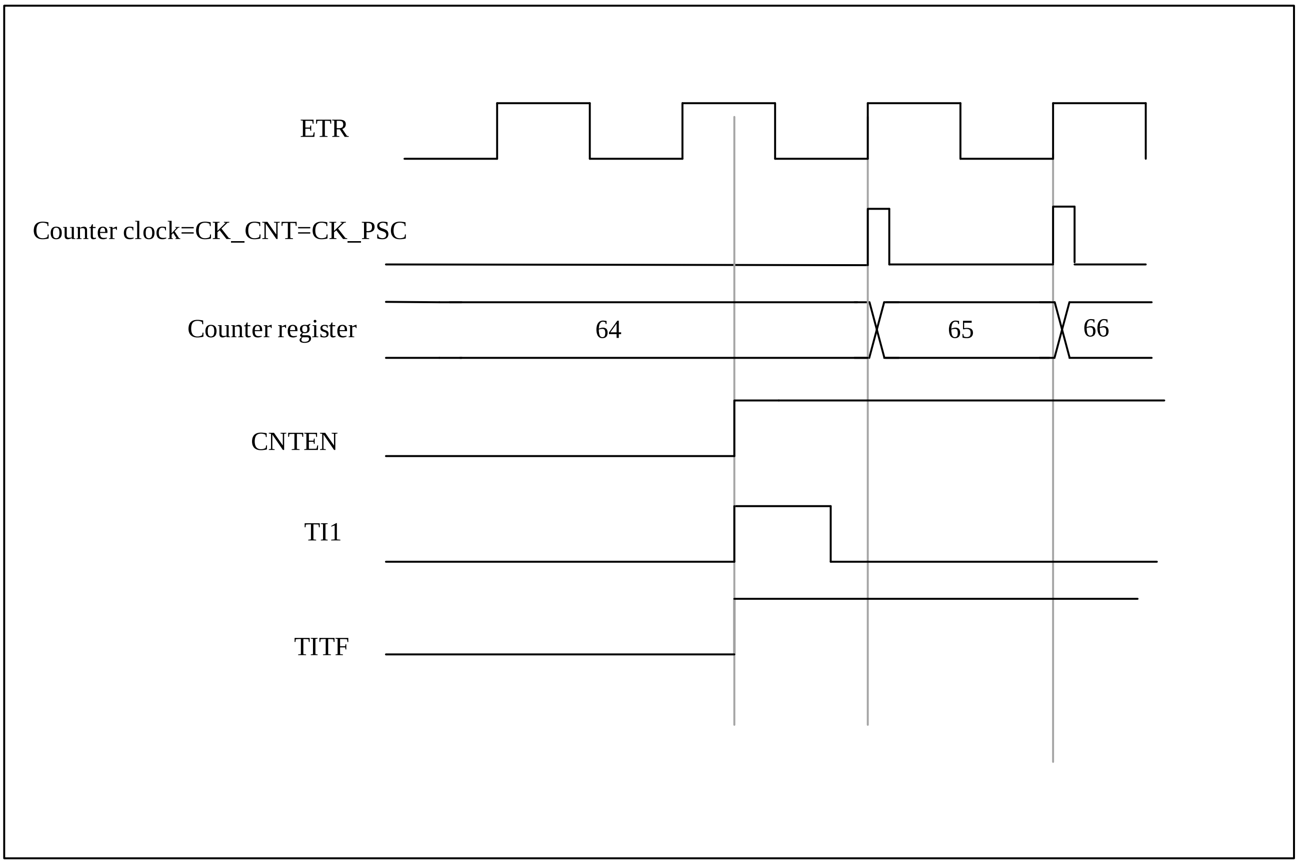
这是一个例子：

5. 通道 1 配置为输入检测 TI1 的上升沿（TIMx_CCMOD1.CC1SEL=01，TIMx_CCEN.CC1P=0）;
6. 使能外部时钟模式 2（TIMx_SMCTRL.EXCEN=1），外部触发极性选择上升沿（TIMx_SMCTRL.EXTP=0），触发模式作为从模式（TIMx_SMCTRL.SMSEL=0110），TRGI 选择 TI1（ TIMx_SMCTRL.TSEL=101);

当 TI1 检测到上升沿时，计数器在 ETR 的上升沿开始计数，并设置触发标志（TIMx_STS.TITF=1）;

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 11-27 外部时钟模式 2＋触发模式下的控制电路

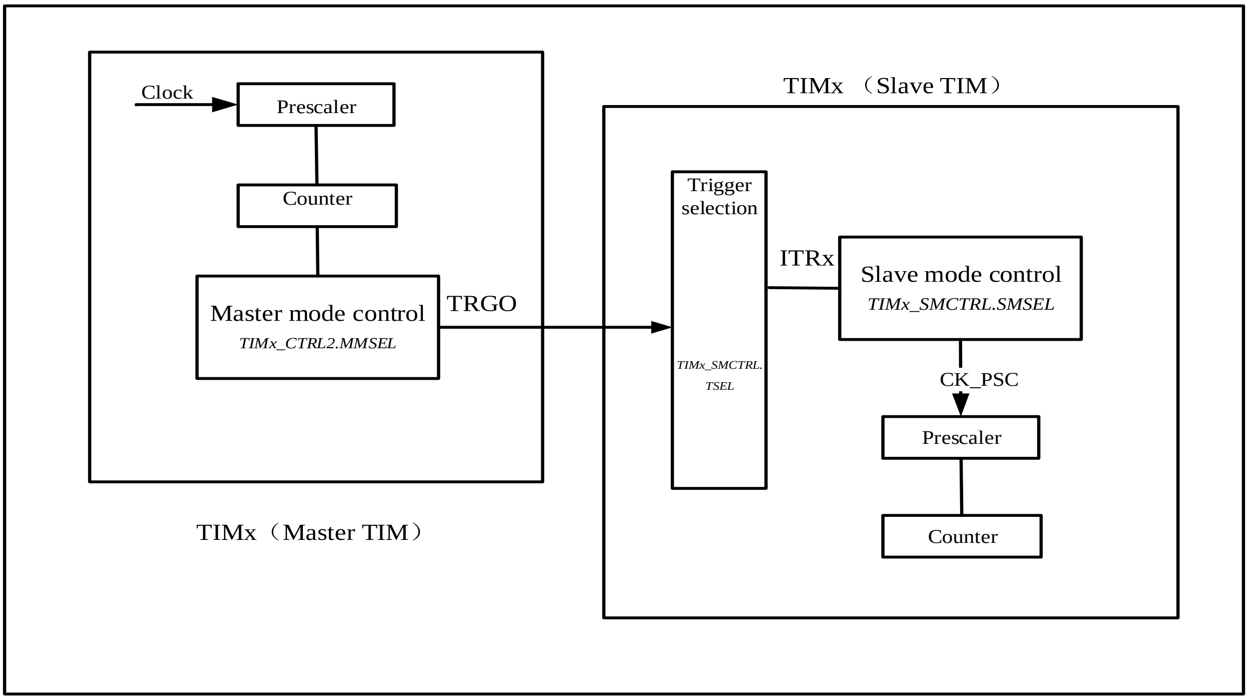


11.5.14 定时器同步

所有定时器都在内部相互连接。 该实现允许任何主定时器提供触发以复位、启动、停止或为其他从定时器提供时钟。 主时钟用于内部计数器，可以预分频。 下图为定时器互连框图。同步功能不支持连接的动态变化。 用户应在启用主定时器的触发器或时钟之前配置并启用从定时器。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 11-28 主/从定时器的例子



11.5.14.1 主定时器作为另一个定时器的预分频器

ATIM 1 作为 GTIM 1 的预分频器。ATIM 1 是主，GTIM 1 是从。

用户需要为此配置执行以下步骤。

- 设置 ATIM1_CTRL2.MMSEL='0010' 以使用 ATIM1 的更新事件作为触发输出。
- 配置 GTIM2_SMCTRL.TSEL=‘000’、GTIM2__INSEL. ITRS=‘000’，将 ATIM1 的 TRGO 连接到 GTIM2。
- 配置 GTIM2_SMCTRL.SMSEL = ‘0111’，从模式控制器将配置为外部时钟模式 1。
- 通过设置 GTIM2_CTRL1.CNTEN =“1” ,启动 GTIM2。
- 通过设置 ATIM1_CTRL1.CNTEN =“1” ,启动 ATIM1。

注：如果用户通过配置 MMSEL = ‘01xx’选择 OCx 作为 ATIM1 的触发输出，则 OCx 上升沿将用于驱动 TIM2。

11.5.14.2 主定时器使能另一个定时器

在本例中，GTIM2 通过 ATIM1 的输出比较使能。 ATIM1 的 OC1REF 输出为高电平后，GTIM2 计数器将开始计数。 两个计数器的时钟均基于 CK_INT，通过预分频器除以 3 (fCK_CNT = fCK_INT/3)。

配置步骤如下所示。

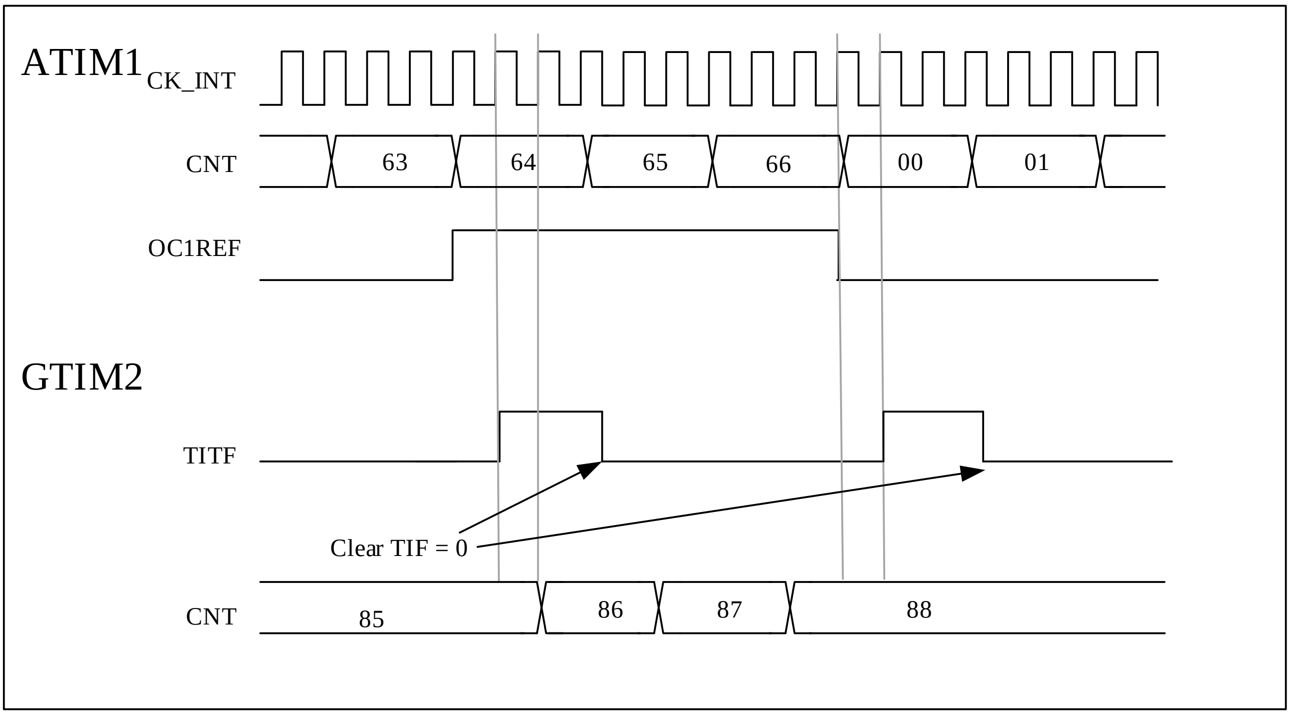
- 设置 ATIM1_CTRL2.MMSEL='0100' 以使用 ATIM1 的 OC1REF 作为触发输出。
- 配置 ATIM1_CCMOD1 寄存器来配置 OC1REF 输出波形。
- 设置 GTIM2_SMCTRL .TSEL = ‘000’ 、GTIM2__INSEL. ITRS=‘000’，将 ATIM1 的 TRGO 连接到 GTIM2。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 设置 GTIM2_SMCTRL .SMSEL= ‘0101’ 将 GTIM2 设置为门控模式。
- 设置 GTIM2_CTRL1.CNTEN= ‘1’ 来启动 GTIM2。
- 设置 ATIM1_CTRL1.CNTEN= ‘1’ 以启动 ATIM1。

注：GTIM2 时钟与 ATIM1 时钟不同步，该模式仅影响 GTIM2 计数器使能信号。

图 11-29 GTIM2 由 ATIM1 的 OC1REF 门控



在下一个示例中，用 ATIM1 的使能信号门控 GTIM2，设置 ATIM1_CTRL1.CNTEN= ‘0’ 以停止 ATIM1。

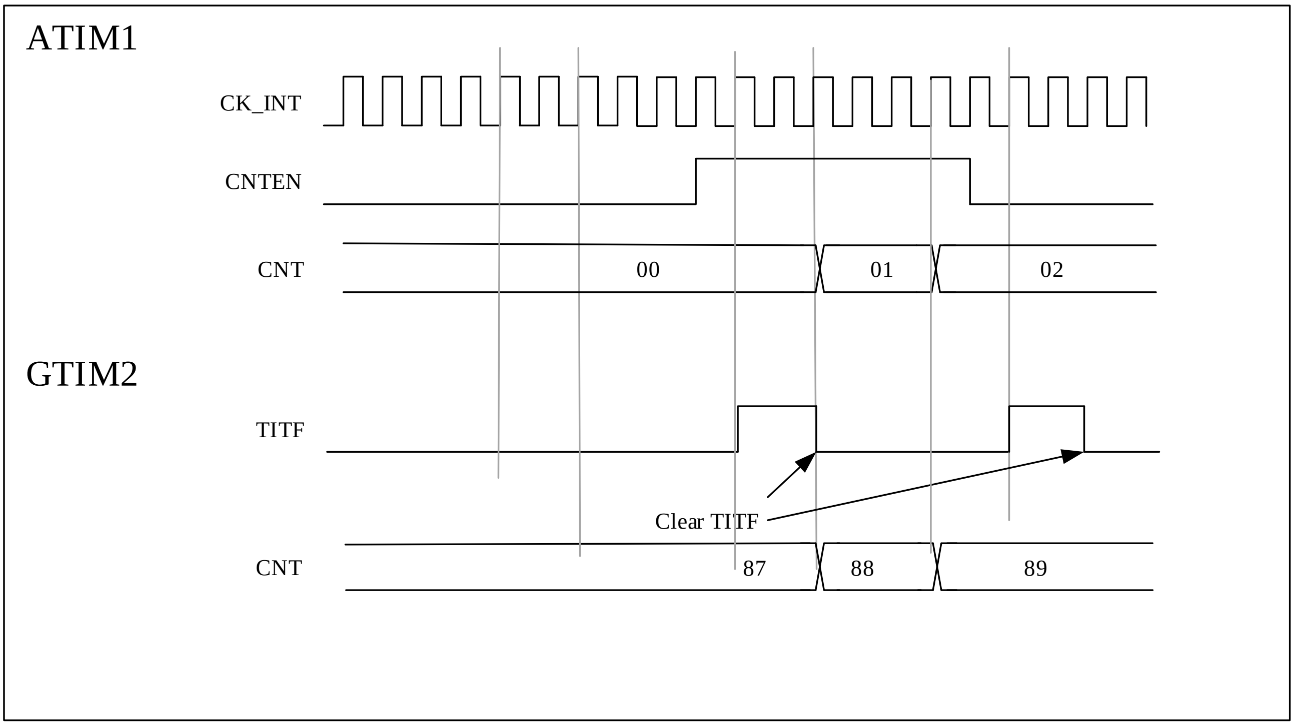
仅当 ATIM1 使能时，GTIM2 才基于分频的内部时钟计数。两个计数器的时钟均基于 CK_INT，通过预分频器除以 3 (fCK_CNT = fCK_INT/3)。

配置步骤如下所示

- 设置 ATIM1_CTRL2.MMSEL='0001' 使用 ATIM1 的使能信号作为触发输出
- 设置 GTIM2_SMCTRL.TSEL = ‘000’ 、GTIM2__INSEL. ITRS=‘000’，将 ATIM1 的 TRGO 连接到 GTIM2。
- 设置 GTIM2_SMCTRL.SMSEL = ‘0101’ 将 GTIM2 配置为门控模式。
- 设置 GTIM2_CTRL1.CNTEN= ‘1’ 来启动 GTIM2。
- 设置 ATIM1_CTRL1.CNTEN= ‘1’ 以启动 ATIM1。
- 设置 ATIM1_CTRL1.CNTEN= ‘0’ 以停止 ATIM1。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 11-30 GTIM2 由 ATIM1 的使能门控



11.5.14.3 主定时器启动另一个定时器

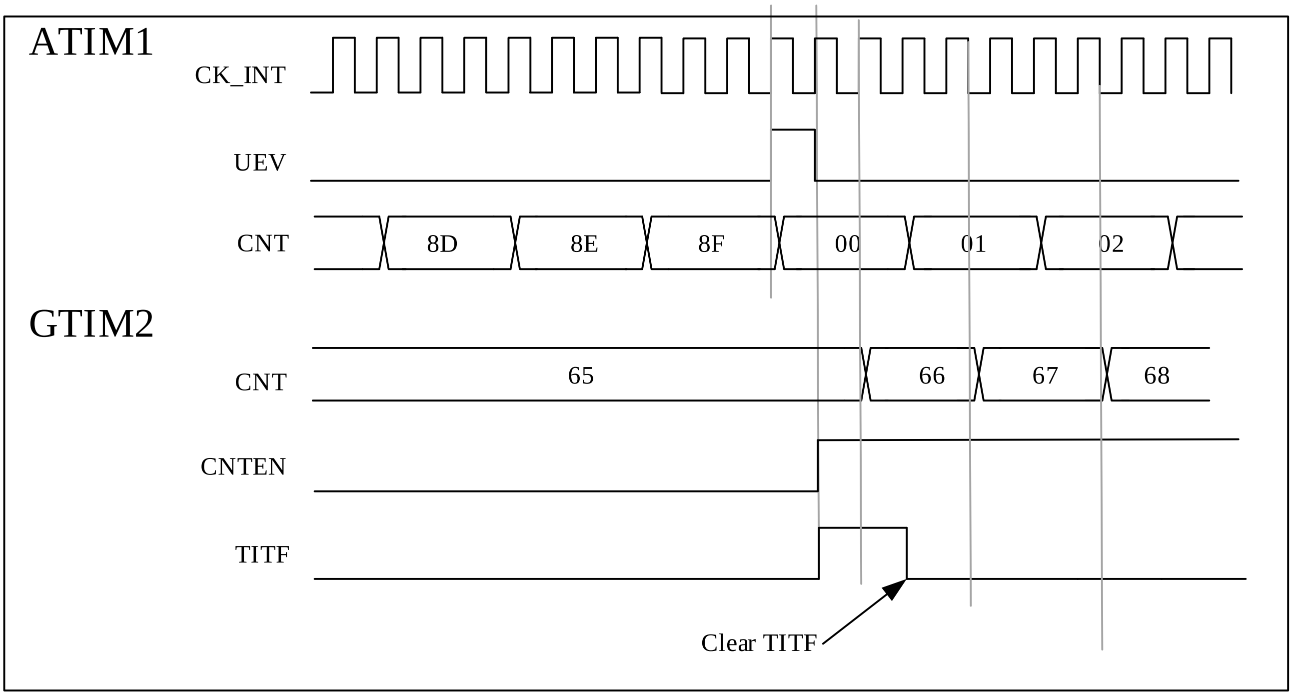
在这个例子中，我们可以使用更新事件作为触发源。ATIM1 是主，GTIM2 是从。

配置步骤如下图所示：

- 设置 ATIM1_CTRL2.MMSEL='0010' 使用 ATIM1 的更新事件作为触发输出
- 配置 ATIM1_AR 寄存器设置输出周期。
- 设置 GTIM2_SMCTRL .TSEL= ‘000’ 、GTIM2__INSEL. ITRS=‘000’，将 ATIM1 的 TRGO 连接到 GTIM2。
- 设置 GTIM2_SMCTRL.SMSEL = ‘0110’ 将 GTIM2 设置为触发模式。
- 设置 ATIM1_CTRL1.CNTEN=1 启动 ATIM1。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 11-31 使用 ATIM1 的更新触发 GTIM2



11.5.14.4 使用一个外部触发同步地启动 2 个定时器

在本例中，ATIM1 的 TI1 输入上升时使能 ATIM1，使能 ATIM1 时使能 GTIM2。为确保计数器对齐，ATIM1 必须配置为主/从模式。对于 TI1，ATIM1 是从；对于 GTIM2，TIM1 是主。

配置步骤如下图所示：

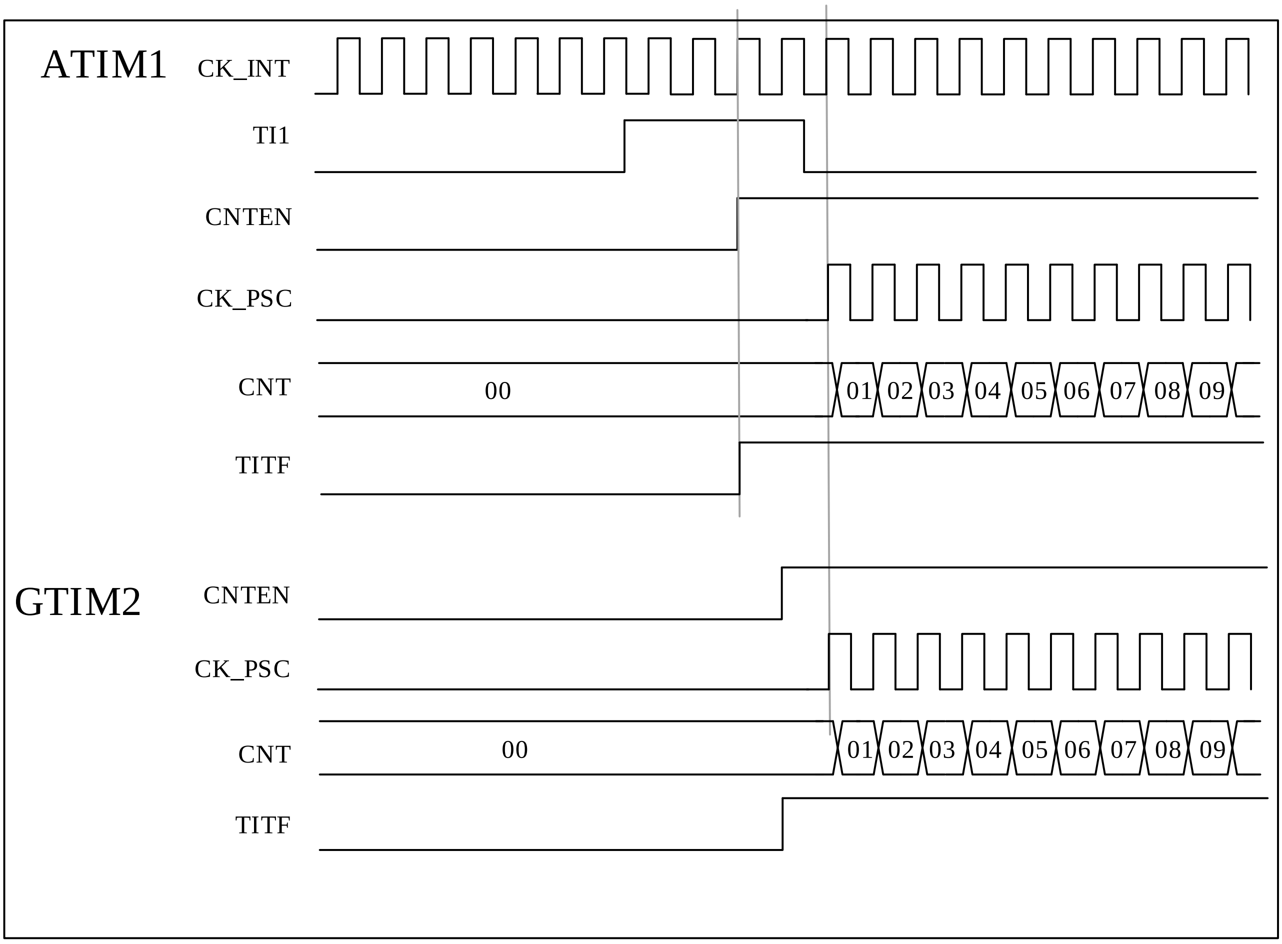
- 设置 ATIM1.MMSEL = ‘0001’ 使用使能信号作为触发输出
- 设置 ATIM1_SMCTRL.TSEL = ‘100’ 将 ATIM1 配置为从模式并接收 TI1 的触发输入。
- 设置 ATIM1_SMCTRL .SMSEL = ‘0110’ 将 ATIM1 配置为触发模式。
- 设置 ATIM1_SMCTRL .MSMD = ‘1’ 将 ATIM1 配置为主/从模式。
- 设置 GTIM2_SMCTRL .TSEL = ‘000’ 、GTIM2__INSEL. ITRS=‘000’，将 ATIM1 的 TRGO 连接到 GTIM2。
- 设置 GTIM2_SMCTRL.SMSEL = ‘0110’ 将 GTIM2 配置为触发模式。

当 TI1 上升沿到来时，两个定时器开始根据内部时钟同步计数，两个 TITF 标志同时置位。

注：下图显示了在主/从模式下 CNTEN 和 ATIM1 的 CK_PSC 之间的延迟。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 11-32 使用 ATIM1 的 TI1 输入触发 ATIM1 和 GTIM2



11.5.15 触发 ADC

定时器可通过多种内部信号产生 ADC 触发事件，例如复位、使能或比较事件，也可生成由内部边沿检测器发出的脉冲触发。在重定向到 ADC 的 TRGO 内部线路上发出触发信号可通过 TIMx_CTRL2 寄存器中的 MMSEL[3:0]位选择。

11.5.16 编码器接口模式

11.5.16.1 正交编码模式

编码器使用两个输入 TI1 和 TI2 作为接口，计数器对 TI1FP1 或 TI2FP2 上的每个边沿变化进行计数。计数方向由硬件 TIMx_CTRL1.DIR 自动控制。正交编码器计数模式共有五种：

- 编码器模式 1：计数器只在 TI1 的边沿计数，TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘0001’；
- 编码器模式 2：计数器只在 TI2 的边沿计数，TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘0010’；
- 编码器模式 3：计数器同时在 TI1 和 TI2 的边沿计数，TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘0011’；
- 编码器模式 4：T2 是高电平时，计数器只在 TI1 的边沿计数，TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘1001’；
- 编码器模式 5：T1 是高电平时，计数器只在 TI2 的边沿计数，TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘1010’；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

编码器接口相当于使用带方向选择的外部时钟，计数器只在 0 和自动重载值(TIMx_AR.AR [15:0])之间连续计数。因此，需要提前配置自动重载寄存器 TIMx_AR。

注意：编码器模式和外部时钟模式 2 不兼容，不能同时选择。

计数方向与编码器信号的关系如下表：

表 11-10 计数方向与编码器信号的关系（CC1P=CC2P=0）

有效边沿	SMSEL[3:0]	相对信号的电平（TI1FP1对应TI2, TI2FP2对应TI1）	TI1FP1信号		TI2FP2信号	
			上升	下降	上升	下降
仅在TI1计数	0001	高	向下计数	向上计数	不计数	不计数
		低	向上计数	向下计数	不计数	不计数
仅在TI2计数	0010	高	不计数	不计数	向上计数	向下计数
		低	不计数	不计数	向下计数	向上计数
在TI1和TI2上计数	0011	高	向下计数	向上计数	向上计数	向下计数
		低	向上计数	向下计数	向下计数	向上计数
仅在TI1计数且T2为高电平	1001	高	向下计数	向上计数	不计数	不计数
		低	不计数	不计数	不计数	不计数
仅在TI2计数且T1为高电平	1010	高	不计数	不计数	向上计数	向下计数
		低	不计数	不计数	不计数	不计数

计数器在各个模式下时计数器值的变化如下：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 **11-33** 编码器仅在 TI1 计数

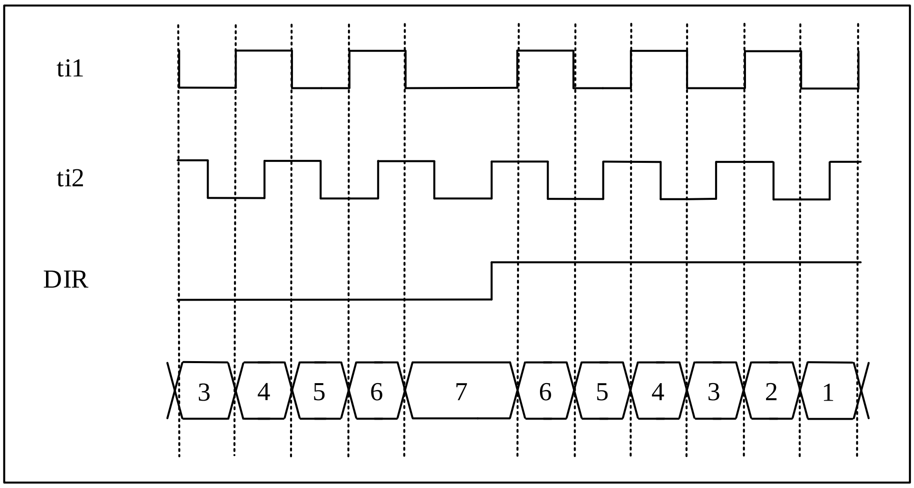


图 **11-34** 编码器仅在 TI2 计数

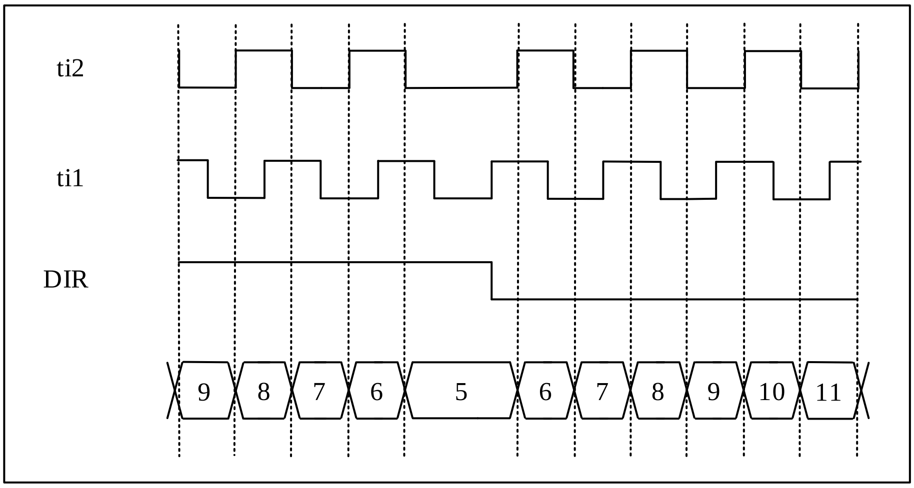
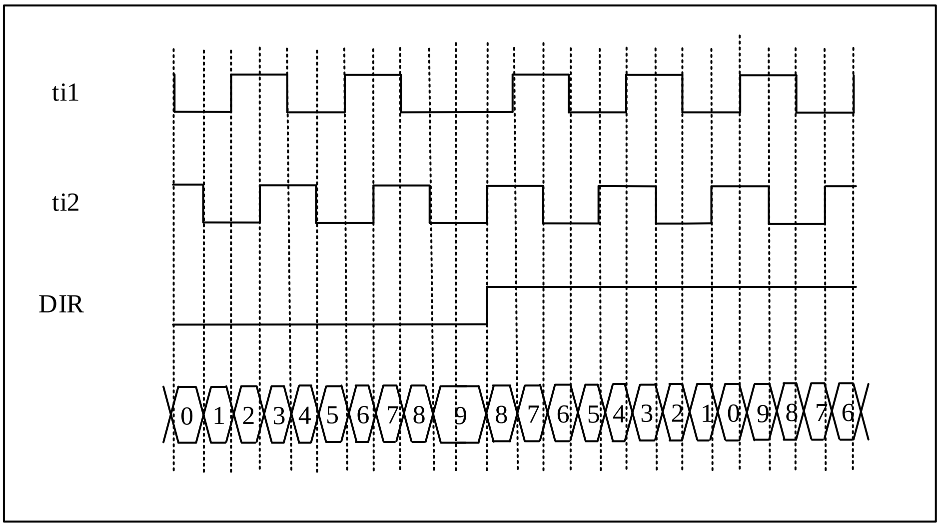


图 **11-35** 编码器在 TI1 和 TI2 上计数



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 11-36 T2 是高电平时，计数器只在 TI1 计数

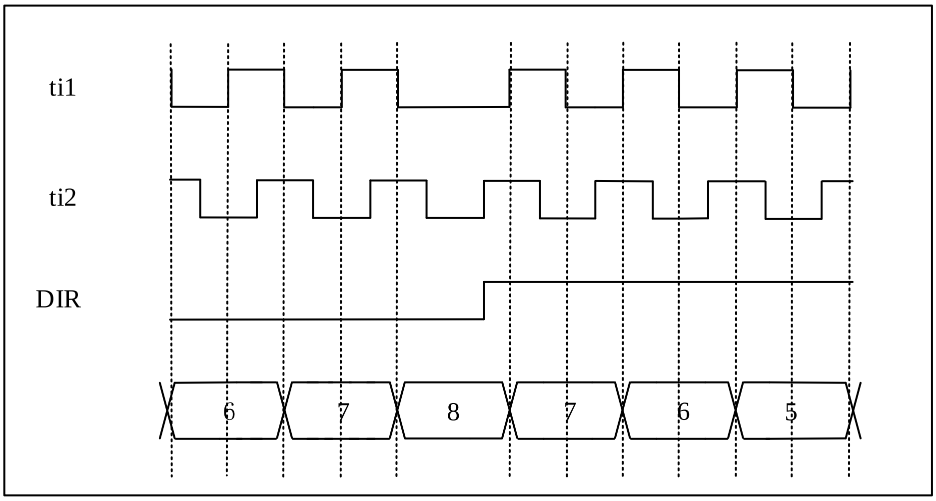
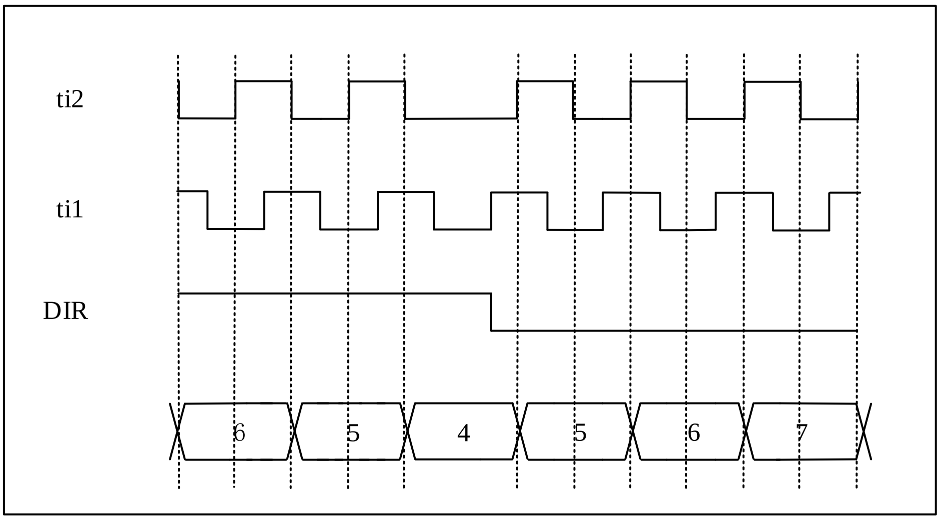


图 11-37 T1 是高电平时，计数器只在 TI2 计数

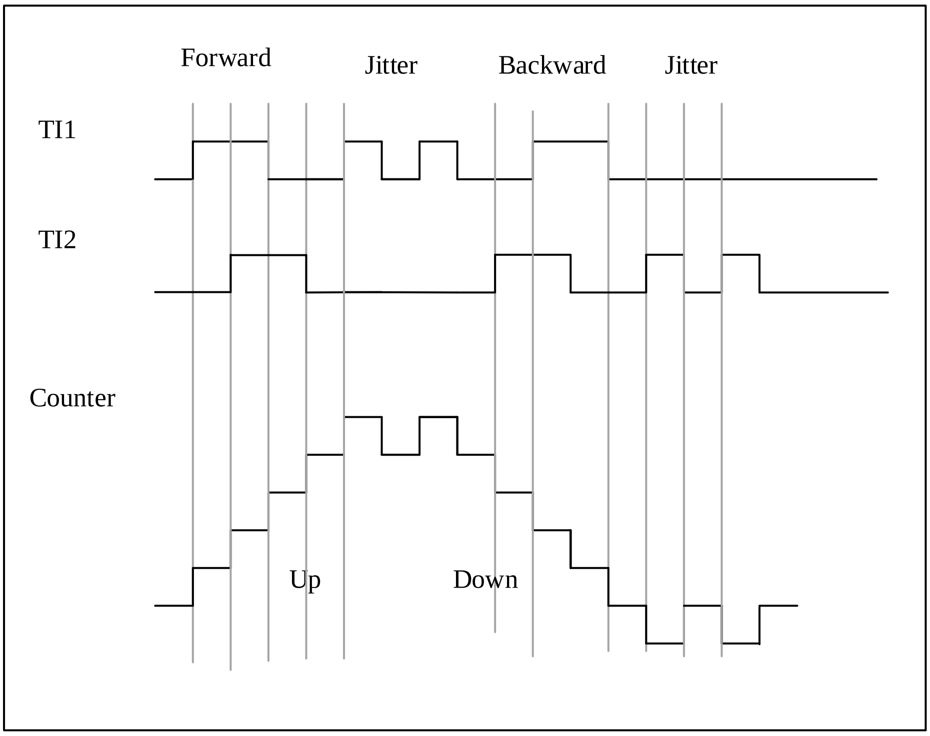


以下是选择了双边沿触发以抑制输入抖动的编码器示例：

9. IC1FP1 映射到 TI1（TIMx_CCMOD1.CC1SEL = ‘01’），IC1FP1 不反相（TIMx_CCEN.CC1P = ‘0’）；
10. IC1FP2 映射到 TI2（TIMx_CCMOD2.CC2SEL = ‘01’），IC2FP2 不反相（TIMx_CCEN.CC2P = ‘0’）；
11. 输入在上升沿和下降沿均有效（TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘0011’）；
12. 启用计数器 TIMx_CTRL1.CNTEN = ‘1’；

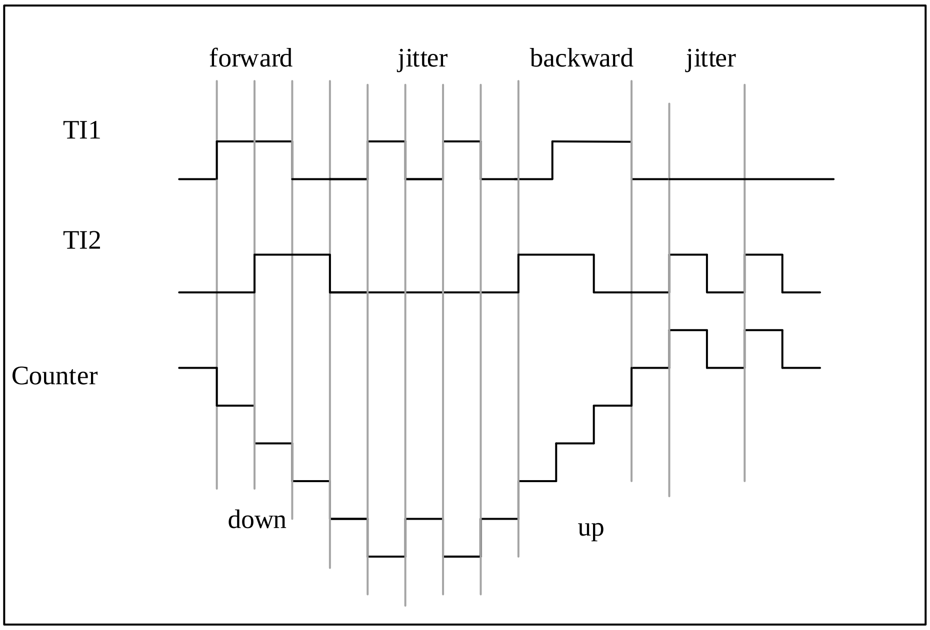
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 11-38 编码器模式下的计数器操作实例



下图为 IC1FP1 极性反转时的计数器行为示例（CC1P = '1'，其他配置同上）

图 11-39 IC1FP1 反相的编码器接口模式实例



11.5.16.2 脉冲电平编码模式

脉冲电平编码模式中，时钟是在 TI2 上单线上提供的，而计数方向是 TI1 输入提供的。

该模式通过 TIMx_SMCTRL 寄存器中的 SMSEL[3:0]启用，具体如下。

1011：脉冲电平编码模式 2，计数器在时钟的上升沿和下降沿都被更新。

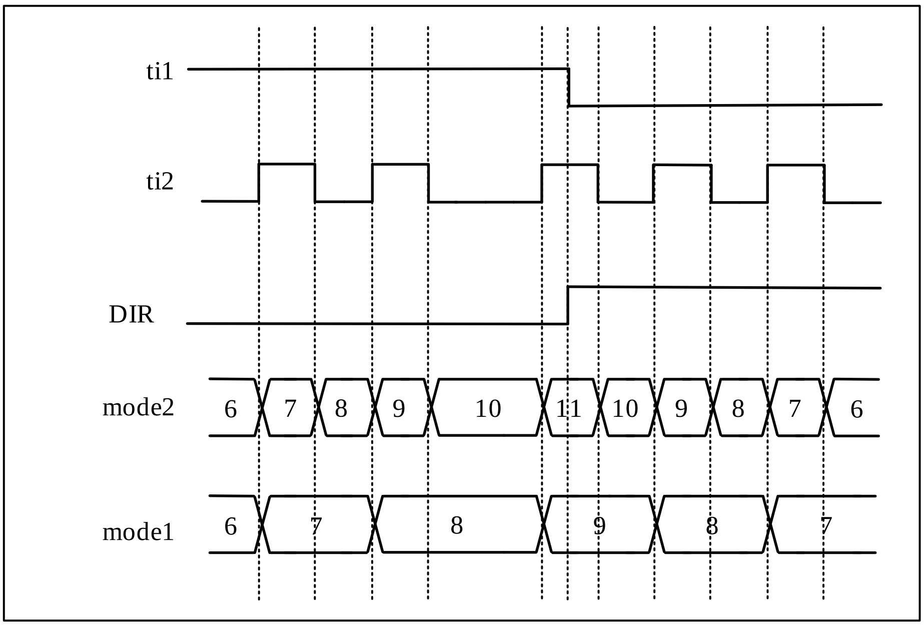
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

1100：脉冲电平编码模式 1，根据 CC2P 值，计数器在单个时钟沿上更新。CC2P = 0 对应于上升沿计数，CC2P = 1 对应于下降沿计数。

TI1 的方向信号的极性是通过 CC1P 位来设置的。CC2P = 0 时当 TI1 为高电平时向上计数，当 TI1 为低电平时向下计数；CC1P = 1 时当 TI1 为低电平时向上计数，TI1 为高电平时向下计数。

下图以 CC1P=CC2P=0 为例：

图 11-40 脉冲电平编码模式（CC1P=CC2P=0）



11.5.16.3 双脉冲编码模式

双脉冲编码模式中，时钟在两条线上被提供，根据不同的方向，一次只能提供一条，这样就有一条向上计数的时钟线和一条向下计数的时钟线。

该模式通过 TIMx_SMCTRL 寄存器中的 SMSEL[3:0]位域启用，具体如下。

- 1000：双脉冲编码模式 2，计数器在两条时钟线中任何一条的上升沿和下降沿都被更新。CC1P 和 CC2P 位是对时钟空闲状态的编码。CCxP=0 对应于高电平空闲状态，CCxP=1 对应于低电平空闲状态。
- 1111：双脉冲编码模式 1，根据 CC1P 和 CC2P 位值，计数器在单个时钟沿上更新。CCxP = 0 对应下降沿和高电平状态，CCxP = 1 对应上升沿和低电平状态。

下表描述了计数方向与编码器信号和极性设置的关系

表 11-11 计数方向与编码器信号和极性设置的关系

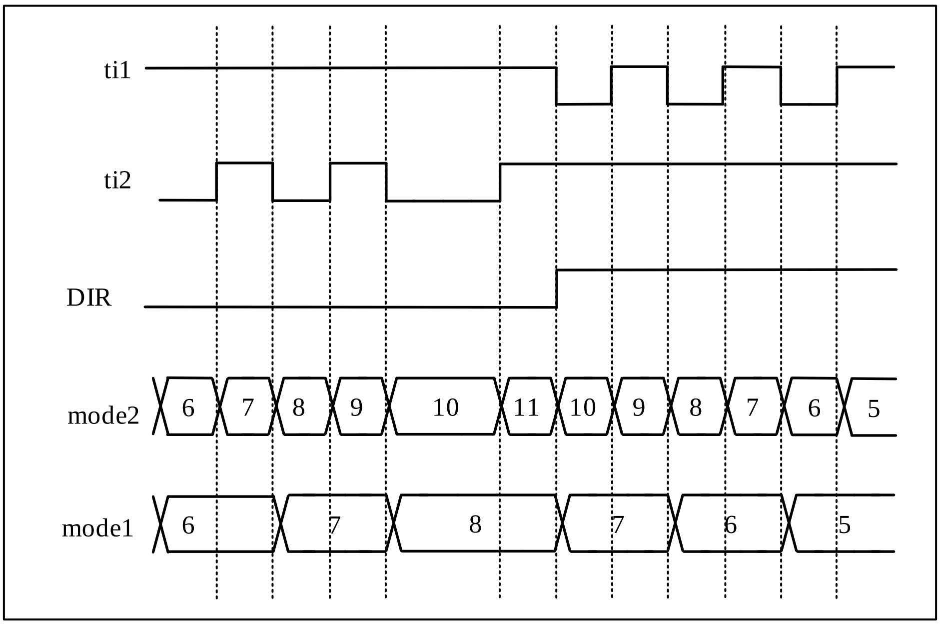
双脉冲编码模式	SMSEL[3:0]	相对信号的电平(**TI1FP1** 对应 **TI2, TI2FP2** 对应 **TI1)**	**TI1FP1** 信号		**TI2FP2** 信号	
			上升	下降	上升	下降

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

模式 2 CCxP=0	1000	高	向下计数	向下计数	向上计数	向上计数
		低	不计数	不计数	不计数	不计数
模式 2 CCxP=1	1000	高	不计数	不计数	不计数	不计数
		低	向下计数	向下计数	向上计数	向上计数
模式 1 CCxP=0	1111	高	不计数	向下计数	不计数	向上计数
		低	不计数	不计数	不计数	不计数
模式 1 CCxP=1	1111	高	不计数	不计数	不计数	不计数
		低	向下计数	不计数	向上计数	不计数

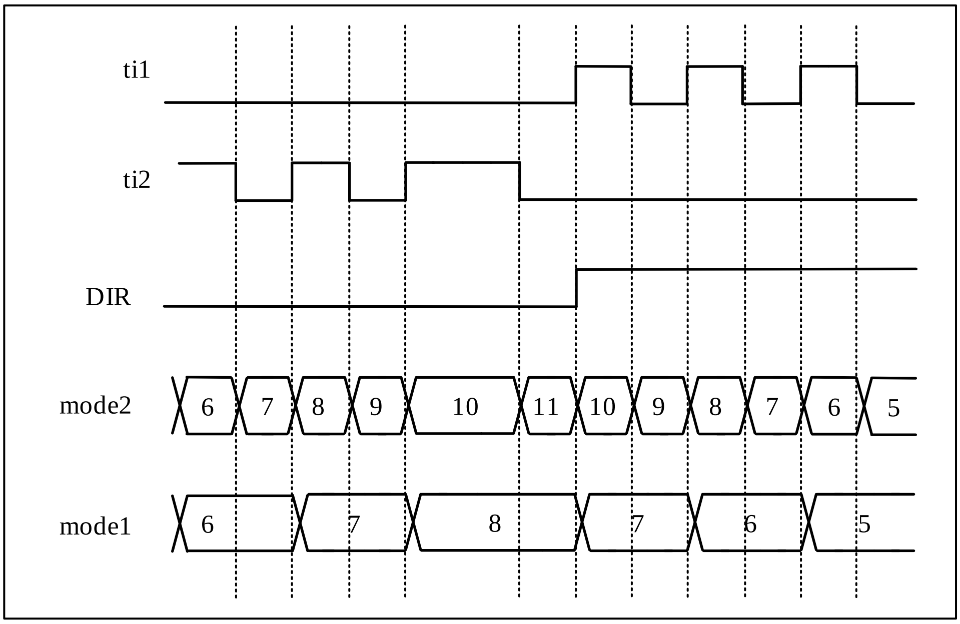
下图显示了双脉冲编码模式计数器计数方式

图 11-41 双脉冲编码模式（CC1P = CC2P = 0)



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com　邮编：518057

图 11-42 双脉冲编码模式（CC1P＝CC2P＝1）



11.5.17 与霍尔传感器的接口

请查阅9.5.22节

11.6 GTIMx（x=2,3,5,6,7）寄存器描述

关于在寄存器描述里面所用到的缩写，详见 **1.1** 节。

可以用半字（16 位）或字（32 位）的方式操作这些外设寄存器。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

11.6.1 控制寄存器 1（TIMx_CTRL1）

偏移地址：0x00
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved												C4SEL	C3SEL	C2SEL	C1SEL
												rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		CLRSEL	Reserved			ARPEN	ONEPM	CLKD[1:0]		UPDIS	UPRS	CAMSEL[1:0]		DIR	CNTEN
		rw				rw	rw	rw		rw	rw	rw		rw	rw

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必须保持复位值
19	C4SEL	通道4选择（Channel 4 selection） 0：选择CH4（具体选择见TIMx_INSEL.TI4S）信号 1：针对GTIM1选择HSE/128输入，选择CH4（来自HSE/128）信号
18	C3SEL	通道3选择（Channel 3 selection） 0：选择CH3（具体选择见TIMx_INSEL.TI3S）信号 1：针对GTIM1选择LSI输入，选择CH3（来自LSI）信号
17	C2SEL	通道2选择（Channel 2 selection） 0：选择CH2（具体选择见TIMx_INSEL.TI2S）信号 1：针对GTIM1选择LSE输入，选择CH1（来自LSE）信号
16	C1SEL	通道1选择（Channel 1 selection） 0：选择CH1（具体选择见TIMx_INSEL.TI1S）信号 1：保留
15:14	Reserved	保留，必须保持复位值
13	CLRSEL	OcxRef清除选择（OcxRef clear selection） 0：选择外部Ocxclr (TIMx_ETR)信号，具体选择见TIMx_INSEL.ETRS 1：选择内部Ocxclr (tim_ocref_clr)信号，具体选择见TIMx_INSEL.CLRS
12:10	Reserved	保留，必须保持复位值
9	ARPEN	自动重装载预装载允许位 （Auto-reload preload enable） 0：TIMx_AR 寄存器的影子寄存器禁用 1：TIMx_AR 寄存器的影子寄存器使能
8	ONEPM	单脉冲模式 （One pulse mode） 0：禁用单脉冲模式，发生更新事件时不影响计数器计数。 1：使能单脉冲模式，下次更新事件发生时计数器停止计数
7:6	CLKD[1:0]	时钟分频因子 （Clock division） CLKD[1:0] 表示 CK_INT（定时器时钟）和 DTS（用于死区时间发生器和数字滤波器

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		（ETR、TIx）的时钟）之间的分频比。 00：$t_{DTS} = t_{CK\_INT}$. 01：$t_{DTS} = 2 \times t_{CK\_INT}$ 10：$t_{DTS} = 4 \times t_{CK\_INT}$ 11：保留，不要使用这个配置
5	UPDIS	更新禁用（Update disable） 该位用于启用/禁用软件生成的更新事件 (UEV) 事件。 0：启用。 如果满足以下条件之一，将生成 UEV： – 计数器上溢/下溢 – TIMx_EVTGEN.UDGN 位被设置 – 从模式控制器的更新生成 影子寄存器将使用预加载值进行更新。 1：UEV 禁用。 不生成更新事件，影子寄存器（AR、PSC 和 CCDATx）保持它们的值。 如果 TIMx_EVTGEN.UDGN 位置位或从模式控制器发出硬件复位，则重新初始化计数器和预分频器。
4	UPRS	更新请求源（Update request source） 该位用于通过软件选择 UEV 事件源。 0：如果更新中断或 DMA 请求使能，以下任何事件都会产生更新中断或 DMA 请求： – 计数器上溢/下溢 – TIMx_EVTGEN.UDGN 位被设置 – 从模式控制器的更新生成 1：如果更新中断或 DMA 请求使能，只有计数器上溢/下溢会产生更新中断或 DMA 请求。
3:2	CAMSEL[1:0]	选择中央对齐模式 （Center-aligned mode selection） 00：边缘对齐模式。 TIMx_CTRL1.DIR 指定向上计数或向下计数。 01：中央对齐模式1。 计数器在中央对齐模式下计数，向下计数时输出比较中断标志位设置为 1。 10：中央对齐模式2。计数器在中央对齐模式下计数，向上计数时输出比较中断标志位设置为1。 11：中央对齐模式3。 计数器在中央对齐模式下计数，向上计数或向下计数时输出比较中断标志位设置为 1。 *注意：当计数器仍然启用时（TIMx_CTRL1.CNTEN = 1），不允许从边缘对齐模式切换到中央对齐模式。*
1	DIR	方向 （Direction） 0：计数器向上计数； 1：计数器向下计数。 *注：当计数器配置为中央对齐模式或编码器模式时，该位为只读。*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
0	CNTEN	使能计数器 （Counter enable） 0：禁止计数器； 1：使能计数器。 *注：在软件设置了CNTEN位后，外部时钟、门控模式和编码器模式才能工作。触发模式可以自动地通过硬件设置CNTEN位。*

11.6.2 控制寄存器 2（TIMx_CTRL2）

偏移地址：0x04
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved												TI1SEL	Reserved	CCDSEL	Reserved
												rw		rw	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MMSEL[3:0]				Reserved											
rw															

位域	名称	描述
31:20	Reserved	保留，必须保持复位值
19	TI1SEL	TI1选择 （TI1 selection） 0：TIMx_CH1引脚连到TI1输入； 1：TIMx_CH1、TIMx_CH2和TIMx_CH3引脚经异或后连到TI1输入。
18	Reserved	保留，必须保持复位值
17	CCDSEL	捕获/比较的DMA选择 （Capture/compare DMA selection） 0：当发生CCx事件时，送出CCx的DMA请求； 1：当发生更新事件时，送出CCx的DMA请求。
16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:12	MMSEL[3:0]	主模式选择 这 4 位用于选择在主模式下发送到从定时器的同步信息（TRGO）。可能的组合如下： x000：复位 - 当 TIMx_EVTGEN.UDGN 置位或从模式控制器产生复位时，将出现 TRGO 脉冲。在后一种情况下，TRGO 上的信号与实际复位相比有所延迟。 x001：使能 - TIMx_CTRL1.CNTEN 位用作触发输出 (TRGO)。有时需要同时启动多个定时器或者在一段时间内开启从定时器。 当 TIMx_CTRL1.CNTEN 位置位或门控模式下的触发输入为高电平时，计数器使能信号置位。 当计数器使能信号由触发输入控制时，TRGO 上有一个延迟，除非选择了主/从模式（参见 TIMx_SMCTRL.MSMD 位的说明）。 x010：更新 - 选择更新事件作为触发输出 (TRGO)。例如，主定时器时钟可用作从定时

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		器预分频器。 x011：比较脉冲 - 当 TIMx_STS.CC1ITF 被设置时（即使它已经是高电平），即捕获或比较成功时，触发输出发送一个正脉冲 (TRGO)。 x100：比较 - OC1REF 信号用作触发输出 (TRGO)。 x101：比较 - OC2REF 信号用作触发输出（TRGO）。 x110：比较 - OC3REF 信号用作触发输出 (TRGO)。 x111：比较 - OC4REF 信号用作触发输出 (TRGO)
11:0	Reserved	保留，必须保持复位值

11.6.3 状态寄存器（TIMx_STS）

偏移地址：0x08
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved													TITF	Reserved	UDITF
													rc_w0		rc_w0

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				CC4OCF	CC3OCF	CC2OCF	CC1OCF	Reserved				CC4ITF	CC3ITF	CC2ITF	CC1ITF
				rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0					rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必须保持复位值
18	TITF	触发器中断标记 （Trigger interrupt flag） 当发生触发事件（当从模式控制器处于除门控模式外的其它模式时，在TRGI输入端检测到有效边沿，或门控模式下的任一边沿）时由硬件对该位置'1'。它由软件清'0'。 0：无触发器事件产生； 1：触发中断等待响应。
17	Reserved	保留，必须保持复位值
16	UDITF	更新中断标志（Update interrupt flag） 当在以下条件下发生更新事件时，该位由硬件设置： – 当 TIMx_CTRL1.UPDIS = 0 时，并且重复计数器值上溢或下溢（当重复计数器等于 0 时生成更新事件UEV）。 – 当 TIMx_CTRL1.UPRS = 0 时，TIMx_CTRL1.UPDIS = 0，并通过软件设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 位以重新初始化 CNT。 – 当 TIMx_CTRL1.UPRS = 0 时，TIMx_CTRL1.UPDIS = 0，并且计数器 CNT 由触发事件重新初始化。 （参见 TIMx_SMCTRL 寄存器说明） 该位由软件清零。 0：未发生更新事件

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：发生更新中断
15:12	Reserved	保留，必须保持复位值
11	CC4OCF	捕获/比较4重复捕获标记 （Capture/Compare 4 overcapture flag） 参见CC1OCF描述。
10	CC3OCF	捕获/比较3重复捕获标记 （Capture/Compare 3 overcapture flag） 参见CC1OCF描述。
9	CC2OCF	捕获/比较2重复捕获标记 （Capture/Compare 2 overcapture flag） 参见CC1OCF描述。
8	CC1OCF	捕获/比较1重复捕获标记 （Capture/Compare 1 overcapture flag） 仅当相应的通道被配置为输入捕获时，该标记可由硬件置1。写0可清除该位。 0：无重复捕获产生； 1：计数器的值被捕获到TIMx_CCDAT1寄存器时，CC1ITF的状态已经为'1'。
7:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3	CC4ITF	捕获/比较4中断标记 （Capture/Compare 4 interrupt flag） 参考CC1ITF描述。
2	CC3ITF	捕获/比较3中断标记 （Capture/Compare 3 interrupt flag） 参考CC1ITF描述。
1	CC2ITF	捕获/比较2中断标记 （Capture/Compare 2 interrupt flag） 参考CC1ITF描述。
0	CC1ITF	捕获/比较1中断标记 （Capture/Compare 1 interrupt flag） **如果通道CC1配置为输出模式：** 除中央对齐模式外，当计数器值与比较值相同时，该位由硬件设置（参见TIMx_CTRL1.CAMSEL 位描述）。 该位由软件清零。 0：未发生匹配。 1：TIMx_CNT 的值与 TIMx_CCDAT1 的值相同。 当 TIMx_CCDAT1 的值大于 TIMx_AR 的值时，如果计数器溢出（在向上计数和向上/向下计数模式下）和向下计数模式下溢，则 TIMx_STS.CC1ITF 位将变为高电平。 **如果通道CC1配置为输入模式：** 当捕捉事件发生时，该位由硬件设置。 该位由软件或读取 TIMx_CCDAT1 清零。 0：未发生输入捕捉。 1：发生输入捕捉。 计数器值已在 TIMx_CCDAT1 中捕获。 在 IC1 上检测到与所选极性相同的边沿。

11.6.4 事件产生寄存器（TIMx_EVTGEN）

偏移地址:0x0C

复位值:0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved					TGN	Reserved	UDGN	Reserved				CC4GN	CC3GN	CC2GN	CC1GN
					w		w					w	w	w	w

位域	名称	描述
31:11	Reserved	保留，必须保持复位值
10	TGN	产生触发事件 （Trigger generation） 当由软件置位时，该位可以产生一个触发事件。 而此时TIMx_STS.TITF = 1，如果相应的中断和DMA被使能，就会产生相应的中断和DMA。 该位由硬件自动清零。 0：无动作 1：产生触发事件
9	Reserved	保留，必须保持复位值
8	UDGN	产生更新事件 （Update generation） 该位由软件置’1’，由硬件自动清’0’。 当由软件设置时，该位可以生成更新事件。 而此时计数器会重新初始化，预分频计数器会被清零，计数器在中央对齐或向上计数模式下会被清零，但在向下计数模式下取TIMx_AR寄存器的值。 该位由硬件自动清零。 0：无动作 1：生成更新事件
7:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3	CC4GN	产生捕获/比较4事件 （Capture/Compare 4 generation） 参考CC1GN描述。
2	CC3GN	产生捕获/比较3事件 （Capture/Compare 3 generation） 参考CC1GN描述。
1	CC2GN	产生捕获/比较2事件 （Capture/Compare 2 generation） 参考CC1GN描述。
0	CC1GN	产生捕获/比较1事件 （Capture/Compare 1 generation） 当由软件设置时，该位可以产生一个捕获/比较事件。 该位由硬件自动清零。 **CC1对应通道为输出模式时：** TIMx_STS.CC1ITF 标志将被拉高，如果相应的中断和 DMA 被使能，就会产生相应的中断和 DMA。 **CC1对应通道为输入模式时：** TIMx_CCDAT1 将捕获当前计数器值，并将 TIMx_STS.CC1ITF 标志拉高，如果相应的中断和 DMA 被使能，则会产生相应的中断和 DMA。 如果 TIMx_STS.CC1ITF 已经拉高，则拉高 TIMx_STS.CC1OCF。 0：无动作 1：生成 CC1 捕获/比较事件

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

11.6.5 从模式控制寄存器（TIMx_SMCTRL）

偏移地址：0x10
复位值：0x0000 0000

31-24	23-20	19	18-17	16
Reserved	OCREFCLRF[3:0]	OCREF CLRP	Reserved	MSMD
	rw	rw		rw

15-12	11	10	9-8	7-4	3	2-0
EXTF[3:0]	EXTP	EXCEN	EXTPS	SMSEL[3:0]	Reserved	TSEL[2:0]
rw	rw	rw	rw	rw		rw

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必须保持复位值
23:20	OCREFCLRF	tim_ocref_clr信号滤波器(tim_ocref_clr signal filter) 这些位用于定义 tim_ocref_clr 信号的采样频率和 tim_ocref_clr 数字滤波的带宽。 实际上，数字滤波器是一个事件计数器，在记录连续 N 个事件后生成验证输出。 0000：无滤波器，以fDTS采样 1000：采样频率fSAMPLING=fDTS/8，N=6 0001：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=2 1001：采样频率fSAMPLING=fDTS/8，N=8 0010：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=4 1010：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=5 0011：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=8 1011：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=6 0100：采样频率fSAMPLING=fDTS/2，N=6 1100：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=8 0101：采样频率fSAMPLING=fDTS/2，N=8 1101：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=5 0110：采样频率fSAMPLING=fDTS/4，N=6 1110：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=6 0111：采样频率fSAMPLING=fDTS/4，N=8 1111：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=8
19	OCREFCLRP	tim_ocref_clr 信号极性 （tim_ocref_clr signal polarity） 该位选择是用tim_ocref_clr 还是tim_ocref_clr 的反相来作为触发操作 0：tim_ocref_clr 高电平或上升沿有效； 1：tim_ocref_clr 低电平或下降沿有效。
18:17	Reserved	保留，必须保持复位值
16	MSMD	主/从模式 （Master/slave mode） 0：无作用； 1：触发输入（TRGI）上的事件被延迟了，以允许在当前定时器（通过TRGO）与它的从定时器间的完美同步。这对要求把几个定时器同步到一个单一的外部事件时是非常有用的。
15:12	EXTF[3:0]	外部触发滤波 （External trigger filter） 这些位用于定义 ETRP 信号的采样频率和 ETRP 数字滤波的带宽。 实际上，数字滤波器是一个事件计数器，在记录连续 N 个事件后生成验证输出。 0000：无滤波器，以fDTS采样 1000：采样频率fSAMPLING=fDTS/8，N=6 0001：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=2 1001：采样频率fSAMPLING=fDTS/8，N=8 0010：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=4 1010：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=5

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		0011：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=8　1011：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=6 0100：采样频率fSAMPLING=fDTS/2，N=6　1100：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=8 0101：采样频率fSAMPLING=fDTS/2，N=8　1101：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=5 0110：采样频率fSAMPLING=fDTS/4，N=6　1110：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=6 0111：采样频率fSAMPLING=fDTS/4，N=8　1111：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=8
11	EXTP	外部触发极性 （External trigger polarity） 该位选择是用tim_etr_in还是tim_etr_in的反相来作为触发操作 0：tim_etr_in高电平或上升沿有效； 1：tim_etr_in低电平或下降沿有效。
10	EXCEN	外部时钟使能位 （External clock enable） 该位启用外部时钟模式2 。启用后，计数器由ETRF信号上的任意有效边沿驱动。 0：禁止外部时钟模式2； 1：使能外部时钟模式2。 注意1：当同时使能外部时钟模式 1 和外部时钟模式 2 时，外部时钟的输入为 ETRF。 注意2：以下从机模式可以与外部时钟模式2同时使用：复位模式、门控模式和触发模式； 但是，TRGI 无法连接到 ETRF (TIMx_SMCTRL.TSEL ≠ '111')。 注意3：设置 TIMx_SMCTRL.EXCEN 位与选择外部时钟模式 1 并将 TRGI 连接到 ETRF （TIMx_SMCTRL.SMSEL = 111 和 TIMx_SMCTRL.TSEL = 111）的效果相同
9:8	EXTPS[1:0]	外部触发预分频 （External trigger prescaler） 外部触发信号 ETRP 的频率必须最多为 TIMxCLK 频率的 1/4。 当输入更快的外部时钟时，可以使用预分频器来降低 ETRP 的频率。 00：关闭预分频； 01：ETRP频率除以2； 10：ETRP频率除以4； 11：ETRP频率除以8。
7:4	SMSEL[3:0]	从模式选择 （Slave mode selection） 当选择了外部信号，触发信号（TRGI）的有效边沿与选中的外部输入极性相关（见输入控制寄存器和控制寄存器的说明） 0000：关闭从模式 – 如果CNTEN=1，则预分频器直接由内部时钟驱动。 0001：编码器模式1 – 根据TI2FP2的电平，计数器在TI1FP1的边沿向上/下计数。 0010：编码器模式2 – 根据TI1FP1的电平，计数器在TI2FP2的边沿向上/下计数。 0011：编码器模式3 – 根据另一个信号的输入电平，计数器在TI1FP1和TI2FP2的边沿向上/下计数。 0100：复位模式 – 在选定触发输入 (TRGI) 的上升沿，计数器重新初始化并更新影子寄存器。 0101：门控模式 – 当触发输入（TRGI）为高时，计数器的时钟开启。一旦触发输入变为低，则计数器停止（但不复位）。计数器的启动和停止都是受控的。 0110：触发模式 – 计数器在触发输入TRGI的上升沿启动（但不复位），只有计数器的启动是受控的。 0111：外部时钟模式1 – 选中的触发输入（TRGI）的上升沿驱动计数器。 1000：双脉冲编码模式2。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		1001：正交编码器模式4 – 根据TI2FP2的电平，计数器在TI1FP1的边沿向上/下计数。通过CC1P选择计数边沿。 1010：正交编码器模式5 – 根据TI1FP1的电平，计数器在TI2FP2的边沿向上/下计数。通过CC2P选择计数边沿。 1011：脉冲电平编码模式2。 1100：脉冲电平编码模式1。通过CC2P设置TI2FP2的计数边沿。 1101：组合门控+复位模式 – 当触发输入（TRGI）为高时，计数器的时钟开启。一旦触发输入变为低，则计数器停止（且复位）。计数器的启动和停止都是受控的。 1110：组合复位+触发模式 – 计数器在触发输入TRGI的上升沿启动（且复位），只有计数器的启动是受控的。 1111：双脉冲编码模式1。通过CC1P和CC2P设置TI1FP1和TI2FP2的计数敏感边沿。 注意：如果TI1F_ED被选为触发输入（TSEL=100）时，不要使用门控模式。这是因为，TI1F_ED在每次TI1F变化时输出一个脉冲，然而门控模式是要检查触发输入的电平。
3	Reserved	保留，必须保持复位值
2:0	TSEL[2:0]	触发选择 （Trigger selection） 这3位选择用于同步计数器的触发输入。 0xx：内部触发（ITRx），根据TIMx_INSEL. ITRS选择ITR信号源 100：TI1的边沿检测器（TI1F_ED） 101：滤波后的定时器输入1（TI1FP1） 110：滤波后的定时器输入2（TI2FP2） 111：外部触发输入（ETRF） 注意：这些位只能在未用到（如SMSEL=000）时被改变，以避免在改变时产生错误的边沿检测。

11.6.6 DMA/中断使能寄存器（TIMx_DINTEN）

偏移地址：0x14

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved										TDEN	Reserved	UDEN	Reserved	TIEN	UIEN
										rw		rw		rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				CC4DEN	CC3DEN	CC2DEN	CC1DEN	Reserved				CC4IEN	CC3IEN	CC2IEN	CC1IEN
				rw	rw	rw	rw					rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:22	Reserved	保留，必须保持复位值

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
21	TDEN	允许触发DMA请求 （Trigger DMA request enable） 0：禁止触发DMA请求； 1：允许触发DMA请求。
20	Reserved	保留，必须保持复位值
19	UDEN	允许更新的DMA请求 （Update DMA request enable） 0：禁止更新的DMA请求； 1：允许更新的DMA请求。
18	Reserved	保留，必须保持复位值
17	TIEN	触发中断使能 （Trigger interrupt enable） 0：禁止触发中断； 1：使能触发中断。
16	UIEN	允许更新中断 （Update interrupt enable） 0：禁止更新中断； 1：允许更新中断。
15:12	Reserved	保留，必须保持复位值
11	CC4DEN	允许捕获/比较4的DMA请求 （Capture/Compare 4 DMA request enable） 0：禁止捕获/比较4的DMA请求； 1：允许捕获/比较4的DMA请求。
10	CC3DEN	允许捕获/比较3的DMA请求 （Capture/Compare 3 DMA request enable） 0：禁止捕获/比较3的DMA请求； 1：允许捕获/比较3的DMA请求。
9	CC2DEN	允许捕获/比较2的DMA请求 （Capture/Compare 2 DMA request enable） 0：禁止捕获/比较2的DMA请求； 1：允许捕获/比较2的DMA请求。
8	CC1DEN	允许捕获/比较1的DMA请求 （Capture/Compare 1 DMA request enable） 0：禁止捕获/比较1的DMA请求； 1：允许捕获/比较1的DMA请求。
7:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3	CC4IEN	允许捕获/比较4中断 （Capture/Compare 4 interrupt enable） 0：禁止捕获/比较4中断； 1：允许捕获/比较4中断。
2	CC3IEN	允许捕获/比较3中断 （Capture/Compare 3 interrupt enable） 0：禁止捕获/比较3中断； 1：允许捕获/比较3中断。
1	CC2IEN	允许捕获/比较2中断 （Capture/Compare 2 interrupt enable） 0：禁止捕获/比较2中断； 1：允许捕获/比较2中断。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
0	CC1IEN	允许捕获/比较1中断 （Capture/Compare 1 interrupt enable） 0：禁止捕获/比较1中断； 1：允许捕获/比较1中断。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

11.6.7 捕获/比较模式寄存器 1（TIMx_CCMOD1）

偏移地址：0x18

复位值：0x0000 0000

通道可用于输入（捕获模式）或输出（比较模式），通道的方向由相应的 CCxSEL 位定义。该寄存器其它位的作用在输入和输出模式下不同。OCx 描述了通道在输出模式下的功能，ICx 描述了通道在输入模式下的功能。因此必须注意，同一个位在输出模式和输入模式下的功能是不同的。

输出比较模式:

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
OC2MD[2:0]			OC2CEN	OC2FEN	OC2PEN	CC2SEL[1:0]		OC1MD[2:0]			OC1CEN	OC1FEN	OC1PEN	CC1SEL[1:0]	
rw			rw	rw	rw	rw		rw			rw	rw	rw	rw	

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:13	OC2MD[2:0]	输出比较2模式 （Output Compare 2 mode）
12	OC2CEN	输出比较2清0使能 （Output Compare 2 clear enable）
11	OC2FEN	输出比较2快速使能 （Output Compare 2 fast enable）
10	OC2PEN	输出比较2预装载使能 （Output Compare 2 preload enable）
9:8	CC2SEL[1:0]	捕获/比较2选择。（Capture/Compare 2 selection） 该位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC2通道被配置为输出； 01：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TI2上； 10：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TI1上； 11：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 *注：CC2SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC2EN=0）才是可写的。*
7:5	OC1MD[2:0]	输出比较1模式 （Output Compare 1 mode） 这些位用于管理输出参考信号 OC1REF，它决定了 OC1 和 OC1N 的值，在高电平有效，而 OC1 和 OC1N 的有效电平取决于 TIMx_CCEN.CC1P 和 TIMx_CCEN.CC1NP 位。 000：冻结。 TIMx_CCDAT1 寄存器和计数器 TIMx_CNT 之间的比较对 OC1REF 信号没有影响。 001：将通道 1 设置为匹配时的有效电平。当 TIMx_CCDAT1 = TIMx_CNT 时，OC1REF 信号将被强制为高电平。 010：将通道 1 设置为匹配时的无效电平。当 TIMx_CCDAT1 = TIMx_CNT 时，OC1REF 信号将被强制为低电平。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		011：翻转。当 TIMx_CCDAT1 = TIMx_CNT 时，OC1REF 信号将被翻转。 100：强制无效电平。 OC1REF 信号被强制为低电平。 101：强制有效电平。 OC1REF 信号被强制为高电平。 110：PWM 模式 1 - 在向上计数模式下，如果 TIMx_CNT < TIMx_CCDAT1，则通道 1 的 OC1REF 信号为高电平，否则为低电平。在向下计数模式下，如果 TIMx_CNT > TIMx_CCDAT1，则通道 1 的 OC1REF 信号为低电平，否则为高电平。 111：PWM 模式 2 - 在向上计数模式下，如果 TIMx_CNT < TIMx_CCDAT1，则通道 1 的 OC1REF 信号为低电平，否则为高电平。在向下计数模式下，如果 TIMx_CNT > TIMx_CCDAT1，则通道 1 的 OC1REF 信号为高电平，否则为低电平。 *注 1：在 PWM 模式 1 或 PWM 模式 2 中，OC1REF 电平仅在比较结果改变或输出比较模式从冻结模式切换到 PWM 模式时才会改变。*
4	OC1CEN	输出比较1清’0’使能 （Output Compare 1 clear enable） 0：OC1REF 不受tim_ocref_clr_in输入的影响； 1：一旦检测到tim_ocref_clr_in输入高电平（tim_ocref_clr_in由TIMx_CTRL1.CLRSEL控制来源），OC1REF=0。
3	OC1FEN	输出比较1 快速使能 （Output Compare 1 fast enable） 该位用于加快CC输出对触发输入事件的响应。 0：根据计数器与CCDAT1的值，CC1正常操作，即使触发器是打开的。当触发器的输入有一个有效沿时，激活CC1输出的最小延时为5个时钟周期。 1：输入到触发器的有效沿的作用就像发生了一次比较匹配。因此，OC1被设置为比较电平而与比较结果无关。采样触发器的有效沿和CC1输出间的延时被缩短为3个时钟周期。 OCxFEN只在通道被配置成PWM1或PWM2模式时起作用。
2	OC1PEN	输出比较 1 预加载使能（Output Compare 1 preload enable） 0：禁用 TIMx_CCDAT1 寄存器的预加载功能。 支持随时对TIMx_CCDAT1寄存器进行写操作，写入的值立即生效。 1：使能 TIMx_CCDAT1 寄存器的预加载功能。 仅对预加载寄存器进行读写操作。当更新事件发生时，TIMx_CCDAT1 的值被加载到影子寄存器中。 *注 1：只有当 TIMx_CTRL1.ONEPM = 1（在单脉冲模式下）时，才能使用 PWM 模式而不验证预加载寄存器，否则无法预测其他行为。*
1:0	CC1SEL[1:0]	捕获/比较1 选择。（Capture/Compare 1 selection） 这2位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC1通道被配置为输出； 01：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TI1上； 10：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TI2上； 11：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 *注：CC1SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC1EN=0）才是可写的。*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

输入捕获模式：

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
IC2F[3:0]				IC2PSC[1:0]		CC2SEL[1:0]		IC1F[3:0]				IC1PSC[1:0]		CC1SEL[1:0]	
rw				rw		rw		rw				rw		rw	

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:12	IC2F[3:0]	输入捕获2滤波器 （Input capture 2 filter）
11:10	IC2PSC[1:0]	输入/捕获2预分频器 （Input capture 2 prescaler）
9:8	CC2SEL[1:0]	捕获/比较2选择 （Capture/Compare 2 selection） 这2位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC2通道被配置为输出； 01：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TI2上； 10：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TI1上； 11：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 *注：CC2SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC2EN=0）才是可写的。*
7:4	IC1F[3:0]	输入捕获1滤波器 （Input capture 1 filter） 这几位定义了TI1输入的采样频率及数字滤波器长度。数字滤波器由一个事件计数器组成，它记录到N个事件后会产生一个输出的跳变： 0000：无滤波器，以f_{DTS}采样　1000：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/8$，N=6 0001：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{CK_INT}$，N=2　1001：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/8$，N=8 0010：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{CK_INT}$，N=4　1010：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/16$，N=5 0011：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{CK_INT}$，N=8　1011：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/16$，N=6 0100：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/2$，N=6　1100：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/16$，N=8 0101：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/2$，N=8　1101：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/32$，N=5 0110：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/4$，N=6　1110：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/32$，N=6 0111：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/4$，N=8　1111：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/32$，N=8
3:2	IC1PSC[1:0]	输入/捕获1预分频器 （Input capture 1 prescaler） 这2位定义了CC1输入（IC1）的预分频系数。 一旦TIMx_CCEN.CC1EN=0，则预分频器复位。 00：无预分频器，捕获输入口上检测到的每一个边沿都触发一次捕获； 01：每2个事件触发一次捕获； 10：每4个事件触发一次捕获； 11：每8个事件触发一次捕获。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

1:0	CC1SEL[1:0]	捕获/比较1选择 （Capture/Compare 1 Selection） 这2位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC1通道被配置为输出； 01：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TI1上； 10：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TI2上； 11：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 *注：CC1SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC1EN=0）才是可写的。*

11.6.8 捕获/比较模式寄存器 2（TIMx_CCMOD2）

偏移地址：0x1C
复位值：0x0000 0000
参看以上 CCMOD1 寄存器的描述

输出比较模式：

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
OC4MD[2:0]			OC4CEN	OC4FEN	OC4PEN	CC4SEL[1:0]		OC3MD[2:0]			OC3CEN	OC3FEN	OC3PEN	CC3SEL[1:0]	
rw			rw	rw	rw	rw		rw			rw	rw	rw	rw	

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:13	OC4MD[2:0]	输出比较4模式 （Output compare 4 mode）
12	OC4CEN	输出比较4清0使能 （Output compare 4 clear enable）
11	OC4FEN	输出比较4快速使能 （Output compare 4 fast enable）
10	OC4PEN	输出比较4预装载使能 （Output compare 4 preload enable）
9:8	CC4SEL[1:0]	捕获/比较4选择 （Capture/Compare 4 selection） 该2位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC4通道被配置为输出； 01：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TI4上； 10：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TI3上； 11：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 *注：CC4SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC4EN=0）才是可写的。*
7:5	OC3MD[2:0]	输出比较3模式 （Output compare 3 mode）
4	OC3CEN	输出比较3清0使能 （Output compare 3 clear enable）
3	OC3FEN	输出比较3快速使能 （Output compare 3 fast enable）
2	OC3PEN	输出比较3预装载使能 （Output compare 3 preload enable）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
1:0	CC3SEL[1:0]	捕获/比较3选择 （Capture/Compare 3 selection） 这2位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC3通道被配置为输出； 01：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TI3上； 10：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TI4上； 11：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 *注：CC3SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC3EN=0）才是可写的。*

输入捕获模式：

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
IC4F[3:0]				IC4PSC[1:0]		CC4SEL[1:0]		IC3F[3:0]				IC3PSC[1:0]		CC3SEL[1:0]	
rw				rw		rw		rw				rw		rw	

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:12	IC4F[3:0]	输入捕获4滤波器 (Input capture 4 filter)
11:10	IC4PSC[1:0]	输入/捕获4预分频器 (Input capture 4 prescaler)
9:8	CC4SEL[1:0]	捕获/比较4选择 (Capture/Compare 4 selection) 这2位定义通道的方向(输入/输出)，及输入脚的选择： 00：CC4通道被配置为输出； 01：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TI4上； 10：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TI3上； 11：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时(由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择)。 *注：CC4SEL仅在通道关闭时(TIMx_CCEN寄存器的CC4EN=0)才是可写的。*
7:4	IC3F[3:0]	输入捕获3滤波器 (Input capture 3 filter)
3:2	IC3PSC[1:0]	输入/捕获3预分频器 (Input capture 3 prescaler)
1:0	CC3SEL[1:0]	捕获/比较3选择 (Capture/compare 3 selection) 这2位定义通道的方向(输入/输出)，及输入脚的选择： 00：CC3通道被配置为输出； 01：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TI3上； 10：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TI4上； 11：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时(由

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
		TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择)。 *注：CC3SEL仅在通道关闭时(TIMx_CCEN寄存器的CC3EN=0)才是可写的。*

11.6.9 捕获/比较使能寄存器（TIMx_CCEN）

偏移地址：0x24

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CC4P	CC4EN	Reserved		CC3P	CC3EN	Reserved		CC2P	CC2EN	Reserved		CC1P	CC1EN	Reserved	
rw	rw			rw	rw			rw	rw			rw	rw		

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15	CC4P	捕获/比较4输出极性 （Capture/Compare 4 output polarity） 参考TIMx_CCEN.CC1P的描述。
14	CC4EN	捕获/比较4输出使能 （Capture/Compare 4 output enable） 参考TIMx_CCEN.CC1EN 的描述。
13:12	Reserved	保留，必须保持复位值
11	CC3P	捕获/比较3输出极性 （Capture/Compare 3 output polarity） 参考TIMx_CCEN.CC1P的描述。
10	CC3EN	捕获/比较3输出使能 （Capture/Compare 3 output enable） 参考TIMx_CCEN.CC1E 的描述。
9:8	Reserved	保留，必须保持复位值
7	CC2P	捕获/比较2输出极性 （Capture/Compare 2 output polarity） 参考TIMx_CCEN.CC1P的描述。
6	CC2EN	捕获/比较2输出使能 （Capture/Compare 2 output enable） 参考TIMx_CCEN.CC1EN的描述。
5:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3	CC1P	捕获/比较1输出极性 （Capture/Compare 1 output polarity） **CC1对应通道为输出模式时：** 0：OC1 高电平有效 1：OC1 低电平有效

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		CC1对应通道为输入模式时： 此时，该位用于选择是使用IC1还是IC1的反相信号作为触发信号或捕捉信号。 0：非反相：当 IC1 产生上升沿时发生捕获动作。 当用作外部触发时，IC1 是非反相的。 1：反相：当 IC1 产生下降沿时发生捕获动作。 当用作外部触发时，IC1 被反相。
2	CC1EN	捕获/比较1输出使能 （Capture/Compare 1 output enable） **CC1通道配置为输出：** 0： 关闭－ OC1禁止输出，因此OC1的输出电平依赖于MOEN、OSSI、OSSR、OI1、OI1N和CC1NEN位的值。 1： 开启－ OC1信号输出到对应的输出引脚，其输出电平依赖于MOEN、OSSI、OSSR、OI1、OI1N和CC1NEN位的值。 **CC1通道配置为输入：** 该位决定了计数器的值是否能捕获入TIMx_CCDAT1寄存器。 0：捕获禁止； 1：捕获使能。
1:0	Reserved	保留，必须保持复位值

表 11-12 标准 OCx 的输出控制位

CCxEN	OCx output status
0	Disable output (OCx=0)
1	OCx = OCxREF + polarity

注：连接到标准 OCx 通道的外部 I/O 引脚的状态取决于 OCx 通道状态以及 GPIO 和 AFIO 寄存器。

11.6.10 捕获/比较寄存器 1（TIMx_CCDAT1）

偏移地址：0x28
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CCDAT1[15:0]															
rw															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	CCDAT1[15:0]	捕获/比较通道1的值（Capture/Compare 1 value） ■ CC1 通道配置为输出： CCDAT1 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC1 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD1.OC1PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。 ■ CC1 通道配置为输入： CCDAT1 包含由最后一个输入捕获 1 事件 (IC1) 传输的计数器值。 当配置为输入模式时，寄存器 CCDAT1只能读取。 当配置为输出模式时，寄存器 CCDAT1是可读写的。

11.6.11 捕获/比较寄存器 2（TIMx_CCDAT2）

偏移地址：0x2C
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CCDAT2[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	CCDAT2[15:0]	捕获/比较通道2的值（Capture/Compare 2 value） ■ CC2 通道配置为输出： CCDAT2 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC2 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD1.OC2PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。 ■ CC2 通道配置为输入： CCDAT2 包含由最后一个输入捕获 2 事件 (IC2) 传输的计数器值。 当配置为输入模式时，寄存器 CCDAT2只能读取。 当配置为输出模式时，寄存器 CCDAT2是可读写的。

11.6.12 捕获/比较寄存器 3（TIMx_CCDAT3）

偏移地址：0x30
复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CCDAT3[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	CCDAT3[15:0]	捕获/比较通道3的值（Capture/Compare 3 value） ■ CC3 通道配置为输出： CCDAT3 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC3 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD2.OC3PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。 ■ CC3 通道配置为输入： CCDAT3 包含由最后一个输入捕获 3 事件 (IC3) 传输的计数器值。 当配置为输入模式时，寄存器 CCDAT3只能读取。 当配置为输出模式时，寄存器 CCDAT3是可读写的。

11.6.13 捕获/比较寄存器 4（TIMx_CCDAT4）

偏移地址：0x34
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CCDAT4[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	CCDAT4[15:0]	捕获/比较通道4的值（Capture/Compare 4 value） ■ CC4 通道配置为输出： CCDAT4 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC4 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD2.OC4PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。 ■ CC4 通道配置为输入：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		CCDAT4 包含由最后一个输入捕获 4 事件 (IC4) 传输的计数器值。 当配置为输入模式时，寄存器 CCDAT4 只能读取。 当配置为输出模式时，寄存器 CCDAT4是可读写的。

11.6.14 预分频器（TIMx_PSC）

偏移地址：0x40
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PSC[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	PSC[15:0]	预分频器的值 （Prescaler value） 计数器时钟 $f_{CK\_CNT} = f_{CK\_PSC} / (PSC[15:0]+1)$。 每次发生更新事件时，PSC 值都会加载到预分频器的影子寄存器中。

11.6.15 自动重装载寄存器（TIMx_AR）

偏移地址:0x44
复位值: 0x0000 FFFF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
AR[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	AR[15:0]	自动重装载的值 （Auto-reload value） AR包含了将要装载入实际的自动重装载寄存器的值。详细参考9.5.1节：有关AR的更新和动作。 当自动重装载的值为空时，计数器不工作。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

11.6.16 计数器（TIMx_CNT）

偏移地址：0x48
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CNT[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	CNT[15:0]	计数器的值 （Counter value）

11.6.17 通道 1 滤波寄存器（TIMx_C1FILT）

偏移地址：0x64
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		THRESH[5:0]						Reserved	WSIZE[5:0]						FILTEN
		rw							rw						rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值
29:24	THRESH[5:0]	采样逻辑电平有效的阈值数(Threshold)，最大 63： 有效逻辑电平的阈值。 在采样窗口内，如果逻辑高的数量大于或等于阈值，则下一个逻辑电平将为逻辑高。 同样的规则适用于逻辑低。 如果窗口内 1 和 0 的数量都小于阈值，则过滤器输出保持不变。 阈值应设置为大于或等于 Window 值的一半。 推荐阈值范围为： **最小值：**比最大毛刺大小的上限（预分频时钟周期）多 1 个预分频时钟周期，并且需要大于窗口大小的一半。 例如，如果毛刺大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为 $\lceil 3.2 \rceil = 4 + 1 = 5$ **最大值：**有效信号最小尺寸的底值（在预分频时钟周期内），需要小于窗口尺寸。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		例如，如果最小信号大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为下限 (3.2) = 3。
23	Reserved	保留，必须保持复位值
22:17	WSIZE[5:0]	逻辑电平检查的窗口大小值（Window size），最大 63： 窗口大小决定了在获得下一个逻辑级别时将考虑多少采样值。 内置 FIFO 为 64 位，最大索引为 63，只能将窗口大小设置为 63。
16	FILTEN	滤波器使能（Filter enable）： 0: 滤波器禁能 1: 滤波器使能
15:0	Reserved	保留，必须保持复位值

11.6.18 通道 2 滤波寄存器（TIMx_C2FILT）

偏移地址：0x68

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		THRESH[5:0]						Reserved	WSIZE[5:0]						FILTEN
		rw							rw						rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值
29:24	THRESH[5:0]	采样逻辑电平有效的阈值数(Threshold)，最大 63： 有效逻辑电平的阈值。 在采样窗口内，如果逻辑高的数量大于或等于阈值，则下一个逻辑电平将为逻辑高。 同样的规则适用于逻辑低。 如果窗口内 1 和 0 的数量都小于阈值，则过滤器输出保持不变。 阈值应设置为大于或等于 Window 值的一半。 推荐阈值范围为: **最小值：**比最大毛刺大小的上限（预分频时钟周期）多 1 个预分频时钟周期，并且需要大于窗口大小的一半。 例如，如果毛刺大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为 ┌3.2┐= 4 + 1 =5 **最大值：**有效信号最小尺寸的底值（在预分频时钟周期内），需要小于窗口尺寸。 例如，如果最小信号大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为下限 (3.2) = 3。
23	Reserved	保留，必须保持复位值
22:17	WSIZE[5:0]	逻辑电平检查的窗口大小值（Window size），最大 63： 窗口大小决定了在获得下一个逻辑级别时将考虑多少采样值。 内置 FIFO 为 64 位，最大索引为 63，只能将窗口大小设置为 63。
16	FILTEN	滤波器使能（Filter enable）： 0: 滤波器禁能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		1：滤波器使能
15:0	Reserved	保留，必须保持复位值

11.6.19 通道 3 滤波寄存器（TIMx_C3FILT）

偏移地址：0x6C
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		THRESH[5:0]						Reserved	WSIZE[5:0]						FILTEN
		rw							rw						rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值
29:24	THRESH[5:0]	采样逻辑电平有效的阈值数(Threshold)，最大 63： 有效逻辑电平的阈值。 在采样窗口内，如果逻辑高的数量大于或等于阈值，则下一个逻辑电平将为逻辑高。 同样的规则适用于逻辑低。 如果窗口内 1 和 0 的数量都小于阈值，则过滤器输出保持不变。 阈值应设置为大于或等于 Window 值的一半。 推荐阈值范围为： **最小值：**比最大毛刺大小的上限（预分频时钟周期）多 1 个预分频时钟周期，并且需要大于窗口大小的一半。 例如，如果毛刺大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为 $\lceil 3.2 \rceil = 4 + 1 = 5$ **最大值：**有效信号最小尺寸的底值（在预分频时钟周期内），需要小于窗口尺寸。 例如，如果最小信号大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为下限 (3.2) = 3。
23	Reserved	保留，必须保持复位值
22:17	WSIZE[5:0]	逻辑电平检查的窗口大小值（Window size），最大 63： 窗口大小决定了在获得下一个逻辑级别时将考虑多少采样值。 内置 FIFO 为 64 位，最大索引为 63，只能将窗口大小设置为 63。
16	FILTEN	滤波器使能（Filter enable）： 0：滤波器禁能 1：滤波器使能
15:0	Reserved	保留，必须保持复位值

11.6.20 通道 4 滤波寄存器（TIMx_C4FILT）

偏移地址：0x70
复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		THRESH[5:0]						Reserved	WSIZE[5:0]						FILTEN
		rw							rw						rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值
29:24	THRESH[5:0]	采样逻辑电平有效的阈值数(Threshold)，最大 63： 有效逻辑电平的阈值。 在采样窗口内，如果逻辑高的数量大于或等于阈值，则下一个逻辑电平将为逻辑高。 同样的规则适用于逻辑低。 如果窗口内 1 和 0 的数量都小于阈值，则过滤器输出保持不变。 阈值应设置为大于或等于 Window 值的一半。 推荐阈值范围为： **最小值：**比最大毛刺大小的上限（预分频时钟周期）多 1 个预分频时钟周期，并且需要大于窗口大小的一半。 例如，如果毛刺大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为 $\lceil 3.2 \rceil = 4 + 1 = 5$ **最大值：**有效信号最小尺寸的底值（在预分频时钟周期内），需要小于窗口尺寸。 例如，如果最小信号大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为下限 (3.2) = 3。
23	Reserved	保留，必须保持复位值
22:17	WSIZE[5:0]	逻辑电平检查的窗口大小值（Window size），最大 63： 窗口大小决定了在获得下一个逻辑级别时将考虑多少采样值。 内置 FIFO 为 64 位，最大索引为 63，只能将窗口大小设置为 63。
16	FILTEN	滤波器使能（Filter enable）： 0：滤波器禁能 1：滤波器使能
15:0	Reserved	保留，必须保持复位值

11.6.21 输入通道滤波输出寄存器（TIMx_FILTO）

偏移地址：0x74

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved												C4FILTO	C3FILTO	C2FILTO	C1FILTO
												r	r	r	r

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3	C4FILTO	通道4滤波输出电平状态 0：输出低电平； 1：输出高电平；
2	C3FILTO	通道3滤波输出状态 0：输出低电平； 1：输出高电平；
1	C2FILTO	通道2滤波输出状态 0：输出低电平； 1：输出高电平；
0	C1FILTO	通道1滤波输出状态 0：输出低电平； 1：输出高电平；

11.6.22 输入选择寄存器（TIMx_INSEL）

注意：详细信号源选择见 11.4 章节。

偏移地址：0x78

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				CLRS[3:0]				ITRS[3:0]				ETRS[3:0]			
				rw				rw				rw			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TI4S[3:0]				TI3S[3:0]				TI2S[3:0]				TI1S[3:0]			
rw				rw				rw				rw			

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必须保持复位值
27:24	CLRS[3:0]	选择tim_ocref_clr输入(Selects tim_ocref_clr input signal) 0000：tim_ocref_clr0 0001：tim_ocref_clr1 … 1111 ：tim_ocref_clr15 注：一旦LOCK级别（TIMx_BKDT寄存器中的LCKCFG位）设为'1'，则该位不能被修改。
23:20	ITRS[3:0]	选择tim_itr输入 0000：tim_itr0 0001：tim_itr1

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		… 1111 ：tim_itr15
19:16	ETRS[3:0]	选择tim_etr输入 0000：tim_etr0 0001：tim_etr1 … 1111 ：tim_etr15 注：一旦LOCK级别（TIMx_BKDT寄存器中的LCKCFG位）设为'1'，则该位不能被修改。
15:12	TI4S[3:0]	选择tim_ti4[15:0]输入 0000：tim_ti4_in0 0001：tim_ti4_in1 … 1111 ：tim_ti4_in15
11:8	TI3S[3:0]	选择tim_ti3[15:0]输入 0000：tim_ti3_in0 0001：tim_ti3_in1 … 1111 ：tim_ti3_in15
7:4	TI2S[3:0]	选择tim_ti2[15:0]输入 0000：tim_ti2_in0 0001：tim_ti2_in1 … 1111 ：tim_ti2_in15
3:0	TI1S[3:0]	选择tim_ti1[15:0]输入 0000：tim_ti1_in0 0001：tim_ti1_in1 … 1111 ：tim_ti1_in15

11.6.23 滑动滤波预分频寄存器（TIMx_SLIDFPSC）

偏移地址：0x88

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SLIDFPSC [15:0]															
rw															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	SLIDFPSC [15:0]	滑动滤波器采样时钟的分频寄存器值（Prescaler）： 对于此过滤器，它支持 65535 分频（16 位）。 时钟分频器将系统时钟缩放到采样时钟。 采样时钟决定两个采样点之间的距离。 只有采样点的值有效才会考虑的逻辑电平计算。 可通过配置这些位来确定通道1/2/3/4滑动滤波的采样时钟分频，与TIMx_C1FILT、TIMx_C2FILT、TIMx_C3FILT、TIMx_C4FILT配合使用。

11.6.24 DMA 控制寄存器（TIMx_DCTRL）

偏移地址：0x94

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		DBADDR[5:0]						Reserved		DBLEN[5:0]					
		rw								rw					

位域	名称	描述
31:14	Reserved	保留，必须保持复位值
13:8	DBADDR[5:0]	DMA基地址 （DMA base address） 该位字段定义 DMA 访问 TIMx_DADDR 寄存器的第一个地址。 当第一次通过 TIMx_DADDR 完成访问时，该位域指定您刚刚访问的地址。 然后第二次访问TIMx_DADDR，会访问到“DMA Base Address + 4”的地址 00000：TIMx_CTRL1， 00001：TIMx_CTRL2， 00010：TIMx_SMCTRL， ...... 10001：TIMx_BKDT 10010：TIMx_DCTRL
7:6	Reserved	保留，必须保持复位值

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
5:0	DBLEN[5:0]	DMA连续传送长度 （DMA burst length） 该位字段定义 DMA 将访问（写入/读取）TIMx_DADDR 寄存器的次数。 000000：1次传输 000001：2次传输 000010：3次传输 … 010001：18次传输 ...... 100010：35次传输 例：我们考虑这样的传输：DBLEN=7，DBADDR=TIMx_CTRL1 如果DBLEN=7，DBADDR=TIMx_CTRL1表示待传输数据的地址，那么传输的地址由下式给出： (TIMx_CTRL1的地址) + DBADDR + (DMA索引), 其中 DMA索引 = DBLEN 其中(TIMx_CTRL1的地址) + DBADDR再加上7，给出了将要写入或者读出数据的地址，这样数据的传输将发生在从地址(TIMx_CTRL1的地址) + DBADDR开始的7个寄存器。 如果设置数据为半字（16位），那么数据就会传输给全部7个寄存器。 如果设置数据为字节，数据仍然会传输给全部7个寄存器：第一个寄存器包含第一个MSB字节，第二个寄存器包含第一个LSB字节，以此类推。因此对于定时器，用户必须指定由DMA传输的数据宽度。

11.6.25 连续模式的DMA 地址（TIMx_DADDR）

偏移地址：0x98
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
BURST[31:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
BURST[31:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	BURST[31:0]	DMA 访问缓冲区。 当对该寄存器分配读或写操作时，将访问位于地址范围（DMA base address + DMA burst length × 4）的寄存器。 DMA base address = The address of TIM_CTRL1 + TIMx_DCTRL. DBADDR * 4； DMA burst len = TIMx_DCTRL.DBLEN + 1. 例子： 如果 TIMx_DCTRL.DBLEN = 0x3（4 次传输），TIMx_DCTRL.DBADDR = 0xD

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		(TIMx_CCDAT1)，DMA 数据长度 = 半字，DMA 存储器地址 =SRAM 中的缓冲区地址，DMA 外设地址 =TIMx_DADDR 地址。 当事件发生时，TIMx 将向 DMA 发送请求，并传输 4 次数据。 第一次，对 TIMx_DADDR 寄存器的 DMA 访问将映射到访问 TIMx_CCDAT1 寄存器； 第二次，对 TIMx_DADDR 寄存器的 DMA 访问将映射到访问 TIMx_CCDAT2 寄存器； …… 第四次，对 TIMx_DADDR 寄存器的 DMA 访问将映射到访问 TIMx_CCDAT4 寄存器；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

12 通用定时器（GTIM8/ GTIM9/ GTIM10）

12.1 GTIMx（x=8-10）简介

通用定时器（GTIMx）主要用于以下场合：对输入信号进行计数、测量输入信号的脉冲宽度和产生输出波形等。

通用定时器具有互补输出功能、死区插入和刹车功能。适用于电机控制。

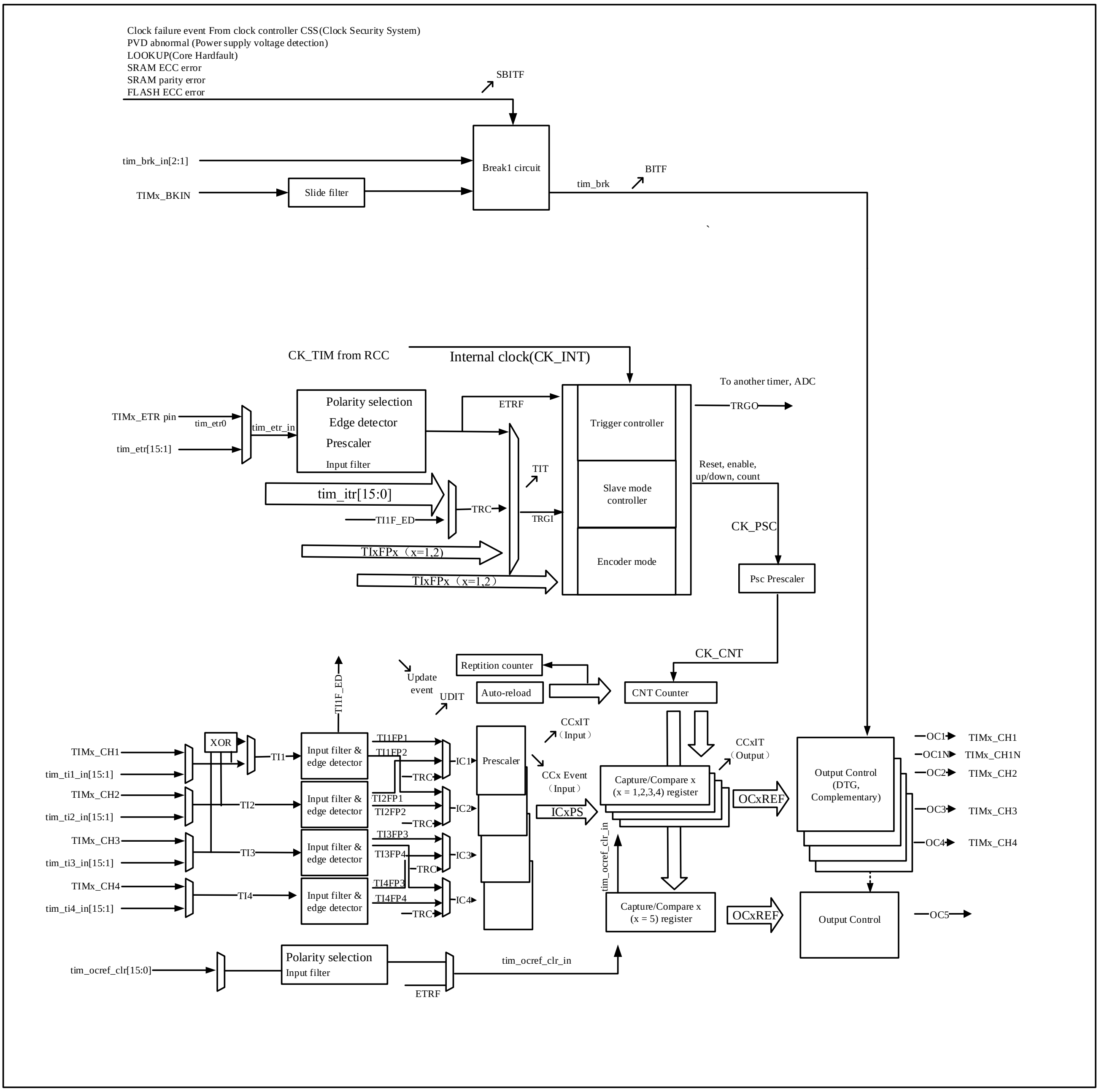
12.2 GTIMx（x=8-10）主要特性

- 16 位自动装载计数器。（可实现向上计数、向下计数、向上/下计数）
- 16 位可编程预分频器。（分频系数可配置为 1 到 65536 之间的任意值）
- 可编程重复计数器
- GTIMx 最多 5 个通道
- 4 个捕获/比较通道，工作模式为：PWM 输出、输出比较、单脉冲模式输出、输入捕获
- 1 个支持数字滤波的刹车输入信号，用于将定时器的输出信号置于安全的用户可选配置中
- 如下事件发生时产生中断/DMA：
  - 更新事件
  - 触发事件
  - 输入捕获
  - 输出比较
  - 刹车信号输入
- 死区时间可编程的互补输出
  - 对于 GTIMx，通道 1 支持此功能
- 可通过外部信号控制定时器
- 多个定时器内部连接在一起，以实现定时器的同步或链接
- 增量（正交）编码器接口：用于追踪运行轨迹和解析旋转方位
- 霍尔传感器接口：用于三相电机控制
- 触发输入作为外部时钟或者逐周期电流管理

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

12.3 GTIMx（x=8-10）框图

图 12-1 GTIMx 框图



12.4 GTIMx（x=8-10）的引脚及内部信号

下列表格描述了 GTIMx 的输入和输出引脚及信号

表 12-1 GTIMx 输入/输出引脚

引脚	类型	描述

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

TIMx_CH1 TIMx_CH2 TIMx_CH3 TIMx_CH4	Input/Output	计时器多用途通道。 每个通道都可以用于捕获、比较或产生 PWM。 TIM_CH1 和 TIM_CH2 还可以用作 作为外部时钟（低于 1/4 的内部时钟频率），外部触发器和正交编码器输入。 TIM_CH1、TIM_CH2 和 TIM_CH3 还可用于霍尔效应传感器的接口。
TIM_CH1N	Output	带有死区时间插入的定时器互补输出通道。
TIMx_ETR	Input	外部触发器输入。该输入可以作为外部触发器或外部时钟源。如果使用预分频器，输入信号 TIMx_ETR 可以为频率高于系统时钟频率的信号。
TIMx_BKIN	Input/Output	Break 输入。可以配置为双向模式。

表 12-2 GTIMx 内部输入/输出信号

内部信号	类型	描述
tim_ti1_in[15:0] tim_ti2_in[15:0] tim_ti3_in[15:0] tim_ti4_in[15:0]	Input	定时器通道 1/2/3/4 输入信号。tim_ti1_in[15:0]和 tim_ti2_in[15:0]输入可用于捕获或作为外部时钟（低于系统时钟频率的 1/4）和用于正交编码器信号。
tim_etr[15:0]	Input	外部触发通道输入信号。这些输入可用作触发器、外部时钟或用于硬件逐周期脉宽控制。如果使用预分频器，输入信号 TIMx_ETR 可以为频率高于系统时钟频率的信号。
tim_itr[15:0]	Input	内部触发输入信号。这些输入可以用在从模式控制器或作为输入时钟（低于系统时钟频率的 1/4）。
tim_trgo	Output	内部触发信号输出。这些触发信号可被其他定时器和/或其他外围设备使用。

12.4.1 GTIMx 的 tim_ti1/ tim_ti2/ tim_ti3/ tim_ti4 信号源

表 12-3 tim_ti1 输入信号源

tim_ti1 inputs	**信号源**		
	GTIM8	**GTIM9**	**GTIM10**
tim_ti1_in0	GTIM8_CH1	GTIM9_CH1	GTIM10_CH1

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

tim_ti1_in[15:1]	Reserved

表 12-4 tim_ti2 输入信号源

tim_ti2 inputs	信号源		
	GTIM8	GTIM9	GTIM10
tim_ti2_in0	GTIM8_CH2	GTIM9_CH2	GTIM10_CH2
tim_ti2_in[3:1]	Reserved	Reserved	Reserved
tim_ti2_in4	GTIM7_CC3	GTIM7_CC4	GTIM7_CC3
tim_ti2_in[15:5]	Reserved		

表 12-5 tim_ti3 输入信号源

tim_ti3 inputs	信号源		
	GTIM8	GTIM9	GTIM10
tim_ti3_in0	GTIM8_CH3	GTIM9_CH3	GTIM10_CH3
tim_ti3_in[15:1]	Reserved		

表 12-6 tim_ti4 输入信号源

tim_ti4 inputs	信号源		
	GTIM8	GTIM9	GTIM10
tim_ti4_in0	GTIM8_CH4	GTIM9_CH4	GTIM10_CH4
tim_ti4_in[15:1]	Reserved		

12.4.2 GTIMx 的 tim_itr 信号源

表 12-7 tim_itr 输入信号源

GTIMx	GTIM8	GTIM9	GTIM10

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

tim_itr0	atim1_trgo	atim1_trgo	atim1_trgo
tim_itr1	gtim1_trgo	gtim1_trgo	gtim1_trgo
tim_itr2	gtim2_trgo	gtim2_trgo	gtim2_trgo
tim_itr3	gtim3_trgo	gtim3_trgo	gtim3_trgo
tim_itr4	gtim4_trgo	gtim4_trgo	gtim4_trgo
tim_itr5	atim2_trgo	atim2_trgo	atim2_trgo
tim_itr6	Reserved	gtim8_trgo	gtim8_trgo
tim_itr7	gtim9_trgo	Reserved	gtim9_trgo
tim_itr8	gtim10_trgo	gtim10_trgo	Reserved
tim_itr9	atim3_trgo	atim3_trgo	atim3_trgo
tim_itr10			
tim_itr11	Reserve	Reserve	Reserve
tim_itr12	gtim5_trgo	gtim5_trgo	gtim5_trgo
tim_itr13	gtim6_trgo	gtim6_trgo	gtim6_trgo
tim_itr14	gtim7_trgo	gtim7_trgo	gtim7_trgo
tim_itr15	Reserve	Reserve	Reserve

12.4.3 GTIMx 的 tim_etr 信号源

表 12-8 tim_etr 输入信号源

GTIMx	**GTIM8**	**GTIM9**	**GTIM10**
tim_etr0	GTIM8_ETR	GTIM9_ETR	GTIM10_ETR
tim_etr_in[7:1]	Reserved	Reserved	Reserved
tim_etr8	GTIM9_ETR	GTIM8_ETR	GTIM8_ETR
tim_etr9	GTIM10_ETR	GTIM10_ETR	GTIM9_ETR

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

tim_etr10	GTIM1_ETR	GTIM2_ETR	GTIM3_ETR
tim_etr11	Reserved	ADC1_AWD1	ADC2_AWD1
tim_etr12	Reserved	ADC1_AWD2	ADC2_AWD2
tim_etr13	Reserved	ADC1_AWD3	ADC2_AWD3
tim_etr_in[15:14]	Reserved		

12.4.4 GTIMx 的刹车 1 输入信号源

表 12-9 GTIMx 的刹车 1 输入信号源

刹车输入	GTIM8	GTIM9	GTIM10
TIM_BKIN	GTIM8_BKIN pin	GTIM9_BKIN pin	GTIM10_BKIN pin
tim_brk_in1	tim_brk _dsmu0	Reserved	Reserved
tim_brk_in2	Reserved	Reserved	tim_brk _dsmu2
tim_brk_in[8:3]	Reserved		

12.4.5 GTIMx 的 tim_ocref_clr 输入信号源

表 12-10 GTIMx 的 tim_ocref_clr 输入信号源

OCREF 清除信号	GTIMx OCREF 清除信号分配		
	GTIM8	GTIM9	GTIM10
tim_ocref_in[15:0]	Reserved		

12.5 GTIMx（x=8-10）功能描述

12.5.1 时基单元

高级控制器的时基单元主要包括：预分频器、计数器、自动重装载寄存器和重复计数器。当时基单元工作时，软件可以随时读取和写入相应的寄存器（TIMx_PSC、TIMx_CNT、TIMx_AR 和 TIMx_REPCNT）。

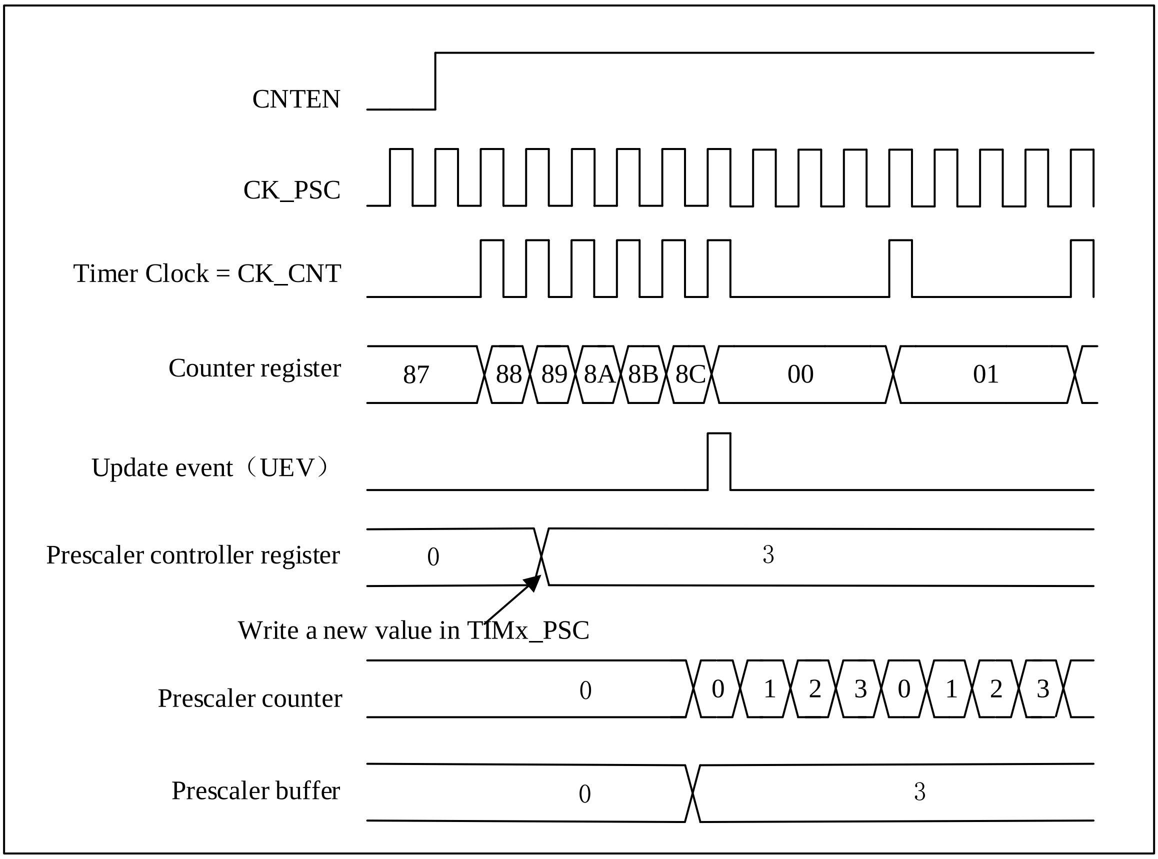
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

根据自动重装载预装载使能位（TIMx_CTRL1.ARPEN）的设置，预装载寄存器的值会立即或在每次更新事件 UEV 时传输到影子寄存器。TIMx_CTRL1.UPDIS=0 时，计数器上溢/下溢或软件设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 将生成更新事件。计数器 CK_CNT 仅在 TIMx_CTRL1. CNTEN 位被设置时有效。计数器在 TIMx_CTRL.CNTEN 位被设置后一个时钟周期之后开始计数。

12.5.1.1 预分频器描述

TIMx_PSC 寄存器由一个 16 位计数器组成，可用于计数器时钟频率按 1 和 65536 之间的任意分频。因为这个控制器带有缓冲器，可以在运行时动态改变。新的预分频器值只有在下次更新事件中才会被采用。

图 12-2 当预分频的参数从 1 到 4，计数器的时序图



12.5.2 计数器模式

12.5.2.1 向上计数模式

使用向上计数模式，计数器将从 0 计数到寄存器 TIMx_AR 的值，然后重置为 0。并产生一个计数器溢出事件。

如果设置 TIMx_CTRL1.UPRS 位(选择更新请求)和 TIMx_EVTGEN. UDGN 位,将产生一个更新事件(UEV)。但是 TIMx_STS.UDITF 不会被硬件置起，因此不会产生更新中断或 DMA 更新请求。这是为了避免清除计数器时产生更新中断。

取决于 TIMx_CTRL1.UPRS 的配置 ，当发生更新事件时，TIMx_STS.UDITF 被设置，所有寄存器都会更新：

- 重复计数器被重新加载为 TIMx_REPCNT 的内容
- 当 TIMx_CTRL1.ARPEN = 1，预装载寄存器(TIMx_AR)的值被更新到自动装载影子寄存器

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

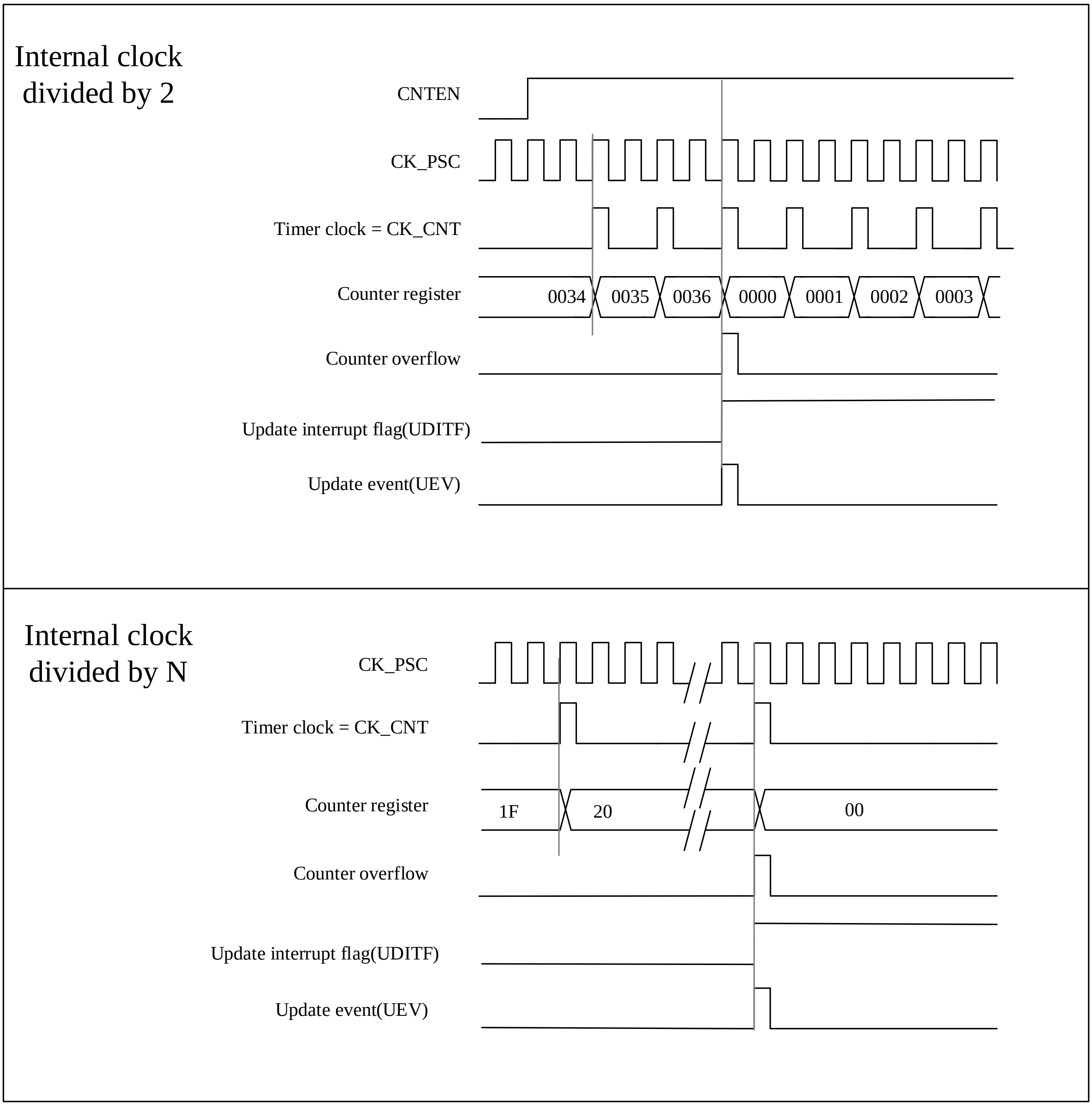
■ 预加载值（TIMx_PSC）被重新加载到预分频器影子寄存器中

为了避免在向预装载寄存器中写入新值时更新影子寄存器，可以通过设置 TIMx_CTRL1.UPDIS=1 来禁止更新事件。

当产生一个更新事件时，计数器仍将被清除，预分频器计数器也将被设置为 0（但预分频器值将保持不变）。

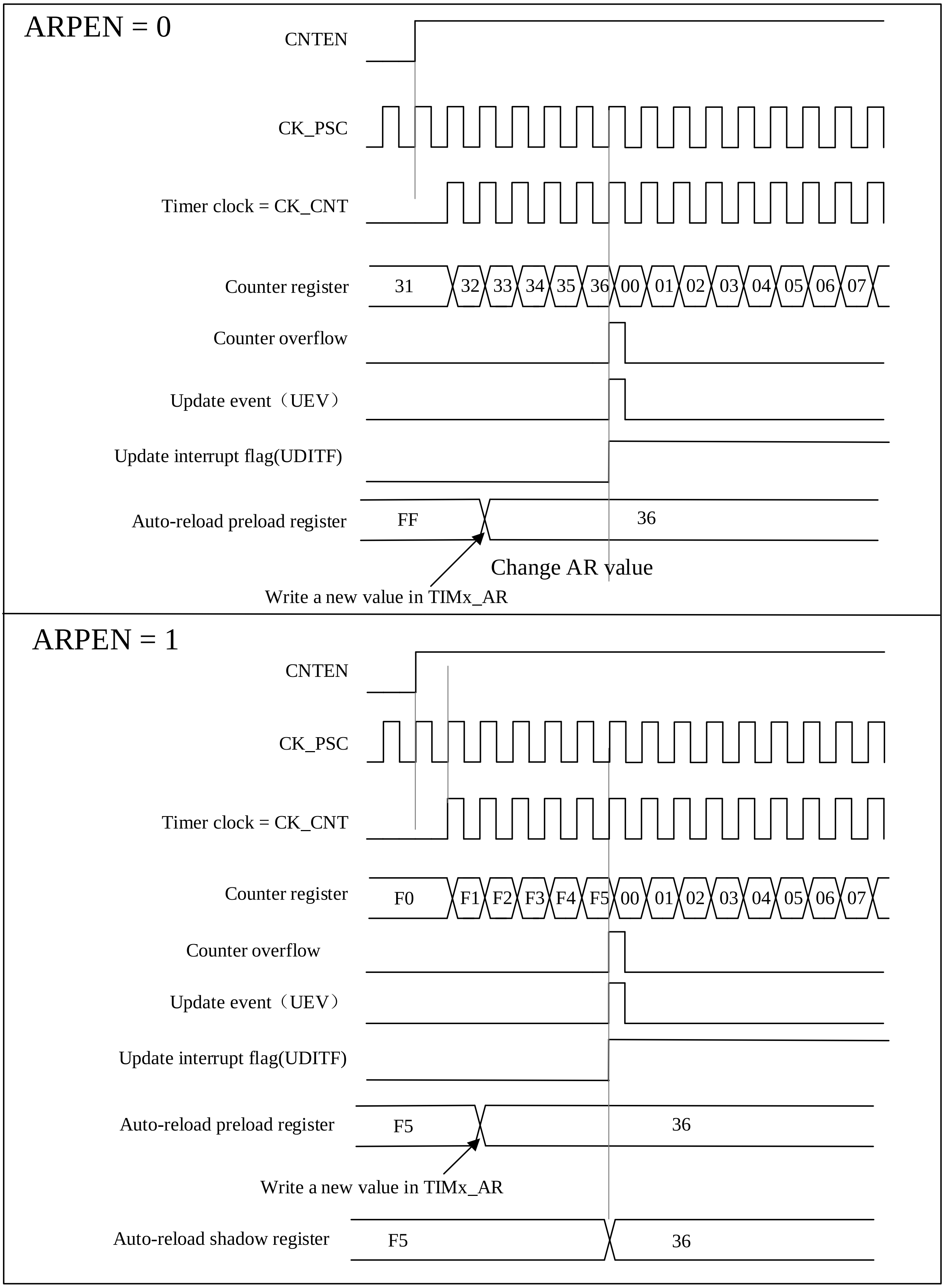
下图给出一些示例，展示了向上计数模式计数器在不同分频因子下的动作。

图 12-3 当内部时钟分频因子 ＝2/N 时，向上计数的时序图



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 12-4 当 ARPEN=0/1 产生更新事件时，向上计数的时序图



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

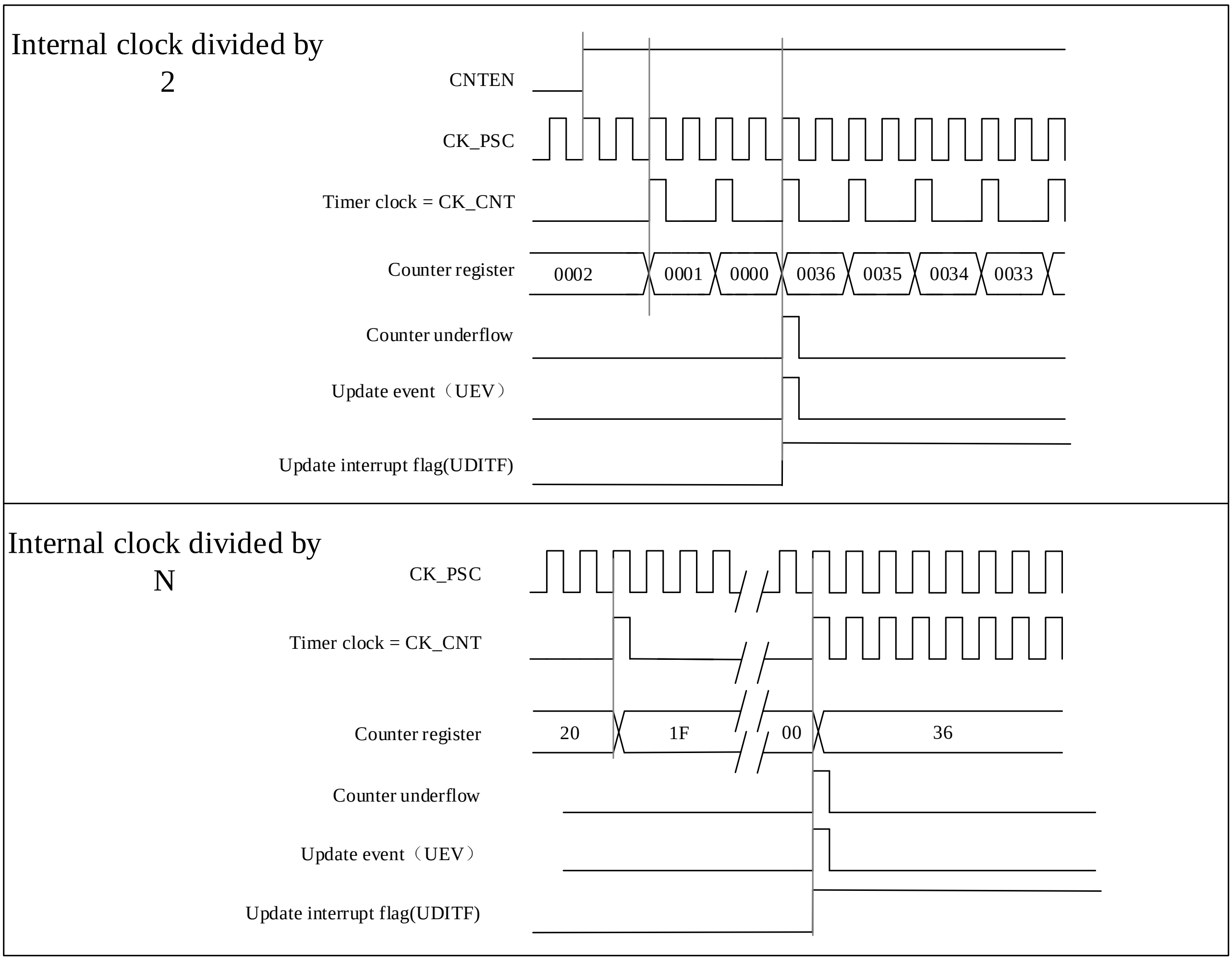
12.5.2.2 向下计数模式

向下计数模式，计数器将从寄存器 TIMx_AR 的值减至 0，然后从自动重装载值重新开始，并产生计数器向下溢出事件

向下计数模式和向上计数模式配置更新事件和更新寄存器的过程相同，请查阅 9.5.2.1 章节.

下图给出一些示例，展示了向下计数模式计数器在不同分频因子下的动作。

图 12-5 内部时钟分频因子 ＝2/N 时，向下计数时序图



12.5.2.3 中央对齐模式

12.5.2.3.1 中央对齐对称模式

在中央对齐模式下，计数器从 0 增加到值（TIMx_AR）–1，产生计数器溢出事件。然后，它从自动重装载值（TIMx_AR）向下计数到 1，并生成一个计数器向下溢出事件。然后计数器重置为 0 并再次开始计数。

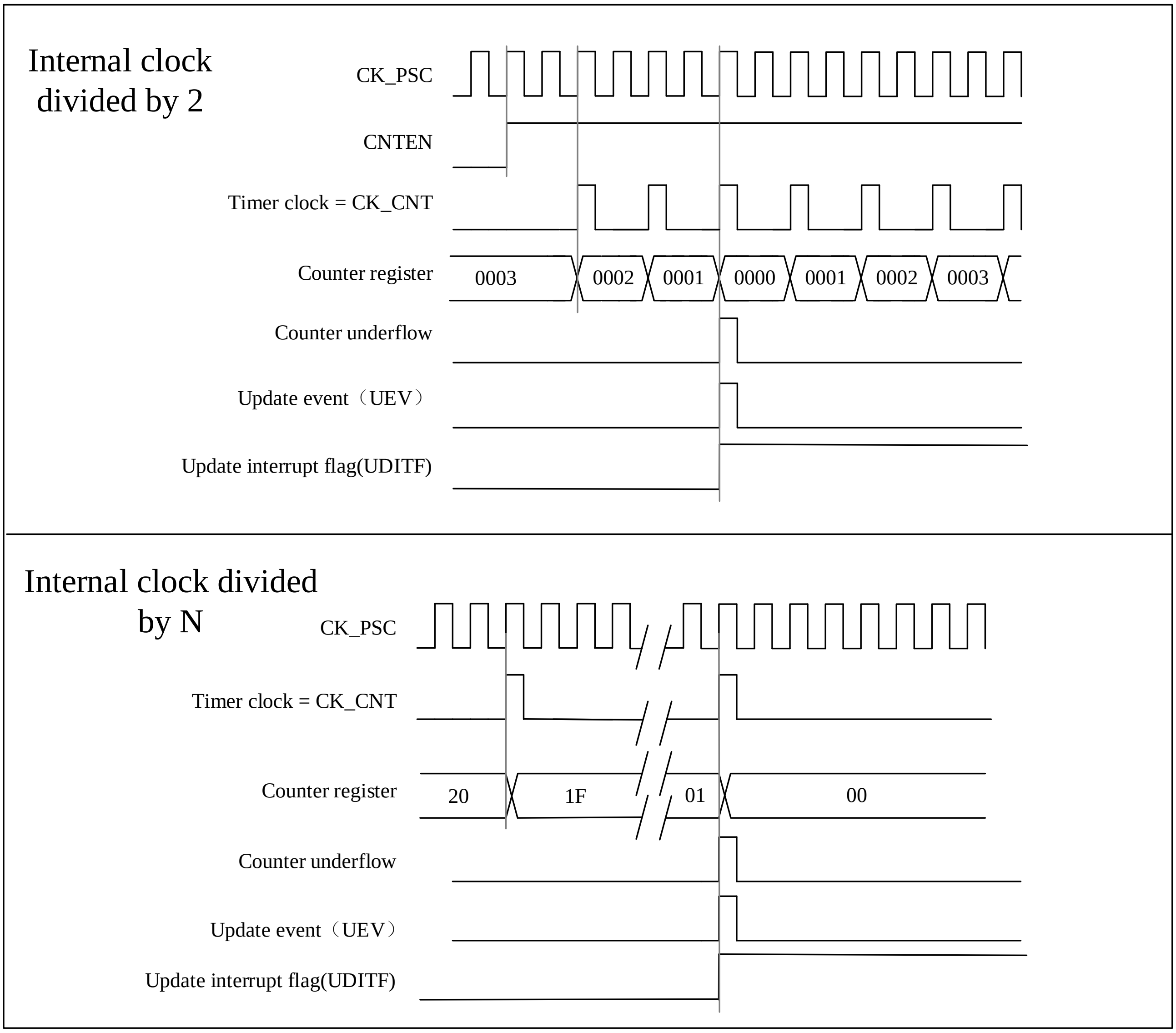
在这种模式下，TIMx_CTRL1.DIR 方向位无效，由硬件更新和指定当前计数方向。当 TIMx_CTRL1.CAMSEL 位不等于“00”时，中央对齐模式有效。

每次计数上溢和计数下溢时都会生成更新事件。或者，也可以通过设置 TIMx_EVTGEN. UDGN 位（通过软件或使用从模式控制器）来生成更新事件。在这种情况下，计数器从 0 重新开始计数，预分频器的计数器也从 0 重新开始计数。

注：如果因为计数器溢出而产生更新，自动重装载将在计数器重新载入之前被更新。

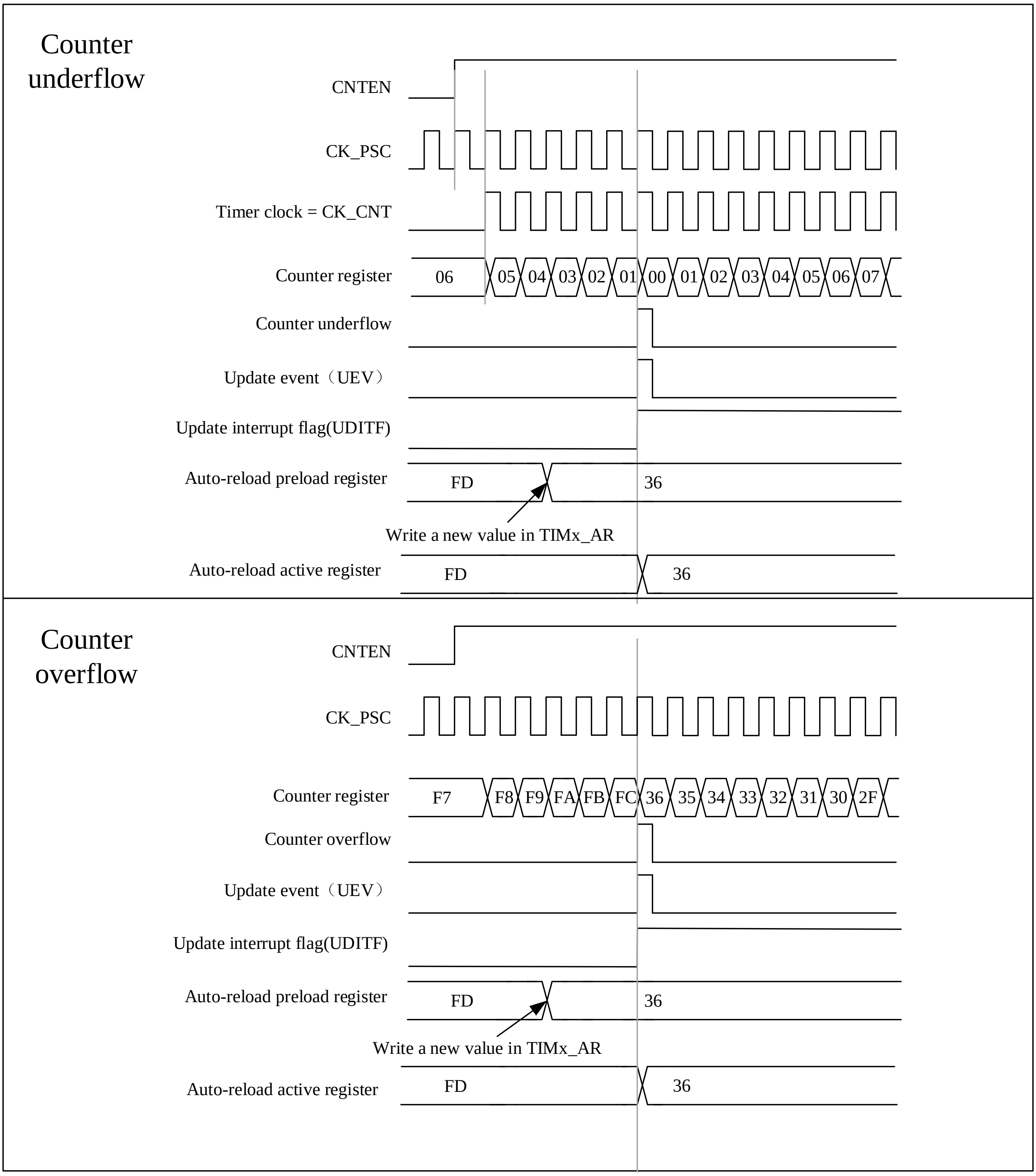
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 12-6 内部时钟分频因子 =2/N，中央对齐时序图



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 12-7 包含计数器上溢和下溢的中央对齐时序图(ARPEN=1)



12.5.2.3.2 中央对齐非对称模式

在中央对齐非对称模式下（TIMx_CTRL1.ASYMMETRIC 为 1，TIMx_CTRL1.CAMSEL[1:0]为非零），计数器从 0 计数到自动重载值（TIMx_AR）–1，并产生计数器溢出事件，然后从自动重载值计数到 1，并产生计数器向下溢出事件，然后从 0 重新开始计数。

TIMx_CTRL1.DIR 值不能在此模式下写入，它由硬件更新和指定当前计数方向。

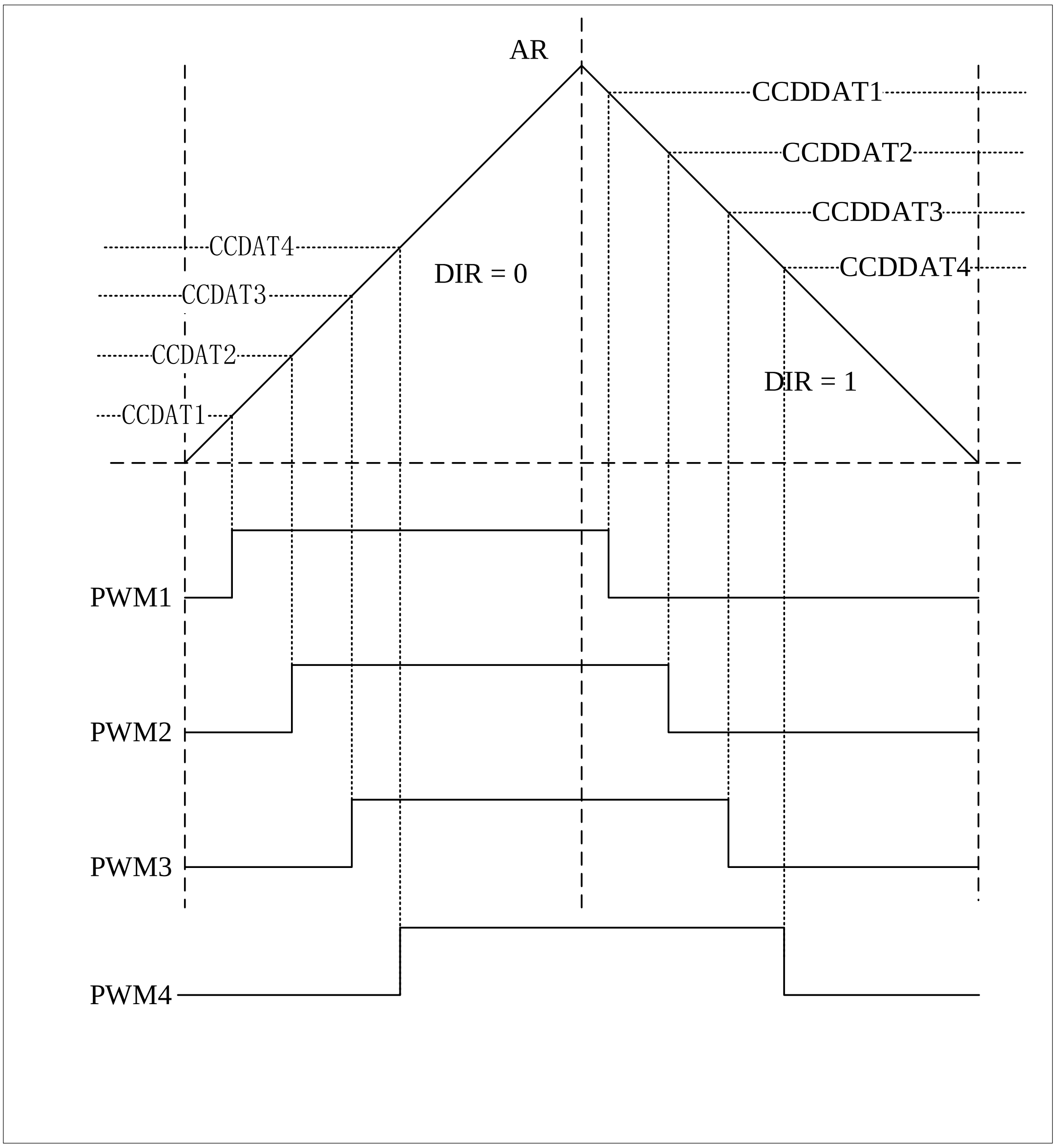
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

当通道不是 1,2,3,4 时，比较值是 CCDATx。当死区时间发生器打开时，请注意，当 DIR=0 时，死区时间插入点是计数器值等于 CCDATx（x=1,2,3,4），当 DIR=1 时，死区时间插入点是计数器值等于 CCDDATx（x=1,2,3,4）。

每次计数上溢和计数下溢时都会产生更新事件。或者，也可以通过设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 位（通过软件或使用从模式控制器）产生更新事件。在这种情况下，在这种情况下，计数器从 0 重新开始计数，预分频器的计数器也从 0 重新开始计数。

注：如果因为计数器溢出而产生更新，自动重装载将在计数器重新载入之前被更新。

图 12-8 非对称模式对应的输出波形



12.5.3 重复计数器

第 12.5.1 章节的基本单元描述了生成更新事件（UEV）的条件。更新事件（UEV）实际上仅在重复计数器达到零时生成，这对于生成 PWM 信号非常有用。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

这意味着每 N+1 计数器溢出或下溢一次，数据就会从预加载寄存器传输到影子寄存器，其中 N 是 TIMx_REPCNT 中的值。

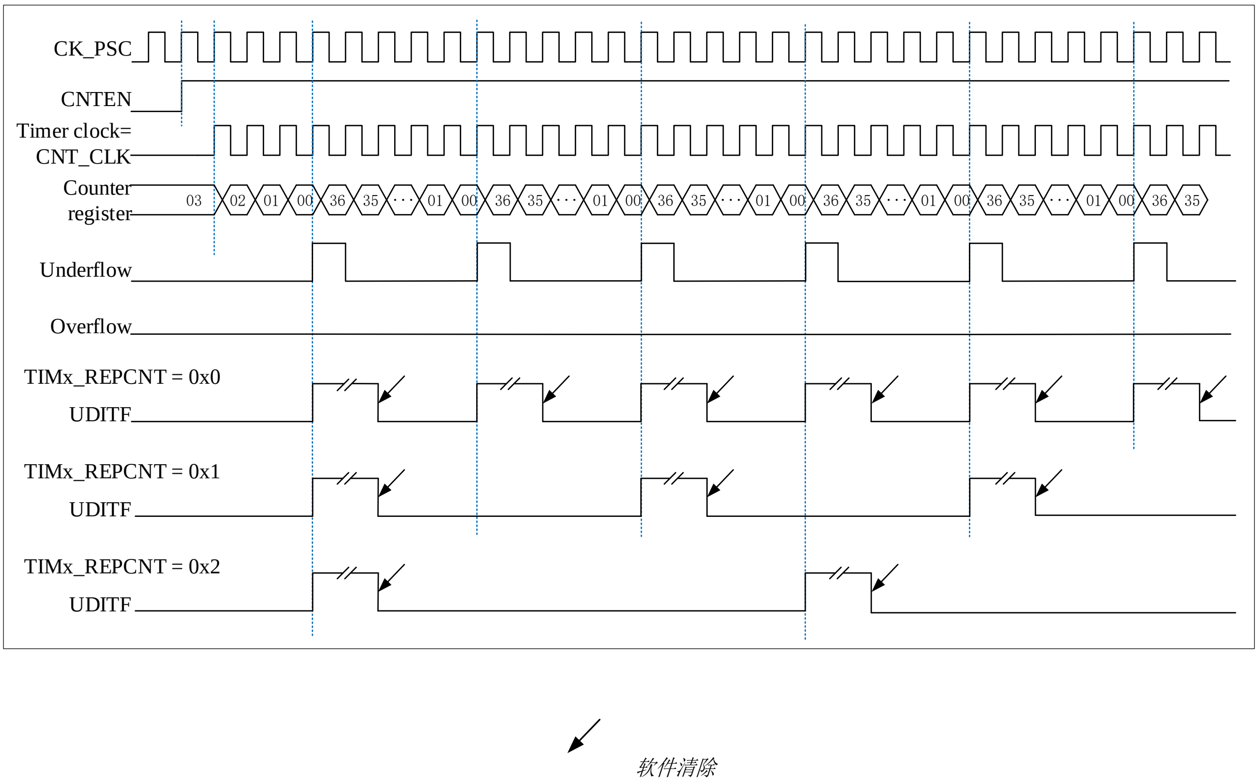
重复计数器递减：

- 在向上计数模式下，每次计数器达到最大值时，都会发生溢出
- 在向下计数模式下，每次计数器减至最小值时，都会发生下溢
- 在中央对齐模式下，每次计数上溢或下溢时

其重复率由 TIMx_REPCNT 寄存器的值定。

重复计数器具有自动重新加载功能。 无论重复计数器的值如何，更新事件（通过从模式控制器设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 或硬件生成）都会立即发生。

图 12-9 向下计数模式下的重复计数时序图



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 12-10 向上计数模式下的重复计数时序列图

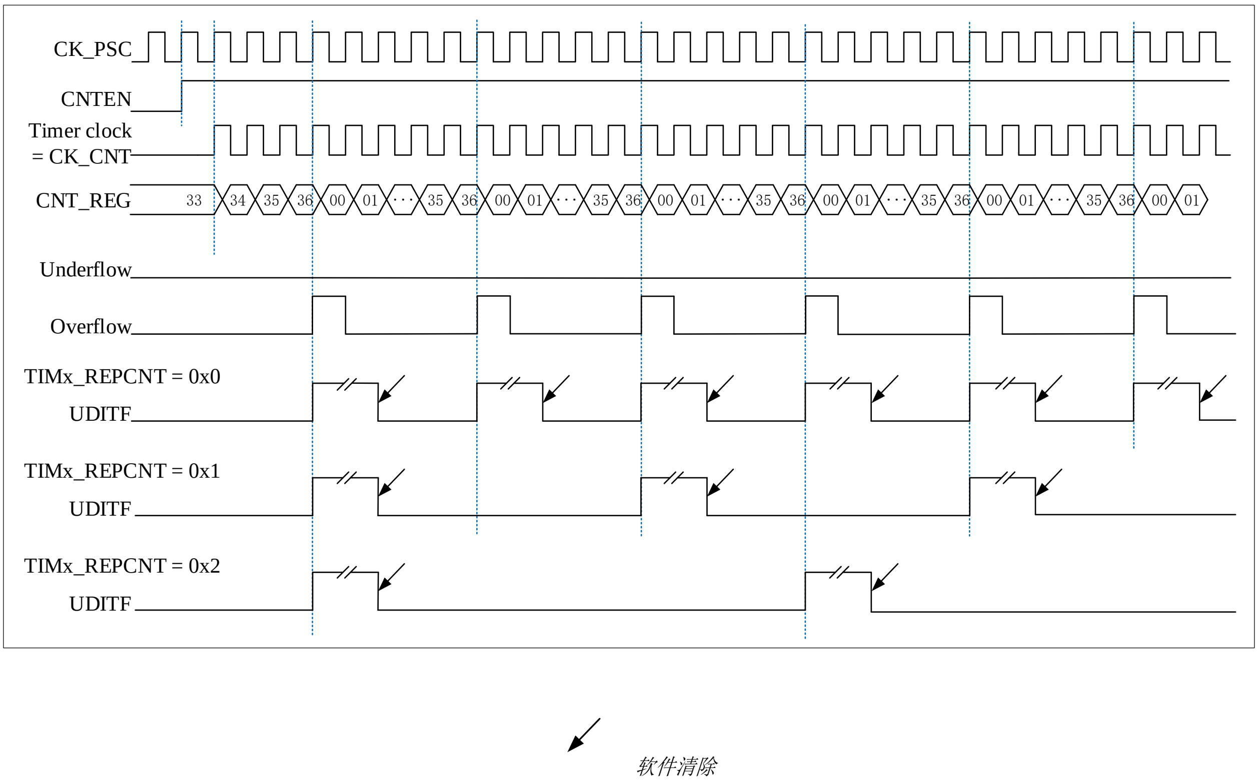
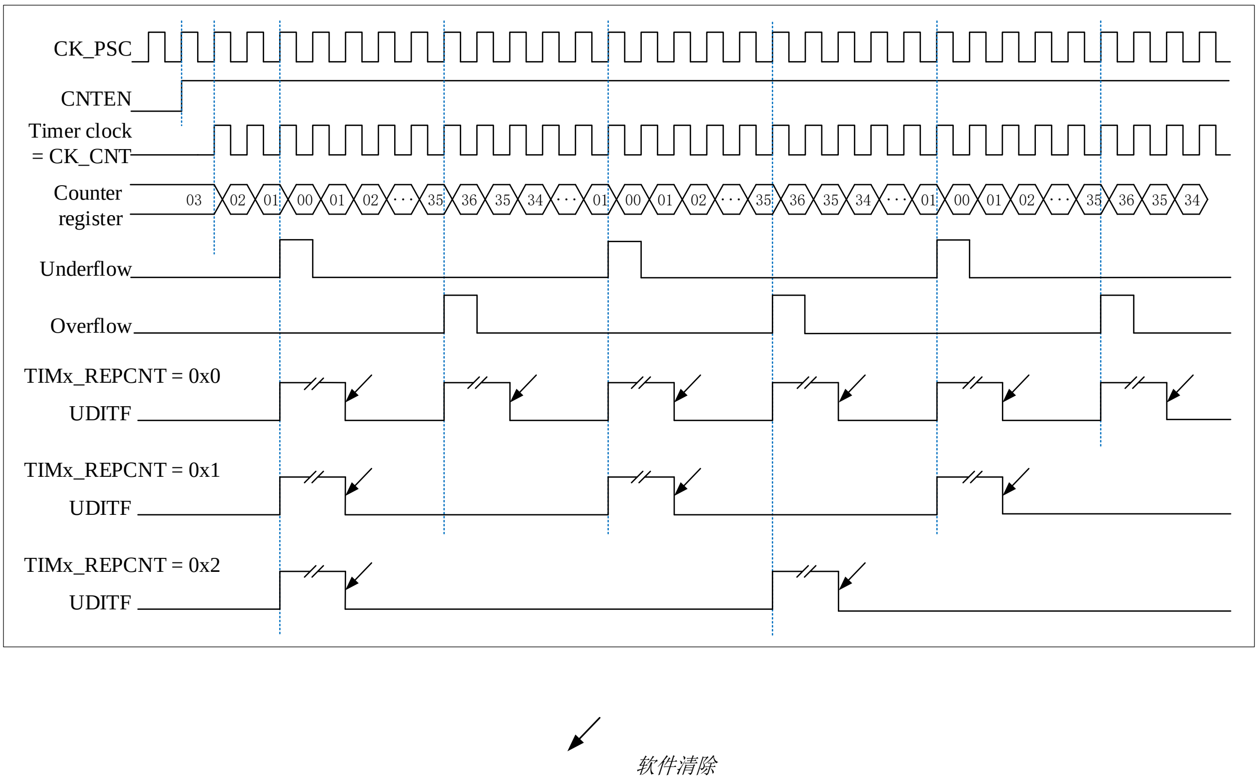


图 12-11 中央对齐模式下的重复计数时序图



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

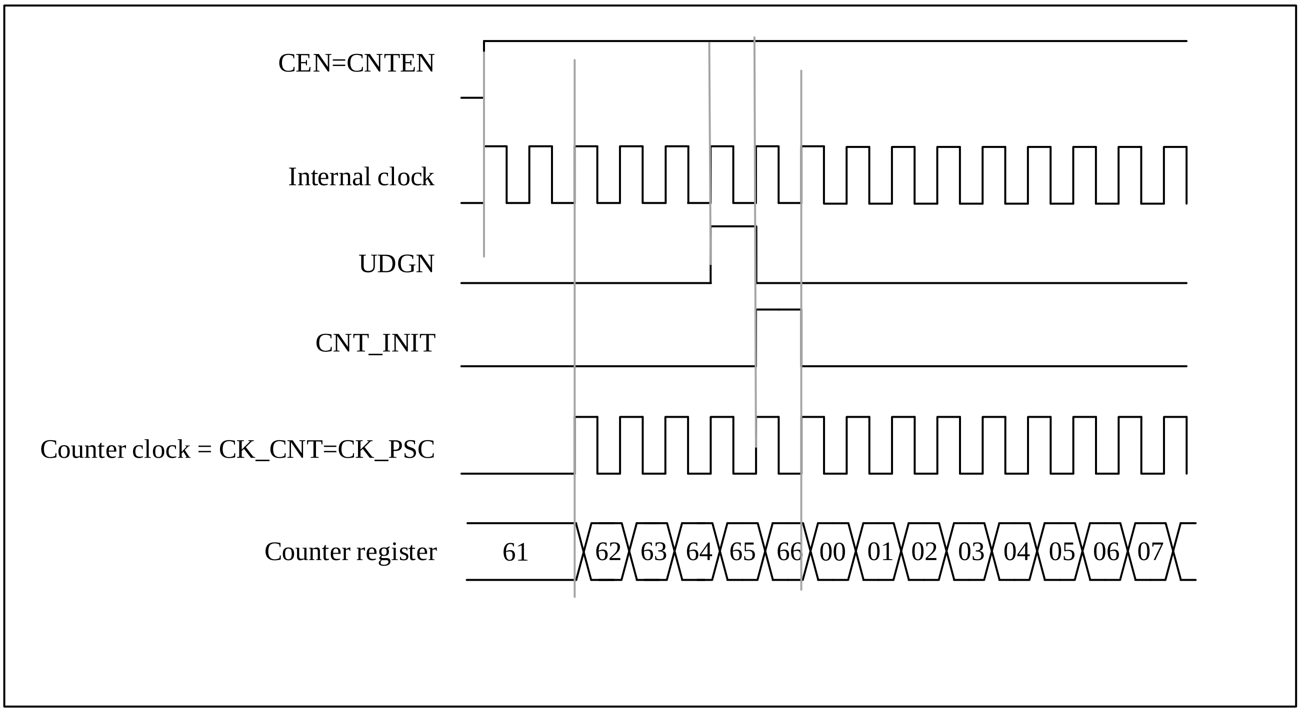
12.5.4 时钟选择

- CK_INT 高级控制定时器的内部时钟：CK_INT：
- 两种外部时钟模式：
  - 外部输入引脚
  - 外部触发输入 ETR
- 内部触发输入（ITRx）：一个定时器用作另一个定时器的预分频器

12.5.4.1 内部时钟源(CK_INT)

当 TIMx_SMCTRL.SMSEL 等于“0000”时，从模式控制器被禁用。 这三个控制位（TIMx_CTRL1.CNTEN、TIMx_CTRL1.DIR、TIMx_EVTGEN.UDGN）只能由软件改变（TIMx_EVTGEN.UDGN 除外，它保持自动清零）。 前提是 TIMx_CTRL1.CNTEN 位被软写为'1'，预分频器的时钟源由内部时钟 CK_INT 提供。

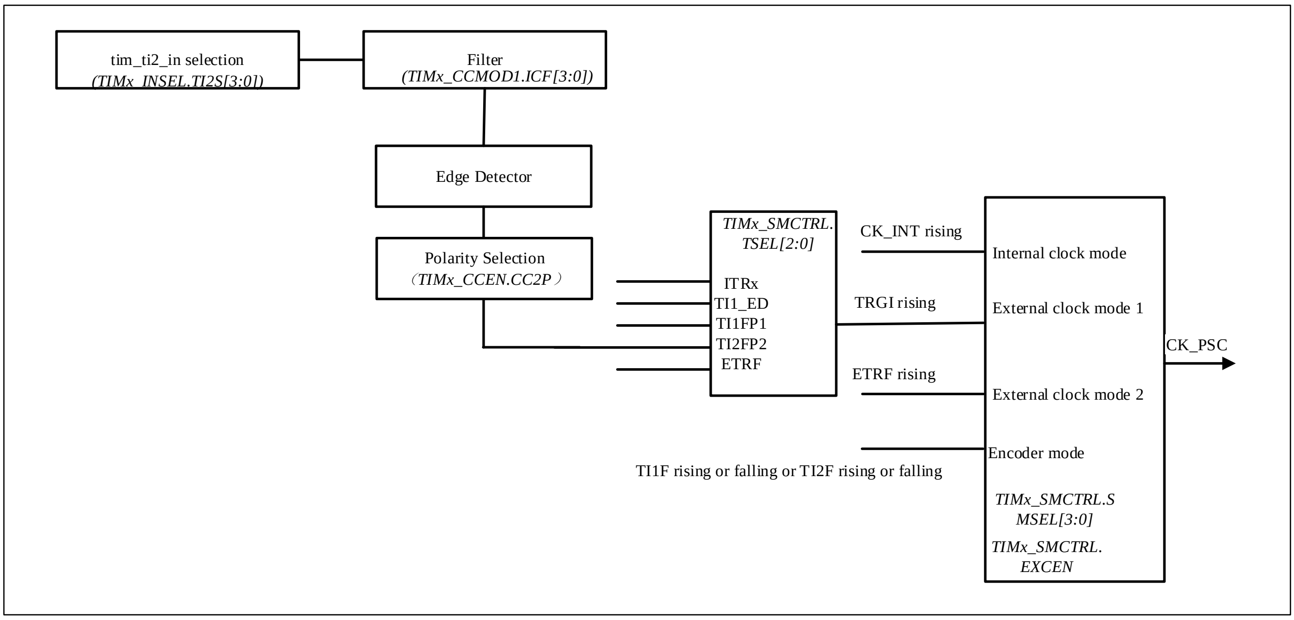
图 12-12 正常模式下的控制电路，内部时钟除以 1



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

12.5.4.2 外部时钟源模式 1

图 12-13 TI2 外部时钟连接示例



通过配置 TIMx_SMCTRL.SMSEL 等于'0111'选择该模式。 计数器可以配置为在所选输入的时钟上升沿或下降沿进行计数。

例如，配置向上计数模式在 TI2 输入的时钟上升沿计数，配置步骤如下：

- 配置 TIMx_CCMOD1.CC2SEL 等于'01'，CC2 通道配置为输入，IC2 映射到 TI2
- 配置 TIMx_CCEN.CC2P 等于'0'，选择时钟上升沿极性
- 通过配置 TIMx_CCMOD1.IC2F[3:0] 选择输入滤波器带宽（如果不需要滤波器，保持 IC2F 位为'0000'）
- 配置 TIMx_SMCTRL.SMSEL 等于'0111'，选择定时器外部时钟模式 1
- 配置 TIMx_ INSEL 寄存器 TIMx_INSEL. TI2S [3:0] 等于'0000'，选择 TIM_CH2 作为 TI2 输入
- 配置 TIMx_SMCTRL.TSEL 等于'110'，选择 TI2 作为触发输入源
- 配置 TIMx_CTRL1.CNTEN 等于 '1' 以启动计数器

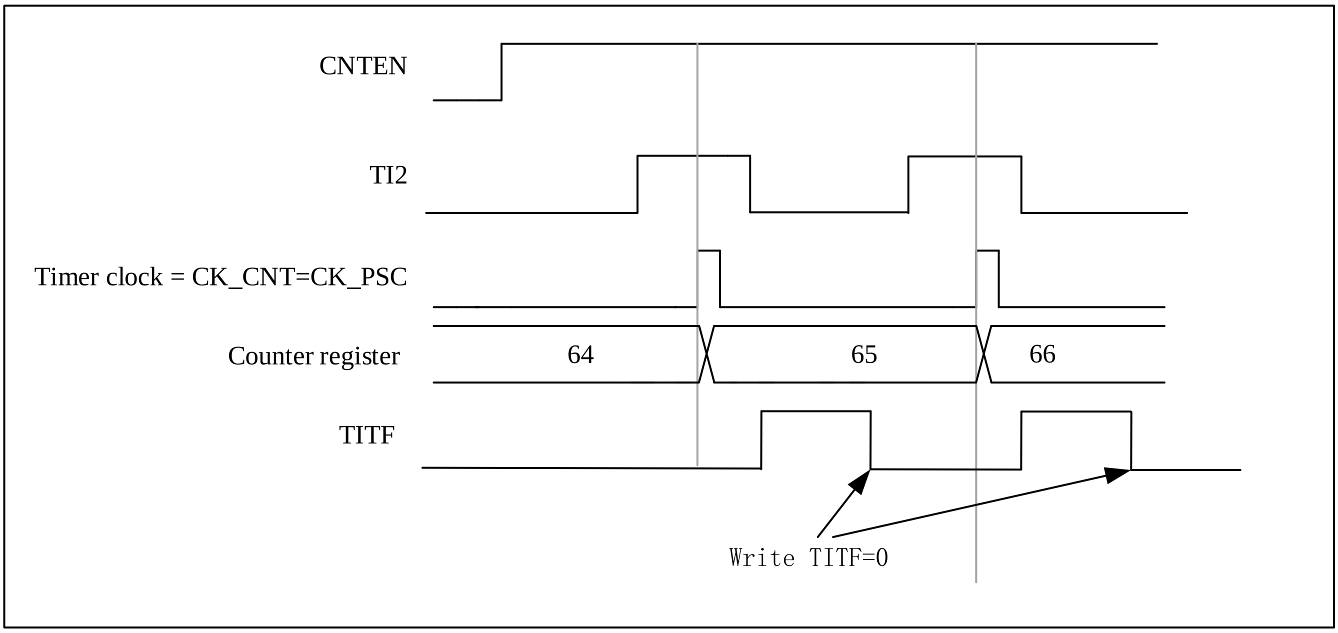
注意：捕获预分频器不用于触发，所以不需要配置

当定时器时钟的上升沿出现在 TI2=1 时，计数器计数一次并且 TIMx_STS .TITF 标志被拉高。

TI2 的上升沿与计数器实际时钟之间的延迟取决于 TI2 输入端的再同步电路。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 12-14 外部时钟模式 1 的控制电路

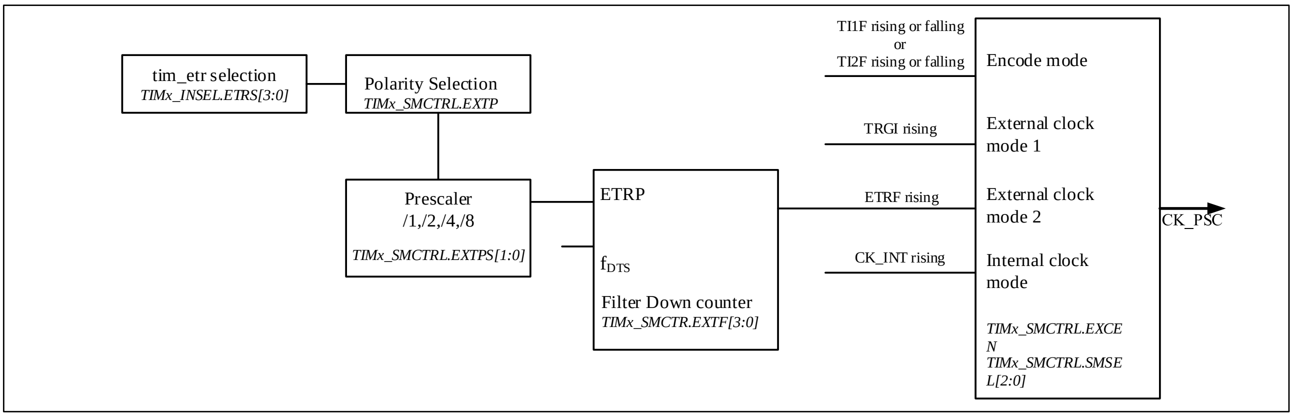


12.5.4.3 外部时钟源模式 2

此模式由 TIMx_SMCTRL.EXCEN 选择等于 1。计数器可以在外部触发输入 ETR 的每个上升沿或下降沿计数。

下图为外部时钟源模式 2 的外部触发输入模块示意图。

图 12-15 外部触发输入框图



例如，使用以下配置步骤使向上计数器在 ETR 上每 2 个上升沿计数一次。

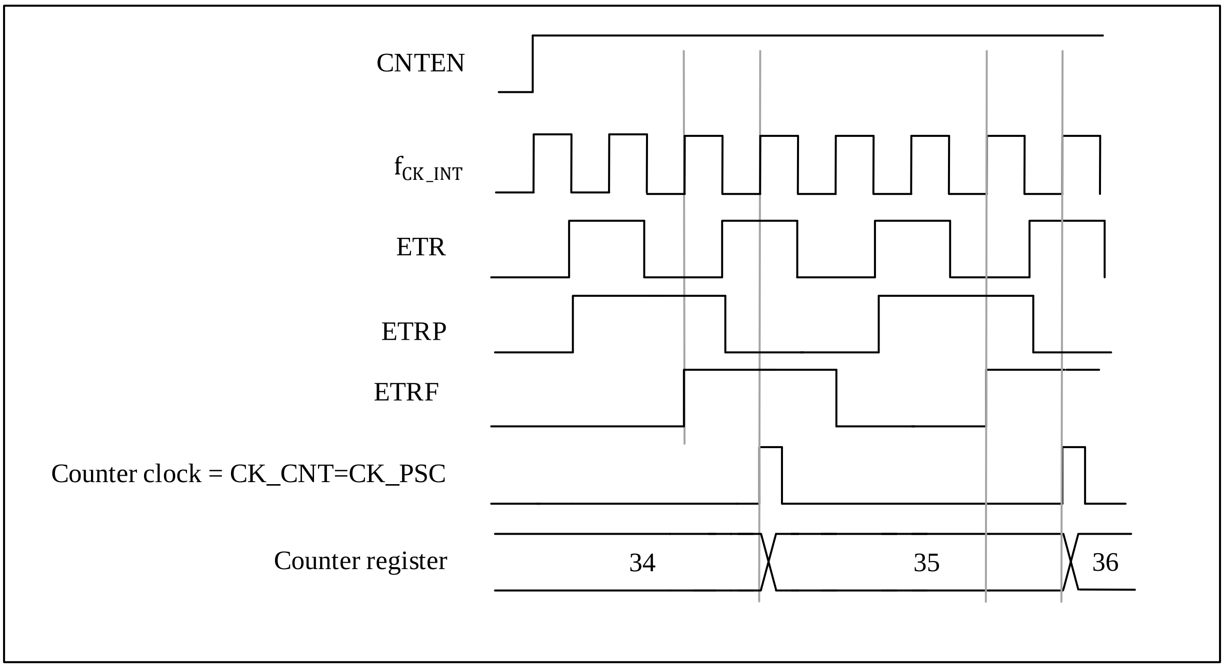
- 由于在这种情况下不需要滤波器，因此使 TIMx_SMCTRL .EXTF[3:0] 等于‘0000’
- 通过使 TIMx_SMCTRL.EXTPS[1:0] 等于 ‘01’ 来配置预分频器
- 通过设置 TIMx_SMCTRL.EXTP 等于‘0’来选择 ETR 引脚的极性，ETR 的上升沿有效
- 外部时钟模式 2 通过设置 TIMx_SMCTRL .EXCEN 等于‘1’来选择
- 通过设置 TIMx_CTRL1. CNTEN 等于“1”启动计数器。

计数器每 2 个 ETR 上升沿计数一次。 ETR 的上升沿与计数器的实际时钟之间的延迟是由于 ETRP 信号

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

上的再同步电路造成的。

图 12-16 外部时钟模式 2 的控制电路

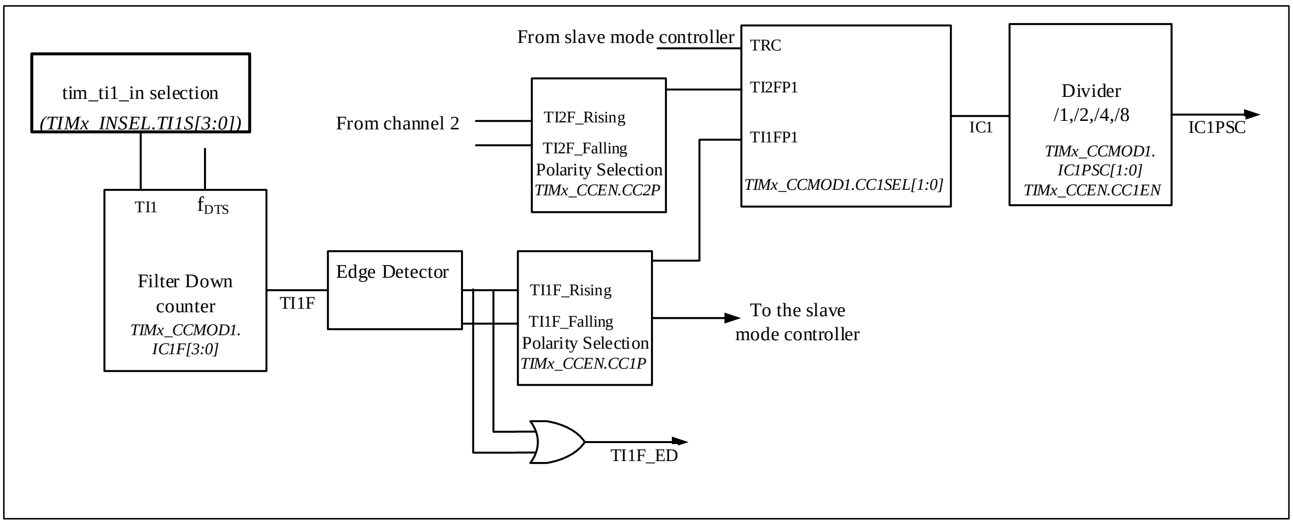


12.5.5 捕获/比较通道

捕获/比较通道包括捕获/比较寄存器和影子寄存器。 输入部分由数字滤波器、多路复用器和预分频器组成。 输出部分包括比较器和输出控制。

输入信号 TIx 被采样和滤波以产生信号 TIxF。 然后由极性选择功能的边沿检测器生成信号（TIxF_rising 或 TIxF_falling），其极性由 TIMx_CCEN.CCxP 位选择。 该信号可用作从模式控制器的触发输入。 同时，信号 ICx 经过分频后送入捕获寄存器。 下图显示了捕获/比较通道的框图。

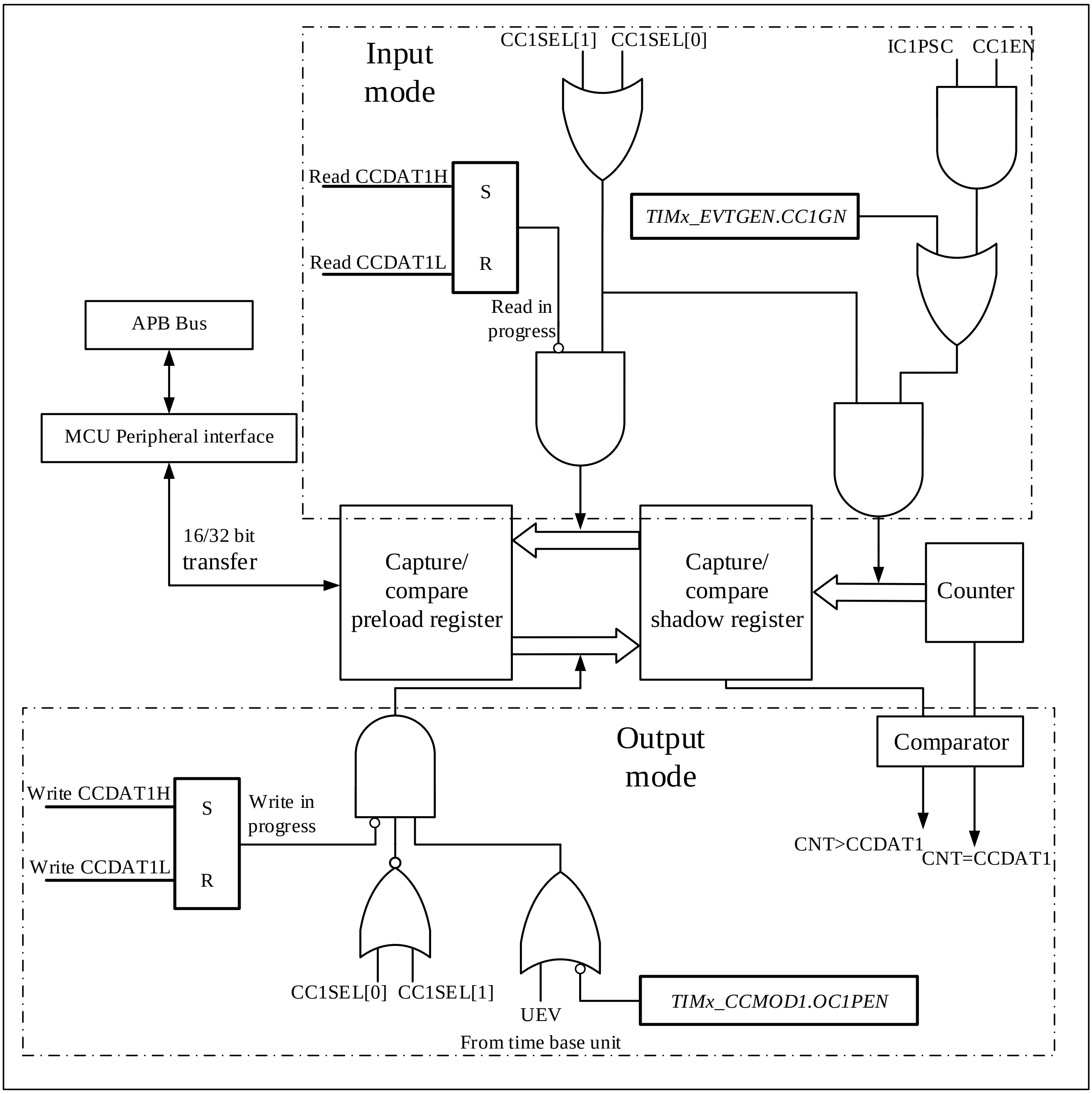
图 12-17 捕获/比较通道（例如：通道 1 输入级）



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

输出部分生成一个中间波形 OCxRef（高电平有效）作为参考。 极性作用在链的末端。

图 12-18 捕获/比较通道 1 主电路



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 12-19 通道 x 的输出部分（x= 1；以通道 1 为例子）

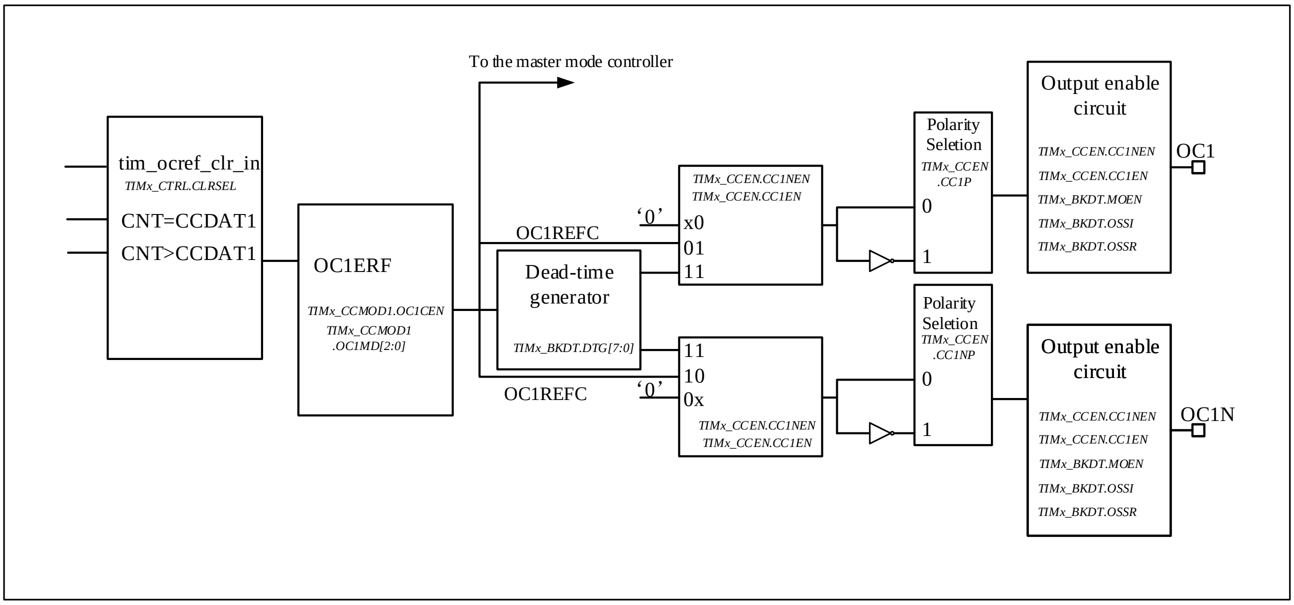
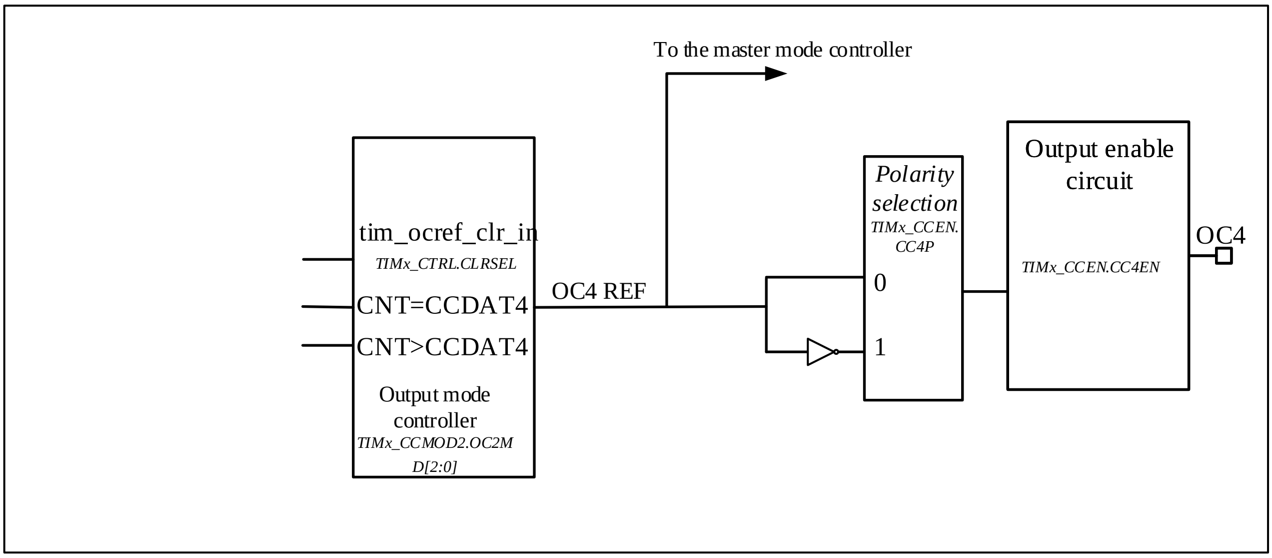


图 12-20 通道 x 的输出部分（x= 2，3，4；以通道 4 为例子）



在捕获/比较时，读取和写入始终访问预加载的寄存器。 两个具体工作流程如下：

在捕获模式下，捕获实际上是在影子寄存器中完成的，然后将影子寄存器中的值复制到预加载寄存器中。

在比较模式下，与捕获模式相反，预加载寄存器的值被复制到影子寄存器中，并与计数器进行比较。

12.5.6 输入捕获模式

在捕获模式下，TIMx_CCDATx 寄存器用于在检测到 ICx 信号后锁存计数器值。

有一个捕获中断标志 TIMx_STS.CCxITF，如果相应的中断使能被拉高，它可以发出中断或 DMA 请求。

TIMx_STS.CCxITF 位在发生捕获事件时由硬件设置，并由软件或读取 TIMx_CCDATx 寄存器清零。

当 TIMx_CCDATx 寄存器中的计数器值被捕获并且 TIMx_STS.CC1ITF 被拉高时，重复捕获标志

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

TIMx_STS.CCxOCF 设置为 1。 与前者不同，TIMx_STS.CCxOCF 通过向其写入 0 来清除。

为实现 TI1 输入的上升沿将计数器值捕获到 TIMx_CCDAT1 寄存器中，配置流程如下：

- 选择有效输入：

  将 TIMx_CCMOD1.CC1SEL 配置为“01”。 此时输入为 CC1 通道，IC1 映射到 TI1。

- 编程所需的输入滤波器持续时间：

  通过配置 TIMx_CCMODx.ICxF 位来定义 TI1 输入的采样频率和数字滤波器的长度。 示例：如果输入信号抖动多达 5 个内部时钟周期，我们必须选择比这 5 个时钟周期更长的滤波器持续时间。 当检测到具有新电平的 8 个连续样本（以 f_{DTS} 频率采样）时，我们可以验证 TI1 上的转换。 然后配置 TIMx_CCMOD1. IC1F 到“0011”

- 通过配置 TIMx_CCEN .CC1P=0，选择上升沿作为 TI1 通道的有效跳变极性
- 配置输入预分频器。 在本例中，配置 TIMx_CCMOD1.IC1PSC= ‘00’ 以禁用预分频器，因为我们想要捕获每个有效转换
- 通过配置 TIMx_CCEN .CC1EN = ‘1’ 启用捕获。

如果要使能 DMA 请求，可以配置 TIMx_DINTEN.CC1DEN=1。如果要使能相关中断请求，可以配置 TIMx_DINTEN.CC1IEN =1。

12.5.7 PWM 输入模式

PWM 输入模式和普通输入捕获模式有一些区别，包括:

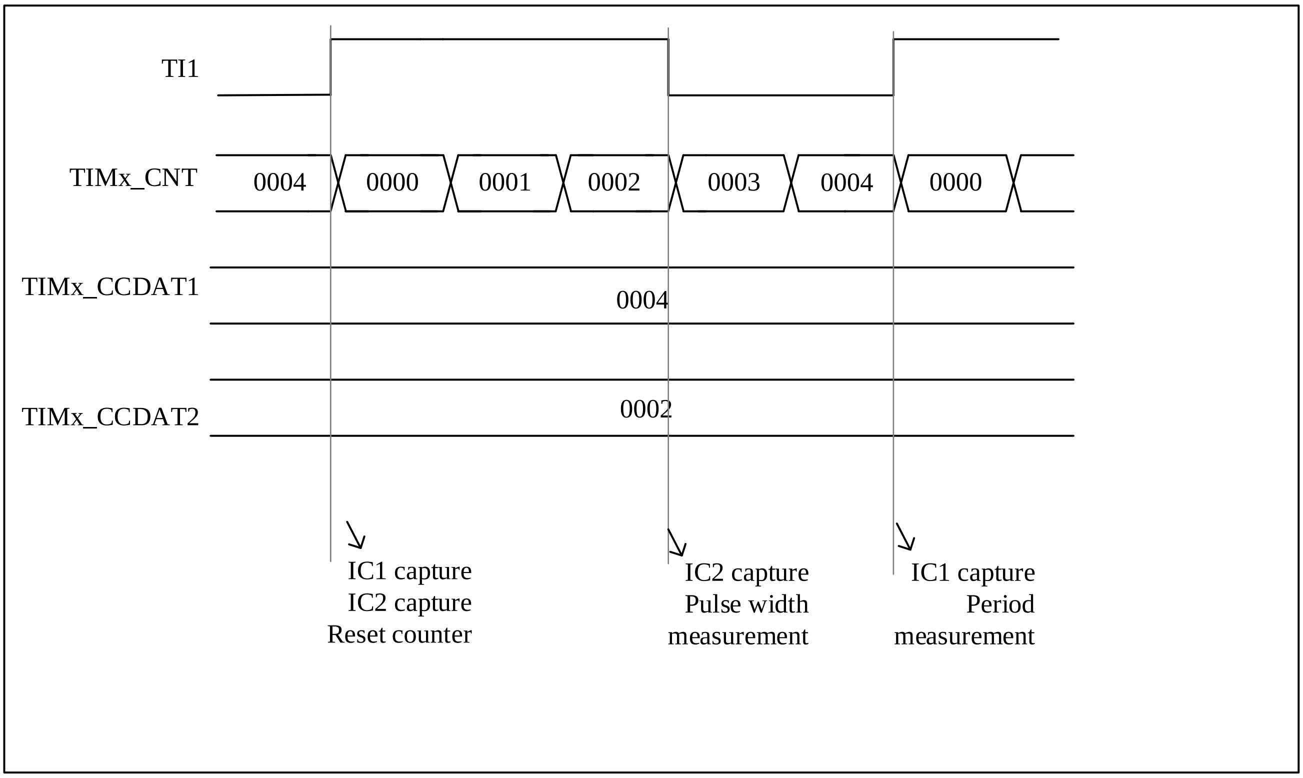
- 两个 ICx 信号映射到同一个 TIx 输入
- 两个 ICx 信号在极性相反的边沿有效
- 选择两个 TIxFP 信号之一作为触发输入
- 从机模式控制器配置为复位模式

例如，下面的配置流程可以用来知道 TI1 上 PWM 信号的周期和占空比（这取决于 CK_INT 的频率和预分频器的值）。

- 配置 TIMx_CCMOD1.CC1SEL 等于 ‘01’ 以选择 TI1 作为 TIMx_CCDAT1 的有效输入
- 配置 TIMx_CCEN.CC1P 等于 ‘0’ 选择滤波定时器输入 1(TI1FP1) 的有效极性，在上升沿有效
- 配置 TIMx_CCMOD1.CC2SEL 等于 ‘10’ 选择 TI1 作为 TIMx_CCDAT2 的有效输入
- 配置 TIMx_CCEN.CC2P 等于‘1’选择滤波定时器输入 2(TI1FP2)的有效极性，下降沿有效
- 配置 TIMx_SMCTRL.TSEL 等于‘101’ 选择 Filtered timer input 1 (TI1FP1) 作为有效触发输入
- 配置 TIMx_SMCTRL.SMSEL 等于‘0100’ 配置从模式控制器为复位模式
- 配置 TIMx_CCEN.CC1EN 等于‘1’和 TIMx_CCEN.CC2EN 等于‘1’以启用捕获

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 12-21 PWM 输入模式时序



由于只有滤波器定时器输入 1 (TI1FP1) 和滤波器定时器输入 2 (TI2FP2) 连接到从模式控制器，因此 PWM 输入模式只能与 TIMx_CH1/TIMx_CH2 信号一起使用。

12.5.8 强制输出模式

在输出模式(TIMx_CCMODx.CCxSEL 等于‘00’)下，软件可以直接将输出比较信号强制为有效或无效电平。

用户可以设置 TIMx_CCMODx.OCxMD 等于‘101’ 强制输出比较信号为有效电平。OCxREF 将被强制为高电平，OCx 得到与 CCxP 极性位相反的值。 另一方面，用户可以设置 TIMx_CCMODx.OCxMD 等于‘100’ 强制输出比较信号为无效电平，即 OCxREF 被强制为低电平。

在此模式下，TIMx_CCDATx 影子寄存器和计数器的值仍然相互比较。

输出比较寄存器 TIMx_CCDATx 和计数器 TIMx_CNT 之间的比较对 OCxREF 没有影响。 并且仍然可以设置标志。 因此，仍然可以发送中断和 DMA 请求。

12.5.9 输出比较模式

用户可以使用此模式来控制输出波形，或指示一段时间已过。

当捕获/比较寄存器和计数器的值相同时，输出比较函数的操作如下：

- TIMx_CCMODx.OCxMD 为输出比较模式，TIMx_CCEN.CCxP 为输出极性。 当比较匹配时，如果设置 TIMx_CCMODx.OCxMD 等于‘000’，则输出管脚将保持其电平；如果设置 TIMx_CCMODx.OCxMD 等于‘001’，则设置输出管脚有效；如果设置 TIMx_CCMODx.OCxMD 等于‘010’，则输出管脚将为 设置为无效；如果设置 TIMx_CCMODx.OCxMD 等于‘011’，则输出引脚将设置为翻转。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 设置 TIMx_STS.CCxITF
- 如果用户设置了 TIMx_DINTEN.CCxIEN，将产生相应的中断
- 如果用户设置 TIMx_DINTEN.CCxDEN 并设置 TIMx_CTRL2.CCDSEL 选择 DMA 请求，将发送 DMA 请求

用户可以设置 TIMx_CCMODx.OCxPEN 来选择是否使用捕获/比较预加载寄存器（TIMx_CCDATx）来选择捕获/比较影子寄存器。

时间分辨率是计数器的一个计数周期。

在单脉冲模式下，输出比较模式也可用于输出单脉冲。

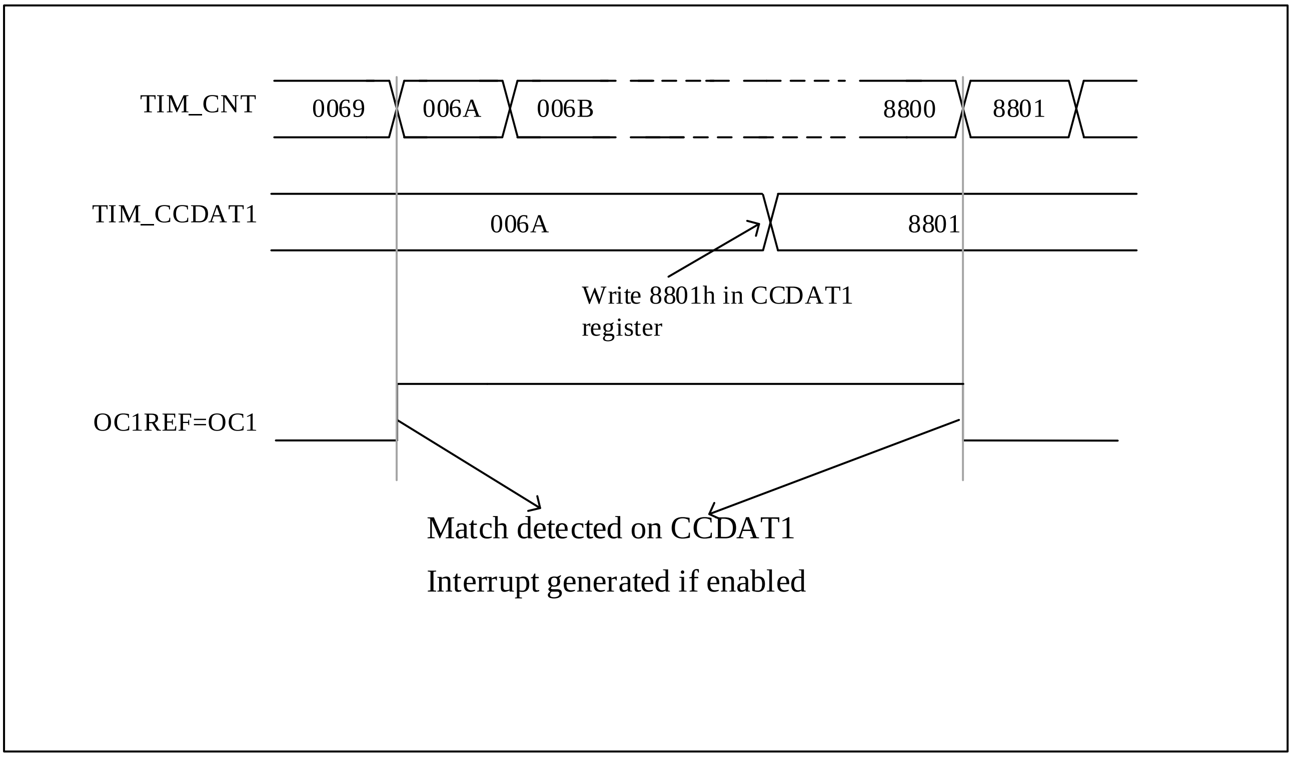
以下是输出比较模式的配置步骤：

- 首先，用户应该选择计数器时钟
- 其次，用所需数据设置 TIMx_AR 和 TIMx_CCDATx
- 如果用户需要产生中断，设置 TIMx_DINTEN.CCxIEN
- 然后通过设置 TIMx_CCEN.CCxP、TIMx_CCMODx.OCxMD、TIMx_CCEN.CCxEN 等选择输出模式
- 最后，设置 TIMx_CTRL1.CNTEN 启用计数器

用户可以随时通过设置 TIMx_CCDATx 来更新输出波形，只要不启用预加载寄存器。 否则，TIMx_CCDATx 影子寄存器将在下一次更新事件中更新。

例如：

图 12-22 输出比较模式，开启 OC1



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

12.5.10 PWM 模式

用户可以使用 PWM 模式产生一个信号，其占空比由 TIMx_CCDATx 寄存器的值决定，其频率由 TIMx_AR 寄存器的值决定。 并且取决于 TIMx_CTRL1.CAMSEL 的值，TIM 可以在边沿对齐模式或中央对齐模式下产生 PWM 信号。

用户可以通过设置 TIMx_CCMODx. OCxMD 等于‘110’ 或设置 TIMx_CCMODx.OCxMD 等于‘111’来设置 PWM 模式 1 或 PWM 模式 2。 要使能预加载寄存器，用户必须设置相应的 TIMx_CCMODx.OCxPEN。 然后设置 TIMx_CTRL1.ARPEN 自动重装载预加载寄存器。

用户可以通过设置 TIMx_CCEN.CCxP 来设置 OCx 的极性。 另一方面，要使能 OCx 的输出，用户需要在 TIMx_CCEN 和 TIMx_BKDT 中设置 CCxEN、CCxNEN、MOEN、OSSI 和 OSSR 的值的组合。

当 TIM 处于 PWM 模式时，TIMx_CNT 和 TIMx_CCDATx 的值总是相互比较。

只有当更新事件发生时，预加载寄存器才会转移到影子寄存器。 因此，用户必须在计数器开始计数之前通过设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 来复位所有寄存器。

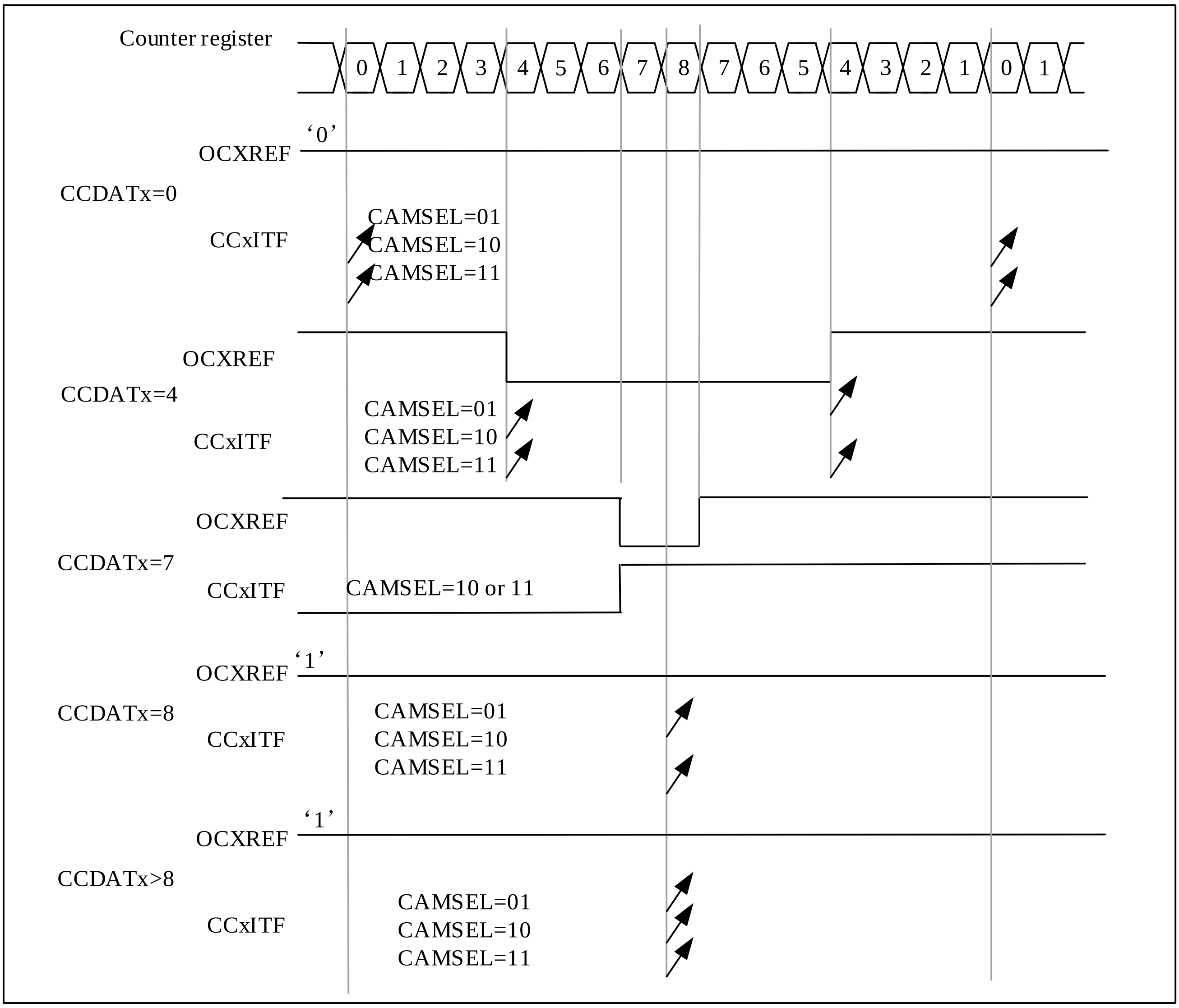
12.5.10.1 PWM 中央对齐模式

如果用户设置 TIMx_CTRL1.CAMSEL 等于‘01’、 ‘10’或 ‘11’，PWM 中央对齐模式将被激活。 比较标志的设置取决于 TIMx_CTRL1.CAMSEL 的值。 设置比较标志的情况有 3 种，仅当计数器向上计数时，仅当计数器向下计数时，或当计数器向上计数和向下计数时。 用户不应通过软件修改 TIMx_CTRL1.DIR，它是由硬件更新的。

中央对齐 PWM 波形示例如下，波形设置为：TIMx_AR=8，PWM 模式 1，当计数器向下计数对应 TIMx_CTRL1.CAMSEL 等于‘01’ 时设置比较标志。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 12-23 中央对齐的 PWM 波形 (AR=8)



使用中央对齐模式时用户应注意的事项如下：

- 计数器向上或向下计数取决于 TIMx_CTRL1.DIR 的值。 注意不要同时更改 DIR 和 CAMSEL 位
- 用户在中央对齐模式下不要写计数器，否则会导致意想不到的结果。 例如：
  - 如果写入计数器的值为 0 或者是 TIMx_AR 的值，则方向会被更新，但不会产生更新事件
  - 如果写入计数器的值大于自动重载的值，则方向不会更新
- 为了安全起见，建议用户在启动计数器之前设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 以通过软件生成更新，并且在计数器运行时不要写入计数器

12.5.10.2 PWM 中央对齐非对称模式

关于 PWM 中央对齐非对称模式请查阅12.5.2.3.2。

12.5.10.3 PWM 边沿对齐模式

边沿对齐模式有两种配置，向上计数和向下计数。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- **向上计数**

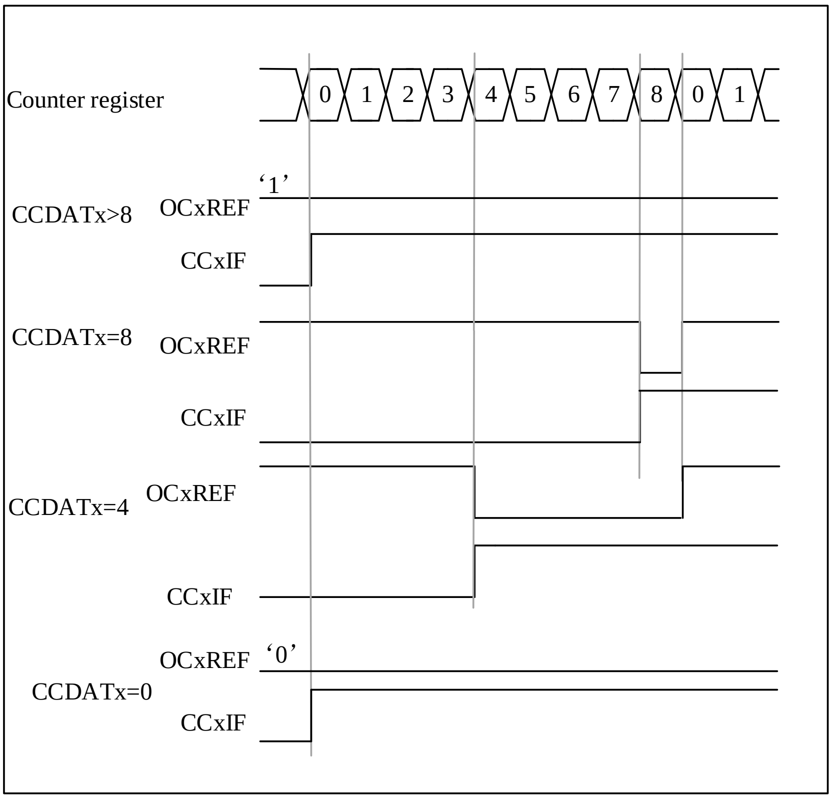
用户可以设置 TIMx_CTRL1.DIR 等于‘0’使计数器向上计数。

PWM 模式 1 的示例：

当 TIMx_CNT < TIMx_CCDATx 时， OCxREF 为高电平，否则为低电平。 如果 TIMx_CCDATx 中的比较值大于自动重载值，则 OCxREF 将保持为 1。相反，如果比较值为 0，则 OCxREF 将保持为 0。

当 TIMx_AR=8 时，PWM 波形如下：

图 12-24 边沿对齐 PWM 波形 (AR=8)



- **向下计数**

用户可以设置 TIMx_CTRL1.DIR 等于‘1’ 使计数器向下计数。
PWM 模式 1 的示例：

当 TIMx_CNT > TIMx_CCDATx 时，OCxREF 为低电平，否则为高电平。 如果 TIMx_CCDATx 中的比较值大于自动重载值，则 OCxREF 将保持为 1。

注：若第 n 个 PWM 周期 CCDATx 影子寄存器>=AR 值，第 n+1 个 PWM 周期 CCDATx 的影子寄存器值是 0。在第 n+1 个 PWM 周期的计数器为 0 的时刻，虽然计数器 = CCDATx 影子寄存器的值 = 0，OCxREF = ‘0’，但不会产生比较事件。

12.5.11 组合 PWM 模式

在组合 PWM 模式下，生成的两个边沿或中心对齐 PWM 信号的各个脉冲间允许存在可编程延时和相移。频率由 TIMx_AR 寄存器的值确定，而占空比和延时则由两个 TIMx_CCMODx 寄存器确定。产生的信号

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

OCxREFC 由两个参考 PWM 的逻辑或运算或者逻辑与运算组合组成。

- OC1REFC（或 OC2REFC）由 TIMx_CCDAT1 和 TIMx_ CCDAT2 控制
- OC3REFC（或 OC4REFC）由 TIMx_ CCDAT3 和 TIMx_ CCDAT4 控制

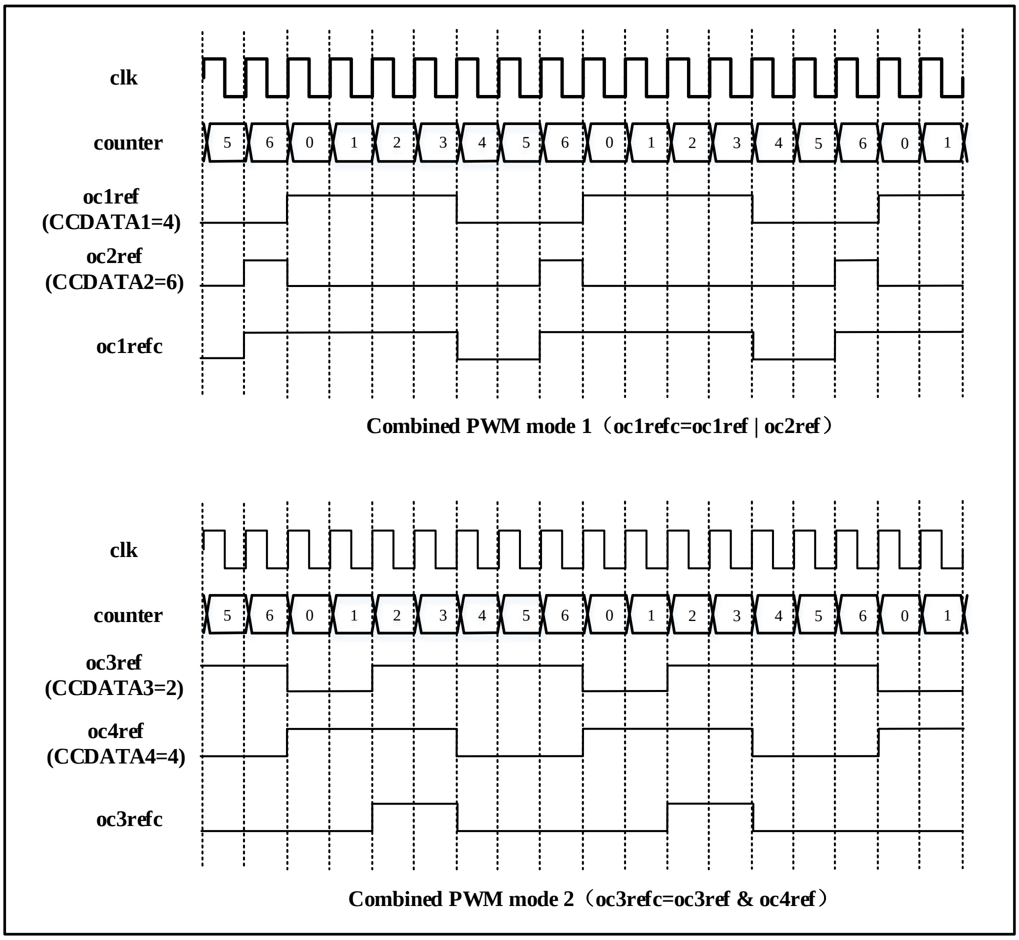
两个通道可以独立选择组合 PWM 模式（每对 TIMx_CCDATx 寄存器一个 OCx 输出），只需向 TIMx_CCMODx 寄存器的 OCxMD3 位写入’1’ OCxMD 位写入’110’（组合 PWM 模式 1）或 OCxMD3 位写入’1’ OCxMD 位写入’111’（组合 PWM 模式 2）。

当给定通道用作组合 PWM 通道时，其互补通道必须在相反的 PWM 模式下配置（例如，一个通道在组合 PWM 模式 1 下配置，另一个通道在组合 PWM 模式 2 下配置）。

下图显示了组合 PWM 模式下可以产生的信号示例，通过以下配置可获得这些信号：

- 通道 1 配置为在组合 PWM 模式 1。
- 通道 2 配置为 PWM 模式 2。
- 通道 3 配置为组合 PWM 模式 2。
- 通道 4 配置为 PWM 模式 1。

图 12-25 通道 1 和通道 3 上的组合 PWM 模式

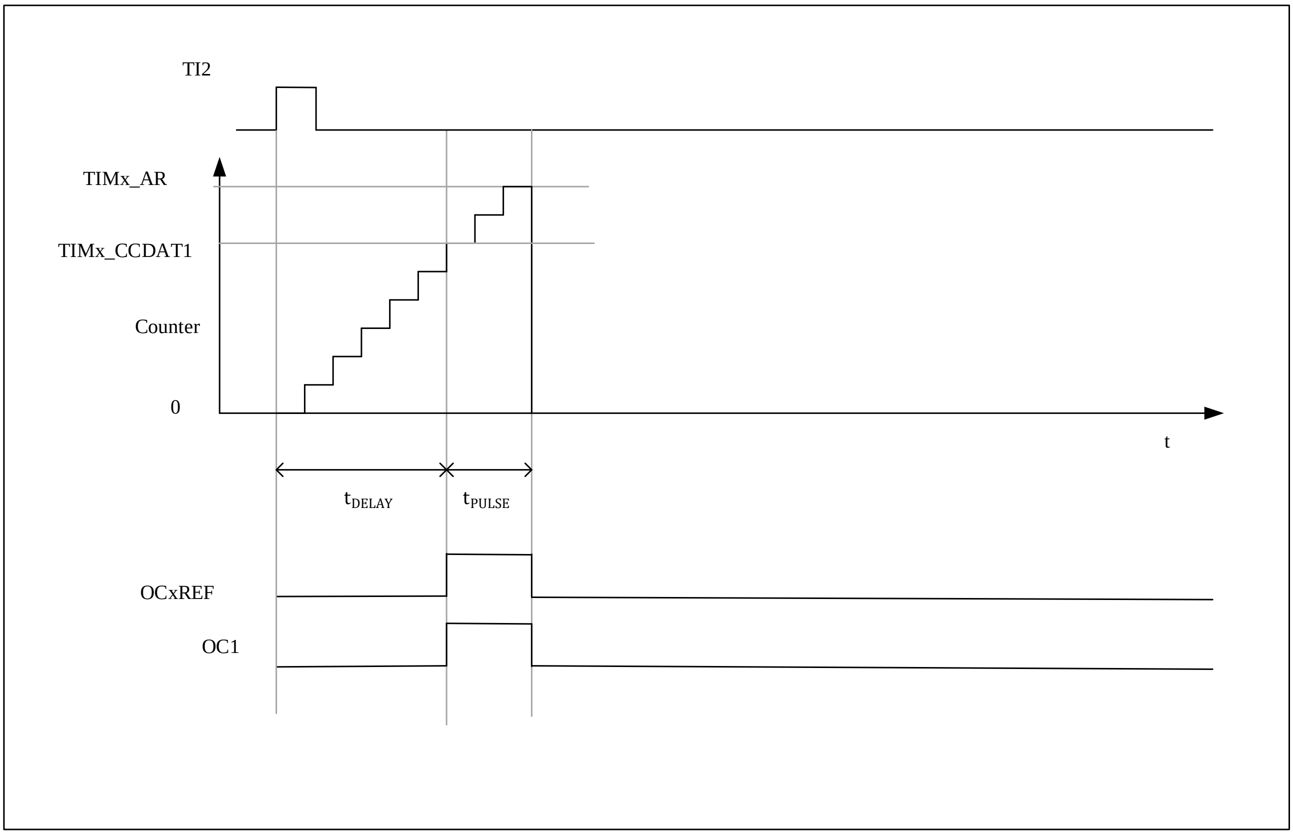


国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

12.5.12 单脉冲模式

在单脉冲模式(ONEPM)中，接收到触发信号，经过可控延迟 t_{DELAY} 后产生脉宽可控的脉冲 t_{PULSE}。 输出模式需要配置为输出比较模式或 PWM 模式。 选择单脉冲模式后，计数器会在更新事件 UEV 产生后停止计数。

图 12-26 单脉冲模式示例



以下是单脉冲模式的示例：

从 TI2 输入检测到上升沿触发，延迟 t_{DELAY} 后在 OC1 上产生宽度为 t_{PULSE} 的脉冲。

7. 计数器配置：向上计数，计数器 TIMx_CNT < TIMx_CCDAT1 ≤ TIMx_AR；
8. TI2FP2 映射到 TI2， TIMx_CCMOD1.CC2SEL 等于‘01’； TI2FP2 配置为上升沿检测，TIMx_CCEN.CC2P 等于‘0’；
9. TI2FP2 充当从模式控制器的触发器（TRGI）并启动计数器，TIMx_SMCTRL.TSEL 等于‘110’，TIMx_SMCTRL.SMSEL 等于‘0110’（触发模式）；
10. TIMx_CCDAT1 写入要延迟的计数值（t_{DELAY}），TIMx_AR-TIMx_CCDAT1 为脉宽 t_{PULSE} 的计数值；
11. 配置 TIMx_CTRL1.ONEPM 等于‘01’使能单脉冲模式，配置 TIMx_CCMOD1.OC1MD 等于‘111’选择 PWM2 模式；
12. 等待 TI2 有外部触发事件，OC1 输出一个单脉冲波形；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

12.5.12.1 特殊情况：OCx 快速使能：

在单脉冲模式下，通过 TIx 输入检测到一个边沿，并触发计数器开始计数到比较值，然后输出一个脉冲。这些操作限制了可以达到的最小延迟 t_{DELAY}。

您可以设置 TIMx_CCMODx.OCxFEN 等于‘1’开启 OCx 快速使能，在触发上升沿后，OCxREF 信号将被强制转换为与比较匹配立即发生的电平相同的电平，而不管比较结果如何。 OCxFEN 快速使能仅在通道模式配置为 PWM1 和 PWM2 模式时生效。

12.5.13 可再触发单脉冲模式

该模式允许计数器可以在一个激励信号的触发下启动，并且能产生长度可编程的脉冲，但与不可再触发单脉冲模式间存在以下差别：

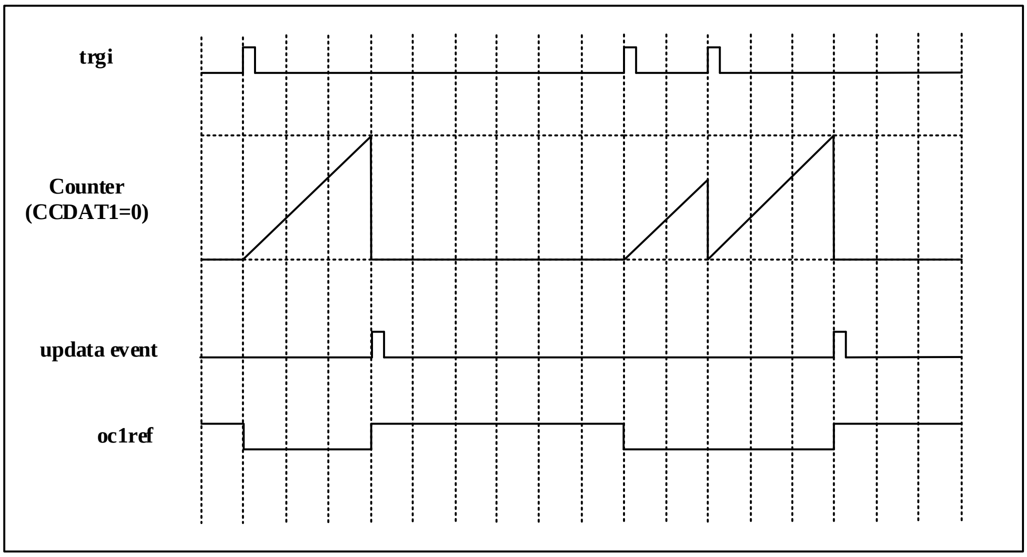
- 发生触发时，脉冲立即产生
- 如果在上一个触发完成前发生新的触发，脉冲将延长

定时器必须处于从模式，TIMx_SMCTRL 寄存器中的位 SMSEL[3:0]＝“1110”（组合复位+触发模式），针对可再触发单脉冲模式 1 或模式 2，将 OCxMD3 位写入’1’ OCxMD 位写入’ 000’或’ 001’。

定时器配置为递增计数模式时，相应的 TIMx_CCDATx 必须置 0（AR 寄存器设置脉冲长度）。如果 定时器配置为递减计数模式，CCDATx 必须高于或等于 AR。

下图以可再触发单脉冲模式 1 为例

图 12-27 可再触发单脉冲模式 1



12.5.14 在外部事件上清除 OCxREF 信号

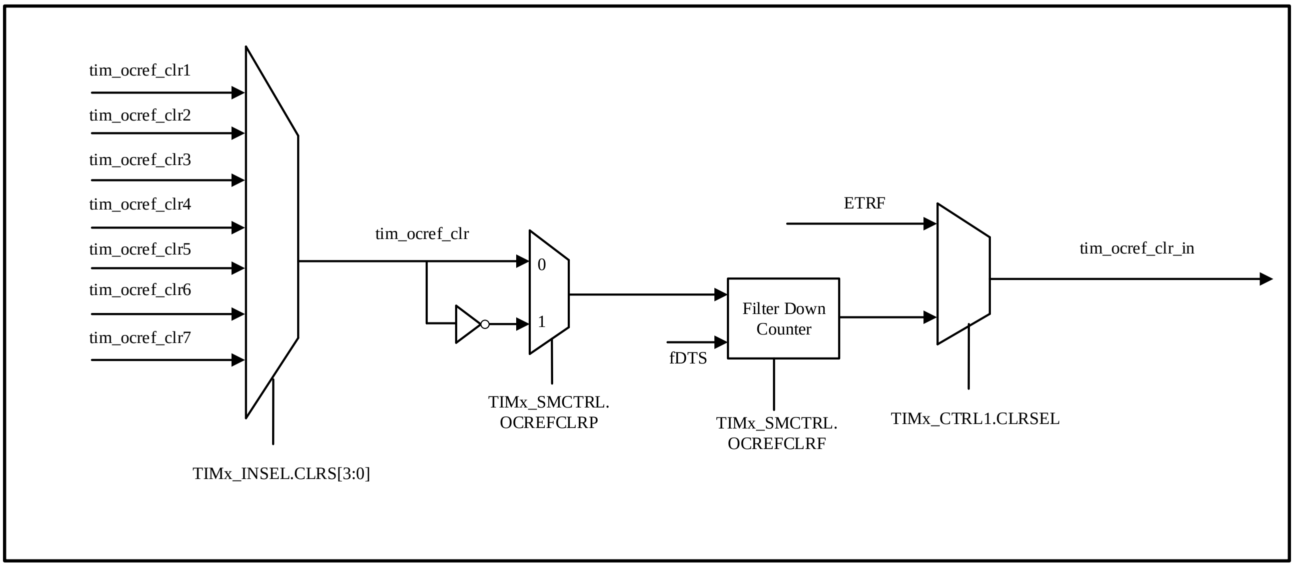
如果用户设置 TIMx_CCMODx.OCxCEN 等于‘1’， tim_ocref_clr_in 输入的高电平可用于驱动 OCxREF 信号为低电平，OCxREF 信号将保持低电平，直到下一次 UEV 发生。 只有输出比较和 PWM 模式可以使用该功能。 在强制模式下不能使用。

输入清除信号 tim_ocref_clr_in 可以通过 TIMx_CTRL1 寄存器中的 CLRSEL 位选择为 tim_ocref_clr 或者 ETRF。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

tim_ocref_clr 信号可以通过 TIMx_INSEL 寄存器中的 CLRS[3:0]进行选择，如下图所示。

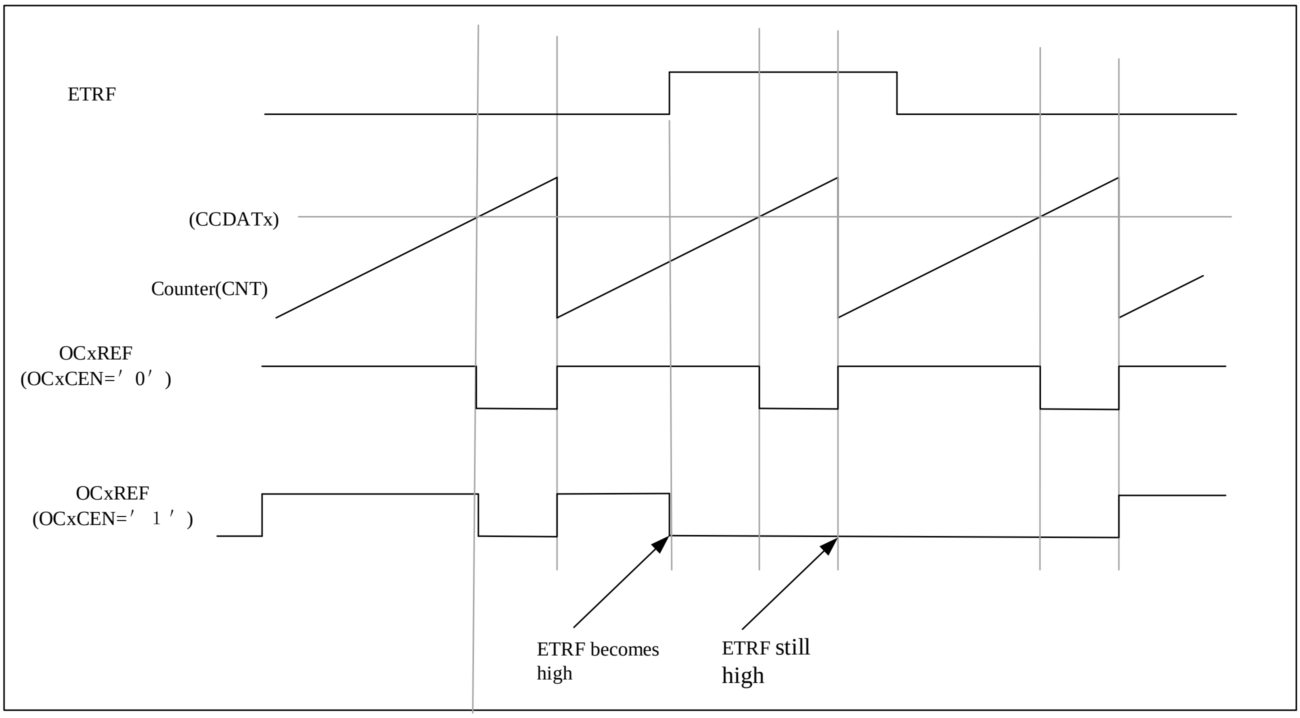
图 12-28 外部事件清除 OCxREF 信号



例：当 tim_ocref_clr_in 信号选择 ETRF 时，tim_etr_in 配置如下：

- 设置 TIMx_SMCTRL.EXTPS 等于‘00’ 禁用外部触发预分频器。
- 设置 TIMx_SMCTRL.EXCEN 等于‘0’ 禁用外部时钟模式 2。
- 设置 TIMx_SMCTRL.EXTP 和 TIMx_SMCTRL.EXTF，根据需要配置外触发极性和外触发滤波器。
- 当 ETRF 输入变高时，OCxREF 信号对于不同的 OCxCEN 值的行为。在这种情况下，定时器设置为 PWM 模式。

图 12-29 清除 TIMx 的 OCxREF



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

12.5.15 互补输出和死区插入

GTIMx（x=8-10）可以输出两个互补信号(CH1 和 CH1N)，并管理输出的关闭和打开。这称为死区时间。用户应根据连接到输出的设备及其特性调整死区时间。

用户可以通过设置 TIMx_CCEN.CCxP 和 TIMx_CCEN.CCxNP 来选择输出的极性。并且此选择对于每个输出都是独立的。

用户可以通过设置几个控制位的组合来控制互补信号 OCx 和 OCxN，它们分别是 TIMx_CCEN.CCxEN、TIMx_CCEN.CCxNEN、TIMx_BKDT.MOEN、TIMx_CTRL2.OIx、TIMx_CTRL2.OIxN、TIMx_BKDT.OSSI 和 TIMx_BKDT.OSSR。当切换到空闲状态时，死区时间将被激活。

如果用户同时设置 TIMx_CCEN.CCxEN 和 TIMx_CCEN.CCxNEN，则会插入死区时间。如果有刹车，还要设置 TIMx_BKDT.MOEN。每个通道都有 10 位死区时间发生器。

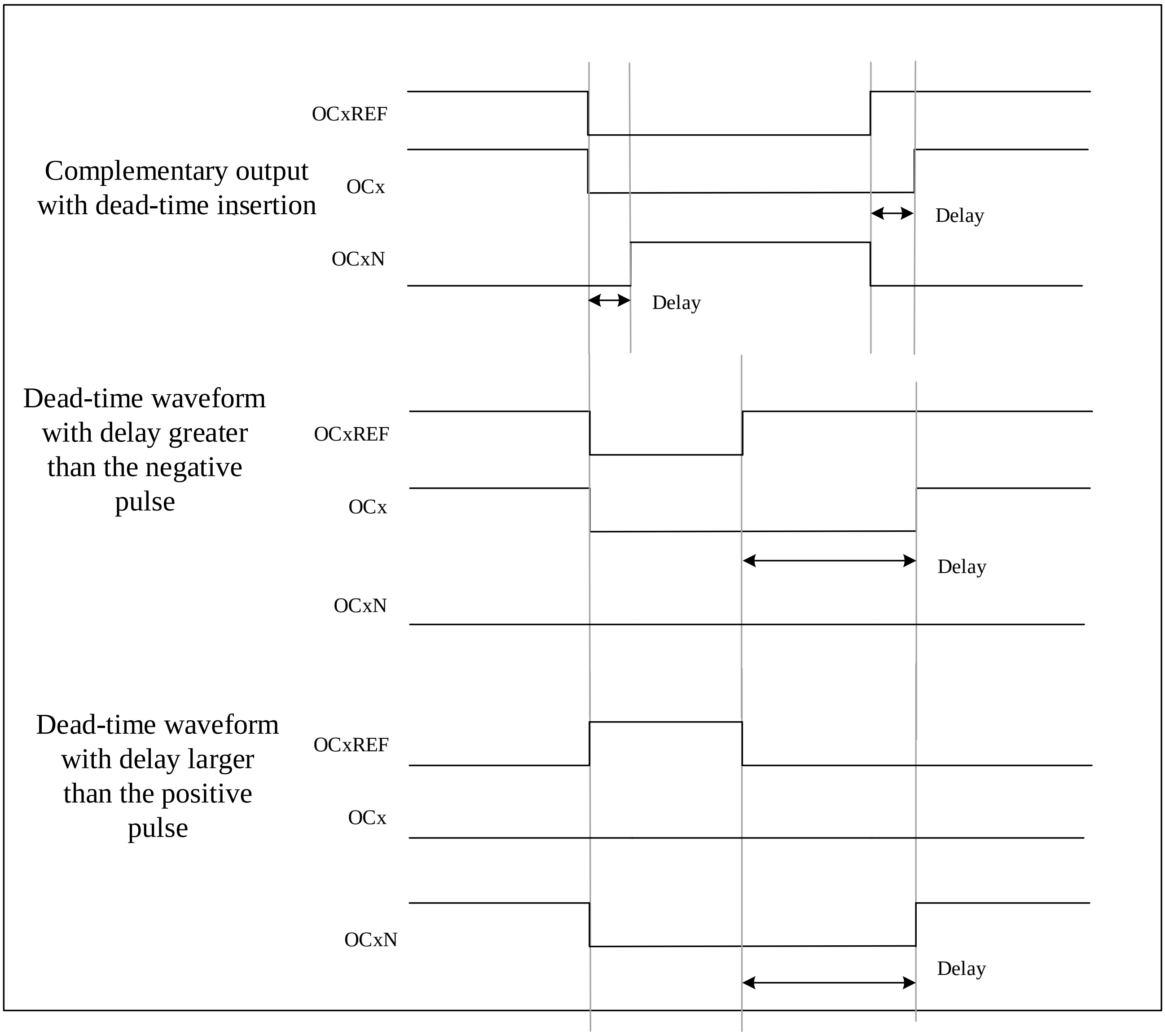
参考波形 OCxREF 可以生成 2 个输出 OCx 和 OCxN。如果 OCx 和 OCxN 为高电平有效，则 OCx 输出信号与参考信号相同，而 OCxN 输出信号与参考信号相反。但是，OCx 输出信号将相对于参考上升沿延迟，而 OCxN 输出信号将相对于参考下降沿延迟。如果延迟大于有效 OCx 或 OCxN 输出的宽度，则不会产生相应的脉冲。

死区时间发生器的输出信号与参考信号 OCxREF 之间的关系如下。

假设 TIMx_CCEN.CCxP=0， TIMx_CCEN.CCxNP=0， TIMx_BKDT.MOEN=1， TIMx_CCEN.CCxEN=1， TIMx_CCEN.CCxNEN=1。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 12-30 带死区插入的互补输出



用户可以设置 TIMx_BKDT.DTGN 来编程每个通道的死区时间延迟。

12.5.15.1 重定向 OCxREF 到 OCx 或 OCxN

在输出模式下，用户可以设置 TIMx_CCEN.CCxEN 和 TIMx_CCEN.CCxNEN 以将 OCxREF 重定向到 OCx 输出或 OCxN 输出。

这里有两种使用这个功能的方法。 当互补保持在其无效电平时，用户可以使用此功能发送特定波形，例如 PWM 或静态有效电平。用户还可以使用此功能将两个输出设置为无效电平，或将两个输出都设置为有效，两者互补且带死区。

如果用户设置 TIMx_CCEN.CCxEN=0 和 TIMx_CCEN.CCxNEN=1，两者不互补，当 OCxREF 为高电平时 OCxN 将变为有效。另一方面，如果用户设置 TIMx_CCEN.CCxEN=1 和 TIMx_CCEN.CCxNEN=1，当 OCxREF 为高电平时，OCx 将变为有效。相反，当 OCxREF 为低电平时，OCxN 将变为有效。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

12.5.16 刹车功能

使用刹车功能时，设置相应的控制位时会修改输出使能信号和无效电平。但是，无论何时，OCx 和 OCxN 的输出都不能同时处于有效电平，即需要满足（CCxP ^ OIx）^（CCxNP^OIxN）! = 0。

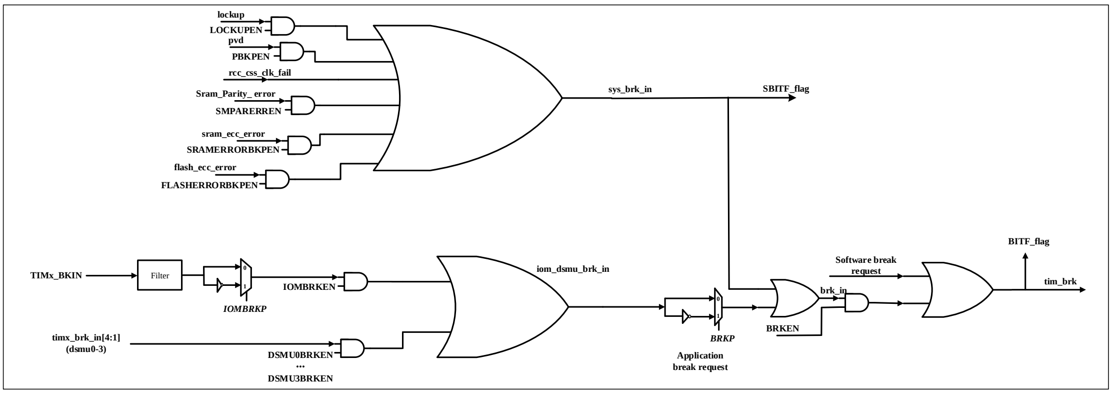
当启用多个刹车信号时，每个刹车信号构成一个 OR 逻辑。这里有一些信号可能是刹车的来源。

刹车 1：

- 刹车 1 输入引脚。
- 时钟失效事件，由时钟 RCC 中的时钟安全系统（CSS）生成。
- PVD 事件。
- 内核 Hardfault 事件。
- SRAM ECC 错误。
- SRAM 奇偶校验错误。
- FLASH ECC 错误。
- DSMU 的输出信号。
- 软件设置 TIMx_EVTGEN.BGN。

在所有源进入定时器 tim_brk 输入之前，对其进行或运算，如下图所示。

图 12-31 刹车输入



注意：只有禁止可编程滤波器时才能保证异步（无时钟）操作。如果使能可编程滤波器，必须使用故障安全时钟模式（例如，使用内部 PLL 和/或 CSS）来保证能够处理断路事件。

复位后刹车电路将被禁用。 MOEN 位将为低电平。用户可以设置 TIMx_BKDT.BKEN 来启用刹车功能。通过设置 TIMx_BKDT.BKP 可以选择刹车输入信号的极性。用户可以同时修改 TIMx_BKDT.BKEN 和 TIMx_BKDT.BKP。用户设置 TIMx_BKDT.BKEN 和 TIMx_BKDT.BKP 后，生效前有 1 个 APB 时钟周期延迟。因此，用户需要等待 1 个 APB 时钟周期才能读回写入位的值。

MOEN 的下降沿可以是异步的，所以在实际信号和同步控制位之间设置了一个再同步电路。该电路将导致异步和同步信号之间的延迟。当用户设置 TIMx_BKDT.MOEN 为低电平时，用户需要在读取该值之前插入一个延迟。因为写入了异步信号，但用户读取了同步信号。

刹车发生后的行为如下：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

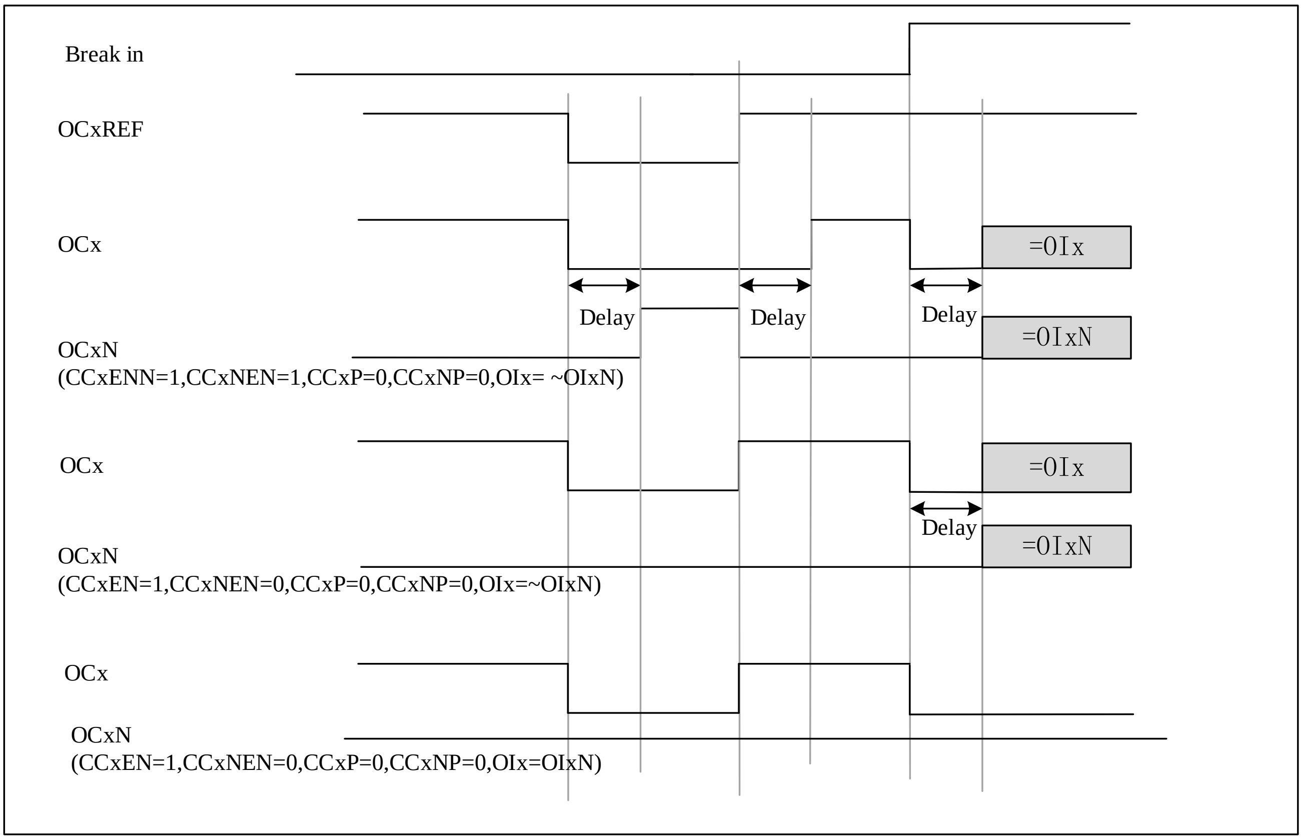
- TIMx_BKDT.MOEN 将被异步清除，然后输出将进入无效状态、空闲状态或复位状态。通过设置 TIMx_BKDT.OSSI 选择输出状态。即使 MCU 振荡器关闭，这也会生效。
- 一旦 TIMx_BKDT.MOEN=0，每个输出通道的输出将使用 TIMx_CTRL2.OIx 中编程的电平驱动。如果 TIMx_BKDT.OSSI=0，定时器将释放使能输出（由 GPIO 控制器接管），否则将保持高电平。
- 如果用户选择使用互补输出，TIM 的行为如下
  - 取决于极性，输出将首先设置为复位状态。它是一个异步选项，因此即使没有为计时器提供时钟，它仍然可以工作。
  - 如果仍然提供定时器时钟，死区发生器将重新激活，当（CCxP ^ OIx）^（CCxNP^OIxN）! = 0，即 OCx 和 OCxN 仍然不能同时被驱动到有效电平，在死区时间后时根据 TIMx_CTRL2.OIx 和 TIMx_CTRL2.OIxN 的值驱动输出。请注意，由于 MOEN 上的重新同步（大概 2 个 ck_tim 周期），死区时间将比平时长。
  - 如果 TIMx_BKDT.OSSI=0，定时器将释放输出控制。否则，如果使能输出为高电平，它将保持为高电平。如果为低电平，则在 TIMx_CCEN.CCxEN 或 TIMx_CCEN.CCxNEN 为高电平时变为高电平。
- 如果 TIMx_DINTEN.BIEN=1，当 TIMx_STS.BITF=1 时，会产生中断。
- 如果用户设置了 TIMx_BKDT.AOEN，TIMx_BKDT.MOEN 将在下一次 UEV 发生时自动设置。用户可以使用它来调节。如果用户未设置 TIMx_BKDT.AOEN，则 TIMx_BKDT.MOEN 将保持低电平，直到再次设置为 1。在这种情况下，用户可以使用它来保证安全。用户可以将刹车输入连接到热传感器、电源驱动器警报或其他安全组件。
- 刹车输入有效时，TIMx_BKDT.MOEN 不能自动置位或软件同时置位，TIMx_STS.BITF 也不能清零。因为刹车输入在电平上处于有效状态。

为保证应用安全，刹车电路具有写保护功能，并有刹车输入输出管理。它允许用户冻结一些参数，例如死区持续时间、OCx/OCxN 极性和禁用时的状态、OCxMD 配置、刹车启用和极性。用户可以通过设置 TIMx_BKDT.LCKCFG 选择使用 3 种保护级别之一。但是，TIMx_BKDT.LCKCFG 只能在 MCU 复位后写入一次。

响应刹车的输出行为示例如下

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 12-32 响应刹车的输出行为

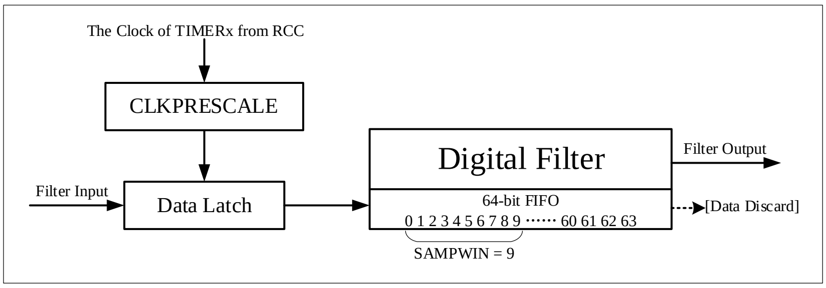


■ tim_brk 输入可禁止（无效状态）PWM 输出，也可将 PWM 输出强制为预定义的安全状态。

12.5.16.1 刹车滤波

寄存器 TIMx_BKFR 描述如下：

图 12-33 滑动滤波



- 数字滤波器通过 RCC 的 TIMx 时钟采样刹车信号，在 64 位 FIFO 中累积采样。 仅在 TIMx_BKFR.WSIZE [5:0] 中定义的窗口大小内采样数据，最大大小为 64。
- 过滤器输出采样窗口内的多数值，该值由 TIMx_BKFR.THRESH [5:0] 中的阈值定义，最大阈值为 63。此值应等于或大于窗口大小的一半。 如果采样窗口内的逻辑 1 和逻辑 0 计数均不大于阈值，则数字滤波器保持先前的输出值。
- TIM1_ SLIDFPSC. SLIDFPSC[15:0] 寄存器决定相应数字滤波器的采样率。 过滤器 FIFO 在每个采样时钟从输入中捕获一个采样值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

● 如果数字滤波器关闭，滤波器输入将像电线一样绕过输出。

12.5.17 双向刹车

GTIMx（x=8-10）具有双向刹车 I/O 功能。

应用支持：

● 一个板级的全局刹车信号，它可以通过一个独特的 IO（既是输入又是输出状态引脚）向外部 MCU 或门驱动器发出故障信号。

● 当多个内部和外部刹车源需要被合并时，他们通过“或”连接在一起去产生唯一的刹车事件。

tim_brk 输入通过控制 TIMx_BDTR 寄存器的 BRKBID 来配置为双向模式。BRKBID 可以使用 TIMx_BKDT 寄存器中的 LOCK 位以只读模式锁定（在 LOCK 级别 1 或以上）。

双向模式对 tim_brk 输入可用，要求 I/O 配置为开漏模式，极性为低电平（通过 TIMx_AF1.IOMBRKP，TIMx_BKDT.BKP 位）。任何来自系统（如 CSS）、片上外设或刹车输入的刹车请求都会迫使刹车输入出现低电平，以示故障事件。为了安全起见，如果极性位没有被正确设置，双向模式就会被抑制（比如设置为高电平有效，双向模式不生效）。

软件刹车事件（TIMx_ EVTGEN.BGN）也会导致刹车 IO 强制为“0”，以便向外部器件标明定时器进入刹车状态。然而，这只有当刹车被启用（TIMx_BKDT .BKEN=1）时才有效。当一个软件刹车事件产生（TIMx_BKDT .BKEN=0）时，输出被置于安全状态，并且刹车标志被设置。但对 TIMx_BKIN I/O 没有影响。

安全解除机制可防止系统被完全锁定（刹车输入上的低电平触发刹车，从而在同一输入上强制执行低电平）。

当 TIMx_BKDT .BRKDSRM 位被设置为 1 时，就会释放刹车输出，以清除一个故障信号。并为重新启动系统提供了可能。

在任何时候，刹车保护电路都不能被禁用：

● 刹车输入路径始终是激活的：即使 TIMx_BKDT .BRKDSRM 位被设置并且漏极开路控制被释放，刹车事件也处于激活状态。这可防止 PWM 输出在刹车条件存在时重新启动。

● 只要输出被启用（TIMx_BKDT .MOEN 位被设置），TIMx_BKDT .BRKDSRM 位就不能解除刹车保护

表 12-11 刹车保护状态解除条件

MOEN	BRKBID	BRKDSRM	**刹车保护状态**
0	0	X	保护
0	1	0	保护
0	1	1	解除保护
1	X	X	保护

启用和重新启用刹车电路

默认情况下（在输入或双向模式下），刹车电路处于待命状态（外设复位配置）。

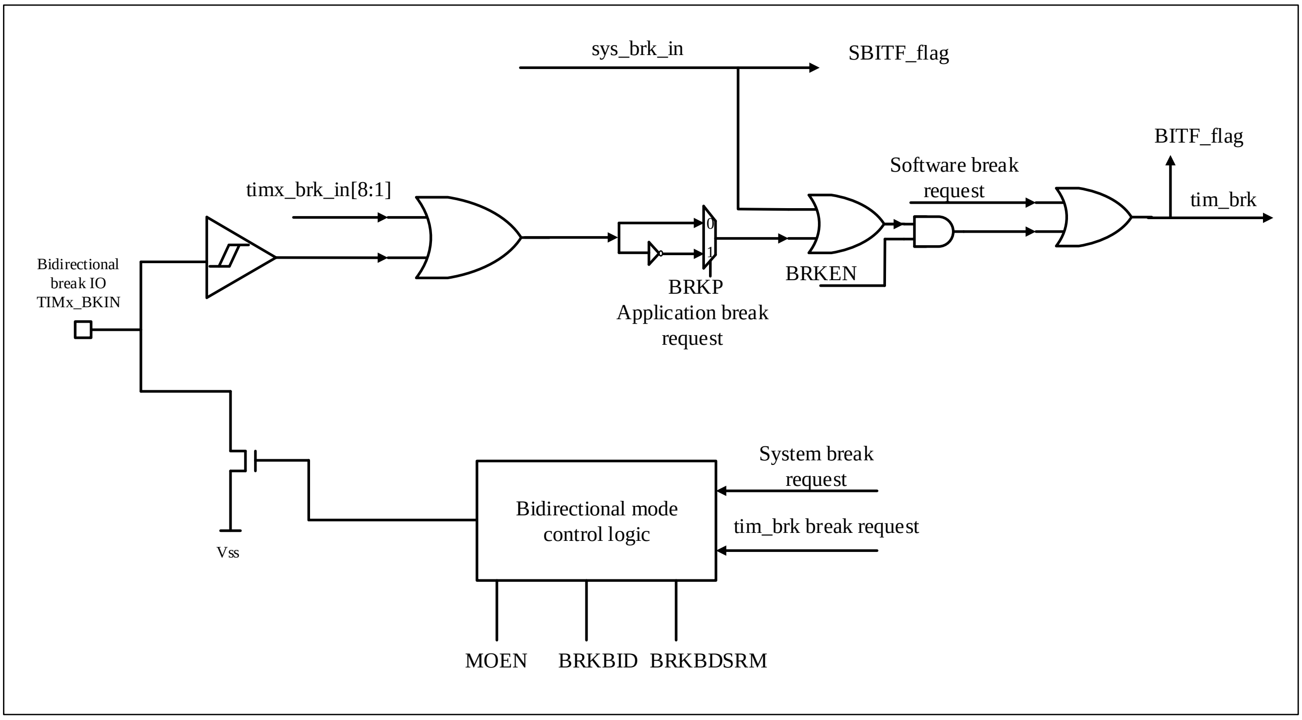
刹车事件后，必须遵循以下程序重新启用保护：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 必须设置 TIMx_BKDT .BRKDSRM 位以释放输出控制
- 软件必须等待系统刹车条件消失，并清除 TIMx_STS .SBIF 状态标志（或在重新启用前系统清除）
- 软件必须轮询 TIMx_BKDT .BRKDSRM 位，直到被硬件清除（当应用程序刹车条件消失时）

从这一点开始，刹车电路处于待命状态并处于激活状态，并且可以设置 TIMx_BKDT .MOEN 位以重新启用 PWM 输出。

图 12-34 输出重定向



12.5.18 调试模式

当微控制器处于调试模式（Cortex-M4 内核停止）时，根据 DBG_CTRL. GTIMx_STOP 位配置，定时器计数器可以继续正常工作或停止。有关详细信息，请参阅 37.3.2 节。

12.5.19 GTIMx 定时器和外部触发的同步

定时器可以通过从模式（复位、触发和门控）中的触发器进行同步。

12.5.19.1 从模式：复位模式

在复位模式下，触发事件可以复位计数器和预分频器。更新预加载寄存器 TIMx_AR、TIMx_CCDATx，并产生更新事件 UEV（TIMx_CTRL1.UPRS=0）。

以下是复位模式的示例：

10. 通道 1 配置为输入检测 TI1 的上升沿（TIMx_CCMOD1.CC1SEL=01，TIMx_CCEN.CC1P=0）；
11. 从模式选择为复位模式（TIMx_SMCTRL.SMSEL=0100），触发输入选择为 TI1

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

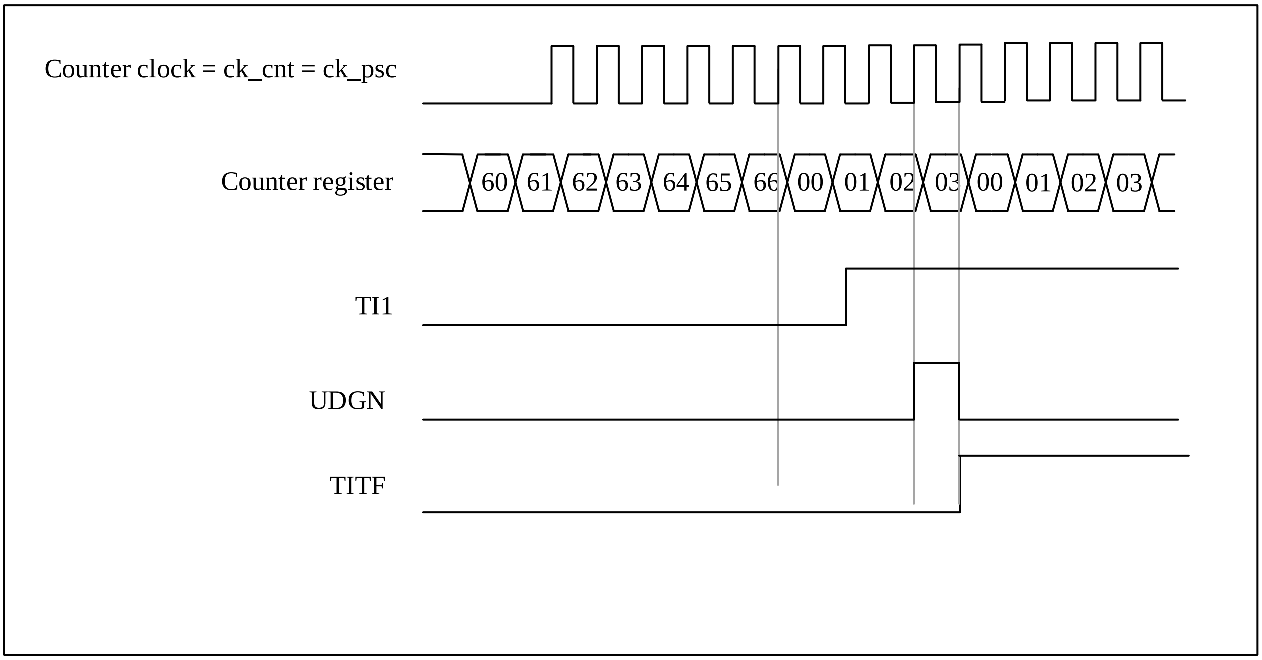
（TIMx_SMCTRL.TSEL=101）；

12. 启动计数器（TIMx_CTRL1.CNTEN = 1）

启动定时器后，当 TI1 检测到上升沿时，计数器复位并重新开始计数，并设置触发标志（TIMx_STS.TITF=1）；

TI1 的上升沿与实际计数器复位之间的延迟是由于 TI1 输入的重新同步电路引起的。

图 12-35 复位模式下的控制电路



12.5.19.2 从模式：触发模式

在触发模式下，输入端口的触发事件（上升沿/下降沿）可以触发计数器开始计数。

以下是触发模式的示例：

7. 通道 2 配置为输入，检测 TI2 的上升沿（TIMx_CCMOD1.CC2SEL=01，TIMx_CCEN.CC2P=0）；

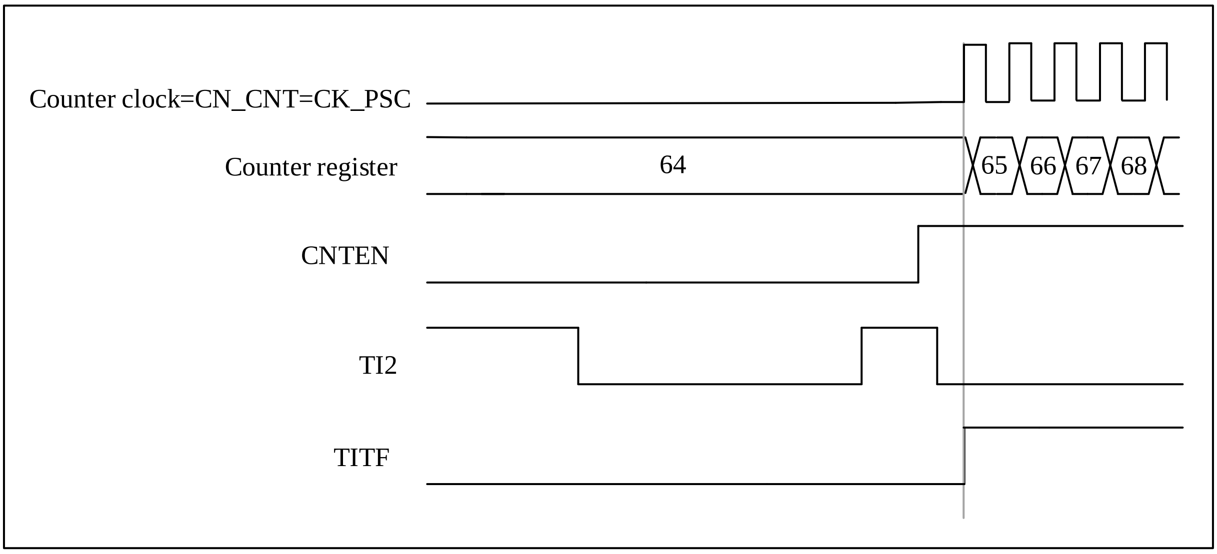
8. 选择从模式为触发模式（TIMx_SMCTRL.SMSEL=0110），触发输入选择 TI2（TIMx_SMCTRL.TSEL=110）；

当 TI2 检测到上升沿时，计数器开始计数，触发标志置位（TIMx_STS.TITF=1）；

TI2 的上升沿与实际计数器启动之间的延迟是由于 TI2 输入的重新同步电路引起的。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 12-36 触发器模式下的控制电路



12.5.19.3 从模式：门控模式

在门控模式下，输入端口的电平极性可以控制计数器是否计数。

以下是门控模式的示例：

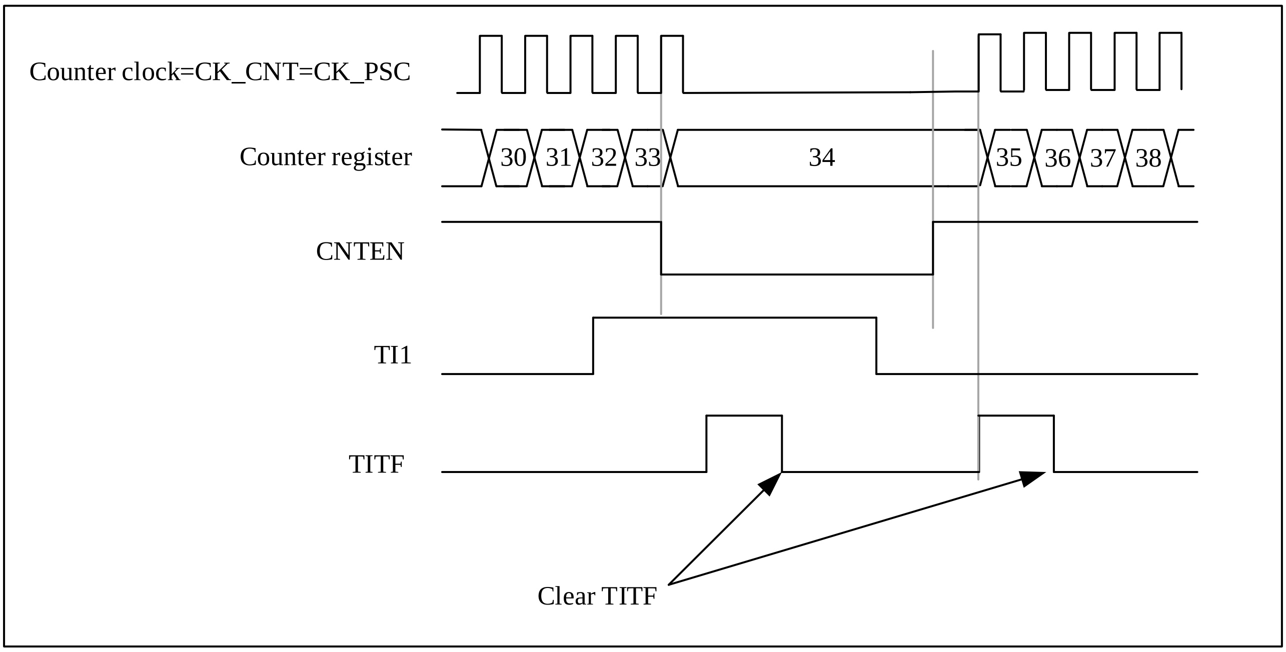
10. 通道 1 配置为 TI1 上的输入检测低电平有效 (TIMx_CCMOD1.CC1SEL=01, TIMx_CCEN.CC1P=1)；
11. 选择从模式为门控模式（TIMx_SMCTRL.SMSEL=0101），选择 TI1 作为 TRGI（TIMx_SMCTRL.TSEL=101）；
12. 启动计数器（TIMx_CTRL1.CNTEN = 1）；

当 TI1 检测到电平由低变高时，计数器停止计数，当 TI1 检测到电平由高变低时，计数器开始计数，开始或停止计数时触发标志置位（TIMx_STS .TITF=1)。

TI1 的上升沿与实际计数器停止之间的延迟是由于 TI1 输入的重新同步电路引起的。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 12-37 门控模式下的控制电路



12.5.19.4 从模式：触发模式 +外部时钟模式 2

在复位模式、触发模式和门控模式下，计数器时钟可选择为外部时钟模式 2，ETR 信号作为外部时钟源输入。 这时候触发选择需要选择非 ETRF（TIMx_SMCTRL.TSEL=111）。

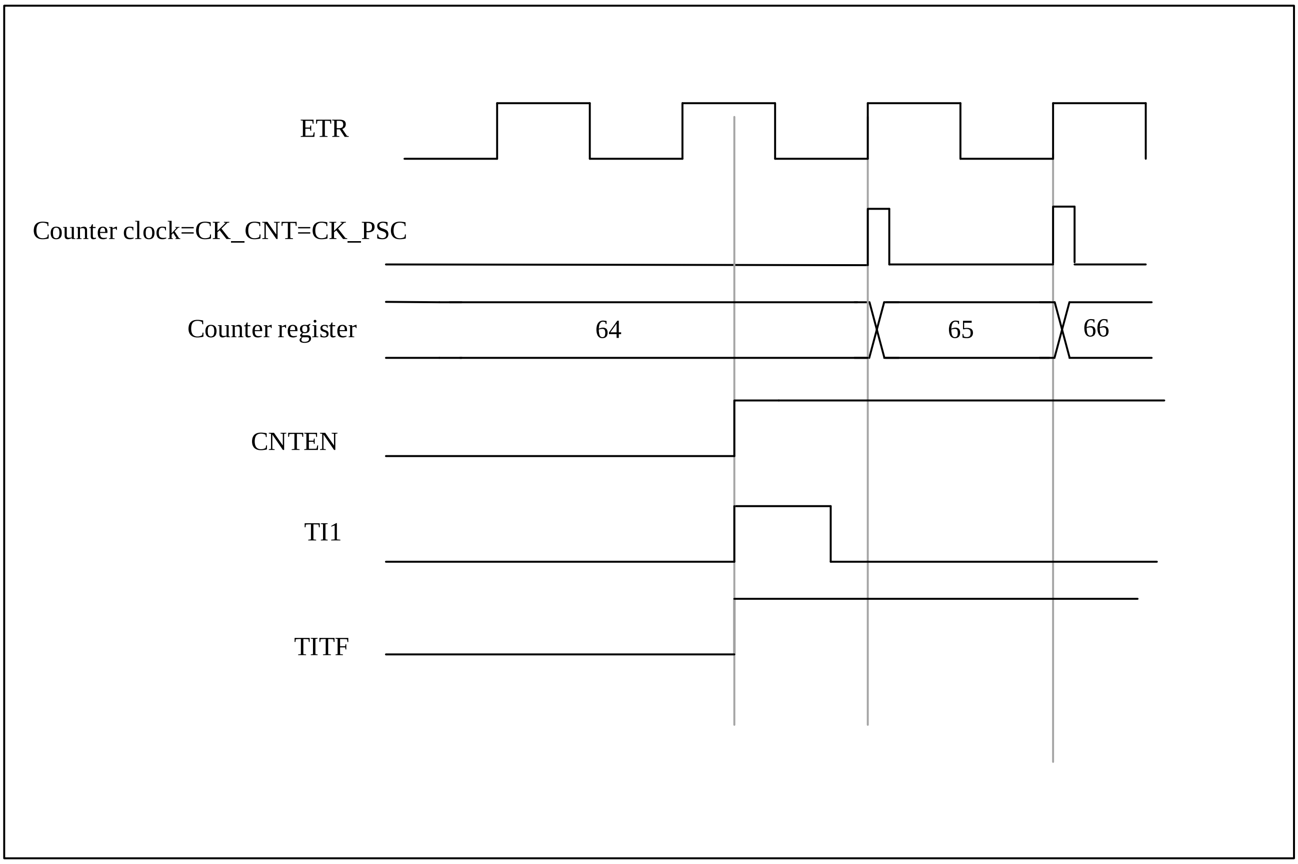
这是一个例子：

7. 通道 1 配置为输入检测 TI1 的上升沿（TIMx_CCMOD1.CC1SEL=01，TIMx_CCEN.CC1P=0）;
8. 使能外部时钟模式 2(TIMx_SMCTRL.EXCEN=1)，外部触发极性选择上升沿(TIMx_SMCTRL.EXTP=0)，触发模式作为从模式（TIMx_SMCTRL.SMSEL=0110），TRGI 选择 TI1（ TIMx_SMCTRL.TSEL=101);

当 TI1 检测到上升沿时，计数器在 ETR 的上升沿开始计数，并设置触发标志（TIMx_STS.TITF=1）;

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 12-38 外部时钟模式 2＋触发模式下的控制电路



12.5.19.5 从模式：组合复位＋触发模式

在这种情况下，选定的触发器输入（trgi）的上升沿会重新初始化计数器，生成寄存器的更新，并启动计数器。

这种模式用于单脉冲模式。

输入端上选中的事件复位并使能计数器。

在下面的例子中，计数器在 TI2 输入的上升沿复位并开始向上计数：

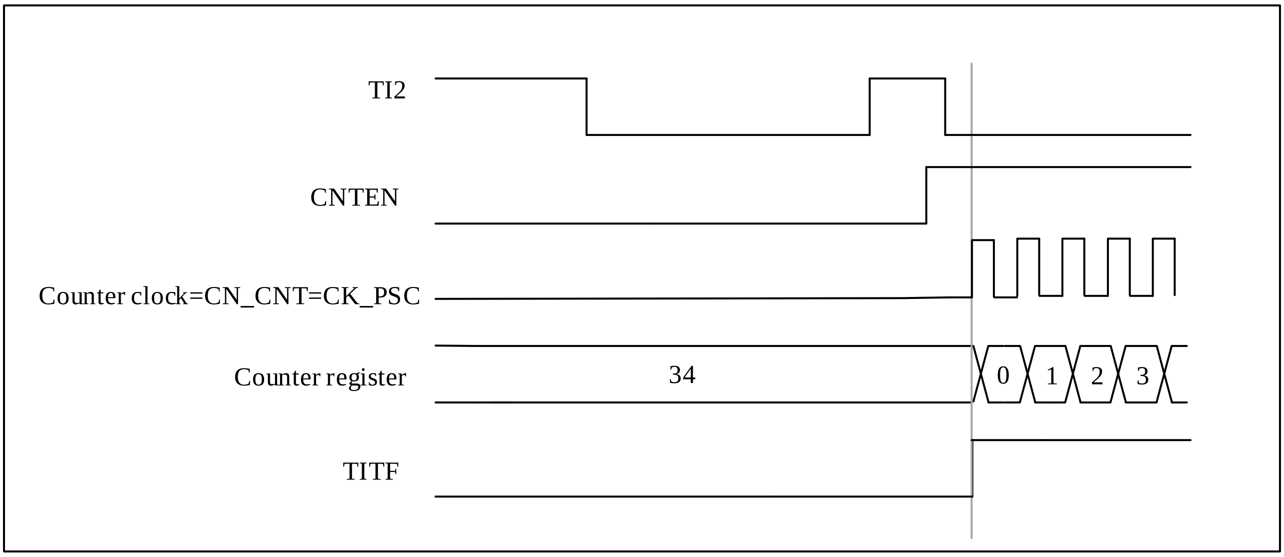
- 配置通道 2 检测 TI2 的上升沿。配置输入滤波器带宽(本例中，不需要任何滤波器，保持 TIMx_CCMOD1.IC2F=0000)。触发操作中不使用捕获预分频器，不需要配置。TIMx_CCMOD1.CC2SEL 位只用于选择输入捕获源，置 TIMx_CCMOD1.CC2SEL=01。置 TIMx_CCEN.CC2P=1 以确定极性(只检测低电平)
- 置 TIMx_SMCTRL.SMSEL=1110，配置定时器为组合复位+触发模式；置 TIMx_SMCTRL.TSEL=110，选择 TI2 作为输入源。

当 TI2 出现一个上升沿时，计数器开始在内部时钟驱动下计数，同时设置 TITF 标志。

TI2 上升沿和计数器启动计数之间的延时，取决于 TI2 输入端的重同步电路。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 12-39 组合复位+触发模式下的控制电路



12.5.19.6 从模式：组合门控+复位模式

当触发器输入（trgi）为高电平时，计数器时钟被启用。一旦触发器变为低电平，计数器就会停止，并被复位）。计数器的启动和停止都受到控制。

这种模式可以检测出超范围的 PWM 信号（占空比超过最大预期值）。

在如下的例子中，计数器只在 TI1 为低时向上计数，在 TI1 变为高时计数器停止并复位：

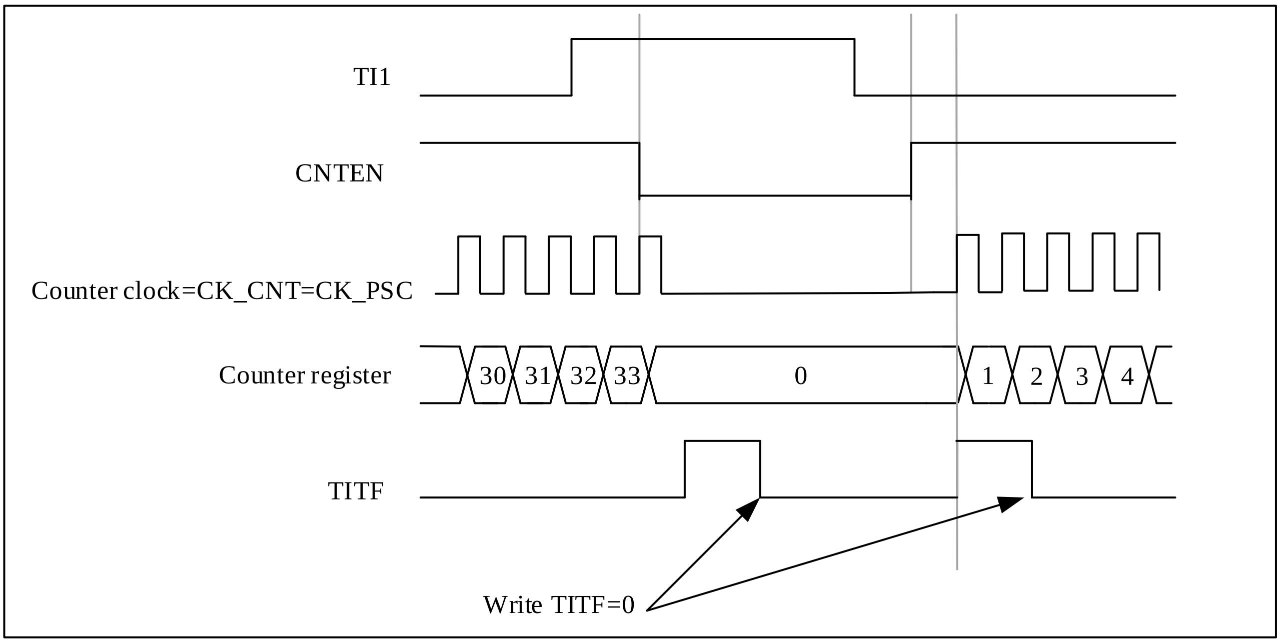
- 配置通道 1 以检测 TI1 上的低电平。配置输入滤波器带宽(本例中，不需要滤波，所以保持 TIMx_CCMOD1.IC1F=0000)。触发操作中不使用捕获预分频器，所以不需要配置。TIMx_CCMOD1.CC1SEL 位用于选择输入捕获源，置 TIMx_CCMOD1.CC1SEL=01。置 TIMx_CCEN.CC1P=1 以确定极性(只检测低电平)。
- 置 TIMx_SMCTRL.SMSEL=1101，配置定时器为门控+复位模式；置 TIMx_SMCTRL.TSEL=101，选择 TI1 作为输入源。
- 置 TIMx_CTRL1 寄存器中 CNTEN=1，启动计数器。在门控+复位模式下，如果 CNTEN=0，则计数器不能启动，不论触发输入电平如何。

只要 TI1 为低，计数器开始依据内部时钟计数，一旦 TI1 变高则停止计数。当计数器开始或停止时都设置 TIMx_STS 中的 TITF 标置。

TI1 上升沿和计数器实际停止之间的延时取决于 TI1 输入端的重同步电路。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 12-40 组合门控+复位模式下的控制电路



12.5.20 定时器同步

所有 TIM 定时器在内部相连，用于定时器同步或链接。参考 11.5.14。

12.5.21 触发 ADC

定时器可通过多种内部信号产生 ADC 触发事件，例如复位、使能或比较事件，也可生成由内部边沿检测器发出的脉冲触发。在重定向到 ADC 的 TRGO 内部线路上发出触发信号可通过 TIMx_CTRL2 寄存器中的 MMSEL[3:0]位选择。

12.5.22 产生六步 PWM 输出

为了同时修改所有通道的配置，可以提前设置下一步的配置（预加载位为 OCxMD、CCxEN 和 CCxNEN）。当发生 COM 换相事件时，OCxMD、CCxEN 和 CCxNEN 预加载位被传送到影子寄存器位。

COM 换相事件生成方法：

3. 软件设置 TIMx_EVTGEN.CCUDGN；

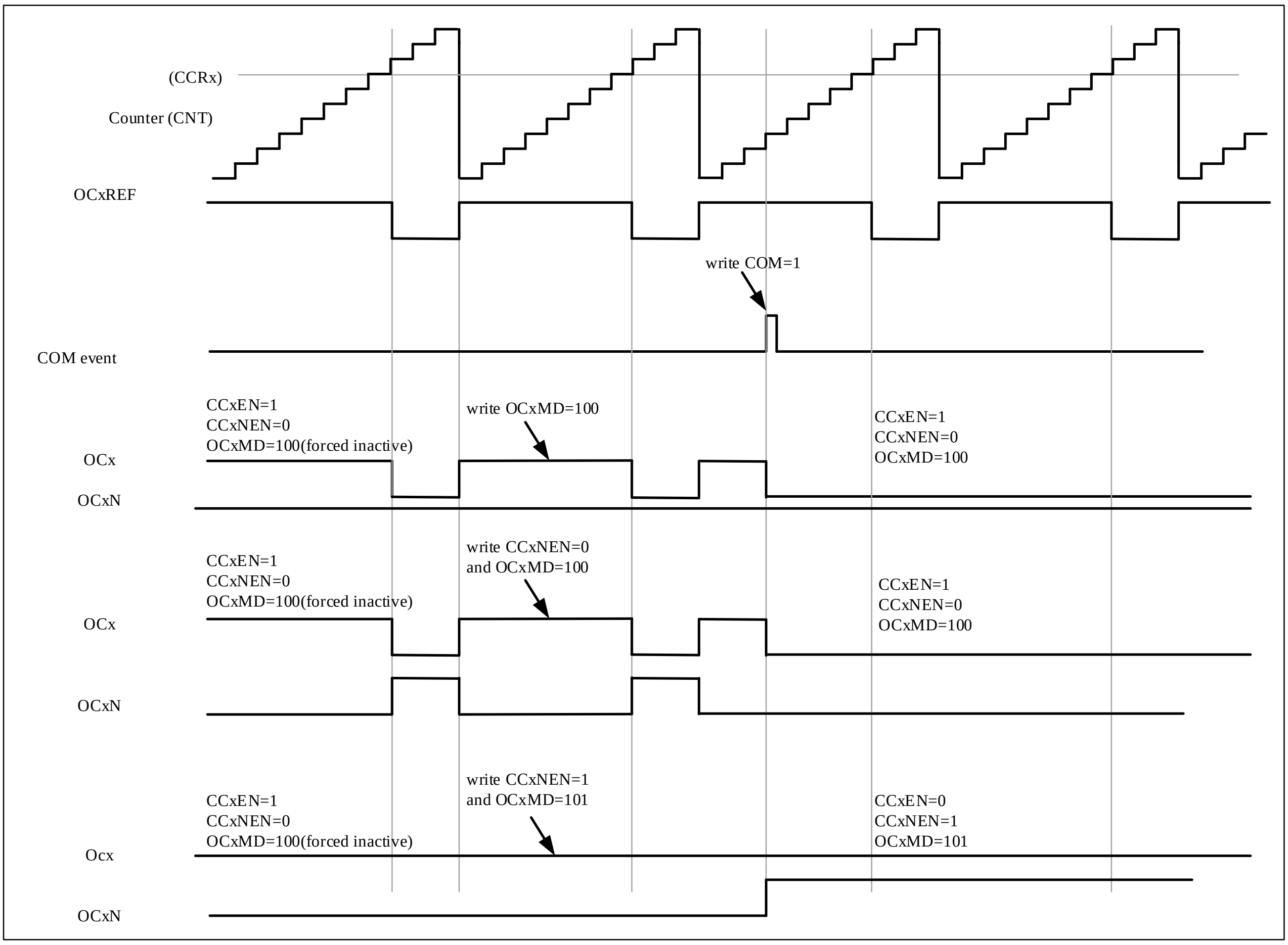
4. 在 TRGI 的上升沿由硬件产生；

当 COM 换相事件发生时，TIMx_STS.COMITF 标志将被设置，启用中断 (TIMx_DINTEN.COMIEN) 将产生中断，启用 DMA 请求 (TIMx_DINTEN.COMDEN) 将产生 DMA 请求。

下图显示了三种不同配置下发生 COM 换向事件时 OCx 和 OCxN 的输出时序图：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 12-41 产生六步 PWM，使用 COM 的例子（OSSR=1）



12.5.23 编码器接口模式

12.5.23.1 正交编码模式

编码器使用两个输入 TI1 和 TI2 作为接口，计数器对 TI1FP1 或 TI2FP2 上的每个边沿变化进行计数。计数方向由硬件 TIMx_CTRL1.DIR 自动控制。正交编码器计数模式共有五种：

- 编码器模式 1：计数器只在 TI1 的边沿计数，TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘0001’；
- 编码器模式 2：计数器只在 TI2 的边沿计数，TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘0010’；
- 编码器模式 3：计数器同时在 TI1 和 TI2 的边沿计数，TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘0011’；
- 编码器模式 4：T2 是高电平时，计数器只在 TI1 的边沿计数，TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘1001’；
- 编码器模式 5：T1 是高电平时，计数器只在 TI2 的边沿计数，TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘1010’；

编码器接口相当于使用带方向选择的外部时钟，计数器只在 0 和自动重载值(TIMx_AR.AR [15:0])之间连续计数。因此，需要提前配置自动重载寄存器 TIMx_AR。

注意：编码器模式和外部时钟模式 2 不兼容，不能同时选择。

计数方向与编码器信号的关系如下表：

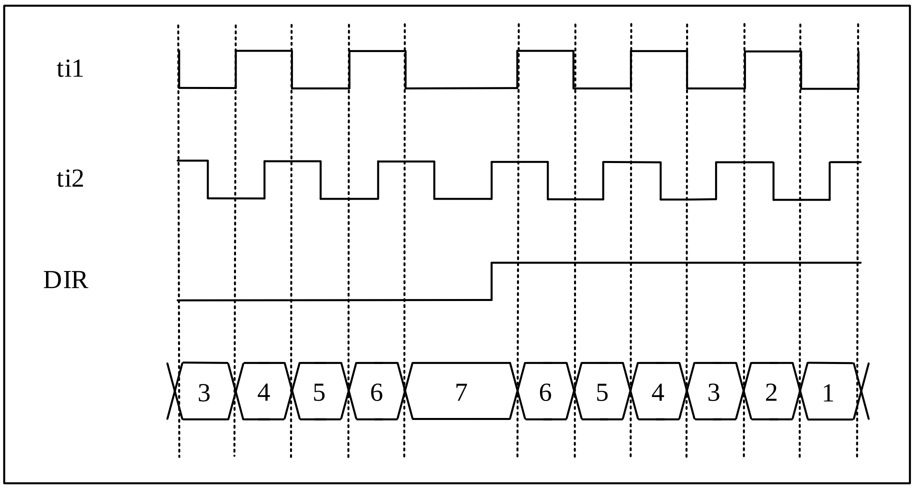
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 12-12 计数方向与编码器信号的关系（CC1P=CC2P=0）

有效边沿	SMSEL[3:0]	相对信号的电平（TI1FP1对应TI2，TI2FP2对应TI1）	TI1FP1信号		TI2FP2信号	
			上升	下降	上升	下降
仅在TI1计数	0001	高	向下计数	向上计数	不计数	不计数
		低	向上计数	向下计数	不计数	不计数
仅在TI2计数	0010	高	不计数	不计数	向上计数	向下计数
		低	不计数	不计数	向下计数	向上计数
在TI1和TI2上计数	0011	高	向下计数	向上计数	向上计数	向下计数
		低	向上计数	向下计数	向下计数	向上计数
仅在TI1计数且T2为高电平	1001	高	向下计数	向上计数	不计数	不计数
		低	不计数	不计数	不计数	不计数
仅在TI2计数且T1为高电平	1010	高	不计数	不计数	向上计数	向下计数
		低	不计数	不计数	不计数	不计数

计数器在各个模式下时计数器值的变化如下：

图 12-42 编码器仅在 TI1 计数



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 12-43 编码器仅在 TI2 计数

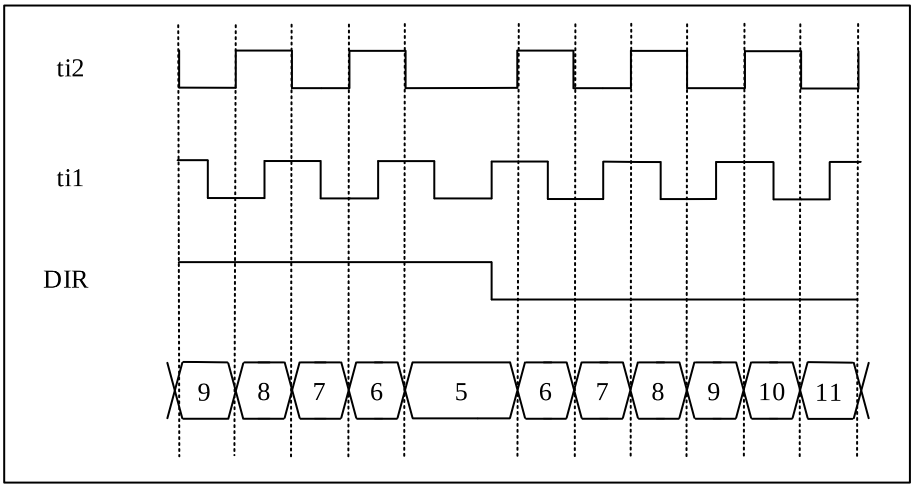


图 12-44 编码器在 TI1 和 TI2 上计数

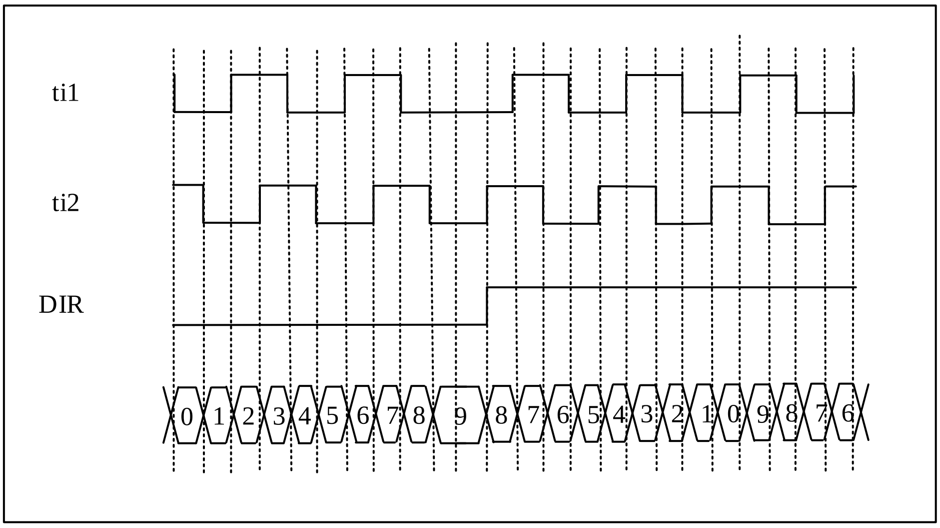
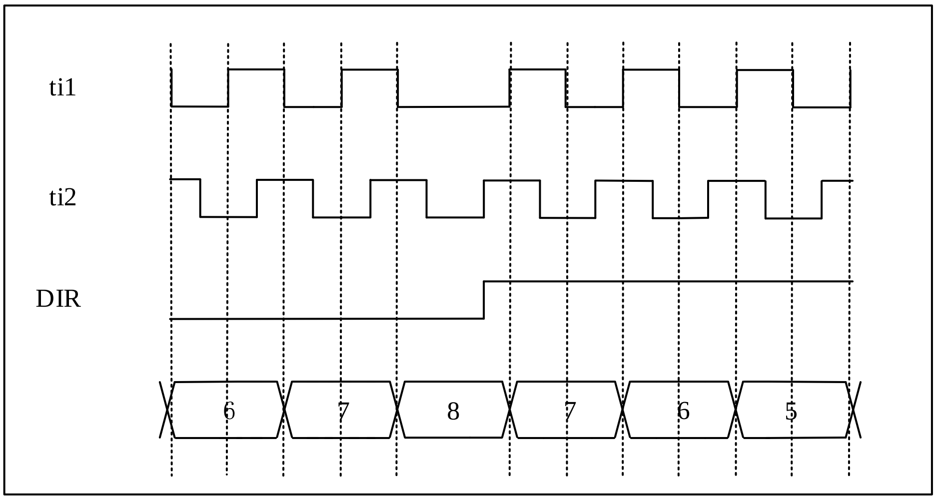
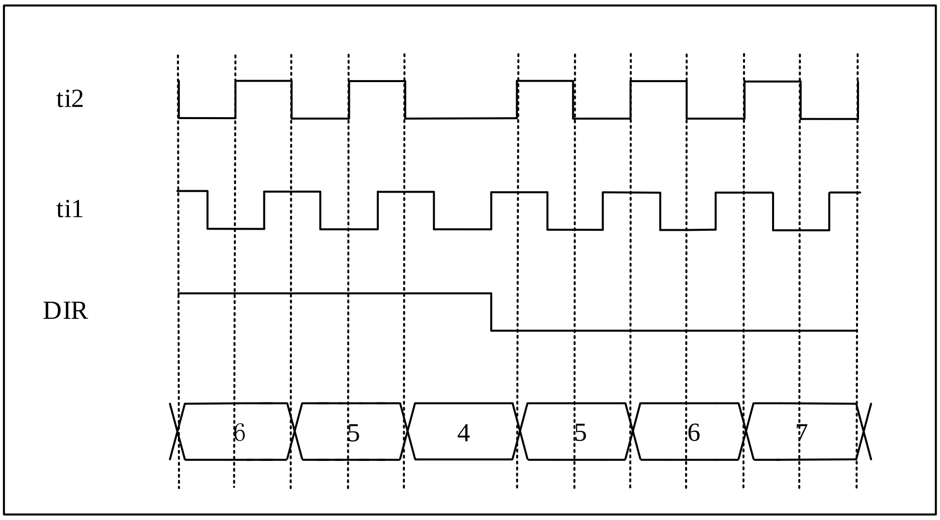


图 12-45 T2 是高电平时，计数器只在 TI1 计数



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

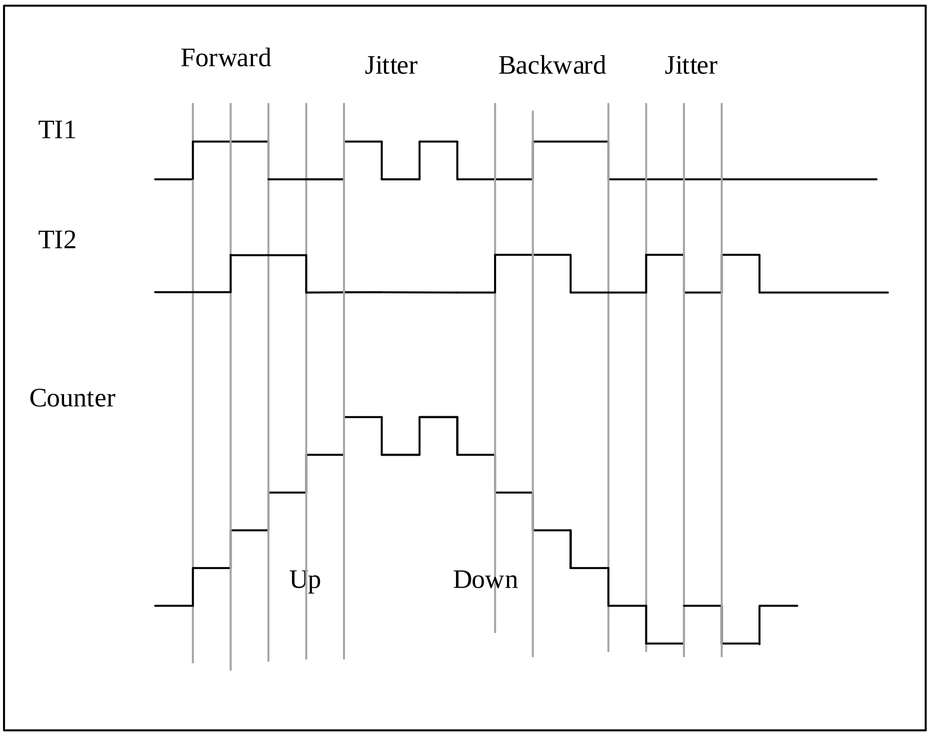
图 12-46 T1 是高电平时，计数器只在 TI2 计数



以下是选择了双边沿触发以抑制输入抖动的编码器示例：

13. IC1FP1 映射到 TI1（TIMx_CCMOD1.CC1SEL = ‘01’），IC1FP1 不反相（TIMx_CCEN.CC1P = ‘0’）；
14. IC1FP2 映射到 TI2（TIMx_CCMOD2.CC2SEL = ‘01’），IC2FP2 不反相（TIMx_CCEN.CC2P = ‘0’）；
15. 输入在上升沿和下降沿均有效（TIMx_SMCTRL.SMSEL = ‘0011’）；
16. 启用计数器 TIMx_CTRL1.CNTEN = ‘1’；

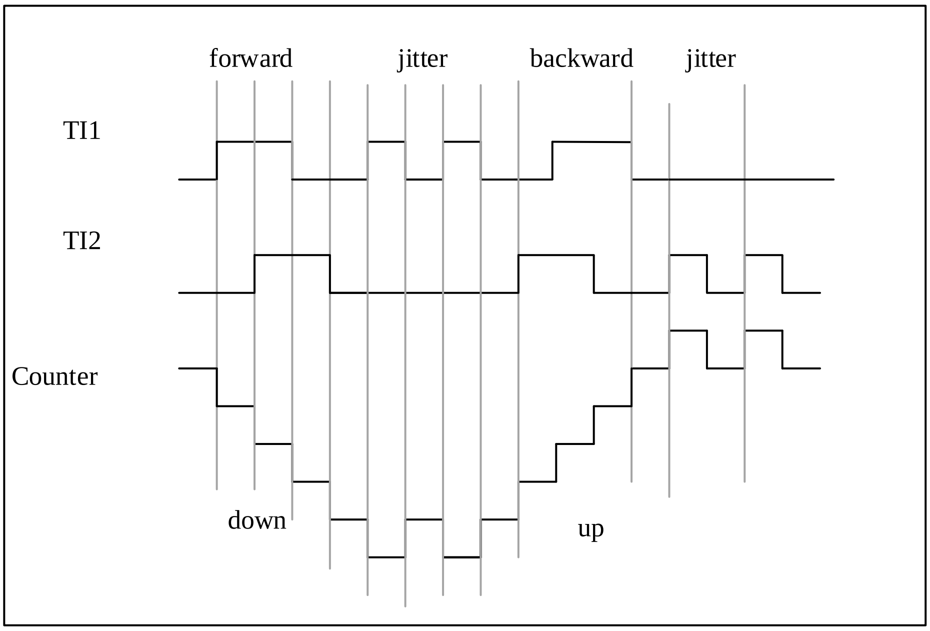
图 12-47 编码器模式下的计数器操作实例



下图为 IC1FP1 极性反转时的计数器行为示例（CC1P = '1'，其他配置同上）

图 12-48 IC1FP1 反相的编码器接口模式实例

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057



12.5.23.2 脉冲电平编码模式

脉冲电平编码模式中，时钟是在 TI2 上单线上提供的，而计数方向是 TI1 输入提供的。

该模式通过 TIMx_SMCTRL 寄存器中的 SMSEL[3:0]启用，具体如下。

1011：脉冲电平编码模式 2，计数器在时钟的上升沿和下降沿都被更新。

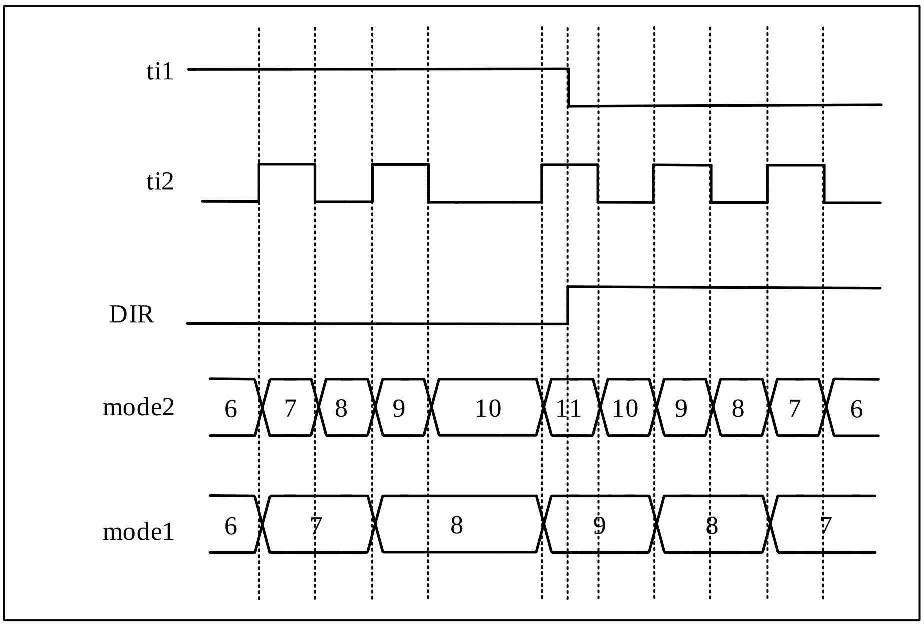
1100：脉冲电平编码模式 1，根据 CC2P 值，计数器在单个时钟沿上更新。CC2P = 0 对应于上升沿计数，CC2P = 1 对应于下降沿计数。

TI1 的方向信号的极性是通过 CC1P 位来设置的。CC2P = 0 时当 TI1 为高电平时向上计数，当 TI1 为低电平时向下计数；CC1P = 1 时当 TI1 为低电平时向上计数，TI1 为高电平时向下计数。

下图以 CC1P=CC2P=0 为例：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 12-49 脉冲电平编码模式（CC1P=CC2P=0）



12.5.23.3 双脉冲编码模式

双脉冲编码模式中，时钟在两条线上被提供，根据不同的方向，一次只能提供一条，这样就有一条向上计数的时钟线和一条向下计数的时钟线。

该模式通过 TIMx_SMCTRL 寄存器中的 SMSEL[3:0]位域启用，具体如下。

- 1000：双脉冲编码模式 2，计数器在两条时钟线中任何一条的上升沿和下降沿都被更新。CC1P 和 CC2P 位是对时钟空闲状态的编码。CCxP=0 对应于高电平空闲状态，CCxP=1 对应于低电平空闲状态。
- 1111：双脉冲编码模式 1，根据 CC1P 和 CC2P 位值，计数器在单个时钟沿上更新。CCxP＝0 对应下降沿和高电平状态，CCxP＝1 对应上升沿和低电平状态。

下表描述了计数方向与编码器信号和极性设置的关系

表 12-13 计数方向与编码器信号和极性设置的关系

双脉冲编码模式	SMSEL[3:0]	相对信号的电平(**TI1FP1** 对应 **TI2, TI2FP2** 对应 **TI1)**	**TI1FP1** 信号		**TI2FP2** 信号	
			上升	下降	上升	下降
模式 2 CCxP=0	1000	高	向下计数	向下计数	向上计数	向上计数
		低	不计数	不计数	不计数	不计数
模式 2	1000	高	不计数	不计数	不计数	不计数

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

CCxP=1		低	向下计数	向下计数	向上计数	向上计数
模式 1 CCxP=0	1111	高	不计数	向下计数	不计数	向上计数
		低	不计数	不计数	不计数	不计数
模式 1 CCxP=1	1111	高	不计数	不计数	不计数	不计数
		低	向下计数	不计数	向上计数	不计数

下图显示了双脉冲编码模式计数器计数方式

图 12-50 双脉冲编码模式（CC1P = CC2P = 0）

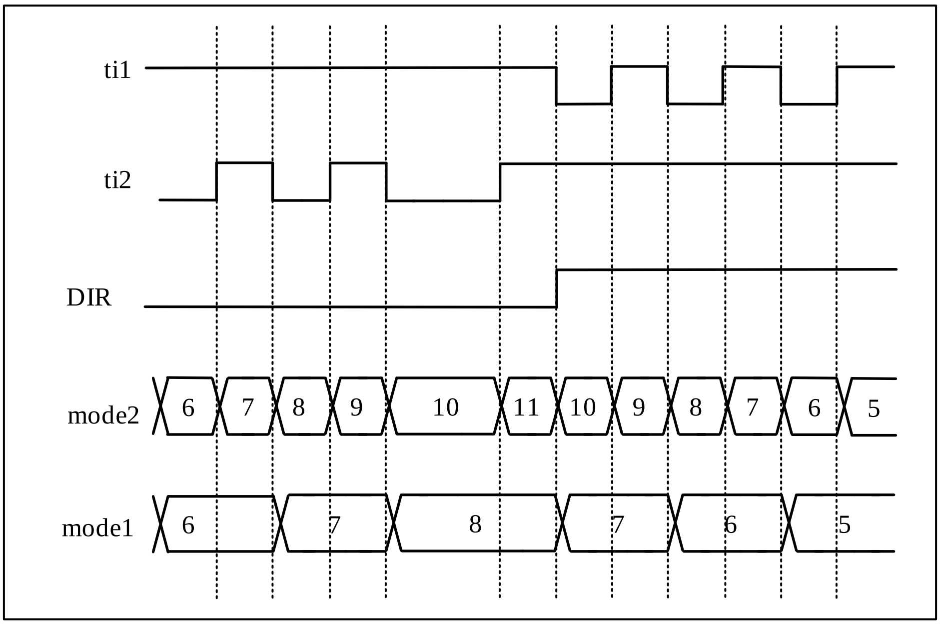
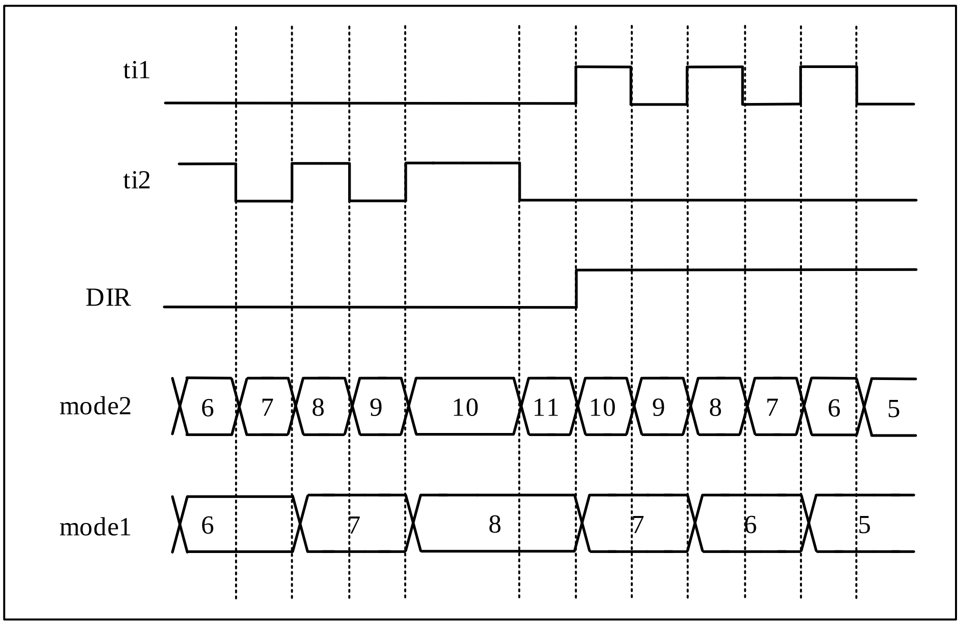


图 12-51 双脉冲编码模式（CC1P = CC2P = 1）



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

12.5.24 与霍尔传感器的接口

请查阅9.5.22节

12.5.25 UDITF 位重映射

TIMx_CTRL1 寄存器中的 UDITFREMAP 位强制将更新中断标志 UDITF 连续复制到定时计数器寄存器的位 31 (TIMx_CNT[31])中，即 UDITFCPY 位。这样便可自动读取计数器值以及 UDITFCPY 标志的翻转。在特定情况下，这可避免在后台任务（计数器读）和中断（更新中断）之间共享处理时产生竞争条件，从而简化计算。

UDITF 和 UDITFCPY 标志使能之间没有延迟。

12.6 GTIMx(x=8,9,10)寄存器描述

关于在寄存器描述里面所用到的缩写，详见 **1.1** 节。

可以用半字（16 位）或字（32 位）的方式操作这些外设寄存器。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

12.6.1 控制寄存器 1（TIMx_CTRL1）

偏移地址：0x00

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved							UDITF REMAP	ASYMMETRIC	Reserved						
							rw	rw							

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SRAMECCERREN	FLASHECCERREN	CLRSEL	SRAMPARERREN	PBKPEN	LBKPEN	ARPEN	ONEPM	CLKD[1:0]		UPDIS	UPRS	CAMSEL[1:0]		DIR	CNTEN
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw		rw	rw	rw		rw	rw

位域	名称	描述
31:25	Reserved	保留，必须保持复位值
24	UDITFREMAP	UDITF状态位重映射 (UDITF status bit remapping) 0：无重映射。UDITF状态位不复制到 TIMx_CNT 寄存器的位 31。 1：使能重映射。UDITF状态位复制到 TIMx_CNT 寄存器的位 31。
23	ASYMMETRIC	中央对齐非对称模式使能（Asymmetric mode enable in center-aligned mode） 0：禁用 1：使能（当TIMx_CTRL1.CAMSEL[1:0]非零时有效，每个通道向上计数时与CCDATx比较，向下计数时与CCDDATx比较）
22:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15	SMECCERREN	SRAM ECC错误作为BRK使能（SRAM ECC error as brk Enable） 0：禁止 1：使能 注意：这个位软件置1，系统复位清0
14	FLECCERREN	FLASH ECC错误作为BRK使能（FLASH ECC error as brk Enable） 0：禁止 1：使能 注意：系统复位和上电复位可以将此位清0，模块复位不能将此位清0
13	CLRSEL	OcxRef清除选择（OcxRef clear selection） 0：选择外部Ocxclr (TIMx_ETR)信号，具体选择见TIMx_INSEL.ETRS 1：选择内部Ocxclr (tim_ocref_clr)信号，具体选择见TIMx_INSEL.CLRS
12	SMPARERREN	SRAM PAR错误作为BRK使能（SRAM parity error as brk Enable） 0：禁止 1：使能 注意：系统复位和上电复位可以将此位清0，模块复位不能将此位清0
11	PBKPEN	PVD作为BRK使能（PVD as brk Enable） 0：禁止 1：使能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		注意：系统复位和上电复位可以将此位清0，模块复位不能将此位清0
10	LBKPEN	锁存作为BRK使能（LockUp as brk Enable）（Core Hardfault） 0：禁止 1：使能 注意：系统复位和上电复位可以将此位清0，模块复位不能将此位清0
9	ARPEN	自动重装载预装载允许位 （Auto-reload preload enable） 0：TIMx_AR 寄存器的影子寄存器禁用 1：TIMx_AR 寄存器的影子寄存器使能
8	ONEPM	单脉冲模式 （One pulse mode） 0：禁用单脉冲模式，发生更新事件时不影响计数器计数。 1：使能单脉冲模式，下次更新事件发生时计数器停止计数
7:6	CLKD[1:0]	时钟分频因子 （Clock division） CLKD[1:0] 表示 CK_INT（定时器时钟）和 DTS（用于死区时间发生器和数字滤波器（ETR、TIx）的时钟）之间的分频比。 00：$t_{DTS} = t_{CK\_INT}$. 01：$t_{DTS} = 2 \times t_{CK\_INT}$ 10：$t_{DTS} = 4 \times t_{CK\_INT}$ 11：保留，不要使用这个配置
5	UPDIS	更新禁用（Update disable） 该位用于启用/禁用软件生成的更新事件 (UEV) 事件。 0：启用。 如果满足以下条件之一，将生成 UEV： – 计数器上溢/下溢 – TIMx_EVTGEN.UDGN 位被设置 – 从模式控制器的更新生成 影子寄存器将使用预加载值进行更新。 1：UEV 禁用。 不生成更新事件，影子寄存器（AR、PSC 和 CCDATx）保持它们的值。 如果 TIMx_EVTGEN.UDGN 位置位或从模式控制器发出硬件复位，则重新初始化计数器和预分频器。
4	UPRS	更新请求源（Update request source） 该位用于通过软件选择 UEV 事件源。 0：如果更新中断或 DMA 请求使能，以下任何事件都会产生更新中断或 DMA 请求： – 计数器上溢/下溢 – TIMx_EVTGEN.UDGN 位被设置 – 从模式控制器的更新生成 1：如果更新中断或 DMA 请求使能，只有计数器上溢/下溢会产生更新中断或 DMA 请求。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
3:2	CAMSEL[1:0]	选择中央对齐模式 （Center-aligned mode selection） 00：边缘对齐模式。 TIMx_CTRL1.DIR 指定向上计数或向下计数。 01：中央对齐模式1。 计数器在中央对齐模式下计数，向下计数时输出比较中断标志位设置为 1。 10：中央对齐模式2。计数器在中央对齐模式下计数，向上计数时输出比较中断标志位设置为1。 11：中央对齐模式3。 计数器在中央对齐模式下计数，向上计数或向下计数时输出比较中断标志位设置为 1。 注意：当计数器仍然启用时（TIMx_CTRL1.CNTEN = 1），不允许从边缘对齐模式切换到中央对齐模式。
1	DIR	方向 （Direction） 0：计数器向上计数； 1：计数器向下计数。 注意：当计数器配置为中央对齐模式或编码器模式时，该位为只读。
0	CNTEN	使能计数器 （Counter enable） 0：禁止计数器； 1：使能计数器。 注意：在软件设置了CNTEN位后，外部时钟、门控模式和编码器模式才能工作。触发模式可以自动地通过硬件设置CNTEN位。

12.6.2 控制寄存器 2（TIMx_CTRL2）

偏移地址：0x04
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved												TI1SEL	CCPCTL	CCDSEL	CCUSEL
												rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MMSEL[3:0]				Reserved			OI5	Reserved	OI4	Reserved	OI3	Reserved	OI2	OI1N	OI1
rw							rw		rw		rw		rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:20	Reserved	保留，必须保持复位值
19	TI1SEL	TI1选择 （TI1 selection） 0：TIMx_CH1引脚连到TI1输入； 1：TIMx_CH1、TIMx_CH2和TIMx_CH3引脚经异或后连到TI1输入。
18	CCPCTL	捕获/比较预装载控制位 （Capture/compare preloaded control） 0：CCxEN，CCxNEN和OCxMD位不是预装载的；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：CCxEN，CCxNEN和OCxMD位是预装载的；设置该位后，它们只在设置了CCUDGN位后被更新。 注意：该位只对具有互补输出的通道起作用。
17	CCDSEL	捕获/比较的DMA选择 （Capture/compare DMA selection） 0：当发生CCx事件时，送出CCx的DMA请求； 1：当发生更新事件时，送出CCx的DMA请求。
16	CCUSEL	捕获/比较控制更新选择 （Capture/compare control update selection） 0：如果捕获/比较控制位是预装载的（CCPCTL =1），只能通过设置CCUDGN位更新它们； 1：如果捕获/比较控制位是预装载的（CCPCTL =1），可以通过设置CCUDGN位或TRGI上的一个上升沿更新它们。 注意：该位只对具有互补输出的通道起作用。
15:12	MMSEL[3:0]	主模式选择 这 4 位用于选择在主模式下发送到从定时器的同步信息（TRGO）。可能的组合如下： 0000：复位 - 当 TIMx_EVTGEN.UDGN 置位或从模式控制器产生复位时，将出现 TRGO 脉冲。在后一种情况下，TRGO 上的信号与实际复位相比有所延迟。 0001：使能 - TIMx_CTRL1.CNTEN 位用作触发输出 (TRGO)。有时需要同时启动多个定时器或者在一段时间内开启从定时器。 当 TIMx_CTRL1.CNTEN 位置位或门控模式下的触发输入为高电平时，计数器使能信号置位。 当计数器使能信号由触发输入控制时，TRGO 上有一个延迟，除非选择了主/从模式（参见 TIMx_SMCTRL.MSMD 位的说明）。 0010：更新 - 选择更新事件作为触发输出 (TRGO)。例如，主定时器时钟可用作从定时器预分频器。 0011：比较脉冲 - 当 TIMx_STS.CC1ITF 被设置时（即使它已经是高电平），即捕获或比较成功时，触发输出发送一个正脉冲 (TRGO)。 0100：比较 - OC1REF 信号用作触发输出 (TRGO)。 0101：比较 - OC2REF 信号用作触发输出（TRGO）。 0110：比较 - OC3REF 信号用作触发输出 (TRGO)。 0111：比较 - OC4REF 信号用作触发输出 (TRGO)。 1xxx：保留。
11:9	Reserved	保留，必须保持复位值
8	OI5	输出空闲状态5（OC5输出）。参见OI1位。
7	Reserved	保留，必须保持复位值
6	OI4	输出空闲状态4（OC4输出）。参见OI1位。
5	Reserved	保留，必须保持复位值
4	OI3	输出空闲状态3（OC3输出）。参见OI1位。
3	Reserved	保留，必须保持复位值

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
2	OI2	输出空闲状态2（OC2输出）。参见OI1位。
1	OI1N	输出空闲状态1（OC1N输出） （Output Idle state 1N） 0：当MOEN=0时，死区后OC1N=0； 1：当MOEN=0时，死区后OC1N=1。 注意：已经设置了TIMx_BKDT.LCKCFG级别1、2或3后，该位不能被修改。
0	OI1	输出空闲状态1（OC1输出） （Output Idle state 1） 0：当MOEN=0时，如果实现了OC1N，则死区后OC1=0； 1：当MOEN=0时，如果实现了OC1N，则死区后OC1=1。 注意：已经设置了TIMx_BKDT.LCKCFG级别1、2或3后，该位不能被修改。

12.6.3 状态寄存器（TIMx_STS）

偏移地址：0x08
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved										SBITF	Reserved	BITF	TITF	COMITF	UDITF
										rc_w0		rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				CC4OCF	CC3OCF	CC2OCF	CC1OCF	Reserved		CC6ITF	CC5ITF	CC4ITF	CC3ITF	CC2ITF	CC1ITF
				rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0			rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0

位域	名称	描述
31:22	Reserved	保留，必须保持复位值
21	SBITF	系统刹车中断标记(System break interrupt flag) 一旦系统刹车输入有效，由硬件对该位置'1'。如果系统刹车输入无效，则该位可由软件清'0'。 0：无刹车事件产生； 1：系统刹车输入上检测到有效电平。
20	Reserved	保留，必须保持复位值
19	BITF	刹车1中断标记 （Break1 interrupt flag） 一旦刹车1输入有效，由硬件对该位置'1'。如果刹车1输入无效，则该位可由软件清'0'。 0：无刹车1事件产生； 1：刹车1输入上检测到有效电平。
18	TITF	触发器中断标记 （Trigger interrupt flag） 当发生触发事件（当从模式控制器处于除门控模式外的其它模式时，在TRGI输入端检测到有效边沿，或门控模式下的任一边沿）时由硬件对该位置'1'。它由软件清'0'。 0：无触发器事件产生； 1：触发中断等待响应。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
17	COMITF	COM中断标记 （COM interrupt flag） 一旦产生COM事件（当捕获/比较控制位：CCxEN、CCxNEN、OCxMD已被更新）该位由硬件置'1'。它由软件清'0'。 0：无COM事件产生； 1：COM中断等待响应。
16	UDITF	更新中断标志（Update interrupt flag） 当在以下条件下发生更新事件时，该位由硬件设置： – 当 TIMx_CTRL1.UPDIS = 0 时，并且重复计数器值上溢或下溢（当重复计数器等于 0 时生成更新事件UEV）。 – 当 TIMx_CTRL1.UPRS = 0 时，TIMx_CTRL1.UPDIS = 0，并通过软件设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 位以重新初始化 CNT。 – 当 TIMx_CTRL1.UPRS = 0 时，TIMx_CTRL1.UPDIS = 0，并且计数器 CNT 由触发事件重新初始化。 （参见 TIMx_SMCTRL 寄存器说明） 该位由软件清零。 0：未发生更新事件 1：发生更新中断
15:12	Reserved	保留，必须保持复位值
11	CC4OCF	捕获/比较4重复捕获标记 （Capture/Compare 4 overcapture flag） 参见CC1OCF描述。
10	CC3OCF	捕获/比较3重复捕获标记 （Capture/Compare 3 overcapture flag） 参见CC1OCF描述。
9	CC2OCF	捕获/比较2重复捕获标记 （Capture/Compare 2 overcapture flag） 参见CC1OCF描述。
8	CC1OCF	捕获/比较1重复捕获标记 （Capture/Compare 1 overcapture flag） 仅当相应的通道被配置为输入捕获时，该标记可由硬件置1。写0可清除该位。 0：无重复捕获产生； 1：计数器的值被捕获到TIMx_CCDAT1寄存器时，CC1ITF的状态已经为'1'。
7:6	Reserved	保留，必须保持复位值
5	CC6ITF	捕获/比较6中断标记 （Capture/Compare 6 interrupt flag） 参考CC1ITF描述。
4	CC5ITF	捕获/比较5中断标记 （Capture/Compare 5 interrupt flag） 参考CC1ITF描述。
3	CC4ITF	捕获/比较4中断标记 （Capture/Compare 4 interrupt flag） 参考CC1ITF描述。
2	CC3ITF	捕获/比较3中断标记 （Capture/Compare 3 interrupt flag） 参考CC1ITF描述。
1	CC2ITF	捕获/比较2中断标记 （Capture/Compare 2 interrupt flag） 参考CC1ITF描述。
0	CC1ITF	捕获/比较1中断标记 （Capture/Compare 1 interrupt flag）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		如果通道CC1配置为输出模式： 除中央对齐模式外，当计数器值与比较值相同时，该位由硬件设置（参见 TIMx_CTRL1.CAMSEL 位描述）。 该位由软件清零。 0：未发生匹配。 1：TIMx_CNT 的值与 TIMx_CCDAT1 的值相同。 当 TIMx_CCDAT1 的值大于 TIMx_AR 的值时，如果计数器溢出（在向上计数和向上/向下计数模式下）和向下计数模式下溢，则 TIMx_STS.CC1ITF 位将变为高电平。 **如果通道CC1配置为输入模式：** 当捕捉事件发生时，该位由硬件设置。 该位由软件或读取 TIMx_CCDAT1 清零。 0：未发生输入捕捉。 1：发生输入捕捉。 计数器值已在 TIMx_CCDAT1 中捕获。 在 IC1 上检测到与所选极性相同的边沿。

12.6.4 事件产生寄存器（TIMx_EVTGEN）

偏移地址:0x0C
复位值:0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				BGN	TGN	CCUDGN	UDGN	Reserved				CC4GN	CC3GN	CC2GN	CC1GN
				w	w	w	w					w	w	w	w

位域	名称	描述
31:12	Reserved	保留，必须保持复位值
11	BGN	产生刹车1事件 （Break1 generation） 当由软件设置时，该位可以产生一个刹车1事件。 而此时TIMx_BKDT.MOEN = 0，TIMx_STS.BITF = 1，如果相应的中断和DMA被使能，就会产生相应的中断和DMA。 该位由硬件自动清零。 0：无动作 1：产生刹车1事件
10	TGN	产生触发事件 （Trigger generation） 当由软件置位时，该位可以产生一个触发事件。 而此时TIMx_STS.TITF = 1，如果相应的中断和DMA被使能，就会产生相应的中断和DMA。 该位由硬件自动清零。 0：无动作 1：产生触发事件

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
9	CCUDGN	捕获/比较事件，产生控制更新 （Capture/Compare control update generation） 该位由软件设置。 如果此时 TIMx_CTRL2.CCPCTL = 1，则允许更新 CCxEN、CCxNEN 和 OCxMD 位。 该位由硬件自动清零。 0：无动作 1：产生一个COM事件 注意：该位仅对具有互补输出的通道有效。
8	UDGN	产生更新事件 （Update generation） 该位由软件置’1’，由硬件自动清’0’。 当由软件设置时，该位可以生成更新事件。 而此时计数器会重新初始化，预分频计数器会被清零，计数器在中央对齐或向上计数模式下会被清零，但在向下计数模式下取TIMx_AR寄存器的值。 该位由硬件自动清零。 0：无动作 1：生成更新事件
7:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3	CC4GN	产生捕获/比较4事件 （Capture/Compare 4 generation） 参考CC1GN描述。
2	CC3GN	产生捕获/比较3事件 （Capture/Compare 3 generation） 参考CC1GN描述。
1	CC2GN	产生捕获/比较2事件 （Capture/Compare 2 generation） 参考CC1GN描述。
0	CC1GN	产生捕获/比较1事件 （Capture/Compare 1 generation） 当由软件设置时，该位可以产生一个捕获/比较事件。 该位由硬件自动清零。 **CC1对应通道为输出模式时：** TIMx_STS.CC1ITF 标志将被拉高，如果相应的中断和 DMA 被使能，就会产生相应的中断和 DMA。 **CC1对应通道为输入模式时：** TIMx_CCDAT1 将捕获当前计数器值，并将 TIMx_STS.CC1ITF 标志拉高，如果相应的中断和 DMA 被使能，则会产生相应的中断和 DMA。 如果 TIMx_STS.CC1ITF 已经拉高，则拉高 TIMx_STS.CC1OCF。 0：无动作 1：生成 CC1 捕获/比较事件

12.6.5 从模式控制寄存器（TIMx_SMCTRL）

偏移地址：0x10
复位值：0x0000 0000

<table>
<tr><td>31</td><td>30</td><td>29</td><td>28</td><td>27</td><td>26</td><td>25</td><td>24</td><td>23</td><td>22</td><td>21</td><td>20</td><td>19</td><td>18</td><td>17</td><td>16</td></tr>
<tr><td colspan="8">Reserved</td><td colspan="4">OCREFCLRF[3:0]</td><td>OCREF CLRP</td><td colspan="2">Reserved</td><td>MSMD</td></tr>
<tr><td colspan="8"></td><td colspan="4">rw</td><td>rw</td><td colspan="2"></td><td>rw</td></tr>
<tr><td>15</td><td>14</td><td>13</td><td>12</td><td>11</td><td>10</td><td>9</td><td>8</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr>
</table>

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

EXTF[3:0]	EXTP	EXCEN	EXTPS	SMSEL[3:0]	Reserved	TSEL[2:0]
rw	rw	rw	rw	rw		rw

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必须保持复位值
23:20	OCREFCLRF	tim_ocref_clr信号滤波器(tim_ocref_clr signal filter) 这些位用于定义 tim_ocref_clr 信号的采样频率和 tim_ocref_clr 数字滤波的带宽。 实际上，数字滤波器是一个事件计数器，在记录连续 N 个事件后生成验证输出。 0000：无滤波器，以fDTS采样 1000：采样频率fSAMPLING=fDTS/8，N=6 0001：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=2 1001：采样频率fSAMPLING=fDTS/8，N=8 0010：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=4 1010：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=5 0011：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=8 1011：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=6 0100：采样频率fSAMPLING=fDTS/2，N=6 1100：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=8 0101：采样频率fSAMPLING=fDTS/2，N=8 1101：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=5 0110：采样频率fSAMPLING=fDTS/4，N=6 1110：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=6 0111：采样频率fSAMPLING=fDTS/4，N=8 1111：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=8
19	OCREFCLRP	tim_ocref_clr 信号极性 （tim_ocref_clr signal polarity） 该位选择是用tim_ocref_clr 还是tim_ocref_clr 的反相来作为触发操作 0：tim_ocref_clr 高电平或上升沿有效； 1：tim_ocref_clr 低电平或下降沿有效。
18:17	Reserved	保留，必须保持复位值
16	MSMD	主/从模式 （Master/slave mode） 0：无作用； 1：触发输入（TRGI）上的事件被延迟了，以允许在当前定时器（通过TRGO）与它的从定时器间的完美同步。这对要求把几个定时器同步到一个单一的外部事件时是非常有用的。
15:12	EXTF[3:0]	外部触发滤波 （External trigger filter） 这些位用于定义 ETRP 信号的采样频率和 ETRP 数字滤波的带宽。 实际上，数字滤波器是一个事件计数器，在记录连续 N 个事件后生成验证输出。 0000：无滤波器，以fDTS采样 1000：采样频率fSAMPLING=fDTS/8，N=6 0001：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=2 1001：采样频率fSAMPLING=fDTS/8，N=8 0010：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=4 1010：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=5 0011：采样频率fSAMPLING=fCK_INT，N=8 1011：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=6 0100：采样频率fSAMPLING=fDTS/2，N=6 1100：采样频率fSAMPLING=fDTS/16，N=8 0101：采样频率fSAMPLING=fDTS/2，N=8 1101：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=5 0110：采样频率fSAMPLING=fDTS/4，N=6 1110：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=6 0111：采样频率fSAMPLING=fDTS/4，N=8 1111：采样频率fSAMPLING=fDTS/32，N=8
11	EXTP	外部触发极性 （External trigger polarity） 该位选择是用tim_etr_in还是tim_etr_in的反相来作为触发操作 0：tim_etr_in高电平或上升沿有效；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		1：tim_etr_in低电平或下降沿有效。
10	EXCEN	外部时钟使能位 （External clock enable） 该位启用外部时钟模式2 。启用后，计数器由ETRF信号上的任意有效边沿驱动。 0：禁止外部时钟模式2； 1：使能外部时钟模式2。 注意1：当同时使能外部时钟模式 1 和外部时钟模式 2 时，外部时钟的输入为 ETRF。 注意2：以下从机模式可以与外部时钟模式2同时使用：复位模式、门控模式和触发模式； 但是，TRGI 无法连接到 ETRF (TIMx_SMCTRL.TSEL≠'111')。 注意3：设置 TIMx_SMCTRL.EXCEN 位与选择外部时钟模式 1 并将 TRGI 连接到 ETRF（TIMx_SMCTRL.SMSEL = 111 和 TIMx_SMCTRL.TSEL = 111）的效果相同
9:8	EXTPS[1:0]	外部触发预分频 （External trigger prescaler） 外部触发信号 ETRP 的频率必须最多为 TIMxCLK 频率的 1/4。 当输入更快的外部时钟时，可以使用预分频器来降低 ETRP 的频率。 00：关闭预分频； 01：ETRP频率除以2； 10：ETRP频率除以4； 11：ETRP频率除以8。
7:4	SMSEL[3:0]	从模式选择 （Slave mode selection） 当选择了外部信号，触发信号（TRGI）的有效边沿与选中的外部输入极性相关（见输入控制寄存器和控制寄存器的说明） 0000：关闭从模式 – 如果CNTEN=1，则预分频器直接由内部时钟驱动。 0001：编码器模式1 – 根据TI2FP2的电平，计数器在TI1FP1的边沿向上/下计数。 0010：编码器模式2 – 根据TI1FP1的电平，计数器在TI2FP2的边沿向上/下计数。 0011：编码器模式3 – 根据另一个信号的输入电平，计数器在TI1FP1和TI2FP2的边沿向上/下计数。 0100：复位模式 – 在选定触发输入 (TRGI) 的上升沿，计数器重新初始化并更新影子寄存器。 0101：门控模式 – 当触发输入（TRGI）为高时，计数器的时钟开启。一旦触发输入变为低，则计数器停止（但不复位）。计数器的启动和停止都是受控的。 0110：触发模式 – 计数器在触发输入TRGI的上升沿启动（但不复位），只有计数器的启动是受控的。 0111：外部时钟模式1 – 选中的触发输入（TRGI）的上升沿驱动计数器。 1000：双脉冲编码模式2。 1001：正交编码器模式4 – 根据TI2FP2的电平，计数器在TI1FP1的边沿向上/下计数。通过CC1P选择计数边沿。 1010：正交编码器模式5 – 根据TI1FP1的电平，计数器在TI2FP2的边沿向上/下计数。通过CC2P选择计数边沿。 1011：脉冲电平编码模式2。 1100：脉冲电平编码模式1。通过CC2P设置TI2FP2的计数边沿。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		1101：组合门控+复位模式 – 当触发输入（TRGI）为高时，计数器的时钟开启。一旦触发输入变为低，则计数器停止（且复位）。计数器的启动和停止都是受控的。 1110：组合复位+触发模式 – 计数器在触发输入TRGI的上升沿启动（且复位），只有计数器的启动是受控的。 1111：双脉冲编码模式1。通过CC1P和CC2P设置TI1FP1和TI2FP2的计数敏感边沿。 注意：如果TI1F_ED被选为触发输入（TSEL=100）时，不要使用门控模式。这是因为，TI1F_ED在每次TI1F变化时输出一个脉冲，然而门控模式是要检查触发输入的电平。
3	Reserved	保留，必须保持复位值
2:0	TSEL[2:0]	触发选择 （Trigger selection） 这3位选择用于同步计数器的触发输入。 0xx：内部触发（ITRx），根据TIMx_INSEL. ITRS选择ITR信号源 100：TI1的边沿检测器（TI1F_ED） 101：滤波后的定时器输入1（TI1FP1） 110：滤波后的定时器输入2（TI2FP2） 111：外部触发输入（ETRF） 注意：这些位只能在未用到（如SMSEL=000）时被改变，以避免在改变时产生错误的边沿检测。

12.6.6 DMA/中断使能寄存器（TIMx_DINTEN）

偏移地址：0x14

复位值：0x0000 0000

31-23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	COMIEN	TDEN	COMDEN	UDEN	BIEN	TIEN	UIEN
	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

15-12	11	10	9	8	7-4	3	2	1	0
Reserved	CC4DEN	CC3DEN	CC2DEN	CC1DEN	Reserved	CC4IEN	CC3IEN	CC2IEN	CC1IEN
	rw	rw	rw	rw		rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:23	Reserved	保留，必须保持复位值
22	COMIEN	允许COM中断 （COM interrupt enable） 0：禁止COM中断； 1：允许COM中断。
21	TDEN	允许触发DMA请求 （Trigger DMA request enable） 0：禁止触发DMA请求； 1：允许触发DMA请求。
20	COMDEN	允许COM的DMA请求 （COM DMA request enable） 0：禁止COM的DMA请求；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：允许COM的DMA请求。
19	UDEN	允许更新的DMA请求 （Update DMA request enable） 0：禁止更新的DMA请求； 1：允许更新的DMA请求。
18	BIEN	允许刹车中断 （Break interrupt enable） 0：禁止刹车中断； 1：允许刹车中断。
17	TIEN	触发中断使能 （Trigger interrupt enable） 0：禁止触发中断； 1：使能触发中断。
16	UIEN	允许更新中断 （Update interrupt enable） 0：禁止更新中断； 1：允许更新中断。
15:12	Reserved	保留，必须保持复位值
11	CC4DEN	允许捕获/比较4的DMA请求 （Capture/Compare 4 DMA request enable） 0：禁止捕获/比较4的DMA请求； 1：允许捕获/比较4的DMA请求。
10	CC3DEN	允许捕获/比较3的DMA请求 （Capture/Compare 3 DMA request enable） 0：禁止捕获/比较3的DMA请求； 1：允许捕获/比较3的DMA请求。
9	CC2DEN	允许捕获/比较2的DMA请求 （Capture/Compare 2 DMA request enable） 0：禁止捕获/比较2的DMA请求； 1：允许捕获/比较2的DMA请求。
8	CC1DEN	允许捕获/比较1的DMA请求 （Capture/Compare 1 DMA request enable） 0：禁止捕获/比较1的DMA请求； 1：允许捕获/比较1的DMA请求。
7:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3	CC4IEN	允许捕获/比较4中断 （Capture/Compare 4 interrupt enable） 0：禁止捕获/比较4中断； 1：允许捕获/比较4中断。
2	CC3IEN	允许捕获/比较3中断 （Capture/Compare 3 interrupt enable） 0：禁止捕获/比较3中断； 1：允许捕获/比较3中断。
1	CC2IEN	允许捕获/比较2中断 （Capture/Compare 2 interrupt enable） 0：禁止捕获/比较2中断； 1：允许捕获/比较2中断。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
0	CC1IEN	允许捕获/比较1中断 （Capture/Compare 1 interrupt enable） 0：禁止捕获/比较1中断； 1：允许捕获/比较1中断。

12.6.7 捕获/比较模式寄存器 1（TIMx_CCMOD1）

偏移地址：0x18

复位值：0x0000 0000

通道可用于输入（捕获模式）或输出（比较模式），通道的方向由相应的 CCxSEL 位定义。该寄存器其它位的作用在输入和输出模式下不同。OCx 描述了通道在输出模式下的功能，ICx 描述了通道在输入模式下的功能。因此必须注意，同一个位在输出模式和输入模式下的功能是不同的。

输出比较模式：

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved													OC2MD3	OC1MD3	Reserved
													rw	rw	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
OC2MD[2:0]			OC2CEN	OC2FEN	OC2PEN	CC2SEL[1:0]		OC1MD[2:0]			OC1CEN	OC1FEN	OC1PEN	CC1SEL[1:0]	
rw			rw	rw	rw	rw		rw			rw	rw	rw	rw	

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必须保持复位值
18	OC2MD3	与OC2MD一起使用，详细见OC2MD描述
17	OC1MD3	与OC1MD一起使用，详细见OC1MD描述
16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:13	OC2MD[2:0]	输出比较2模式 （Output Compare 2 mode） OC2MD3与OC2MD一起用于管理输出参考信号 OC2REF，它决定了 OC2 和 OC2N 的值，在高电平有效，而 OC2 和 OC2N 的有效电平取决于 TIMx_CCEN.CC2P 和 TIMx_CCEN.CC2NP 位。 { OC2MD_3，OC2MD} 4bit 信号对应下列输出比较1模式： 0000：冻结。 TIMx_CCDAT2 寄存器和计数器 TIMx_CNT 之间的比较对 OC2REF 信号没有影响。 0001：将通道 2 设置为匹配时的有效电平。当 TIMx_CCDAT2= TIMx_CNT 时，OC2REF 信号将被强制为高电平。 0010：将通道 2 设置为匹配时的无效电平。当 TIMx_CCDAT2 = TIMx_CNT 时，OC2REF 信号将被强制为低电平。 0011：翻转。当 TIMx_CCDAT2 = TIMx_CNT 时，OC2REF 信号将被翻转。 0100：强制无效电平。 OC2REF 信号被强制为低电平。 0101：强制有效电平。 OC2REF 信号被强制为高电平。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0110：PWM 模式 1 - 在向上计数模式下，如果 TIMx_CNT < TIMx_CCDAT2，则通道 2 的 OC2REF 信号为高电平，否则为低电平。在向下计数模式下，如果 TIMx_CNT > TIMx_CCDAT2，则通道 2 的 OC2REF 信号为低电平，否则为高电平。 0111：PWM 模式 2 - 在向上计数模式下，如果 TIMx_CNT < TIMx_CCDAT2，则通道 2 的 OC2REF 信号为低电平，否则为高电平。在向下计数模式下，如果 TIMx_CNT > TIMx_CCDAT2，则通道 2 的 OC2REF 信号为高电平，否则为低电平。 1000：可再触发单脉冲模式1 — 在递增计数模式下，通道为有效状态，直至（在TRGI信号上）检测到触发事件。然后，在PWM模式1下进行比较，通道会在下一次更新时再次变为有效状态。在递减计数模式下，通道为无效状态，直至（在TRGI信号上）检测到触发事件。然后，在PWM模式1下进行比较，通道会在下一次更新时再次变为无效状态。 1001：可再触发单脉冲模式2 — 在递增计数模式下，通道为无效状态，直至（在TRGI信号上）检测到触发事件。然后，在PWM模式2下进行比较，通道会在下一次更新时再次变为无效状态。在递减计数模式下，通道为有效状态，直至（在TRGI信号上）检测到触发事件。然后，在PWM模式2下进行比较，通道会在下一次更新时再次变为有效状态。 1010-1101：Reserved 1110：组合PWM模式1 — OC2REF与在PWM模式1下的行为相同。OC2REFC是OC1REF和OC2REF 的逻辑或运算结果。 1111：组合PWM模式2 — OC2REF与在PWM模式2下的行为相同。OC2REFC是OC1REF和OC2REF的逻辑与运算结果。 注意：在 PWM 模式 1 或 PWM 模式 2 中，OC2REF 电平仅在比较结果改变或输出比较模式从冻结模式切换到 PWM 模式时才会改变。
12	OC2CEN	输出比较2清0使能 （Output Compare 2 clear enable）
11	OC2FEN	输出比较2快速使能 （Output Compare 2 fast enable）
10	OC2PEN	输出比较2预装载使能 （Output Compare 2 preload enable）
9:8	CC2SEL[1:0]	捕获/比较2选择。（Capture/Compare 2 selection） 该位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC2通道被配置为输出； 01：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TI2上； 10：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TI1上； 11：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 注意：CC2SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC2EN=0）才是可写的。
7:5	OC1MD[2:0]	输出比较1模式 （Output Compare 1 mode） OC1MD3与OC1MD一起用于管理输出参考信号 OC1REF，它决定了 OC1 和 OC1N 的值，在高电平有效，而 OC1 和 OC1N 的有效电平取决于 TIMx_CCEN.CC1P 和 TIMx_CCEN.CC1NP 位。 {OC1M_3，OC1M} 4bit 信号对应下列输出比较1模式：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0000：冻结。 TIMx_CCDAT1 寄存器和计数器 TIMx_CNT 之间的比较对 OC1REF 信号没有影响。 0001：将通道 1 设置为匹配时的有效电平。当 TIMx_CCDAT1 = TIMx_CNT 时，OC1REF 信号将被强制为高电平。 0010：将通道 1 设置为匹配时的无效电平。当 TIMx_CCDAT1 = TIMx_CNT 时，OC1REF 信号将被强制为低电平。 0011：翻转。当 TIMx_CCDAT1 = TIMx_CNT 时，OC1REF 信号将被翻转。 0100：强制无效电平。 OC1REF 信号被强制为低电平。 0101：强制有效电平。 OC1REF 信号被强制为高电平。 0110：PWM 模式 1 - 在向上计数模式下，如果 TIMx_CNT < TIMx_CCDAT1，则通道 1 的 OC1REF 信号为高电平，否则为低电平。在向下计数模式下，如果 TIMx_CNT > TIMx_CCDAT1，则通道 1 的 OC1REF 信号为低电平，否则为高电平。 0111：PWM 模式 2 - 在向上计数模式下，如果 TIMx_CNT < TIMx_CCDAT1，则通道 1 的 OC1REF 信号为低电平，否则为高电平。在向下计数模式下，如果 TIMx_CNT > TIMx_CCDAT1，则通道 1 的 OC1REF 信号为高电平，否则为低电平。 1000：可再触发单脉冲模式1 — 在递增计数模式下，通道为有效状态，直至（在TRGI信号上）检测到触发事件。然后，在PWM模式1下进行比较，通道会在下一次更新时再次变为有效状态。在递减计数模式下，通道为无效状态，直至（在TRGI信号上）检测到触发事件。然后，在PWM模式1下进行比较，通道会在下一次更新时再次变为无效状态。 1001：可再触发单脉冲模式2 — 在递增计数模式下，通道为无效状态，直至（在TRGI信号上）检测到触发事件。然后，在PWM模式2下进行比较，通道会在下一次更新时再次变为无效状态。在递减计数模式下，通道为有效状态，直至（在TRGI信号上）检测到触发事件。然后，在PWM模式2下进行比较，通道会在下一次更新时再次变为有效状态。 1010-1101：Reserved 1110：组合PWM模式1 — OC1REF与在PWM模式1下的行为相同。OC1REFC是OC1REF和OC2REF 的逻辑或运算结果。 1111：组合PWM模式2 — OC1REF与在PWM模式2下的行为相同。OC1REFC是OC1REF和OC2REF的逻辑与运算结果。 注意：在 PWM 模式 1 或 PWM 模式 2 中，OC1REF 电平仅在比较结果改变或输出比较模式从冻结模式切换到 PWM 模式时才会改变。
4	OC1CEN	输出比较1清'0'使能 （Output Compare 1 clear enable） 0：OC1REF 不受tim_ocref_clr_in输入的影响； 1：一旦检测到tim_ocref_clr_in输入高电平（tim_ocref_clr_in由TIMx_CTRL1.CLRSEL控制来源），OC1REF=0。
3	OC1FEN	输出比较1 快速使能 （Output Compare 1 fast enable） 该位用于加快CC输出对触发输入事件的响应。 0：根据计数器与CCDAT1的值，CC1正常操作，即使触发器是打开的。当触发器的输

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		入有一个有效沿时，激活CC1输出的最小延时为5个时钟周期。 1：输入到触发器的有效沿的作用就像发生了一次比较匹配。因此，OC1被设置为比较电平而与比较结果无关。采样触发器的有效沿和CC1输出间的延时被缩短为3个时钟周期。 OCxFEN只在通道被配置成PWM1或PWM2模式时起作用。
2	OC1PEN	输出比较 1 预加载使能（Output Compare 1 preload enable） 0：禁用 TIMx_CCDAT1 寄存器的预加载功能。 支持随时对TIMx_CCDAT1寄存器进行写操作，写入的值立即生效。 1：使能 TIMx_CCDAT1 寄存器的预加载功能。 仅对预加载寄存器进行读写操作。当更新事件发生时，TIMx_CCDAT1 的值被加载到影子寄存器中。 注意：只有当 TIMx_CTRL1.ONEPM = 1（在单脉冲模式下）时，才能使用 PWM 模式而不验证预加载寄存器，否则无法预测其他行为。
1:0	CC1SEL[1:0]	捕获/比较1 选择。（Capture/Compare 1 selection） 这2位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC1通道被配置为输出； 01：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TI1上； 10：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TI2上； 11：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 注意：CC1SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC1EN=0）才是可写的。

输入捕获模式：

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
IC2F[3:0]				IC2PSC[1:0]		CC2SEL[1:0]		IC1F[3:0]				IC1PSC[1:0]		CC1SEL[1:0]	
rw				rw		rw		rw				rw		rw	

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:12	IC2F[3:0]	输入捕获2滤波器 （Input capture 2 filter）
11:10	IC2PSC[1:0]	输入/捕获2预分频器 （Input capture 2 prescaler）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

9:8	CC2SEL[1:0]	捕获/比较2选择 （Capture/Compare 2 selection） 这2位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC2通道被配置为输出； 01：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TI2上； 10：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TI1上； 11：CC2通道被配置为输入，IC2映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 注意：CC2SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC2EN=0）才是可写的。
7:4	IC1F[3:0]	输入捕获1滤波器 （Input capture 1 filter） 这几位定义了TI1输入的采样频率及数字滤波器长度。数字滤波器由一个事件计数器组成，它记录到N个事件后会产生一个输出的跳变： 0000：无滤波器，以f_{DTS}采样　1000：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/8$，N=6 0001：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{CK_INT}$，N=2　1001：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/8$，N=8 0010：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{CK_INT}$，N=4　1010：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/16$，N=5 0011：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{CK_INT}$，N=8　1011：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/16$，N=6 0100：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/2$，N=6　1100：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/16$，N=8 0101：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/2$，N=8　1101：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/32$，N=5 0110：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/4$，N=6　1110：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/32$，N=6 0111：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/4$，N=8　1111：采样频率$f_{SAMPLING}=f_{DTS}/32$，N=8
3:2	IC1PSC[1:0]	输入/捕获1预分频器 （Input capture 1 prescaler） 这2位定义了CC1输入（IC1）的预分频系数。 一旦TIMx_CCEN.CC1EN=0，则预分频器复位。 00：无预分频器，捕获输入口上检测到的每一个边沿都触发一次捕获； 01：每2个事件触发一次捕获； 10：每4个事件触发一次捕获； 11：每8个事件触发一次捕获。
1:0	CC1SEL[1:0]	捕获/比较1选择 （Capture/Compare 1 Selection） 这2位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC1通道被配置为输出； 01：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TI1上； 10：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TI2上； 11：CC1通道被配置为输入，IC1映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 注意：CC1SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC1EN=0）才是可写的。

12.6.8 捕获/比较模式寄存器 2（TIMx_CCMOD2）

偏移地址：0x1C
复位值：0x0000 0000
参看以上 CCMOD1 寄存器的描述
输出比较模式：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved													OC4MD3	OC3MD3	Reserved
													rw	rw	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
OC4MD[2:0]			OC4CEN	OC4FEN	OC4PEN	CC4SEL[1:0]		OC3MD[2:0]			OC3CEN	OC3FEN	OC3PEN	CC3SEL[1:0]	
rw			rw	rw	rw	rw		rw			rw	rw	rw	rw	

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必须保持复位值
18	OC4MD3	与OC4MD一起使用，详细见OC4MD描述
17	OC3MD3	与OC3MD一起使用，详细见OC3MD描述
16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:13	OC4MD[2:0]	输出比较4模式 （Output compare 4 mode） OC4MD3与OC4MD定义了输出参考信号OC4REF的动作，而OC4REF决定了OC4的值。OC4REF是高电平有效，而OC4的有效电平取决于CC4P位。 { OC4MD3，OC4MD} 4bit 信号对应下列输出比较4模式： 0000：冻结。输出比较寄存器TIMx_CCDAT4与计数器TIMx_CNT间的比较对OC4REF不起作用； 0001 ：匹配时设置通道4为有效电平。当计数器TIMx_CNT的值与捕获/ 比较寄存器4（TIMx_CCDAT4）相同时，强制OC4REF为高。 0010 ：匹配时设置通道4为无效电平。当计数器TIMx_CNT 的值与捕获/ 比较寄存器4（TIMx_CCDAT4）相同时，强制OC4REF为低。 0011：翻转。当TIMx_CCDAT4=TIMx_CNT时，翻转OC4REF的电平。 0100：强制为无效电平。强制OC4REF为低。 0101：强制为有效电平。强制OC4REF为高。 0110：PWM模式1－ 在向上计数时，一旦TIMx_CNT<TIMx_CCDAT3时通道4为有效电平，否则为无效电平；在向下计数时，一旦TIMx_CNT>TIMx_CCDAT4时通道4为无效电平（OC4REF=0），否则为有效电平（OC4REF=1）。 0111：PWM模式2－ 在向上计数时，一旦TIMx_CNT<TIMx_CCDAT4时通道4为无效电平，否则为有效电平；在向下计数时，一旦TIMx_CNT>TIMx_CCDAT4时通道4为有效电平，否则为无效电平。 1000：可再触发单脉冲模式1 — 在递增计数模式下，通道4为有效状态，直至（在TRGI信号上）检测到触发事件。然后，在PWM模式1下进行比较，通道4会在下一次更新时再次变为有效状态。在递减计数模式下，通道4为无效状态，直至（在TRGI信号上）检测到触发事件。然后，在PWM模式1下进行比较，通道4会在下一次更新时再次变为无效状态。 1001：可再触发单脉冲模式2 — 在递增计数模式下，通道4为无效状态，直至（在TRGI信号上）检测到触发事件。然后，在PWM模式2下进行比较，通道4会在下一次更新时再次变为无效状态。在递减计数模式下，通道4为有效状态，直至（在TRGI信号上）检测

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必须保持复位值
		到触发事件。然后，在PWM模式2下进行比较，通道4会在下一次更新时再次变为有效状态。 1010-1101：Reserved 1110：组合PWM模式1 — OC4REF与在PWM模式1下的行为相同。OC4REFC是 OC4REF和OC3REF 的逻辑或运算结果。 1111：组合PWM模式2 — OC4REF与在PWM模式2下的行为相同。OC4REFC是 OC4REF和OC3REF的逻辑与运算结果。 注意：在PWM模式1或PWM模式2中，只有当比较结果改变了或在输出比较模式中从冻结模式切换到PWM模式时，OC4REF电平才改变。
12	OC4CEN	输出比较4清0使能 （Output compare 4 clear enable）
11	OC4FEN	输出比较4快速使能 （Output compare 4 fast enable）
10	OC4PEN	输出比较4预装载使能 （Output compare 4 preload enable）
9:8	CC4SEL[1:0]	捕获/比较4选择 （Capture/Compare 4 selection） 该2位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC4通道被配置为输出； 01：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TI4上； 10：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TI3上； 11：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 注意：CC4SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC4EN=0）才是可写的。
7:5	OC3MD[2:0]	输出比较3模式 （Output compare 3 mode） OC3MD3与OC3MD定义了输出参考信号OC3REF的动作，而OC3REF决定了OC3的值。OC3REF是高电平有效，而OC3的有效电平取决于CC3P位。 { OC3MD3，OC3MD} 4bit 信号对应下列输出比较3模式： 0000：冻结。输出比较寄存器TIMx_CCDAT3与计数器TIMx_CNT间的比较对OC3REF不起作用； 0001 ：匹配时设置通道3为有效电平。当计数器TIMx_CNT的值与捕获/ 比较寄存器3（TIMx_CCDAT3）相同时，强制OC3REF为高。 0010 ：匹配时设置通道3为无效电平。当计数器TIMx_CNT 的值与捕获/ 比较寄存器3（TIMx_CCDAT3）相同时，强制OC3REF为低。 0011：翻转。当TIMx_CCDAT3=TIMx_CNT时，翻转OC3REF的电平。 0100：强制为无效电平。强制OC3REF为低。 0101：强制为有效电平。强制OC3REF为高。 0110：PWM模式1－ 在向上计数时，一旦TIMx_CNT<TIMx_CCDAT3时通道3为有效电平，否则为无效电平；在向下计数时，一旦TIMx_CNT>TIMx_CCDAT3时通道3为无效电平（OC3REF=0），否则为有效电平（OC3REF=1）。 0111：PWM模式2－ 在向上计数时，一旦TIMx_CNT<TIMx_CCDAT3时通道3为无效电平，否则为有效电平；在向下计数时，一旦TIMx_CNT>TIMx_CCDAT3时通道3为有效电

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必须保持复位值
		平，否则为无效电平。 1000：可再触发单脉冲模式1 — 在递增计数模式下，通道3为有效状态，直至（在TRGI信号上）检测到触发事件。然后，在PWM模式1下进行比较，通道3会在下一次更新时再次变为有效状态。在递减计数模式下，通道3为无效状态，直至（在TRGI信号上）检测到触发事件。然后，在PWM模式1下进行比较，通道3会在下一次更新时再次变为无效状态。 1001：可再触发单脉冲模式2 — 在递增计数模式下，通道3为无效状态，直至（在TRGI信号上）检测到触发事件。然后，在PWM模式2下进行比较，通道3会在下一次更新时再次变为无效状态。在递减计数模式下，通道3为有效状态，直至（在TRGI信号上）检测到触发事件。然后，在PWM模式2下进行比较，通道3会在下一次更新时再次变为有效状态。 1010-1101：Reserved 1110：组合PWM模式1 — OC3REF与在PWM模式1下的行为相同。OC3REFC是 OC3REF和OC4REF 的逻辑或运算结果。 1111：组合PWM模式2 — OC3REF与在PWM模式2下的行为相同。OC3REFC是 OC3REF和OC4REF的逻辑与运算结果。 注意：在PWM模式1或PWM模式2中，只有当比较结果改变了或在输出比较模式中从冻结模式切换到PWM模式时，OC3REF电平才改变。
4	OC3CEN	输出比较3清0使能 （Output compare 3 clear enable）
3	OC3FEN	输出比较3快速使能 （Output compare 3 fast enable）
2	OC3PEN	输出比较3预装载使能 （Output compare 3 preload enable）
1:0	CC3SEL[1:0]	捕获/比较3选择 （Capture/Compare 3 selection） 这2位定义通道的方向（输入/输出），及输入脚的选择： 00：CC3通道被配置为输出； 01：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TI3上； 10：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TI4上； 11：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时（由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择）。 注意：CC3SEL仅在通道关闭时（TIMx_CCEN寄存器的CC3EN=0）才是可写的。

输入捕获模式：

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
IC4F[3:0]				IC4PSC[1:0]		CC4SEL[1:0]		IC3F[3:0]				IC3PSC[1:0]		CC3SEL[1:0]	
rw				rw		rw		rw				rw		rw	

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:12	IC4F[3:0]	输入捕获4滤波器 (Input capture 4 filter)
11:10	IC4PSC[1:0]	输入/捕获4预分频器 (Input capture 4 prescaler)
9:8	CC4SEL[1:0]	捕获/比较4选择 (Capture/Compare 4 selection) 这2位定义通道的方向(输入/输出)，及输入脚的选择： 00：CC4通道被配置为输出； 01：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TI4上； 10：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TI3上； 11：CC4通道被配置为输入，IC4映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时(由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择)。 注意：CC4SEL仅在通道关闭时(TIMx_CCEN寄存器的CC4EN=0)才是可写的。
7:4	IC3F[3:0]	输入捕获3滤波器 (Input capture 3 filter)
3:2	IC3PSC[1:0]	输入/捕获3预分频器 (Input capture 3 prescaler)
1:0	CC3SEL[1:0]	捕获/比较3选择 (Capture/compare 3 selection) 这2位定义通道的方向(输入/输出)，及输入脚的选择： 00：CC3通道被配置为输出； 01：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TI3上； 10：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TI4上； 11：CC3通道被配置为输入，IC3映射在TRC上。此模式仅工作在内部触发输入被选中时(由TIMx_SMCTRL寄存器的TSEL位选择)。 注意：CC3SEL仅在通道关闭时(TIMx_CCEN寄存器的CC3EN=0)才是可写的。

12.6.9 捕获/比较模式寄存器 3（TIMx_CCMOD3）

偏移地址：0x20

复位值：0x0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								OC5MD[2:0]			OC5CEN	OC5FEN	OC5PEN	Reserved	
									rw		rw	rw	rw		

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值
7:5	OC5MD[2:0]	输出比较5模式 （Output compare 5 mode）
4	OC5CEN	输出比较5清0使能 （Output compare 5 clear enable）
3	OC5FEN	输出比较5快速使能 （Output compare 5 fast enable）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
2	OC5PEN	输出比较5预装载使能 （Output compare 5 preload enable）
1:0	Reserved	保留，必须保持复位值

12.6.10 捕获/比较使能寄存器（TIMx_CCEN）

偏移地址：0x24
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved												CC5P	CC5EN	Reserved	
												rw	rw		

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CC4P	CC4EN	Reserved		CC3P	CC3EN	Reserved		CC2P	CC2EN	Reserved		CC1P	CC1EN	CC1NP	CC1NEN
rw	rw			rw	rw			rw	rw			rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:20	Reserved	保留，必须保持复位值
19	CC5P	捕获/比较5输出极性 （Capture/Compare 5 output polarity） 参考TIMx_CCEN.CC1P的描述。
18	CC5EN	捕获/比较5输出使能 （Capture/Compare 5 output enable） 参考TIMx_CCEN.CC1EN 的描述
17：16	Reserved	保留，必须保持复位值
15	CC4P	捕获/比较4输出极性 （Capture/Compare 4 output polarity） 参考TIMx_CCEN.CC1P的描述。
14	CC4EN	捕获/比较4输出使能 （Capture/Compare 4 output enable） 参考TIMx_CCEN.CC1EN 的描述。
13:12	Reserved	保留，必须保持复位值
11	CC3P	捕获/比较3输出极性 （Capture/Compare 3 output polarity） 参考TIMx_CCEN.CC1P的描述。
10	CC3EN	捕获/比较3输出使能 （Capture/Compare 3 output enable） 参考TIMx_CCEN.CC1E 的描述。
9:8	Reserved	保留，必须保持复位值
7	CC2P	捕获/比较2输出极性 （Capture/Compare 2 output polarity） 参考TIMx_CCEN.CC1P的描述。
6	CC2EN	捕获/比较2输出使能 （Capture/Compare 2 output enable） 参考TIMx_CCEN.CC1EN的描述。
5:4	Reserved	保留，必须保持复位值

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
3	CC1P	捕获/比较1输出极性 （Capture/Compare 1 output polarity） **CC1对应通道为输出模式时：** 0：OC1 高电平有效 1：OC1 低电平有效 **CC1对应通道为输入模式时：** 此时，该位用于选择是使用IC1还是IC1的反相信号作为触发信号或捕捉信号。 0：非反相：当 IC1 产生上升沿时发生捕获动作。 当用作外部触发时，IC1 是非反相的。 1：反相：当 IC1 产生下降沿时发生捕获动作。 当用作外部触发时，IC1 被反相。
2	CC1EN	捕获/比较1输出使能 （Capture/Compare 1 output enable） **CC1通道配置为输出：** 0： 关闭一 OC1禁止输出，因此OC1的输出电平依赖于MOEN、OSSI、OSSR、OI1、OI1N和CC1NEN位的值。 1： 开启一 OC1信号输出到对应的输出引脚，其输出电平依赖于MOEN、OSSI、OSSR、OI1、OI1N和CC1NEN位的值。 **CC1通道配置为输入：** 该位决定了计数器的值是否能捕获入TIMx_CCDAT1寄存器。 0：捕获禁止； 1：捕获使能。
1	CC1NP	捕获/比较1互补输出极性 （Capture/Compare 1 complementary output polarity） 0：OC1N高电平有效； 1：OC1N低电平有效。
0	CC1NEN	捕获/比较1互补输出使能 （Capture/Compare 1 complementary output enable） 0：禁用 - 禁用输出 OC1N 信号。 OC1N 的电平取决于TIMx_BKDT.MOEN、TIMx_BKDT.OSSI、TIMx_BKDT.OSSR、TIMx_CTRL2.OI1、TIMx_CTRL2.OI1N 和 TIMx_CCEN.CC1EN 的值。 1：使能 - 使能输出 OC1N 信号。 OC1N 的电平取决于TIMx_BKDT.MOEN、TIMx_BKDT.OSSI、TIMx_BKDT.OSSR、TIMx_CTRL2.OI1、TIMx_CTRL2.OI1N 和 TIMx_CCEN.CC1EN 的值。

表 12-14 带刹车功能的互补输出通道 OCx 和 OCxN 的控制位

控制位					输出状态(1)	
MOEN	**OSSI**	**OSSR**	**CCxEN**	**CCxNEN**	**OCx 输出状态**	**OCxN 输出状态**
1	X	0	0	0	输出禁止（与定时器断开） OCx=0，OCx_EN=0	输出禁止（与定时器断开） OCxN=0，OCxN_EN=0
		0	0	1	输出禁止（与定时器断开） OCx=0，OCx_EN=0	OCxREF + 极性， OCxN= OCxREF xor CCxNP， OCxN_EN=1
		0	1	0	OCxREF + 极性， OCx= OCxREF xor CCxP， OCx_EN=1	输出禁止（与定时器断开） OCxN=0，OCxN_EN=0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		0	1	1	OCxREF + 极性 + 死区， OCx_EN=1	OCxREF 反相 + 极性 + 死区， OCxN_EN=1
		1	0	0	输出禁止（与定时器断开） OCx=CCxP，OCx_EN=0	输出禁止（与定时器断开） OCxN=CCxNP，OCxN_EN=0
		1	0	1	关闭状态（输出使能且为无效电平） OCx=CCxP，OCx_EN=1	OCxREF + 极性， OCxN= OCxREF xor CCxNP， OCxN_EN=1
		1	1	0	OCxREF + 极性， OCx= OCxREF xor CCxP， OCx_EN=1	关闭状态（输出使能且为无效电平） OCxN=CCxNP，OCxN_EN=1
		1	1	1	OCxREF + 极性 + 死区， OCx_EN=1	OCxREF 反相 + 极性 + 死区， OCxN_EN=1
	0		0	0	输出禁止（与定时器断开） 异步： OCx=CCxP， OCx_EN=0， OCxN=CCxNP，OCxN_EN=0； 若时钟存在：假设 (CCxP ^ OIx) ^ (CCxNP^OIxN)! = 0， 经过一个死区时间后 OCx=OIx，OCxN=OIxN	
	0		0	1		
	0		1	0		
	0		1	1		
0	1	X	0	0	关闭状态（输出使能且为无效电平） 异步： OCx=CCxP， OCx_EN=1， OCxN=CCxNP，OCxN_EN=1； 若时钟存在：假设 (CCxP ^ OIx) ^ (CCxNP^OIxN)! = 0， 经过一个死区时间后 OCx=OIx，OCxN=OIxN，	
	1		0	1		
	1		1	0		
	1		1	1		

1. 如果一个通道的 2 个输出都没有使用（CCxEN = CCxNEN = 0），那么 OIx, OIxN, CCxP 和 CCxNP 都必须清零。

注意：引脚连接到互补的 OCx 和 OCxN 通道的外部 I/O 引脚的状态，取决于 OCx 和 OCxN 通道状态和 GPIO 以及 AFIO 寄存器。

12.6.11 捕获/比较寄存器 1（TIMx_CCDAT1）

偏移地址：0x28

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CCDDAT1[15:0]															
rw															
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

CCDAT1[15:0]
rw

位域	名称	描述
31:16	CCDDAT1[15:0]	捕获/比较通道1向下计数值(Capture/Compare 1 down-counting value)，专用于中央对齐非对称模式。 ■　CC1 通道只能配置为输出： CCDDAT1 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值（仅当 TIMx_CTRL1.DIR = 1 且处于非对称模式时），在 OC1 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD1.OC1PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。
15:0	CCDAT1[15:0]	捕获/比较通道1的值（Capture/Compare 1 value） ■　CC1 通道配置为输出： CCDAT1 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC1 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD1.OC1PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。 ■　CC1 通道配置为输入： CCDAT1 包含由最后一个输入捕获 1 事件 (IC1) 传输的计数器值。 当配置为输入模式时，寄存器 CCDAT1 和 CCDDAT1 只能读取。 当配置为输出模式时，寄存器 CCDAT1 和 CCDDAT1 是可读写的。

12.6.12 捕获/比较寄存器 2（TIMx_CCDAT2）

偏移地址：0x2C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CCDDAT2[15:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CCDAT2[15:0]															
rw															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	CCDDAT2[15:0]	捕获/比较通道2向下计数值(Capture/Compare 2 down-counting value)，专用于中央对齐非对称模式。 ■ CC2 通道只能配置为输出： CCDDAT2 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值（仅当 TIMx_CTRL1.DIR = 1 且处于非对称模式时），在 OC2 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD1.OC2PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。
15:0	CCDAT2[15:0]	捕获/比较通道2的值（Capture/Compare 2 value） ■ CC2 通道配置为输出： CCDAT2 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC2 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD1.OC2PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。 ■ CC2 通道配置为输入： CCDAT2 包含由最后一个输入捕获 2 事件 (IC2) 传输的计数器值。 当配置为输入模式时，寄存器 CCDAT2 和 CCDDAT2 只能读取。 当配置为输出模式时，寄存器 CCDAT2 和 CCDDAT2 是可读写的。

12.6.13 捕获/比较寄存器 3（TIMx_CCDAT3）

偏移地址：0x30
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CCDDAT3[15:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CCDAT3[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	CCDDAT3[15:0]	捕获/比较通道3向下计数值(Capture/Compare 3 down-counting value)，专用于中央对齐非对称模式。 ■ CC3 通道只能配置为输出： CCDDAT3 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值（仅当 TIMx_CTRL1.DIR = 1 且处于非对称模式时），在 OC3 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD2.OC3PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。
15:0	CCDAT3[15:0]	捕获/比较通道3的值（Capture/Compare 3 value） ■ CC3 通道配置为输出：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	CCDDAT3[15:0]	捕获/比较通道3向下计数值(Capture/Compare 3 down-counting value)，专用于中央对齐非对称模式。 ■ CC3 通道只能配置为输出： CCDDAT3 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值（仅当 TIMx_CTRL1.DIR = 1 且处于非对称模式时），在 OC3 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD2.OC3PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。
		CCDAT3 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC3 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD2.OC3PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。 ■ CC3 通道配置为输入： CCDAT3 包含由最后一个输入捕获 3 事件 (IC3) 传输的计数器值。 当配置为输入模式时，寄存器 CCDAT3 和 CCDDAT3 只能读取。 当配置为输出模式时，寄存器 CCDAT3 和 CCDDAT3 是可读写的。

12.6.14 捕获/比较寄存器 4（TIMx_CCDAT4）

偏移地址：0x34
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CCDDAT4[15:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CCDAT4[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	CCDDAT4[15:0]	捕获/比较通道4向下计数值(Capture/Compare 4 down-counting value)，专用于中央对齐非对称模式。 ■ CC4 通道只能配置为输出： CCDDAT4 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值（仅当 TIMx_CTRL1.DIR = 1 且处于非对称模式时），在 OC4 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD2.OC4PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。
15:0	CCDAT4[15:0]	捕获/比较通道4的值（Capture/Compare 4 value） ■ CC4 通道配置为输出： CCDAT4 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC4 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD2.OC4PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。 ■ CC4 通道配置为输入： CCDAT4 包含由最后一个输入捕获 4 事件 (IC4) 传输的计数器值。 当配置为输入模式时，寄存器 CCDAT4 和 CCDDAT4 只能读取。 当配置为输出模式时，寄存器 CCDAT4 和 CCDDAT4 是可读写的。

12.6.15 捕获/比较寄存器 5（TIMx_CCDAT5）

偏移地址：0x38

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CCDAT5[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	CCDAT5[15:0]	捕获/比较通道5的值（Capture/Compare 5 value） ■ CC5 通道只能配置为输出： CCDAT5 包含要与计数器 TIMx_CNT 比较的值，在 OC5 输出上发出信号。 如果未在 TIMx_CCMOD3.OC5PEN 位中选择预加载功能，则写入的值会立即传输到有效寄存器。 否则，仅当更新事件发生时，此预加载值才会传输到活动寄存器。

12.6.16 预分频器（TIMx_PSC）

偏移地址：0x40

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PSC[15:0]															
rw															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	PSC[15:0]	预分频器的值 （Prescaler value） 计数器时钟 $f_{CK\_CNT} = f_{CK\_PSC} / (PSC[15:0] +1)$。 每次发生更新事件时，PSC 值都会加载到预分频器的影子寄存器中。

12.6.17 自动重装载寄存器（TIMx_AR）

偏移地址:0x44

复位值: 0x0000 FFFF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
AR[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	AR[15:0]	自动重装载的值 （Auto-reload value） AR包含了将要装载入实际的自动重装载寄存器的值。详细参考9.5.1节：有关AR的更新和动作。 当自动重装载的值为空时，计数器不工作。

12.6.18 计数器（TIMx_CNT）

偏移地址：0x48

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
UDITF CPY	Reserved														
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CNT[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31	UDITFCPY	UDITF副本(UDITF copy)，该位是TIMx_STS寄存器中UDITF位的只读副本。如果TIMx_CTRL1.UDITFREMAP位复位，则位31保留，读为0。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
30:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	CNT[15:0]	计数器的值 （Counter value）

12.6.19 重复计数寄存器（TIMx_REPCNT）

偏移地址：0x4C
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								REPCNT[7:0]							
								rw							

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值
7:0	REPCNT[7:0]	重复计数器的值 （Repetition counter value） 重复计数器仅在给定数量 (N+1) 个计数器周期后用于生成更新事件或更新定时器寄存器，其中 N 是 TIMx_REPCNT.REPCNT 的值。 在向上计数模式下，每次计数器溢出，向下计数模式下每次计数器下溢或中央对齐模式下每次计数器溢出和每次计数器下溢时，重复计数器都会递减。 设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 位将重新加载 TIMx_REPCNT.REPCNT 的内容并生成更新事件。

12.6.20 刹车和死区寄存器（TIMx_BKDT）

偏移地址：0x50
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved											BRKBID	Reserved	BRK DSRM	Reserved	
											rw		rw		

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
LCKCFG[1:0]		OSSR	OSSI	BKEN	BKP	AOEN	MOEN	DTGN[7:0]							
rw		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw							

注意：根据锁定设置，BRK2BID、BRKBID、BK2EN、BK2P、AOEN、BKP、BKEN、OSSI、OSSR 和 DTGN[7:0] 位均可被写保护，有必要在第一次写入 TIMx_BKDT 寄存器时对它们进行配置。

位域	名称	描述
31:21	Reserved	保留，必须保持复位值

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

20	BRKBID	刹车1双向使能(Break1 bidirectional enable) 0：刹车1为输入模式 1：刹车1为双向模式 在双向模式下，刹车1输入被配置为在输入和开漏输出模式。任何刹车1事件会在刹车1输入IO上产生一个低电平，由此向外设显示内部发生了一个刹车1事件。 注意：一旦LOCK级别（TIMx_BKDT寄存器中的LCKCFG位）设为'1'，则该位不能被修改。 注意：任何对该位的写操作都需要一个APB时钟的延迟以后才能起作用。
18	BRKDSRM	刹车1解除(Break1 disarm) 0：刹车1输入预备 1：刹车1输入解除 刹车1输入无效时该位由硬件自动清零。 BRKDSRM由软件设置以解除刹车1双向输出控制（开漏输出为高阻态），然后软件轮询该位直到其被硬件复位，表示刹车1事件已经消失。 注意：任何对该位的写操作都需要一个APB时钟的延迟以后才能起作用。
15:14	LCKCFG[1:0]	锁定设置 （Lock configuration） 该位为防止软件错误而提供写保护。 这些位提供针对软件错误的写保护。 00: – 没有写保护。 01： – 锁定级别 1 TIMx_BKDT.DTGN、TIMx_BKDT.BKEN、TIMx_BKDT.BKP、TIMx_BKDT.AOEN、TIMx_CTRL2.OIx、TIMx_CTRL2.OIxN 位启用写保护。 10： – 锁定 2 级 除了 LOCK Level 1 模式下的寄存器写保护外，TIMx_CCEN.CCxP 和 TIMx_CCEN.CCxNP（如果相应通道配置为输出模式），TIMx_BKDT.OSSR 和 TIMx_BKDT.OSSI 位也使能写保护。 11: – 锁定 3 级 除了 LOCK Level 2 中的寄存器写保护外，TIMx_CCMODx.OCxMD 和 TIMx_CCMODx.OCxPEN 位（如果相应通道配置为输出模式）也启用写保护。 注意：系统复位后，LCKCFG 位只能写一次。 一旦写入 TIMx_BKDT 寄存器，LCCKCFG 将受到保护，直到下一次复位。
13	OSSR	当 TIMx_BKDT.MOEN=1 且通道为互补输出时使用该位。 没有互补输出的定时器中不存在 OSSR 位。 0：当定时器不工作时，禁止OC/OCN输出（OC/OCN使能输出信号=0）； 1：当定时器不工作时，一旦CCxEN=1或CCxNEN=1，首先开启OC/OCN并输出无效电平，然后置OC/OCN使能输出信号=1。 有关更多详细信息，请参见第9.6.9节，捕获/比较启用寄存器 (TIMx_CCEN)。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

12	OSSI	空闲模式下"关闭状态"选择 （Off-state selection for Idle mode） 当 TIMx_BKDT.MOEN=0 且通道配置为输出时使用该位。 0：当定时器不工作时，禁止OC/OCN输出（OC/OCN使能输出信号=0）； 1：当定时器不工作时，一旦CCxEN=1 或CCxNEN=1，OC/OCN首先输出其空闲电平，然后OC/OCN使能输出信号=1。 有关更多详细信息，请参见第9.6.9节，捕获/比较启用寄存器 (TIMx_CCEN)。
11	BKEN	刹车1功能使能 （Break1 enable） 0：禁止刹车1输入； 1：开启刹车1输入。 注意：任何对该位的写操作都需要一个APB时钟的延迟以后才能起作用。
10	BKP	刹车1输入极性 （Break1 polarity） 0：刹车1输入低电平有效； 1：刹车1输入高电平有效。 注意：任何对该位的写操作都需要一个APB时钟的延迟以后才能起作用。
9	AOEN	自动输出使能 （Automatic output enable） 0：只有软件可以设置TIMx_BKDT.MOEN； 1：软件设置TIMx_BKDT.MOEN； 或者如果刹车输入未激活，则在下一次更新事件发生时，硬件自动设置 TIMx_BKDT.MOEN。
8	MOEN	主输出使能 （Main output enable） 该位可由软件或硬件根据 TIMx_BKDT.AOEN 位设置，一旦刹车输入有效，该位由硬件异步清零。 它仅对配置为输出的通道有效。 0：OC 和 OCN 输出被禁用或强制进入空闲状态。 1：如果设置了 TIMx_CCEN.CCxEN 或 TIMx_CCEN.CCxNEN 位，则使能 OC 和 OCN 输出。 有关更多详细信息，请参见第 9.6.9节捕获/比较使能寄存器 (TIMx_CCEN)。
7:0	DTGN[7:0]	死区发生器设置 （Dead-time generator setup） 这些位定义插入的互补输出之间的死区持续时间。 DTGN值与死区时间的关系如下： DTGN[7:5]=0xx => DT=DTGN[7:0] × T_{dtgn}， T_{dtgn} = T_{DTS}； DTGN[7:5]=10x => DT=(64+DTGN[5:0]) × T_{dtgn}， T_{dtgn} = 2 × T_{DTS}； DTGN[7:5]=110 => DT=(32+DTGN[4:0]) × T_{dtgn}， T_{dtgn} = 8 × T_{DTS}； DTGN[7:5]=111 => DT=(32+DTGN[4:0])× T_{dtgn}， T_{dtgn} = 16 × T_{DTS}；

12.6.21 刹车 1 滤波寄存器（TIMx_BKFR）

偏移地址：0x60
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		THRESH[5:0]						Reserved	WSIZE[5:0]						FILTEN
		rw							rw						rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值
29:24	THRESH[5:0]	采样逻辑电平有效的阈值数(Threshold)，最大 63： 有效逻辑电平的阈值。 在采样窗口内，如果逻辑高的数量大于或等于阈值，则下一个逻辑电平将为逻辑高。 同样的规则适用于逻辑低。 如果窗口内 1 和 0 的数量都小于阈值，则过滤器输出保持不变。 阈值应设置为大于或等于 Window 值的一半。 推荐阈值范围为： **最小值：**比最大毛刺大小的上限（预分频时钟周期）多 1 个预分频时钟周期，并且需要大于窗口大小的一半。 例如，如果毛刺大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为 $\lceil 3.2 \rceil = 4 + 1 = 5$ **最大值：**有效信号最小尺寸的底值（在预分频时钟周期内），需要小于窗口尺寸。 例如，如果最小信号大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为下限 (3.2) = 3。
23	Reserved	保留，必须保持复位值
22:17	WSIZE[5:0]	逻辑电平检查的窗口大小值（Window size），最大 63： 窗口大小决定了在获得下一个逻辑级别时将考虑多少采样值。 内置 FIFO 为 64 位，最大索引为 63，只能将窗口大小设置为 63。
16	FILTEN	滤波器使能（Filter enable）： 0：滤波器禁能 1：滤波器使能
15:0	Reserved	保留，必须保持复位值

12.6.22 通道 1 滤波寄存器（TIMx_C1FILT）

偏移地址：0x64

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		THRESH[5:0]						Reserved	WSIZE[5:0]						FILTEN
		rw							rw						rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值
29:24	THRESH[5:0]	采样逻辑电平有效的阈值数(Threshold)，最大 63： 有效逻辑电平的阈值。 在采样窗口内，如果逻辑高的数量大于或等于阈值，则下一个逻

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		辑电平将为逻辑高。 同样的规则适用于逻辑低。 如果窗口内 1 和 0 的数量都小于阈值，则过滤器输出保持不变。 阈值应设置为大于或等于 Window 值的一半。 推荐阈值范围为： **最小值：**比最大毛刺大小的上限（预分频时钟周期）多 1 个预分频时钟周期，并且需要大于窗口大小的一半。 例如，如果毛刺大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为 ┌3.2┐ = 4 + 1 =5 **最大值：**有效信号最小尺寸的底值（在预分频时钟周期内），需要小于窗口尺寸。 例如，如果最小信号大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为下限 (3.2) = 3。
23	Reserved	保留，必须保持复位值
22:17	WSIZE[5:0]	逻辑电平检查的窗口大小值（Window size），最大 63： 窗口大小决定了在获得下一个逻辑级别时将考虑多少采样值。 内置 FIFO 为 64 位，最大索引为 63，只能将窗口大小设置为 63。
16	FILTEN	滤波器使能（Filter enable）： 0: 滤波器禁能 1: 滤波器使能
15:0	Reserved	保留，必须保持复位值

12.6.23 通道 2 滤波寄存器（TIMx_C2FILT）

偏移地址：0x68

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		THRESH[5:0]						Reserved	WSIZE[5:0]						FILTEN
		rw							rw						rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值
29:24	THRESH[5:0]	采样逻辑电平有效的阈值数(Threshold)，最大 63： 有效逻辑电平的阈值。 在采样窗口内，如果逻辑高的数量大于或等于阈值，则下一个逻辑电平将为逻辑高。 同样的规则适用于逻辑低。 如果窗口内 1 和 0 的数量都小于阈值，则过滤器输出保持不变。 阈值应设置为大于或等于 Window 值的一半。 推荐阈值范围为： **最小值：**比最大毛刺大小的上限（预分频时钟周期）多 1 个预分频时钟周期，并且需要大于窗口大小的一半。 例如，如果毛刺大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为 ┌3.2┐ = 4 + 1 =5 **最大值：**有效信号最小尺寸的底值（在预分频时钟周期内），需要小于窗口尺寸。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		例如，如果最小信号大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为下限 (3.2) = 3。
23	Reserved	保留，必须保持复位值
22:17	WSIZE[5:0]	逻辑电平检查的窗口大小值（Window size），最大 63： 窗口大小决定了在获得下一个逻辑级别时将考虑多少采样值。 内置 FIFO 为 64 位，最大索引为 63，只能将窗口大小设置为 63。
16	FILTEN	滤波器使能（Filter enable）： 0: 滤波器禁能 1: 滤波器使能
15:0	Reserved	保留，必须保持复位值

12.6.24 通道 3 滤波寄存器（TIMx_C3FILT）

偏移地址：0x6C
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		THRESH[5:0]						Reserved	WSIZE[5:0]						FILTEN
		rw							rw						rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值
29:24	THRESH[5:0]	采样逻辑电平有效的阈值数(Threshold)，最大 63： 有效逻辑电平的阈值。 在采样窗口内，如果逻辑高的数量大于或等于阈值，则下一个逻辑电平将为逻辑高。 同样的规则适用于逻辑低。 如果窗口内 1 和 0 的数量都小于阈值，则过滤器输出保持不变。 阈值应设置为大于或等于 Window 值的一半。 推荐阈值范围为： **最小值**：比最大毛刺大小的上限（预分频时钟周期）多 1 个预分频时钟周期，并且需要大于窗口大小的一半。 例如，如果毛刺大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为 $\lceil 3.2 \rceil = 4 + 1 = 5$ **最大值**：有效信号最小尺寸的底值（在预分频时钟周期内），需要小于窗口尺寸。 例如，如果最小信号大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为下限 (3.2) = 3。
23	Reserved	保留，必须保持复位值
22:17	WSIZE[5:0]	逻辑电平检查的窗口大小值（Window size），最大 63： 窗口大小决定了在获得下一个逻辑级别时将考虑多少采样值。 内置 FIFO 为 64 位，最大索引为 63，只能将窗口大小设置为 63。
16	FILTEN	滤波器使能（Filter enable）： 0: 滤波器禁能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		1：滤波器使能
15:0	Reserved	保留，必须保持复位值

12.6.25 通道 4 滤波寄存器（TIMx_C4FILT）

偏移地址：0x70
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		THRESH[5:0]						Reserved	WSIZE[5:0]						FILTEN
		rw							rw						rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值
29:24	THRESH[5:0]	采样逻辑电平有效的阈值数(Threshold)，最大 63： 有效逻辑电平的阈值。 在采样窗口内，如果逻辑高的数量大于或等于阈值，则下一个逻辑电平将为逻辑高。 同样的规则适用于逻辑低。 如果窗口内 1 和 0 的数量都小于阈值，则过滤器输出保持不变。 阈值应设置为大于或等于 Window 值的一半。 推荐阈值范围为： **最小值：**比最大毛刺大小的上限（预分频时钟周期）多 1 个预分频时钟周期，并且需要大于窗口大小的一半。 例如，如果毛刺大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为 $\ulcorner 3.2 \urcorner = 4 + 1 = 5$ **最大值：**有效信号最小尺寸的底值（在预分频时钟周期内），需要小于窗口尺寸。 例如，如果最小信号大小为 3.2*（预分频时钟周期），则阈值应为下限 (3.2) = 3。
23	Reserved	保留，必须保持复位值
22:17	WSIZE[5:0]	逻辑电平检查的窗口大小值（Window size），最大 63： 窗口大小决定了在获得下一个逻辑级别时将考虑多少采样值。 内置 FIFO 为 64 位，最大索引为 63，只能将窗口大小设置为 63。
16	FILTEN	滤波器使能（Filter enable）： 0：滤波器禁能 1：滤波器使能
15:0	Reserved	保留，必须保持复位值

12.6.26 输入通道滤波输出寄存器（TIMx_FILTO）

偏移地址：0x74
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved												C4FILTO	C3FILTO	C2FILTO	C1FILTO
												r	r	r	r

位域	名称	描述
31:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3	C4FILTO	通道4滤波输出电平状态 0：输出低电平； 1：输出高电平；
2	C3FILTO	通道3滤波输出状态 0：输出低电平； 1：输出高电平；
1	C2FILTO	通道2滤波输出状态 0：输出低电平； 1：输出高电平；
0	C1FILTO	通道1滤波输出状态 0：输出低电平； 1：输出高电平；

12.6.27 输入选择寄存器（TIMx_INSEL）

注意：详细信号源选择见 12.4 章节。

偏移地址：0x78

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				CLRS[3:0]				ITRS[3:0]				ETRS[3:0]			
				rw				rw				rw			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TI4S[3:0]				TI3S[3:0]				TI2S[3:0]				TI1S[3:0]			
rw				rw				rw				rw			

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必须保持复位值
27:24	CLRS[3:0]	选择tim_ocref_clr输入(Selects tim_ocref_clr input signal) 0000：tim_ocref_clr0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		0001：tim_ocref_clr1 … 1111 ：tim_ocref_clr15 注：一旦LOCK级别（TIMx_BKDT寄存器中的LCKCFG位）设为'1'，则该位不能被修改。
23:20	ITRS[3:0]	选择tim_itr输入 0000：tim_itr0 0001：tim_itr1 … 1111 ：tim_itr15
19:16	ETRS[3:0]	选择tim_etr输入 0000：tim_etr0 0001：tim_etr1 … 1111 ：tim_etr15 注：一旦LOCK级别（TIMx_BKDT寄存器中的LCKCFG位）设为'1'，则该位不能被修改。
15:12	TI4S[3:0]	选择tim_ti4[15:0]输入 0000：tim_ti4_in0 0001：tim_ti4_in1 … 1111 ：tim_ti4_in15
11:8	TI3S[3:0]	选择tim_ti3[15:0]输入 0000：tim_ti3_in0 0001：tim_ti3_in1 … 1111 ：tim_ti3_in15
7:4	TI2S[3:0]	选择tim_ti2[15:0]输入 0000：tim_ti2_in0 0001：tim_ti2_in1 … 1111 ：tim_ti2_in15
3:0	TI1S[3:0]	选择tim_ti1[15:0]输入 0000：tim_ti1_in0 0001：tim_ti1_in1 … 1111 ：tim_ti1_in15

12.6.28 复用功能寄存器1（TIMx_AF1）

偏移地址：0x7C

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved			DSMU2BRKP	Reserved	DSMU0BRKP	IOMBRKP	Reserved					DSMU2BRKEN	Reserved	DSMU0BRKEN	IOMBRKEN
		rw	rw	rw	rw	rw		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:13	Reserved	保留，必须保持复位值
12	DSMU2BRKP	tim_brk_dsmu2输入极性选择 0：tim_brk_dsmu2输入极性不翻转（如果BKP=0,则低电平有效；如果BKP=1,则高电平有效） 1：tim_brk_dsmu2输入极性翻转（如果BKP=0,则高电平有效；如果BKP=1,则低电平有效）
11	Reserved	保留，必须保持复位值
10	DSMU0BRKP	tim_brk_dsmu0输入极性选择 0：tim_brk_dsmu0输入极性不翻转（如果BKP=0,则低电平有效；如果BKP=1,则高电平有效） 1：tim_brk_dsmu0输入极性翻转（如果BKP=0,则高电平有效；如果BKP=1,则低电平有效）
9	IOMBRK	TIMx_BKIN刹车输入极性选择 0：TIMx_BKIN刹车输入极性不翻转（如果BKP=0,则低电平有效；如果BKP=1,则高电平有效） 1：TIMx_BKIN刹车输入极性翻转（如果BKP=0,则高电平有效；如果BKP=1,则低电平有效）
8:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3	DSMU2BRKEN	tim_brk_dsmu2输入使能 0：tim_brk_dsmu2输入禁止 1：tim_brk_dsmu2输入使能
2	Reserved	保留，必须保持复位值
1	DSMU0BRKEN	tim_brk_dsmu0输入使能 0：tim_brk_dsmu0输入禁止 1：tim_brk_dsmu0输入使能
0	IOMBRKEN	TIMx_BKIN刹车输入使能 0：TIMx_BKIN刹车输入禁止 1：TIMx_BKIN刹车输入使能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

12.6.29 滑动滤波预分频寄存器（TIMx_SLIDFPSC）

偏移地址：0x88
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SLIDFPSC [15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	SLIDFPSC [15:0]	滑动滤波采样时钟预分频寄存器（Prescaler）： 对于此过滤器，它支持 65535 分频（16 位）。 时钟预分频器将系统时钟缩放到采样时钟。采样时钟决定两个采样点之间的距离。只有采样点的值有效才会考虑的逻辑电平计算。 通过配置这些位来确定通道1/2/3/4滑动滤波和刹车输入滑动滤波的采样时钟分频，即与TIMx_C1FILT、TIMx_C2FILT、TIMx_C3FILT、TIMx_C4FILT、TIMx_BKFR配合使用。

12.6.30 DMA 控制寄存器（TIMx_DCTRL）

偏移地址：0x94
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		DBADDR[5:0]						Reserved		DBLEN[5:0]					
		rw								rw					

位域	名称	描述
31:14	Reserved	保留，必须保持复位值
13:8	DBADDR[5:0]	DMA基地址 （DMA base address） 该位字段定义 DMA 访问 TIMx_DADDR 寄存器的第一个地址。 当第一次通过 TIMx_DADDR 完成访问时，该位域指定您刚刚访问的地址。 然后第二次访问TIMx_DADDR，会访问到“DMA Base Address + 4”的地址 00000：TIMx_CTRL1，

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		00001：TIMx_CTRL2， 00010：TIMx_SMCTRL， ...... 10001：TIMx_BKDT 10010：TIMx_DCTRL
7:6	Reserved	保留，必须保持复位值
5:0	DBLEN[5:0]	DMA连续传送长度 （DMA burst length） 该位字段定义 DMA 将访问（写入/读取）TIMx_DADDR 寄存器的次数。 000000：1次传输 000001：2次传输 000010：3次传输 … 010001：18次传输 ...... 100010：35次传输 例：我们考虑这样的传输：DBLEN=7，DBADDR=TIMx_CTRL1 如果DBLEN=7，DBADDR=TIMx_CTRL1表示待传输数据的地址，那么传输的地址由下式给出： (TIMx_CTRL1的地址) + DBADDR + (DMA索引), 其中 DMA索引 = DBLEN 其中(TIMx_CTRL1的地址) + DBADDR再加上7，给出了将要写入或者读出数据的地址，这样数据的传输将发生在从地址(TIMx_CTRL1的地址) + DBADDR开始的7个寄存器。 如果设置数据为半字（16位），那么数据就会传输给全部7个寄存器。 如果设置数据为字节，数据仍然会传输给全部7个寄存器：第一个寄存器包含第一个MSB字节，第二个寄存器包含第一个LSB字节，以此类推。因此对于定时器，用户必须指定由DMA传输的数据宽度。

12.6.31 连续模式的DMA地址（TIMx_DADDR）

偏移地址：0x98

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
BURST[31:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
BURST[31:0]															
rw															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:0	BURST[31:0]	DMA 访问缓冲区。 当对该寄存器分配读或写操作时，将访问位于地址范围（DMA base address + DMA burst length × 4）的寄存器。 DMA base address = The address of TIM_CTRL1 + TIMx_DCTRL. DBADDR * 4； DMA burst len = TIMx_DCTRL.DBLEN + 1. 例子： 如果 TIMx_DCTRL.DBLEN = 0x3（4 次传输），TIMx_DCTRL.DBADDR = 0xD (TIMx_CCDAT1)，DMA 数据长度 = 半字，DMA 存储器地址 = SRAM 中的缓冲区地址，DMA 外设地址 = TIMx_DADDR 地址。 当事件发生时，TIMx 将向 DMA 发送请求，并传输 4 次数据。 第一次，对 TIMx_DADDR 寄存器的 DMA 访问将映射到访问 TIMx_CCDAT1 寄存器； 第二次，对 TIMx_DADDR 寄存器的 DMA 访问将映射到访问 TIMx_CCDAT2 寄存器； …… 第四次，对 TIMx_DADDR 寄存器的 DMA 访问将映射到访问 TIMx_CCDAT4 寄存器；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

13 基本定时器（BTIM1/BTIM2）

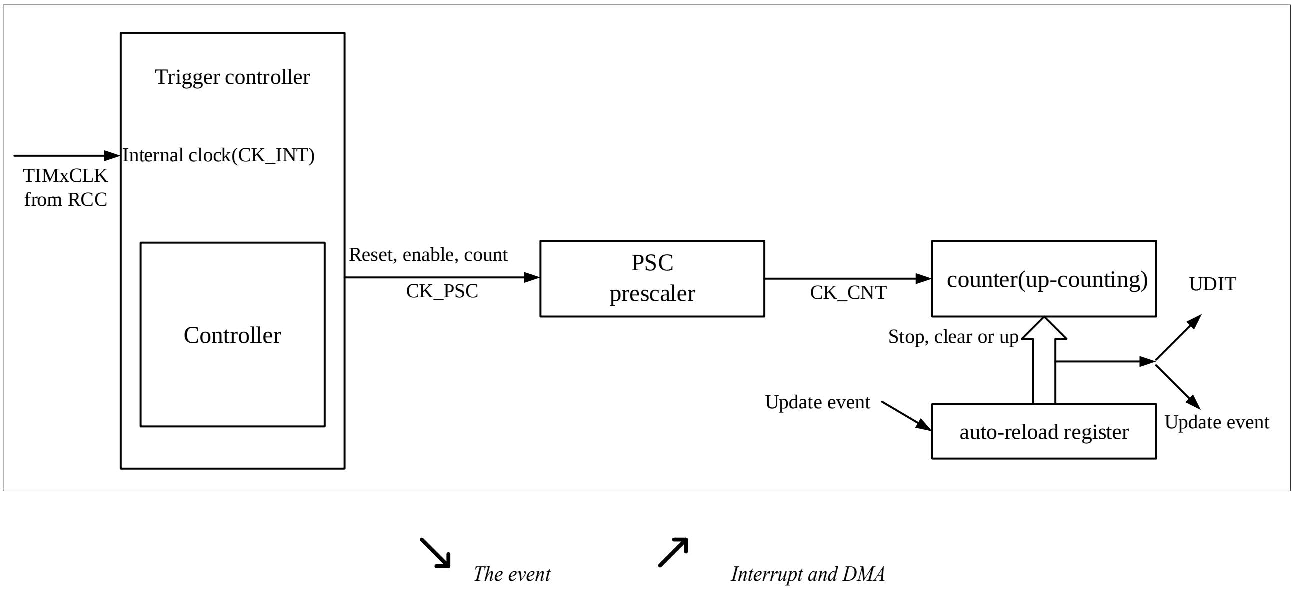
13.1 BTIMx（x=1-2）简介

基本定时器包含一个 32 位自动装载计数器。

13.2 BTIMx（x=1-2）主要特性

- 32 位自动重载向上计数计数器。
- 16 位可编程预分频器。(分频系数可配置为 1 到 65536 之间的任意值）
- 产生中断/DMA 的事件如下：
  - 更新事件

图 13-1 BTIMx 的框图（x = 1,2）



13.3 BTIMx（x=1-2）功能描述

13.3.1 时基单元

时基单元主要包括：预分频器、计数器、自动重载和重复计数器。当时基单元工作时，软件可以随时读写相应的寄存器（TIMx_PSC、TIMx_CNT 和 TIMx_AR）。

根据自动重载预加载使能位(TIMx_CTRL1.ARPEN)的设置，预加载寄存器的值会立即或在每次更新事件 UEV 时传输到影子寄存器。TIMx_CTRL1.UPDIS=0 时，当计数器达到上溢条件或软件设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 位，将生成更新事件。仅当 TIMx_CTRL1.CNTEN 位置位时，计数器 CK_CNT 才有效。计数器在 TIMx_CTRL1.CNTEN 位置位后一个时钟周期开始计数。

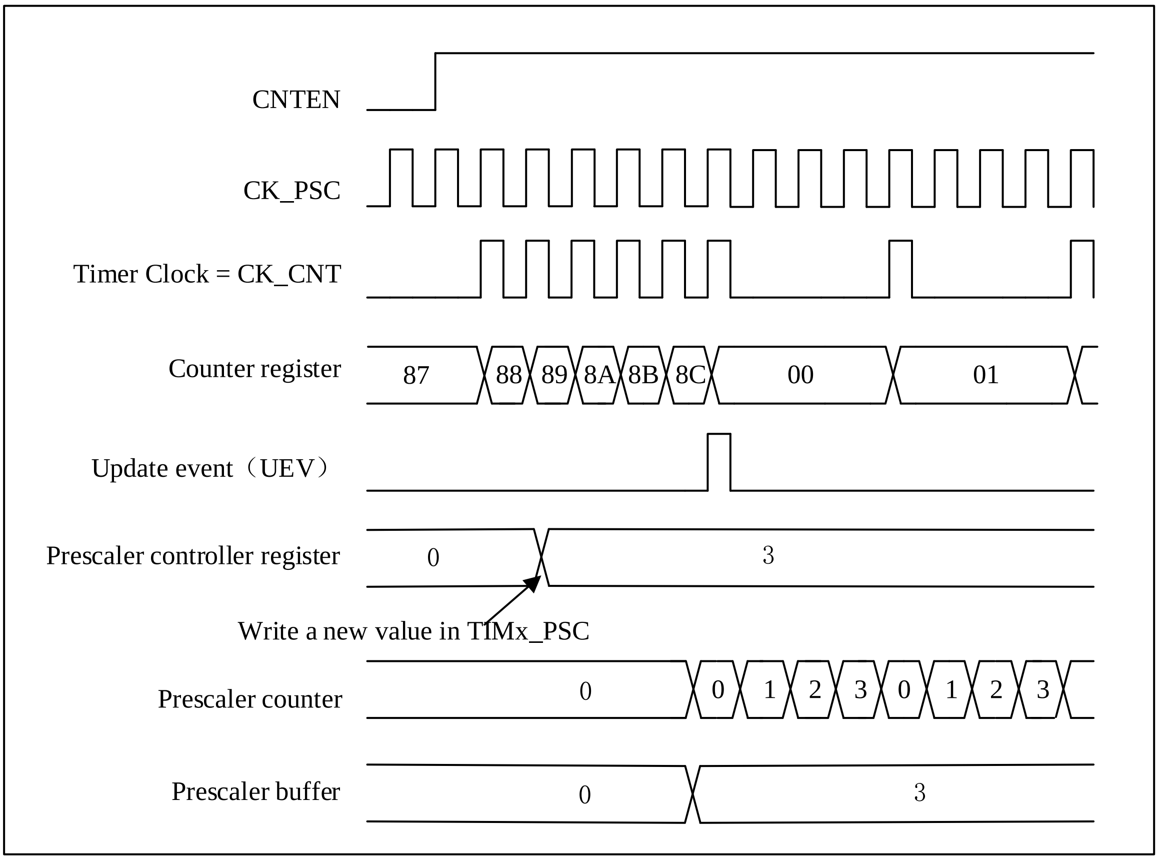
13.3.1.1 预分频器描述

TIMx_PSC 寄存器包含一个 16 位计数器，可用于将计数器时钟频率除以 1 到 65536 之间的任何因子。它可

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

以在缓冲时动态更改。仅在下一次更新事件时才考虑预分频器值。

图 13-2 预分频器分频从 1 到 4 的计数器时序图



13.3.2 计数模式

13.3.2.1 向上计数模式

在向上计数模式下，计数器会从 0 计数到寄存器 TIMx_AR 的值，然后复位为 0。并产生计数器溢出事件。

如果设置了 TIMx_CTRL1.UPRS 位(选择更新请求)和 TIMx_EVTGEN.UDGN 位，则会生成更新事件(UEV)，并且不会由硬件设置 TIMx_STS.UDITF。因此，不会产生更新中断或更新 DMA 请求。此设置用于您想要清除计数器但不想产生更新中断的场景。

取决于 TIMx_CTRL1.UPRS 的配置，当更新事件发生时，TIMx_STS.UDITF 被设置，所有寄存器都被更新：

- 当 TIMx_CTRL1.ARPEN =1 时，使用预加载值(TIMx_AR)更新自动重载影子寄存器。
- 预分频器影子寄存器重新加载预加载值(TIMx_PSC)。

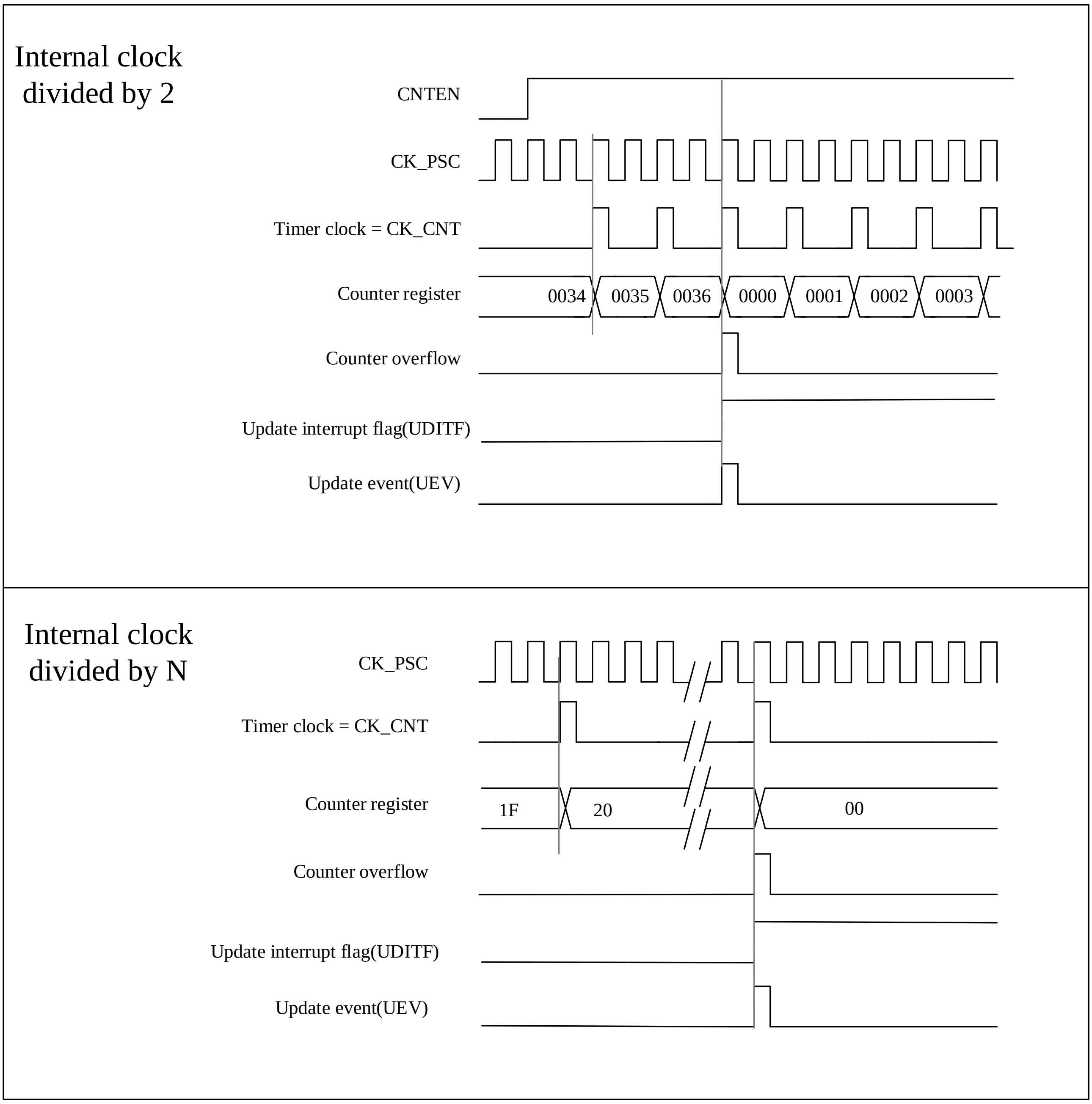
为避免在将新值写入预加载寄存器时更新影子寄存器，您可以通过设置 TIMx_CTRL1.UPDIS=1 来禁用更新。

当更新事件发生时，计数器仍将被清零，预分频器计数器也将设置为 0（但预分频器值将保持不变）。

下图显示了向上计数模式下不同除法因子的计数器行为和更新标志的一些示例。

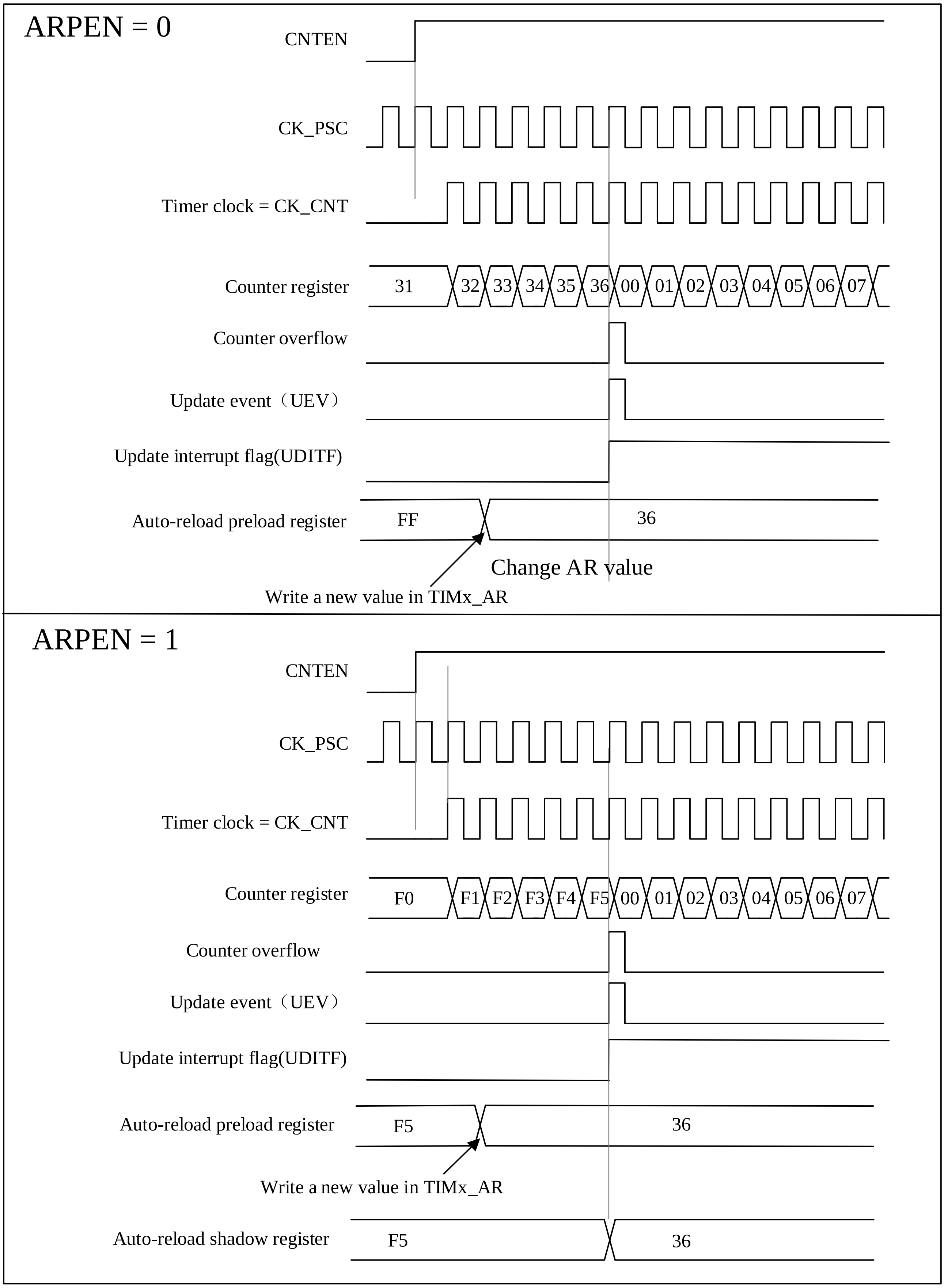
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 13-3 向上计数时序图，内部时钟分频因子 = 2/N



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 13-4 ARPEN=0/1 时向上计数、更新事件的时序图



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

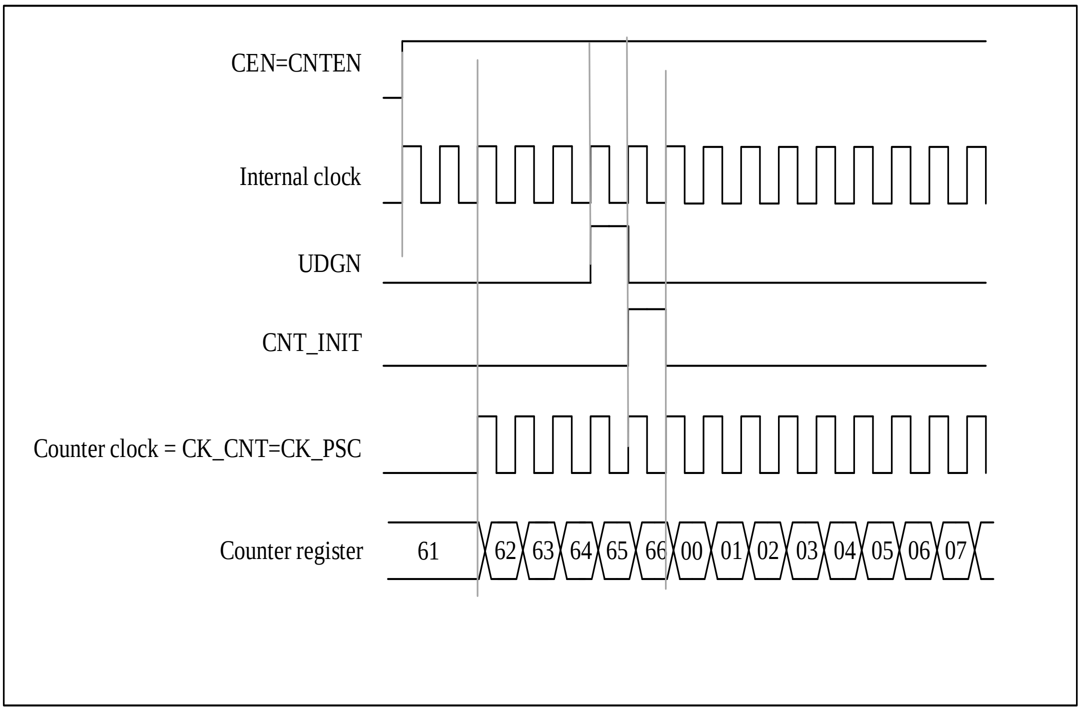
13.3.3 时钟选择

■ 定时器内部时钟：CK_INT

13.3.3.1 内部时钟源 (CK_INT)

前提是 TIMx_CTRL1.CNTEN 位由软件写为'1'，预分频器的时钟源由内部时钟 CK_INT 提供。

图 13-5 正常模式下的控制电路，内部时钟分频系数为 1



13.3.4 调试模式

当微控制器处于调试模式（Cortex-M4 内核停止）时，根据 DBG_CTRL. BTIMx_STOP 位配置，定时器计数器可以继续正常工作或停止。有关详细信息，请参阅 37.3.2 节。

13.4 BTIMx（x=1-2）寄存器描述

有关寄存器中使用的缩写，请参阅第 **1.1** 节

这些外设寄存器可以作为半字（16 位）或一个字（32 位）操作。

13.4.1 寄存器总览

13.4.2 控制寄存器 1 (TIMx_CTRL1)

地址偏移: 0x00

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值: 0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved						ARPEN	ONEPM	Reserved		UPDIS	UPRS	Reserved			CNTEN
						rw	rw			rw	rw				rw

位域	名称	描述
31:10	Reserved	保留，必须保持复位值
9	ARPEN	自动重装载预装载允许位 （Auto-reload preload enable） 0：TIMx_AR 寄存器的影子寄存器禁用 1：TIMx_AR 寄存器的影子寄存器使能
8	ONEPM	单脉冲模式（One pulse mode） 0：禁用单脉冲模式，发生更新事件时不影响计数器计数。 1：使能单脉冲模式，计数器在下一次更新事件发生时停止计数（清 TIMx_CTRL1.CNTEN 位）。
7:6	Reserved	保留，必须保持复位值
5	UPDIS	禁止更新（Update disable） 该位用于启用/禁用软件生成的更新事件 (UEV) 事件。 0：启用UEV。如果满足以下条件之一，将生成UEV： – 计数器溢出 – TIMx_EVTGEN.UDGN 位被设置 影子寄存器将使用预加载值进行更新。 1：UEV禁用。不生成更新事件，影子寄存器（AR、PSC）保持其值。如果设置了 TIMx_EVTGEN.UDGN位，则重新初始化计数器和预分频器。
4	UPRS	更新请求源（Update request source） 该位用于通过软件选择 UEV 事件源。 0：如果更新中断或 DMA 请求使能，以下任何事件都会产生更新中断或 DMA 请求： – 计数器溢出 – TIMx_EVTGEN.UDGN 位被设置 1：如果更新中断或 DMA 请求使能，只有计数器溢出会产生更新中断或 DMA 请求
3:1	Reserved	保留，必须保持复位值
0	CNTEN	使能计数器 （Counter enable） 0：禁止计数器； 1：使能计数器。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

13.4.3 控制寄存器 2（TIMx_CTRL2）

偏移地址：0x04
复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MMSEL[3:0]				Reserved											
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:12	MMSEL[3:0]	主模式选择 这 4 位用于选择在主模式下发送到从定时器的同步信息（TRGO）。可能的组合如下： x000：复位 - 当 TIMx_EVTGEN.UDGN 置位或从模式控制器产生复位时，将出现 TRGO 脉冲。在后一种情况下，TRGO 上的信号与实际复位相比有所延迟。 x001：使能 - TIMx_CTRL1.CNTEN 位用作触发输出 (TRGO)。有时需要同时启动多个定时器或者在一段时间内开启从定时器。 当 TIMx_CTRL1.CNTEN 位置位或门控模式下的触发输入为高电平时，计数器使能信号置位。 当计数器使能信号由触发输入控制时，TRGO 上有一个延迟，除非选择了主/从模式（参见 TIMx_SMCTRL.MSMD 位的说明）。 x010：更新 - 选择更新事件作为触发输出 (TRGO)。例如，主定时器时钟可用作从定时器预分频器。 其它：保留。
11:0	Reserved	保留，必须保持复位值

13.4.4 状态寄存器 (TIMx_STS)

地址偏移: 0x08

复位值: 0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															UDITF
															rc_w0

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:17	Reserved	保留，必须保持复位值
16	UDITF	更新中断标志（Update interrupt flag） 当在以下条件下发生更新事件时，该位由硬件设置： – 当 TIMx_CTRL1.UPDIS = 0 且计数器值溢出时。 – 当 TIMx_CTRL1.UPRS = 0 时，TIMx_CTRL1.UPDIS = 0，并通过软件设置 TIMx_EVTGEN.UDGN 位以重新初始化 CNT。 该位由软件清零。 0：未发生更新事件 1：发生更新中断
15:0	Reserved	保留，必须保持复位值

13.4.5 事件产生寄存器 (TIMx_EVTGEN)

地址偏移: 0x0C

复位值: 0 x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved							UDGN	Reserved							
							w								

位域	名称	描述
31:9	Reserved	保留，必须保持复位值
8	UDGN	产生更新事件（Update generation） 软件可以设置该位来更新配置寄存器的值，硬件会自动清除它。 0：无效果。 1：定时器计数器将重新启动，所有影子寄存器将被更新。 它也将重新启动预分频器计数器。
7:0	Reserved	保留，必须保持复位值

13.4.6 DMA/中断使能寄存器 (TIMx_DINTEN)

地址偏移: 0x14

复位值: 0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved												UDEN	Reserved		UIEN
												rw			rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

位域	名称	描述
31:20	Reserved	保留，必须保持复位值
19	UDEN	更新DMA请求使能（Update DMA request enable） 0：禁止更新DMA请求 1：使能更新DMA请求
18:17	Reserved	保留，必须保持复位值
16	UIEN	更新中断使能（Update interrupt enable） 0：禁止更新中断 1：使能更新中断
15:0	Reserved	保留，必须保持复位值

13.4.7 预分频器 (TIMx_PSC)

地址偏移: 0x40

复位值: 0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PSC[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	PSC[15:0]	预分频器数值（Prescaler value） PSC寄存器值将在更新事件时更新到预分频器寄存器。计数器时钟频率是输入时钟分频PSC+1。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

13.4.8 自动重装载寄存器 (TIMx_AR)

地址偏移: 0x44

复位值: 0xFFFF FFFF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
AR[31:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
AR[31:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	AR[31:0]	自动重装载数值（Auto-reload value） 这些位定义将加载到实际自动重载寄存器中的值。 有关详细信息，请参阅 13.3.1。 当TIMx_AR.AR [31:0]值为空时，计数器不工作。

13.4.9 计数器 (TIMx_CNT)

地址偏移: 0x48

复位值: 0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CNT[31:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CNT[31:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	CNT[31:0]	计数器数值（Counter value）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

14 低功耗定时器（LPTIM）

14.1 简介

支持两个低功耗定时器：LPTIM1 和 LPTIM2。LPTIM 是一个具有多个时钟源的 16 位定时器，它可以在所有功耗模式下保持运行。LPTIM 可以在没有内部时钟源的情况下运行，可以用作“脉冲计数器”。此外，LPTIM 可以将系统从低功耗模式唤醒，以极低的功耗实现“超时功能”。

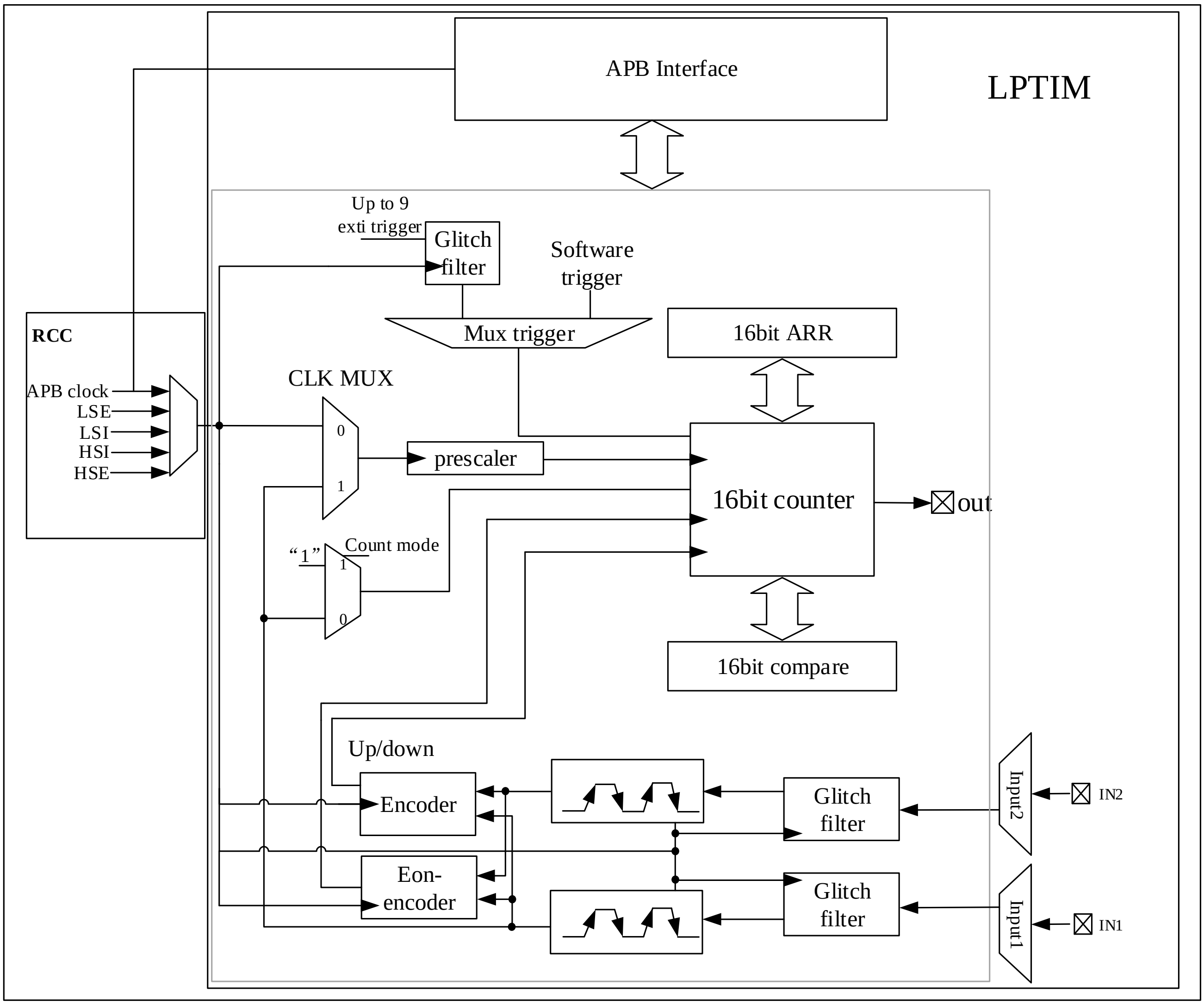
14.2 主要特性

- 16 位向上计数器
- 3bit 预分频，8 种分频因子（1、2、4、8、16、32、64、128）
- 多个时钟源
  - 内部时钟源：LSE, LSI, HSI, HSE 或者 APB1 时钟
  - 外部时钟源：通过 LPTIM Input1 输入的外部时钟源（工作时无 LP 振荡器运行，用于脉冲计数器应用）
- 16 bit 自动装载寄存器（LPTIM_ARR）
- 16 bit 比较寄存器（LPTIM_CMP）
- 连续或单触发计数模式
- 可编程软件或硬件输入触发
- 用于过滤毛刺的可编程数字滤波器
- 可配置输出（PWM）
- 可配置 IO 极性
- 编码器模式
- 脉冲计数模式，支持单脉冲计数、双脉冲计数（正交和非正交）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

14.3 功能框图

图 14-1 LPTIM 主框图



14.4 功能描述

14.4.1 复位和时钟

LPTIM 可以使用内部时钟源或外部时钟源。内部时钟源可通过 RCC_RDCTRL.LPTIMSEL[2:0]位进行配置。外部时钟源可从 GPIO 中选择。对于外部时钟源，LPTIM 有两种配置：

- LPTIM 使用外部时钟和内部时钟
- LPTIM 仅使用来自 Input1 的外部时钟。此配置适用于低功耗应用。

LPTIM_CFG.CLKSEL 和 LPTIM_CFG.CNTMEN 位用于时钟源配置。有效时钟沿通过 LPTIM_CFG.CLKPOL[1:0]位进行配置。

LPTIM 仅使用外部时钟源时。它只能选择一个有效时钟沿。LPTIM 只有在使用内部时钟源或同时使用外部

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

和内部时钟源时才能选择两个有效时钟沿。

注意：当外部时钟的两个边沿都有效时，LPTIM 需要使用内部时钟对外部时钟进行过采样。内部时钟频率应至少比外部时钟频率高 4 倍。

14.4.2 分频系数

LPTIM 计数器前面有一个可配置的 2 次幂预分频器。预分频比由 LPTIM_CFG.CLKPRE[2:0]控制。下表列出了所有可能的分频因子：

表 14-1 预分频因子

控制位	对应的分频因子
000	/1
001	/2
010	/4
011	/8
100	/16
101	/32
110	/64
111	/128

14.4.3 毛刺滤波器

LPTIM 具有用于输入的毛刺滤波器，以消除毛刺并防止意外计数或触发。毛刺滤波器需要一个内部时钟源才能运行。并且时钟源应该在毛刺滤波器启用之前提供。这是保证滤波器正常运行所必需的。

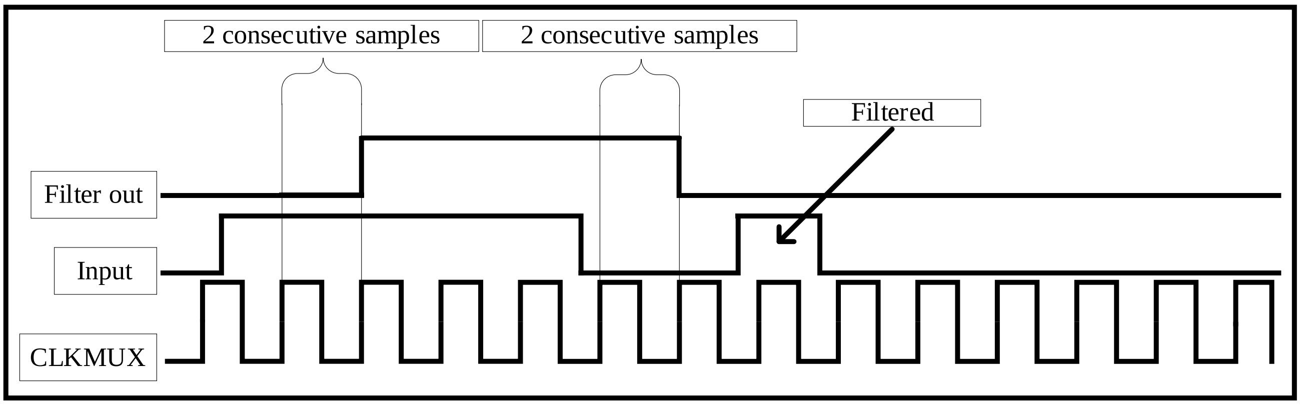
毛刺滤波器有两个主要用途：

- 外部输入：通过 LPTIM_CFG.CLKFLT[1:0]位配置滤波器灵敏度。
- 内部触发器输入：通过 LPTIM_CFG.RIGFLT[1:0]位配置滤波器灵敏度。

注意：这两组滤波器只对对应的输入有效。

滤波器灵敏度作用于在 LPTIM 输入之一上检测到的连续相等样本的数量，以将信号电平变化视为有效跳变。图 14-2 展示了当检测到 2 个连续样本时的毛刺滤波器行为。

图 14-2 毛刺滤波器时序图



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

注意：如果不使用内部时钟，则需要通过清除 LPTIM_CFG.CLKFLT[1:0] 和 LPTIM_CFG.TRIGFLT[1:0] 位来关闭毛刺滤波器。如果不使用毛刺滤波器，用户可以使用 GPIO 或外部模拟滤波器来消除毛刺。

14.4.4 开启定时器

LPTIM_CTRL.LPTIMEN 位用于启用或禁用 LPTIM 内核逻辑。设置 LPTIM_CTRL.LPTIMEN 位后，需要延迟两个计数器时钟才能打开 LPTIM。

LPTIM_CFG 和 LPTIM_INTEN 寄存器的值只能在 LPTIM 关闭时修改。

14.4.5 多路触发器

LPTIM 计数器可以由软件触发启动，也可以由 6 个触发输入之一上的有效边沿触发。触发源通过 LPTIM_CFG.TRGEN[1:0] 位进行配置。如果 LPTIM_CFG.TRGEN[1:0] = '00'，可以通过设置 LPTIM_CTRL.TSTCM 或 LPTIM_CTRL.SNGMST 位来触发 LPTIM 启动计数器。LPTIM_CFG.TRGEN[1:0] 的其他值用于配置触发的有效边沿。一旦检测到有效边沿，内部计数器将启动。

LPTIM_CFG.TRGSEL[3:0]仅在 LPTIM_CFG.TRGEN[1:0]≠‘00’时用于选择 6 个触发输入之一。

如果 LPTIM 使用外部触发，将被视为异步触发。对于异步触发，LPTIM 需要两个计数器时钟周期延迟来进行同步。

如果超时功能被禁用，以及 LPTIM 已经启动，新的触发事件将被忽略。

注意：如果 LPTIM 未启用，任何对 LPTIM_CTRL.SNGMST 或 LPTIM_CTRL.TSTCM 的写入都将被丢弃。

表 14-2 LPTIM_CFG.TRGSEL[3:0]对应的 6 个触发输入

控制位	对应的触发输入
0000	LPTIM_ETR PIN
0001	RTC alarm A
0010	RTC alarm B
0011	RTC_TAMP1
0100	RTC_TAMP2
0101	RTC_TAMP3

14.4.6 工作模式

LPTIM 有两种工作模式：

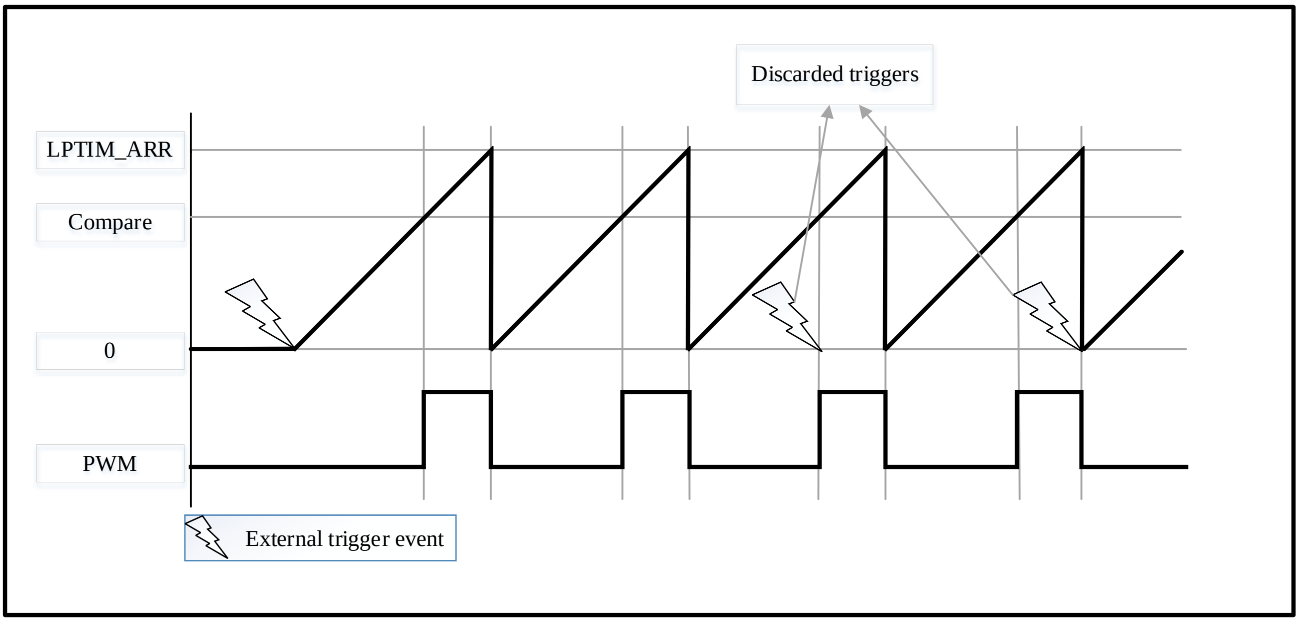
- 连续模式：触发事件将启动 LPTIM 并继续运行，直到用户关闭 LPTIM 时停止。
- 单触发模式：触发事件将启动 LPTIM，并在计数器值达到 LPTIM_ARR.ARRVAL[15:0]时停止。

连续模式:

启用连续模式必须设置 LPTIM_CTRL.TSTCM 位为 1。如果 LPTIM 使用外部触发，则在设置 LPTIM_CTRL.TSTCM 位后外部触发事件到达时，内部计数器将启动。连续模式启动后，硬件将丢弃任何后续的外部触发事件。如果使用软件触发，设置 LPTIM_CTRL.TSTCM 位将启动内部计数器并进入连续模式。任何后续的外部触发事件都将被丢弃，如图 14-3 所示。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 14-3 LPTIM 输出波形，连续计数模式配置



LPTIM_CTRL.SNGMST 和 LPTIM_CTRL.TSTCM 位只能在 LPTIM 开启后设置（LPTIM_CTRL.LPTIMEN＝‘1’）。

LPTIM 可以从单触发模式切换到连续模式。如果之前选择了连续计数模式，则设置 LPTIM_CTRL.SNGMST 位会将 LPTIM 切换到单触发模式。如果定时器使能，计数器一旦达到 LPTIM_ARR 寄存器值就会停止。如果之前选择单触发模式，将 LPTIM_CTRL.TSTCM 位设置为 1 会将 LPTIM 切换到连续计数模式。如果定时器使能，一旦达到 LPTIM_ARR 寄存器值，计数器将重新启动。

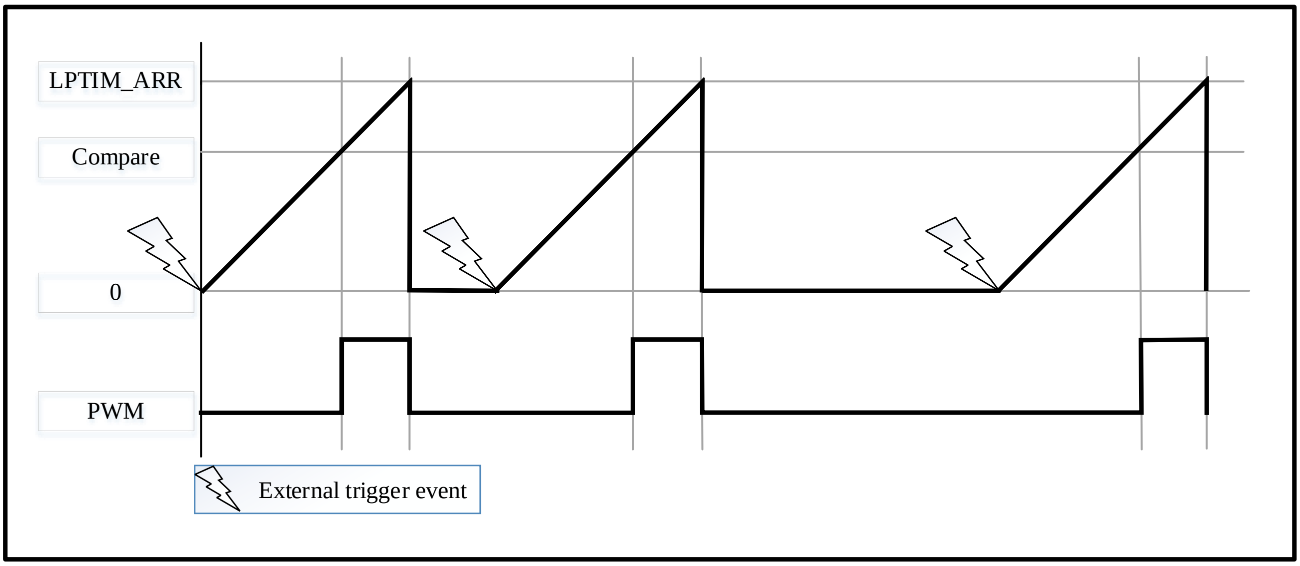
单触发模式：

启用单触发模式必须设置 LPTIM_CTRL.SNGMST 位为 1。一个新的触发事件将重新启动 LPTIM。硬件将在内部计数器启动后和计数器值等于 LPTIM_ARR.ARRVAL[15:0]值之前放弃所有触发事件。

如果选择了外部触发，则在设置 LPTIM_CTRL.SNGMST 位之后到达的每个外部触发事件，以及在定时器寄存器停止（包含零值）之后，定时器将重新启动一个新的计数周期，如图 14-4 所示。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

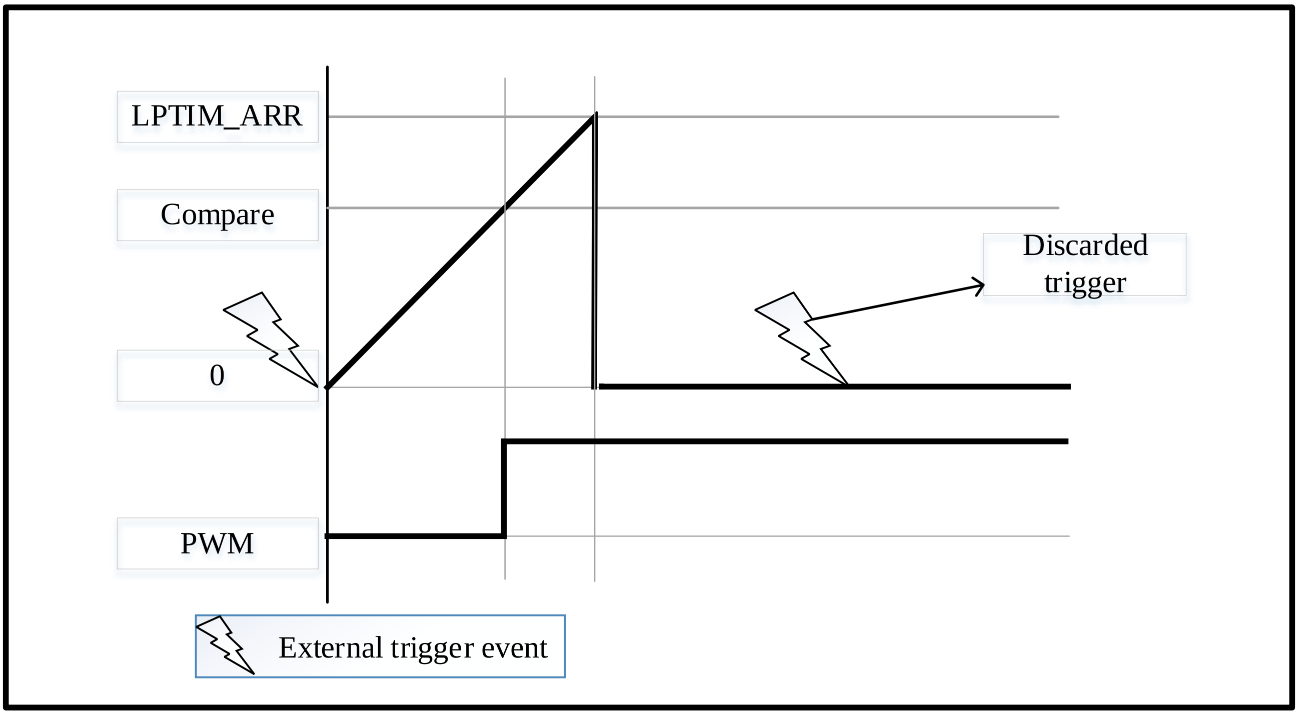
图 14-4 LPTIM 输出波形，单触发计数模式配置



一次模式：

当置 LPTIM_CFG.WAVE 位为 1 后使用一次模式。在一次模式下，计数器在第一个触发事件发生时启动一次，任何后续触发事件将被硬件丢弃，如图 14-5 所示。

图 14-5 LPTIM 输出波形，一次模式



在软件启动（LPTIM_CFG.TRGEN[1:0]＝00）的情况下，LPTIM_CTRL.SNGMST 位置 1 将启动定时器进行单触发计数。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

14.4.7 波形发生器

LPTIM 自动加载寄存器（LPTIM_ARR）和比较寄存器（LPTIM_CMP）用于生成 LPTIM 输出波形。

LPTIM 支持的波形如下所示：

- PWM 模式：当发生补偿匹配事件时 LPTIM 输出（即 LPTIM_CNT 寄存器值与 LPTIM_CMP 寄存器值匹配）。当发生 ARR 匹配时，LPTIM 输出被复位（即 LPTIM_CNT 寄存器值与 LPTIM_ARR 寄存器值匹配）。
- 单脉冲模式：被触发的第一个脉冲与 PWM 波形相同，发生 ARR 匹配时永久复位输出。
- 一次模式：输出波形类似于单脉冲模式，只是输出保持在最后一个信号电平（取决于输出配置的极性）。

上述波形配置要求 LPTIM_ARR 寄存器值必须配置为大于 LPTIM_CMP 寄存器值。

LPTIM 输出波形可以通过 LPTIM_CFG.WAVE 位配置如下：

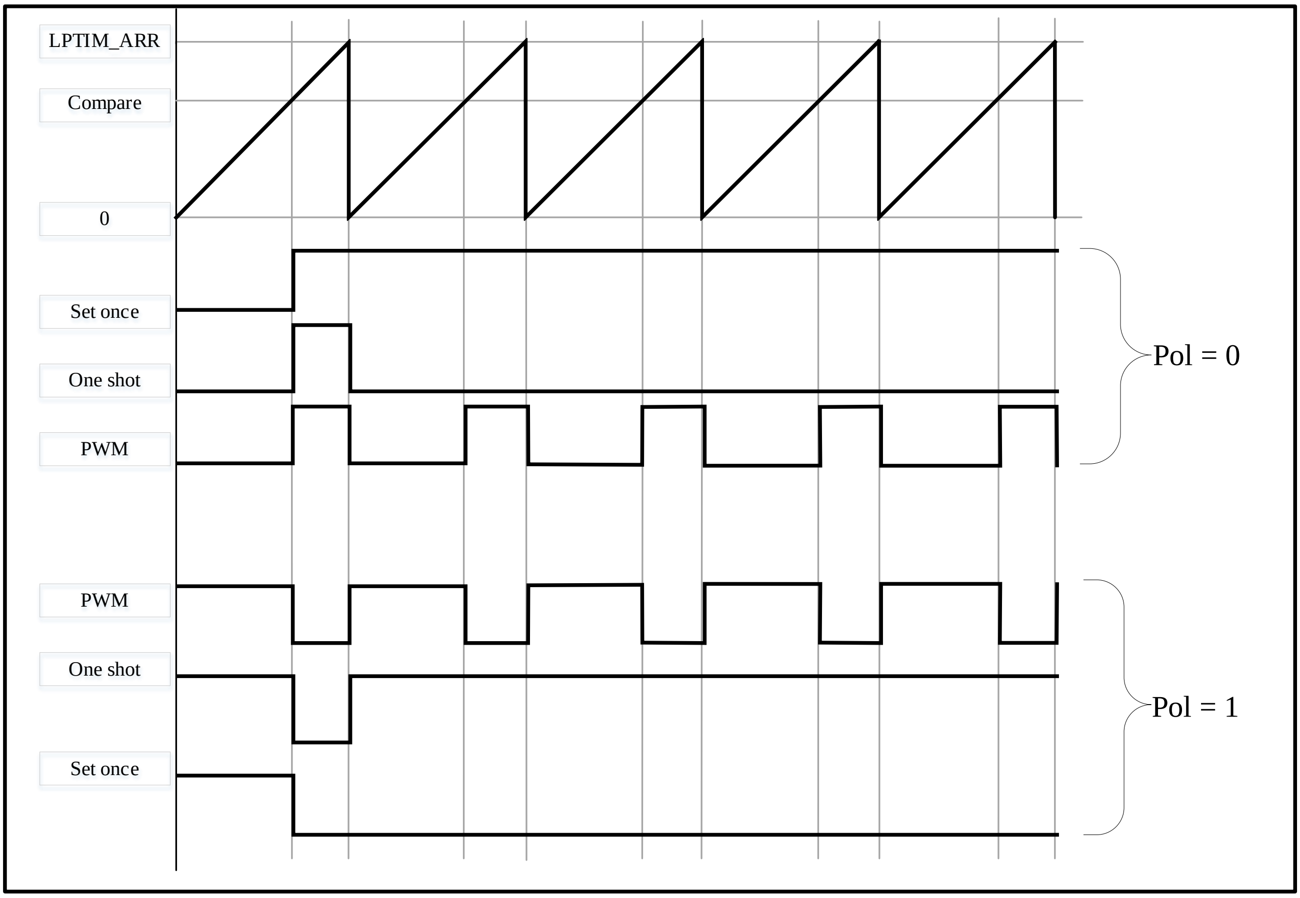
- 清除 LPTIM_CFG.WAVE 位将强制 LPTIM 根据 LPTIM_CTRL.TSTCM 或 LPTIM_CTRL.SNGMST 位的值来生成 PWM 波形或者单脉冲波形。
- LPTIM_CTRL.WAVE 置 1 将强制 LPTIM 生成一次模式波形。

LPTIM_CFG.WAVEPOL 位控制 LPTIM 输出的极性。即使定时器被关闭，用户配置极性后，输出空闲稳定电平将立即改变。

可以生成频率高达 LPTIM 时钟频率除以 3 的信号。图 14-6 展示了 LPTIM 输出上生成的三种可能波形，另外也表明可以用 LPTIM_CFG.WAVEPOL 位来设置极性变化。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 14-6 波形发生器



14.4.8 寄存器更新

LPTIM_ARR 寄存器和 LPTIM_CMP 寄存器在软件写操作后立即更新。如果 LPTIM 已经启动，LPTIM_ARR 寄存器和 LPTIM_CMP 寄存器在计数器溢出时更新。

LPTIM APB 接口和 LPTIM 内核逻辑使用的是不同的时钟，因此在 APB 写操作后，需要经过一定的延迟，写入值才能用于计数器以及比较器。在此延迟时间内，必须避免对这些寄存器进行任何额外的写操作。

LPTIM_ARR 寄存器和 LPTIM_CMP 寄存器的更新方式由 LPTIM_CFG.RELOAD 决定：

- LPTIM_CFG.RELOAD = 1：如果 LPTIM 已经启动了，LPTIM_ARR 寄存器和 LPTIM_CMP 寄存器在计数器溢出时更新。在计数器溢出时，延迟时间 = 2~3 个 APB 时钟周期。
- LPTIM_CFG.RELOAD = 0：LPTIM_ARR 寄存器和 LPTIM_CMP 寄存器在软件写访问后更新。延迟时间 = 2~3 个 APB 时钟周期 + 2~3 个 LPTIM 内部分频时钟周期。

LPTIM_INTSTS.ARRUPD 标志位和 LPTIM_INTSTS.CMPUPD 标志位分别指示何时完成对 LPTIM_ARR 寄存器和 LPTIM_CMP 寄存器的写操作。

在对 LPTIM_ARR 寄存器或 LPTIM_CMP 寄存器进行写操作之后，任何 LPTIM_INTSTS.ARRUPD 标志位和 LPTIM_INTSTS.CMPUPD 标志位置 1 之前的后续写操作都将导致不可预知的结果。所以只能在前一次写操作完成后才能对同一寄存器进行新的写操作。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

14.4.9 计数器模式

内部计数器可以对来自 LPTIM Input1 或内部时钟周期的外部触发事件进行计数。这可以通过 LPTIM_CFG.CLKSEL 和 LPTIM_CFG.CNTMEN 位进行配置。

如果 LPTIM 正在计数外部触发，用户可以配置 LPTIM_CFG.CLKPOL[1:0]位来选择上升沿、下降沿或上下沿为有效沿。可以选择以下计数模式，具体取决于 LPTIM_CFG.CLKSEL 和 LPTIM_CFG.CNTMEN：

- LPTIM_CFG.CLKSEL = 0：LPTIM 使用内部时钟源来提供时钟。
  - LPTIM_CFG.CNTMEN = 0，LPTIM 配置为由内部时钟源提供时钟，LPTIM 计数器配置为在每个内部时钟脉冲后更新。
  - LPTIM_CFG.CNTMEN = 1，使用提供给 LPTIM 的内部时钟对 LPTIM 外部 Input1 进行采样。为了不错过任何事件，外部 Input1 信号的变化频率不得超过提供给 LPTIM 的内部时钟频率。此外，不得对提供给 LPTIM 的内部时钟进行预分频（LPTIM_CFG.CLKPRE[2:0] = 000）。
- LPTIM_CFG.CLKSEL = 1：LPTIM 使用外部时钟源来提供时钟。
  - LPTIM_CFG.CNTMEN 位的值是不相关的。在这个配置中，LPTIM 不需要内部时钟源（除非启用了毛刺滤波器）。在 LPTIM 外部 Input1 上注入的信号用作 LPTIM 的系统时钟。这种配置适用于未启用嵌入式振荡器的操作模式。
  - 对于这种配置，LPTIM 计数器可以在 Input1 时钟信号的上升沿或下降沿进行更新，但不能同时在上升沿和下降沿更新。
  - 由于在 LPTIM 外部 Input1 上注入的信号也用于对 LPTIM 内核逻辑进行计时，所以在计数器递增之前存在一些初始延迟（启用 LPTIM 之后）。更准确地说，LPTIM 外部 Input1 上的前 2 到 5 个触发沿（在启用 LPTIM 之后）将丢失。

14.4.10 编码器模式

编码器模式可以处理来自正交编码器的信号，用于检测旋转元件的角位置。编码器模式允许计数器对 0 和 LPTIM_ARR.ARRVAL[15:0]值内的事件进行计数（0 到 LPTIM_ARR.ARRVAL[15:0]或 LPTIM_ARR.ARRVAL[15:0]到 0）。在这种情况下，用户必须在启用计数器之前配置 LPTIM_ARR.ARRVAL[15:0]。Input1 和 Input2 为计数器生成一个时钟信号。计数方向取决于这两个输入信号之间的相位。

编码器模式仅在 LPTIM 由内部时钟源提供时钟时可用。Input1 和 Input2 输入上的信号频率不得超过 LPTIM 内部时钟频率的 4 分频。这是强制性的，以保证 LPTIM 的正常运行。

计数方向的变化由 LPTIM_INTSTS 寄存器中的两个 Down 和 Up 标志更新。此外，可以通过设置 LPTIM_INTEN.DOWNIE 和 LPTIM_INTEN.UPIE 位为两个方向改变事件生成中断。

用户可以通过设置 LPTIM_CFG.ENC 位来启用编码器模式。并且 LPTIM 需要首先配置为连续模式。

当编码器模式激活时，LPTIM 计数器会根据增量编码器的速度和方向自动修改计数值。因此，它的内容总是代表编码器的位置。由向上和向下标志指示的计数方向对应于编码器转子的旋转方向。

使用 LPTIM_CFG.CLKPOL[1:0]位配置为不同的触发沿，可能会有不同的计数场景。下表总结了可能的组合，假设 Input1 和 Input2 不同时切换。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

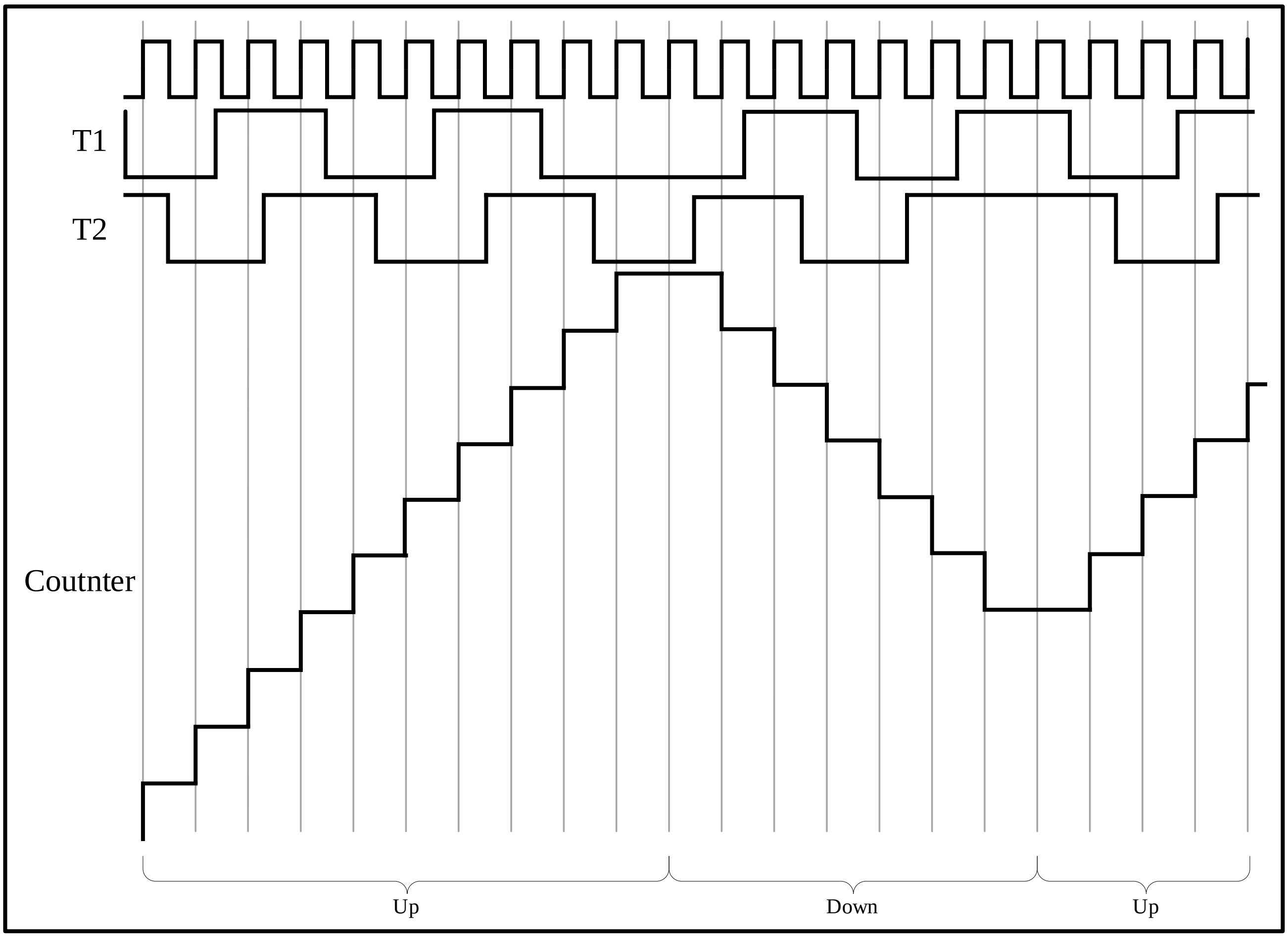
表 14-3 编码器计数的场景

触发沿	信号相反（Input1 For Input2, Input2 For Input1）	Input1 信号		Input2 信号	
		上升沿	下降沿	上升沿	下降沿
上升沿	High	Down	未计数	Up	未计数
	Low	Up	未计数	Down	未计数
下降沿	High	未计数	Up	未计数	Down
	Low	未计数	Down	未计数	Up
上下沿	High	Down	Up	Up	Down
	Low	Up	Down	Down	Up

下图显示了配置了上下沿触发的编码器模式的计数序列。

注意：*在此模式下，LPTIM 必须由内部时钟源提供时钟，因此 LPTIM_CFG.CLKSEL 位必须保持其复位值等于"0"。此外，预分频器分频比必须等于其复位值 1（LPTIM_CFG.CLKPRE[2:0] 位必须为"000"）。*

图 14-7 编码器模式计数序列



14.4.11 非正交编码器模式

此模式允许处理来自非正交编码器的信号，用于检测来自外部接口的后续正脉冲。非正交编码器接口模式仅用作具有方向选择的外部时钟。这意味着计数器只是在 0 和编程到 LPTIM_ARR 寄存器中的自动重载值之间连续计数（0 到 LPTIM_ARR.ARRVAL[15:0]或 LPTIM_ARR.ARRVAL[15:0]到 0，具体取决于方向)。因

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

此，您必须在开始之前配置 LPTIM_ARR。从两个外部输入信号 Input1 和 Input2 生成时钟信号来为 LPTIM 计数器计时。这两个信号之间的顺序决定了计数方向。

非编码器模式仅在 LPTIM 由内部时钟源提供时钟时可用。Input1 和 Input2 输入上的信号频率不得超过 LPTIM 内部时钟频率的 4 分频。这是强制性的，以保证 LPTIM 正常运行。

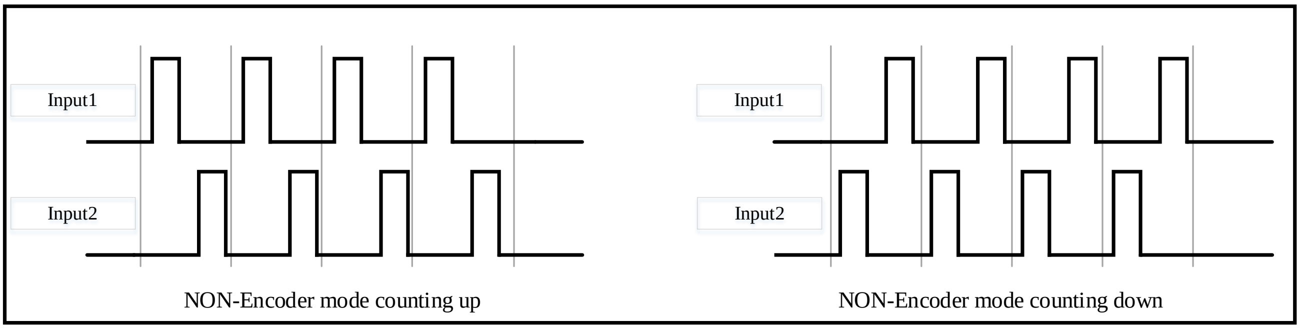
LPTIM_INTSTS 寄存器中的两个向下和向上标志指示方向变化。此外，可以通过设置 LPTIM_INTEN.DOWNIE 和 LPTIM_INTEN.UPIE 位为两个方向改变事件生成中断。

要激活非编码器模式，LPTIM_CFG.NENC 位必须设置为“1”。LPTIM 必须首先配置为连续模式。

当非编码器模式处于活动状态时，LPTIM 计数器会根据增量编码器的速度和方向自动修改。因此，它的内容总是代表编码器的位置。由向上和向下标志指示的计数方向对应于编码器转子的旋转方向。

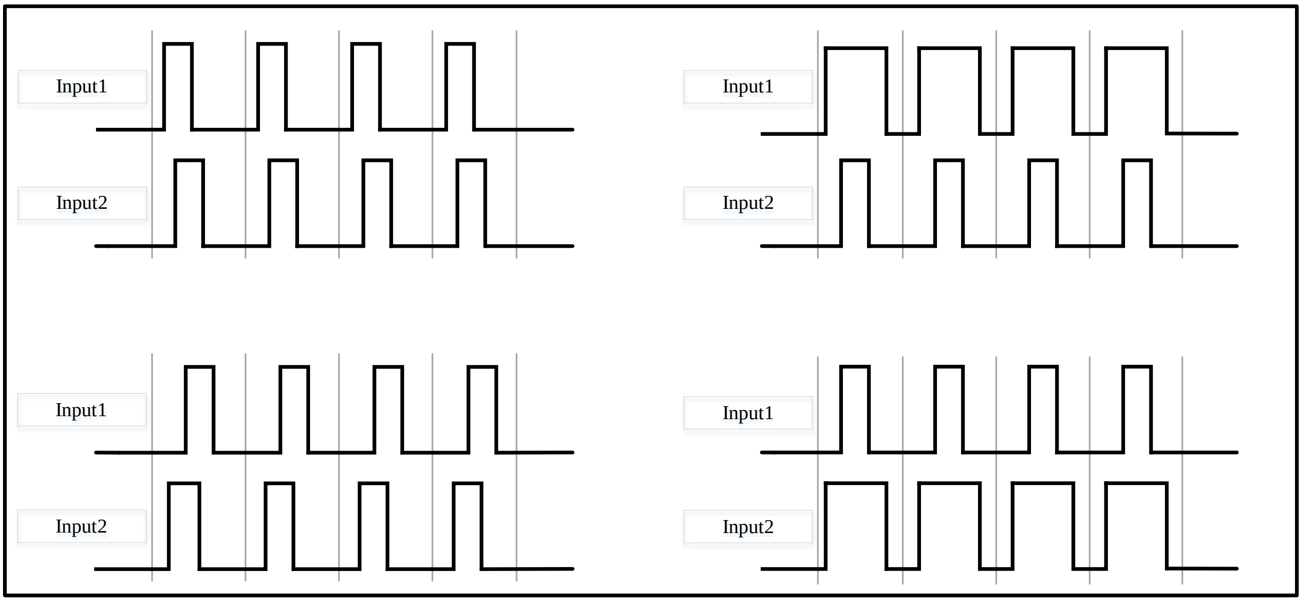
如图 14-8，只要 Input1 和 Input2 不都是高电平，解码器模块都可以正确工作。

图 14-8 非正交编码器正常工作 Input1、Input2 波形



如果 Input1 和 Input2 的波形如图 14-9 所示，则解码模块无法正常工作。计数器将忽略这些波形并保持先前的值。

图 14-9 非正交编码器非正常工作 Input1、Input2 波形



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

14.4.12 超时功能

当 LPTIM_CFG.TIMOUTEN 位使能时，LPTIM 计数器将由一个选定触发输入的有效边沿复位。

当使用超时功能时，LPTIM 计数器将被选定的触发输入事件复位并重新启动。如果在配置的时间内没有触发，就会发生比较匹配事件。等待时间通过超时值配置。

14.4.13 LPTIM 中断

通过 LPTIM_INTEN 寄存器启用以下事件，则会生成中断/唤醒事件:

- 比较匹配
- 自动重载匹配（无论方向是否是编码器模式）
- 外部触发事件
- 自动重载寄存器更新成功
- 比较寄存器更新成功
- 方向改变（编码器模式），可编程（上/下/两边）

注意：如果 LPTIM_INTEN 寄存器（中断使能寄存器）中的任何位在 LPTIM_INTSTS 寄存器（状态寄存器）中相应的标志被置 1 后才被设置，将不能产生相应的中断。

表 14-4 中断事件

中断事件	描述
比较匹配	当计数器寄存器（LPTIM_CNT）的内容与比较寄存器（LPTIM_CMP）的内容匹配时，将触发中断标志 LPTIM_INSTS.CMPM
自动从重匹配	当计数器寄存器（LPTIM_CNT）的内容与自动重新加载寄存器（LPTIM_ARR）的内容匹配时，将触发中断标志 LPTIM_INSTS.ARRM
外部触发事件	当检测到外部触发事件时，将触发中断标志 LPTIM_INSTS.EXTRIG
重装寄存器更新成功	当 LPTIM_ARR 寄存器执行完成写操作时，将触发中断标志 LPTIM_INSTS.CMPUPD
比较寄存器更新成功	当 LPTIM_CMP 寄存器执行完成写操作时，将触发中断标志 LPTIM_INSTS.ARRUPD
方向改变	用于编码器模式。两个中断标志被嵌入到信号中 方向切换： - LPTIM_INSTS.Up 标志信号向上计数方向改变 - LPTIM_INSTS.Down 标志向下计数方向改变

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

14.5 LPTIM 寄存器

14.5.1 LPTIM 寄存器总览

表 14-5 LPTIM 寄存器总览

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
000h	LPTIM_INTSTS	Reserved																									DOWN	UP	ARRUPD	CMPUPD	EXTRIG	ARRM	CMPM
	Reset Value																										0	0	0	0	0	0	0
004h	LPTIM_INTCLR	Reserved																									DOWNCF	UPCF	ARRUPDCF	CMPUPDCF	EXTRIGCF	ARRMCF	CMPMCF
	Reset Value																										0	0	0	0	0	0	0
008h	LPTIM_INTEN	Reserved																									DOWNIE	UPIE	ARRUPDIE	CMPUPDIE	EXTRIGIE	ARRMIE	CMPMIE
	Reset Value																										0	0	0	0	0	0	0
00Ch	LPTIM_CFG	Reserved						NENC	ENC	CNTMEN	RELOAD	WAVEPOL	WAVE	TIMOUTEN	TRGEN[1:0]		TRGSEL[3:0]				Reserved	CLKPRE[2:0]			Reserved	TRIGFLT[1:0]		Reserved	CLKFLT[1:0]		CLKPOL[1:0]		CLKSEL
	Reset Value							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0		0	0		0	0	0	0	0
010h	LPTIM_CTRL	Reserved																													TSTCM	SNGMST	LPTIMEN
	Reset Value																														0	0	0
014h	LPTIM_CMP	Reserved																CMPVAL[15:0]															
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
018h	LPTIM_ARR	Reserved																ARRVAL[15:0]															
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
01Ch	LPTIM_CNT	Reserved																CNTVAL[15:0]															
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
020h	LPTIM_OPT	Reserved																										OPT2			OPT1		
	Reset Value																											0	0	0	0	0	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

14.5.2 LPTIM 中断状态寄存器（LPTIM_INTSTS）

偏移地址：0x00

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved									DOWN	UP	ARRUPD	CMPUPD	EXTRIG	ARRM	CMPM
									r	r	r	r	r	r	r

位域	名称	描述
31:7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6	DOWN	计数器方向从递增变为递减。 在编码器模式，由硬件置 1，以通知应用程序，计数器方向由递增变为递减
5	UP	计数器方向从递减变为递增。 在编码器模式，由硬件置 1，以通知应用程序，计数器方向由递减变为递增
4	ARRUPD	自动重装寄存器更新成功。 由硬件置 1，以通知应用程序 APB 总线对 LPTIM_ARR 寄存器的写操作已经成功完成。 详细内容请查阅 14.4.8。
3	CMPUPD	比较器寄存器更新完成。 由硬件置 1，以通知应用程序 APB 总线对 LPTIM_CMP 寄存器的写操作已经成功完成。 详细内容请查阅 14.4.8。
2	EXTRIG	外部触发事件 由硬件置 1，以通知应用程序所选外部触发器已经输入有效触发边沿。如果因为计数器已经而忽略触发器，则不将此标志位置 1。
1	ARRM	自动重装匹配。 由硬件置 1，以通知应用程序 LPTIM_CNT 寄存器的值已经达到 LPTIM_ARR 寄存器的值。
0	CMPM	比较器匹配。 由硬件置 1，以通知应用程序 LPTIM_CNT 寄存器的值已经达到 LPTIM_CMP 寄存器的值。

14.5.3 LPTIM 中断清除寄存器（LPTIM_INTCLR）

偏移地址：0x04

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved									DOWNCF	UPCF	ARRUPDCF	CMPUPDCF	EXTRIGCF	ARRMCF	CMPMCF
									w	w	w	w	w	w	w

位域	名称	描述
31：7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6	DOWNCF	计数器方向从递增变为递减标志清除位。 将 1 写入这个位清除 LPTIM_INTSTS 寄存器中的 DOWN 标志
5	UPCF	计数器方向从递减变为递增标志清除位。 将 1 写入这个位清除 LPTIM_INTSTS 寄存器中的 UP 标志
4	ARRUPDCF	自动重装寄存器更新成功清除位。 将 1 写入这个位清除 LPTIM_INTSTS 寄存器中的 ARRUPD 标志
3	CMPUPDCF	比较器寄存器更新成功清除位。 将 1 写入这个位清除 LPTIM_INTSTS 寄存器中的 CMPUPD 标志
2	EXTRIGCF	外部触发沿事件清除位。 将 1 写入这个位清除 LPTIM_INTSTS 寄存器中的 EXTRIG 标志
1	ARRMCF	自动重装匹配清除位。 将 1 写入这个位清除 LPTIM_INTSTS 寄存器中的 ARRM 标记
0	CMPMCF	比较器匹配清除位。 将 1 写入这个位清除 LPTIM_INTSTS 寄存器中的 CMPM 标志

14.5.4 LPTIM 中断使能寄存器（LPTIM_INTEN）

偏移地址：0x08

复位值：0x0000 0000

注意：LPTIM_INTEN 寄存器只能在 LPTIM 不工作的时候修改（LPTIM_CTRL.LPTIMEN = ‘0’）

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved									DOWNIE	UPIE	ARRUPDIE	CMPUPDIE	EXTRIGIE	ARRMIE	CMPMIE
									rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6	DOWNIE	计数器方向从递增变为递减中断使能位。 0：计数器方向变化，向下计数中断禁止 1：计数器方向变化，向下计数中断使能
5	UPIE	计数器方向从递减变为递增中断使能位。 0：计数器方向变化，向上计数中断禁止 1：计数器方向变化，向上计数中断使能
4	ARRUPDIE	自动重装寄存器更新成功中断使能位。 0：自动重装寄存器更新成功中断禁止 1：自动重装寄存器更新成功中断使能
3	CMPUPDIE	比较器寄存器更新成功中断使能位。 0：比较器寄存器更新成功中断禁止 1：比较器寄存器更新成功中断使能
2	EXTRIGIE	外部触发事件中断使能位。 0：外部触发事件中断禁止 1：外部触发事件中断使能
1	ARRMIE	自动重装匹配中断使能位。 0：自动重装匹配中断禁止 1：自动重装匹配中断使能
0	CMPMIE	比较器匹配中断使能位。 0：比较器匹配中断禁止 1：比较器匹配中断使能

14.5.5 LPTIM 配置寄存器（LPTIM_CFG）

偏移地址：0x0C

复位值：0x0000 0000

注意：LPTIM_CFG 寄存器只能在 LPTIM 不工作的时候修改（LPTIM_CTRL.LPTIMEN = ‘0’）

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved						NENC	ENC	CNTMEN	RELOAD	WAVEPOL	WAVE	TIMOUTEN	TRGEN[1:0]		TRGSEL[3]
						rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw		rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TRGSEL[2:0]			Reserved	CLKPRE[2:0]			Reserved	TRIGFLT[1:0]		Reserved	CLKFLT[1:0]		CLKPOL[1:0]		CLKSEL
rw				rw				rw			rw		rw		rw

位域	名称	描述
31:26	Reserved	保留，必须保持复位值。
25	NENC	非正交编码器模式使能位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：非正交编码器禁止 1：非正交编码器使能
24	ENC	编码器模式使能位。 0：编码器禁止 1：编码器使能
23	CNTMEN	计数器模式使能位。 该位选择 LPTIM 使用哪个时钟源来对计数器进行计时： 0：计数器根据每个内部时钟脉冲递增 1：计数器根据 LPTIM 外部 Input1 上的每个有效时钟脉冲递增
22	RELOAD	寄存器更新模式。 该位控制 LPTIM_ARR 和 LPTIM_CMP 寄存器更新方式。 0：寄存器在每个 APB 总线写访问之后更新 1：寄存器在当前的 LPTIM 周期结束时更新
21	WAVEPOL	波形极性位。 该为控制输出极性。 0：LPTIM 输出反映 LPTIM_ARR 和 LPTIM_CMP 寄存器之间的比较结果 1：LPTIM 输出反映了 LPTIM_ARR 和 LPTIM_CMP 寄存器之间的比较结果的反相
20	WAVE	波形形状位。 该位控制输出波形形状。 0：禁用一次模式，PWM/单脉冲波形(取决于 LPTIM_CTRL.TSTCM 或 LPTIM_CTRL.SNGMST 位) 1：激活一次模式
19	TIMOUTEN	超时使能位。 该位开启超时功能。 0：当计时器已经启动时到达的触发器事件将被忽略 1：当计时器已经启动时到达的触发事件将复位并重新启动计数器
18:17	TRGEN[1:0]	触发极性使能位。 该位控制 LPTIM 计数器是否由外部触发器启动。如果选择外部触发器选项，触发器触发沿可以有三种配置： 00：软件触发（计数器开始的时候由软件启动） 01：下降沿触发 10：上升沿触发 11：双边沿触发
16:13	TRGSEL[3:0]	触发选择位 从以下 6 个触发源中选择其中一个作为 LPTIM 的触发事件： 0000：LPTIM_ETR PIN 0001：RTC alarm A 0010：RTC alarm B

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0011：RTC_TAMP1 0100：RTC_TAMP2 0101：RTC_TAMP3 其他值保留
12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11:9	CLKPRE[2:0]	时钟分频因子 000：/1 001：/2 010：/4 011：/8 100：/16 101：/32 110：/64 111：/128
8	Reserved	保留，必须保持复位值。
7:6	TRIGFLT[1:0]	数字滤波器灵敏度配置位。 该位设置当内部触发器上发生电平变化时，在将其视为有效的电平转换之前应该检测的连续相等信号的数量。 00：任何电平都可以触发 01：触发器的触发电平变化必须在至少 2 个时钟周期内保持稳定，才能被视为有效的触发 10：触发器的触发电平变化必须在至少 4 个时钟周期内保持稳定，才能被视为有效的触发 11：触发器的触发电平变化必须在至少 8 个时钟周期内保持稳定，才能被视为有效的触发 *注意：必须提供内部时钟源才能使用此功能。*
5	Reserved	保留，必须保持复位值
4:3	CLKFLT[1:0]	外部时钟信号数字滤波器灵敏度配置位。 该位设置当外部时钟信号发生电平变化时，在将其视为有效电平转换之前应检测的连续相等信号的数量。 00：任何外部时钟电平变化都是有效信号 01：外部时钟电平变化必须在至少 2 个时钟周期内保持稳定，才能被视为有效的信号 10：外部时钟电平变化必须在至少 4 个时钟周期内保持稳定，才能被视为有效的信号 11：外部时钟电平变化必须在至少 8 个时钟周期内保持稳定，才能被视为有效的信号 *注意：必须提供内部时钟源才能使用此功能。*
2:1	CLKPOL[1:0]	时钟极性位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		当 LPTIM 由外部时钟源提供计时，CLKP[1:0]配置计数器使用的触发沿： 00：上升沿用来计数 01：下降沿用来计数 10：上下沿用来计数。 11：上下沿都不用于计数 *注意：当外部时钟信号上升沿和下降沿都是有效出发沿时，LPTIM 还必须由一个内部时钟源进行计时，其频率至少等于外部时钟频率的四倍。* 当 LPTIM 配置为编码器模式（LPTIM_CFG.ENC 位置 1）： 00：启用编码器上升沿计数模式 01：启用编码器下降沿计数模式 10：启用编码器双边沿计数模式
0	CLKSEL	时钟源选择位。 该位配置 LPTIM 将选择使用的时钟源。 00：LPTIM 由内部时钟源（APB 时钟或任何嵌入式振荡器）计时 01：LPTIM 由外部时钟源通过 LPTIM 外部 Input1 进行计时

14.5.6 LPTIM 控制寄存器（LPTIM_CTRL）

偏移地址：0x10

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved													TSTCM	SNGMST	LPTIMEN
													rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:3	Reserved	保留，必须保持复位值。
2	TSTCM	定时器以连续模式启动位。 这个位由软件置 1，由硬件清除。 在软件启动的情况下（LPTIM_CFG.TRGEN[1:0] = 00），设置这个位以连续模式启动 LPTIM。如果软件启动被禁用（LPTIM_CFG.TRGEN[1:0] ≠ 00），则一旦检测到外部触发器，设置此位将以连续模式启动计时器。如果在进行单脉冲模式计数时设置了这个位，那么计时器将不会在 LPTIM_ARR 和 LPTIM_CNT 寄存器的下一次匹配时停止，而 LPTIM 计数器将继续在连续模式下计数。这个位只能在启用 LPTIM 时设置。由硬件自动复位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
1	SNGMST	定时器以单脉冲模式启动位。 这个位由软件设置，由硬件清除。 如果软件启动（LPTIM_CFG.TRGEN[1:0] = 00），设置此位将以单脉冲模式启动 LPTIM。如果软件启动被禁用（LPTIM_CFG.TRGEN[1:0] = 00），则一旦检测到外部触发器，就设置这个位以单脉冲模式启动 LPTIM。如果这个位是在 LPTIM 处于连续计数模式时设置的，那么 LPTIM 将在 LPTIM_ARR 和 LPTIM_CNT 寄存器之间的后续匹配处停止。这个位只能在启用 LPTIM 时设置。由硬件自动复位。
0	LPTIMEN	LPTIM 使能位。 该位由软件置 1 和清除。 0：LPTIM 禁止 1：LPTIM 开启

14.5.7 LPTIM 比较寄存器（LPTIM_CMP）

偏移地址：0x14

复位值：0x0000 0000

注意：LPTIM_CMP 寄存器只能在启用 LPTIM 时修改（LPTIM_CTRL.LPTIMEN = 1）

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CMPVAL[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	CMPVAL[15:0]	比较值 CMPVAL[15:0]是 LPTIM 使用的比较值

14.5.8 LPTIM 自动重载寄存器（LPTIM_ARR）

偏移地址：0x18

复位值：0x0000 0001

注意：LPTIM_ARR 寄存器只能在启用 LPTIM 时修改（LPTIM_CTRL.LPTIMEN = 1）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ARRVAL[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	ARRVAL[15:0]	自动重载值 ARRVAL[15:0]是 LPTIM 的自动重载值，该值必须严格大于 LPTIM_CMP.CMPVAL[15:0]值。

14.5.9 LPTIM 计数寄存器（LPTIM_CNT）

偏移地址：0x1C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CNTVAL[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	CNTVAL[15:0]	计数器数值。 当 LPTIM 使用异步时钟运行时，读取 LPTIM_CNT 寄存器可能会返回不可靠的值。因此，在这种情况下，有必要执行两个连续的读访问，并验证两个返回的值是否相同。如果相同，则读访问是可靠的。

14.5.10 LPTIM 选项寄存器（LPTIM_OPT）

偏移地址：0x20

复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved										OPT2[2:0]			OPT1[2:0]		
											rw			rw	

位域	名称	描述
31:6	Reserved	保留，必须保持复位值。
5:3	OPT2[2:0]	LPTIM Input2 连接选择位 000：LPTIM Input 2 连接到 I/O
2:0	OPT1[2:0]	LPTIM Input1 连接选择位 000：LPTIM Input 1 连接到 I/O

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15 独立看门狗（IWDG）

15.1 简介

内置独立看门狗（IWDG）和窗口看门狗（WWDG）定时器，解决软件错误导致的问题。看门狗定时器使用非常灵活，提高了系统的安全性和定时控制的准确性。

独立看门狗（IWDG）由运行在 32KHz 的低速内部时钟（LSI 时钟）驱动，在死循环事件或 MCU 卡死发生时，它仍然可以运行。这可以提供更高的安全级别、定时精度和看门狗的灵活性。它可以通过重置来解决由于软件故障引起的系统故障。IWDG 最适合需要看门狗在主应用程序之外作为完全独立进程运行但时序精度限制较低的应用程序。

当电源控制寄存器 PWR_CTRL2.IWDGRSTEN 位置'1'，IWDG 计数器达到 0 时，会产生系统复位（若该位置'0'，IWDG 会计数但不产生复位）。

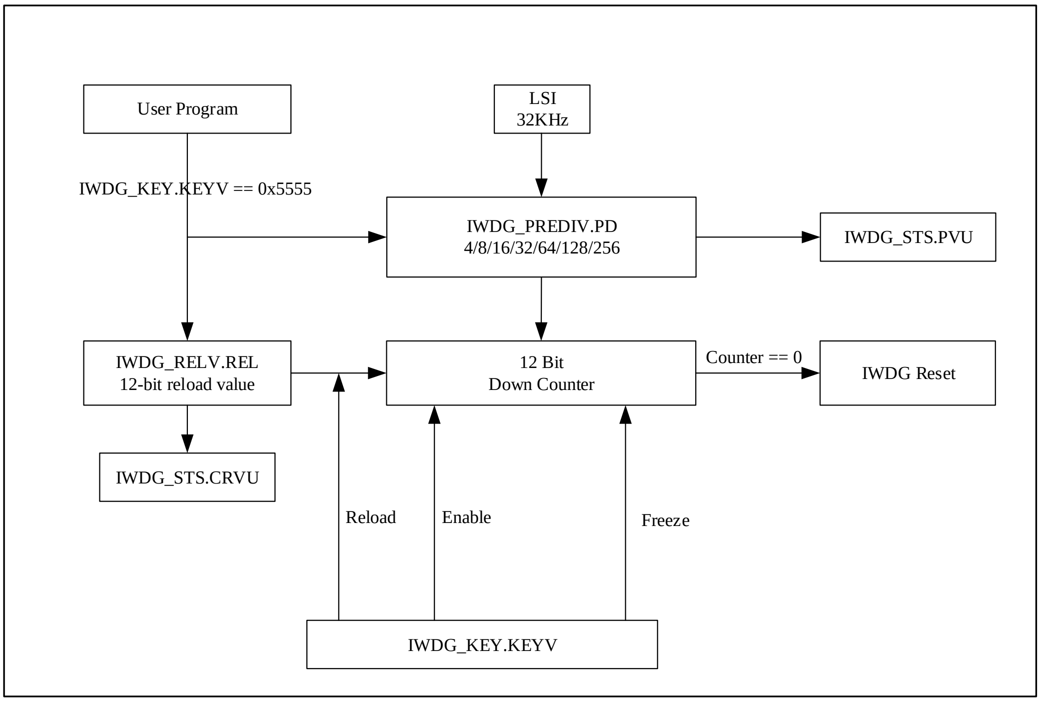
注：本章基于系统默认值 IWDGRSTEN=1 讨论。

15.2 主要特征

- 独立的 12 位递减计数器
- RC 振荡器提供独立的时钟源，可以工作在 SLEEP、STOP0 和 STANDBY 模式
- 可以匹配复位和低功耗唤醒
- 当递减计数器达到 0x000 时，系统复位（如果激活了看门狗）

15.3 功能描述

图 15-1 独立看门功能框图



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

注意：看门狗功能在 VDD 供电区，在 SLEEP、STOP0 和 STANDBY 模式下仍能正常工作。

要启用 IWDG，我们需要将 0xCCCC 写入 IWDG_KEY.KEYV[15:0]位，计数器开始递减计数。当计数器计数到 0x000 时，它会向 MCU 产生一个复位信号（IWDG_RESET）。除此之外，只要在复位前将 0xAAAA（重装载请求）写入 IWDG_KEY.KEYV[15:0]位，计数器值就会设置为 IWDG_RELV.REL[11:0]位中的重装载值并防止看门狗复位整个设备。

如果通过选项字节使能"硬件看门狗定时器"功能，则看门狗将在系统上电后自动开始运行并产生系统复位，除非软件在计数器到达'0'之前重新加载计数器。

15.3.1 寄存器访问保护

IWDG_PREDIV 和 IWDG_RELV 寄存器是写保护的。要修改这两个寄存器的值，用户需要将 0x5555 写入 IWDG_KEY.KEYV[15:0]位。写入其他值会再次启用写保护。IWDG_STS.PVU 表示预分频值更新是否正在进行，IWDG_STS.CRVU 表示 IWDG 是否正在更新重装载值。当预分频值和/或重装载值正在更新时，硬件设置 IWDG_STS.PVU 位和/或 IWDG_STS.CRVU 位。预分频值和/或重装载值更新完成后，硬件清除 IWDG_STS.PVU 位和/或 IWDG_STS.CRVU 位。

重新加载操作（把 0xAAAA 写入 IWDG_KEY.KEYV[15:0]）也将导致寄存器再次变为写保护。

15.3.2 调试模式

在调试模式下（Cortex-M4 内核停止），IWDG 计数器将继续正常工作或停止，具体取决于调试模块中的 DBG_CTRL.IWDG_STOP 位。如果该位设置为"1"，则计数器停止。该位为"0"时，计数器正常工作。详见 37.3.2 调试模块章节。

15.3.3 IWDG 冻结

一旦 IWDG 使能（无论是硬件还是软件），除非生成系统复位或通过将 0x4567 写入 IWDG_KEY.KEYV[15:0]位来配置运行时冻结，否则 IWDG 不会停止计数。用户还可以在某些工作模式下配置 IWDG 冻结。IWDG 在 SLEEP、STOP0 和 STANDBY 模式下提供冻结选项。当 IWDG 开启时，它将强制 LSI 时钟开启。

15.4 用户界面

IWDG 模块用户界面包含 4 个寄存器：密钥寄存器（IWDG_KEY）、状态寄存器（IWDG_STS）、预分频寄存器（IWDG_PREDIV）和重装载寄存器（IWDG_RELV）。

15.4.1 操作流程

当 IWDG 从软件（将 0xAAAA 写入 IWDG_KEY.KEYV[15:0]位）或硬件（清零 FLASH_OB.WDG_SW 位）复位启用时。它从 0xFFF 开始递减计数。向下计数间隙由预分频 LSI 时钟确定。重新加载计数器后，新一轮递减计数器的值将从 IWDG_RELV.REL[11:0]中的值开始，而不是 0xFFF。

程序正常运行时，软件需要在计数器到达 0 前喂狗，开始新一轮的递减计数。当计数器达到 0 时，表示程序故障。IWDG 在这种情况下产生复位信号。

如果用户想要配置 IWDG 预分频和重装载值寄存器，需要先将 0x5555 写入 IWDG_KEY.KEYV[15:0]。然后确认 IWDG_STS.CRVU 位和 IWDG_STS.PVU 位。IWDG_STS.CRVU 位指示重装载值更新正在进行，

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

IWDG_STS.PVU 表示预分频值更新正在进行。只有当这两位为 0 时，用户才能更新相应的值。当更新正在进行时，硬件将相应位设置为 1。此时，读取 IWDG_PREDIV.PD[2:0]或 IWDG_RELV.REL[11:0]无效，因为数据需要同步到 LSI 时钟域。从 IWDG_PREDIV.PD[2:0]或 IWDG_RELV.REL[11:0]读取的值将在硬件清除 IWDG_STS.PVU 位或 IWDG_STS.CRVU 位后才有效。

如果应用程序使用多个重装载值或预分频值，则必须等到 IWDG_STS.CRVU 位复位后才能更改重装载值，IWDG_STS.PVU 位复位后才能更改预分频值。但是，在更新预分频值和重装载值后，或只更新预分频值后，或只更新重装载值后，无需等到 IWDG_STS.CRVU 位或 IWDG_STS.PVU 位复位后才能继续执行代码（即使在进低功耗模式的情况下，写入操作也会被考虑并完成）。

预分频寄存器和重装载寄存器控制产生复位的时间，如表 15-1。

表 15-1 IWDG 计数最大和最小复位时间

预分频因子	PD[2:0]	最小时长（ms） RL[11:0]=0	最大时长（ms） RL[11:0]=0xFFF
/4	000	0.125	512
/8	001	0.25	1024
/16	010	0.5	2048
/32	011	1.0	4096
/64	100	2.0	8192
/128	101	4.0	16384
/256	11x	8.0	32768

15.4.2 IWDG 配置流程

软件配置流程：

1. 将 0x5555 写入 IWDG_KEY.KEYV[15:0]位以启用对 IWDG_PREDIV 和 IWDG_RELV 寄存器的写访问；
2. 检查 IWDG_STS.PVU 位或 IWDG_STS.CRVU 位，如果为 0，则继续下一步；
3. 配置 IWDG_PREDIV.PD[2:0]位以选择预分频值；
4. 配置 IWDG_RELV.REL[11:0]位重装载值；
5. 将 0xAAAA 写入 IWDG_KEY.KEYV[15:0]位，用重装载值更新计数器；
6. 通过软件或硬件将 0xCCCC 写入 IWDG_KEY.KEYV[15:0]位来启用看门狗。

如果用户想改变预分频值和重装载值，重复步骤 1~5。如果没有，只需按照第 5 步喂狗。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15.5 IWDG 寄存器

15.5.1 IWDG 寄存器总览

表 15-2 IWDG 寄存器总览

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
000h	IWDG_KEY	Reserved																KEYV[15:0]															
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
004h	IWDG_STS	Reserved																													FRZF	CRVU	PVU
	Reset Value																														0	0	0
008h	IWDG_PREDIV	Reserved																													PD[2:0]		
	Reset Value																														0	0	0
00Ch	IWDG_RELV	Reserved																				REL[11:0]											
	Reset Value																					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

15.5.2 IWDG 密钥寄存器（IWDG_KEY）

偏移地址：0x00

复位值：0x00000000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
KEYV[15:0]															
rc_w0															

位域	名称	描述
31:16	保留	保留，必须保持复位值。
15:0	KEYV[15:0]	密钥寄存器：只有特定的值才能发挥特定的作用 0xCCCC：启动看门狗计数器，如果硬件看门狗使能则无效，（如果选择了硬件看门狗，则不受该命令字限制） 0xAAAA：用 IWDG_RELV 寄存器中的 REL 值重新加载计数器以防止复位 0x5555：禁用 IWDG_PREDIV 和 IWDG_RELV 寄存器的写保护 0x4567：IWDG 冻结，RUN 模式下停止 IWDG 计数器 0x89AB：IWDG 解冻，计数器恢复计数

15.5.3 IWDG 状态寄存器（IWDG_STS）

偏移地址：0x04

复位值：0x00000000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved													FRZF	CRVU	PVU
													r	r	r

位域	名称	描述
31:3	保留	保留，必须保持复位值。
2	FRZF	IWDG 冻结标志： 0：没有产生冻结 1：产生冻结
1	CRVU	看门狗重装载值更新 重装载值更新：该位表示正在更新重装载值。硬件置位，硬件清零。软件只能在 IWDG_KEY.KEYV[15:0]位的值为 0x5555 且该位为 0 时尝试更改 IWDG_RELV.REL[11:0]的值。
0	PVU	看门狗预分频值更新 预分频值更新：该位表示正在更新预分频值。硬件置位，硬件清零。软件只能在 IWDG_KEY.KEYV[15:0]位的值为 0x5555 且该位为 0 时尝试更改 IWDG_PREDIV.PD[2:0]的值。

15.5.4 IWDG 预分频寄存器（IWDG_PREDIV）

偏移地址：0x08

复位值：0x00000000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved													PD[2:0]		
													rw		

位域	名称	描述
31:3	保留	保留，必须保持复位值。
2:0	PD[2:0]	预分频因子 当 IWDG_KEY.KEYV[15:0]不是 0x5555 时具有写访问保护。IWDG_STS.PVU 位必须为 0，否则 PD[2:0]值无法更改。分频系数如下： 000：预分频因子=4 001：预分频因子=8 010：预分频因子=16 011：预分频因子=32 100：预分频因子=64

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		101：预分频因子=128 其他：预分频因子=256 *注意：读取该寄存器将返回来自 VDD 电压域的预分频值。如果正在进行写操作，则回读值可能无效。因此，读取值仅在 IWDG_STS.PVU 位为 0 时有效。*

15.5.5 **IWDG 重装载寄存器（IWDG_RELV）**

偏移地址：0x0C

复位值：0x00000FFF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				REL[11:0]											
				rw											

位域	名称	描述
31:12	保留	保留，必须保持复位值。
11:0	REL[11:0]	看门狗计数器重装载值。 带写保护。定义看门狗计数器的重装载值，每次将 0xAAAA 写入 IWDG_KEY.KEYV[15:0]位时将其加载到计数器。然后计数器从该值开始倒计时。看门狗超时周期可以根据这个重装载值和时钟预分频值计算，参考表 15-1。 该寄存器只能在 IWDG_STS.CRVU 位为 0 时修改。 *注意：读取该寄存器将返回来自 VDD 电压域的重装载值。如果正在进行写操作，则回读值可能无效。因此，读取值仅在 IWDG_STS.CRVU 位为 0 时有效。*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

16 窗口看门狗（WWDG）

16.1 简介

窗口看门狗（WWDG）的时钟是 APB1 时钟频率除以 4096 得到的，通过时间窗口的配置来检测程序运行是否异常。因此，WWDG 适用于精确定时，常用于监控因外部干扰或无法预见的逻辑条件导致应用程序偏离其正常操作顺序的软件故障。当 WWDG 递减计数器在达到窗口寄存器值之前刷新或 WWDG_CTRL.T6 位变为 0 之后，发生系统复位。

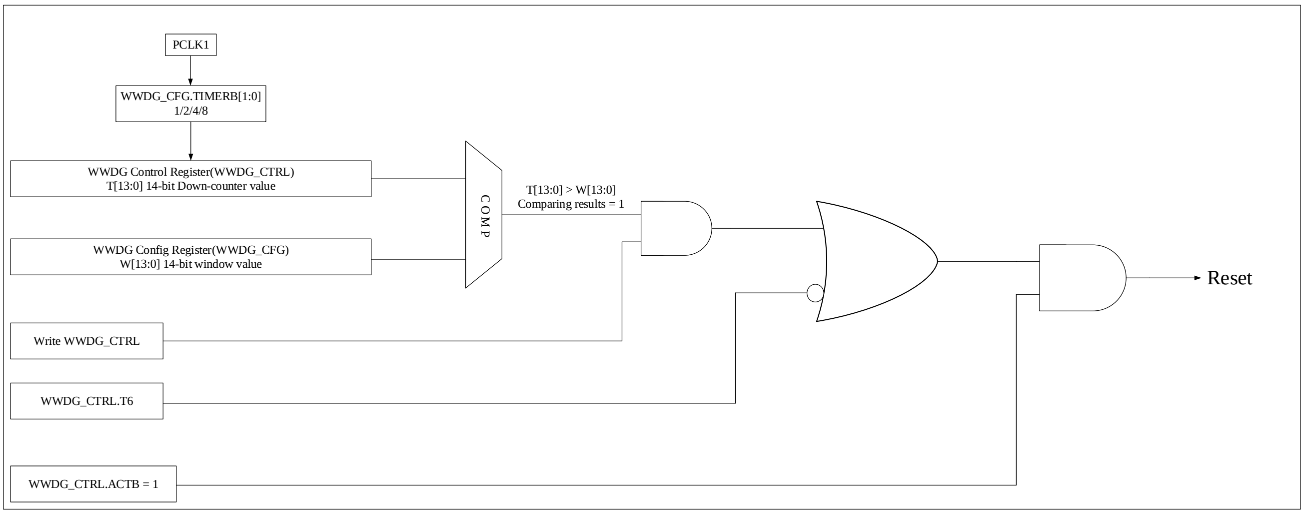
16.2 主要特征

- 14 位独立递减计数器可编程
- WWDG 启用后，在以下情况下会发生复位
  - 递减计数器的值小于 0x40
  - 当递减后的计数器值大于窗口寄存器的值时，重新加载
- 提前唤醒中断：如果看门狗启动并且中断使能，当计数值达到 0x40 时会产生唤醒中断（WWDG_CFG.EWINT）

16.3 功能描述

如果看门狗被激活（WWDG_CTRL.ACTB），当 14 位（WWDG_CTRL.T[13:0]）递减计数器到达 0x3F（WWDG_CTRL.T6 位清零），或者软件重新加载计数器时计数器值大于窗口寄存器的值，将产生系统复位。为了避免系统复位，软件在正常运行时必须定期刷新窗口中的计数器值。

图 16-1 窗口看门狗功能框图



设置 WWDG_CTRL.ACTB 位以启用看门狗，此后，WWDG 将保持打开状态，直到发生复位。14 位递减计数器独立运行，无论 WWDG 是否使能，计数器都会持续递减计数。因此，需要将高 8 位 MSB(WWDG_CTRL.T[13:6])中的某一位设置为 1，以防止在启用后立即复位。由时钟 APB1 和 WWDG_CFG.TIMERB[1:0]位设置的预分频器值决定了计数器的递减速度。WWDG_CFG.W[13:0]位设置窗

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

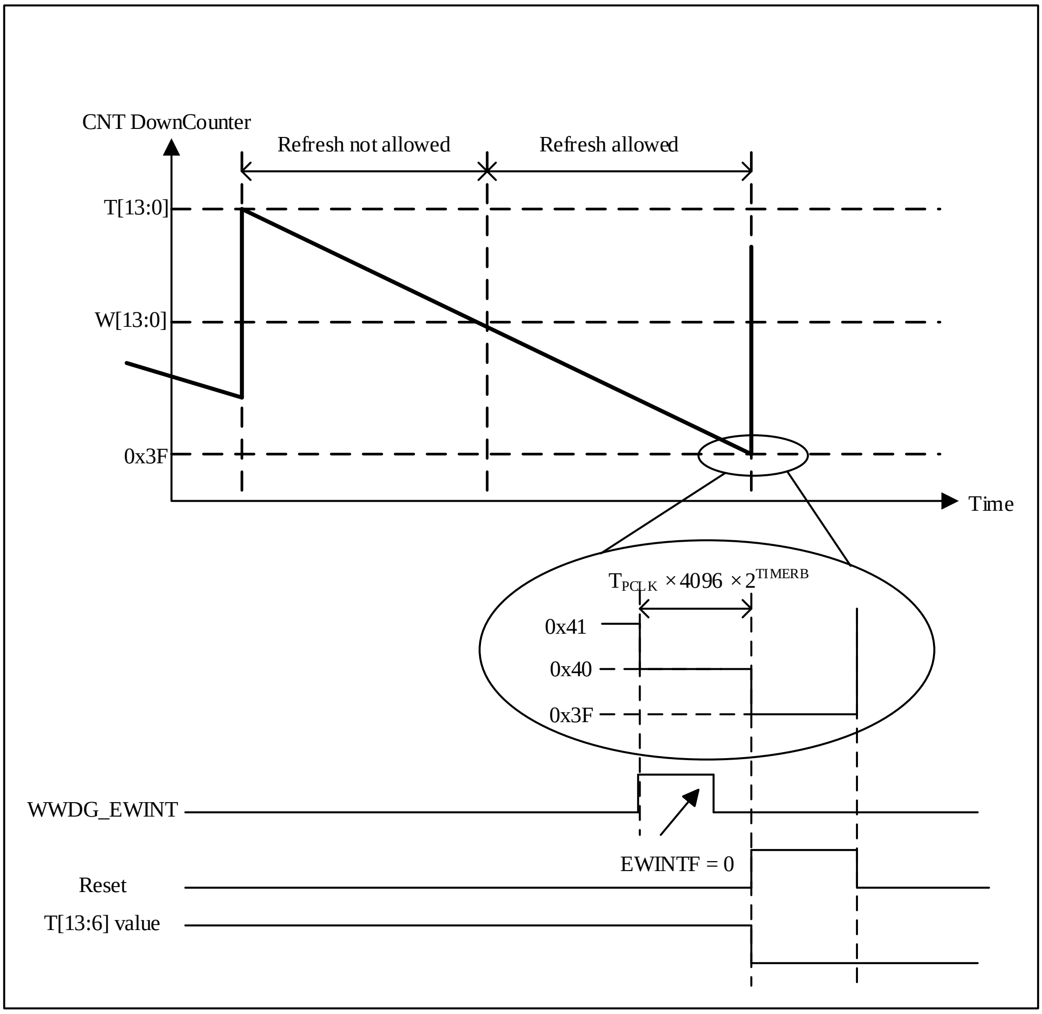
口的上限。

当递减计数器在达到窗口寄存器值之前或 WWDG_CTRL.T6 位变为 0 之后刷新，将产生系统复位。图 16-2 描述了窗口寄存器的工作过程。

设置 WWDG_CFG.EWINT 位以启用提前唤醒中断。当倒数计数器到达 0x40 时，将产生中断。您可以分析软件故障的原因或将重要数据保存在相应的中断服务程序（ISR）中，并重新加载计数器以防止 WWDG 复位。将“0”写入 WWDG_STS.EWINTF 位以清除中断。

16.4 刷新看门狗和中断产生的时序

图 16-2 WWDG 的刷新窗口和中断时序



看门狗刷新窗口在WWDG_CFG.W[13:0]值（最大值0x3FFF）和0x3F之间，在此窗口外刷新将向MCU生成复位请求。计数器使用分频后的APB时钟从0x3FFF向下计数到0x3F，最大计数时间和最小计数时间如下表所示（假设APB时钟为120MHz），计算公式为：

$$T_{WWDG} = T_{PCLK1} \times 4096 \times 2^{TIMERB} \times (T[13:0] - 0X3F + 1)$$

其中：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

T_{WWDG}:WWDG 超时

T_{PCLK1}:APB1 时钟间隔，单位为：ms

PCLK1=120MHz 时的最小-最大超时时长

表 16-1 WWDG 的最大和最小计数时间

TIMERB	最大超时（ms）	最小超时（ms）
0	556.92	0.0341
1	1113.84	0.0682
2	2227.68	0.136
3	4455.36	0.273

16.5 调试模式

在调试模式下（Cortex-M4 内核停止），WWDG 计数器将继续正常工作或停止，具体取决于调试模块中的 DBG_CTRL.WWDG_STOP 位。如果该位设置为“1”，则计数器停止。该位为“0”时，计数器正常工作。详见 37.3.2 调试模块章节。

16.6 用户界面

16.6.1 WWDG 配置流程

1. 配置 RCC_APB1PCLKEN.WWDGEN[11]位使能 WWDG 模块的时钟
2. 软件设置 WWDG_CFG.TIMERB[15:14]位来配置 WWDG 的预分频因子
3. 软件配置 WWDG_CTRL.T[13:0]位，设置计数器的起始值。需要将高 8MSB 位(WWDG_CTRL.T[13:6])中的某一位设置为 1，以防止在启用后立即复位
4. 配置 WWDG_CFG.W[13:0]位配置上边界窗口值
5. 设置 WWDG_CTRL.ACTB[14]位使能 WWDG
6. 软件操作 WWDG_STS.EWINTF[0]位清除唤醒中断标志
7. 配置 WWDG_CFG.EWINT[16]位使能提前唤醒中断

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

16.7 WWDG 寄存器

16.7.1 WWDG 寄存器总览

表 16-2 WWDG 寄存器总览

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0x00	WWDG_CFG	Reserved															EWINT	TIMERB[1:0]		W[13:0]													
	Reset value																0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0x04	WWDG_CTRL	Reserved																	ACTB	T[13:0]													
	Reset value																		0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0x08	WWDG_STS	Reserved																															EWINTF
	Reset value																																0

16.7.2 WWDG 配置寄存器（WWDG_CFG）

偏移地址：0x00

复位值：0x00003FFF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															EWINT
															rs

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TIMERB[1:0]		W[13:0]													
rw		rw													

位域	名称	描述
31:17	保留	保留，必须保持复位值。
16	EWINT	提前唤醒中断 设置后，只要计数器达到值 0x40，就会发生中断。此位仅在复位后由硬件清除。
15:14	TIMERB[1:0]	时基 预分频器的时基可以修改如下： 00：CK 计数器时钟（PCLK1 除以 4096）除以 1 01：CK 计数器时钟（PCLK1 除以 4096）除以 2 10：CK 计数器时钟（PCLK1 除以 4096）除以 4 11：CK 计数器时钟（PCLK1 除以 4096）除以 8
13:0	W[13:0]	14 位窗口值 这些位包含要与递减计数器比较的窗口值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

16.7.3 WWDG 控制寄存器（WWDG_CTRL）

偏移地址：0x04
复位值：0x00003FFF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	ACTB	T[13:0]													
	rs	rw													

位域	名称	描述
31:15	保留	保留，必须保持复位值。
14	ACTB	激活位 当 ACTB=1 时，看门狗可以产生复位。该位由软件置位，仅在复位后由硬件清零。当 ACTB=1 时，看门狗可以产生复位。 0：禁用看门狗 1：启用看门狗
13:0	T[13:0]	这些位包含看门狗计数器的值。它每($4096x2^{TIMERB}$)个 PCLK1 周期递减。当它从 0x40 翻转到 0x3F（T6 清零）时，会产生一个复位。

16.7.4 WWDG 状态寄存器（WWDG_STS）

偏移地址：0x08
复位值：0x0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															EWINTF
															rc_w0

位域	名称	描述
31:1	保留	保留，必须保持复位值。
0	EWINTF	提前唤醒中断标志 当计数器达到值 0x40 时，该位由硬件设置。它必须由软件通过写入“0”来清零。写入“1”无效。如果中断未使能，该位也会置位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

17 模拟数字转换（ADC）

17.1 简述

12 位 ADC 是使用逐次逼近的高速模数转换器。共有四个 ADC，（ADC1/ADC2）可以组成双 ADC；ADC1/ADC2/ADC3 可以组成 3ADC。每个 ADC 最多有 19 个复用通道，各个通道的 A/D 转换通道可以在单次、连续、扫描，间断模式下执行。ADC 转换值存储（左对齐/右对齐）在 16 位数据寄存器中。可以通过模拟看门狗 1/2/3 检测输入电压是否在用户定义的高/低阈值内，并且 ADC 的输入时钟的最大频率为 80MHz。

17.2 ADC 主要特征

- 支持 3 个 ADC，支持单端、差分输入
  - ADC1 支持 16 个外部通道，3 个内部通道；
  - ADC2 支持 18 个外部通道，1 个内部通道；
  - ADC3 支持 18 个外部通道，1 个内部通道；
- 支持 12 位、10 位、8 位、6 位分辨率
  - 12bit 分辨率下最高采样速率 4.7MSPS
  - 10bit 分辨率下最高采样速率 6MSPS
  - 8bit 分辨率下最高采样速率 7.2MSPS
  - 6bit 分辨率下最高采样速率 9MSPS
- ADC 时钟源分为工作时钟源、采样时钟源和计时时钟源
  - 仅可配置 AHB_CLK 作为工作时钟源，最高可到 240MHz
  - 可配置 PLL 或 USBHS 240M 作为采样时钟源，最高可到 80MHz，支持分频 1,2,3,4,6,8,10,12
  - 可配置 AHB_CLK 作为采样时钟源，最高可到 80MHz，支持分频 1,2,3,4,6,8,10,12,16,32
  - 计时时钟用于内部计时功能，频率必须配置成 1MHz
- 支持触发采样，包括 EXTI/TIMER
- 所有通道的采样时间间隔可独立编程
- 每个 ADC 有 3 个模拟看门狗
- 当 ADC 准备好，采样完成，转换完成或者模拟看门狗 1/2/3 事件可触发中断
- 支持 4 种转换模式
  - 单次转换
  - 连续转换
  - 间断模式

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

  - ◆ 扫描模式
- ■ 支持自校准
- ■ 支持 FIFO 模式
- ■ 带内嵌数据一致性的数据对齐
- ■ 启动转换方式
  - ◆ 通过软件来启动规则转换和注入转换
  - ◆ 通过极性可配置的外部触发器（GPIO 输入事件或内部定时器事件）来启动规则转换和注入转换
- ■ 过采样
  - ◆ 可调节的过采样比率 x2, x4, x8, x16, x32, x64, x128, x256
  - ◆ 数据右移位 0-8 可配置
  - ◆ 16 位的数据结果寄存器
- ■ 数据预处理
  - ◆ 支持增益补偿
  - ◆ 支持偏移补偿
- ■ 多 ADC 模式
  - ◆ 双 ADC 模式：ADC1 和 ADC2 组合
  - ◆ 三 ADC 模式：ADC1、ADC2、ADC3 组合
- ■ ADC 的工作电压在 1.8V 到 3.6V 之间
- ■ ADC 支持转换的电压在 V_{REF-}和 V_{REF+}之间

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

17.3 ADC 功能描述

下图为一个 ADC 模块的框图，表 17-1 为 ADC 引脚的说明。

图 17-1 ADC 框图

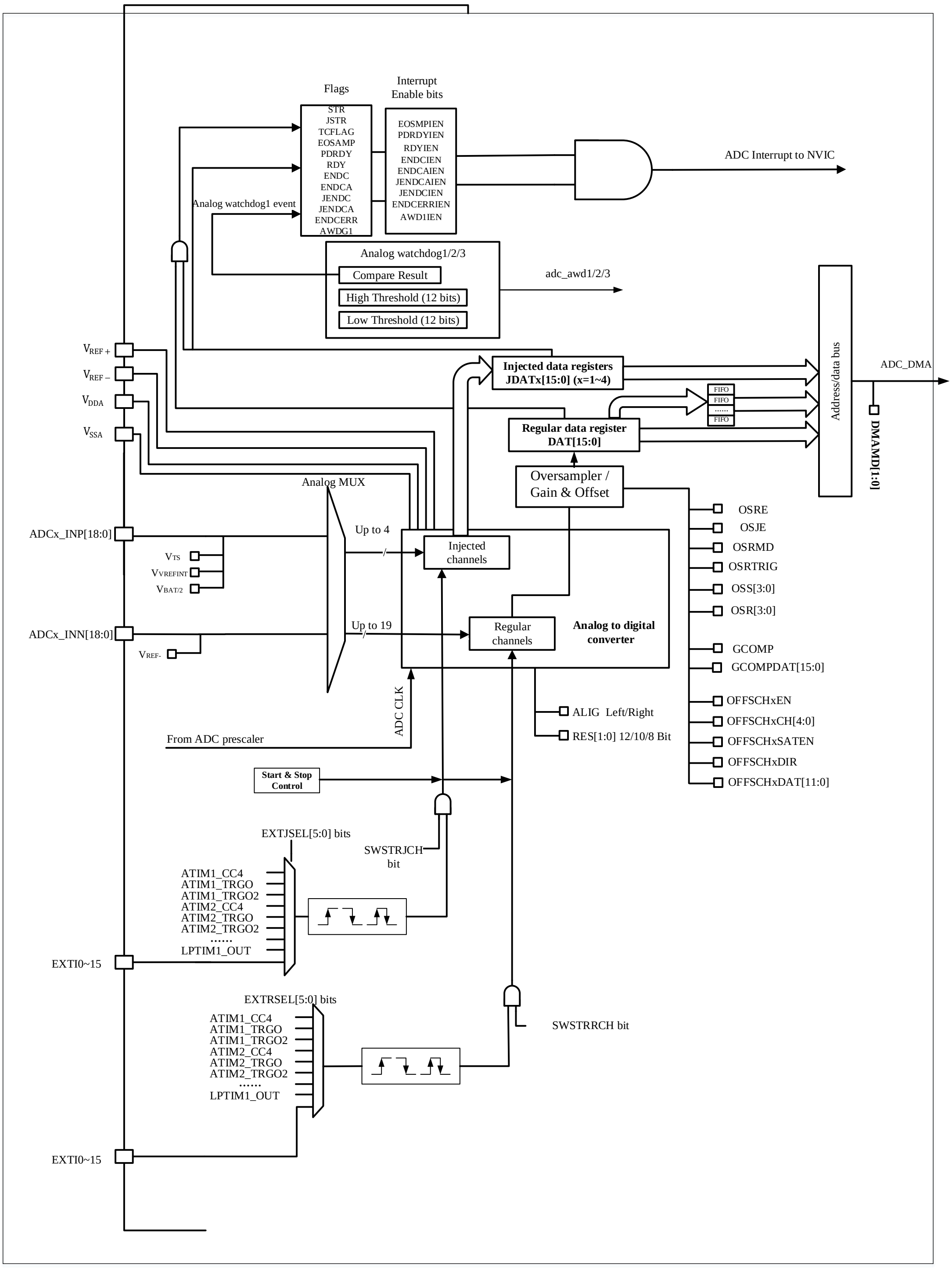


表 17-1 ADC 引脚

名称	信号类型	注解
V_{REF+}	DAC使用的正参考电压，	输入，正模拟参考电压

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

	$1.8V \le V_{REF+} \le V_{DDA}$（3.6V）	
V_{DDA}	输入，模拟电源	等效于V_{DD}的模拟电源且：$1.8V \le V_{DD} \le 3.6V$
V_{SSA}	输入，模拟电源地	等效于VSS的模拟电源地
ADCx_INP[i]	正向模拟输入信号	最高支持19个模拟外部输入通道
ADCx_INN[i]	负向模拟输入信号	最高支持19个模拟外部输入通道
V_{TS}	输入信号	内部温度传感器的输出电压
V_{REFINT}	输入信号	内部参考电压的输出电压
V_{BAT}	输入信号	外部电池电压
adc_awdx	输出信号	内部模拟看门狗输出信号，连接至片上定时器。（x＝ 模拟看门狗编号 1、2、3）

17.3.1 ADC 时钟

ADC 需要三个时钟，ADC_CLK、HCLK、ADC_1MCLK。

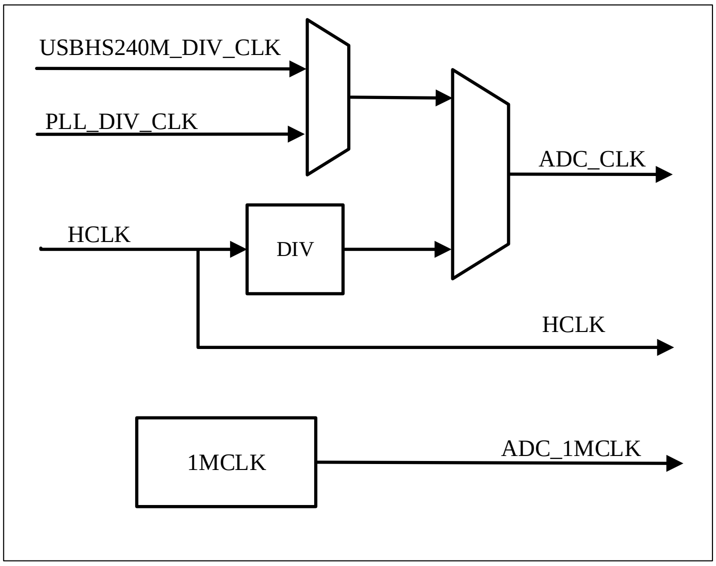
- HCLK 用于寄存器的访问时钟。
- ADC_CLK 为 ADC 的工作时钟，ADC_CLK 有 3 个源（HCLK 、PLL 和 USBHS 240M）。HCLK 分频与系统是同步时钟，PLL 和 USBHS 240M 的分频与系统是异步时钟，用同步时钟的好处是在触发 ADC 响应触发时，没有不确定性；用 PLL 或 USBHS 240M 的分频时钟的好处是可以独立处理 ADC 的工作时钟，不会影响到挂在 HCLK 的其他模块
- ADC_1MCLK 用于内部计时功能，在 RCC 中配置，频率大小必须配置成 1MHz

注意

1. *配置 PLL 或 USBHS 240M 作为时钟源时，最高可到 80M,支持分频 1,2,3,4,6,8,10,12。*
2. *配置 AHB_CLK 分频作为工作时钟最高可到 80M,支持分频 1,2,3,4,6,8,10,12,16,32。*
3. *切换 ADC_1M 时钟源时，需要保证 HSI 时钟开启。*
4. *ADC 复位之后，至少需要等待 8 个 ADC_CLK (最大频率为 80M)周期的延时，才能再次对 ADC 寄存器进行配置。*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 17-2 ADC 时钟



17.3.2 ADC 开关控制

只有在上电过程完成后，您才能进行下一步。用户可以设置 ADC_CTRL2.ON 来打开 ADC。当设置 ADC_CTRL2.ON 时，它将 ADC 从断电状态唤醒。在 ADC 的上电延迟(tSTAB)之后，用户可以通过轮询 ADC_STS.RDY 来检查上电是否完成。

可以通过清除 ADC_CTRL2.ON 将 ADC 置于断电模式来停止转换。在这种模式下，ADC 几乎不消耗功率（仅几 μA）。可以通过轮询 ADC_STS.PDRDY 来检查掉电情况。

在 ADC 禁用的时候，默认都是 power-down 模式。

17.3.3 通道选择

每个通道可以配置为规则序列和注入序列。

注入序列由多次转换组成，最多 4 次。ADC_JSEQ 寄存器指定注入通道和注入通道的转换顺序。ADC_JSEQ.JLEN[1:0]指定注入序列长度。

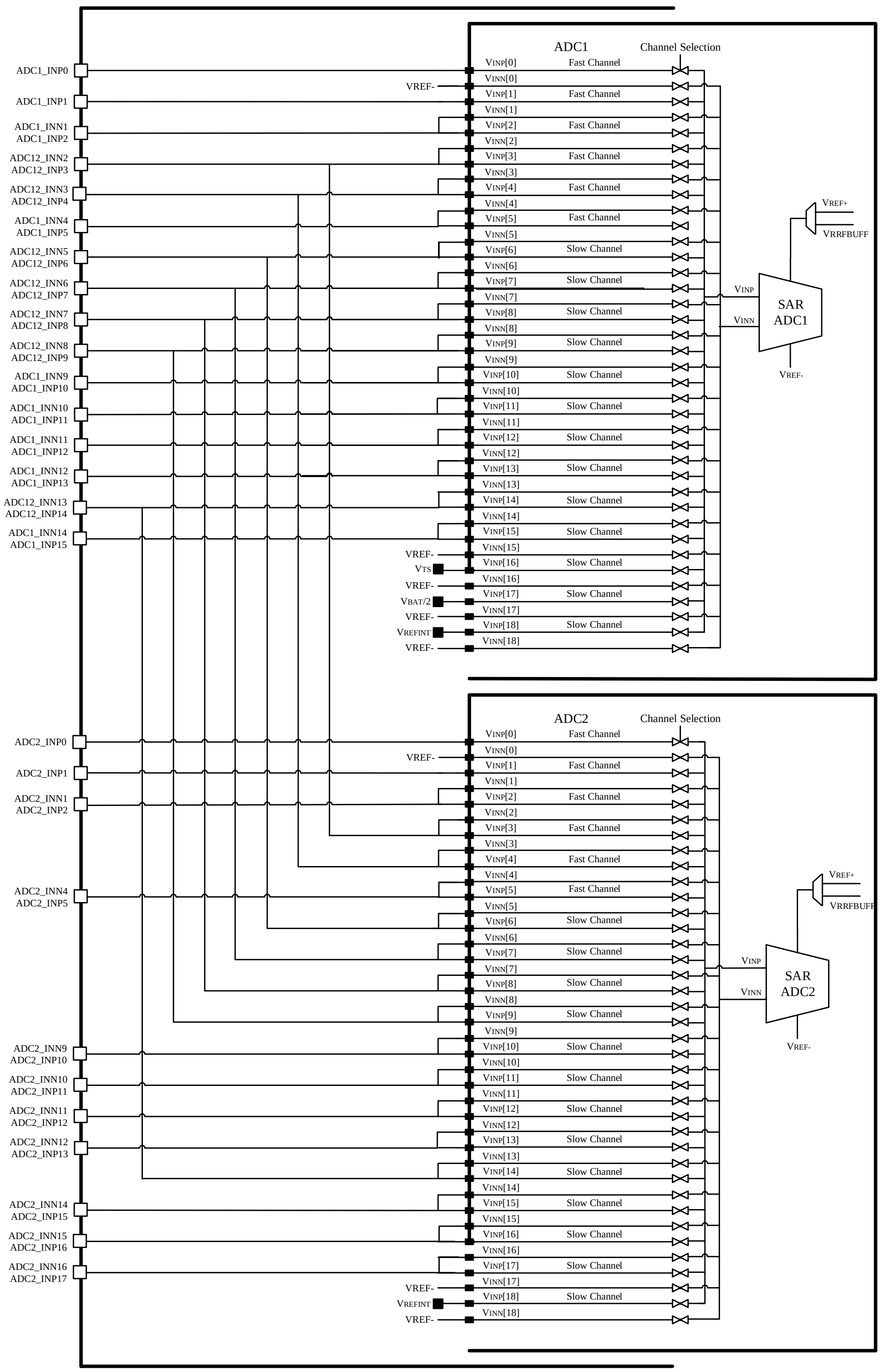
规则序列由多次转换组成，最多 16 次。ADC_RSEQx 寄存器指定规则通道和规则通道的转换顺序。ADC_RSEQ3.LEN[3:0]指定规则通道序列长度。

注意：在转换期间，禁止更改 ADC_RSEQx 或 ADC_JSEQ 寄存器；ADC_RSEQx 或 ADC_JSEQ 寄存器只能在 ADC 空闲时更改。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

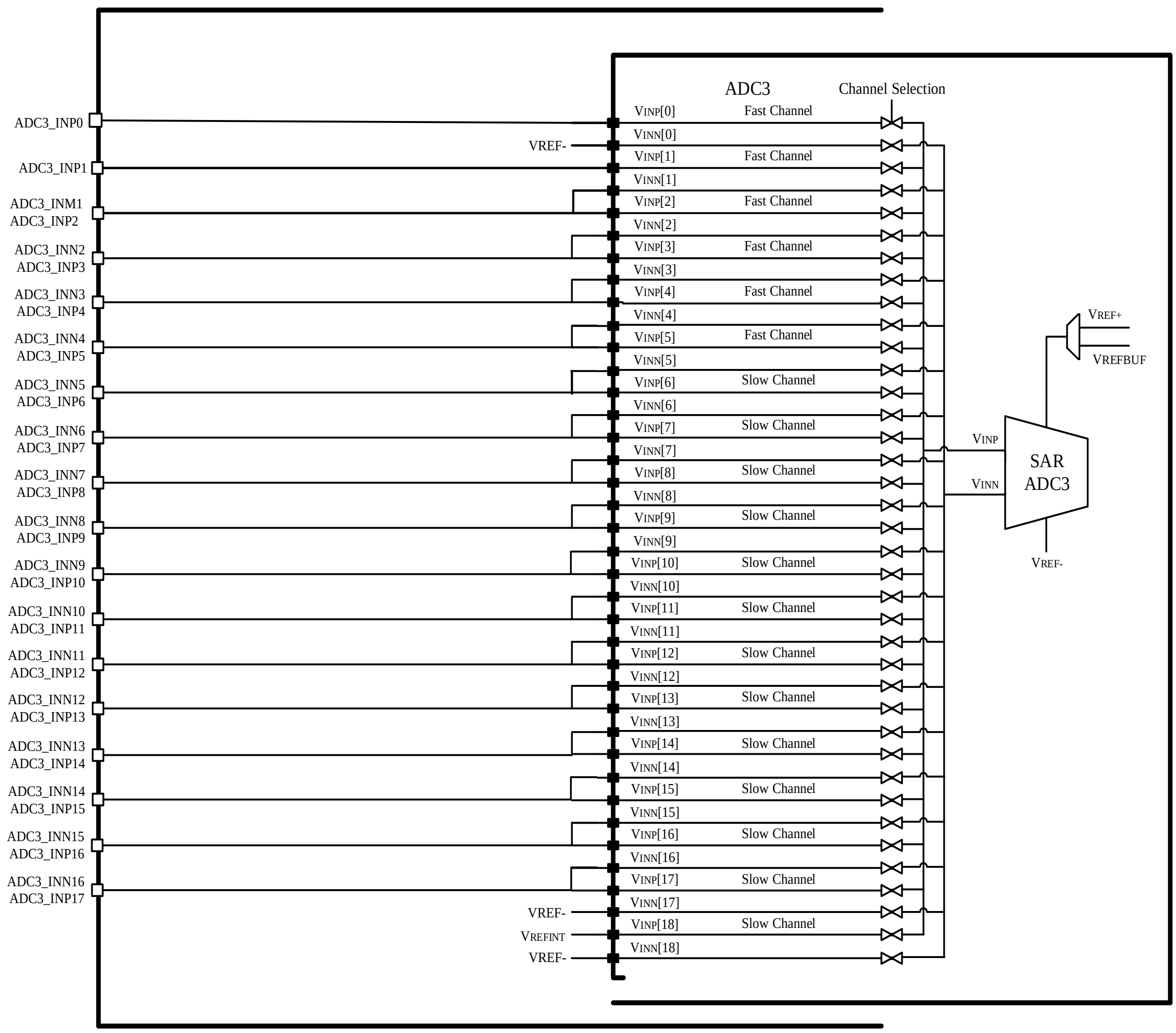
图 17-3 ADC1 与 ADC2 通道连接

- VREFBUFF：ADC内部参考电压，2.048V/2.5V/2.9V
- VREFINT：内部1.2V BG Buffer
- VTS：内部温度传感器



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 17-4 ADC3 通道连接



17.3.4 内部通道

- 温度传感器连接到 ADC1_IN16
- $V_{BAT/2}$ 连接到 ADC1_IN17
- V_{REFINT} 连接到 ADC1_IN18，ADC2_IN18，ADC3_IN18；

ADC 内部通道可以按规则或者注入通道的方式进行转换。

17.3.5 单端与差分输入通道

用户可通过写入 ADC_DIFSEL.DIFSEL[17:0]位将通道配置为单端输入或差分输入。

在单端输入模式下，要为通道"i"转换的模拟电压是外部电压 VINP[i](正输入)与 VREF-(负输入)之差。

在差分输入模式下，要为通道"i"转换的模拟电压是外部电压 VINP[i](正输入)与 VINN[i](负输入)之差。

差分模式的输出数据是无符号数据。当 VINP[i] 为 VREF-、VINN[i] 为 VREF+ 时，输出数据为 0x000（ 12 位分辨率模式）；当 VINP[i] 为 VREF+、VINN[i]为 VREF-时，输出数据为 0xFFF。转换的公式如下所示：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

$$OUT = \frac{Full\_Scale}{2} * (1 + \frac{VINP - VINN}{VREF +})$$

OUT：表示转换到 ADC 结果寄存器的值；

Full_Scale：表示 ADC 的满量程值。12bit 情况下为 0 – 0xFFF。

VREF+：表示 ADC 的参考电压；

VINP：表示 ADC 的正输入电压；

VINN：表示 ADC 的负输入电压；

17.3.6 ADC 校准

为了减少误差，ADC 具有内置的自校准机制。在 A/D 转换之前，计算每个电容器的误差修正值。该值用于消除转换期间内部电容器组引起的误差。执行任何 ADC 操作之前都必须进行校准。校准可消除各芯片间的系统误差。

每次 ADC 掉电时，内部模拟校准系数都会丢失（例如：芯片进入待机模式或 VBAT 模式时）。这种情况下，为了避免浪费时间重新校准 ADC，可将校准系数重新写入 ADC_CALFACT.CALFACTS[6:0] 和 ADC_CALFACT.CALFACTD[6:0] 寄存器，但前提是软件将之前保存的上次校准时得出的校准系数存在掉电保持域（例如 Flash）。然后开启校准自动载入功能（即 ADC_CTRL3.CALALD = 1），可以省去一次校正的时间。

当 ADC_CTRL2.ON = 0 时，内部的校准系数并不会丢失。但如果长时间不使用 ADC，还是建议用户在使能 ADC 工作的之前，重新对 ADC 做一次校准。如果想要复位校准系数，可以设置 ADC_CTRL2.RSTCAL = 1。

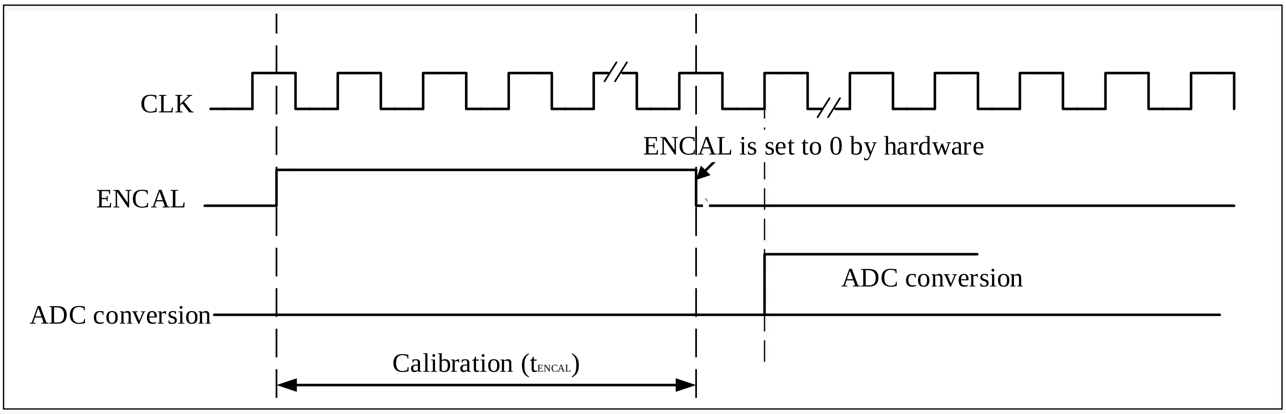
ADC 校准流程：

1. 确保 ADC 处于开启状态，ADC_CTRL2.ON = 1；
2. 当开启单端模式校准时，设置 ADC_CTRL3.CALDIF = 0，否则设置 ADC_CTRL3.CALDIF =1；
3. 设置 ADC_CTRL2.ENCAL = 1，开启校准；
4. 等待 ADC_CTRL2.ENCAL 被硬件清 0，表示校准完成。当校准完成后，会将校准系数写入到 ADC_CALFACT 寄存器（当开启了单端输入模式，会将校准系数写入到 ADC_CALFACT.CALFACTS[6:0]，当开启差分输入模式时，会将校准系数写入到 ADC_CALFACT.CALFACTD[6:0]）；
5. 用户可以选择从 ADC_CALFACT 寄存器中读取到校准系数。

注意：在校准开始的这段时间，不能开启自动校准自动载入（ADC_CTRL3.CALALD = 1）的功能，否则会影响校准的精度。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 17-5 校准时序图



17.3.7 单次转换模式

ADC 可以通过配置 ADC_CTRL2.CTU 为 0 进入单次转换模式。

在该模式下，可以采用以下方式启动转换：

1：规则通道软件触发 ADC_CTRL2.SWSTRRCH = 1，外部触发源 ADC_CTRL2.EXTRSEL[5:0]配置为 SWSTRRCH ；

2：注入通道软件触发 ADC_CTRL2.SWSTRJCH = 1，外部触发源 ADC_CTRL2.EXTJSEL[5:0]配置为 SWSTRJCH；

3：外部事件触发(规则通道或者注入通道)；

当转换一个规则通道时，转换完成时，任意规则通道转换结束标志（ADC_STS.ENDCA）将被置 1。如果任意规则通道转换结束中断使能（ADC_INTEN.ENDCAIEN）位被置 1，则一个中断将生成，转换后的数据将存储在 ADC_DAT 寄存器中。

当转换一个注入通道时，转换完成时，任意注入通道转换结束标志（ADC_STS.JENDCA）将被置 1。如果任意注入通道转换结束中断使能（ADC_INTEN.JENDCAIEN）位被置 1，则一个中断将生成，转换后的数据将存储在 ADC_JDATx 寄存器中。

当转换一个规则通道序列时，转换完成时，规则通道转换结束标志（ADC_STS.ENDC）将被置 1。如果规则通道转换结束中断使能（ADC_INTEN.ENDCIEN）位被置 1，则一个中断将生成，转换后的数据将存储在 ADC_DAT 寄存器中。

当转换一个注入通道序列时，转换完成时，注入通道转换结束标志（ADC_STS.JENDC）将被置 1。如果注入通道转换结束中断使能（ADC_INTEN.JENDCIEN）位被置 1，则一个中断将生成，转换后的数据将存储在 ADC_JDATx 寄存器中。

单次转换后，ADC 会停止。

17.3.8 连续转换模式

ADC 可以通过配置 ADC_CTRL2.CTU 为 1 进入连续转换模式。在该模式下，规则通道软件或者外部事件都可以启动 ADC 开始转换，ADC 会持续转换选择的通道。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

转换开始后，当一组规则序列转换完成时，规则通道转换结束标志位（ADC_STS.ENDC）将设置为 1。如果规则通道转换结束中断使能位（ADC_INTEN.ENDCIEN）设置为 1，将产生一个中断。每次转换后的数据将存储在 ADC_DAT 寄存器中。

17.3.9 扫描模式

通过配置 ADC_CTRL1.SCAMD 为 1 可以开启扫描转换模式，通过配置四个寄存器 ADC_RSEQ1、ADC_RSEQ2、ADC_RSEQ3、ADC_JSEQ 可以选择转换通道序列，ADC 会对所有选择的规则或注入通道进行扫描转换。转换开始后，通道将一个一个转换。如果此时 ADC_CTRL2.CTU 为 1，则在所有选中的规则通道的转换完成后，将从转换序列的第一个通道重新开始转换。注入通道不支持连续转换。DMA 功能可以通过设置 ADC_CTRL2.DMAMD[1:0]为非“00”来开启，DMA 会在规则通道转换完成后将数据传输到 SRAM 中。注入通道转换的数据总是存储在 ADC_JDATx 寄存器中。

注意：双 ADC 模式时，ADC2 的规则通道上 DMA 功能需要通过 ADC1 的 DMA 来完成。三 ADC 模式时，ADC2，ADC3 的规则通道上 DMA 功能需要通过 ADC1 的 DMA 来完成。

17.3.10 注入通道管理

17.3.10.1 自动注入

如果设置了 ADC_CTRL1.AUTOJC 位，则 ADC_JSEQ 选择的注入通道将在 ADC_RSEQx 选中的规则通道转换完成后自动转换，最多可以转换 16+4 个通道。设置 ADC_CTRL2.CTU 转换序列将被连续转换。

开启该功能时，需要关闭注入通道的外部触发。

此功能不能与间断模式同时使用。

当 ADC 时钟预分频因子为 2 时，当转换序列从规则变为注入或注入变为规则时，会有 2 个 ADC 时钟间隔的延迟。当 ADC 时钟预分频因子为 4 到 8 时，当转换序列从规则变为注入或注入变为规则时，会有 1 个 ADC 时钟间隔的延迟。

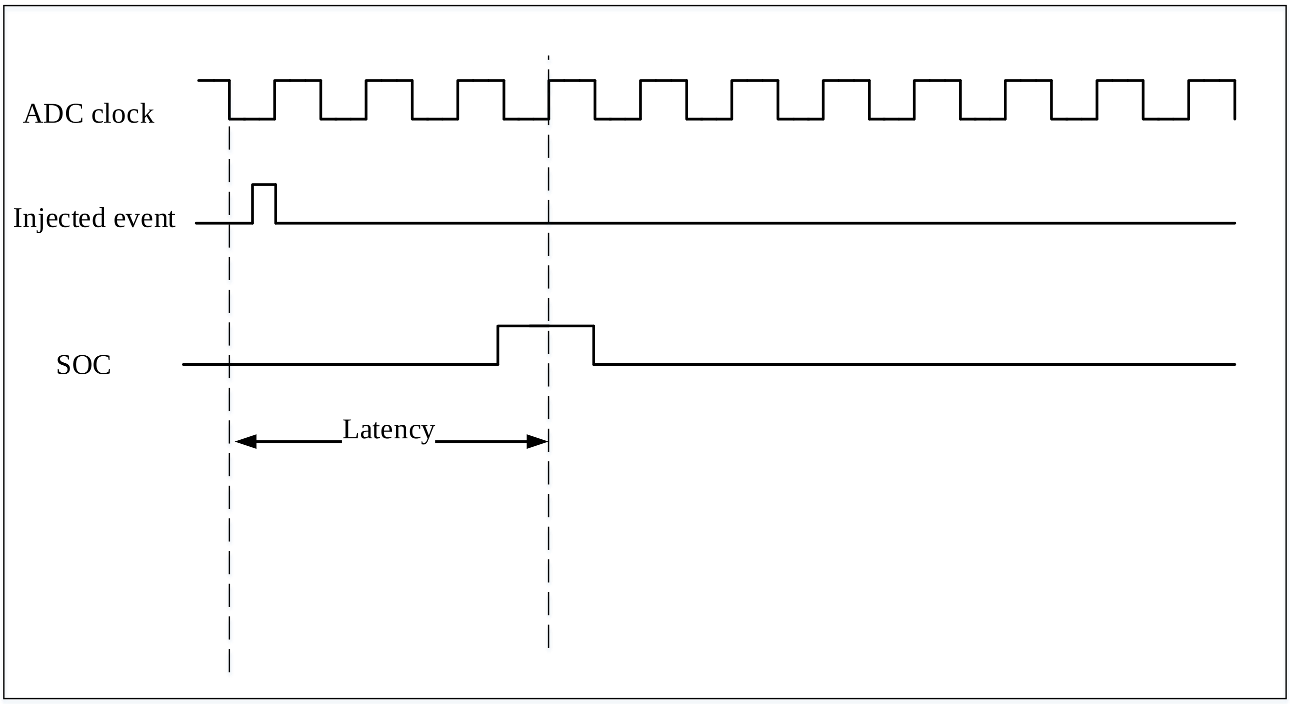
17.3.10.2 触发注入

将 ADC_CTRL1.AUTOJC 设置为 0 以开启触发注入功能。在此功能中，通过设置 ADC_CTRL2.SWSTRRCH 或通过外部触发连续转换的规则通道。规则通道转换时，如果产生外部注入触发，则暂停当前转换，注入序列通道开始转换。当注入序列通道转换完成后，将恢复中断的规则序列通道转换。如果在注入转换过程中产生了规则事件，则规则序列通道将在注入序列通道转换完成后开始转换。

使用此功能时，注入通道触发的时间间隔需要大于注入序列完成转换所需的时间。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 17-6 注入转换延时



注意：最大延迟数值请参考数据手册中有关电气特性部分。

17.3.11 间断模式

17.3.11.1 规则通道

配置 ADC_CTRL1.DREGCH 为 1，开启规则通道的间断模式，通过配置 ADC_RSEQ1、ADC_RSEQ2、ADC_RSEQ3 获取规则转换序列，配置 ADC_CTRL1.DCTU[2:0]控制每次触发后转换 n 个通道。

当触发信号产生时，对规则序列的 n 个通道进行转换然后停止，直到下一个触发信号产生，从上一次转换停止的地方开始继续转换 n 个通道，直到规则序列的所有通道被转换（如果最后一个触发发生并且转换序列中的剩余通道小于 n，则只转换剩余未转换的通道并停止转换），并且转换结束标志位也将被设置为 1.当转换序列中所有通道的转换完成后，下一个触发信号出现时，再次从规则序列的第一个通道开始转换。

17.3.11.2 注入通道

配置 ADC_CTRL1.DJCH 为 1，开启注入通道的间断模式，通过配置 ADC_JSEQ 获取注入转换序列。

当触发信号产生时，它将转换注入转换序列的 1 个通道，然后停止。直到下一个触发信号产生，它会从上一次转换停止的通道处继续转换 1 个通道，直到注入序列的所有通道都被转换，并且转换结束标志位也将设置为 1。当转换序列中所有通道的转换完成时，下一个触发信号出现时，再次从注入序列的第一个通道开始转换。

同时间只能设置规则转换和注入转换其中一种为间断模式，不能同时设置自动注入模式和间断模式。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

17.3.12 停止正在进行的转换

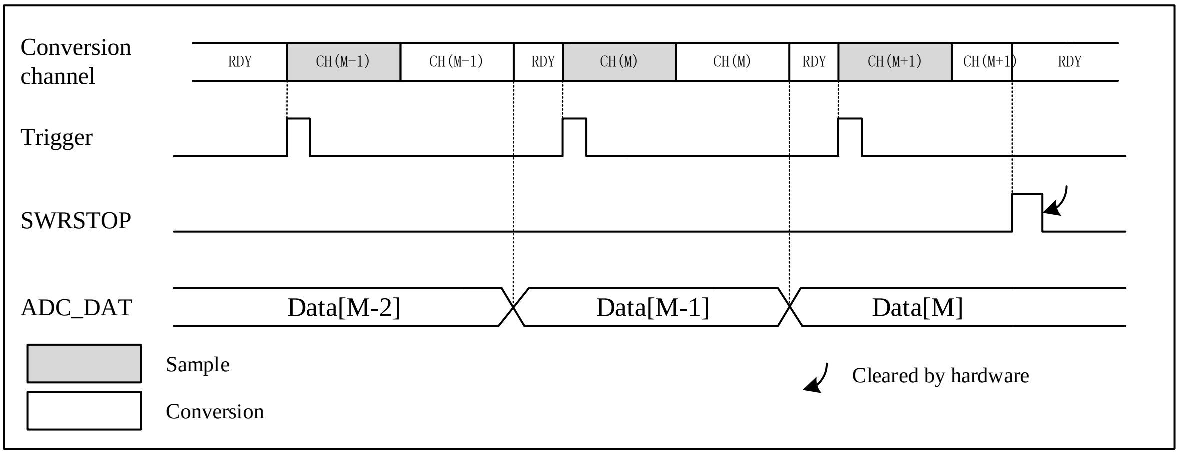
停止转换将复位正在进行的 ADC 操作。随后可重新配置 ADC（例如：更改通道选择或触发源），为新操作做好准备。如果 ADC_CTRL2.SWSTOP 被设置为 1，将会停止任何正在进行的规则转换，并会丢弃部分转换结果（ADC_DAT 寄存器不会更新为当前转换结果）。如果 ADC_CTRL2.JSWSTOP 被设置为 1，将会停止任何正在进行的注入转换，并会丢弃部分转换结果（ADC_JDATx 寄存器不会更新为当前转换结果）。扫描序列也会中止并会复位。

该程序执行完毕后，ADC_CTRL2.SWSTOP 位（规则转换时）或 ADC_CTRL2.JSWSTOP 位（注入转换时）会由硬件清零，软件必须轮询 ADC_STS.STR（或 ADC_STS.JSTR）直至其复位，然后才能判定 ADC 已完全停止运行。

注意：

1. *用户可以在规则转换仍在执行期间去停止注入转换，或者在注入转换仍在执行期间去停止规则转换。例如，用户可以规则转换仍在进行时重新配置自动注入使能，触发源以及注入通道转换序列等。在注入转换仍在进行时重新配置间断模式使能，间断长度，触发源以及规则通道转换序列等。*
2. *在自动注入模式下，将 ADC_CTRL2.SWSTOP 位置 1 会中止规则转换和注入转换。*
3. *在多 ADC 模式下不能使用停止转换功能*

图 17-7 停止正在转换的规则通道

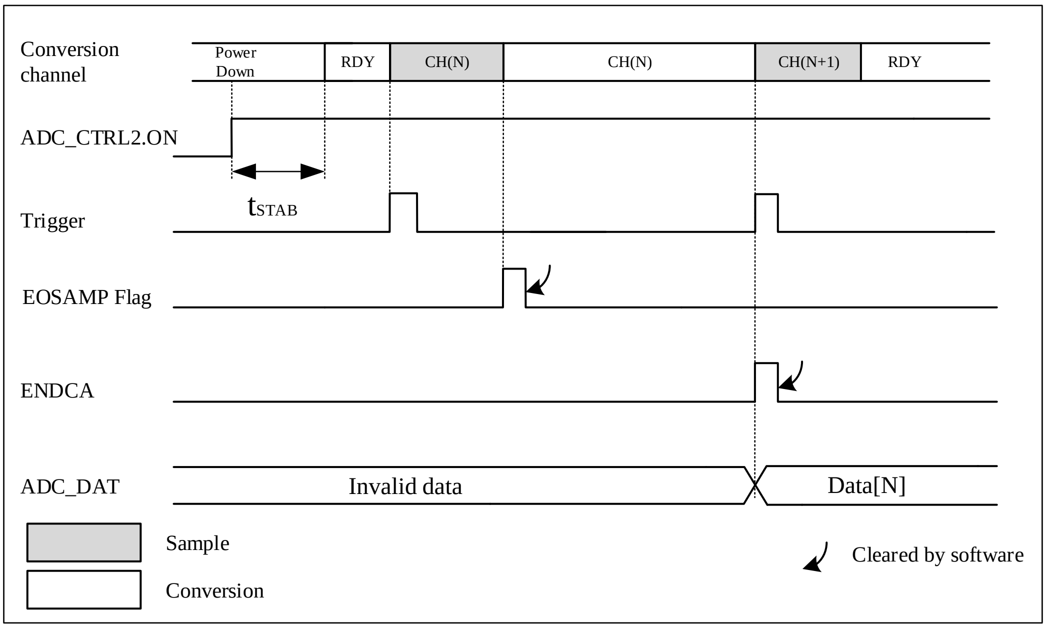


17.3.13 时序图

ADC_CTRL2.ON 首次设置为 1 时，ADC 上电。ADC 上电后，ADC 需要一定时间 t_{STAB} 来保证其稳定性。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 17-8 时序图



17.3.14 采样结束、转换结束标志

每次出现常规转换结束 (ENDCA) 事件和注入转换 (JENDCA) 事件时，ADC 都会通知应用，新的规则通道转换数据会在 ADC_DAT 寄存器中更新，ADC 会立即将 ADC_STS.ENDCA 标志置 1 。如果 ADC_INTEN.ENDCAIEN 位置 1, 可产生中断。ADC_STS.ENDCA 标志可通过由软件向其写入 1 的方式来清零。

新的注入通道转换数据会在 ADC_JDATx 寄存器中更新，ADC 会立即将 ADC_STS.JENDCA 标志置 1。如果 ADC_INTEN.JENDCAIEN 位置 1，可产生中断。ADC_STS.JENDCA 标志可通过由软件向其写入 1 的方式来清零。

ADC 还通过将 ADC_STS.EOSAMP 状态位置 1 来指示采样阶段结束（仅限规则转换通道）。如果 ADC_INTEN.EOSMPIEN 位置 1，可产生中断。ADC_STS.EOSAMP 标志可通过由软件向其写入 1 的方式来清零。

17.3.15 模拟看门狗

17.3.15.1 模拟看门狗 1

可以通过设置 ADC_CTRL1.AWDGERCH 为 1 在规则通道上打开模拟看门狗 1。可以通过配置 ADC_AWD1HIGH.HTH[11:0] 设置模拟看门狗 1 的高阈值，模拟看门狗 1 的低阈值可以通过 ADC_AWD1LOW.LTH[11:0]来设置。模拟看门狗的阈值与数据对齐的方式无关，因为 ADC 的转换值与阈值的比较是在对齐之前完成。当 ADC 转换的值高于模拟看门狗的高阈值或低于模拟看门狗的低阈值时，则模拟看门狗标志(ADC_STS.AWDG1)将被置为 1，如果 ADC_INTEN.AWD1IEN 已配置为 1，此时会产生中断。通过配置 ADC_CTRL1.AWD1SGLEN 和 ADC_CTRL1.AWD1CH[4:0]，可以控制模拟看门狗作用于一个或多个通道，如表 17-2 所示。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 17-2 模拟看门狗通道选择

模拟看门狗开启的通道	ADC_CTRL1寄存器控制位		
	AWD1SGLEN	AWD1ERCH	AWD1EJCH
无	任意值	0	0
所有注入通道	0	0	1
所有规则通道	0	1	0
所有注入和规则通道	0	1	1
单一的注入通道	1	0	1
单一的规则通道	1	1	0
单一的注入或规则通道	1	1	1

如果 ADC 转换的模拟电压低于阈值下限或高于阈值上限，则模拟看门狗 1 状态位会置 1。如果转换的数据分辨率小于 12 位（取决于 ADC_CTRL3.RES[2:0] 位），编程阈值的 LSB 必须保持清零状态，并且会在内部对完整的 12 位转换数据进行比较（左对齐到半字边界）。

表 17-3 模拟看门狗 1/2/3 比较

分辨率	对齐方式	原始数据与阈值的比较		注释
		原始数据	阈值	
12-bit	左对齐	DATA[11:0]	HTH[11:0]和LTH[11:0]	-
	右对齐			
10-bit	左对齐	DATA[11:2] + 00	HTH[11:0]和LTH[11:0]	HTH[1:0]和LTH[1:0]必须为0
	右对齐	00 + DATA[9:0]		-
8-bit	左对齐	DATA[11:4] + 0000	HTH[11:0]和LTH[11:0]	HTH[3:0]和LTH[3:0]必须为0
	右对齐	0000 + DATA[7:0]		-
6-bit	左对齐	DATA[11:6] + 000000	HTH[11:0]和LTH[11:0]	HTH[5:0]和LTH[5:0]必须为0
	右对齐	000000 + DATA[6:0]		-

17.3.15.1.1 模拟看门狗 1 滤波

看门狗 1 滤波功能仅用于在单一通道（规则通道或者注入通道）上使用看门狗（即 ADC_CTRL3.AWD1SGLEN = 1）。如果转换的结果不在阈值范围内，且超限次数超过 ADC_AWD1LOW.AWDFIL[2:0]，那么 ADC_STS.AWDG1 标志会被置起，如果 ADC_INTEN.AWD1IEN 被置 1，也会产生相应的中断事件。

17.3.15.2 模拟看门狗 2/3

模拟看门狗 2 和 3 更加灵活，可通过编程 ADC_ AWDxEN.AWDxEN[18:0]（x=2、3）中的相应位来保护多条已选通道。ADC_AWDxEN.AWDxEN[18:0]（x=2、3）的任何位置 1 时，会使能相应的看门狗。如果转换的数据分辨率小于 12 位（取决于 ADC_CTRL3.RES[2:0]位），编程阈值的 LSB 必须保持清零状态，并且会在内部对完整的 12 位转换数据进行比较（左对齐到半字边界）。如表 17-3 所示。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

17.3.15.3 ADCy_AWDx_OUT 信号输出生成

每个模拟看门狗都关联到一个内部硬件信号 ADCx_AWDy_OUT（x＝ADC 编号，y＝ 看门狗编号），该信号直接连接到一些片上定时器的 ETR 输入（外部触发）。当关联的模拟看门狗使能时，ADCx_AWDy_OUT 会激活：

- 当受保护的转换超出编程阈值时，ADCx_AWDy_OUT 会置 1。
- 在编程阈值范围内的下一受保护转换结束后，ADCx_AWDy_OUT 会复位（如果下一受保护转换仍超出编程阈值范围，该位仍保持置 1）。

•禁止 ADC 时（将 ADC_CTRL2.ON 置 0 时），ADCx_AWDy_OUT 也保持复位状态。请注意，停止规则通道转换或注入通道转换（将 ADC_CTRL2.SWRSTOP 或 ADC_CTRL2.SWJSTOP 置 1）对 ADCy_AWDx_OUT 的生成没有任何影响。

注：模拟看门狗标志位对 ADCx_AWDy_OUT 的生成没有影响（例如：如果软件未将模拟看门狗标志清零，即模拟看门狗标志会保持为 1，此时 ADCy_AWDy_OUT 仍可翻转）。

图 17-9 ADCx_AWDy_OUT 生成(在单个规则通道上)

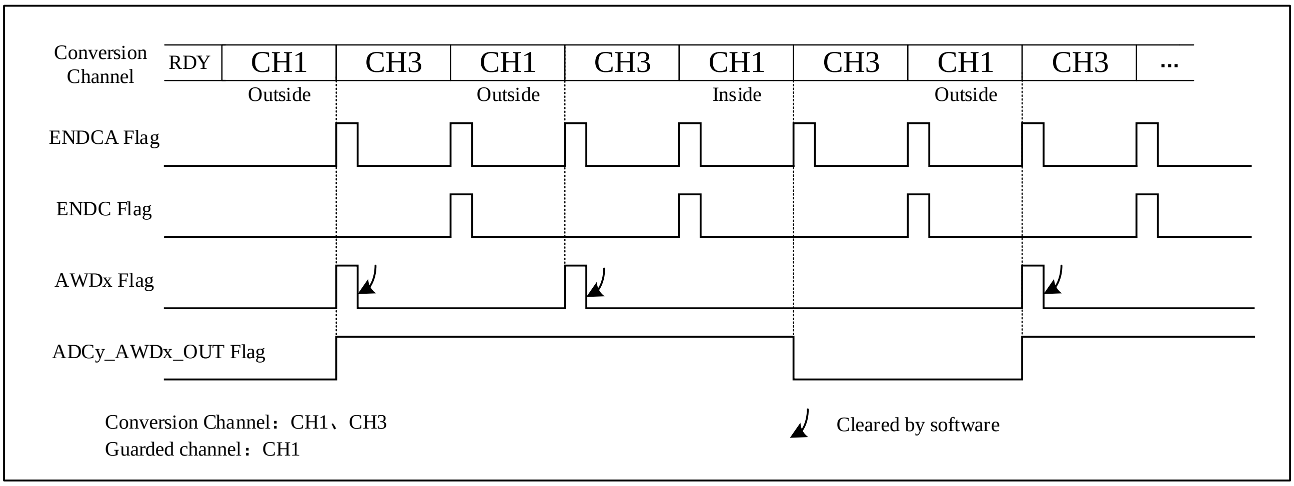
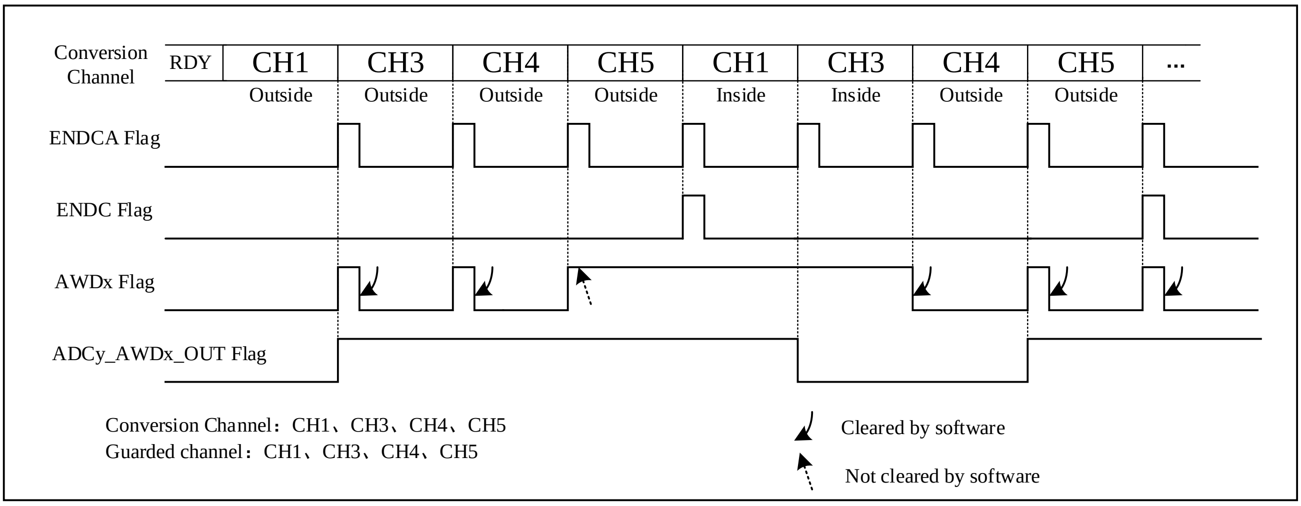
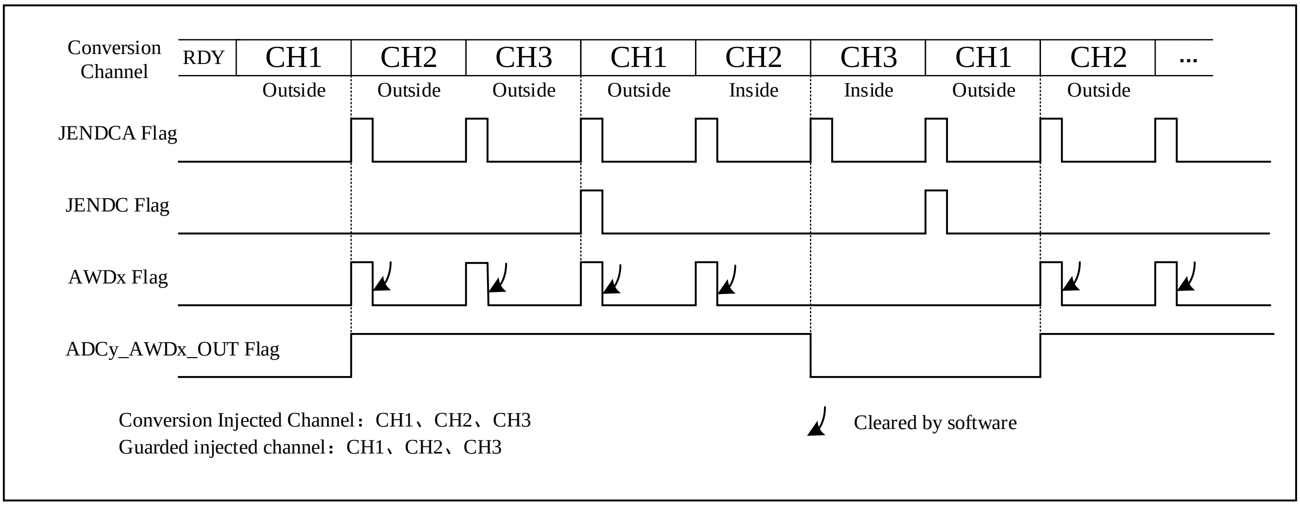


图 17-10 ADCx_AWDy_OUT 生成(在多个规则通道上)



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 17-11 ADCx_AWDy_OUT 生成(在多个注入通道上)



17.3.15.4 带增益补偿和偏移补偿的看门狗

当增益和偏移补偿被启用时，模拟看门狗会将阈值与经过补偿的数据进行比较。

注：当启用偏移补偿时（ADC_OFFSETx.OFFSCHxEN =1）,由于经过偏移补偿后的数据可能出现数据溢出或下溢，从而导致产出错误的看门狗比较结果。当启用饱和功能（ADC_OFFSETx.OFFSCHxSATEN = 1）时，看门狗的结果才是正确的。所以，当使能偏移补偿后，用户尽量避免补偿后的结果为无符号的数据，否则会出现错误的看门狗比较结果。

17.3.16 增益补偿

ADC 转换支持增益补偿。当用户使能了增益补偿（ADC_CTRL2.GCOMPEN＝1）,每次数据转换完成，就会按照以下的公式进行计算：

OUT (最终结果) = [DATA(转换结果) * ADC_GCOMP.GCOMPDAT[13:0]] / 4096

由于增益补偿系数 ADC_GCOMP.GCOMPDAT[13:0]配置范围 0~16383，故实际增益补偿的倍数范围为 0~3.9997556。增益补偿将计算后的数据进行四舍五入的方式存入 ADC_DAT 或 ADC_JDATx。

增益补偿在过采样使能时同样有效。当过采样使能时，ADC 会先进行过采样处理（包括累计以及右移的过程），之后将过采样最终的结果进行增益补偿的处理。

17.3.17 偏移补偿

通过将位 ADC_OFFSETx.OFFSCHxEN 设置为 1，可以向通道 x 应用偏移。

用户可以通过配置 ADC_OFFSETx.OFFSCHxCH[4:0]寄存器来选择用于偏移的通道；可以配置 ADC_OFFSETx.OFFSCHxDAT[11:0]来选择偏移值；可以配置 ADC_OFFSETx.OFFSCHxDIR 来选择是正向偏移还是负向偏移。可以配置 ADC_OFFSETx.OFFSCHxSATEN 来选择是否开启饱和功能。例如：当用户选择某个通道 Y 为负向偏移时，通道 Y 转换后的值将减去用户定义的偏移值，并将数据保存在结果寄存器中。只要开启偏移补偿（ADC_OFFSETx.OFFSCHxEN= 1），读取的数据是有符号的，并且 SEXT 位表示扩展的符号值。

当开启了饱和功能，以 12-bit 分辨率为例，当 ADC_OFFSETx.OFFSCHxSATEN=1 时，补偿后的数据为无符

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

号数，最小为 0x000，最大为 0xFFF。

注意：

1，过采样不支持偏移补偿, 当过采样开启，ADC_OFFSETx.OFFSCHxEN 位会被自动的忽略掉。

2，如果增益补偿和偏移补偿都使能时，先完成增益补偿，再完成偏移补偿。

表 17-4 不同分辨率的数据处理

<table>
<tr><th rowspan="2">分辨率</th><th rowspan="2">对齐方式</th><th colspan="2">原始数据与偏移数据相减</th><th rowspan="2">偏移结果</th><th rowspan="2">注释</th></tr>
<tr><th>原始数据</th><th>偏移数据</th></tr>
<tr><td rowspan="2">12-bit</td><td>左对齐</td><td rowspan="2">DATA[11:0]</td><td rowspan="2">OFFSCHxDAT[11:0]</td><td rowspan="2">有符号12-bit数据</td><td rowspan="2">-</td></tr>
<tr><td>右对齐</td></tr>
<tr><td rowspan="2">10-bit</td><td>左对齐</td><td>DATA[11:2]+ 00</td><td rowspan="2">OFFSCHxDAT[11:0]</td><td rowspan="2">有符号10-bit数据</td><td>OFFSCHxDAT [1:0]必须为0</td></tr>
<tr><td>右对齐</td><td>00 + DATA[9:0]</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">8-bit</td><td>左对齐</td><td>DATA[11:4] + 0000</td><td rowspan="2">OFFSCHxDAT[11:0]</td><td rowspan="2">有符号8-bit数据</td><td>OFFSCHxDAT [3:0]必须为0</td></tr>
<tr><td>右对齐</td><td>0000 + DATA[7:0]</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">6-bit</td><td>左对齐</td><td>DATA[11:6] + 000000</td><td rowspan="2">OFFSCHxDAT[11:0]</td><td rowspan="2">有符6-bit数据</td><td>OFFSCHxDAT [5:0]必须为0</td></tr>
<tr><td>右对齐</td><td>000000+ DATA[6:0]</td><td>-</td></tr>
</table>

17.3.18 FIFO 功能

ADC 可工作在 FIFO 模式下，可通过将 ADC_FIFO.EN 置 I 使能 FIFO 模式。

ADC 转换数据完成时，可以存储在 ADC 的 FIFO 中，ADC_FIFO 的大小为 12*32bit。FIFO 模式常与 DMA 突发传输配合使用，具体可参考 DMA 章节描述。

当 ADC_FIFO 中转换的数据量达到 ADC_FIFOCFG.WL[3:0] 位域中编程的阈值时，则 ADC_FIFOSTS.HFFLAG 会被置起:如果用户开启了半满中断 ADC_FIFOCFG.HFINTEN=1，将会生成一个中断，FIFO 中的数据可以从 ADC_DAT 寄存器读出，ADC_FIFOSTS.DATCNT[4:0]会指示当前 FIFO 中剩余的有效数据的个数。

为增加数据控制的灵活性，设计加入 ADC_FIFO 空、ADC_FIFO 半满、ADC_FIFO 满以及 ADC_FIFO 非空标志，且支持用户查询当前 FIFO 有效数据的个数 ADC_FIFOSTS.DATCNT，以满足来更多的兼容场景需求。

注：在多 ADC 模式下，如果使能 FIFO 功能，建议在每次多 ADC 模式切换后，主动清除 FIFO 中缓存的数据(设置 ADC_FIFOCFG.CLR=I)，避免在新的模式下读到模式切换前的无效数据。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

17.4 数据对齐

转换后的数据有两种对齐方式：左对齐和右对齐。对齐可以通过 ADC_CTRL2.ALIG 位设置。ADC_CTRL2.ALIG=0 为右对齐，ADC_CTRL2.ALIG=1 为左对齐。

由于经过增益补偿可能导致数据位宽增加 2bit，经过 offset 补偿后可能导致数据位宽增加 1bit。为了防止有效位被丢弃，数据格式会在原有的分辨率的基础上统一增加 3 个 bit。以下是具体的数据格式。

图 17-12 数据右对齐

12-bit：OFFSCHxEN = 1

Bit15								Bit7							Bit0
SEXT	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

12-bit：OFFSCHxEN = 0

Bit15								Bit7							Bit0
0	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

10-bit：OFFSCHxEN = 1

Bit15								Bit7							Bit0
SEXT	SEXT	SEXT	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

10-bit：OFFSCHxEN = 0

Bit15								Bit7							Bit0
0	0	0	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

8-bit：OFFSCHxEN = 1

Bit15								Bit7							Bit0
SEXT	SEXT	SEXT	SEXT	SEXT	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

8-bit：OFFSCHxEN = 0

Bit15								Bit7							Bit0
0	0	0	0	0	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

6-bit：OFFSCHxEN = 1

Bit15								Bit7							Bit0
SEXT	SEXT	SEXT	SEXT	SEXT	SEXT	SEXT	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

6-bit：OFFSCHxEN = 0

Bit15								Bit7							Bit0
0	0	0	0	0	0	0	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 17-13 数据左对齐

12-bit ： OFFSCHxEN = 1

Bit15								Bit7							Bit0
SEXT	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

12-bit ： OFFSCHxEN = 0

Bit15								Bit7							Bit0
D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	0

10-bit ： OFFSCHxEN = 1

Bit15								Bit7							Bit0
SEXT	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	0	0

10-bit ： OFFSCHxEN = 0

Bit15								Bit7							Bit0
D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	0	0	0

8-bit ： OFFSCHxEN = 1

Bit15								Bit7							Bit0
SEXT	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	0	0	0	0

8-bit ： OFFSCHxEN = 0

Bit15								Bit7							Bit0
D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	0	0	0	0	0

6-bit ： OFFSCHxEN = 1

Bit15								Bit7							Bit0
SEXT	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	0	0	0	0	0	0

6-bit ： OFFSCHxEN = 0

Bit15								Bit7							Bit0
D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	0	0	0	0	0	0	0

17.5 可独立编程的通道采样时间

ADC 使用若干个 ADC_CLK 周期对输入电压采样，采样周期数目可以通过 ADC_SAMPTx.SAMPx[3:0]更改。对不同的通道，采样间隔可以独立的编程。总转换时间如下计算：

$$T_{CONV} = \text{采样时间} + 12.5 \text{ 个周期}$$

采样时间 ＝ADC_SAMPTx.SAMPx[3:0]；

注：在开始转换之前，需保证配置的采样时间足以让输入电压源将 ADC 采样电容充电至输入电压电平；

例如：

当 ADCCLK=30MHz，采样时间为 2.5 个周期且分辨率为 12bit，总转换时间就是“2.5 +12.5”，ADC_CLK 周期，就是：

$$T_{CONV} = 2.5 + 12.5 = 15 \text{ 周期} = 0.5\mu s$$

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

17.6 外部触发与触发极性选择

17.6.1 外部极性选择

对于规则序列，当 ADC_CTRL2.EXTRSEL[5:0]不等于 SWSTRRCH，规则通道可以使用外部事件的边沿触发启动转换，其中外部事件的边沿极性是可以配置的，用户可以通过 ADC_CTRL2.EXTPRSEL[1:0]来选择触发极性为上升沿（0b'01），下降沿（0b'10）或者上升和下降沿（0b'11）触发。

对于注入序列，当 ADC_CTRL2.EXTJSEL[5:0]不等于 SWSTRJCH，则注入通道可以使用外部事件的边沿触发启动转换，其中外部事件的边沿极性是可以配置的，用户可以通过 ADC_CTRL2.EXTPJSEL[1:0]来选择触发极性为上升沿（0b'01），下降沿（0b'10）或者上升和下降沿（0b'11）触发。

表 17-5 为规则或注入通道外部触发配置极性

EXTPRSEL[1:0] / EXTPJSEL[1:0]	有效边沿
00	禁止硬件触发检测，使能软件触发检测
01	在上升沿执行硬件触发检测
10	在下升沿执行硬件触发检测
11	在上升沿和下降沿均执行硬件触发检测

17.6.2 外部触发源

表 17-6 规则/注入通道的外部触发源选择

EXTRSEL[5:0]	触发源	类型
000000	ATIM1_CC4事件	来自片上定时器的内部信号
000001	ATIM1_TRGO事件	
000010	ATIM1_TRGO2事件	
000011	ATIM2_CC4事件	
000100	ATIM2_TRGO事件	
000101	ATIM2_TRGO2事件	
000110	ATIM3_CC4事件	
000111	ATIM3_TRGO事件	
001000	ATIM3_TRGO2事件	
001001	GTIM1_ CC4事件	
001010	GTIM2_ CC4事件	
001011	GTIM3_ CC4事件	
001100	GTIM4_ CC4事件	
001101	GTIM5_ CC4事件	
001110	GTIM6_ CC4事件	
001111	GTIM7_ CC4事件	

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

EXTRSEL[5:0]	触发源	类型
010000	GTIM8_ CC4事件	
010001	GTIM9_ CC4事件	
010010	GTIM10_ CC4事件	
010011	GTIM1_TRGO事件	
010100	GTIM2_TRGO事件	
010101	GTIM3_TRGO事件	
010110	GTIM4_TRGO事件	
010111	GTIM5_ TRGO事件	
011000	GTIM6_TRGO事件	
011001	GTIM7_TRGO事件	
011010	GTIM8_TRGO事件	
011011	GTIM9_TRGO事件	
011100	GTIM10_TRGO事件	
011100 ~ 100110	保留	
100111	LPTIM1_OUT事件	
101000	LPTIM2_OUT事件	
101001	EXTI 线0~15事件	外部引脚
101010	SWSTRRCH/ SWSTRJCH	软件控制位

17.7 过采样

过采样单元执行数据预处理，以此可以减轻 CPU 数据处理的负担。它能够处理多个转换，并将它们平均成一个具有增加数据宽度的单一数据，过采样可以将分辨率支持最多提高到 16 位。

它提供了以下形式的结果，其中 N 和 M 可以进行调整：

$$Result = \frac{1}{M}\sum_{n=0}^{n=N-1} \mathrm{Conversion}(t_n)$$

过采样比 N 是使用 ADC_CTRL3.OSR[3:0]位来定义的，可以从 2x 到 256x 不等。除法系数 M 由右位移最多 8 位组成，使用 ADC_CTRL3.OSS[3:0]位来定义。

求和单元可以产生最多 20 位的结果（256*0xFFF 结果），首先进行右移。然后将其截断为最低有效位的 16 位，使用位移导致的最低有效位之间的最小差值四舍五入到最接近的值，然后最终传送到 ADC_DAT 数据寄存器中。请参考下图

注意：如果位移后的中间结果超过 16 位，结果将被截断，不进行饱和处理。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 17-14 20-bit 数据截断为 16-bit 示意图

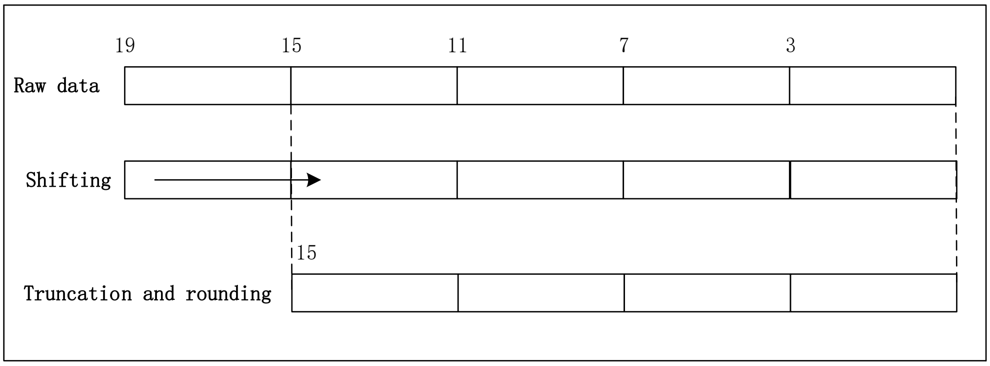


图 17-15 经过 5-bit 右移和四舍五入后的数据处理示意图

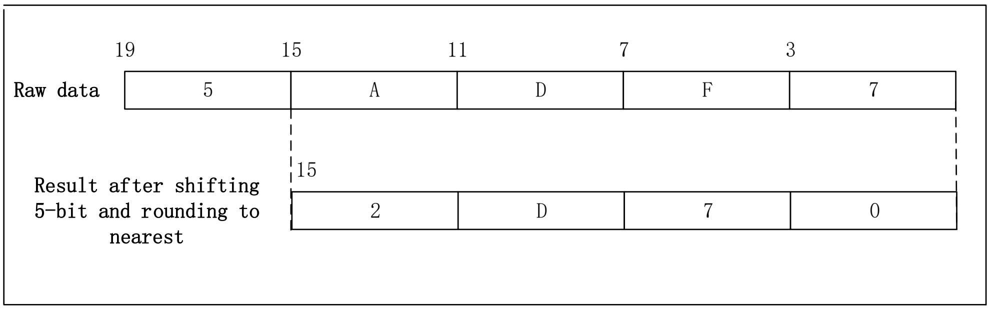


表 17-7 经过过采样处理后的最大输出结果

OSR[3:0]	过采样后源数据	无右移 OSS[3:0]= 0000	1-bit 右移 OSS[3:0]= 0001	2-bit 右移 OSS[3:0]= 0010	3-bit 右移 OSS[3:0]= 0011	4-bit 右移 OSS[3:0]= 0100	5-bit 右移 OSS[3:0]= 0101	6-bit 右移 OSS[3:0]= 0110	7-bit 右移 OSS[3:0]= 0111	8-bit 右移 OSS[3:0]= 1000
0000	0x0FFF	0x0FFF	0x0800	0x0400	0x0200	0x0100	0x0080	0x0040	0x0020	0x0010
0001	0x1FFE	0x1FFE	0x0FFF	0x0800	0x0400	0x0200	0x0100	0x0080	0x0040	0x0020
0010	0x3FFC	0x3FFC	0x1FFE	0x0FFF	0x0800	0x0400	0x0200	0x0100	0x0080	0x0040
0011	0x7FF8	0x7FF8	0x3FFC	0x1FFE	0x0FFF	0x0800	0x0400	0x0200	0x0100	0x0080
0100	0xFFF0	0xFFF0	0x7FF8	0x3FFC	0x1FFE	0x0FFF	0x0800	0x0400	0x0200	0x0100
0101	0x1FFE0	0xFFE0	0xFFF0	0x7FF8	0x3FFC	0x1FFE	0x0FFF	0x0800	0x0400	0x0200
0110	0x3FFC0	0xFFC0	0xFFE0	0xFFF0	0x7FF8	0x3FFC	0x1FFE	0x0FFF	0x0800	0x0400
0111	0x7FF80	0xFF80	0xFFC0	0xFFE0	0xFFF0	0x7FF8	0x3FFC	0x1FFE	0x0FFF	0x0800
1000	0xFFF00	0xFF00	0xFF80	0xFFC0	0xFFE0	0xFFF0	0x7FF8	0x3FFC	0x1FFE	0x0FFF

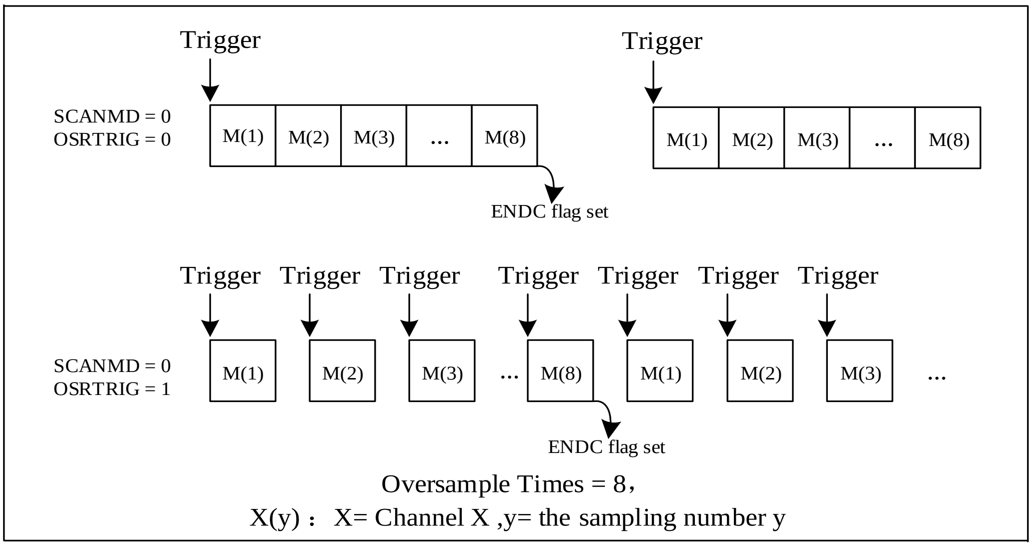
注：灰色数据单元格表示该数据被截断处理；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

17.7.1 触发模式

规则通道触发模式支持连续触发（ADC_CTRL3.OSRTRIG =0）和单次触发（ADC_CTRL3.OSRTRIG =1）：在连续模式下，规则通道接收到一次触发后完成连续 N 次采样；在单次触发模式下，规则通道接收到一次触发仅完成一次采样，具体如下图所示：

图 17-16 外部触发规则过采样模式



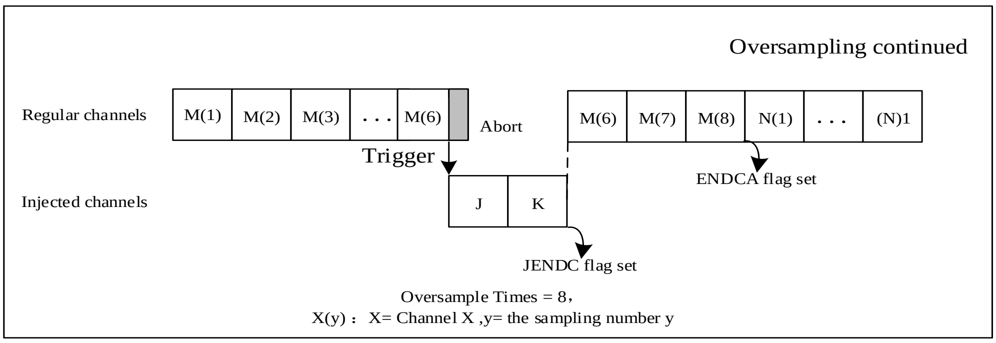
17.7.2 规则通道过采样

常规过采样模式位 ADC_CTRL3.OSRMD 定义了如果当注入转换中断了正常过采样序列，正常过采样序列将如何恢复：

在连续模式（ADC_CTRL3.OSRMD = 0）下，累积重新从上次有效数据开始。这确保了无论注入频率如何（只要在触发之间至少可以完成一个常规转换），都会完成过采样；

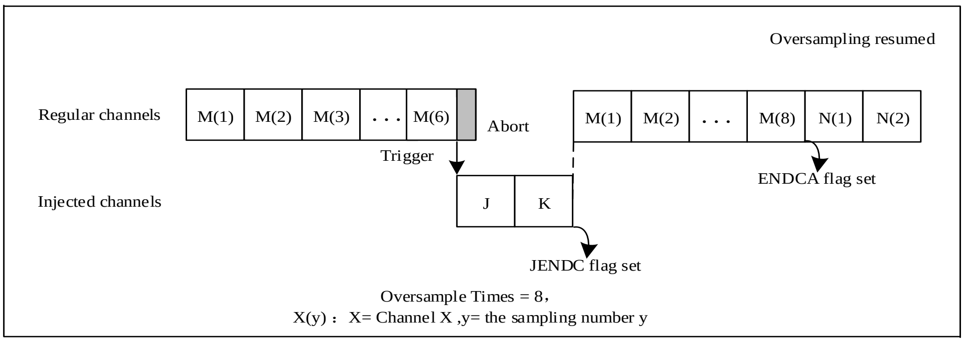
在重置模式（ADC_CTRL3.OSRMD＝1）下，累积从 0 重新开始（之前的转换结果被忽略）。这种模式允许确保用于过采样的所有数据都在单个时间段内连续转换完成。必须注意确保注入触发周期超过过采样周期长度，如果不满足此条件，过采样无法完成，并且正常序列器将被阻塞。

图 17-17 常规过采样连续模式



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 17-18 常规过采样重置模式



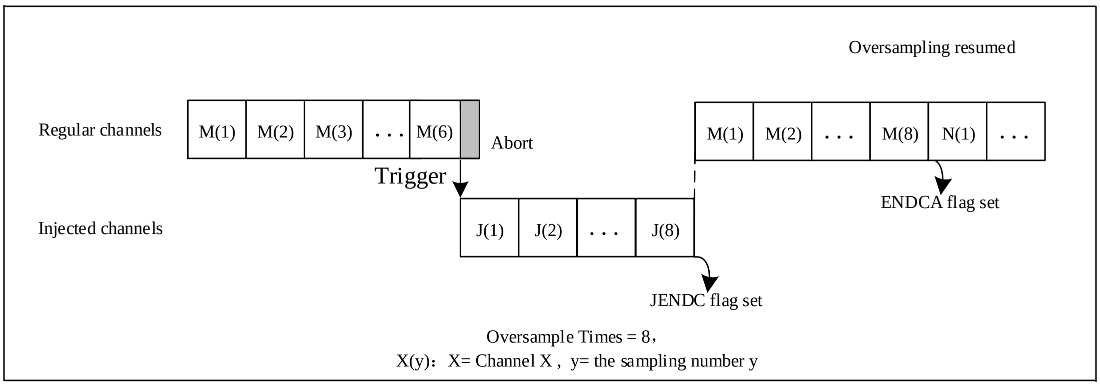
17.7.3 注入通道过采样

注入过采样模式位 ADC_CTRL3.OSJE= 1 仅允许对注入通道序列的转换进行过采样。

17.7.4 规则和注入通道过采样

当同时使能 ADC_CTRL3.OSJE 与 ADC_CTRL3.OSRE 时，意味着同时打开规则通道和注入通道的过采样，那么此时规则通道过采样模式仍然可以配置为重置模式或者连续模式。如下图所示；

图 17-19 规则和注入过采样

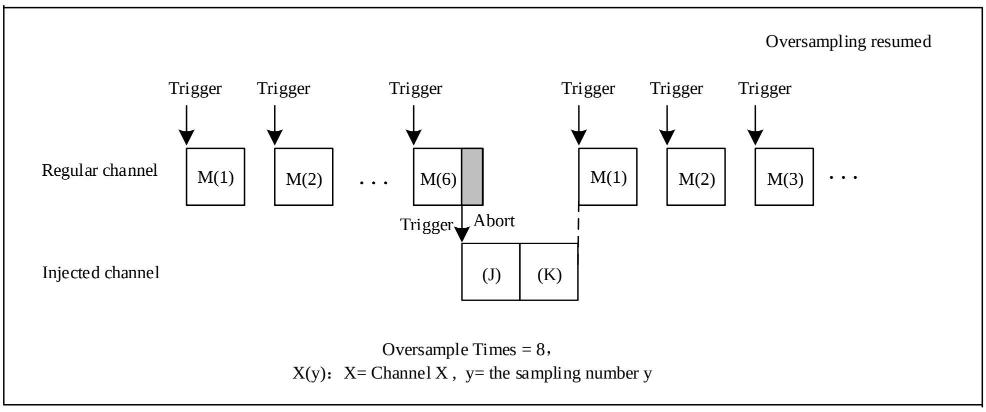


17.7.5 带注入转换的触发规则通道过采样

在触发的规则模式中（ADC_CTRL3.OSRTRIG =1），可以与注入转换一起使用。示意图如下所示：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

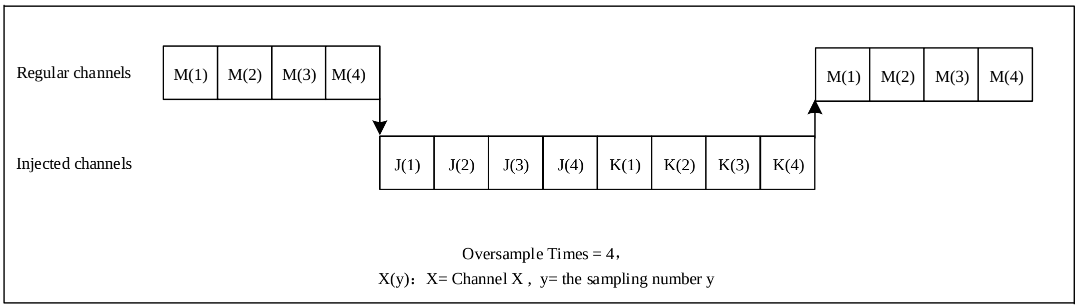
图 17-20 带注入转换的触发规则通道过采样



17.7.6 自动注入模式

自动注入序列也可以进行过采样，此模式需要同时使能规则和注入通道的过采样，即 ADC_CTRL3.OSJE = 1，ADC_CTRL3.OSRE = 1，ADC_CTRL1. AUTOJC = 1。在自动注入模式中，规则通道过采样模式会被忽略。在自动注入模式下进行过采样时，也可以使能触发模式，即保证 ADC_CTRL3.OSJE = 1，ADC_CTRL3.OSRE = 1，ADC_CTRL1. AUTOJC = 1，ADC_CTRL3.OSRTRIG =1。下图显示了转换的顺序；

图 17-21 自动注入模式下的过采样



17.7.7 多 ADC 模式

当双 ADC 或者 3ADC 使能时，也可以开启过采样，这需要每个 ADC 的配置需要完全相同。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

17.8 DMA 请求

为避免多个规则通道转换时数据过多，导致 ADC_DAT 寄存器中保存的规则通道转换结果丢失，可以将ADC_CTRL2.DMAMD[1:0]位设置为 0b01，以此使用 DMA。当 ADC 规则通道转换结束时，会产生一个 DMA 请求。DMA 收到请求后，会将转换后的数据从 ADC_DAT 寄存器传送到用户指定的目标地址。

注意：独立 ADC 模式时，ADC1，ADC2，ADC3 拥有独立的 DMA 功能。

17.9 ADC 转换结果至数字滤波器（DSMU）

ADC 的转换结果可直接传输至 Δ Σ 调制器数字滤波器（DSMU）。

- 在 ADC 独立模式下
  必须将 ADC_CTRL3.DSMUEN 位设置 1，ADC_CTRL3.MDSMU 位设置 0。ADC_DSMUCHMASK 可以选择那些 ADC 通道数据传输到 DSMU 处理。
- 在多 ADC 模式下
  必须将 ADC_CTRL3.DSMUEN 位设置 1，ADC_CTRL3.MDSMU 位设置 1。

ADC 会将常规数据寄存器中数据的 16 个最低有效位（LSB）传输至 DSMU。

数据格式必须为 16 位有符号数，具体格式如下：

ADC_DAT[31:16]：无关位（无需关注）

ADC_DAT[15]：符号位（用于表示数据正负）

ADC_DAT[14:0]：数据位（存储实际有效数据）

任何超出 16 位有符号数格式范围的值都将被截断（即超出部分会被舍弃）。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

17.10 多 ADC 模式

ADC1（主）和 ADC2（从）可以组成双 ADC 模式；

ADC1（主），ADC2（从），ADC3（从）可以组成三 ADC 模式。

可以通过配置 ADC_CTRL1.MULTMODE[3:0]选择 ADC 工作的模式，可以配置为独立模式，双 ADC 模式或者三 ADC 模式，ADC 模式可配置为以下几种工作方式：

- 独立模式
- 同步注入模式
- 同步规则模式
- 交叉模式
- 交替触发模式
- 混合的同步规则+ 同步注入模式
- 混合的同步规则+ 交替触发模式
- 混合的同步注入+ 交叉模式

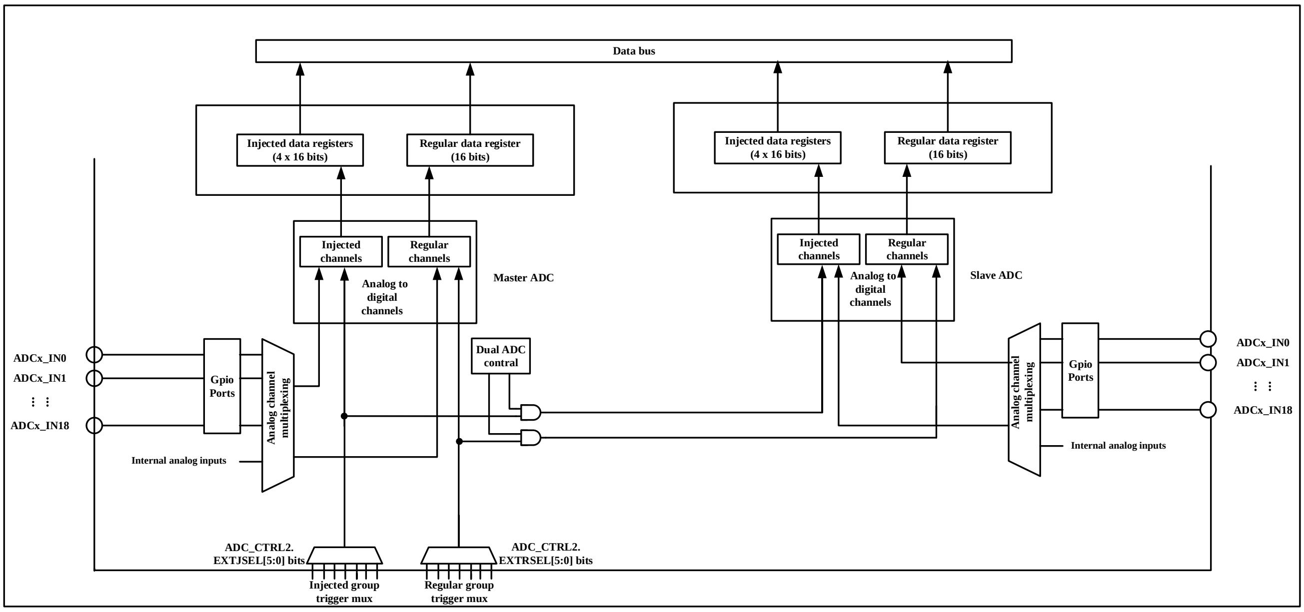
注意：

1. 当配置双 ADC 模式时，用户仅需要配置主 ADC 即可，包括外部触发极性选择(ADC_CTRL2.EXTPJSEL, ADC_CTRL2.EXTPRSEL)，外部触发选择(ADC_CTRL2.EXTJSEL, ADC_CTRL2.EXTRSEL)，从 ADC 的相关配置将会被忽略。

2. 在双 ADC 模式工作时，从 ADC 的转换数据可通过主 ADC 的数据寄存器读取。

3. 在多 ADC 模式下不能使用停止转换功能

图 17-22 双 ADC 框图



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

17.10.1 独立模式

此模式里，每个 ADC 都独立工作。

17.10.2 同步规则模式

在此模式下转换一个规则序列。外部触发来源于主 ADC 的多路选择器，由 ADC_CTRL2.EXTRSEL[5:0]决定，从 ADC 会被同步触发。

在该模式下，独立的注入转换也是支持的。注入通道的触发请求会打断当前的正在进行的规则同步转换，在注入转换完成后，规则同步转换将会重新开始。

注意：

1. 不要在多个 ADC 上转换相同的通道（两个 ADC 在同一通道上的采样时间不能重叠）。

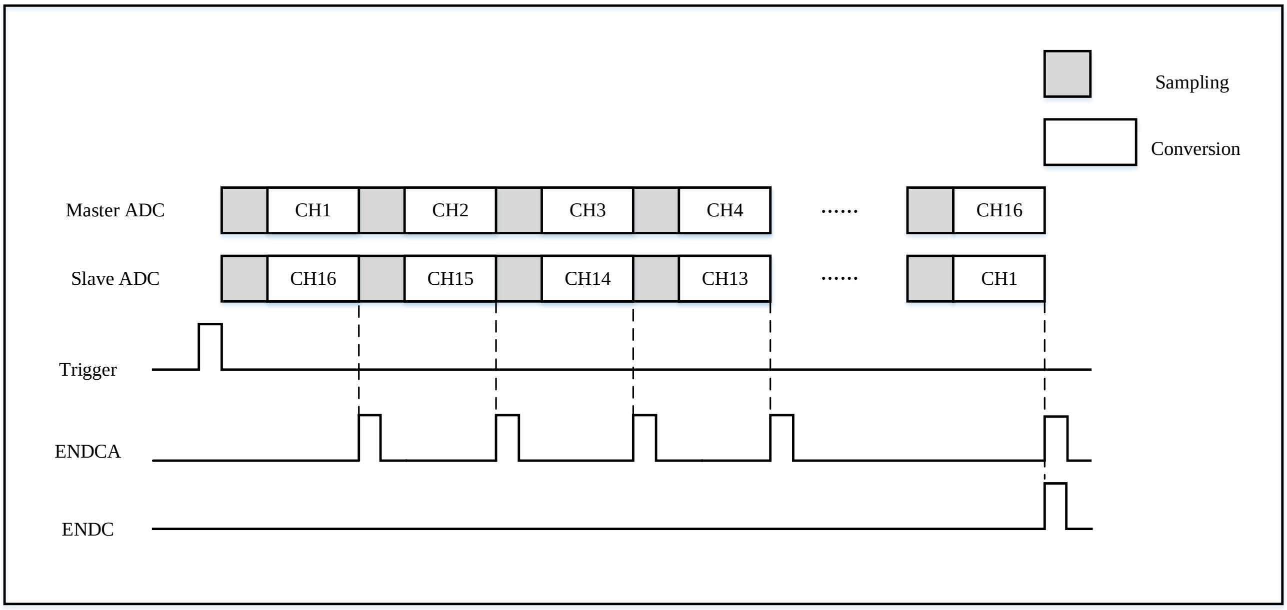
2. 在同步规则模式下，主 ADC 和从 ADC 同步转换的规则序列需要设置为一样的时间，或者触发信号的间隔大于转换时间较长的序列。如果触发信号的间隔小于转换时间较长的序列，时间较长的序列未转换完毕时，较短的序列可能会重新开始转换。

17.10.2.1 双 ADC 模式

当主 ADC 或从 ADC 转换事件（ADC_STS.ENDCA）结束时：

1. 会生成一个 32 位 DMA 传输请求（如果 ADC_CTRL2.DMAMD[1:0] 位等于 0b’10,并且主，从 ADC 均使能了 DMA 请求）。ADC_DAT 的高半字是从 ADC 的转换数据，ADC_DAT 的低半字是主 ADC 的转换数据。当使能 DMA 时，32 位的 DMA 可以用来将 ADC_DAT 的数据传送到 SRAM。
2. 如果主 ADC 或从 ADC 置位了 ADC_INTEN.ENDCAIEN, 当 ADC 的规则通道转换完毕时，会产生一个 ENDCA 中断，转换的数据会被存储在 ADC_DAT 寄存器中。

图 17-23 16 个通道的同步规则模式



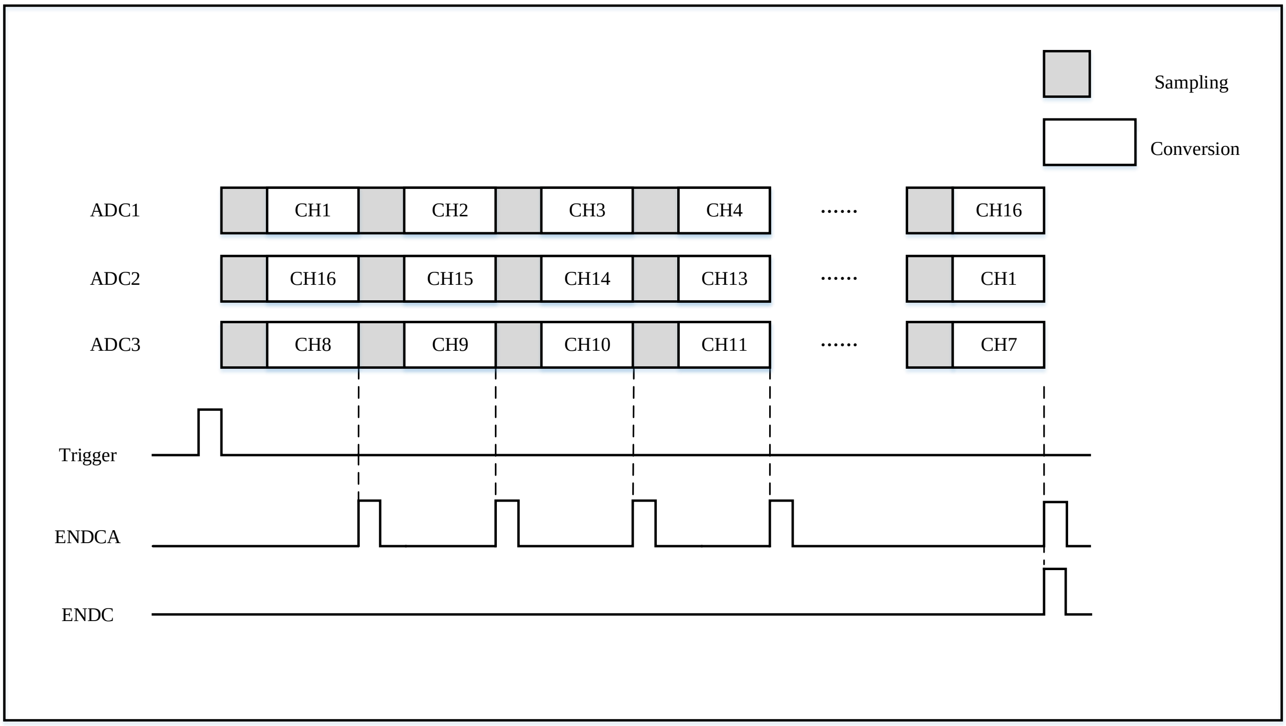
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

17.10.2.2 三 ADC 模式

当 ADC1、ADC2、或 ADC3 转换事件（ADC_STS.ENDCA）结束时：

1. 会生成 3 个 32 位 DMA 传输请求（如果 ADC_CTRL2.DMAMD[1:0] 位等于 0b'01），并且主，从 ADC 均使能了 DMA 请求）。之后会发生三次从 ADC_DAT 32 位寄存器到 SRAM 的传输：首先传输 ADC1 转换数据，然后是 ADC2 转换数据，最后是 ADC3 转换数据。每次出现新的三阶段转换时都会重复这一过程。
2. 会生成 1 个 32 位 DMA 传输请求（如果 ADC_CTRL2.DMAMD[1:0] 位等于 0b'10），并且主 ADC 使能了 DMA 请求）。之后会发生一次从 ADC_DAT 32 位寄存器到 SRAM 的传输：第一次的 ADC_DAT 的高半字是 ADC2 的转换数据，低半字是 ADC1 的转换数据；第二次的 ADC_DAT 的高半字是 ADC1 的转换数据，低半字是 ADC3 的转换数据；第三次的 ADC_DAT 的高半字是 ADC3 的转换数据，低半字是 ADC3 的转换数据。每次出现新的三阶段转换时都会重复这一过程。
3. 如果 ADC1/ADC2/ADC3 置位了 ADC_INTEN.ENDCAIEN，当 ADC 的规则通道转换完毕时，会产生一个 ENDCA 中断，转换的数据会被存储在 ADC_DAT 寄存器中。

图 17-24 16 个通道的同步规则模式



17.10.3 同步注入模式

在此模式下转换一个注入序列，外部触发来源于主 ADC 的多路开关，由 ADC_CTRL2.EXTJSEL[5:0]决定，从 ADC 会被同步触发。

17.10.3.1 双 ADC 模式

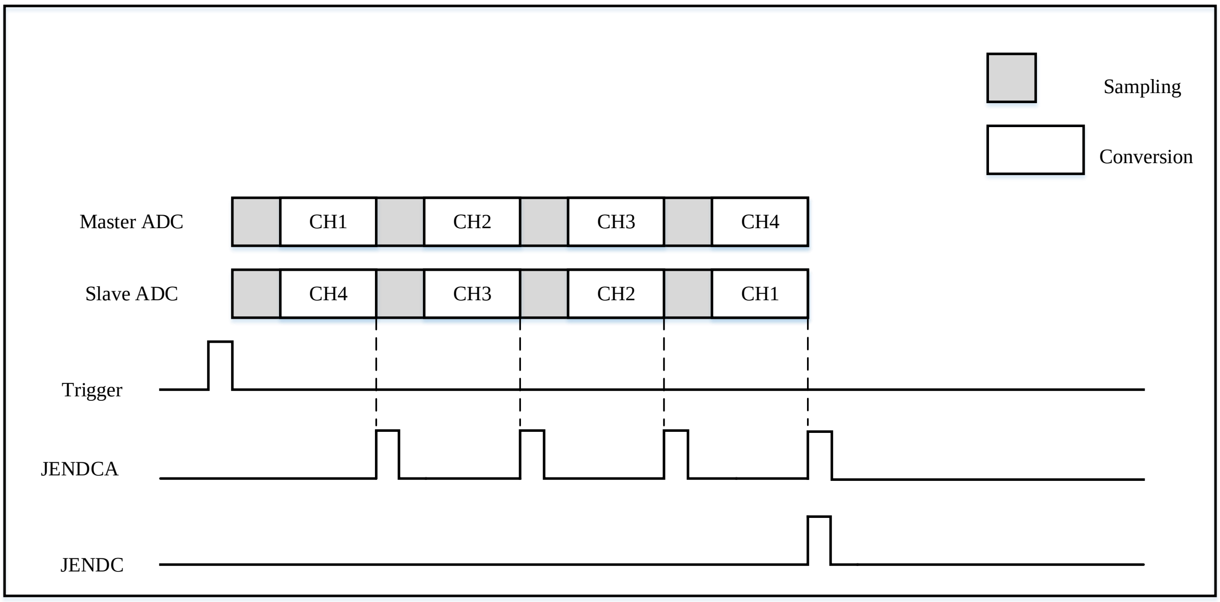
如果主 ADC 或者从 ADC 置位了 ADC_INTEN.JENDCIEN，当主 ADC 或从 ADC 的注入序列转换完毕时，会产生一个 JENDC 中断，转换的数据会被存储在各自的 ADC_JDATx 寄存器中。

注:

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

1. *不要在 2 个 ADC 上转换相同的通道（两个 ADC 在同一通道上的采样时间不能重叠）。*
2. *在同步注入模式下，主 ADC 和从 ADC 同步转换的注入序列需要设置为一样的时间，或者触发信号的间隔大于转换时间较长的序列。如果触发信号的间隔小于转换时间较长的序列，时间较长的序列未转换完毕时，较短的序列可能会重新开始转换。*

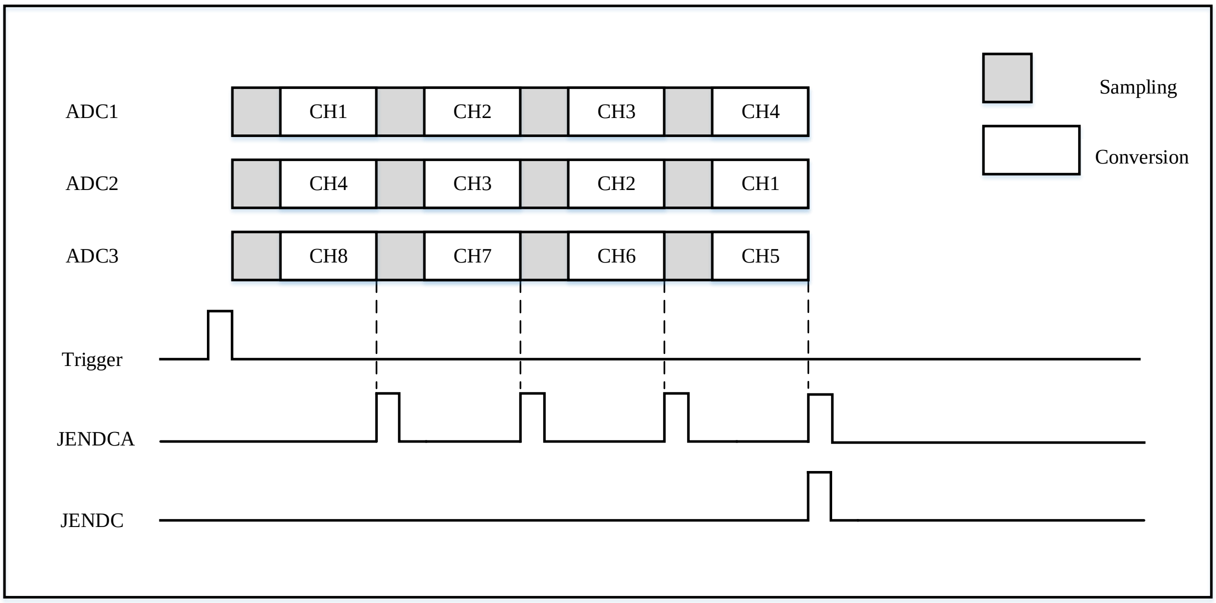
图 17-25 双 ADC 的 4 个通道的同步注入模式



17.10.3.2 三 ADC 模式

如果 ADC1，ADC2 或 ADC3 置位了 ADC_INTEN.JENDCIEN，当 ADC1，ADC2 或 ADC3 的注入序列转换完毕时，会产生一个 JENDC 中断，转换的数据会被存储在各自的 ADC_JDATx 寄存器中。

图 17-26 三 ADC 的 4 个通道的同步注入模式



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

17.10.4 交叉模式

此模式适用于规则序列（通常为一个通道）。外部触发来源于主 ADC 的多路开关，由 ADC_CTRL2.EXTRSEL[5:0]决定。

17.10.4.1 双 ADC 模式

当触发产生时，主 ADC 立即转换，从 ADC 会在几个 ADC 时钟周期后开始转换。交叉模式下 2 个转换之间的最小延迟通过 ADC_CTRL1.DELAY[3:0]位进行配置。

如果主 ADC 和从 ADC 的 ADC_CTRL2.CTU 都被置位，那么被选中的规则序列会连续转换。

当从 ADC 转换完成，将生成一个 32 位 DMA 传输请求（如果 ADC_CTRL2.DMAMD[1:0] 位等于 0b'10，转换的数据会被存储在主 ADC_DAT 寄存器中，ADC_DAT 的高半字是从 ADC 的转换数据，ADC_DAT 的低半字是主 ADC 的转换数据。如果从 ADC 置位了 ADC_INTEN.ENDCAIEN，当从 ADC 的规则序列转换完毕时，会产生一个 ENDCA 中断。

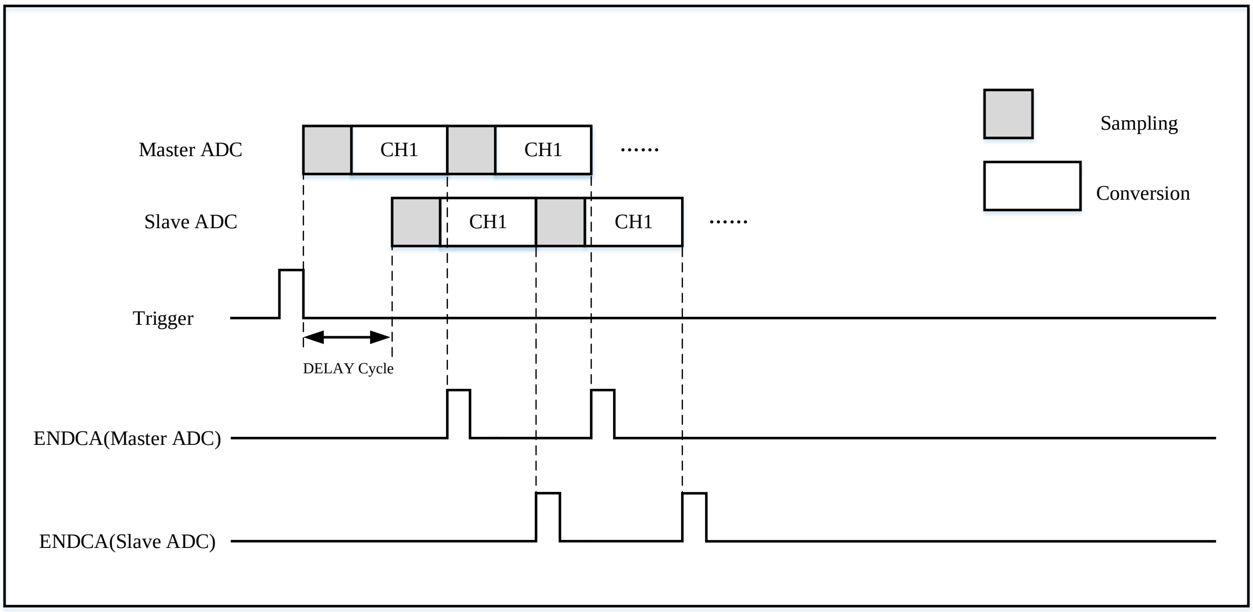
注意：

1. 使用交叉模式时，需保证没有注入通道被外部触发。

2. 采样时间必须小于 ADC_CTRL1.DELAY[3:0]时钟周期，避免主 ADC 和从 ADC 转换相同通道时出现采样周期重叠。

3. 使用交叉模式且 DMA 模式为 2（ADC_CTRL2.DMAMD[1:0]=0b'10）时，需要使能 FIFO

图 17-27 1 个通道的连续转换的快速交叉模式转换示意图



17.10.4.2 三 ADC 模式

当触发产生时，ADC1立即转换，ADC2会在几个ADC时钟周期后开始转换，当ADC2开启转换，ADC3会在几个ADC时钟周期后开始转换。

如果同时设置了ADC1、ADC2和ADC3的CTU位，3个ADC规则通道将被连续地转换。

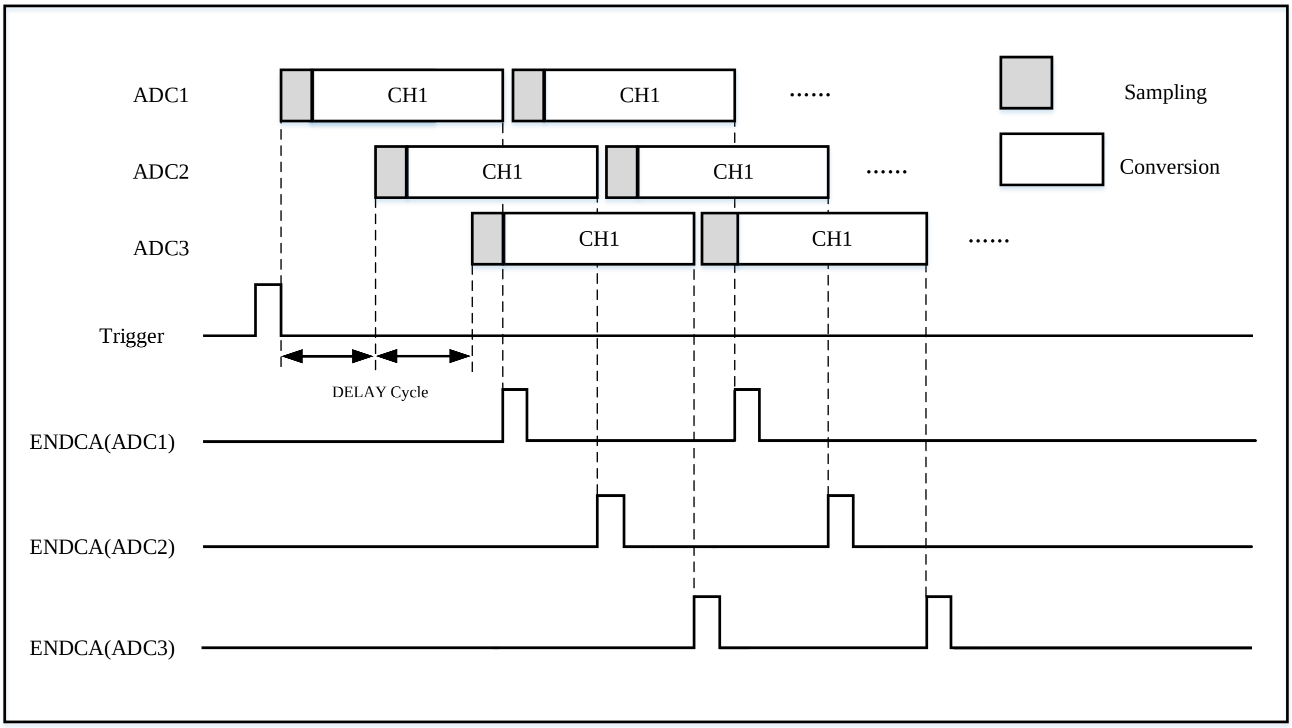
每完成两个ADC的转换结束时，产生一个32位DMA传输请求（如果如果ADC_CTRL2.DMAMD[1:0] 位等

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

于0b’10），32位的ADC1_DAT寄存器内容传输到SRAM中，它高半字包含后启动ADC的转换数据，低半字包含先启动ADC的转换数据。例如：

- 第 1 个请求：ADC1_DAT [31:0] = ADC2_DAT[15:0] | ADC1_ DAT [15:0]
- 第 2 个请求：ADC1_DAT [31:0] = ADC1_ DAT[15:0] | ADC3_ DAT[15:0]
- 第 3 个请求：ADC1_DAT [31:0] = ADC3_ DAT[15:0] | ADC2_ DAT[15:0]
- 第 4 个请求：ADC1_DAT [31:0] = ADC2_ DAT[15:0] | ADC1_DAT[15:0]……

图 17-28 1 个通道的连续转换的快速交叉模式转换示意图



17.10.5 交替触发模式

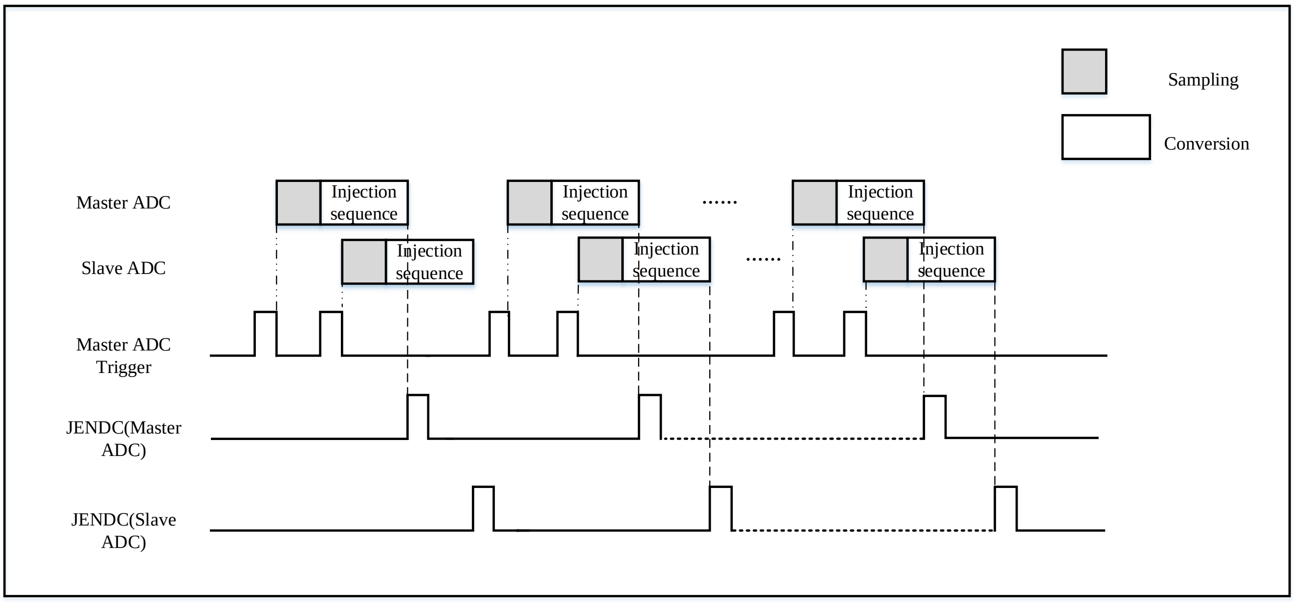
此模式适用于注入序列。

17.10.5.1 双 ADC 模式

在双 ADC 模式下，外部触发来源于主 ADC 的多路开关，由 ADC_CTRL2.EXTJSEL[5:0]决定。当第一次触发产生，主 ADC 所有的注入通道被转换，当第二次触发产生，从 ADC 所有的的注入通道被转换，依此循环。如果主 ADC 或从 ADC 置位了 ADC_INTEN.JENDCIEN，当主 ADC 或从 ADC 的注入序列转换完毕时，会产生一个 JENDC 中断。当所有注入序列都转换完后，另一个外部触发产生，那么交替触发会重新开始。

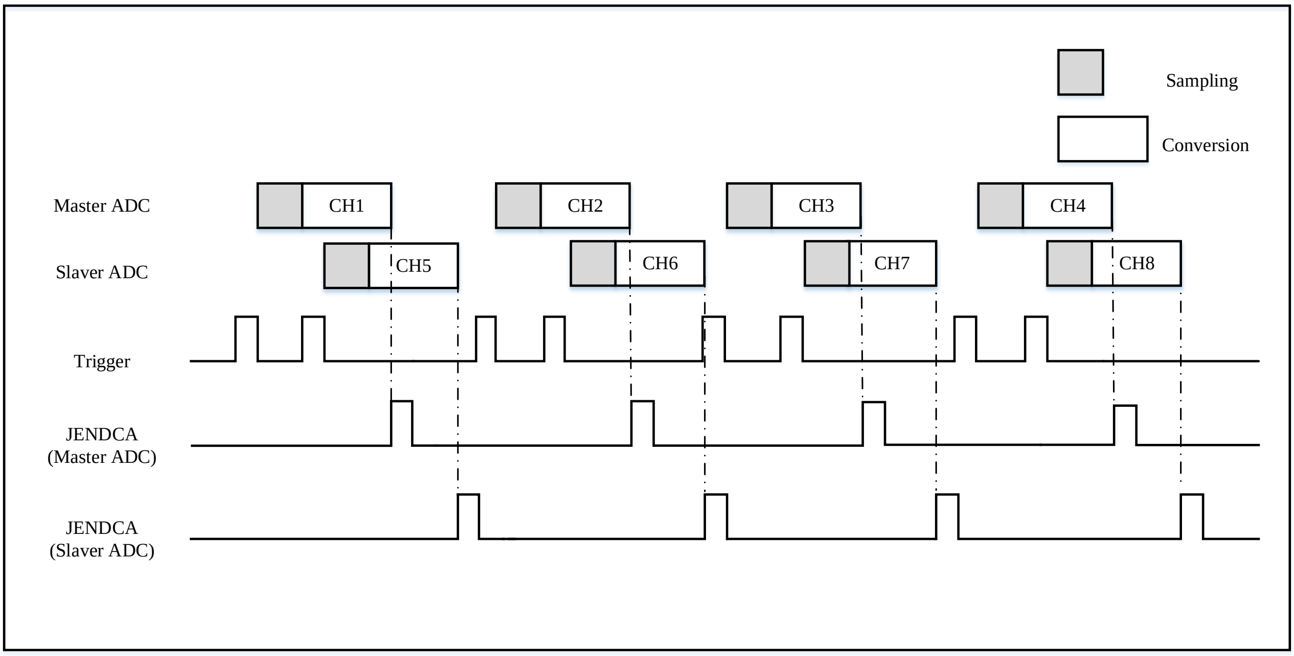
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 17-29 交替触发：注入通道组



如果主 ADC 和从 ADC 上同时使用了注入间断模式，当第一次触发产生，主 ADC 的第一组注入通道被转换，当第二次触发产生，从 ADC 的第一组注入通道被转换，当第三次触发产生，主 ADC 的第二组注入通道被转换，当第四次触发产生，从 ADC 的第二组注入通道被转换，依此循环。如果主 ADC 或者从 ADC 置位了 ADC_INTEN.JENDCIEN，当主 ADC 或从 ADC 的注入序列转换完毕时，会产生一个 JENDC 中断。当所有注入序列都转换完后，另一个外部触发产生，那么交替触发会重新开始。

图 17-30 交替触发：在间断模式下注入通道组

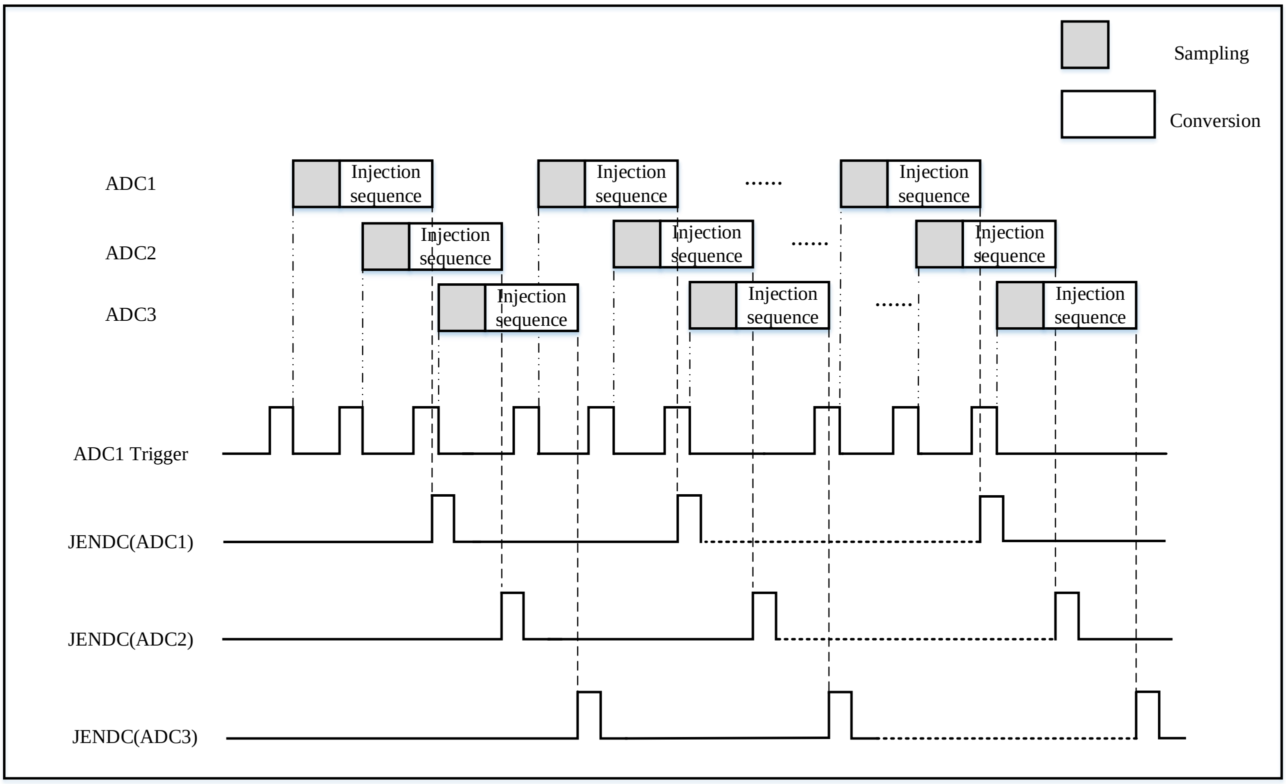


国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

17.10.5.2 三 ADC 模式

在三 ADC 模式下，外部触发来源于 ADC1 的多路开关，由 ADC_CTRL2.EXTJSEL[5:0]决定。当第一次触发产生， ADC1 所有的注入通道被转换，当第二次触发产生， ADC2 所有的的注入通道被转换，当第三次触发产生， ADC3 所有的的注入通道被转换，依此循环。如果 ADC1 或 ADC2 或 ADC3 置位了 ADC_INTEN.JENDCIEN，当 ADC1 或 ADC2 或 ADC3 的注入序列转换完毕时，会产生一个 JENDC 中断。当所有注入序列都转换完后，另一个外部触发产生，那么交替触发会重新开始。

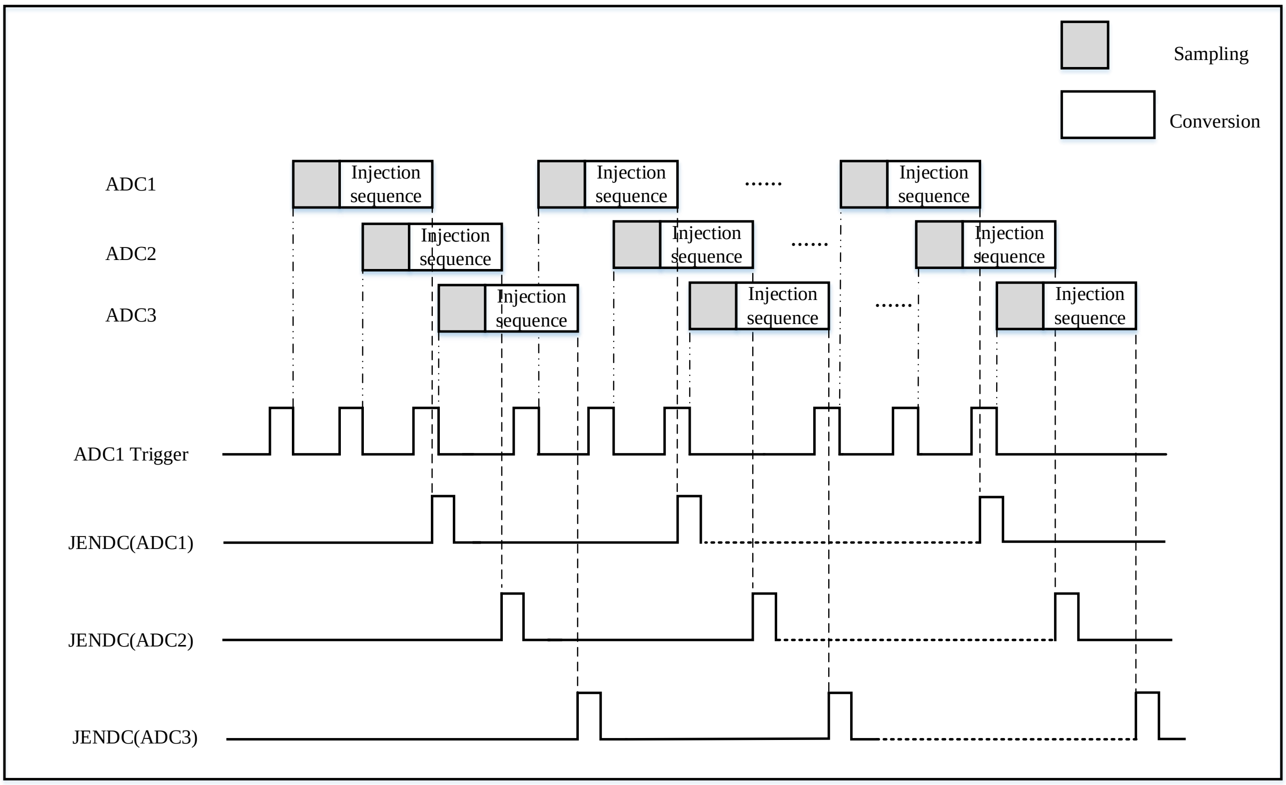
图 17-31 交替触发：注入通道组



如果 ADC1 和 ADC2 和 ADC3 上同时使用了注入间断模式，当第一次触发产生， ADC1 的第一组注入通道被转换，当第二次触发产生，ADC2 的第一组注入通道被转换，当第三次触发产生，ADC3 的第一组注入通道被转换，当第四次触发产生，ADC1 的第二组注入通道被转换，当第四次触发产生，ADC2 的第二组注入通道被转换，当第五次触发产生，ADC3 的第二组注入通道被转换，依此循环。如果 ADC1 或 ADC2 或 ADC3 置位了 ADC_INTEN.JENDCIEN，当 ADC1 或 ADC2 或 ADC3 的注入序列转换完毕时，会产生一个 JENDC 中断。当所有注入序列都转换完后，另一个外部触发产生，那么交替触发会重新开始。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 17-32 交替触发：在间断模式下注入通道组



17.10.6 混合的同步规则+同步注入模式

在此模式下，同步注入通道的转换可以打断同步规则通道的转换。

注意：在此模式下，主 ADC 和从 ADC 同步转换的序列需要设置为一样的时间，或者触发信号的间隔大于转换时间较长的序列。如果触发信号的间隔小于转换时间较长的序列，时间较长的序列未转换完毕时，较短的序列可能会重新开始转换。

17.10.7 混合的同步规则+交替触发模式

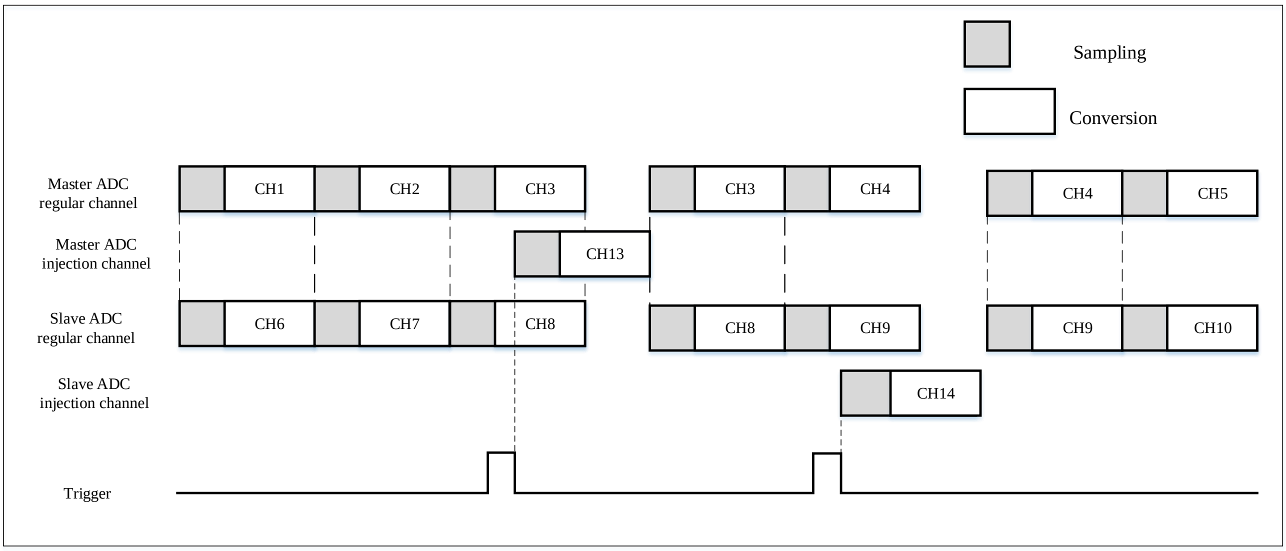
注入通道的交替触发转换可以打断同步规则通道的转换。

当注入通道事件出现时，注入交替转换立刻启动。如果规则转换正在进行，主 ADC 和从 ADC 的规则转换都会停止，以保证规则转换在注入转换完成后可以同步恢复。

注意：在此模式下，主 ADC 和从 ADC 同步转换的序列需要设置为一样的时间，或者触发信号的间隔大于转换时间较长的序列。如果触发信号的间隔小于转换时间较长的序列，时间较长的序列未转换完毕时，较短的序列可能会重新开始转换。

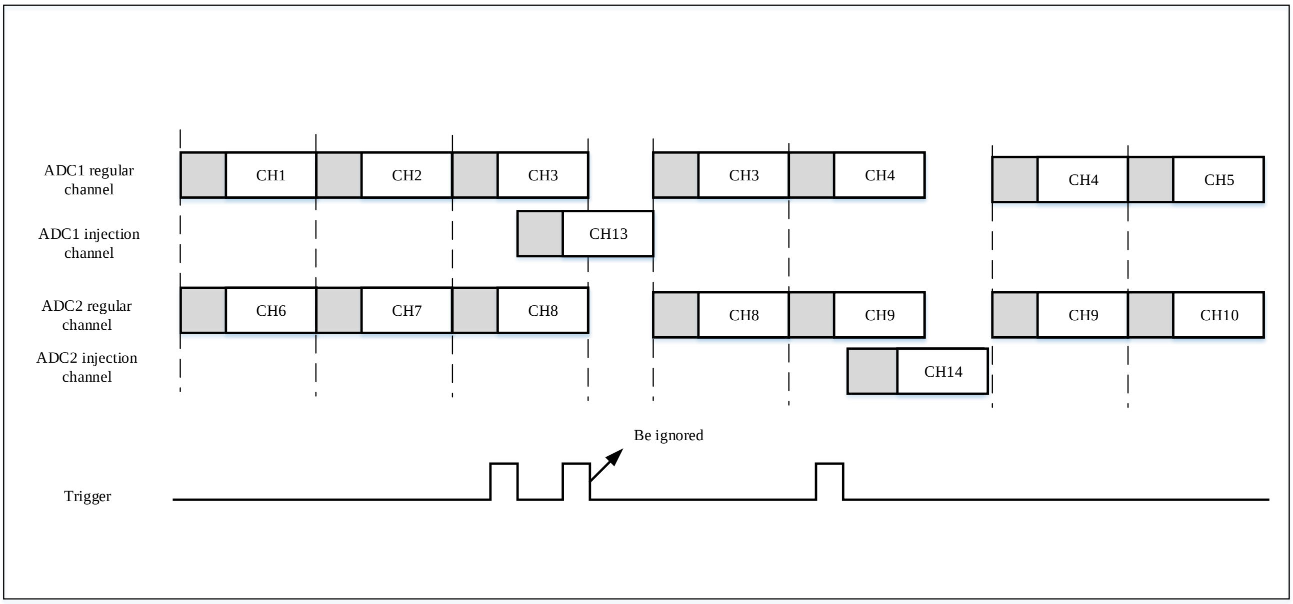
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 17-33 交替模式和规则同步模式组合



如果在注入转换期间产生了另一个注入触发，这个触发将被忽略。如下图所示

图 17-34 在注入转换期间发生注入触发

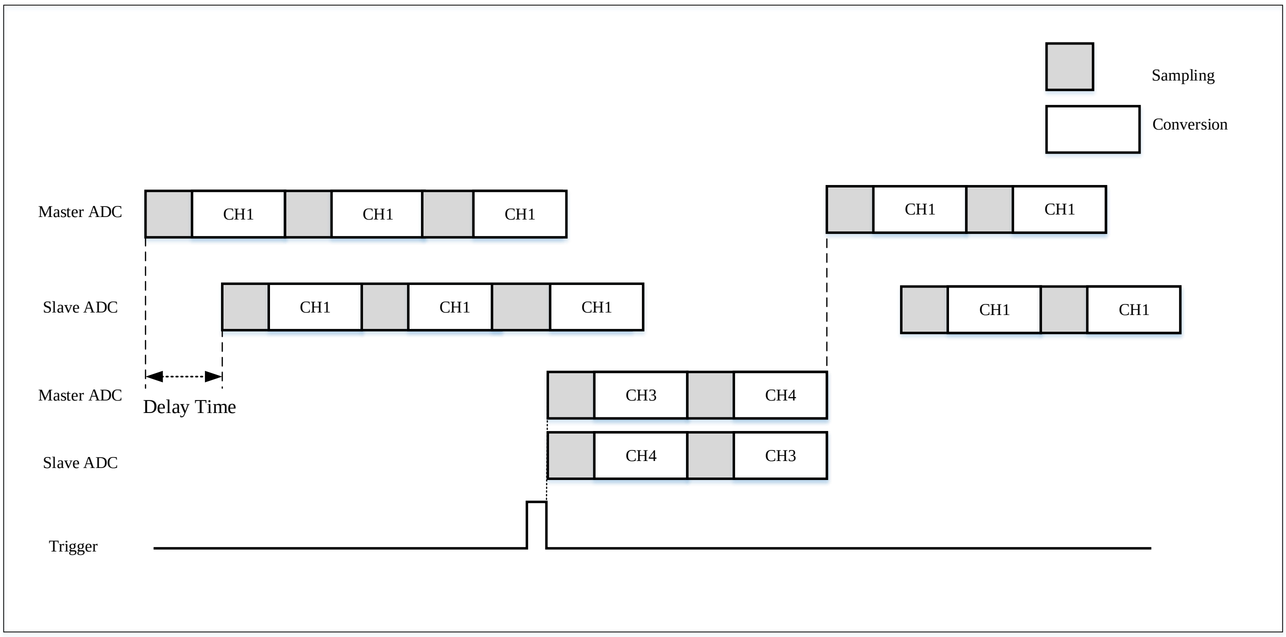


国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

17.10.8 混合的同步注入+交叉模式

在此模式下，当注入触发产生时，交叉转换会被中断，注入转换会启动，在注入转换完成后，交叉转换会被恢复。

图 17-35 交叉的单通道转换被注入序列 CH3 和 CH4 中断



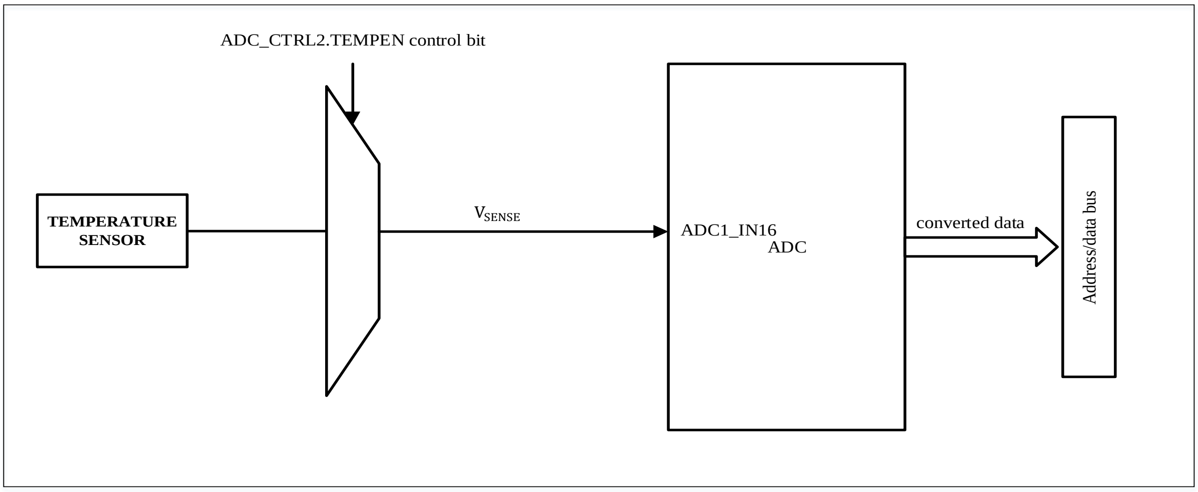
17.11 温度传感器

设置 ADC_CTRL2.TEMPEN 位为 1，使能温度传感器，设备工作时使用温度传感器检测环境温度。温度传感器采样的输出电压通过 ADC1_IN16 通道转换为数字值。温度传感器工作时，理想的采样时间为 17.1us；当温度传感器不工作时，ADC_CTRL2.TEMPEN 位可通过软件清零以降低功耗。图 17-36 是温度传感器的框图。

温度传感器的输出电压随温度线性变化。不同的芯片由于生产工艺的不同，在温度曲线上会有不同的偏移量。通过测试，发现最大偏移为 3°C。这一特性使得内部温度传感器更适合检测温度变化。不适合测量绝对温度。当需要精确的温度测量时，应使用外部温度传感器。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 17-36 温度传感器通道框图



17.11.1 测量温度值

1. 配置通道（ADC1_IN16）和通道的采样时间为 17.1us。
2. 将 ADC_CTRL2.TEMPEN 位设置为 1 以启用温度传感器。
3. 设置 ADC_CTRL2.ON 位为 1 以启动 ADC 转换（或通过外部触发）。
4. 读取 ADC 数据寄存器中的温度数据，通过以下公式计算温度值：

$$温度(°C) = \{(V_{SENSE} - V_{Temperature}) / Avg\_Slope\} + Temperature - T_{offset}$$

其中：

$V_{Temperature}$ = Temperature 对应的 V_{SENSE}

Avg_Slope ＝ 温度和 V_{SENSE} 曲线的平均斜率(单位为 mV/°C 或 µV/°C)

T_{offset} = 1.25°C，表示温度误差补偿经验值（单位为°C）

Temperature 为校准温度

参考数据手册的电气特性章节中 Avg_Slope 的实际值。

注意：

1. *在传感器从断电模式唤醒到正确输出 VSENSE 之前，有一个建立时间； ADC 上电后还有一个建立时间，所以为了缩短延迟，ADC_CTRL2.TEMPEN 和 ADC_CTRL2.ON 位应该同时置位。*
2. *该温度是芯片结温，与芯片所处的环境温度差异较大*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

17.12 ADC 中断

ADC 中断可以来自规则或注入序列转换的结束、输入电压不在模拟看门狗设置的范围、任一规则或注入通道转换的结束。这些中断具有独立的中断使能位。

ADC_STS 寄存器中有 3 个状态标志：注入序列通道转换启动(JSTR)，规则序列通道转换启动(STR)和过采样后的数据截断指示(TCFLAG)。但是 ADC 中没有与这三个标志相关的中断。

表 17-8 ADC 中断

中断事件	事件标志	使能控制位
规则序列转换结束	ENDC	ENDCIEN
注入序列转换结束	JENDC	JENDCIEN
超出模拟看门狗1阈值	AWDG1	AWD1IEN
超出模拟看门狗2阈值	AWD2FLAG[18:0]	AWD2INTEN[18:0]
超出模拟看门狗3阈值	AWD3FLAG[18:0]	AWD3INTEN [18:0]
任何规则通道转换结束	ENDCA	ENDCAIEN
任何注入通道转换结束	JENDCA	JENDCAIEN
规则通道采样完成	EOSAMP	EOSMPIEN
ADC准备好	RDY	RDYIEN
ADC低功耗准备好	PDRDY	PDRDYIEN
转换完成错误	ENDCERR	ENDCERRIEN

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

17.13 ADC 寄存器

17.13.1 ADC 寄存器总览

表 17-9 ADC 寄存器总览

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0x00	ADC_STS	Reserved																				JSTR	STR	TCFLAG	EOSAMP	PDRDY	RDY	ENDCERR	AWDG1	JENDCA	JENDC	ENDCA	ENDC
	Reset value																					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x04	ADC_CTRL1	Reserved								DELAY[3:0]				AWD1SGLEN	AWD1EJCH	AWD1ERCH	AWD1CH[4:0]					MULTMODE[4:0]					DJCH	DREGCH	DCTU[2:0]			AUTOJC	SCANMD
	Reset value									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x08	ADC_CTRL2	Reserved	SWSTOP	JSWSTOP	SWSTRRCH	SWSTRJCH	GCOMPEN	TEMPEN	ALIG	DMAMD[1:0]		EXTRSEL[5:0]						EXTJSEL[5:0]						Reserved		EXTPJSEL[1:0]		EXTPRSEL[1:0]		RSTCAL	ENCAL	CTU	ON
	Reset value		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0
0x0C	ADC_CTRL3	Reserved							MDSMU	DSMUEN	Reserved			OSRMD	OSRTRIG	OSJE	OSRE	OSS[3:0]				OSR[3:0]				VABTMEN	DPWMOD	BPCAL	CKMOD	CALALD	CALDIF	RES[1:0]	
	Reset value								0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
0x10	ADC_SAMPR1	SAMP7[3:0]				SAMP6[3:0]				SAMP5[3:0]				SAMP4[3:0]				SAMP3[3:0]				SAMP2[3:0]				SAMP1[3:0]				SAMP0[3:0]			
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x14	ADC_SAMPR2	SAMP15[3:0]				SAMP14[3:0]				SAMP13[3:0]				SAMP12[3:0]				SAMP11[3:0]				SAMP10[3:0]				SAMP9[3:0]				SAMP8[3:0]			
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x18	ADC_SAMPR3	Reserved																				SAMP18[3:0]				SAMP17[3:0]				SAMP16[3:0]			
	Reset value																					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x1C	ADC_DIFSEL	Reserved													DIFSEL[17:0]																		Reserved
	Reset value														0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0x20	ADC_CALFACT	Reserved									CALFACTD[6:0]							Reserved									CALFACTS[6:0]						
	Reset value										0	0	0	0	0	0	0										0	0	0	0	0	0	0
0x24	ADC_OFFSET1	OFFSCH1EN	OFFSCH1CH[4:0]					OFFSCH1SATE	OFFSCH1DIR	Reserved												OFFSCH1DAT[11:0]											
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0													0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0x28	ADC_OFFSET2	OFFSCH2EN	OFFSCH2CH[4:0]					OFFSCH2SATE	OFFSCH2DIR	Reserved												OFFSCH2DAT[11:0]											
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0													0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x2C	ADC_OFFSET3	OFFSCH3EN	OFFSCH3CH[4:0]					OFFSCH3SATE	OFFSCH3DIR	Reserved												OFFSCH3DAT[11:0]											
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0													b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x30	ADC_OFFSET4	OFFSCH4EN	OFFSCH4CH[4:0]					OFFSCH4SATE	OFFSCH4DIR	Reserved												OFFSCH4DAT[11:0]											
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0													0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x34	ADC_AWD1 HIGH	Reserved																				HTH1[11:0]											
	Reset value																					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0x38	ADC_AWD1 LOW	Reserved																	AWD1FILT[2:0]			LTH1[11:0]											
	Reset value																		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x3C	ADC_AWD2 HIGH	Reserved																				HTH2[11:0]											
	Reset value																					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0x40	ADC_AWD2 LOW	Reserved																				LTH2[11:0]											
	Reset value																					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x44	ADC_AWD3 HIGH	Reserved																				HTH3[11:0]											
	Reset value																					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0x48	ADC_AWD3 LOW	Reserved																				LTH3[11:0]											
	Reset value																					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x4C	ADC_AWD2EN	Reserved													AWD2EN[18:0]																		
	Reset value														0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x50	ADC_AWD3EN	Reserved													AWD3EN[18:0]																		
	Reset value														0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x54	ADC_AWD2 INTEN	Reserved													AWD2INTEN[18:0]																		
	Reset value														0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x58	ADC_AWD3 INTEN	Reserved													AWD3INTEN[18:0]																		
	Reset value														0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0x5C	ADC_AWD2STS	Reserved													AWD2FLAG[18:0]																		
	Reset value														0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x60	ADC_AWD3STS	Reserved													AWD3FLAG[18:0]																		
	Reset value														0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x64	ADC_RSEQ1	Reserved		SEQ6[4:0]					SEQ5[4:0]					SEQ4[4:0]					SEQ3[4:0]					SEQ2[4:0]					SEQ1[4:0]				
	Reset value			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x68	ADC_RSEQ2	Reserved		SEQ12[4:0]					SEQ11[4:0]					SEQ10[4:0]					SEQ9[4:0]					SEQ8[4:0]					SEQ7[4:0]				
	Reset value			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x6C	ADC_RSEQ3	Reserved			LEN[3:0]				Reserved					SEQ16[4:0]					SEQ15[4:0]					SEQ14[4:0]					SEQ13[4:0]				
	Reset value				0	0	0	0						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x70	ADC_JSEQ	Reserved					JLEN[1:0]		Reserved					JSEQ4[4:0]					JSEQ3[4:0]					JSEQ2[4:0]					JSEQ1[4:0]				
	Reset value						0	0						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x74	ADC_JDAT1	Reserved																JDAT1[15:0]															
	Reset value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x78	ADC_JDAT2	Reserved																JDAT2[15:0]															
	Reset value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x7C	ADC_JDAT3	Reserved																JDAT3[15:0]															
	Reset value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x80	ADC_JDAT4	Reserved																JDAT4[15:0]															
	Reset value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x84	ADC_DAT	DAT2[15:0]																DAT1[15:0]															
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x88	ADC_FIFOCFG	Reserved																				NEINTEN	CLR	WL[3:0]				EN	HFINTEN	EINTEN	FINTEN	WEINTEN	REINTEN
	Reset value																					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x8C	ADC_FIFOSTS	Reserved																				NEFLAG	Reserved	DATCNT[4:0]					HFFLAG	EFLAG	FFLAG	WEFLAG	REFLAG
	Reset value																					0		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0x90	ADC_PCTRL	Reserved																										EXPEN	RANGESE	VREFLDO	Reserved		
	Reset value																											0	0	0			
0x94	ADC_CTRL4	Reserved								EXTRISEL[3:0]				EXTRRSEL[3:0]				Reserved															
	Reset value									0	0	1	0	1	1	1	0																
0x98	ADC_INTEN	Reserved																							EOSMPIEN	PDRDYIEN	RDYIEN	EOCERRIEN	AWD1IEN	JENDCAIEN	JENDCIEN	ENDCAIEN	ENDCIEN
	Reset value																								0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x9C	ADC_GCOMP	Reserved																		GCOMPDAT[13:0]													
	Reset value																			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0xA0	ADC_DSMUCHMASK	Reserved													DSMUCH[18:0]																		
	Reset value														1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

17.13.2 ADC 状态寄存器(ADC_STS)

地址偏移：0x00

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				JSTR	STR	TCFLAG	EOSAMP	PDRDY	RDY	ENDC ERR	AWDG1	JENDCA	JENDC	ENDCA	ENDC
				rc-w1	rc-w1	rc-w1	rc-w1	rc-w1	rc-w1	rc-w1	rc-w1	rc-w1	rc-w1	rc-w1	rc-w1

位域	名称	描述
31:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11	JSTR	注入通道开始位（Inject channel start flag） 注入通道转换开始时该位被硬件置1，由软件写1清除。 0：注入通道转换未开始； 1：注入通道转换已开始。
10	STR	规则通道开始位（Regular channel start flag） 规则通道转换开始时该位被硬件置1，由软件写1清除。 0：规则通道转换未开始； 1：规则通道转换已开始。
9	TCFLAG	过采样后的数据截断指示位（Turncate flag） 当开启过采样，经过右移后的结果超过16bit，该位被硬件设置为1，由软件写1清除。 0：过采样后的数据未被截断； 1：过采样后的数据被截断。
8	EOSAMP	规则通道采样完成位（Regular channel sample end flag） 规则通道采样完成时，该位被硬件置1，由软件写1清除。 0：规则通道采样未完成； 1：规则通道采样已完成。
7	PDRDY	ADC低功耗准备好（Power down ready），该位被硬件置1，由软件写1清除。 0：没有准备好； 1：准备好。
6	RDY	ADC准备好（Ready），该位被硬件置1，由软件写1清除。 0：没有准备好； 1：准备好。
5	ENDCERR	ENDC信号位（End of conversion error flag） 当规则通道转换出现异常时，该位被硬件置1，由软件写1清除。 0：ENDC信号正常；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：ENDC信号发生错误。
4	AWDG1	模拟看门狗1标志位 （Analog watchdog 1 flag） 转换的电压值超出了ADC_AWD1HIGH.HTH和ADC_AWD1LOW.LTH寄存器定义的范围时被硬件置1，由软件写1清除。 0：没有发生模拟看门狗事件； 1：发生模拟看门狗事件。
3	JENDCA	任意注入通道转换结束位 （Any injected channel end of conversion） 任意注入通道序列转换结束时被硬件置1，由软件写1或DSMU传输完成来清除。 0：转换未完成； 1：转换完成。
2	JENDC	注入通道转换结束位 （Injected channel end of conversion） 注入通道序列转换结束时被硬件置1，由软件写1清除。 0：转换未完成； 1：转换完成。
1	ENDCA	任意通道转换结束位 （Any end of conversion flag） 任意规则通道转换结束时被硬件置1，由软件写1清除。 0：转换未完成； 1：转换完成。
0	ENDC	转换结束位 （End of conversion） 规则通道序列转换结束时被硬件置1，由软件写1清除。 0：转换未完成； 1：转换完成。

17.13.3 ADC 控制寄存器 1(ADC_CTRL1)

地址偏移：0x04

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved								DELAY[3:0]				AWD1 SGLEN	AWD1 EJCH	AWD1 ERCH	AWD1 CH[4]
								rw				rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
AWD1CH[3:0]				MULTMODE[4:0]					DJCH	DREGCH	DCTU[2:0]			AUTOJC	SCANMD
rw				rw					rw	rw	rw			rw	rw

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必须保持复位值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

<table>
<tr><th>位域</th><th>名称</th><th>描述</th></tr>
<tr><td>23:20</td><td>DELAY[3:0]</td><td>该位用于双ADC或三ADC模式下的交叉模式。
不同分辨率的ADC DELAY的设置请参考下表：
<table>
<tr><th>DELAY[3:0]</th><th>12-bit</th><th>10-bit</th><th>8-bit</th><th>6-bit</th></tr>
<tr><td>0000</td><td>1 * T_{ADC_CLK}</td><td>1 * T_{ADC_CLK}</td><td>1 * T_{ADC_CLK}</td><td>1 * T_{ADC_CLK}</td></tr>
<tr><td>0001</td><td>2 * T_{ADC_CLK}</td><td>2 * T_{ADC_CLK}</td><td>2 * T_{ADC_CLK}</td><td>2 * T_{ADC_CLK}</td></tr>
<tr><td>0010</td><td>3 * T_{ADC_CLK}</td><td>3 * T_{ADC_CLK}</td><td>3 * T_{ADC_CLK}</td><td>3 * T_{ADC_CLK}</td></tr>
<tr><td>0011</td><td>4 * T_{ADC_CLK}</td><td>4 * T_{ADC_CLK}</td><td>4 * T_{ADC_CLK}</td><td>4 * T_{ADC_CLK}</td></tr>
<tr><td>0100</td><td>5* T_{ADC_CLK}</td><td>5* T_{ADC_CLK}</td><td>5* T_{ADC_CLK}</td><td>5* T_{ADC_CLK}</td></tr>
<tr><td>0101</td><td>6 * T_{ADC_CLK}</td><td>6 * T_{ADC_CLK}</td><td>6 * T_{ADC_CLK}</td><td>6 * T_{ADC_CLK}</td></tr>
<tr><td>0110</td><td>7 * T_{ADC_CLK}</td><td>7 * T_{ADC_CLK}</td><td>7 * T_{ADC_CLK}</td><td>6 * T_{ADC_CLK}</td></tr>
<tr><td>0111</td><td>8 * T_{ADC_CLK}</td><td>8 * T_{ADC_CLK}</td><td>8 * T_{ADC_CLK}</td><td>6 * T_{ADC_CLK}</td></tr>
<tr><td>1000</td><td>9 * T_{ADC_CLK}</td><td>9 * T_{ADC_CLK}</td><td>8 * T_{ADC_CLK}</td><td>6 * T_{ADC_CLK}</td></tr>
<tr><td>1001</td><td>10 * T_{ADC_CLK}</td><td>10 * T_{ADC_CLK}</td><td>8 * T_{ADC_CLK}</td><td>6 * T_{ADC_CLK}</td></tr>
<tr><td>1010</td><td>11 * T_{ADC_CLK}</td><td>10 * T_{ADC_CLK}</td><td>8 * T_{ADC_CLK}</td><td>6 * T_{ADC_CLK}</td></tr>
<tr><td>1011</td><td>12 * T_{ADC_CLK}</td><td>10 * T_{ADC_CLK}</td><td>8 * T_{ADC_CLK}</td><td>6 * T_{ADC_CLK}</td></tr>
<tr><td>其他</td><td>12 * T_{ADC_CLK}</td><td>10 * T_{ADC_CLK}</td><td>8 * T_{ADC_CLK}</td><td>6 * T_{ADC_CLK}</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>19</td><td>AWD1SGLEN</td><td>扫描模式中在一个单一的通道上使用看门狗1 （ Enable the watchdog 1 on a single channel in scan mode）该位由软件设置和清除，用于AWD1CH[4:0]位指定的通道上的模拟看门狗1功能开启或所有通道上模拟看门狗1功能开启
0：在所有的通道上使用模拟看门狗1；
1：在单一通道上使用模拟看门狗1。</td></tr>
<tr><td>18</td><td>AWD1EJCH</td><td>在注入通道上开启模拟看门狗1（ Analog watchdog 1 enable on injected channels）
该位由软件设置和清除。
0：在注入通道上禁用模拟看门狗1；
1：在注入通道上使用模拟看门狗1。</td></tr>
<tr><td>17</td><td>AWD1ERCH</td><td>在规则通道上开启模拟看门狗1 （ Analog watchdog 1 enable on regular channels）
该位由软件设置和清除。
0：在规则通道上禁用模拟看门狗1；
1：在规则通道上使用模拟看门狗1。</td></tr>
<tr><td>16:12</td><td>AWD1CH[4:0]</td><td>模拟看门狗1通道选择位 (Analog watchdog channel select bits)
这些位由软件设置和清除以选择模拟看门狗1保护的输入通道。
00000：ADC模拟输入通道0；
00001：ADC模拟输入通道1；
……
10000：ADC模拟输入通道16；
10001：ADC模拟输入通道17；
10010：ADC模拟输入通道18；
其他值保留</td></tr>
<tr><td>11:7</td><td>MULTMODE[4:0]</td><td>多ADC模式选择
00001 – 01001：双ADC工作模式(ADC1与ADC2)</td></tr>
</table>

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		00000：独立模式 00001：混合的同步规则+同步注入模式 00010：混合的同步规则+交替触发模式 00011：混合的同步注入+交叉模式 00100：保留 00101：同步注入模式 00110：同步规则模式 00111：交叉模式 01000：保留 01001：交替触发模式 10001 – 11001：三ADC工作模式(ADC1，ADC2与ADC3) 10001：混合的同步规则+同步注入模式 10010：混合的同步规则+交替触发模式 10011：混合的同步注入+交叉模式 10100：保留 10101：同步注入模式 10110：同步规则模式 10111：交叉模式 11000：保留 11001：交替触发模式 *注：* *1. 在从ADC中这些位这些位要和主ADC配置相同;* *2. 在双ADC或三ADC模式中，改变通道的配置会产生一个重新开始的条件，这将导致同步丢失。建议在进行任何配置改变前关闭双ADC或三ADC模式。*
6	DJCH	在注入通道上的间断模式 （ Discontinuous mode on injected channels） 该位由软件设置和清除，用于开启或关闭注入通道组上的间断模式 0：注入通道组上禁用间断模式； 1：注入通道组上使用间断模式。
5	DREGCH	在规则通道上的间断模式 （ Discontinuous mode on regular channels） 该位由软件设置和清除，用于开启或关闭规则通道组上的间断模式 0：规则通道组上禁用间断模式； 1：规则通道组上使用间断模式。
4:2	DCTU[2:0]	间断模式通道计数 （ Discontinuous mode channel count） 软件通过这些位定义在间断模式下，收到外部触发后转换规则通道的数目 000： 1个通道 001： 2个通道 …… 111： 8个通道
1	AUTOJC	自动的注入通道序列转换 （ Automatic injected group conversion）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		该位由软件设置和清除，用于规则通道序列转换结束后注入通道序列转换的开启或关闭 0：关闭自动的注入通道序列转换； 1：开启自动的注入通道序列转换。
0	SCANMD	扫描模式 （Scan mode） 该位由软件设置和清除以启用或禁用扫描模式。在扫描模式下，转换由ADC_RSEQx 或ADC_JSEQ 寄存器选定的通道。 0：禁用扫描模式； 1：启用扫描模式。 注意：如果单独设置 ADC_INTEN.ENDCIEN 或 ADC_INTEN.JENDCIEN 位，ADC_STS.ENDC 或ADC_STS.JENDC中断仅在最后一个通道转换后发生。

17.13.4 ADC 控制寄存器 2(ADC_CTRL2)

地址偏移：0x08

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	SWR STOP	SWJ STOP	SWSTR RCH	SWSTR JCH	GCOMP EN	TEMPEN	ALIG	DMAMD[1:0]		EXTRSEL[5:0]					
	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw		rw					

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
EXTJSEL[5:0]						Reserved		EXTPJSEL[1:0]		EXTPRSEL[1:0]		RSTCAL	ENCAL	CTU	ON
rw								rw		rw		rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31	Reserved	保留，必须保持复位值。
30	SWRSTOP	停止转换规则通道 （Stop conversion of regular channels） 该位由软件设置以停止正在进行规则通道的转换，在停止之后，用户可以重新配置转换序列，触发源等，该位由硬件清零。 0：复位状态； 1：停止转换规则通道
29	SWJSTOP	停止转换注入通道 （Stop conversion of injected channels） 该位由软件设置以停止正在进行注入通道的转换，在停止之后，用户可以重新配置转换序列，触发源等，该位由硬件清零。 0：复位状态； 1：停止转换注入通道
28	SWSTRRCH	开始转换规则通道 （Start conversion of regular channels） 该位由软件设置以启动转换，并在转换开始后由硬件清零。如果在

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		ADC_CTRL2.EXTRSEL[5:0] 位中选择 SWSTRRCH 作为触发事件，该位用于启动一组规则通道的转换 0：复位状态； 1：开始转换规则通道
27	SWSTRJCH	注入通道开启转换（Start conversion of injected channels） 该位由软件设置以启动转换，并且可以在转换开始后立即由软件或硬件清零。如果在ADC_CTRL2.EXTJSEL[5:0]位中选择 SWSTRJCH作为触发事件，该位用于启动一组注入通道的转换 0：复位状态； 1：开始转换注入通道。
26	GCOMPEN	增益补偿模式 （Gain compensation mode） 该位由软件设置和清零，以启用或禁用增益补偿模式。 0：不开启增益补偿模式； 1：使用增益补偿模式。
25	TEMPEN	温度传感器使能（Temperature sensor enable） 该位由软件设置和清除，用于开启或禁止温度传感器通道 0：禁止温度传感器通道测量 1：使能温度传感器通道测量
24	ALIG	数据对齐（Data alignment） 该位由软件设置和清除。 0：右对齐； 1：左对齐。
23:22	DMAMD[1:0]	DMA模式（DMA mode） 该位由软件设置和清除，以配置DMA的工作模式。 00: DMA 模式0，关闭DMA使能 01: DMA 模式1 (每次DMA请求，传输半个字。多ADC的传输顺序为ADC1,ADC2,ADC3 ADC1,ADC2……) 10: DMA 模式2 (每次DMA请求，传输1个字。顺序为ADC2|ADC1, ADC1& ADC3, ADC3& ADC2) 11: DMA 模式3(每次DMA请求，传输半个字。顺序为ADC2|ADC1, ADC1& ADC3, ADC3& ADC2) *注：* *1.单ADC下，仅支持DMA模式0与模式1；* *2.多ADC下，可支持DMA模式1，模式2，模式3；* *3.多ADC下，仅有ADC1与ADC3能够产生DMA请求。*
21:16	EXTRSEL[5:0]	选择启动规则通道序列转换的外部事件 （External event select for regular group） 这些位选择用于触发规则序列转换的外部事件。 ADC的触发配置： 000000：ATIM1的CC4事件；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		000001：ATIM1的TRGO事件； 000010：ATIM1的TRGO2事件； 000011：ATIM2的CC4事件； 000100：ATIM2的TRGO事件； 000101：ATIM2的TRGO2事件 000110：ATIM3的CC4事件； 000111：ATIM3的TRGO事件； 001000：ATIM3的TRGO2事件 001001：GTIM1的CC4事件 001010：GTIM2的CC4事件 001011：GTIM3的CC4事件 001100：GTIM4的CC4事件 001101：GTIM5的CC4事件 001110：GTIM6的CC4事件 001111：GTIM7的CC4事件 010000：GTIM8的CC4事件 010001：GTIM9的CC4事件 010010：GTIM10的CC4事件 010011：GTIM1的TRGO事件 010100：GTIM2的TRGO事件 010101：GTIM3的TRGO事件 010110：GTIM4的TRGO事件 010111：GTIM5的TRGO事件 011000：GTIM6的TRGO事件 011001：GTIM7的TRGO事件 011010：GTIM8的TRGO事件 011011：GTIM9的TRGO事件 011100：GTIM10的TRGO事件 011101 ~ 100110：保留 100111：LPTIM1的OUT事件 101000：LPTIM2的OUT事件 101001：EXTI 线0~15事件 101010：SWSTRRCH
15:10	EXTJSEL[5:0]	选择启动注入通道序列转换的外部事件 （External event select for injected group） 这些位选择用于触发注入序列转换的外部事件。 ADC的触发配置： 000000：ATIM1的CC4事件； 000001：ATIM1的TRGO事件； 000010：ATIM1的TRGO2事件；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		000011：ATIM2的CC4事件； 000100：ATIM2的TRGO事件； 000101：ATIM2的TRGO2事件 000110：ATIM3的CC4事件； 000111：ATIM3的TRGO事件； 001000：ATIM3的TRGO2事件 001001：GTIM1的CC4事件 001010：GTIM2的CC4事件 001011：GTIM3的CC4事件 001100：GTIM4的CC4事件 001101：GTIM5的CC4事件 001110：GTIM6的CC4事件 001111：GTIM7的CC4事件 010000：GTIM8的CC4事件 010001：GTIM9的CC4事件 010010：GTIM10的CC4事件 010011：GTIM1的TRGO事件 010100：GTIM2的TRGO事件 010101：GTIM3的TRGO事件 010110：GTIM4的TRGO事件 010111：GTIM5的TRGO事件 011000：GTIM6的TRGO事件 011001：GTIM7的TRGO事件 011010：GTIM8的TRGO事件 011011：GTIM9的TRGO事件 011100：GTIM10的TRGO事件 011101～100110：保留 100111：LPTIM1的OUT事件 101000：LPTIM2的OUT事件 101001：EXTI 线0~15事件 101010：SWSTRJCH
9:8	Reserved	保留，必须保持复位值。
7:6	EXTPJSEL[1:0]	外部触发注入通道极性选择（External trigger enable and polarity selection for injected channels） 00：外部触发检测关闭（用户只能通过软件触发来触发ADC转换） 01：检测外部触发的上升沿为有效触发 10：检测外部触发的下升沿为有效触发 11：检测外部触发的上升沿和下降沿均为有效触发
5:4	EXTPRSEL[1:0]	外部触发规则通道极性选择（External trigger enable and polarity selection for regular

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		channels） 00：外部触发检测关闭（用户只能通过软件触发来触发ADC转换） 01：检测外部触发的上升沿为有效触发 10：检测外部触发的下升沿为有效触发 11：检测外部触发的上升沿和下降沿均为有效触发
3	RSTCAL	校准值复位（Reset the calibration registers） 该位由软件设置以复位校准寄存器，当校准寄存器重置后，由硬件清零。 0：校准寄存器保持； 1：校准寄存器复位。 *注：当正在进行ADC转换时，该位被置位后，将会在下个转换周期将校准寄存器复位。*
2	ENCAL	A/D 校准（A/D Calibration） 该位由软件设置以开始校准，并在校准结束时由硬件清零。 0：校准完成； 1：开始校准。
1	CTU	连续转换（Continuous conversion） 该位由软件设置和清除。如果该位置位，则转换将继续，直到该位被清除。 0：单次转换模式； 1：连续转换模式。
0	ON	A/D 转换器开/关（A/D converter ON/OFF） 该位由软件设置和清除。当该位为“0”时，写入“1”会将ADC从断电模式中唤醒，即使能ADC,当RDY为1时，表示ADC转换已准备好。 0：关闭ADC转换/校准并进入掉电模式； 1：启动ADC。

17.13.5 ADC 控制寄存器 3 (ADC_CTRL3)

地址偏移：0x0C

复位值：0x0000 0003

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved							MDSMU	DSMUEN	Reserved			OSRMD	OSRTRIG	OSJE	OSRE
							rw	rw				rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
OSS[3:0]				OSR[3:0]				VBATMEN	DPWMOD	BPCAL	CKMOD	CALALD	CALDIF	RES[1:0]	
rw				rw				rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	

位域	名称	描述
31:20	Reserved	保留，必须保持复位值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
24	MDSMU	多adc的DSMU模式 此位由软件置 1 和清零。 此位仅在多 ADC 模式下的主 ADC1中有效（ADC2、ADC3：不关心）。仅当ADC_CTRL3.DSMUEN位配置为1 时，这些位才生效。 0：多 ADC DSMU模式禁能； 如果每个ADC上将ADC_CTRL3.DSMUEN 配置为1，则可对每个独立ADC分别执行DSMU 数据管理。 1：多 ADC DSMU 模式使能； **双ADC模式：** 如果 ADC1和ADC3上将ADC_CTRL3.DSMUEN配置为1，则对ADC1和 ADC3执行DSMU数据管理。 **三ADC模式：** 如果ADC1上将ADC_CTRL3.DSMUEN配置为1（ADC2、ADC3：不关心），则仅对ADC1 执行 DSMU 数据管理。 *注：在规则交错模式下启用多 ADC DSMU 模式时，ADC_CTRL1.DELAY[3:0]位必须设置为最小 2 个周期的延迟。*
23	DSMUEN	规则转换数据的DSMU使能 此位由软件置1和清零，用于选择ADC接口输出数据的是否输出到DSMU。 0：ADC 的DSMU模式禁能； 1：ADC 的DSMU模式使能； *注：当ADC_CTRL3.MDSMU为1时，该位只有在主ADC有效；*
22:20	Reserved	保留，必须保持复位值。
19	OSRMD	规则通道过采样模式（Regular channels oversample mode） 0：连续模式。当注入过采样触发，过采样暂时停止，当下次触发开启，过采样继续进行。 1：重置模式。当注入过采样触发，过采样会停止，当下次触发开启，过采样重新开始。
18	OSRTRIG	规则通道过采样触发（Regular channels oversample triagger） 0：所有的过采样转换只需要一次触发 1：每次的过采样转换都需要一次触发
17	OSJE	注入通道过采样使能（Injected channels oversample enable） 0: 禁能 1: 使能
16	OSRE	规则通道过采样使能（Regular channels oversample enable） 0: 禁能 1: 使能
15:12	OSS[3:0]	过采样值右移位数 （Oversample data right shift bit width） 0000: 右移0 bit 0001: 右移1 bit 0010: 右移2 bit

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0011:　右移3 bit 0100:　右移4 bit 0101:　右移5 bit 0110:　右移6 bit 0111:　右移7 bit 1000:　右移8 bit 其他：右移0 bit
11:8	OSR[3:0]	过采样次数配置（Oversample rate times configuration） 0000:　过采样次数为1 0001:　过采样次数为2 0010:　过采样次数为4 0011:　过采样次数为8 0100:　过采样次数为16 0101:　过采样次数为32 0110:　过采样次数为64 0111:　过采样次数为128 1000:　过采样次数为256 其他：过采样次数为1
7	VBATMEN	Vbat监测使能　（Vbat monitor enable） 0：禁止 1：使能
6	DPWMOD	深度睡眠模式（Deep Power Mode） 0：当ADC不使能时，ADC 进入PowerDown模式； 1：当ADC不使能时，ADC 进入深度睡眠模式。
5	BPCAL	旁路校准　（Bypass calibration） 0：禁用； 1：启用。
4	CKMOD	时钟模式（Clock Mode） 0：同步时钟选择AHB； 1：异步时钟选择PLL。
3	CALALD	校准自动载入（calibration auto load） 0：禁止； 1：启用。
2	CALDIF	差分模式校准（Differential mode for calibration） 该位由软件设置和清除，以配置校准的单端或差分输入模式。 0：写入ENCAL位将在单端输入模式下启动校准； 1：写入ENCAL位将在差分输入模式下启动校准。
1:0	RES[1:0]	数据分辨率（Data resolution） 该位由软件设置和清除，选择转换的分辨率。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		00：6位； 01：8位； 10：10位； 11：12位。

17.13.6 ADC 采样时间寄存器(ADC_SAMPT1)

地址偏移：0x10

复位值：0x0000 0000

31-28	27-24	23-20	19-16
SAMP7[3:0]	SAMP6[3:0]	SAMP5[3:0]	SAMP4[3:0]
rw	rw	rw	rw

15-12	11-8	7-4	3-0
SAMP3[3:0]	SAMP2[3:0]	SAMP1[3:0]	SAMP0[3:0]
rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:0	SAMPx[3:0]	通道采样时间选择（Channel Sample time selection） 这些位用于独立选择每个通道的采样时间。通道选择位在采样期间必须保持不变。 0000: 1.5　周期 0001: 2.5　周期 0010: 4.5　周期 0011: 7.5　周期 0100: 13.5 周期 0101: 19.5 周期 0110: 28.5 周期 0111: 41.5 周期 1000: 55.5 周期 1001: 61.5 周期 1010: 71.5 周期 1011: 181.5 周期 1100: 239.5 周期 1101: 601.5 周期

17.13.7 ADC 采样时间寄存器(ADC_SAMPT2)

地址偏移：0x14

复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
SAMP15[3:0]				SAMP14[3:0]				SAMP13[3:0]				SAMP12[3:0]			
rw				rw				rw				rw			
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SAMP11[3:0]				SAMP10[3:0]				SAMP9[3:0]				SAMP8[3:0]			
rw				rw				rw				rw			

位域	名称	描述
31:0	SAMPx[3:0]	通道采样时间选择（Channel Sample time selection） 这些位用于独立选择每个通道的采样时间。通道选择位在采样期间必须保持不变。 00000: 1.5 周期 00001: 2.5 周期 00010: 4.5 周期 00011: 7.5 周期 00100: 13.5 周期 00101: 19.5 周期 00110: 28.5 周期 00111: 41.5 周期 01000: 55.5 周期 01001: 61.5 周期 01010: 71.5 周期 01011: 181.5 周期 01100: 239.5 周期 01101: 601.5 周期

17.13.8 ADC 采样时间寄存器(ADC_SAMPT3)

地址偏移：0x18

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				SAMP18[3:0]				SAMP17[3:0]				SAMP16[3:0]			
				rw				rw				rw			

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:0	SAMPx[3:0]	通道采样时间选择（Channel Sample time selection） 这些位用于独立选择每个通道的采样时间。通道选择位在采样期间必须保持不变。 00000: 1.5 周期 00001: 2.5 周期 00010: 4.5 周期 00011: 7.5 周期 00100: 13.5 周期 00101: 19.5 周期 00110: 28.5 周期 00111: 41.5 周期 01000: 55.5 周期 01001: 61.5 周期 01010: 71.5 周期 01011: 181.5 周期 01100: 239.5 周期 01101: 601.5 周期

17.13.9 ADC 差分模式选择寄存器(ADC_DIFSEL)

地址偏移：0x1C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved													DIFSEL[17:0]		
													rw		

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DIFSEL[17:0]															Reserved
rw															

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必须保持复位值。
18:1	DIFSEL[17:0]	差分模式通道18—1选择（Differential mode for channels 18 to 1） DIFSEL[i] = 0:ADC通道输入i+1配置成单端模式； DIFSEL[i] = 1:ADC通道输入i+1配置成差分模式。
0	Reserved	保留，必须保持复位值。

17.13.10 ADC 校正因子(ADC_CALFACT)

地址偏移：0x20

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved									CALFACTD[6:0]						
									rw						

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved									CALFACTS[6:0]						
									rw						

位域	名称	描述
31:23	Reserved	保留，必须保持复位值。
22:16	CALFACTD[6:0]	差分模式校正因子（Calibration Factors in differential mode） 该位可由硬件或软件写入。 差分输入校准完成后，硬件会根据校准系数进行更新。 软件可以使用新的校准因子写入这些位。如果新的校准系数与模拟ADC中存储的当前系数不同，则将在启动新的差分校准后应用该系数。 *注意：软件只允许在ADC_CTRL2.ON =1, ADC_STS.STR =0, ADC_STS.JSTR =0时写入（ADC没有处理转换或开始转换）。*
15:7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6:0	CALFACTS[6:0]	单端模式校正因子（Calibration Factors in single-ended mode） 该位可由硬件或软件写入。 单端输入校准完成后，硬件会根据校准系数进行更新。 软件可以使用新的校准因子写入这些位。如果新的校准系数与模拟ADC中存储的当前系数不同，则将在启动新的单端校准后应用该系数。 *注：软件只允许在ADC_CTRL2.ON =1, ADC_STS.STR =0, ADC_STS.JSTR =0时写入（ADC没有处理转换或开始转换）。*

17.13.11 ADC 数据偏移寄存器 x(ADC_OFFSETx)(x=1..4)

地址偏移：0x24-0x30

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
OFFSCHx EN	OFFSCHxCH[4:0]					OFFSCHx SATEN	OFFSCHx DIR	Reserved							
rw	rw					rw	rw								

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				OFFSCHxDAT[11:0]											
				rw											

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31	OFFSCHxEN	偏移通道x使能（Offset channel x enable） 该位可由软件写入来开启偏移补偿功能。 0：禁止偏移补偿功能 1：开启偏移补偿功能 *注：ADC正在转换期间，禁止操作该位。*
30:26	OFFSCHxCH[4:0]	偏移通道选择（Offset channel x selection） 该位可由软件写入来选择哪个通道开启偏移补偿 00000：ADC模拟输入通道0； 00001：ADC模拟输入通道1； …… 10000：ADC模拟输入通道16； 10001：ADC模拟输入通道17； 10010：ADC模拟输入通道18；
25	OFFSCHxSATEN	偏移饱和使能（Saturation enable） 该位可由软件写入或清除，来开启到0x0000和0xFFF的饱和功能。 0：无饱和控制，偏移后的数据可能是有符号的 1：开启饱和使能，偏移后的数据为无符号的，范围为0x0000- 0x0FFF。
24	OFFSCHxDIR	偏移方向（Offset direction） 0：负向偏移 1：正向偏移
23:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11:0	OFFSCHxDAT[11:0]	通道x的数据偏移（Data offset for channel x） 这些位定义在将转换通道x（规则通道或者注入通道）时用于从原始转换数据中减去或者加上（取决于OFFSCHxDIR的值）的值。转换结果可以在ADC_DAT或者ADC_JDATx寄存器中读取。 如果多个偏移量都配置为同一个通道，那么偏移通道1的优先级最高，其次为偏移通道2、偏移通道3、偏移通道4。例如OFFSCH1CH[4:0] = 8, OFFSCH2CH[4:0] = 8,那么再转换通道8的时候，只会有OFFSCH1DAT[11:0]做运算。

17.13.12 ADC 看门狗 1 高阈值寄存器(ADC_AWD1HIGH)

地址偏移：0x34

复位值：0x0000 0FFF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				HTH[11:0]											

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

rw

位域	名称	描述
31:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11:0	HTH[11:0]	模拟看门狗1高阈值（Analog watchdog 1 high threshold） 这些位定义模拟看门狗1的高阈值。

17.13.13 ADC 看门狗 1 低阈值寄存器(ADC_AWD1LOW)

地址偏移：0x38

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	AWDFIL[2:0]			LTH[11:0]											
	rw			rw											

位域	名称	描述
31:15	Reserved	保留，必须保持复位值。
14:12	AWDFIL[2:0]	模拟看们狗1滤波值，只能作用在单一通道的看门狗，该位可由软件写入或清除。 000：不开启滤波 001：2次连续的检测结果超出阈值会生成一个AWDx标志或中断 010：3次连续的检测结果超出阈值会生成一个AWDx标志或中断 … 111：8次连续的检测结果超出阈值会生成一个AWDx标志或中断
11:0	LTH[11:0]	模拟看门狗1低阈值 （Analog watchdog 1 low threshold） 这些位定义模拟看门狗1的低阈值。

17.13.14 ADC 看门狗 2 高阈值寄存器(ADC_AWD2HIGH)

地址偏移：0x3C

复位值：0x0000 0FFF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Reserved	HTH[11:0]
	rw

位域	名称	描述
31:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11:0	HTH[11:0]	模拟看门狗2高阈值（Analog watchdog 2 high threshold） 这些位定义模拟看门狗2的高阈值。

17.13.15 ADC 看门狗 2 低阈值寄存器(ADC_AWD2LOW)

地址偏移：0x40

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				LTH[11:0]											
				rw											

位域	名称	描述
31:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11:0	LTH[11:0]	模拟看门狗2低阈值 （Analog watchdog 2 low threshold） 这些位定义模拟看门狗2的低阈值。

17.13.16 ADC 看门狗 3 高阈值寄存器(ADC_AWD3HIGH)

地址偏移：0x44

复位值：0x0000 0FFF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				HTH[11:0]											
				rw											

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11:0	HTH [11:0]	模拟看门狗3高阈值（Analog watchdog 3 high threshold） 这些位定义模拟看门狗3的高阈值。

17.13.17 ADC 看门狗 3 低阈值寄存器(ADC_AWD3LOW)

地址偏移：0x48

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				LTH[11:0]											
				rw											

位域	名称	描述
31:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11:0	LTH[11:0]	模拟看门狗3低阈值 （Analog watchdog 3 low threshold） 这些位定义模拟看门狗3的低阈值。

17.13.18 ADC 模拟看门狗 2 配置寄存器（ADC_AWD2EN）

地址偏移：0x4C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved													AWD2EN[18:16]		
													rw		

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
AWD2EN[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必须保持复位值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
18:0	AWD2EN[18:0]	模拟看门狗2的通道选择 （Analog watchdog 2 channel selection） 这些位定义模拟看门狗2监视的通道，该位可由软件写入或清除。 AWD2EN[x] = 0: 模拟看门狗2不监测ADC模拟输入通道x; AWD2EN[x] = 1: 模拟看门狗2监测ADC模拟输入通道x; 当AWD2EN[18:0] = 0b000..00,模拟看门狗2不工作。

17.13.19 ADC 模拟看门狗 3 配置寄存器（ADC_AWD3EN）

地址偏移：0x50

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved													AWD3EN[18:16]		
													rw		

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
AWD3EN[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必须保持复位值。
18:0	AWD3EN[18:0]	模拟看门狗3的通道选择 （Analog watchdog 3 channel selection） 这些位定义模拟看门狗2监视的通道，该位可由软件写入或清除。 AWD3EN[x] = 0: 模拟看门狗3不监测ADC模拟输入通道x; AWD3EN[x] = 1: 模拟看门狗3监测ADC模拟输入通道x; 当AWD3EN[18:0] = 0b000..00,模拟看门狗3不工作。

17.13.20 ADC 模拟看门狗 2 中断使能寄存器（ADC_AWD2INTEN）

地址偏移：0x54

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved													AWD2INTEN [18:16]		
													rw		

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

AWD2INTEN[15:0]
rw

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必须保持复位值。
18:0	AWD2INTEN[18:0]	模拟看门狗2中断使能 （Analog watchdog 2 interrupt enable） 这些位定义模拟看门狗2监视的通道是否开启中断，该位可由软件写入或清除。 AWD2INTEN [x] = 0: 模拟看门狗2监测的通道x不开启中断; AWD2INTEN [x] = 1: 模拟看门狗2监测的通道x开启中断;

17.13.21 ADC 模拟看门狗 3 中断使能寄存器（ADC_AWD3INTEN）

地址偏移：0x58

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved													AWD3INTEN [18:16]		
													rw		

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
AWD3INTEN[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必须保持复位值。
18:0	AWD3INTEN[18:0]	模拟看门狗3中断使能 （Analog watchdog 3 interrupt enable） 这些位定义模拟看门狗3监视的通道是否开启中断，该位可由软件写入或清除。 AWD3INTEN [x] = 0: 模拟看门狗3监测的通道x不开启中断; AWD3INTEN [x] = 1: 模拟看门狗3监测的通道x开启中断;

17.13.22 ADC 模拟看门狗 2 状态寄存器（ADC_AWD2STS）

地址偏移：0x5C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved													AWD2FLAG[18:16]		
													rc-w1		

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

AWD2FLAG[15:0]
rc-w1

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必须保持复位值。
18:0	AWD2FLAG[18:0]	模拟看门狗2状态标志（Analog watchdog 2 status flag） AWD2FLAG[x] = 0：表示模拟看门狗2监视的通道x转换的电压值未超出了ADC_AWD2HIGH.HTH[11:0]和ADC_AWD2LOW.LTH[11:0]寄存器定义的范围； AWD2FLAG[x] = 1：表示当模拟看门狗2监视的通道x转换的电压值超出了ADC_AWD2HIGH.HTH[11:0]和ADC_AWD2LOW.LTH[11:0]寄存器定义的范围，则被硬件设置为1，软件写1清除。

17.13.23 ADC 模拟看门狗 3 状态寄存器（ADC_AWD3STS）

地址偏移：0x60

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved													AWD3FLAG[18:16]		
													rc-w1		

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
AWD3FLAG[15:0]															
rc-w1															

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必须保持复位值。
18:0	AWD2FLAG[18:0]	模拟看门狗3状态标志（Analog watchdog 3 status flag） AWD3FLAG[x] = 0：表示模拟看门狗2监视的通道x转换的电压值未超出了ADC_AWD3HIGH.HTH[11:0]和ADC_AWD3LOW.LTH[11:0]寄存器定义的范围； AWD3FLAG[x] = 1：表示当模拟看门狗2监视的通道x转换的电压值超出了ADC_AWD3HIGH.HTH[11:0]和ADC_AWD3LOW.LTH[11:0]寄存器定义的范围，则被硬件设置为1，软件写1清除。

17.13.24 ADC 规则序列寄存器 1（ADC_RSEQ1）

地址偏移：0x64

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Reserved	SEQ6[4:0]	SEQ5[4:0]	SEQ4[4:1]
	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

SEQ4[0]	SEQ3[4:0]	SEQ2[4:0]	SEQ1[4:0]
rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值。
29:25	SEQ6[4:0]	规则序列中的第6个转换 （6th conversion in regular sequence） 这些位由软件定义转换序列中的第6个转换通道的编号（0~18）。
24:20	SEQ5[4:0]	规则序列中的第5个转换 （5th conversion in regular sequence） 这些位由软件定义转换序列中的第5个转换通道的编号（0~18）。
19:15	SEQ4[4:0]	规则序列中的第4个转换 （4th conversion in regular sequence） 这些位由软件定义转换序列中的第4个转换通道的编号（0~18）。
14:10	SEQ3[4:0]	规则序列中的第3个转换 （3th conversion in regular sequence）
9:5	SEQ2[4:0]	规则序列中的第2个转换 （2nd conversion in regular sequence）
4:0	SEQ1[4:0]	规则序列中的第1个转换 （1st conversion in regular sequence）

17.13.25 ADC 规则序列寄存器 2（ADC_RSEQ2）

地址偏移：0x68

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16

Reserved	SEQ12[4:0]	SEQ11[4:0]	SEQ10[4:1]
	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

REQ10[0]	SEQ9[4:0]	SEQ8[4:0]	SEQ7[4:0]
rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值。
29:25	SEQ12[4:0]	规则序列中的第12个转换 （12th conversion in regular sequence） 这些位由软件定义转换序列中的第12个转换通道的编号（0~18）。
24:20	SEQ11[4:0]	规则序列中的第11个转换 （11th conversion in regular sequence） 这些位由软件定义转换序列中的第11个转换通道的编号（0~18）。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
19:15	SEQ10[4:0]	规则序列中的第10个转换 （10th conversion in regular sequence） 这些位由软件定义转换序列中的第10个转换通道的编号（0~18）。
14:10	SEQ9[4:0]	规则序列中的第9个转换 （9th conversion in regular sequence）
9:5	SEQ8[4:0]	规则序列中的第8个转换 （8th conversion in regular sequence）
4:0	SEQ7[4:0]	规则序列中的第7个转换 （7th conversion in regular sequence）

17.13.26 ADC 规则序列寄存器 3（ADC_RSEQ3）

地址偏移：0x6C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved			LEN[3:0]				Reserved					SEQ16[4:1]			
			rw				rw					rw			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SEQ16[0]	SEQ15[4:0]					SEQ14[4:0]					SEQ13[4:0]				
rw	rw					rw					rw				

位域	名称	描述
31:29	Reserved	保留，必须保持复位值。
28:25	LEN[3:0]	规则通道序列长度 （Regular channel sequence length） 这些位由软件定义规则序列通道转换中的通道数。 0000：1个转换； 0001：2个转换； ... 1111：16个转换。
24:20	Reserved	保留，必须保持复位值。
19:15	SEQ16[4:0]	规则序列中的第16个转换 （16th conversion in regular sequence） 这些位由软件定义转换序列中的第16个转换通道的编号（0~18）。
14:10	SEQ15[4:0]	规则序列中的第15个转换 （15th conversion in regular sequence）
9:5	SEQ14[4:0]	规则序列中的第14个转换 （14th conversion in regular sequence）
4:0	SEQ13[4:0]	规则序列中的第13个转换 （13th conversion in regular sequence）

17.13.27 ADC 注入序列寄存器（ADC_JSEQ）

地址偏移：0x70

复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved					JLEN[1:0]		Reserved					JSEQ4[4:1]			
					rw							rw			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
JSEQ4[0]	JSEQ3[4:0]					JSEQ2[4:0]					JSEQ1[4:0]				
rw	rw					rw					rw				

位域	名称	描述
31:27	Reserved	保留，必须保持复位值。
26:25	JLEN[1:0]	注入通道序列长度 （Injected sequence length） 这些位由软件定义为注入通道转换序列中的通道数。 00：1个转换； 01：2个转换； 10：3个转换； 11：4个转换。
24:20	Reserved	保留，必须保持复位值。
19:15	JSEQ4[4:0]	注入序列中的第4个转换 （4th conversion in injected sequence） 这些位由软件定义为转换序列中第4个转换通道的编号（0~18）。 *注意：与规则转换序列不同，如果ADC_JSEQ.JLEN[1:0]的长度小于4，则转换序列从(4-JLEN)开始。例如，ADC_JSEQ[21:0] = 10 00011 00011 00111 00010 表示扫描转换将按照以下通道顺序进行转换：7、3、3 而不是 2、7、3。*
14:10	JSEQ3[4:0]	注入序列中的第3个转换 （3rd conversion in injected sequence）
9:5	JSEQ2[4:0]	注入序列中的第2个转换 （2nd conversion in injected sequence）
4:0	JSEQ1[4:0]	注入序列中的第1个转换 （1st conversion in injected sequence）

17.13.28 ADC 注入数据寄存器 x(ADC_JDATx)(x = 1..4)

地址偏移：0x74 – 0x80

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
JDATx[15:0]															
r															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	JDAT[15:0]	注入转换的数据 （Injected data） 这些位是只读的，包含注入通道的转换结果。数据左对齐或右对齐。

17.13.29 ADC 规则数据寄存器 (ADC_DAT)

地址偏移：0x84

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ADC2DAT[15:0]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DAT[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:16	DAT2[15:0]	规则转换对中的第二个数据项 (2nd data item of a pair of regular conversions) — 在双重模式下，这些位包含从ADC的规则数据。 — 在三重模式下，这些位还可以包含ADC1、ADC2和ADC3 的规则数据。 这些位是只读的，包含规则通道的转换结果。数据左对齐或右对齐。
15:0	DAT1[15:0]	规则转换对中的第一个数据项 (1st data item of a pair of regular conversions) — 在双重模式下，这些位包含主ADC的规则数据。 — 在三重模式下，这些位还可以包含ADC1、ADC2和ADC3 的规则数据。 这些位是只读的，包含规则通道的转换结果。数据左对齐或右对齐。

17.13.30 ADC FIFO 配置寄存器 (ADC_FIFOCFG)

地址偏移：0x88

复位值：0x0000 0180

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				NE INTEN	CLR	WL[3:0]				EN	HF INTEN	EINTEN	FINTEN	WEINT EN	REINT EN

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

rw rw rw rw rw rw rw rw rw

位域	名称	描述
31:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11	NEINTEN	FIFO非空中断使能 （FIFO non-empty interrupt enable） 0：禁能 1：使能
10	CLR	FIFO 清空信号 （FIFO clear signal） 0：禁能 1：使能
9:6	WL[3:0]	FIFO水线 （FIFO water level） 0000：保留 0001：FIFO水线为1； 0010：FIFO水线为2； 0011：FIFO水线为3； 0100：FIFO水线为4； 0101：FIFO水线为5； 0110：FIFO水线为6； 0111：FIFO水线为7； 1000：FIFO水线为8； 1001：FIFO水线为9； 1010：FIFO水线为10； 其他：保留
5	EN	FIFO使能 （FIFO enable） 0：禁能 1：使能
4	HFINTEN	FIFO半满中断使能 （FIFO half-full interrupt enable） 0：禁能 1：使能
3	EINTEN	FIFO空中断使能 （FIFO empty interrupt enable） 0：禁能 1：使能
2	FINTEN	FIFO满中断使能 （FIFO full interrupt enable） 0：禁能 1：使能
1	WEINTEN	FIFO写错误中断使能 （FIFO write err interrupt enable） 0：禁能 1：使能
0	REINTEN	FIFO读错误中断使能 （FIFO read err interrupt enable） 0：禁能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：使能

17.13.31 ADC FIFO 状态寄存器（ADC_FIFOSTS）

地址偏移：0x8C

复位值：0x0000 0008

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				NE FLAG	Reserved	DATCNT[4:0]					HF FLAG	EFLAG	FFLAG	WE FLAG	RE FLAG
				rc_w1		r					rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1

位域	名称	描述
31:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11	NEFLAG	FIFO非空标志 （FIFO non-empty status） 则被硬件设置为1，软件写1清除。
10	Reserved	保留，必须保持复位值。
9:5	DATCNT[4:0]	FIFO中的有效数据个数（FIFO invalid data count） 00000：有效数据为0 00001：有效数据为1； 00010：有效数据为2； 00011：有效数据为3； 00100：有效数据为4； 00101：有效数据为5； 00110：有效数据为6； 00111：有效数据为7； 01000：有效数据为8； 01001：有效数据为9； 01010：有效数据为10； 01011：有效数据为11； 01100：有效数据为12； 其他：保留
4	HFFLAG	FIFO半满标志（FIFO half-full status） 则被硬件设置为1，软件写1清除。
3	EFLAG	FIFO空标志（FIFO empty status）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		则被硬件设置为1，软件写1清除。
2	FFLAG	FIFO满标志（FIFO full status） 则被硬件设置为1，软件写1清除。
1	WEFLAG	FIFO写错误标志 （FIFO write error status） 则被硬件设置为1，软件写1清除。
0	REFLAG	FIFO读错误标志 （FIFO read error status） 则被硬件设置为1，软件写1清除。

17.13.32 ADC 电源控制寄存器（ADC_PCTRL）

地址偏移：0x90

复位值：0x0000 0008

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved										EXPEN	RANGE SEL	VREF LDOEN	Reserved		
										rw	rw	rw			

位域	名称	描述
31:6	Reserved	保留，必须保持复位值。
5	EXPEN	0: 禁用外部电源供电，使用内部LDO给ADC供电； 1: 使能外部电源供电。
4	RANGESEL	0: LDO 的电压范围为0.81～0.99V; 1: LDO 的电压范围为0.99～1.21V;
3	VREFLDOEN	0: LDO的参考电压为D_{VDD}; 1: LDO的参考电压为VREF_LDO;
2:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

17.13.33 ADC 控制寄存器 4（ADC_CTRL4）

地址偏移：0x94

复位值：0x002E 3DE1

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Reserved	EXTRISEL[3:0]	EXTRRSEL[3:0]
	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必须保持复位值。
23:20	EXTRISEL[3:0]	选择中断线作为注入通道外部触发信号源 0000: EXTI Line 0　0001: EXTI Line 1　0010: EXTI Line 2　0011: EXTI Line 3 0100: EXTI Line 4　0101: EXTI Line 5　0110: EXTI Line 6　0111: EXTI Line 7 1000: EXTI Line 8　1001: EXTI Line 9　1010: EXTI Line 10　1011: EXTI Line 11 1100: EXTI Line 12　1101: EXTI Line 13　1110: EXTI Line 14　1111: EXTI Line 15
19:16	EXTRRSEL[3:0]	选择中断线作为规则通道外部触发信号源 0000: EXTI Line 0　0001: EXTI Line 1　0010: EXTI Line 2　0011: EXTI Line 3 0100: EXTI Line 4　0101: EXTI Line 5　0110: EXTI Line 6　0111: EXTI Line 7 1000: EXTI Line 8　1001: EXTI Line 9　1010: EXTI Line 10　1011: EXTI Line 11 1100: EXTI Line 12　1101: EXTI Line 13　1110: EXTI Line 14　1111: EXTI Line 15
15:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

17.13.34 ADC 中断使能寄存器（ADC_INTEN）

地址偏移：0x98

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15-9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	EOSMPIEN	PDRDYIEN	RDYIEN	ENDCERRIEN	AWD1IEN	JENDCAIEN	JENDCIEN	ENDCAIEN	ENDCIEN
	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:9	Reserved	保留，必须保持复位值。
8	EOSMPIEN	ADC采样完成中断使能（ADC sample done interrupt enable） 0：禁止ADC采样完成中断； 1：使能ADC采样完成中断。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
7	PDRDYIEN	ADC低功耗准备好中断使能（Power down ready interrupt enable） 0：禁止ADC低功耗准备好中断； 1：使能ADC低功耗准备好中断。
6	RDYIEN	ADC准备好中断使能（Ready interrupt enable） 0：禁止ADC准备好中断； 1：使能ADC准备好中断。
5	ENDCERRIEN	ENDC错误中断使能（ENDC error interrupt enable） 0：禁止ENDC错误中断； 1：使能ENDC错误中断。
4	AWD1IEN	模拟看门狗1中断使能（Analog watchdog 1 interrupt enable） 该位由软件设置和清除，禁止或允许模拟看门狗1产生中断。在扫描模式下，如果看门狗1检测到超出范围的值，则仅当该位置位时才会中止扫描。 0：禁止模拟看门狗1中断； 1：使能模拟看门狗1中断。
3	JENDCAIEN	任何注入通道中断使能 （Interrupt enable for any injected channels） 该位由软件设置和清除以启用/禁用注入通道转换结束中断。 0：ADC_STS.JENDCA 中断禁用； 1：ADC_STS.JENDCA 中断启用。
2	JENDCIEN	注入通道的中断使能（Interrupt enable for injected channels） 该位由软件设置和清除，在所有注入通道转换完成后禁止或允许中断。 0：禁止ADC_STS.JENDC中断； 1：使能ADC_STS.JENDC中断。
1	ENDCAIEN	任何通道中断使能 （Interrupt enable for any regular channels） 该位由软件设置和清除以启用/禁任意通道转换结束中断。 0：ADC_STS.ENDCA 中断禁用； 1：ADC_STS.ENDCA 中断启用。
0	ENDCIEN	ENDC的中断使能（Interrupt enable for ENDC） 该位由软件设置和清除，以禁止或允许在规则或注入转换序列转换结束后发生中断。 0：禁止ADC_STS.ENDC中断； 1：使能ADC_STS.ENDC中断。

17.13.35 ADC 增益补偿寄存器 (ADC_GCOMP)

地址偏移：0x9C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		GCOMPDAT[13:0]													
		rw													

位域	名称	描述
31:14	Reserved	保留，必须保持复位值。
13:0	GCOMPDAT[13:0]	GCOMPDAT 增益补偿系数（Gain compensation coefficient） 该位由软件设置和清除，以设置增益补偿系数。 00 1000 0000 0000: 增益补偿系数为 0.5 ... 01 0000 0000 0000: 增益补偿系数为 1 10 0000 0000 0000: 增益补偿系数为 2 11 0000 0000 0000: 增益补偿系数为 3 ... 该增益系数的范围0~3.999756，该增益系数为参数除以4096。

17.13.36 ADC DSMU 通道屏蔽寄存器 (ADC_DSMUCHMASK)

地址偏移：0xA0

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved													DSMUCH[18:16]		
													rw		

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DSMUCH[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必须保持复位值。
18:0	DSMUCH[18:0]	ADC-DSMU通道屏蔽位使能（ADC-DSMU channel mask enable） 这些位定义ADC-DSMU的输出使能是否屏蔽，该位可由软件写入或清除。 DSMUCH[x] = 0: 使能通道x的ADC-DSMU输出; DSMUCH[x] = 1: 屏蔽通道x的ADC-DSMU输出;

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

18 数字/模拟转换（DAC）

18.1 DAC 介绍

DAC 是数字/模拟转换器，主要是数字输入，电压输出。DAC 数据有 8 位或 12 位两种模式，支持 DMA 功能。当 DAC 配置为 12bit 模式时，DAC 数据可以左对齐或者右对齐；当 DAC 配置为 8bit 模式时，DAC 数据可以右对齐。每个 DAC 都有一个独立的转换器，可独立的进行转换。在双 DAC 模式下，每个 DAC 既可以独立进行转换，也可以两个 DAC（DAC1&DAC2 可以组成一组）同时进行转换并更新。VREF+通过引脚输入作为 DAC 参考电压，使 DAC 的转换数据精确度更高。内置的 VREFBUF 也可以作为 DAC 的参考电压，有关电压参考缓冲（VREFBUF）部分，请参阅 VREFBUF 章节。

当 DAC 输出对内连接到芯片上的外设时，DACx_OUT 引脚可以用作通用输入/输出（GPIO）。可以选择性地启用 DAC 输出缓冲器以获得高驱动输出电流。

18.2 DAC 主要特性

- 支持 2 个 DAC，每个 DAC 对应一个独立的 DAC 转换器
- 支持 8 位或 12 位输出，数据在 12 位模式下分右对齐和左对齐两种模式
- 双 DAC 支持同步或者独立转换
- 每个 DAC 均支持 DMA 功能，并支持 DMA 下溢错误检测
- DMA 双数据模式可节省总线带宽
- 噪声波、三角波形、锯齿波生成
- 缓冲器偏移校准
- 输入参考电压支持 V_{REF+}和内置 VREFBUF
- 外部事件触发转换

18.3 DAC 总览

表 18-1 DAC 特性

DAC特性	DAC1	DAC2
输出缓冲器	支持	支持
I/O连接	PA4连接DAC1_OUT	PA5连接DAC2_OUT
对外输出	支持	支持
对内输出	支持	支持
支持最大采样率	1MSPS	

DAC 结构框图和引脚说明如下。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 18-1 DAC 的框图

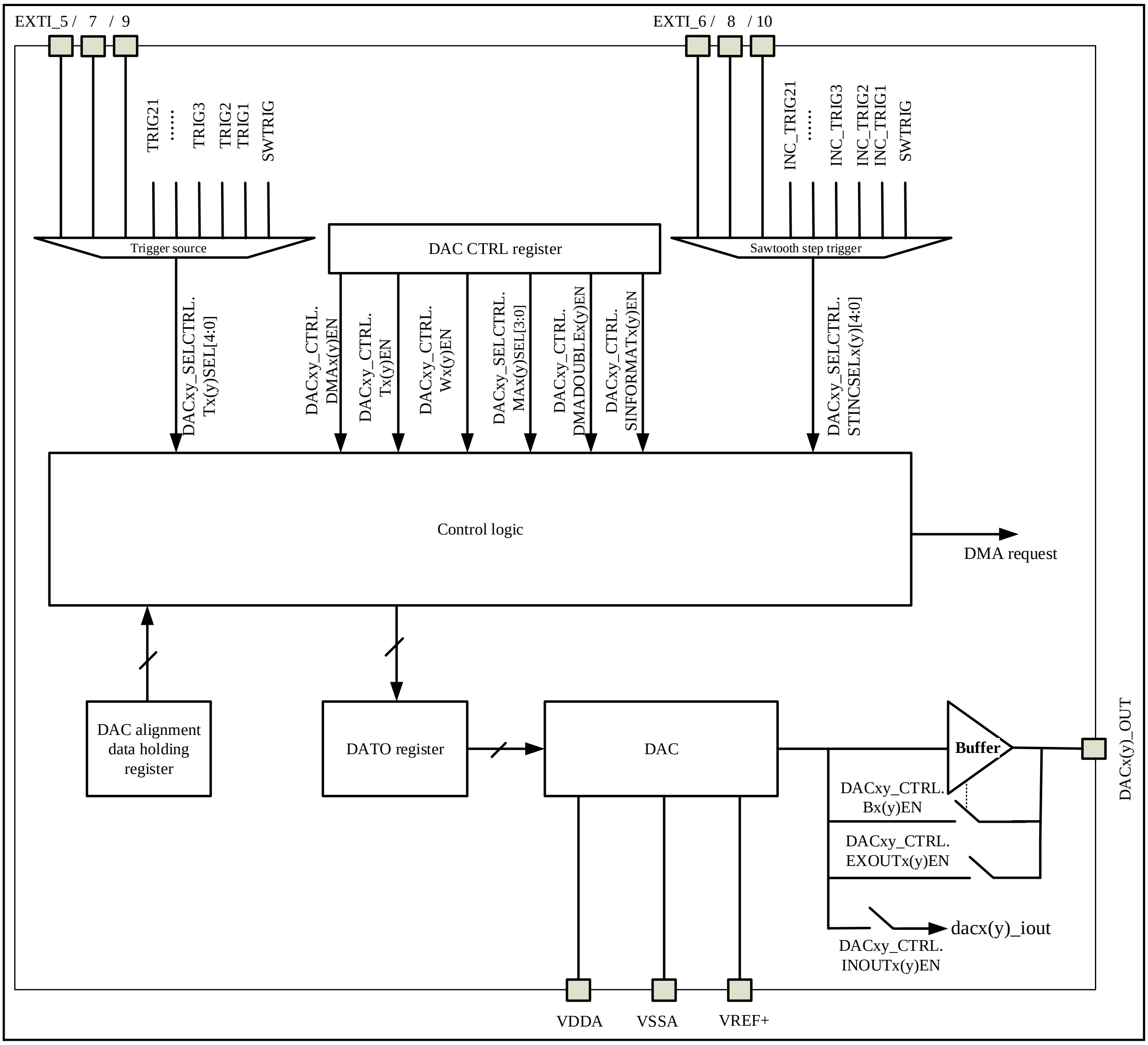


表 18-2 DAC 引脚

名称	描述	类型
V_{REF+}	DAC使用的正参考电压， $1.8V \leq V_{REF+} \leq V_{DDA}$（3.6V）	输入，正模拟参考电压
V_{DDA}	模拟电源	输入，模拟电源
V_{SSA}	模拟电源的地	输入，模拟电源地
DACx(y)_OUT	DACx或者DACy的模拟输出到外部IO	模拟输出信号
dacx(y)_iout	DACx或者DACy的模拟输出到内部外设	模拟输出信号

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

18.4 DAC 功能描述与操作说明

18.4.1 DAC 开启

给 DAC 上电可通过配置 DACxy_CTRL.DACx(y)EN = 1 完成，DAC 需要一段时间 t_{WAKEUP} 打开。

18.4.2 DAC 输出缓冲器

通过配置 DACxy_CTRL.Bx(y)EN 开启或关闭 DAC 的输出缓存，输出缓存开启，输出阻抗降低，驱动能力增强，可以在没有外部运放的条件下驱动外部负载。

表 18-3 DAC1/2/输出特性

输出类型	DACxy_CTRL.INOUTx(y)EN	DACxy_CTRL.EXOUTx(y)EN	DACxy_CTRL.Bx(y)EN
对内输出	1	0	0
对外输出	0	1	0/1
同时对内对外输出	1	1	1

注：当使用同时对内对外输出时，必须使能输出缓冲器（DACxy_CTRL.Bx(y)EN = 1）。

18.4.3 DAC 数据格式

18.4.3.1 数据对齐

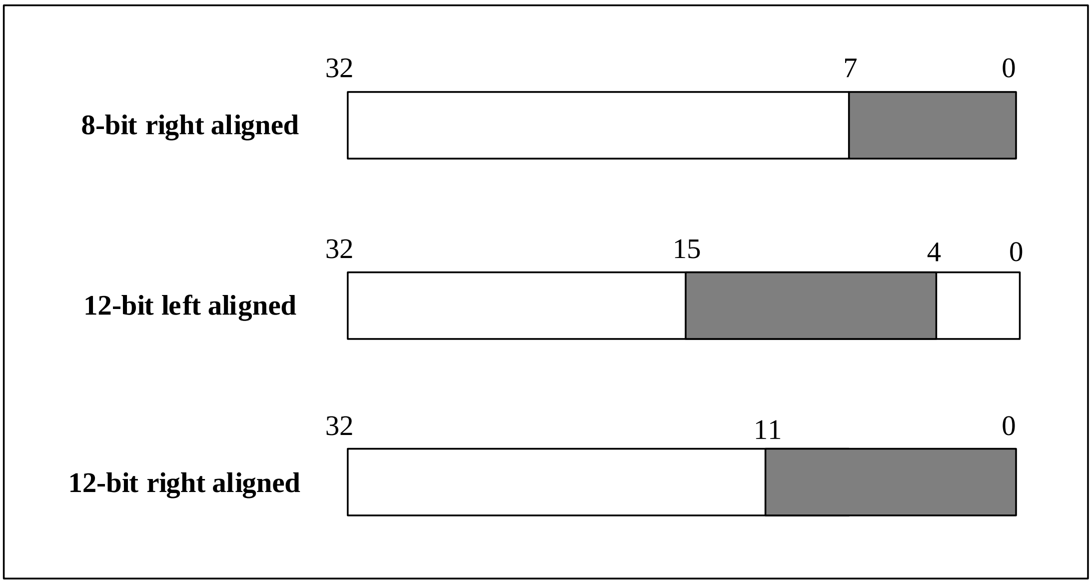
配置数据写入 DACx(y)_DR12 寄存器时，数据写入 DACx(y)_DR12[11:0],12 位数据右对齐。（实际是存入寄存器 DACx(y)_DHR[11:0]位，DACx(y)_DHR 是内部的数据保存寄存器）

配置数据写入 DACx(y)_DL12 寄存器时，数据写入 DACx(y)_DL12[15:4],12 位数据左对齐。（实际是存入寄存器 DACx(y)DHR[11:0]位，DACx(y)_DHR 是内部的数据保存寄存器）

配置数据写入 DACx(y)_DR8 寄存器时，数据写入 DACx(y)_DR8[7:0],8 位数据右对齐。（实际是存入寄存器 DACx(y)DHR[11:4]位，DACx(y)_DHR 是内部的数据保存寄存器）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 18-2 单 DAC 模式的数据寄存器



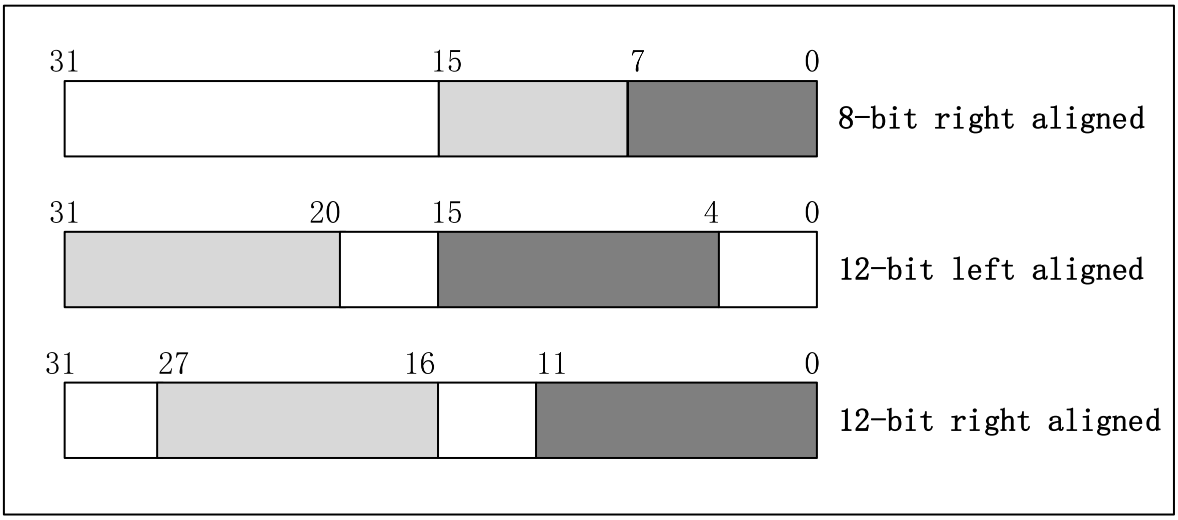
当 DAC 同步输出时，有 3 种情况：

配置数据写入 DACxy_DR12D 寄存器时，DACx 数据写入 DACxy_DR12D[11:0]（实际是存入寄存器 DACx_DHR[11:0]位，DACx_DHR 是内部的数据保存寄存器），DACy 数据写入 DACxy_DR12D[27:16]（实际是存入寄存器 DACy_DHR[11:0]位，DACy_DHR 是内部的数据保存寄存器），12 位数据右对齐。

配置数据写入 DACxy_DL12D 寄存器时，DACx 数据写入 DACxy_DL12D[15:4]（实际是存入寄存器 DACx_DHR[11:0]位，DACx_DHR 是内部的数据保存寄存器），DACy 数据写入 DACxy_DL12D[31:20]（实际是存入寄存器 DACy_DHR[11:0]位，DACy_DHR 是内部的数据保存寄存器），12 位数据左对齐。

配置数据写入 DACxy_DR8D 寄存器时，DACx 数据写入 DACxy_DR8D[7:0]（实际是存入寄存器 DACy_DHR[11:4]位，DACx_DHR 是内部的数据保存寄存器），DACy 数据写入 DACxy_DR8D[15:8]（实际是存入寄存器 DACy_DHR[11:4]位，DACy_DHR 是内部的数据保存寄存器），8 位数据左对齐。

图 18-3 DAC 同步输出时的数据格式



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

18.4.3.2 有符号/无符号数据

DAC 的输入数据是无符号的，取值范围为 0 ~0xFFF;

DAC 还可以以 2 的补码格式处理带符号输入数据。这是通过设置 DACxy_CTRL.SINFORMATx(y)位来实现的。当设置了 DACxy_CTRL.SINFORMATx(y)为 1 时，写入数据保持寄存器的数据的最高有效位（MSB 位）在复制到数据输出 DACx(y)_DATO 寄存器时会被反转。

表 18-4 12-bit 数据格式

SINFORMATx(y)位	DACx(y)D 寄存器值	DACx(y)_DATO 寄存器值
0	0x800	0x800
0	0x7FF	0x7FF
0	0xFFF	0xFFF
1	0x000	0x800
1	0x7FF	0xFFF
1	0x800	0x000
1	0xFFF	0x7FF

18.4.4 DAC 触发

配置 DACxy_CTRL.Tx(y)EN = 1 可以使能 DAC 的外部触发，通过配置 DACxy_SELCTRL.Tx(y)SEL[4:0]来选择一个外部触发事件作为 DAC 的外部触发源。这些事件也可以是软件触发或者硬件触发，如下表所示；

表 18-5 DAC 外部触发

触发源	类型	Tx(y)SEL[4:0]
高级定时器 1 TRGO 事件	来自片上定时器的内部信号	00001
高级定时器 2 TRGO 事件		00010
高级定时器 3 TRGO 事件		00011
保留		00100
通用定时器 1 TRGO 事件		00101
通用定时器 2 TRGO 事件		00110
通用定时器 3 TRGO 事件		00111
通用定时器 4 TRGO 事件		01000
通用定时器 5 TRGO 事件		01001
通用定时器 6 TRGO 事件		01010
通用定时器 7 TRGO 事件		01011
通用定时器 8 TRGO 事件		01100
通用定时器 9 TRGO 事件		01101
通用定时器 10 TRGO 事件		01110
EXTI line 5	外部引脚	01111
EXTI line 7		10000
EXTI line 9		10001
SWTRIG（软件触发）	软件控制位	00000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

当 DAC 的触发源为定时器输出或者 EXTI 线的上升沿时，当触发产生，对齐数据保持寄存器的数据会被传送到 DACx(y)_DATO 寄存器中，这个数据传输过程需要几个时钟周期，具体请参考 18.4.5 章节描述。

如果用户触发源选择了软件触发，配置 DACxy_SOTTR.TRx(y)EN = 1，对齐数据保持寄存器的数据会被传送到 DACx(y)_DATO 寄存器中，DACxy_SOTTR.TRx(y)EN 位会在数据传输后硬件自动清 0。

锯齿波生成的步进触发源可以通过 DACxy_SELCTRL.STINCSELx(y)[4:0]控制位选择。具体的触发源如下表所示：

表 18-6 DAC 锯齿波步进触发源信号

触发源	类型	STINCSELx(y)[4:0]
高级定时器 1 TRGO 事件	来自片上定时器的内部信号	00001
高级定时器 2 TRGO 事件		00010
高级定时器 3 TRGO 事件		00011
保留		00100
通用定时器 1 TRGO 事件		00101
通用定时器 2 TRGO 事件		00110
通用定时器 3 TRGO 事件		00111
通用定时器 4 TRGO 事件		01000
通用定时器 5 TRGO 事件		01001
通用定时器 6 TRGO 事件		01010
通用定时器 7 TRGO 事件		01011
通用定时器 8 TRGO 事件		01100
通用定时器 9 TRGO 事件		01101
通用定时器 10 TRGO 事件		01110
EXTI line 6	外部引脚	01111
EXTI line 8		10000
EXTI line 10		10001
SWTRIG（软件触发）	软件控制位	00000

注意：

1. *DAC 使能状态下禁止改变 DACxy_SELCTRL.Tx(y)SEL[4:0] 位；*
2. *ATIM、GTIM 和 DAC 的时钟域不同，跨时钟域会导致亚稳态。如果 DAC 步进触发速率太接近 DAC 工作时钟，则会出现亚稳态，导致出现超频，超频会导致超频处的 DAC 步进触发丢失。*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

18.4.5 DAC 转换

用户不能直接操作 DACx(y)_DATO 寄存器，写入 DHR（包括 DACx(y)_DR8, DACx(y)_DR12, DACx(y)_DL12, DACxy_DR8D, DACxy_DR12D, DACxy_DL12D）才能生效。

从 DHR 到 DACx(y)_DATO 寄存器（简称 DATO）需要时间，具体如下表所示：

表 18-7 DAC1-DAC2 转换时间描述

<table>
<tr><th>Tx(y)EN</th><th>Wx(y)EN</th><th>Tx(y)SEL[4:0]</th><th>DHR -> DATO(bus_clk)</th><th>从 DATO 到模拟开启建立的时间 T1</th></tr>
<tr><td>0</td><td>0b’000</td><td>00000</td><td>2</td><td rowspan="4">HFSEL = 0:T1 为(PCS[7:0]/2-1) 个 bus_clk[1];
HFSEL = 1:T1 为 1 个 bus_clk;
HFSEL = 2:T1 为 3 个 bus_clk;
HFSEL = 3:T1 为 5 个 bus_clk;</td></tr>
<tr><td rowspan="3">1</td><td>0b’000</td><td>00000</td><td>4</td></tr>
<tr><td>0b’000</td><td>非 0b’00000</td><td>4</td></tr>
<tr><td>非 0b’000</td><td>-</td><td>3</td></tr>
</table>

注意：

1. *bus_clk 为 DAC 挂载的总线时钟，DAC1/2 挂载在 APB 总线；*

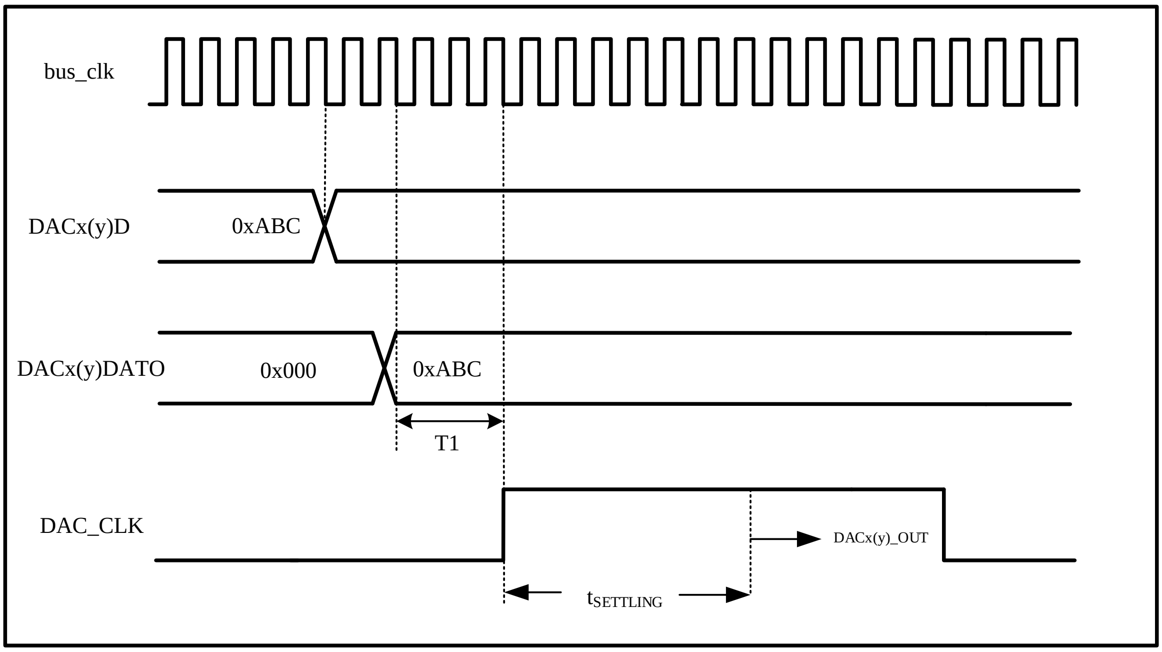
对于 DAC1-DAC2 来说，当 bus_clk 时钟速度高于 80 MHz 时，必须设置 DACxy_HFSEL[1:0] 位。它会增加从 DACx(y)_DATO 寄存器到模拟开始建立时间点的额外的延迟。

如果在不允许的时间段内更新了数据或发生了软件/硬件触发事件，外设行为将受到影响。期间更新数据或发生软件/硬件触发事件，外设行为将无法预测。

DAC 的有效输出需经历以下阶段。首先 DAC 从数据保持寄存器将数据传送至 DACx(y)_DATO 寄存器，然后 DACx(y)_DATO 寄存器延时 T1 时间后模拟开启转换，最后经过时间 $t_{SETTLING}$ 输出才有效，这个时间 $t_{SETTLING}$ 与电源电压及模拟输出负载相关。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 18-4 触发禁能时转换时序图(HFSEL = 0b’10)



18.4.6 DAC 输出电压

数字输入通过 DAC 模块转换为模拟电压输出，它们之间呈线性关系，输出范围为 0 到 VREF+。以下是 DAC 的输出电压计算公式：

DAC 输出 = V_{REF+} x (DATO / 4095)。

18.4.7 DMA 请求

配置 DACxy_CTRL.DMAx(y)EN = 1 来开启 DMA 功能，有外部触发发生时（不是软件触发），生成一个 DMA 请求，随后对齐数据保持寄存器的数据被传输到 DACx(y)_DATO 寄存器。

在双 DAC 模式下，如果设置了两个 DACxy_CTRL.DMAx(y)EN 位，将会产生两个 DMA 请求。如果只需要一个 DMA 请求，则只需要设置 DMAxEN 位。通过这种方式，应用可以通过使用一个 DMA 请求来管理两个 DAC。

由于 DMA 请求发生在数据保持寄存器加载到 DACx(y)_DATO 寄存器之后，所以用户必须先将数据写到数据保持寄存器中，再去触发 DAC 转换。

18.4.7.1 DMA 下溢

DAC 的 DMA 请求不会排队，因此如果在收到第一个外部触发的确认（第一个请求）之前到达第二个外部触发，那么不会发出新的请求，而是会置位 DACxy_STS.DMAUDRx(y)标志，报告错误情况。DAC 继续转换旧数据。因此，用户必须设置合适的 DAC 触发频率以减少 DMA 的工作负载。以避免产生 DMA 下溢。

当 DMA 下溢发生时，用户可以通过写入 1 来清除 DACxy_STS.DMAUDRx(y)标志，之后关闭 DMA 使能位，并重新初始化 DMA 和 DAC，以便正确地重新启动传输。

如果用户设置了 DACxy_CTRL.DMAUDRx(y)IEN 位，当发生 DMA 下溢事件后，会同时产生 DMA 下溢中断。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

18.4.7.2 DMA 双数据模式

DMA 工作时，一次 DMA 请求，只能传输 8-bit 或 12-bit 的有效数据，因为 AHB 带宽时 32-bit，所以这极大的浪费的 DMA 的带宽。因此可以考虑用两个 12bit 数据同时传输，这样可以节省 DMA 的传输效率。设置 DACxy_CTRL.DMADOUBLEx(y)为 1，即可开启 DMA 双数据模式。

当设置了 DACxy_CTRL.DMAx(y)EN 位时，每隔两个外部触发（除了软件触发）就会生成一个 DAC DMA 请求。

1. 当检测到第一个触发事件时，DACx(y)DB 寄存器的值会被传输到 DACx(y)_DATO 寄存器中。然后生成一个 DMA 请求，随后 DMA 将新数据写入 DACx(y) D 和 DACx(y) DB 数据寄存器中。
2. 当检测到下一个触发事件时，DACx(y)D 寄存器的值会被传输到 DACx(y)_DATO 寄存器中。第二个触发事件不会生成任何 DMA 请求。
3. 当检测到下一个触发事件时，DACx(y)DB 寄存器的值会被传输到 DACx(y)_DATO 寄存器中。然后生成一个 DMA 请求，随后 DMA 将新数据写入 DACx(y) D 和 DACx(y)DB 数据寄存器中。

在 DMA 双数据模式下，DAC 也支持 DMA 下溢功能。

在 DMA 双数据模式下，DMA 请求只能够处理一个 DAC。当在双 DAC 模式下，两个 DAC 同时使用 DMA 双数据，用户需要对两个独立的 DMA 通道单独配置。

要从双数据模式切换到单数据模式，或者从单数据模式切换到双数据模式，必须满足以下条件：

- DAC 必须处于关闭状态. (DACxy_CTRL.DACx(y)EN = 0)
- DMA 使能处于关闭状态(DACxy_CTRL.DMAx(y)EN = 0)

18.4.8 噪声产生

DAC 可以生成噪声，通过配置 DACxy_CTRL.Wx(y)EN[2:0] 为 3b’001 开启噪声功能，通过配置 DACxy_SELCTRL.MAx(y)SEL[3:0]来选择屏蔽线性反馈移位寄存器（LFSR）的哪些位，LFSR寄存器的值与DAC对齐数据保持寄存器的值相加后写入到DACx(y)_DATO寄存器中（溢出位被舍弃）。LFSR的初始值为0xAAA，LFSR的值更新于触发事件发生后的3个bus_clk时钟周期之后。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 18-5 DAC LFSR 算法

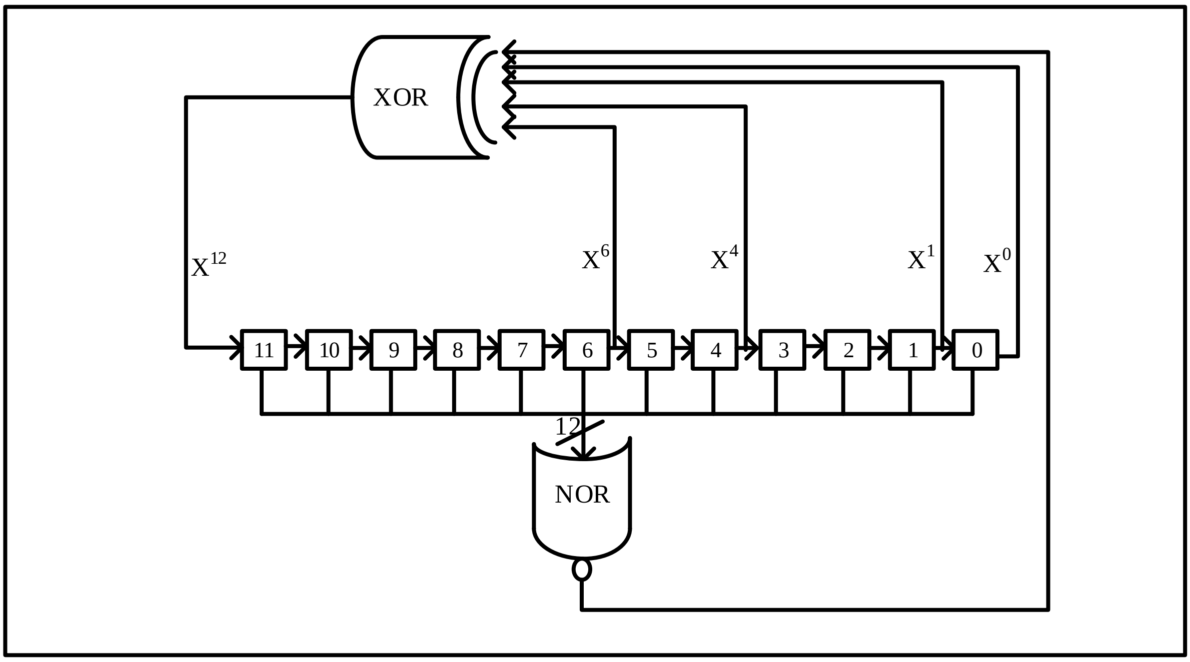
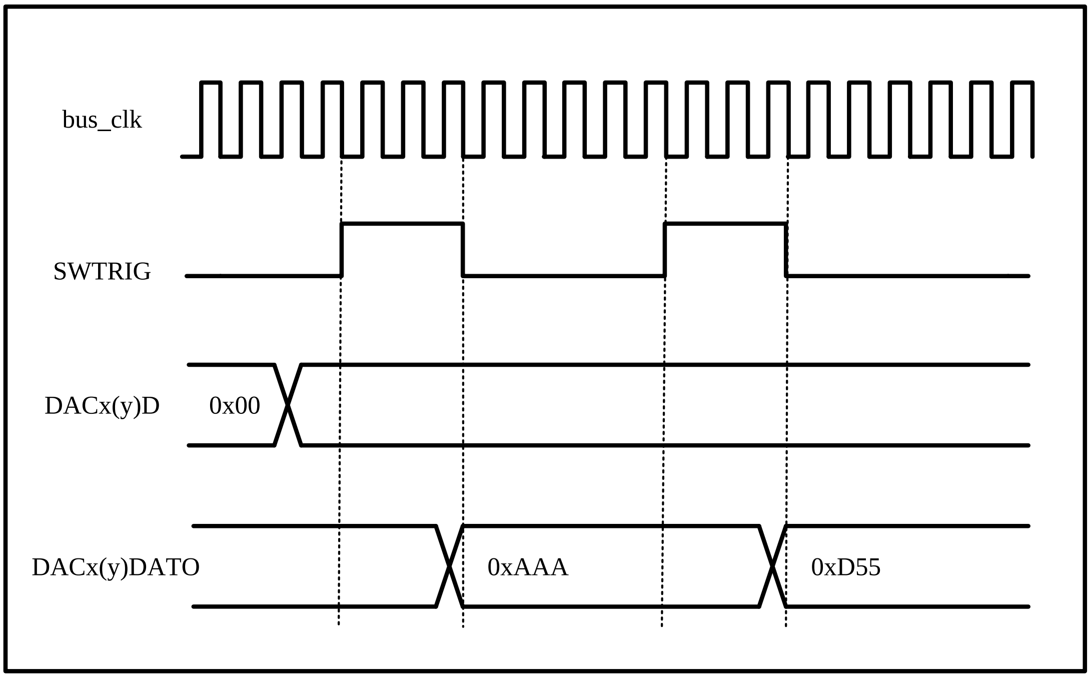


图 18-6 带 LFSR 波形生成的 DAC 转换（使能软件触发）



注意：DAC 配置为触发使能（DACxy_CTRL.Tx(y)EN = 1）才能产生噪声。

18.4.9 三角波产生

DAC 可以生成三角波，通过配置 DACxy_CTRL.Wx(y)EN[2:0]为 3b’010 开启三角波功能，通过配置 DACxy_SELCTRL.MAx(y)SEL[3:0]来选择三角波的幅值，内部的三角波计数器值与 DAC 对齐数据保持寄存器的值相加后写入到 DACx(y)_DATO 寄存器中（溢出位被舍弃）。三角波计数器的值更新于触发事件发生后 3 个 bus_clk 周期，三角波计数器会累加到设置的最大幅值，然后递减到 0，依此循环。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 18-7 DAC 三角波生成

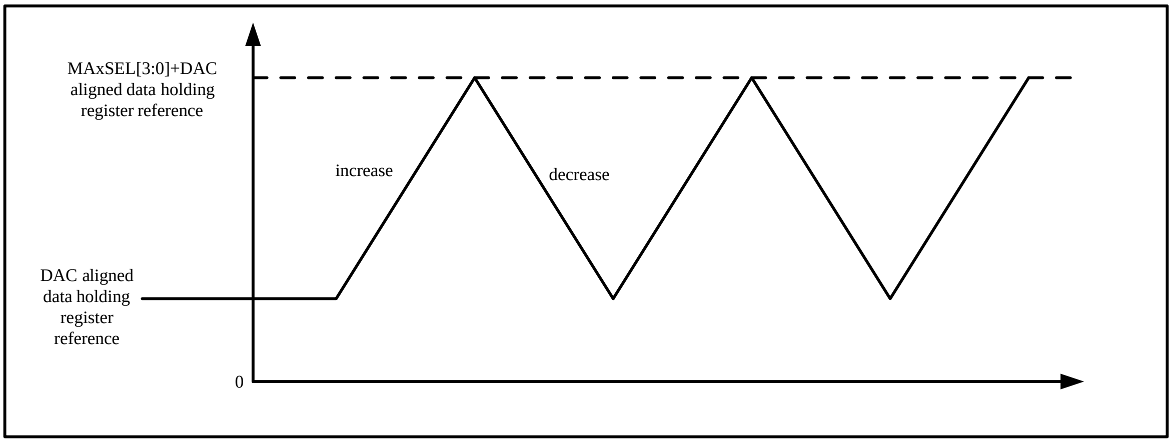
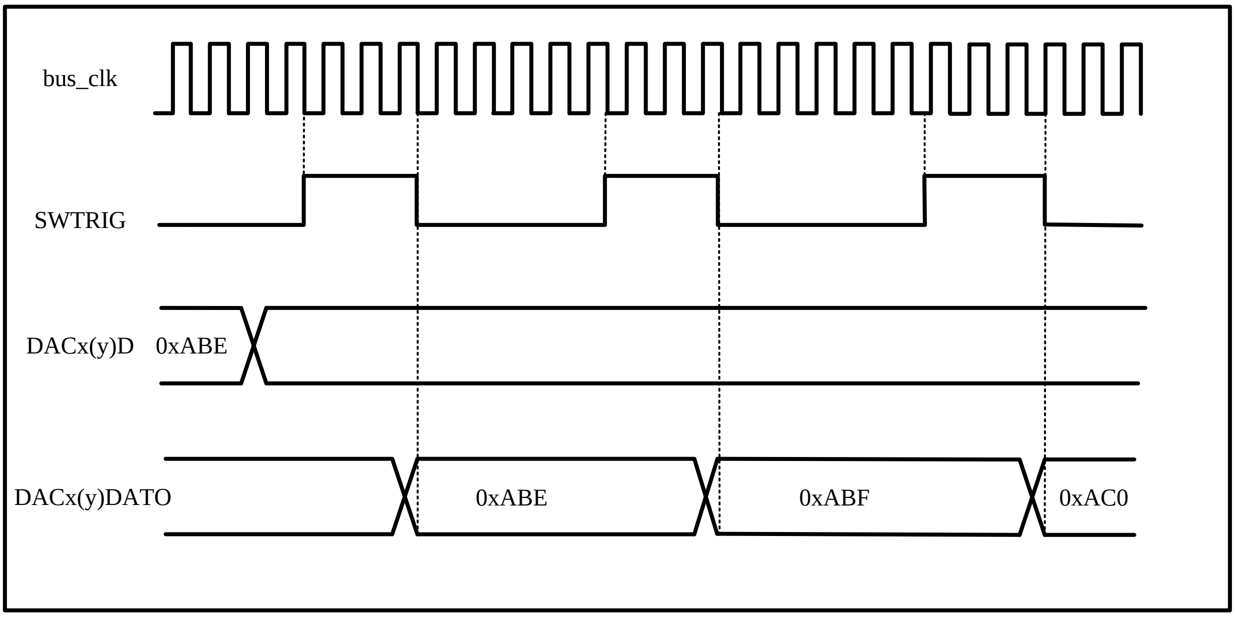


图 18-8 带三角生成的 DAC 转换（使能软件触发，HFSEL[1:0] = 0b'01）



注意： 1. DAC 配置为触发使能（DACxy_CTRL.Tx(y)EN = 1）才能产生产生三角波；

2. 不允许在 DAC 使能后设置 DACxy_SELCTRL.MAx(y)SEL[3:0]。

18.4.10 锯齿波产生

锯齿波生成的步骤如下所示：

1. 配置 DACxy_CTRL.Wx(y)EN[2:0]为 3b'100 或者 3b'110，选择递增锯齿波或递减锯齿波；
2. 通过设置 DACxy_SELCTRL.Tx(y)SEL[4:0]以及 DACxy_SELCTRL.STINCSELx(y)[4:0]的值，来分别配置锯齿波的复位触发源以及步进触发源；
3. 通过设置 DACxy_STRST.STRSTDATAx(y)[11:0]来配置锯齿波的复位值；
4. 通过设置 DAC_STRST.STINCDATAx(y)[11:0]来配置锯齿波的步进值；

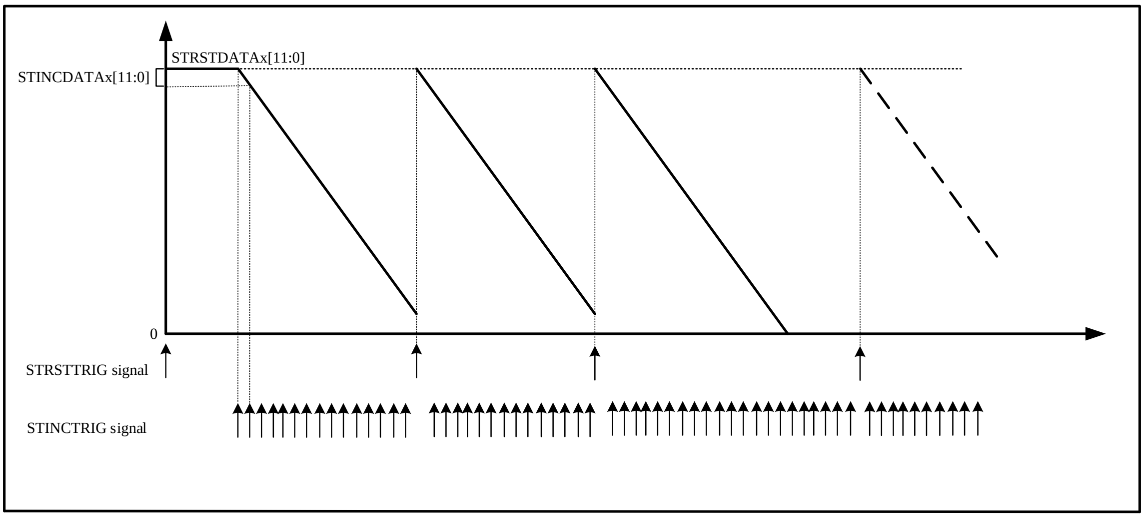
当配置为递增锯齿波的时候，锯齿波从 DAC_STRST.STRSTDATAx[11:0]开始计数。每次步进触发，计数器

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

都会增加 DAC_STRST.STINCDATAx(y)[11:0]，当计数器达到饱和值 0xFFF 的时候，再次步进触发，计数器会处于饱和状态。当复位触发到来时，计数器会恢复到 DACxy_STRST.STRSTDATAx(y)[11:0]。

当配置为递减锯齿波时，锯齿波从 DACxy_STRST.STRSTDATAx(y)[11:0]开始计数。每次步进触发，计数器都会减少 DAC_STRST.STINCDATAx(y)[11:0]，当计数器达到饱和值 0x000 的时候，再次步进触发，计数器会处于饱和状态。当复位触发到来时，计数器会恢复到 DACxy_STRST.STRSTDATAx(y)[11:0]。

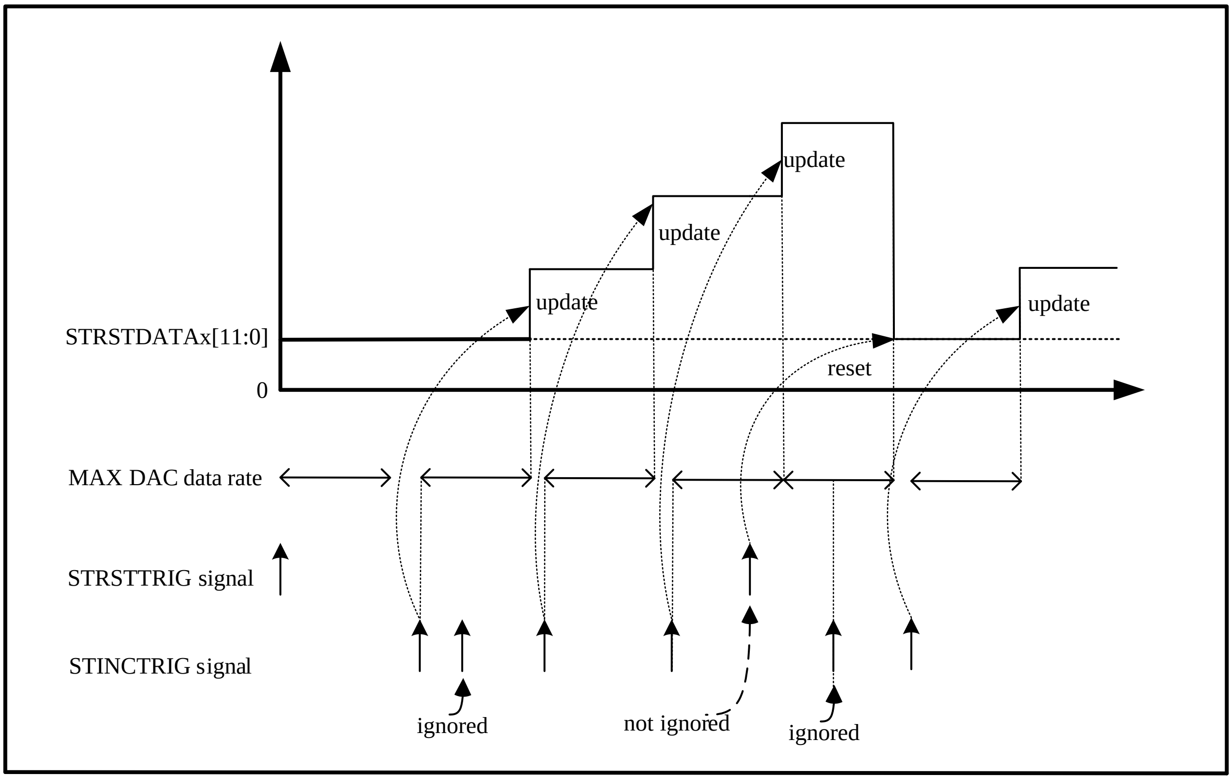
图 18-9 递减锯齿波生成



锯齿波的复位触发信号 STRSTTRIG 的优先级高于步进触发信号 STINCTRIG，锯齿波的外部触发的速率不得高于 DAC 的更新速率。如果步进触发信号 DACxy_SELCTRL.STINCSELx(y)[4:0]高于 DAC 的更新速率，那么该触发信号就会被忽略。如果在响应步进触发信号 STINCTRIG 之后、突然施加了复位触发信号 STRSTTRIG 信号，则 STRSTTRIG 会被暂停。然后，在数据递增或递减之后立即响应复位触发。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 18-10 DAC 递增锯齿波复位信号触发与步进触发优先级



18.4.11 DAC 缓冲器校准

N-bit 的 DAC 转换器的公式如下：

$$V_{OUT} = (\mathrm{Din}/2^N) \times \mathrm{Gain} \times V_{REF} + V_{OFFSET}$$

其中： V_{OUT} 为模拟电压输出，Din 为数字输入，Gain 为增益误差，V_{REF} 为满量程电压。V_{OFFSET} 为偏移电压。对于理想的 DAC, Gain = 1， V_{OFFSET} = 0。

由于输出缓冲特性，不同部件之间的电压偏移可能不同，并在模拟输出上引入绝对偏移误差。为了补偿这种电压偏移（V_{OFFSET}），需要通过修整技术进行校准。 仅当 DACx 在缓冲器启用的情况下运行（BxEN＝0b’1）时，校准才有效。如果在缓冲器关闭的其他模式下应用，则无效。在校准过程中：

- 输出从外部引脚或者内部连接断开；
- 缓冲器充当比较器，感知中间编码值 0x800，并通过内部电桥将其与 VREF+/2 信号

进行比较，然后根据比较结果（DACxy_SR.CALFLAGx(y)位）将其输出信号切换为 0 或 1。

有两种校准模式：工厂校准和用户校准，用户可以选择

1. 工厂校准：

   这个校准值在出厂就完成，在 DAC 复位的时候，会加载到 DACxy_CALC.OTRIMx(y)[4:0]寄存器中；

2. 用户校准：

   用户修调可以在操作条件与标称出厂修整条件不同时进行，特别是当 VDDA 电压、温度、VREF+值发生变化时，可以在应用程序的任何时点通过软件来进行。工厂的校准环境可以参考数据手册。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

用户校准步骤如下所示：

1） 打开 DAC 校准使能（DACxy_CTRL.CALx(y)EN = 1）;

2） 打开 DAC 的 buffer 缓冲器模式（DACxy_CTRL.Bx(y)EN = 1）

3）使能 DAC（DACxy_CTRL.DACx(y)EN = 1）;

4）应用校准算法：

a)写入 00000b 到 DACxy_CALC.OTRIMx(y)[4:0];

b)等待 100us 以上并检查状态寄存器 DACxy_STS.CALFLAGx(y)位是否置 1？

c)状态位置 1，则结束校准，否则写入 00001b 到 DACxy_CALC.OTRIMx(y)[4:0]，重复以上步骤；

软件算法可以使用连续逼近法或二分法技术来更快地计算和设置 DACxy_CALC.OTRIMx(y)[4:0]位的内容。DACxy_STS.CALFLAGx(y) 位的切换指示偏移已正确补偿，并且相应的修整码必须保留在 DACxy_CALC.OTRIMx(y)[4:0]位中。

如果在设备运行过程中 V_{DDA}、V_{REF+}和温度条件不发生变化，但它更频繁地进入 STANDBY 或 VBAT 模式，软件可以将首次用户校准中找到的 DACxy_CALC.OTRIMx(y)[4:0]位存储在闪存或备份寄存器中。然后，在设备恢复供电时，直接加载/写入这些位，从而避免等待新的校准时间。当 DACxy_CTRL.CALx(y)EN 位被设置时，需设置 DACxy_CTRL.DACx(y)EN 位以开启校准功能。

18.5 双 DAC 转换操作

两个DAC即可以单独工作，也可以同时工作。该模式下，有DACxy_DR12D、DACxy_DL12D和DACxy_DR8D总共 3 个寄存器可以使用，可以高效的利用总线带宽，每个寄存器都可以同时对 2 路 DAC 进行操作。

双 DAC 同时开启转换，总共有 15 种模式，在只使用一路 DAC 转换的情况下，另外一路 DAC 仍可以独立进行操作。具体请参考下面的章节描述。

18.5.1 不使用波形发生器的独立触发

配置流程如下：

◆ 配置 DACxy_CTRL.TxEN 和 DACxy_CTRL.TyEN 来开启 DACx 和 DACy 触发使能。

◆ 配置 DAC_SELCTRL.TxSEL[4:0]和 DAC_SELCTRL.TySEL[4:0]为不同值来选择不同触发源。

◆ 配置 DACxy_CTRL.WxEN[2:0]和 DACxy_CTRL.WyEN[2:0]为“000”来选择不使用波形发生器。

◆ 将所需转换的数据放入对应的对齐数据保持寄存器中。

当 DACx 触发事件产生时，对齐数据保持寄存器的值将在延迟 4 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACx_DATO。当 DACy 触发事件产生时，对齐数据保持寄存器的值将在延迟 4 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACy_DATO。

18.5.2 产生相同噪声的独立触发

配置流程如下：

◆ 配置 DACxy_CTRL.TxEN 和 DACxy_CTRL.TyEN 来开启 DACx 和 DACy 触发使能。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 配置 DAC_SELCTRL.TxSEL[4:0]和 DAC_SELCTRL.TySEL[4:0]为不同值来选择不同触发源。
- 配置 DACxy_CTRL.WxEN[2:0]和 DACxy_CTRL.WyEN[2:0]为“001”来选择噪声生成使能。
- 配置 DAC_SELCTRL.MAxSEL[3:0]和 DAC_SELCTRL.MAySEL[3:0]为相同值，以得到相同的 LFSR 寄存器屏蔽位。
- 将所需转换的数据放入对应的对齐数据保持寄存器中。

当 DACx 触发事件产生时，LFSR 寄存器 1 的计数器值与对应数据保持寄存器数值相加，此相加值在延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACx_DATO，LFSR 寄存器 1 的计数器值此时会更新。当 DACy 触发事件产生时，LFSR 寄存器 2 的计数器值与对应数据保持寄存器数值相加，此相加值在延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACy_DATO，LFSR 寄存器 2 的计数器值此时会更新。

18.5.3 产生不同噪声的独立触发

配置流程如下：

- 配置 DACxy_CTRL.TxEN 和 DACxy_CTRL.TyEN 来开启 DACx 和 DACy 触发使能。
- 配置 DAC_SELCTRL.TxSEL[4:0]和 DAC_SELCTRL.TySEL[4:0]为不同值来选择不同触发源。
- 配置 DACxy_CTRL.WxEN[2:0]和 DACxy_CTRL.WyEN[2:0]为“001”来选择噪声生成使能。
- 配置 DACxy_SELCTRL.MAxSEL[3:0]和 DACxy_SELCTRL.MAySEL[3:0]为不同值，以得到不同的 LFSR 寄存器屏蔽位。
- 将所需转换的数据放入对应的对齐数据保持寄存器中。

当 DACx 触发事件产生时，LFSR 寄存器 1 的计数器值与对应数据保持寄存器数值相加，此相加值在延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACx_DATO，LFSR 寄存器 1 的计数器值此时会更新。当 DACy 触发事件产生时，LFSR 寄存器 2 的计数器值与对应数据保持寄存器数值相加，此相加值在延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACy_DATO，LFSR 寄存器 2 的计数器值此时会更新。

18.5.4 产生相同三角波的独立触发

配置流程如下：

- 配置 DACxy_CTRL.TxEN 和 DACxy_CTRL.TyEN 来开启 DACx 和 DACy 触发使能。
- 配置 DAC_SELCTRL.TxSEL[4:0]和 DAC_SELCTRL.TySEL[4:0]为不同值来选择不同触发源。
- 配置 DACxy_CTRL.WxEN[2:0]和 DACxy_CTRL.WyEN[2:0]为“010”来选择三角波生成使能。
- 配置 DACxy_SELCTRL.MAxSEL[3:0]和 DACxy_SELCTRL.MAySEL[3:0]为相同值，以得到相同的三角波幅值。
- 将所需转换的数据放入对应的对齐数据保持寄存器中。

当 DACx 触发事件产生时，三角波幅值与对应数据保持寄存器数值相加，此相加值在延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACx_DATO，DACx 的三角波的计数器值此时会更新。当 DACy 触发事件产生时，三角波幅值与对应数据保持寄存器数值相加，此相加值在延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACy_DATO，DACy 的三角波的计数器值此时会更新。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

18.5.5 产生不同三角波的独立触发

配置流程如下：

- 配置 DACxy_CTRL.TxEN 和 DACxy_CTRL.TyEN 来开启 DACx 和 DACy 触发使能。
- 配置 DAC_SELCTRL.TxSEL[4:0]和 DAC_SELCTRL.TySEL[4:0]为不同值来选择不同触发源。
- 配置 DACxy_CTRL.WxEN[2:0]和 DACxy_CTRL.WyEN[2:0]为“010”来选择三角波生成使能。
- 配置 DACxy_SELCTRL.MAxSEL[3:0]和 DACxy_SELCTRL.MAySEL[3:0]为不同值，以得到不同的三角波幅值。
- 将所需转换的数据放入对应的对齐数据保持寄存器中。

当 DACx 触发事件产生时，三角波幅值与对应数据保持寄存器数值相加，此相加值在延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACx_DATO，DACx 的三角波的计数器值此时会更新。当 DACy 触发事件产生时，三角波幅值与对应数据保持寄存器数值相加，此相加值在延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACy_DATO，DACy 的三角波的计数器值此时会更新。

18.5.6 产生相同锯齿波的独立触发

配置流程如下：

- 配置 DACxy_CTRL.TxEN 和 DACxy_CTRL.TyEN 来开启 DACx 和 DACy 触发使能。
- 配置 DAC_SELCTRL.TxSEL[4:0]和 DAC_SELCTRL.TySEL[4:0]为不同值来选择不同复位触发源。
- 配置 DAC_SELCTRL.STINCSELx[4:0]和 DAC_SELCTRL.STINCSELy[4:0]为不同值来选择不同步进触发源。
- 配置 DAC_STINC.STINCDATAx[11:0]和 DAC_STINC.STINCDATAy[11:0]为相同值来作为锯齿波的步进值。
- 配置 DAC_STRST.STRSTDATAx[11:0]和 DAC_STRST.STRSTDATAy[11:0]为相同值来作为锯齿波的复位值。
- 配置 DACxy_CTRL.WxEN[2:0]和 DACxy_CTRL.WyEN[2:0]为“100”或者“110”来选择锯齿波生成使能。
- 开启相应的外部触发。

当 DACx 复位事件触发时，锯齿波会将 DAC_STRST.STRSTDATAx[11:0]寄存器的值延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACx_DATO，DACx 的锯齿波的计数器值此时会更新。当步进事件触发时，锯齿波的计数器会增加或减去 DAC_STINC.STINCDATAx[11:0],将运算的结果延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACx_DATO。当 DACy 复位事件触发时，锯齿波会将 DAC_STRST.STRSTDATAy[11:0]寄存器的值延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACy_DATO，DACy 的锯齿波的计数器值此时会更新。当步进事件触发时，锯齿波的计数器会增加或减去 DAC_STINC.STINCDATAy[11:0],将运算的结果延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACy_DATO。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

18.5.7 产生不同锯齿波的独立触发

配置流程如下：

- 配置 DACxy_CTRL.TxEN 和 DACxy_CTRL.TyEN 来开启 DACx 和 DACy 触发使能。
- 配置 DAC_SELCTRL.TxSEL[4:0]和 DAC_SELCTRL.TySEL[4:0]为不同值来选择不同复位触发源。
- 配置 DAC_SELCTRL.STINCSELx [4:0]和 DAC_SELCTRL.STINCSELy[4:0]为不同值来选择不同步进触发源。
- 配置 DAC_STINC.STINCDATAx [11:0]和 DAC_STINC.STINCDATAy[11:0]为不同值来作为锯齿波的步进值。
- 配置 DAC_STRST.STRSTDATAx[11:0]和 DAC_STRST.STRSTDATAy[11:0]为不同值来作为锯齿波的复位值。
- 配置 DACxy_CTRL.WxEN[2:0]和 DACxy_CTRL.WyEN[2:0]为“100”或者“110”来选择锯齿波生成使能。
- 开启相应的外部触发。

当 DACx 复位事件触发时，锯齿波会将 DAC_STRST.STRSTDATAx[11:0]寄存器的值延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACx_DATO，DACx 的锯齿波的计数器值此时会更新。当步进事件触发时，锯齿波的计数器会减去 DAC_STINC.STINCDATAx[11:0],将运算的结果延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACx_DATO。 当 DACy 复位事件触发时，锯齿波会将 DAC_STRST.STRSTDATAy[11:0]寄存器的值延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACy_DATO，DACy 的锯齿波的计数器值此时会更新。当步进事件触发时，锯齿波的计数器会减去 DAC_STINC.STINCDATAy[11:0],将运算的结果延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACy_DATO。

18.5.8 同时软件启动

配置流程如下：

- 配置 DAC_SELCTRL.TxSEL[4:0]和 DAC_SELCTRL.TySEL[4:0]为”00000”来选择软件作为触发源。
- 配置 DACxy_CTRL.TxEN 和 DACxy_CTRL.TyEN 来开启 DACx 和 DACy 触发使能。
- 将所需转换的数据放入对应的对齐数据保持寄存器中。
- 使能 DAC_SOTTR.TRxEN 和 DAC_ SOTTR.TRyEN 来触发软件转换。

DACx 的对齐数据保持寄存器的值将在延迟 4 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACx_DATO。

DACy 的对齐数据保持寄存器的值将在延迟 4 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACy_DATO。

18.5.9 不使用波形发生器的同步触发

配置流程如下：

- 配置 DACxy_CTRL.TxEN 和 DACxy_CTRL.TyEN 来开启 DACx 和 DACy 触发使能。
- 配置 DAC_SELCTRL.TxSEL[4:0]和 DAC_SELCTRL.TySEL[4:0]为相同值来选择相同触发源。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

◆ 配置 DACxy_CTRL.WxEN[2:0]和 DACxy_CTRL.WyEN[2:0]为“000”来选择不使用波形发生器。

◆ 将所需转换的数据放入对应的对齐数据保持寄存器中。

触发事件产生时，DACx 的对齐数据保持寄存器的值将在延迟 4 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACx_DATO；DACy 的对齐数据保持寄存器的值将在延迟 4 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACy_DATO。

18.5.10 产生相同噪声的同步触发

配置流程如下：

◆ 配置 DACxy_CTRL.TxEN 和 DACxy_CTRL.TyEN 来开启 DACx 和 DACy 触发使能。

◆ 配置 DAC_SELCTRL.TxSEL[4:0]和 DAC_SELCTRL.TySEL[4:0]为相同值来选择相同触发源。

◆ 配置 DACxy_CTRL.WxEN[2:0]和 DACxy_CTRL.WyEN[2:0]为“001”来选择噪声生成使能。

◆ 配置 DACxy_SELCTRL.MAxSEL[3:0]和 DACxy_SELCTRL.MAySEL[3:0]为相同值，以得到相同的 LFSR 寄存器屏蔽位。

◆ 将所需转换的数据放入对应的对齐数据保持寄存器中。

当触发事件产生时，LFSR 寄存器 1 的计数器值与对应数据保持寄存器数值相加，此相加值在延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACx_DATO，LFSR 寄存器 1 的计数器值此时会更新；LFSR 寄存器 2 的计数器值与对应数据保持寄存器数值相加，此相加值在延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACy_DATO，LFSR 寄存器 2 的计数器值此时会更新。

18.5.11 产生不同噪声的同步触发

配置流程如下：

◆ 配置 DACxy_CTRL.TxEN 和 DACxy_CTRL.TyEN 来开启 DACx 和 DACy 触发使能。

◆ 配置 DAC_SELCTRL.TxSEL[4:0]和 DAC_SELCTRL.TySEL[4:0]为不同值来选择相同触发源。

◆ 配置 DACxy_CTRL.WxEN[2:0]和 DACxy_CTRL.WyEN[2:0]为“001”来选择噪声生成使能。

◆ 配置 DACxy_SELCTRL.MAxSEL[3:0]和 DACxy_SELCTRL.MAySEL[3:0]为不同值，以得到相同的 LFSR 寄存器屏蔽位。

◆ 将所需转换的数据放入对应的对齐数据保持寄存器中。

当触发事件产生时，LFSR 寄存器 1 的计数器值与对应数据保持寄存器数值相加，此相加值在延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACx_DATO，LFSR 寄存器 1 的计数器值此时会更新；LFSR 寄存器 2 的计数器值与对应数据保持寄存器数值相加，此相加值在延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACy_DATO，LFSR 寄存器 2 的计数器值此时会更新。

18.5.12 产生相同三角波的同步触发

配置流程如下：

◆ 配置 DACxy_CTRL.TxEN 和 DACxy_CTRL.TyEN 来开启 DACx 和 DACy 触发使能。

◆ 配置 DAC_SELCTRL.TxSEL[4:0]和 DAC_SELCTRL.TySEL[4:0]为相同值来选择相同触发源。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 配置 DACxy_CTRL.WxEN[2:0]和 DACxy_CTRL.WyEN[2:0]为“010”来选择三角波生成使能。
- 配置 DACxy_SELCTRL.MAxSEL[3:0]和 DACxy_SELCTRL.MAySEL[3:0]为相同值，以得到相同的三角波幅值。
- 将所需转换的数据放入对应的对齐数据保持寄存器中。

当触发事件产生时，DACx 的三角波幅值与对应数据保持寄存器数值相加，此相加值在延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACx_DATO，DACx 的三角波的计数器值此时会更新；DACy 的三角波幅值与对应数据保持寄存器数值相加，此相加值在延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACy_DATO，DACy 的三角波的计数器值此时会更新。

18.5.13 产生不同三角波的同步触发

配置流程如下：

- 配置 DACxy_CTRL.TxEN 和 DACxy_CTRL.TyEN 来开启 DACx 和 DACy 触发使能。
- 配置 DAC_SELCTRL.TxSEL[4:0]和 DAC_SELCTRL.TySEL[4:0]为相同值来选择相同触发源。
- 配置 DACxy_CTRL.WxEN[2:0]和 DACxy_CTRL.WyEN[2:0]为“010”来选择三角波生成使能。
- 配置 DACxy_SELCTRL.MAxSEL[3:0]和 DACxy_SELCTRL.MAySEL[3:0]为不同值，以得到不同的三角波幅值。
- 将所需转换的数据放入对应的对齐数据保持寄存器中。

当触发事件产生时，DACx 的三角波幅值与对应数据保持寄存器数值相加，此相加值在延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACx_DATO，DACx 的三角波的计数器值此时会更新；DACy 的三角波幅值与对应数据保持寄存器数值相加，此相加值在延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACy_DATO，DACy 的三角波的计数器值此时会更新。

18.5.14 产生相同锯齿波的同步触发

配置流程如下：

- 配置 DACxy_CTRL.TxEN 和 DACxy_CTRL.TyEN 来开启 DACx 和 DACy 触发使能。
- 配置 DAC_SELCTRL.TxSEL[4:0]和 DAC_SELCTRL.TySEL[4:0]为相同的值来选择相同复位触发源。
- 配置 DAC_SELCTRL.STINCSELx[4:0]和 DAC_SELCTRL.STINCSELy[4:0]为相同的值来选择相同的步进触发源。
- 配置 DAC_STINC.STINCDATAx[11:0]和 DAC_STINC.STINCDATAy[11:0]为相同值来作为锯齿波的步进值。
- 配置 DAC_STRST.STRSTDATAx[11:0]和 DAC_STRST.STRSTDATAy[11:0]为相同值来作为锯齿波的复位值。
- 配置 DACxy_CTRL.WxEN[2:0]和 DACxy_CTRL.WyEN[2:0]为“100”或者“110”来选择锯齿波生成使能。
- 开启相应的外部触发。

当 DACx 复位事件触发时，锯齿波会将 DAC_STRST.STRSTDATAx[11:0]寄存器的值延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACx_DATO，DACx 的锯齿波的计数器值此时会更新。当步进事件触发时，锯齿波的计

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

数器会增加或减去 DAC_STINC.STINCDATAx[11:0],将运算的结果延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACx_DATO。当 DACy 复位事件触发时，锯齿波会将 DAC_STRST.STRSTDATAy[11:0]寄存器的值延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACy_DATO，DACy 的锯齿波的计数器值此时会更新。当步进事件触发时，锯齿波的计数器会增加或减去 DAC_STINC.STINCDATAy[11:0],将运算的结果延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACy_DATO。

18.5.15 产生不同锯齿波的同步触发

配置流程如下：

- ◆ 配置 DACxy_CTRL.TxEN 和 DACxy_CTRL.TyEN 来开启 DACx 和 DACy 触发使能。
- ◆ 配置 DAC_SELCTRL.TxSEL[4:0]和 DAC_SELCTRL.TySEL[4:0]为相同的值来选择相同复位触发源。
- ◆ 配置 DAC_SELCTRL.STINCSELx[4:0]和 DAC_SELCTRL.STINCSELy[4:0]为相同的值来选择相同的步进触发源。
- ◆ 配置 DAC_STINC.STINCDATAx[11:0]和 DAC_STINC.STINCDATAy[11:0]为不同值来作为锯齿波的步进值。
- ◆ 配置 DAC_STRST.STRSTDATAx[11:0]和 DAC_STRST.STRSTDATAy[11:0]为不同值来作为锯齿波的复位值。
- ◆ 配置 DACxy_CTRL.WxEN[2:0]和 DACxy_CTRL.WyEN[2:0]为“100”或者“110”来选择锯齿波生成使能。
- ◆ 开启相应的外部触发。

当 DACx 复位事件触发时，锯齿波会将 DAC_STRST.STRSTDATAx[11:0]寄存器的值延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACx_DATO，DACx 的锯齿波的计数器值此时会更新。当步进事件触发时，锯齿波的计数器会增加或减去 DAC_STINC.STINCDATAx[11:0],将运算的结果延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACx_DATO。当 DACy 复位事件触发时，锯齿波会将 DAC_STRST.STRSTDATAy[11:0]寄存器的值延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACy_DATO，DACy 的锯齿波的计数器值此时会更新。当步进事件触发时，锯齿波的计数器会增加或减去 DAC_STINC.STINCDATAy[11:0],将运算的结果延迟 3 个 bus_clk 时钟周期后传入寄存器 DACy_DATO。

18.6 DAC 中断

如果 DAC 本次外部触发到来的时候，DMA 还没回复上一个外部触发的 DAC 请求，那么 DAC 不会发出新的请求，而是会置位 DAC_STS.DMAUDRx(y)标志，报告错误情况。该位可以通过软件写 1 清除。

如果使能了 DACxy_CTRL.DMAUDRx(y)IEN 位,那么此时会产生中断。该中断可以将芯片从 SLEEP 模式下唤醒。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

18.7 DAC 寄存器

18.7.1 DAC 寄存器总览

表 18-8 DAC 寄存器总览

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0x00	DACxy_CTRL	Reserved	TROVCyIEN	EXOUTyEN	INOUTyEN	CALyEN	WyEN[2:0]			SINFORMATy	DMADOUBLEy	HDByEN	DMAUDRyIEN	TyEN	ByEN	DMAyEN	DACyEN	Reserved	TROVCxIEN	EXOUTxEN	INOUTxEN	CALxEN	WxEN[2:0]			SINFORMATx	DMADOUBLEx	HDBxEN	DMAUDRxIEN	TxEN	BxEN	DMAxEN	DACxEN
	Reset value		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x04	DAC_SOTTR	Reserved														TRByEN	TRBxEN	Reserved														TRyEN	TRxEN
	Reset value															0	0															0	0
0x08	DACx_DATO	Reserved																				DACxDO[11:0]											
	Reset value																					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x0C	DACy_DATO	Reserved																				DACyDO[11:0]											
	Reset value																					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x10	DACx_DR8	Reserved																DACxDB[7:0]								DACxD[7:0]							
	Reset value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x14	DACx_DL12	DACxDB[11:0]												Reserved				DACxD[11:0]												Reserved			
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
0x18	DACx_DR12	Reserved				DACxDB[11:0]												Reserved				DACxD[11:0]											
	Reset value					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x1C	DACy_DR8	Reserved																DACyDB[7:0]								DACyD[7:0]							
	Reset value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x20	DACy_DL12	DACyDB[11:0]												Reserved				DACyD[11:0]												Reserved			
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
0x24	DACy_DR12	Reserved				DACyDB[11:0]												Reserved				DACyD[11:0]											
	Reset value					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x28	DACxy_DR8D	Reserved																DACyD[7:0]								DACxD[7:0]							
	Reset value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0x2C	DACxy_DL12D	DACyD[11:0]												Reserved				DACxD[11:0]												Reserved			
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
0x30	DACxy_DR12D	Reserved				DACyD[11:0]												Reserved				DACxD[11:0]											
	Reset value					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x38	DACxy_SELCTRL	TySEL[4:0]					Reserved	MAySEL[3:0]				STINCSELy[4:0]					Reserved	TxSEL[4:0]					Reserved	MAxSEL[3:0]				STINCSELx[4:0]					Reserved
	Reset value	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0x3C	DACxy_STS	Reserved												TROVCFLAGy	DORSTATy	CALFLAGy	DMAUDRy	Reserved												TROVCFLAGx	DORSTATx	CALFLAGx	DMAUDRx
	Reset value													0	0	0	0													0	0	0	0
0x40	DACxy_GCTRL	Reserved								PCS[7:0]								Reserved													HFSEL[1:0]		Reserved
	Reset value									0	1	1	1	0	1	1	1														0	0	
0x44	DACxy_STINC	Reserved				STINCDATAy[11:0]												Reserved				STINCDATAx[11:0]											
	Reset value					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x48	DACxy_STRST	Reserved				STRSTDATAy[11:0]												Reserved				STRSTDATAx[11:0]											
	Reset value					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x5C	DACxy_CALC	Reserved											OTRIMy[4:0]					Reserved											OTRIMx[4:0]				
	Reset value												0	0	0	0	0												0	0	0	0	0

18.7.2 DACxy 控制寄存器（DACxy_CTRL）(xy = 12)

偏移地址：0x00

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	TROVCyIEN	EXOUTDACy	INOUTDACy	CALyEN	WyEN			SINFROMATy	DMADOUBLEy	HDByEN	DMAUDRyIEN	TyEN	ByEN	DMAyEN	DACyEN
	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	TROVCxIEN	EXOUTDACx	INOUTDACx	CALxEN	WxEN			SINFROMATx	DMADOUBLEx	HDBxEN	DMAUDRxIEN	TxEN	BxEN	DMAxEN	DACxEN
	rw	rw	rw	rw		rw		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31	Reserved	保留，必须保持复位值。
30	TROVCyIEN	DACy 触发源超频中断使能 该位由硬件置位清除。 0：DACy 触发源超频中断禁能； 1：DACy 触发源超频中断使能；
29	EXOUTyEN	DACy 对外输出使能 该位由软件置位和清除，从而使能或者禁能 DACy 外部输出通道 0：DACy 对外部通道输出禁能； 1：DACy 对外部通道输出使能；
28	INOUTyEN	DACy 对内输出通道使能 该位由软件置位和清除，从而使能或者禁能 DACy 内部输出通道 0：DACy 对内部通道输出禁能； 1：DACy 对内部通道输出使能；
27	CALyEN	DACy 校准使能 该位由软件置位和清除，从而使能或者禁能 DACy 校准。 0：DACy 在标准工作模式 1：DACy 在校准模式
26:24	WyEN[2:0]	DACy 噪声波/三角波/锯齿波功能选择。 这些位由软件置 1 和清零。 000：波形生成禁能 001：伪噪声波生成使能 010：三角波生成使能 100：递增锯齿波生成使能 110：递减锯齿波生成使能 注意：只有在 TyEN = 1 时才能使用。
23	SINFORMATy	DACy 有符号格式使能。 这些位由软件置 1 和清零。 0：DACy 的输入数据使用无符号格式 1：DACy 的输入数据使用有符号格式
22	DMADOUBLEy	DACy DMA 双数据模式使能。 这些位由软件置 1 和清零。 0：DACy 使用普通 DMA 模式 1：DACy 使用 DMA 双数据模式
21	HDByEN	DACy 输出 Buffer 高驱动能力使能。 这些位由软件置 1 和清零。 0：DACy 输出 buffer 正常驱动能力 1：DACy 输出 buffer 高驱动能力 *注意：* *1. 2. 使能该功能，能基于 ByEN = 1 的基础上，进一步提高 DAC 带载能力。当 ByEN = 0 时，使能该 bit 无效。*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
20	DMAUDRyIEN	DACy 的 DMA 下溢中断开启 该位由软件置 1 和清零，用来开启/禁用 DACy 的 DMA 下溢中断。 0：DACy 的 DMA 下溢中断禁能 1：DACy 的 DMA 下溢中断使能
19	TyEN	DACy 触发开启 该位由软件置 1 和清零，用来开启/禁用 DACy 的触发。 0：禁用 DACy 触发； 1：开启 DACy 触发。
18	ByEN	开启 DACy 输出缓存。 该位由软件置 1 和清零，用来开启/禁用 DACy 的输出缓存。 0：禁用 DACy 输出缓存； 1：开启 DACy 输出缓存。
17	DMAyEN	DACy 的 DMA 功能开启 该位由软件置 1 和清零。 0：禁用 DACy 的 DMA 功能 1：开启 DACy 的 DMA 功能
16	DACyEN	DACy 使能。 该位由软件置 1 和清零，用来开启/禁用 DACy。 0：禁用 DACy 1：开启 DACy
15	Reserved	保留，必须保持复位值。
14	TROVCxIEN	DACx 触发源超频中断使能 该位由软件置位和清除。 0：DACx 触发源超频中断禁能； 1：DACx 触发源超频中断使能；
13	EXOUTxEN	DACx 对外输出通道使能 该位由软件置位和清除，从而使能或者禁能 DACx 外部输出通道 0：DACx 对外部通道输出禁能； 1：DACx 对外部通道输出使能；
12	INOUTxEN	DACx 对内输出通道使能 该位由软件置位和清除，从而使能或者禁能 DACx 内部输出通道 0：DACx 对内部通道输出禁能； 1：DACx 对内部通道输出使能；
11	CALxEN	DACx 校准使能 该位由软件置位和清除，从而使能或者禁能 DACx 校准。 0：DACx 在标准工作模式 1：DACx 在校准模式
10:8	WxEN[2:0]	DACx 噪声波/三角波/锯齿波功能选择。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		这些位由软件置 1 和清零。 000：波形生成禁能 001：伪噪声波生成使能 010：三角波生成使能 100：递增锯齿波生成使能 110：递减锯齿波生成使能 *注意：只有在 TxEN = 1 时才能使用。*
7	SINFORMATx	DACx 有符号格式使能。 这些位由软件置 1 和清零。 0：DACx 的输入数据使用无符号格式 1：DACx 的输入数据使用有符号格式
6	DMADOUBLEx	DACx DMA 双数据模式使能。 这些位由软件置 1 和清零。 0：DACx 使用普通 DMA 模式 1：DACx 使用 DMA 双数据模式
5	HDBxEN	DACx 输出 Buffer 高驱动能力使能。 这些位由软件置 1 和清零。 0：DACx 输出 buffer 正常驱动能力 1：DACx 输出 buffer 高驱动能力 *注意：* *1.* *2. 使能该功能，能基于 BxEN = 1 的基础上，进一步提高 DAC 带载能力。当 BxEN = 0 时，使能该 bit 无效。*
4	DMAUDRxIEN	DACx 的 DMA 下溢中断开启 该位由软件置 1 和清零，用来开启/禁用 DACx 的 DMA 下溢中断。 0：DACx 的 DMA 下溢中断禁能 1：DACx 的 DMA 下溢中断使能
3	TxEN	DACx 触发开启 该位由软件置 1 和清零，用来开启/禁用 DACx 的触发。 0：禁用 DACx 触发； 1：开启 DACx 触发。
2	BxEN	开启 DACx 输出缓冲。 该位由软件置 1 和清零，用来开启/禁用 DACx 的输出缓冲。 0：禁用 DACx 输出缓冲； 1：开启 DACx 输出缓冲。
1	DMAxEN	DACx 的 DMA 功能开启 该位由软件置 1 和清零。 0：禁用 DACx 的 DMA 功能 1：开启 DACx 的 DMA 功能
0	DACxEN	DACx 使能。 该位由软件置 1 和清零，用来开启/禁用 DACx。 0：禁用 DACx

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：开启 DACx

18.7.3 DACxy 软件触发寄存器（DACxy_SOTTR）

偏移地址：0x04

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved														TRByEN	TRBxEN
														wo	wo

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved														TRyEN	TRxEN
														wo	wo

位域	名称	描述
31:18	Reserved	保留，必须保持复位值。
17	TRByEN	DACy 的锯齿波步进触发开启 . 该位由软件置 1，用来开启/禁用软件触发。此信号仅用于锯齿波的步进触发信号。 0：禁用 DACy 锯齿波步进软件触发； 1：开启 DACy 锯齿波步进软件触发。
16	TRBxEN	DACx 的锯齿波步进触发开启 . 该位由软件置 1，用来开启/禁用软件触发。此信号仅用于锯齿波的步进触发信号。 0：禁用 DACx 锯齿波步进软件触发； 1：开启 DACx 锯齿波步进软件触发。
15:2	Reserved	保留，必须保持复位值。
1	TRyEN	DAC 软件触发开启 . 该位由软件置 1，用来开启/禁用软件触发。此信号可用于三角波/噪声波的触发信号，也可作为锯齿波的复位触发信号。 0：禁用 DACy 软件触发； 1：开启 DACy 软件触发。
0	TRxEN	DACx 软件触发开启 . 该位由软件置 1，用来开启/禁用软件触发。此信号可用于三角波/噪声波的触发信号，也可作为锯齿波的复位触发信号。 0：禁用 DACx 软件触发； 1：开启 DACx 软件触发。

18.7.4 DACx 数据输出寄存器（DACx_DATO）

偏移地址：0x08

复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				DACxDO[11:0]											
				r											

位域	名称	描述
31:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11:0	DACxDO[11:0]	DACx 数据输出。 这些位为只读，表示 DACx 的输出数据

18.7.5 DACy 数据输出寄存器（DACy_DATO）

偏移地址：0x0C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				DACyDO[11:0]											
				r											

位域	名称	描述
31:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11:0	DACyDO[11:0]	DACy 数据输出。 这些位为只读，表示 DACy 的输出数据

18.7.6 DACx 的 8 位右对齐数据保持寄存器（DACx_DR8）

偏移地址：0x10

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

DACxDB[7:0]	DACxD[7:0]
rw	rw

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:8	DACxDB[7:0]	DACx，8 位右对齐数据 这些位由软件配置，DACx 转换这些数据，该为仅工作在双数据模式下。
7:0	DACxD[7:0]	DACx，8 位右对齐数据 这些位由软件配置，DACx 转换这些数据。

18.7.7 DACx 的 12 位左对齐数据保持寄存器（DACx_DL12）

偏移地址：0x14

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
DACxDB[11:0]												Reserved			
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DACxD[11:0]												Reserved			
rw															

位域	名称	描述
31:20	DACxDB[11:0]	DACx，12 位左对齐数据 这些位由软件配置，DACx 转换这些数据，该为仅工作在双数据模式下。
19:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:4	DACxD[11:0]	DACx，12 位左对齐数据 这些位由软件配置，DACx 转换这些数据。
3:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

18.7.8 DACx 的 12 位右对齐数据保持寄存器（DACx_DR12）

偏移地址：0x18

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				DACxDB[11:0]											
				rw											

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				DACxD[11:0]											
				rw											

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必须保持复位值。
27: 16	DACxDB[11:0]	DACx，12 位右对齐数据 这些位由软件配置，DACx 转换这些数据，该为仅工作在双数据模式下。
15:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11:0	DACxD[11:0]	DACx，12 位右对齐数据 这些位由软件配置，DACx 转换这些数据。

18.7.9 DACy 的 8 位右对齐数据保持寄存器（DACy_DR8）

偏移地址：0x1C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DACyDB[7:0]								DACyD[7:0]							
rw								rw							

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:8	DACyDB[7:0]	DACy，8 位右对齐数据 这些位由软件配置，DACy 转换这些数据，该为仅工作在双数据模式下。
7:0	DACyD[7:0]	DACy，8 位右对齐数据 这些位由软件配置，DACy 转换这些数据。

18.7.10 DACy 的 12 位左对齐数据保持寄存器（DACy_DL12）

偏移地址：0x20

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
DACyDB[11:0]												Reserved			

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DACyD[11:0]												Reserved			

rw

位域	名称	描述
31:20	DACyDB[11:0]	DACy，12 位左对齐数据 这些位由软件配置，DACy 转换这些数据，该为仅工作在双数据模式下。
19:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:4	DACyD[11:0]	DACy，12 位左对齐数据 这些位由软件配置，DACy 转换这些数据。
3:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

18.7.11 **DACy 的 12 位右对齐数据保持寄存器（DACy_DR12）**

偏移地址：0x24

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				DACyDB[11:0]											
				rw											

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				DACyD[11:0]											
				rw											

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必须保持复位值。
27:16	DACyDB[11:0]	DACy，12 位右对齐数据 这些位由软件配置，DACy 转换这些数据，该为仅工作在双数据模式下。
15:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11:0	DACyD[11:0]	DACy，12 位右对齐数据 这些位由软件配置，DACy 转换这些数据。

18.7.12 **双 DACxy 的 8 位右对齐数据保持寄存器（DACxy_DR8D）**

偏移地址：0x28

复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DACyD [7:0]								DACxD[7:0]							
rw								rw							

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:8	DACyD[7:0]	DACy，8 位右对齐数据 这些位由软件配置，DACy 转换这些数据。
7:0	DACxD[7:0]	DACx，8 位右对齐数据 这些位由软件配置，DACx 转换这些数据。

18.7.13 双 DACxy 的 12 位左对齐数据保持寄存器（DACxy_DL12D）

偏移地址：0x2C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
DACyD[11:0]												Reserved			
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DACxD[11:0]												Reserved			
rw															

位域	名称	描述
31:20	DACyD[11:0]	DACy，12 位左对齐数据 这些位由软件配置，DACy 转换这些数据。
19:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:4	DACxD[11:0]	DACx，12 位左对齐数据 这些位由软件配置，DACx 转换这些数据。
3:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

18.7.14 双 DACxy 的 12 位右对齐数据保持寄存器（DACxy_DR12D）

偏移地址：0x30

复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				DACyD[11:0]											
				rw											

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				DACxD[11:0]											
				rw											

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必须保持复位值。
27:16	DACyD[11:0]	DACy，12 位右对齐数据 这些位由软件配置，DACy 转换这些数据。
15:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11:0	DACxD[11:0]	DACx，12 位右对齐数据 这些位由软件配置，DACx 转换这些数据。

18.7.15 DACxy 选择控制寄存器（DACxy_SELCTRL）

偏移地址：0x38

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
TySEL[4:0]					Reserved	MAySEL[3:0]				STINCSELy[4:0]					Reserved
rw						rw				rw					

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TxSEL[4:0]					Reserved	MAxSEL[3:0]				STINCSELx[4:0]					Reserved
rw						rw				rw					

位域	名称	描述
31:27	TySEL[4:0]	DACy 触发选择。 这些位用于 DACy 外部触发的选择。此位可以作为噪声波与三角波的触发源选择，同时可以作为锯齿波的复位触发源选择。 00000 : 软件触发事件 00001 : atim1_trgo 事件 00010 : atim2_trgo 事件 00011 : atim3_trgo 事件 00100 : Reserve 00101 : gtim1_trgo 事件 00110 : gtim2_trgo 事件 00111 : gtim3_trgo 事件

位域	名称	描述
		01000 : gtim4_trgo 事件 01001 : gtim5_trgo 事件 01010 : gtim6_trgo 事件 01011 : gtim7_trgo 事件 01100 : gtim8_trgo 事件 01101 : gtim9_trgo 事件 01110 : gtim10_trgo 事件 01111： 外部中断线 5 10000： 外部中断线 7 10001： 外部中断线 9 *注意：这些位只能在 DACy 触发使能时（TyEN = 1）设置。*
26	Reserved	保留，必须保持复位值。
25:22	MAySEL[3:0]	DACy 屏蔽/幅值选择器。 这些位由软件配置，可以设置噪声功能的 LFSR 屏蔽位和三角波的幅值。 0000：不屏蔽 LFSR 位 0 / 三角波幅值等于 1； 0001：不屏蔽 LFSR 位[1:0] / 三角波幅值等于 3； 0010：不屏蔽 LFSR 位[2:0] / 三角波幅值等于 7； 0011：不屏蔽 LFSR 位[3:0] / 三角波幅值等于 15； 0100：不屏蔽 LFSR 位[4:0] / 三角波幅值等于 31； 0101：不屏蔽 LFSR 位[5:0] / 三角波幅值等于 63； 0110：不屏蔽 LFSR 位[6:0] / 三角波幅值等于 127； 0111：不屏蔽 LFSR 位[7:0] / 三角波幅值等于 255； 1000：不屏蔽 LFSR 位[8:0] / 三角波幅值等于 511； 1001：不屏蔽 LFSR 位[9:0] / 三角波幅值等于 1023； 1010：不屏蔽 LFSR 位[10:0] / 三角波幅值等于 2047； ≥1011：不屏蔽 LFSR 位[11:0] / 三角波幅值等于 4095。
21:17	STINCSELy[4:0]	DACy 的锯齿波步进触发源选择 00000： 软件触发 00001 : atim1_trgo 事件 00010 : atim2_trgo 事件 00011 : atim3_trgo 事件 00100 : reserved 00101 : gtim1_trgo 事件 00110 : gtim2_trgo 事件 00111 : gtim3_trgo 事件 01000 : gtim4_trgo 事件 01001 : gtim5_trgo 事件 01010 : gtim6_trgo 事件 01011 : gtim7_trgo 事件 01100 : gtim8_trgo 事件 01101 : gtim9_trgo 事件 01110 : gtim10_trgo 事件 01111: 外部中断线 6

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		10000: 外部中断线 8 10001: 外部中断线 10
16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:11	TxSEL[4:0]	DACx 触发选择。 这些位用于 DACx 外部触发的选择。此位可以作为噪声波与三角波的触发源选择，同时可以作为锯齿波的复位触发源选择。 00000 : 软件触发 00001 : atim1_trgo 事件 00010 : atim2_trgo 事件 00011 : atim3_trgo 事件 00100 : Reserve 00101 : gtim1_trgo 事件 00110 : gtim2_trgo 事件 00111 : gtim3_trgo 事件 01000 : gtim4_trgo 事件 01001 : gtim5_trgo 事件 01010 : gtim6_trgo 事件 01011 : gtim7_trgo 事件 01100 : gtim8_trgo 事件 01101 : gtim9_trgo 事件 01110 : gtim10_trgo 事件 01111 : 外部中断线 5 10000 : 外部中断线 7 10001 : 外部中断线 9 *注意：这些位只能在 DACx 触发使能时（TxEN = 1）设置。*
10	Reserved	保留，必须保持复位值。
9:6	MAxSEL[3:0]	DACx 屏蔽/幅值选择器。 这些位由软件配置，可以设置噪声功能的 LFSR 屏蔽位和三角波的幅值。 0000：不屏蔽 LFSR 位 0 / 三角波幅值等于 1； 0001：不屏蔽 LFSR 位[1:0] / 三角波幅值等于 3； 0010：不屏蔽 LFSR 位[2:0] / 三角波幅值等于 7； 0011：不屏蔽 LFSR 位[3:0] / 三角波幅值等于 15； 0100：不屏蔽 LFSR 位[4:0] / 三角波幅值等于 31； 0101：不屏蔽 LFSR 位[5:0] / 三角波幅值等于 63； 0110：不屏蔽 LFSR 位[6:0] / 三角波幅值等于 127； 0111：不屏蔽 LFSR 位[7:0] / 三角波幅值等于 255； 1000：不屏蔽 LFSR 位[8:0] / 三角波幅值等于 511； 1001：不屏蔽 LFSR 位[9:0] / 三角波幅值等于 1023； 1010：不屏蔽 LFSR 位[10:0] / 三角波幅值等于 2047； ≥1011：不屏蔽 LFSR 位[11:0] / 三角波幅值等于 4095。
5:1	STINCSELx[4:0]	DACx 的锯齿波步进触发源选择 00000 : 软件触发

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		00001 : atim1_trgo 事件 00010 : atim2_trgo 事件 00011 : atim3_trgo 事件 00100 : reserved 00101 : gtim1_trgo 事件 00110 : gtim2_trgo 事件 00111 : gtim3_trgo 事件 01000 : gtim4_trgo 事件 01001 : gtim5_trgo 事件 01010 : gtim6_trgo 事件 01011 : gtim7_trgo 事件 01100 : gtim8_trgo 事件 01101 : gtim9_trgo 事件 01110 : gtim10_trgo 事件 01111: 外部中断线 6 10000: 外部中断线 8 10001: 外部中断线 10
0	Reserved	保留，必须保持复位值。

18.7.16 DACxy 状态寄存器（DACxy_STS）

偏移地址：0x3C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved												TROVC FLAGy	DOR STATy	CAL FLAGy	DMA UDRy
												rc_w1	r	r	rc_w1
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
Reserved												TROVC FLAGx	DOR STATx	CAL FLAGx	DMA UDRx
												rc_w1	r	r	rc_w1

位域	名称	描述
31:20	Reserved	保留，必须保持复位值。
19	TROVCFLAGy	DACy 的触发源超频中断标志 该位由硬件置位，软件清除（通过写 1 清除） 0：DACy 没有出现触发源超频的情况； 1：DACy 出现触发源超频的情况：选择的触发源驱动 DACy 转换的频率比数据更新的速度快；
18	DORSTATy	DACy 数据输出寄存器状态位

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		该位由硬件置位和清除，当 DACy 工作在双数据模式时可用。 0：DACyD 正在用于 DACy 输出数据 1：DACyDB 正在用于 DACy 输出数据
17	CALFLAGy	DACy 校准偏移状态 该位由硬件置位和清除 0：校准修调值小于偏移校准值 1：校准修调值大于等于偏移校准值
16	DMAUDRy	DACy 的 DMA 下溢中断标志 该位由硬件置位，软件清除（通过写 1 清除） 0：DACy 没有出现 DMA 下溢错误的情况； 1：DACy 出现 DMA 下溢错误的情况（选择的触发源驱动 DACy 转换的频率比 DMA 能够提供的速率快）。
15:4	Reserved	保留，必须保持复位值。
3	TROVCFLAGx	DACx 的触发源超频标志 该位由硬件置位，软件清除（通过写 1 清除） 0：DACx 没有出现触发源超频的情况； 1：DACx 出现触发源超频的情况：选择的触发源驱动 DACx 转换的频率比数据更新的速度快；
2	DORSTATx	DACx 数据输出寄存器状态位 该位由硬件置位和清除，当 DACx 工作在双数据模式时可用。 0：DACxD 正在用于 DACx 输出数据 1：DACxDB 正在用于 DACx 输出数据
1	CALFLAGx	DACx 校准偏移状态 该位由硬件置位和清除 0：校准修调值小于偏移校准值 1：校准修调值大于等于偏移校准值
0	DMAUDRx	DACx 的 DMA 下溢标志 该位由硬件置位，软件清除（通过写 1 清除） 0：DACx 没有出现 DMA 下溢错误的情况； 1：DACx 出现 DMA 下溢错误的情况（选择的触发源驱动 DACx 转换的频率比 DMA 能够提供的速率快）。

18.7.17 **DACxy 通用控制寄存器（DACxy_GCTRL）**

偏移地址：0x40

复位值：0x0077 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved								PCS[7:0]							
r								rw							

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved													HFSEL[1:0]		Reserved
r													rw		

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必须保持复位值。
23:16	PCS[7:0]	DACx 时钟分频系数 此时 DACx 的工作频率范围是 4MHz～APB1_CLK$_{max}$，配置对应的分频系数得到最大 1M 的 DACxy_PCS[7:0] (x = 1、2)。例如 DACx 工作频率为 120MHz,对应的分频系数为 01110111。 0: 不分频 1：2 分频 2：3 分频 …: (PCS[7:0] + 1)分频 *注意：如果需要配置 DAC 工作频率超过 1MHz（DAC1,DAC2），必须注意 DAC 的上限工作频率。*
15:3	Reserved	保留，必须保持复位值。
2:1	HFSEL[1:0]	DACx 和 DACy 响应速度选择 00：DAC_DATO 更新速率为 (PCS[7:0]/2-1) 个 bus_clk；该选择为默认值。 01：DAC_DATO 更新速率为 1 个 bus_clk；(F_{bus_clk} <80MHz) 10：DAC_DATO 更新速率为 3 个 bus_clk；(80MHz< F_{bus_clk} <160MHz) 11：DAC_DATO 更新速率为 5 个 bus_clk；(160MHz< F_{bus_clk}).
0	Reserved	保留，必须保持复位值。

18.7.18 DACxy 锯齿波步进寄存器（DACxy_STINC）

偏移地址：0x44

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				STINCDATAy[11:0]											
				rw											

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				STINCDATAx[11:0]											
				rw											

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必须保持复位值。
27:16	STINCDATAy[11:0]	DACy 锯齿波步进值。范围 0~0xfff。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
15:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11:0	STINCDATAx[11:0]	DACx 锯齿波步进值，范围 0~0xfff。

18.7.19 DACxy 锯齿波复位寄存器（DACxy_ STRST）

偏移地址：0x48

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				STRSTDATAy[11:0]											
				rw											

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				STRSTDATAx[11:0]											
				rw											

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必须保持复位值。
27:16	STRSTDATAy[11:0]	DACy 锯齿波复位值。范围 0~0xfff。
15:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11:0	STRSTDATAx[11:0]	DACx 锯齿波复位值。范围 0~0xfff。

18.7.20 DACxy 校准控制寄存器（DACxy_ CALC）

偏移地址：0x5C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved											OTRIMy[4:0]				
											rw				

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved											OTRIMx[4:0]				
											rw				

位域	名称	描述
31:21	Reserved	保留，必须保持复位值。
20:16	OTRIMy[4:0]	DACy 的偏移校准值。 *注意：* *1. 只有在 ByEN=1 的时候才能使用。*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
15:5	Reserved	保留，必须保持复位值。
4:0	OTRIMx[4:0]	DACx 偏移校准值。 *1. 只有在 BxEN=1 的时候才能使用。*

19 电压参考缓冲器（VREFBUF）

19.1 VREFBUF 简介

该芯片内置了电压参考缓冲器，可用作 ADC、12bit-DAC 的电压参考，也可通过 VREF+引脚用作外部组件的电压参考。当在封装中将 VREF+引脚与 VDDA 引脚连接到一起时（具体可以参考数据手册的封装引脚描述），电压参考缓冲器不可用，必须保持禁用且需要将 RCC_VREFCTRL.HIM 位置 1。

注：VREFBUF 严禁在内部输出模式的同时开启外部输入，输出模式与外部输入模式只能二选一。

19.2 VREFBUF 功能描述

内置的电压参考缓冲器支持三种电压档位，分别是 2.048V、2.5V、2.9V。档位可以通过配置 VREFBUF_CTRL.VLSEL[1:0]寄存器位来选择；

19-1 电压参考缓冲器档位选择

VREFBUF_CTRL.VLSEL[1:0]	**电压参考缓冲器档位选择（单位 V）**
00	2.048V
01	2.5V
10	2.9V

内部电压参考可以根据 EN 和 HIM 位的配置以四种不同模式进行设置。这些模式列在下表中：

VREFBUF_CTRL.EN	**VREFBUF_CTRL.HIM**	**电压参考缓冲器档位选择（单位 V）**
0	0	VREFBUF 输出关闭，V_{REF+}引脚被下拉到 VSSA
0	1	VREFBUF 输出处于高阻值态，V_{REF+}引脚为外部输入模式
1	0	VREFBUF 输出使能，V_{REF+}引脚连接 VREFBUF 输出
1	1	VREFBUF 输出处于高阻值态，V_{REF+}引脚电压借助外部电容得以保

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		持

用户可以先通过设置 VREFBUF_CTRL.HIM 位为 0、然后设置 VREFBUF_CTRL.EN 位为 1 来使能 VREFBUF 工作，此时用户必须等待 VREFBUF_CTRL.RDY 位被设置，表示电压参考输出已达到预期值的 90%。

注：

1.当 VREFBUF 工作时，VREF-默认连接 VSSA；

2.VREF+的输入电压不能超过 VDDA；

3.VREFBUF 使能后，VREF+管脚不能外接电压；

4.使用 VREFBUF 输出的时候，需要先配置 VREFBUF_CTRL.HIM = 0；

5.100nF 的滤波电容很重要，在 PCB 设计上需要和 V_{REF+} 管脚尽量靠近。

19.2.1 VREFBUF 修调

VREFBUF 的输出电压由芯片出厂进行校准。在重启 VREFBUF 或者每次更改 VREFBUF 电压的档位(VREFBUF_CTRL.VLSEL[1:0])时，校准数据会自动加载到 VREFBUF_CTRL.TRIMDAT[5:0]寄存器中。用户可以选择通过直接更改 VREFBUF_CTRL.TRIMDATA[5:0]寄存器的位来进行输出电压的微调，之后通过置位 VREFBUF_CTRL.TRIMEN 来使能新的修调数据生效。在这种情况下，除非设备复位，否则，VREFBUF 电压的档位设置对 TRIM 寄存器不再产生影响。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

19.3 VREFBUF 寄存器

19.3.1 VREFBUF 寄存器总览

19.3.2 VREFBUF 控制寄存器 (VREF_CTRL)

偏移地址：0x00

复位值：0x0000001F

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	TRIMEN	Reserved	RDY	Reserved		HIM	EN	VLSEL[1:0]		TRIMDATA[5:0]					
	rw		r			rw	rw	rw		rw					

位域	名称	描述
31:15	Reserved	保留，必须保持复位值
14	TRIMEN	VREFBUF 修调选择 0：VREFBUF 修调由硬件配置 1：VREFBUF 修调由用户配置
13	Reserved	保留，必须保持复位值
12	RDY	VREFBUF 准备就绪标志 0：VREFBUF 输出未完成 1：VREFBUF 输出准备好
11:10	Reserved	保留，必须保持复位值
9	HIM	高阻态模式使能 0：REF+引脚内部弱下拉 1：REF+引脚处于高阻态.
8	EN	VREFBUF 使能 0：禁能 1：使能
7:6	VLSEL[1:0]	电压档位选择 00：VREFBUF 输出 2.048V 01：VREFBUF 输出 2.5V 10：VREFBUF 输出 2.9V 其他值：不允许设置
5:0	TRIMDATA[5:0]	VREFBUF 校准 VLSEL[1:0] = 00（VREFBUF 输出 2.048V）时： 调节步长为 1.7mV

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		VLSEL[1:0] = 01（VREFBUF 输出 2.5V）时： 调节步长为 2.1mV VLSEL[1:0] = 10（VREFBUF 输出 2.9V）时： 调节步长为 2.5mV

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

20 CORDIC 处理器（CORDIC）

20.1 简介

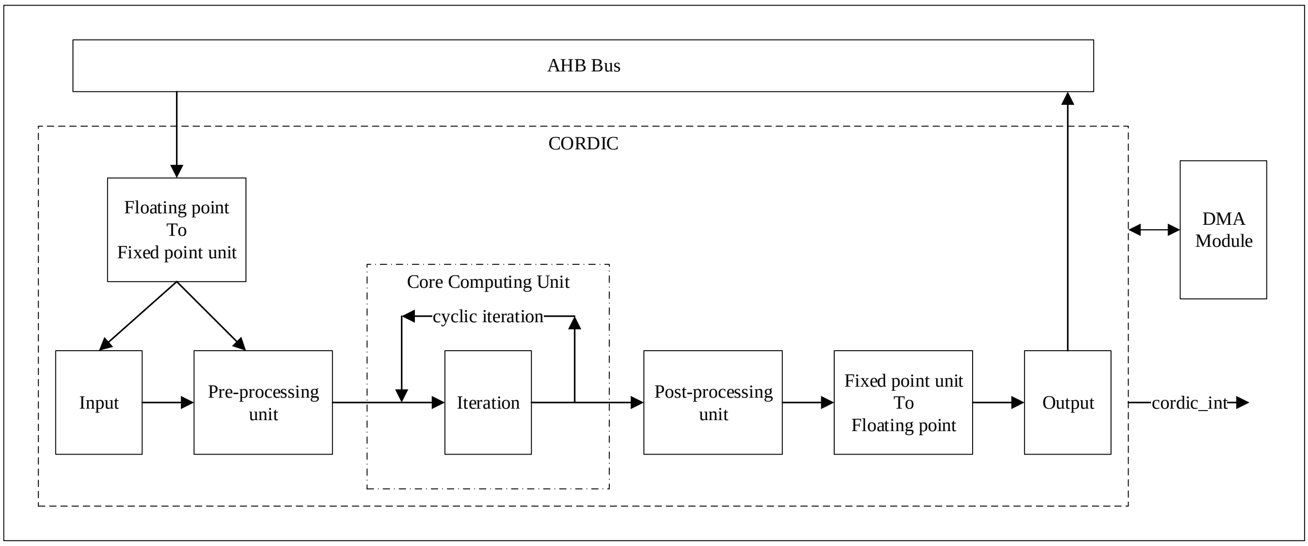
CORDIC 硬件计算单元可对数学函数（主要是三角函数）进行硬件加速。常用于电机控制、计量、信号处理和许多其他应用中常用的数学函数运算。

20.2 主要特性

- 支持旋转和向量计算模式。
- 支持圆坐标系和双曲线坐标系系统。
- 一旦计算开始，任何读取结果寄存器的操作都会插入总线等待状态，直到计算完成，因此计算结果可以在完成的时候被读走，不需要通过查询或者中断。
- 计算 10 种函数：sin, cosine, sinh, cosh, atan, atan2, atanh, modulus, square root, natural logarithm。
- 支持定点和浮点输入输出方式。
- 支持中断、查询以及 DMA 请求读写模式。
- 迭代精度可编程。

20.3 功能框图

图 20-1 CORDIC 框图



CORDIC 硬件计算单元结构框图如上，其主要核心计算单元、数据预处理单元、数据后处理单元浮点转定点单元以及定点转浮点单元。

浮点转定点单元：浮点转定点单元将浮点数据或半浮点数据转换为对应的 q1.31 或 q1.15 格式存放到 CORDIC_WDAT 寄存器中。其由 CORDIC_CTRLSTS 寄存器的 FLOATIN 位来配置。默认为定点输入，若配置 FLOATIN 位等于 1，则为浮点输入。

数据前处理单元：其将 CORDIC_WDAT 寄存器中的数据处理，然后送到 CORDIC 的核心计算单元。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

核心计算单元：将输入处理后的数据进行迭代计算得到计算值，运算精度由迭代次数决定，并可配置。支持圆周系统和双曲线系统，每种系统支持旋转模式和向量模式。

数据后处理单元：将 CORDIC 的核心计算单元的计算值进行处理，得到 q1.31 或 q1.15 格式的数据。

定点转浮点单元：将 q1.31 或 q1.15 格式转换为相对应的单精度浮点数据或半精度浮点数据。

20.4 功能描述

20.4.1 CORDIC 函数

Cordic 支持的函数功能如下表所示。

表 20-1 CORDIC 函数总览

函数	主参数	次参数	主结果	次结果
Consine	Angle θ	Modulus m	m * cos θ	m * sin θ
Sine	Angle θ	Modulus m	m * sin θ	m * cos θ
Phase	x	y	atan2(y,x)	$\sqrt{x^2+y^2}$
Modulus	x	y	$\sqrt{x^2+y^2}$	atan2(y,x)
Arctangent	x	none	$\tan^{-1}x$	none
Hyperbolic cosine	x	none	cosh x	sinh x
Hyperbolic sine	x	none	sinh x	cosh x
Hyperbolic actangent	x	none	$\tanh^{-1}x$	none
Natural logarithm	x	none	ln x	none
Square root	x	none	$\sqrt{x}$	none

通过以上 10 中函数可以间接获得更多的其它函数。比如，e^x = sinh (x) + cosh (x)。

Cosine 函数

表 20-2 Cosine 参数

参数	范围	描述
第一个输入参数(θ)	[-1, 1)	其为角度值 θ，单位为弧度（rad），范围 θ∈[-π, π)。使用时首先将目标角度 θ 除以 π，转换为[-1, 1)范围内，再按照有符号定点（q1.31 和 q1.15 格式）或浮点数据（单精度和半精度）写入 CORDIC_WDATA 寄存器。
第二个输入参数（m）	[0, 1]	其表示函数的模长，当 m ≥ 1 时，软件缩小 m 到[0, 1]范围内，按照有符号定点（q1.31 和 q1.15 格式）或浮点数据（单精度和半精度）写入 CORDIC_WDATA 寄存器。
第一个输出结果 m * cos(θ)	[-1, 1)	如果之前软件缩小过 m，需要对该输出数据进行相应比例的放大，以获得真实结果。
第二个输出结果 m * sin(θ)	[-1, 1)	如果之前软件缩小过 m，需要对该输出数据进行相应比例的放大，以获得真实结果。
缩放因子		不可用（保持复位值 3'b0）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

SCALE[10:8]		

注意：

1. 当模长 m＞1 时，软件缩小比可自行选择。

Sine 函数

表 20-3 Sine 参数

参数	范围	描述
第一个输入参数(θ)	[-1, 1)	其为角度值 θ，单位为弧度（rad），范围 θ∈[-π, π)。使用时首先将目标角度 θ 除以 π，转换为[-1,1)范围内，再按照有符号定点（q1.31 和 q1.15 格式）或浮点数据（单精度和半精度）写入 CORDIC_WDATA 寄存器。
第二个输入参数（m）	[0, 1]	其表示函数的模长，当 m ≥ 1 时，软件缩小 m 到[0, 1]范围内，按照有符号定点（q1.31 和 q1.15 格式）或浮点数据（单精度和半精度）写入 CORDIC_WDATA 寄存器。
第一个输出结果 m * sin(θ)	[-1, 1)	如果之前软件缩小过 m，需要对该输出数据进行相应比例的放大，以获得真实结果。
第二个输出结果 m * cos(θ)	[-1, 1)	如果之前软件缩小过 m，需要对该输出数据进行相应比例的放大，以获得真实结果。
缩放因子 SCALE[10:8]	不可用	（保持复位值 3'b0）

注意：

1. 当模长 m＞1 时，缩放比例是自行选择的。

Phase(atan2(y, x))函数

表 20-4 Phase 参数

参数	范围	描述
第一个输入参数（x）	[-1, 1)	x 为笛卡尔坐标系中横坐标值。如果 x≥1 或者 x<-1，则需要进行软件缩放至 q1.31 范围。
第二个输入参数（y）	[-1, 1)	y 其为笛卡尔坐标系中纵坐标值。如果 y≥1 或者 y<-1，则需要进行软件缩放至 q1.31 范围。
第一个输出结果（θ）- 定点型 θ = atan2(y, x)	[-1, 1)	坐标位置（x, y）对应的角度，[-1, 1)对应[-π, π)。该输出数据乘以 π 得到真实角度值。注意，由于相位角的特性，接近 π 的值有时可能算成-π。
第二个输出结果 m – 定点型 $m=\sqrt{x^2+y^2}$	[0, 1)	如果之前对 x 和 y 进行了缩放，该模长需要进行等比例放大。
第一个输出结果（θ）- 浮点型 θ = atan2(y, x)	[-1, 1)	坐标位置（x, y）对应的角度，[-1, 1)对应[-π, π)。该输出数据乘以 π 得到真实角度值。注意，由于相位角的特性，接近 π 的值有时可能算成-π。
第二个输出结果 m -	[0, 1.414]	如果之前对 x 和 y 进行了缩放，该模长需要进行等比例放大。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

参数	范围	描述
浮点型 m=$\sqrt{x^2+y^2}$		
缩放因子 SCALE[10:8]	不可用	（保持复位值 3'b0）

注意：

1. x 和 y 只要有一个超出范围[-1,1)，需要同时对 x 和 y 进行同比例缩放，不能只缩放一个。这样可以保证缩放前后坐标对应的角度不变。
2. 定点型：当$\sqrt{x^2+y^2} \geq 1$时，模长 m 都只能饱和到定点格式的最大值（$1-2^{-15}$ 或者 $1-2^{-31}$）。对 x 和 y 进行同比例缩放前，要考虑缩放因子的大小，尽量避免出现模长饱和的情况。
3. 浮点型：当$\sqrt{x^2+y^2} > 1.414$时，模长 m 都只能饱和到浮点格式的最大值 1.414。对 x 和 y 进行同比例缩放前，要考虑缩放因子的大小，尽量避免出现模长饱和的情况。

Modulus($\sqrt{x^2+y^2}$)函数

表 20-5 Modulus 参数

参数	范围	描述
第一个输入参数（x）	[-1, 1)	x 为笛卡尔坐标系中横坐标值。如果所求 x 不在范围，则需要缩放至[-1, 1)范围。
第二个输入参数（y）	[-1, 1)	y 为笛卡尔坐标系中横坐标值。如果所求 y 在范围，则需要缩放至[-1, 1)范围。
第一个输出结果模长 m – 定点型 m=$\sqrt{x^2+y^2}$	[0, 1)	输入数据若 x，y 有缩放则要进行等比例放大。
第二个输出结果角度（θ）– 定点型 θ = atan2(y, x)	[-1, 1)	坐标位置（x, y）对应的角度，[-1, 1)对应[-π, π)。该输出数据乘以 π 得到真实角度值。注意，由于相位角的特性，接近 π 的值有时可能算成-π。
第一个输出结果模长 m – 浮点型 m=$\sqrt{x^2+y^2}$	[0, 1.414]	输入数据若 x，y 有缩放则要进行等比例放大。
第二个输出结果角度（θ）– 浮点型 θ = atan2(y, x)	[-1, 1)	坐标位置（x, y）对应的角度，[-1, 1)对应[-π, π)。该输出数据乘以 π 得到真实角度值。注意，由于相位角的特性，接近 π 的值有时可能算成-π。
缩放因子 SCALE[10:8]	不可用	（保持复位值 3'b0）

注意：

1. x 和 y 只要有一个超出范围[-1,1)，需要同时对 x 和 y 进行同比例缩放，不能只缩放一个。这样可以保证缩放前后坐标对应的角度不变。
2. 定点型：当$\sqrt{x^2+y^2} \geq 1$时，模长 m 都只能饱和到定点格式的最大值（$1-2^{-15}$ 或者 $1-2^{-31}$）。对 x 和 y 进行同比例缩放前，要考虑缩放因子的大小，尽量避免出现模长饱和的情况。
3. 浮点型：当$\sqrt{x^2+y^2} > 1.414$时，模长 m 都只能饱和到浮点格式的最大值 1.414。对 x 和 y 进行同比例

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

缩放前，要考虑缩放因子的大小，尽量避免出现模长饱和的情况。

Arctangent(tan^{-1}(x))函数

该模式用来计算 tan^{-1}(x)函数。有一个输入和一个输出

表 20-6 Arctangent 参数

参数	范围	描述
输入参数（$x*2^{-n}$）	[-1, 1)	如果|x| > 1，则软件必须以2^{-n}的缩放因子对其缩小，使 x 在[-1, 1)范围中。缩小因子 n 写在 SCALE[10:8]位域中。
输出参数（θ） $\theta = tan^{-1}x * 2^{-n}$	[-1, 1)	[-1, 1)对应[-π, π)，所以输出结果乘以 π 和2^n之后才是真实角度值。
缩放因子 SCALE[10:8]	[0, 7]	SCALE[10:8]位域配置

Hyperbolic cosine (cosh (x))函数

该模式用来计算 cosh (x)函数。有一个输入和两个输出

表 20-7 Hyperbolic cosine 参数

参数	范围	描述
输入参数（x/2）	[-0.559, 0.559]	仅支持[-1.118, +1.118]范围内的 x 值。软件将 x 除以2^{-n}的缩放因子对其缩小。n = 1 只能为 1，并写进 SCALE[10:8]位阈中。
第一个输出结果 cosh (x) /2	[-0.5, 0.846]	双曲余弦值 cosh x。第一个输出结果必须乘以 2 才能获得正确的结果。
第二个输出结果 sinh (x) /2	[-0.683, 0.683]	双曲正弦值 sinh x。第二个输出结果同样乘以 2 才能获得正确的结果。
缩放因子 SCALE[10:8]	1	只能配置为 3'b001。

Hyperbolic sine (sinh(x))函数

该模式用来计算 sinh (x)函数。有一个输入和两个输出

表 20-8 Hyperbolic sine 参数

参数	范围	描述
输入参数（x/2）	[-0.559, 0.559]	仅支持[-1.118, +1.118]范围内的 x 值。软件将 x 除以2^{-n}的缩放因子对其缩小。n = 1 只能为 1，并写进 SCALE[10:8]位阈中。
第一个输出结果 sinh (x) /2	[-0.683, 0.683]	双曲余弦值 sinh x。第一个输出结果必须乘以 2 才能获得正确的结果。
第二个输出结果 cosh (x) /2	[-0.5, 0.846]	双曲余弦值 cosh x。第二个输出结果必须乘以 2 才能获得正确的结果。
缩放因子 SCALE[10:8]	1	只能配置为 3'b001。

Hyperbolic arctangent ($tanh^{-1}$(x))函数

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

该模式用来计算 $\tanh^{-1}(x)$函数。有一个输入和一个输出

表 20-9 Hyperbolic arctangent 参数

参数	范围	描述
输入参数（x/2）	[-0.403, 0.403]	仅支持[[-0.806, 0.806]范围内的 x 值。软件将 x 除以2^{-n}的缩放因子对其缩小。n = 1 只能为 1，并写进 SCALE[10:8]位阈中。
第一个输出结果 $\tanh^{-1}(x)/2$	[-0.559, 0.559]	输出数据乘以 2 得到反双曲正切 $\tanh^{-1}(x)$。
缩放因子 SCALE[10:8]	1	只能配置为 3'b001。

Natural logarithm (ln(x))函数

该模式用来计算 ln(x)函数。有一个输入和一个输出

表 20-10 Natural logarithm 参数

参数	范围	描述
输入参数（$\frac{x}{2^n}$）	[0.054, 0.875]	x∈[0.107, 9.35]，不在范围需要软件将 x 除以2^{-n}的缩放因子对其缩小到[0.054, 0.875]。并将 n 写进 SCALE[10:8]位阈中。
第一个输出结果 $\frac{\ln(x)}{2^{n+1}}$	[-0.279, 0.137]	输出数据乘以 $2^{(n+1)}$得到自然对数 ln(x)。
缩放因子 SCALE[10:8]	[1, 4]	SCALE[10:8]配置为 n。

为保证计算精度，对于不同输入推荐使用下表中中的缩放因子：

n	x 范围	输入参数范围
1	$0.107 \le x < 1$	$0.0535 \le \frac{x}{2^n} < 0.5$
2	$1 \le x < 3$	$0.25 \le \frac{x}{2^n} < 0.75$
3	$3 \le x < 7$	$0.375 \le \frac{x}{2^n} < 0.875$
4	$7 \le x \le 9.35$	$0.4375 \le \frac{x}{2^n} < 0.584$

Square root ($\sqrt{x}$)函数

此函数计算输入参数 x 的平方根，有一个输入和一个输出。

表 20-11 Square root 参数

参数	范围	描述
输入参数（$\frac{x}{2^n}$）	[0.027, 0.875]	x∈[0.027, 2.34]，不在范围需要软件将 x 除以2^{-n}的缩放因子对其缩小到[0.054, 0.875]。并将 n 写进 SCALE[10:8]位阈中。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

参数	范围	描述
第一个输出结果 $\frac{\sqrt{x}}{2^n}$	[0.04, 1]	输出数据乘以 2^n 得到$\sqrt{x}$。
缩放因子 SCALE[10:8]	[0, 2]	SCALE[10:8]配置为 n

为保证计算精度，对于不同输入推荐使用下表中中的缩放因子。

n	x 范围	输入参数范围
0	$0.027 \le x < 0.75$	$0.027 \le (\frac{x}{2^n}) < 0.75$
1	$0.75 \le x < 1.75$	$0.375 \le (\frac{x}{2^n}) < 0.875$
2	$1.75 \le x \le 2.341$	$0.4375 \le (\frac{x}{2^n}) \le 0.585$

20.4.2 数据格式

CORDIC 模块的输入数据和输出数据支持有符号整型定点格式（q1.31 和 q1.15）和浮点数据（单精度和半精度）。浮点数据需要根据 IEEE 754 中规定进行转换，然后写到数据寄存器中。

CORDIC_CTRLSTS 寄存器的 FLOATIN 位配置数据输入格式，默认定点格式输入。配置 FLOATIN 位等于 1，则为浮点输入。

CORDIC_CTRLSTS 寄存器的 FLOATOUT 位配置数据输出格式，默认定点格式输出。配置 FLOATOUT 位等于 1，则为浮点输出。

CORDIC_CTRLSTS 寄存器的 INSIZE 位用来配置输入数据的宽度，默认为 32 位宽。

如果配置为 32-bit，则输入数据应该为 q1.31 定点格式或者单精度浮点，也即是 CORDIC_WDAT 寄存器写入的输入数据为 q1.31 定点格式（FLOATIN = 0）或者单精度浮点（FLOATIN = 1）格式。

如果配置为 16-bit，则输入数据应该为 q1.15 定点格式或者半精度浮点，也即是 CORDIC_WDAT 寄存器写入的输入数据为 q1.15 定点格式（FLOATIN = 0）或者半精度浮点（FLOATIN = 1）格式。

CORDIC_CTRLSTS 寄存器的 NUMWRITE 位用来配置输入数据的个数，默认为输入一个数据参数（NUMWRITE = 0）。

如果配置 NUMWRITE = 0，若配置数据输入宽度为 32-bit (INSIZE = 0),则可以输入一个 q1.31 定点格式或者单精度浮点数据；若配置数据输入宽度为 16-bit (INSIZE = 1)，则可以输入二个 q1.15 定点格式或者半精度浮点数据，其中第一个参数放在低 16 位，第二个参数放在高 16 位。

如果配置 NUMWRITE = 1，则只能输入两个 q1.31 定点格式或者单精度浮点数据。

输出数据格式同上。

20.4.3 比例因子

前面列出的几个函数指定了一个比例因子 SCALE。这让扩展函数输入范围涵盖 CORDIC 支持的所有值范围，而不会使输入、输出或内部寄存器饱和。如果需要比例因子，则必须在软件中计算并编程到

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

CORDIC_CTRLSTS 寄存器的 SCALE 字段中。在对 CORDIC_WDAT 寄存器中的值缩小并对比例因子 SCALE 进行编程时，输入参数也必须相应地缩小。最后还必须对 CORDIC_RDAT 寄存器读取的结果撤消缩小，即乘以2^n获得正确的值。

注意：缩放因子会因缩放值的截断而导致精度损失。

20.4.4 精度

CORDIC 每个时钟周期可进行四次迭代。表 20-12 列出了每个函数每迭代四次后的最大误差，以及达到该精度所需的时钟周期数。根据该表，可以确定所需的周期数，并在 CORDIC_CTRLSTS 寄存器的精度字段中进行编程。一旦完成编程的循环次数，CORDIC 处理器立即停止，并可立即读取结果。

表 20-12 CORDIC 精度

迭代周期	最大剩余误差（2^{-n}）			
	正常	16 位定点输出	16 位浮点输出	16 位浮点输入
COS，SIN				
1	3	3	2	2
2	7	6	6	6
3	10	10	9	10
4	14	13	10	12
5	18	14	10	12
6	18	14	10	12
PHASE，MODULUS				
1	3	3	3	3
2	7	7	7	7
3	12	12	9	12
4	13	13	9	13
5	13	13	9	13
6	13	13	9	13
ARCTAN				
1	3	3	3	3
2	7	7	7	7
3	12	12	10	12
4	15	14	10	16
5	18	14	10	16
6	19	14	10	16
HB_COS，HB_SIN，HB_ARCT，LN				
1	3	3	3	3
2	7	7	7	7

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

迭代周期	最大剩余误差（2^{-n}）			
	正常	16 位定点输出	16 位浮点输出	16 位浮点输入
3	11	11	9	11
4	14	13	10	14
5	17	14	10	14
6	18	14	10	14
SQRT				
1	7	7	7	7
2	14	13	10	14
3	18	13	10	14
4	18	13	10	14
5	18	13	10	14
6	18	13	10	14

注：其他所有情况（32 位定点输入、32 定点输出、32 位浮点输入、32 位浮点输出、16 位定点输入）均归入正常模式。在表 20-12 中，如果符合使用模式的情况不止一种，则取最大误差。

注：在 PHASE 和 MUDULUS 模式下，结果角度的精度受输入 y 和 x 比例精度的限制。x 和 y 应采用同步刻度。为确保精度达到 10^{-4}，输入数据 x 和 y 的其中之一应大于 0.005（16 位输入时为 0.125）。表 20-12 中的精度数据是在 x 和 y 的其中之一大于 0.005（0.125）的情况下计算得出的。如果需要高精度，当 x 和 y 的其中之一接近 1 时可以达到最佳精度。当 x 和 y 的其中之一大于 0.1 时，迭代周期数等于 5 或 6（32 位模式），精度可达 10^{-5}。表 20-13 列出了当 x 和 y 比例较大时 PHASE 和 MODULUS 的精度。

表 20-13 PHASE 和 MODULUS 精度补充表

迭代周期	最大剩余误差（2^{-n}）			
	32 位输入		16 位输入	
	max(x,y) > 0.005（能达到 10^{-4} 精度）	max(x,y) > 0.05（最佳精度）	max(x,y) > 0.125（能达到 10^{-4} 精度）	max(x,y) > 0.5（最佳精度）
1	3	3	3	3
2	7	7	7	7
3	12	12	12	12
4	13	15	13	14
5	13	18	13	14
6	13	18	13	14

20.4.5 工作模式

CORDIC 的工作模式零开销模式、轮询模式、中断模式以及 DMA 模式。

20.4.5.1 零开销模式

使用协处理器的最快方法是对 CORDIC_CTRLSTS 寄存器进行预编程，其中包括执行的功能（FUNC）、所

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

需的时钟周期数（PRECISION）、输入和输出值的位数（INSIZE、OUTSIZE），输入参数（NUMWRITE）和结果（NUMREAD）的数量，以及比例因子（SCALE）（如果适用）。

随后，通过将输入参数写入 CORDIC_WDAT 寄存器来触发计算。一旦写入正确数量的输入参数（并且任何正在进行的计算已完成），就会使用这些输入参数和当前 CORDIC_CTRLSTS 设置启动新计算。如果没有变化，则无需重新编程 CORDIC_CTRLSTS 寄存器。

如果需要双 32 位输入参数（INSIZE＝0，NUMWRITE＝1），则必须首先写入第一个输入参数，然后写入第二个输入参数。如果第二个参数在一系列计算中保持不变，则可以通过将参数数量重新编程为一个（INSIZE＝0），在第一次计算开始后避免第二次写入。

如果使用两个 16 位参数（INSIZE = 1），它们必须打包成一个 32 位字，主参数在最低有效半字中，次参数在最高有效半字中。然后将打包的 32 位字写入 CORDIC_WDAT 寄存器。在这种情况下（NUMWRITE＝0）只需要一次写入。

对于仅采用一个输入参数的函数，建议设置 NUMWRITE＝0。如果 NUMWRITE＝1，则必须执行第二次写入 CORDIC_WDAT 以触发计算。在这种情况下不使用第二个输入的数据。

一旦计算开始，任何读取 CORDIC_RDAT 寄存器的尝试都会插入总线等待状态，直到计算完成，然后返回结果。因此，软件可以写入输入并立即读取结果，而无需轮询以查看其是否有效。或者，处理器可以在读取结果之前等待适当数量的时钟周期。如果需要，该时间可用于为下一次计算编程 CORDIC_CTRLSTS 寄存器并准备下一个输入数据。CORDIC_CTRLSTS 寄存器可以在计算进行时重新编程，而不会影响正在进行的计算的结果。以同样的方式，一旦之前的参数开始计算，就可以使用下一个参数更新 CORDIC_WDAT 寄存器。下一个参数和设置保持挂起，直到前一个计算完成。

计算完成后，可以从 CORDIC_RDAT 寄存器读取结果。如果需要两个 32 位结果（OUTSIZE＝1，NUMWRITE＝0），则首先读出第一个结果，然后读出第二个结果。如果只需要一个 32 位结果（NUMWRITE＝0，OUTSIZE＝0），则在第一次读取时输出第一个结果。

如果需要 16 位结果（OUTSIZE＝1），则对 CORDIC_RDAT 的单次读取会将两个结果都打包到一个 32 位字中。第一个结果在下半字中，第二个结果在上半字中。在这种情况下，建议编程 NUMWRITE = 0。如果 NUMWRITE＝1，则必须执行 CORDIC_RDAT 的第二次读取，以便为下一个操作释放 CORDIC。必须丢弃第二次读取的数据。

下一个计算在读取了预期数量的结果时开始，前提是已写入预期数量的参数。这意味着在任何时候，都可能有一个正在进行的计算或等待读取结果，以及一个待处理的操作。在操作挂起时对 CORDIC_WDAT 的任何进一步访问都会取消挂起的操作并覆盖数据。

20.4.5.2 轮询模式

当 CORDIC_RDAT 寄存器中有新结果可用时，在 CORDIC_CTRLSTS 寄存器中置位 RRF 标志。可以通过读取寄存器来查询该标志，读取 CORDIC_RDAT 寄存器一次或两次（取决于 CORDIC_CTRLSTS 寄存器的 NUMWRITE 字段）将复位 RRF 标志。

轮询 RRF 标志比直接读取 CORDIC_RDAT 寄存器花费的时间稍长，因为结果不会在可用时立即读取。然而，程序和总线接口在读取 CORDIC_CTRLSTS 寄存器时不会停止，因此如果程序停止不可接受的（例如，必须处理低延迟中断），这种模式可能是不错的选择。

20.4.5.3 中断模式

通过设置 CORDIC_CTRLSTS 寄存器中的中断使能（INTEN）位，只要置位了 RRF 标志，就会产生中断。RRF 标志复位时中断被清除。这种模式允许在中断服务程序下读取计算结果，因此相对于其他任务具有一

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

个优先级。然而，由于中断处理的延时，它比直接读取结果或轮询标志要慢。

20.4.5.4 DMA 模式

如果在 CORDIC_CTRLSTS 寄存器中设置了 DMA 写使能（DMAWEN）位，并且没有操作悬置，则会发出 DMA 写通道请求。DMA 控制器可以将第一个输入参数从内存传输到 CORDIC_WDAT 寄存器。如果 CORDIC_CTRLSTS 寄存器中的 NUMWRITE = 1，则会发出第二个 DMA 写通道请求以将第二个输入参数传输到 CORDIC_WDAT 寄存器。当所有输入参数都已写入，并且任何正在进行的计算都已完成（通过读取结果）后，新一轮计算将启动并生成另一个 DMA 写入通道请求。

如果在 CORDIC_CTRLSTS 寄存器中设置了 DMA 读取使能（DMAREN）位，则 RRF 标志有效会发出 DMA 读取通道请求。然后 DMA 控制器可以将第一个结果从 CORDIC_RDAT 寄存器传输到存储器。如果 CORDIC_CTRLSTS 寄存器中的 NUMWRITE = 1，则会生成第二个 DMA 请求以读取第二个结果。读取所有结果后，RRF 标志无效。

DMA 读和写通道可以单独启用。如果两个通道都启用，CORDIC 可以在没有处理器干预的情况下自主地对数据缓冲区执行重复计算。这允许程序执行其他任务。DMA 控制器在写入通道的内存到外设模式下运行，而读取通道则在外设到内存模式下运行。请注意，该时序由程序设置 DMAWEN 标志的开始。此后，DMA 读写请求的生成速度可以达到 CORDIC 处理数据的速度一样快。

在某些情况下，输入数据可能会存储在内存中，并且输出会定期传输到另一个外围设备，例如数模转换器。在这种情况下，目标外设每次需要新数据时，都会生成一个 DMA 请求。DMA 控制器可以直接从 CORDIC_RDAT 寄存器中获取下一个样本（在这种情况下，DMA 控制器在内存到外设模式下运行，即使源是外设寄存器）。读取结果的行为允许 CORDIC 开始新的计算，进而生成 DMA 写通道请求，DMA 控制器将下一个输入值传输到 CORDIC_WDAT 寄存器。此时，DMA 写通道使能（DMAWEN = 1），但读通道不能使能。

以上述类似的方式，来自另一个外设（例如 ADC）的数据可以直接传输到 CORDIC_WDAT 寄存器（在外设到存储器模式下）。同样不能使能 DMA 写通道。如果 DMAREN = 1，则 CORDIC 处理输入数据并在完成时生成 DMA 读取请求。然后 DMA 控制器将结果从 CORDIC_RDAT 寄存器传输到存储器（外设到存储器模式）。

注意：不会生成 DMA 请求来编程 CORDIC_CTRLSTS 寄存器。因此，只有在使用相同设置重复执行相同功能时，DMA 模式才有用。还要注意，在一系列 DMA 传输期间不能更改比例因子。

注意：每个 DMA 请求被响应 DMA 都要发出响应信号，进而 DMA 才能执行对 CORDIC_WDAT 或 CORDIC_RDAT 寄存器的访问。如果在 DMA 发出响应信号之前发生对相关寄存器进行无关访问，可能阻塞 DMA 通道。因此，当 DMA 读通道使能时，必须避免 CPU 访问 CORDIC_RDAT 寄存器。同样，当 DMA 写通道使能时，程序必须避免访问 CORDIC_WDAT 寄存器。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

20.5 CORDIC 寄存器

20.5.1 CORDIC 控制状态寄存器（CORDIC_CTRLSTS）

地址偏移：0x00

复位值：0x0050

每次向控制状态寄存器写入数据时，都会丢弃已存储但尚未计算的数据，以防止以前的数据使用当前的控制配置进行计算。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
RRF	INOVF	Reserved		INOVINTEN	CODINLIMIT	PHASELIMIT	FLOATOUT	FLOATIN	INSIZE	OUTSIZE	NUMWRITE	NUMREAD	DMAWEN	DMAREN	INTEN
r	rw			rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved					SCALE			PRECISION				FUNC			
					rw			rw				rw			

位域	名称	描述
31	RRF	结果就绪标志 0：CORDIC_RDAT 寄存器中没有新数据 1：CORDIC_RDAT 寄存器中有新数据 当 CORDIC 操作完成时，该位由硬件置位。当读取 CORDIC_RDAT 寄存器（NUMREAD + 1）次时，该位被硬件复位。 该位被置位时，如果 INTEN 位也被置位，则 CORDIC 产生读中断。如果 DMAREN 位也被置位，则会产生 DMA 读通道请求。当该位被置位时，不会启动新的计算。
30	INOVF	输入参数溢出标志 0：没有发生输入参数溢出事件或输入参数溢出中断控制没有开启 1：发生输入参数溢出事件 注意：该位写 1 清 0，写 0 无效。
29:28	Reserved	保留，必须保持复位值。
27	INOVINTEN	输入参数溢出中断控制位 0：不使能 1：使能 输入参数溢出发生时候，置 INOVF 为 1。
26	CODINLIMIT	坐标输出限制控制 0：不限制坐标输出结果 1：限制坐标输出结果，使其不溢出 在某些情况下，接近 1 的输出可能会溢出到-1，或者相反。如果 CODINLIMIT = 1 时，当发生溢出时，将正输出限制为 1，负输出限制为-1。
25	PHASELIMIT	相位输出限制控制

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：不限制相位输出 1：限制相位输出 如果 PHASELIMIT = 1，当发生溢出时，将正相位限制为 π，负相位限制为-π。
24	FLOATOUT	浮点定点输出控制 0：定点输出 1：浮点输出
23	FLOATIN	浮点定点输入控制 0：定点输入 1：浮点输入
22	INSIZE	输入数据宽度 0：32bit 1：16bit 如果配置为 32-bit，则写入 CORDIC_WDAT 寄存器数据为 q1.31 定点格式或单精度浮点。 如果配置为 16-bit，则写入 CORDIC_WDAT 寄存器数据为 q1.15 定点格式或半精度浮点。
21	OUTSIZE	输出数据宽度 0：32bit 1：16bit 如果配置为 32-bit，则 CORDIC_RDAT 寄存器输出数据为 q1.31 定点格式或单精度浮。 如果配置为 16-bit，则 CORDIC_RDAT 寄存器输出数据为 q1.15 定点格式或半精度浮点。
20	NUMWRITE	CORDIC_WDAT 寄存器参数个数 0：下一次计算只需要写入一个 32 位值（或两个 16 位值，如果 INSIZE = 1） 1：必须向 CORDIC_WDAT 寄存器写入两个 32 位值，才能触发下一次计算 读取会返回位的当前状态。
19	NUMREAD	可在 CORDIC_RDAT 寄存器中读取的结果个数 0：下一次计算完成时，只有一个 32 位值（或两个 16 位值，如果 OUTSIZE = 1）被传送到 CORDIC_RDAT 寄存器 1：两个 32 位值被传送到 CORDIC_RDAT 寄存器 下一次计算完成时，两个 32 位值被传送到 CORDIC_RDAT 寄存器。需要两次读取 CORDIC_RDAT 才能重置 RRF 标志。 某些函数（如 PHASE）有两个结果输出，如果不需要第二个结果，则允许设置 NUMREAD = 0。
18	DMAWEN	DMA 写请求使能 0：禁用。不产生 DMA 写请求 1：启用。只要 Cordic 没有计算进行时，就会产生 DMA 写请求 该位由软件设置和清除。读取时会返回该位的当前状态。
17	DMAREN	DMA 读请求使能 0：禁用。不产生 DMA 读取请求 1：启用。只要 RRF 置位，就会产生 DMA 读取请求

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		该位由软件设置和清除。读取时会返回该位的当前状态。
16	INTEN	中断使能 0：禁用。不产生中断请求 1：启用。只要 RRF 标志置位，就会产生中断请求 该位由软件设置和清除。读取时会返回该位的当前状态。
15:11	Reserved	保留，必须保持复位值。
10:8	SCALE[2:0]	缩放因子：$2^{SCALE[2:0]}$ 000：2^0 001：2^1 010：2^2 … 110：2^6 111：2^7 当实际输入参数超过规定的输入数据范围[-1,1)，实际输入参数需要除以 $2^{SCALE[2:0]}$，并且输出数据需要乘以 $2^{SCALE[2:0]}$以得到实际输出结果。举例如下： CORDIC_WDAT = 实际输入参数 / $2^{SCALE[2:0]}$ 实际输出结果 = CORDIC_RDAT * $2^{SCALE[2:0]}$
7:4	PRECISION	迭代次数 0：保留 1~15：迭代次数/4 确定特定精度所需的迭代次数。 对于大多数功能，该字段的建议范围是 3~6 次。 注意：迭代次数越高，精度越高。
3:0	FUNC	函数 4'b0：COS 4'b1：SIN 4'b2：PHASE 4'b3：MODULUS 4'b4：ARCTANT 4'b5：HB_COS：双曲余弦 4'b6：HB_SIN：双曲正弦 4'b7：HB_ARCT：双曲反正切 4'b8：NATL：自然对数 4'b9：SQRT：平方根 4'b10~4'b15：保留

20.5.2 CORDIC 写数据寄存器（CORDIC_WDAT）

地址偏移：0x04

复位值：0x0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

WDAT[31:16]
w

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
WDAT[15:0]															
w															

位域	名称	描述
31:0	WDAT[31:0]	写入数据 当对该寄存器进行写入访问时，写入数据将被传输到写入指针所指示的地址偏移量。每次写入后，指针地址都会自动递增。 该寄存器根据在 CORDIC_CTRLSTS 寄存器 FUNC 字段所选功能的输入参数进行编程。 如果选择 32 位格式（INSIZE = 0），并且需要两个输入参数（NUMWRITE = 1），则需要向该寄存器连续写入两次。第一次写入主参数，第二次写入次参数。 如果选择 32 位格式，且只需要一个输入参数（NUMWRITE = 0），则只需向该寄存器写入一次，其中包含主参数。 如果选择的是 16 位格式（INSIZE = 1），则只需向该寄存器写入一次，即可包含两个参数。主参数位于 WDAT[15:0]，次参数位于 WDAT[31:16]。在这种情况下，NUMWRITE 必须设置为 0。 有关每个函数所需的参数及其允许范围，请参见 20.4.1 章节 写入所需的参数数后，如果之前的计算已经完成，CORDIC 将使用所提供的输入参数对 FUNC 字段指定的函数进行评估。 如果计算正在进行，则主参数和次参数值保持待定，直至计算完成并读取结果。在此期间对寄存器的写入将取消待处理操作并覆盖参数数据。

20.5.3 CORDIC 读数据寄存器（CORDIC_RDAT）

地址偏移：0x08

复位值：0x0000

该寄存器只能按字（32 位）访问。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
RDAT[31:16]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RDAT[15:0]															
r															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:0	RDAT[31:0]	输出数据 如果选择 32 位格式（OUTSIZE = 0），并且预期有两个输出值（NUMREAD = 1），则在设置 RRF 标志时必须读取该寄存器两次。第一次读取主结果（第一个输出结果）。第二次读取次结果（第二个输出结果）并复位 RRF。 如果选择 16 位格式（OUTSIZE = 1），该寄存器的下半部分 RDAT[15:0]包含主结果（第一个输出结果），上半部分 RDAT[31:16]包含次结果（第二个输出结果））。在这种情况下，必须将 NUMREAD 设置为 0，并且只进行一次读取。从该寄存器读数据将重置 CORDIC_CTRLSTS 寄存器中的 RRF 标志。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

21 通用同步异步收发器(USART)

21.1 简介

通用同步异步收发器（USART）是一种全双工串行数据交换接口，支持同步或异步通信。可灵活配置，以便于与多种外部设备进行全双工数据交换。

USART 接口发送与接收波特率可配置，也支持通过 DMA 进行连续通信。USART 还支持多处理器通信、LIN 模式、同步模式、单线半双工通信、智能卡异步协议、IrDA SIR ENDEC 功能、以及硬件流控制功能。

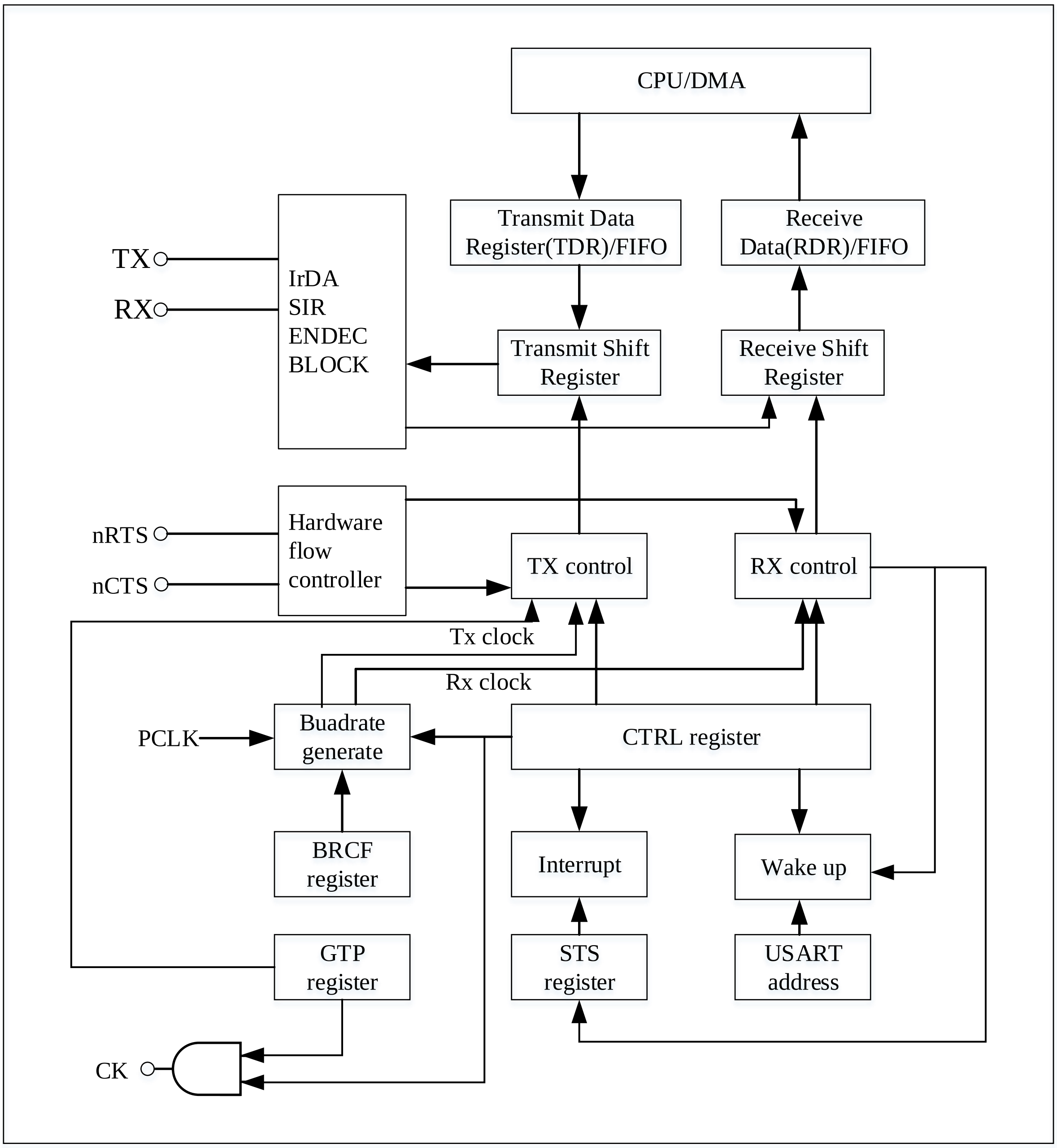
21.2 主要特性

- 支持全双工,异步通信
- 支持单线半双工通信
- 波特率可配置，最高波特率可达 15Mbit/s
- 支持 8 倍或 16 倍过采样
- 支持 8bit 或 9bit 数据帧
- 支持两个用于收发数据的内部 FIFO
- 支持 1bit 或 2bit 停止位
- 支持硬件生成校验位及校验位检查
- 支持硬件流控: RTS、CTS
- 支持 RS-485
- 支持 DMA 收发
- 支持多处理器通信：如果地址不匹配，则进入静默模式, 可通过空闲总线检测或地址标识唤醒
- 支持同步模式，允许用户在主模式下控制双向同步串行通信
- 支持智能卡异步协议，符合 ISO7816-3 标准
- 支持串行红外协议（IrDA SIR）编码与解码，提供正常与低功耗两种运行模式
- 支持 LIN 模式
- 支持多钟错误检测：数据溢出错误、帧错误、噪声错误、检验错误
- 支持多个中断请求：发送数据寄存器为空、CTS 标志、发送完成、数据已接收、数据溢出、总线空闲、检验错误、LIN 模式断开帧 检测、以及多缓冲区通信（DMA）中的噪声标志/溢出错误/帧错误

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

21.3 功能框图

图 21-1 USART 框图



21.4 功能描述

如 图 21-1 所示, USART 的双向通信都需要使用 RX 和 TX 引脚与外部器件连接。其中 TX 为数据发送引脚（输出），当发送功能使能但没有发送数据时，TX 引脚输出高电平，当发送功能被禁用时，TX 引脚为普通 IO 端口，状态由应 IO 配置决定。RX 为数据接收引脚（输入），接收数据时采用了过采样技术。

当设备作为发送端时，通过 TX 引脚发送数据，作为接收端时则通过 RX 引脚接收数据。当没有数据收发时，总线处于空闲状态。数据帧格式为：1 个起始位+ 8 或 9 位数据 (最低有效位在前) + 1 个检验位（可选）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

+ 0.5,1,1.5 或 2 个停止位。

使用分数波特率发生器来配置发送与接收波特率。

从功能框图上可以看出，使用硬件流控功能时，需要 nRTS 输出引脚和 nCTS 输入引脚。当 USART 作为接收端时，如果已准备好接收数据，nRTS 输出低电平。当 USART 作为发送端时，nCTS 有效 (低电平) 才发送下一个数据，nCTS 无效 (高电平)则不发送数据。

当使用同步模式时需要用到 CK 引脚，用于同步传输时钟输出，时钟极性与相位可软件配置。但在发送起始位与停止位时，CK 引脚不输出同步时钟。在智能卡模式下也需要 CK 引脚提供时钟。

21.4.1 USART 帧格式

起始位：1 位，低电平有效

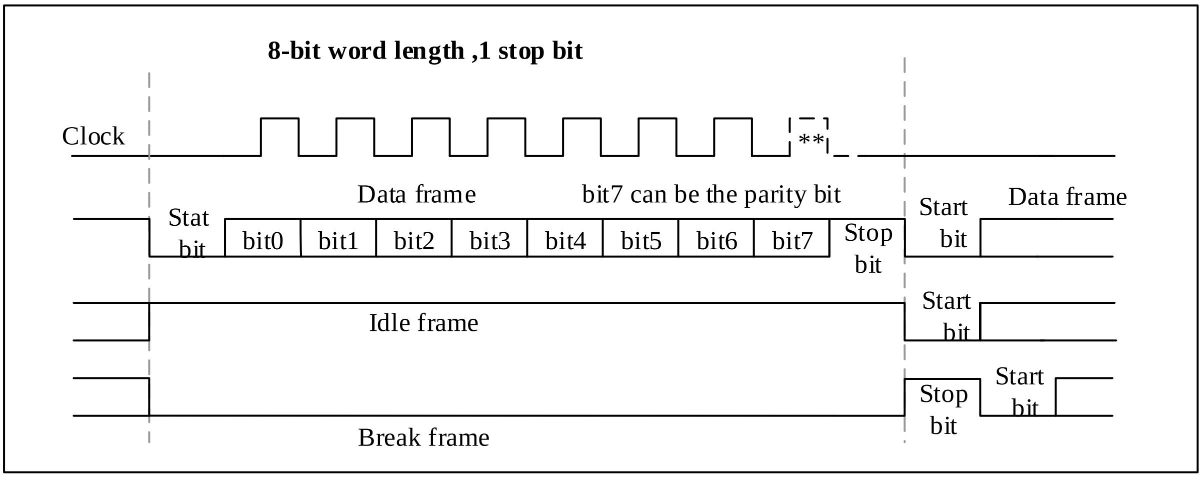
数据位：可通过 USART_CTRL1.WL 配置为 8 或 9 位, 最低有效位在前。

停止位：高电平有效。

空闲帧：全部由‘1’组成的一个完整的数据帧，包括起始位。后跟包含数据的数据帧的起始位。

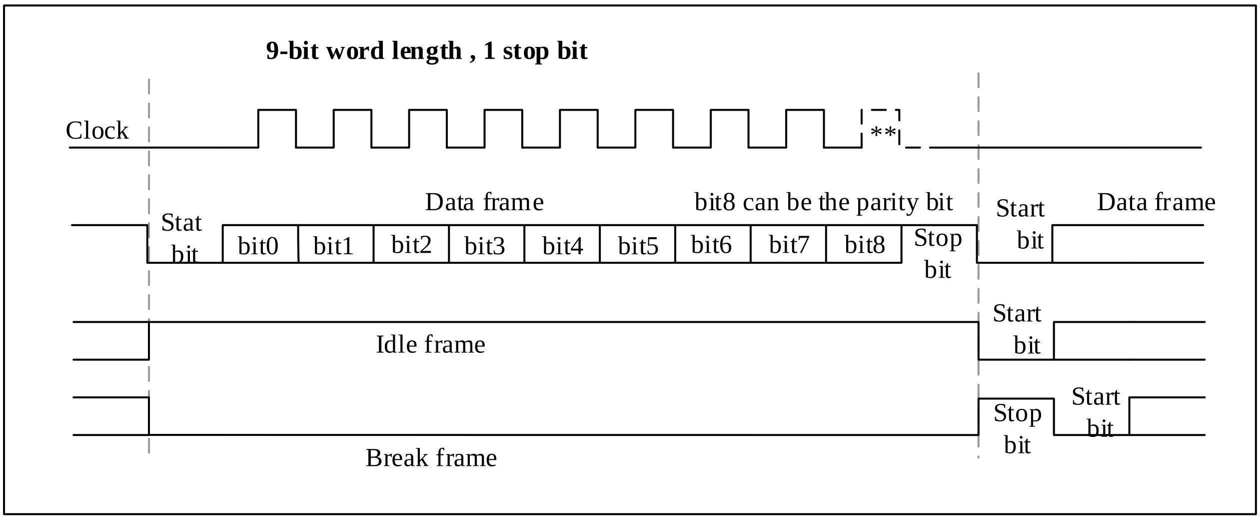
断开帧：全部由’0’组成的一个完整的数据帧，包括停止位。在断开帧结束后，发送端再插入 1 或 2 个停止位来应答起始位。

图 21-2 字长=8 设置



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 21-3 字长=9 设置



21.4.2 USART FIFO 和阈值

USART 可工作在 FIFO 模式下。

USART 具有一个发送 FIFO (TXFIFO) 和一个接收 FIFO (RXFIFO)。可通过将 USART_FIFO.EN 置 1 使能 FIFO 模式。

最大数据字长度为 9 位，因此 TXFIFO 为 9 位宽。不过，RXFIFO 的默认宽度为 12 位。这是因为接收器不仅在 FIFO 中存储数据，而且还存储与每个字符相关的错误标志(奇偶校验错误、噪声错误和帧错误标志)。

注：接收的数据与相应的标志一起存储在 RXFIFO 中，但读取 USART_DAT 时仅读取数据。

状态标志位于 USART_STS 寄存器中。

可以配置触发 TX 和 RX 中断的 TXFIFO 和 RXFIFO 阈值。这些阈值通过 USART_FIFO 控制寄存器中的 RXFTCFG 和 TXFTCFG 位域进行编程。

在这种情况下：

当 RXFIFO 中接收到的数据量达到 RXFTCFG 位域中编程的阈值时，会生成 Rx 中断。此时，USART_STS 寄存器中的 RXFT 标志置 1。这表示已接收到 RXFTCFG 数据：USART_RDR 中有 1 个数据，RXFIFO 中有(RXFTCFG-1)个数据。例如，如果将 RXFTCFG 编程为“101”，则在接收到对应于 FIFO 大小的数据量，(RXFIFO 中有(FIFO 大小-1)个数据，USART_RDR 中有 1 个数据)时，RXFT 标志将置 1。因 RX FIFO 未满，下一个接收到的数据不会将上溢标志置 1。

当 TXFIFO 中的空位置数达到在 TXFTCFG 位域中编程的阈值时，会生成 Tx 中断。

内部存在寄存器可查看 TXFIFO/RXFIFO 内数据个数。

USART RX/TX FIFO 推荐配置流程：

1. 使用时可以先使能 USART_FIFO.CLR 清除 TX/RX FIFO 的数据,或者当想清除 FIFO 数据时可操作 USART_FIFO.CLR 位;

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

2. 配置中断使能:TX 中断/RX 中断;
3. 配置 FIFO 的水线阈值: USART_FIFO.RXFTCFG/ USART_FIFO.RXFTCFG(不要配置为 2’b00);
4. 打开 USART_FIFO.EN 使能 FIFO 模块。

21.4.3 发送器

当发送功能使能后，进入移位寄存器中的数据通过 TX 引脚输出。

21.4.3.1 空闲帧

USART_CTRL1.TXEN 置 1 后，USART 会在发送数据之前发送一个空闲帧。

21.4.3.2 字符发送

在空闲帧结束后，字符可正常发送。在每个字符发送前，先发送一个起始位（低电平）。发送器根据数据长度配置发送 8 位或 9 位数据，其中最低有效位先发送。如果在数据传输时 USART_CTRL1.TXEN 被清零，将导致波特率计数器停止计数，从而破坏正在传输的数据。

21.4.3.3 停止位

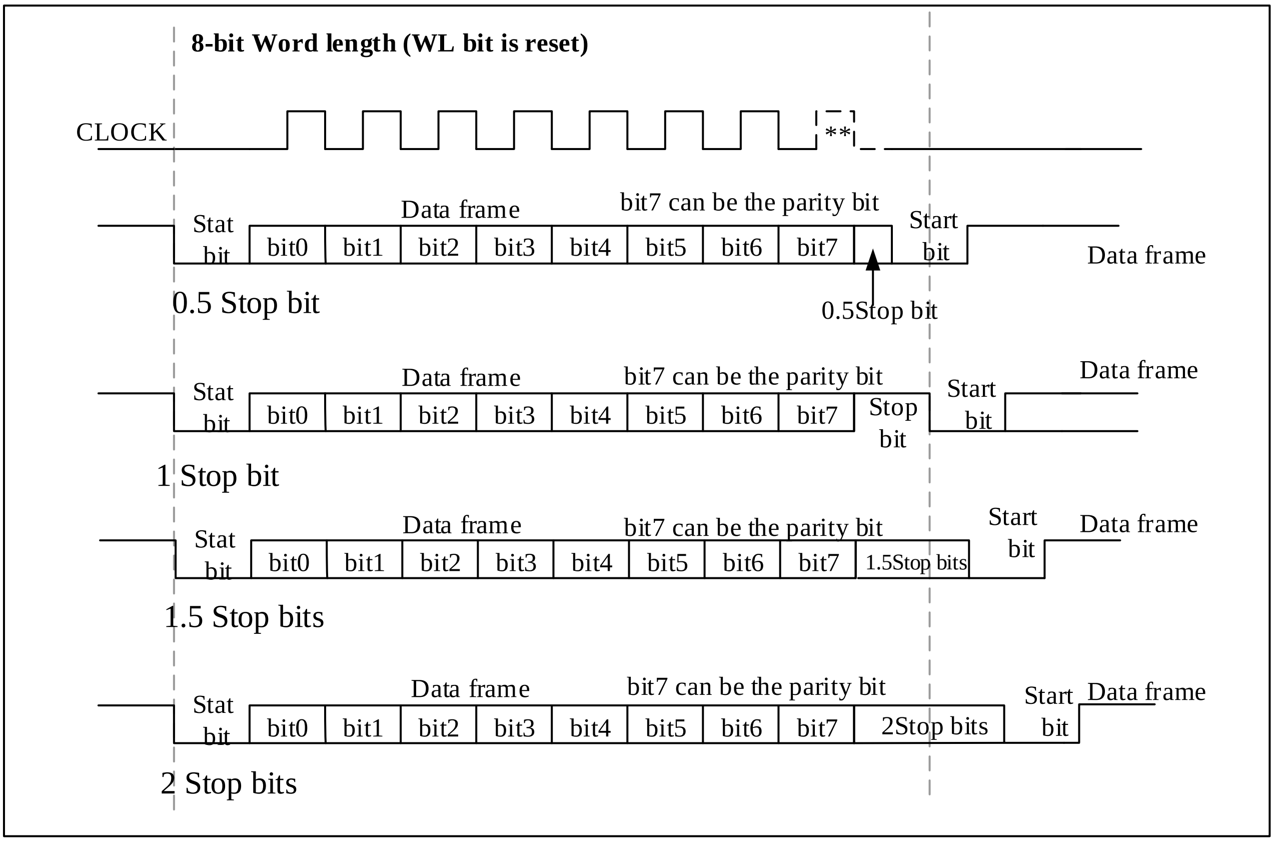
字符发送完成后，发送器自动发送停止位。停止位位数可通过 USART_CTRL2.STPB[1:0]配置。

表 21-1 停止位配置

USART_CTRL2.STPB[1:0]	停止位长度 (位)	功能描述
00	1	默认
01	0.5	用于智能卡模式下数据接收
10	2	用于常规 USART 模式、单线模式以及调制解调器模式.
11	1.5	用于智能卡模式下数据发送和接收

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 21-4 停止位配置



21.4.3.4 断开帧

可通过置位 USART_CTRL1.SDBRK 来发送 1 个断开帧。当数据长度为 8 位时，断开帧由 10 位低电平组成，当数据长度为 9 位时，断开帧由 11 位低电平组成。断开帧结束后将插入一位停止位（高电平）。

断开帧发送完成后，USART_CTRL1.SDBRK 被硬件清零，同时自动发送停止位。因此，如果要连续发送断开帧，必须在前一个断开帧与停止位发送完成后再次置位 USART_CTRL1.SDBRK。

如果在断开帧开始发送前软件清零 USART_CTRL1.SDBRK，当前断开帧不会发送。

21.4.3.5 发送流程

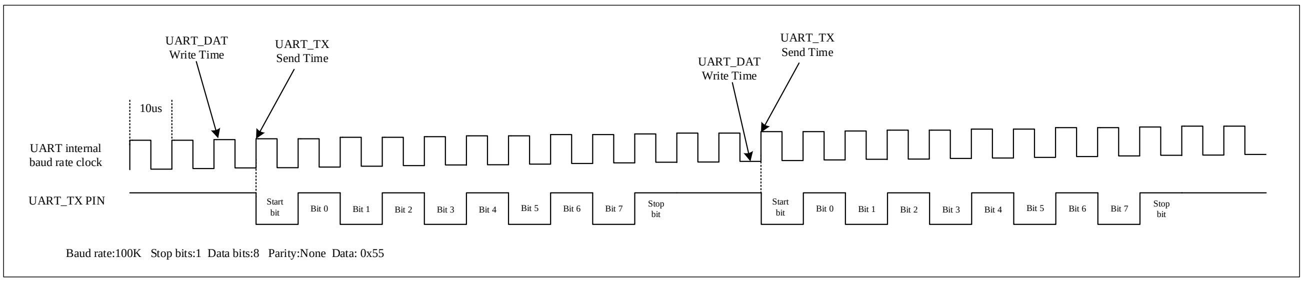
1. 置位 USART_CTRL1.UEN 来使能 USART；
2. 配置波特率、数据长度、校验位、停止位长度、以及根据需要配置相关 DMA；
3. 使能发送功能 (USART_CTRL1.TXEN)；
4. 通过 CPU 或 DMA 将要发送的数据依次写入数据寄存器 USART_DAT，当数据写入数据寄存器时将清零 USART_STS.TXDE;
5. 当所有数据已写入到数据寄存器 USART_DAT 后，等待发送完成标志位 USART_STS.TXC 置 1，数据发送完成。

注意：向 UART_DAT 写入数据，到数据到 UART_TX 引脚会存在延时，延时值可通过 USART_CTRL1.TEDEN 设置为固定或非固定。

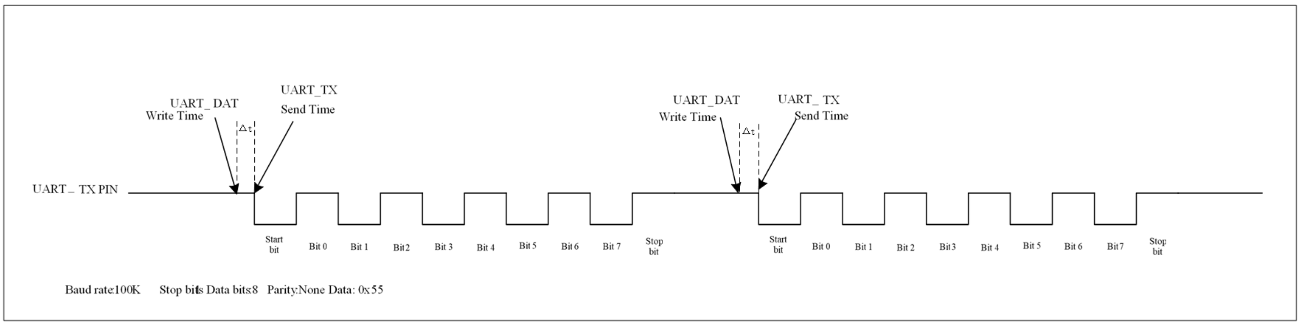
延时值为非固定时，例如下图 100K 波特率，在一个波特率周期任意时刻写入数据到 UART_DAT，会在下一

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

个波特率周期开始时传输到 UART_TX 引脚:



*延时值为固定时，例如下图 100K 波特率，在一个波特率周期任意时刻写入数据到 UART_DAT，会在Δt =（(1/8 或 1/16 个波特率周期）+2*pclk）后传输到 UART_TX 引脚:*



21.4.3.6 单字节通信

对数据寄存器 USART_DAT 的写操作将清零标志位 USART_STS.TXDE。

当数据已从发送数据寄存器送到移位寄存器时，USART_STS.TXDE 位由硬件置 1，表示数据开始发送。如果 USART_CTRL1.TXDEIEN 已置 1，将产生一个中断。此时，可将下一个数据写入数据寄存器 USART_DAT。

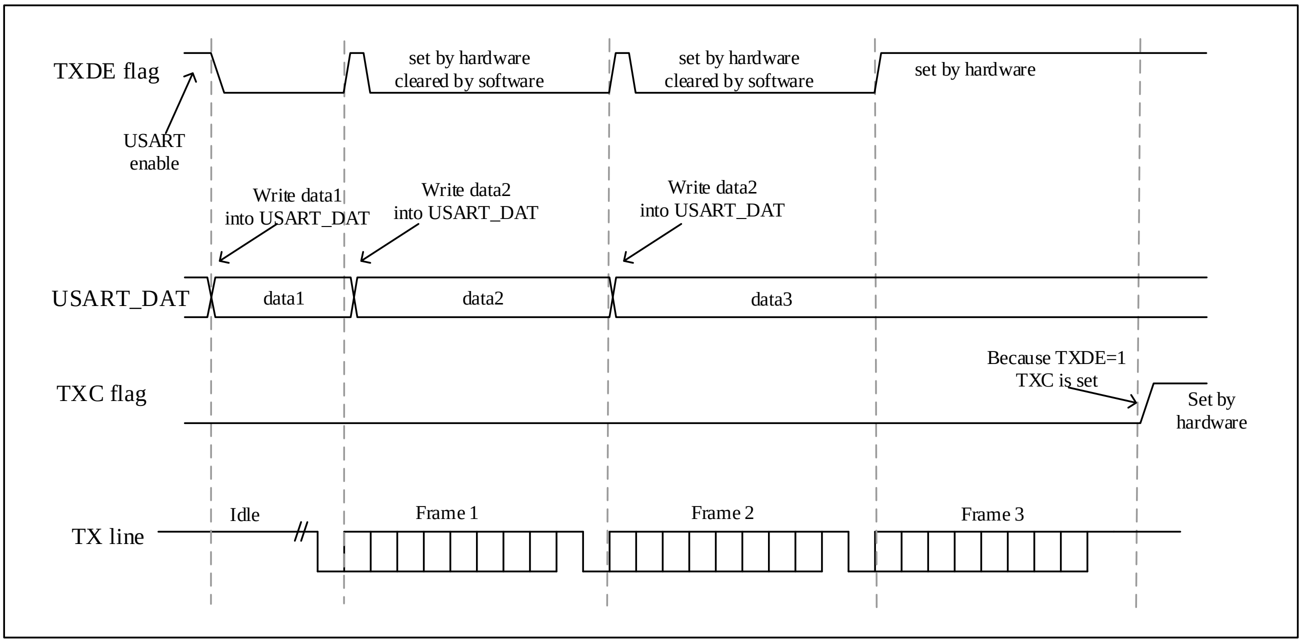
对数据寄存器 USART_DAT 进行写操作时：

- 如果移位寄存器空闲，数据将直接送到移位寄存器，同时 USART_STS.TXDE 硬件置 1
- 如果移位寄存器正在发送数据，数据保存在数据寄存器，待上一个数据发送完成后，再送到移位寄存器

当一帧数据发送完成后并且 USART_STS.TXDE 置 1，USART_STS.TXC 被硬件置 1。如果 USART_CTRL1.TXCIEN 已置 1，将产生一个中断。 USART_STS.TXC 通过以下软件操作清零：先读一次 USART_STS 寄存器，再写一次 USART_DAT 寄存器。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 21-5 发送时 TXC/TXDE 的变化情况



21.4.4 接收器

21.4.4.1 起始位检测

在 USART 中，如果识别到一个特殊的采样序列 1 1 1 0 X 0 X 0 X 0 0 0 0，就认为检测到一个起始位。

在第 3、5、7 位的采样，以及在第 8、9、10 位的采样都为’0’（也即 6 个’0’），则确认收到起始位，并将 USART_STS.RXDNE 置 1，但不会置位 NEF 噪声标志。如果 USART_CTRL1.RXDNEIEN 已置 1，则产生一个中断。

第 3、5、7 位的采样有两个’0’,与此同时，第 8、9、10 位的采样有两个’0’点，也确认收到起始位，但是会置位 NEF 噪声标志位。

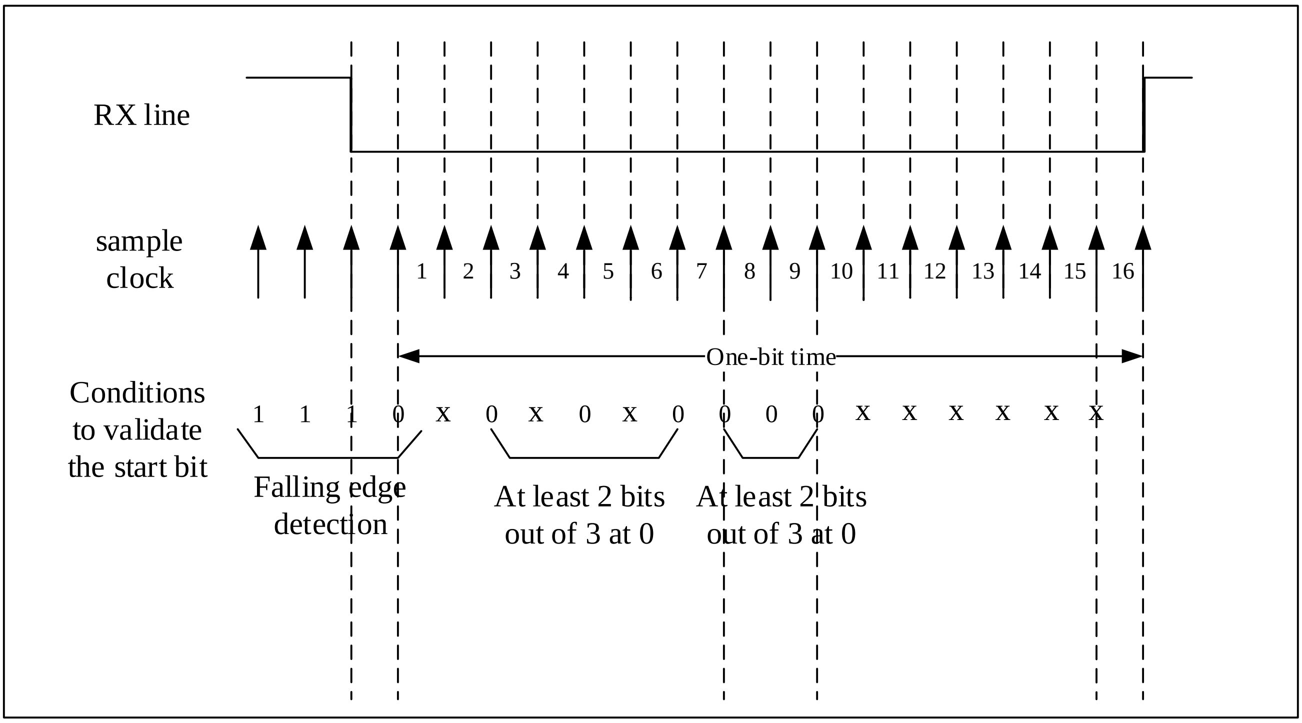
第 3、5、7 位的采样有三个’0’，与此同时，第 8、9、10 位的采样有两个’0’点，也确认收到起始位，并置位 NEF 噪声标志位。

第 3、5、7 位的采样有两个’0’,与此同时，第 8、9、10 位的采样有三个’0’点，也确认收到起始位，并置位 NEF 噪声标志位。

如果在第 3、5、7、8、9、10 位的采样值满足不了上面四种要求，USART 接收器认为没有接受到正确的起始位，将退出起始位侦测并回到空闲状态等待下降沿。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 21-6 起始位检测



21.4.4.2 停止位

停止位长度可通过 USART_CTRL2.STPB[1:0]配置。常规模式下，可配置为 1 位或 2 位。智能卡模式下，可配置为 0.5 位或 1.5 位。

1. 0.5 位停止位（智能卡模式中的数据接收）：不对停止位进行采样。因此，此时不能检测帧错误和断开帧。
2. 1 个停止位：默认情况下通过三个点对 1 个停止位的采样，选择第 8，第 9 和第 10 采样位上进行。
3. 1.5 个停止位（智能卡模式）：智能卡模式下发送数据时，器件必须检查数据是否被正确的发送出去。所以接收器功能块必须被激活（USART_CTRL2.RXEN=1），并且在停止位的发送期间采样数据线上的信号。如果出现校验错误智能卡会在发送方采样 NACK 信号时拉低数据线，表示出现了帧错误。USART_STS.FEF 与 USART_STS.RXDNE 在停止位结束后被置 1。对 1.5 个停止位的采样是在第 16，第 17 和第 18 采样点进行的，可分成两个部分：0.5 个数据位周期，接收器不做任何处理；然后是 1 个数据位周期，接收器对其进行采样。参照图 21.4.17 智能卡模式。
4. 2 个停止位：对 2 个停止位的采样是在第一停止位的第 8，第 9 和第 10 个采样点完成的。如果第一个停止位期间检测到一个帧错误，帧错误标志将被置起。在第一个停止位结束时 USART_STS.RXDNE 标志将被设置。第二个停止位将不会检测帧错误。

21.4.4.3 接收流程

1. 将 USART_CTRL1.UEN 置 1 来使能 USART；
2. 配置波特率、数据长度、校验位、停止位长度、以及根据需要配置相关 DMA；
3. 使能接收器 (USART_CTRL1.RXEN) ，开始起始位检测；
4. 接收 8 位或 9 位数据，通过 RX 引脚送往接收移位寄存器，最低有效位在前；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

5. 当数据由接收移位寄存器送到 RDR 寄存器，USART_STS.RXDNE 被置 1，表示数据可以被读出。如果 USART_CTRL2.RXNEIEN 已置 1，将产生一个中断；
6. 当接收过程中检测到帧错误、噪音或溢出错误，这样错误标志将被置 1。 如果在数据传输过程中 USART_CTRL1.RXEN 被清零，当前接收数据丢失；
7. USART_STS.RXDNE 通过对 USART_DAT 寄存器进行读操作清零：
   - 在多缓冲器通信模式, USART_STS.RXDNE 通过 DMA 对数据寄存器的读操作清零。
   - 在单缓冲器通信模式, USART_STS.RXDNE 通过软件对数据寄存器的读操作清零。

21.4.4.4 空闲帧检测

当一空闲帧被检测到时，USART_STS.IDLEF 置 1。此时如果 USART_CTRL1.IDLEIEN 已置 1，将产生一个中断。USART_STS.IDLEF 可通过以下软件操作清零：先读 USART_STS 寄存器，再读 USART_DAT 寄存器。

21.4.4.5 断开帧检测

当一断开帧被检测到时，帧错误标志 USART_STS.FEF 被硬件置 1，可通过以下软件操作清零：先读 USART_STS 寄存器，再读 USART_DAT 寄存器。

21.4.4.6 帧错误

如果在预期的时间内没有接收和识别到停止位，产生一个帧错误，标志位 USART_STS.FEF 置 1，同时无效数据将从移位寄存器送到 USART_DAT 寄存器。在单字节通信时，没有帧错误中断产生，因为此时 USART_STS.RXDNE 位同时置 1，后者将产生中断。在多缓冲器通信情况下，如果 USART_CTRL3.ERRIEN 已置 1，将产生一个中断。

21.4.4.7 溢出错误

在 FIFO 模式不使能情况下：

如果 USART_STS.RXDNE 已被置 1，而接收移位寄存器又有数据需要送入数据寄存器，则发生溢出错误，同时标志位 USART_STS.OREF 硬件置 1。

在 FIFO 模式使能情况下：

如果 RX FIFO 满，而接收移位寄存器又有数据需要送入数据寄存器，则发生溢出错误，同时标志位 USART_STS.OREF 硬件置 1；此时数据寄存器中的数据不会丢失，但移位寄存器中的数据将被覆盖。

USART_STS.OREF 可通过以下软件操作清零：先读 USART_STS 寄存器，再读 USART_DAT 寄存器。

当产生溢出错误时，若 USART_CTRL1. RXDNEIEN 已置 1，将产生一个接收中断。多缓冲器通信模式(DMA）下，如果 USART_CTRL3.ERRIEN 已置 1，将产生一个错误中断。

21.4.4.8 噪声错误

当接收器检测到噪声错误时，USART_STS.NEF 被置 1，可通过以下软件操作清零：先读 USART_STS 寄存器，再读 USART_DAT 寄存器。 在单字节通信模式下不会产生噪声中断，因为此时 USART_STS.RXDNE 也被置 1 并产生接收中断。在多缓冲器通信模式（DMA），如果 USART_CTRL3.ERRIEN 已置 1，将产生一个错误中断。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 21-2 噪声检测的数据采样

采样值	NE 状态	接收的位	数据有效性
000	0	0	有效
001	1	0	无效
010	1	0	无效
011	1	1	无效
100	1	0	无效
101	1	1	无效
110	1	1	无效
111	0	1	有效

21.4.5 分数波特率计算

波特率通过 USART_BRCF 寄存器配置，分频系数由整数部分和小数部分组成，同时适用于发送器与接收器。在写入 USART_BRCF 之后，波特率计数器会被波特率寄存器的新值替换。因此，不要在通信过程中改变波特率寄存器的数值。

过采样设置为 8：

$$TX / RX\ \text{波特率} = f_{PCLK} /(8 * USARTDIV)$$

过采样设置为 16：

$$TX / RX\ \text{波特率} = f_{PCLK} /(16 * USARTDIV)$$

其中 f_{PCLK} 为 USART 外设时钟：

- PCLK1 用于 USART2、USART3、USART9、UART5、UART8、UART10，最高 180MHz
- PCLK2 用于 USART1、USART4、UART6、UART7，最高 180MHz.

USARTDIV 为无符号分频系数

21.4.5.1 分频系数 USARTDIV 与 USART_BRCF 寄存器配置

过采样设置为 16：

示例 1:

如果 USARTDIV = 27.75，则：

DIV_Decimal = 16*0.75 = 12 = 0x0C

DIV_Integer = 27=0x1B

因此 USART_BRCF = 0x1BC

示例 2:

如果 USARTDIV = 20.98，则：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

DIV_Decimal = 16*0.98 = 15.68

取最接近的整数 DIV_Decimal = 16 = 0x10，超出可配置范围，因此需要向整数位进位

从而 DIV_Integer = 20+1 = 21 = 0x15

DIV_Decimal = 0x0

因此 USART_BRCF = 0x150

示例 3:

如果 USART_BRCF = 0x19B：

DIV_Integer = 0x19 = 25

DIV_Decimal = 0x0B = 11

USARTDIV = 25+11/16 = 25.6875

过采样设置为 8：

示例 1:

如果 USARTDIV = 27.75，则：

DIV_Decimal = 8*0.75 = 6 = 0x06

DIV_Integer = 27=0x1B

因此 USART_BRCF = 0x1B6

示例 2:

如果 USARTDIV = 20.98，则：

DIV_Decimal = 8*0.98 = 7.84

取最接近的整数 DIV_Decimal = 8 = 0x08，超出可配置范围，因此需要向整数位进位

从而 DIV_Integer = 20+1 = 21 = 0x15

DIV_Decimal = 0x0

因此 USART_BRCF = 0x150

示例 3:

如果 USART_BRCF = 0x196：

DIV_Integer = 0x19 = 25

DIV_Decimal = 0x06 = 6

USARTDIV = 25+6/8 = 25.75

表 21-3 设置波特率时的误差计算

16 倍过采样时（USART_CTRL1.OSPM = 0）		
波特率	**f_{PCLK}=120MHz**	**f_{PCLK}=180MHz**

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

序号	Kbps	实际	过采样值	寄存器设置值	误差%	实际	过采样值	寄存器设置值	误差%
1	2.4	2.4	16	3125	0%	2.4	16	不可能	不可能
2	9.6	9.6	16	781.25	0%	9.6	16	1171.875	0%
3	19.2	19.2	16	390.625	0%	19.2	16	585.9375	0%
4	57.6	57.609	16	130.1875	0.02%	57.6	16	195.5	0%
5	115.2	115.163	16	65.125	0.03%	115.2	16	97.75	0%
6	230.4	230.326	16	32.5625	0.03%	230.474	16	48.8125	0.03%
7	460.8	461.538	16	16.25	0.16%	461.538	16	24.375	0.16%
8	921.6	923.076	16	8.125	0.16%	923.076	16	12.1875	0.16%
9	7500	7500	16	1	0%	7500	16	1.5	0%
10	15000	不可能	16	不可能	不可能	15000	16	不可能	不可能

表 21-4 设置波特率时的误差计算

8 倍过采样时（USART_CTRL1.OSPM = 1）									
波特率		**f_{PCLK}=120MHz**				**f_{PCLK}=180MHz**			
序号	Kbps	实际	过采样值	寄存器设置值	误差%	实际	过采样值	寄存器设置值	误差%
1	2.4	2.4	8	不可能	不可能	2.4	8	不可能	不可能
2	9.6	9.6	8	1562.5	0%	9.6	8	2343.75	0%
3	19.2	19.2	8	781.25	0%	19.2	8	1171.875	0%
4	57.6	57.56	8	390.625	0.02%	57.6	8	390.625	0%
5	115.2	115.163	8	130.25	0.03%	115.2	8	195.5	0%
6	230.4	230.769	8	65.125	0.03%	230.474	8	97.75	0.03%
7	460.8	461.538	8	32.5	0.16%	460.358	8	48.875	0.10%

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

8	921.6	923.076	8	16.25	0.16%	923.076	8	24.375	0.16%
9	7500	7500	8	2	0%	7500	8	3	0%
10	15000	15000	8	1	0%	15000	8	1.5	0%

注意: CPU 的时钟频率越低，则某一特定波特率的误差也越低。.

21.4.6 USART 接收器容忍时钟的变化

应用中可能会出现发送误差(包括发射端时钟的变化)、接收端波特率误差及振荡器变化、传输线变化(通常由数据上升沿和下降沿时序不一致引起)。这些因素都会影响整个时钟系统的变化。只有当上述四个变化之和小于 USART 接收机的容差时，USART 异步接收机才能正常工作。

正常接收数据时，USART 接收器的容忍度为最大能容忍的变化，取决于数据位长度的选择，以及是否使用分数波特率分频系数。

表 21-5 当 DIV_Decimal =0 时，USART 接收器的容忍度

WL 位	OSPM 位	认为 NEF 是错误	不认为 NEF 是错误
0	0	3.75%	4.375%
1	0	3.41%	3.97%
0	1	2.5%	3.75%
1	1	2.27%	3.41%

表 21-6 当 DIV_Decimal !=0 时，USART 接收器的容忍度

WL 位	OSPM 位	认为 NEF 是错误	不认为 NEF 是错误
0	0	3.33%	4.0%
1	0	3.03%	3.63%
0	1	1.25%	2.5%
1	1	1.13%	2.27%

21.4.7 校验控制

通过设置 USART_CTRL1.PCEN 来使能奇偶校验功能。

使能后，在发送数据时自动生成并发送校验位，接收数据时对校验位进行检查。

表 21-7 帧格式

WL 位	PCEN 位	USART 帧
0	0	| 起始位 |8 位数据 | 停止位 |
0	1	| 起始位 |7 位数据 | 奇偶校验位 | 停止位 |

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

1	0	｜起始位 ｜9 位数据 ｜停止位 ｜
1	1	｜起始位 ｜8 位数据 ｜奇偶校验位 ｜停止位 ｜

偶校验

USART_CTRL1.PSEL 设置为 0，使能偶校验

偶校验表示一帧数据（包括校验位）中’1’的个数为偶数。例如：数据=11000101, 有 4 个’1’, 则发送端偶校验位为’0’（总共 4 个’1’ ）。接收端对数据中’1’个数进行确认：如果是偶数，校验通过；如果是奇数，表示产生了校验错误，USART_STS.PEF 标志位置 1，此时如果 USART_CTRL1.PEIEN 已置 1，产生一个中断。

奇校验

USART_CTRL1.PSEL 设置为 1，使能奇校验

奇校验表示一帧数据（包括校验位）中’1’的个数为奇数。例如：数据=11000101, 有 4 个’1’, 则发送端奇校验位为’1’（总共 5 个’1’）。 接收端对数据中’1’个数进行确认：如果是奇数，校验通过；如果是偶数，表示产生了校验错误，USART_STS.PEF 标志位置 1，此时如果 USART_CTRL1.PEIEN 已置 1，产生一个中断。

21.4.8 DMA 通信

USART 支持 DMA 通信，此时采用多缓冲模式(DMA)可达到较高的通信效率。

21.4.8.1 DMA 发送

发送器通过将 USART_CTRL3.DMATXEN 置 1 来使能 DMA 发送。当发送移位寄存器为空时(USART_STS.TXDE=1),， DMA 将数据由 SRAM 送到数据寄存器 USART_DAT。

使用 DMA 发送功能时，按照以下流程对 DMA 进行配置：

1. 设置 DMA 传输的源地址，DMA 传输时从此地址读取要发送的数据

2. 设置 DMA 传输的目地地址为 USART_DAT 寄存器地址

3. 设置要传输的总的字节数.

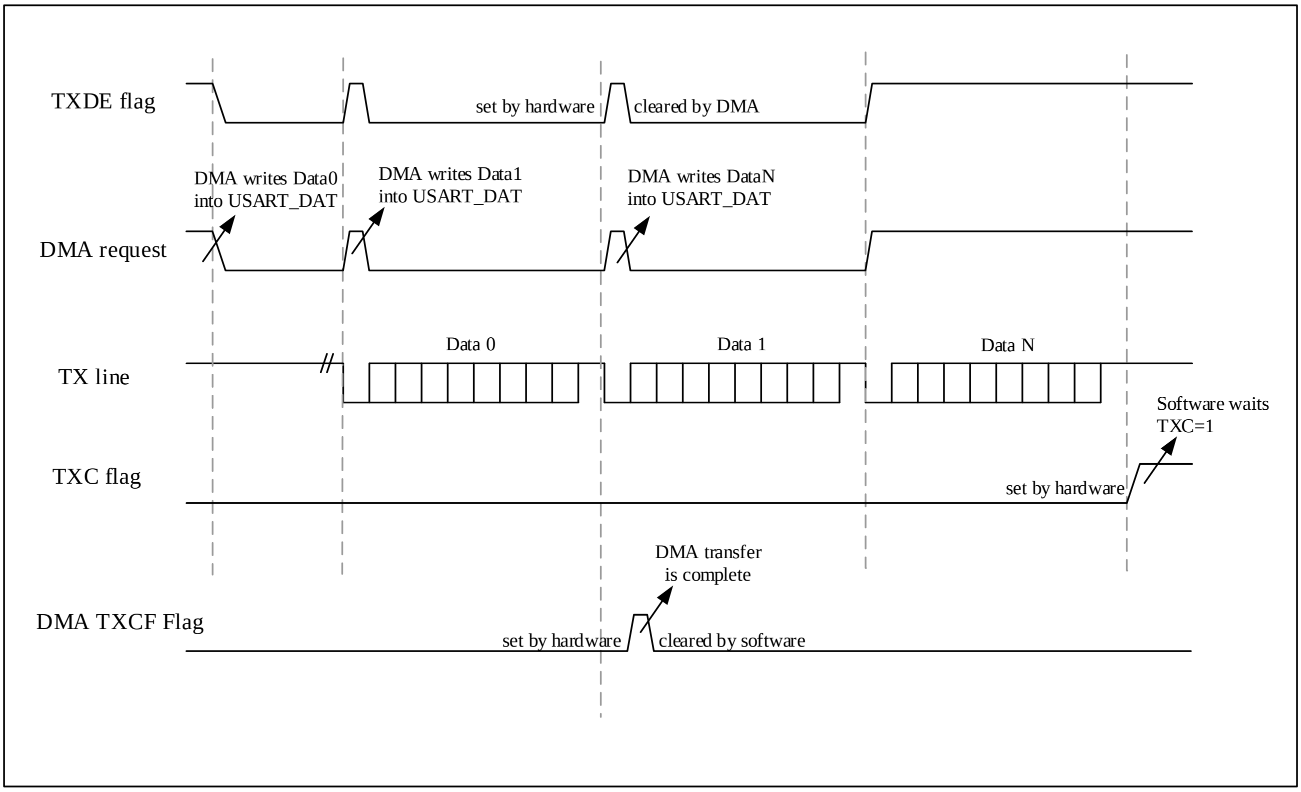
4. 设置 DMA 通道优先级、循环模式、地址增加模式、传输数据宽度、中断（传输完成一半还是全部完成时）

5. 激活当前 DMA 通道

6. 传输完成后，标志位 DMA_INTSTS.TXCFx 被置 1

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 21-7 DMA 发送



21.4.8.2 DMA 接收

接收器通过将 USART_CTRL3.DMATXEN 置 1 来使能 DMA 接收。当收到 1 字节数据时(USART_STS.RXDNE=1)，DMA 将数据从数据寄存器 USART_DAT 读出数据，送到 SRAM。

使用 DMA 接收功能时，按照以下流程对 DMA 进行配置：

1. 设置 DMA 传输的源地址为 USART_DAT 寄存器地址，DMA 传输时从此地址读取要发送的数据

2. 设置 DMA 传输的目地地址，DMA 传输时将数据送到此地址。

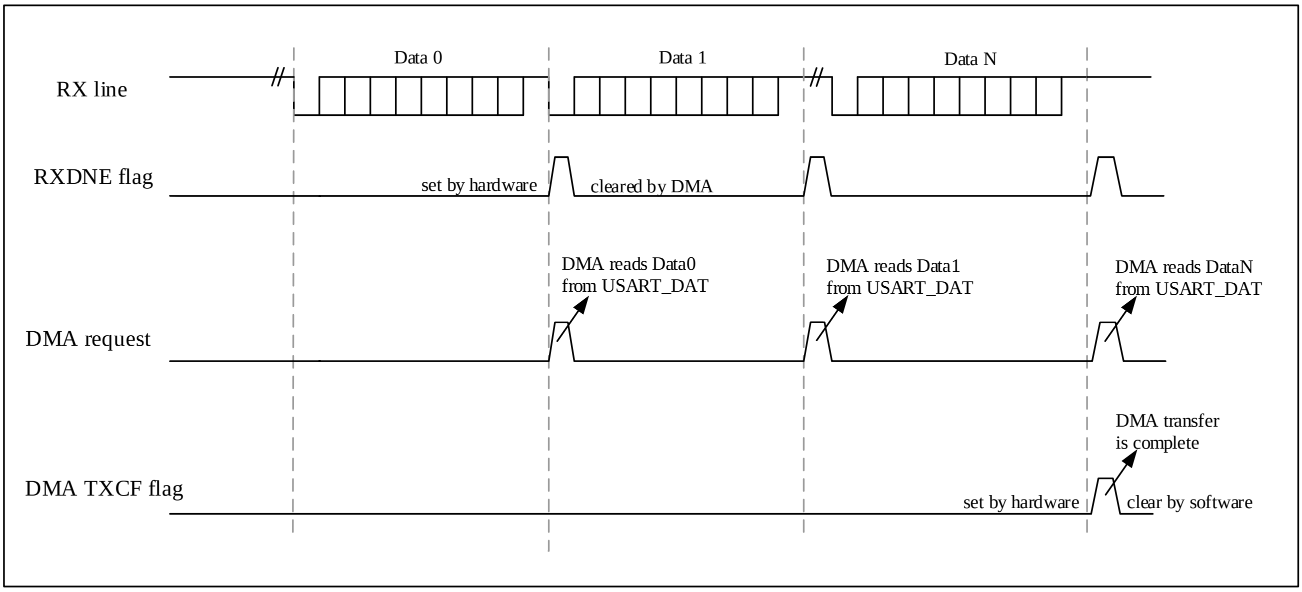
3. 设置要传输的总的字节数.

4. 设置 DMA 通道优先级、循环模式、地址增加模式、传输数据宽度、中断（传输完成一半还是全部完成时）

5. 激活当前 DMA 通道

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 21-8 DMA 接收

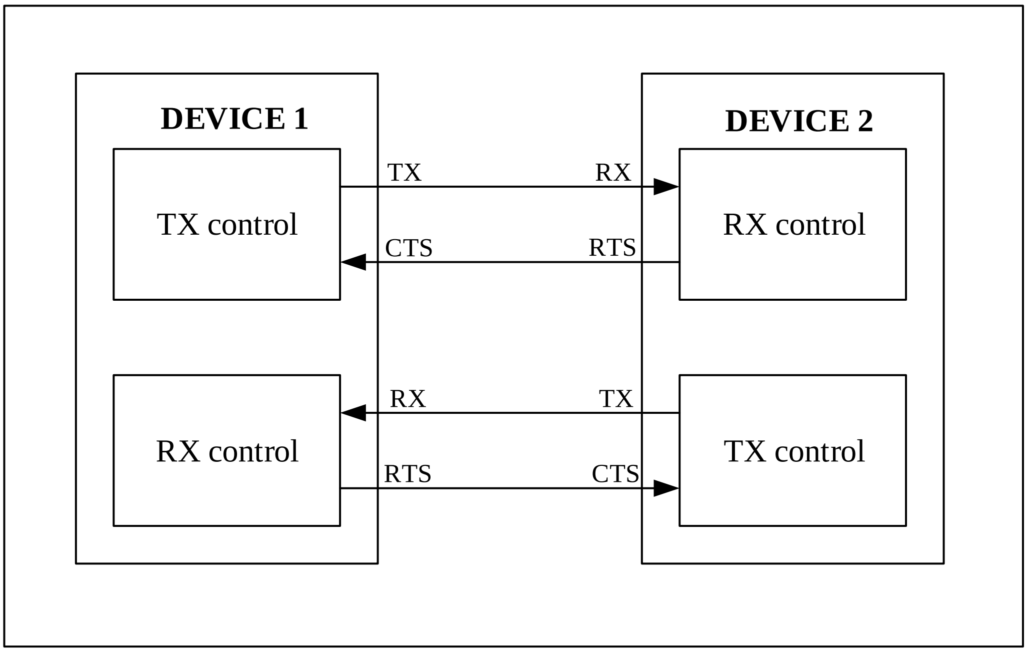


在多缓冲器通信模式，当检测到帧错误、溢出错误、噪声错误时，相应标志位置 1。如果此时 USART_CTRL3.ERRIEN 已置 1，产生一个错误中断。

21.4.9 硬件流控

USART 支持硬件流控，用于协调发送端与接收端时序，避免数据丢失。连接方式见下图。

图 21-9 两个 USART 间的硬件流控制



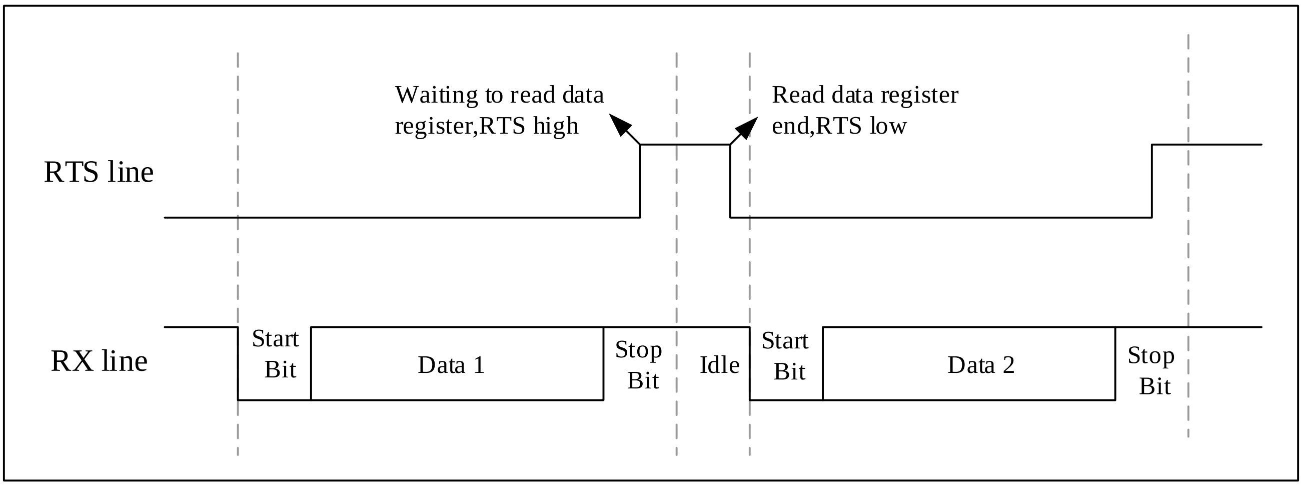
21.4.9.1 RTS 流控制

将 USART_CTRL3.RTSEN 置 1，RTS 流控制使能。通过 nRTS 引脚输出低电平表示当前 USART 的接收器已准备好接收数据。当接收器收到数据后，nRTS 输出高电平，提示发送端暂停发送下一帧数据。如果接收

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

器准备后接收下一帧数据，再次通过 nRTS 输出低电平。

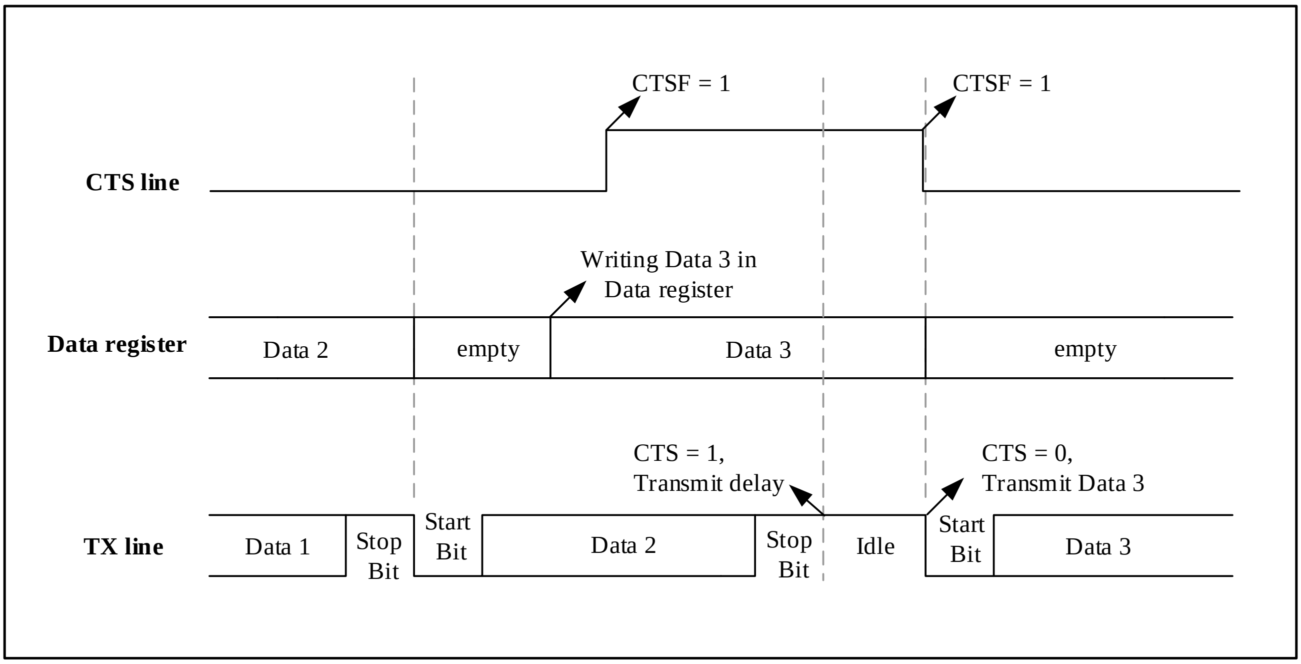
图 21-10 RTS 流控制



21.4.9.2 CTS 流控制

将 USART_CTRL3. CTSEN 置 1，CTS 流控制使能。nCTS 为输入引脚，用于判断是否能发送数据给其他设备。nCTS 检测到低电平时，表示可以发送数据给其他设备。如果在数据传输时 nCTS 被拉高（失效），在当前数据传输完成后停止发送。如果在 nCTS 无效时写数据到数据寄存器，数据保持，直到 nCTS 有效后开始发送。当 nCTS 输入信号状态发生变化时，USART_STS.CTSF 置 1。此时如果 USART_CTRL3.CTSIEN 已置 1，将产生一个中断。

图 21-11 CTS 流控制



21.4.10 多处理器通信

USART 支持多处理器通信：多个设备同时连接到 USART 进行通信，因此必须判定哪一个设备作为主设备，其他设备自动做为从设备。主机的 TX 引脚直接连接到其他从设备的 RX 引脚，所有从设备的 TX 引脚通过

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

逻辑与的方式合并，再连接到主设备的 RX 引脚。

在多处理器通信模式下，从设备处于静默模式，主设备在需要时通过通过指定方式唤醒某一个从设备，从而从设备可以和主设备进行正常通信。

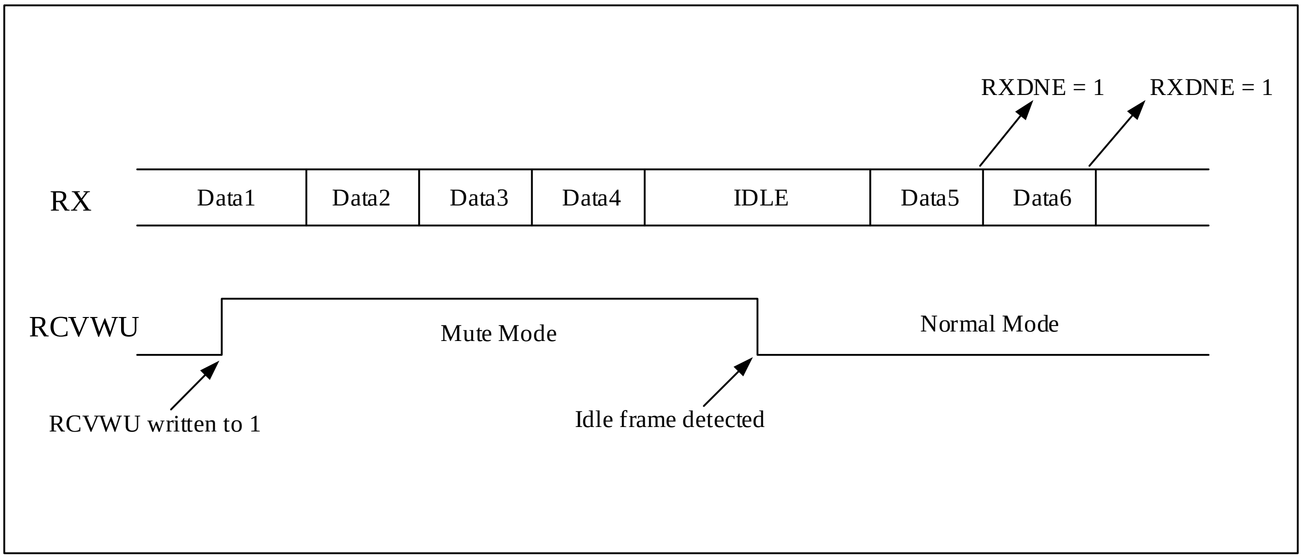
USART 可通过空闲总线检测或地址标识检测的方式从静默模式唤醒。

21.4.10.1 空闲总线检测

空闲总线检测流程如下：

1. 清零 USART_CTRL1.WUM 位，USART 启用空闲总线检测功能。
2. 当 USART_CTRL1.RCVWU 已置 1 (可通过硬件自动控制或由在特定条件下由软件配置)，USART 进入静默模式，此时接收状态标志位不会置位，同时接收中断被禁用。
3. 如图 21-12 所示，当检测到空闲帧时，USART 被唤醒,同时 USART_CTRL1.RCVWU 被硬件清零,此时 USART_STS.IDLEF 标志位不会被置 1。

图 21-12 静默模式下的空闲总线检测



21.4.10.2 地址标识检测

当 USART_CTRL1.WUM 置 1 时，USART 启用地址标识检测功能。标识地址通过 USART_CTRL2.ADDR[3:0]来配置。如果接收的数据最高有效位（MSB）为 1, 当前数据为地址，低 4 位有效；如果 MSB =0，则当前数据为普通数据。

此模式下，USART 可通过以下方式进入静默模式：

- 当接收器没有数据处理时，可通过软件将 USART_CTRL1.RCVWU 置 1，使 USART 进入静默模式。

  注意：当接收数据寄存器为空时，(USART_SR .RXNE=0), USART_CTRL1.RCVWU 位可通过软件写 0 或写 1。否则，对 USART_CTRL1.RCVWU 的写操作被忽略。

- 当接收器收到的地址与预设的地址标识不匹配时，USART_CTRL1.RCVWU 由硬件置 1。

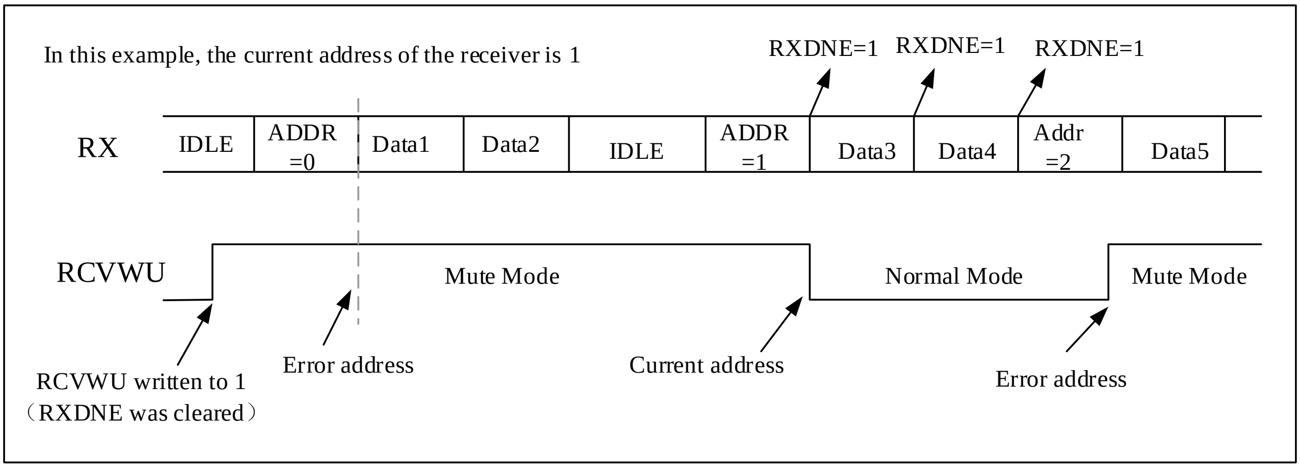
静默模式下，所有接收状态标志位不会置位，同时所有接收中断被禁用。

当接收器收到的地址与预设的地址标识相同时，USART 从静默模式唤醒， USART_CTRL1.RCVWU 被硬件

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

清零，同时 USART_STS.RXDNE 位置 1， 此时可进行正常的数据传输。

图 21-13 静默模式下的地址标识检测



21.4.11 同步模式

USART 支持同步串行通信模式。同步模式下，USART 只能做为主设备，无法通过外部输入的时钟进行数据收发。通过将 USART_CTRL2.CLKEN 位置 1 来启用同步模式。

注意：要启用同步模式，必须将以下控制位全部清零：USART_CTRL2.LINMEN、USART_CTRL3.SCMEN、USART_CTRL3.HDMEN、USART_CTRL3. IRDAMEN。

21.4.11.1 同步时钟

CK 引脚为同步时钟输出引脚。在总线空闲时、实际数据发送之前、以及发送断开标识时，同步时钟不输出。

同步时钟相位与极性可软件配置，且只能在发送器与接收器都被禁用时配置。

当时钟极性配置为 0 (USART_CTRL2.CLKPOL=0)时，空闲时 CK 引脚输出低电平；当时钟极性配置为 1 (USART_CTRL2.CLKPOL=1)时，空闲时 CK 引脚输出高电平。

当相位配置为 0 (USART_CTRL2.CLKPHA=0)时，数据在第一个时钟沿采样；当相位配置为 1 (USART_CTRL2.CLKPHA=1)时，数据在第二个时钟沿采样。

在发送起始位或停止位时，CK 引脚保持空闲状态，无时钟不输出。

未发送数据时无法接收同步数据。因为时钟仅在发送器被激活且数据写入 USART_DAT 寄存器时可用。

USART_CTRL2.LBCLK 位控制数据字节的最高有效位（MSB）是否有时钟脉冲。此位只能在发送器与接收器都被禁用时配置。当 USART_CTRL2.LBCLK = 1 时，则最后一位数据的时钟脉冲将从 CK 输出；当 USART_CTRL2.LBCLK = 0 时，则最后一位数据的时钟脉冲不从 CK 输出。

21.4.11.2 同步发送

同步模式下的数据发送与异步模式相同，数据从 TX 引脚输出，同时从 CK 引脚输出对应的时钟脉冲。

21.4.11.3 同步接收

同步模式下的数据接收与异步模式不同。数据在 CK 引脚输出的有效时钟沿采样，而不使用过采样。但必须考虑数据建立时间与保持时间 (1/16 数据位周期，具体时间依赖于波特率)。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 21-14 USART 同步传输示例

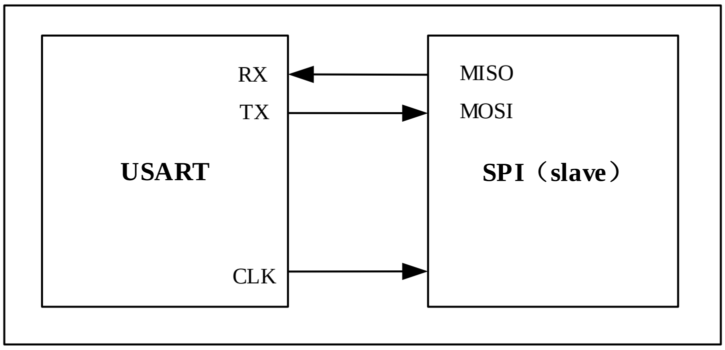
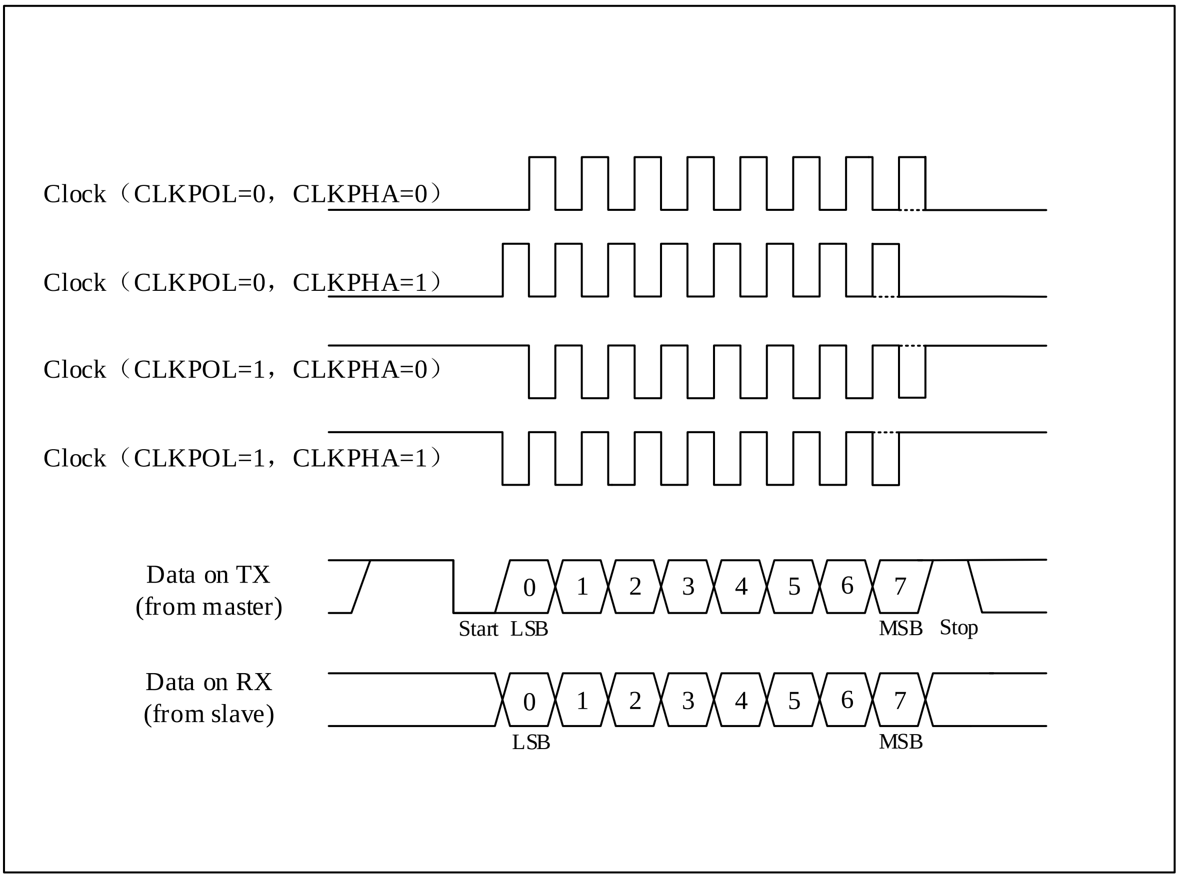


图 21-15 USART 数据时钟时序示例（WL=0）



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 21-16 USART 数据时钟时序示例（WL=1）

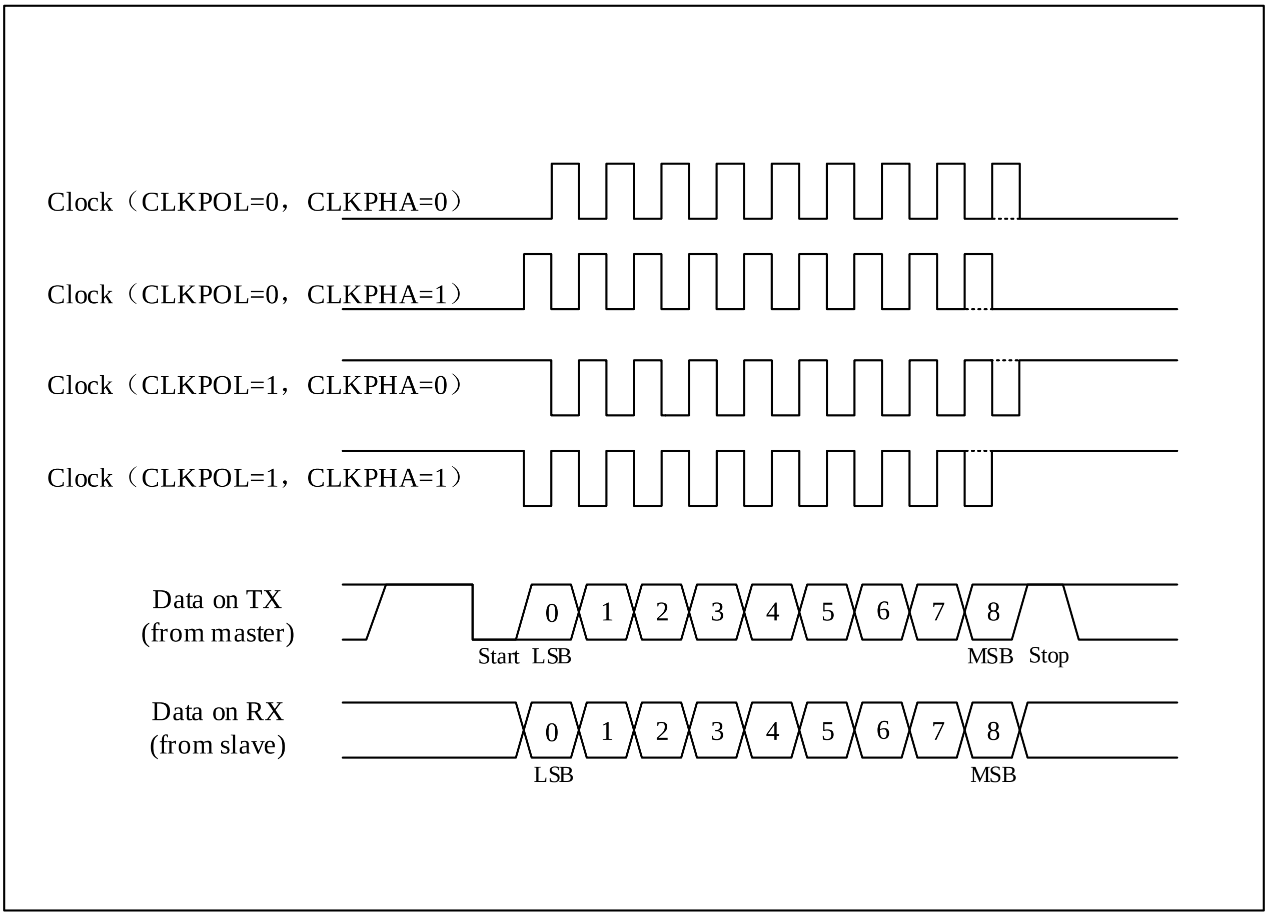
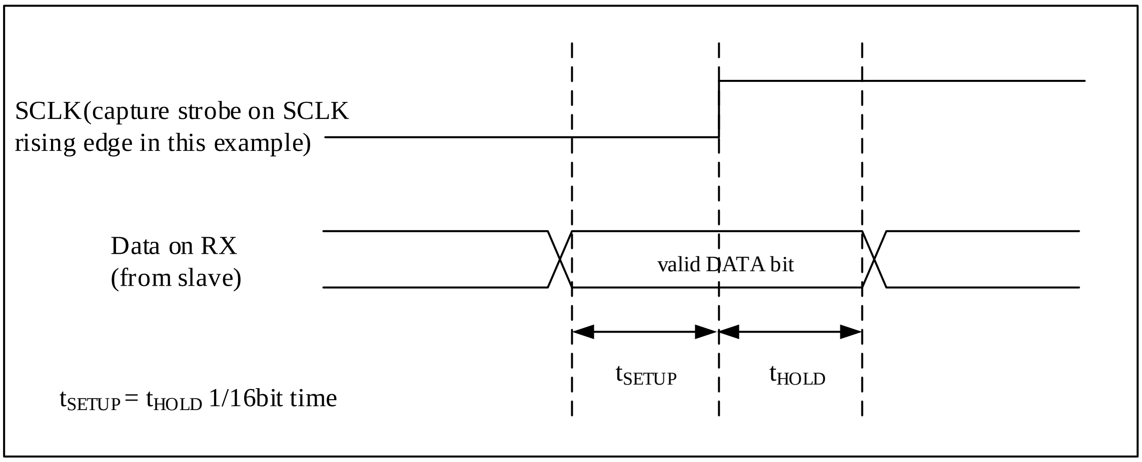


图 21-17 RX 数据采样/保持时间



注意：在智能卡模式下，CK 引脚功能与同步模式不同，有关细节请参考智能卡模式部分。

21.4.12 单线半双工模式

USART 支持单线半双工通信模式，允许数据双方向收发，但同一时间只能单向接收数据或发送数据，数据通信的冲突由软件控制。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

通过设置 USART_CTRL3.HDMEN 位来选择单线半双工模式，此时以下控制位必须全部清零：USART_CTRL2. CLKEN 、USART_CTRL2. LINMEN 、USART_CTRL3. SCMEN 、USART_CTRL3. IRDAMEN。

启用单线半双工通信模式后，TX 引脚与 RX 引脚在芯片内部相连，外部 RX 引脚不再使用。当没有数据发送时，TX 引脚被释放。因此，TX 引脚未被 USART 使用时，必须配置为浮空输入或开漏输出高电平。

21.4.13 接收器超时

接收器超时功能可通过将 USART_CTRL2.RTOEN 位置 1 来使能。

超时间隔通过 USART_RTO.TIME 位域进行编程。

接收器超时计数器遵循以下规则开始计数：从停止位接收结束时开始计数。

经过超时间隔后，USART_STS.RTOF 标志置 1。如果 USART_CTRL1.RTOIE 位置 1，则会产生超时中断。

注：接收超时后，需要清除超时标志 USART_STS.RTOF，否则不会重新开始超时计数；清除标志后，直到接收到下一个数据后，才开始接收超时计数。

21.4.14 数据错误丢弃功能

USART 上对于数据检查的错误有奇偶校验(PEF),数据错误(FEF),噪声错误(NEF),在 USART 上可以配置 USART_CTRL2.PEFLOSE/FEFLOSE/NEFLOSE 来对写入接收 FIFO 的数据进行数据错误检查，FIFO 下若接收数据发生其中一种错误，此时数据不会写入 FIFO，相当于数据直接丢弃并通过 USART_STS.PELOSEF/FELOSEF/NELOSEF 三个状态位来指示此前数据发生相应的错误。此功能使用条件为:FIFO 模式下的接收数据；

指示错误标志位:

置位:当发生数据错误时指示发生的错误类型；

清除:向 USART_STS.PELOSEF/FELOSEF/NELOSEF 写 1 清除。

21.4.15 串行 IrDA 红外编解码模式

USART 支持 IrDA (Infrared Data Association) SIR ENDEC 规范。

通过设置 USART_CTRL3. IRDAMEN 位来选择是否使用 IrDA 模式。当启用 IrDA 模式时，以下配置位必须全部清零：USART_CTRL2.CLKEN 、USART_CTRL2.STPB[1:0] 、USART_CTRL2.LINMEN 、USART_CTRL3.HDMEN 、USART_CTRL3.SCMEN。

通过设置 USART_CTRL3.IRDALP 位，可选择 IrDA 的正常工作模式或低功耗模式。

21.4.15.1 IrDA 正常模式

当 USART_CTRL3.IRDALP=0，IrDA 工作在正常模式。

IrDA 是一个半双工通信接口，因此在发送和接收之间最小要有 10ms 的延时。数据采用反相归零(RZI)调制，即采用红外光源脉冲表示逻辑 0。脉冲宽度规定为一个位周期的 3/16，如图 21-19 IrDA 数据调制 (3/16)-正常模式所示。最大波特率为 115200bps。

USART 将数据送到 SIR 编码器进行调制后输出。调制后的数据流输出给外部红外发送器进行发送。接收时，

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

先通过外部红外接收器接收数据并解调后，发送到 SIR 解码器，解码后再将数据送给 USART。

发送编码器与解码器输入极性相反。空闲时，编码器输出为低电平，而解码器输入为高电平。编码器输出高脉冲表示逻辑 0，输出低电平作为逻辑 1。解码器输入则与之相反。

当 USART 正在发送数据给 IrDA 编码器时，解码器将忽略数据线上的所有数据。当 USART 正在从解码器接收数据时，发送到编码器的数据也被忽略，不进行编码操作。

脉冲宽度可软件配置。IrDA 规范要求脉冲宽度大于 1.41us。如果脉冲宽度小于 2 个 PSC 周期，数据被过滤而丢失，PSCV 是在 USART_GTP 寄存器配置的预分频值。

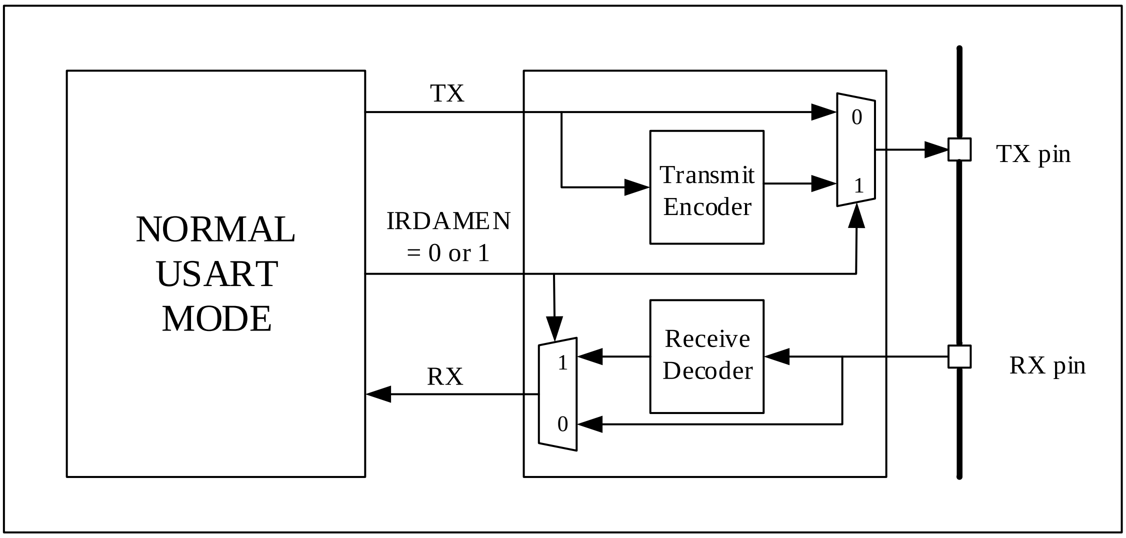
21.4.15.2 IrDA 低功耗模式

当 USART_CTRL3.IRDALP=1，IrDA 工作在低功耗模式。

在低功耗模式下发送数据时，发送脉冲宽度为 3 倍 PSCV 周期。经 PSCV 分频后的时钟频率最小值为 1.42MHz，典型值为 1.8432MHz，(1.42 MHz < 时钟频率 < 2.12 MHz)。

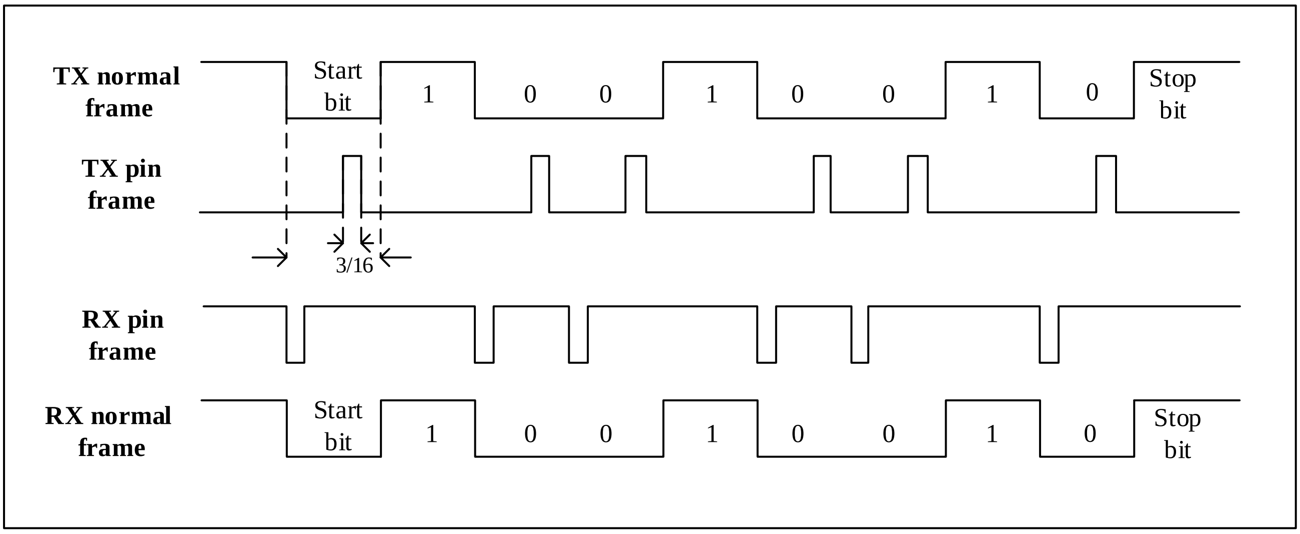
接收数据时，有效低电平信号宽度必须大于 2 个 PSCV 周期。

图 21-18 IrDA SIR ENDEC–框图



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 21-19 IrDA 数据调制 (3/16)-正常模式



21.4.16 LIN 模式

USART 支持 LIN (Local interconnection Network)模式，支持作为主机时发送同步断开帧，也支持作为从机检测断开帧。通过设置 USART_CTRL2.LINMEN 位来使能 LIN 模式。.

注意 当使用 LIN 模式时，以下配置位必须全部被清零：USART_CTRL2.STPB[1:0]、USART_CTRL2.CLKEN、USART_CTRL3.SCMEN、USART_CTRL3.HDMEN、USART_CTRL3. IRDAMEN。

21.4.16.1 LIN 发送

在 LIN 模式下发送数据时，数据长度只能配置为 8 位。将 USART_CTRL1.SDBRK 置 1 将发送一个 13 位“0”断开帧，并插入一个停止位。

21.4.16.2 LIN 接收

当总线空闲或数据传输过程中均可检测断开帧。断开帧检测机制独立于 USART 接收器。

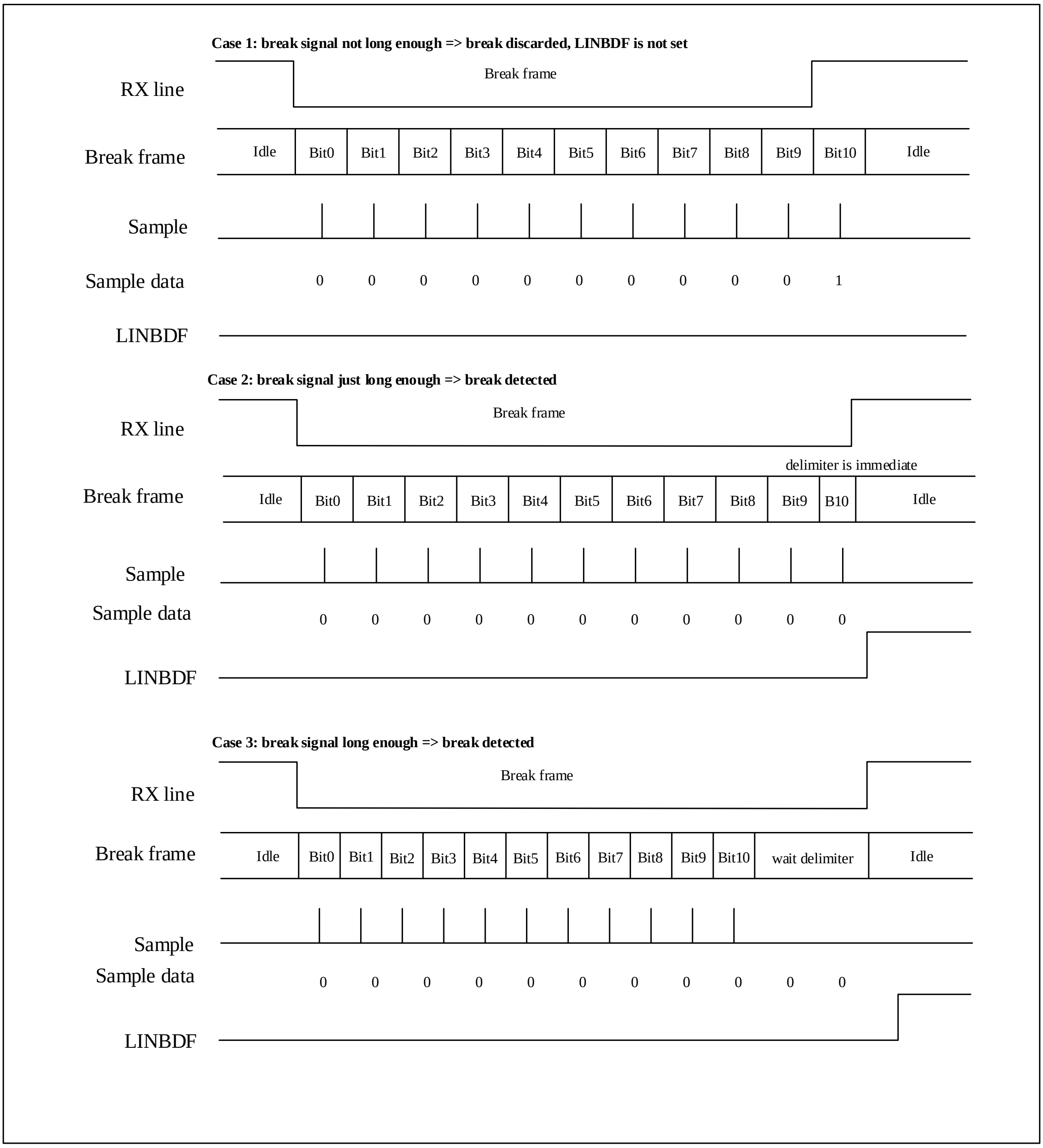
通过配置 USART_CTRL2.LINBDL 位，断开帧检测有效低电平位可选择 10 位或 11 位。

当接收器检测到一个起始位，采样电路在每个位的第 8，9，10 个过采样时钟点进行过采样。如果 10 个或 11 个位都是’0’，并且又跟着一个定界符，表示检测到一个断开帧，USART_STS.LINBDF 位置 1。在确认为断开帧前，必须检测定界符，意味着 RX 线已经回归空闲状态（高电平）。此时如果 USART_CTRL2.LINBDIEN 已置 1，将产生一个中断。

如果在 10 个或 11 个位前收到了'1'，当前断开帧检测被取消，并重新寻找起始位。

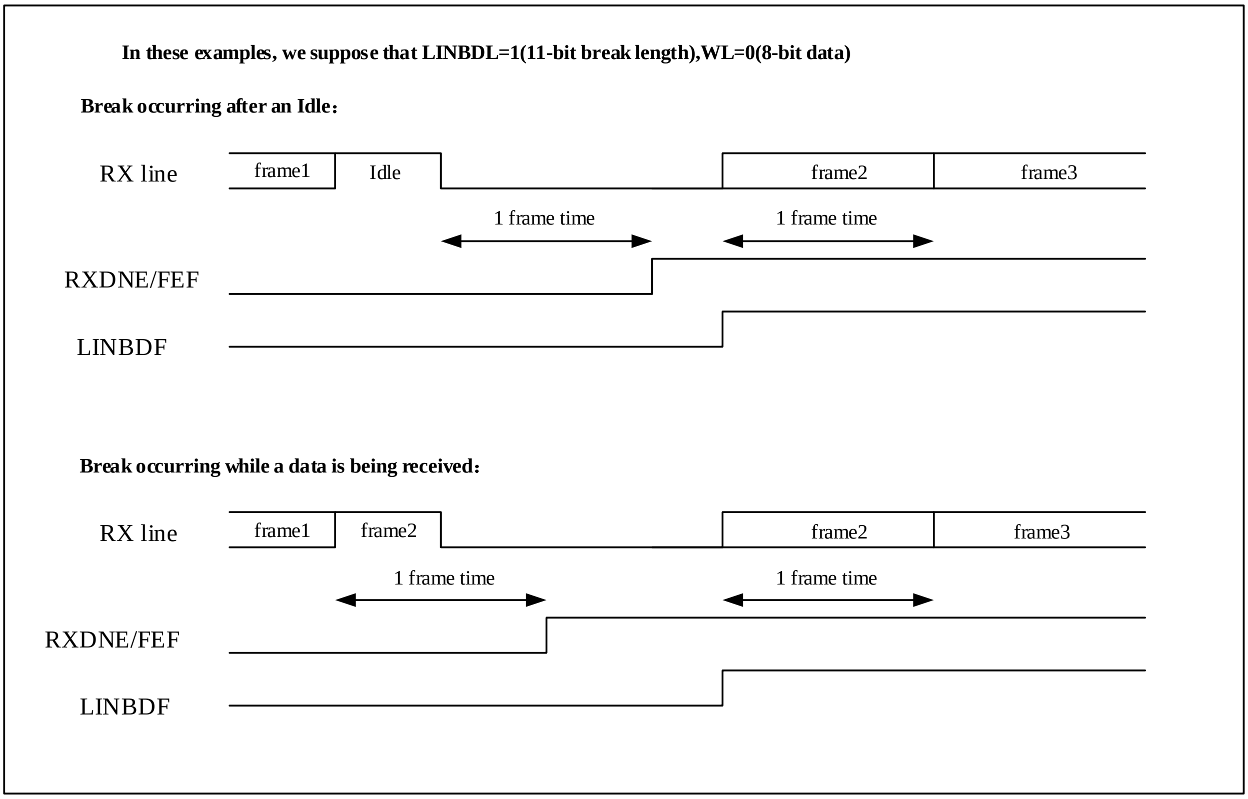
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 21-20 LIN 模式下的断开检测（11 位断开帧长度–设置了 LINBDL 位）



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 21-21 LIN 模式下的断开检测与帧错误的检测



21.4.17 智能卡模式（ISO7816）

USART 支持智能卡规范，支持 ISO7816-3 标准中定义的智能卡协议。

通过配置 USART_CTRL3. SCMEN 位来选择是否启用智能卡模式。使用智能卡模式时，以下配置位必须全部清零：USART_CTRL2. LINMEN、USART_CTRL3. HDMEN、USART_CTRL3. IRDAMEN。

智能卡模式中，USART 通过 CK 引脚提供时钟，时钟频率通过预分频寄存器配置，配置范围为 $f_{CK}/2$ 至 $f_{CK}/62$，其中 f_{CK} 为当前 USART 输入外设时钟。

智能卡模式下，接收数据时可采用 0.5 位或 1.5 位停止位，但发送数据时停止位长度只能配置为 1.5 位。因此建议在发送和接收时均使用 1.5 个停止位，以避免在 2 种停止位长度配置间频繁切换。

智能卡模式下，数据长度必须配置为 8 位，且校验位需要配置。

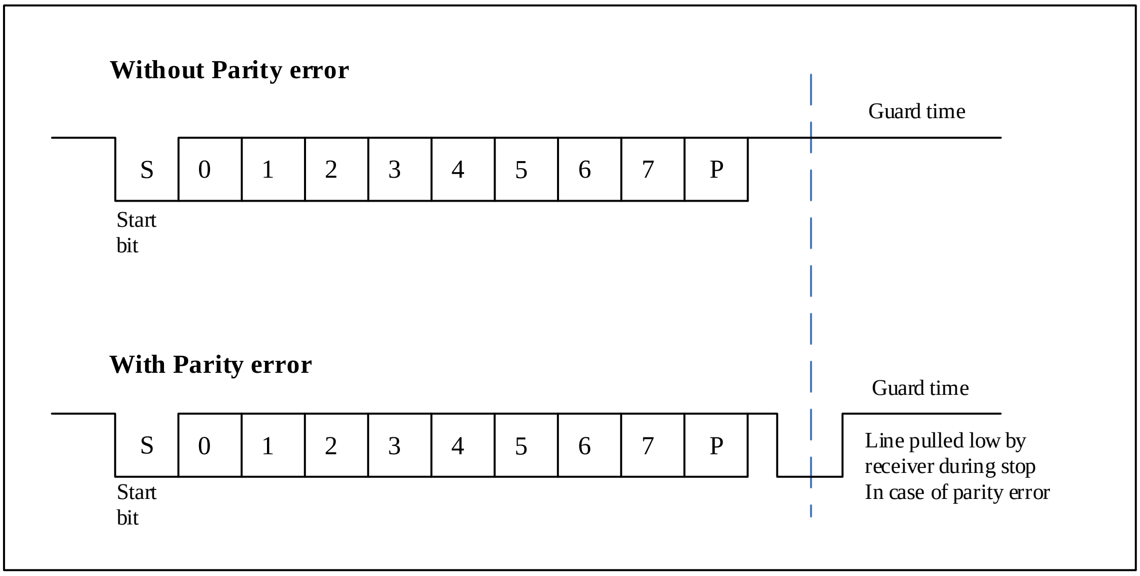
当接收器检测到一个校验错误时，在停止位后将数据发送线拉低一个波特时钟作为 NACK 信号（USART_CTRL3.SCNACK 位置 1 时），同时在发送端产生一个帧错误（发送端停止位为 1.5 位）。

当发送器接收到来自接收器的 NACK 信号（帧错误）时，它不会将 NACK 作为起始位（根据 ISO 协议，接收到的 NACK 的持续时间可以是 1 或 2 个波特时钟周期）。

下图为有无校验错误时的两种时序示例。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 21-22 ISO7816-3 异步协议



在智能卡模式下，不支持断开帧。如果接收到断开帧，视为一个带帧错误的 00h 数据帧处理。

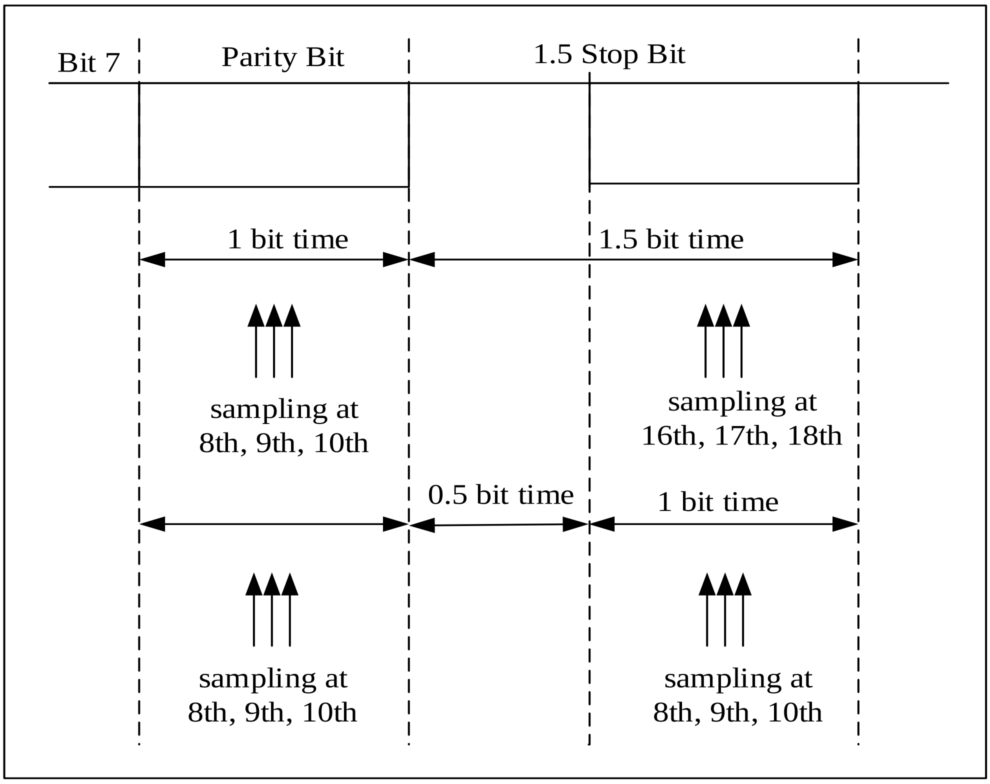
在普通模式下，数据在下一个波特时钟从发送移位寄存器移出，而在智能卡模式下，数据发送比起普通模式至少延迟 1/2 个波特时钟。

普通模式下，当数据帧发送完并且 USART_STS.TXDE=1 时 USART_STS.TXC 置 1。在智能卡模式下，数据发送完且保护时间达到预设值（USART_GTP.GTV[7:0]）时，USART_STS.TXC 位才被置 1，且 USART_STS.TXC 标志的清零不受智能卡模式影响。

下图为 USART 采样 NACK 信号示意图。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 21-23 使用 1.5 停止位检测奇偶检验错误



21.5 中断请求

USART 的各种中断事件是逻辑或的关系。如果某个事件对应的中断使能位已置 1，将产生一个相应的中断。但同一个时间只产生一个中断请求。

表 21-8 USART 中断请求

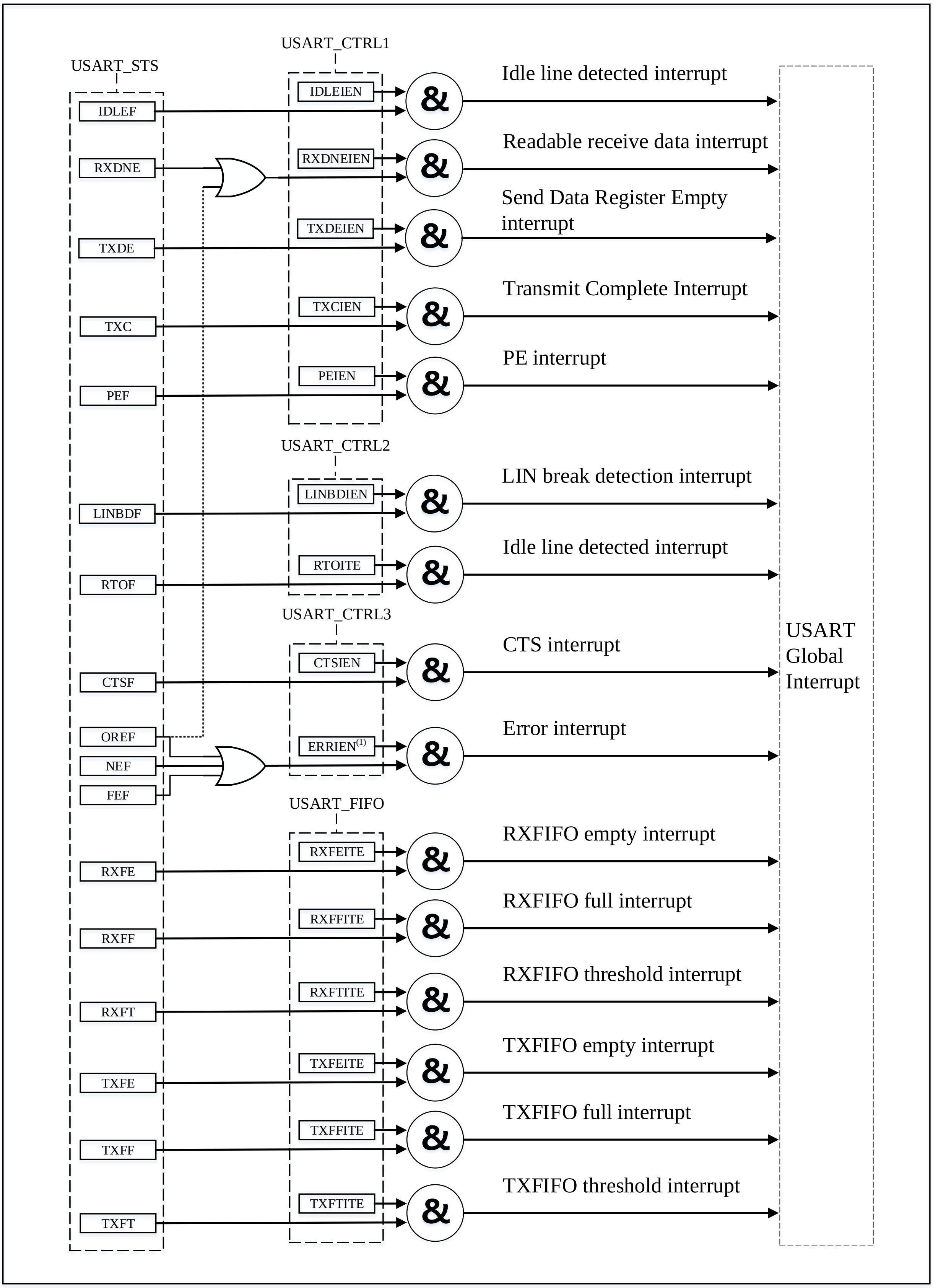
中断函数	中断事件	事件标志	使能
USART 全局中断	发送数据寄存器空	TXDE	TXDEIEN
	CTS 标志	CTSF	CTSIEN
	发送完成	TXC	TXCIEN
	接收数据就绪可读	RXDNE	RXDNEIEN
	检测到数据溢出	OREF	
	检测到空闲线路	IDLEF	IDLEIEN
	奇偶检验错	PEF	PEIEN
	断开标志	LINBDF	LINBDIEN
	噪声标志/多缓冲通信（DMA）中的溢出错误/帧错误[1]	NEF/OREF/FEF	ERRIEN[1]

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

	接收器超时	RTOF	RTOITE
	RXFIFO 接收 FIFO 中断	RXFE	RXFEITE
		RXFF	RXFFITE
		RXFT	RXFTITE
	TXFIFO 发送 FIFO 中断	TXFE	TXFEITE
		TXFF	TXFFITE
		TXFT	TXFTITE

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 21-24 USART 中断请求



(1) 仅当使用 DMA 接收数据(USART_CTRL3.DMARXEN=1)时，这些标志位才会导致错误中断产生。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

21.6 模式配置

表 21-9 USART 模式设置(1)

通信模式	USART1	USART2	USART3	USART4	USART9	UART5	UART6	UART7	UART8	UART10
异步模式	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
多处理器	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
LIN	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
同步模式	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N
单线模式（半双工）	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
智能卡模式	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N
IrDA 红外模式	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
DMA 通讯模式	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
硬件流控模式	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y

(1) Y＝ 支持该模式，N＝ 不支持该模式

21.7 USART 寄存器

21.7.1 UART 寄存器总览

表 21-10 UART 寄存器总览

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0x00	USART_CTRL1	Reserved			IFCEN	SWAP	OVER8	DEAT					DEDT					DEP	DEM	SDBRK	PEIEN	TXCIEN	TXDEIEN	RXDNEIEN	IDLEIEN	WUM	RCVWU	WL	PCEN	PSEL	TXEN	RXEN	UEN
	Reset value				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x04	USART_CTRL2	Reserved											FEFLOSE	NEFLOSE	PEFLOSE	RTOITE	RTOCF	RTOEN	LINBDL	LINBDIEN	LINMEN	LBCLK	CLKPHA	CLKPOL	CLKEN	Reserved	STPB		Reserved	ADDR			
	Reset value												0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0		0	0	0	0
0x08	USART_CTRL3	Reserved																					SCNACK	SCMEN	IRDALP	IRDAMEN	ERRIEN	DMARXEN	DMATXEN	HDMEN	RTSEN	CTSIEN	CTSEN
	Reset value																						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x0C	USART_STS	Reserved												FELOSEF	NELOSEF	PELOSEF	RTOF	FEF	NEF	OREF	PEF	LINBDF	CTSF	RXDNE	TXC	TXDE	IDLEF	TXFT	RXFT	RXFE	TXFE	RXFF	TXFF
	Reset value													0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
0x10	USART_DAT	Reserved																							DATV								
	Reset value																								0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x14	USART_BRCF	Reserved																DIV_Integer												DIV_Decimal			
	Reset value																	h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x18	USART_GTP	Reserved																GTV								PSCV							
	Reset value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0x1C	USART_FIFO	Reserved										TXCNT				RXCNT				TXFTITE	RXFTITE	RXFEITE	TXFEITE	RXFFITE	TXFFITE	RXFTCFG			TXFTCFG			CLR	EN
	Reset value											0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x20	USART_IFW	Reserved																WIDTH															
	Reset value																	h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x24	USART_RTO	Reserved				TIME																											
	Reset value					h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

21.7.2 USART 控制寄存器 1(USART_CTRL1)

偏移地址：0x00

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		TEDEN	IFCEN	SWAP	OSPM	DEAT					DEDT				
			rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DEP	DEM	SDBRK	PEIEN	TXCIEN	TXDEIEN	RXDNEIEN	IDLEIEN	WUM	RCVWU	WL	PCEN	PSEL	TXEN	RXEN	UEN
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必需保持复位值。
29	TEDEN	首发字节延时固定使能使能 0：首发字节延时固定为（1/16 或 1/8 个波特率周期）+ 2*pclk 1：首发字节延时不固定 只有在禁止 USART（UE= “0”）时才能写入该位。
28	IFCEN	空闲帧可控使能(Idle frame controllable enable) 0: 禁止空闲帧可调，空闲帧长度跟数据位数一致； 1: 使能空闲帧可调，空闲帧长度由 USART_IFW 控制。 只有在禁止 USART（UEN=“0”）时才能写入该位。
27	SWAP	SWAP：交换 TX/RX 引脚 (Swap TX/RX pins) 此位由软件置 1 和清零。 0：按标准引脚排列定义使用 TX/RX 引脚 1：交换 TX 和 RX 引脚功能。允许在与另一个 USART 的交叉连接时工作 只有在禁止 USART（UEN=“0”）时才能写入此位域。
26	OSPM	过采样模式 (Oversampling mode) 0：16 倍过采样 1：8 倍过采样

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		只有在禁止 USART（UEN=“0”）时才能写入该位。 *注：在 LIN、IrDA 和智能卡模式下，此位必须保持清零。*
25:21	DEAT	驱动器使能起始时间 (Driver Enable assertion time) 该 5 位值用于定义激活 DE（启动器使能）信号与起始位开始间的时间。此时间以采样时间单位表示（1/8 或 1/16 位时间，具体取决于过采样速率）。 只有在禁止 USART（UEN=“0”）时才能写入此位域。 *注：USART_CTRL1.DEM 使能后，此位不能配置为 0（最小配置为 1）*
20:16	DEDT	驱动器使能禁止时间 (Driver Enable deassertion time) 该 5 位值用于定义发送的消息中最后一个停止位结束与取消激活 DE（驱动器使能）信号间的时间。此时间以采样时间单位表示（1/8 或 1/16 位时间，具体取决于过采样速率）。 如果在 DEDT 时间内对 USART_TDR 寄存器执行写操作，则新数据仅在经过 DEDT 和 DEAT 时间后才会发送。 只有在禁止 USART（UEN=“0”）时才能写入此位域。
15	DEP	驱动器使能极性选择 (Driver enable polarity selection) 0：DE 信号高电平有效。 1：DE 信号低电平有效。 只有在禁止 USART（UEN=“0”）时才能写入该位。
14	DEM	驱动器使能模式 (Driver enable mode) 此位用于通过 DE 信号(DE 信号在 RTS 引脚上输出)激活外部收发器控制。 0：禁止 DE 功能。 1：使能 DE 功能。 只有在禁止 USART（UEN=“0”）时才能写入该位。
13	SDBRK	发送断开帧（Send break）。 软件通过将该位置 1 发送断开帧。 断开帧传输结束由硬件清 0 该位。 0：没有发送断开帧。 1：发送断开帧。
12	PEIEN	校验错误中断使能（PE interrupt enable）。 如果该位置 1，USART_STS.PEF 被置位时产生中断。 0：校验错误中断禁用。 1：校验错误中断使能。
11	TXCIEN	发送完成中断使能（Transmission complete interrupt enable）。 如果该位置 1，USART_STS.TXC 被置位时产生中断。 0：发送完成中断禁用。 1：发送完成中断使能。
10	TXDEIEN	发送缓冲区空中断使能（TXDE interrupt enable）。 如果该位置 1，USART_STS.TXDE 被置位时产生中断。 0：发送缓冲区空中断禁止。 1：发送缓冲区空中断使能。
9	RXDNEIEN	读数据缓冲区非空中断和过载错误中断使能（RXDNE interrupt enable）。 如果该位置 1，USART_STS.RXDNE 或 USART_STS.OREF 被置位时产生中

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		断。 0：读数据缓冲区非空中断和过载错误中断禁用。 1：读数据缓冲区非空中断和过载错误中断使能。
8	IDLEIEN	IDLE 线检测中断使能（IDLE interrupt enable）。 如果该位置 1，USART_STS.IDLEF 被置位时产生中断。 0：IDLE 线检测中断禁用。 1：IDLE 线检测中断使能。
7	WUM	从静默模式唤醒方法（Wake up mode）。 0：空闲帧唤醒。 1：地址标识唤醒。
6	RCVWU	接收器从静默模式中唤醒（Receiver wakeup） 软件可以通过将该位置 1 使得 USART 进入静默模式，将该位清 0 唤醒 USART。 空闲帧唤醒模式下（USART_CTRL1.WUM=0），当检测到空闲帧时，该位由硬件清 0。地址标识唤醒模式下（USART_CTRL1.WUM=1），当接收到一个地址匹配帧时，该位由硬件清 0；或接收到一个地址非匹配帧时，由硬件置 1。 0：接收器处于普通工作模式。 1：接收器处于静默模式。
5	WL	字长（Word length）。 0：8 数据位。 1：9 数据位。 *注意：在数据传输过程中（发送或者接收时），不能修改这个位。*
4	PCEN	校验控制使能（Parity control enable）。 0：校验控制禁用。 1：校验控制被使能。
3	PSEL	校验模式（Parity selection）。 0：偶校验。 1：奇校验。
2	TXEN	发送器使能（Transmitter enable）。 0：发送器禁用。 1：发送器使能。
1	RXEN	接收器使能（Receiver enable）。 0：接收器禁用。 1：接收器使能。
0	UEN	USART 使能（USART enable）。 当该位被清零，在当前字节传输完成后 USART 的分频器和输出停止工作，以减少功耗。该位由软件设置和清零。 0：USART 禁用。 1：USART 使能。

21.7.3 USART 控制寄存器 2(USART_CTRL2)

偏移地址：0x04

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved											FEFLOSE	NEFLOSE	PEFLOSE	RTOITE	RTOCF
											rw	rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RTOEN	LINBDL	LINBDIEN	LINMEN	LBCLK	CLKPHA	CLKPOL	CLKEN	Reserved	STPB		Reserved	ADDR			
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw		rw	rw		rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:21	Reserved	保留，必需保持复位值。
20	FEFLOSE	FEF 数据丢弃使能位(FEF Data Discard Enable Bit): 使能此位在 FIFO 下接收数据产生 FE 错误时，此时数据不会写入 FIFO，不会有 FEF 标志位产生 1：使能 0：禁用
19	NEFLOSE	NEF 数据丢弃使能位(NEF Data Discard Enable Bit): 使能此位在 FIFO 下接收数据产生 NE 错误时，此时数据不会写入 FIFO，不会有 NEF 标志位产生 1：使能 0：禁用
18	PEFLOSE	PEF 数据丢弃使能位(PEF Data Discard Enable Bit): 使能此位在 FIFO 下接收数据产生 FE 错误时，此时数据不会写入 FIFO，不会有 PEF 标志位产生 1：使能 0：禁用
17	RTOITE	接收器超时中断使能 (Receiver timeout interrupt enable) 此位由软件置 1 和清零。 0：禁止中断 1：USART_STS 寄存器中的 RTOF 位置 1 时生成 USART 中断。
16	RTOCF	接收器超时清零标志 (Receiver timeout clear flag) 向此位写入“1”时，USART_STS 寄存器中的 RTOF 标志将清零。
15	RTOEN	接收器超时使能 (Receiver timeout enable) 此位由软件置 1 和清零。 0：禁止接收器超时功能。 1：使能接收器超时功能。 使能此功能后，如果 RX 线路在 RTOR（接收器超时寄存器）中编程的持续时间内处于空闲状态（无接收），则 USART_ISR 寄存器中的 RTOF 标志置 1。
14	LINBDL	LIN 断开帧检测长度（LIN break detection length）。 该位用来设定在断开帧长度。 0：10 位

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：11 位 *注意：LINBDL 可用于 LIN 模式及其他模式下的断开帧的检测长度控制，且检测长度和 LIN 模式相同。*
13	LINBDIEN	LIN 断开帧检测中断使能（LIN break detection interrupt enable）。 如果该位置 1，当 USART_STS.LINBDF 被置位时将产生中断。 0：断开信号检测中断禁用 1：断开信号检测中断使能
12	LINMEN	LIN 模式使能（LIN mode enable） 0：LIN 模式禁用 1：LIN 模式使能
11	LBCLK	最后一位时钟脉冲（Last bit clock pulse）。 该位用来设定在同步模式下是否在 CK 引脚上输出最后发送的那个数据字节（MSB）对应的时钟脉冲。 0：最后一位数据的时钟脉冲不从 CK 输出。 1：最后一位数据的时钟脉冲会从 CK 输出。 *注：该位对于 UART5/6/7/8/10 无效*
10	CLKPHA	时钟相位（Clock phase）。 该位用来设定在同步模式下 CK 引脚的相位。 0：在首个时钟边沿采样第一个数据。 1：在第二个时钟边沿采样第一个数据。 *注：该位对于 UART5/6/7/8/10 无效*
9	CLKPOL	时钟极性（Clock polarity）。 该位用来设定在同步模式下 CK 引脚的极性。 0：CK 引脚不对外发送时保持为低电平。 1：CK 引脚不对外发送时保持为高电平。 *注：该位对于 UART5/6/7/8/10 无效*
8	CLKEN	时钟使能（Clock enable） 0：CK 引脚禁用 1：CK 引脚使能 *注：该位对于 UART5/6/7/8/10 无效*
7	Reserved	保留，必需保持复位值。
6:5	STPB[1:0]	停止位长（STOP bits）。 00：1 停止位。 01：0.5 停止位。 10：2 停止位。 11：1.5 停止位。 *注：对于 UART5/6/7/8/10，只有 1 位停止位和 2 位停止位是有效的。*
4	Reserved	保留，必需保持复位值。
3:0	ADDR[3:0]	USART 地址。 在多处理器通信下的静默模式中使用的，使用地址标识来唤醒某个 USART 设备。 地址标识唤醒模式下（USART_CTRL1.WUM=1），如果接收到的数据帧低四位

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		与 ADDR[3:0]值不相等，USART 就会进入静默模式；如果接收到的数据帧低四位与 ADDR[3:0]值相等，USART 就会被唤醒。

21.7.4 USART 控制寄存器 3(USART_CTRL3)

偏移地址：0x08

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved					SCNACK	SCMEN	IRDALP	IRDAMEN	ERRIEN	DMA RXEN	DMA TXEN	HDMEN	RTSEN	CTSIEN	CTSEN
					rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:11	Reserved	保留，必需保持复位值。
10	SCNACK	在智能卡模式 NACK 使能（Smart card NACK enable）。 该位用于智能卡模式在奇偶校验错误发生时使能发送 NACK。 0：当出现校验错误时不发送 NACK。 1：当出现校验错误时发送 NACK。 *注：对于 UART5/6/7/8/10，此位强制为 0*
9	SCMEN	智能卡模式使能（Smart card mode enable）。 该位用于使能智能卡模式。 0：智能卡模式禁用。 1：智能卡模式使能。 *注：对于 UART5/6/7/8/10，此位强制为 0*
8	IRDALP	IrDA 低功耗模式（IrDA low-power）。 该位用于为 IrDA 模式选择低功耗模式。 0：正常模式。 1：低功耗模式。
7	IRDAMEN	IrDA 模式使能（IrDA mode enable）。 0：IrDA 禁用。 1：IrDA 使能。
6	ERRIEN	错误中断使能（Error interrupt enable）。 当 DMA 接收模式（USART_CTRL3.DMARXEN=1）使能时，如果该位被置 1，USART_STS. FEF、USART_STS.OREF、USART_STS.NEF 被置位将产生中断。 0：错误中断禁用。 1：错误中断使能。
5	DMARXEN	DMA 接收使能（DMA receiver enable）。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：DMA 接收模式禁用。 1：DMA 接收模式使能。
4	DMATXEN	DMA 发送使能（DMA transmitter enable）。 0：DMA 发送模式禁用。 1：DMA 发送模式使能。
3	HDMEN	半双工模式使能（Half-duplex mode enable）。 该位用于使能半双工模式。 0：半双工模式禁用。 1：半双工模式使能。
2	RTSEN	RTS 使能（RTS enable）。 该位用于使能 RTS 硬件流控制功能。 0：RTS 硬件流控制禁用。 1：RTS 硬件流控制使能。
1	CTSIEN	CTS 中断使能（CTS interrupt enable）。 如果该位置 1，当 USART_STS.CTSF 被置位时将产生中断。 0：CTS 中断禁用。 1：CTS 中断使能。
0	CTSEN	CTS 使能（CTS enable）。 该位用于使能 CTS 硬件流控制功能。 0：CTS 硬件流控制禁用。 1：CTS 硬件流控制使能。

21.7.5 USART 状态寄存器（USART_STS）

偏移地址：0x0C

复位值：0x0000 0180

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved												FELOSEF	NELOSEF	PELOSEF	RTOF
												rc_w1	rc_w1	rc_w1	r

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
FEF	NEF	OREF	PEF	LINBDF	CTSF	RXDNE	TXC	TXDE	IDLEF	TXFT	RXFT	RXFE	TXFE	RXFF	TXFF
r	r	r	r	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0	r	r	r	r	r	r	r	r

位域	名称	描述
31:20	Reserved	保留，必需保持复位值。
19	FELOSEF	接收到数据 FE 错误丢弃标志位(Received Data FE Error Discard Flag)： 在 FIFO 下,当接收到 FE 错误时，指示有错误数据丢弃，数据不会写入 FIFO 向此位写 1 清除，不在 FIFO 下此位为 0 1：数据 FE 错误丢弃 0：无数据 FE 错误

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
18	NELOSEF	接收到数据 NE 错误丢弃标志位(Received Data NE Error Discard Flag)： 在 FIFO 下,当接收到 NE 错误时，指示有错误数据丢弃，数据不会写入 FIFO 向此位写 1 清除，不在 FIFO 下此位为 0 1：数据 NE 错误丢弃 0：无数据 NE 错误
17	PELOSEF	接收到数据 PE 错误丢弃标志位(Received Data PE Error Discard Flag Bit)： 在 FIFO 下,当接收到 PE 错误时，指示有错误数据丢弃，数据不会写入 FIFO 向此位写 1 清除，不在 FIFO 下此位为 0 1：数据 PE 错误丢弃 0：无数据 PE 错误
16	RTOF	接收超时（recevier timeout） 已经超过在 RTO 寄存器中编程的超时值后，如果无任何通信，此位由硬件置 1。此位由软件清零，方法是向 USART_CTRL2.RTOCF 位写入“1”。 如果 USART_CTRL2 寄存器中的 RTOITE=“1”，则会生成中断。 0：未达到超值值 1：已达到超时值，未接收到任何数据
15	FEF	帧错误（Framing error）。 当检测到同步错位、过多的噪声或者检测到断开符（即没有检测到预期的停止位），该位被硬件置位。由软件序列将其清零（先读 USART_STS，再读 USART_DAT）。 0：未检测到帧错误。 1：检测到帧错误或者断开帧（break frame）。 *注意：该位不会产生中断，因为它和 USART_STS.RXDNE 一起出现，硬件会在设置 USART_STS.RXDNE 标志时产生中断。如果当前传输的数据既产生了帧错误，又产生了过载错误，硬件还是会继续该数据的传输，并且只设置 OREF 标志位。* *在多缓冲区通信模式（DMA）下，如果设置了 USART_CTRL3.ERRIEN 位，则设置 FEF 标志时会产生中断。*
14	NEF	噪声错误标志（Noise error flag）。 在接收到的帧检测到噪音时，由硬件对该位置位。由软件序列对其清零（先读 USART_STS，再读 USART_DAT）。 0：没检测到噪声错误。 1：检测到噪声错误。 *注意：该位不会产生中断，因为它和 USART_STS.RXDNE 一起出现，硬件会在设置 USART_STS.RXDNE 标志时产生中断。在多缓冲区通信模式（DMA）下，如果设置了 USART_CTRL3.ERRIEN 位，则设置 NEF 标志时会产生中断。*
13	OREF	溢出错误（Overrun error）。 溢出错误的置位具体见 21.4.4.7 溢出错误章节。 软件先读 USART_STS，再读 USART_DAT 可清除该位。 0：没有检测到溢出错误。 1：检测到溢出错误。
12	PEF	校验错误（Parity error）。 当接收到的数据帧校验位与预期校验值不同时，该位置位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		软件先读 USART_STS，再读 USART_DAT 可清除该位。 0：没检测到校验错误。 1：检测到校验错误。
11	LINBDF	LIN 断开检测标志（LIN break detection flag）。 如果设置了 USART_CTRL2.LINMEN 位，当检测到 LIN 断开，该位由硬件置位。如果 USART_CTRL2.LINBDIEN 被置位时，将产生中断。 该位由软件清 0。 0：没有检测到 LIN 断开字符。 1：检测到 LIN 断开字符。
10	CTSF	CTS 标志（CTS flag）。 如果设置了 USART_CTRL3.CTSEN 位，当 nCTS 输入变化时，该位由硬件置位。如果设置了 USART_CTRL3.CTSIEN 位，将产生中断。 该位由软件清 0。 0：nCTS 状态线没有变化。 1：nCTS 状态线发生变化。
9	RXDNE	读数据缓冲区非空（Read data register not empty）。 当读数据缓冲区接收到来自移位寄存器的数据时，该位置 1。当寄存器 USART_CTRL1.RXDNEIEN 位被置位，将会有中断产生。 软件可以通过对该位写 0 或读 USART_DAT 寄存器来将该位清 0。 0：读数据缓冲区为空。 1：读数据缓冲区不为空。
8	TXC	发送完成（Transmission complete）。 上电复位后，该位被置 1。如果 USART_STS.TXDE 置位，在当前数据发送完成时该位置 1。 USART_CTRL1.TXCIEN 被置位将产生中断。 该位由软件清 0。 0：发送没有完成。 1：发送完成。
7	TXDE	发送数据缓冲区空（Transmit data register empty）。 上电复位或待发送数据已发送至移位寄存器后，该位置 1。 USART_CTRL1.TXDEIEN 被置位将产生中断。 该位在软件将待发送数据写入 USART_DAT 时被清 0。 0：发送数据缓冲区不为空。 1：发送数据缓冲区空。
6	IDLEF	空闲线检测标志（IDLE line detected）。 在一个帧时间内，在 RX 引脚检测到空闲状态，该位置 1。当寄存器 USART_CTRL1.IDLEIEN 位被置位，将会有中断产生。 软件先读 USART_STS，再读 USART_DAT 可清除该位。 0：未检测到空闲帧。 1：检测到空闲帧。 *注意：IDLEF 位不会再次被置高直到 RXDNE 位被置起（即又检测到一次空闲总线）。*
5	TXFT	发送 FIFO 阈值（TX FIFO threshold）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：发送 FIFO 数据个数未达到阈值。 1：发送 FIFO 数据个数达到阈值。
4	RXFT	接收 FIFO 阈值（RX FIFO threshold） 0：接收 FIFO 数据个数未达到阈值。 1：接收 FIFO 数据个数达到阈值。
3	RXFE	接收 FIFO 空(Receive FIFO empty) 0：接收 FIFO 数据非空。 1：接收 FIFO 数据空。
2	TXFE	发送 FIFO 空(Send FIFO empty) 0：发送 FIFO 数据非空。 1：发送 FIFO 数据空。
1	RXFF	接收 FIFO 满(Receive FIFO full) 0：接收 FIFO 数据非满。 1：接收 FIFO 数据满。
0	TXFF	发送 FIFO 满(Send FIFO full) 0：发送 FIFO 数据非满。 1：发送 FIFO 数据满。

21.7.6 USART 数据寄存器(USART_DAT)

偏移地址：0x10

复位值：未定义（不确定值）

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved							DATV[8:0]								
							rw								

位域	名称	描述
31:9	Reserved	保留，必需保持复位值。 Reserved, must be kept at reset value.
8:0	DATV[8:0]	数据值（Data value） 包含了发送或接收的数据；软件可以通过写这些位来改变发送数据，或读这些位的值来获取接收数据。 如果使能了奇偶校验，当发送数据被写入寄存器，数据的最高位（第 7 位或第 8 位取决于 USART_CTRL1.WL 位）将被校验位取代。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

21.7.7 USART 波特率配置寄存器 (USART_BRCF)

偏移地址： 0x14

复位值：0x0000 0000

注意：USART_CTRL1.UEN=1 时，不能写该寄存器；如果 USART_CTRL1.TXNE 或 USART_CTRL1.RXNE 被分别禁止，波特计数器停止计数。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DIV_Integer[11:0]												DIV_Decimal[3:0]			
rw												rw			

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必需保持复位值。
15:4	DIV_Integer [11:0]	波特率分频器的整数部分。
3:0	DIV_Decimal[3:0]	波特率分频器的小数部分。 *注：8 倍过采样下，DIV_Decimal[3:0]只有低三位有效*

21.7.8 USART 保护时间和预分频寄存器(USART_GTP)

偏移地址：0x18

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
GTV[7:0]								PSCV[7:0]							
rw								rw							

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必需保持复位值。
15:8	GTV[7:0]	智能卡模式下的保护时间值（Guard time value）。 该位域规定了以波特时钟为单位的保护时间。在智能卡模式下，需要这个功能。 USART_STS.TXC 标志置位时间延时 GTV[7:0]个波特时钟周期。 *注：该位对于 UART5/6/7/8/10 无效*
7:0	PSCV[7:0]	预分频器值（Prescaler value）。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		在 IrDA 低功耗模式下，这些位用来设定将外设时钟（PCLK1/PCLK2）分频产生低功耗频率的分频系数。 00000000：保留 – 不要写入该值 00000001：对源时钟 1 分频 … 11111111：对源时钟 255 分频 在 IrDA 正常模式下，PSCV 只能设置成 00000001。 在智能卡模式下，PSCV[4:0]用于设定外设时钟（APB1/APB2）生成智能卡时钟的分频系数。实际的分频系数为 PSCV[4:0]设定值的两倍。 00000：保留 – 不要写入该值 00001：对源时钟 2 分频 00010：对源时钟 4 分频 … 11111：对源时钟 62 分频 在智能卡模式下，PSCV[7:5] 被保留。

21.7.9 USART FIFO 寄存器(USART_FIFO)

偏移地址：0x1C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved										TXCNT				RXCNT	
										r				r	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RXCNT		TXFTITE	RXFTITE	RXFEITE	TXFEITE	RXFFITE	TXFFITE	RXFTCFG			TXFTCFG			CLR	EN
r		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw			rw			rw	rw

位域	名称	描述
31:22	Reserved	保留，必需保持复位值。
21:18	TXCNT	TX FIFO 有效数据个数（number of TXFIFO valid data）。
17:14	RXCNT	RX FIFO 有效数据个数（number of RXFIFO valid data）。
13	TXFTITE	TXFIFO 阈值中断使能（TXFIFO threshold interrupt enable）。 如果该位置 1，USART_STS.TXFT 被置位时产生中断。 0：TXFT 中断禁止。 1：TXFT 中断使能。
12	RXFTITE	RXFIFO 阈值中断使能（RXFIFO threshold interrupt enable）。 如果该位置 1，USART_STS.RXFT 被置位时产生中断。 0：RXFT 中断禁止。 1：RXFT 中断使能。
11	RXFEITE	RXFIFO 空中断使能（RXFIFO empty interrupt enable）。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		如果该位置 1，USART_STS.RXFE 被置位时产生中断。 0：RXFE 中断禁止。 1：RXFE 中断使能。
10	TXFEITE	TXFIFO 空中断使能（TXFIFO empty interrupt enable）。 如果该位置 1，USART_STS.TXFE 被置位时产生中断。 0：TXFE 中断禁止。 1：TXFE 中断使能。
9	RXFFITE	RXFIFO 满中断使能（RXFIFO full interrupt enable）。 如果该位置 1，USART_STS.TXFF 被置位时产生中断。 0：RXFF 中断禁止。 1：RXFF 中断使能。
8	TXFFITE	TXFIFO 满中断使能（TXFIFO full interrupt enable）。 如果该位置 1，USART_STS.TXFF 被置位时产生中断。 0：TXFF 中断禁止。 1：TXFF 中断使能。
7:5	RXFTCFG	RXFIFO 阈值配置（RXFIFO threshold configuration）。 000：接收 FIFO 达到其深度的 1/8 001：接收 FIFO 达到其深度的 1/4 2/8 010：接收 FIFO 达到其深度的 1/2 4/8 011：接收 FIFO 达到其深度的 3/4 6/8 100：接收 FIFO 达到其深度的 7/8 7/8 101：接收 FIFO 已满 8/8 其余组合：保留
4:2	TXFTCFG	TXFIFO 阈值配置（TXFIFO threshold configuration）。 000：TXFIFO 达到其深度的 1/8 001：TXFIFO 达到其深度的 1/4 010：TXFIFO 达到其深度的 1/2 011：TXFIFO 达到其深度的 3/4 100：TXFIFO 达到其深度的 7/8 101：TXFIFO 变空 其余组合：保留
1	CLR	FIFO 中的数据和指针清零（FIFO clear）。 该位是一个脉冲信号，写 1 清零后，CLR 也自动归零。 0：不清零。 1：清零。
0	EN	FIFO 模式使能（FIFO model enable）。 0：FIFO 模式禁用。 1：FIFO 模式被使能。

21.7.10 USART 空闲帧宽度寄存器(USART_IFW)

偏移地址：0x20

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
WIDTH															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必需保持复位值。
15:0	WIDTH	空闲帧宽度 *注：以波特率时间为单位时间*

21.7.11 USART 接收超时宽度寄存器(USART_RTO)

偏移地址：0x24

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				TIME											

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TIME															
rw															

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必需保持复位值。
27:0	TIME	接收器超时值 *注：以采样时间（1/8 或 1/16 位时间，具体取决于过采样速率）为单位时间*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

22 内部集成电路总线(I^2C)

22.1 简介

I^2C(inter-integrated circuit)总线是一种广泛应用的总线结构，它只有两根双向线，即数据总线 SDA 和时钟总线 SCL，通过这两根线，所有与 I^2C 总线兼容的设备都可以通过 I^2C 总线彼此直接通信。

I^2C 接口连接微控制器和串行 I^2C 总线，可用于 MCU 和外部 I^2C 设备的通讯。I^2C 接口模块实现了 I^2C 协议的标速模式和快速模式，具备 CRC 计算和校验功能、支持 SMBus(系统管理总线)和 PMBus (电源管理总线)，此外它提供多主机功能，控制所有 I^2C 总线特定的时序、协议、仲裁。I^2C 接口模块也支持 DMA 模式，可有效减轻 CPU 的负担。

22.2 主要特性

- 同一接口既可实现主机功能又可实现从机功能
- 是并行总线到 I^2C 总线协议的转换器
- 支持 7 位和 10 位的地址模式和广播寻址
- 作为 I^2C 主设备可以产生时钟、起始信号和停止信号
- 作为 I^2C 从设备具有可编程的 I^2C 地址检测、停止位检测的功能
- 支持标速(最高 100kHz)、快速(最高 400kHz)模式和快速+(最高 1MHz)模式
- 支持中断向量，字节成功传输中断和错误事件中断
- 可选的时钟延展功能
- 支持 DMA 模式
- 可选择的 PEC（报文错误检测）生成和校验
- 兼容 SMBus 2.0 和 PMBus
- 可编程的模拟滤波和数字滤波
- 支持 FIFO 模式

注：不是所有产品中都包含上述所有特性，请参考相关的数据手册，确认该产品支持的 I^2C 功能。

22.3 功能描述

I^2C 接口通过数据引脚（SDA）和时钟引脚（SCL）连接到 I^2C 总线与外部设备进行通信，可以连接到标准（高达 100kHz）、快速（400kHz）或快速$^+$（1MHz）的 I^2C 总线。I^2C 模块接收时将数据从串行转换成并行，发送时将数据从并行转换成串行。支持中断模式，用户可以根据需要开启或禁止中断。

22.3.1 SDA/SCL 控制

I^2C 模块有两条接口线：串行数据线（SDA）和串行时钟线（SCL）。连接到总线上的设备通过这两根线互相

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

传递信息。SDA 和 SCL 都是双向线，通过一个电流源或者上拉电阻接到电源正极。当总线空闲时，两条线都是高电平。连接到总线的设备输出极必须带开漏或者开集，以提供线与功能。I²C 总线上的数据在标准模式下可以达到 100 kbit/s，在快速模式下可以达到 1000kbit/s。由于 I²C 总线上可能会连接不同工艺的设备，逻辑‘0’和逻辑‘1’的电平并不是固定的，取决于 VDD 的实际电平。

如果允许时钟延长，即 SCL 线拉低，就可以避免在接收时发生过载错误以及在发送时发生欠载错误。

比如，在发送模式时，如果发送数据寄存器为空且字节发送结束位置起（I2C_STS1.TXDATE = 1, I2C_STS1.BSF = 1)，I²C 接口在传输前保持时钟线为低，以等待软件读取 STS1 后把数据写进数据寄存器（缓冲器和移位寄存器都是空的）；在接收模式时，如果数据寄存器非空且字节发送结束位置起（I2C_STS1.RXDATNE = 1, I2C_STS1.BSF = 1），I²C 接口在接收到数据字节后保持时钟线为低，以等待软件读 STS1，然后读数据寄存器 DAT（缓冲器和移位寄存器都是满的）。

如果从模式中禁止时钟延长，在接收模式时，如果接收数据寄存器非空（I2C_STS1.RXDATNE = 1），在接收到下个字节前数据还没有被读出，则发生过载错误，最后一字节也将被丢弃。在发送模式时，如果发送数据寄存器空（I2C_STS1.TXDATE = 1），在必须发送下个字节之前还没有新数据写进数据寄存器，则发生欠载错误。相同的字节将被重复发出。这种情况下不控制重复写冲突。

22.3.2 软件通讯流程

I²C 设备的数据传输分为主机和从机。主机是指负责初始化总线上数据的传输并产生时钟信号的设备，此时任何被寻址的设备都是从机。不管 I²C 设备是主机还是从机，都可以发送或接收数据。I²C 接口支持 4 种运行模式：

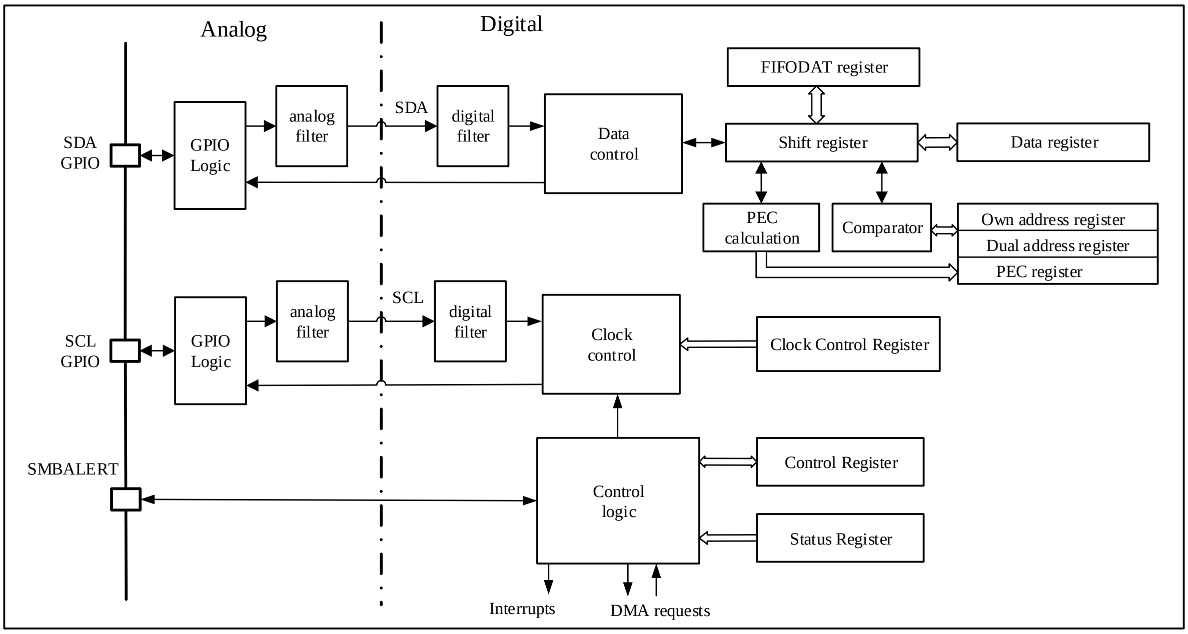
- 从机发送器模式
- 从机接收器模式
- 主机发送器模式
- 主机接收器模式

系统复位后，I²C 默认工作在从机模式下。通过软件配置 I²C 接口在总线上发送一个起始位，随后接口自动地从从模式切换到主模式；当仲裁丢失或产生停止信号时，则从主模式切换到从模式。

I²C 接口的功能框图如下：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 22-1 I²C 功能框图

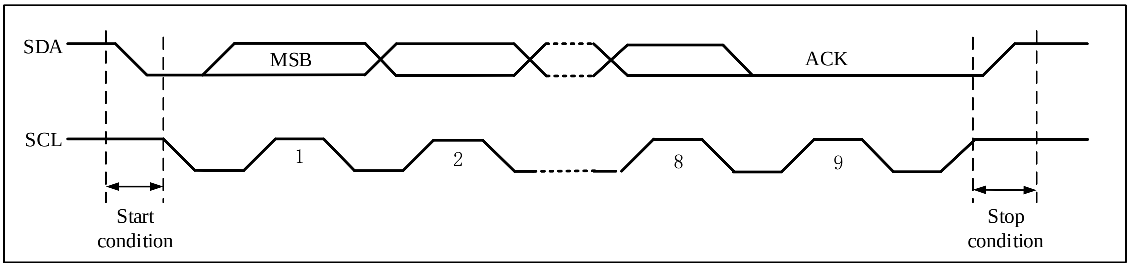


注：在 SMBus 模式下，SMBALERT 是可选信号。如果禁止了 SMBus，则不能使用该信号。

22.3.2.1 开始和停止条件

所有的数据传输总是以起始位开始并以停止位结束。起始条件和停止条件都是在主模式下由软件控制产生。起始位（START）是指：在 SCL 为高时，SDA 线上出现一个从高到低的电平转换。停止位（STOP）是指在 SCL 为高时，SDA 线上出现一个从低到高的电平转换。如下图所示：

图 22-2 I²C 总线协议



22.3.2.2 时钟同步与仲裁

I²C 接口支持多主机仲裁，即两个主机可以同时在空闲总线上开始传送数据，因此就必须通过一些机制来决定哪个主机获取总线的控制权，这一般是通过时钟同步和仲裁来完成的。

I²C 电路具有两个关键特点：

- SDA 和 SCL 为漏极开路结构，通过外部的上拉电阻实现了信号的"线与"逻辑；
- SDA 和 SCL 引脚在输出信号的同时还将引脚上的电平进行检测，检测是否与刚才输出一致。这为"时钟同步"和"总线仲裁"提供硬件基础。

I²C 设备对总线的操作是通过"把线路接地"来输出逻辑 0。基于 I²C 总线的特点，如果一设备发送逻辑 0，其他发送逻辑 1，那么线路看到的只有逻辑 0，所以线路上不可能出现电平冲突的现象。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

总线的物理接法允许主设备往总线写数据的同时读取数据。这样两主设备争总线的时候发送逻辑 0 的并不知道竞争的发生，只有发送逻辑 1 的才会发现冲突（当写一个逻辑 1，却读到了 0）从而退出竞争。

时钟同步

SCL 线的高到低切换会使器件开始数它们的低电平周期，而且一旦器件的时钟变低电平，它会使 SCL 线保持这种状态直到到达时钟的高电平。但是，如果另一个时钟仍处于低电平周期，这个时钟的低到高切换不会改变 SCL 线的状态，因此，SCL 线被有最长低电平周期的器件保持低电平，此时，低电平周期短的器件会进入高电平的等待状态。

当所有有关的器件数完了它们的低电平周期后，时钟线被释放并且变成高电平，之后器件时钟和 SCL 线的状态没有差别，而且所有器件会开始数它们的高电平周期，首先完成高电平周期的器件会再次将 SCL 线拉低。

这样，产生的同步 SCL 时钟的低电平周期由低电平时钟周期最长的器件决定，而高电平周期由高电平时钟周期最短的器件决定。

仲裁

仲裁和同步一样，都是为了解决多主机情况下的总线控制冲突。仲裁的过程与从机无关。当两个主机在总线空闲的时候都产生了一个有效的起始位，这种情况就需要决定由哪个主机来完成数据传输，这就是仲裁的过程。

各个主控制器没有对总线实施控制的优先级别，都是由仲裁决定的。总线控制随即而定且逐位进行，他们遵循“低电平优先”的原则，即谁先发送低电平谁就会掌握对总线的控制权。在每一位的仲裁期间，当 SCL 为高时，每个主机都检查自己的 SDA 电平是否和自己发送的相同。理论上讲，如果两个主机所传输的内容完全相同，那么他们能够成功传输而不出现错误。如果一个主机发送高电平但检测到 SDA 电平为低，则认为自己仲裁失败并关闭自己的 SDA 输出驱动，而另一个主机则继续完成自己的传输。

22.3.2.3 I²C 数据通信流程

每个 I²C 设备都通过唯一的地址进行识别，根据设备功能，他们既可以是发送器也可作为接收器。

I²C 主机负责产生起始位和结束位来开始和结束一次传输，并且负责产生 SCL 时钟。

I²C 模块支持 7 位和 10 位的地址，用户可以通过软件配置 I²C 从机的地址。I²C 从机检测到 I²C 总线上的起始位之后，就开始从总线上接收地址，并把接收到的地址和自身的地址进行比较，一旦两个地址相同，I²C 从机将发送一个确认应答(ACK)，并响应总线的后续命令：发送或接受所要求的数据。此外，如果软件开启了广播呼叫，则 I²C 从机始终对一个广播地址(0x00)发送确认应答。

数据和地址按 8 位字节进行传输，高位在前。跟在起始条件后的 1 或 2 个字节是地址（7 位模式为 1 个字节，10 位模式为 2 个字节）。地址只在主模式发送。在一个字节传输的 8 个时钟后的第 9 个时钟期间，接收器必须回送一个应答位（ACK）给发送器。如图 22-2 I2C 总线协议所示。

软件可以开启或禁能应答（ACK），并可以设置 I²C 接口的地址（7 位、10 位地址或广播呼叫地址）。

22.3.2.4 I²C 从机发送模式

FIFO 禁能

在从机模式下发送接收标记位（I2C_STS2.TRF）指示当前是处于接收器模式还是发送器模式。当在发送器模式下要发送数据到 I²C 总线，软件应该按照下面的步骤操作：

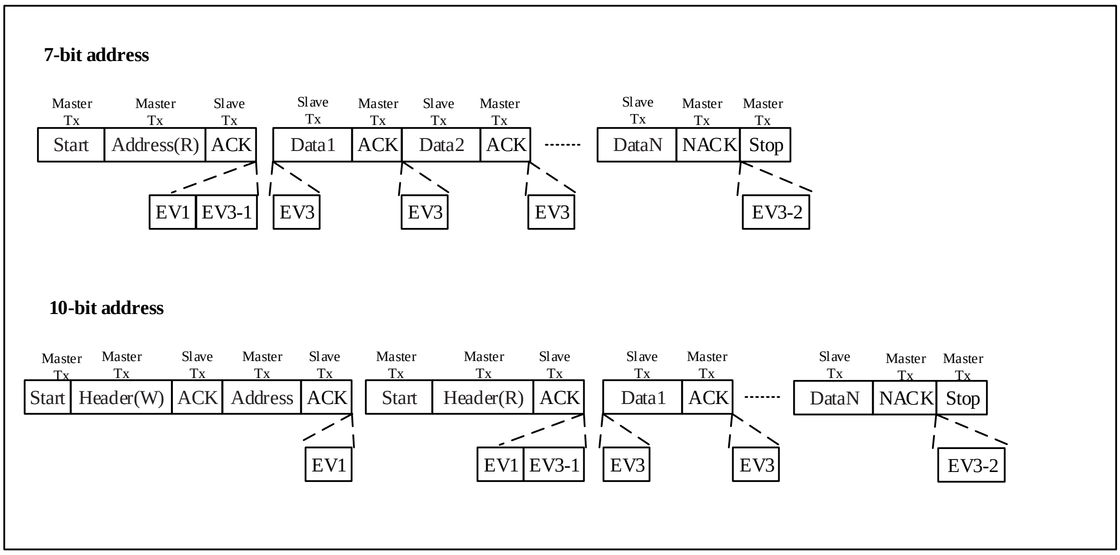
1. 首先，使能 I²C 外设时钟，配置 I2C_CTRL1 中时钟相关寄存器，确保输出正确的 I²C 时序。当这两步

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

都完成以后，I²C 运行在从机模式下，等待接收起始位和地址。

2. I²C 从机先收到一个起始位，随后收到匹配的 7 位或 10 地址，I²C 硬件将 I2C_STS1.ADDRF 位（接收到了地址并且和自身的地址匹配）置 1，软件应该定期查询此位或者中断监视此位，发现置位后，软件读 I2C_STS1 寄存器然后读 I2C_STS2 寄存器来清除 I2C_STS1.ADDRF 位。如果地址是 10 位格式，I²C 主机应该接着再产生一个 START 并发送一个地址头到 I²C 总线。从机在检测到 START 和紧接着的地址头之后会继续将 I2C_STS1.ADDRF 位置 1。软件继续通过读 I2C_STS1 寄存器和接着读 I2C_STS2 寄存器来第二次清除 I2C_STS1.ADDRF 位。
3. I²C 进入数据发送状态，现在移位寄存器和数据寄存器 I2C_DAT 都是空，所以硬件将 I2C_STS1.TXDATE（发送数据空）位置 1。此时软件可以写入第一个字节数据到 I2C_DAT 寄存器，但是，因为写入 I2C_DAT 寄存器的字节被立即移入内部移位寄存器了，所以 I2C_STS1.TXDATE 位并没有被清 0。当移位寄存器非空的时候，I²C 开始发送数据到 I²C 总线。
4. 第一个字节的发送期间，软件写第二个字节到 I2C_DAT，此时 I2C_DAT 寄存器和移位寄存器都不是空。I2C_STS1.TXDATE 位被清 0。
5. 第一个字节发送完成之后，I2C_STS1.TXDATE 再次被置起，软件写第三个字节到 I2C_DAT，同时 I2C_STS1.TXDATE 位被清 0。在此之后，只要依然有数据待等待被发送且 I2C_STS1.TXDATE 被置 1，软件都可以写入一个字节到 I2C_DAT 寄存器。
6. 倒数第二个字节发送期间，软件写最后一个数据到 I2C_DAT 寄存器来清除 I2C_STS1.TXDATE 标志位，之后就再不用关心 I2C_STS1.TXDATE 的状态。I2C_STS1.TXDATE 位会在倒数第二个字节发送完成后置起，直到检测到 STOP 结束位时被清 0。
7. 根据 I²C 协议，I²C 主机不会对接收到的最后一个字节发送应答，所以在最后一个字节发送结束后，I²C 从机的 ACKFAIL 位（应答出错）会置起以通知软件发送结束。软件写 0 到 I2C_STS1.ACKFAIL 位可以清除此位。

图 22-3 从发送器传送序列



FIFO 使能

在从机模式下发送接收标记位（I2C_STS2.TRF）指示当前是处于接收器模式还是发送器模式。当在发送器模式下要发送数据到 I2C 总线，软件应该按照下面的步骤操作：

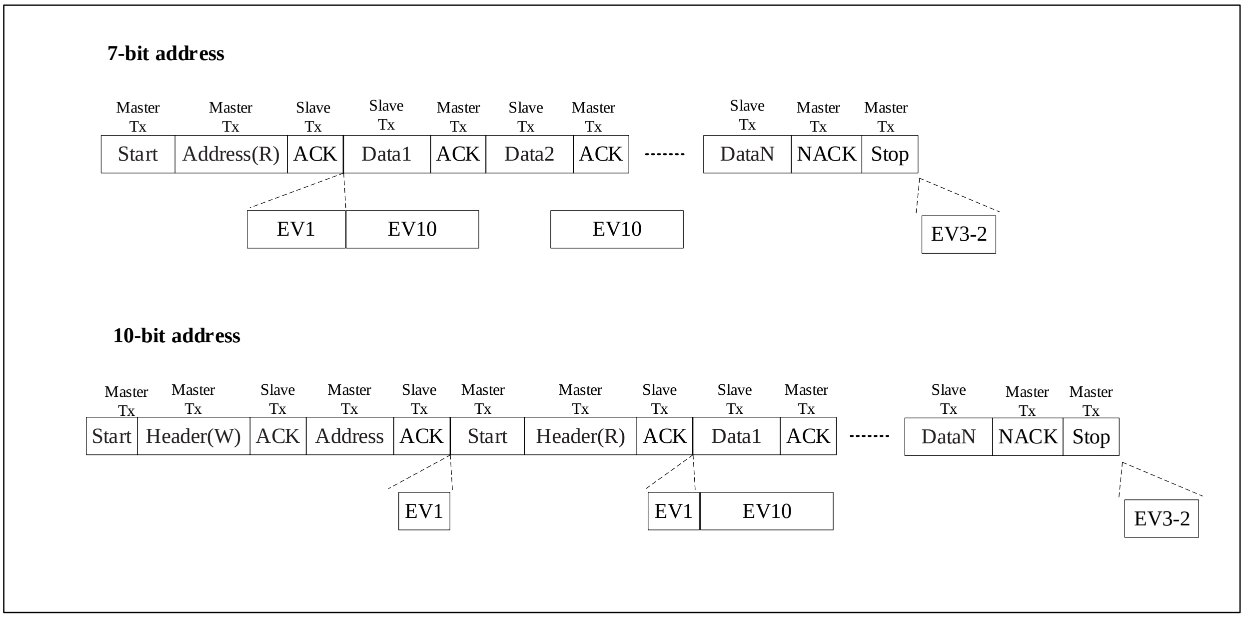
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

1. 首先，使能 I2C 外设时钟，配置 I2C_CTRL1 中时钟相关寄存器，确保输出正确的 I2C 时序。当这两步都完成以后，I2C 运行在从机模式下，等待发送数据写入 FIFO 和接收起始位和地址。

注：FIFOEN 打开时必须要关闭 BUFINTEN；使用 DMA 时需要使能 DMAFIFOEN，关闭 DMAEN。

2. I2C 从机先收到一个起始位，随后收到匹配的 7 位或 10 地址，I2C 硬件将状态寄存器（I2C_STS1）的 ADDRF 位（接收到了地址并且和自身的地址匹配）置 1，软件应该定期查询此位或者中断监视此位，发现置位后，软件读 I2C_STS1 寄存器然后读 I2C_STS2 寄存器来清除 I2C_STS1.ADDRF 位。如果地址是 10 位格式，I2C 主机应该接着再产生一个 START（Sr）并发送一个地址头到 I2C 总线。从机在检测到 START（Sr）和紧接着的地址头之后会继续将 I2C_STS1.ADDRF 位置 1。软件继续通过读 I2C_STS1 寄存器和接着读 I2C_STS2 寄存器来第二次清除 ADDRF 位。
3. I2C 进入数据发送状态，为了数据正常发送，软件需要保证 FIFO 里面至少有一个 byte 的数据，数据发送由硬件完成从 fifo 的数据读取；如果 PECEN 打开，最后一个 byte 校验数据有硬件控制发送。
4. 根据 I2C 协议，I2C 主机不会对接收到的最后一个字节发送应答，所以在最后一个字节发送结束后，I2C 从机的 ACKFAIL 位（应答出错）会置起以通知软件发送结束。软件写 0 到 I2C_STS1.ACKFAIL 位可以清除此位。
5. 从机发送通信完成，通过配置 I2C_CTRL1.FIFOCLR，进行 FIFO 清除.

图 22-4 FIFO 使能从发送器传送序列



说明：

1. EV1: I2C_STS1.ADDRF = 1，读 STS1 然后读 STS2 将清除该事件。
2. EV3-1: I2C_STS1.TXDATE=1，移位寄存器空,数据寄存器空，写 DAT。
3. EV3: I2C_STS1.TXDATE=1，移位寄存器非空，数据寄存器空，写 DAT 将清除该事件。
4. EV3-2: I2C_STS1.ACKFAIL=1，在 STS1 的 ACKFAIL 位写“0”可清除该事件。
5. EV10: I2C_STS1.FIFOHE=1，I2C_STS1.FIFOE=1，写 FIFODAT，可以多次写入，I2C_STS1.FIFOHE=0 或者 I2C_STS1.FIFOE=0。

注：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

a) *EV1 和 EV3_1 事件拉长 SCL 低的时间，直到对应的软件序列结束。*

b) *EV3 的软件序列必须在当前字节传输结束之前完成。*

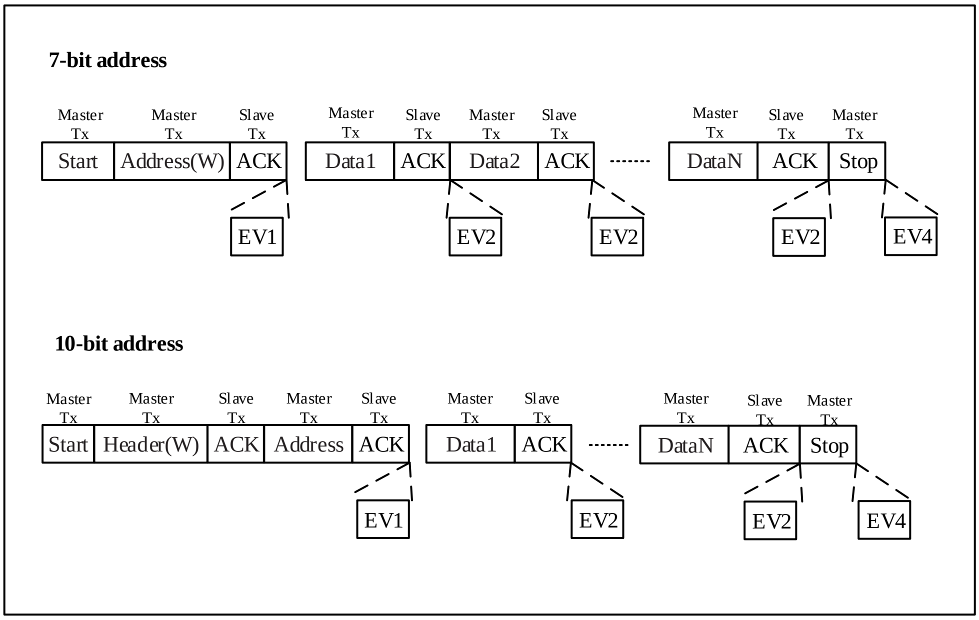
22.3.2.5 I²C 从机接收模式

FIFO 禁能

在从机模式下接收数据时，软件应该按如下步骤操作：

1. 首先，使能 I²C 外设时钟，配置 I2C_CTRL1 中时钟相关寄存器，确保输出正确的 I²C 时序。当这两步都完成以后，I²C 运行在从机模式下，等待接收起始位和地址。
2. 在接收到 START 起始条件和匹配的 7 位或 10 地址之后，I²C 硬件将 I2C_STS1.ADDRF 位（接收到了地址并且和自身的地址匹配）置 1，此位应该通过软件轮询或者中断来检测，发现置起后，软件通过先读 I2C_STS1 寄存器然后再读 I2C_STS2 寄存器来清除 I2C_STS1.ADDRF 位。一旦 I2C_STS1.ADDRF 位被清 0，I²C 从机就开始接收来自 I²C 总线的数据。
3. 当接收到第一个字节后，I2C_STS1.RXDATNE 位（接收数据非空）被硬件置 1，如果设置了 I2C_CTRL2.EVTINTEN 和 I2C_CTRL2.BUFINTEN 位，则产生一个中断。软件应该通过轮询或者中断来检测该位，一旦发现置起后，软件可以读取 I2C_DAT 寄存器的第一个字节，此时 I2C_STS1.RXDATNE 位被清 0。注意，如果设置了 I2C_CTRL1.ACKEN 位，则在接收到一个字节后，从机应该产生一个应答脉冲。
4. 任何时候，只要 I2C_STS1.RXDATNE 位被置 1，软件均可以从 I2C_DAT 寄存器读取一个字节。当接收到最后一个字节后，I2C_STS1.RXDATNE 被置 1，软件读取最后一个字节
5. 当从机检测到 I²C 总线上的停止位（STOP）后，将 I2C_STS1.STOPF 位置 1，如果设置了 I2C_CTRL2.EVTINTEN 位，则产生一个中断。软件通过先读 I2C_STS1 寄存器再写 I2C_CTRL1 寄存器来清除 I2C_STS1.STOPF 位（（见下图的 EV4））。

图 22-5 从机接收器传送序列



FIFO 使能

在从机模式下接收数据时，软件应该按如下步骤操作：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

1. 首先，使能 I2C 外设时钟，配置 BYTENUM 寄存器，从机要接收多少个 byte 的数据，配置 I2C_CTRL1 中时钟相关寄存器，确保输出正确的 I2C 时序。当这两步都完成以后，I2C 运行在从机模式下，等待接收起始位和地址。

注：FIFOEN 打开时必须要关闭 BUFINTEN；使用 DMA 时需要使能 DMAFIFOEN，关闭 DMAEN。

2. 在接收到 START 起始条件和匹配的 7 位或 10 地址之后，I2C 硬件将 I2C 状态寄存器 I2C_STS1.ADDRF 位（接收到了地址并且和自身的地址匹配）置 1，此位应该通过软件轮询或者中断来检测，发现置起后，软件通过先读 I2C_STS1 寄存器然后再读 I2C_STS2 寄存器来清除 ADDRF 位。一旦 I2C_STS1.ADDRF 位被清 0，I2C 从机就开始接收来自 I2C 总线的数据。

3. 当接收到第一个字节后，硬件把数据写入 FIFO 中，如果设置了 I2C_CTRL2.FIFOHFINTEN 和 I2C_CTRL2.FIFOFINTEN 位，则产生一个中断。软件应该通过轮询或者中断来检测该位，一旦发现

4. FIFOF 或 FIFOHF，软件可以通过读取 I2C_FIFODAT 寄存器获得接收到的数据。注意，如果设置了 I2C_CTRL1.ACKEN 位，则在接收到一个字节后，从机应该产生一个应答脉冲。

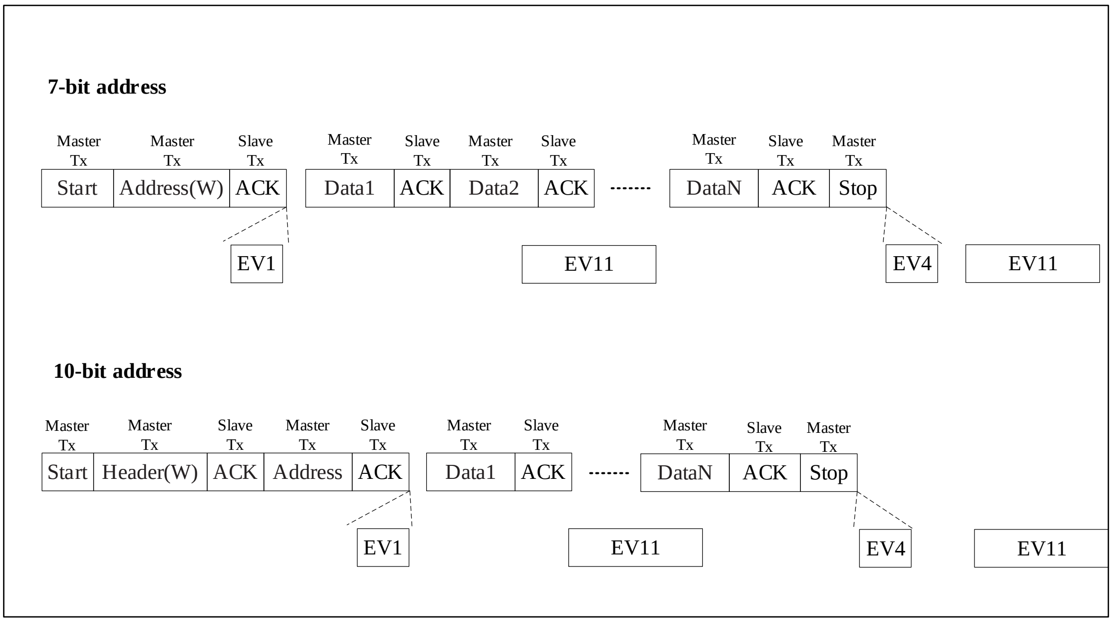
5. 任何时候，只要 I2C_STS1.FIFOHF 或 FIFOF 位被置 1，软件均可以从 I2C_FIFODAT 寄存器读取一个字节。

注：如果 PECEN 置位，接收的最后一个字节为校验数据，可通过 PECERR 判断校验数据是否正确。在关闭外设使能之前需要把接收的数据从 fifo 中读取处理;

6. 当从机检测到 I2C 总线上的停止位（STOP）后，将 I2C_STS1.STOPF 位置 1，如果设置了 I2C_CTRL2.EVTINTEN 位，则产生一个中断。软件通过先读 I2C_STS1 寄存器再写 I2C_CTRL1 寄存器来清除 I2C_STS1.STOPF 位（（见下图的 EV4））。

7. 如果 I2C_STS1.FIFOHF=1，读 FIFODAT，可以多次读取，至 FIFOHF=0，从机接收通信完成，进行 fifo 清除，通过配置 I2C_CTRL1.FIFOCLR.

图 22-6 FIFO 使能从机接收器传送序列



说明：

1. EV1: I2C_STS1.ADDRF = 1，读 STS1 然后读 STS2 将清除该事件。.

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

2. EV2: I2C_STS1.RXDATNE =1, 读 DAT 将清除该事件。
3. EV4: I2C_STS1.STOPF=1, 读 STS1 然后写 CTRL1 寄存器将清除该事件。
4. EV11:I2C_STS1.FIFOHF=1，读 FIFODAT，可以多次读取，至 I2C_STS1.FIFOHF=0。

注：a）EV1 事件拉长 SCL 低的时间，直到对应的软件序列结束。

b）EV2 的软件序列必须在当前字节传输结束之前完成。

22.3.2.6 I²C 主机发送模式

FIFO 禁能

在主模式时，I²C 接口启动数据传输并产生时钟信号。串行数据传输总是以起始条件开始并以停止条件结束。当通过 START 位在总线上产生了起始条件，设备就进入了主模式。

在主机模式下发送数据到 I²C 总线时，软件应该按如下步骤操作：

1. 首先，使能 I²C 外设时钟，配置 I2C_CTRL1 中时钟相关寄存器，确保输出正确的 I²C 时序。当这两步都完成以后，I²C 默认运行在从机模式下，等待接收起始位和地址。
2. 当 BUSY=0 时，设置 I2C_CTRL1.STARTGEN 位为 1，I²C 接口将产生一个开始条件并切换至主模式（I2C_STS2.MSMODE 位置位）。
3. 一旦发出开始条件，I²C 硬件将 I2C_STS1.STARTBF 位（起始位标志）置 1 然后进入主机模式，如果设置了 I2C_CTRL2.EVTINTEN 位，则会产生一个中断。接着软件读 I2C_STS1 寄存器然后写一个 7 位地址位或带有地址头的 10 位地址位到 I2C_DAT 寄存器来清除 I2C_STS1.STARTBF 位。I2C_STS1.STARTBF 位被清 0 后 I²C 就开始发送地址或者地址头到 I²C 总线。

   在 10 位地址模式时，发送一个头序列会产生以下事件：

   - I2C_STS1.ADDR10F 位被硬件置位，如果设置了 I2C_CTRL2.EVTINTEN 位，则产生一个中断。然后主设备读 STS1 寄存器，再将第二个地址字节写入 DAT 寄存器。
   - I2C_STS1.ADDRF 位被硬件置位，如果设置了 I2C_CTRL2.EVTINTEN 位，则产生一个中断。随后主设备读 STS1 寄存器，跟着读 STS2 寄存器。

   注：在发送器模式，主设备先发送头字节（11110xx0），然后发送从地址的低 8 位。（这里 xx 代表 10 位地址中的最高 2 位）。

   在 7 位地址模式时，只需送出一个地址字节，一旦该地址字节被送出：

   - ADDRF 位被硬件置位，如果设置了 EVTINTEN 位，则产生一个中断。随后主设备等待一次读 STS1 寄存器，跟着读 STS2 寄存器。

   注：在发送器模式，主设备发送从地址时置最低位为'0'。

   主机发送且为 7 位地址模式时，从机地址不能配置成 0xF0、0xF2、0xF4 或 0xF6。

4. 7 位或 10 位的地址位发送完成后，I²C 硬件将 I2C_STS1.ADDRF 位（地址已被发送）置 1，如果设置了 I2C_CTRL2.EVTINTEN 位，则产生一个中断，软件通过读 I2C_STS1 寄存器然后读 I2C_STS2 寄存器来清除 I2C_STS1.ADDRF

5. I²C 进入数据发送状态，因为移位寄存器和数据寄存器（I2C_DAT）都是空的，所以硬件将 I2C_STS1.TXDATE 位（发送数据空）置 1，接着软件写第一个字节数据到 I2C_DAT 寄存器，但是，因为写入 I2C_DAT 寄存器的字节被立即移入内部移位寄存器，所以 I2C_STS1.TXDATE 位此时不会被清零。一旦

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

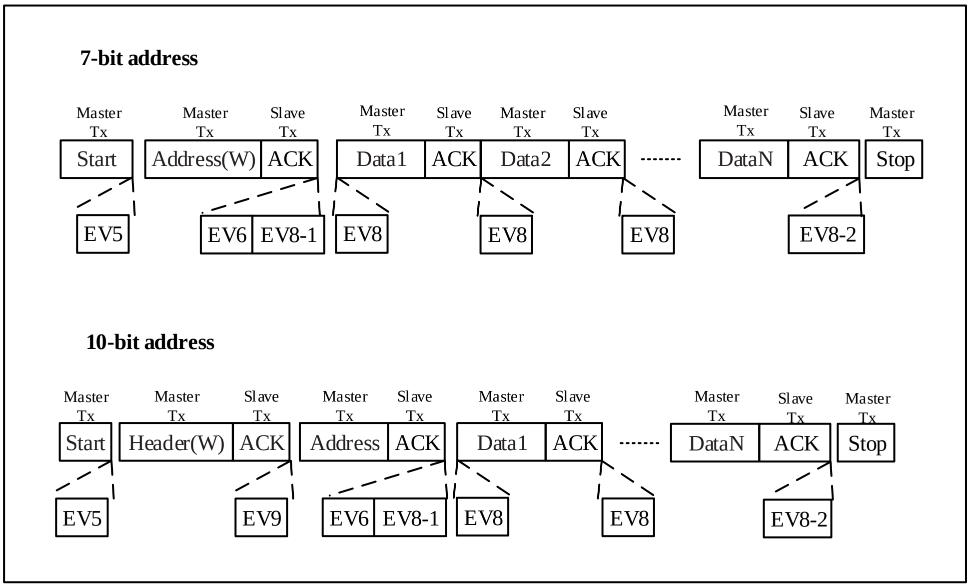
移位寄存器非空，I^2C 就开始发送数据到总线。

6. 在第一个字节的发送过程中，软件写第二个字节到 I2C_DAT，此时 I2C_STS1.TXDATE 被清零。任何时候，只要还有数据等待被发送，且 I2C_STS1.TXDATE 位被置 1，软件都可以向 I2C_DAT 寄存器写入一个字节。

7. 在倒数第二个字节发送过程中，软件写入最后一个字节数据到 I2C_DAT 来清除 I2C_STS1.TXDATE 标志位，此后就不用关心 I2C_STS1.TXDATE 位的状态。I2C_STS1.TXDATE 位会在倒数第二个字节发送完成后被置起，直到发送停止位（STOP）时被清零。

8. 最后一个字节发送结束后，因为移位寄存器和 I2C_DAT 寄存器此时都为空，I^2C 主机将 I2C_STS1.BSF 位（字节发送结束）置位，在清除 I2C_STS1.BSF 位之前 I^2C 接口将保持 SCL 为低电平；读出 I2C_STS1 之后再写入 I2C_DAT 寄存器将清除 I2C_STS1.BSF 位。软件此时设置 I2C_CTRL1.STOPGEN 位产生一个停止条件，然后 I^2C 接口将自动回到从模式（I2C_STS2.MSMODE 位清除）。

图 22-7 主发送器传送序列



FIFO 使能

在主机模式下发送数据到 I2C 总线时，软件应该按如下步骤操作：

1. 首先，使能 I2C 外设时钟，配置 I2C_CTRL1 中时钟相关寄存器，确保输出正确的 I2C 时序。当这两步都完成以后，I2C 默认运行在从机模式下。

注：I2C_CTRL1.FIFOEN 打开时必须要关闭 I2C_CTRL2.BUFINTEN；使用 DMA 时需要使能 DMAFIFOEN，关闭 DMAEN。

2. 当 BUSY=0 时，设置 I2C_CTRL1 寄存器中的 STARTGEN 位为 1，I2C 接口将产生一个开始条件并切换至主模式（MSMODE 位置位）。

3. 一旦发出开始条件，I2C 硬件将 I2C_STS1 的 STARTBF 位（起始位标志）置 1 然后进入主机模式，如果设置了 EVTINTEN 位，则会产生一个中断。接着软件读 I2C_STS1 寄存器然后写一个 7 位地址位或带有地址头的 10 位地址位到 I2C_DAT 寄存器来清除 STARTBF 位。STARTBF 位被清 0 后 I2C 就开始发送地址或者地址头到 I2C 总线。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

在 10 位地址模式时，发送一个头序列会产生以下事件：

- ADDR10F 位被硬件置位，如果设置了 EVTINTEN 位，则产生一个中断。然后主设备读 STS1 寄存器，再将第二个地址字节写入 DAT 寄存器。
- ADDRF 位被硬件置位，如果设置了 EVTINTEN 位，则产生一个中断。随后主设备读 STS1 寄存器，跟着读 STS2 寄存器

注：在发送器模式，主设备先发送头字节（11110xx0），然后发送从地址的低 8 位。（这里 xx 代表 10 位地址中的最高 2 位）。

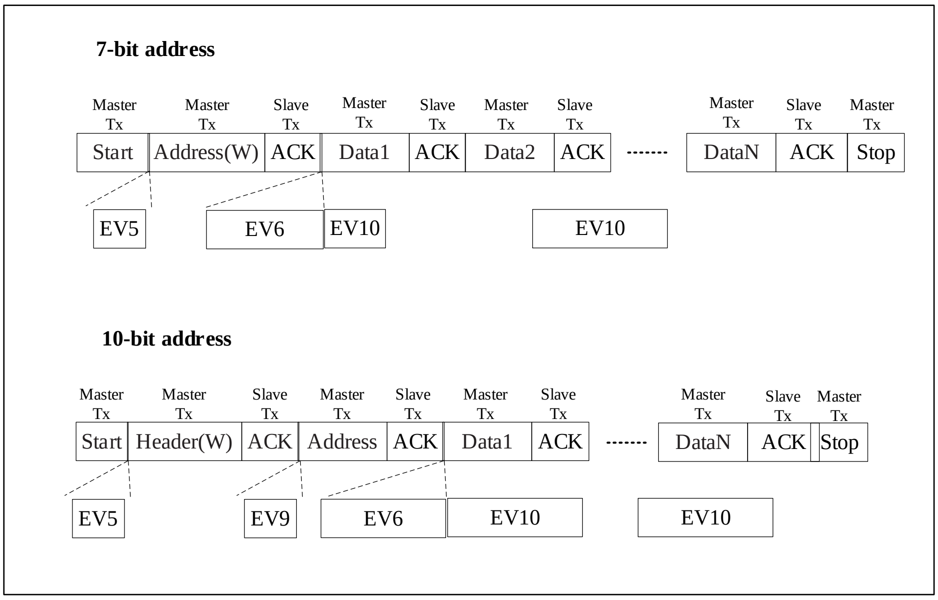
在 7 位地址模式时，只需送出一个地址字节，一旦该地址字节被送出：

- ADDRF 位被硬件置位，如果设置了 EVTINTEN 位，则产生一个中断。随后主设备等待一次读 STS1 寄存器，跟着读 STS2 寄存器。

注：在发送器模式，主设备发送从地址时置最低位为‘0’。

4. 7 位或 10 位的地址位发送完成后，I2C 硬件将 ADDRF 位（地址已被发送）置 1，如果设置了 EVTINTEN 位，则产生一个中断，软件通过读 I2C_STS1 寄存器然后读 I2C_STS2 寄存器来清除 ADDRF
5. I2C 进入数据发送状态，判断 I2C_STS1.FIFOHE 和 FIFOE 为 1，软件执行把要发送的数据写入 FIFODAT 寄存器；发送的数据从 FIFODAT 移入移位寄存器进行发送，该操作有硬件自主操作直至 FIFO 数据发送完成。
6. 最后一个字节发送结束后，因为移位寄存器和 I2C_FIFODAT 寄存器此时都为空，I2C 主机将 BSF 位（字节发送结束）置位，在清除 BSF 位之前 I2C 接口将保持 SCL 为低电平；读出 I2C_STS1 之后再写入 I2C_DAT 寄存器将清除 BSF 位。软件此时设置 STOPGEN 位产生一个停止条件（见图 19-5 的 EV8_2），然后 I2C 接口将自动回到从模式（MSMODE 位清除）。

图 22-8 FIFO 使能主发送器传送序列



说明：

1. EV5: I2C_STS1.STARTBF = 1，读 STS1 然后将地址写入 DAT 寄存器将清除该事件。
2. EV6: I2C_STS1.ADDRF = 1，读 STS1 然后读 STS2 将清除该事件。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

3. EV8_1: I2C_STS1.TXDATE = 1, 移位寄存器空，数据寄存器空，写 DAT 寄存器。
4. EV8: I2C_STS1.TXDATE = 1, 移位寄存器非空，数据寄存器空，写 DAT 寄存器将清除该事件。
5. EV8_2: I2C_STS1.TXDATE = 1, I2C_STS1.BSF = 1, 请求设置停止位。这两个事件由硬件在产生停止条件时清除。
6. EV9: I2C_STS1.ADDR10F = 1, 读 STS1 然后写入 DAT 寄存器将清除该事件。
7. EV10:I2C_STS1.FIFOHE=1，I2C_STS1.FIFOE=1，写 FIFODAT，可以多次写入，I2C_STS1.FIFOHE=0 或者 FIFOE=0。

注：a）EV5、EV6、EV9、EV8_1 和 EV8_2 事件拉长 SCL 低的时间，直到对应的软件序列结束。

b）EV8 的软件序列必须在当前字节传输结束之前完成。

c）当 TXDATE 或 BSF 位置位时，停止条件应安排在出现 EV8_2 事件时。

22.3.2.7 I²C 主机接收模式

FIFO 禁能

在主机模式下从 I²C 总线接收数据软件应该按如下步骤操作：

1. 首先，使能 I²C 外设时钟，配置 I2C_CTRL1 中时钟相关寄存器，确保输出正确的 I²C 时序。使能和配置以后，I²C 默认运行在从机模式下，等待接收起始位和地址。
2. 当 BUSY=0 时，设置 I2C_CTRL1.STARTGEN 位为 1，I²C 接口将产生一个开始条件并切换至主模式（I2C_STS2.MSMODE 位置位），
3. 一旦发出开始条件，I²C 硬件将 I2C_STS1.STARTBF 位（起始位标志）置 1 然后进入主机模式，如果设置了 I2C_CTRL2.EVTINTEN 位，则会产生一个中断。接着软件读 I2C_STS1 寄存器然后写一个 7 位地址位或带有地址头的 10 位地址位到 I2C_DAT 寄存器来清除 I2C_STS1.STARTBF 位。I2C_STS1.STARTBF 位被清 0 后 I²C 就开始发送地址或者地址头到 I²C 总线。

   在 10 位地址模式时，发送一个头序列会产生以下事件：

   - I2C_STS1.ADDR10F 位被硬件置位，如果设置了 I2C_CTRL2.EVTINTEN 位，则产生一个中断。然后主设备读 STS1 寄存器，再将第二个地址字节写入 DAT 寄存器。
   - I2C_STS1.ADDRF 位被硬件置位，如果设置了 I2C_CTRL2.EVTINTEN 位，则产生一个中断。随后主设备读 STS1 寄存器，跟着读 STS2 寄存器。

   注：在接收器模式，主设备先发送头字节（11110xx0），然后发送从地址的低 8 位，然后再重新发送一个开始条件，后面跟着头字节（11110xx1）（这里 xx 代表 10 位地址中的最高 2 位）。

   在 7 位地址模式时，只需送出一个地址字节，一旦该地址字节被送出：

   - I2C_STS1.ADDRF 位被硬件置位，如果设置了 I2C_CTRL2.EVTINTEN 位，则产生一个中断。随后主设备等待一次读 STS1 寄存器，跟着读 STS2 寄存器。

   注：在接收器模式，主设备发送从地址时置最低位为‘1’。

4. 7 位或 10 位的地址位发送完成后，I²C 硬件将 I2C_STS1.ADDRF 位（地址已被发送）置 1，如果设置了 I2C_CTRL2.EVTINTEN 位，则产生一个中断，软件通过读 I2C_STS1 寄存器然后读 I2C_STS2 寄存器来清除 I2C_STS1.ADDRF，在发送地址和清除 I2C_STS1.ADDRF 之后，如果地址是 10 位格式，软件应该再次将 STARTGEN 位置 1 来重新产生一个 START（Sr)。在 START 产生后，I2C_STS1.STARTBF 位

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

会被置 1。软件应该通过先读 I2C_STS1 然后写地址头到 I2C_DAT 来清除 I2C_STS1.STARTBF 位，然后地址头被发到 I²C 总线，ADDRF 再次被置 1。软件应该再次通过先读 I2C_STS1 然后读 I2C_STS2 来清除 I2C_STS1.ADDRF 位。

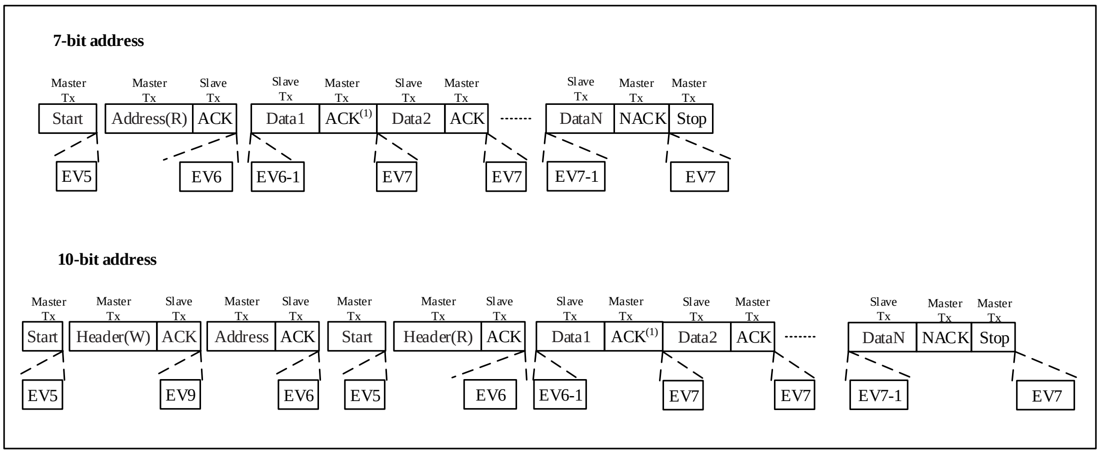
5. 在发送完地址和清除 I2C_STS1.ADDRF 之后，I²C 接口进入主机接收器模式。在此模式下，I²C 接口从 SDA 线接收数据字节，并通过内部移位寄存器送至 DAT 寄存器。一旦接收到第一个字节，硬件会将 I2C_STS1.RXDATNE 位（接收数据非空标志位）置 1，如果 ACKEN 位被置位，发出一个应答脉冲。此时软件可以从 I2C_DAT 寄存器读取第一个字节，之后 I2C_STS1.RXDATNE 位被清 0。此后，只要 I2C_STS1.RXDATNE 被置 1，软件就可以从 I2C_DAT 寄存器读取一个字节。

6. 主设备在从从设备接收到最后一个字节后发送一个 NACK。接收到 NACK 后，从设备释放对 SCL 和 SDA 线的控制；主设备就可以发送一个停止/重新起始条件。为了在收到最后一个字节后产生一个 NACK 脉冲，接收完倒数第二个字节(N-1)数据之后，软件应该立即清除 ACKEN 位。为了产生一个停止/重新起始条件，软件必须在读倒数第二个数据字节之后将 I2C_CTRL1.STOPGEN 位或者 I2C_CTRL1.STARTGEN 置 1，这一过程需要在最后一个字节接收完毕之前完成，以确保 NACK 发送给最后一个字节。

7. 最后一个字节接收完毕后，I2C_STS1.RXDATNE 位被置 1，软件可以读取最后一个字节。由于 I2C_CTRL1.ACKEN 已经在前一步骤中被清 0，I²C 不再为最后一个字节发送 ACK，并在最后一个字节发送完毕后产生一个 STOP 停止位。

注意：以上步骤要求字节数目 N>1，如果 N=1，步骤 6 应该在步骤 4 之后就执行，且需要在字节接收完成之前完成。

图 22-9 主接收器传送序列图



FIFO 使能

在主机模式下从 I2C 总线接收数据软件应该按如下步骤操作：

1. 首先，使能 I2C 外设时钟，配置 BYTENUM 寄存器，主机要接收多少个 byte 的数据，配置 I2C_CTRL1 中时钟相关寄存器，确保输出正确的 I2C 时序。使能和配置以后，I2C 默认运行在从机模式下，等待接收起始位和地址。

注：FIFOEN 打开时必须要关闭 BUFINTEN；使用 DMA 时需要使能 DMAFIFOEN，关闭 DMAEN。

2. 当 BUSY=0 时，设置 I2C_CTRL1 寄存器中的 STARTGEN 位为 1，I2C 接口将产生一个开始条件并切换至主模式（MSMODE 位置位），

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

3. 一旦发出开始条件，I2C 硬件将 I2C_STS1 的 STARTBF 位（起始位标志）置 1 然后进入主机模式，如果设置了 EVTINTEN 位，则会产生一个中断。接着软件读 I2C_STS1 寄存器然后写一个 7 位地址位或带有地址头的 10 位地址位到 I2C_DAT 寄存器来清除 STARTBF 位。STARTBF 位被清 0 后 I2C 就开始发送地址或者地址头到 I2C 总线。

   在 10 位地址模式时，发送一个头序列会产生以下事件：

   - ADDR10F 位被硬件置位，如果设置了 EVTINTEN 位，则产生一个中断。然后主设备读 STS1 寄存器，再将第二个地址字节写入 DAT 寄存器。
   - ADDRF 位被硬件置位，如果设置了 EVTINTEN 位，则产生一个中断。随后主设备读 STS1 寄存器，跟着读 STS2 寄存器。

   注：在接收器模式，主设备先发送头字节（11110xx0），然后发送从地址的低 8 位，然后再重新发送一个开始条件，后面跟着头字节（11110xx1）（这里 xx 代表 10 位地址中的最高 2 位）。

   在 7 位地址模式时，只需送出一个地址字节，一旦该地址字节被送出：

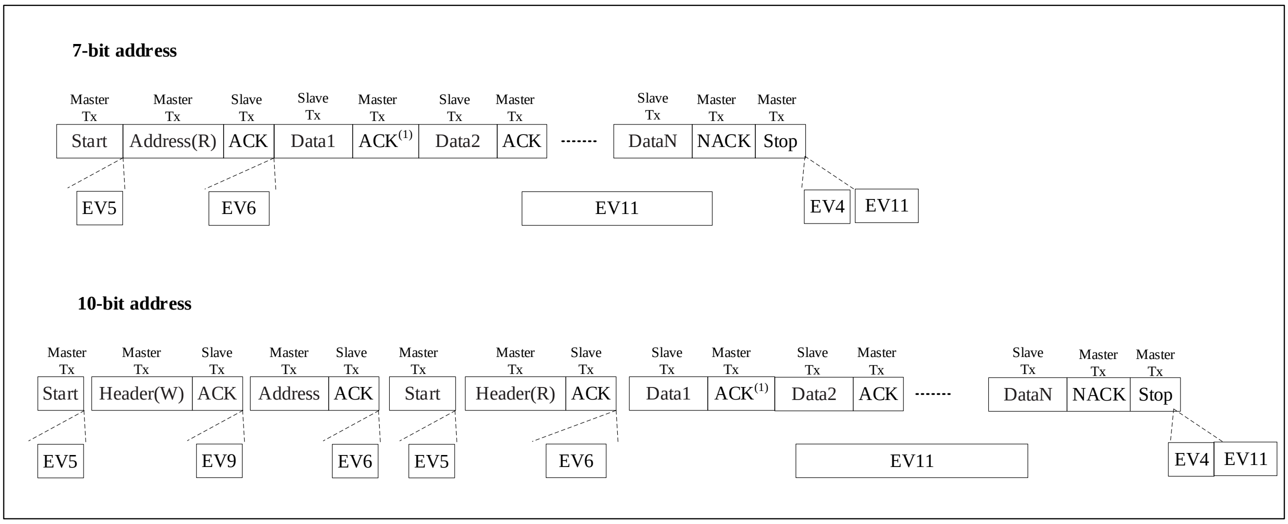
   - ADDRF 位被硬件置位，如果设置了 EVTINTEN 位，则产生一个中断。随后主设备等待一次读 STS1 寄存器，跟着读 STS2 寄存器。

   注：在接收器模式，主设备发送从地址时置最低位为'1'。

4. 7 位或 10 位的地址位发送完成后，I2C 硬件将 ADDRF 位（地址已被发送）置 1，如果设置了 EVTINTEN 位，则产生一个中断，软件通过读 I2C_STS1 寄存器然后读 I2C_STS2 寄存器来清除 ADDRF 在发送地址和清除 ADDRF 之后，如果地址是 10 位格式，软件应该再次将 STARTGEN 位置 1 来重新产生一个 START（Sr）。在 START 产生后，STARTBF 位会被置 1。软件应该通过先读 I2C_STS1 然后写地址头到 I2C_DAT 来清除 STARTBF 位，然后地址头被发到 I2C 总线，ADDRF 再次被置 1。软件应该再次通过先读 I2C_STS1 然后读 I2C_STS2 来清除 ADDRF 位。
5. 在发送完地址和清除 ADDRF 之后，I2C 接口进入主机接收器模式。在此模式下，I2C 接口从 SDA 线接收数据字节，并通过内部移位寄存器送至 FIFODAT 寄存器。
6. 主设备在从从设备接收到最后一个字节后发送一个 NACK。接收到 NACK 后，从设备释放对 SCL 和 SDA 线的控制；主设备就可以发送一个停止/重新起始条件。
7. 当检测到 I2C 总线上的停止位（STOP）后，将 I2C_STS1.STOPF 位置 1，如果设置了 I2C_CTRL2.EVTINTEN 位，则产生一个中断。软件通过先读 I2C_STS1 寄存器再写 I2C_CTRL1 寄存器来清除 I2C_STS1.STOPF 位（（见下图的 EV4））。
8. 如果 FIFOHF=1，读 FIFODAT，可以多次读取，至 FIFOHF=0，从机接收通信完成，进行 fifo 清除，通过配置 I2C_CTRL1.FIFOCLR。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 22-10 FIFO 使能主接收器传送序列图



说明:

1. EV4: I2C_STS1.STOPF=1，读 STS1 然后写 CTRL1 寄存器将清除该事件。
2. EV5: I2C_STS1.STARTBF=1，读 STS1 然后将地址写入 DAT 寄存器清除该事件。
3. EV6: I2C_STS1.ADDRF=1，读 STS1 然后读 STS2 将清除该事件。在 10 位主接收模式下，该事件后应设置 CTRL1 的 STARTGEN=1。
4. EV6_1: 没有对应的事件标志，至适于接收 1 个字节的情况。恰好在 EV6 之后（即清除了 ADDRF 之后），要清除响应和停止条件的产生位。
5. EV7: I2C_STS1.RXDATNE=1,读 DAT 寄存器消除该事件。
6. EV7_1: I2C_STS1.RXDATNE =1，读 DAT 寄存器清除该事件。设置 I2C_CTRL1.ACKEN=0 和 I2C_CTRL1.STOPGEN=1.
7. EV9: I2C_STS1.ADDR10F=1，读 STS1 然后写入 DAT 寄存器将清除该事件。
8. EV11:I2C_STS1.FIFOHF=1，读 FIFODAT，可以多次读取，至 FIFOHF=0。

注：

a) 如果收到一个单独的字节，则是NA。

b) EV5、EV6和EV9事件拉长SCL低电平，直到对应的软件序列结束。

c) EV7的软件序列必须在当前字节传输结束前完成。

d) EV6_1或EV7_1的软件序列必须在当前传输字节的ACK脉冲之前完成。

22.3.3 错误条件

I^2C 的错误主要有总线错误、应答错误、仲裁丢失、过载/欠载错误。这些错误都可能造成通讯的失败。

22.3.3.1 应答错误（ACKFAIL）

当接口检测到应答位与期望不符时，将产生应答错误。此时 I2C_STS1.ACKFAIL 被置位，如果设置了

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

I2C_CTRL2.ERRINTEN 位，则产生一个中断。当发送器接收到一个 NACK 时，必须复位通讯：如果时处于从模式，硬件会释放总线。如果是处于主模式，软件必须生产一个停止条件。

22.3.3.2 总线错误 (BUSERR)

在一个地址或数据字节传输期间，当 I^2C 接口检测到一个外部的停止或起始条件则产生总线错误，I2C_STS1.BUSERR 被置位。如果设置了 I2C_CTRL2.ERRINTEN 位为“1”，则产生一个中断。

在主模式情况下，硬件不释放总线，同时不影响当前的传输状态。此时由软件决定是否要中止当前的传输。

在从模式情况下，数据被丢弃，硬件释放总线。此时有两种情况：如果检测到错误的开始条件，从设备认为是一个重启动，并等待地址或停止条件。如果检测到错误的停止条件，从设备按正常的停止条件操作，同时硬件释放总线。

22.3.3.3 仲裁丢失 (ARLOST)

当 I^2C 接口检测到仲裁丢失时产生仲裁丢失错误，硬件释放总线，I2C_STS1.ARLOST 位被置位。如果设置了 I2C_CTRL2.ERRINTEN 位为“1”，则产生一个中断。

I^2C 接口自动回到从模式（I2C_STS2.MSMODE 位被清除）。当 I^2C 接口丢失了仲裁，则它无法在同一个传输中响应它的从地址，但它可以在赢得总线的主设备重新发送起始条件之后响应。否则硬件释放总线。

22.3.3.4 过载/欠载错误 (OVERRUN)

在从机接收模式下，如果禁止时钟延长，容易发生过载/欠载错误。

当它已经接收到一个字节（I2C_STS1.RXDATNE=1），但在 DAT 寄存器中前一个字节数据还没有被读出，则发生过载错误，数据寄存器最后接收的数据被丢弃；同时软件应清除 I2C_STS1.RXDATNE 位，发送器重新发送最后一次发送的字节。

在从机发送模式下，如果禁止时钟延长，在当前字节已经发送完成，而 DAT 仍然为空（I2C_STS1.TXDATE=1），则发生欠载错误。此时，在 DAT 寄存器中的前一个字节将被重复发出；用户应该确定在发生欠载错时，接收端应丢弃重复接收到的数据。发送端应按 I^2C 总线标准在规定的时间更新 I2C_DAT 寄存器。

在发送第一个字节时，必须在清除 I2C_STS1.ADDRF 之后并且第一个 SCL 上升沿之前写入 I2C_DAT 寄存器；如果不能做到这点，则接收方应该丢弃第一个数据。

22.3.4 DMA 应用

在传输时，当数据寄存器为空或满时，能够生成 DMA 请求。DMA 能够写数据到 I^2C 数据寄存器，或从 I^2C 数据寄存器读出数据以减少 CPU 的开销。

DMA 请求必须在当前字节传输结束之前被响应。当相应 DMA 通道设置的数据传输已经完成时，DMA 控制器发送传输结束信号 EOT 到 I^2C 接口，并且在中断使能时产生一个传输完成（EOT）中断。

在主机发送模式，在 EOT 中断服务程序中，需禁止 DMA 请求，然后在等到 I2C_STS1.BSF 事件后设置停止条件。

在主机接收模式，当要接收的数据数目大于或等于 2 时，DMA 控制器发送一个硬件信号 EOT_1，它对应 DMA 传输（字节数－1）。如果设置了 I2C_CTRL2.DMALAST 位，硬件在发送完 EOT_1 后的下一个字节，将自动发送 NACK。在中断允许的情况下，用户可以在 DMA 传输完成的中断服务程序中产生一个停止条件。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

22.3.4.1 发送流程

关闭DMA burst功能

DMA 模式通过设置 I2C_CTRL2.DMAEN 位使能。只要 I2C_STS1.TXDATE 位被置位，数据将由 DMA 从预置的存储区装载进 I2C_DAT 寄存器。设置 DMA 通道进行 I^2C 发送，须执行以下步骤（x 是通道号）：

1. 在 DMA_PADDRx 寄存器中设置 I2C_DAT 寄存器地址。数据将在每个 I2C_STS1.TXDATE 事件后从存储器传送至这个地址。
2. 在 DMA_MADDRx 寄存器中设置存储器地址。数据在每个 I2C_STS1.TXDATE 事件后从这个存储区传送至 I2C_DAT。
3. 在 DMA_TXNUMx 寄存器中设置所需传输的字节数。在每个 I2C_STS1.TXDATE 事件后，此值递减，直到 0。
4. 利用 DMA_CHCFGx 寄存器中的 PRIOLVL[1:0]位配置通道优先级。
5. 设置 DMA_CHCFGx 寄存器中的 DIR 位，并根据应用要求可以配置在整个传输完成一半或全部完成时发出中断请求。
6. 通过设置 DMA_CHCFGx 寄存器上的 CHEN 位激活通道。
7. 当DMA控制器中设置的数据传输数目已经完成时，DMA控制器给I^2C接口发送一个传输结束的EOT/EOT_1信号。在中断允许的情况下，将产生一个DMA中断。

打开DMA burst功能

DMA 模式通过 I2C_CTRL2 寄存器中的 DMAFIFOEN 位使能（无需打开 DMAEN）。只要 I2C_STS1.FIFOHE 位被置位，数据将由 DMA 从预置的存储区装载进 I2C_FIFODAT 寄存器。设置 DMA 通道进行 I2C 发送，须执行以下步骤（x 是通道号）：

1. 配置打开DMA burst使能，DMA_BURSTEN.BURST_BYPASS位置0；
2. 配置DMA_CHCFGx.BLEN长度(如果是M2P、P2M模式，DMA_CHCFGx.BLEN的值需要和外设FIFO阈值匹配)，配置配置通道DMA_CHCFGx.BURST_MODE；
3. 配置I2C FIFO阈值，I2C_CTRL1. THRFIFOF和I2C_CTRL1. THRFIFOE。
4. 在DMA_PADRx寄存器中设置I2C_FIFODAT寄存器地址。数据将在每个I2C_STS1.FIFOHE事件后从存储器传送至这个地址。
5. 在DMA_ MADDRx寄存器中设置存储器地址。数据在每个I2C_STS1.FIFOHE事件后从这个存储区传送至I2C_FIFODAT。（当剩余发送数据低于阈值时，通过fifo非满状态及FIFOF来指示单次dma请求）
6. 在DMA_TXNUMx寄存器中设置所需传输的字节数。在每个I2C_STS1.FIFOHE事件后，此值递减阈值，直到0。
7. 利用DMA_CHCFGx寄存器中的PRIOLVL位配置通道优先级。
8. 设置DMA_CHCFGx寄存器中的DIR位，并根据应用要求可以配置在整个传输完成一半或全部完成时发出中断请求。
9. 通过设置DMA_CHCFGx寄存器上的CHEN位激活通道。
10. 当DMA控制器中设置的数据传输数目已经完成时，DMA控制器给I2C接口发送一个传输结束的EOT/EOT_1信号。在中断允许的情况下，将产生一个DMA中断。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

注：如果使用 DMA 进行发送时，不要设置 I2C_CTRL2 寄存器的 BUFINTEN 位。

22.3.4.2 接收流程

关闭DMA burst功能

DMA 模式通过设置 I2C_CTRL2.DMAEN 位使能。每次接收到数据字节时，将由 DMA 把 I2C_DAT 寄存器的数据传送到设置的存储区。设置 DMA 通道进行 I2C 接收，须执行以下步骤（x 是通道号）

1. 在 DMA_PADDRx 寄存器中设置 I2C_DAT 寄存器的地址。数据将在每次 I2C_STS1.RXDATNE 事件后从此地址传送到存储区。
2. 在 DMA_MADDRx 寄存器中设置存储区地址。数据将在每次 I2C_STS1.RXDATNE 事件后从 I2C_DAT 寄存器传送到此存储区。
3. 在 DMA_TXNUMx 寄存器中设置所需的传输字节数。在每个 I2C_STS1.RXDATNE 事件后，此值递减，直到 0。
4. 用 DMA_CHCFGx 寄存器中的 PRIOLVL 配置通道优先级。
5. 清除 DMA_CHCFGx 寄存器中的 DIR 位，根据应用要求可以设置在数据传输完成一半或全部完成时发出中断请求。
6. 设置 DMA_CHCFGx 寄存器中的 CHEN 位激活该通道。

当 DMA 控制器中设置的数据传输数目已经完成时，DMA 控制器给 I2C 接口发送一个传输结束的 EOT/EOT_1 信号。在中断允许的情况下，将产生一个 DMA 中断。

打开DMA burst功能

DMA 模式通过 I2C_CTRL2 寄存器中的 DMAFIFOEN 位使能（无需打开 DMAEN）。只要 I2C_STS1.FIFOHE 位被置位，数据将由 DMA 从 I2C_FIFODAT 寄存器装载进预置的存储区。设置 DMA 通道进行 I2C 接收，须执行以下步骤（x 是通道号）：

1. 配置打开DMA burst使能，DMA_BURSTEN.BURST_BYPASS位置0；
2. 配置DMA_CHCFGx.BLEN长度(如果是M2P、P2M模式，DMA_CHCFGx.BLEN的值需要和外设FIFO阈值匹配)，配置配置通道DMA_CHCFGx.BURST_MODE；
3. 配置I2C FIFO阈值，I2C_CTRL1. THRFIFOF和I2C_CTRL1. THRFIFOE。
4. 在DMA_PADDRx寄存器中设置I2C_FIFODAT寄存器地址。数据将在每个I2C_STS1.FIFOHE事件后从这个地址传送至存储器。
5. 在DMA_MADDRx寄存器中设置存储器地址。数据在每个I2C_STS1.FIFOHE事件后从I2C_FIFODAT传送至这个存储区。（当剩余接收数据低于阈值时，通过fifo非空状态及FIFOE来指示单次dma请求）
6. 在DMA_TXNUMx寄存器中设置所需传输的字节数。在每个I2C_STS1.FIFOHE事件后，此值递减阈值，直到0。
7. 利用DMA_CHCFGx寄存器中的PRIOLVL位配置通道优先级。
8. 设置DMA_CHCFGx寄存器中的DIR位，并根据应用要求可以配置在整个传输完成一半或全部完成时发出中断请求。
9. 通过设置DMA_CHCFGx寄存器上的CHEN位激活通道。

10. 当DMA控制器中设置的数据传输数目已经完成时，DMA控制器给I2C接口发送一个传输结束的EOT/EOT_1信号。在中断允许的情况下，将产生一个DMA中断。

注：如果使用DMA 进行接收时，不要设置I2C_CTRL2 寄存器的BUFINTEN 位。

22.3.5 包错误校验 (PEC)

将 I2C_CTRL1.PECEN 位置 1 就可以使能 PEC 功能，PEC 使用 CRC-8 算法对包括地址和读/写位在内所有信息字节进行计算，从而提高通信的可靠性。包错误校验（PEC）计算器使用的 CRC-8 多项式为 $C(x) = x^8 + x^2 + x + 1$。

在发送模式时，软件可以在最后一个 I2C_STS1.TXDATE 事件时设置 I2C_CTRL1.PEC 传输位，PEC 将在最后一个字节后被发送。在接收模式时，软件在最后一个 I2C_STS1.RXDATNE 事件之后设置 I2C_CTRL1.PEC 位，然后接收 PEC 字节，并将接收到的 PEC 字节与内部计算的 PEC 值进行比较。如果不等于内部计算的 PEC，接收器发送一个 NACK。如果是主机接收器模式，不管校对的结果如何，PEC 后都将发送 NACK。需要注意，I2C_CTRL1.PEC 位必须在接收当前字节的 ACK 脉冲之前设置。

如果 DMA 和 PEC 计算器都被激活，I^2C 将自动发送或者检查 PEC 值。

在发送模式时，当 I^2C 接口从 DMA 控制器处接收到 EOT 信号时，它在最后一个字节后自动发送 PEC。在接收模式时，当 I^2C 接口从 DMA 处接收到一个 EOT_1 信号时，它将自动把下一个字节作为 PEC，并且和内部计算的 PEC 进行比较。在接收到 PEC 后产生一个 DMA 请求。

为了允许中间 PEC 传输，I2C_CTRL2.DMALAST 位用于判别是否真是最后一个 DMA 传输。如果确实是最后一个主接收器的 DMA 请求，在接收到最后一个字节后自动发送 NACK。

当仲裁丢失的时候，PEC 计算失效。

22.3.6 超时错误

SMBus 有一种超时特性：假如某个通信耗时太久，便会自动复位设备。这就是为什么 SMBus 有最小传输速率的要求——为了防止超时后长时间锁死总线。I2C 在本质上可以视为一个“直流”总线，也就是说当主机正在访问从机的时候，假如从机正在执行一些子程序无法及时响应，从机可以拉住主机的时钟。这样便可以提醒主机：从机正忙，但并不想放弃当前的通信。从机的当前任务结束之后，将可以继续 I2C 会话。

N32H49x 系列芯片无论是 I2C 模式还是 SMBUS 模式均支持超时时间配置，包含 SCL 低超时判断、SCL 高超时判断、SDA 低超时判断：

其中 SCL 低电平超时功能通过 I2C_CTRL1.LTC 配置超时阈值，I2C_CTRL2.TOLEN 使能超时判断，SCL 为低的时间超过设置阈值时 I2C_STS1.SCLLTO 置 1，此时若 I2C_CTRL2.SCLTOLIEN 为 1 则产生中断；

SCL 高电平超时功能通过 I2C_CTRL1.HTC 配置超时阈值，I2C_CTRL2.TOHEN 使能超时判断，SCL 为高的时间超过设置阈值时 I2C_STS1.SCLHTO 置 1，此时若 I2C_CTRL2.SCLTOHIEN 为 1 则产生中断；

SDA 低电平超时功能通过 I2C_CTRL1.LTC 配置超时阈值，I2C_CTRL2.TOLEN 使能超时判断，SDA 为低的时间超过设置阈值时 I2C_STS1.SDALTO 置 1，此时若 I2C_CTRL2.SDATOLIEN 为 1 则产生中断；

另外 SMBUS 模式下，会自动开启 SCL 累积低电平超时功能，超时阈值主机固定为 10ms，从机固定为 25ms，SCL 累积为低的时间超过阈值时 I2C_STS1.SCLHTO 置 1，此时若 I2C_CTRL2.SCLTOHIEN 为 1 则产生中断；

从模式超时：从设备复位通讯，硬件释放总线。主模式超时：硬件发出停止条件。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

22.3.7 噪声滤波

I2C 接口标准要求能够过滤在 SCL/SDA 线上的 50ns 的毛刺，因此设计了模拟滤波器和数字滤波器。模拟滤波器默认开启，也可以通过设置 I2C_GFLTRCTRL.SCLAFENN/SDAAFENN 位禁用此功能。模拟滤波器通过配置 I2C_GFLTRCTRL.SCLAFE/SDAAFW 去设置过滤毛刺的宽度 5ns,15ns,25ns,35ns。数字滤波器通过设置 I2C_GFLTRCTRL.SCLDFW/SDADFW 为非 0 值使能。其最大滤波宽度为(I2C_GFLTRCTRL.SCLDFW[3:0]或 I2C_GFLTRCTRL.SDADFW[3:0]）*T_{PCLK}。使能数字滤波器将增加 SDA 线的保持时间，增加值为(SDADFW[3:0]+1)*T_{PCLK}。

22.3.8 SMBus

22.3.8.1 介绍

系统管理总线（System Management Bus，简写为 SMBus 或 SMB）是一种结构简单的单端双线制总线。通过它，各设备之间以及设备与系统的其他部分之间可以互相通信。SMBus 是 I2C 的一种衍生总线形式，为系统和电源管理相关的任务提供一条控制总线。SMBus 基于 I2C 通信标准，是一个与系统管理和电源管理相关的控制总线。想要了解更多信息，请参考 SMBus 规范 V2.0(http://smbus.org/specs/)。

SMBus 有三类设备标准：

- 主设备：发送命令、产生时钟和终止发送设备；
- 从设备：接收或响应命令设备；
- 主机：一个系统仅有一个主机，它提供与系统 CPU 的主接口。主机具有主-从机功能并必须支持 SMBus 提醒协议。

SMBus 与 I2C 的相似点：

- 总线协议都是两条线（一个时钟线 SCL 和一个数据线 SDA），再加一条可选的 SMBus 提醒线；
- 数据格式相似，SMBus 数据格式类似于 I2C 的 7 位地址格式（见图 22-2）；
- 都是主-从通信模式，且主设备提供时钟；
- 都支持多主机功能；

SMBus 和 I2C 的不同点：

表 22-1 SMBus 与 I^2C 的比较

SMBus	I^2C
最大传输速度 100KHz	最大传输速度 1MHz
最小传输速度 10KHz	无最小传输速度
35ms 时钟低超时	无时钟超时
固定逻辑电平	逻辑电平由 VDD 决定
不同的地址类型 (保留的，动态的等)	7 位、10 位和广播呼叫从地址类型
不同的总线协议(快递命令，处理呼叫等)	无总线协议

22.3.8.2 SMBus 用途

SMBus 利用系统管理总线，可实现轻量级的通信需求。一般来说，SMBus 最常见于计算机主板，主要用于电源传输 ON/OFF 指令的通信，为系统和电源管理相关的任务提供控制总线。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

22.3.8.3 设备标识

在 SMBus 中，任意一个设备作为从设备时都有一个地址，叫从地址。

为了给每一个设备分配地址，必须有一个唯一的设备标识（UDID）分配给设备。

22.3.8.4 总线协议

SMBus 技术规范包括 8 个总线协议。想要了解关于 SMBus 的详细信息和地址类型请参考 SMBus 技术规范 V2.0(http://smbus.org/specs/)。用户可以决定使用哪些协议。

SMBus 上每个报文交互都遵从 SMBus 协议中预定义的格式。SMBus 是 I2C 规范中数据传输格式的子集。只要 I2C 设备可通过 SMBus 协议之一进行访问，便视为兼容 SMBus 规范。

注：SMBus 不支持 Quick command 协议。

22.3.8.5 地址解析协议 (ARP)

通过 SMBus 协议动态分配新的唯一地址给每个从设备来解决地址冲突，这是地址解析协议（ARP）。地址解析协议具有一下特性：

任何一个 SMBus 主设备都可以遍历总线；

使用 SMBus 物理层仲裁机制分配地址。当设备维持供电期间，分配的地址保持不变，协议也允许再断电后保留其地址。

地址分配之后，没有额外的 SMBus 打包开销（访问分配地址的设备与访问固定地址的设备所用的时间是一样的）。

22.3.8.6 SMBus 提醒模式

SMBus 提供了一个可选的中断信号 SMBALERT（与 SCL 和 SDA 一样，是一种有线与信号），设备使用该信号来扩展其控制能力，但需要牺牲一个引脚。SMBALERT 通常和 SMBus 广播呼叫地址结合使用。关于 SMBus 的消息有 2 个字节。

仅具有从机功能的设备可以设置 I2C_CTRL1.SMBALERT 位以指示它要与主机通信。主机处理该中断并通过提醒响应地址 ARA（Alert Response Address，地址值为 0001100x）访问所有 SMBALERT 设备。只有那些将 SMBALERT 拉低的设备能应答 ARA。此状态是由 I2C_STS1.SMBALERT 来标识的。从发送设备提供的 7 位设备地址被放在字节的 7 个最高位上，第八个位可以是‘0’或‘1’。

当多个设备的 SMBALERT 为低时，在地址传输过程中，最高优先级（地址越小优先级越高）可以通过标准仲裁赢得总线通信。如果确认从机地址，则设备的 SMBALERT 不再为低。如果报文传输完毕，设备的 SMBALERT 仍为低，表示主机将再次读取 ARA。没有采用 SMBALERT 信号时主机可以定期访问 ARA。

22.3.8.7 SMBus 通信流程

SMBus 的通讯流程和标准 I^2C 的流程相似。如果要使用 SMBus 模式，还需要在程序中配置 SMBus 特定寄存器、并响应 SMBus 特定标志位、实现在 SMBus 手册中介绍的上层协议。

1. 首先，设置 I2C_CTRL1.SMBMODE 位；并按照应用要求配置 I2C_CTRL1.SMBTYPE 和 I2C_CTRL1.ARPEN 位。如果 I2C_CTRL1.ARPEN=1 且 I2C_CTRL1.SMBTYPE=0，使用 SMB 设备默认地址；如果 I2C_CTRL1.ARPEN=1 且 I2C_CTRL1.SMBTYPE=1，使用 SMB 主设备头字段。

2. 为了支持 ARP 协议（I2C_CTRL1.ARPEN=1），在 SMBus 主机模式下（I2C_CTRL1.SMBTYPE=1），软件需要响应标志位 I2C_STS2.SMBHADDR（在 SMBus 从机模式下，响应 I2C_STS2.SMBDADDR 标志位），并实现 ARP 协议中的功能。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

3. 为了支持 SMBus 警告模式，软件应该响应 I2C_STS1.SMBALERT 标志位，并实现相应的功能。

22.4 调试模式

当微控制器进入调试模式（Cortex-M4 核心处于停止状态）时，根据 DBG 模块中的 DBG_CTRL. I2Cx_SMBUS_TIMEOUT 配置位，SMBUS 超时控制或者继续正常工作或者可以停止。详见 37.4.2。

22.5 监控模式

在监控模式下可观察 I2C 总线上所有的通信量。可以通过配置 I2C_CTRL1.NMENA、I2C_CTRL1.MTHALL 为高来使能监控模式，其他配置只需按照从机接收通信配置方案即可。

在监控模式下，设备将会以从机接收模式接收 I2C 总线上通信的所有数据，监控设备不需要控制总线，因此监控设备的 SDA 与 SCL 将被强制上拉。当设备处于监控模式时，会强制匹配总线上的所有寻址，包括地址匹配中断在内的所有中断也都将正常出现。处理器可以通过读取监控设备的数据寄存器来查看总线上实际发送的数据。

22.6 中断请求

下表列出了所有的 I^2C 中断请求：

表 22-2 I^2C 中断请求

中断功能	中断事件	事件标志	设置控制位
I2C 事件中断	起始位已发送（主）	STARTBF	EVTINTEN
	地址已发送（主）或地址匹配（从）	ADDRF	
	10 位头段地址已发送（主）	ADDR10F	
	收到停止位（从）	STOPF	
	数据字节传输完成	BSF	
	接收缓冲区非空	RXDATNE	EVTINTEN 和 BUFINTEN
	发送缓冲区为空	TXDATE	
	FIFO 空	FIFOE	FIFOEINTEN
	FIFO 半空	FIFOHE	FIFOHEINTEN
	FIFO 满	FIFOF	FIFOFINTEN
	FIFO 半满	FIFOHF	FIFOHFINTEN
I2C 错误中断	总线错误	BUSERR	ERRINTEN
	仲裁丢失（主）	ARLOST	
	应答失败	ACKFAIL	
	过载/欠载	OVERRUN	
	PEC 错误	PECERR	
	SMBus 提醒	SMBALERT	
	SCL 低超时	SCLLTO	SCLTOLIEN
	SCL 高超时	SCLHTO	SCLTOHIEN
	SDA 低超时	SDALTO	SDATOLIEN
	FIFO 写入上溢错误	FIFOOR	FIFOORINTEN

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

中断功能	中断事件	事件标志	设置控制位
	FIFO 读出下溢错误	FIFOUR	FIFOURINTEN
	DMA 欠载错误	DMAETOERR	DMAETOEIEN

注: 1. STARTBF、ADDRF、ADDR10F、STOPF、BSF、RXDATNE、TXDATE、FIFOE、FIFOHE、FIFOF、FIFOHF 通过逻辑或汇到同一个中断通道中。

2. BUSERR、ARLOST、ACKFAIL、OVERRUN、PECERR、SMBALERT、SCLLTO、SCLHTO、SDALTO、FIFOOR、FIFOUR、DMAETOERR 通过逻辑或汇到同一个中断通道中。

22.7 I2C 寄存器

可以用半字（16 位）或字（32 位）的方式操作这些外设寄存器。

22.7.1 I2C 控制寄存器 1 (I2C_CTRL1)

地址偏移：0x00

复位值：0x0440 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	LTC[1:0]		HTC[1:0]		THRFIFOHE[2:0]			Reserved	THRFIFOHF[2:0]			Reserved		FIFOCLR	FIFOEN
	rw		rw		rw				rw					rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
NMENA	MTHALL	SWRESET	SMBALERT	PEC	ACKPOS	ACKEN	STOPGEN	STARTGEN	NOEXTEND	GCEN	PECEN	ARPEN	SMBTYPE	SMBMODE	EN
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31	Reserved	保留，保持复位值
30:29	LTC[1:0]	低超时阈值选择（low timeout threshold selection） 00：25ms 01：100ms 10：1s 11：4s
28:27	HTC[1:0]	高超时阈值选择（hightimeout threshold selection） 00：256us 01：512us 10：1ms 11：128us
26:24	THRFIFOHE[2:0]	FIFO 半空阈值 当 FIFO 数据个数小于等于 THRFIFOE 且不为 0 时半空标志置起。
23	Reserved	保留，保持复位值
22:20	THRFIFOHF[2:0]	FIFO 半满阈值

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		当 FIFO 数据个数大于等于 THRFIFOF 且不为 8 时半满标志置起。
19:18	Reserved	保留，保持复位值
17	FIFOCLR	FIFO 清除使能 0：不清空 FIFO 数据 1：清空 FIFO 数据
16	FIFOEN	FIFO 使能位 0：禁用 FIFO 1：使能 FIFO
15	NMENA	监控模式使能位 0：I2C 正常工作模式； 1：I2C 监控模式；
14	MTHALL	监控模式全地址匹配使能位 0：将接收的七位地址与地址寄存器内的数据进行比较，若匹配则置位地址匹配标志位并产生中断； 1：不论接收的地址是否与地址寄存器内数据匹配，均可置位地址匹配标志位并产生中断；
13	SWRESET	软件复位 当被置位时，I2C 处于复位状态。在复位该位前确认 I2C 的引脚被释放，总线是空的。 0：I2C 模块不处于复位状态； 1：I2C 模块处于复位状态。 *注：该位可以用于 I2C_STS2.BUSY 位为'1'，在总线上又没有检测到停止条件时。*
12	SMBALERT	SMBus 提醒（SMBus alert） 软件可以设置或清除该位；当 I2C_CTRL1.EN=0 时，由硬件清除。 0：释放 SMBAlert 引脚使其变高。提醒响应地址头紧跟在 NACK 信号后面； 1：驱动 SMBAlert 引脚使其变低。提醒响应地址头紧跟在 ACK 信号后面。
11	PEC	数据包出错检测（Packet error checking） 软件可以设置或清除该位；当传送完 PEC 后或检测到起始或停止条件时或当 I2C_CTRL1.EN=0 时，硬件均会将其清除。 0：无 PEC 传输 1：PEC 传输 *注：仲裁丢失时，PEC 的计算失效。*
10	ACKPOS	应答/PEC 位置（用于数据接收） 软件可以设置或清除该位，或当 I2C_CTRL1.EN=0 时，由硬件清除。 0：I2C_CTRL1.ACKEN 位决定是否向当前正在接收的字节发送 ACK；I2C_CTRL1.PEC 位表示当前移位寄存器中的字节为 PEC。 1：I2C CTRL1.ACKEN 位决定是否向下一个接收到的字节发送 ACK；I2C_CTRL1.PEC 位指示移位寄存器中接收到的下一个字节是 PEC。 *注：ACKPOS 位只能用在 2 字节的接收配置中，必须在接收数据之前配置。* *为了 NACK 第 2 个字节，I2C_CTRL1.ACKEN 位必须在 I2C_STS1.ADDRF 位清零后清零。* *为了检测第 2 个字节的 PEC，必须在配置 ACKPOS 位之后，扩展 ADDR 事件时设置*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		I2C_CTRL1.PEC 位。
9	ACKEN	应答使能 软件可以设置或清除该位，或当 I2C_CTRL1.EN=0 时，由硬件清除。 0：无应答返回； 1：在接收到一个字节后返回一个应答（匹配的地址或数据）。
8	STOPGEN	停止条件产生 软件可以设置或清除该位；或当检测到停止条件时，由硬件清除；当检测到超时错误时，硬件将其置位。 在主模式下： 0：无停止条件产生； 1：在当前字节传输或在当前起始条件发出后产生停止条件。 在从模式下： 0：无停止条件产生； 1：在当前字节传输或释放 SCL 和 SDA 线。 *注：当设置了 STOPGEN、STARTGEN 或 PEC 位，在硬件清除这个位之前，软件不要执行任何对 I2C_CTRL1 的写操作；否则有可能会第 2 次设置 STOPGEN、STARTGEN 或 PEC 位。*
7	STARTGEN	起始条件产生 软件可以设置或清除该位，当起始条件发出后或 I2C_CTRL1.EN=0 时，由硬件清除。 0：无起始条件产生； 1：产生起始条件。
6	NOEXTEND	禁止时钟延长（从模式） 该位决定在从机模式下数据未就绪（I2C_STS1.ADDRF 或 I2C_STS1.BSF 标志置位）时是否拉低 SCL。通过软件复位清零。 0：允许时钟延长； 1：禁止时钟延长。
5	GCEN	广播呼叫使能 0：禁止广播呼叫。不应答(NACK)地址 00h； 1：允许广播呼叫. 以应答(ACK)地址 00h。
4	PECEN	PEC 使能 0：禁止 PEC 模式； 1：开启 PEC 模式。
3	ARPEN	ARP 使能 0：禁止 ARP； 1：使能 ARP。 如果 I2C_CTRL1.SMBTYPE=0，使用 SMBus 设备的默认地址。 如果 I2C_CTRL1.SMBTYPE=1，使用 SMBus 的主地址。
2	SMBTYPE	SMBus 类型 0：SMBus 设备； 1：SMBus 主机。
1	SMBMODE	SMBus 模式 0：I2C 模式；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：SMBus 模式。
0	EN	I2C 模块使能 0：禁用 I2C 模块； 1：启用 I2C 模块。 *注：如果清除该位时通讯正在进行，在当前通讯结束后，I2C 模块被禁用并返回空闲状态。* *由于在通讯结束后发生 EN＝0，所有的位被清除。*

22.7.2 I2C 控制寄存器 2 (I2C_CTRL2)

地址偏移：0x04

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ADDRPOS	TOLEN	TOHEN	SCLTOLIEN	SCLTOHIEN	SDATOLIEN	Reserved	Reserved	DMAFIFOEN	DMAETOEIEN	FIFOORINTEN	FIFOURINTEN	FIFOHEINTEN	FIFOHFINTEN	FIFOEINTEN	FIFOFINTEN
rw	rw	rw	rw	rw	rw			rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DMAEN	ERRINTEN	EVTINTEN	BUFINTEN	Reserved			DMALAST	CLKFREQ[7:0]							
rw	rw	rw	rw				rw	rw							

位域	名称	描述
31	ADDRPOS	ADDRF 标志位置位时刻选择 该位控制在从模式下设置 ADDRF 位的时机。 0：I2C_STS1.ADDRF 在地址匹配且发送 ACK 后由硬件设置； 1：I2C_STS1.ADDRF 在地址匹配后发送 ACK 前由硬件设置 *注：该位仅在从模式下有效*
30	TOLEN	低超时功能使能（low timeout function enable） 0：禁用； 1：使能； *注：I2C 模式下不需要超时报错时可禁用此位。*
29	TOHEN	高超时功能使能（high timeout function enable） 0：禁用； 1：使能； *注：I2C 模式下不需要超时报错时可禁用此位。*
28	SCLTOLIEN	SCL 低超时错误中断使能（SCL low timeout error interrupt enable） 0：I2C_STS1.SCLLTO = 1 时，不产生中断； 1：I2C_STS1.SCLLTO = 1 时，产生中断；
27	SCLTOHIEN	SCL 高超时错误中断使能（SCL high timeout error interrupt enable） 该位由软件写‘0’清除，或在 I2C_CTRL1.EN=0 时由硬件清除。 0：I2C_STS1.SCLHTO = 1 时，不产生中断； 1：I2C_STS1.SCLHTO = 1 时，产生中断；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		注：SMBUS 模式下，该位同时用作 SCL 累计低电平超时中断使能
26	SDATOLIEN	SDA 低超时错误中断使能（SDA low timeout error interrupt enable） 该位由软件写‘0’清除，或在 I2C_CTRL1.EN=0=0 时由硬件清除。 0：I2C_STS1.SDALTO = 1 时，不产生中断； 1：I2C_STS1.SDALTO = 1 时，产生中断；
25:24	Reserved	保留，必须保持复位值
23	DMAFIFOEN	DMA burst 使能时 DMA 使能 0：当 FIFO 启用时禁用 DMA 请求 1：当 FIFO 启用时启用 DMA 请求
22	DMAETOEIEN	DMA ETO 出错中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
21	FIFOORINTEN	FIFO 上溢中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
20	FIFOURINTEN	FIFO 下溢中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
19	FIFOHEINTEN	FIFO 半空中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
18	FIFOHFINTEN	FIFO 半满中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
17	FIFOEINTEN	FIFO 空中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
16	FIFOFINTEN	FIFO 满中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
15	DMAEN	DMA 请求使能 0：禁止 DMA 请求； 1：使能 DMA 请求。
14	ERRINTEN	错误中断使能 0：禁止出错中断； 1：允许出错中断。 在下列条件下，将产生该中断： I2C_STS1.BUSERR= 1 I2C_STS1.ARLOST= 1 I2C_STS1.ACKFAIL= 1 I2C_STS1.OVERRUN= 1 I2C_STS1.PECERR= 1

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		I2C_STS1.SMBALERT= 1
13	EVTINTEN	事件中断使能 0：禁止事件中断 1：允许事件中断 在下列条件下，将产生该中断： I2C_STS1.STARTBF= 1（主模式） I2C_STS1.ADDR F= 1（主/从模式） I2C_STS1.ADD10F= 1 （主模式） I2C_STS1.STOPF = 1 （从模式） I2C_STS1.BSF = 1，但是没有 I2C_STS1.TXDATE 或 I2C_STS1.RXDATNE 事件 如果 BUFINTEN= 1，I2C_STS1.TXDATE 事件为 1 如果 BUFINTEN= 1，I2C_STS1.RXDATNE 事件为 1
12	BUFINTEN	缓冲器中断使能 0：当 I2C_STS1.TXDATE=1 或 I2C_STS1.RXDATNE=1 时，不产生任何中断； 1：当 I2C_STS1.TXDATE=1 或 I2C_STS1.RXDATNE=1 时（I2C_CTRL2.EVTINTEN= 1），产生事件中断（不管 DMAEN 是何种状态）。
11:9	Reserved	保留，保持复位值
8	DMALAST	DMA 最后一次传输 0：下一次 DMA 的 EOT 不是最后的传输； 1：下一次 DMA 的 EOT 是最后的传输。 注：该位在主接收模式使用，使得在最后一次接收数据时可以产生一个 NACK。
7:0	CLKFREQ[7:0]	I2C 模块时钟频率 CLK FREQ[7:0] 应该为 APB1 时钟频率以产生正确的时序： 00000000：禁用 00000001：禁用 00000010：2MHz 00000011：3MHz … 01111000：120MHz 01111001~11111111：禁用

22.7.3 I2C 自身地址寄存器 1 (I2C_OADDR1)

地址偏移：0x08

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADDRMODE	Reserved					ADDR1[1:0]		ADDR[6:0]							ADDR0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15	ADDRMODE	寻址模式（从模式） 0：7 位从地址（不响应 10 位地址）； 1：10 位从地址（不响应 7 位地址）。
14:10	Reserved	保留，必须保持复位值
9:8	ADDR1[1:0]	接口地址 地址的 9~8 位。 *注：7 位地址模式时不用关心*
7:1	ADDR[6:0]	接口地址 地址的 7~1 位。
0	ADDR0	接口地址 地址第 0 位。 *注：7 位地址模式时不用关心*

22.7.4 I2C 自身地址寄存器 2 (I2C_OADDR2)

地址偏移：0x0C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								ADDR2[6:0]							DUALEN
											rw				rw

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值
7:1	ADDR2[6:0]	接口地址 在双地址模式下地址的 7~1 位。
0	DUALEN	双地址模式使能位 0：不使能双地址模式，只有OADDR1被识别； 1：使能双地址模式，OADDR1和OADDR2都被识别。 *注：仅 7 位地址模式有效*

22.7.5 I2C 数据寄存器 (I2C_DAT)

地址偏移：0x10

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								DATA[7:0]							
								rw							

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值
7:0	DATA[7:0]	8位数据寄存器 发送或接收数据 *注意：从模式下。地址不会被拷贝到数据寄存器* *注意：如果 I2C_STS1.TXDATE =0，数据仍然会被写入数据寄存器* *注意：如果在处理 ACK 时，发生了 ARLOST 事件，接收到的字节不会被拷贝到数据寄存器，因此不能读到它。*

22.7.6 **I2C 状态寄存器 1 (I2C_STS1)**

地址偏移：0x14

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved						SCLLTO	SCLHTO	SDALTO	DMAETOERR	FIFOOR	FIFOUR	FIFOHE	FIFOHF	FIFOE	FIFOF
						rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	SMBALERT	Reserved	PECERR	OVERRUN	BUSERR	ARLOST	ACKFAIL	Reserved	ADDR10F	TXDATE	RXDATNE	STOPF	BSF	ADDRF	STARTBF
	rc_w0		rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0		r	r	r	r	r	r	r

位域	名称	描述
31:26	Reserved	保留，保持复位值
25	SCLLTO	SCL 低超时错误（SCL low timeout error） 该位由软件写‘0’清除，或在 I2C_CTRL1.EN=0 时由硬件清除。 0：无超时错误； 1：超时错误发生；
24	SCLHTO	SCL 高超时错误（SCL high timeout error） 该位由软件写‘0’清除，或在 I2C_CTRL1.EN=0 时由硬件清除。 0：无超时错误； 1：超时错误发生；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		注：SMBUS 模式下，该位同时用作 SCL 累计低电平超时标志
23	SDALTO	SDA 低超时错误（SDA low timeout error） 该位由软件写‘0’清除，或在 I2C_CTRL1.EN=0 时由硬件清除。 0：无超时错误； 1：超时错误发生；
22	DMAETOERR	DMA ETO 错误 主机或从机发送模式且 DMAFIFO 使能的时候，在发送 PEC 包阶段还未收到 DMA_ETO 信号，证明 DMA 发送完成但是没有给出 ETO 信号。
21	FIFOOR	FIFO 上溢错误 在 FIFO 为满状态时继续写入数据，该标志置起。 0：未发生 1：发生
20	FIFOUR	FIFO 下溢错误 在 FIFO 为空状态时继续读取数据，该标志置起。 0：未发生 1：发生
19	FIFOHE	FIFO 半空 当 FIFO 数据个数小于等于 THRFIFOHE 阈值时，该标志置起，用于数据发送。 0：未发生 1：发生
18	FIFOHF	FIFO 半满 当 FIFO 数据个数大于等于 THRFIFOHF 阈值时，该标志置起，用于数据接收。 0：未发生 1：发生
17	FIFOE	FIFO 空 当 FIFO 数据个数等于 0 时，该标志置起，用于数据发送。 0：未发生 1：发生
16	FIFOF	FIFO 满 当 FIFO 数据个数等于 8 时，该标志置起，用于数据接收。 0：未发生 1：发生
15	Reserved	保留，保持复位值
14	SMBALERT	SMBus 提醒 该位由软件写‘0’清除，或在 I2C_CTRL1.EN =0 时由硬件清除。 0：无 SMBus 提醒（主模式）或没有 SMBAlert 响应地址头序列（从模式）； 1：在引脚上产生 SMBAlert 提醒事件（主模式）或收到 SMBAlert 响应地址（从模式）；
13	Reserved	保留，保持复位值
12	PECERR	在接收时发生 PEC 错误 该位由软件写‘0’清除，或在 I2C_CTRL1.EN =0 时由硬件清除。 0: 无 PEC 错误: 接收到 PEC 后接收器返回 ACK（如果 I2C_CTRL1.ACKEN=1） 1: PEC 错误：接收到 PEC 后接收器返回 NACK（不管 I2C_CTRL1.ACKEN 是否置位）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
11	OVERRUN	过载/欠载 该位由软件写‘0’清除，或在 I2C_CTRL1.EN=0 时由硬件清除。 0：无过载/欠载； 1：出现过载/欠载。 当 I2C_CTRL1.NOEXTEND=1 时，在从模式下该位被硬件置位。同时：在接收模式中当接收到一个新的字节时，如果数据寄存器里的内容还未被读出，则发生过载错误，新接收的字节将会丢失。 在发送模式中要发送一个新的字节时，却没有新的数据写入数寄存器，将发生欠载错误，同样的数据将会被发送两次。
10	BUSERR	总线错误 该位由软件写‘0’清除，或在 I2C_CTRL1.EN=0 时由硬件清除。 0：无起始或停止条件出错； 1：起始或停止条件出错。
9	ARLOST	仲裁丢失（主模式） 该位由软件写‘0’清除，或在 I2C_CTRL1.EN=0 时由硬件清除。 0：没有仲裁丢失； 1：仲裁丢失。 当接口失去对总线的控制时，硬件将置该位为‘1’。在 ARLOST 事件之后，I2C 接口自动切换回从模式(I2C_STS2.MSMODE=0)。 *注：在 SMBUS 模式下，在从模式下对数据的仲裁仅仅发生在数据阶段，或应答传输区间（不包括地址的应答）。*
8	ACKFAIL	应答失败 该位由软件写‘0’清除，或在 I2C_CTRL1.EN=0 时由硬件清除。 0：没有应答失败； 1：应答失败。
7	Reserved	保留，保持复位值
6	ADDR10F	10 位头序列已发送（主模式） 软件读取 STS1 寄存器后，对 CTRL1 寄存器的写操作将清除该位，或当 I2C_CTRL1.EN=0 时，硬件清除该位。 0：没有 ADD10F 事件发生； 1：主设备已经将第一个地址字节发送出去。 在 10 位地址模式下，当主设备已经将第一个地址字节发送出去时，硬件将该位置‘1’。 注：收到一个 NACK 后，I2C_STS1.ADD10F 位不被置位。
5	TXDATE	数据寄存器为空（发送时） 软件写数据到 DAT 寄存器可清除该位；或在发生一个起始或停止条件后，或当 I2C_CTRL1.EN=0 时由硬件自动清除。 0：数据寄存器非空； 1：数据寄存器空。 在发送数据时，数据寄存器为空时该位被置‘1’，在发送地址阶段不设置该位。 如果收到一个 NACK，或下一个要发送的字节是 PEC（I2C_CTRL1.PEC=1），该位不被置位。 注：在写入第 1 个要发送的数据后，或设置了 BSF 时写入数据，都不能清除 TXDATE 位，这是因为数据寄存器仍然为空。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
4	RXDATNE	数据寄存器非空（接收时） 软件对数据寄存器的读写操作清除该位，或当 I2C_CTRL1.EN=0 时由硬件清除。 0：数据寄存器为空； 1：数据寄存器非空。 在接收时，当数据寄存器不为空，该位被置‘1’。在接收地址阶段，该位不被置位。 在发生 ARLOST 事件时，RXDATNE 不被置位。 *注：当设置了 BSF 时，读取数据不能清除 RXDATNE 位，因为数据寄存器仍然为满。*
3	STOPF	停止条件检测位（从模式） 软件读取 STS1 寄存器后，对 I2C_CTRL1 寄存器的写操作将清除该位，或当 I2C_CTRL1.EN=0 时，硬件清除该位。 0：没有检测到停止条件； 1：检测到停止条件。 在一个应答之后，当从设备在总线上检测到停止条件时，硬件将该位置‘1’。 *注：在收到 NACK 后，I2C_STS1.STOPF 位不被置位。*
2	BSF	字节传输结束 在软件读取 STS1 寄存器后，对数据寄存器的读或写操作将清除该位；或在传输中发送一个起始或停止条件后，或当 I2C_CTRL1.EN =0 时，由硬件清除该位。 0：字节发送未完成； 1：字节发送结束。 当 I2C_CTRL1.NOEXTEND =0 时，在下列情况下硬件将该位置‘1’： ■ 在接收时，当收到一个新字节（包括 ACK 脉冲）且数据寄存器还未被读取（I2C_STS1.RXDATNE =1）。 ■ 在发送时，当一个新数据将被发送且数据寄存器还未被写入新的数据（I2C_STS1.TXDATE =1）。 *注：在收到一个 NACK 后，BSF 位不会被置位。* *如果下一个要传输的字节是 PEC（I2C_STS2 寄存器中 TRF 为‘1’，同时 I2C_CTRL1 寄存器中 PEC 为‘1’），BSF 位不会被置位。*
1	ADDRF	地址已被发送（主模式）/地址匹配（从模式） 在软件读取 STS1 寄存器后，对 STS2 寄存器的读操作将清除该位，或当 I2C_CTRL1.EN=0 时，由硬件清除该位。 0：地址不匹配或没有收到地址（从模式），地址发送未完成（主模式）； 1：收到的地址匹配（从模式），地址发送完成（主模式）。 在主模式下： 7 位地址模式时，当收到地址的 ACK 后该位被置‘1’，10 位地址模式时，当收到地址的第二个字节的 ACK 后该位被置‘1’。 在从模式下： 当收到的从地址与 OADDR 寄存器中的内容相匹配、或发生广播呼叫、或 SMBus 设备默认地址或 SMBus 主机识别出 SMBus 提醒时，硬件就将该位置‘1’（当对应的设置被使能时）。 *注：在收到 NACK 后，I2C_STS1.ADDRF 位不会被置位。*
0	STARTBF	起始位（主模式） 软件读取 I2C_STS1 寄存器后，写数据寄存器的操作将清除该位，或当 I2C_CTRL1.EN=0 时，硬件清除该位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：未发送起始条件； 1：起始条件已发送。 当发送出起始条件时该位被置‘1’。

22.7.7 I2C 状态寄存器 2 (I2C_STS2)

地址偏移：0x18

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PECVAL[7:0]								SMBHADDR	SMBDADDR	DUALFLAG	GCALLADDR	Reserved	TRF	MSMODE	BUSY
r								r	r	r	r		r	r	r

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，保持复位值
15:8	PECVAL[7:0]	数据包出错检测 当 I2C_CTRL1.PECEN=1 时，PECVAL[7:0]存放内部的 PEC 值。
7	SMBHADDR	SMBus主机头地址（从模式） 在产生一个停止条件或一个重复的起始条件时，或I2C_CTRL1.EN =0时，硬件将该位清除。 0：未收到SMBus主机的地址； 1：当 I2C_CTRL1.SMBTYPE=1 且 I2C_CTRL1.ARPEN=1 时，收到 SMBus 主机地址。
6	SMBDADDR	SMBus 设备默认地址（从模式） 在产生一个停止条件或一个重复的起始条件时，或I2C_CTRL1.EN=0时，硬件将该位清除。 0：未收到SMBus设备的默认地址； 1：当 I2C_CTRL1.ARPEN=1 时，收到 SMBus 设备的默认地址。
5	DUALFLAG	双标志（从模式） 在产生一个停止条件或一个重复的起始条件时，或I2C_CTRL1.EN =0时，硬件将该位清除。 0：接收到的地址与OADDR1内的内容相匹配； 1：接收到的地址与 OADDR2 内的内容相匹配。
4	GCALLADDR	广播呼叫地址（从模式） 在产生一个停止条件或一个重复的起始条件时，或I2C_CTRL1.EN=0时，硬件将该位清除。 0：未收到广播呼叫地址；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：当 I2C_CTRL1.GCEN =1 时，收到广播呼叫的地址。
3	Reserved	保留，必须保持复位值
2	TRF	发送/接收 在检测到停止条件（I2C_STS1.STOPF =1）、重复的起始条件或总线仲裁丢失（I2C_STS1.ARLOST =1）后，或当I2C_CTRL1.EN=0时，硬件将其清除。 0：数据接收模式； 1：数据发送模式； 在整个地址传输阶段的结尾，该位根据地址字节的 R/W 位来设定。
1	MSMODE	主从模式 当总线上检测到一个停止条件、仲裁丢失（I2C_STS1.ARLOST =1）时、或当 I2C_CTRL1.EN =0时，硬件清除该位。 0：从模式； 1：主模式。 当接口处于主模式（I2C_CTRL1.STARTBF=1）时，硬件将该位置位；
0	BUSY	总线忙 当检测到一个停止条件时，硬件将该位清除。 0：在总线上无数据通讯； 1：在总线上正在进行数据通讯。 在检测到SDA或SCL为低电平时，硬件将该位置'1'； *注：该位指示当前正在进行的总线通讯，当接口被禁用（I2C_CTRL1.EN =0）时该信息仍然被更新。*

22.7.8 **I2C 时钟控制寄存器 (I2C_CLKCTRL)**

地址偏移：0x1C

复位值：0x0000 0000

注: CLKCTRL 寄存器只有在关闭 I²C 时（(I2C_CTRL1.EN =0）才能设置。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DUTY	FSMODE	Reserved		CLKCTRL[11:0]											
rw	rw			rw											

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15	DUTY	快速模式占空比 0：Tlow/Thigh= 2； 1：Tlow/Thigh= 16/9

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
14	FSMODE	I2C 主模式选择 0: I2C 标准模式(占空比默认 1/1); 1: I2C 快速模式(占空比可配置).
13:12	Reserved	保留，必须保持复位值
11:0	CLKCTRL[11:0]	快速/标准模式下的时钟控制分频系数（主模式） 该分频系数用于设置主模式下的 SCL 时钟。 ■ 如果 duty cycle = Tlow/Thigh = 1/1: CLKCTRL = f_{PCLK1}(Hz)/100000/2 Tlow = CLKCTRL×T_{PCLK1} Thigh = CLKCTRL×T_{PCLK1} ■ 如果 duty cycle = Tlow/Thigh = 2/1: CLKCTRL = f_{PCLK1}(Hz)/100000/3 Tlow = 2 ×CLKCTRL×TPCLK1 Thigh = CLKCTRL×T_{PCLK1} ■ 如果 duty cycle = Tlow/Thigh = 16/9: CLKCTRL = f_{PCLK1}(Hz)/100000/25 Tlow = 16 ×CLKCTRL×T_{PCLK1} Thigh = 9 ×CLKCTRL×T_{PCLK1} 例如，如果 f_{PCLK1}(Hz) = 8MHz，通讯速率 100k，duty cycle = 1/1, CLKCTRL = 8000000 /100000 /2 = 0x28。 *注意: 1.允许设定的最小值为 0x04，在快速 DUTY 模式下允许的最小值为 0x01。* *2. $T_{high}= T_{r(SCL)}+T_{w(SCLH)}$，详见数据手册中对这些参数的定义。* *3. $T_{low}= T_{f(SCL)}+T_{w(SCLL)}$，详见数据手册中对这些参数的定义。*

22.7.9 I2C 上升时间寄存器 (I2C_TMRISE)

地址偏移：0x20

复位值：0x0000 0002

注意：I2C_TMRISE 寄存器仅在主模式下有效，当 I2C 禁用（I2C_CTRL1.EN=0）时才能配置。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								TMRISE[7:0]							
								rw							

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值
7:0	TMRISE[7:0]	在快速/标准模式下的最大上升时间（主模式）

位域	名称	描述
		这些位必须设置为I²C总线规范里给出的最大的SCL上升时间，增长步幅为1。 例如，标准模式中最大允许SCL上升时间为1000ns。如果I2C_CTRL2.CLKFREQ[7:0]中的值等于0x78(120M)且T_{PCLK1}=8.333ns，故TMRISE[7:0]中必须写入0x79（1000ns/8.333 ns + 1）。 如果结果不是一个整数，则将整数部分写入 TMRISE[7:0]以确保 tHIGH 参数。

22.7.10 I2C 主机接收字节寄存器 (I2C_BYTENUM)

地址偏移：0x24

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
BYTENUMEN	BYTEFSEL	BYTENUM [13:0]													
rw	rw	rw													

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15	BYTENUMEN	主机接收字节控制功能使能 0：禁用 1：使能
14	BYTEFSEL	接收结束发送条件选择 0：主机接收完所有字节后自动发送 NACK 和 STOP 条件 1：主机接收完所有字节后自动发送 NACK 和 RESTART 条件 *注：BYTENUMEN 使能时有效*
13:0	BYTENUM[13:0]	主机接收字节数配置（字节数需大于等于 2） *注意：接收完所有字节后若需重新配置 BYTENUM，需先等待 I2C_STS2.BUSY 为 0，并重新使能 I2C_CTRL1.ACKEN*

22.7.11 I2C 数字滤波控制寄存器 (I2C_GFLTRCTRL)

地址偏移：0x28

复位值：0x 0000 2200

注: GFLTRCTRL 寄存器只有在关闭 I²C 时（(I2C_CTRL1.EN =0）才能设置。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SCLAFENN	Reserved	SCLAFW[1:0]		SDAAFENN	Reserved	SDAAFW[1:0]		SCLDFW[3:0]				SDADFW[3:0]			
rw		rw		rw		rw		rw				rw			

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15	SCLAFENN	SCL 模拟滤波器使能 0：使能 1：禁用
14	Reserved	保留，必须保持复位值
13:12	SCLAFW[1:0]	SCL 模拟滤波器宽度选择 00: 5ns 01: 15ns 10: 25ns 11: 35ns
11	SDAAFENN	SDA 模拟滤波器 0：使能 1：禁用
10	Reserved	保留，必须保持复位值
9:8	SDAAFW[1:0]	SDA 模拟滤波器宽度选择： 00: 5ns 01: 15ns 10: 25ns 11: 35ns
7:4	SCLDFW[3:0]	SCL 数字滤波器宽度选择： 0000：禁用数字滤波器 其他值：滤波宽度为 SCLDFW * T_{PCLK}
3:0	SDADFW[3:0]	SDA 数字滤波器宽度选择： 0000：禁用数字滤波器 其他值：滤波宽度为 SDADFW * T_{PCLK}

22.7.12 I2C FIFO 数据寄存器（I2C_FIFODAT）

地址偏移：0x2C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Reserved	FIFODAT [7:0]
	rw

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值
7:0	FIFODAT[7:0]	FIFIO 数据

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

23 数据波特率可变的控制器局域网（FDCAN）

23.1 概述

提供 3 个 FDCAN 模块，符合 ISO 11898-1:2015 标准，支持 CAN 2.0A/B 与 CAN FD 协议，兼容非 ISO 标准的 Bosch 协议。

此外，CAN 模块 FDCAN1&2 还支持 ISO 11898-4 中规定的时间触发 CAN(TTCAN)，包括事件同步时间触发通信、全球系统时间和时钟漂移补偿。FDCAN1&2 包含时间触发功能专用的附加寄存器。CANFD 可选与事件触发和时间触发 CAN 通信一起使用。

3 个 FDCAN 模块共享 1 个消息 RAM 区域，用于接收消息过滤器、接收 FIFO、接收缓冲区、发送缓冲区、发送事件 FIFO（以及 TTCAN 触发器）。消息 RAM 位于 MCU 内部 SRAM 中，起始地址可配置，单个 FDCAN 最大可分配 4480 字（32bit）。

23.2 主要特性

- 符合 ISO 11898-1:2015 和 ISO 11898-4 标准
- 支持 CAN FD，最多 64 字节数据
- 支持完全通过硬件实现的 TTCAN 1 级和 2 级（仅支持 FDCAN1/2）
- 支持 CAN 错误日志记录
- 支持 AUTOSAR 标准
- 支持 SAE J1939 标准
- 增强的接收过滤器功能
- 两个可配置的接收 FIFO
- 接收高优先级消息时单独发出信号指示
- 最多 64 个专用接收缓冲区
- 最多 32 个专用发送缓冲区
- 可配置的发送 FIFO 或队列
- 可配置的发送事件 FIFO
- 支持可配置的消息 RAM，3 个 FDCAN 控制器共享
- 可编程的环回测试模式
- 可屏蔽的模块中断
- 两个时钟域：CAN 内核时钟和 APB 总线时钟
- 支持掉电模式

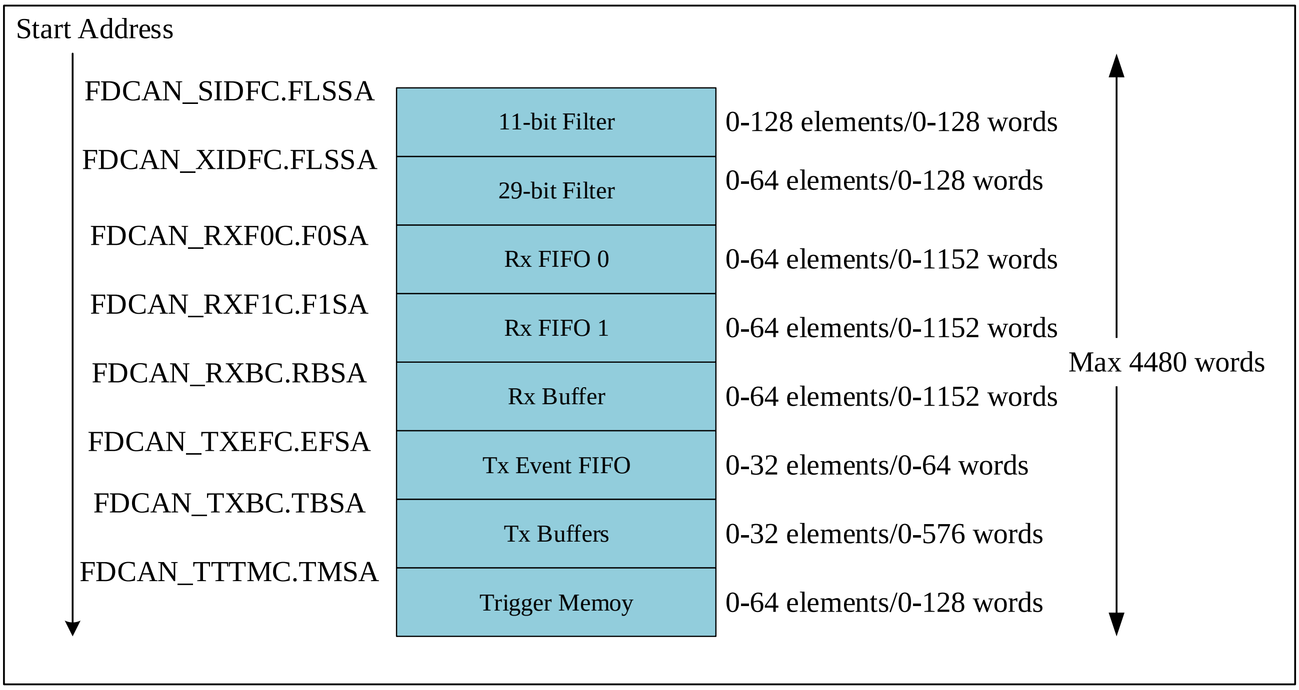
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

23.3 消息 RAM

23.3.1 消息 RAM 配置

FDCAN 支持一个 32bit 消息 RAM 区，包含接收过滤器、接收 FIFO 与专用接收缓冲区、发送缓冲区、发送事件 FIFO（以及 TTCAN 触发器）。消息 RAM 位于通用 SRAM，基线地址可配置（RCC_FDCANBADDR 位），仅支持按字（32bit）访问，不支持字节访问，单个 FDCAN 模块最多可分配 4480 字，3 个 FDCAN 模块共享 1 个消息 RAM 区域。消息 RAM 结构可参考下图。

图 23-1 FDCAN 消息 RAM 分配示例图



消息 RAM 中的各个分段不是强制性的，其排列顺序也没有限制。用户可以根据需要进行配置。在 CAN FD 模式下运行时，所需的消息 RAM 大小主要取决于通过 FDCAN_RXESC.F0DS、FDCAN_RXESC.F1DS、FDCAN_RXESC.RBDS 和 FDCAN_TXESC.TBDS 为 Rx FIFO0、Rx FIFO1、Rx 缓冲器和 Tx 缓冲器配置的元素大小。寄存器中配置的起始地址均为字地址，实际写入寄存器的是各区段起始地址与消息 RAM 区起始地址的偏移量。

注意：FDCAN 不检查消息 RAM 的配置是否存在错误。因此配置各区段的起始地址以及元素数量时必须多加留意，以避免数据入侵或丢失

23.3.2 专用接收缓冲和接收 FIFO

每个 FDCAN 模块可在消息 RAM 区配置最多 64 个专用接收缓冲和 2 个接收 FIFO 区。每个接收 FIFO 大小也可分别配置，最多可分别存储 64 条已接收消息。专用接收缓冲与接收 FIFO 元素的数据域大小可通过寄存器 FDCAN_RXESC 配置，最多 64 字节。

接收缓冲与 FIFO 元素数据结构如下表所示。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 23-1 接收缓冲与接收 FIFO 数据结构

<table>
<tr><td>word</td><td>31</td><td>30</td><td>29</td><td>28</td><td>27</td><td>26</td><td>25</td><td>24</td><td>23</td><td>22</td><td>21</td><td>20</td><td>19</td><td>18</td><td>17</td><td>16</td><td>15</td><td>14</td><td>13</td><td>12</td><td>11</td><td>10</td><td>9</td><td>8</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td>R0</td><td>ESI</td><td>XTD</td><td>RTR</td><td colspan="29">ID[28:0]</td></tr>
<tr><td>R1</td><td>ANMF</td><td colspan="7">FIDX[6:0]</td><td colspan="2">Reserved</td><td>FDF</td><td>BRS</td><td colspan="4">DLC[3:0]</td><td colspan="16">RXTS[15:0]</td></tr>
<tr><td>R2</td><td colspan="8">DB3[7:0]</td><td colspan="8">DB2[7:0]</td><td colspan="8">DB1[7:0]</td><td colspan="8">DB0[7:0]</td></tr>
<tr><td>R3</td><td colspan="8">DB7[7:0]</td><td colspan="8">DB6[7:0]</td><td colspan="8">DB5[7:0]</td><td colspan="8">DB4[7:0]</td></tr>
<tr><td>...</td><td colspan="8">...</td><td colspan="8">...</td><td colspan="8">...</td><td colspan="8">...</td></tr>
<tr><td>Rn</td><td colspan="8">DBm[7:0]</td><td colspan="8">DBm-1[7:0]</td><td colspan="8">DBm-2[7:0]</td><td colspan="8">DBm-3[7:0]</td></tr>
</table>

位域	名称	描述
R0 位 31	ESI	错误状态指示符 (Error State Indicator) 0：发送节点处于主动错误状态 1：发送节点处于被动错误状态
R0 位 30	XTD	扩展标识符 (Extended Identifier)，指示接收帧 ID 类型。 0：11 位标准 ID 1：29 位扩展 ID
R0 位 29	RTR	远程发送请求 (Remote Transmission Request)，指示接收到的帧类型。 0：接收到的帧为数据帧 1：接收到的帧为远程帧 注意：CAN FD 格式中没有远程帧。在 CAN FD 帧（FDF = 1）中，显性位 RRS（远程请求替代）位替代了 RTR（远程发送请求）位。
R0 位 28:0	ID[28:0]	标识符 (Identifier) 标准 ID 或扩展 ID，取决于 XTD 位。当为 11 位标准 ID 时左对齐存储(ID[28:18])。
R1 位 31	ANMF	接受非匹配帧 (Accepted Non-matching Frame) 可通过 FDCAN_GFC.ANFS 和 FDCAN_GFC.ANFE 使能接受非匹配帧。 0：接收到的帧与过滤器索引 FIDX 匹配 1：接收到的帧与任何接收过滤器元素都不匹配
R1 位 30:24	FIDX[6:0]	过滤器索引 (Filter Index) 0-127：与接收帧匹配的接收过滤器元素索引（ANMF =1 时无效）。 实际范围为 0 到 FDCAN_SIDFC.LSS - 1 （标准帧）或 FDCAN_XIDFC.LSE – 1（扩展帧）。
R1 位 21	FDF	FD 格式 (FD Format) 0：典型 CAN 帧格式 1：FDCAN 帧格式（新 DLC 编码和 CRC）
R1 位 20	BRS	比特率切换 (Bit Rate Switch) 0：接收帧时不切换比特率 1：接收帧时切换比特率
R1 位 19:16	DLC[3:0]	数据长度代码 (Data Length Code) 0-8：CAN + CAN FD：接收到的帧包含 0-8 个数据字节 9-15：CAN：接收到的帧包含 8 个数据字节 9-15：CAN FD：接收到的帧包含 12/16/20/24/32/48/64 个数据字节

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
R1 位 15:0	RXTS[15:0]	接收时间戳 (Rx Timestamp) 开始接收帧时捕获的时间戳计数器值。分辨率取决于时间戳计数器预分频器 FDCAN_TSCC.TCP 的配置。
R2 位 31:24	DB3[7:0]	数据字节 3 (Data Byte 3)
R2 位 23:16	DB2[7:0]	数据字节 2 (Data Byte 2)
R2 位 15:8	DB1[7:0]	数据字节 1 (Data Byte 1)
R2 位 7:0	DB0[7:0]	数据字节 0 (Data Byte 0)
R3 位 31:24	DB7[7:0]	数据字节 7 (Data Byte 7)
R3 位 23:16	DB6[7:0]	数据字节 6 (Data Byte 6)
R3 位 15:8	DB5[7:0]	数据字节 5 (Data Byte 5)
R3 位 7:0	DB4[7:0]	数据字节 4 (Data Byte 4)
…	…	…
Rn 位 31:24	DBm[7:0]	数据字节 m (Data Byte m)
Rn 位 23:16	DBm-1[7:0]	数据字节 m-1 (Data Byte m-1)
Rn 位 15:8	DBm-2[7:0]	数据字节 m-2 (Data Byte m-2)
Rn 位 7:0	DBm-3[7:0]	数据字节 m-3 (Data Byte m-3)

注意：根据 FDCAN_RXESC 的配置，数据域可占用 2～16 个字（Rn= 2..17）。

23.3.3 发送缓冲

发送缓冲区可配置为专用发送缓冲以及发送 FIFO/发送队列。如果发送缓冲区由专用发送缓冲和发送 FIFO/发送队列共享，先从发送缓冲区的起始地址开始分配专用发送缓冲，剩余部分再分配给发送 FIFO/发送队列。发送处理单元根据 FDCAN_TXBC.TFQS 和 FDCAN_TXBC.NDTB 值来区分专用发送缓冲和发送 FIFO/发送队列。发送缓冲与发送 FIFO/发送队列元素大小可配置，具体取决于数据域大小，而数据域可通过寄存器 FDCAN_TXESC 配置，最多 64 字节。

专用发送缓冲与发送 FIFO/发送队列元素数据结构如下表所示。

表 23-2 专用发送缓冲与发送 FIFO/发送队列数据结构

<table>
<tr><td>word</td><td>31</td><td>30</td><td>29</td><td>28</td><td>27</td><td>26</td><td>25</td><td>24</td><td>23</td><td>22</td><td>21</td><td>20</td><td>19</td><td>18</td><td>17</td><td>16</td><td>15</td><td>14</td><td>13</td><td>12</td><td>11</td><td>10</td><td>9</td><td>8</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td>T0</td><td>ESI</td><td>XTD</td><td>RTR</td><td colspan="29">ID[28:0]</td></tr>
<tr><td>T1</td><td colspan="8">MM[7:0]</td><td>EFC</td><td>Reserved</td><td>FDF</td><td>BRS</td><td colspan="4">DLC[3:0]</td><td colspan="16">Reserved</td></tr>
<tr><td>T2</td><td colspan="8">DB3[7:0]</td><td colspan="8">DB2[7:0]</td><td colspan="8">DB1[7:0]</td><td colspan="8">DB0[7:0]</td></tr>
<tr><td>T3</td><td colspan="8">DB7[7:0]</td><td colspan="8">DB6[7:0]</td><td colspan="8">DB5[7:0]</td><td colspan="8">DB4[7:0]</td></tr>
<tr><td>...</td><td colspan="8">...</td><td colspan="8">...</td><td colspan="8">...</td><td colspan="8">...</td></tr>
<tr><td>Tn</td><td colspan="8">DBm[7:0]</td><td colspan="8">DBm-1[7:0]</td><td colspan="8">DBm-2[7:0]</td><td colspan="8">DBm-3[7:0]</td></tr>
</table>

位域	名称	描述
T0 位 31	ESI	错误状态指示符 (Error State Indicator) 0：CAN FD 帧中 ESI 位仅取决于错误被动标志 1：CAN FD 帧中 ESI 位会进行隐性发送

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		注意：实际发送的 ESI 位为写入发送缓冲的 ESI 与被动错误标志进行或运算后的值。按照 CAN FD 协议规范的要求，主动错误节点可选择隐性发送 ESI 位，但被动错误节点将始终隐性发送 ESI 位。
T0 位 30	XTD	扩展标识符 (Extended Identifier) 0：11 位标准 ID 1：29 位扩展 ID
T0 位 29	RTR	远程发送请求 (Remote Transmission Request) 0：发送数据帧 1：发送远程帧 注意：当 RTR = 1 时，即使 CCCR.FDOE 启用了 CAN FD 格式的传输，FDCAN 也会按照 ISO 11898-1:2015 的规定发送远程帧。
T0 位 28:0	ID[28:0]	标识符 (Identifier) 标准 ID 或扩展 ID，取决于 XTD 位。当为 11 位标准 ID 时左对齐存储（ID[28:18]）。
T1 位 31:24	MM[7:0]	消息标记 (Message Marker) 在配置发送缓冲区时由 CPU 写入。复制到发送事件 FIFO 元素中，用于标识发送消息状态。
T1 位 23	EFC	事件 FIFO 控制 (Event FIFO Control) 0：不存储发送事件 1：存储发送事件
T1 位 21	FDF	FD 格式 (FD Format) 0：以典型 CAN 帧格式发送 1：以 CAN FD 帧格式发送
T1 位 20	BRS	比特率切换 (Bit Rate Switching) 0：发送 CAN FD 帧时不切换比特率 1：发送 CAN FD 帧时切换比特率 注意：ESI、FDF 和 BRS 位仅当启用 CAN FD（FDCAN_CCCR.FDOE＝1'）时有效。在此基础上，BRS 仅 FDCAN_CCCR.BRSE＝'1' 时有效。
T1 位 19:16	DLC[3:0]	数据长度代码 (Data Length Code) 0-8：CAN＋CAN FD：接收到的帧包含 0-8 个数据字节 9-15：CAN：接收到的帧包含 8 个数据字节 9-15：CAN FD：接收到的帧包含 12/16/20/24/32/48/64 个数据字节
T2 位 31:24	DB3[7:0]	数据字节 3 (Data Byte 3)
T2 位 23:16	DB2[7:0]	数据字节 2 (Data Byte 2)
T2 位 15:8	DB1[7:0]	数据字节 1 (Data Byte 1)
T2 位 7:0	DB0[7:0]	数据字节 0 (Data Byte 0)
T3 位 31:24	DB7[7:0]	数据字节 7 (Data Byte 7)
T3 位 23:16	DB6[7:0]	数据字节 6 (Data Byte 6)
T3 位 15:8	DB5[7:0]	数据字节 5 (Data Byte 5)
T3 位 7:0	DB4[7:0]	数据字节 4 (Data Byte 4)
…	…	…
Tn 位 31:24	DBm[7:0]	数据字节 m (Data Byte m)
Tn 位 23:16	DBm-1[7:0]	数据字节 m-1 (Data Byte m-1)

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
Tn 位 15:8	DBm-2[7:0]	数据字节 m-2 (Data Byte m-2)
Tn 位 7:0	DBm-3[7:0]	数据字节 m-3 (Data Byte m-3)

注意：根据 FDCAN_TXESC 的配置，数据域可占用 2～16 个字（Tn= 2..17）。

23.3.4 发送事件 FIFO

每个元素均存储与已发送消息相关的信息。通过读取发送事件 FIFO，主机 CPU 可按照消息发送顺序获取相关信息。发送事件 FIFO 的状态信息可从寄存器 FDCAN_TXEFS 获取。

发送事件 FIFO 元素数据结构如下表所示。

表 23-3 发送事件 FIFO 数据结构

<table>
<tr><td>word</td><td>31</td><td>30</td><td>29</td><td>28</td><td>27</td><td>26</td><td>25</td><td>24</td><td>23</td><td>22</td><td>21</td><td>20</td><td>19</td><td>18</td><td>17</td><td>16</td><td>15</td><td>14</td><td>13</td><td>12</td><td>11</td><td>10</td><td>9</td><td>8</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td>E0</td><td>ESI</td><td>XTD</td><td>RTR</td><td colspan="29">ID[28:0]</td></tr>
<tr><td>E1</td><td colspan="8">MM[7:0]</td><td colspan="2">ET[1:0]</td><td>FDF</td><td>BRS</td><td colspan="4">DLC[3:0]</td><td colspan="16">TXTS[15:0]</td></tr>
</table>

位域	名称	描述
E0 位 31	ESI	错误状态指示符 (Error State Indicator) 0：发送节点为主动错误状态 1：发送节点为被动错误状态
E0 位 30	XTD	扩展标识符 (Extended Identifier) 0：11 位标准 ID 1：29 位扩展 ID
E0 位 29	RTR	远程发送请求 (Remote Transmission Request) 0：发送数据帧 1：发送远程帧
E0 位 28:0	ID[28:0]	标识符 (Identifier) 标准 ID 或扩展 ID，取决于 XTD 位。当为 11 位标准 ID 时左对齐存储（ID[28:18]）。
E1A/B 位 31:24	MM[7:0]	消息标记 (Message Marker) 从发送缓冲区复制到发送事件 FIFO 元素中，用于标识发送消息状态。
E1A/B 位 23:22	ET[1:0]	事件类型 (Event Type) 00：保留 01：发送事件 10：取消后仍发送（在 DAR 模式下发送时必须设为此值） 11：保留
E1A/B 位 21	FDF	FD 格式 (FD Format) 0：典型 CAN 帧格式 1：FDCAN 帧格式（新 DLC 编码和 CRC）
E1A/B 位 20	BRS	比特率切换 (Bit Rate Switching) 0：发送 CAN FD 帧时不切换比特率 1：发送 CAN FD 帧时切换比特率

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
E1A/B 位 19:16	DLC[3:0]	数据长度代码（Data Length Code） 0-8：CAN + CAN FD：接收到的帧包含 0-8 个数据字节 9-15：CAN：接收到的帧包含 8 个数据字节 9-15：CAN FD：接收到的帧包含 12/16/20/24/32/48/64 个数据字节
E1A 位 15:0	TXTS[15:0]	发送时间戳（Tx Timestamp） 开始发送帧时捕获的时间戳计数器值。分辨率取决于时间戳计数器预分频器 FDCAN_TSCC.TCP 的配置。

23.3.5 标准消息 ID 过滤器

最多可为 11 位标准 ID 配置 128 个过滤器元素。访问标准消息 ID 过滤器元素时，其地址为标准过滤器列表起始地址 FDCAN_SIDFC.FLSSA 加上过滤器元素索引（0…127）。

标准消息 ID 过滤器元素数据结构如下表所示。

表 23-4 标准消息 ID 过滤器数据结构

word	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
S0	SFT[1:0]		SFEC[2:0]			SFID1[10:0]											Reserved					SFID2[0:0]										

位域	名称	描述
31:30	SFT[1:0]	标准过滤器类型（Standard Filter Type） 00：从 SFID1 到 SFID2 的范围过滤器 01：双 ID 过滤器：过滤器 ID 为 SFID1 或 SFID2 10：典型过滤器：SFID1 为过滤器 ID，SFID2 为掩码 11：禁用当前过滤器 注意：当 SFT=11b 时，禁用过滤器元素，但接收过滤仍然有效（与 SFEC=00b 时的行为相同）。
29:27	SFEC[2:0]	标准过滤器元素配置（Standard Filter Element Configuration） 所有使能的过滤器元素都用于对标准帧进行接收过滤。当发现第一个匹配的已使能过滤器元素时，或者到达过滤器列表结尾处时，停止接收过滤。如果 SFEC =100b、101b 或 110b，则出现匹配时，会将中断标志 FDCAN_IR.HPM 置 1，并会生成中断（若使能）。在这种情况下，寄存器 FDCAN_HPMS 会更新为优先级匹配的状态。 000：禁用当前过滤器 001：如果与过滤器匹配，则存储在接收 FIFO 0 中 010：如果与过滤器匹配，则存储在接收 FIFO 1 中 011：如果与过滤器匹配，则拒绝接收，不适合与同步消息一起使用 100：如果与过滤器匹配，设置优先级但不存储，不适合与同步消息一起使用 101：如果与过滤器匹配，则设置优先级并存储在 FIFO 0 中 110：如果与过滤器匹配，则设置优先级并存储在 FIFO 1 中 111：存储在接收缓冲区中或作为调试消息，忽略 SFT[1:0]的配置

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
26:16	SFID1[10:0]	标准过滤器 ID 1 (Standard Filter ID 1) 标准 ID 过滤器元素的第一个 ID。当用于接收缓冲、同步消息、或调试消息时，此字段为需要存储的消息 ID。此时消息 ID 必须完全匹配，不使用掩码机制。
10:0	SFID2[10:0]	标准过滤器 ID 2 (Standard Filter ID 2) 根据 SFEC 的不同配置，此字段定义也不同。 1）SFEC =001b...110b：标准 ID 过滤器元素的第二个 ID 2）SFEC =111b：用于接收缓冲或调试消息的过滤配置，详细定义如下： - 10:9：用于定义接收到的消息存储位置，接收缓冲、或作为调试消息序列中的消息 A、B 或 C 进行处理 00：将消息存储在接收缓冲区中 01：调试消息 A 10：调试消息 B 11：调试消息 C -8:6：保留。 -5:0：接收消息在接收缓冲区存储位置与起始地址 FDCAN_RXBC.RBSA 的偏移。

23.3.6 扩展消息 ID 过滤器

最多可为 29 位扩展 ID 配置 64 个过滤器元素。当访问扩展消息 ID 过滤器元素时，其地址是 FDCAN_XIDFC.FLESA 加上过滤器元素的索引的两倍（0…63）。

扩展消息 ID 过滤器元素数据结构如下表所示。

表 23-5 扩展消息 ID 过滤器数据结构

word	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
F0	EFEC[2:0]			EFID1[28:0]																												
F1	EFT[1:0]		Reserved	EFID2[28:0]																												

位域	名称	描述
F0 位 31:29	EFEC[2:0]	扩展过滤器元素配置 (Extended Filter Element Configuration) 所有使能的过滤器元素都用于对扩展帧进行接收过滤。当发现第一个匹配的已使能过滤器元素时，或者到达过滤器列表结尾处时，停止接收过滤。如果 EFEC =100b、101b 或 110b，则出现匹配时，会将中断标志 FDCAN_IR.HPM 置 1，并会生成中断（若使能）。在这种情况下，寄存器 FDCAN.HPMS 会更新为优先级匹配的状态。 000：禁用当前过滤器 001：如果与过滤器匹配，则存储在接收 FIFO 0 中 010：如果与过滤器匹配，则存储在接收 FIFO 1 中 011：如果与过滤器匹配，则拒绝接收，不适合与同步消息一起使用 100：如果与过滤器匹配，设置优先级但不存储，不适合与同步消息一起使用

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		101：如果与过滤器匹配，则设置优先级并存储在 FIFO 0 中 110：如果与过滤器匹配，则设置优先级并存储在 FIFO 1 中 111：存储在接收缓冲区中或作为调试消息，忽略 EFT[1:0]的配置
F0 位 28:0	EFID1[28:0]	扩展过滤器 ID 1 (Extended Filter ID 1) 扩展 ID 过滤器元素的第一个 ID。当用于接收缓冲、同步消息、或调试消息时，此字段为需要存储的消息 ID。此时消息 ID 必须完全匹配，仅使用 XIDAM 屏蔽机制。
F1 位 31:30	EFT[1:0]	扩展过滤器类型 (Extended Filter Type) 00：从 EFID1 到 EFID2 的范围过滤器 (EFID2 ≥ EFID1) 01：双 ID 过滤器：过滤器 ID 为 EFID1 或 EFID2 10：典型过滤器：EFID1 为过滤器 ID，EFID2 为掩码 11：从 EFID1 到 EFID2 的范围过滤器 (EFID2 ≥ EFID1)，忽略 XIDAM 掩码
F1 位 28:0	EFID2[28:0]	扩展过滤器 ID 2 (Extended Filter ID 2) 根据 SFEC 的不同配置，此字段定义也不同。 1）EFEC =001b...110b：扩展 ID 过滤器元素的第二个 ID 2）EFEC =111b：用于接收缓冲或调试消息的过滤配置，详细定义如下： - 10:9：用于定义接收到的消息存储位置，接收缓冲、或作为调试消息序列中的消息 A、B 或 C 进行处理 00：将消息存储在接收缓冲区中 01：调试消息 A 10：调试消息 B 11：调试消息 C -8:6：保留。 -5:0：接收的消息在接收缓冲区存储位置与起始地址 FDCAN_RXBC.RBSA 的偏移。

23.3.7 触发存储器

最多可配置 64 个触发存储器元素。访问触发存储器元素时，其地址为触发存储器起始地址 FDCAN_TTTMC.TMSA 加上触发存储器元素的索引（0...63）。

表 23-6 触发存储器数据结构

<table>
<tr><td>word</td><td>31</td><td>30</td><td>29</td><td>28</td><td>27</td><td>26</td><td>25</td><td>24</td><td>23</td><td>22</td><td>21</td><td>20</td><td>19</td><td>18</td><td>17</td><td>16</td><td>15</td><td>14</td><td>13</td><td>12</td><td>11</td><td>10</td><td>9</td><td>8</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td>T0</td><td colspan="16">TM[15:0]</td><td>Reserved</td><td colspan="7">CC[6:0]</td><td colspan="2">Reserved</td><td>TMIN</td><td>TMEX</td><td colspan="4">TYPE[3:0]</td></tr>
<tr><td>T1</td><td colspan="8">Reserved</td><td>FTYPE</td><td colspan="7">MNR[6:0]</td><td colspan="13">Reserved</td><td colspan="3">MSC[2:0]</td></tr>
</table>

位域	名称	描述
T0 位 31:16	TM[15:0]	时间标记(Time Mark) 触发器激活的周期时间。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

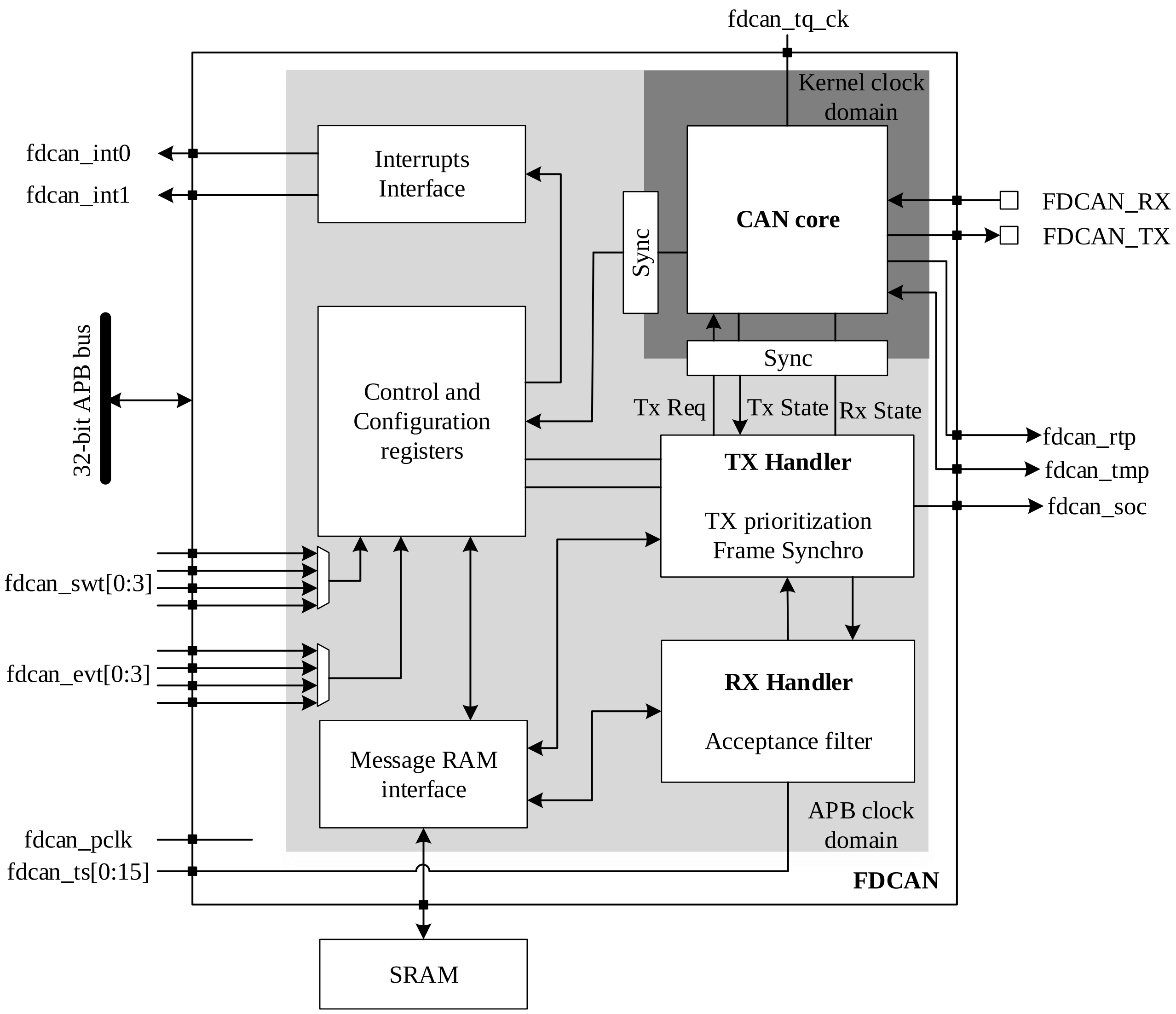
位域	名称	描述
T0 位 14:8	CC[6:0]	周期代码(Cycle code): 触发有效的周期计数。忽略触发类型 Tx_Ref_Trigger、Tx_Ref_Trigger_Gap、Watch_Trigger、Watch_Trigger_Gap、End_of_List。 0b000000x valid for all cycles 0b000001c valid every 2nd cycle at cycle count mod2 = c 0b00001cc valid every 4th cycle at cycle count mod4 = cc 0b0001ccc valid every 8th cycle at cycle count mod8 = ccc 0b001cccc valid every 16th cycle at cycle count mod16 = cccc 0b01ccccc valid every 32nd cycle at cycle count mod32 = ccccc 0b1cccccc valid every 64th cycle at cycle count mod64 = cccccc
T0 位 5	TMIN	时间标记事件内部(Time mark event internal): 0：无操作 1：触发存储元件处于活动状态时 FDCAN_TTIR.TTMI 置 1
T0 位 4	TMEX	时间标记事件外部(Time mark event external): 0：无操作 1：当触发存储元件的时间弧处于激活状态且 FDCAN_TTOCN.TTMIE = 1 时，在输出端 fdcan_tmp 产生一个以上实例的脉冲，如果只有一个实例，则在输出端 fdcan_tmp 产生一个周期长度的脉冲。
T0 位 3:0	TYPE[3:0]	触发器类型(Trigger type): 0000 Tx_Ref_Trigger - 未处于间隙时有效 0001 Tx_Ref_Trigger_Gap - 在间隙时有效 0010 Tx_Trigger_Single - 在独占时间窗口中启动单次发送 0011 Tx_Trigger_Continuous - 在独占时间窗口中启动连续发送 0100 Tx_Trigger_Arbitration - 在仲裁时间窗口中启动发送 0101 Tx_Trigger_Merged - 启动合并仲裁窗口 0110 Watch_Trigger - 非间隙时有效 0111 Watch_Trigger_Gap - 处于间隙时有效 1000 Rx_Trigger - 检查接收情况 1001 Time_Base_Trigger - 仅控制 TMIN、TMEX 1010 ... 1111=End_of_List - 非法类型，会导致配置错误
T1 bit 23	FTYPE	过滤器类型(Filter type): 0：11 位标准消息 ID 1：29 位扩展消息 ID
T1 bit 22:16	MNR[6:0]	消息编号(Message Number) 发送：触发器对配置的 Tx 缓冲区编号有效。有效值为 0 至 31。 接收：触发器对标准/扩展消息 ID 过滤器元素编号有效。有效值分别为 0 至 63 和 0 至 127。
T1 bit 2:0	MSC[2:0]	消息状态计数(Message status count) 在专属时间窗口内统计周期性消息的调度错误。在仲裁消息和事件驱动的 CAN 通信（ISO11898-1）中，它没有任何功能。 0-7= 实际状态

注意：必须在 FDCAN 处于 INIT（初始）状态时写入触发存储器元素。不允许在 INIT 状态之外写入触发存

储器元素。如果 TMIN 和 TMEX 被定义为 Tx_Ref_Trigger 类型触发存储器元素的一部分，则 TMIN 和 TMEX 例外。在这种情况下，它们会在实际参考触发偏移（FDCAN_TTOST.RTO）修改的时间标记处激活。

23.4 基本功能描述

图 23-2 FDCAN 功能框图



中断接口

FDCAN 模块支持 2 条中断线输出，fdcan_int0 与 fdcan_int1，可分别使能或禁用。模块内部所有中断都可连接至 fdcan_int0 或 fdcan_int1，且能分别独立配置。默认情况下，所有中断被连接到中断线 fdcan_int0。

CAN 内核

CAN 内核包含 CAN 协议控制器和接收/发送移位寄存器，提供所有 ISO 11898-1:2015 协议功能，支持 11 位和 29 位标识符。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

同步单元

同步单元将 APB 时钟域的信号同步到 CAN 内核时钟域，或将 CAN 内核时钟域的信号同步到 APB 时钟域

时间戳

可接收外部输入的 16 位向量，用于替代内部 16 位 CAN 时间计数器，生成接收和发送时间戳。

发送处理

发送处理单元用于控制从消息 RAM 到 CAN 内核的数据传输。最多可配置 32 个发送缓冲区，可用作专用发送缓冲区、发送 FIFO/队列、或专用发送缓冲区与发送 FIFO/队列的组合，同时支持取消发送。同一时间，用户只能选择发送队列或发送 FIFO。发送时还可配置生成发送事件 FIFO，包含发送时间戳与关联消息 ID。

发送处理单元还实现了帧同步实体 FSE，根据 ISO11898-4 标准控制定时触发通信。它与 CAN 总线上的参考消息同步，控制周期时间和全局时间，并根据预定义的消息时间表（系统矩阵）处理发送。它还处理与消息 RAM 中消息相关联的系统矩阵时间标记。停止监视触发器、事件触发器和时间标记中断是同步接口。

接收处理

接收处理单元控制从 CAN 内核接收的消息到外部消息 RAM 的传输。接收处理单元支持两个接收 FIFO，每个 FIFO 的大小可独立配置，最多 64 个专用接收缓冲区，用于存储所有通过接收过滤器的消息。接收处理单元还支持专用接收缓冲区，与接收 FIFO 不同，仅存储符合特定标识符（ID）的消息。所有消息中均包含接收时间戳。如果使用 11 位 ID，最多可定义 128 个接收过滤器，而对于 29 位 ID，最多可定义 64 个过滤器。

消息 RAM 接口

消息 RAM 接口连接 FDCAN 模块与外部 32bit 消息 RAM，用于消息控制与仲裁，由 8 个 FDCAN 模块共享，最大支持 32K 字（32bit）。

23.4.1 工作模式

23.4.1.1 软件初始化

当 FDCAN_CCCR.INIT 位置 1 时，模块进入软件初始化状态。此时从 CAN 总线传入和传出的消息都将停止，且 CAN 总线输出引脚 FDCAN_TX 的状态为隐性电平（高电平），错误管理逻辑（EML）的计数器保持不变，且不会改变任何配置寄存器值。FDCAN_CCCR.INIT 位可通过软件置 1，也可在发生硬件复位或进入 Bus_Off 状态时自动置 1。将 FDCAN_CCCR.INIT 位清零会结束软件初始化，此时模块位流处理单元(BSP)会等待 11 个连续隐性位(Bus_Idle)序列，以便与 CAN 总线上的数据传输进行同步，然后才能参与总线活动并进行消息传输。

仅当 FDCAN_CCCR.INIT 位以及 FDCAN_CCCR.CCE 位均置 1 时，才能对 FDCAN 配置寄存器进行写操作。

FDCAN_CCCR.CCE 位只能在 FDCAN_CCCR.INIT 位置 1 时才能进行置 1 或清零操作，且在 FDCAN_CCCR.INIT 位清零时自动清零。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

当 FDCAN_CCCR.CCE 位置 1 时，下列寄存器会被复位：

- FDCAN_HPMS——高优先级消息状态
- FDCAN_RXF0S——接收 FIFO 0 状态
- FDCAN_RXF1S——接收 FIFO 1 状态
- FDCAN_TXFQS——发送 FIFO/队列状态
- FDCAN_TXBRP——发送缓冲区请求挂起
- FDCAN_TXBTO——发送缓冲区发送已发生
- FDCAN_TXBCF——发送缓冲区取消完成
- FDCAN_TXEFS——发送事件 FIFO 状态
- FDCAN_TTOST——TT 运行状态
- FDCAN_TTLGT——TT 本地时间和全局时间，仅全局时间 FDCAN_TTLGT.GT 被重置
- FDCAN_TTCTC——TT 周期时间和计数
- FDCAN_TTCSM——TT 周期同步标记

当 FDCAN_CCCR.CCE 位置 1 时，FDCAN_TOCV.TOC 位会被预设为 FDCAN_TOCC.TOP 位的配置值。此时发送处理单元与接收处理单元状态机均保持空闲状态。

仅当 FDCAN_CCCR.CCE 位清零时，才能对以下寄存器进行写操作：

- FDCAN_TXBAR——发送缓冲区添加请求
- FDCAN_TXBCR——发送缓冲区取消请求

FDCAN_CCCR.TEST 和 FDCAN_CCCR.MON 位仅当 FDCAN_CCCR.INIT 位和 FDCAN_CCCR.CCE 位均已置 1 时，才能通过软件置 1，但可随时清零。

FDCAN_CCCR.DAR 位仅当 FDCAN_CCCR.INIT 位和 FDCAN_CCCR.CCE 位均已置 1 时，才能进行置 1 或清零操作。

23.4.1.2 正常工作模式

当初始化完成且 FDCAN_CCCR.INIT 位清零后，FDCAN 会将与 CAN 总线同步，准备进行通信。

通过接收过滤器过滤后，接收到的消息（包含消息 ID 和 DLC）将会存储到接收 FIFO 0、接收 FIFO 1、或专用接收缓冲区中。

可通过初始化或更新专用发送缓冲区与发送 FIFO/队列进行消息发送。在接收到远程帧后，不支持自动发送。

23.4.1.3 CAN FD 工作模式

CAN FD 协议支持两种帧模式。第一种是长帧模式(LFM)，此模式下消息帧中的数据字段可以超过八个字节。第二种是快速帧模式(FFM)，此时消息帧发送时，控制字段、数据字段和 CRC 字段的比特率要高于帧起始和结束字段。快速帧模式可与长帧模式可结合使用。

具有 11 位标识符的 CAN 消息帧中的保留位、以及具有 29 位标识符的 CAN 消息帧中的第一个保留位现用作 FDF 位。FDF 为隐性位时表示 CAN FD 消息帧，显性则表示典型 CAN 消息帧。在 CAN FD 消息帧中，通过 FDF 位后的另外两个 bit 位 res 和 BRS 决定是否进行比特率切换，当 res 为显性位且 BRS 为隐性位时，

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

指示当前帧有进行比特率切换。res 为隐性位时，功能未定义，保留用作以后的协议扩展。如果接收到的帧中 FDF 与 res 均为隐性位，则发生协议异常事件，此时 FDCAN_PSR.PXE 位置 1。如果已使能协议异常处理功能（FDCAN_CCCR.PXHD=0b），在下一采样点模块工作状态会从接收器（FDCAN_PSR.ACT=10b）变为同步中（FDCAN_PSR.ACT=00b）。如果禁止协议异常处理功能（FDCAN_CCCR.PXHD=1b），FDCAN 会将隐性 res 位视为格式错误并发送错误帧。

通过编程 FDCAN_CCCR.FDOE 可使能 CAN FD 工作模式，此时模块可发送和接收 CAN FD 消息帧，同时也支持典型 CAN 消息帧的发送和接收。发送时，帧类型（CAN FD 消息帧与典型 CAN 消息帧）可通过对应发送缓冲区中的 FDF 位配置。当 FDCAN_CCCR.FDOE=0b 时，接收到的消息帧会被视为典型 CAN 消息帧，而接收到 CAN FD 消息帧时则视为错误并发送错误帧。如果 CAN FD 功能已禁用，即使发送缓冲区中的 FDF 位已置 1，也不会发送 CAN FD 消息帧。仅当 FDCAN_CCCR.INIT 和 FDCAN_CCCR.CCE 均置 1 时，才能更改 FDCAN_CCCR.FDOE 和 FDCAN_CCCR.BRSE 位。

如果 FDCAN_CCCR.FDOE=0b，FDF 和 BRS 位被忽略，仅发送典型 CAN 消息帧。如果 FDCAN_CCCR.FDOE=1b、FDCAN_CCCR.BRSE=0b 时，FDF 位有效，可发送 CAN FD 消息帧。如果 FDCAN_CCCR.FDOE=1b 且 FDCAN_CCCR.BRSE=1b，发送 CAN FD 消息帧时支持比特率切换。对于 FDF 和 BRS 位都置 1 的发送缓冲区，消息以 CAN FD 消息帧发送并启用比特率切换。

在模块工作中，建议仅在满足以下条件时进行模式切换：

- CAN FD 数据域的错误率明显高于 CAN FD 仲裁域。此时应禁止比特率切换功能。
- 系统启动后，所有节点都只发送典型 CAN 消息帧。直至确认当前总线可通过 CAN FD 消息帧进行通信后，所有节点才切换为 CAN FD 模式。
- CAN 局部网络中的唤醒消息必须以典型 CAN 消息帧格式进行发送。
- 在整车下线流程中进行编程时，并非所有节点均支持 CAN FD。非 CAN FD 节点在编程完成之前会一直保持静默模式。随后，所有节点会切换回典型 CAN 通信。

在 CAN FD 模式中，DLC 取值为 0 至 8 时，数据域长度定义与典型 CAN 相同，取值 9 到 15（在典型 CAN 中数据域均为 8 个字节）时，数据域长度定义参照下表。

表 23-7 CAN FD 数据域长度定义

DLC	9	10	11	12	13	14	15
数据域字节数	12	16	20	24	32	48	64

CAN FD 快速帧模式下，如果 BRS 位为隐性位，消息帧内部会在 BRS 位后自动切换位时序。在 BRS 位之前，CAN FD 仲裁域使用由标称位时序和预分频寄存器 FDCAN_NBTP 定义的标准位时序。随后的 CAN FD 数据域中，则使用由数据位时序和预分频寄存器 FDCAN_DBTP 定义的快速位时序。最后在 CRC 分界符或检测到错误时（以先发生的事件为准）切换回标准位时序。

CAN FD 数据域的最大可配置比特率取决于 FDCAN 内核时钟频率。举例来说，如果 FDCAN 内核时钟频率为 20MHz，最短可配置位时间为四个时间片(tq)，此时数据域的比特率为 5Mb/s。

在 CAN FD 长帧和快速帧这两种数据帧格式中，ESI（错误状态指示符）位的值由发送开始时的发送器错误状态决定。如果发送器处于被动错误状态，则发生隐性 ESI 位，否则发送显性位。在 CAN FD 远程帧中，ESI 位始终为显性位，与发送器错误状态无关，且数据域长度为 0。

23.4.1.4 收发器延迟补偿

在 CAN FD 数据域发送时，只有一个节点在发送数据，所有其他节点均处于接收器状态。FDCAN 发送器通

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

过 FDCAN_TX 引脚发送数据时，接收器会同时通过 FDCAN_RX 引脚接收当前发送的数据。接收数据相对于发送数据会产生延迟（收发器环路延迟）。当延迟时间大于 TSEG1（单个 bit 位中采样点前的时间片段）时，产生位错误。如果没有收发器延迟补偿，数据域比特率将受限于环路延迟。

FDCAN 采用延迟补偿机制来补偿收发器环路延迟，使得 CAN FD 数据域可在高比特率稳定传输，且不受环路延迟影响。

为了检查发送节点的数据域是否存在位错误，将延迟后的发送数据与接收数据在第二采样点 SSP 进行比较。如果检测到位错误，发送器将在下一个常规采样点对位错误作出响应。在仲裁域，延迟补偿禁用。

当数据位时间小于发送器延迟时，可将 FDCAN_DBTP.TDC 位置 1 来使能发送器延迟补偿，在新版 ISO11898-1 标准中对此进行了详细介绍。

接收到数据位会在 SSP 与发送的数据位进行比较。SSP 定义为从 FDCAN 发送引脚 FDCAN_TX 到接收引脚 FDCAN_RX 测得的延迟时间与发送器延迟补偿偏移值（由 FDCAN_TDCR.TDCO 配置）之和。发送器延迟补偿用于调整接收 bit 位中 SSP 的位置（例如半个数据域 bit 位时间）。第二采样点的位置会向下舍入到下一个 mtq（最小时间片，即一个 fdcan_tq_ck 时钟周期）。

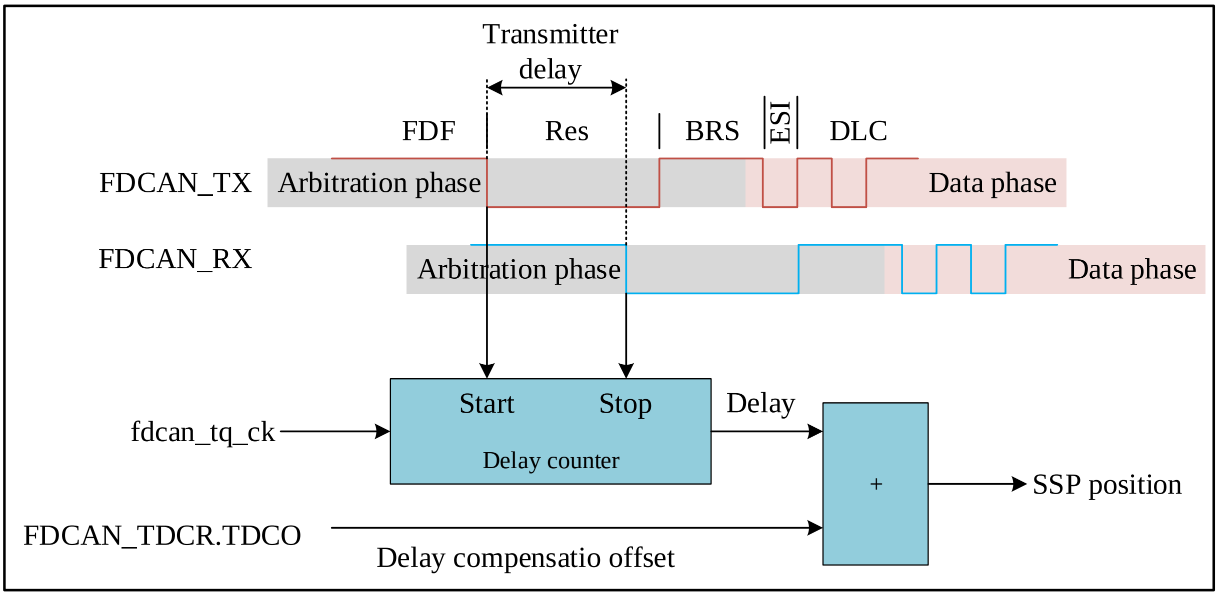
FDCAN_PSR.TDCV 为实际发送器延迟补偿值。当 FDCAN_CCCR.INIT 置 1 时，FDCAN_PSR.TDCV 值清零。如果 FDCAN_DBTP.TDC 置 1，FDCAN_PSR.TDCV 值在每次发送 CAN FD 消息帧时更新。

在 FDCAN 中使用发送器延迟补偿时必须考虑以下边界条件：

- FDCAN_TX 到 FDCAN_RX 间测得的延迟时间与发送器延迟补偿偏移值 FDCAN_TDCR.TDCO 之和必须小于数据域的 6 个位时间。
- FDCAN_TX 到 FDCAN_RX 间测得的延迟时间与发送器延迟补偿偏移值 FDCAN_TDCR.TDCO 之和必须小于或等于 127 mtq。如果二者之和超过 127 mtq，发送器延迟补偿采用最大值(127 mtq)。
- 数据域在 CRC 分隔符的采样点结束，此时停止在 SSP 检查接收到的数据位。

当 FDCAN_DBTP.TDC 置 1 时，使能发送器延迟补偿。此时会在每个发送的 CAN FD 消息帧中的 FDF 位与 res 位间下降沿开始测量，在接收引脚 FDCAN-RX 上观察到该下降沿时停止测量。此测量以 mtq 为单位。

图 23-3 FDCAN 收发器延迟测量



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

如果在接收到的 FDF 位中有显性毛刺信号，会导致在接收到下降沿前异常结束延迟补偿测量（造成 SSP 位置提前），此时可将 FDCAN_TDCR.TDCF 置 1 来使能发送器延迟补偿过滤器窗口。延迟补偿过滤窗口定义了 SSP 位置最小值，此时进行发送器延迟测量会忽略 FDCAN_RX 接收到的导致 SSP 位置提前的显性边沿。当 SSP 位置不小于 FDCAN_TDCR.TDCF 值，且 FDCAN_RX 为低电平时，测量停止。

23.4.1.5 受限工作模式

在受限工作模式下，节点可接收数据帧和远程帧，并对有效帧进行确认，但不会发送数据帧、远程帧、主动错误帧或过载帧。如果发生错误或过载，节点不会发送显性位，而是等待总线空闲，以便与 CAN 总线重新同步。此时错误计数器（FDCAN_ECR.REC、FDCAN_ECR.TEC）被冻结，错误记录（FDCAN_ECR.CEL）保持工作。FDCAN_CCCR.ASM 位软件置 1 后，FDCAN 进入受限工作模式。仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为“1”时，才能将 FDCAN_CCCR.ASM 置 1，但可随时通过软件清零。

当发送处理单元未能及时从消息 RAM 中读取数据时，会自动进入受限工作模式。软件必须复位 FDCAN_CCCR.ASM 位来退出受限工作模式。

受限工作模式可用于自适应 CAN 比特率应用。此时应用会测试不同比特率，并在收到有效帧后退出受限工作模式。

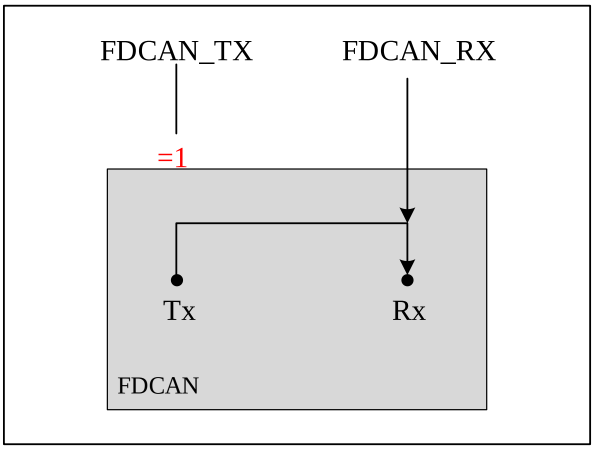
注意：受限工作模式不能与环回模式（内部或外部）结合使用。

23.4.1.6 总线监控模式（静默模式）

将 FDCAN_CCCR.MON 位置 1 时，FDCAN 进入总线监控模式。在总线监控模式下（更多详细信息，请参见 ISO11898-1，10.12 总线监控），FDCAN 能够接收有效数据帧和有效远程帧，但无法发送。此时 FDCAN 仅会在 CAN 总线上发送隐性位，如果 FDCAN 必须发送显性位（ACK 位、过载标志、主动错误标志），仅在模块内部发送以便 FDCAN 可以监控该显性位，但 CAN 总线保持隐性状态。在总线监控模式下，寄存器 FDCAN_TXBRP 会保持复位状态。

总线监控模式可用于分析 CAN 总线上的流量，同时不会因发送显性位对其造成影响。总线监控模式下 FDCAN_TX 和 FDCAN_RX 信号与 FDCAN 的连接如下图所示。

图 23-4 FDCAN 总线监控模式引脚控制



23.4.1.7 禁止自动重传（DAR）模式

根据 CAN 规范（参见 ISO 11898-1:2015，8.3.4 恢复管理），FDCAN 支持自动重传仲裁失败或在发送过程中受到错误干扰的消息帧。自动重传默认使能，但可以通过 FDCAN_CCCR.DAR 禁用自动重传。

在 DAR（禁止自动重传）模式下，所有重发操作在 CAN 总线启动后都会自动取消。发送缓冲区发送请求挂

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

起位 FDCAN_TXBRP.TRPx 在成功发送后自动复位，如果取消时发送尚未开始、发送因仲裁丢失而中止、或者发送期间出错，该位也会复位。

- 成功发送：
  - 发送缓冲区对应的发送开始位 FDCAN_TXBTO.TOx 置 1
  - 发送缓冲区对应的取消完成位 FDCAN_TXBCF.CFx 不置 1
- 已取消发送但仍成功发送：
  - 发送缓冲区对应的发送开始位 FDCAN_TXBTO.TOx 置 1
  - 发送缓冲区对应的取消完成位 FDCAN_TXBCF.CFx 置 1
- 仲裁丢失或帧发送受到干扰：
  - 发送缓冲区对应的发送开始位 FDCAN_TXBTO.TOx 未置 1
  - 发送缓冲区对应的取消完成位 FDCAN_TXBCF.CFx 置 1

在成功发送消息帧时，如果启用了发送事件存储，则会写入事件类型 ET=10b（即使已取消发送也会进行发送）的发送事件 FIFO。

23.4.1.8 掉电（休眠）模式

FDCAN 可通过设置时钟停止请求位 FDCAN_CCCR.CSR 进入掉电模式。时钟停止请求生效后，读 FDCAN_CCCR.CSR 位返回值为 1。

当所有发送请求完成后，FDCAN 会一直等待直至检测到总线空闲状态。然后将 FDCAN_CCCR.INIT 置 1 以避免其他 CAN 传输。此时将 FDCAN_CCCR.CSA 置 1，确认已准备好进入掉电状态后，模块时钟可关闭。在该模式下，如果模块时钟未关闭，可继续访问寄存器，但对 FDCAN_CCCR.INIT 写操作无效。

注意：在 CAN 总线受到严重干扰时，可能无法检测到总线空闲状态，导致 FDCAN 不会将 FDCAN_CCCR.INIT 位置 1，可通过轮询 FDCAN_PSR.ACT 来检测此情况。此时软件可将 FDCAN_CCCR.INIT 置 1 立即停止 CAN 通信，无论当前是否有发送/接收操作在进行。

如果要退出掉电模式，应用必须先开启模块时钟，再复位 FDCAN_CCCR.CSR 位。此时查询 FDCAN_CCCR.CSA 位，如果已复位，则确认时钟开启。然后应用可通过复位 FDCAN_CCCR.INIT 位重新开始 CAN 通信

23.4.1.9 测试模式

如果要对寄存器 FDCAN_TEST 进行写访问，必须先将 FDCAN_CCCR.TEST 位置 1。从而能够配置测试模式和功能。

通过配置 FDCAN_TEST.TX 可在 FDCAN 发送引脚 FDCAN_TX 上实现四种输出功能。除了默认串行数据输出功能外，还可通过 CAN 采样点信号来监控 bit 位时长、输出保持联系显性或隐性值。引脚 FDCAN_RX 的实际状态可从 FDCAN_TEST.RX 读取。这两种功能均可用于检查 CAN 总线物理层。

由于 CAN 内核时钟域与主机时钟域之间的同步机制，在 FDCAN_TX 输出引脚上按照新配置输出与 FDCAN_TEST.TX 的写操作之间可能会有几个 APB 时钟周期的延迟。此延迟同样适用于通过 FDCAN_TEST.RX 读取 FDCAN_RX 输入引脚状态。

注意：测试模式仅用于生产测试或自检。对引脚 FDCAN_TX 的软件控制会干扰所有 CAN 协议功能。不建议将测试模式用于实际应用。

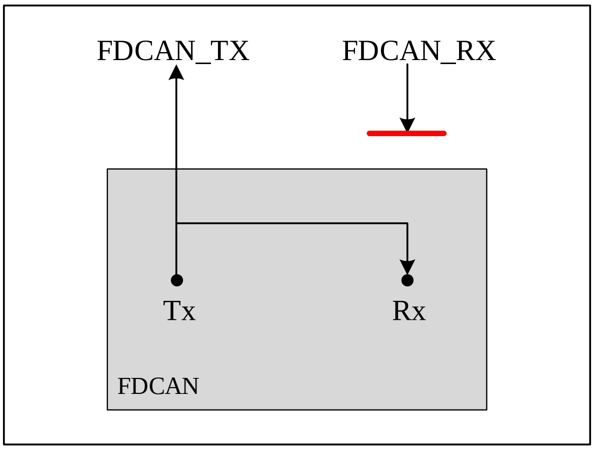
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

23.4.1.10 外部回环模式

将 FDCAN_TEST.LBCK 位置 1，可将 FDCAN 设置为外部环回模式。此时 FDCAN 将其自身发送的消息作为接收的消息来处理，并将消息（如果这些消息通过了接收过滤器）存储到接收 FIFO 中。外部环回模式下 FDCAN_TX 和 FDCAN_RX 信号与 FDCAN 的连接如下图所示。

外部回环模式用于硬件自测。为了不受外部仿真影响，FDCAN 在环回模式下忽略 ACK 错误（在数据/远程帧中 ACK 为隐性位）。此模式下，FDCAN 实现从发送输出到接收输入的内部反馈。FDCAN_RX 输入引脚上的实际值被忽略。在 FDCAN_TX 发送引脚上可监控发送的消息。外部回环模式引脚控制如下图所示。

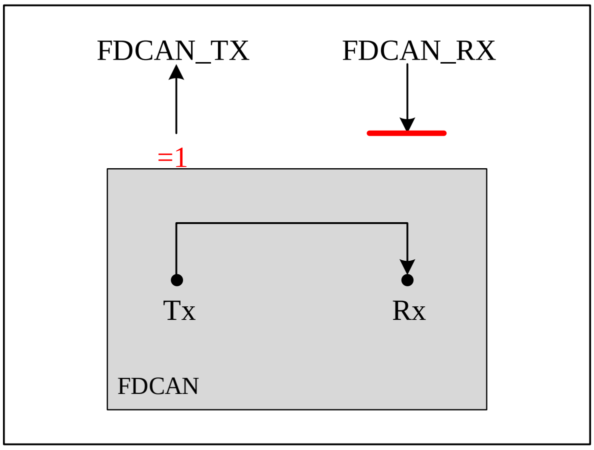
图 23-5 FDCAN 外部回环模式引脚控制



23.4.1.11 内部回环模式

将 FDCAN_TEST.LBCK 和 FDCAN_CCCR.MON 位都置为 1，FDCAN 进入内部环回模式。该模式可用于“热自检”，FDCAN 可在进行检测时不影响与 FDCAN_TX 和 FDCAN_RX 引脚相连接 CAN 总线系统。此模式下，FDCAN_RX 引脚与 FDCAN 断开连接，FDCAN_TX 引脚则保持隐性。内部回环模式引脚控制如下图所示。

图 23-6 FDCAN 内部回环模式引脚控制



23.4.1.12 应用看门狗

应用看门狗通过读取寄存器 FDCAN_TTOST 来提供服务。当应用程序看门狗未及时送达时，位 FDCAN_TTOST.AWE 将被置 1，所有 TTCAN 通信将停止，FDCAN 将进入总线监控模式。

可通过将应用程序看门狗限制 FDCAN_TTOCF.AWL 编程为 0x00 来禁用 TT 应用程序看门狗。不应在 TTCAN

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

应用程序中禁用 TT 应用程序看门狗。

23.4.1.13 时间戳生成

FDCAN 提供一个 16 位回环计数器用于生成时间戳。计数器时钟源为 FDCAN 位时间，且可通过 FDCAN_TSCC.TCP 配置时钟预分频（1...16）。计数器值可从 FDCAN_TSCV.TCV 读取。对寄存器 FDCAN_TSCV 的写操作将重置计数器值为 0。当计数器发生回环时，FDCAN_IR.TSW 位置 1。

在消息帧开始接收/发送时，计数器值被捕获并存储到 Rx 缓冲区、Rx FIFO 或 Tx 事件 FIFO 的时间戳中。

可通过配置 FDCAN_TSCC.TSS 位来启用 16 位时间戳。

23.4.1.14 超时计数器

FDCAN 提供一个 16 位超时计数器来指示接收 FIFO 0、接收 FIFO 1 和发送事件 FIFO 的超时条件。超时计数器为递减计数器，其时钟预分频与时间戳计数器一样，由 FDCAN_TSCC.TCP 控制。可通过寄存器 FDCAN_TOCC 配置超时计数器。计数器值可从 FDCAN_TOCV.TOC 读取。仅当 FDCAN_CCCR.INIT=0 时，才能启动超时计数器。当 FDCAN_CCCR.INIT=1 时，超时计数器停止计数，例如 FDCAN 进入 Bus_Off 状态时。

超时计数器工作模式由 FDCAN_TOCC.TOS 选择。配置为连续模式时，当 FDCAN_CCCR.INIT 被复位后，计数器开始计数。对 FDCAN_TOCV 的写操作会将计数器值预置为 FDCAN_TOCC.TOP 值，并继续递减计数。

当超时计数器由其中一个 FIFO 控制时，FIFO 为空时将计数器预置为 FDCAN_TOCC.TOP 值。当第一个元素写入 FIFO 时，递减计数开始。此时对 FDCAN_TOCV 的写操作不影响计数值。

当计数器值递减至零时，FDCAN_IR.TOO 置 1。如果工作在连续模式，计数器立即重新启动且初值为 FDCAN_TOCC.TOP 值。

注意：超时计数器的时钟信号是从 CAN 内核的采样点信号派生的。因此，由于 CAN 内核的同步/重新同步机制，超时计数器递减的时刻可能会有所不同。如果在 CAN FD 中使用了波特率切换功能，则在仲裁域和数据域中超时计数器的时钟不同。

23.4.2 接收处理

接收处理单元控制接收过滤器、将接收的消息传输到专用接收缓冲或指定接收 FIFO，并更新接收 FIFO 的写入和获取索引。

23.4.2.1 接收过滤器

FDCAN 可配置两组接收过滤器，一组用于标准标识符，另一组用于扩展标识符。这些过滤器可以分配给专用接收缓冲区或接收 FIFO 0/1。接收消息时，每个过滤器列表从元素 0 开始检查，直到找到第一个匹配的元素。找到匹配元素后停止检查并忽略后续过滤器元素。

主要特性包括：

- 每个过滤器元素可以配置为
  - 范围过滤器
  - 单个或两个特定 ID 的匹配过滤器
  - 经典位掩码过滤器

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 每个过滤器元素可以配置为接收已匹配消息或拒绝已匹配消息
- 每个过滤器元素可以单独启用/禁用
- 过滤器按列表顺序逐个检查，在找到第一个匹配的过滤器元素后停止。

相关的配置寄存器包括：

- 全局过滤器配置 FDCAN_GFC
- 标准 ID 过滤器配置 FDCAN_SIDFC
- 扩展 ID 过滤器配置 FDCAN_XIDFC
- 扩展 ID 与掩码 FDCAN_XIDAM

根据过滤器元素的配置（SFEC/EFEC），匹配后会触发以下动作之一：

- 将接收到的帧存储在接收 FIFO 0 或 FIFO 1 中
- 将接收到的帧存储在专用接收缓冲中
- 将接收到的帧存储在专用接收缓冲中，并在过滤器事件引脚上生成脉冲
- 拒绝接收到的帧
- 设置高优先级消息中断标志 FDCAN_IR.HPM
- 设置高优先级消息中断标志 FDCAN_IR.HPM，并将接收到的帧存储在接收 FIFO 0 或 FIFO 1 中

在完整的 ID 接收完毕后，接收过滤开始执行。在接收过滤完成后，如果找到匹配的专用接收缓冲或接收 FIFO，消息处理单元将接收到的消息数据以 32bit 的形式写入匹配的专用接收缓冲或接收 FIFO 中。如果 CAN 协议控制器检测到错误条件（例如 CRC 错误），则该消息会被丢弃，并产生以下影响：

- 专用接收缓冲

匹配的专用接收缓冲的新消息标志不会置 1，但会被接收到的新数据部分覆盖。错误类型参考 FDCAN_PSR.LEC 或 FDCAN_PSR.DLEC。

- 接收 FIFO

匹配的接收 FIFO 的写入索引不会更新，但会被接收到的新数据部分覆盖。错误类型参考 FDCAN_PSR.LEC 或 FDCAN_PSR.DLEC。如果匹配的接收 FIFO 工作在覆盖模式，则必须考虑接收 FIFO 覆盖模式中描述的边界条件。

注意：当一个已接受的消息被写入接收 FIFO 或专用接收缓冲时，未被修改的接收 ID 会被存储，与使用的过滤器无关。接收过滤的结果在很大程度上取决于配置的过滤器元素顺序。

23.4.2.1.1 范围过滤

当使用范围过滤时，过滤器匹配所有在由 SF1ID/SF2ID 或 EF1ID/EF2ID 定义的范围内的消息 ID。

在扩展帧采用范围过滤时，有两种可能性：

EFT=00b：在应用范围过滤之前，接收消息 ID 先和扩展 ID 掩码（FDCAN_XIDAM）进行与运算。

EFT=11b：直接进行范围过滤，忽略扩展 ID 掩码（FDCAN_XIDAM）。

23.4.2.1.2 特定 ID 过滤

过滤器可配置为过滤一个或两个特定的消息 ID。如果要过滤单个特定消息 ID，过滤器元素必须配置为

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

SFID1=SFID2 或 EFID1=EFID2。

23.4.2.1.3 经典位掩码过滤

经典位掩码过滤用于屏蔽接收到消息 ID 的某些位来过滤指定消息组。此时 SFID1/EFID1 用作过滤器 ID，而 SFID2/EFID2 用作掩码。

掩码中为 0 的 bit 位将屏蔽过滤器 ID 的相应 bit 位，过滤时忽略消息 ID 相关 bit 位，仅检查与掩码中为 1 的 bit 位相对应的接收消息 ID bit 位

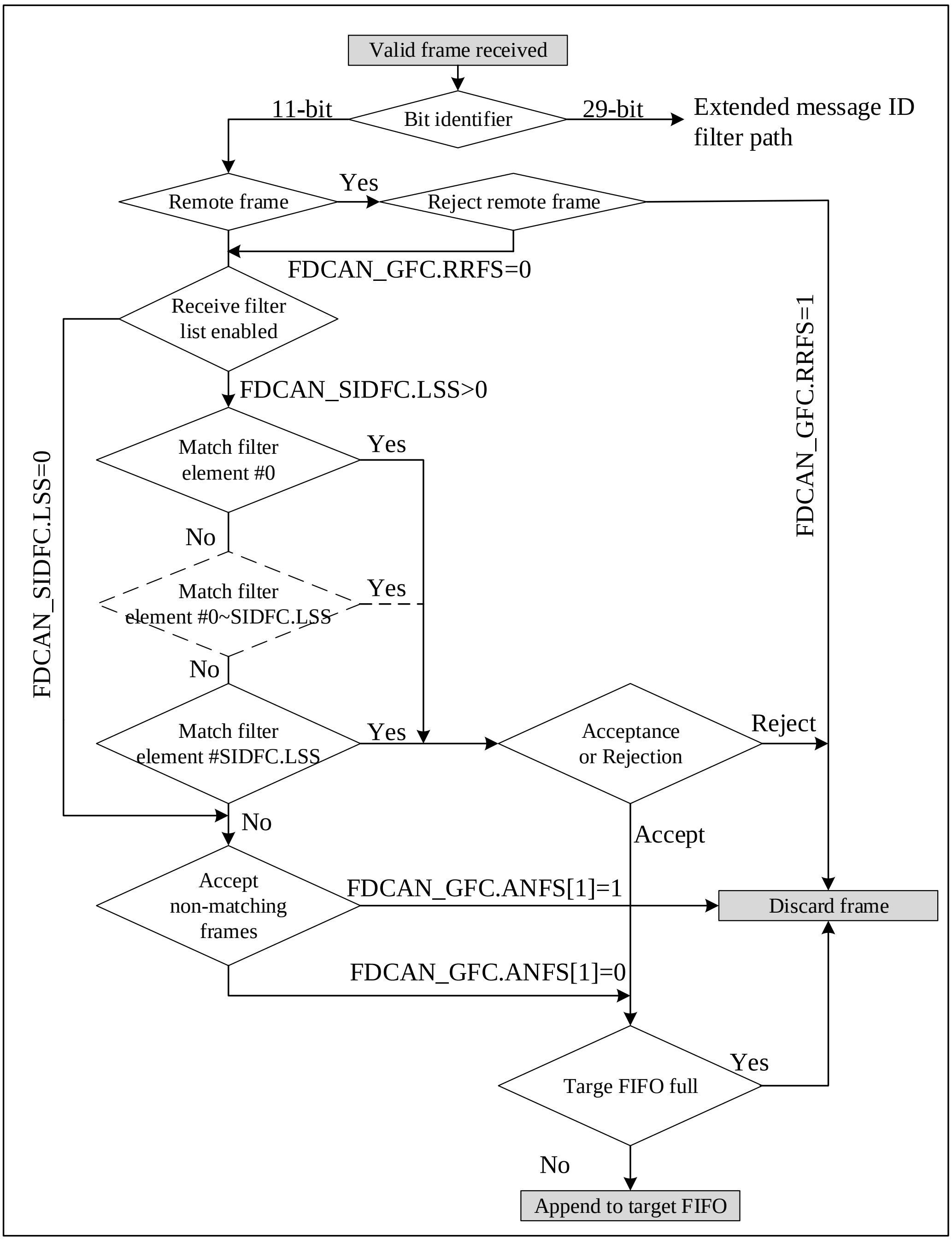
如果所有掩码 bit 位都为 1，则仅当接收消息 ID 与过滤器 ID 完全相同时才会匹配。如果所有掩码 bit 位都为 0，则匹配所有消息 ID。

23.4.2.1.4 标准消息 ID 过滤

标准消息 ID（11 位 ID）过滤的流程如下图所示。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 23-7 FDCAN 标准消息 ID 过滤流程



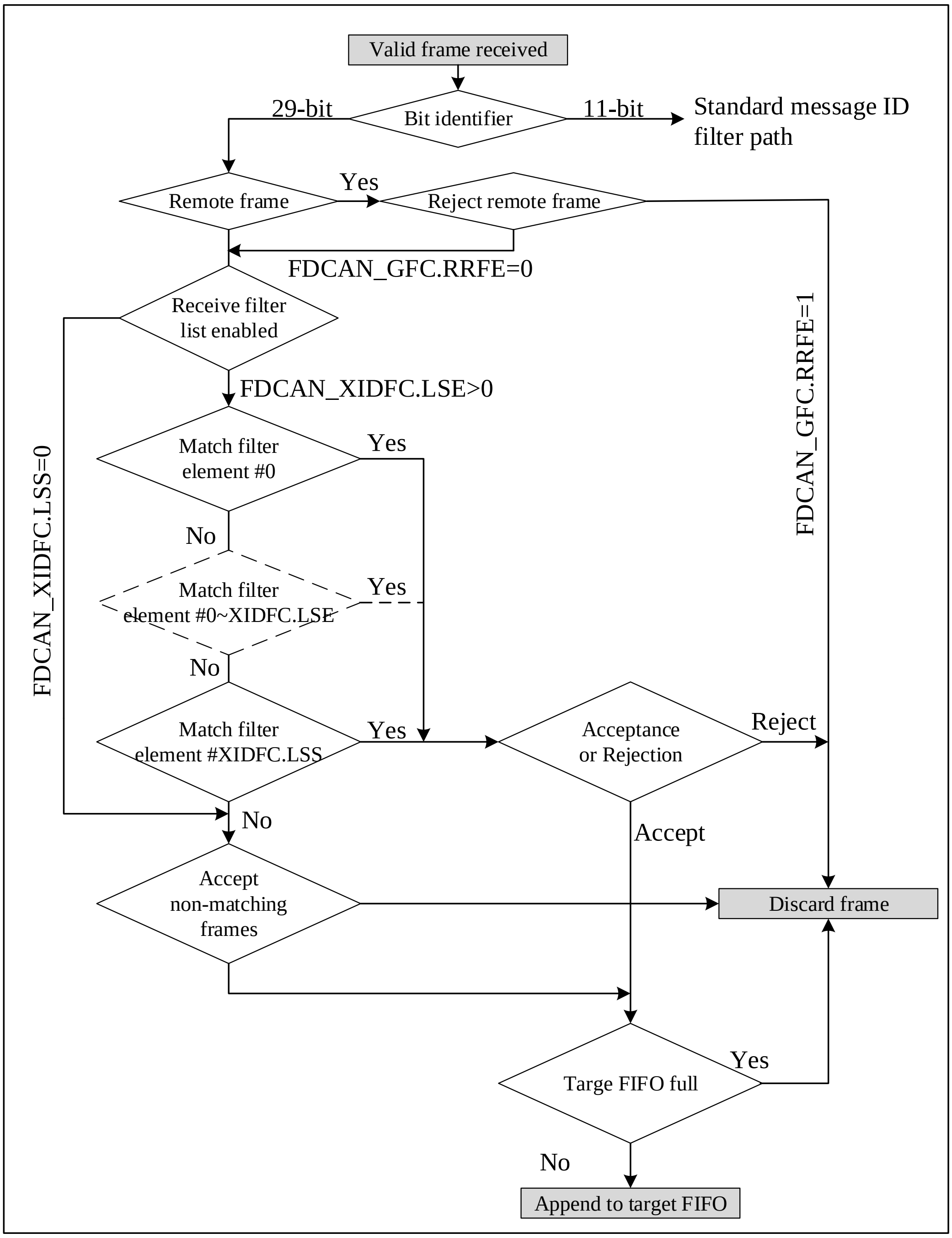
通过全局过滤配置 FDCAN_GFC 和标准 ID 过滤配置 FDCAN_SIDFC，可对接收消息帧的消息 ID、远程发送请求位（RTR）以及标识符扩展位（IDE）进行比较检查。

23.4.2.1.5 扩展消息 ID 过滤

扩展消息 ID（29 位 ID）过滤的流程如下图所示。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 23-8 FDCAN 扩展消息 ID 过滤流程



通过全局过滤配置 FDCAN_GFC 和扩展 ID 过滤配置 FDCAN_XIDFC，可对接收消息帧的消息 ID、远程发送请求位（RTR）以及标识符扩展位（IDE）进行比较检查。但在过滤器检查前，会将消息扩展 ID 与掩码 FDCAN_XIDAM 进行与运算。

23.4.2.2 接收 FIFO

接收 FIFO 0 和接收 FIFO 1 可分别通过寄存器 FDCAN_RXF0C 和 FDCAN_RXF1C 进行配置，每个 FIFO 最多可容纳 64 个元素。

已通过接收过滤的消息会根据已匹配的过滤器元素配置传输到相应的接收 FIFO 中。默认模式下，当接收 FIFO 已满（FDCAN_RXFnS.FnF=1b）时，新消息无法写入。直至至少有一条消息被读出并递增获取索引。

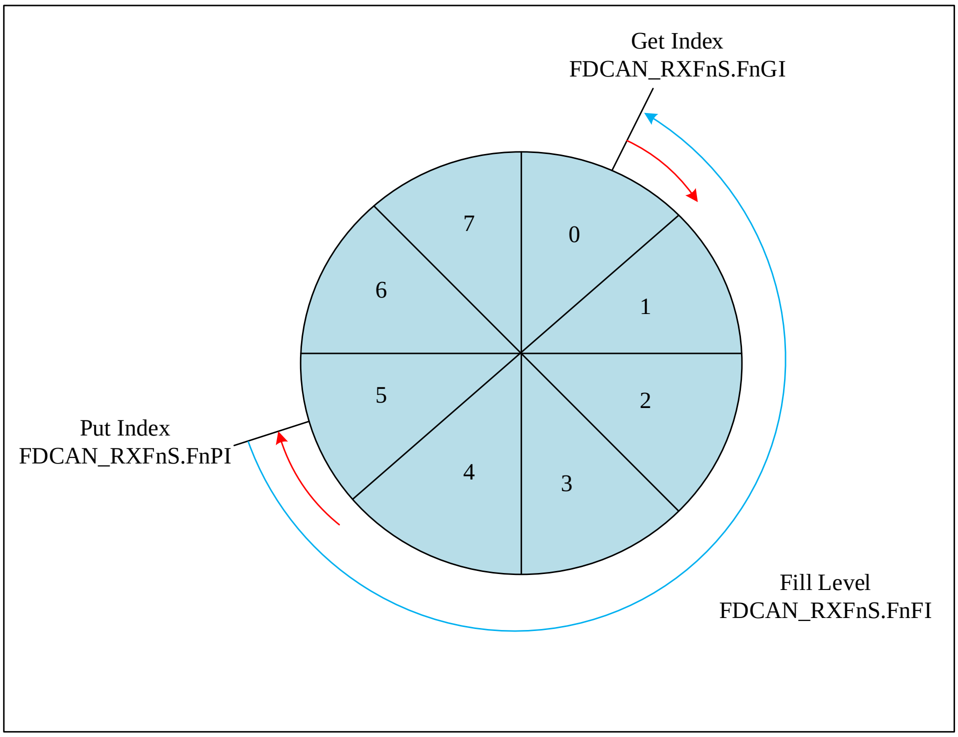
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

接收 FIFO 已满时，接收到的新消息被丢弃，FDCAN_IR.RFnL 标志位置 1。

可使用接收 FIFO 水线标志以避免接收 FIFO 溢出。当接收 FIFO 的填充级别达到由 FDCAN_RXFnC.FnWM 配置的接收 FIFO 水线标志时，FDCAN_IR.RFnW 标志位置 1。

接收 FIFO 状态如下图所示。

图 23-9 FDCAN Rx FIFO 状态图



当从接收 FIFO 中读取消息时，FIFO 元素的实际地址通过将获取索引（FDCAN_RXFnS.FnGI）乘以元素大小，再加上当前 FIFO 起始地址（FDCAN_RXFnC.FnSA）计算得到。

FIFO 元素大小与寄存器配置关系如下表所示。

表 23-8 CAN FD 数据域长度定义

RXESC.RBDS[2:0] RXESC.FnDS[2:0]	数据字段 （字节）	元素大小 （RAM 字）
000	8	4
001	12	5
010	16	6
011	20	7
100	24	8
101	32	10
110	48	14
111	64	18

23.4.2.2.1 接收 FIFO 阻止模式

通过配置 FDCAN_RXFnC.FnOM=0b 来启用接收 FIFO 阻止模式，也是接收 FIFO 的默认工作模式。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

在此模式下，当接收 FIFO 已满（FDCAN_RXFnS.FnPI = FDCAN_RXFnS.FnGI）时，新消息无法写入当前 FIFO，直至至少有一条消息被读出，并递增获取索引。接收 FIFO 已满时 FDCAN_RXFnS.FnF 置 1。此外，中断标志 FDCAN_IR.RFnF 也会置 1。

如果在相应的接收 FIFO 已满的情况下收到一条消息，则该消息会被丢弃，并且会通过 FDCAN_RXFnS.RFnL = '1'来表示消息丢失的情况。此外，中断标志 FDCAN_IR.RFnL 也会被置 1。

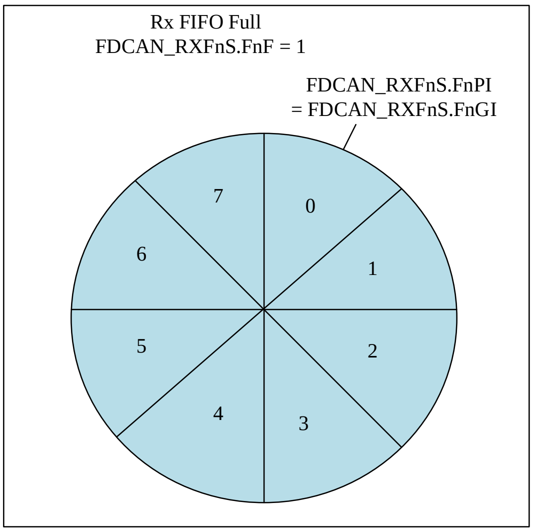
23.4.2.2.2 接收 FIFO 覆盖模式

通过配置 FDCAN_RXFnC.FnOM=1b 来启用接收 FIFO 覆盖模式。

当接收 FIFO 已满时，下一条要存入 FIFO 的新消息将会覆盖 FIFO 中最早的消息。写入索引和获取索引都会递增 1。

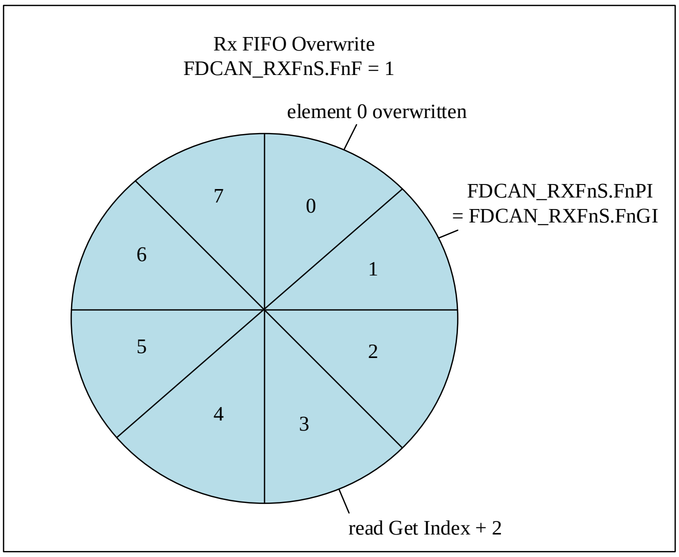
在覆盖模式下，当 FIFO 已满时，读取接收 FIFO 元素时应至少从读取取索引 +1 开始。原因在于 CPU 从消息 RAM 通过获取索引读取消息时，可能会有新的消息通过写入索引写入消息 RAM。此时，从相应的接收 FIFO 元素中可能读取到不一致的数据。从接收 FIFO 读取数据时，将获取索引添加一个偏移量可避免这个问题。偏移量取决于 CPU 访问接收 FIFO 的速度。如下图所示，在读取接收 FIFO 时，相对于获取索引添加了偏移量 2。此时，存储在元素 1 和 2 中的两条消息将会丢失。

图 23-10 FDCAN Rx FIFO 已满



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 23-11 FDCAN Rx FIFO 覆盖示例



在从接收 FIFO 读取数据后，必须将最后读取的元素索引写入接收 FIFO 确认索引 FDCAN_RXFnA.FnA。这会使获取索引增加到该元素索引。如果写入索引尚未增加到此接收 FIFO 元素，则会复位 FIFO 已满标志位（FDCAN_RXFnS.FnF = '0'）。

23.4.2.3 专用接收缓冲

FDCAN 支持最多 64 个专用接收缓冲。专用接收缓冲区的起始地址通过 FDCAN_RXBC.RBSA 配置。

对于每个专用接收缓冲区，必须配置一个 SFEC/EFEC =111b、SFID2/EFID2[10:9]=00b 的标准或扩展消息 ID 过滤器。

消息通过过滤器被接收后，将被存储到由过滤器元素指示的专用接收缓冲中。其数据格式与接收 FIFO 元素相同。另外，中断标志 FDCAN_IR.DRX 标志（消息存储在专用接收缓冲区中）位置 1。

表 23-9 专用接收缓冲过滤器配置示例

过滤器 元素	SFID1[10:0] EFID1[28:0]	SFID2[10:9] EFID2[10:9]	SFID2[5:0] EFID2[5:0]
0	ID 消息 1	00	00 0000
1	ID 消息 2	00	00 0001
2	ID 消息 3	00	00 0010

在已匹配的接收消息的最后一个字被写入消息 RAM 后，寄存器 FDCAN_NDAT1、FDCAN_NDAT2 中的对应的新消息标志置 1。新消息标志置 1 后，相应的专用接收缓冲区将被锁定，以防止被后续接收到的消息更新。主机必须在对应标志位写“1”来复位新消息标志。

当专用接收缓冲区的新消息标志被置 1 时，引用此专用接收缓冲区消息 ID 的过滤器元素将被忽略，接收过滤会继续检查过滤器列表。导致后续与专用缓冲区对应 ID 相同的消息存储位置会被存储到另一个专用接收缓冲区、或存储到接收 FIFO 中，或者被拒收，取决于过滤器配置。

专用接收缓冲区处理流程如下所示：

- 复位中断标志 FDgCAN_IR.DRX
- 读取新消息标志寄存器

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

■ 从消息 RAM 中读取消息

■ 复位已处理消息的新数据标志

23.4.2.4 调试消息过滤

调试消息存储在专用接收缓冲中。使用时需要分配三个连续的专用接收缓冲（例如#61、#62、#63）来存储调试消息 A、B 和 C。其格式与专用接收缓冲或接收 FIFO 元素相同。

为了过滤调试消息，需要为每条调试消息配置一个标准/扩展消息 ID 过滤元素，并配置标准/扩展过滤器元素 SFEC/EFEC=111b。与这些过滤元素匹配的消息将被存储到由 SFID2/EFID2[5:0]指定的专用接收缓冲中。

当调试消息存储到专用接收缓冲后，新消息标志与中断都不会置位。其状态通过 FDCAN_RXF1S.DMS 查询。

表 23-10 调试消息过滤器配置示例

过滤器 元素	SFID1[10:0] EFID1[28:0]	SFID2[10:9] EFID2[10:9]	SFID2[5:0] EFID2[5:0]
0	ID 调试消息 A	01	11 1101
1	ID 调试消息 B	10	11 1110
2	ID 调试消息 C	11	11 1111

23.4.3 发送处理

发送处理单元负责处理专用发送缓冲区、发送 FIFO 和发送队列的发送请求。它控制发送消息到 CAN 内核的传输、写入索引和获取索引、以及发送事件 FIFO。最多可以为消息发送配置 32 个发送缓冲，且可为每个发送缓冲元素单独配置通信模式（经典 CAN 或 CAN FD）。根据 FDCAN_RXESC 的不同配置，发送缓冲元素数据域大小为 2～16 字。发送消息帧可能的配置如下表所示。

表 23-11 发送消息帧配置

FDCAN_CCCR		发送缓冲元素		帧发送
BRSE	FDOE	FDF	BRS	
忽略	0	忽略	忽略	经典 CAN
0	1	0	忽略	经典 CAN
0	1	1	忽略	无波特率切换的 FD CAN
1	1	0	忽略	经典 CAN
1	1	1	0	无波特率切换的 FD CAN
1	1	1	1	有波特率切换的 FD CAN

注意：AUTOSAR 要求至少三个发送队列，并支持发送取消。

当发送缓冲请求挂起寄存器 FDCAN_TXBRP 更新时，发送处理单元会启动对消息 RAM 的发送扫描，寻找最高优先级的发送请求（消息 ID 最小的发送缓冲区）。FDCAN_TXBRP 寄存器在发送完成、或主机写入发送请求、或主机通过 FDCAN_TXBCR 写入取消发送请求后更新。

23.4.3.1 发送暂停

发送暂停功能适用于 CAN 消息 ID 被（永久性地）指定为特定值，而且很难轻易更改的 CAN 应用系统中。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

这些消息 ID 的仲裁优先级高于其他消息，但在特定应用中，它们的仲裁优先级应该是相反的。这将导致如下情况：一个节点发送一系列 CAN 消息，另一个节点的 CAN 消息因为其仲裁优先级较低而被延迟。

例如，如果 CAN 节点 1 启用了发送暂停功能，并且根据应用需求要发送四条消息，在第一条消息成功发送之后，将等待两个 CAN bit 位的总线空闲时间后，才允许发送下一条消息。如果还有其他节点挂起的消息，将在空闲时间内发送，不需要与节点 1 的下一条消息进行仲裁。接收到其他节点的消息后，节点 1 可在接收消息释放 CAN 总线后立即开始下一次发送。

发送暂停功能通过 FDCAN_CCCR.TXP 控制。如果该位被置 1，每当 FDCAN 成功发送一条消息后，它将在开始下一次发送之前暂停两个 CAN bit 位时间。使得网络中的其他 CAN 节点可以发送具有较低优先级 ID 的消息。发送暂停默认禁用（FDCAN_CCCR.TXP =0b）。

此功能可使来自单个节点的突发发送变得松散一些，避免出现应用程序错误地请求过多发送的情况。

23.4.3.2 专用发送缓冲

专用发送缓冲区用于由主机 CPU 完全控制的消息发送。每个专用发送缓冲区都配置有特定的消息 ID。如果多个发送缓冲区配置了相同的消息 ID，则从编号最小的发送缓冲先发送。

如果数据部分已更新，可通过 FDCAN_TXBAR.ARn 发出发送请求。已请求的消息将与可配置的发送 FIFO/发送队列中的消息进行内部仲裁，以及与 CAN 总线上的消息进行外部仲裁，然后根据其消息 ID 发送。

专用发送缓冲元素大小以字（32bit）为单位。专用发送缓冲在消息 RAM 中的起始地址可通过将发送缓冲索引 FDCAN_TXFQS.TFQPI（0…31）×元素大小后，再与发送缓冲区起始地址 FDCAN_TXBC.TBSA 相加计算得到。

表 23-12 专用发送缓冲、发送 FIFO/队列元素大小

TXESC.TBDS[2:0]	数据字段（字节）	元素大小（RAM 字）
000	8	4
001	12	5
010	16	6
011	20	7
100	24	8
101	32	10
110	48	14
111	64	18

23.4.3.3 发送 FIFO

可通过将 FDCAN_TXBC.TFQM 清零来启用发送 FIFO 功能。存储在发送 FIFO 中的消息从由获取索引 FDCAN_TXFQS.TFGI 引用的消息开始发送。每次发送后，获取索引会循环递增，直到发送 FIFO 为空。发送 FIFO 使得具有相同 ID 的消息可按照写入发送 FIFO 的顺序从不同的发送缓冲区发送。FDCAN 通过获取索引和写入索引的差值来计算发送 FIFO 空闲级别 FDCAN_TXFQS.TFFL。指示可用（空闲）发送 FIFO 元素的数量。

新的发送消息必须写入以写入索引 FDCAN_TXFQS.TFQPI 引用的发送缓冲。添加请求会将写入索引递增到下一个空闲的发送 FIFO 元素。当写入索引达到获取索引时，发送 FIFO 已满标志（FDCAN_TXFQS.TFQF）置 1。此时，不要继续写入消息至发送 FIFO 中，直到下一个消息已被发送且获取索引已递增。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

当有一条消息添加到发送 FIFO 时，通过向与发送 FIFO 写入索引引用的发送缓冲相对应的 FDCAN_TXBAR 位写 1 来请求发送。

当将多条（n）消息添加到发送 FIFO 时，它们将被写入从写入索引开始的 n 个连续的发送缓冲中。此时可通过 FDCAN_TXBAR 请求发送。随后写入索引将循环递增 n 次。请求的发送缓冲区数量不应超过由发送 FIFO 空闲级别指示的空闲发送缓冲区数量。

当取消由获取索引引用的发送缓冲的发送请求时，获取索引会递增到下一个已申请发送请求的发送缓冲区，并重新计算发送 FIFO 空闲级别。如果取消其他发送缓冲区的发送，获取索引和 FIFO 空闲级别保持不变。

发送 FIFO 元素大小以字为单位。下一个可用（空闲）发送 FIFO 的起始地址可通过将发送 FIFO 的写入索引 FDCAN_TXFQS.TFQPI（0…31）×元素大小，再与发送缓冲区起始地址 FDCAN_TXBC.TBSA 相加计算得到。

23.4.3.4 发送队列

通过将 FDCAN_TXBC.TFQM 置 1 来启用发送队列功能。存储在发送队列中的消息将从具有最小消息 ID（最高优先级）的消息开始发送。如果多个队列缓冲配置了相同的消息 ID，则编号最小的队列缓冲先发送。

新的消息必须写入由写入索引 FDCAN_TXFQS.TFQPI 引用的发送缓冲。添加发送请求会循环递增写入索引到下一个空闲的发送缓冲。如果发送队列已满（FDCAN_TXFQS.TFQF=1b），写入索引无效，此时不应继续写入新消息至发送队列中，直到队列中至少有一条消息已发送或取消发送请求为止。

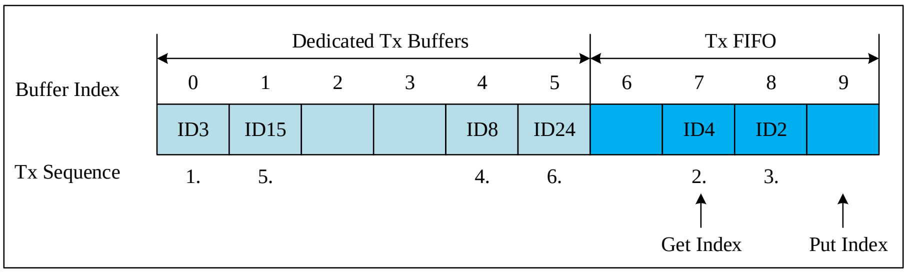
应用中可使用寄存器 FDCAN_TXBRP 代替写入索引，此时可将新消息写入任何没有请求持起的发送缓冲中。

发送队列元素大小以字为单位。下一个可用（空闲）发送队列的起始地址可通过将发送队列写入索引 FDCAN_TXFQS.TFQPI（0…31）×元素大小，再与发送缓冲区起始地址 FDCAN_TXBC.TBSA 相加计算得到。

23.4.3.5 专用发送缓冲与发送 FIFO 混合使用

此时，消息 RAM 中的发送缓冲区被划分为一组专用发送缓冲和一个发送 FIFO。专用发送缓冲的数量通过 FDCAN_TXBC.NDTB 配置。发送 FIFO 分配的发送缓冲数量则通过 FDCAN_TXBC.TFQS 配置。如果 TXBC.TFQS 为 0，仅使用专用发送缓冲。

图 23-12 FDCAN 专用 Tx buffer 与 Tx FIFO 混合配置示例图



发送优先级如下：

- 扫描专用发送缓冲和最早请求挂起的发送 FIFO 缓冲（由 FDCAN_TXFS.TFGI 引用的发送缓冲）
- 具有最小 ID 的发送缓冲拥有最高优先级，将作为下一个要发送的消息进行发送。

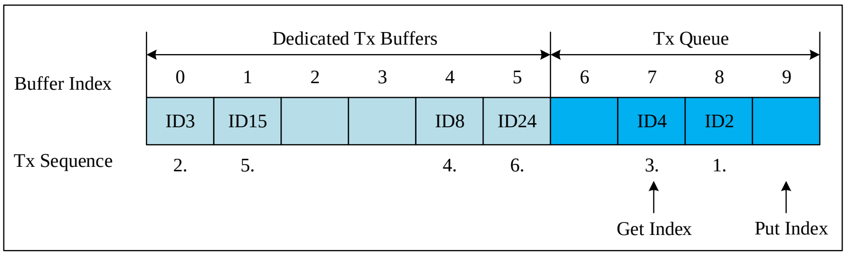
23.4.3.6 专用发送缓冲与发送队列混合使用

此时，消息 RAM 中的发送缓冲区被划分为一组专用发送缓冲和一个发送队列。专用发送缓冲的数量通过

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

FDCAN_TXBC.NDTB 进行配置。发送队列分配的发送缓冲数量则通过 FDCAN_TXBC.TFQS 进行配置。如果将 TXBC.TFQS 设置为零，仅使用专用发送缓冲区。

图 23-13 FDCAN Tx buffer 与 Tx 队列混合配置示例图



发送优先级如下：

- 扫描所有发送请求挂起的发送缓冲
- 具有最小消息 ID 的发送缓冲拥有最高优先级，并在下一次发送时被发送。

23.4.3.7 发送取消

FDCAN 支持发送取消功能。主机必须向寄存器 FDCAN_TXBCR 的相应位写 1 来取消来自专用发送缓冲或发送队列缓冲的发送请求。发送取消功能不适用于发送 FIFO。

成功取消后，寄存器 FDCAN_TXBCF 的相应位置 1。

当请求取消正在发送的消息时，相应的 FDCAN_TXBRP 位保持 1，直至发送完成或失败。如果发送成功，相应的 FDCAN_TXBTO 和 FDCAN_TXBCF 位都将置 1。如果发送失败，不会重复发送，仅 FDCAN_TXBCF 相应位置 1。

注意：如果消息在开始发送前立即取消了发送，就会出现一个短时间的空闲窗口，此时即使另一条消息也在该节点中等待发送，也不会启动发送。从而使另一个节点可发送一条比该节点中的第二条消息优先级更低消息。

23.4.3.8 发送事件 FIFO

FDCAN 提供一个发送事件 FIFO 用于支持发送事件处理。FDCAN 在 CAN 总线上发送一条消息后，消息 ID 和时间戳将存储在一个发送事件 FIFO 元素中。为了将发送事件与发送事件 FIFO 元素关联起来，从发送缓冲中发送的消息标记会被复制到发送事件 FIFO 元素中。发送事件 FIFO 可配置最多 32 个元素。

发送事件 FIFO 的目的是将发送状态与发送消息分开处理，即发送缓冲区仅保存要发送的消息，而发送状态单独存储在发送事件 FIFO 中。这种做法的优势在于处理动态管理的发送队列时，发送缓冲在发送成功后可立即被新消息使用。发送缓冲被新消息覆盖前，不需要保存该发送缓冲的发送状态信息。

当发送事件 FIFO 已满（FDCAN_IR.TEFF=1b）时，无法继续向发送事件 FIFO 写入元素，直至至少有一个元素被读出且发送事件 FIFO 的获取索引已递增。如果在发送事件 FIFO 已满时发生发送事件，此事件将被丢弃，同时中断标志 FDCAN_IR.TEFL 被置 1。

为了避免发送事件 FIFO 溢出，可使用发送事件 FIFO 水线标志。当发送事件 FIFO 填充级别达到由 FDCAN_TXEFC.EFWM 配置的发送事件 FIFO 水线标志时，中断标志 FDCAN_IR.TEFW 被置 1。

从发送事件 FIFO 读取数据时，起始地址通过将发送事件 FIFO 获取索引 FDCAN_TXEFS.EFGI×2，再与发送事件 FIFO 起始地址 FDCAN_TXEFC.EFSA 相加得到。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

23.4.4 FIFO 确认

接收 FIFO 0、接收 FIFO 1 和发送事件 FIFO 的获取索引由写入相应的 FIFO 确认索引来控制。写入 FIFO 确认索引后，FIFO 获取索引将设置为 FIFO 确认索引值加 1，并更新 FIFO 填充级别。可能出现两种情况：

- 当仅从 FIFO 读取了单个元素（即被获取索引指向的元素），则将此获取索引值写入 FIFO 确认索引中。
- 当从 FIFO 读取了一系列元素时，只需在读取序列结束时写入一次 FIFO 确认索引（确认索引值为最后一个读取的元素的索引），即可更新 FIFO 的获取索引。

由于 CPU 可以自由访问 FDCAN 的消息 RAM，因此在以任意顺序（不考虑获取索引）读取 FIFO 元素时需要特别注意。此操作在从两个接收 FIFO 之一读取高优先级消息时可能很有用。此时，不要写 FIFO 的确认索引，因为写入确认索引会将获取索引设为错误的位置并改变 FIFO 的填充级别，导致一些较早的 FIFO 元素丢失。

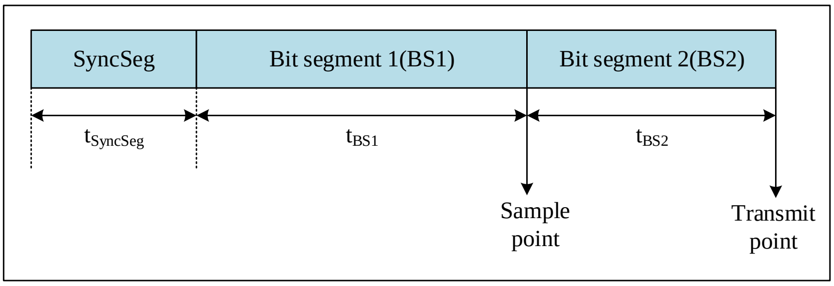
注意：应用程序必须确保写入的 FIFO 确认索引值是有效的。FDCAN 不会检查写入值是否正确。

23.4.5 位时序

位时序逻辑监控串行总线和进行数据采样，并通过在起始位边沿同步以及在后续位边沿重新同步来调整采样点。其操作可通过将位时间分割成 3 个时间段来简单解释，如下所示：

- 同步段(SYNC_SEG)：预计在此期间会发生位反转的时间段，其长度固定为一个时间片(1×tq)。
- 位段 1(BS1)：定义采样点的位置，包括 CAN 标准中定义的 PROP_SEG 和 PHASE_SEG1，其持续时间可在 1 至 16 个时间片之间配置，但在由各个节点的频率差异而产生正相位漂移时可以自动延长进行补偿。
- 位段 2(BS2)：定义发送点的位置，即 CAN 标准中定义的 PHASE_SEG2，其持续时间可在 1 至 8 个时间片之间配置，但也可以自动缩短以补偿负相位漂移。

图 23-14 FDCAN 位时序



波特率为位时间的倒数（波特率=1/位时间），而位时间为三个时间段之和。如上图所示，位时间 $= t_{SyncSeg} + t_{BS1} + t_{BS2}$，其中：

- 标称位时间
  - $tq = (FDCAN\_NBTP.NBRP[8:0] + 1) * t_{fdcan\_tq\_ck}$
  - $t_{SyncSeg} = 1*tq$
  - $t_{BS1} = tq * (FDCAN\_NBTP.NTSEG1[7:0] + 1)$
  - $t_{BS2} = tq * (FDCAN\_NBTP.NTSEG2[6:0] + 1)$

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 数据位时间
- tq = (FDCAN_DBTP. DBRP [4:0] + 1) * $t_{fdcan\_tq\_ck}$
- $t_{SyncSeg}$ = 1*tq
- t_{BS1} = tq * (FDCAN_DBTP. DTSEG1 [4:0] + 1)
- t_{BS2} = tq * (FDCAN_DBTP. DTSEG2 [3:0] + 1)

（重）同步跳跃宽度(SJW)定义了时间段延长或缩短上限，可在 1 至 128 个时间片之间配置

有效边沿定义为在一个位时间内总线从隐性电平到显性电平第一次转换，前提是节点本身不发送显性位。

如果在 BS1 检测到有效边沿而不是在 SYNC_SEG，则 BS1 最多扩展 SJW，此时采样点有延迟。相反，如果在 BS2 检测到有效边沿，则 BS2 会最多缩短 SJW，使发送点提前。

为了防止编程错误，位定时寄存器仅当设备处于待机模式时才可配置。FDCAN_DBTP 和 FDCAN_NBTP 寄存器(分别专用于数据和标称位时序)仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时才能访问。

注：关于 CAN 位时序和重同步机制的详细说明请参考 ISO 11898-1 标准。

23.5 TTCAN 功能描述

23.5.1 参考消息

参考消息是以特定 CAN 标识符为特征的数据帧。除时间主站（参考消息的发送方）外，所有节点都能接收并接受该消息。

对于 1 级，数据长度必须至少为 1 字节；对于 0、2 级，数据长度必须至少为 4 字节；否则，消息将不被接受为参考消息。参考消息可由其他数据扩展，但最多不超过 8 个 CAN 数据字节的总和。除三个 LSB 位外，标识符的所有其他位都表示消息是参考消息。最后三位指定最多八个潜在时间主站的优先级。保留位以逻辑 0 发送，接收器忽略。参考消息通过寄存器 FDCAN_TTRMC 进行配置。

时间主站发送参考消息。如果参考消息受到错误干扰，则立即重新发送。在重传的情况下，发送的 Master_Ref_Mark 将被更新。参考消息定期发送，但允许停止定期发送（Next_is_Gap 位），并在当前时间主站或其他潜在时间主站的下一个基本周期开始时启动同步发送事件。

发送参考消息的节点为当前时间主站。时间主站可发送其他消息。如果当前时间主站发生故障，其功能将由优先级最高的潜在时间主站复制。既不是时间主控节点也不是潜在时间主控节点的节点是时间接收节点。

23.5.1.1 Level 1

Level 1 操作通过 FDCAN_TTOCF.OM=01 和 FDCAN_TTOCF.GEN 进行配置。Level 1 不提供外部时钟同步。与参考消息相关的信息存储在第一个数据字节中，如**表 23-13** 所示。Cycle_Count 为可选项。

表 23-13 Level 1 参考消息的第一个字节

位	0	1	2	3	4	5	6	7
第一字节	Next_is_Gap	保留	Cycle_Count[5:0]					

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

23.5.1.2 Level 2

Level 2 操作通过 FDCAN_TTOCF.OM=10 和 FDCAN_TTOCF.GEN.OM=10 进行配置。与参考消息有关的信息存储在前四个数据字节中，如表 23-14 所示。Cycle_Count 和 NTU_Res 的低四位是可选的。TTCAN 不会从接收到的参考消息中评估 NTU_Res[3:0]，而是始终将这些位作为 0 发送。

表 23-14 Level 2 参考消息的前四个字节

位	0	1	2	3	4	5	6	7
第一字节	Next_is_Gap	保留	Cycle_Count[5:0]					
第二字节	NTU_Res[6:4]			NTU_Res[3:0]				Disc_Bit
第三字节	Master_Ref_Mark[7:0]							
第四字节	Master_Ref_Mark[15:8]							

23.5.1.3 Level 0

Level 0 操作通过 FDCAN_TTOCF.OM = 11 配置。外部事件同步时间触发操作在 0 级中不可用。与参考消息相关的信息存储在前四个数据字节中，如下表所示。在 0 级中，Next_is_Gap 始终为 0。周期计数（Cycle_Count）和 NTU_Res 的低四位可选。TTCAN 不会从接收到的参考消息中评估 NTU_Res[3:0]，而是始终将这些位作为 0 发送。

表 23-15 Level 0 参考消息的前四个字节

位	0	1	2	3	4	5	6	7
第一字节	Next_is_Gap	保留	Cycle_Count[5:0]					
第二字节	NTU_Res[6:4]			NTU_Res[3:0]				Disc_Bit
第三字节	Master_Ref_Mark[7:0]							
第四字节	Master_Ref_Mark[15:8]							

23.5.2 TTCAN 配置

23.5.2.1 TTCAN 时序

网络时间单位（NTU）是测量所有时间的单位。NTU 是整个网络的常数，由网络系统设计者优先定义。在 TTCAN Level 1 中，NTU 是标称 CAN 位时间。在 TTCAN Level 0 和 Level 2 中，NTU 是物理秒的一部分。

NTU 是本地时间的时基。本地时间的整数部分（16 位值）每 NTU 增加一次。周期时间和全球时间均由本地时间衍生而来。本地时间、周期时间和全球时间的小数部分（3 位值）不可读。

在 TTCAN Level 0 和 Level 2 中，NTU 的长度由时间单位比率 TUR 定义。TUR 通常是一个非整数，其计算公式为:

TUR = FDCAN_TURNA.NAV / FDCAN_TURCF.DC.

NTU 长度的计算公式为:

NTU = CAN 时钟周期 x TUR.

TUR 分子配置 NC 是一个 18 位数字，FDCAN_TURCF.NCL[15:0] 的编程范围为 0x0000-0xFFFF。FDCAN_TURCF.NCH[17:16] 硬连线为 0b01。当 0xnnnn 被写入 FDCAN_TURCF.NCL[15:0] 时，FDCAN_TURNA.NAV 将以 0x10000 + 0x0nnnn = 0x1nnnn 的值开始。TUR 分母配置 FDCAN_TURCF.DC 是一个 14 位数字。FDCAN_TURCF.DC 的编程范围为 0x0001 - 0x3FFF（0x0000 为非法值）。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

在 Level 1 中，NC 必须等于或大于 4 x FDCAN_TURCF.DC。在 Level 0 和 Level 2 中，NC 必须等于或大于 8 x FDCAN_TURCF.DC，以获得 NTU 内部小数部分的 3 位分辨率。

硬件复位会将 FDCAN_TURCF.DC 预设为 0x1000，将 FDCAN_TURCF.NCL 预设为 0x10000，从而使 NTU 由 16 个 CAN 时钟周期组成。在 FDCAN_CCCR.INIT 置 0 或 FDCAN_TURCF.ELT 置 1 之前，不会启动本地时间和应用程序看门狗。在配置 NTU 之前，不得将 FDCAN_TURCF.ELT 位置 1。将 FDCAN_TURCF.ELT 设置为 1 还会锁定对寄存器 FDCAN_TURCF 的写入访问。

启动时，当 FDCAN_TURCF.ELT 设置为 1 时，FDCAN_TURNA.NAV 将从 NC（= FDCAN_TURCF.NCL + 0x10000）更新。在 TTCAN Level 1 中没有漂移补偿。FDCAN_TURNA.NAV 在运行期间不会改变，始终等于 NC。

在 TTCAN Level 0 和 Level 2 中，FDCAN_TURNA.NAV 有两种变化的可能性。作为时间从站或备份时间主站运行时，当 FDCAN_TTOCF.ECC 被置 1 时，只要 TTCAN 处于同步状态 In_Schedule 或 In_Gap，FDCAN_TURNA.NAV 就会自动更新为根据监控的全局时间速度计算出的值。一旦失去同步，则返回 NC。作为实际时间主站运行时，当 FDCAN_TTOCF.EECS 被置 1 时，主机可更新 FDCAN_TURCF.NCL。当主机将 FDCAN_TTOCN.ECS 位置 1 时，FDCAN_TURNA.NAV 将在下一条参考消息中根据 NC 的新值更新。状态标志 FDCAN_TTOST.WECS 在 FDCAN_TTOCN.ECS 置 1 时被置 1，并在 FDCAN_TURNA.NAV 更新时被清除。当 FDCAN_TTOST.WECS 被置 1 时，FDCAN_TURCF.NCL 被写入锁定。

在 TTCAN Level 0 和 Level 2 中，时钟校准过程将在 NC±2^(FDCAN_TTOCF.LDSDL + 5)的同步偏差限制 SDL 范围内调整 FDCAN_TURNA.NAV。应将 FDCAN_TURCF.NCL 编程为适用的最大数值，以便在计算 FDCAN_TURNA.NAV 时达到最佳精度。

同步偏差 SD 是 NC 与 FDCAN_TURNA.NAV 之间的差值（SD = |NC - FDCAN_TURNA.NAV|）。它受同步偏差限制 SDL 的限制，同步偏差限制 SDL 由其双对数 FDCAN_TTOCF.LDSDL 配置(SDL = 2^(FDCAN_TTOCF.LDSDL + 5))，并且不应超过 CAN 位定时配置给出的时钟容差。SD 在每个新的基本周期进行计算。当计算出的 FDCAN_TURNA.NAV 与 NC 的偏差超过 SDL，或者参考消息中的 Disc_Bit 被置 1 时，漂移补偿将暂停，FDCAN_TTIR.GTE 被置 1，FDCAN_TTOSC.QCS 被置 0，或者在 Disc_Bit= 1 的情况下，FDCAN_TTIR.GTD 被置 1。

表 23-16 TUR 配置示例

TUR	8	10	24	50	510	125000	32.5	100/12	529/17
NC	0x1FFF8	0x1FFFE	0x1FFF8	0x1FFEA	0x1FFFE	0x1E848	0x1FFE0	0x19000	0x10880
FDCAN_TURCF.DC	0x3FFF	0x3333	0x1555	0x0A3D	0x0101	0x0001	0x0FC0	0x3000	0x0880

FDCAN_TTOCN.ECS 安排 NC 在下一条参考消息中激活。FDCAN_TTOCN.SGT 调度 FDCAN_TTGTP.TP，以便通过下一条参考消息激活。当 FDCAN 为实际时间主控节点时，设置 FDCAN_TTOCN.ECS 和 FDCAN_TTOCN.SGT 需要 FDCAN_TTOCF.EECS 置 1（使能外部时钟同步）。

TTCAN 模块提供应用程序看门狗，以验证应用程序的功能。主机必须定期为该看门狗提供服务，否则所有 CAN 总线活动都将停止。应用程序看门狗限制 FDCAN_TTOCF.AWL 规定了两次看门狗服务之间的 NTU 数。NTU 的最大值为 256。应用程序看门狗通过读取寄存器 FDCAN_TTOST。

FDCAN_TTOST.AWE 表示看门狗是否及时送达。如果应用程序未能为应用程序看门狗提供服务，则会将中断标志 FDCAN_TTIR.AW 位置 1。为便于软件开发，可通过将 FDCAN_TTOCF.AWL 编程为 0x00 来禁用应用程序看门狗，参见第 23.6.49 节。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

23.5.2.1.1 接口信号时序

在 APB 时钟域（当 FDCAN_TTIR.TTMI 被置 1 或 FDCAN_TTIR.RTMI 被置 1 时）出现相同事件之前，需要考虑时钟域交叉延迟。例如，这些信号可以连接到另一个 FDCAN 节点的定时输入（fdcan_swt/fdcan_evt），以便自动同步两个 TTCAN 网络。

每当参考消息发送完毕（无论是发送还是接收），输出 fdcan_soc 就会激活。该输出由主机时钟域控制。

23.5.2.2 消息调度

FDCAN_TTOCF.TM 控制 TTCAN 作为潜在时间主站还是时间从站运行。如果是潜在的时间主站，则参考消息标识符 FDCAN_TTRMC.RID 的三个 LSB 定义主站优先级，0 为最高优先级，7 为最低优先级。网络中不能有两个节点使用相同的主站优先级。FDCAN_TTRMC.RID 用于识别参考消息。FDCAN_TTRMC.RMPS 与时间从站无关。

初始参考触发偏移量 FDCAN_TTOCF.IRTO 是一个 7 位值，用于定义（以 NTU 为单位）当参考消息预期出现但总线仍处于空闲状态时，备份时间主站在开始发送参考消息之前要等待多长时间。FDCAN_TTOCF.IRTO 的推荐值是主站优先级乘以一个系数，该系数取决于网络中潜在时间主站之间的预期时钟漂移。在当前时间主站发生故障时，其中一个时间主站启动参考消息时，备份时间主站的顺序应与其主站优先级一致，即使时钟漂移达到最大值也是如此。

FDCAN_TTOCF.OM 决定节点是在 TTCAN 0 级、1 级还是 2 级运行。在一个网络中，所有潜在的时间主站都必须在同一级别上运行。时间从属设备可以在第 2 级网络中的第 1 级运行，反之则不行。通过 FDCAN_TTOCF.OM 配置 TTCAN 运行模式是设置的最后一步。FDCAN_TTOCF.OM= 00（事件驱动 CAN 通信）时，FDCAN 按照 ISO 11898-1: 2015 运行，无时间触发器。FDCAN_TTOCF.OM = 01（1 级）时，FDCAN 按照 ISO 11898-4 运行，但无法将基本周期与外部事件同步，参考消息中的 Next_is_Gap 位将被忽略。FDCAN_TTOCF.OM = 10（2 级）时，TTCAN 按照 ISO 11898-4 运行，包括事件同步启动基本周期。当 FDCAN_TTOCF.OM=11（0 级）时，FDCAN 作为事件驱动 CAN 运行，但与 2 级一样保持校准的全局时基。

FDCAN_TTOCF.EECS 启用外部时钟同步，允许当前时间主控程序在时间触发操作期间更新 TUR 配置，使时钟速度和（仅在 0 级和 2 级）全局时钟相位适应外部基准。

TT 矩阵限制寄存器中的 FDCAN_TTMLM.ENTT 指定系统矩阵中预期的 Tx_Triggers 数量。这是独占、单一仲裁和合并仲裁窗口的 Tx_Triggers 总和，不包括 Tx_Ref_Triggers。请注意，这通常不是 Tx_Trigger 内存元素的数量；必须考虑系统矩阵中的基本周期数和触发器重复系数。

FDCAN_TTMLM.ENTT 配置不准确将导致 TxCount Underflow（FDCAN_TTIR.TXU = 1 和 FDCAN_TTOST.EL = 01，严重性 1）或 Tx Count Overflow（FDCAN_TTIR.TXO = 1 和 FDCAN_TTOST.EL = 10，严重性 2）。

注意：如果节点看到的第一个参考消息的 Cycle_Count 值不是 0，则该节点可能会以其 Tx 计数完成第一个矩阵周期，从而导致 Tx 计数下溢。只要节点处于同步状态，其 Tx_Triggers 就不会导致发送。

FDCAN_TTMLM.CCM 指定系统矩阵中最后一个基本周期的编号。在由 8 个基本周期组成的系统矩阵中，FDCAN_TTMLM.CCM 应为 7。时间从属设备将忽略 FDCAN_TTMLM.CCM，而参考消息的接收器则将收到的周期计数视为实际基本周期的有效周期计数。

FDCAN_TTMLM.TXEW 以 NTU 为单位指定 Tx 启用窗口的长度。Tx 启用窗口是时间窗口开始时可以开始发送的时间段。如果由于与前一个时间窗口的消息有轻微重叠等原因而无法在 Tx 启用窗口内开始消息发送，则根本无法在该时间窗口内开始发送。FDCAN_TTMLM.TXEW 必须根据网络同步质量以及时间窗口长度

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

和消息长度之间的关系来选择。

23.5.2.3 触发存储器

触发存储器是 TTCAN 所连接的外部消息 RAM 的一部分（参见第 23.6.26 节）。触发存储器最多可存储 64 个触发元素。触发存储器元素包括时间标记 TM、周期代码 CC、触发类型 TYPE、滤波类型 FTYPE、消息编号 MNR、消息状态计数 MSC、内部时间标记事件 TMIN 和外部时间标记事件 TMEX（参见第 23.3.7 节）。

时间标记定义了触发器在哪个周期时间处于激活状态。触发存储器中的触发器必须按照时间标记进行排序。时间标记最小的触发器元素将被写入第一个触发存储器字。对于 Tx_Ref_Trigger、Tx_Ref_Trigger_Gap、Watch_Trigger、Watch_Trigger_Gap 和 End_of_List 类型的触发器，消息编号和周期代码将被忽略。

当周期时间达到实际触发的时间标记时，FSE 将切换到下一个触发，并开始从触发器存储读取下一个触发。在发送触发的情况下，一旦 FSE 切换到其触发器，Tx 处理器就开始从消息 RAM 中读取消息。RAM 访问速度定义了发送触发器与其前一个触发器之间的最小时间间隔，发送处理程序必须能够在到达发送触发器时间标记之前准备好发送。RAM 访问速度还限制了两个匹配触发器之间的非匹配触发器（就其周期代码而言）的数量，下一个匹配触发器必须在其时间标记 k 到达之前被读取。如果参考消息长度为 n NTU，则时标小于 n 的触发器将永远不会激活，并将被视为配置错误。

周期时间的起点是参考消息帧开始位的采样点。当周期时间达到 Tx_Ref_Trigger 时标时，将请求发送下一条参考消息。FDCAN 在下一个采样点对发送请求做出反应。在帧开始位捕获新的同步标记，但周期时间会递增，直到参考消息成功发送（或接收），并将同步标记作为新的参考标记。此时，循环时间重新开始。因此，循环时间（初始化除外）的值永远不会小于 n，n 为参考消息的长度，单位为 NTU。

基本周期的长度：Tx_Ref_Trigger 时间标记+ 1 NTU + 1 CAN 位时间。

FDCAN 网络中的所有节点的触发器列表都是不同的。每个节点只知道自己发送消息的 Tx_Triggers、本节点处理的接收消息的 Rx_Triggers 以及与参考消息有关的触发器。

23.5.2.3.1 触发器类型

Tx_Ref_Trigger (TYPE = 0000) 和 Tx_Ref_Trigger_Gap (TYPE = 0001) 会导致时间主站发送参考消息。当时间从属设备在其触发存储器中遇到 Tx_Ref_Trigger(_Gap) 时，会检测到配置错误（FDCAN_TTOST.EL = 11，严重性 3）。Tx_Ref_Trigger_Gap 仅用于外部事件同步时间触发运行模式。在该模式下，当 FDCAN 同步状态为 In_Gap 时（FDCAN_TTOST.SYS = 10），Tx_Ref_Trigger 将被忽略。

Tx_Trigger_Single(TYPE = 0010)、Tx_Trigger_Continuous (TYPE = 0011)、Tx_Trigger_Arbitration (TYPE = 0100) 和 Tx_Trigger_Merged (TYPE = 0101) 会导致发送开始。它们定义了一个时间窗口的开始。

当消息缓冲区发送请求挂起位被置位时，Tx_Trigger_Single 会在一个独占的时间窗口中开始单次发送。发送成功后，发送请求挂起位将被重置。

当消息缓冲区发送请求挂起位被设置时，Tx_Trigger_Continuous（Tx_Trigger_Continuous）会在一个独占的时间窗口中启动一次发送。发送成功后，发送请求挂起位保持置位，并在下一个匹配的时间窗口中再次发送消息缓冲区。

Tx_Trigger_Arbitration 启动一个仲裁时间窗口，Tx_Trigger_Merged 合并一个仲裁时间窗口。合并仲裁时间窗口的最后一个 Tx_Trigger 必须是 Tx_Trigger_Arbitration 类型。如果在 Tx_Trigger_Merged 类型的触发器之后，除了 Tx_Trigger_Merged 或 Tx_Trigger_Arbitration 类型的触发器之外，还跟有其他任何 Tx_Trigger 触发器，则会检测到配置错误（FDCAN_TTOST.EL = 11，严重性 3）。可以为同一个 Tx 消息缓冲区定义多个 Tx_Trigger。在某些基本周期中，它们可能会被忽略，这取决于它们的周期代码。在计算预期 Tx_Trigger 数量(FDCAN_TTMLM.ENTT)时，必须考虑周期代码。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Watch_Trigger (TYPE = 0110)和 Watch_Trigger_Gap (TYPE = 0111)可检查参考消息是否丢失。时间主站和时间从站均可使用它们。

Watch_Trigger_Gap 仅用于外部事件同步时间触发运行模式。在该模式下，当 FDCAN 同步状态为 In_Gap 时（FDCAN_TTOST.SYS = 10），Watch_Trigger 将被忽略。

Rx_Trigger (TYPE = 1000)用于检查在专用时间窗口内是否接收到周期性消息。Rx_Trigger 在达到 In_Schedule 或 In_Gap 状态时才会激活。Rx_Trigger 的时间标记应置于消息传输结束之后，与时间窗口边界无关。根据周期代码的不同，Rx_Trigger 在某些基本周期中可能会被忽略。在 Rx_Trigger 的时间标记处，将检查在此时间标记之前、周期开始之后或之前的 Rx_Trigger 之后收到的最后一条消息是否与 MNR 引用的接受过滤元素相匹配。接收到的消息将根据接收过滤结果存储在两个接收 FIFO 中的一个中，与 Rx_Trigger 无关。Rx_Trigger 引用的接收过滤元件应放在过滤列表的开头，以确保在达到 Rx_Trigger 时间标记之前完成过滤。

根据 TMIN 和 TMEX 的配置，Time_Base_Trigger（TYPE = 1001）用于生成内部/外部事件。

End_of_List (TYPE = 1010 ... 1111) 是非法触发类型，当在 Watch_Trigger 和 Watch_Trigger_Gap 之前的触发存储器中遇到 End_of_List 触发器时，将检测到配置错误 (FDCAN_TTOST.EL = 11，严重性 3)。

23.5.2.3.2 节点触发器列表的限制条件

不可能有两个触发器在相同的周期时间和周期计数中处于活动状态，但在不同基本周期（不同周期代码）中处于活动状态的触发器可以共享相同的时间标记。

Rx_Trigger 和 Time_Base_Trigger 不可置于 Tx_Trigger_Single/Continuous/Arbitration 的 Tx 启用窗口内，但可置于 Tx_Trigger_Merged 之后。

置于 Watch_Trigger 之后（或当 FDCAN_TTOST.SYS=10 时置于 Watch_Trigger_Gap 之后）的触发器将永远不会处于激活状态。当参考消息按时传送时，监视触发器本身也不会激活。

所有未使用的触发存储器字（Watch_Trigger 之后或 Watch_Trigger_Gap 之后，当 FDCAN_TTOST.SYS = 10 时）必须设置为触发器类型 End_of_List。

潜在时间主站的典型触发器列表将以若干 Tx_Trigger 和 Rx_Trigger 开始，然后是 Tx_Ref_Trigger 和 Watch_Trigger。对于具有外部事件同步时间触发通信功能的网络，随后是 Tx_Ref_Trigger_Gap 和 Watch_Trigger_Gap。时间从属设备的触发器列表与此相同，但没有 Tx_Ref_Trigger 和 Tx_Ref_Trigger_Gap。

在每个基本周期开始时，即每次接收或发送参考消息时，触发器列表将从第一个触发器存储元件开始处理。FSE 会查找周期代码与当前周期计数相符的第一个触发器。FSE 等待周期时间达到触发时间标记并激活触发器。

然后，FSE 在列表中查找下一个周期代码与当前周期计数相匹配的触发器。

需要特别考虑 Tx_Ref_Trigger 和 Tx_Ref_Trigger_Gap 前后的时间。在争夺主站的时间主站中，为了成为第一个启动参考消息的节点，Tx_Ref_Trigger 的有效时间标记可能会被递减。在备份时间主站中，Tx_Ref_Trigger 或 Tx_Ref_Trigger_Gap 的有效时间标记是其配置的时间标记和参考触发器偏移 FDCAN_TTOCF.IRTO 的总和。如果达到错误级别 2（FDCAN_TTOST.EL=10），则有效时间标记为其时间标记和 0x127 的总和。在此范围内不应放置任何其他触发器元素，否则可能导致时间标记出现顺序错误，并被标记为配置错误。只要参考消息及时出现，Tx_Ref_Trigger 之后的触发元素可能永远不会激活。

以下参数之间存在相互依存关系：

- APB 时钟频率
- 触发器 RAM 访问的速度和等待时间

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 接收筛选列表的长度
- 触发器元素数量
- 触发器元素中周期代码过滤的复杂性
- 触发器元素时间标记之间的偏移

23.5.2.3.3 触发器处理示例

示例显示了如何从节点系统矩阵中导出触发器列表。假定节点 A 是首次主控，并且知道表 23-17 所示的系统矩阵部分。

表 23-17 系统矩阵，节点 A

周期数	时间标记						
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
0	Tx7	-	-	-	-	TxRef	Error
1	Rx3	-	Tx2, Tx4		-	TxRef	Error
2	-	-	-	-	-	TxRef	Error
3	Tx7	-	Rx5	-	-	TxRef	Error
4	Tx7	-	-	Rx6	-	TxRef	Error

周期计数从 0 开始，依次为 0、1、3、7、15、31、63（系统矩阵中对应的基本周期数分别为 1、2、4、8、16、32、64）。最大循环次数由 FDCAN_TTMLM.CCM 配置。周期代码 CC 由重复系数（=最高有效位“1”的值）和系统矩阵中第一个基本周期的编号（=最高有效位“1”之后的位域）组成。

例如，周期代码为 0b0010011（重复因数=16，第一个基本周期=3），最大周期计数为 FDCAN_TTMLM.CCM=0x3F，匹配发生在周期计数 3、19、35 和 51。

触发器元素由时间标记 TM、周期代码 CC、触发器类型 TYPE 和消息编号 MNR 组成。发送时，MNR 参考发送缓冲区编号（0...31）。对于接收，MNR 参考了接收过滤时匹配的过滤元件编号（0...127）。根据过滤类型 FTYPE 的配置，将引用 11 位或 29 位消息 ID 过滤列表。

表 23-18 触发器列表，节点 A

触发器	时间标记 TM[15:0]	周期代码 CC [6:0]	触发器类型 TYPE [3:0]	消息编号 MNR [6:0]
0	Mark 1	0b0000100	Tx_Trigger_Single	7
1	Mark 1	0b1000000	Rx_Trigger	3
2	Mark 1	0b1000011	Tx_Trigger_Single	7
3	Mark 3	0b1000001	Tx_Trigger_Merged	2
4	Mark 3	0b1000011	Rx_Trigger	5
5	Mark 4	0b1000001	Tx_Trigger_Arbitration	4
6	Mark 4	0b1000100	Rx_Trigger	6
7	Mark 6	N/A	Tx_Ref_Trigger	0(Ref)
8	Mark 7	N/A	Watch_Trigger	N/A

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

9	N/A	N/A	End_of_List	N/A

Tx_Trigger_Single、Tx_Trigger_Continuous、Tx_Trigger_Merged、Tx_Trigger_Arbitration、Rx_Trigger 和 Time_Base_Trigger 仅对指定的周期代码有效。对于所有其他触发类型，周期代码将被忽略。

FSE 会从 0 开始扫描触发器列表，以此启动基本周期，直到出现时标大于周期时间且周期代码 CC 与实际周期计数一致的触发器，或者出现 Tx_Ref_Trigger、Tx_Ref_Trigger_Gap、Watch_Trigger 或 Watch_Trigger_Gap 类型的触发器。

当循环时间达到时间标记 TM 时，触发器类型 TYPE 和消息编号 MNR 所定义的操作开始执行。当到达 End_of_List 时，配置出错。

在标记 6 处发送参考消息（始终为 TxRef）。发送参考消息后，FSE 返回触发器列表的起始位置。当到达标记 7 处的监视触发器时，节点无法发送参考消息；错误处理开始。

23.5.2.3.4 配置错误检测

当出现以下情况时，将通过 FDCAN_TTOST.EL=11（严重性 3）发出配置错误信号：

- FSE 检测到列表中的触发器，其周期代码与当前周期计数一致，但时间标记小于周期时间。
- 上一个活动触发器为 Tx_Trigger_Merged（Tx_Trigger_Merged），FSE 检测到列表中的触发器，其周期代码与当前周期计数一致，但既非 Tx_Trigger_Merged（Tx_Trigger_Merged），也非 Tx_Trigger_Arbitration（Tx_Trigger_Arbitration），既非 Time_Base_Trigger（Tx_Trigger），也非 Rx_Trigger（Rx_Trigger）。
- FDCAN_TTOCF.TM=0（时间从属）节点的 FSE 遇到 Tx_Ref_Trigger 或 Tx_Ref_Trigger_Gap。
- 在 Tx_Trigger 的 Tx 启用窗口（由 FDCAN_TTMLM.TXEW 定义）内放置的任何时间标记，且周期代码匹配。
- 在 Tx_Ref_Trigger 的时间标记和参考触发器偏移量 FDCAN_TTOST.RTO 附近放置的时间标记会导致以周期时间衡量的它们的顺序颠倒。

23.5.2.4 调度初始化

当 FDCAN_CCCR.INIT 复位时，会开始同步到 TTCAN 消息调度。TTCAN 可以严格按照时间触发（FDCAN_TTOCF.GEN＝0）或外部事件同步时间触发（FDCAN_TTOCF.GEN＝1）运行。FDCAN_TTOST.SYS＝00（不同步）时，所有节点在其触发列表开始时的周期时间为 0，除参考消息外，不启用任何传输。外部事件同步时间触发运行模式下的节点将忽略 Tx_Ref_Trigger 和 Watch_Trigger，而使用 Tx_Ref_Trigger_Gap 和 Watch_Trigger_Gap，直到第一条参考消息决定间隙是否处于活动状态。

23.5.2.4.1 时间被控节点

配置完成后，当时间从节点在到达 Watch_Trigger 之前没有收到任何消息时，它将忽略 Watch_Trigger 和 Watch_Trigger_Gap。当到达 Init_Watch_Trigger 时，中断标志 FDCAN_TTIR.IWT 被置 1，FSE 被冻结，周期时间失效，但节点仍能参与 CAN 总线通信（确认或发送错误标志）。第一个收到的参考消息将重新启动 FSE 和周期时间。

注意：Init_Watch_Trigger 不属于触发器列表。它是作为一个内部计数器实现的，计数到 0xFFFF=最大循环时间。

当时间从站在达到 Watch_Triggers 之前收到任何消息（参考消息除外）时，它将假定发生致命错误（FDCAN_TTOST.EL=11，严重性 3），中断标志 FDCAN_TTIR.WT 位置 1，关闭 CAN 总线输出，并进入总线监控模式（FDCAN_CCCR.MON 设置为 1）。在总线监控模式下，它仍能接收消息，但不能发送任何显性

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位，因此也不能进行确认。

注意：主机必须将 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1，才能脱离致命错误状态。重置 FDCAN_CCCR.INIT 后，节点将重新启动 TTCAN 通信。

当同步期间未发生错误时，第一条参考消息将 FDCAN_TTOST.SYS = 01（同步），第二条参考消息将 FDCAN 同步状态（取决于其 Next_is_Gap 位）设置为 FDCAN_TTOST.SYS = 11（In_Schedule）或 FDCAN_TTOST.SYS = 10（In_Gap），启用所有 Tx_Trigger 和 Rx_Trigger。

23.5.2.4.2 潜在时间主控节点

配置完成后，潜在时间主站将在到达其 Tx_Ref_Trigger（或 Tx_Ref_Trigger_Gap，当处于外部事件同步时间触发操作时）时开始发送参考消息。如果在到达 Watch_Trigger 之前没有收到任何消息或成功发送参考消息（假定原因：所有其他节点仍处于重置或配置状态，没有确认），它将忽略其 Watch_Trigger 和 Watch_Trigger_Gap。当到达 Init_Watch_Trigger 时，尝试的传输将被中止，中断标志 FDCAN_TTIR.IWT 被置 1，FSE 被冻结，周期时间将失效，但节点仍能参与 CAN 总线通信（发出确认或错误标志）。重置 FDCAN_TTIR.IWT 将重新启用参考消息的发送，直到下次满足 Init_Watch_Trigger 条件或收到其他 CAN 消息。FSE 不会因接收到参考消息而重新启动。

当潜在时间主站在收到除参考消息以外的任何消息后到达 Watch_Triggers 时，它将假定发生致命错误（FDCAN_TTOST.EL=11，严重性 3），中断标志 FDCAN_TTIR.WT 位置 1，关闭 CAN 总线输出，并进入总线监控模式（FDCAN_CCCR.MON 设置为 1）。在总线监控模式下，它仍能接收消息，但不能发送任何显性位，因此也不能进行确认。

当初始化期间未检测到错误时，第一条参考消息会将 FDCAN_TTOST.SYS 设置为 01（同步），第二条参考消息会将 FDCAN 同步状态（取决于其 Next_is_Gap 位）设置为 FDCAN_TTOST.SYS=11（In_Schedule）或 FDCAN_TTOST.SYS=10（In_Gap），从而启用所有 Tx_Trigger 和 Rx_Trigger。

当潜在时间主站是最后一条参考消息的发送方时，它就是当前时间主站（FDCAN_TTOST.MS=11），否则就是备份时间主站（FDCAN_TTOST.MS=10）。

当所有潜在时间主站完成配置后，网络中时间主站优先级最高的节点将成为当前时间主站。

23.5.3 TTCAN 间隙控制

所有与间隙控制相关的功能仅适用于 FDCAN 以外部事件同步时间触发模式运行时（FDCAN_TTOCF.GEN=1）。在这种运行模式下，可以通过在系统矩阵的基本周期之间插入间隙来中断 FDCAN 消息调度。与 CAN 网络连接的所有节点都必须配置为外部事件同步时间触发运行。

在间隙期间，所有传输停止，CAN 总线保持空闲。当下一条参考消息开始一个新的基本周期时，间隙结束。间隙由当前时间主站启动。

当前时间主站有两种启动间隙的选择。当应用程序写入 FDCAN_TTOCN.NIG=1 时，间隙可在软件控制下启动。Next_is_Gap 位将在下一条参考消息中以 1 发送。当应用程序通过写入 FDCAN_TTOCN.GCS=1 来启用事件触发输入引脚 fdcan_evt 时，也可在硬件控制下启动间隙。当参考消息启动并将 FDCAN_TTOCN.GCS 位置 1 时，事件触发引脚 fdcan_evt 的高电平将设置 Next_is_Gap=1。

一旦参考消息完成，FDCAN_TTOST.WFE 位将向时间主站和时间从站公布间隙。当前基本周期将持续到最后一个时间窗口。最后一个时间窗口之后的时间即为间隙时间。

对于实际时间主站和潜在时间主站，当最后一个基本周期结束、间隙时间开始时，FDCAN_TTOST.GSI 将被置位。对于时间从节点，位 FDCAN_TTOST.GSI 将保持为 0。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

当潜在时间主站处于同步状态 In_Gap 时（FDCAN_TTOST.SYS = 10），它有四种选择来有计划的结束 Gap：

1. 在软件控制下写 FDCAN_TTOCN.FGP=1。

2. 在硬件控制下（FDCAN_TTOCN.GCS = 1），事件触发器输入引脚 fdcan_evt 从高到低的边沿将 FDCAN_TTOCN.FGP 位置 1，并重新启动调度表。

3. 第三个选项是时间触发重启。当 FDCAN_TTOCN.TMG = 1 时，下一个寄存器时间标记中断 (FDCAN_TTIR.RTMI = 1)将 FDCAN_TTOCN.FGP 位置 1，并启动参考消息。

4. 最后，任何潜在的时间主站都将在达到其 Tx_Ref_Trigger_Gap 时完成一个 Gap，前提是要同步的事件没有及时发生。

这些选项都不会导致基本周期被参考消息中断。

在间隙时间开始后 FDCAN_TTOCN.FGP 位置 1，将立即开始传送参考消息，从而会同步消息调度。如果在间隙时间开始之前 FDCAN_TTOCN.FGP 位置 1（当基本周期仍在进行时），则将在基本周期结束时（Tx_Ref_Trigger 时）启动下一参考消息，消息调度中将不存在间隙时间。

在严格的时间触发操作中，参考消息中的位 Next_is_Gap = 1 将被忽略，事件触发输入引脚 fdcan_evt 和位 FDCAN_TTOCN.NIG、FDCAN_TTOCN.FGP 和 FDCAN_TTOCN.TMG 也将被忽略。

23.5.4 停止监视

停止监视功能可捕捉外部事件触发的 FDCAN 内部时间值（本地时间、周期时间或全局时间）。

要启用停止监视功能，应用程序首先必须通过 FDCAN_TTOCN.SWS，将本地时间、周期时间或全局时间定义为停止监视源。当 FDCAN_TTOCN.SWS 与 00 不同，且 TT 中断寄存器标志 FDCAN_TTIR.SWE 为 0 时，FDCAN_TTTOCN.SWS 所选时间的实际值将在停止监视触发引脚 fdcan_swt 的下一个上升/下降沿（通过 FDCAN_TTOCN.SWP 配置）复制到 FDCAN_TTCPT.SWV 中。这将中断标志 FDCAN_TTIR.SWE 位置 1。应用程序读取 FDCAN_TTCPT.SWV 后，可通过将 FDCAN_TTIR.SWE 复位为 0 来启用下一个停止监视事件。

23.5.5 本地时间、周期时间、全局事件和外部时钟同步

时间触发 CAN 有两种可能的级别：

1. 级别 1 仅提供使用周期时间的时间触发操作。

2. 等级 2 还提供更高的同步质量、全局时间和外部时钟同步。在这两个级别中，所有定时功能都基于本地时间基准--本地时间。

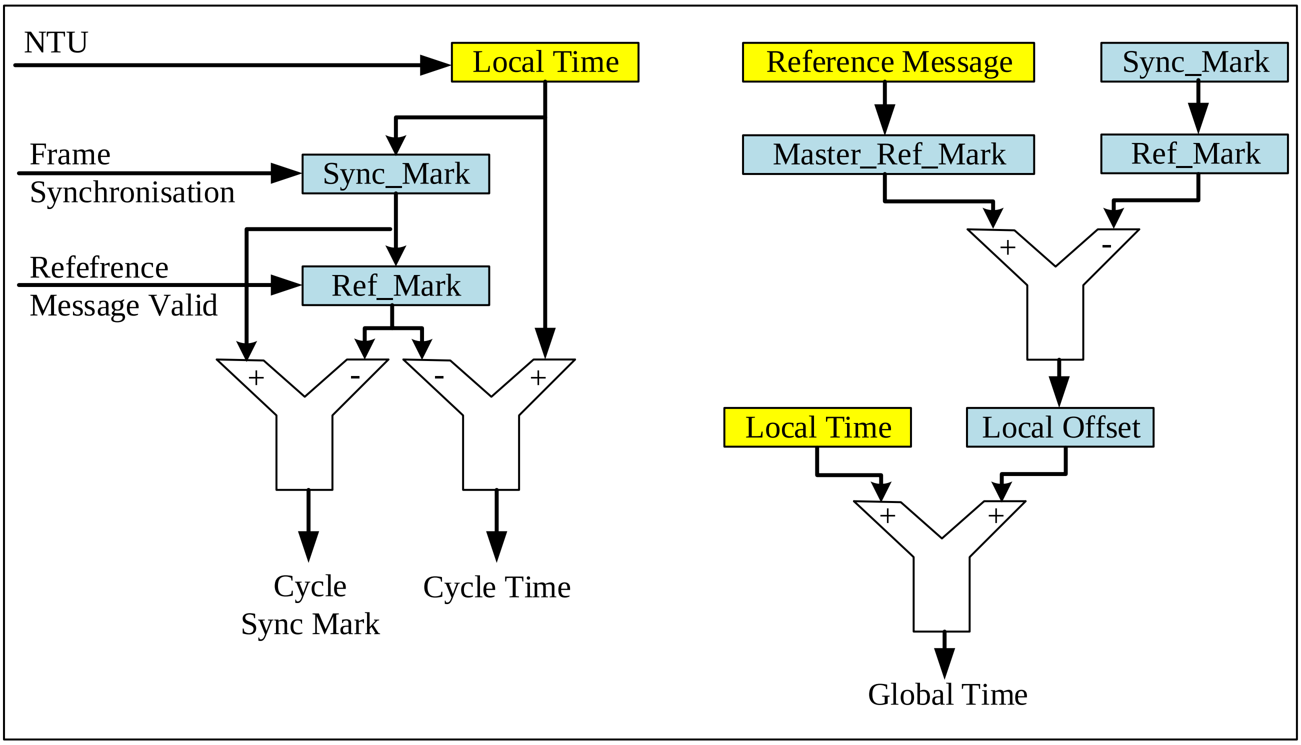
本地时间是一个 16 位循环计数器，每个 NTU 增加一次。在内部，NTU 由一个 3 位计数器表示，可视为本地时间的小数部分（三位二进制数）。一般来说，3 位 NTU 计数器每个 NTU 增加 8 次。如果 NTU 的长度短于 8 个 CAN 时钟周期（可在第 1 级中配置，或作为第 2 级中时钟校准的结果），则 NTU 分数的长度将进行调整，NTU 计数器每个 NTU 只递增 4 次。

图 23-15 周期时间和全局事件同步描述了周期时间和全局时间的同步情况，所有 FDCAN 节点（包括时间主站）均以相同方式执行。任何接收或发送的消息都会在消息帧同步事件中捕获本地时间。帧同步事件发生在每个帧开始（SoF）位的采样点，并导致本地时间被存储为 Sync_Mark。同步标记和参考标记包括 3 位小数部分。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com　邮编：518057

每当发送或接收到有效的参考消息时，内部Ref_Mark都会根据Sync_Mark进行更新。Ref_Mark和Sync_Mark之间的差值就是存储在寄存器FDCAN_TTCSM中的周期同步标记（周期同步标记=Sync_Mark-Ref_Mark）。Ref_Mark与本地时间实际值之差的最有效16位为周期时间（周期时间=本地时间-Ref_Mark）。

图 23-15 周期时间和全局事件同步



从FDCAN_TTCTC.CT中读取的周期时间是节点本地时间和Ref_Mark的差值，两者都同步到APB时钟域并截断为16位。

全局时间仅适用于TTCAN 0级和2级，在1级无效。全局时间的节点视图是全局时间在（本地）NTU中的本地映像。配置完成后，潜在的时间主站将使用自己的本地时间作为全球时间。时间主站通过在参考消息（字节3和4）中将自己的Ref_Marks作为Master_Ref_Marks发送，将自己的本地时间设为全球时间。从FDCAN_TTLGT.GT中读取的全球时间是节点本地时间与其本地偏移量的总和，两者都同步到APB时钟域并截断为16位。小数部分仅用于时钟同步。

接收到参考消息的节点通过比较其本地Ref_Mark和接收到的Master_Ref_Mark，计算出其本地偏移量与全球时间的偏移量（见图 23-16）。节点对全球时间的看法是本地时间加上本地偏移量。在一个从未接收过其他时间主站参考消息的潜在时间主站中，Local_Offset将为0。当一个节点在首次接收到其他参考消息后成为当前时间主站时，Local_Offset将被冻结在其最后的值上。在时间接收节点中，Local_Offset可能会因时钟漂移、另一个节点成为时间主控节点或参考消息中的Disc_Bit所指示的全局时间不连续而发生微小调整。除全局时间不连续外，寄存器FDCAN_TTLGT提供给应用程序的全局时间都经过低通滤波，以获得连续的单调值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 23-16 TTCAN 0 级和 2 级偏移补偿

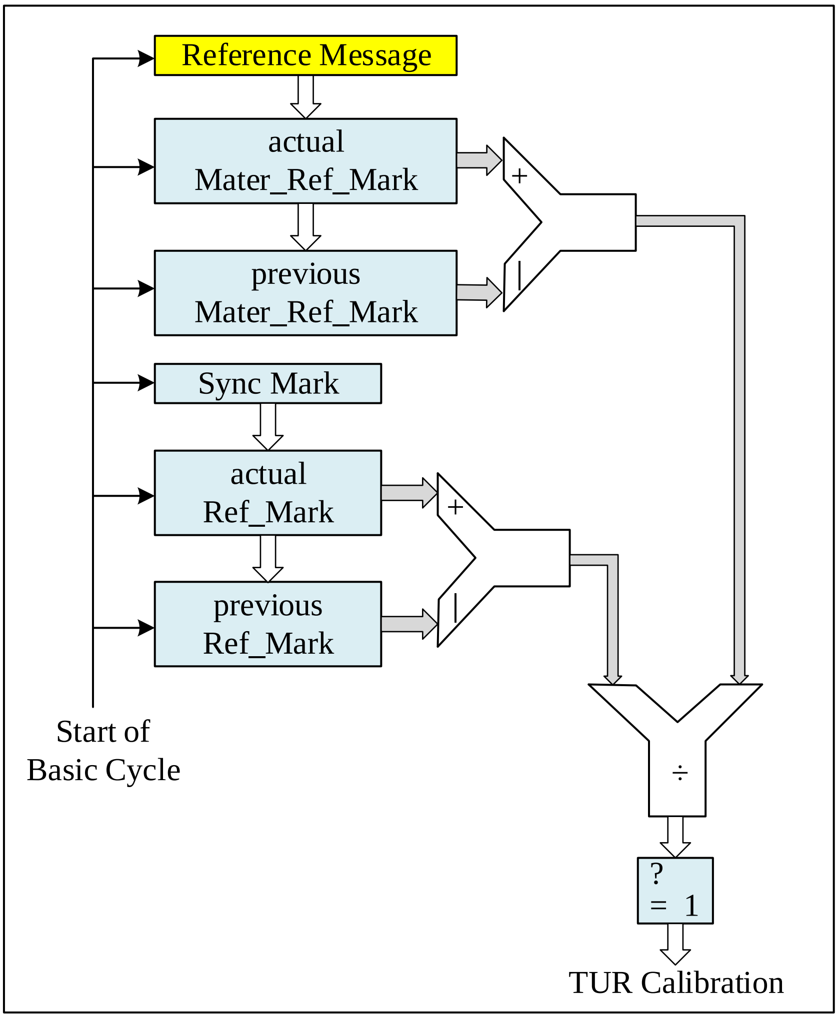


图 23-16 描述了在 TTCAN 0 级和 2 级中，每个时间接收节点如何通过比较本地时间和全球时间的基本周期长度来补偿自身本地时钟和时间主时钟之间的漂移。如果两个值之间存在差异，且未置位参考消息中的 Disc_Bit，则计算 FDCAN_TURNA.NAV 的新值。如果同步偏差 SD = | NC - FDCAN_TURNA.NAV|≤SDL（同步偏差限值），则 FDCAN_TURNA.NAV 的新值生效。否则自动漂移补偿暂停。

在 TTCAN 0 级和 2 级中，FDCAN_TTOST.QCS 表示自动漂移补偿是激活还是暂停。在 TTCAN 1 级中，FDCAN_TOST.QCS 始终为 1。

当前时间主站可将其本地时钟速度和全局时间相位同步到外部时钟源。该功能由位 FDCAN_TTOCF.EECS 启用。

停止监视功能（参见第 23.5.4 节：停止监视）可用于测量本地时钟与外部时钟之间的时钟速度差。调整本地时钟速度的方法是，首先将新计算出的分子配置限值写入 FDCAN_TURCF.NCL（FDCAN_TURCF.DC 不能在运行期间更新）。将 FDCAN_TTOCN.ECS 写入 1 后，新值生效。

首先将相位偏移写入 TT 全局时间预设寄存器 FDCAN_TTGTP，从而调整全局时间相位。将 FDCAN_TTOCN.SGT 写入 1 后，新值生效。全局时间相位调整后传送的第一条参考消息将把 Disc_Bit 设置为 1。

FDCAN_TTOST.QGTP 显示节点全球时间是否与时间主站全球时间同步。在 TTCAN 1 级和 TTCAN 0、2 级

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

超过同步偏差限制时（FDCAN_TTOST.QCS＝0），FDCAN_TTOST.QGTP 永久为 0。当全局时间经过低通滤波以向应用程序提供连续的单调值时，此位暂时为 0。当最后一条参考消息包含 Disc_Bit = 1 或 FDCAN_TTOST.QCS＝0 时，不会进行低通滤波。.

23.5.6 TTCAN 错误级别

ISO 11898-4 规定了错误严重程度的四个等级：

1. S0 - 无错误

2. S1 - 警告 - 仅通知应用程序，针对特定应用程序作出反应。

3. S2 - 错误 - 通知应用程序。独占或仲裁时间窗口中的所有传输均被禁用（即无法启动数据或远程帧）。潜在时间主站仍可发送参考消息，参考触发偏移 FDCAN_TTOST.RTO 设置为最大值 127。

4. S3 - 严重错误 - 通知应用程序。停止所有 CAN 总线操作，即不允许发送显性位，并将 FDCAN_CCCR.MON 位置 1。S3 错误条件保持激活状态，直至应用程序更新配置（设置 FDCAN_CCCR.CCE）。

如果同时检测到多个错误，则以严重程度最高的为准。检测到错误时，应用程序将收到 FDCAN_TTIR.ELC 的通知。错误级别由 FDCAN_TTOST.EL 监控。

TTCAN 根据 ISO 11898-4 的要求发出以下错误条件信号：

■ Config_error (S3)

–当合并的仲裁时间窗未正确关闭，或当 Tx_Trigger 的时间标记超出 Tx_Ref_Trigger 时，将错误级别 FDCAN_TTOST.EL 设置为“11”。

■ Watch_Trigger_Reached (S3)

–由于缺少参考消息而到达监视触发时，将错误级别 FDCAN_TTOST.EL 设置为“11”。

■ Application_Watchdog (S3)

–当应用程序未能为应用程序看门狗提供服务时，将错误级别 FDCAN_TTOST.EL 设置为 11。应用程序看门狗通过 FDCAN_TTOCF.AWL 进行配置。应用程序看门狗通过 FDCAN_TTOCF.AWL 进行配置，并通过读取寄存器 FDCAN_TTOST 提供服务。当看门狗未及时喂狗时， FDCAN_TTOST.AWE 位和中断标志 FDCAN_TTIR.AW 将被置 1，所有 FDCAN 通信将停止，FDCAN 将进入总线监控模式（FDCAN_CCCR.MON 设置为 1）。

■ CAN_Bus_Off (S3)

–进入 CAN_Bus_Off 状态会将错误级别 FDCAN_TTOST.EL 设置为“11”。CAN_Bus_Off 状态由 FDCAN_PSR.BO＝1 和 FDCAN_CCCR.INIT＝1 发出信号。

■ Scheduling_Error_2 (S2)

–如果一个 Tx_Trigger 的 MSC 达到 7，则将错误级别 FDCAN_TTOST.EL 设置为 10。此外，还将设置中断标志 FDCAN_TTIR.SE2。如果在前一个矩阵周期中没有任何 Tx_Trigger 的 MSC 达到 7，则在矩阵周期开始时将错误级别 FDCAN_TTOST.EL 重置为 00。

■ Tx_Overflow (S2)

–当 Tx 计数等于或高于预期的 Tx_Trigger 数 FDCAN_TTMLM.ENTT，且发生 Tx_Trigger 事件时，将错

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

误级别 FDCAN_TTOST.EL 设置为 10。此外，还将设置中断标志 FDCAN_TTIR.TXO。在新的矩阵周期开始时，当 Tx 计数不超过 FDCAN_TTMLM.ENTT 时，错误级别 FDCAN_TTOST.EL 复位为 00。

- Scheduling_Error_1 (S1)

–如果在一个矩阵周期内，所有触发器存储元件（独占时间窗）的最大 MSC 与最小 MSC 之差大于 2，或者独占 Rx_Trigger 的一个 MSC 达到 7，则将错误级别 FDCAN_TTOST.EL 设置为 01。此外，还会设置中断标志 FDCAN_TTIR.SE1。如果在一个矩阵周期内上述条件均不成立，则错误级别 FDCAN_TTOST.EL 复位为 00。

- Tx_Underflow (S1)

–当 Tx 计数少于新矩阵周期开始时预期的 Tx 触发器 FDCAN_TTMLM.ENTT 数量时，将错误级别 FDCAN_TTOST.EL 设置为 01。此外，还将中断标志 FDCAN_TTIR.TXU 位置 1。当新矩阵周期开始时 Tx 计数至少为 FDCAN_TTMLM.ENTT 时，错误级别 FDCAN_TTOST.EL 复位为 00。

23.5.7 TTCAN 消息处理

23.5.7.1 参考消息

对于潜在的时间主站，参考消息的标识符通过 FDCAN_TTRMC.RID 进行配置。发送参考消息不需要专用的 Tx 缓冲器。发送参考消息时，FSE 将提供 TTCAN 1 级的第一个数据字节（即 TTCAN 0 级的前四个数据字节和 TTCAN 2 级的前四个数据字节）。

如果参考消息有效载荷选择 FDCAN_TTRMC.RMPS 位置 1，则参考消息有效载荷的其余部分（1 级：2-8 字节，0、2 级：5-6 字节）将从 Tx 缓冲区 0 中获取。在这种情况下，将使用消息缓冲区 0 中的数据长度 DLC 代码。

表 23-19 随参考消息一起发送的数据字节数

FDCAN_TTRMC.RMPS	FDCAN_TXBRP.TRP0	Level 0	Level 1	Level 2
0	0	4	1	4
0	1	4	1	4
1	0	4	1	4
1	1	4+MBO	1+MBO	4+MBO

要在第 1 级中与参考消息一起发送附加有效载荷，必须配置 DLC>1，对于第 0 级和第 2 级，则需要 DLC>4。此外，必须将消息缓冲区 0 的发送请求挂起位 FDCAN_TXBRP.TRP0 位置 1（见表 23-19）。如果启动参考消息时未置位 FDCAN_TXBRP.TRP0，则参考消息仅与 FSE 提供的数据字节一起发送。

参考消息的接收过滤使用参考标识符 FDCAN_TTRMC.RID。

23.5.7.2 消息接收

消息接收通过两个 Rx FIFO 完成，方式与事件驱动 CAN 通信相同（参见第 23.4.2 节）。

消息状态计数 MSC 是相应触发存储器元件的一部分，必须在配置时初始化为 0。当 TTCAN 处于同步状态 In_Gap 或 In_Schedule 时，它将被更新。更新发生在 Rx_Trigger 消息中。此时，将检查在此基本周期内收到的最新消息与哪个接收过滤元件相匹配。匹配的过滤号将作为接收过滤结果存储。如果与该触发器存储元件中定义的过滤号相同，则 MSC 减 1。如果接受过滤结果与此过滤元件定义的过滤编号不一致，或者接受过滤结果被清除，则 MSC 增 1。在每次 Rx_Trigger 和每次周期开始时，最后一次验收滤波结果都会被清零。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

接收触发（Rx_Trigger）的时间标记应设置为确保目标消息的接收和接收过滤已完成的值。这必须考虑到 RAM 的访问时间和过滤列表的顺序。建议将用于 Rx_Trigger 的过滤器放在过滤器列表的开头。不建议将 Rx_Trigger 用于参考消息。

23.5.7.3 消息发送

对于时间触发的消息发送，TTCAN 提供 32 个专用 Tx 缓冲器（参见 23.4.3）。当 FDCAN 配置为时间触发操作（FDCAN_TTOCF.OM= 01 或 10）时，Tx FIFO 或 Tx 队列不可用。

触发存储器中的每个 Tx_Trigger 都指向包含特定消息的特定 Tx 缓冲区。如果一个给定的 Tx 缓冲区包含的消息在一个基本周期或矩阵周期内要发送不止一次，则该 Tx 缓冲区的 Tx_Trigger 可能不止一个。

应用程序必须按时定期更新数据，并与周期时间同步。主机 CPU 负责确保不会发送未完成更新的消息。为确保这一点，主机必须采取以下措施：

Tx_Trigger_Single/Tx_Trigger_Merged/Tx_Trigger_Arbitration:

- 通过读取 FDCAN_TXBTO 检查上次发送是否已完成
- 更新 Tx 缓冲区配置和/或有效载荷
- 发送添加请求，设置 Tx 缓冲区请求挂起位

Tx_Trigger_Continous

- 发送取消请求，重置 Tx 缓冲区请求挂起位
- 通过读取 FDCAN_TXBCF 检查取消是否已完成
- 更新 Tx 缓冲区配置和/或有效载荷
- 发送添加请求，Tx 缓冲区请求挂起位置 1

与相应 Tx_Trigger 一起存储的消息 MSC 提供了发送成功与否的消息。

当由于 CAN 总线在相应的发送使能窗口内未空闲而无法开始发送，或者当消息已开始发送但无法成功完成时，MSC 将递增 1。当消息已成功传输，或消息本可在其传输使能窗口内启动，但由于传输被禁用（TTCAN 处于错误级别 S2 或主机已禁用此特定消息）而未启动时，MSC 将减 1。

发送缓冲区可以动态管理，即具有不同标识符的多个消息可以共享同一个发送缓冲区元素。在这种情况下，主机必须通过检查 FDCAN_TXBRP 来确保待重新配置的 Tx 缓冲区元素没有发送请求。

如果需要更新挂起请求的 Tx 缓冲区，主机必须首先发出取消请求，并在开始更新之前通过读取 FDCAN_TXBCF 检查取消是否已完成。

发送处理程序将在紧接着 Tx_Trigger 元素（定义发送窗口的起始点）之前激活的触发元素处，将消息从消息 RAM 传送到中间输出缓冲器。在传输期间和传输之后，发送消息可能不会更新，其 FDCAN_TXBRP 位也可能不会更改。为控制传输时间，可在 Tx_Trigger 之前增加一个触发器元素。这可以是一个时间触发器（Time_Base_Trigger），它无需引起任何其他操作。Tx_Trigger 与前一个触发器之间的时差必须足够大，以保证 Tx 处理器即使在其他模块对 RAM 的访问负荷很高的情况下也能从消息 RAM 中读取四个字。

23.5.7.3.1 在专用时间窗口中发送

当周期时间达到 Tx_Trigger_Single 或 Tx_Trigger_Continuous 的时间标记时，开始时间触发发送。总线上不对来自其他节点的消息进行仲裁。MSC 根据传输尝试的结果进行更新。由 Tx_Trigger_Single 启动的发送成功后，相应的 Tx 缓冲区请求挂起位将被重置。由 Tx_Trigger_Continuous（Tx_Trigger_Continuous）启动的

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

发送成功后，相应的 Tx 缓冲区请求挂起位保持置 1。如果由于干扰导致发送不成功，则在下一次（其中一个）Tx_Trigger（触发器）激活时将重复发送。

23.5.7.3.2 在仲裁时间窗口中发送

当周期时间达到 Tx_Trigger_Arbitration 的时间标记时，开始时间触发发送。多个节点可能同时开始传输。在这种情况下，消息必须与其他节点的消息进行仲裁。MSC 不会更新。如果发送不成功（仲裁失败或受到干扰），下次（其中一个）Tx_Trigger 激活时将重复发送。

23.5.7.3.3 在合并仲裁时间窗口中发送

合并仲裁时间窗口的用途是使多个节点能够发送数量有限的帧，这些帧按照 CAN 仲裁的顺序进行发送。它不用于节点的突发传输。由于节点在该时间窗口内没有独占访问权，因此可能会出现并非所有请求的发送都能成功的情况。

失去仲裁或受错误干扰的消息可在同一合并仲裁时间窗口内重新传输。如果相应的发送请求挂起标志因成功取消发送而被重置，则不会开始重新发送。

在单独发送窗口中，发送处理单元会发送由触发元素的消息编号指示的消息。在合并仲裁时间窗口中，它最多可处理触发器列表中的三个消息编号。将按照触发器列表定义的顺序尝试发送。如果在发送第一条消息之前到达了第四条消息的时间标记（或被主机取消），则第四条消息的请求将被忽略。

合并仲裁时间窗口内的传输不具有时间触发性。消息的传输可以在其时间标记之前开始，如果总线没有空闲，也可以在时间标记之后开始。

特定节点在合并仲裁时间窗口内发送的消息将按照其 Tx_Triggers 的顺序开始发送，因此，如果总线流量很大，CAN 优先级较低的消息可能会妨碍优先级较高的后续消息的成功发送。在配置触发器列表时必须考虑到这一点。Time_Base_Triggers 可以放在连续的 Tx_Triggers（Tx_触发器）之间，以确定相应 Tx 缓冲区的数据需要更新的时间。

23.5.8 TTCAN 中断和错误处理

TT 中断寄存器 FDCAN_TTIR 由几个部分组成。每个中断都可以通过 TT 中断使能寄存器 FDCAN_TTIE 中的相应位单独启用。这些标志保持置位状态，直到主机将其清除。将 1 写入相应位即可清除标志。

第一部分包括标志位 CER、AW、WT 和 IWT。每个标志都表示一个致命错误条件，CAN 通信在此条件下停止。除 IWT 外，这些错误条件要求重新配置 FDCAN 模块后才能重新启动通信。

第二部分包括标志位 ELC、SE1、SE2、TXO、TXU 和 GTE。每个标志都表示 CAN 通信受到干扰的错误条件。如果它们是由瞬时故障（如 CAN 总线上的干扰）引起的，则将由 FDCAN 协议故障处理程序进行处理，不需要应用程序进行干预。

第三部分包括标志位 GTD、GTW、SWE、TTMI 和 RTMI。前两个标志由全局时间事件（仅 0 级和 2 级）控制，需要应用程序做出反应。通过引脚 fdcan_swt 上的上升沿触发的停止监视事件，可以捕捉内部时间值。触发时间标记中断通知应用程序已达到特定的触发时间标记。寄存器时间标记中断发出信号，表明 FDCAN_TTOCN.TMC（周期、本地或全局）引用的时间等于时间标记 FDCAN_TTTMK.TM。它也可用于完成一个间隙。

第四部分包括标志位 SOG、CSM、SMC 和 SBC。这些标志提供了一种使应用程序与时间调度同步的方法。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

23.5.9 Level 0

TTCAN 0 级不是 ISO11898-4 的一部分。根据 ISO11898-1，该运行模式使 TTCAN 2 级中维护校准全局时基的硬件也可用于事件驱动 CAN。

0 级运行通过 FDCAN_TTOCF.OM = 11 进行配置。在这种模式下，FDCAN 以事件驱动 CAN 通信方式运行，没有固定时间表，FDCAN_TTOCF.GEN 的配置将被忽略。在 0 级中，外部事件同步操作不可用。同步时基通过传输参考消息来维持。

在 0 级中，触发存储器未激活，因此无需配置。当周期时间达到 FDCAN_TTOCF.IRTO * 0x200 时，时间标记中断标志(FDCAN_TTIR.TTMI)将被置 1，以提醒主机为消息缓冲区 0 设置发送请求。当周期时间达到 0xFF00 时，Watch_Trigger 中断标志(FDCAN_TTIR.WT)将被置 1。选择这些值是为了有足够的余量进行稳定的时钟校准。没有进一步的 TT 错误检查。

也可以使用寄存器时间标记中断(FDCAN_TTIR.RTMI)。

参考消息的配置与第 2 级操作相同。接收的参考消息通过寄存器 FDCAN_TTRMC 中配置的标识符识别。发送参考消息时，只能使用消息缓冲区 0。只要主机为消息缓冲区 0 设置了发送请求，节点就会发送参考消息，没有参考触发偏移。

可通过以下方式配置 0 级操作:

- FDCAN_TTRMC
- FDCAN_TTOCF，但 EVTP, AWL, GEN 位除外
- FDCAN_TTMLM，但 ENTT, TXEW 位除外
- FDCAN_TURCF

0 级操作是通过以下寄存器位控制的：

- FDCAN_TTOCN，但 NIG,TMG,FGP,GCS,TTMIE 位除外
- FDCAN_TTGTP
- FDCAN_TTTMK
- FDCAN_TTIR，但 CER,AW,IWTSE2,SE1,TXO,TXU,SOG 位除外(无功能)
- FDCAN_TTIR 以下位的功能发生了变化

  –不是由触发存储器定义的 TTMI - 在周期时间 TTOCF[IRTO] * 0x200 激活

  –不是由触发存储器定义的 WT - 在周期时间 0xFF00 激活

0 级操作是通过以下寄存器位指示的：

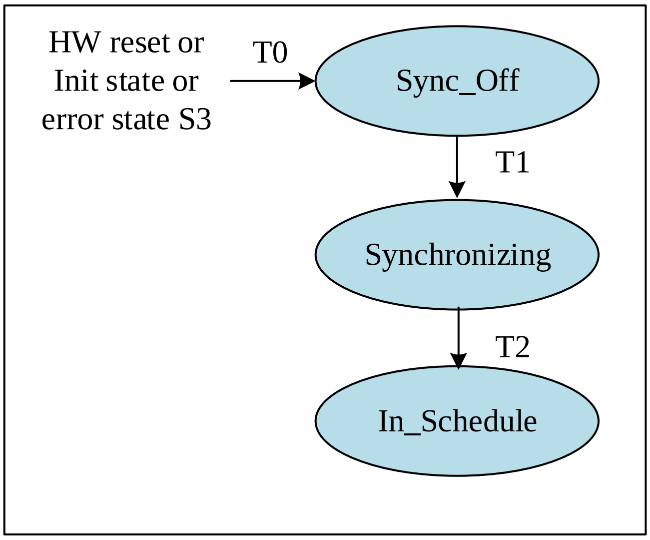
- TTOST ，但 AWE, WFE, GSI, GFI, RTO 位除外(无功能)

23.5.9.1 同步

图 23-17 介绍了 TTCAN 0 级操作中的状态和状态转换。0 级没有 In_Gap 状态。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 23-17 0 级调度同步状态机



T0: Transition condition always taking prevalence

T1: Init state left, cycle time is 0

T2: At least two consecutive reference messages observed (last reference message didn't contain a set Disc_Bit or Next_is_Gap bit

23.5.9.2 错误级别处理

0 级操作期间，仅可能出现以下错误条件：

- Watch_Trigger_Reached (S3),到达周期时间 0xFF00
- CAN_Bus_Off (S3)

由于不可能出现 S1 和 S2 错误，因此错误级别只能在 S0（无错误）和 S3（严重错误）之间切换。在 TTCAN 0 级中，S3 错误的处理方式不同。达到 S3 错误级别时，FDCAN_TTOST.SYS 和 FDCAN_TTOST.MS 都将复位，中断标志 FDCAN_TTIR.GTE 和 FDCAN_TTIR.GTD 将被置 1。

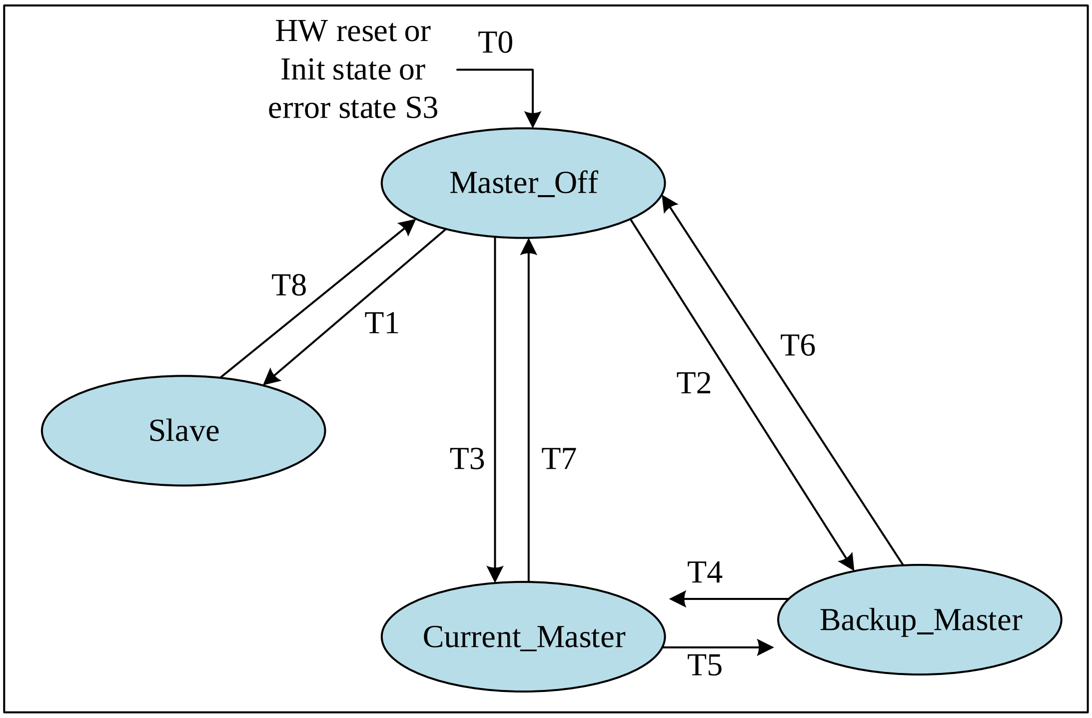
进入错误级别 S3（FDCAN_TTOST.EL=11）时，不进入总线监控模式（与 TTCAN 级别 1 和级别 2 相反）。在发送（时间主站）或接收（时间从站）下一条参考消息后，将自动退出 S3 错误级别。

23.5.9.3 主控/被控节点关系

图 23-18 介绍了 TTCAN 0 级中主控/被控节点的关系。如果发生 S3 错误，FDCAN 会恢复到状态 Master_Off。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 23-18 0 级主控和被控节点关系



T0: transition condition always taking prevalence

T1: reference message observed when not potential time master

T2: reference message observed with master priority ≠ own master priority, error state ≠ S3

T3: reference message observed with master priority = own master priority, error state ≠ S3

T4: reference message observed with own master priority

T5: reference message observed with master priority higher than own master priority

T6: error state S3

T7: error state S3

T8: error state S3

23.5.10 与外部时间调度同步

此功能可用于将 FDCAN 调度的相位与外部调度（如另一个 TTCAN 网络或 FlexRay 网络的调度）同步。它仅适用于 FDCAN 为当前时间主站（FDCAN_TTOST.MS = 11）的情况。

外部同步由事件触发输入引脚 fdcan_evt 控制。如果位 FDCAN_TTOCN.ESCN 置 1，则在事件触发引脚 fdcan_evt 上升沿时，FDCAN 将比较其实际周期时间和由 FDCAN_TTGTP.CTP 配置的目标相位值。

在 FDCAN_TTOCN.ESCN 置 1 之前，主机必须调整两个时间调度的相位，例如使用 FDCAN 间隙控制（参见第 23.5.3 节：TTCAN 间隙控制）。当主机 FDCAN_TTOCN.ESCN 置 1 时，FDCAN_TTOSTSPL 将被置 1。

如果事件触发引脚 fdcan_evt 上升沿处的周期时间与目标相位值 FDCAN_TTGTP.CTP 之间的差值大于 9 NTU，相位锁定位 FDCAN_TTOST.SPL 将被重置，中断标志 FDCAN_TTIR.CSM 将被置位。当另一个节点成为时间主站时，FDCAN_TTOST.SPL 也会被重置（FDCAN_TTIR.CSM 被置位）。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

如果同时置位了 FDCAN_TTOST.SPL 和 FDCAN_TTOCN.ESCN，并且如果在事件触发引脚 fdcan_evt 上升沿处的周期时间与目标相位值 FDCAN_TTGTP.CTP 之间的差值小于或等于 9 NTU，则相位锁定位 FDCAN_TTOST.SPL 保持置位，测量差值将用作参考触发偏移值，以调整下一个发送的参考消息的相位。

注：事件触发引脚 fdcan_evt 的上升沿检测在每个基本周期开始时启用。第一个上升沿触发实际周期时间与 FDCAN_TTGTP.CTP 的比较。在下一个基本周期开始之前的所有上升沿均被忽略。

23.6 FDCAN 寄存器

FDCAN1 基地址：0x40005000

FDCAN2 基地址：0x40005400

FDCAN3 基地址：0x40005800

23.6.1 FDCAN 内核释放寄存器(FDCAN_CREL)

偏移地址：0x00

复位值：0x3313 0328

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
REL[3:0]				STEP[3:0]				SUBSTEP[3:0]				YEAR[3:0]			
r				r				r				r			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MON[7:0]								DAY[7:0]							
r								r							

位域	名称	描述
31:28	REL[3:0]	内核释放（Core release），1 位 BCD 码。
27:24	STEP[3:0]	内核释放步（Step of Core release），1 位 BCD 码。
23:20	SUBSTEP[3:0]	内核释放子步（Sub-step of Core release），1 位 BCD 码。
19:16	YEAR[3:0]	时间戳年（Timestamp Year），1 位 BCD 码。
15:8	MON[7:0]	时间戳月（Timestamp Month），2 位 BCD 码。
7:0	DAY[7:0]	时间戳日（Timestamp Day），2 位 BCD 码。

23.6.2 FDCAN 字节序寄存器(FDCAN_ENDN)

偏移地址：0x04

复位值：0x8765 4321

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ETV[31:16]															
r															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ETV[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:0	ETV[31:0]	字节序测试值（Endianness Test Value)，固定为 0x8765 4321。

23.6.3 FDCAN 数据位定时和预分频寄存器(FDCAN_DBTP)

偏移地址：0x0C

复位值：0x0000 0A33

仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 位均置 1 时，才可以向此寄存器写入数据。CAN 数据时间片 tq 可编程，tq=（DBRP+1）*fdcan_tq_ck 时钟周期，范围为 1 至 32 个 fdcan_tq_ck 时钟周期。

DTSEG1 为 Prop_Seg 与 Phase_Seg1 之和。DTSEG2 为 Phase_Seg2。因此，数据库位时间的长度为（编程值）（DTSEG1 + DTSEG2 + 3）* tq，范围为 3 至 49 个 tq。

信息处理时间(IPT)为零，这意味着下一位的数据在采样点后的第一个时钟边沿可用。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved								TDC	Reserved		DBRP[4:0]				
								rw			rw				

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved			DTSEG1[4:0]					DTSEG2[3:0]				DSJW[3:0]			
			rw					rw				rw			

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必需保持复位值。
23	TDC	收发器延迟补偿（Transceiver Delay Compensation) 0：禁止收发器延迟补偿 1：使能收发器延迟补偿
22:21	Reserved	保留，必需保持复位值。
20:16	DBRP[4:0]	数据比特率预分频器（Data Bit Rate Prescaler) 数据比特率预分频器的值，用于将 fdcan_tq_ck 时钟分频以生成位时间片(tq)。位时间为这个位时间片(tq)的倍数。数据比特率预分频器的有效值范围是 0 到 31。当 TDC = '1'时，范围限制为 0 和 1。硬件将该值解析为编程值加 1。
15:13	Reserved	保留，必需保持复位值。
12:8	DTSEG1[4:0]	采样点之前的数据时间段（Data time segment before sample point) 有效值为 0 到 31。硬件将该值解析为编程值加 1。
7::4	DTSEG2[3:0]	采样点之后的数据时间段（Data time segment after sample point) 有效值为 0 到 15。硬件将该值解析为编程值加 1。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
3:0	DSJW[3:0]	同步跳转宽度 (Synchronization Jump Width) 有效值为 0 到 15。硬件将该值解析为编程值加 1。

注意：使用 8MHz 的 CAN 时钟（fdcan_tq_ck），复位值 0x00000A33 将比特率配置为 500 kBit/s。

注意：通过 DBTP 配置的 CAN FD 数据相位的比特率必须高于或等于通过 NBTP 配置的仲裁相位的比特率。

23.6.4 FDCAN 测试寄存器(FDCAN_TEST)

必须通过将 FDCAN_CCCR.TEST 位置"1"的方式使能对测试寄存器的写访问。FDCAN_CCCR.TEST 位复位时，所有测试寄存器功能都会设为复位值。

接收引脚 FDCANx_TX 的环回模式和软件控制属于硬件测试模式。将 TX 编程为"00"以外的值可能会干扰 CAN 总线上的消息传输。

偏移地址：0x10

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								RX	TX[1:0]		LBCK	Reserved			
								r	rw		rw				

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必需保持复位值。
7	RX	接收引脚状态 (Receive Pin) 监测接受引脚 FDCAN_RX 的实际值 0：CAN 总线为显性（FDCAN_RX= '0'） 1：CAN 总线为隐性（FDCAN_RX= '1'）
6:5	TX[1:0]	发送引脚控制 (Control of Transmit Pin) 00：复位值，FDCAN_TX 由 CAN 内核控制，会在 CAN 位时间结束时更新 01：可在发送引脚 FDCAN_TX 监测采样点 10：引脚 FDCAN_TX 上为显性('0')电平 11：引脚 FDCAN_TX 上为隐性('1')电平
4	LBCK	环回模式 (Loop Back Mode) 0：复位值，禁止环回模式 1：使能环回模式
3:0	Reserved	保留，必需保持复位值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

23.6.5 **FDCAN RAM 看门狗寄存器(FDCAN_RWD)**

RAM 看门狗监控消息 RAM 输出的 READY 信号。对消息 RAM 的访问会启动消息 RAM 看门狗计数器，初始值由 FDCAN_RWD.WDC 配置。当对消息 RAM 的访问成功完成并发出 READY 信号时，计数器会重置为 FDCAN_RWD.WDC 值。如果计数器递减为 0 之前消息 RAM 没有发出 READY 信号，则计数器停止计数，中断标志 FDCAN_IR.WDI 位置 1。RAM 看门狗计数器由接口时钟（fdcan_pclk）驱动。

偏移地址：0x14

复位值：0x0000 0000

31:16
Reserved

15:8	7:0
WDV[7:0]	WDC[7:0]
r	rw

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必需保持复位值。
15:8	WDV[7:0]	看门狗值 (Watchdog value) 消息 RAM 看门狗计数器值。
7:0	WDC[7:0]	看门狗配置 (Watchdog configuration) 消息 RAM 看门狗计数器的起始值。如果使用复位值“00”，计数器禁止。 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。

23.6.6 **FDCAN 控制寄存器(FDCAN_CCCR)**

偏移地址：0x18

复位值：0x0000 0001

31:16
Reserved

15	14	13	12	11:10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
NISO	TXP	EFBI	PXHD	Reserved	BRSE	FDOE	TEST	DAR	MON	CSR	CSA	ASM	CCE	INIT
rw	rw	rw	rw		rw	rw	rw	rw	rw	rw	r	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必需保持复位值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
15	NISO	非 ISO 操作 (Non ISO Operation) 如果此位置 1，FDCAN 会使用 Bosch CAN FD 规范 V1.0 规定的 CAN FD 帧格式。 0：符合 ISO11898-1 规定的 CAN FD 帧格式 1：符合 Bosch CAN FD 规范 V1.0 规定的 CAN FD 帧格式
14	TXP	发送暂停 (Transmit Pause) 如果此位置 1，成功发送帧后，FDCAN 会先暂停两个 CAN 位时间，然后再开始进行下一次发送。 0：禁止发送暂停 1：使能发送暂停
13	EFBI	总线同步期间的边沿过滤 (Edge Filtering during Bus Integration) 0：禁止边沿过滤 1：需要两个连续显性 tq 才能检测硬同步边沿
12	PXHD	禁止协议异常处理 (Protocol Exception Handling Disable) 0：使能协议异常处理 1：禁止协议异常处理 注：当禁用协议异常处理时，FDCAN 在检测到协议异常条件时将传输错误帧。
11:10	Reserved	保留，必需保持复位值。
9	BRSE	比特率切换使能 (Bit Rate Switch Enable) 0：禁止发送时进行比特率切换 1：使能发送时进行比特率切换 注：当禁用 CAN FD 操作时（FDOE = '0'），BRSE 无效。
8	FDOE	FD 操作使能 (FD Operation Enable) 0：禁止 FD 操作 1：使能 FD 操作
7	TEST	测试模式使能 (Test Mode Enable) 0：正常操作，寄存器 TEST 保存复位值 1：测试模式，使能对寄存器 TEST 的写访问
6	DAR	禁止自动重发送 (Disable Automatic Retransmission) 0：使能自动重发送未成功发送的消息 1：禁止自动重发送
5	MON	总线监控模式 (Bus Monitoring Mode) 仅当 CCE 和 INIT 均置“1”时，才能通过软件将 MON 位置 1。此位可随时通过主机复位。 0：禁止总线监控模式 1：使能总线监控模式
4	CSR	时钟停止请求 (Clock Stop Request) 0：未请求时钟停止 1：已请求时钟停止。如果请求时钟停止，则在所有挂起的发送请求均已完成且 CAN 总线达到空闲状态之后，INIT 会先置 1，然后 CSA 会置 1。
3	CSA	时钟停止确认 (Clock Stop Acknowledge) 0：未确认时钟停止

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：可通过停止 fdcan_tq_ck 时钟和 fdcan_pclk 时钟将 FDCAN 设为掉电状态
2	ASM	受限工作模式 (Restricted Operation Mode) ASM 只能在 CCE 和 INIT 都置‘1’时由主机设置。且该位可以随时由主机复位。 0：正常 CAN 操作 1：激活受限工作模式
1	CCE	配置更改使能 (Configuration Change Enable) 0：CPU 对受保护的配置寄存器没有写访问权限 1：CPU 对受保护的配置寄存器有写访问权限（CCCR.INIT =“1”时）
0	INIT	初始化 (Initialization) 0：正常工作 1：启动初始化

注：由于两个时钟域之间存在同步机制，写入 INIT 值后，需要经过一定的延迟才能读取。因此，必须通过读取 INIT 确保之前写入 INIT 的值已生效，然后才能将 INIT 设为新值。

23.6.7 FDCAN 标称位定时和预分频寄存器(FDCAN_NBTP)

仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 位均置 1 时，才可以向此寄存器写入数据。CAN 标称时间片 tq 可编程，tq=（NBRP+1）*fdcan_tq_ck 时钟周期，范围为 1 至 512 个 fdcan_tq_ck 时钟周期。

NTSEG1 为 Prop_Seg 与 Phase_Seg1 之和。NTSEG2 为 Phase_Seg2。因此，标称位时间的长度为（编程值）（NTSEG1 +NDTSEG2 + 3）* tq，范围为 4 至 385 个 tq。

偏移地址：0x1C

复位值：0x0600 0A03

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
NSJW[6:0]							NBRP[8:0]								
rw							rw								

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
NTSEG1[7:0]								Reserved	NTSEG2[6:0]						
rw									rw						

位域	名称	描述
31:25	NSJW[6:0]	标称（重新）同步跳转宽度 (Nominal (Re)Synchronization Jump Width) 有效值为 0 到 127。硬件将该值解析为编程值加 1。 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。
24:16	NBRP[8:0]	比特率预分频器 (Bit Rate Prescaler) fdcan_tq_ck 除以该值生成位时间片 tq，位时间为该位时间片的倍数。比特率预分频器的有效值为 0 到 511。硬件将该值解析为编程值加 1。 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		才能进行写访问。
15:8	NTSEG1[7:0]	采样点之前的标称时间段 (Nominal time segment before sample point) 有效值为 1 到 255。硬件将该值解析为编程值加 1。 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。
7	Reserved	保留，必需保持复位值。
6:0	NTSEG2[6:0]	采样点之后的标称时间段 (Nominal time segment after sample point) 有效值为 1 到 127。硬件将该值解析为编程值加 1。 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。

注：如果 CAN 内核时钟为 8MHz，复位值 0x00000A33 会将 FDCAN 的比特率配置为 500 kb/s。

23.6.8 FDCAN 时间戳计数器配置寄存器(FDCAN_TSCC)

偏移地址：0x20

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved												TCP[3:0]			
												rw			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved														TSS[1:0]	
														rw	

位域	名称	描述
31:20	Reserved	保留，必需保持复位值。
19:16	TCP[3:0]	时间戳计数器预分频 (Timestamp Counter Prescaler) 将时间戳和超时计数器时间单位配置为 CAN 位时间的倍数[1…16]。硬件将该值解析为编程值加 1 注意：在 CAN FD 模式下，需要外部计数器进行时间戳生成（TSS = “10”）。 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。
15:2	Reserved	保留，必需保持复位值。
1:0	TSS[1:0]	时间戳选择 (Timestamp Select) 00：时间戳计数器值始终为 0x0000 01：时间戳计数器值随 TCP 递增 10：使用外部时间戳计数器值 11：与“ 00 ”相同

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

23.6.9 **FDCAN 时间戳计数器值寄存器(FDCAN_TSCV)**

偏移地址：0x24

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TSC[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必需保持复位值。
15:0	TSC[15:0]	时间戳计数器值（Timestamp Counter） 内部/外部时间戳计数器值是在（接收和发送）帧开始时捕获的。当 FDCAN_TSCC.TSS =“01”时，时间戳计数器会以 CAN 位时间的倍数[1…16]递增，具体取决于 FDCAN_TSCC.TCP 的配置。计数器回卷会将中断标志 FDCAN_IR.TSW 置 1。写访问将计数器值复位为 0。当 FDCAN_TSCC.TSS =“10”时，TSC 会反映外部时间戳计数器值，此时写访问无影响。

注：“回卷”是指时间戳计数器值由非零值变为 0，而不是由于对 TSCV 进行写访问引起的。

注：字节访问：写入寄存器的字节 3/2/1/0 将重置时间戳计数器。

23.6.10 **FDCAN 超时计数器配置寄存器(FDCAN_TOCC)**

偏移地址：0x28

复位值：0xFFFF 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
TOP[15:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved													TOS[1:0]		ETOC
													rw		rw

位域	名称	描述
31:16	TOP[15:0]	超时时长（Timeout Period） 超时计数器（递减计数器）的起始值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
15:3	Reserved	保留，必需保持复位值。
2:1	TOS[1:0]	TOS：超时选择 (Timeout Select) 在连续模式下工作时，对 FDCAN_TOCV 进行写访问会将计数器预设为由 FDCAN_TOCC.TOP 值并继续递减计数。超时计数器由其中一个 FIFO 控制时，FIFO 为空会将计数器预设为 FDCAN_TOCC.TOP 值。写入第一个 FIFO 元素后开始递减计数。 00：连续工作 01：超时由发送事件 FIFO 控制 10：超时由接收 FIFO 0 控制 11：超时由接收 FIFO 1 控制 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。
0	ETOC	使能超时计数器 (Enable Timeout Counter) 0：禁止超时计数器 1：使能超时计数器 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。

23.6.11 FDCAN 超时计数器值寄存器(FDCAN_TOCV)

偏移地址：0x2C

复位值：0x0000 FFFF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TOC[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必需保持复位值。
15:0	TOC[15:0]	超时计数器 (Timeout Counter) 超时计数器会以 CAN 位时间的倍数[1…16]递减，具体取决于 FDCAN_TSCC.TCP 的配置。当计数器递减至 0 时，中断标志 FDCAN_IR.TOO 置 1，超时计数器停止计数。开始和复位/重启条件通过 FDCAN_TOCC.TOS 配置。 *注：字节访问：当 TOCC.TOS = “00 ”时，写入寄存器字节 3/2/1/0 将预置超时计数器。*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

23.6.12 FDCAN 错误计数器寄存器(FDCAN_ECR)

偏移地址：0x40

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved								CEL[7:0]							
								r							
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
RP	REC[6:0]							TEC[7:0]							
r	r							r							

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必需保持复位值。
23:16	CEL[7:0]	CAN 错误记录 (CAN Error Logging) 每当 CAN 协议错误导致 8 位发送错误计数器 TEC 或 7 位接收错误计数器 REC 递增时，该计数器都会递增。CEL 的递增发生在 REC 或 TEC 递增之后。 对 CEL 进行读访问时，计数值复位。计数器值达到 0xFF 时，停止计数。在 TEC 或 REC 下一次递增时，中断标志 FDCAN_IR.ELO 置 1。
15	RP	接收错误被动 (Receive Error Passive) 0：接收错误计数器低于被动错误级别 128 1：接收错误计数器已达到被动错误级别 128
14:8	REC[6:0]	接收错误计数器 (Receive Error Counter) 接收错误计数器的实际状态，取值范围为 0 到 127
7:0	TEC[7:0]	发送错误计数器 (Transmit Error Counter) 发送错误计数器的实际状态，取值范围为 0 到 255。 如果 FDCAN_CCCR.ASM 置 1，检测到 CAN 协议错误时，TEC 和 REC 不会递增，仅 CEL 递增。

23.6.13 FDCAN 协议状态寄存器(FDCAN_PSR)

偏移地址：0x44

复位值：0x0000 0707

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved									TDCV[6:0]						
									r						
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
Reserved	PXE	RFDF	RBRS	RESI	DLEC[2:0]			BO	EW	EP	ACT[1:0]		LEC[2:0]		

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:23	Reserved	保留，必需保持复位值。
22:16	TDCV[6:0]	发送器延迟补偿值 (Transmitter Delay Compensation Value) 第二采样点（SSP）的位置，由从引脚 FDCAN_TX 到 FDCAN_RX 之间测得的延迟时间与 FDCAN_TDCR.TDCO 之和定义。在数据阶段，SSP 位置为已发送位起始点与第二采样点之间的最小时间片(mtq)数。有效值为 0 到 127 个 mtq。
15	Reserved	保留，必需保持复位值。
14	PXE	协议异常事件 (Protocol Exception Event) 0：自上次读访问起未发生协议异常事件 1：已发生协议异常事件
13	RFDF	接收 CAN FD 消息 (Received a CAN FD Message) 此位的设置与接收过滤无关。 0：自 CPU 复位以来，没有接收到 CAN FD 消息 1：接收到 FDF 标志置 1 的 CAN FD 格式的消息
12	RBRS	上次接收的 CAN FD 消息的 BRS 标志 (BRS flag of last received CAN FD Message) 此位与 RFDF 一起设置，与接收过滤无关。 0：上次接收的 CAN FD 消息的 BRS 标志未置 1 1：上次接收的 CAN FD 消息的 BRS 标志已置 1
11	RESI	上次接收的 CAN FD 消息的 ESI 标志 (ESI flag of last received CAN FD Message) 此位与 RFDF 一起设置，与接收过滤无关。 0：上次接收的 CAN FD 消息的 ESI 标志未置 1 1：上次接收的 CAN FD 消息的 ESI 标志已置 1
10:8	DLEC[2:0]	上一数据错误代码 (Data Phase Last Error Code) 在 BRS 标志置 1 的 CAN FD 格式帧数据阶段发生的上一错误类型。错误类型定义参照 LEC。当 BRS 标志置 1 的 CAN FD 格式帧已无错传输（接收或发送）时，此位域将被清零。
7	BO	Bus_Off 状态 (Bus_Off Status) 0：FDCAN 未处于 Bus_Off 状态 1：FDCAN 处于 Bus_Off 状态
6	EW	警告状态 (Warning Status) 0：两个错误计数器的值均小于 Error_Warning 限值 96 1：至少有一个错误计数器已达到 Error_Warning 限值 96
5	EP	被动错误 (Error Passive) 0：FDCAN 处于主动错误状态。通常会参与总线通信，并会在检测到错误后发送主动错误标志 1：FDCAN 处于错误被动状态
4:3	ACT[1:0]	活动状态 (Activity) 监控 CAN 模块的通信状态。 00：同步中：节点在 CAN 通信时同步 01：空闲：节点既不是接收器，也不是发送器

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		10：接收器：节点作为接收器工作 11：发送器：节点作为发送器工作 注意：当发生协议异常事件时，ACT 被设置为“00”。
2:0	LEC[2:0]	上一错误代码 (Last Error Code) LEC 指示 CAN 总线上发生的上一错误的类型。当总线上已传输没有错误的消息时（接收或发送），此位域清零。 000：无错：自消息成功接收或发送将 LEC 复位后，未发生任何错误。 001：填充错误：在已接收的消息中，连续出现 5 个以上的相等位，这种情况是不允许发生的。 010：格式错误：已接收帧的固定格式部分有错误的格式。 011：Ack 错误：由 FDCAN 发送的消息未被其他节点确认。 100：Bit1 错误：在消息发送过程中（仲裁字段例外），设备希望发送隐性电平（位逻辑值为“1”），但受监控的总线值为显性。 101：Bit0 错误：在消息发送过程中（或 ACK 位、主动错误标志、过载标志），节点希望发送显性电平（数据或标识符位逻辑值“0”），但受监控的总线值为隐性。在 Bus_Off 恢复期间，每次监控到 11 个隐性位组成的序列时，此状态都会置 1。这样，CPU 便可监控 Bus_Off 恢复序列的进行（指示总线并未卡在显性状态或持续受干扰状态）。 110：CRC 错误：已接收消息的 CRC 校验和不正确。消息中的 CRC 值与通过已接收数据计算出的 CRC 不匹配。 111：NoChange：任何对协议状态寄存器的读访问，会将 LEC 重新初始化为“7”。如果 LEC 显示的值为“7”，则表示自 CPU 上一次对协议状态寄存器进行读访问后，未检测到任何 CAN 总线事件。

注意 1：当到达一个已将 BRS 标志置 1 的 CAN FD 帧数据段时，下一个 CAN 事件（错误或有效帧）将在 DLEC 中显示，而不是 LEC。且在 CAN FD CRC 序列的中固定填充位错误将视为格式错误，而不是填充错误。

注意 2：Bus_Off 恢复序列（参照 CAN 规范第 2.0 版或 ISO11898-1：2015）无法通过将 FDCAN_CCCR.INIT 置 1 或复位来缩短。如果器件进入 Bus_Off 状态，FDCAN_CCCR.INIT 置 1，并停止所有总线活动。一旦 CPU 清零 FDCAN_CCCR.INIT 位，器件将在等待 129 次总线空闲状态（129×11 个连续隐性位）后，才会恢复正常。Bus_Off 恢复序列结束时，错误管理计数器值复位。在 FDCAN_CCCR.INIT 复位后的等待时间内，将监控每个 11 个隐性位序列，并将 Bit0 错误代码写入 FDCAN_PSR.LEC，从而使 CPU 能检测 CAN 总线保持显性还是持续受到干扰，从而监控 Bus_Off 恢复序列。FDCAN_ECR.REC 用于对这些隐性位序列进行计数。

23.6.14 **FDCAN 发生器延迟补偿寄存器(FDCAN_TDCR)**

偏移地址：0x48

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	TDCO[6:0]							Reserved	TDCF[6:0]						
	rw								rw						

位域	名称	描述
31:15	Reserved	保留，必需保持复位值。
14:8	TDCO[6:0]	发送器延迟补偿 SSP 偏移 (Transmitter Delay Compensation SSP Offset) 定义从 FDCAN_TX 到 FDCAN_RX 测得的延迟与第二采样点之间的差值。有效值为 0 到 127 个 mtq。
7	Reserved	保留，必需保持复位值。
6:0	TDCF[6:0]	发送器延迟补偿过滤器窗口长度 (Transmitter Delay Compensation Filter Window Length) 定义 SSP 位置的最小值，测量发送器延迟时忽略 FDCAN_RX 上导致 SSP 位置提前的显性边沿。有效值为 0 到 127 mtq。

23.6.15 FDCAN 中断寄存器(FDCAN_IR)

如果检测到下列条件（边沿有效），相应标志位置 1。在主机清零之前，标志位保持为 1。通过向相应应位写“1”将标志清零，写“0”无作用。硬件复位会将寄存器清零。IE 控制是否生成中断。ILS 则控制从哪条中断线发出中断。

偏移地址：0x50

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		ARA	PED	PEA	WDI	BO	EW	EP	ELO	Reserved		DRX	TOO	MRAF	TSW
		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw			rw	rw	rw	rw
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
TEFL	TEFF	TEFW	TEFN	TFE	TCF	TC	HPM	RF1L	RF1F	RF1W	RF1N	RF0L	RF0F	RF0W	RF0N
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必需保持复位值。
29	ARA	访问保留寄存器地址 (Access to Reserved Register Address) 0：未对保留寄存器地址进行访问 1：已对保留寄存器地址进行访问
28	PED	数据阶段的协议错误（使用数据位时间）(Protocol Error in Data Phase (Data Bit Time is used)) 0：数据阶段没有协议错误

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：检测到数据阶段有协议错误（PSR.DLEC 不是 0、7）
27	PEA	仲裁阶段中的协议错误（使用标称位时间）(Protocol Error in Arbitration Phase(Nominal Bit Time is used)) 0：仲裁阶段中没有协议错误 1：检测到仲裁阶段有协议错误（PSR.LEC 不是 0、7）
26	WDI	看门狗中断 (Watchdog Interrupt) 0：未发生消息 RAM 看门狗事件 1：因 READY 缺失而发生消息 RAM 看门狗事件
25	BO	Bus_Off 状态 (Bus_Off Status) 0：Bus_Off 状态未更改 1：Bus_Off 状态已更改
24	EW	警告状态 (Warning Status) 0：Error_Warning 状态未更改 1：Error_Warning 状态已更改
23	EP	被动错误 (Error Passive) 0：Error_Passive 状态未更改 1：Error_Passive 状态已更改
22	ELO	错误记录溢出 (Error Logging Overflow) 0：CAN 错误记录计数器未溢出 1：CAN 错误记录计数器已溢出
21:20	Reserved	保留，必需保持复位值。
19	DRX	消息存储到专用接收缓冲区 (Message stored to Dedicated Rx Buffer) 接收到的消息已存储到专用接收缓冲区后，此标志会置 1。 0：未更新接收缓冲区 1：至少有一条已接收消息存储到专用接收缓冲区中
18	TOO	发生超时 (Timeout Occurred) 0：无超时 1：发生超时
17	MRAF	消息 RAM 访问失败 (Message RAM Access Failure) 当接收处理满足以下条件时，将该标志置 1： • 直到收到下一条消息的仲裁段时，还未完成对当前已接收消息的接收过滤或存储。此时，当前接受消息的过滤或存储中止，开始处理下一条消息。 • 无法将当前消息写入消息 RAM。此时，当前消息存储被中止。 这两种情况下，FIFO 放入索引不会更新，专用接收缓冲的新数据标志也不会置 1。下一条消息存储到此位置时，原消息被覆盖。 当发送处理单元无法从消息 RAM 中读取数据时，此标志也会置 1。此时消息发送中止。如果发送处理单元访问失败，FDCAN 会切换到受限工作模式。要退出受限工作模式，主机 CPU 必须复位 FDCAN_CCCR.ASM。 0：未发生消息 RAM 访问失败 1：已发生消息 RAM 访问失败
16	TSW	时间戳回卷 (Timestamp Wraparound) 0：时间戳未回卷

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：时间戳已回卷
15	TEFL	发送事件 FIFO 元素丢失 (Tx Event FIFO Element Lost) 0：发送事件 FIFO 元素未丢失 1：发送事件 FIFO 元素已丢失，尝试向大小为零的发送事件 FIFO 写入时也会置 1
14	TEFF	发送事件 FIFO 已满 (Tx Event FIFO Full) 0：发送事件 FIFO 未满 1：发送事件 FIFO 已满
13	TEFW	达到发送事件 FIFO 水线 (Tx Event FIFO Watermark Reached) 0：发送事件 FIFO 填充级别低于水线标志 1：发送事件 FIFO 填充级别达到水线标志
12	TEFN	发送事件 FIFO 新元素 (Tx Event FIFO New Entry) 0：发送事件 FIFO 未更改 1：发送处理单元写入新的发送事件 FIFO 元素
11	TFE	发送 FIFO 空 (Tx FIFO Empty) 0：发送 FIFO 非空 1：发送 FIFO 为空
10	TCF	发送取消完成 (Transmission Cancellation Finished) 0：发送取消未完成 1：发送取消已完成
9	TC	发送完成 (Transmission Completed) 0：发送未完成 1：发送已完成
8	HPM	高优先级消息 (High Priority Message) 0：未接收到任何高优先级消息 1：已接收到高优先级消息
7	RF1L	接收 FIFO 1 消息丢失 (Rx FIFO 1 Message Lost) 0：接收 FIFO 1 消息未丢失 1：接收 FIFO 1 消息已丢失，尝试向大小为零的接收 FIFO 1 写入时也会置 1
6	RF1F	接收 FIFO 1 满 (Rx FIFO 1 Full) 0：接收 FIFO 1 未满 1：接收 FIFO 1 已满
5	RF1W	达到接收 FIFO 1 水线 (Rx FIFO 1 Watermark Reached) 0：接收 FIFO 1 填充级别低于水线标志 1：接收 FIFO 1 填充级别达到水线标志
4	RF1N	接收 FIFO 1 新消息 (Rx FIFO 1 New Message) 0：未向接收 FIFO 1 写入新消息 1：已向接收 FIFO 1 写入新消息
3	RF0L	接收 FIFO 0 消息丢失 (Rx FIFO 0 Message Lost) 0：接收 FIFO 0 消息未丢失 1：接收 FIFO 0 消息已丢失，尝试向大小为零的接收 FIFO 0 写入时也会置 1
2	RF0F	接收 FIFO 0 满 (Rx FIFO 0 Full)

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：接收 FIFO 0 未满 1：接收 FIFO 0 已满
1	RF0W	达到接收 FIFO 0 水线 (Rx FIFO 0 Watermark Reached) 0：接收 FIFO 0 填充级别低于水线标志 1：接收 FIFO 0 填充级别达到水线标志
0	RF0N	接收 FIFO 0 新消息 (Rx FIFO 0 New Message) 0：未向接收 FIFO 0 写入新消息 1：已向接收 FIFO 0 写入新消息

23.6.16 FDCAN 中断使能寄存器(FDCAN_IE)

中断使能寄存器中的设置决定了将在中断线上指示中断寄存器中的哪些状态更改。

偏移地址：0x54

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		ARAE	PEDE	PEAE	WDIE	BOE	EWE	EPE	Reserved		BECE	DRXE	TOOE	MRAFE	TSWE
		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw			rw	rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TEFLE	TEFFE	TEFWE	TEFNE	TFEE	TCFE	TCE	HPME	RF1LE	RF1FE	RF1WE	RF1NE	RF0LE	RF0FE	RF0WE	RF0NE
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必需保持复位值。
29	ARAE	访问保留地址中断使能 (Access to Reserved Address Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
28	PEDE	数据阶段的协议错误中断使能 (Protocol Error in Data Phase Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
27	PEAE	仲裁阶段中的协议错误中断使能 (Protocol Error in Arbitration Phase Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
26	WDIE	看门狗中断使能 (Watchdog Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
25	BOE	Bus_Off 状态中断使能 (Bus_Off Status) 0：禁止中断 1：使能中断
24	EWE	警告状态中断使能 (Warning Status Interrupt Enable)

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：禁止中断 1：使能中断
23	EPE	被动错误中断使能 (Error Passive Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
22	ELOE	错误记录溢出中断使能 (Error Logging Overflow Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
21:20	Reserved	保留，必需保持复位值。
19	DRXE	消息存储到专用接收缓冲区中断使能 (Message stored to Dedicated Rx Buffer Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
18	TOOE	超时已发生中断使能 (Timeout Occurred Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
17	MRAFE	消息 RAM 访问失败中断使能 (Message RAM Access Failure Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
16	TSWE	时间戳回卷中断使能 (Timestamp Wraparound Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
15	TEFLE	发送事件 FIFO 元素丢失中断使能 (Tx Event FIFO Element Lost Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
14	TEFFE	发送事件 FIFO 满中断使能 (Tx Event FIFO Full Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
13	TEFWE	达到发送事件 FIFO 水线中断使能 (Tx Event FIFO Watermark Reached Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
12	TEFNE	发送事件 FIFO 新元素使能 (Tx Event FIFO New Entry Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
11	TFEE	发送 FIFO 空中断使能 (Tx FIFO Empty Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
10	TCFE	发送取消完成中断使能 (Transmission Cancellation Finished Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
9	TCE	发送完成中断使能 (Transmission Completed Interrupt Enable)

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：禁止中断 1：使能中断
8	HPME	高优先级消息中断使能（High Priority Message Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
7	RF1LE	接收 FIFO 1 消息丢失中断使能（Rx FIFO 1 Message Lost Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
6	RF1FE	接收 FIFO 1 满中断使能（Rx FIFO 1 Full Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
5	RF1WE	达到接收 FIFO 1 水线中断使能（Rx FIFO 1 Watermark Reached Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
4	RF1NE	接收 FIFO 1 新消息中断使能（Rx FIFO 1 New Message Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
3	RF0LE	接收 FIFO 0 消息丢失中断使能（Rx FIFO 0 Message Lost Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
2	RF0FE	接收 FIFO 0 满中断使能（Rx FIFO 0 Full Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
1	RF0WE	达到接收 FIFO 0 水线中断使能（Rx FIFO 0 Watermark Reached Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断
0	RF0NE	接收 FIFO 0 新消息中断使能（Rx FIFO 0 New Message Interrupt Enable) 0：禁止中断 1：使能中断

23.6.17 FDCAN 中断线选择寄存器(FDCAN_ILS)

中断线选择寄存器将特定中断标志生成的中断从中断寄存器分配到两个模块中断线之一。要生成中断，必须通过 ILE.EINT0 和 ILE.EINT1 使能相应的中断线。

偏移地址：0x58

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		ARAL	PEDL	PEAL	WDIL	BOL	EWL	EPL	Reserved		BECL	DRXL	TOOL	MRAFL	TSWL
		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw			rw	rw	rw	rw	rw
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.

地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦

电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100

网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

TEFLL	TEFFL	TEFWL	TEFNL	TFEL	TCFL	TCL	HPML	RF1LL	RF1FL	RF1WL	RF1NL	RF0LL	RF0FL	RF0WL	RF0NL
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必需保持复位值。
29	ARAL	访问保留地址中断线 (Access to Reserved Address Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
28	PEDL	数据阶段的协议错误中断线 (Protocol Error in Data Phase Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
27	PEAL	仲裁阶段的协议错误中断线 (Protocol Error in Arbitration Phase Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
26	WDIL	看门狗中断线 (Watchdog Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
25	BOL	Bus_Off 状态中断线 (Bus_Off Status) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
24	EWL	警告状态中断线 (Warning Status Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
23	EPL	被动错误中断线 (Error Passive Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
22	ELOL	错误记录溢出中断线 (Error Logging Overflow Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
21:20	Reserved	保留，必需保持复位值。
19	DRXL	消息存储到专用接收缓冲区中断线 (Message stored to Dedicated Rx Buffer Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
18	TOOL	超时已发生中断线 (Timeout Occurred Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
17	MRAFL	消息 RAM 访问失败中断线 (Message RAM Access Failure Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
16	TSWL	时间戳回卷中断线 (Timestamp Wraparound Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：中断分配给中断线 fdcan_int1
15	TEFLL	发送事件 FIFO 元素丢失中断线 (Tx Event FIFO Element Lost Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
14	TEFFL	发送事件 FIFO 已满中断线 (Tx Event FIFO Full Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
13	TEFWL	达到发送事件 FIFO 水线中断线 (Tx Event FIFO Watermark Reached Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
12	TEFNL	发送事件 FIFO 新无线中断线 (Tx Event FIFO New Entry Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
11	TFEL	发送 FIFO 为空中断线 (Tx FIFO Empty Interrupt Line) 00：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
10	TCFL	发送取消完成中断线 (Transmission Cancellation Finished Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
9	TCL	发送完成中断线 (Transmission Completed Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
8	HPML	高优先级消息中断线 (High Priority Message Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
7	RF1LL	接收 FIFO 1 消息丢失中断线 (Rx FIFO 1 Message Lost Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
6	RF1FL	接收 FIFO 1 已满中断线 (Rx FIFO 1 Full Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
5	RF1WL	达到接收 FIFO 1 水线中断线 (Rx FIFO 1 Watermark Reached Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
4	RF1NL	接收 FIFO 1 新消息中断线 (Rx FIFO 1 New Message Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
3	RF0LL	接收 FIFO 0 消息丢失中断线 (Rx FIFO 0 Message Lost Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
2	RF0FL	接收 FIFO 0 已满中断线 (Rx FIFO 0 Full Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：中断分配给中断线 fdcan_int1
1	RF0WL	达到接收 FIFO 0 水线中断线 (Rx FIFO 0 Watermark Reached Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1
0	RF0NL	接收 FIFO 0 新消息中断线 (Rx FIFO 0 New Message Interrupt Line) 0：中断分配给中断线 fdcan_int0 1：中断分配给中断线 fdcan_int1

23.6.18 FDCAN 中断线使能寄存器(FDCAN_ILE)

可以通过配置 EINT0 和 EINT1 分别启用/禁用两条中断线。

偏移地址：0x5C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved														EINT1	EINT0
														rw	rw

位域	名称	描述
31:2	Reserved	保留，必需保持复位值。
1	EINT1	使能中断线 1(Enable Interrupt Line 1) 0：禁止中断线 fdcan_int1 1：使能中断线 fdcan_int1
0	EINT0	使能中断线 0(Enable Interrupt Line 0) 0：禁止中断线 fdtcan_int0 1：使能中断线 fdcan_int0

23.6.19 FDCAN 全局过滤器配置寄存器(FDCAN_GFC)

用于消息 ID 全局过滤器设置，控制标准和扩展消息的过滤器路径。

偏移地址：0x80

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved										ANFS[1:0]		ANFE[1:0]		RRFS	RRFE
										rw		rw		rw	rw

位域	名称	描述
31:6	Reserved	保留，必需保持复位值。
5:4	ANFS[1:0]	接受非匹配标准帧 (Accept Non-matching Frames Standard) 定义了接收到与过滤器列表任何元素都不匹配的 11 位 ID 消息的处理方式。 00：在接收 FIFO 0 中接受 01：在接收 FIFO 1 中接受 10：拒绝 11：拒绝 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。
3:2	ANFE[1:0]	接受非匹配扩展帧 (Accept Non-matching Frames Extended) 定义了接收到与过滤器列表任何元素都不匹配的 29 位 ID 消息的处理方式。 00：在接收 FIFO 0 中接受 01：在接收 FIFO 1 中接受 10：拒绝 11：拒绝 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。
1	RRFS	拒绝标准远程帧 (Reject Remote Frames Standard) 0：过滤采用 11 位标准 ID 的远程帧 1：拒绝所有采用 11 位标准 ID 的远程帧 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。
0	RRFE	拒绝扩展远程帧 (Reject Remote Frames Extended) 0：过滤采用 29 位扩展 ID 的远程帧 1：拒绝所有采用 29 位扩展 ID 的远程帧 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。

23.6.20 FDCAN 标准 ID 过滤器配置寄存器(FDCAN_SIDFC)

用于 11 位标准消息 ID 过滤的设置。标准 ID 过滤器配置控制着标准消息的过滤器路径，请参见图 23-7

偏移地址：0x84

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved								LSS[7:0]							

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

													rw		
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
FLSSA[13:0]														Reserved	
rw															

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必需保持复位值。
23:16	LSS[7:0]	标准过滤器列表大小 (List Size Standard) 0：无标准消息 ID 过滤器 1-128：标准消息 ID 过滤器元素数量 >128：大于 128 的值会被解析为 128。 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。
15:2	FLSSA[13:0]	标准过滤器列表起始地址 (Filter List Standard Start Address) 标准消息 ID 过滤器列表存储区域起始地址相对于消息 RAM 起始地址的偏移，以字（32bit）为单位。 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。
1:0	Reserved	保留，必需保持复位值。

23.6.21 FDCAN 扩展 ID 过滤器配置寄存器(FDCAN_XIDFC)

用于 29 位扩展消息 ID 过滤的设置。扩展 ID 过滤器配置控制着标准消息的过滤器路径，请参见图 23-8

偏移地址：0x88

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved									LSE[6:0]						
												rw			
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
FLESA[13:0]														Reserved	
rw															

位域	名称	描述
31:23	Reserved	保留，必需保持复位值。
22:16	LSE[6:0]	扩展列表大小 (List Size Extended) 0：无扩展消息 ID 过滤器 1-64：扩展消息 ID 过滤器元素数量 >64：大于 64 的值会被解析为 64。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。
15:2	FLESA[13:0]	扩展过滤器列表起始地址 (Filter List Extended Start Address) 扩展消息 ID 过滤器存储区域起始地址相对于消息 RAM 起始地址的偏移，以字（32bit）为单位。 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。
1:0	Reserved	保留，必需保持复位值。

23.6.22 FDCAN 扩展 ID 和掩码寄存器(FDCAN_XIDAM)

偏移地址：0x90

复位值：0x1FFF FFFF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved			EIDM[28:16]												
			rw												

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
EIDM[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:29	Reserved	保留，必需保持复位值。
28:0	EIDM[28:0]	扩展 ID 掩码 (Extended ID Mask) 对扩展帧进行接收过滤前会先将扩展 ID 掩码与已接收帧的消息 ID 进行与运算。用于屏蔽 SAE J1939 中的 29 位 ID。复位后所有位均 1，掩码无效。 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。

23.6.23 FDCAN 高优先级消息状态寄存器(FDCAN_HPMS)

当消息 ID 过滤器元素配置为生成优先级事件时，每次匹配都会更新此寄存器。此寄存器可用于监控传入高优先级消息的状态，以便进行快速访问。

偏移地址：0x94

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

FLST	FIDX[6:0]	MSI[1:0]	BIDX[5:0]
r	r	r	r

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必需保持复位值。
15	FLST	过滤器列表 (Filter List) 指示匹配过滤器元素的过滤器列表。 0：标准过滤器列表 1：扩展过滤器列表
14:8	FIDX[6:0]	过滤器索引 (Filter Index) 与当前消息匹配的过滤器元素索引。范围为 0 到 FDCAN_SIDFC.LSS-1 或 FDCAN_XIDFC.LSE-1。
7:6	MSI[1:0]	消息存储标志 (Message Storage Indicator) 00：未选择 FIFO 01：FIFO 消息丢失 10：消息存储在 FIFO 0 中 11：消息存储在 FIFO 1 中
5:0	BIDX[5:0]	缓冲索引 (Buffer Index) 消息存储的接收 FIFO 元素索引。仅当 MSI[1] =“1”时有效。

23.6.24 FDCAN 新数据 1 寄存器(FDCAN_NDAT1)

偏移地址：0x98

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ND31	ND30	ND29	ND28	ND27	ND26	ND25	ND24	ND23	ND22	ND21	ND20	ND19	ND18	ND17	ND16
rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ND15	ND14	ND13	ND12	ND11	ND10	ND9	ND8	ND7	ND6	ND5	ND4	ND3	ND2	ND1	ND0
rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1

位域	名称	描述
31:0	ND[31:0]	新数据标志[31:0] (New Data[31:0]) 该寄存器为接收缓冲 0 到 31 的新数据标志。当某个接收缓冲更新为已接收的帧时，相应标志位置 1。在主机清零前，标志位保持置 1。通过向相应位写 1 可将标志清零。写“0”无作用。硬件复位会将寄存器清零。 0：接收缓冲未更新 1：接收缓冲新消息已更新

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

23.6.25 **FDCAN 新数据 2 寄存器(FDCAN_NDAT2)**

偏移地址：0x9C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ND63	ND62	ND61	ND60	ND59	ND58	ND57	ND56	ND55	ND54	ND53	ND52	ND51	ND50	ND49	ND48
rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ND47	ND46	ND45	ND44	ND43	ND42	ND41	ND40	ND39	ND38	ND37	ND36	ND35	ND34	ND33	ND32
rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1

位域	名称	描述
31:0	ND[63:32]	新数据标志[63:32] (New Data[63:332]) 该寄存器为接收缓冲 32 到 63 的新数据标志。当某个接收缓冲更新为已接收的帧时，相应标志位置 1。在主机清零前，标志位保持置 1。通过向相应位写 1 可将标志清零。写"0"无作用。硬件复位会将寄存器清零。 0：接收缓冲未更新 1：接收缓冲新消息已更新

23.6.26 **FDCAN 接收 FIFO 0 配置寄存器(FDCAN_RXF0C)**

偏移地址：0xA0

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
F0OM	F0WM[6:0]							Reserved	F0S[6:0]						
rw	rw								rw						

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
F0SA[13:0]														Reserved	
rw															

位域	名称	描述
31	F0OM	接收 FIFO 0 工作模式 (Rx FIFO 0 Operation mode) 0：接收 FIFO 0 处于阻止模式 1：接收 FIFO 0 处于覆盖模式
30:24	F0WM[6:0]	接收 FIFO 0 水线标志 (Rx FIFO 0 Watermark) 0：禁止水线中断 1-64：接收 FIFO 0 水线中断（FDCAN_IR.RF0W）的级别

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		>64：禁止水线中断 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。。
23	Reserved	保留，必需保持复位值。
22:16	F0S[6:0]	接收 FIFO 0 大小 (Rx FIFO 0 Size) 0：无接收 FIFO 0 1-64：接收 FIFO 0 元素数 >64：大于 64 的值会被解析为 64 接收 FIFO 0 元素的索引范围为 0 到 F0S-1。
15:2	F0SA[13:0]	接收 FIFO 0 起始地址 (Rx FIFO 0 Start Address) 消息 RAM 中接收 FIFO 0 存储区域起始地址相对于消息 RAM 起始地址的偏移，以字（32bit）为单位。
1:0	Reserved	保留，必需保持复位值。

23.6.27 FDCAN 接收 FIFO 0 状态寄存器(FDCAN_RXF0S)

偏移地址：0xA4

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved						RF0L	F0F	Reserved		F0PI[5:0]					
						r	r			r					

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		F0GI[5:0]						Reserved	F0FL[6:0]						
		r							r						

位域	名称	描述
31:26	Reserved	保留，必需保持复位值。
25	RF0L	接收 FIFO 0 消息丢失 (Rx FIFO 0 Message Lost) 当 FDCAN_IR.RF0L 被复位时，此位也会被复位。 0：接收 FIFO 0 消息未丢失 1：接收 FIFO 0 消息已丢失，尝试向大小为零的接收 FIFO 0 写入时也会置 1
24	F0F	接收 FIFO 0 已满 (Rx FIFO 0 Full) 0：接收 FIFO 0 未满 1：接收 FIFO 0 已满
23:22	Reserved	保留，必需保持复位值。
21:16	F0PI[5:0]	接收 FIFO 0 写入索引 (Rx FIFO 0 Put Index) 接收 FIFO 0 写入索引指针，范围为 0 到 63。
15:14	Reserved	保留，必需保持复位值。
13:8	F0GI[5:0]	接收 FIFO 0 获取索引 (Rx FIFO 0 Get Index)

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		接收 FIFO 0 读取索引指针，范围为 0 到 63。
7	Reserved	保留，必需保持复位值。
6:0	F0FL[6:0]	接收 FIFO 0 填充级别 (Rx FIFO 0 Fill Level) 接收 FIFO 0 中存储的元素数，范围为 0 到 64。

23.6.28 FDCAN 接收 FIFO 0 确认寄存器(FDCAN_RXF0A)

偏移地址：0xA8

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved										F0AI[5:0]					
										rw					

位域	名称	描述
31:6	Reserved	保留，必需保持复位值。
5:0	F0AI[5:0]	接收 FIFO 0 确认索引 (Rx FIFO 0 Acknowledge Index) 主机从接收 FIFO 0 读取消息或消息序列后，必须将读取的最后一个元素的缓冲索引写入 F0AI 中。此操作会将接收 FIFO 0 获取索引 FDCAN_RXF0S.F0GI 设为 F0AI + 1，并更新 FIFO 0 填充级别 FDCAN_RXF0S.F0FL。

23.6.29 FDCAN 接收缓冲区配置寄存器(FDCAN_RXBC)

偏移地址：0xAC

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RBSA[13:0]														Reserved	
rw															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必需保持复位值。
15:2	RBSA[13:0]	接收缓冲区起始地址 (Rx Buffer Start Address) 配置消息 RAM 中专用接收缓冲区部分的起始地址（32 位字地址）。也用于引用调试消息 A、B、C。 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。
1:0	Reserved	保留，必需保持复位值。

23.6.30 FDCAN 接收 FIFO 1 配置寄存器(FDCAN_RXF1C)

偏移地址：0xB0

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
F1OM	F1WM[6:0]							Reserved	F1S[6:0]						
rw	rw								rw						

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
F1SA[13:0]														Reserved	
rw															

位域	名称	描述
31	F1OM	接收 FIFO 1 工作模式 (Rx FIFO 1 Operation mode) 0：接收 FIFO 1 处于阻止模式 1：接收 FIFO 1 处于覆盖模式
30:24	F1WM[6:0]	接收 FIFO 1 水线标志 (Rx FIFO 1 Watermark) 0：禁止水线中断 1-64：接收 FIFO 1 水线中断（FDCAN_IR.RF1W）级别 >64：禁止水线中断 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。。
23	Reserved	保留，必需保持复位值。
22:16	F1S[6:0]	接收 FIFO 1 大小 (Rx FIFO 1 Size) 0：无接收 FIFO 1 1-64：接收 FIFO 1 元素数 >64：大于 64 的值会被解析为 64 接收 FIFO 1 元素的索引为 0 到 F1S - 1。 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。
15:2	F1SA	接收 FIFO 1 起始地址 (Rx FIFO 1 Start Address) 消息 RAM 中接收 FIFO 1 存储区域起始地址相对于消息 RAM 起始地址的偏移，以字（32bit）为单位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
1:0	Reserved	保留，必需保持复位值。

23.6.31 FDCAN 接收 FIFO 1 状态寄存器(FDCAN_RXF1S)

偏移地址：0xB4

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
DMS[1:0]		Reserved				RF1L	F1F	Reserved		F1PI[5:0]					
r						r	r			r					

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		F1GI[5:0]						Reserved	F1FL[6:0]						
		r							r						

位域	名称	描述
31:30	DMS[1:0]	调试消息状态 (Debug Message Status) 00：空闲状态，等待接收调试消息 01：已接收调试消息 A 10：已接收调试消息 A、B 11：已接收调试消息 A、B、C
29:26	Reserved	保留，必需保持复位值。
25	RF1L	接收 FIFO 1 消息丢失 (Rx FIFO 1 Message Lost) 当 FDCAN_IR.RF1L 被复位时，此位也会被复位。 0：接收 FIFO 1 消息未丢失 1：接收 FIFO 1 消息已丢失，尝试向大小为零的接收 FIFO 1 写入时也会置 1
24	F1F	接收 FIFO 1 已满 (Rx FIFO 1 Full) 0：接收 FIFO 1 未满 1：接收 FIFO 1 已满
23:22	Reserved	保留，必需保持复位值。
21:16	F1PI[5:0]	接收 FIFO 1 写入索引 (Rx FIFO 1 Put Index) 接收 FIFO 1 写入索引指针，范围为 0 到 63。
15:14	Reserved	保留，必需保持复位值。
13:8	F1GI[5:0]	接收 FIFO 1 获取索引 (Rx FIFO 1 Get Index) 接收 FIFO 1 读取索引指针，范围为 0 到 63。
7	Reserved	保留，必需保持复位值。
6:0	F1FL[6:0]	接收 FIFO 1 填充级别 (Rx FIFO 1 Fill Level) 接收 FIFO 1 中存储的元素数，范围为 0 到 64。

23.6.32 FDCAN 接收 FIFO 1 确认寄存器(FDCAN_RXF1A)

偏移地址：0xB8

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值：0x0000 0000

31:16
Reserved

15:6	5:0
Reserved	F1AI[5:0]
	rw

位域	名称	描述
31:6	Reserved	保留，必需保持复位值。
5:0	F1AI[5:0]	接收 FIFO 1 确认索引 (Rx FIFO 1 Acknowledge Index) 主机从接收 FIFO 1 读取消息或消息序列后，必须将从读取的最后一个元素的缓冲索引写入 F1AI 中。此操作会将接收 FIFO 1 获取索引 FDCAN_RXF1S.F1GI 设为 F1AI + 1，并更新 FIFO 1 填充级别 FDCAN_RXF1S.F1FL。

23.6.33 FDCAN 接收缓冲区/FIFO 元素大小配置寄存器(FDCAN_RXESC)

配置接收缓冲区与接收 FIFO 元素的数据域字节数。大于 8 个字节的数据域仅用于 CAN FD。

偏移地址：0xBC

复位值：0x0000 0000

31:16
Reserved

15:11	10:8	7	6:4	3	2:0
Reserved	RBDS[2:0]	Reserved	F1DS[2:0]	Reserved	F0DS[2:0]
	rw		rw		rw

位域	名称	描述
31:11	Reserved	保留，必需保持复位值。
10:8	RBDS[2:0]	接收缓冲区数据字段大小 (Rx Buffer Data Field Size) 000：8 字节数据字段 001：12 字节数据字段 010：16 字节数据字段 011：20 字节数据字段 100：24 字节数据字段 101：32 字节数据字段 110：48 字节数据字段

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		111：64 字节数据字段
7	Reserved	保留，必需保持复位值。
6:4	F1DS[2:0]	接收 FIFO 0 数据字段大小 (Rx FIFO 0 Data Field Size) 000：8 字节数据字段 001：12 字节数据字段 010：16 字节数据字段 011：20 字节数据字段 100：24 字节数据字段 101：32 字节数据字段 110：48 字节数据字段 111：64 字节数据字段
3	Reserved	保留，必需保持复位值。
2:0	F0DS[2:0]	接收 FIFO 1 数据字段大小 (Rx FIFO 1 Data Field Size) 000：8 字节数据字段 001：12 字节数据字段 010：16 字节数据字段 011：20 字节数据字段 100：24 字节数据字段 101：32 字节数据字段 110：48 字节数据字段 111：64 字节数据字段

注意：如果接受的 CAN 帧的数据字段大小超过了与之匹配的 Rx 缓冲区或 Rx FIFO 配置的数据字段大小，那么只有由 RXESC 配置的字节数会被存储到 Rx 缓冲区或 Rx FIFO 元素中，其余部分将被忽略。

23.6.34 FDCAN 发送缓冲区配置寄存器(FDCAN_TXBC)

偏移地址：0xC0

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	TFQM	TFQS[5:0]						Reserved		NDTB[5:0]					
	rw	rw								rw					

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TBSA[13:0]														Reserved	
rw															

位域	名称	描述
31	Reserved	保留，必需保持复位值。
30	TFQM	发送 FIFO/队列模式 (Tx FIFO/Queue Mode) 0：发送 FIFO 模式

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：发送队列模式 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。
29:24	TFQS[5:0]	发送 FIFO/队列大小 (Transmit FIFO/Queue Size) 0：无发送 FIFO/队列 1-32：用于发送 FIFO/队列的发送缓冲数 >32：大于 32 的值会被解析为 32 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。
23:22	Reserved	保留，必需保持复位值。
21:16	NDTB[5:0]	专用发送缓冲数 (Number of Dedicated Transmit Buffers) 0：无专用发送缓冲区 1-32：专用发送缓冲区数 >32：大于 32 的值会被解析为 32 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。
15:2	TBSA[13:0]	发送缓冲起始地址 (Tx Buffer Start Address) 消息 RAM 中发送缓冲部分的起始地址（32 位字地址） 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。
1:0	Reserved	保留，必需保持复位值。

注意：TFQS 与 NDTB 之和不能大于 32。FDCAN 不会检查配置是否有误。消息 RAM 中的发送缓冲区部分从专用发送缓冲开始。

23.6.35 FDCAN 发送 FIFO/队列状态寄存器(FDCAN_TXFQS)

发送 FIFO/队列状态与 FDCAN_TXBRP 中的发送请求相关。因此，添加/取消发送请求操作可能因正在运行发送扫描而延迟（FDCAN_TXBRP 尚未更新）。

偏移地址：0xC4

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved										TFQF	TFQPI[4:0]				
										r	r				

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved			TFGI[4:0]					Reserved		TFFL[5:0]					
			r							r					

位域	名称	描述
31:22	Reserved	保留，必需保持复位值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
21	TFQF	发送 FIFO/队列已满 (Tx FIFO/Queue Full) 0：发送 FIFO/队列未满 1：发送 FIFO/队列已满
20:16	TFQPI[4:0]	发送 FIFO/队列写入索引 (Tx FIFO/Queue Put Index) 发送 FIFO/队列写入索引指针，范围为 0 到 31
15:13	Reserved	保留，必需保持复位值。
12:8	TFGI[4:0]	发送 FIFO 获取索引 (Tx FIFO Get Index) 发送 FIFO 读取索引指针，范围为 0 到 31。如果配置为发送队列（FDCAN_TXBC.TFQM =“1”），则读出值始终为零。
7:6	Reserved	保留，必需保持复位值。
5:0	TFFL[5:0]	发送 FIFO 空闲级别 (Tx FIFO Free Level) 从 TFGI 开始的连续空闲发送 FIFO 元素数，范围为 0 到 32。如果已配置发送队列操作（FDCAN_TXBC.TFQM =“1”），则读出值始终为零。

注意：如果是专用发送缓冲与发送 FIFO 或发送队列相结合的混合配置，写入和获取索引指示从第一个专用发送缓冲开始的发送缓冲索引。

例如：对于 12 个专用发送缓冲与包含 20 个缓冲区的发送 FIFO 相结合的混合配置，写入索引 15 会指向发送 FIFO 的第四个发送缓冲。

23.6.36 **FDCAN 发送缓冲区元素大小配置寄存器(FDCAN_TXESC)**

配置发送缓冲元素的数据段字节数。大于 8 个字节的数据段仅用于 CAN FD

偏移地址：0xC8

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved													TBDS[2:0]		
													rw		

位域	名称	描述
31:3	Reserved	保留，必需保持复位值。
2:0	TBDS[2:0]	发送缓冲区数据字段大小 (Tx Buffer Data Field Size) 000：8 字节数据字段 001：12 字节数据字段 010：16 字节数据字段 011：20 字节数据字段 100：24 字节数据字段

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		101：32 字节数据字段 110：48 字节数据字段 111：64 字节数据字段

23.6.37 FDCAN 发送缓冲区请求挂起寄存器(FDCAN_TXBRP)

偏移地址：0xCC

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
TRP31	TRP30	TRP29	TRP28	TRP27	TRP26	TRP25	TRP24	TRP23	TRP22	TRP21	TRP20	TRP19	TRP18	TRP17	TRP16
r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TRP15	TRP14	TRRP13	TRP112	TRP11	TRP10	TRP9	TRP8	TRP7	TRP6	TRP5	TRP4	TRP3	TRP2	TRP1	TRP0
r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r

位域	名称	描述
31:0	TRP[31:0]	发送请求挂起 (Transmission Request Pending) 每个发送缓冲都有自己的发送请求挂起位，通过寄存器 FDCAN_TXBAR 置 1。请求的发送已完成或已通过 FDCAN_TXBCR 取消后，相应位复位。 FDCAN_TXBRP 仅会为 FDCAN_TXBC 配置的有效发送缓冲对应位置 1。FDCAN_TXBRP 某个位置 1 后，会启动发送扫描，以检查优先级最高（消息 ID 最小的发送缓冲）的发送请求。 取消请求会使寄存器 FDCAN_TXBRP 的相应发送请求挂起位复位。如果请求取消时发送已开始进行，则无论发送是否成功，都会在发送结束时执行复位操作。相应的 FDCAN_TXBRP 位复位后，取消请求位也会立即复位。 请求取消后，会在下列情况下通过 FDCAN_TXBCF 位置 1 指示取消成功 –发送成功，相应的 FDCAN_TXBTO 位置 1 –取消时发送尚未开始 –发送因仲裁丢失而中止 –发送过程中出错 在 DAR 模式下，所有发送在发送失败后都会自动取消。对于所有未成功的发送，相应的 FDCAN_TXBCF 位会置 1。 0：无发送请求挂起 1：发送请求挂起

注意：如果 FDCAN_TXBRP 位在正在进行发送扫描时置 1，则当前发送扫描忽略此位。如果请求取消此类发送缓冲区，则该请求会立即取消，相应的 FDCAN_TXBRP 位复位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

23.6.38 FDCAN 发送缓冲区添加请求寄存器(TXBAR)

偏移地址：0xD0

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
AR31	AR30	AR29	AR28	AR27	AR26	AR25	AR24	AR23	AR22	AR21	AR20	AR19	AR18	AR17	AR16
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
AR15	AR14	AR13	AR12	AR11	AR10	AR9	AR8	AR7	AR6	AR5	AR4	AR3	AR2	AR1	AR0
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:0	AR[31:0]	添加请求（Add Request） 每个发送缓冲都有自己的添加请求位。写 1 会将相应的添加请求位置 1，写 0 无作用。主机对 TXBAR 的一次写操作可为多个发送缓冲区添加发送请求，但仅会将 FDCAN_TXBC 配置的有效发送缓冲对应位置 1。如果没有运行发送扫描，这些位会立即复位，否则在发送扫描过程完成之前，这些位保持置 1 状态。 0：未添加发送请求 1：已添加发送请求

注意：如果对发送请求位已置 1 的发送缓冲区添加请求，则会忽略重复的请求。

23.6.39 FDCAN 发送缓冲区取消请求寄存器(FDCAN_TXBCR)

偏移地址：0xD4

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CR31	CR30	CR29	CR28	CR27	CR26	CR25	CR24	CR23	CR22	CR21	CR20	CR19	CR18	CR17	CR16
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CR15	CR14	CR13	CR12	CR11	CR10	CR9	CR8	CR7	CR6	CR5	CR4	CR3	CR2	CR1	CR0
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:0	CR[31:0]	取消请求（Cancellation Request） 每个发送缓冲都有自己的取消请求位。写 1 会将相应的取消请求位置 1，写 0 无作用。主机对 FDCAN_TXBCR 进行一次写操作可为多个发送缓冲区设置取消请求，但仅会将 FDCAN_TXBC 配置的有效发送缓冲对应位置 1。在相应的

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		FDCAN_TXBRP 位复位之前，这些位保持置 1 状态。 0：无取消请求 1：请求取消

23.6.40 FDCAN 发送缓冲区发送已发生寄存器(FDCAN_TXBTO)

偏移地址：0xD8

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
TO31	TO30	TO29	TO28	TO27	TO26	TO25	TO24	TO23	TO22	TO21	TO20	TO19	TO18	TO17	TO16
r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TO15	TO14	TO13	TO12	TO11	TO10	TO9	TO8	TO7	TO6	TO5	TO4	TO3	TO2	TO1	TO0
r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r

位域	名称	描述
31:0	TO[31:0]	发送已发生 (Transmission Occurred) 每个发送缓冲都有自己的发送已发生位。当相应的 FDCAN_TXBRP 位在发送成功后清零时，此寄存器相应位 1。当向 FDCAN_TXBAR 的相应位写 1 请求新发送时，这些位会复位。 0：未进行发送 1：已进行发送

23.6.41 FDCAN 发送缓冲区取消完成寄存器(FDCAN_TXBCF)

偏移地址：0xDC

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CF31	CF30	CF29	CF28	CF27	CF26	CF25	CF24	CF23	CF22	CF21	CF20	CF19	CF18	CF17	CF16
r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CF15	CF14	CF13	CF12	CF11	CF10	CF9	CF8	CF7	CF6	CF5	CF4	CF3	CF2	CF1	CF0
r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r

位域	名称	描述
31:0	CF[31:0]	取消完成 (Cancellation Finished) 每个发送缓冲都有自己的取消完成位。当 FDCAN_TXBRP 位在通过相应的

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		FDCAN_TXBCR 位取消请求后清零时，此寄存器相应位置 1。如果在取消请求时 FDCAN_TXBRP 相应位未置 1 时，此寄存器相应位立即置 1。向寄存器 FDCAN_TXBAR 的相应位写入 1 请求进行新发送时，此寄存器相应位复位。 0：无发送缓冲区取消 1：发送缓冲区取消完成

23.6.42 FDCAN 发送缓冲区发送中断使能寄存器(FDCAN_TXBTIE)

偏移地址：0xE0

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
TIE31	TIE30	TIE29	TIE28	TIE27	TIE26	TIE25	TIE24	TIE23	TIE22	TIE21	TIE20	TIE19	TIE18	TIE17	TIE16
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TIE15	TIE14	TIE13	TIE12	TIE11	TIE10	TIE9	TIE8	TIE7	TIE6	TIE5	TIE4	TIE3	TIE2	TIE1	TIE0
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:0	TIE[31:0]	发送中断使能 (Transmission Interrupt Enable) 每个发送缓冲都有自己的发送中断使能位。 0：禁止发送中断 1：使能发送中断

23.6.43 FDCAN 发送缓冲区取消完成中断使能寄存器(FDCAN_TXBCIE)

偏移地址：0xE4

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CFIE31	CFIE30	CFIE29	CFIE28	CFIE27	CFIE26	CFIE25	CFIE24	CFIE23	CFIE22	CFIE21	CFIE20	CFIE19	CFIE18	CFIE17	CFIE16
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CFIE15	CFIE14	CFIE13	CFIE12	CFIE11	CFIE10	CFIE9	CFIE8	CFIE7	CFIE6	CFIE5	CFIE4	CFIE3	CFIE2	CFIE1	CFIE0
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:0	CFIE[31:0]	取消完成中断使能 (Cancellation Finished Interrupt Enable) 每个发送缓冲都有自己的取消完成中断使能位

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：禁止取消完成中断 1：使能取消完成中断

23.6.44 FDCAN 发送事件 FIFO 配置寄存器(FDCAN_TXEFC)

偏移地址：0xF0

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		EFWM[5:0]						Reserved		EFS[5:0]					
		rw								rw					

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
EFSA[13:0]														Reserved	
rw															

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必需保持复位值。
29:24	EFWM[5:0]	事件 FIFO 水线标志 (Event FIFO Watermark) 0：禁止水线中断 1-32：发送事件 FIFO 水线中断（FDCAN_IR.TEFW）级别 >32：禁止水线中断 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。
23:22	Reserved	保留，必需保持复位值。
21:16	EFS[5:0]	事件 FIFO 大小 (Event FIFO Size) 0：禁止发送事件 FIFO 1-32：发送事件 FIFO 元素数 >32：大于 32 的值会被解析为 32 发送事件 FIFO 元素的索引为 0 到 EFS – 1 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。
15:2	EFSA[13:0]	事件 FIFO 起始地址 (Event FIFO Start Address) 消息 RAM 中发送事件 FIFO 存储区域起始地址相对于消息 RAM 起始地址的偏移，以字（32bit）为单位。 这些位受写保护，仅当 FDCAN_CCCR.CCE 和 FDCAN_CCCR.INIT 均为 1 时，才能进行写访问。
1:0	Reserved	保留，必需保持复位值。

23.6.45 FDCAN 发送事件 FIFO 状态寄存器(FDCAN_TXEFS)

偏移地址：0xF4

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved						TEFL	EFF	Reserved			EFPI[4:0]				
						r	r				r				

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved			EFGI[4:0]					Reserved		EFFL[5:0]					
			r							r					

位域	名称	描述
31:26	Reserved	保留，必需保持复位值。
25	TEFL	发送事件 FIFO 元素丢失（Tx Event FIFO Element Lost） 当 FDCAN_IR.TEFL 复位时，此位也会复位 0：没有发送事件 FIFO 元素丢失 1：发送事件 FIFO 元素已丢失，尝试向大小为零的事件 FIFO 写入时也会置 1
24	EFF	事件 FIFO 已满（Event FIFO Full） 0：发送事件 FIFO 未满 1：发送事件 FIFO 已满
23:21	Reserved	保留，必需保持复位值。
20:16	EFPI[4:0]	事件 FIFO 写入索引（Event FIFO Put Index） 事件 FIFO 写入索引指针，范围为 0 到 31。
15:13	Reserved	保留，必需保持复位值。
12:8	EFGI[4:0]	事件 FIFO 获取索引（Event FIFO Get Index） 发送事件 FIFO 读取索引指针，范围为 0 到 31
7:6	Reserved	保留，必需保持复位值。
5:0	EFFL[5:0]	事件 FIFO 填充级别（Event FIFO Fill Level） 发送事件 FIFO 中存储的元素数，范围为 0 到 31

23.6.46 FDCAN 发送事件 FIFO 确认寄存器(FDCAN_TXEFA)

偏移地址：0xF8

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved											EFAI[4:0]				
											rw				

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:5	Reserved	保留，必需保持复位值。
4:0	EFAI[4:0]	事件 FIFO 确认索引 (Event FIFO Acknowledge Index) 主机从发送事件 FIFO 读取元素或元素序列后，必须将读取的最后一个元素索引值写入 EFAI 中。此操作会将发送事件 FIFO 获取索引 FDCAN_TXEFS.EFGI 设为 EFAI + 1，并更新 FIFO 0 填充级别 FDCAN_TXEFS.EFFL。

23.6.47 FDCAN TT 触发存储器配置寄存器(FDCAN_TTTMC)

偏移地址：0x0100

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved									TME[6:0]						
									rw						

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TMSA[13:0]														Reserved	
rw															

位域	名称	描述
31:23	Reserved	保留，必需保持复位值。
22:16	TME[6:0]	触发存储器元素(Trigger memory elements) 0: 无触发存储器 1-64: 触发存储器的元素数 >64: 大于 64 的值会被解析为 64 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1 时才允许写入。
15:2	TMSA[13:0]	触发存储器起始地址(Trigger memory start address) 消息 RAM 中触发存储器的起始地址(32 位字地址，参见图 23-1 FDCAN 消息 RAM 分配示例图). 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1 时才允许写入。
1:0	Reserved	保留，必需保持复位值。

23.6.48 FDCAN TT 参考消息配置寄存器(FDCAN_TTRMC)

偏移地址：0x0104

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28:16
RMPS	XTD	Reserved	RID[28:16]
rw	rw		rw

15:0
RID[15:0]
rw

位域	名称	描述
31	RMPS	参考消息有效负载选择(Reference message Payload select) 时间被控节点会忽略此位。 0：参考消息没有额外的有效负载 1：会从发送缓冲区 0 获取以下元素： 消息标记 MM, 事件 FIFO 控制 EFC, 数据长度代码 DLC, 数据字节 DB (级别 1：字节 2-8，级别 0、2：字节 5-8) 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1 时才允许写入。
30	XTD	扩展标识符(Extended identifier) 0: 11 位标准标识符 1: 29 位扩展标识符 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1 时才允许写入。
29	Reserved	保留，必需保持复位值。
28:0	RID[28:0]	参考标识符(Reference identifier) 通过参考消息发送并用于参考消息过滤的标识符。标准参考标识符或扩展参考标识符取决于 XTD 位。标准标识符必须写入 ID[28:18]。 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1 时才允许写入。

23.6.49 FDCAN TT 运行配置寄存器(FDCAN_TTOCF)

偏移地址：0x0108

复位值：0x0001 0000

31:27	26	25	24	23:16
Reserved	EVTP	ECC	EGTF	AWL[7:0]
	rw	rw	rw	rw

15	14:8	7:5	4	3	2	1:0
EECS	IRTO[6:0]	LDSDL[2:0]	TM	GEN	Reserved	OM[1:0]
rw	rw	rw	rw	rw		rw

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.

地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦

电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100

网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:27	Reserved	保留，必需保持复位值。
26	EVTP	事件触发极性(Event trigger polarity) 0: 上升沿触发 1: 下降沿触发 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1 时才允许写入。
25	ECC	使能时钟校准(Enable clock calibration) 0: FDCAN 级别 0、2 中禁止自动时钟校准 1: FDCAN 级别 0、2 中使能自动时钟校准 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1 时才允许写入。
24	EGTF	使能全局时间过滤(Enable global time Filtering) 0: FDCAN 级别 0、2 中禁止全局时间过滤 1: FDCAN 级别 0、2 中禁止全局时间过滤 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1 时才允许写入。
23:16	AWL[7:0]	应用看门狗限值(Application watchdog limit) 可通过将 AWL 编程为 0x00 禁止应用看门狗。 0x00-FF：应用可延迟处理应用看门狗的最长时间。应用看门狗每隔 256 个 NTU 递增一次。 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1 时才允许写入。
15	EECS	使能外部时钟同步(Enable external clock synchronization) 若使能，TUR 配置（仅限 TURCF[NCL]）可在 FDCAN 操作期间更新。 0： FDCAN 级别 0、2 中禁止外部时钟同步 1： FDCAN 级别 0、2 中使能外部时钟同步 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1 时才允许写入。
14:8	IRTO[6:0]	初始参考触发偏移(Initial reference trigger offset) 0x00-7F 正偏移，范围为 0 到 127 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1 时才允许写入。
7:5	LDSDL[2:0]	同步偏差限值的 LD (LD of synchronization deviation limit) 同步偏差限值 SDL 是通过其双对数 LDSDL 配置的，公式为 SDL= 2^(LDSDL + 5)。SDL 在 32 和 4096 之间。不应超过 CAN 位时序配置提供的时钟容差。 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1 时才允许写入。
4	TM	时间主控(Time master) 0：禁止时间主控节点功能 1：潜在时间主控节点 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		置为 1 时才允许写入。
3	GEN	间隙使能(Gap enable) 0：严格的时间触发操作 1：外部事件同步时间触发操作 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1 时才允许写入。
2	Reserved	保留，必需保持复位值。
1:0	OM[1:0]	工作模式(Operation mode) 00: 事件驱动 CAN 通信，默认 01: TTCAN 1 级 10: TTCAN 2 级 11: TTCAN 0 级 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1 时才允许写入。

23.6.50 FDCAN TT 矩阵限制寄存器(FDCAN_TTMLM)

偏移地址：0x010C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				ENTT[11:0]											
				rw											

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				TXEW[3:0]				CSS[1:0]		CCM[5:0]					
				rw				rw		rw					

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必需保持复位值。
27:16	ENTT[11:0]	预期发送触发数(Expected Number of Tx triggers) 0x000–FFF：一个矩阵周期中的预期发送触发数。 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1 时才允许写入。
15:12	Reserved	保留，必需保持复位值。
11:8	TXEW[3:0]	发送使能窗口(Tx enable Window) 0x0–F：发送使能窗口的长度，1-16 个 NTU 周期 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1 时才允许写入。
7:6	CSS[1:0]	周期开始同步(Cycle start synchronization) 使能同步脉冲输出。 00：无同步脉冲

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		01：基本周期开始时同步脉冲 10：矩阵周期开始时同步脉冲 11：保留 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1 时才允许写入。
5:0	CCM[5:0]	周期计数最大值(Cycle count Max) 0x00：每个矩阵周期 1 个基本周期 0x01：每个矩阵周期 2 个基本周期 0x03：每个矩阵周期 4 个基本周期 0x07：每个矩阵周期 8 个基本周期 0x0F：每个矩阵周期 16 个基本周期 0x1F：每个矩阵周期 32 个基本周期 0x3F：每个矩阵周期 64 个基本周期 其他值：保留 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1 时才允许写入。

23.6.51 FDCAN TUR 配置寄存器(FDCAN_TURCF)

偏移地址：0x0110

复位值：0x1000 0000

NTU 长度的计算公式为： NTU = CAN 时钟周期 x NC/DC。

NC 是一个 18 位值。其高位部分 NCH[17:16] 被硬连接为 0b01。因此，NC 的范围从 0x10000 到 0x1FFFF。NCL 配置的值是 FDCAN_TURNA.NAV[15:0] 的初始值。DC 通过硬件复位设置为 0x1000，因此不得写入 0x0000。

• 1 级: $NC \geq 4 \times DC$， NTU = CAN 位时间

• 0 级和 2 级: $NC \geq 8 \times DC$

TTCAN 0 级和 2 级的时钟漂移补偿功能可改变 FDCAN_TUR 的实际值，以便将 NTU 的节点本地视图调整为 NTU 的时间主视图。自动漂移补偿不会改变 DC，FDCAN_TURNA.NAV 可在 FDCAN_TTOCF.LDSDL 给出的同步偏差限制范围内围绕 NC 进行调整。应将 NC 和 DC 编程为最大的合适值，以实现漂移补偿过程的最佳计算精度。

注意： 如果在 TTCAN 1 级中 $NC < 7 \times DC$，则触发存储器中的后续时间标记必须至少相差两个 NTU。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ELT	Reserved	DC[13:0]													
rw		rw													

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
NCL[15:0]															
rw															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31	ELT	使能本地时间(Enable local time) 0：停止本地时间（默认） 1：使能本地时间 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1 时才允许写入。 *注：本地时间通过设置 ELT 启动。在 ELT 复位或下一次硬件复位之前，它一直处于激活状态。当 FDCAN_TURCF.ELT = 1 时，FDCAN_TURCF.DC 被锁定。如果 ELT 被写入 0，则可读值将保持为 1，直到新值同步到 CAN 时钟域。在此期间，对寄存器其他位的写入访问仍被锁定。*
30	Reserved	保留，必需保持复位值。
29:16	DC[13:0]	分母配置(Denominator configuration) 0x0000：非法值 0x0001 到 3FFF：分母配置 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1 时才允许写入。
15:0	NCL[15:0]	分子配置低位(Numerator configuration low) 只有在 FDCAN_TURCF.ELT = 0 或 FDCAN_TTOCF.EECS（启用外部时钟同步）设置为 0 的配置期间，才能对 TUR 数值配置低电平进行写入访问。当在 TT 配置模式之外写入 NCL 的新值时，新值将在 FDCAN_TTOST.WECS 清零为 0 时生效。 0x0000–FFFF 分子配置低位 这些是受保护的位，只有当位 FDCAN_CCCR.CCE 和位 FDCAN_CCCR.INIT 设置为 1 时才允许写入。

23.6.52 FDCAN TT 运行控制寄存器(FDCAN_TTOCN)

偏移地址： 0x0114

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
LCKC	Reserved	ESCN	NIG	TMG	FGP	GCS	TTIE	TMC[1:0]		RTIE	SWS[1:0]		SWP	ECS	SGT
r		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw		rw	rw		rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必需保持复位值。
15	LCKC	TT 操作控制寄存器锁定(TT operation control register Locked)

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		对寄存器 FDCAN_TTOCN 进行写访问会将此位置 1。更新配置同步到 CAN 时钟域后复位。 0：使能对 FDCAN_TTOCN 的写入访问 1：锁定对 FDCAN_TTOCN 的写入访问
14	Reserved	保留，必需保持复位值。
13	ESCN	外部同步控制(External synchronization control) 若使能此位，FDCAN 会将其周期时间相位同步到由事件触发引脚的上升沿所指示的外部事件(见 23.5.10 章节:与外部时间调度同步). 0: 禁止外部同步 1: 使能外部同步
12	NIG	下一条是间隙(Next is Gap) 仅当 FDCAN 为实际时间主控节点，并且配置为进行外部事件同步时间触发操作时(FDCAN_TTOCF.GEN = 1)，此位才能置 1。 0：无操作，接收任何参考消息时复位 1：Next_is_Gap =“1”时发送下一条参考消息
11	TMG	时间标记间隙(Time mark Gap) 0: 通过每条参考消息复位 1: 激活寄存器时间标记中断 FDCAN_TTIR.RTMI 时，开始发送下一条参考消息
10	FGP	结束间隙(Finish Gap) 由 CPU 置 1，通过每条参考消息复位 0：未请求任何参考消息 1：应用请求开始发送参考消息
9	GCS	间隙控制选择(Gap control select) 0：间隙控制与事件触发无关 1：通过输入事件触发引脚进行间隙控制
8	TTIE	触发时间标记中断脉冲使能(Trigger time mark interrupt pulse enable) 外部时间标记事件是通过触发存储器元素 TMEX 配置的。当触发存储器元素生效且 FDCAN 处于同步状态 In_Schedule 或 In_Gap 时，会生成触发时间标记中断脉冲。 0：禁止触发时间标记中断输出 fdcan_tmp 1：使能触发时间标记中断输出 fdcan_tmp
7:6	TMC[1:0]	寄存器时间标记比较(Register time mark Compare) 00：未生成寄存器时间标记中断 01：如果时间标记 = 周期时间，则会生成寄存器时间标记中断 10：如果时间标记 = 本地时间，则会生成寄存器时间标记中断 11：如果时间标记 = 全局时间，则会生成寄存器时间标记中断 *注：更改时间标记参考（周期时间、本地时间、全局时间）时，建议先写入 TMC =“00”，然后重新配置 FDCAN_TTTMK，最后将 TMC 设为所需时间参考。*
5	RTIE	寄存器时间标记中断脉冲使能(Register time mark interrupt pulse enable) 寄存器时间标记中断由寄存器 FDCAN_TTTMK 配置。当 FDCAN_TTOCN.TMC（周期、本地或全局）引用的时间等于 FDCAN_TTTMK.TM（与同步状态无关）时，将产生一个长度为一个 fdcan_tq_ck 周期的寄存器时间标记中断脉

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		冲。 0：禁用寄存器时间标记中断输出 1：启用寄存器时间标记中断输出
4:3	SWS[1:0]	停止监视源(Stop watch source) 00: 停止监视禁用 01: 循环时间的实际值被复制到 FDCAN_TTCPT.SWV 10: 本地时间的实际值被复制到 FDCAN_TTCPT.SWV 11: 全局时间的实际值被复制到 FDCAN_TTCPT.SWV
2	SWP	停止监视极性(Stop watch polarity) 0: 上升沿触发 1: 下降沿触发
1	ECS	外部时钟同步(External clock synchronization) 如果节点是实际时间主站，则向 ECS 写 1 会设置 FDCAN_TTOST.WECS。一个 APB 时钟周期后，ECS 复位。外部时钟同步在下一个基本周期开始时生效。
0	SGT	设置全局时间(Set global time) 如果节点是实际时间主站，则向 SGT 写 1 会设置 FDCAN_TTOST.WGDT。1 个 APB 时钟周期后，SGT 复位。全局时间预置在节点发送下一条参考消息时生效，该参考消息中的 Master_Ref_Mark 被写入 FDCAN_TTGTP 的预置值修改。

23.6.53 FDCAN TT 全局时间预值寄存器(FDCAN_TTGTP)

偏移地址：0x0118

复位值：0x0000 0000

如果设置了 TTOST.WGDT，则下一条参考报文在发送时，Master_Ref_Mark 将被预设值修改，Disc_Bit = 1，同时预设所有节点的全球时间。

每次当 Disc_Bit = 1 的参考报文生效或节点不是当前时间主站时，TP 将被重置为 0x0000。FDCAN_TTOCN.SGT 位置 1 后，当 FDCAN_TTOST.WGTD = 1 时，TP 将被锁定，直到 Disc_Bit = 1 的参考报文生效或节点不再是当前时间主站。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CTP[15:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TP[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	CTP[15:0]	周期时间目标相位(Cycle time target phase) CTP 是受写保护当 FDCAN_TTOCN.ESCN 或 FDCAN_TTOST.SPL 置 1(见 23.5.10 章节:与外部时间调度同步)。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0x0000–FFFF 定义预期事件触发上升沿时周期时间的目标值。
15:0	TP[15:0]	时间预设值(Time Preset) TP 受写保护当 FDCAN_TTOST.WGTD 被置 1。 0x0000–7FFF:下一主控节点参考标记 = 主控节点参考标记 + TP 0x8000 保留 0x8001–FFFF :下一主控节点参考标记 = 主控节点参考标记 - (0x10000 - TP)。

23.6.54 **FDCAN TT 时间标记寄存器(FDCAN_TTTMK)**

偏移地址：0x011C

复位值：0x0000 0000

当 FDCAN_TTOCN.TMC（周期时间、本地时间或全局时间）指示的时基与 TM 的值相同时，将产生时间标记中断 (FDCAN_TTIR.TMI = 1)。

注意：使用字节访问寄存器 FDCAN_TTTMK 时，建议首先禁用时间标记比较功能（FDCAN_TTOCN.TMC = 00），以避免对不一致的寄存器值进行比较。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
LCKM	Reserved								TICC[6:0]						
r									rw						

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TM[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31	LCKM	TT 时间标记寄存器锁定(TT time mark register Locked) 始终通过对寄存器 FDCAN_TTOCN 进行写访问来置 1。当 FDCAN_TTOCN.TMC 为 00 时，通过向寄存器 FDCAN_TTTMK 进行写访问时置 1。当寄存器同步到 CAN 时钟域时复位。 0：使能对 FDCAN_TTTMK 的写入访问 1：锁定对 FDCAN_TTTMK 的写入访问
30:23	Reserved	保留，必需保持复位值。
22:16	TICC[6:0]	时间标记周期代码(Time mark cycle code) 时间标记有效的周期计数。 0b000000x 对所有周期有效 周期计数 mod2 = c 时，每 2 个周期，0b000001c 有效 周期计数 mod4 = cc 时，每 4 个周期，0b00001cc 有效 周期计数 mod8 = ccc 时，每 8 个周期，0b0001ccc 有效 周期计数 mod16 = cccc 时，每 16 个周期，0b001cccc 有效 周期计数 mod32 = ccccc 时，每 32 个周期，0b01ccccc 有效 周期计数 mod64 = cccccc 时，每 64 个周期，0b1cccccc 有效

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
15:0	TM[15:0]	时间标记(Time mark) 0x0000–FFFF 时间标记

23.6.55 FDCAN TT 中断寄存器(FDCAN_TTIR)

偏移地址：0x0120

复位值：0x0000 0000

如果检测到其中一个列出的条件（边沿有效），标志会置 1。在主机将标志清零之前，标志保持置 1 状态。通过向对应位位置写入“1”将标志清零。写入“0”则不会带来任何影响。硬复位会将寄存器清零。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved													CER	AW	WT
													rc_w1	rc_w1	rc_w1

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
IWTG	ELC	SE2	SE1	TXO	TXU	GTE	GTD	GTW	SWE	TTMI	RTMI	SOG	CSM	SMC	SBC
rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必需保持复位值。
18	CER	配置错误(Configuration error) 触发次序颠倒。 0：触发列表中未发现错误 1：触发列表中发现错误
17	AW	应用看门狗(Application watchdog) 0：及时处理应用看门狗 1：未及时处理应用看门狗
16	WT	监视触发(Watch trigger) 0：未丢失参考消息 1：丢失参考消息（0 级：周期时间 0xFF00）
15	IWTG	初始化监视触发(Initialization watch trigger) 通过复位 IWT 重新开始初始化。 0：系统启动期间未丢失参考消息 1：由于参考消息丢失，系统未启动
14	ELC	错误级别更改(Error level Changed) 如果初始化过程中错误级别发生了变化，此位不会置 1。 0：错误级别未更改 1：错误级别已更改
13	SE2	调度错误 2(Scheduling error 2) 0：无调度错误 2 1：发生调度错误 2

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
12	SE1	调度错误 1(Scheduling error 1) 0：无调度错误 1 1：发生调度错误 1
11	TXO	发送计数上溢(Tx count overflow) 0：发送触发数与预期相同 1：一个周期中的发送触发数比预期多
10	TXU	发送计数下溢(Tx count underflow) 0：发送触发数与预期相同 1：一个周期中的发送触发数比预期少
9	GTE	全局事件错误(Global time error) 同步偏差 SD 超过 FDCAN_TTOCF.LDSDL 指定的限值，仅限 TTCAN0 级、2 级。 0：同步偏差在限值范围内 1：同步偏差超出限值范围
8	GTD	全局时间不连续(Global time discontinuity) 0: 全局时间没有不连续的情况 1: 全局时间不连续
7	GTW	全局时间回卷(Global time wrap) 0: 未发生全局时间回卷 1: 发生了从 0xFFFF 到 0x0000 的全局时间回卷
6	SWE	停止监视事件(Stop watch event) 0：停止监视触发引脚上未检测到上升沿/下降沿 1：停止监视触发引脚上检测到上升沿/下降沿
5	TTMI	内部触发时间标记事件(Trigger time mark event internal) 内部时间标记事件是通过触发存储器元素 TMIN 配置的(见 23.3.7 章节:触发存储器).当触发存储器元素生效、且 FDCAN 处于同步状态 In_Gap 或 In_Schedule 时，此位会置 1。 0：未达到时间标记 1：已达到时间标记（0 级：时间标记 FDCAN_TTOCF.IRTO x 0x200）
4	RTMI	寄存器时间标记中断(Register time mark interrupt) 当 TTOCN.TMC（周期、本地或全局）引用的时间等于 FDCAN_TTTMK.TM 时设置，与同步状态无关。 0：未达到时间标记 1：达到时间标记
3	SOG	间隙开始(Start of Gap) 0：未发现 Next_is_Gap 位置 1 的参考消息 1：Next_is_Gap 位置 1 的参考消息生效
2	CSM	同步模式更改(Change of synchronization mode) 0: 主控节点与被控节点的关系或调度同步没有变化 1: 主控节点与被控节点的关系或调度同步发生了变化或 FDCAN_TTOST.SPL 位被置 0
1	SMC	矩阵周期开始(Start of matrix cycle) 0：自位复位后未开始任何矩阵周期

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：矩阵周期已开始
0	SBC	基本周期开始(Start of basic cycle) 0：自位复位后未开始任何基本周期 1：基本周期已开始

23.6.56 FDCAN TT 中断使能寄存器（FDCAN_TTIE）

偏移地址：0x0124

复位值：0x0000 0000

TT 中断使能寄存器中的设置决定了 TT 中断寄存器中的哪些状态更改会产生中断。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved													CERE	AWE	WTE
													rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
IWTE	ELCE	SE2E	SE1E	TXOE	TXUE	GTEE	GTDE	GTWE	SWEE	TTMIE	RTMIE	SOGE	CSME	SMCE	SBCE
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必需保持复位值。
18	CERE	配置错误中断使能(Configuration error interrupt enable) 0：禁止 TT 中断 1：使能 TT 中断
17	AWE	应用看门狗中断使能(Application watchdog interrupt enable) 0：禁止 TT 中断 1：使能 TT 中断
16	WTE	监视触发中断使能(Watch trigger interrupt enable) 0：禁止 TT 中断 1：使能 TT 中断
15	IWTE	初始化监视触发中断使能(Initialization watch trigger interrupt enable) 0：禁止 TT 中断 1：使能 TT 中断
14	ELCE	更改错误级别中断使能(Change error level interrupt enable) 0：禁止 TT 中断 1：使能 TT 中断
13	SE2E	调度错误 2 中断使能(Scheduling error 2 interrupt enable) 0：禁止 TT 中断 1：使能 TT 中断
12	SE1E	调度错误 1 中断使能(Scheduling error 1 interrupt enable) 0：禁止 TT 中断

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：使能 TT 中断
11	TXOE	发送计数上溢中断使能(Tx count overflow interrupt enable) 0：禁止 TT 中断 1：使能 TT 中断
10	TXUE	发送计数下溢中断使能(Tx count underflow interrupt enable) 0：禁止 TT 中断 1：使能 TT 中断
9	GTEE	全局时间错误中断使能(Global time error interrupt enable) 0：禁止 TT 中断 1：使能 TT 中断
8	GTDE	全局时间不连续中断使能(Global time discontinuity interrupt enable) 0：禁止 TT 中断 1：使能 TT 中断
7	GTWE	全局时间回卷中断使能(Global time wrap interrupt enable) 0：禁止 TT 中断 1：使能 TT 中断
6	SWEE	停止监视事件中断使能(Stop watch event interrupt enable) 0：禁止 TT 中断 1：使能 TT 中断
5	TTMIE	内部触发时间标记事件中断使能(Trigger time mark event internal interrupt enable) 0：禁止 TT 中断 1：使能 TT 中断
4	RTMIE	寄存器时间标记中断使能(Register time mark interrupt enable) 0：禁止 TT 中断 1：使能 TT 中断
3	SOGE	间隙开始中断使能(Start of gap interrupt enable) 0：禁止 TT 中断 1：使能 TT 中断
2	CSME	同步模式更改中断使能(Change of synchronization mode interrupt enable) 0：禁止 TT 中断 1：使能 TT 中断
1	SMCE	矩阵周期开始中断使能(Start of matrix cycle interrupt enable) 0：禁止 TT 中断 1：使能 TT 中断
0	SBCE	基本周期开始中断使能(Start of basic cycle interrupt enable) 0：禁止 TT 中断 1：使能 TT 中断

23.6.57 FDCAN TT 中断线选择寄存器(FDCAN_TTILS)

偏移地址：0x0128

复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

TT 中断线路选择寄存器将 TT 中断寄存器中的特定中断标志所产生的中断分配给两条模块中断线路中的一条。要产生中断，必须通过 FDCAN_ILE.EINT0 和 FDCAN_ILE.EINT1 启用相应的中断线路。

31-19	18	17	16
Reserved	CERL	AWL	WTL
	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
IWTL	ELCL	SE2L	SE1L	TXOL	TXUL	GTEL	GTDL	GTWL	SWEL	TTMIL	RTMIL	SOGL	CSML	SMCL	SBCL
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必需保持复位值。
18	CERL	配置错误中断线(Configuration error interrupt Line) 0：分配给中断线 0 的 TT 中断 1：分配给中断线 1 的 TT 中断
17	AWL	应用看门狗中断线(Application watchdog interrupt Line) 0：分配给中断线 0 的 TT 中断 1：分配给中断线 1 的 TT 中断
16	WTL	监视触发中断线(Watch trigger interrupt Line) 0：分配给中断线 0 的 TT 中断 1：分配给中断线 1 的 TT 中断
15	IWTL	初始化监视触发中断线(Initialization watch trigger interrupt Line) 0：分配给中断线 0 的 TT 中断 1：分配给中断线 1 的 TT 中断
14	ELCL	更改错误级别中断线(Change error level interrupt Line) 0：分配给中断线 0 的 TT 中断 1：分配给中断线 1 的 TT 中断
13	SE2L	调度错误 2 中断线(Scheduling error 2 interrupt Line) 0：分配给中断线 0 的 TT 中断 1：分配给中断线 1 的 TT 中断
12	SE1L	调度错误 1 中断线(Scheduling error 1 interrupt Line) 0：分配给中断线 0 的 TT 中断 1：分配给中断线 1 的 TT 中断
11	TXOL	发送计数上溢中断线(Tx count overflow interrupt Line) 0：分配给中断线 0 的 TT 中断 1：分配给中断线 1 的 TT 中断
10	TXUL	发送计数下溢中断线(Tx count underflow interrupt Line) 0：分配给中断线 0 的 TT 中断 1：分配给中断线 1 的 TT 中断
9	GTEL	全局时间错误中断线(Global time error interrupt Line) 0：分配给中断线 0 的 TT 中断 1：分配给中断线 1 的 TT 中断

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
8	GTDL	全局时间不连续中断线(Global time discontinuity interrupt Line) 0：分配给中断线 0 的 TT 中断 1：分配给中断线 1 的 TT 中断
7	GTWL	全局时间回卷中断线(Global time wrap interrupt Line) 0：分配给中断线 0 的 TT 中断 1：分配给中断线 1 的 TT 中断
6	SWEL	停止监视事件中断线(Stop watch event interrupt Line) 0：分配给中断线 0 的 TT 中断 1：分配给中断线 1 的 TT 中断
5	TTMIL	内部触发时间标记事件中断线(Trigger time mark event internal interrupt Line) 0：分配给中断线 0 的 TT 中断 1：分配给中断线 1 的 TT 中断
4	RTMIL	寄存器时间标记中断线(Register time mark interrupt Line) 0：分配给中断线 0 的 TT 中断 1：分配给中断线 1 的 TT 中断
3	SOGL	间隙开始中断线(Start of gap interrupt Line) 0：分配给中断线 0 的 TT 中断 1：分配给中断线 1 的 TT 中断
2	CSML	同步模式更改中断线(Change of synchronization mode interrupt Line) 0：分配给中断线 0 的 TT 中断 1：分配给中断线 1 的 TT 中断
1	SMCL	矩阵周期开始中断线(Start of matrix cycle interrupt Line) 0：分配给中断线 0 的 TT 中断 1：分配给中断线 1 的 TT 中断
0	SBCL	基本周期开始中断线(Start of basic cycle interrupt Line) 0：分配给中断线 0 的 TT 中断 1：分配给中断线 1 的 TT 中断

23.6.58 FDCAN TT 运行状态寄存器(FDCAN_TTOST)

偏移地址：0x012C

复位值：0x0000 0080

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
SPL	WECS	AWE	WFE	GSI	TMP[2:0]			GFI	WGTD	Reserved					
r	r	r	r	r	r			r	r						

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RTO[7:0]								QCS	QGTP	SYS[1:0]		MSI[1:0]		EL[1:0]	
r								r	r	r		r		r	

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31	SPL	调度相位锁定(Schedule phase lock) 只有使能外部同步（FDCAN_TTOCN.ESCN = 1）时，该位才有效。在这种情况下，它表示 FDCAN_TTGTP.CTP 配置的周期时间与事件触发引脚上升沿的周期时间之差小于或等于 9 NTU（见 23.5.10 章节:与外部时间调度同步）。 0：相位超出范围 1：相位在范围内
30	WECS	等待外部时钟同步(Wait for external clock synchronization) 0：无外部时钟同步挂起 1：节点等待外部时钟同步生效。此位会在下一基本周期开始时复位。
29	AWE	应用看门狗事件(Application watchdog event) 应用程序看门狗通过读取 FDCAN_TTOST 进行处理。当未及时处理看门狗时，位 AWE 被置 1，所有 FDCAN 通信停止，FDCAN 进入总线监控模式。 0：应用程序看门狗及时处理 1：应用程序看门狗未及时处理
28	WFE	等待事件(Wait for event) 0：未发布间隙，由 Next_is_Gap =“0”的参考消息复位 1：接收到 Next_is_Gap =“1”的参考消息
27	GSI	间隙开始指示符(Gap started Indicator) 0：调度中没有间隙，由每条参考消息复位，用于所有时间被控节点 1：基本周期开始后的间隙时间
26:24	TMP[2:0]	时间主控节点优先级(Time master priority) 0x0-7 实际时间主控节点的优先级
23	GFI	间隙结束指示符(Gap finished Indicator) 在 CPU 向 FDCAN_TTOCN.FGP 进行写操作时置 1，或在 FDCAN_TTOCN.TMG = 1 时通过时间标记中断置 1，或在 FDCAN_TTOCN.GCS = 1 时通过输入引脚（事件触发器）置 1。不会由 Ref_Trigger_Gap 置 1，间隙由另一发送参考消息的节点结束时也不会置 1。 0：在每个参考信息结束时复位 1：间隙由 FDCAN 结束
22	WGTD	等待全局时间不连续(Wait for global time discontinuity) 0：没有全局时间预设挂起 1：节点等待全局时间预设生效 节点已发送 Disc_Bit =“1”的参考消息或接收到参考消息后，此位会复位。
21:16	Reserved	保留，必需保持复位值。
15:8	RTO[7:0]	参考触发偏移(Reference trigger offset) 参考触发偏移值是一个带符号整数，范围为 -127 (0x81) 至 127(0x7F)。达到下限 -127 时不会发出通知。如果 FDCAN 成为时间主站（MS[1:0] = 11），由于主机和 CAN 时钟域之间的同步，RTO 的复位会延迟。对于时间从站，将读取 FDCAN_TTOCF.IRTO 配置的值。 0x00-FF 实际参考触发偏移值
7	QCS	时钟速度质量(Quality of clock Speed) 仅在 TTCAN 0 级和 2 级中有意义，否则会固定为“1”。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：本地时钟速度未同步到时间主控节点时钟速度 1：同步偏差 ≤ SDL
6	QGTP	全局时间相位质量(Quality of global time phase) 仅在 TTCAN 0 级和 2 级中有意义，否则会固定为“0”。 0：全局时间无效 1：全局时间与时间主控节点同相
5:4	SYS[1:0]	同步状态(Synchronization state) 00：不同步 01：同步到 FDCAN 通信 10：调度被间隙挂起(In_Gap) 11：同步到调度(In_Schedule)
3:2	MS[1:0]	主控节点状态(Master state) 00：Master_Off，无任何相关主控节点属性 01：作为时间被控节点工作 10：作为备份时间主控节点工作 11：作为当前时间主控节点工作
1:0	EL[1:0]	错误级别(Error level) 00：严重程度 0 - 无错误 01：严重程度 1 - 警告 10：严重程度 2 - 错误 11：严重程度 3 - 严重错误

23.6.59 **FDCAN TUR 分子实际寄存器(FDCAN_TURNA)**

偏移地址：0x0130

复位值：0x0001 0000

在 TTCAN 1 级中没有漂移补偿（NAV＝NC）。在 TTCAN 0 级和 2 级中，计算节点本地时钟和时间主站本地时钟之间的漂移。当同步偏差（NC 与计算出的 NAV 之间的差值）小于 2 ^(FDCAN_TTOCF.LDSDL + 5)时，漂移将得到补偿。当 FDCAN_TTOCF.LDSDL < 7 时，NAV 的最大范围为 (NC - 0x1000) ≤ NAV ≤ (NC+0x1000)。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved														NAV[17:16]	
														r	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
NAV[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:18	Reserved	保留，必需保持复位值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
17:0	NAV[17:0]	分子实际值(Numerator actual value) 0x0EFFF：非法值 0x0F000-20FFF：实际分子值 0x21000：非法值

23.6.60 FDCAN TT 本地和全局时间寄存器(FDCAN_TTLGT)

偏移地址：0x0134

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
GT[15:0]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
LT[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:16	GT[15:0]	全局时间(Global time) 节点本地时间与其本地偏移之和的非小数部分(见 23.5.5 章节：本地时间、周期时间、全局事件和外部时钟同步)。 0x0000–FFFF FDCAN 网络的全局时间值
15:0	LT[15:0]	本地时间(Local time) 本地时间的非小数部分，每隔一个本地 NTU 递增一次(见 23.5.5 章节：本地时间、周期时间、全局事件和外部时钟同步)。 0x0000–FFFF FDCAN 节点的本地时间值

23.6.61 FDCAN TT 周期时间和计数寄存器(FDCAN_TTCTC)

偏移地址：0x0138

复位值：0x003F 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved										CC[5:0]					
										r					

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CT[15:0]															
r															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:18	Reserved	保留，必需保持复位值。
21:16	CC[5:0]	周期计数(Cycle count) 0x00–3F 系统矩阵中的实际基本周期计数
15:0	CT[15:0]	周期时间(Cycle time) 节点本地时间与 Ref_Mark 之差的非小数部分(见 1.5.5 章节：本地时间、周期时间、全局事件和外部时钟同步)。 0x0000–FFFF: FDCAN 基本周期的周期时间值

23.6.62 FDCAN TT 捕获时间寄存器(FDCAN_TTCPT)

偏移地址：0x013C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
SWV[15:0]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved										CCV[5:0]					
										r					

位域	名称	描述
31:16	SWV[15:0]	停止监视值(Stop watch value) 在停止监视触发引脚出现上升/下降沿时（通过 FDCAN_TTOCN.SWP 配置），当 FDCAN_TTOCN.SWS 与 00 不同且 FDCAN_TTIR.SWE 为 0 时，FDCAN_TTOCN.SWS（周期、本地、全局）选择的实际时间值将被复制到 SWV，TFDCAN_TIR.SWE 将被设置为 1。通过复位 FDCAN_TTIR.SWE，可以捕捉下一个停止监视值。 0x0000–FFFF 捕获的停止监视值
15:6	Reserved	保留，必需保持复位值。
5:0	CCV[5:0]	周期计数值(Cycle count value) 与 SWV 一起捕获的周期计数值。 0x00-3F：捕获的周期计数值

23.6.63 FDCAN TT 周期同步标记寄存器(FDCAN_TTCSM)

偏移地址：0x0140

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CSM[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必需保持复位值。
15:0	CSM[15:0]	周期同步标记(Cycle sync mark) 周期同步标记以周期时间为单位进行测量。当参考消息生效时，此位会更新，并会在下一参考消息生效之前保持其值。 0x0000-FFFF：捕获的周期时间

23.6.64 FDCAN 外部信号选择寄存器(FDCAN_TTSS)

偏移地址：0x144

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved							TS_EN	TS_SEL[2:0]			Reserved	SEVT[1:0]		SSWT[1:0]	
							rw	rw				rw		rw	

位域	名称	描述
31:9	Reserved	保留，必需保持复位值。
8	TS_EN	外部时间戳使能（External timestamp vector enable） 0：禁用外部时间戳 1：使能外部时间戳
7:5	TS_SEL[2:0]	外部时间戳时钟分频（Select external timestamp’s clock divided） 000：时间戳时钟 4 分频 001：时间戳时钟 8 分频 010：时间戳时钟 16 分频 011：时间戳时钟 32 分频 100：时间戳时钟 64 分频 101：时间戳时钟 128 分频 110：时间戳时钟 256 分频 111：时间戳时钟 512 分频
4	Reserved	保留，必需保持复位值。
3:2	SEVT[1:0]	选择 EVT(Select EVT)

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0: 选择 EVT[0] 1: 选择 EVT[1] 2: 选择 EVT[2] 3: 选择 EVT[3]
1:0	SSWT[1:0]	选择 SWT(Select SWT) 0: 选择 SWT[0] 1: 选择 SWT[1] 2: 选择 SWT[2] 3: 选择 SWT[3]

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

24 串行外设接口/内置音频总线（SPI/I2S）

24.1 SPI/I2S 简介

SPI 允许芯片与外部设备以半/全双工、同步、串行方式通信。SPI 可以被配置成主模式和多主模式，并为外部从设备提供通信时钟(SCK)。可用于多种用途，包括使用一条双向数据线的双线单工同步传输，还支持硬件 CRC 校验。

I2S 也是一种同步串行接口通讯协议。它支持四种音频标准，包括飞利浦 I2S 标准，MSB 和 LSB 对齐标准，以及 PCM 标准。它在半双工通讯中，可以工作在主和从 2 种模式下。当它作为主设备时，能通过接口向外部的从设备提供时钟信号。

SPI 和 I^2S 主要特性

24.1.1 SPI 主要特性

- 全双工和单工同步模式
- 支持主模式、从模式和多主模式
- 支持 8bit 或 16bit 数据帧格式
- 数据位顺序可编程
- 硬件或软件片选管理
- 时钟极性和时钟相位可配置
- 发送和接收支持硬件 CRC 计算及校验
- 支持DMA传输功能
- 接收/发送FIFO 8字节

24.1.2 I^2S 主要特性

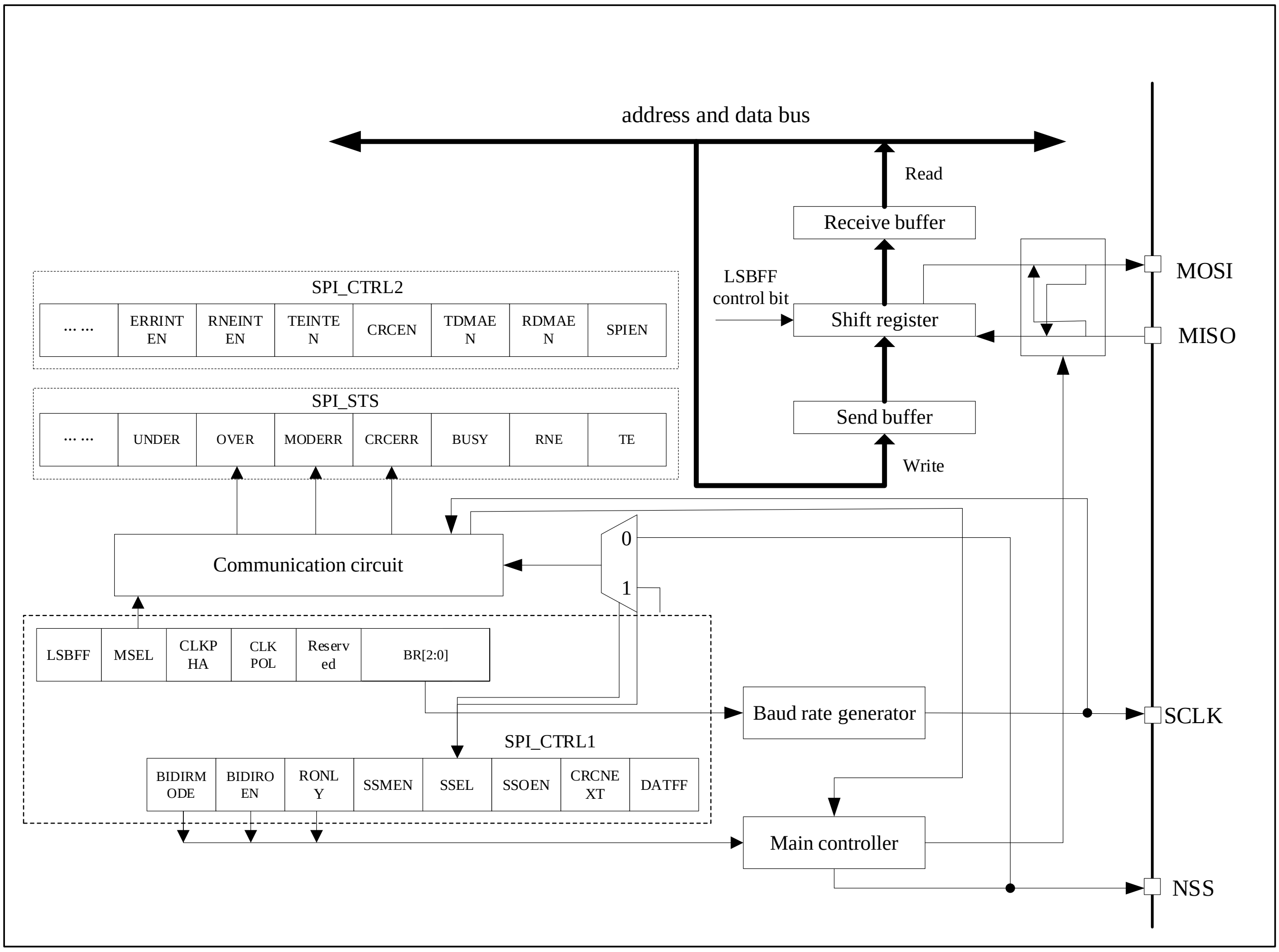
- 半双工和全双工同步模式
- 支持主模式和从模式操作
- 4 种音频标准可以支持：飞利浦 I^2S 标准、MSB 对齐标准、LSB 对齐标准和 PCM 标准
- 音频采样频率可配置，范围从 8KHz 到 192KHz
- 稳态时钟极性可配置
- 数据方向 MSB
- 支持DMA传输功能
- 支持多种时钟源（独立EXTPLL、HSI、SYSCLK、外部时钟输入）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

24.2 SPI 功能描述

24.2.1 通用描述

图 24-1 SPI 框图



为了连接外部设备，SPI 接口有 4 个引脚与外设器件连接，具体如下：

- SCLK：串行时钟引脚，该信号从主设备 SCLK 引脚输出，由从设备 SCLK 引脚输入
- MISO：主输入/从输出引脚，数据从主设备的 MISO 引脚输入，由从设备的 MISO 引脚输出
- MOSI：主输出/从输入引脚，数据从主设备的 MOSI 引脚输出，由从设备的 MOSI 引脚输入
- NSS：片选引脚，有两种 NSS 引脚类型，外部引脚和内部引脚。如果内部引脚检测到高电平，SPI 工作在主模式，相反，SPI 工作在从模式。用户可以使用主设备的一个标准 I/O 引脚控制从设备的 NSS 引脚

软件 NSS 模式

当 SPI_CTRL1.SSMEN=1（图 24-2），软件从设备管理被使能。

NSS 引脚不用于软件 NSS 模式。在这种模式下，内部 NSS 信号电平通过写入 SPI_CTRL1.SSEL 位来驱动（主机模式 SPI_CTRL1.SSEL＝1，从机模式 SPI_CTRL1.SSEL＝0）。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

硬件 NSS 模式

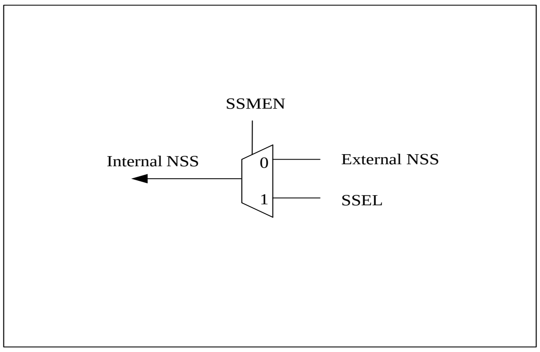
当 SPI_CTRL1.SSMEN = 0（图 24-2），软件从设备管理被禁能。

NSS 输入模式：：主设备的 NSS 输出被禁止（SPI_CTRL1.MSEL = 1, SPI_CTRL1.SSOEN = 0），允许操作在多主模式下。在整个数据帧传输期间主机应该连接 NSS 到高电平，从机应该连接 NSS 到低电平。

NSS 输出模式：主设备的 NSS 输出被使能（SPI_CTRL1.MSEL = 1, SPI_CTRL1.SSOEN = 1），主设备必须驱动 NSS 到低电平，所有与主设备连接并且设置为硬件 NSS 模式的设备将会检测到低电平，并自动进入从模式。当主设备的 NSS 没有被驱动到低电平，设备进入从模式，并产生主模式失效错误。

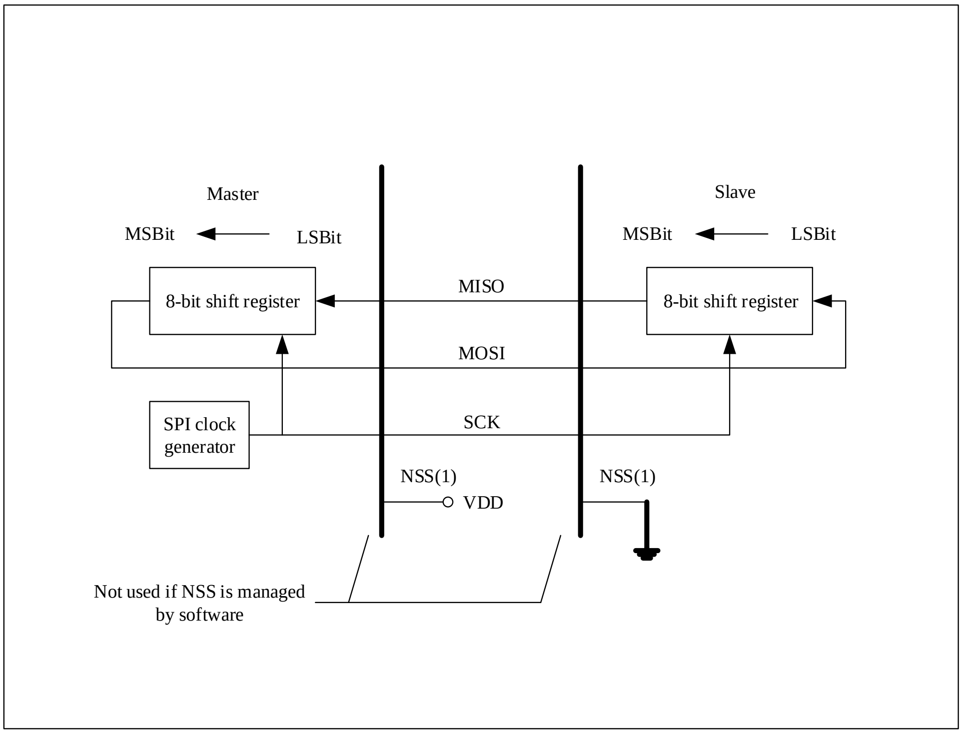
注：软件模式或硬件模式的选择，取决于通讯协议中是否需要 NSS 控制。如果不需要，可以选择软件模式，释放一个 GPIO 管脚另作他用。

图 24-2 硬件/软件的从选择管理



下图是单个主设备和单个从设备互联的例子。

图 24-3 单主和单从应用



注意：NSS 引脚被设置为输入。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

SPI 是一个环形总线结构。主设备通过 SCK 管脚输出同步时钟信号，主设备的 MOSI 引脚连接到从设备的 MOSI 引脚，并且主设备的 MISO 引脚连接到从设备的 MISO 引脚，以便数据可以在设备之间传输。主设备和从设备之间的连续数据传输，通过 MOSI 引脚发送数据到从设备，而从设备通过 MISO 引脚发送数据到主设备。

SPI 时序模式

通过设置 SPI_CTRL1.CLKPOL 位和 SPI_CTRL1.CLKPHA 位，用户可以选择数据捕获的时钟沿。

当 CLKPOL = 0, CLKPHA = 0，空闲时 SCLK 引脚将保持低电平，数据将在第一个时钟沿被采样，即上升沿。

当 CLKPOL = 0, CLKPHA = 1，空闲时 SCLK 引脚将保持低电平，数据将在第二个时钟沿被采样，即下降沿。

当 CLKPOL = 1, CLKPHA = 0，空闲时 SCLK 引脚将保持高电平，数据将在第一个时钟沿被采样，即下降沿。

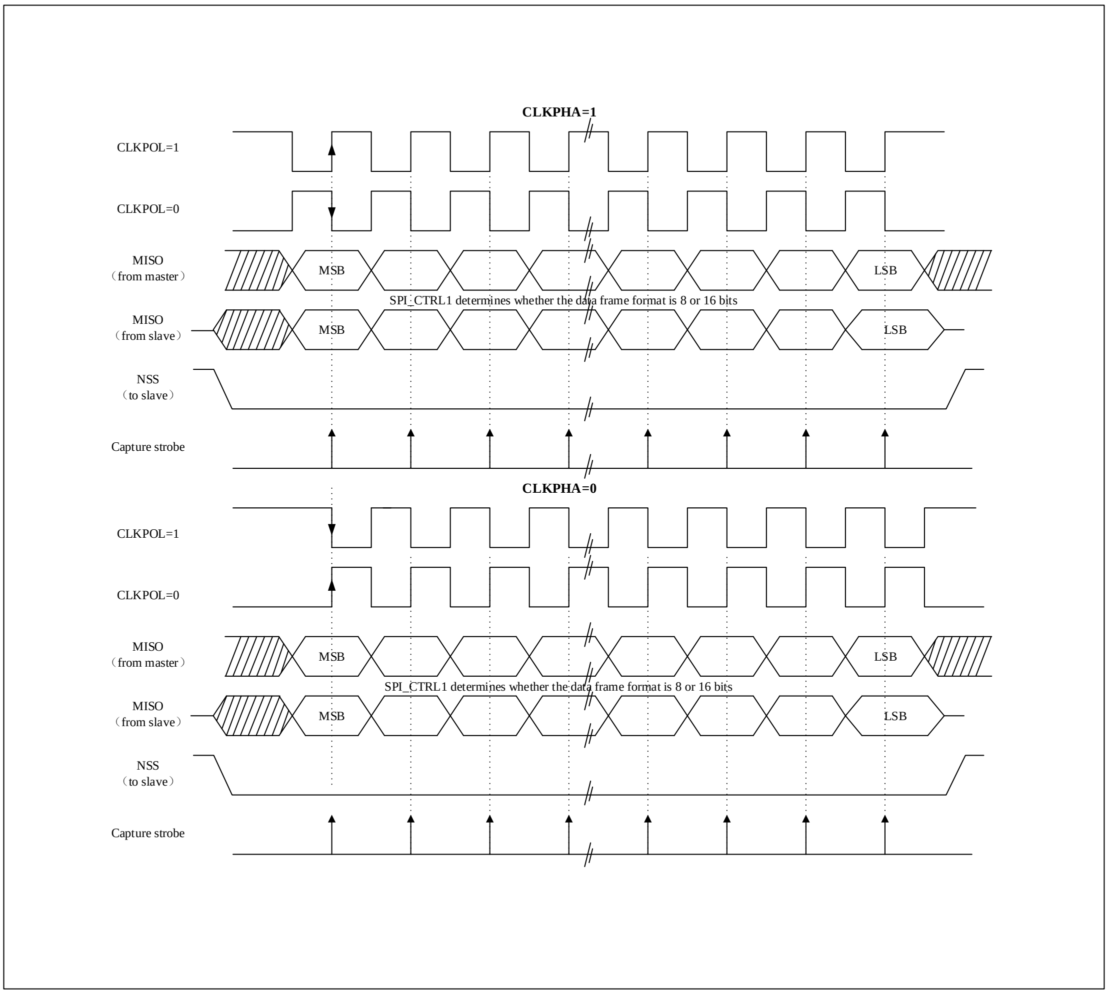
当 CLKPOL = 1, CLKPHA = 1，空闲时 SCLK 引脚将保持高电平，数据将在第二个时钟沿被采样，即上升沿。

不管选择哪种时序模式，主设备和从设备的时序模式配置必须相同。

图 24-4 是当 SPI_CTRL1.LSBFF = 0 时，SPI 传输的 4 种 CLKPHA 和 CLKPOL 位组合时序。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 24-4 数据时钟时序图



数据格式

通过设置 SPI_CTRL1.LSBFF 位，用户可以选择数据的位顺序，当 SPI_CTRL1.LSBFF = 0，SPI 将先发送数据的高位（MSB），当 SPI_CTRL1.LSBFF = 1，SPI 将先发送数据的低位（LSB）。

通过设置 SPI_CTRL1.DATFF 位，用户可以选择数据帧格式。

24.2.2 SPI 工作模式

■ **主机全双工模式（SPI_CTRL1.MSEL = 1，SPI_CTRL1.BIDIRMODE = 0，SPI_CTRL1.RONLY = 0）**

第一个数据被写到 SPI_DAT 寄存器后，将会开始传输，数据第一个位被发送时，数据字节并行从数据寄存器装载进入移位寄存器，然后数据位按照 SPI_CTRL1.LSBFF 位的配置，数据位按照 MSB 或 LSB 顺序被串行移位进入 MOSI 引脚。与此同时，在 MISO 引脚上接收到的数据，按照同样顺序被串行地移位进入移位寄存器，然后并行装载入 SPI_DAT 寄存器。

1. 设置SPI_CTRL2.SPIEN位为1，使能SPI模块；
2. 写待发送的第一个数据到SPI_DAT（这个写操作会清除SPI_STS.TE标志位）；
3. 等待SPI_STS.TE标志位置1后，再写入第二个待发送的数据到SPI_DAT寄存器，等待SPI_STS.RNE标志位置1后，读取SPI_DAT寄存器获得第一个接收的数据，读取SPI_DAT寄存器，SPI_STS.RNE标志

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

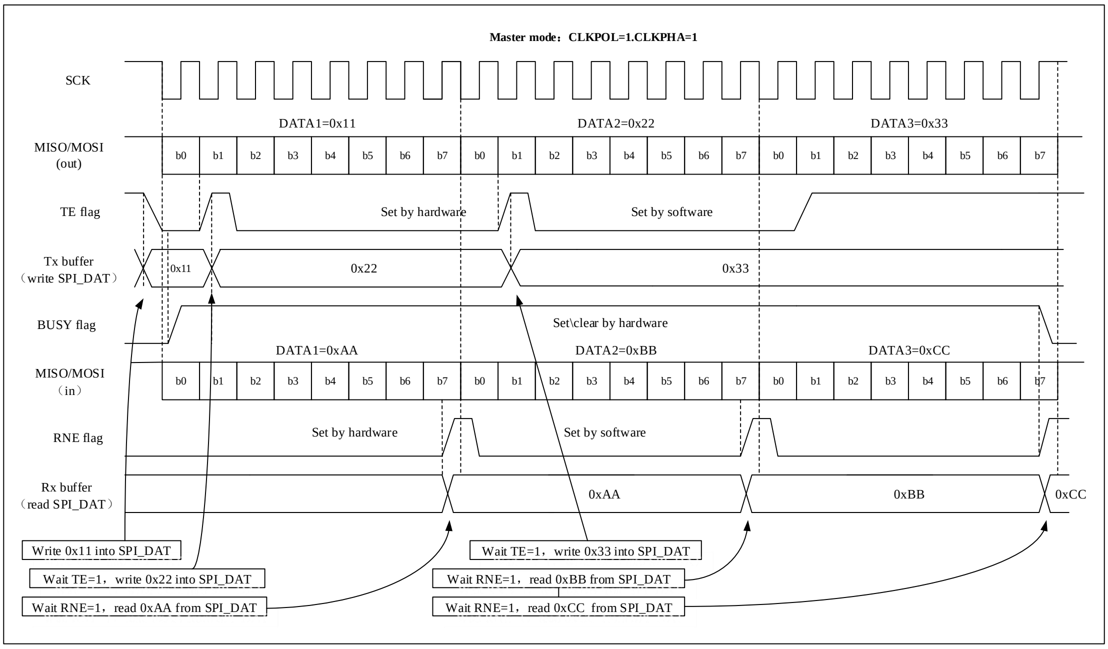
位会清0。重复上述操作，发送后续的数据，同时接收第n-1个数据；

4. 等待SPI_STS.RNE置1后，读取最后一个数据；

5. 等待SPI_STS.TE标志位置1，等待SPI_STS.BUSY标志位清除后再关闭SPI模块。

数据的发送和接收处理可以在 SPI_STS.RNE 标志位或 SPI_STS.TE 标志位的上升沿产生的中断处理程序中实现。

图 24-5 主机全双工模式下连续传输时，SPI_STS.TE/RNE/BUSY 的变化示意图



■ **主机双线单向仅发送模式（SPI_CTRL1.MSEL = 1，SPI_CTRL1.BIDIRMODE = 0，SPI_CTRL1.RONLY = 0）**

双线单向仅发送模式和全双工模式相似，但是在双线单向仅发送模式，接收的数据将不会被读取，因此 SPI_STS.OVER 标志位将会置位，软件应该忽略这个位。软件操作流程如下(图 24-6)：

1. 设置SPI_CTRL2.SPIEN位为1，使能SPI模块；

2. 写待发送的第一个数据到 SPI_DAT 寄存器（该操作会清除 SPI_STS.TE 标志位）；

3. 等待 SPI_STS.TE 标志位置 1，写待发送的第二个数据到 SPI_DAT 寄存器，重复这个操作发送后续的数据；

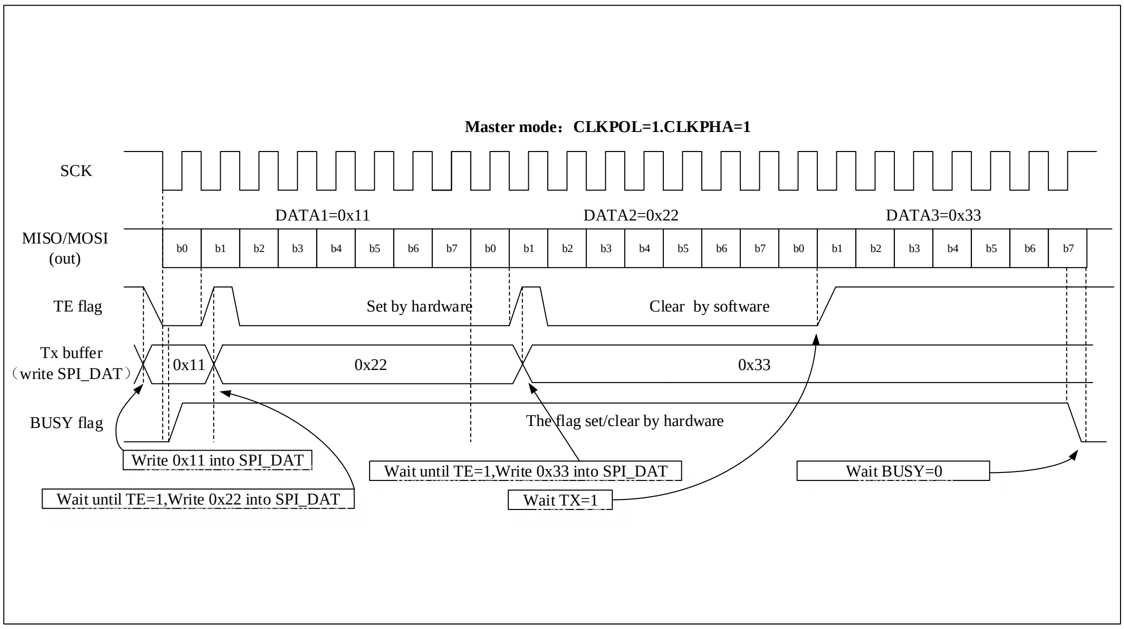
4. 写最后一个数据到 SPI_DAT 寄存器，等待 SPI_STS.TE 标志位置 1，然后等待 SPI_STS.BUSY 位清除，完成所有数据的发送。也可以在响应 SPI_STS.TE 标志的上升沿产生的中断的处理程序中实现这个过程。

注：1.对于不连续的传输，在写入 SPI_DAT 寄存器的操作与设置 SPI_STS.BUSY 位之间有 2 个 APB 时钟周期的延迟，因此在只发送模式下，写入最后一个数据后，最好先等待 SPI_STS.TE 为 1，然后再等待 SPI_STS.BUSY 为 0。

2.只发送模式下，在传输 2 个数据之后，由于不会读出接收到的数据，SPI_STS 寄存器中的 OVER 位会变为'1'。(注：软件不必理会这个 OVER 标志位)

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 24-6 主机单向只发送模式下连续传输时，SPI_STS.TE/BUSY 变化示意图



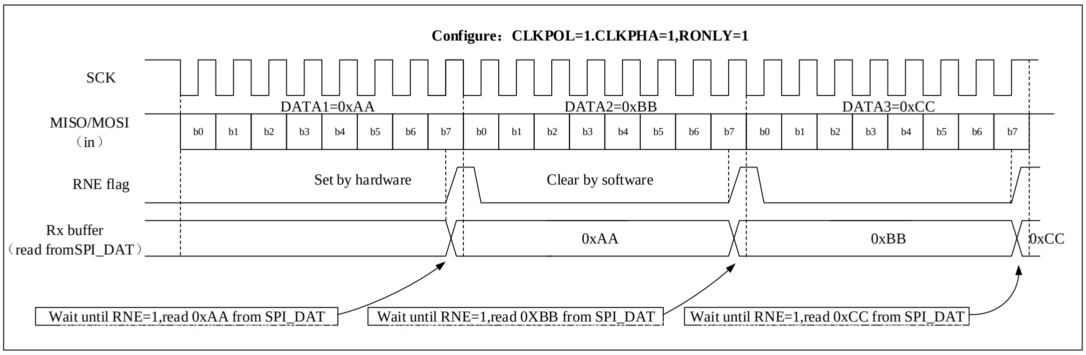
- **主机双线单向仅接收模式（SPI_CTRL1.MSEL＝1，SPI_CTRL1.BIDIMODE＝0，SPI_CTRL1.RONLY＝1）**

当 SPI_CTRL2.SPIEN＝1，开始接收过程。来自 MISO 引脚的数据位依次连续移位进入移位寄存器，然后并行传送数据到 SPI_DAT 寄存器。软件操作流程如下（图 24-7）：

1. 设置 SPI_CTRL1.RONLY＝1，使能仅接收模式；
2. 主机模式下，设置 SPI_CTRL2.SPIEN 位为 1，使能 SPI 模块，SCLK 信号会立即产生，在 SPI 关闭前（SPI_CTRL2.SPIEN ＝ 0），数据连续被接收。从机模式下，当主设备驱动 NSS 信号低电平并且产生 SCLK，数据持续被接收；
3. 等待 SPI_STS.RNE 位置 1，读取 SPI_DAT 寄存器获得接收的数据，当读取 SPI_DAT 寄存器，SPI_STS.RNE 位将会清除。重复这个操作接收所有数据。

数据处理可以在 SPI_STS.RNE 标志位产生的中断处理程序里实现。

图 24-7 只接收模式（BIDIRMODE＝0 且 RONLY＝1）下连续传输时，RNE 变化示意图



- **主机单线双向发送模式（SPI_CTRL1.MSEL＝1，SPI_CTRL1.BIDIRMODE＝1，SPI_CTRL1.BIDIROEN＝1，SPI_CTRL1.RONLY＝0）**

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

数据写进 SPI_DAT 寄存器后，传输过程开始。这个模式不接收数据。发送第一个数据位的同时，被发送的数据并行装载进移位寄存器，然后根据 LSBFF 位的配置，SPI 按照 MSB 或 LSB 顺序将数据位串行移位到 MOSI 引脚。

主机单线双向发送的软件操作流程和仅发送模式的流程相同，不同的是在使能 SPI 模块之前，需要在 SPI_CTRL1 寄存器中同时设置 SPI_CTRL1.BIDIMODE 和 SPI_CTRL1.BIDIROEN 位为'1'。

- **主机单线双向接收模式（SPI_CTRL1.MSEL = 1，SPI_CTRL1.BIDIRMODE = 1，SPI_CTRL1.BIDIROEN = 0，SPI_CTRL1.RONLY = 0）**

该模式下，当 SPI 使能（SPI_CTRL2.SPIEN = 1），接收过程开始。该模式下，没有数据输出，接收到的数据位顺序且连续移位进入移位寄存器，并行的传输进 SPI_DAT 寄存器（接收缓存）。

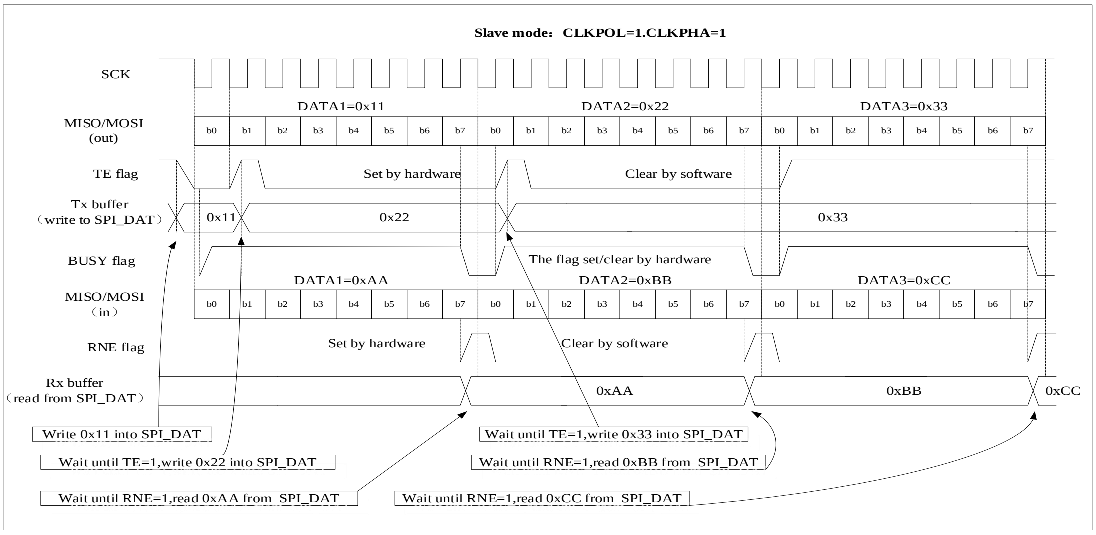
主机单线双向接收模式的软件操作流程和仅接收模式一样，不同的是在使能 SPI 模块之前，需要在 SPI_CTRL1 寄存器中同时设置 SPI_CTRL1.BIDIMODE 和 SPI_CTRL1.BIDIROEN 位为'0'。

- **从机全双工模式（SPI_CTRL1.MSEL = 0，SPI_CTRL1.BIDIRMODE = 0，SPI_CTRL1.RONLY = 0）**

当从设备接收到时钟信号并且第一个数据位出现在它的MOSI时，数据传输开始，随后的数据位依次移动进入移位寄存器；

与此同时，在传输第一个数据位时，发送缓冲器中的数据被并行地传送到 8 位的移位寄存器，随后被串行地发送到 MISO 引脚上。软件必须保证在 SPI 主设备开始数据传输之前在从机发送寄存器中写入要发送的数据。

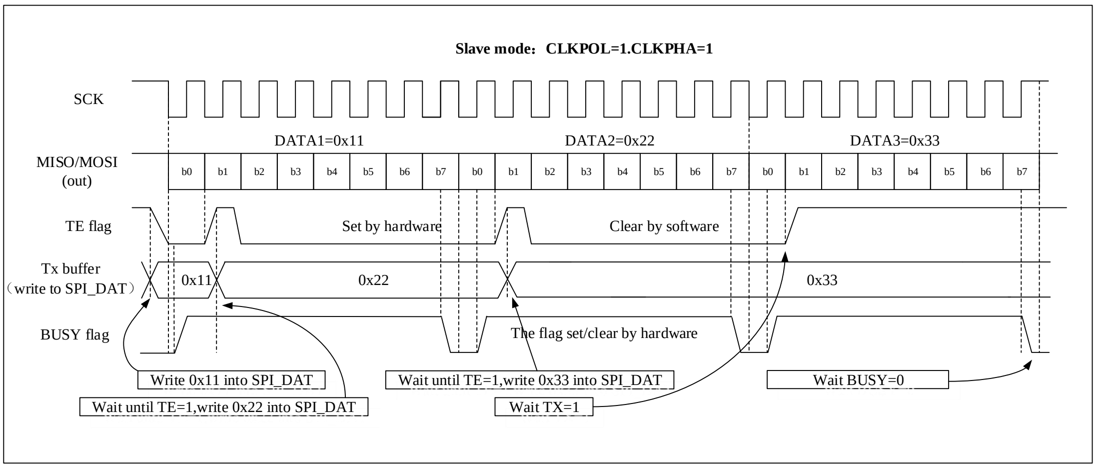
图 24-8 从机全双工模式下连续传输时，SPI_STS.TE/RNE/BUSY 的变化示意图



- **从机双线单向仅发送模式（SPI_CTRL1.MSEL = 0，SPI_CTRL1.BIDIRMODE = 0，SPI_CTRL1.RONLY = 0）**

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 24-9 从机单向只发送模式下连续传输时，SPI_STS.TE/BUSY 变化示意图



- **从机双线单向仅接收模式（SPI_CTRL1.MSEL = 0，SPI_CTRL1.BIDIRMODE = 0，SPI_CTRL1.RONLY = 1）**

当从设备接收到时钟信号和来自 MOSI 引脚的第一个数据位，数据接收过程开始。接收到的数据位顺序且连续地串行移位到移位寄存器，然后并行地装载到 SPI_DAT 寄存器（接收缓存）。

- **从机单线双向发送模式（SPI_CTRL1.MSEL = 0，SPI_CTRL1.BIDIRMODE = 1，SPI_CTRL1.BIDIROEN = 1）**

当从设备接收到时钟信号并且发送缓冲器中的第一个数据位被传送到MISO引脚上的时候，数据传输开始；该模式没有数据接收。在第一个数据位被传送到MISO引脚上的同时，发送缓冲器中要发送的数据被平行地传送到8位的移位寄存器中，随后被串行地发送到MISO引脚上。软件必须保证在SPI主设备开始数据传输之前在从机发送寄存器中写入要发送的数据；

- **从机单线双向接收模式（SPI_CTRL1.MSEL = 0，SPI_CTRL1.BIDIRMODE = 1，SPI_CTRL1.BIDIROEN = 0）**

当从设备接收到第一个时钟沿和来自 MOSI 引脚的数据位时，数据接收开始。该模式没有数据输出，接收到的数据位顺序且连续地串行移位到移位寄存器，然后并行地装载到 SPI_DAT 寄存器（接收缓存）。

注意：从机的软件操作流程参考主机的。

SPI 初始化流程

1. 通过设置 SPI_CTRL1.BR[2:0]位配置数据传输的波特率；
2. 选择时钟极性（SPI_CTRL1.CLKPOL）和时钟相位（SPI_CTRL1.CLKPHA），定义数据传输和时钟的相位关系；
3. 设置 SPI_CTRL1.DATFF 位定义帧格式为 8bit 还是 16bit；
4. 配置 SPI_CTRL1.LSBFF 定义数据位发送的顺序是 LSB 还是 MSB；
5. 配置 NSS 模式；
6. 配置 SPI_CTRL1.MSEL、SPI_CTRL1.BIDIRMODE、SPI_CTRL1.BIDIROEN 和 SPI_CTRL1.RONLY 位；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

7. 设置 SPI_CTRL2.SPIEN 位使能 SPI 模块。

SPI 协议基本的发送和接收处理

当 SPI 发送 1 个数据帧，首先，数据帧从数据缓存装载进移位寄存器，然后装载的数据被发送。当来自发送缓存的数据传输进移位寄存器，发送缓存器为空，SPI_STS.TE 标志位置 1，然后下一个数据可装载进入发送缓存。如果 SPI_CTRL2.TEINTEN 位置 1，中断将会产生。写 SPI_DAT 寄存器可以对 SPI_STS.TE 标志位清 0。

采样时钟的最后一个边沿，当数据从移位寄存器传输进接收缓存，SPI_STS.RNE 标志位置 1，数据准备就绪，可以从 SPI_DAT 寄存器读取。如果 SPI_CTRL2.RNEINTEN 标志位置 1，中断将会产生。读 SPI_DAT 寄存器可以对 SPI_STS.RNE 标志位清 0。

主模式下，当数据写进发送缓存，发送过程开始。当前数据帧发送完成前，如果下个数据写进 SPI_DAT 寄存器，连续发送可以实现。

从机模式下，NSS 引脚为低，当第一个时钟沿到来，发送过程开始。为了避免意外的数据传输，数据发送前（主机发送时钟前，建议先使能 SPI 模块）软件必须写数据到发送缓存。

在有些配置里，当发送最后数据时，SPI_STS.BUSY 标志位可以用于等待数据发送结束。

连续和非连续传输

当在主模式下发送数据时，如果软件足够快，能够在检测到每次 TE 的上升沿(或 TE 中断)，并立即在正在进行的传输结束之前写入 SPI_DAT 寄存器，则能够实现连续的通信；此时，在每个数据项的传输之间的 SPI 时钟保持连续，同时 SPI_STS.BUSY 位不会被清除。

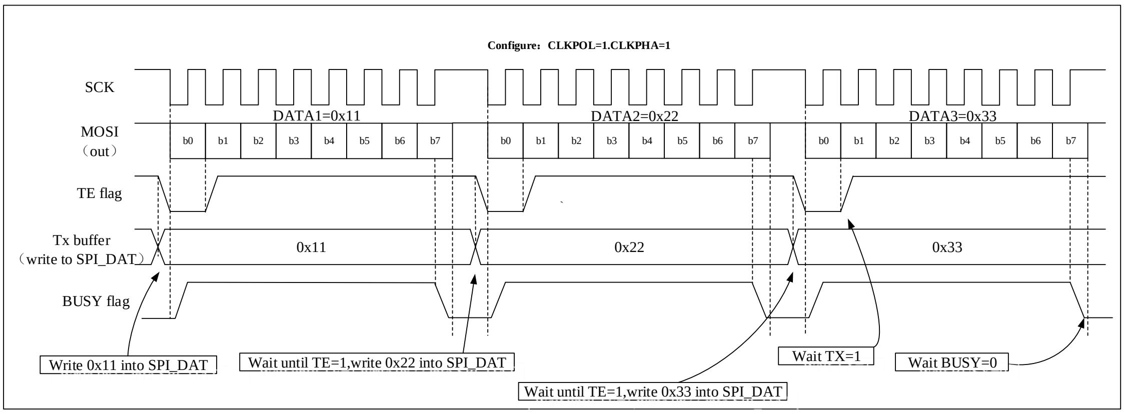
如果软件不够快，则会导致不连续的通信；这时，在每个数据传输之间会被清除(见下图)。

在主模式的只接收模式下(SPI_CTRL1.RONLY=1)，通信总是连续的，而且SPI_STS.BUSY标志始终为’1’。

在从模式下，通信的连续性由 SPI 主设备决定。不管怎样，即使通信是连续的，SPI_STS.BUSY 标志会在每个数据项之间至少有一个 SPI 时钟周期为低。

补充：若希望出现片选随每帧数据进行翻转，即帧传输期间，片选拉低；帧传输完成，片选拉高。用户可以在帧传输前使能 SPI，传输完成后，关闭 SPI。

图 24-10 BIDIRMODE = 0，RONLY = 0 非连续传输发送时，SPI_STS.TE/BUSY 变化示意图



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

24.2.3 状态标志

SPI_STS 寄存器有 3 个标志位监控 SPI 的状态。

发送缓存空标志位（TE）

当发送缓存空，TE 标志位置 1，意味着可以将新数据写进 SPI_DAT 寄存器。当发送缓存非空，该标志位将被硬件清 0。

接收缓存非空标志位（RNE）

当接收缓存非空，SPI_STS.RNE 标志位置 1，因此用户知道接收缓存有数据。读取 SPI_DAT 寄存器后，该标志位将被硬件清 0。

忙标志位（BUSY）

当传输开始，BUSY 标志位置 1，传输结束后 BUSY 标志位被硬件清 0。

仅当设备在主机单线双向接收模式，当通讯进行中，BUSY 标志位将会设置为 0。

下面情况，BUSY 标志位将会清 0：

- 传输结束（主机模式下连续通讯除外）
- 关闭 SPI 模块（SPI_CTRL2.SPIEN = 0）
- 主机模式错误发生（SPI_STS.MODERR = 1）

当通讯是不连续的：每个数据项传输之间，BUSY 标志位清 0。

当通讯是连续的：在主机模式，整个传输过程，BUSY 标志位保持为高。在从机模式，每个数据项传输之间 BUSY 标志位会有 1 个 SPI 时钟周期为低。因此不要使用 BUSY 标志位处理每个数据项的发送和接收。

24.2.4 关闭 SPI

当通讯结束，可以通过关闭SPI模块来终止通讯。清除SPI_CTRL2.SPIEN位即可关闭SPI。

在某些配置下，如果在传输还未完成时，就关闭SPI模块并进入停机模式，则可能导致当前的传输被破坏，而且SPI_STS.BUSY标志也变得不可信。

为了避免发生这种情况，关闭SPI模块时，建议按照下述步骤操作：

(1)主或从模式下的全双工模式(SPI_CTRL1.BIDIMODE=0，SPI_CTRL1.RONLY=0)

1. 等待SPI_STS.RNE=1并接收最后一个数据；
2. 等待SPI_STS.TE=1；
3. 等待SPI_STS.BUSY=0；
4. 关闭SPI(SPI_CTRL2.SPIEN=0)，最后进入停机模式(或关闭该模块的时钟)。

(2)主或从模式下的单向只发送模式(SPI_CTRL1.BIDIMODE=0，SPI_CTRL1.RONLY=0)或双向的发送模式(SPI_CTRL1.BIDIMODE=1，SPI_CTRL1.BIDIROEN=1)

在SPI_DAT寄存器中写入最后一个数据后：

1. 等待SPI_STS.TE=1；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

2. 等待SPI_STS.BUSY=0；

3. 关闭SPI(SPI_CTRL2.SPIEN=0)，最后进入停机模式(或关闭该模块的时钟)。

注：　在主模式下的单向只发送模式时，传输过程中SPI_STS.BUSY标志始终为低。

(3) 主或从模式下的单向只接收模式(SPI_CTRL1.MSEL=1，SPI_CTRL1.BIDIMODE=0，SPI_CTRL1.RONLY=1)或双向的接收模式(SPI_CTRL1.MSEL=1，SPI_CTRL1.BIDIMODE=1，SPI_CTRL1.BIDIROEN=0)

这种情况需要特别地处理，以保证SPI不会开始一次新的传输：

1. 等待倒数第二个(第n-1个)SPI_STS.RNE=1；

2. 在关闭SPI(SPI_CTRL2.SPIEN=0)之前等待一个SPI时钟周期(使用软件延迟)；

3. 在进入停机模式(或关闭该模块的时钟)之前等待最后一个SPI_STS.RNE=1。

(4)从模式下的只接收模式(SPI_CTRL1.MSEL=0，SPI_CTRL1.BIDIMODE=0，SPI_CTRL1.RONLY=1)或双向的接收模式(SPI_CTRL1.MSEL=0，SPI_CTRL1.BIDIMODE=1，SPI_CTRL1.BIDIROEN=0)

1. 可以在任何时候关闭SPI(SPI_CTRL2.SPIEN=0)，SPI会在当前的传输结束后被关闭；

2. 如果希望进入停机模式，在进入停机模式(或关闭该模块的时钟)之前必须首先等待 SPI_STS.BUSY=0。

24.2.5 使用 DMA 进行 SPI 通讯

为了达到最大通信速度，需要及时往SPI发送缓冲器填数据，同样接收缓冲器中的数据也必须及时读走以防止溢出。为了方便高速率的数据传输，SPI实现了一种采用简单的请求/应答的DMA机制。

当SPI_CTRL2寄存器上的对应使能位被设置时，SPI模块可以发出DMA传输请求。发送缓冲器和接收缓冲器亦有各自的DMA请求。

- 发送时，在每次TE被设置为’1’时发出DMA请求，DMA控制器则写数据至SPI_DAT寄存器，清除TE标志。
- 接收时，在每次RNE被设置为’1’时发出DMA请求，DMA控制器则从SPI_DAT寄存器读出数据，清除RNE标志。

当只使用SPI发送数据时，只需使能SPI的发送DMA通道。此时，因为没有读取收到的数据，OVER被置为’1’(软件不必理会这个标志)。

当只使用 SPI 接收数据时，只需使能 SPI 的接收 DMA 通道。

在发送模式下，当DMA已经传输了所有要发送的数据(DMA_ISR寄存器的TCIF标志变为’1’)后，可以通过监视SPI_STS.BUSY标志以确认SPI通信结束，这样可以避免在关闭SPI或进入停止模式时，破坏最后一个数据的传输。因此软件需要先等待TE=1，然后等待SPI_STS.BUSY=0。

注：　在不连续的通信中，在写数据到 SPI_DAT 的操作与 SPI_STS.BUSY 位被置为’1’之间，有 2 个 APB 时钟周期的延迟，因此，在写完最后一个数据后需要先等待 TE=1 再等待 SPI_STS.BUSY=0。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 24-11 使用 DMA 发送

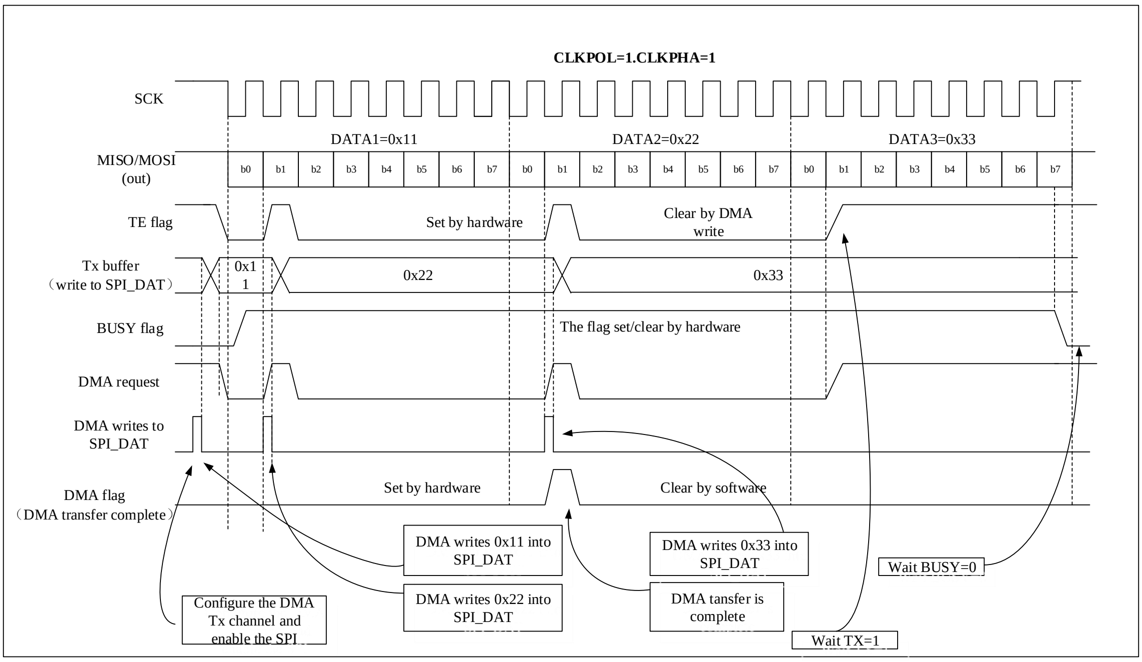
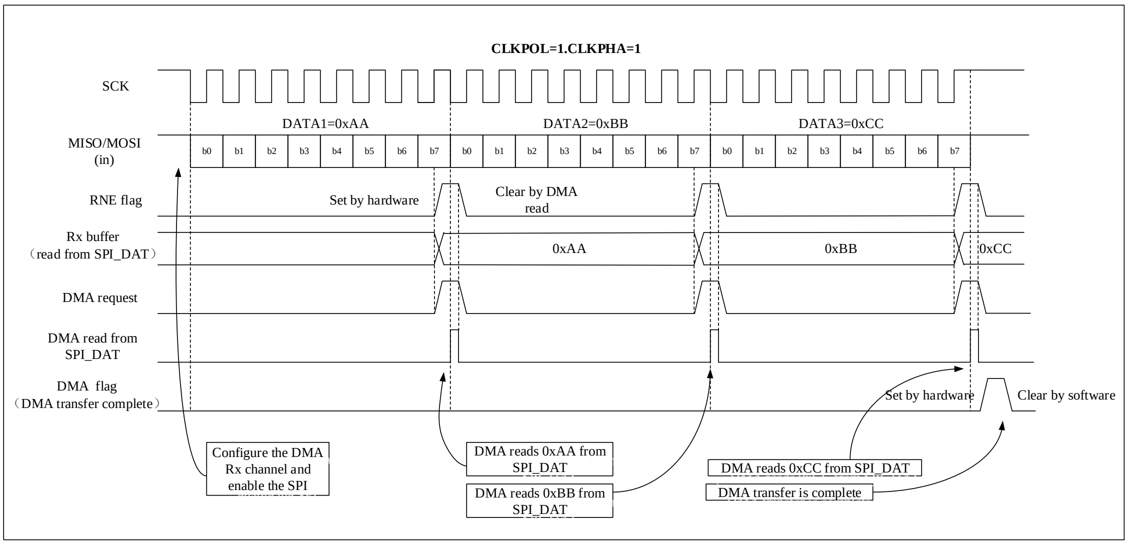


图 24-12 使用 DMA 接收



24.2.6 CRC 计算

SPI通信可以通过以下步骤使用CRC：

- 在SPI_CRCPOLY寄存器输入多项式；
- 设置SPI_CTRL2.CRCEN位使能CRC计算，该操作也会清除寄存器SPI_CRCRDAT 和SPI_CRCTDAT；
- 设置SPI_CTRL2.SPIEN位启动SPI功能；
- 启动通信并且维持通信，直到只剩最后一个字节或者半字；
- 在把最后一个字节或半字写进发送缓冲器时，设置SPI_CTRL1.CRCNEXT位，指示硬件在发送完成最后一个数据之后，发送CRC的数值。在发送CRC数值期间，停止CRC计算；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 当最后一个字节或半字被发送后，SPI 发送 CRC 数值，SPI_CTRL1.CRCNEXT 位被清除。同样，接收到的 CRC 与 SPI_CRCRDAT 值进行比较，如果比较不相配，则设置 SPI_STS.CRCERR 标志位，当设置了 SPI_CTRL2.ERRINTEN 时，则产生中断。

注意：当SPI模块处于从设备模式时，请注意在时钟稳定之后再使能CRC计算，否则可能会得到错误的CRC计算结果。只要设置了SPI_CTRL2.CRCEN位，并在SCK引脚上有输入时钟，不管SPI_CTRL2.SPIEN位的状态是什么，都会进行CRC的计算。

当SPI时钟频率较高时，用户在发送CRC时必须小心。在CRC传输期间，使用CPU的时间应尽可能少；为了避免在接收最后的数据和CRC时出错，在发送CRC过程中应禁止函数调用。必须在发送/接收最后一个数据之前完成设置CRCNEXT位的操作。

当SPI时钟频率较高时，因为CPU的操作会影响SPI的带宽，建议采用DMA模式以避免SPI降低速度。

当SPI配置为从模式并且使用了NSS硬件模式，NSS引脚应该在数据传输和CRC传输期间保持为低。当配置SPI为从模式并且使用CRC的功能，即使NSS引脚为高时仍然会执行CRC的计算（当NSS信号为高时，如果SCK引脚上有时钟脉冲，则CRC计算会继续执行。例如：当主设备交替地与多个从设备进行通信时，将会出现这种情况，设置SPI_CTRL2[13]位可避免该情况下CRC的误操作）。

在不选中一个从设备(NSS信号为高)转换到选中一个新的从设备(NSS信号为低)的时候，为了保持主从设备端下次CRC计算结果的同步，应该清除主从两端的CRC数值。

按照下述步骤清除CRC数值：

1. 关闭SPI模块(SPI_CTRL2.SPIEN=0);
2. 清除SPI_CTRL2.CRCEN位为’0’;
3. 设置SPI_CTRL2.CRCEN位为’1’;
4. 使能 SPI 模块(SPI_CTRL2.SPIEN=1)。

发送 CRC

- **在非 FIFO 模式下：**

1. CPU 模式时，CRC 需要用户在最后一个数据发送之前，配置 SPI_CTRL1.CRCNEXT 位为 1，去发送 CRC；
2. DMA 模式时，CRC 会硬件进行自动发送；

- **在 FIFO 模式下：**

1. CPU 模式下，若为只收模式，那么 CRC 会根据用户配置的 SPI_TRANS_NUM 寄存器的值自动发送 CRC；
2. CPU 模式下，除了只收模式，CRC 需要用户在最后一个数据发送之前，配置 SPI_CTRL1.CRCNEXT 位为 1，去发送 CRC；
3. DMA 模式，CRC 会硬件进行自动发送。

注：在实际应用中，如果通过软件计算 CRC 来匹配硬件计算结果，则需要正确配置如下内容：

CRC8/CRC16

- 宽度 WIDTH： 8/16

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

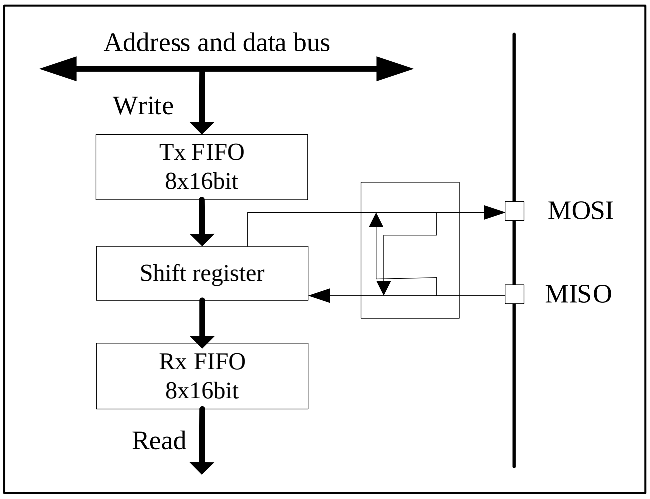
- 多项式 POLY：可通过 SPI_CRCPOLY 寄存器配置
- 初始值 INIT： 0x0000
- 结果异或值 XOROUT： 0x0000
- 输入数据反转 REFIN： 否
- 输出数据反转 REFOUT：否

24.2.7 FIFO 功能

支持 FIFO 功能。

当数据帧格式选择为 8bit 时，TX_FIFO 大小是 8 x 8bit，RX_FIFO 大小是 8 x 8bit。

当数据帧格式选择为 16bit 时，TX_FIFO 大小是 8 x 16bit，RX_FIFO 大小是 8 x 16bit。



当配置 SPI_CTRL2.FIFOEN 时，SPI 会开启 FIFO 功能。

发送：CPU 往 SPI_DAT 寄存器写入数据时，发送数据会写入 TX_FIFO，经 TX_SHIFT 并串转换后，输出到接口。

接收：从接口接收数据进来，经过 RX_SHIFT 串并转换后，转到 RX_FIFO 中。

注：FIFO 模式使能，读数据是读 SPI_RX_FIFO，非 FIFO 读时是读 SPI_DAT，FIFO 和非 FIFO 写都是写在 SPI_DAT 寄存器。

为增加数据控制的灵活性，加入 TX_FIFO 半空、TX_FIFO 满、RX_FIFO 半满、RX_FIFO 满标志，且用户可查询 SPI_FIFO_CNT 的有效个数，来更好的兼容场景需求。

24.2.8 错误标志位

主模式失效位（MODERR）

以下两种情况将会导致主机失效错误：

- NSS 引脚硬件管理模式，主设备 NSS 引脚被驱动低电平；
- NSS 引脚软件管理模式，SSEL 位被设置为 0。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

主模式失效对SPI设备有以下影响：

- SPI_STS.MODERR 位被置为'1'，如果设置了 SPI_CTRL2.ERRINTEN 位，则产生 SPI 中断；
- SPI_CTRL2.SPIEN 位被清为'0'，将停止一切输出，并且关闭 SPI 接口；
- SPI_CTRL1.MSEL 位被清为'0'，因此强迫此设备进入从模式。

下面的步骤用于清除SPI_STS.MODERR位：

1. 对SPI_STS寄存器的读或写操作；
2. 然后写SPI_CTRL1寄存器。

在有多个MCU的系统中，为了避免出现多个从设备的冲突，必须先拉高该主设备的NSS脚，再对SPI_STS.MODERR位进行清零。在完成清零之后，SPI_CTRL2.SPIEN和SPI_CTRL1.MSEL位就可以恢复到它们的复位状态。

出于安全的考虑，当SPI_STS.MODERR位为'1'时，硬件不允许设置SPI_CTRL2.SPIEN和SPI_CTRL1.MSEL位。

通常配置下，从设备的 SPI_STS.MODERR 位不能被置为'1'。在多主配置里，一个设备可以在设置了 SPI_STS.MODERR 位的情况下，处于从设备模式；这时 SPI_STS.MODERR 会置起表示可能出现了多主冲突。中断程序可以执行一个复位或返回到默认状态来从错误状态中恢复。

溢出错误（OVER）

在SPI的非FIFO模式下，当前传输已经完成，但前一帧存入数据寄存器的数据还未及时读走（SPI_STS.RNE未清零），该标志位会置1；在SPI FIFO模式下，在TX FIFO中存放的数据已满的情况下，再次向TX FIFO中写入数据，该标志位会置1。当产生溢出错误时：

- OVER位被置为"1"；当设置了SPI_CTRL2.ERRINTEN位时，则产生中断。

对于 SPI1/SPI4/SPI5/SPI6 而言，检测到 OVER 为 1 后依次读出 SPI_DAT 寄存器（读两次）和 SPI_STS 寄存器可将 OVER 清除。对于 SPI2_I2S2/SPI3_I2S3 而言，检测到 OVER 为 1 后依次读出 SPI_DAT 寄存器（读一次）和 SPI_STS 寄存器可将 OVER 清除。

下溢错误（UNDER）

在 SPI 的非 FIFO 模式下，该标志位不使用；在 SPI FIFO 模式下，在 RX FIFO 为空的情况下，仍然去读 RX FIFO 会导致该位置 1。软件读取 SPI_STS 状态寄存器可将该位清除。

注：SPI 下溢错误不会产生中断。

CRC 错误（CRCERR）

当设置了 SPI_CTRL2.CRCEN 位时，CRC 错误标志用来核对接收数据的有效性。如果移位寄存器中接收到的值(发送方发送的 SPI_CRCTDAT 数值)与接收方 SPI_CRCRDAT 寄存器中的数值不匹配，则 SPI_STS 寄存器上的 CRCERR 标志被置位为'1'。

24.2.9 SPI 中断

表 24-1 SPI 中断请求

中断事件	事件标志	使能控制位
发送缓冲器空标志	TE	TEINTEN

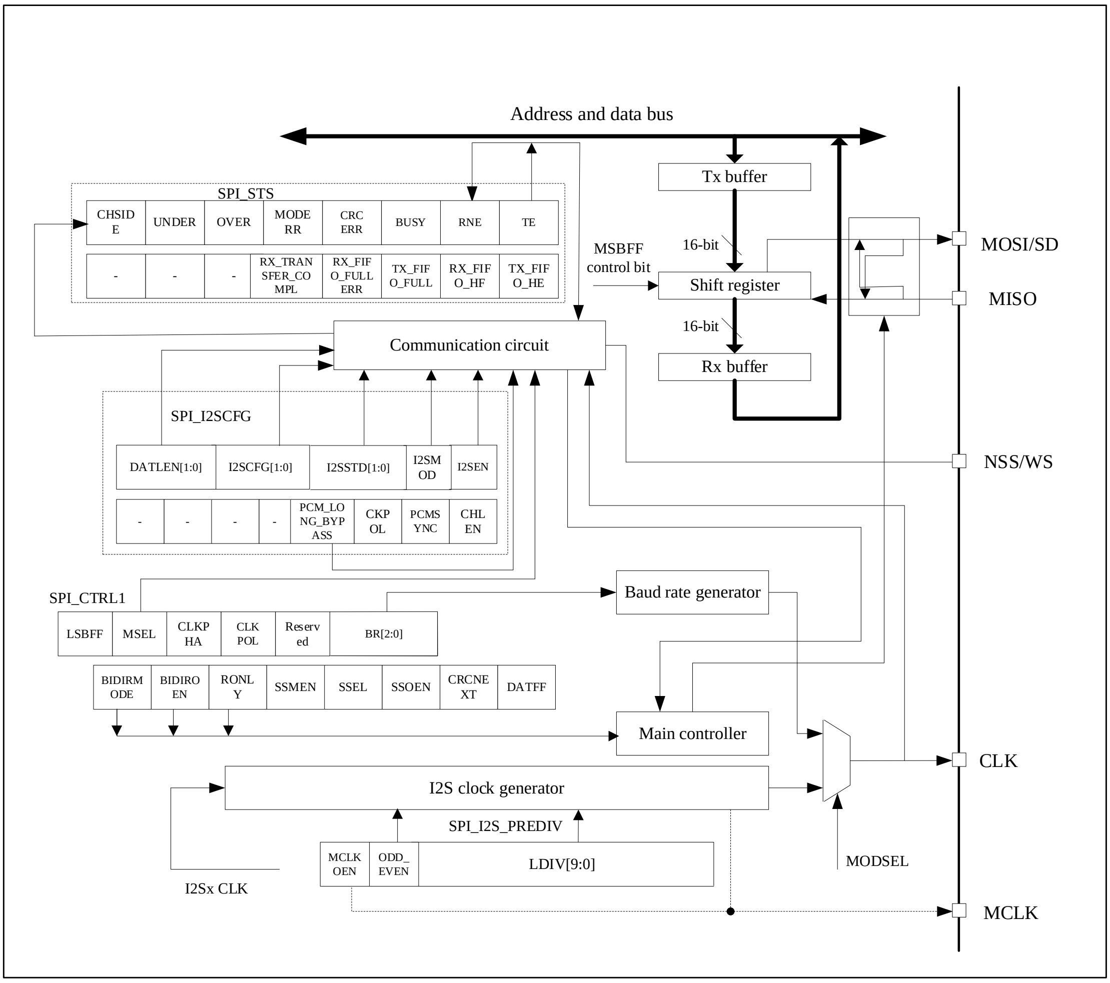
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

接收缓冲器非空标志	RNE	RNEINTEN
主模式失效事件	MODERR	ERRINTEN
溢出错误	OVER	
CRC 错误标志	CRCERR	
发送 FIFO 半空标志	TXFIFHE	TXFHEINTEN
接收 FIFO 半满	RXFIFHF	RXFHFINTEN
接收 FIFO 满	RXFIFFU	RXFFUINTEN
传输完成标志(只收模式)	RXTSCP	RXCPINTEN

24.3 I²S 功能描述

I²S 的框图如下图显示：

图 24-13 I²S 框图



I²S 接口使用和 SPI 接口相同的引脚、标志和中断。SPI_I2S_CFGR. I2SMOD 位置 1 选择 I²S 音频接口。

I²S 总共有 4 个引脚，其中 3 个引脚与 SPI 共享：

- SD：串行数据(映射至MOSI引脚)，用来发送和接收2路时分复用通道的数据；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

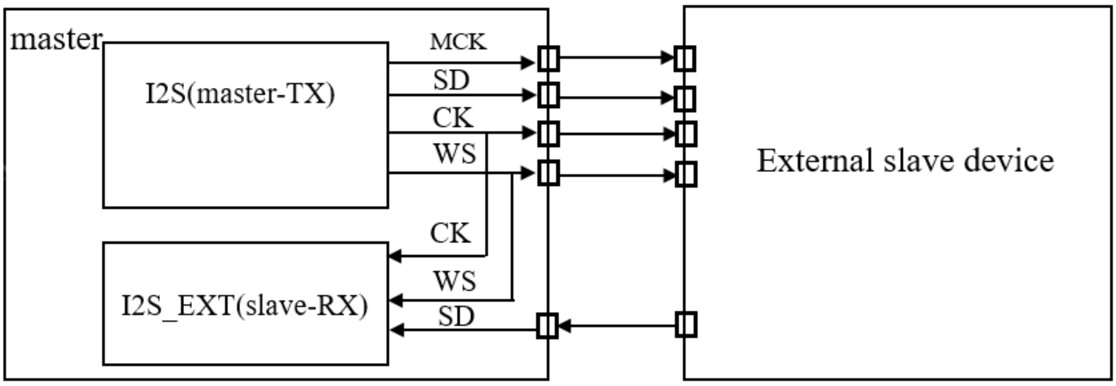
- WS：字选(映射至NSS引脚)，主模式下作为数据控制信号输出，从模式下作为输入；
- CK：串行时钟(映射至SCK引脚)，主模式下作为时钟信号输出，从模式下作为输入。 在某些外部音频设备需要主时钟时，可以另有一个附加引脚输出时钟；
- MCK：主时钟(独立映射)，在I2S配置为主模式，寄存器SPI_I2S_PREDIV的MCLKOEN位为'1'时，作为输出额外的时钟信号引脚使用。输出时钟信号的频率预先设置为256 × Fs，其中Fs是音频信号的采样频率。

设置成主模式时，I2S使用自身的时钟发生器来产生通信用的时钟信号。这个时钟发生器也是主时钟输出的时钟源。

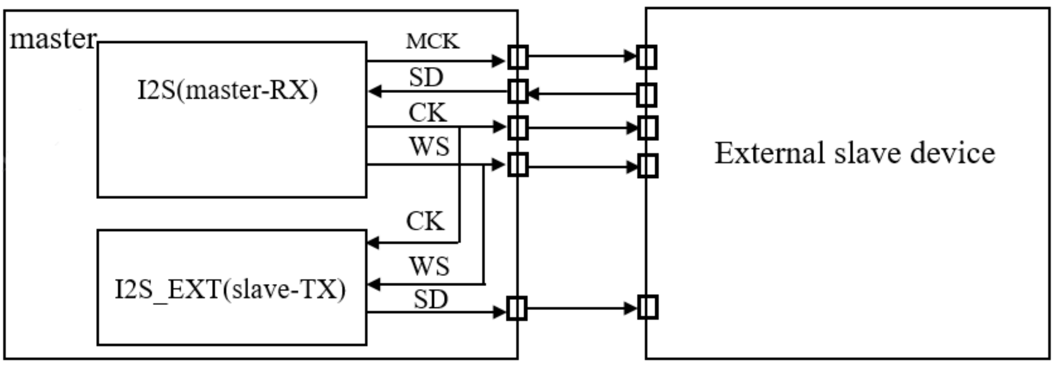
24.3.1 I2S 全双工

I2S 可与 I2SEXT 模块组合在一起支持 I2S 全双工模式。在 I2S 与 I2SEXT 组合全双工模块时，I2S 可配置为主或从模式，I2SEXT 只能配置为从模式。I2SEXT 共享 I2S 的 CK 和 WS，对应的有以下几种配置：

I2S 主发（I2SCFG=10）, I2S_EXT 从收（I2SCFG=01）:

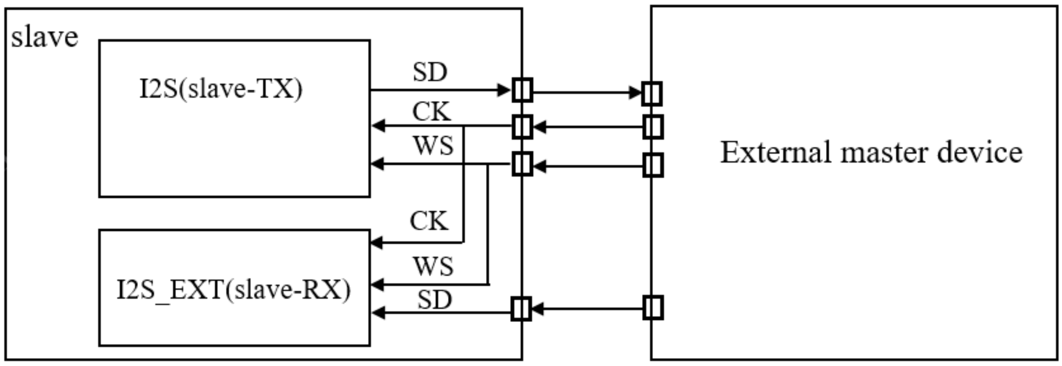


I2S 主收（I2SCFG=11）, I2S_EXT 从发（I2SCFG=00）:

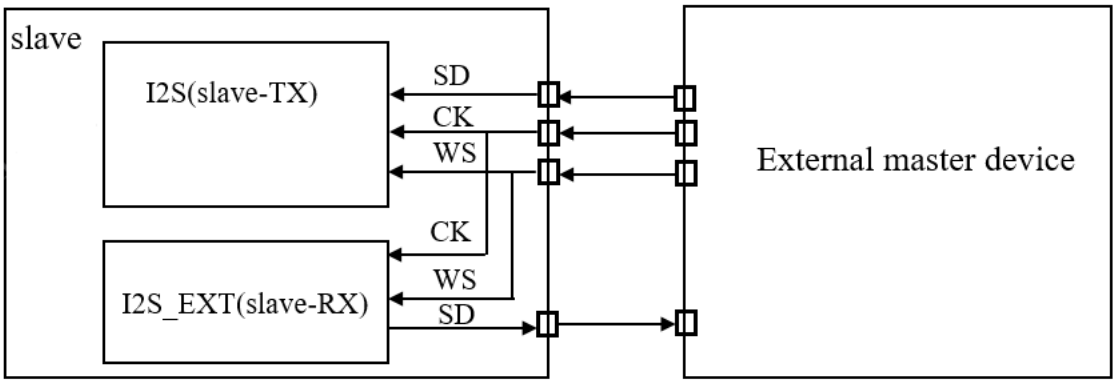


I2S 从发（I2SCFG=00）, I2S_EXT 从收（I2SCFG=01）:

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057



I2S 从收（I2SCFG=01）, I2S_EXT 从发（I2SCFG=00）:



24.3.2 支持的音频协议

I2S与I2S_EXT模块均有一个16位数据寄存器用作发送或接收。软件在对数据寄存器写入数据时，根据当前传输中的声道写入相应的数据；同样，在读取寄存器数据时，通过检查寄存器CHSIDE位来判明接收到的数据属于哪个声道。左声道总是先于右声道发送数据(CHSIDE位在PCM协议下无意义)。

通过设置 SPI_I2S_CFGR.DATLEN 位，用户可以设置待传输的数据长度，通过设置 SPI_I2S_CFGR.CHLEN 位，设置通道的数据位宽。下面有 4 种数据格式发送数据：

- 16 位数据打包成 16 位的数据帧
- 16 位数据打包成 32 位的数据帧（前面的 16 位是有意义的数据，后面的 16 位数据被硬件设置为 0）
- 24 位数据打包成 32 位数据帧（前面的 24 位数据是有意义的数据，后面 8 位数据被硬件设置为 0）
- 32 位的数据打包成 32 位数据帧

I^2S 使用和 SPI 相同的 SPI_DAT 寄存器发送和接收 16 位宽的数据。如果 I^2S 需要发送或接收 24 位或 32 位宽数据，CPU 需读或写 SPI_DAT 寄存器 2 次。另一方面，当 I^2S 发送或接收 16 位宽数据，CPU 仅需读或写 SPI_DAT 寄存器一次。

不管采用哪个数据格式和通讯标准，I^2S 总是先发送数据高位（MSB）。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

26.4.2.1 飞利浦标准

采用 I²S 飞利浦标准，发送数据的设备在时钟下降沿改变数据，接收数据的设备在时钟上升沿采样数据。WS 信号在第一个数据位（MSB）发送前一个时钟应有效，时钟信号下降沿将变化。

图 24-14 I²S 飞利浦协议波形（16/32 位全精度，CLKPOL = 0）

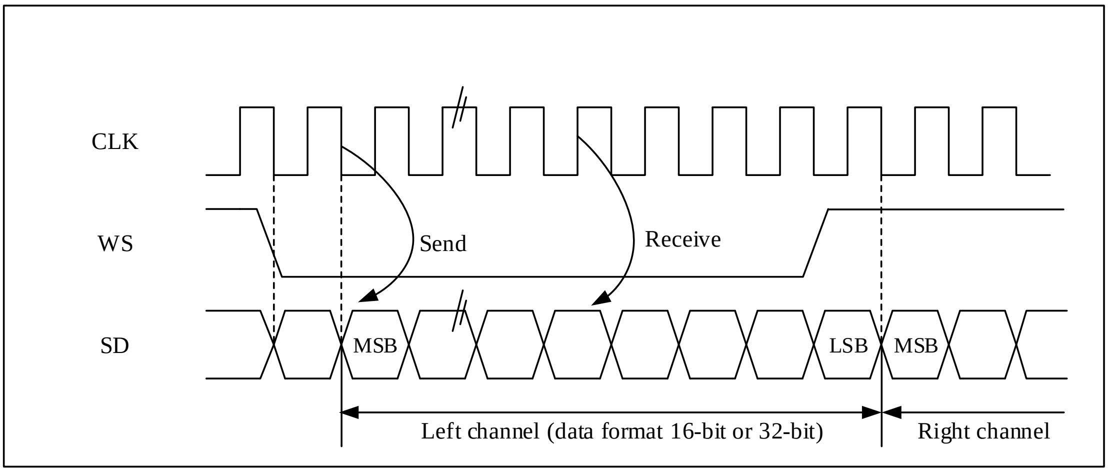
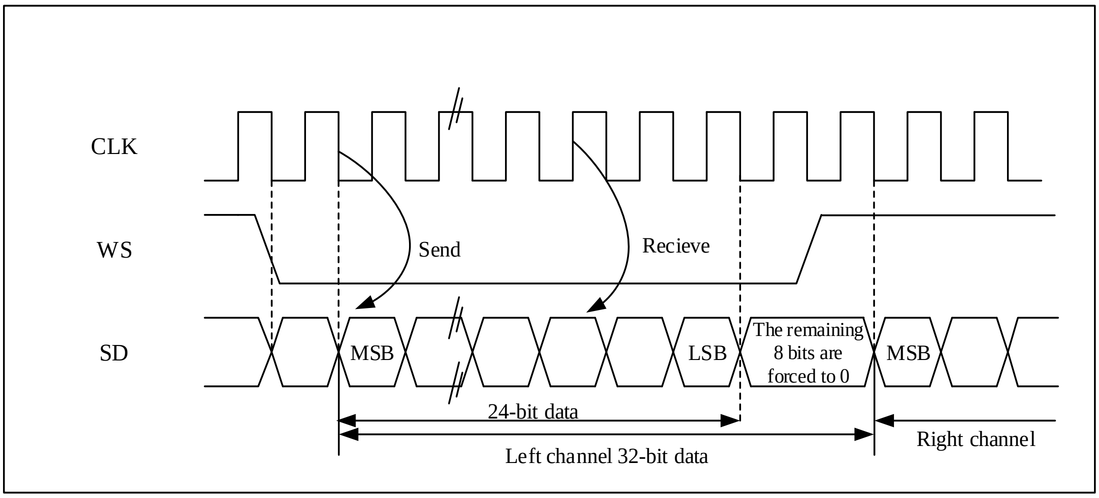


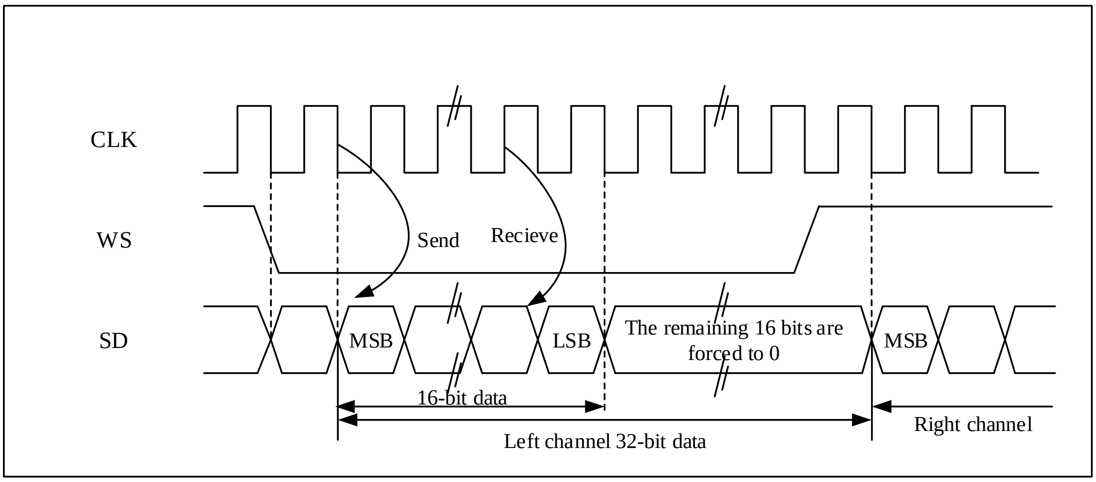
图 24-15 I²S 飞利浦协议标准波形（24 位帧，CLKPOL = 0）



如果 24 位数据需要打包成 32 位数据帧格式，每帧数据传输时，CPU 需要读或写 SPI_DAT 寄存器 2 次。例如，如果用户发送 24 位数据 0x95AA66，CPU 将首先写 0x95AA 进 SPI_DAT 寄存器，然后再写 0x66XX 进 SPI_DAT 寄存器（仅高 8 位数据有效，低 8 位数据是无意义的，可以是任何值）；如果用户接收 24 位数据 0x95AA66，CPU 将首先读 SPI_DAT 寄存器得到 0x95AA，然后再读 SPI_DAT 寄存器得到 0x6600（仅高 8 位数据有效，低 8 位数据总是 0）。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 24-16 I²S 飞利浦协议标准波形（16 位扩展至 32 位包帧，CLKPOL = 0）



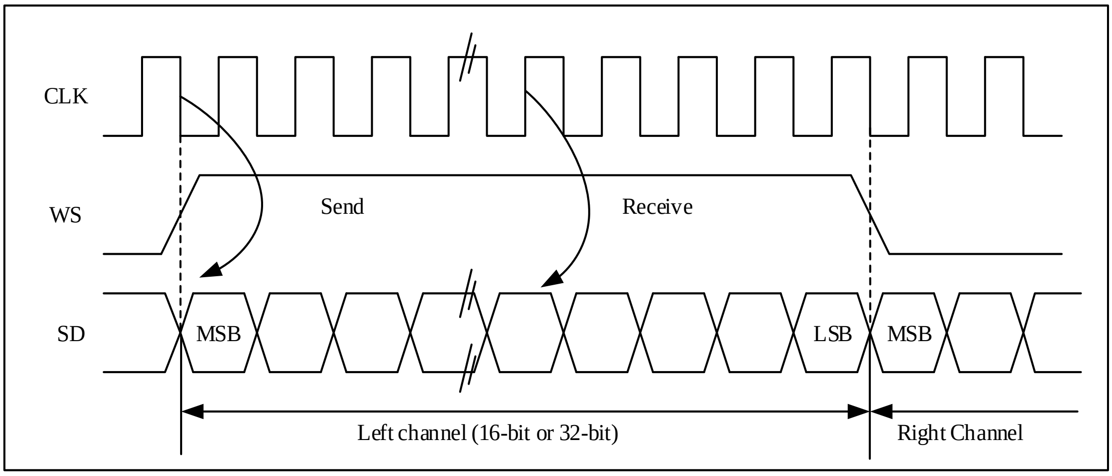
如果 16 位数据需要打包进 32 位数据帧格式，每帧数据传输时，CPU 仅需要读或写 SPI_DAT 寄存器一次。用于扩展到 32 位的低 16 位数据总是设置为 0x0000。例如，如果用户发送或接收 16 位的数据 0x89C1（扩展到 32 位数据是 0x89C10000）。数据发送过程中，高 16 位半字（0x89C1）需要写进 SPI_DAT 寄存器；直到 SPI_STS.TE 位置 1，用户可以写入新的数据。如果用户使能相应的中断，则中断产生。发送由硬件执行，即使最后 16 位（0x0000）没有发送，硬件将设置 SPI_STS.TE 位为 1，且产生相应的中断。接收数据过程，每次设备收到高 16 位半字（0x89C1）后，SPI_STS.RNE 标志位将置 1。如果用户使能相应的中断，则中断产生。这样，在 2 次读和写之间 CPU 有更多时间，且可以防止上溢或下溢的情况发生。

26.4.2.2 MSB对齐标准

在 MSB 对齐标准里，发送数据的设备将在时钟下降沿改变数据，接收数据的设备在时钟上升沿采样数据。WS 信号和第一个数据位（MSB）同时产生。

这个标准里，数据发送和接收处理和 I²S 飞利浦标准一样。

图 24-17 MSB 对齐 16 位或 32 位全精度，CLKPOL = 0



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 24-18 MSB 对齐 24 位数据，CLKPOL = 0

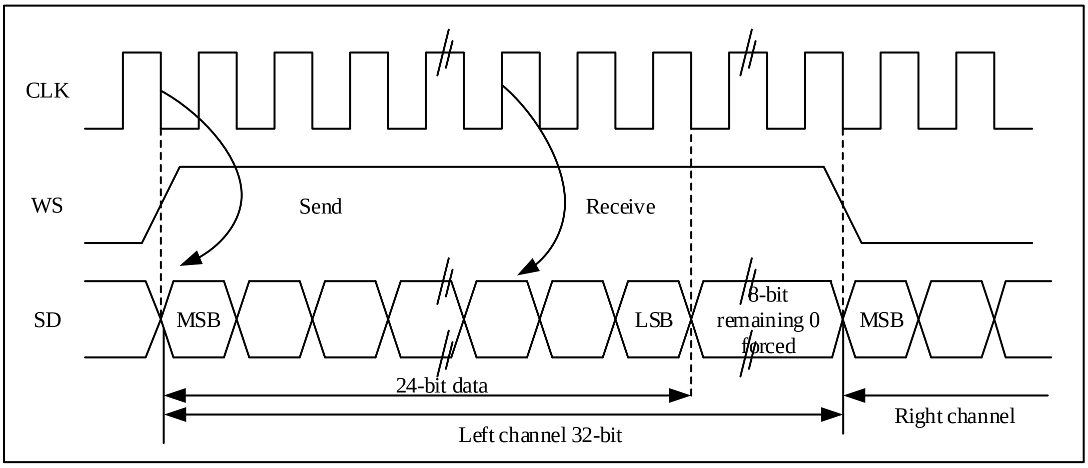
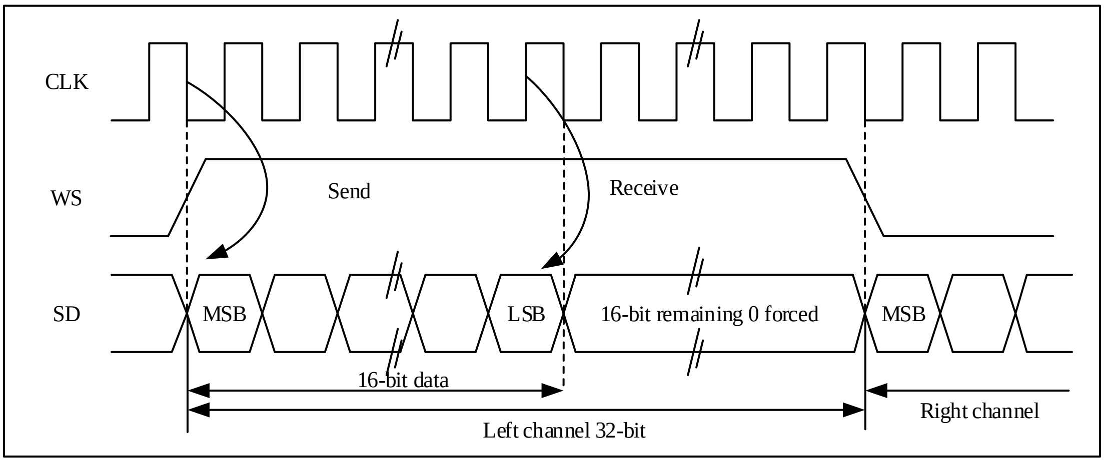


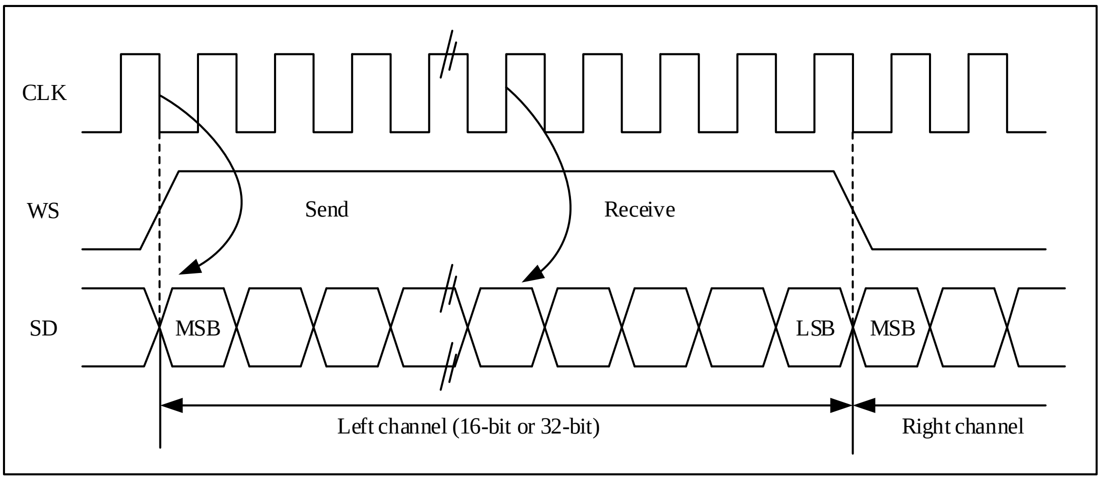
图 24-19 MSB 对齐 16 位数据扩展到 32 位包帧，CLKPOL = 0



26.4.2.3 LSB对齐标准

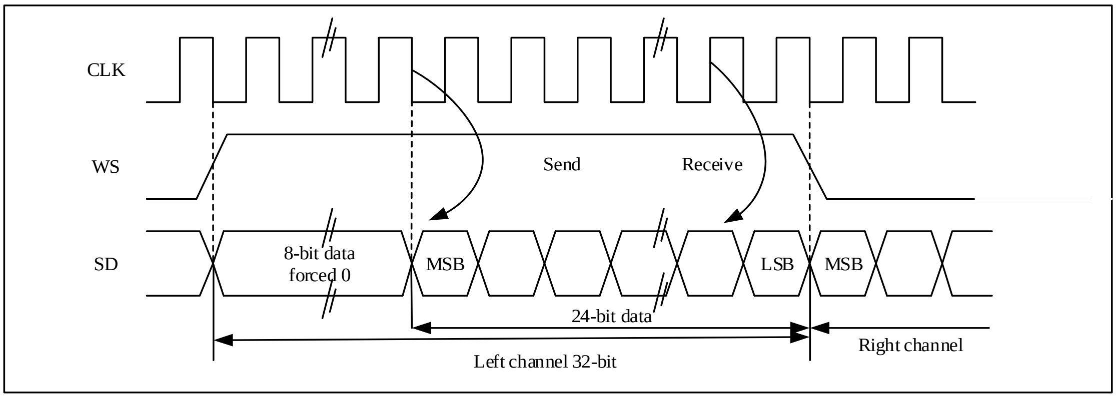
此标准与 MSB 对齐标准类似(在 16 位或 32 位全精度帧格式下无区别)。

图 24-20 LSB 对齐 16 位或 32 位全精度，CLKPOL = 0



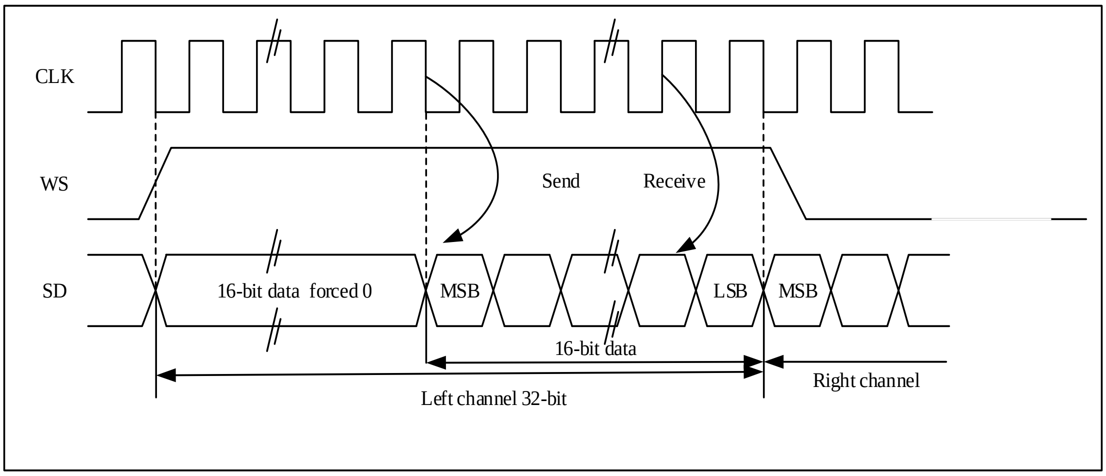
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 24-21 LSB 对齐 24 位数据，CLKPOL = 0



如果 24 位数据需要打包成 32 位数据帧格式，每帧数据传输时，CPU 需要读或写 SPI_DAT 寄存器 2 次。例如，用户发送 24 位数据 0x95AA66，CPU 将先写 0xXX95（仅低 8 位数据有效，高 8 位数据没有意义，可以是任何值）进 SPI_DAT 寄存器，然后再写 0xAA66 进 SPI_DAT 寄存器。如果用户接收 24 位数据 0x95AA66，CPU 将先读 SPI_DAT 寄存器得到 0x0095（仅低 8 位数据有效，高 8 位总是为 0），然后再读 SPI_DAT 寄存器得到 0xAA66。

图 24-22 LSB 对齐 16 位数据扩展到 32 位包帧，CLKPOL = 0



如果 16 位数据需要打包进 32 位数据帧格式，每帧数据传输时，CPU 仅需要读或写 SPI_DAT 寄存器一次。扩展到 32 位数据的高 16 位被硬件设置为 0x0000，如果用户发送或接收 16 位数据 0x89C1（扩展到 32 位数是 0x000089C1）。发送过程中，高 16 位半字（0x0000）需要先写到 SPI_DAT 寄存器；一旦有效数据开始发送，下一个 TE 事件将产生。接收数据过程中，一旦设备接收到有效数据，RNE 事件将发生。这样，在 2 次读和写之间 CPU 将有更多时间，可以防止上溢或下溢的情况发生。

26.4.2.4 PCM标准

在 PCM 标准里，有短帧和长帧两种帧结构。用户可以设置 SPI_I2S_CFGR.PCMSYNC 位选择帧结构。WS 信号指示帧同步信息。

用于同步长帧的 WS 信号是 13 位有效的；用于同步短帧的 WS 信号长度是 1 位。

数据接收和发送的处理标准和 I^2S 飞利浦标准是一样的。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 24-23 PCM 标准波形（16 位）

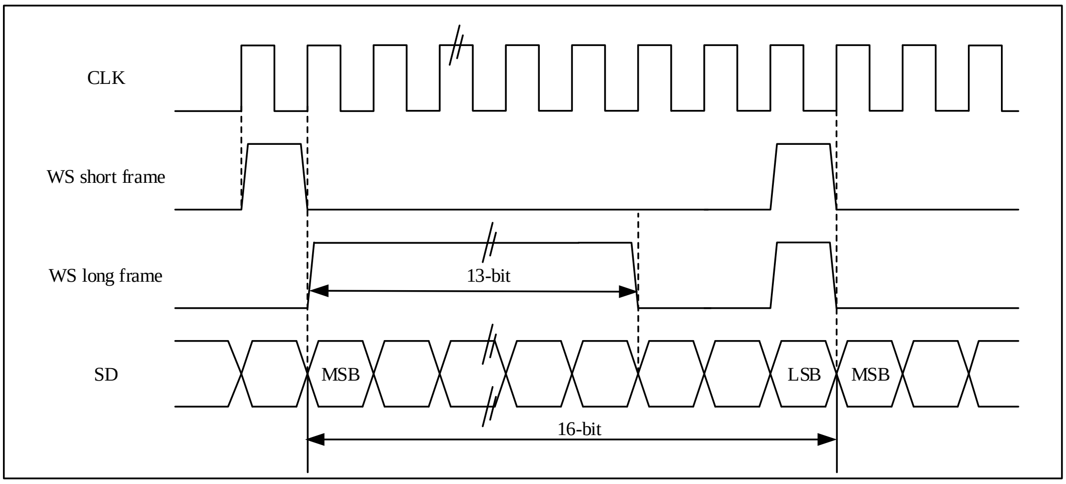
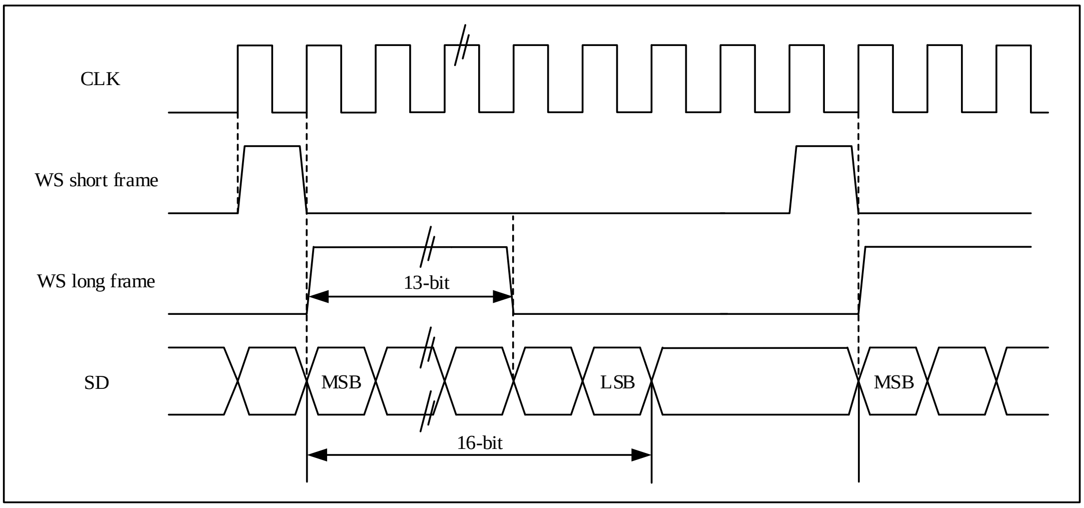


图 24-24 PCM 标准波形（16 位扩展到 32 位包帧）

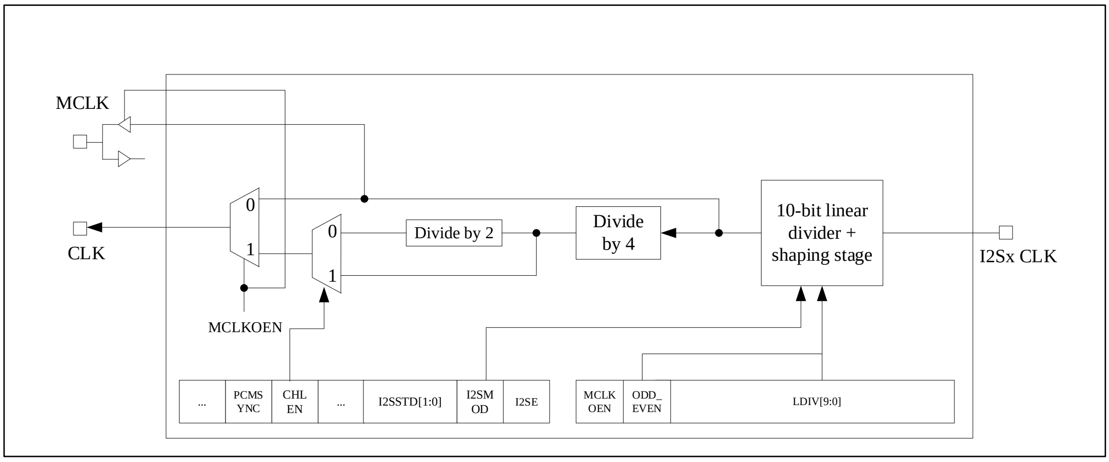


24.3.3 时钟发生器

对于主设备，为了获得需要的音频频率，需要正确地对线性分频器进行设置

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 24-25 I²S 时钟发生器结构



注： I^2SxCLK 的时钟源可以是独立 SHRTPLL、HSI、SYSCLK、外部时钟输入。

I^2S 的比特率决定了在 I^2S 数据线上的数据流和 I^2S 的时钟信号频率。

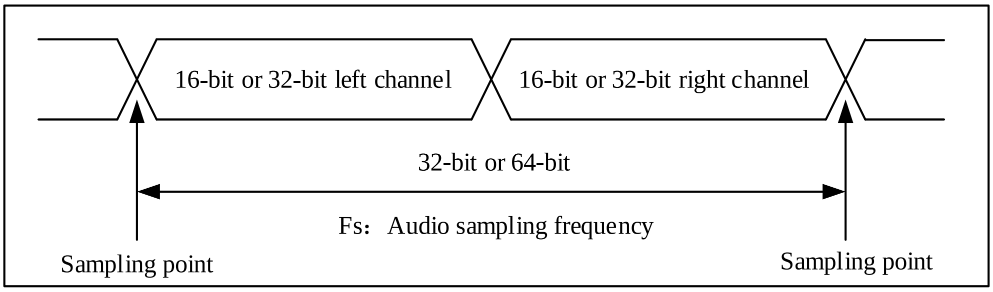
I^2S 比特率 ＝ 每个声道的比特数 × 声道数目 × 音频采样频率

对于一个具有左右声道和 16 位音频的信号，I^2S 比特率计算如下：

I^2S 比特率 $= 16 \times 2 \times F_S$

如果包长为 32 位，则有：I^2S 比特率 $= 32 \times 2 \times F_S$

图 24-26 音频采样频率定义



通过设置 SPI_I2S_PREDIV.ODDEVEN 位和 SPI_I2S_PREDIV.LDIV 位，可以设置音频的采样信号频率。音频的采样频率可以是 192KHz、96kHz、48kHz、44.1kHz、32kHz、22.05kHz、16kHz 或者 8kHz（或任何此范围内的数值）。参照以下公式设置线性分频器：

MCLKOEN = 1，CHLEN = 0 时，$F_S = I^2SxCLK/[(16 \times 2) \times ((2 \times LDIV) + ODDEVEN) \times 8]$

MCLKOEN = 1，CHLEN = 1 时，$F_S = I^2SxCLK/[(32 \times 2) \times ((2 \times LDIV) + ODDEVEN) \times 4]$

MCLKOEN = 0，CHLEN = 0 时，$F_S = I^2SxCLK/[(16 \times 2) \times ((2 \times LDIV) + ODDEVEN)]$

MCLKOEN = 0，CHLEN = 1 时，$F_S = I^2SxCLK/[(32 \times 2) \times ((2 \times LDIV) + ODDEVEN)]$

参照下表的时钟配置得到精确的音频频率。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 24-2 使用标准的 8MHz HSE 时钟得到精确的音频频率

SYSCLK (MHz)	I²S_LDIV		I²S_ODDEVEN		MCLK	期望值 Fs(Hz)	实际的 Fs(Hz)		误差	
	16 bits	32 bits	16 bits	32 bits			16 bits	32 bits	16 bits	32 bits
240	19	10	1	0	without	192000	192307.7	187500	0.16%	2.34%
240	39	19	0	1	without	96000	96153.85	96153.85	0.16%	0.16%
240	78	39	0	0	without	48000	48076.92	48076.92	0.16%	0.16%
240	85	42	0	1	without	44100	44117.65	44117.65	0.04%	0.04%
240	117	58	0	1	without	32000	32051.28	32051.28	0.16%	0.16%
240	170	85	0	0	without	22050	22058.82	22058.82	0.04%	0.04%
240	234	117	1	0	without	16000	15991.47	16025.64	0.05%	0.16%
240	340	170	0	0	without	11025	11029.41	11029.41	0.04%	0.04%
240	469	234	0	1	without	8000	7995.736	7995.736	0.05%	0.05%
240	2	2	1	1	yes	192000	187500	187500	2.34%	2.34%
240	5	5	0	0	yes	96000	93750	93750	2.34%	2.34%
240	10	10	0	0	yes	48000	46875	46875	2.34%	2.34%
240	10	10	1	1	yes	44100	44642.86	44642.86	1.23%	1.23%
240	14	14	1	1	yes	32000	32327.59	32327.59	1.02%	1.02%
240	21	21	1	1	yes	22050	21802.33	21802.33	1.12%	1.12%
240	29	29	1	1	yes	16000	15889.83	15889.83	0.69%	0.69%
240	42	42	1	1	yes	11025	11029.41	11029.41	0.04%	0.04%
240	58	58	1	1	yes	8000	8012.821	8012.821	0.16%	0.16%

24.3.4 I²S 发送和接收流程

主模式全双工时对应的有以下几种配置方式：

- I2S 主发（I2SCFG=10）, I2S_EXT 从收（I2SCFG=01）;
- I2S 主收（I2SCFG=11）, I2S_EXT 从发（I2SCFG=00）;

设置I2S工作在主模式，串行时钟由引脚CK输出，字选信号由引脚WS产生。可以通过设置寄存器SPI_I2S_PREDIV.MCLKOEN位来选择输出或者不输出主时钟(MCK)。

配置流程

1. 设置寄存器SPI_I2S_PREDIV.LDIV[9:0]定义与音频采样频率相符的串行时钟波特率。同时也要定义寄存器SPI_I2S_PREDIV.ODDEVEN位。

2. 设置CLKPOL位定义通信用时钟在空闲时的电平状态。如果需要向外部的DAC/ADC音频器件提供主时钟MCLK，将寄存器SPI_I2S_PREDIV.MCLKOEN位置为'1'。

3. 设置寄存器SPI_I2S_CFGR.I2SMOD位为'1'激活I2S功能，设置SPI_I2S_CFGR.I2SSTD[1:0]和SPI_I2S_CFGR.PCMSYNC位选择所用的I2S标准，设置SPI_I2S_CFGR.CHLEN选择每个声道的数据位数。还要设置寄存器SPI_I2S_CFGR.I2SCFG[1:0]选择I2S主模式和方向(发送端还是接收端)。

4. 若需要，可以通过设置寄存器SPI_CTRL2来打开所需的中断功能和DMA功能。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

5. 将寄存器SPI_I2S_CFGR.I2SE位置为’1’。

6. 引脚 WS 和 CK 需要配置为输出模式。如果寄存器 SPI_I2S_PREDIV.MCLKOEN 位为’1’，引脚 MCK 也要配置成输出模式。

24.3.5 I2S 主模式

26.4.5.1 主模式发送流程

当写入1个半字(16位)的数据至发送缓存，发送流程开始。

假设第一个写入发送缓存的数据对应的是左声道数据。当数据从发送缓存移到移位寄存器时，标志位TE置’1’，这时，要把对应右声道的数据写入发送缓存。标志位CHSIDE提示了目前待传输的数据对应哪个声道。标志位CHSIDE的值在TE为’1’时更新，因此它在TE为’1’时有意义。在先左声道后右声道的数据都传输完成后，才能被认为是一个完整的数据帧。不可以只传输部分数据帧，如仅有左声道的数据。

当发出第一位数据的同时，半字数据被并行地传送至 16 位移位寄存器，然后后面的位依次按高位在先的顺序从引脚 I2S_SD/I2S_EXT_SD 发出。每次数据从发送缓存移至移位寄存器时，标志位 TE 置为’1’，如果寄存器 SPI_CTRL2.TEINTEN 位为’1’，则产生中断。

为了保证连续的音频数据传输，建议在当前传输完成之前，对寄存器SPI_DAT写入下一个要传输的数据。 建议在要关闭I2S功能时，等待标志位SPI_STS.TE=1及SPI_STS.BUSY=0，再将SPI_I2S_CFGR.I2SE位清’0’。

26.4.5.2 主模式接收流程

接收流程的配置步骤除了第 3 点外，与发送流程的一致(参见前述的发送流程)，需要通过配置 I2SCFG[1:0]来选择主接收模式。

无论何种数据和声道长度，音频数据总是以 16 位包的形式接收。即每次填满接收缓存后，标志位 RNE 置’1’，如果寄存器 SPI _CTRL2 的 RNEINTEN 位为’1’，则产生中断。根据配置的数据和声道长度，收到左声道或右声道的数据会需要 1 次或者 2 次把数据传送到接收缓存的过程。

对寄存器 SPI _DAT 进行读操作即可清除 RNE 标志位。每次接收以后即更新 CHSIDE。它的值取决于 I2S 单元产生的 WS 信号。如果前一个接收到的数据还没有被读取，又接收到新数据，即发生上溢，标志位 OVER 被置为’1’，如果寄存器 SPI _CTRL2.ERRINTEN 位为’1’，则产生中断，表示发生了错误。

若要关闭 I2S 功能，需要执行特别的操作，以保证 I2S 模块可以正常地完成传输周期而不会开始新的数据传输。操作过程与数据配置和通道长度、以及音频协议的模式相关：

- 16 位数据扩展到 32 位通道长度(DATLEN=00 并且 CHLEN=1)，使用 LSB(低位)对齐模式(I2SSTD=10)
  - 等待倒数第二个(n-1)SPI_STS.RNE=1 ；
  - 等待 17 个 I2S 时钟周期(使用软件延迟)；
  - 关闭 I2S (SPI_I2S_CFGR.I2SE=0)。
- 16 位数据扩展到 32 位通道长度(DATLEN=00 并且 CHLEN=1)，使用 MSB(高位)对齐、飞利浦或 PCM 模式(分别为 I2SSTD=00，I2SSTD=01 或 I2SSTD=11)
  - 等待最后一个 RNE=1 ；
  - 等待 1 个 I2S 时钟周期(使用软件延迟)；
  - 关闭 I2S (SPI_I2S_CFGR.I2SE=0)。
- 所有其它 DATLEN 和 CHLEN 的组合， I2SSTD 选择的任意音频模式，使用下述方式关闭 I2S：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 等待倒数第二个 RNE=1 ；
- 等待一个 I2S 时钟周期(使用软件延迟)；
- 关闭 I2S (SPI_I2S_CFGR.I2SE=0)。

24.3.6 I2S 从模式（全双工）

从模式全双工时对应的有以下几种配置方式：

（1）I2S 从发（I2SCFG=00）, I2S_EXT 从收（I2SCFG=01）；

（2）I2S 从收（I2SCFG=01）, I2S_EXT 从发（I2SCFG=00）；

在从模式下，I2S/I2S_EXT可以设置成发送和接收模式。从模式的配置方式基本遵循和配置主模式一样的流程。在从模式下，不需要I2S接口提供时钟。时钟信号和WS信号都由外部主I2S设备提供，连接到相应的引脚上。因此用户无需配置时钟。

配置步骤如下：

1. 设置寄存器SPI_I2S_CFGR.I2SMOD位激活I2S功能；设置I2SSTD[1:0]来选择所用的I2S标准；设置DATLEN[1:0] 选择数据的比特数；设置CHLEN选择每个声道的数据位数。设置寄存器SPI_I2S_CFGR.I2SCFG[1:0]选择I2S从模式的数据方向(发送端还是接收端)。

2. 根据需要，设置寄存器SPI_CTRL2打开所需的中断功能和DMA功能。

3. 必须设置寄存器 SPI_I2S_CFGR.I2SE 位为’1’。

26.4.6.1 从模式发送流程

当外部主设备发送时钟信号，并且当 WS 信号请求传输数据时，发送流程开始。必须先使能从设备，并且写入 I2S 数据寄存器之后，才能开始通信。

对于 I2S 的 MSB 对齐和 LSB 对齐模式，第一个写入数据寄存器的数据项对应左声道的数据。当开始通信时，数据从发送缓冲器传送到移位寄存器，然后标志位 TE 置为’1’；这时，要把对应右声道的数据项写入 I2S 数据寄存器。

标志位 CHSIDE 提示了目前待传输的数据对应哪个声道。与主模式的发送流程相比，在从模式中， CHSIDE 取决于来自外部主设备的 WS 信号。这意味着从 I2S 在接收到主端生成的时钟信号之前，就要准备好第一个要发送的数据。 WS 信号为’1’表示先发送左声道。

当发出第一位数据的时候，半字数据并行地通过 I2S 内部总线传输至 16 位移位寄存器，然后其它位依次按高位在先的顺序从引脚 I2S_SD/I2S_EXT_SD 发出。每次数据从发送缓冲器传送至移位寄存器时，标志位 TE 置’1’，如果寄存器 SPI_CTRL2.TEINTEN 位为’1’，则产生中断。

在对发送缓冲器写入数据前，要确认标志位 TE 为’1’。为了保证连续的音频数据传输，建议在当前传输完成之前，对寄存器 SPI_DAT 写入下一个要传输的数据。如果在代表下一个数据传输的第一个时钟边沿到达之前，新的数据仍然没有写入寄存器 SPI_DAT，下溢标志位会置’1’ ，并可能产生中断；它指示软件发送数据错误。如果寄存器 SPI_CTRL2.ERRINTEN 位为’1’，在寄存器 SPI_STS 的标志位 UNDER 为高时，就会产生中断。建议在这时关闭 I2S，然后重新从左声道开始发送数据。

26.4.6.2 从模式接收流程

配置步骤除了第 1 点外，与发送流程一致。需要通过配置 I2SCFG[1:0]来选择从接收模式。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

无论何种数据和声道长度，音频数据总是以 16 位包的形式接收，即每次填满接收缓存，标志位 RNE 置'1'，如果寄存器 SPI_CTRL2.RNEINTEN 位为'1'，则产生中断。按照不同的数据和声道长度设置，收到左声道或者右声道数据会需要 1 次或者 2 次传输数据至接收缓冲器的过程。

每次接收到新数据以后即更新 CHSIDE，它对应 I2S 单元产生的 WS 信号。读取 SPI_DAT 寄存器，将清除 RNE 位。在还没有读出前一个接收到的数据，又接收到新数据时，即产生上溢，并设置标志位 OVER 为'1'；如果设置寄存器 SPI_CTRL2.ERRINTEN 位为'1'，则产生中断，指示发生了错误。要关闭 I2S 功能时，需要在接收到最后一次 RNE=1 时将 SPI_I2S_CFGR.I2SE 位清 0。

24.3.7 状态标识

在 SPI_STS 寄存器有下面 4 个标志位，用于监视 I^2S 总线状态。

忙标志位(BUSY)

SPI_STS.BUSY标志由硬件设置与清除(写入此位无效果)，该标志位指示I2S通信层的状态。该位为'1'时表明I2S通讯正在进行中，但有一个例外：主接收模式(I2SCFG=11)下，在接收期间SPI_STS.BUSY标志始终为低。

在软件要关闭I2S模块之前，可以使用SPI_STS.BUSY标志检测传输是否结束，这样可以避免破坏最后一次传输。
当传输开始时，SPI_STS.BUSY标志被置为1'，除非I2S模块处于主接收模式。
下述情况时，该标志位被清除：

- 当传输结束时(除了主发送模式，这种模式下通信是连续的)；
- 当关闭 I2S 模块时。

当通信是连续的时候：

- 在主发送模式时，整个传输期间，SPI_STS.BUSY标志始终为高；
- 在从模式时，每个数据项传输之间，SPI_STS.BUSY标志在1个I2S时钟周期内变低。

发送缓存空标志位(TE)
该标志位为'1'表示发送缓冲器为空，可以对发送缓冲器写入新的待发送数据。在发送缓冲器中已有数据时，标志位清'0'。在 I2S 被关闭时(SPI_I2S_CFGR.I2SE 为'0')，该标志位也为'0'。

接收缓存非空标志位(RNE)
该标志位置'1'表示在接收缓存里有接收到的有效数据。在读取寄存器 SPI_DAT 时，该位清'0'。

声道标志位(CHSIDE)

在发送模式下，该标志位在 TE 为高时刷新，指示从 I2S_SD/I2S_EXT_SD 引脚上发送的数据所在的声道。如果在从发送模式下发生了下溢错误，该标志位的值无效，在重新开始通讯前需要把 I2S 关闭再打开。在接收模式下，该标志位在寄存器 SPI_DAT 接收到数据时刷新，指示接收到的数据所在的声道。如果发生错误(如上溢 OVER)，该标志位无意义，需要将 I2S 关闭再打开。在 PCM 标准下，无论短帧格式还是长帧格式，这个标志位都没有意义。

如果寄存器 SPI_STS 的标志位 OVER 或 UNDER 为'1'，且寄存器 SPI_CTRL2.ERRINTEN 位为'1'，则会产生中断。中断源已经被清除后可以通过读寄存器 SPI_STS 来清除中断标志。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

24.3.8 错误标志位

SPI_STS 寄存器有 2 个错误标志位。

上溢标志位（OVER）

如果还没有读出前一个接收到的数据时，又接收到新的数据，即产生上溢，该标志位置’1’，如果寄存器 SPI_CTRL2.ERRINTEN 位为’1’，则产生中断指示发生了错误。这时，接收缓存的内容，不会刷新为从发送设备送来的新数据。对寄存器 SPI_DAT 的读操作返回最后一个正确接收到的数据。其他所有在上溢发生后由发送设备发出的 16 位数据都会丢失。通过先读寄存器 SPI_DAT 再读寄存器 SPI_STS 可清除该标志位。

下溢标志位（UNDER）

在从发送模式下，如果数据传输的第一个时钟边沿到达时，新的数据仍然没有写入 SPI_DAT 寄存器，该标志位会被置’1’。在寄存器 SPI_I2S_CFGR 的 I2SMOD 位置’1’后，该标志位才有效。如果寄存器 SPI_CTRL2.ERRINTEN 位为’1’，就会产生中断。通过对寄存器 SPI_STS 进行读操作来清除该标志位。

24.3.9 I²S 中断

所有 I²S 中断如下表所列。

表 24-3 I²S 中断请求

中断事件	事件标志位	使能控制位
发送缓存空标志	TE	TEINTEN
接收缓存非空标志	RNE	RNEINTEN
下溢标志	UNDER	ERRINTEN
上溢标志	OVER	

24.3.10 DMA 功能

为了达到最大通信速度，需要及时往 I2S 发送缓冲器填数据，同样接收缓冲器中的数据也必须及时读走以防止溢出。为了方便高速率的数据传输，I2S 实现了一种采用简单的请求/应答的 DMA 机制。

当 SPI_CTRL2 寄存器上的对应使能位被设置时， I2S 模块可以发出 DMA 传输请求。发送缓冲器和接收缓冲器亦有各自的 DMA 请求。

- 发送时，在每次 TE 被设置为’1’时发出 DMA 请求，DMA 控制器则写数据至 SPI_DAT 寄存器， TE 标志因此而被清除。
- 接收时，在每次 RNE 被设置为’1’时发出 DMA 请求，DMA 控制器则从 SPI_DAT 寄存器读出数据，RNE 标志因此被清除。

当只使用 I2S/ I2S_EXT 发送数据时，只需使能 I2S/ I2S_EXT 的发送 DMA 通道。此时，因为没有读取收到的数据，OVER 被置为’1’。当只使用 I2S/I2S_EXT 接收数据时，只需使能 I2S/ I2S_EXT 的接收 DMA 通道。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

24.4 SPI 和 I^2S 寄存器

24.4.1 SPI 寄存器总览

表 24-4 SPI 寄存器总览

Offset	Register	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0x00	SPI_CTRL1	BIDIMODE	BIDIROEN	RONLY	SSMEN	SSEL	SSOEN	CRCNEXT	DATFF	LSBFF	MSEL	CLKPHA	CLKPOL	Reserved	BR[2:0]		
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0
0x04	SPI_CTRL2	Reserved	RXCPINTEN	CRCNMISEN	RXFFUINTEN	RXFHFINTEN	TXFHEINTEN	FIFOCLR	FIFOEN	SS_POL	ERRINTEN	RNEINTEN	TEINTEN	CRCEN	TDMAEN	RDMAEN	SPIEN
	Reset value		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x08	SPI_STS	Reserved			RXTSCP	RXFIFFU	TXFIFFU	RXFIFHF	TXFIFHE	CHSIDE	UNDER	OVER	MODERR	CRCERR	BUSY	RNE	TE
	Reset value				0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
0x0C	SPI_DAT	DAT[15:0]															
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x10	SPI_CRCTDAT	CRCTDAT[15:0]															
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x14	SPI_CRCRDAT	CRCRDAT[15:0]															
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x18	SPI_CRCPOLY	CRCPOLY [15:0]															
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
0x1C	SPI_I2S_CFGR	Reserved				PCMBYPASS	CLKPOL	PCMSYNC	CHLEN	DATLEN[1:0]		I2SCFG[1:0]		I2SSTD[1:0]		I2SMOD	I2SE
	Reset value					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x20	SPI_I2S_PREDIV	Reserved				MCLKOEN	ODDEVEN	LDIV[9:0]									
	Reset value					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0x24	SPI_RX_FIFO	RXFIFDAT[15:0]															
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x28	SPI_FIFO_NUM	Reserved									RXFBSNUM[2:0]			Reserved	TXFBSNUM[2:0]		
	Reset value										1	0	0		1	0	0
0x30	SPI_FIFO_CNT	Reserved								RXFIFCNT[3:0]				TXFIFCNT[3:0]			
	Reset value									0	0	0	0	0	0	0	0
0x34	SPI_TRANS_NUM	TRANSNUM[15:0]															
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x38	SPI_CR3	Reserved												DELAYTIME[3:0]			
	Reset value													0	0	0	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Offset	Register	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0x204	I2S_CTRL2	Reserved									ERRINTEN	RNEINTEN	TEINTEN	Reserved	TDMAEN	RDMAEN	Reserved
	Reset value										0	0	0		0	0	
0x208	I2S_STS	Reserved								CHSIDE	UNDER	OVER	Reserved		BUSY	RNE	TE
	Reset value									0	0	0			0	0	1
0x20C	I2S_DAT	DAT[15:0]															
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x21C	I2S_CFGR	Reserved					CLKPOL	PCMSYNC	CHLEN	DATLEN[1:0]		I2SCFG[1:0]		I2SSTD[1:0]		I2SMOD	I2SE
	Reset value						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

24.4.2 SPI 控制寄存器 1（SPI_CTRL1）

地址偏移：0x00

复位值：0x0000

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
BIDIRMODE	BIDIROEN	RONLY	SSMEN	SSEL	SSOEN	CRCNEXT	DATFF	LSBFF	MSEL	CLKPHA	CLKPOL	Reserved	BR[2:0]		
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw		rw		

位域	名称	描述
15	BIDIRMODE	双向数据模式使能 0：选择“双线双向”模式； 1：选择“单线双向”模式。 *注：I2S 模式下不使用。*
14	BIDIROEN	双向模式下的输出使能 和 SPI_CTRL1.BIDIMODE 位一起决定在“单线双向”模式下数据的输出方向 0：输出禁止(只收模式)； 1：输出使能(只发模式)。 这个“单线”数据线在主设备端为 MOSI 引脚，在从设备端为 MISO 引脚。 *注：I2S 模式下不使用。*
13	RONLY	只接收 该位和 SPI_CTRL1.BIDIMODE 位一起决定在“双线双向”模式下的传输方向。在多个从设备的配置中，在未被访问的从设备上该位被置 1，使得只有被访问的从设备有输出，从而不会造成数据线上数据冲突。 0：全双工(发送和接收)； 1：禁止输出(只接收模式)。 *注：I2S 模式下不使用。*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
12	SSMEN	软件从设备管理 当 SSMEN 被置位时，NSS 引脚上的电平由 SSEL 位的值决定。 0：禁止软件从设备管理； 1：启用软件从设备管理。 *注：I2S 模式下不使用。*
11	SSEL	内部从设备选择 该位只在 SSMEN 位为'1'时有意义。它决定了 NSS 上的电平，在 NSS 引脚上的 I/O 操作无效。 *注：I2S 模式下不使用。*
10	SSOEN	SS 输出使能 0：禁止在主模式下 SS 输出，该设备可以工作在多主设备模式； 1：设备开启时，开启主模式下 SS 输出，该设备不能工作在多主设备模式。 *注：I2S 模式下不使用。*
9	CRCNEXT	下一个发送 CRC 0：下一个发送的值来自发送缓冲区。 1：下一个发送的值来自发送 CRC 寄存器。 发送时：在 SPI_DAT 寄存器写入最后一个数据后应马上设置该位。 接收时：在接收到倒数第二个数据时，设置该位，紧接着收到最后一个数据，紧接着再收到 crc 值。 *注：I2S 模式下不使用。*
8	DATFF	数据帧格式 0：使用 8 位数据帧格式进行发送/接收； 1：使用 16 位数据帧格式进行发送/接收。 *注：只有当 SPI 禁止(SPI_CTRL2.SPIEN=0)时，才能写该位，否则出错。* *注：I2S 模式下不使用。*
7	LSBFF	帧格式 0：先发送 MSB。 1：先发送 LSB。 *注：当通信正在进行的时候，不能修改该位。* *注：I2S 模式下不使用。*
6	MSEL	主设备选择 0：配置为从设备； 1：配置为主设备。 *注：当通信正在进行的时候，不能修改该位。* *注：I2S 模式下不使用。*
5	CLKPHA	时钟相位 0： 数据采样从第一个时钟边沿开始； 1： 数据采样从第二个时钟边沿开始。 *注：当通信正在进行的时候，不能修改该位。* *注：I2S 模式下不使用。*
4	CLKPOL	时钟极性 0： 空闲状态时，SCK 保持低电平； 1： 空闲状态时，SCK 保持高电平。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		注：当通信正在进行的时候，不能修改该位。 *注：I2S 模式下不使用。*
3	Reserved	保留，必须保持复位值
2:0	BR[2:0]	波特率控制 000： fPCLK/2 001： fPCLK/4 010： fPCLK/8 011： fPCLK/16 100： fPCLK/32 101： fPCLK/64 110： fPCLK/128 111： fPCLK/256 *注：当通信正在进行的时候，不能修改该位。* *注：I2S 模式下不使用。*

24.4.3 SPI 控制寄存器 2（SPI_CTRL2）

地址偏移：0x04

复位值：0x0000

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	RXCPINTEN	CRCNMISEN	RXFFUINTEN	RXFHFINTEN	TXFHEINTEN	FIFOCLR	FIFOEN	SS_POL	ERRINTEN	RNEINTEN	TEINTEN	CRCEN	TDMAEN	RDMAEN	SPIEN
	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
15	Reserved	保留，必须保持复位值
14	RXCPINTEN	只收模式下，传输完成中断使能 0：传输完成不使能 1：在传输完成使能
13	CRCNMISEN	NSS 失效后，CRC 是否马上停止计算 0：在时钟存在的情况下，仍然进行计算 1：停止计算
12	RXFFUINTEN	RX FIFO 满中断使能 该 bit 在 fifo 模式下生效 0：RX FIFO 满中断不使能 1：RX FIFO 满中断使能
11	RXFHFINTEN	RX FIFO 半满中断使能 该 bit 在 fifo 模式下生效 0：RX FIFO 半满中断不使能 1：RX FIFO 半满中断使能
10	TXFHEINTEN	TX FIFO 半空中断使能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		该 bit 在 fifo 模式下生效 0：TX FIFO 半空中断不使能 1：TX FIFO 半空中断使能
9	FIFOCLR	FIFO 清除 该 bit 在 fifo 模式下生效 0：FIFO 不清除 1：FIFO 清除
8	FIFOEN	FIFO 模式使能 0：FIFO 模式不使能 1：FIFO 模式使能
7	SS_POL	NSS 极性控制 0：NSS 低电平有效； 1：NSS 高电平有效。
6	ERRINTEN	错误中断使能 SPI 模式：当错误(CRCERR、OVER、MODERR)产生时，该位控制是否产生中断； I2S 模式：当错误(UNDER、OVER)产生时，该位控制是否产生中断。 0：禁止错误中断； 1：允许错误中断。
5	RNEINTEN	接收缓冲区非空中断使能 0：禁止 RNE 中断； 1：允许 RNE 中断，当 RNE 标志置位时产生中断请求。
4	TEINTEN	发送缓冲区空中断使能 0：禁止 TE 中断； 1：允许 TE 中断，当 TE 标志置位为'1'时产生中断请求。
3	CRCEN	硬件 CRC 校验使能 0：禁止 CRC 计算； 1：启动 CRC 计算。 *注：只有在禁止 SPI 时(SPI_CTRL2.SPIEN=0)，才能写该位，否则出错。该位只能在全双工模式下使用。* *注：I2S 模式下不使用。*
2	TDMAEN	发送缓冲区 DMA 使能 当该位被设置时，TE 标志一旦被置位就发出 DMA 请求 0：禁止发送缓冲区 DMA； 1：启动发送缓冲区 DMA。
1	RDMAEN	接收缓冲区 DMA 使能 当该位被设置时，RNE 标志一旦被置位就发出 DMA 请求 0：禁止接收缓冲区 DMA； 1：启动接收缓冲区 DMA。
0	SPIEN	SPI 使能 0：禁止 SPI 设备； 1：开启 SPI 设备。 *注：I2S 模式下不使用。*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		注：当关闭SPI 模块，请遵循关闭SPI 章节的流程操作。

24.4.4 SPI 状态寄存器（SPI_STS）

地址偏移：0x08

复位值：0x0101

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved			RXTSCP	RXFIFFU	TXFIFFU	RXFIFHF	TXFIFHE	CHSIDE	UNDER	OVER	MODERR	CRCERR	BUSY	RNE	TE
			ro	ro	ro	ro	ro	ro	ro	ro	ro	w0c	ro	ro	ro

位域	名称	描述
15:13	Reserved	保留，必须保持复位值。
12	RXTSCP	只收模式下，传输完成状态 0：传输完成标志未置起 1：传输完成标志置起
11	RXFIFFU	RX FIFO 满标志 该 bit 在 fifo 模式下生效 0：RX FIFO 满标志未置起 1：RX FIFO 满标志置起
10	TXFIFFU	TX FIFO 满标志 该 bit 在 fifo 模式下生效 0：TX FIFO 满标志未置起 1：TX FIFO 满标志置起
9	RXFIFHF	RX FIFO 半满标志 该 bit 在 fifo 模式下生效 0：RX FIFO 半满标志未置起 1：RX FIFO 半满标志置起
8	TXFIFHE	TX FIFO 半空标志 该 bit 在 fifo 模式下生效 0：TX FIFO 半空标志未置起 1：TX FIFO 半空标志置起
7	CHSIDE	声道 0：需要传输或者接收左声道； 1：需要传输或者接收右声道。 *注：在SPI 模式下不使用。在PCM 模式下无意义。*
6	UNDER	下溢标志位 0：未发生下溢； 1：发生下溢。 该标志位由硬件置 1，软件读取 SPI_STS 状态寄存器会清 0 在非 fifo 模式下，该标志位不使用

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		在 fifo 模式下，在 rx fifo 为空的情况下，仍然去读 rx fifo 会导致该位置 1
5	OVER	溢出标志 0：没有出现溢出错误； 1：出现溢出错误。 该位由硬件置位，由软件首先读数据寄存器（读两次），再去读 STS 状态寄存器会清零。 在非 fifo 模式下，该标志拉起表示收到数据超过了 dr 的深度，读走数据会被清掉 在 fifo 模式下，在 tx fifo 中存放的数据已满的情况下，再次写入，会拉高标志位
4	MODERR	模式错误 0：没有出现模式错误； 1：出现模式错误。 该位由硬件置位，由软件序列复位。关于软件序列的详细信息，参考错误标志位章节。 *注：I2S 模式下不使用。*
3	CRCERR	CRC 错误标志 0：收到的 CRC 值和 SPI_CRCRDAT 寄存器中的值匹配； 1：收到的 CRC 值和 SPI_CRCRDAT 寄存器中的值不匹配。 该位由硬件置位，由软件写'0'而复位。 *注：I2S 模式下不使用。*
2	BUSY	忙标志 0：SPI 不忙； 1：SPI 正忙于通信，或者发送缓冲非空。 该位由硬件置位或者复位。
1	RNE	接收缓冲非空 0：接收缓冲为空； 1：接收缓冲非空。
0	TE	发送缓冲为空 0：发送缓冲非空； 1：发送缓冲为空。

24.4.5 SPI 数据寄存器（SPI_DAT）

地址偏移：0x0C

复位值：0x0000

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DAT[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
15:0	DAT[15:0]	数据寄存器 待发送或者已经收到的数据 FIFO 模式时，该寄存器为 TX 数据寄存器

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		非 FIFO 模式时，该寄存器为 DAT(RX/TX 共用)数据寄存器 数据寄存器对应两个缓冲区：一个用于写(发送缓冲)；另外一个用于读(接收缓冲)。写操作将数据写到发送缓冲区；读操作将返回接收缓冲区里的数据。 *对 SPI 模式的注释：根据 SPI_CTRL1 的 DATFF 位对数据帧格式的选择，数据的发送和接收可以是 8 位或者 16 位的。为保证正确的操作，需要在启用 SPI 之前就确定好数据帧格式。* *对于 8 位的数据，缓冲器是 8 位的，发送和接收时只会用到 SPI_DAT[7:0]。在接收时，SPI_DAT[15:8] 被强制为 0。* *对于 16 位的数据，缓冲器是 16 位的，发送和接收时会用到整个数据寄存器，即 SPI_DAT[15:0]。*

24.4.6 SPI 发送 CRC 寄存器（SPI_CRCTDAT）

地址偏移：0x10

复位值：0x0000

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CRCTDAT[15:0]															
ro															

位域	名称	描述
15:0	CRCTDAT[15:0]	发送 CRC 寄存器 在启用 CRC 计算时，TXCRC[15:0]中包含了依据将要发送的字节计算的 CRC 数值。当在 SPI_CTRL2.CRCEN 位写入’1’时，该寄存器被复位。CRC 计算使用 SPI_CRCPOLY 中的多项式。 当数据帧格式被设置为 8 位时，仅低 8 位参与计算，并且按照 CRC8 的方法进行；当数据帧格式为 16 位时，寄存器中的所有 16 个位都参与计算，并且按照 CRC16 的标准。 *注：当 SPI_STS.BUSY 标志为’1’时读该寄存器，将可能读到不正确的数值。* *注：在 I2S 模式下不使用。*

24.4.7 SPI 接收 CRC 寄存器（SPI_CRCRDAT）

地址偏移：0x14

复位值：0x0000

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CRCRDAT[15:0]															
ro															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
15:0	CRCRDAT[15:0]	接收 CRC 寄存器 在启用 CRC 计算时，RXCRC[15:0]中包含了依据收到的字节计算的 CRC 数值。当在 SPI_CTRL2.CRCEN 位写入'1'时，该寄存器被复位。CRC 计算使用 SPI_CRCPOLY 中的多项式。 当数据帧格式被设置为 8 位时，仅低 8 位参与计算，并且按照 CRC8 的方法进行；当数据帧格式为 16 位时，寄存器中的所有 16 位都参与计算，并且按照 CRC16 的标准。 *注：当 SPI_STS.BUSY 标志为'1'时读该寄存器，将可能读到不正确的数值。* *注：在 I2S 模式下不使用。*

24.4.8 SPI CRC 多项式寄存器（SPI_CRCPOLY）

地址偏移：0x18

复位值：0x0007

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CRCPOLY[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
15:0	CRCPOLY[15:0]	CRC 多项式寄存器 该寄存器包含了 CRC 计算时用到的多项式。 其复位值为 0x0007，根据应用可以设置其他数值。 *注：在 I2S 模式下不使用。*

24.4.9 SPI_I2S 配置寄存器（SPI_I2S_CFGR）

地址偏移：0x1C

复位值：0x0000

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				PCMBYPASS	CLKPOL	PCMSYNC	CHLEN	DATLEN[1:0]		I2SCFG[1:0]		I2SSTD[1:0]		I2SMOD	I2SE
				rw	rw	rw	rw	rw		rw		rw		rw	rw

位域	名称	描述
15:12	Reserved	保留，必须保持复位值
11	PCMBYPASS	PCM 长是 13 位时是 BYPASS 模式 1:非 BYPASS 0: BYPASS
10	CLKPOL	静止态时钟极性 0: I2S 时钟静止态为低电平；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		1: I2S 时钟静止态为高电平。 *注：为了正确操作，该位只有在关闭了 I2S 时才能设置。* *在 SPI 模式下不使用。*
9	PCMSYNC	PCM 帧同步 0: 短帧同步； 1: 长帧同步。 *注: 该位只在 I2SSTD = 11 (使用 PCM 标准)时有意义。* *在 SPI 模式下不使用。*
8	CHLEN	声道长度 (每个音频声道的数据位数) 0: 16 位宽； 1: 32 位宽。 只有在 DATLEN = 00 时该位的写操作才有意义，否则声道长度都由硬件固定为 32 位。 *注：为了正确操作，该位只有在关闭了 I2S 时才能设置。* *在 SPI 模式下不使用。*
7:6	DATLEN[1:0]	待传输数据长度 00: 16 位数据长度； 01: 24 位数据长度； 10: 32 位数据长度； 11: 不允许。 *注：为了正确操作，该位只有在关闭了 I2S 时才能设置。* *在 SPI 模式下不使用。*
5:4	I2SCFG[1:0]	I2S 模式设置 00: 从设备发送； 01: 从设备接收； 10: 主设备发送； 11: 主设备接受。 *注：该位只有在关闭了 I2S 时才能设置。* *在 SPI 模式下不使用。*
3:2	I2SSTD[1:0]	I2S 标准选择 00: I2S 飞利浦标准； 01: 高字节对齐标准 (左对齐)； 10: 低字节对齐标准(右对齐)； 11: PCM 标准。 *注：为了正确操作，只有在关闭了 I2S 时才能设置该位。* *在 SPI 模式下不使用。*
1	I2SMOD	I2S 模式选择 0: 选择 SPI 模式； 1: 选择 I2S 模式。 *注：该位只有在关闭了 SPI 或者 I2S 时才能设置。*
0	I2SE	I2S 使能 0: 关闭 I2S； 1: I2S 使能。 *注：在 SPI 模式下不使用。*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

注：此寄存器不可用于 SPI1_SPI4_SPI5_SPI6。

24.4.10 **SPI_I2S 预分频寄存器（SPI_I2S_PREDIV）**

地址偏移：0x20

复位值：0x0002

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				MCLKOEN	ODDEVEN	LDIV[9:0]									
				rw	rw	rw									

位域	名称	描述
15:12	Reserved	保留，必须保持复位值
11	MCLKOEN	主设备时钟输出使能 0: 关闭主设备时钟输出； 1: 主设备时钟输出使能。 *注：为了正确操作，该位只有在关闭了 I2S 时才能设置。仅在 I2S 主设备模式下使用该位。* *在 SPI 模式下不使用。*
10	ODDEVEN	奇系数预分频 0: 实际分频系数 = LDIV *2； 1: 实际分频系数 = (LDIV * 2)+1。 *注：为了正确操作，该位只有在关闭了 I2S 时才能设置。仅在 I2S 主设备模式下使用该位。* *在 SPI 模式下不使用。*
9:0	LDIV[9:0]	I2S 线性预分频 禁止设置 LDIV [7:0] = 0 或者 LDIV [7:0] = 1 *注：为了正确操作，该位只有在关闭了 I2S 时才能设置。仅在 I2S 主设备模式下使用该位。* *在 SPI 模式下不使用。*

注：此寄存器不可用于 SPI1_SPI4_SPI5_SPI6。

24.4.11 **SPI 接收 FIFO 数据寄存器（SPI_RX_FIFO）**

地址偏移：0x24

复位值：0x0000

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RXFIFDAT[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
15:0	RXFIFDAT[15:0]	FIFO 模式时，RX FIFO 数据寄存器

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		非 FIFO 模式时，该寄存器不使用

24.4.12 SPI FIFO 个数配置寄存器（SPI_FIFO_NUM）

地址偏移：0x28

复位值：0x0044

15–7	6–4	3	2–0
Reserved	RXFBSNUM[2:0]	Reserved	TXFBSNUM[2:0]
	rw		rw

位域	名称	描述
15:7	Reserved	保留，必须保持复位值
6:4	RXFBSNUM[2:0]	FIFO 模式时，RX FIFO 半满 NUM 配置 当 rx fifo 中有效数据个数达到该配置值时，会置起半满标志。 当进行 dma 通信时，dma 中 burst 搬移数据数量要与该寄存器值一致 非 FIFO 模式时，该寄存器不使用。
3	Reserved	保留，必须保持复位值
2:0	TXFBSNUM[2:0]	FIFO 模式时，TX FIFO 半空 NUM 配置 当 tx fifo 中有效数据个数达到该配置值时，会起半空标志。 当进行 dma 通信时，dma 中 burst 搬移数据数量要与该寄存器值一致 非 FIFO 模式时，该寄存器不使用

24.4.13 SPI FIFO 计数配置寄存器（SPI_FIFO_CNT）

地址偏移：0x30

复位值：0x0000

15–8	7–4	3–0
Reserved	RXFIFCNT[3:0]	TXFIFCNT[3:0]
	ro	ro

位域	名称	描述
15:8	Reserved	保留，必须保持复位值
7:4	RXFIFCNT[3:0]	FIFO 模式时，RX FIFO 当前待接收个数
3:0	TXFIFCNT[3:0]	FIFO 模式时，TX FIFO 当前待发送个数

24.4.14 SPI 传输个数配置寄存器（SPI_TRANS_NUM）

地址偏移：0x34

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值：0x0000

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TRANSNUM[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
15:0	TRANSNUM[15:0]	FIFO 模式且带 CRC 功能时，用户需要提前写入要传输的数据个数。 在 CPU 模式时，若开启只接受模式，用户不需要在倒数第一处拉高 CRCNEXT 的操作，该操作由硬件完成。 在 DMA 模式时，也会由硬件执行 CRCNEXT 的功能。

24.4.15 SPI 时钟采样延迟寄存器（SPI_CR3）

地址偏移：0x38

复位值：0x0000

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved												DELAYTIME[3:0]			
												rw			

位域	名称	描述
15:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3:0	DELAYTIME[3:0]	SPI 主机时钟延迟时间配置 4'b0000：bypass，对主机生成的时钟不做延迟处理； 4'b0001：用 sys_clk 时钟下降沿对 SPI 主机生成的时钟采 1 拍，延迟为 1/2 Tsys_clk； 4'b0010：用 sys_clk 时钟上升沿对 SPI 主机生成的时钟采 1 拍，延迟为 2/2 Tsys_clk； 4'b0011：用 sys_clk 时钟下降沿对 SPI 主机生成的时钟采 2 拍，延迟为 3/2 Tsys_clk； 4'b0100：用 sys_clk 时钟上升沿对 SPI 主机生成的时钟采 2 拍，延迟为 4/2 Tsys_clk； 4'b0101：用 sys_clk 时钟下降沿对 SPI 主机生成的时钟采 3 拍，延迟为 5/2 Tsys_clk； 4'b0110：用 sys_clk 时钟上升沿对 SPI 主机生成的时钟采 3 拍，延迟为 6/2 Tsys_clk； 4'b0111：用 sys_clk 时钟下降沿对 SPI 主机生成的时钟采 4 拍，延迟为 7/2 Tsys_clk； 4'1000：用 sys_clk 时钟上升沿对 SPI 主机生成的时钟采 4 拍，延迟为 8/2 Tsys_clk； 4'b1001：用 sys_clk 时钟下降沿对 SPI 主机生成的时钟采 5 拍，延迟为 9/2

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		Tsys_clk； 4'b1010：用 sys_clk 时钟上升沿对 SPI 主机生成的时钟采 5 拍，延迟为 10/2 Tsys_clk； 4'b1011：用 sys_clk 时钟下降沿对 SPI 主机生成的时钟采 6 拍，延迟为 11/2 Tsys_clk； 4'b1100：用 sys_clk 时钟上升沿对 SPI 主机生成的时钟采 6 拍，延迟为 12/2 Tsys_clk； 4'b1101：用 sys_clk 时钟下降沿对 SPI 主机生成的时钟采 7 拍，延迟为 13/2 Tsys_clk； 4'b1110：用 sys_clk 时钟上升沿对 SPI 主机生成的时钟采 7 拍，延迟为 14/2 Tsys_clk； 4'b1111：用 sys_clk 时钟下降沿对 SPI 主机生成的时钟采 8 拍，延迟为 15/2 Tsys_clk； *注：该寄存器只可在 SPI 主机全双工及 SPI 主机接收模式下可配置，SPI 其余模式下配置该位无效*

24.4.16 **I2S_EXT 控制寄存器（I2S_CTRL2）**

地址偏移：0x204

复位值：0x0000

15:7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	ERRINTEN	RNEINTEN	TEINTEN	Reserved	TDMAEN	RDMAEN	Reserved
	rw	rw	rw		rw	rw	

位域	名称	描述
15:7	Reserved	保留，必须保持复位值
6	ERRINTEN	错误中断使能 当错误(CRCERR、OVER、MODERR)产生时，该位控制是否产生中断 0：禁止错误中断； 1：允许错误中断。
5	RNEINTEN	接收缓冲区非空中断使能 0：禁止 RNE 中断； 1：允许 RNE 中断，当 RNE 标志置位时产生中断请求。
4	TEINTEN	发送缓冲区空中断使能 0：禁止 TE 中断； 1：允许 TE 中断，当 TE 标志置位为'1'时产生中断请求。
3	Reserved	保留，必须保持复位值
2	TDMAEN	发送缓冲区 DMA 使能 当该位被设置时，TE 标志一旦被置位就发出 DMA 请求 0：禁止发送缓冲区 DMA；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		1：启动发送缓冲区 DMA。
1	RDMAEN	接收缓冲区 DMA 使能 当该位被设置时，RNE 标志一旦被置位就发出 DMA 请求 0：禁止接收缓冲区 DMA； 1：启动接收缓冲区 DMA。
0	Reserved	保留，必须保持复位值

24.4.17 I2S_EXT 状态寄存器（I2S_STS）

地址偏移：0x208

复位值：0x0001

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								CHSIDE	UNDER	OVER	Reserved		BUSY	RNE	TE
								ro	ro	ro			ro	ro	ro

位域	名称	描述
15:8	Reserved	保留，必须保持复位值。
7	CHSIDE	声道 0：需要传输或者接收左声道； 1：需要传输或者接收右声道。 *注：在 SPI 模式下不使用。在 PCM 模式下无意义。*
6	UNDER	下溢标志位 0：未发生下溢； 1：发生下溢。 该标志位由硬件置 1，软件读取 SPI_STS 状态寄存器会清 0 在非 fifo 模式下，该标志位不使用 在 fifo 模式下，在 rx fifo 为空的情况下，仍然去读 rx fifo 会导致该位置 1
5	OVER	溢出标志 0：没有出现溢出错误； 1：出现溢出错误。 该位由硬件置位，由软件首先读数据寄存器（读两次)，再去读 STS 状态寄存器会清零。 在非 fifo 模式下，该标志拉起表示收到数据超过了 dr 的深度，读走数据会被清掉 在 fifo 模式下，在 tx fifo 中存放的数据已满的情况下，再次写入，会拉高标志位
4:3	Reserved	保留，必须保持复位值
2	BUSY	忙标志

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：SPI 不忙； 1：SPI 正忙于通信，或者发送缓冲非空。 该位由硬件置位或者复位。
1	RNE	接收缓冲非空 0：接收缓冲为空； 1：接收缓冲非空。
0	TE	发送缓冲为空 0：发送缓冲非空； 1：发送缓冲为空。

24.4.18 **I2S_EXT 数据寄存器（I2S_DAT）**

地址偏移：0x20C

复位值：0x0000

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DAT[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
15:0	DAT[15:0]	数据寄存器 待发送或者已经收到的数据 FIFO 模式时，该寄存器为 TX 数据寄存器 非 FIFO 模式时，该寄存器为 DR(RX/TX 共用)数据寄存器 数据寄存器对应两个缓冲区：一个用于写(发送缓冲)；另外一个用于读(接收缓冲)。写操作将数据写到发送缓冲区；读操作将返回接收缓冲区里的数据。 *对 SPI 模式的注释：根据 SPI_CTRL1 的 DATFF 位对数据帧格式的选择，数据的发送和接收可以是 8 位或者 16 位的。为保证正确的操作，需要在启用 SPI 之前就确定好数据帧格式。* *对于 8 位的数据，缓冲器是 8 位的，发送和接收时只会用到 SPI_DAT[7:0]。在接收时，SPI_DAT[15:8] 被强制为 0。* *对于 16 位的数据，缓冲器是 16 位的，发送和接收时会用到整个数据寄存器，即 SPI_DAT[15:0]。*

24.4.19 **I2S_EXT 配置寄存器（I2S_CFGR）**

地址偏移：0x21C

复位值：0x0000

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				CLKPOL	PCMSYNC	CHLEN	DATLEN[1:0]		I2SCFG[1:0]		I2SSTD[1:0]		I2SMOD	I2SE	

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

rw rw rw rw rw rw rw rw

位域	名称	描述
15:11	Reserved	保留，必须保持复位值
10	CLKPOL	静止态时钟极性 0: I2S 时钟静止态为低电平； 1: I2S 时钟静止态为高电平。 *注：为了正确操作，该位只有在关闭了 I2S 时才能设置。* *在 SPI 模式下不使用。*
9	PCMSYNC	PCM 帧同步 0: 短帧同步； 1: 长帧同步。 *注: 该位只在 I2SSTD = 11 (使用 PCM 标准)时有意义。* *在 SPI 模式下不使用。*
8	CHLEN	声道长度 (每个音频声道的数据位数) 0: 16 位宽； 1: 32 位宽。 只有在 DATLEN = 00 时该位的写操作才有意义，否则声道长度都由硬件固定为 32 位。 *注：为了正确操作，该位只有在关闭了 I2S 时才能设置。* *在 SPI 模式下不使用。*
7:6	DATLEN[1:0]	待传输数据长度 00: 16 位数据长度； 01: 24 位数据长度； 10: 32 位数据长度； 11: 不允许。 *注：为了正确操作，该位只有在关闭了 I2S 时才能设置。* *在 SPI 模式下不使用。*
5:4	I2SCFG[1:0]	I2S 模式设置 00: 从设备发送； 01: 从设备接收； 10: 主设备发送； 11: 主设备接受。 *注：该位只有在关闭了 I2S 时才能设置。* *在 SPI 模式下不使用。*
3:2	I2SSTD[1:0]	I2S 标准选择 00: I2S 飞利浦标准； 01: 高字节对齐标准 (左对齐)； 10: 低字节对齐标准(右对齐)； 11: PCM 标准。 *注：为了正确操作，只有在关闭了 I2S 时才能设置该位。* *在 SPI 模式下不使用。*
1	I2SMOD	I2S 模式选择

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		0: 选择 SPI 模式； 1: 选择 I2S 模式。 *注：该位只有在关闭了 SPI 或者 I2S 时才能设置。*
0	I2SE	I2S 使能 0: 关闭 I2S； 1: I2S 使能。 *注：在 SPI 模式下不使用。*

25 实时时钟(RTC)

25.1 简介

- 实时时钟（RTC）是一个独立的 BCD 定时器/计数器
- 软件支持夏时令补偿
- 可编程周期性自动唤醒定时器
- 两个 32 位寄存器包含时、分、秒、年、月、日（几号）、星期（星期几）
- 独立的 32 位寄存器包含亚秒
- 两个编程闹钟
- 两个 32 位寄存器包含编程闹钟时、分、秒、年、月、日（几号）、星期（星期几）
- 两个独立的 32 位寄存器包含编程闹钟亚秒
- 数字精密校准功能
- 参考时钟检测：一个更加精确的外部时钟源（50 或 60Hz）能够用于改进日历精度
- 三个可配置滤波和内部上拉的入侵检测事件
- 时间戳功能
- 20 个备份寄存器，可在低功耗模式下保持数据
- 多个中断/事件唤醒源，包括闹钟 A、闹钟 B、唤醒定时器、时间戳、入侵
- RCC 寄存器使能 RTC 模块且电压保持在工作范围内，RTC 在任何模式下都不会停止（包括 RUN 模式、SLEEP 模式、STOP0 模式、STANDBY 模式和 VBAT 模式）
- RTC 提供多种唤醒源可以使 MCU 从所有的低功耗模式下唤醒（SLEEP 模式，STOP0 模式和 STANDBY 模式）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

25.1.1 主要特性

表 25-1 RTC 功能支持

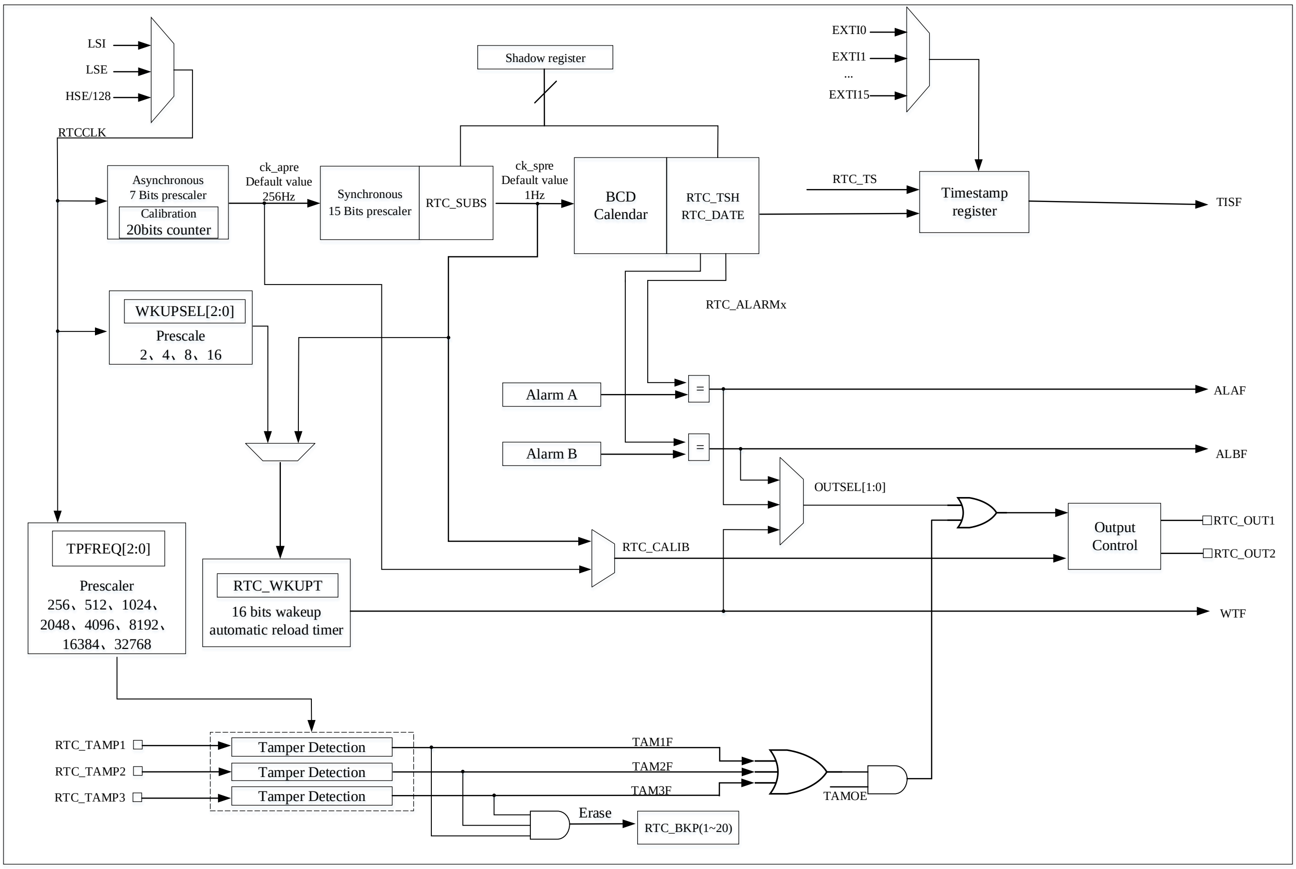
主要功能	描述
时钟	RTC 时钟源可以选择 LSI、LSE 或 HSE/128
Reset	APB 接口被系统复位， RTC 模块通过 APB 同步的一些寄存器会被复位 下面寄存器当系统复位时会被清除 ● RTC_SUBS ● RTC_TSH ● RTC_DATA ● RTC_INITSTS(一些 bits) RTC 内核可以通过备份域复位而复位 复位 RTC，以及在低功耗模式下保留一些寄存器的内容，包括： ● RTC_CTRL ● RTC_PRE ● RTC_CALIB ● RTC_SCTRL ● RTC_TSSS, RTC_TST and RTC_TSD ● RTC_TMPCFG ● RTC_WKUPT ● RTC_ALRMASS/RTC_ALRMA ● RTC_ALRMBSS/RTC_ALRMB ● RTC_OPT ● RTC_BKP(1~20)
Calendar	日历包含亚秒、秒、分、时（12 小时或 24 小时制）、星期、日、月、年，这些数据都存在 APB 模块的影子寄存器中。
Wakeup Timer	输出寄存器 RTC_OUT 可以配置为发送唤醒事件到 GPIO，同时我们可以选择中断/事件来唤醒 CPU 的 SLEEP、STOP0 和 STANDBY 模式。
Alarm	RTC_OUT 配置输出到 GPIO，也可以唤醒 CPU 或触发 PWR 在匹配发生时从 SLEEP、STOP0 和 STANDBY 模式中唤醒
Tamper	3 个入侵检测逻辑是系统唤醒的一个来源，如果入侵事件发生在其中一个输入线。当启用时，入侵事件也会导致备份寄存器的删除。它也是对 LP 定时器进行硬件触发的一个来源
Timestamp	GPIO 事件可触发保存时间戳功能。它是从低功耗模式唤醒的一个来源。 另外，入侵事件可以是时间戳事件的来源。
Interrupts/events	闹钟 A/闹钟 B 中断/事件 唤醒中断/事件 时间戳中断/事件 入侵中断/事件
Backup registers	20 个备份寄存器

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

25.2 RTC 功能描述

25.2.1 RTC 框图

图 25-1 RTC 功能框图



RTC 包括以下功能模块：

- Alarm A 和 Alarm B 事件/中断
- 时间戳事件/中断
- 入侵事件/中断
- 20 个 32 位备份寄存器
- RTC 输出功能：
  - 256 Hz 或者 1Hz 时钟输出(当 LSE 频率是 32.768 kHz)
  - 闹钟输出（极性可配置），闹钟 A 和闹钟 B 可选
  - 自动唤醒输出（极性可配置）
- RTC 输入功能：
  - 时间戳事件检测
  - 50 或者 60Hz 参考时钟输入

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

◆ 入侵事件检测

■ 通过配置输出寄存器控制 PC13、PB2：

◆ 设置 RTC_OPT.TYPE 位配置 PC13、PB2 开漏/推挽输出

25.2.2 RTC 控制的 GPIO

时间戳输入来自 IOM（映射到 PC14、PC15）或者 EXTI 模块，如果是 EXTI 模块，具体请参考时间戳触发源选择(EXTI_TS_SEL)。

RTC_OUT（闹钟、唤醒事件、入侵事件或者校准输出（256Hz 或者 1Hz））映射到 PC13、PB2，不管 PC13、PB2 GPIO 是什么配置，PC13、PB2 的引脚配置由 RTC 控制为输出。

PC13 引脚被用作 TAMPER1 入侵检测引脚，PA0 引脚被用作 TAMPER2 入侵检测引脚，PE6 引脚被用作 TAMPER3 入侵检测引脚。

PA1 或者 PB15 能够被用作 RTC_REFCLKIN 参考时钟输入引脚。

25.2.3 RTC 寄存器写保护

PWR_CTRL.DBKP 位(见电源控制寄存器（PWR_CTRL）) 默认被清除，所以 PWR_CTRL.DBKP 必须置 1 去使能 RTC 寄存器写功能。一旦备份域复位，所有的 RTC 写保护寄存器都会写保护，所有的 RTC 写保护寄存器需要按如下步骤去解锁写保护：

■ 将 0xCA 写入 RTC_WRP 寄存器

■ 将 0x53 写入 RTC_WRP 寄存器

在解锁这些寄存器后，写错误密钥或者 RTC 被软件复位或者重新上电都会重新使能写保护。解锁机制只检查 RTC_WRP 寄存器的写操作。在解锁过程中、解锁前、解锁后，对其他寄存器的写操作不会影响解锁结果。

备电域复位后，所有可配置的RTC寄存器和备份寄存器RTC_BKP(20个)都是写保护的。

25.2.4 RTC 时钟和预分频

RTC 时钟源：

■ LSE 时钟

■ LSI 时钟

■ HSE/128 时钟

为了降低功耗，将预分频器分为异步预分频器和同步预分频器。如果同时使用两个预分频器，建议异步预分频器的值尽可能大。

用户通过 RTC_PRE.DIVA[6:0]和 RTC_PRE.DIVS[14:0]配置后可得到 1Hz 的 ck_spre 时钟。

■ 7 位异步预分频器由 RTC_PRE.DIVA[6:0] 位控制

■ 15 位同步预分频器由 RTC_PRE.DIVS[14:0] 位控制

f_{ck_apre} 和 f_{ck_spre} 公式如下：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

$$f_{\text{ck\_apre}} = \frac{f_{RTCCLK}}{RTC\_PRE.DIVA[6:0]+1}$$

$$f_{\text{ck\_spre}} = \frac{f_{RTCCLK}}{(RTC\_PRE.DIVS[14:0]+1)*(RTC\_PRE.DIVA[6:0]+1)}$$

ck_apre 时钟用于对 RTC_SUBS 亚秒递减计数器提供时钟。当到达 0 时，用 RTC_PRE.DIVS[14:0]的值重新加载 RTC_SUBS。

25.2.5 RTC 日历

这里有三个影子寄存器，分别是 RTC_DATE, RTC_TSH 和 RTC_SUBS。RTC 时间和日期寄存器可以通过影子寄存器访问。也可以直接访问，以避免等待同步时间。这三个影子寄存器如下：

- RTC_DATE：设置和读取日期
- RTC_TSH：设置和读取时间
- RTC_SUBS：读取亚秒

每隔两个 RTCCLK 周期之后，将当前的日历值复制到影子寄存器中，并将 RTC_INITSTS. RSYF 位置为 1。此过程在低功耗(停止和待机)模式下不执行。当退出这些模式时，影子寄存器在 2 个 RTCCLK 周期后更新值。

默认情况下，当用户尝试访问日历寄存器时，它将访问影子寄存器的内容。用户可以通过设置 RTC_CTRL.BYPS 位直接访问日历寄存器。

当 RTC_CTRL.BYPS= 0，日历从影子寄存器获取值，当读 RTC_SUBS、RTC_TSH 或 RTC_DATE 寄存器时，有必要确保 APB1 时钟的频率(f_{APB1})至少 7 倍于 RTC 时钟频率(f_{RTCCLK})，而且不允许出现 APB1 时钟频率低于 RTC 时钟频率的情况。系统复位将复位影子寄存器。

25.2.6 日历初始化和配置

预分频值和日历值可通过以下步骤进行初始化：

- 通过设置 RTC_INITSTS.INITM 位为 1 进入初始模式，然后等待 RTC_INITSTS.INITF 位被置 1
- 设置 RTC_PRE.DIVS[14:0] 和 RTC_PRE.DIVA[6:0] 位
- 写入初始日历值，包括时间和日期到影子寄存器（RTC_TSH 和 RTC_DATE），通过 RTC_CTRL.HFMT 位配置时间格式（12 小时或 24 小时制）
- 通过清除 RTC_INITSTS.INITM 位退出初始化模式

日历计数器的值将在 4 个 RTCCLK 时钟周期后自动从影子寄存器加载，然后重新启动日历计数器。

注意：RTC 进入初始化模式前，需保证 RTC_SUBS.SS[15:0]的值不小于 2 且不等于 RTC_PRE.DIVS[14:0]，需要读一下 RTC_DATE 寄存器。

25.2.7 日历读取

1. 当 RTC_CTRL.BYPS=0 时读取日历

如果 RTC_CTRL.BYPS=0，则从影子寄存器读取日历值。为了正确读取 RTC 日历寄存器(RTC_SUBS,

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

RTC_TSH 和 RTC_DATE)， APB1 时钟频率必须设置为大于 RTC 时钟频率的 7 倍。在任何情况下，APB1 时钟频率都不能小于 RTC 时钟频率。

如果 APB1 时钟频率不大于或不等于 RTC 时钟频率的 7 倍，请参考下面的步骤读取日历值：

- 读取 RTC_SUBS 、RTC_TSH 和 RTC_DATE 值两次
- 比较两次读到的数据，如果相等，则认为读到的数据是正确的，如果不相等，需要读第三次数据
- 第三次读到的数据可以认为是正确的
- 为确保日历读取时来自同一时刻点，读取 RTC_SUBS 或 RTC_TSH 时会锁定 RTC_DATE 寄存器中的值。直到读取 RTC_DATE 之前，RTC_DATE 不会实时更新，所以读取 RTC_SUBS 或 RTC_TSH 后需要再读取一遍 RTC_DATE

影子寄存器(RTC_SUBS, RTC_TSH 和 RTC_DATE)每两个 RTCCLK 周期更新一次。如果用户希望在短时间内(小于两个 RTCCLK 周期)读取日历值，则第一次读取后必须软件清除 RTC_INITSTS.RSYF 位。

在一些情况下，在读取日历之前需要等待 RTC_INITSTS.RSYF 位被置 1。

- 从低功耗模式(待机模式)唤醒后，清除 RTC_INITSTS.RSYF 位，然后等待 RTC_INITSTS.RSYF 位重新置 1。
- 系统复位。
- 日历完成初始化。
- 日历完成同步。

2. 当 RTC_CTRL.BYPS=1 时读取日历

如果 RTC_CTRL.BYPS=1，直接从日历计数器中读取日历值。这种配置的优点是，从低功耗模式唤醒后读取日历值没有延迟，缺点是 RTC_SUBS、RTC_TSH 和 RTC_DATE 的这些数据可能不是同一时刻的。

为了保证读取的日历值的正确性，需要分别读取 RTC_SUBS、RTC_TSH 和 RTC_DATE 两次，然后对两次读取的数据进行比较，如果两者相等，则认为读取的数据是正确的。

注意：读 RTC_SUBS 和 RTC_TSH 后，需要最后读一下 RTC_DATE 寄存器。

25.2.8 校准时钟输出

当 RTC_CTRL.COEN 位置 1，PC13 或 PB2 引脚将输出校准时钟。如果 RTC_CTRL.CALOSEL= 0 和 RTC_PRE.DIVA[6:0] = 0x7F, RTC_CALIB 频率结果为（f_{RTCCLK} /RTC_PRE.DIVA[6:0]+1）。当 RTCCLK 频率为 32.768 kHz 时，校准输出 256Hz。由于下降沿有轻微的抖动，建议使用上升沿。

当 RTC_CTRL.CALOSEL=1，"RTC_PRE.DIVS[14:0]+1"是 256 的非零整数倍，RTC_CALIB 频率由公式 f_{RTCCLK}/(256 * (DIVS+1))给出。当 RTCCLK 频率为 32.768 kHz 和 RTC_PRE.DIVA[6:0] = 0x7F 时，校准输出 1Hz。

注意：

1. *当选择 RTC_CALIB 输出时，RTC_OUT 引脚(PC13/PB2)被自动配置为输出。*
2. *RTC_OUT 选择 256Hz 或 1Hz 的输出占空比固定为 50%（+-20%）。*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

25.2.9 可编程闹钟

RTC 有 2 个可编程闹钟：闹钟 A 和闹钟 B。

通过 RTC_CTRL.ALxEN 位可以使能或关闭 RTC 闹钟。如果 Alarm 值与日历值相匹配，则 RTC_INITSTS. ALxF 标志被置 1。如果 RTC_CTRL. ALxIEN 使能，可以选择任意日历字段来触发闹钟中断。

闹钟输出：当 RTC_CTRL.OUTSEL[1:0]配置后，闹钟 A 或闹钟 B 可以映射到 RTC_ALxRM 输出，可以通过 RTC_CTR.OPOL 位配置输出极性。

注意:当秒字段被选择(RTC_ALARMx.MASK1 位复位)，RTC_PRE.DIVS[14:0]必须大于 3，以保证正确操作。

25.2.10 闹钟配置

闹钟 A 和闹钟 B 配置步骤如下：

- 通过清除 RTC_CTRL.ALAEN/RTC_CTRL.ALBEN 位失能闹钟 A/闹钟 B
- 配置闹钟 x 寄存器 (RTC_ALRMxSS/RTC_ALARMx)
- 通过设置 RTC_CTRL.ALAIEN/RTC_CTRL.ALBIEN 位为 1 使能闹钟 A/闹钟 B 中断（这一步根据需要添加）
- 通过设置 RTC_CTRL.ALAEN/ RTC_CTRL.ALBEN 位为 1 使能闹钟 A/闹钟 B

25.2.11 闹钟输出

当 RTC_CTRL.OUTSEL[1:0] !=0, RTC_ALARM 输出功能开启。根据 RTC_CTR. OUTSEL[1:0]的值选择闹钟 A 输出、闹钟 B 输出或者唤醒输出。

RTC_CTRL.OPOL 位控制闹钟 A、闹钟 B 或唤醒输出的极性。

RTC_OPT.TYPE 位控制 RTC_ALARM 引脚开漏或者推挽输出。

选择 RTC_ALARM 输出时，RTC_OUT 引脚（PC13/PB2）会自动配置为输出。

25.2.12 周期性自动唤醒

16 位可编程自动加载计数器可以在达到 0 时产生周期性唤醒标志。它也可以将唤醒定时器的范围扩展到 17 位。通过设置 RTC_CTRL.WTEN 可以启用周期性自动唤醒功能。

可以选择两种唤醒输入时钟源：

- 2、4、8 或 16 分频的 RTC 时钟（RTCCLK）。

  假设 RTCCLK 来自 LSE (32.768KHz)，在分辨率到 61us 的情况下，可以配置唤醒中断周期为 122us ~ 32s。

- 内部时钟 ck_spre。

  假设 ck_spre 频率为 1Hz，可用唤醒时间范围为 1s ~ 36h，分辨率为 1 秒

  - 当 RTC_CTRL.WKUPSEL [2:0] = 10x，周期范围为 1s 到 18h
  - 当 RTC_CTRL.WKUPSEL [2:0] = 11x，周期范围为 18h 到 36h.

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

当 RTC_CTRL.WTEN 位设置为 1 之后，向下计数器正在运行，当它达到 0 时，RTC_INITSTS.WTF 位会被置 1，通过设置 RTC_CTRL . WTIEN 位为 1，当周期性唤醒中断被启用触发时，设备可以退出低功耗模式。

周期性唤醒输出：当 RTC_CTRL.OUTSEL[1:0]选择周期性唤醒后，自动将 RTC_OUT 引脚(PC13/PB2)配置为输出，输出极性可由 RTC_CTRL.OPOL 位配置。

25.2.13 唤醒定时器配置

唤醒计时器自动重新加载值配置如下：

- 通过清除 RTC_CTRL.WTEN 关闭唤醒定时器，然后等待 RTC_INITSTS.WTWF 标志位被置 1
- 通过设置 RTC_CTRL. WKUPSEL[2:0]选择唤醒定时器时钟
- 通过设置 RTC_WKUPT. WKUPT[15:0]配置唤醒自动重加载值
- 通过设置 RTC_CTRL. WTIEN 位使能唤醒中断 (这一步根据需要添加)
- 通过设置 RTC_CTRL.WTEN 位开启唤醒定时器

注意：若唤醒定时器自动重载值 RTC_WKUPT.WKUPT[15:0] 设置为 0，则设置 RTC_CTRL.WTEN=1 使能唤醒定时器后硬件会立刻置位 RTC_INITSTS.WTF 并产生自动唤醒中断，若使能唤醒输出同时会产生唤醒输出。后续自动唤醒时间间隔为配置值，应用上可忽略第一次唤醒。

25.2.14 时间戳功能

时间戳可以通过将 RTC_CTRL.TSEN 位设置为 1 来启用。当在 RTC_TS 引脚上检测到时间戳事件时，该事件的日历值将存储在时间戳寄存器（RTC_TSSS、RTC_TST、RTC_TSD）中，并且 RTC_INITSTS.TISF 位被设置为 1。如果 RTC_CTRL.TSIEN 设置为 1，则时间戳事件可以产生中断。如果在 RTC_INITSTS.TISF 已经设置为 1 时检测到新的时间戳事件，则硬件将 RTC_INITSTS.TISOVF 标志设置为 1，并且时间戳寄存器（RTC_TST 和 RTC_TSD）将继续保存前一个事件的值，这意味着当 RTC_INITSTS.TISF=1 时，时间戳寄存器（RTC_TST 和 RTC_TSD）数据不会改变。

在同步过程引起的时间戳事件再次发生后，RTC_INITSTS.TISF 在 2 个 RTC_CLK 周期内设置为 1。RTC_INITSTS.TISOVF 的生成没有延迟。这意味着如果两个时间戳事件非常接近，这可能导致 RTC_INITSTS.TISOVF 为“1”而 RTC_INITSTS.TISF 为“0”。因此，在检测到 RTC_INITSTS.TISF 为“1”后，再检测 RTC_INITSTS.TISOVF 位。当 RTC_TMPCFG.TPTS 位设置为 1 时，入侵事件可以触发时间戳事件。

如果启用时间戳事件，时间戳将在时间戳寄存器中捕获读取的日历。当入侵事件和时间戳事件都启用时，入侵事件也会导致时间戳捕获。时间戳事件可以在 EXTI 选择的 16 个 GPIO 端口中的任何一个上生成。通过设置相应的 EXTI_TS_SEL.TSSEL[3:0] 位来选择任一端口的 GPIO 引脚。

25.2.15 入侵检测

共有三个入侵检测引脚，RTC_TAMP1 引脚为 PC13，RTC_TAMP2 引脚为 PA0，RTC_TAMP3 引脚为 PE6。RTC_TAMPx 引脚可用作入侵事件检测功能输入引脚。有两种检测模式，边缘检测模式和可配置滤波功能的电平检测模式。

当检测到 RTC_TAMPx 事件时，如果 RTC_TMPCFG.TPxNOE=0，则 RTC_BKP(1~20)寄存器将被擦除。

入侵检测初始化

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

共有三个入侵检测引脚，每个引脚都可以独立配置。用户需要在设置 RTC_TMPCFG.TPxEN 位之前配置入侵检测。当入侵检测使能后检测到入侵事件时，如果 RTC_TMPCFG.TPxINTEN 位置 1，则入侵事件可以产生中断并且 RTC_INITSTS.TAMxF 位将被置 1。

当 RTC_INITSTS.TAMxF 位为 1 时，无法检测到同一引脚上的新入侵事件。

入侵事件的时间戳

当 RTC_TMPCFG.TPTS 位设置为 1 时，任何入侵事件都可以触发时间戳事件，并且 RTC_INITSTS.TISF 位和 RTC_INITSTS.TISOVF 位将被设置为正常的时间戳事件。

入侵输入的边缘检测

当 RTC_TMPCFG.TPFLT[1:0] 位设置为 0 时，入侵检测设置为边沿检测，上升沿或下降沿由 RTC_TMPCFG.TPxTRG 位控制。当检测到相应的边沿时，RTC_TAMPx 引脚将产生一个入侵检测事件。

由于 RTC_BKP(1~20) 可以在检测到入侵事件时复位，因此需要确保不会同时发生入侵事件检测和写入 RTC_BKP(1~20)。建议在写入 RTC_BKP(1~20) 后启动入侵检测功能。

注意：当选择边沿触发时，需要接外部上拉或下拉。

RTC_TAMPx 输入的滤波电平检测

当 RTC_TMPCFG.TPFLT[1:0]位设置为 1/2/3 时，入侵检测设置为电平检测。 RTC_TMPCFG.TPFLT[1:0] 的值决定了采样次数。

每次采样前可通过入侵引脚的内部上拉电阻进行预充电，预充电时间由 RTC_TMPCFG.TPPRCH[1:0]位控制。当 RTC_TMPCFG.TPPUDIS 设置为 1 时，预充电将被禁用。

使用 RTC_TMPCFG.TPFREQ[2:0] 确定电平检测的采样频率，可以优化入侵检测延迟和上拉功耗之间的最佳平衡。

25.2.16 夏时令功能配置

夏令时功能可通过 RTC_CTRL.SU1H、RTC_CTRL.AD1H 和 RTC_CTRL.BAKP 位控制。设置 RTC_CTRL.SU1H 位为 1 时日历会减一小时，设置 RTC_CTRL.AD1H 为 1 时会增加一小时。RTC_CTRL.BAKP 位可用于记住或不记住此调整。

25.2.17 RTC 亚秒寄存器位移操作

当日历的值与外部精密时钟相比有亚秒级的偏差时，可以使用移位功能来提高日历的精度。

日历可以使用 RTC_SCTRL.AD1S 和 RTC_SCTRL.SUBF[14:0]位来控制最大延迟或提前 1s。 调整分辨率为 1/(RTC_PRE.DIVS[14:0]+1)，表示 RTC_PRE.DIVS[14:0]的值越大，分辨率越高。为了使同步预分频器输出保持在 1Hz，RTC_PRE.DIVS[14:0]越高意味着 RTC_PRE.DIVA[6:0]越低，则功耗越大。

注意：在开始移位操作之前，用户必须检查 RTC_SUBS.SS[15]位是否为 0。

每当写入 RTC_SCTRL 寄存器时，硬件都会设置 RTC_INITSTS.SHOPF 标志，表明平移操作处于挂起状态。一旦平移操作完成，该位由硬件清零。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

25.2.18 RTC 数字时钟精密校准

数字精密校准是通过调整校准周期内的 RTC 时钟脉冲数来实现的。数字精度校准分辨率为 0.954 PPM，范围为-487.1 PPM 到+488.5 PPM。

当输入频率为 32768 Hz 时，校准周期可配置为 $2^{20}/2^{19}/2^{18}$ 个 RTCCLK 周期或 32/16/8 秒。精密校准寄存器（RTC_CALIB）表示将在指定周期内减少 RTC_CALIB.CM[8:0] 个 RTCCLK 时钟周期。

RTC_CALIB.CM[8:0] 的值表示在指定周期内要减少的 RTCCLK 脉冲数。RTC_CALIB.CP 可用于增加 488.5PPM，每 2^{11} 个 RTCCLK 周期将插入一个 RTCCLK 脉冲。

当 RTC_CALIB.CM[8:0]和 RTC_CALIB.CP 组合使用时，增加的周期范围为-511 到+512 个 RTCCLK 周期，校准范围为-487.1ppm 到+488.5ppm，分辨率约为 0.954ppm。

有效校准频率（f_{CAL}）可使用以下公式计算：

$$f_{CAL} = f_{RTCCLK} * (1 + \frac{RTC\_CALIB.CP*512-RTC\_CALIB.CM[8:0]}{2^n + RTC\_CALIB.CM[8:0] - RTC\_CALIB.CP * 512})$$

注意：n=20/19/18

当 RTC_PRE .DIVA[6:0]<3 时校准

当异步预分频器值 (RTC_PRE.DIVA[6:0])小于 3 时，不能将 RTC_CALIB.CP 设置为 1，如果 RTC_CALIB.CP 值已设置为 1，则将被忽略。

假设 RTCCLK 频率为 32768Hz，当 RTC_PRE .DIVA[6:0]<3 时，RTC_PRE.DIVS[14:0]的值应该减小：

- 当 RTC_PRE .DIVA[6:0] =2, RTC_PRE.DIVS[14:0]=8189.
- 当 RTC_PRE .DIVA[6:0] =1, RTC_PRE.DIVS[14:0]=16379.
- 当 RTC_PRE .DIVA[6:0] =0, RTC_PRE.DIVS[14:0]=32759.

有效校准频率（f_{CAL}）可使用以下公式计算：

$$f_{CAL} = f_{RTCCLK} * \left(1 + \frac{256-RTC\_CALIB.CM[8:0]}{2^n + RTC\_CALIB.CM[8:0] - 265}\right)$$

注意：n=20/19/18

验证 RTC 校准

RTC 输出 1Hz 波形，用于测量和验证 RTC 精度。

在有限测量周期内测量 RTC 频率时，最多可能出现 2 个 RTCCLK 周期测量误差。如果测量周期与校准周期相同，则可以消除误差。

- 校准周期为 32 秒（默认）

使用精确的 32 秒周期测量 1Hz 校准输出可以确保测量误差在 0.447ppm 以内（32 秒内为 0.5 个 RTCCLK 周期）。

- 校准周期为 16 秒。

使用精确的 16 秒周期测量 1Hz 校准输出可以确保测量误差在 0.954ppm 以内（16 秒内为 0.5 个 RTCCLK 周期）。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

■ 校准周期为 8 秒。

使用精确的 8 秒周期测量 1Hz 校准输出可以确保测量误差在 1.907ppm 以内（8 秒内为 0.5 个 RTCCLK 周期）。

动态重新校准

当 RTC_INITSTS.INITF=0 时，RTC_CALIB 寄存器可以通过以下步骤更新：

■ 等待 RTC_INITSTS.RECPF=0

■ 一个新值被写入 RTC_CALIB，然后 RTC_INITSTS.RECPF 位自动置 1

■ 新的校准设置将在数据写入 RTC_CALIB 后的 3 个 ck_apre 周期内生效

25.2.19 RTC 低功耗模式

RTC 在低功耗模式下的工作状态。

低功耗模式	RTC 工作状态	退出低功耗模式
SLEEP	正常工作	闹钟 A、闹钟 B、定期唤醒、入侵事件和时间戳事件
STOP0	RTC 时钟源为 LSE 或 LSI 时正常工作	闹钟 A、闹钟 B、定期唤醒、入侵事件和时间戳事件
STANDBY	RTC 时钟源为 LSE 或 LSI 时正常工作	闹钟 A、闹钟 B、定期唤醒、入侵事件和时间戳事件

注意: 当使用 RTC 事件将 MCU 从 STANDBY 模式唤醒时, 需要将 PWR_CTRLSTS.WKUPRTCEN 位使能。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

25.2.20 RTC_OUT1(PC13)和 RTC_OUT2(PB2)配置选中映射关系

表 25-2 RTC OUT 映射

RTC_CTRL				RTC_OUT1(PC13)	RTC_OUT2(PB2)
TAMPOE	OUTSEL[1:0]	COEN	OUT2EN		
0	00	1	0	CALIB	-
1	00	Don’t care		TAMPER	-
0	01	Don’t care		ALARMA	-
0	10	Don’t care		ALARMB	-
0	11	Don’t care		WAKEUP	
1	01/10/11	Don’t care		TAMPER_ALARM(1)	-
0	00	1	1	-	CALIB
1	00	0		-	TAMER
0	01	0		-	ALARMA
0	10	0		-	ALARMB
0	11	0		-	WAKEUP
1	01/10/11	0		-	TAMPER_ALARM(1)
1	00	1		TAMPER	CALIB
0	01	1		ALARMA	CALIB
0	10	1		ALARMB	CALIB
0	11	1		WAKUP	CALIB
1	01/10/11	1		TAMPER_ALARM(1)	CALIB

1. TAMPER_ALARM 表示输出 TAMPER 和 ALARMA 或 ALARMB 或 WAKEUP。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

25.3 RTC 寄存器

25.3.1 RTC 寄存器总览

表 25-3 RTC 寄存器总览

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
000h	RTC_INITSTS	Reserved															RECPF	TAM3F	TAM2F	TAM1F	TISOVF	TISF	WTF	ALBF	ALAF	INITM	INITF	RSYF	INITSF	SHOPF	WTWF	ALBWF	ALAWF
	Reset Value																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
004h	RTC_CTRL	Reserved						TAMPOE	OUT2EN	COEN	OUTSEL[1:0]		OPOL	CALOSEL	BAKP	SU1H	AD1H	TSIEN	WTIEN	ALBIEN	ALAIEN	TSEN	WTEN	ALBEN	ALAEN	Reserved	HFMT	BYPS	REFCLKEN	TEDGE	WKUPSEL[2:0]		
	Reset Value							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
008h	RTC_TSH	Reserved									APM	HOT[1:0]		HOU[3:0]				Reserved	MIT[2:0]			MIU[3:0]				Reserved	SCT[2:0]			SCU[3:0]			
	Reset Value										0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
00Ch	RTC_DATE	Reserved								YRT[3:0]				YRU[3:0]				WDU[2:0]			MOT	MOU[3:0]				Reserved		DAT[1:0]		DAU[3:0]			
	Reset Value									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1			0	0	0	0	0	1
010h	RTC_WRP	Reserved																								PKEY[7:0]							
	Reset Value																									0	0	0	0	0	0	0	0
014h	RTC_SCTRL	ADIS	Reserved																SUBF[14:0]														
	Reset Value	0																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
018h	RTC_SUBS	Reserved																SS[15:0]															
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01Ch	RTC_TST	Reserved									APM	HOT[1:0]		HOU[3:0]				Reserved	MIT[2:0]			MIU[3:0]				Reserved	SET[2:0]			SEU[3:0]			
	Reset Value										0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
020h	RTC_ALARMA	MASK4	WKDSEL	DTT[1:0]		DTU[3:0]				MASK3	APM	HOT[1:0]		HOU[3:0]				MASK2	MIT[2:0]			MIU[3:0]				MASK1	SET[2:0]			SEU[3:0]			
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
024h	RTC_PRE	Reserved									DIVA[6:0]							Reserved	DIVS[14:0]														
	Reset Value										1	1	1	1	1	1	1		0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
028h	RTC_ALARMB	MASK4	WKDSEL	DTT[1:0]		DTU[3:0]				MASK3	APM	HOT[1:0]		HOU[3:0]				MASK2	MIT[2:0]			MIU[3:0]				MASK1	SET[2:0]			SEU[3:0]			
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02Ch	RTC_WKUPT	Reserved																WKUPT[15:0]															
	Reset Value																	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
030h	RTC_TMPCFG	Reserved				TP3MF	TP3NOE	TP3INTEN	TP2MF	TP2NOE	TP2INTEN	TP1MF	TP1NOE	TP1INTEN	TPPUDIS	TPPRCH[1:0]		Reserved		TPFLT[1:0]		Reserved	TPFREQ[2:0]			TPTS	TP3TRG	TP3EN	TP2TRG	TP2EN	TPINTEN	TP1TRG	TP1EN
	Reset Value					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
034h	RTC_ALRMASS	Reserved												MASKSSA[3:0]				Reserved	SSV[14:0]														
	Reset Value													0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
038h	RTC_OPT	Reserved																															TYPE
	Reset Value																																0
03Ch	RTC_ALRMBSS	Reserved												MASKSSB[3:0]				Reserved	SSV[14:0]														
	Reset Value													0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
040h	RTC_CALIB	Reserved																				CP	CW8	CW16	CM[8:0]								
	Reset Value																					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
044h	RTC_TSSS	Reserved																SSE[15:0]															
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
048h	RTC_TSD	Reserved								YRT[3:0]				YRU[3:0]				MOT	WDU[2:0]			MOU[3:0]				Reserved		DAT[1:0]		DAU[3:0]			
	Reset Value									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0
04Ch ~ 098h	RTC_BKPx	BF[31:0]																															
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

25.3.2 RTC 初始状态寄存器 (RTC_INITSTS)

偏移地址：0x00

复位值：0x0000 0007

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															RECPF
															r

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TAM3F	TAM2F	TAM1F	TISOVF	TISF	WTF	ALBF	ALAF	INITM	INITF	RSYF	INITSF	SHOPF	WTWF	ALBWF	ALAWF
rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rw	r	rc_w0	r	r	r	r	r

位域	名称	描述
31:17	Reserved	保留，必须保持复位值。
16	RECPF	重新校准挂起标志位。 当软件写入 RTC_CALIB 寄存器时，RECPF 状态标志自动设置为 1，表示 RTC_CALIB 寄存器被阻塞。当考虑到新的校准设置时，这个位将恢复为 0。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
15	TAM3F	RTC_TAMP3 检测标志位。 当在 RTC_TAMP3 输入口上检测到侵入事件时，硬件将设置此标志。通过软件写 0 清除
14	TAM2F	RTC_TAMP2 检测标志位。 当在 RTC_TAMP2 输入口上检测到侵入事件时，硬件将设置此标志。通过软件写 0 清除
13	TAM1F	RTC_TAMP1 检测标志位。 当在 RTC_TAMP1 输入口上检测到侵入事件时，硬件将设置此标志。通过软件写 0 清除
12	TISOVF	时间戳溢出标志位。 当时间戳事件发生的同时 TISF 位已经被置 1 时，硬件将此标志置 1。建议在清除 TISF 位之后再检查并清除 TISOVF 位。否则，如果时间戳事件恰好在清除 TISF 位之前刚刚发生，则溢出事件可能会被漏掉。
11	TISF	时间戳标志位。 当发生时间戳事件时，硬件将设置此标志。此标志通过写入 0 被软件清除。
10	WTF	唤醒定时器标志位。 当唤醒自动重载计数器达到 0，硬件将设置此标志。此标志通过写入 0 被软件清除。在 WTF 再次设置为 1 之前，此标志必须由软件至少在 1.5 RTCCLK 周期内清除。
9	ALBF	闹钟 B 标志位。 当时间/日期寄存器(RTC_TSH 和 RTC_DATE)与闹钟 B 寄存器(RTC_ALARMB)匹配时，硬件将设置此标志。此标志通过写入 0 被软件清除。
8	ALAF	闹钟 A 标志位。 当时间/日期寄存器(RTC_TSH 和 RTC_DATE)与闹钟 A 寄存器(RTC_ALARMA)匹配时，硬件将设置此标志。此标志通过写入 0 被软件清除。
7	INITM	进入初始化模式 0：自由运行模式 1：进入初始化模式，设置日历时间值、日期值、预分频值。
6	INITF	初始化标志位。 当这个位设置为 1 时，RTC 处于初始化状态，可以更新时间、日期和预分频寄存器。 0：日历寄存器更新禁止 1：日历寄存器更新允许
5	RSYF	寄存器同步标志位。 当日历值被复制到影子寄存器中时，该标志由硬件设置为“1”。 当处于初始化模式、移位操作挂起 (SHOPF=1) 或处于旁路影子寄存器模式(RTC_CTRL.BYPS=1) 时，该位由硬件清零，该位也可以通过软件清零。 在初始化模式下，该位通过软件或硬件清除。 0：日历影子寄存器尚未同步

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：日历影子寄存器同步
4	INITSF	初始状态标志位。 当日历年字段不等于 0 (备份域复位状态)时，由硬件设置此位。 0：日历没有被初始化 1：日历已经被初始化
3	SHOPF	平移操作挂起标志位。 当向 RTC_SCTRL 寄存器写入一个平位操作时，硬件立即设置此标志。当执行相应的平移操作时，硬件将清除它。写入 SHOPF 位不起作用。 0：没有位移操作挂起 1：有位移操作挂起
2	WTWF	唤醒定时器写标志位。 0：唤醒时间配置更新不允许 1：唤醒时间配置更新允许
1	ALBWF	闹钟 B 写标志。 当 RTC_CTRL.ALBEN 位设置为 0，同时闹钟 B 值可更改时，硬件将该位置 1。它在初始化模式下被硬件清除。 0：闹钟 B 更新不允许 1：闹钟 B 更新允许
0	ALAWF	闹钟 A 写标志。 当 RTC_CTRL.ALAEN 位设置为 0，同时闹钟 A 可更改时，硬件将该位置 1。它在初始化模式下被硬件清除。 0：闹钟 A 更新不允许 1：闹钟 A 更新允许

25.3.3 RTC 控制寄存器(RTC_CTRL)

偏移地址：0x04

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved						TAMPOE	OUT2EN	COEN	OUTSEL[1:0]		OPOL	CALOSEL	BAKP	SU1H	AD1H
						rw	rw	rw	rw		rw	rw	rw	w	w

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TSIEN	WTIEN	ALBIEN	ALAIEN	TSEN	WTEN	ALBEN	ALAEN	Reserved	HFMT	BYPS	REF CLKEN	TEDGE	WKUPSEL[2:0]		
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw		rw	rw	rw	rw	rw		

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必须保持复位值。
25	TAMPOE	入侵输出使能 0：入侵输出禁止

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：入侵输出开启
24	OUT2EN	RTC_OUT2 输出使能 0：RTC_OUT2 输出禁止 1：RTC_OUT2 输出开启
23	COEN	校准输出使能。 0：校准输出禁止 1：校准输出开启
22:21	OUTSEL[1:0]	输出选择位。 该位用来选择要连接到 RTC_ALARM 输出的标志。 00：输出禁止 01：闹钟 A 输出开启 10：闹钟 B 输出开启 11：唤醒输出开启
20	OPOL	输出极性位。 此位用于配置 RTC_ALARM 输出的极性。 0：当 ALAF/ALBF/WTF 标志位置 1(取决于 OUTSEL [1:0])，该引脚输出高电平 1：当 ALAF/ALBF/WTF 标志位置 1(取决于 OUTSEL [1:0])，该引脚输出低电平
19	CALOSEL	校准输出选择位。 当 COEN=1 时，该位选择在 RTC_CALIB 上输出哪个信号。 在 RTCCLK 为 32.768 kH 且预分频为默认值(RTC_PRE.DIVA[6:0]=127 和 RTC_PRE.DIVS[14:0]=255)的条件下，这些频率有效。 0：校准输出 256Hz(默认预分频设置) 1：校准输出 1Hz(默认预分频设置)
18	BAKP	这个位可以由用户写入，以记住是否执行了夏令时的更改。
17	SU1H	减去 1 小时位(冬季时间更改)。 当设置此位时，如果当前小时不是 0，则从日历时间中减去 1 小时。这个位总是被读取为 0。当当前小时为 0 时，设置此位无效。 0：无使用 1：用当前时间减去 1 小时。这可以用于冬季改变户外初始化模式
16	AD1H	加 1 小时位(夏季时间更改)。 设置此位后，将 1 小时添加到日历时间中。这个位总是被读为 0。 0：无使用 1：用当前时间加上 1 小时。这可以用于夏季改变户外初始化模式
15	TSIEN	时间戳中断使能位。 0：时间戳中断禁止 1：时间戳中断开启
14	WTIEN	唤醒定时器中断使能位。 0：唤醒定时器中断禁止 1：唤醒定时器中断开启

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
13	ALBIEN	闹钟 B 中断使能位。 0：闹钟 B 中断禁止 1：闹钟 B 中断开启
12	ALAIEN	闹钟 A 中断使能位。 0：闹钟 A 中断禁止 1：闹钟 A 中断开启
11	TSEN	时间戳使能位。 0：时间戳禁止 1：时间戳开启
10	WTEN	唤醒定时器使能位。 0：唤醒定时器禁止 1：唤醒定时器开启
9	ALBEN	闹钟 B 使能位。 0：闹钟 B 禁止 1：闹钟 B 开启
8	ALAEN	闹钟 A 使能位。 0：闹钟 A 禁止 1：闹钟 A 开启
7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6	HFMT	小时格式位。 0：24 小时格式 1：AM/PM 格式
5	BYPS	旁路影子寄存器位。 0：日历值(从 RTC_SUBS、RTC_TSH 和 RTC_DATE 读取时)取自影子寄存器，影子寄存器每两个 RTCCLK 周期更新一次。 1：日历值(从 RTC_SUBS、RTC_TSH 和 RTC_DATE 读取时)直接从日历计数器中获取。 *注意：如果 APB1 时钟的频率小于 RTCCLK 的 7 倍，则 BYPS 必须设置为 1*
4	REFCLKEN	RTC_REFIN 参考时钟检测位(50 或 60hz)。 0：RTC_REFIN 检测禁止 1：RTC_REFIN 检测开启 *注意：DIVS 必须为 0x00FF*
3	TEDGE	时间戳事件触发沿配置位。 0：RTC_TS 输入上升沿生成一个时间戳事件 1：RTC_TS 输入下降沿生成一个时间戳事件 *注意：更改 TEDGE 时必须重置 RTC_CTRL.TSEN，以避免 RTC_INITSTS.TISF 意外置 1。*
2:0	WKUPSEL[2:0]	唤醒时钟选择位。 000：选择 RTC/16 时钟

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		001：选择 RTC/8 时钟 010：选择 RTC/4 时钟 011：选择 RTC/2 时钟 10x：选择 ck_spre(通常 1Hz)时钟 11x：选择 ck_spre(通常 1Hz)时钟并且唤醒定时器计数器值配置成 2^{16}

25.3.4 **RTC 日历时间寄存器（RTC_TSH）**

偏移地址：0x08

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved									APM	HOT[1:0]		HOU[3:0]			
									rw	rw		rw			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	MIT[2:0]			MIU[2:0]				Reserved	SCT[2:0]			SCU[3:0]			
	rw			rw					rw			rw			

位域	名称	描述
31:23	Reserved	保留，必须保持复位值
22	APM	AM/PM 格式。 0：AM 格式或者 24 小时格式 1：PM 格式
21:20	HOT[1:0]	小时的十位(BCD 格式)。
19:16	HOU[3:0]	小时的个位(BCD 格式)。
15	Reserved	保留，必需保持复位值。
14:12	MIT [2: 0]	分钟的十位(BCD 格式)。
11:8	MIU[3:0]	分钟的个位(BCD 格式)。
7	Reserved	保留，必需保持复位值。
6:4	SCT[2:0]	秒的十位(BCD 格式)。
3:0	SCU[3:0]	秒的个位(BCD 格式)。

25.3.5 **RTC 日历日期寄存器 (RTC_DATE)**

偏移地址：0x0C

复位值：0x0000 2101

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved								YRT[3:0]				YRU[3:0]			
								rw				rw			

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
WDU[2:0]			MOT	MOU[2:0]				Reserved		DAT[1:0]		DAU[3:0]			
rw			rw	rw						rw		rw			

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必须保持复位值。
23:20	YRT[3:0]	年的十位(BCD 格式)。
19:16	YRU[3:0]	年的个位(BCD 格式)。
15:13	WDU[2:0]	星期几 000: 禁止 001: 星期一 ... 111: 星期天
12	MOT	月的十位(BCD 格式)。
11:8	MOU[3:0]	月的个位(BCD 格式)。
7:6	Reserved	保留，必须保持复位值。
5:4	DAT[1:0]	日期的十位(BCD 格式)。
3:0	DAU[3:0]	日期的个位(BCD 格式)。

25.3.6 RTC 写保护寄存器(RTC_WRP)

偏移地址：0x10

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								PKEY[7:0]							
								w							

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值。
7:0	PKEY[7:0]	写保护秘钥 读取该字节总是返回 0x00。 有关如何解锁 RTC 寄存器写保护的详细信息，请参阅 RTC 写保护寄存器章节。

25.3.7 RTC 平移控制寄存器(RTC_ SCTRL)

偏移地址：0x14

复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
AD1S	Reserved														
w															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	SUBF[14:0]														
	w														

位域	名称	描述
31	AD1S	加一秒 0：不加一秒。 1：时钟/日历增加一秒 该位只能写入且读取为零。 当 RTC_INITSTS.SHOPF=1 时，写入该位没有影响。
30:15	Reserved	保留，必须保持复位值。
14:0	SUBF[14:0]	减去亚秒值位 这些位只能写入且读取为零。当 RTC_INITSTS.SHOPF=1 时，写入该位没有影响。写入 SUBF[14:0]的值被添加到同步预分频计数器，时钟将延迟： 延迟（秒）= (SUBF[14:0]+1) / (DIVS[14:0] + 1) AD1S 位可以与 SUBF[14:0] 位一起使用： 提前（秒）= (1 - ((SUBF[14:0]+1) / (DIVS[14:0] + 1)))。 *注意：RTC_INITSTS.RSYF 位将在写入 SUBF[14:0] 时被清除。当 RTC_INITSTS.RSYF=1 时，影子寄存器已更新为平移后的时间。*

25.3.8 RTC 亚秒寄存器(RTC_SUBS)

偏移地址：0x18

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SS[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	SS[15:0]	亚秒值。 该值是同步预分频器计数器值。 此亚秒值由以下公式计算： 亚秒值 = (RTC_PRE.DIVS[14:0]-SS)/(RTC_PRE.DIVS[14:0]+1) *注意：SS[15:0] 只有在移位操作完成后才能大于 RTC_PRE.DIVS[14:0]。 在这*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		种情况下，正确的时间/日期比 RTC_TSH/RTC_DATE 指示的时间/日期慢一秒。

25.3.9 RTC 时间戳时间寄存器 (RTC_TST)

偏移地址：0x1C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Rserved									APM	HOT[1:0]		HOU[3:0]			
									r	r		r			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Rserved	MIT[2:0]			MIU[3:0]				Rserved	SET[2:0]			SEU[3:0]			
	r			r					r			r			

位域	名称	描述
31:23	Reserved	保留，必须保持复位值。
22	APM	AM/PM 符号位。 0：AM 或 24 小时制 1：PM
21:20	HOT[1:0]	小时的十位(BCD 格式)。
19:16	HOU[3:0]	小时的个位(BCD 格式)。
15	Reserved	保留，必须保持复位值。
14:12	MIT[2:0]	分钟的十位(BCD 格式)。
11:8	MIU[3:0]	分钟的个位(BCD 格式)。
7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6:4	SET[2:0]	秒的十位(BCD 格式)。
3:0	SEU[3:0]	秒的个位(BCD 格式)。

25.3.10 RTC 闹钟 A 寄存器(RTC_ALARMA)

偏移地址：0x20

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
MASK4	WKDSEL	DTT[1:0]		DTU[3:0]				MASK3	APM	HOT[1:0]		HOU[3:0]			
rw	rw	rw		rw				rw	rw	rw		rw			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MASK2	MIT[2:0]			MIU[3:0]				MASK1	SET[2:0]			SEU[3:0]			
rw	rw			rw				rw	rw			rw			

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31	MASK4	闹钟日期掩码位。 0：日期/日匹配 1：日期/日不匹配
30	WKDSEL	星期几选择位。 0：DTU[3:0]代表日期的个位 1：DTU[3:0]代表星期几。DTT[1:0]为无关位
29:28	DTT[1:0]	日期的十位(BCD 格式)。
27:24	DTU[3:0]	日期的个位(BCD 格式)
23	MASK3	闹钟小时掩码位。 0：小时匹配 1：小时不匹配
22	APM	AM/PM 符号位。 0：AM 或 24 小时制 1：PM
21:20	HOT[1:0]	小时的十位(BCD 格式)。
19:16	HOU[3:0]	小时的个位(BCD 格式)。
15	MASK2	闹钟分钟掩码位。 0：分钟匹配 1：分钟不匹配
14:12	MIT[2:0]	分钟的十位(BCD 格式)。
11:8	MIU[3:0]	分钟的个位(BCD 格式)。
7	MASK1	闹钟秒掩码位。 0：秒匹配 1：秒不匹配
6:4	SET[2:0]	秒的十位(BCD 格式)。
3:0	SEU[3:0]	秒的个位(BCD 格式)。

25.3.11 RTC 预分频寄存器(RTC_PRE)

偏移地址：0x24

复位值：0x007F 00FF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved									DIVA[6:0]						
									rw						

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	DIVS[14:0]														
	rw														

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:23	Reserved	保留，必须保持复位值。
22:16	DIVA[6:0]	异步分频参数位。 f_{ck_apre} = RTCCLK/(DIVA[6:0]+1)
15	Reserved	保留，必须保持复位值。
14:0	DIVS[14:0]	同步分频位。 $f_{ck\_spre} = f_{ck\_apre}$/(DIVS[14:0]+1)

25.3.12 RTC 闹钟 B 寄存器（RTC_ ALARMB）

偏移地址：0x28

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
MASK4	WKDSEL	DTT[1:0]		DTU[3:0]				MASK3	APM	HOT[1:0]		HOU[3:0]			
rw	rw	rw		rw				rw	rw	rw		rw			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MASK2	MIT[2:0]			MIU[3:0]				MASK1	SET[2:0]			SEU[3:0]			
rw	rw			rw				rw	rw			rw			

位域	名称	描述
31	MASK4	闹钟日期掩码位。 0：日期/日匹配 1：日期/日不匹配
30	WKDSEL	星期几选择位。 0：DTU[3:0]代表日期的个位 1：DTU[3:0]代表星期几。DTT[1:0]为无关位
29:28	DTT[1:0]	日期的十位(BCD 格式)。
27:24	DTU[3:0]	日期的个位(BCD 格式)
23	MASK3	闹钟小时掩码位。 0：小时匹配 1：小时不匹配
22	APM	AM/PM 符号位。 0：AM 或 24 小时制 1：PM
21:20	HOT[1:0]	小时的十位(BCD 格式)。
19:16	HOU[3:0]	小时的个位(BCD 格式)。
15	MASK2	闹钟分钟掩码位。 0：分钟匹配 1：分钟不匹配
14:12	MIT[2:0]	分钟的十位(BCD 格式)。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
11:8	MIU[3:0]	分钟的个位(BCD 格式)。
7	MASK1	闹钟秒掩码位。 0：秒匹配 1：秒不匹配
6:4	SET[2:0]	秒的十位(BCD 格式)。
3:0	SEU[3:0]	秒的个位(BCD 格式)。

25.3.13 RTC 唤醒定时器寄存器(RTC_WKUPT)

偏移地址：0x2C

复位值：0x0000 FFFF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
WKUPT[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	WKUPT[15:0]	唤醒自动重载值位 当 RTC_CTRL.WTEN=1 时，每 N 个 ck_wut 周期设置一次 RTC_INITSTS.WTF 标志。 其中当 RTC_CTRL.WKUPSEL[2:0] = 0b10x 时，N = WKUPT[15:0]+ 1；当 RTC_CTRL.WKUPSEL[2:0] = 0b11x 时，N = (WKUPT[15:0]+ 1)+65536。 *注意：* *这个寄存器的变化（如第二次设置或以后的设置）需要在唤醒中断中进行更改，否则更改后的设置不会立即生效，而是在下次唤醒后生效；特别是当 RTC_CTRL.WKUPSEL[2:0] 设置为 010 时，修改后的设置不会立即生效，而是在下一个周期唤醒后生效。*

25.3.14 RTC 入侵配置寄存器（RTC_ TMPCFG）

偏移地址：0x30

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				TP3MF	TP3NOE	TP3INTEN	TP2MF	TP2NOE	TP2INTEN	TP1MF	TP1NOE	TP1INTEN	TPPUDIS	TPPRCH[1:0]	
				rw		rw	rw		rw	rw		rw	rw	rw	

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		TPFLT[1:0]		Reserved	TPFREQ[2:0]			TPTS	TP3TRG	TP3EN	TP2TRG	TP2EN	TPINTEN	TP1TRG	TP1EN
		rw			rw			rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必须保持复位值。
27	TP3MF	入侵 3 掩码标志。 0：不屏蔽入侵 3 事件。 1：屏蔽入侵 3 事件。 注意：当 TP3MF 置位时，不得使能 Tamper 3 中断。
26	TP3NOE	入侵 3 不擦除位。 0：入侵 3 事件擦除备份寄存器 1：入侵 3 事件不擦除备份寄存器
25	TP3INTEN	入侵 3 中断使能位。 0：TPINTEN = 0 时禁止入侵 3 中断 1：使能入侵 3 中断
24	TP2MF	入侵 2 掩码标志。 0：不屏蔽入侵 2 事件。 1：屏蔽入侵 2 事件。 注意：当 TP2MF 置位时，不得使能 Tamper 2 中断。
23	TP2NOE	入侵 2 不擦除位。 0：入侵 2 事件擦除备份寄存器 1：入侵 2 事件不擦除备份寄存器
22	TP2INTEN	入侵 2 中断使能位。 0：TPINTEN = 0 时禁止入侵 2 中断 1：使能入侵 2 中断
21	TP1MF	入侵 1 掩码标志。 0：不屏蔽入侵 1 事件。 1：屏蔽入侵 1 事件。 注意：当 TP1MF 置位时，不得使能 Tamper 1 中断。
20	TP1NOE	入侵 1 不擦除位。 0：入侵 1 事件擦除备份寄存器 1：入侵 1 事件不擦除备份寄存器
19	TP1INTEN	入侵 1 中断使能位。 0：TPINTEN = 0 时禁止入侵 1 中断 1：使能入侵 1 中断
18	TPPUDIS	RTC_TAMPx 上拉禁用位。 0：每次采样前启用预充电 RTC_TAMPx 引脚。 1：禁用预充电 RTC_TAMPx 引脚
17:16	TPPRCH[1:0]	RTC_TAMPx 预充电持续时间。 这些位确定每次采样前的预充电时间。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0x0：1 个 RTCCLK 周期 0x1：2 个 RTCCLK 周期 0x2：4 个 RTCCLK 周期 0x3：8 个 RTCCLK 周期
15:14	Reserved	保留，必须保持复位值。
13:12	TPFLT[1:0]	RTC_TAMPx 过滤器计数。 这些位决定在有效电平时的连续采样次数。 0x0：在有效电平上 1 次采样后触发入侵事件 0x1：在有效电平上连续 2 次采样后触发入侵事件 0x2：在有效电平上连续 4 次采样后触发入侵事件 0x3：在有效电平上连续 8 次采样后触发入侵事件
11	Reserved	保留，必须保持复位值。
10:8	TPFREQ[2:0]	入侵采样频率。 该位决定对每个 RTC_TAMPx 输入进行采样时的频率。 0x0：每 32768 个 RTCCLK 采样一次（当 RTCCLK = 32.768 KHz 时为 1 Hz） 0x1：每 16384 个 RTCCLK 采样一次 0x2：每 8192 个 RTCCLK 采样一次 0x3：每 4096 个 RTCCLK 采样一次 0x4：每 2048 个 RTCCLK 采样一次 0x5：每 1024 个 RTCCLK 采样一次 0x6：每 512 个 RTCCLK 采样一次 0x7：每 256 个 RTCCLK 采样一次
7	TPTS	发生入侵检测事件时激活时间戳位。 0：发生入侵检测事件时不保存时间戳 1：发生入侵检测事件时保存时间戳 即便 RTC_CTRL.TSEN=0，TPTS 仍有效。
6	TP3TRG	入侵 3 事件触发模式。 如果 TPFLT[1:0] != 00，入侵检测处于电平模式： 0：低电平触发入侵检测事件。 1：高电平触发入侵检测事件。 如果 TPFLT[1:0] = 00，入侵检测处于边沿模式： 0：上升沿触发入侵检测事件。 1：下降沿触发入侵检测事件
5	TP3EN	RTC_TAMP3 检测使能位。 0：禁止 RTC_TAMP3 输入检测 1：开启 RTC_TAMP3 输入检测
4	TP2TRG	入侵 2 事件触发模式。 如果 TPFLT[1:0] != 00，入侵检测处于电平模式： 0：低电平触发入侵检测事件。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：高电平触发入侵检测事件。 如果 TPFLT[1:0] = 00，入侵检测处于边沿模式： 0：上升沿触发入侵检测事件。 1：下降沿触发入侵检测事件
3	TP2EN	RTC_TAMP2 检测使能位。 0：禁止 RTC_TAMP2 输入检测 1：开启 RTC_TAMP2 输入检测
2	TPINTEN	入侵事件中断使能。 0：禁止入侵中断 1：使能入侵中断 注：该位使能所有入侵引脚事件的中断，与 TPxINTEN 电平无关。如果该位清零，每个入侵事件中断可以通过设置 TPxINTEN 单独启用。
1	TP1TRG	入侵 1 事件触发模式。 如果 TPFLT[1:0] != 00，入侵检测处于电平模式： 0：低电平触发入侵检测事件。 1：高电平触发入侵检测事件。 如果 TPFLT[1:0] = 00，入侵检测处于边沿模式： 0：上升沿触发入侵检测事件。 1：下降沿触发入侵检测事件
0	TP1EN	RTC_TAMP1 检测使能位。 0：禁止 RTC_TAMP1 输入检测 1：开启 RTC_TAMP1 输入检测

25.3.15 RTC 闹钟 A 亚秒寄存器(RTC_ ALRMASS)

偏移地址：0x34

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved												MASKSSB[3:0]			
												rw			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	SSV[14:0]														
	rw														

位域	名称	描述
31:20	Reserved	保留，必须保持复位值。
19:16	MASKSSB[3:0]	屏蔽此位开始的最高有效位。 0x0：闹钟的亚秒不比较。当秒单位增加时设置闹钟（假设其余字段匹配）。 0x1：只比较 SS[0]，不比较其他位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0x2：仅比较 SS[1:0]，不比较其他位。 0x3：仅比较 SS[2:0]，不比较其他位。 ... 0xC：仅比较 SS[11:0]，不比较其他位。 0xD：仅比较 SS[12:0]，不比较其他位。 0xE：仅比较 SS[13:0]，不比较其他位。 0xF：比较 SS[14:0] 从不比较同步计数器 RTC_SUBS.SS[15]位。
15	Reserved	保留，必须保持复位值。
14:0	SSV[14:0]	亚秒值。 该值与同步预分频计数器 RTC_SUBS.SS[14:0]进行比较，比较的位数由 MASKSSB[3:0]控制。

25.3.16 RTC 选项寄存器 (RTC_OPT)

偏移地址：0x38

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															TYPE
															rw

位域	名称	描述
31:1	Reserved	保留，必须保持复位值。
0	TYPE	RTC_OUT1 和 RTC_OUT2 上的 RTC_ALARM 输出类型位。 0：开漏输出 1：推挽输出

25.3.17 RTC 闹钟 B 亚秒寄存器 (RTC_ ALRMBSS)

偏移地址：0x3C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved												MASKSSB[3:0]			
												rw			

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	SSV[14:0]														
	rw														

位域	名称	描述
31:20	Reserved	保留，必须保持复位值。
19:16	MASKSSB[3:0]	屏蔽此位开始的最高有效位。 0x0：闹钟的亚秒不比较。当秒单位增加时设置闹钟（假设其余字段匹配）。 0x1：只比较 SS[0]，不比较其他位。 0x2：仅比较 SS[1:0]，不比较其他位。 0x3：仅比较 SS[2:0]，不比较其他位。 ... 0xC：仅比较 SS[11:0]，不比较其他位。 0xD：仅比较 SS[12:0]，不比较其他位。 0xE：仅比较 SS[13:0]，不比较其他位。 0xF：比较 SS[14:0]。 从不比较同步计数器 RTC_SUBS.SS[15]位。
15	Reserved	保留，必须保持复位值。
14:0	SSV[14:0]	亚秒值 该值与同步预分频计数器 RTC_SUBS.SS[14:0]进行比较，比较的位数由 MASKSSB[3:0] 控制。

25.3.18 RTC 校准寄存器(RTC_CALIB)

偏移地址：0x40

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				CP	CW8	CW16	CM[8:0]								
				rw	rw	rw	rw								

位域	名称	描述
31:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11	CP	将 RTC 频率提高 488.5 ppm。 此功能与 CM[8:0]一起使用。当 RTCCLK 频率为 32768 Hz 时，在 32 秒窗口期间添加的 RTCCLK 脉冲数为 ((512 * CP) – CM[8:0])。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：不增加 RTCCLK 脉冲 1：每 2^{11} 个脉冲有效插入一个 RTCCLK 脉冲
10	CW8	使用 8 秒校准周期位。 0：不使用 1：选择 8 秒校准周期 注意：当 CW8 = 1 时，CM[1:0]将始终保持为‘00’
9	CW16	使用 16 秒校准周期位。 0：不使用 1：选择 16 秒校准周期，如果 CW8 = 1，则不能将该位置 1 注意：当 CW16 = 1 时，CM[0]将始终保持为‘0’
8:0	CM[8:0]	负校准位。 2^{20} 个 RTCCLK 脉冲中的屏蔽脉冲数。这有效地降低了分辨率为 0.9537 ppm 的日历频率。

25.3.19 RTC 时间戳亚秒寄存器(RTC_TSSS)

偏移地址：0x44

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SSE[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	SSE[15:0]	亚秒值 SSE[15:0] 是同步预分频计数器中的值。 亚秒值由以下公式提供： 亚秒值 = (RTC_PRE.DIVS[14:0] – SSE[15:0]) / (RTC_PRE.DIVS[14:0] + 1) *注意：SSE[15:0] 只能在移位操作后大于 RTC_PRE.DIVS[14:0]。在这种情况下，正确的时间/日期比 RTC_TSH/RTC_DATE 指示的时间少一秒。*

25.3.20 RTC 时间戳日期寄存器 (RTC_TSD)

偏移地址：0x48

复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MOT	WDU[2:0]			MOU[2:0]				Reserved		DAT[1:0]		DAU[3:0]			
r	r			r						r		r			

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15	MOT	月份的十位(BCD 格式)。
14:12	WDU[2:0]	星期几 000: 禁止 001: 星期一 ... 111: 星期天
11:8	MOU[3:0]	月份的个位(BCD 格式)。
7:6	Reserved	保留，必须保持复位值。
5:4	DAT[1:0]	日期的十位(BCD 格式)。
3:0	DAU[3:0]	日期的个位(BCD 格式)。

25.3.21 RTC 备份寄存器 (RTC_ BKP(1~20))

偏移地址：0x4C ~ 0x98

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
BF[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
BF[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	BF[31:0]	备份数据 这些寄存器可以通过软件进行读写。 这些寄存器在 MR 关闭时由 BKR 供电，因此当系统复位时，这些寄存器不会复位，并且在器件工作在低功耗模式时寄存器的内容仍然有效。 如果 RTC_TMPCFG.TPxNOE=0，当检测到入侵事件时这些寄存器被复位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

26 多线串行外设接口（xSPI）

26.1 xSPI 简介

xSPI 是用于单/双/四/八线 SPI 外设通信的接口。可以在间接和内存映射 2 种模式下工作。

间接模式：使用 xSPI 寄存器执行所有操作。

内存映射模式：外部闪存映射至微控制器地址空间，系统将其视为内部存储空间。

26.2 xSPI 主要特性

xSPI 控制器的主要特性如下：

- 可配置1/2/4/8位数据
- 支持Single SPI/Normal SPI、DUAL SPI、QUAD SPI、Dual-QUAD、OCTAL SPI模式
- 支持Motorola SPI：
  - Standard/Dual/Quad/Octal SPI
- 支持 SDR 和 DDR 模式
- 读取数据选通，数据掩码支持DDR传输
- 支持时钟延长
- 在间接模式和内存映射模式下，帧格式与操作码可软件配置
- 集成 FIFO 用于发送和接收
- 允许 8/16/32 位数据访问
- 专用16Word TX FIFO和16Word RX FIFO
- 支持DMA
- 支持Hyperbus协议
- XIP模式支持SPI读写，支持串行NOR FLASH
  - 支持连续传输模式
  - 支持数据预取
- 支持XSPI外设执行代码自动解密，即XSPI外设代码密文存储，执行代码时读取密文自动解密为明文CPU执行，不影响对外设存储的访问速度，解密可软件控制使能/禁能，根密钥存放于NVR区，用户不可访问
- 支持串行NAND FLASH和PSRAM
- xSPI对外部存储进行读写访问，当做完xSPI初始化后，写外扩存储和读外扩存储之间或读外扩存储和写外扩存储之间不需要对xSPI做额外配置，即直接操作内存方式（通过SRAM地址）进行读写外扩存储
- 主机模式支持2个对外片选输出控制，从机模式支持1个片选输入，主机模式下所有复用为片选输出的

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

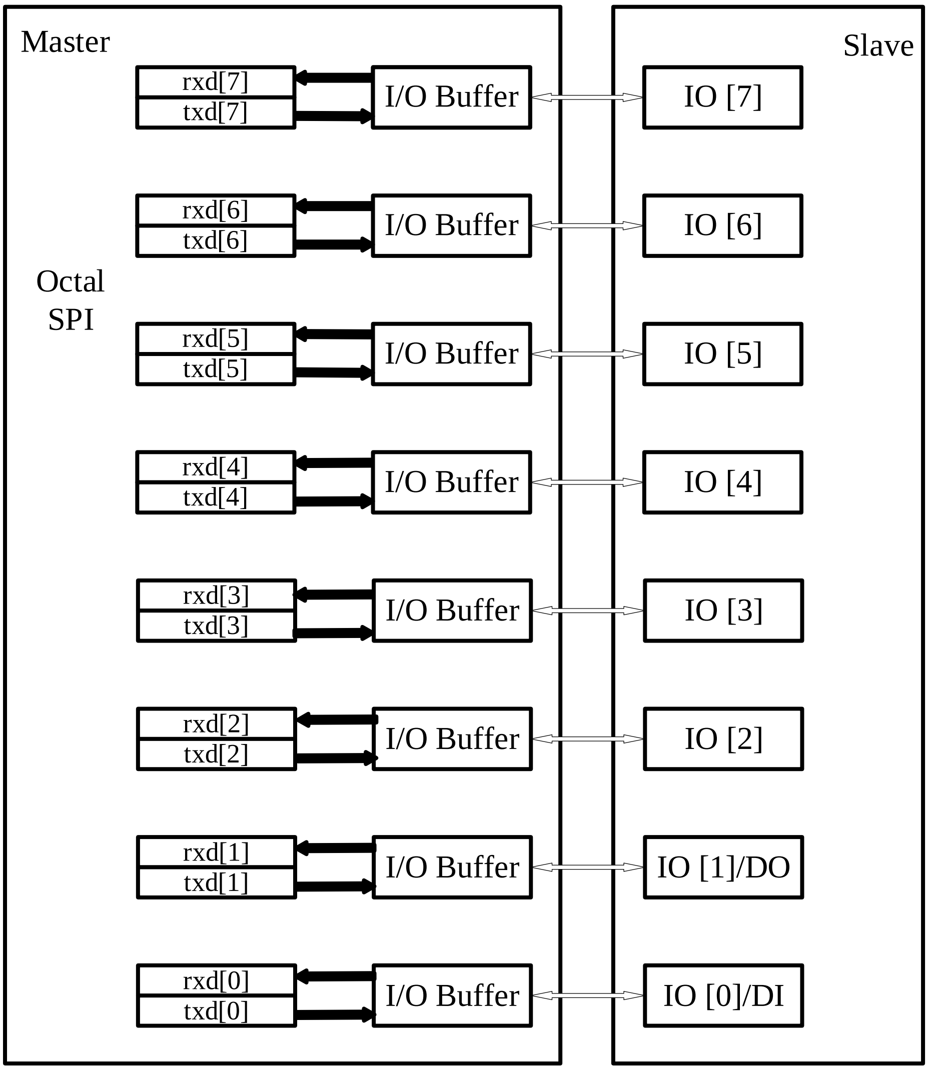
IO，从机模式下都可复用为片选输入

- 支持多主仲裁功能

注意：Mode bits 阶段只在 XIP 模式使用。

26.3 功能描述

图 26-1 Octal SPI 框图



26.3.1 双数据速率（DDR）支持

DDR 模式位使能后将开启所有阶段的 DDR 模式,同时启用 SPI 的 2/4/8 线模式下所有通信阶段的双速率传输，可以提高吞吐量。数据在时钟的正沿和负沿都会发送数据。

DDR 支持以下 SPI 模式：

- 模式 0：当默认串行时钟相位和默认串行时钟极性未启用时（SCPH = 0 & SCPOL = 0）
- 模式 3：当启用默认串行时钟相位和默认串行时钟极性时（SCPH = 1 & SCPOL = 1）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

26.3.1.1 描述

DDR 命令在时钟的上升沿和下降沿传输数据。以下是不同类型的 DDR 命令：

- 地址和数据以 DDR 格式传输（或在数据的情况下接收），而指令以标准格式传输。
- 指令、地址和数据都以 DDR 格式传输或接收。

26.3.1.2 传输数据

在 DDR 模式下，数据是在两个边沿上传输，这样就很难正确采样数据。于是 xSPI 配置 DDR_TXDE 来确定数据应该在哪个边沿上传输，以确保接收器能够在采样时获取稳定的数据。

xSPI 根据波特率时钟发送数据，该时钟是内部时钟（XSPI_clk * BAUDR）的整数倍。数据需要在半个时钟周期（BAUDR/2）内传输，因此 DDR_TXDE 寄存器的最大值等于[(BAUDR/2)-1]。数据在采样边沿之前的 XSPI_clk *（(BAUD/2）-TXD_DRIVE_EDGE）之前被驱动。如果 DDR_TXDE 的编程值为 0，则数据相对于 SCK 边界对齐进行传输。如果 DDR_TXDE 寄存器的编程值设置为 1，则数据在 SCK 边沿之前的两个 XSPI_clk 时钟周期内进行传输。

注意：DDR 模式下的波特率值应为 4 的倍数。

26.3.2 xSPI 命令序列

XSPI_clk 来源于 AHB 时钟，BAUDR 是分频系数，SCK 是 xSPI 输出时钟。

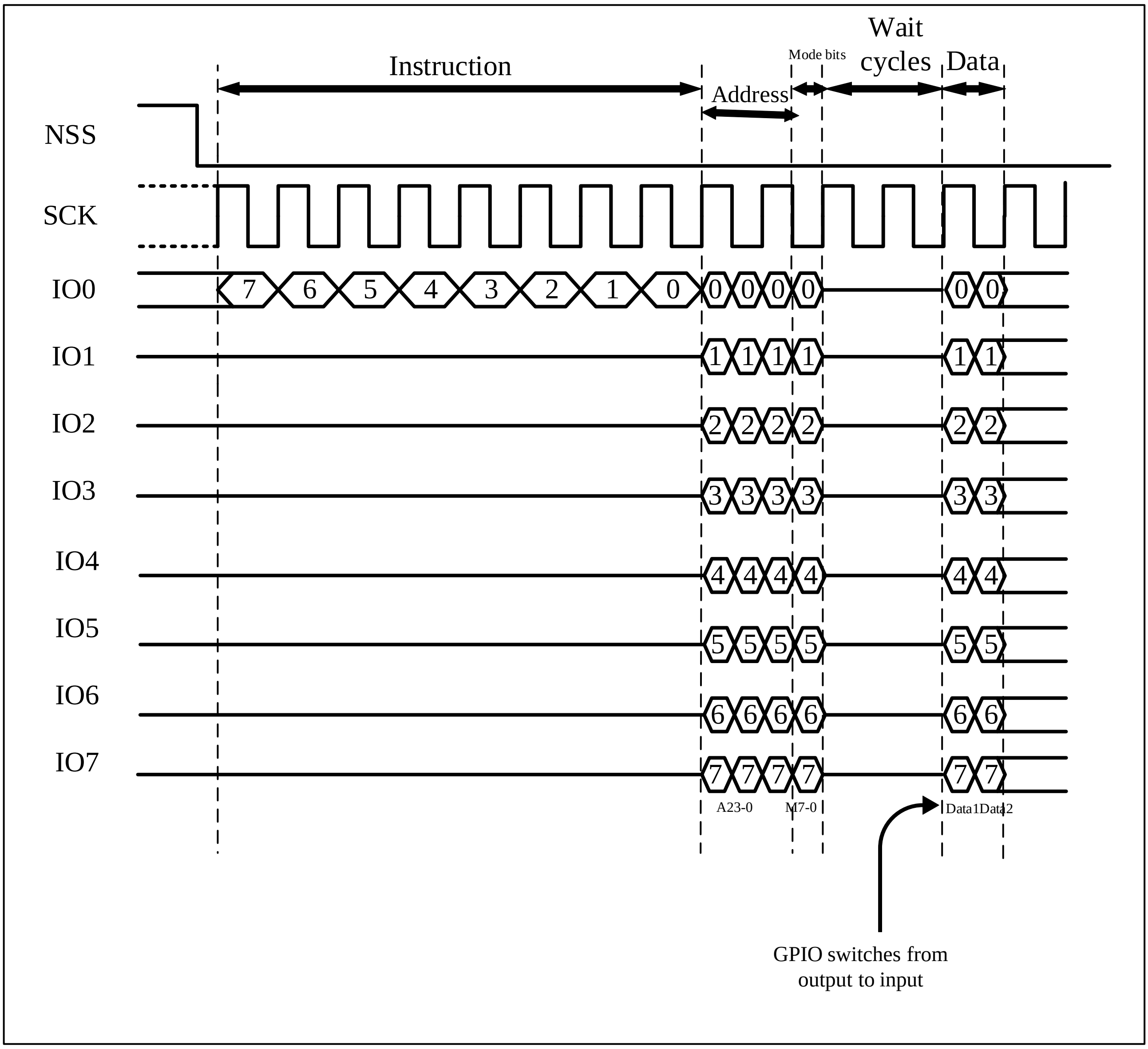
xSPI 通过命令与外设通信，每条命令包括 Instruction 阶段、Address 阶段、Mode bits 阶段、Wait cycles 阶段和 Data 阶段五个阶段，任一阶段均可跳过，但至少要保留 Instruction 阶段、Address 阶段、Mode bits 阶段或 Data 阶段其中一个阶段。

注意：Mode bits 阶段只用在 XIP 模式，XIP 模式位阶段使能后，XIP 模式将在地址阶段后插入模式位。XIP Mode bits 位宽：2、4、8、16（使能 XIP 模式位阶段后有效）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.

地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 26-2 Octal SPI 命令序列



26.3.3 XIP

XIP 操作只支持在 Dual、Quad 和 Octal SPI 操作模式下，所以 XSPI_CTRL0.SPIFRF 位不能是 0。XIP 操作一般由一个地址阶段和一个数据阶段组成。

当将 XSPI_XIP_CTRL.DFSHC 寄存器设置为 0 时，AHB 控制信号用于推导设备要获取的数据帧大小和数据帧数量的值。HSIZE 信号用于获取传输的数据帧大小的值。下表显示了从 HSIZE 值映射的数据帧大小。

表 26-1 从 HSIZE 值映射的数据帧大小

HSIZE	Data frame Size (DFS)
3’b000	8
3’b001	16
>=3’b010	32

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

要获取的数据帧的数量是从 HBURST 派生出来的。下表显示了 HBURST 值解码后的数据帧数。

表 26-2 HBURST 值解码后的数据帧数

HBURST	Type	Number of Data Frames (NDF)
000	Single	1
001	INCR	获取数据直到突发完成
010	WRAP4	4
011	INCR4	4
100	WRAP8	8
101	INCR8	8
110	WRAP16	16
111	INCR16	16

26.3.3.1 XIP 传输

XIP 模式下连续传输使能，使能后启用 XIP 模式下连续传输(减少 AHB 接口请求次数)

XIP 传输的配置如下：

1. 在 XSPI_CTRL0 寄存器中设置 SPI 帧格式值。
2. 读 XIP 需要配置 XSPI_XIP_CTRL.ADDRL [3:0]和 XSPI_XIP_CTRL. WAITCYCLES[4:0]。
3. 写 XIP 需要配置 XSPI_XIP_WRITE_CTRL.WRADDRL 和 XSPI_XIP_WRITE_CTRL.XIPWRWCY[4:0]。

XIP 指令阶段

可以通过使用 XSPI_XIP_CTRL.XIPINSTEN 将指令阶段包含在 XIP 传输中，流程如下：

1. 配置 XSPI_ENH_CTRL0.INSTL,设置指令的长度。
2. 在 XSPI_XIP_WRITE_INCR_INST 和 XSPI_XIP_WRITE_WRAP_INST 寄存器中写入指令操作码。完成后，就可以通过 AHB 接口发起读取操作，该操作会使用编程的值传输到 SPI 外设。

根据 AHB 传输类型以及读/写模式（INCR 类型、WRAP 类型）从不同的寄存器中选择指令操作码。INCR 类型、WRAP 类型是突发传输类型。

xSPI 首先接收所有数据，然后在 AHB 接口上进行传输。一旦为特定突发请求获取了所需的数据量，从设备中取消选择。

- 固定的增量/循环突发传输（INCR/WRAP）；当 xSPI 接收到固定的突发请求时，它只从 SPI 设备中获取固定数量的数据。数据帧的数量（NDF）由 HBURST 确定，数据帧的大小由 HSIZE 推导得出。对于 WRAP 请求，设备必须发送正确的数据，xSPI 将数据转发到 AHB 接口上。
- 未定义的增量突发（INCR）；在这种情况下，除非在从设备的从接口上检测到突发结束（IDLE 传输），否则 xSPI 将持续从设备中获取数据。对于这种传输类型，xSPI 从 SPI 设备中获取最多 1KB 的数据。

26.3.3.2 AHB WAIT 传输

在 XIP 传输过程中，AHB 主机可能会在传输中插入等待状态。在这种情况下，xSPI 不会在 SPI 接口上中断传输，而是继续从 SPI 从设备中获取数据，直到为正在进行的突发传输获取到所有所需的数据帧。这些中间

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

数据存储在 xSPI 的接收 FIFO 中，在等待周期完成后传输到 AHB 接口。

如在主机接收到 D-1 个数据后，AHB 在传输中插入 BUSY 周期。在此期间，没有数据发送到 AHB 主机。在 AHB 恢复传输后，xSPI 开始发送从 SPI 设备接收到的数据。

由于中间数据帧存储在 RX FIFO 中，如果 FIFO 深度设置为 8，并且 AHB 接口正在执行 16 个突发传输，在传输过程中可能会出现 FIFO 溢出的情况，这可能导致系统中的数据错误。因此，在选择 RX FIFO 深度时必须考虑到这一点。如果在 XIP 传输过程中由软件检测到 RX FIFO 溢出中断，则必须重新尝试数据传输，以避免数据有误。

26.4 操作流程

26.4.1 xSPI 间接模式

在间接模式下，通过写入 xSPI 寄存器来启动命令，并通过读写数据寄存器来传输数据，其方式与其它通信外设相同。

当 XSPI_CTRL0.TMOD[1:0] = 00 时，处于发送与接收模式，发送/接收数据均有效。传输数据持续进行，直到发送 FIFO 为空为止。从外部设备接收的数据存储在接收 FIFO 存储器中，主机处理器可以访问该数据。

注意：只有在标准 SPI 模式下（XSPI_CTRL0.SPIFRF[1:0] = 00）才可以使用 Tx and Rx 模式

当 XSPI_CTRL0.TMOD[1:0] = 01 时，xSPI 处于间接发送模式，其待发送字节在数据发送阶段送到闪存，通过写入 XSPI_DATx 寄存器来提供数据。

当 XSPI_CTRL0.TMOD[1:0] = 10 时，xSPI 处于间接接收模式，其待接收数据在数据接收阶段从闪存接收，通过读取 XSPI_DATx 寄存器来获取数据。

当 XSPI_CTRL0.TMOD[1:0] = 11 时，EEPROM 读取模式，发送数据用于将操作码/地址发送到 EEPROM 设备。

注意：只有在标准 SPI 模式下（XSPI_CTRL0.SPIFRF[1:0] = 00）才可以使用 EEPROM read 模式，要读取的字节数在 XSPI_CTRL1.NDF[15:0] 中指定。

26.4.2 xSPI 间接发送操作

1 XSPI_CTRL0.SPIFRF[1:0]指定帧发送格式（标准/双线/四线/八线模式）

2 XSPI_CTRL0.DFS[4:0]指定数据长度(4～32bit)

3 XSPI_ENH_CTRL0.ADDRLEN[3:0]指定地址长度(4bit～60bit，可配置跳过 Address 阶段)

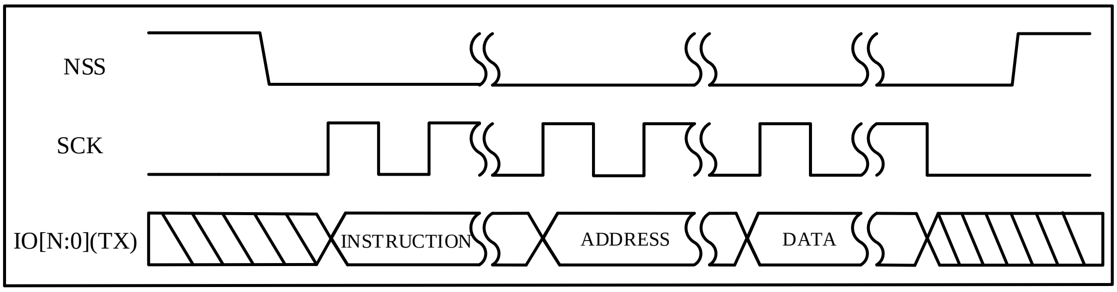
4 XSPI_ENH_CTRL0.INSTL[1:0]指定指令长度(4bit、8bit、16bit，可配置跳过 Instruction 阶段)

注意：1 条指令占用 1 个 FIFO 地址，地址可以占用多个 FIFO 位置。指令和地址都必须在 XSPI_DATx *寄存器中编程。*

写操作可以分为 3 个阶段：Instruction 阶段、Address 阶段、Data 阶段。

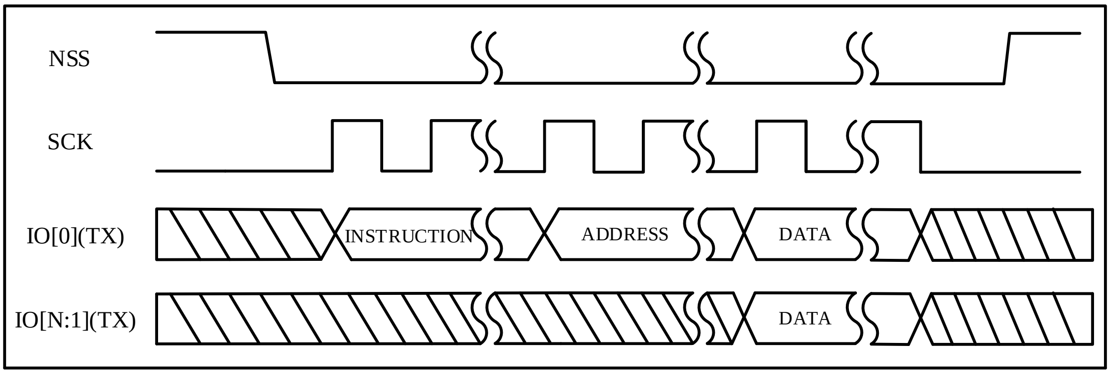
■ 典型写操作时序

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057



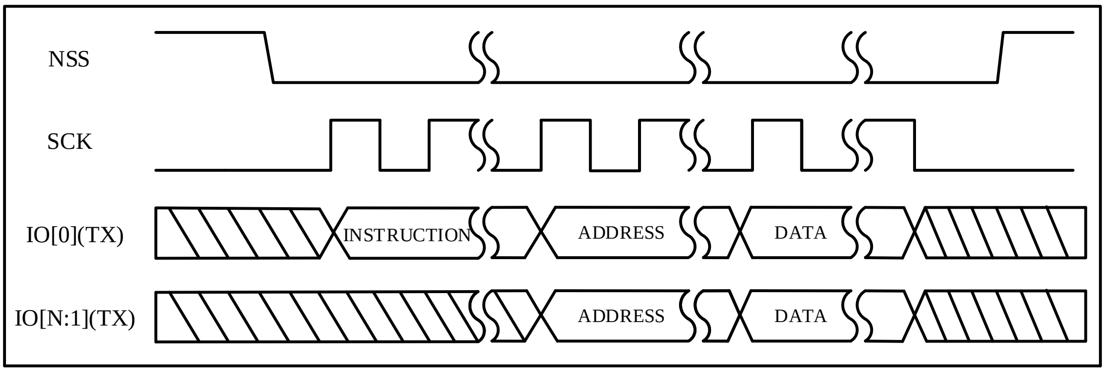
四线模式下 N=3，对于 1 次写操作，指令和地址仅发送 1 次，然后是 XSPI_DATx 寄存器中存储的数据帧，直到发送 FIFO 为空。

■ 指令和地址都以标准 SPI 格式发送



XSPI_ENH_CTRL0.TRANSTYPE[1:0]须配置为 0。XSPI_CTRL0.SPIFRF[1:0]配置为 0x02（四线模式）时，N=3; XSPI_CTRL0.SPIFRF[1:0]配置为 0x01（双线模式）时，N=1。

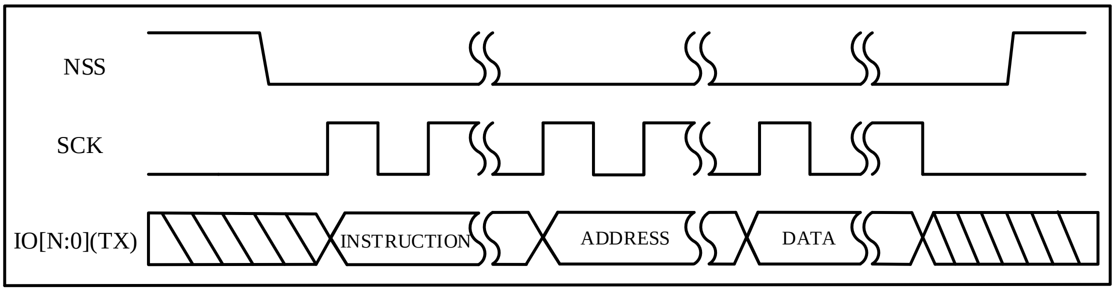
■ 指令以标准 SPI 模式发送，地址以 CTRL0.SPIFRF 制定模式发送时序



XSPI_ENH_CTRL0.TRANSTYPE[1:0]须配置为 0x01。XSPI_CTRL0.SPIFRF[1:0]配置为 0x02(四线模式)时，N=3; XSPI_CTRL0.SPIFRF[1:0]配置为 0x01（双线模式）时，N=1。

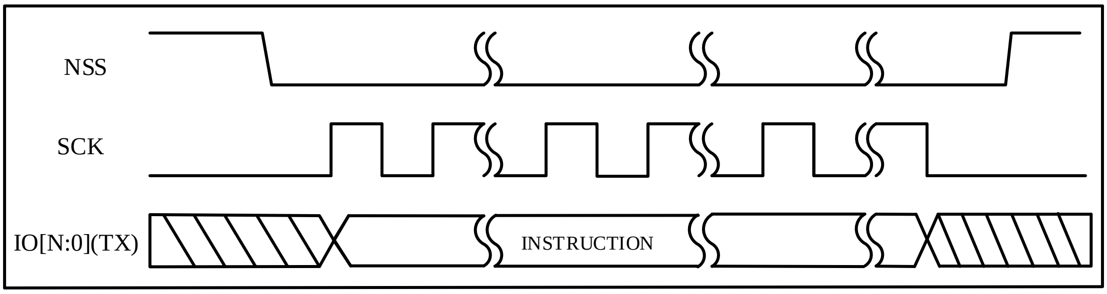
■ 指令和地址以 XSPI_CTRL0.SPIFRF 制定模式发送时序

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057



XSPI_ENH_CTRL0.TRANSTYPE[1:0]须配置为 0x02。XSPI_CTRL0.SPIFRF[1:0]配置为 0x02(四线模式)时，N=3; XSPI_CTRL0.SPIFRF[1:0]配置为 0x01（双线模式）时，N=1。

■ 只有指令阶段的发送时序

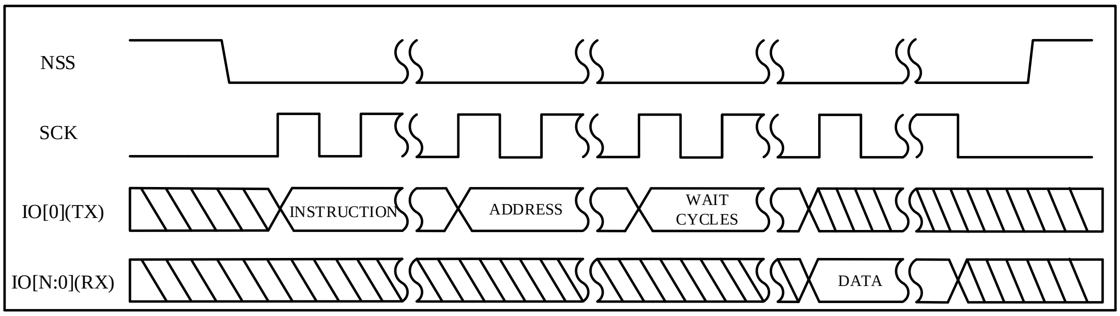


和 XSPI_ENH_CTRL0.TRANSTYPE[1:0]配置无关。XSPI_CTRL0.SPIFRF[1:0]配置为 0x02（四线模式）时，N=3; XSPI_CTRL0.SPIFRF[1:0]配置为 0x01（双线模式）时，N=1。

26.4.3 xSPI 间接接收操作

对于读操作，xSPI 发送 1 次指令和控制数据，直到收到数量等于 NDF（XSPI_CTRL1[15:0]）数量的数据，然后取消从机选择信号。读操作可以分为 4 个阶段：Instruction 阶段、Address 阶段、Wait cycles 阶段和 Data 阶段。

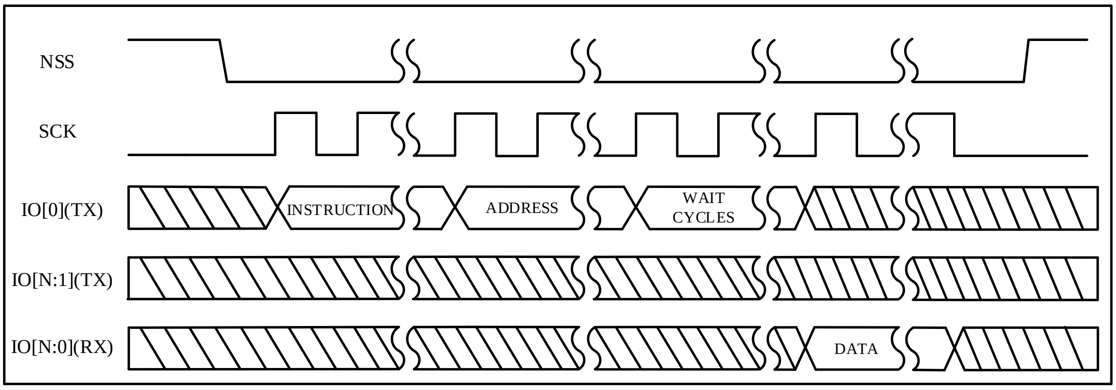
■ 典型读操作时序



四线模式下 N=3，每个读取命令数据将以 XSPI_CTRL0.SPIFRF[1:0]配置的格式传输。配置为 0x2 为四线模式。

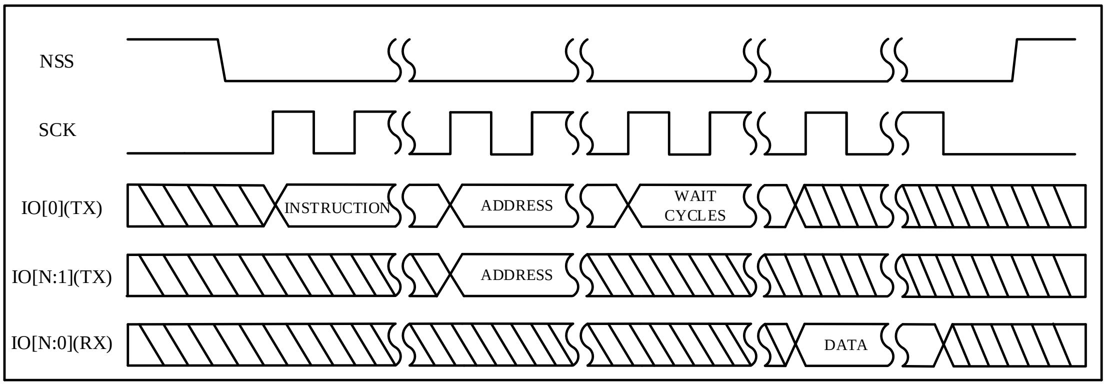
■ 地址和指令都以标准 SPI 格式接收时序

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057



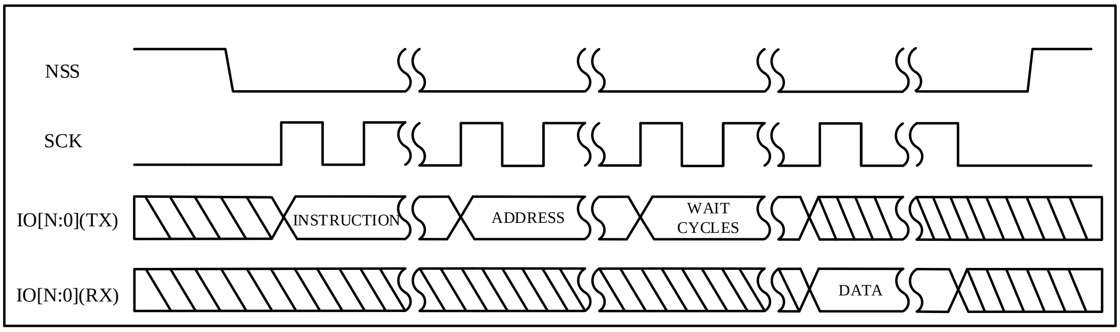
XSPI_ENH_CTRL0.TRANSTYPE[1:0]应配置为 0x0，XSPI_ENH_CTRL0.WAITCYCLES[4:0]配置 WAIT 的周期。XSPI_CTRL0.SPIFRF[1:0]配置为 0x02（四线模式）时，N=3; XSPI_CTRL0.SPIFRF[1:0]配置为 0x01（双线模式）时，N=1。

■ 指令以标准 SPI 模式发送，地址以 XSPI_CTRL0.SPIFRF 制定模式接收时序



XSPI_ENH_CTRL0.TRANSTYPE[1:0]应配置为 0x1，XSPI_ENH_CTRL0.WAITCYCLES[4:0]配置 WAIT 的周期。XSPI_CTRL0.SPIFRF[1:0]配置为 0x02（四线模式）时，N=3; XSPI_CTRL0.SPIFRF[1:0]配置为 0x01（双线模式）时，N=1。

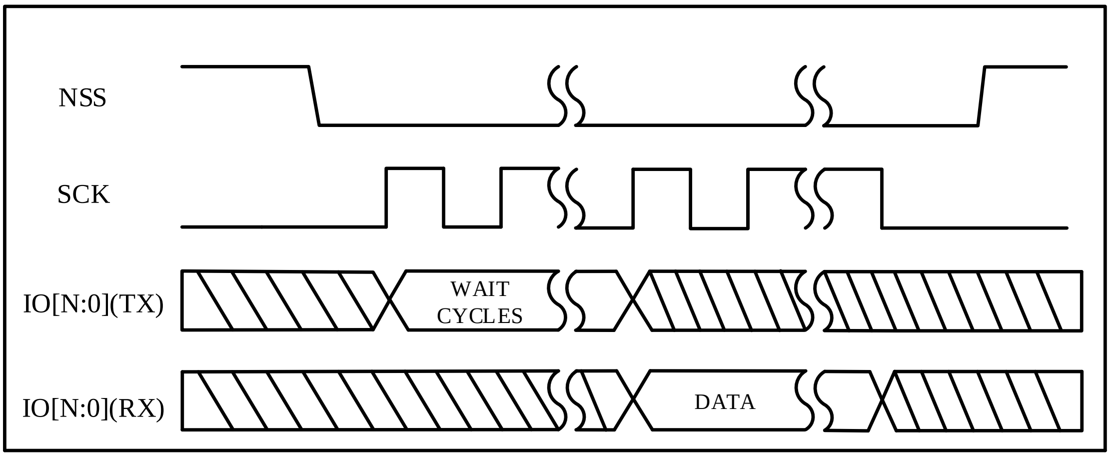
■ 指令和地址以 XSPI_CTRL0.SPIFRF 制定模式接收时序



XSPI_ENH_CTRL0.TRANSTYPE[1:0]配置应为 0x2。XSPI_CTRL0.SPIFRF[1:0]配置为 0x02（四线模式）时，N=3; XSPI_CTRL0.SPIFRF[1:0]配置为 0x01（双线模式）时，N=1。

■ 只有 Wait cycles 阶段的接收时序

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057



XSPI_ENH_CTRL0.ADDRLEN[3:0] 配置为 0，XSPI_ENH_CTRL0.INSTL[1:0] 配置为 0，XSPI_ENH_CTRL0.WAITCYCLES[4:0]配置 wait cycles。XSPI_CTRL0.SPIFRF[1:0]配置为 0x02（四线模式）时，N=3; XSPI_CTRL0.SPIFRF[1:0]配置为 0x01（双线模式）时，N=1。

26.5 xSPI 寄存器

26.5.1 xSPI 控制寄存器 0（XSPI_CTRL0）

注意：当 XSPI_EN.XSPIEN = 1 时，该寄存器不能被写入。

偏移地址：0x00

复位值：0x8080 4407

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
MST	Reserved					DWSEN	HYPBUSEN	SPIFRF[1:0]		Reserved		CFS[3:0]			
rw						rw	rw	rw				rw			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	SSTE	SRL	SLVOE	TMOD[1:0]		SCPOL	SCPH	FRF[1:0]		Reserved	DFS[4:0]				
	rw	rw	rw	rw		rw	rw	rw			rw				

位域	名称	描述
31	MST	选择 xSPI 工作在主模式还是从模式 00：xSPI 是从 01：xSPI 是主
30:26	Reserved	保留，必须保持复位值
25	DWSEN	在 SPI 操作模式下启用动态等待状态。 00：禁用 01：启用 *注：仅在 XSPI_CTRL0.FRF 设置为 0x00（Motorola SPI 帧格式）时适用。*
24	HYPBUSEN	SPI HYPERBUS 帧格式使能 0：禁用 HYPERBUS 帧格式

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：启用 HYPERBUS 帧格式
23:22	SPIFRF[1:0]	SPI 帧格式 选择发送/接收数据的数据帧格式。 00：标准 SPI； 01：双线 SPI； 10：四线 SPI； 11：八线 SPI。
21:20	Reserved	保留，必须保持复位值
19:16	CFS[3:0]	控制帧长度 选择 Microwire 帧格式的控制字长度。 0000：1bit 控制字； 0001：2bit 控制字； 0010：3bit 控制字； 0011：4bit 控制字； …… 1110：15bit 控制字； 1111：16bit 控制字。
15	Reserved	保留，必须保持复位值
14	SSTE	片选切换使能 在时钟相位(XSPI_CTRL0.SCPH)设置为 0 的 SPI 模式下运行时，该位控制数据帧之间 NSS 的行为。 0：串行时钟 sclk 在整个传送期间片选连续为低； 1：串行时钟 sclk 在每一帧数据传输时片选为低。
13	SRL	移位寄存器循环 用于测试，当内部有效时，将发送移位寄存器输出连接到接收移位寄存器输入。可用于主从机模式。 当 xSPI 在环回模式下配置为从机时，片选和时钟信号必须由外部源提供。 00：禁能； 01：使能。
12	SLVOE	从机输出使能。 仅当 xSPI 配置为串行从设备时可配置，当配置为串行主机时，该位无效。 当主设备以广播模式发送时，如果不需要此设备响应数据，则通过软件配置该位为 1 禁用输出。 0：从输出使能 1：从输出禁能
11:10	TMOD[1:0]	传输模式。 00：发送和接收；增强型 SPI 操作模式不可用； 01：仅发送模式；或在增强型 SPI 操作模式下写入； 10：仅接收模式；或在增强型 SPI 操作模式下读取； 11：EEPROM 读取模式；不适用于增强型 SPI 操作模式。
9	SCPOL	串行时钟极性 当帧格式（FRF）设置为 Motorola SPI 时有效。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		当 xSPI 主设备未主动在串行总线上传输数据时，该时钟保持非活动状态。 0：非活动状态时钟为低电平 1：非活动状态时钟为高电平
8	SCPH	串行时钟相位。 当帧格式（FRF）设置为 Motorola SPI 时有效。 0：在第一个时钟边沿采样数据 1：在第二个时钟边沿采样数据。 *注：在发送模式时，会提前半个 SCK 周期将数据发出*
7:6	FRF[1:0]	帧格式 选择传输数据的串行协议。 00：Motorola SPI 帧格式； 01：TI SSP 帧格式； 10：National Semiconductors Microwire 帧格式； 11：保留。
5	Reserved	保留，必须保持复位值
4:0	DFS[4:0]	数据帧长度 当数据帧小于 32 位时自动右对齐接收，并用接收 FIFO 的高位补零。 在写入发送 FIFO 之前，必须右对齐发送数据，发送数据时，发送逻辑会忽略高位未使用的位。 0x0/0x01/0x02：保留 0x03：4bit 0x04：5bit 0x05：6bit …… 0x1D：30bit 0x1E：31bit 0x1F：32bit *注意：* • *如果 XSPI_CTRL0.SPIFRF = 01（二线），则 DFS 值必须是 2 的倍数* • *如果 XSPI_CTRL0.SPIFRF = 10（四线），则 DFS 值必须是 4 的倍数* • *如果 XSPI_CTRL0.SPIFRF = 11（八线），则 DFS 值必须是 8 的倍数*

26.5.2 xSPI 控制寄存器 1（XSPI_CTRL1）

偏移地址：0x04

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
NDF[15:0]															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

rw

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	NDF[15:0]	数据帧数量 接收模式： 当 XSPI_CTRL0.TMOD[1:0] = 10 或 11 时，该寄存器设置 xSPI 连续接收的数据帧的数量：xSPI 继续接收串行数据，直到接收到的数据帧数等于该寄存器值加 1，连续传输中接收最多 64 KB 的数据。 发送模式： 当 XSPI_ENH_CTRL0.CLKSTREN=1 且 TMOD = 01 时，该寄存器设置 xSPI 连续发送的数据帧的数量：如果发送 FIFO 在期间变空，xSPI 会暂停串行时钟并等待剩余数据，直到成功传输完所有数据。 当 xSPI 配置为串行从机时，该寄存器无效。

26.5.3 xSPI 使能寄存器（XSPI_EN）

偏移地址：0x08

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															XSPIEN
															rw

位域	名称	描述
31:1	Reserved	保留，必须保持复位值
0	XSPIEN	xSPI 使能 禁用后，所有串行传输都会立即停止，发送和接收 FIFO 缓冲区将被清除；启用后，某些 xSPI 控制寄存器无法编程。 0：禁用 xSPI 1：启用 xSPI

26.5.4 xSPI Microwire 控制寄存器（XSPI_MW_CTRL）

注意：当 XSPI_EN.XSPIEN = 1 时，该寄存器不能被写入。

偏移地址：0x0C

复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved													MHSEN	MCDIR	MWMOD
													rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:3	Reserved	保留，必须保持复位值
2	MHSEN	Microwire 握手。 仅当 xSPI 配置为串行主设备时有效。 0：握手禁用。 1：握手启用，在最后一个数据/控制位传输后，XSPI_STS.BUSY 状态清除之前检查来自目标从机的就绪状态。
1	MCDIR	Microwire 控制。 01：xSPI 发送数据 00：xSPI 接收数据
0	MWMOD	Microwire 传输模式 0：非顺序传输，必须为每个发送或接收数据字块指定控制字； 1：顺序传输，仅需一个控制字来发送或接收数据字节。

26.5.5 xSPI 从设备使能寄存器（XSPI_SLAVE_EN）

注意：使能 XSPI_EN.XSPIEN 后，XSPI_SLAVE_EN 寄存器才会被启用，用于外部从设备选择使能片选。

偏移地址：0x10

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved														SEN[1:0]	
														rw	

位域	名称	描述
31:2	Reserved	保留，必须保持复位值
1:0	SEN[1:0]	外部从设备片选使能 该寄存器中的每一位对应不同的从设备选择线，即 bit0 选择 NSS0 线，bit1 选择 NSS1 线，传输开始之前设置。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		在 XIP 传输开始之前，设置或清除该寄存器中的位对相应的从机选择输出没有影响。 不工作在广播模式下时，该寄存器只应设置其中一位。

26.5.6 xSPI 波特率选择寄存器（XSPI_BAUD）

偏移地址：0x14

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CLKDIV [14:0]															Reserved
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:1	CLKDIV [14:0]	时钟分频 如果配置值为 0，则禁用串行输出时钟，配置值非 0，则 xSPI 输出时钟频率（FSCK）由以下等式得出： 串行输出时钟频率 FSCK = f_{HCLK} / (CLKDIV [14:0]*2)
0	Reserved	保留，必须保持复位值

26.5.7 xSPI 发送缓存阈值寄存器（XSPI_TXFT）

偏移地址：0x18

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved												TXFTST[3:0]			
												rw			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved												TXFTTEI[3:0]			
												rw			

位域	名称	描述
31:20	Reserved	保留，必须保持复位值
19:16	TXFTST[3:0]	发送 FIFO 开始传输阈值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		当发送 FIFO 中的 word 数据量高于该阈值时，数据开始传输。
15:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3:0	TXFTTEI[3:0]	发送 FIFO 空阈值。 当发送 FIFO 中的 word 数据量小于或等于该阈值时，触发发送 FIFO 空中断。

26.5.8 xSPI 接收缓存阈值寄存器（XSPI_RXFT）

偏移地址：0x1C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved												RXFTTFI[3:0]			
												rw			

位域	名称	描述
31:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3:0	RXFTTFI[3:0]	接收 FIFO 满阈值。 当接收 FIFO 中 word 数据量大于或等于（该阈值+1）时，触发接收 FIFO 满中断。

26.5.9 xSPI 发送缓存数据量寄存器（XSPI_TXFN）

偏移地址：0x20

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved											TXFN[4:0]				
											r				

位域	名称	描述
31:5	Reserved	保留，必须保持复位值
4:0	TXFN[4:0]	发送 FIFO 中有效数据的数量

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

26.5.10 xSPI 接收缓存数据量寄存器（XSPI_RXFN）

偏移地址：0x24

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved											RXFN[4:0]				
											r				

位域	名称	描述
31:5	Reserved	保留，必须保持复位值
4:0	RXFN[4:0]	接收 FIFO 中有效数据的数量

26.5.11 xSPI 状态寄存器（XSPI_STS）

偏移地址：0x28

复位值：0x0000 0006

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CMPLTDDF[16:0]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	Reserved								DCERR	TXE	RXFF	RXFNE	TXFE	TXFNF	BUSY
r									r	r	r	r	r	r	r

位域	名称	描述
31:15	CMPLTDDF[16:0]	已完成的数据帧 指在先前内部 DMA 传输中传输的总数据帧
14:7	Reserved	保留，必须保持复位值
6	DCERR	数据冲突错误。 仅当 xSPI 配置为主设备时有效。 当 xSPI 主设备处于传输过程中时，如果从机选择信号输入被其他主设备置位，则该位将被设置。通知处理器最后一次数据传输在完成之前已停止。读取时该位被清除 0 ：无错误 1 ：发送数据冲突错误
5	TXE	传输错误。 0：无错误

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：传输错误 传输开始时，如果传输 FIFO 为空，则设置。 仅当 xSPI 配置为从设备时才能设置该位。 先前传输的数据在传输线路上重新发送。 读取时该位被清除。
4	RXFF	Rx FIFO 满 0：Rx FIFO 未满 1：Rx FIFO 满 当 Rx FIFO 完全满时，该位被置位。当 Rx FIFO 包含一个或多个空单元时，该位被清除。
3	RXFNE	Rx FIFO 非空状态 0：Rx FIFO 空状态 1：Rx FIFO 非空状态 当 Rx FIFO 非空时置位，当 Rx FIFO 为空时清零。该位可由软件轮询以完全清空接收 FIFO。
2	TXFE	Tx FIFO 空状态 0：Tx FIFO 有数据状态 1：Tx FIFO 空状态 当 Tx FIFO 全为空时，该位置位。当 Tx FIFO 包含一个或多个有效空间时，该位被清除。该位不请求中断
1	TXFNF	Tx FIFO 未满状态 0：Tx FIFO 满状态 1：Tx FIFO 未满状态 当 Tx FIFO 包含一个或多个空单元时置位，当 Tx FIFO 满时清零。
0	BUSY	xSPI 传输忙标志 0：空闲或禁能 1：正在主动传输 设置时，表明串行传输正在进行中； 清零时表示 xSPI 空闲或禁用。

26.5.12 xSPI 中断屏蔽寄存器（XSPI_IMASK）

偏移地址：0x2C

复位值：0x0000 00FF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								TXUIM	XRXOIM	MMCIM	RXFFIM	RXFOIM	RXFUIM	TXFOIM	TXFEIM
								rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
7	TXUIM	发送 FIFO 下溢中断屏蔽 0：屏蔽 1：不屏蔽
6	XRXOIM	XIP Rx FIFO 上溢中断屏蔽 0：屏蔽 1：不屏蔽
5	MMCIM	多主冲突中断屏蔽 0：屏蔽 1：不屏蔽 注：如果 xSPI 配置为串行主设备，则该位不存在。
4	RXFFIM	Rx FIFO 满中断屏蔽 0：屏蔽 1：不屏蔽
3	RXFOIM	Rx FIFO 上溢中断屏蔽 0：屏蔽 1：不屏蔽
2	RXFUIM	Rx FIFO 下溢中断屏蔽 0：屏蔽 1：不屏蔽
1	TXFOIM	Tx FIFO 上溢中断屏蔽 0：屏蔽 1：不屏蔽
0	TXFEIM	Tx FIFO 空中断屏蔽 0：屏蔽 1：不屏蔽

26.5.13 xSPI 中断状态寄存器（XSPI_ISTS）

偏移地址：0x30

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								TXUIS	XRXOIS	MMCIS	RXFFIS	RXFOIS	RXFUIS	TXFOIS	TXFEIS
								r	r	r	r	r	r	r	r

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
7	TXUIS	发送 FIFO 下溢中断状态（中断屏蔽后） 0：失效 1：有效
6	XRXOIS	XIP Rx FIFO 上溢状态（中断屏蔽后） 0：失效 1：有效
5	MMCIS	多主冲突状态（中断屏蔽后） 0：失效 1：有效 *注：如果 xSPI 配置为串行从设备，则该位不使用。*
4	RXFFIS	Rx FIFO 满状态（中断屏蔽后） 0：失效 1：有效
3	RXFOIS	Rx FIFO 上溢状态（中断屏蔽后） 0：失效 1：有效
2	RXFUIS	Rx FIFO 下溢状态（中断屏蔽后） 0：失效 1：有效
1	TXFOIS	Tx FIFO 上溢状态（中断屏蔽后） 0：失效 1：有效
0	TXFEIS	Tx FIFO 空状态（中断屏蔽后） 0：失效 1：有效

26.5.14 **xSPI 原始中断状态寄存器（XSPI_RISTS）**

偏移地址：0x34

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								TXUIR	XRXORIS	MMCRIS	RXFFRIS	RXFORIS	RXFURIS	TXFORIS	TXFERIS
								r	r	r	r	r	r	r	r

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
7	TXUIR	发送 FIFO 下溢中断原始状态（在中断屏蔽前的状态） 0：失效 1：有效
6	XRXORIS	XIP Rx FIFO 上溢状态（在中断屏蔽前的状态） 0：失效 1：有效
5	MMCRIS	多主冲突状态（在中断屏蔽前的状态） 0：失效 1：有效
4	RXFFRIS	Rx FIFO 满状态（在中断屏蔽前的状态） 0：失效 1：有效
3	RXFORIS	Rx FIFO 上溢状态（在中断屏蔽前的状态） 0：失效 1：有效
2	RXFURIS	Rx FIFO 下溢状态（在中断屏蔽前的状态） 0：失效 1：有效
1	TXFORIS	Tx FIFO 上溢状态（在中断屏蔽前的状态） 0：失效 1：有效
0	TXFERIS	Tx FIFO 空状态（在中断屏蔽前的状态） 0：失效 1：有效

26.5.15 xSPI 发送缓存上/下溢中断清除寄存器（XSPI_TXEICR_CLR）

偏移地址：0x38

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															TXEICR
															rc

位域	名称	描述
31:1	Reserved	保留，必须保持复位值
0	TXEICR	清除发送 FIFO 上溢/下溢中断。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		读取清除中断；写入无效

26.5.16 xSPI 接收缓存上溢中断清除寄存器（XSPI_RXFOI_CLR）

偏移地址：0x3C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															RXFOIC
															rc

位域	名称	描述
31:1	Reserved	保留，必须保持复位值
0	RXFOIC	清除接收 FIFO 溢出中断。 读取清除中断；写入无效

26.5.17 xSPI 接收缓存下溢中断清除寄存器（XSPI_RXFUI_CLR）

偏移地址：0x40

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															RXFUIC
															rc

位域	名称	描述
31:1	Reserved	保留，必须保持复位值
0	RXFUIC	清除接收 FIFO 下溢中断。 读取清除中断；写入无效

26.5.18 xSPI 多主冲突中断清除寄存器（XSPI_MMC_CLR）

偏移地址：0x44

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															MMCIC
															rc

位域	名称	描述
31:1	Reserved	保留，必须保持复位值
0	MMCIC	清除多主机争用中断。 读取清除中断；写入无效

26.5.19 xSPI 中断清除寄存器（XSPI_ICLR）

偏移地址：0x48

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															INTC
															rc

位域	名称	描述
31:1	Reserved	保留，必须保持复位值
0	INTC	清除中断。 以下任何中断处于活动状态，都会设置该寄存器。 读取会清除发送缓存上溢中断、接收缓存上溢中断、接收缓存下溢中断、多主冲突中断。 写入无效

26.5.20 xSPI DMA 控制寄存器（XSPI_DMA_CTRL）

偏移地址：0x4C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved														TXDMAEN	RXDMAEN
														rw	rw

位域	名称	描述
31:2	Reserved	保留，必须保持复位值
1	TXDMAEN	Tx DMA 功能使能 0：禁能 1：使能 *注：在 XSPI_EN.XSPIEN 禁能的情况下配置*
0	RXDMAEN	Rx DMA 功能使能 0：禁能 1：使能 *注：在 XSPI_EN.XSPIEN 禁能的情况下配置*

26.5.21 xSPI DMA 发送阈值控制寄存器（XSPI_DMATDL_CTRL）

偏移地址：0x50

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved												DMATDL[3:0]			
												rw			

位域	名称	描述
31:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3:0	DMATDL[3:0]	发送数据阈值。 当发送 FIFO 中的有效数据条目数等于或低于该字段值且 TXDMAEN = 1 时，生成发送 FIFO DMA 请求信号 *注：配置值需大于等于 XSPI_TXFT.TXFTST*

26.5.22 xSPI DMA 接收阈值控制寄存器（XSPI_DMARDL_CTRL）

偏移地址：0x54

复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved												DMARDL[3:0]			
												rw			

位域	名称	描述
31:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3:0	DMARDL[3:0]	接收数据阈值。 数据阈值=DMARDL+1,当接收 FIFO 中有效数据条目的数量等于或大于该字段值+1 且 RXDMAEN=1 时生成接收 FIFO DMA 请求。

26.5.23 xSPI 识别码配置寄存器（XSPI_IDR）

偏移地址：0x58

复位值：0xFFFF 3621

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
IDCODE[31:0]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
IDCODE[31:0]															
r															

位域	名称	描述
31:0	IDCODE[31:0]	识别码。 该寄存器包含外设的识别码，该识别码在配置时使用 CoreConsultant 写入寄存器

26.5.24 xSPI 组件版本寄存器（XSPI_VERSION_ID）

偏移地址：0x5C

复位值：0x3130 332A

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
VERSION [31:0]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

VERSION [31:0]
r

位域	名称	描述
31:0	VERSION [31:0]	包含 Synopsys 组件版本的十六进制表示形式。 由版本中每个数字的 ASCII 值组成，后跟 *。 例如 31_30_33_2A 代表版本 1.03*

26.5.25 xSPI 数据寄存器（XSPI_DATx）

偏移地址：0x60+0x04 × x （x=0~31）

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
DATx[31:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DATx[31:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	DATx[31:0]	数据寄存器。 写入该寄存器时需要右对齐数据。读取的数据自动右对齐。 读取 = 接收 FIFO 缓冲区 写入 = 发送 FIFO 缓冲区 *注：共 36 个注册地址为 0x60+(0:31)*0x4*

26.5.26 xSPI 接收采样延迟寄存器（XSPI_RX_DELAY）

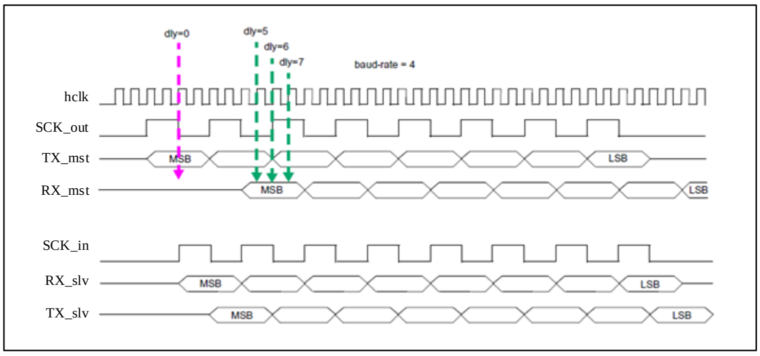
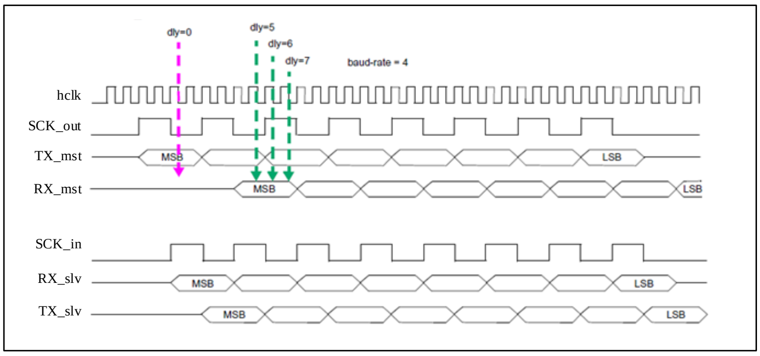
偏移地址：0xF0

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															SES
															rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								SDCN[7:0]							
								rw							

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:17	Reserved	保留，必须保持复位值
16	SES	主机接收数据采样边沿。 该寄存器用于通过时钟决定 RX 信号的 hclk 采样沿。 0：hclk 上升沿进行采样 1：hclk 下降沿进行采样
15:8	Reserved	保留，必须保持复位值
7:0	SDCN[7:0]	主机接收数据采样延迟。 该寄存器用于延迟接收数据输入端口的采样，每个值代表接收数据的单个时钟延迟。 SES=0 时： 延迟= SDCN[7:0]*T_{hclk}  SES=1 时： 延迟= (SDCN[7:0]+0.5)*T_{hclk} 

26.5.27 xSPI 增强型 SPI 模式控制寄存器（XSPI_ENH_CTRL0）

此寄存器用于增强型 SPI 操作模式下控制串行数据传输。只有当 XSPI_CTRL0.SPIFRF≠00 时，配置此寄存器才有效。在 XSPI_EN 寄存器使能后，无法写入此寄存器。

偏移地址：0xF4

复位值：0x0000 0200

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	CLKSTREN	Reserved				RXDSSIGEN	SPIDMEN	Reserved					SPIRXDSEN	WRINDDREN	WRSPIDDREN

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
WAITCYCLES[4:0]					Reserved	INSTL[1:0]		Reserved		ADDRLEN[3:0]				TRANSTYPE[1:0]	
rw						rw				rw				rw	

位域	名称	描述
31	Reserved	保留，必须保持复位值
30	CLKSTREN	时钟延长 在写入的情况下，如果 FIFO 为空，则 xSPI 将拉伸时钟，直到 FIFO 有足够的数据。 在读取的情况下，如果 FIFO 为满，则 xSPI 将停止时钟，直到 FIFO 有足够的空间。
29:26	Reserved	保留，必须保持复位值
25	RXDSSIGEN	Hyperbus 传输下地址和命令阶段读数据选通信号 RXDS 启用。 如果在命令地址阶段传输过程中将 RXDS 信号设置为 1，则在地址阶段完成后发送（2* WAITCYCLES-1）个等待周期。 0：禁能 1：使能
24	SPIDMEN	SPI 数据屏蔽使能位 当该位使能时，数据屏蔽信号用于屏蔽发送数据线上的数据。 0：禁能 1：使能
23:19	Reserved	保留，必须保持复位值
18	SPIRXDSEN	读取数据选通使能位 一旦该位设置为 1，xSPI 将使用读数据选通脉冲来捕获 DDR 模式下的读数据。 0：禁能 1：使能
17	WRINDDREN	指令 DDR 使能位 指令阶段启用双数据速率传输。 0：禁能 1：使能
16	WRSPIDDREN	DDR 模式使能 将启用 SPI 的 2/4/8 线模式下所有的双速率传输。 0：禁能 1：使能
15:11	WAITCYCLES[4:0]	2/4/8 线模式等待周期 在控制帧发送和数据接收之间的等待周期，以 SCK 时钟为基准，等待周期为 WAITCYCLES[4:0]*T_{SCK}。
10	Reserved	保留，必须保持复位值
9:8	INSTL[1:0]	2/4/8 线模式指令长度 00：无指令

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		01：4bit 10：8 bit 11：16 bit
7:6	Reserved	保留，必须保持复位值
5:2	ADDRLEN[3:0]	要传输的地址长度 0x0：无地址 0x1：4bit 0x2：8bit 0x3：12bit …… 0xD：52bit 0xE：56bit 0xF：60bit
1:0	TRANSTYPE[1:0]	地址和指令传输格式 00：标准 SPI 模式 01：指令以标准 SPI 模式发送，地址以 XSPI_CTRL0.SPIFRF 指定模式发送 10：指令和地址以 XSPI_CTRL0.SPIFRF 指定模式发送 11：保留

26.5.28 xSPI 发送驱动边沿寄存器（XSPI_DDR_TXDE）

偏移地址：0xF8

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								TXDE[7:0]							
								rw							

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值
7:0	TXDE[7:0]	发送驱动边沿 决定 DDR 模式下内核时钟发送数据的驱动边沿，该寄存器的最大值=(XSPI_BAUD/2) - 1。

26.5.29 xSPI XIP 模式位寄存器（XSPI_XIP_MODE）

偏移地址：0xFC

复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
XIPMDBITS[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	XIPMDBITS[15:0]	XIP 模式位 在 XIP 传输的地址阶段后发送的模式位。

26.5.30 xSPI XIP 读 INCR 传输操作码寄存器（XSPI_XIP_INCR_TOC）

偏移地址：0x100

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ITOC[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	ITOC[15:0]	XIP_INCR 传输操作码 当 XSPI_XIP_CTRL.XIPINSTEN=1，发送 XIP INCR 类型传输指令码。指令阶段要发送的位数由 XSPI_ENH_CTRL0.INSTL 字段确定。

26.5.31 xSPI XIP 读 WRAP 传输操作码寄存器（XSPI_XIP_WRAP_TOC）

偏移地址：0x104

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
WTOC[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	WTOC[15:0]	XIP_WRAP 传输操作码 当 XSPI_XIP_CTRL.XIPINSTEN=1，发送 XIP WRAP 类型传输指令码。指令阶段要发送的位数由 XSPI_ENH_CTRL0.INSTL 字段确定。

26.5.32 xSPI XIP 读控制寄存器（XSPI_XIP_CTRL）

偏移地址：0x108

复位值：0x0800 0402

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		XIPPREEN	Reserved	XIPMBL[1:0]		XIPRXDSEN	XIPHYPEN	XIPCTEN	XIPINSTEN	RXDSEN	WRINDDREN	DDREN	DFSHC	WAITCYCLES[4:0]	
		rw		rw		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
WAITCYCLES[4:0]			MDBITSEN	Reserved	INSTL[1:0]		Reserved	ADDRL[3:0]				TRANSTYPE[1:0]		FRF[1:0]	
rw					rw			rw				rw		rw	

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值
29	XIPPREEN	启用 XIP 预取功能。 一旦启用，xSPI 将从下一个连续位置预取数据帧，以减少即将到来的连续传输的延迟。 如果下一个 XIP 请求不连续，则预取的位将被丢弃。 0：禁能 1：使能
28	Reserved	保留，必须保持复位值
27:26	XIPMBL[1:0]	XIP 模式下 Mode bits 位宽 00：2 01：4 10：8 11：16 仅当 XSPI_XIP_CTRL.MDBITSEN 设置为 1 时有效。
25	XIPRXDSEN	XIP 模式下 Hyperbus 传输下地址和命令阶段读数据选通信号 RXDS 启用。 如果在命令地址阶段传输过程中将 RXDS 信号设置为 1，则在地址阶段完成后发送（2* WAITCYCLES-1）个等待周期。 0：禁能 1：使能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
24	XIPHYPEN	XIP 模式下 Hyperbus 帧格式使能。 该位仅在 XSPI_CTRL0.FRF 设置为 0x00（Motorola SPI 帧格式）时有效 0：禁能 1：使能
23	XIPCTEN	XIP 模式下启用连续传输 如果该位设置为 1，则将启用 XIP 中的连续传输模式，在此模式下，xSPI 将保持从机选择状态，直到在 AHB 接口上检测到非 XIP 传输。 0：禁能 1：使能
22	XIPINSTEN	XIP 指令使能。 使能后 XIP 传输也将具有指令阶段。指令操作码将根据 AHB 传输类型从 XSPI_XIP_INCR_TOC 或 XSPI_XIP_WRAP_TOC 寄存器中选择。 0：禁能 1：使能
21	RXDSEN	读取数据选通使能位。 一旦该位设置为 1，xSPI 将使用读数据选通脉冲 (RXDS) 来捕获 DDR 模式下的读数据 0：禁能 1：使能
20	WRINDDREN	指令双速率传输使能 将为指令阶段启用双速率传输。 0：禁能 1：使能
19	DDREN	SPI DDR 模式使能 将启用 SPI 的 2/4/8 线模式下所有的双速率传输。
18	DFSHC	固定 XIP 传输的 DFS 0：XIP 数据帧 SIZE 取决于 AHB 总线的 HSIZE 1：XIP 数据帧 SIZE 取决于 XSPI_CTRL0.DFS 的配置
17:13	WAITCYCLES[4:0]	2/4/8 线等待周期 在控制帧发送和数据接收之间的等待周期，以 SCK 时钟为周期。
12	MDBITSEN	XIP Mode bits 使能 使能后 XIP 传输将在 Address 阶段后插入 Mode bits。这些位在 XSPI_XIP_MODE 寄存器中设置。 0：禁能 1：使能
11	Reserved	保留，必须保持复位值
10:9	INSTL[1:0]	2/4/8 线模式指令长度 00：无指令 01：4bit 10：8 bit 11：16 bit
8	Reserved	保留，必须保持复位值

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
7:4	ADDRL[3:0]	要传输的地址长度 0x0：无地址 0x1：4bit 0x2：8bit 0x3：12bit …… 0xE：56bit 0xF：60bit
3:2	TRANSTYPE[1:0]	地址和指令传输格式 00：标准 SPI 模式 01：指令以标准 SPI 模式发送，地址以 XSPI_XIP_CTRL.FRF[1:0]制定模式发送 10：指令和地址以 XSPI_XIP_CTRL.FRF[1:0]制定模式发送 11：保留
1:0	FRF[1:0]	收发数据帧格式选择 00：保留 01：2 线 10：4 线 11：8 线

26.5.33 xSPI XIP 从设备使能寄存器（XSPI_XIP_SLAVE_EN）

使能 XSPI_EN.XSPIEN，XSPI_ XIP_SLAVE_EN 寄存器才会被启用，用于外部从设备选择使能片选。

偏移地址：0x10C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved														SEN[1:0]	
														rw	

位域	名称	描述
31:2	Reserved	保留，必须保持复位值
1:0	SEN[1:0]	外部从设备片选使能 该寄存器中的每一位对应不同的从设备选择线，传输开始之前设置。 当该寄存器中的某个位被设置 1 且 XIP 传输开始时，来自主设备的相应从设备选择线将被激活。在 XIP 传输开始之前，设置或清除该寄存器中的位对相应的从机选择输出没有影响。在开始传输之前，应该启用与主设备想要通信的从设备对应的寄存器中的位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		当不工作在广播模式下时，该字段中只应设置一位

26.5.34 xSPI XIP 接收缓存上溢中断清除寄存器（XSPI_XIP_RXFOI_CLR）

偏移地址：0x110

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															XRXFOIC
															rc

位域	名称	描述
31:1	Reserved	保留，必须保持复位值
0	XRXFOIC	清除 XIP 接收 FIFO 上溢中断。 读取会清除中断；写入无效

26.5.35 xSPI XIP 连续传输超时寄存器（XSPI_XIP_TOUT）

偏移地址：0x114

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								XTOUT[7:0]							
								rw							

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值
7:0	XTOUT[7:0]	XIP 连续传输超时时间配置 以 AHB 为单位的 XIP 超时时间。一旦在连续 XIP 模式中选择了从机，如果没有请求的时间超出了该计数器指定时间，将取消从机选择。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

26.5.36 xSPI XIP 写 INCR 传输操作码寄存器（XSPI_XIP_WRITE_INCR_INST）

偏移地址：0x140

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
INCRWRINST[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值
15:0	INCRWRINST[15:0]	XIP 写入 INCR 传输操作码。 当 XIP_WRITE_CTRL.WRINSTL 不等于 0 时，xSPI 发送所有 XIP 写传输的指令，该寄存器字段存储在 AHB 总线上请求 INCR 类型 XIP 写传输时要发送的指令操作码。 指令阶段要发送的位数由 XIP_WRITE_CTRL.WRINSTL 确定。

26.5.37 xSPI XIP 写 WRAP 传输操作码寄存器（XSPI_XIP_WRITE_WRAP_INST）

偏移地址：0x144

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
WRAPWRINST[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
15:0	WRAPWRINST[15:0]	XIP 写入 WRAP 传输操作码。 当 XIP_WRITE_CTRL.WRINSTL 不等于 0 时，xSPI 发送所有 XIP 写传输指令，该寄存器字段存储在 AHB 总线上请求 WRAP 类型 XIP 写传输时要发送的指令操作码。 指令阶段要发送的位数由 XIP_WRITE_CTRL.WRINSTL 确定。

26.5.38 xSPI XIP 写控制寄存器（XSPI_XIP_WRITE_CTRL）

偏移地址：0x148

复位值：0x0000 0072

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved											XIPWRWCY[4:0]				
											rw				

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		WRRXDSEN	WRHYPEN	WRINDDREN	WRSPIDDREN	WRINSTL[1:0]		WRADDRL[3:0]				WRTRTYPE[1:0]		WRFRF[1:0]	
		rw	rw	rw	rw	rw		rw				rw		rw	

位域	名称	描述
31:21	Reserved	保留，必须保持复位值
20:16	XIPWRWCY[4:0]	2/4/8 模式下控制帧发送和数据接收之间的等待周期。 指定为 SPI 时钟周期数
15:14	Reserved	保留，必须保持复位值
13	WRRXDSEN	Hyperbus 传输下地址和命令阶段读数据选通信号 RXDS 启用。 如果在命令地址阶段传输过程中将 RXDS 信号设置为 1，则在地址阶段完成后发送 (2* WAITCYCLES-1) 个等待周期。 0：禁能 1：使能
12	WRHYPEN	SPI HYPERBUS 帧格式使能 0：禁用 HYPERBUS 帧格式 1：启用 HYPERBUS 帧格式
11	WRINDDREN	指令 DDR 使能位 为指令阶段启用双数据速率传输
10	WRSPIDDREN	SPI DDR 使能位 实现 SPI 2/4/8 帧格式的双数据速率传输
9:8	WRINSTL[1:0]	2/4/8 模式指令长度（以位为单位）。 00：无指令 01：4 位指令长度 10：8 位指令长度 11：16 位指令长度

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
7:4	WRADDRL[3:0]	定义要传输的地址长度 0000：保留 0001：4 位地址长度 0010：8 位地址长度 0011：12 位地址长度 0100：16 位地址长度 0101：20 位地址长度 0110：24 位地址长度 0111：28 位地址长度 1000：32 位地址长度
3:2	WRTRTYPE[1:0]	地址和指令传输格式。 00：指令和地址以标准 SPI 模式下发送。 01：指令以标准 SPI 模式发送，地址将 XIP_WRITE_CTRL.WRFRF 指定的模式发送。 10：指令和地址以 XIP_WRITE_CTRL.WRFRF 指定的模式发送。 11：保留
1:0	WRFRF[1:0]	SPI 帧格式 00：保留 01：2 线 SPI 格式 10：4 线 SPI 格式 11：8 线 SPI 格式

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

27 DVP 接口（DVP）

27.1 简介

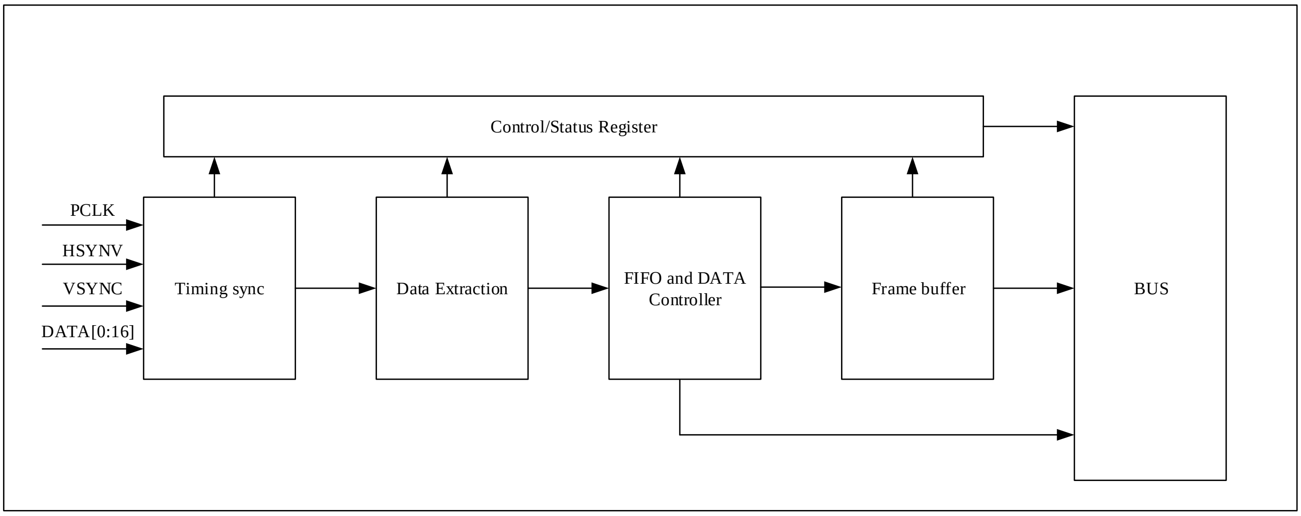
DVP 是一个同步并行接口， 可以接收 CMOS 图像传感器的高速数据。可以支持数据格式:YCbCr422 和 RBG565 渐进式，压缩数据(JPEG)。

27.2 主要特性

- 支持 8 位、10 位、12 位和 16 位的并行接口
- 支持时钟输出（通过 MCO 输出，典型值 48MHz），给外部 CMOS 光学传感器提供时钟；
- 输入像素时钟 DVP_PCLK、场同步信号 DVP_VSYNC、行同步信号 DVP_HSYNC 极性均可独立配置。
- 内嵌码/外部行同步和帧同步
- 具有 16x32bit FIFO 接收像素数据
- 支持对采集的图像数据硬件取反
- 支持连续模式和快照模式。
- 支持硬件裁剪。
- 支持多种数据格式：
  - YCbCr422 渐进式视频
  - RGB565 渐进式视频
  - 压缩数据(JPEG)

27.3 功能框图

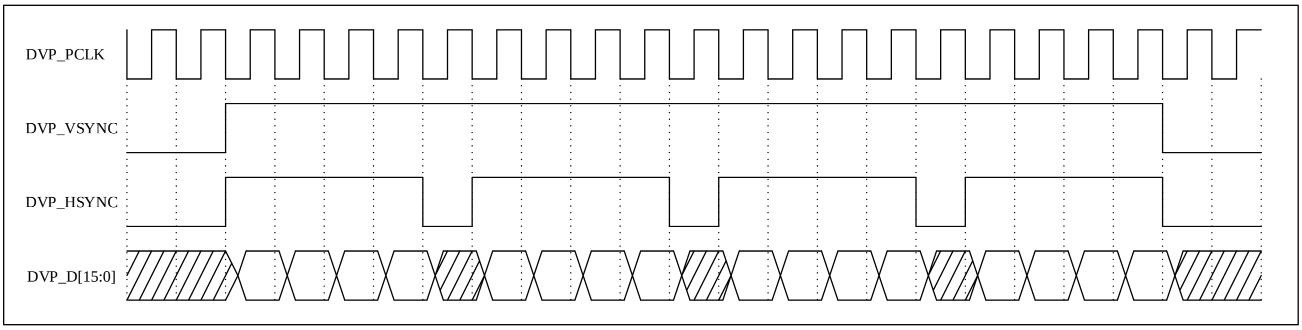
图 27-1 DVP 框图



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

27.4 接口时序

图 27-2 DVP 接口时序示例



如上图所示：

- DVP_PCLK 为像素时钟，每个时钟周期采集 2 个字节（16bit）的有效数据。
- DVP_VSYNC 为场同步（帧同步）信号，高电平有效。
- DVP_HSYNC 为行同步信号，高电平有效。
- 当 DVP_VSYNC、 DVP_HSYNC 都为高电平时，数据有效。
- 每两行之间至少有一个像素时钟周期的间隔。
- 根据上图时序，用户需要在 DVP 模块中配置 DVP_VSYNC、DVP_HSYNC 高电平有效，DVP_PCLK 下降沿捕获，才能正确接收数据。
- DVP 数据仅在 DVP 端口使能位（寄存器 DVP_CTRL. DVPEN）为 1 时有效，且使能位置 1 必须早于 DVP_VSYNC 有效信号（高电平）至少 4 个像素时钟周期，否则当前帧会被丢弃。

注：上图中 DVP_VSYNC 与 DVP_HSYNC 信号为高电平有效，实际应用中也可能为低电平有效，需要根据实际情况在 DVP 模块中配置信号极性。

27.5 DVP 时钟

DVP 有三个时钟输入：AHB 接口时钟、APB 接口时钟和图像传感器接口时钟。AHB 接口时钟和 APB 接口时钟是同步时钟。图像传感器接口时钟对于其他时钟是异步时钟。

其中 AHB 接口时钟（hclk）必须等于或快于像素时钟。

27.6 功能描述和操作说明

27.6.1 操作流程

1. 开启 CMOS 光学传感器，配置传感器参数；
2. DVP 端口以及参数配置（例如：捕获模式、frame buffer 等）；
3. 配置 DVP 端口使能（寄存器 DVP_CTRL. DVPEN），准备好接收数据；
4. 启动 CMOS 传感器，开始发送数据。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

27.6.2 数据传输和同步

DVP 模块可接收 8 位、10 位、12 位、14 位或 16 位并行像素数据。其中根据 DVP_PORTCFG 寄存器中的 DBIT[2:0]设置，可配置数据在接口的有效位置，如下表所示

表 27-1 DVP 接口信号

端口	DVP_DBIT[2:0]	描述
DVP_D[7:0]	000 (8 bits)	像素数据总线，所有比特都用于获取数据。
DVP_D[9:0]	001 (10 bits)	
DVP_D[11:0]	010 (12 bits)	
DVP_D[13:0]	011 (14 bits)	
DVP_D[15:0]	100 (16 bits)	
DVP_D[9:0]	101	像素数据总线，仅[9:2](8 bit)被用于传输数据
DVP_D[11:0]	110	像素数据总线，仅[11:2](10 bit)被用于传输数据
DVP_D[11:0]	111	像素数据总线，仅[11:4](8 bit)被用于传输数据
DVP_VSYNC	N/A	垂直同步信号
DVP_HSYNC	N/A	水平同步信号
DVP_PCLK	N/A	像素时钟

DVP_VSYNC、DVP_HSYNC 和 DVP_PCLK 的极性可以通过 DVP_PORTCFG 寄存器进行配置。

为了将传输的数据整合成图像，需要进行水平同步和垂直同步，数字摄像头接口支持内嵌码同步或硬件（HSYNC 和 VSYNC）同步。使用内嵌码同步时，由数字摄像头模块确保 0x00 和 0xFF 值仅用于同步（不用于数据中）。

27.6.2.1 硬件同步模式

在硬件同步模式下，CMOS 影像摄像机可提供水平同步讯号与垂直同步信号，供接收端进行同步。配置 DVP_PORTCFG.EMBSEN 为 0，DVP 可以此同步模式进行接收。每一个 DVP_VSYNC 信号的有效区间代表一帧数据，每一个 DVP_HSYNC 信号的有效区间代表一行数据。DVP_VSYNC 信号默认低有效，DVP_HSYNC 信号默认高有效，当 DVP_VSYNC 和 DVP_HSYNC 都处于有效状态时，在像素时钟的上升边缘捕获有效的像素数据。

27.6.2.2 内嵌码同步模式

在嵌入式同步模式下，像素数据同步不依赖于 DVP_VSYNC 和 DVP_HSYNC，而是在数据流中插入同步码。DVP 可以此同步模式进行接收。同步码(0xFF0000XX)由 4 字节数据构成，前 3 字节数据内容固定，第 1 字节为全 1 数据，之后接续第 2，3 字节全 0 数据。第 4 字节数据则依同步信息而异，需依摄像机厂商所使

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

用的同步码型式与内容，配置 DVP_EMSC 寄存器中的 HS_PTTN、HE_PTTN、VS_PTTN、VE_PTTN。内嵌码同步有两种模式，分别为普通模式和索尼模式，具体流程如下图所示。

图 27-3 普通模式下的帧组成

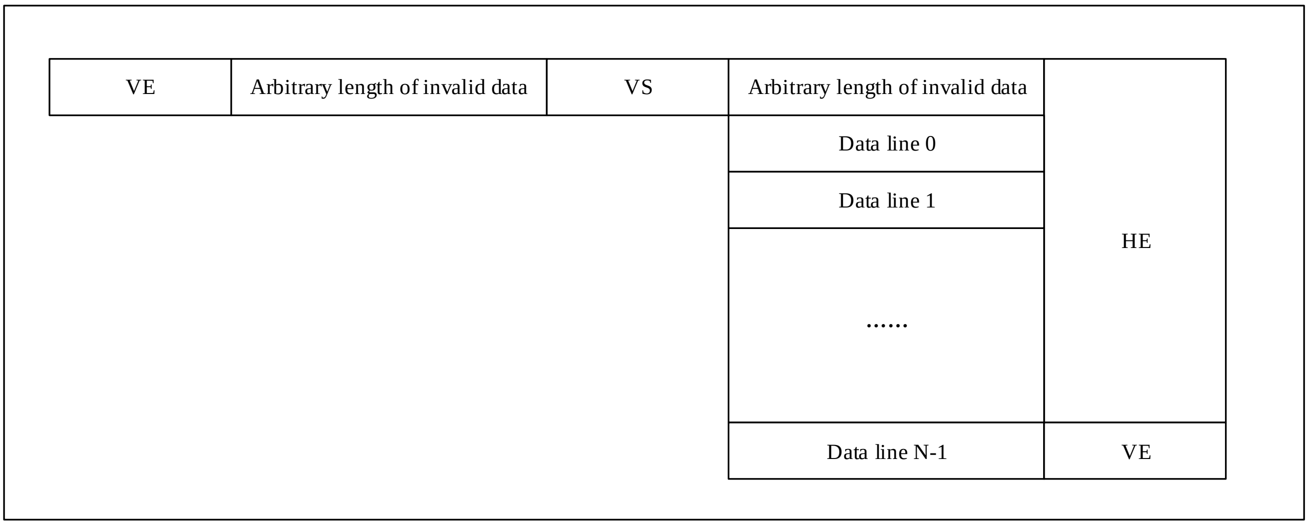
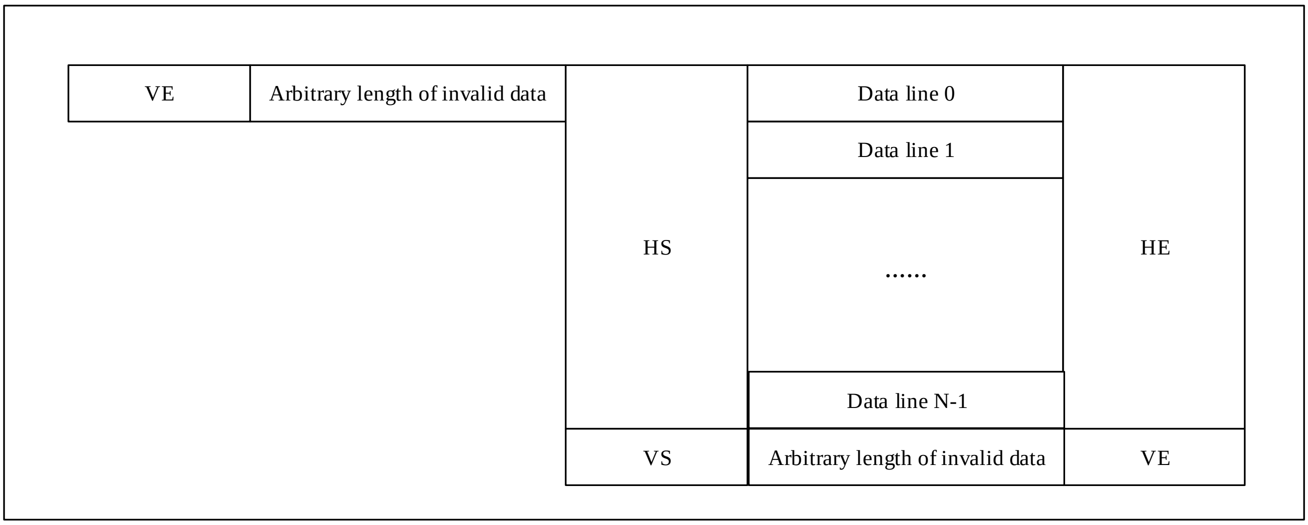


图 27-4 索尼模式下的帧组成



嵌入式同步模式只支持 8 位、10 位和 12 位数据模式.

27.6.3 捕获模式

有两种捕捉模式，一种是连续捕捉模式，另一种是快照模式。在接收图像帧时，当发生 FIFO 溢出时，相应接收帧缓冲区的溢出标志会被置起。当跳帧时，跳帧标志会被置起。

27.6.3.1 快照模式（单帧捕获）

通过将 DVP_CTRL.CM 寄存器位设置为"1"来启用此模式。在快照模式下，它取决于配置的帧缓冲区的数量。如果只有一个帧缓冲区，DVP 将在接收到一帧后停止捕获新的帧。同时，硬件将 DVP_INTSTS.M1TCF 寄存器位设置为"1"。指示硬件已完成当前帧接收。DVP 要再次捕获新帧，软件必须清除 DVP_INTSTS.M1TCF。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

类似地，如果有两个帧缓冲区，DVP 将在接收到两个帧后停止捕获帧，DVP_INTSTS.M1TCF 和 DVP_INTSTS.M2TCF 位等待软件清除它们。软件必须在接收到标志时按顺序清除它们。一旦软件清除了其中一个标志，DVP 再次开始捕获帧。

27.6.3.2 连续采集模式

在这种模式下，DVP 将继续捕获图像数据并将其放入帧内存中，而不管前一帧数据是否被读取。它不等待软件清除完成标志（DVP_INTSTS. MxRCF）。如果设置了两个帧缓冲区，帧就会以乒乓的方式被接收到这些帧缓冲区中。

要启用此模式，请确保 DVP_CTRL.CM 寄存器位为“0”。

27.6.4 裁剪功能

将 DVP_CTRL.CROPEN 寄存器位设置为“1”以进入裁剪功能。对于这个功能，用户只需要向 DVP 提供两个坐标，即起始坐标和结束坐标。用户在设置 CROPEN 位之前必须先输入坐标。每个图像像素可以用 1 或 2 个数据字节表示。如果图像像素需要两个数据字节，那么 DVP_PORTCFG. PIXELDB 寄存器位必须为“1”。DVP 裁剪功能示例如图 3。

在设置裁剪位之前，用户必须先输入坐标。用户需要设置以下寄存器：

起始坐标寄存器: DVP_CSXY.CSTAX = 1

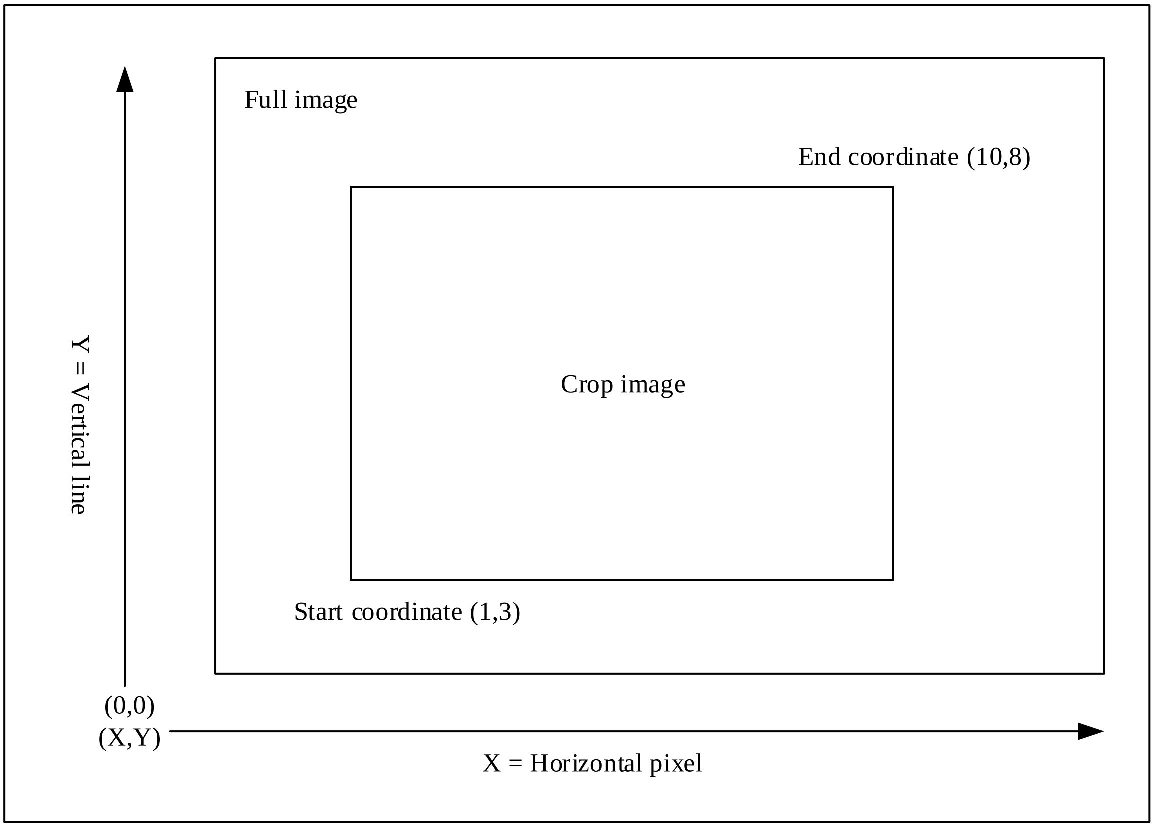
起始坐标寄存器: DVP_CSXY.CSTAY = 3

结束坐标寄存器: DVP_CEXY.CENDX = 10

结束坐标寄存器: DVP_CEXY.CENDY = 8

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 27-5 DVP 裁剪功能



27.6.5 跳行功能

跳行功能由两个寄存器控制，DVP_PORTCFG.HISKIP 寄存器控制初始的行跳跃数量。DVP_PORTCFG.HRSKIP 寄存器控制行跳过模式。

DVP_PORTCFG.HRSKIP 寄存器控制的行跳过模式有两种类型：

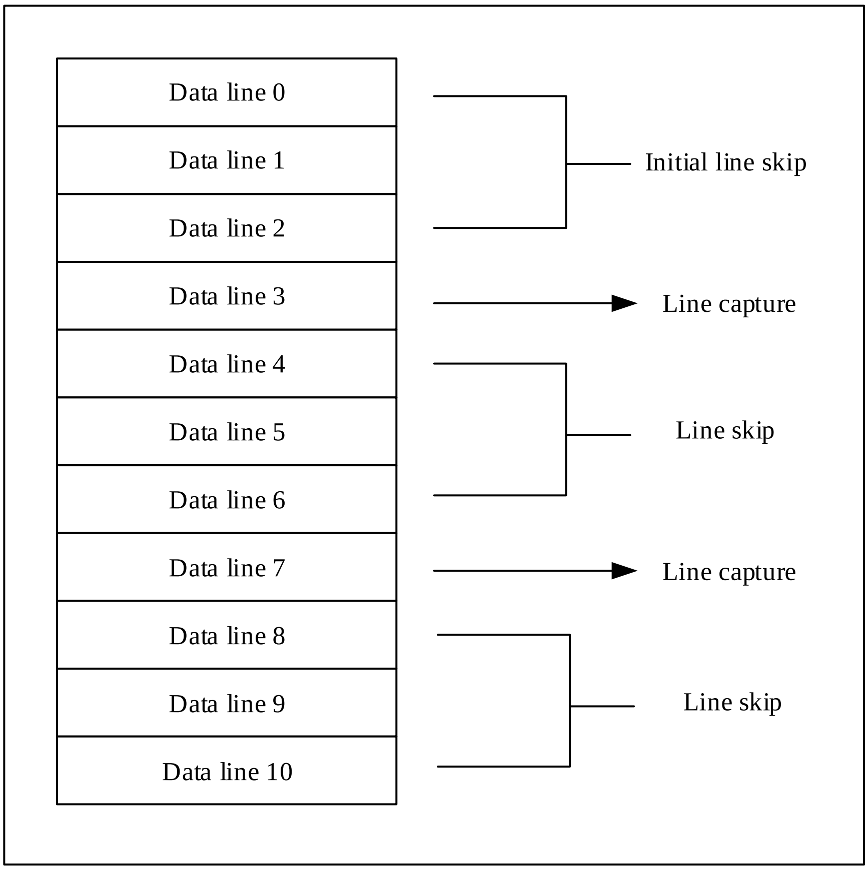
1、每捕获 1 行跳过几行 。

2、捕获奇数行或偶数行。

当这两个寄存器组合起来使用会有两种情况，例如配置 DVP_PORTCFG.HISKIP 为 3，DVP_PORTCFG.HRSKIP 为 3 时，实际情况如下图所示。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

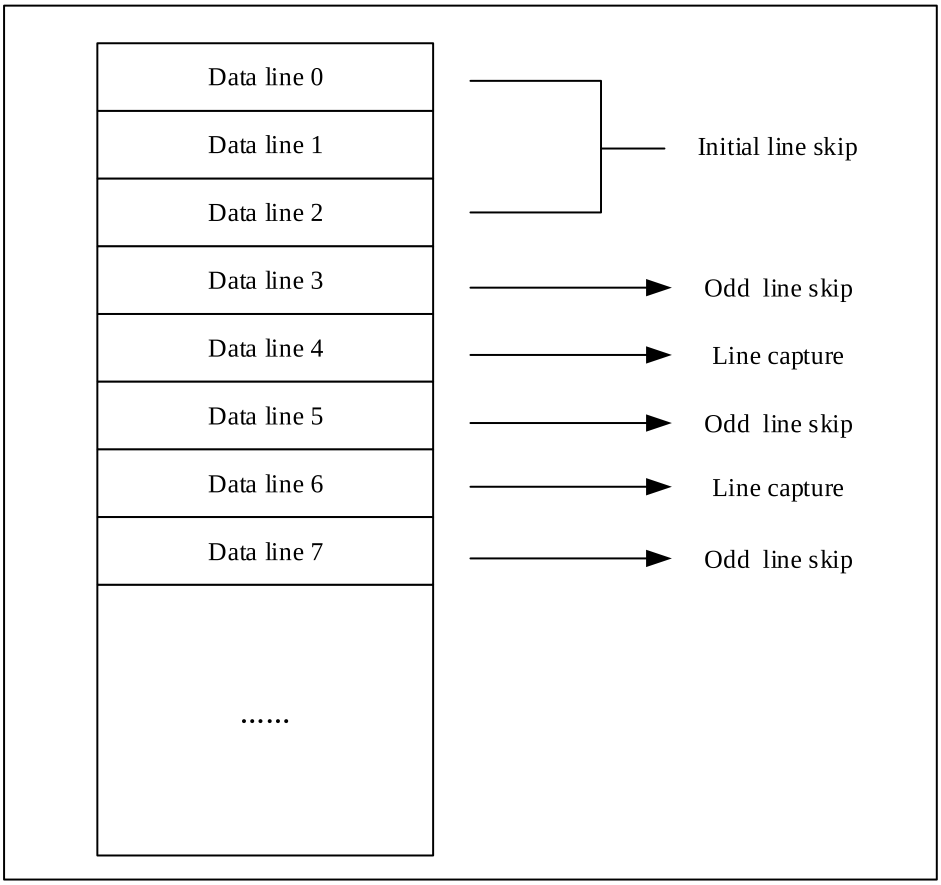
图 27-6 跳行功能：HISKIP=3，HRSKIP=3



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

配置 DVP_PORTCFG.HISKIP 为 3，DVP_PORTCFG.HRSKIP 为 14 时，实际情况如下图所示。

图 27-7 跳行功能：HISKIP=3，HRSKIP=14



27.6.6 FIFO 和 DMA

DVP 模块内置一个 DMA，他的作用是当 FIFO 中的数据达到阈值时，会将数据搬运到对应的帧缓冲区 1/2。其中 DVP_FIFOCFG 寄存器中的 TXBURSZ 控制 DMA 单次传输的数据量，配置值大于 0 时会采用突发传输。注意，配置的单次传输的数据量必须大于等于 FIFO 的传输阈值。其中 DVP_FIFOCFG 寄存器中的 M1ADDREN/ M2ADDREN 控制帧缓冲区的使能，再配合上 DVP_SMADDR1、DVP_SMADDR2、DVP_FBS 寄存器的信息，即可解析出 DMA 需要搬运每笔数据的地址。

注意：DVP_CTRL. FBCTRL=1 时，此内置 DMA 会将数据按 32bit 循环搬运到 DVP_SMADDR1 寄存器配置的地址中。

27.6.7 中断

与中断相关有 2 个寄存器，DVP_INTSTS，DVP_INTEN：

- DVP_INTEN 是中断使能寄存器。
- DVP_INTSTS 是中断状态寄存器，即使中断使能不开，中断状态也会变化，但不会向系统上报中断。只有 DVP_ INTEN 中对应中断使能位开启了之后才会上报相应的中断。
- 当用户想使用某个中断前，必须先清除寄存器 DVP_ INTSTS 中相应的标志（写 0 清除），避免之前的状态影响中断的上报。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

27.7 DVP 寄存器

27.7.1 DVP 寄存器总览

表 27-2 DVP 寄存器总览

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0x00	DVP_CTRL	VBFLT [3:0]				FBCTRL	Reserved																		CROPEN	Reserved						CM	DVPEN
	Reset value	1	0	0	0	0																			0							0	0
0x04	DVP_INTEN	Reserved												FMSIE	SERRIE	CERRIE	SKIPIE	Reserved							MOIE	AHBERRIE	Reserved	FOIE	Reserved	M2TCIE	M1TCIE	M2SIE	M1SIE
	Reset value													b	0	0	0								0	0		0		0	0	0	0
0x08	DVP_INTSTS	CROPENS	CMS	Reserved					DVPDIS	Reserved				FMSF	SERRF	CERRF	SKIPF	Reserved						M2OF	M1OF	AHBERR2F	AHBERR1F	M2FOF	M1FOF	M2TCF	M1TCF	M2SF	M1SF
	Reset value	0	0						1					0	0	0	0							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x0C	DVP_PORTCFG	HRSKIP[3:0]				HISKIP[3:0]				BMAP[7:0]								Reserved			PIXELDB	Reserved	DBIT[2:0]			EMBSEN	SLC	Reserved	DATRVS	DATINV	VSPOL	HSPOL	PCLKPOL
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0				0		0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
0x10	DVP_FIFOCFG	Reserved													TXBURSZ[2:0]			Reserved					TXFTH[1:0]			Reserved		EN1KBD	DISPMODE	Reserved		M2ADDREN	M1ADDREN
	Reset value														0	0	0						0	0	0			0	0			0	0
0x14	DVP_SMADDR1	MADDR[31:0]																															
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x18	DVP_SMADDR2	MADDR[31:0]																															
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x1C	DVP_FBS	Reserved										FMSIZE[21:0]																					
	Reset value											0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x20	DVP_FPBC1	PIXLC[21:0]																															
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x24	DVP_FPBC2	PIXLC[21:0]																															
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x28	DVP_CSXY	Reserved					CSTAY[10:0]											Reserved				CSTAX[11:0]											

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

	Reset value						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x2C	DVP_CEXY	Reserved					CENDY[10:0]											Reserved				CENDX[11:0]											
	Reset value						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x30	DVP_EMSC	HE_PTTN [7:0]								HS_PTTN [7:0]								VE_PTTN [7:0]								VS_PTTN [7:0]							
	Reset value	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
0x34	DVP_EMSCM	HE_MASK [7:0]								HS_MASK [7:0]								VE_MASK [7:0]								VS_MASK [7:0]							
	Reset value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

27.7.2 DVP 控制寄存器（DVP_CTRL）

偏移地址：0x00

复位值：0x8000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
VBDP[3:0]				Reserved											
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved							CROPEN	Reserved						CM	DVPEN
							rw							rw	rw

位域	名称	描述
31:28	VBFLT[3:0]	VSYNC 消隐毛刺滤波控制。 默认情况下，它设置为 8。VSYNC 信号连续采样 8 次，所有采样均为“1”，确认垂直消隐被检测到，通过编程可以改变 VSYNC 的检测采样次数来确认垂直消隐，范围从 0 到 15。 注：软件只能在 DVP_CTRL.DVPEN=0 时才能更改此位。
27	FBCTRL	Frame buffer 地址控制 0：DVP 接收数据会地址自增，每帧的首个数据存放在 DVP_SMADDRx。 1：DVP 接收数据不会地址自增，每个数据都会保存至 DVP_SMADDR1
26:9	Reserved	保留，必须保持复位值。
8	CROPEN	裁剪功能启用使能。 0：正常模式。 1：裁剪模式。 在启用此功能之前，需要在 DVP_CSXY 和 DVP_CEXY 寄存器中分别指定剪切开始和结束坐标。
7:2	Reserved	保留，必须保持复位值。
1	CM	捕获模式控制。 0：连续采集模式。 1：单帧捕获模式。 在连续采集模式下，如果配置有两个帧缓冲区，则帧数据将以乒乓的方式连续接收到两个缓冲区中。在连续采集模式下，缓冲区不会等待 DVP_INTSTS.MxRCF(x=1,2)标志被清除，就会再次接收一个新的帧。如果一个缓冲区发生总线错误，另一个缓冲区将会继续接收接下来的所有帧，直到错误被清除，然后它们继续接收帧交替。 在单捕获模式下，建议使用单帧缓冲区。 启用单帧缓冲区（M1）：当向帧缓冲区传输完一帧时，会置起 DVP_INTSTS.M1TCF。等待 DVP_INTSTS.M1TCF 被清除后，系统会再开始捕获新的帧。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		启用两个帧缓冲区（M1 和 M2）：当向帧缓冲区传输完一帧且另一个缓冲区的 DVP_INTSTS.MxRCF(x=1,2)未置起时，那么会向另一个缓冲区传输下一帧并置起该缓冲区的 DVP_INTSTS.MxRCF(x=1,2)。如果两个 DVP_INTSTS.MxRCF(x=1,2)标志都为 1 时，那么系统会一直等待，直到某一个标志位被清除。
0	DVPEN	DVP 端口使能。 写入“1”到这个位，启用 DVP 功能。 注意：向这个位写入“0”没有效果。请参考寄存器 DVP_INTSTS.DVPDIS 位禁能 DVP 功能。

27.7.3 DVP 中断使能寄存器（DVP_INTEN）

偏移地址：0x04

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved												FMSIE	SERRIE	CERRIE	SKIPIE
												rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved							FBOIE	AHB ERRIE	Reserved	FOIE	Reserved	M2TCIE	M1TCIE	M2SIE	M1SIE
							rw	rw		rw		rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:20	Reserved	保留，必须保持复位值。
19	FMSIE	帧开始中断使能。 1：在 DVP 端口检测到帧开始（VSYNC 或内嵌码模式下的等效 VSYNC）时发送中断。 0：当在 DVP 端口检测到帧开始时，不发送中断。
18	SERRIE	同步码检测序列错误中断使能。 1：当检测到同步码序列错误时发送中断。 0：当检测到同步码序列错误时，不发送中断。 注意：这仅适用于内嵌码同步模式。
17	CERRIE	同步码检测不匹配中断使能。 1：当检测到同步码不匹配时发送中断。 0：当检测到同步码不匹配时，不发送中断。 注意：这仅适用于内嵌码同步模式。
16	SKIPIE	跳帧中断使能。 1：当检测到跳帧时发送中断。 0：当检测到跳帧时，不发送中断。 当 FIFO 数据溢出或没有可用的帧缓冲区接收新帧时，就会发生这种情况。此

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		时，将会丢弃新的帧数据，并设置帧跳过标志。
15:9	Reserved	保留，必须保持复位值。
8	MOIE	帧缓冲区溢出中断使能。 1：帧缓冲区溢出事件发生时，发送中断。 0：帧缓冲区溢出事件发生时，不发送中断。
7	AHBERRIE	AHB 总线错误响应中断使能。 1：当 AHB 主机在发送数据到帧缓存区时收到错误响应，发送中断。 0：当上述情况发生时，不发送中断。
6	Reserved	保留，必须保持复位值。
5	FOIE	FIFO 溢出中断使能。 1：当 FIFO 溢出发生时，发送中断。 0：当 FIFO 溢出发生时，不发送中断。
4	Reserved	保留，必须保持复位值。
3	M2TCIE	图像数据到帧缓冲区 2 传输完成中断使能。 1：当数据到帧缓冲区 2 传输完成时，发送中断。 0：当数据到帧缓冲区 2 传输完成时，不发送中断。
2	M1TCIE	图像数据到帧缓冲区 1 传输完成中断使能。 1：当数据到帧缓冲区 1 传输完成时，发送中断。 0：当数据到帧缓冲区 1 传输完成时，不发送中断。
1	M2SIE	帧缓冲区 2 开始接收图像数据中断使能。 1：当帧缓冲区 2 开始接收数据时，发送中断。 0：当帧缓冲区 2 开始接收数据时，不发送中断。
0	M1SIE	帧缓冲区 1 开始接收图像数据中断使能。 1：当帧缓冲区 1 开始接收数据时，发送中断。 0：当帧缓冲区 1 开始接收数据时，不发送中断。

27.7.4 DVP 中断状态寄存器（DVP_INTSTS）

偏移地址：0x08

复位值：0x0100 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CROPENS	CM CTRLS	Reserved					DVPDIS	Reserved				SFDF	SERRF	CERRF	SKIPF
r	r						rs					rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved						M2OF	M1OF	AHB ERR2F	AHB ERR1F	M2FOF	M1FOF	M2TCF	M1TCF	M2SF	M1SF
						rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31	CROPENS	这是 DVP_CTRL.CROPEN 的影子位，此位只读。 此位放在这里以便软件在访问其他状态位时访问
30	CMS	这是 DVP_CTRL.CM 的影子位，此位只读。 此位放在这里以便软件在访问其他状态位时访问。
29:25	Reserved	保留，必须保持复位值。
24	DVPDIS	DVP 禁能 写 1 它禁用 DVP 端口。写 0 没有影响。 注：写入 1 禁用 DVP 端口后，它可能不会立即停止；这取决于当时硬件的状态。逻辑 1 代表硬件完全停止了。为了确保硬件停止，软件应该检查这个位是否为逻辑 1。这个位回到 0 时，这意味着 DVP 处于活动状态。
23:20	Reserved	保留，必须保持复位值。
19	FMSF	帧开始检测标志。 当检测到帧开始（VSYNC 或内嵌码同步模式下的等效 VSYNC）时，该位置 1。 此位写 1 清除，写 0 无效果。 注意：只有当 DVP_CTRL.DVPEN=1 后，它才开始检测帧开始。
18	SERRF	同步码序列检测错误标志。 此位仅在内嵌码同步模式下使用。当同步码序列错误在图像有效区域被检测到时，该位被设置为“1”，而在垂直消隐区域时，它将不会检测到该错误。 如果 DVP_INTEN.SERRIE =1，此位置起的同时会发送中断 此位写 1 清除，写 0 无效果。
17	CERRF	同步码不匹配错误检测标志。 此位仅在内嵌码同步模式下使用。当在图像有效区域检测到同步码不匹配时，此位被设置为“1”，而在垂直消隐区域时，它将不会检测到此错误。 如果 DVP_INTEN.CERRIE=1，此位置起的同时会发送中断。 此位写 1 清除，写 0 无效果。
16	SKIPF	跳帧检测信号。 当没有更多的 FIFO 空间或帧缓冲内存(快照模式)来接收新帧时，这个位被设置为“1”。 只有在启用 DVP 端口 DVP_CTRL.DVPEN=1 时才有意义。 在这个位上写“1”来清除。写“0”没有效果。
15:10	Reserved	保留，必须保持复位值。
9	M2OF	帧缓冲区 2 溢出。 0：没有溢出事件。 1：检测到溢出事件。 当帧数据超过分配的帧缓冲区大小时，此标志将被设置为“1”，数据将只写入帧缓冲区大小，其余数据将被删除。 此位写 1 清除，写 0 无效果。
8	M1OF	帧缓冲区 1 溢出。 0：没有溢出事件。 1：检测到溢出事件。 当帧数据超过分配的帧缓冲区大小时，此标志将被设置为 1，数据将只写入帧

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		缓冲区大小，其余数据将被删除。 此位写 1 清除，写 0 无效果。
7	AHBERR2F	AHB 主机访问帧缓冲区 2 总线错误标志。 当 AHB 在访问帧缓冲区 2 时收到来自总线的错误响应时，这个位被设置为“1”。如果发生这种情况，帧缓冲区 2 将变得不可用，直到该标志位被清除。 此位写 1 清除，写 0 无效果。
6	AHBERR1F	AHB 主机访问帧缓冲区 1 总线错误标志。 当 AHB 主机在访问帧缓冲区 1 时收到来自总线的错误响应时，该位被设置为“1”。如果发生这种情况，帧缓冲区 1 将变得不可用，直到该标志位清除。 此位写 1 清除，写 0 无效果。
5	M2FOF	帧缓冲区 2 FIFO 溢出标志。 当接收帧缓冲区 2 的帧数据时，FIFO 发生溢出，此位设置为“1”。 此位写 1 清除，写 0 无效果。
4	M1FOF	帧缓冲区 1 FIFO 溢出标志。 当接收帧缓冲区 1 的帧数据时，FIFO 发生溢出，此位被设置为 1。 此位写 1 清除，写 0 无效果。
3	M2TCF	数据帧缓冲区 2 完成标志。 当帧缓冲区 2 在接收帧数据时完成时，此位被置为 1。在单帧捕获模式中，只有当 M2TCF 清除时，对应的缓冲区才会再次可用。 此位写 1 清除，写 0 无效果。
2	M1TCF	数据帧缓冲区 1 完成标志。 当帧缓冲区 1 在接收帧数据时完成时，此位被置为 1。在单帧捕获模式中，只有当 M1TCF 清除时，对应的缓冲区才会再次可用。 此位写 1 清除，写 0 无效果。
1	M2SF	数据到帧缓冲区 2 开始标志。 当帧缓冲区 2 开始接收帧数据时，此位被置为 1。 此位写 1 清除，写 0 无效果。
0	M1SF	数据帧缓冲区 1 开始标志。 当帧缓冲区 1 开始接收帧数据时，这个位被设置为“1”。 此位写 1 清除，写 0 无效果。

27.7.5 DVP 端口配置寄存器（DVP_PORTCFG）

偏移地址：0x0C

复位值：0x00E4 0000

<table>
<tr><td>31</td><td>30</td><td>29</td><td>28</td><td>27</td><td>26</td><td>25</td><td>24</td><td>23</td><td>22</td><td>21</td><td>20</td><td>19</td><td>18</td><td>17</td><td>16</td></tr>
<tr><td colspan="4">HRSKIP[3:0]</td><td colspan="4">HISKIP[3:0]</td><td colspan="8">BMAP[7:0]</td></tr>
<tr><td colspan="4">rw</td><td colspan="4">rw</td><td colspan="8">rw</td></tr>
<tr><td>15</td><td>14</td><td>13</td><td>12</td><td>11</td><td>10</td><td>9</td><td>8</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td colspan="3">Reserved</td><td>PIXELDB</td><td>Reserved</td><td colspan="3">DBIT[2:0]</td><td>EMBSEN</td><td>SLC</td><td>Reserved</td><td>DATRVS</td><td>DATINV</td><td>VSPOL</td><td>HSPOL</td><td>PCLKPOL</td></tr>
</table>

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

rw rw rw rw rw rw rw rw rw

位域	名称	描述
31:28	HRSKIP[3:0]	循环跳行模式控制（包括偶数/奇数行捕获）。 此寄存器的配置有两种： 0000~1101：在捕获一行数据后，跳过一定的行数，再继续捕获下一行，并循环往复。 1110、1111:只捕获奇数或者偶数行。 具体情况如下： 0000：不跳行。 0001：每个捕获的行后面跳过 1 行。 0010：每个捕获的行后面跳过 2 行。 0011：每个捕获的行后面跳过 3 行。 ….. 1101：每个捕获的行后面跳过 13 行。 1110：只捕获偶数行，跳过所有奇数行（捕获第一行（row0），删除第二行（row1），等等）。 1111：只捕获奇数行，跳过所有偶数行（删除第一行（row0），捕获第二行（row1），等等） 软件只能在 DVP_CTRL.DVPEN=0 时修改寄存器。
27:24	HISKIP[3:0]	初始跳行模式控制。 这个寄存器控制在每帧开头跳行的数量。跳过的行数从 1 到 15 不等。 例如：如果将此寄存器设置为 3，那么每个帧的前 3 行将不会被捕获。 软件只能在 DVP_CTRL.DVPEN=0 时修改寄存器。
23:16	BMAP[7:0]	接收像素数据到帧缓冲区映射。 从 DVP 端口接收的每 4 字节数据可以视为一个数据组。在数据组（4 字节）中，它们的字节位置可以在写入帧缓冲区之前重新排列。 BMAP [1:0]：第一个接收数据字节被重新排列的位置。 BMAP [3:2]：第二个接收数据字节被重新定位的位置。 BMAP [5:4]：第三个接收数据字节被重新排列的位置。 BMAP [7:6]：第四个接收数据字节被重新排列的位置。 例如：如果想交换第一个和第二个数据字节，那么需要设置 BMAP [1:0]=01 和 BMAP [3:2]=00。在正常操作中，你可以以任意顺序重新定位所有四个字节，所有 2 位字段的值不应该相同。如果你试图将 2 个字节重新映射到相同的字节位置，那么顺序较低的 2 位字段将优先。如果字节位置没有重新映射，那么该位置的字节数据保持不变 在正常情况下，字节重新映射应该只用于 8 位模式。
15:13	Reserved	保留，必须保持复位值。
12	PIXELDB	双字节像素，每像素 2 字节。 当 DVP 在 8 位模式下操作，且需要 2 字节来描述一个像素，软件应该将这个位设置为“1”，否则将这个位设置为“0”。 软件只能在 DVP_CTRL.DVPEN=0 时才能修改这个位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		注：此位仅用于裁剪模式。裁剪模式只支持单字节像素和双字节像素。
11	Reserved	保留，必须保持复位值。
10:8	DBIT[2:0]	数据端口模式。 000:8 位物理数据端口，DVP 采集所有数据线上的数据。 001:10 位物理数据端口，DVP 采集所有数据线上的数据。 010:12 位物理数据端口，DVP 采集所有数据线上的数据。 011:14 位物理数据端口，DVP 采集所有数据线上的数据。 100:16 位物理数据端口，DVP 采集所有数据线上的数据。 101:10 位物理数据端口，DVP 采集[9:2]位数据线上的 8bit 数据。 110:12 位物理数据端口，DVP 采集[11:2]位数据线上的 10bit 数据。 111:12 位物理数据端口，DVP 采集[11:4]位数据线上的 8bit 数据。 软件只能在 DVP_CTRL.DVPEN=0 时修改此位。
7	EMBSEN	内嵌码同步模式使能位。 1：启用内嵌码同步模式。 0：使用 VSYNC 和 HSYNC 进行同步。 软件只能在 DVP_CTRL.DVPEN=0 时修改这个位。
6	SLC	内嵌码同步码位置。 1：同步代码与数据线的最低有效位对齐。 例如，当 DBIT=1 时，同步代码位于[7:0] DBIT=2 时，同步代码位于[7:0] DBIT=6 时，同步代码位于[9:2]。 0：同步码与数据线的最高有效位对齐。 例如当 DBIT=1 时，同步码位于[9:2] DBIT=2 时，同步代码在[11:4] DBIT=6 时，同步码位于[11:4] 只有当 DVP_PORTCFG.EMBSEN=0 时，才能修改此寄存器。
5	Reserved	保留，必须保持复位值。
4	DATRVS	反转数据位顺序使能。 1：反转 DVP 端口数据的数据位顺序。 0：保持原始数据位顺序。
3	DATINV	数据位反转。 1：启用数据位反转。 0：未启用数据位反转。
2	VSPOL	VSYNC 极性控制。 1：当 VSYNC 高电平有效。 0：当 VSYNC 低电平有效。 软件只能在 DVP_CTRL.DVPEN=0 时修改此位。
1	HSPOL	HSYNC 极性控制。 1：当 HSYNC 低电平有效。 0：当 HSYNC 高电平有效。 软件只能在 DVP_CTRL.DVPEN=0 时修改此位。
0	PCLKPOL	端口像素时钟极性控制。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：数据在像素时钟的下降延采集。 0：数据在像素时钟的上升延采集。 软件只能在 DVP_CTRL.DVPEN=0 时修改这个位。

27.7.6 DVP FIFO 配置寄存器（DVP_FIFOCFG）

偏移地址：0x10

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved													TXBURSZ[2:0]		
													rw		

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved						TXFTH[1:0]		Reserved		EN1KBD	DISP MODE	Reserved		M2ADDR EN	M1ADDR EN
						rw				rw	rw			rw	rw

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必须保持复位值。
18:16	TXBURSZ[2:0]	数据突发传输设置。 当 FIFO 数据达到传输阈值时，模块的内置 DMA 会根据突发传输设置向缓存区突发写入数据。 000：突发传输数据大小为 4 字节。 001：突发传输数据大小为 8 字节。 010：突发传输数据大小为 12 字节。 011：突发传输数据大小为 16 字节。 100：突发传输数据大小为 20 字节。 101：突发传输数据大小为 24 字节。 110：突发传输数据大小为 28 字节。 111：突发传输数据大小为 32 字节。 注意：确保 DVP_FIFOCFG.TXBURSZ 设置与 DVP_FIFOCFG .TXFTH 设置数据量相同或更小，否则在运行时可能会遇到 FIFO 问题。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
15:10	Reserved	保留，必须保持复位值。
9:8	TXFTH[1:0]	FIFO 传输阈值设置。 当 FIFO 数据达到传输阈值时，模块的内置 DMA 会根据突发传输设置向缓存区突发写入数据。 00：传输阈值为 4 字节。 01：传输阈值为 8 字节。 10：传输阈值为 16 字节。 11：传输阈值为 32 字节。 注意：确保 DVP_FIFOCFG.TXBURSZ 设置与 DVP_FIFOCFG .TXFTH 设置相同或更小，否则可能会在运行时遇到 FIFO 问题。
7:6	Reserved	保留，必须保持复位值。
5	EN1KBD	跨越 1K 边界控制。 0：突发数据传输禁止跨越 1K 边界。 1：突发数据传输允许跨越 1K 边界。 注意：如果禁用此功能，跨越 1K 边界的每个增量爆发都将被中断并发送非顺序事务，一旦突破 1K 边界，将再次恢复增量顺序事务。这个控制位用于调试，在正常情况下应该将其保留为默认设置“0”。
4	DISPMODE	显示当前帧缓冲区状态，是处于图像数据字节计数状态或缓冲区地址的控制。 1：缓冲区地址输出到 DVP_FPBC1 和 DVP_FPBC2 寄存器上。 0：帧缓冲区的数据字节数输出到 DVP_FPBC1 和 DVP_FPBC2 寄存器上。
3:2	Reserved	保留，必须保持复位值。
1	M2ADDREN	帧缓冲区 2 使能。 1: 帧缓冲区 2 被启用。 0: 帧缓冲区 2 未启用。 软件只能在 DVP_CTRL.DVPEN=0 时修改此位。 注意：启用帧缓冲区 2 有一个限制；它只能在启用帧缓冲区 1 的同时启用。帧缓冲区 2 不允许单独使用。如果你只需要一个帧缓冲区，那么你必须使用帧缓冲区 1。
0	M1ADDREN	帧缓冲区 1 使能。 1: 帧缓冲区 1 已启用。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：帧缓冲区 1 未启用。 软件只能在 DVP_CTRL.DVPEN=0 和 DVP_FBS.FMSIZE 必须为非零时才能修改此位。

27.7.7 DVP 起始存储地址 1 寄存器（DVP_SMADDR1）

偏移地址：0x14

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
MADDR[31:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MADDR[31:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	MADDR[31:0]	缓存区 1 起始地址。此地址仅在 DVP_FIFOCFG.M1ADDREN=1 时有效。 此地址位 32 位对齐，因此 MADDR[1:0] = 0。 仅当 DVP_FIFOCFG.M1ADDREN=0 时，可以修改此位。

27.7.8 DVP 起始存储地址 2 寄存器（DVP_SMADDR2）

偏移地址：0x18

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
MADDR[31:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MADDR[31:0]															
rw															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:0	MADDR[31:0]	缓存区 2 起始地址。此地址仅在 DVP_FIFOCFG.M2ADDREN=1 时有效。 此地址位 32 位对齐，因此 MADDR[1:0] = 0。 仅当 DVP_FIFOCFG.M2ADDREN=0 时，可以修改此位。

27.7.9 DVP 缓存区大小寄存器（DVP_FBS）

偏移地址：0x1C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved										FMSIZE[21:0]					
										rw					
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
FMSIZE[21:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:22	Reserved	保留，必须保持复位值。
21:0	FMSIZE[21:0]	设置帧缓冲区大小。这个寄存器用来保护硬件不会写入超过这个范围的帧数据。

27.7.10 DVP 区块 1 像素字节计数寄存器（DVP_FPBC1）

偏移地址：0x20

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
PIXLC[31:0]															
r															
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
PIXLC[31:0]															
r															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:0	PIXLC[31:0]	此寄存器只读。 当 DVP_FIFOCFG.DISPMODE =0 时，存储帧缓冲区 1 的数据字节数。 当 DVP_FIFOCFG.DISPMODE =1 时，存储帧缓冲区 1 地址。

27.7.11 DVP 区块 2 像素字节计数寄存器（DVP_FPBC2）

偏移地址：0x24

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
PIXLC[31:0]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PIXLC[31:0]															
r															

位域	名称	描述
31:0	PIXLC[31:0]	此寄存器只读。 当 DVP_FIFOCFG.DISPMODE =0 时，存储帧缓冲区 2 的数据字节数。 当 DVP_FIFOCFG.DISPMODE =1 时，存储帧缓冲区 2 地址。

27.7.12 DVP 裁剪起始 XY 坐标寄存器（DVP_CSXY）

偏移地址：0x28

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved					CSTAY[10:0]										
					rw										

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				CSTAX[11:0]											

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

rw

位域	名称	描述
31:27	Reserved	保留，必须保持复位值。
26:16	CSTAY[10:0]	裁剪图像起点的 Y 坐标。以行为单位。 仅在 DVP_CTRL.CROPEN=1 时此寄存器有效。 注意：第一个像素坐标为(0,0)。
15:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11:0	CSTAX[11:0]	裁剪图像起点的 X 坐标。以图像像素为单位。 仅在 DVP_CTRL.CROPEN=1 时此寄存器有效。 注意：第一个像素坐标为(0,0)。

27.7.13 DVP 裁剪终止 XY 坐标寄存器（DVP_CEXY）

偏移地址：0x2C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved					CENDY[10:0]										
					rw										

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				CENDX[11:0]											
				rw											

位域	名称	描述
31:27	Reserved	保留，必须保持复位值。
26:16	CENDY[10:0]	裁剪图像终点的 Y 坐标。以行为单位。 仅在 DVP_CTRL.CROPEN=1 时此寄存器有效。 注意：第一个像素坐标为(0,0)。
15:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11:0	CENDX[11:0]	裁剪图像终点的 X 坐标。以图像像素为单位。 仅在 DVP_CTRL.CROPEN=1 时此寄存器有效。 注意：第一个像素坐标为(0,0)。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

27.7.14 DVP 内嵌码同步标志寄存器（DVP_EMSC）

偏移地址：0x30

复位值：0x9D80 B6AB

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
HE_PTTN [7:0]								HS_PTTN [7:0]							
rw								rw							

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
VE_PTTN [7:0]								VS_PTTN [7:0]							
rw								rw							

位域	名称	描述
31:24	HE_PTTN [7:0]	行有效结束同步码。 此位可配置内嵌码同步模式中同步码的第四字节数据，作为特征值来向 DVP 系统发送行有效结束同步码。 仅在 DVP_PORTCFG.EMBSEN =0 时，此位可被软件修改。
23:16	HS_PTTN [7:0]	行有效起始同步码。 此位可配置内嵌码同步模式中同步码的第四字节数据，作为特征值来向 DVP 系统发送行有效起始同步码。 仅在 DVP_PORTCFG.EMBSEN=0 时，此位可被软件修改。
15:8	VE_PTTN [7:0]	帧结束同步码。 此位可配置内嵌码同步模式中同步码的第四字节数据，作为特征值来向 DVP 系统发送帧结束同步码 仅在 DVP_PORTCFG.EMBSEN=0 时，此位可被软件修改。
7:0	VS_PTTN [7:0]	帧起始同步码。 此位可配置内嵌码同步模式中同步码的第四字节数据，作为特征值来向 DVP 系统发送帧起始同步码 仅在 DVP_PORTCFG.EMBSEN=0 时，此位可被软件修改。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

27.7.15 DVP 内嵌码同步掩码寄存器（DVP_EMSCM）

偏移地址:0x34

复位值:0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
HE_MASK[7:0]								HS_MASK[7:0]							
rw								rw							

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
VE_MASK[7:0]								VS_MASK[7:0]							
rw								rw							

位域	名称	描述
31:24	HE_MASK[7:0]	HE_PTTN 寄存器的掩码寄存器。 如果 HE_PTTN 对应的掩码位被设置成 1，那么 HE_PTTN 中的这些位将被排除在此模式检测之外。 仅在 DVP_PORTCFG.EMBSEN=0 时，此位可被软件修改。
23:16	HS_MASK[7:0]	HS_PTTN 寄存器的掩码寄存器。 如果 HS_PTTN 对应的掩码位被设置成 1，那么 HS_PTTN 中的这些位将被排除在此模式检测之外。 仅在 DVP_PORTCFG.EMBSEN=0 时，此位可被软件修改。
15:8	VE_MASK[7:0]	VE_PTTN 寄存器的掩码寄存器。 如果 VE_PTTN 对应的掩码位被设置成 1，那么 VE_PTTN 中的这些位将被排除在此模式检测之外。 仅在 DVP_PORTCFG.EMBSEN=0 时，此位可被软件修改。
7:0	VS_MASK[7:0]	VS_PTTN 寄存器的掩码寄存器。 如果 VS_PTTN 对应的掩码位被设置成 1，那么 VS_PTTN 中的这些位将被排除在此模式检测之外。 仅在 DVP_PORTCFG.EMBSEN=0 时，此位可被软件修改。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

28 灵活的外部存储控制器（FEMC）

28.1 FEMC 功能描述

灵活的外部存储控制器（FEMC）用来访问各种片外存储器，可根据应用需要，方便地进行不同类型大容量静态存储器的扩展，能够在不增加外部接口的情况下同时扩展多种不同类型的静态存储器。所有的外部存储器共享 FEMC 控制器输出的地址、数据和控制信号，FEMC 通过一个唯一的片选信号来区分不同的外部设备。 FEMC 在任一时刻只能访问一个外部设备。它的主要作用是：

- 将内核发送到 AHB 总线上的访问信号，转换为符合外部存储设备通信规则的信号，送到外部存储设备的相应管脚。
- 进行信号宽度和时序的调整，满足访问外部设备的时序要求

FEMC 具有下列主要功能：

- 支持外扩以下器件：
  - SRAM
  - PSRAM
  - ROM
  - NOR Flash
  - NAND Flash（SLC）
  - LCD（8080/6800）
- 支持两个 NAND 闪存块，硬件 1bit-ECC 可检测多达 8K 字节数据
- 支持对同步器件的成组（Burst）访问模式，如 NOR 闪存和 PSRAM
- 8 或 16 位数据总线
- 每一个存储器块都有独立的片选控制
- 通过时序编程可以支持各种不同的器件
- 根据外部存储器的数据宽度，将 32 位的 AHB 访问请求，自动转换为连续的 16 位或 8 位，实现和外部 16 位或 8 位存储器件的通信
- PSRAM 和 SRAM 器件支持写使能和字节选择输出

通常在系统复位或上电时，应该设置好所有配置外部存储器类型和特性的 FEMC 寄存器，以保证上电或者复位后系统能够正常运行，也可以在任何时候改变这些配置。

28.2 框图

FEMC 由五个模块组成：

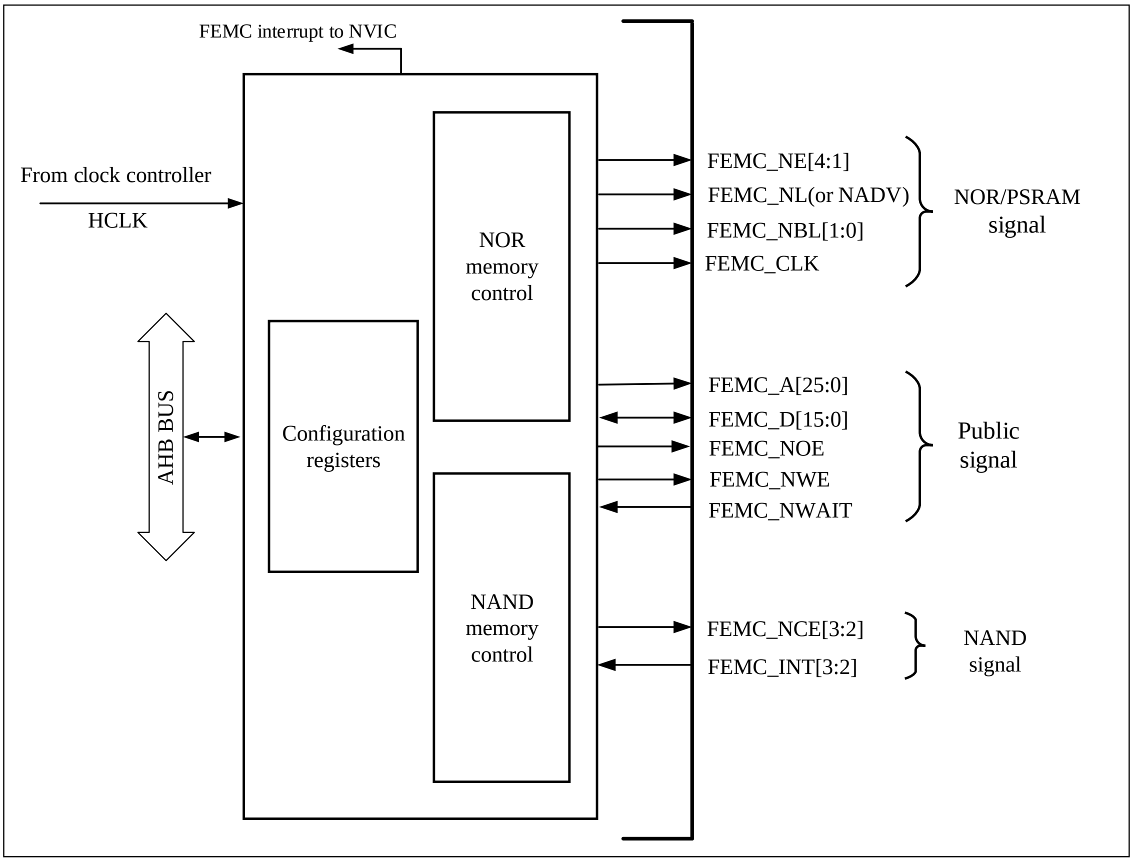
- AHB 接口
- FEMC 配置寄存器

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- NOR 闪存和 PSRAM 控制器
- NAND 闪存控制器
- 外部设备接口

FEMC 框图如下：

图 28-1 FEMC 框图



28.3 AHB 接口

FEMC 的参考时钟为 AHB 时钟（HCLK）。AHB 接口为内部 CPU 和其它总线控制设备访问外部静态存储器提供了通道。FEMC 是 AHB 总线至外部设备协议的转换接口，32 位的 AHB 读写操作可以根据选择的外部存储器的数据通道是 16 还是 8 位被分割成连续的 16 或 8 位的操作。

FEMC 操作规则

在数据传输的过程中，请求 AHB 操作的数据宽度可以是 8 位、16 位或 32 位，而外部设备则是固定的数据宽度，所以 AHB 数据宽度和存储器数据宽度可能不相同，为了保证数据传输的一致性，FEMC 读写访问需要遵从以下规则：

- 当存储器数据宽度等于 AHB 访问的数据宽度，则无数据传输一致性的问题。
- 当存储器的数据宽度大于 AHB 访问的数据宽度，FEMC 则将 AHB 操作分割成几个连续的数据宽度的传输，以适应外部设备的数据宽度。
- 当存储器的数据宽度小于 AHB 访问的数据宽度：如果外部存储设备具有字节选择功能，如 SRAM、

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

ROM、PSRAM，则可通过它的字节通道 BL[1:0]来访问对应的字节。否则禁止写操作，只允许读操作。

FEMC 由一组寄存器进行配置。FEMC 寄存器章节详细描述了 NOR 闪存、PSRAM 控制器寄存器以及 NAND 闪存寄存器。

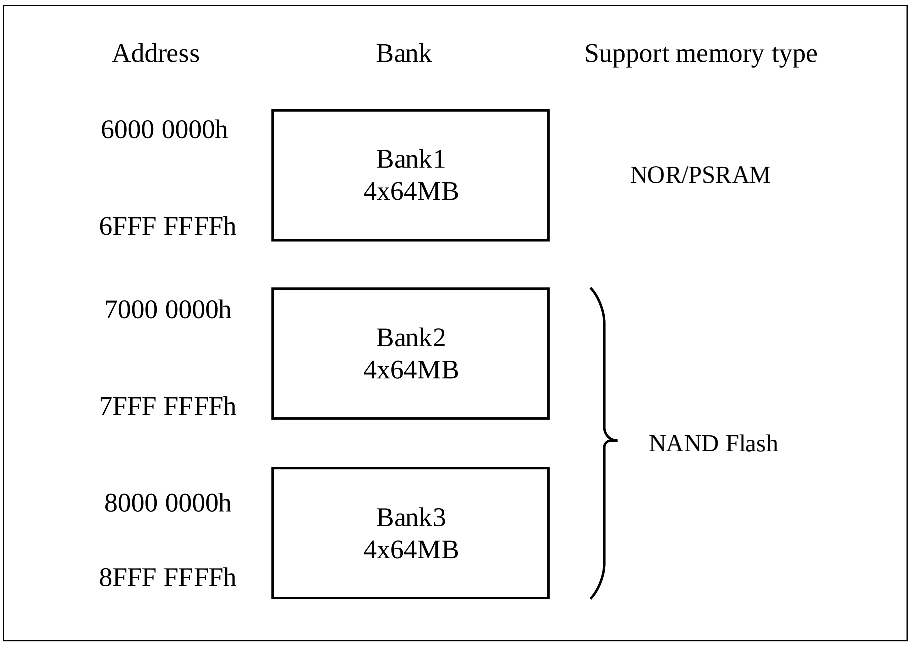
28.4 外部设备地址映像

FEMC 把外部存储器划分为固定大小的三个 Bank，其中 Bank1 又分为 4 个区域，每个区域占 64M 字节，总共 256M 字节。Bank2 和 Bnak3 大小分别为 256M，且都被分为 2 个 Section，分别是属性存储空间和通用存储空间，见下图。

- Bank1 用于访问 NOR 闪存或 SRAM/PSRAM 存储设备。这个存储区被划分为 4 个 NOR/PSRAM 区并有 4 个专用的片选，所以 BANK1 最多可以访问四个外部存储设备。
- Bank2 和 Bank3 用于访问 NAND 闪存设备，每个 Bank 可以连接一个 NAND 闪存。

每一个 Bank 或 Region 上的存储器类型都能进行独立的配置，由用户在相应配置寄存器中定义。

图 28-2 FEMC 存储块



注意：当 FEMC 外部扩展存储器工作在 XIP 模式，并进行批量数据传输时（例如：使用 memcpy 库函数），需要注意编译器对代码的优化。编译器可能会将数据读写操作解释成批量加载/存储汇编指令（例如：LDM、STM、LDRD、STRD）以提高传输效率，但 N32H49x 系列 FEMC 模块不支持批量加载/存储指令，此时会导致 CPU 获取指令出错，程序跑飞。此问题必须同时满足以下四个条件时才会出现：

1、外部扩展存储器（FEMC 接口 NorFLASH/SRAM/PSRAM）工作在 XIP 模式。

2、外部扩展存储器与内部存储器（FLASH/SRAM）或 2 个不同的外部扩展存储之间进行批量数据传输。

3、批量数据传输相关代码编译后生成了批量加载/存储指令。

4、存在批量加载/存储指令对外部扩展存储器一次性读写多个 word。

如果出现此问题，需要查找编译后的汇编代码中的批量加载/存储指令，并采用以下方法解决：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

1、避免将出错代码涉及的数据存放在外部扩展存储器中。

2、调整编译器优化等级，避免生成此类指令。

3、修改生成批量加载/存储指令的相关代码（例如：使用自定义函数替换 memcpy 库函数），避免生成此类指令。

28.4.1 NOR 和 PSRAM 地址映像

AHB 地址线 HADDR[27:26]用于四个区域的片选信号：

表 28-1 NOR/PSRAM 存储块选择

HADDR[27:26][(1)]	选择的存储块
00	Bank1 NOR/PSRAM/SRAM 1
01	Bank 1 NOR/PSRAM/SRAM 2
10	Bank 1 NOR/PSRAM/SRAM 3
11	Bank 1 NOR/PSRAM/SRAM 4

（1）HADDR 是内部 AHB 地址线。

AHB 地址线 HADDR[25:0]包含外部存储器地址。 HADDR 是字节地址，而外部存储器访问有可能不是按字节访问的，所以可能会出现地址不一致的情况，FEMC 可以通过调整 HADDR 来适应外部存储器的数据宽度。具体规则如下表：

表 28-2 外部存储器地址

数据宽度	连到存储器的地址线	最大访问存储器空间（bit）
8 位	HADDR[25:0]与 FEMC_A[25:0]对应相连	64Mbyte x 8 = 512Mbit
16 位	HADDR[25:1]与 FEMC_A[24:0]对应相连，HADDR[0]未接	64Mbyte/2 x 16 = 512Mbit

(1) 如果外部存储器的数据宽度是 8 位按字节对齐，HADDR[25:0]与 FEMC_A[25:0]相连，然后用 FEMC_A[25:0]去连接外部存储器的地址线

(2) 如果外部存储器的数据宽度是 16 位按半字节对齐，就需要将 HADDR 的字节地址转化为半字地址之后再连接外存储器 ，所以需要将 HADDR[25:1]与 FEMC_A[24:0]相连。FEMC_A[24:0]连接到外部存储地址线。

(3) 不论外部存储器的宽度是多少（16 位或 8 位）， FEMC_A[0]始终应该连到外部存储器的地址线 A[0]。

NOR 闪存和 PSRAM 的非对齐访问支持

通过设置相应寄存器，每个 NOR 闪存或 PSRAM 存储器块都可以配置成支持非对齐的数据访问。

依据访问的方式是异步或同步，外部存储器满足以下标准：

■ **异步模式：**在异步模式时，只要每次访问都有准确的地址，完全支持非对齐的数据访问。

■ **同步模式：**同步模式时，FEMC 只发出一次地址信号，然后成组的数据通过时钟 CLK 按顺序进行传输。

有些 NOR 存储器支持线性的非对齐成组访问，固定数目的数据字可以从连续的以 N（典型的 N 为 8 或 16）为模的地址读取。这种情况下，可以把存储器的非对齐访问模式设置为与 AHB 相同的模式。

注意：如果外部存储器的非对齐访问模式不能设置为与 AHB 相同的模式，应该配置 FEMC 寄存器的相应位禁止非对齐访问，并把非对齐的访问请求分开成两个连续的访问操作。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

28.4.2 NAND 地址映像

Bank2 和 Bank3 可以用来访问 NAND Flash，每个 Bank 又被划分为属性访问空间和通用访问空间：

表 28-3 存储器映像和时序寄存器

起始地址	结束地址	FEMC 存储块	存储空间	时序寄存器
0x8800 0000	0x8BFF FFFF	Bank3-NAND Flash	属性	FEMC_NATTMEMTM3(0x8C)
0x8000 0000	0x83FF FFFF		通用	FEMC_ NCMEMTM3(0x88)
0x7800 0000	0x7BFF FFFF	Bank2-NAND Flash	属性	FEMC_NATTMEMTM2(0x6C)
0x7000 0000	0x73FF FFFF		通用	FEMC_NCMEMTM2(0x68)

对于 NAND 闪存存储器，通用和属性空间低 256K 字节部分又被划分为 3 个区，见表 28-4：

表 28-4 NAND 存储块区域选择

区域名称	HADDR[17:16]	地址范围	容量
地址区	1X	0x020000~0x03FFFF	128KB
命令区	01	0x010000~0x01FFFF	64KB
数据区	00	0x000000~0x00FFFF	64KB

AHB 利用 HADDR[17:16]来实现对以上三个区的选择：

- HADDR[17:16]=00（通用/属性空间的前 64K 字节区域），即选择数据区
- HADDR[17:16]=01（通用/属性空间的第 2 个 64K 字节区域），即选择命令区
- HADDR[17:16]=1x（通用/属性空间的第 2 个 128K 字节区域）即选择地址区

应用软件使用这 3 个区访问 NAND Flash，操作规则如下：

- **发送命令到 NAND Flash：**软件只需在命令区的任意一个地址写入要发送的命令即可。在命令传输过程中，FEMC 会使能命令锁存信号（CLE）， 即 FEMC_A[16]拉高。
- **指定操作 NAND Flash 的地址：**软件只需对地址区的任意一个地址写入地址即可。在地址传输过程中， FEMC 会使能地址锁存信号（ALE），即 FEMC_A[17]为高。因为一个 NAND 地址可以有 4 或 5 个字节（依实际的存储器容量而定），所以需要连续地执行对地址区的写才能输出完整的操作地址。
- **读写数据：**软件只需对数据区的任意一个地址写入或读出数据即可。

当 FEMC 在数据发送模式，软件需要在数据区写入数据， 当 FEMC 在数据接收模式，软件需要在数据区读取数据。由于 NAND Flash 会自动累加其内部操作地址，所以在读写时不需要软件修改操作地址。

28.5 NOR 闪存和 PSRAM 控制器

FEMC 控制器 Bank1 可以产生适当的时序信号，驱动下述类型的存储器：

- 异步 SRAM 和 ROM
  - 8 位
  - 16 位
- PSRAM（Cellular RAM）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- ◆ 异步模式
- ◆ 同步突发模式

■ NOR 闪存

- ◆ 异步模式或同步突发模式
- ◆ 复用模式或非复用模式

FEMC 对 Bank1 的每个存储块输出一个唯一的片选信号 NE[4:1]，用于在 4 个存储块中进行片选，所有其它的（地址、数据和控制）信号则是共享的。在同步方式中，FEMC 向选中的外部设备提供时钟（CLK），该时钟的频率是 HCLK 时钟的分频。每个存储块的大小固定为 64M 字节。

每个存储块都有专门的寄存器控制（见 28.7.2 节（NOR 闪存和 PSRAM 控制寄存器））。

在异步模式下，所有控制器输出信号在内部 AHB 总线时钟 HCLK 的上升沿改变

在同步模式下，所有控制器输出数据在外部存储器时钟 FEMC_CLK 的下降沿改变

可编程的存储器参数包括访问时序（见下表）、是否支持非对齐数据存取和等待周期管理（只针对突发模式下访问 PSRAM 和 NOR 闪存）。

表 28-5 可编程的 NOR/PSRAM 访问参数

参数	功能	访问方式	单位	最小	最大
地址建立时间	地址建立阶段的时间	异步	AHB 时钟周期（HCLK）	1	16
地址保持时间	地址保持阶段的时间	异步，复用 I/O	AHB 时钟周期（HCLK）	1	16
数据建立时间	数据建立阶段的时间	异步	AHB 时钟周期（HCLK）	2	256
总线恢复时间	总线恢复阶段的时间	异步或同步读	AHB 时钟周期（HCLK）	1	16
时钟分频因子	存储器访问的时钟周期（CLK）与 AHB 时钟周期的比例	同步	AHB 时钟周期（HCLK）	2	16
数据产生时间	突发模式下产生第一个数据所需的时钟数目	同步	存储器时钟周期（CLK）	2	17

28.5.1 外部存储器接口信号

表 28-6、 表 28-7、 表 28-8 列出了与 NOR 闪存和 PSRAM 接口的典型信号。

注： 具有前缀"N"的信号表示低有效信号

28.5.1.1 NOR Flash

NOR 闪存存储器是按 16 位的字寻址，最大容量达 64M 字节(26 条地址线)。信号中的 N 表示低电平有效。

28.5.1.1.1 非复用接口

表 28-6 非复用信号的 NOR 闪存接口

FEMC 信号名称	信号方向	功能
CLK	输出	时钟（同步突发模式使用）
A[25:0]	输出	地址总线
D[15:0]	输入/输出	双向数据总线
NE[x]	输出	片选，x = 1,2,3,4

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

NOE	输出	输出使能
NWE	输出	写使能
NL(=NADV)	输出	锁存使能（部分 NOR Flash 设备该信号也称为地址有效信号，NADV）
NWAIT	输入	NOR 闪存要求 FEMC 等待的信号

28.5.1.1.2 复用接口

表 28-7 复用 NOR 闪存接口

FEMC 信号名称	信号方向	功能
CLK	输出	时钟（同步突发模式使用）
A[25:16]	输出	地址总线
AD[15:0]	输入/输出	16 位复用的，双向地址/数据总线
NE[x]	输出	片选，x=1,2,3,4
NOE	输出	输出使能
NWE	输出	写使能
NL(=NADV)	输出	锁存使能（部分 NOR Flash 设备该信号也称为地址有效信号，NADV）
NWAIT	输入	NOR 闪存要求 FEMC 等待的信号

28.5.1.2 PSRAM

PSRAM 存储器是按 16 位的字寻址，最大容量达 64M 字节(26 条地址线)，采用非复用模式。

表 28-8 非复用信号的 PSRAM 接口

FEMC 信号名称	信号方向	功能
CLK	输出	时钟（同步突发模式使用）
A[25:0]	输出	地址总线
D[15:0]	输入/输出	双向数据总线
NE[x]	输出	片选，x = 1,2,3,4（PSRAM 称其为 NCE（Cellular RAM 即 CRAM））
NOE	输出	输出使能
NWE	输出	写使能
NL(=NADV)	输出	地址有效(存储器信号名称为：NADV)
NWAIT	输入	PSRAM 要求 FEMC 等待的信号
NBL[1]	输出	高字节使能（存储器信号名称为：NUB）
NBL[0]	输出	低字节使能（存储器信号名称为：NLB）

28.5.2 支持的存储器及其操作

下表列出了支持的存储器、访问模式和操作方式， FEMC 不支持阴影部分的操作方式。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 28-9 FEMC 支持的 NOR 闪存/PSRAM 存储器和操作方式

存储器	模式	读/写	AHB 数据宽度	存储器数据宽度	是否支持	注释
NOR 闪存（总线复用和非总线复用）	异步	读	8	16	支持	
	异步	写	8	16	不支持	
	异步	读	16	16	支持	
	异步	写	16	16	支持	
	异步	读	32	16	支持	分成 2 次 FEMC 访问
	异步	写	32	16	支持	分成 2 次 FEMC 访问
	异步页	读	-	16	不支持	不支持这种模式
	同步	读	8	16	不支持	
	同步	读	16	16	支持	
	同步	读	32	16	支持	
PSRAM（总线复用和非总线复用）	异步	读	8	16	支持	
	异步	写	8	16	支持	使用字节信号 NBL[1:0]
	异步	读	16	16	支持	
	异步	写	16	16	支持	
	异步	读	32	16	支持	分成 2 次 FEMC 访问
	异步	写	32	16	支持	分成 2 次 FEMC 访问
	异步页	读	-	16	不支持	不支持这种模式
	同步	读	8	16	不支持	
	同步	读	16	16	支持	
	同步	读	32	16	支持	
	同步	写	8	16	支持	使用字节信号 NBL[1:0]
	同步	写	16/32	16	支持	
SRAM 和 ROM	异步	读	8/16	16	支持	使用字节信号 NBL[1:0]
	异步	写	8/16	16	支持	使用字节信号 NBL[1:0]
	异步	读	32	16	支持	分成 2 次 FEMC 访问
	异步	写	32	16	支持	分成 2 次 FEMC 访问

28.5.3 时序规则

28.5.3.1 信号同步

- 所有的控制器输出信号在内部时钟（HCLK）的上升沿变
- 在同步写模式（PSRAM）下，所有的输出信号在 HCLK 的上升沿变化。

28.5.4 NOR 闪存和 PSRAM 控制器时序图

28.5.4.1 异步静态存储器（NOR 闪存和 PSRAM）

- 所有信号由内部时钟 HCLK 保持同步，但该时钟不会输出到存储器；
- 为了保证符合存储器的数据保持时序（片选失效至数据失效的间隔，通常最小为 0ns），FEMC 始终在片选信号 NE 失效前对数据线采样；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.

地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

■ 异步存储器操作，模式 1 和 2 为非扩展模式，A/B/C/D 为扩展模式，扩展模式下读和写时序分别控制；非扩展模式下读写时序配置相同；

■ 当设置了扩展模式，可以在读和写时混合使用模式 A、 B、 C 和 D（例如，允许以模式 A 进行读，而以模式 B 进行写)。

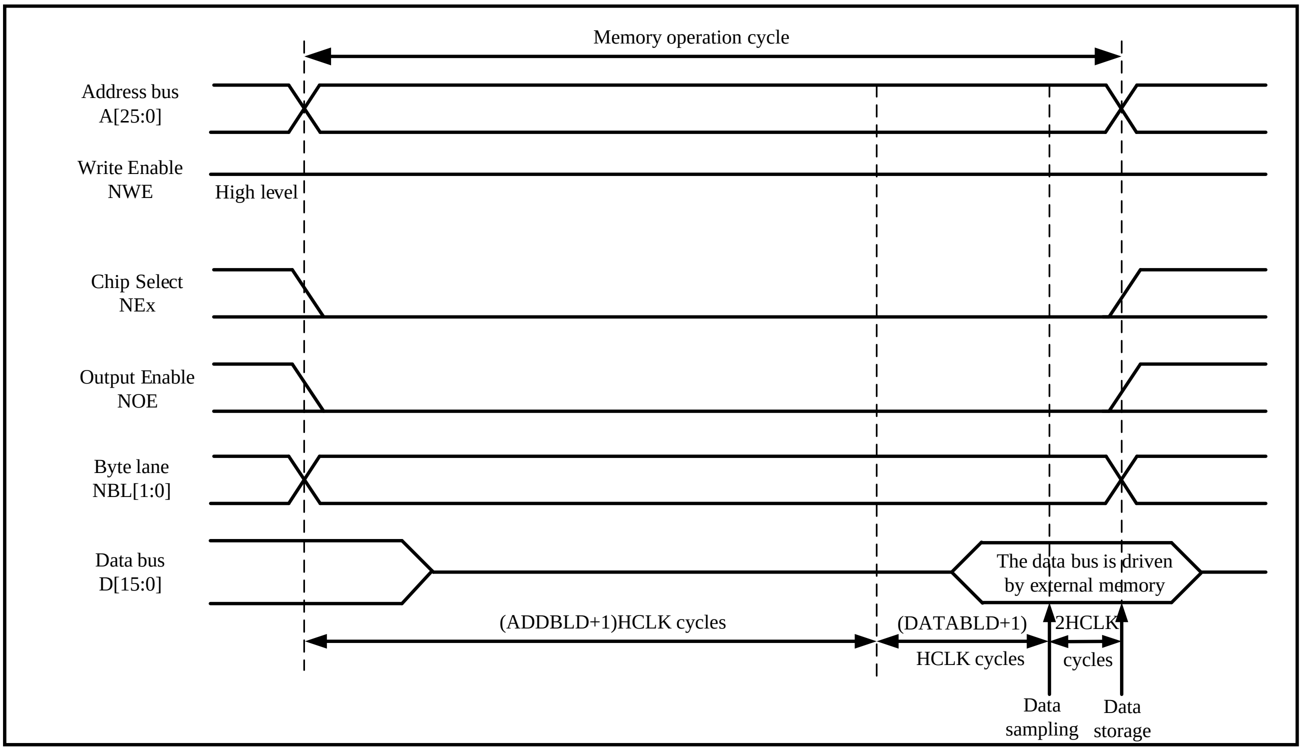
■ 当扩展模式禁能（FEMC_SNCTRLx.EXTEN=0），可以使用 Mode1 或 Mode2 操作：

➢ 当配置访问 SRAM/PSRAM 时，模式 1 为默认模式；

➢ 当配置访问 NOR Flash 时，模式 2 为默认模式；

28.5.4.2 模式 1 - SRAM/CRAM

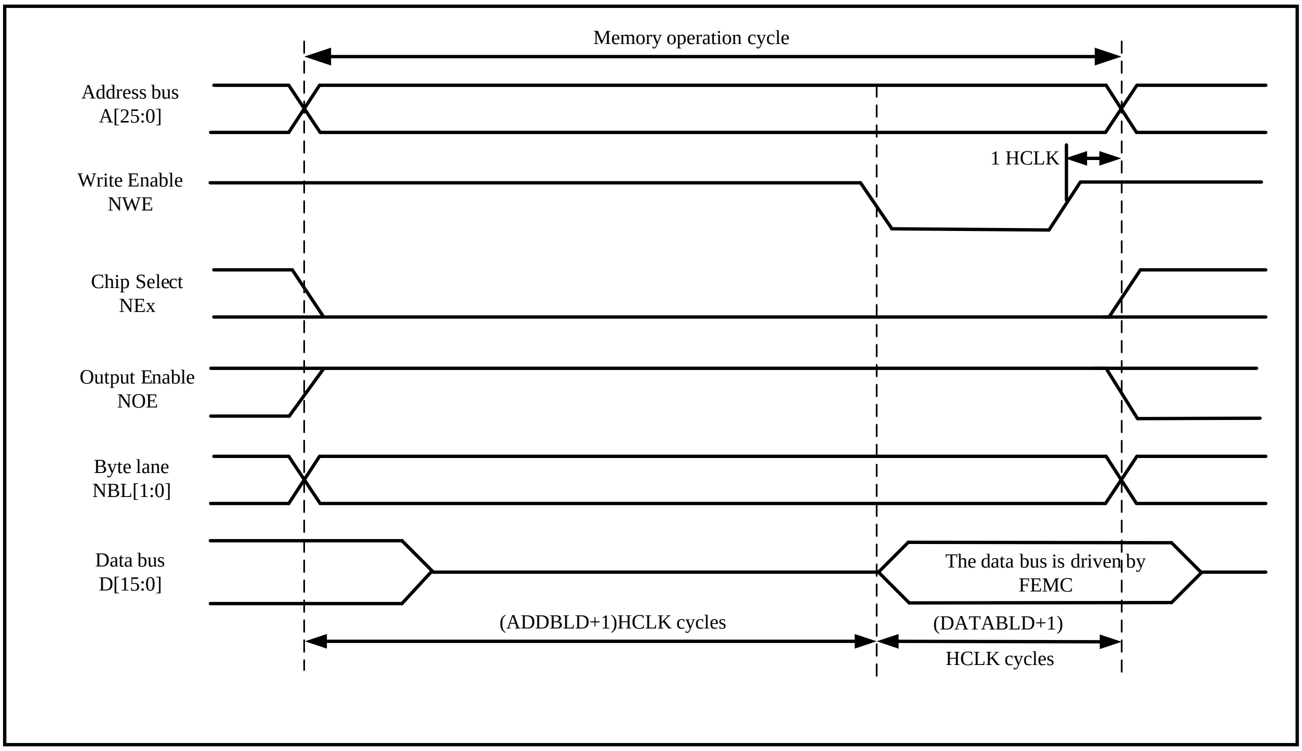
图 28-3 模式 1 读操作



注：ADDBLD：地址建立时间；DATABLD：数据建立时间。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 28-4 模式 1 写操作



注：ADDBLD：地址建立时间；DATABLD：数据建立时间

在写操作的最后一个 HCLK 周期可以保证 NWE 上升沿后地址和数据的保持时间，因为存在这个 HCLK 周期， DATABLD 的数值必须大于 0（DATABLD > 0）。

28.5.4.2.1 模式 1 相关寄存器配置

表 28-10 FEMC_SNCTRLx 寄存器配置（模式 1）

位域	名称	参考设定值
31:20	Reserved	0x000
19	NADVDIR	0x0
18:16	PGSIZE[2:0]	0x0（异步模式下无效）
15	BURSTWREN	0x0（异步模式下无效）
14	WCFG	0x0（异步模式下无效）
13	WAITDIR	仅当 bit8 为’1’时有效
12	WAITEN	0x0（异步模式下无效）
11	WRAPEN	0x0
10	BURSTEN	0x0
9	MUXEN	0x0
8	WAITASYNC	如果存储器支持该 feature 则设置为 1，否则为 0
7	EXTEN	0x0
6	ACCEN	0x0
5	WREN	根据需要配置
4	MBEN	0x1
3:2	MDBW[1:0]	根据需要设置

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

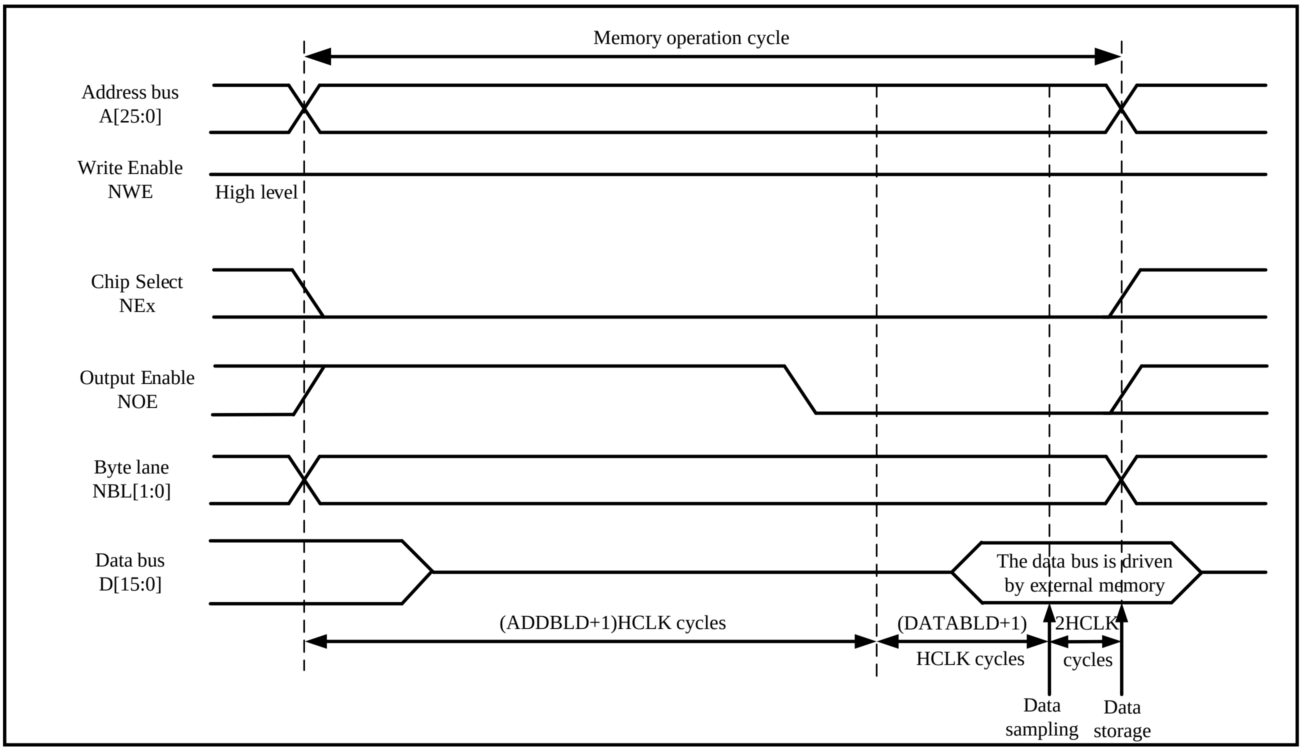
1:0	MTYPE[1:0]	根据需要设置，不包含 2’b10(NOR 闪存)

表 28-11 FEMC_SNTCFGx 寄存器（模式 1）

位域	名称	参考设定值
31:30	Reserved	0x0
29:28	ACCMODE[1:0]	不关注
27:24	CLKDIV[3:0]	不关注
23:20	BUSRECOVERY[3:0]	NEx 拉高到 NEx 重新拉低的时间，即总线恢复时间
19:16	DATAHLD[3:0]	不关注
15:8	DATABLD[7:0]	操作的第 2 个阶段的长度，写操作为(DATABLD+1 个 HCLK 周期)，读操作为(DATABLD+3 个 HCLK 周期) 这个域不能为 0，至少为 1
7:4	ADDHLD[3:0]	不关注
3:0	ADDBLD[3:0]	操作的第 1 个阶段的长度(ADDBLD+1 个 HCLK 周期)

28.5.4.3 模式 A - SRAM/PSRAM（CRAM） OE 翻转

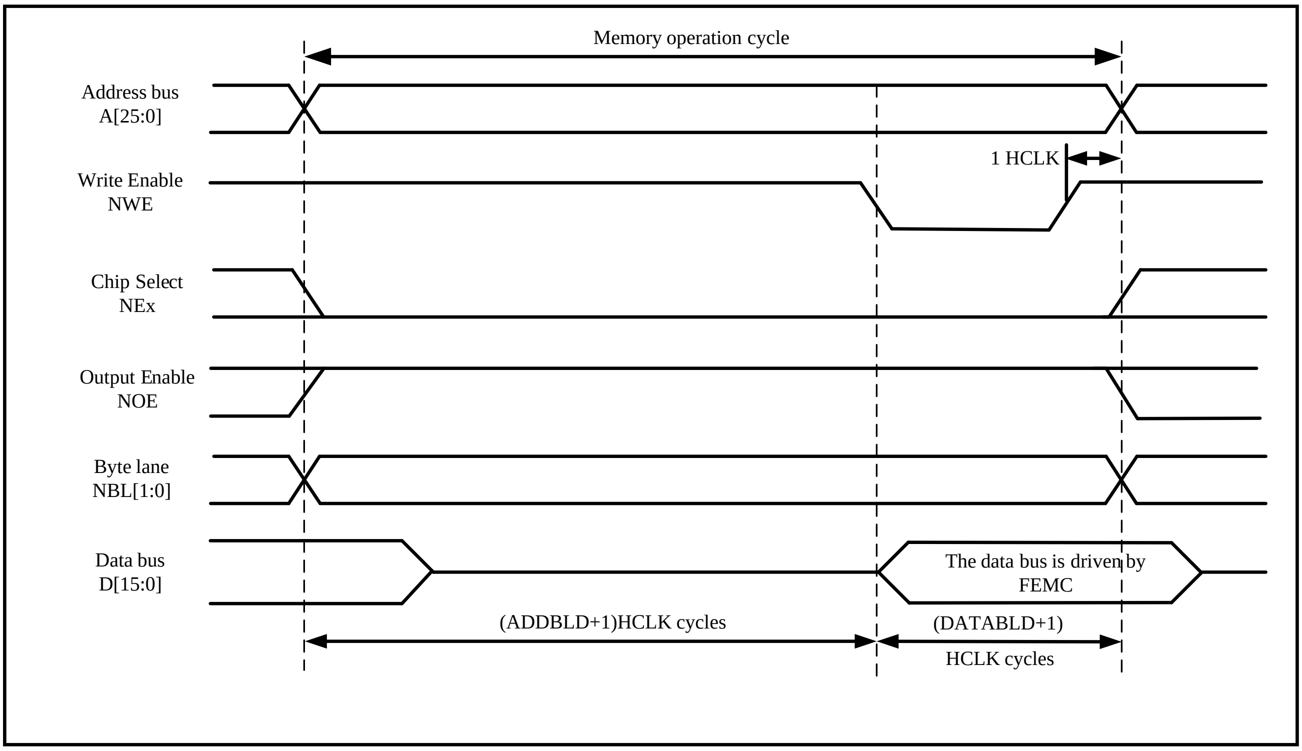
图 28-5 模式 A 读操作



注：ADDBLD：地址建立时间；DATABLD：数据建立时间

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 28-6 模式 A 写操作



注：ADDBLD：地址建立时间；DATABLD：数据建立时间

28.5.4.3.1 模式 A 相关寄存器配置

模式 A 和模式 1 的区别在于写时序，当两个模式的寄存器有相同的时序配置时，模式 A 的写时序独立于读时序。

表 28-12 FEMC_SNCTRLx 寄存器配置（模式 A）

位域	名称	参考设定值
31:20	Reserved	0x000
19	NADVDIR	0x0
18:16	PGSIZE[2:0]	0x0（异步模式下无效）
15	BURSTWREN	0x0（异步模式下无效）
14	WCFG	0x0（异步模式下无效）
13	WAITDIR	仅当 bit8 为’1’时有效
12	WAITEN	0x0（异步模式下无效）
11	WRAPEN	0x0
10	BURSTEN	0x0
9	MUXEN	0x0
8	WAITASYNC	如果存储器支持该 feature 则设置为 1，否则为 0
7	EXTEN	0x1
6	ACCEN	不关注
5	WREN	根据需要配置
4	MBEN	0x1
3:2	MDBW[1:0]	根据需要设置

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

1:0	MTYPE[1:0]	根据需要设置，不包含 2’b10(NOR 闪存)

表 28-13 FEMC_SNTCFGx 寄存器（模式 A）

位域	名称	参考设定值
31:30	Reserved	0x0
29:28	ACCMODE[1:0]	不关注
27:24	CLKDIV[3:0]	不关注
23:20	BUSRECOVERY[3:0]	NEx 拉高到 NEx 重新拉低的时间，即总线恢复时间
19:16	DATAHLD[3:0]	不关注
15:8	DATABLD[7:0]	读操作的第 2 个阶段的长度(DATABLD+3 个 HCLK 周期) 这个域不能为 0(至少为 1)
7:4	ADDHLD[3:0]	不关注
3:0	ADDBLD[3:0]	读操作的第 1 个阶段的长度(ADDBLD+1 个 HCLK 周期)

表 28-14 FEMC_SNWTCFGx 位域（模式 A）

位域	名称	参考设定值
31:30	Reserved	0x0
29:28	ACCMODE[1:0]	0x0
27:20	Reserved	不关注
19:16	BUSRECOVERY[3:0]	NEx 拉高到 NEx 重新拉低的时间，即总线恢复时间
15:8	DATABLD[7:0]	写操作的第 2 个阶段的长度(DATABLD+1 个 HCLK 周期) 这个域不能为 0(至少为 1)
7:4	ADDHLD[3:0]	不关注
3:0	ADDBLD[3:0]	写操作的第 1 个阶段的长度(ADDBLD+1 个 HCLK 周期)

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

28.5.4.4 模式 2/B - NOR 闪存

图 28-7 模式 2/B 读操作

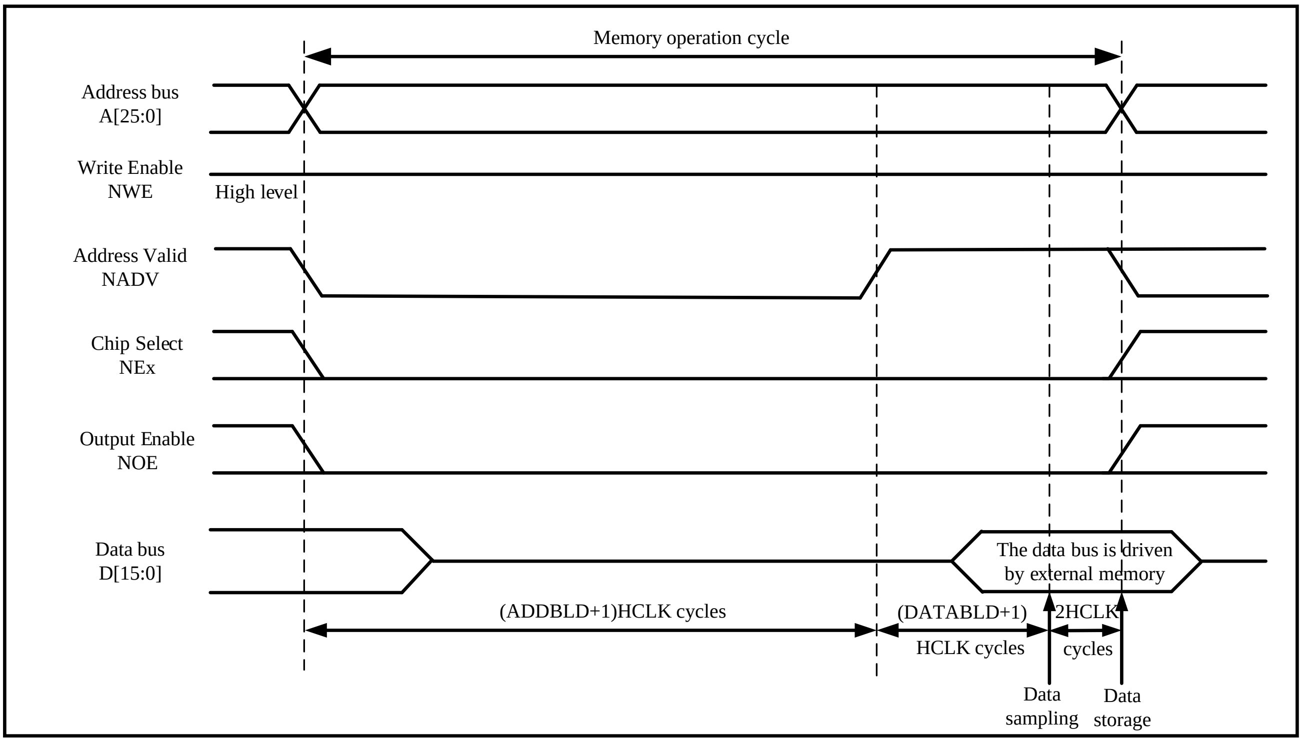
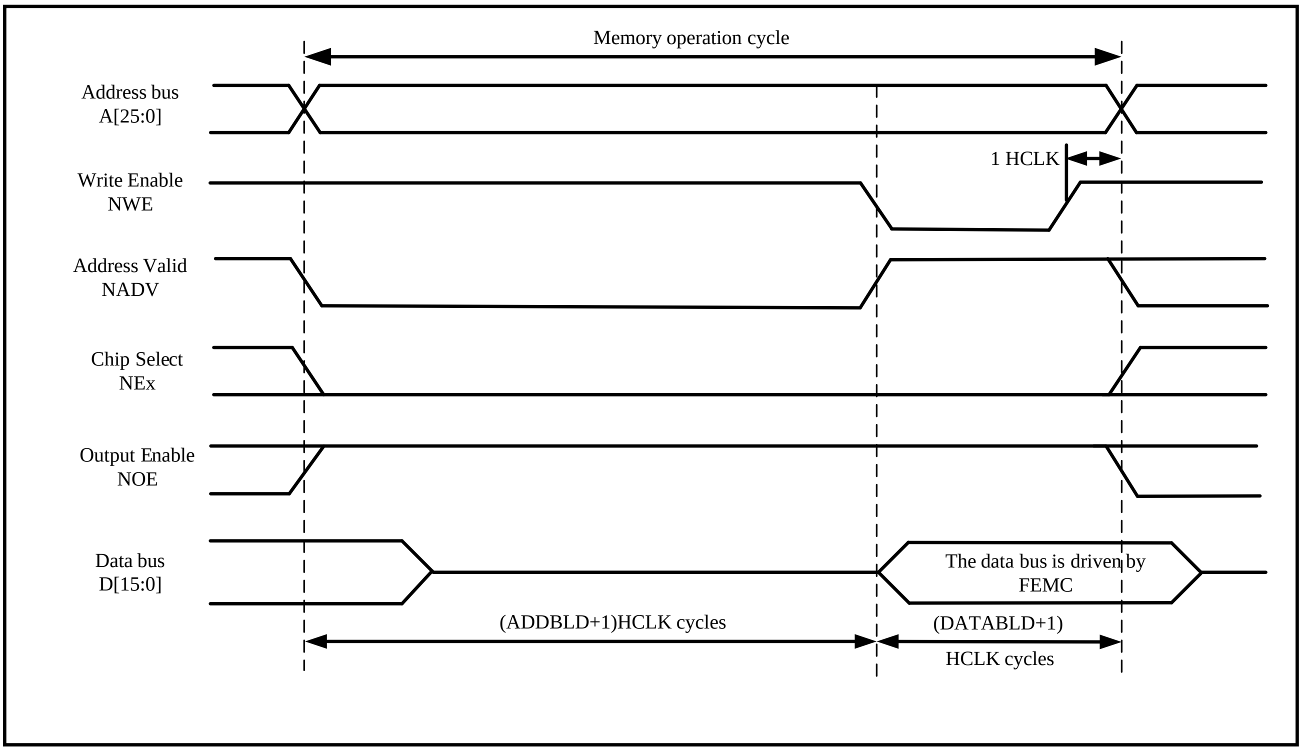
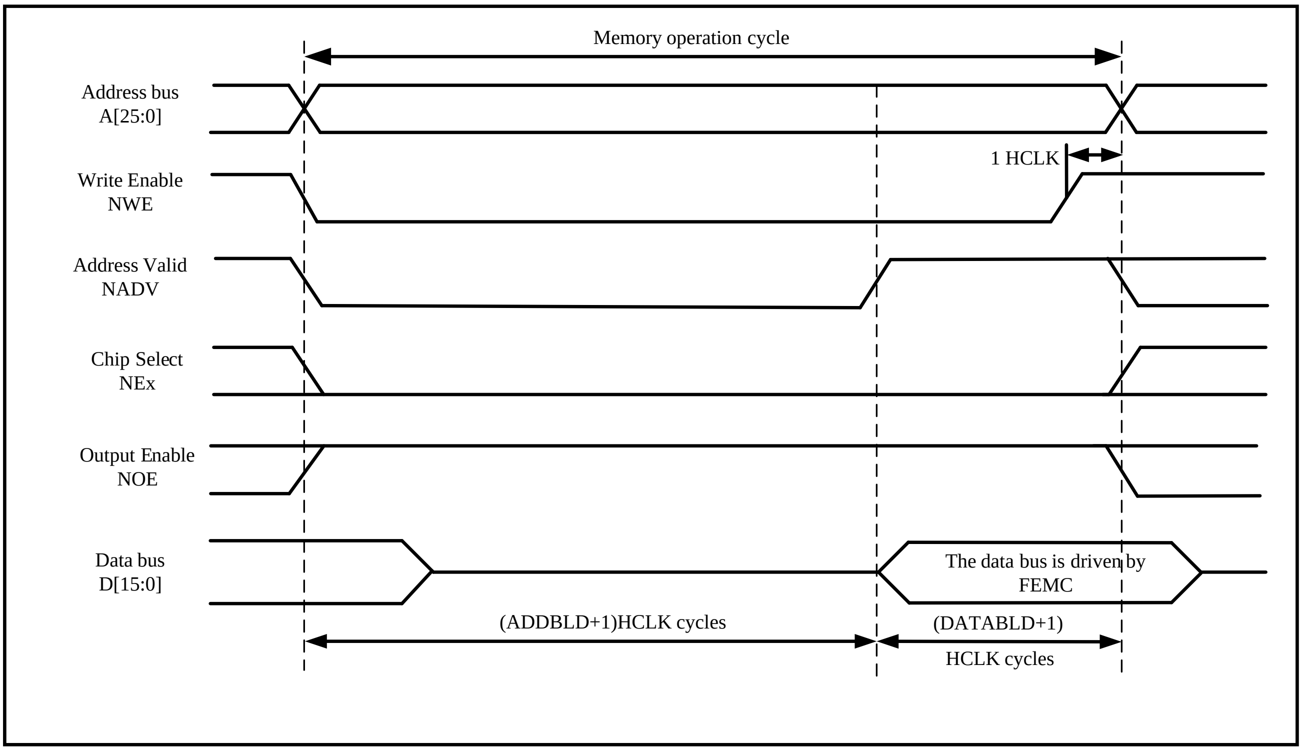


图 28-8 模式 2 写操作



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 28-9 模式 B 写操作



注：ADDBLD：地址建立时间；DATABLD：数据建立时间

28.5.4.4.1 模式 2/B 相关寄存器配置

模式 2/B 与模式 1 相比较，不同的是 NADV 的变化，且在扩展模式下（模式 B）读写时序相互独立。

表 28-15 FEMC_SNCTRLx 寄存器配置（模式 2/B）

位域	名称	参考设定值
31:20	Reserved	0x000
19	NADVDIR	0x0
18:16	PGSIZE[2:0]	0x0（异步模式下无效）
15	BURSTWREN	0x0（异步模式下无效）
14	WCFG	0x0（异步模式下无效）
13	WAITDIR	仅当 bit8 为’1’时有效
12	WAITEN	0x0（异步模式下无效）
11	WRAPEN	0x0
10	BURSTEN	0x0
9	MUXEN	0x0
8	WAITASYNC	如果存储器支持该 feature 则设置为 1，否则为 0
7	EXTEN	模式 2：0x0；模式 B：0x1
6	ACCEN	0x1
5	WREN	根据需要配置
4	MBEN	0x1
3:2	MDBW[1:0]	根据需要设置

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

1:0	MTYPE[1:0]	0x2（NOR Flash）

表 28-16 FEMC_SNTCFGx 寄存器（模式 2/B）

位域	名称	参考设定值
31:30	Reserved	0x0
29:28	ACCMODE[1:0]	如果 FEMC_SNCTRLx.EXTEN=1，此位设置为 0x01
27:24	CLKDIV[3:0]	不关注
23:20	BUSRECOVERY[3:0]	NEx 拉高到 NEx 重新拉低的时间，即总线恢复时间
19:16	DATAHLD[3:0]	不关注
15:8	DATABLD[7:0]	读操作的第 2 个阶段的长度(DATABLD+3 个 HCLK 周期) 这个域不能为 0(至少为 1)
7:4	ADDHLD[3:0]	不关注
3:0	ADDBLD[3:0]	读操作的第 1 个阶段的长度(ADDBLD+1 个 HCLK 周期)

表 28-17 FEMC_SNWTCFGx 位域（模式 B）

位域	名称	参考设定值
31:30	Reserved	0x0
29:28	ACCMODE[1:0]	如果 FEMC_SNCTRLx.EXTEN=1，此位设置为 0x01
27:20	Reserved	不关注
19:16	BUSRECOVERY[3:0]	NEx 拉高到 NEx 重新拉低的时间，即总线恢复时间
15:8	DATABLD[7:0]	写操作的第 2 个阶段的长度(DATABLD+1 个 HCLK 周期) 这个域不能为 0(至少为 1)
7:4	ADDHLD[3:0]	不关注
3:0	ADDBLD[3:0]	写操作的第 1 个阶段的长度(ADDBLD+1 个 HCLK 周期)

注: 只有当设置了扩展模式时（模式 B），FEMC_SNWTCFGx 才有效，否则该寄存器的内容不起作用。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

28.5.4.5 模式 C - NOR 闪存 - OE 翻转

图 28-10 模式 C 读操作

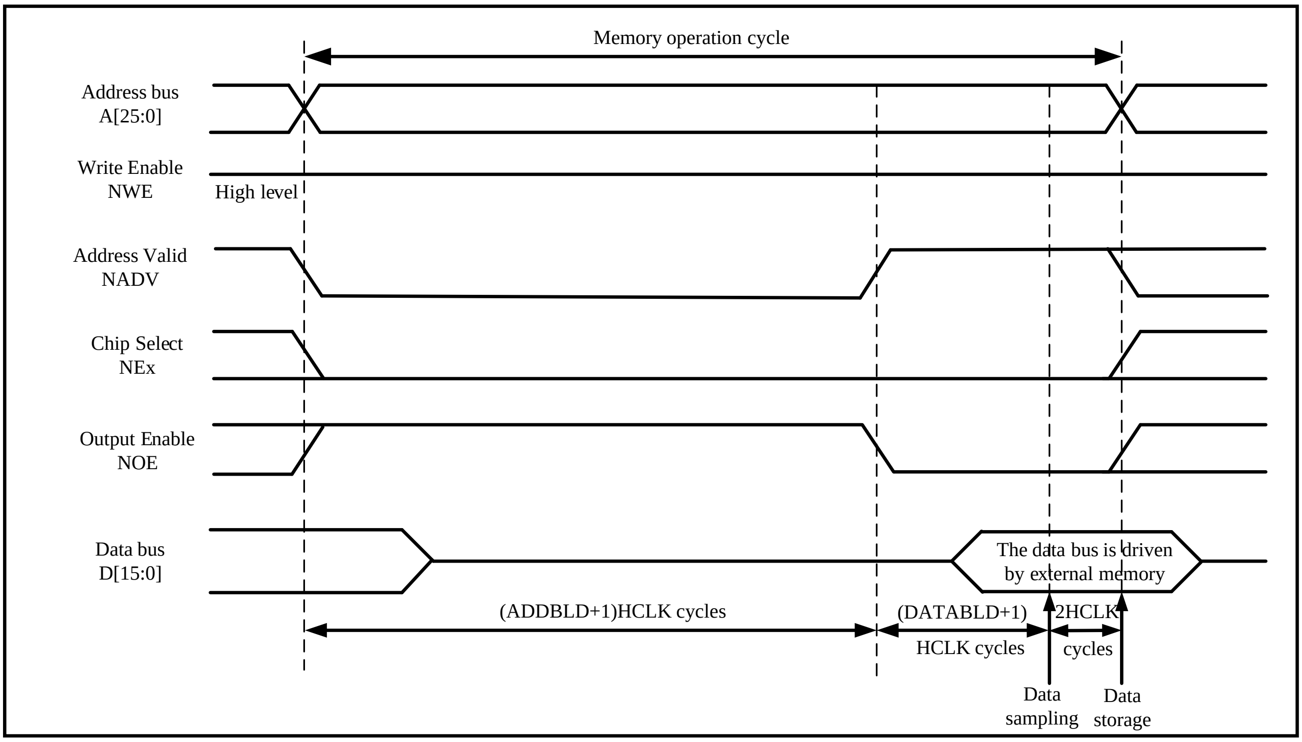
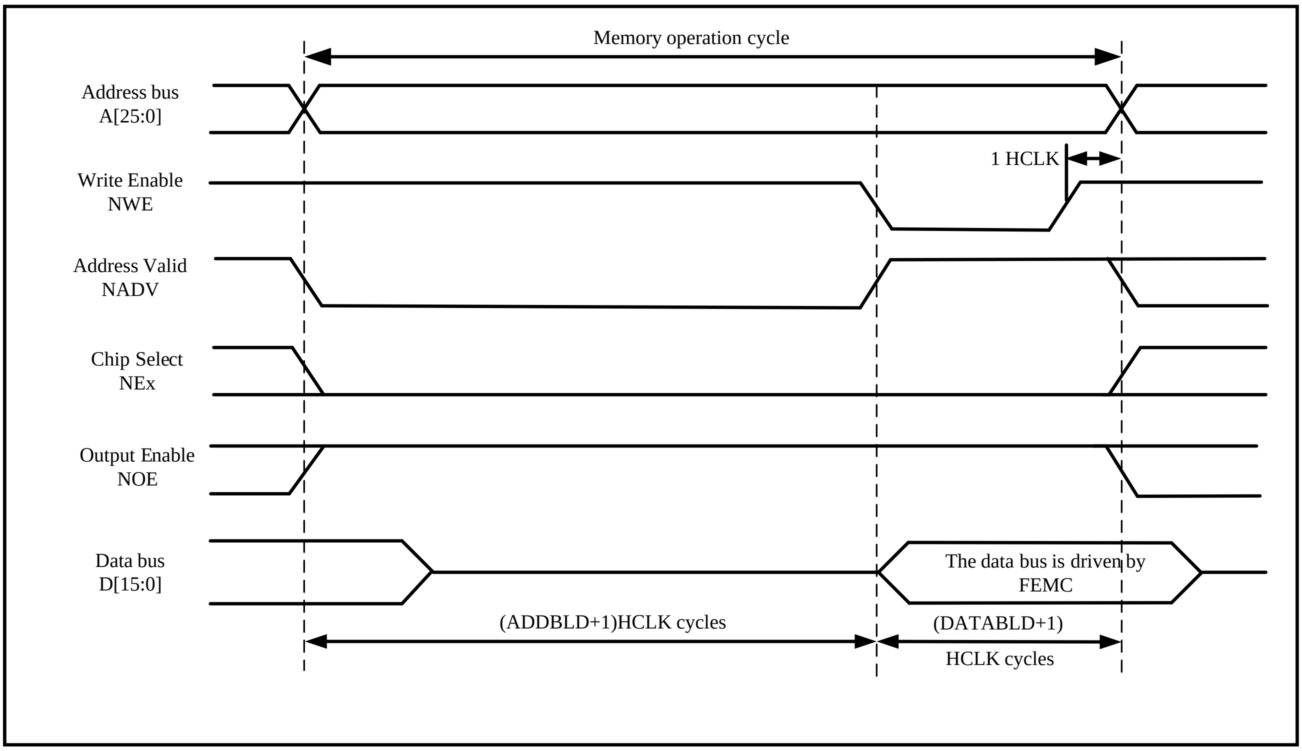


图 28-11 模式 C 写操作



注：ADDBLD：地址建立时间；DATABLD：数据建立时间

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

28.5.4.5.1 模式 C 相关寄存器配置

模式 C 和模式 1 的区别在于写时序，当两个模式的寄存器有相同的时序配置时， 模式 C 的写时序独立于读时序。

表 28-18 FEMC_SNCTRLx 寄存器配置（模式 C）

位域	名称	参考设定值
31:20	Reserved	0x000
19	NADVDIR	0x0
18:16	PGSIZE[2:0]	0x0（异步模式下无效）
15	BURSTWREN	0x0（异步模式下无效）
14	WCFG	0x0（异步模式下无效）
13	WAITDIR	仅当 bit8 为'1'时有效
12	WAITEN	0x0（异步模式下无效）
11	WRAPEN	0x0
10	BURSTEN	0x0
9	MUXEN	0x0
8	WAITASYNC	如果存储器支持该 feature 则设置为 1，否则为 0
7	EXTEN	0x1
6	ACCEN	0x1
5	WREN	根据需要配置
4	MBEN	0x1
3:2	MDBW[1:0]	根据需要设置
1:0	MTYPE[1:0]	0x2（NOR Flash）

表 28-19 FEMC_SNTCFGx 寄存器（模式 C）

位域	名称	参考设定值
31:30	Reserved	0x0
29:28	ACCMODE[1:0]	0x2
27:24	CLKDIV[3:0]	0x0
23:20	BUSRECOVERY[3:0]	NEx 拉高到 NEx 重新拉低的时间，即总线恢复时间
19:16	DATAHLD[3:0]	不关注
15:8	DATABLD[7:0]	读操作的第 2 个阶段的长度(DATABLD+3 个 HCLK 周期) 这个域不能为 0(至少为 1)
7:4	ADDHLD[3:0]	0x0
3:0	ADDBLD[3:0]	读操作的第 1 个阶段的长度(ADDBLD+1 个 HCLK 周期)

表 28-20 FEMC_SNWTCFGx 位域（模式 C）

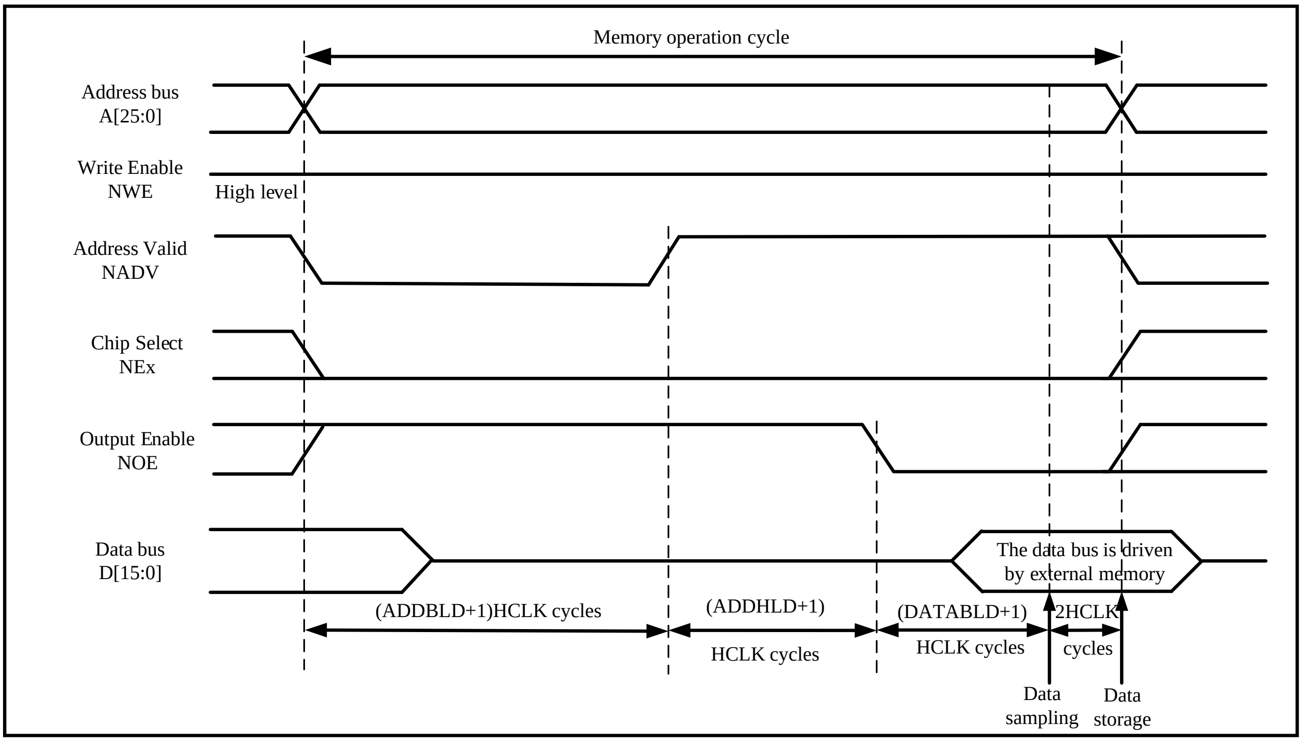
位域	名称	参考设定值
31:30	Reserved	0x0
29:28	ACCMODE[1:0]	0x2
27:20	Reserved	0x0
19:16	BUSRECOVERY[3:0]	NEx 拉高到 NEx 重新拉低的时间，即总线恢复时间

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15:8	DATABLD[7:0]	写操作的第 2 个阶段的长度(DATABLD+1 个 HCLK 周期) 这个域不能为 0(至少为 1)
7:4	ADDHLD[3:0]	0x0
3:0	ADDBLD[3:0]	写操作的第 1 个阶段的长度(ADDBLD+1 个 HCLK 周期)

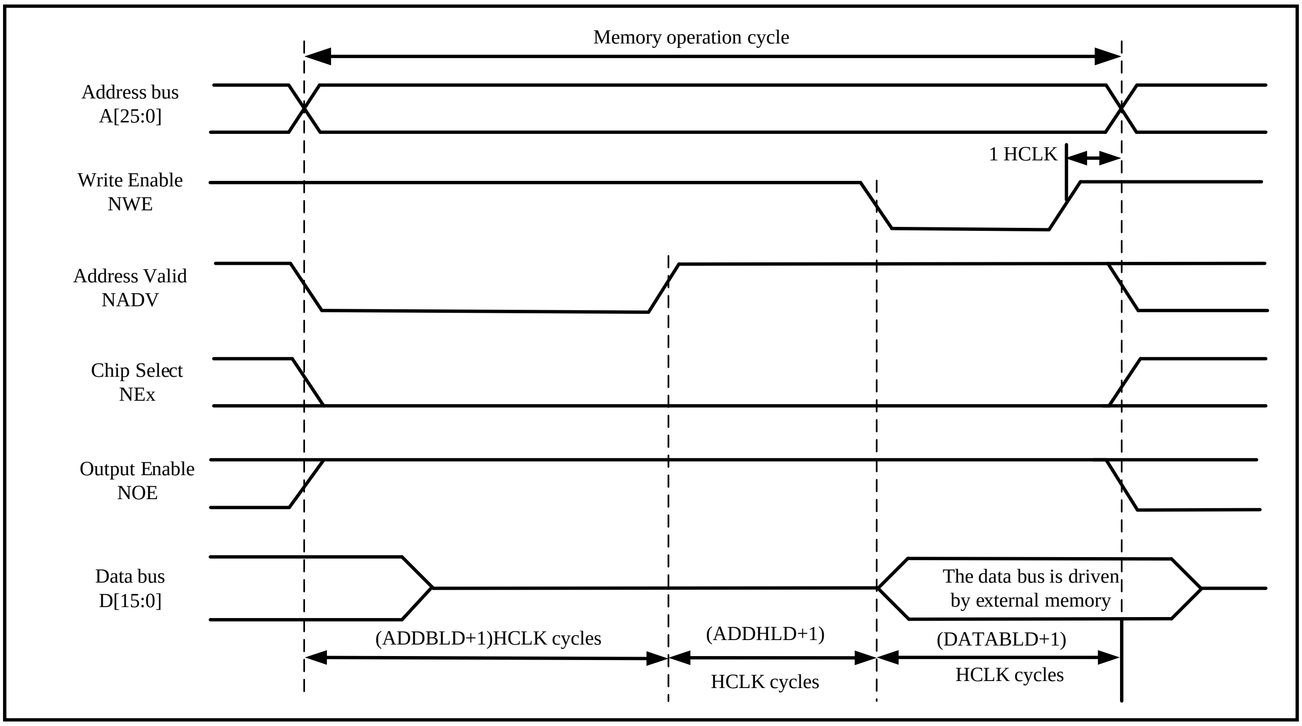
28.5.4.6 模式 D - 带地址扩展的异步操作

图 28-12 模式 D 读操作



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 28-13 模式 D 写操作



注：ADDBLD：地址建立时间；ADDHLD：地址保持时间；DATABLD：数据建立时间

28.5.4.6.1 模式 D 相关寄存器配置

模式 D 与模式 1 不同的是 NADV 的翻转变化，NOE 的翻转出现在 NADV 翻转之后，并且具有独立的读写时序。

表 28-21 FEMC_SNCTRLx 寄存器配置（模式 D）

位域	名称	参考设定值
31:20	Reserved	0x000
19	NADVDIR	0x0
18:16	PGSIZE[2:0]	0x0（异步模式下无效）
15	BURSTWREN	0x0（异步模式下无效）
14	WCFG	0x0（异步模式下无效）
13	WAITDIR	仅当 bit8 为’1’时有效
12	WAITEN	0x0（异步模式下无效）
11	WRAPEN	0x0
10	BURSTEN	0x0
9	MUXEN	0x0
8	WAITASYNC	如果存储器支持该 feature 则设置为 1，否则为 0
7	EXTEN	0x1
6	ACCEN	根据外部存储器配置
5	WREN	根据需要配置

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

4	MBEN	0x1
3:2	MDBW[1:0]	根据需要设置
1:0	MTYPE[1:0]	根据外部存储器配置

表 28-22 FEMC_SNTCFGx 寄存器（模式 D）

位域	名称	参考设定值
31:30	Reserved	0x0
29:28	ACCMODE[1:0]	0x3
27:24	CLKDIV[3:0]	0x0
23:20	BUSRECOVERY[3:0]	NEx 拉高到 NEx 重新拉低的时间，即总线恢复时间
19:16	DATAHLD[3:0]	不关注
15:8	DATABLD[7:0]	读操作的第 2 个阶段的长度(DATABLD+3 个 HCLK 周期) 这个域不能为 0(至少为 1)
7:4	ADDHLD[3:0]	读操作的地址 hold 阶段的长度(ADDHLD+1 个 HCLK 周期)
3:0	ADDBLD[3:0]	读操作的第 1 个阶段的长度(ADDBLD+1 个 HCLK 周期)

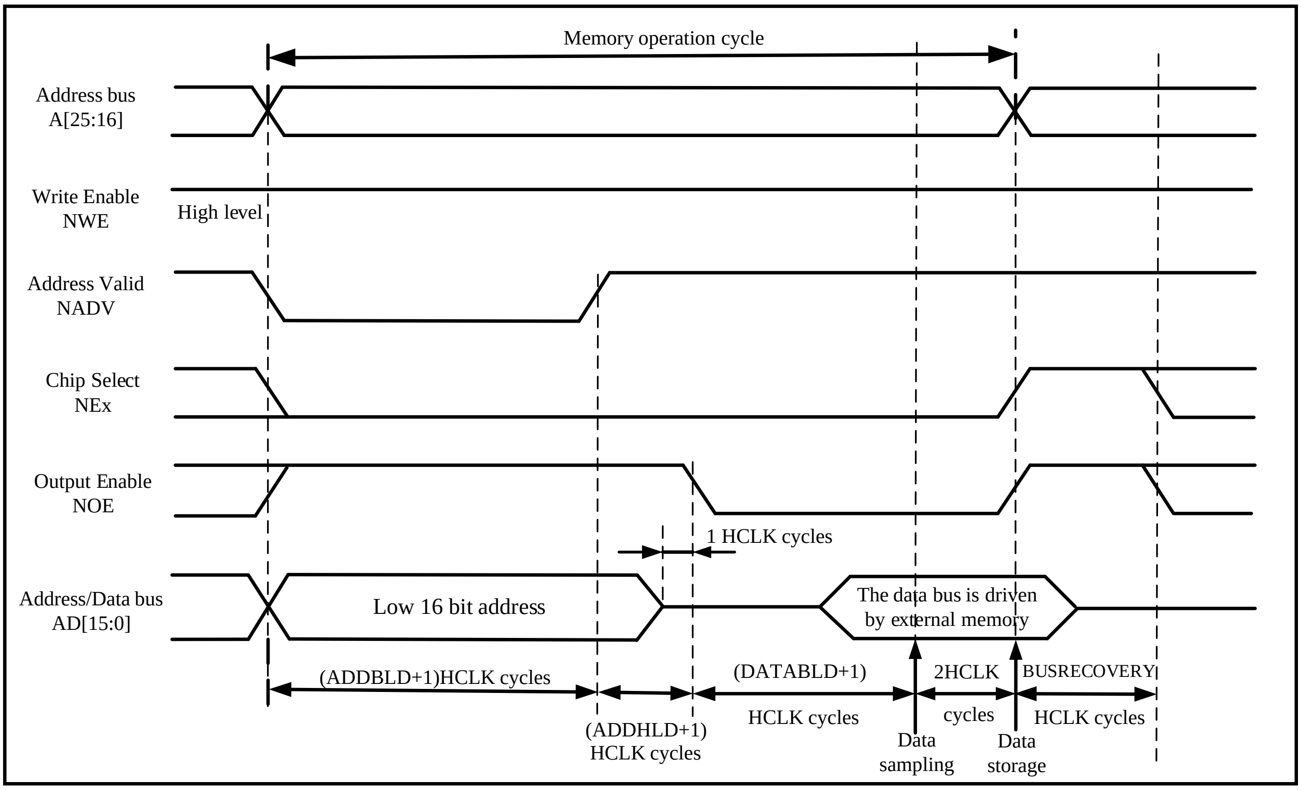
表 28-23 FEMC_SNWTCFGx 位域（模式 D）

位域	名称	参考设定值
31:30	Reserved	0x0
29:28	ACCMODE[1:0]	0x3
27:20	Reserved	0x0
19:16	BUSRECOVERY[3:0]	NEx 拉高到 NEx 重新拉低的时间，即总线恢复时间
15:8	DATABLD[7:0]	写操作的第 2 个阶段的长度(DATABLD+1 个 HCLK 周期) 这个域不能为 0(至少为 1)
7:4	ADDHLD[3:0]	写操作的地址 hold 阶段的长度(ADDHLD+1 个 HCLK 周期)
3:0	ADDBLD[3:0]	写操作的第 1 个阶段的长度(ADDBLD+1 个 HCLK 周期)

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

28.5.4.7 复用模式 - 地址/数据复用的 NOR 闪存异步操作

图 28-14 复用读操作

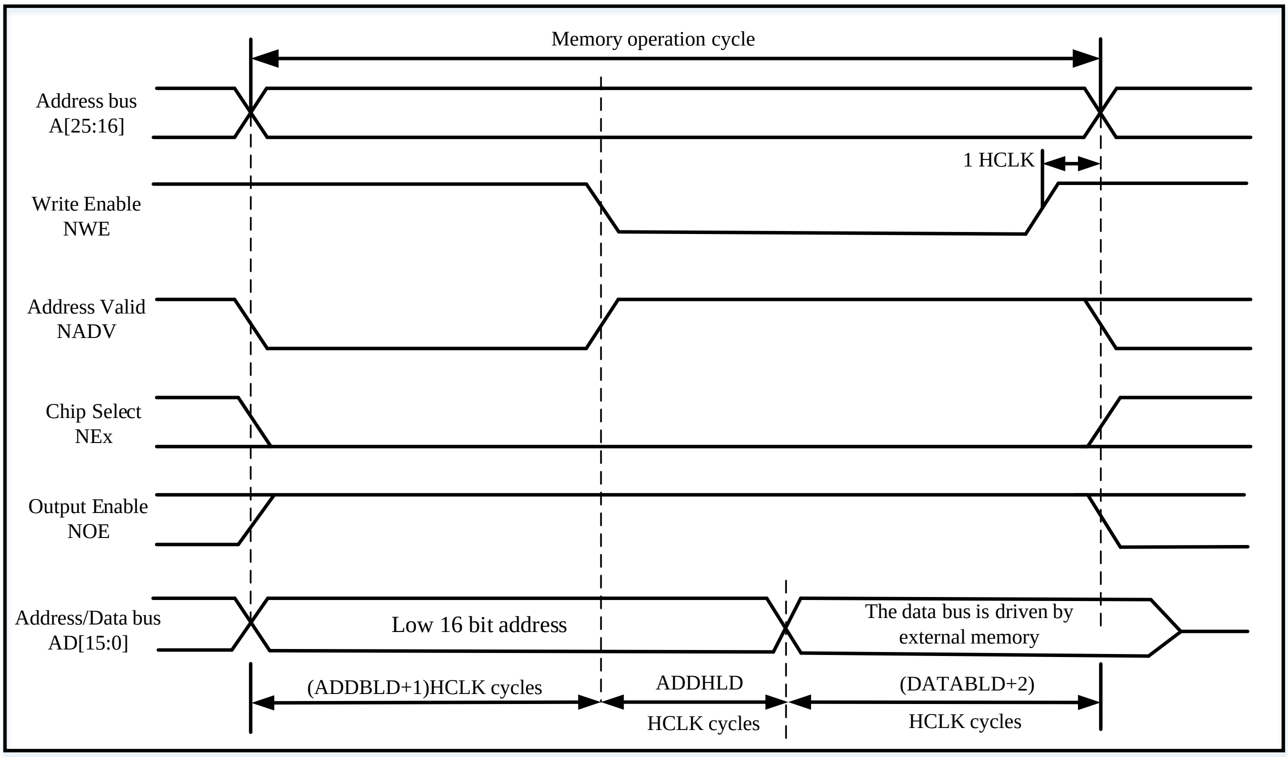


（1） ADDBLD：地址建立时间；DATABLD：数据建立时间；BUSRECOVERY：总线恢复时间

（2）总线恢复延迟（BUSRECOVERY+1）与连续 2 次读操作之间在内部产生的延迟有部分重叠，因此 BUSRECOVERY≤5 时将不影响输出时序。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 28-15 复用写操作



注：ADDBLD：地址建立时间；ADDHLD：地址保持时间；DATABLD：数据建立时间

28.5.4.7.1 复用模式相关寄存器配置

复用模式与模式 D 不同的是地址的低 16 位出现在数据总线上。

表 28-24 FEMC_SNCTRLx 寄存器配置（模式 D）

位域	名称	参考设定值
31:20	Reserved	0x000
19	NADVDIR	0x0
18:16	PGSIZE[2:0]	0x0（异步模式下无效）
15	BURSTWREN	0x0（异步模式下无效）
14	WCFG	0x0（异步模式下无效）
13	WAITDIR	仅当 bit8 为’1’时有效
12	WAITEN	0x0（异步模式下无效）
11	WRAPEN	0x0
10	BURSTEN	0x0
9	MUXEN	0x1
8	WAITASYNC	如果存储器支持该 feature 则设置为 1，否则为 0
7	EXTEN	0x1
6	ACCEN	0x1
5	WREN	根据需要配置

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

4	MBEN	0x1
3:2	MDBW[1:0]	根据需要设置
1:0	MTYPE[1:0]	0x2(NOR Flash)

表 28-25 FEMC_SNTCFGx 寄存器（模式 D）

位域	名称	参考设定值
31:30	Reserved	0x0
29:28	ACCMODE[1:0]	0x0
27:24	CLKDIV[3:0]	0x0
23:20	BUSRECOVERY[3:0]	NEx 拉高到 NEx 重新拉低的时间，即总线恢复时间
19:16	DATAHLD[3:0]	不关注
15:8	DATABLD[7:0]	读操作的第 2 个阶段的长度，读长度为(DATABLD+3)个 HCLK 周期，写操作为(DATABLD+1)个 HCLK 周期 这个域不能为 0(至少为 1)
7:4	ADDHLD[3:0]	操作的地址 hold 阶段的长度(ADDHLD+1 个 HCLK 周期)
3:0	ADDBLD[3:0]	操作的第 1 个阶段的长度(ADDBLD+1 个 HCLK 周期)

28.5.4.8 异步模式下的等待管理

某些异步存储器支持 WAIT 信号，以指示存储器当前是否收发数据就绪，FEMC 支持此功能，可通过 FEMC_BANK_CRx. WAITASYNC 开启此功能。

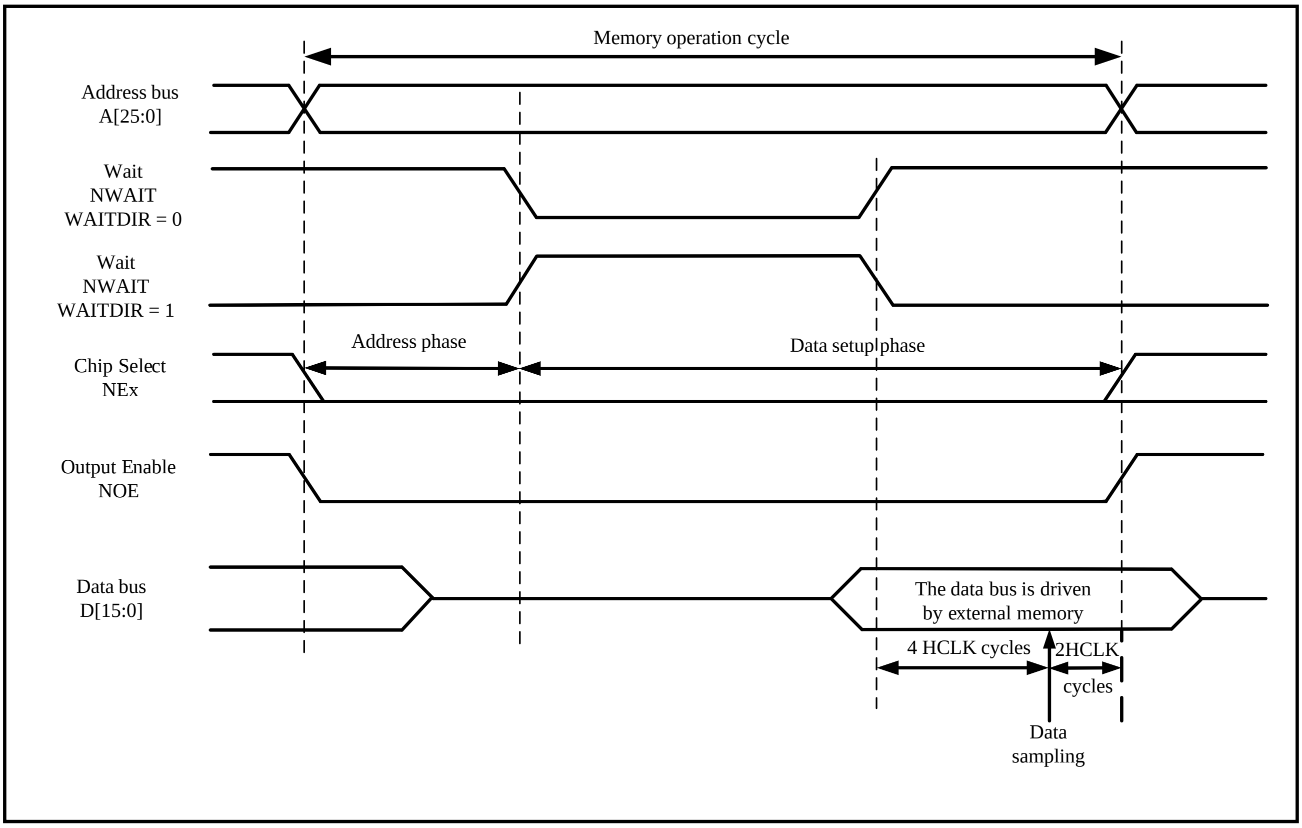
在操作的第二阶段（数据建立阶段，由 DATABLD 位设置），如果 WAIT 信号有效（高或低极性取决于 WAITDIR 位），则该阶段被扩展，直到 WAIT 信号无效。不同于数据建立阶段，地址阶段对 WAIT 信号不敏感，不会扩展时间。

在数据建立阶段，DATABLD 需要被配置，以使 WAIT 信号满足如下状况：

- 对于读操作：WAIT 信号可以在数据被采样前的 4 个 HCLK 周期（或 NOE 撤销之前的 6 个 HCLK）被采样，如下图 2-16 所示；
- 对于写操作：WAIT 信号可以在 NEW 撤销前的 4 个 HCLK 周期被检测，如下图 2-17 所示；

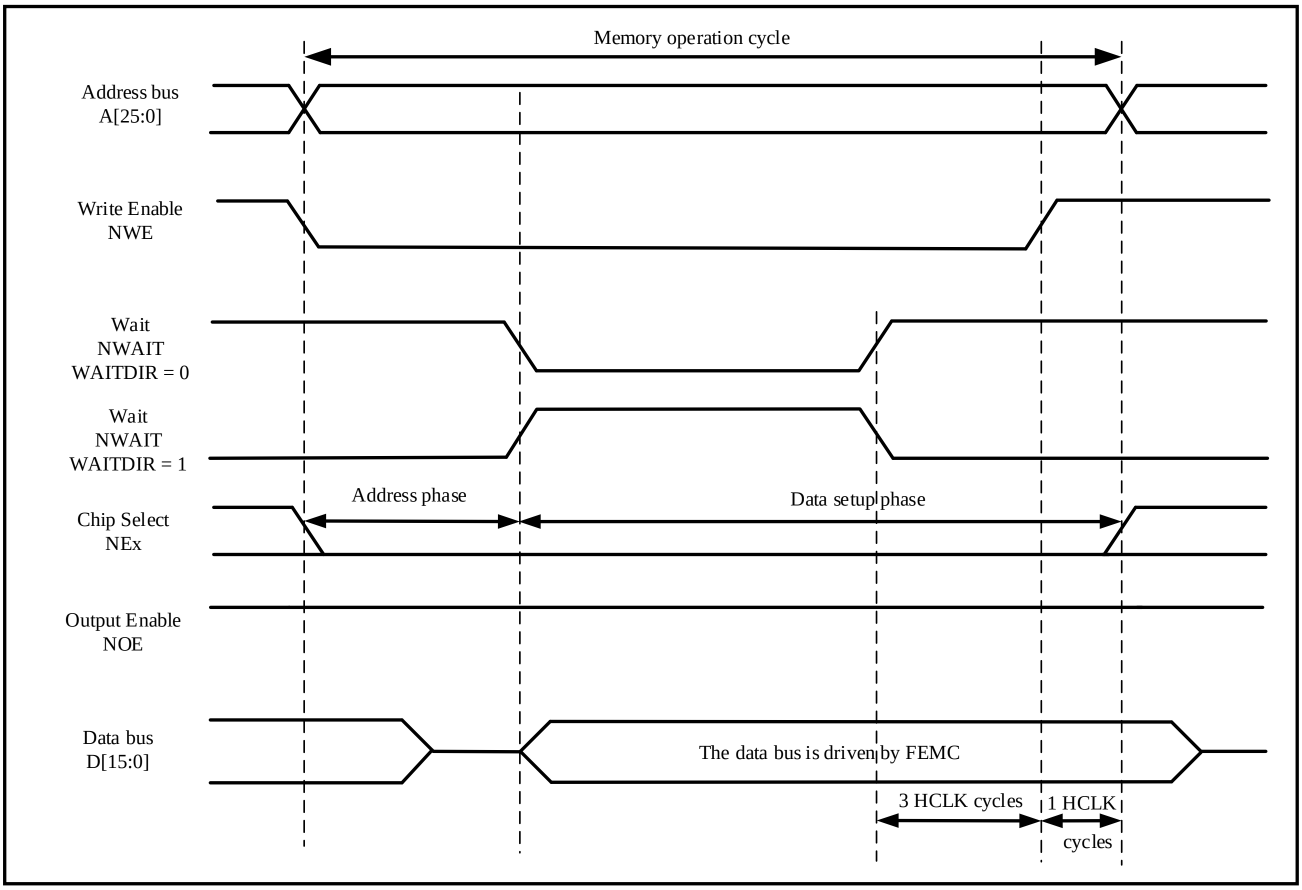
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 28-16 异步等待读操作



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 28-17 异步等待写操作



DATABLD 的设置需要满足如下关系：

- Memory 插入 WAIT 的时机和 NOE/NEW 的翻转时刻对齐：

  DATABLD ≥ (4× HCLK）+ Tmax_wait_assertion_time

- Memory 插入 WAIT 的时机和 NEx 的翻转时刻（NOE/NEW 不翻转）对齐：

  – 如果 max_wait_assertion_time address_phase hold_phase，则

  DATABLD ≥ (4× HCLK）+ Tmax_wait_assertion_time - Taddress_phase – Thold_phase

  – 否则

  DATABLD ≥ (4× HCLK)

以上的 max_wait_assertion_time 是一旦 NEx/NOE/NEW 为低后，存储器插入 WAIT 信号的最长时间。

28.5.5 同步的成组读

同步访问模式中，存储器时钟 CLK 与系统时钟 HCLK 的关系为：$CLK = \frac{HCLK}{CLKDIV+1}$，

其中 CLKDIV 是同步时钟分频比，通过配置 SRAM/NOR 闪存片选时序寄存器（FEMC_SNTCFG1/2/3/4）中

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

的 CLKDIV 位来设置不同的值。

NOR 闪存存储器有一个从 NADV 有效至 CLK 变高的最小时间限制，为了满足这个限制，在同步访问（NADV 有效之前）的第一个内部时钟周期中，FEMC 不会输出时钟到存储器。这样可以保证存储器时钟的上升沿产生于 NADV 低脉冲的中间。

28.5.5.1 数据延时与 NOR 闪存的延时

数据延时时间（DATAHLD）是指在采样数据之前需等待的 FEMC CLK 周期数目，用户可以调整 DATAHLD 的数值使其与 NOR 闪存配置寄存器中定义的数值相符合。FEMC 的数据延时参数不包含 NADV 为低时的时钟周期。它和 NOR 闪存延迟的关系如下：

- 当 NOR 闪存延时不包含 NADV 时，NOR 闪存延时 = DATAHLD + 2；
- 当 NOR 闪存延时包含 NADV 时，NOR 闪存延时 = DATAHLD + 3

如果存储器不在数据保持阶段输出 NWAIT 信号，FEMC 必须设置其数据保持时间（DATAHLD）和存储器端的数据保持时间一致，否则在访问存储器的初始阶段会丢失数据，或者 FEMC 得不到正确的数据。

如果存储器在数据保持阶段产生了一个 NWAIT 信号，这时 FEMC 可以设置其数据保持时间（DATAHLD）为最小值。FEMC 会采样 NWAIT 信号，并一直等待直到数据有效，FEMC 会在检测到存储器结束了保持阶段后读取正确的数据。

28.5.5.2 单次成组传输

当选中的存储器块配置为同步成组模式，如果仅需要进行一次 AHB 单次成组传输，如果 AHB 需要传输 16 位数据，则 FEMC 会执行一次长度为 1 的成组传输；如果 AHB 需要传输 32 位数据，则 FEMC 会分成 2 次 16 位传输，执行一次长度为 2 的成组传输；最后一个数据传输完毕时撤消片选信号。

28.5.5.3 等待管理

对于同步的 NOR 闪存成组访问，在预置的保持时间（DATAHLD+1 个 CLK 时钟周期）之后，需检测 NWAIT 信号。

- FEMC NWAIT 有效极性：

  FEMC_SNCTRLx.WAITDIR = 1，NWAIT 高电平有效

  FEMC_SNCTRLx.WAITDIR = 0，NWAIT 低电平有效

- 在同步突发模式中，NWAIT 信号有两种配置：

  FEMC_SNCTRLx.WCFG= 1，NWAIT 信号有效时，当前时钟周期数据无效

  FEMC_SNCTRLx.WCFG= 0，NWAIT 信号有效时，下一个时钟周期数据无效，这是复位后的默认配置。

如果检测到 NWAIT 为有效电平时， FEMC 将插入等待周期直到 NWAIT 变为无效电平。

当 NWAIT 变为无效时，FEMC 认为数据已经有效（FEMC_SNCTRLx.WCFG=1），或数据将在下一个时钟边沿有效（FEMC_SNCTRLx.WCFG=0）。

在 NWAIT 信号有效的等待周期内，FEMC 会持续的给存储器发送时钟脉冲、保持片选信号和输出使能有效，同时忽略总线上的无效数据。

在成组传输模式下，NOR 闪存的 NWAIT 信号有 2 种时序配置：

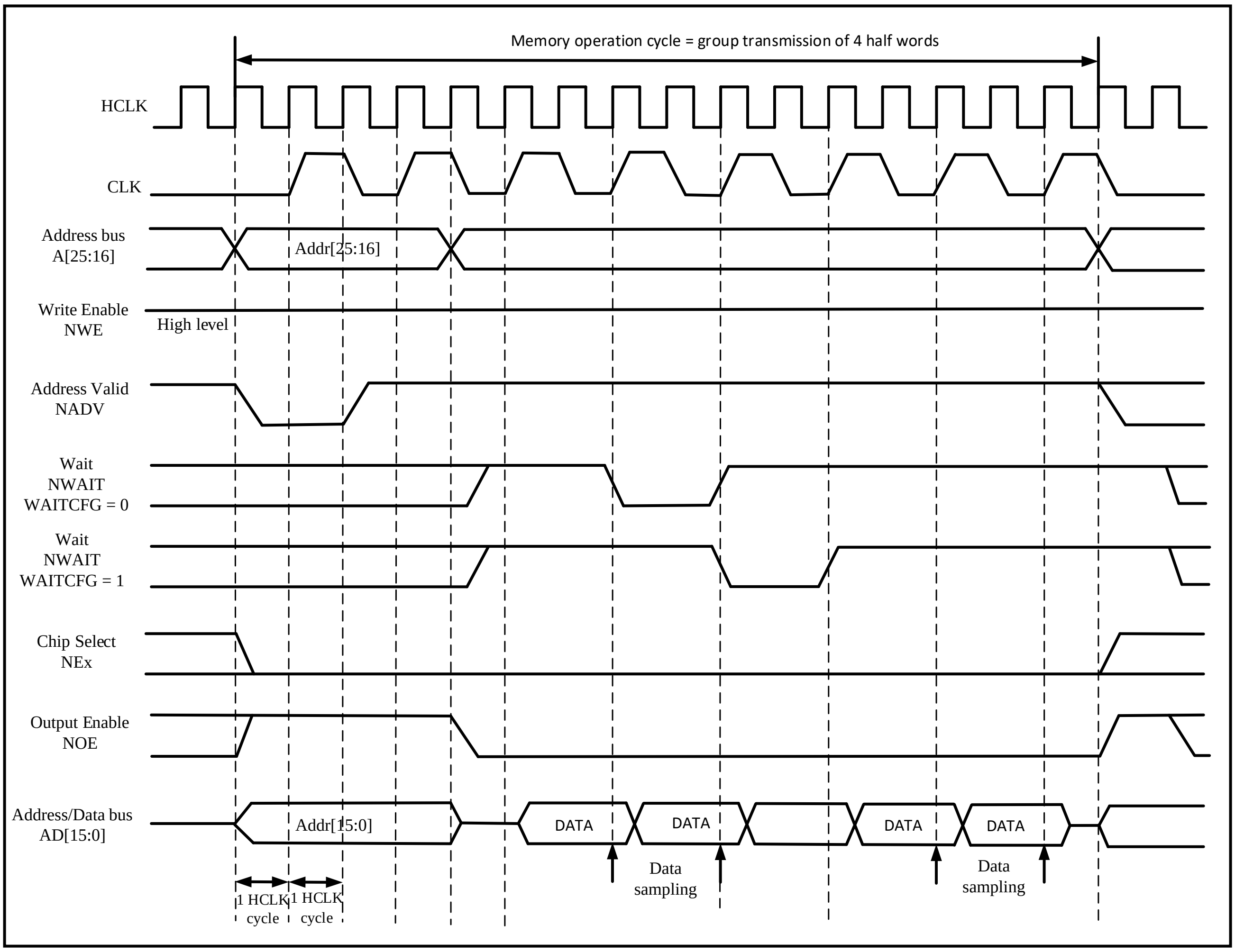
- 闪存存储器在等待状态之前的一个数据周期插入 NWAIT 信号（复位后的默认设置）；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

■ 闪存存储器在等待状态期间插入 NWAIT 信号。

通过配置 FEMC_SNCTRLx 寄存器中的 WCFG 位，FEMC 在每个片选上都支持这 4 种 NOR 闪存的等待状态配置。

图 28-18 同步复用读模式—NOR, PSRAM（CRAM）



BL 信号没有显示在图中，对于 NOR 闪存 BL 应该为高；对于 PSRAM（CRAM）， BL 应该为低。

28.5.5.3.1 同步复用读模式相关寄存器配置

表 28-26 FEMC_SNCTRLx 寄存器配置（同步模式）

位域	名称	参考设定值
31:20	Reserved	0x000
19	NADVDIR	0x0
18:16	PGSIZE[2:0]	根据需要配置（CRAM1.5 配置为 0x1）
15	BURSTWREN	对同步读无效
14	WCFG	根据存储器特性设置
13	WAITDIR	根据存储器特性设置

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

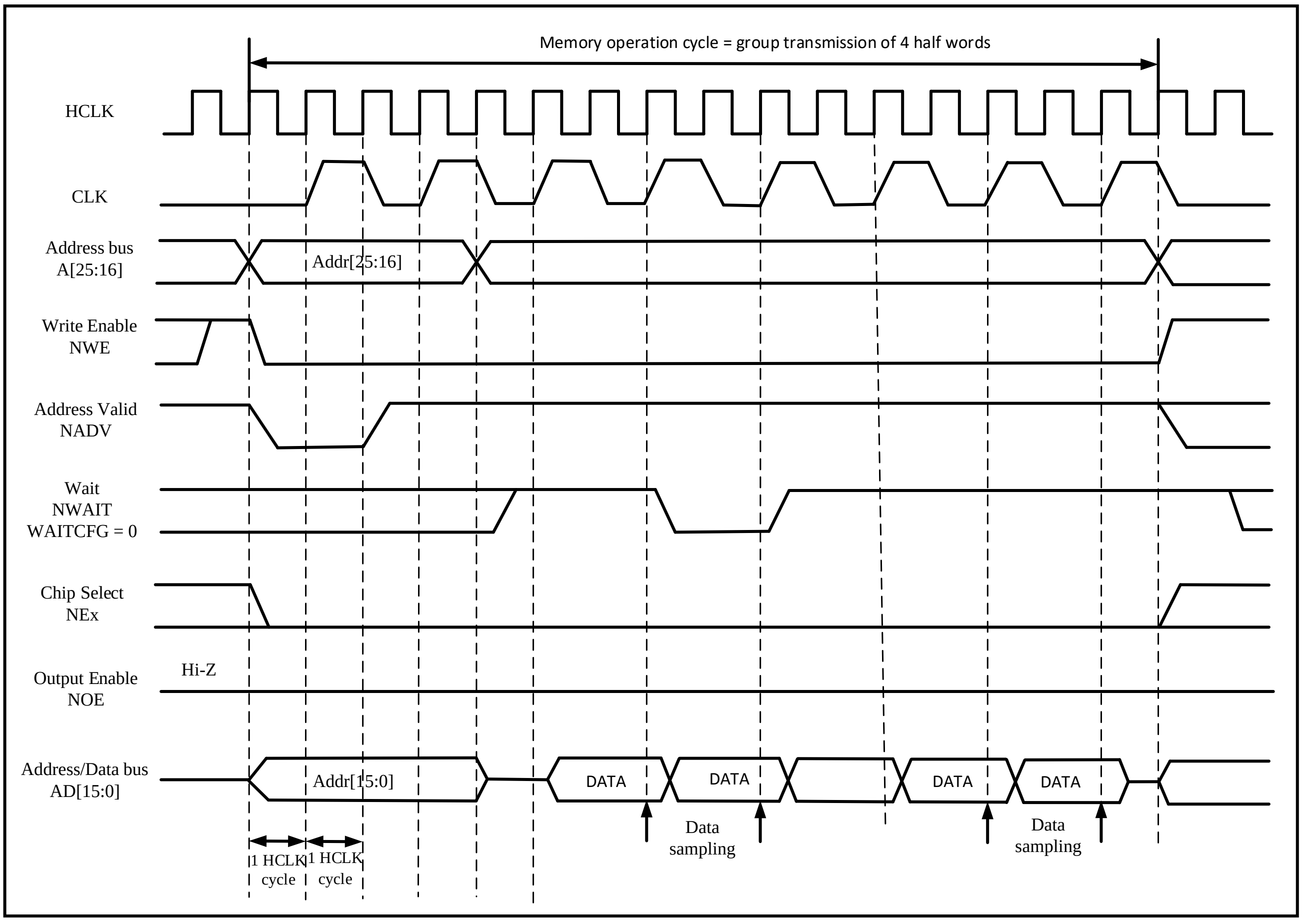
12	WAITEN	如果存储器支持设置为 1，否则设置为 0
11	WRAPEN	0x0
10	BURSTEN	0x0
9	MUXEN	0x0
8	WAITASYNC	0x0
7	EXTEN	0x0
6	ACCEN	0x0
5	WREN	同步读模式下无效
4	MBEN	0x1
3:2	MDBW[1:0]	根据需要设置
1:0	MTYPE[1:0]	根据需要设置，0x1 或 0x2

表 28-27 FEMC_SNTCFGx 寄存器（同步模式）

位域	名称	参考设定值
31:30	Reserved	0x0
29:28	ACCMODE[1:0]	0x0
27:24	CLKDIV[3:0]	根据速度需要配置
23:20	BUSRECOVERY[3:0]	不关注
19:16	DATAHLD[3:0]	数据延时时间
15:8	DATABLD[7:0]	不关注
7:4	ADDHLD[3:0]	不关注
3:0	ADDBLD[3:0]	不关注

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 28-19 同步复用写模式 – PSRAM（CRAM）



1．存储器必须提前一个周期产生 NWAIT 信号，同时 WAITCFG 应配置为 0。

2．字节选择 BL 输出没有显示在图中，当 NEx 为有效时它们为低。

28.5.5.3.2 同步复用写模式相关寄存器配置

表 28-28 FEMC_SNCTRLx 寄存器配置（同步模式）

位域	名称	参考设定值
31:20	Reserved	0x000
19	NADVDIR	0x0
18:16	PGSIZE[2:0]	根据需要配置（CRAM1.5 配置为 0x1）
15	BURSTWREN	0x1
14	WCFG	0x0
13	WAITDIR	根据存储器特性设置
12	WAITEN	如果存储器支持设置为 1，否则设置为 0
11	WRAPEN	0x0
10	BURSTEN	同步写操作无效
9	MUXEN	根据需要配置
8	WAITASYNC	0x0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

7	EXTEN	0x0
6	ACCEN	根据存储器特性设置
5	WREN	0x1
4	MBEN	0x1
3:2	MDBW[1:0]	根据需要设置
1:0	MTYPE[1:0]	0x1

表 28-29 FEMC_SNTCFGx 寄存器（同步模式）

位域	名称	参考设定值
31:30	Reserved	0x0
29:28	ACCMODE[1:0]	0x0
27:24	CLKDIV[3:0]	根据速度需要配置
23:20	BUSRECOVERY[3:0]	NEx 拉高到 NEx 重新拉低的时间，即总线恢复时间
19:16	DATAHLD[3:0]	数据延时时间
15:8	DATABLD[7:0]	不关注
7:4	ADDHLD[3:0]	不关注
3:0	ADDBLD[3:0]	不关注

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

28.6 NAND 闪存控制器

FEMC 模块 Bank2、Bank3 支持 8 位、16 位的 Nand Flash，对于每个 Bank，FEMC 提供独立的寄存器来配置访问时序，同时还提供 ECC 计算模块，保证数据传输和保存的可靠性。

表 28-30 可编程 NAND

<table>
<tr><th>参数</th><th>功能</th><th>操作模式</th><th>单位</th><th>最小</th><th>最大</th></tr>
<tr><td>存储器建立时间</td><td>发出命令之前建立地址的（HCLK）时钟周期数目</td><td>读/写</td><td rowspan="4">AHB 时钟周期（HCLKs</td><td>2</td><td>256</td></tr>
<tr><td>存储器等待时间</td><td>发出命令的最短持续时间（HCLK 周期数目）</td><td>读/写</td><td>2</td><td>255</td></tr>
<tr><td>存储器保持时间</td><td>在发送命令结束后保持地址的（HCLK）时钟周期数目，写操作时也是数据的保持时间</td><td>读/写</td><td>2</td><td>255</td></tr>
<tr><td>存储器数据总线高阻时间</td><td>启动写操作之后保持数据总线为高阻态的时间</td><td>写</td><td>1</td><td>255</td></tr>
</table>

28.6.1 外部存储器接口信号

下表列出了用于接口 NAND 闪存的典型信号线。

前缀‘N’代表对应的信号线为低电平有效。

28.6.1.1 8 位 NAND 闪存

表 28-31 8 位 NAND 闪存

FEMC 信号名称	输入/输出	功能
A[17]	输出	NAND 闪存地址锁存允许信号（ALE）
A[16]	输出	NAND 闪存命令锁存允许信号（CLE）
D[7:0]	入/出	8 位复用的、双向地址/数据总线
NCE[x]	输出	片选， x = 2,3
NOE	输出	输出使能
NWE	输出	写使能
NWAIT	输入	NAND 闪存就绪/繁忙，输入至 FEMC 的信号
INT[x]	输入	中断输入， x = 2,3

FEMC 可以根据需要产生多个地址周期，理论上 FEMC 不限制可以访问的 NAND 容量。

28.6.1.2 16 位 NAND 闪存

表 28-32 16 位 NAND 闪存

FEMC 信号名称	输入/输出	功能
A[17]	输出	NAND 闪存地址锁存允许信号（ALE）
A[16]	输出	NAND 闪存命令锁存允许信号（CLE）
D[15:0]	入/出	16 位复用的、双向地址/数据总线

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

NCE[x]	输出	片选，x = 2,3
NOE	输出	输出使能（存储器端信号名称：读使能，NRE）
NWE	输出	写使能
NWAIT	输入	NAND 闪存就绪/繁忙，输入至 FEMC 的信号
INT[x]	输入	中断输入， x = 2,3

FEMC 可以根据需要产生多个地址周期，理论上 FEMC 不限制可以访问的 NAND 容量。

28.6.2 NAND 闪存支持的存储器及其操作

下表列出了支持的设备、操作模式和操作方式。在表格中有阴影的部分表示 NAND 闪存不支持对应的操作方式。

表 28-33 支持的存储器及其操作

存储器	模式	读/写	AHB 数据宽度	存储器数据宽度	是否支持	注释
8 位 NAND	异步	读	8	8	支持	
	异步	写	8	8	支持	
	异步	读	16	8	支持	分成 2 次 FEMC 访问
	异步	写	16	8	支持	分成 2 次 FEMC 访问
	异步	读	32	8	支持	分成 4 次 FEMC 访问
	异步	写	32	8	支持	分成 4 次 FEMC 访问
16 位 NAND	异步	读	8	16	支持	
	异步	写	8	16	不支持	
	异步	读	16	16	支持	
	异步	写	16	16	支持	
	异步	读	32	16	支持	分成 2 次 FEMC 访问
	异步	写	32	16	支持	分成 2 次 FEMC 访问

28.6.3 NAND 闪存时序图

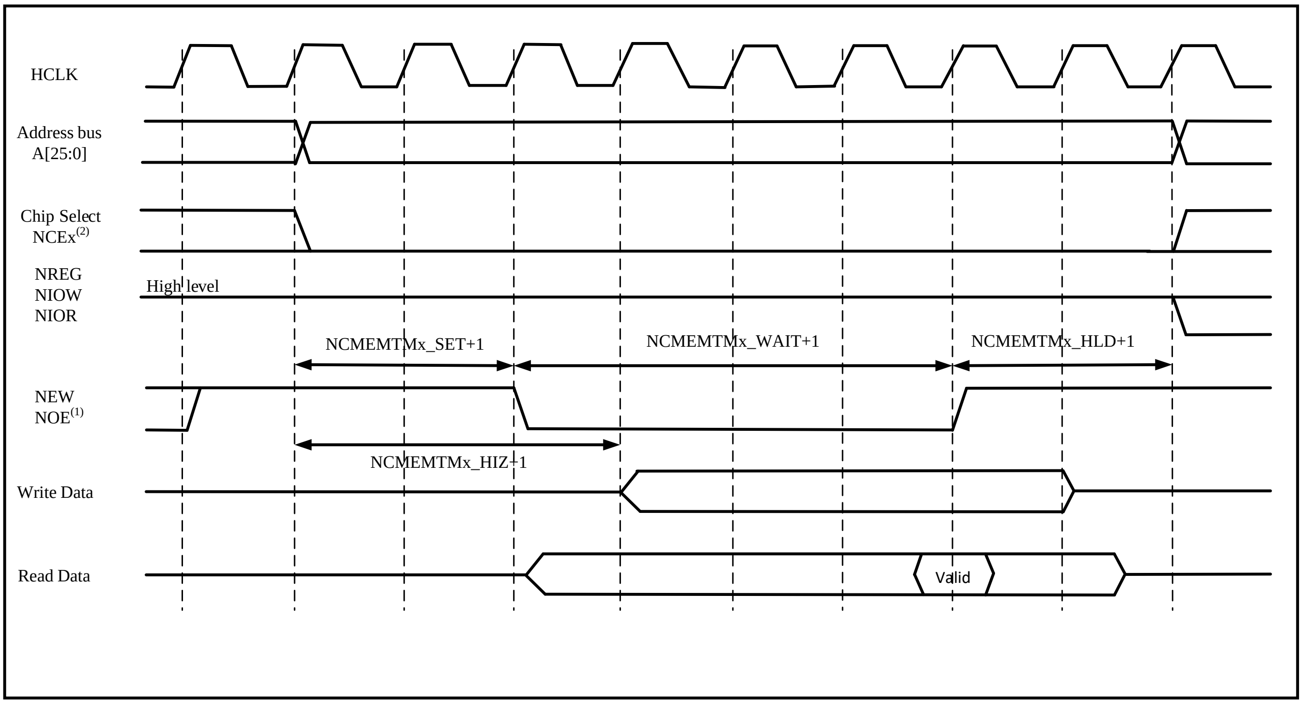
FEMC 能够为 Nand Flash 产生合适的时序信号，每个 Bank 都有相应的寄存器来对外部存储器进行管理和控制，涉及到的寄存器组如下：

- 控制寄存器：FEMC_NCTRLx
- 中断状态寄存器：FEMC_NSTSx
- ECC 寄存器：FEMC_ECCx
- 通用存储器空间的时序寄存器：FEMC_NCMEMTM x
- 属性存储器空间的时序寄存器：FEMC_NATTMEMTM x

每一个时序控制寄存器都包含 3 个参数，用于定义 NAND 闪存操作中三个阶段的 HCLK 周期数目，还有一个定义了写操作中 FEMC 开始驱动数据总线时机的参数，可以根据用户需求和外部存储器的特性来进行相应的配置。下图给出了在通用存储空间中操作的时序参数定义，属性存储空间中操作与此相似。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 28-20 NAND 控制器通用存储空间的访问时序



1. *在写操作时 NOE 始终保持高（无效状态），在读操作时 NWE 始终保持高（无效状态）。*
2. *只要请求 NAND 访问， NCEx 信号就变低并在访问其它存储器块之前保持为低。*

28.6.4 NAND 闪存操作

NAND 闪存的命令锁存使能（CLE）和地址锁存使能（ALE）信号由 FEMC 的地址信号线驱动，即 FEMC 在对 NAND Flash 发送命令或地址时，需要利用其命令锁存信号（A[16]）或地址锁存信号（A[17]）这两条地址线，即 CPU 需要在特定的地址进行写操作。

NAND 闪存读操作步骤：

1. 根据 NAND 闪存的特性，通过 FEMC_NCTRLx 和 FEMC_NCMEMTMx 寄存器配置和使能相应的存储器块，对于某些 NAND 闪存如果需要预等待功能，可能还要配置 FEMC_NATTMEMTMx 寄存器（见 28.6.5 节—NAND 闪存预等待功能）。需要配置的位包括：BUSWID 指示 NAND 闪存的数据总线宽度，WAITEN =1，BANKEN =1，参见 FEMC_NCMEMTMx 寄存器的时序配置。
2. 往通用空间写入 Nand Flash 读数据命令，即在片选和写信号有效期间（NCE 和 NWE 为低脉冲），NAND 闪存的 CLE（A16）变为有效电平（高），这时写的字节被 NAND 闪存识别为一个命令。一旦 NAND 闪存锁存了这个命令，随后的页读操作不必再发送相同的命令。
3. 往通用存储器空间写入读操作的起始地址（大容量 NADN 闪存需要 4 个字节，较小容量的 NAND 闪存可能只需要三个字节）。即在片选和写信号有效期间（NCE 和 NWE 为低脉冲），NAND 闪存的 ALE（A17）变为有效电平（高），这时写的字节被 NAND 闪存识别为读操作的开始地址。使用属性存储空间，可以使 FEMC 产生不同的时序，实现某些 NAND 闪存所需的预等待功能（见 28.6.5 节—NAND 闪存预等待功能）。
4. 等待 NAND 闪存准备就绪（R/B 信号变为高），在等待期间 NAND 控制器保持 NCE 信号一直有效（低电平）。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

5. 可以在通用存储空间执行字节读操作，逐字节地读出 NAND 闪存的存储页（数据域和后备域）

6. 在不写入命令或地址的情况下，NAND 闪存的下一个页可以以下述任一种方式读出：

   a) 按照步骤 5 进行操作

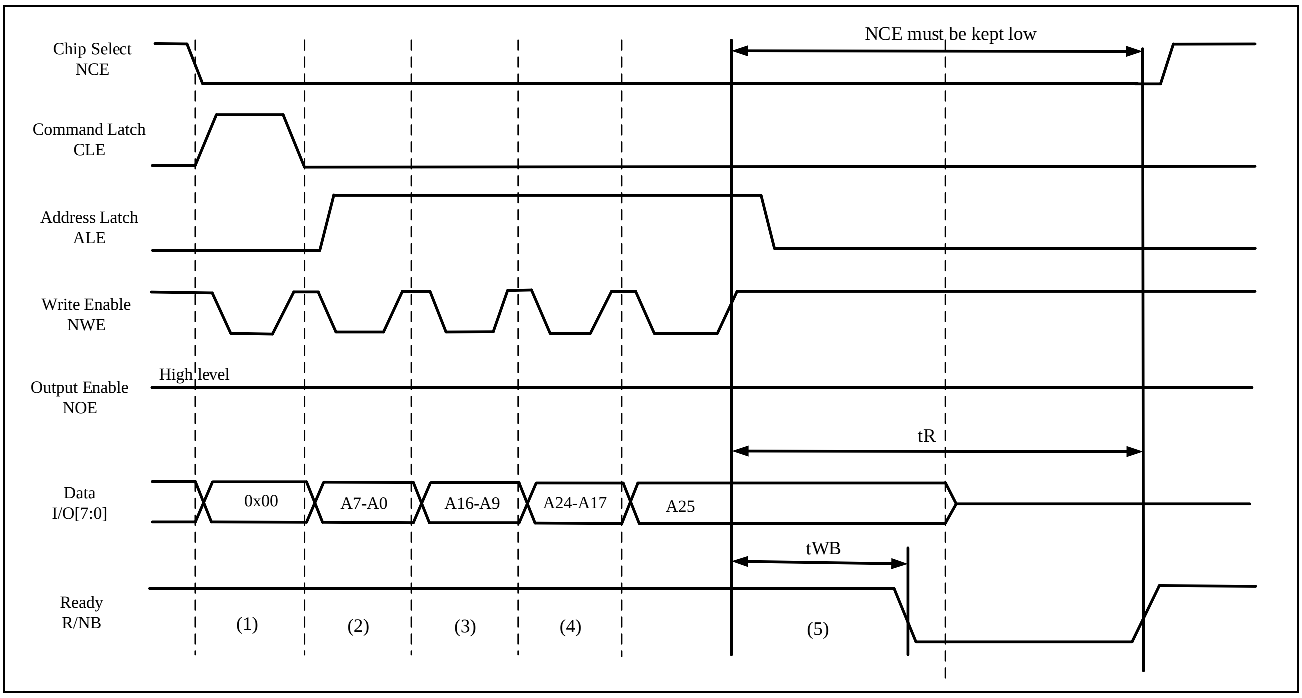
   b) 返回步骤 3 开始输入一个新的地址

   c) 返回步骤 2 开始输入一个新的命令

28.6.5 NAND 闪存预等待功能

某些 NAND Flash 要求在输入最后一个地址字节后，控制器等待 NAND Flash 就绪，即 R/B 信号变低，并且还有一些对 FEMC 片选信号 NCE 敏感型的 NAND Flash 还要求在其就绪前 NCE 必须保持有效。如下图：

图 28-21 操作 CE 敏感型 NAND 闪存



1. CPU 往 NAND 的通用空间命令区（0x7001 0000）写入字节命令 0x00
2. CPU 往 NAND 的通用空间地址区（0x7002 0000）写入操作地址 A7~A0
3. CPU 往 NAND 的通用空间地址区（0x7002 0000）写入操作地址 A16~A9
4. CPU 往 NAND 的通用空间地址区（0x7002 0000）写入操作地址 A24~A17
5. CPU 往 NAND 的属性空间地址区（0x7802 0000）写 NAND 的地址 A25，这时 FEMC 使用 FEMC_NATTMEMTM 的时序定义执行写操作，此时 FEMC_NATTMEMTx.HLD≥7 （这里：(7+1)xHCLK=112ns > t_{WB} 的最大值）。这样可以保证 R/B 变低再变高的过程中 NCE 保持为低，只有那些对 CE 敏感型的 NAND 闪存有此要求。

当需要这样的功能时，可以通过配置 FEMC_NCMEMTMx.HLD 的数值来保证 t_{WB} 的时序，但是任何随后的 CPU 对 NAND 闪存的读或写操作中，FEMC 控制器都会在 NWE 信号的上升沿至下一次操作之间插入一个保持延迟，延迟长度为（FEMC_NCMEMTMx.HLD+1）个 HCLK 周期。

为了克服这个时序的限制，这里使用了属性存储空间配置 FEMC_NATTMEMTMx.HLD 的数值使之符合 t_{WB} 的时序，同时保持 FEMC_NCMEMTMx.HLD 为其最小值。此时，CPU 必须在所有 NAND 闪存的读写操作时使用通用存储空间，只有在写入 NAND 闪存地址的最后一个字节时，CPU 需要写入属性存储空间。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

28.6.6 NAND 闪存的纠错码 ECC 计算（NAND 闪存）

FEMC 的存储块 2 和 3 各有一个纠错码计算的硬件模块，该模块可以用于减小 CPU 在处理纠错码时的软件工作量。有两个相同的寄存器（FEMC_ECC2、FEMC_ECC3）分别对应存储块 2 和存储块 3。

FEMC 中实现的纠错码（ECC）算法可以在读或写 NAND 闪存时，在每 256、 512、 1024、 2048、4096 或 8192 个字节中，矫正 1 个比特位的错误并且检测出 2 个比特位的错误，用户可以根据 FEMC_NCTRLx 中的 ECCPGS 来选择 ECC 计算的页面大小。

当 NAND 存储器块使能时，ECC 模块就会监测 NAND 闪存的数据总线 D[15:0]以及 NCE、NEW 信号，当已经完成 ECCPGS 大小字节的读写操作时，硬件就会完成 ECC 的计算并将结果保存在 FEMC_ECCx 寄存器中，软件通过读 FEMC_ECCx 中的结果来获取 ECC 值，如果需要再次开始 ECC 计算，软件需要先将 FEMC_NCTRLx 中的 ECCEN 清 0 来清除 FEMC_ECC 寄存器中的值，再将 ECCEN 置 1 来重新启动 ECC 计算。

ECC 计算规则如下：

- 当在 Bank2 或 Bank3 访问 NAND 闪存时，出现在 D[15:0]总线上的数据被锁存并用于 ECC 计算。
- 当对 NAND 闪存的操作发生在其它地址时， ECC 电路不进行任何操作。因此输出 NAND 闪存命令和地址的写操作不会参与 ECC 计算。
- 当规定数目的字节已经写入 NAND 闪存或从 NAND 闪存读出，软件必须读出 FEMC_ECCx.ECC 寄存器以获得计算的 ECC 数值。读出 ECC 数值后，再次计算 ECC 时需要通过先置 ECCEN 为’0’清除这个寄存器，再在 FEMC_NCTRL2/3 寄存器的 ECCEN 位写’1’重新使能 ECC 计算。

当执行 ECC 运算时：

1) 使能 FEMC_NCTRL2/3 寄存器中的 ECCEN 位；
2) 往 NAND Flash 中写入数据，当 NAND 写的过程中，ECC 模块计算 ECC 结果。
3) 从 FEMC_NCTRL2/3 寄存器中读出 ECC 结果，并存到变量中；
4) 在 FEMC_NCTRL2/3 中清除掉 ECCEN，然后使能 ECCEN，之后回读 NAND 中的写入数据，ECC 模块会计算读操作的 ECC 值；
5) 从 FEMC_NCTRL2/3 寄存器中读出新的 ECC 结果，如果两个 ECC 结果相同，不需要修正；否则，即出现 ECC 错误，软件校正程序会返回错误能否被修正的信息。

ECC 纠错原理如下：

在 ECC 的数据里，用 2 个位来表示一个位的数据。比如 512 个字节共有 512*8=4096 个位，要表示到 4096 个数，也就是刚好 12 位就可以了，但是实际上根据表“ECC 结果有效位”（表 28-36）可知 512 个字节的 ECC 用了 24 位，1024 个字节的 ECC 用了 26 位（按常理说，只要多一个位，就可以表示多一倍的数据了。但是 ECC 要表示多一倍数据，需要多两个位）均可以看出这个规律。

我们以 512 个字节产生一个 ECC 数据为例，根据表“ECC 结果有效位”（表 28-36）可知 ECC 的有效位为 0 到 23，当写入 512 个字节时，产生一个 ECC 数据，然后，再读 512 个字节的时候，也会产生一个 ECC 数据，通过这两个数据相异或，产生一个 ECC 校验结果，通过这个判断结果，就可以分析出有没有错，错在哪里，是错哪一位。当然，知道哪一位错了，也就可以纠正了。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

下面举例说明 ECC 纠错原理：

1、 为了数据分析方便，向 Nand Flash 写入 512 字节的 0x11（其它数据也可以，数据有规律就可以），然后可以读出 ECC 数据为 0；
2、 改变其中某个字节的某个位，比如改变第 0 个字节的第 0 位（第 0 个字节改为 0x10），可以读出 ECC 数据为 0x55555555
3、 改变第 0 个字节的第 1 位（第一个字节改为 0x13），可以读出 ECC 数据为 0x55555556
4、 改变第 0 个字节的第 2 位（第一个字节改为 0x15），可以读出 ECC 数据为 0x55555559
5、 改变第 0 个字节的第 3 位（第一个字节改为 0x19），可以读出 ECC 数据为 0x5555555a

这个例子中，我们是以写入 0x11 为主，然后故意改错某一个位，再读出 ECC。因为写入全部的是 0x11，因此写入时产生的 ECC 是 0x0。那么再将读出来的 ECC 与 0x0 异或，得到的，也就是 ECC 校验结果了。下表是以上测试结果对应的 ECC 数据：

表 28-34 ECC 错误 bit 与 ECC 校验值对照表

错误 bit	校验结果（取低 24 位）	对应 24bit
Bit0	0x555555	010101010101010101010101
Bit1	0x555556	010101010101010101010110
Bit2	0x555559	010101010101010101011001
Bit3	0x55555a	010101010101010101011010

到这里就很容易看出来规律了，校验结果中用了 2 位来表示一个位的数据,其中 01 表示 0，10 表示 1。比如：第 0 个位错误的 24 位数据（010101010101010101010101）解码出来 12 位就是：000000000000（每一个 01 表示 0），也就是 0x0，就是第 0 个位错误；第 1 个位错误的 24 位数据解码出来 12 位就是：000000000001，也就是 0x1，就是第 1 个位错误；第 2 个位错误的 24 位数据解码出来 12 位就是：000000000010，也就是 0x2，就是第 2 个位错误；第 3 个位错误的 24 位数据解码出来 12 位就是：000000000011，也就是 0x3，就是第 3 个错误。到了这一步，纠正原理就很明白了。当知道是哪一个错误了，剩下的就简单了，就把错误的那一位把 0 变成 1，或者把 1 变成 0 就行了。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

28.7 FEMC 寄存器

FEMC 基地址：0xA000 0000

28.7.1 FEMC 寄存器地址映象

表 28-35 FEMC 寄存器地址映像

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
000h	FEMC_SNCTRL1	Reserved												NADVDIR	PGSIZE[2:0]			BURSTEN	WCFG	WAITDIR	WAITEN	WRAPEN	BURSTEN	MUXEN	WAITASYNC	EXTEN	ACCEN	WREN	MBEN	MDBW[1:0]		MTYPE[1:0]	
	Reset Value													0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0
004h	FEMC_SNTCFG1	Reserved		ACCMODE[1:0]		CLKDIV[3:0]				BUSRECOVERY[3:0]				DATAHLD[3:0]				DATABLD[7:0]								ADDHLD[3:0]				ADDBLD[3:0]			
	Reset Value			0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
008h	FEMC_SNWTCFG1	Reserved		ACCMODE[1:0]		Reserved								BUSRECOVERY[3:0]				DATABLD[7:0]								ADDHLD[3:0]				ADDBLD[3:0]			
	Reset Value			0	0									1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
00Ch	FEMC_SNCTRL2	Reserved												NADVDIR	PGSIZE[2:0]			BURSTEN	WCFG	WAITDIR	WAITEN	WRAPEN	BURSTEN	MUXEN	WAITASYNC	EXTEN	ACCEN	WREN	MBEN	MDBW[1:0]		MTYPE[1:0]	
	Reset Value													0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0
010h	FEMC_SNTCFG2	Reserved		ACCMODE[1:0]		CLKDIV[3:0]				BUSRECOVERY[3:0]				DATAHLD[3:0]				DATABLD[7:0]								ADDHLD[3:0]				ADDBLD[3:0]			
	Reset Value			0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
014h	FEMC_SNWTCFG2	Reserved		ACCMODE[1:0]		Reserved								BUSRECOVERY[3:0]				DATABLD[7:0]								ADDHLD[3:0]				ADDBLD[3:0]			
	Reset Value			0	0									1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
018h	FEMC_SNCTRL3	Reserved												NADVDIR	PGSIZE[2:0]			BURSTEN	WCFG	WAITDIR	WAITEN	WRAPEN	BURSTEN	MUXEN	WAITASYNC	EXTEN	ACCEN	WREN	MBEN	MDBW[1:0]		MTYPE[1:0]	
	Reset Value													0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
01Ch	FEMC_SNTCFG3	Reserved		ACCMODE[1:0]		CLKDIV[3:0]				BUSRECOVERY[3:0]				DATAHLD[3:0]				DATABLD[7:0]								ADDHLD[3:0]				ADDBLD[3:0]			
	Reset Value			0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
020h	FEMC_SNWTCFG3	Reserved		ACCMODE[1:0]		Reserved								BUSRECOVERY[3:0]				DATABLD[7:0]								ADDHLD[3:0]				ADDBLD[3:0]			
	Reset Value			0	0									1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
024h	FEMC_SNCTRL4	Reserved												NADVDIR	PGSIZE[2:0]			BURSTEN	WCFG	WAITDIR	WAITEN	WRAPEN	BURSTEN	MUXEN	WAITASYNC	EXTEN	ACCEN	WREN	MBEN	MDBW[1:0]		MTYPE[1:0]	
	Reset Value													0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0
028h	FEMC_SNTCFG4	Reserved		ACCMODE[1:0]		CLKDIV[3:0]				BUSRECOVERY[3:0]				DATAHLD[3:0]				DATABLD[7:0]								ADDHLD[3:0]				ADDBLD[3:0]			
	Reset Value			0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
02Ch	FEMC_SNWTCFG4	Reserved		ACCMODE[1:0]		Reserved								BUSRECOVERY[3:0]				DATABLD[7:0]								ADDHLD[3:0]				ADDBLD[3:0]			
	Reset Value			0	0									1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
060h	FEMC_NCTRL2	Reserved															ECCPGS[2:0]			ECCEN	ARDLY[3:0]				CRDLY[3:0]				WAITEN	BUSWID[1:0]		Reserved	BANKEN
	Reset Value																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		0
064h	FEMC_NSTS2	Reserved																									FIFOEMPT	IHLIEN	IREEN	IFEEN	IHLF	IREF	IFEF
	Reset Value																										1	0	0	0	0	0	0
068h	FEMC_NCMEMTM2	WAIT[7:0]								SET[7:0]								HIZ[7:0]								HLD[7:0]							
	Reset Value	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
06Ch	FEMC_NATTMEMTM1	WAIT[7:0]								SET[7:0]								HIZ[7:0]								HLD[7:0]							
	Reset Value	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
074h	FEMC_ECC2	ECC[31:0]																															
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
080h	FEMC_NCTRL3	Reserved															ECCPGS[2:0]			ECCEN	ARDLY[3:0]				CRDLY[3:0]				WAITEN	BUSWID[1:0]		Reserved	BANKEN
	Reset Value																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		0
084h	FEMC_NSTS3	Reserved																									FIFOEMPT	IHLIEN	IREEN	IFEEN	IHLF	IREF	IFEF

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	Reset Value																									1	0	0	0	0	0	0	0
088h	FEMC_NCMEMTM3	WAIT[7:0]								SET[7:0]								HIZ[7:0]								HLD[7:0]							
	Reset Value	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
08Ch	FEMC_NATTMEMTM3	WAIT[7:0]								SET[7:0]								HIZ[7:0]								HLD[7:0]							
	Reset Value	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
094h	FEMC_ECC3	ECC[31:0]																															
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

28.7.2 NOR 闪存和 PSRAM 控制器寄存器

必须以字（32 位）的方式操作这些外设寄存器。

FEMC 寄存器基地址：0xA000 0000

28.7.2.1 SRAM/NOR 闪存片选控制寄存器 1/2/3/4（FEMC_SNCTRL1/2/3/4）

地址偏移：0x000 + C * (x-1), (x=1,2,3,4)

复位值：0x0000 1276

这个寄存器包含了每个存储器块的控制信息，可以用于 SRAM、 ROM、异步或成组传输的 NOR 闪存存储器。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
												NADVDIR	PGSIZE[2:0]		
rw	rw	rw										rw		rw	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
BURST WREN	WCFG	WAITDIR	WAITEN	WRAPEN	BURSTEN	MUXEN	WAIT ASYNC	EXTEN	ACCEN	WREN	MBEN	MDBW[1:0]		MTYPE[1:0]	
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw		rw	

位域	名称	描述
31:20	Reserved	保留，必须保持复位值。
19	NADVDIR	NADV 信号极性（NADV signal polarity bit） 设置存储器产生 NADV 信号的极性； 0：NADV 信号为低时有效 1：NADV 信号为高时有效
18:16	PGSIZE[2:0]	CRAM 页大小（CRAM page size） 用于 Cellular RAM 1.5， 不允许跨页地址边界的成组访问。当配置这些位时，只要达到存储器页大小时， FEMC 控制器会自动拆分成组访问（参考存储器参考手册的页大小） 。 000：当跨页地址边界时不会拆分成组访问，这是复位后的默认状态。 001：128 字节 010：256 字节

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		011：512 字节 100：1024 字节 其他：保留
15	BURSTWREN	成组写使能位（Write burst enable） 对于 Cellular RAM，该位使能写操作的同步成组传输协议。 对于处于成组传输模式的闪存存储器，这一位允许/禁止通过 NWAIT 信号插入等待状态。 读操作的同步成组传输协议使能位是 FEMC_SNCTRLx.BURSTEN 位。 0：写操作始终处于异步模式 1：写操作为同步模式
14	WCFG	配置等待时序（Wait timing configuration） 当闪存存储器处于成组传输模式时， NWAIT 信号指示从闪存存储器出来的数据是否有效或是否需要插入等待周期。该位决定存储器是在等待状态之前的一个时钟周期产生 NWAIT 信号，还是在等待状态期间产生 NWAIT 信号。 0：NWAIT 信号在等待状态前的一个数据周期有效；这是复位后的默认状态。 1：NWAIT 信号在等待状态期间有效（不适用于 Cellular RAM）。
13	WAITDIR	等待信号极性（Wait signal polarity bit） 设置存储器产生的等待信号的极性；该位仅在存储器的成组模式下有效。 0：NWAIT 等待信号为低时有效；这是复位后的默认状态。 1：NWAIT 等待信号为高时有效
12	WAITEN	等待使能位（Wait enable bit） 当闪存存储器处于成组传输模式时，这一位允许/禁止通过 NWAIT 信号插入等待状态。 0：禁用 NWAIT 信号，在设置的闪存保持周期之后不会检测 NWAIT 信号插入等待状态。 1：使用 NWAIT 信号，在设置的闪存保持周期之后根据 NWAIT 信号插入等待状态；这是复位后的默认状态。
11	WRAPEN	支持非对齐的成组模式（Wrapped burst mode support） 该位决定控制器是否支持把非对齐的 AHB 成组操作分割成 2 次线性操作；该位仅在存储器的成组模式下有效。 0：不允许直接的非对齐成组操作；这是复位后的默认状态。 1：允许直接的非对齐成组操作。
10	BURSTEN	成组模式使能（Burst enable bit） 允许对闪存存储器进行成组模式访问；该位仅在闪存存储器的同步成组模式下有效。 0：禁用成组访问模式；这是复位后的默认状态。 1：使用成组访问模式。
9	MUXEN	地址/数据复用使能位（Address/data multiplexing enable bit） 当设置了该位后，地址的低 16 位和数据将共用数据总线，该位仅对 NOR 和 PSRM 存储器有效。 0：地址/数据不复用。 1：地址/数据复用数据总线；这是复位后的默认状态。
8	WAITASYNC	在异步传输期间等待信号（Wait signal during asynchronous transfers） 此位使能/禁止 FEMC 去使用等待信号，即使在异步协议期间。 0：当运行异步协议时，不考虑 NWAIT 信号，这是复位后的默认状态。 1：在运行异步协议时，考虑 NWAIT 信号。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
7	EXTEN	扩展模式使能（Extended mode enable） 该位允许 FEMC 使用 FEMC_SNWTCFGx 寄存器，即允许读和写使用不同的时序。 0：不使用 FEMC_SNWTCFGx 寄存器，这是复位后的默认状态。 1：FEMC 使用 FEMC_SNWTCFGx 寄存器。
6	ACCEN	闪存访问使能（Flash access enable） 允许对 NOR 闪存存储器的访问操作。 0：禁止对 NOR 闪存存储器的访问操作. 1：允许对 NOR 闪存存储器的访问操作。
5	WREN	写使能位（Write enable bit） 该位指示 FEMC 是否允许/禁止对存储器的写操作。 0：禁止 FEMC 对存储器的写操作，否则产生一个 AHB 错误。 1：允许 FEMC 对存储器的写操作；这是复位后的默认状态。
4	MBEN	存储器块使能位（Memory bank enable bit） 开启对应的存储器块。复位后存储器块 1 是开启的，其它所有存储器块为禁用。访问一个禁用的存储器块将在 AHB 总线上产生一个错误。 0：禁用对应的存储器块。 1：启用对应的存储器块。
3:2	MDBW[1:0]	存储器数据总线宽度（Memory databus width） 定义外部存储器总线的宽度，适用于所有类型的存储器。 00：8 位 01：16 位（复位后的默认状态） 10：保留 11：保留
1:0	MTYPE[1:0]	存储器类型（Memory type） 定义外部存储器的类型： 00：SRAM、 ROM（存储器块 2...4 在复位后的默认值） 01：PSRAM（Cellular RAM: CRAM） 10：NOR 闪存（存储器块 1 在复位后的默认值） 11：保留

28.7.2.2 SRAM/NOR 闪存片选时序寄存器 1/2/3/4（FEMC_SNTCFG1/2/3/4）

地址偏移： 0x004 + C * (x-1), (x=1,2,3,4)

复位值： 0x0FFF FFFF

这个寄存器包含了每个存储器块的控制信息，可以用于 SRAM、ROM 和 NOR 闪存存储器。如果 FEMC_SNCTRLx 寄存器中设置了 EXTEN 位，则有两个时序寄存器分别对应读（本寄存器）和写操作（FEMC_SNWTCFGx 寄存器)。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		ACCMODE[1:0]		CLKDIV[3:0]				BUSRECOVERY[3:0]				DATAHLD[3:0]			
		rw		rw				rw				rw			
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

DATABLD[7:0]	ADDHLD[3:0]	ADDBLD[3:0]
rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值。
29:28	ACCMODE[1:0]	访问模式（Access mode） 定义异步访问模式。这 2 位只在 FEMC_SNCTRLx.EXTEN 位为 1 时起作用。 00：访问模式 A 01：访问模式 B 10：访问模式 C 11：访问模式 D
27:24	CLKDIV[3:0]	时钟分频比（CLK 信号）（Clock divide ratio （for CLK signal）） 定义 CLK 时钟输出信号的周期，以 HCLK 周期数表示： 0000：保留 0001： 1 个 CLK 周期=2 个 HCLK 周期 0010： 1 个 CLK 周期=3 个 HCLK 周期 …… 1111： 1 个 CLK 周期=16 个 HCLK 周期（这是复位后的默认数值）。 在访问异步 NOR 闪存、 SRAM 或 ROM 时，这个参数不起作用。
23:20	BUSRECOVERY[3:0]	总线恢复时间（Bus turnaround phase duration） 这些位用于定义一次读操作之后在总线上的延迟（仅适用于总线复用模式的 NOR 闪存操作），一次读操作之后控制器需要在数据总线上为下次操作送出地址，这个延迟就是为了防止总线冲突。如果扩展的存储器系统不包含总线复用模式的存储器，或最慢的存储器可以在 6 个 HCLK 时钟周期内将数据总线恢复到高阻状态，可以设置这个参数为其最小值。 0000：总线恢复时间=1 个 HCLK 时钟周期 …… 1111：总线恢复时间=16 个 HCLK 时钟周期（这是复位后的默认数值）。
19:16	DATAHLD[3:0]	（见本表格下面的注释）： （同步成组式 NOR 闪存的）数据保持时间 （Data latency（for synchronous burst NOR Flash）） 处于同步成组模式的 NOR 闪存，需要定义在读取第一个数据之前等待的存储器周期数目。 这个时间参数不是以 HCLK 表示，而是以闪存时钟（CLK）表示。在访问异步 NOR 闪存、 SRAM 或 ROM 时，这个参数不起作用。操作 CRAM 时，这个参数必须为 0。 0000：第一个数据的保持时间为 2 个 CLK 时钟周期 …… 1111：第一个数据的保持时间为 17 个 CLK 时钟周期（这是复位后的默认数值）。
15:8	DATABLD[7:0]	数据保持时间（Data-phase duration） 这些位定义数据的保持时间，适用于 SRAM、 ROM 和异步总线复用模式的 NOR 闪存操作。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0000 0000：保留 0000 0001： DATABLD 保持时间=2 个 HCLK 时钟周期 0000 0010： DATABLD 保持时间=3 个 HCLK 时钟周期 …… 1111 1111： DATABLD 保持时间=256 个 HCLK 时钟周期（这是复位后的默认数值）。 对于每一种存储器类型和访问方式的数据保持时间，请参考对应的图表。 例如：模式 1、读操作、 DATABLD=1：数据保持时间=DATABLD+3=4 个 HCLK 时钟周期。
7:4	ADDHLD[3:0]	地址保持时间（Address-hold phase duration） 这些位定义地址的保持时间，适用于 SRAM、ROM 和异步总线复用模式的 NOR 闪存操作。 0000：保留 0001： ADDHLD 保持时间=2 个 HCLK 时钟周期 …… 1111： ADDHLD 保持时间=16 个 HCLK 时钟周期（这是复位后的默认数值）。 *注：在同步操作中，这个参数不起作用，地址保持时间始终是 1 个存储器时钟周期。*
3:0	ADDBLD[3:0]	地址建立时间（Address setup phase duration） 这些位定义地址的建立时间，适用于 SRAM、ROM 和异步总线复用模式的 NOR 闪存操作。 0000： ADDBLD 建立时间=1 个 HCLK 时钟周期 …… 1111： ADDBLD 建立时间=16 个 HCLK 时钟周期（这是复位后的默认数值）。 对于每一种存储器类型和访问方式的地址建立时间，请参考对应的图表。 例如：模式 2、读操作、 ADDBLD=1：地址建立时间=ADDBLD+1=2 个 HCLK 时钟周期 *注：在同步操作中，这个参数不起作用，地址建立时间始终是 1 个存储器时钟周期。*

注： 因为内部的刷新， PSRAM（CRAM）具有可变的保持延迟，因此这样的存储器会在数据保持期间输出 NWAIT 信号以延长数据的保持时间。

使用 PSRAM（CRAM）时 DATAHLD 域应置为 0，这样 FEMC 可以及时地退出自己的保持阶段并开始对存储器发出的 NWAIT 信号进行采样，然后在存储器准备好时开始读或写操作。

这个操作方式还可以用于操作最新的能够输出 NWAIT 信号的同步闪存存储器，详细信息请参考相应的闪存存储器手册。

28.7.2.3 SRAM/NOR 闪存写时序寄存器 1/2/3/4（FEMC_ SNWTCFG1/2/3/4）

地址偏移：0x008+ c * (x-1), (x=1,2,3,4)

复位值： 0x0FFF FFFF

这个寄存器包含了每个存储器块的控制信息，可以用于 SRAM、 ROM 和 NOR 闪存存储器。如果 FEMC_SNCTRLx 寄存器中设置了 EXTEN 位，则这个寄存器对应写操作。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		ACCMODE[1:0]		Reserved								BUSRECOVERY[3:0]			
		rw										rw			

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DATABLD[7:0]								ADDHLD[3:0]				ADDBLD[3:0]			
rw								rw				rw			

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值。
29:28	ACCMODE[1:0]	访问模式（Access mode） 定义异步访问模式。这 2 位只在 FEMC_BANK1_CRx 寄存器的 EXTEN 位为 1 时起作用。 00：访问模式 A 01：访问模式 B 10：访问模式 C 11：访问模式 D
27:20	Reserved	保留，必须保持复位值。
19:16	BUSRECOVERY[3:0]	总线恢复时间（Bus turnaround phase duration） 这些位用于定义一次读操作之后在总线上的延迟（仅适用于总线复用模式的 NOR 闪存操作），一次读操作之后控制器需要在数据总线上为下次操作送出地址，这个延迟就是为了防止总线冲突。如果扩展的存储器系统不包含总线复用模式的存储器，或最慢的存储器可以在 6 个 HCLK 时钟周期内将数据总线恢复到高阻状态，可以设置这个参数为其最小值。 0000：总线恢复时间=1 个 HCLK 时钟周期 …… 1111：总线恢复时间=16 个 HCLK 时钟周期（这是复位后的默认数值）。
15:8	DATABLD[7:0]	数据保持时间（Data-phase duration） 这些位定义数据的保持时间，适用于 SRAM、 ROM 和异步总线复用模式的 NOR 闪存操作。 0000 0000：保留 0000 0001： DATABLD 保持时间=2 个 HCLK 时钟周期 0000 0010： DATABLD 保持时间=3 个 HCLK 时钟周期 …… 1111 1111： DATABLD 保持时间=256 个 HCLK 时钟周期（这是复位后的默认数值）。 对于每一种存储器类型和访问方式的数据保持时间，请参考对应的图表。 例如：模式 1、读操作、 DATABLD=1：数据保持时间=DATABLD+3=4 个 HCLK 时钟周期。 注：在同步访问中，这个参数不起作用。
7:4	ADDHLD[3:0]	地址保持时间（Address-hold phase duration） 这些位定义地址的保持时间，适用于 SRAM、ROM 和异步总线复用模式的 NOR 闪存操作。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0000：保留 0001： ADDHLD 保持时间=2 个 HCLK 时钟周期 …… 1111： ADDHLD 保持时间=16 个 HCLK 时钟周期（这是复位后的默认数值）。 *注：在同步操作中，这个参数不起作用，地址保持时间始终是 1 个存储器时钟周期。*
3:0	ADDBLD[3:0]	地址建立时间（Address setup phase duration） 这些位定义地址的建立时间，适用于 SRAM、ROM 和异步总线复用模式的 NOR 闪存操作。 0000： ADDBLD 建立时间=1 个 HCLK 时钟周期 …… 1111： ADDBLD 建立时间=16 个 HCLK 时钟周期（这是复位后的默认数值）。 对于每一种存储器类型和访问方式的地址建立时间，请参考对应的图表。 例如：模式 2、读操作、 ADDBLD=1：地址建立时间=ADDBLD+1=2 个 HCLK 时钟周期 *注：在同步操作中，这个参数不起作用，地址建立时间始终是 1 个存储器时钟周期。*

28.7.3 NAND 闪存控制器寄存器

必须以字（32 位）的方式操作这些外设寄存器

28.7.3.1 NAND 闪存控制寄存器 2/3（FEMC_NCTRL2/3）

地址偏移：0x60 + 0x20 * (x-2), (x=2,3)

复位值：0x0000 0004

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															ECCPGS[2]
rw	rw	rw													rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ECCPGS[1:0]		ECCEN	ARDLY[3:0]				CRDLY[3:0]				WAITEN	BUSWID[1:0]		Reserved	BANKEN
rw		rw	rw				rw				rw	rw		rw	rw

位域	名称	描述
31:20	Reserved	保留，必须保持复位值。
16:14	ECCPGS[2:0]	ECC 页面大小（ECC page size） 定义扩展的 ECC 页面大小： 000：256 字节； 001：512 字节； 010：1024 字节； 011：2048 字节； 100：4096 字节；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		101：8192 字节；
13	ECCEN	ECC 计算电路使能位（ECC computation logic enable bit） 0：关闭并复位 ECC 电路（复位后的默认值）； 1：使能 ECC 电路。
12:9	ARDLY[3:0]	ALE 至 RE 的延迟（ALE to RE delay） 以 AHB 时钟周期（HCLK）为单位设置从 ALE 变低至 RE 变低的时间。 时间计算： t_ar = (ARDLY + SET + 4) x THCLK，这里 THCLK 表示 HCLK 周期长度 0000：1 个 HCLK 周期（默认值）； …… 1111：16 个 HCLK 周期； *注：根据不同的地址空间，SET 是 CMEMTM SET 或是 ATTMEMTM SET。*
8:5	CRDLY[3:0]	CLE 至 RE 的延迟（CLE to RE delay） 以 AHB 时钟周期（HCLK）为单位设置从 CLE 变低至 RE 变低的时间。 时间计算：t_clr = (CRDLY + SET + 4) x THCLK，这里 THCLK 表示 HCLK 周期长度 0000：1 个 HCLK 周期（默认值）； …… 1111：16 个 HCLK 周期； *注：根据不同的地址空间，SET 是 CMEMTM SET 或是 ATTMEMTM SET。*
4	WAITEN	等待功能使能位（Wait feature enable bit） 使能 NAND 闪存存储器块的等待功能 0：关闭（复位后的默认值）； 1：使能；
3:2	BUSWID[1:0]	数据总线宽度（Databus width） 定义外部 NAND 闪存数据总线的宽度。 00：8 位； 01：16 位；（复位后的默认值） 10：保留，不要使用； 11：保留，不要使用；
1	Reserved	保留，必须保持复位值。
0	BANKEN	NAND 存储器块使能位（NAND Flash memory bank enable bit） 使能存储器块。访问一个未使能的存储器块会产生一个 AHB 总线错误。 0：关闭对应的存储器块（复位后的默认值）； 1：使能对应的存储器块；

28.7.3.2 FIFO 状态和中断寄存器 2/3（FEMC_NSTS2/3）

地址偏移：0x64 + 0x20 * (x-2), (x=2,3)

复位值：0x0000 0040

FEMC 不支持中断功能。

为了计算 ECC 的需要，该寄存器有一个指示位反映了 FIFO 的状态。数据写到存储器时同时进行 ECC 计算，因此软件必须等待 FIFO 变空后才能读到正确的 ECC 数值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved									FIFO EMPT	IHLIEN	IREEN	IFEEN	IHLF	IREF	IFEF
									r	rw	rw	rw	rc_w0	rc_w0	rc_w0

位域	名称	描述
31:7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6	FIFOEMPT	FIFO 空标志（FIFO empty） 只读位，指示 FIFO 状态 0：FIFO 不空； 1：FIFO 空
5	IHLEN	中断高电平检测使能 0：禁用中断高电平检测 1：使能中断高电平检测
4	IREEN	中断上升沿检测使能 0：禁用中断上升沿检测 1：使能中断上升沿检测
3	IFEEN	中断下降沿检测使能 0：禁用中断下降沿检测 1：使能中断下降沿检测
2	IHLF	中断高电平状态标志位 0：未检测到中断高电平状态 1：检测到中断高电平状态
1	IREF	中断上升沿状态标志位 0：未检测到中断上升沿状态 1：检测到中断上升沿状态
0	IFEF	中断下降沿状态标志位 0：未检测到中断下降沿状态 1：检测到中断下降沿状态

28.7.3.3 通用存储空间时序寄存器 2/3（FEMC_NCMEMTM2/3）

地址偏移： 0x68 + 0x20 * (x-2), (x=2,3)

复位值： 0xFCFC FCFC

每个 NCMEMTMx（x=2,3）寄存器都包含操作 NAND 闪存存储块 x 的时序参数，这些参数适用于在通用存储空间发送 NAND 闪存的命令、地址和进行数据的读写操作

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
WAIT[7:0]								SET[7:0]							

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

rw								rw							
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
HIZ[7:0]								HLD[7:0]							
rw								rw							

位域	名称	描述
31:24	WAIT[7:0]	在通用空间 x 的等待时间（Common memory x wait time） 当在通用存储空间 x 对 NAND 闪存进行读或写操作时，该参数以 HCLK（+1）时钟周期数目定义了保持命令（NWE、 NOE 为低）的最小时间。当该参数定义的时间结束时，如果等待信号（NWAIT）有效（低），则命令的保持时间会被拉长。 0000 0000：保留 0000 0001：2 个 HCLK 周期（加上由 NWAIT 信号变低引入的等待周期）； …… 1111 1110：255 个 HCLK 周期（加上由卡的 NWAIT 信号变低引入的等待周期），这是复位后的默认值。 1111 1111：保留
23:16	SET[7:0]	在通用空间 x 的建立时间（Common memory x setup time） 当在通用存储空间 x 对 NAND 闪存进行读或写操作时，该参数以 HCLK（操作 NAND 闪存时+2）时钟周期数目定义了发送命令（NWE、 NOE 变低）之前建立地址信号的时间。 0000 0000：NAND 闪存为 2 个 HCLK 周期； …… 1111 1110：NAND 闪存为 256 个 HCLK 周期，这是复位后的默认值。 1111 1111：保留
15:8	HIZ[7:0]	在通用空间 x 数据总线的高阻时间（Common memory x databus Hiz time） 当在通用存储空间 x 开始执行对 NAND 闪存的写操作后，数据总线需要保持一段时间的高阻状态，该参数以 HCLK 时钟周期数目（NAND 类型时+1）定义数据总线高阻态的时间。这个参数仅对写操作有效。 0000 0000：1 个 HCLK 周期； …… 1111 1110：255 个 HCLK 周期，这是复位后的默认值。 1111 1111：保留
7:0	HLD[7:0]	在通用空间 x 的保持时间（Common memory x hold time） 当在通用存储空间 x 对 NAND 闪存进行读或写操作时，该参数以 HCLK 时钟周期数目定义了发送命令（NWE、 NOE 变高）后，地址信号（对于写操作则是数据信号）保持的时间。 0000 0000：保留； 0000 0001：2 个 HCLK 周期； …… 1111 1110：255 个 HCLK 周期（复位后的默认值）。 1111 1111：保留

28.7.3.4 属性存储空间时序寄存器 2/3（FEMC_NATTMEMTM2/3）

地址偏移：0x6C + 0x20 * (x-2), (x=2,3)

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值：0xFCFC FCFC

每个 NATTMEMTMx（x=2,3）读/写寄存器都包含操作 NAND 闪存存储块 x 的时序参数，这些参数适用于在 NAND 闪存的最后一个地址写操作的时序与其它操作不同的时候（关于就绪/繁忙的管理，参见 28.6.5 节）。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
WAIT[7:0]								SET[7:0]							
rw								rw							

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
HIZ[7:0]								HLD[7:0]							
rw								rw							

位域	名称	描述
31:24	WAIT[7:0]	在通用空间 x 的等待时间（Common memory x wait time） 当在通用存储空间 x 对 NAND 闪存进行读或写操作时，该参数以 HCLK（+2）时钟周期数目定义了保持命令（NWE、 NOE 为低）的最小时间。当该参数定义的时间结束时，如果等待信号（NWAIT）有效（低），则命令的保持时间会被拉长。 0000 0000：保留 0000 0001：2 个 HCLK 周期（加上由 NWAIT 信号变低引入的等待周期）； …… 1111 1110：255 个 HCLK 周期（加上由卡的 NWAIT 信号变低引入的等待周期），这是复位后的默认值。 1111 1111：保留
23:16	SET[7:0]	在通用空间 x 的建立时间（Common memory x setup time） 当在通用存储空间 x 对 NAND 闪存进行读或写操作时，该参数以 HCLK（操作 NAND 闪存时+2）时钟周期数目定义了发送命令（NWE、 NOE 变低）之前建立地址信号的时间。 0000 0000：2 个 HCLK 周期； …… 1111 1110：256 个 HCLK 周期，这是复位后的默认值。 1111 1111：保留
15:8	HIZ[7:0]	在通用空间 x 数据总线的高阻时间（Common memory x databus Hiz time） 当在通用存储空间 x 开始执行对 NAND 闪存的写操作后，数据总线需要保持一段时间的高阻状态，该参数以 HCLK 时钟周期数目（NAND 类型时+1）定义数据总线高阻态的时间。这个参数仅对写操作有效。 0000 0000：1 个 HCLK 周期； …… 1111 1110：255 个 HCLK 周期，这是复位后的默认值。 1111 1111：保留
7:0	HLD[7:0]	在通用空间 x 的保持时间（Common memory x hold time） 当在通用存储空间 x 对 NAND 闪存进行读或写操作时，该参数以 HCLK 时钟周期数目定义了发送命令（NWE、 NOE 变高）后，地址信号（对于写操作则是数据信号）保持的时间。 0000 0000：保留； 0000 0001：2 个 HCLK 周期；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		…… 1111 1110：255 个 HCLK 周期（复位后的默认值）。 1111 1111：保留

28.7.3.5 ECC 结果寄存器 2/3（FEMC_ECC2/3）

地址偏移：0x74 + 0x20 * (x-2), (x=2,3)

复位值：0x0000 0000

这 2 个寄存器包含了由 FEMC 控制器的 ECC 计算模块得到的纠错码的当前数值，每个 NAND 闪存存储器块有一个 ECC 计算模块。当 CPU 在正确的地址（见 28.6.6 节）读/写 NAND 闪存的数据时，ECC 模块会自动地处理写入或读出的数据。根据 FEMC_CTRLx 中 ECCPGS 域的设置，在读出了每页的最后一个字节后，CPU 必须读出 FEMC_ECCx 寄存器中的 ECC 数值，并与记录在 NAND 闪存后备区域的数据进行比较，据此判断该页的数据是否正确并在可能的情况下，实行矫正。在读出 FEMC_ECCx 寄存器的数值后应设置 ECCEN 位为‘0’清除它的内容。需要计算一个新的数据页时，再次设置 ECCEN 为‘1’。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ECC[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ECC[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	ECCx[31:0]	ECC 结果 ECC 计算电路产生的计算结果。下表显示了这些位的内容。

表 28-36 ECC 结果有效位

ECCPGS[2:0]	页大小（字节）	ECC 有效位
000	256	ECC[21:0]
001	512	ECC[23:0]
010	1024	ECC[25:0]
011	2048	ECC[27:0]
100	4096	ECC[29:0]
101	8192	ECC[31:0]

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

29 SDRAM 控制器

29.1 简介

SDRAM 控制器连接到 AHB 总线，支持对两个外部 SDRAM/LPSDRAM 存储设备访问。

29.2 主要特性

SDRAM 支持的主要特性如下:

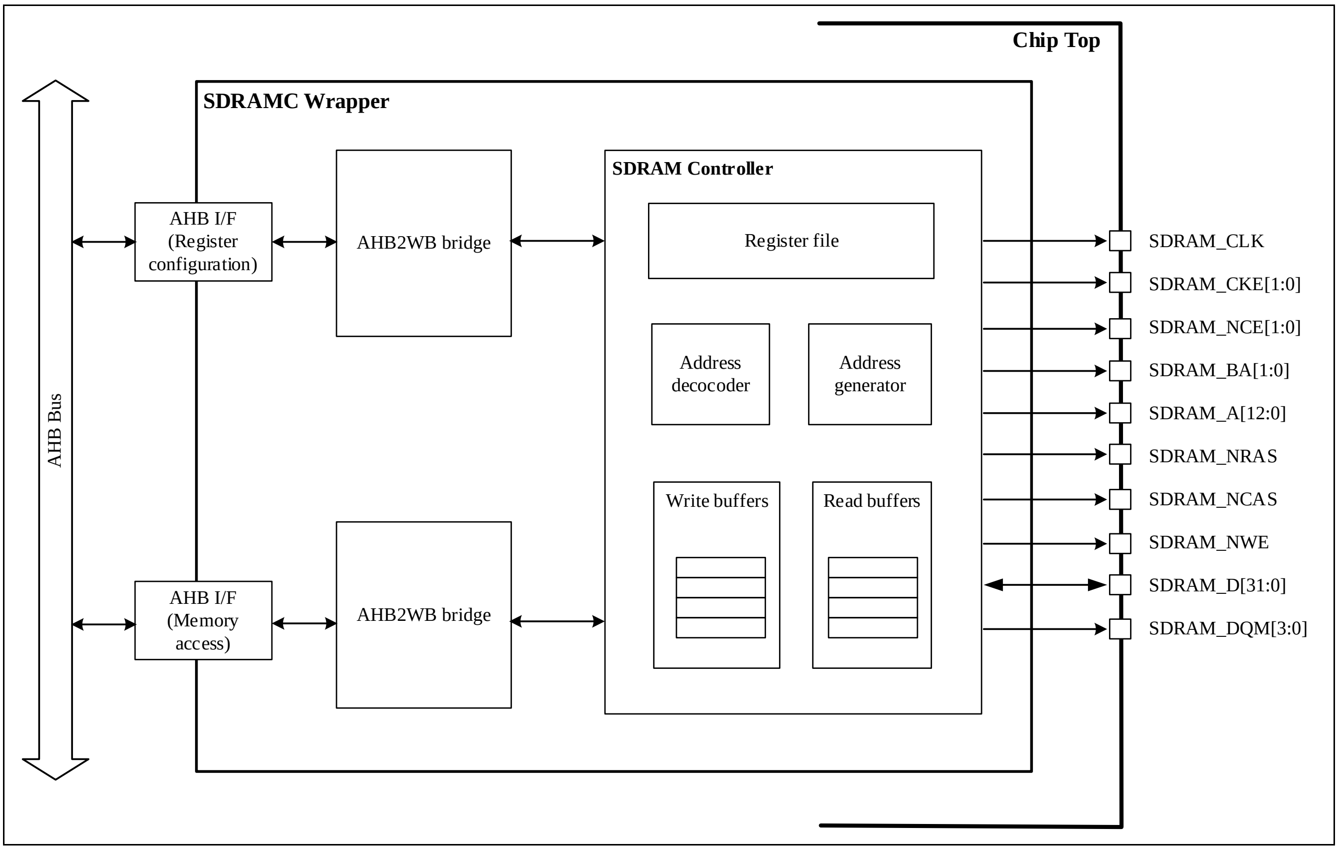
- 两个具有独立配置的 SDRAM 设备
- 8 位、16 位数据总线宽度
- 13 位行地址，11 位列地址，4 个内部 banks： 4x16Mx16bit (128 MB)，4x16Mx8bit (64 MB)
- 行地址可配置为 11、12、13 位，列地址可配置为 8、9、10、11 位
- 字、半字、字节访问
- 自动的行和 bank 边界管理
- 支持突发模式
- 写入访问保护
- 可编程时序参数
- 支持软件复位
- 通过软件配置 SDRAM 上电初始化
- CAS 延迟为 1、2、3
- 具有可编程刷新率的自动刷新操作
- 通过软件配置 SDRAM 暂停和唤醒

29.3 功能框图

下面显示了 SDRAM 控制器框图：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 29-1 SRAM 控制器框图



29.4 引脚定义

表 29-1 显示了 SDRAMC 使用的引脚及其对应的功能。

表 29-1 SDRAMC 引脚定义

引脚名称	IO 类型	描述
SDRAM_CLK	输出	SDRAM 时钟
SDRAM_CKE[1:0]	输出	SDRAM_CKE0: SDRAM 设备 1 时钟使能 SDRAM_CKE1: SDRAM 设备 2 时钟使能
SDRAM_NCE[1:0]	输出	SDRAM_NCE0: SDRAM 设备 1 片选 SDRAM_NCE1: SDRAM 设备 2 片选
SDRAM_BA[1:0]	输出	Bank 地址
SDRAM_A[12:0]	输出	地址 (列地址，行地址)
SDRAM_NRAS	输出	行地址使能
SDRAM_NCAS	输出	列地址使能
SDRAM_NWE	输出	写使能
SDRAM_D[15:0]	输入/输出	双向数据总线
SDRAM_DQM[3:0]	输出	输出字节掩码用于写入访问

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

29.5 功能描述

29.5.1 SDRAM 时钟

SDRAM 控制器有两个时钟域：

- AHB 总线域：用于寄存器配置和存储器访问。最大时钟频率为 240MHz。
- Memory 时钟域：用于外部存储设备通讯，命名为 f_{SDRAM_CLK}。最大时钟频率为 120MHz。

注：可通过设置 SDRAM_WP.DLYSEL 寄存器值，使用延迟时钟采样接收数据。

注：硬件设计请参考《CN_UG_N32H49X_Series_Hardware_Design_Guide》文档，当 f_{SDRAM_CLK} 时钟频率大于 80MHz 时，可根据实际情况调试寄存器，通过配置 AFIO_ANAEN_CFG4.CLKINVEN 将时钟取反，配置 GPIOx_DS 提高引脚驱动能力

29.5.2 SDRAM 初始化

软件必须在上电和 GPIO 配置后配置 SDRAM 控制器的寄存器，才能访问所有连接的存储设备。SDRAMC 配置寄存器通过 AHB 配置寄存器接口访问。

29.5.2.1 SDRAM 设备初始化序列

按照以下顺序执行 SDRAM 类型存储设备的初始化序列后，即可直接操作对应的映射地址进行读写访问。

1. 计算连接到 SDRAM 控制器的每个同步设备的突发长度：

   突发长度 = 64 / 存储器总线宽度 (以 bit 为单位).

2. 使用 SDRAM_OS 寄存器和 SDRAM_OR 寄存器，对每个连接的 SDRAM 设备执行 SDRAM 初始化序列。
3. 配置基地址和地址掩码寄存器
4. 配置刷新间隔寄存器
5. 配置所有 SDRAM 时序寄存器
6. 配置所有片选配置寄存器

请参阅 29.5.2.2 了解 SDRAM 初始化的示例。

29.5.2.2 SDRAM 初始化示例

根据 SDRAM 设备手册，可以找到以下信息：

表 29-2 SDRAM 设备型号的存储器大小

型号	供应商	连接到	内存大小	行数	列数
M12L64164A(2C)	ESMT	SDRAM 1	1M x 16-Bit x 4 Banks	4096(12bits row address)	256 (8bits column address)
M12L128168A	ESMT	SDRAM 2	2M x 16-Bit x 4 Banks	4096(12bits row address)	512 (9bits column address)

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 29-3 SDRAM 设备型号的模式寄存器

型号	模式寄存器							
	BA0-BA1	**A13-A10/AP**	**A9**	**A8-A7**	**A6-A4**	**A3**	**A2-A0**	
	RFU	**RFU**	**W.B.L**	**TM**	**CAS Latency**	**Burst Type**	**Burst Length**	
M12L64164A(2C)	RFU	RFU	0: Burst 1: Single	00: Mode Register test Others: Reserved	010: 2 011: 3 Others: Reserved	0: Sequential 1: Interleave	* BT=0: 000:1 001:2 010:4 011:8 111: 256 Others: Reserved	* BT=1: 000:1 001:2 010:4 011:8 Others: Reserved
M12L128168A	RFU	RFU	0: Burst 1: Single	00: Mode Register test Others: Reserved	010: 2 011: 3 Others: Reserved	0: Sequential 1: Interleave	* BT=0: 000:1 001:2 010:4 011:8 111: 512 Others: Reserved	* BT=1: 000:1 001:2 010:4 011:8 Others: Reserved

表 29-4 SDRAM 设备模式的时序要求

SDRAM 手册参数	**Symbol**	**M12L64164A(2C)**	**M12L128168A**	**对应时序寄存器**
Row active to row active delay	$t_{RRD(min)}$	10ns	10ns	SDRAM_RRDLY
RAS to CAS delay	$t_{RCD(min)}$	15ns	15ns	SDRAM_RCDLY
Row Precharge time	$t_{RP(min)}$	15ns	15ns	SDRAM_PT
Row active time	$t_{RAS(min\sim max)}$	38ns~100us	38ns~100us	SDRAM_RAT
Row cycle time (Operating)	$t_{RC(min)}$	53ns	53ns	SDRAM_RCT
Row cycle time (Auto refresh)	$t_{RFC(min)}$	55ns	55ns	SDRAM_RFCT
Last data in to row precharge	$t_{RDL(min)}$	2 cycles	2 cycles	SDRAM_WRT
Refresh period(1)	-	64ms(4096 rows)	64ms(4096 rows)	SDRAM_RI

注(1)：计算公式参考 表 29-5 步骤-4.

以下表格显示了必要的配置步骤：

表 29-5 SDRAM 初始化流程示例

步骤	详细描述	备注
1.	计算突发长度	SDRAM_CFGx 寄存器和

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

	对于这些 SDRAM 型号，存储数据位宽均为 16 位，因此： ● SDRAM1：突发长度 = 64 / 16 = 4 ● SDRAM2：突发长度 = 64 / 16 = 4	SDRAM_OS 设备模式寄存器的突发长度应设置为相同值。
2.	**SDRAM 初始化**	
2.1.	<u>电源稳定</u> 默认情况下，复位后 CKE=高电平，DQM=高电平，以及其他引脚处于非活动状态(注意：如果状态不是这样的，请检查)。确保此状态在至少 200μs 后的下一步之前保持。	-
2.2.	**<u>预充电所有 BANK</u>** 1. 配置 SDRAM_OS 寄存器 ● CKEN: 1’b1 ● OPCODE[1:0]: 2’b01 (Precharge All Banks) ● CS[1:0]: 2’b00 (SDRAM 1 and SDRAM 2 are selected) ● BANKADD[1:0]: 2’b00 (don’t care) ● ADD[13:0]: 14’h0000 (don’t care) => SDRAM_OS: 32’h5000_0000 2. 读（或写）SDRAM_OR 寄存器 *注意：这是一个虚拟访问，用于激活之前的 SDRAM_OS 寄存器配置，因此读/写数据为“不关心”。*	-
2.3.	<u>自动刷新</u> 1. 配置 SDRAM_OS 寄存器 ● CKEN: 1’b1 (allow Auto-refresh) ● OPCODE[1:0]: 2’b10 (Auto-refresh) ● CS[1:0]: 2’b00 (SDRAM 1 and SDRAM 2 are selected) ● BANKADD[1:0]: 2’b00 (don’t care) ● ADD[13:0]: 14’h0000 (don’t care) => SDRAM_OS: 32’h6000_0000 2. 读（或写）SDRAM_OR 寄存器 3. 至少再重复一次上述步骤 1 和 2	-
2.4.	<u>加载模式寄存器</u> 1. 配置 SDRAM_OS 寄存器 ● CKEN: 1’b1 ● OPCODE[1:0]: 2’b11 (Load Mode Register) ● CS[1:0]: 2’b00 (SDRAM 1 and SDRAM 2 are selected) *注意：两个模型都使用相同的模式寄存器方案，因此可以使用一个。命令。如果模式寄存器不同，请为每个设备单独设置。* ● BANKADD[1:0]: 2’b00 (don’t care since the models do not use) ● ADD[13:0]: 14’h0032 A13-A10: not used by the models A9: 1’b0 (Write Burst Length mode = Burst) A8-A7: 2’b00 (Mode Register Set) A6-A4: 3’b011 (CAS Latency=3) A3: 1’b0 (Burst Type=Sequential) A2-A0: 3’b010 (Burst Length=4)	ADD[13:0]的位定义需与表 29-3 一致

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

	=> SDRAM_OS: 32’h7000_0032 2. 读（或写）SDRAM_OR 寄存器	
3.	**配置 SDRAM_BADDx 和 SDRAM_ADDMASKx**	
3.1.	配置 SDRAM1 (M12L64164A) 设备 1 总容量: 1M x 16bit x 4banks = 8Mbytes. 因此使用的地址范围为: 0x9800_0000-0x987F_FFFF 据此配置寄存器如下: => SDRAM_BADD1: 32’h9800_0000 => SDRAM_ADDMASK1: 32’hFF80_0000	分配给 SDRAM1 的地址映射范围为 0x9800_0000-0x9BFF_FFFF。但该设备型号仅使用其中较小的范围。 *注：若使能 SDRAM_WP.MAPSEL 则 SDRAM1 范围为 0x9800_0000-0x9FFF_FFFF*
3.2.	配置 SDRAM2 (M12L128168A) 设备 2 总容量: 2M x 16bit x 4banks = 16Mbytes. 因此使用的地址范围为: 0x9C00_0000-0x9CFF_FFFF 据此配置寄存器如下: => SDRAM_BADD2: 32’h9C00_0000 => SDRAM_ADDMASK2: 32’hFF00_0000	SDRAM2 的地址映射范围为 0x9C00_0000-0x9FFF_FFFF。但该设备型号仅使用其中较小的范围。 *注：若使能 SDRAM_WP.MAPSEL 则 SDRAM2 不可用*
4.	**配置 SDRAM_RI 寄存器** 该寄存器的取值计算如下: 刷新间隔 = (刷新周期 / 行数 / 内存时钟周期) 针对这些器件测试: ■ 刷新周期 = 64ms = 64000000 ns (取决于 SDRAM 设备手册) ■ 行数 = 4096 (取决于 SDRAM 设备手册) ■ 内存时钟周期 = 12.5ns (80MHz，取决于 f_{SDRAM_CLK}) 则刷新间隔 = 64000000/4096/12.5 ≈ 1250 为确保刷新间隔可靠性，应设置较小数值，故: => SDRAM_RI: 32’h0000_04B0 (1200)	若两个设备对刷新周期要求不同，则计算并采用较小值。
5.	**配置所有 SDRAM 时序寄存器** 根据器件数据手册，配置必要的时序参数。对于这些器件，在存储时钟 f_{SDRAM_CLK} 频率为 80MHz（12.5ns）时，可按以下方式配置: => Row Active Time Register (SDRAM_RAT): 4 => Row Cycle Time Register (SDRAM_RCT): 6 => Row Active to Row Active Delay Register (SDRAM_RRDLY): 2 => Precharge Time Register (SDRAM_PT): 2 => Write Recovery Time Register (SDRAM_WRT): 3 => Refresh Cycle Time Register (SDRAM_RFCT): 6 => RAS to CAS Delay Time Register (SDRAM_RCDLY): 2	本例中的数值设置为典型值。只要满足设备时序要求，可进行调整。若两个设备对刷新周期要求不同，应计算并采用较小或较大的数值，以同时满足所有设备需求。
6.	**配置 SDRAM_CFGx**	
6.1.	配置 SDRAM1 (M12L64164A) ● SDRAM Enable (bit[31]): 1’b1 ● Refresh Enable (bit[30]): 1’b1 ● Auto Precharge Enable (bit[23]): 1’b1	CAS 延迟设置必须与 SDRAM_OS 设备模式寄存器中设定的值一致。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

	● Mem bus width (bit[22:21]): 2’b01 (16-bit) ● Burst length (bit[20:18]): 3’b011 (length=4) ● CAS Latency (bit[17:16]): 2’b11 ● Prefetch Enable (bit[9]): 1’b1 ● SOM Enable (bit[8]): 1’b1 ● Bank Interleave Enable (bit[4]): 1’b1 ● Address configuration (bit[3:0]): 4’b0000 (4 banks, 4096 rows, 256 columns) => SDRAM_CFG1: 32’hC0AF_0310	
6.2.	配置 SDRAM2 (M12L128168A) ● SDRAM Enable (bit[31]): 1’b1 ● Refresh Enable (bit[30]): 1’b1 ● Auto Precharge Enable (bit[23]): 1’b1 ● Mem bus width (bit[22:21]): 2’b01 (16-bit) ● Burst length (bit[20:18]): 3’b011 (length=4) ● CAS Latency (bit[17:16]): 2’b11 ● Prefetch Enable (bit[9]): 1’b1 ● SOM Enable (bit[8]): 1’b1 ● Bank Interleave Enable (bit[4]): 1’b1 ● Address configuration (bit[3:0]): 4’b0001 (4 banks, 4096 rows, 512 columns) => SDRAM_CFG2: 32’hC0AF_0311	CAS 延迟设置必须与 SDRAM_OS 设备模式寄存器中设定的值一致。

注-1：存储时钟 f_{SDRAM_CLK} 假设运行在 80MHz（时钟周期=12.5ns）

注-2：需要正确计算最大突发长度。如果设置的数字小于所需值，数据可能会丢失。如果设置的数字过大，会影响访问性能。.

注-3：该值可以根据设备特性或用户意图进行更改。

29.5.2.3 SDRAM 模式寄存器值要求

为了确保 SDRAM 设备正常运行，SDRAM 设备模式寄存器值必须满足一些要求：

- 突发长度字段必须设置为与 SDRAM 初始化序列的第 1 步中计算出的突发长度值相对应的数值。
- 突发类型必须为顺序。
- CAS 延迟字段必须设置为与编程到芯片 SDRAM 配置寄存器中的 CAS 延迟相对应的数值。CAS 延迟取决于设备的速度。SDRAMC 支持 1、2 和 3 的 CAS 延迟。
- 写突发模式必须设置为编程突发长度。
- 确保 SDRAM 配置寄存器中的设置代表为每个连接的设备写入模式寄存器的值。

29.5.3 SDRAM 设备地址范围

每个 SDRAM 设备可以占用从 64KB 到 256MB 的地址空间。基地址寄存器和地址掩码寄存器定义了设

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

备占用的地址范围。当 SDRAM_CFGx.SDRAMEN 位设置为 1 时，SDRAM 设备被认为是已启用，并且将在地址译码中使用。当存储器访问地址（来自系统）和基地址寄存器 的值，都与地址掩码寄存器的值掩码时，SDRAM 设备片选被选中：

选中范围 = (Base Address[31:0] & Address Mask[31:0]) = (SDRAM_BADDx & SDRAM_ADDMASKx)

注意：如果存储器访问地址解码为任何启用的片选地址范围之外的地址范围，则会生成错误。不要将基地址寄存器和地址掩码寄存器编程为导致片选地址范围与其他 SDRAM 设备片选地址范围重叠的值。重叠地址区域访问会导致错误的操作。

根据系统地址映射，SDRAM 1 的基地址为 0x980000000，SDRAM 2 为 0x9C000000。

注意：SDRAM1 或 SDRAM2 的地址映射总范围可根据 SDRAM_WP.MAPSEL 修改，可配置为 SDRAM1 容量为 64M，SDRAM2 容量为 64M；或 SDRAM1 容量为 128M，SDRAM2 不可用

表 29-6 显示了此 SDRAMC 支持的所有 SDRAM 设备地址范围和大小的详细信息。

SDRAM_BADDx 寄存器值为 0x980000000(SDRAM1)或 0x9C000000(SDRAM2)

SDRAM_ADDMASKx 寄存器值为 (0xFFFFFFFF - (SDRAM 容量大小 - 1))

表 29-6 SDRAM 设备支持的地址范围

设备	SDRAM_BADDx 值	SDRAM_ADDMASKx 值	地址范围	容量大小/byte
SDRAM 1	0x98000000	0xFFFF0000	0x98000000 – 0x9800FFFF	64KB
	0x98000000	0xFFFE0000	0x98000000 – 0x9801FFFF	128KB
	0x98000000	0xFFFC0000	0x98000000 – 0x9803FFFF	256KB
	0x98000000	0xFFF80000	0x98000000 – 0x9807FFFF	512KB
	0x98000000	0xFFF00000	0x98000000 – 0x980FFFFF	1MB
	0x98000000	0xFFE00000	0x98000000 – 0x981FFFFF	2MB
	0x98000000	0xFFC00000	0x98000000 – 0x983FFFFF	4MB
	0x98000000	0xFF800000	0x98000000 – 0x987FFFFF	8MB
	0x98000000	0xFF000000	0x98000000 – 0x98FFFFFF	16MB
	0x98000000	0xFE000000	0x98000000 – 0x99FFFFFF	32MB
	0x98000000	0xFC000000	0x98000000 – 0x9BFFFFFF	64MB
	0x98000000	0xF8000000	0x98000000 – 0x9FFFFFFF	128MB
SDRAM 2	0x9C000000	0xFFFF0000	0x9C000000 – 0x9C00FFFF	64KB
	0x9C000000	0xFFFE0000	0x9C000000 – 0x9C01FFFF	128KB
	0x9C000000	0xFFFC0000	0x9C000000 – 0x9C03FFFF	256KB
	0x9C000000	0xFFF80000	0x9C000000 – 0x9C07FFFF	512KB

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

	0x9C000000	0xFFF00000	0x9C000000 – 0x9C0FFFFF	1MB
	0x9C000000	0xFFE00000	0x9C000000 – 0x9C1FFFFF	2MB
	0x9C000000	0xFFC00000	0x9C000000 – 0x9C3FFFFF	4MB
	0x9C000000	0xFF800000	0x9C000000 – 0x9C7FFFFF	8MB
	0x9C000000	0xFF000000	0x9C000000 – 0x9CFFFFFF	16MB
	0x9C000000	0xFE000000	0x9C000000 – 0x9DFFFFFF	32MB
	0x9C000000	0xFC000000	0x9C000000 – 0x9FFFFFFF	64MB

29.5.4 访问 SDRAM 设备时序图

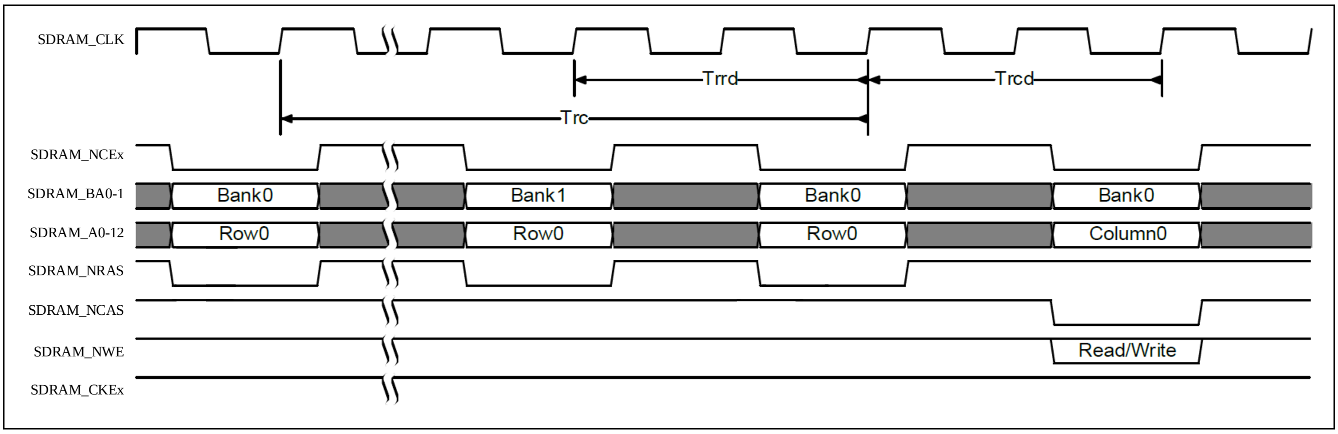
对 SDRAM 存储器设备的访问在以下情况下开始:

- 这里是通过 SDRAM 控制器的 AHB 存储器访问接口进行读写访问。
- 读写周期地址位于其中一个使能的 SDRAM 设备地址范围内的地址。
- 使用对 SDRAM 操作请求寄 存器的访问来请求 SDRAM 操作。
- 刷新写缓冲区需要 SDRAM 写入操作，使用对同步内存缓冲区操作 寄存器的写入访问来请求。

29.5.4.1 行激活

在对任何 SDRAM 设备执行读或写操作时，访问地址命中的行必须被激活

图 29-2 SDRAM 行激活



SDRAM 行在以下情况下被激活:

- 当前 SDRAM 读或写操作命中的当前关闭行。
- 当前 SDRAM 读或写操作命中的当前预充电 BANK。
- **Row Cycle Time** 没有被违反。
- **Row Active To Row Active** 延迟没有被违反
- **Precharge Time** 没有被违反
- **Refresh Cycle Time** 没有被违反

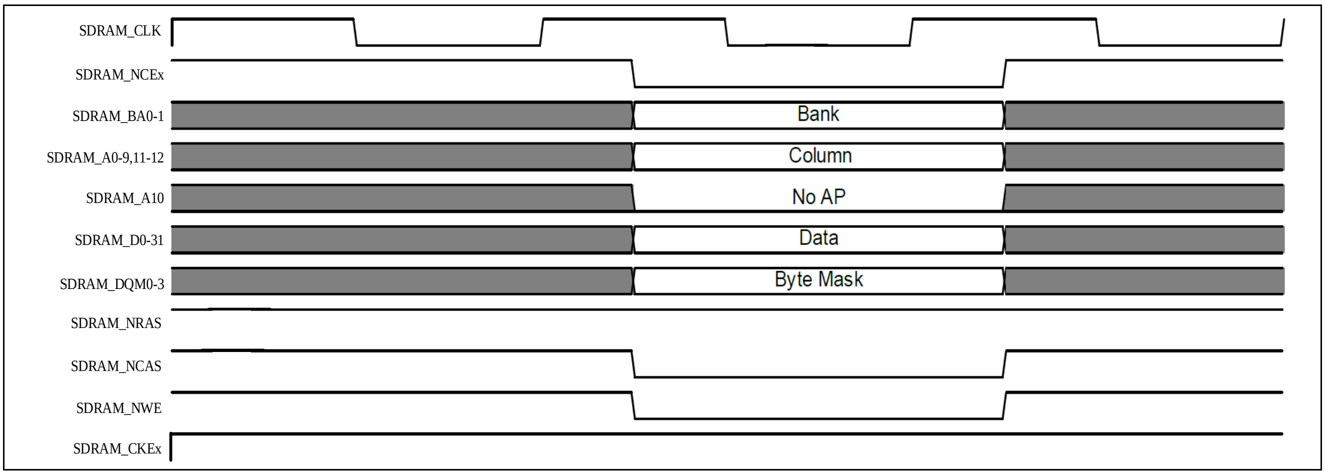
控制器定时参数描述:

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- **T_{rc} – Row Cycle Time –** 也称为 RAS 周期时间。该参数设置在行周期时间寄存器中。
- **T_{rrd} – Row Active to Row Active Delay –** 定义了对同一 SDRAM 设备的不同 BANK 的两个激活命令之间的最小延迟。该参数设 置在行激活到行激活延迟寄存器中。
- **T_{rcd} – RAS to CAS Delay –** 定义了对同一 SDRAM 设备中同一 BANK 的行激活命令和读或写命令之间的最小延迟。该参数设置在 RAS 到 CAS 延迟寄存器中。

29.5.4.2 Single 写传输，不带自动预充

图 29-3 Single 写传输，不带自动预充

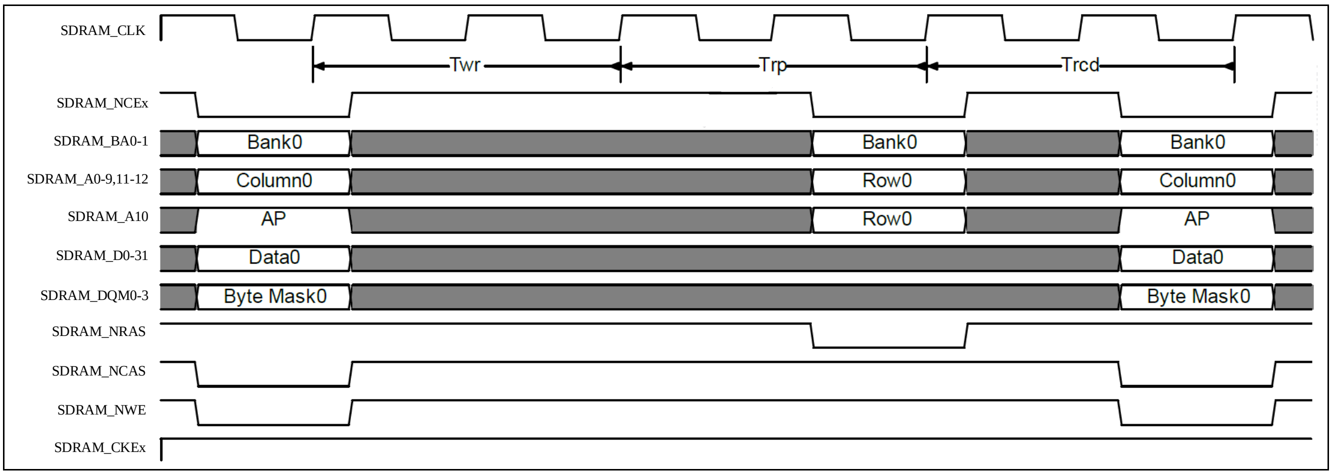


单 SDRAM 写入，不带自动预充电，在以下情况下启动：

- 当前 SDRAM 写入操作命中已打开的行。
- 突发长度字段，是 SDRAM 配置寄存器的一部分， 设置为长度 1。软件必须将突发长度字段编程为与写入 SDRAM 存储器设备的模式寄存器值相对应的 数值。
- RAS 到 CAS 延迟没有违反。
- 自动预充电使能位，是 SDRAM 配置寄存器的一部分，设 置为 0 (禁用)。

29.5.4.3 Single 写传输，带自动预充

图 29-4 Single 写传输，带自动预充



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

单 SDRAM 写入与自动预充电是在与单 SDRAM 写入不使用自动预充电相同的条件下开始的，除了：

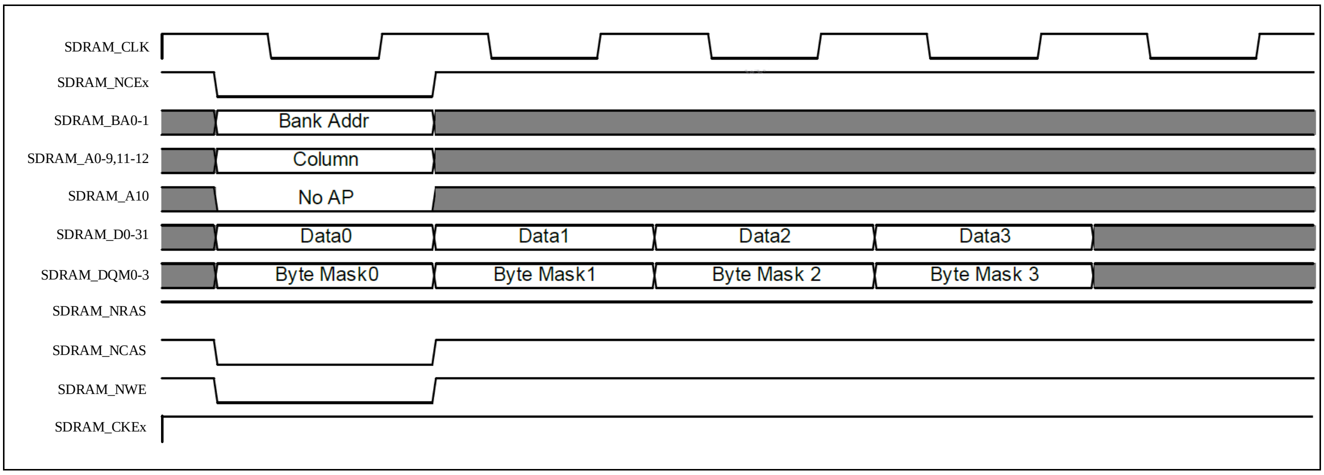
- 自动预充电使能位，是 SDRAM 配置寄存器的一部分，设置为 1 (使能).

控制器定时参数描述:

- **T_{wr} – Write Recovery Time –** 该参数设置在写恢复时间寄存器中。SDRAM 存储器设备在写命令发出后发 出内部预充电命令 写恢复时间。
- **T_{rp} – Precharge Time –** 此参数设置在预充电时间寄存器中。在发出内部或外部预充电命令后，控制器不得 访问 BANK 中的特定行，时间为 预充电时间。
- **T_{rcd} –** 参考 29.5.4.1 行激活。

29.5.4.4 Burst 写传输，不带自动预充

图 29-5 Burst 写传输，不带自动预充

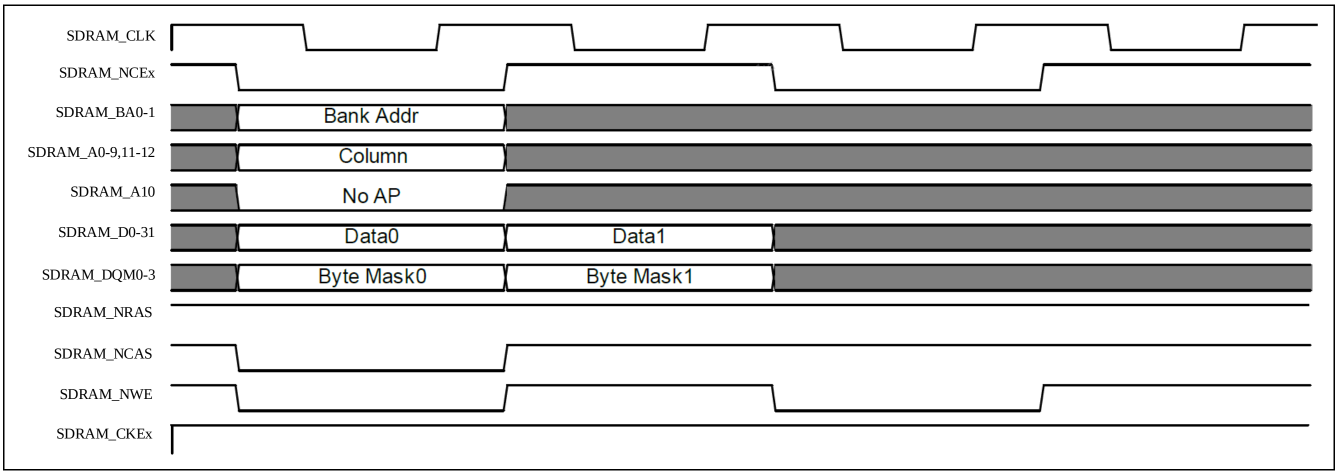


当以下条件满足时，启动 SDRAM Burst 写入，无自动预充电:

- 当前 SDRAM 写入操作命中已打开的行。
- SDRAM 配置寄存器中的 突发长度 字段设置为大于 1 的长度。软件必须将 突发长度 字段编程为与写入 SDRAM 存储器设备的模式寄存器值对应的数值。 当所有来自写入缓冲器的有效字节都已写入存储器时，控制器终止带 Auto Precharge 的 Write Burst。
- RAS 到 CAS 延迟没有被违反。
- SDRAM 配置寄存器中的 自动预充电使能 位设置为 0（禁用）。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

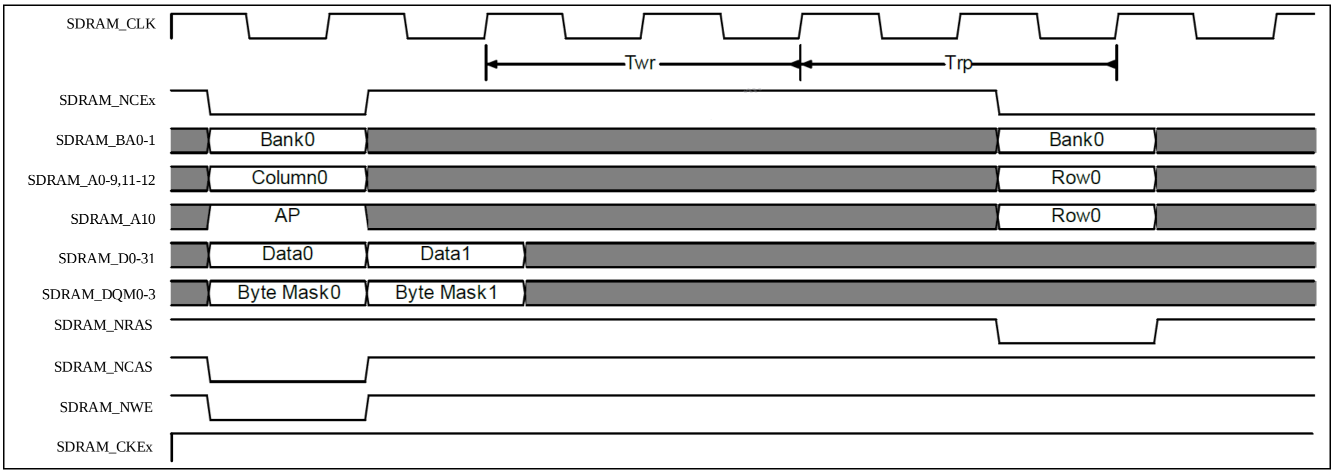
图 29-6 Burst 写终止



禁用自动预充电的突发写操作将在写缓冲区最后一个有效字节写入存储器后的时钟周期终止。上图表明长度为 4 或 8 的突发写操作在第二次写传输后终止。

29.5.4.5 Burst 写传输，带自动预充

图 29-7 Burst 写传输，带自动预充



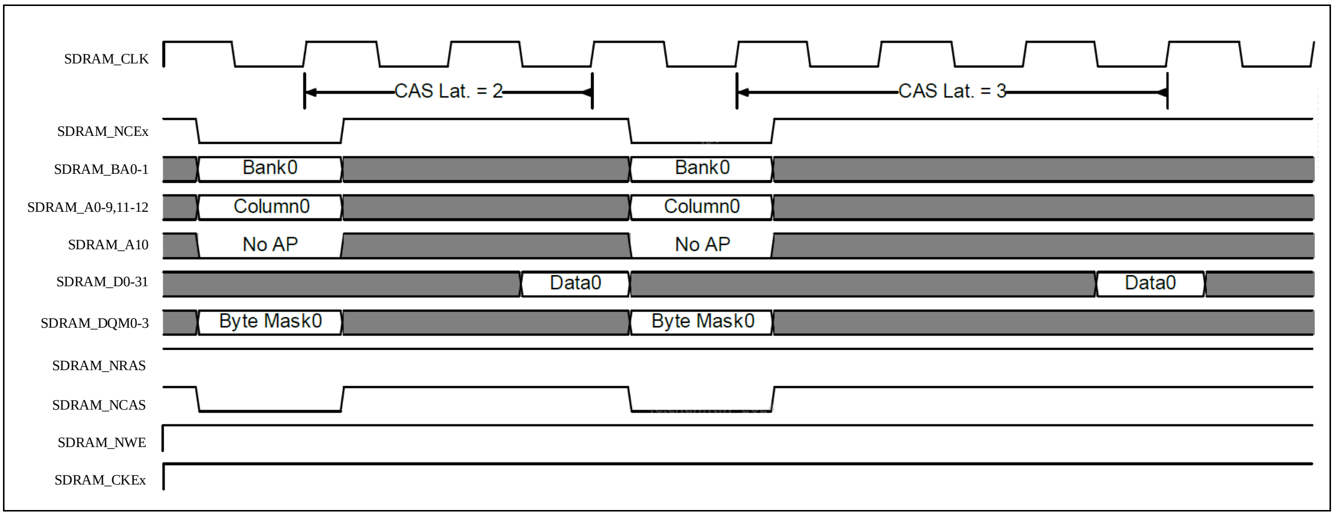
带自动预充电的突发式 SDRAM 写入是在与不带自动预充电的突发式 SDRAM 写入相同的条件下开始的，除了:

- 自动 预充电 使能位，SDRAM 配置寄存器的一部分，设置为 1（使能）.
- 存储控制器不会终止带有自动预充电的写操作突发。它始终执行完整的预编程突发长度写操作，无论写入缓冲器中存储的有效字节数是多少。它使用 DQM 信号屏蔽无效字节。有关定时参数的描述，请参阅带有自动预充电的单写传输。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

29.5.4.6 Single 读传输，不带自动预充

图 29-8 Single 读传输，不带自动预充



单 SDRAM 读取，不带自动预充电，在以下情况下开始:

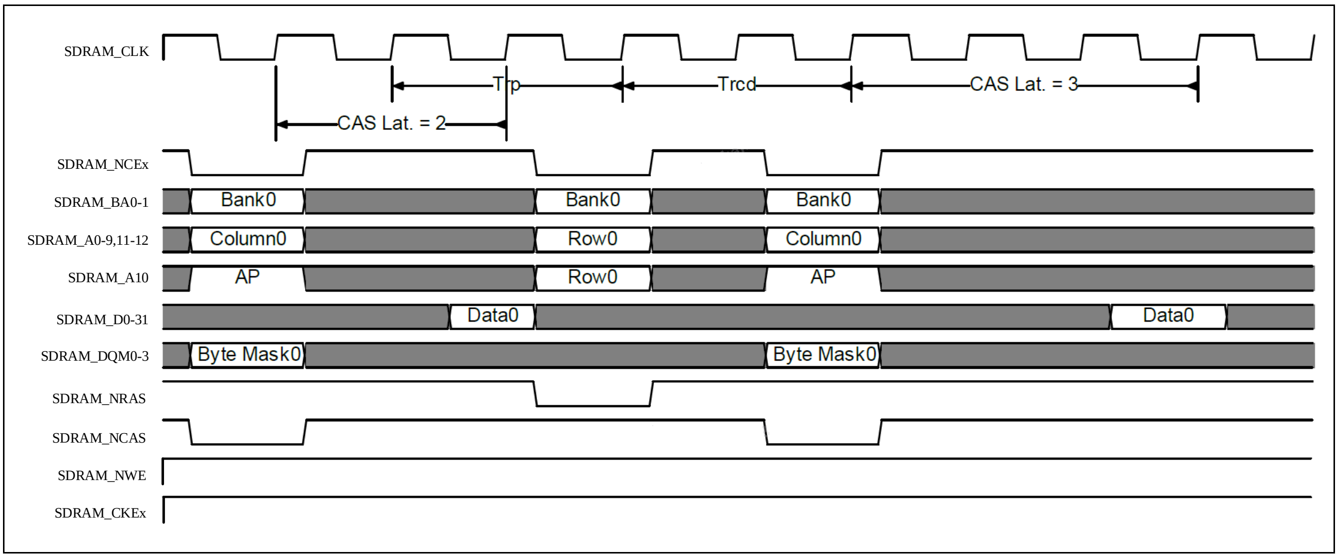
- 当前 SDRAM 读操作地址已命中的打开行。
- 突发长度字段，是 SDRAM 配置寄存器的一部分， 设置为长度 1。软件必须将突发长度字段设置为与写入 SDRAM 存储器设备的模式寄存器值相对应的数值。
- RAS 到 CAS 延迟没有违反。
- 自动预充电使能位，是 SDRAM 配置寄存器的一部分，设置为 0（禁用）。

控制器定时参数描述:

- **CAS Latency** – 在 SDRAM 配置寄存器中的 CAS 延迟字段中，为每个片选单独设置。软件必须将此字段 设置为与写入 SDRAM 设备模式寄存器的 CAS 延迟值相对应的数值。

29.5.4.7 Single 读传输，带自动预充

图 29-9 Single 读传输，带自动预充



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.

地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦

电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100

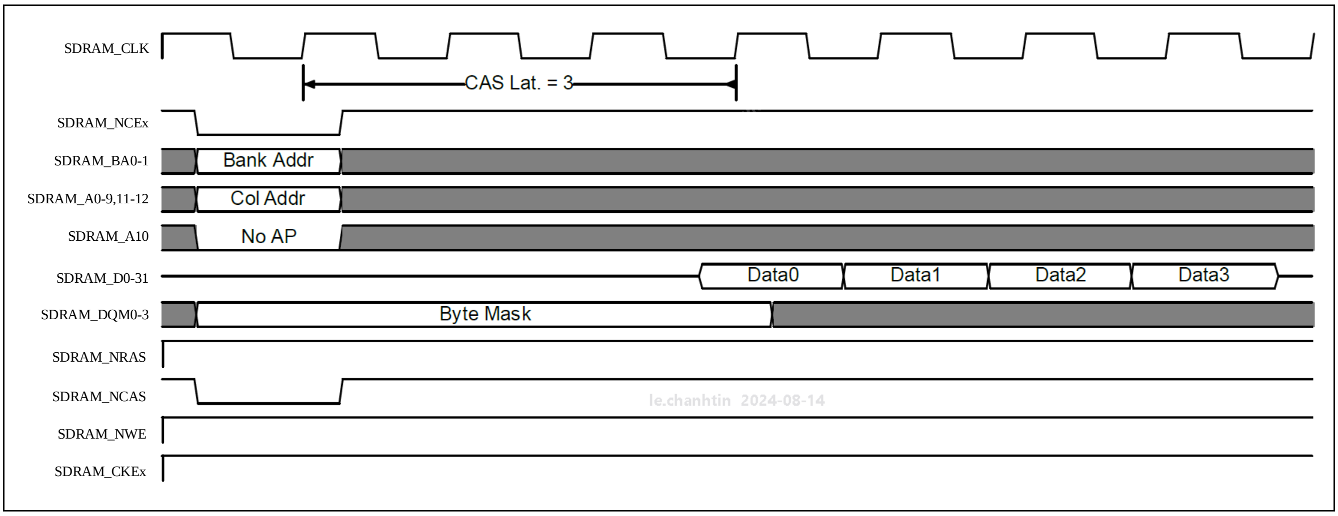
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

单 SDRAM 读取带有自动预充电在与单 SDRAM 读取不带自动预充电相同的条件下启动，除了:

- **Auto Precharge Enable** — 自动预充电使能位，是片选配置寄存器的一部分，设置为 1 使能。
- **CAS Latency –** 参考 29.5.4.6 单读传输无自动预充电.
- **T_{rp} – Precharge Time –** 该参数设置在预充电时间寄存器。在执行内部预充电命令后，不允许访问同一行，直到预充电时间结束。
- **T_{rcd} – RAS to CAS Delay –** 参考 29.5.4.1 行激活.

29.5.4.8 Burst 读传输，不带自动预充

图 29-10 Burst 读传输，不带自动预充



Burst SDRAM 读无自动预充电在以下情况下开始:

- 当前 SDRAM 读操作地址已击中已打开的行。
- 突发长度 字段，是 SDRAM 配置寄存器的一部分， 设置为大于 1 的长度。软件必须将突发长度字段设置为与写 SDRAM 存储器设备的模式寄存器值相对应的数值。每次启动读操作时，都会执行完整的突发。
- RAS 到 CAS 延迟没有违反 – 参见 29.5.4.1 行激活。
- 自动预充电使能位，是 SDRAM 配置寄存器的一部分，设置为 0（禁用）。

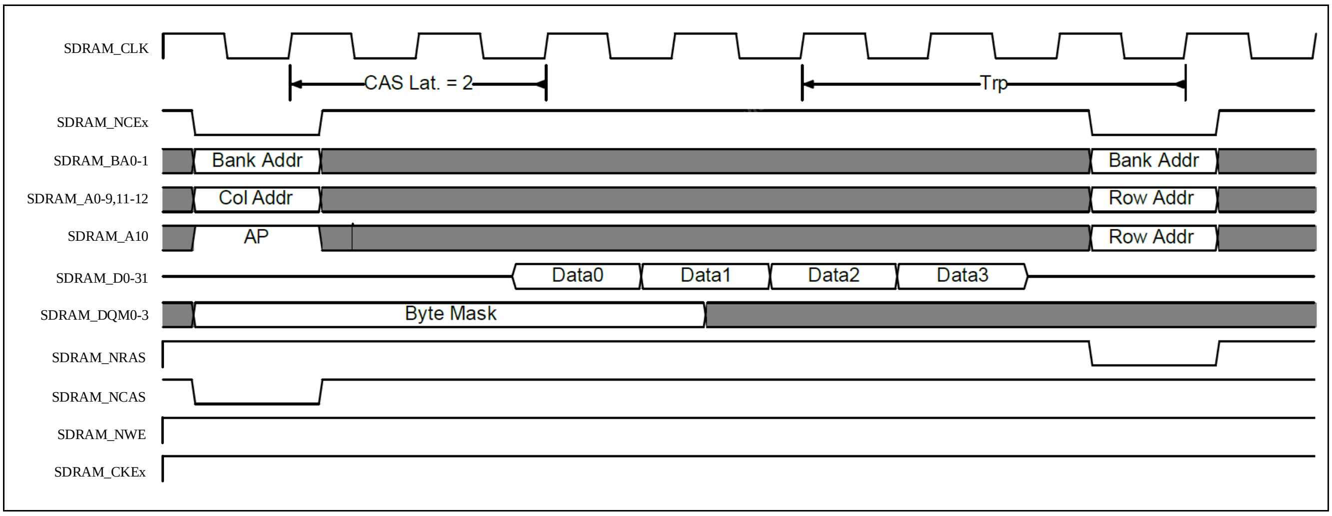
控制器定时参数描述:

- **CAS Latency –** 参见 29.5.4.6 单读传输无自动预充电。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

29.5.4.9 Burst 读传输，带自动预充

图 29-11 Burst 读传输，带自动预充



具有自动预充电的猝发式 SDRAM 读在与 burst SDRAM 读无自动预充电相同的条件下启动，除了:

- 自动预充电使能 位，是 SDRAM 配置寄存器的一部分，设置为 1 使能。

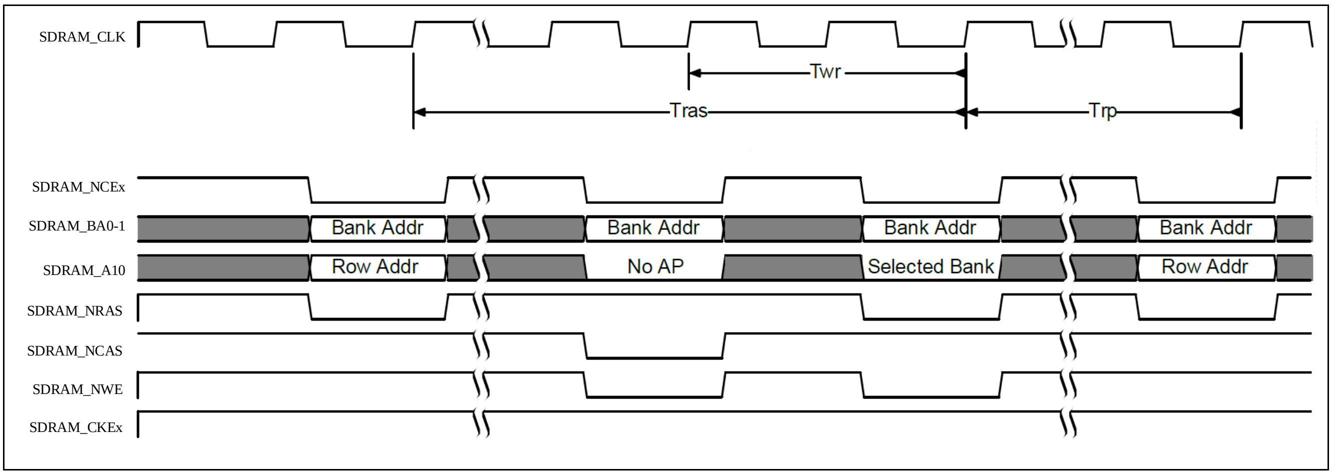
控制器定时参数描述:

- **CAS Latency** – 参见 29.5.4.6 单读传输无自动预充电。
- **T_{rp}** – 参见 29.5.4.7 单次读预充电传输。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

29.5.4.10 预充电选定 Bank

图 29-12 预充选定 Bank



当以下条件满足时，将启动 SDRAM 设备中特定 bank 的预充电:

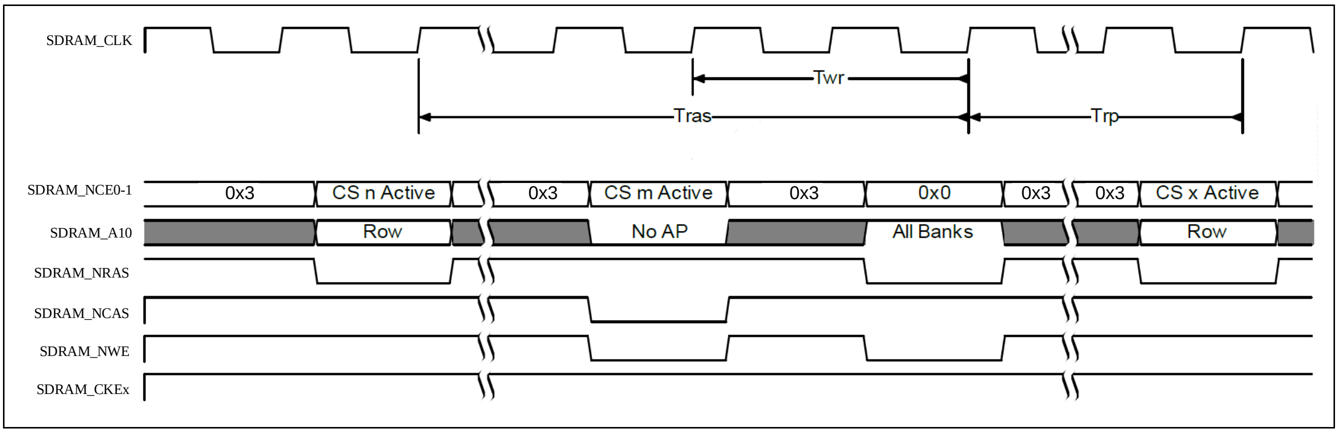
- 当前读取或写入操作的地址命中了关闭的行，并且同一 BANK 中的其他行已经打开。

控制器定时参数描述:

- **T_{ras} – Row Active Time –** 在特定 bank 的行被激活后，必须在最小行活动时间过期之前不能被预充电（关闭）。最小行活动时间参数设置在行活动时间寄存器中。
- **T_{wr} – Write Recovery Time –** 在最后的数据被写入到指定的 bank 后，必须在写恢复时间过期之前不能被预充电。此定时参数设置在写恢复时间寄存器中。
- **T_{rp} – Precharge Time –** 在向指定的 bank 发出预充电命令后，必须在预充电时间过期之前不能被访问（刷新、激活或预充电）。此参数设置在预充电时间寄存器中。

29.5.4.11 预充电所有 Banks

图 29-13 预充所有 Banks



预充电所有 SDRAM BANK 在所有设备中启动时:

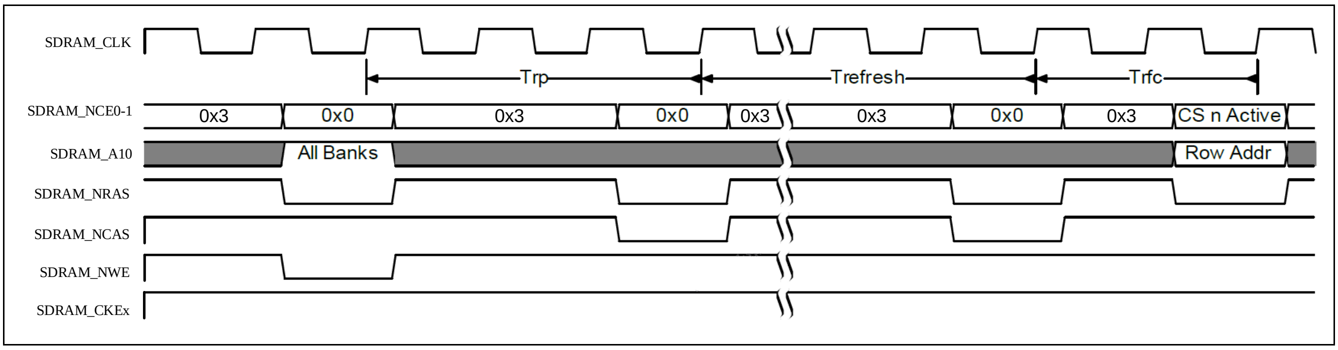
- 刷新定时器到期且连接设备之一至少有一行打开。
- 预充电所有命令配置在 SDRAM 操作设置寄存器中，并且向 SDRAM 操作请求寄存器发出读写访问。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 29-13 中的定时参数与图 29-12 中的定时参数相同，不同之处在于它们必须在每个连接的设备中满足，因为所有设备中的所有 BANK 都处于预充电状态，发出此命令。

29.5.4.12 自动刷新

图 29-14 自动刷新



SDRAM 自动刷新命令在以下情况下启动：

- 当刷新定时器到期时，所有设备中的所有行都处于非活动状态（处于预充电状态），并且未违反 Trp 。
- 当刷新命令配置在 SDRAM 操作设置寄存器中，并且进行读或写访问时已发出到 SDRAM 操作请求寄存器。

控制器定时参数描述:

- **T_{rp} – Precharge Recovery Time –** 请参阅预充电选定 bank。
- **$T_{refresh}$ – Refresh Interval –** 设置在刷新间隔寄存器中。大多数 SDRAM 设备的数据手册提供有关刷新周期的信息，单位为毫秒。
- 用户必须将此值除以设备中的行数，然后除以内存时钟周期，以获得此寄存器的值。建议将寄存器设置为略低于几个百分比的值，以允许两个刷新周期之间的一些余量。
- **T_{rfc} – Refresh Cycle Time –** 在满足刷新周期时间之前，不能向任何 SDRAM 设备发出任何命令。此定时参数设置在刷新周期时间寄存器中。

29.5.5 SDRAM 设备挂起和唤醒序列

29.5.5.1 暂停序列

对同步动态设备（SDRAM 外设）而言，暂停序列通常比对静态设备而言更为复杂。每个 SDRAM 外设的手册提供用于暂停设备所使用的特殊序列的信息。一般来说，对同步动态设备的暂停序列应遵循以下步骤：

1. 软件必须禁用所有同步动态设备芯片使能。它通过向 SDRAM_CFGx 寄存器中的所有 SDRAMEN 位写入 0 值来实现。在访问设备时，请勿禁用 SDRAM 设备。
2. 等待至少 32 个存储器时钟周期，以允许存储器总线上的任何读或写完成操作。
3. 当所有动态设备芯片使能被禁用并且经过适当的延迟后，软件必须向 SDRAM_CBO 寄存器执行写入操作，以将任何存在于写缓冲区中的写数据刷新到外部存储器。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

4. 在刷新写缓冲区后，软件必须从 SDRAM_CBO 寄存器执行读取操作，以使所有存在于读缓冲区中的数据失效。
5. 当所有芯片使能被禁用，写缓冲区刷新且读缓冲区失效后，软件必须向 SDRAM_CFGx 寄存器中的所有 REFRESHEN 位写入 0 值。软件现在必须等待足够长的时间，以满足几次（5-10）刷新周期时间，以允许任何未完成的刷新周期完成。
6. 软件使用 SDRAM_OS 寄存器和 SDRAM_OR 寄存器向连接的 SDRAM 设备发出适当的命令序列。应该首先发出预充电所有命令，以确保进入挂起模式时没有行被打开。在发出预充电所有命令后必须等待足够的时间，以避免违反预充电时间。
7. 软件将使用 SDRAM_OS 寄存器和 SDRAM_OR 寄存器，并使用 CKEN 写 0 向连接的 SDRAM 设备发出刷新命令，以便它们进入自刷新模式。如果设备的数据手册中指定了不同的或额外的操作，则应遵循这些操作，以确保正常运行。

29.5.5.2 唤醒序列

每个同步动态设备的 数据手册 中会规定正确的唤醒序列。系统软件应遵循该序列，通常需要以下步骤：

1. 设备可以具有最小的自刷新时间参数。核心不计时此参数，因此软件必须确保在满足此时间参数之前 不要启动唤醒程序。
2. 软件现在必须遵循设备数据手册中指定的任何程序，使用 SDRAM_OS 寄存器和 SDRAM_OR 寄存器。此程序通常包括几个 NOP 操作，然后是几个自动刷新命令，所有这些命令都使用 CKE 写 1 发出。如果设备不需要任何特殊的命令序列来退出自刷新模式，则应至少发出一个 NOP 命令， 其 CKEN 值设置为 1 以启用外部存储器时钟。然后至少向所有连接的设备发出一个自动刷新命令，其 CKEN 值设置为 1，因为无法知道上次内部刷新命令何时执行。
3. 软件可以通过将 1 值写入 SDRAM_CFGx 寄存器中的 REFRESHEN 位，来完成启用同步动态设备刷新操作。
4. 软件可以通过将 1 值写入 SDRAM_CFGx 寄存器中的 SDRAMEN 位，来完成启用同步芯片使能。

29.5.6 内存数据缓冲

SDRAM 控制器已实现读写缓冲区，以便更快地访问外部 SDRAM 设备。

29.5.6.1 写入数据缓冲

当发出写入访问时，数据被存储到写入数据缓冲区，并且满足以下之一条件：

- 其中一个已实现的写入缓冲区为空；
- 写入循环的地址在其中一个已实现的写入缓冲区的地址范围之内；
- 至少一个已实现的写入缓冲区中的数据已经被存储到外部存储设备。

当发出写入访问时，来自内部写入缓冲区的的数据被存储到外部存储设备；并且满足以下之一条件：

- 所有已实现的写入缓冲区都非空，并且写入传输的地址不在任何已实现的写入缓冲区的地址范围内；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 至少一个写入缓冲区非空且尚未存储到外部存储设备，并且写入传输的地址不在其地址范围内，并且当前访问的片选具有存储缺失 (SOMEN) 位在其 SDRAM 配置寄存器中。这意味着来自一个缓冲区的有效写入数据将被存储到外部存储设备，而第二个缓冲区同时接受下一个写入数据。这可以提高某些应用程序的写入传输速度；
- 对同步内存缓冲区操作寄存器进行写入，并且至少一个写入缓冲区包含尚未写入到外部存储设备的有效数据。

注意，最近最少使用的写入缓冲器总是首先存储。

29.5.6.2 读取数据缓冲

当请求读访问时，读取数据来自同步存储器数据缓冲区（读或写）：

- 所有请求的字节都存在于写入或读取缓冲区中。一个或多个写入缓冲区中的有效字节优先于存储在读取缓冲区的字节。

当请求读访问满足以下之一条件时，数据从外部存储设备读取并存储到读取缓冲区中：

- 读总线上没有或不是所有请求的字节都存在于写入或读取缓冲区中
- 当前读取突发类型为增量类型，并且当前访问的片选具有预取使能标志。 (PREFCHRDEN) 位被设置在其 SDRAM 配置寄存器中，并且预取数据不存在于任何的读取缓冲器中。这实际上意味着，虽然从一个缓冲器向 AHB 读数据总线提供读取数据， 第二个读取缓冲器同时从外部存储器填充。这可以提高某些应用中读取传输的性能（例如大型 DMA 传输）。

注意，最近一次未访问的读取缓冲器首先从外部存储器填充。

29.5.7 写保护

SDRAM 控制器支持写保护功能。当 SDRAM 写保护寄存器中的位 WP[n] 设置为 1 时，它不允许对 SDRAM 设备进行任何写入访问。此时对 SDRAM 设备的写入访问将会在 AHB 存储器访问接口上产生错误响应，并且 SDRAM 存储器不会更新。

此功能可为每个独立的 SDRAM 设备启用。

此功能不会影响读访问。

29.6 SDRAMC 寄存器

29.6.1 SDRAM1 基地址寄存器 (SDRAM_BADD1)

偏移地址：0x0080

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ADDBASE[19:4]															
rw															
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

ADDBASE[3:0]	Reserved
rw	

位域	名称	描述
31:12	ADDBASE[19:0]	SDRAM1 的基址值。 通过对应基地址寄存器和地址掩码寄存器中的值来解码 SDRAM1 的地址范围。
11:0	Reserved	保留，必须保持复位值

29.6.2 **SDRAM1 地址掩码寄存器（SDRAM_ADDMASK1)**

偏移地址：0x0084

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ADDMASK[19:4]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADDMASK[3:0]				Reserved											
rw															

位域	名称	描述
31:12	ADDMASK[19:0]	SDRAM1 的地址掩码值。 通过对应基地址寄存器和地址掩码寄存器中的值来解码 SDRAM1 的地址范围。
11:0	Reserved	保留，必须保持复位值

29.6.3 **SDRAM2 基地址寄存器（SDRAM_BADD2)**

偏移地址：0x0088

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ADDBASE[19:4]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADDBASE[3:0]				Reserved											
rw															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:12	ADDBASE[19:0]	SDRAM2 的基址值。 通过对应基地址寄存器和地址掩码寄存器中的值来解码 SDRAM2 的地址范围。
11:0	Reserved	保留，必须保持复位值

29.6.4 SDRAM2 地址掩码寄存器（SDRAM_ADDMASK2)

偏移地址：0x008C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ADDMASK[19:4]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADDMASK[3:0]				Reserved											
rw															

位域	名称	描述
31:12	ADDMASK[19:0]	SDRAM2 的地址掩码值。 通过对应基地址寄存器和地址掩码寄存器中的值来解码 SDRAM2 的地址范围。
11:0	Reserved	保留，必须保持复位值

29.6.5 SDRAM1 配置寄存器（SDRAM_CFG1)

偏移地址：0x00A0

复位值：0x0001 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
SDRAMEN	REFRESHEN	Reserved						AUTOPCHEN	BUSWID[1:0]		BURSTLEN[2:0]			CASLATENCY[1:0]	
rw	rw							rw	rw		rw			rw	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved						PREFCHRDEN	SOMEN	Reserved			BANKINTRLEN	ADDCFG[3:0]			
						rw	rw				rw	rw			

位域	名称	描述
31	SDRAMEN	SDRAM1 使能 0：SDRAM1 禁用 1：SDRAM1 启用
30	REFRESHEN	刷新命令使能 0：刷新禁用

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：刷新启用
29:24	Reserved	保留，必须保持复位值
23	AUTOPCHEN	自动预充电使能 0：自动预充电禁用 1：自动预充电启用
22:21	BUSWID[1:0]	总线宽度 00：8 位 01：16 位 其他值：保留位
20:18	BURSTLEN[2:0]	突发长度 000：突发长度 1 001：突发长度 2 011：突发长度 4 111：突发长度 8 其他值：无效
17:16	CASLATENCY[1:0]	CAS 延迟。 这些位设置 SDRAM1 的 CAS 延迟（基于 SDRAM 时钟周期）。 00：保留 01：1 周期 10：2 周期 11：3 周期
15:10	Reserved	保留，必须保持复位值
9	PREFCHRDEN	预取读取使能。 0：禁用预取读取 1：启用预取读取
8	SOMEN	Store On Miss(SOM) 使能 0：禁用写缓冲区 SOM 功能 1：启用写缓冲区 SOM 功能
7:5	Reserved	保留，必须保持复位值
4	BANKINTRLEN	SDRAM1 地址生成期间启用 BANK 交错功能 0：禁用 BANK 交错 1：启用 BANK 交错
3:0	ADDCFG[3:0]	SDRAM1 架构配置 0000：4 个 BANK，4096 行，256 列 0001：4 个 BANK，4096 行，512 列 0010：4 个 BANK，4096 行，1024 列 0011：4 个 BANK，4096 行，2048 列 0100：4 个 BANK，8192 行，256 列 0101：4 个 BANK，8192 行，512 列 0110：4 个 BANK，8192 行，1024 列 0111：4 个 BANK，8192 行，2048 列 1000：4 个 BANK，2048 行，256 列

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1001：4 个 BANK，2048 行，512 列 1010：4 个 BANK，2048 行，1024 列 1011：4 个 BANK，2048 行，2048 列 其他值：保留

29.6.6 SDRAM2 配置寄存器（SDRAM_CFG2）

偏移地址：0x00A4

复位值：0x0001 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
SDRAMEN	REFRESHEN	Reserved						AUTOPCHEN	BUSWID[1:0]		BURSTLEN[2:0]			CASLATENCY[1:0]	
rw	rw							rw	rw		rw			rw	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved						PREFCHRDEN	SOMEN	Reserved			BANKINTRLEN	ADDCFG[3:0]			
						rw	rw				rw	rw			

位域	名称	描述
31	SDRAMEN	SDRAM2 使能 0：SDRAM2 禁用 1：SDRAM2 启用
30	REFRESHEN	刷新命令使能 0：刷新禁用 1：刷新启用
29:24	Reserved	保留，必须保持复位值
23	AUTOPCHEN	自动预充电使能 0：自动预充电禁用 1：自动预充电启用
22:21	BUSWID[1:0]	总线宽度 00：8 位 01：16 位 其他值：保留位
20:18	BURSTLEN[2:0]	突发长度 000：突发长度 1 001：突发长度 2 011：突发长度 4 111：突发长度 8 其他值：无效
17:16	CASLATENCY[1:0]	CAS 延迟。 这些位设置 SDRAM2 的 CAS 延迟（基于 SDRAM 时钟周期）。 00：保留

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		01：1 周期 10：2 周期 11：3 周期
15:10	Reserved	保留，必须保持复位值
9	PREFCHRDEN	预取读取使能。 0：禁用预取读取 1：启用预取读取
8	SOMEN	Store On Miss(SOM) 使能 0：禁用写缓冲区 SOM 功能 1：启用写缓冲区 SOM 功能
7:5	Reserved	保留，必须保持复位值
4	BANKINTRLEN	SDRAM2 地址生成期间启用 BANK 交错功能 0：禁用 BANK 交错 1：启用 BANK 交错
3:0	ADDCFG[3:0]	SDRAM2 架构配置 0000：4 个 BANK，4096 行，256 列 0001：4 个 BANK，4096 行，512 列 0010：4 个 BANK，4096 行，1024 列 0011：4 个 BANK，4096 行，2048 列 0100：4 个 BANK，8192 行，256 列 0101：4 个 BANK，8192 行，512 列 0110：4 个 BANK，8192 行，1024 列 0111：4 个 BANK，8192 行，2048 列 1000：4 个 BANK，2048 行，256 列 1001：4 个 BANK，2048 行，512 列 1010：4 个 BANK，2048 行，1024 列 1011：4 个 BANK，2048 行，2048 列 其他值：保留

29.6.7 SDRAM Row Active 时序寄存器（SDRAM_RAT）

偏移地址：0x00B0

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved										TRAS[5:0]					
										rw					

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:6	Reserved	保留，必须保持复位值
5:0	TRAS[5:0]	Row active time 这些位定义了最小自刷新周期，单位为内存时钟周期数。 000000: 1 cycle 000001: 2 cycles 000002: 3 cycles … … 111111: 64 cycles

29.6.8 SDRAM Row Cycle 时序寄存器（SDRAM_RCT）

偏移地址：0x00B4

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved										TRC[5:0]					
										rw					

位域	名称	描述
31:6	Reserved	保留，必须保持复位值
5:0	TRC[5:0]	Row cycle time 这些位定义了刷新命令与激活命令之间的延迟，以及两个连续刷新命令之间的延迟。该延迟以内存时钟周期数表示。 000000: 1 cycle 000001: 2 cycles 000002: 3 cycles … … 111111: 64 cycles

29.6.9 SDRAM Row Active to Row Active Delay 寄存器（SDRAM_RRDLY）

偏移地址：0x00B8

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved										TRRD[5:0]					
										rw					

位域	名称	描述
31:6	Reserved	保留，必须保持复位值
5:0	TRRD[5:0]	Row active to row active delay time 这些位定义了同一 SDRAM 芯片上两个不同 BANK 之间两个有效命令的最小延迟。 000000: 1 cycle 000001: 2 cycles 000002: 3 cycles … … 111111: 64 cycles

29.6.10 SDRAM Precharge 时序寄存器 (SDRAM_PT)

偏移地址：0x00BC

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved										TRP[5:0]					
										rw					

位域	名称	描述
31:6	Reserved	保留，必须保持复位值
5:0	TRP[5:0]	Precharge time 这些位定义了内部或外部预充电命令与另一个命令之间以存储器时钟周期数表示的延迟。 000000: 1 cycle 000001: 2 cycles 000002: 3 cycles … … 111111: 64 cycles

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

29.6.11 SDRAM Write Recovery 时序寄存器（SDRAM_WRT）

偏移地址：0x00C0

复位值：0x0000 0000

31-16
Reserved

15-6	5-0
Reserved	TWR[5:0]
	rw

位域	名称	描述
31:6	Reserved	保留，必须保持复位值
5:0	TWR[5:0]	Write recovery time 这些位定义了写操作与内部预充电命令之间以存储器时钟周期数表示的延迟。 000000: 1 cycle 000001: 2 cycles 000002: 3 cycles … … 111111: 64 cycles

29.6.12 SDRAM Refresh Cycle 时序寄存器（SDRAM_RFCT）

偏移地址：0x00C4

复位值：0x0000 0000

31-16
Reserved

15-6	5-0
Reserved	TRFC[5:0]
	rw

位域	名称	描述
31:6	Reserved	保留，必须保持复位值

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
5:0	TRFC[5:0]	Refresh cycle time 这些位定义了任意两个连续命令之间以内存时钟周期数表示的延迟。 000000: 1 cycle 000001: 2 cycles 000002: 3 cycles … … 111111: 64 cycles

29.6.13 SDRAM RAS to CAS Delay 寄存器（SDRAM_RCDLY）

偏移地址：0x00C8

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved												TRCD[3:0]			
												rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:4	Reserved	保留，必须保持复位值
3:0	TRCD[3:0]	RAS to CAS delay time 这些位定义了同一 SDRAM 芯片中同一 BANK 的行有效命令与读取/写入命令之间的最小延迟。 0000: 1 cycle 0001: 2 cycles 0002: 3 cycles … … 1111: 16 cycles

29.6.14 SDRAM Refresh Interval 寄存器（SDRAM_RI）

偏移地址：0x00CC

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved								TRI[23:16]							
								rw							

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TRI[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必须保持复位值
23:0	TRI[23:0]	Refresh Interval Time 这些位用于定义两个自动刷新命令之间的延迟，单位为内存时钟周期数。 000000h: 1 cycle 000001h: 2 cycles 000002h: 3 cycles …… FFFFFFh: 16,777,216 cycles

29.6.15 SDRAM Controller Buffer Operation 寄存器（SDRAM_CBO）

偏移地址：0x00E0

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
DUMMY[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DUMMY[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	DUMMY[31:0]	Dummy data 访问此寄存器将触发控制器缓冲区的操作： 写入：将控制器写缓冲区中的所有当前数据释放至外部存储设备 读取：清除控制器读缓冲区中的所有当前数据 这些位为虚拟位，写入此寄存器的数据（任何值）均被丢弃，读取操作返回全 0 值。

29.6.16 SDRAM Operation Request 寄存器（SDRAM_OR）

偏移地址：0x00E4

复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
DUMMY[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DUMMY[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	DUMMY[31:0]	Dummy data 对该寄存器的访问（写入或读取）将开始向外部内存总线发送在 SDRAM_OS 中设置的命令。 这些位为虚拟位，写入该寄存器的数据（任何值）均被丢弃，读取操作返回全 0 值。

29.6.17 SDRAM Operation Setup 寄存器（SDRAM_OS)

偏移地址：0x00E8

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	CKEN	OPCODE[1:0]		Reserved		CS[1:0]		Reserved						BANKADD[1:0]	
	rw	rw				rw								rw	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		ADD[13:0]													
		rw													

位域	名称	描述
31	Reserved	保留，必须保持复位值
30	CKEN	时钟使能 该位定义在发出命令时时钟是否启用。 当前命令执行完毕后，时钟保持其状态直至下一个命令发出。 0：时钟禁用 1：时钟启用
29:28	OPCODE[1:0]	操作码。 这些位定义命令类型： 00：无操作 01：预充电 SDRAM1 和 SDRAM2 外部存储器 BANK 10：自动刷新（CKEN=1）或自刷新（CKEN=0）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		11：加载模式寄存器
27:26	Reserved	保留，必须保持复位值
25:24	CS[1:0]	芯片选择。 这些位定义选择 SDRAM1、SDRAM2 或两者兼有 00：同时选中 SDRAM1 和 SDRAM2 01：SDRAM1 未选中，SDRAM2 选中 10：SDRAM1 选中，SDRAM2 未选中 11：SDRAM1 和 SDRAM2 均未选中
23:18	Reserved	保留，必须保持复位值
17:16	BANKADD[1:0]	Bank 地址 这些位定义发送到外部内存总线的 BANK 地址。 00：BANK1 01：BANK2 10：BANK3 11：BANK4
15:14	Reserved	保留，必须保持复位值
13:0	ADD[13:0]	地址 这些位定义发送到外部内存总线的地址（列地址与行地址的复用）。

29.6.18 SDRAM 地址保护寄存器 (SDRAM_WP)

偏移地址：0x00FC

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved							MAPSEL	Reserved		DLYSEL[3:0]				WP2	WP1
							rw			rw				rw	rw

位域	名称	描述
31:2	Reserved	保留，必须保持复位值
8	MAPSEL	SDRAM 映射地址选择 0：SDRAM1 地址范围为 0x98000000~0x9BFFFFFF(64MB)；SDRAM2 地址范围为 0x9C000000~0x9FFFFFFF(64MB) 1：SDRAM1 地址范围为 0x98000000~0x9FFFFFFF(128MB)；SDRAM2 不可用
7:6	Reserved	保留，必须保持复位值
5:2	DLYSEL[3:0]	SDRAMC 采样延迟时间配置 设置此寄存器值后，将使用延迟时钟采样接收数据。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0000：旁路模式，采样不延迟。 0001：延迟 0.5 个 Tsdram_clk 周期 0010：延迟 1 个 Tsdram_clk 周期 0011：延迟 1.5 个 Tsdram_clk 周期 0100：延迟 2 个 Tsdram_clk 周期 0101：延迟 2.5 个 Tsdram_clk 周期 0110：延迟 3 个 Tsdram_clk 周期 0111：延迟 3.5 个 Tsdram_clk 周期 1000：延迟 4 个 Tsdram_clk 周期 其他值：禁止 注：Tsdram_clk 为 SDRAM 模块内核时钟周期。
1	WP2	SRAM2 写保护 这些位用于启用对 SDRAM 芯片的写模式访问。 0：允许对 SDRAM2 进行写操作 1：忽略对 SDRAM2 的写操作
0	WP1	SRAM1 写保护 这些位用于启用对 SDRAM 芯片的写模式访问。 0：允许对 SDRAM1 进行写操作 1：忽略对 SDRAM1 的写操作

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

30 SDIO 接口（SDIO）

30.1 SDIO 主要功能

SDIO 接口定义了 SD 卡、SD I/O 卡、多媒体卡（MMC）主机接口。它提供了 AHB 外设总线和多媒体卡（MMC）、SD 存储卡、SDIO 卡之间的数据传输。其中，所支持的多媒体卡系统规格书由 MMCA 技术委员会发布，可以在多媒体卡协会的网站上（www.mmca.org）获得，所支持的 SD 存储卡和 SD I/O 卡系统规格书可以通过 SD 卡协会网站（www.sdcard.org）获得。

SDIO 的主要功能如下：

- SD 卡：与 SD 存储卡规格版本 2.0 全兼容。
- SD I/O：与 SD I/O 卡规格版本 2.0 全兼容，支持两种不同的数据总线模式：1 位（默认）和 4 位。
- MMC：与多媒体卡系统规格书版本 4.2 及之前的版本全兼容。支持三种不同的数据总线模式：1 位（默认）、4 位和 8 位。
- 在 8 位数据总线模式下可达 50MHz 数据传输速率。
- 支持中断和 DMA 请求
- 数据和命令输出使能信号，用于控制外部双向驱动器。

注意：

1、SDIO 没有 SPI 兼容的通信模式

2、在多媒体卡系统规格书版本 2.11 中，定义 SD 存储卡协议只支持 I/O 模式的 SD 卡或复合卡中的 I/O 部分，不支持 SD 存储设备中很多需要的命令，比如擦除等一些命令在 SDI/O 设备中不起作用，因此 SDIO 也不支持这些命令。另外，SD 存储卡和 SD I/O 卡中有些命令是不同的， SDIO 也不支持这些命令。

SDIO 在同一时间仅支持一个 SD/SDIO/MMC 4.2 卡，但可以支持多个 MMC 版本 4.1 或以前版本的卡

30.2 SDIO 总线拓扑

通过传送命令和数据实现 SDIO 总线上的通信。上电复位之后，主机必须通过特殊的基于消息的总线协议来初始化卡。每个消息都是命令/响应结构，另外，某些消息还具有数据令牌。消息各部分具体描述如下：

- 命令：命令串行传输在 CMD 线上，是启动一个操作的令牌，从主机发送到卡
- 响应：响应串行传输在 CMD 线上，作为先前接收到的命令的回应，从卡发送到主机。
- 数据：数据通过数据线传送。数据可以从卡传输到主机或者从主机传输到卡。用于数据传输的数据线的数目可以是 1（DAT0）、 4（DAT0-DAT3）或 8（DAT0-DAT7）。

命令，响应和数据块的结构在卡功能描述章节中介绍。一次数据传输就是一个总线操作。一般操作总是包含一个命令和响应。此外，一些操作还有一个数据令牌。还有一些其他操作直接将他们的信息包含在命令或响应结构中。在这种情况下，操作没有数据令牌。

数据传输命令有两种类型：数据块和数据流。在 SD/SDIO 存储器卡上传送的数据是以数据块的形式传输；在 MMC 上传送的数据是以数据块或数据流的形式传输；

数据流和数据块传输定义如下：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 数据流：命令发起连续的数据流，只有当 CMD 信号线上出现停止命令时，数据传输终止。该模式将命令的开销减少到最低（仅支持 MMC）。
- 数据块：命令成功发送一个数据块后紧跟一个 CRC 校验。读和写操作允许单个或多个块传输。与连续读相同，当 CMD 信号线上出现停止命令时，多块传输终止。

SDIO 总线上的基本操作是命令/响应操作，这种类型的总线事务直接在命令或响应结构中传递它们的信息。另外，有些操作还有数据令牌。卡与设备之间的数据传输通过块完成。各传输类型如下图所示：

图 30-1 SDIO“无响应”和“无数据”操作

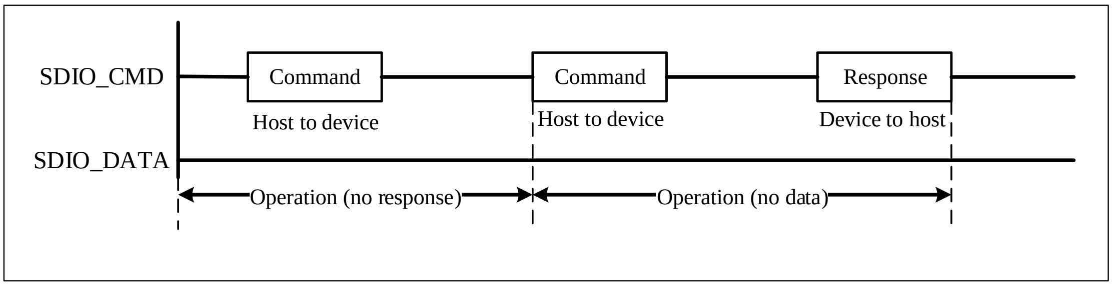


图 30-2 SDIO（多）数据块读操作

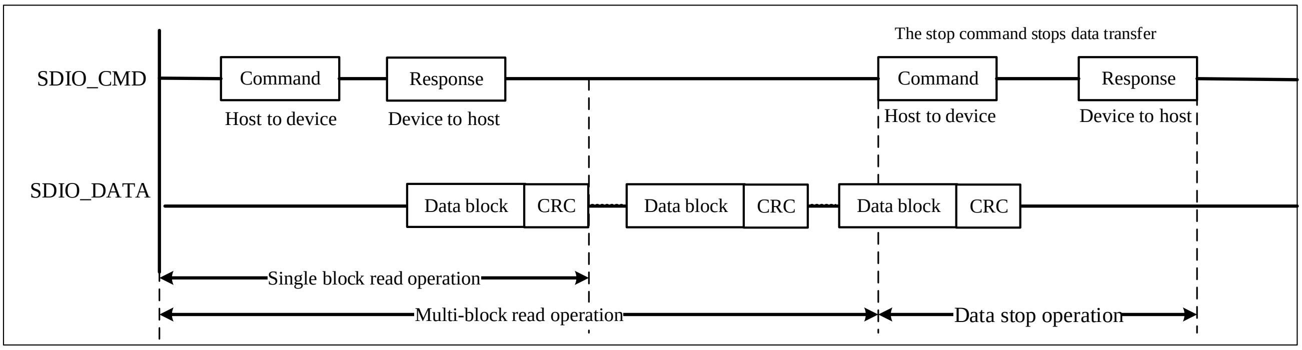
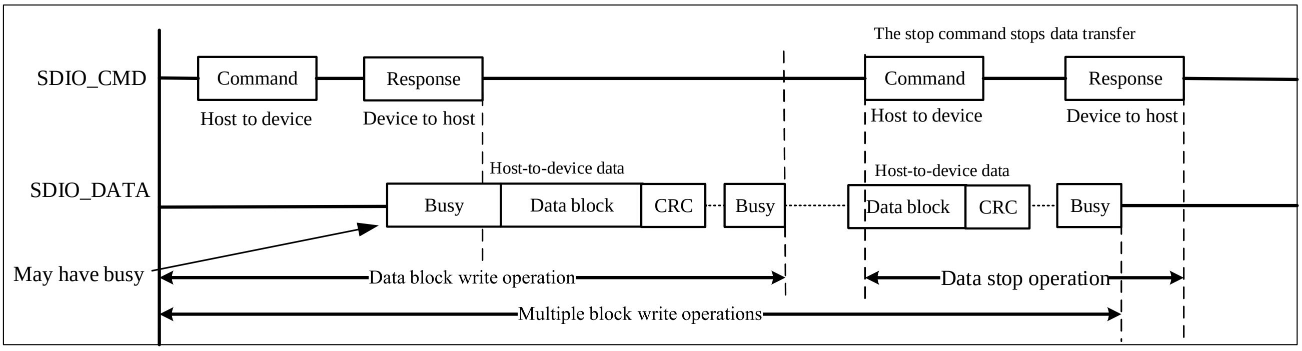


图 30-3 SDIO（多）数据块写操作



注：当有 Busy（繁忙）信号时，SDIO（SDIO_DAT0 被拉低）将不会发送任何数据

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 30-4 SDIO 连续读操作

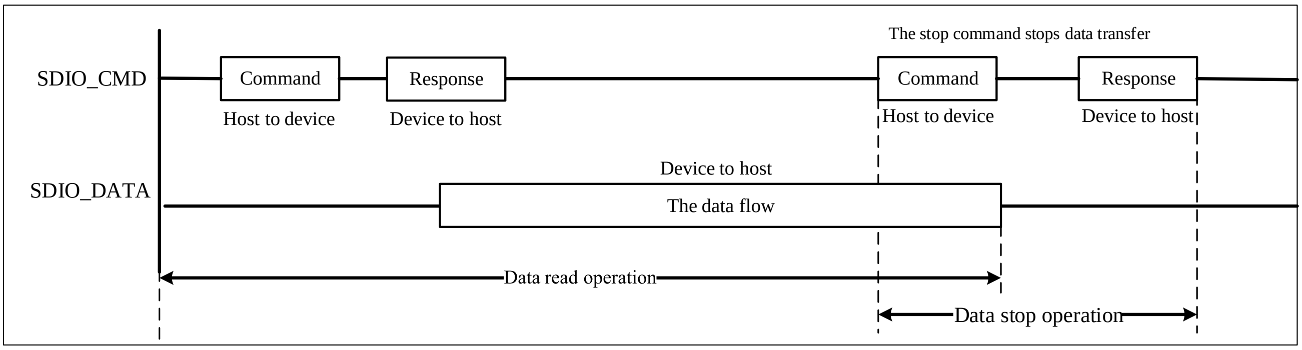
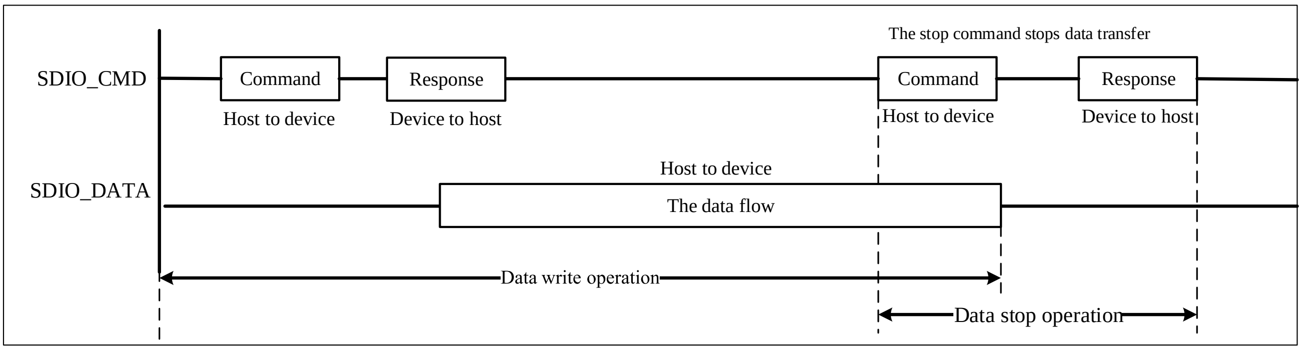


图 30-5 SDIO 连续写操作

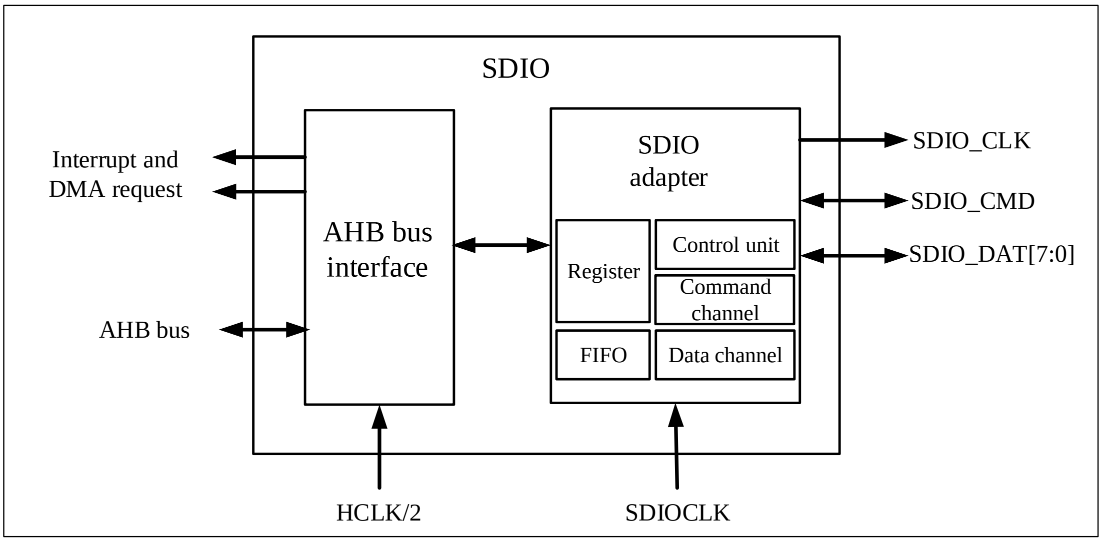


30.3 SDIO 功能描述

图 30-6 为 SDIO 结构框图，主要包含 2 个部分：

- SDIO 适配器：由控制单元、命令单元和数据单元组成，控制单元产生时钟信号、命令单元和数据单元分别管理命令和数据的传输，由此实现所有 MMC/SD/SD I/O 卡的相关功能。
- AHB 总线接口：用于操作 SDIO 适配器模块中的寄存器，控制用于数据传输的 FIFO 单元，并产生中断和 DMA 请求信号。

图 30-6 SDIO 框图

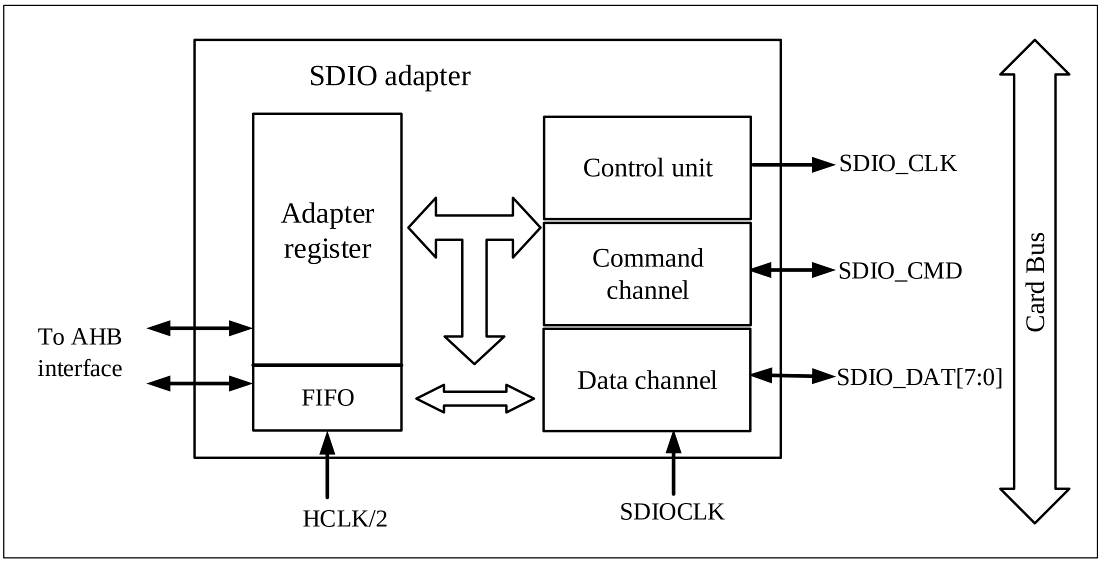


国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

30.3.1 SDIO 适配器

SDIO 适配器简化框图如下图所示：

图 30-7 SDIO 适配器



SDIO 适配器是多媒体/加密数字存储卡总线的主设备（主机），用于连接一组多媒体卡或加密数字存储卡，使用两个时钟信号：SDIO 适配器时钟（SDIOCLK=HCLK 或 HCLK/2）和 AHB 总线时钟（HCLK/2）。

SDIO 适配器包含控制单元、适配器寄存器模块、命令单元、数据单元和数据 FIFO 5 个部分，注意适配器寄存器和 FIFO 使用 AHB 总线时钟（HCLK/2），控制单元、命令通道和数据通道使用 SDIO 适配器时钟（SDIOCLK）。输出到卡总线的信号如下：

表 30-1 MMC/SD/SD I/O 卡总线引脚定义

引脚	方向	说明
SDIO_CLK	输出	多媒体卡/SD/SDIO 卡时钟，从主机至卡的时钟线。
SDIO_CMD	双向	多媒体卡/SD/SDIO 卡命令，双向命令/响应信号线。
SDIO_DAT[7:0]	双向	多媒体卡/SD/SDIO 卡数据，双向数据总线

- SDIO_DAT[7:0]：数据总线信号使用推挽模式。默认情况下，上电或者复位后仅 SDIO_DAT0 用于数据传输。SDIO 适配器在初始化主机后可以配置更宽的数据总线用于数据传输，使用 SDIO_DAT[3:0]或 SDIO_DAT[7:0]（仅适用于 MMC V4.2）。注意 MMC 版本 V3.31 和之前版本的协议只支持 1 位数据线（只能用 SDIO_DAT0）。当 SD 或 SD I/O 卡连接到总线时，可以通过主机配置数据传输使用 SDIO_DAT0 或 SDIO_DAT[3:0]。
- SDIO_CMD：命令/响应信号线，有两种操作模式：
  - 用于初始化的开路模式（仅用于 MMC 版本 V3.31 或之前版本）
  - 用于命令传输的推挽模式（SD/SD I/O 卡和 MMC V4.2 在初始化时也使用推挽驱动）
- SDIO_CLK：SDIO 控制器提供给卡的时钟线。每个时钟周期在命令线和所有数据线上传输 1 位命令或数据。对于不同卡时钟频率的变化范围不同，具体如下：
  - 对于多媒体卡 V3.31 协议，时钟频率可以在 0MHz 至 20MHz 间变化；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

◆ 对于多媒体卡 V4.0/4.2 协议，时钟频率可以在 0MHz 至 48MHz 间变化；

◆ 对于 SD 或 SD I/O 卡，时钟频率可以在 0MHz 至 25MHz 间变化。

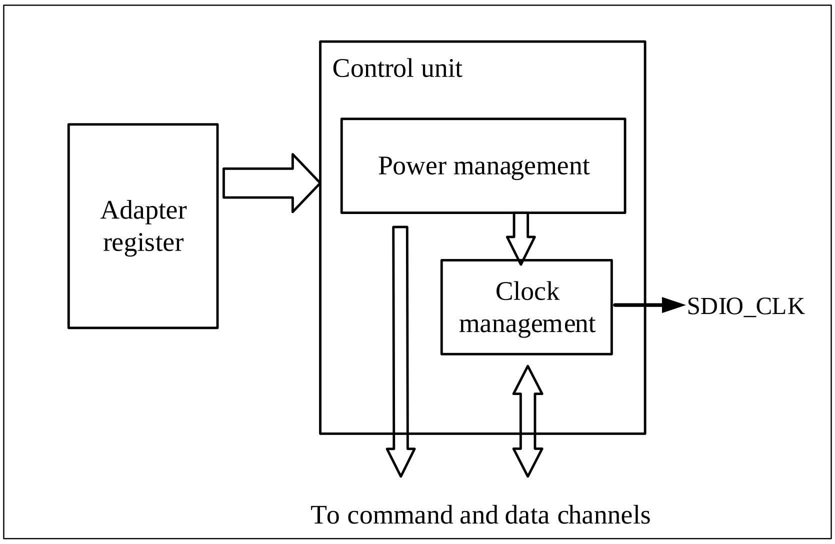
30.3.1.1 适配器寄存器模块

适配器寄存器模块包含所有系统寄存器。该模块还产生清除多媒体卡中静态标记的信号，当在 SDIO 清除寄存器中的相应位写‘1’时会产生清除信号。

30.3.1.2 控制单元

控制单元包含电源管理和时钟管理子单元，用于存储卡识别、初始化、以及时钟控制等。功能框图如下图所示：

图 30-8 SDIO 适配器控制单元



电源管理由 SDIO_PWRCTRL 寄存器控制，实现电源的掉电和上电。共有三种电源阶段：电源关闭、电源启动和电源开。在电源关闭和电源启动阶段，电源管理子单元会关闭卡总线上的输出信号。

时钟管理子单元产生和控制 SDIO_CLK 时钟信号，并输出到卡总线。SDIO_CLK 输出支持时钟分频和时钟旁路模式。当 SDIO_CLKCTRL 寄存器的 CLKBYP 位为 0 时，SDIO_CLK 由 SDIOCLK 分频得到；当 SDIO_CLKCTRL 寄存器的 CLKBYP 位为 1 时，SDIO_CLK 直接为 SDIOCLK。

通过设置 SDIO_CLKCTRL 的 PWRCFG 位可启用省电模式，在总线空闲时关闭 SDIO_CLK。

通过设置 SDIO_CLKCTRL 寄存器的 HWCLKEN 位可使能硬件时钟控制。该功能用于避免 FIFO 下溢和上溢错误，硬件根据系统总线是否繁忙，控制 SDIO_CLK 的开关。当 FIFO 不能接收或发送数据，主机将会关闭 SDIO_CLK 并冻结 SDIO 状态机来避免相关错误。只有状态机能被冻结，但 AHB 接口仍在工作。所以，FIFO 可以通过 AHB 总线访问。

下述三种情况下 SDIO_CLK 时钟没有输出：

■ 复位后

■ 在电源关闭和电源启动阶段

■ 当启动了省电模式并且卡总线处于空闲状态（命令通道和数据通道子单元进入空闲阶段后的 8 个时钟周期）

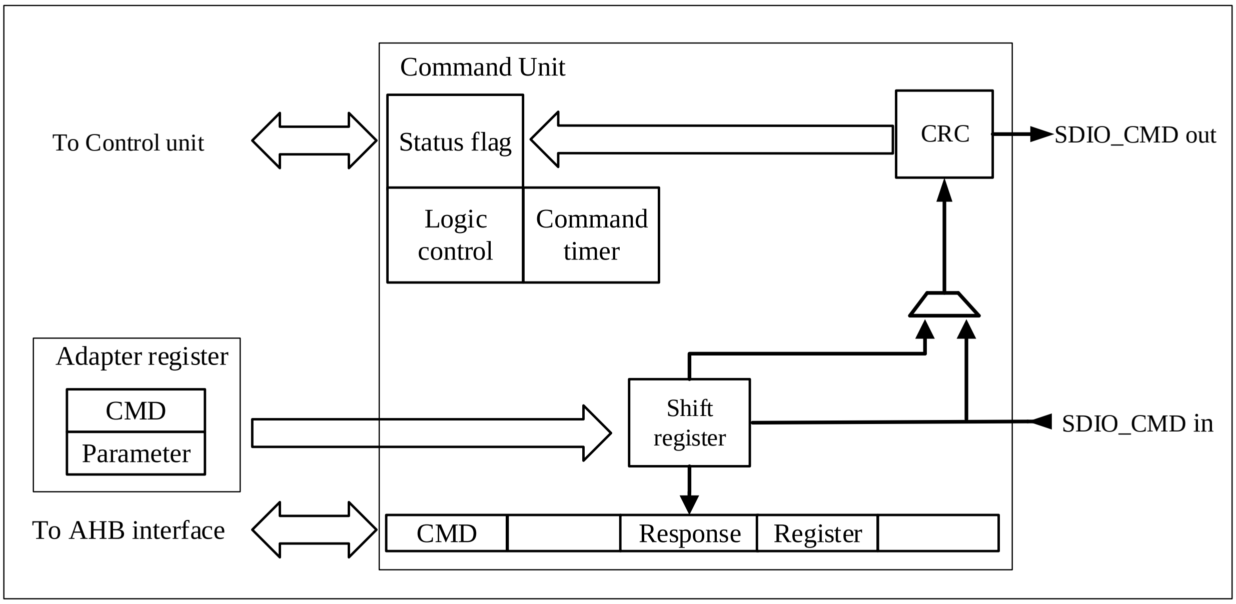
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.

地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

30.3.1.3 命令通道

命令通道单元向卡发送命令并从卡接收响应。命令通道的数据传输流由命令状态机（CPSM）控制。在将 SDIO_CMDCTRL 寄存器的 CPSMEN 位设置为 1 并对其进行一次写操作后，命令传输开始。首先通过 SDIO_CMD 线向卡发送一个 48 位的命令，每个 SDIO_CLK 发送一个比特数据。这个 48 位命令包含 1 位起始位、1 位传输位、6 位命令索引（由 SDIO_ CMDCTRL 寄存器的 CMDIDX 位定义）、32 位参数（由 SDIO_CMDARG 定义）、7 位 CRC 和 1 位停止位。然后在 SDIO_ CMDCTRL 寄存器的 CMDIDX 位不为 0b00 或 0b10 的情况下接收来自卡的响应，响应分为 48 位的短响应和 136 位的长响应，响应都存在 SDIO_RESPONSE1~SDIO_ RESPONSE4 寄存器中。命令单元同样可以产生命令状态标志，这些状态位在 SDIO_STS 寄存器中定义。

图 30-9 SDIO 适配器命令通道

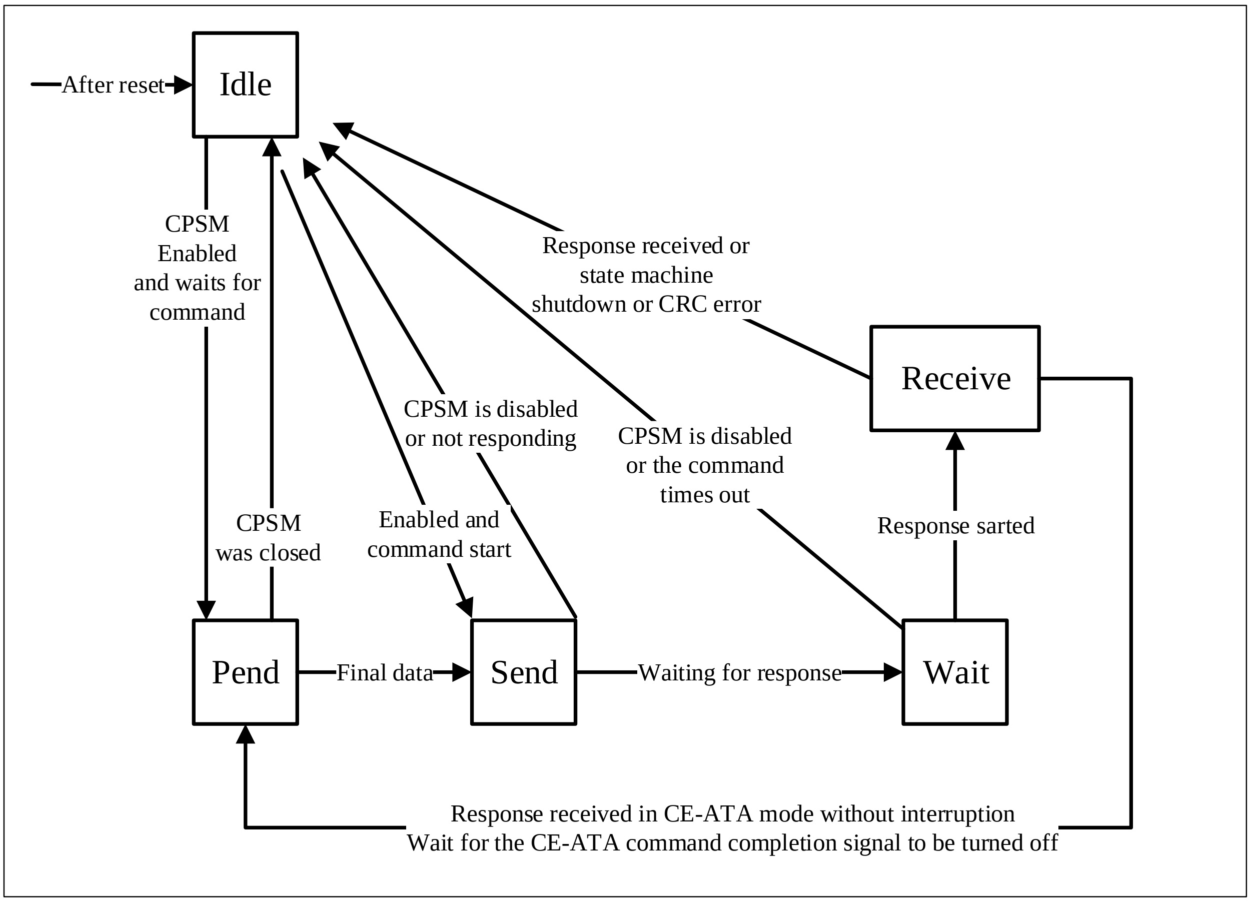


30.3.1.4 命令通道状态机（CPSM）

当写入命令寄存器并设置了使能位，开始发送命令。命令发送完成时，命令通道状态机（CPSM）设置状态标志并在不需要响应时进入空闲状态（见下图）。当收到响应后，接收到的 CRC 码将会与内部产生的 CRC 码比较，然后设置相应的状态标志。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 30-10 命令通道状态机（CPSM）



◆ 空闲（Idle）

该状态为空闲状态，在系统复位后准备发送命令或者命令状态机（CPSM）被关闭后的状态都属于 Idle 状态，当命令状态机（CPSM）被使能的时候，等待数据传输结束（WDATEND）使能或者失能都可以进入 Pend 状态。

注意：命令状态机在空闲状态至少保持 8 个 SDIO_CLK 周期，以满足 NCC 和 NRC 时序限制。NCC 是两个主机命令之间的最小时间间隔，NRC 是主机命令与卡响应之间的最小时间间隔。

◆ 挂起（Pend）

该状态为挂起状态，等待数据传输结束。当数据传输完成后命令状态机由 Pend 状态进入 Send 状态；当命令状态机（CPSM）被关闭后，CPSM 进入 Idle 状态。

◆ 发送（Send）

该状态为发送状态，表示正在发送命令，如果命令发送后有响应，则命令状态机进入 Wait 状态，如果命令发送后无响应，则命令状态机进入 Idle 状态。

◆ 等待（Wait）

该状态为等待状态，等待响应起始位。当进入等待（Wait）状态时，命令定时器开始运行；如果接收到响应，即检测到起始位，命令状态机（CPSM）进入 Receive 状态，当命令状态机（CPSM）进入接收（Receive）状态之前，产生了超时，则设置超时标志并进入空闲（Idle）状态。**注意：**命令超时时间固定为 64 个 SDIO_CLK 时钟周期。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

◆ 接收（Receive）

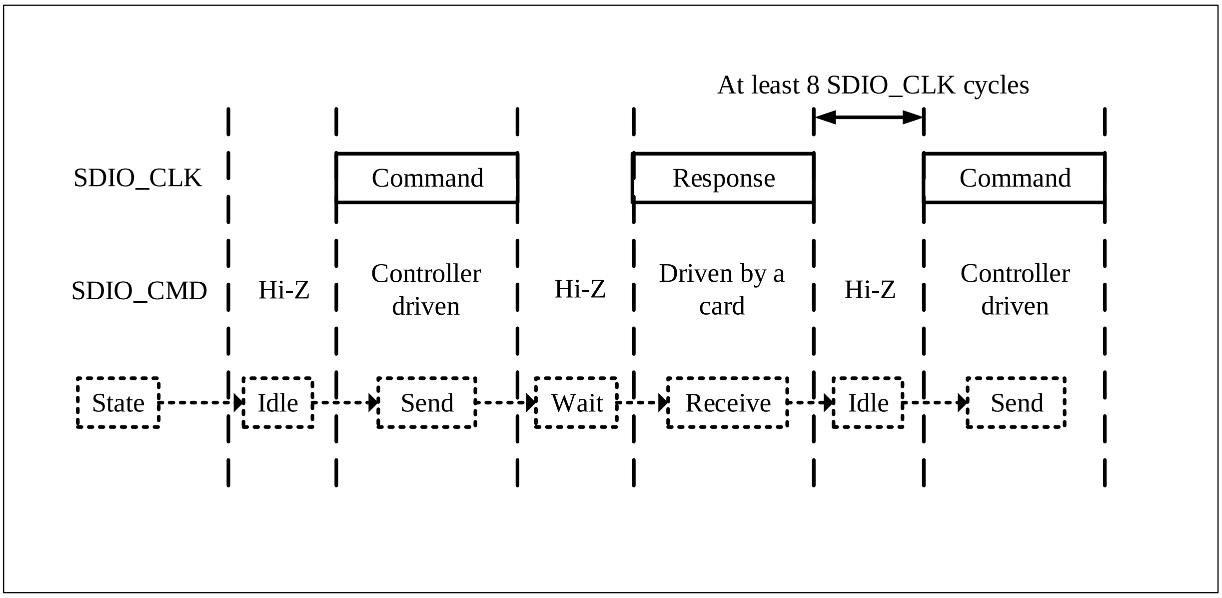
该状态为接收状态，接收响应并检测 CRC。

CPSM 被关闭、收到响应或者命令 CRC 检测失败都会进入 Idle 状态。

◆ 中断（Interrupt）

如果在命令寄存器设置了中断位，则关闭定时器，CPSM 等待某一个卡发出的中断请求。如果命令寄存器中设置挂起位，CPSM 进入挂起（Pend）状态并等待数据通道子单元发出的 CmdPend 信号，在检测到 CmdPend 信号时，CPSM 进入发送（Send）状态，这将触发数据计数器发送停止命令的功能。

图 30-11 SDIO 命令传输



■ 命令寄存器

命令寄存器包含了发至卡的 6 位命令索引和命令类型；命令本身决定了是否需要响应和响应的类型（48 位还是 136 位）。命令通道中的状态标志示于下表：

表 30-2 命令通道状态标志

标志	说明
SDIO_STS.CMDRESPRECV	响应的 CRC 正确
SDIO_STS.CCRCERR	响应的 CRC 错误
SDIO_STS.CMDSEND	命令（不需要响应的命令）已经送出
SDIO_STS.CMDTIMEOUT	响应超时
SDIO_STS.CMDRUN	正在发送命令

■ CRC 发生器

CRC 发生器计算 CRC 码之前所有位的 CRC 校验和，包括开始位、发送位、命令索引和命令参数（或卡状态）。对于长响应格式，CRC 校验和计算的是 CID 或 CSD 的前 120 位；注意，长响应格式中的开始位、传

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

输位和 6 个保留位不参与 CRC 计算。

CRC 校验和是一个 7 位的数值：CRC[6:0] = 余数[(M(x) * x^7) / G(x)]

其中：

$G(x) = x^7 + x^3 + 1$

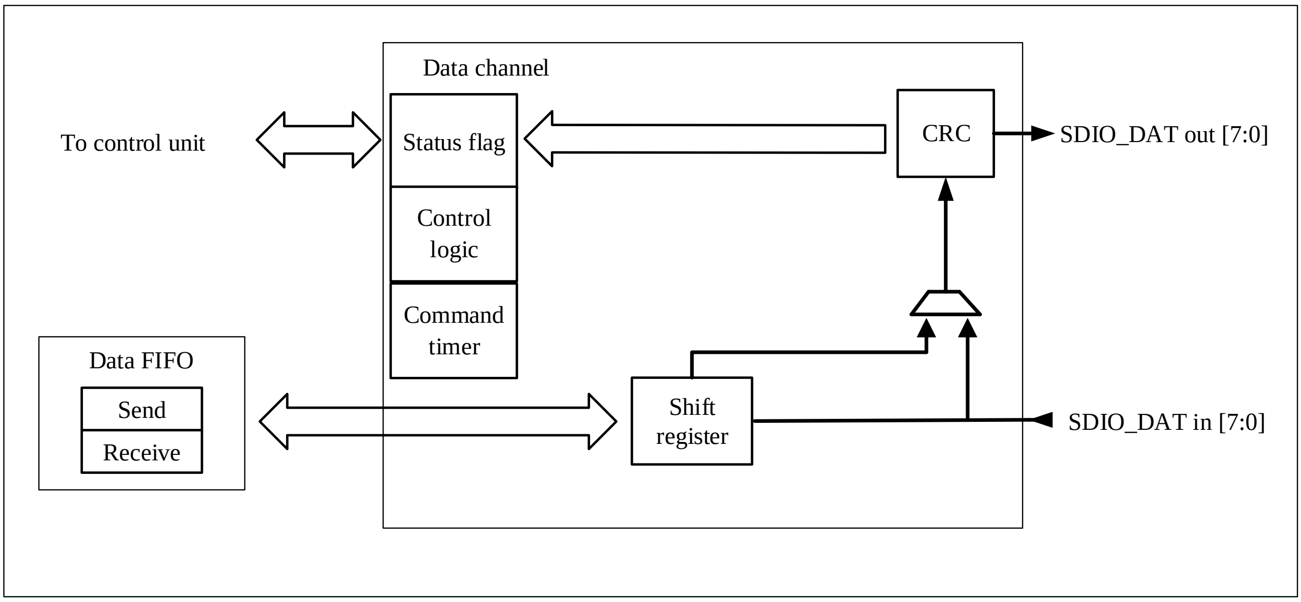
M(x) =（开始位）* x^{39} +…+（CRC 前的最后一位）* x^0，或

M(x) =（开始位）* x^{119} +…+（CRC 前的最后一位）* x^0。

30.3.1.5 数据通道

数据通道实现主机与卡之间的数据传输。下图是数据通道的框图

图 30-12 SDIO 数据通道



在时钟控制寄存器（SDIO_CLKCTRL）中可以配置卡的数据总线宽度。当数据宽度为 4 位（SDIO_CLKCTRL 寄存器的 BUSMODE 位为 0b01）时，每个时钟周期 SDIO_DAT[3:0]四条数据信号线上将传输 4 位数据；当数据宽度为 8 位（SDIO_CLKCTRL 寄存器的 BUSMODE 位为 0b10）时，则每个时钟周期 SDIO_DAT[7:0]八条数据信号线上将传输 8 位数据；当数据宽度为 1 位（SDIO_CLKCTRL 寄存器的 BUSMODE 位为 0b00）或者没有选择总线模式时，每个时钟周期只在 SDIO_DAT0 上传输 1 位数据。

数据传输流由数据通道状态机（DPSM）控制。在对 SDIO_DATCTRL 寄存器进行一次写操作并将 SDIO_DATCTRL 寄存器的 DATEN 位置为 1，数据传输开始。当 SDIO_DATCTRL 寄存器的 DATDIR 位为 0 时，数据是从控制器到卡；当 DATDIR 位为 1 时，数据是从卡到控制器。数据单元同样可以产生数据状态标志（在 SDIO_STS 寄存器中定义）。

根据传输的方向（发送或接收），使能时数据通道状态机（DPSM）将进入 Wait_S 或 Wait_R 状态：

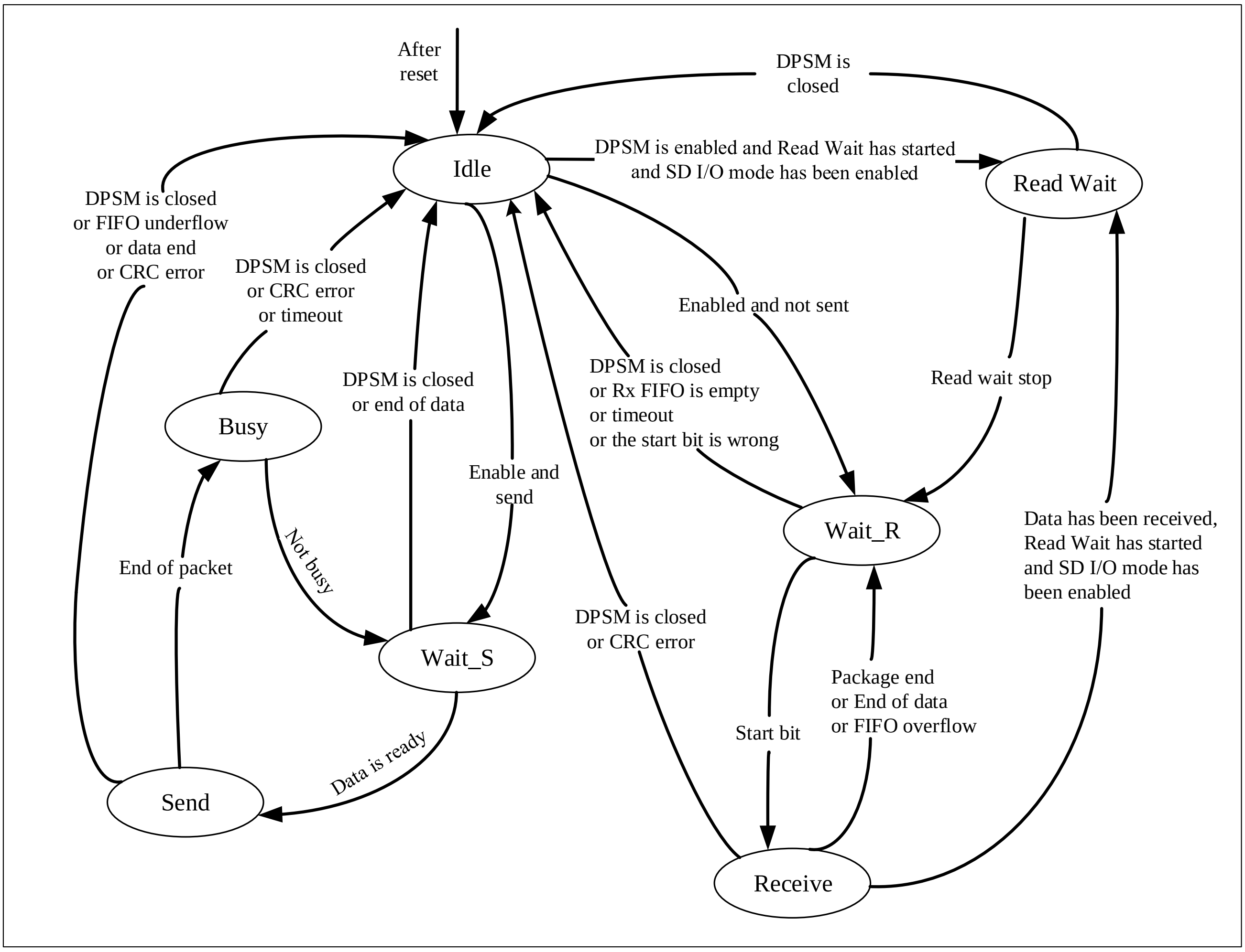
- 发送： DPSM 进入 Wait_S 状态。如果发送 FIFO 中有数据，则 DPSM 进入发送状态，同时数据通道子单元开始向卡发送数据。
- 接收： DPSM 进入 Wait_R 状态并等待开始位；当收到开始位时，DPSM 进入接收状态，同时数据通道子单元开始从卡接收数据。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

30.3.1.6 数据通道状态机（DPSM）

数据通道状态机（DPSM）工作在 SDIO_CLK 频率，卡总线信号与 SDIO_CLK 的上升沿同步。DPSM 有 6 个状态，如下图所示：

图 30-13 数据通道状态机（DPSM）



■ 空闲（Idle）：

在该状态，数据通道不工作，等待发送和接收数据，SDIO_DAT[7:0]输出处于高阻状态。当写入数据控制寄存器并设置使能位时， DPSM 为数据计数器加载新的数值，当数据传输方向为主机到卡时进入 Wait_S 状态，当数据传输方向为卡到主机进入 Wait_R 状态。当 DPSM 使能、读等待已经开始、并且使能了 SD I/O 模式时进入 Read Wait 状态。

■ 等待接收（Wait_R）：

在该状态，DPSM 等待接收数据的起始位。如果数据超时（计数器等于 0，接收 FIFO 为空）DPSM 进入到空闲（Idle）状态。如果数据计数器不等于 0，DPSM 等待 SDIO_DAT 上的开始位；如果 DPSM 在超时之前接收到一个开始位，它会进入接收（Receive）状态并加载数据块计数器。如果 DPSM 在检测到一个开始位前出现超时，或发生开始位错误，DPSM 将进入空闲状态并设置超时状态标志。

■ 接收（Receive）：

该状态 DPSM 接收卡的数据并将其写入数据 FIFO。根据数据控制寄存器中传输模式位的设置，数据传

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

输模式可以是块传输或流传输。

- ◆ 在块模式下，当数据块计数器达到 0 时，DPSM 等待接收 CRC 码，如果接收到的代码与内部产生的 CRC 码匹配，则 DPSM 进入 Wait_R 状态，否则设置 CRC 失败状态标志同时 DPSM 进入到空闲状态。
- ◆ 在流模式下，当数据计数器不为 0 时，DPSM 接收数据；当计数器为 0 时，将移位寄存器中的剩余数据写入数据 FIFO，同时 DPSM 进入 Wait_R 状态。如果产生了 FIFO 上溢错误，DPSM 设置 FIFO 的错误标志并进入空闲状态。

■ 等待发送（Wait_S）：

在该状态，DPSM 等待数据 FIFO 为空标志无效或者数据传输结束。如果数据计数器为 0，DPSM 进入空闲状态；否则 DPSM 等待数据 FIFO 空标志消失后，进入发送状态。**注意：**DPSM 会在 Wait_S 状态保持至少 2 个时钟周期，以满足 NWR 的时序要求， NWR 是接收到卡的响应至主机开始数据传输的间隔。

■ 发送（Send）：

在该状态，DPSM 开始发送数据到卡设备。根据数据控制寄存器中传输模式位的设置，数据传输模式可以是块传输或流传输：

- ◆ 在块模式下，当数据块计数器达到 0 时， DPSM 发送内部产生的 CRC 码，然后是结束位，并进入繁忙状态。
- ◆ 在流模式下，当使能位为高同时数据计数器不为 0 时，DPSM 向卡设备发送数据，然后进入空闲状态。
- ◆ 如果产生了 FIFO 下溢错误，DPSM 设置 FIFO 的错误标志并进入空闲状态。

■ 繁忙（Busy）：

在该状态，DPSM 等待 CRC 状态标志：

- ◆ 如果没有接收到正确的 CRC 状态，则 DPSM 进入空闲状态并设置 CRC 失败状态标志。
- ◆ 如果接收到正确的 CRC 状态，并且卡不繁忙时（SDIO_DAT0 不为低）DPSM 进入 Wait_S 状态。
- ◆ 如果没有接收到正确的 CRC 状态，则 DPSM 进入空闲状态并设置 CRC 失败状态标志。
- ◆ 如果数据超时 DPSM 则设置数据超时标志并进入空闲状态。
- ◆ 当 DPSM 处于 Wait_R 或繁忙状态时，数据定时器被使能，并能够产生数据超时错误：
- ◆ 发送数据时，如果 DPSM 处于繁忙状态超过程序设置的超时间隔，则产生超时。
- ◆ 接收数据时，如果未收完所有数据，并且 DPSM 处于 Wait_R 状态超过程序设置的超时间隔，则产生超时

30.3.1.7 数据传输

数据可以从主机传送到卡，也可以反向传输。

数据在数据线上传输。数据存储在一个 32 字深度的 FIFO 中，每个字为 32 位宽。

表 30-3 数据令牌格式

说明	开始位	数据	CRC16	结束位

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

块数据	0	-	有	1
流数据	0	-	无	1

30.3.1.8 数据 FIFO

数据 FIFO 单元有一个数据缓冲区，用于发送和接收数据缓冲。FIFO 包含一个数据缓冲区以及发送与接收电路，其中缓冲区大小为每字 32 位宽、共 32 个字（深度为 32 字）。数据 FIFO 工作在 AHB 时钟区域（HCLK/2），所有与 SDIO 时钟区域（SDIOCLK）连接的信号都进行了重新同步。

依据 SDIO_STS.TXRUN 和 SDIO_STS.RXRUN 标志，可以关闭 FIFO、使能发送或使能接收。SDIO_STS.TXRUN 和 SDIO_STS.RXRUN 由数据通道子单元设置而且是互斥的：

- 当 SDIO_STS.TXRUN 有效时，发送 FIFO 代表发送电路和数据缓冲区
- 当 SDIO_STS.RXRUN 有效时，接收 FIFO 代表接收电路和数据缓冲区

发送 FIFO：当使能了 SDIO 的发送功能，数据可以通过 AHB 接口写入发送 FIFO，共有 32 个连续的地址。发送 FIFO 中有一个数据输出寄存器，包含读指针指向的数据字。当数据通道子单元装填了移位寄存器后，它移动读指针至下个数据并传输出数据。如果未使能发送 FIFO，所有的状态标志均处于无效状态。当发送数据时，数据通道子单元设置 SDIO_STS.TXRUN 为有效。

表 30-4 发送 FIFO 状态标志

标志	说明
SDIO_STS.TFIFOF	当所有 32 个发送 FIFO 字都有有效的数据时，该标志为高。
SDIO_STS.TFIFOE	当所有 32 个发送 FIFO 字都没有有效的数据时，该标志为高。
SDIO_STS.TFIFOHE	当 8 个或更多发送 FIFO 字为空时，该标志为高。该标志可以作为 DMA 请求。
SDIO_STS.TDATVALID	当发送 FIFO 包含有效数据时，该标志为高。该标志的意思刚好与 TFIFOE 相反。
SDIO_STS.TXURERR	当发生下溢错误时，该标志为高。写入 SDIO 清除寄存器时清除该标志。

接收 FIFO：当数据通道子单元接收到一个数据字，它会把数据写入 FIFO，写操作结束后，写指针自动加一；在另一端，有一个读指针始终指向 FIFO 中的当前数据。如果关闭了接收 FIFO，所有的状态标志会被清除，读写指针也被复位。在接收到数据时数据通道子单元设置 RXRUN。下表列出了接收 FIFO 的状态标志。通过 32 个连续的地址可以访问接收 FIFO。

表 30-5 接收 FIFO 状态标志

标志	说明
SDIO_STS.RFIFOF	当所有 32 个接收 FIFO 字都有有效的数据时，该标志为高。
SDIO_STS.RFIFOE	当所有 32 个接收 FIFO 字都没有有效的数据时，该标志为高。
SDIO_STS.RFIFOHF	当 8 个或更多接收 FIFO 字为空时，该标志为高。该标志可以作为 DMA 请求。
SDIO_STS.RDATVALID	当接收 FIFO 包含有效数据时，该标志为高。该标志的意思刚好与 RFIFOE 相反。
SDIO_STS.RXORERR	当发生下溢错误时，该标志为高。写入 SDIO 清除寄存器时清除该标志。

30.3.2 SDIO AHB 接口

AHB 接口用于访问 SDIO 寄存器、数据 FIFO 和生成中断和 DMA 请求。它包含一个数据通道、寄存器译码器和中断/DMA 控制逻辑。

30.3.2.1 SDIO 中断

当至少有一个选中的状态标志为高时，中断控制逻辑产生中断请求。中断使能寄存器允许中断逻辑产生相应

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

的中断。

30.3.2.2 SDIO/DMA 接口

DMA 接口提供一种方法，可以快速地在 SDIO 数据 FIFO 和存储器之间直接进行数据传输。

下面的例子详细描述了如何实现这种方法。主机控制器使用 CMD24（WRITE_BLOCK）从主机传送 512 字节到 MMC 卡，DMA 控制器用于从存储器向 SDIO 的 FIFO 填充数据。

1. 完成卡识别过程
2. 提高 SDIO_CLK 时钟频率
3. 发送 CMD7 命令用于选择卡并配置总线宽度
4. DMA 的配置过程如下：
    a) 使能 DMA 控制器并清除所有的中断标志位。
    b) 用存储器缓冲区的基地址来设置 DMA 通道的源地址寄存器，用 SDIO_FIFO 寄存器的地址来配置 DMA 通道的目的地址寄存器。
    c) 设置 DMA 通道的控制寄存器（存储器地址指针递增，外设地址指针固定，存储器和外设的数据宽度为字宽度）。
    d) 使能 DMA 通道。
5. 写数据块（CMD24）的过程如下：
    a) 设置 SDIO 数据长度寄存器，将数据大小（以字节为单位）写入到 SDIO_DATLEN 寄存器中，块大小（以字节为单位）写入到 SDIO_DATCTRL 寄存器中，然后主机以每个块大小（BLKSIZE）发送数据。
    b) 向 SDIO 参数寄存器 SDIO_CMDARG 中写入数据的地址，该地址为卡中需要传送数据的地址。
    c) 设置 SDIO 命令控制寄存器（SDIO_CMDCTRL）：CMDIDX[5:0]置为 24（WRITE_BLOCK）；CMDRESP[1:0]置为 0 了 0b01（SDIO 卡主机等待短响应）；CPSMEN 置为 1（使能 SDIO 卡主机发送命令），其它字段为其复位值。
    d) 等待状态寄存器 SDIO_STS.CMDRESPRECV，然后配置 SDIO 数据控制寄存器 SDIO_DATCTRL：DATEN 置 1（SDIO 卡主机发送数据使能）； DATDIR 置 0（传输方向从控制器到卡）；TRANSMOD 置 0（块数据传送）；DMAEN 置为 1（DMA 使能）； BLKSIZE[3:0]置为 9（512 字节）；其它字段不用设置。
    e) 等待状态寄存器 SDIO_STS.DATBLKEND 标志位置位。
6. 查询 DMA 通道的使能状态寄存器，确认没有通道仍处于使能状态。

30.4 卡功能描述

30.4.1 工作电压范围确认

所有的卡都可以使用任何规定范围内的电压与 SDIO 卡主机通信，可支持的最小和最大电压 VDD 数值由卡上的操作条件寄存器（OCR）定义。在主机和卡之间开始通信时，主机可能不知道卡支持的电压，并且卡可能不知道主机能否提供其支持的电压。为了验证电压，需要一系列特殊的命令，这些特殊的命令都在相关规范中

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

定义。

在协议规范中定义的命令包括：CMD1（SEND_OP_COND，用于 MMC）、ACMD41（SD_APP_OP_COND，用于 SD 存储卡）和 CMD5（IO_SEND_OP_COND，用于 SD I/O 卡）。这些命令提供给主机一种机制去识别和拒绝那些不匹配主机所需的 VDD 范围的卡。这是因为内部存储器存储了卡识别号（CID）和卡特定数据（CSD）的卡，仅能在数据传输 VDD 条件下传送这些信息。当 SDIO 卡主机模块与卡的 VDD 范围不一致时，卡将不能完成识别周期，也不能发送 CSD 数据；因此，在 VDD 范围不匹配时，SDIO 卡主机可以用这些特殊命令去识别和拒绝卡。 SDIO 卡主机在执行这几个命令时会产生需要的 VDD 电压。不能在指定的电压范围进行数据传输的卡，将从总线断开并进入非激活状态。

如果该卡不能工作在所提供的电压下，它不返回响应，并保持在空闲状态。初始化 SDHC 卡时强制性的在 ACMD41 命令之前发送 CMD8。CMD8 是让该卡知道主机支持物理层 2.00 协议及支持高版本的功能。如果该卡可以工作在所提供的电压下，响应将返回供电电压和在命令参数中设置的检查模式。

30.4.2 卡复位

CMD0 命令（GO_IDLE_STATE）是一个软件复位命令，它设置多媒体卡（MMC）和 SD 存储卡进入空闲状态（Idle State）。不管当前卡的状态是什么。复位命令（CMD0）仅用于存储器或组合卡的存储器部分。CMD52 命令（IO_RW_DIRECT）复位 SD I/O 卡。在非激活状态（Inactive State）的卡不受此命令的影响。

主机上电后，所有的卡都处于空闲状态（Idle State），包括之前已在非激活状态（Inactive State）的卡。上电后或执行 CMD0 后，所有卡的输出端都处于高阻状态。所有卡的 CMD 线处于输入模式，等待下一个命令的起始位，同时所有卡都被初始化至一个默认的相对卡地址（RCA=0x0001），并用默认 400kHz 的时钟频率驱动器（最低的速度，最大的电流驱动能力）。

30.4.3 卡识别模式

主机复位后进入卡识别模式，寻找总线上的新卡。在卡识别模式下，主机复位所有的卡，验证工作电压范围，识别卡并询问每个卡的相对卡地址（RCA）。这个操作是在每个卡自己的命令信号线 CMD 上分别完成的。在卡识别模式中的所有数据通信只使用命令信号线（CMD）。在卡识别过程中，卡应该工作在时钟频率为 F_{OD} (400 kHz)的情况下。

30.4.4 卡识别过程

不同卡的识别过程是不一样的；对于多媒体卡，卡识别过程以时钟频率 F_{od} 开始，所有 SDIO_CMD 输出为开路驱动，允许在这个过程中的卡的并行连接。

多媒体卡识别过程如下：

1. 总线被使能。
2. SDIO 卡主机广播发送 CMD1（SEND_OP_COND）命令，并接收操作条件，得到所有卡的操作条件寄存器内容的“线与”。
3. 如果卡不兼容则会被置于非激活状态。
4. SDIO 卡主机广播发送 CMD2 命令（ALL_SEND_CID）至所有激活的卡，所有激活的卡同时串行地发送他们的 CID 号，那些检测到输出的 CID 位与命令线上的数据不相符的卡必须停止发送，并等待下一个识别周期。最终只有一个卡能够成功地传送完整的 CID 至 SDIO 卡主机并进入识别状态。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

5. SDIO 卡主机发送 CMD3 命令（SET_RELATIVE_ADDR）至这个卡，这个新的地址被称为相对卡地址（RCA），它比 CID 短，用于对卡寻址。至此，这个卡转入待机状态，并不再响应新的识别过程，同时它的输出驱动从开路转变为推挽模式。
6. SDIO 卡主机重复上述步骤 4 和步骤 5，直到收到超时条件。

SD 卡识别过程以时钟频率 F_{od} 开始，所有 SDIO_CMD 输出为推挽驱动而不是开路驱动，识别过程如下：

1. 总线被使能。
2. SDIO 卡主机广播发送 ACMD41(SEND_APP_OP_COND)命令，得到所有卡的操作条件寄存器的内容。
3. 如果卡不兼容，则会被置于非激活状态。
4. SDIO 卡主机广播发送 CMD2（ALL_SEND_CID）至所有激活的卡，所有激活的卡返回他们唯一卡识别号（CID）并进入识别状态。
5. SDIO 卡主机发送 CMD3（SET_RELATIVE_ADDR）命令和一个地址到一个激活的卡，这个新的地址被称为相对卡地址（RCA），它比 CID 短，用于对卡寻址。至此，这个卡转入待机状态。SDIO 卡主机可以再次发送该命令更改 RCA，卡的 RCA 将是最后一次的赋值。
6. SDIO 卡主机对所有激活的卡重复上述步骤 4 和步骤 5，直到收到超时条件。

SD I/O 卡识别过程如下：

1. 总线被使能。
2. SDIO 卡主机发送 CMD5（IO_SEND_OP_COND）命令，得到卡的操作条件寄存器的内容。
3. 如果卡不兼容则会被置于非激活状态。
4. SDIO 卡主机发送 CMD3（SET_RELATIVE_ADDR）命令和一个地址到一个激活的卡，这个新的地址被称为相对卡地址（RCA），它比 CID 短，用于对卡寻址。至此，这个卡转入待机状态。 SDIO 卡主机可以再次发送该命令更改 RCA，卡的 RCA 将是最后一次的赋值。

30.4.5 写数据块

执行写数据块命令（CMD24-27）时，一个或多个数据块从主机传送到卡中，数据块由起始位（1 位或 4 位低电平），数据块，CRC 和结束位（1 位或 4 位高电平）组成。如果 CRC 校验错误，卡通过 SDIO_DAT 信号线指示传输失败，传送的数据被丢弃而不被写入，并且所有后续（在多块写模式下）传送的数据块将被忽略。

如果主机传送部分数据，而累计的数据长度未与数据块对齐，并且块错位是不允许的（未设置 CSD 的参数 WRITE_BLK_MISALIGN），卡将在第一个未对齐块的开始之前检测块错位错误（设置状态寄存器中的 ADDRESS_ERROR 错误位），并同时忽略后续的数据传输。当主机试图写一个写保护区域时，写操作也会被中止，在这种情况下，卡将设置状态寄存器中 WP_VIOLATION 位。

设置 CID 和 CSD 寄存器不需要事先设置块长度，传送的数据也是通过 CRC 保护的。如果 CSD 或 CID 寄存器的一部分是存储在 ROM 中，那么这个不可改变的部分必须与接收缓冲区的对应部分相匹配，如果有不一致之处，卡将报告一个错误同时不修改任何寄存器的内容。

有些卡可能需要很长的或者不可预计的时间完成一个数据块的写入，在接收一个数据块并完成 CRC 检验后，卡将开始写操作，如果写缓冲区已经满并且不能再从新的 WRITE_BLOCK 命令接受新的数据时，它会把 SDIO_DAT 信号线拉低。主机可以在任何时候使用 SEND_STATUS（CMD13）查询卡的状态，并且卡将返回当前状态。状态位 READY_FOR_DATA 指示卡是否可以接受新的数据或写操作是否还在进行。主机可以

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

通过发送 CMD7 命令不选中该卡（选择另一个卡），而把这个卡置于断开状态，这样可以释放 SDIO_DAT 信号线而不中断未完成的写操作；当重新选择了一个卡，如果写操作仍然在进行并且写缓冲区仍不能使用，它会重新通过拉低 SDIO_DAT 信号线指示忙的状态。

30.4.6 读数据块

读数据块是基于块的数据传输，数据传输的基本单元是数据块，块的大小在 CSD 中（READ_BL_LEN）定义。如果 READ_BL_PARTIAL 被设置时，较小的数据块也可以被传输，其开始和结束地址完全包含在 512 个字节的边界中，READ_BL_LEN 定义了物理块的大小。

CMD17（READ_SINGLE_BLOCK）表示开始读一个数据块，在传输结束后卡返回到发送状态。CMD18（READ_MULTIPLE_BLOCK）开始读连续多个数据块。为了保证数据传输的完整性，每个数据块后都有一个 CRC 校验码。

块长度由 CMD16 设置，可以设置为 512 字节而忽略 READ_BL_LEN 的设置。

主机可以在多数据块读操作的任何时候中止操作，而不管操作的类型。发送停止传输命令（CMD12）即可中止操作。由于串行命令传输原因，停止命令有一个执行的延迟。在停止命令的结束位之后停止数据传输。

当使用 CMD18 读到用户区的最后一个块时，主机应该忽略可能会出现的 OUT_OF_RANGE 错误，即使序列是正确的。

如果在多数据块读操作中（任一种类型）卡检测到错误（例如：越界、地址错位或内部错误），它将停止数据传输并仍处于数据状态；此时主机必须发送停止传输命令中止操作。在停止传输命令的响应中报告读错误。如果主机发送停止传输命令时，卡已经传输完一个确定数目的多个数据块操作中的最后一个数据块，因为此时卡已经不在数据状态，主机会得到一个非法命令的响应。如果主机传输的部分块的累积长度不是块对齐并且不允许块错位，卡将在第一个未对齐块的开始检测出块错位，并在状态寄存器中设置 ADDRESS_ERROR 错误标志，中断传输和等待在数据状态的停止命令。

30.4.7 数据流操作（只适用于多媒体卡）

数据流操作包括数据流写和数据流读。在数据流模式，数据按字节传输，同时每个数据块后没有 CRC。

30.4.7.1 数据流写

数据流写 CMD20（WRITE_DAT_UNTIL_STOP）开始将数据从主机传输至卡，从起始地址开始连续传输，直到主机发出停止命令。如果允许部分数据块传输（CSD 参数 WRITE_BL_PARTIAL 被设置），数据流可以在卡的地址空间中的任意地址启动和停止，否则数据流应只能在数据块的边界启动和停止。由于不预先确定要传输的数据量，所以不能使用 CRC 校验。如果发送数据时达到了存储器的最大地址，即使 SDIO 卡主机没有发送停止命令，随后传输的数据也会被丢弃。

如果主机提供了一个超出范围的地址作为参数传递给 CMD20，卡将拒绝该命令，留在传输状态，并将 ADDRESS_OUT_OF_RANGE 置位；需要注意的是数据流写命令只适用于 1 位总线配置（DAT0 信号线上）。如果 CMD20 在其它总线配置中发出的，它被认为是非法的命令。

数据流写入操作最大的时钟频率由下面给出的公式计算：

$$Max\_Write\_Frequence = Min(TRAN\_SPEED, \frac{8 \times 2^{WRITE\_BL\_LEN} - 100 \times NSAC}{TAAC \times R2W\_FACTOR})$$

- $Max\_Write\_Frequence$ ：最大写频率

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.

地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- TRAN_SPEED ：最大的总线时钟频率
- WRITE_BL_LEN ：最大写数据块长度
- NSAC ：以 CLK 周期计算的数据读操作时间 2
- TAAC：数据读操作时间 1
- R2W_FACTOR：写速度因子

所有的参数在 CSD 寄存器中定义。如果主机试图使用更高的频率，卡可能无法对数据进行处理，并停止编程，同时将状态寄存器中的错误位 SDIO_STS.RXORERR 置 1，并忽略所有后续的数据传输，等待（在接收数据状态）停止命令。如果主机试图在写保护区域写入数值，写操作将被中止，同时卡将 WP_VIOLATION 位置 1。

30.4.7.2 数据流读

数据流数据传输由 READ_DAT_UNTIL_STOP（CMD11）命令控制。

这个命令要求卡从指定的地址读出数据，直到 SDIO 卡主机发送一个 STOP_TRANSMISSION（CMD12）命令为止。由于串行命令传输的延迟，停止命令的执行会有一定的延迟，所以，在停止命令的结束位后数据传送才会停止。如果主机提供了一个超出范围的地址作为参数传递给 CMD11，卡将拒绝该命令，留在传输状态，SDIO 卡主机没有发送停止命令，随后传输的数据也被视为是无效数据。

还有一点需要注意的是数据流读取命令只工作在 1 位总线模式（DAT0 信号线）。如果在其它总线配置中发出 CMD11，则该命令被认为是非法的命令。

数据流读操作的最大时钟频率可以通过下式计算

$$\text{Max\_Read\_Frequence} = Min(TRAN\_SPEED, \frac{8 \times 2^{READ\_BL\_LEN} - 100 \times NSAC}{TAAC \times R2W\_FACTOR})$$

- Max_Read_Frequence：最大读频率
- TRAN_SPEED：最大数据传输率
- READ_BL_LEN：最大读数据块长度
- NSAC：以 CLK 周期计算的数据读操作时间 2
- TAAC：数据读操作时间 1
- R2W_FACTOR：写速度因子

如果主机试图使用更高的频率，卡将不能处理数据传输，此时卡在状态寄存器中设置 SDIO_STS.TXURERR 错误位，中止数据传输并在数据状态等待停止命令。

30.4.8 擦除

擦除包括成组擦除和扇区擦除。多媒体卡的擦除单位是擦除组，卡的基本写入单位是写数据块，擦除组是以写数据块计算的。擦除组的大小是卡的特定参数，在 CSD 中定义。

主机可以擦除连续范围的擦除组，开始擦除操作包含三个步骤。首先，主机使用 ERASE_GROUP_START（CMD35）命令定义连续范围内的起始地址，然后使用 ERASE_GROUP_END（CMD36）命令定义连续范围的结束地址，最后发送擦除命令 ERASE（CMD38）启动擦除操作。在擦除命令中，地址域是以字节为单位的擦除组地址。卡会舍弃未与擦除组大小对齐的部分，把地址边界对齐到擦除组的边界。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

如果未按照上述步骤接收到擦除命令（CMD35、CMD36、CMD38），卡应该将状态寄存器中的 ERASE_SEQ_ERROR 位置位，并重新开始擦除操作（等待第一个步骤）。

如果收到了除 SEND_STATUS 和擦除命令之外的其它命令，卡应该将状态寄存器中的 ERASE_RESET 置位，重置擦除序列并执行新的命令。

如果擦除范围包含了写保护数据块，则写保护区域不被擦除，只有非保护块才可被擦除，同时卡应该将状态寄存器中的 WP_ERASE_SKIP 状态位置位。

如果主机提供了一个超出范围的地址作为参数传递给 CMD35 或 CMD36，卡将拒绝该命令，同时将状态寄存器中的 ADDRESS_OUT_OF_RANGE 位置位，并重置整个擦除序列。

在整个擦除过程中，卡拉低 SDIO_DAT 信号。实际的擦除时间可能很长，主机可以发送 CMD7 命令解除对卡的选择。

30.4.9 宽总线选择和解除选择

卡在上电后或 GO_IDLE_STATE（CMD0）命令后默认的总线宽度为 1 位。在主机已经验证了总线上的功能管脚、卡初始化后总线宽度可以被改变。

可以通过 SET_BUS_WIDTH（ACMD6）命令选择宽总线（4 位总线宽度）操作模式，需要注意 SET_BUS_WIDTH（ACMD6）命令仅在传输状态时才有效，这表明只有在使用 SELECT/DESELECT_CARD（CMD7）命令选择了卡后才能改变总线宽度。

30.4.10 保护管理

主机支持三种卡保护方式保护数据使其不被擦除或改写：

1. 卡内部写保护
2. 物理写保护开关
3. 密码管理的卡锁操作

30.4.10.1 内部卡的写保护

通过在 CSD 中永久地或临时地设置写保护位，用户可以永久地对整个卡施行写保护以防止卡的数据不被覆盖或擦除。有些卡通过设置 CSD 的 WP_GRP_ENABLE 位设置一组扇区的写保护，这样可以选择只有部分数据被保护。写保护可以通过程序改变。写保护的基本单位是 CSD 参数 WP_GRP_SIZE 个扇区，用户可以通过配置 WP_GRP_SIZE 的值来自定义写保护区域的大小。SET_WRITE_PROT 命令设置指定写保护组的写保护，和 CLR_WRITE_PROT 命令清除指定写保护组的写保护，SEND_WRITE_PROT 命令请求设备发送写保护位的状态，该命令与单数据块读命令类似，卡送出一个包含 32 个写保护位的数据块，该数据块表示从指定地址开始的 32 个写保护组，最后跟着一个 16 位的 CRC 码。写保护命令的地址字段是一个以字节为单位的组地址，卡将截断所有组大小之外的地址。

30.4.10.2 物理写保护开关

在卡的侧面有一个机械的滑动开关，提供给用户设置是否对卡进行写保护。当滑动开关置于小窗口打开的位置时，卡处于写保护状态，当滑动开关置于小窗口关闭的位置时卡没有写保护，用户可以修改卡中内容。在卡的插槽上的对应部位也有一个开关，用来指示卡是否处于写保护状态，需要注意的是这个指示是针对 SDIO 卡主机模块的，卡的内部电路不知道写保护开关的位置。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

30.4.10.3 密码保护

密码保护功能指主机模块可以使用密码对卡实行上锁或解锁。其中密码存储在 128 位的 PWD 寄存器中，密码的长度存储在 PWD_LEN 的 8 位寄存器中。这些寄存器是非易失性的，所以掉电后它们的内容也不会丢失。已经上锁的卡支持所有的基本命令，比如 SDIO 卡主机模块发送的复位、初始化和查询状态等命令都是可以响应的，但是不允许操作卡中的数据。如果卡之前已经设置了密码（即 PWD_LEN 的数值不为 0），那么在每次上电后卡会自动上锁。

与 CSD 和 CID 寄存器写命令相同，上锁/解锁命令也只在传输状态下才有效，这也意味着使用上锁/解锁命令前卡必须先被选中，且在该命令中是没有地址参数的。

卡的上锁/解锁命令的结构和总线操作类型与卡的单数据块写命令相同，命令传输的数据块包含命令所需要的信息，比如密码设置模式、PWD 内容和上锁/解锁指示等。在发送卡的上锁/解锁命令之前，SDIO 卡主机模块已经定义好了命令数据块的长度，命令的结构见表 30-6。

表 30-6 上锁/解锁数据结构

Byte	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
0	保留（全设置为 0）				ERASE	LOCK_UNLOCK	CLR_PWD	SET_PWD
1	PWDS_LEN							
2	密码数据(PWD)							
……								
PWDS_LEN-1								

- ERASE：该位为 1 将执行强制擦除，所有其它位必须为 0。这种情况只发送命令字节，所有该命令的其他字节将被卡忽略。
- LOCK_UNLOCK：该位为 1 表示卡上锁，为 0 表示解锁。此位可以与 SET_PWD 同时设置，但不可以与 CLR_PWD 同时设置。
- CLR_PWD：该位置 1 清除密码数据。
- SET_PWD：该位置 1 保存密码数据至存储器。
- PWD_LEN：这个参数定义了密码的长度，以字节为单位。
- PWD：密码数据，依不同的命令，密码数据有所不同。比如，在设置一个新的密码的情况下，它包含这个新的密码，在修改密码的时候， 它包含旧的密码和设置的新密码。

以下几节列出了设置/清除密码、上锁/解锁和强制擦除的命令序列。

30.4.10.4 设置密码

1. 如果卡之前未被选中，使用 CMD7（SELECT/DESELECT_CARD）命令选择一个卡。
2. 使用 CMD16（SET_BLOCKLEN）定义数据块长度，8 位卡上锁/解锁模式，8 位的 PWD_LEN（以字节为单位），新密码的字节数。当密码替换完成后，发送命令的数据块的大小必须同时考虑新旧密码的长度。
3. 在数据线上，以合适的数据块长度发送 CMD42（LOCK/UNLOCK）命令，并包含 16 位的 CRC 码。数据块包含了操作模式（SET_PWD=1）、密码长度（PWD_LEN）和密码数据本身（PWD）。当密码替换完成后，密码长度数值（PWD_LEN）应为新旧两个密码的长度之和，密码数据字段（PWD）前面是旧的密码（正在使用的），后面是新的密码。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

4. 当发送的旧密码不正确（大小或内容与期望值不匹配），状态寄存器中的 LOCK_UNLOCK_FAILED 会被置位，并且旧的密码不会改变。如果旧的密码匹配，新的密码数据和长度会分别保存在 PWD 和 PWD_LEN 中。

密码长度域（PWD_LEN）可以指示当前是否设置了密码，如果该域为零，则表示没有使用密码，只有在该域不为零的时候卡才会在上电时自动上锁。如果设置了密码，在不断电的情况下想立即锁住卡，可以通过设置 LOCK_UNLOCK 位或者发送一个额外的上锁命令。

30.4.10.5 清除密码

1. 如果卡之前未被选中，使用 CMD7（SELECT/DESELECT_CARD）命令选择一个卡。
2. 使用 CMD16（SET_BLOCKLEN）定义数据块长度，8 位卡上锁/解锁模式，8 位的 PWD_LEN（以字节为单位），当前使用的密码的字节数。
3. 在数据线上，以合适的数据块长度发送 CMD42（LOCK/UNLOCK）命令，并包含 16 位的 CRC 码。数据块包含了操作模式（CLR_PWD）、密码长度（PWD_LEN）和密码数据本身（PWD）。如果密码匹配后，PWD 的内容会被清除，同时 PWD_LEN 被设为 0。如果 PWD 和 PWD_LEN 的内容与发送的密码和其大小不匹配，则设置状态寄存器中的 LOCK_UNLOCK_FAILED 错误位，同时密码不变。

30.4.10.6 卡上锁

1. 如果卡之前未被选中，使用 CMD7（SELECT/DESELECT_CARD）命令选择一个卡。
2. 使用 CMD16（SET_BLOCKLEN）定义数据块长度，8 位卡上锁/解锁模式，8 位的 PWD_LEN（以字节为单位），当前使用的密码的字节数。
3. 在数据线上，以合适的数据块长度发送 CMD42（LOCK/UNLOCK）命令，并包含 16 位的 CRC 码。数据块包含了操作模式（LOCK_UNLOCK=1）、密码长度（PWD_LEN）和密码数据本身（PWD）。
4. 如果 PWD 内容等于发送的密码，卡将被上锁，并将状态寄存器中的 CARD_IS_LOCKED 状态位置位。如果送出的密码与期望的密码（长度或内容）不吻合，则状态寄存器中的 LOCK_UNLOCK_FAILED 错误位被置位，同时上锁操作失败。

设置密码和为卡上锁可以在同一个操作序列中同时进行，这种情况下卡主机模块先按照前述的步骤设置密码，需要注意的是在发送新密码命令的第 3 步要设置 LOCK_UNLOCK 位。

只有曾经设置过密码（PWD_LEN 不为 0）的卡在上电复位时才会自动上锁。对已经上锁的卡或者对没有密码的卡执行上锁操作会失败，并将状态寄存器中的 LOCK_UNLOCK_FAILED 错误位置位。

30.4.10.7 卡解锁

1. 如果卡之前未被选中，使用 CMD7（SELECT/DESELECT_CARD）命令选择一个卡。
2. 使用 CMD16（SET_BLOCKLEN）定义数据块长度，8 位卡上锁/解锁模式，8 位的 PWD_LEN（以字节为单位），当前使用的密码的字节数。
3. 在数据线上，以合适的数据块长度发送 CMD42（LOCK/UNLOCK）命令，并包含 16 位的 CRC 码。数据块包含了操作模式（LOCK_UNLOCK=0）、密码长度（PWD_LEN）和密码数据本身（PWD）。
4. 如果送出的密码与期望的密码（长度或内容）不吻合，则将状态寄存器中的 LOCK_UNLOCK_FAILED 错误位置 1，同时卡仍保持上锁状态。当密码匹配后，卡锁被解除，同时将状态寄存器中的 CARD_IS_LOCKED 位清除。

如果解锁状态只在当前的供电过程中有效，只要不清除 PWD，下次上电后卡还是会自动上锁。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

试图对已经解锁的卡执行解锁操作会导致操作失败，并将状态寄存器中的 LOCK_UNLOCK_FAILED 错误位置 1。

30.4.10.8 强制擦除

强制擦除操作可以擦除卡中所有的数据和密码。如果用户忘记了密码，可以通过强制擦除操作使卡重新可用。

1. 如果卡之前未被选中，使用 CMD7（SELECT/DESELECT_CARD）命令选择一个卡。
2. 使用 CMD16（SET_BLOCKLEN）定义数据块长度，8 位卡上锁/解锁模式，8 位的 PWD_LEN（以字节为单位），当前使用的密码的字节数。
3. 在数据线上以合适的数据块长度发送 CMD42（LOCK/UNLOCK）命令，并包含 16 位的 CRC 码。数据块包含了操作模式（ERASE=1）所有其它位为 0。
4. 当且仅当数据域中 ERASE 位是 1 时，卡中的所有内容将被擦除，包括 PWD 和 PWD_LEN 域。擦除完后卡不再被上锁。如果有任何其它位不为 0，将状态寄存器中的 LOCK_UNLOCK_FAILED 错误位置位 ，卡中的数据保持不变，同时卡仍保持上锁状态。

注意：试图对已经解锁的卡执行擦除操作会导致操作失败，并将状态寄存器中的 LOCK_UNLOCK_FAILED 错误位置位。

30.4.11 卡状态寄存器

30.4.11.1 卡状态寄存器

卡状态指执行命令的错误和状态信息，在响应中指示。

一般情况下，卡接收到命令后会返回与该命令相关的状态信息给卡主机。这些状态信息有可能存在本地的状态寄存器中。这些状态信息叫做卡的状态域，响应格式 R1 就包含了一个名为卡状态的 32 位字段。

表 30-7 定义了不同的状态信息。

表 30-7 卡状态

位	名称	类型	数值	说明	清除条件
31	ADDRESS_OUT_OF_RANGE	EXR	‘0’=无错误 ‘1’=错误	命令中的地址参数超出了卡的允许范围。 一个多数据块或数据流读/写操作（即使从一个合法的地址开始）试图读或写超出卡的容量的部分。	C
30	ADDRESS_MISALIGN		‘0’=无错误 ‘1’=错误	命令中的地址参数（与当前的数据块长度对照）定义的第一个数据块未与卡的物理块对齐。 一个多数据块或数据流读/写操作（即使从一个合法的地址开始）试图读或写未与物理块对齐的数据块。	C
29	BLOCK_LEN_ERROR		‘0’=无错误 ‘1’=错误	SET_BLOCKLEN 命令的参数超出了卡的最大允许范围，或先前定义的数据块长度对于当前命令来说是非法的（例如：主机发出一个写命令，当前的块长度小于卡所允许的最小长度，同时又不	C

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位	名称	类型	数值	说明	清除条件
				允许写入部分数据块)。	
28	ERASE_SEQ_ERROR		‘0’=无错误 ‘1’=错误	发送擦除命令的顺序错误。	C
27	ERASE_PARAM	EX	‘0’=无错误 ‘1’=错误	擦除时选择了非法的擦除组。	C
26	WP_VIOLATION	EX	‘0’=无错误 ‘1’=错误	试图对一个写保护的数据块编程。	C
25	CARD_IS_LOCKED	SR	‘0’=卡未锁 ‘1’=卡已锁	当设置了该位，表示卡已经被锁住。	A
24	LOCK_UNLOCK_FAILED	EX	‘0’=无错误 ‘1’=错误	在上锁/解锁中有命令的顺序错误或检测到密码错误	C
23	COM_CRC_ERROR	ER	‘0’=无错误 ‘1’=错误	之前的命令中 CRC 校验错误。	B
22	ILLEGAL_COMMAND	ER	‘0’=无错误 ‘1’=错误	对于当前的卡状态，命令非法。	B
21	CARD_ECC_FAILED	EX	‘0’=成功 ‘1’=失败	卡的内部实施了 ECC 校验，但在更正数据时失败。	C
20	CC_ERROR	ER	‘0’=无错误 ‘1’=错误	（标准中未定义）卡内部发生错误，与主机的命令无关	C
19	ERROR	EX	‘0’=无错误 ‘1’=错误	产生了与执行上一个主机命令相关的（标准中未定义）卡内部的错误（例如：读或写错误）。	C
18	保留				
17	保留				
16	CID/CSD_OVERWRITE	EX	‘0’=无错误 ‘1’=错误	可以是任何一个下述的错误： 已经写入了 CID 寄存器，不能覆盖 CSD 的只读部分与卡的内容不匹配 试图进行拷贝或永久写保护的反向操作，即恢复原状或解除写保护。	C
15	WP_ERASE_SKIP	EX	‘0’=未保护 ‘1’=已保护	遇到已经存在的写保护数据块，仅有部分地址空间被擦除	C
14	CARD_ECC_DISABLED	SX	‘0’=允许 ‘1’=不允许	执行命令时没有使用内部的 ECC。	A
13	ERASE_RESET		‘0’=清除 ‘1’=设置	因为收到一个擦除顺序之外的命令（非 CMD35、CMD36、CMD38 或 CMD13 命令），进入擦除过程的序列被中止。	C
12:9	CURRENT_STATE	SR	‘0’=空闲 ‘1’=就绪 ‘2’=识别 ‘3’=待机 ‘4’=发送 ‘5’=数据	当收到命令时卡内状态机的状态。如果命令的执行导致状态的变化，这个变化将会在下个命令的响应中反映出来。这四个位按十进制数 0 至 15 解释。	B

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位	名称	类型	数值	说明	清除条件
			‘6’=接收 ‘7’=编程 ‘8’=断开 ‘9’=忙测试 ‘10~15’=保留		
8	READY_FOR_DATA	SR	‘0’=未就绪 ‘1’=就绪	与总线上的缓冲器空的信号相对应。	
7	SWITCH_ERROR	ER	‘0’=无错误 ‘1’=转换错	卡没有按照 SWITCH 命令的要求转换到希望的模式。	B
6	保留				
5	APP_CMD	SR	‘0’=不允许 ‘1’=允许	卡期望 ACMD，或指示命令已经被解释为 ACMD 命令	C
4	保留给 SDI/O 卡				
3	AKE_SEQ_ERROR	ER	‘0’=无错误 ‘1’=错误	验证的顺序有错误。	C
2	保留给与应用相关的命令				
1,0	保留给生产厂家的测试模式				

表中有关类型和清除条件域的缩写定义如下：

类型：

- E：错误位。向主机发送错误条件。这些位一旦响应（报告错误）被发出去就会清除。
- S：状态位。这些位仅作为信息字段，并不因为对命令的响应而改变。这些位是持久性的，它们根据卡状态被设置或被清除。
- R/X：R 和 X 都是检测位，区别在于 R 表示卡在命令解释和验证阶段（响应模式）检测到异常，而 X 表示卡在命令执行阶段（执行模式）检测到异常

SDIO 卡主机可以通过发送状态命令读出这些位来查询卡的状态。

清除条件：

- A：依据卡的当前状态
- B：始终与之前的命令相关。接收到正确的命令即可清除，这种方式具有一个命令的延迟。
- C：读可清除

30.4.11.2 SD 状态寄存器

SD 状态不仅包含了与 SD 存储器卡特定功能相关的状态位，还包含了一些与未来应用相关的状态位。SD 状态的长度是一个 512 位的数据块。收到 ACMD13 命令（CMD55，然后是 CMD13）后，SD 状态寄存器的内容被传送到 SDIO 卡主机。但是需要注意的是 ACMD13 命令只能在卡处于传输状态时（卡已被选择）才可以被发送。

下表定义了不同的 SD 状态寄存器信息。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 30-8 SD 状态

位	名称	类型	数值	说明	清除条件
511:510	DAT_BUS_WIDTH	SR	‘00’=1（默认） ‘01’=保留 ‘10’=4 位宽 ‘11’=保留	由 SET_BUS_WIDTH 命令定义的当前数据总线宽度。	A
509	SECURED_MODE	SR	‘0’=未处于保密模式 ‘1’=处于保密模式	卡处于保密操作模式（详见“SD 保密规范”）。	A
508:496	保留				
495:480	SD_CARD_TYPE	SR	‘00xxh’=在物理规范版本 1.01~2.00 的 SD 存储器卡（'x' 表示任意值）。已定义的卡有： '0000'=通用 SD 读写卡 '0001'=SD ROM 卡	这个域的低 8 位可以在未来定义 SD 存储卡的不同变种（每个位可以用于定义不同的 SD 类型）。高 8 位可以用于定义那些不遵守当前的 SD 物理层规范的 SD 卡。	A
479:448	SIZE_OF_PROTECTED_AREA	SR	受保护的区域大小（见以下说明）	（见以下说明）	A
447:440	SPEED_CLASS	SR	卡的速度类型（见以下说明）	（见以下说明）	A
439:432	PERFORMANCE_MOVE	SR	以 1MB/秒为单位的传输性能（见以下说明）	（见以下说明）	A
431:428	AU_SIZE	SR	AU 的大小（见以下说明）	（见以下说明）	A
427:424	保留				
423:408	ERASE_SIZE	SR	一次可以擦除的 AU 数目	（见以下说明）	A
407:402	ERASE_TIMEOUT	SR	擦除 UNIT_OF_ERASE_AU 指 A 定的范围的超时数值	（见以下说明）	A
401:400	ERASE_OFFSET	SR	在擦除时增加的固定偏移数值	（见以下说明）	A
399:312	保留				
311:0	保留给生产厂商				

表中有关类型和清除条件域的缩写定义如下：

类型：

- E：错误位。向主机发送错误条件。这些位一旦响应（报告错误）被发出去就会清除。
- S：状态位。这些位仅作为信息字段，并不因为对命令的响应而改变。这些位是持久性的，它们根据卡状态被设置或被清除。
- R/X：R 和 X 都是检测位，区别在于 R 表示卡在命令解释和验证阶段（响应模式）检测到异常，而 X

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表示卡在命令执行阶段（执行模式）检测到异常

SDIO 卡主机通过发送状态命令读出这些位而查询卡的状态。

清除条件：

- A：依据卡的当前状态
- B：始终与之前的命令相关。接收到正确的命令即可清除，这种方式具有一个命令的延迟。
- C：读可清除

SIZE_OF_PROTECTED_AREA

对于标准容量卡和高容量卡，该位的设置方式不同。

标准容量卡受保护区域的容量计算方式如下：

受保护区域=SIZE_OF_PROTECTED_AREA * MULT * BLOCK_LEN

SIZE_OF_PROTECTED_AREA 以 MULT * BLOCK_LEN 为单位。

高容量卡受保护区域的容量计算方式如下：

受保护区域 ＝SIZE_OF_PROTECTED_AREA

SIZE_OF_PROTECTED_AREA 以字节为单位。

SPEED_CLASS

这 8 位指示速度的类型和可以通过计算 $P_W/2$ 的数值（P_W 是写的性能）。

表 30-9 速度类型代码

SPEED_CLASS	**数值定义**
00h	类型 0
01h	类型 2
02h	类型 4
03h	类型 6
04h~FFh	保留

PERFORMANCE_MOVE

这 8 位指示移动性能（Pm），单位为 1MB/秒。如果卡不用 RU（纪录单位）移动数据，应该认为 Pm 是无穷大。当这个域为 FFh 时表示 Pm 无穷大。

表 30-10 移动性能代码

PERFORMANCE_MOVE	**数值定义**
00h	未定义
01h	1MB/秒
02h	2MB/秒
……	……
FEh	254MB/秒
FFh	无穷大

AU_SIZE

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

这 4 位指示 AU 的长度，数值是（16K 字节）×$2^{(AU\_SIZE-1)}$。

表 30-11 AU_SIZE 代码

AU_SIZE	数值定义
00h	未定义
01h	16KB
02h	32KB
03h	64KB
04h	128KB
05h	256KB
06h	512KB
07h	1MB
08h	2MB
09h	4MB
Ah~Fh	保留

最大的 AU 长度由卡的容量决定。卡可以在 RU 长度和最大的 AU 长度之间设置任意的 AU 长度。

表 30-12 最大的 AU 长度

容量	16MB~64MB	128MB~256MB	512MB	1GB~32GB
最大的 AU 长度	512KB	1MB	2MB	4MB

ERASE_SIZE

这 16 位域表示 NERASE，当 NERASE 个 AU 被擦除时，超时时间由 ERASE_TIMEOUT 定义。主机应该确定在一次操作中要被擦除的 AU 的适当数目，这样主机可以显示擦除操作的进度。如果该域为 0，则不支持擦除的超时计算。

表 30-13 ERASE_SIZE 代码

ERASE_SIZE	数值定义
0000h	不支持擦除的超时计算
0001h	1 个 AU
0002h	2 个 AU
0003h	3 个 AU
……	……
FFFFh	65535 个 AU

ERASE_TIMEOUT

这 6 位表示 TERASE，当 ERASE_SIZE 指示的多个 AU 被擦除时，这个数值给出了从偏移量算起的擦除超时时间。ERASE_TIMEOUT 的范围最多可以定义到 63 秒，卡的生产商可以根据具体实现选择 ERASE_SIZE 与 ERASE_TIMEOUT 的任意组合，一旦 ERASE_TIMEOUT 确定，那么 ERASE_SIZE 也就确定了，如果 ERASE_SIZE 字段被设置为 0，则 ERASE_TIMEOUT 也应该设置为 0。

表 30-14 擦除超时代码

ERASE_TIMEOUT	数值定义
00	不支持擦除的超时计算

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

ERASE_TIMEOUT	数值定义
01	1 秒
02	2 秒
03	3 秒
……	……
63	63 秒

ERASE_OFFSET

这 2 位给出了 TOFFSET，可以选择下表所示的四个数值之一。当 ERASE_SIZE 和 ERASE_TIMEOUT 同为 0 时，该数值没有意义。

表 30-15 擦除偏移代码

ERASE_OFFSET	数值定义
0	0 秒
1	1 秒
2	2 秒
3	3 秒

30.4.12 SD 的 I/O 模式

30.4.12.1 I/O 中断

SD 接口上有一个具有中断功能的引脚（第 8 脚），它能够让 SD I/O 卡中断多媒体卡/SD 模块，在 4 位 SD 模式下这个脚是 SDIO_DAT1，通过它，卡向多媒体卡/SD 模块提出中断申请。对于每一个卡或卡内的功能，中断功能是可选的。

SD I/O 的中断是电平有效，即中断信号线必须保持有效电平（低），才可以被多媒体卡/SD 模块识别并响应，并且在中断过程结束后保持无效电平（高）。在中断请求被多媒体卡/SD 模块服务后，可以通过一个 I/O 写操作将适当的位写到 SD I/O 卡的内部寄存器来清除中断状态位。

SD I/O 卡的中断输出都是低电平有效，多媒体卡/SD 模块在所有数据线（SDIO/D[3:0]）上提供上拉电阻。多媒体卡/SD 模块只有在中断阶段才对第 8 脚（SDIO_DAT/IRQ）采样并进行中断检测，其它时间则忽略该信号线上的数值。

I/O 操作和存储器操作都有中断阶段，单个数据块操作与多个数据块传输操作的中断阶段定义是不一样的。

30.4.12.2 I/O 暂停和恢复

在一个多功能的 SD I/O 卡中，或者在一个同时具有 I/O 和存储器功能的卡中，多个设备（I/O 和存储器）共享 MMC/SD 总线。为了使多个设备能够共用 MMC/SD 模块中的总线，SD I/O 卡和复合卡可以有选择地实现暂停/恢复的概念；在支持暂停/恢复的卡中，MMC/SD 模块能够暂停一个功能或存储器的数据传输操作，以此让出总线给其它具有更高优先级的功能或存储器，并且在这个具有更高优先级的功能或存储器传输完成后，再恢复原先暂停的传输。

是否支持暂停/恢复的操作是可选的。以下为在 MMC/SD 总线上执行暂停/恢复操作的步骤：

1. 确定数据线（SDIO_DAT[3:0]）的当前功能
2. 请求暂停低优先级或者慢的操作

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

3. 等待暂停操作完成，并确认设备已经暂停
4. 开始高优先级设备的传输
5. 等待高优先级设备传输结束
6. 从暂停操作中恢复

30.4.12.3 I/O 读等待（ReadWait）

读等待（RW）操作是可选的，只适用于 SD 卡的 1 位或 4 位模式。读等待操作指当一个卡正在读多个寄存器（IO_RW_EXTENDED, CMD53）时，MMC/SD 模块可以要求它暂时停止数据传输，且同时允许 MMC/SD 模块发送命令到 SD I/O 设备中的其他功能。MMC/SD 模块通过检测卡的内部寄存器可以判断一个卡是否支持读等待协议。读等待的时间与中断阶段相关。

30.5 命令与响应

30.5.1 应用相关命令和通用命令

SD 卡主机模块系统是一个标准接口，该接口适用于多种应用类型，同时又要兼顾特定用户和应用，因此标准中定义了两类通用命令：应用相关命令（ACMD）和通用命令（GEN_CMD）。

当卡收到 APP_CMD（CMD55）命令时，卡期待下一个命令是应用相关命令。应用相关命令（ACMD）和普通多媒体卡命令的格式结构相同，并且它们也可以使用相同的 CMD 号码。因为它是出现在 APP_CMD（CMD55）后面，所以卡把它识别为 ACMD 命令。如果在 APP_CMD（CMD55）命令之后不是一个已经定义的应用相关命令，则识别为标准命令；例如：如果在紧随 APP_CMD（CMD55）之后收到了 CMD13（应用中有定义 SD_STATUS(ACMD13)），它将被解释为 SD_STATUS(ACMD13)；但是如果卡在紧随 APP_CMD（CMD55）之后收到 CMD7，而这个卡没有定义 ACMD7，则它将被解释为一个标准的 CMD7（SELECT/DESELECT_CARD）命令。

如果要使用生产厂商自定义的 ACMD，SD 卡主机需要做以下操作：

1. 发送 APP_CMD（CMD55）命令
2. 卡返回响应给多媒体/SD 卡模块，响应指示设置了 APP_CMD 位并等待 ACMD 命令。
3. 发送指定的 ACMD
4. 卡返回响应给多媒体/SD 卡模块，响应指示设置了 APP_CMD 位，收到的命令已经正确地按照 ACMD 命令解析；如果收到的命令不是 ACMD 命令，卡将按照普通的多媒体卡命令处理，同时将状态寄存器的 APP_CMD 位清除。

如果发送的命令非法，将按照标准的非法多媒体卡命令进行错误处理。GEN_CMD 命令的总线操作过程，与单数据块读写命令（WRITE_BLOCK，CMD24 或 READ_SINGLE_BLOCK，CMD17）相同；这时命令的参数表示数据传输的方向而不是地址，数据块具有用户自定义的格式和意义。

发送 GEN_CMD（CMD56）命令之前，状态机必须处于传输状态，即卡必须被选中，数据块的长度 SET_BLOCKLEN（CMD16）定义。GEN_CMD（CMD56）命令的响应是 R1b 格式。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

30.5.2 多媒体卡/SD 卡模块的命令

表 30-16 基于块传输的写命令

CMD 索引	类型	参数	响应格式	缩写	说明
CMD23	ac	[31:16]=0 [15:0]=数据块数目	R1	SET_BLOCK_COUNT	定义在随后的多块读或写命令中需要传输块的数目。
CMD24	adtc	[31:0]=数据地址	R1	WRITE_BLOCK	按照 SET_BLOCKLEN 命令选择的长度写一个块。
CMD25	adtc	[31:0]=数据地址	R1	WRITE_MULTIPLE_BLOCK	收到一个 STOP_TRANSMISSION 命令或达到了指定的块数目之前，连续地写数据块
CMD26	adtc	[31:0]=填充位	R1	PROGRAM_CID	对卡的识别寄存器编程。对于每个卡只能发送一次这个命令。卡中有硬件机制防止多次的编程操作。通常该命令保留给生产厂商。
CMD27	adtc	[31:0]=填充位	R1	PROGRAM_CSD	对卡的 CSD 中可编程的位编程。
CMD28	ac	[31:0]=数据地址	R1b	SET_WRITE_PROT	如果卡具有写保护功能，该命令设置指定组的写保护位。写保护特性设置在卡的特殊数据区（WP_GRP_SIZE）。
CMD29	ac	[31:0]=数据地址	R1b	CLR_WRITE_PROT	如果卡具有写保护功能，该命令清除指定组的写保护位。
CMD30	adtc	[31:0]=写保护数据地址	R1	SEND_WRITE_PROT	如果卡具有写保护功能，该命令要求卡发送写保护位的状态。
CMD31	保留				

表 30-17 基于块传输的写保护命令

CMD 索引	类型	参数	响应格式	缩写	说明
CMD28	ac	[31:0]=数据地址	R1b	SET_WRITE_PROT	如果卡具有写保护功能，该命令设置指定组的写保护位。写保护特性设置在卡的特殊数据区（WP_GRP_SIZE）。
CMD29	ac	[31:0]=数据地址	R1b	CLR_WRITE_PROT	如果卡具有写保护功能，该命令清除指定组的写保护位。
CMD30	adtc	[31:0]=写保护数据地址	R1	SEND_WRITE_PROT	如果卡具有写保护功能，该命令要求卡发送写保护位的状态。
CMD31	保留				

表 30-18 擦除命令

CMD 索引	类型	参数	响应格式	缩写	说明
CMD32 …… CMD34	保留。为了与旧版本的对媒体卡协议向后兼容，不能使用这些命令代码。				
CMD35	ac	[31:0]=数据地址	R1	ERASE_GROUP_START	在选择的擦除范围内，设置第一个擦除组的地址。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

CMD 索引	类型	参数	响应格式	缩写	说明
CMD36	ac	[31:0]=数据地址	R1	ERASE_GROUP_END	在选择的连续擦除范围内，设置最后一个擦除组的地址。
CMD37	保留。为了与旧版本的对媒体卡协议向后兼容，不能使用这个命令代码				
CMD38	ac	31:0]=填充位	R1	ERASE	擦除之前选择的数据块。

表 30-19 I/O 模式命令

CMD 索引	类型	参数	响应格式	缩写	说明
CMD39	ac	[31:16] =RCA [15]=寄存器写标志 [14:8]=寄存器地址 [7:0]=寄存器数据	R4	FAST_IO	用于写和读 8 位（寄存器）数据域。该命令指定一个卡和寄存器，如果设置了写标志还提供写入的数据。R4 响应包含从指定寄存器读出的数据。该命令访问未在多媒体卡标准中定义的与应用相关的寄存器
CMD40	bcr	[31:0]=数据地址	R5	GO_IRQ_STATE	置系统于中断模式。
CMD41	保留				

表 30-20 上锁命令

CMD 索引	类型	参数	响应格式	缩写	说明
CMD42	adtc	[31:0]=填充位	R1b	LOCK_UNLOCK	设置/清除密码或对卡上锁/解锁。数据块的长度由 SET_BLOCKLEN 命令设置。
CMD43 …… CMD54	保留				

表 30-21 应用相关命令

CMD 索引	类型	参数	响应格式	缩写	说明
CMD55	ac	[31:16]=RCA [15:0]=填充位	R1	APP_CMD	指示卡下一个命令是应用相关命令而不是一个标准命令。
CMD56	adtc	[31:1]=填充位 [0]=RD/WR			在通用或应用相关命令中，或者用于向卡中传输一个数据块，或者用于从卡中读取一个数据块。数据块的长度由 SET_BLOCKLEN 命令设置。
CMD57 …… CMD59	保留				
CMD60 …… CMD63	保留给生产厂商				

30.5.3 命令类型

ACMD 和 GEN_CMD 包含四种不同的类型：

1. 广播命令（BC）：发送到所有卡，没有响应。
2. 带响应的广播命令（BCR）：发送到所有卡，同时从所有卡收到响应；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

3. 带寻址（点对点）的命令（AC）：发送到寻址的卡，SDIO_DAT 信号线上没有数据传输。

4. 带寻址（点对点）的数据传输命令（AC）：发送到寻址的卡，SDIO_DAT 信号线进行数据传输。

30.5.4 命令格式

命令格式由命令和响应两部分组成。

命令：命令是用于开始一项操作。主机向一个指定的卡或所有的卡发出带地址的命令或广播命令（广播命令只适合于 MMC V3.31 或之前的版本）。所有命令的长度固定为 48 位，在 CMD 线上串行传送。下表给出了多媒体卡、SD 存储卡和 SDIO 卡上一般的命令格式

命令通道工作于半双工模式，这样命令和响应可以分别发送和接收。如果 CPSM 不处在发送状态，SDIO_CMD 输出处于高阻状态，如图 30-11 所示。 SDIO_CMD 上的数据与 SDIO_CLK 的上升沿同步。

表 30-22 命令格式

位	宽度	数值	说明
47	1	0	开始位
46	1	1	传输位
[45:40]	6	-	命令索引
[39:8]	32	-	参数
[7:1]	7	-	CRC7
0	1	1	结束位

响应：响应是对先前接收到命令的一个应答，是由一个被指定地址的卡发送到主机，对于 MMC V3.31 或以前版本所有的卡同时发送响应；响应在 CMD 线上串行传送。

SDIO 支持两种响应类型：48 位短响应和 136 位长响应。这两种类型都有 CRC 错误检测：

注意：如果响应不包含 CRC（如 CMD1 的响应），设备驱动应该忽略 CRC 失败状态。

表 30-23 短响应格式

位	宽度	数值	说明
47	1	0	开始位
46	1	0	传输位
[45:40]	6	-	命令索引
[39：8]	32	-	参数
[7：1]	7	-	CRC7（或 1111111）
0	1	1	结束位

表 30-24 长响应格式

位	宽度	数值	说明
135	1	0	开始位
134	1	0	传输位
[133:128]	6	111111	保留
[127:1]	127	-	CID 或 CSD（包含内部 CRC7）
0	1	1	结束位

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

30.5.5 响应格式

所有的响应都是通过 CMD 信号线发送。响应传输总是从对应响应字串的最左位开始。响应字串的长度依赖于响应类型。

每个响应都包含一个起始位（始终为 0），跟随着传输的方向位（卡=0）。下表中 x 表示一个可变的部分。除了 R3 响应类型外，所有的响应都有 CRC 保护。每一个命令码字都有一个结束位（始终为 1）。

共有 5 种响应类型，它们的格式定义如下：

R1（普通响应命令）

R1 响应的代码长度为 48 位。其中位 45:40 指示要响应的命令索引，它的数值介于 0 至 63 之间。卡的状态由 32 位进行编码。

表 30-25 R1 响应

位	域宽度	数值	说明
47	1	0	开始位
46	1	0	传输位
[45:40]	6	X	命令索引
[39:8]	32	X	卡状态
[7:1]	7	X	CRC7
0	1	1	结束位

R1b

R1b 与 R1 格式相同，区别是 R1b 可以选择在数据线上发送一个繁忙信号。收到这些命令后，依据收到命令之前的状态，卡可能变为繁忙状态，主机应在响应中检查繁忙状态。

R2（CID、CSD 寄存器）

R2 代码长度为 136 位。CMD2 和 CMD10 的响应保存在 CID 寄存器中发出。CMD9 的响应保存在 CSD 寄存器中发出。卡只响应并发送 CID 和 CSD 的位[127…1]，在接收端，这两个寄存器保留位[0]替换为响应的结束位。卡通过拉低 MCDAT 告诉主机它正在进行擦除操作；实际擦除操作的时间可能很长，主机可以发送 CMD7 命令取消对该卡的选中。

表 30-26 R2 响应

位	域宽度	数值	说明
135	1	0	开始位
134	1	0	传输位
[133:128]	6	‘111111’	命令索引
[127:1]	127	X	卡状态
0	1	1	结束位

R3（OCR 寄存器）

R3 代码长度为 48 位。CMD1 的响应保存在 OCR 寄存器中发出。电平代码的定义是：限制的电压窗口为低，卡繁忙为低。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 30-27 R3 响应

位	域宽度	数值	说明
47	1	0	开始位
46	1	0	传输位
[45:40]	6	'111111'	保留
[39:8]	32	X	OCR 寄存器
[7:1]	7	'1111111'	保留
0	1	1	结束位

R4（快速 I/O）

R4 代码长度为 48 位，仅适用于 MMC 卡。参数域包括指定卡的 RCA、需要读出或写入寄存器的地址、和它的内容。

表 30-28 R4 响应

位		域宽度	数值	说明
47		1	0	开始位
46		1	0	传输位
[45:40]		6	'111111'	保留
[39:8]参数域	[31:16]	16	x	RCA
	[15:8]	8	x	寄存器地址
	[7:0]	8	x	读寄存器的内容
[7:1]		7	'1111111'	CRC7
0		1		结束位

R4b

R4b 仅适用于 SD I/O 卡，代码长度为 48 位。SDIO 卡收到 CMD5 命令后将返回一个唯一的 SDIO 响应 R4。

表 30-29 R4b 响应

位		域宽度	数值	说明
47		1	0	开始位
46		1	0	传输位
[45:40]		6	x	保留
[39:8]参数域	39	1	x	卡已就绪
	[38:36]	3	x	I/O 功能数目
	35	1	x	当前存储器
	[34:32]	3	x	填充位
	[31:8]	24	x	I/O ORC
[7:1]		7	x'	保留
0		1	1	结束位

当 SD I/O 卡收到命令 CMD5 命令，卡的 I/O 部分被使能并能够正常地响应所有后续的命令。I/O 卡的使能状态将一直保持到下一次复位、断电或收到 I/O 复位的 CMD52 命令为止。注意，一个只包含存储器功能的 SD 卡的正确响应可以是：当前存储器为 1，I/O 功能数目为 0。按照 SD 存储器卡规范版本 1.0 设计的只包含存储器功能的 SD 卡将检测到的 CMD5 命令视为一个非法命令并不响应它。可以处理 I/O 卡的主机将发

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

送 CMD5 命令，如果卡返回响应 R4，则主机会依据 R4 响应中的数据确定卡的配置。

R5（中断请求）

R5 仅适用于多媒体卡。代码长度为 48 位。当这个响应由主机产生的时候参数中的 RCA 域为 0x0。

表 30-30 R5 响应

位		域宽度	数值	说明
47		1	0	开始位
46		1	0	传输位
[45:40]		6	‘111111’	CMD40
[39:8]参数域	[31:16]	16	x	成功的卡或主机的 RCA[31:16]
	[15:0]	16	x	未定义。可以作为中断数据。
[7:1]		7	x	CRC7
0		1	1	结束位

R6（中断请求）

R6 仅适用于 SD I/O 卡。代码长度为 48 位。位[45:40]表示对 CMD3 响应的命令索引。参数字段的 16 个最高位比特用于已发布的 RCA 号。这是存储器设备对 CMD3 命令的正常响应。

表 30-31 R6 响应

位		域宽度	数值	说明
47		1	0	开始位
46		1	0	传输位
[45:40]		6	‘101000’	CMD40
[39:8]参数域	[31:16]	16	x	成功的卡或主机的 RCA[31:16]
	[15:0]	16	x	未定义。可以作为中断数据。
[7:1]		7	x	CRC7
0		1	1	结束位

当发送 CMD3 命令到只有 I/O 功能的卡时，卡的状态位[23:8]会改变，并且响应中的 16 位是只有 I/O 功能的 SD 卡中的数值，位 15 为 COM_CRC_ERROR，位 14 为 ILLEGAL_COMMAND，位 13 为 ERROR，位[12:0]保留

30.6 硬件流控制

使用硬件流控制功能可以避免 FIFO 下溢（发送模式）和上溢（接收模式）的错误。

硬件流控制的操作过程是停止 SDIO_CLK 并冻结 SDIO 状态机，在 FIFO 不能进行发送和接收数据时，数据传输暂停。需要注意，只有由 CLKCTRL 驱动的状态机被冻结，AHB 接口仍然是工作的。即使在流控制起作用时，仍然可以读出或写入 FIFO。

必须将 SDIO_CLKCTRL.HWCLKEN 位设置为‘1’，才能使能硬件流控制。复位后，硬件流控制功能自动关闭。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

30.7 SDIO 寄存器

设备通过控制寄存器与系统进行通信。控制寄存器的宽度为 32 位宽，可以在 AHB 总线上操作这些寄存器，注意，必须以字（32 位）的方式操作这些外设寄存器。

30.7.1 SDIO 寄存器总览

SDIO 基地址：0x40021400

表 30-32 SDIO 寄存器总览

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
000h	SDIO_PWRCTRL	Reserved																														PWRCTRL	
	Reset Value																															0	0
004h	SDIO_CLKCTRL	Reserved														HWCLKEN	CLKEDGE	PWRCFG	CLKBYP	CLOCKEN	BUS MODE [1:0]		Reserved		DIV[8:0]								
	Reset Value															0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0
008h	SDIO_CMDARG	CMDARG[31:0]																															
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00Ch	SDIO_CMDCTRL	Reserved																CMD RESP [1:0]		CMDIDX[5:0]						Reserved			SUSPEND	ENCMDF	WINTREQ	WDATEND	CPSMEN
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0
010h	SDIO_CMDRESP	Reserved																										RESPCMDIDX[5:0]					
	Reset Value																											0	0	0	0	0	0
014h	SDIO_RESPONSE1	CARDSTS1[31:0]																															
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
018h	SDIO_RESPONSE2	CARDSTS2[31:0]																															
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01Ch	SDIO_RESPONSE3	CARDSTS3[31:0]																															
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
020h	SDIO_RESPONSE4	CARDSTS4[31:0]																															
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
024h	SDIO_DTIMER	DATTIMEOUT[31:0]																															
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
028h	SDIO_DATLEN	Reserved							DATLEN[24:0]																								
	Reset Value								0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02Ch	SDIO_DATCTRL	Reserved																			DMADIR	BLKSIZE[3:0]				SDIOEN	RWAITSTOP	RWAITMOD	RWAITEN	DMAEN	DATDIR	TRANSMOD	DATEN
	Reset Value																				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
030h	SDIO_DATCOUNT	Reserved							DATCOUNT[24:0]																								
	Reset Value								0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
034h	SDIO_STS	Reserved									SDIOINT	RDATVALID	RFIFOF	RFIFOHF	RFIFOE	TDATVALID	TFIFOF	TFIFOHE	TFIFOE	RXRUN	TXRUN	CMDRUN	DATBLKEND	SBERR	DATEND	CMDSEND	CMDRESPRECV	RXORERR	TXURERR	DATTIMEOUT	CMDTIMEOUT	DCRCERR	CCRCERR
	Reset Value										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
038h	SDIO_INTCLR	Reserved									SDIOINTC	Reserved											DATBLKENDC	SBERRC	DATENDC	CMDSENDC	CMDRESPRECVC	RXORERRC	TXURERRC	DATTIMEOUTC	CMDTIMEOUTC	DCRCERRC	CCRCERRC
	Reset Value										0												0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03Ch	SDIO_INTEN	Reserved									SDIOINTEN	RDATVALIDEN	RFIFOFEN	RFIFOHFEN	RFIFOEEN	TDATVALIDEN	TFIFOFEN	TFIFOHEEN	TFIFOEEN	RXRUNEN	TXRUNEN	CMDRUNEN	DATBLKENDEN	SBERREN	DATENDEN	CMDSENDEN	CMDRESPRECVEN	RXORERREN	TXURERREN	DATTIMEOUTEN	CMDTIMEOUTEN	DCRCERREN	CCRCERREN
	Reset Value										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
048h	SDIO_FIFOCOUNT	Reserved								FIFOCOUNT[23:0]																							
	Reset Value									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
080h	SDIO_DATFIFO	FIFIDAT[31:0]																															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

30.7.2 SDIO 电源控制寄存器（SDIO_PWRCTRL）

地址偏移：0x00

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved														PWRCTRL[1:0]	
r														rw	

位域	名称	描述
31:2	Reserved	保留，硬件强制为 0。
1:0	PWRCTRL[1:0]	电源控制位（Power supply control bits） 这些位用于定义卡时钟的当前功能状态： 00：电源关闭，卡的时钟停止。 01：保留。 10：保留的上电状态。 11：上电状态，卡的时钟开启。

注意：写数据后的 7 个 HCLK 时钟周期内，不能写入这个寄存器。

30.7.3 SDIO 时钟控制寄存器（SDIO_CLKCTRL）

地址偏移：0x04

复位值：0x0000 0000

SDIO_CLKCTRL 寄存器控制 SDIO_CLK 输出时钟。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved														HWCLK EN	CLK EDGE
														rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PWRCFG	CLKBYP	CLOCK EN	BUSMODE		Reserved		DIV[8:0]								
rw	rw	rw	rw				rw								

位域	名称	描述
31:18	Reserved	保留，硬件强制为 0。
17	HWCLKEN	硬件流控制使能（HW Flow Control enable） 0：关闭硬件流控制 1：使能硬件流控制 当使能硬件流控制后，关于 TFIFOE 和 RFIFOF 中断信号的意义请参考 SDIO 状态寄存器的定义。
16	CLKEDGE	SDIO_CLK 相位选择位（SDIO_CLK dephasing selection bit） 0：在主时钟 SDIOCLK 的上升沿产生 SDIO_CLK。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：在主时钟 SDIOCLK 的下降沿产生 SDIO_CLK。
15	PWRCFG	省电配置位（Power saving configuration bit） 为了省电，当总线为空闲时，设置 PWRCFG 位可以关闭 SDIO_CLK 时钟输出。 0：始终输出 SDIO_CLK。 1：仅在有总线活动时才输出 SDIO_CLK。
14	CLKBYP	旁路时钟分频器（Clock divider bypass enable bit） 0：关闭旁路：驱动 SDIO_CLK 输出信号之前，依据 DIV 数值对 SDIOCLK 分频。 1：使能旁路：SDIOCLK 直接驱动 SDIO_CLK 输出信号。
13	CLOCKEN	时钟使能位（Clock enable bit） 0：SDIO_CLK 关闭。 1：SDIO_CLK 使能。
12:11	BUSMODE[1:0]	宽总线模式使能位（Wide bus mode enable bit） 00：默认总线模式，使用 SDIO_DAT0。 01：4 位总线模式，使用 SDIO_DAT[3:0]。 10：8 位总线模式，使用 SDIO_DAT[7:0]。
10:9	Reserved	保留，硬件强制为 0。
8:0	DIV[8:0]	时钟分频系数（Clock divide factor） 这个域定义了输入时钟（SDIOCLK）与输出时钟（SDIO_CLK）间的分频系数： SDIO_CLK 频率 ＝ SDIOCLK/[DIV + 2]。

注意：

1. *当 SD/SDIO 卡或多媒体卡在识别模式， SDIO_CLK 的频率必须低于 400kHz。*
2. *当所有卡都被赋予了相应的地址后，时钟频率可以改变到卡总线允许的最大频率。*
3. *写数据后的 7 个 HCLK 时钟周期内不能写入这个寄存器。对于 SD I/O 卡，在读等待期间可以停止 SDIO_CLK，此时 SDIO_CLKCTRL 寄存器不控制 SDIO_CLK。*

30.7.4 SDIO 参数寄存器（SDIO_CMDARG）

地址偏移：0x08

复位值：0x0000 0000

SDIO_CMDARG 寄存器包含 32 位命令参数，它将作为命令的一部分发送到卡中。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CMDARG[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CMDARG[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	CMDARG[31:0]	命令参数（Command argument） 命令参数是发送到卡中命令的一部分，如果一个命令包含一个参数，必须在写命令到命令寄

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		存器之前加载这个寄存器。

30.7.5 SDIO 命令寄存器（SDIO_CMDCTRL）

地址偏移：0x0C

复位值：0x0000 0000

SDIO_CMDCTRL 寄存器包含命令索引和命令类型位。命令索引是作为命令的一部分发送到卡中。命令类型位控制命令通道状态机（CPSM）。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CMDRESP[1:0]		CMDIDX[5:0]						Reserved			SUSPEND	ENCMDF	WINT REQ	WDAT END	CPSM EN
rw		rw									rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，硬件强制为 0。
15:14	CMDRESP[1:0]	等待响应位（Wait for response bits） 这 2 位指示 CPSM 是否需要等待响应，如果需要等待响应，则指示响应类型。 00：无响应，期待 CMDSEND 标志 01：短响应，期待 CMDRESPRECV 或 CCRCERR 标志 10：无响应，期待 CMDSEND 标志 11：长响应，期待 CMDRESPRECV 或 CCRCERR 标志
13:8	CMDIDX[5:0]	命令索引（Command index） 命令索引是作为命令的一部分发送到卡中。
7:5	Reserved	保留，硬件强制为 0。
4	SUSPEND	SD I/O 暂停命令（SD I/O suspend command） 如果设置该位，则将要发送的命令是一个暂停命令（只能用于 SDIO 卡）。
3	ENCMDF	使能 CMD 完成（Enable CMD completion） 如果设置该位，则使能命令完成信号。
2	WINTREQ	CPSM 等待中断请求（CPSM waits for interrupt request） 如果设置该位，则 CPSM 关闭命令超时控制并等待中断请求
1	WDATEND	CPSM 等待数据传输结束（CmdPend 内部信号）（CPSM Waits for ends of data transfer（CmdPend internal signal）） 如果设置该位，则 CPSM 在开始发送一个命令之前等待数据传输结束。
0	CPSMEN	命令通道状态机（CPSM）使能位（Command path state machine（CPSM）Enable bit） 如果设置该位，则使能 CPSM。

注意：

1. *写数据后的 7 个 HCLK 时钟周期内不能写入这个寄存器。*
2. *多媒体卡可以发送 2 种响应：48 位长的短响应，或 136 位长的长响应。SD 卡和 SD I/O 卡只能发送短响应，参数可以根据响应的类型而变化，软件将根据发送的命令区分响应的类型。*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

30.7.6 SDIO 命令响应寄存器（SDIO_CMDRESP）

地址偏移：0x10

复位值：0x0000 0000

SDIO_CMDRESP 寄存器包含最后收到的命令响应中的命令索引。如果传输的命令响应不包含命令索引（长响应或 OCR 响应），尽管它应该包含 111111b（响应中的保留域值），但 RESPCMDIDX 域的内容未知。

31–16
Reserved

15–6	5–0
Reserved	RESPCMDIDX[5:0]
	r

位域	名称	描述
31:6	Reserved	保留，硬件强制为 0。
5:0	RESPCMDIDX[5:0]	响应的命令索引（Response command index） 只读位，包含最后收到的命令响应中的命令索引。

30.7.7 SDIO 响应 1..4 寄存器（SDIO_RESPONSEx）

地址偏移：0x14 + 4*(x-1)，其中 x = 1..4

复位值：0x0000 0000

SDIO_ RESPONSE1/2/3/4 寄存器包含卡的状态，即收到响应的部分信息

31–16
CARDSTSx[31:16]
r

15–0
CARDSTSx[15:0]
r

位域	名称	描述
31:0	CARDSTSx[31:0]	见下表。

根据响应状态，卡的状态长度是 32 位或 127 位。

表 30-33 响应类型和 SDIO_RESPONSEx 寄存器

寄存器	短响应	长响应
SDIO_ RESPONSE1	卡状态[31:0]	卡状态[127:96]
SDIO_ RESPONSE2	不用	卡状态[95:64]
SDIO_ RESPONSE3	不用	卡状态[63:32]
SDIO_ RESPONSE4	不用	卡状态[31:1]

总是先收到卡状态的最高位，SDIO_ RESPONSE4 寄存器的最低位始终为 0。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

30.7.8 SDIO 数据定时器寄存器（SDIO_DTIMER）

地址偏移：0x24

复位值：0x0000 0000

SDIO_DTIMER 寄存器包含以卡总线时钟周期为单位的数据超时时间。

一个计数器从 SDIO_DTIMER 寄存器加载数值，并在数据通道状态机（DPSM）进入 Wait_R 或繁忙状态时进行递减计数，当 DPSM 处在这些状态时，如果计数器减为 0，则设置超时标志。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
DATTIMEOUT[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DATTIMEOUT[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	DATTIMEOUT[31:0]	数据超时时间（Data timeout period） 以卡总线时钟周期为单位的数据超时时间。

注意 在写入数据控制寄存器进行数据传输之前，必须先写入数据定时器寄存器和数据长度寄存器。

30.7.9 SDIO 数据长度寄存器（SDIO_DATLEN）

地址偏移：0x28

复位值：0x0000 0000

SDIO_DATLEN 寄存器包含需要传输的数据字节长度。当数据传输开始时，这个数值被加载到数据计数器中。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved							DATLEN [24:16]								
							rw								

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DATLEN[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:25	Reserved	保留，硬件强制为 0。
24:0	DATLEN[24:0]	数据长度（Data length value） 要传输的数据字节数目

注意：对于块数据传输，数据长度寄存器中的数值必须是数据块长度（见 SDIO_DATCTRL）的倍数。在写入数据控制寄存器进行数据传输之前，必须先写入数据定时器寄存器和数据长度寄存器。

30.7.10 SDIO 数据控制寄存器（SDIO_DATCTRL）

地址偏移：0x2C

复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

SDIO_DATCTRL 寄存器控制数据通道状态机（DPSM）。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved			DMADIR	BLKSIZE[3:0]				SDIOEN	RWAIT STOP	RWAIT MOD	RWAIT EN	DMAEN	DATDIR	TRANS MOD	DATEN
			rw	rw				rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:13	Reserved	保留，硬件强制为 0。
12	DMADIR	DMA 模式下数据输出搬运到外部设备时配置为 1，外部设备数据输入时配置为 0
11:8	BLKSIZE[3:0]	数据块长度（Data block size） 当选择了块数据传输模式，该域定义数据块长度： 0000：块长度 $=2^0=1$ 字节；　1000：块长度 $=2^8=256$ 字节； 0001：块长度 $=2^1=2$ 字节；　1001：块长度 $=2^9=512$ 字节； 0010：块长度 $=2^2=4$ 字节；　1010：块长度 $=2^{10}=1024$ 字节； 0011：块长度 $=2^3=8$ 字节；　1011：块长度 $=2^{11}=2048$ 字节； 0100：块长度 $=2^4=16$ 字节；　1100：块长度 $=2^{12}=4096$ 字节； 0101：块长度 $=2^5=32$ 字节；　1101：块长度 $=2^{13}=8192$ 字节； 0110：块长度 $=2^6=64$ 字节；　1110：块长度 $=2^{14}=16384$ 字节； 0111：块长度 $=2^7=128$ 字节；　1111：保留。
7	SDIOEN	SD I/O 使能功能（SD I/O enable functions） 如果设置了该位，则 DPSM 执行 SD I/O 卡特定的操作。
6	RWAITSTOP	读等待停止（Read wait stop） 0：如果设置了 RWAITEN，执行读等待； 1：如果设置了 RWAITEN，停止读等待。
5	RWAITMOD	读等待模式（Read wait mode） 0：停止 SDIO_CLK 控制读等待； 1：使用 SDIO_DAT2 控制读等待。
4	RWAITEN	读等待开始（Read wait start） 设置该位开始读等待操作。
3	DMAEN	DMA 使能位（DMA enable bit） 0：关闭 DMA； 1：使能 DMA。
2	DATDIR	数据传输方向（Data transfer direction selection） 0：控制器至卡； 1：卡至控制器。
1	TRANSMOD	数据传输模式（Data transfer mode selection） 0：块数据传输； 1：流数据传输。
0	DATEN	数据传输使能位（Data transfer enabled bit） 如果设置该位为 1，则开始数据传输。根据 DATDIR 方向位，DPSM 进入 Wait_S 或 Wait_R 状态，如果在传输的一开始就设置了 RWAITEN 位，则 DPSM 进入读等待状态。不需要在数据传输结束后清除使能位，但必须更改 SDIO_DATCTRL 以允许新的数据传输。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com　邮编：518057

注意：写数据后的 7 个 HCLK 时钟周期内不能写入这个寄存器。

30.7.11 SDIO 数据计数器寄存器（SDIO_ DATCOUNT）

地址偏移：0x30

复位值：0x0000 0000

当 DPSM 从空闲状态进入 Wait_R 或 Wait_S 状态时，SDIO_DATCOUNT 寄存器从数据长度寄存器加载数值（见 SDIO_DATLEN），在数据传输过程中，该计数器的数值递减直到减为 0，然后 DPSM 进入空闲状态并设置数据状态结束标志 DATEND。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved							DATCOUNT[24:16]								
							r								

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DATCOUNT[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:25	Reserved	保留，硬件强制为 0。
24:0	DATCOUNT[24:0]	数据计数数值（Data count value） 读这个寄存器时返回待传输的数据字节数，写这个寄存器无作用。

注意：只能在数据传输结束时读这个寄存器。

30.7.12 SDIO 状态寄存器（SDIO_STS）

地址偏移：0x34

复位值：0x0000 0000

SDIO_STS 是一个只读寄存器，它包含两类标志：

- 静态标志（位[22、10:0]）：写入 SDIO 中断清除寄存器（见 SDIO_INTCLR），可以清除这些位。
- 动态标志（位[21:11]）：这些位的状态变化根据它们对应的那部分逻辑而变化（例如：FIFO 满和空标志变高或变低随 FIFO 的数据写入变化）。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved									SDIO INT	RDAT VALID	RFIFOF	RFIFO HF	RFIFOE	TDAT VALID	TFIFOF
									r	r	r	r	r	r	r

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TFIFO HE	TFIFOE	RXRUN	TXRUN	CMDRUN	DATBLK END	SBERR	DAT END	CMD SEND	CMDRES PRECV	RXOR ERR	TXUR ERR	DAT TIMEOUT	CMD TIMEOUT	DCRC ERR	CCRC ERR
r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r

位域	名称	描述
31:23	Reserved	保留，硬件强制为 0。
22	SDIOINT	收到 SDIO 中断（SDIO interrupt received）
21	RDATVALID	在接收 FIFO 中的数据可用（Data available in receive FIFO）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
20	RFIFOF	接收 FIFO 满（Receive FIFO full） 若使用了硬件流控制，当 FIFO 还差 2 个字满时，RFIFOF 信号变为有效。
19	RFIFOHF	接收 FIFO 半满（Receive FIFO half full）：FIFO 中至少还有 8 个字。
18	RFIFOE	接收 FIFO 空（Receive FIFO empty）
17	TDATVALID	在发送 FIFO 中的数据可用（Data available in transmit FIFO）
16	TFIFOF	发送 FIFO 满（Transmit FIFO full）
15	TFIFOHE	发送 FIFO 半空（Transmit FIFO half empty）：FIFO 中至少还可以写入 8 个字。
14	TFIFOE	发送 FIFO 空（Transmit FIFO empty） 若使用了硬件流控制，当 FIFO 包含 2 个字时，TFIFOE 信号变为有效。
13	RXRUN	正在接收数据（Data receive in progress）
12	TXRUN	正在发送数据（Data transmit in progress）
11	CMDRUN	正在传输命令（Command transfer in progress）
10	DATBLKEND	已发送/接收数据块（CRC 检测成功）（Data block sent/received（CRC check passed））
9	SBERR	在宽总线模式，没有在所有数据信号上检测到起始位（Start bit not detected on all data signals in wide bus mode）
8	DATEND	数据结束（数据计数器，SDIO_DCOUNT = 0）（Data end（data counter, SDIDCOUNT, is zero））
7	CMDSEND	命令已发送（不需要响应）（Command sent（no response required））
6	CMDRESPRECV	已接收到响应（CRC 检测成功）（Command response）
5	RXORERR	接收 FIFO 上溢错误（Received FIFO overrun error）
4	TXURERR	发送 FIFO 下溢错误（Transmit FIFO underrun error）
3	DATTIMEOUT	数据超时（Data timeout）
2	CMDTIMEOUT	命令响应超时（Command response timeout） 命令超时时间是一个固定的值，为 64 个 SDIO_CLK 时钟周期。
1	DCRCERR	已发送/接收数据块（CRC 检测失败）（Data block sent/received）
0	CCRCERR	已收到命令响应（CRC 检测失败）（Command response received）

30.7.13 SDIO 清除中断寄存器（SDIO_INTCLR）

地址偏移：0x38

复位值：0x0000 0000

SDIO_ INTCLR 是一个只写寄存器，在对应寄存器位写’1’将清除 SDIO_STS 状态寄存器中的对应位。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved									SDIO INTC	Reserved					
									w						

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved					DATBLK ENDC	SBERRC	DAT ENDC	CMD SENDC	CMDRES PRECVC	RXOR ERRC	TXUR ERRC	DATTIME OUTC	CMDTIM EOUTC	DCRC ERRC	CCRC ERRC
					w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w

位域	名称	描述
31:23	Reserved	保留，硬件强制为 0。
22	SDIOINTC	SDIOINT 标志清除位（SDIOINT flag clear bit）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		软件设置该位以清除 SDIOINT 标志。
21:11	Reserved	保留，硬件强制为 0。
10	DATBLKENDC	DATBLKEND 标志清除位（DATBLKEND flag clear bit） 软件设置该位以清除 DATBLKEND 标志。
9	SBERRC	SBERR 标志清除位（SBERR flag clear bit） 软件设置该位以清除 SBERR 标志。
8	DATENDC	DATEND 标志清除位（DATEND flag clear bit） 软件设置该位以清除 DATEND 标志。
7	CMDSENDC	CMDSEND 标志清除位（CMDSEND flag clear bit） 软件设置该位以清除 CMDSEND 标志。
6	CMDRESPRECVC	CMDRESPRECV 标志清除位（CMDRESPRECV flag clear bit） 软件设置该位以清除 CMDRESPRECV 标志。
5	RXORERRC	RXORERR 标志清除位（RXORERR flag clear bit） 软件设置该位以清除 RXORERR 标志。
4	TXURERRC	TXURERR 标志清除位（TXURERR flag clear bit） 软件设置该位以清除 TXURERR 标志。
3	DATTIMEOUTC	DATTIMEOUT 标志清除位（DATTIMEOUT flag clear bit） 软件设置该位以清除 DATTIMEOUT 标志。
2	CMDTIMEOUTC	CMDTIMEOUT 标志清除位（CMDTIMEOUT flag clear bit） 软件设置该位以清除 CMDTIMEOUT 标志。
1	DCRCERRC	DCRCERR 标志清除位（DCRCERR flag clear bit） 软件设置该位以清除 DCRCERR 标志。
0	CCRCERRC	CCRCERR 标志清除位。（CCRCERR clear bit） 软件设置该位以清除 CCRCERR 标志。

30.7.14 SDIO 中断使能寄存器（SDIO_INTEN）

地址偏移：0x3C

复位值：0x0000 0000

在对应位置‘1’， SDIO_ INTEN 中断使能寄存器决定哪一个状态位产生中断。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved									SDIOINTEN	RDATVALIDEN	RFIFOFEN	RFIFOHFEN	RFIFOEEN	TDATVALIDEN	TFIFOFEN
									rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TFIFOHEEN	TFIFOEEN	RXRUNEN	TXRUNEN	CMDRUNEN	DATBLKENDEN	SBERREN	DATENDEN	CMDSENDEN	CMDRESPRECVEN	RXORERREN	TXURERREN	DATTIMEOUTEN	CMDTIMEOUTEN	DCRCERREN	CCRCERREN
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:23	Reserved	保留，硬件强制为 0。
22	SDIOINTEN	允许 SDIO 模式中断已接收中断（SDIO mode interrupt received interrupt enable）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		由软件设置/清除该位，允许/关闭 SDIO 模式中断已接收中断功能。 0：SDIO 模式接收到 IO 中断时不产生中断 1：SDIO 模式接收到 IO 中断时产生中断
21	RDATVALIDEN	接收 FIFO 中的数据有效产生中断（Data available in Rx FIFO interrupt enable） 由软件设置/清除该位，允许/关闭接收 FIFO 中的数据有效中断。 0：接收 FIFO 中的数据有效不产生中断 1：接收 FIFO 中的数据有效产生中断
20	RFIFOFEN	接收 FIFO 满产生中断（Rx FIFO full interrupt enable） 由软件设置/清除该位，允许/关闭接收 FIFO 满中断。 0：接收 FIFO 满不产生中断 1：接收 FIFO 满产生中断
19	RFIFOHFEN	接收 FIFO 半满产生中断（Rx FIFO half full interrupt enable） 由软件设置/清除该位，允许/关闭接收 FIFO 半满中断。 0：接收 FIFO 半满不产生中断 1：接收 FIFO 半满产生中断
18	RFIFOEEN	接收 FIFO 空产生中断（Rx FIFO empty interrupt enable） 由软件设置/清除该位，允许/关闭接收 FIFO 空中断。 0：接收 FIFO 空不产生中断 1：接收 FIFO 空产生中断
17	TDATVALIDEN	发送 FIFO 中的数据有效产生中断（Data available in Rx FIFO interrupt enable） 由软件设置/清除该位，允许/关闭发送 FIFO 中的数据有效中断。 0：发送 FIFO 中的数据有效不产生中断 1：发送 FIFO 中的数据有效产生中断
16	TFIFOFEN	发送 FIFO 满产生中断（Tx FIFO full interrupt enable） 由软件设置/清除该位，允许/关闭发送 FIFO 满中断。 0：发送 FIFO 满不产生中断 1：发送 FIFO 满产生中断
15	TFIFOHEEN	发送 FIFO 半空产生中断（Tx FIFO half empty interrupt enable） 由软件设置/清除该位，允许/关闭发送 FIFO 半空中断。 0：发送 FIFO 半空不产生中断 1：发送 FIFO 半空产生中断
14	TFIFOEEN	发送 FIFO 空产生中断（Tx FIFO empty interrupt enable） 由软件设置/清除该位，允许/关闭发送 FIFO 空中断。 0：发送 FIFO 空不产生中断 1：发送 FIFO 空产生中断
13	RXRUNEN	正在接收数据产生中断（Data receive acting interrupt enable） 由软件设置/清除该位，允许/关闭正在接收数据中断。 0：正在接收数据不产生中断 1：正在接收数据产生中断
12	TXRUNEN	正在发送数据产生中断（Data transmit acting interrupt enable） 由软件设置/清除该位，允许/关闭正在发送数据中断。 0：正在发送数据不产生中断

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：正在发送数据产生中断
11	CMDRUNEN	正在传输命令产生中断（Command acting interrupt enable） 由软件设置/清除该位，允许/关闭正在传输命令中断。 0：正在传输命令不产生中断 1：正在传输命令产生中断
10	DATBLKENDEN	数据块传输结束产生中断（Data block end interrupt enable） 由软件设置/清除该位，允许/关闭数据块传输结束中断。 0：数据块传输结束不产生中断 1：数据块传输结束产生中断
9	SBERREN	起始位错误产生中断（Start bit error interrupt enable） 由软件设置/清除该位，允许/关闭起始位错误中断。 0：起始位错误不产生中断 1：起始位错误产生中断
8	DATENDEN	数据传输结束产生中断（Data end interrupt enable） 由软件设置/清除该位，允许/关闭数据传输结束中断。 0：数据传输结束不产生中断 1：数据传输结束产生中断
7	CMDSENDEN	命令已发送产生中断（Command sent interrupt enable） 由软件设置/清除该位，允许/关闭命令已发送中断。 0：命令已发送不产生中断 1：命令已发送产生中断
6	CMDRESPRECVEN	接收到响应产生中断（Command response received interrupt enable） 由软件设置/清除该位，允许/关闭接收到响应中断。 0：接收到响应不产生中断 1：接收到响应产生中断
5	RXORERREN	接收 FIFO 上溢错误产生中断（Rx FIFO overrun error interrupt enable） 由软件设置/清除该位，允许/关闭接收 FIFO 上溢错误中断。 0：接收 FIFO 上溢错误不产生中断 1：接收 FIFO 上溢错误产生中断
4	TXURERREN	发送 FIFO 下溢错误产生中断（Tx FIFO underrun error interrupt enable） 由软件设置/清除该位，允许/关闭发送 FIFO 下溢错误中断。 0：发送 FIFO 下溢错误不产生中断 1：发送 FIFO 下溢错误产生中断
3	DATTIMEOUTEN	数据超时产生中断（Data timeout interrupt enable） 由软件设置/清除该位，允许/关闭数据超时中断。 0：数据超时不产生中断 1：数据超时产生中断
2	CMDTIMEOUTEN	命令超时产生中断（Command timeout interrupt enable） 由软件设置/清除该位，允许/关闭命令超时中断。 0：命令超时不产生中断 1：命令超时产生中断
1	DCRCERREN	数据块 CRC 检测失败产生中断（Data CRC fail interrupt enable）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		由软件设置/清除该位，允许/关闭数据块 CRC 检测失败中断。 0：数据块 CRC 检测失败不产生中断 1：数据块 CRC 检测失败产生中断
0	CCRCERREN	命令 CRC 检测失败产生中断（Command CRC fail interrupt enable） 由软件设置/清除该位，允许/关闭命令 CRC 检测失败中断。 0：命令 CRC 检测失败不产生中断 1：命令 CRC 检测失败产生中断

30.7.15 SDIO FIFO 计数器寄存器（SDIO_ FIFOCOUNT）

地址偏移：0x48

复位值：0x0000 0000

SDIO_FIFOCOUNT 寄存器包含还未写入 FIFO 或还未从 FIFO 读出的数据字数目。当在数据控制寄存器（SDIO_DATCTRL）中设置了数据传输使能位 DATEN，并且 DPSM 处于空闲状态时，FIFO 计数器从数据长度寄存器（见 SDIO_DATLEN）加载数值。如果数据长度未与字对齐（4 的倍数），则最后剩下的 1~3 个字节被当成一个字处理。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
								FIFOCOUNT[23:16]							
								r							

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
FIFOCOUNT[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，硬件强制为 0。
23:0	FIFOCOUNT[23:0]	将要写入 FIFO 或将要从 FIFO 读出数据字的数目。

30.7.16 SDIO 数据 FIFO 寄存器（SDIO_ DATFIFO）

地址偏移：0x80

复位值：0x0000 0000

接收和发送 FIFO 是一组 32 位宽度的读或写寄存器，它在连续的 32 个地址上包含 32 个寄存器，CPU 可以使用数据 FIFO 寄存器依次读写 FIFO 数据。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
FIFODAT[31:16]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
FIFODAT[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:0	FIFODAT[31:0]	接收或发送 FIFO 数据 （Receive and transmit FIFO data）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		FIFO 数据占据 32 个 32 位的字，地址为： （SDIO 基址 ＋0x80） 至 （SDIO 基址 ＋0xFC）

31 适用于 ΣΔ 调制器的数字滤波器(DSMU)

31.1 简介

DSMU 模块主要用于连接外部 ΣΔ 调制器，支持高达 8 个外部数字串行接口（通道）， 并包含 4 个数字滤波器，提供灵活的 ΣΔ 流数字处理功能，实现高达 24 位分辨率的 ADC 输出。此外，DSMU 还可以选择接收来自内部 ADC 外设或存储器的并行数据流。

31.2 主要特性

- 支持高达 8 个复用的数字串行输入通道:
  - 支持可配置的 SPI 接口，用于连接各种外部 ΣΔ 调制器
  - 支持可配置的曼彻斯特编码单线接口
  - 支持输出时钟信号，用于连接外部 ΣΔ 调制器
- 支持高达 8 个内部数字并行通道：
  - 最高 16 位分辨率
  - 内部数据源来自 ADC 数据或 CPU/DMA 写入(存储器)数据
- 可配置的数字信号处理：
  - $sinc^x$ 滤波器：阶数（1 到 5）和过采样率（1 到 1024）可独立配置
  - 积分器：过采样率（1 到 256）可配置
- 支持高达 24 位分辨率输出数据分辨率：
  - 支持对最终数据进行右移处理（0 到 31 位）
  - 有符号整数输出
- 自动数据偏移校正（偏移量可配置）
- 支持连续或单次转换
- 支持多种转换启动方式：
  - 软件触发
  - 内部定时器触发
  - 外部事件触发
  - 与第一个 DSMU 滤波器 (DSMU_FLT0)同步转换

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 模拟看门狗：
  - 高、低阈值可配置
  - 支持独立可配置 $Sinc^x$ 数字滤波器（阶数=1 到 3，过采样率=1 到 32）
  - 输入数据源可来自滤波器输出数据寄存器或外部串行通道（1 到 8）
  - 支持连续监控，独立于数据转换
- 短路检测器用于检测饱和的模拟输入值（上限和下限值）：
  - 8 位计数器用于检测输入数据流中 1 到 256 个连续 0 或 1
  - 连续监控每个通道（8 个串行通道收发器输出)
- 模拟看门狗或短路检测器可输出刹车信号
- 极值检测器：
  - 存储最小和最大输出数据值
  - 通过软件读取刷新
- 转换结果支持 DMA 读取
- 中断：转换结束、转换结果溢出、模拟看门狗、短路事件、通道时钟缺失
- 两种类型的转换:
  - 规则转换：仅由优先级较低的软件触发，可在任何时间进行，也支持连续模式，且不影响注入转换的实时性
  - 注入转换：优先级高于规则转换，支持多个触发源，实时转换。

31.3 功能资源

表 31-1 DSMU 功能资源列表

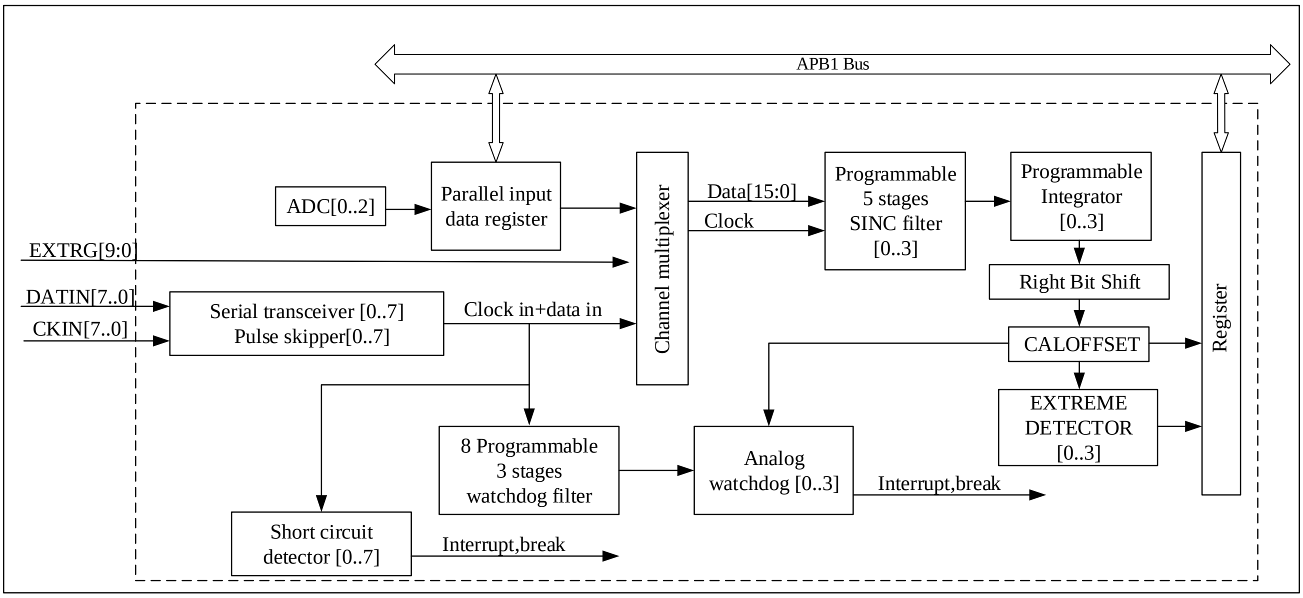
DSMU 功能	数量
输入通道	8
主滤波器	4
内部 ADC 通道	3
外部触发源	32
模拟看门狗	4
模拟看门狗滤波器	8

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31.4 DSMU 功能描述

31.4.1 DSMU 框图

图 31-1 DSMU 功能框图



注意：

- APB1 时钟频率应小于或等于 DSMU 时钟。
- 音频时钟应选择特定的时钟频率，经过 2-256 分频后，生成的时钟频率可用于音频频率，例如 44.1 kHz 或 48.0 kHz。
- 对于串行收发器，DSMU 时钟需要至少是 SPI 时钟的 4 倍，或者至少是曼彻斯特数据速率的 6 倍。
- 对于并行收发器，DSMU 时钟需要至少是输入数据速率的 2(在交错模式下为 4)倍。
- ADC 支持交错模式，即 ADC1、ADC2 数据到达 ADC1 总线。它还支持三模式，即 ADC1、ADC2 和 ADC3 数据到达 ADC1 总线。
- 如果用户想使用交错模式（ADC1 ADC2）或三模式（ADC1 ADC2 ADC3)，APB 时钟和 DSMU 时钟都需要至少是 ADC 数据速率的 4 倍。
- 如果使用曼彻斯特编码，用户还需要配置 CLKOUTDIV 值用于恢复曼彻斯特编码数据。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31.4.2 DSMU 信号

31.4.2.1 外部信号连接

表 31-2 DSMU 外部信号

名称	信号类型	描述
CKIN[7:0]	时钟输入	外部 ΣΔ调制器输出的串行时钟
DATIN[7:0]	数据输入	外部 ΣΔ 调制器输出的数据
CKOUT	时钟输出	DSMU 输出给外部 ΣΔ调制器的参考时钟
EXTRG[9:0]	外部触发信号	由 EXTI 输入的外部触发信号，用于启动注入转换 (来自 GPIOs: EXTI6~15).

31.4.2.2 外部触发信号

注入转换的触发信号可以通过 DSMU_FLTxCTRL1 寄存器中的 JEXTSEL[4 :0]位进行配置。

触发信号源详见下表。

表 31-3 DSMU 外部触发信号

DSMU 触发信号	触发信号源
dsmu_jtrg0	ATIM1_TRGO
dsmu_jtrg1	ATIM2_TRGO
dsmu_jtrg2	ATIM3_TRGO
dsmu_jtrg3	GTIM1_TRGO
dsmu_jtrg4	GTIM2_TRGO
dsmu_jtrg5	GTIM3_TRGO
dsmu_jtrg6	GTIM4_TRGO
dsmu_jtrg7	GTIM5_TRGO
dsmu_jtrg8	GTIM6_TRGO
dsmu_jtrg9	GTIM7_TRGO
dsmu_jtrg10	GTIM8_TRGO
dsmu_jtrg11	GTIM9_TRGO
dsmu_jtrg12	GTIM10_TRGO
dsmu_jtrg13	ATIM1_TRGO2
dsmu_jtrg14	ATIM2_TRGO2
dsmu_jtrg15	ATIM3_TRGO2
dsmu_jtrg16	EXTI6
dsmu_jtrg17	EXTI7
dsmu_jtrg18	EXTI8
dsmu_jtrg19	EXTI9
dsmu_jtrg20	EXTI10
dsmu_jtrg21	EXTI11
dsmu_jtrg22	EXTI12
dsmu_jtrg23	EXTI13
dsmu_jtrg24	EXTI14

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

DSMU 触发信号	触发信号源
dsmu_jtrg25	EXTI15
dsmu_jtrg26	LPTIM1
dsmu_jtrg27	LPTIM2
dsmu_jtrg28	-
dsmu_jtrg29	-
dsmu_jtrg30	-
dsmu_jtrg31	-

注意：外部触发信号宽度应至少为 1 个 DSMU 时钟周期。

31.4.2.3 刹车信号连接

DSMU 可输出 4 个刹车信号，信号连接如下表所示。

表 31-4 DSMU 刹车信号

刹车信号输出	内部互联
dsmu_brk0	ATIM1 break
	ATIM2 break
	ATIM3 break
	GTIM8 break
dsmu_ brk1	ATIM1 break2
	ATIM2 break2
	ATIM3 break2
	GTIM9 break
dsmu_ brk2	ATIM1 break
	ATIM2 break
	ATIM3 break
	GTIM10 break
dsmu_ brk3	ATIM1 break
	ATIM2 break
	ATIM3 break

31.4.3 DSMU 复位和时钟

DSMU 使能控制

DSMU 全局使能位 DSMUEN 在 DSMU_CH0CFG1 寄存器中。当 DSMUEN=1 时，所有通道使能位被置 1 的通道，以及滤波器使能位被置 1 的数字滤波器都将开始工作：

- 通道使能位：DSMU_CHyCFG1 寄存器中的 CHEN 位。
- 滤波器使能位：DSMU_FLTxCTRL1 寄存器中的 DFLTEN 位。

当 DFLTEN 置 1 时，Sinc^x 滤波器单元和积分器单元都会被重新初始化。

如果 DFLTEN 清零，所有进行中的数据转换都会立即停止，滤波器进入停止模式。除了滤波器状态寄存器

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

被复位（即 DSMU_FLTxAWDSTS 和 DSMU_FLTxSTS）之外，其他寄存器值保持不变。

当 CHEN 置 1 后，对应通道开始从外部 ΣΔ 调制器接收串行数据或并行内部数据（来自存储器的 ADC 或 CPU/DMA）。

在停止系统时钟以进入 STOP 模式之前，DSMU 必须全局禁用（即 DSMUEN=0）。

31.4.3.1 DSMU 时钟

DSMU 具有如下时钟域。

1. PCLK1 域：用于 APB1 总线下的配置/状态/数据寄存器。
2. DSMU_CLK 域：用于所有 DSMU 内部模块，包括通道收发器、数字处理（数字滤波 器、积分器）、附加模块（模拟看门狗、短路检测器、极值检测器、转换控制和通道复用器）。

   DSMU_CLK 时钟源来自系统时钟（可配置为 1、2、4、6 分频）。用户需要确保 DSMU_CLK >= PCLK1 频率，因为 DSMU 滤波器处理一个采样数据至少需要两个 DSMU_CLK 周期。

   对于串行通道收发器，DSMU_CLK 至少要为外部串行时钟的 4 倍，如果使用曼彻斯特接口，则至少要为 6 倍。

   DSMU 可以通过 CKOUT 引脚输出时钟信号，用作外部Σ Δ 调制器的参考时钟。时钟信号必须在设备数据手册规定的范围内。它是由 DSMU 时钟或音频时钟（由 DSMU_CH0CFG1 寄存器中的 CLKOUTSRC 位决定）生成的，并可以使用可编程分频器（DSMU_CH0CFG1 寄存器中的 CLKOUTDIV）进行调整，范围为 2 到 256。
3. ACLK 域：音频时钟源来自 RCC。通过适当配置时钟源和除法因子，DSMU 可以产生准确的音频时钟频率。

31.4.3.2 时钟配置序列

使能时钟输出

1. 在 DSMU_CH0CFG1 寄存器中配置 CLKOUTSRC 和 CLKOUTDIV。
2. 在 DSMU_CH0CFG1 寄存器中设置 DSMUEN = 1 。
3. 在 RCC 模块中配置 ACLK 和 DSMU_CLK 时钟源.

禁用时钟输出

1. 关闭 DSMUEN。
2. 如果 DSMU_CLK 已启用，需要等待 2 个 DSMU_CLK 周期。如果 ACLK 已启用，则需要等待 3 个 ACLK 周期。

31.4.4 串行通道收发器

每个滤波器、模拟看门狗或短路检测器支持 8 个复用的串行数据通道，用于接收来自外部 ΣΔ 调制器的数据流。数据流可采用 SPI 格式或曼彻斯特编码格式传输，通过 DSMU_CHyCFG1 寄存器中的 SITP[1:0]位配置。

如果要启用一个通道，需要在 DSMU_CHyCFG1 寄存器中设置 CHEN=1 。

31.4.4.1 通道输入选择

数据和时钟信号的串行输入引脚可以从特定通道引脚重定向，通过 DSMU_CHyCFG1 寄存器中的 CHINSEL

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

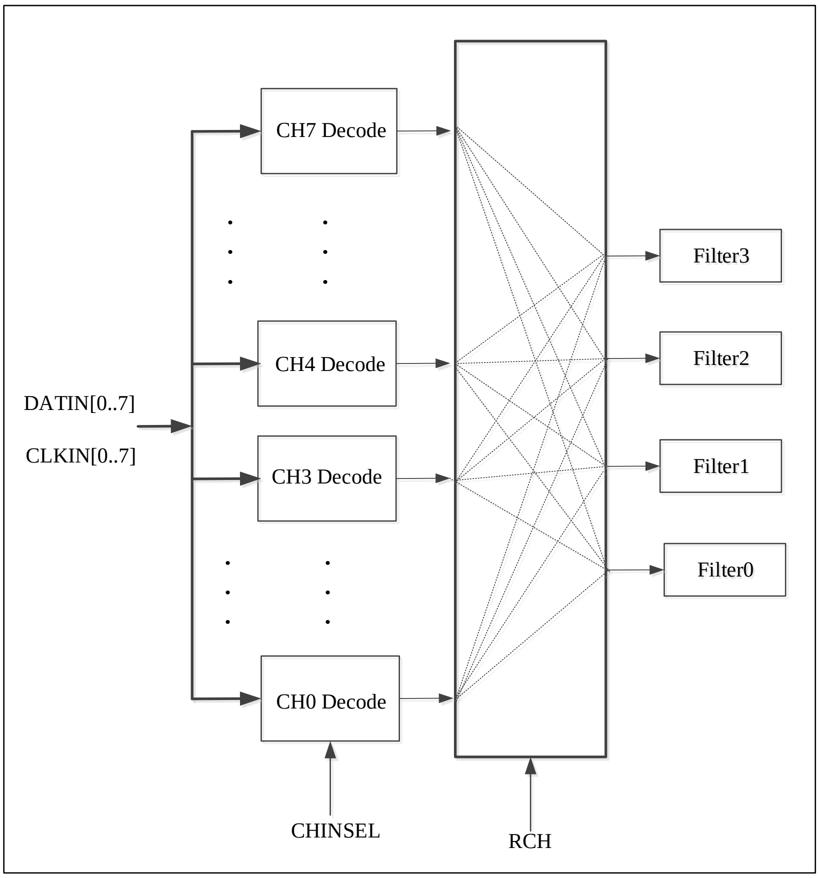
位配置。通道重定向用于从 PDM（脉冲密度调制） 立体声音频麦克风收集音频数据。一个 PDM 立体声音频麦克风根据输入参考时钟输出一个数据信号，其中包含左声道和右声道的的数据信息（左声道数据在参考时钟上升沿有效，右声道数据在参考时钟下降沿有效）。

例如，PDM 麦克风输入串行通道配置：

1. DSMU 输入串行通道 y 和 CKOUT 分别连接到 PDM 麦克风数据和时钟。
2. 对于通道 y：将 CHINSEL 设置为 0，使用引脚 DSMU_DATIN[y]。
3. 对于通道 (y-1)（模 8）：将 CHINSEL 设置为 1，使用引脚 DSMU_DATIN[y]。
4. 对于通道 y：将 SITP[1:0]设置为 0，在上升沿采样数据，对应左声道。
5. 对于通道 (y-1)：将 SITP[1:0]设置为 1，在下降沿采样数据，对应右声道。
6. 将 DSMU 滤波器分配给通道 y 或通道(y-1)，可独立处理来自 PDM 麦克风的左声道和右声道数据。

注意：如果要同时处理左、右声道数据，必须将 PDM 麦克风数据同时连接到两个输入串行通道 DSMU_DATIN[y] 与 DSMU_DATIN[x]。

图 31-2 DSMU channel mux



31.4.4.2 输出时钟配置

CKOUT 引脚可输出时钟作为外部 ΣΔ 调制器时钟。输出时钟源来自 DSMU 时钟或音频时钟，再由预分配器进行分频后输出（通过 DSMU_CH0CFG1 寄存器中的 CLKOUTDIV 配置）。

如果输出时钟禁用，则 CKOUT 信号变为低电平。用户可通过将 DSMU_CH0CFG1 寄存器中的 CLKOUTDIV

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

或 DSMUEN 设置为 0 来禁用时钟输出。

在更改输出时钟源（CLKOUTSRC）之前，请确保 CKOUT 信号已停止，以避免出现故障。输出时钟频率应在 0 到 20 MHz 之间。

31.4.4.3 SPI 数据输入格式操作

SPI 格式数据需要同时使用数据和时钟信号。数据信号始终由 DSMU_DATIN[y]引脚输入。参考时钟信号可以来自 DSMU_CKIN[y]引脚（外部），或者从内部 CKOUT 时钟产生。

如果使用外部时钟 (SPICLKCFG[1:0]=0)，DSMU_DATIN[y]引脚上的数据可在 DSMU_CKIN[y] 引脚输入的参考时钟的上升或下降沿采样，通过 DSMU_CHyCFG1 寄存器中的 SITP[1 :0]位配置。

内部时钟仅在外部 ΣΔ 调制器需要 CKOUT 作为参考时钟输入时作为参考时钟。使用内部时钟可以节省引脚，以便用于其他用途。

SPI 格式时钟信号频率必须在 0 到 20 MHz 之间，并且小于 $f_{DSMU\_CLK}/4$。

31.4.4.4 曼彻斯特编码数据输入格式操作

曼彻斯特数据流通过 DSMU_DATIN[y]引脚串行输入。曼彻斯特解码后，从该数据流中恢复解码后的数据和时钟信号。曼彻斯特编码时钟沿可配置（由 DSMU_CHyCFG1 寄存器中的 SITP[1 :0] 位配置）：

- Rising edge = logic 0; Falling edge = logic 1
- Rising edge = logic 1; Falling edge = logic 0

曼彻斯特编码的恢复时钟信号频率必须在 0 到 10 MHz 之间，并且小于 $f_{DSMU\_CLK}/6$。

为了正确接收曼彻斯特编码数据，必须根据期望的曼彻斯特数据速率适当配置 CLKOUTDIV 分频器 （在 DSMU_CH0CFG1 寄存器中）：

$$((CLKOUTDIV + 1) * T_{DSMU\_CLK}) < T_{Manchester\ clock} < (2 * CLKOUTDIV * T_{DSMU\_CLK})$$

31.4.4.5 时钟缺失检测

时钟缺失检测用于监控串行通道的时钟输入，以检查时钟是否存在或缺失，确保正确的数据传输并及时提供错误提示。 用户可通过 DSMU_CHyCFG1 寄存器中的 CLKABEN 位为每个输入通道单独启用或禁用时钟缺失检测。启用后，时钟缺失检测将在选定的通道上持续运行。

如果检测到时钟缺失，CLKABF[y]标志将被设置为 1。如果 CLKABIEN 已被设置为 1，则可触发中断。用户可在 DSMU_FLT0STS 寄存器中找到时钟缺失标志，并在 DSMU_CHyCFG1 寄存器中启用时钟缺失检测。在 DSMU_FLT0INTCLR 寄存器中，将 CLRCLKABF 对应位置 1 可清除时钟缺失标志。

当通道被禁用时(CHEN[y] = 0)，硬件也会将对应的 CLKABF[y]标志设置为 1。

当发生时钟缺失事件时，数据转换、模拟看门狗和短路检测可能无法提供正确的数据。用户应及时处理此事件并丢弃受影响的数据。

时钟缺失检测仅在系统时钟用于 CKOUT 信号源(DSMU_CH0CFG1 寄存器中的 CLKOUTSRC =0)时可用。

如果串行通道收发器未正确同步，也会设置时钟缺失标志，并且无法使用 DSMU_FLT0INTCLR 寄存器中的 CLRCLKABF[y]位清除该标志。时钟缺失检测的软件配置方法：

- 将 CHEN 设置为 1 来启用通道
- 将 CLRCLKABF 设置为 1 来清除时钟缺失标志，并重复此操作直到标志被清除 (CLKABF = 0)。此时

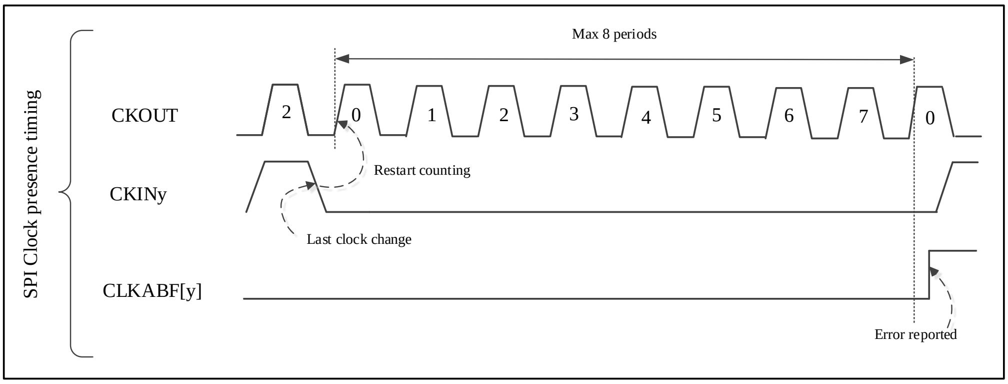
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表明收发器已正确同步并准备好接收数据。

- 将 CLKABEN 设置为 1 来启用时钟缺失功能，并根据需要将 CLKABIEN 设置为 1 来启用时钟缺失中断。此时将开始检测 SPI 时钟是否丢失或曼彻斯特数据边沿是否缺失。

SPI 时钟缺失检测将外部输入时钟与输出时钟(CKOUT 信号)进行比较。外部输入时钟必须在每 8 个 CKOUT 信号周期内至少改变一次，该周期由 DSMU_CH0CFG1 寄存器中的 CLKOUTDIV 域控制。

图 31-3 SPI 格式时钟缺失检测时序图



曼彻斯特时钟缺失意味着无法从曼彻斯特编码信号恢复时钟。为了正确恢复时钟，数据必 须首先从 1 转换到 0 或从 0 转换到 1。初始同步后，时钟缺失检测将编码的串行数据输入信号的变化与输出时钟 (CKOUT 信号) 进行比较。

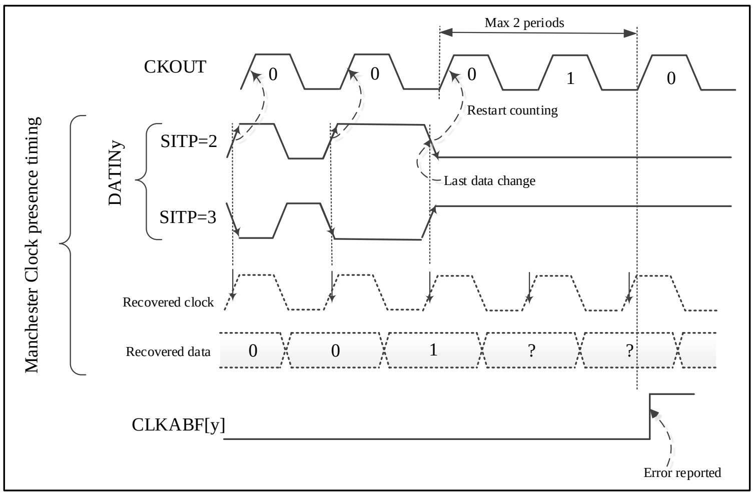
在由 DSMU_CH0CFG1 寄存器中的 CLKOUTDIV 位控制的 CKOUT 信号的 2 个周期内，必须在 DSMU_DATIN[y] 引脚上出现电平变化。此条件决定了正确恢复曼彻斯特编码数据和时钟信号所需的最小数据速率。曼彻斯特编码数据的最大数据速率必须小于 CKOUT 信号。

为了正确接收曼彻斯特编码数据，CLKOUTDIV 分频器必须根据适当的公式设置：

$$((\mathrm{CLKOUTDIV} + 1) * T_{\mathrm{DSMU\_CLK}}) < T_{\mathrm{Manchester\ clock}} < (2 * \mathrm{CLKOUTDIV} * T_{\mathrm{DSMU\_CLK}})$$

如果发生输入时钟恢复错误，将设置时钟缺失标志 (CLKABF[y] = 1)，如果 CLKABIEN 设置为 1，则可以触发中断。用户可在 DSMU_FLT0STS 寄存器中找到时钟缺失标志， 在 DSMU_CHyCFG1 寄存器中启用检测，并可使用 DSMU_FLT0INTCLR 寄存器中的 CLRCLKABF 位清除时钟缺失标志。

图 31-4 曼彻斯特编码时钟缺失检测时序图



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31.4.4.6 曼彻斯特/SPI 格式数据同步

在启用通道(DSMU_CHyCFG1.CHEN=1)后,为了正确同步曼彻斯特编码流，请参照以下操作流程：

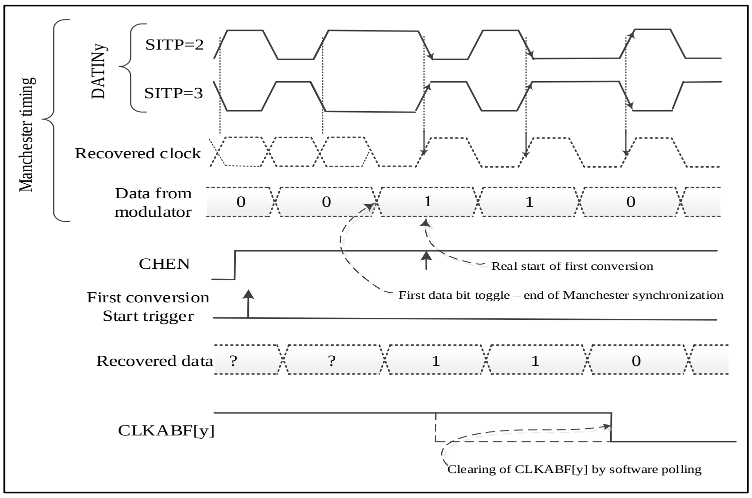
1. 初始同步：数据流必须首先检测到数据从 0 到 1 或 1 到 0 的变化。
2. 检查同步：轮询 CLKABF[y] 标志。如果已置 1，则通过在 DSMU_FLT0INTCLR 寄存器中设置 CLRCLKABF[y]位来清除。
3. 重复清除标志：如果通道尚未正确同步，硬件将立即再次设置 CLKABF[y]标志。此时应继续清除标志并轮询，直到 CLKABF[y]标志位保持清除状态，表明已正确同步。
4. 设置 CLKOUTDIV：确保 DSMU_CH0CFG1 寄存器中的 CLKOUTDIV 分频器已根据预期的曼彻斯特数据速率正确配置。

$$((CLKOUTDIV + 1) * T_{DSMU\_CLK}) < T_{Manchester\ clock} < (2 * CLKOUTDIV * T_{DSMU\_CLK})$$

SPI 编码的数据流在检测到时钟输入信号的第一个有效上升沿或下降沿后同步。

如果收发器尚未同步，时钟缺失标志将被设置，并且无法使用 DSMU_FLT0INTCLR 寄存器中的 CLRCLKABF[y]位清除。

图 31-5 曼彻斯特编码首次解码 (曼彻斯特同步)



31.4.4.7 外部串行时钟频率测量

测量通道的串行时钟输入频率可用于确认来自外部 ΣΔ 调制器的实际数据速率，对于应用至关重要。DSMU 通过一个计数器测量这个频率，在一次转换周期内计数 DSMU 时钟周期 (f_{DSMU_CLK})。计数从转换触发（常规或注入）后的第一个输入数据时钟开始，并在转换结束时（当转换结束标志被设置时）结束，即最后一个输入数据时钟之前。

每个转换持续时间（首个和末尾串行样本之间的时间）在转换完成后（JEOCF=1 或 REOCF=1）记录在 DSMU_FLTxCOVTIM 寄存器的 COVCNT[27 :0]计数器中。用户可以根据数字滤波器设置（FORD，FOSR，IOSR，FAST）计算数据速率。外部串行频率测量仅在滤波器被旁路时停止（FOSR=0，此时仅积分器活动，DSMU_FLTxCOVTIMR 寄存器中 COVCNT[27 :0]=0 ）。

对于并行数据输入，测得的频率是单个转换期间的平均输入数据速率。

如果转换被中断（例如，通过禁用/启用所选通道），中断时间也会计入 COVCNT[27 :0]。 因此，为了获得准确的转换持续时间结果，建议不要中断转换。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

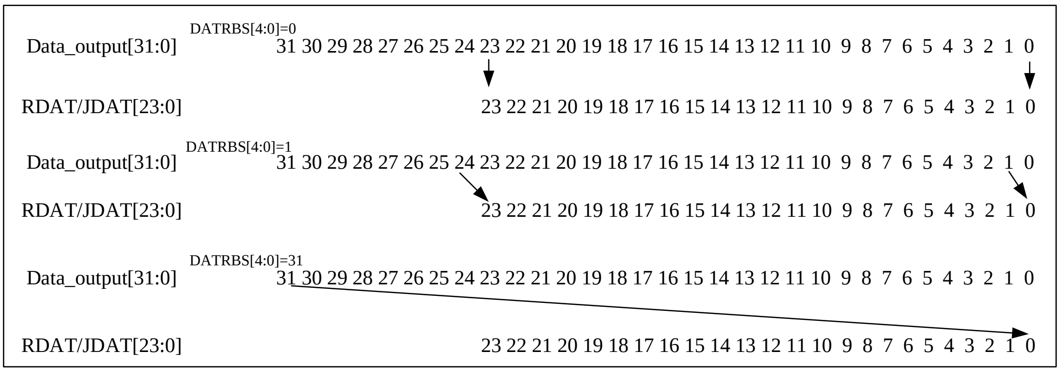
31.4.4.8 通道偏移校准设置

每个通道都有自己的偏移校准设置，用于从该通道的每个转换结果（注入或 常规）中自动减去校准值。偏移校准发生在数据右移后。校准值以 24 位有符号整数的形式存储在 DSMU_CHyCFG2 寄存器中的 CALOFFSET[23 :0] 位域中。

31.4.4.9 数据右移

为了将结果对齐到 24 位整数，每个通道应指定要应用于每个转换结果（注入的或常规的）右移的位数。这个位移数存储在 DSMU_CHyCFG2 寄存器中的 DATRBS[4:0]位中。右移位数将结果四舍五入到最接近的整数，同时保持符号，确保结果为有效的 24 位有符号整数。

图 31-6 数据右移示例



31.4.4.10 配置输入串行接口

要配置输入串行接口，需要配置以下参数：

- 输出时钟预分频器：通过 DSMU_CH0CFG1 寄存器中的 CLKOUTDIV[7 :0]位域配置可编程预分频器（范围：2-256），用于从 DSMU_CLK 时钟生成输出时钟。
- 串行接口类型和输入时钟相位：配置 DSMU_CHyCFG1 寄存器中的 SITP[1:0]位域，选择 SPI 或曼彻斯特编码以及时钟采样边沿。
- 输入时钟源：配置 DSMU_CHyCFG1 寄存器中的 SPICLKCFG[1:0]位域，选择采样时钟源：DSMU_CKIN[y]引脚输入的外部时钟、或 CKOUT 引脚的内部时钟。
- 最终数据右移：配置 DSMU_CHyCFG2 寄存器中的 DATRBS[4:0]位域，设置正确的右移位数来确保结果为 24 位有符号整数。
- 通道偏移校准：配置 DSMU_CHyCFG2 寄存器中的 CALOFFSET[23:0]位域，设置每个串行通道（连接外部 ΣΔ 调制器)的偏移校准值。
- 短路检测器和时钟缺失监控：在 DSMU_CHyCFG1 寄存器中，根据需要为每个串行输入通道分别启用或禁用短路检测器 (SCDETEN 位)和时钟缺失监控 (CLKABEN 位)。
- 模拟看门狗滤波器和短路检测器阈值：在 DSMU_CHyAWDSCDET 寄存器中，配置模拟看门狗滤波器参数(AWDFORD[1:0]与 AWDFOSR[4:0]位域)和短路检测阈值（SCDETTH[7:0]位域）。

31.4.5 并行通道收发器

除了串行数据输入，每个通道都有一个输入数据寄存器(DSMU_CHyDATIN 寄存器)，用于 16 位并行数据输入。并行输入数据只能来自内部数据源：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

■ 内部 ADC 转换结果

■ 通过 CPU 或 DMA 直接写入输入数据寄存器

每个通道可分别通过 DSMU_CHyCFG1 寄存器中的 DATMUX[1:0]位域选择串行或并行数据输入、以及并行数据源：内部 ADC 或 CPU/DMA。数据采用 16 位有符号格式，可作为数字滤波器的输入。

如果选择串行数据输入 (DATMUX[1:0]=0)，则 DSMU_CHyDATIN 寄存器处于写保护状态。

31.4.5.1 从内部 ADC 输入

MCU 内部有三个 ADC，分别与 DSMU 的固定通道连接：

ADC1 – 通道 0，ADC2 – 通道 1，ADC3 – 通道 2。

ADC1 和 ADC2 支持交错模式：ADC1 和 ADC2 的数据都在 ADC1 数据总线上传输。

ADC1、ADC2、ADC3 支持 3ADC 模式，所有数据仅在 ADC1 数据总线上传输。

使用 ADC 数据并行输入 (DATMUX[1:0]=1) 时，来自 ADC[y+1]的转换结果被分配到对应的 DSMU 通道 y。当 ADC[y+1]转换结束事件发生后，转换结果从 ADC[y+1]写入到 DSMU_CHyDATIN 寄存器 (INDATA0[15 : 0] 位域)，并作为下一个样本发送到数字滤波器。

数据组合模式的配置 (DSMU_CHyCFG1.DATPACK[1:0])不影响 ADC 数据输入。

如果内部 ADC 配置为交错模式，比如 ADC1 与 ADC2，则来自 ADC1 或 ADC2 的每个结果都将发送到 DSMU 通道 0。这将导致 DSMU 通道 0 的数据输入速率加倍，因为来自 ADC1 和 ADC2 的数据由其各自的转换结束事件指示，与 ADC2 关联的 DSMU 通道 1 被闲置。

31.4.5.2 从存储器输入(通过 CPU/DMA 直接写入)

当使用 CPU 或 DMA 直接将数据写入 DSMU_CHyDATIN 寄存器(DATMUX[1 :0]=2)时， 用户可以处理来自存储器或其他外设的数字数据流。数据写入方法：

1. CPU 写入：

   CPU 直接将输入数据写入 DSMU_CHyDATIN 寄存器。

2. DMA 写入:

   配置 DMA 为内存到内存传输模式（无需请求），将数据从存储器传输到 DSMU_CHyDATIN 寄存器。DMA 目标地址即为 DSMU_CHyDATIN 寄存器地址，数据以 DMA 速度从存储器传输到 DSMU 并行输入通道。此 DMA 与读取 DSMU 转换结果的 DMA 不同，两个 DMA 可同时工作：一个 DMA（配置为内存到内存传输）写入输入数据，而另一个 DMA(配置为外设到内存传输) 读取转换结果

对 DSMU_CHyDATIN 寄存器的访问可以是 16 位或 32 位宽，允许用户在一次写操作中加载一个或两个样本。32 位输入数据寄存器 (DSMU_CHyDATIN) 可以容纳一个或两个 16 位数据样本，具体取决于 DSMU_CHyCFG1 寄存器中 DATPACK[1 :0] 位域设置的数据组合模式：

1. 标准模式 (DATPACK[1:0]=0):

   仅将一个样本存储在 DSMU_CHyDATIN 寄存器的 INDATA0[15 :0] 位域中，用作通道 y 的输入数据。高 16 位 (INDATA1[15 :0])被忽略并处于写保护状态。在 CPU/DMA 填充数据寄存器后，数字滤波器必须从 INDATA0[15 :0] 读取输入数据以清空数据寄存器。此模式下，CPU/DMA 每次对 DSMU_CHyDATIN 寄存器写入 16 位数据，加载一个样本， DSMU 时钟 (DSMU_CLK) 必须至少为写入速率的两倍。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

2. **交错模式 (DATPACK[1:0]=1):**

DSMU_CHyDATIN 寄存器也可同时用作两个样本的缓冲区。第一个样本存储在 INDATA 0[15 :0]，第二个样本存储在 INDATA1[15 :0]。数字滤波器必须从通道 y 执行两次读操作以清空 DSMU_CHyDATIN 寄存器。此模式与 32 位 CPU/DMA 访问 DSMU_CHyDATIN 寄存器配合使用，每次写操作加载两个样本。DSMU 时钟 (DSMU_CLK) 必须至少为写入速率的 4 倍。

3. **双重模式 (DATPACK[1:0]=2):**

两个样本 (INDATA0[15 :0] 用于通道 y 和 INDATA1[15 :0] 用于通道 y+1) 被写入 DSMU_CHyDATIN 寄存器。INDATA1[15 :0] 中的数据会自动复制到下一个通道的数 据寄存器 (DSMU_CH[y+1]DATIN) 的 INDATA0[15 :0] 位域。数字滤波器需要执行两次读操作以清空 DSMU_CHyDATIN 寄存器：一次来自通道 y，另一次来自通道 y+1。

双重模式 (DATPACK[1 :0]=2) 仅适用于偶数通道号（例如，0、2、4、6）。如果将奇数通道（例如，1、3、5、7）设置为双模式，则该通道的 INDATA0[15 :0] 和 INDATA1[15 :0] 将处于写保护状态。如果将偶数通道设置为双模式，则后续奇数通道必须设置为标准模式 (DATPACK[1 :0]=0) 才能与偶数通道正确配合运行。

表 31-5 DSMU_CHyDATIN 数据组合模式

标准模式		交错模式		双重模式		y
bit[31:16]	bit[15:0]	bit[31:16]	bit[15:0]	bit[31:16]	bit[15:0]	
未使用	CH0(样本 0)	CH0(样本 1)	CH0(样本 0)	CH1(样本 0)	CH0(样本 0)	0
未使用	CH1(样本 0)	CH1(样本 1)	CH1(样本 0)	未使用	CH1(样本 0)	1
未使用	CH2(样本 0)	CH2(样本 1)	CH2(样本 0)	CH3(样本 0)	CH2(样本 0)	2
未使用	CH3(样本 0)	CH3(样本 1)	CH3(样本 0)	未使用	CH3(样本 0)	3
未使用	CH4(样本 0)	CH4(样本 1)	CH4(样本 0)	CH5(样本 0)	CH4(样本 0)	4
未使用	CH5(样本 0)	CH5(样本 1)	CH5(样本 0)	未使用	CH5(样本 0)	5
未使用	CH6(样本 0)	CH6(样本 1)	CH6(样本 0)	CH7(样本 0)	CH6(样本 0)	6
未使用	CH7(样本 0)	CH7(样本 1)	CH7(样本 0)	未使用	CH7(样本 0)	7

将一个或两个样本写入 DSMU_CHyDATIN 寄存器必须在启用选定的输入通道(通道 y）进行数据采集(启动通道 y 的转换）后进行。否则，写入的数据将丢失。

例如，在单次转换和交错模式下，不要在开始单次转换之前将数据样本对写入 DSMU_CHyDATIN。在开始转换之前，DSMU_CHyDATIN 中所有数据都将被丢弃。

31.4.6 通道选择

有 8 个通道可用于转换，可采用注入通道组或规则通道的形式进行选择。

注入通道组:

用户可以选择任何或所有 8 个通道，组成注入通道组。注入通道组通过 DSMU_FLTxJCHG[7:0]寄存器进行选择，其中 JCHG[y]=1 表示选择了对应通道 y。注入转换可以在以下模式下运行:

- **扫描模式(JSCAN=1):** 转换所有选定的通道，从编号最小的通道开始依次转换。
- **单次模式(JSCAN=0):** 每次转换一个选定的通道。对 DSMU_FLTxJCHG[7:0]的写操作将重置当前待转换通道为注入通道组中编号最小的通道。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

这些转换可以由软件或触发源启动，并且不会被规则转换打断。

规则通道：

- 只能在 8 个通道中选择一个。
- 所选通道由 DSMU_FLTxCTRL1 寄存器中的 RCH[2 :0]位域指示。
- 规则转换只能由软件启动，并会被注入转换暂时中断。
- 如果在禁用的通道（CHEN=0）上执行转换，它将永远不会结束，因为没有输入数据。此时可通过启用通道（CHEN=1）或在 DSMU_FLTxCTRL1 寄存器中设置 DFLTEN=0 来停止转换。

31.4.7 数字滤波器配置

DSMU 通过 $Sinc^x$ 数字滤波器处理输入的数据，可提高分辨率，但同时也会降低输出数据速率（降频）。$Sinc^x$ 滤波器可由用户配置，以满足所需的输出数据速率和分辨率。滤波器可配置的参数如下：

- 滤波器阶数：（DSMU_FLTxFCTRL 寄存器中的 FORD[2 :0]位域）：
  - FastSinc
  - $Sinc^1$
  - $Sinc^2$
  - $Sinc^3$
  - $Sinc^4$
  - $Sinc^5$
- 滤波器过采样率 (DSMU_FLTxFCTRL 寄存器中的 FOSR[9:0]位域):
  - FOSR = 1 to 1024: 适用于 FastSinc 滤波器和 $Sinc^x$(x=1,2,3)滤波器（FORD=1~3）。
  - FOSR = 1 to 215: 适用于 $Sinc^4$ 滤波器（FORD=4）。
  - FOSR = 1to 73: 适用于 $Sinc^5$ 滤波器（FORD=5）。

滤波器的传递函数（H 域中的脉冲响应）如下：

$Sinc^x$ 滤波：

$$H(z)=\left[\frac{1-z^{-FOSR}}{1-Z^{-1}}\right]^X$$

FastSinc 滤波：

$$H(z)=\left[\frac{1-z^{-FOSR}}{1-Z^{-1}}\right]^2 * (1+z^{-(2*FOSR)})$$

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 31-7 Sinc3 滤波频率响应示例图

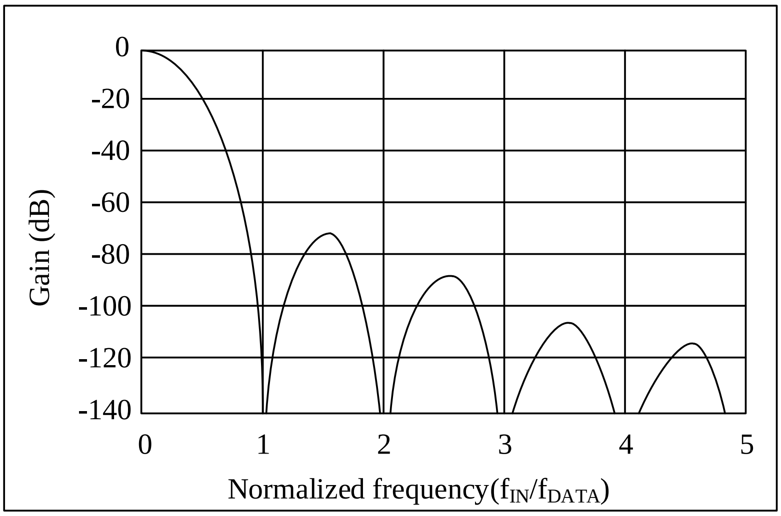


表 31-6 不同 FOSR 配置下滤波器最大输出分辨率示例

FOSR	$Sinc^1$	$Sinc^2$	FastSinc	$Sinc^3$	$Sinc^4$	$Sinc^5$
x	+/- x	+/- x^2	+/- $2x^2$	+/- x^3	+/- x^4	+/- x^5
4	+/- 4	+/- 16	+/- 32	+/- 64	+/- 256	+/- 1024
8	+/- 8	+/- 64	+/- 128	+/- 512	+/- 4096	-
32	+/- 32	+/- 1024	+/- 2048	+/- 32768	+/- 1048576	+/- 33554432
64	+/- 64	+/- 4096	+/- 8192	+/- 262144	+/- 16777216	+/- 1073741824
128	+/- 128	+/- 16384	+/- 32768	+/- 2097152	+/- 268435456	
256	+/- 256	+/- 65536	+/- 131072	+/- 16777216	Result can overflow on full scale	
1024	+/- 1024	+/- 1048576	+/- 2097152	+/-1073741824	input (> 32-bit signed integer)	

31.4.8 积分器单元

积分器通过对指定数量的滤波器输出数据进行累加，进一步增加最终输出数据分辨率，同时也会降低数据输出速率。积分器过采样率 (IOSR) 定义为需要累加的滤波器输出数据数量，可在 1 到 256 之间配置，详见 DSMU_FLTxFCTRL 寄存器中的 IOSR[7 :0]位域描述。

表 31-7 不同 IOSR 配置下的积分器最大分辨率（Sinc3 滤波，FOSR=256）

IOSR	$Sinc^1$	$Sinc^2$	FastSinc	$Sinc^3$	$Sinc^4$	$Sinc^5$
x	+/-FOSR*x	+/-$FOSR^2$*x	+/-2$FOSR^2$*x	+/-$FOSR^3$*x	+/-$FOSR^4$*x	+/-$FOSR^5$*x
4	-	-	-	+/-67 108 864	-	-
32	-	-	-	+/-536 870 912	-	-
128	-	-	-	+/- 2 147 493 648	-	-
256	-	-	-	+/-2^{31}	-	-

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31.4.9 模拟看门狗

模拟看门狗用于在模拟信号幅值超出指定的最大阈值或最小值阈值时触发相关事件，可配置产生中断或输出刹车信号。

模拟看门狗数据源通过 DSMU_FLTxCTRL1 寄存器中的 AWDFSEL 位配置，可监控串行通道输入数据（经看门狗滤波器滤波后）或主滤波器数据输出寄存器（当前注入或规则转换结果）。需要监控的通道通过 DSMU_FLTxCTRL2 寄存器中的 AWDCH[7:0]位域选择。

模拟看门狗滤波器独立于主滤波器运行，每个输入串行通道使用各自的滤波器配置，在当前通道上持续运行，即使主滤波器（注入或规则转换）被暂停（DSMU_FLTxSTS 寄存器中的 RCIP = 0 或 JCIP = 0 ）。

用于对比的高阈值和低阈值分别在 DSMU_FLTxAWDHT 寄存器中的 AWDHT[23:0]位域和 DSMU_FLTxAWDLT 寄存器中的 AWDLT[23:0]位域中配置。

关于两种数据源分别描述如下：

- 从最终数据输出寄存器 (AWDFSEL=0) 获取待监控的数据：
  - 最高 24 位数据分辨率。
  - 响应时间长，不适用于过流检测等需要快速响应的应用。
  - 最终用于比较的数据在位移和偏移校正后可用。
  - 最终数据在常规或注入转换完成后可用。
  - 适用于并行输入数据源 (DSMU_CHyCFG1 寄存器中 DATMUX[1: 0] ≠ 0)。
- 从任意串行通道输入数据中 (AWDFSEL=1) 获取待监控的数据：
  - 串行通道数据经专用模拟看门狗 $Sinc^x$ 滤波器（过采样率 1~32，滤波除数 1~3）处理后输出到模拟看门狗。模拟看门狗滤波器在 DSMU_CHyAWDSCDET 寄存器中的 AWDFOSR[4 :0] 和 AWDFORD[1:0]位域配置。
  - 16 位较低分辨率。
  - 响应时间短，适用于过流或过压检测等应用。
  - 数据连续提供，与主滤波器常规/注入转换无关。

当用于监测输入通道 (AWDFSEL=1) 时，待比较的数据来自 DSMU_FLTxCTRL2 寄存器中由 AWDCH[7: 0] 位域选择的通道。将每个选定通道的滤波器结果与阈值对 (AWDHT[23 :0] / AWDLT[23:0]) 进行比较。在此场景中，仅使用高 16 位 (AWDHT[23 :8] / AWDLT[23:8]) 来定义与模拟看门狗滤波器输出比较的 16 位阈值，低 8 位 (AWDHT[7 :0] / AWDLT[7 :0])被忽略。

每个输入通道的模拟看门狗滤波器配置参数在 DSMU_CHyAWDSCDET 寄存器中设置，包括滤波器阶数 (AWDFORD[1 :0]) 和滤波器过采样率 (AWDFOSR[4 :0])。

每个输入通道都有自己的比较器，将模拟看门狗数据（来自模拟看门狗滤波器）与阈值（AWDHT/AWDLT）进行比较。当多个通道被选中（使用 DSMU_FLTxCTRL2 寄存器 中的 AWDCH[7 :0] 位域）时，可能会同时发生多个比较请求。此时，比较器首先处理编号最小的通道，然后继续处理编号更大的通道。每个通道的比较结果可分别记录在单独的标志 （DSMU_FLTxAWDSTS 寄存器中的 AWDHTF[7 :0] 和 AWDLTF[7 :0] ）中。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

每个通道请求的执行需要 8 个 DSMU 时钟周期，因此每个通道的带宽限制为 8 个 DSMU 时钟周期（如果 AWDCH[7 :0] = 0xFF）。由于最大输入通道采样时钟频率是 DSMU 时钟频率的 1/4，因此模拟看门狗无法在此输入速度下使用配置 AWDFOSR = 0（旁路模拟看门狗滤波器）。因此，用户必须根据输入采样时钟速度和 DSMU 频率正确配置需要监控的通道数和模拟看门狗滤波器参数。

对于给定的通道 y，软件可以通过 DSMU_CHyAWDDAT 寄存器中 AWDDAT[15 :0] 位域读取模拟看门狗滤波器数据。如果 DSMU_CHyCFG1 寄存器中的 CHEN=1 设置，则该数据根据模拟看门狗滤波器配置和通道输入时钟频率确定的速率连续转换。

模拟看门狗滤波器的转换操作类似于规则转换的快速模式，但没有积分器。模拟看门狗滤 波器输出（在通道输入时钟频率 f_{CKIN}）所需的样本数由滤波器设置确定。

首次转换：

对于 $Sinc^x$ 滤波器 (x=1~3): 样本数量 = [FOSR * FORD + 2]

对于 FastSinc 滤波器: 样本数量 = [FOSR * 4 + 2]

后续转换：

对于 $Sinc^x$ 和 FastSinc 滤波器：样本数 = [FOSR]

其中：

FOSR：滤波器过采样率：FOSR = AWDFOSR[4:0] + 1（详见 DSMU_CHyAWDSCDET 寄存器）

FORD：滤波器阶数：FORD = AWDFORD[1:0]（详见 DSMU_CHyAWDSCDET 寄存器）

当监控输出数据寄存器(AWDFSEL=0)时，看门狗对经过右移和偏移校正后的最终数据进行比较（参考 DSMU_CHyCFG2 寄存器中的 CALOFFSET[23 :0] 和 DATRBS[4 :0] 位域）。 此比较发生在 AWDCH[7:0] 位域（DSMU_FLTxCTRL2 寄存器）选定的通道所进行的注入或规则转换结束之后。

模拟看门狗事件的状态指示在 DSMU_FLTxAWDSTS 寄存器中，事件发生后被锁存。 AWDHTF[y]=1 指示通道 y 上数据超出 AWDHT[23 :0]定义的高阈值。AWDLTF[y]=1 指示通道 y 上的数据超出 AWDLT[23 :0]定义的低阈值。DSMU_FLTxAWDSTS 寄存器中的锁存事件通过向相应的清除位（DSMU_FLTxAWDCLR 寄存器中的 CLRAWDHTF[y]或 CLRAWDLTF[y] ）写‘1’来清除。

模拟看门狗的全局状态由 DSMU_FLTxSTS 寄存器中的 AWDF 标志位指示，用于快速确认中断源。AWDF=1 指示至少发生了一个看门狗事件（至少有 1 个通道 y，AWDHTF[y]=1 或 AWDLTF[y]=1）。当所有 AWDHTF[7:0] 和 AWDLTF[7:0] 标志都被清除时，AWDF 位自动清 0。

模拟看门狗事件可配置输出刹车信号。DSMU 最多支持输出 4 个刹车信号 (dsmu_break[3 :0])，触发源可分别设置为模拟看门狗超出高、低阈值事件，通过 DSMU_FLTxAWDHT 寄存器中的 BKAWDHT[3 :0]位域和 DSMU_FLTxAWDLT 寄存器中的 BKAWDLT[3 :0] 位域配置。

模拟看门狗存在一定的局限性：由于没有触发标志，为了避免丢失数据，CPU 必须以比硬件更新更快地速度读取模拟看门狗滤波数据（DSMU_CHyAWDDAT 寄存器中 AWDDAT[15 :0] 位域）。注意，CPU 读取模拟看门狗滤波数据仅用于调试。

31.4.10 短路检测器

如果模拟信号达到并保持在饱和值（超出满量程范围），短路检测器会快速发出信号，指示串行输入通道发生了短路或开路错误（例如，过流或过压），并可触发中断、事件或输出刹车信号。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

短路检测器输入数据来自输入串行通道接收器。每个通道都有一个计数器，用于统计串行数据接收器输出的连续 0 或 1。如果数据从 1 变为 0 或从 0 变为 1，则计数器会重置。

如果计数器达到短路阈值（通过 DSMU_CHyAWDSCDET 寄存器中的 SCDETTH[7:0]位域配置），则触发短路事件。每个输入通道都有独立的短路检测器，可在 DSMU_CHyCFG1 寄存器中设置 SCDETEN 位来启用，以便持续监控当前通道。

每个通道都有独立的短路检测器配置（阈值位域 SCDETTH[7:0], 状态标志位域 SCDETF[7 :0], 和清除状态标志位域 CLRSCDETF[7 :0]）。状态标志 SCDETF[y] 也会在相应的通道 y 被禁用时（CHEN[y] = 0）由硬件清 0。

每个通道上的短路检测器事件可分别输出刹车信号，通过 DSMU_CHyAWDSCDET 寄存器中的 BKSCDET[3 :0] 位域配置。刹车信号（dsmu_break[3 :0]）输出与模拟看门狗共享。

如果启用并行输入数据通道选择，则无法使用短路检测器（DSMU_CHyCFG1 寄存器中的 DATMUX[1 :0] ≠ 0）。

31.4.11 极值检测器

极端值检测器记录最终输出数据的最小值和最大值（峰峰值）。

如果输出数据高于极值检测器中的最大值(DSMU_FLTxEXDETMAX 寄存器中的 EXDETMAX[23:0]位域)，则 EXDETMAX[23:0]位域更新为新值，并在 EXDETMAXCH[2 :0] 中记录对应的通道编号。

如果输出数据字低于极值检测器中的最小值 (DSMU_DFxEXDETMIN 寄存器中的 EXDETMIN[23 :0]位域)，则 EXDETMIN[23 :0]位域更新为新值，并在 EXDETMINCH[2 :0] 中记录对应通道编号。

可通过读取 DSMU_FLTxEXDETMAX 或 DSMU_DFxEXDETMIN 寄存器来刷新最小和最大寄存器值，使其恢复默认值。刷新后，最小值寄存器 (DSMU_DFxEXDETMIN) 设置为 0x7FFFFF（最大正值），最大值寄存器 (DSMU_FLTxEXDETMAX) 设置为 0x800000（最小负值）。

极值检测在右移和数据偏移校正后进行比较。

极值检测器监控的通道由 DSMU_FLTxCTRL2 寄存器中的 EXDETCH[7 :0]位域配置。

31.4.12 数据输出单元

数据输出单元是数据处理路径的最终阶段：

外部 ΣΔ 调制器→串行数据接收器→ Sinc 滤波器→积分器→数据输出单元。

输出数据速率取决于串行数据流速率，以及滤波器和积分器设置。

当 IOSR > 0 时，最大输出数据速率可按照下面的公式计算：

- 规则转换，使用 $Sinc^x$ 滤波（FORD = 1~5）且禁用快速模式（DSMU_FLTxCTRL1.FAST=0）

  $Datarate[samples/s] = f_{DATAIN\_RATE}/(FOSR * (IOSR + FORD) \quad +1)$

- 规则转换，使用 FastSinc 滤波（FORD = 0）且禁用快速模式（DSMU_FLTxCTRL1.FAST=0）

  $Datarate[samples/s] = f_{DATAIN\_RATE}/(FOSR * (IOSR + 4) +1)$

- 规则转换并启用快速模式（DSMU_FLTxCTRL1.FAST=1）

  $Datarate[samples/s] = f_{DATAIN\_RATE}/(FOSR * IOSR)$

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

当 IOSR = 0 时，最大输出数据速率按照下面的公式计算：

- 规则转换，使用 $Sinc^x$ 滤波（FORD = 1~5）且禁用快速模式（DSMU_FLTxCTRL1.FAST=0）

  Datarate[samples/s] = f_{DATAIN_RATE}/(FOSR * FORD +1)

- 规则转换，使用 FastSinc 滤波（FORD = 0）且禁用快速模式（DSMU_FLTxCTRL1.FAST=0）

  Datarate[samples/s] = f_{DATAIN_RATE}/(FOSR * 4 +1)

- 规则转换并启用快速模式（DSMU_FLTxCTRL1.FAST=1）

  Datarate[samples/s] = f_{DATAIN_RATE}/FOSR

其中 f_{DATAIN_RATE} 是来自外部 ΣΔ 调制器、内部 ADC 或 CPU/DMA 的输入数据速率。注入转换的最大输出数据速率与禁用快速模式的规则转换相同。

由于最终数据分辨率为 24 位，而来自数据处理路径中上一阶段的数据可达 32 位，最终数据在此模块中进行右移处理。右移位数可在每个选定的输入通道分别配置为 0~31 位（详见 DSMU_CHyCFG2 寄存器中的 DATRBS[4:0]位域）。右移结果舍入到最接近的整数，并保持符号，以确保结果为有效的 24 位有符号格式。

数据在右移处理后，还会进行偏移校正，从每个通道的输出数据中减去偏移校正值（DSMU_CHyCFG2 寄存器中的 CALOFFSET[23 : 0]位域）。校正值通过软件设置。

由于所有数字处理操作都在 32 位有符号寄存器上执行，因此滤波器配置必须满足以下条件以避免发生数据溢出：

- 对于 $Sinc^x$ 滤波器(x = 1~5)：$FOSR^{FORD} * IOSR <= 2^{31}$

- 对于 FastSinc 滤波器：$2*FOSR^2 * IOSR <= 2^{31}$

输入数据速率（f_{DATAIN_RATE}）也必须正确配置，以确保所有输出数据都可以读取，例如：如果同时旁路积分器和滤波器（IOSR[7 :0]=0 且 FOSR[9 :0]=0），$f_{DATAIN\_RATE} \leqslant f_{PCLK1}$。

31.4.13 有符号数据格式

所有数据以有符号格式存储在寄存器中，用于最终输出数据、模拟看门狗、极值检测器和偏 移校正。输出数据字的最高有效位 (MSB) 为符号位（采用补码格式）。

每个 DSMU 输入串行通道可以连接到一个外部 ΣΔ 调制器。该调制器具有两个差分输入 （正极和负极），用于测量差分或单端信号。来自 ΣΔ 调制器的输出始终为有符号格式，以 1 位串行数据流的形式连续输出，其中数据 0 和 1 分别代表-1 和+1。

31.4.14 启动转换

31.4.14.1 注入转换（Injected conversion）

可通过以下触发方式启动注入转换（详见 DSMU_FLTxCTRL1 寄存器）：

1. 软件触发：通过向 JSWSTART 位写‘1’启动转换。
2. 外部触发：配置 JEXTSEL[4 :0]位域选择触发信号，配置 JEXTEN 位激活触发并选择有效触发边沿，当有效外部事件发生时自动启动转换。
3. 同步触发：仅适用于后 3 个滤波器 DSMU_FLTx (x=1~3)。当 JSYNC 位置为 1 时，如果第 1 个滤波器

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

DSMU_FLT0 通过软件触发启动注入转换，当前滤波器自动同步启动注入转换，转换流程同时遵循其注入转换配置，如 JSCAN 位、DSMU_FLTxJCHG 寄存器等。

当使能扫描模式(JSCAN=1)时：每次触发注入转换时，注入组中所有选定的通道 (DSMU_FLTxJCHG 寄存器中的 JCHG[7 :0]位域) 从编号最小的通道开始依次转换，。

当禁用扫描模式(JSCAN=0)时：每次触发注入转换时，仅转换注入组中的一个选定通道，然后待转换通道自动置为到注入组中的下一个通道。此时，对 JCHG[7:0]位域进行写操作会重置待转换通道为注入组中编号最小的通道。

同一时间只能发生一个注入转换。如果有一个注入转换正在进行，则任何新的注入转换请求都将被忽略。

31.4.14.2 规则转换（Regular conversions）

可通过以下触发方式启动规则转换（详见 DSMU_FLTxCTRL1 寄存器）：

1. 软件触发：通过向 RSWSTART 位写‘1’启动转换。
2. 同步触发：仅适用于后 3 个滤波器 DSMU_FLTx (x=1~3)。当 RSYNC 位置为 1 时，如果第 1 个滤波器 DSMU_FLT0 通过软件触发启动规则转换，当前滤波器自动同步启动规则转换，转换流程同时遵循其规则转换配置，如 RCONT 位、RCH[2:0]位域。

在任何时刻，只能有一个规则转换处于等待状态或正在进行中。如果有一个规则转换仍在 等待或进行中时，新的规则转换请求将被忽略。

如果被注入转换中断或在注入转换进行时开始，则规则转换会延迟进行。待所有注入转换完 成后，等待中的规则转换将继续进行。可通过 DSMU_FLTxRDAT 寄存器中的 RPEND 位查看延迟状态。

如果规则转换正在进行时启动注入转换，则当前规则转换被中断，数据及结果都被丢弃。待注入转换结束后，将使用新的输入数据重新启动规则转换。

31.4.15 连续和快速模式

在 DSMU_FLTxCTRL1 寄存器中，将 RCONT 位设置为 1，可以启用 DSMU 规则转换的连续模式。此时，向 RSWSTART 位写‘1’后，由 RCH[2 :0]位域选择的通道将被重复转换。可通过向 RCONT 位写‘0’停止连续模式，以便立即停止连续转换。

通过将 DSMU_FLTxCTRL1 寄存器中的 FAST 位置 1，可启用快速模式以提高数据输出速率。此时允许滤波器在每次转换时重复使用部分先前采样的数据，从而加快了处理速度。速度的提高取决于滤波器的阶数。快速模式下的第一次转换需要与正常模式相同的时长，但后续转换会更快。

当连续转换（RCONT=1）正在进行时，如果用户对 DSMU_FLTxCTRL1 寄存器进行写操作请求连续转换，即使寄存器值没有改变，也将在下一个周期重新开始连续转换。

通过在 RCONT=1 时将 RCONT 写 1 进行快速重启的操作，仅在用户没有同时写入 RSWSTART 或 JSWSTART 时有效。如果 DFLTEN 位为 0，则设置 RCONT 位无效。

注入转换不支持连续模式，但可通过定时器触发启动注入转换，以模拟具有精确定时的连续模式。

31.4.16 请求优先级

注入转换的优先级高于常规转换。如果正在进行常规转换，并且请求注入转换，则常规转换将立即中断，并

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

在注入转换完成后重新开始。

如果另一个注入转换正在等待或进行中，则无法启动注入转换。当 DSMU_FLTxSTS 寄存器中的 JCIP 位为‘1’时，任何新的注入转换请求都将被忽略。

与注入转换类似，规则转换也不能在另一个规则转换正在等待或进行时开始。当 DSMU_FLTxSTS 寄存器中的 RCIP 位为‘1’时，任何新的规则转换请求都将被忽略。

如果在规则转换进行时请求注入转换，则停止常规转换并立即开始注入转换。常规转换将在注入转换完成后重新启动，可通过 RPEND 位查询规则转换是否被延迟。

注入转换可以中断一系列连续的规则转换。注入转换完成后，如果 RCONT 仍然设置，则连续的规则转换将继续进行。延迟的规则转换是否重启可通过 RPEND 位查询。

优先级也适用于同时启动或等待的多个动作。例如，如果注入转换正在进行中（JCIP=1）请求规则转换（RSWSTART=1），则规则转换将在注入转换完成后开始，通过 RPEND 位指示规则转换开始进入延迟等待状态。

为了快速重启，在 RCONT=1 时再次将 RCONT 位写 1，仅在 RSWSTART 或 JSWSTART 未同时写入时有效。

重置 RCONT 在 DFLTEN 为 0 时不会生效。

31.4.17 DSMU 中断

为了提升 CPU 性能，DSMU 支持以下中断事件：

■ 注入转换结束中断：

- 通过在 DSMU_FLTxCTRL2 寄存器中设置 JEOCIEN 位来启用。
- 中断标志由 DSMU_FLTxSTS 寄存器中的 JEOCF 位指示。
- 通过读取 DSMU_FLTxJDAT 寄存器（包含注入转换结果）清除中断。
- 转换结果对应的通道由 DSMU_FLTxJDAT 寄存器中的 JDATCH[2:0]位域指示。

■ 规则转换结束中断：

- 通过在 DSMU_FLTxCTRL2 寄存器中设置 REOCIEN 位来启用。
- 中断标志由 DSMU_FLTxSTS 寄存器中的 REOCF 位指示。
- 通过读取 DSMU_FLTxRDAT 寄存器（包含规则转换结果）清除中断标志。
- 转换结果对应的通道由 DSMU_FLTxRDAT 寄存器中的 RDATCH[2 :0]位域指示。

■ 注入转换结果溢出中断：

- 当 DSMU_FLTxJDAT 寄存器中的注入转换结果未被 CPU 或 DMA 读取，并被新的注入转换结果覆盖时，可产生注入转换结果溢出中断。
- 通过在 DSMU_FLTxCTRL2 寄存器中设置 JOVRIEN 位来启用。
- 中断标志由 DSMU_FLTxSTS 寄存器中的 JOVRF 位指示。
- 在 DSMU_FLTxINTCLR 寄存器中，向 CLRJOVRF 位写‘1’可清除中断标志。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 规则转换结果溢出中断：
  - 当 DSMU_FLTxRDAT 寄存器中的规则转换结果未被 CPU 或 DMA 读取，并被新的规则转换结果覆盖时，可产生规则转换结果溢出中断。
  - 通过在 DSMU_FLTxCTRL2 寄存器中设置 ROVRIEN 位来启用。
  - 中断标志由 DSMU_FLTxSTS 寄存器中的 ROVRF 位指示。
  - 在 DSMU_FLTxINTCLR 寄存器中，向 CLRROVRF 位写‘1’可清除中断标志。
- 模拟看门狗中断：
  - 当模拟看门狗输入数据（主滤波器或模拟看门狗滤波器输出的数据）超过 DSMU_FLTxAWDHT 或 DSMU_FLTxAWDLT 寄存器中设置的高、低阈值时，可产生模拟看门狗中断。
  - 通过设置 DSMU_FLTxCTRL2 寄存器中的 AWDIEN 位，在 AWDCH[7:0]位域选定通道上启用模拟看门狗中断。
  - 中断标志由 DSMU_FLTxSTS 寄存器中的 AWDF 位指示。
  - DSMU_FLTxAWDSTS 寄存器中的 AWDHTF[7:0]和 AWTHLF[7:0]位域分别提供了超出模拟看门狗高、低阈值的错误标志。
  - 在 DSMU_FLTxAWDCLR 寄存器中，向 CLRAWDHTF[7 :0]/CLRAWDHLF[7 :0]位域的相应位写’1’，可清除对应通道的错误标志。
- 短路检测中断:
  - 当串行数据中连续的数据’1’或’0’数量超过 DSMU_CHyAWDSCDET 寄存器中设置的阈值时，可产生短路检测中断。
  - 通过在 DSMU_FLT0CTRL2 寄存器中设置 SCDETIEN 位启用(必须确保已在 DSMU_CHyCFG1 中设置 SCDETEN 位启用当前通道的短路检测功能)。
  - 中断标志由 DSMU_FLT0STS 寄存器中的 SCDETF[7:0]位指示，同时还指示了短路检测事件对应的通道。
  - 在 DSMU_FLT0INTCLR 寄存器中，向 CLRSCDETF[7:0]位域的相应位写’1’可清除中断标志。
- 通道时钟缺失中断:
  - 当 CKINy 引脚上没有时钟信号时（请参阅时钟缺失检测章节），可产生时钟缺失中断。
  - 通过在 DSMU_FLT0CTRL2 寄存器中设置 CLKABIEN 位启用，适用于已通过 设置 DSMU_CHyCFG1 寄存器中的 CLKABEN 位启用时钟缺失检测功能的通道。
  - 中断标志由 DSMU_FLT0STS 寄存器中的 CLKABF[y]位指示。
  - 在 DSMU_FLT0INTCLR 寄存器中，向 CLRCLKABF[y]位域的相应位写‘1’，可清除中断标志。

表 31-8 DSMU 中断请求

中断事件	中断标志	清除中断标志	中断使能
注入结束转换	JEOCF	读 DSMU_FLTxJDAT	JEOCIEN
常规结束转换	REOCF	读 DSMU_FLTxRDAT	REOCIEN

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

注入转换结果溢出	JOVRF	CLRJOVRF 位写‘1’	JOVRIEN
规则转换结果溢出	ROVRF	CLRROVRF 位写‘1’	ROVRIEN
模拟看门狗	AWDF AWDHTF[7:0] AWTHLF[7:0]	CLRAWDHTF[7:0]相应位写‘1’ CLRAWDHLF[7:0] 相应位写‘1’	AWDIEN(AWDCH[7:0])
短路检测	SCDETF[7:0]	CLRSCDETF[7:0] 相应位写‘1’	SCDETIEN(SCDETEN)
时钟缺失	CLKABF[7:0]	CLRCLKABF[7:0] 相应位写‘1’	CLKABIEN(CLKABEN)

31.4.18 DSMU DMA 传输

为了减轻 CPU 负载，DSMU 可启用 DMA 传输：

- 注入转换：在 DSMU_FLTxCTRL1 寄存器中设置 JDMAEN=1 启用 DMA，目标为 DSMU_FLTxJDAT 寄存器。
- 规则转换：在 DSMU_FLTxCTRL1 寄存器中设置 RDMAEN=1 启用 DMA，目标为 DSMU_FLTxRDAT 寄存器 。
- 使用 DMA 传输时，转换结束标志（对于注入转换是 JEOCF，对于常规转换是 REOCF） 会在 DMA 读取 DSMU_FLTxJDAT 或 DSMU_FLTxRDAT 寄存器时自动清除。

31.5 DSMU 寄存器

31.5.1 DSMU 寄存器总览

DSMU 寄存器**基地址：** 0x40009000

表 31-9 DSMU 寄存器总览

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0x00	DSMU_CH0 CFG1	DSMUEN	CLKOUTSRC	Reserved						CLKOUTDIV[7:0]								DATPACK[1:0]		DATMUX[1:0]		Reserved			CHINSEL	CHEN	CLKABEN	SCDETEN	Reserved	SPICLKSEL[1:0]		SITP[1:0]	
	Reset Value	0	0							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x04	DSMU_CH0 CFG2	CALOFFSET[23:0]																								DATRBS[4:0]					Reserved		
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
0x08	DSMU_CH0 AWDSCDET	Reserved								AWDFORD[1:0]		Reserved	AWDFOSR[4:0]					BKSCDET[3:0]				Reserved				SCDETTH[7:0]							

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	Reset Value									0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0
0x0C	DSMU_CH0 AWDDAT	Reserved																AWDDAT[15:0]															
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x10	DSMU_CH0 DATIN	INDAT1[15:0]																INDAT0[15:0]															
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x20	DSMU_CH1CFG1	Reserved																DATPACK[1:0]		DATMUX[1:0]		Reserved			CHINSEL	CHEN	CLKABEN	SCDETEN	Reserved	SPICLKSEL[1:0]		SITP[1:0]	
	Reset Value																	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x24	DSMU_CH1CFG2	CALOFFSET[23:0]																								DATRBS[4:0]					Reserved		
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
0x28	DSMU_CH1 AWDSCDET	Reserved								AWDFORD[1:0]		Reserved	AWDFOSR[4:0]					BKSCDET[3:0]				Reserved				SCDETTH[7:0]							
	Reset Value									0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0
0x2C	DSMU_CH1 AWDDAT	Reserved																AWDDAT[15:0]															
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x30	DSMU_CH1 DATIN	INDAT1[15:0]																INDAT0[15:0]															
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x40	DSMU_CH2CFG1	Reserved																DATPACK[1:0]		DATMUX[1:0]		Reserved			CHINSEL	CHEN	CLKABEN	SCDETEN	Reserved	SPICLKSEL[1:0]		SITP[1:0]	
	Reset Value																	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x44	DSMU_CH2CFG2	CALOFFSET[23:0]																								DATRBS[4:0]					Reserved		
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
0x48	DSMU_CH2 AWDSCDET	Reserved								AWDFORD[1:0]		Reserved	AWDFOSR[4:0]					BKSCDET[3:0]				Reserved				SCDETTH[7:0]							
	Reset Value									0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0
0x4C	DSMU_CH2 AWDDAT	Reserved																AWDDAT[15:0]															
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x50	DSMU_CH2 DATIN	INDAT1[15:0]																INDAT0[15:0]															
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x60	DSMU_CH3CFG1	Reserved																DATPACK[1:0]		DATMUX[1:0]		Reserved			CHINSEL	CHEN	CLKABEN	SCDETEN	Reserved	SPICLKSEL[1:0]		SITP[1:0]	
	Reset Value																	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x64	DSMU_CH3CFG2	CALOFFSET[23:0]																								DATRBS[4:0]					Reserved		
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
0x68	DSMU_CH3 AWDSCDET	Reserved								AWDFORD[1:0]		Reserved	AWDFOSR[4:0]					BKSCDET[3:0]				Reserved				SCDETTH[7:0]							
	Reset Value									0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0
0x6C	DSMU_CH3 AWDDAT	Reserved																AWDDAT[15:0]															
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x70	DSMU_CH3 DATIN	INDAT1[15:0]																INDAT0[15:0]															
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0x80	DSMU_CH4CFG1	Reserved																DATPACK[1:0]		DATMUX[1:0]		Reserved			CHINSEL	CHEN	CLKABEN	SCDETEN	Reserved	SPICLKSEL[1:0]		SITP[1:0]	
	Reset Value	Reserved																0	0	0	0	Reserved			0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x84	DSMU_CH4CFG2	CALOFFSET[23:0]																								DATRBS[4:0]					Reserved		
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Reserved		
0x88	DSMU_CH4 AWDSCDET	Reserved								AWDFORD[1:0]		Reserved	AWDFOSR[4:0]					BKSCDET[3:0]				Reserved				SCDETTH[7:0]							
	Reset Value	Reserved								0	0	Reserved	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Reserved				0	0	0	0	0	0	0	0
0x8C	DSMU_CH4 AWDDAT	Reserved																AWDDAT[15:0]															
	Reset Value	Reserved																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x90	DSMU_CH4 DATIN	INDAT1[15:0]																INDAT0[15:0]															
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0xA0	DSMU_CH5CFG1	Reserved																DATPACK[1:0]		DATMUX[1:0]		Reserved			CHINSEL	CHEN	CLKABEN	SCDETEN	Reserved	SPICLKSEL[1:0]		SITP[1:0]	
	Reset Value	Reserved																0	0	0	0	Reserved			0	0	0	0	0	0	0	0	0
0xA4	DSMU_CH5CFG2	CALOFFSET[23:0]																								DATRBS[4:0]					Reserved		
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Reserved		
0xA8	DSMU_CH5 AWDSCDET	Reserved								AWDFORD[1:0]		Reserved	AWDFOSR[4:0]					BKSCDET[3:0]				Reserved				SCDETTH[7:0]							
	Reset Value	Reserved								0	0	Reserved	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Reserved				0	0	0	0	0	0	0	0
0xAC	DSMU_CH5 AWDDAT	Reserved																AWDDAT[15:0]															
	Reset Value	Reserved																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0xB0	DSMU_CH5 DATIN	INDAT1[15:0]																INDAT0[15:0]															
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0xC0	DSMU_CH6CFG1	Reserved																DATPACK[1:0]		DATMUX[1:0]		Reserved			CHINSEL	CHEN	CLKABEN	SCDETEN	Reserved	SPICLKSEL[1:0]		SITP[1:0]	
	Reset Value	Reserved																0	0	0	0	Reserved			0	0	0	0	0	0	0	0	0
0xC4	DSMU_CH6CFG2	CALOFFSET[23:0]																								DATRBS[4:0]					Reserved		
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Reserved		
0xC8	DSMU_CH6 AWDSCDET	Reserved								AWDFORD[1:0]		Reserved	AWDFOSR[4:0]					BKSCDET[3:0]				Reserved				SCDETTH[7:0]							
	Reset Value	Reserved								0	0	Reserved	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Reserved				0	0	0	0	0	0	0	0
0xCC	DSMU_CH6 AWDDAT	Reserved																AWDDAT[15:0]															
	Reset Value	Reserved																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0xD0	DSMU_CH6 DATIN	INDAT1[15:0]																INDAT0[15:0]															
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0xE0	DSMU_CH7CFG1	Reserved																DATPACK[1:0]		DATMUX[1:0]		Reserved			CHINSEL	CHEN	CLKABEN	SCDETEN	Reserved	SPICLKSEL[1:0]		SITP[1:0]	
	Reset Value	Reserved																0	0	0	0	Reserved			0	0	0	0	0	0	0	0	0
0xE4	DSMU_CH7CFG2	CALOFFSET[23:0]																								DATRBS[4:0]					Reserved		
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Reserved		

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0xE8	DSMU_CH7 AWDSCDET	Reserved								AWDFORD[1:0]		Reserved	AWDFOSR[4:0]					BKSCDET[3:0]				Reserved				SCDETTH[7:0]							
	Reset Value									0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0
0xEC	DSMU_CH7 AWDDAT	Reserved																AWDDAT[15:0]															
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0xF0	DSMU_CH7 DATIN	INDAT1[15:0]																INDAT0[15:0]															
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x100	DSMU_FLT0 CTRL1	Reserved	AWDFSEL	FAST	Reserved		RCH[2:0]			Reserved		RDMAEN	Reserved	RSYNC	RCONT	RSWSTART	Reserved		JEXTEN[1:0]		JEXTSEL[4:0]					Reserved		JDMAEN	JSCAN	JSYNC	Reserved	JSWSTART	DFLTEN
	Reset Value		0	0			0	0	0			0		0	0	0			0	0	0	0	0	0	0			0	0	0		0	0
0x104	DSMU_FLT0 CTRL2	Reserved								AWDCH[7:0]								EXDETCH[7:0]								Reserved	CLKABIEN	SCDETIEN	AWDIEN	ROVRIEN	JOVRIEN	REOCIEN	JEOCIEN
	Reset Value									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
0x108	DSMU_FLT0STS	SCDETF[7:0]								CLKABF[7:0]								Reserved	RCIP	JCIP	Reserved								AWDF	ROVRF	JOVRF	REOCF	JEOCF
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0									0	0	0	0	0
0x10C	DSMU_FLT0 INTCLR	CLRSCDETF[7:0]								CLRCLKABF[7:0]								Reserved												CLRROVRF	CLRJOVRF	Reserved	
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													0	0		
0x110	DSMU_FLT0 JCHG	Reserved																								JCHG[7:0]							
	Reset Value																									0	0	0	0	0	0	0	0
0x114	DSMU_FLT0 FCTRL	FORD[2:0]			Reserved			FOSR[9:0]										Reserved								IOSR[7:0]							
	Reset Value	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									0	0	0	0	0	0	0	0
0x118	DSMU_FLT0 JDAT	JDAT[23:0]																								Reserved					JDATCH[2:0]		
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						0	0	0
0x11C	DSMU_FLT0 RDAT	RDAT[23:0]																								Reserved			RPEND	Reserved	RDATCH[2:0]		
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0		0	0	0
0x120	DSMU_FLT0 AWDHT	AWDHT[23:0]																								Reserved				BKAWDHT[3:0]			
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0
0x124	DSMU_FLT0 AWDLT	AWDLT[23:0]																								Reserved				BKAWDLT[3:0]			
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0
0x128	DSMU_FLT0 AWDSTS	Reserved																AWDHTF[7:0]								AWDLTF[7:0]							
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x12C	DSMU_FLT0 AWDCLR	Reserved																CLRAWDHTF[7:0]								CLRAWDLTF[7:0]							
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x130	DSMU_FLT0 EXDETMAX	EXDETMAX[23:0]																								Reserved					EXDET MAXCH[2:0]		
	Reset Value	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						0	0	0
0x134	DSMU_FLT0 EXDETMIN	EXDETMIN[23:0]																								Reserved					EXDET MINCH[2:0]		
	Reset Value	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						0	0	0
0x138	DSMU_FLT0 COVTIM	COVCNT[27:0]																												Reserved			
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
0x180	DSMU_FLT1 CTRL1	Reserved	AWDFSEL	FAST	Reserved		RCH[2:0]			Reserved		RDMAEN	Reserved	RSYNC	RCONT	RSWSTART	Reserved		JEXTEN[1:0]		JEXTSEL[4:0]					Reserved		JDMAEN	JSCAN	JSYNC	Reserved	JSWSTART	DFLTEN
	Reset Value		0	0			0	0	0			0		0	0	0			0	0	0	0	0	0	0			0	0	0		0	0
0x184	DSMU_FLT1 CTRL2	Reserved								AWDCH[7:0]								EXDETCH[7:0]								Reserved			AWDIEN	ROVRIEN	JOVRIEN	REOCIEN	JEOCIEN

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	Reset Value	Reserved								0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Reserved			0	0	0	0	0
0x188	DSMU_FLT1STS	Reserved																	RCIP	JCIP	Reserved								AWDF	ROVRF	JOVRF	REOCF	JEOCF
	Reset Value																		0	0									0	0	0	0	0
0x18C	DSMU_FLT1 INTCLR	Reserved																												CLRROVRF	CLRJOVRF	Reserved	
	Reset Value																													0	0		
0x190	DSMU_FLT1 JCHG	Reserved																								JCHG[7:0]							
	Reset Value																									0	0	0	0	0	0	0	0
0x194	DSMU_FLT1 FCTRL	FORD[2:0]			Reserved			FOSR[9:0]										Reserved								IOSR[7:0]							
	Reset Value	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									0	0	0	0	0	0	0	0
0x198	DSMU_FLT1 JDAT	JDAT[23:0]																								Reserved					JDATCH[2:0]		
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						0	0	0
0x19C	DSMU_FLT1 RDAT	RDAT[23:0]																								Reserved			RPEND	Reserved	RDATCH[2:0]		
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0		0	0	0
0x1A0	DSMU_FLT1 AWDHT	AWDHT[23:0]																								Reserved				BKAWDHT[3:0]			
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0
0x1A4	DSMU_FLT1 AWDLT	AWDLT[23:0]																								Reserved				BKAWDLT[3:0]			
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0
0x1A8	DSMU_FLT1 AWDSTS	Reserved																AWDHTF[7:0]								AWDLTF[7:0]							
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x1AC	DSMU_FLT1 AWDCLR	Reserved																CLRAWDHTF[7:0]								CLRAWDLTF[7:0]							
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x1B0	DSMU_FLT1 EXDETMAX	EXDETMAX[23:0]																								Reserved					EXDET MAXCH[2:0]		
	Reset Value	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						0	0	0
0x1B4	DSMU_FLT1 EXDETMIN	EXDETMIN[23:0]																								Reserved					EXDET MINCH[2:0]		
	Reset Value	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						0	0	0
0x1B8	DSMU_FLT1 COVTIM	COVCNT[27:0]																												Reserved			
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
0x200	DSMU_FLT2 CTRL1	Reserved	AWDFSEL	FAST	Reserved		RCH[2:0]			Reserved		RDMAEN	Reserved	RSYNC	RCONT	RSWSTART	Reserved		JEXTEN[1:0]		JEXTSEL[4:0]					Reserved		JDMAEN	JSCAN	JSYNC	Reserved	JSWSTART	DFLTEN
	Reset Value		0	0			0	0	0			0		0	0	0			0	0	0	0	0	0	0			0	0	0		0	0
0x204	DSMU_FLT2 CTRL2	Reserved								AWDCH[7:0]								EXDETCH[7:0]								Reserved			AWDIEN	ROVRIEN	JOVRIEN	REOCIEN	JEOCIEN
	Reset Value									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0
0x208	DSMU_FLT2STS	Reserved																	RCIP	JCIP	Reserved								AWDF	ROVRF	JOVRF	REOCF	JEOCF
	Reset Value																		0	0									0	0	0	0	0
0x20C	DSMU_FLT2 INTCLR	Reserved																												CLRROVRF	CLRJOVRF	Reserved	
	Reset Value																													0	0		
0x210	DSMU_FLT2 JCHG	Reserved																								JCHG[7:0]							
	Reset Value																									0	0	0	0	0	0	0	0
0x214	DSMU_FLT2 FCTRL	FORD[2:0]			Reserved			FOSR[9:0]										Reserved								IOSR[7:0]							
	Reset Value	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									0	0	0	0	0	0	0	0
0x218	DSMU_FLT2 JDAT	JDAT[23:0]																								Reserved					JDATCH[2:0]		
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						0	0	0
0x21C	DSMU_FLT2 RDAT	RDAT[23:0]																								Reserved			RPEND	Reserved	RDATCH[2:0]		

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0		0	0	0
0x220	DSMU_FLT2 AWDHT	AWDHT[23:0]																								Reserved				BKAWDHT[3:0]			
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0
0x224	DSMU_FLT2 AWDLT	AWDLT[23:0]																								Reserved				BKAWDLT[3:0]			
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0
0x228	DSMU_FLT2 AWDSTS	Reserved																AWDHTF[7:0]								AWDLTF[7:0]							
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x22C	DSMU_FLT2 AWDCLR	Reserved																CLRAWDHTF[7:0]								CLRAWDLTF[7:0]							
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x230	DSMU_FLT2 EXDETMAX	EXDETMAX[23:0]																								Reserved					EXDETMAXCH[2:0]		
	Reset Value	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						0	0	0
0x234	DSMU_FLT2 EXDETMIN	EXDETMIN[23:0]																								Reserved					EXDETMINCH[2:0]		
	Reset Value	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						0	0	0
0x238	DSMU_FLT2 COVTIM	COVCNT[27:0]																												Reserved			
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
0x280	DSMU_FLT3 CTRL1	Reserved	AWDFSEL	FAST	Reserved		RCH[2:0]			Reserved		RDMAEN	Reserved	RSYNC	RCONT	RSWSTART	Reserved		JEXTEN[1:0]		JEXTSEL[4:0]					Reserved		JDMAEN	JSCAN	JSYNC	Reserved	JSWSTART	DFLTEN
	Reset Value		0	0			0	0	0			0		0	0	0			0	0	0	0	0	0	0			0	0	0		0	0
0x284	DSMU_FLT3 CTRL2	Reserved								AWDCH[7:0]								EXDETCH[7:0]								Reserved			AWDIEN	ROVRIEN	JOVRIEN	REOCIEN	JEOCIEN
	Reset Value									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0
0x288	DSMU_FLT3STS	Reserved																	RCIP	JCIP	Reserved								AWDF	ROVRF	JOVRF	REOCF	JEOCF
	Reset Value																		0	0									0	0	0	0	0
0x28C	DSMU_FLT3 INTCLR	Reserved																												CLRROVRF	CLRJOVRF	Reserved	
	Reset Value																													0	0		
0x290	DSMU_FLT3 JCHG	Reserved																								JCHG[7:0]							
	Reset Value																									0	0	0	0	0	0	0	0
0x294	DSMU_FLT3 FCTRL	FORD[2:0]			Reserved		FOSR[9:0]										Reserved									IOSR[7:0]							
	Reset Value	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										0	0	0	0	0	0	0	0
0x298	DSMU_FLT3 JDAT	JDAT[23:0]																								Reserved					JDATACH[2:0]		
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						0	0	0
0x29C	DSMU_FLT3 RDAT	RDAT[23:0]																								Reserved			RPEND	Reserved	RDATACH[2:0]		
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0		0	0	0
0x2A0	DSMU_FLT3 AWDHT	AWDHT[23:0]																								Reserved				BKAWDHT[3:0]			
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0
0x2A4	DSMU_FLT3 AWDLT	AWDLT[23:0]																								Reserved				BKAWDLT[3:0]			
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0
0x2A8	DSMU_FLT3 AWDSTS	Reserved																AWDHTF[7:0]								AWDLTF[7:0]							
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x2AC	DSMU_FLT3 AWDCLR	Reserved																CLRAWDHTF[7:0]								CLRAWDLTF[7:0]							
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x2B0	DSMU_FLT3 EXDETMAX	EXDETMAX[23:0]																								Reserved					EXDETMAXCH[2:0]		
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						0	0	0
0x2B4	DSMU_FLT3 EXDETMIN	EXDETMIN[23:0]																								Reserved					EXDETMINCH[2:0]		
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						0	0	0
0x2B8	DSMU_FLT3 COVTIM	COVCNT[27:0]																												Reserved			
	Reset Value	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31.5.2 DSMU 通道 y 配置寄存器 1 (DSMU_CHyCFG1)

地址偏移：0x00 + 0x20 * y (y = 0 to 7)

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
DSMUEN	CLKOUTSRC	Reserved						CLKOUTDIV[7:0]							
rw	rw							rw							

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DATPACK[1:0]		DATMUX[1:0]		Reserved			CHINSEL	CHEN	CLKABEN	SCDETEN	Reserved	SPICLKSEL[1:0]		SITP[1:0]	
rw		rw					rw	rw	rw	rw		rw		rw	

位域	名称	描述
31	DSMUEN	DSMU 模块使能控制 0：禁用 DSMU 模块 1：使能 DSMU 模块 当 DSMU 模块使能后，可通过启用通道 y（在 DSMU_CHyCFG1 寄存器中将 CHEN 位置 1）和滤波器 x（在 DSMU_FLTxCTRL1 寄存器中将 DFLTEN 位置 1）开始数据转换。 当 DSMUEN 位清 0 后，DSMU 模块被禁用，DSMU_FLTxSTS 与 DSMU_FLTxAWDSTS 寄存器被重置为复位值，其他寄存器值保持不变。 *注意：DSMUEN 位仅存在于通道 0 的配置寄存器 1（DSMU_CH0CFG1）中。*
30	CLKOUTSRC	输出时钟源选择 0：输出时钟源来自系统时钟 1：输出时钟源来自音频时钟 当前位只能在 DSMUEN=0 时修改。 *注意：CLKOUTSRC 位仅存在于通道 0 的配置寄存器 1（DSMU_CH0CFG1）中。*
29:24	Reserved	保留，必须保持复位值。
23:16	CLKOUTDIV[7:0]	输出时钟预分频 0：禁用时钟输出(CKOUT 信号保持低电平) 1- 255：输出时钟源经 2~256 分频后生成 CKOUT 信号输出给外部器件，分频系数=CLKOUTDIV+1。 CKOUT 信号也用于时钟缺失检测，当输入串行通道使用曼彻斯特编码格式时，必须正确配置 CLKOUTDIV 以满足以下时序要求： $((CLKOUTDIV + 1) \times T_{SYSCLK}) < T_{Manchester\ clock} < (2 \times CLKOUTDIV \times T_{SYSCLK})$ 此位域只能在 DSMUEN=0 时修改。当 DSMUEN=0 时， CKOUT 信号被置为低电平。 *注意：CLKOUTDIV 位域仅存在于通道 0 的配置寄存器 1（DSMU_CH0CFG1）中。*
15:14	DATPACK[1:0]	输入数据寄存器 DSMU_CHyDATIN 中的数据组合模式配置

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		0：标准模式，DSMU_CHyDATIN 寄存器中仅存储 1 个当前通道的并行数据。滤波器可从寄存器低 16 位 INDAT0[15:0]获取 1 个有效数据。 1：交错模式，DSMU_CHyDATIN 寄存器中可同时存储当前通道的 2 个并行数据。第 1 个数据位于低 16 位 INDAT0[15:0]，第 2 个数据位于高 16 位 INDAT1[15:0]。 滤波器可依次从 INDAT0[15:0]、INDAT1[15:0]获取 2 个当前通道的有效数据。 2：双重模式：DSMU_CHyDATIN 寄存器中同时存储 2 个不同通道的并行数据。当前通道数据位于低 16 位 INDAT0[15:0]，下一通道数据位于高 16 位 INDAT1[15:0]。 滤波器可从 INDAT0[15:0]、INDAT1[15:0]获取 2 个不同通道的有效数据。 双重模式仅在编号为偶数的通道有效(y = 0，2，4，6)。编号为奇数(y = 1，3，5，7)的通道设置为双重模式后，DSMU_CHyDATIN 寄存器写保护。 如果当前偶数编号通道被设置为双重模式，下一个奇数编号通道必须设置为标准模式才能保证 2 个通道正确协同运行。 3：保留 此位域只能在 CHEN=0（DSMU_CHyCFG1 寄存器）时修改。
13:12	DATMUX[1:0]	通道 y 输入数据源选择 0：通道 y 数据来自外部 CKDATy 引脚输入的 1 位数据流。DSMU_CHyDATIN 寄存器写保护。 1：通道 y 数据来自内部 ADC[y+1]。ADC[y+1]数据寄存器中的 16 位有效数据被写入 DSMU_CHyDATIN 寄存器低 16 位 INDAT0[15:0]。 2：通道 y 数据来自 DSMU_CHyDATIN 寄存器。寄存器中数据由 CPU/DMA 按照 DATPACK[1:0]配置的格式写入。 3：保留 此位域只能在 CHEN=0（DSMU_CHyCFG1 寄存器）时修改。
11:9	Reserved	保留，必须保持复位值。
8	CHINSEL	外部串行数据源选择 0：数据来自当前通道对应的外部引脚 CHyDATIN。 1：数据来自下一个通道对应的外部引脚 CH(y+1)DATIN。 此位只能在 CHEN=0（DSMU_CHyCFG1 寄存器）时修改。
7	CHEN	通道 y 使能 0：禁用当前通道 y。 1：使能当前通道 y。 如果输入数据来自外部 CKDATy 引脚，通道 y 使能后立即开始接收串行数据。
6	CLKABEN	串行通道 y 时钟缺失检测使能 0：在通道 y 上禁用时钟缺失检测。 1：在通道 y 上使能时钟缺失检测。
5	SCDETEN	串行通道 y 短路检测使能 0：在通道 y 上禁用短路检测。 1：在通道 y 上使能短路检测。
4	Reserved	保留，必须保持复位值。
3:2	SPICLKSEL[1:0]	串行通道 y 的 SPI 接口采样时钟配置 0：SPI 采样时钟来自外部 CKINy 引脚输入时钟，有效采样边沿由 SITP[1:0]位域配置

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		1：SPI 采样时钟来自内部 CKOUT 信号，有效采样边沿由 SITP[1:0]位域配置 2：SPI 采样时钟来自内部 CKOUT 信号，数据在每两个时钟下降沿中的第 2 个下降沿采样。当连接到 DSMU 的外部 ΣΔ 调制器采用 CKOUT 信号作为输入参考时钟，2 分频后作为输出数据时钟，且数据时钟电平在参考时钟的上升沿时变化，当前配置适用。 3：SPI 采样时钟来自内部 CKOUT 信号，数据在每两个时钟上升沿中的第 2 个上升沿采样。当连接到 DSMU 的外部 ΣΔ 调制器采用 CKOUT 信号作为输入参考时钟，2 分频后作为输出数据时钟，且数据时钟电平在参考时钟的下降沿时变化时，当前配置适用。 此位域只能在 CHEN=0（DSMU_CHyCFG1 寄存器）时修改。
1:0	SITP[1:0]	串行通道 y 数据格式选择 0：通道 y 采用 SPI 格式，数据在时钟上升沿采样。 1：通道 y 采用 SPI 格式，数据在时钟下降沿采样。 2：通道 y 采用曼彻斯特编码格式，数据由 DATINy 引脚单线输入，上升沿表示逻辑 0，下降沿表示逻辑 1。 3：通道 y 采用曼彻斯特编码格式，数据由 DATINy 引脚单线输入，上升沿表示逻辑 1，下降沿表示逻辑 0。 此位域只能在 CHEN=0（DSMU_CHyCFG1 寄存器）时修改。

31.5.3 DSMU 通道 y 配置寄存器 2 (DSMU_CHyCFG2)

地址偏移：0x04 + 0x20 * y (y = 0 to 7)

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CALOFFSET[23:8]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CALOFFSET[7:0]								DATRBS[4:0]					Reserved		
rw								rw							

位域	名称	描述
31:8	CALOFFSET[23:0]	通道 y 转换结果的 24 位偏移校正值 对于通道 y，校正值作用于当前通道的转换结果（右移操作之后），校正后可得到最终转换结果。 此位域通过软件配置。
7:3	DATRBS[4:0]	通道 y 转换结果的右移位数 0-31：积分器输出需要进行右移操作的位数。右移操作在偏移校正之前执行，将积分器输出数据四舍五入为最接近的有符号整数，并保留符号，以确保最终结果为有效的 24 位有符号整数。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		此位域只能在 CHEN=0（DSMU_CHyCFG1 寄存器）时修改。
2:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

31.5.4 DSMU 通道 y 短路检测与模拟看门狗寄存器(DSMU_CHyAWDSCDET)

地址偏移：0x08 + 0x20 * y (y = 0 to 7)

复位值：0x0000 0000

31:24	23:22	21	20:16
Reserved	AWDFORD[1:0]	Reserved	AWDFOSR[4:0]
	rw		rw

15:12	11:8	7:0
BKSCDET[3:0]	Reserved	SCDETTH[7:0]
rw		rw

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必须保持复位值。
23:22	AWDFORD[1:0]	串行通道 y 模拟看门狗滤波 Sinc 滤波器阶数 0: FastSinc 滤波 1: $Sinc^1$ 滤波 2: $Sinc^2$ 滤波 3: $Sinc^3$ 滤波 $Sinc^x$ 滤波传递函数： $H(z)=\left[\frac{1-z^{-FOSR}}{1-Z^{-1}}\right]^X$ FastSinc 滤波传递函数： $H(z)=\left[\frac{1-z^{-FOSR}}{1-Z^{-1}}\right]^2 * \left(1+z^{-(2*FOSR)}\right)$ 此位域只能在 CHEN=0（DSMU_CHyCFG1 寄存器）时修改。
21	Reserved	保留，必须保持复位值。
20:16	AWDFOSR[4:0]	串行通道 y 模拟看门狗滤波器过采样率 0 – 31：Sinc 滤波器长度，范围为 1~32（AWDFOSR + 1），即滤波器过采样率。 此位域只能在 CHEN=0（DSMU_CHyCFG1 寄存器）时修改。 *注意：如果 AWDFOSR = 0，滤波器无作用（滤波器旁路）。*
15:12	BKSCDET[3:0]	串行通道 y 短路检测事件刹车信号输出配置 BKSCDET[i] = 0：通道 y 短路检测事件不输出刹车信号 dsmu_brki。 BKSCDET[i] = 1：通道 y 短路检测事件输出刹车信号 dsmu_brki。
11:8	Reserved	保留，必须保持复位值。
7:0	SCDETTH[7:0]	串行通道 y 短路检测阈值 此位域通过软件配置，表示 DATINy 引脚上检测到的连续的‘1’或‘0’的最大个数。如果超过此阈值，当前通道产生短路检测事件。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31.5.5 DSMU 通道 y 看门狗滤波结果寄存器(DSMU_CHyAWDDAT)

地址偏移：0x0C + 0x20 * y (y = 0 to 7)

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
AWDDAT[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	AWDDAT[15:0]	通道 y 看门狗滤波结果 串行通道 y 输入数据经模拟看门狗滤波后的结果，用于模拟看门狗阈值比较。模拟看门狗滤波器不需要触发，在通道使能后立即持续运行，转换速率由配置（AWDFORD[1:0],AWDFOSR[4:0]）决定。 看门狗滤波器没有标志位，如果用户需要读取看门狗滤波结果，必须保证读取速度高于看门狗滤波器转换速率以避免数据丢失。此位域仅用于调试，实际应用中可不用关注。

31.5.6 DSMU 通道 y 输入数据寄存器(DSMU_CHyDATIN)

地址偏移：0x10 + 0x20 * y (y = 0 to 7)

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
INDATAT1[15:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
INDATAT0[15:0]															
rw															

位域	名称	描述

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31:16	INDATAT1[15:0]	当前通道 y 或一下通道 y+1 输入数据 当 DATMUX[1:0]=1 或 2 时，存储滤波器输入的并行数据。数据可通过 CPU/DMA（DATMUX[1:0]=2）直接写入，或来自内部 ADC（DATMUX[1:0]=2）。 如果 DATPACK[1:0]=0 （标准模式）：此位域写保护，不存储任何数据。 如果 DATPACK[1:0]=1 （交错模式）：此位域存储当前通道 y 的第 2 个数据，第 1 个数据存储在 INDAT0[15:0]。 DSMU_FLTx 滤波器将依次读取这两个通道 y 数据用作滤波样本。 如果 DATPACK[1:0]=2（双重模式）：当通道编号 y 为偶数时，下一通道 y+1 中 INDATA0[15:0]数据将自动复制到此位域。当通道编号 y 为奇数时，此位域写保护。 INDAT1[15:0]采用 16 位有符号数据格式。
15:0	INDATAT0[15:0]	当前通道 y 输入数据 当 DATMUX[1:0]=1 或 2 时，存储滤波器输入的并行数据。数据可通过 CPU/DMA（DATMUX[1:0]=2）直接写入，或来自内部 ADC（DATMUX[1:0]=2）。 如果 DATPACK[1:0]=0 （标准模式）：存储 1 个当前通道 y 数据。 如果 DATPACK[1:0]=1 （交错模式）：此位域存储当前通道 y 的第 1 个数据，第 2 个数据存储在 INDAT1[15:0]。 DSMU_FLTx 滤波器将依次读取这两个通道 y 数据用作滤波样本。 如果 DATPACK[1:0]=2（双重模式）：当通道编号 y 为偶数时，存储 1 个当前通道 y 数据。通道编号 y 为奇数时，此位域写保护。 INDATAT0[15:0] 采用 16 位有符号数据格式。

31.5.7 DSMU 滤波器 x 控制寄存器 1 (DSMU_FLTxCTRL1)

地址偏移： 0x100 + 0x80 * x (x = 0 to 3)

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	AWDFSEL	FAST	Reserved		RCH[2:0]			Reserved		RDMAEN	Reserved	RSYNC	RCONT	RSWSTART	Reserved
	rw	rw				rw				rw		rw	rw	rw	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	JEXTEN[1:0]		JEXTSEL[4:0]					Reserved		JDMAEN	JSCAN	JSYNC	Reserved	JSWSTART	DFLTEN
	rw				rw					rw	rw	rw		rw	rw

位域	名称	描述
31	Reserved	保留，必须保持复位值。
30	AWDFSEL	滤波器 x 模拟看门狗输入数据选择

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		0：来自滤波器转换结果，结果经右移和偏移校正后输出到看门狗。 1：来自串行输入通道（经模拟看门狗滤波器处理后）。
29	FAST	滤波器 x 规则转换的快速转换模式选择 0：禁用快速转换模式。 1：启用快速转换模式。 当规则转换处于连续转换模式时，启用快速转换可获得比标准模式更快的转换速率。对于非连续规则转换，此位无作用。 此位只能在 DFLTEN=0（DSMU_FLTxCTRL1 寄存器）时修改。 如果 FAST=0，或是 FAST=1 时的第一次转换，单次转换时间 t 可参照下面的公式计算： 对于 $Sinc^x$ 滤波：$t = [FOSR * (IOSR-1 + FORD) + FORD] / f_{CKIN}$ 对于 FastSinc 滤波：$t = [FOSR * (IOSR-1 + 4) + 2] / f_{CKIN}$. 如果连续转换模式下 FAST=1，除了第一次转换，其他单次转换时间 t 可参照下面的公式计算：$t = [FOSR * IOSR] / f_{CKIN}$ 此时如果 FOSR = FOSR[9:0]+1 = 1 （滤波器旁路，仅积分器有效）： $t = IOSR / f_{CKIN}$ （此时 COVCNT=0）。 备注：f_{CKIN} 为 CKINy 引脚输入时钟频率（串行通道）或数据输入频率（并行通道）。
28:27	Reserved	保留，必须保持复位值。
26:24	RCH[2:0]	滤波器 x 规则转换通道选择 0：通道 0 用作当前滤波器规则转换通道。 1：通道 1 用作当前滤波器规则转换通道。 ... 7：通道 7 用作当前滤波器规则转换通道。 当 RCIP=1 时修改此位域，将在下一次规则转换时生效。在连续转换模式下尤其有用。修改此位域还会影响处于延迟状态待处理的规则转换（被注入转换打断）。
23:22	Reserved	保留，必须保持复位值。
21	RDMAEN	滤波器 x 规则转换结果 DAM 读取使能 0：滤波器 x 不使用 DAM 读取转换结果。 1：滤波器 x 启用 DAM 读取转换结果。 此位只能在 DFLTEN=0（DSMU_FLTxCTRL1 寄存器）时修改。
20	Reserved	保留，必须保持复位值。
19	RSYNC	滤波器 x（1~3）规则转换同步触发使能 0：禁用同步触发。 1：使能同步触发，当 DSMU_FLT0 滤波器启动规则转换时，当前滤波器 x（1~3）同步启动规则转换。 此位只能在 DFLTEN=0（DSMU_FLTxCTRL1 寄存器）时修改。
18	RCONT	滤波器 x 规则转换连续模式使能 0：禁用连续模式，每次收到转换请求仅进行一次转换。 1：使能连续模式，收到任意转换请求后将连续重复转换。 当连续转换进行时，向此位写 ‘0’可立即停止连续转换。
17	RSWSTART	滤波器 x 规则转换软件触发 0：向此位写 ‘0’ 无作用。 1：向此位写‘1’将产生一个规则转换请求，并使 RCIP 置‘1’。如果 RCIP 已为 1，向

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		此位写‘1’无任何作用。当 RSYNC=1 时向此位写‘1’也无作用。 读此位时始终为‘0’。
16:15	Reserved	保留，必须保持复位值。
14:13	JEXTEN[1:0]	滤波器 x 注入转换外部触发使能及触发信号边沿选择 00：禁用外部触发。 01：仅外部触发信号上升沿可启动注入转换。 10：仅外部触发信号下降沿可启动注入转换。 11：外部触发信号上升沿和下降沿都可启动注入转换。 此位域只能在 DFLTEN=0（DSMU_FLTxCTRL1 寄存器）时修改。
12:8	JEXTSEL[4:0]	滤波器 x 注入转换外部触发源选择 0x0-0x1F：选择 DSMU_jtrg0~31 作为外部触发源，触发信号定义详见外部触发信号列表： 0x00 DSMU_jtrg0 0x01 DSMU_jtrg1 ... 0x1E DSMU_jtrg30 0x1F DSMU_jtrg31 此位域只能在 DFLTEN=0（DSMU_FLTxCTRL1 寄存器）时修改。 *注意：同步触发需要到少 1 个 DSMU_CLK 时钟周期的延迟，异步触发需要, 2-3 个 DSMU_CLK 时钟周期。*
7:6	Reserved	保留，必须保持复位值。
5	JDMAEN	滤波器 x 注入转换结果 DAM 读取使能 0：滤波器 x 不使用 DAM 读取转换结果。 1：滤波器 x 启用 DAM 读取转换结果。 此位只能在 DFLTEN=0（DSMU_FLTxCTRL1 寄存器）时修改。
4	JSCAN	滤波器 x 注入转换扫描模式使能 0：每次请求仅转换注入转换组中的一个通道，然后选择下一个通道并等待转换。 1：每次请求将对注入转换组中所有通道进行一次转换，根据通道编号由小到大依次进行。 此位只能在 DFLTEN=0（DSMU_FLTxCTRL1 寄存器）时修改。 如果 JSCAN=0 时修改注入组寄存器 DSMU_FLTxJCHG，将重置待转换通道为注入转换组中编号最小的通道。
3	JSYNC	滤波器 x（1~3）注入转换同步触发使能 0：禁用同步触发。 1：使能同步触发，当 DSMU_FLT0 滤波器通过软件启动注入转换时，当前滤波器 x（1~3）同步启动注入转换。 此位只能在 DFLTEN=0（DSMU_FLTxCTRL1 寄存器）时修改。
2	Reserved	保留，必须保持复位值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

1	JSWSTART	滤波器 x 注入转换软件触发 0：向此位写‘0’无作用。 1：向此位写 ‘1’ 将产生一个注入转换请求，并将 JCIP 置‘1’。如果 JCIP 已为 1，向此位写‘1’无任何作用。当 JSYNC=1 时，向此位写‘1’也无作用。 读此位时始终为 ‘0’。
0	DFLTEN	滤波器 DSMU_FLTx 使能 0：禁用滤波器 DSMU_FLTx。当前滤波器所有进行中的转换将立刻停止，同时所有其他附加功能也停止运行。 1：使能滤波器 DSMU_FLTx。使能后，当前滤波器按照相关配置立刻开始运行。 当 DFLTEN 清 0 时，DSMU_FLTxSTS 与 DSMU_FLTxAWDSTS 寄存器被重置为复位值。

31.5.8 DSMU 滤波器 x 控制寄存器 2 (DSMU_FLTxCTRL2)

地址偏移：0x104 + 0x80 * x (x = 0 to 3)

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved								AWDCH[7:0]							
								rw							

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
EXDETCH[7:0]								Reserved	CLKABIEN	SCDETIEN	AWDIEN	ROVRIEN	JOVRIEN	REOCIEN	JEOCIEN
rw									rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必须保持复位值。
23:16	AWDCH[7:0]	滤波器 x 模拟看门狗监控通道选择 此位域用于选择当前看门狗需要监控的通道。 AWDCH[y] = 0：通道 y 禁用模拟看门狗。 AWDCH[y] = 1：通道 y 使能模拟看门狗，当前看门狗将对通道 y 上的数据持续监控。
15:8	EXDETCH[7:0]	滤波器 x 极值检测通道选择 此位域用于选择当前极值检测器需要监控的通道。 EXDETCH[y] = 0：通道 y 禁用极值检测。 EXDETCH[y] = 1：通道 y 使能极值检测，当前极值检测器将从通道 y 上持续获取数据用于极值统计。
7	Reserved	保留，必须保持复位值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

6	CLKABIEN	串行通道时钟缺失中断使能 0：发生时钟缺失事件时不产生中断。 1：发生时钟缺失事件时产生中断。 详见 DSMU_FLT0STS 寄存器中时钟缺失事件标志 CLKABF[7:0]描述。 *注意：CLKABIEN 仅存在于 DSMU_FLT0CTRL2（x=0）。*
5	SCDETIEN	串行通道短路检测中断使能 0：发生短路检测事件时不产生中断。 1：发生短路检测事件时产生中断。 详见 DSMU_FLT0STS 寄存器中短路检测事件标志 SCDETF [7:0]描述。 *注意：SCDETIEN 仅存在于 DSMU_FLT0CTRL2（x=0）。*
4	AWDIEN	滤波器 x 模拟看门狗中断使能 0：发生模拟看门狗事件时不产生中断。 1：发生模拟看门狗事件时产生中断。 详见 DSMU_FLTxSTS 寄存器中模拟看门狗事件标志 AWDF 描述。
3	ROVRIEN	滤波器 x 规则转换结果溢出中断使能 0：发生规则转换结果溢出时不产生中断。 1：发生规则转换结果溢出时产生中断。 详见 DSMU_FLTxSTS 寄存器中规则转换结果溢出标志 ROVRF 描述。
2	JOVRIEN	滤波器 x 注入转换结果溢出中断使能 0：发生注入转换结果溢出时不产生中断。 1：发生注入转换结果溢出时产生中断。 详见 DSMU_FLTxSTS 寄存器中注入转换结果溢出标志 JOVRF 描述。
1	REOCIEN	滤波器 x 规则转换完成中断使能 0：规则转换完成时不产生中断。 1：规则转换完成时产生中断。 详见 DSMU_FLTxSTS 寄存器中规则转换完成标志 REOCF 描述。
0	JEOCIEN	Injected conversion end interrupt enable 滤波器 x 注入转换完成中断使能 0：注入转换完成时不产生中断。 1：注入转换完成时产生中断。 详见 DSMU_FLTxSTS 寄存器中注入转换完成标志 JEOCF 描述。

31.5.9 DSMU 滤波器 x 状态寄存器（DSMU_FLTxSTS)

地址偏移：0x108 + 0x80 * x (x = 0 to 3)

复位值：0x00FF 0000（x=0），0x0000 0000（x=1，2，3）

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
SCDETF[7:0]								CLKABF[7:0]							
r								r							
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Reserved	RCIP	JCIP	Reserved	AWDF	ROVRF	JOVRF	REOCF	JEOCF
r	r	r		r	r	r	r	r

相关中断使能后，此寄存器中每个状态标志位置 1 时都可产生中断。中断发生后，用户必须在中断服务程序中清除对应的状态标志位。

当 DFLTEN=0 时，此寄存器中所有标志位重置为复位值。

位域	名称	描述
31:24	SCDETF[7:0]	短路检测事件标志 SCDETF[y]=0：串行通道 y 上未发生短路检测事件。 SCDETF[y]=1：串行通道 y 上发生了短路检测事件，短路检测计数器值达到了 DSMU_CHyAWDSCDET 寄存器中定义的阈值。 短路检测事件标志由硬件置 1，可通过软件清 0：向 DSMU_FLTxINTCLR 寄存器中的 CLRSCDETF[y] 位写 1。通道 y 禁用后，对应通道的标志位 SCDETF[y]硬件清 0。 *注意：SCDETF[7:0] 标志仅存在于 DSMU_FLT0STS 寄存器（x=0）。*
23:16	CLKABF[7:0]	时钟缺失事件标志 CLKABF [y]=0：串行通道 y 上未发生时钟缺失事件。 CLKABF [y]=1：串行通道 y 上发生了时钟缺失事件。 当通道 y 上检测到了时钟缺失事件，对应标志位 CLKABF [y]由硬件置 1。通道 y 禁用（DSMU_CHyCFG1 寄存器中 CHEN=0），或其串行收发器未正确同步时，硬件将其对应标志位保持在 CLKABF[y]=1 状态。 此标志位可通过软件清 0：向 DSMU_FLTxINTCLR 寄存器中的 CLRCLKABF [y] 位写 1。 *注意：CLKABF [7:0] 标志仅存在于 DSMU_FLT0STS 寄存器（x=0）。*
15	Reserved	保留，必须保持复位值。
14	RCIP	规则转换运行状态标志 0：滤波器 x 未收到规则转换请求。 1：滤波器 x 正在进行规则转换或已收到规则转换请求。 当 RCIP=1 时，新的规则转换请求将被忽略。
13	JCIP	注入转换运行状态标志 0：滤波器 x 未收到注入转换请求。 1：滤波器 x 正在进行注入转换或已收到注入转换请求。转换请求可来自软件触发（JSWSTART 位写‘1’）或外部外部触发。 当 JCIP=1 时，新的注入转换请求将被忽略。
12:5	Reserved	保留，必须保持复位值。
4	AWDF	模拟看门狗事件标志 0：滤波器 x 未发生模拟看门狗事件。 1：滤波器 x 发生了模拟看门狗事件。模拟看门狗模块检测到数据超出高阈值寄存器 DSMU_FLTxAWDLT 或低阈值寄存器 DSMU_FLTxAWDHT 中设置的阈值。 此标志位由硬件置 1。在 DSMU_FLTxAWDSTS 寄存器中的 AWDHTF[7:0]和 AWDLTF[7:0]由软件全部清 0（在 DSMU_FLTxAWDCLR 寄存器中的对应位写‘1’）后自动清除。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

3	ROVRF	规则转换结果溢出标志 0：滤波器 x 规则转换结果未溢出。 1：滤波器 x 规则转换结果发生溢出。当规则转换完成标志 REOCF 仍为 1 时，后续规则转换完成，导致上一次转换结果被覆盖，当前标志位被硬件置 1。此时转换结果寄存器 DSMU_FLTxRDAT 中数据有效，不受溢出影响。 此标志位可通道软件清除：向 DSMU_FLTxINTCLR 寄存器中的 CLRROVRF 位写‘1’。
2	JOVRF	注入转换结果溢出标志 0：滤波器 x 注入转换结果未溢出。 1：滤波器 x 注入转换结果发生溢出。当注入转换完成标志 JEOCF 仍为 1 时，后续注入转换完成，导致上一次转换结果被覆盖，当前标志位被硬件置 1。此时转换结果寄存器 DSMU_FLTxJDAT 中数据有效，不受溢出影响。 此标志位可通道软件清除：向 DSMU_FLTxINTCLR 寄存器中的 CLRJOVRF 位写‘1’。
1	REOCF	规则转换完成标志 0：滤波器 x 未完成规则转换。 1：滤波器 x 已完成一次规则转换，转换结果 DSMU_FLTxRDAT 有效。 此位在规则转换完成后由硬件置 1，在软件或 DMA 读取转换结果后清 0。 *注意：使用 DMA 读取转换结果时，外设地址应设置为 DSMU_FLTxRDAT 寄存器地址。*
0	JEOCF	注入转换完成标志 0：滤波器 x 未完成注入转换。 1：滤波器 x 已完成一次注入转换，转换结果 DSMU_FLTxRDAT 有效。 此位在注入转换完成后由硬件置 1，在软件或 DMA 读取转换结果后清 0。 *注意：使用 DMA 读取转换结果时，外设地址应设置为 DSMU_FLTxJDAT 寄存器地址。*

31.5.10 DSMU 滤波器中断标志清除寄存器 (DSMU_FLTxINTCLR)

地址偏移：0x10C + 0x80 * x (x = 0 to 3)

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CLRSCDETF[7:0]								CLRCLKABF[7:0]							
w								w							

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved												CLRROVRF	CLRJOVRF	Reserved	
												w	w		

此寄存器中所有标志位读取时数值为‘0’。

位域	名称	描述

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31:24	CLRSCDETF[7:0]	清除短路事件标志 CLRSCDETF[y]=0：写‘0’无作用。 CLRSCDETF[y]=1：写‘1’清除 DSMU_FLTxSTS 寄存器中对应的短路事件标志位 SCDETF[x]。 *注意：CLRSCDETF[7:0]位域仅存在于 DSMU_FLT0INTCLR 寄存器。*
23:16	CLRCLKABF[7:0]	清除时钟缺失事件标志 CLRCLKABF[y]=0：写‘0’无作用。 CLRCLKABF[y]=1：写‘1’清除 DSMU_FLTxSTS 寄存器中对应的时钟缺失事件标志位 CLKABF [x]。如果通道 y 串行收发器未正确同步，对应时钟缺失标志置位且无法清除。. *注意：CLRCLKABF [7:0]位域仅存在于 DSMU_FLT0INTCLR 寄存器。*
15:4	Reserved	保留，必须保持复位值。
3	CLRROVRF	清除规则转换溢出标志 0：写‘0’无作用。 1：写‘1’清除 DSMU_FLTxSTS 寄存器中的 ROVRF 标志位。
2	CLRJOVRF	清除注入转换溢出标志 0：写‘0’无作用。 1：写‘1’清除 DSMU_FLTxSTS 寄存器中的 JOVRF 标志位。
1:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

31.5.11 DSMU 滤波器 x 注入通道组寄存器(DSMU_FLTxJCHG)

地址偏移：0x110 + 0x80 * x (x = 0 to 3)

复位值：0x0000 0001

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								JCHG[7:0]							
								rw							

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

7:0	JCHG[7:0]	注入通道组选择 JCHG[y]=0：通道 y 未被选择，不属于注入通道组。 JCHG[y]=1：通道 y 已被选择，属于注入通道组。 如果 JSCAN=1，每次请求发生时，将对注入通道组中的所有通道逐一进行转换。编号最小的通道（比如通道 0 且已被选择）先进行转换，然后按照编号从小到大依次进行，直到编号最大的通道转换完成。 如果 JSCAN=0，每次请求发生时，仅对注入通道组中的一个等待通道进行转换，然后等待通道切换到下一个通道并等待下一次转换请求。在在在 JSCAN=0 时，对当前寄存器的写操作将重置等待通道为第一个通道（注入组中编号最小的通道）。 注入通道组中至少要有一个通道，对当前位域写 0 的操作将被忽略。

31.5.12 DSMU 滤波器 x 配置寄存器 (DSMU_FLTxFCTRL)

地址偏移：0x114 + 0x80 * x (x = 0 to 3)

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
FORD[2:0]			Reserved			FOSR[9:0]									
rw						rw									

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								IOSR[7:0]							
								rw							

位域	名称	描述
31:29	FORD[2:0]	滤波器 x 滤波阶数 0: FastSinc 滤波 1: $Sinc^1$ 滤波 2: $Sinc^2$ 滤波 3: $Sinc^3$ 滤波 4: $Sinc^4$ 滤波 5: $Sinc^5$ 滤波 6-7: 保留 $Sinc^x$ 滤波传递函数：$H(z)=\left[\frac{1-z^{-FOSR}}{1-Z^{-1}}\right]^X$ FastSinc 滤波传递函数：$H(z)=\left[\frac{1-z^{-FOSR}}{1-Z^{-1}}\right]^2 * (1+z^{-(2*FOSR)})$ 此位域只能在 DFLTEN=0（DSMU_FLTxCTRL1 寄存器）时修改。
28:26	Reserved	保留，必须保持复位值。
25:16	FOSR[9:0]	滤波器 x 过采样率 0 – 1023：Sinc 滤波器长度为 1 - 1024 (FOSR = FOSR[9:0] +1)，即滤波器过采样率。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		此位域只能在 DFLTEN=0（DSMU_FLTxCTRL1 寄存器）时修改。 *注意：如果 FOSR = 0,，滤波器将无作用（滤波器旁路）。*
15:8	Reserved	保留，必须保持复位值。
7:0	IOSR[7:0]	积分器过采样率 0- 255：积分器长度为 1 - 256 (IOSR =IOSR[9:0] +1)，即积分器过采样率。此位域表示需要进行累加的 Sinc 滤波结果，累加后输出一个最终转换结果。 此位域只能在 DFLTEN=0（DSMU_FLTxCTRL1 寄存器）时修改。 *注意：如果 IOSR = 0,，积分器将无作用（积分器旁路）。*

31.5.13 DSMU 滤波器 x 注入转换结果寄存器 (DSMU_FLTxJDAT)

地址偏移：0x118 + 0x80 * x (x = 0 to 3)

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
JDAT[23:8]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
JDAT[7:0]								Reserved					JDATCH[2:0]		
r													r		

支持通过 DMA 读取当前寄存器的转换结果。可采用半字的形式读取转换结果的高 16 位。

对此寄存器的读操作将清除 DSMU_FLTxSTS 寄存器中的 JEOCF 标志。因此，当采用 DMA 读取转换结果时，禁止使用软件读当前寄存器。

位域	名称	描述
31:8	JDAT[23:0]	滤波器 x 注入通道组转换结果 当注入通道组中的任意一个通道完成注入转换后，转换结果存储在当前位域。此时 JEOCF=1，表示结果有效。
7:3	Reserved	保留，必须保持复位值。
2:0	JDATCH[2:0]	最近一次注入转换结果对应的通道编号 当注入通道组中的任意一个通道完成注入转换后，JDATCH[2:0] 记录刚完成转换的通道编号，此通道的转换结果同时存储在 JDAT[23:0]。

31.5.14 DSMU 滤波器 x 规则转换结果寄存器 (DSMU_FLTxRDAT)

地址偏移：0x11C + 0x80 * x (x = 0 to 3)

复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
RDAT[23:8]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RDAT[7:0]								Reserved			RPEND	Reserved	RDATCH[2:0]		
r											r	r	r		

支持通过 DMA 读取当前寄存器的转换结果。可采用半字的形式读取转换结果的高 16 位。

对此寄存器的读操作将清除 DSMU_FLTxSTS 寄存器中的 REOCF 标志。因此，当采用 DMA 读取转换结果时，禁止使用软件读当前寄存器。

位域	名称	描述
31:8	RDAT[23:0]	滤波器 x 规则转换结果 当滤波器 x 完成一次规则转换后，转换结果存储在当前位域，此时 REOCF=1，表示结果有效。
7:5	Reserved	保留，必须保持复位值。
4	RPEND	滤波器 x 规则转换挂起标志 此位为 1 时，表示规则转换被注入转换中断，规则转换延迟，转换结果无效。
3	Reserved	保留，必须保持复位值。
2:0	RDATCH[2:0]	最近一次规则转换结果对应的通道编号 当任意一次规则转换完成后，RDATCH[2:0] 记录刚完成转换的通道编号（规则通道可通过 DSMU_FLTxCTRL1 寄存器中的 RDATCH[2:0]位域随时修改），此通道对应的转换结果同时存储在 RDAT[23:0]位域。

31.5.15 DSMU 滤波器 x 模拟看门狗高阈值寄存器(DSMU_FLTxAWDHT)

地址偏移：0x120 + 0x80 * x (x = 0 to 3)

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
AWDHT[23:8]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
AWDHT[7:0]								Reserved				BKAWDHT[3:0]			
rw												rw			

位域	名称	描述

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31:8	AWDHT[23:0]	模拟看门狗高阈值 此位域通过软件设置，表示模拟看门狗用于数据比较的高阈值。 *注意：如果看门狗数据来自转换串行通道输入（AWDFSEL=1），因模拟看门狗滤波器输出为 16 位，此位域仅高 16 位（AWDHT[23:8]）用于数据比较，低 8 位 AWDHT[7:0] 被忽略。*
7:4	Reserved	保留，必须保持复位值。
3:0	BKAWDHT[3:0]	模拟看门狗高阈值事件刹车信号输出配置 BKAWDHT[i] = 0：发生高阈值事件后不输出刹车信号 dsmu_brki。BKAWDHT[i] = 1：发生高阈值事件后输出刹车信号 dsmu_brki。

31.5.16 DSMU 滤波器 x 模拟看门狗低阈值寄存器 (DSMU_FLTxAWDLT)

地址偏移：0x124 + 0x80 * x (x = 0 to 3)

Reset value：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
AWDLT[23:8]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
AWDLT[7:0]								Reserved				BKAWDLT[3:0]			
rw												rw			

位域	**名称**	**描述**
[31:8]	AWDLT[23:0]	模拟看门狗低阈值 此位域通过软件设置，表示模拟看门狗用于数据比较的低阈值。 *注意：如果看门狗数据来自转换串行通道输入（AWDFSEL=1），因模拟看门狗滤波器输出为 16 位，此位域仅高 16 位（AWDLT[23:8]）用于数据比较，低 8 位 AWDLT[7:0] 被忽略。*
[7:4]	Reserved	保留，必须保持复位值。
[3:0]	BKAWDLT[3:0]	模拟看门狗低阈值事件刹车信号输出配置 BKAWDHT[i] = 0：发生低阈值事件后不输出刹车信号 dsmu_brki。BKAWDHT[i] = 1：发生低阈值事件后输出刹车信号 dsmu_brki。

31.5.17 DSMU 滤波器 x 模拟看门狗状态寄存器(DSMU_FLTxAWDSTS)

地址偏移：0x128 + 0x80 * x (x = 0 to 3)

Reset value：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
AWDHTF[7:0]								AWDLTF[7:0]							
r								r							

当 DFLTEN=0 时，此寄存器中所有标志位重置为复位值。

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:8	AWDHTF[7:0]	模拟看门狗高阈值标志 AWDHTF[y]=1：当通道 y 上发生了高阈值错误时，对应位由硬件置‘1’，可通过 DSMU_FLTxAWDCLR 寄存器中的 CLRAWDHTF[y]位软件清除。
7:0	AWDLTF[7:0]	模拟看门狗低阈值标志 AWDLTF[y]=1：当通道 y 上发生了低阈值错误时，对应位由硬件置‘1’，可通过 DSMU_FLTxAWDCLR 寄存器中的 CLRAWDLTF[y]位软件清除。

31.5.18 DSMU 滤波器 x 模拟看门狗清除标志寄存器 (DSMU_FLTxAWDCLR)

地址偏移：0x12C + 0x80 * x (x = 0 to 3)

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CLRAWDHTF[7:0]								CLRAWDLTF[7:0]							
w								w							

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:8	CLRAWDHTF[7:0]	清除模拟看门狗高阈值事件标志 CLRAWDHTF[y]=0：写‘0’无作用。 CLRAWDHTF[y]=1：写‘1’清除 DSMU_FLTxAWDSTS 寄存器中对应的标志位 AWDHTF[y]。
7:0	CLRAWDLTF[7:0]	Clear the analog watchdog threshold low flag CLRAWDLTF[y]=0：写‘0’无作用。 CLRAWDLTF[y]=1：写‘1’清除 DSMU_FLTxAWDSTS 寄存器中对应的标志位 AWDLTF [y]。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31.5.19 DSMU 滤波器 x 极值检测器最大值寄存器 (DSMU_FLTxEXDETMAX)

地址偏移：0x130 + 0x80 * x (x = 0 to 3)

复位值：0x8000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
EXDETMAX[23:8]															
rs_r	rc_r														

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
EXDETMAX[7:0]								Reserved					EXDETMAXCH[2:0]		
rc_r													rc_r		

位域	名称	描述
31:8	EXDETMAX[23:0]	极值检测器最大值 此位域由硬件设置，记录滤波器 DSMU_FLTx 转换结果中的最大值。 对当前寄存器的读操作将重置 EXDETMAX[23:0]位域为复位值（0x800000）。
7:3	Reserved	保留，必须保持复位值。
2:0	EXDETMAXCH[2:0]	极值检测器最大值对应的通道编号 此位域记录 EXDETMAX[23:0]中所存储的最大值对应的通道编号。 对当前寄存器的读操作会将此位域清 0（复位值）。

31.5.20 DSMU 滤波器 x 极值检测器最小值寄存器 (DSMU_FLTxEXDETMIN)

地址偏移：0x134 + 0x80 * x (x = 0 to 3)

复位值：0x7FFF FF00

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
EXDETMIN[23:8]															
rc_r	rs_r														

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
EXDETMIN[7:0]								Reserved					EXDETMINCH[3:0]		
rs_r													rc_r		

位域	名称	描述

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31:8	EXDETMIN[23:0]	极值检测器最小值 此位域由硬件设置，记录滤波器 DSMU_FLTx 转换结果中的最小值。 对当前寄存器的读操作将重置 EXDETMIN [23:0]位域为复位值（0x 7FFFFF）。
7:3	Reserved	保留，必须保持复位值。
2:0	EXDETMINCH[2:0]	极值检测器最小值对应的通道编号 此位域记录 EXDETMIN [23:0]中所存储的最小值对应的通道编号。 对当前寄存器的读操作会将此位域清 0（复位值）。

31.5.21 DSMU 滤波器 x 转换时间寄存器 (DSMU_FLTxCOVTIM)

地址偏移：0x138 + 0x80 * x (x = 0 to 3)

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
COVCNT[27:12]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
COVCNT[11:0]												Reserved			
r															

位域	名称	描述
31:4	COVCNT[27:0]	此位域共 28 位，记录最近一次转换时间 t： t = COVCNT[27:0] / $f_{DSMUCLK}$ 转换时间计时器以 DSMU_CLK 为时钟，从启动转换时开始计时，直到转换结束时停止计时（即第一个样本和最后一个样本之前的时间间隔）。当滤波器旁路（FOSR[9:0] = 0）时，转换时间为 0 。 转换时间可按照下面的公式计算： 如果规则转换快速模式被禁用（FAST=0），或启用快速模式（FAST=1）时的第一次转换： 对于 Sinc^x 滤波：t = [FOSR * (IOSR-1 + FORD) + FORD] / f_{CKIN}。 对于 FastSinc 滤波：t = [FOSR * (IOSR-1 + 4) + 2] / f_{CKIN}。 如果在连续规则转换时启用快速模式（FAST=1），除了第一次转换外，转换时间 t = [FOSR * IOSR] / f_{CKIN}。 如果 FOSR= 1（滤波器旁路），此位域为 0（转换时间计时器不运行），实际转换时间 t = IOSR / f_{CKIN}。 备注：f_{CKIN} 为通过 CKINy 引脚输入的串行时钟频率或并行数据输入频率（来自内部 ADC 或 CPU/DMA）。 *注意：当转换被中断时，比如通道被禁用时，转换时间计时器在通道禁用时停止计时。*
3:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

32 通用串行总线全速设备接口（USB_FS_Device）

32.1 简介

通用串行总线全速设备接口（USB_FS_Device）模块是一个符合 USB2.0 全速协议的外设。它包含了物理层的 USB PHY，不需要额外的 PHY 芯片。USB_FS_Device 支持 USB2.0 协议中定义的**控制传输**、**批量传输**、**中断传输**和**同步传输**共四种传输类型。

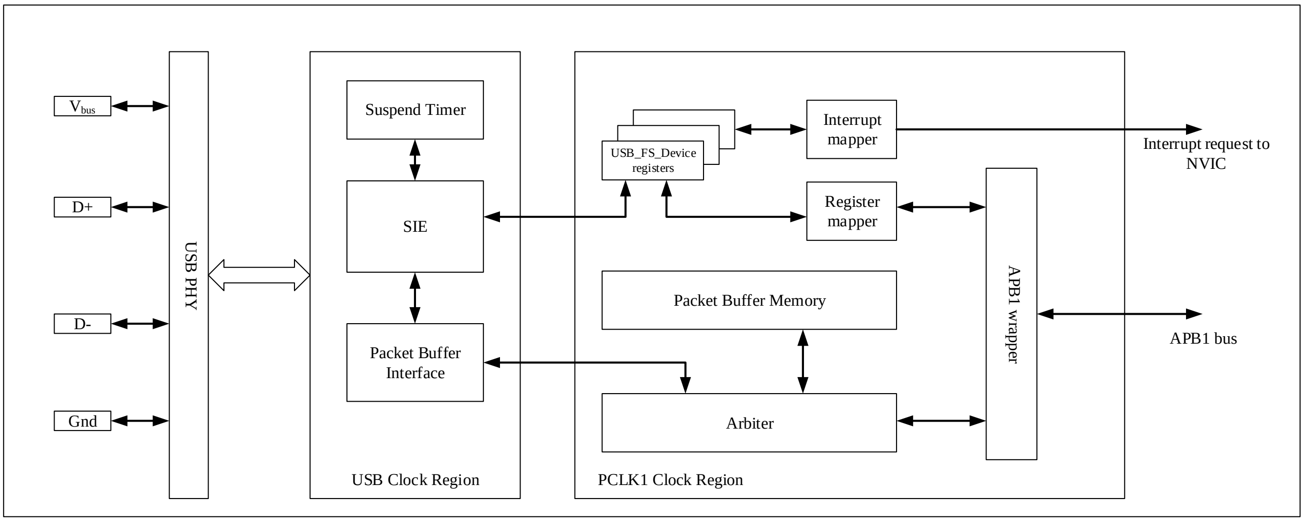
32.2 主要特征

- 符合 USB2.0 全速设备规格
- 最多支持 8 个可配置的 USB 端点
- 每个端点都支持 USB2.0 协议中的四种传输类型：
  - 控制传输
  - 批量传输
  - 中断传输
  - 同步传输
- 批量端点/同步端点支持双缓冲机制
- CRC(循环冗余校验)生成/校验，反向不归零(NRZI)编码/解码和位填充
- 支持 USB 挂起/恢复操作
- 帧锁定时钟脉冲生成

图 32-1 是 USB 外设的功能框图。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 32-1 USB 设备框图



32.3 时钟配置

USB 2.0 协议规范中规定 USB 全速模块采用固定的 48MHz 时钟。为了给 USB_FS_Device 提供精确的 48MHz 时钟，需要进行两阶段的时钟配置，如下：

- 第一阶段，从 PLLCLK 精确分频得到 48MHz 工作时钟，所以在使用 USB_FS_Device 时，需保证 PLLCLK 时钟为 48MHz/96MHz/144MHz/192MHz/240MHz，否则 USB_FS_Device 无法正常工作；
- 第二阶段，使能挂载在 APB1 总线上的 USB 外设时钟，即 APB1 总线时钟，它的频率不必须等于 48MHz，可以大于或小于 48MHz。

注意：

1、 APB1 总线时钟的频率必须大于 8MHz，否则可能导致数据缓冲区上溢/下溢。

2、 只有当 USB 模块时钟打开后，才能操作 USB 寄存器以及 USB 模块的 SRAM

32.4 功能描述

基于此模块，微控制器和 PC 主机之间通过 USB 连接可以实现数据交互。微控制器和 PC 主机之间的数据传输基于一块 512 字节的专用 SRAM 实现，这块 SRAM 也就是图 32-1 中的 Packet Buffer Memory，USB 外设可以直接访问该 SRAM，这块专用 SRAM 的实际使用大小由使用的端点数和每个端点的端点数据包缓冲区大小共同决定，每个端点都有一个缓冲区描述表项，描述该端点使用的缓冲区地址、大小和需要传输的字节数，具体请参考 32.4.2 缓冲区描述表。该 SRAM 被映射到 APB1 外设存储区，其地址从 0x4000 6000 到 0x4000 63FF，总容量为 1KB，但是由于总线宽度原因只使用了 512 字节，并且每个端点的缓冲区描述表也存储在该 SRAM 内，所以每个端点最大可以使用的端点数据包缓冲区小于 512 字节。

32.4.1 访问 Packet Buffer Memory

由图 32-1 所示，微控制器通过 APB1 总线与 USB 模块通讯，微控制器通过 APB1 wrapper 访问 Packet Buffer Memory，当微控制器和 USB 模块都要访问 Packet Buffer Memory 时，由 Arbiter 来决定谁能访问，其仲裁逻辑为 APB1 总线的一半周期用于微控制器访问 Packet Buffer Memory，另一半周期用于 USB 模块访问

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Packet Buffer Memory，这样就可以避免由于微控制器连续访问 Packet Buffer Memory 而导致的访问冲突。

注意：

1、 APB1 总线与 USB 模块访问 Packet Buffer Memory 的方式有所不同。

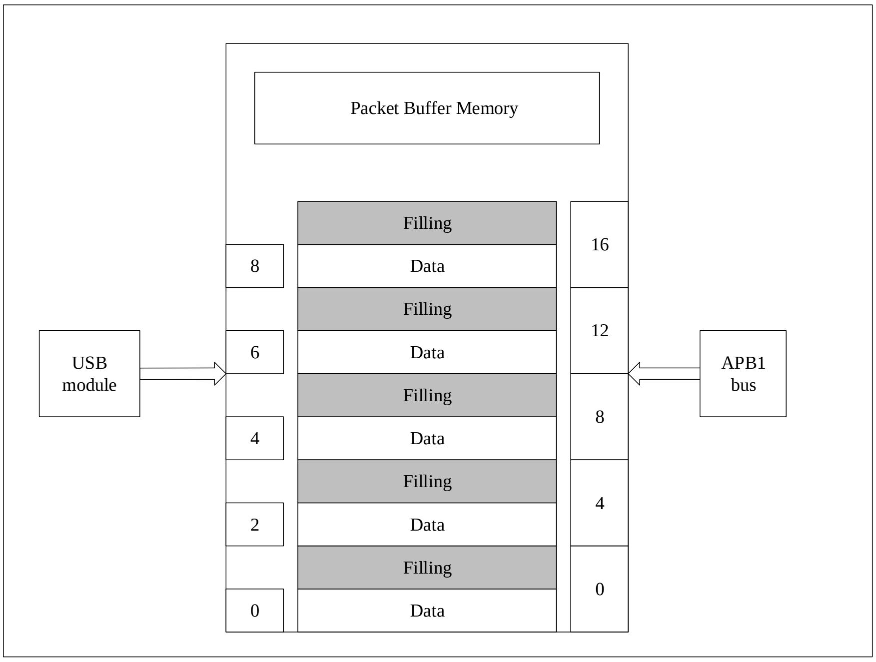
32.4.1.1 USB 模块访问 Packet Buffer Memory

USB 模块以 16 位方式访问 Packet Buffer Memory，参考图 32-2。USB 模块访问 Packet Buffer Memory 时，先通过 USB_BUFTAB 寄存器在 Packet Buffer Memory 内存中找到缓冲区描述表的位置。USB_BUFTAB 寄存器的值表示缓冲区描述表的起始地址，该地址必须在 Packet Buffer Memory 内存范围内，并且是 8 字节对齐。如果只是用了端点 0 和端点 1，缓冲区描述表只需要 16 字节，如果只用了端点 0 和端点 7，则缓冲区描述表需要 64 字节，虽然端点 1 到端点 6 未使用，但是端点 7 的描述表是从 56 字节开始的，所以会占用 64 字节的空间。

32.4.1.2 用户应用程序访问 Packet Buffer Memory

微控制器上的用户应用程序从 APB1 总线访问 Packet Buffer Memory 需要按照 32 位对齐，16 位读写方式访问，即操作数据的地址必须是 32 位对齐，并且一次只能读或写 16 位数据，不能是 8 位也不能是 32 位。USB 模块和微控制器上的用户应用程序访问 Packet Buffer Memory 方式如图 32-2 所示。

图 32-2 USB 模块和微控制器上的用户应用程序访问 Packet Buffer Memory 方式



32.4.2 缓冲区描述表

缓冲区描述表中定义了通信过程中使用的端点的缓冲区地址、大小和需要传输的字节数，每个端点对应两个端点数据包缓冲区，一个用于发送，一个用于接收。这些端点数据包缓冲区可以存储在整个 Packet Buffer Memory 中的任意位置，并且缓冲区描述表也位于 Packet Buffer Memory 中，其起始地址由 USB_BUFTAB 寄存器确定。

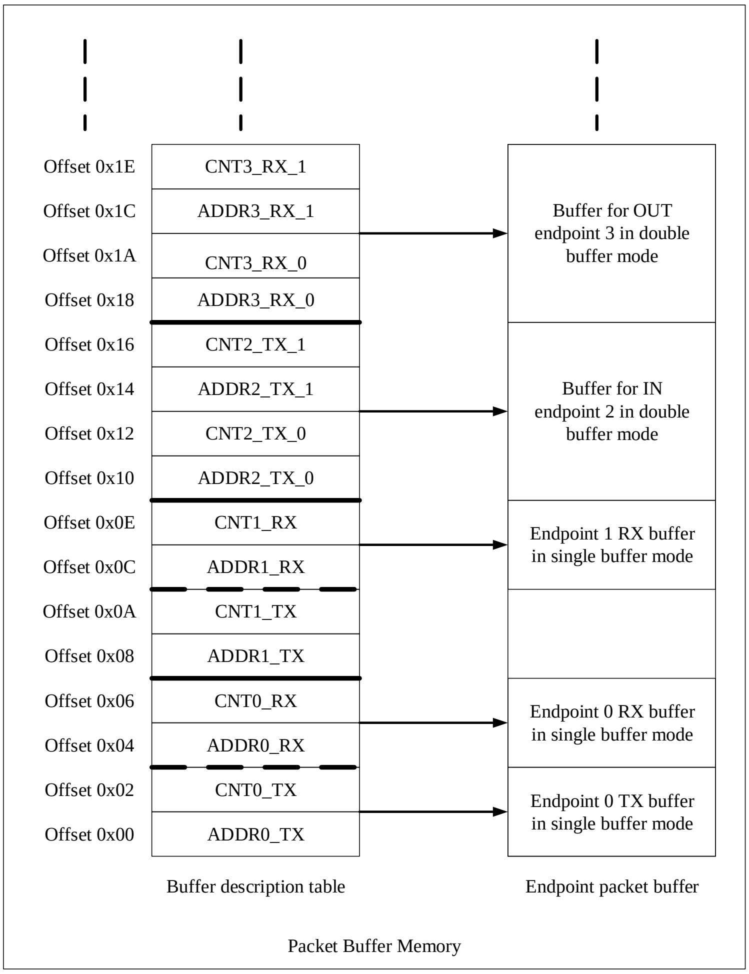
缓冲区描述表共有 8 个表项，每个表项对应一个端点寄存器，每个寄存器中有发送和接收两个方向，每个方向要求 2 个 16 位字的缓冲区描述表，所以每个表项由 4 个 16 位字组成，所以缓冲区描述表的起始地址必须按 8 字节对齐。对于未使用到的端点或已使用的端点的未使用方向上的端点数据包缓冲区，可以用于其

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

他用途。缓冲区描述表和端点数据包缓冲区的关系如下图 32-3 所示。

无论端点是用于接收还是发送，缓冲区描述表都是从第一个表项开始，即缓冲区描述表的最底部。USB 模块不能访问/修改当前分配到的端点数据包缓冲区区域外的其他端点数据包缓冲区的数据，例如：端点 0 数据包接收缓冲区从 PC 主机收到一个比当前端点 0 数据包接收缓冲区还大的数据时，端点 0 只接收最大为端点 0 数据包接收缓冲区大小的数据，其他多余的数据被丢弃，并发生缓冲区溢出异常。

图 32-3 缓冲区描述表和端点数据包缓冲区的关系



32.4.3 双缓冲端点

32.4.3.1 双缓冲端点功能介绍

当 PC 主机和 USB 设备之间需要传输大批量数据时，采用批量传输让 PC 主机在一帧内最大效率的传输数据。但是，当传输速度过快时会导致 USB 设备在处理上一次数据传输时，USB 设备又收到新的数据分组，为了正确完成上一次数据传输，USB 只能向 PC 主机回复 NAK 握手信号，由于批量传输的重传机制，PC 主机会不断重发同样的数据分组，直到 USB 设备可以处理该数据分组并向 PC 主机回复 ACK 握手信号，PC 主机才停止重发该数据分组。这样的重传会占用很多带宽，从而降低批量传输的速率，为了解决该问题，提高批量传输的效率引入双缓冲机制，并实现流控。

单向端点使用双缓冲机制时，其端点上的接收 buffer 和发送 buffer 都将被使用，其中的一个 buffer 让 USB 模块使用，另一个 buffer 让微控制器使用，使用端点寄存器中的数据翻转位选择当前使用哪一块 buffer，为

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

此引入两个标志：DATTOG 和 SW_BUF，DATTOG 指示 USB 模块当前正在使用的 buffer，SW_BUF 指示微控制器上的应用程序当前正在使用的 buffer，DATTOG 和 SW_BUF 的定义如表 32-1 所示。单向端点使用双缓冲机制只需使用一个 USB_EPn 寄存器。

表 32-1 DATTOG 和 SW_BUF 定义

Buffer flag	Sending endpoint	Receiving endpoint
DATTOG	DATTOG_TX (Bit 13 of the USB_EPn register)	DATTOG_RX (Bit 9 of the USB_EPn register)
SW_BUF	Bit 9 of the USB_EPn register	Bit 13 of the USB_EPn register

如图 32-3 所示，当某个端点使用双缓冲区机制时，该端点的 4 个缓冲区描述表项都将被使用。DATTOG 和 SW_BUF 负责流控。当一次传输完成时，USB 硬件翻转 DATTOG 位；当微控制器上的应用程序处理完数据时，软件翻转 SW_BUF。在第一次传输开始后，之后的传输过程中，若 DATTOG 和 SW_BUF 的值相等，USB 模块和应用程序发生了缓冲区访问冲突，传输被暂停，并且向主机发送 NAK 握手包；当 DATTOG 和 SW_BUF 的值不相等时，可以进行正常的 USB 通信。

表 32-2 双缓冲使用方法

Endpoint type	DATTOG	SW_BUF	Buffer used by the USB module	Buffers used by the application
IN Endpoint	0	1	ADDRn_TX_0/CNTn_TX_0	ADDRn_TX_1/CNTn_TX_1
	1	0	ADDRn_TX_1/CNTn_TX_1	ADDRn_TX_0/CNTn_TX_0
	0	0	Endpoint is in NAK state	ADDRn_TX_0/CNTn_TX_0
	1	1	Endpoint is in NAK state	ADDRn_TX_1/CNTn_TX_1
OUT Endpoint	0	1	ADDRn_RX_0/CNTn_RX_0	ADDRn_RX_1/CNTn_RX_1
	1	0	ADDRn_RX_1/CNTn_RX_1	ADDRn_RX_0/CNTn_RX_0
	0	0	Endpoint is in NAK state	ADDRn_RX_0/CNTn_RX_0
	1	1	Endpoint is in NAK state	ADDRn_RX_1/CNTn_RX_1

注意：

1、 *双缓冲批量端点只在缓冲区访问冲突时才会将该端点设置为 NAK 状态，并不在每次正确传输完成后都将端点设置为 NAK 状态。*

32.4.3.2 双缓冲端点使用

如果要使用双缓冲批量端点，可以按照以下方式设置：

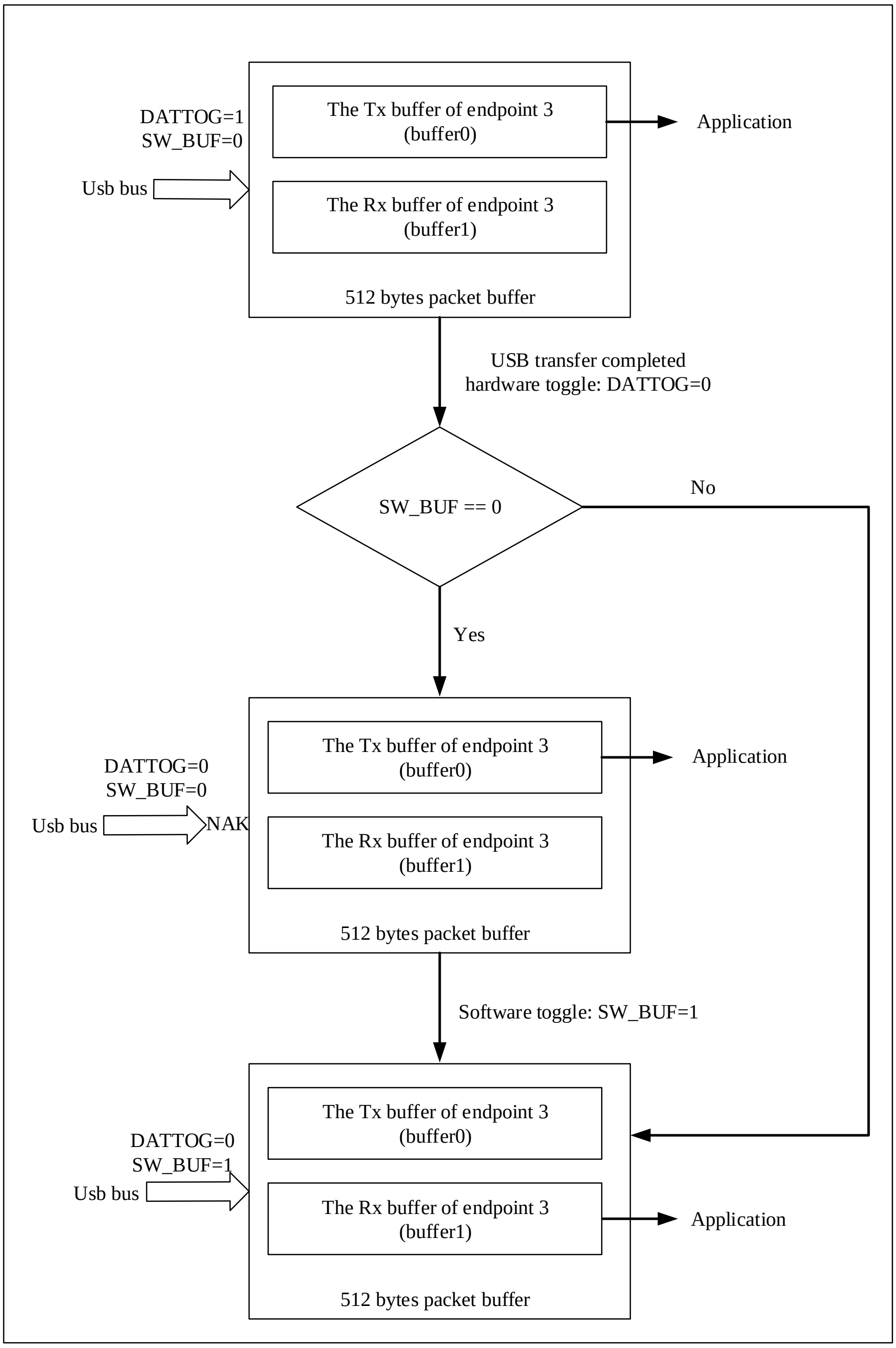
■ 设置 USB_EPn.EP_TYPE＝00，定义端点为批量端点

■ 设置 USB_EPn.EP_KIND＝1，定义端点为双缓冲端点

如图 32-3 所示，双缓冲批量端点 3 进行 OUT 方向数据传输时，假设 DATTOG＝1，SW_BUF＝0，则表示应用程序可以处理 ADDR3_RX_0/CNT3_RX_0 对应的 buffer0 中的数据，而 USB 模块在接收到 USB 总线来的数据后，将数据填充到 ADDR3_RX_1/CNT3_RX_1 对应的 buffer1 中。当 USB 总线上的一次事务传输完成后，硬件会翻转 DATTOG＝0，若应用程序还没有处理完 ADDR3_RX_0/CNT3_RX_0 对应的 buffer0 中的数据，软件不翻转 SW_BUF（SW_BUF＝0），如果此时 USB 总线上又有 OUT 数据包传输，USB 设备会自动回复 NAK 握手信号来表示流控，直到应用程序处理完 ADDR3_RX_0/CNT3_RX_0 对应的 buffer0 中的数据，软件翻转 SW_BUF＝1，此时 DATTOG 和 SW_BUF 的值不同，若 USB 总线上再来 OUT 数据包，USB 设备就可以正常接收数据，并把接收到的数据填充到 ADDR3_RX_0/CNT3_RX_0 对应的 buffer0 中，应用程序可以处理 ADDR3_RX_1/CNT3_RX_1 对应的 buffer1 中的数据。如下图 32-4 所示。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 32-4 双缓冲批量端点示例



32.4.4 USB 传输

32.4.4.1 USB 传输概述

一次 USB 传输由多个事务构成，一个事务又有多个包构成。

包是 USB 传输的基本单元，所有的数据都必须先进行打包处理，才能在 USB 总线上传输。USB 上数据的一次接收或发送处理过程称为事务，事务有三种类型：Setup 事务、Data IN 事务、Data OUT 事务。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

32.4.4.2 IN 事务

当主机要读 USB 设备的数据时，主机向 USB 设备发送一个 PID 为 IN 的令牌包，USB 设备在正确接收 IN 令牌包后，若地址和一个配置好的端点地址相匹配，USB 模块会根据该端点的缓冲区描述表项，访问相应的 USB_ADDRn_TX 和 USB_CNTn_TX 寄存器，并将这两个寄存器中的值存储到内部无法被应用程序访问的 16 位 ADDR 寄存器和 CNT 寄存器中，ADDR 寄存器被用作该端点对应的端点数据包发送缓冲区的指针，CNT 寄存器用于记录剩余的未传输的字节数。USB 总线使用低字节在先的方式从端点数据包发送缓冲区读出数据，数据从 USB_ADDRn_TX 指向的端点数据包发送缓冲区开始读取数据，长度为 USB_CNTn_TX/2 个字。若发送的数据分组为奇数个字节，则只使用最后一个字的低 8 位。

USB 设备收到主机发送的 PID 为 IN 的令牌包后，USB 对 IN 事务的处理流程如下：

- 若这个 IN 令牌包中的设备地址信息和端点信息有效，并且该令牌包中指定的端点的状态为 VALID，USB 设备根据 USB_EPn.DATTOG_TX 位发送 PID 为 DATA0 或 DATA1 数据包，将准备好的数据发送给主机，当最后一个数据字节发送完成后，计算好的数据 CRC 也将被发送给主机。USB 设备收到主机返回的 PID 为 ACK 的握手包后。硬件翻转 USB_EPn.DATTOG_TX 位，硬件将该端点发送状态设置为 NAK 状态（USB_EPn.STS_TX＝10），同时硬件置位 USB_EPn.CTRS_TX，产生正确发送中断。软件响应 CTRS_TX 中断，通过检查 USB_STS.EP_ID 位识别是哪个端点上的通信，通过 USB_STS.DIR 识别通信方向，清除中断标志，并准备下一次要发送的数据，然后软件重新将该端点发送状态设置为 VALID 状态（USB_EPn.STS_TX = 11）。
- 若这个 IN 令牌包中指定的端点是无效的，则 USB 设备不发送数据包，而根据 USB_EPn.STS_TX 发送 PID 为 NAK 或 STALL 的握手包。

32.4.4.3 OUT 和 SETUP 事务

当主机要向 USB 设备发送数据或命令时，主机会向 USB 设备发送 PID 为 OUT 或 SETUP 的令牌包，USB 设备在正确接收 OUT 或 SETUP 令牌后，若地址和一个配置好的端点地址相匹配，USB 模块会根据该端点的缓冲区描述表项，访问相应的 USB_ADDRn_RX 和 USB_CNTn_RX 寄存器，并将 USB_ADDRn_RX 寄存器的值存储到内部 ADDR 寄存器中，同时复位内部 CNT 寄存器，ADDR 寄存器被用作该端点对应的端点数据包接收缓冲区的指针，CNT 寄存器用于记录接收到的数据字节数，并用 USB_CNTn_RX 寄存器中的 BL_SIZE 和 NUM_BLK 值初始化内部无法被应用程序访问的 16 位 BUF_COUNT 寄存器，该寄存器用于缓冲区溢出检测。当 USB 模块接收到来自 USB 总线的数据时，USB 模块将接收到的数据按字方式组织（先收到的为低字节），并存储到 ADDR 指向的端点数据包接收缓冲区中，同时 CNT 值自动递增，BUF_COUNT 值自动递减。

USB 设备收到主机发送的 PID 为 OUT 或 SETUP 的令牌包后，USB 对 OUT 或 SETUP 的处理流程如下：

- 若这个 OUT 或 SETUP 令牌包中的设备地址信息和端点信息有效，并且该令牌包中指定的端点的状态为 VALID，USB 设备将数据从无法被应用程序访问的硬件 buffer 中搬移到可被应用程序访问的端点数据包接收缓冲区中。然后 USB 设备校验收到的 CRC，如果 CRC 无错误，USB 设备向主机回复 PID 为 ACK 的握手包；如果 CRC 有错误或其他错误类型（位填充，帧错误等），USB 设备不向主机回复 ACK 握手包，并且 USB_STS.ERROR 置位，此时应用程序不需要做任何处理，USB 设备会自动恢复来准备接收下一次传输。如果接收到的数据大小超过了接收端点的数据包缓冲区大小，USB 设备会停止接收数据，并由硬件回复 STALL 握手包和置位缓冲区溢出错误，但不产生中断。USB 设备向主机回复 PID 为 ACK 的握手包后，USB 设备由硬件翻转 USB_EPn.DATTOG_RX 位，硬件将该端点接收状态设置为 NAK 状态（USB_EPn.STS_RX = 10），硬件置位 USB_EPn.CTRS_RX，产生正确接收中断。软件响应 CTRS_RX 中断，通过检查 USB_STS.EP_ID 位识别是哪个端点上的通信，通过 USB_STS.DIR 识别通信方向，清除中断标志，处理从主机接收到的数据，处理完接收到的数据后，软件重新将该端点接收状

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

态设置为 VALID 状态（USB_EPn.STS_RX = 11），使能下一次传输。

■ 若这个 OUT 或 SETUP 令牌包中指定的端点是无效的，USB 设备根据 USB_EPn.STS_RX 发送 PID 为 NAK 或 STALL 的握手包。

注意：

1、USB 设备在接收来自主机的数据时，如果接收到的数据大小超过了接收端点的数据包缓冲区大小，硬件会自动停止写入，即永远不会覆盖到其他端点数据包缓冲区的数据。

32.4.4.4 控制传输

控制传输由 3 个阶段组成，1 个 Setup 阶段 +0 个/多个同方向的 Data 阶段 +1 个 Status 阶段。SETUP 事务只能由控制端点完成，SETUP 事务和 OUT 事务过程相似。当一个 Setup 事务正确完成后，硬件产生 USB_EPn.CTRS_RX 中断，软件在中断中首先把 USB 设备端点的 Tx 和 Rx 方向状态都更改为 NAK，然后查看 USB_EPn.SETUP 位来确定是 SETUP 事务还是 OUT 事务，并根据 SETUP 令牌包中的相应字段判断后续是否有 Data 阶段，如果有 Data 阶段，Data 阶段是 IN 传输还是 OUT 传输。如图 32-5 所示，以控制写传输为例。在使能后续的 Data 阶段之前，判断 Data 阶段是否是最后一个 Data 阶段：

■ 如果不是最后一个 Data 阶段，即不是最后一个数据包，在使能接收 OUT 事务之前，把不用的方向 Tx 状态设置为 STALL，以防止主机过早的结束 Data 阶段进入 Status 阶段，USB 设备可以返回 PID 为 STALL 的握手包，需要使用的方向 Rx 状态设置为 VALID。当第一个 OUT 事务正确完成后，硬件产生 USB_EPn.CTRS_RX 中断，并把 USB 设备端点的 Rx 方向状态更改为 NAK，Tx 方向状态不变，软件在中断中判断下一个将要使能的 OUT 事务是否是最后一个 Data 阶段，如果不是最后一个 Data 阶段，在使能接收 OUT 事务之前，软件重新设置 USB 设备端点的 Rx 方向状态为 VALID，Tx 方向状态不变；

■ 如果是最后一个 Data 阶段，在使能接收最后一个 OUT 事务之前，软件把之前 Data 阶段不用的 Tx 方向状态设置为 NAK，这样，即使主机在最后一次 Data 阶段后立马开始 Status 阶段，USB 设备仍然可以保持为等待控制传输结束的状态，Rx 方向状态设置为 VALID，准备接收最后一包数据；

最后一个 OUT 事务正确完成后，硬件产生 USB_EPn.CTRS_RX 中断，并把 USB 设备端点的 Rx 方向状态设置为 NAK，TX 方向状态不变。当软件在中断中准备好 Status 阶段需要发送的 0 长度数据包后，软件把 USB 设备端点的 Tx 方向状态更改为 VALID。

控制读传输与控制写传输相类似，唯一不同点如下：

■ 控制读传输，Data 阶段的最后一个 IN 事务正确完成后，在使能 OUT 方向的 Status 阶段之前，除了把 USB 设备端点的 Rx 方向状态设置为 VALID，还需要把 STATUS_OUT(USB_EPn.EP_KIND)置 1，表示接下来将是 OUT 方向的 Status 阶段，随后的 OUT 事务中必须是一个 0 长度数据包，否则会产生错误。

■ Status 阶段结束后，软件清除 STATUS_OUT(USB_EPn.EP_KIND)位，USB 设备端点的 Rx 方向状态设置为 VALID，准备接收一个新的命令请求，Tx 方向状态设置为 NAK，表示在下一个 SETUP 分组传输完成前，不接受数据传输的请求。

注意：

1、双向的端点 0 作为默认的控制端点来处理控制传输。

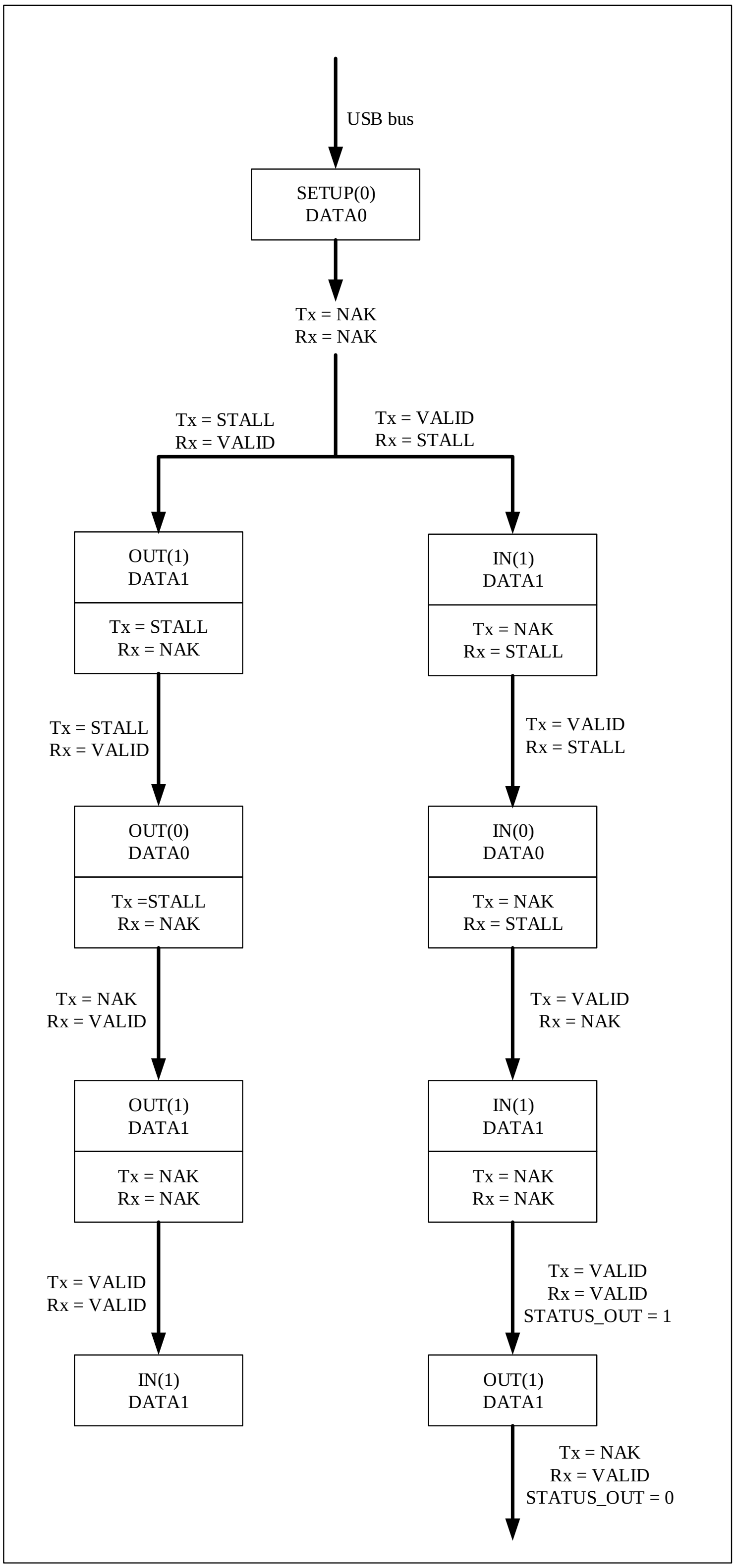
2、USB2.0 规范中定义，USB 设备接收 PID 为 SETUP 的令牌包后，不能用 PID 为 NAK 或 STALL 的握手包回复，只能用 PID 为 ACK 的握手包回复。如果 SETUP 分组传输失败，则会引发下一个 SETUP 分组。如果端点 0 的 Rx 状态设置为 STALL 或 NAK，USB 模块仍可以接收 SETUP 令牌包。

3、当 USB_EP0.CTRS_RX = 1 时，USB 模块再次收到 SETUP 令牌包，USB 模块会丢掉该 SETUP 令牌包，

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

并不向主机回复任何握手包，迫使主机再次发送 SETUP 令牌包。

图 32-5 控制传输



32.4.4.5 同步传输

需要固定和精确的数据速率的传输被定义成同步传输。一个端点如果在枚举时被定义为同步端点，USB 主

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

机会在传输的每个帧中为该端点分配所要求的带宽，但为了节约带宽，同步传输没有重传机制，即没有握手阶段，数据包后没有握手包，因此不需要使用数据翻转机制，同步传输只传送 PID 为 DATA0 的数据包。

同步端点使用双缓冲机制来减轻应用程序的处理压力，USB 模块使用的缓冲区由 DATTOG 位标识，在同一个寄存器中，USB_EPn.DATTOG_RX 位标识接收同步端点，USB_EPn.DATTOG_TX 位标识发送同步端点。与批量双缓冲机制相比较，同步双缓冲机制无 SW_BUF，因为应用程序可以访问的缓冲区就是 DATTOG 未指示的那一个，所以要实现双向同步传输，需要使用两个 USB_EPn 寄存器。双缓冲同步端点使用如表 32-3 所示。

表 32-3 同步双缓冲使用方法

Endpoint type	DATTOG	Buffer used by the USB module	Buffers used by the application
IN Endpoint	0	ADDRn_TX_0/CNTn_TX_0	ADDRn_TX_1/CNTn_TX_1
	1	ADDRn_TX_1/CNTn_TX_1	ADDRn_TX_0/CNTn_TX_0
OUT Endpoint	0	ADDRn_RX_0/CNTn_RX_0	ADDRn_RX_1/CNTn_RX_1
	1	ADDRn_RX_1/CNTn_RX_1	ADDRn_RX_0/CNTn_RX_0

应用程序根据首次要用到的缓冲区来初始化 DATTOG 位。每次传输完成时，由使能的方向决定置位 USB_EPn.CTRS_RX 位还是 USB_EPn.CTRS_TX 位，产生相应的中断。如果产生 CRC 错误或缓冲区溢出错误，仍然能触发 USB_EPn.CTRS_RX 或 USB_EPn.CTRS_TX 中断事件，但是，如果是 CRC 错误，硬件会置位 USB_STS.ERROR 位，表示数据可能损坏。同时，硬件翻转 DATTOG 位，但 USB_EPn.STS_RX 或 USB_EPn.STS_TX 位不受影响。

同步端点定义：设置 USB_EPn.EP_TYPE＝10。由于同步端点无握手机制，同步端点的状态只能设置为 VALID 或 DISABLED，设置成 STALL 或 NAK 是非法的。

注意：

1、 与批量双缓冲相比，由于同步双缓冲无握手机制，所以同步双缓冲无流控机制。

32.4.5 USB 事件和中断

每一个 USB 行为都通过应用程序初始化，由 USB 中断或事件来驱动。在系统复位后，应用程序需要等待一系列的 USB 中断和事件。

32.4.5.1 复位事件

32.4.5.1.1 系统复位和上电复位

发生系统复位或上电复位后，软件首先需要使能 USB 模块的时钟信号，然后清除复位信号以访问 USB 模块的寄存器，最后打开和 USB 收发器相连的模拟部分。软件操作流程如下：

- 使能 USB 模块的时钟信号
- 清除 USB_CTRL.PD 位
- 等待内部参考电压稳定，因为打开内部电压需要一段启动时间，在此期间内 USB 收发器处于不确定状态
- 清除 USB_CTRL.FRST 位
- 清除 USB_STS 寄存器，移除未处理的挂起中断，然后使能其他单元

注意：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

1、 *每次系统复位或上电复位后使能 USB 模块，都需要配置 DP 信号线上拉电阻。*

32.4.5.1.2 USB 复位（复位中断）

发生 USB 复位时，USB 模块的状态同系统复位后状态是一样的：所有端点都被禁止通信。软件需要做如下操作：

- 产生复位中断后，软件必须在 10ms 内使能端点 0 的传输
- 设置 USB_ADDR.EFUC 位
- 初始化 USB_EP0 寄存器和与它相关的端点数据包缓冲区

32.4.5.2 挂起和唤醒事件

32.4.5.2.1 挂起事件

全速 USB 正常通信时，主机每毫秒会发送一个 PID 为 SOF 的令牌包。如果 USB 模块检测到 3 个连续的 SOF 包丢失，即 USB 总线在 3ms 内处于空闲状态，则硬件置位 USB_STS.SUSPD 位，触发挂起中断，USB 设备进入挂起状态。USB2.0 标准中规定，在挂起状态，USB 总线上的平均电流消耗不超过 2.5mA，但自供电设备无需严格遵守该规定。

注意：

1、 *USB 设备进入挂起状态后，仍然必须具备检测 RESET 信号的功能。*

32.4.5.2.2 唤醒事件

USB 设备进入挂起状态后，若要恢复正常 USB 通信，可以由 USB 主机发起唤醒序列或 RESET 序列，或 USB 设备本身触发唤醒序列，但唤醒序列只能由 USB 主机结束。如果由 USB 主机发起的 RESET 序列唤醒 USB 设备，根据 USB2.0 标准中的规定，必须保证唤醒过程不超过 10ms。

表 32-4 列出了 USB_FN.RXDP_STS 位和 USB_FN.RXDM_STS 位标识什么触发了唤醒事件以及相应的软件操作。

表 32-4 唤醒事件检测

[USB_FN.RXDP_STS, USB_FN.RXDM_STS]	Wake-up event	Software operation
00	Root reset	None
01	Root resume	None
10	None (noise on bus)	Go back in Suspend mode
11	Not allowed (noise on bus)	Go back in Suspend mode

注意：

1、 *只有在 USB_CTRL.FSUSPD = 1 时，即 USB 模块处于挂起状态，才可以设置 USB_CTRL.RESUM 位。*

32.4.5.3 USB 中断

USB 控制器有 3 条中断线，分别如下：

- USB 低优先级中断（通道 20）：可被所有 USB 事件触发；
- USB 高优先级中断（通道 19）：只能由同步和双缓冲批量传输的正确传输事件触发；
- USB 唤醒中断（通道 42）：由 USB 挂起模式的唤醒事件触发。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

32.4.6 端点初始化

1. 初始化 USB_ADDRn_TX 或 USB_ADDRn_RX 寄存器，配置端点 Tx 或 Rx 数据包缓冲区起始地址；
2. 根据端点的实际使用场景，配置 USB_EPn.EP_TYPE 位和 USB_EPn.EP_KIND 位来设定端点类型和缓冲区类型；
3. 根据端点方向的不同执行不同操作：

■ 如果是发送端点

1) 设置 USB_EPn.STS_TX 位，使能端点的发送功能

2) 配置 USB_CNTn_TX.CNTn_TX 位，设置端点数据包发送缓冲区大小

■ 如果是接收端点

1) 设置 USB_EPn.STS_RX 位，使能端点的接收功能

2) 配置 USB_CNTn_RX.BL_SIZE 位和 USB_CNTn_RX.NUM_BLK 位，设置端点数据包接收缓冲区大小

32.5 USB 寄存器

可以用半字(16 位)或字(32 位)的方式操作这些外设寄存器。

USB 基地址：0x4000 5C00

32.5.1 USB 寄存器总览

表 32-5 USB 寄存器总览

Offset	Register	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
000h	USB_EP0	Reserved																STS_TX[1:0]		DATTOG_TX	CTRS_TX	STS_RX[1:0]		DATTOG_RX	CTRS_RX	EP_TYPE[1:0]		EP_KIND	SETUP	EPADDR[3:0]			
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
004h	USB_EP1	Reserved																STS_TX[1:0]		DATTOG_TX	CTRS_TX	STS_RX[1:0]		DATTOG_RX	CTRS_RX	EP_TYPE[1:0]		EP_KIND	SETUP	EPADDR[3:0]			
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
008h	USB_EP2	Reserved																STS_TX[1:0]		DATTOG_TX	CTRS_TX	STS_RX[1:0]		DATTOG_RX	CTRS_RX	EP_TYPE[1:0]		EP_KIND	SETUP	EPADDR[3:0]			
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00Ch	USB_EP3	Reserved																STS_TX[1:0]		DATTOG_TX	CTRS_TX	STS_RX[1:0]		DATTOG_RX	CTRS_RX	EP_TYPE[1:0]		EP_KIND	SETUP	EPADDR[3:0]			
	Reset Value																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Offset	Register	31:16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
010h	USB_EP4	Reserved	STS_TX[1:0]		DATTOG_TX	CTRS_TX	STS_RX[1:0]		DATTOG_RX	CTRS_RX	EP_TYPE[1:0]		EP_KIND	SETUP	EPADDR[3:0]			
	Reset Value		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
014h	USB_EP5	Reserved	STS_TX[1:0]		DATTOG_TX	CTRS_TX	STS_RX[1:0]		DATTOG_RX	CTRS_RX	EP_TYPE[1:0]		EP_KIND	SETUP	EPADDR[3:0]			
	Reset Value		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
018h	USB_EP6	Reserved	STS_TX[1:0]		DATTOG_TX	CTRS_TX	STS_RX[1:0]		DATTOG_RX	CTRS_RX	EP_TYPE[1:0]		EP_KIND	SETUP	EPADDR[3:0]			
	Reset Value		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01Ch	USB_EP7	Reserved	STS_TX[1:0]		DATTOG_TX	CTRS_TX	STS_RX[1:0]		DATTOG_RX	CTRS_RX	EP_TYPE[1:0]		EP_KIND	SETUP	EPADDR[3:0]			
	Reset Value		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
040h	USB_CTRL	Reserved			PU	RESUM	FSUSPD	LP_MODE	PD	FRST	PMAOM	CTRSM	ERRORM	WKUPM	SUSPDM	RSTM	SOFM	ESOFM
	Reset Value				0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
044h	USB_STS	Reserved				DIR	EP_ID[3:0]				PMAO	CTRS	ERROR	WKUP	SUSPD	RST	SOF	ESOF
	Reset Value					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
048h	USB_BUFTAB	Reserved	BUFTAB[12:0]													Reserved		
	Reset Value		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
04Ch	USB_FN	Reserved	RXDP_STS	RXDM_STS	LSTSOF[1:0]		LOCK	FNUM[10:0]										
	Reset Value		0	0	0	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
050h	USB_ADDR	Reserved									EFUC	ADDR[6:0]						
	Reset Value										0	0	0	0	0	0	0	0

32.5.2 USB 端点 n 寄存器（USB_EPn），n=[0..7]

偏移地址：0x00 ~ 0x1C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
STS_TX[1:0]		DATTOG_TX	CTRS_TX	STS_RX[1:0]		DATTOG_RX	CTRS_RX	EP_TYPE[1:0]		EP_KIND	SETUP	EPADDR[3:0]			
t		t	rc_w0	t		r	rc_w0	rw		rw	r	rw			

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31：16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15：14	STS_TX[1:0]	发送状态 此位指示端点的当前状态，表 32-7 列出了端点的可用状态。当一次正确的 IN 事务完成时，硬件置位此位为 NAK 状态。 *注意：* *1、 软件可读可写此位，但写 0 无效，写 1 翻转此位。* *2、 双缓冲批量端点，根据使用的缓冲区状态控制传输状态，参考 32.4.3 节。* *3、 同步端点，硬件不会在事务成功完成后更改端点的状态。*
13	DATTOG_TX	发送数据 PID 翻转位 非同步端点，此位表示翻转数据位（0 = DATA0，1 = DATA1） 双缓冲端点，此位用于实现双缓冲端点的流控机制 同步端点，此位用于双缓冲区的交换 *注意：* *1、 软件可读可写此位，但写 0 无效，写 1 翻转此位。* *2、 控制端点，USB 模块在正确接收到 PID 为 SETUP 的令牌包后，硬件置位此位。* *3、 同步传输中，硬件在数据包发送结束后翻转此位。*
12	CTRS_TX	正确发送标志 当该端点上的 IN 事务成功完成时，硬件置位此位。若 USB_CTRL.CTRSM = 1，产生相应的中断。 *注意：* *1、 软件可读可写此位，但只有写 0 有效，写 1 无效。*
11：10	STS_RX[1:0]	接收状态 此位指示端点的当前状态，表 32-6 列出了端点的可用状态。当一次正确的 OUT 或 SETUP 事务完成时，硬件置位此位为 NAK 状态。 *注意：* *1、 软件可读可写此位，但写 0 无效，写 1 翻转此位。* *2、 双缓冲批量端点，根据使用的缓冲区状态控制传输状态，参考 32.4.3 节。* *3、 同步端点，硬件不会在事务成功完成后更改端点的状态。*
9	DATTOG_RX	接收数据 PID 翻转位 非同步端点，此位表示翻转数据位（0 = DATA0，1 = DATA1） 双缓冲端点，此位用于实现双缓冲端点的流控机制 同步端点，此位用于双缓冲区的交换 *注意：* *1、 软件可读可写此位，但写 0 无效，写 1 翻转此位。* *2、 控制端点，USB 模块在正确接收到 PID 为 SETUP 的令牌包后，硬件清除此位。* *3、 同步传输中，硬件在数据包接收结束后翻转此位。*
8	CTRS_RX	正确接收标志 当该端点上的 OUT 或 SETUP 事务成功完成时，硬件置位此位。若 USB_CTRL.CTRSM = 1，产生相应的中断。 *注意：* *1、 软件可读可写此位，但只有写 0 有效，写 1 无效。*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

<table>
<tr><td>7：6</td><td>EP_TYPE[1:0]</td><td>端点类型
<table><tr><td>EP_TYPE[1:0]</td><td>描述</td></tr><tr><td>00</td><td>BULK：批量端点</td></tr><tr><td>01</td><td>CONTROL：控制端点</td></tr><tr><td>10</td><td>ISO：同步端点</td></tr><tr><td>11</td><td>INTERRUPT：中断端点</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>5</td><td>EP_KIND</td><td>端点特殊类型
<table><tr><td colspan="2">EP_TYPE[1:0]</td><td>EP_KIND 含义</td></tr><tr><td>00</td><td>BULK</td><td>DBL_BUF：双缓冲端点</td></tr><tr><td>01</td><td>CONTROL</td><td>STATUS_OUT</td></tr><tr><td>10</td><td>ISO</td><td>未定义</td></tr><tr><td>11</td><td>INTERRUPT</td><td>未定义</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>4</td><td>SETUP</td><td>SETUP 传输完成标志
当 USB 模块正确接收到 PID 为 SETUP 的令牌包后，硬件置位此位。
注意：
1、 软件只可读此位，不可写此位。
2、 该位 USB_EPn.SETUP 只对控制端点有效。</td></tr>
<tr><td>3：0</td><td>EPADDR[3:0]</td><td>端点地址
此位指示通信的目标端点，必须在使能相应端点之前写入值。</td></tr>
</table>

注意：

1、 当 USB 模块收到 USB 总线复位信号，或 USB_CTRL.FRST = 1 时，USB 模块将会复位，该寄存器除了 CTRS_RX 和 CTRS_TX 位保持不变以处理紧随的 USB 传输外，其他位都被复位。

表 32-6 接收状态编码

STS_RX[1:0]	**描述**
00	DISABLED：忽略此端点的所有接收请求
01	STALL：握手包状态为 STALL
10	NAK：握手包状态为 NAK
11	VALID：端点可用于接收

表 32-7 发送状态编码

STS_TX[1:0]	**描述**
00	DISABLED：忽略此端点的所有发送请求
01	STALL：握手包状态为 STALL
10	NAK：握手包状态为 NAK
11	VALID：端点可用于发送

32.5.3 USB 控制寄存器（USB_CTRL）

偏移地址：0x40

复位值：0x0000 0300

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		PU	RESUM	FSUSPD	LP_MODE	PD	FRST	PMAOM	CTRSM	ERRORM	WKUPM	SUSPDM	RSTM	SOFM	ESFOM
		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:14	Reserved	保留，必须保持复位值。
13	PU	D+ 1.5k 上拉电阻 0：禁能 1.5k 上拉电阻 1：使能 1.5k 上拉电阻
12	RESUM	唤醒请求 0：没有唤醒请求 1：向 PC 主机发送唤醒请求 *注意：如果 USB_CTRL.RESUM = 1 在 1ms 到 15ms 内保持有效，则 PC 主机将对 USB 模块实现唤醒操作。*
11	FSUSPD	强制挂起 当 USB_STS.SUSPD 中断触发时，软件必须设置此位。 0：未进入挂起模式 1：进入挂起模式，但仍存在 USB 模拟收发器的时钟和静态功耗 *注意：* *1、 如需进入低功耗模式（总线供电类设备），软件需先置位 USB_CTRL.FSUSPD，再置位 USB_CTRL.LP_MODE。*
10	LP_MODE	低功耗模式 0：无影响 1：挂起模式下进入低功耗模式。USB 总线上的活动（唤醒事件）会复位此位（软件也可以复位此位） *注意：* *1、 低功耗模式下，只有外接上拉电阻供电，并且系统时钟也会停止或降低到一定的频率来减少耗电。*
9	PD	断电模式 0：退出断电模式 1：进入断电模式 *注意：* *1、 当 USB_CTRL.PD = 1 时，USB 模块被彻底关闭，同主机断开，USB 模块将不能使用。*
8	FRST	强制 USB 复位 0：无影响 1：复位 USB 模块，如果 USB_CTRL.RSTM = 1，将产生一个复位中断 *注意：* *1、 当 USB_CTRL.FRST = 1 时，软件清除此位前，USB 模块将一直保持在复位状态。*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

7	PMAOM	数据包缓冲区上溢/下溢中断使能 0：禁用数据包缓冲区上溢/下溢中断 1：使能数据包缓冲区上溢/下溢中断，当 USB_STS.PMAO = 1 时，产生中断。
6	CTRSM	正确传输中断使能 0：禁用正确传输中断 1：使能正确传输中断，当 USB_STS.CTRS = 1 时，产生中断。
5	ERRORM	错误中断使能 0：禁用错误中断 1：使能错误中断，当 USB_STS.ERROR = 1 时，产生中断。
4	WKUPM	唤醒中断使能 0：禁用唤醒中断 1：使能唤醒中断，当 USB_STS.WKUP = 1 时，产生中断。
3	SUSPDM	挂起模式中断使能 0：禁用挂起模式中断 1：使能挂起模式中断，当 USB_STS.SUSPD = 1 时，产生中断。
2	RSTM	USB 复位中断使能 0：禁用 USB 复位中断 1：使能 USB 复位中断，当 USB_STS.RST = 1 时，产生中断。
1	SOFM	帧起始中断使能 0：禁用帧起始中断 1：使能帧起始中断，当 USB_STS.SOF = 1 时，产生中断。
0	ESOFM	期望的帧起始中断使能 0：禁用期望的帧起始中断 1：使能期望的帧起始中断，当 USB_STS.ESOF = 1 时，产生中断。

32.5.4 USB 中断状态寄存器（USB_STS）

偏移地址：0x44

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved			DIR	EP_ID[3:0]				PMAO	CTRS	ERROR	WKUP	SUSPD	RST	SOF	ESOF
			r	r				rc_w0	r	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0	rc_w0

位域	名称	描述
31:13	Reserved	保留，必须保持复位值。
12	DIR	传输方向 0：IN 分组传输完成，并且 USB_EPn.CTRS_TX 被硬件置位 1：OUT 分组传输完成，并且 USB_EPn.CTRS_RX 被硬件置位 *注意：*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		1、 软件只可读此位，不可写此位。 *2、 当 USB_EPn.CTRS_TX 和 USB_EPn.CTRS_RX 同时被置位，标识同时存在 OUT 分组和 IN 分组。*
11：8	EP_ID[3:0]	端点号 在 USB 模块完成数据传输产生中断后由硬件根据请求中断的端点号写入。 *注意：* *1、 软件只可读此位，不可写此位。* *2、 当同时有多个端点的请求中断时，硬件写入优先级最高的端点号。同步端点和双缓冲批量端点具有高优先级，其他端点为低优先级（端点号越小，优先级越高）。*
7	PMAO	数据包缓冲区上溢/下溢中断标志 当数据包缓冲区存储不下所有所传输的数据时，硬件置位此位。 *注意：* *1、 软件可读可写此位，但只有写 0 有效，写 1 无效。* *2、 同步传输中不会产生该中断。*
6	CTRS	正确传输中断标志 当端点正确完成一次数据传输后由硬件置位。 *注意：* *1、 软件只可读此位，不可写此位。*
5	ERROR	错误中断标志 下列错误发生时硬件会置位此位： 1) 无应答，主机应答超时 2) CRC 错误，数据或令牌分组中的 CRC 校验出错 3) 位填充错误，在 PID、数据或 CRC 中检测出位填充错误 4) 帧格式错误，收到非标准帧 *注意：* *1、 软件可读可写此位，但只有写 0 有效，写 1 无效。*
4	WKUP	唤醒中断标志 在挂起状态下，当唤醒信号被检测到时，硬件置位此位，同时硬件复位 USB_CTRL.LP_MODE 位。 *注意：* *1、 软件可读可写此位，但只有写 0 有效，写 1 无效。*
3	SUSPD	挂起模式中断标志 当 USB 总线上超过 3ms 没有任何活动时，硬件置位此位，表明有 Suspend 请求。 *注意：* *1、 软件可读可写此位，但只有写 0 有效，写 1 无效。* *2、 挂起模式下，唤醒结束前，USB 硬件不会检测挂起信号。* *3、 USB 复位后，硬件会立即使能对挂起信号的检测。*
2	RST	USB 复位中断标志 当检测到 USB 复位信号时，硬件置位此位。 *注意：* *1、 软件可读可写此位，但只有写 0 有效，写 1 无效。* *2、 USB 复位中断产生时，设备的地址和端点寄存器会被复位，但配置寄存器*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

		不会被复位，除非软件清零。
1	SOF	帧起始中断标志 当检测到 USB 总线上 PID 为 SOF 的令牌包时，硬件置位此位。 *注意：* *1、 软件可读可写此位，但只有写 0 有效，写 1 无效。*
0	ESOF	期望的帧起始中断标志 当 USB 模块未收到期望的 PID 为 SOF 的令牌包时，硬件置位此位。 *注意：* *1、 软件可读可写此位，但只有写 0 有效，写 1 无效。* *2、 当 USB 模块连续 3ms 未收到 PID 为 SOF 的令牌包，即连续发生 3 次 ESOF 中断，将产生 SUSPD 中断。*

32.5.5 USB 分组缓冲区描述表地址寄存器（USB_BUFTAB）

偏移地址：0x48

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
BUFTAB[12:0]													Reserved		
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:3	BUFTAB[12:0]	缓冲表 此位保存缓冲区描述表的起始地址。缓冲区描述表用来指示每个端点的端点数据包缓冲区的地址和大小，按 8 字节对齐（最低 3 位为 000）。
2:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

32.5.6 USB 帧编号寄存器（USB_FN）

偏移地址：0x4C

复位值：0x0000 0XXX，X 代表未定义数值

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RXDP_STS	RXDM_STS	LSTSOF[1:0]		LOCK	FNUM[10:0]										
r	r	r		r	r										

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15	RXDP_STS	D+状态 代表 USB D+线的状态，挂起状态下可检测唤醒条件的发生。
14	RXDM_STS	D-状态 代表 USB D-线的状态，挂起状态下可检测唤醒条件的发生。
13:12	LSTSOF[1:0]	丢失 SOF 标志 当每次发生 USB_STS.ESOF 事件时，硬件递增此位，一旦接收到 PID 为 SOF 的令牌包，硬件清除此位。
11	LOCK	锁定 USB 在 USB 复位条件结束后或 USB 唤醒序列结束后，若连续检测到至少 2 个 PID 为 SOF 的令牌包，硬件置位此位。 *注意：* *1、 当 USB_FN.LOCK = 1 时，在 USB 模块复位或 USB 总线挂起之前，帧计数器将停止计数。*
10:0	FNUM[10:0]	帧数量 USB 模块每次收到 PID 为 SOF 的令牌包后，硬件递增此位。

32.5.7 USB 设备地址寄存器（USB_ADDR）

偏移地址：0x50

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								EFUC	ADD[6:0]						
								rw	rw						

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值。
7	EFUC	USB 模块使能 0：USB 模块停止工作，不响应任何 USB 通信 1：使能 USB 模块
6：0	ADDR[6:0]	USB 设备地址 此位保存 USB 主机在枚举过程中为 USB 设备分配的地址值。USB 总线复位后，该位被复位为 0x00。

缓冲区描述表

缓冲区描述表位于数据包缓冲区内存中，用以配置 USB 模块和微控制器内核共享的端点数据包缓冲区的地址和大小。由于 APB1 总线按 32 位寻址，所以数据包缓冲区内存地址都使用 32 位对齐的地址，并不是 USB_BUFTAB 寄存器和缓冲区描述表所使用的地址。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

32.5.8 发送缓冲区地址寄存器 n（USB_ADDRn_TX）

偏移地址：[USB_BUFTAB] + n×16

USB 本地地址：[USB_ BUFTAB] + n×8

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADDRn_TX[14:0]															
rw															rw

位域	名称	描述
15：1	ADDRn_TX[14:0]	发送缓冲区地址 在收到下一个 PID 为 IN 的令牌包时，需要发送数据的端点的端点数据包缓冲区起始地址
0	-	由于数据包缓冲区内存地址按字（32 位）对齐，所以此位必须为 0

32.5.9 发送数据字节数寄存器 n（USB_CNTn_TX）

偏移地址：[USB_ BUFTAB] + n×16 + 4

USB 本地地址：[USB_ BUFTAB] + n×8 + 2

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved						CNTn_TX[9:0]									
						rw									

位域	名称	描述
15:10	Reserved	保留，必须保持复位值。
9：0	CNTn_TX[9:0]	发送字节数 在下一个 PID 为 IN 的令牌包时，要发送的数据字节数

注意：如表 32-2 和表 32-3 所示，双缓冲 IN 端点和同步 IN 端点需要两个 USB_CNTn_TX 寄存器：USB_CNTn_TX_0 和 USB_CNTn_TX_1。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved						CNTn_TX_1[9:0]									
						rw									

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved						CNTn_TX_0[9:0]									
						rw									

32.5.10 接收缓冲区地址寄存器 n（USB_ADDRn_RX）

偏移地址：[USB_ BUFTAB] + n×16 + 8

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

USB 本地地址：[USB_ BUFTAB] + n×8 + 4

15:1	0
ADDRn_RX[14:0]	
rw	rw

位域	名称	描述
15:1	ADDRn_RX[14:0]	接收缓冲区地址 在收到下一个 PID 为 SETUP 或 OUT 的令牌包时，用于保存数据的端点的端点数据包缓冲区起始地址
0	-	由于数据包缓冲区内存地址按字（32 位）对齐，所以此位必须为 0

32.5.11 接收数据字节数寄存器 n（USB_CNTn_RX）

偏移地址：[USB_ BUFTAB] + n×16 + 12

USB 本地地址：[USB_ BUFTAB] + n×8 + 6

15	14:10	9:0
BLSIZE	NUM_BLK[4:0]	CNTn_RX[9:0]
rw	rw	r

位域	名称	描述
15	BLSIZE	存储区块的大小 0：存储区块大小是 2 字节 1：存储区块大小是 32 字节
14:10	NUM_BLK[4:0]	存储区块的数目 记录分配给端点数据包接收缓冲区的存储区块的数目，并决定最终使用的端点数据包接收缓冲区的大小。具体请参考下表 32-8 端点数据包接收缓冲区大小的定义。
9:0	CNTn_RX[9:0]	接收字节数 由 USB 模块写入，记录端点收到的最新的 PID 为 SETUP 或 OUT 令牌包的实际字节数。

注意：如表 32-2 和表 32-3 所示，双缓冲 OUT 端点和同步 OUT 端点需要两个 USB_CNTn_RX 寄存器：USB_CNTn_RX_0 和 USB_CNTn_RX_1。

31	30:26	25:16
BLSIZE	NUM_BLK_1[4:0]	CNTn_RX_1[9:0]
rw	rw	r

15	14:10	9:0
BLSIZE	NUM_BLK_0[4:0]	CNTn_RX_0[9:0]
rw	rw	r

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 32-8 端点数据包接收缓冲区大小定义

NUM_BLK[4:0]	BLSIZE = 0	BLSIZE = 1
00000	不允许使用	32 字节
00001	2 字节	64 字节
00010	4 字节	96 字节
00011	6 字节	128 字节
…	…	…
01111	30 字节	512 字节
10000	32 字节	Reserved
10001	34 字节	Reserved
10010	36 字节	Reserved
…	…	…
11110	60 字节	Reserved
11111	62 字节	Reserved

注意：

1、 *端点数据包接收缓冲区的大小在设备枚举过程中定义，由 USB 2.0 协议规范中的标准端点描述符的 wMaxPacketSize 字段定义。*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

33 通用串行总线高速双角色接口（USB_HS_Host/Device）

33.1 概述

USB 高速双角色接口（USB HS Dual Role），以下称 USBHS。USBHS 控制器旨在提供高速数据传输和连接外部设备的标准接口。USBHS 支持 Host 模式和 Device 模式，USBHS 包含了一个内部的 USB 高速 PHY，可以配置成高速、全速，不再需要外部 PHY 芯片。USBHS 可以支持 USB 2.0 协议所定义的所有四种传输方式（控制传输、批量传输、中断传输和同步传输）。另外，在 USBHS 内部还有一个 DMA，可作为 AHB 总线主机在 USBHS 和系统之间加速数据传输。

33.2 USBHS 主要特性

USBHS主要特性如下：

- 支持 USB 2.0 高速（480Mb/s） /全速（12Mb/s） /低速（1.5Mb/s）Host 模式
- 支持 USB 2.0 高速（480Mb/s） /全速（12Mb/s）Device 模式
- 支持所有的 4 种传输方式：控制传输、批量传输、中断传输和同步传输；
- USBHS 内置高速 PHY，支持高速，全速和低速，无需外接 PHY
- 支持 HS SOF，FS SOF 和 LS Keep-alive 令牌
- SOF 脉冲可通过 PAD 输出
- SOF 脉冲通过内部连接到定时器 (TIMx)
- 支持 A-B 器件识别（ID 线）
- USBHS 内嵌 DMA，并可软件配置 AHB 的批量传输类型
- 具有省电功能，例如在 USB 挂起期间停止系统、关闭数字模块时钟、对 PHY 和 DFIFO 电源加以管理
- 具有 4 KB 专用 RAM
- Host 模式下包含 16 个主机通道，每个通道都支持任何类型的 USB 传输
- Host 模式下内置硬件调度器：
  - 在周期性硬件队列中存储多达 16 个中断加同步传输请求
  - 在非周期性硬件队列中存储多达 16 个控制加批量传输请求
- Host 模式下包含一个 RX FIFO、一个周期性传输 TX FIFO 和一个非周期性传输 TX FIFO
- Device 模式下包含 1 个双向控制端点 0，还包含 8 个 IN 端点和 7 个 OUT 端点，IN 端点和 OUT 端点均可配置为批量传输、中断传输或同步传输
- Device 模式包含一个共享 RX FIFO 和一个 TX-OUT FIFO，还包含 9 个专用 TX-IN FIFO
- 支持软断开功能

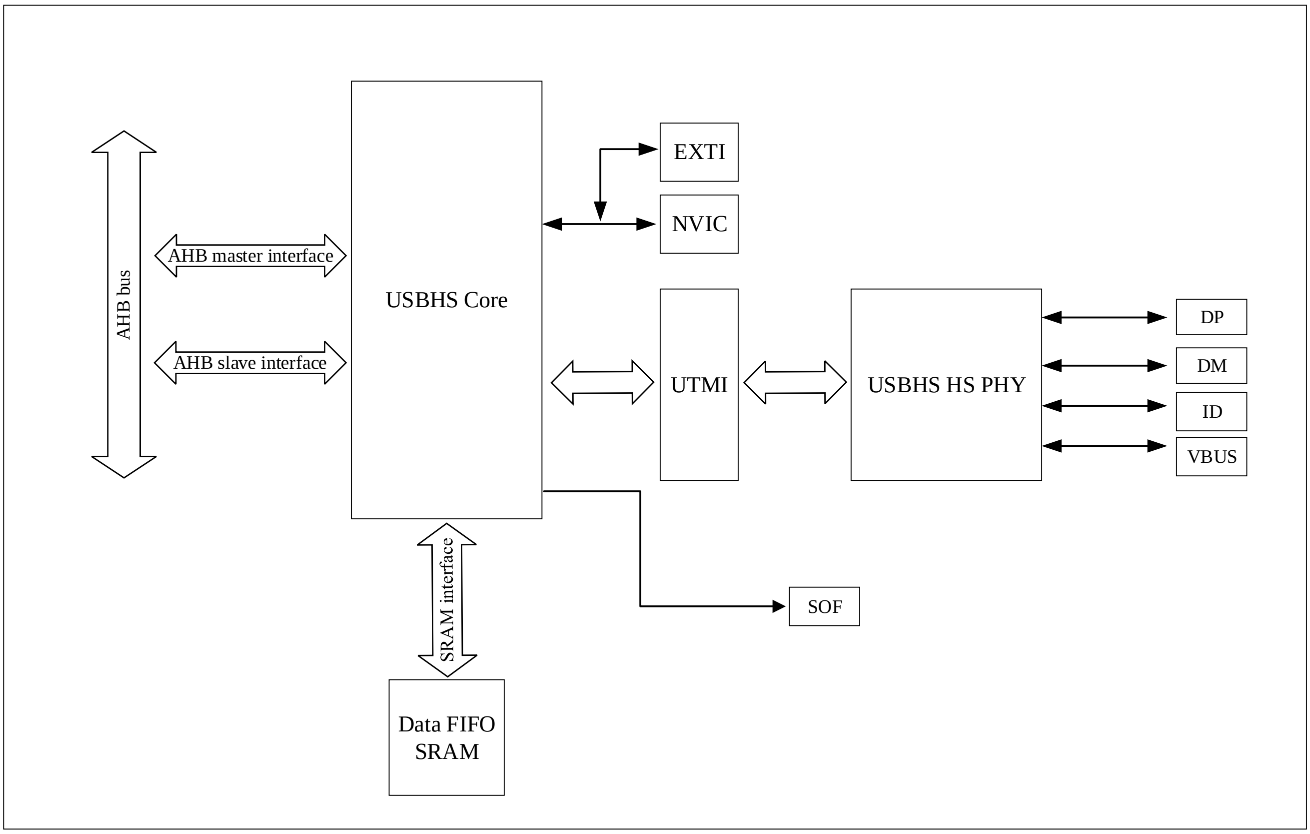
注：USBHS 需要使用 16MHz、19.2MHz、20MHz、24MHz、26MHz 或 32MHz 外部晶体作为时钟源。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

33.3 USBHS 功能说明

33.3.1 USBHS 框图

图 33-1 USBHS 模块框图



33.3.2 USBHS 引脚和内核信号

表 33-1 USBHS 输入/输出信号

I/O 端口	信号类型	说明
VBUS	输入	总线电源端口
DM	输入/输出	差分信号线-端口
DP	输入/输出	差分信号线+端口
ID	输入	USB 识别：微连接器识别接口

33.3.3 USBHS 内置高速 PHY

USBHS 内置高速 PHY，支持高速，全速和低速，无需外接 PHY。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

集成 ID 上拉电阻，用于对 ID 线进行采样，以便 USBHS 配置成 Host 模式或 Device 模式。

由 USBHS 模块控制的 DP/DM 集成上拉电阻和下拉电阻，具体使能哪种电阻取决于当前模式。

33.4 USBHS 双角色设备 (DRD)

33.4.1 ID 线检测

采取 Host 还是 Device（默认设置）角色取决于 ID 输入引脚的电平。

如果检测到 ID 线悬空，由于设备 ID 线上的集成上拉电阻，USBHS 将检测到 ID 高电平并确认采取默认的 Device 模式。

如果检测到 ID 线接地，则 USBHS 将发出 ID 线状态更改中断（USBHS_GINTSTS. IDSTSCIF 位）以告知应用程序初始化成主机，并自动切换为 Host 模式。

33.5 USB 设备

本节介绍了 USBHS 在 USB 设备模式下所具有的功能。在以下情形下，USBHS 用作 USB 设备：

- B 器件插入 USB 电缆 B 端时的默认状态
- 将 USBHS 配置寄存器中的强制设备模式位(USBHS_GCFG.FDMODE)置 1，从而将 USBHS 内核强制为仅 USB 设备。这种情况下，即使 USB 连接器上存在 ID 线，也会将该 ID 线忽略。

33.5.1 USB 设备状态

33.5.1.1 供电状态

供电状态下，USBHS 期望收到来自主机的复位信号。其它 USB 操作则无法执行。收到复位信号后，立即生成检测到复位中断（USBHS_GINTSTS.USBRSTIF）。复位信号结束后，将生成枚举完成中断（USBHS_GINTSTS. ENUMDIF 位），USBHS 随即进入默认状态。

33.5.1.1.1 默认状态

默认状态下，USBHS 期望从主机收到 SET_ADDRESS 命令。其它 USB 操作则无法执行。当 USB 上解码出有效 SET_ADDRESS 命令时，应用程序会将相应的数值写入设备配置寄存器中的设备地址字段（USBHS_DCFG.DEVADD[6:0]位）。USBHS 随即进入地址状态，并准备好为所配置的 USB 地址对主机事务进行应答。

33.5.1.1.2 软断开

供电状态可借助软断开功能通过软件退出。将设备控制寄存器中的软断开位（USBHS_DCTRL. SFTDIS 位）置 1 即可移除 DP 上拉电阻，此时尽管没有从主机端口实际拔出 USB 端口，但主机端仍会发生设备断开检测中断。

33.5.1.1.3 挂起状态

USBHS 设备持续监视 USB 活动。在 USB 空闲时间达到 3 ms 后，将发出早期挂起中断（USBHS_GINTSTS. ESUSPIF），并在 3 ms 后由挂起中断（USBHS_GINTSTS. USBSUSPIF）确认设备进入挂起状态。然后，设备状态寄存器中的设备挂起位（USBHS_DSTS. SUSPF 位）自动置 1，USBHS 随即进入挂起状态。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

可通过设备本身退出挂起状态。这种情况下，应用程序会将设备控制寄存器中的远程唤醒信号位（USBHS_DCTRL. RMWKUP）置 1，并在 1 ms 到 15 ms 后将其清零。但若设备检测到主机发出的恢复信号时，将产成恢复中断（USBHS_GINTSTS.WKUPIF），设备挂起位自动清零。

33.5.2 USB 设备端点

设备端点共有 1 个控制端点 0，8 个 IN 端点和 7 个 OUT 端点；其中端点 0 为双向端点，仅处理控制传输，IN 和 OUT 端点可配置为同步传输、批量传输或中断传输类型。

设备每个端点均有独立的控制寄存器、中断状态寄存器、传输大小寄存器和 DMA 地址寄存器，其中端点 0 的控制寄存器和传输大小寄存器中可用的位组与其它端点中稍有不同，具体可查看寄存器配描述。

33.5.2.1 端点控制

应用程序可通过设备端点 x IN/OUT 控制寄存器 (USBHS_DIEPxCTRL/USBHS_DOEPxCTRL) 对端点采取以下控制：

- 端点使能/禁止
- 在当前配置下激活端点
- 设置USB传输类型（同步、批量和中断）
- 设置支持的数据包大小
- 设置与IN端点相关的TX FIFO编号
- 设置希望收到的或发送时要使用到的DATA0/DATA1 PID（仅限批量/中断传输）
- 设置接收或发送事务时所对应的奇数/偶数帧（仅限同步传输）
- 可以设置NAK位，从而不论此时FIFO的状态如何，都对主机的请求回复NAK
- 可以设置STALL位，使得主机对该端点的令牌都被硬件回复STALL
- 可以将OUT端点设置为侦听模式，即对接收到的数据不进行CRC检查

33.5.2.2 端点传输

设备端点 x 传输大小寄存器 (USBHS_DINEPxTSIZ/USBHS_DOUTEPxTSIZ) 允许应用程序对传输大小参数进行编程并读取传输状态。必须在端点控制寄存器中的端点使能位置 1 之前完成对此寄存器的设置。使能端点后，这些字段立即变为只读状态，同时 USBHS 模块根据当前传输状态对这些字段进行更新。

可对以下传输参数进行编程：

- 以字节为单位的传输大小
- 构成整个传输的数据包个数

33.5.2.3 端点状态/中断

设备端点 x 中断寄存器 (USBHS_DINEPxINT/USBHS_DOUTPEPxINT) 指示端点在出现 USB 和 AHB 相关事件时的状态。当模块中断寄存器中的 OUT 端点中断位或 IN 端点中断位（分别为 USBHS_GINTSTS.OUTEPIF 位或 USBHS_GINTSTS. INEPIF 位）置 1 时，应用程序必须读取这些寄存器以获得详细信息。在应用程序读取这些寄存器之前，必须先读取设备全体端点中断 (USBHS_DAINT) 寄存器，以获取设备端点 x 中断寄存器的端点编号。应用程序必须将此寄存器中的相应位清零，才能将

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

USBHS_DAEPINTSTS 和 USBHS_GINTSTS 寄存器中的相应位清零。

33.6 USB 主机

本节介绍了 USBHS 在 USB 主机模式下所具有的功能。在以下情形下，USBHS 用作 USB 主机：

- A 器件插入 USB 电缆 A 端时的默认状态
- 将 USBHS 配置寄存中的强制设备模式位(USBHS_GCFG.FHMODE)置 0，从而将 USBHS 内核配置成正常模式。这种情况下， USB 根据 ID 线状态，切换主机模式或者设备模式，当 ID 线接地时，USBHS 为主机模式。

33.6.1 USB 主机状态

33.6.1.1 给主机端口供电

由于不能输出 5 V 以提供 VBUS，所以需要外添加电荷泵或电源开关来驱动 5V VBUS 线。当应用程序确定控制外部器件输出 VBUS 时，还必须将主机端口控制和状态寄存器中的端口电源位（USBHS_HPCS.PPWR 位）置 1。

33.6.1.2 主机检测设备连接

USB 设备或 B 器件将在连接后立即被检测到。USBHS 模块将发出主机端口中断信号，该中断由主机端口控制和状态寄存器中的设备连接位（USBHS_HPCS. PCDET）触发。

33.6.1.3 主机检测设备断开

设备断开事件将触发断开连接检测中断（USBHS_GINTSTS. DISCIF 位）。

33.6.1.4 主机枚举

检测到设备连接后，若又有新的设备连接进来，主机必须通过向新的设备发送 USB 复位和配置命令来启动枚举过程。

应用程序通过将主机端口控制和状态寄存器中的端口复位位（USBHS_HPCS. PRST 位） 置 1，并保持最少 10 ms，最多 20 ms，在 USB 总线上发出 USB 复位信号。应用程序计算这个过程的持续时间，然后将端口复位位清零。

USB 复位序列完成后，端口使能/禁止更改位（USBHS_HPCS.PENC 位）立即触发主机端口中断，进而向应用程序发出通知，指示可从主机端口控制和状态寄存器中的端口速度字段（USBHS_HPCS. PSPD[1:0]）读取枚举的设备速度，以及主机已经开始驱动 micro-SOF(HS)、SOF (FS) 或 Keep-alive 令牌 (LS)。此时主机已就绪，可通过对设备发送命令来完成对设备的枚举。

33.6.1.5 主机挂起

应用程序通过将主机端口控制和状态寄存器中的端口挂起位（USBHS_HPCS.PSUSP）置 1 来挂起 USB 活动。USBHS 模块停止发送 SOF 并进入挂起状态。

可由远程设备的自主活动（远程唤醒）使总线退出挂起状态。这种情况下，远程唤醒信号将触发远程唤醒中断（USBHS_GINTSTS.WKUPIF 位），硬件把主机端口控制和状态寄存器中的端口恢复位（USBHS_HPCS. PRST）自动置位，并通过 USB 自动驱动恢复信号。应用程序必须为恢复窗口定时，然后将端口恢复位清零以退出挂起状态并重新发送 SOF。

如果由主机发起退出挂起状态，则应用程序必须将端口恢复位置 1 以启动主机端口上的恢复信号，为恢复

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

窗口定时并最终将端口恢复位清零。

33.6.2 主机通道

USBHS 内核实现了 16 主机通道。每个主机通道均可用于 USB 主机传输（USB 管道）。主机最多能同时处理 16 个传输请求。如果应用程序有 8 个以上的传输请求挂起，则在通道从之前任务释放后（即，接收到传输完成和通道停止中断后），主机控制器驱动器 (HCD) 必须为未处理的传输请求重新对通道进行分配。

每个主机通道都可配置为支持输入/输出以及周期性/非周期性事务。每个主机通道都使用专用控制 (USBHS_HCHxCTRL) 寄存器、传输大小配置 (USBHS_HCHxSIZ) 寄存器中断状态 (USBHS_HCHxINTSTS) 寄存器以及和其相关的中断使能寄存器 (USBHS_HCHxINTEN)。

33.6.2.1 主机通道控制

应用程序可通过主机通道 x 特性寄存器(USBHS_HCHxCTRL)对主机通道作以下控制：

- 通道使能/禁止
- 设置目标 USB 设备的 HS/FS/LS 速度
- 设置目标 USB 设备的地址
- 设置与该通道通信的目标 USB 设备上的端点的编号
- 设置该通道上的传输方向：IN/OUT
- 设置该通道上的 USB 传输的类型：控制/批量/中断/同步
- 设置与该通道通信的设备端点的最大包长
- 设置要进行周期传输的帧：奇帧/偶帧

33.6.2.2 主机通道传输

主机通道传输大小寄存器(USBHS_HCHxSIZ)允许应用程序对传输大小参数进行编程并读取传输状态。必须在主机通道控制寄存器中的通道使能位置 1 之前完成对此寄存器的设置。使能端点后，数据包计数字段立即变为只读状态，同时 USBHS 模块根据当前传输状态对该字段进行更新。

可对以下传输参数进行编程：

- 以字节为单位的传输大小
- 构成整个传输大小的数据包个数
- 初始数据 PID

33.6.2.3 主机通道状态/中断

主机通道 x 中断状态寄存器 (USBHS_HCHxINTSTS) 指示通道在出现 USB 和 AHB 相关事件时的状态。当模块中断寄存器中的主机通道中断位（USBHS_GINTSTS. HCHIF 位）置 1 时，应用程序必须读取这些寄存器以获得详细信息。在读取这些寄存器之前，应用程序必须先读取主机全体通道中断 (USBHS_HACHINT) 寄存器，以获取主机通道 x 中断寄存器的通道编号。应用程序必须将该寄存器中的相应位清零，才能将 USBHS_HACHINT 和 USBHS_GINTSTS 寄存器中的对应位清零。USBHS_HCHxINTEN 寄存器还提供每个通道各中断源的屏蔽位。

主机模块提供以下状态检查和中断产生功能：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 传输完成中断，指示应用程序 (AHB)和 USB 端均已完成数据传输
- 通道因传输完成、USB 事务错误或应用程序发出禁止命令而停止
- 相关的发送 FIFO 为半空或全空状态（IN 端点）
- 接收到 ACK 响应
- 接收到 NAK 响应
- 接收到 STALL 响应
- 由于 CRC 校验失败、超时、位填充错误和错误的 EOP 导致 USB 事务错误
- 串扰错误
- 帧上溢
- 数据同步错误

33.6.3 主机调度器

主机模块内置硬件调度器，可自主对应用程序发出的 USB 事务请求重新排序和管理。每一帧开始时，主机都先执行周期性（同步和中断）事务，然后执行非周期性（控制和批量）事务，以符合 USB 规范对同步和中断传输高优先级的保证。

主机通过请求队列（一个周期性请求队列和一个非周期请求队列）处理 USB 事务。每个请求队列最多可存储 8 个条目。每个条目代表一个应用程序发起但还未得到响应的 USB 事务请求，并存储了执行该 USB 事务所用到的 IN 或 OUT 通道的编号，以及其它相关信息。USB 事务请求在队列中的写入顺序决定了事务在 USB 接口上的执行顺序。

每一帧开始时，主机都先处理周期性请求队列，然后处理非周期性请求队列。如果当前帧结束时，计划在当前帧执行的同步或中断类型的 USB 传输事务请求仍处于挂起状态，则主机将发出未完成周期性传输中断（USBHS_GINTSTS.PTNCIF）。USBHS 模块全面负责对周期性和非周期性请求队列的管理。周期性发送 FIFO 和队列状态寄存器(USBHS_HPTXFQSTS)与非周期性发送 FIFO 和队列状态寄存器(USBHS_GNPTXFSTS) 都为只读寄存器，应用程序可使用它们来读取各请求队列的状态。其中包括：

- 周期性（非周期性）请求队列中当前可用的空闲条目数（最多 8 个）
- 周期性（非周期性）TX FIFO（OUT 事务）中当前可用的空闲空间
- IN/OUT 令牌、主机通道编号和其它状态信息

由于每个请求队列最多可存储 8 个 USB 事务请求，因此应用程序可以把主机 USB 事务请求提前发送给调度器；实际的通信最晚会在调度器处理完已挂起的 8 个周期事务和 8 个非周期事务完成之后出现在 USB 总线上。

要向主机调度器（队列）发出事务请求，应用程序必须读取 USBHS_HPTXFQSTS.PTXRQSAVL[6:0]或 USBHS_GNPTXFSTS. NPTXRQSAV[7:0]，确保周期性（非周期性）请求队列中至少有一个可用空间来存储当前请求。

33.7 SOF 帧

USBHS 模块在主机和设备模式下都可以监视、跟踪和配置 SOF 帧并且还具备 SOF 脉冲输出连接功能。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

33.7.1 主机 SOF

主机模式下,可以在主机帧间隔寄存器 (USBHS_HFRI)中对所产生的两个连续 SOF(HS/FS)或 Keep-alive (LS)令牌期间所出现的 PHY 时钟数进行编程，进而应用程序可对 SOF 帧周期进行控制。帧开始（USBHS_GINTSTS.SOFIF）时将生成中断。当前帧编号和出现下一个 SOF 前剩余的时间应用程序在主机帧编号寄存器 (USBHS_HFNUM)中能够进行跟踪。

SOF 令牌发出的同时会产生 SOF 脉冲信号，并且宽度为 12 个系统时钟周期。此外，SOF 脉冲信号还在内部与定时器的输入触发相连，因此可通过 SOF 脉冲触发输入捕获功能、输出比较功能和定时器。

33.7.2 设备 SOF

在设备模式下，USB 每次接收到 SOF 令牌时，都将触发帧开始中断（OTH_GINTSTS.SOFIF）。相应的帧编号可从设备状态寄存器（USBHS_DSTS.SOFFN[13:0]）读取。还可以生成宽度为 12 个系统时钟周期的 SOF 脉冲信号。此外，SOF 脉冲信号还在内部与 TIM 的输入触发相连，因此可通过 SOF 脉冲触发输入捕获功能、输出比较功能和定时器。

周期性帧结束中断 (USBHS_GINTSTS. EOPFIF) 用于在经过了 80%、85%、90%或 95%的帧间隔时间时通知应用程序，具体取决于设备配置寄存器中的周期性帧间隔字段（USBHS_DCFG. PFRITVL[1:0]）。此功能可用于确定该帧的所有同步通信是否完成。

33.7.3 动态更新 USBHS_HFRI 寄存器

主机模式下，USB 模块具有对微帧周期进行动态微调的功能，能够将外部设备与 micro-SOF 帧进行同步。如果 USBHS_HFRI 寄存器在当前 micro-SOF 帧内发生更改，则将在下一个帧中对 SOF 周期进行相应修正。

33.8 电源选项

USBHS PHY 的功耗由通用模块配置寄存器中的两个位控制：

- 停止 PHY 时钟（USBHS_PWRCTRL. PHYSTP）

  将时钟门控控制寄存器中的停止PHY时钟位置1时，会节省模块由于时钟信号翻转带来的动态功耗。还会关掉收发器的大部分单元，只有负责检测异步恢复事件或远程唤醒事件的部分还保持工作状态。

- HCLK 门控（USBHS_PWRCTRL.GATEHCLK）

  将时钟门控控制寄存器中的Gate HCLK位置 1时，USBHS模块内部的大多数系统时钟域均由时钟门控关闭。只有寄存器读取和写入接口保持活动状态。即使应用程序仍提供时钟输入，也会节省掉模块由于时钟信号翻转带来的动态功耗。

- USB 系统停止

  当 USBHS处于USB挂起状态时，应用程序可通过将USB系统中的所有时钟源全部关闭来显著降低总功耗。USB 系统停止可通过以下方式激活：首先将停止PHY时钟位置 1，然后在电源控制系统模块 (PWR)中将系统配置为深度睡眠模式。

USBHS 模块通过对 USB 上的远程唤醒（作为主机）或恢复（作为设备）信号进行异步检测，自动重新激活系统时钟和 USB 时钟。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

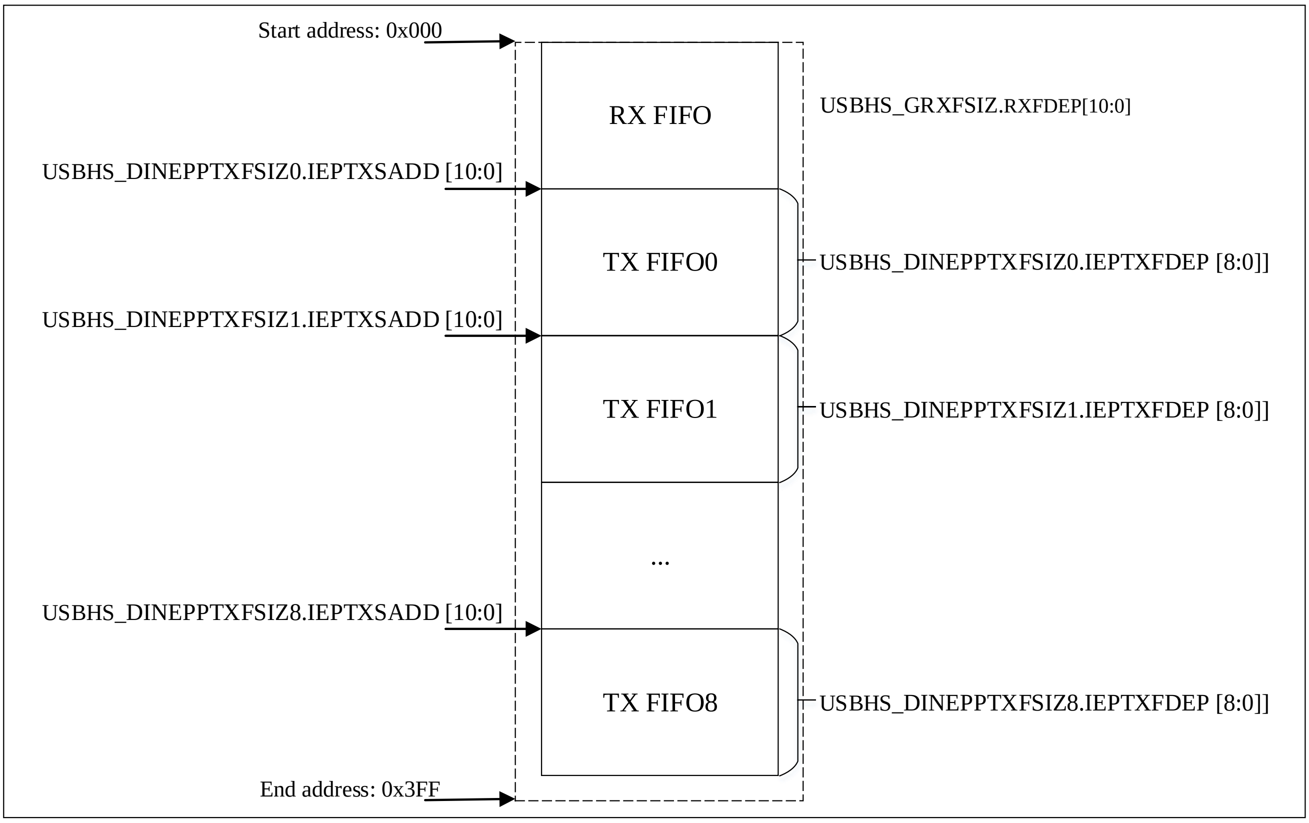
为了节省动态功耗，只在USB数据FIFO被USBHS模块访问时为其提供时钟。

33.9 USB 数据 FIFO

USB 系统具有 4 KB 专用 RAM，采用复杂的 FIFO 控制机制。USBHS 模块中的数据包 FIFO 控制器模块将 RAM 空间划分为多个 TX-FIFO（USB 传输前，应用程序将数据压入其中进行短暂存储）和单个 RX FIFO（从 USB 接收到的数据被应用程序读取之前，在其中进行短暂存储）。RAM 中所构建的 FIFO 的数量与组织方式取决于设备的角色。设备模式下，为每个激活的 IN 端点配置一个 TX FIFO。FIFO 的大小均由软件配置，以更好地满足应用要求。

33.9.1 设备 FIFO 架构

图 33-2 设备模式下的 FIFO 地址映射



33.9.1.1 设备 RX FIFO

USBHS 设备使用单个接收 FIFO 接收发送到所有 OUT 端点的数据。只要 RX FIFO 中有空余空间，收到的数据包就挨个填入 RX FIFO。除了有效数据外，接收到的数据包状态（包含 OUT 端点目标编号、字节数、数据 PID 和对所接收数据的验证）也由模块进行存储。没有可用空间时，设备会回复主机事务 NAC 应答并在被寻址的端点上触发中断。RX FIFO 的大小在 RX FIFO 大小寄存器 (USBHS_GRXFSIZ) 中配置。

单个 RX FIFO 架构使得 USB 设备更高效地填充接收 RAM 缓冲区：

- 所有 OUT 端点共享同一个 RAM 缓冲区（共享 FIFO）
- USBHS 模块可将主机发出的任何 OUT 通信序列填充到接收 FIFO，直到没有多余空闲空间

只要至少有一个数据包在 RX FIFO 中可供读取，应用程序就会一直接收 RX FIFO 非空中断

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

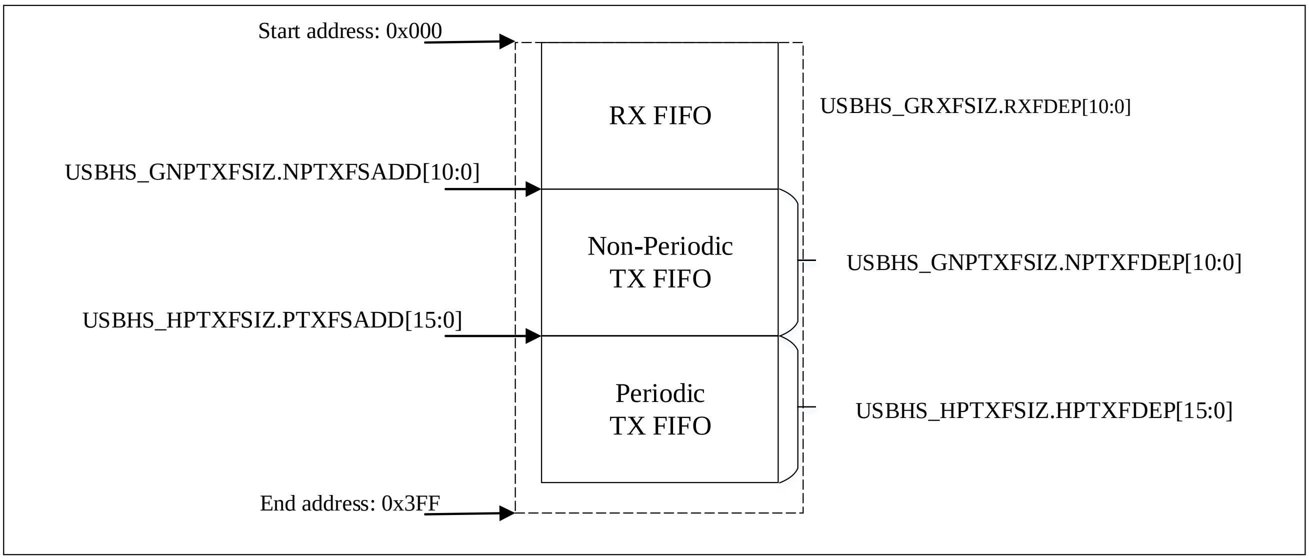
（USBHS_GINTSTS. RXFNEIF）。应用程序从接收状态读取和弹出寄存器(USBHS_GRXSTSP) 中读取数据包信息，最后通过读取与端点相关的出栈地址从接收 FIFO 读出相应数据。

33.9.1.2 设备 TX FIFO

模块为各个 IN 端点提供了专用的 FIFO。应用程序通过端点 0 发送 FIFO 大小寄存器(USBHS_DIEP0TXFSIZ) 为 IN 端点 0 配置 FIFO 大小；通过设备 IN 端点发送 FIFOx 寄存器(USBHS_DIEPxTXFSIZ) 为 IN 端点 x 配置 FIFO 大小。

33.9.2 主机 FIFO 架构

图 33-3 主机模式下的 FIFO 地址映射



33.9.2.1 主机 RX FIFO

主机使用一个 RX FIFO 处理所有周期和非周期事务。FIFO 用作接收缓冲区以保存从 USB 接收到的数据（接收到的数据包的数据部分），直至这些数据传输到系统存储器。只要 RX FIFO 中有空间，来自设备 IN 端点的数据包就接收进来并挨个存储。接收到的每个数据包的状态（包含主机目标通道、字节数、数据 PID 和对所接收数据的校验）也存储在 RX FIFO 中。RX FIFO 的大小在接收 FIFO 大小寄存器 (USBHS_GRXFSIZ) 中配置。

单个接收 FIFO 架构使得 USB 主机高效地填充接收数据缓冲区：

- 所有IN配置主机通道共享同一个RAM缓冲区（共享FIFO）
- USBHS模块可将主机发出的任何IN通信序列带来的接收数据填充到RX FIFO，直到没有多余空闲空间只要至少有一个数据包在RX FIFO 中可供读取，应用程序就会接收RX FIFO非空中断。应用程序从接收状态读取和弹出寄存器中读取数据包信息，最后从RX FIFO中读出数据。

33.9.2.2 主机 TX FIFO

主机使用一个 TX FIFO 处理所有非周期（控制和批量）OUT 事务，使用另一个 TX FIFO 处理所有周期（同步和中断）OUT 事务。FIFO 用作发送缓冲区以保存要通过 USB 发送的数据（发送数据包）。周期（非周期）TX FIFO 的大小在主机周期（非周期）发送 FIFO 大小 (USBHS_HPTXFSIZ/USBHS_GNPTXFSIZ) 寄存器中配置。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

两个 TX FIFO 按优先级实施操作，周期性通信的优先级较高，因此在 USB 一帧的时间内首先进行周期性通信。帧起始时，内置的主机调度器先处理周期请求队列，再处理非周期请求队列。

两个 TX FIFO 的架构使得 USB 主机能够对周期和非周期发送数据缓冲区分别进行优化管理：

- 配置为支持周期（非周期）OUT事务的所有主机通道共享同一个RAM缓冲区（共享FIFO）
- USBHS模块可将主机发出的任何OUT通信填充到周期性（非周期性）TX FIFO，直到没有多余空闲空间

只要周期性 TX FIFO 为半空或全空，USBHS 模块就会发出周期性 TX FIFO 空中断（USBHS_GINTSTS.PTXFEI），具体取决于 AHB 配置寄存器中的周期性 TX FIFO 空阈值（USBHS_GAHBCFG.PTXFETH）的值。只要周期性 TX FIFO 和周期性请求队列中均存在空闲空间，应用程序便可提前写入发送数据。可通过读取主机周期性 TX FIFO 和队列状态寄存器 (USBHS_HPTXFQSTS) 来了解二者的可用空间。

只要非周期性 TX FIFO 为半空或全空，USBHS 模块就会发出非周期性 TX FIFO 空中断（USBHS_GINTSTS.NPTXFEIF），具体取决于 AHB 配置寄存器中的非周期性 TX FIFO 空门限位（USBHS_GAHBCFG. NPTXFETH）。只要非周期性 Tx FIFO 和非周期性请求队列中均存在空闲空间，应用程序便可写入发送数据。可通过读取全局非周期性发送 FIFO 和队列状态寄存器 (USBHS_GNPTXFSTS) 来了解二者的可用空间。

33.9.3 FIFO RAM 分配

33.9.3.1 Device 模式

接收 FIFO RAM 分配：应用程序应为 SETUP 数据包分配 RAM：

- RX FIFO中必须保留10个位置以在控制端点上接收SETUP数据包。USBHS模块不会向这些为SETUP数据包保留的位置写入任何其它数据。
- 将会为全局 OUT NAK 分配一个位置。
- 状态信息随各个接收数据包写入FIFO。因此，必须至少为接收数据包分配（最大数据包大小 /4）+ 1的空间。如果使能了多个同步端点，则为接收连续数据包分配的空间必须至少为（最大数据包大小 /4）的两倍 + 1。通常，推荐的空间为（最大数据包/4 + 1）的两倍，这样当上一个数据包向CPU传送时，USB可同时接收后续的数据包。
- 传输完成状态信息和该端点收到的最后一个数据包会一起被推入FIFO。推荐为每个OUT端点分配一个位置存储该端点上的传输状态信息。

Device RX FIFO =（4 *控制端点数量+ 6）+（(所使用的最大USB数据包/4）+1（用于状态信息)）+（2 * OUT端点数量）+ 1（用于全局NAK）

例如：周期性USB数据包的MPS是1024个字节，非周期性USB数据包的MPS是512个字节。有三个OUT端点、三个IN端点、一个控制端点和三个主机通道。

则Device RX FIFO =（4 * 1 + 6）+（(1024/4）+1）+（2 * 4）+ 1 = 276

发送 FIFO RAM 分配：各个 IN 端点发送 FIFO 所需的最小 RAM 空间为该特定 IN 端点的最大数据包大小。

注：为发送IN 端点FIFO 分配的空间越多，USB 的性能就越高。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

33.9.3.2 Host 模式

接收 FIFO RAM 分配：

状态信息随各个接收数据包写入 FIFO。因此，必须至少为接收数据包分配（最大数据包大小 / 4）+ 1 的空间。如果使能了多个同步通道，则为接收连续数据包分配的空间必须至少为（最大数据包大小/ 4）的两倍 + 1。通常，推荐的空间为（最大数据包/4 + 1）的两倍，这样当上一个数据包向 CPU 传送时，USB 可同时接收后续的数据包。

传输完成状态信息和主机通道中的最后一个数据包会一起被推入 FIFO。因此，必须为此分配一个位置。Host RX FIFO = ((所用的最大 USB 数据包/4）+ 1（用于状态信息)）+ 1（用于传输完成）

例如：主机 RxFIFO = （（1024/4）+ 1）+ 1 = 258

发送 FIFO RAM 分配：

主机非周期性发送 FIFO 所需的最小 RAM 为所支持的所有非周期性 OUT 通道上传输的最大数据包的大小。

通常，推荐的空间为最大数据包大小的两倍，这样当 USB 正在发送当前数据包的同时，AHB 可以往发送 FIFO 填入下一个数据包。

非周期性TX FIFO = 所用的最大非周期性USB数据包/4

例如：非周期性 TX FIFO =（512/4）= 128

主机周期性 TX FIFO 所需的最小 RAM 为所支持的所有周期性 OUT 通道上传输的最大数据包的大小。如果至少有一个同步 OUT 端点，则空间必须至少为该通道中最大数据包大小的两倍。

主机周期性TX FIFO = 所用的最大周期性USB数据包/4

例如：主机周期性TX FIFO =（1024/4）= 256

注：为非周期性发送FIFO 分配的空间越多，USB 的性能就越高。

33.10 USBHS 配置流程

33.10.1 模块初始化

应用程序必须执行模块初始化序列。如果上电期间连接电缆，则 USBHS_GINTSTS 中的当前工作模式位（USBHS_GINTSTS. CMODE）将指示模式。连接“A 型”插头后，USBHS 控制器进入 Host 模式；连接“B 型”插头后，USBHS 控制器进入 Device 模式。

本节介绍了 USBHS 控制器在上电后的初始化过程。无论是以主机模式还是设备模式工作，应用程序都必须遵循初始化序列。根据模块配置对所有模块全局寄存器进行初始化：

1. 在USBHS_GAHBCFG寄存器中编程以下字段：
   - 全局中断屏蔽位 GINTEN = 1
   - RX FIFO 非空（USBHS_GINTSTS.RXFNEIF）
   - 周期性TX FIFO空阈值
2. 在USBHS_GCFG 寄存器中编程以下字段：
   - USBHS超时校准字段

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

– USBHS周转时间字段

3. 软件必须使能 USBHS_GINTEN寄存器中的以下位：

   – USBHS中断使能

4. 通过读取 USBHS_GINTSTS.CMODE，软件可确定USBHS控制器是在Host模式还是Device模式下工作。

33.10.2 主机初始化

要将模块作为主机进行初始化，应用程序必须执行以下步骤：

1. 编程 USBHS_GINTEN. HPIEN以打开中断。
2. 编程 USBHS_HCFG寄存器以选择主机模式（高速、全速、低速）。
3. 将USBHS_HPCS. PPWR位编程为 1，给 USB总线提供 V_{BUS}。
4. 等待 USBHS_HPCS. PCDET中断。这表示某设备已连接到主机端口。
5. 将USBHS_HPCS.PRST位编程为 1，在 USB 总线上发出复位信号。
6. 至少等待10 ms，以便完成复位过程。
7. 将USBHS_HPCS.PRST位编程为 0。
8. 等待USBHS_HPCS .PENC中断。
9. 读取USBHS_HPRT. PSPD[1:0]位以获取枚举速度。
10. 使用所选 PHY时钟 ，相应地设置USBHS_HFRI寄存器。
11. 根据步骤9中检测到的设备速度编程USBHS_HCFG.SPSEL。
12. 编程 USBHS_GRXFSIZ寄存器以选择接收FIFO的大小。
13. 编程USBHS_GNPTXFSIZ寄存器，以选择用于非周期性通信事务的非周期性发送 FIFO 的大小和起始地址。
14. 编程USBHS_HPTXFSIZ寄存器，以选择用于周期性通信事务的周期性发送FIFO的大小和起始地址。

要与设备通信，系统软件必须初始化并使能至少一个通道。

33.10.3 设备初始化

上电期间或者从主机模式切换为设备模式后，应用程序必须执行下列步骤来将模块作为设备进行初始化。

1. 在USBHS_DCFG 寄存器中编程以下字段：

   – 设备速度

   – 非零长度状态 OUT 握手信号

2. 编程 USBHS_ GINTEN寄存器以使能以下中断：

   – USB 复位

   – 枚举完成

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

– 早期挂起
– USB 挂起
– SOF

3. 等待 USBHS_GINTSTS. USBRSTIF中断。这表示已在 USB 上检测到复位信号，复位过程自接收到此中断后约持续 10 ms。
4. 待 USBHS_GINTSTS. ENUMDIF中断。此中断指示 USB 上复位过程结束。接收到此中断时，应用程序必须读取 USBHS_DSTS寄存器以确定枚举速度并执行端点初始化中所列的步骤。

此时，设备已准备好接受SOF数据包并在控制端点0上执行控制传输。

33.11 USBHS 寄存器

这些寄存器在主机模式和设备模式下都可用，且在这两个模式间切换时无需对其进行重新编程。除非特别说明，否则寄存器描述中的位值以二进制表示。

USB 基地址：0x4004 0000

33.11.1 USBHS 全局控制和状态寄存器

33.11.1.1 USBHS 全局控制和状态寄存器（USBHS_GCTRLSTS）

偏移地址：0x0000

复位值：0x000D 0000

31:22	21	20:17	16
Reserved	CMODE	Reserved	IDSTS
	r		r

15:4	3	2	1:0
Reserved	VBVALOVAL	VBVALOVEN	Reserved
	rw	rw	

位域	名称	描述
31:22	Reserved	保留，必须保持复位值。
21	CMODE	当前工作模式 0：Device 模式 1：Host 模式 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
20:17	Reserved	保留，必须保持复位值。
16	IDSTS	ID 引脚状态 0：USBHS 工作在 A 设备模式 1：USBHS 工作在 B 设备模式
15:4	Reserved	保留，必须保持复位值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
3	VBVALOVAL	VBUS 有效覆盖值 此位当 VBVALOVEN =1 时有效 0：Vbusvalid 值为“0” 1：Vbusvalid 值为“1” *备注：仅 Host 模式下有效*
2	VBVALOVEN	VBUS 有效覆盖使能 0：覆盖禁能，从 PHY 接收 vbusvaild 信号 1：覆盖使能，从 PHY 接收内部 vbusvaild 由 VBVALOVAL 位的值覆盖 *备注：仅 Host 模式下有效*
1:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

33.11.1.2 USBHS 全局 AHB 配置寄存器（USBHS_GAHBCFG）

偏移地址：0x0008

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved							PTXFETH	NPTXGETH	Reserved	DMAEN	BURSTTYP[3:0]				GINTEN
							rw	rw		rw	rw				rw

位域	名称	描述
31:9	Reserved	保留，必须保持复位值。
8	PTXFETH	周期性 TX FIFO 空阈值 0；当周期性 TX FIFO 半空时，将触发 USBHS_GINTSTS.PTXFEIF 标志位 1；当周期性 TX FIFO 全空时，将触发 USBHS_GINTSTS.PTXFEIF 标志位 *备注：仅 Host 模式下有效*
7	NPTXFETH	非周期性 TX FIFO 空阈值 Host 模式： 0；当非周期性 TX FIFO 半空时，将触发 USBHS_GINTSTS.NPTXFEIF 标志位 1；当非周期性 TX FIFO 全空时，将触发 USBHS_GINTSTS.NPTXFEIF 标志位 Device 模式： 0；当 IN 端点 TX FIFO 半空时，将触发 USBHS_DINTPxINTSTS. TXFE 标志位 1；当 IN 端点 TX FIFO 全空时，将触发 USBHS_DINTPxINTSTS. TXFE 标志位 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
6	Reserved	保留，必须保持复位值。
5	DMAEN	DMA 使能 0：DMA 功能禁能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：DMA 功能使能 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
4:1	BURSTTYP [3:0]	Burst 类型 0000：单次 0001：INCR 0011：INCR4 0101：INCR8 0111：INCR16 其它值：保留 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
0	GINTEN	全局中断使能 0：全局中断不使能。 1：全局中断使能 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*

33.11.1.3 USBHS 全局配置寄存器（USBHS_GCFG）

偏移地址：0x000C

复位值：0x0000 1400

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	FDMODE	FHMODE	Reserved												
	rw	rw													

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		TRDTIM[3:0]				Reserved			PHYSEL	Reserved		PHYIF	TOCAL[2:0]		
		rw							rw			rw	rw		

位域	名称	描述
31	Reserved	保留，必须保持复位值。
30	FDMODE	强制设备模式 向该位写入 1 时，可将模块强制为设备模式，而无需考虑 ID 引脚的输入状态。 0：正常模式 1：强制设备模式 将强制位置 1 后，应用程序必须等待至少 25 ms 后更改方可生效。 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
29	FHMODE	强制主机模式 向该位写入 1 时，可将模块强制为主机模式，而无需考虑 ID 引脚的输入状态。 0：正常模式 1：强制主机模式 将强制位置 1 后，应用程序必须等待至少 25 ms 后更改方可生效。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		备注：Host 模式和 Device 模式下有效
28:14	Reserved	保留，必须保持复位值。
13:10	TRDTIM[3:0]	USB 周转时间 以 PHY 时钟为单位设置周转时间。必须根据表 487： TRDTIM 值 (HS) 来配置这些位，具体取决于应用程序 AHB 频率。 TRDT 值越高， USB 对 IN 令牌的响应时间就越长，从而可以弥补 AHB 对数据 FIFO 的较长读访问延迟。 *备注：仅 Device 模式下有效*
9:7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6	PHYSEL	PHY 选择 0：USB2.0 高速 PHY 1：USB1.1 全速 PHY *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
5:4	Reserved	保留，必须保持复位值。
3	PHYIF	PHY 接口类型 0：8bit 1：16bit *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
2:0	TOCAL[2:0]	超时校准 PHY 引入的额外延迟包括应用程序在该字段中设置的 PHY 时钟数，以及模块的高速/全速数据包间超时间隔。不同 PHY 引入的延迟对数据线状态的影响是不同的。 应用可以使用 TOC[2:0]增加该数值（以 PHY 时钟为单位）。在 USB 标准中，高速操作的超时时间为 736~816 个 bit 时间，全速操作的超时时间为 16~18 个 bit 时间，每个 PHY 时钟增加的 bit times 如下： 高速操作 30MHz PHY clock = 16bit times 60MHz PHY clock = 8bit times 全速操作： 30MHz PHY clock = 0.4bit times 60MHz PHY clock = 0.2bit times 000：增加 0 个 PHY clock 001：增加 1 个 PHY clock … 111：增加 7 个 PHY clock *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*

表 33-2 TRDTIM 值（FS）

AHB 频率范围 (MHz)		TRDTIM 最小值
最小值	最大值	
14.2	15	0xF
15	16	0xE
16	17.2	0xD

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

17.2	18.5	0xC
18.5	20	0xB
20	21.8	0xA
21.8	24	0x9
24	27.5	0x8
27.5	32	0x7
32	-	0x6

表 33-3 TRDTIM 值（HS）

AHB 频率范围 (MHz)		TRDTIM 最小值
最小值	最大值	
30	15	0x9

33.11.1.4 USBHS 全局复位控制寄存器（USBHS_GRSTCTRL）

偏移地址：0x0010

复位值：0x8000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
AHBIDLE	DMAREQ	SRSTDNE	Reserved												
r	r	rc_w1													

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved					TXFNUM[4:0]					TXFFLSH	RXFFLSH	Reserved	HFCRST	PFSSRST	CSRST
							rw			rs	rs		rs	rs	rw

位域	名称	描述
31	AHBIDLE	AHB 空闲状态 0：AHB 不在空闲状态 1：AHB 在空闲状态 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
30	DMAREQ	DMA 请求标志 0：没有 DMA 请求 1：有 DMA 请求 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
29	SRSTDNE	软件复位完成标志 此位 0：软件复位没有完成 1：软件复位完成 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
28:11	Reserved	保留，必须保持复位值。
10:6	TXFNUM[4:0]	TX FIFO 编号

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		使用 TXFFLSH 位来控制刷新对应 TX FIFO 编号的内容，只有当 TXFFLSH 位被清除的时候才能改此字段。 Host 模式： 00000：仅非周期性 TX FIFO 被刷新 00001：仅周期性 TX FIFO 被刷新 10000：所有 TX FIFO 均被刷新 Device 模式： 00000：仅 TX FIFO0 被刷新 00001：仅 TX FIFO1 被刷新 … 01111：仅 TX FIFO15 被刷新 10000：所有 TX FIFO 均被刷新
5	TXFFLSH	TX FIFO 刷新控制位 应用通过此位来刷新 TX FIFO 数据，并且 TXFNUM[4:0]决定刷新的 TX FIFO 编号，但是当模块在处理通信事务时无法执行该操作。当刷新完成后，硬件自动清除此位。置位此位后，应用需要等待此位清除，此位需要八个时钟来清零（使用较慢的 PHY_CLK 或 HCLK 时钟），并且在此之前 USBHS 不应有其他任何操作。 读-NAK 有效中断确保模块没有对 FIFO 进行读操作 写-AHBIDLE 确保模块没有对 FIFO 进行写操作 建议在重新配置 TX FIFO 时进行刷新，在设备端点禁止期间进行 TX FIFO 刷新。 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
4	RXFFLSH	RX FIFO 刷新控制位 应用通过置位该控制位来刷新 RX FIFO 数据。但是当模块在处理通信事务时无法执行该操作。当刷新完成后，硬件自动清除此位。置位此位后，应用需要等待此位清除，此位需要八个时钟来清零（使用较慢的 PHY_CLK 或 HCLK 时钟），并且在此之前 USBHS 不应有其他任何操作。 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
3	Reserved	保留，必须保持复位值。
2	HFCRST	主机帧计数器复位 应用通过置位该控制位来复位 USBHS 内的帧计数器。此位置位后，接下来 SOF 的帧计数器将变为 0。当复位操作完成后，硬件自动清除此位。置位此位后，应用需要等待此位清除，并且在此之前 USBHS 不应有其他任何操作。 *备注：仅 Host 模式下有效*
1	PFSSRST	PIU FS 软复位 复位 PIU FS 状态机，可用于恢复一些特定的 PHY 错误。 复位完成后硬件自动清除此位。 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
0	CSRST	USB 内核软复位 复位 AHB 和 USB 时钟域电路，以及大多数的寄存器，以下寄存器或寄存器位不会被清除： USBHS_GCFG 寄存器

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		USBHS_PWRCLKCTRL.PDMRST USBHS_PWRCLKCTRL.GATECLK USBHS_PWRCLKCTRL.PHYSTP *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*

33.11.1.5 USBHS 全局中断状态寄存器（USBHS_GINTSTS）

偏移地址：0x0014

复位值：0x0400 0020

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
WKUPIF	Reserved	DISCIF	IDSTSCIF	Reserved	PTXFEIF	HCHIF	HPIF	RSTDIF	FET SUSPIF	PTNCIF ISOUTNCIF	ISOINCIF	OUTEPIF	INEPIF	Reserved	
rc_wl		rc_wl	rc_wl		r	r	r	rc_wl	rc_wl	rc_wl	rc_wl	r	r		

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
EOPFIF	ISOUT PDIF	ENUMDIF	USB RSTIF	USB SUSPIF	ESUSPIF	Reserved		GOUT NAKEIF	GINNP NAKEIF	NPTXF EIF	RXFNEIF	SOFIF	Reserved	MOD MISIF	CMODE
rc_wl	rc_wl	rc_wl	rc_wl	rc_wl	rc_wl			r	r	r	r	rc_wl		rc_wl	r

位域	名称	描述
31	WKUPIF	恢复/远程唤醒中断标志位 设备模式： 检测到主机发送恢复信号，此标志位被置起 主机模式： 检测到设备发送远程唤醒信号，此标志位被置起 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
30	Reserved	保留，必须保持复位值。
29	DISCIF	断开中断标志位 当检测到设备断开，此标志位被置起 *备注：仅 Host 模式下有效*
28	IDSTSCIF	ID 引脚状态改变中断标志位 当 ID 引脚状态发生改变时， *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
27	Reserved	保留，必须保持复位值。
26	PTXFEIF	周期性 TX FIFO 空中断标志位 当周期性 TX FIFO 半空或全空，且周期性请求队列中存在写入至少一个条目时，此标志位被置起。TX FIFO 空阈值由 USBHS_GAHBCFG. PTXFETH 决定。 *备注：仅 Host 模式下有效*
25	HCHIF	主机通道中断标志位 当在主机模式下任意通道挂起一个中断时，此标志位被置起。软件需要首先读取 USBHS_HACHINT 寄存器以获取对应通道号，然后读取对应的 USBHS_HCHxINTSTS 寄存器以获取对应通道产生中断的具体标志位。可通过 USBHS_HCHxINTSTS 寄存器将对应通道中断标志位清除，当对

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		应通道的中断标志位被清除后，该中断标志位将自动清除。 *备注：仅 Host 模式下有效*
24	HPIF	主机端口中断标志位 当 USBHS 在主机模式下检测到端口状态改变时，此标志位被置起。软件需要先读取 USBHS_HPCS 寄存器以获取该中断源。可通过 USBHS_HPCS 寄存器将对应中断标志位清除，当产生端口中断的标志被清除后，该中断标志位将自动清除 *备注：仅 Host 模式下有效*
23	RSTDIF	复位中断标志位 当 Device 处于挂起模式，当检测到复位时，此标志位被置起。 *备注：仅 Device 模式下有效*
22	FETSUSPIF	数据获取挂起中断标志位 该中断仅在 DMA 模式下有效。该中断指示，模块因 TXFIFO 空间或请求队列空间不可用而停止为 IN 端点获取数据。应用程序端点不匹配时会用到该中断。 例如，在检测到端点不匹配后，应用程序将执行以下操作： – 设置一个全局非周期性 IN NAK 握手信号 – 禁止 IN 端点 – 清空 FIFO – 根据 IN 令牌序列学习队列确定令牌序列 – 重新使能端点 - 清楚全局非周期性 IN NAK 握手 如果全局非周期性 IN NAK 被清除，但模块尚未为 IN 端点获取数据，同时又已接收到 IN 令牌，则清零全局非周期性 IN NAK 握手信号：模块将产生“FIFO 为空时接收到 IN 令牌”中断。然后，将 NAK 响应发送给主机。为避免这种情况的发生，应用程序可以检查此标志位，该中断可确保全局 NAK 握手信号清零之前在 FIFO 是满的。 或者，应用程序可以在将全局 IN NAK 握手信号清零时屏蔽“FIFO 为空时接收到 IN 令牌”中断。 *备注：仅 Device 模式下有效*
21	PTNCIF	周期性传输未完成中断标志位 Host 模式：在当前帧结束时，仍有周期性事务未完成（此周期性事务计划在当前帧完成传输），此标志位被置起。
	ISOUTNCIF	同步 OUT 传输未完成中断标志位 Device 模式：在当前周期性帧结束时，仍有同步 OUT 端点未完成传输，此标志位被置起（同 EOPFIF 标志位一起置起）。
20	ISOINCIF	同步 IN 传输未完成中断标志位 在当前周期性帧结束时，仍有同步 IN 端点未完成传输，此标志位被置起（同 EOPFIF 标志位一起置起）。 *备注：仅 Device 模式下有效*
19	OUTEPIF	OUT 端点中断标志位 任意 OUT 端点挂起一个中断时，此标志位被置起。需要先读取 USBHS_DAEPINTSTS 寄存器获取对应 OUT 端点，然后读取相应的

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		USBHS_ DOUTEPxINTSTS 寄存器以获取产生中断的标志位。当产生中断的相应端点标志位被清除后，此中断标志位被自动清除。 *备注：仅 Device 模式下有效*
18	INEPIF	IN 端点中断标志位 当在设备模式下，任意 IN 端点挂起一个中断时，此标志位被置起。软件应该首先读取 USBHS_DAEPINT 寄存器获取对应 IN 端点，然后读取相应的 USBHS_DINEPxINSTS 寄存器以获取产生中断的标志位。当产生中断的相应端点标志位被清除后，此中断标志位被自动清除。 *备注：仅 Device 模式下有效*
17:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15	EOPFIF	周期性帧结束中断标志位 当一帧内 USB 总线时间已经达到 USBHS_DCFG. PFRITVL 定义的数值时， USBHS 将置位该中断标志位。 *备注：仅 Device 模式下有效*
14	ISOUTPDIF	同步 OUT 包丢失中断标志位 当 USBHS 接收到一个同步 OUT 包，但是 RX FIFO 没有足够的空间来接收同步 OUT 端点最大数据包，此标志位被置起。 *备注：仅 Device 模式下有效*
13	ENUMDIF	枚举完成中断标志位 当速度枚举完成后，此标志位被置起。 软件能够读取 USBHS_DSTS.ENUMSPD[1:0]，以获取当前设备速度。 *备注：仅 Device 模式下有效*
12	USBRSTIF	USB 复位中断标志位 当 USB 总线上检测到一个 USB 复位信号后，此标志位被置起。 *备注：仅 Device 模式下有效*
11	USBSUSPIF	USB 挂起中断标志位 在 USB 上检测到挂起状态。当数据线上的空闲状态保持一段额外的时间后，模块进入挂起状态。此标志位被置起。 *备注：仅 Device 模式下有效*
10	ESUSPIF	早期挂起中断标志位 当检测到 USB 总线空闲 3ms 时，此标志位被置起。 *备注：仅 Device 模式下有效*
9:8	Reserved	保留，必须保持复位值。
7	GOUTNAKEIF	全局 OUT NAK 有效标志位 当 USBHS_DCTRL.SGONAK 位置 1，且在全局 OUT NAK 生效后，此标志位被置起。软件可通过向 USBHS_DCTRT.CGONAK 写 1 来清除该标志位。 *备注：仅 Device 模式下有效*
6	GINNPNAKEIF	全局非周期性 IN NAK 有效标志位 当 USBHS_DCTRL.SGINAK 位置 1，且在全局 IN NAK 生效后，此标志位被置起。软件可通过向 USBHS_DCTRT.CGINAK 写 1 来清除该标志位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		此中断不一定表示 USB 上已发送了一个 NAK 握手信号。 STALL 位优先级高于 NAK 位。 *备注：仅 Device 模式下有效*
5	NPTXFEIF	非周期性 TX FIFO 空中断标志位 当非周期性 TX FIFO 半空或全空，且非周期性请求队列中存在写入至少一个条目时，此标志位被置起。TX FIFO 空阈值由 USBHS_GAHBCFG. NPTXFETH 决定。 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
4	RXFNEIF	RX FIFO 非空中断标志位 当 Rx FIFO 中至少有一个数据包等待读取时，此标志位被置起。 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
3	SOFIF	起始帧中断标志位 Host 模式：当模块在 USB 总线上已发送一个 SOF(FS)或 micro-SOF(HS)或 Keep-Alive(LS)后，此标志位被置起。软件可以通过写 1 清除该中断标志位。 Device 模式： 当接收到一个 SOF 令牌包后，此标志位被置起。应用可以读取设备状态寄存器以获取当前帧号。只有运行在 HS 或 FS 模式下才会收到此中断。软件可以通过写 1 清除该中断标志位。 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
2	Reserved	保留，必须保持复位值。
1	MODMISIF	模式不匹配中断标志位 当应用程序尝试做以下访问时，此标志位被置起： – 模块运行在设备模式下访问主机模式寄存器 – 模块运行在主机模式下访问设备模式寄存器 寄存器访问在 AHB 上以 OKAY 响应结束，但该访问在内部被模块忽略并且不会影响模块运行。 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
0	CMODE	当前工作模式 指示当前模式。 0：Device 模式 1：Host 模式 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*

33.11.1.6 USBHS 全局中断使能寄存器（USBHS_GINTEN）

偏移地址：0x0018

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
WKUPIEN	Reserved	DISCIEN	IDSTSCIEN	Reserved	PTXFEIEN	HCHIEN	HPIEN	RSTDIEN	FETSUSP	PTNCIEN ISOUTNCIEN	ISOINCIEN	OUTEPIEN	INEPIEN	Reserved	
rw		rw	rw		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw		

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

EOPFIEN	ISOUT PDIEN	ENUM DIEN	USB RSTIEN	USB SUSPIEN	ESUSP IEN	Reserved	GOUT NAKEIEN	GINNP NAKEIEN	NPTXF EIEN	RXFNE IEN	SOFIEN	USBHS IEN	MOD MISIEN	Reserved
rw	rw	rw	rw	rw	rw		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	

位域	名称	描述
31	WKUPIEN	恢复/远程唤醒中断使能 0：禁能唤醒中断 1：使能唤醒中断 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
30	Reserved	保留，必须保持复位值。
29	DISCIEN	断开中断使能 0：禁能断开中断 1：使能断开中断 *备注：仅 Host 模式下有效*
28	IDSTSCIEN	ID 引脚状态改变中断使能 0：禁能 ID 引脚状态改变中断 1：使能 ID 引脚状态改变中断 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
27	Reserved	保留，必须保持复位值。
26	PTXFEIEN	周期性 TX FIFO 空中断使能 0：禁能周期性 TX FIFO 空中断 1：使能周期性 TX FIFO 空中断 *备注：仅 Host 模式下有效*
25	HCHIEN	主机通道中断使能 0：禁能主机通道中断 1：使能主机通道中断 *备注：仅 Host 模式下有效*
24	HPIEN	主机端口中断使能 0：禁能主机端口中断 1：使能主机端口中断 *备注：仅 Host 模式下有效*
23	RSTDIEN	复位中断使能 0：禁能复位中断 1：使能复位中断 *备注：仅 Device 模式下有效*
22	FETSUSPIEN	数据获取挂起中断使能 0：禁能数据获取挂起中断 1：使能数据获取挂起中断 *备注：仅 Device 模式下有效*
21	PTNCIEN	周期性传输未完成中断使能 Host 模式： 0：禁能周期性传输未完成中断 1：使能周期性传输未完成中断

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
	ISOUTNCIEN	同步 OUT 传输未完成中断使能 Device 模式： 0：禁能同步 OUT 传输未完成中断 1：使能同步 OUT 传输未完成中断
20	ISOINCIEN	同步 IN 传输未完成中断使能 0：禁能同步 IN 传输未完成中断 1：使能同步 IN 传输未完成中断 *备注：仅 Device 模式下有效*
19	OUTEPIEN	OUT 端点中断使能 0：禁能 OUT 端点中断 1：使能 OUT 端点中断 *备注：仅 Device 模式下有效*
18	INEPIEN	IN 端点中断使能 0：禁能 IN 端点中断 1：使能 IN 端点中断 *备注：仅 Device 模式下有效*
17:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15	EOPFIEN	周期性帧结束中断使能 0：禁能周期性帧结束中断 1：使能周期性帧结束中断 *备注：仅 Device 模式下有效*
14	ISOUTPDIEN	同步 OUT 包丢失中断使能 0：禁能同步 OUT 包丢失中断 1：使能同步 OUT 包丢失中断 *备注：仅 Device 模式下有效*
13	ENUMDIEN	枚举完成中断使能 0：禁能枚举完成中断 1：使能枚举完成中断 *备注：仅 Device 模式下有效*
12	USBRSTIEN	USB 复位中断使能 0：禁能 USB 复位中断 1：使能 USB 复位中断 *备注：仅 Device 模式下有效*
11	USBSUSPIEN	USB 挂起中断使能 0：禁能 USB 挂起中断 1：使能 USB 挂起中断 *备注：仅 Device 模式下有效*
10	ESUSPIEN	早期挂起中断使能 0：禁能早期挂起中断 1：使能早期挂起中断 *备注：仅 Device 模式下有效*
9:8	Reserved	保留，必须保持复位值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
7	GOUTNAKEIEN	全局 OUT NAK 有效标志位 0：禁能全局 OUT NAK 中断 1：使能全局 OUT NAK 中断 *备注：仅 Device 模式下有效*
6	GINNPNAKEIEN	全局非周期性 IN NAK 有效标志位 0：禁能全局非周期性 IN NAK 中断 1：使能全局非周期性 IN NAK 中断 *备注：仅 Device 模式下有效*
5	NPTXFEIEN	非周期性 TX FIFO 空中断使能 0：禁能非周期性 TX FIFO 空中断 1：使能非周期性 TX FIFO 空中断 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
4	RXFNEIEN	RX FIFO 非空中断使能 0：禁能 RX FIFO 非空中断 1：使能 RX FIFO 非空中断 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
3	SOFIEN	起始帧中断使能 0：禁能起始帧中断 1：使能起始帧中断 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
2	USBHSIEN	USBHS 中断使能 0：禁能 USBHS 中断 1：使能 USBHS 中断 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
1	MODMISIEN	模式不匹配中断使能 0：禁能模式不匹配中断 1：使能模式不匹配中断 *备注：Host 模式和 Device 模式下有效*
0	Reserved	保留，必须保持复位值。

33.11.1.7 USBHS 全局接收状态寄存器/接收状态读取和弹出寄存器（USBHS_GRXSTS/USBHS_GRXSTSP）

读偏移地址：0x001C

弹出偏移地址：0x0020

复位值：0x0000 0000

读 USBHS_GRXSTS 寄存器，将返回接收 FIFO 中顶部的内容。读 USBHS_GRXSTSP 寄存器，将额外的弹出 RX FIFO 的顶部数据。

在 Host 模式和 Device 模式下需要区分接收状态内容。当接收 FIFO 为空时，USBHS 将忽略 USBHS_GRXSTSP。当 RX FIFO 非空中断标志位 USBHS_GINTSTS. RXFNEIF 置位后，应用程序只能读取 USBHS_GRXSTS 寄存器。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Reserved	FNUM[3:0]	PKSTS[3☺]	DPID[1]
	r	r	r

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

DPID[0]	BCNT[10:0]	CHEPNUM[3:0]
r	r	r

位域	名称	描述
31:25	Reserved	保留，必须保持复位值。
24:21	FNUM[3:0]	接收帧编号 接收帧编号低 4 位，仅用于同步 OUT 端点 *备注：仅 Device 模式下有效*
20:17	PKTSTS[3:0]	接收包状态： Host 模式： 0010：接收到 IN 数据包 0011： IN 传输完成（触发一个中断） 0101：数据翻转错误（触发一个中断） 0111：通道中止（触发一个中断） Device 模式： 0010：全局 OUT NAK（触发一个中断） 0011：接收到 OUT 数据包 0101：OUT 传输完成（触发一个中断） 0100：SETUP 事务完成（触发一个中断） 0111：接收到 SETUP 数据包（触发一个中断））
16:15	DPID[1:0]	数据 PID 在 Host 模式下，表示接收数据包 PID； 在 Device 模式下，表示接收 OUT 数据包 PID； 00： DATA0 10： DATA1 01： DATA2 11： MDATA
14:4	BCNT[10:0]	字节数 在 Host 模式下，表示接收 IN 数据包字节数； 在 Device 模式下，表示接收数据包字节数；
3:0	CHEPNUM[3:0]	通道/端点编号： Host 模式： 表示当前接收数据包的通道编号 Device 模式： 表示当前接收数据包的端点编号

33.11.1.8 USBHS 全局接收 FIFO 大小寄存器（USBHS_GRXFSIZ）

偏移地址：0x0024

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值：0x0000 0400

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															
rw	rw	rw													

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved					RXFDEP[10:0]										
					rw										

位域	名称	描述
31:11	Reserved	保留，必须保持复位值。
10:0	RXFDEP[10:0]	RX FIFO 深度 以 32 位字为单位 最小值为 16，最大值为 1024

33.11.1.9 USBHS 全局非周期性发送 FIFO 大小寄存器（USBHS_GNPTXFSIZ）/设备 IN 端点 0 发送 FIFO 大小寄存器（USBHS_DINEP0TXFSIZ）

偏移地址：0x0028

复位值：0x0400 0400

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved					NPTXFDEP[10:0]/ IEP0TXFDEP[10:0]										
					rw										

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved					NPTXFSADD[10:0]/ IEP0TXFSADD[10:0]										
					rw										

Host 模式

位域	名称	描述
31:27	Reserved	保留，必须保持复位值。
26:16	NPTXFDEP[10:0]	主机非周期性 TX FIFO 深度 以 32 位字计数 最小值为 16，最大值为 1024，不得超过复位值
15:11	Reserved	保留，必须保持复位值。
10:0	NPTXFSADD[10:0]	主机非周期性 TX FIFO 起始地址 非周期性 TX FIFO 的起始地址

Device 模式

位域	名称	描述
31:27	Reserved	保留，必须保持复位值。
26:16	IEP0TXFDEP[10:0]	IN 端点 0 TX FIFO 深度 以 32 位字为单位

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		最小值为 16，最大值为 1024，不得超过复位值
15:11	Reserved	保留，必须保持复位值。
10:0	IEP0TXFRSADD[10:0]	IN 端点 0 TX RAM 起始地址 端点 0 发送 FIFO RAM 的起始地址

33.11.1.10 USBHS 全局非周期性发送 FIFO 状态寄存器（USBHS_GNPTXFSTS）

偏移地址：0x002C

复位值：0x0000 0400

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	NPTXRQTOP[6:0]							NPTXRQSAV[7:0]							
	r							r							

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
NPTXFSAV[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31	Reserved	保留，必须保持复位值。
30:24	NPTXRQTOP[6:0]	非周期性发送请求队列的顶部 在非周期性传输请求队列中当前处理内容。 位 30:27：通道号/端点号 位 26:25： – 00：IN/OUT 令牌 – 01：长度为零的发送数据包（Device IN/Host OUT） – 11：通道停止命令 位 24：结束，表明所选通道/端点的最后一个条目
23:16	NPTXRQSAV[7:0]	非周期性发送请求队列可用空间 表示非周期性请求队列中可用的剩余空间数量； Host 模式：表示 IN 和 OUT 请求 Device 模式：表示 IN 请求 0：非周期发送请求队列已满 1：1 个位置 2：2 个位置 … 8：8 个位置 其他值：保留
15:0	NPTXFSAV[15:0]	非周期性 TX FIFO 可用空间 表示非周期性发送 FIFO 剩余可用空间 以 32 位字计数 0：非周期性 TX FIFO 已满 1： 1 个字

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		2： 2 个字 … n：n 个字(0≤n≤512) 其他值：保留

33.11.1.11 USBHS ID 寄存器（USBHS_CID）

偏移地址：0x003C

复位值：0x0000 3608

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CID[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CID[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	CID	内核 ID 可通过应用程序编程此 ID，可为应用产生一个唯一 ID。

33.11.1.12 USBHS 全局断电寄存器（USBHS_GPD）

偏移地址：0x0058

复位值：0x0000 0010

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved										IDDIG	LINSTS		STSCHNGINTEN	STSCHNGINTSTS	Reserved
										r	r		rw	rc_w1	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	CONNDETINTEN	CONNDETSTS	DISCONNDETINTEN	DISCONNDETSTS	RESTDETINTEN	RESTDETSTS	LINSTSCHNGINTEN	LINSTSCHNGSTS	Reserved						
	rw	rc_w1	rw	rc_w1	rw	rc_w1	rw	rc_w1							

位域	名称	描述
31:22	Reserved	保留，必须保持复位值。
21	IDDIG	IDDIG 信号状态 在接收到 USBHS_GPD.STSCHNGINTSTS 后必须读取此位，用于指示当前模式： 0：Host 模式 1：Device 模式
20:19	LINSTS[0:1]	Line 状态

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		00：DM=0，DP=0； 01：DM=0，DP=1； 10：DM=1，DP=0； 11：保留
18	STSCHNGINTEN	状态改变中断使能 0：不使能状态改变中断 1：使能状态改变中断
17	STSCHNGINTSTS	状态改变标志位 0：无状态改变 1：检测到状态改变
16:15	Reserved	保留，必须保持复位值。
14	CONNDETINTEN	连接检测中断使能 0：不使能连接检测中断 1：使能连接检测中断
13	CONNDETSTS	连接状态检测 0：没有检测到连接 1：检测到连接
12	DISCONNDETINTEN	断开连接检测中断使能 0：不使能断开连接检测中断 1：使能断开连接检测中断
11	DISCONNDETSTS	断开连接状态检测 0：没有检测到断开连接 1：检测到断开连接
10	RESTDETINTEN	复位检测中断使能 0：不使能复位检测 1：使能复位检测
9	RESTDETSTS	检测复位状态 0：没有检测到复位 1：检测到复位
8	LINSTSCHNGINTEN	Line 状态改变中断使能 0：不使能 Line 状态改变中断 1：使能 Line 状态改变中断
7	LINSTSCHNGSTS	Line 状态改变状态 0：没有 Line 状态改变 1：有 Line 状态改变
6:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

33.11.1.13 USBHS 主机周期性发送 FIFO 大小（USBHS_HPTXFSIZ）

偏移地址：0x00100

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

HPTXFDEP[15:0]
rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
HPTXFSADD[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	HPTXFDEP[15:0]	主机周期性 TX FIFO 深度 以 32 位字计数 最小值为 16，最大值为 1024
15:0	HPTXFSADD[15:0]	主机周期性 TX FIFO 起始地址 主机周期性发送 FIFO 起始地址

33.11.1.14 USBHS 设备 IN 端点周期性发送 FIFO 大小（USBHS_DINEPPTXFSIZx）(x=[1..8])

偏移地址：0x00104 + (x-1)×4

复位值：0x0100 0500

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved					INEPTXFDEP [10:0]										
					rw										

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved					INEPTXSADD [10:0]										
					rw										

位域	名称	描述
31:27	Reserved	保留，必须保持复位值。
26:16	INEPTXFDEP [10:0]	IN 端点 TX FIFO 深度 以 32 位字计数 最小值为 16，最大值为 768
15:11	Reserved	保留，必须保持复位值。
10:0	INEPTXSADD [10:0]	IN 端点 TX FIFO 起始地址 IN 端点发送 FIFO 起始地址

33.11.2 USBHS 主机控制和状态寄存器

33.11.2.1 USBHS 主机配置寄存器（USBHS_HCFG）

偏移地址：0x0400

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值：0x0000 0200

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															
rw	rw	rw													
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
Reserved													SPSEL	Reserved	
													rw		

位域	名称	描述
31:3	Reserved	保留，必须保持复位值。
2	SPSEL	USB 速度选择 软件可以利用此位限制 USBHS 的枚举速度为 FS/LS，并且使 USBHS 在复位的过程中不执行高速枚举。 0：USBHS 支持 HS/FS/LS 1：USBHS 支持 FS/LS
1:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

33.11.2.2 USBHS 主机帧间隔寄存器（USBHS_HFRI）

偏移地址：0x0404

复位值：0x0000 EA60

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															DRLDEN
															rw
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
FRI[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:17	Reserved	保留，必须保持复位值。
16	DRLDEN	动态重载使能 (Reload control) 该位允许在运行期间动态重载 HFIR 寄存器。 0：无法动态重载 HFIR 1：运行期间可动态重载 HFIR。 此位需要在初始配置期间编程，并且不得在运行期间更改其值。
15:0	FRI[15:0]	帧间隔

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		应用程序在此字段编程的值用于指定两个连续 micro-SOF(HS)或 SOF(FS)或 Keep-Alive 令牌（LS）之间的时间间隔。此字段以 PHY 时钟为单位来设置帧间隔。 只有将主机端口使能位（USBHS_HPCS.PEN）置 1 后，才能向此字段写入值。如果未对值进行编程，模块将根据 PHY 时钟来计算。请勿在初始配置后更改此字段的值。在这种情况下，FRI 将在发生每个 SOF 事件时进行重载。 HS 帧间隔时间为 125us FS/LS 帧间隔为 1ms

33.11.2.3 USBHS 主机帧编号/帧剩余时间寄存器（USBHS_HFNUM）

偏移地址：0x0408

复位值：0x0000 3FFF

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
FRT[15:0]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
FRNUM[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:16	FRT[15:0]	帧剩余时间 指示当前帧的剩余时间（以 PHY 时钟数为单位）。每过去 1 个 PHY 时钟，此字段递减 1。当值达到零时，此字段将重新装载帧间隔寄存器(USBHS_HFRI.FRI[15:0])的值，并由模块在 USB 上发送一个新 SOF。
15:0	FRNUM[15:0]	帧编号 当每发送完成 SOF 帧后，此字段自动加 1，当其增加到 0x3FFF 后，其值变为 0。

33.11.2.4 USBHS 主机周期性发送 FIFO/队列状态寄存器（USBHS_HPTXFQSTS）

偏移地址：0x0410

复位值：0x0008 0400

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
PTXRQTOP[8:0]									PTXRQSAVL[6:0]						
r									r						

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PTXFSAVL[15:0]															
r															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:23	PTXRQTOP[8:0]	周期性传输发送请求队列顶部条目 指示周期性传输 TX 请求队列中当前正在处理的条目。 位 31：奇数/偶数帧 (Odd/Even frame) - 0：以偶数帧发送 - 1：以奇数帧发送 位 30:27：通道/端点编号 位 26:25：类型 - 00：IN/OUT 令牌 - 01：零长度数据包 - 11：禁止通道命令 位 24：所选周期性通道/端点最后一个周期条目 位 23：中止标志，指示所选通道/端点的最后一个条目
22:16	PTXRQSAVL[6:0]	周期性传输发送请求队列可用空间 指示可供写入的周期性传输发送请求队列的空闲位置的数量。该队列既包含 IN 请求，又包含 OUT 请求。 0：周期性发送请求队列已满 1：1 个位置可用 2：2 个位置可用 … n：n 个位置可用 ($0 \le n \le 8$) 其它值：保留
15:0	PTXFSAVL[15:0]	周期性传输发送数据 FIFO 可用空间 指示可供写入的周期性传输 TX FIFO 的剩余可用空间数量。 以 32 位字为单位 0：周期性 TX FIFO 已满 1：1 个字可用 2：2 个字可用 … n：n 个字可用（其中 $0 \le n \le$USBHS_HPTXFSIZ.HPTXFDEP[15:0]） 其它值：保留

33.11.2.5 USBHS 主机所有通道中断寄存器（USBHS_HACHINT）

偏移地址：0x0414

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
HACHINT[15:0]															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

rw

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	HACHINT[15:0]	通道中断编号 每个通道一位：CH0 对应 bit0，CH15 对应 bit15

33.11.2.6 USBHS 主机所有通道中断使能寄存器（USBHS_HACHINTEN）

偏移地址：0x0418

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
HACHINTEN[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	HACHINTEN[15:0]	通道中断使能 每个通道一位：CH0 对应 bit0，CH15 对应 bit15 0：使能通道中断 1：禁能通道中断

33.11.2.7 USBHS 主机端口控制和状态寄存器（USBHS_HPCS）

偏移地址：0x0440

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved													PSPD[1:0]		PTCTRL[3]
rw	rw	rw											r		rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PTCTRL[2:0]			PPWR	PLSTS[1:0]		Reserved	PRST	PSUSP	PRES	POCC	POCA	PENC	PEN	PCDET	PCSTS
rw			rw	r			rw	rs	rw	rc_w1	r	rc_w1	rc_w1	rc_w1	r

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必须保持复位值。
18:17	PSPD[1:0]	端口速度 指示连接到该端口的设备的速度。 00：高速 01：全速 10：低速 11：保留
16:13	PTCTRL[3:0]	端口测试控制 软件向该字段写入一个非零值以使端口进入测试模式，同时端口上会产生对应模式的信号。 0000：测试模式禁止 0001：Test_J 模式 0010：Test_K 模式 0011：Test_SE0_NAK 模式 0100：Test_Packet 模式 0101：强制测试使能 其他值：保留
12	PPWR	端口电源 应用程序使用该字段控制该端口的电源，且发生过流情况时，模块会将该位清零。 0：掉电 1：上电
11:10	PLSTS[1:0]	端口线状态 指示 USB 数据线的当前逻辑电平 bit10：DP 的逻辑电平 bit11：DM 的逻辑电平
9	Reserved	保留，必须保持复位值。
8	PRST	端口复位 应用程序将该位置 1 时，会在该端口上启动复位序列。应用程序必须为复位周期计时，并在复位序列完成后将该位清零。 0：端口未处于复位状态 1：端口处于复位状态 应用程序必须将该位置 1 并最少保持 10 ms，以在端口上启动复位。 除所需的最少持续时间之外，在将该位清零前，应用程序可将该位置 1 的状态再保持 10 ms，即使 USB 标准并没有设置最大限制。 HS：50 ms FS/LS：10 ms
7	PSUSP	端口挂起 将此位置 1 后，模块停止发送 SOF。当该控制位被置位后，该控制位只能够通过以下操作清除。 – 置位 USBHS_HPCS.PRST 位 – 置位 USBHS_HPCS.PRES 位 – 检测到一个远程唤醒信号

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		– 检测到一个设备断开 0：端口未处于挂起模式 1：端口处于挂起模式
6	PRES	端口恢复 此位置位后在 USB 端口上启动一个恢复信号。应用也可以清除位。如模块中断寄存器中的检测到端口恢复/ 远程唤醒中断位（USBHS_GINTSTS.WKUPIF）指示，如果模块检测到 USB 远程唤醒序列，则开始驱动恢复信号，而无需应用程序进行干预；如果模块检测到断开连接的情况，则将此位清零。此位的读取值指示当前模块是否正在驱动恢复信号。 0：无恢复信号 1：产生恢复信号
5	POCC	端口过流变化 该寄存器中端口过流激活位（bit4）状态发生变化时，模块将此位置 1
4	POCA	端口过流激活 此位指示端口的过流状态。 0：无过流产生 1：有过流产生
3	PENC	端口使能/禁止变化 该寄存器中的端口使能位（bit2）的状态发生变化时，模块将此位置 1。
2	PEN	端口使能 端复位序列完成后，自动将此位置 1。可以由过流、断开连接状况或应用程序将此位清零来。此位无法由软件置位。 0：禁能端口 1：使能端口
1	PCDET	检测到端口连接 当检测到设备连接时，模块将此位置 1，以使用模块中断寄存器中的主机端口中断位（USBHS_GINTSTS.HPIF）触发应用程序的中断。应用程序必须将此位置 1 才可清除该中断
0	PCSTS	端口连接状态 0：端口未连接设备 1：端口已连接设备

33.11.2.8 USBHS 主机通道控制寄存器（USBHS_HCHxCTRL）(x=[0..15])

偏移地址：0x0500 + x×20

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CHEN	CHDIS	ODDFRM	DEVADDR[6:0]							MCNT[1:0]		EPTYPE[1:0]		LSPDDEV	Reserved
rs	rs	rw	rw							rw		rw		rw	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
EPDIR	EPNUM[3:0]				MPS[10:0]										

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

rw rw rw

位域	名称	描述
31	CHEN	通道使能 此字段由应用程序软件置 1，硬件清零。 0：通道禁能 1：通道使能
30	CHDIS	通道禁能 应用程序将此位置 1 以停止通过通道发送/接收数据，即使通过该通道的传输还未完成，停止操作仍然生效。应用程序必须等待禁止通道的中断以确认通道已经被禁止。 0：通道上发送/接收数据正常 1：通道上发送/接收数据停止
29	ODDFRM	奇偶帧控制 对于周期性传输（中断或同步传输），该位控制将要处理的通道事务为奇数帧还是偶数帧 0：偶数帧 1：奇数帧
28:22	DEVADDR[6:0]	设备地址 与该通道通信的 USB 设备地址。
21:20	MCNT[1:0]	多包计数 对于周期性传输，该位域指定主机每个微帧必须执行的事务数量。 对于非周期性传输，该位域指定在内部 DMA 更改仲裁之前，DMA 为此通道获取或写入的包数量。 00：保留 01：每微帧发出 1 个事务 10：每微帧发出 2 个事务 11：每微帧发出 3 个事务
19:18	EPTYPE[1:0]	端点类型 00：控制 01：同步 10：批量 11：中断
17	LSPDDEV	低速设备 (Low-speed device) 此字段由应用程序置 1，表示此通道正在与一个低速设备进行通信。
16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15	EPDIR	端点方向 指示通信事务的方向。 0：OUT 1：IN
14:11	EPNUM[3:0]	端点编号 指示要与该主机通道通信的 USB 设备的端点号。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
10:0	MPS[10:0]	最大数据包大小 指示与该主机通道通信的设备端点的最大数据包大小。

33.11.2.9 USBHS 主机通道分裂控制寄存器（USBHS_HCHxSCTRL）(x=[0..15])

偏移地址：0x0504 + x×20

复位值：0x0000 0000

31	30–17	16
SPLEN	Reserved	COMP SPLF
rw		rw

15–14	13–7	6–0
TRANPOS[1:0]	HUBADDR[6:0]	PRTADD[6:0]
rw	rw	rw

位域	名称	描述
31	SPLEN	分裂使能 软件可以置位该控制位以使能在该通道上的分裂事务。分裂事务用于通过 HUB 和一些全速和低速设备端点初始化全速/低速事务。
30:17	Reserved	保留，必须保持复位值。
16	COMPSPLF	执行完成分离 应用程序将此位置 1 时，请求主机执行完成分裂通信事务。
15:14	TRANPOS[1:0]	事务位置 此字段用于确定在每个 OUT 事务中是否发送全部、第一个、中间或最后一个有效负载。它用于指定在 OUT 事务中发送有效负载数据的位置和方式 00：中间。表示在此事务中发送的是有效负载的中间部分（有效负载大小大于 188 字节） 01：结尾。表示在此事务中发送的是有效负载的最后一部分（有效负载大小大于 188 字节） 11：全部。表示在此事务中发送的是有效负载的全部数据（有效负载大小小于或等于 188 字节） 10：起始。表示在此事务中发送的是有效负载的第一个部分（有效负载大小大于 188 字节）
13:7	HUBADD[6:0]	Hub 地址 此字段存储 Hub 地址。
6:0	PRTADD[6:0]	端口地址 (Port address) 此字段是接收方事务转发器的端口号。

33.11.2.10 USBHS 主机通道中断状态寄存器（USBHS_HCHxINTSTS）(x=[0..15])

偏移地址：0x0508 + x×20

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved					DTERRIF	FOVRIF	BBERRIF	TXERRIF	NYETIF	ACKIF	NAKIF	STALLIF	AHB ERRIF	CHHTDIF	TXCFIF
					rc_wl	rc_wl	rc_wl	rc_wl	rc_wl	rc_wl	rc_wl	rc_wl	rc_wl	rc_wl	rc_wl

位域	名称	描述
31:11	Reserved	保留，必须保持复位值。
10	DTERRIF	数据翻转错误中断 0：无数据翻转错误 1：有数据翻转错误
9	FOVRIF	帧溢出 0：无帧溢出 1：有帧溢出
8	BBERRIF	串扰错误 0：无串扰错误 1：有串扰错误
7	TXERRIF	事务错误 表示在 USB 上发生下述任一错误 ■ CRC 校验失败 ■ 超时 ■ 位填充错误 ■ 错误的 EOP 0：无事务错误 1：有事务错误
6	NYETIF	NYET 响应接收中断 0：无 NYTE 响应接收中断 1：有 NYTE 响应接收中断
5	ACKIF	ACK 响应接收/发送中断 0：无 ACK 响应接收/发送中断 1：有 ACK 响应接收/发送中断
4	NAKIF	NAK 响应接收中断 0：无 NAK 响应接收/发送中断 1：有 NAK 响应接收/发送中断
3	STALLIF	STALL 响应接收中断 0：无 STALL 响应接收/发送中断 1：有 STALL 响应接收/发送中断
2	AHBERRIF	AHB 错误 0：无 AHB 错误

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：在 AHB 读写期间发生 AHB 错误
1	CHHTDIF	通道停止 当 DMA 未被使能时：它表示传输异常完成，可能是由于任何 USB 事务错误，应用程序的禁用请求或已完成的传输而导致的。 当 DMA 使能时：这表示因任意 USB 事务错误或为响应应用程序的禁止请求而导致传输非正常结束。 0：通道未停止 1：通道停止
0	TXCFIF	传输完成 0：传输中或无传输 1：传输完成

33.11.2.11 USBHS 主机通道中断使能寄存器（USBHS_HCHxINTEN）(x=[0..15])

偏移地址：0x050C + x×20

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved					DTERR IEN	FOVRIEN	BBERR IEN	TXERR IEN	NYETIEN	ACKIEN	NAKIEN	STALL IEN	AHBERR IEN	CHHLTD IEN	TXCIEN
					rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:11	Reserved	保留，必须保持复位值。
10	DTERRIEN	数据翻转错误中断使能 0：中断禁能 1：中断使能
9	FOVRIEN	帧溢出中断中断使能 0：中断禁能 1：中断使能
8	BBERRIEN	串扰错误中断使能 0：中断禁能 1：中断使能
7	TXERRIEN	事务错误中断使能 0：中断禁能 1：中断使能
6	NYETIEN	NYET 响应接收中断使能 0：中断禁能 1：中断使能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
5	ACKIEN	ACK 响应接收/发送中断使能 0：中断禁能 1：中断使能
4	NAKIEN	NAK 响应接收中断使能 0：中断禁能 1：中断使能
3	STALLIEN	STALL 响应接收中断使能 0：中断禁能 1：中断使能
2	AHBERRIEN	AHB 错误中断使能 0：中断禁能 1：中断使能
1	CHHTDIEN	通道停止中断使能 0：中断禁能 1：中断使能
0	TXCIEN	传输完成中断使能 0：中断禁能 1：中断使能

33.11.2.12 USBHS 主机通道传输大小寄存器（USBHS_HCHxTXSIZ）(x=[0..15])

偏移地址：0x0510 + x×20

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
DPING	PID[1:0]		PKCNT[9:0]										TXSIZ[18:16]		
rw	rw		rw										rw		

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TXSIZ[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31	DPING	PING 令牌请求 此位仅对于 OUT 传输有效，如果软件置位该控制位， USBHS 会执行 PING 协议。当 OUT 事务接收到一个 NAK 或 NYET 握手包时，USBHS 会自动置位该控制位。不要在 IN 传输设置此位。
30:29	PID[1:0]	数据 PID 软件应该在传输起始之前写该段位域。对于 OUT 传输，该位域包含第一个传输包的数据 PID。对于 IN 传输，该位域包含第一个接收包的数据 PID。在传输开始之后， USBHS 遵循 USB 协议自动改变和切换该位域。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		00： DATA0 01： DATA2 10： DATA1 11： MDATA（非控制）/SETUP（控制）
28:19	PKCNT[9:0]	数据包计数 应用程序在此字段中设置将要发送 (OUT) 或接收 (IN) 的数据包数。 主机每成功发送或接收一个 OUT/IN 数据包便递减一次计数值。此值达到 0 后，将中断应用程序来指示操作正常完成。
18:0	TXSIZ[18:0]	传输大小 对于 OUT 操作，此字段为传输期间主机发送的数据字节数。 对于 IN 操作，此字段为应用程序保留给传输的缓冲区大小。对于 IN 事务（周期性和非周期性），应用程序会将此字段编程为最大数据包大小的整数倍。

33.11.2.13 USBHS 主机通道 DMA 地址寄存器（USBHS_HCHxDMADD）(x=[0..15])

偏移地址：0x0514 + x×20

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
DMADD[31:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DMADD[31:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	DMADD[31:0]	DMA 地址 此字段存储主机从设备端点获取数据或向设备端点发送数据所用的内存的起始地址。每次进行 DMA 传输，该寄存器都会递增。

33.11.3 USBHS 设备控制和状态寄存器

33.11.3.1 USBHS 设备配置寄存器（USBHS_DCFG）

偏移地址：0x0800

复位值：0x0802 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved						PSITVAL[1:0]		Reserved							
						rw									

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
EERRIEN	XCVR DLY	Reserved	PFRITVL[1:0]		DEVADD[6:0]							Reserved	NZLSOUT HSK	DEVSPD[1:0]	
rw	rw	rw	rw		rw							rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:26	Reserved	保留，必须保持复位值。
25:24	PSITVL[1:0]	周期性调度间隔 此字段指定内部 DMA 必须为获取周期性 IN 端点数据分配的时间。根据周期性端点数量的不同，必须将此值指定为 25%、50%或 75%的（微）帧。 – 只要存在活动的周期性端点，内部 DMA 便会为获取周期性 IN 端点数据分配指定的时间 – 没有任何活动周期性端点时，内部 DMA 将仅用于非周期性端点并忽略此字段 – 经过一（微）帧中指定的时间后，DMA 切换为获取非周期性端点上的传输数据 00：25%（微）帧 01：50%（微）帧 10：75%（微）帧 11：保留
23:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15	EERRAIEN	不定错误中断使能 1：发送不定错误时不触发早期挂起中断 0：发生不定错误时生成早期挂起中断
14	XCVRDLY	收发器延时 使能或禁止器件啁啾期间 PHY 时序的延迟。 0：禁止延时（使用默认时序） 1：使能默认时序的延时
13	Reserved	保留，必须保持复位值。
12:11	PFRITVL[1:0]	周期性帧间隔 指示在一帧内应当通过"周期性帧结束中断"通知应用程序的时间。此功能可用于确定该帧的所有同步通信是否完成。 00：80% 帧间隔 01：85% 帧间隔 10：90% 帧间隔 11：95% 帧间隔
10:4	DEVARR[6:0]	设备地址 应用程序必须在执行每个 SetAddress 控制命令后根据命令参数对该字段进行设置。
3	Reserved	保留，必须保持复位值。
2	NZLSOUTHSK	非零长度状态 OUT 握手信号 在控制传输状态阶段的 OUT 事务期间，当模块收到非零长度数据包后，

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		应用程序可以使用此字段选择要发送的握手信号。 1：收到非零长度状态 OUT 事务时，回复 STALL 握手信号，收到的 OUT 数据包不发送给应用程序。 0：将收到的 OUT 数据包（零长度或非零长度）发送给应用程序，并基于设备端点控制寄存器中端点的 NAK 和 STALL 位回复握手信号。
1:0	DEVSPD[1:0]	设备速度 设备连入主机后的设备速度 00：HS 01：FS 其他值：保留

33.11.3.2 USBHS 设备控制寄存器（USBHS_DCTRL）

偏移地址：0x0804

复位值：0x0000 0002

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															NAKOBBLE
rw	rw	rw													rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				POPDNE	CGONAK	SGONAK	CGNPINAK	SGINAK	TSCTRL[2:0]			GONAKSTS	GINAKSTS	SFTDIS	RMWKUP
				rw	w	w	w	w		rw		r	r	rw	rw

位域	名称	描述
31:17	Reserved	保留，必须保持复位值。
16	NAKOBBLE	串扰错误回复 NAK 在发生串扰错误的端点自动设置回复 NAK。
15:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11	POPDNE	上电初始化完成 软件通过设置该位，通知 USBHS 寄存器在从掉电模式下唤醒，然后完成初始化。
10	CGONAK	清除全局 OUT NAK 软件设置该位从而清零该寄存器的 GONAKSTS 位
9	SGONAK	设置全局 OUT NAK 对此位执行写操作会将全局 OUT NAK 置 1。应用程序在所有 OUT 端点发送 NAK 握手信号。应用程序只有确定模块中断寄存器中的全局 OUT NAK 有效位（USBHS_GINTSTS.GOUTNAKEIF）已清零时，才可

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		以将此位置 1。
8	CGNPINAK	清除全局非周期性 IN NAK 对此位执行写操作会将全局非周期性 IN NAK 清零。
7	SGINAK	设置全局非周期性 IN NAK 对此位执行写操作会将全局非周期性 IN NAK 置 1。应用程序在所有非周期性 IN 端点发送 NAK 握手信号。应用程序只有确定模块中断寄存器中的全局 IN NAK 有效位（USBHS_GINTSTS. GINNPNAKEIF）已清零时，才可以将此位置 1。
6:4	TSCTRL[2:]	测试控制 000：测试模式禁止 001：Test_J 模式 010：Test_K 模式 011：Test_SE0_NAK 模式 100：Test_Packet 模式 101：强制测试使能 其他值：保留
3	GONAKSTS	全局 OUT NAK 状态 0：将根据 FIFO 状态和 NAK 和 STALL 位设置发送握手信号。 1：无论 RX FIFO 中是否还有空闲空间都不接收数据。除 SETUP 事务之外，对所有收到的数据包回复 NAK 握手信号。所有同步类型的 OUT 数据包都将被丢弃。
2	GINAKSTS	全局非周期性 IN NAK 状态 0：根据 TX FIFO 中是否有待发送的数据回复握手信号。 1：使所有非周期性 IN 端点回复 NAK 握手信号，无需考虑发送 FIFO 中是否有待发送的数据。
1	SFTDIS	软断开 应用程序使用该位向 USB 模块发出执行软断开的信号。该位置 1 时，主机不会看到设备已连接，且该设备也不会接收 USB 上的信号。在应用程序将此位清零之前，模块会保持断开状态。 0：正常工作。 1：向 USB 主机发送设备断开事件
0	RMWKUP	发送远程唤醒信号 应用程序将此位置 1 时，模块会发送远程唤醒信号给主机。应用程序必须将此位置 1 以使模块退出挂起状态。根据 USB 2.0 规范，应用程序必须在将此位置 1 之后的 1 ms 到 15 ms 内将其清零。 0：不发送远程唤醒信号 1：发送远程唤醒信号

33.11.3.3 USBHS 设备状态寄存器（USBHS_DSTS）

偏移地址：0x0808

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31–24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	DEVLINSTS[1:0]		SOFFN[13:8]					
	r		r					

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SOFFN[7:0]								Reserved				ERERRF	ENUMSPD[1:0]		SUSPF
r												r	r		r

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必须保持复位值。
23:22	DEVLINSTS[1:0]	设备线状态 指示 USB 数据线的当前逻辑电平。 bit23：D+的逻辑电平 bit22：D-的逻辑电平
21:8	SOFFN[13:0]	所接收的 SOF 帧编号 USBHS 会在接收到一个 SOF 令牌后更新该域。
7:4	Reserved	保留，必须保持复位值。
3	ERERRF	不定错误 模块将该位置 1 以报告任何不定错误。由于不定错误， USB_HS 控制器会进入挂起状态，并且会以 USBHS_GINTSTS 寄存器的早期挂起位（ USBHS_GINTSTS.ESUSPIF）为应用程序生成一个中断。如果早期挂起中断是由不定错误触发，则应用程序只能执行软断开以恢复通信。
2:1	ENUMSPD[1:0]	枚举速度 该域指示所枚举的设备速度。 00：高速 01：全速 其他：保留
0	SUSPF	挂起状态 在设备模式下，只要在 USB 上检测到挂起状态，该位就会置 1。当 USB 数据线上的空闲状态保持 3 ms，模块便会进入挂起状态。出现以下情况时，模块会退出挂起状态： – USB 数据线上有活动 – 应用程序对 USBHS_DCTRL 寄存器的远程唤醒信号位（USBHS_DCTRL. RMWKUP）执行写操作

33.11.3.4 USBHS 设备 IN 端点通用中断寄存器（USBHS_DINEPINTEN）

偏移地址：0x0810

复位值：0x0000 0000

31–16
Reserved

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

Reserved	NAKIEN	Reserved	TXFUDIEN	Reserved	INEPNAKEIEN	INTREPMSIEN	TXFERINTKIEN	TOIEN	AHBERRIEN	EPDISIEN	TXCIEN
	rw		rw		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:14	Reserved	保留，必须保持复位值。
13	NAKIEN	NAK 中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
12:9	Reserved	保留，必须保持复位值。
8	TXFUDIEN	TX FIFO 下溢中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6	INEPNAKEIEN	IN 端点 NAK 有效中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
5	INTREPMISIEN	端点不匹配接收 IN 令牌中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
4	TXFERINTKIEN	TXFIFO 为空时接收到 IN 令牌中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
3	TOIEN	超时中断使能（非同步端点） 0：禁能中断 1：使能中断
2	AHBERRIEN	AHB 错误中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
1	EPDISIEN	端点失能中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
0	TXCIEN	发送完成中断使能 0：禁能中断 1：使能中断

33.11.3.5 USBHS 设备 OUT 端点通用中断寄存器（USBHS_DOUTEPINTEN）

偏移地址：0x0814

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															
rw	rw	rw													

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	NYETIEN	NAKIEN	BERRIEN	Reserved			OPERRIEN	Reserved	B2BSTUPIEN	Reserved	EPDISROTIEN	STUPDNEIEN	AHBERRIEN	EPDISIEN	TXCIEN
		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:14	Reserved	保留，必须保持复位值。
14	NYETIEN	NYET 中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
13	NAKIEN	NAK 中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
12	BERRIEN	串扰错误中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
11:9	Reserved	保留，必须保持复位值。
8	OPERRIEN	OUT 包错误中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6	B2BSTUPIEN	连续 SETUP 包接收中断使能（仅适用于控制 OUT 端点） 0：禁能中断 1：使能中断
5	Reserved	保留，必须保持复位值。
4	EPDISROTIEN	当端点禁能时接收 OUT 令牌中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
3	STUPDNEIEN	SETUP 阶段完成中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
2	AHBERRIEN	AHB 错误中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
1	EPDIEN	端点失能中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
0	TXCIEN	发送完成中断使能 0：禁能中断 1：使能中断

33.11.3.6 USBHS 设备所有端点中断状态寄存器（USBHS_DAEPINTSTS）

偏移地址：0x0818

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
OUTEPINT15	OUTEPINT14	OUTEPINT13	OUTEPINT12	OUTEPINT11	OUTEPINT10	OUTEPINT9	Reserved								OUTEPINT0
r	r	r	r	r	r	r									r

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved							INEPINT8	INEPINT7	INEPINT6	INEPINT5	INEPINT4	INEPINT3	INEPINT2	INEPINT1	INEPINT0
							r	r	r	r	r	r	r	r	r

位域	名称	描述
31:9	OUTEPINT[15:9]	设备 OUT 端点中断状态 每个位代表一个 OUT 端点：Bit31 代表 OUT 端点 15，Bit25 代表 OUT 端点 9。
24:17	Reserved	保留，必须保持复位值。
16	OUTEPINT0	设备 OUT 端点中断 0 状态
15:8	Reserved	保留，必须保持复位值。
7:0	INEPINT[8:0]	设备 IN 端点中断状态 每个位代表一个 IN 端点：Bit0 代表 IN 端点 0，Bit8 代表 IN 端点 8。

33.11.3.7 USBHS 设备所有端点中断使能寄存器（USBHS_DAEPINTEN）

偏移地址：0x081C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
OUTEPIEN15	OUTEPIEN14	OUTEPIEN13	OUTEPIEN12	OUTEPIEN11	OUTEPIEN10	OUTEPIEN9	Reserved								OUTEPIEN0
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw									rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved							INEPIEN8	INEPIEN7	INEPIEN6	INEPIEN5	INEPIEN4	INEPIEN3	INEPIEN2	INEPIEN1	INEPIEN0
							rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:25	OUTEPIEN[15:9]	设备 OUT 端点中断使能 每个位代表一个 OUT 端点： Bit25 代表 OUT 端点 9， Bit31 代表 OUT 端点 15。 产生中断时中断入口为 USB_HS_IRQn。
24:17	Reserved	保留，必须保持复位值。
16	OUTEPIEN0	设备 OUT0 端点中断使能 OUT 端点 0 使能。产生中断时中断入口为 USB_HS_IRQn。
15:8	Reserved	保留，必须保持复位值。
7:0	INEPIEN [8:0]	设备 IN 端点中断使能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		每个位代表一个 IN 端点： Bit0 代表 IN 端点 0， Bit8 代表 IN 端点 8。 产生中断时中断入口为 USB_HS_IRQn。

33.11.3.8 USBHS 设备阈值控制寄存器（USBHS_DTHRCTRL）

偏移地址：0x0830

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				ARPEN	Reserved	RXTHRLEN[8:0]									RXTHREN
				rw		rw									rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved					TXTHRLEN[8:0]									ISOINEPTHREN	NISOINEPTHREN
					rw									rw	rw

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必须保持复位值。
27	ARPEN	仲裁器寄存使能 该位用于控制 DMA 仲裁对 IN 端点的寄存。当阈值使能且该位置 1 后，DMA 会对在 USB 上收到令牌的 IN 端点寄存其仲裁。采用这种方式可以避免出现下溢情况。默认情况下使能寄存。 0：禁能 DMA 仲裁器寄存 1：使能 DMA 仲裁器寄存
26	Reserved	保留，必须保持复位值。
25:17	RXTHRLEN[8:0]	接收阈值长度 该字段以双字为单位指定接收阈值的大小。该字段还指定模块在 AHB 上启动传输之前在 USB 上接收的数据量。阈值长度最小值为八个双字。推荐 RXTHRLEN 的值和设定的 AHB 批量传输长度（ USBHS_GAHBCFG. BURSTTYP [3:0]）相同。
16	RXTHREN	接收阈值使能 (Receive threshold enable) 该位置 1 时，模块会使能接收方向的阈值。
15:11	Reserved	保留，必须保持复位值。
10:2	TXTHRLEN[8:0]	发送阈值长度 (Transmit threshold length) 该字段以双字为单位指定发送阈值的大小。该字段指定模块在 USB 上启动传输之前相应端点 发送 FIFO 中的数据量（单位为字节）。阈值长度最小值为八个双字。该字段控制同步和非同 步 IN 端点阈值。推荐 TXTHRLEN 的值和设定的 AHB 批量传输长度（USBHS_GAHBCFG. BURSTTYP [3:0]）相同
1	ISOINEPTHREN	同步 IN 端点阈值使能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：无阈值 1：使能同步 IN 端点的阈值。
0	NISOINEPTHREN	非同步 IN 端点阈值使能 0：无阈值 1：使能非同步 IN 端点的阈值。

33.11.3.9 USBHS 设备 IN 端点 FIFO 空中断使能寄存器（USBHS_DINEPFEINTEN）

偏移地址：0x0834

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
INEPTXFEIEN[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	INEPTXFEIEN [15:0]	控制 IN 端点 TX FIFO 空中断使能 这些位用作 USBHS_DIEPxINTSTS.TXEF 的使能位，每个位对应一个 IN 端点的 TX FIFO 空中断： Bit0 对应 IN 端点 0，Bit7 对应 IN 端点 7。 0：禁能 FIFO 空中断 1：使能 FIFO 空中断

33.11.3.10 USBHS 设备每个端点中断状态寄存器（USBHS_DEEPINTSTS）

偏移地址：0x0838

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
OUTEPINT15	OUTEPINT14	OUTEPINT13	OUTEPINT12	OUTEPINT11	OUTEPINT10	OUTEPINT9	Reserved								OUTEPINT0
r	r	r	r	r	r	r									r

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved							INEPINT8	INEPINT7	INEPINT6	INEPINT5	INEPINT4	INEPINT3	INEPINT2	INEPINT1	INEPINT0
							r	r	r	r	r	r	r	r	r

位域	名称	描述
31:9	OUTEPINT[15:9]	设备 OUT 端点中断状态

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		每个位代表一个 OUT 端点：Bit31 代表 OUT 端点 15，Bit25 代表 OUT 端点 9。
24:17	Reserved	保留，必须保持复位值。
16	OUTEPINT0	设备 OUT 端点中断 0 状态
15:8	Reserved	保留，必须保持复位值。
7:0	INEPINT[8:0]	设备 IN 端点中断状态 每个位代表一个 IN 端点：Bit0 代表 IN 端点 0，Bit8 代表 IN 端点 8。

33.11.3.11 USBHS 设备每个端点中断使能寄存器（USBHS_DEEPINTEN）

偏移地址：0x083C

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
OUTEPIEN15	OUTEPIEN14	OUTEPIEN13	OUTEPIEN12	OUTEPIEN11	OUTEPIEN10	OUTEPIEN9	Reserved								OUTEPIEN0
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw									rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved							INEPIEN8	INEPIEN7	INEPIEN6	INEPIEN5	INEPIEN4	INEPIEN3	INEPIEN2	INEPIEN1	INEPIEN0
							rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:25	OUTEPIEN[15:9]	设备 OUT 端点中断使能 每个位代表一个 OUT 端点： Bit25 代表 OUT 端点 9， Bit31 代表 OUT 端点 15。 产生中断时中断入口为 USB_HS_IRQn。
24:17	Reserved	保留，必须保持复位值。
16	OUTEPIEN0	设备 OUT0 端点中断使能 OUT 端点 0 使能。产生中断时中断入口为 USB_HS_IRQn。
15:8	Reserved	保留，必须保持复位值。
7:0	INEPIEN [8:0]	设备 IN 端点中断使能 每个位代表一个 IN 端点： Bit0 代表 IN 端点 0， Bit8 代表 IN 端点 8。 产生中断时中断入口为 USB_HS_IRQn。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

33.11.3.12 USBHS 设备每个 IN 端点中断寄存器（USBHS_DINEPxINTEN）(x=[0..8])

偏移地址：0x0840 + x×4

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved		NAKIEN	Reserved				TXFUDIEN	Reserved	INEPNAKEIEN	INTREPMSIEN	TXFERINTKIEN	TOIEN	AHBERRIEN	EPDISIEN	TXCIEN
		rw					rw		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:14	Reserved	保留，必须保持复位值。
13	NAKIEN	NAK 中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
12:9	Reserved	保留，必须保持复位值。
8	TXFUDIEN	TX FIFO 下溢中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6	INEPNAKEIEN	IN 端点 NAK 有效中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
5	INTREPMISIEN	端点不匹配接收 IN 令牌中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
4	TXFERINTKIEN	TXFIFO 为空时接收到 IN 令牌中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
3	TOIEN	超时中断使能（非同步端点） 0：禁能中断 1：使能中断
2	AHBERRIEN	AHB 错误中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
1	EPDISIEN	端点失能中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
0	TXCIEN	发送完成中断使能 0：禁能中断

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：使能中断

33.11.3.13 USBHS 设备每个 OUT 端点中断寄存器（USBHS_DOUTEPxINTEN）(x=[0,9..15])

偏移地址：0x0880 + x×4

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															
rw	rw	rw													

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	NYETIEN	NAKIEN	BERRIEN	Reserved			OPERRIEN	Reserved	B2BSTUPIEN	Reserved	EPDISROTIEN	STUPDNEIEN	AHBERRIEN	EPDISIEN	TXCIEN
		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:14	Reserved	保留，必须保持复位值。
14	NYETIEN	NYET 中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
13	NAKIEN	NAK 中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
12	BERRIEN	串扰错误中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
11:9	Reserved	保留，必须保持复位值。
8	OPERRIEN	OUT 包错误中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6	B2BSTUPIEN	连续 SETUP 包接收中断使能（仅适用于控制 OUT 端点） 0：禁能中断 1：使能中断
5	Reserved	保留，必须保持复位值。
4	EPDISROTIEN	当端点禁能时接收 OUT 令牌中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
3	STUPDNEIEN	SETUP 阶段完成中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
2	AHBERRIEN	AHB 错误中断使能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：禁能中断 1：使能中断
1	EPDISIEN	端点失能中断使能 0：禁能中断 1：使能中断
0	TXCIEN	发送完成中断使能 0：禁能中断 1：使能中断

33.11.3.14 USBHS 设备 IN 端点 0 控制寄存器（USBHS_DINEP0CTRL）

偏移地址：0x0900

复位值：0x0000 8000

<table>
<tr><td>31</td><td>30</td><td>29</td><td>28</td><td>27</td><td>26</td><td>25</td><td>24</td><td>23</td><td>22</td><td>21</td><td>20</td><td>19</td><td>18</td><td>17</td><td>16</td></tr>
<tr><td>EPEN</td><td>EPDIS</td><td colspan="2">Reserved</td><td>SNAK</td><td>CNAK</td><td colspan="4">TXFNUM[3:0]</td><td>STALL</td><td>Reserved</td><td colspan="2">EPTYPE[1:0]</td><td>NAKSTS</td><td>Reserved</td></tr>
<tr><td>rs</td><td>Rs</td><td colspan="2"></td><td>w</td><td>w</td><td colspan="4">rw</td><td>rs</td><td></td><td colspan="2">r</td><td>r</td><td></td></tr>
<tr><td>15</td><td>14</td><td>13</td><td>12</td><td>11</td><td>10</td><td>9</td><td>8</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td>EPACT</td><td colspan="13">Reserved</td><td colspan="2">MPLEN[1:0]</td></tr>
<tr><td>r</td><td colspan="13"></td><td colspan="2">rw</td></tr>
</table>

位域	名称	描述
31	EPEN	端点使能 应用程序将此位置 1 以在端点上启动数据发送。 在此端点上触发以下任一中断之前，模块会将此位清零： – SETUP 阶段完成 – 端点禁止 – 传输完成 0：端点禁能 1：端点使能
30	EPDIS	端点禁能 应用程序将此位置 1 以停止通过端点发送/接收数据，即使通过该通道的传输还未完成，停止操作仍然生效。应用程序必须等待禁止端点的中断以确认端点已经被禁止。 0：端点上发送/接收数据正常 1：端点上发送/接收数据停止
29:28	Reserved	保留，必须保持复位值。
27	SNAK	设置 NAK 应用程序将此位置 1 可以控制端点上 NAK 握手信号的发送。端点上接收到 SETUP 后，模块也会将此位值 1。
26	CNAK	清除 NAK 清零 对此位进行写操作会将端点的 NAK 位清零。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
25:22	TXFNUM[3:0]	Tx FIFO 编号 定义 IN 端点的 TX FIFO 编号。
21	STALL	STALL 握手 对于控制端点： 应用只可将此位置 1，在接收 SETUP 令牌后，USBHS 清除此位。如果 NAK 位、全局 IN NAK 或全局 OUT NAK 与此位同时置 1，则 STALL 位优先。无论此位如何设置，模块总是通过 ACK 握手响应 SETUP 数据包。
20	Reserved	保留，必须保持复位值。
19:18	EPTYPE[1:0]	端点类型（对于端点 0，此位域固定位 00） 00：控制 01：同步 10：批量 11：中断
17	NAKSTS	NAK 状态 它指示以下结果 0：模块根据 FIFO 状态回复非 NAK 握手。 1：模块在此端点上回复 NAK 握手。 当应用程序或模块将此位置 1 时。 - 停止接收 OUT 端点上的任何数据 - 对于非同步 IN 端点：即使 TX FIFO 中存在可用数据，模块也会停止通过 IN 端点发送任何数据。 - 对于同步 IN 端点：即使 TX FIFO 中存在可用数据，模块也会发送长度为零的数据包。 无论此位如何设置，模块总是通过 ACK 握手响应 SETUP 数据包。
16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15	EPACT	USB 活动端点（对于端点 0，此位固定位 1） 指示此端点在当前配置和接口中是否激活。检测到 USB 复位后，模块会为所有端点（端点 0 除外）将此位清零。接收到 SetConfiguration 和 SetInterface 命令后，应用程序必须相应地对端点寄存器进行编程并将此位置 1。
14:2	Reserved	保留，必须保持复位值。
1:0	MPLEN[1:0]	最大包长 定义了当前逻辑端点数据包的最大包长： 00：64 字节 01：32 字节 10：16 字节 11：8 字节

33.11.3.15 USBHS 设备每个 IN 端点控制寄存器（USBHS_DINEPxCTRL）(x=[1..8])

偏移地址：0x0900 + x×20

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
EPEN	EPDIS	Reserved		SNAK	CNAK	TXFNUM[3:0]				STALL	Reserved	EPTYPE[1:0]		NAKSTS	Reserved
rs	rs			w	w	rw				rs		rw		r	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
EPACT	Reserved				MPLEN[10:0]										
rw					rw										

位域	名称	描述
31	EPEN	端点使能 应用程序将此位置 1 以在端点上启动数据发送。 在此端点上触发以下任一中断之前，模块会将此位清零： – SETUP 阶段完成 – 端点禁止 – 传输完成 0：端点禁能 1：端点使能
30	EPDIS	端点禁能 应用程序将此位置 1 以停止通过端点发送/接收数据，即使该通道的传输还未完成，停止操作仍然生效。应用程序必须等待禁止端点的中断以确认端点已经被禁止。 0：端点上发送/接收数据正常 1：端点上发送/接收数据停止
29	SD1PID	设置 DATA1 PID(适用于中断和批量 IN 端点) 软件置 1 该位来置位该寄存器的 DPID 位
	SODDFRM	设置奇数帧（适用于同步 IN 端点） 软件置 1 该位来置位该寄存器的 EOFRM 位
28	SD0PID	设置 DATA0 PID(适用于中断和批量 IN 端点) 软件置 1 该位来清零该寄存器的 DPID 位
	SEVNFRM	设置偶数帧（适用于同步 IN 端点） 软件置 1 该位来清零该寄存器的 EOFRM 位
27	SNAK	设置 NAK 应用程序将此位置 1 可以控制端点上 NAK 握手信号的发送。端点上接收到 SETUP 后，模块也会将此位值 1。
26	CNAK	清除 NAK 清零 对此位进行写操作会将端点的 NAK 位清零。
25:22	TXFNUM[3:0]	Tx FIFO 编号 定义 IN 端点的 TX FIFO 编号。
21	STALL	STALL 握手 当用于非控制、非同步 IN 端点（访问类型为 rw）： 应用程序将此位置 1 使得设备对来自 USB 主机的所有令牌都回复

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		STALL。如果 NAK 位、全局 IN NAK 或全局 OUT NAK 与此位同时置 1，则 STALL 位优先。 当用于控制端点（访问类型为 rs）: 应用只可写此位，在接收 SETUP 令牌后，USBHS 清除此位。如果 NAK 位、全局 IN NAK 或全局 OUT NAK 与此位同时置 1，则 STALL 位优先。 无论此位如何设置，模块总是通过 ACK 握手响应 SETUP 数据包。
20	Reserved	保留，必须保持复位值。
19:18	EPTYPE[1:0]	端点类型 00：控制 01：同步 10：批量 11：中断
17	NAKSTS	NAK 状态 它指示以下结果 0：模块根据 FIFO 状态回复非 NAK 握手。 1：模块在此端点上回复 NAK 握手。 当应用程序或模块将此位置 1 时。 - 停止接收 OUT 端点上的任何数据 - 对于非同步 IN 端点：即使 TX FIFO 中存在可用数据，模块也会停止通过 IN 端点发送任何数据。 - 对于同步 IN 端点：即使 TX FIFO 中存在可用数据，模块也会发送长度为零的数据包。 无论此位如何设置，模块总是通过 ACK 握手响应 SETUP 数据包。
16	EOFRM	奇偶帧（适用于同步 OUT 端点） 对于同步传输，软件通过使用该位控制 USBHS 只在奇数帧或偶数帧发送数据包给 OUT 事务，如果当前帧号的奇偶性不匹配该位， USBHS 不保存数据包 0：只在偶数帧发送数据 1：只在奇数帧发送数据
	DPID	端点数据 PID（适用于中断或批量端点） 在端点或大容量传输中，有数据 PID 翻转机制，在传输开始之前，软件通过设定 SD0PID 来设置此位，按照 USB 协议中描述的数据 PID 翻转机制，USBHS 在传输过程中保持该位。 0：数据包 PID 是 DATA0 1：数据包 PID 是 DATA1
15	EPACT	USB 活动端点 指示此端点在当前配置和接口中是否激活。检测到 USB 复位后，模块会为所有端点（端点 0 除外）将此位清零。接收到 SetConfiguration 和 SetInterface 命令后，应用程序必须相应地对端点寄存器进行编程并将此位置 1。
14:11	Reserved	保留，必须保持复位值。
10:0	MPLEN	最大包长

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		定义了当前逻辑端点数据包的最大包长，此值以字节为单位。

33.11.3.16 USBHS 设备每个 IN 端点中断状态寄存器（USBHS_DINEPxINTSTS）(x=[0..8])

偏移地址：0x0908 + x×20

复位值：0x0000 0080

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	NYETIF	NAKIF	BBERRIF	PKDRPSTS	Reserved		TXFUDRIF	TXFEIF	INEPNAKEIF	INEPMISIF	TXFERINTIF	TOUTIF	AHBERRIF	EPDISIF	TXCIF
	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1			rc_w1	r	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1

位域	名称	描述
31:15	Reserved	保留，必须保持复位值。
14	NYETIF	NYET 中断标志位 当回复非同步 OUT 端点 NYET 时产生中断 0：无 NYET 中断产生 1：有 NYET 中断产生
13	NAKIF	NAK 中断标志位 当设备发出或收到 NAK 时，模块将生成该中断。如果是同步 IN 端点，由于 TX FIFO 中无数据可发而发送长度为零的数据包时也会生成该中断。 0：无 NAK 中断产生 1：有 NAK 中断产生
12	BBERRIF	串扰错误中断标志 当接收到串扰错误时置起此标志位。
11	PKDRPSTS	包丢弃状态 该位用于向应用程序指示有同步 OUT 数据包被丢弃。该位没有相应的中断屏蔽位，也不会生成中断。
10:9	Reserved	保留，必须保持复位值。
8	TXFUDRIF	TX FIFO 下溢中断标志位 该中断仅在使能了阈值时有效 0：无 NAK 中断产生 1：有 NAK 中断产生
7	TXFEIF	TX FIFO 空中断标志 当 TX FIFO 半空或全空，此标志位被置起。TX FIFO 空阈值由 USBHS_GAHBCFG. NPTXFETH 决定。
6	INEPNAKEIF	IN 端点 NAK 有效中断标志位 当应用程序通过向 USBHS_DINEPxCTRL.CNAK 位写 1 来将此位清零。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		该中断指示模块已对置 1 的 NAK 采样。 该中断指示由应用程序置 1 的 IN 端点 NAK 位已在模块中起作用。 此中断不一定表示 USB 上已发送了一个 NAK 握手信号。 STALL 位优先级高于 NAK 位。
5	INEPMISIF	端点不匹配接收 IN 令牌中断标志位 仅适用于非周期性 IN 端点，表示非周期性 TxFIFO 顶部的数据属于与接收 IN 令牌的端点不同的端点。此中断在接收到 IN 令牌的端点上被触发。
4	TXFERINTIF	TX FIFO 为空时接收到 IN 令牌中断标志位 仅适用于非周期性 IN 端点。 当和该端点相对应的 TX FIFO（周期性/非周期性）为空时，接收到 IN 令牌，从而产生中断。 0：禁能中断 1：使能中断
3	TOUTIF	超时中断标志位（非同步端点） 仅适用于控制 IN 端点。 指示该端点对最近收到的 IN 令牌响应超时。
2	AHBERRIF	AHB 错误中断标志位 0：无 AHB 中断产生 1：有 AHB 中断产生
1	EPDISIF	端点失能中断标志位 此位表示该端点由应用程序禁止。
0	TXCIF	传输完成中断标志位 此位指示在此端点上设置的传输已完成 0：传输未完成 1：传输完成中断

33.11.3.17 USBHS 设备 IN 端点 0 传输大小寄存器（USBHS_DINEP0TXSIZ）

偏移地址：0x0910

复位值：0x0000 0000

31–21	20–19	18–16
Reserved	PKTCNT[1:0]	Reserved
	rw	

15–7	6–0
Reserved	TLEN[6:0]
	rw

位域	名称	描述
31:21	Reserved	保留，必须保持复位值。
20:19	PKTCNT[1:0]	数据包计数

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		指示端点 0 的一次数据传输包含的数据包个数。 对于 IN 端点： 每次从 TX FIFO 读取数据包（最大大小数据包或短数据包）时，此字段将递减。 对于 OUT 端点： 每次往 RX FIFO 写数据包（最大大小数据包或短数据包）时，此字段将递减。
18:7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6:0	TLEN[6:0]	传输大小 指示端点 0 的一次数据传输包含的数据量，以字节为单位。仅当应用程序传输完这些数据后，模块才会中断该应用程序。传输大小可以设置为端点的最大数据包大小，以在每个数据包结束时中断。 每次向 TX FIFO 写入来自外部存储器的数据包时，模块会使此字段递减。

33.11.3.18 USBHS 设备每个 IN 端点传输大小寄存器（USBHS_DINEPxTXSIZ）(x=[1..8])

偏移地址：0x0910 + x×20

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	MCNT[1:0]		PKTCNT[9:0]										TLEN[18:16]		
	rw		rw										rw		

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TLEN[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:21	Reserved	保留，必须保持复位值。
30:29	MCNT[1:0]	多包个数 该域描述在一帧内需要传输的包的个数 01: 1 个包 10: 2 个包 11: 3 个包
28:19	PKTCNT[9:0]	数据包计数 指示端点 0 的一次数据传输包含的数据包个数。 每次从 TX FIFO 读取数据包（最大大小数据包或短数据包）时，此字段将递减。
18:0	TLEN[18:0]	传输大小 指示端点 0 的一次数据传输包含的数据量，以字节为单位。仅当应用程序传输完这些数据后，模块才会中断该应用程序。传输大小可以设置为端点的最大数据包大小，在每个数据包结束时中断。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		每次向 TX FIFO 写入来自外部存储器的数据包时，模块会使此字段递减。

33.11.3.19 USBHS 设备每个 IN 端点 DMA 地址寄存器（USBHS_DINEPxDMADD）(x=[0..8])

偏移地址：0x0914 + x×20

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
DMADD[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DMADD[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	DMADD	DMA 地址 该域定义端点的 DMA 起始地址，DMA 使用该地址为 IN 端点提取包数据，或为 OUT 端点写入包数据

33.11.3.20 USBHS 设备每个 IN 端点 TX FIFO 状态寄存器(USBHS_DINEPxTXFSTS)(x=[0..8])

偏移地址：0x0918 + x×20

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
INEPTXFSPCAVL[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	TXFSPCAVL[15:0]	IN 端点 TX FIFO 可用空间 IN 端点的 Tx FIFO 可用空间用 32 位字为单位 0：FIFO 是满的 1：1 个字可用 … n：n 个字可用

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

33.11.3.21 USBHS 设备 OUT 端点 0 控制寄存器（USBHS_DOUTEP0CTRL）

偏移地址：0x0B00

复位值：0x0000 8000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
EPEN	EPDIS	Reserved		SNAK	CNAK	Reserved				STALL	Reserved	EPTYPE[1:0]		NAKSTS	Reserved
rs	r			w	w	rw				rs		r		r	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
EPACT	Reserved													MPLEN[1:0]	
r														r	

位域	名称	描述
31	EPEN	端点使能 应用程序将此位置 1 以在端点上启动数据发送。 在此端点上触发以下任一中断之前，模块会将此位清零： – SETUP 阶段完成 – 端点禁止 – 传输完成 0：端点禁能 1：端点使能
30	EPDIS	端点禁能 应用程序无法控制 OUT 端点 0 禁能。
29:28	Reserved	保留，必须保持复位值。
27	SNAK	设置 NAK 应用程序将此位置 1 可以控制端点上 NAK 握手信号的发送。发生传输完成中断或端点上接收到 SETUP 后，模块也可以将此位值 1。
26	CNAK	清除 NAK 清零 对此位进行写操作会将端点的 NAK 位清零。
25:22	Reserved	保留，必须保持复位值。
21	STALL	STALL 握手 对于控制端点： 应用只可将此位置 1，在接收 SETUP 令牌后，USBHS 清除此位。如果 NAK 位、全局 IN NAK 或全局 OUT NAK 与此位同时置 1，则 STALL 位优先。无论此位如何设置，模块总是通过 ACK 握手响应 SETUP 数据包。
20	Reserved	保留，必须保持复位值。
19:18	EPTYPE[1:0]	端点类型（对于端点 0，此位域固定位 00） 00：控制 01：同步 10：批量 11：中断

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
17	NAKSTS	NAK 状态 它指示以下结果 0：模块根据 FIFO 状态回复非 NAK 握手。 1：模块在此端点上回复 NAK 握手。 当应用程序或模块将此位置 1 时，USBHS 停止接收数据，即使 RX FIFO 中存在可用空间。 无论此位如何设置，模块总是通过 ACK 握手响应 SETUP 数据包。
16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15	EPACT	USB 活动端点 指示此端点在当前配置和接口中是否激活，对于端点 0，此位固定位 1
14:2	Reserved	保留，必须保持复位值。
1:0	MPLEN[1:0]	最大包长 定义了当前逻辑端点数据包的最大包长： 00：64 字节 01：32 字节 10：16 字节 11：8 字节

33.11.3.22 USBHS 设备每个 OUT 端点控制寄存器（USBHS_DOUTEPxCTRL）(x=[9..15])

偏移地址：0x0B00 + x×20

复位值：0x0000 8000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
EPEN	EPDIS	SD1PID/ SODDFRM	SD0PID/ SEVNFRM	SNAK	CNAK	Reserved				STALL	Reserved	EPTYPE[1:0]		NAKSTS	EPDPID/ EPEOFRM
rs	rs	w	w	w	w					rs		rw		r	r

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
EPACT	Reserved				MPLEN[10:0]										
rw					rw										

位域	名称	描述
31	EPEN	端点使能 应用程序将此位置 1 以在端点上启动数据发送。 在此端点上触发以下任一中断之前，模块会将此位清零： – SETUP 阶段完成 – 端点禁止 – 传输完成 0：端点禁能 1：端点使能
30	EPDIS	端点禁能 应用程序将此位置 1 以停止通过端点发送/接收数据，即使该通道的传输还未完成，停止操作仍然生效。应用程序必须等待禁止端点的中断以确认

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		端点已经被禁止。 0：端点上发送/接收数据正常 1：端点上发送/接收数据停止
29	SD1PID	设置 DATA1 PID 适用于中断/批量 IN 和 OUT 端点，对此位进行写操作会将此寄存器中的端点数据 PID(DPID)字段设置为 DATA1。
	SODDFRM	设置奇数帧 仅适用于同步 IN 和 OUT 端点。软件置 1 该位来置位该寄存器的 EPEOFRM 位，设置为奇数帧。
28	SD0PID	设置 DATA0 PID 适用于中断/批量 IN 和 OUT 端点，对此位进行写操作会将此寄存器中的端点数据 PID(DPID)字段设置为 DATA0。
	SEVNFRM	设置偶数帧 仅适用于同步 IN 和 OUT 端点。软件置 1 该位来清零该寄存器的 EPEOF 位，设置为偶数帧。
27	SNAK	设置 NAK 应用程序将此位置 1 可以控制端点上 NAK 握手信号的发送。端点上接收到 SETUP 后，模块也会将此位值 1。
26	CNAK	清除 NAK 清零 对此位进行写操作会将端点的 NAK 位清零。
25:22	Reserved	保留，必须保持复位值。
21	STALL	STALL 握手 当用于非控制、非同步 IN 端点（访问类型为 rw）： 应用程序将此位置 1 使得设备对来自 USB 主机的所有令牌都回复 STALL。如果 NAK 位、全局 IN NAK 或全局 OUT NAK 与此位同时置 1，则 STALL 位优先。 当用于控制端点（访问类型为 rs）： 应用只可写此位，在接收 SETUP 令牌后，USBHS 清除此位。如果 NAK 位、全局 IN NAK 或全局 OUT NAK 与此位同时置 1，则 STALL 位优先。 无论此位如何设置，模块总是通过 ACK 握手响应 SETUP 数据包。
20	Reserved	保留，必须保持复位值。
19:18	EPTYPE[1:0]	端点类型 00：控制 01：同步 10：批量 11：中断
17	NAKSTS	NAK 状态 它指示以下结果 0：模块根据 FIFO 状态回复非 NAK 握手。 1：模块在此端点上回复 NAK 握手。 当应用程序或模块将此位置 1 时。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		- 停止接收 OUT 端点上的任何数据 - 对于非同步 IN 端点：即使 TX FIFO 中存在可用数据，模块也会停止通过 IN 端点发送任何数据。 - 对于同步 IN 端点：即使 TX FIFO 中存在可用数据，模块也会发送长度为零的数据包。 无论此位如何设置，模块总是通过 ACK 握手响应 SETUP 数据包。
16	EPDPID	端点数据包 PID 适用于中断/批量 IN 和 OUT 端点，指示当前端点接收/发送的数据包 PID，应用程序需要编程此寄存器的 bit29 和 bit28 来设置第一个接收/发送数据包的 PID。 0：DATA0 1：DATA1
	EPEOFRM	端点奇偶帧 适用于同步 IN 和 OUT 端点，指示当前端点接收/发送的数据包帧编号，应用程序需要编程此寄存器的 bit29 和 bit28 来设置第一个接收/发送数据包的帧编号。 0：偶数帧 1：奇数帧
15	EPACT	USB 活动端点 指示此端点在当前配置和接口中是否激活。检测到 USB 复位后，模块会为所有端点（端点 0 除外）将此位清零。接收到 SetConfiguration 和 SetInterface 命令后，应用程序必须相应地对端点寄存器进行编程并将此位置 1。
14:11	Reserved	保留，必须保持复位值。
10:0	MPLEN	最大包长 定义了当前逻辑端点数据包的最大包长，此值以字节为单位。

33.11.3.23 USBHS 设备每个 OUT 端点中断状态寄存器（USBHS_DOUTEPxINTSTS）(x=[0,9..15])

偏移地址：0x0B08 + x×20

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
STUPPRXIF	NYETIF	NAKIF	BBERRIF	PKDRPSTS	Reserved		OUTPCKERRIF	Reserved	B2BSTUPRIF	STSPRXIF	OUTTRXEPDISIF	STUPPDNEIF	AHBERRIF	EPDISIF	TXCIF
rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1			rc_w1		rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1	rc_w1

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
15	STUPPRXIF	SETUP 包接收中断标志位 适用于 DMA 模式下的控制 OUT 端点。由 USBHS 设置，该位指示此缓冲区包含 8 字节的 SETUP 数据。每个缓冲区只包含一个 SETUP 数据包。在接收到 SETUP 数据包后，USBHS 关闭缓冲区并且禁能相应的端点。应用程序必须重新启用端点以接收控制传输的任何 OUT 数据并重新编程缓冲区的起始地址。 0：没接收到 SETUP 包 1：接收到 SETUP 包
14	NYETIF	NYET 中断标志位 当回复非同步 OUT 端点 NYET 时产生中断 0：无 NYET 中断产生 1：有 NYET 中断产生
13	NAKIF	NAK 中断标志位 当设备发出或收到 NAK 时，模块将生成该中断。如果是同步 IN 端点，由于 TX FIFO 中无数据可发而发送长度为零的数据包时也会生成该中断。 0：无 NAK 中断产生 1：有 NAK 中断产生
12	BBERRIF	串扰错误中断标志 当接收到串扰错误时置起此标志位。
11	PKDRPSTS	包丢弃状态 该位用于向应用程序指示有同步 OUT 数据包被丢弃。该位没有相应的中断屏蔽位，也不会生成中断。
10:9	Reserved	保留，必须保持复位值。
8	OUTPCKERRIF	OUT 包错误中断标志位 适用于非同步 OUT 包。当检测到 OUT 数据包溢出或 CRC 错误时，将触发此中断。仅当启用了阈值控制时，此中断才有效。
7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6	B2BSTUPRIF	连续 SETUP 数据包接收 适用于控制 OUT 端点。当已经连续接收到超过三个连续的 SETUP 数据包时此位被置起。
5	STSPRXIF	控制写入的状态阶段已接收 适用于控制 OUT 端点。此中断仅在 USBHS 已将主机在控制写入传输的数据阶段中发送的所有数据传输到系统内存缓冲区后生成。 此中断向应用程序指示主机已从控制写入传输的数据阶段切换到状态阶段。应用程序可以使用此中断来在解码数据阶段后 ACK 或 STALL 状态阶段。
4	OUTTRXEPDISIF	当端点禁用时接收到 OUT 令牌 适用于控制 OUT 端点。此位置 1 时指示在端点尚未启用时接收到一个 OUT 令牌。
3	STUPPDNEIF	SETUP 阶段完成 仅适用于控制 OUT 端点。表示控制端点的 SETUP 阶段已完成，并且当

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		前控制传输中没有再收到连续的 SETUP 数据包。在该中断上，应用程序可以对接收到的 SETUP 数据包进行解码。
2	AHBERRIF	AHB 错误中断标志位 0：无 AHB 中断产生 1：有 AHB 中断产生
1	EPDISIF	端点禁能中断标志位 此位表示该端点由应用程序禁止。 0：无端点禁能中断产生 1：有端点禁能中断产生
0	TXCIF	传输完成中断标志位 此位指示在此端点上设置的传输已完成 0：传输未完成 1：传输完成中断

33.11.3.24 USBHS 设备 OUT 端点 0 传输大小寄存器（USBHS_DOUTEP0TXSIZ）

偏移地址：0x0B10

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	STUPPCNT[1:0]		Reserved									PKTCNT	Reserved		
	rw														

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved									TLEN[6:0]						
												rw			

位域	名称	描述
31	Reserved	保留，必须保持复位值。
30:29	STUPPCNT[1:0]	SETUP 包计数 此位域指示接收到连续 SETUP 包的个数 01：1 个包 10：2 个包 11：3 个包
28:20	Reserved	保留，必须保持复位值。
19	PKTCNT[1:0]	数据包计数 每向 RX FIFO 写入一个数据包，此字段递减为 0

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
18:7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6:0	TLEN[6:0]	传输大小 指示端点 0 的一次数据传输包含的数据量，以字节为单位。仅当应用程序传输完这些数据后，模块才会中断该应用程序。传输大小可以设置为端点的最大数据包大小，以在每个数据包结束时中断。 每次从 RX FIFO 读取数据包并写入外部存储器时，此字段都会递减。

33.11.3.25 USBHS 设备每个 OUT 端点传输大小寄存器（USBHS_DOUTEPxTXSIZ）(x=[9..15])

偏移地址：0x0B10 + x×20

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	RXDPID[1:0]/ STUPPCNT[1:0]		PKTCNT[9:0]										TLEN[18:16]		
	rw		rw										rw		

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TLEN[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:21	Reserved	保留，必须保持复位值。
30:29	RXDPID[1:0]	接收到的数据 PID 适用于同步 OUT 端点。这是此端点收到的上一个数据包的 PID。 00：DATA0 01：DATA2 10：DATA1 11：MDATA
	STUPPCNT[1:0]	SETUP 包计数 适用于控制 OUT 端点，此位域指示接收到连续 SETUP 包的个数 01：1 个包 10：2 个包 11：3 个包
28:19	PKTCNT[9:0]	数据包计数 指示端点 x 的一次数据传输包含的数据包个数。 每次数据包（最大大小数据包或短数据包）写入 RX FIFO 后，此字段将递减。
18:0	TLEN[18:0]	传输大小 指示端点 x 的一次数据传输包含的数据量，以字节为单位。仅当应用程序传输完这些数据后，模块才会中断该应用程序。传输大小可以设置为端点的最大数据包大小，在每个数据包结束时中断。 每次从 RX FIFO 读出数据并将其写入外部存储，此字段将递减。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

33.11.3.26 USBHS 设备每个 OUT 端点 DMA 地址寄存器（USBHS_DOUTEPxDMADD）(x=[0,9..15])

偏移地址：0x0B14 + x×20

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
DMADD[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DMADD[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	DMADD	DMA 地址 该域定义端点的 DMA 起始地址，DMA 使用该地址为 IN 端点提取包数据，或为 OUT 端点写入包数据

33.11.4 USBHS 电源控制寄存器

33.11.4.1 USBHS 电源控制寄存器（USBHS_PWRCTRL）

偏移地址：0x0E00

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								DSLEEP	PHY SLEEP	Reserved		PDMRST	Reserved	GATE HCLK	PHYSTP
								r	r			rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:8	Reserved	保留，必须保持复位值。
7	DSLEEP	深度睡眠 此位表示 PHY 处于深度睡眠状态
6	PHYSLEEP	PHY 处于睡眠状态 此位指示 PHY 处于睡眠状态。
5:4	Reserved	保留，必须保持复位值。
3	PDMRST	复位断电模块

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：电源上电 1：电源断电
2	Reserved	保留，必须保持复位值。
1	GATEHCLK	门控 HCLK 当 USBHS 处于挂起或会话无效时，应用程序可将此位置 1，以停止对除 AHB 总线从接口、主接口和唤醒逻辑之外的模块提供时钟。当 USBHS 恢复通信或有新会话启动时，应用程序将此位清零
0	PHYSTP	停止 PHY 时钟 当 USBHS 处于挂起状态、会话无效或设备已断开连接时，应用程序可将此位置 1 停止 PHY 时钟。当 USB 恢复或新的会话启动时，应用程序会清除此位。

33.11.4.2 USBHS 电源控制寄存器 1（USBHS_PWRCTRL1）

偏移地址：0x0E04

复位值：0x0000 0000

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								DSLEEP	PHY SLEEP	Reserved		PDMRST	Reserved	GATE HCLK	PHYSTP
								rw	rw			rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:4	Reserved	保留，必须保持复位值。
3	RAMCLKEN	RAM 时钟门控使能 0：禁能 RAM 时钟门控 1：使能 RAM 时钟门控
2:1	CNT	门控时钟计数 此位域指示控制器在相应 PHY 和 AHB 时钟向控制器内部的门控时钟过渡之前，控制器等待的 PHY 时钟周期 00：64 个时钟 01：128 个时钟
0	GATEN	使能活动门时钟 0：失能活动门时钟 1：使能活动门时钟

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

34 以太网（ETH）

34.1 简介

支持一个以太网外设模块，ETH 包含 10/100Mbps 以太网 MAC。ETH 模块采用专用 DMA 优化数据帧的发送与接收性能，支持 MII、RMII 与物理层（PHY）通讯的标准接口，实现以太网数据帧的发送与接收。以太网模块遵守的标准如下：

- IEEE 802.3-2015，用于以太网 MAC、MII
- IEEE 1588-2008，用于精确网络时间同步
- AMBA 2.0，用于 AHB 主端口和 AHB 从端口
- RMII 联盟的 RMII 规范 1.2 版

34.2 主要特性

34.2.1 MAC 特性

MAC Tx 和 Rx 通用特性

- 为应用提供独立的传输、接收和控制接口
- 支持以下 PHY 接口实现 10/100Mbps 数据传输速率：
  - MII，用于与外部快速以太网 PHY 通信
  - RMII，用于与外部快速以太网 PHY 通信
- 半双工操作：
  - 支持 CSMA/CD 协议
  - 支持背压流量控制
- 应用端 32 位数据传输接口
- 全双工流控操作（IEEE 802.3x 暂停数据包和优先级流量控制）
- 支持通过 RMON 或 MIB 计数器（RFC2819/RFC2665）进行强制网络统计
- IEEE 1588-2002 和 IEEE 1588-2008 中描述的以太网数据包时间戳（在 PTP 数据包的 Tx 或 Rx 状态中给出 64 位时间戳）
- 支持固定秒脉冲输出（PPS）
- 支持用于配置和管理 PHY 器件的 MDIO（Clause 22 和 Clause 45）主接口

MAC Tx 特性

- 发送路径上插入前导码和 SFD
- 为应用程序传输的每个数据包提供单独的 32 位状态

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 基于每个数据包自动生成 CRC 和填充字节（PAD）
- 可编程数据包长度，以支持标准以太网数据包或高达 16KB 的巨型以太网数据包
- 可编程数据包间隙（40~96 位，步进长度为 8）
- IEEE 802.3x 流量控制会在流控输入从有效到无效的转换时自动传输零等待暂停数据包(全双工模式下)

MAC Rx 特性

- 接收路径上自动剥离 PAD 和 CRC
- 接收路径上删除前导码和 SFD
- 可编程看门狗超时限制
- 灵活的地址过滤：
  - 4 个 48 位完美目的地址（DA）过滤器，每个字节都有掩码
  - 4 个 48 位源地址（SA）比较检查过滤器，每个字节都有掩码
  - 64 位哈希过滤器（Hash），适用于多播和单播（DA）地址
- 支持传送所有多播地址数据包
- 支持混合模式，不进行过滤，直接传送所有数据包，用于网络监控
- 传送所有传入数据包时（每次过滤时）均附有一份状态报告
- 附加的数据包过滤：
  - 基于 VLAN 标签：完美匹配和哈希过滤（基于外部或内部 VLAN 标签进行过滤）
- 支持 IEEE 802.1Q VLAN 标签检测和删除接收数据包中的 VLAN 标签
- 检测远程唤醒包和 AMD 魔术包
- 转发接收的暂停数据包至应用程序（全双工模式下）

34.2.2 事务层（MTL）特性

MTL Tx 和 Rx 通用特性

- 32 位事务层模块（连接应用程序和 MAC）
- 使用包分隔符优化面向数据包的传输
- 基于同步 FIFO 控制器的单端口 RAM
- 可编程突发（burst）长度，可达 MTL Rx 队列或 Tx 队列大小的一半，以支持 MTL 配置中的突发数据传输
- 每个队列具备可编程阈值能力（阈值默认 64 字节）

MTL Tx 特性

- 2KB 具有可编程阈值能力的发送 FIFO
- 发送路径上支持一个队列

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 存储转发模式或阈值模式（直通模式）
- 半双工模式下自动重传冲突报文
- 延迟冲突、过度冲突、过度延迟和欠载（underrun）时丢弃数据包
- 计算和插入 IPv4 报头校验和，以及 TCP、UDP 或 ICMP 校验和
- 通过为发送 FIFO 中丢弃的数据包（由于下溢）生成脉冲来进行统计
- 数据包级的控制：
  - 时间戳控制
  - CRC 和 PAD 控制

MTL Rx 特性

- 2KB 具有可配置阈值的接收 FIFO
- 接收路径上支持一个队列
- 在 EOP/EOF 之后（阈值模式）和 SOP/SOF 之前，将 Rx 状态向量插入 Rx 队列
- 阈值模式（直通模式）下，可编程 Rx 队列阈值（默认固定 64 字节）
- 存储转发模式下，可以在接收时过滤所有错误数据包并且不将其转发至应用程序
- 支持转发矮小（长度不足）无误的数据包
- 通过为接收 FIFO 中丢失的数据包（由于溢出）生成脉冲来进行统计
- 根据 Rx 队列的填充级别自动生成暂定数据包控制信号或背压信号到 MAC

34.2.3 DMA 特性

- 32 位数据传输
- 发送路径和接收路径中分别具有单独的 DMA
- 以数据包分隔符优化面向数据包的 DMA 传输
- 支持以字节对齐的方式对数据缓存区寻址
- 支持双缓冲区（环形）描述符
- 描述符架构允许在最少 CPU 干预的情况下传输大数据块（每个描述符可传输多达 32K 字节的数据）
- 全面报告正常运行和传输错误的状态
- Tx DMA 和 Rx DMA 引擎的突发长度可单独编程，以优化主机总线利用率
- 可编程多种不同操作条件下所对应的中断
- 基于数据包的发送或接收完成中断控制
- 接收和发送引擎之间支持轮询或固定优先级仲裁
- 启动和停止模式
- 用于主机 CSR（控制状态寄存器）访问和主机数据接口的独立端口

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

34.2.4 总线接口特性

AHB 主接口特性

- 32 位数据，用于应用数据的访问
- 小端模式
- 软件选择 AHB 突发类型（固定突发、不确定突发或两者混合突发）

AHB 从接口特性

- 32 位数据，用于 CSR 的访问
- 小端模式
- 支持所有突发类型

34.2.5 监控、测试和调试特性

- MII 接口下 Loopback 模式，用于调试
- DMA 状态（Tx 和 Rx）作为状态位
- 调试状态寄存器，给出发送和接收路径中 FSM 的状态和 FIFO 填充级别
- 应用程序中止状态位
- MMC（RMON）模块
- 当前 Tx 或 Rx 缓冲区指针作为状态寄存器
- 当前 Tx 或 Rx 描述符指针作为状态寄存器
- 可通过从端口访问 Tx 或 Rx 队列内存，用于调试

34.3 功能框图

以太网外设主要由以下 4 个功能模块组成：

- 控制和状态寄存器模块（**CSR**）

  由以太网外设所有内部控制寄存器和状态寄存器组成的 CSR 空间，通过 AHB 32 位从接口进行访问。

- 直接存储器访问控制模块（**DMA**）

  包含 1 个用于接收的物理通道和 1 个用于发送的物理通道。用于控制通过 AHB 32 位主接口在 MAC 和系统存储器之间进行的数据传输。

- MAC 事务层模块（**MTL**）

  用于控制应用和 MAC 之间的数据流。

- 介质访问控制模块（**MAC**）

  用于实现以太网协议。

此外，还包含协议适配模块以支持 RMII PHY 介质独立接口。以太网外设功能框图如图 34-1 所示。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

34.3.1 DMA

DMA 具有独立的发送（Tx）和接收（Rx）引擎以及一个 CSR 空间。Tx 引擎将数据从系统存储器传输到 MTL，而 Rx 引擎将数据从 MTL 传输到系统存储器。

DMA 引擎可以在应用 CPU 最小干预的情况下，通过描述符高效地将数据从源传输到目的地。DMA 专为面向数据包的数据传输（如以太网中的数据包）而设计。DMA 控制器经过编程后，可在完成数据包发送和接收的传输时以及其他正常或错误条件下向应用 CPU 提供中断。

34.3.2 MTL

MAC 事务层（MTL）提供 FIFO 存储器接口，用于缓冲和调节应用系统存储器与 MAC 之间的数据包。它还能在应用时钟域和 MAC 时钟域之间传输数据。MTL 层有两个数据路径：发送路径和接收路径。两个方向的数据路径宽度均为 32 位。

MTL 通过发送路径上的应用发送接口（ATI）和接收路径上的应用接收接口（ARI）与应用通信。MTL 还提供 MAC 控制接口（MCI）作为控制路径。

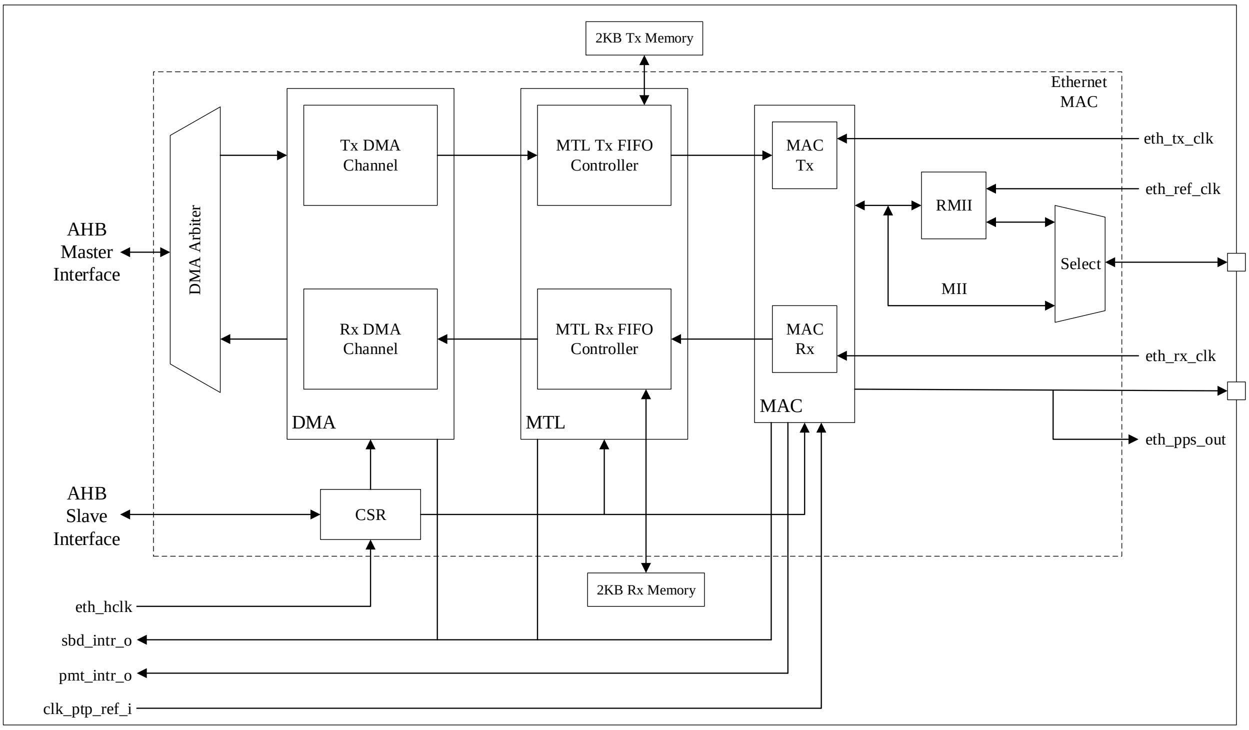
34.3.3 MAC

MAC 负责以太网协议数据包的处理。在发送模式下，MAC 从 MTL 模块的 Tx FIFO 接收数据，然后再将其传送到 PHY 接口。在接收模式下，MAC 从 PHY 接口接收数据，然后再将其传送到 MTL 模块的 Rx FIFO。

MAC 支持多个 PHY 芯片接口。PHY 接口只能在复位后选择一次。MAC 通过 MAC 发送接口（MTI）、MAC 接收接口（MRI）和 MAC 控制接口（MCI）与应用端通信。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 34-1 以太网功能框图



A: PHY interfaces

B: ETH_PPS_OUT output to IO

34.4 引脚和信号

本章节列出了连接到 GPIO 的以太网输入/输出信号，同时也将列出并解释图 34-1 中以及下文中涉及的以太网内部信号。具体描述如表 34-1 和表 34-2 所示：

表 34-1 以太网外设引脚

引脚名称	功能名称	描述
PB7,PB8,PE2	ETH_MII_TXD3	发送数据线 3，仅 MII 使用
PC1	ETH_MDC	站管理接口时钟信号
PC2	ETH_MII_TXD2	发送数据线 2，仅 MII 使用
PC3	ETH_MII_TX_CLK	发送时钟信号，10Mbps 时 2.5MHz，100Mbps 是 25MHz，仅 MII 使用
PA0	ETH_MII_CRS	载波侦听信号，仅 MII 使用
PA1	ETH_MII_RX_CLK/ETH_RMII_REF_CLK	参考时钟信号，50MHz，仅 RMII 使用
PA2	ETH_MDIO	站管理接口数据线
PA3	ETH_MII_COL	冲突检测信号，仅 MII 使用
PA7,PD8	ETH_MII_RX_DV/ETH_RMII_CRS_DV	MII 时为接收数据有效信号，RMII 时为载波侦听和接收数据有效信号的复用信号
PC4,PD9	ETH_MII_RXD0/ETH_RMII_RXD0	接收数据线 0，MII 和 RMII 共用
PC5,PD10	ETH_MII_RXD1/ETH_RMII_RXD1	接收数据线 1，MII 和 RMII 共用
PB0,PD11	ETH_MII_RXD2	接收数据线 2，仅 MII 使用

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

引脚名称	功能名称	描述
PB1,PD12	ETH_MII_RXD3	接收数据线 3，仅 MII 使用
PB10	ETH_MII_RX_ER	接收错误信号，仅 MII 使用
PA5,PB11,PG11	ETH_MII_TX_EN/ETH_RMII_TX_EN	发送数据使能信号，MII 和 RMII 共用
PB12,PC10,PG13	ETH_MII_TXD0/ETH_RMII_TXD0	发送数据线 0，MII 和 RMII 共用
PB13,PB15,PG12,PG14	ETH_MII_TXD1/ETH_RMII_TXD1	发送数据线 1，MII 和 RMII 共用
PB5,PB6,PG8	ETH_PPS_OUT	秒脉冲输出信号

表 34-2 以太网内部信号

信号名称	I/O 类型	描述
eth_hclk	数字输入	AHB 时钟
sbd_intr_o	数字输出	以太网模块全局中断信号，该信号为由 DMA、MTL 和 MAC 相关中断信号作逻辑与运算后的输出信号
sbd_perch_tx_intr_o[0]	数字输出	DMA 发送通道 0 中断信号
sbd_perch_rx_intr_o[0]	数字输出	DMA 接收通道 0 中断信号
pmt_intr_o	数字输出	接收到魔术包或远程唤醒数据包时的中断信号，该信号连接到 EXTI Line24
clk_ptp_ref_i	数字输入	PTP 参考时钟输入信号，该时钟信号源为 HCLK
eth_tx_clk	数字输入	MII 发送时钟
eth_ref_clk	数字输入	RMII 参考时钟
eth_rx_clk	数字输入	MII 接收时钟
eth_pps_out	数字输出	秒脉冲输出信号，特指输出到 CAN 等其他外设模块的信号，输出到 GPIO 的秒脉冲信号为大写的：ETH_PPS_OUT
phy_intr_i	数字输入	外部 PHY 中断输入信号，支持连接到任意 GPIO，与 EXTI Line11 的输入前端复用后输出到以太网模块，MAC 检测该信号的上升沿并触发 PHY 中断

34.5 功能描述

34.5.1 DMA 功能描述

DMA 和应用程序通过以下 2 种数据结构进行通信：

- 控制和状态寄存器（CSR）
- 描述符列表和数据缓冲区

DMA 支持 1 个 Tx 和 1 个 Rx 描述符列表（或 DMA 通道）。列表的基地址分别写入 DMA 通道 0 发送描述符列表地址寄存器和 DMA 通道 0 接收描述符列表地址寄存器。描述符列表是前向链接的，下一个描述符总是在当前描述符的固定偏移量上。偏移量由 DMA 通道 0 控制寄存器的 DSL 字段控制。列表中描述符的数量在相应的 Tx（或 Rx）描述符环长度寄存器中进行编程。处理完列表中的最后一个描述符后，DMA 会自动跳回列表地址寄存器中的描述符，以创建一个描述符环。

描述符列表位于应用程序的物理内存地址空间中。每个描述符最多可指向系统内存中的两个缓冲区。这样就可以使用两个物理地址的缓冲区，而不是内存中连续的缓冲区。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

数据缓冲区位于应用程序物理内存空间中，由整个数据包或部分数据包组成，但不能超过一个数据包。缓冲区只包含数据。缓冲区状态保存在描述符中。数据链是指跨越多个数据缓冲区的数据包。但是，单个描述符不能跨越多个数据包。检测到 EOP 时，DMA 会跳至下一个数据包的数据缓冲区。

以太网外设支持 DMA 描述符的环形结构。有关描述符的更多信息，请参阅下文的描述符章节，其中介绍了描述符结构以及 DMA 访问描述符的方式。

34.5.1.1 总线突发访问

DMA 引擎会尝试以各自 DMA 的发送控制寄存器和接收控制寄存器的 PBL 字段中编程的最大突发长度传输数据。Rx 和 Tx 描述符总是以最大可能（受 PBL 或 16*8/总线宽度限制）的突发长度访问，以读取 16 个字节。根据应用接口协议（AHB）的要求和 DMA 系统总线模式寄存器的设置，DMA 发起的突发传输可分为多个突发传输。

只有当 MTL Tx 队列（FIFO）中有足够空间容纳以下任一情况时，Tx DMA 才会启动数据传输：

- 与配置突发（PBL*总线宽度/8）相对应的字节
- Tx 缓冲区中不包含 EOP 的剩余字节
- 到 EOP 的字节数

Rx DMA 在以下条件下启动数据传输：

- MTL Rx 队列中有足够的数据容纳所配置的突发
- 在 Rx 队列中检测到 EOP（当 EOP 小于配置的突发长度时）

DMA 向 AHB 主接口指示起始地址和所需的传输次数。当 AHB 接口配置为固定长度突发时，它会使用 INCR4、INCR8 或 INCR16 和 SINGLE 事务的最佳组合来传输数据。如果在 AHB 接口上的定长突发结束前达到 EOP，则会依次执行虚拟传输以完成定长突发。否则（DMA 系统总线模式寄存器的第 0 位被复位），DMA 将使用 INCR（未定义长度）和 SINGLE 事务传输数据。

当 AHB 接口配置为地址对齐节拍时，两个 DMA 引擎都会确保 AHB 启动的第一个突发传输小于或等于配置的 PBL 大小。因此，所有后续节拍都从与配置的 PBL 对齐的地址开始。对于 AHB 接口，DMA 只能对齐大小不超过 16（PBL＞16 时）的节拍地址，因为它不支持 INCR16 以上。

34.5.1.2 数据缓冲区对齐

Tx 和 Rx 数据缓冲区对起始地址对齐没有任何限制。例如，在具有 32 位内存的系统中，缓冲区的起始地址可以与四个字节中的任何一个对齐。但是，DMA 在启动写传输时，总是将地址对齐到总线宽度，并在无效字节通道中使用虚拟数据（旧数据）。这种情况通常发生在传输以太网数据包的开始或结束时。软件驱动程序应根据缓冲区的起始地址和数据包的大小丢弃虚拟字节。

表 34-3 数据缓冲区对齐示例

访问操作	描述
读缓冲区	如果 Tx 缓冲区地址为 32'h00000FF2（32 位数据总线），需要传输 15 个字节，则 DMA 会从地址 32'h00000FF0 读取 5 个整字。但在向 MTL Tx 队列传输数据时，多余的字节（前两个字节）会被丢弃或忽略。同样，最后一次传输的最后 3 个字节也会被忽略。DMA 始终确保向 MTL Tx 队列传输完整的 32 位数据，除非是数据包的末尾。
写缓冲区	如果接收缓冲区地址为 32'h0000FF2（32 位数据总线），并且要传输 16 个字节的接收数据包，则 DMA 会从地址 32'h00000FF0 写入 5 个整字。但是，第一次传输的前 2 个字节和最后一次传输的后 2 个字节为虚拟数据。只有当偏移地址是数据包的第一个 Rx 缓冲区时，DMA 才会考虑该地址。DMA

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

访问操作	描述
	会忽略偏移地址，并对数据包的中间和最后一个 Rx 缓冲区执行全字写入。

34.5.1.3 缓冲区大小计算

DMA 不更新 Tx 和 Rx 描述符中的大小字段。DMA 只更新描述符的状态字段（RDES 和 TDES）。驱动程序必须执行大小计算。

Tx DMA 向 MAC 传输准确的字节数（由 TDES2 的缓冲区大小字段指示）。如果描述符被标记为第一个（TDES3 的 FD 位被置位），则 DMA 会将缓冲区的第一次传输标记为 SOP。如果某个描述符被标记为最后一个（TDES3 的 LD 位被置位），则 DMA 会将该数据缓冲区的最后一次传输标记为 EOP，并将其传输至 MTL。

Rx DMA 将数据传输到缓冲区，直到缓冲区满或从 MTL 接收到数据包尾。当描述符的 FD 位被设置时，缓冲区中的有效数据量由缓冲区大小字段（已在 DMA 通道接收控制寄存器中编程）减去数据缓冲区指针偏移量来准确指示。当数据缓冲指针与数据总线宽度对齐时，偏移量为零。如果描述符被标记为最后一个，则缓冲区可能未满（如 DMA 通道 0 接收控制寄存器的位[14:1]中的缓冲区大小所示）。要计算最后一个缓冲区中的有效数据量，驱动程序必须读取数据包长度（RDES3[14:0]的 PL 位），然后减去该数据包中前几个缓冲区的缓冲区大小之和。Rx DMA 始终使用新描述符传输下一个数据包的起始部分。

注：即使 Rx 缓冲区的起始地址与系统总线的数据宽度不一致，系统也应分配一个大小与系统总线宽度一致的 Rx 缓冲区。例如，如果系统从地址 0x1000 开始分配一个 1024 字节（1KB）的 Rx 缓冲区，软件可将 Rx 描述符中的缓冲区起始地址编程为 0x1002 偏移量。Rx DMA 将数据包写入该缓冲区，并在前两个位置(0x1000 和 0x1001）写入虚拟数据。实际数据包从 0x1002 位置写入。因此，由于起始地址偏移，尽管缓冲区大小编程为 1024 字节，但该缓冲区的实际有用空间为 1022 字节。

34.5.1.4 DMA 仲裁

DMA 模块内部的仲裁器对 AHB 主接口的 Tx 和 Rx 通道访问进行仲裁。支持以下两种仲裁类型：

■ 循环仲裁

  当 DMA 模式寄存器的第 1 位复位，且 Tx 和 Rx DMA 同时请求访问时，仲裁器按照 DMA 模式寄存器中的位[14:12]设置的比例分配数据总线。

■ 固定优先级仲裁

  当设置 DMA 模式寄存器的第 1 位置 1 时，默认情况下 Rx DMA 的数据访问优先级始终高于 Tx DMA。当 DMA 模式寄存器的第 11 位也被置 1 时，Tx DMA 优先级高于 Rx DMA。

34.5.1.5 发送操作：非 OSP 模式

Tx DMA 引擎在非 OSP 模式下（默认模式）的运行流程如下：

1. 在为数据缓冲区设置好相应的以太网数据包数据后，应用配置发送描述符（TDES0~TDES3）并将 Own 位（TDES0[31]）置 1。
2. 应用对发送通道的描述符尾指针偏移值进行移位。
3. DMA 从应用内存中获取描述符。
4. 如果 DMA 检测到以下情况之一，则暂停（挂起）该通道的传输，并设置相应 DMA 通道状态寄存器的 bit2 和 bit16，发送引擎进入步骤 10：
   – 描述符标记为应用所有（TDES3[31] = 1'b0）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 在环形描述符列表模式下，描述符尾指针等于当前描述符指针
- 出现错误条件

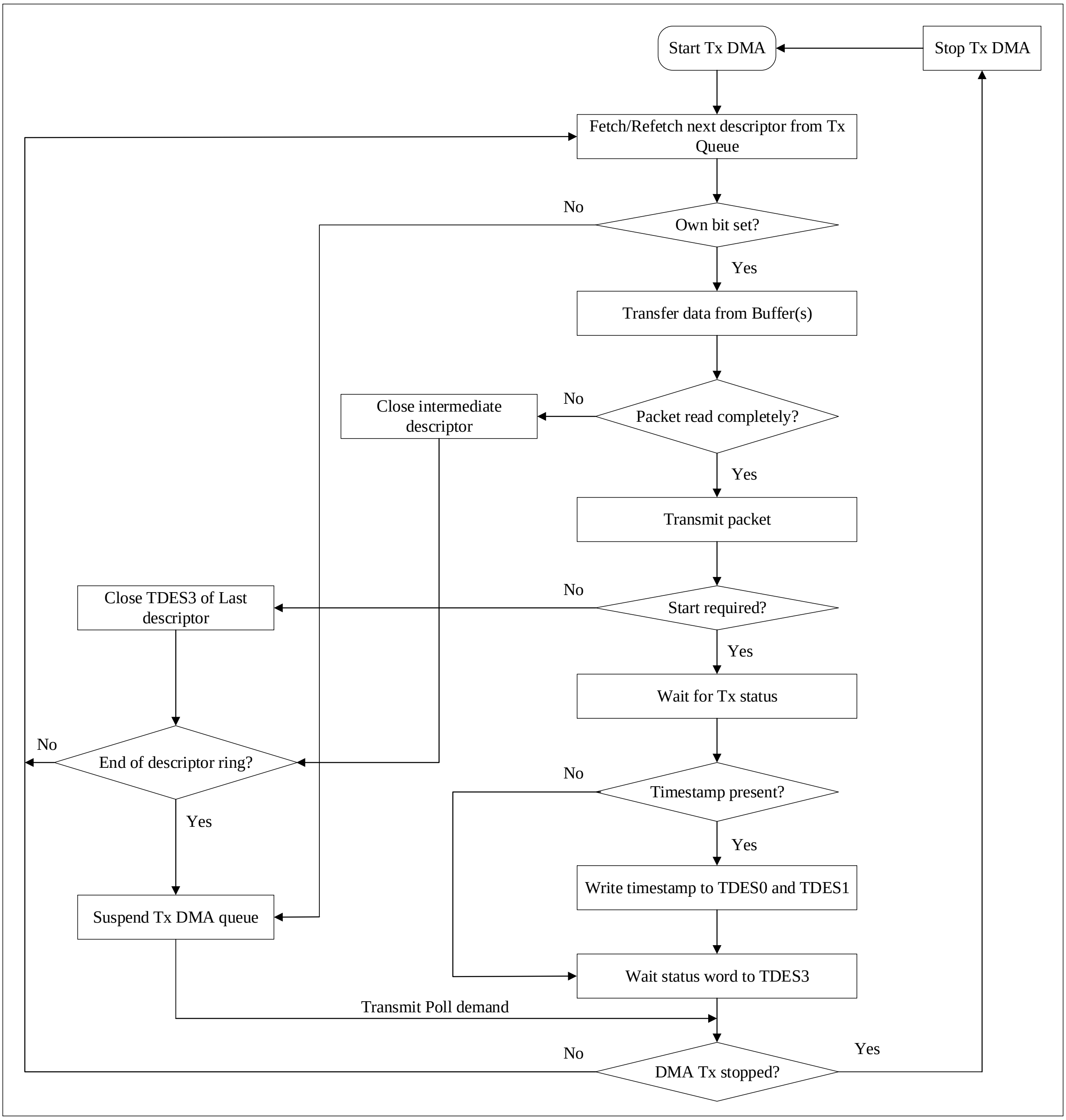
5. 如果获取的描述符被标记为 DMA 所有（TDES3[31] = 1'b1），则 DMA 将从获取的描述符中解码发送数据缓冲区地址。
6. DMA 从系统内存中获取发送数据，并将数据传输到 MTL 进行传输。
7. 如果以太网数据包存储在多个描述符的数据缓冲区中，DMA 会关闭中间描述符并获取下一个描述符。重复步骤 3 至步骤 6，直到以太网数据包的末尾数据传输到 MTL。
8. 数据包传输完成后，如果使能了数据包的 IEEE 1588 时间戳功能（如 Tx 状态所示），则会将从 MTL 获取的时间戳值写入包含 EOP 缓冲区的 Tx 描述符（TDES0 和 TDES1）。状态信息将写入此 Tx 描述符（TDES3）。应用现在拥有该描述符，因为 Own 位在此步骤中被清零。

   如果该数据包未使能时间戳功能，则 DMA 不会更改 TDES0 和 TDES1 的内容。
9. 如果数据包的最后描述符中设置了"完成时中断"（TDES2[31]），则数据包传输完成后，相应通道状态寄存器的第 0 位将被置位。DMA 引擎返回步骤 3。
10. 在暂停（挂起）状态下，DMA 会尝试再次获取描述符（从而返回步骤 3）。当接收到发送轮询需求且下溢中断状态位被清零时，向 DMA 通道 0 发送描述符尾指针寄存器写入任意值即可触发轮询需求命令。如果应用程序清零了 DMA 通道 0 发送控制寄存器的第 0 位，从而停止了 DMA，则 DMA 进入停止状态。

Tx DMA 在非 OSP 模式下的操作流程图如下：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 34-2 Tx DMA 操作流程图（非 OSP 模式）



34.5.1.6 发送操作：OSP 模式

在运行状态下，如果 DMA 通道 0 发送控制寄存器中的第 4 位被置 1，则发送进程可同时获取两个数据包，而无需关闭第一个数据包的状态描述符。发送进程完成第一个数据包的传输后，会立即轮询发送描述符列表以获取第二个数据包。如果第二个数据包有效，发送进程会在写入第一个数据包的状态信息之前传输该数据包。

在 OSP 模式下，运行状态下的 Tx DMA 按以下顺序操作：

1. DMA 按照 Tx DMA（默认模式）的步骤 1 至步骤 6 进行操作。
2. DMA 在不关闭上一个数据包的最后一个描述符的情况下获取下一个描述符。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

3. 如果 DMA 拥有所获取的描述符，则 DMA 会解码该描述符中的发送缓冲区地址。如果 DMA 不拥有该描述符，则 DMA 进入暂停（挂起）模式并跳至步骤 7。
4. DMA 从系统内存中获取发送数据包，并将数据包传输到 MTL，直到 EOP 数据传输完毕，如果该数据包被拆分到多个描述符中，则关闭中间描述符。
5. DMA 等待数据包发送状态和前一个数据包的时间戳。当状态可用时，DMA 会将时间戳写入 TDES0 和 TDES1（如果捕获了时间戳（如状态位所示））。DMA 会清零 Own 位，并将状态写入相应的 TDES3，从而关闭描述符。如果上一个数据包未使能时间戳功能，则 DMA 不会更改 TDES2 和 TDES3 的内容。
6. 发送中断被设置（如果使能）。DMA 获取下一个描述符并进入步骤 3（状态正常时）。如果上一次传输状态显示下溢错误，则 DMA 进入暂停模式（步骤 7）。
7. 在暂停模式下，如果从 MTL 接收到暂停状态和时间戳，DMA 会执行以下操作：
   - 将时间戳（如果当前数据包使能）写入 TDES0 和 TDES1
   - 将状态写入相应的 TDES3
   - 设置相关中断并返回暂停模式

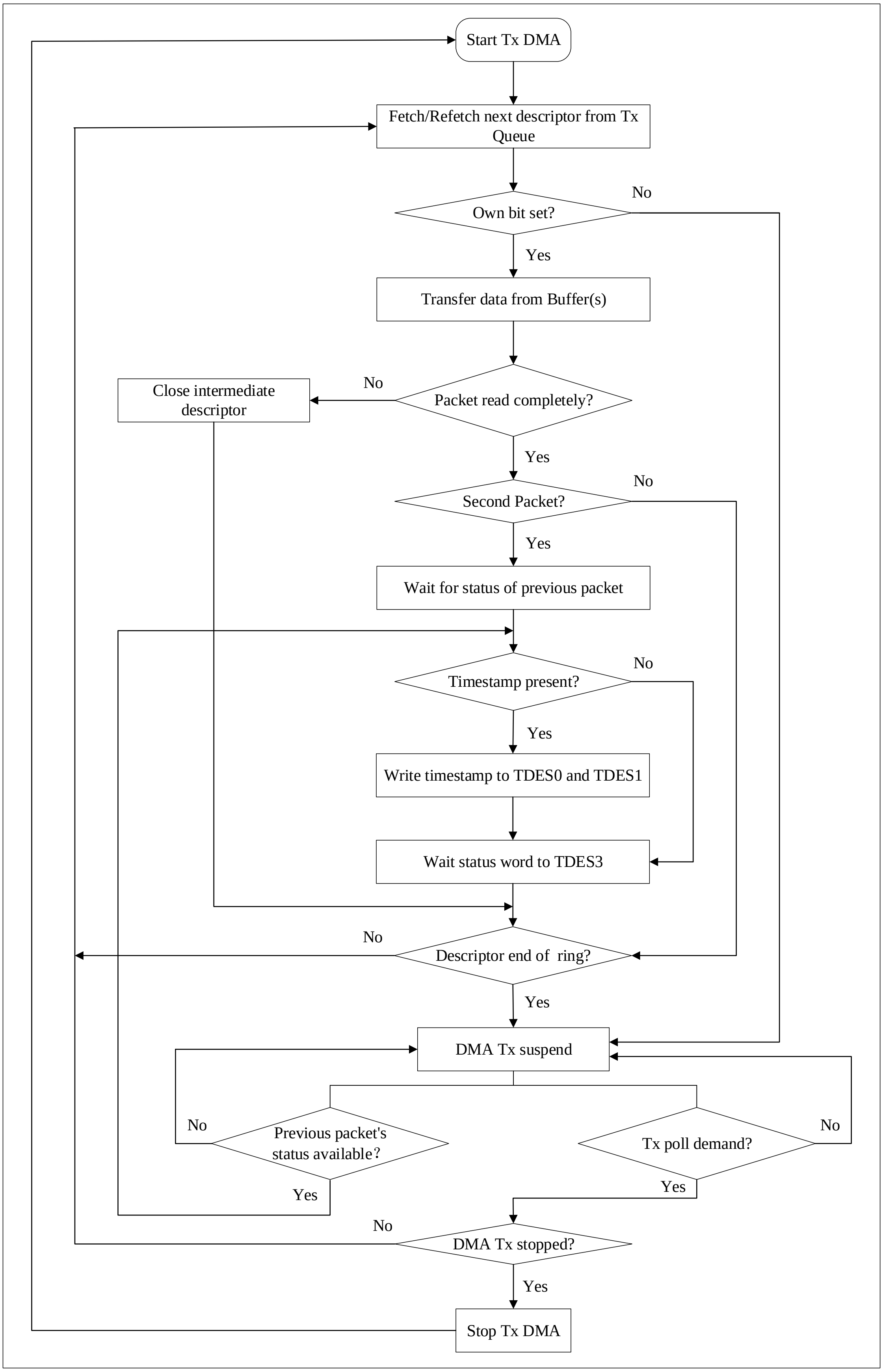
   如果没有暂停状态，且应用程序通过清零 DMA 通道 0 发送控制寄存器的第 0 位来停止 DMA，则 DMA 进入停止状态。
8. 只有在 DMA 通道 0 发送描述符尾指针寄存器中接收到发送轮询需求后，DMA 才能退出暂停模式，进入运行状态（根据暂停状态跳转到步骤 1 或步骤 2）。

注：DMA 会在关闭当前描述符之前获取下一个描述符。因此，描述符环长度必须大于两个。建议描述符长度至少为四个。在 OSP 模式下，除最后一个描述符外的所有描述符都会立即关闭。最后一个描述符会在数据包在线路上传输后关闭。因此，为了最大限度地降低复杂性，发送状态和所需的控制位将在前一个数据包的暂停的最后一个描述符中更新。

Tx DMA 在 OSP 模式下的操作流程图如下：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 34-3 Tx DMA 操作流程图（OSP 模式）



国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

34.5.1.7 发送数据包处理

Tx DMA 期望数据缓冲区包含完整的以太网数据包，不包括前导码、填充字节（PAD）和 FCS 字段。DA、SA 和类型/长度字段包含有效数据。如果 Tx 描述符指示 MAC 必须禁用 CRC 或 PAD 插入，则缓冲区必须包含包括 CRC 字节的完整以太网数据包（不包括前导码）。

数据包可以是数据链，也可以跨越多个缓冲区。数据包必须由 FD 位（TDES3[29]）和 LD 位（TDES3[28]）定界。传输开始时，第一个描述符的 FD 位必须设置为 1。此时，数据包数据将从应用缓冲区传输到 MTL Tx 队列。与此同时，如果当前数据包的 LD 位（TDES3[28]）为 0，则发送进程会尝试获取下一描述符，并且发送进程期望该描述符的 FD 位为 0。如果 LD 位为 0，则表示有一个中间缓冲区。如果 LD 位置 1，则表示数据包的最后一个缓冲区。

发送完数据包的最后一个缓冲区后，DMA 会将最终状态信息写回到 LD 位（TDES3[28]）置 1 的描述符的 TDES3 中。此时，如果设置了"完成时中断"（TDES2[31]），则 DMA 通道 0 状态寄存器的第 0 位会被置 1，然后获取下一个描述符，并重复上述过程。在出现以下任一情况后，开始实际数据包的发送：

- MTL 发送队列达到可编程的发送阈值（MTL 发送队列操作模式寄存器的位[6:4]）
- FIFO 中包含一个完整的数据包

也可以使用存储转发模式（设置 MTL 发送队列操作模式寄存器的第 1 位）。在此模式下，当 DMA 完成数据包传输时，描述符将被释放（清零 Own 位（TDES0[31]））。

注：为确保正确传输数据包和下一个数据包，必须为 LD 位（TDES3[28]）置 1 的发送描述符指定一个非零的缓冲区大小。

34.5.1.8 发送轮询暂停

发送轮询可在以下任何条件下暂停（挂起）：

- DMA 检测到描述符所属于应用程序（TDES3[31]=0）。

  若要恢复，驱动程序必须将描述符所有权移交给 DMA，然后通过写入尾指针寄存器发出轮询需求命令。如果 DMA 因上述情况进入暂停状态，则 DMA 通道 0 状态寄存器的 bit15 和 bit2 将被置 1。

- 当检测到发送错误时，数据包传输会因溢出而中止。

  相应的发送描述符 3（TDES3）位将置 1。出现这种情况时，以下寄存器位将被置 1，信息被写入 TDES3，导致传输中止：

  – DMA 通道 0 状态寄存器的 bit14

  – MTL 队列中断状态控制寄存器的 bit0

- DMA 检测到尾指针等于其关闭的当前描述符。

  若要恢复，软件驱动程序必须修改尾指针寄存器。

在所有情况下，发送列表中的位置都会保留。保留的位置是 DMA 关闭最后一个描述符后的描述符位置。在纠正了暂停原因后，驱动程序必须明确发出发送轮询需求命令。

34.5.1.9 接收操作

在接收路径中，DMA 从 MTL 接收队列中读取数据包，并将其写入 DMA 通道的数据包数据缓冲区。Rx DMA 引擎的运行流程如下：

1. 应用程序设置 Rx 描述符（RDES0~RDES3）和 Own 位（RDES3[31]设置为 1）。应用程序必须在 DMA

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.

地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦

电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100

网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

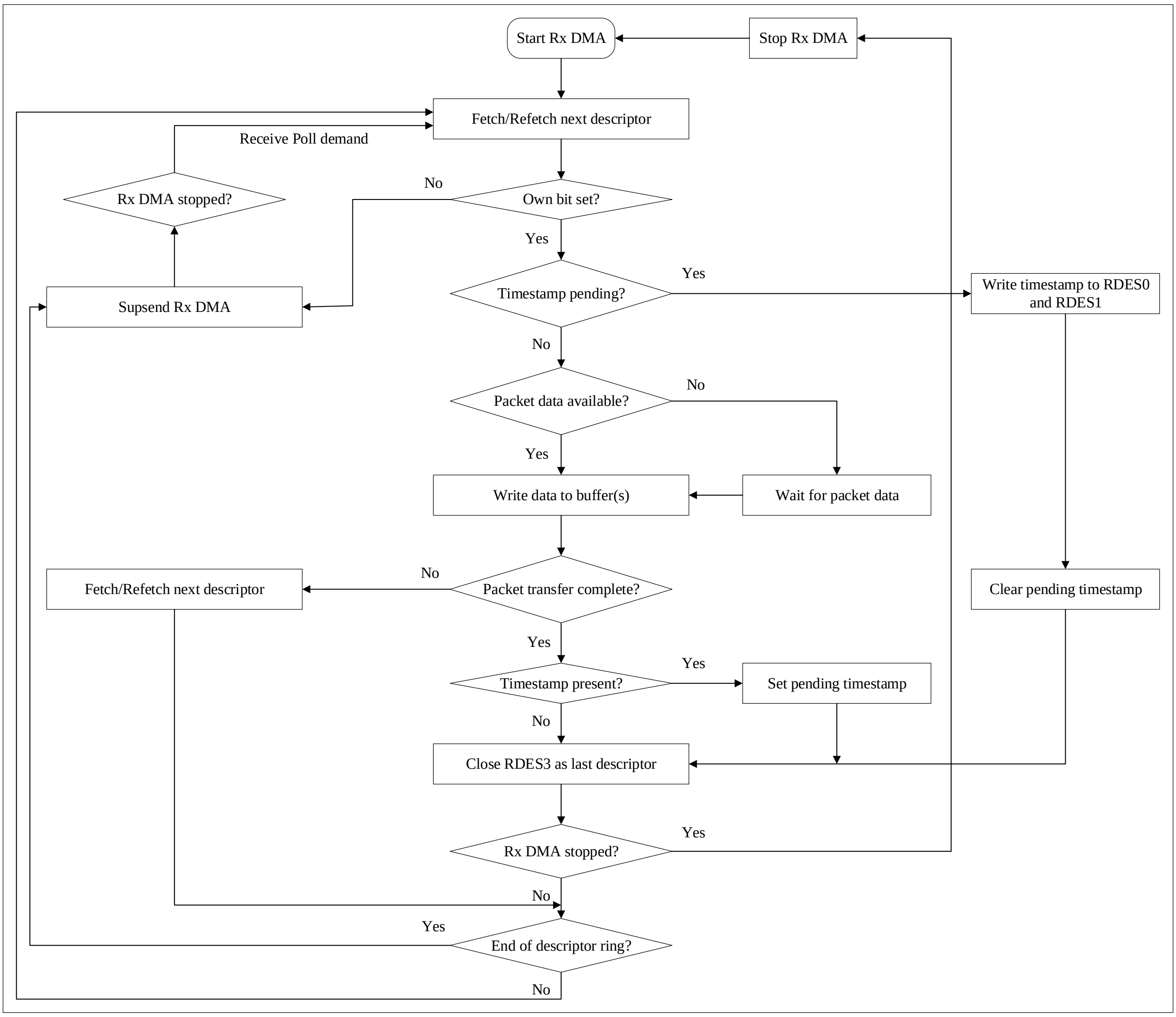
通道的接收描述符尾指针寄存器中设置正确的值。

2. DMA 通道 0 接收控制寄存器的 bit0 置 1 时，DMA 进入运行状态。DMA 根据 Rx 当前描述符和描述符尾指针寄存器的值查找空闲的描述符。如果没有空闲描述符，则 DMA 通道进入挂起（暂停）状态，并跳转至步骤 11。
3. DMA 在环路中获取下一个可用描述符，并从获取的描述符中解码接收数据缓冲区地址。
4. 如果使能了 IEEE 1588 时间戳，且上一个数据包的时间戳可用，则 DMA 会将时间戳（如果可用）写入当前描述符的 RDES0 和 RDES1，并将 CTXT 字段（RDES3[30]）置 1。
5. DMA 处理接收到的数据包，并将其存储至所获取描述符的数据缓冲区。
6. 如果当前数据包传输未完成，DMA 会将当前描述符作为中间描述符而关闭，并跳转至步骤 10。
7. DMA 从 MTL 获取接收帧（数据包）的状态，并将状态字写入当前描述符，同时清零 Own 位并设置最后描述符位（LD）为 1。
8. DMA 将帧长度写入 RDES3，将 VLAN 标签写入 RDES0。DMA 还会将 MAC 控制帧操作码、OAM 控制帧代码和扩展状态信息（如果可用）写入最后描述符的 RDES1。
9. 如果使能了 IEEE 1588 时间戳功能，DMA 会存储时间戳（如果可用）。DMA 在当前数据包的最后一个描述符之后写入上下文描述符（在下一个可用描述符中）。
10. 如果 Rx DMA 描述符环中有更多可用描述符，则跳转至步骤 3；否则转到挂起（暂停）状态（步骤 11）。
11. 当接收到接收轮询需求且应用程序将通道的接收尾指针寄存器增加时，Rx DMA 将退出暂停状态。引擎跳转至步骤 2 并重新获取下一个描述符。

Rx DMA 的操作流程图如下：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 34-4 Rx DMA 操作流程图



34.5.1.10 接收描述符获取

接收引擎总是尝试在接收到数据包时获取额外的描述符。如果满足以下任一条件，就会尝试获取描述符：

- DMA 通道 0 接收控制寄存器的 bit0 在进入运行状态后立即被置 1。
- 描述符尾指针寄存器的值领先于 Rx DMA 获取的当前描述符。
- 控制器已完成数据包接收，但当前接收描述符尚未关闭。
- 已发出接收轮询需求（更新尾指针寄存器）。

34.5.1.11 接收数据包处理

接收数据包的处理顺序如下：

1. 只有当数据包通过地址过滤时，MAC 才会将接收到的数据包传输到 MTL 存储器（FIFO）。如果数据包未通过地址过滤，则会在 MAC 模块中将其丢弃（除非 MAC 数据包过滤器寄存器的 bit31 被置 1）。
2. 如果数据包大小大于或等于为 MTL 的 Rx 队列设置的可配置阈值字节数，或在存储转发模式下将完整数据包写入队列时，MTL 模块会请求 DMA 模块开始将数据包数据传输到当前描述符指向的接收缓冲

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

区。

由于冲突或过早终止，小于 64 字节的数据包将从 MTL 接收队列中删除。

3. 当 DMA 应用接口（AHB 或 MDC）准备就绪时，它将传输数据并设置以下内容：
   - 如果数据包适合单个描述符，则 DMA 同时将最后描述符标志位（RDES3[28]）和第一个描述符标志位（RDES3[29]）置 1。
   - 如果数据包适合多个描述符，则 DMA 将第一个描述符标志位（RDES3[29]）置 1 以定界数据包。
4. DMA 通过将 Own 位（RDES3[31]）重置为 1'b0 来释放描述符，原因可能是接收缓冲区已满或数据包的最后一段已传输到接收缓冲区。接收到的数据包状态将在最后一个描述符中更新。
5. 如果在数据包的第一个和最后一个描述符之间的任何一个描述符中设置了完成时中断使能（RDES3[30]）位，且 DMA 通道 0 中断使能寄存器的 bit6 被设置为 1，则 DMA 会将 DMA 通道 0 状态寄存器的 bit6 置 1。

   除非 DMA 遇到标记为应用程序所有的描述符，或者环路中不再有描述符，否则将重复相同的过程。当 DMA 发现应用程序拥有的描述符时，如果 DMA 通道 0 中断使能寄存器的 bit7 被设置为 1，则接收进程会将 DMA 通道 0 状态寄存器的 bit7 置 1，然后进入暂停状态。接收列表中的位置保持不变。

34.5.1.12 对 DMA 的错误响应

对于由 DMA 通道启动的任何数据传输，如果从设备回复错误响应，DMA 将停止所有操作，并更新 DMA 通道 0 状态寄存器中的错误位（REB 和 TEB）和致命总线错误位。应用程序可以复位以太网外设，或重新初始化 DMA 描述符列表并重新开始。

34.5.2 MTL 功能描述

发送路径：应用模块通过 ATI 驱动与发送路径相关的所有事务。内部 DMA 通过 ATI 处理传输路径的所有事务。应用程序或内部 DMA 将从应用程序或系统内存读取的以太网数据包推入 Tx 队列（FIFO）。然后，当达到队列阈值（阈值模式）或队列中有完整数据包（存储转发模式）时，数据包会被弹出并传输到 MAC。传输完 EOP 时，从 MAC 获取发送状态并回传至应用程序或内部 DMA。发送队列的默认大小为 2K 字节。队列的填充级别会指示给应用程序或内部 DMA（使用 PBL 和水印），以便它能从应用程序或系统内存中按所需的突发启动数据获取。应用程序或内部 DMA 通过 ATI 接口指示作为数据包定界符的 SOP 和 EOP。

接收路径：MTL Rx 模块从 MAC 接收数据包并将其推入 Rx 队列（FIFO）。当队列达到配置的接收阈值（MTL 接收队列操作模式寄存器的 RTC 字段）或接收到完整数据包时，队列的状态将指示给应用程序或内部 DMA。MTL 还会指示队列的填充级别，以便 DMA 向 AHB 接口启动预先配置的突发传输。

34.5.2.1 发送操作

以下两种操作模式可触发向 MAC 弹出数据：

- 阈值模式：

  在阈值（或直通）模式下，一旦队列中的字节数超过所配置的阈值级别（或在超过阈值之前写入数据包的结尾），数据就会被准备好弹出并转发到 MAC。阈值级别通过 MTL 发送队列操作模式寄存器中的 TTC 字段进行配置。

- 存储转发模式：

  在存储转发模式下，MTL 只有在以下一个或多个条件为真时，才会向 MAC 弹出数据包：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

– 队列中存储了一个完整的数据包

– Tx FIFO 几乎已满

– ATI 水印变低

当请求的队列没有空间容纳 ATI 上请求的突发长度时，水印变低。因此，MTL 在存储转发模式下工作时，即使数据包长度大于 Tx 队列大小，也允许数据包传输。

应用程序可通过设置 MTL 队列发送操作模式寄存器中的 bit0（FTQ）来清除 Tx 队列的全部内容。该位具有自清除功能，可将队列指针初始化为默认状态。如果在数据包从 MTL 传输到 MAC 的过程中将 FTQ 位置 1，MTL 将停止进一步传输，因为队列被认为是空的。因此，MAC 发送器会发生下溢事件。

34.5.2.2 单数据包发送操作

当内核以非 OSP 模式运行时，即 DMA 通道 0 发送控制寄存器的 bit4（OSP）设置为 0 时，以下流程有效。

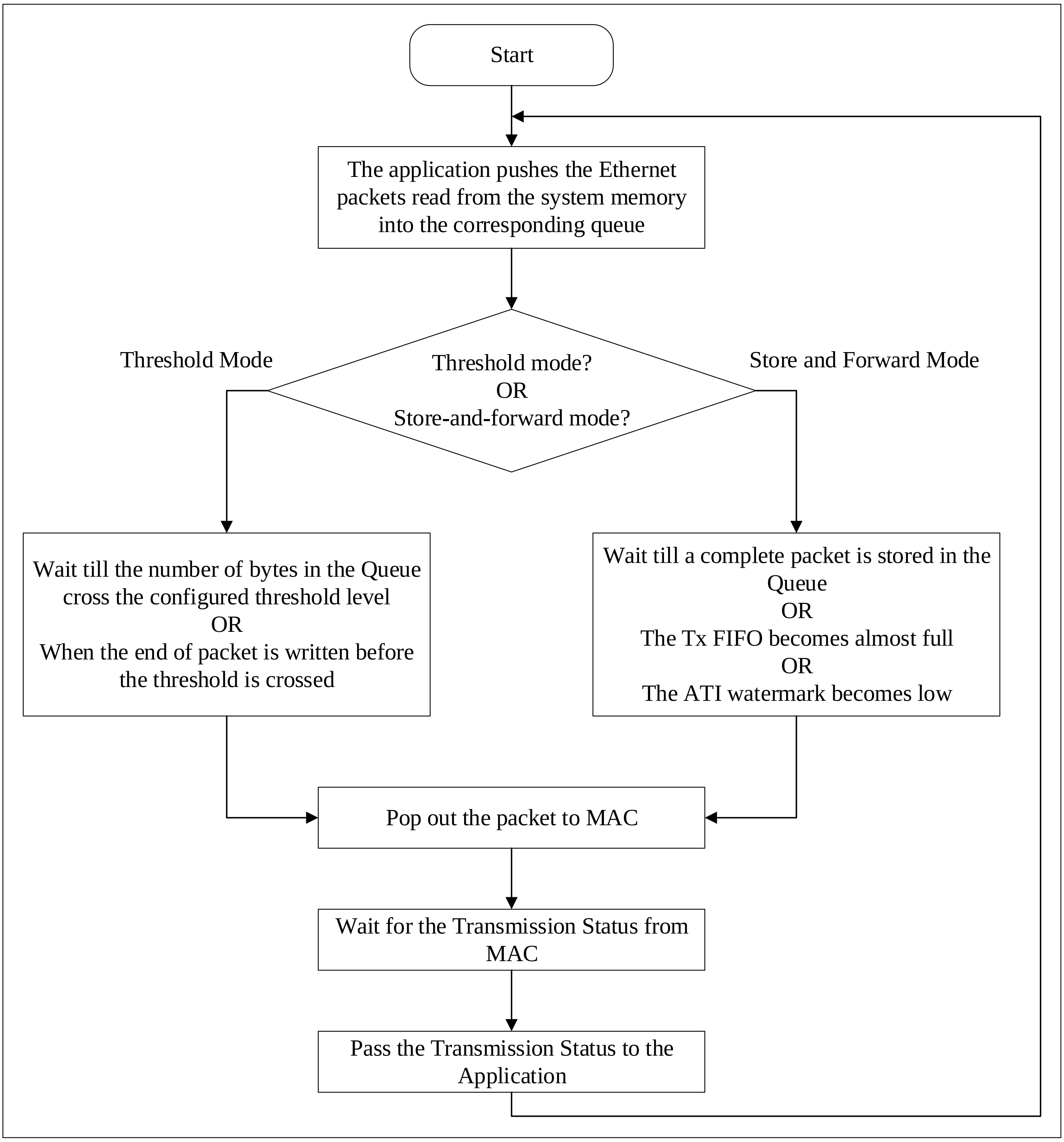
在发送操作期间，MTL 模块是 DMA 控制器的从设备。发送操作事件的一般顺序如下：

1. 如果系统有数据要传输，DMA 控制器（如果使能）通过 AHB 从应用程序获取数据，并开始将数据转发到 MTL。DMA 描述符存储器包含与数据包控制相关的信息，用于驱动 ATI 控制字。DMA 数据缓冲区存储器包含数据包数据。
2. MTL 将从 DMA 接收到的数据推入 Tx 队列。这一过程一直持续到 EOP 传输完毕。
3. 当达到阈值级别或队列接收到一个完整的数据包时，MTL 将读取数据包数据并将其传送到 MAC。
4. 队列控制器继续从队列中传输数据，直到一个完整的数据包传输到 MAC。
5. 数据包传输完成后，MTL 从 MAC 接收状态并通知 DMA 控制器。

MTL 单数据包发送流程图如下：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 34-5 MTL 单数据包发送流程图



注：当 MTL 操作模式寄存器的 bit1（DTXSTS）设置为 1 时，MTL 不会向 DMA 提供任何状态。

34.5.2.3 双数据包发送操作

当内核以 OSP 模式运行时，即 DMA 通道 0 发送控制寄存器的 bit4（OSP）设置为 1 时，双数据包发送流程才有效。

双数据包发送流程与单数据包发送操作章节中描述的流程类似。不过，在获取一个数据包后，DMA 不会等待状态，而是继续获取系统内存中可用的另一个数据包。因此，MTL 可以在处理第一个数据包的同时接收第二个数据包。这种流程提高了性能，因为 DMA 可以在等待第一个数据包的状态之前，背靠背地处理两个

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

数据包。

34.5.2.4 冲突期间的重传

当数据包从 MTL 传输到 MAC 时，在半双工模式下，MAC 线路接口上可能会发生冲突事件。在 EOP 从 MTL 传输之前，MAC 就会通过给出状态向 MTL 发出重新尝试的指示。然后，MTL 从队列中再次弹出数据包，使能重传。

在向 MAC 读出超过 96 个字节后，队列控制器将释放该空间，供应用程序或 DMA 推入更多数据。这就意味着，在超过该阈值后或当 MAC 指示发生后期冲突事件时，将无法进行重传。

当数据包传输因下溢而中止，且紧接着发生冲突事件（启动重试）时，重试的优先级高于中止。

34.5.2.5 发送状态字

在向 MAC 传输以太网数据包包尾以及 MAC 完成数据包发送后，MTL 将提供有效发送状态。发送状态的详细说明与 TDES3 正常描述符回写格式的位[17:0]相同，具体信息请参阅描述符章节。如果使能了 IEEE 1588 时间戳功能，MTL 还将在返回数据包的 64 位时间戳以及 ATI 的传输状态。

可对 MTL 操作模式寄存器的 bit1（DTXSTS）进行编程，禁用应用程序或 DMA 从状态 FIFO 读取状态字的依赖性。

34.5.2.6 接收操作

在接收操作期间，MTL 是 MAC 的从设备。事件发生的一般顺序如下：

1. 当 MAC 接收到数据包时，它会指示接收数据的有效性。
2. MAC 指示 SOP 和 EOP 定界符。
3. MTL 接收数据并将其推入 Rx 队列。
4. EOP 传输完成后，MAC 驱动状态字，该状态字也由 MTL 推入 Rx 队列。

   注：在阈值（直通）模式下，状态字存储在数据包的 EOP 之后。在存储转发模式下，在写入 SOP 之前保留最大状态字的位置，并在写入 EOP 之后将状态字写入保留的位置。

5. 如果 IEEE 1588 时间戳功能已使能，并且 64 位时间戳与数据包状态一起可用，它将作为状态字的一部分被推入 Rx 队列。因此，在 32 位数据总线模式下，每个数据包需要额外占用两个位置来在 Rx 队列中存储时间戳。
6. MTL 从队列中取出数据，并根据模式将其发送至 DMA：

   - 阈值模式：

     在（默认）阈值模式下，当出现以下情况之一时，MTL 将读取数据并向应用程序或 DMA 指示其有效性：

     – 与阈值量相等的数据字节数被写入 Rx 队列（MTL 接收队列操作模式寄存器的 RTC 字段）

     – 队列接收到一个完整的数据包

   - 存储转发模式：

     在存储转发模式下（当 MTL 接收队列操作模式寄存器的 bit5 设置为 1 时），在写入 SOP 之前，会为状态字保留 Rx 队列的初始位置。数据包只有在完全写入 Rx 队列后才会被读出。在这种模式下，所有错误数据包都会被丢弃（如果通过 MTL 接收队列操作模式寄存器的 bit4 进行了配置），这样

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

只有有效数据包才能被读取并转发给应用程序。

34.5.2.7 多数据包接收操作

在阈值模式下，数据包状态紧随数据包数据之后。在存储转发模式下，数据包状态之后才是数据包数据。只要队列未满，MTL 就能将任意数量的数据包存储到队列中。

如果 MAC 在 Rx 队列已满时接收到数据包，则 MTL 会忽略该数据包。此外，MTL 还会递增 MTL 接收队列丢失和上溢数据包计数寄存器中的上溢计数器。

34.5.2.8 接收操作中的错误处理

如果 MTL Rx 队列在收到来自 MAC 的 EOP 数据之前已满，则会发生以下情况：

1. 声明溢出
2. 丢弃整个数据包（包括状态字）
3. 溢出计数器递增（MTL 接收队列的上溢计数寄存器）

即使 MTL 接收队列操作模式寄存器的 bit4（FEP）被置 1，情况也是如此。

如果此类数据包的起始地址已传输至读控制器，则数据包的其余部分将被丢弃，并向队列写入一个虚拟 EOP 以及带上溢状态的状态字。该状态表示由于溢出而产生了一个不完整数据包。在此类数据包中，数据包长度字段无效。如果 MTL 接收队列配置为存储转发模式，且接收到的数据包长度超过队列大小，则会发生溢出，并丢弃所有此类数据包。

如果使能 MTL 接收队列操作模式寄存器的 FEP 位和 FUP 位，MTL Rx 控制逻辑可过滤错误和大小不足的数据包。如果此类数据包的起始地址已传输至 Rx 队列的读控制器，则不会过滤该数据包。当数据包越过 MTL 接收队列操作模式寄存器的 RTC 字段设置的接收阈值后，数据包的起始地址将被传送至读控制器。

如果 MTL 接收队列配置为存储转发模式，则可以过滤和丢弃所有错误数据包。MTL 停止向应用程序（DMA）传输数据。它在内部读取数据包的其余部分并丢弃。然后，MTL 开始传输下一个数据包（如有）。

34.5.2.9 接收状态字

如多数据包接收操作章节中所述，阈值模式下 Rx 数据包状态字在数据包数据之后发送到应用，存储转发模式下 Rx 数据包状态字在数据包数据之前发送到应用。接收状态的详细说明与 RDES3 正常描述符回写格式相同，具体信息请参阅描述符章节。

34.5.3 MAC 功能描述

34.5.3.1 MAC 发送

MAC 发送流程如下：

1. 当 MTL 应用程序在 SOP 信号有效的情况下推入数据时，会启动发送。
2. 检测到 SOP 信号时，MAC 接受数据并开始向 MII 传输。应用启动发送后，将数据包传输到 MII 所需的时间取决于各种延迟因素，如 IPG 延迟、发送前导码或 SFD 的时间，以及半双工模式下的任何回退延迟。
3. EOP 传输到 MAC 后，MAC 会执行以下操作之一：
   – MAC 完成正常发送并向 MTL 提供发送状态。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

– 如果在发送过程中发生正常碰撞（在半双工模式下），则 MAC 向 MTL 发出发送状态，并设置重试位。MAC 发出重试请求，直到以下情况之一为真：

  - 数据包成功发送
  - 达到最大重试请求次数

  当达到最大重试请求次数时，MAC 会以"过度冲突发送状态"中止数据包发送。MAC 接受并丢弃所有其他数据，直到收到下一个 SOP。MTL 模块应在检测到来自 MAC 的重试请求（在状态中）时，从 SOP 重新发送同一数据包。

– 如果出现以下任何一种情况，MAC 将中止数据包发送：

  - 无载波（半双工模式）
  - 丢失载波（半双工模式）
  - 过度延迟（半双工模式）
  - 延迟冲突（半双工模式）
  - Jabber

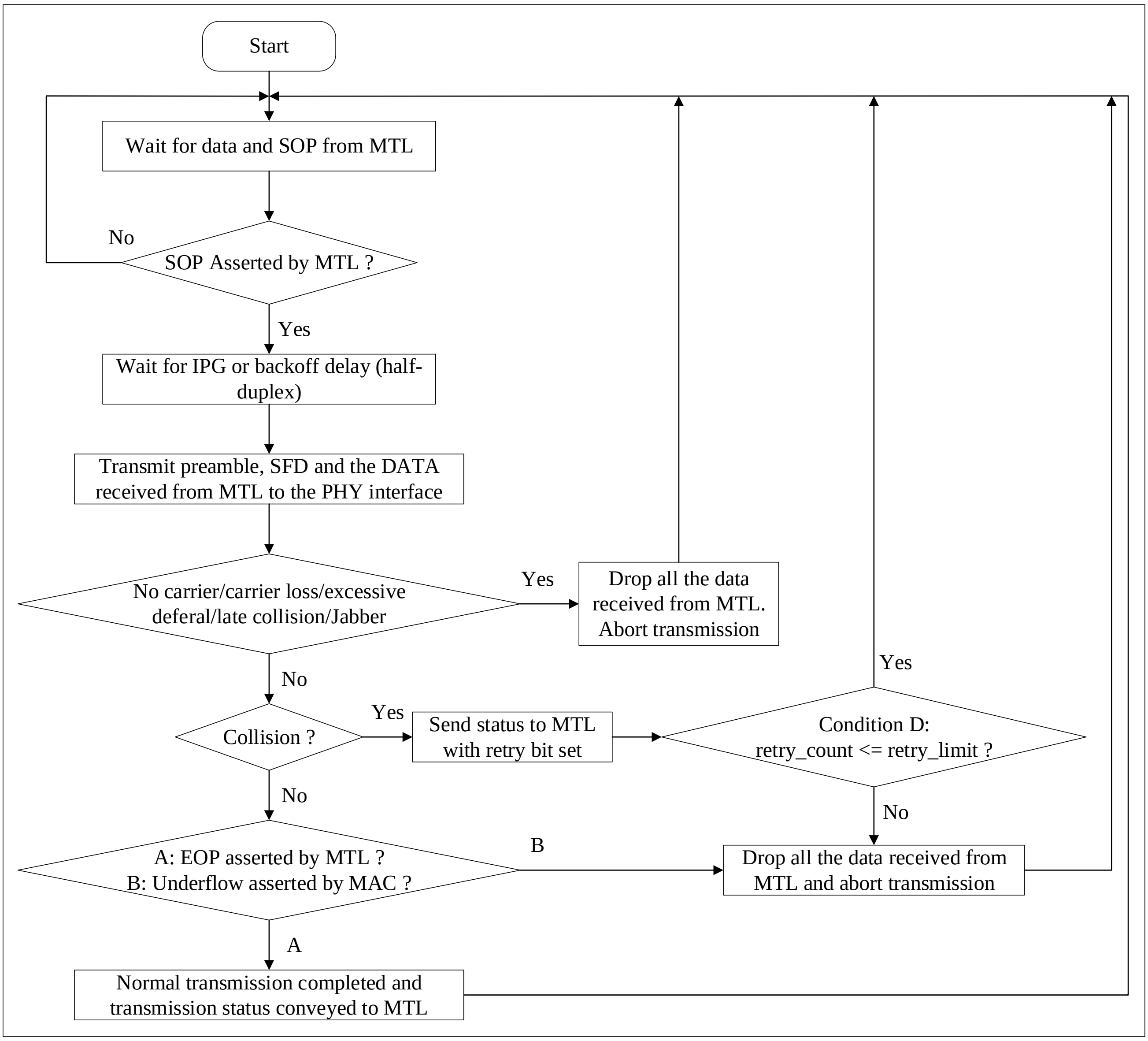
  MAC 接受并丢弃所有其他数据，直到收到下一个 SOP。

4. 如果 MTL 无法在传输过程中连续提供数据，MAC 就会发出下溢状态。在收到下一个 SOP 之前，MAC 会接受并丢弃所有其他数据。
5. 在从 MTL 传输数据包的正常过程中，如果 MAC 收到一个 SOP，但没有收到前一个数据包的 EOP，则会忽略该 SOP，并将新数据包视为前一个数据包的延续。

MAC 发送的流程图如下：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 34-6 MAC 发送流程图



34.5.3.2 发送总线接口单元模块

MAC 发送总线接口单元（TBU）接受 32 位宽总线数据，并在 MII 接口的发送时钟上运行。

TBU 模块通过 FIFO 接口连接 MAC 的发送路径和外部数据包。

TBU 模块执行以下功能：

- 在正常发送或冲突结束时，向应用程序输出（32 位）发送状态
- 将发送快照寄存器的值输出到 MTI 的时间戳信号，并将状态有效信号置为高电平
- 通过交换字节通道和相应的字节使能，执行数据总线的大小端转换
- 将输入数据转换为 8 位总线，送往发送数据包控制器

34.5.3.3 发送数据包控制器模块

发送数据包控制器（TPC）模块由一个寄存器组组成，用于保存从 TBU 接收到的数据和最后的数据控制。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

寄存器在应用程序和发送协议引擎（TPE）之间提供一个缓冲区，以调节数据流。

当从应用程序接收到的字节数少于 60（DA+SA+LT+DATA）时，与 TBU 接口的状态机会自动在发送的数据包中附加零。这样做是为了使数据长度正好为 46 字节（前提是使能了 CRC 和 PAD 插入功能），以满足 IEEE 802.3 的最小数据字段要求。

帧校验序列（FCS）字段的循环冗余校验（CRC）在传输到 TPE 模块之前进行计算。该值由发送 CRC 生成模块（CTX）计算。TPC 模块接收计算出的 CRC，并将其附加到传输到 TPE 模块的数据中。当 MAC 被配置为不在以太网数据包末尾附加 CRC 值时，TPC 模块会忽略计算出的 CRC，只将从 TBU 模块接收到的数据传输到 TPE 模块。这一规则的例外情况是，当 MAC 被配置为为 TBU 模块发送的小于 60 字节的数据包（DA+SA+LT+DATA）附加 PAD 时，TPC 模块会在填充数据包的末尾附加 CRC。

34.5.3.4 发送协议引擎模块

发送协议引擎（TPE）模块由一个发送状态机组成，用于控制以太网数据包发送的运行。

该模块的发送状态机包含以下功能，符合 IEEE 802.3/802.3z 规范：

- 生成前导码和 SFD
- 在半双工模式下的正常冲突后生成 JAM 模式
- 支持 jabber 超时
- 支持半双工模式下的流量控制（背压）
- 生成发送数据包状态
- 包含支持 IEEE 1588 的时间戳快照逻辑

当 TPC 模块请求 TPE 模块进行新数据包传输时，发送状态机会发送前导码和 SFD，然后发送接收到的数据。前导码定义为 7 个字节的 8'b10101010 格式，SFD 定义为 1 个字节的 8b'10101011 格式。

冲突窗口定义为 1 个时隙时间（10/100Mbps 以太网为 512 比特）。JAM 模式生成仅适用于半双工模式，不适用于全双工模式。在全双工模式下，发送状态机会忽略来自 PHY 的冲突输入信号。

在 MII 模式下，如果从数据包开始到 CRC 字段结束的任何时间发生冲突，发送状态机将在 MII 上发送 32'h55555555 的 32 位 JAM 模式，通知所有其他站点发生了冲突。如果冲突发生在前导码传输阶段，则发送状态机完成前导码和 SFD 的传输，然后发送 JAM 模式。

如果冲突发生在冲突窗口之后、FCS 字段结束之前（如果使能了数据包突发模式，则在突发结束之前），则发送状态机发送 32 位 JAM 模式，并在发送数据包状态中将延迟冲突位置 1。

注：在 MII 接口上，异步冲突信号在与发送时钟域双同步后，由发送器进行检查。这种额外的延迟会推迟对冲突或延迟冲突事件的识别。当完整数据包发送完成后，即使在传输结束前 MII 接口的 COL 信号为高电平，也不会被识别为冲突。同样，在正常冲突窗口的最后一个字节时，MII 输入端的 COL 信号也可能因为同步器的延迟而被识别为延迟冲突。

使能数据包突发模式后，发送状态机将在不释放 PHY 的载波的情况下发送数据包突发（只要 TPC 模块提供数据包）。为此，状态机在数据包之间插入最小 IPG 周期（96 位时间）的载波扩展。只要 TPC 模块可提供额外数据包，且未超过 8192 字节/次的突发限制，发送状态机就会继续突发数据包。

如果 TPC 模块传输的数据包超过 2048（默认）个字节，TPE 模块会维护一个 jabber 定时器来停止以太网数据包的传输。当启用巨型数据包时，超时时间将变为 10240 字节。

在半双工模式下，发送状态机使用延迟机制进行流量控制（背压）。当应用程序请求停止接收数据包时，只

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

要发送状态机侦测到接收到数据包，就会发送一个（8'h55）32 字节的 JAM 模式，前提是发送流量控制已使能。这将导致冲突，并且远程站点将退出。应用程序通过设置发送队列流量控制寄存器的 BPA 位请求流量控制。如果应用程序请求发送数据包，则即使激活了背压，也会安排并发送数据包。如果长时间激活背压（连续发生超过 16 次冲突事件），远程站会因冲突过多而放弃传输。

如果使能了发送数据包的 IEEE 1588 时间戳，则当 SFD 进入发送 MII 总线时，该模块会对系统时间进行快照。系统时间源根据所选配置在内部生成。

注：冲突输入是一个异步信号，至少应断言 32 位时间（1Gbps 为 4 个时钟，速度较慢时为 8 个时钟）。

34.5.3.5 发送调度模块

发送调度模块（STX）负责调度 MII 上的数据包传输。它在满足 IPG 和回退延迟后向 TPE 模块提供使能信号。STX 模块执行以下功能：

- 保持两个发送数据包之间的数据包间隙

  STX 模块在任何两个发送的数据包之间保持一段空闲时间，空闲时间为所配置的数据包间隙（MAC 配置寄存器的 IPG 位）。如果来自 TPC 的数据包早于配置的 IPG 时间到达 TPE 模块，TPE 模块会等待来自 STX 模块的使能信号，然后才开始在 MII 上传输。一旦 MII 的载波信号处于非激活状态，STX 模块就会启动其 IPG 计数器。

  在全双工模式下，当达到编程的 IPG 值时，模块会向 TPE 模块发出使能信号。在半双工模式下，当 IPG 配置为 96 位时，STX 模块遵循 IEEE 802.3 第 4.2.3.2.1 节规定的规则。如果在 IPG 间隔的前三分之二（所有 IPG 值的 64 位时间）检测到载波，模块将重置其 IPG 计数器。如果在 IPG 间隔的最后三分之一时间内检测到载波，STX 模块将继续进行 IPG 计数，并在 IPG 间隔结束后使能发送器。

- 执行截断二进制指数回退算法

  STX 模块在半双工模式下工作时，会执行截断二进制指数回退算法。

34.5.3.6 发送 CRC 模块

MAC 发送 CRC（CTX）模块与 TPC 模块连接，为以太网数据包的 FCS 字段生成 CRC。

TPC 模块通过 8 位接口向 CTX 模块发送数据包数据和任何必要的填充。

CTX 模块计算以太网数据包 FCS 字段的 32 位 CRC。编码由以下生成多项式定义：

$$G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^{8} + x^{7} + x^{5} + x^{4} + x^{2} + x + 1$$

CTX 模块从 TPC 模块获取以太网数据包的字节数据（DA+SA+LT+DATA+PAD），并加上数据有效信号。TPC 还向 CTX 指示何时重置先前计算的 CRC，以及何时开始为下一个数据包计算新的 CRC。TPC 模块在发送用于计算的新数据包数据前发出启动命令。计算出的 CRC 在接收到数据后的下一个时钟生效。

在 MII 模式下，数据有效信号在每隔一个时钟时有效。

34.5.3.7 发送流量控制器模块

发送流量控制器（FTX）模块根据全双工模式下的流量控制触发器生成暂停数据包并发送给 TPC 模块（半双工模式下启用背压功能）。TPC 模块从 FTX 模块接收暂停数据包，附加计算出的 CRC，然后将数据包发送到 TPE 模块。

全双工模式下的流量控制

在全双工模式下，以太网外设使用 IEEE 802.3x 暂停（Pause）数据包进行流量控制。暂停数据包各字段的含

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

义如下表所示：

表 34-4 暂停数据包位域

位域	描述
DA	特殊的组播地址
SA	MAC 地址 0
类型	0x8808
MAC 控制操作码	0001：IEEE 802.3x 暂停控制包
PT	在 MAC 发送流量控制寄存器中的 PT 字段指定的暂停时间

当 FCB 位置 1 时，MAC 会生成并传输一个暂停数据包。如果 FCB 位在暂停数据包发送完成后再次被置 1，则无论暂停时间是否结束，MAC 都会发送另一个暂停数据包。若要在先前发送的暂停数据包指定的时间之前延长暂停或终止暂停，应用程序应为暂停时间寄存器编程适当的值，然后再次设置 FCB 位。

如果 MAC 发送流量控制寄存器的 DZPQ 位设置为 0，则 MAC 会传输一个暂停时间为零的暂停数据包，以向远端指示接收缓冲区已准备好接收新数据包。

半双工模式下的流量控制

在半双工模式下，MAC 使用延迟机制进行流量控制（背压）。当应用请求停止接收数据包时，只要发送流量控制使能，MAC 在检测到数据包接收时会发送一个 32 字节的 JAM 模式。这将导致冲突，远端站点将退出。如果应用程序请求发送数据包，即使启动了背压功能，也会安排并发送数据包。如果长时间激活背压（连续发生超过 16 次冲突事件），远程站点就会因冲突过多而放弃传输。

根据以下位的设置，队列 0 的 Tx 通路流量控制如表 34-5 所示：

- MAC 发送流量控制寄存器的 TFE 位
- MAC 配置寄存器的 DM 位

表 34-5 Tx MAC 流量控制

TFE	DM	描述
0	x	MAC 发送器不执行流量控制或背压操作。
1	0	当 MAC 发送流量控制寄存器的 bit0 被置 1 时，MAC 发送器会执行背压。
1	1	当 MAC 发送流量控制寄存器的 bit0 被置 1 时，MAC 发送器会发送暂停数据包。

34.5.3.8 MAC 接收

当 MAC 在 MII 上检测到 SFD 时，就会启动接收操作。在继续处理数据包之前，MAC 会删除前导码和 SFD。对报头字段进行过滤检查，并使用 FCS 字段验证数据包的 CRC。在执行地址过滤之前，接收到的数据包存储在浅缓冲区中。如果数据包未通过地址过滤，则会被丢弃在 MAC 中。

34.5.3.9 接收协议引擎模块

接收协议引擎（RPE）由接收状态机组成，接收状态机负责清除接收到的以太网数据包的前导码、SFD。

RPE 中的接收流程如下：

1. 当 MII 的 RX_DV 信号有效时，RPE 的接收状态机开始寻找 SFD 字段。

   状态机会丢弃接收到的数据包，直到检测到 SFD。
2. 检测到 SFD 后，状态机从 SFD 后的第一个字节（目的地址）开始向 RPC 模块发送以太网数据包的数

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

据。

3. 如果使能 IEEE 1588 时间戳功能，RPE 会在 MII 上检测到任何数据包的 SFD 时对系统时间进行快照。如果该数据包在 MAC 过滤过程中未被丢弃，则时间戳将传递给应用程序。在 MII 模式下，RPE 将接收到的半字节数据转换为字节，并将有效的数据包数据转发给 RFC 模块。

4. RPE 模块的接收状态机对接收以太网数据包的长度/类型字段进行解码。

   如果长度/类型字段小于 1536，且 MAC 已编程为自动 CRC/PAD 剥离（MAC 配置寄存器的 bit20），则状态机发送的数据包数据将达到长度/类型字段中指定的计数，并开始丢弃字节（包括 FCS 字段）。RPE 模块的状态机解码长度/类型字段并检查长度诠释。

   如果长度/类型字段大于或等于 1536，且未在 MAC 配置寄存器的 bit21 中使能"类型"数据包的 CRC 清除，则 RPE 模块会将所有接收到的以太网数据包数据发送到 RFC 模块。但是，如果已使能"类型"数据包的 CRC 清除，且未使能接收校验和减荷引擎，则 MAC 会在将数据包转发给应用程序之前，清除并丢弃所有以太类型数据包的最后 4 个字节。

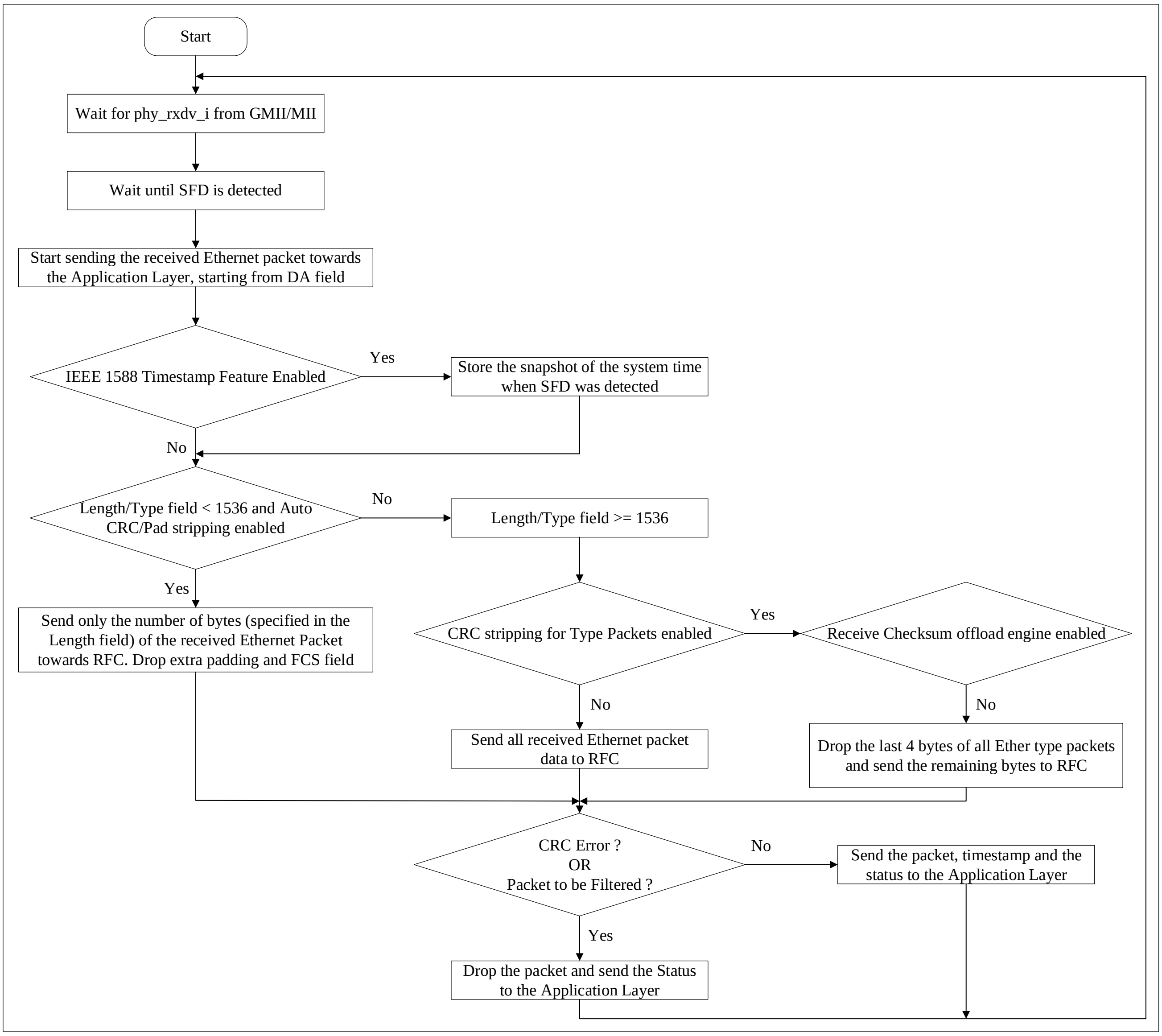
5. 默认情况下，MAC 已编程使能看门狗定时器，即在 RPE 模块处切断大于 204 字节（如果启用了巨型数据包，则为 10240 字节）的数据包（DA+SA+LT+DATA+PAD+FCS）。此外，还可以使用可编程看门狗定时器（MAC 看门狗超时寄存器的 bit8）来覆盖 2048 或 10240 字节的固定超时。通过对 MAC 配置寄存器的 bit19 编程，可以禁用看门狗定时器。不过，即使看门狗定时器被禁用，超过 32KB 大小的数据包也会被切断，并显示看门狗超时状态。

在每个接收到的数据包结束时，RPE 模块会生成接收到的数据包状态并将其发送到 RPC 模块。控制、丢失数据包和过滤失败状态会添加到 RPC 模块的接收状态中。

MAC 接收的流程图如下：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 34-7 MAC 接收流程图



34.5.3.10 接收 CRC 模块

MAC 接收 CRC（CRX）与 RPE 模块相连，用于检查接收到的数据包中是否存在任何 CRC 错误。

CRX 模块通过 FCS 字段计算接收到的包含目的地址字段的 32 位 CRC。

编码由以下生成多项式定义：

$$G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^{8} + x^{7} + x^{5} + x^{4} + x^{2} + x + 1$$

CRX 模块从 RPE 模块获取数据（DA+SA+LT+DATA+PAD+FCS）。RPE 模块还发送一个控制信号，指示数据的有效性。不论是自动 PAD 或 CRC 剥离，CRX 模块都会接收整个数据包，以计算接收到的数据包的 CRC 校验。

34.5.3.11 接收数据包控制器模块

MAC 接收数据包控制器（RPC）从 RPE 模块接收以太网数据包数据和状态。

RPC 模块由一个参数化深度的 FIFO（默认设置为 4 深 33 位宽）和两个用于写入和读取 FIFO 的状态机组

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com　邮编：518057

成。FIFO 保存接收到的以太网数据包数据和字节使能，以及用于指示最后数据的控制位。状态机管理 FIFO，并为从 RPE 模块接收的以太网数据包提供数据包缓冲。以下是 RPC 模块的主要功能：

- 转换数据路径：将 8 位数据转换为 32 位数据，发送至 RBU 模块
- 数据包过滤
- 附加计算来自 IPC 输入的 IP 校验和
- 更新接收状态并将其转发给 RBU

如果 MAC 数据包过滤寄存器的 RA 位被置 1，则当 RPC 模块从 RPE 模块接收到 4 个字节的以太网数据时，RPC 模块将启动到 RBU 模块的数据传输。数据传输结束时，RPC 模块会发送接收到的数据包状态，其中包括数据包过滤位和 RPC 模块的状态。这些位是根据来自 AFM 模块的过滤失败信号生成的。该状态位向应用程序指示接收到的数据包是否通过了过滤控制（来自 CSR 的地址过滤和数据包过滤控制）。在这种模式下，RPC 模块不会自行丢弃任何数据包。

如果 RA 位被复位，RPC 模块将根据目的地址或源地址执行数据包过滤。如果应用程序不想接收任何坏数据包，如长度不够的数据包、CRC 错误数据包，则仍需执行另一级过滤。RPC 模块等待接收来自 RPE 模块的前 14 个字节的接收数据（类型字段）。在此之前，模块不会向 RBU 模块发起任何传输。接收到目的地址或源地址字节后，RPC 检查来自 AFM 模块的过滤失败信号是否与地址匹配。一旦检测到来自 AFB 的过滤失败信号，数据包就会在 RPC 模块被丢弃，不会传输到应用程序。

如果 AFM 的过滤响应延迟（这只有在更改 AFM 逻辑时才会发生），RPC 模块会等待直到 FIFO 满，然后继续将数据包传输到 RBU 模块。但是，RPC 模块仍会接收 AFM 模块的延迟响应，如果是（DA 或 SA）过滤器故障，则会丢弃数据包的其余部分，并立即发送 Rx 状态字（数据包长度为零、CRC 错误和 Runt 错误位置 1），指示过滤器故障。如果在发送 EOP 之前 AFM 没有响应，则相应更新 Rx 状态字中的过滤失败状态。

当使用 PMT 模块并配置为掉电模式时，该模块会丢弃所有接收到的数据包，并且不会将数据包转发给应用程序。

34.5.3.12 接收流量控制器模块

接收流量控制器（FRX）会检测收到的暂停数据包，并在收到的暂停数据包内指定的延迟时间内暂停数据包传输。FRX 模块仅在全双工模式下使能。如果在半双工模式下接收到任何暂停数据包，该数据包将被视为普通控制数据包。

根据以下位的设置，队列 0 的 Tx 通路流量控制如表 34-6 所示：

- MAC 接收流量控制寄存器的 RFE 位
- MAC 配置寄存器的 DM 位

表 34-6 Rx MAC 流量控制

RFE	DM	描述
0	x	MAC 接收器不会检测收到的暂停数据包。
1	0	MAC 接收器不会检测收到的暂停数据包，但会将此类数据包识别为控制数据包。
1	1	MAC 接收器检测或处理暂停数据包，并通过停止 MAC 发送器对此类数据包做出响应。

以下步骤描述了 Rx 流量控制：

1. MAC 检查接收到的"暂停"数据包的目的地址是否符合以下任一条件：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- 组播目的地址：DA 与为控制数据包指定的唯一组播地址（48'h0180C2000001）相匹配。
- 单播目的地址：DA 与 MAC 地址寄存器 0 的内容相匹配，并且 MAC 接收流量控制寄存器的 UP 位被置 1。

  如果 UP 位被置 1，MAC 除了处理唯一组播地址外，还处理具有单播目的地址的暂停数据包。

2. MAC 对接收到的数据包的以下字段进行解码：
   - 类型字段：检查该字段是否为 16'h8808。
   - 操作码字段：该字段被检查为 16'h0001（暂停数据包）。
   - 暂停时间字段：捕获暂停时间（用于暂停数据包），以确定需要暂停发送器的时间。
3. 如果状态的字节数显示为 64 字节，且没有 CRC 错误，则 MAC 发送器会执行以下操作：
   - 对于 802.3x 暂停数据包，MAC 会在解码的暂停时间值乘以时隙时间（64 字节次数）的持续时间内暂停传输任何数据包。
4. MAC 根据 MAC 数据包过滤器寄存器中 PCP 字段的设置将接收到的控制数据包传输给应用程序。

34.5.3.13 接收总线接口单元模块

接收总线接口单元（RBU）将从 RPC 模块接收到的 32 位数据转换成应用程序侧的 32 位 FIFO 协议。RBU 模块通过 MAC 接收接口（MRI）与应用程序连接。

如果使能了 IEEE 1588 时间戳功能，RBU 模块还会输出从接收到的数据包中捕获的时间戳以及状态。

34.5.3.14 地址过滤模块

地址过滤（AFM）模块对所有接收到的数据包执行目的地址和源地址检查功能，并向 RPC 模块报告地址过滤状态。

地址检查根据应用程序选择的不同参数(MAC 数据包过滤寄存器中)进行。这些参数作为控制信号输入 AFM 模块，AFM 模块根据这些输入的组合报告地址过滤状态。AFM 模块不会过滤接收数据包，但会向 RPC 模块报告地址过滤的状态(是否丢弃数据包)。AFM 模块还会报告地址过滤状态，以及接收到的数据包是组播数据包还是广播数据包。

AFM 模块探测 RPE 模块和 RPC 模块之间的 8 位接收数据路径，并检查每个传入数据包的目的地址和源地址字段。在 MII 模式下，模块需要 14/26 个时钟（从数据包开始）来比较接收到的数据包的目的地址/源地址。AFM 模块从 CSR 模块获取站点的物理（MAC）地址和组播哈希表，用于地址检查。CSR 模块向 AFM 提供数据包过滤寄存器参数。

对于过滤相关的其他功能请查阅数据包过滤章节。

34.5.4 PHY 接口描述

以太网外设支持多个 PHY 接口，包含 MII 和 RMII。本章节将描述用于 PHY 控制（管理）的 SMA（站管理代理）接口以及不同的 PHY 接口。

34.5.4.1 站管理代理（SMA）

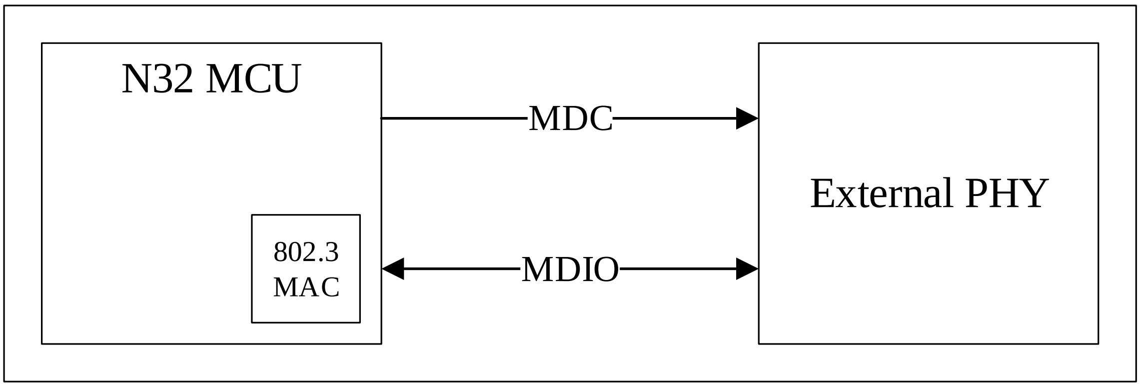
应用程序可以通过 SMA 访问 PHY 寄存器。SMA 是一个双线站管理接口。

SMA 模块支持访问多达 32 个 PHY。应用程序可寻址 32 个 PHY 中的任意一个的 32 个寄存器之一。但是一

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

次只能对一个 PHY 中的一个寄存器进行寻址。应用程序通过 SMA 模块向 PHY 发送控制数据以及从 PHY 接收状态信息。

图 34-8 SMA 接口



对于 SMA 接口访问，MDC 的最大工作频率为 2.5MHz，符合 IEEE 802.3 的规定。在以太网内核中，MDC 时钟通过一个分频器从应用时钟或 CSR 工作时钟分频得到。分频系数取决于 MAC MDIO 地址寄存器中的时钟范围设置（CR 字段）。

MDIO 帧结构及其各字段的描述如下表所示：

表 34-7 MDIO 帧格式（Clause 45）

字段	描述
IDLE	MDIO 线为三态形式，MDC 无时钟
PREAMBLE	32 个值为 1 的连续位
START	数据包起始位置为 2'b00
OPCODE	■ 2'b00：地址 ■ 2'b01：写 ■ 2'b10：读+地址 ■ 2'b11：读
PHY ADDR	PHY 地址，占 5bit
DEV ADDR	设备地址，占 5bit
TA	对于读操作，周转值为 2'bZ0；对于写操作，周转值为 2'b10，其中 Z 为三态电平
DATA/ADDRESS	16 位值：对于地址周期（OPCODE = 2'b00），该帧包含下一周期要访问的寄存器地址。对于写入帧的数据周期，该字段包含要写入寄存器的数据。对于读或读后增量地址帧，该字段包含从 PHY 读取的寄存器内容。 ■ 在写地址和数据周期中，以太网外设会在传输这 16 位期间驱动 MDIO 线 ■ 在读和读后增量地址周期中，PHY 会在数据传输过程中驱动 MDIO 线

还支持符合 Clause 22 的帧结构。MAC MDIO 地址寄存器中的 C45E 位可通过编程使能 Clause 22 或 Clause 45 工作模式。符合 Clause 22 的 MDIO 帧结构及其各字段的描述如下表所示：

表 34-8 MDIO 帧格式（Clause 22）

字段	描述
IDLE	MDIO 线为三态形式，MDC 无时钟
PREAMBLE	32 个值为 1 的连续位

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

字段	描述
START	数据包起始位置为 2'b01
OPCODE	■ 2'b01：写 ■ 2'b10：读
PHY ADDR	PHY 地址，占 5bit
DEV ADDR	选择的寄存器地址，占 5bit
TA	对于读操作，周转值为 2'bZ0；对于写操作，周转值为 2'b10，其中 Z 为三态电平
DATA/ADDRESS	任意 16 位值： ■ 对于写操作，由以太网外设驱动 MDIO ■ 对于读操作，由 PHY 驱动 MDIO

MII 管理写操作

SMA 收到 PHY 地址和来自 MAC CSR 模块的写数据后，SMA 开始对 PHY 寄存器进行写操作。

写操作流程如下：

1. 设置 MAC MDIO 地址寄存器中的 bit[3:2]为 2'b01 和设备 bit0。
2. MAC CSR 模块将 PHY 地址、PHY 中的寄存器地址和要写的数据（MAC MDIO 数据寄存器）传输给 SMA，以启动对 PHY 寄存器的写操作。
3. SMA 模块使用 GMII 规范中规定的管理数据包格式（根据 IEEE 802.3-2002 第 22.2.4.5 节）在 GMII 管理接口上启动写操作。
4. 当 SMA 模块开始对 MDIO 执行写操作时，写数据包将在 MDIO 线路上传输。MAC 在数据包的整个持续时间内驱动 MDIO 线路。"忙"位被置 1，直到写操作完成。在此期间（"忙"位为高电平），CSR 会忽略对 MAC MDIO 地址寄存器或 MAC MDIO 数据寄存器的写操作。
5. 写操作完成后，SMA 会通知 CSR。
6. CSR 复位"忙"位。

MII 管理读操作

在 SMA 从 MAC CSR 模块接收到 PHY 地址和 PHY 中的寄存器地址后，SMA 启动对 PHY 寄存器的读取操作。

读操作流程如下：

1. 设置 MAC MDIO 地址寄存器中的 bit[3:2]为 2'b11 和设备 bit0。
2. MAC CSR 模块将 PHY 地址和 PHY 中的寄存器地址传输给 SMA，以启动对 PHY 寄存器的读操作。
3. SMA 模块使用 GMII 规范中规定的管理数据包格式（根据 IEEE 802.3-2002 第 22.2.4.5 节）在 GMII 管理接口上启动读操作。
4. 当 SMA 模块开始对 MDIO 执行读操作时，CSR 会忽略在此期间对 MAC MDIO 地址寄存器或 MAC MDIO 数据寄存器的写操作（"忙"位为高电平），并在 MCI 接口上无任何错误地完成事务。
5. 读操作完成后，SMA 会通知 CSR。
6. CSR 复位"忙"位，并用从 PHY 读取的数据更新 MAC MDIO 数据寄存器。

有关应用程序与 PHY 之间通信的更多信息，请参阅 IEEE 802.3z，1000BASE 以太网的"调和子层（RS）"和

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

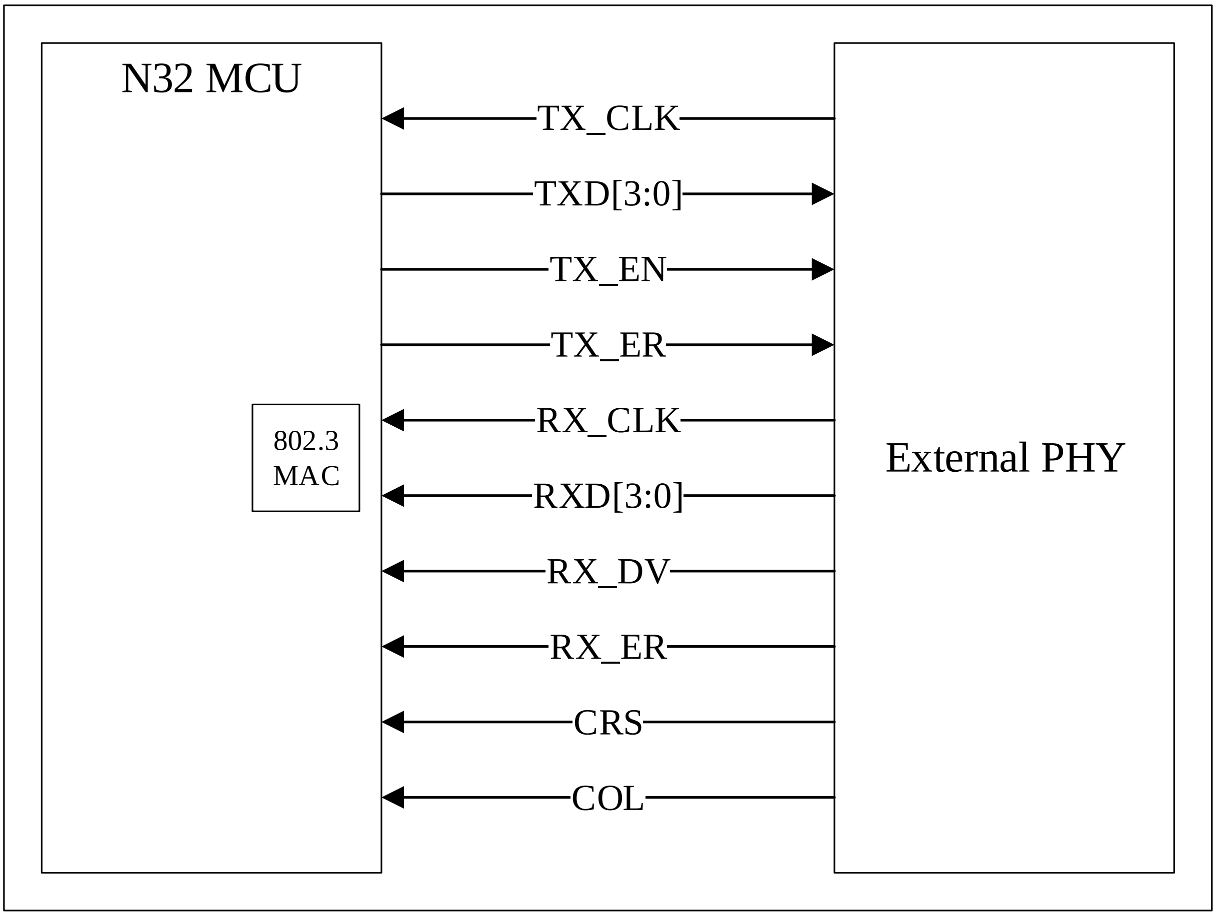
"独立介质接口规范"部分。

34.5.4.2 介质独立接口（MII）

MII 定义了 MAC 子层与 PHY 之间的互连，用于 10Mb/s 和 100Mb/s 的数据传输。

MII 的信号如下图所示：

图 34-9 MII 信号



- TX_CLK：连续时钟信号。为 Tx 数据传输提供时序参考。10Mbit/s 时的标称频率为 2.5MHz，100Mbit/s 时的标称频率为 25MHz。
- TXD[3:0]：发送数据。TXD 是一束由 MAC 子层同步驱动的 4 个数据信号，在 TX_EN 信号有效时才有效（有效数据）。TXD[0]为最小有效位，TXD[3]为最大有效位。当 TX_EN 失效时，发送数据不会对 PHY 产生任何影响。
- TX_EN：发送使能信号。该信号表示 MAC 当前正针对 MII 发送半字节。它必须与前导码的第一个半字节同步（TX_CLK），并在所有待传输的字节被传送到 MII 时保持有效。
- TX_ER（可选）：仅节能型以太网（EEE）需要。发送错误由 CRC 反相指示。远程站可通过不正确的 CRC 检测到发送错误。
- RX_CLK：连续时钟信号。为 Rx 数据传输提供时序参考。10Mbit/s 时标称频率为 2.5MHz，100Mbit/s 时标称频率为 25MHz。
- RXD[3:0]：接收数据。RXD 是一束由 PHY 同步驱动的 4 个数据信号，在 RX_DV 信号有效时才有效（有效数据）。RXD[0]为最小有效位，RXD[3]为最大有效位。当 RX_EN 无效、RX_ER 有效时，特定

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

的 RXD[3:0]值用于从 PHY 传输特定信息。

- RX_DV：接收数据有效。该信号表示 PHY 当前正针对 MII 接收已恢复并解码的半字节。该信号必须与帧的第一个恢复半字节同步（RX_CLK），并在最后一个恢复半字节时保持有效。该信号必须在最后一个半字节之后的第一个时钟周期之前置为无效。为了正确接收帧，RX_DV 信号必须覆盖整个帧，其起始时间不得晚于 SFD 字段。
- RX_ER：接收错误。该信号必须保持有效一个或多个时钟周期（RX_CLK），以向 MAC 子层表明在帧的某处检测到错误。该错误条件必须由 RX_DV 的有效情况来限定。
- CRS：载波侦听。当发送或接收介质处于非空闲状态时，PHY 会将该信号置为有效。当发送和接收介质都处于空闲状态时，PHY 必须将该信号置为无效状态。PHY 必须确保 CS 信号在冲突条件持续期间保持有效。该信号无需与发送和接收时钟同步转换。在全双工模式下，该信号的状态对于 MAC 子层来说无意义。
- COL：冲突检测。当检测到介质上发生冲突时，PHY 必须将该信号置为有效，并在冲突条件持续期间保持有效。该信号无需与发送和接收时钟同步转换。在全双工模式下，该信号的状态对于 MAC 子层来说无意义。

注：MII 遵循 IEEE 802.3-2015 标准，更多的 MII 相关信息请查阅 IEEE 802.3-2015 相关文档。

34.5.4.3 精简介质独立接口（RMII）

RMII 规范减少了以太网 PHY 和交换机 ASIC 之间的引脚数(仅在 10/100Mbps 模式下)。根据 IEEE 802.3u，MII 包含 16 个用于数据和控制的引脚。在包含多个 MAC 或 PHY 接口的设备（如交换机）中，随着端口数的增加，引脚数量会大大增加成本。RMII 规范解决了这一问题，将每个端口的引脚数减少到 7 个，引脚数减少了 62.5%。

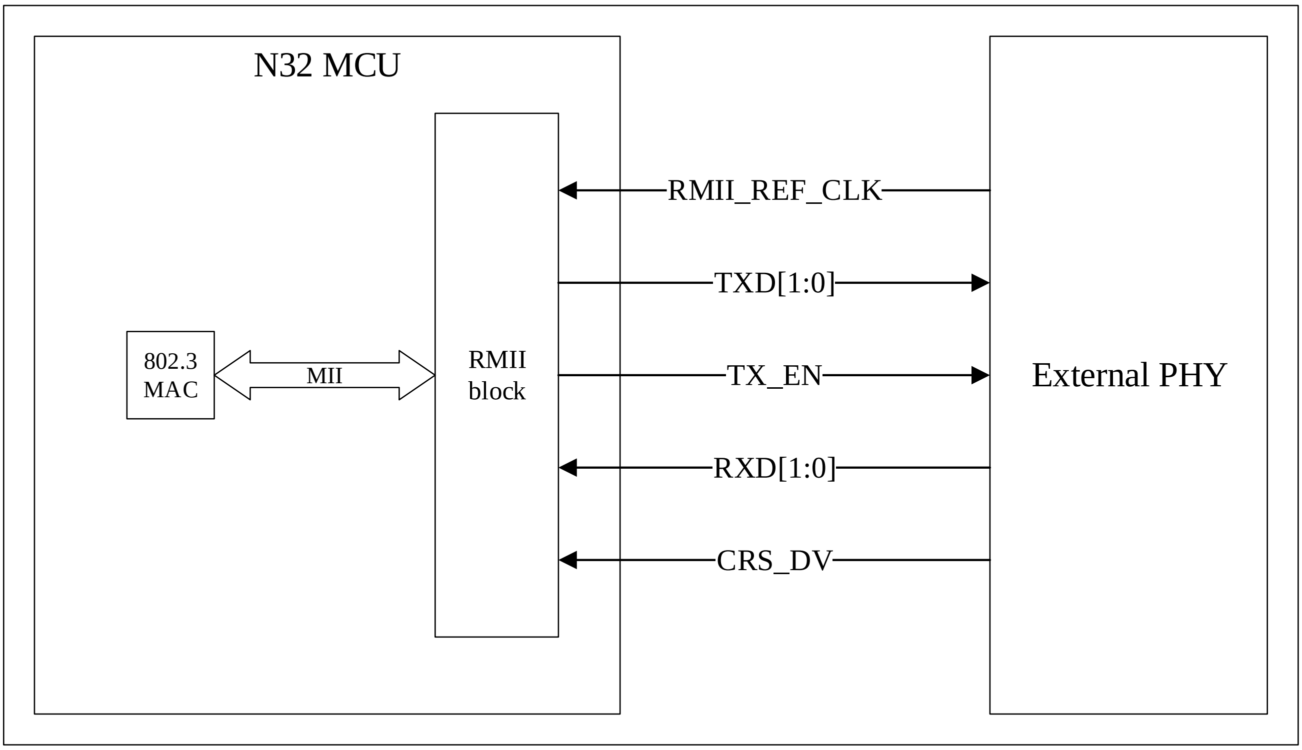
RMII 模块在 MAC 和 PHY 之间实例化，有助于将 MAC 的 MII 转换为 RMII。RMII 模块具有以下特点：

- 支持 10Mbps 和 100Mbps 工作速率。不支持 1000Mbps 工作速率。
- 通过两个外部时钟参考源，提供独立的 2 位宽发送和接收路径。

RMII 模块位于以太网外设内核之前，用于将 MII 信号转换为 RMII 信号。RMII 的信号如下图所示：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 34-10 RMII 信号



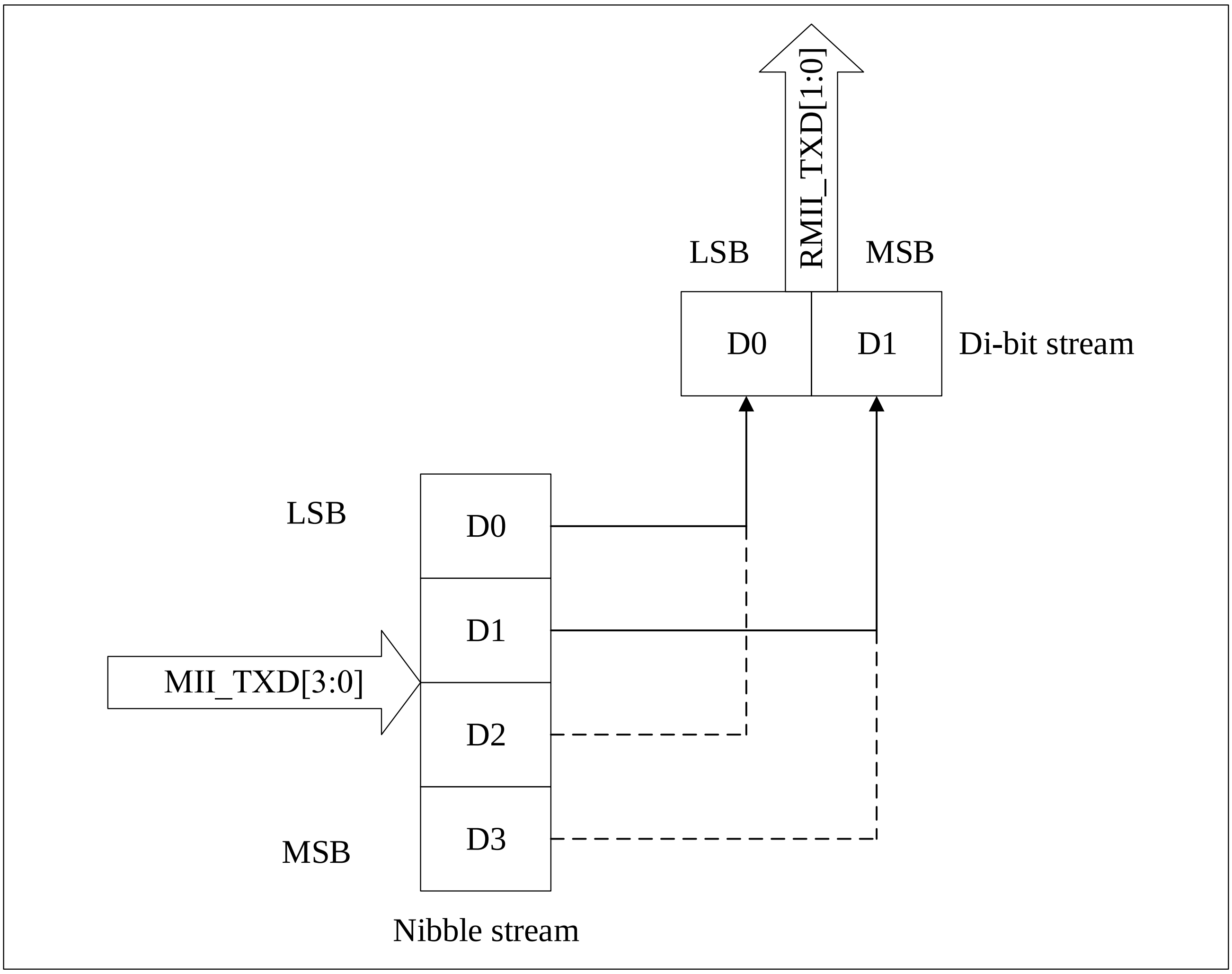
- RMII_REF_CLK：连续时钟信号，50MHz 参考时钟输入。
- TXD[1:0]：发送数据。
- TX_EN：发送数据使能。高电平时，该位表示 TXD[1:0]上正在传输有效数据。
- RXD[1:0]：接收数据。
- CRS_DV：载波侦听（CRS）和接收数据有效（RX_DV）在交替的时钟周期内复用。在 10Mbit/s 模式下，每 10 个时钟周期交替一次。

发送位序

MII 接口的每个半字节必须在 RMII 接口上发送，一次传输双位，传输顺序如图 34-11 所示。先发送低位（D1 和 D0），然后再发送高位（D2 和 D3）。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 34-11 RMII 发送位序图

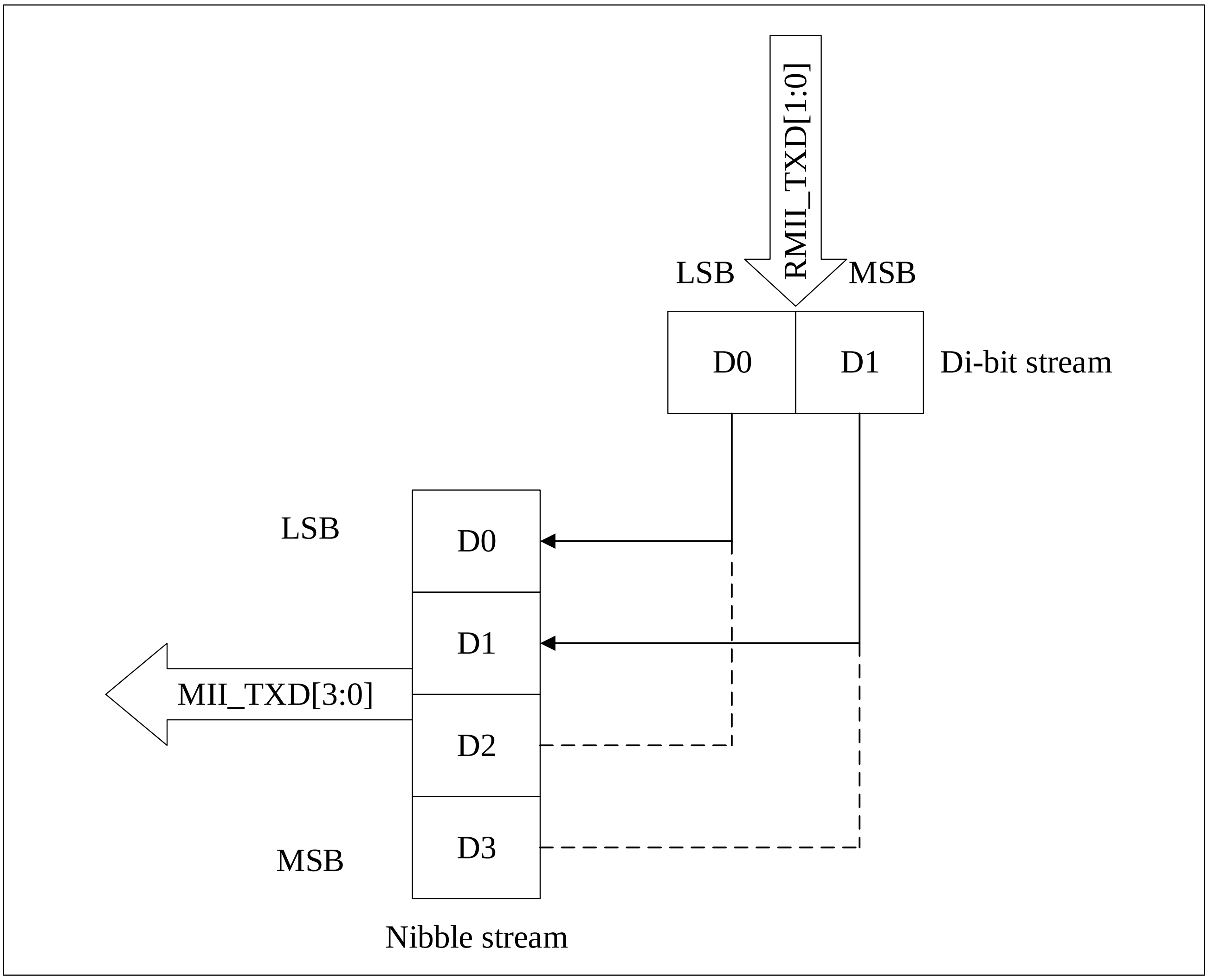


接收位序

每个半字节按照图 34-12 所示的半字节传输顺序，从 RMII 接口接收的双位传输到 MII 接口。先接收低位（D1 和 D0），然后再接收高位（D2 和 D3）。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 34-12 RMII 接收位序图



注：RMII 遵循 RMII 联盟规范 1.2 版，更多的 RMII 相关信息请查阅 RMII 联盟规范 1.2 版相关文档。

34.5.5 数据包过滤

MAC 支持以下类型的 Rx 数据包过滤：

MAC 源地址或目的地址过滤：地址过滤模块（AFM）检查每个传入数据包的源地址和目的地址字段。

VLAN 过滤：MAC 支持基于 VLAN 标签和 VLAN 哈希过滤。

这两种过滤类型可以级联。当所有过滤器都处于活动状态时，过滤遵循先地址过滤再 VLAN 过滤的顺序。如果任意层过滤器未使能，则绕过该过滤器，应用后续过滤器。未通过任何过滤器的数据包都将被丢弃。不过，被丢弃的数据包可以根据寄存器控制转发给主机。例如，当 MAC 数据包过滤器寄存器的 RA 位置 1 时，所有被丢弃的数据包都会被转发到主机，但其数据包状态会显示特定的过滤失败。如果 RA 为 0，则 MAC 数据包过滤器寄存器的 VTFE 位将控制未通过 VLAN 过滤的数据包是丢弃还是转发给主机。

34.5.5.1 MAC 源地址或目的地址过滤

MAC 的地址过滤模块会检查每个传入数据包的源地址（SA）和目的地址（DA）字段。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

单播目的地址过滤

MAC 支持 4 个 MAC 地址的单播完美过滤。如果选择了完美过滤（复位 MAC 数据包过滤器寄存器的 HUC 位），MAC 会将接收到的单播地址的所有 48 位与已编程的 MAC 地址进行比较，以查找是否匹配。默认情况下 MacAddr0 始终使能。

MacAddr1 至 MacAddr3 通过单独的使能位选择。对于 MacAddr1 至 MacAddr3，可通过设置寄存器中相应的屏蔽字节控制位，在与相应的接收 DA 字节比较时屏蔽每个字节。这样就能使 DA 的组地址过滤生效。

在哈希过滤模式下（当 HUC 位被置 1 时），MAC 使用 64 位哈希表对单播地址执行不完全过滤。在哈希过滤模式下，MAC 使用接收到的目的地址的高 6 位 CRC 来索引哈希表的内容。值为 00000 时选择所选寄存器的第 0 位，值为 11111 时选择哈希表寄存器的第 63 位。如果相应位（由 6 位 CRC 表示）被置 1，则认为单播数据包通过了哈希过滤器；否则，认为数据包未通过哈希过滤器。

多播目的地址过滤

要对 MAC 进行编程以通过所有多播（组播）数据包，需设置 MAC 数据包过滤器寄存器中的 PAM 位（bit4）。如果 PAM 位被重置，MAC 将根据 MAC 数据包过滤器寄存器的 HMC 位过滤多播地址。

多播地址与已编程的 MAC 目的地址寄存器（1~3）进行比较。还支持组地址过滤。

在哈希过滤模式下，MAC 使用 64 位哈希表执行不完全过滤。MAC 使用接收到的多播地址的高 6 位 CRC 来索引哈希表的内容。值为 00000 时选择所选寄存器的第 0 位，值为 11111 时选择哈希表寄存器的第 63 位。如果相应位被置 1，则认为多播数据包通过了哈希过滤器。否则，认为数据包未通过哈希过滤器。

哈希或完美地址过滤

要配置 DA 过滤器，使其在 DA 符合哈希过滤器或完美过滤器时通过数据包，需设置 MAC 数据包过滤器寄存器中的 HPF 位和相应的 HUC 或 HMC 位。这适用于单播和多播数据包。如果 HPF 位被重置，则只对接收到的数据包应用其中一种过滤器（哈希或完美）。

广播地址过滤

MAC 默认不过滤任何广播数据包。要将 MAC 编程为拒收所有广播数据包，需设置 MAC 数据包过滤器寄存器中的 DBF 位。

单播源地址过滤

MAC 可根据接收数据包的源地址字段执行完美过滤。默认情况下，MAC 将 SA 字段与 SA 寄存器中的编程值进行比较。可以通过设置相应寄存器的第 30 位，将 MAC 地址寄存器（1~3）配置为使用 SA 代替 DA 进行比较。

MAC 还支持使用 SA 进行分组过滤。可以通过屏蔽地址的一个或多个字节来过滤一组地址。如果在 MAC 数据包过滤器寄存器中设置了 SAF 位，MAC 就会丢弃未通过 SA 过滤的数据包。否则，SA 过滤的结果将作为接收状态字中的一个状态位给出。当 SAF 位被置 1 时，将对 SA 过滤和 DA 过滤结果进行与逻辑运算，以决定是否需要转发数据包。这意味着，如果其中任何一个过滤失败，数据包就会被丢弃。只有当数据包依次通过两个过滤器时，数据包才会转发给应用程序。

反向过滤

对于 DA 和 SA 过滤，可以通过设置 MAC 数据包过滤器寄存器的 DAIF 和 SAIF 位来反转最终输出的过滤匹配结果。DAIF 位适用于单播和多播 DA 数据包。在这种模式下，将反转单播或多播目的地址过滤的结果。同样，当 SAIF 位被设置时，单播 SA 过滤的结果也会反转。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

注：当 MAC 数据包过滤器寄存器的 RA 位被置 1 时，所有数据包将连同 Rx 状态中正确的地址过滤结果一起转发给系统。

表 34-9 和表 34-10 按数据包类型和 MAC 数据包过滤器寄存器的相关位域的配置总结了 DA 和 SA 过滤。

表 34-9 DA 过滤

数据包类型	PM	HPF	HUC	DAIF	HMC	PAM	DBP	DA 过滤器操作
广播	1	x	x	x	x	x	x	通过
	0	x	x	x	x	x	0	通过
	0	x	x	x	x	x	1	不通过
单播	1	x	x	x	x	x	x	通过所有数据包
	0	x	0	0	x	x	x	完美/组过滤器匹配时通过
	0	x	0	1	x	x	x	完美/组过滤器匹配时不通过
	0	0	1	0	x	x	x	哈希过滤器匹配时通过
	0	0	1	1	x	x	x	哈希过滤器匹配时不通过
	0	1	1	0	x	x	x	哈希或者完美/组过滤器匹配时通过
	0	1	1	1	x	x	x	哈希或者完美/组过滤器匹配时不通过
多播	1	x	x	x	x	x	x	通过所有数据包
	x	x	x	x	x	1	x	通过所有数据包
	0	x	x	0	0	0	x	完美/组过滤器匹配时通过，并在 PCF = 0x 时丢弃暂停数据包
	0	0	x	0	1	0	x	哈希过滤器匹配时通过，并在 PCF = 0x 时丢弃暂停数据包
	0	1	x	0	1	0	x	哈希或者完美/组过滤器匹配时通过，并在 PCF = 0x 时丢弃暂停数据包
	0	x	x	1	0	0	x	完美/组过滤器匹配时不通过，并在 PCF = 0x 时丢弃暂停数据包
	0	0	x	1	1	0	x	哈希过滤器匹配时不通过，并在 PCF = 0x 时丢弃暂停数据包
	0	1	x	1	1	0	x	哈希或者完美/组过滤器匹配时不通过，并在 PCF = 0x 时丢弃暂停数据包

表 34-10 SA 过滤

数据包类型	PM	SAIF	SAF	SA 过滤器操作
单播	1	x	x	通过所有数据包
	0	0	0	完美/组过滤器匹配时通过，但不丢弃未通过的数据包
	0	1	0	完美/组过滤器匹配时不通过，但不丢弃未通过的数据包
	0	0	1	完美/组过滤器匹配时通过，并丢弃未通过的数据包
	0	1	1	完美/组过滤器匹配时不通过，并丢弃未通过的数据包

注：x 表示任意值。

34.5.5.2 VLAN 过滤

VLAN 标签完美过滤

在 VLAN 标签完美过滤中，MAC 会比较接收到的数据包的 VLAN 标签，并向应用程序提供 VLAN 数据包

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

状态。根据编程模式，MAC 会比较接收到的 VLAN 标签的低 12 位或全部 16 位，以确定是否完全匹配。

如果使能了 VLAN 标签完美过滤，则 MAC 会转发带有 VLAN 标签的数据包以及 VLAN 标签匹配状态，并丢弃不匹配的 VLAN 数据包。可以通过设置 MAC VLAN 标签寄存器的 VTIM 位，使能 VLAN 数据包的反向匹配。此外，还可通过设置 MAC VLAN 标签寄存器的 ESVL 位，使能在处理默认 C-VLAN 标签数据包的同时处理 S-VLAN 标签数据包。VLAN 数据包状态位（RDES0 的 bit10）表示匹配数据包的 VLAN 标签匹配状态。

注：源地址或目的地址（如果使能）优先于 VLAN 标签过滤器。这意味着，无论 VLAN 标签过滤结果如何，源地址或目的地址过滤失败的数据包都会被丢弃。默认情况下，基于 VLAN 标签的完美过滤器在所有配置中都可用。

VLAN 标签哈希过滤

16 位 VLAN 哈希表用于根据 VLAN 标签进行组地址过滤。VLAN 标签哈希过滤功能可通过 MAC VLAN 标签寄存器的 VTHM（VLAN 标签哈希表匹配使能）位使能。

MAC 通过 16 位哈希表提供 VLAN 标签哈希过滤功能。

MAC 根据 MAC VLAN 标签寄存器的 VTHM 执行 VLAN 哈希匹配。如果 VTHM 位置 1，则 VLAN 标签的 CRC-32 的最有效四位将用于索引 MAC VLAN 哈希表寄存器的内容。如果 MAC VLAN 哈希表寄存器中与索引相对应的值为 1，则表示数据包的 VLAN 标签匹配，数据包应被转发。如果值为 0，则表示应丢弃有 VLAN 标签的数据包。

注：根据 MAC VLAN 标签寄存器中的 ETV 位，VLAN 标签的 16 位或 12 位将被考虑用于 CRC-32 计算。当 ETV 位复位时，VLAN 标签的 CRC-32 最有效四位将被反转并用于索引 MAC VLAN 哈希表寄存器的内容。当 ETV 位置 1 时，VLAN 标签的 CRC-32 最有效四位将直接用于索引 MAC VLAN 哈希表寄存器的内容。

MAC 还支持 VLAN 数据包的反向匹配。在反向匹配模式下，当数据包的 VLAN 标签与完美或哈希过滤器匹配时，应丢弃该数据包。如果使能了 VLAN 完美匹配和 VLAN 哈希匹配，则如果 VLAN 哈希或 VLAN 完美过滤器匹配，则认为数据包已匹配。如果设置了反向匹配，则只有当完美过滤器和哈希过滤器都显示不匹配时，才会转发数据包。

表 6-3 显示了 VLAN 匹配的不同可能性和最终的 VLAN 匹配状态。当 MAC 数据包过滤器寄存器的 RA 位被置 1 时，将接收所有数据包，并在 RDES2 正常描述符（回写格式）的 VF 位中显示 VLAN 匹配状态。当 RA 位未被置 1 且 MAC 数据包过滤器寄存器中的 VTFE 位被置 1 时，如果最终的 VLAN 匹配状态为"Fail"，则丢弃数据包。

当 MAC VLAN 标签寄存器的 VL 字段中 VLAN VID 编程为 0 时，所有 VLAN 标签的数据包都被视为完美匹配，但 VLAN 哈希匹配的状态取决于 MAC VLAN 标签寄存器中的 VTHM 和 VTIM 位。

表 34-11 VLAN 匹配状态

VID	VLAN 完美过滤匹配结果	VTHM	VLAN 哈希过滤匹配结果	VTIM	最终的 VLAN 匹配状态
VID = 0	通过	0	x	x	通过
	通过	1	x	0	通过
	通过	1	未通过	1	通过
	通过	1	通过	1	未通过
VID != 0	通过	x	x	0	通过
	未通过	0	x	0	未通过

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

VID	VLAN 完美过滤匹配结果	VTHM	VLAN 哈希过滤匹配结果	VTIM	最终的 VLAN 匹配状态
	未通过	1	未通过	0	未通过
	未通过	1	通过	0	通过
	未通过	0	x	1	通过
	通过	x	x	1	未通过
	未通过	1	通过	1	未通过
	未通过	1	未通过	1	通过

注：x 表示任意值。

34.5.6 IEEE 1588 时间戳

IEEE 1588 定义了精确时间协议（PTP），使测量和控制系统能实现精确的时间同步。该协议使包含不同固有精度、分辨率和稳定性时钟的异构系统能够同步。该协议支持亚微秒级的全系统同步精度，只需最少的网络和本地时钟计算资源。

以太网外设支持 IEEE 1588-2002（版本 1）和 IEEE 1588-2008（版本 2）。IEEE 1588-2002 支持通过 UDP/IP 传送的 PTP。IEEE 1588 2008 支持通过以太网传送的 PTP。以太网外设为这两种标准提供了可编程支持。它支持下列功能：

- 可获取所有数据包或仅 PTP 型数据包的快照
- 可获取仅事件消息的快照
- 可基于时钟类型获取快照：普通、边界、端对端透明和点对点透明
- 可将节点选作普通和边界时钟的主节点或从节点
- 识别数据包中直接通过以太网发送的 PTP 消息类型、版本和 PTP 有效负载，并发送状态
- 支持数字或二进制格式的测量亚秒级时间

34.5.6.1 时钟类型

普通时钟

域中的普通时钟支持协议的单个副本。普通时钟具有单一 PTP 状态和单一物理端口。在典型的工业自动化应用中，普通时钟与传感器或执行器等应用设备相关联。在电信应用中，普通时钟可与定时分界设备相关联。

普通时钟可以是主时钟或从时钟。它支持以下功能：

- 发送和接收 PTP 信息。可按照 MAC 时间戳控制寄存器中的描述控制时间戳快照。
- 维护时间戳值等数据集。

表 34-12 列出了可以在接收端为主节点和从节点拍摄时间戳快照的报文。

表 34-12 普通时钟：快照的 PTP 消息

主节点	从节点
Delay_Req	SYNC

对于普通时钟，可以为以下任一 PTP 报文类型拍摄快照：版本 1 或版本 2。不能同时拍摄两种 PTP 报文类

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

型的快照。可以通过设置 TSVER2ENA 位并在 MAC 时间戳控制寄存器中选择快照模式来拍摄快照。

边界时钟

通常，边界时钟具有多个可与网络进行通信的物理端口。在边界时钟的协议引擎中，与同步、主从层级和信号传输结束相关的消息不会被转发。MAC 提供的 PTP 消息类型状态有助于识别消息的类型并采取适当的操作。

除以下功能外，边界时钟与普通时钟类似：

- 时钟数据集对边界时钟的所有端口通用。
- 本地时钟对边界时钟的所有端口通用。

端对端透明时钟

端对端透明时钟支持从时钟和主时钟之间的端对端延迟测量机制。端对端透明时钟像普通网桥、路由器或中继器一样转发所有信息。PTP 数据包的停留时间是 PTP 数据包从入站端口到出站端口所需的时间。

端对端透明时钟内 SYNC 数据包的驻留时间会在相关 Follow_Up PTP 数据包传输前更新其校正字段。同样，端对端透明时钟内的 Delay_Req 数据包的停留时间也会在相关的 Delay_Resp PTP 数据包传输前在校准字段中更新。因此，只有表 34-13 中提到的报文才必须在入站端口和出站端口拍摄快照。可以通过将 MAC 时间戳控制寄存器中的 SNAPTYPSEL 位设置为 10 来获取快照。

表 34-13 端对端透明时钟：快照的 PTP 消息

PTP 消息
SYNC
Delay_Req

点对点透明时钟

点对点透明时钟与端对端透明时钟的不同之处在于它校准和处理 PTP 定时报文的方式。在所有其他方面，它与端对端透明时钟相同。

在点对点透明时钟中，链路延迟的计算基于与链路节点 Pdelay_Req、Pdelay_Resp 和 Pdelay_Resp_Follow_Up 消息的交换。Pdelay_Req 和相关 Pdelay_Resp 数据包的驻留时间会被添加并插入相关 Pdely_Resp_Followup 数据包的校准字段。因此，如表 34-14 所示，增加了对与 Pdelay 相关的事件报文快照的支持。可以通过将 MAC 时间戳控制寄存器中的 SNAPTYPSEL 位设置为 11 来获取快照。

表 34-14 点对点透明时钟：快照的 PTP 消息

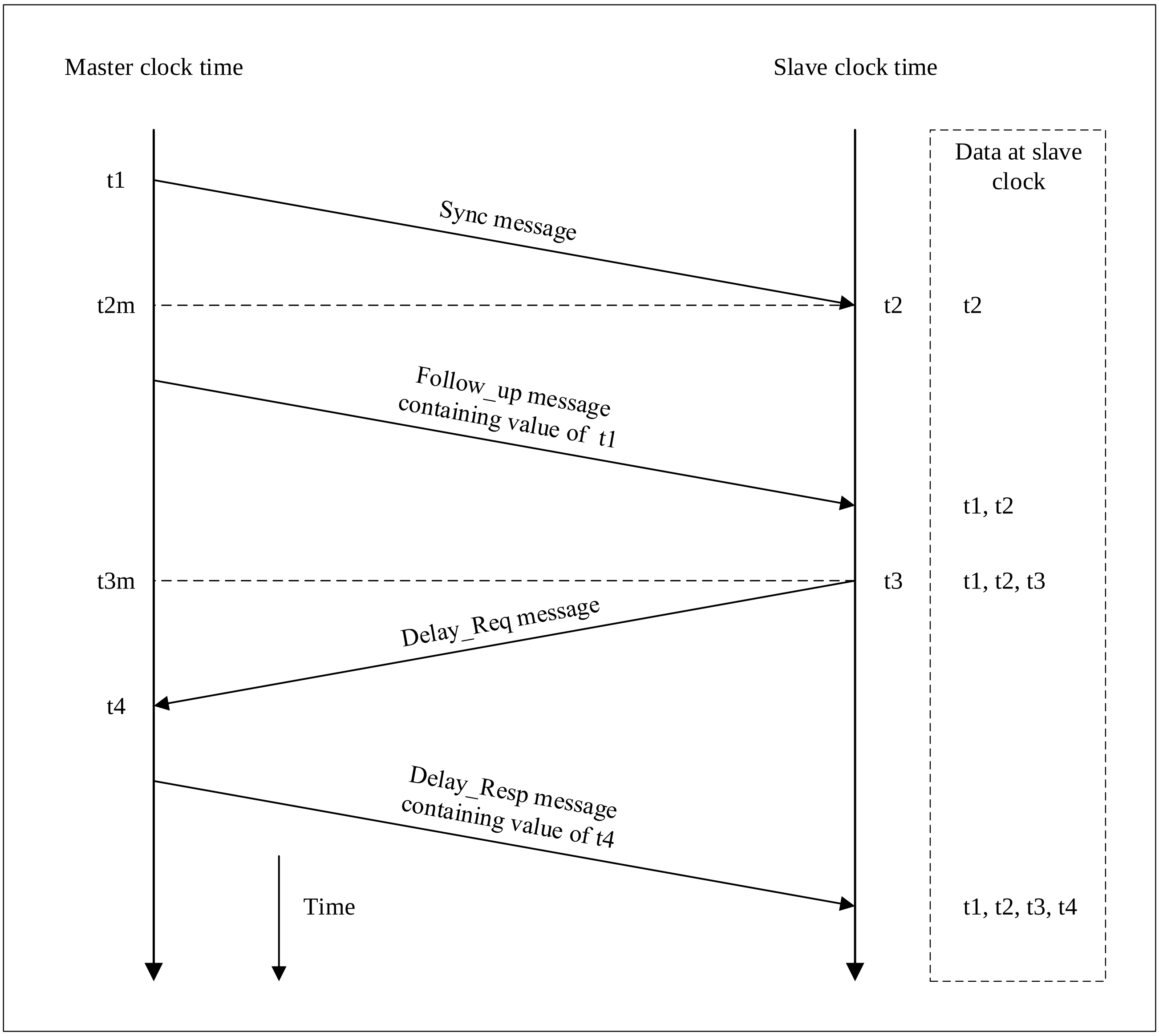
PTP 消息
SYNC
Pdelay_Req
Pdelay_Resp

34.5.6.2 延迟请求-响应机制

系统或网络分为主节点和从节点，用于分配定时和时钟信息。图 34-13 显示了 PTP 通过交换 PTP 信息将从节点同步到主节点的过程。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

图 34-13 网络时间同步



如图 34-13 所示，PTP 采用以下流程：

1. 主节点向其所有节点广播 PTP 同步信息。同步报文包含主站的参考时间信息。该信息在 t1 时离开主站系统。对于 MII 以太网端口，必须捕获该时间。
2. 从节点收到同步信息后，也会使用其定时参考捕捉准确时间 t2。
3. 主节点向从站发送 Follow_up 消息，其中包含供以后使用的 t1 信息。
4. 从节点向主节点发送 Delay_Req 消息，并记录该数据包离开 MII 接口的准确时间 t3。
5. 主节点接收信息，并记录信息进入其系统的准确时间 t4。
6. 主节点将 Delay_Resp 消息中的 t4 信息发送给从节点。
7. 从节点使用 t1、t2、t3 和 t4 这四个值将其本地定时基准与主节点的定时基准同步。

大部分 PTP 实现都是在以太网/UDP 层以上的软件中完成的。然而，在 MII 接口上捕获特定 PTP 数据包进入或离开以太网端口的准确时间需要硬件支持。必须捕获这些定时信息并返回给软件，以便实现高精度的

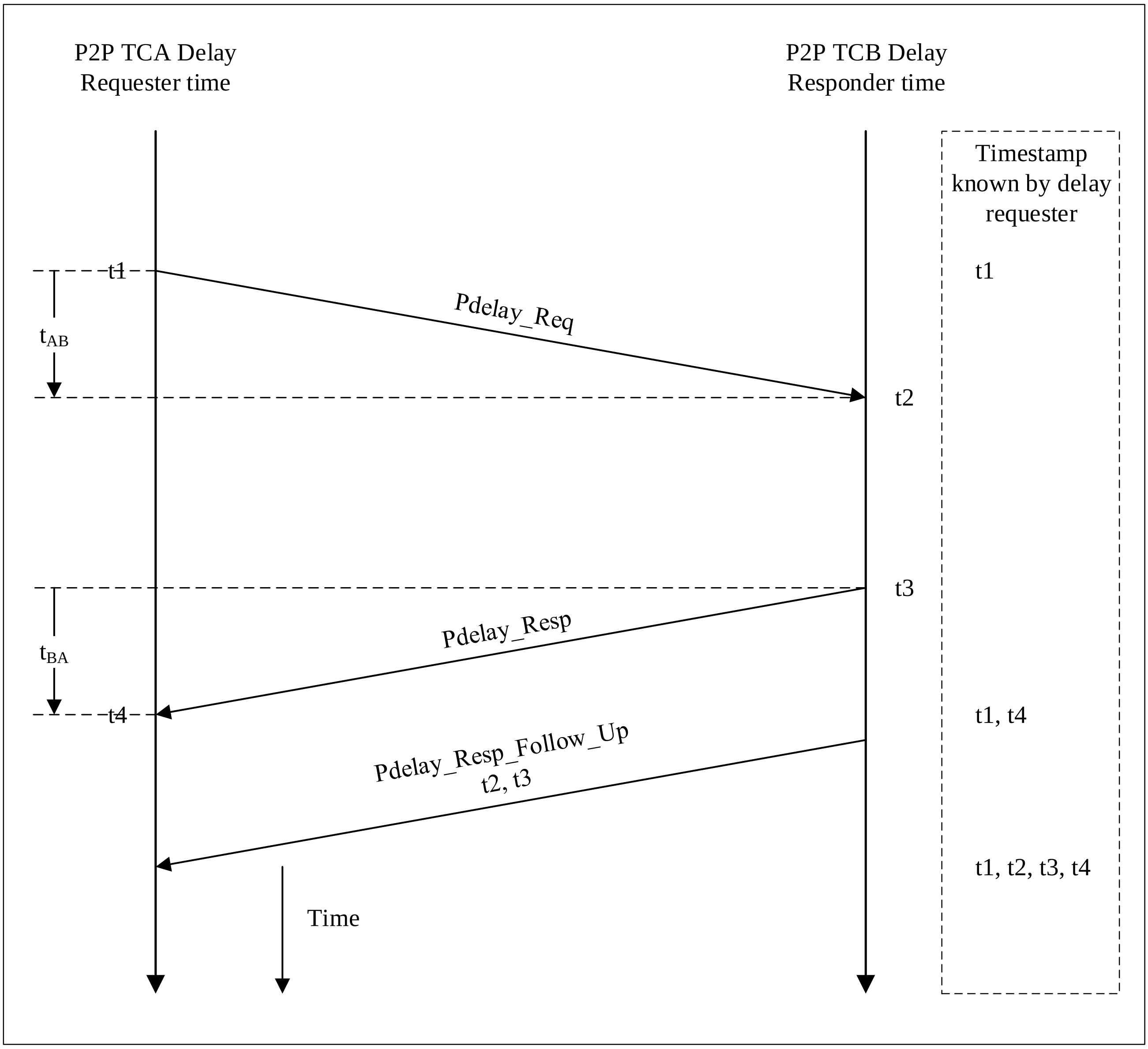
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

PTP。

34.5.6.3 点对点 PTP 透明时钟（P2P TC）消息

除 SYNC、Delay_Req、Follow_up 和 Delay_Resp 消息外，IEEE 1588-2008 标准还支持点对点 PTP（Pdelay）消息。支持点对点路径校准的时钟的传播延迟计算方法如下图所示：

图 34-14 支持点对点路径校准的时钟的传播延迟计算



如图 34-14 所示，传播延迟的计算方法如下：

1. TCA 发出 Pdelay_Re 消息，并为 Pdelay_Req 信息生成一个时间戳（t1）。
2. TCA 接收 Pdelay_Req 消息，并生成该消息的时间戳（t2）。
3. TCB 返回 Pdelay_Resp 消息，并生成该消息的时间戳（t3）。

   为尽量减少两个端口之间的频率偏移造成的误差，TCB 在收到 Pdelay_Req 消息后尽快返回 Pdelay_Resp 消息。TCB 返回以下任一信息：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

– Pdelay_Resp 消息中时间戳 t2 和 t3 之间的差值。

– Pdelay_Resp_Follow_Up 消息中时间戳 t2 和 t3 之间的差值。

– Pdelay_Resp 和 Pdelay_Resp_Follow_Up 消息中分别对应的时间戳 t2 和 t3。

4. TCA 在收到 Pdelay_Resp 消息时生成一个时间戳（t4）。

5. TCA 使用所有四个时间戳来计算平均链路延迟。

34.5.6.4 时间戳校准

根据 IEEE 1588 规范，当 PTP 报文时间戳点（紧随起始帧定界符八位位组之后的八位位组第一位的前沿）越过节点和网络之间的边界时，必须捕获时间戳。由于 MAC 在远离节点和网络实际边界的内部点获取时间戳，因此会根据入口/出口路径延迟（包括 PHY 层的延迟）对获取的时间戳进行校准/更新。由于捕获点的时钟（MII Tx、Rx 时钟）与用于生成时间的 PTP 时钟（clk_ptp_ref_i）不同，因此会产生不准确/误差，需要进一步修正。由此产生的 CDC（时钟域交叉）电路会根据 MII 和 PTP 时钟的时钟周期增加误差。

入口校准

在接收端，与端口边界接收到数据包 SFD 位的时间相比，内部快照点捕获的时间戳会延迟（时间上较晚）。因此，捕获的时间戳必须减去入站延迟和 CDC 采样误差。该校准值必须由软件确定/计算，并写入 MAC 时间戳入口校正纳秒寄存器。

校准值由以下 3 部分组成：

1. 边界点和内核输入之间 PHY 层的外部延迟。

   如果 PHY 符合 IEEE 802.3 Clause 45 MMD 寄存器的规定，它就有一个寄存器指示最大和最小入口延迟。软件可以读取这些寄存器，并确定 PHY 的平均入口延迟。或者（如果 PHY 不支持这些寄存器），必须根据其数据表或定时特性确定入口延迟。

2. 从内核输入到内部捕获点的内部延迟。

   可从 MAC 时间戳入口时延寄存器中读出内部入口延迟。这是一个只读寄存器，以 IEEE 1588 Clause5.3.2 中定义的比例纳秒格式给出延迟。延迟时间因有效 PHY 接口（RMII）和运行速度而异。因此，软件必须在 MAC 速度发生变化后读取该寄存器，以确定当前的内部延迟。

3. CDC 同步。

   CDC 同步误差几乎等于 PTP 时钟周期（clk_ptp_ref_i）的 2 倍。

软件应将这 3 个部分确定的值相加，并写入 MAC 时间戳入口校正纳秒寄存器的 TSIC 字段。

注：写入寄存器的值必须是负值（二进制补码），因为它必须从捕获的时间戳中减去。MAC 接收器将寄存器中的值与捕获的时间戳相加，然后将结果值作为接收数据包的时间戳。

当 MAC 时间戳控制寄存器中的 TSCTRLSSR 位置 1 时，捕获的时间戳的纳秒字段为十进制格式，粒度为 1ns。因此，必须将 TSIC 的 bit31 设置为 1（表示负值），并以二进制形式写入 bits[30:0]，表示"10^9 - 总入口校准值[纳秒部分]"。例如，如果所需的校准值为-5ns，则值为 0xBB9A_C9FB。

当 MAC 时间戳控制寄存器中的 TSCTRLSSR 位复位时，捕获的时间戳的纳秒字段为二进制格式，粒度为 ~0.466ns。因此，bits[30:0]必须写为"2^{31} - 总入口校准值"，用二进制表示，bit[31] = 1。

出口校准

在发送端，与端口边界输出该数据包 SFD 位的时间相比，内部快照点捕获的时间戳要早（时间提前）。因此，

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

捕获的时间戳必须根据出口延迟和 CDC 采样误差进行补偿。该校正准值必须由软件确定/计算，并写入 MAC 时间戳出口校正纳秒寄存器。

校准值由以下 3 部分组成：

1. 内核输出与端口和网络边界之间 PHY 层的外部延迟。

   如果 PHY 符合 IEEE 802.3 Clause 45 MMD 寄存器的规定，它就有一个寄存器指示最大和最小出口延迟。软件可以读取这些寄存器并确定 PHY 的平均出口延迟。或者（如果 PHY 不支持这些寄存器），必须根据其数据表或定时特性确定出口延迟。

2. 从内部捕获点到内核输出的内部延迟。

   可从 MAC 时间戳出口时延寄存器中读出内部出口延迟。这是一个只读寄存器，以 IEEE 1588 Clause5.3.2 中定义的比例纳秒格式给出延迟。延迟时间因有效 PHY 接口（RMII）和运行速度而异。因此，软件必须在 MAC 速度发生变化后读取该寄存器，以确定当前的内部延迟。

3. CDC 同步误差。

   CDC 同步误差值因单步时间戳模式而异。使能"一步时间戳"模式时，其值等于（1*clk_ptp_ref_i 的周期+4*tx_clk 的周期）。否则（两步时间戳模式），值等于（-2*clk_ptp_ref_i 的周期）。

34.5.6.5 PTP 处理和控制

表 34-15 显示了 PTP 报文的通用报文头。此格式摘自 IEEE 1588-2008。

表 34-15 PTP 消息格式

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	Octet	Offset
transportSpecific				messageType				1	0
Reserved				versionPTP				1	1
messageLength								2	2
domainNumber								1	4
Reserved								1	5
flagField								2	6
correctionField								8	8
Reserved								4	16
sourcePortIdentity								10	20
sequenceId								2	30
controlField(1)								1	32
logMessageInterval								1	33

1. controlField 用于版本 1。在版本 2 中，信息类型字段用于检测不同的信息类型。

以太网有效载荷中有一些字段可以用来检测 PTP 数据包类型和控制要拍摄的快照。这些字段对于以下 PTP 数据包是不同的：

基于 IPv4 的 PTP 数据包

表 34-16 提供了 IEEE 1588 版本 1 和 2 通过 UDP 基于 IPv4 发送的 PTP 数据包与控制快照匹配的字段信息。标记数据包的八位位组位置偏移了 4。这是基于 IEEE 1588-2008，附录 D 和表 34-15 中定义的报文格式。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 34-16 IPv4-UDP PTP 数据包控制和状态所需字段

匹配的字段	八位位组位置	匹配值	描述
MAC 数据包类型	12,13	0x0800	IPv4 数据报
IP 版本和头长度	14	0x45	IP 版本是 IPv4
第 4 层协议	23	0x11	UDP
IP 多播地址（IEEE 1588 版本 1）	30,31,32,33	0xE0, 0x00, 0x01, 0x81 (/0x82/0x83/0x84)	允许的多播 IPv4 地址： ■ 224.0.1.129 ■ 224.0.1.130 ■ 224.0.1.131 ■ 224.0.1.132
IP 多播地址（IEEE 1588 版本 2）	30,31,32,33	0xE0, 0x00, 0x01, 0x81 0xE0, 0x00, 0x00, 0x6B	■ PTP Primary 多播地址：224.0.1.129 ■ PTP Pdelay 多播地址：224.0.0.107
UDP 目的端口	36,37	0x013F, 0x0140	■ 0x013F：PTP 事件消息(1) ■ 0x0140：PTP 通用消息
PTP 控制字段（IEEE 1588 版本 1）	74	0x00, 0x01, 0x02, 0x03, 0x04	■ 0x00：SYNC ■ 0x01：Delay_Req ■ 0x02：Follow_Up ■ 0x03：Delay_Resp ■ 0x04：Management
PTP 消息类型字段（IEEE 1588 版本 2）	42（半字节）	0x0, 0x1, 0x2, 0x3, 0x8, 0x9, 0xB, 0xC, 0xD	■ 0x0：SYNC ■ 0x1：Delay_Req ■ 0x2：Pdelay_Req ■ 0x3：Pdelay_Resp ■ 0x8：Follow_Up ■ 0x9：Delay_Resp ■ 0xA：Pdelay_Resp_Follow_Up ■ 0xB：Announce ■ 0xC：Signaling ■ 0xD：Management
PTP 版本	43（半字节）	0x1/0x2	■ 0x1：PTP 版本 1 ■ 0x2：PTP 版本 2

1. PTP 事件报文为 SYNC、Delay_Req（IEEE 1588 版本 1 和 2）或 Pdelay_Req、Pdelay_Resp（仅限 IEEE 1588 版本 2）。

基于 IPv6 的 PTP 数据包

表 34-17 提供了 IEEE 1588 版本 1 和 2 通过 UDP 基于 IPv6 发送的 PTP 数据包与控制快照匹配的字段信息。标记数据包的八位位组位置偏移了 4。这是基于 IEEE 1588-2008，附录 D 和表 34-15 中定义的报文格式。

表 34-17 IPv6-UDP PTP 数据包控制和状态所需字段

匹配的字段	八位位组位置	匹配值	描述
MAC 数据包类型	12,13	0x86DD	IP 数据报

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

匹配的字段	八位位组位置	匹配值	描述
IP 版本	14	0x6	IP 版本是 IPv4
第 4 层协议	20(1)	0x11	UDP
PTP 多播地址	38~53	FF0x:0:0:0:0:0:0:181 (Hex) FF02:0:0:0:0:0:0:6B (Hex)	■ PTP Primary 多播地址：FF0x:0:0:0:0:0:0:0:181 (Hex) ■ PTP Pdelay 多播地址：FF02:0:0:0:0:0:0:0:6B (Hex)
UDP 目的端口	56,57a	0x013F, 0x0140	■ 0x013F：PTP 事件消息（1） ■ 0x0140：PTP 通用消息
PTP 控制字段（IEEE 1588 版本 1）	94a	0x00, 0x01, 0x02, 0x03, 0x04	■ 0x00：SYNC ■ 0x01：Delay_Req ■ 0x02：Follow_Up ■ 0x03：Delay_Resp ■ 0x04：Management（版本 1）
PTP 消息类型字段（IEEE 1588 版本 2）	62a（半字节）	0x0, 0x1, 0x2, 0x3, 0x8, 0x9, 0xB, 0xC, 0xD	■ 0x0：SYNC ■ 0x1：Delay_Req ■ 0x2：Pdelay_Req ■ 0x3：Pdelay_Resp ■ 0x8：Follow_Up ■ 0x9：Delay_Resp ■ 0xA：Pdelay_Resp_Follow_Up ■ 0xB：Announce ■ 0xC：Signaling ■ 0xD：Management
PTP 版本	63（半字节）	0x1/0x2	■ 0x1：PTP 版本 1 ■ 0x2：PTP 版本 2

1. PTP 数据包未定义扩展头。

基于以太网的 PTP 数据包

表 34-18 提供了 IEEE 1588 版本 1 和 2 基于以太网发送的 PTP 数据包与控制快照匹配的字段信息。标记数据包的八位位组位置偏移了 4。这是基于 IEEE 1588-2008，附录 D 和表 34-15 中定义的报文格式。

表 34-18 以太网 PTP 数据包控制和状态所需字段

匹配的字段	八位位组位置	匹配值	描述
MAC 目的多播地址(1)	0~5	01-1B-19-00-00-00 01-80-C2-00-00-0E	所有 PTP 报文均可使用以下任意组播地址(2)： ■ 01-1B-19-00-00-00 ■ 01-80-C2-00-00-0E(3)
MAC 数据包类型	12,13	0x88F7	PTP 以太网数据包

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

匹配的字段	八位位组位置	匹配值	描述
MAC 目的多播地址[1]	0~5	01-1B-19-00-00-00 01-80-C2-00-00-0E	所有 PTP 报文均可使用以下任意组播地址[2]： ■ 01-1B-19-00-00-00 ■ 01-80-C2-00-00-0E[3]
PTP 控制字段（IEEE 1588 版本 1）	46	0x00, 0x01, 0x02, 0x03, 0x04	■ 0x00：SYNC ■ 0x01：Delay_Req ■ 0x02：Follow_Up ■ 0x03：Delay_Resp ■ 0x04：Management
PTP 消息类型字段（IEEE 1588 版本 2）	14（半字节）	0x0, 0x1, 0x2, 0x3, 0x8, 0x9, 0xB, 0xC, 0xD	■ 0x0：SYNC ■ 0x1：Delay_Req ■ 0x2：Pdelay_Req ■ 0x3：Pdelay_Resp ■ 0x8：Follow_Up ■ 0x9：Delay_Resp ■ 0xA：Pdelay_Resp_Follow_Up ■ 0xB：Announce ■ 0xC：Signaling ■ 0xD：Management
PTP 版本	15（半字节）	0x1/0x2	■ 0x1：PTP 版本 1 ■ 0x2：PTP 版本 2

1. 如果 MAC 时间戳控制寄存器的 TSENMACADDR 位被置 1，则使用编入 MAC 地址 0~3 的目的地址（DA）的单播地址匹配。

2. IEEE 1588-2008，附录 F。

3. MAC 不会将带有 Peer delay 多播地址（01-80-C2-00-00-0E）的 PTP 版本 1 报文视为有效的 PTP 报文。

34.5.6.6 发送路径功能

当数据包的起始数据包定界符（SFD）在 MII 接口上发送时，MAC 会捕获一个时间戳。必须捕获时间戳的数据包可按数据包进行控制。每个发送数据包都可以做标记，以表明是否要采集时间戳。

MAC 不会处理发送的数据包来识别 PTP 数据包。需要指定要捕获时间戳的数据包。可以使用发送描述符中的控制位来指定数据包。MAC 会将时间戳返回给相应发送描述符中的软件，从而将时间戳自动连接到特定的 PTP 数据包。

64 位时间戳信息被写入 TDES0 和 TDES1 字段。TDES0 字段保存时间戳的 32 个最低有效位。

34.5.6.7 接收路径功能

可以对 MAC 进行编程，以捕获 MII 接口上接收到的所有数据包的时间戳，或处理数据包以识别有效的 PTP 报文。使用 MAC 时间戳控制寄存器的下列选项来控制发送给应用程序的时间快照：

■ 使能所有数据包的快照。

■ 使能 IEEE 1588 版本 1 或版本 2 时间戳快照。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

■ 使能直接通过以太网或 UDP-IP-Ethernet 传输的 PTP 数据包的时间快照。

■ 使能接收 IPv4 或 IPv6 数据包的时间戳快照。

■ 使能仅对 EVENT 消息（SYNC、DELAY_REQ、PDELAY_REQ 或 PDELAY_RESP）的时间戳快照。

■ 使能节点为主节点或从节点，并选择快照类型。此功能可控制快照的报文类型。

注：以太网外设也支持基于 VLAN 数据包的 PTP 消息。

表 34-19 时间戳快照与 ETH_MACTSCTRL 寄存器的关系

SNAPTYPSEL	TSMSTRENA	TSEVNTENA	PTP 消息
00	x	0	SYNC, Follow_Up, Delay_Req, Delay_Resp
00	0	1	SYNC
00	1	1	Delay_Req
01	x	0	SYNC, Follow_Up, Delay_Req, Delay_Resp, Pdelay_Req, Pdelay_Resp, Pdelay_Resp_Follow_Up
01	0	1	SYNC, Pdelay_Req, Pdelay_Resp
01	1	1	Delay_Req, Pdelay_Req, Pdelay_Resp
10	x	x	SYNC, Delay_Req
11	x	x	Pdelay_Req, Pdelay_Resp

DMA 会将时间戳返回给相应接收描述符内的软件。包含时间戳信息状态和 IPC 状态的扩展状态写入正常描述符 RDES1 字段，时间戳快照写入上下文描述符的 RDES0 和 RDES1 字段。RDES0 字段保存时间戳的 32 个最低有效位。

34.5.6.8 IEEE 1588 系统时间源

要获得时间快照，MAC 需要 IEEE 1588-2002 中定义的 64 位格式（IEEE 1588-2008 中定义的 80 位格式）的参考时间。以太网外设只接收参考时钟输入，并利用它在内部生成参考时间（也称为系统时间）和捕获时间戳。时间戳包含以下字段：

■ UInteger48 secondsField

  secondsField 是以秒为单位的时间戳的整数部分。宽度为 48 位。例如，2.000000001 秒表示为 secondsField = 0x0000_0000_0002。

■ UInteger32 nanoSecondsField

  nanoSecondsField 是以纳秒为单位的时间戳的小数部分。例如，2.000000001 秒表示纳秒为 0x0000_0001。

  纳秒字段支持以下两种模式：

  – 数字翻转模式：在该模式下，纳秒字段的最大值为 0x3B9A_C9FF，即（10e9-1）纳秒。

  – 二进制翻转模式：在该模式下，纳秒字段在值 0x7FFF_FFFF 后翻转并递增秒字段。精确度为每比特~0.466 毫微秒。

34.5.6.9 系统时间寄存器模块

80 位时间保存在该模块中，并通过输入参考时钟（clk_ptp_ref_i）进行更新。该时间是 MII 接口收发以太网数据包快照（时间戳）的来源。

系统时间计数器可使用粗略校正方法进行初始化或校正。在这种方法中，初始值或偏移值被写入时间戳更

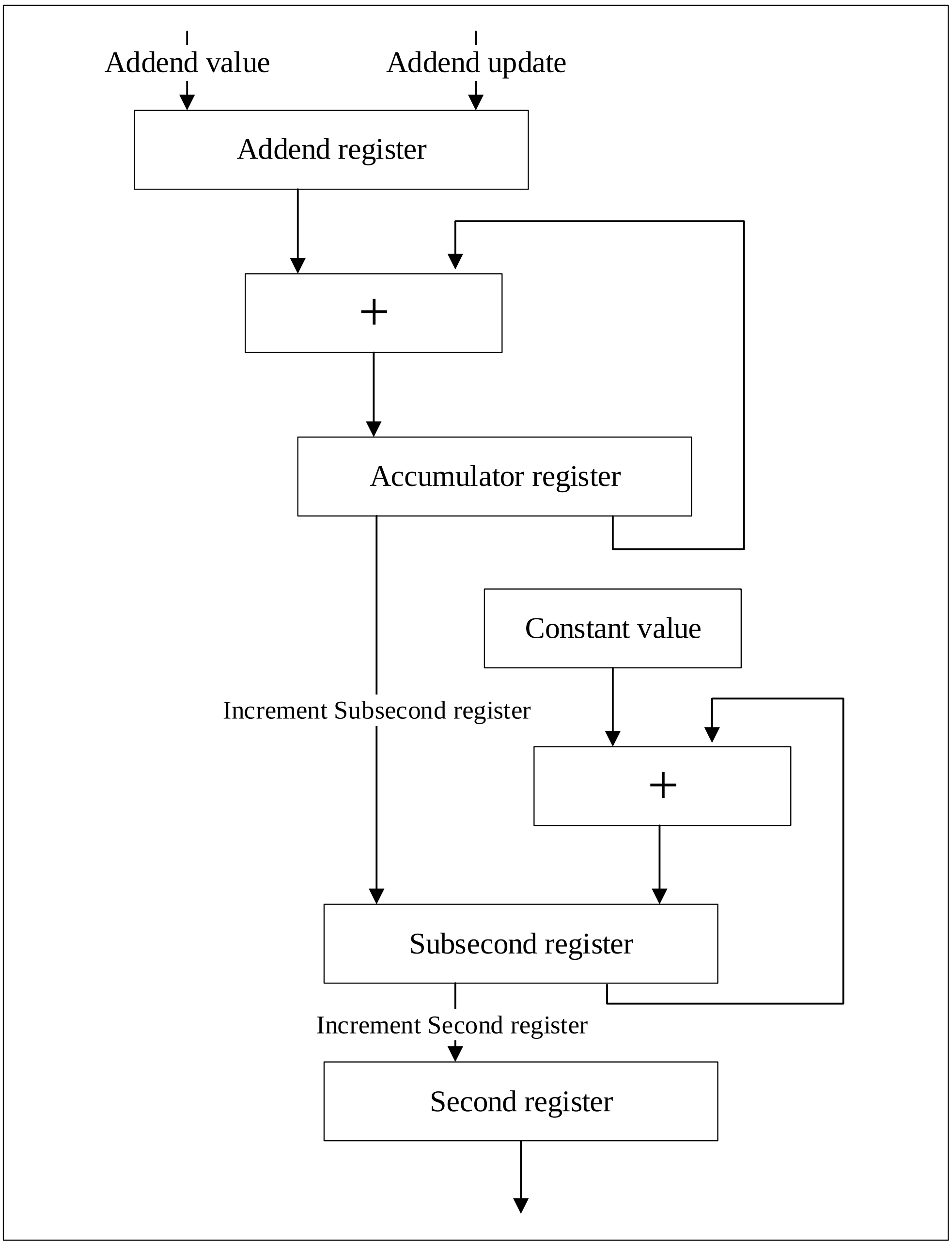
国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

新寄存器。初始化时，系统时间计数器写入时间戳更新寄存器中的值。在系统时间校正时，偏移值将与系统时间相加或相减。

在精密校正方法中，从时钟（clk_ptp_ref_i）相对于主时钟的频率偏移和/或频率漂移（如 IEEE 1588-2002 所定义）将在一段时间内进行校正，而不是像粗略校正那样在一个时钟内进行校正。这有助于保持线性时间，并且不会在 PTP 同步信息间隔之间的参考时间中引入剧烈变化（或较大抖动）。在这种方法中，累加器对添加寄存器的内容进行累加，如图 34-15 所示。累加器产生的算术进位被用作系统时间计数器的增量脉冲。累加器和加法器都是 32 位寄存器。累加器充当高精度乘法器或除法器。

注：连接 PTP 时钟的频率必须高于指定精度所需的频率。

图 34-15 使用精密方法更新系统时间



系统时间更新逻辑需要 50MHz 的时钟频率才能达到 20ns 的精度。分频是基准时钟频率与所需时钟频率之比。例如，如果参考时钟（clk_ptp_ref_i）为 66MHz，则该比率的计算公式为 66MHz / 50MHz = 1.32。因此，

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

寄存器中默认设置的附加值为 $2^{32}/1.32$，即 0xC1F07C1F。

如果参考时钟向下漂移，例如漂移到 65MHz，则比率为 65/50，即 1.3，寄存器中应设置的附加值为 $2^{32}/1.30$，即 0xC4EC4EC4。如果时钟向上漂移，例如漂移到 67MHz，则附加寄存器必须设置为 0xBF0B7672。当时钟漂移为零时，必须编程设置默认附加值 0xC1F07CIF（$2^{32}/1.32$）。

在图 34-15 中，用于累加亚秒寄存器的常数值为十进制 43，系统时间的精度为 20ns（换句话说，以 20ns 为单位递增）。软件必须根据同步信息计算频率漂移，并相应地更新 Addend 寄存器。

最初，从时钟是通过 Addend 寄存器中的 FreqCompensationValue0 设置的。该值如下：

$$FreqCompensationValue0 = 2^{32}/FreqDivisionRatio$$

如果最初假定连续同步信息的 MasterToSlaveDelay 相同，则必须采用本节给出的算法。经过几个同步周期后，就会出现频率锁定。然后，从时钟可以确定一个精确的 MasterToSlaveDelay 值，并使用新值与主时钟重新同步。

该算法如下：

- 在 $MasterSyncTime_n$ 时间，主时钟向从时钟发送同步信息。从时钟收到该信息时，其本地时钟为 $SlaveClockTime_n$，并按以下方式计算 $MasterClockTime_n$：

  $MasterClockTime_n = MasterSyncTime_n + MasterToSlaveDelay_n$

- 当前同步周期的主时钟计数 $MasterClockCount_n$ 为：

  $MasterClockCount_n = MasterClockTime_n - MasterClockTime_{n-1}$（假设同步周期 n 和 n - 1 的 MasterToSlaveDelay 相同）

- 当前同步周期的从时钟计数 $SlaveClockCount_n$ 为：

  $SlaveClockCount_n = SlaveClockTime_n - SlaveClockTime_{n-1}$

- 当前同步周期的主时钟计数和从时钟计数之差，即 $ClockDiffCount_n$ 为：

  $ClockDiffCount_n = MasterClockTime_n - SlaveClockTime_n$

- 从时钟的频率缩放因子，即 $FreqScaleFactor_n$ 为：

  $FreqScaleFactor_n = (MasterClockCount_n + ClockDiffCount_n) / SlaveClockCount_n$

- Addend 寄存器的频率补偿值 $FreqCompensationValue_n$ 为：

  $FreqCompensationValue_n = FreqScaleFactorn_n \times FreqCompensationValue_{n-1}$

理论上，该算法可在一个同步周期内实现锁定。不过，由于网络传播延迟和运行条件不断变化，可能需要几个周期。该算法具有自校正功能。如果从时钟最初被设置为主时钟的错误值，该算法会以更多同步周期为代价进行修正。

34.5.6.10 秒脉冲输出（PPS）

以太网外设处于"固定秒脉冲输出"模式（简称固定模式），指示 1 秒间隔。所有 PPS 的输出均由 PPSCTRL 字段中的编程值控制。在固定模式下，不支持对单个 PPS 输出进行独立控制。MAC PPS 目标时间秒/纳秒寄存器仅用于生成目标时间到达中断；不用于生成 PPS 输出。PPS 输出频率可通过设置 MAC PPS 控制寄存器中的 PPSCTRL 字段进行更改。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

34.5.6.11 一步时间戳

以太网外设支持一步时间戳功能。当一步时间戳功能使能时，MAC 会识别数据包中的偏移量，并在该偏移量处插入从应用程序接收到的时间戳。

MAC 发送 PTP 模式

根据消息类型及其模式，MAC 会更新发送 PTP 消息的以下字段：

- 消息的 PTP 头中的 correctionField
- SYNC、Delay_Req 和 Pdelay_Req 消息中的 originTimestamp

表 34-20 显示了如何根据 MAC 时间戳控制寄存器的 SNAPTYPSEL、TSMSTRENA 和 TSEVNTENA 位的设置选择 PTP 模式，以及在一步时间戳操作过程中根据该模式下的消息类型更新传入 PTP 数据包的字段。

表 34-20 MAC 发送 PTP 模式和一步时间戳操作(1)

SNAPTYPSEL	TSMSTRENA	TSEVNTENA	模式	TTSE(2)	OSTC(3)	TTS(4)	Tx 路径上的消息处理
x	x	x	N/A	1	x	x	捕获时间戳并返回给应用程序
x	x	x	N/A	x	0	x	未执行 OST 操作（PTP 数据包未修改）
2’b00	x	0	点对点透明模式模式	0	1	入口 TS	Sync（停留时间和入口误差校正字段） Delay_Req（停留时间和出口误差校正字段）
2’b00	0	1	普通/边界从模式	1	1	x	Delay_Req（originTimestamp 字段） Delay_Req（出口误差校正字段）
2’b00	1	1	普通/边界主模式	0	1	x	Sync（originTimestamp 字段） Sync（亚纳秒校正字段）
2’b01	x	0	端到端透明模式，支持对等延迟机制	0	1	入口 TS	Sync（停留时间和入口误差校正字段）
						入口 TS	Pdelay_Req（停留时间和出口误差校正字段）
						入口 TS	Pdelay_Resp（停留

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

SNAPTYPSEL	TSMSTRENA	TSEVNTENA	模式	TTSE(2)	OSTC(3)	TTS(4)	Tx 路径上的消息处理
							时间和入口误差校正字段）
2’b01	0	1	普通/边界主模式，支持对等延迟机制或点对点透明模式模式	0	1	入口 TS	Sync（停留时间和入口误差校正字段）（仅适用于点对点透明时钟操作）
				1	1	x	Delay_Req（originTimestamp 字段） Delay_Req（出口误差校正字段）
				1	1	x	Pdelay_Req（originTimestamp 字段） Pdelay_Req（出口误差校正字段）
				0	1	Pdelay_Req 入口 TS	Pdelay_Resp（周转时间和入口误差校正字段）
2’b01	1	1	普通/边界主模式，支持对等延迟机制	0	1	x	Sync（originTimestamp 字段） Sync（亚纳秒校正字段）
				1	1	x	Pdelay_Req（originTimestamp 字段） Pdelay_Req（出口误差校正字段）
				0	1	Pdelay_Req 入口 TS	Pdelay_Resp（周转时间和入口误差校正字段）
2’b10	x	x	点对点透明模式模式	0	1	入口 TS	Sync（停留时间和入口误差校正字段）
						入口 TS	Delay_Req（停留时间和出口误差校正字段）
2’b11	x	x	点对点透明模式模式	0	1	入口 TS	Sync（停留时间和入口误差校正字

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

SNAPTYPSEL	TSMSTRENA	TSEVNTENA	模式	TTSE[2]	OSTC[3]	TTS[4]	Tx 路径上的消息处理
							段）
				1	1	x	Pdelay_Req（originTimestamp 字段） Pdelay_Req（出口误差校正字段）
				0	1	Pdelay_Req 入口 TS	Pdelay_Resp（周转时间和入口误差校正字段）

1. 每个数据包控制值（TTSE、OSTC 和 TTS）是设备在典型 PTP 操作中针对编程模式使用的推荐设置。
2. TTSE 表示发送正常描述符的 TTSE 位。TTSE 功能独立于 OST 功能和 OST 的编程运行模式。当 TTSE 位被设置时，MAC 捕获并返回时间戳。
3. OSTC 表示发送上下文描述符的 OSTC 位。
4. TTS 表示发送正常描述符（回写格式）的 TTSH、TTSL 字段中提供的时间戳值。

注：停留时间/周转时间的计算方法是捕获的时间戳（出口时间戳）与入口时间戳之间的差值。当使能亚纳秒功能时，停留时间的计算包括亚纳秒精度。支持对等延迟机制的时钟不使用延迟请求或响应，但为了灵活起见，OST 中包含了这一功能。

一步时间戳使能

可以通过设置发送上下描述符 TDES3 中的 bit27（OSTC）来使能数据包的一步时间戳功能。要更新某些 PTP 数据包中的校正字段，必须在 TSSL 和 TSSH 字段中给出入口时间戳。

34.5.7 发送校验和减荷

在发送路径中，MAC 会计算校验和并将其插入 Tx 数据包。这一功能有助于减轻软件的负担，提高系统的整体吞吐量。

发送校验和减荷引擎（COE）模块支持两种类型的校验和计算和插入。可以通过设置 CIC 字段（TDES3 位[17:16]）来控制每个数据包的校验和引擎。

注：TCP、UDP 或 ICMP 的校验和是通过完整数据包计算得出的，然后插入相应的报头字段。由于这一要求，当启用该功能时，即使配置为阈值（直通）模式，Tx FIFO 也会自动以存储转发模式运行。

提示：有关 IPv4、TCP、UDP、ICMP、IPv6 和 ICMPv6 数据包报头规范，请分别参见 IETF 规范 RFC 791、RFC 793、RFC 768、RFC 792、RFC 2460 和 RFC 4443。

34.5.7.1 IP 报头校验和引擎

在 IPv4 数据报中，报头字段的完整性由 16 位报头校验和字段（IPv4 数据报的第 11 和第 12 字节）表示。当以太网数据包的类型字段值为 0x0800，而 IP 数据报的版本字段值为 0x4，COE 就会检测到 IPv4 数据报。在计算过程中，输入数据包的校验和字段会被忽略，取而代之的是计算值。

注：IPv6 报头没有校验和字段。因此，COE 不会修改 IPv6 报头字段。

IP 报头校验和计算的结果由发送状态（正常描述符回写格式 TDES3 的 bit0）中的 IP 报头错误状态位指示。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

如果以太网类型字段和 IP 报头的版本字段的值不一致，或者以太网数据包的数据量不足（如 IP 报头长度字段所示），则该状态位被置位。换句话说，在以下情况下出现 IP 报头错误时，该位将被置位：

- 对于 IPv4 数据报：
  - 接收的以太网类型为 0x0800，但 IP 报头的版本字段不等于 0x4。
  - IPv4 报头长度字段显示的值小于 0x5（20 字节）。
  - 数据包总长度小于 IPv4 报头长度字段中给出的值。
- 对于 IPv6 数据报：
  - 以太网类型为 0x86DD，但 IP 报头版本字段不等于 0x6。
  - 数据包在完全接收到 IPv6 报头（40 字节）或扩展报头（如扩展报头中相应的报头长度字段所示）之前结束。

34.5.7.2 TCP/UDP/ICMP 校验和引擎

TCP/UDP/ICMP 校验和引擎处理 IPv4 或 IPv6 报头（包括扩展报头），并确定封装的有效负载是 TCP、UDP 还是 ICMP。计算 TCP、UDP 或 ICMP 有效负载的校验和，并将其插入报头中的相应字段。Tx COE 可在以下两种模式下工作：

- TCP、UDP 或 ICMPv6 伪报头不包括在校验和计算中，而是假定存在于输入数据包的校验和字段中。该引擎在校验和计算中包含校验和字段，然后用最终计算出的校验和替换校验和字段。
- 该引擎忽略校验和字段，在校验和计算中包含 TCP、UDP 或 ICMPv6 伪报头数据，并用最终计算值覆盖校验和字段。

注：对于 ICMP-over-IPv4 数据包，ICMP 数据包中的校验和字段在两种模式下都必须始终为 16'h0000，因为此类数据包没有定义伪报头。如果不等于 16'h0000，则可能在数据包中插入错误的校验和。

该操作的结果由发送状态向量中的有效负载校验和错误状态位（正常描述符读格式 TDES1 的 bit12）指示。当检测到数据包在存储转发模式下被转发到 MAC 发送引擎而未将数据包尾（EOP）写入 FIFO，或在收到 IP 头中有效负载长度字段所指示的字节数之前数据包结束时，该引擎会设置有效负载校验和错误状态位。当数据包长度超过指示的有效载荷长度时，COE 会将其作为填充字节忽略，并且不会报告错误。当该引擎检测到第一类错误时，它不会修改 TCP、UDP 或 ICMP 报头。对于第二种错误类型，它仍会将计算出的校验和插入相应的报头字段。

表 34-21 根据数据包类型描述了发送校验和减荷引擎支持的功能。当 MAC 不插入校验和时，表中显示为"否"。

表 34-21 不同数据包类型的发送校验和减荷引擎功能

数据包类型	硬件 IP 报头校验和插入	硬件 TCP/UDP 校验和插入
非 IPv4 或 IPv6 数据包	否	否
带 TCP、UDP 或 ICMP 的 IPv4	是	是
IPv4 数据包具有 IP 选项（IP 报头长度大于 20 字节）	是	是
数据包为一个 IPv4 分片	是	否
主报头或扩展报头中包含以下后续报头字段的 IPv6 数据包： ■ 逐跳选项（在 IPv6 主报头中） ■ 逐跳选项（在 IPv6 扩展报头中）	■ 不适用	■ 是

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

数据包类型	硬件 IP 报头校验和插入	硬件 TCP/UDP 校验和插入
非 IPv4 或 IPv6 数据包	否	否
■ 目标选项 ■ 路由（剩余段为 0） ■ 路由（剩余段 ＞0） ■ TCP、UDP 或 ICMP ■ 认证 ■ 主报头或扩展报头中的任何其他后续报头字段	■ 不适用 ■ 不适用 ■ 不适用 ■ 不适用 ■ 不适用 ■ 不适用 ■ 不适用	■ 否 ■ 是 ■ 否 ■ 否 ■ 是 ■ 否 ■ 否
IPv4 数据包有带选项字段的 TCP 报头	是	是
IPv4 通道： ■ IPv4 通道中的 IPv4 数据包 ■ IPv4 通道中的 IPv6 数据包	 ■ 是（IPv4 通道报头） ■ 是（IPv4 通道报头）	 ■ 否 ■ 否
IPv6 通道： ■ IPv6 通道中的 IPv4 数据包 ■ IPv6 通道中的 IPv6 数据包	 ■ 不适用 ■ 不适用	 ■ 否 ■ 否
具有 802.3ac 标签的 IPv4 数据包（使能时带有 C-VLAN 标签或 S-VLAN 标签）。	是	是
具有 802.3ac 标签的 IPv6 数据包（使能时带有 C-VLAN 标签或 S-VLAN 标签）。	不适用	是
带安全功能（例如封装的安全有效负载）的 IPv4 帧	是	否
带安全功能（例如封装的安全有效负载）的 IPv6 帧	不适用	否

34.5.8 接收校验和减荷

以太网外设提供接收校验和卸载引擎，用于检测接收路径上 IPv4 或 IPv6 数据包中的任何错误。MAC 将接收到的数据包的校验和字段与内部计算的校验和进行校验，并提供状态。

接收校验和卸载引擎用于通过计算报头校验和来检测 IP 数据包中的错误，并将其与接收到的报头校验和进一步匹配。该引擎还能识别接收到的 IP 数据包中的 TCP、UDP 或 ICMP 有效负载，并适当计算这些有效负载的校验和。

在这里，接收到的以太网数据包中的 IPv4 和 IPv6 数据包都会被检测出来，并进行数据完整性处理。MAC 接收器通过检查接收到的以太网数据包类型字段中的值 0x0800 或 0x86DD，来分别识别为 IPv4 或 IPv6 数据包。这种识别方法适用于单 VLAN 标签数据包。

Rx COE 会计算 IPv4 报头校验和，并检查它们是否与接收到的 IPv4 报头校验和相匹配。这一操作的结果（通过或未通过）将提供给 RFC 模块，以便插入到接收状态字中。如果指示的有效负载类型（以太网类型字段）与 IP 报头版本不匹配，或接收的数据包没有足够的字节（如 IPv4 报头的长度字段所示）（或 IPv4 或 IPv6 报头中可用的字节少于 20 个），则设置 IP 报头错误位。

当 MTL 接收队列操作模式寄存器中的 DISTCPEF 位被复位且 FEP 位被置 1 时，MTL 会丢弃有 TCP/IP 错误（报头或有效负载）的数据包。

该引擎还能识别接收到的 IP 数据报（IPv4 或 IPv6）中的 TCP、UDP 或 ICMP 有效负载，并按照 TCP、UDP 或 ICMP 规范的规定正确计算这些有效负载的校验和。该引擎包括用于计算校验和的 TCP、UDP 或 ICMPv6 伪报头字节，并检查接收到的校验和字段是否与计算值一致。此操作的结果将作为接收状态字中的有效负

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

载校验和错误位给出。如果 TCP、UDP 或 ICMP 有效载荷的长度与 IP 头中给出的预期有效负载长度不匹配，也会设置该状态位。

表 34-22 根据数据包类型描述了接收校验和减荷引擎支持的功能。当未处理 IP 数据包的有效负载时（表中显示为"否"），接收状态中会给出相关信息（是否绕过校验和引擎）。

注：MAC 不会在接收到的以太网数据包中附加任何有效负载校验字节。

表 34-22 不同数据包类型的接收校验和减荷引擎功能

数据包类型	硬件 IP 报头校验和检查	硬件 TCP/UDP 校验和检查
非 IPv4 或 IPv6 数据包	否	否
带 TCP、UDP 或 ICMP 的 IPv4	是	是
IPv4 报头的协议字段包含除 TCP、UDP 或 ICMP 之外的协议	是	否
IPv4 数据包具有 IP 选项（IP 报头长度大于 20 字节）	是	是
数据包为一个 IPv4 分片	是	否
主报头或扩展报头中包含以下后续报头字段的 IPv6 数据包： ■ 逐跳选项（在 IPv6 主报头中） ■ 逐跳选项（在 IPv6 扩展报头中） ■ 目标选项 ■ 路由（剩余段为 0） ■ 路由（剩余段 ＞0） ■ TCP、UDP 或 ICMP ■ 主报头或扩展报头中的任何其他后续报头字段	■ 不适用 ■ 不适用 ■ 不适用 ■ 不适用 ■ 不适用 ■ 不适用 ■ 不适用	■ 是 ■ 否 ■ 是 ■ 是 ■ 否 ■ 是 ■ 否
IPv4 数据包有带选项字段的 TCP 报头	是	是
IPv4 通道： ■ IPv4 通道中的 IPv4 数据包 ■ IPv4 通道中的 IPv6 数据包	■ 是（IPv4 通道报头） ■ 是（IPv4 通道报头）	■ 否 ■ 否
IPv6 通道： ■ IPv6 通道中的 IPv4 数据包 ■ IPv6 通道中的 IPv6 数据包	■ 不适用 ■ 不适用	■ 否 ■ 否
具有 802.3ac 标签的 IPv4 数据包（使能时带有 C-VLAN 标签或 S-VLAN 标签）。	是	是
具有 802.3ac 标签的 IPv6 数据包（使能时带有 C-VLAN 标签或 S-VLAN 标签）。	不适用	是
带安全功能（例如封装的安全有效负载）的 IPv4 帧	是	否
带安全功能（例如封装的安全有效负载）的 IPv6 帧	不适用	否

34.5.9 低功耗管理（PMT）

以太网外设支持以下低功耗技术：

- 魔术数据包
- 远程唤醒

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

魔术数据包和远程唤醒技术用于在主机系统处于空闲（掉电模式）时节省电能，只有在接收到来自以太网网络的特定数据包时才需要唤醒主机系统。在掉电模式下，主机逻辑和大部分以太网内核（除 MAC 接收逻辑外）的电源可以关闭。在接收到来自网络的特定数据包时，MAC 会触发主机系统恢复供电，并回到正常状态。

当在 PMT 模块中使能低功耗模式时，MAC 会丢弃所有接收到的数据包，并且不会向 MTL Rx 队列或应用程序转发任何数据包。

34.5.9.1 魔术数据包模式

在基于魔术数据包模式中，MAC 接收器接收到有效魔术包会触发退出低功耗模式。当 MAC PMT 控制状态寄存器的 PWRDWN 位编程为 1 时，MAC 进入低功耗模式。通过将 MAC PMT 控制状态寄存器的 MGKPKTEN 位设置为 1，使能从基于魔术数据包的低功耗模式退出。

魔术数据包在目的地址、源地址和长度/类型字段之后的任意偏移处都包含一个唯一格式。除了唯一格式匹配外，MAC 接收器还检查以下内容，以检测接收到的数据包是否为有效的魔术包：

- 数据包必须向其寻址（接收到的数据包的目的地址应与 MAC 地址 0 高位寄存器和 MAC 地址 0 低位寄存器完全匹配）或具有多播/广播地址。
- 数据包不得有长度错误、FCS 错误、dribble 位错误、MII 错误和冲突。
- 数据包不得过长（包括以太网头和 FCS 在内的长度至少为 64 字节）。

注：魔术数据包功能是基于 Advanced Micro Device (AMD) 的 Magic Packet 技术白皮书。无论在 MAC 配置寄存器的 WD 位和 MAC 看门狗超时寄存器的 PWE 位上编程的值是多少，魔术数据包的看门狗超时限制都是 2048 字节。

魔术数据包格式

魔术数据包的唯一格式包含的内容如下：

- 6 个字节全"1"（48'hFF_FF_FF_FF_FF），称为同步流。8'hFF 可以多于 6 个，但只考虑最后 6 个。
- 同步流之后紧接着是 16 次重复的数据包目的地址字段（MAC 地址（MAC 地址 0 高位寄存器和 MAC 地址 0 低位寄存器）或多播/广播地址）。
- 同步流与目的地地址字段的首次重复之间或其 16 次重复内无任何断开或中断。

如果节点的 MAC 地址为 48'h00_11_22_33_44_55，则 MAC 扫描以下数据序列：

（目的地址）（源地址）（长度/类型）……………FF FF FF FF FF FF

00 11 22 33 44 55 00 11 22 33 44 55 00 11 22 33 44 55 00 11 22 33 44 55

00 11 22 33 44 55 00 11 22 33 44 55 00 11 22 33 44 55 00 11 22 33 44 55

00 11 22 33 44 55 00 11 22 33 44 55 00 11 22 33 44 55 00 11 22 33 44 55

00 11 22 33 44 55 00 11 22 33 44 55 00 11 22 33 44 55 00 11 22 33 44 55

………………………………………………………………………..CRC

34.5.9.2 远程唤醒数据包模式

在基于远程唤醒数据包模式中，MAC 接收器接收到预期的远程唤醒数据包时会触发退出低功耗模式。当 MAC PMT 控制状态寄存器的 PWRDWN 位编程为 1 时，MAC 进入低功耗模式。通过将 MAC PMT 控制状

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

态寄存器的 RWKPKTEN 位编程为 1，使能从基于远程唤醒的低功耗模式退出。

MAC 实现了一个过滤查找表（通过 MAC 远程唤醒过滤寄存器编程），其中编程了嵌入远程唤醒数据包的模式的 CRC、偏移和字节掩码以及过滤操作命令。

嵌入远程唤醒数据包的位于目的地址和源地址字段之后的任意偏移量处。除了格式的 CRC 匹配外，MAC 接收器还检查以下内容，以检测接收到的数据包是否为有效的远程唤醒数据包：

- 数据包必须向其寻址（接收到的数据包的目的地址应与 MAC 地址 0 高位寄存器和 MAC 地址 0 低位寄存器完全匹配）或具有多播/广播地址。
- 数据包不得有长度错误、FCS 错误、dribble 位错误、MII 错误和冲突。
- 数据包不得过长（包括以太网头和 FCS 在内的长度至少为 64 字节）。

当接收到有效的远程唤醒数据包时，MAC 接收器会设置 MAC PMT 控制状态寄存器中的 RWKPRCVD 位，并触发输出端口上的中断。在低功耗模式下未使能功率门控时，MAC 中断状态寄存器中的 PMTIS 位被置位。在低功耗模式下，当中断使能（MAC 中断使能寄存器中的 PMTIE 位被置位）且 CSR 时钟未被门控关闭时，将向应用程序触发中断。

远程唤醒数据包过滤器

使能基于远程唤醒的低功耗模式时，可选择 4 个远程唤醒过滤器。远程唤醒过滤器结构如表 34-23 所示。

表 34-23 远程唤醒过滤寄存器

<table>
<tr><th>寄存器</th><th>31</th><th>30</th><th>29</th><th>28</th><th>27</th><th>26</th><th>25</th><th>24</th><th>23</th><th>22</th><th>21</th><th>20</th><th>19</th><th>18</th><th>17</th><th>16</th><th>15</th><th>14</th><th>13</th><th>12</th><th>11</th><th>10</th><th>9</th><th>8</th><th>7</th><th>6</th><th>5</th><th>4</th><th>3</th><th>2</th><th>1</th><th>0</th></tr>
<tr><td>唤醒帧过滤器寄存器 0</td><td colspan="32">过滤器 0 字节屏蔽</td></tr>
<tr><td>唤醒帧过滤器寄存器 1</td><td colspan="32">过滤器 1 字节屏蔽</td></tr>
<tr><td>唤醒帧过滤器寄存器 2</td><td colspan="32">过滤器 2 字节屏蔽</td></tr>
<tr><td>唤醒帧过滤器寄存器 3</td><td colspan="32">过滤器 3 字节屏蔽</td></tr>
<tr><td>唤醒帧过滤器寄存器 4</td><td colspan="4">保留</td><td colspan="4">过滤器 3 命令</td><td colspan="4">保留</td><td colspan="4">过滤器 2 命令</td><td colspan="4">保留</td><td colspan="4">过滤器 1 命令</td><td colspan="4">保留</td><td colspan="4">过滤器 0 命令</td></tr>
<tr><td>唤醒帧过滤器寄存器 5</td><td colspan="8">过滤器 3 偏移</td><td colspan="8">过滤器 2 偏移</td><td colspan="8">过滤器 1 偏移</td><td colspan="8">过滤器 0 偏移</td></tr>
<tr><td>唤醒帧过滤器寄存器 6</td><td colspan="16">过滤器 1 CRC-16</td><td colspan="16">过滤器 0 CRC-16</td></tr>
<tr><td>唤醒帧过滤器寄存器 7</td><td colspan="16">过滤器 3 CRC-16</td><td colspan="16">过滤器 2 CRC-16</td></tr>
</table>

远程唤醒过滤寄存器的各字段的描述如下：

过滤器 i 字节屏蔽字段

过滤器 i（0、1、2、3）字节屏蔽寄存器定义了过滤器 i 检查数据包的字节，以确定数据包是否为唤醒数据包。

- MSB（bit31）必须为 0。
- 位 j[30:0]是字节掩码。
- 如果设置了字节掩码的 j 位（字节编号），CRC 块将处理输入数据包的过滤器 i 偏移量 +j；否则将忽略过滤器 i 偏移量 +j。

过滤器 i 命令字段

- 第 3 位指定地址类型，定义模式的目的地址类型。设置该位时，该模式仅适用于组播数据包；复位该位时，该模式仅适用于单播数据包。

- 第 2 位（反向模式）设置后，将反转 CRC16 哈希函数信号的逻辑，以拒绝与 CRC-16 值匹配的数据包。bit2 和 bit1 允许 MAC 通过创建过滤逻辑（如"模式 1 和模式 2 进行与非运算"）来拒绝远程唤醒数据包的子集。
- 第 1 位（And_Previous）实现布尔逻辑。设置时，当前条目的结果与前一个过滤结果进行逻辑 AND。通过这种 AND 逻辑，可以在两个、三个或四个过滤器之间分割掩码，从而实现长度超过 32 字节的过滤模式。这取决于设置了 And_Previous 位的过滤器数量。具体细节如下：
  - And_Previous 位的设置适用于一组 4 个过滤器。
  - 对未使能的过滤器的 And_Previous 位进行设置不会产生任何影响，即对 4 个过滤器中编号最低的过滤器的 And_Previous 位进行设置不会产生任何影响。例如，设置过滤器 0 的 And_Previous 位没有任何作用。
  - 如果为形成 AND 链的过滤器设置了 And_Previous 位，则 AND 链会在任何过滤器未使能时断开。例如如果过滤器 2 的 And_Previous 位被置位（过滤器 2 命令中的 bit1 被置位），但过滤器 1 没有使能（过滤器 1 命令中的 bit0 被复位），则只考虑过滤器 2 的结果。如果过滤器 2 的 And_Previous 位被置位（过滤器 2 命令中的 bit1 被置位），过滤器 3 的 And_Previous 位被置位（过滤器 3 命令中的 bit1 被置位），但过滤器 1 没有使能（过滤器 1 命令中的 bit0 被复位），则只考虑过滤器 2 与过滤器 3 的 AND 结果。如果过滤器 2 的 And_Previous 位被置位（过滤器 2 命令中的 bit1 被置位），过滤器 3 的 And_Previous 位被置位（过滤器 3 命令中的 bit1 被置位），但过滤器 2 没有使能（过滤器 2 命令中的 bit0 被复位），则由于过滤器 2 的 And_Previous 位的设置没有影响，因此只考虑过滤器 1 与过滤器 3 的结果的 OR 结果。
  - 如果通过 And_Previous 位设置串联的过滤器具有互补程序，则帧可能永远无法通过 AND 链过滤器。例如，如果过滤器 2 的 And_Previous 位被置位（过滤器 2 命令中的 bit1 被置位），过滤器 1 的 Address_Type 位被置位(过滤器 1 命令中的 bit3 被置位)，表示组播检测，而过滤器 2 的 Address_Type 位被复位（过滤器 2 命令中的 bit3 被复位），表示单播检测，反之亦然，则远程唤醒帧不会通过 AND 链过滤器，因为远程唤醒帧不可能同时具有单播和组播地址类型。
- 第 0 位是过滤器 i 的使能位，如果 bit0 未设置，过滤器 i 将被禁用。

过滤器 i 偏移字段

过滤器 i 偏移寄存器定义了第 i 个过滤器检查数据包的偏移量（数据包内）。

- 这个 8 位模式偏移量是过滤器 i 第一个要检查的字节的偏移量。
- 允许的最小偏移量为 12，即数据包的第 13 个字节。
- 偏移值 0 指的是数据包的第一个字节。

过滤器 i CRC-16 字段

该过滤器 i CRC-16 寄存器包含根据模式计算的 CRC-16 值，以及对唤醒过滤寄存器模块编程的字节屏蔽。

- 使用以下多项式进行 16 位 CRC 计算：

$$G(x) = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$$

- 哈希函数计算中使用的每个屏蔽均与该屏蔽相关的 16 位值进行比较。每个过滤器均包含以下内容：
  - 32 位屏蔽：该屏蔽中的每个位均对应于所检测数据包中的一个字节。如果该位为 1，则会将相应的字节用于 CRC-16 计算。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

– 8 位偏移指针：指定开始 CRC-16 计算的字节。指针和屏蔽一起用来定位用于 CRC16 计算的字节。

远程唤醒过滤器寄存器以 8 个间接访问寄存器（wkuppktfilter_reg#i）的形式实现，并由应用程序通过 MAC 远程唤醒过滤寄存器进行访问。要对远程唤醒过滤器进行编程时，必须写入整组 wkuppktfilter_reg 寄存器。在 MAC 远程唤醒过滤寄存器中依次写入 wkuppktfilter_reg0、wkuppktfilter_reg1、…、wkuppktfilter_reg7 的 8 个寄存器值，即可对 wkuppktfilter_reg 寄存器进行编程。wkuppktfilter_reg 寄存器的读取方式与此类似。MAC 会更新 MAC PMT 控制状态寄存器中的 RWKPTR 字段中的 wkuppktfilter_reg 寄存器当前指针值。

注：当写 MAC 远程唤醒过滤寄存器时，写操作完成后，内容将从 CSR 时钟域转移到 PHY 接收时钟域，在 PHY 接收时钟域更新第一次写操作之前，不应再向 MAC 远程唤醒过滤寄存器写入任何内容。否则，第二次写操作不会更新到 PHY 接收时钟域。因此，两次写入 MAC 远程唤醒过滤寄存器之间的延迟应至少为 4 个 PHY 接收时钟周期。

34.5.10 MAC 管理计数器

以太网外设支持在寄存器中存储有关接收和发送数据包的统计信息，这些寄存器可通过应用程序访问。

MAC 管理计数器（MMC）模块中的计数器可视为 CSR 模块寄存器地址空间的扩展。MMC 模块维护一组寄存器，用于收集接收和发送数据包的统计数据。寄存器集包括一个用于控制寄存器行为的控制寄存器、两个包含所产生中断的状态寄存器（接收和发送）以及中断使能寄存器（接收和发送）。应用程序可通过 MAC 控制接口（MCI）访问这些寄存器。每个寄存器宽 32 位。只要地址是字对齐的，就允许非 32 位访问。使用事务访问 MMC 与访问 CSR 地址空间的方式相同。

MMC 计数器是自由运行的，计数器启动时无需单独使能。如果内核中存在特定的 MMC 计数器，则在接收或发送相应数据包时开始计数。接收 MMC 计数器会对地址过滤器（AFM）模块通过的数据包进行更新。被 AFM 模块丢弃的数据包统计信息不会更新，除非它们是少于 6 字节的矮小包（DA 字节未完全接收）。要获取所有数据包的统计数据，需要设置 MAC 数据包过滤器寄存器中的第 0 位。

以下定义界定了 MMC 寄存器说明中使用的术语：

- 如果传输成功，则认为传输的数据包"良好"。换句话说，如果数据包传输没有因以下任何错误而中止，则传输的数据包为"良好"数据包：
  - Jabber 超时
  - 无载波或丢失载波
  - 延迟冲突
  - 数据包下溢
  - 过度延迟
  - 过度冲突
- 如果不存在以下错误，则认为接收到的数据包"良好"：
  - CRC 错误
  - 短包（短于 64 字节）
  - 对齐错误（仅限 10/100Mbps）
  - 长度错误（仅限非类型数据包）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

– 超出范围（仅限非类型数据包，长度超过 1518 字节）
– MII_RX_ER 输入错误

■ 最大传输帧大小取决于帧类型，如下所示：
– 无标签帧最大大小 = 1518
– VLAN 帧最大大小 = 1522
– 巨型帧最大大小 = 9018
– 巨型 VLAN 帧最大大小 = 9022

■ 最大接收数据包大小取决于数据包类型和控制位（JE、S2KP、GPSLCE），如表 34-24 所示。

表 34-24 最大接收数据包大小

JE	S2KP	GPSLCE	无标签帧的最大大小（字节）	单 VLAN 帧的最大大小（字节）	双 VLAN 帧的最大大小（字节）
1	x	x	9018	9022	9026
0	1	x	2000	2000	2000
0	0	1	GPSL	GPSL + 4	GPSL + 8
0	0	0	1518	1522	1526
1	x	x	9018	9022	9022
0	0	1	GPSL	GPSL + 4	GPSL + 4
0	0	0	1518	1522	1522

34.5.11 Loopback 模式

MAC 支持向接收器环回已发送的数据包。以下是使用环回模式的一些指导原则：

■ 仅在全双工模式下使能环回。在半双工模式下，载波检测信号（CRS）或碰撞（COL）信号输入会被采样，这可能会导致丢包等问题。

■ 如果在不连接 PHY 芯片的情况下使能环回模式，则应在外部生成 Tx 和 Rx 时钟，并将这些时钟提供给 MAC。

■ 不要循环回传大数据包。大数据包可能会在回环 FIFO 中损坏。

MAC 不处理循环返回的 ARP 或 PMT 数据包。要使能此功能，需要对 MAC 配置寄存器的 LM 位进行编程。

34.5.12 描述符

以太网子系统中的 DMA 根据描述符链表传输数据。应用程序在系统内存中创建描述符。以太网外设在发送端和接收端分别支持以下两种类型的描述符：

■ 正常描述符：正常描述符用于数据包数据，并提供适用于要传输的数据包的控制信息。

■ 上下文描述符：上下文描述符用于提供与要传输的数据包相关的控制信息。

每个正常描述符包含两个缓冲区和两个地址指针。这些缓冲区使适配器端口能与各种类型的内存管理方案兼容。

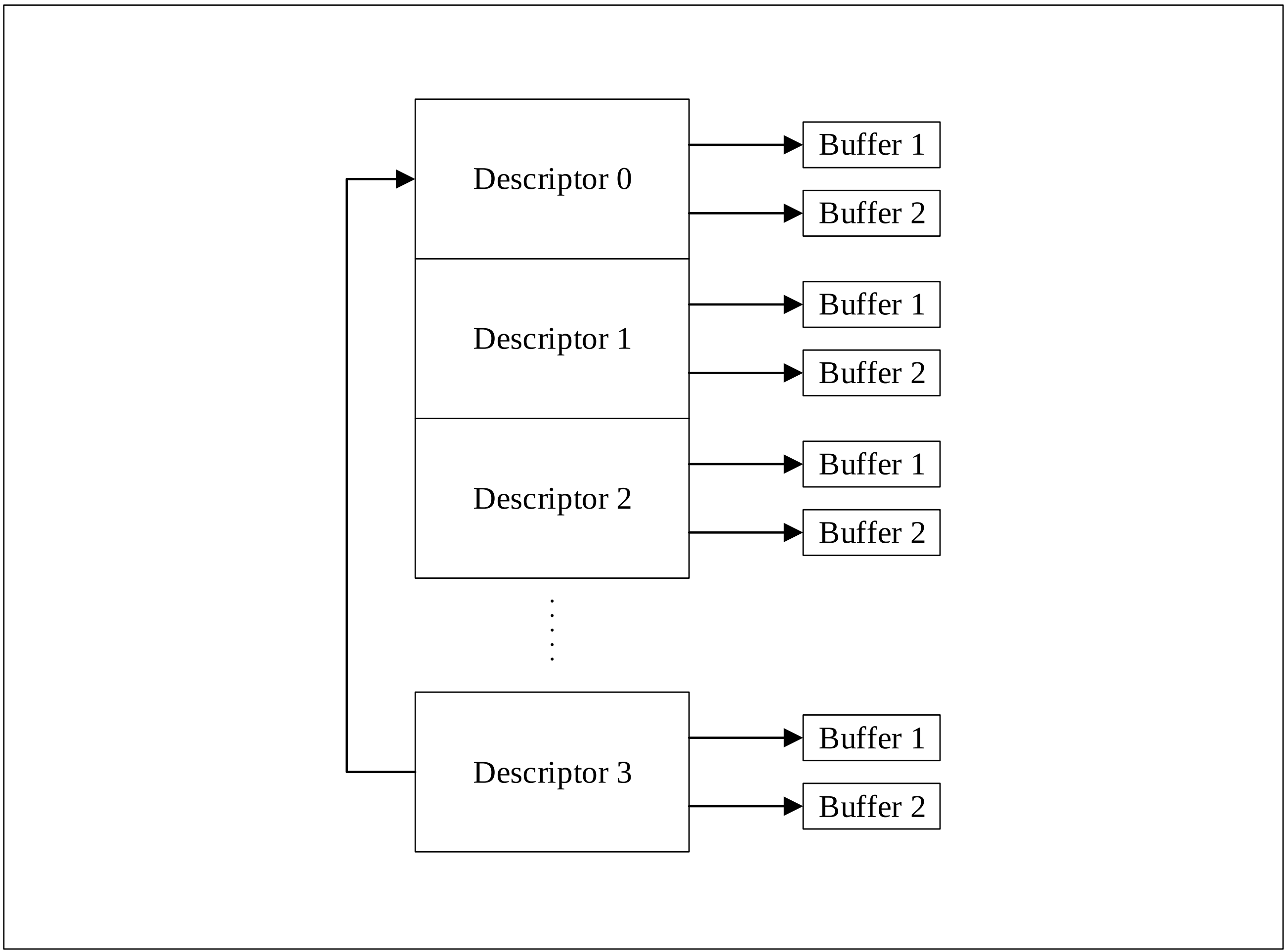
注：单个数据包可使用的描述符数量没有限制。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

34.5.12.1 描述符结构

以太网外设支持 DMA 描述符的环结构。如图 34-16 所示：

图 34-16 描述符环结构



在环形结构中，描述符由 DMA 通道 0 控制寄存器 DSL 字段中编程的 Word 编号分隔。应用程序需要在 DMA 通道的下列寄存器中编程总环长度，即环结构中描述符的总数：

- ETH DMA 通道 0 发送描述符环长度寄存器（ETH_DMACH0TXDRLEN）。
- ETH DMA 通道 0 接收控制寄存器 2（ETH_DMACH0RXCTRL2）。

描述符尾指针寄存器包含描述符地址（N）的指针。基地址和当前描述符指针决定了 DMA 可以处理的当前描述符的地址。

对于至少比描述符尾指针（$N-1$）所指示的描述符少一个地址单元的描述符，均为 DMA 所有。DMA 将继续处理这些描述符，直至出现以下情况：

当前描述符指针 == 描述符尾指针；

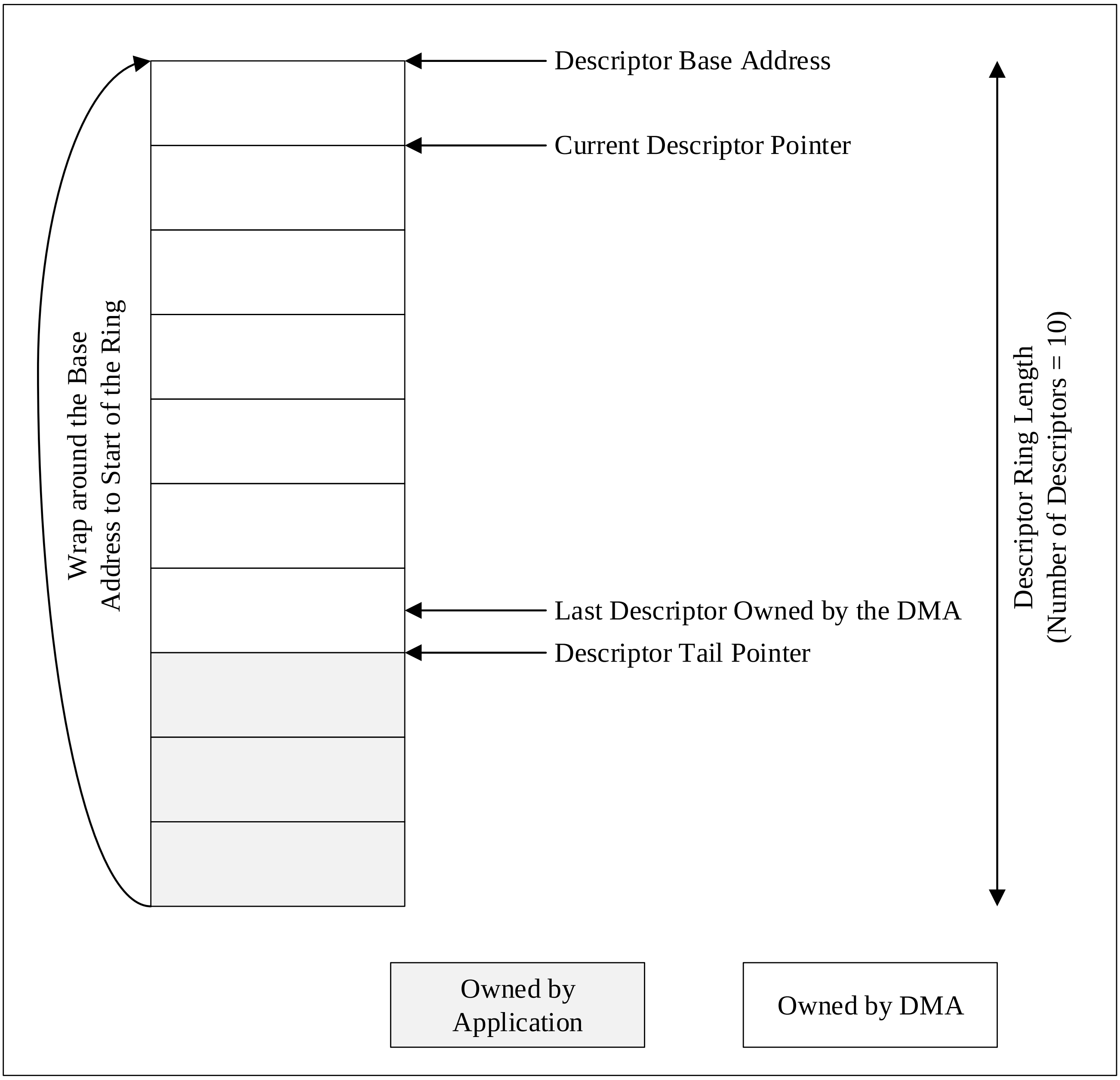
出现此条件时，DMA 将进入暂停（挂起）模式。应用程序必须写入描述符尾指针寄存器并更新尾指针，使以下条件为真：

当前描述符指针 < 描述符尾指针；

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

如图 34-17 所示，当到达环末端时，DMA 会自动绕基址运行。

图 34-17 DMA 描述符环



对于应用程序拥有的描述符，T(R)DES3 的 OWN 位被重置为 0。对于 DMA 拥有的描述符，OWN 位被设置为 1。如果应用程序在开始时只有一个描述符，则应用程序会将最后一个描述符地址（尾指针）设置为描述符基地址 ＋1。DMA 处理第一个描述符，然后等待应用程序将尾指针向前递增。

34.5.12.2 发送描述符

以太网外设中的 DMA 至少需要一个发送数据包描述符。除了两个缓冲区、两个字节数缓冲区和两个地址指针外，发送描述符还包含控制字段，可用于控制每个发送数据包的 MAC 操作。发送正常描述符有两种格式：读格式和回写格式。

发送正常描述符（读格式）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 34-25 显示了发送正常描述符的读格式。表 34-26 至表 34-29 描述了发送正常描述符的读格式：TDES0、TDES1、TDES2 和 TDES3 的读格式。

表 34-25 发送正常描述符（读格式）

寄存器	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TDES0	Buffer1 地址[31:0]																															
TDES1	Buffer2 地址[31:0]																															
TDES2	IOC	TTSE	Buffer2 长度														保留		Buffer1 长度													
TDES3	OWN	控制													CIC		-	帧长度														

表 34-26 TDES0 正常描述符（读格式）

位域	名称	描述
31:0	BUF1AP	缓冲区 1 地址指针（Buffer 1 Address Pointer） 将以下位置 1 时，这些位指示缓冲区 1 的物理地址： ■ TDES3 的 FD 位

表 34-27 TDES1 正常描述符（读格式）

位域	名称	描述
31:0	BUF2AP	缓冲区 2 地址指针（Buffer 2 Address Pointer） 使用描述符环结构时，这些位指示缓冲区 2 的物理地址。缓冲区地址对齐方式不限。

表 34-28 TDES2 正常描述符（读格式）

位域	名称	描述
31	IOC	完成时中断（Interrupt on completion） 该位控制 DMA 通道 0 状态寄存器中 TI 和 ETI 状态位的设置。当 ETIC = 1 和 TDES2[LD] = 0 时，该位设置 ETI 位。当 TDES3[LD] = 1 时，该位设置 TI 状态位。
30	TTSE	发送时间戳使能（Transmit Timestamp Enable） 该位置 1 时，可使能描述符引用的发送数据包的 IEEE 1588 时间戳。
29:16	B2L	Buffer 2 长度（Buffer 2 Length） 驱动程序会设置这个字段，该字段表示缓冲区 2 的长度。
15:14	Reserved	保留。
13:0	B1L	Buffer 1 长度（Buffer 1 Length） 该字段指示缓冲区 1 的长度。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 34-29 TDES3 正常描述符（读格式）

位域	名称	描述
31	OWN	所属位（Own Bit） 该位置 1 时，表示 DMA 拥有描述符。该位复位后，表示应用程序拥有该描述符。DMA 在完成相关缓冲区中的数据传输后会清除该位。
30	CTXT	上下文类型（Context Type） 对于正常描述符，该位应设置为 1'b0。
29	FD	第一个描述符（First Descriptor） 该位置 1 时，表示缓冲区包含数据包的第一个数据段。
28	LD	最后一个描述符（Last Descriptor） 该位置 1 时，表示缓冲区包含数据包的最后一个数据段。该位置 1 时，B1L 或 B2L 字段的值应为非零。
27:26	CPC	CRC PAD 控制（CRC Pad Control） 该字段控制 Tx 数据包的 CRC 和 PAD（填充）插入。该字段仅在第一个描述符位（TDES3[29]）被设置时有效。 下面列出了位[27:26]的值： ■ 2'b00：CRC 和 PAD 插入 MAC 在长度大于或等于 60 字节的发送数据包末尾附加循环冗余校验（CRC）。对于长度小于 60 字节的数据包，MAC 会自动附加填充和 CRC。 ■ 2'b01：插入 CRC（禁用填充插入） MAC 在发送的数据包末尾附加 CRC，但不附加填充。应用程序应确保从发送缓冲区发送的数据包中包含填充字节，即从发送缓冲区发送的数据包长度大于或等于 60 字节。 ■ 2'b10：禁用 CRC 插入 MAC 不会在发送的数据包末尾附加 CRC。应用程序应确保从发送缓冲区发送的数据包中包含填充和 CRC 字节。 ■ 2'b11：CRC 替换 MAC 使用重新计算的 CRC 字节替换发送数据包的最后四个字节。应用程序应确保从发送缓冲区发送的数据包中包含填充和 CRC 字节。 该字段仅对第一个描述符有效。
25:18	Reserved	保留。
17:16	CIC	校验和插入控制（Checksum Insertion Control） 这些位控制校验和的计算和插入。以下列表描述了这些位的编码： ■ 2'b00：禁用校验和插入。 ■ 2'b01：仅使能 IP 报头校验和计算与插入。 ■ 2'b10：使能 IP 报头校验和及有效负载校验和计算和插入，但不在硬件中计算伪报头校验和。 ■ 2'b11：使能 IP 报头校验和及有效负载校验和计算和插入，并在硬件中计算伪报头校验和。 该字段仅对第一个描述符有效。
15	Reserved	保留。
14:0	FL	帧长度（Frame Length）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		该字段等于要发送的数据包长度（以字节为单位）。该字段等于要发送的数据包总长度： *以太网头长度 + TCP/IP 头长度 - 前导码长度 - SFD 长度 + 以太网有效负载长度*

发送正常描述符（回写格式）

发送描述符的回写格式包括时间戳低位、时间戳高位、OWN 和状态位。

回写格式仅适用于相应数据包的最后一个描述符。在 DMA 回写相应发送数据包的状态和时间戳信息的描述符中，LD 位（TDES3[28]）被置位。

表 34-30 显示了发送正常描述符的回写格式。表 34-31 至表 34-34 描述了发送正常描述符的回写格式：TDES0、TDES1、TDES2 和 TDES3 的回写格式。

表 34-30 发送正常描述符（回写格式）

<table>
<tr><th>寄存器</th><th>31</th><th>30</th><th>29</th><th>28</th><th>27</th><th>26</th><th>25</th><th>24</th><th>23</th><th>22</th><th>21</th><th>20</th><th>19</th><th>18</th><th>17</th><th>16</th><th>15</th><th>14</th><th>13</th><th>12</th><th>11</th><th>10</th><th>9</th><th>8</th><th>7</th><th>6</th><th>5</th><th>4</th><th>3</th><th>2</th><th>1</th><th>0</th></tr>
<tr><td>TDES0</td><td colspan="32">时间戳低位</td></tr>
<tr><td>TDES1</td><td colspan="32">时间戳高位</td></tr>
<tr><td>TDES2</td><td colspan="32">保留</td></tr>
<tr><td>TDES3</td><td>OWN</td><td colspan="31">状态</td></tr>
</table>

表 34-31 TDES0 正常描述符（回写格式）

位域	名称	描述
31:0	TTSL	发送数据包时间戳低位（Transmit Packet Timestamp Low） DMA 会用相应发送数据包捕获的时间戳的最小有效 32 位更新该字段。只有在数据包的第一个描述符中设置了 TTSE 位时（TDES2），DMA 才会写入时间戳。只有当描述符中的 LS 位置 1 且时间戳状态（TTSS）位置 1 时，该字段才具有时间戳。

表 34-32 TDES1 正常描述符（回写格式）

位域	名称	描述
31:0	TTSH	发送数据包时间戳高位（Transmit Packet Timestamp High） DMA 会用相应发送数据包捕获的时间戳的最大有效 32 位更新该字段。只有在数据包的第一个描述符中设置了 TTSE 位时（TDES2），DMA 才会写入时间戳。只有当描述符中的 LS 位置 1 且时间戳状态（TTSS）位置 1 时，该字段才具有时间戳。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 34-33 TDES2 正常描述符（回写格式）

位域	名称	描述
31:0	Reserved	保留。

表 34-34 TDES3 正常描述符（回写格式）

位域	名称	描述
31	OWN	所属位（Own Bit） 该位置 1 时，表示 DMA 拥有该描述符。DMA 完成数据包传输完成后会清除该位。回写完成后，该位被设置为 1'b0。
30	CTXT	上下文类型（Context Type） 对于正常描述符，该位应设置为 1'b0。
29	FD	第一个描述符（First Descriptor） 该位置 1 时，表示缓冲区包含数据包的第一个数据段。
28	LD	最后一个描述符（Last Descriptor） 该位置 1 时，表示缓冲区包含数据包的最后一个数据段。DMA 只在数据包的最后一个描述符中写入状态字段。
27:24	Reserved	保留。
23	DE	描述符错误（Descriptor Error） 该位被置 1 时，表示描述符内容不正确。DMA 在回写过程中会设置该位，同时关闭描述符。 描述符错误可能是： ■ 上下文描述符顺序不正确。例如，位置位于数据包的第一个描述符之后。 ■ 全部为 1。 ■ CTXT 设为 1，LD 或 FD 位设为 1。 *注 1：当由于全部为 1 或 CTXT、LD 和 FD 位置 1 而发生描述符错误时，发送 DMA 关闭发送描述符，DE 和 LD 位设置为 1。当对应的第一个描述符的 TDES2 中的 IOC 位设置为 1 时，发送 DMA 将设置 DMA 通道 0 状态寄存器中的 TI 位。* *注 2：根据发送描述符的 CTXT、LD 和 FD 位，后续描述符可能被视为第一描述符（即使 FD 位未设置），并发送部分据包。*
22:18	Reserved	保留。
17	TTSS	发送时间戳状态（Tx Timestamp Status） 该状态位表示已捕获相应发送数据包的时间戳。该位被设置时，TDES0 和 TDES1 具有为发送数据包捕获的时间戳值。只有当描述符中的 LD 位（TDES3[28]）被设置时，该字段才有效。该位仅在 IEEE 1588 时间戳功能使能时有效，否则保留。
16	Reserved	保留。
15	ES	错误汇总（Error Summary） 该位表示以下位的逻辑 OR： ■ TDES3[0]：IP 头错误 ■ TDES3[14]：Jabber 超时 ■ TDES3[13]：数据包刷新 ■ TDES3[12]：有效负责校验和错误

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		■ TDES3[11]：载波丢失 ■ TDES3[10]：无载波 ■ TDES3[9]：延迟冲突 ■ TDES3[8]：过度冲突 ■ TDES3[3]：过度延迟 ■ TDES3[2]：下溢错误 当 EUE（bit16）被置 1 时，该位也被置 1。
14	JT	Jabber 超时（Jabber Timeout） 该位表示 MAC 发送器发生了 Jabber 超时。只有当 MAC 配置寄存器的 JD 位未置 1 时，该位才会被置 1。
13	PF	数据包刷新（Packet Flushed） 该位表示 DMA 或 MTL 根据 CPU 发出的软件刷新命令刷新了数据包。
12	PCE	有效负载检验和错误（Payload Checksum Error） 该位表示校验和减荷引擎发生故障，未在封装的 TCP、UDP 或 ICMP 有效负载中插入任何校验和。出现这种故障的原因可能是 IP 头的有效负载长度字段显示的字节数不足，也可能是 MTL 在存储转发模式下开始将数据包转发到 MAC 发送器，但尚未计算校验和。第二种错误情况仅发生在发送 FIFO 深度小于正在传输的以太网数据包长度时，以避免死锁，MTL 在 FIFO 满时开始转发数据包，即使在存储转发模式下也是如此。 在数据包传输过程中检测到总线错误时，也会出现这种错误。
11	LOC	载波丢失（Loss of Carrier） 该位表示在数据包传输期间发生了载波丢失（即在数据包传输期间，CRS 信号在一个或多个发送时钟周期内处于非活动状态）。该位仅对无冲突传输的数据包和 MAC 在半双工模式下工作时有效。
10	NC	无载波（No Carrier） 该位表示在传输过程中 PHY 的载波检测信号无效。
9	LC	延迟冲突（Late Collision） 该位表示由于冲突窗口（在 MII 模式下为 64 字节，包括前导码）之后发生冲突，数据包传输被中止。如果"下溢错误"位置 1，则该位无效。
8	EC	过度冲突（Excessive Collision） 该位表示在尝试发送当前数据包时连续发生 16 次冲突后传输被中止。如果在 MAC 配置寄存器中设置了 DR 位，则该位将在第一次冲突后被置 1，数据包的传输将被中止。
7:4	CC	冲突计数（Collision Count） 该 4 位计数器值表示数据包发送前发生冲突的次数。当 EC 位被置 1 时，计数无效。
3	ED	过度延迟（Excessive Deferral） 如果在 MAC 配置寄存器中设置了 DC 位，则该位表示由于过度延迟超过 24288 比特次而导致传输结束。 在全双工模式下使能 TBS 且该位被置 1 时，表示帧在到达过期时间后被丢弃。
2	UF	下溢错误（Underflow Error） 该位表示 MAC 因数据延迟从系统内存到达而终止数据包。发生下溢错误的原因

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		可能是以下任一情况： ■ DMA 在传输数据包时遇到空的发送缓冲区 ■ 应用程序填充 MTL Tx FIFO 的速度慢于 MAC 发送速率 发送过程进入暂停状态，并设置 MTL 中断状态寄存器中与队列相对应的下溢位。
1	DB	Deferred 位（Deferred Bit） 该位表示 MAC 因存在载波而推迟发送。该位仅在半双工模式下有效。
0	IHE	IP 报头错误（IP Header Error） 该位置 1 时，表示校验和减荷引擎检测到 IP 报头错误。该位仅在启用 Tx 校验和减荷时有效。 否则保留。如果 COE 检测到 IP 报头错误，但以太网类型字段显示 IPv4 有效负责，则仍会插入 IPv4 报头校验和。

发送上下文描述符

上下文描述符用于为一步时间戳校正提供时间戳。

发送上下文描述符可在数据包描述符之前的任何时间提供。上下文对当前数据包和后续数据包有效。对上下文描述符的回写仅用于复位 OWN 位。

表 34-35 显示了发送上下文描述符的格式。表 34-36 至表 34-39 描述了发送上下文描述符的格式：TDES0、TDES1、TDES2 和 TDES3 的格式。

表 34-35 发送上下文描述符

<table>
<tr><th>寄存器</th><th>31</th><th>30</th><th>29</th><th>28</th><th>27</th><th>26</th><th>25</th><th>24</th><th>23</th><th>22</th><th>21</th><th>20</th><th>19</th><th>18</th><th>17</th><th>16</th><th>15</th><th>14</th><th>13</th><th>12</th><th>11</th><th>10</th><th>9</th><th>8</th><th>7</th><th>6</th><th>5</th><th>4</th><th>3</th><th>2</th><th>1</th><th>0</th></tr>
<tr><td>TDES0</td><td colspan="32">时间戳低位</td></tr>
<tr><td>TDES1</td><td colspan="32">时间戳高位</td></tr>
<tr><td>TDES2</td><td colspan="32">保留</td></tr>
<tr><td>TDES3</td><td>OWN</td><td colspan="5">控制</td><td colspan="2">保留</td><td>CDE</td><td colspan="7">保留</td><td colspan="16">VT</td></tr>
</table>

表 34-36 TDES0 上下文描述符

位域	名称	描述
31:0	TTSL	发送数据包时间戳低位（Transmit Packet Timestamp Low） 对于单步校正，驱动程序可在该描述符字中提供时间戳的低 32 位。DMA 将此值作为低字来进行单步时间戳校正。该字段仅在 TDES3 上下文描述符的 OSTC 位和 TCMSSV 位被置 1 时有效。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 34-37 TDES1 上下文描述符

位域	名称	描述
31:0	TTSH	发送数据包时间戳高位（Transmit Packet Timestamp High） 对于单步校正，驱动程序可在该描述符字中提供时间戳的高 32 位。DMA 将此值作为高字来进行单步时间戳校正。该字段仅在 TDES3 上下文描述符的 OSTC 位和 TCMSSV 位被置 1 时有效。

表 34-38 TDES2 上下文描述符

位域	名称	描述
31:0	Reserved	保留。

表 34-39 TDES3 上下文描述符

位域	名称	描述
31	OWN	所属位（Own Bit） 该位置 1 时，表示 DMA 拥有描述符。该位复位时，表示应用程序拥有该描述符。DMA 会在读操作后立即清除该位。
30	CTXT	上下文类型（Context Type） 对于上下文描述符，该位应设置为 1'b1。
29:28	Reserved	保留。
27	OSTC	一步时间戳校正使能（One-Step Timestamp Correction Enable） 该位置 1 时，DMA 将参照 TDES0 和 TDES1 中提供的时间戳值执行一步时间戳校正。
26	TCMSSV	一步时间戳校正输入（One-Step Timestamp Correction Input） 当该位和 OSTC 位被置 1 时，表示 TDES0 和 TDES1 中提供的时间戳校正输入有效。
25:24	Reserved	保留。
23	CDE	上下文描述符错误（Context Descriptor Error） 该位被置 1 时，表示描述符内容不正确。DMA 在回写过程中会设置该位，同时关闭上下文描述符。 上下文描述符错误可能是： ■ 上下文描述符顺序不正确。例如，位置位于数据包的第一个描述符之后。 ■ 全部为 1。 ■ CD、LD 或 FD 位设为 1。 *注 1：当由于全部为 1 或 CTXT、LD 和 FD 位置 1 而发生描述符错误时，发送 DMA 关闭发送描述符，DE 和 LD 位设置为 1。当对应的第一个描述符的 TDES2 中的 IOC 位设置为 1 时，发送 DMA 将设置 DMA 通道 0 状态寄存器中的 TI 位。* *注 2：根据发送描述符的 CTXT、LD 和 FD 位，后续描述符可能被视为第一描述符（即使 FD 位未设置），并发送部分数据包。* *注 3：此错误被归类为异常事件；只能通过软件复位来恢复（不支持 DMA 停止-重新配置-重新启动恢复机制）*
22:16	Reserved	保留。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
15:0	VT	VLAN 标签（VLAN Tag） 在 N32H487 系列中该字段仅用作 VLAN 标签。

34.5.12.3 接收描述符

只有当接收描述符尾指针与基指针或当前指针不同时，以太网外设中的 DMA 才会尝试读取描述符。建议描述符环的长度至少能容纳 MAC 收到的两个完整数据包。否则，由于描述符不可用，DMA 的性能会受到很大影响。在这种情况下，MTL 中的 Rx FIFO 就会满载并开始丢弃数据包。

所有 Rx 描述符均由软件准备并作为"正常"描述符提供给 DMA，其内容如接收正常描述符（读格式）所示。DMA 读取该描述符，并将接收到的数据包（或部分数据包）传输到描述符所示的缓冲区后，Rx DMA 关闭该描述符，并给出相应的数据包状态。该状态的格式参见"接收正常描述符（回写格式）"。

对于某些数据包，正常描述符位不足以写入完整的状态。对于此类数据包，Rx DMA 会将扩展状态写入下一个描述符（无需处理或使用嵌入该描述符的缓冲区/指针）。描述符回写的格式和内容请参见"接收上下文描述符"。

接收正常描述符（读格式）

接收正常描述符的读格式由 Buffer 1 地址、保留字段、Buffer 2 地址、30 位保留字段、OWN 位和中断位组成。

表 34-40 显示了接收正常描述符的读格式。表 34-41 至表 34-44 描述了接收正常描述符的读格式：RDES0、RDES1、RDES2 和 RDES3 的读格式。

表 34-40 接收正常描述符（读格式）

寄存器	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RDES0	Buffer 1 地址																															
RDES1	保留																															
RDES2	Buffer 2 地址																															
RDES3	OWN	IOC	保留																													

注：在接收描述符（读格式）中，如果缓冲区地址字段全为 0，则以太网外设不会向该缓冲区传输数据，而是跳转到下一个缓冲区或下一个描述符。

表 34-41 RDES0 正常描述符（读格式）

位域	名称	描述
31:0	BUF1AP	缓冲区 1 地址指针（Buffer 1 Address Pointer） 这些位表示缓冲区 1 的物理地址。应用程序可以为该缓冲区编程字节对齐地址，这意味着该字段的 LS 位可以不为零。不过，在传输数据包起始位置时，DMA 会执行写操作，将 RDES0[1:0]置零。但是，数据包数据将根据缓冲区地址指针给出的实际偏移量进行移位。 如果地址指针指向存储数据包中间或最后部分的缓冲区，则 DMA 会忽略偏移地址，并写入数据宽度所指示的完整位置。

表 34-42 RDES1 正常描述符（读格式）

位域	名称	描述
31:0	Reserved	保留。

表 34-43 RDES2 正常描述符（读格式）

位域	名称	描述
31:0	BUF2AP	缓冲区 2 地址指针（Buffer 2 Address Pointer） 这些位指示缓冲器 2 的物理地址。 当设置 DMA 通道 0 控制寄存器的 SPH 位时，缓冲器地址指针必须与总线宽度对齐，即 RDES2[1:0] = 0。内部忽略 LSB。 当复位 DMA 通道 0 控制寄存器的 SPH 位时，RDES2 值不会受到任何限制。但是，Rx DMA 仅在传输数据包的起始字节时使用指针地址的 LS 位。如果 BUF2AP 给出的是存储数据包中间或最后部分的缓冲区地址，则 DMA 会忽略 BUF2AP[1:0]并写入完整位置。

表 34-44 RDES3 正常描述符（读格式）

位域	名称	描述
31	OWN	所属位（Own Bit） 该位置 1 时，表示 DMA 拥有描述符。该位复位时，表示应用程序拥有该描述符。当以下任一条件为真时，DMA 会清零该位： ■ DMA 完成数据包接收。 ■ 与描述符相关的缓冲区已满。
30	IOC	完成时中断（Interrupt Enabled on Completion） 该位置 1 时，当 DMA 关闭该描述符时将向应用程序发出中断。
29:26	Reserved	保留。
25	BUF2V	缓冲区 2 地址有效（Buffer 2 Address Valid） 该位置 1 时，它向 DMA 表明 RDES2 中指定的缓冲区 2 地址有效。 应用程序必须设置该位，这样 DMA 才能使用 RDES2 中缓冲区 2 地址指向的地址写入接收到的数据包数据。
24	BUF1V	缓冲区 1 地址有效（Buffer 1 Address Valid） 该位置 1 时，将向 DMA 指示 RDES0 中指定的缓冲区 1 地址有效。 应用程序必须设置该位，这样 DMA 才能使用 RDES0 中缓冲区 1 地址指向的地址写入接收到的数据包数据。
23:0	Reserved	保留。

接收正常描述符（回写格式）

表 34-45 显示了接收正常描述符的回写格式。表 34-46 至表 34-49 描述了接收正常描述符的回写格式：RDES0、RDES1、RDES2 和 RDES3 的回写格式。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 34-45 接收正常描述符（回写格式）

<table>
<tr><th>寄存器</th><th>31</th><th>30</th><th>29</th><th>28</th><th>27</th><th>26</th><th>25</th><th>24</th><th>23</th><th>22</th><th>21</th><th>20</th><th>19</th><th>18</th><th>17</th><th>16</th><th>15</th><th>14</th><th>13</th><th>12</th><th>11</th><th>10</th><th>9</th><th>8</th><th>7</th><th>6</th><th>5</th><th>4</th><th>3</th><th>2</th><th>1</th><th>0</th></tr>
<tr><td>RDES0</td><td colspan="16">保留</td><td colspan="16">OVT</td></tr>
<tr><td>RDES1</td><td colspan="16">OAM 码/MAC 控制操作码</td><td colspan="16">扩展状态</td></tr>
<tr><td>RDES2</td><td colspan="17">MAC 过滤</td><td colspan="15">保留</td></tr>
<tr><td>RDES3</td><td>OWN</td><td>CTXC</td><td>FD</td><td>LD</td><td colspan="13">状态</td><td colspan="15">数据包长度</td></tr>
</table>

表 34-46 RDES0 正常描述符（回写格式）

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留。
15:0	OVT	外部 VLAN 标签（Outer VLAN tag） 如果 RDES3 的 RS0V 位被设置为 1，则该字段包含接收到的数据包的外部 VLAN 标签。

表 34-47 RDES1 正常描述符（回写格式）

位域	名称	描述
31:16	OPC	OAM 子类型代码或 MAC 控制包操作码（OAM Sub-Type Code, or MAC Control Packet opcode） OAM 子类型代码 如果 RDES3 的位[18:16]设置为 3'b111，则该字段包含 OAM 子类型和代码字段。 MAC 控制包操作码 RDES3 的位[15:8]包含子类型，位[7:0]包含代码。
15	TD	时间戳丢失（Timestamp Dropped） 该位表示已捕获该数据包的时间戳，但由于溢出而被丢弃在 MTL Rx FIFO 中。
14	TSA	时间戳有效（Timestamp Available） 当存在时间戳时，该位表示上下文描述符字 2（RDES2）和字 1（RDES1）中有时间戳值。只有当最后描述符位（RDES3[28]）被置 1 时，该位才有效。 上下文描述符将写入数据包最后一个正常描述符之后的下一个描述符中。
13	PV	PTP 版本（PTP Version） 该位表示接收到的 PTP 报文采用 IEEE 1588 版本 2 格式。该位复位时，则表示 IEEE 1588 版本 1 格式。
12	PFT	PTP 数据包类型（PTP Packet Type） 该位表示 PTP 报文直接通过以太网发送。
11:8	PMT	PTP 消息类型（PTP Message Type） 将对这些位进行编码，以给出所接收消息的类型： ■ 0000：未接收到任何 PTP 消息 ■ 0001：SYNC（所有时钟类型）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		■ 0010：Follow_Up（所有时钟类型） ■ 0011：Delay_Req（所有时钟类型） ■ 0100：Delay_Resp（所有时钟类型） ■ 0101：Pdelay_Req（针对点对点透明时钟） ■ 0110：Pdelay_Resp（针对点对点透明时钟） ■ 0111：Pdelay_Resp_Follow_Up（针对点对点透明时钟） ■ 1000：发布 ■ 1001：管理 ■ 1010：信号传输 ■ 1011~1110：保留 ■ 1111：采用保留消息类型的 PTP 数据包
7	IPCE	IP 有效负载错误（IP Payload Error） 该位置 1 时，表示以下任一项： ■ 由 MAC 计算的 16 位 IP 有效负载校验和（即 TCP、UDP 或 ICMP 校验和）与接收段中对应的校验和字段不匹配。 ■ TCP、UDP 或 ICMP 段长度与 IP 报头字段中的有效负载长度值不匹配。 ■ TCP、UDP 或 ICMP 段长度小于 TCP、UDP 或 ICMP 的最小允许段长度。 该位置 1 时，RDES3 的位 15（ES）不置 1。
6	IPCB	绕过 IP 校验和（IP Checksum Bypassed） 该位表示绕过校验和减荷引擎。
5	IPV6	存在 IPv6 报头（IPv6 header Present） 该位表示检测到 IPV6 报头。
4	IPV4	存在 IPV4 报头（IPV4 Header Present） 该位表示检测到 IPV4 报头。
3	IPHE	IP 报头错误（IP Header Error） 该位置 1 时，表示以下任一项： ■ 由 MAC 计算的 16 位 IPv4 报头校验和与接收的校验和字节不匹配。 ■ IP 数据报版本与以太网类型值不一致。 ■ 以太网数据包不具有预期 IP 报头字节数。 该位在 bit5 或 bit4 置 1 时有效。
2:0	PT	有效负载类型（Payload Type） 这些位表示由接收校验和减荷引擎（COE）处理的 IP 数据报中封装的有效负载类型： ■ 000：类型未知，或未处理 IP 有效负载 ■ 001：UDP ■ 010：TCP ■ 011：ICMP ■ 其他值：保留 如果 COE 因存在 IP 报头错误或分段 IP 而未处理 IP 数据报的有效负载，则会将这些位设为 3'b000。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 34-48 RDES2 正常描述符（回写格式）

位域	名称	描述
31:27	Reserved	保留。
26:19	MADRM	MAC 地址匹配或哈希值（MAC Address Match or Hash Value） 当 HF 位复位时，该字段包含与接收到的数据包的目标地址匹配的 MAC 地址寄存器编号。只有在 DAF 位复位时，该字段才有效。 HF 位置 1 时，该字段包含由 MAC 计算的哈希值。哈希过滤器寄存器中对应于哈希值的位置 1 时，数据包会通过哈希过滤器。
18	HF	哈希过滤器状态（Hash Filter Status） 该位置 1 时，表示数据包通过 MAC 地址哈希过滤器。位[26:19]表示哈希值。
17	DAF	DA 地址过滤失败（Destination Address Filter Fail） 该位置 1 时，表示数据包未通过 MAC 中的 DA 过滤。
16	SAF	SA 地址过滤失败（SA Address Filter Fail） 该位置 1 时，表示数据包未通过 MAC 中的 SA 过滤。
15	VFS	VLAN 过滤状态（VLAN Filter Status） 该位置 1 时，表示接收到的数据包的 VLAN 标签通过 VLAN 过滤。
14:0	Reserved	保留。

表 34-49 RDES3 正常描述符（回写格式）

位域	名称	描述
31	OWN	所属位（Own Bit） 该位置 1 时，表示 DMA 拥有描述符。该位复位时，表示应用程序拥有该描述符。当以下任一条件为真时，DMA 会清零该位： ■ DMA 完成数据包接收。 ■ 与描述符相关的缓冲区已满。
30	CTXT	接收上下文描述符（Receive Context Descriptor） 该位置 1 时，表示当前描述符是上下文类型描述符。对于正常接收描述符，DMA 会向该位写入 1'b0。 当 CTXT 和 FD 位一起使用时，{CTXT, FD}： ■ 2'b00：中间描述符 ■ 2'b01：第一描述符 ■ 2'b10：保留 ■ 2'b11：描述符错误（由于全为 1） *注：当发生描述符错误时，接收 DMA 将关闭显示描述符错误的接收描述符。该接收描述符将被跳过，缓冲区地址不会用于写入数据包数据。接收 DMA 设置 DMA 通道 0 状态寄存器中的 CDE 字段，但即使设置了 IOC 字段，也不会设置 RI 字段，因为它未被标记为数据包的最后一个接收描述符。随后的有效接收描述符用于写入数据包数据。*
29	FD	第一个描述符（First Descriptor） 该位置 1 时，表示该描述符包含数据包的第一个缓冲区。如果第一个缓冲区的大小为 0，则第二个缓冲区包含数据包的起始字节。如果第二个缓冲区的大小也为 0，则下一个描述符包含数据包的起始字节。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		有关同时使用 CTXT 位和 FD 位的详细信息，请参阅 CTXT 位说明。
28	LD	最后一个描述符（Last descriptor） 该位置 1 时，表示该描述符所指向的缓冲区为数据包的最后几个缓冲区。
27	RS2V	接收状态 RDES2 有效（Receive Status RDES2 Valid） 该位置 1 时，表示 RDES2 中的状态有效，且由 DMA 写入。该位仅在 RDES3 的 LD 位置 1 时有效。
26	RS1V	接收状态 RDES1 有效（Receive Status RDES1 Valid） 该位置 1 时，表示 RDES1 中的状态有效，且由 DMA 写入。该位仅在 RDES3 的 LD 位置 1 时有效。
25	RS0V	接收状态 RDES0 有效（Receive Status RDES0 Valid） 该位置 1 时，表示 RDES0 中的状态有效，且由 DMA 写入。该位仅在 RDES3 的 LD 位置 1 时有效。
24	CE	CRC 错误（CRC Error） 该位置 1 时，表示接收到的数据包发生循环冗余校验（CRC）错误。该字段仅在 RDES3 的 LD 位置 1 时有效。
23	GP	大型数据包（Giant Packet） 该位置 1 时，表示数据包长度超出指定的最大以太网大小，即，1518、1522 或 2000 字节（如果巨型数据包使能位置 1，则为 9018 或 9022 字节）。 *注：大型数据包仅表示数据包长度，不会导致数据包截断。*
22	RWT	接收看门狗超时（Receive Watchdog Timeout） 该位置 1 时，表示接收看门狗定时器在接收当前数据包时已到期。看门狗超时后，当前数据包会被截断。
21	OE	上溢错误（Overflow Error） 该位置 1 时，表示接收到的数据包因 Rx FIFO 中发生缓冲区上溢而损坏。 *注：只有在 DMA 将部分数据包传输到应用程序时，该位才会置 1。仅当 Rx FIFO 工作在阈值模式下时才会出现这种情况。在存储转发模式下，所有部分数据包均会在 Rx FIFO 中被完全丢弃。*
20	RE	接收错误（Receive Error） 该位置 1 时，表示在接收数据包期间 RX_ER 信号有效，而 RX_DV 信号也有效。
19	DE	Dribble 位错误（Dribble Bit Error） 该位置 1 时，表示接收到的数据包具有非整数倍数的字节（奇数半字节）。该位仅在 MII 模式下有效。
18:16	LT	长度/类型字段（Length/Type Field） 该字段指示接收到的数据包为长度数据包或类型数据包。这 3 个位的编码如下： ■ 3'b000：数据包为长度数据包 ■ 3'b001：数据包为类型数据包 ■ 3'b011：数据包为 ARP 请求数据包类型 ■ 3'b100：数据包为带有 VLAN 标签的类型数据包 ■ 3'b101：数据包为带有双 VLAN 标签的类型数据包 ■ 3'b110：数据包为 MAC 控制数据包类型 ■ 3'b111：数据包为 OAM 数据包类型

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		■ 3'b010：保留
15	ES	错误汇总（Error Summary） 该位置 1 时，表示以下位的逻辑或运算结果： RDES3[24]：CRC 错误（CRC Error） RDES3[19]：Dribble 错误（Dribble Error） RDES3[20]：接收错误（Receive Error） RDES3[22]：看门狗超时（Watchdog Timeout） RDES3[21]：上溢错误（Overflow Error） RDES3[23]：大型数据包（Giant Packet） 只有在 RDES3 的 LD 位置 1 时，该字段才有效。
14:0	PL	数据包长度（Packet Length） 这些位表示传输到系统内存的接收数据包的字节长度（包括 CRC）。 当 RDES3 的 LD 位置 1 且溢出错误位被复位时，该字段才有效。当启用 IP 校验和计算且接收的数据包不是 MAC 控制数据包时，数据包长度还包括附加到以太网数据包的两个字节。 该字段在 RDES3 的 LD 位置 1 时有效。当最后描述符位和错误汇总位均未置 1 时，该字段表示当前数据包已传输的累计字节数。

接收上下文描述符

该描述符对应用程序来说是只读的。只有 DMA 可以写入该描述符。上下文描述符提供与最后接收的数据包相关的扩展状态信息。RDES3 的第 30 位表示上下文类型描述符。

表 34-50 显示了接收上下文描述符的格式。表 34-51 至表 34-54 描述了接收上下文描述符的格式：RDES0、RDES1、RDES2 和 RDES3 的格式。

表 34-50 接收上下文描述符

<table>
<tr><th>寄存器</th><th>31</th><th>30</th><th>29</th><th>28</th><th>27</th><th>26</th><th>25</th><th>24</th><th>23</th><th>22</th><th>21</th><th>20</th><th>19</th><th>18</th><th>17</th><th>16</th><th>15</th><th>14</th><th>13</th><th>12</th><th>11</th><th>10</th><th>9</th><th>8</th><th>7</th><th>6</th><th>5</th><th>4</th><th>3</th><th>2</th><th>1</th><th>0</th></tr>
<tr><td>RDES0</td><td colspan="32">时间戳低位</td></tr>
<tr><td>RDES1</td><td colspan="32">时间戳高位</td></tr>
<tr><td>RDES2</td><td colspan="32">保留</td></tr>
<tr><td>RDES3</td><td>OWN</td><td>CTXT</td><td colspan="30">保留</td></tr>
</table>

表 34-51 RDES0 上下文描述符

位域	名称	描述
31:0	RTSL	接收数据包时间戳低位（Receive Packet Timestamp Low） DMA 会用相应接收数据包捕获的时间戳的最低有效 32 位更新该字段。当该字段和 RDES1 的 RTSH 字段显示全 1 值时，必须将时间戳视为损坏。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 34-52 RDES1 上下文描述符

位域	名称	描述
31:0	RTSH	接收数据包时间戳高位（Receive Packet Timestamp High） DMA 会用相应接收数据包捕获的时间戳的最高有效 32 位更新该字段。当该字段和 RDES0 的 RTSL 字段显示全 1 值时，必须将时间戳视为损坏。

表 34-53 RDES2 上下文描述符

位域	名称	描述
31:0	Reserved	保留。

表 34-54 RDES3 上下文描述符

位域	名称	描述
31	OWN	所属位（Own Bit） 该位置 1 时，表示 DMA 拥有描述符。该位复位时，表示应用程序拥有该描述符。当以下任一条件为真时，DMA 会清零该位： ■ DMA 完成数据包接收。 ■ 与描述符相关的缓冲区已满。
30	CTXT	接收上下文描述符（Receive Context Descriptor） 该位置 1 时，表示当前描述符是上下文类型描述符。DMA 向该位写入 1'b1 表示上下文描述符。 当 CTXT 和 DE 位一起使用时，{CTXT, DE}： ■ 2'b00：保留 ■ 2'b01：保留 ■ 2'b10：上下文描述符 ■ 2'b11：描述符错误 *注：当发生描述符错误时，接收 DMA 关闭显示描述符错误的接收描述符。接收 DMA 在 DMA 通道 0 状态寄存器中设置 CDE 位，但不会设置 RI 字段（即使 IOC 已置 1），因为这没有被标记为数据包的最后一个接收描述符。随后的有效接收描述符用于写入数据包数据。*
29	DE	描述符错误（Descriptor Error） 有关与 CTXT 位一起使用 DE 位的详情，请参阅 CTXT 位说明。
28:0	Reserved	保留。

34.5.13 以太网中断

以太网控制器中的各种事件都会产生中断。这些事件被记录在状态寄存器中，并为每个中断源提供中断使能，这样只有当相应的中断使能被设置时，中断才会有效。

中断状态寄存器和相应的使能寄存器以层级结构进行组织，以便软件更容易遍历和快速识别中断事件的来源。中断触发时，DMA 中断状态寄存器是第一层，指示中断事件源的主要块。该寄存器为只读寄存器，包含与每个 DMA 通道（Tx 和 Rx）、MTL 和 MAC 相对应的位。然后，软件应用程序必须读取与被置 1 位相对应的一个（或多个）寄存器：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- ETH MAC 中断状态寄存器（ETH_MACINTSTS）
- ETH MTL 中断状态寄存器（ETH_MTLINTSTS）
- ETH DMA 通道 0 状态寄存器（ETH_DMACH0STS）

34.5.13.1 DMA 中断

DMA 通道 0 状态寄存器捕获该 Tx DMA 和 Rx DMA 通道对的所有中断事件。DMA 通道 0 中断使能寄存器包含每个中断事件的相应使能位。DMA 通道中有两组中断，即正常中断和异常中断。它们分别由 DMA 通道 0 状态寄存器的位[15:14]表示。正常组用于正常传输数据包（TI、RI、TBU）过程中发生的事件，而异常中断事件用于错误事件。向相应位写入 1'b1 可清除中断事件。当所有使能的中断事件（包括 NIS 和 AIS）被清除后，来自 DMA 通道的中断源也会被清除，DMA 中断状态寄存器中的相应位也会被清除。

中断不会形成队列。如果同一中断事件在驱动程序响应前一个中断事件之前再次发生，则不会产生额外的中断。例如，DMA 通道 0 状态寄存器的接收中断位[bit6]表示一个或多个数据包已传输到应用缓冲区。驱动程序必须扫描 DMA 拥有的所有描述符（从最后记录的位置到第一个位置），以确定收到了多少个数据包。

多个事件只产生一次中断。驱动程序必须扫描 DMA 中断状态寄存器，查找中断原因，并清除相应状态寄存器中的中断源。只有当 DMA 中断状态寄存器的所有位都被清零时，sbd_intr_o 才会被清零。

发送和接收中断的周期性调度

出于系统吞吐量性能的考虑，为 DMA（RI 和 TI）传输的每个数据包生成中断并不可取。以太网外设允许使用两种方法灵活地定周期性调度中断：

- 每传输一个"所需的"数据包，就设置一次发送描述符中的"完成时中断"位（TDES2[31]）。
- 同样，仅在接收描述符的某些特定时间间隔设置 IOC（RDES3[30]）位。这样，每当接收到的数据包传输到系统内存完成，且用于该数据包传输的任何描述符的 IOC 位被置 1 时，才会产生 RI 事件。

此外，还提供了一个中断定时器（DMA 通道 0 接收中断看门狗定时器寄存器），用于灵活控制和定期调度接收中断。当该中断定时器被编程为非零值时，只要 Rx DMA 完成将接收到的数据包传输到系统内存而未触发接收中断，该定时器就会被激活，因为相应的完成中断 IOC 位（RDES3[30]）未被置 1。当该定时器按照编程值结束计时时，如果在 DMA 通道 0 中断使能寄存器中相应的 RIE 被使能，则 RI 位被置 1，并触发中断。如果 RI 被置 1 的数据包传输的描述符的 IOC 被置 1，则定时器在过期前停止并清零。下一次数据包传输完成后，定时器会自动重新激活，而不会产生 RI 事件。

通道传输完成中断

发送传输完成中断（TI）和接收传输完成中断（RI）反映在 DMA 通道 0 状态寄存器中。每当 Tx DMA 通道关闭 IOC 位（TDES2[31]）被置 1 的发送描述符时，TI 位被置 1。同样，每当 Rx DMA 通道关闭 LD 位被置 1 的接收描述符，并且在用于传输该数据包的任何描述符中，IOC 位（RDES3[30]）被置 1 时，RI 位被置 1。

只有在 DMA 通道 0 中断使能寄存器中使能相应中断时，才会针对传输完成中断将通用 sbd_intr_o 中断输出信号置为有效。

还支持以下通道 0 的传输完成中断信号。

- sbd_perch_tx_intr_o[0]（通道 0 发送中断信号）
- sbd_perch_rx_intr_o[0]（通道 0 接收中断信号）

根据 DMA 模式寄存器中的 INTM 字段的设置，RI/TI/sbd_perch_tx_intr_o/sbd_perch_rx_intr_o 的行为会发生变化。表 34-55 解释了传输完成中断行为。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.

地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 34-55 传输完成中断行为

中断模式	sbd_perch_tx_intr_o 和 sbd_perch_rx_intr_o 信号的行为	RI/TI 和 sbd_intr_o 信号的行为
INTM = 0	当检测到相应的 Tx/Rx 传输完成事件（描述符的 IOC 位已使能）时，无论相应的中断状态如何，这些输出信号都会发出一个脉冲。	每当检测到"传输完成"事件时，TI/RI 状态信号就会被置 1。当软件驱动程序向这些位写入"1"时，这些位将被清零。当相应的中断也在 DMA 通道 0 中断使能寄存器中被使能时，sbd_intr_o 会被置为有效。RI/TI 事件发生时，NIS 状态位将被置为有效。
INTM = 1	这些信号反映了设置相应中断使能时 DMA 通道 0 状态寄存器中相应 TI/RI 位的值。因此，它们是电平信号，应用程序可通过向 RI/TI 状态位写入 1'b1 将其清除。当相应的中断使能位未置 1 时，该信号不会被置为有效。	对于 RI/TI 事件，sbd_intr_o 信号和 NIS 状态位不会被置为有效。
INTM = 2	在此模式下，RI/TI 中断处于队列状态。这些信号反映了设置相应中断使能时 DMA 通道 0 状态寄存器中相应 TI/RI 位的值。它们是电平信号，软件可通过向 RI/TI 状态位写入 1'b1 将其清除。但是，如果在前一个事件的 TI/RI 位被清除之前检测到另一个（多个）TI/RI 事件，它将再次被置 1。	每当检测到传输完成事件时，RI/TI 状态位就会被置 1，每当软件驱动程序通过写 1 清除这些位时，RI/TI 状态位就会被清除。但是，如果在软件清除之前检测到另一个传输完成事件，则以太网外设会自动再次设置这些状态位。不过，sbd_intr_o 信号不会根据 TI/RI 生成。RI/TI 事件发生时，NIS 状态位将被置为有效。

34.5.13.2 MTL 中断

MTL 中断事件与 DMA 中的事件结合用于生成中断信号。MTL 中断状态寄存器报告负责该事件的队列号。应读取 MTL 队列中断控制状态寄存器以获取事件说明。

MTL 中断默认为禁用。当 MTL 队列中断控制状态寄存器中的相应位被置 1 时，每个事件都能触发中断。

MTL 中断信号由以下事件之一驱动：

- 接收队列上溢
- 发送队列下溢

34.5.13.3 MAC 中断

由 MAC 接收器、MAC 发送器或其他模块/功能（如 RMON 计数器）中的各种事件，可从 MAC 生成中断。

MAC 中断事件与 DMA 中的事件结合用于生成中断信号。MAC 中断属于电平类型，即中断保持断言（高电平）状态，直到应用程序或软件将其清除。

MAC 中断状态寄存器描述了可能导致 MAC 中断的事件。MAC 中断默认为禁用。当 MAC 中断状态寄存器中的相应位被置 1 时，每个事件都能触发中断。

中断寄存器位仅指示报告事件的块。要清除中断，必须读取相应的状态寄存器和其他寄存器。

MAC 中断信号由以下事件之一驱动：

- 接收状态中断
- 发送状态中断
- 时间戳中断状态

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- MMC 中断状态
- MMC 发送中断状态
- MMC 接收中断状态
- PMT 中断状态
- PHY 中断

注：边带信号 pmt_intr_o 由 PMT 中断生成。该信号用于在 EXTI 级进行唤醒事件检测。

注：默认情况下，当读取包含中断源的寄存器时，MAC 中断状态位将被清除。如果将 ETH CSR 软件控制寄存器（ETH_MACCSRSWCTRL）中的 RCWE 位编程为 1，则当包含中断源的位被明确写入 1 时，MAC 中断状态位也将被清除。

34.5.14 编程指南

本章提供了按正确顺序初始化 DMA 或 MAC 寄存器的相关说明以及部分功能的编程指南。

注：当任何寄存器内容在写操作后被转移到不同的时钟域时，在第一个写操作更新之前，不应再向同一位置写入任何内容。否则，第二次写操作将无法更新到目标时钟域。因此，对同一寄存器位置的两次写操作之间的延迟至少应为四个目标时钟（PHY 接收时钟、PHY 发送时钟或 PTP 时钟）周期。

34.5.14.1 DMA 初始化

DMA 初始化步骤如下：

1. 提供软件复位。这将重置所有 MAC 内部寄存器和逻辑（DMA 模式寄存器的第 0 位）。
2. 等待复位过程完成（轮询 DMA 模式寄存器的第 0 位，只有在复位操作完成后才会清零）。
3. 对下列字段进行编程，以初始化 DMA 系统总线模式寄存器：
   a) AAL
   b) 固定突发或未定义突发
   c) AHB 总线接口的突发模式值
4. 为发送和接收创建描述符列表。此外，确保描述符归 DMA 所有（设置描述符 TDES3/RDES3 的第 31 位）。

   有关描述符的更多信息，请参阅 34.5.12 描述符章节。
5. 编程发送和接收描述符环长度寄存器（DMA 通道 0 发送描述符环长度寄存器和 ETH DMA 通道 0 接收控制寄存器 2）。编程的环长度必须至少为 4。

注：从环的起点到终点的描述符地址不得跨越 4GB 边界。

6. 使用发送和接收描述符的基地址初始化接收和发送描述符列表地址（DMA 通道 0 发送描述符列表地址寄存器和 DMA 通道 0 接收描述符列表地址寄存器）。此外，还要编程发送和接收尾指针寄存器（DMA 通道 0 发送描述符尾指针寄存器和 DMA 通道 0 接收描述符尾指针寄存器），向 DMA 指示可用描述符。
7. 对下列寄存器的参数设置进行编程，如 DMA 启动的最大突发长度（PBL）、描述符跳过长度、Tx DMA 的 OSP、Rx DMA 的 RBSZ 等：
   - ETH DMA 通道 0 控制寄存器（ETH_DMACH0CTRL）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- ETH DMA 通道 0 发送控制寄存器（ETH_DMACH0TXCTRL）
- ETH DMA 通道 0 接收控制寄存器（ETH_DMACH0RXCTRL）

8. 通过对 ETH DMA 通道 0 中断使能寄存器（ETH_DMACH0INTEN）编程使能中断。
9. 通过设置 DMA 通道 0 接收控制寄存器的 SR（bit0）和 DMA 通道 0 发送控制寄存器的 ST（bit0），启动接收和发送 DMA。

34.5.14.2 MTL 初始化

必须初始化事务层（MTL）寄存器，以建立发送和接收操作模式和命令。

MTL 初始化步骤如下：

1. 对以下字段进行编程，以初始化 MTL 发送队列操作模式寄存器中的操作模式。
   a) 发送存储转发（TSF）或发送阈值控制（TTC）（使用阈值模式时）
2. 对以下字段进行编程，以初始化 MTL 接收队列操作模式寄存器中的操作模式：
   a) 接收存储转发（RSF）或接收阈值控制 RTC（使用阈值模式时）
   b) 错误数据包和过小良好数据包转发使能（FEP 和 FUP）

34.5.14.3 MAC 初始化

以下 MAC 初始化操作可在 DMA 初始化后执行。如果 MAC 初始化在配置 DMA 之前完成，则只有在 DMA 激活后才能使能 MAC 接收器（以下序列中的最后一步）。否则，接收的帧会填满 Rx FIFO 并溢出（上溢）。

1. 提供 MAC 地址寄存器：MAC 地址 0 高位寄存器和 MAC 地址 0 低位寄存器。以及对其他 3 个附加 MAC 地址进行适当编程。
2. 对下列字段进行编程，以便在 MAC 数据包过滤器寄存器中为传入帧设置适当的过滤器：
   a) 全部接收
   b) 混杂模式
   c) 哈希或完美过滤器
   d) 单播、组播、广播和控制帧过滤设置
3. 在 MAC 发送流量控制寄存器中对下列字段进行编程，以实现正确的流量控制：
   a) 暂停时间和其他暂停帧控制位
   b) 发送流量控制位
   c) 流量控制忙位
4. 根据需要对 MAC 中断使能寄存器进行编程（如果适用），以适用于用户的配置。
5. 对 MAC 配置寄存器中的相应字段进行编程。例如传输时的数据包间隙和禁用 jabber。
6. 设置 MAC 配置寄存器中的第 0 位和第 1 位，以启动 MAC 发送器和接收器。

要支持巨型发送/接收数据包，请按以下步骤操作：

在 MAC 配置寄存器中：

a) 将 JE 字段设为 1

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

b) 将 JD 和 WD 字段设为 0

c) 避免巨型数据包错误报告

d) 将 GPSLCE 字段设置为 1

e) 将 MAC 扩展配置寄存器的 GPSL 字段设置为大于 9026 的值

要支持最大 16K 的发送/接收数据包，请执行以下步骤：

在 MAC 配置寄存器中：

a) 将 JD 和 WD 字段设为 1

b) 避免巨型数据包错误报告

c) 将 GPSLCE 字段设为 1

d) 将 MAC 扩展配置寄存器的 GPSL 字段设置为 16383

34.5.14.4 执行正常接收和发送操作

在以太网外设正常运行期间，将读取正常和发送中断、轮询描述符、暂停 DMA（如果它不拥有描述符），并读取当前主机发送器或接收器描述符指针的值以进行调试。

要正常运行，请完成以下步骤：

1. 对于正常的发送和接收中断，读取中断状态。然后轮询描述符，读取主机拥有的描述符状态（发送或接收）。
2. 为描述符设置适当的值，确保 DMA 拥有发送和接收描述符，以恢复数据的发送和接收。
3. 如果描述符不为 DMA 所有（或没有可用的描述符），DMA 将进入暂停状态。可通过释放描述符并将描述符尾指针写入 Tx/Rx 描述符尾指针寄存器来恢复发送或接收。
4. 调试过程中可读取当前主机发送器或接收器描述符地址指针的值（DMA 通道 0 当前应用程序发送描述符寄存器和 ETH DMA 通道 0 当前应用程序接收描述符寄存器）。
5. 调试过程中可读取当前主机发送缓冲区地址指针和接收缓冲区地址指针的值（DMA 通道 0 当前应用程序发送缓冲区寄存器和 ETH DMA 通道 0 当前应用程序接收缓冲区寄存器）。

34.5.14.5 停止和开始发送

完成以下步骤可暂停发送一段时间：

1. 通过清除 DMA 通道 0 发送控制寄存器的第 0 位（ST），禁用发送 DMA（如果适用）。
2. 等待之前的帧传输完成。可以通过读取 MTL 发送队列调试寄存器的相应位（TRCSTS 非 01 且 TXQSTS = 0）来检查。
3. 通过清除 MAC 配置寄存器的 RE 位和 TE 位，禁用 MAC 发送器和 MAC 接收器。
4. 在确保 Rx FIFO 中的数据已传输到系统内存后（通过读取 MTL 接收队列调试寄存器的相应位，PRXQ = 0 和 RXQSTS = 00），禁用接收 DMA（如适用）。
5. 确保 Tx 队列和 Rx 队列为空（MTL 发送队列调试寄存器中的 TXQSTS 为 0，MTL 接收队列调试寄存器中的 RXQSTS 为 0）。
6. 要重新启动操作，首先启动 DMA，然后再使能 MAC 发送器和接收器。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

注：当 MAC 正在发送或接收数据时，请勿更改配置（如双工模式、速度、端口或 Loopback）。只有在 MAC 发送器和接收器未激活时，软件才会更改这些参数。同样，当发送和接收 DMA 处于活动状态时，请勿更改 DMA 相关配置。

34.5.14.6 在 Rx DMA 中切换到新描述符列表

与 Tx DMA 相比，在 Rx DMA 中切换到新描述符列表的操作有所不同。当 RxDMA 处于 SUSPEND（暂停）状态时，允许切换到新的描述符列表，具体说明如下：

- 一般情况下，RxDMA 会提前准备描述符。
- 如果 Rx DMA 因描述符不可用而进入 SUSPEND 状态，就会发生重大故障（软件无法释放已填满的描述符/缓冲区）。如果不立即纠正这一问题，就会因 Rx FIFO 溢出而丢失帧。因此，允许软件创建一个新的描述符列表，并对 Rx DMA 进行编程，使其立即开始使用，而无需进入 STOP 状态。

34.5.14.7 切换 AHB 时钟频率

要动态更改 AHB 时钟频率（无需应用软复位或硬复位），请按照以下步骤操作：

1. 禁用发送 DMA（如适用），等待之前的帧传输完成。帧传输完成后，Tx FIFO 变为空，Tx DMA 进入 STOP（停止）状态。Tx FIFO 的状态在 MTL 发送队列调试寄存器中给出，DMA 的状态在 DMA 调试状态寄存器中给出。
2. 清除 MAC 配置寄存器中的相应位，禁用 MAC 发送器和 MAC 接收器。
3. 在确保 Rx FIFO 中的数据已传输到系统内存后，禁用接收 DMA（如适用）。Rx FIFO 空状态在 MTL 接收队列调试寄存器中给出。
4. 确保应用程序不执行任何寄存器读写操作。
5. 更改 AHB 时钟频率。
6. 使能 MAC 发送器或 MAC 接收器以及发送或接收 DMA。

这些步骤可确保时钟频率切换时 Tx FIFO 或 Rx FIFO 中没有有效数据，并防止数据损坏。

34.5.14.8 PHY 接口链路状态转换

链路断开时发送和接收时钟处于运行状态

当链路断开但发送和接收时钟正在运行时，请完成以下步骤：

1. 清除 DMA 通道 0 发送控制寄存器的第 0 位（ST），禁用发送 DMA（如适用）。
2. 清除 MAC 配置寄存器的第 2 位（RE），禁用 MAC 接收器。
3. 等待之前的帧传输完成。可以通过读取 MTL 发送队列调试寄存器的相应位（TRCSTS 不是 01）来检查。
4. 清除 MAC 配置寄存器的第 1 位（TE），禁用 MAC 发送器。
5. 确保 Tx 队列和 Rx 队列为空（在 MTL 发送队列调试寄存器中 TXQSTS 为 0，在 MTL 接收队列调试寄存器中 RXQSTS 为 0）。
6. 链路接通后，读 PHY 寄存器以了解最新配置，并相应地对 MAC 寄存器进行编程。
7. 如果需重新启动操作，先启动 Tx DMA，然后使能 MAC 发送器和接收器。无需禁用 Rx DMA。由于接收器已禁用，因此无法从 Rx FIFO 中获取任何数据。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

链路断开时发送和接收时钟处于停止状态

当链路断开但发送和接收时钟停止时，请完成以下步骤：

1. 清除 MAC 配置寄存器的 RE 和 TE 位，禁用 MAC 发送器和接收器。由于时钟不存在，因此不会立即生效。
2. 等待链路正常，时钟恢复。
3. 在发送/接收时钟停止时，等待任何部分帧（如果有）的传输完成。这可通过读 MAC 调试寄存器（应全为零）来检查。当 MAC 发送器停止时，一些旧数据包可能仍留在 Tx FIFO 中。
4. 读 PHY 寄存器以了解最新的工作模式，并相应地对 MAC 寄存器进行编程。
5. 通过设置 RE 和 TE 位重新启动 MAC 发送器和接收器。

34.5.14.9 IEEE 1588 时间戳--系统时间生成

可以通过设置 MAC 时间戳控制寄存器的第 0 位来使能时间戳功能。不过，在设置该位后，必须对时间戳计数器进行初始化。初始化过程中完成以下步骤：

1. 清除 MAC 中断使能寄存器的第 12 位，屏蔽时间戳触发中断。
2. 设置 MAC 时间戳控制寄存器的第 0 位，使能时间戳。
3. 根据 PTP 时钟频率对 MAC 亚秒增量寄存器进行编程。
4. 如果使用精密校准方法，则对 MAC 时间戳加数寄存进行编程，并设置 MAC 时间戳控制寄存器的第 5 位。
5. 轮询 MAC 时间戳控制寄存器，直到第 5 位被清除。
6. 对 MAC 时间戳控制寄存器的第 1 位编程，以选择精密更新方法（如需要）。
7. 用适当的时间值对 MAC 系统时间秒更新寄存器和 MAC 系统时间纳秒更新寄存器进行编程。
8. 设置 MAC 时间戳控制寄存器中的第 2 位。

   时间戳计数器根据写入时间戳更新寄存器的值初始化后立即开始运行。

   如果使能一步时间戳：

   a) 要使能一步时间戳，请对 TDES3 上下文描述符的第 27 位进行编程。
9. 使能 MAC 接收器和发送器，以获得正确的时间戳。

注：如果通过清除 MAC 时间戳控制寄存器的第 0 位禁用了时间戳操作，则重复上述所有步骤以重新启动时间戳操作。

34.5.14.10 IEEE 1588 时间戳--系统时间粗略校准

要在一个过程中同步或更新系统时间（粗略校准法），请完成以下步骤：

1. 在时间戳更新寄存器（MAC 系统时间秒更新寄存器和 MAC 系统时间纳秒更新寄存器）中设置偏移（正或负）。
2. 设置 MAC 时间戳控制寄存器的第 3 位（TSUPDT）。

清除 TSUPDT 位后，时间戳更新寄存器中的值将与系统时间相加或相减。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

34.5.14.11 IEEE 1588 时间戳--系统时间精密校准

要同步或更新系统时间以减少系统时间抖动（精密校准方法），请完成以下步骤：

1. 参照系统时间寄存器模块章节中说明的算法，计算要使系统时间增量变慢或变快的速率。
2. 用新值更新 MAC 时间戳加数寄存器并设置 MAC 时间戳控制寄存器的第 5 位。
3. 等待加数寄存器中的新值生效。可以在系统时间达到目标值后使能时间戳触发中断。
4. 在 MAC PPS 目标时间秒寄存器和 MAC PPS 目标时间纳秒寄存器中设置所需的目标时间。
5. 设置 MAC 中断使能寄存器的第 12 位来使能时间戳中断。
6. 当触发器产生中断时，读取 MAC 中断状态寄存器。
7. 用旧值重新编程 MAC 时间戳加数寄存器，并再次设置第 5 位。

34.5.14.12 接收路径上的 VLAN 过滤

完成以下步骤在接收时设置 VLAN 过滤：

1. 为 MAC VLAN 标签寄存器的以下位编程，以选择过滤方法：
   a) ETV：使能 12 位 VLAN 标签比较或 16 位 VLAN 标签比较
   b) VTHM：启用 VLAN 标签哈希表匹配
   c) ERSVLM：使能接收 S-VLAN 匹配或 C-VLAN 匹配（要使能 S-VLAN 处理，需设置 ESVL）。
   d) DOVLTC：忽略标签匹配的 VLAN 类型
   e) VTIM：使能 VLAN 标签反向匹配，而不是正常的 VLAN 标签匹配
2. 为 12 位或 16 位 VLAN 标签对 MAC VLAN 标签寄存器的 VL 字段进行编程。
3. 如果使能 VLAN 标签的哈希过滤，则对 MAC VLAN 哈希表寄存器编程。当 ETV 位被复位时，VLAN 标签计算出的 CRC-32 的高 4 位将被反相并用于索引 MAC VLAN 哈希表寄存器的内容。当 ETV 位被置 1 时，VLAN 标签计算出的 CRC-32 的高 4 位将用于索引 MAC VLAN 哈希表寄存器的内容。例如，当设置 ETV 位时，哈希值 4b'1000 选择 VLAN 哈希表的第 8 位。当复位 ETV 位时，哈希值 4'b'1000 将选择 VLAN 哈希表的第 7 位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

34.6 ETH 寄存器

ETH 包含以下寄存器：

- MAC 寄存器，其中包含 MMC 相关寄存器（请参见 34.6.1 章节）
- MTL 寄存器（请参见 34.6.2 章节）
- DMA 寄存器（请参见 34.6.3 章节）

34.6.1 ETH MAC 寄存器

34.6.1.1 ETH MAC 配置寄存器（ETH_MACCFG）

偏移地址：0x0000

复位值：0x0000 8000

MAC 配置寄存器用于建立 MAC 的工作模式。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				CSO	IPG			GPSLCE	S2KP	CST	ACS	WD	Reserved	JD	JE
				rw	rw			rw	rw	rw	rw	rw		rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PS	FES	DM	LM	ECRSFD	DO	DCRS	DR	Reserved	BL		DC	PRELEN		TE	RE
r	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw		rw		rw	rw		rw	rw

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必须保持复位值。
27	CSO	校验和减荷（Checksum Offload） 该位置 1 时，会使能 IPv4 报头校验和检查以及 IPv4 或 IPv6 TCP、UDP 或 ICMP 有效负载校验和检查。 该位复位时，将禁止接收器中的 COE（Checksum Offload Engine）功能。 第 3 层和第 4 层数据包过滤和使能拆分报头功能可自动选择接收端的 CSO 全校验和减荷引擎。使能其中的任一功能时，都必须将该位置 1。 0：禁用 IP 头/有效负载校验和检查功能 1：启用 IP 头/有效负载校验和检查功能
26:24	IPG[2:0]	数据包间隙（Inter-Packet Gap） 这些位控制发送期间数据包间的最小包间隙。这个最小包间隙范围在全双工模式下有效。半双工模式下，包间隙只能配置为 64 位（IPG = 100）。 因背压功能激活而发送 JAM 模式时，MAC 不考虑最小 IPG。 上述功能（IPG 小于 96 位时间）仅在 ETH_MACEXTCFG 寄存器中的 EIPGEN 位复位时有效。EIPGEN 置 1 时，将按照 ETH_MACEXTCFG 寄存器的 EIPG 字段中给出的说明控制最小 IPG（大于 96 位时间）。 000：96 位时间

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		001：88 位时间 010：80 位时间 ... 111：40 位时间
23	GPSLCE	大型数据包大小限制控制使能（Giant Packet Size Limit Control Enable） 当该位置 1 时，MAC 会考虑 ETH_MACEXTCFG 寄存器的 GPSL 字段中的值，以将接收到的数据包声明为大型数据包。必须将该字段编程为大于 1518 字节。否则，MAC 会将 1518 字节视为大型数据包限值。 当该位复位时，如果接收到的数据包大小大于 1518 字节（对于带标签的数据包，为 1522 字节），则 MAC 会将其视为大型数据包。 看门狗超时限制、巨型数据包使能和 2K 数据包使能的优先级高于该位，即，对于接收到的数据包，如果在使能巨型数据包的情况下其大小大于 9018 字节（对于带标签的数据包，为 9022 字节）以及在使能 2K 数据包的情况下其大小大于 2000 字节，则 MAC 会将其视为大型数据包。看门狗超时（如果使能）会在达到看门狗限值时终止接收到的数据包。因此，要获取大型数据包状态，编程的大型数据包限值应小于看门狗限值。 0：禁用大型数据包大小限制控制功能 1：启用大型数据包大小限制控制功能
22	S2KP	2K 数据包的 IEEE 802.3as 支持（IEEE 802.3as Support for 2K Packets） 该位置 1 时，MAC 将所有长度未超过 2000 字节的数据包视为正常数据包。JE 位未置 1 时，MAC 将所有接收到的大小超过 2K 字节的数据包视为大型数据包。 该位复位且 JE 位未置 1 时，MAC 将所有接收到的大小超过 1518 字节（对于带标签的数据包，为 1522 字节）的数据包视为大型数据包。有关此位和 JE 位的设置会如何影响大型数据包状态的详细信息，请参见表 34-56。 0：禁用最多支持 2K 数据包的功能 1：启用最多支持 2K 数据包的功能
21	CST	类型数据包的 CRC 去除（CRC stripping for Type packets） 该位置 1 时，在将数据包转发到应用程序之前，所有 EtherType 的数据包（类型字段大于 1536）的最后四个字节（FCS）都会被去除和丢弃。 0：禁用类型数据包的 CRC 去除功能 1：启用类型数据包的 CRC 去除功能
20	ACS	自动 Pad 或 CRC 去除（Automatic Pad or CRC Stripping） 该位置 1 时，MAC 仅在长度字段值小于 1536 字节时去除传入数据包上的 Pad 或 FCS 字段。所有长度字段大于或等于 1536 字节的接收数据包都会传给应用程序，而不会去除 Pad 或 FCS 字段。 该位复位时，MAC 将所有传入的数据包传送给应用程序，而不进行任何修改。 0：禁用自动 Pad 或 CRC 去除功能 1：启用自动 Pad 或 CRC 去除功能
19	WD	禁用看门狗（Watchdog Disable） 该位置 1 时，MAC 关闭接收器上的看门狗定时器。MAC 可以接收多达 16383 字节的数据包。 该位复位时，MAC 不允许接收超过 2048 字节（如果 JE 设置为高，则为 10240

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		字节）的数据包。MAC 会切断在 2048 字节之后接收到的所有字节。 0：启用看门狗功能 1：禁用看门狗功能
18	Reserved	保留，必须保持复位值。
17	JD	禁用 Jabber（Jabber Disable） 该位置 1 时，MAC 禁止发送器上的 jabber 定时器。MAC 可以发送多达 16383 字节的数据包。 该位复位时，如果应用程序在发送期间发送超过 2048 字节的数据（如果 JE 设置为高，则为 10240 字节），则 MAC 不会发送该数据包中的剩余字节。 0：启用 Jabber 功能 1：禁用 Jabber 功能
16	JE	巨型数据包使能（Jumbo Packet Enable） 该位置 1 时，MAC 允许 9018 字节的巨型数据包（对于带 VLAN 标签的数据包，为 9022 字节），且不会在 Rx 数据包状态中报告大型数据包错误。 0：禁用巨型数据包功能 1：启用巨型数据包功能
15	PS	端口选择（Port Select） 该位选择以太网速率。该位与第 14 位一起选择确切的线路速度。在仅 10/100Mbps（始终为 1）或仅 1000Mbps（始终为 0）配置中，该位为只读，具有适当的值。在默认 10/100/1000Mbps 配置中，该位为读写。mac_speed_o[1]信号反映了该位的值。 0：用于 1000Mbps 操作 1：用于 10Mbps 或 100Mbps 操作 *注：该位为只读位且始终读为 1。*
14	FES	速度（Speed） 该位选择速度模式。 0：PS 位为 1 时，速度为 10Mbps；PS 位为 0 时，速度为 1000bps 1：PS 位为 1 时，速度为 100Mbps *注：只有 ETH1 中该位才与 PS 位共用。*
13	DM	双工模式（Duplex Mode） 该位置 1 时，MAC 在全双工模式下工作，此时它可以同时发送和接收。 0：半双工模式 1：全双工模式
12	LM	环回模式（Loopback Mode） 该位置 1 时，MAC 在 MII 下以环回模式工作。环回正常工作需要 MII Rx 时钟输入。这是因为 Tx 时钟没有内部环回。 0：禁用环回功能 1：启用环回功能
11	ECRSFD	全双工模式下进行发送之前使能载波侦听（Enable Carrier Sense Before Transmission in Full-Duplex Mode） 该位置 1 时，MAC 发送器会在全双工模式下发送数据包之前检查 CRS 信号。仅当 CRS 信号为低电平时，MAC 才开始发送。 该位复位时，MAC 发送器将忽略 CRS 信号的状态。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：禁用全双工模式下进行发送之前使能载波侦听的功能 1：启用全双工模式下进行发送之前使能载波侦听的功能
10	DO	禁止自接收（Disable Receive Own） 该位置 1 时，MAC 在半双工模式下且 TX_EN 有效时将禁止接收数据包。 该位复位时，MAC 将接收 PHY 提供的所有数据包。 该位不适用于全双工模式。 0：启用自接收功能 1：禁用自接收功能
9	DCRS	发送期间禁止载波侦听（Disable Carrier Sense During Transmission） 该位置 1 时，MAC 发送器会在半双工模式下发送数据包期间忽略 MII CRS 信号。因此，不会因在发送期间载波丢失或无载波而生成错误。 该位复位时，MAC 发送器会因载波侦听而生成错误。MAC 甚至会中止发送。 0：发送期间启用载波侦听功能 1：发送期间禁用载波侦听功能
8	DR	禁止重试（Disable Retry） 该位置 1 时，MAC 仅尝试一次发送。当在 MII 接口发生冲突时，MAC 会忽略当前数据包发送，并在 Tx 数据包状态中报告"数据包终止"和"过度冲突错误"。 该位复位时，MAC 会根据 BL 字段的设置进行重试。 该位仅适用于半双工模式。 0：启用重试功能 1：禁用重试功能
7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6:5	BL[1:0]	后退限制（Back-Off Limit） 后退限制决定发生冲突后重试期间 MAC 在重新安排一次发送之前等待的随机整数（r）个时隙延迟（对于 1000Mbps 为 4096 位时间；对于 10/100Mbps 为 512 位时间）。 其中，n = 重新发送尝试的次数。 随机整数 r 的取值范围为 $0 \leq r < 2^k$。 该位仅适用于半双工模式。 00：k = min(n, 10) 01：k = min(n, 8) 10：k = min(n, 4) 11：k = min(n, 1)
4	DC	延迟检查（Deferral Check） 该位置 1 时，MAC 将启用延迟检查功能。当 Tx 状态机在 10/100Mbps 模式下延迟超过 24288 位时间时，MAC 将发出数据包中止状态，同时在 Tx 数据包状态中设置过度延迟错误位。当发送器准备好发送但因 MII 上存在有效载波侦听信号（CRS）而被阻止时延迟开始。 延迟时间是非累积性的。例如，如果发送器因为 CRS 信号有效而延迟 10000 位时间，之后 CRS 信号变为无效，则会导致发送器进行发送时出现冲突。由于发生冲突，因此发送器需要后退，并在完成后退之后再次延迟。在这种情况下，延迟定时器将复位为 0，并重新启动。 该位复位时，禁止延迟检查功能，MAC 发生延迟，直到 CRS 信号变为无效信

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		号。 该位仅适用于半双工模式。 0：禁用延迟检查功能 1：启用延迟检查功能
3:2	PRELEN[1:0]	发送数据包的前导码长度（Preamble Length for Transmit packets） 这些比特控制着添加到每个 Tx 数据包开头的前导码字节数。只有当 MAC 以全双工模式运行时，才会减少前导码。 00：7 字节前导码 01：5 字节前导码 10：3 字节前导码 11：保留
1	TE	发送器使能（Transmitter Enable） 该位置 1 时，使能 MAC 发送状态机，以便在 MII 接口上进行传输。 该位复位时，MAC 发送状态机在完成当前数据包的传输后被禁用。发送状态机不再传输任何数据包。 0：禁用发送状态机 1：启用发送状态机
0	RE	接收器使能（Receiver Enable） 该位置 1 时，使能 MAC 接收状态机，以便从 MII 接口上接收数据包。 该位复位时，MAC 接收状态机在完成当前数据包的接收后被禁用。接收状态机不再从 MII 接口接收任何数据包。 0：禁用接收状态机 1：启用接收状态机

表 34-56 基于 S2KP 和 JE 位的巨型数据包状态

长度/类型字段	接收到的数据包长度	S2KP	JE	巨型包状态
无标签数据包	＞1518	0	0	1
	＞2000	1	0	1
	＞9018	x	1	1
VLAN 标签数据包	＞1522	0	0	1
	＞2000	1	0	1
	＞9022	x	1	1

34.6.1.2 ETH MAC 扩展配置寄存器（ETH_MACEXTCFG）

偏移地址：0x0004

复位值：0x0000 0000

MAC 扩展配置寄存器用于建立 MAC 扩展的操作模式。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		EIPG					EIPGEN	Reserved					USP	SPEN	DCRCC
		rw					rw						rw	rw	rw
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
Reserved		GPSL													
		rw													

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值。
29:25	EIPG[4:0]	扩展数据包间隙（Extended Inter-Packet Gap） EIPGEN 位置 1 时，此字段中的值有效。该字段（作为最高有效位）以及 ETH_MACCFG 中的 IPG 字段一起给出最小 IPG（大于 96 位时间，以 8 位时间为步长）：{EIPG，IPG} 0x00：104 位时间 0x01：112 位时间 0x02：120 位时间 … 0xFF：2144 位时间
24	EIPGEN	扩展数据包间隙使能（Extended Inter-Packet Gap Enable） 该位置 1 时，MAC 将 EIPG 字段和 ETH_MACCFG 中的 IPG 字段一起解析为最小 IPG（大于 96 位时间，以 8 位时间为步长）。 该位复位时，MAC 将忽略 EIPG 字段，并将 ETH_MACCFG 中的 IPG 字段解析为最小 IPG（小于等于 96 位时间，以 8 位时间为步长）。 0：禁用扩展数据包间隙功能 1：启用扩展数据包间隙功能
23:19	Reserved	保留，必须保持复位值。
18	USP	单播慢速协议数据包检测（Unicast Slow Protocol Packet Detect） 该位置 1 时，MAC 会检测具有 MAC 地址 0 高寄存器和 MAC 地址 0 地寄存器所指定的站单播地址的慢速协议数据包。MAC 还会检测具有慢速协议多播地址（01-80-C2-00-00-02）的慢速协议数据包。 该位复位时，MAC 仅检测具有在 IEEE 802.3-2015 的第 5 节中所指定的慢速协议多播地址的慢速协议数据包。 0：禁用单播慢速协议数据包检测功能 1：启用单播慢速协议数据包检测功能
17	SPEN	慢速协议检测使能（Slow Protocol Detection Enable） 该位置 1 时，MAC 会处理慢速协议数据包（EtherType：0x8809）并提供 Rx 状态。MAC 会丢弃具有无效子类型的慢速协议数据包。 该位复位时，MAC 将所有无错误的慢速协议数据包转发到应用程序。MAC 将这类数据包视为正常类型数据包。 0：禁用慢速协议检测功能 1：启用慢速协议检测功能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
16	DCRCC	禁用对已接收数据包的 CRC 检查（Disable CRC Checking for Received Packets） 该位置 1 时，MAC 接收器不会检查已接收数据包中的 CRC 字段。 该位复位时，MAC 接收器将始终检查已接收数据包中的 CRC 字段。 0：启用 CRC 检查功能 1：禁用 CRC 检查功能
15:14	Reserved	保留，必须保持复位值。
13:0	GPSL[13:0]	大型数据包大小限制（Giant Packet Size Limit） 如果接收到的数据包大小大于在此字段中编程的值（以字节为单位），则 MAC 会将接收到的数据包声明为大型数据包。在此字段中编程的值必须大于或等于 1518 字节。任何其他编程值均被视为 1518 字节。对于带 VLAN 标签的数据包，MAC 会将编程的值加上 4 个字节。 将 ETH_MACCFG 寄存器中的 GPSLCE 位置 1 时，该字段中的值有效。

34.6.1.3 ETH MAC 数据包过滤器寄存器（ETH_MACPFLT）

偏移地址：0x0008

复位值：0x0000 0000

MAC 数据包过滤寄存器包含接收数据包的过滤控制。寄存器中的部分控制功能会进入 MAC 的地址检查模块，该模块会执行第一级地址过滤。第二级过滤是根据其他控制（如传送不良数据包（Pass Bad Packets）和传送控制数据包（Pass Control Packets））对接收到的数据包进行过滤。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
RA	Reserved														VTFE
rw															rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved					HPF	SAF	SAIF	PCP		DBP	PAM	DAIF	HMC	HUC	PM
					rw	rw	rw	rw		rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31	RA	接收所有（Receive All） 该位置 1 时，无论接收到的数据包是否通过地址过滤器，MAC 接收器模块都会将它们全部传送至应用程序。SA 或 DA 过滤的结果在 Rx 状态字的相应位进行更新（通过或失败）。 该位复位时，接收器模块仅将通过 SA 或 DA 地址过滤器的数据包传送至应用程序。 0：禁用接收所有数据包的功能 1：启用接收所有数据包的功能
30:17	Reserved	保留，必须保持复位值。
16	VTFE	VLAN 标签过滤器使能（VLAN Tag Filter Enable） 该位置 1 时，MAC 将丢弃与 VLAN 标签过滤器不匹配的带 VLAN 标签的数据包。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		该位复位时，无论 VLAN 标记的匹配状态如何，MAC 都会转发所有数据包。 0：禁用 VLAN 标签过滤器 1：启用 VLAN 标签过滤器
15:11	Reserved	保留，必须保持复位值。
10	HPF	哈希或完美过滤器（Hash or Perfect Filter） 该位置 1 时，如果数据包与完美过滤或哈希过滤（通过 HMC 或 HUC 位设置）匹配，则此数据包会通过地址过滤器。 该位复位并且 HUC 或 HMC 位置 1，则只有在数据包与哈希过滤器匹配时才会通过过滤器。 0：禁用哈希或完美过滤器 1：启用哈希或完美过滤器
9	SAF	源地址过滤器使能（Source Address Filter Enable） 该位置 1 时，MAC 会将接收到的数据包的 SA 字段与使能的 SA 寄存器中编程的值进行比较。如果比较结果不相同，MAC 将丢弃数据包。 该位复位时，MAC 会将接收到的数据包转发给应用程序，并根据 SA 地址比较结果更新 Rx 状态的 SAF 位。 0：禁用源地址过滤器 1：启用源地址过滤器 *注：根据 IEEE 规范，SA 的第 47 位为保留位。但是，在本 IP 中，MAC 会比较所有 48 位。软件驱动程序在针对 SA 编程 MAC 地址寄存器时应考虑到这一点。*
8	SAIF	SA 反向过滤（SA Inverse Filtering） 该位置 1 时，地址检查模块在反向过滤模式下进行 SA 地址比较。如果数据包的 SA 与 SA 寄存器中编程的值匹配，则会将其标记为 SA 地址过滤失败。 该位复位时，如果数据包的 SA 与 SA 寄存器中编程的值不匹配，则会将其标记为 SA 地址过滤失败。 0：禁用 SA 反向过滤 1：启用 SA 反向过滤
7:6	PCP[1:0]	通过控制数据包（Pass Control Packets） 这些位控制所有控制数据包（包括单播和多播暂停数据包）的转发。 00：MAC 会过滤掉所有控制数据包，阻止它们到达应用程序 01：MAC 会将暂停数据包以外的所有控制数据包转发给应用程序，即使这些数据包未通过地址过滤器。 10：MAC 会将所有控制数据包转发给应用程序，即使这些数据包未通过地址过滤器 11：MAC 转发通过地址过滤器的控制数据包
5	DBP	禁用广播数据包（Disable Broadcast Packets） 该位置 1 时，地址过滤模块会阻止所有传入的广播数据包。此外，它还会覆盖所有其他过滤设置。 该位复位时，地址过滤模块会通过所有接收到的广播数据包。 0：启用接收所有广播数据包的功能 1：禁用接收所有广播数据包的功能
4	PAM	通过所有多播（Pass All Multicast） 该位置 1 时，指示通过接收到的带多播目的地址（目的地址字段的第一位是

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		“1”）的所有数据包。 该位复位时，多播数据包的过滤取决于 HMC 位。 0：禁用通过所有多播数据包的功能 1：启用通过所有多播数据包的功能
3	DAIF	DA 反向过滤（DA Inverse Filtering） 该位置 1 时，地址检查模块在反向过滤模式下对单播和多播数据包均进行 DA 地址比较。 该位复位时，执行数据包的正常过滤。 0：禁用 DA 反向过滤功能 1：启用 DA 反向过滤功能
2	HMC	哈希多播（Hash Multicast） 该位置 1 时，MAC 根据哈希表对接收到的多播数据包执行目的地址过滤。 该位复位时，MAC 对多播数据包执行完美目的地址过滤，即，将 DA 字段与 DA 寄存器中编程的值进行比较。 0：禁用哈希多播过滤功能 1：启用哈希多播过滤功能
1	HUC	哈希单播（Hash Unicast） 该位置 1 时，MAC 根据哈希表对接收到的单播数据包执行目的地址过滤。 该位复位时，MAC 对单播数据包执行完美目的地址过滤，即，将 DA 字段与 DA 寄存器中编程的值进行比较。 0：禁用哈希单播过滤功能 1：启用哈希单播过滤功能
0	PM	混合模式（Promiscuous Mode） 该位置 1 时，地址过滤模块将通过所有传入的数据包，而不管其目的地址或源地址为何。当 PM 被设置时，始终将 Rx 状态字的 SA 或 DA 过滤失败状态位清零。 0：禁用混合模式 1：启用混合模式

34.6.1.4 ETH MAC 看门狗超时寄存器（ETH_MACWDGTO）

偏移地址：0x000C

复位值：0x0000 0000

看门狗超时寄存器控制接收数据包的看门狗超时。

31-16
Reserved

15-9	8	7-4	3-0
Reserved	PWE	Reserved	WTO
	rw		rw

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:9	Reserved	保留，必须保持复位值。
8	PWE	可编程看门狗使能（Programmable Watchdog Enable） 该位置 1 且 ETH_MACCFG 寄存器的 WD 位复位时，WTO 字段用作已接收数据包的看门狗超时。 该位复位时，通过设置 ETH_MACCFG 寄存器的 WD 和 JE 位来控制已接收数据包的看门狗超时。 0：禁用可编程看门狗功能 1：启用可编程看门狗功能
7:4	Reserved	保留，必须保持复位值。
3:0	WTO[3:0]	看门狗超时（Watchdog Timeout） 当 PWE 位置 1 且 ETH_MACCFG 寄存器的 WD 位复位时，该字段将用作接收数据包的看门狗超时。如果接收到的数据包长度超过了该字段的值，该数据包将被终止并被声明为错误数据包。 0x0：2K 字节 0x1：3K 字节 0x2：4K 字节 0x3：5K 字节 0x4：6K 字节 0x5：7K 字节 … 0xD：15K 字节 0xE：16383 字节 0xF：保留 *注：设置 PWE 位时，该字段的值应大于 1522。否则，IEEE 802.3 规定的有效标记数据包将被声明为错误数据包并丢弃。*

34.6.1.5 ETH MAC 哈希表寄存器 0（ETH_MACHASHTR0）

偏移地址：0x0010

复位值：0x0000 0000

哈希表寄存器 0 包含哈希表（64 位）的前 32 位。

对于哈希过滤，传入数据包中目的地址的内容通过 CRC 逻辑传送，CRC 寄存器的高六位用于对哈希表内容进行索引。最高有效位决定要使用的寄存器（哈希表寄存器 0 或 1）。

目的地址的哈希值按如下方式计算：

1. 计算 DA 的 32 位 CRC（有关计算 CRC32 的步骤，请参见 IEEE 802.3 的第 3.2.8 节）。
2. 对第 1 步中得出的值执行按位反转。
3. 从步骤 2 得出的值中取高 6（或 7 或 8）位。

如果寄存器的相应位值为 1，则接受数据包，否则拒绝数据包。如果 MAC 数据包过滤器寄存器中的 PAM 位置 1，则不论多播哈希值为何，都会接受所有多播数据包。

如果哈希表寄存器被配置为与 MII 时钟域双同步，则只有在写入哈希表寄存器 x 的位[31:24]（小端模式）或位[7:0]（大端模式）时才会触发同步。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

如果启用了双同步，对该寄存器的连续写入应至少在目标时钟域的四个时钟周期后进行。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
HT31T0[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
HT31T0[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	HT31T0[31:0]	MAC 哈希表的前 32 位（MAC Hash Table First 32 Bits） 该字段包含哈希表的前 32 位，即位[31:0]。

34.6.1.6 ETH MAC 哈希表寄存器 1（ETH_MACHASHTR1）

偏移地址：0x0014

复位值：0x0000 0000

哈希表寄存器 0 包含哈希表（64 位）的后 32 位。

对于哈希过滤，传入数据包中目的地址的内容通过 CRC 逻辑传送，CRC 寄存器的高六位用于对哈希表内容进行索引。最高有效位决定要使用的寄存器（哈希表寄存器 0 或 1）。

目的地址的哈希值按如下方式计算：

4. 计算 DA 的 32 位 CRC（有关计算 CRC32 的步骤，请参见 IEEE 802.3 的第 3.2.8 节）。
5. 对第 1 步中得出的值执行按位反转。
6. 从步骤 2 得出的值中取高 6（或 7 或 8）位。

如果寄存器的相应位值为 1，则接受数据包，否则拒绝数据包。如果 MAC 数据包过滤器寄存器中的 PAM 位置 1，则不论多播哈希值为何，都会接受所有多播数据包。

如果哈希表寄存器被配置为与 MII 时钟域双同步，则只有在写入哈希表寄存器 x 的位[31:24]（小端模式）或位[7:0]（大端模式）时才会触发同步。

如果启用了双同步，对该寄存器的连续写入应至少在目标时钟域的四个时钟周期后进行。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
HT63T32[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
HT63T32[15:0]															
rw															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:0	HT63T32[31:0]	MAC 哈希表的后 32 位（MAC Hash Table Second 32 Bits） 该字段包含哈希表的后 32 位，即位[63:32]。

34.6.1.7 ETH VLAN 标签寄存器（ETH_MACVLANTAG）

偏移地址：0x0050

复位值：0x0000 0000

VLAN 标签寄存器用来标识 IEEE 802.1Q VLAN 类型的报文。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved						VTHM	EVLRXS	Reserved	EVLS		DOVLTC	ERSVLM	ESVL	VTIM	ETV
						rw	rw		rw		rw	rw	rw	rw	rw
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
VL[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:26	Reserved	保留，必须保持复位值。
25	VTHM	VLAN 标签哈希表匹配使能（VLAN Tag Hash Table Match Enable） 该位置 1 时，则使用 VLAN 标签的 CRC 的四个最高有效位来索引 ETH_MACVHASHT 寄存器的内容。VLAN 哈希表寄存器的值 1 对应于索引，表示数据包与 VLAN 哈希表匹配。 ETV 位置 1 时，使用 12 位 VLAN 标识符（VID）的 CRC 进行比较。 ETV 位复位时，使用 16 位 VLAN 标签的 CRC 进行比较。 该位复位时，不执行 VLAN 哈希匹配操作。 0：禁用 VLAN 标签哈希表匹配功能 1：启用 VLAN 标签哈希表匹配功能
24	EVLRXS	Rx 状态中使能 VLAN 标签（Enable VLAN Tag in Rx status） 该位置 1 时，MAC 会在 Rx 状态中提供外部 VLAN 标签。 该位复位时，MAC 不会在 Rx 状态中提供外部 VLAN 标签。 0：禁用 Rx 状态中的 VLAN 标签 1：启用 Rx 状态中的 VLAN 标签
23	Reserved	保留，必须保持复位值。
22:21	EVLS[1:0]	在接收端使能 VLAN 标签剥离（Enable VLAN Tag Stripping on Receive） 此字段指示在接收到的数据包中对外部 VLAN 标签进行的剥离操作。 00：不剥离 01：如果通过 VLAN 过滤器，则剥离 10：如果未通过 VLAN 过滤器，则剥离 11：始终进行剥离操作
20	DOVLTC	禁止 VLAN 类型检查（Disable VLAN Type Check） 该位置 1 时，MAC 不检查 VLAN 标签是 S-VLAN 类型还是 C-VLAN 类型。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		该位复位时，只有当 VLAN 标签类型与 ERSVLM 位指定的相似时，MAC 才会过滤或匹配 VLAN 标签。当接收到的数据包的 VLAN 类型与 VLAN 过滤器中编程的 VLAN 类型不匹配时，将绕开 VLAN 过滤器。 0：启用 VLAN 类型检查功能 1：禁用 VLAN 类型检查功能
19	ERSVLM	使能接收 S-VLAN 匹配（Enable Receive S-VLAN Match） 该位置 1 时，MAC 接收器会使能针对 S-VLAN（类型 ＝0x88A8）数据包的过滤或匹配。 该位复位时，MAC 接收器会使能针对 C-VLAN（类型 ＝0x8100）数据包的过滤或匹配。 0：禁用接收 S-VLAN 匹配功能 1：启用接收 S-VLAN 匹配功能
18	ESVL	使能 S-VLAN（Enable S-VLAN） 该位置 1 时，MAC 发送器和接收器会将 S-VLAN 数据包（类型 ＝0x88A8）视为带 VLAN 标签的有效数据包。 0：禁用 S-VLAN 1：启用 S-VLAN
17	VTIM	VLAN 标签反向匹配使能（VLAN Tag Inverse Match Enable） 该位置 1 时，会使能 VLAN 标签反向匹配。不含匹配 VLAN 标签的数据包被标记为匹配。 该位复位时，会使能 VLAN 标签完美匹配。含有匹配 VLAN 标签的数据包被标记为匹配。 0：禁用 VLAN 标签反向匹配功能 1：启用 VLAN 标签反向匹配功能
16	ETV	使能 12 位 VLAN 标签比较（Enable 12-Bit VLAN Tag Comparison） 该位置 1 时，使用 12 位 VLAN 标识符进行比较和过滤，而不使用完整的 16 位 VLAN 标签。VLAN 标签的位[11:0]与所接收带 VLAN 标签的数据包中的相应字段进行比较。类似地，使能时，只有所接收数据包中的 12 位 VLAN 标签用于基于哈希的 VLAN 过滤。 该位复位时，所接收 VLAN 数据包的第 15 个和第 16 个字节的所有 16 位都用于比较和 VLAN 哈希过滤。 0：禁用 12 位 VLAN 标签比较功能 1：启用 12 位 VLAN 标签比较功能
15:0	VL[15:0]	用于接收数据包的 VLAN 标签标识符（VLAN Tag Identifier for Receive Packets） 该字段包含用于识别 VLAN 数据包的 802.1Q VLAN 标签。该 VLAN 标签标识符将与接收到的数据包的第 15 个和第 16 个字节进行比较，以识别 VLAN 数据包。下面对该字段的各个位进行了说明： bits[15:13]：用户优先级 bit12：标准格式指示符（CFI）或丢弃合法指示符（DEI） bits[11:0]：VLAN 标签的 VLAN 标识符（VID）字段 当 ETV 位置 1 时，仅使用 VID 进行比较。 如果该字段（ETV 置 1 时为[11:0]）全部为零，则 MAC 不会检查用于 VLAN 标签比较的第 15 个和第 16 个字节，而是将类型字段值为 0x8100 或 0x88a8 的所有

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		数据包均声明为 VLAN 数据包。

34.6.1.8 ETH VLAN 哈希表寄存器（ETH_MACVHASHT）

偏移地址：0x0058

复位值：0x0000 0000

ETH_MACVLANTAG 寄存器的 ERSVLM 位置 1 时，16 位 VLAN 哈希表寄存器用于基于 VLAN 标签进行组地址过滤。对于哈希过滤，传入数据包中的 16 位 VLAN 标签或 12 位 VLAN ID（取决于 EETH_MACVLANTAG 寄存器的 ETV 位）的内容通过 CRC 逻辑传送。计算得出的 CRC 的高四位用于索引 VLAN 哈希表的内容。例如，哈希值 4b'1000 用于选择 VLAN 哈希表的位 8。

目的地址的哈希值按如下方式计算：

1. 计算 VLAN 标签或 ID 的 32 位 CRC（有关计算 CRC32 的步骤，请参见 IEEE 802.3 的第 3.2.8 节）。
2. 对第 1 步中获得的值执行按位反转。
3. 从步骤 2 得出的值中取高 4 位。

如果 VLAN 哈希表寄存器被配置为与 MII 时钟域双同步，则只有在写入该寄存器的位[15:8]（小端模式）或位[7:0]（大端模式）时才会触发同步。

如果启用了双同步，对该寄存器的连续写入应至少在目标时钟域的四个时钟周期后进行。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
VLHT[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	VLHT[15:0]	VLAN 哈希表（VLAN Hash Table） 该字段包含 16 位 VLAN 哈希表。

34.6.1.9 ETH MAC 发送流量控制寄存器（ETH_MACTXFLWCTRL）

偏移地址：0x0070

复位值：0x0000 0000

流量控制寄存器控制 MAC 的流量控制模块生成和接收控制（暂停命令）数据包。当写入寄存器并将"忙"位设置为 1 时，会触发流量控制模块生成一个暂停数据包。控制数据包的字段按照 802.3x 规范的规定进行选择，该寄存器中的暂停时间值用于控制数据包的暂停时间字段。在控制数据包传输到电缆上之前，"忙"位一直处于置位状态。应用程序在向寄存器写入数据前，必须确保"忙"位已被清除。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
PT[15:0]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								DZPQ	PLT[2:0]			Reserved		TFE	FCB_BPA
								rw	rw					rw	rw

位域	名称	描述
31:16	PT[15:0]	暂停时间（Pause Time） 此字段保留 Tx 控制数据包中暂停时间字段要使用的值。如果将暂停时间位配置为与 MII 时钟域双同步，则只能在目标时钟域的至少四个时钟周期后执行对此寄存器的连续写操作。
15:8	Reserved	保留，必须保持复位值。
7	DZPQ	禁止零等待暂停（Disable Zero-Quanta Pause） 该位置 1 时，则会在来自 FIFO 层的流控信号置为有效时，禁止自动生成零时间片暂停数据包。 该位复位时，会使能自动零时间片暂停数据包生成的正常操作。 0：启用零等待暂停数据包生成的功能 1：禁用零等待暂停数据包生成的功能
6:4	PLT[2:0]	暂停阈值下限（Pause Low Threshold） 该字段配置暂停定时器的阈值，在该阈值处将检查输入流控制信号，以便自动重新发送暂停数据包。 该阈值应始终小于在位[31:16]中配置的暂停时间。例如，如果 PT = 100H（256 个时隙），而 PLT = 001，则在第一个暂停数据包发送完成后，第二个暂停数据包会在 228（256 － 28）个时隙将流量控制信号置为有效时自动发送。 下面给出了针对不同值的阈值： 000：暂停时间减去 4 个时隙（PT － 4 个时隙） 001：暂停时间减去 28 个时隙（PT － 28 个时隙） 010：暂停时间减去 36 个时隙（PT － 36 个时隙） 011：暂停时间减去 144 个时隙（PT － 144 个时隙） 100：暂停时间减去 256 个时隙（PT － 256 个时隙） 101：暂停时间减去 512 个时隙（PT － 512 个时隙） 110-111：保留 时隙时间定义为 MII 接口每传输 512 位（64 字节）所需的时间。 此（近似）计算基于数据包大小（64、1518、2000、9018、16384 或 32768）+ 2 个暂停数据包大小 + IPG 的时隙时间。
3:2	Reserved	保留，必须保持复位值。
1	TFE	发送流控使能（Transmit Flow Control Enable） 全双工模式下：该位置 1 时，MAC 将使能流控操作来发送暂停数据包。该位复位时，将禁止 MAC 中的流控操作，MAC 不会发送任何暂停数据包。 半双工模式下：该位置 1 时，MAC 将使能背压操作。该位复位时，将禁止背压

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		功能。 0：禁用发送流控功能 1：启用发送流控功能
0	FCB_BPA	流控忙或背压激活（Flow Control Busy or Backpressure Activate） 此位在全双工模式下启动暂停数据包，在半双工模式下，TFE 位置 1 时，会激活背压功能。 全双工模式：向该寄存器写入数据前此位应读为 0。要启动暂停数据包，应用程序必须将此位置 1。在控制数据包传输过程中，此位保持置 1 以指示数据包发送正在进行中。当暂停数据包发送完成时，MAC 会将该位复位为 0。在该位清零之前，不应对该寄存器进行写操作。 半双工模式：如果该位在半双工模式下置 1（且 TFE 位置 1），则 MAC 会激活背压。在背压操作期间，当 MAC 接收到新数据包时，发送器会开始发送一个导致冲突的 JAM 模式。该控制寄存器位将与流量控制输入信号进行逻辑或运算，以用于背压功能。当 MAC 配置为全双工模式时，将自动禁止 BPA。 0：禁用流量控制忙或背压激活功能 1：启用流量控制忙或背压激活功能 *注：该位有访问限制，写 1 有效，自动清零，写 0 无影响。*

34.6.1.10 ETH MAC 接收流量控制寄存器（ETH_MACRXFLWCTRL）

偏移地址：0x0090

复位值：0x0000 0000

接收流量控制寄存器根据接收到的暂停数据包控制 MAC 发送的暂停。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved														UP	RFE
														rw	rw

位域	名称	描述
31:2	Reserved	保留，必须保持复位值。
1	UP	单播暂停数据包检测（Unicast Pause Packet Detect） 当暂停数据包具有 IEEE 802.3 中指定的唯一多播地址时，就会被处理。 该位置 1 时，MAC 也能检测到带有站点单播地址的暂停数据包。该单播地址应与 MAC 地址 0 高寄存器和 MAC 地址 0 低寄存器中指定的地址相同。 该位复位时，MAC 仅检测具有唯一多播地址的暂停数据包。 0：禁用单播暂停数据包检测功能 1：启用单播暂停数据包检测功能 *注：如果多播地址与该唯一多播地址不同，则 MAC 不会处理暂停数据包。这也*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		适用于启用优先级流量控制（PFC）时接收的 PFC 数据包。唯一多播地址（0x01_80_C2_00_00_01）如 IEEE 802.1 Qbb-2011 中所规定。
0	RFE	接收流控使能（Receive Flow Control Enable） 该位置 1 且 MAC 工作在全双工模式下时，MAC 对接收到的暂停数据包进行解码，并禁止其在指定（暂停）时间内发送。 当该位复位或 MAC 工作在半双工模式下时，会禁止暂停数据包的解码功能。使能 PFC 时，将为 PFC 数据包使能流控制。MAC 对收到的 PFC 数据包进行解码，并在收到的暂停时间内禁用具有匹配优先级的传输队列。 0：禁用接收流控功能 1：启用接收流控功能

34.6.1.11 ETH MAC 中断状态寄存器（ETH_MACINTSTS）

偏移地址：0x00B0

复位值：0x0000 0000

中断状态寄存器包含以太网模块的各中断状态。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved													MDIOIS	Reserved	
													r	r	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	RXSTSIS	TXSTSIS	TSIS	Reserved	MMCTXIS	MMCRXIS	MMCIS	Reserved			PMTIS	PHYIS	Reserved		
	r	r	r		r	r	r				r	r			

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必须保持复位值。
18	MDIOIS	MDIO 中断状态（MDIO Interrupt Status） 该位指示 MDIO 操作完成后的中断事件。要重置该位，应用程序必须读该位或在 MAC CSR 软件控制寄存器的 RCWE 位被设置时向该位写 1。 0：MDIO 中断状态未激活 1：MDIO 中断状态激活 *注：该位有访问限制。读（或当 MAC CSR 软件控制寄存器中的 RCWE 位被设置时写 1）清零。内部事件时自动置 1。*
17:15	Reserved	保留，必须保持复位值。
14	RXSTSIS	接收状态中断（Receive Status Interrupt） 该位指示接收数据包的状态。当 MAC Rx Tx 状态寄存器中的 RWT 位被设置时，该位被置位。当读取 MAC Rx Tx 状态寄存器中相应的中断源位（或当设置 MAC CSR 软件控制寄存器的 RCWE 位时对相应的中断源位写“1”）时，清零该位。 0：接收中断状态未激活 1：接收中断状态激活

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
13	TXSTSIS	发送状态中断（Transmit Status Interrupt） 该位指示发送数据包的状态。当 MAC Rx Tx 状态寄存器中以下任何位被置位时，该位被置位： ● 过度冲突（EXCOL） ● 延迟冲突（LCOL） ● 过度延迟（EXDEF） ● 载波丢失（LCARR） ● 无载波（NCARR） ● Jabber 超时（TJT） 当读取 MAC Rx Tx 状态寄存器中相应的中断源位（或当设置 MAC CSR 软件控制寄存器的 RCWE 位时对相应的中断源位写“1”）时，清零该位。 0：发送中断状态未激活 1：发送中断状态激活
12	TSIS	时间戳中断状态（Timestamp Interrupt Status） 如果启用了时间戳功能，则在以下任一条件为真时该位置位： ● 系统时间值等于或超过目标时间高寄存器和目标时间低寄存器中指定的值 ● 秒寄存器中出现溢出 ● 发生目标时间错误，即编程目标时间已过 如果在 MTL 中使能丢弃发送状态，则在 MAC Tx 时间戳状态纳秒寄存器和 MAC Tx 时间戳状态秒寄存器中更新捕获的发送时间戳时，该位会置 1。 当读取 MAC 时间戳状态寄存器中相应的中断源位（或当设置 MAC CSR 软件控制寄存器的 RCWE 位时对相应的中断源位写“1”）时，清零该位。 0：时间戳中断状态未激活 1：时间戳中断状态激活 *注：当第一个条件为真时，要产生时间戳中断（如果使能），必须保证第三个条件为假且设置 MAC 时间戳控制寄存器的 bit4（TSTRIG）为 1。*
11	Reserved	保留，必须保持复位值。
10	MMCTXIS	MMC 发送中断状态（MMC Transmit Interrupt Status） 当 MMC 发送中断寄存器中产生中断时，该位会置 1。清除该中断寄存器中的所有位后，该位将被清除。 0：MMC 发送中断状态未激活 1：MMC 发送中断状态激活
9	MMCRXIS	MMC 接收中断状态（MMC Receive Interrupt Status） 当 MMC 接收中断寄存器中产生中断时，该位会置 1。清除该中断寄存器中的所有位后，该位将被清除。 0：MMC 接收中断状态未激活 1：MMC 接收中断状态激活
8	MMCIS	MMC 中断状态（MMC Interrupt Status） 当 bit11，bit10 或者 bit9 被设置为高时，该位会置 1。当这些位均为低时，该位将被清除。 0：MMC 中断状态未激活 1：MMC 中断状态激活
7:5	Reserved	保留，必须保持复位值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
4	PMTIS	PMT 中断状态（PMT Interrupt Status） 当接收到一个魔术包或者 Wake-on-LAN 数据包（远程唤醒包）时，该位会置 1。 当对 MAC PMT 控制状态寄存器执行读操作而清除相应的中断源位（或当设置 MAC CSR 软件控制寄存器的 RCWE 位时对 MAC PMT 控制状态寄存器相应的中断源位写“1”）时，清零该位。 0：PMT 中断状态未激活 1：PMT 中断状态激活
3	PHYIS	PHY 中断（PHY Interrupt） 当检测到 phy_intr_i 输入信号的上升沿时，该位会置 1。 当读该寄存器（或当设置 MAC CSR 软件控制寄存器的 RCWE 位时对该位写“1”）时，清零该位。 0：未检测到 PHY 中断 1：检测到 PHY 中断
2:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

34.6.1.12 ETH MAC 中断使能寄存器（ETH_MACINTEN）

偏移地址：0x00B4

复位值：0x0000 0000

中断使能寄存器包含用于产生中断的掩码。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved													MDIOIE	Reserved	
													rw	rw	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	RXSTSIE	TXSTSIE	TSIE	Reserved							PMTIE	PHYIE	Reserved		
	rw	rw	rw								rw	rw			

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必须保持复位值。
18	MDIOIE	MDIO 中断使能（MDIO Interrupt Enable） 该位置 1 时，该中断信号在 MAC 中断状态寄存器中的 MDIOIS 位置 1 时有效。 0：禁用 MDIO 中断 1：启用 MDIO 中断
17:15	Reserved	保留，必须保持复位值。
14	RXSTSIE	接收状态中断使能（Receive Status Interrupt Enable） 该位置 1 时，该中断信号因 MAC 中断状态寄存器中的 RXSTSIS 位置 1 而有效。 0：禁用接收状态中断 1：启用接收状态中断

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
13	TXSTSIE	发送状态中断使能（Transmit Status Interrupt Enable） 该位置 1 时，该中断信号因 MAC 中断状态寄存器中的 TXSTSIS 位置 1 而有效。 0：禁用发送状态中断 1：启用发送状态中断
12	TSIE	时间戳中断使能（Timestamp Interrupt Enable） 该位置 1 时，该中断信号因 MAC 中断状态寄存器中的 TSIS 位置 1 而有效。 0：禁用时间戳中断 1：启用时间戳中断
11:5	Reserved	保留，必须保持复位值。
4	PMTIE	PMT 中断使能（PMT Interrupt Enable） 该位置 1 时，该中断信号因 MAC 中断状态寄存器中的 PMTIS 位置 1 而有效。 0：禁用 PMT 中断 1：启用 PMT 中断
3	PHYIE	PHY 中断使能（PHY Interrupt Enable） 该位置 1 时，该中断信号因 MAC 中断状态寄存器中的 PHYIS 位置 1 而有效。 0：禁用 PHY 中断 1：启用 PHY 中断
2:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

34.6.1.13 ETH MAC 接收发送状态寄存器（ETH_MACRXTXSTS）

偏移地址：0x00B8

复位值：0x0000 0000

接收发送状态寄存器包含接收和发送错误状态。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved							RWT	Reserved		EXCOL	LCOL	EXDEF	LCARR	NCARR	TJT
							r			r	r	r	r	r	r

位域	名称	描述
31:9	Reserved	保留，必须保持复位值。
8	RWT	接收看门狗超时（Receive Watchdog Timeout） 当接收到长度大于 2048 字节（如果使能巨型数据包模式，则为 10240 字节）的数据包，且 MAC 配置寄存器中的 WD 位复位时，该位置 1。 当接收到长度大于 16383 字节的数据包，且 MAC 配置寄存器中的 WD 位置 1 时，该位置 1。 0：无接收看门狗超时

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：发生接收看门狗超时 *注：该位有访问限制。读（或当 MAC CSR 软件控制寄存器中的 RCWE 位被设置时写 1）清零。内部事件时自动置 1。*
7:6	Reserved	保留，必须保持复位值。
5	EXCOL	过度冲突（Excessive Collisions） 当 MTL 操作模式寄存器中的 DTXSTS 位置 1 时，该位指示尝试发送当前数据包时因出现 16 个连续冲突而中止发送。如果 MAC 配置寄存器中的 DR 位置 1，则该位在第一次冲突后置 1，并且数据包发送过程将中止。 0：无冲突 1：检测到过度冲突 *注：该位有访问限制。读（或当 MAC CSR 软件控制寄存器中的 RCWE 位被设置时写 1）清零。内部事件时自动置 1。*
4	LCOL	延迟冲突（Late Collision） 当 MTL 操作模式寄存器中的 DTXSTS 位置 1 时，该位指示数据包传输因冲突窗口（MII 模式下为 64 个字节，包含前导码。 如果发生下溢错误，则该位无效。 0：无冲突 1：检测到延迟冲突 *注：该位有访问限制。读（或当 MAC CSR 软件控制寄存器中的 RCWE 位被设置时写 1）清零。内部事件时自动置 1。*
3	EXDEF	过度延迟（Excessive Deferral） 当 MTL 操作模式寄存器中的 DTXSTS 位置 1，且 MAC 配置寄存器中的 DC 位置 1 时，该位指示因延迟超过 24288 个位时间而结束发送。 0：无过度延迟 1：过度延迟 *注：该位有访问限制。读（或当 MAC CSR 软件控制寄存器中的 RCWE 位被设置时写 1）清零。内部事件时自动置 1。*
2	LCARR	载波丢失（Loss of Carrier） 当 MTL 操作模式寄存器中的 DTXSTS 位置 1 时，该位指示在数据包传输过程中发生了载波丢失，即在数据包传输过程中，phy_crs_i 信号在一个或多个传输时钟周期内处于非活动状态。该位仅对无冲突传输的数据包有效。 0：载波存在 1：载波丢失 *注：该位有访问限制。读（或当 MAC CSR 软件控制寄存器中的 RCWE 位被设置时写 1）清零。内部事件时自动置 1。*
1	NCARR	无载波（No Carrier） 当 MTL 操作模式寄存器中的 DTXSTS 位置 1 时，该位指示在前导码发送结束时不存在来自 PHY 的载波信号。 0：载波存在 1：无载波 *注：该位有访问限制。读（或当 MAC CSR 软件控制寄存器中的 RCWE 位被设置时写 1）清零。内部事件时自动置 1。*
0	TJT	发送 Jabber 超时（Transmit Jabber Timeout）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		当数据包大小超过 2048 字节（如果使能巨型数据包模式，则为 10240 字节）且 MAC 配置寄存器中的 JD 位复位时，该位表示传输 Jabber 定时器过期。 当数据包大小超过 16383 字节且 MAC 配置寄存器中的 JD 位置 1 时，该位置 1。 0：无发送 Jabber 超时 1：发生发送 Jabber 超时 *注：该位有访问限制。读（或当 MAC CSR 软件控制寄存器中的 RCWE 位被设置时写 1）清零。内部事件时自动置 1。*

34.6.1.14 ETH PMT 控制状态寄存器（ETH_MACPMTCTRLSTS）

偏移地址：0x00C0

复位值：0x0000 0000

PMT 控制状态寄存器包含远程唤醒数据包、魔术数据包相关的控制和状态位。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
RWKFILTRST	Reserved		RWKPTR[4:0]					Reserved							
rw					r										

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved					RWKPFE	GLBLUCAST	Reserved		RWKPRCVD	MGKPRCVD	Reserved		RWKPKTEN	MGKPKTEN	PWRDWN
					rw	rw			r	r			rw	rw	rw

位域	名称	描述
31	RWKFILTRST	远程唤醒数据包过滤寄存器指针复位（Remote wakeup Packet Filter Register Pointer Reset） 该位置 1 时，远程唤醒数据包过滤寄存器指针将复位为 3'b000。它会在 1 个时钟周期后自动清零。 0：远程唤醒包过滤寄存器指针未复位 1：远程唤醒包过滤寄存器指针复位
30:29	Reserved	保留，必须保持复位值。
28:24	RWKPTR[4:0]	远程唤醒 FIFO 指针（Remote wakeup FIFO Pointer） 该字段给出了远程唤醒数据包过滤寄存器指针的当前值（0 到 7）。如果该指针的值等于 7，则对该寄存器进行写操作时，远程唤醒数据包过滤寄存器的内容将被传输到 clk_rx_i 域。
23:11	Reserved	保留，必须保持复位值。
10	RWKPFE	远程唤醒数据包转发使能（Remote wakeup Packet Forwarding Enable） 该位与 RWKPKTEN 均置 1 时，MAC 接收器会丢弃所有接收到的帧，直到收到预期的唤醒帧。在此之后的所有帧，包括接收到的唤醒帧，都会转发给应用程序。接收到唤醒数据包后，该位自动清零。应用程序也可以在收到预期唤醒帧之前清除该位。在这种情况下，MAC 将恢复为默认行为，将接收到的数据包转发给应用程序。该位必须仅在 RWKPKTEN 置为高电平且 PWRDWN 置为低电平时置 1。当 PWRDWN 置为高电平时，该位的设置无效。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.

地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦

电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100

网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：禁用远程唤醒数据包转发功能 1：启用远程唤醒数据包转发功能 *注：如果在设置该位的同时使能了魔术包和唤醒帧，并且在唤醒帧之前收到了魔术包，则在收到魔术包时该位将自清除，收到的魔术包将被丢弃，收到魔术包后的所有帧将转发给应用程序。* *注：该位有访问限制，写 1 有效，自动清零，写 0 无影响。*
9	GLBLUCAST	全局单播（Global Unicast） 该位置 1 时，任何经 MAC 地址识别过滤（DAF）的单播数据包都会被检测为远程唤醒数据包。 0：禁用全局单播功能 1：启用全局单播功能
8:7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6	RWKPRCVD	接收到远程唤醒数据包（Remote wakeup Packet Received） 该位置 1 时，指示因接收到远程唤醒数据包而生成了电源管理事件。对此寄存器执行读操作时此位清零。 0：未接收到远程唤醒数据包 1：接收到远程唤醒数据包 *注：该位有访问限制。读（或当 MAC CSR 软件控制寄存器中的 RCWE 位被设置时写 1）清零。内部事件时自动置 1。*
5	MGKPRCVD	接收到魔术数据包（Magic Packet Received） 该位置 1 时，指示因接收到魔术数据包而生成了电源管理事件。对此寄存器执行读操作时此位清零。 0：未接收到魔术数据包 1：接收到魔术数据包 *注：该位有访问限制。读（或当 MAC CSR 软件控制寄存器中的 RCWE 位被设置时写 1）清零。内部事件时自动置 1。*
4:3	Reserved	保留，必须保持复位值。
2	RWKPKTEN	远程唤醒数据包使能（Remote wakeup Packet Enable） 该位置 1 时，则会在 MAC 接收到远程唤醒数据包时生成电源管理事件。 0：禁用远程唤醒数据包功能 1：启用远程唤醒数据包功能
1	MGKPKTEN	魔术数据包使能（Magic Packet Enable） 该位置 1 时，则会在 MAC 接收到魔术数据包时生成电源管理事件。 0：禁用魔术数据包功能 1：启用魔术数据包功能
0	PWRDWN	掉电（Power Down） 该位置 1 时，MAC 接收器会丢弃所有接收到的数据包，直到收到预期的魔术数据包或远程唤醒数据包。随后该位自动清零，且掉电模式被禁用。软件可在收到预期魔术数据包或远程唤醒数据包之前清除该位。此位清零后 MAC 接收到的数据包会被转发给应用程序。只有当魔术数据包使能、全局单播或远程唤醒数据包使能位置为高电平时才必须将该位置 1。 0：禁用掉电模式 1：启用掉电模式

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		注：可以在掉电模式下关闭 CSR 时钟。但是，当 CSR 时钟处于关断状态时，不能对该寄存器执行任何读写操作，因此软件无法清除该位。

34.6.1.15 ETH MAC 远程唤醒过滤寄存器（ETH_MACRWUPFLT）

偏移地址：0x00C4

复位值：0x0000 0000

远程唤醒过滤寄存器以 8 个间接访问寄存器（wkuppktfilter_reg#i）的形式实现，并由应用程序通过 MAC 远程唤醒过滤寄存器进行访问。要对远程唤醒过滤器进行编程时，必须写入整组 wkuppktfilter_reg 寄存器。在 MAC 远程唤醒过滤寄存器中依次写入 wkuppktfilter_reg0、wkuppktfilter_reg1、…、wkuppktfilter_reg7 的 8 个寄存器值，即可对 wkuppktfilter_reg 寄存器进行编程。wkuppktfilter_reg 寄存器的读取方式与此类似。MAC 会更新 MAC PMT 控制状态寄存器 RWKPTR 字段中的 wkuppktfilter_reg 寄存器当前指针值。

远程唤醒过滤寄存器的字段描述参见 34.5.9.2 章节。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
WKUPFRMFTR[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
WKUPFRMFTR[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	WKUPFRMFTR	远程唤醒过滤（RWK Packet Filter） 此字段包含 RWK 包过滤器的各种控制。

34.6.1.16 ETH MAC 版本寄存器（ETH_MACVER）

偏移地址：0x0110

复位值：0x0000 0852

版本寄存器用于标识以太网外设的版本。该寄存器包含两个字节：一个字节由 Synopsys 用于标识 IP 版本号，另一个字节由国民技术用于标识 IP 配置版本号。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
USERVER[7:0]								SNPSVER[7:0]							
r								r							

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:8	USERVER[7:0]	用户定义的版本（User-defined Version）
7:0	SNPSVER[7:0]	Synopsys 定义的版本（Synopsys-defined Version）

34.6.1.17 ETH MAC 调试寄存器（ETH_MACDBG）

偏移地址：0x0114

复位值：0x0000 0000

调试寄存器提供各个 MAC 模块的调试状态。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved													TFCSTS		TPESTS
													r		r

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved													RFCFCSTS		RPESTS
													r		r

位域	名称	描述
31:19	Reserved	保留，必须保持复位值。
18:17	TFCSTS[1:0]	MAC 发送数据包控制器状态（MAC Transmit Packet Controller Status） 此字段指示 MAC 发送数据包控制器模块的状态： 00：空闲状态 01：等待以下情况之一：前一个数据包的状态或 IPG 或后退期结束 10：生成并发送暂停控制数据包（在全双工模式下） 11：传输要发送的输入数据包
16	TPESTS	MAC MII 发送协议引擎状态（MAC MII Transmit Protocol Engine Status） 该位置 1 时，表示 MAC MII 发送协议引擎正在主动发送数据，而未处于空闲状态。 0：未检测到 MAC MII 发送协议引擎状态 1：检测到 MAC MII 发送协议引擎状态
15:3	Reserved	保留，必须保持复位值。
2:1	RFCFCSTS[1:0]	MAC 接收数据包控制器 FIFO 状态（MAC Receive Packet Controller FIFO Status） 该字段置 1 时，表示 MAC 接收数据包控制器模块的各个小 FIFO 读和写控制器的有效状态。
0	RPESTS	MAC MII 接收协议引擎状态（MAC MII Receive Protocol Engine Status） 该位置 1 时，表示 MAC MII 接收协议引擎正在主动接收数据，而未处于空闲状态。 0：未检测到 MAC MII 接收协议引擎状态 1：检测到 MAC MII 接收协议引擎状态

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

34.6.1.18 ETH MAC 硬件特性寄存器 0（ETH_MACHWF0）

偏移地址：0x011C

复位值：0x020D 51F5

该寄存器指示第一组可选的以太网外设功能。软件驱动程序可使用该寄存器来动态使能或禁止与可选模块相关的程序。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	ACTPHYSEL			SAVLANINS	TSSTSSEL		MACADR64SEL	MACADR32SEL	ADDMACADRSEL					Reserved	RXCOESEL
	r			r	r		r	r	r						r

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	TXCOESEL	EEESEL	TSSEL	Reserved		ARPOFFSEL	MMCSEL	MGKSEL	RWKSEL	SMASEL	VLHASH	Reserved	HDSEL	GMIISEL	MIISEL
	r	r	r			r	r	r	r	r	r		r	r	r

位域	名称	描述
31	Reserved	保留，必须保持复位值。
30:28	ACTPHYSEL	已选择的有效 PHY（Active PHY Selected）。 当配置中有多个 PHY 接口时，该字段表示复位去支持期间 phy_intf_sel_i 的采样值。 0x0：MII 0x4：RMII 其他值：保留
27	SAVLANINS	已使能源地址或 VLAN 插入（Source Address or VLAN Insertion Enabled） 选择"在 Tx 上启用 SA 和 VLAN 插入"选项时，该位置 1。 0：未选择"启用 SA 和 VLAN 插入"选项 1：已选择"启用 SA 和 VLAN 插入"选项
26:25	TSSTSSEL	时间戳系统时间源（Timestamp System Time Source） 该字段指示时间戳系统时间源： 0x0：内部 0x1：外部 0x2：内部和外部
24	MACADR64SEL	已选择 MAC 地址 64-127（MAC Addresses 64-127 Selected） 选择"启用附加 64-127 MAC 地址寄存器"选项时，该位置 1。 0：未选择"附加 64-127 MAC 地址寄存器"选项 1：已选择"附加 64-127 MAC 地址寄存器"选项
23	MACADR32SEL	已选择 MAC 地址 32-63（MAC Addresses 32-63 Selected） 选择"启用附加 32-63 MAC 地址寄存器"选项时，该位置 1。 0：未选择"附加 32-63 MAC 地址寄存器"选项 1：已选择"附加 32-63 MAC 地址寄存器"选项
22:18	ADDMACADRSEL	已选择 MAC 地址 1-31（MAC Addresses 1-31 Selected） 该字段指示附加的 MAC 地址。 0x1：启用附加 MAC 地址 1

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0x2：启用附加 MAC 地址 2 0x3：启用附加 MAC 地址 3 … 0x1F：启用附加 MAC 地址 31
17	Reserved	保留，必须保持复位值。
16	RXCOESEL	已使能接收校验和减荷（Receive Checksum Offload Enabled） 选择"启用接收 TCP/IP 检验和检查"选项时，该位置 1。 0：未选择"接收校验和减荷"选项 1：已选择"接收校验和减荷"选项
15	Reserved	保留，必须保持复位值。
14	TXCOESEL	已使能发送校验和减荷（Transmit Checksum Offload Enabled） 选择"启用发送 TCP/IP 检验和检查"选项时，该位置 1。 0：未选择"发送校验和减荷"选项 1：已选择"发送校验和减荷"选项
13	EEESEL	已使能节能型以太网（Energy Efficient Ethernet Enabled） 选择"启用节能型以太网"选项时，该位置 1。 0：未选择"启用节能型以太网"选项 1：已选择"启用节能型以太网"选项
12	TSSEL	已使能 IEEE 1588-2008 时间戳（IEEE 1588-2008 Timestamp Enabled） 选择"启用 IEEE 1588 时间戳"选项时，该位置 1。 0：未选择"启用 IEEE 1588 时间戳"选项 1：已选择"启用 IEEE 1588 时间戳"选项
11:10	Reserved	保留，必须保持复位值。
9	ARPOFFSEL	已使能 ARP 减荷（ARP Offload Enabled） 选择"启用 IPv4 ARP 减荷"选项时，该位置 1。 0：未选择"启用 IPv4 ARP 减荷"选项 1：已选择"启用 IPv4 ARP 减荷"选项
8	MMCSEL	已使能 RMON 模块（RMON Module Enabled） 选择"启用 MAC 管理计数（MMC）"选项时，该位置 1。 0：未选择"启用 MAC 管理计数（MMC）"选项 1：已选择"启用 MAC 管理计数（MMC）"选项
7	MGKSEL	已使能 PMT 魔术包（PMT Magic Packet Enabled） 选择"启用魔术包检测"选项时，该位置 1。 0：未选择"启用魔术包检测"选项 1：已选择"启用魔术包检测"选项
6	RWKSEL	已使能 PMT 远程唤醒包（PMT Remote Wake-up Packet Enabled） 选择"启用远程唤醒包检测"选项时，该位置 1。 0：未选择"启用远程唤醒包检测"选项 1：已选择"启用远程唤醒包检测"选项
5	SMASEL	SMA（MDIO）接口（SMA (MDIO) Interface） 选择"启用站管理（MDIO 接口）"选项时，该位置 1。 0：未选择 SMA（MDIO 接口）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：已选择 SMA（MDIO 接口）
4	VLHASH	已选择 VLAN 哈希过滤（VLAN Hash Filter Selected） 选择"启用 VLAN 哈希表过滤"选项时，该位置 1。 0：未选择 VLAN 哈希过滤 1：已选择 VLAN 哈希过滤
3	Reserved	保留，必须保持复位值。
2	HDSEL	半双工支持（Half-duplex Support） 选择"半双工模式"选项时，该位置 1。 0：不支持半双工 1：支持半双工
1	GMIISEL	1000Mbps 支持（1000 Mbps Support） 选择"1000Mbps 模式"选项时，该位置 1。 0：不支持 1000Mbps 1：支持 1000Mbps
0	MIISEL	10/100Mbps 支持（10/100 Mbps Support） 选择"10/100Mbps 模式"选项时，该位置 1。 0：不支持 10/100Mbps 1：支持 10/100Mbps

34.6.1.19 ETH MAC 硬件特性寄存器 1（ETH_MACHWF1）

偏移地址：0x0120

复位值：0x0100 0124

该寄存器指示第二组可选的以太网外设功能。软件驱动程序可使用该寄存器来动态使能或禁止与可选模块相关的程序。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	L3L4FNUM				Reserved	HASHTBLSZ		POUOST	Reserved	RAVSEL	AVSEL	DBGMEMA	TSOEN	SPHEN	DCBEN
	r					r		r		r	r	r	r	r	r

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADDR64		ADVTHWORD	PTOEN	OSTEN	TXFIFOSIZE					SPRAM	RXFIFOSIZE				
r		r	r	r	r					r	r				

位域	名称	描述
31	Reserved	保留，必须保持复位值。
30:27	L3L4FNUM	L3 或 L4 过滤器总数（Total number of L3 or L4 Filters） 该字段指示 L3 或 L4 过滤器的总数： 0000：无 L3 或 L4 过滤器 0001：1 个 L3 或 L4 过滤器 0010：2 个 L3 或 L4 过滤器 …

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1000：8 个 L3 或 L4 过滤器
26	Reserved	保留，必须保持复位值。
25:24	HASHTBLSZ	哈希表大小（Hash Table Size） 该字段指示哈希表的大小： 00：无散列表 01：64 10：128 11：256
23	POUOST	已使能基于 UDP/IP 的一步 PTP（One Step for PTP over UDP/IP Feature Enable） 选择"基于 UDP/IP 的一步时间戳 PTP"特性时，该位置 1。 0：未选择"基于 UDP/IP 的一步时间戳 PTP"特性 1：已选择"基于 UDP/IP 的一步时间戳 PTP"特性
22	Reserved	保留，必须保持复位值。
21	RAVSEL	已使能 Rx 端 AV 特性（Rx Side Only AV Feature Enabled） 选择"启用 Rx 端音视频桥接"选项时，该位置 1。 0：未选择"Rx 端音视频桥接（AV）"特性 1：已选择"Rx 端音视频桥接（AV）"特性
20	AVSEL	已使能 AV 特性（AV Feature Enabled） 选择"启用音视频桥接"选项时，该位置 1。 0：未选择"音视频桥接（AV）"特性 1：已选择"音视频桥接（AV）"特性
19	DBGMEMA	已使能 DMA 调试寄存器（DMA Debug Registers Enabled） 选择"启用调试模式"选项时，该位置 1。 0：未选择"DMA 调试寄存器"选项 1：已选择"DMA 调试寄存器"选项
18	TSOEN	已使能 TCP 分段减荷（TCP Segmentation Offload Enabled） 选择"启用 TCP/IP 包的 TCP 分段减荷"选项时，该位置 1。 0：未选择"TCP 分段减荷"特性 1：已选择"TCP 分段减荷"特性
17	SPHEN	已使能拆分报头功能（Split Header Feature Enabled） 选择"启用拆分报头"选项时，该位置 1。 0：未选择"拆分报头"特性 1：已选择"拆分报头"特性
16	DCBEN	已使能 DCB 特性（DCB Feature Enabled） 选择"启用数据中心桥接（Data Center Bridging）"选项时，该位置 1。 0：未选择"数据中心桥接"特性 1：已选择"数据中心桥接"特性
15:14	ADDR64	地址宽度（Address Width） 该字段指示配置的地址宽度： 0x0：32 0x1：40 0x2：48

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0x3：保留
13	ADVTHWORD	IEEE 1588 高位字寄存器使能（IEEE 1588 High Word Register Enabled） 选择"添加 IEEE 1588 高位字寄存器"选项时，该位置 1。 0：未选择"IEEE 1588 高位字寄存器"选项 1：已选择"IEEE 1588 高位字寄存器"选项
12	PTOEN	已使能 PTP 减荷（PTP Offload Enabled） 选择"启用 PTP 时间戳减荷"特性时，该位置 1。 0：未选择"PTP 减荷"特性 1：已选择"PTP 减荷"特性
11	OSTEN	已使能一步时间戳（One-Step Timestamping Enabled） 选择"启用一步时间戳"特性时，该位置 1。 0：未选择"一步时间戳"特性 1：已选择"一步时间戳"特性
10:6	TXFIFOSIZE	MTL 发送 FIFO 大小（MTL Transmit FIFO Size） 该字段包含 MTL Tx FIFO 的配置值（以字节表示），表示为以 2 为底的对数减去 7，即 Log2(TXFIFO_SIZE) - 7： 0x0：128 字节 0x1：256 字节 0x2：512 字节 0x3：1024 字节 0x4：2048 字节 0x5：4096 字节 0x6：8192 字节 0x7：16384 字节 0x8：32KB 0x9：64KB 0xA：128KB 0xB：保留
5	SPRAM	已使能单端口 RAM（Single Port RAM Enabled） 选择"使用单端口 RAM"特性时，该位置 1。 0：未选择"单端口 RAM"特性 1：已选择"单端口 RAM"特性
4:0	RXFIFOSIZE	MTL 接收 FIFO 大小（MTL Receive FIFO Size） 该字段包含 MTL Rx FIFO 的配置值（以字节表示），表示为以 2 为底的对数减去 7，即 Log2(RXFIFO_SIZE) - 7： 0x0：128 字节 0x1：256 字节 0x2：512 字节 0x3：1024 字节 0x4：2048 字节 0x5：4096 字节 0x6：8192 字节 0x7：16384 字节

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0x8：32KB 0x9：64KB 0xA：128KB 0xB：256KB 0xC：保留

34.6.1.20 ETH MAC 硬件特性寄存器 2（ETH_MACHWF2）

偏移地址：0x0124

复位值：0x0000 0000

该寄存器指示第三组可选的以太网外设功能。软件驱动程序可使用该寄存器来动态使能或禁止与可选模块相关的程序。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	AUXSNAPNUM			Reserved	PPSOUTNUM			TDCSZ		TXCHCNT				RDCSZ	
	r				r			r		r				r	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RXCHCNT				Reserved		TXQCNT				Reserved		RXQCNT			
r						r						r			

位域	名称	描述
31	Reserved	保留，必须保持复位值。
30:28	AUXSNAPNUM	辅助快照输入数（Number of Auxiliary Snapshot Inputs） 该字段指示辅助快照的输入数： 0x0：无辅助输入 0x1：1 个辅助输入 0x2：2 个辅助输入 0x3：3 个辅助输入 0x4：4 个辅助输入 0x5：保留
27	Reserved	保留，必须保持复位值。
26:24	PPSOUTNUM	PPS 输出数（Number of PPS Outputs） 该字段指示 PPS 的输出数： 0x0：无 PPS 输出 0x1：1 个 PPS 输出 0x2：2 个 PPS 输出 0x3：3 个 PPS 输出 0x4：4 个 PPS 输出 0x5：保留
23:22	TDCSZ	Tx DMA 描述符缓存大小（16 字节描述符）（Tx DMA Descriptor Cache Size in terms of 16 bytes descriptors）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0x0：Cache 未配置 0x1：4 0x2：8 0x3：16
21:18	TXCHCNT	DMA 发送通道数（Number of DMA Transmit Channels） 此该字段指示 DMA 发送通道数： 0x0：1 个 DMA 发送通道 0x1：2 个 DMA 发送通道 … 0x7：8 个 DMA 发送通道
17:16	RDCSZ	Rx DMA 描述符缓存大小（16 字节描述符）（Rx DMA Descriptor Cache Size in terms of 16 bytes descriptors） 0x0：Cache 未配置 0x1：4 0x2：8 0x3：16
15:12	RXCHCNT	DMA 接收通道数（Number of DMA Receive Channels） 此该字段指示 DMA 接收通道数： 0x0：1 个 DMA 接收通道 0x1：2 个 DMA 接收通道 … 0x7：8 个 DMA 接收通道
11:10	Reserved	保留，必须保持复位值。
9:6	TXQCNT	MTL 发送队列数（Number of MTL Transmit Queues） 此该字段指示 MTL 发送队列数： 0x0：1 个 MTL 发送队列 0x1：2 个 MTL 发送队列 … 0x7：8 个 MTL 发送队列
5:4	Reserved	保留，必须保持复位值。
3:0	RXQCNT	MTL 接收队列数（Number of MTL Receive Queues） 此该字段指示 MTL 接收队列数： 0x0：1 个 MTL 接收队列 0x1：2 个 MTL 接收队列 … 0x7：8 个 MTL 接收队列

34.6.1.21 ETH MAC 硬件特性寄存器 3（ETH_MACHWF3）

偏移地址：0x0128

复位值：0x0000 0000

该寄存器指示第四组可选的以太网外设功能。软件驱动程序可使用该寄存器来动态使能或禁止与可选模块相关的程序。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		ASP		TBSSEL	FPESEL	Reserved				ESTWID		ESTDEP			ESTSEL
		r		r	r					r		r			r

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	FRPES		FRPBS		FRPSEL	PDUPSEL	Reserved			DVLAN	CBTISEL	Reserved	NRVF		
	r		r		r	r				r	r		r		

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值。
29:28	ASP	车载安全包（Automotive Safety Package） 以下是不同安全功能的编码： 0x0：未选择安全功能 0x1：仅选择了"外部内存的 ECC 保护"功能 0x2：选择了所有汽车安全功能，但未选择"外部接口奇偶校验端口启用"功能 0x3：选择了所有汽车安全功能，并具有"外部接口奇偶校验端口启用"功能
27	TBSSEL	时间调度使能（Time Based Scheduling Enable） 选择"启用时间调度"特性时，该位置 1。 0：未选择"时间调度"特性 1：已选择"时间调度"特性
26	FPESEL	帧抢占使能（Frame Preemption Enable） 选择"启用帧抢占"特性时，该位置 1。 0：未选择"帧抢占"特性 1：已选择"帧抢占"特性
25:22	Reserved	保留，必须保持复位值。
21:20	ESTWID	门控列表中时间间隔字段的宽度（Width of the Time Interval field in the Gate Control List） 该字段表示配置时间间隔字段的宽度。 0x0：宽度未配置 0x1：4 0x2：8 0x3：16
19:17	ESTDEP	门控列表的深度（Depth of the Gate Control List） 该字段表示门控列表的深度，用 Log2(DWC_EQOS_EST_DEP) - 5 表示。 0x0：深度未配置 0x1：64 0x2：128 0x3：256 0x4：512 0x5：1024 0x6：保留
16	ESTSEL	增强调度流量使能（Enhancements to Scheduled Traffic Enable）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		选择"启用增强调度流量"特性时，该位置 1。 0：未选择"增强调度流量"特性 1：已选择"增强调度流量"特性
15	Reserved	保留，必须保持复位值。
14:13	FRPES	灵活接收解析器表条目大小（Flexible Receive Parser Table Entries size） 该字段表示灵活接收解析器支持的最大解析器条目数。 0x0：64 0x1：128 0x2：256 0x3：保留
12:11	FRPBS	灵活接收解析器缓冲区大小（Flexible Receive Parser Buffer size） 该字段表示灵活接收解析器支持解析的数据包数据的最大字节数。 0x0：64 0x1：128 0x2：256 0x3：保留
10	FRPSEL	已选择灵活接收解析器（Flexible Receive Parser Selected） 选择"启用灵活可编程接收解析器"选项时，该位置 1。 0：未选择"灵活接收解析器"特性 1：已选择"灵活接收解析器"特性
9	PDUPSEL	广播/多播数据包重复（Broadcast/Multicast Packet Duplication） 选择"广播/多播数据包重复"特性时，该位置 1。 0：未选择"广播/多播数据包重复"特性 1：已选择"广播/多播数据包重复"特性
8:6	Reserved	保留，必须保持复位值。
5	DVLAN	已选择双 VLAN 标签处理（Double VLAN Tag Processing Selected） 选择"启用双 VLAN 标签处理"特性时，该位置 1。 0：未选择"双 VLAN 标签处理"选项 1：已选择"双 VLAN 标签处理"选项
4	CBTISEL	已使能在 Tx 上插入基于队列/通道的 VLAN 标签（Queue/Channel based VLAN tag insertion on Tx Enabled） 选择"在 Tx 上插入基于队列/通道的 VLAN 标签"特性时，该位置 1。 0：未选择"在 Tx 上插入基于队列/通道的 VLAN 标签"特性 1：已选择"在 Tx 上插入基于队列/通道的 VLAN 标签"特性
3	Reserved	保留，必须保持复位值。
2:0	NRVF	已使能的扩展 VLAN 标签过滤器的数量（Number of Extended VLAN Tag Filters Enabled） 该字段表示所选的扩展 VLAN 标签过滤器的数量： 0x0：无扩展 VLAN 过滤器 0x1：4 个扩展 VLAN 过滤器 0x2：8 个扩展 VLAN 过滤器 0x3：16 个扩展 VLAN 过滤器

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0x4：24 个扩展 VLAN 过滤器 0x5：32 个扩展 VLAN 过滤器 0x6：保留

34.6.1.22 ETH MAC MDIO 地址寄存器（ETH_MACMDIOADDR）

偏移地址：0x0200

复位值：0x0000 0000

MDIO 地址寄存器通过管理接口控制外部 PHY 的管理周期。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				PSE	BTB	PA					RDA				
				rw	rw	rw					rw				

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	NTC			CR				Reserved			SKAP	MOC1	MOC0	C45E	MB
	rw			rw							rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必须保持复位值。
27	PSE	前导码抑制使能（Preamble Suppression Enable） 该位置 1 时，SMA 将抑制 32 位前导码，并发送仅包含 1 位前导码的 MDIO 帧。 该位复位时，MDIO 帧始终具有如 IEEE 规范中定义的 32 位前导码。 0：禁用前导码抑制功能 1：启用前导码抑制功能
26	BTB	背靠背事务（Back to Back transactions） 该位置 1 且 NTC 的值大于 0 时，MAC 将在帧传输结束时（在发送尾部时钟之前）发出已完成读命令或写命令的通知。这样，软件便可启动下一条命令，而且无论为前一帧生成的尾部时钟数为多少，都会立即执行此命令。 该位复位时，只有在生成尾部时钟之后，才会完成读/写命令（MB 位清零）。在该模式下，确保始终在每个帧之后生成 NTC。NTC=0 时，该位不能置 1。 0：禁用背靠背事务功能 1：启用背靠背事务功能
25:21	PA	物理层地址（Physical Layer Address） 该字段指示 MAC 正在访问哪些符合条款 22 的 PHY 器件（32 个 PHY 器件中）。 该字段指示 MAC 正在访问哪些符合条款 45 的 PHY 器件（32 个 PHY 器件中）。
20:16	RDA	寄存器/设备地址（Register/Device Address） 该字段用于选择所选符合条款 22 的 PHY 设备中的 PHY 寄存器。 该字段用于选择所选符合条款 45 的 PHY 的设备（MMD）。
15	Reserved	保留，必须保持复位值。
14:12	NTC	尾部时钟数（Number of Training Clocks） 该字段控制 MDIO 帧发送结束后在 MDC 上生成的尾部时钟周期数。有效值范围

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		为 0 到 7。将值编程为 3'h3 表示 MDIO 帧完成传输后 MDC 线上存在三个额外时钟周期。
11:8	CR	CSR 时钟范围（CSR Clock Range） CSR 时钟范围选择根据设计中使用的 CSR 时钟频率确定 MDC 时钟的频率： 0000：CSR 时钟 ＝60~100MHz；MDC 时钟 ＝CSR 时钟/42 0001：CSR 时钟 ＝100~150MHz；MDC 时钟 ＝CSR 时钟/62 0010：CSR 时钟 ＝20~35MHz；MDC 时钟 ＝CSR 时钟/16 0011：CSR 时钟 ＝35~60MHz；MDC 时钟 ＝CSR 时钟/26 0100：CSR 时钟 ＝150~250MHz；MDC 时钟 ＝CSR 时钟/102 0101：CSR 时钟 ＝250~300MHz；MDC 时钟 ＝CSR 时钟/124 0110：CSR 时钟 ＝300~500MHz；MDC 时钟 ＝CSR 时钟/204 0111：CSR 时钟 ＝500~800MHz；MDC 时钟 ＝CSR 时钟/324 适用于各个值的建议 CSR 时钟频率范围（bit11＝0 时）可确保 MDC 时钟大致介于 1.0MHz 到 2.5MHz 频率范围之间。bit11 置 1 时，可以实现高于 2.5MHz 频率限制（在 IEEE 802.3 中规定）的 MDC 时钟频率，并对较低值的时钟分频器进行编程。例如，当 CSR 时钟频率为 100MHz，并且将这些位编程为 1010 时，所得到的 MDC 时钟为 12.5MHz，此值高于 IEEE 802.3 中规定的范围。只有当接口芯片支持更快的 MDC 时钟时，才可设置以下值： 1000：CSR 时钟/4 1001：CSR 时钟/6 1010：CSR 时钟/8 1011：CSR 时钟/10 1100：CSR 时钟/12 1101：CSR 时钟/14 1110：CSR 时钟/16 1111：CSR 时钟/18
7:5	Reserved	保留，必须保持复位值。
4	SKAP	跳过地址数据包（Skip Address Packet） 该位置 1 时，SMA 在对增量地址数据包进行读取、写入或后读取操作之前不会发送地址数据包。只有在 C45E 置 1 时，该位才有效。 0：禁用跳过地址数据包功能 1：启用跳过地址数据包功能
3	MOC1	MII 操作命令 1（MII Operation Command 1） 该位指示 PHY 的操作命令的高位。 00：保留 01：写操作 10：对符合条款 45 的 PHY 的增量地址进行后读取操作 11：读操作 使能符合条款 22 的 PHY 时，只有读命令和写命令有效。
2	MOC0	MII 操作命令 0（MII Operation Command 0） 该位指示 PHY 的操作命令的低位。 00：保留 01：写操作

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		10：对符合条款 45 的 PHY 的增量地址进行后读取操作 11：读操作
1	C45E	符合条款 45 的 PHY 使能（Clause 45 PHY Enable） 该位置 1 时，符合条款 45 的 PHY 连接到 MDIO。 该位复位时，符合条款 22 的 PHY 连接到 MDIO。
0	MB	MII 忙碌（MII Busy） 应用程序设置该位，以指示 SMA 启动对 MDIO 从机的读取或写入访问。MDIO 帧传输完成后，MAC 会清除该位。因此，只要该位被设置，软件就不得写入或更改 MDIO 地址寄存器和 MDIO 数据寄存器中的任何字段。 对于写传输，应用程序在设置该位之前，必须首先在 MDIO 数据寄存器的 MD 字段中写入 16 位数据。当 C45E 设置时，还应在启动读传输之前向 MDIO 数据寄存器的 RA 字段写入数据。 读传输完成后（MB=0），从 PHY 寄存器读取的数据在 MDIO 数据寄存器的 MD 字段中有效。 *注意：即使寻址的 PHY 不存在，该位的功能也不会改变。该位有访问限制，写 1 有效，自动清零，写 0 无影响。*

34.6.1.23 ETH MAC MDIO 数据寄存器（ETH_MACMDIODATA）

偏移地址：0x0204

复位值：0x0000 0000

MDIO 数据寄存器存储写入由 MDIO 地址寄存器指定地址的 PHY 寄存器的数据。该寄存器还存储从位于 MDIO 地址寄存器指定地址的 PHY 寄存器读取的数据。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
RA															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MD															
rw															

位域	名称	描述
31:16	RA	寄存器地址（Register Address） 该字段只有在 C45E 置 1 时才有效。它包含要使用 MDIO 帧的 PHY 中的寄存器地址。
15:0	MD	MII 数据（MII Data） 该字段包含在某次管理读操作之后从 PHY 中读取的 16 位数据值，或在某次管理写操作之前要写入 PHY 的 16 位数据值。

34.6.1.24 ETH CSR 软件控制寄存器（ETH_MACCSRSWCTRL）

偏移地址：0x0230

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值：0x0000 0000

该寄存器包含软件可编程控制，用于更改 CSR 访问响应和状态位清除。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved							SEEN	Reserved							RCWE
							rw								rw

位域	名称	描述
31:9	Reserved	保留，必须保持复位值。
8	SEEN	从机错误响应使能（Slave Error Response Enable） 该位置 1 时，MAC 在访问 CSR 空间中的保留寄存器时响应"从机错误"。 该位复位时，MAC 将对从 CSR 空间访问的任何寄存器做出"好"响应。 0：禁用从机错误响应功能 1：启用从机错误响应功能
7:1	Reserved	保留，必须保持复位值。
0	RCWE	寄存器写 1 清除使能（Register Clear on Write 1 Enable） 该位置 1 时，某些寄存器字段的访问模式将变为"写 1 清除"，应用程序需要将相应位设置为 1 才能将其清除。 该位复位时，这些寄存器字段的访问模式仍为"读清除"。 0：禁用寄存器写 1 清除功能 1：启用寄存器写 1 清除功能

34.6.1.25 ETH MAC 地址 0 高位寄存器（ETH_MACADDR0H）

偏移地址：0x0300

复位值：0x8000 FFFF

MAC 地址 0 高位寄存器保存站的第一个 6 字节 MAC 地址的高 16 位。在 MII 接口上接收到的第一个 DA 字节与 MAC 地址低位寄存器的 LS 字节（位[7:0]）相对应。例如，如果在 MII 上接收到 0x112233445566（第一列第 0 行中的 0x11）作为目的地址，则 MAC 地址 0 寄存器[47:0]会与 0x665544332211 进行比较。

如果将 MAC 地址寄存器配置为与 MII 时钟域双同步，则只有在写入 MAC 地址 0 低位寄存器的位[31:24]（小端模式）或位[7:0]（大端模式）时，才会触发同步。为实现正确的同步更新，对该地址低寄存器的连续写入应在目标时钟域至少四个时钟周期后进行。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
AE	Reserved														
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADDRHI															
rw															

位域	名称	描述
31	AE	地址使能（Address Enable） 该位始终置 1。
30:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	ADDRHI	MAC 地址 0[47:32]（MAC Address0[47:32]） 该字段包含第一个 6 字节 MAC 地址的高 16 位[47:32]。MAC 使用此字段过滤接收到的数据包，以及在发送流控制（暂停）数据包中插入 MAC 地址。

34.6.1.26 ETH MAC 地址 0 低位寄存器（ETH_MACADDR0L）

偏移地址：0x0304

复位值：0xFFFF FFFF

MAC 地址 0 低位寄存器保存站的第一个 6 字节 MAC 地址的低 32 位。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ADDRLO[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADDRLO[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	ADDRLO	MAC 地址 0[31:0]（MAC Address0[31:0]） 该字段包含第一个 6 字节 MAC 地址的低 32 位。MAC 使用此字段过滤接收到的数据包，以及在发送流控制（暂停）数据包中插入 MAC 地址。

34.6.1.27 ETH MAC 地址 1 高位寄存器（ETH_MACADDR1H）

偏移地址：0x0308

复位值：0x0000 FFFF

MAC 地址 1 高位寄存器保存站的第二个 6 字节 MAC 地址的高 16 位。

如果将 MAC 地址寄存器配置为与 MII 时钟域双同步，则只有在写入 MAC 地址 1 低位寄存器的位[31:24]（小端模式）或位[7:0]（大端模式）时，才会触发同步。为实现正确的同步更新，对该地址低寄存器的连续

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

写入应在目标时钟域至少四个时钟周期后进行。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
AE	SA	MBC						Reserved							
rw	rw	rw													

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADDRHI															
rw															

位域	名称	描述
31	AE	地址使能（Address Enable） 该位置 1 时，地址过滤器模块使用第二个 MAC 地址实现完美过滤。 该位复位时，地址过滤器模块会忽略用于过滤的地址。 0：地址被忽略 1：地址已启用
30	SA	源地址（Source Address） 该位置 1 时，将使用 MAC 地址 1[47:0]与所接收数据包的 SA 字段进行比较。该位复位时，将使用 MAC 地址 1[47:0]与所接收数据包的 DA 字段进行比较。 0：与目的地址比较 1：与源地址比较
29:24	MBC	屏蔽字节控制（Mask Byte Control） 这些位是用于比较每个 MAC 地址字节的屏蔽控制位。当设置为高电平时，MAC 不会将接收到的 DA 或 SA 的相应字节与 MAC 地址 1 寄存器的内容进行比较。每个位控制的字节屏蔽情况如下： bit29：MAC 地址 1 高位寄存器的 bits[15:8] bit28：MAC 地址 1 高位寄存器的 bits[7:0] bit27：MAC 地址 1 低位寄存器的 bits[31:24] … bit24：MAC 地址 1 低位寄存器的 bits[7:0] 可以通过屏蔽地址的一个或多个字节来过滤一组地址（称为组地址过滤）。
23:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	ADDRHI	MAC 地址 1[47:32]（MAC Address1[47:32]） 该字段包含第二个 6 字节 MAC 地址的高 16 位[47:32]。

34.6.1.28 ETH MAC 地址 1 低位寄存器（ETH_MACADDR1L）

偏移地址：0x030C

复位值：0xFFFF FFFF

MAC 地址 1 低位寄存器保存站的第二个 6 字节 MAC 地址的低 32 位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ADDRLO[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADDRLO[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	ADDRLO	MAC 地址 1[31:0]（MAC Address1[31:0]） 该字段包含第二个 6 字节 MAC 地址的低 32 位。MAC 使用此字段过滤接收到的数据包。该字段的内容在初始化过程后由应用程序加载之前是未定义的。

34.6.1.29 ETH MAC 地址 2 高位寄存器（ETH_MACADDR2H）

偏移地址：0x0310

复位值：0x0000 FFFF

MAC 地址 2 高位寄存器保存站的第三个 6 字节 MAC 地址的高 16 位。

如果将 MAC 地址寄存器配置为与 MII 时钟域双同步，则只有在写入 MAC 地址 2 低位寄存器的位[31:24]（小端模式）或位[7:0]（大端模式）时，才会触发同步。为实现正确的同步更新，对该地址低寄存器的连续写入应在目标时钟域至少四个时钟周期后进行。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
AE	SA	MBC						Reserved							
rw	rw	rw													

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADDRHI															
rw															

位域	名称	描述
31	AE	地址使能（Address Enable） 该位置 1 时，地址过滤器模块使用第三个 MAC 地址实现完美过滤。 该位复位时，地址过滤器模块会忽略用于过滤的地址。 0：地址被忽略 1：地址已启用
30	SA	源地址（Source Address） 该位置 1 时，将使用 MAC 地址 1[47:0]与所接收数据包的 SA 字段进行比较。该位复位时，将使用 MAC 地址 1[47:0]与所接收数据包的 DA 字段进行比较。 0：与目的地址比较 1：与源地址比较

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
29:24	MBC	屏蔽字节控制（Mask Byte Control） 这些位是用于比较每个 MAC 地址字节的屏蔽控制位。当设置为高电平时，MAC 不会将接收到的 DA 或 SA 的相应字节与 MAC 地址 2 寄存器的内容进行比较。 每个位控制的字节屏蔽情况如下： bit29：MAC 地址 2 高位寄存器的 bits[15:8] bit28：MAC 地址 2 高位寄存器的 bits[7:0] bit27：MAC 地址 2 低位寄存器的 bits[31:24] … bit24：MAC 地址 2 低位寄存器的 bits[7:0] 可以通过屏蔽地址的一个或多个字节来过滤一组地址（称为组地址过滤）。
23:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	ADDRHI	MAC 地址 2[47:32]（MAC Address2[47:32]） 该字段包含第三个 6 字节 MAC 地址的高 16 位[47:32]。

34.6.1.30 ETH MAC 地址 2 低位寄存器（ETH_MACADDR2L）

偏移地址：0x0314

复位值：0xFFFF FFFF

MAC 地址 2 低位寄存器保存站的第三个 6 字节 MAC 地址的低 32 位。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ADDRLO[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADDRLO[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	ADDRLO	MAC 地址 2[31:0]（MAC Address2[31:0]） 该字段包含第三个 6 字节 MAC 地址的低 32 位。MAC 使用此字段过滤接收到的数据包。该字段的内容在初始化过程后由应用程序加载之前是未定义的。

34.6.1.31 ETH MAC 地址 3 高位寄存器（ETH_MACADDR3H）

偏移地址：0x0318

复位值：0x0000 FFFF

MAC 地址 3 高位寄存器保存站的第四个 6 字节 MAC 地址的高 16 位。

如果将 MAC 地址寄存器配置为与 MII 时钟域双同步，则只有在写入 MAC 地址 3 低位寄存器的位[31:24]（小端模式）或位[7:0]（大端模式）时，才会触发同步。为实现正确的同步更新，对该地址低寄存器的连续写入应在目标时钟域至少四个时钟周期后进行。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
AE	SA	MBC						Reserved							
rw	rw	rw													
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADDRHI															
rw															

位域	名称	描述
31	AE	地址使能（Address Enable） 该位置 1 时，地址过滤器模块使用第四个 MAC 地址实现完美过滤。 该位复位时，地址过滤器模块会忽略用于过滤的地址。 0：地址被忽略 1：地址已启用
30	SA	源地址（Source Address） 该位置 1 时，将使用 MAC 地址 1[47:0]与所接收数据包的 SA 字段进行比较。该位复位时，将使用 MAC 地址 1[47:0]与所接收数据包的 DA 字段进行比较。 0：与目的地址比较 1：与源地址比较
29:24	MBC	屏蔽字节控制（Mask Byte Control） 这些位是用于比较每个 MAC 地址字节的屏蔽控制位。当设置为高电平时，MAC 不会将接收到的 DA 或 SA 的相应字节与 MAC 地址 3 寄存器的内容进行比较。每个位控制的字节屏蔽情况如下： bit29：MAC 地址 3 高位寄存器的 bits[15:8] bit28：MAC 地址 3 高位寄存器的 bits[7:0] bit27：MAC 地址 3 低位寄存器的 bits[31:24] … bit24：MAC 地址 3 低位寄存器的 bits[7:0] 可以通过屏蔽地址的一个或多个字节来过滤一组地址（称为组地址过滤）。
23:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:0	ADDRHI	MAC 地址 3[47:32]（MAC Address3 [47:32]） 该字段包含第四个 6 字节 MAC 地址的高 16 位[47:32]。

34.6.1.32 ETH MAC 地址 3 低位寄存器（ETH_MACADDR3L）

偏移地址：0x031C

复位值：0xFFFF FFFF

MAC 地址 3 低位寄存器保存站的第四个 6 字节 MAC 地址的低 32 位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ADDRLO[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADDRLO[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	ADDRLO	MAC 地址 3[31:0]（MAC Address3[31:0]） 该字段包含第四个 6 字节 MAC 地址的低 32 位。MAC 使用此字段过滤接收到的数据包。该字段的内容在初始化过程后由应用程序加载之前是未定义的。

34.6.1.33 ETH MMC 控制寄存器（ETH_MMCCTRL）

偏移地址：0x0700

复位值：0x0000 0000

MMC 控制寄存器配置 MMC 的工作模式。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved							UCDBC	Reserved		CNTPRSTLVL	CNTPRST	CNTFREEZ	RSTONRD	CNTSTOPRO	CNTRST
							rw			rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:9	Reserved	保留，必须保持复位值。
8	UCDBC	为丢失的广播数据包更新 MMC 计数器（Update MMC Counters for Dropped Broadcast Packets） 该位置 1 时，MAC 会针对因 MAC 数据包过滤寄存器的 DBF 位置 1 而被丢弃的广播数据包更新所有相关 MMC 计数器。 该位复位时，不会针对丢弃的广播数据包更新 MMC 计数器。 0：禁用为丢失的广播数据包更新 MMC 计数器功能 1：启用为丢失的广播数据包更新 MMC 计数器功能 *注：CNTRST 位的优先级高于 CNTPRST 位。因此，软件尝试在同一写周期内将这两个位置 1 时，所有计数器都将清零，并且 CNTPRST 位不会置 1。*
7:6	Reserved	保留，必须保持复位值。
5	CNTPRSTLVL	全-半预设（Full-Half Preset） 该位为低电平且 CNTPRST 位置 1 时，所有 MMC 计数器均预设为接近一半的值。所有八位字节计数器均预设为 0x7FFF_F800（半 2KB），所有数据包计数器

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		均预设为 0x7FFF_FFF0（半 16）。 该位为高电平且 CNTPRST 位置 1 时，所有 MMC 计数器均预设为接近全值。所有八位字节计数器均预设为 0xFFFF_F800（全 2KB），所有数据包计数器均预设为 0xFFFF_FFF0（全 16）。 对于 16 位计数器，相应八位字节和数据包计数器的近半预设值分别为 0x7800 和 0x7FF0。类似地，16 位计数器的几乎全预设值为 0xF800 和 0xFFF0。 0：禁用全-半预设功能 1：启用全-半预设功能
4	CNTPRST	计数器预设（Counters Preset） 该位置 1 时，所有计数器均初始化或预设为接近全值或接近半值，具体取决于 CNTPRSTLVL 位。该位在 1 个时钟周期后自动清零。 该位与 CNTPRSTLVL 位一起，可用于调试和测试因 MMC 计数器变为半满或满而产生的中断。 0：禁用计数器预设功能 1：启用计数器预设功能
3	CNTFREEZ	MMC 计数器冻结（MMC Counter Freeze） 该位置 1 时，会将所有 MMC 计数器冻结为当前值。 该位复位为 0 之前，不会因任何发送或接收的数据包而更新 MMC 计数器。如果读取任何 MMC 计数器时设置了 RSTONRD 位，则该计数器也会在此模式下被清零。 0：禁用 MMC 计数器冻结功能 1：启用 MMC 计数器冻结功能
2	RSTONRD	读取时复位（Reset on Read） 该位置 1 时，MMC 计数器将在读取后复位为零（复位后自清零）。读取最低有效字节通道（位[7:0]）后，计数器会清零。 0：禁用读取时复位功能 1：启用读取时复位功能
1	CNTSTOPRO	计数器停止翻转（Counter Stop Rollover） 该位置 1 时，计数器在达到最大值后不会翻转为零。 0：禁用计数器停止翻转功能 1：启用计数器停止翻转功能
0	CNTRST	计数器复位（Counters Reset） 该位置 1 时，所有计数器都将复位。该位在 1 个时钟周期后自动清零。 0：计数器不复位 1：所有计数器复位

34.6.1.34 ETH MMC 接收中断寄存器（ETH_MMCRXINT）

偏移地址：0x0704

复位值：0x0000 0000

该寄存器维护所有接收统计计数器产生的中断。

MMC 接收中断寄存器维护在下列情况下产生的中断：

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

– 接收统计计数器达到最大值的一半（32 位计数器为 0x8000_0000，16 位计数器为 0x8000）。

– 接收统计计数器超过其最大值（32 位计数器为 0xFFFF_FFFF，16 位计数器为 0xFFFF）。

当设置计数器停止翻转时，中断被设置，但计数器仍为全零。

MMC 接收中断寄存器是一个 32 位寄存器。当读取导致中断的相应 MMC 计数器时，其相应的中断位将被清除。必须读取相应计数器的最小有效字节（位[7:0]）才能清除中断位。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved														RXUCGPIS	Reserved
														r	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved									RXALGNERPIS	RXCRCERPIS	RXMCGPIS	RXBCGPIS	Reserved		
									r	r	r	r			

位域	名称	描述
31:18	Reserved	保留，必须保持复位值。
17	RXUCGPIS	MMC 接收单播良好数据包计数器中断状态（Receive Unicast Good Packet Counter Interrupt Status） 当接收单播良好数据包计数器达到最大值的一半或最大值时，该位置 1。 0：未检测到 MMC 接收单播良好数据包计数器中断状态 1：检测到 MMC 接收单播良好数据包计数器中断状态 *注：该位有访问限制。读清零。内部事件时自动置 1。*
16:7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6	RXALGNERPIS	MMC 接收对齐错误数据包计数器中断状态（MMC Receive Alignment Error Packet Counter Interrupt Status） 当接收对齐错误数据包计数器达到最大值的一半或最大值时，该位置 1。 0：未检测到 MMC 接收对齐错误数据包计数器中断状态 1：检测到 MMC 接收对齐错误数据包计数器中断状态 *注：该位有访问限制。读清零。内部事件时自动置 1。*
5	RXCRCERPIS	MMC 接收 CRC 错误数据包计数器中断状态（MMC Receive CRC Error Packet Counter Interrupt Status） 当接收 CRC 错误数据包计数器达到最大值的一半或最大值时，该位置 1。 0：未检测到 MMC 接收 CRC 错误数据包计数器中断状态 1：检测到 MMC 接收 CRC 错误数据包计数器中断状态 *注：该位有访问限制。读清零。内部事件时自动置 1。*
4	RXMCGPIS	MMC 接收多播良好数据包计数器中断状态（Receive Multicast Good Packet Counter Interrupt Status） 当接收多播良好数据包计数器达到最大值的一半或最大值时，该位置 1。 0：未检测到 MMC 接收多播良好数据包计数器中断状态 1：检测到 MMC 接收多播良好数据包计数器中断状态 *注：该位有访问限制。读清零。内部事件时自动置 1。*
3	RXBCGPIS	MMC 接收广播良好数据包计数器中断状态（Receive Broadcast Good Packet

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		Counter Interrupt Status） 当接收广播良好数据包计数器达到最大值的一半或最大值时，该位置 1。 0：未检测到 MMC 接收广播良好数据包计数器中断状态 1：检测到 MMC 接收广播良好数据包计数器中断状态 *注：该位有访问限制。读清零。内部事件时自动置 1。*
2:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

34.6.1.35 ETH MMC 发送中断寄存器（ETH_MMCTXINT）

偏移地址：0x0708

复位值：0x0000 0000

该寄存器维护所有发送统计计数器产生的中断。

MMC 发送中断寄存器保存发送统计计数器达到最大值一半（32 位计数器为 0x8000_0000，16 位计数器为 0x8000）和超过最大值（32 位计数器为 0xFFFF_FFFF，16 位计数器为 0xFFFF）时产生的中断。

当设置计数器停止翻转时，中断被设置，但计数器仍为全零。

MMC 发送中断寄存器是一个 32 位寄存器。当读取导致中断的相应 MMC 计数器时，其相应的中断位将被清除。必须读取相应计数器的最小有效字节（位[7:0]）才能清除中断位。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved										TXGPKTIS	Reserved				
				r	r					r					

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TXMCOLGPIS	TXSCOLGPIS	Reserved													
r	r														

位域	名称	描述
31:22	Reserved	保留，必须保持复位值。
21	TXGPKTIS	MMC 发送良好数据包计数器中断状态（MMC Transmit Good Packet Counter Interrupt Status） 当发送良好数据包计数器达到最大值的一半或最大值时，该位置 1。 0：未检测到 MMC 发送良好数据包计数器中断状态 1：检测到 MMC 发送良好数据包计数器中断状态 *注：该位有访问限制。读清零。内部事件时自动置 1。*
20:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15	TXMCOLGPIS	MMC 发送多次冲突良好数据包计数器中断状态（MMC Transmit Multiple Collision Good Packet Counter Interrupt Status） 当发送多次冲突良好数据包计数器达到最大值的一半或最大值时，该位置 1。 0：未检测到 MMC 发送多次冲突良好数据包计数器中断状态 1：检测到 MMC 发送多次冲突良好数据包计数器中断状态 *注：该位有访问限制。读清零。内部事件时自动置 1。*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
14	TXSCOLGPIS	MMC 发送单次冲突良好数据包计数器中断状态（MMC Transmit Single Collision Good Packet Counter Interrupt Status） 当发送单次冲突良好数据包计数器达到最大值的一半或最大值时，该位置 1。 0：未检测到 MMC 发送单次冲突良好数据包计数器中断状态 1：检测到 MMC 发送单次冲突良好数据包计数器中断状态 *注：该位有访问限制。读清零。内部事件时自动置 1。*
13:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

34.6.1.36 ETH MMC 接收中断屏蔽寄存器（ETH_MMCRXINTMSK）

偏移地址：0x070C

复位值：0x0000 0000

该寄存器维护所有接收统计计数器产生的中断屏蔽。

MMC 接收中断屏蔽寄存器为接收统计计数器达到最大值的一半或最大值时产生的中断提供屏蔽。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved														RXUCGPIM	Reserved
				rw	rw									rw	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved									RXALGNERPIM	RXCRCERPIM	RXMCGPIM	RXBCGPIM	Reserved		
									rw	rw	rw	rw			

位域	名称	描述
31:18	Reserved	保留，必须保持复位值。
17	RXUCGPIM	MMC 接收单播良好数据包计数器中断屏蔽（Receive Unicast Good Packet Counter Interrupt Mask） 当接收单播良好数据包计数器达到最大值的一半或最大值时，设置该位会屏蔽中断。 0：禁用 MMC 接收单播良好数据包计数器中断屏蔽 1：启用 MMC 接收单播良好数据包计数器中断屏蔽
16:7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6	RXALGNERPIM	MMC 接收对齐错误数据包计数器中断屏蔽（MMC Receive Alignment Error Packet Counter Interrupt Mask） 当接收对齐错误数据包计数器达到最大值的一半或最大值时，设置该位会屏蔽中断。 0：禁用 MMC 接收对齐错误数据包计数器中断屏蔽 1：启用 MMC 接收对齐错误数据包计数器中断屏蔽
5	RXCRCERPIM	MMC 接收 CRC 错误数据包计数器中断屏蔽（MMC Receive CRC Error Packet Counter Interrupt Mask） 当接收 CRC 错误数据包计数器达到最大值的一半或最大值时，设置该位会屏蔽中断。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0：禁用 MMC 接收 CRC 错误数据包计数器中断屏蔽 1：启用 MMC 接收 CRC 错误数据包计数器中断屏蔽
4	RXMCGPIM	MMC 接收多播良好数据包计数器中断屏蔽（Receive Multicast Good Packet Counter Interrupt Mask） 当接收多播良好数据包计数器达到最大值的一半或最大值时，设置该位会屏蔽中断。 0：禁用 MMC 接收多播良好数据包计数器中断屏蔽 1：启用 MMC 接收多播良好数据包计数器中断屏蔽
3	RXBCGPIM	MMC 接收广播良好数据包计数器中断屏蔽（Receive Broadcast Good Packet Counter Interrupt Mask） 当接收广播良好数据包计数器达到最大值的一半或最大值时，设置该位会屏蔽中断。 0：禁用 MMC 接收广播良好数据包计数器中断屏蔽 1：启用 MMC 接收广播良好数据包计数器中断屏蔽
2:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

34.6.1.37 ETH MMC 发送中断屏蔽寄存器（ETH_MMCTXINTMSK）

偏移地址：0x0710

复位值：0x0000 0000

该寄存器维护所有发送统计计数器产生的中断屏蔽。

MMC 发送中断屏蔽寄存器维护发送统计计数器达到最大值一半或最大值时产生的中断屏蔽。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved										TXGPKTIM	Reserved				
				rw	rw					rw					

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TXMCOLGPIM	TXSCOLGPIM	Reserved													
rw	rw														

位域	名称	描述
31:22	Reserved	保留，必须保持复位值。
21	TXGPKTIM	MMC 发送良好数据包计数器中断屏蔽（MMC Transmit Good Packet Counter Interrupt Mask） 当发送良好数据包计数器达到最大值的一半或最大值时，设置该位会屏蔽中断。 0：禁用 MMC 发送良好数据包计数器中断屏蔽 1：启用 MMC 发送良好数据包计数器中断屏蔽
20:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15	TXMCOLGPIM	MMC 发送多次冲突良好数据包计数器中断屏蔽（MMC Transmit Multiple Collision Good Packet Counter Interrupt Mask） 当发送多次冲突良好数据包计数器达到最大值的一半或最大值时，设置该位会屏

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		蔽中断。 0：禁用 MMC 发送多次冲突良好数据包计数器中断屏蔽 1：启用 MMC 发送多次冲突良好数据包计数器中断屏蔽
14	TXSCOLGPIM	MMC 发送单次冲突良好数据包计数器中断屏蔽（MMC Transmit Single Collision Good Packet Counter Interrupt Mask） 当发送单次冲突良好数据包计数器达到最大值的一半或最大值时，设置该位会屏蔽中断。 0：禁用 MMC 发送单次冲突良好数据包计数器中断屏蔽 1：启用 MMC 发送单次冲突良好数据包计数器中断屏蔽
13:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

34.6.1.38 ETH 发送单次冲突良好数据包寄存器（ETH_MMCTXSCGP）

偏移地址：0x074C

复位值：0x0000 0000

该寄存器提供在半双工模式下发生单次冲突后由以太网外设成功发送的数据包的数量。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
TXSNGLCOLG[31:16]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TXSNGLCOLG[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:0	TXSNGLCOLG	Tx 单次冲突良好数据包（Tx Single Collision Good Packets） 该字段指示在半双工模式下于单次冲突后已成功发送的数据包的数量。

34.6.1.39 ETH 发送多次冲突良好数据包寄存器（ETH_MMCTXMCGP）

偏移地址：0x0750

复位值：0x0000 0000

该寄存器提供在半双工模式下发生多次冲突后由以太网外设成功发送的数据包的数量。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
TXMULTCOLG[31:16]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TXMULTCOLG[15:0]															
r															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:0	TXMULTCOLG	Tx 多次冲突良好数据包（Tx Multiple Collision Good Packets） 该字段指示在半双工模式下于多次冲突后已成功发送的数据包的数量。

34.6.1.40 ETH 发送良好数据包寄存器（ETH_MMCTXPCG）

偏移地址：0x0768

复位值：0x0000 0000

该寄存器提供以太网外设已发送的良好数据包的数量。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
TXPKTG[31:16]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TXPKTG[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:0	TXPKTG	Tx 良好数据包计数（Tx Packet Count Good） 该字段指示已发送的良好数据包的数量。

34.6.1.41 ETH 接收广播良好数据包寄存器（ETH_MMCRXBPG）

偏移地址：0x078C

复位值：0x0000 0000

该寄存器提供以太网外设接收到的良好广播数据包的数量。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
RXBCASTG[31:16]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RXBCASTG[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:0	RXBCASTG	Rx 良好广播数据包（Rx Broadcast Packets Good） 该字段指示接收到的良好广播数据包的数量。

34.6.1.42 ETH 接收多播良好数据包寄存器（ETH_MMCRXMPG）

偏移地址：0x0790

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值：0x0000 0000

该寄存器提供以太网外设接收到的良好多播数据包的数量。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
RXMCASTG[31:16]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RXMCASTG[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:0	RXMCASTG	Rx 良好多播数据包（Rx Multicast Packets Good） 该字段指示接收到的良好多播数据包的数量。

34.6.1.43 ETH 接收 CRC 错误数据包寄存器（ETH_MMCRXCRCEP）

偏移地址：0x0794

复位值：0x0000 0000

该寄存器提供以太网外设接收到的含 CRC 错误的数据包数量。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
RXCRCERR[31:16]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RXCRCERR[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:0	RXCRCERR	Rx CRC 错误数据包（Rx CRC Error Packets） 该字段指示接收到的含 CRC 错误的数据包的数量。

34.6.1.44 ETH 接收对齐错误数据包寄存器（ETH_MMCRXAEP）

偏移地址：0x0798

复位值：0x0000 0000

该寄存器提供以太网外设接收到的含对齐（dribble）错误的数据包的数量。该计数器寄存器仅在 10/100 模式下有效。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

<table>
<tr><td>31</td><td>30</td><td>29</td><td>28</td><td>27</td><td>26</td><td>25</td><td>24</td><td>23</td><td>22</td><td>21</td><td>20</td><td>19</td><td>18</td><td>17</td><td>16</td></tr>
<tr><td colspan="16">RXALGNERR[31:16]</td></tr>
<tr><td colspan="16">r</td></tr>
<tr><td>15</td><td>14</td><td>13</td><td>12</td><td>11</td><td>10</td><td>9</td><td>8</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td colspan="16">RXALGNERR[15:0]</td></tr>
<tr><td colspan="16">r</td></tr>
</table>

位域	名称	描述
31:0	RXALGNERR	Rx 对齐错误数据包（Rx Alignment Error Packets） 该字段指示接收到的含对齐（dribble）错误的数据包数量。

34.6.1.45 ETH 接收单播良好数据包（ETH_MMCRXUPG）

偏移地址：0x07C4

复位值：0x0000 0000

该寄存器提供以太网外设接收到的良好单播数据包的数量。

<table>
<tr><td>31</td><td>30</td><td>29</td><td>28</td><td>27</td><td>26</td><td>25</td><td>24</td><td>23</td><td>22</td><td>21</td><td>20</td><td>19</td><td>18</td><td>17</td><td>16</td></tr>
<tr><td colspan="16">RXUCASTG[31:16]</td></tr>
<tr><td colspan="16">r</td></tr>
<tr><td>15</td><td>14</td><td>13</td><td>12</td><td>11</td><td>10</td><td>9</td><td>8</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td colspan="16">RXUCASTG[15:0]</td></tr>
<tr><td colspan="16">r</td></tr>
</table>

位域	名称	描述
31:0	RXUCASTG	Rx 良好单播数据包（Rx Unicast Packets Good） 该字段指示接收到的良好单播数据包的数量。

34.6.1.46 ETH MAC 时间戳控制寄存器（ETH_MACTSCTRL）

偏移地址：0x0B00

复位值：0x0000 2000

该寄存器控制系统时间发生器的运行以及针对接收器中时间戳的 PTP 数据包处理。

<table>
<tr><td>31</td><td>30</td><td>29</td><td>28</td><td>27</td><td>26</td><td>25</td><td>24</td><td>23</td><td>22</td><td>21</td><td>20</td><td>19</td><td>18</td><td>17</td><td>16</td></tr>
<tr><td colspan="3">Reserved</td><td>AV8021ASMEN</td><td colspan="3">Reserved</td><td>TXTSSTSM</td><td colspan="5">Reserved</td><td>TSENMACADDR</td><td colspan="2">SNAPTYPSEL</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>rw</td><td colspan="3"></td><td>rw</td><td colspan="5"></td><td>rw</td><td colspan="2">rw</td></tr>
<tr><td>15</td><td>14</td><td>13</td><td>12</td><td>11</td><td>10</td><td>9</td><td>8</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td>TSMSTRENA</td><td>TSEVNTENA</td><td>TSIPV4ENA</td><td>TSIPV6ENA</td><td>TSIPENA</td><td>TSVER2ENA</td><td>TSCTRLSSR</td><td>TSENALL</td><td colspan="2">Reserved</td><td>TSADDREG</td><td>TSTRIG</td><td>TSUPDT</td><td>TSINIT</td><td>TSCFUPDT</td><td>TSENA</td></tr>
</table>

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:29	Reserved	保留，必须保持复位值。
28	AV8021ASMEN	AV 802.1AS 模式使能（AV 802.1AS Mode Enable） 该位置 1 时，MAC 只处理无标记的以太网 PTP 数据包，以提供 PTP 状态和捕获时间戳快照，即 IEEE 802.1AS 工作模式。 0：禁用 AV 802.1AS 模式 1：启用 AV 802.1AS 模式
27:25	Reserved	保留，必须保持复位值。
24	TXTSSTSM	发送时间戳状态模式（Transmit Timestamp Status Mode） 该位置 1 时，即使软件未读取，MAC 也会覆盖先前的发送时间戳状态。MAC 通过设置 MAC 发送时间戳状态纳秒寄存器的 TXTSSMIS 位来指示。 该位复位时，如果软件未读取前一个数据包的时间戳状态，则 MAC 将忽略当前数据包的时间戳状态。MAC 通过设置 MAC 发送时间戳状态纳秒寄存器的 TXTSSMIS 位来指示。 0：禁用发送时间戳状态模式 1：启用发送时间戳状态模式
23:19	Reserved	保留，必须保持复位值。
18	TSENMACADDR	使能 MAC 地址以用于 PTP 数据包过滤（Enable MAC Address for PTP Packet Filtering） 该位置 1 时，当通过以太网直接发送 PTP 时，将使用 DA MAC 地址（与任何 MAC 地址寄存器匹配）过滤 PTP 数据包。 该位置 1 时，当通过以太网直接发送 PTP 时，接收到的 PTP 数据包中的 DA 包含与 MAC 地址寄存器中编程的地址相匹配的特殊组播或单播地址，将按指示进行处理。 对于正常的时间戳操作，MAC 地址寄存器 0 至 3 将被视为单播目的地址匹配。 0：禁用 MAC 地址用于 PTP 数据包过滤的功能 1：启用 MAC 地址用于 PTP 数据包过滤的功能
17:16	SNAPTYPSEL	选择用于拍摄快照的 PTP 数据包（Select PTP packets for Taking Snapshots） 这些位与 bit15 和 bit14 一起决定了需要拍摄快照的 PTP 数据包类型集。时间戳快照取决于寄存器位数表中给出的编码。
15	TSMSTRENA	使能主节点相关消息的快照（Enable Snapshot for Messages Relevant to Master） 该位置 1 时，只为主节点相关的报文拍摄快照。否则，将为与从节点相关的报文拍摄快照。 0：禁用与主站相关的信息快照功能 1：启用与主站相关的信息快照功能
14	TSEVNTENA	使能事件消息的时间戳快照（Enable Timestamp Snapshot for Event Messages） 该位置 1 时，仅拍摄事件消息的时间戳快照（SYNC、Delay_Req、Pdelay_Req 或 Pdelay_Resp）。 该位复位时，将拍摄除 Announce、Management 和 Signaling 以外所有消息的快照。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		有关时间戳快照的更多信息，请参见表 34-19。 0：禁用事件消息的时间戳快照功能 1：启用事件消息的时间戳快照功能
13	TSIPV4ENA	使能对通过 IPv4-UDP 发送的 PTP 数据包的处理（Enable Processing of PTP Packets Sent over IPv4-UDP） 该位置 1 时，MAC 接收器处理封装在 IPv4-UDP 数据包中的 PTP 数据包。 该位复位时，MAC 将忽略通过 IPv4-UDP 数据包传送的 PTP。 该位默认置 1。 0：禁用对通过 IPv4-UDP 发送的 PTP 数据包的处理的功能 1：启用对通过 IPv4-UDP 发送的 PTP 数据包的处理的功能
12	TSIPV6ENA	使能对通过 IPv6-UDP 发送的 PTP 数据包的处理（Enable Processing of PTP Packets Sent over IPv6-UDP） 该位置 1 时，MAC 接收器处理封装在 IPv6-UDP 数据包中的 PTP 数据包。 该位复位时，MAC 将忽略通过 IPv6-UDP 数据包传送的 PTP。 0：禁用对通过 IPv6-UDP 发送的 PTP 数据包的处理的功能 1：启用对通过 IPv6-UDP 发送的 PTP 数据包的处理的功能
11	TSIPENA	使能对以太网数据包中的 PTP 的处理（Enable Processing of PTP over Ethernet Packets） 该位置 1 时，MAC 接收器处理直接封装在以太网数据包中的 PTP 数据包。 该位复位时，MAC 将忽略封装在以太网数据包中的 PTP 数据包。 0：禁用对以太网数据包中的 PTP 的处理的功能 1：启用对以太网数据包中的 PTP 的处理的功能
10	TSVER2ENA	使能对版本 2 格式的 PTP 数据包的处理（Enable PTP Packet Processing for Version 2 Format） 该位置 1 时，会使用 IEEE 1588 版本 2 格式来处理 PTP 数据包。 该位复位时，会使用 IEEE 1588 版本 1 格式来处理 PTP 数据包。 34.5.6.5 章节中对 IEEE 1588 格式进行了介绍。 0：禁用对版本 2 格式的 PTP 数据包的处理的功能 1：启用对版本 2 格式的 PTP 数据包的处理的功能
9	TSCTRLSSR	时间戳数字或二进制翻转控制（Timestamp Digital or Binary Rollover Control） 该位置 1 时，时间戳低位寄存器会在 0x3B9A_C9FF 值之后翻转（即，1 纳秒精度），并递增时间戳（高位）秒数。 该位复位时，亚秒寄存器的翻转值为 0x7FFF_FFFF。必须根据 PTP 参考时钟频率和该位的值，正确对亚秒增量进行编程。 0：禁用时间戳数字或二进制翻转控制功能 1：启用时间戳数字或二进制翻转控制功能
8	TSENALL	针对所有数据包使能时间戳（Enable Timestamp for All Packets） 该位置 1 时，会针对 MAC 所接收的所有数据包使能时间戳快照。 0：禁用对所有数据包使能时间戳的功能 1：启用对所有数据包使能时间戳的功能
7:6	Reserved	保留，必须保持复位值。
5	TSADDREG	更新加数寄存器（Update Addend Register） 该位置 1 时，时间戳加数寄存器的内容会被更新到 PTP 块中以进行精密校准。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		更新结束时此位会清零。该位在置 1 之前应为零。 0：加数寄存器未更新 1：加数寄存器已更新 *注：该位有访问限制，写 1 有效，自动清零，写 0 无影响。*
4	TSTRIG	使能时间戳中断触发（Enable Timestamp Interrupt Trigger） 该位置 1 时，当系统时间大于目标时间寄存器中写入的值时，将产生时间戳中断。该位在时间戳中断触发后复位。 0：禁用时间戳中断触发的功能 1：启用时间戳中断触发的功能 *注：该位有访问限制，写 1 有效，自动清零，写 0 无影响。*
3	TSUPDT	更新时间戳（Update Timestamp） 该位置 1 时，将使用 MAC 系统时间秒更新寄存器和 MAC 系统时间纳秒更新寄存器中指定的值更新（加或减）系统时间。该位在更新之前应为零。硬件更新完成后，该位复位。 0：时间戳未更新 1：时间戳已更新 *注：该位有访问限制，写 1 有效，自动清零，写 0 无影响。*
2	TSINIT	初始化时间戳（Initialize Timestamp） 该位置 1 时，系统时间将以 MAC 系统时间秒更新寄存器和 MAC 系统时间纳秒更新寄存器中指定的值进行初始化（覆盖）。该位在更新之前应为零。完成初始化时，该位复位。 0：时间戳未初始化 1：时间戳已初始化 *注：该位有访问限制，写 1 有效，自动清零，写 0 无影响。*
1	TSCFUPDT	精密或粗略的时间戳更新（Fine or Coarse Timestamp Update） 0：使用粗略法更新系统时间戳 1：使用精密法更新系统时间戳
0	TSENA	使能时间戳（Enable Timestamp） 该位置 1 时，为发送和接收数据包添加时间戳。该位复位时，不会为发送和接收数据包添加时间戳，并且时间戳发生器也会被暂停。使能此模式后，需要初始化时间戳（系统时间）。 在接收端，MAC 只在该位置 1 时才处理 1588 数据包。 0：禁用时间戳功能 1：启用时间戳功能

34.6.1.47 ETH MAC 亚秒增量寄存器（ETH_MACSUBSINC）

偏移地址：0x0B04

复位值：0x0000 0000

该寄存器指定了每个 clk_ptp_ref_i 时钟周期添加到内部系统时间寄存器的值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved								SSINC[7:0]							
								rw							

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必须保持复位值。
23:16	SSINC	亚秒增量值（Sub-second Increment Value） 在该字段中编程的值会在 PTP 的每个时钟周期与亚秒寄存器的内容累加。例如，当 PTP 时钟为 50MHz（周期为 20ns）时，当系统时间纳秒寄存器的精度为 1ns（MAC 时间戳控制寄存器中的 TSCTRLSSR 置 1）时，应编程为 20（0x14）。当 TSCTRLSSR 清除时，纳秒寄存器的分辨率为~0.465ns。在这种情况下，应编程值为 43（0x2B），由 20ns/0.465 得出。
15:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

34.6.1.48 ETH MAC 系统时间秒寄存器（ETH_MACSYSTS）

偏移地址：0x0B08

复位值：0x0000 0000

系统时间秒寄存器和系统时间纳秒寄存器指示 MAC 维护的系统时间的当前值。虽然系统时间是持续更新的，但由于时钟域传输延迟（从 clk_ptp_ref_i 到 CSR 时钟），因此实际时间会有一些延迟。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
TSS[31:16]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TSS[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:0	TSS	时间戳秒（Timestamp Second） 该字段中的值指示由 MAC 维护的以秒为单位的系统时间当前值。

34.6.1.49 ETH MAC 系统时间纳秒寄存器（ETH_MACSYSTNS）

偏移地址：0x0B0C

复位值：0x0000 0000

系统时间纳秒寄存器和系统时间秒寄存器指示 MAC 维护的系统时间的当前值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
TSS[31:16]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TSS[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:0	TSS	时间戳亚秒（Timestamp Sub Seconds） 该字段中的值为时间的亚秒级表示，精度为 0.46ns。当 MAC 时间戳控制寄存器中的第 9 位被设置时，每一位代表 1ns。最大值为 0x3B9A_C9FF，之后会翻转为零。

34.6.1.50 ETH MAC 系统时间秒更新寄存器（ETH_MACSYSTSUP）

偏移地址：0x0B10

复位值：0x0000 0000

系统时间秒更新寄存器与系统时间纳秒更新寄存器一起用于初始化或更新 MAC 维护的系统时间。

在设置 MAC 时间戳控制寄存器中的第 2 位（TSINIT）或第 3 位（TSUPDT）位之前，必须写入这两个寄存器（系统时间秒更新寄存器和系统时间纳秒更新寄存器）。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
TSS[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TSS[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	TSS	时间戳秒（Timestamp Seconds） 该字段中的值为更新值的秒部分。 重置 ADDSUB 时，必须用更新值的秒部分对该字段进行编程。 设置 ADDSUB 时，必须用更新值的秒部分的补码对该字段进行编程。 例如，要从系统时间中减去 2.000000001 秒，MAC 系统时间秒更新寄存器中的 TSS 字段必须为 0xFFFF_FFFE（即 2^32 - 2）。

34.6.1.51 ETH MAC 系统时间纳秒更新寄存器（ETH_MACSYSTNSUP）

偏移地址：0x0B14

复位值：0x0000 0000

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
ADDSUB	TSSS[16:30]														
rw	rw														
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TSSS[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31	ADDSUB	加上或减去时间（Add or Subtract Time） 该位置 1 时，时间值将与更新寄存器的内容相减。 该位复位时，时间值将与更新寄存器的内容相加。 0：加上时间 1：减去时间
30:0	TSSS	时间戳亚秒（Timestamp Sub-seconds） 该字段中的值为更新值的亚秒部分。 ADDSUB 为 1：该字段必须按照所述，使用更新值的亚秒部分的补码进行编程。 ADDSUB 为 0：必须使用更新值的亚秒部分对该字段进行编程，其精度基于 MAC 时间戳控制寄存器的 TSCTRLSSR 位。 MAC 时间戳控制寄存器中的 TSCTRLSSR 位域为 1：编程值必须为 10^9-<亚秒值>；每一位代表 1ns，编程值不应超过 0x3B9A_C9FF。 MAC 时间戳控制寄存器中的 TSCTRLSSR 位域为 0：编程值必须为 2^31-<亚秒值>：每一位代表 0.46ns 的精度。 例如，要从系统时间中减去 2.000000001 秒，则 MAC 系统时间纳秒更新寄存器的 TSSS 字段在 MAC 时间戳控制寄存器中的 TSCTRLSSR 位为 0 时必须为 0x7FFF_FFFF（即 2^31 - 1），而在 MAC 时间戳控制寄存器中的 TSCTRLSSR 位为 1 时必须为 0x3B9A_C9FF（即 10^9 - 1）。

34.6.1.52 ETH MAC 时间戳加数寄存器（ETH_MACTSADD）

偏移地址：0x0B18

复位值：0x0000 0000

只有当系统时间配置为精密更新模式（设置 MAC 时间戳控制寄存器中的 TSCFUPDT 位）时，才会使用该寄存器的值。该寄存器的内容在每个时钟周期（clk_ptp_ref_i）被添加到一个 32 位累加器中，当累加器溢出时，系统时间将被更新。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
TSAR[31:16]															
rw															
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TSAR[15:0]															
rw															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:0	TSAR	时间戳加数寄存器（Timestamp Addend Register） 该字段表示为实现时间同步而添加到累加器寄存器的 32 位时间值。

34.6.1.53 ETH MAC 时间戳状态寄存器（ETH_MACTSSTS）

偏移地址：0x0B20

复位值：0x0000 0000

当应用程序读取该寄存器时，除位[27:25]外的所有位都会被清零。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															
				r			r							r	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TXTSSIS	Reserved											TSTRGTERR0	Reserved	TSTARGT0	TSSOVF
r												r		r	r

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15	TXTSSIS	Tx 时间戳状态中断状态（Tx Timestamp Status Interrupt Status） 如果在 MTL 中使能丢弃发送状态，则在 MAC 发送时间戳状态纳秒寄存器和 MAC 发送时间戳状态秒寄存器中更新捕获的发送时间戳时，该位会置 1。 当读 MAC 发送时间戳状态秒寄存器（或当设置 MAC CSR 软件控制寄存器的 RCWE 位时写 MAC 发送时间戳状态秒寄存器）时，清零该位。 0：未检测到 Tx 时间戳状态中断状态 1：检测到 Tx 时间戳状态中断状态
14:4	Reserved	保留，必须保持复位值。
3	TSTRGTERR0	时间戳目标时间错误（Timestamp Target Time Error） 在 MAC PPS0 目标时间秒寄存器和 MAC PPS0 目标时间纳秒寄存器中编程的最新目标时间结束后，该位置 1。当应用程序读取该位时，该位清零。 0：未检测到时间戳目标时间错误状态 1：检测到时间戳目标时间错误状态 *注：该位有访问限制。读（或当 MAC CSR 软件控制寄存器中的 RCWE 位被设置时写 1）清零。内部事件时自动置 1。*
2	Reserved	保留，必须保持复位值。
1	TSTARGT0	达到时间戳目标时间（Timestamp Target Time Reached） 该位置 1 时，表示系统时间值大于或等于在 MAC PPS0 目标时间秒寄存器和 MAC PPS0 目标时间纳秒寄存器中指定的值。 0：未检测到时间戳目标时间到达状态 1：检测到时间戳目标时间到达状态 *注：该位有访问限制。读（或当 MAC CSR 软件控制寄存器中的 RCWE 位被设置*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		时写 1）清零。内部事件时自动置 1。
0	TSSOVF	时间戳秒溢出（Timestamp Seconds Overflow） 该位置 1 时，表示时间戳的秒值已超过 0xFFFF_FFFF（支持版本 2 格式时）。 0：未检测到时间戳秒溢出状态 1：检测到时间戳秒溢出状态 *注：该位有访问限制。读（或当 MAC CSR 软件控制寄存器中的 RCWE 位被设置时写 1）清零。内部事件时自动置 1。*

34.6.1.54 ETH MAC 发送时间戳状态纳秒寄存器（ETH_MACTXTSSTSNS）

偏移地址：0x0B30

复位值：0x0000 0000

该寄存器包含禁用发送状态时捕获的发送数据包时间戳的纳秒部分。

MAC 发送时间戳状态纳秒寄存器与 MAC 发送时间戳状态秒寄存器一起提供了 MAC 成功发送 PTP 数据包时捕获的 64 位时间戳。当读取 MAC 发送时间戳状态纳秒寄存器的最后一个字节时，认为应用程序已经读取了该值。在小端模式下，这意味着读取位[31:24]时；在大端模式下，读取位[7:0]时。

如果应用程序不读取这些寄存器，而捕获了另一个数据包的时间戳，则当前时间戳会丢失（覆盖）或新时间戳会丢失（丢弃），具体取决于 MAC 时间戳控制寄存器中的 TXTSSTSM 位的设置。当 MAC 发送器捕获时间戳时，MAC 时间戳状态寄存器中的状态位 TXTSSIS（位[15]）将被设置。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
TXTSSMIS	TXTSSLO[16:30]														
rw	r														

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TXTSSLO[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31	TXTSSMIS	发送时间戳状态丢失（Transmit Timestamp Status Missed） 该位置 1 时，表示以下任一项： ● 如果 MAC 时间戳控制寄存器中的 TXTSSTSM 位为 0，则会忽略当前数据包的时间戳 ● 如果 MAC 时间戳控制寄存器中的 TXTSSTSM 位为 1，则前一个数据包的时间戳会被当前数据包的时间戳覆盖 0：未检测到发送时间戳状态丢失 1：检测到发送时间戳状态丢失 *注：该位有访问限制。读清零。内部事件时自动置 1。*
30:0	TXTSSLO	发送时间戳状态低位（Transmit Timestamp Status Low） 该字段包含发送数据包捕获的时间戳纳秒字段的低 31 位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

34.6.1.55 ETH MAC 发送时间戳状态秒寄存器（ETH_MACTXTSSTSS）

偏移地址：0x0B34

复位值：0x0000 0000

该寄存器包含 PTP 数据包传输时捕获的时间戳（以秒为单位）的高 32 位。

31-16
TXTSSHI[31:16]
r

15-0
TXTSSHI[15:0]
r

位域	名称	描述
31:0	TXTSSHI	发送时间戳状态高位（Transmit Timestamp Status High） 该字段包含发送数据包捕获的时间戳秒字段的高 32 位。

34.6.1.56 ETH MAC 时间戳入口校正纳秒寄存器（ETH_MACTSIGCNS）

偏移地址：0x0B58

复位值：0x0000 0000

该寄存器包含以纳秒为单位的校正值，与入口路径中捕获的时间戳值一起使用。

31-16
TSIC[31:16]
rw

15-0
TSIC[15:0]
rw

位域	名称	描述
31:0	TSIC	时间戳入口校正（Timestamp Ingress Correction） 该字段包含由入口校正表达式定义的入口路径校正值。

34.6.1.57 ETH MAC 时间戳出口校正纳秒寄存器（ETH_MACTSEGCNS）

偏移地址：0x0B5C

复位值：0x0000 0000

该寄存器包含以纳秒为单位的校正值，与出口路径中捕获的时间戳值一起使用。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
TSEC[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TSEC[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	TSEC	时间戳出口校正（Timestamp Egress Correction） 该字段包含由出口校正表达式定义的出口路径校正值的纳秒部分。

34.6.1.58 ETH MAC 时间戳入口时延寄存器（ETH_MACTSIGLAT）

偏移地址：0x0B68

复位值：0x0000 0000

该寄存器用于保存入口 MAC 的时延。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				ITLNS											
				r											

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ITLSNS								Reserved							
r															

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必须保持复位值。
27:16	ITLNS	以纳秒为单位的入口时间戳时延（Ingress Timestamp Latency, in nanoseconds） 该寄存器保存 MAC 输入端口（TXD）与采集入口时间戳的实际点（MII）之间的平均延迟（以纳秒为单位）。入口校正值的计算方法如 34.5.6.4 一节所述。
15:8	ITLSNS	以亚纳秒为单位的入口时间戳时延（Ingress Timestamp Latency, in sub-nanoseconds） 该寄存器保存 MAC 输入端口（TXD）与采集入口时间戳的实际点（MII）之间的平均延迟（以亚纳秒为单位）。入口校正值的计算方法如 34.5.6.4 一节所述。
7:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

34.6.1.59 ETH MAC 时间戳出口时延寄存器（ETH_MACTSEGLAT）

偏移地址：0x0B6C

复位值：0x0000 0000

该寄存器用于保存出口 MAC 的时延。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				ETLNS											
				r											

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ETLSNS								Reserved							
r															

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必须保持复位值。
27:16	ETLNS	以纳秒为单位的出口时间戳时延（Egress Timestamp Latency, in nanoseconds） 该寄存器保存 MAC 输出端口（RXD）与采集出口时间戳的实际点（MII）之间的平均延迟（以纳秒为单位）。出口校正值的计算方法如 34.5.6.4 一节所述。
15:8	ETLSNS	以亚纳秒为单位的入口时间戳时延（Egress Timestamp Latency, in sub-nanoseconds） 该寄存器保存 MAC 输出端口（RXD）与采集出口时间戳的实际点（MII）之间的平均延迟（以亚纳秒为单位）。出口校正值的计算方法如 34.5.6.4 一节所述。
7:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

34.6.1.60 ETH MAC PPS 控制寄存器（ETH_MACPPSCTRL）

偏移地址：0x0B70

复位值：0x0000 0000

该寄存器控制秒脉冲输出（PPS）。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved												PPSCTRL			
												rw			

位域	名称	描述
31:4	Reserved	保留，必须保持复位值。
3:0	PPSCTRL	**PPSCTRL:** PPS 输出频率控制（PPS Output Frequency Control） 该字段控制 PPS 输出（ptp_pps_o）信号的频率。PPSCTRL 的默认值为 0000，PPS 输出为每秒 1 个脉冲（宽度为 clk_ptp_i）。对于 PPSCTRL 的其他值，PPS 输出将成为以下频率的生成时钟： 0001：二进制翻转为 2Hz，数字翻转为 1Hz 0010：二进制翻转为 4Hz，数字翻转为 2Hz

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0011：二进制翻转为 8Hz，数字翻转为 4Hz 0100：二进制翻转为 16Hz，数字翻转为 8Hz … 1111：二进制翻转为 32.768KHz，数字翻转为 16.384KHz *注：在二进制翻转模式下，PPS 输出（ptp_pps_o）的占空比为这些频率的 50%。* *在数字翻转模式下，PPS 输出频率为平均值。实际时钟频率不同，每秒同步一次。例如：* *当 PPSCTRL = 0001 时，PPS（1Hz）的低电平周期为 537ms，高电平周期为 463ms。* *当 PPSCTRL = 0010 时，PPS（2Hz）是一个序列：一个占空比为 50%、周期为 537ms 的时钟；第二个周期为 463ms 的时钟（低电平 268ms，高电平 195ms）。* *当 PPSCTRL = 0011 时，PPS（4Hz）是一个序列：三个占空比为 50%、周期为 268ms 的时钟；第四个周期为 195ms 的时钟（低电平 134ms，高电平 61ms）。* *出现这种情况的原因是 MAC 系统时间纳秒寄存器中数字翻转模式的位发生了非线性切换。*

34.6.1.61 ETH MAC PPS 目标时间秒寄存器（ETH_MACPPSTTS）

偏移地址：0x0B80

复位值：0x0000 0000

PPS 目标时间秒寄存器和 PPS 目标时间纳秒寄存器一起用于规划中断事件（MAC 时间戳状态寄存器的第 1 位），当系统时间超过这些寄存器中的编程值时。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
TSTRH0[31:16]															
rw															
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
TSTRH0[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31:0	TSTRH0	PPS 目标时间秒寄存器（PPS Target Time Seconds Register） 该字段存储以秒为单位的时间。当时间戳值匹配或超过两个目标时间戳寄存器时，MAC 会启动或停止 PPS 信号输出，并根据在 MAC PPS 控制寄存器中为相应 PPS 输出选择的目标时间模式生成中断（如果使能了中断）。

34.6.1.62 ETH MAC PPS 目标时间纳秒寄存器（ETH_MACPPSTTNS）

偏移地址：0x0B84

复位值：0x0000 0000

该寄存器为 PPS 目标时间纳秒寄存器。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	TTSL0[30:16]														
	rw														

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TTSL0[15:0]															
rw															

位域	名称	描述
31	Reserved	保留，必须保持复位值。
30:0	TTSL0	PPS 的目标时间低位寄存器（Target Time Low for PPS Register） 该寄存器存储以纳秒为单位的时间（带符号）。当时间戳的值与两个目标时间戳寄存器中的值匹配时，MAC 将启动或停止 PPS 信号输出。 MAC 时间戳控制寄存器中的 TSCTRLSSR 位复位时，该值应为单位为 ns 的时间÷0.465。PPS 信号输出的实际启动或停止时间最高可能存在一个单位的亚秒增量值的误差。 MAC 时间戳控制寄存器中的 TSCTRLSSR 位置 1 时，该值不应超过 0x3B9A_C9FF。PPS 信号输出的实际启动或停止时间最高可能存在一个单位的亚秒增量值的误差。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

34.6.2 ETH MTL 寄存器

34.6.2.1 ETH MTL 操作模式寄存器（ETH_MTLOPMOD）

偏移地址：0x0C00

复位值：0x0000 0000

该寄存器建立发送和接收操作模式和命令。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved						CNTCLR	CNTPRST	Reserved						DTXSTS	Reserved
						rw	rw							rw	

位域	名称	描述
31:10	Reserved	保留，必须保持复位值。
9	CNTCLR	计数器复位（Counters Reset） 该位置 1 时，所有计数器都将复位。该位在 1 个时钟周期后自动清零。 如果该位和 CNTPRST 位同时置 1，则 CNTPRST 优先级较高。 0：计数器都不复位 1：所有计数器复位 *注：该位有访问限制，写 1 有效，自动清零，写 0 无影响。*
8	CNTPRST	计数器预设（Counters Preset） 该位置 1 时： ● MTL 发送队列下溢寄存器被初始化/预设为 0x7F0。 ● MTL 接收队列丢失和上溢数据包计数寄存器中丢失的数据包和上溢数据包计数器被初始化/预设为 0x7F0。 0：禁用计数器预设功能 1：启用计数器预设功能 *注：该位有访问限制，写 1 有效，自动清零，写 0 无影响。*
7:2	Reserved	保留，必须保持复位值。
1	DTXSTS	丢弃发送状态（Drop Transmit Status） 该位置 1 时，从 MAC 接收到的 Tx 数据包状态在 MTL 中被丢弃。 该位复位时，从 MAC 接收到的 Tx 数据包状态将转发给应用程序。 0：禁用丢弃发送状态的功能 1：启用丢弃发送状态的功能
0	Reserved	保留，必须保持复位值。

34.6.2.2 ETH MTL 中断状态寄存器（ETH_MTLINTSTS）

偏移地址：0x0C20

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值：0x0000 0000

软件驱动程序（应用程序）在中断服务例程或轮询期间读取该寄存器，以确定 MTL 队列和 MAC 的中断状态。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															Q0IS
															rw

位域	名称	描述
31:1	Reserved	保留，必须保持复位值。
0	Q0IS	队列中断状态（Queue Interrupt Status） 该位指示有来自队列的中断。要重置该位，应用程序必须读取 MTL 队列中断控制状态寄存器，以获得中断的确切原因并清除其来源。 0：未检测到队列中断状态 1：检测到队列中断状态

34.6.2.3 ETH MTL 发送队列操作模式寄存器（ETH_MTLTXQOPMOD）

偏移地址：0x0D00

复位值：0x0000 0000

该寄存器建立发送队列的操作模式和命令。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved									TTC			Reserved		TSF	FTQ
										rw				rw	rw

位域	名称	描述
31:7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6:4	TTC	发送阈值控制（Transmit Threshold Control） 该位域控制 MTL Tx 队列的阈值级别。当 MTL Tx 队列中的数据包大小大于阈值时启动发送。此外，还会发送长度小于阈值的完整数据包。这些位只有在 TSF 位复位后才能使用。 000（M_32BYTES）：32 001（M_64BYTES）：64

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		010（M_96BYTES）：96 011（M_128BYTES）：128 100（M_192BYTES）：192 101（M_256BYTES）：256 110（M_384BYTES）：384 111（M_512BYTES）：512
3:2	Reserved	保留，必须保持复位值。
1	TSF	发送存储转发（Transmit Store and Forward） 该位置 1 时，如果 MTL Tx 队列中有一个完整数据包，则会启动发送。当此位置 1 时，会忽略在该寄存器的位[6:4]中指定的 TTC 值。该位只有在已停止发送时才能更改。 0：禁用 Tx 存储转发功能 1：启用 Tx 存储转发功能
0	FTQ	刷新发送队列（Flush Transmit Queue） 该位置 1 时，Tx 队列控制器逻辑被复位为其默认值。因此，Tx 队列中的所有数据都将丢失或被刷新。刷新操作结束时该位在内部复位。在该位复位之前，不应对 MTL 发送队列操作模式寄存器进行写操作。 MAC 发送器已接受的数据不会被刷新。其会被安排进行发送，并且会导致下溢且发送的数据包过短。 *注：仅当 Tx 队列为空并且应用程序已接受所有已发送数据包的暂停 Tx 状态时，刷新操作才算完成。要完成此刷新操作，PHY Tx 时钟应处于有效状态。* *注：该位有访问限制，写 1 有效，自动清零，写 0 无影响。* 0：禁用刷新发送队列的功能 1：启用刷新发送队列的功能

34.6.2.4 ETH MTL 发送队列下溢寄存器（ETH_MTLTXQUDF）

偏移地址：0x0D04

复位值：0x0000 0000

该寄存器包含因发送队列下溢而中止的数据包计数器和因接收队列数据包刷新而漏掉的数据包计数器。

31–16
Reserved

15–12	11	10–0
Reserved	UFCNTOVF	UFFRMCNT
	r	r

位域	名称	描述
31:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11	UFCNTOVF	下溢数据包计数器的上溢位（Overflow Bit for Underflow Packet Counter）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		每次 Tx 队列下溢数据包计数器字段上溢（即，已超出最大计数）时，该位都会置 1。在这种情况下，上溢数据包计数器将复位为全零值，该位指示发生翻转。 0：未检测到下溢数据包计数器字段上溢 1：检测到下溢数据包计数器字段上溢 *注：该位有访问限制。读清零。内部事件时自动置 1。*
10:0	UFFRMCNT	下溢数据包计数器（Underflow Packet Counter） 该字段指示控制器因 Tx 队列下溢而中止的数据包数量。每次 MAC 因下溢而中止发送数据包时，该计数器都会递增。当数据线上的数据有效时读取该寄存器，该计数器被清零。 *注：该位域有访问限制。读清零。内部事件时自动置 1。*

34.6.2.5 ETH MTL 发送队列调试寄存器（ETH_MTLTXQDBG）

偏移地址：0x0D08

复位值：0x0000 0000

该寄存器提供与发送队列相关的各种块的调试状态。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved									STXSTSF			Reserved	PTXQ		
										r				r	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved										TXSTSFSTS	TXQSTS	TWCSTS	TRCSTS		TXQPAUSED
										r	r	r	r		r

位域	名称	描述
31:23	Reserved	保留，必须保持复位值。
22:20	STXSTSF	队列的 Tx 状态 FIFO 中的状态字数（Number of Status Words in Tx Status FIFO of Queue） 该字段指示该队列的 Tx 状态 FIFO 中的当前状态数。当 MTL 操作模式寄存器中的 DTXSTS 位置 1 时，该字段不反映 Tx 状态 FIFO 中的状态字数。
19	Reserved	保留，必须保持复位值。
18:16	PTXQ	发送队列中的数据包数（Number of Packets in the Transmit Queue） 该字段指示 Tx 队列中的当前数据包数。当 MTL 操作模式寄存器中的 DTXSTS 位置 1 时，该字段不反映发送队列中的数据包数。
15:6	Reserved	保留，必须保持复位值。
5	TXSTSFSTS	MTL Tx 状态 FIFO 已满状态（MTL Tx Status FIFO Full Status） 该位置 1 时，指示 MTL Tx 状态 FIFO 已满。因此，MTL 不能接受发送更多数据包。 0：未检测到 MTL Tx 状态 FIFO 已满状态 1：检测到 MTL Tx 状态 FIFO 已满状态
4	TXQSTS	MTL Tx 队列非空状态（MTL Tx Queue Not Empty Status）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		该位置 1 时，指示 MTL Tx 队列不为空，还留有一些数据要发送。 0：未检测到 MTL Tx 队列非空状态 1：检测到 MTL Tx 队列非空状态
3	TWCSTS	MTL Tx 队列写控制器状态（MTL Tx Queue Write Controller Status） 该位置 1 时，指示 MTL Tx 队列写控制器有效且正在向 Tx 队列传输数据。 0：未检测到 MTL Tx 队列写控制器状态 1：检测到 MTL Tx 队列写控制器状态
2:1	TRCSTS	MTL Tx 队列读控制器状态（MTL Tx Queue Read Controller Status） 该字段指示 Tx 队列读控制器的状态： 00（IDLE）：空闲状态 01（READ）：读状态（将数据传输到 MAC 发送器） 10（WAIT）：等待来自 MAC 发送器的暂停 Tx 状态 11（FLUSH）：因来自 MAC 的数据包中止请求而刷新 Tx 队列
0	TXQPAUSED	发送队列暂停（Transmit Queue in Pause） 该位为高电平且使能 Rx 流控制时，指示 Tx 队列出于以下原因而处于暂停状态（仅在全双工模式下）： ● 当使能 PFC 时，接收到优先级分配给 Tx 队列的 PFC 数据包 ● 当禁止 PFC 时，接收到 802.3x 暂停数据包 0：未检测到发送队列处于暂停状态 1：检测到发送队列处于暂停状态

34.6.2.6 ETH MTL 队列中断控制状态寄存器（ETH_MTLQINTCTRLSTS）

偏移地址：0x0D2C

复位值：0x0000 0000

该寄存器包含队列中断的中断使能和状态位。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved							RXOIE	Reserved							RXOVFIS
							rw								rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved							TXUIE	Reserved							TXUNFIS
							rw								rw

位域	名称	描述
31:25	Reserved	保留，必须保持复位值。
24	RXOIE	接收队列上溢中断使能（Receive Queue Overflow Interrupt Enable） 0：禁用接收队列上溢中断 1：启用接收队列上溢中断
23:17	Reserved	保留，必须保持复位值。
16	RXOVFIS	接收队列上溢中断状态（Receive Queue Overflow Interrupt Status）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		该位指示在接收数据包期间，接收队列发生上溢。如果部分数据包已传输到应用程序，则 RDES3[21]中的上溢状态位置 1。应用程序向该位写入 1 时会将其清零。 0：未检测到接收队列上溢中断状态 1：检测到接收队列上溢中断状态 *注：该位有访问限制。内部事件时自动置 1。写 1 清零。写 0 无影响。*
15:9	Reserved	保留，必须保持复位值。
8	TXUIE	发送队列下溢中断使能（Transmit Queue Underflow Interrupt Enable） 0：禁用发送队列下溢中断 1：启用发送队列下溢中断
7:1	Reserved	保留，必须保持复位值。
0	TXUNFIS	发送队列下溢中断状态（Transmit Queue Underflow Interrupt Status） 该位指示在发送数据包期间，发送队列发生下溢。传输暂停，并设置下溢错误（设置 TDES3[2]位）。应用程序向该位写入 1 时会将其清零。 0：未检测到发送队列下溢中断状态 1：检测到发送队列下溢中断状态 *注：该位有访问限制。内部事件时自动置 1。写 1 清零。写 0 无影响。*

34.6.2.7 ETH MTL 接收队列操作模式寄存器（ETH_MTLRXQOPMOD）

偏移地址：0x0D30

复位值：0x0000 0000

该寄存器建立接收队列的操作模式和命令。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved									DISTCPEF	RSF	FEP	FUP	Reserved	RTC	
									rw	rw	rw	rw		rw	

位域	名称	描述
31:7	Reserved	保留，必须保持复位值。
6	DISTCPEF	禁止丢弃 TCP/IP 校验和错误数据包（Disable Dropping of TCP/IP Checksum Error Packets） 该位置 1 时，如果数据包中仅存在由接收校验和减荷引擎检测出来的错误，则 MAC 不会丢弃它。对于这类数据包，仅封装的有效负载中有错误。MAC 接收到的以太网数据包无错误（包括 FCS 错误）。 该位复位时，如果 FEP 位被复位，所有错误数据包都会被丢弃。 0：启用丢弃 TCP/IP 校验和错误数据包的功能 1：禁用丢弃 TCP/IP 校验和错误数据包的功能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
5	RSF	接收队列存储转发（Receive Queue Store and Forward） 该位置 1 时，只有在向 Rx 队列写入完整数据包后，以太网外设才会从中读取数据包，同时会忽略该寄存器的 RTC 字段。 该位复位时，Rx 队列工作在阈值（直通）模式下，具体取决于该寄存器的 RTC 字段指定的阈值。 0：禁用接收队列存储转发功能 1：启用接收队列存储转发功能
4	FEP	转发错误数据包（Forward Error Packets） 该位复位时，Rx 队列会丢弃带有错误状态（CRC 错误、接收错误、看门狗超时或上溢）的数据包。不过，如果某个数据包的起始字节（写）指针已传输到读控制器端（阈值模式下），则不会丢弃该数据包。 该位置 1 时，除过短错误数据包之外的所有数据包都将被转发到应用程序或 DMA。如果 RSF 位置 1，并且在写入部分数据包时 Rx 队列上溢，则无论该位的设置如何，该数据包都会被丢弃。不过，如果 RSF 位复位，并且在写入部分数据包时 Rx 队列上溢，则可能会将部分数据包转发到应用程序或 DMA。 0：禁用转发错误数据包功能 1：启用转发错误数据包功能
3	FUP	转发过小的良好数据包（Forward Undersized Good Packets） 该位置 1 时，Rx 队列会转发过小的良好数据包（即，没有错误但长度小于 64 字节的数据包），其中包括填充字节和 CRC。 该位复位时，Rx 队列会丢弃所有小于 64 字节的数据包，除非因 Rx 阈值下限更低（例如 RTC = 01）而导致数据包已传输。 0：禁用转发过小的良好数据包功能 1：启用转发过小的良好数据包功能
2	Reserved	保留，必须保持复位值。
1:0	RTC	接收队列阈值控制（Receive Queue Threshold Control） 该字段控制 MTL Rx 队列的阈值级别（以字节为单位）。当 MTL Rx 队列中的数据包大小大于阈值时，接收到的数据包将传输到应用程序 DMA。此外，还会自动传输长度小于阈值的完整数据包。只有在 RSF 位为零时，该字段才有效。当 RSF 位置 1 时，该字段将被忽略。 00（M_64BYTE）：64 01（M_32BYTE）：32 10（M_96BYTE）：96 11（M_128BYTE）：128

34.6.2.8 ETH MTL 接收队列丢失和上溢数据包计数寄存器（ETH_MTLRXQMPOFCNT）

偏移地址：0x0D34

复位值：0x0000 0000

该寄存器包含因接收队列数据包刷新而遗漏的数据包计数器和因接收队列上溢而丢弃的数据包计数器。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved				MISCNTOVF	MISPKTCNT										
				r	r										

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				OVFCNTOVF	OVFPKTCNT										
				r	r										

位域	名称	描述
31:28	Reserved	保留，必须保持复位值。
27	MISCNTOVF	丢失数据包计数器上溢位（Missed Packet Counter Overflow Bit） 该位置 1 时，指示 Rx 队列丢失数据包计数器超出最大限制。 0：未检测到丢失数据包计数器上溢 1：检测到丢失数据包计数器上溢 *注：该位有访问限制。读清零。内部事件时自动置 1。*
26:16	MISPKTCNT	丢失数据包计数器（Missed Packet Counter） 该字段指示以太网外设因应用程序针对该队列执行数据包刷新请求而丢失的数据包数量。对此寄存器执行读操作时此计数器复位。 当 DMA 因缓冲区不可用而丢弃数据包时，该计数器会递增。 *注：该位域有访问限制。读清零。内部事件时自动置 1。*
15:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11	OVFCNTOVF	上溢计数器上溢位（Overflow Counter Overflow Bit） 该位置 1 时，表示 Rx 队列上溢数据包计数器字段超出最大限制。 0：未检测到上溢计数器上溢 1：检测到上溢计数器上溢 *注：该位有访问限制。读清零。内部事件时自动置 1。*
10:0	OVFPKTCNT	上溢数据包计数器（Overflow Packet Counter） 该字段指示以太网外设因接收队列上溢而丢弃的数据包数量。每次以太网外设因上溢而丢弃一个传入数据包时，此计数器值都会递增。对此寄存器执行读操作时此计数器复位。 *注：该位域有访问限制。读清零。内部事件时自动置 1。*

34.6.2.9 ETH MTL 接收队列调试寄存器（ETH_MTLRXQDBG）

偏移地址：0x0D38

复位值：0x0000 0000

该寄存器提供与接收队列相关的各种块的调试状态。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved		PRXQ													
		r													

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved										RXQSTS		Reserved	RRCSTS		RWCSTS
										r			r		r

位域	名称	描述
31:30	Reserved	保留，必须保持复位值。
29:16	PRXQ	接收队列中的数据包数（Number of Packets in Receive Queue） 该字段指示 Rx 队列中的当前数据包数。该字段的理论最大值为 256KB/16B = 16K 个数据包，即，Max_Queue_Size/Min_Packet_Size。
15:6	Reserved	保留，必须保持复位值。
5:4	RXQSTS	MTL Rx 队列填充级别状态（MTL Rx Queue Fill-Level Status） 该字段指示 Rx 队列填充级别的状态： 00（EMPTY）：Rx 队列为空 01（BLW_THR）：Rx 队列填充级别低于流控制取消激活阈值 10（ABV_THR）：Rx 队列填充级别高于流控制激活阈值 11（FULL）：Rx 队列已满
3	Reserved	保留，必须保持复位值。
2:1	RRCSTS	MTL Rx 队列读控制器状态（MTL Rx Queue Read Controller State） 该字段指示 Rx 队列读控制器的状态： 00（IDLE）：空闲状态 01（READ_DATA）：正在读取数据包数据 10（READ_STS）：正在读取数据包状态（或时间戳） 11（FLUSH）：正在刷新数据包数据和状态
0	RWCSTS	MTL Rx 队列写控制器有效状态（MTL Rx Queue Write Controller Active Status） 该位置 1 时，指示 MTL Rx 队列写控制器有效且正在将接收到的数据包传输到 Rx 队列。 0：未检测到 MTL Rx 队列写控制器有效状态 1：检测到 MTL Rx 队列写控制器有效状态

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

34.6.3 ETH DMA 寄存器

34.6.3.1 ETH DMA 模式寄存器（ETH_DMAMODE）

偏移地址：0x1000

复位值：0x0000 0000

该寄存器建立 DMA 的总线操作模式。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved														INTM	
								rw		rw		rw		rw	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	PR			TXPR	Reserved									DA	SWR
	rw			rw										rw	rw

位域	名称	描述
31:18	Reserved	保留，必须保持复位值。
17:16	INTM	中断模式（Interrupt Mode） 该字段定义以太网外设的中断模式。 以下输出信号的行为会根据以下设置发生变化： ● sbd_perch_tx_intr_o（发送通道中断） ● sbd_perch_rx_intr_o（接收通道中断） ● sbd_intr_o（通用中断） 该字段还会改变 DMA 通道 0 状态寄存器中的 RI/TI 位的行为。 00：sbd_perch_xxx 为脉冲信号，用于在描述符中启用 IOC 位的每个 Tx/Rx 数据包传输完成事件（无论是否启用相应中断）。当启用相应中断时，sbd_intr_o 也会被置为有效，只有当软件清除相应的 RI/TI 状态位时，sbd_intr_o 才会被清除 01：sbd_perch_xxx 为电平信号，当启用相应中断时，在 TX/RX 数据包传输完成事件发生时被置为有效，当软件清除相应 RI/TI 状态位时被置为无效。在这些 TX/RX 数据包传输完成事件中，sbd_intr_o 不会被置为有效 10：sbd_perch_xxx 为电平信号，当启用相应中断时，在 TX/RX 数据包传输完成事件发生时被置为有效，当软件清除相应 RI/TI 状态位时被置为无效。但是，如果在清零之前再次发生相同事件，该信号将再次被置为有效。对于这些 TX/RX 数据包传输完成事件，sbd_intr_o 不会被置为有效 11：保留 更多详情，请参阅表 34-55 传输完成中断行为。
15	Reserved	保留，必须保持复位值。
14:12	PR	优先级比（Priority ratio） 该位域控制 Rx DMA 和 Tx DMA 之间加权循环仲裁的优先级比率。这些位仅在 DA 位复位时有效。优先级比例为 Rx:Tx 或 Tx:Rx，取决于 TXPR 位是复位还是置位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		000（R_1_1）：优先级比为 1:1 001（R_2_1）：优先级比为 2:1 010（R_3_1）：优先级比为 3:1 011（R_4_1）：优先级比为 4:1 100（R_5_1）：优先级比为 5:1 101（R_6_1）：优先级比为 6:1 110（R_7_1）：优先级比为 7:1 111（R_8_1）：优先级比为 8:1
11	TXPR	发送优先级（Transmit priority） 该位置 1 时，表示在系统侧总线仲裁期间，Tx DMA 的优先级高于 Rx DMA。
10:2	Reserved	保留，必须保持复位值。
1	DA	DMA Tx 或 Rx 仲裁方案（DMA Tx or Rx Arbitration Scheme） 该位指定所有通道的发送和接收路径之间的仲裁方案： ● 0：采用 Rx:Tx 或 Tx:Rx 的加权循环调度。路径之间的优先级取决于位[14:12]中指定的优先级，优先级权重在 TXPR 位中指定 ● 1：固定优先级。TXPR 位置 1 时，Tx 路径的优先级高于 Rx 路径。否则，Rx 路径的优先级高于 Tx 路径
0	SWR	软件复位（Software Reset） 该位置 1 时，MAC 和 DMA 控制器会复位 DMA、MTL 和 MAC 的逻辑和所有内部寄存器。在所有时钟域中完成复位操作后，该位自动清零。在对任何寄存器重新编程之前，应读取该位的零值。 该位必须在写入 1 后至少 4 个 CSR 时钟周期再读取。 *注：仅当所有活动时钟域中的所有复位均无效时，才会完成复位操作。因此，所有 PHY 输入时钟（适用于所选 PHY 接口）必须存在，以完成软件复位。完成软件复位操作所用的时间取决于最慢的活动时钟的频率。* 0：禁用软件复位 1：启用软件复位

34.6.3.2 ETH DMA 系统总线模式寄存器（ETH_DMASBMODE）

偏移地址：0x1004

复位值：0x0000 0000

该寄存器控制 AHB 主设备的行为。它主要控制突发拆分。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RB	MB	Reserved	AAL	Reserved											FB
rw	rw		rw												rw

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15	RB	重建 INCRx 突发（Rebuild INCRx Burst） 该位置为高电平且 AHB 主设备获得 SPLIT、RETRY 或提前突发终止（EBT）响应时，AHB 主接口将基于 INCRx 和 SINGLE 传输重新构建已发起突发传输的暂停节拍。默认情况下，AHB 主接口基于未指定（INCR）突发重建 EBT 的暂停节拍。 0：禁用重建 INCRx 突发功能 1：启用重建 INCRx 突发功能
14	MB	混合突发（Mixed Burst） 该位置为高电平且 FB 位为低电平时，如果突发长度大于等于 16，AHB 主设备会执行未定义的突发传输（INCR）。如果突发长度小于等于 16，AHB 主设备会执行固定突发传输（INCRx 和 SINGLE）。 0：禁用混合突发功能 1：启用混合突发功能
13	Reserved	保留，必须保持复位值。
12	AAL	地址对齐的节拍（Address-Aligned Beats） 该位置 1 时，主设备会在读通道和写通道上执行地址对齐的突发传输。 该位复位时，主设备会在读通道和写通道上执行突发传输，而不与地址边界对齐。 0：禁用地址对齐节拍功能 1：启用地址对齐节拍功能
11:1	Reserved	保留，必须保持复位值。
0	FB	固定突发长度（Fixed Burst Length） 该位置 1 时，AHB 主设备将发起特定长度的突发传输（INCRx 或 SINGLE）。 该位复位时，AHB 主设备将发起非特定长度的传输（INCR）或 SINGLE 传输。 0：禁用固定突发长度功能 1：启用固定突发长度功能

34.6.3.3 ETH DMA 中断状态寄存器（ETH_DMAINTSTS）

偏移地址：0x1008

复位值：0x0000 0000

应用程序在中断服务例程或轮询期间读取该中断状态寄存器，以确定 DMA 通道、MTL 队列和 MAC 的中断状态。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved														MACIS	MTLIS
														r	r

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															DC0IS
															r

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:18	Reserved	保留，必须保持复位值。
17	MACIS	MAC 中断状态（MAC Interrupt Status） 该位指示 MAC 中的中断事件。要将该位重置为 1'b0，软件必须读取 MAC 中的相应寄存器，以获得中断的确切原因并清除其来源。 0：未检测到 MAC 中断状态 1：检测到 MAC 中断状态
16	MTLIS	MTL 中断状态（MTL Interrupt Status） 该位指示 MTL 中的中断事件。要将该位重置为 1'b0，软件必须读取 MTL 中的相应寄存器，以获得中断的确切原因并清除其来源。 0：未检测到 MTL 中断状态 1：检测到 MTL 中断状态
15:1	Reserved	保留，必须保持复位值。
0	DC0IS	DMA 通道 0 中断状态（DMA Channel 0 Interrupt Status） 该位指示 DMA 通道 0 中的中断事件。要将该位重置为 1'b0，软件必须读取 DMA 通道 0 中的相应寄存器，以获得中断的确切原因并清除其来源。 0：未检测到 DMA 通道 0 中断状态 1：检测到 DMA 通道 0 中断状态

34.6.3.4 ETH DMA 调试状态寄存器（ETH_DMADBGSTS）

偏移地址：0x100C

复位值：0x0000 0000

该寄存器提供 DMA 通道 0 的接收和发送进程状态，用于调试。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TPS0				RPS0				Reserved							AHBMS
r				r											r

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15:12	TPS0	DMA 通道 0 发送过程状态（DMA Channel 0 Transmit Process State） 该字段指示通道 0 的 Tx DMA FSM 状态。该字段的 MSB 始终返回 0。此字段不会产生中断。 0000（STOP）：停止（发出复位或停止发送命令） 0001（RUN_FTTD）：运行中（正在获取 Tx 发送描述符） 0010（RUN_WS）：运行中（正在等待状态） 0011（RUN_RDS）：运行中（正在读取系统存储器缓冲区中的数据并将其加入 Tx 缓冲区（Tx FIFO）队列）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		0100（TSTMP_WS）：时间戳写状态 0101（RSVD）：保留 0110（SUSPND）：已暂停（Tx 描述符不可用或 Tx 缓冲区下溢） 0111（RUN_CTD）：运行中（正在关闭 Tx 描述符）
11:8	RPS0	DMA 通道 0 接收过程状态（DMA Channel 0 Receive Process State） 该字段指示通道 0 的 Rx DMA FSM 状态。该字段的 MSB 始终返回 0。此字段不会产生中断。 0000（STOP）：停止（发出复位或停止接收命令） 0001（RUN_FRTD）：运行中（正在获取 Rx 传输描述符） 0010（RSVD）：保留 0011（RUN_WRP）：运行中（正在等待 Rx 数据包） 0100（SUSPND）：已暂停（Rx 描述符不可用） 0101（RUN_CRD）：运行中（正在关闭 Rx 描述符） 0110（TSTMP）：时间戳写状态 0111（RUN_TRP）：运行中（正在将接收的数据包数据从 Rx 缓冲区传输到系统存储器）
7:1	Reserved	保留，必须保持复位值。
0	AHBMS	AHB 主设备状态（AHB Master Status） 该位置 1 时，指示 AHB 主设备 FSM 处于非空闲状态。 0：未检测到 AHB 主设备状态 1：检测到 AHB 主设备状态

34.6.3.5 ETH DMA 通道 0 控制寄存器（ETH_DMACH0CTRL）

偏移地址：0x1100

复位值：0x0000 0000

该寄存器指定两个描述符之间跳过的长度，以及 8xPBL 模式等功能。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved											DSL			Reserved	PBLx8
												rw			rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved															

位域	名称	描述
31:21	Reserved	保留，必须保持复位值。
20:18	DSL	描述符跳过长度（Descriptor Skip Length） 该位域指定两个未链接描述符之间跳过的 32 位字数。地址从当前描述符结束处开始跳到下一个描述符起始处。 DSL 值等于零时，DMA 将描述符表视为连续的。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
17	Reserved	保留，必须保持复位值。
16	PBLx8	8xPBL 模式（8xPBL mode） 该位置 1 时，在 DMA 通道 0 发送控制寄存器的位[21:16]和 DMA 通道 0 接收控制寄存器的位[21:16]中编程的 PBL 值将乘以 8 倍。因此，DMA 根据 PBL 值以 8、16、32、64、128 和 256 个节拍传输数据。
15:0	Reserved	保留，必须保持复位值。

34.6.3.6 ETH DMA 通道 0 发送控制寄存器（ETH_DMACH0TXCTRL）

偏移地址：0x1104

复位值：0x0000 0000

该寄存器控制 Tx 功能，例如 PBL。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved									ETIC	TxPBL					
									rw	rw					

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved											OSF	Reserved			ST
											rw				rw

位域	名称	描述
31:23	Reserved	保留，必须保持复位值。
22	ETIC	提前发送中断控制（Early Transmit Interrupt Control） 该位置 1 时，将在 IOC 位（TDES2[31]）被设置的发送描述符的缓冲区完成数据传输后设置早期发送中断（ETI）状态。 该位复位时，只有在完整数据包传输到 MTL Tx FIFO 存储器后才会设置 ETI。
21:16	TxPBL	发送可编程突发长度（Transmit Programmable Burst Length） 该位域指示要在一个 DMA 数据传输过程中传输的最大节拍数。这是在单个块读或块写操作中使用的最大值。DMA 每次在应用总线上开始突发传输时，始终尝试按 PBL 中指定的方式进行突发。可使用以下任一值来编程 PBL：1、2、4、8、16 或 32。任何其他值都会产生未定义的行为。要传输 32 个以上节拍，请按以下步骤操作： 1、在 DMA 通道 0 控制寄存器中设置 PBLx8 模式。 2、设置 TxPBL。
15:5	Reserved	保留，必须保持复位值。
4	OSF	处理第二个数据包（Operate on Second Packet） 该位置 1 时，指示 DMA 在获得第一个数据包的状态之前处理传输数据的第二个数据包。 0：禁用处理第二个数据包的功能 1：启用处理第二个数据包的功能
3:1	Reserved	保留，必须保持复位值。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
0	ST	启动或停止发送命令（Start or Stop Transmission Command） 该位置 1 时，发送过程处于运行状态。DMA 会检查当前位置的发送列表，以查找要发送的数据包。 DMA 会尝试从以下任一位置获取描述符： ● 列表中的当前位置：由 DMA 通道 0 发送描述符列表地址寄存器中设置的发送列表基地址。 ● 上次停止发送的位置。 如果 DMA 不拥有当前描述符，则发送过程进入暂停状态，DMA 通道 0 状态寄存器的 TBU 位被置位。启动发送命令仅在发送停止时有效。如果在设置 DMA 通道 0 发送描述符列表地址寄存器之前发出该命令，DMA 行为将无法预测。 该位复位时，发送过程将在完成当前数据包的发送后进入"停止"状态。发送列表中的下一个描述符位置将被保存，并在重新开始发送时成为当前位置。要更改列表地址，需要在复位该位时为 DMA 通道 0 发送描述符列表地址寄存器编程一个新值。当再次设置该位时会采用新值。停止发送命令只有在当前数据包发送完成或发送过程处于暂停状态时才有效。 0：停止发送命令 1：启动发送命令

34.6.3.7 ETH DMA 通道 0 接收控制寄存器（ETH_DMACH0RXCTRL）

偏移地址：0x1108

复位值：0x0000 0000

该寄存器控制 Rx 功能，例如 PBL、缓冲区大小和扩展状态。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
RPF	Reserved								ERIC	RxPBL					
rw									rw	rw					

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	RBSZH												RBSZL		SR
	rw												r		rw

位域	名称	描述
31	RPF	Rx 数据包刷新（Rx Packet Flush） 该位置 1 时，以太网内核停止时，会自动从 Rx 队列中清除指定到此 DMA Rx 通道的数据包。当该位保持设置为 1 且软件驱动程序重新启动 DMA 时，Rx DMA 停止时接收到的存在于 Rx 队列中的数据包将被清空。重新启动 Rx DMA 后，MAC 收到的数据包将路由到 Rx DMA。刷新在 Rx 队列的读取端完成。 该位复位时，以太网内核在 Rx DMA 通道处于 STOP（停止）状态时，不会刷新 Rx 队列中以该 Rx DMA 通道为目的地的数据包。这可能会导致相应 Rx 队列中的队头阻塞。 0：禁用 Rx 数据包刷新功能

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		1：启用 Rx 数据包刷新功能
30:23	Reserved	保留，必须保持复位值。
22	ERIC	提前接收中断控制（Early Receive Interrupt Control） 该位置 1 时，Rx DMA 向缓冲区的每次数据突发传输完成后，将设置提前接收中断（ERI）状态。 该位复位时，只有在 Rx DMA 填满一个完整的缓冲区后，ERI 才会被置位。
21:16	RxPBL	接收可编程突发长度（Receive Programmable Burst Length） 该位域指示要在一个 DMA 数据传输过程中传输的最大节拍数。这是在单个块读或块写操作中使用的最大值。DMA 每次在应用总线上开始突发传输时，始终尝试按 PBL 中指定的方式进行突发。可使用以下任一值来编程 PBL：1、2、4、8、16 或 32。任何其他值都会产生未定义的行为。要传输 32 个以上节拍，请按以下步骤操作： 1、在 DMA 通道 0 控制寄存器中设置 PBLx8 模式。 2、设置 RxPBL。
15	Reserved	保留，必须保持复位值。
14:3	RBSZH	接收缓冲区大小高位（Receive Buffer size High） RBSZ[13:0]分为高位 RBSZH 和低位 RBSZL 两个字段。RBSZ[13:0]字段表示以字节为单位的 Rx 缓冲区大小。最大缓冲区大小限制为 16K 字节。该缓冲区大小适用于使能拆分报头时的有效负载缓冲区。 *注：缓冲区大小必须是 4 的倍数，取决于数据总线宽度（32 位）。即使缓冲区地址指针的值未与数据总线宽度对齐，也必须如此。因此，低位 RBSZL 是只读的，其值被视为全零。因此，RBSZH 表示缓冲区的位置大小（宽度与总线宽度相同）。*
2:1	RBSZL	接收缓冲区大小低位（Receive Buffer size Low） RBSZ[13:0]分为两个字段：RBSZH 和 RBSZL。RBSZL 是低字段，该字段为只读（RO）。
0	SR	启动或停止接收（Start or Stop Receive） 该位置 1 时，DMA 尝试从接收列表中获取描述符并处理传入的数据包。 DMA 尝试从以下任一位置获取描述符： ● 列表中的当前位置：由 DMA 通道 0 接收描述符列表地址寄存器中设置的地址。 ● 上次停止 Rx 过程时的位置。 如果 DMA 不拥有当前描述符，则会暂停接收，并设置 DMA 通道 0 状态寄存器的 RBU 位为 1。启动接收命令仅在接收停止时有效。如果在设置 DMA 通道 0 接收描述符列表地址寄存器之前发出该命令，DMA 行为将无法预测。 该位复位时，Rx DMA 操作将在传输完当前数据包后停止。接收列表中的下一个描述符位置将被保存，并在重新启动 Rx 进程后成为当前位置。停止接收命令仅在 Rx 过程处于运行（等待 Rx 数据包）或暂停状态时有效。 0：停止接收 1：启动接收

34.6.3.8 ETH DMA 通道 0 发送描述符列表地址寄存器（ETH_DMACH0TXDLA）

偏移地址：0x1114

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

复位值：0x0000 0000

该寄存器将 DMA 指向发送描述符列表的起始位置。描述符列表位于应用程序的物理内存空间中，必须是 Word 对齐（32 位数据总线）。DMA 通过将相应的 LSB 变为低电平，在内部将其转换为总线宽度对齐的地址。

只有在 Tx DMA 停止时，即 DMA 通道 0 发送控制寄存器中的 ST 位设置为 0 时，才能写入该寄存器。停止后，可以向该寄存器写入新的描述符列表地址。将 ST 位设置为 1 时，DMA 将使用新编程的描述符基地址。如果 ST 位设置为 0 时未更改该寄存器，则 DMA 将使用之前停止时的描述符地址。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
TDESLA[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TDESLA[15:2]														TDESLA[1:0]	
rw														ro	

位域	名称	描述
31:0	TDESLA	发送列表的起始处（Start of Transmit List） 该字段包含发送描述符列表中第一个描述符的基地址。DMA 会忽略 LSB 位（1:0），并在内部将这些位全部置零。因此，这些 LSB 位为只读（RO）。

34.6.3.9 ETH DMA 通道 0 接收描述符列表地址寄存器（ETH_DMACH0RXDLA）

偏移地址：0x111C

复位值：0x0000 0000

该寄存器将 DMA 指向接收描述符列表的起始位置。描述符列表位于应用程序的物理内存空间中，必须是 Word 对齐（32 位数据总线）。DMA 通过将相应的 LSB 变为低电平，在内部将其转换为总线宽度对齐的地址。只有在接收停止时，才允许写入该寄存器。停止接收时，必须在发出接收开始命令之前写入该寄存器。

只有在 Rx DMA 停止时，即 DMA 通道 0 接收控制寄存器中的 SR 位设置为 0 时，才能写入该寄存器。停止后，可以向该寄存器写入新的描述符列表地址。将 SR 位设置为 1 时，DMA 将使用新编程的描述符基地址。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
RDESLA[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RDESLA[15:2]														RDESLA[1:0]	
rw														ro	

位域	名称	描述
31:0	RDESLA	接收列表的起始处（Start of Receive List）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		该字段包含接收描述符列表中第一个描述符的基地址。DMA 会忽略 LSB 位（1:0），并在内部将这些位全部置零。因此，这些 LSB 位为只读（RO）。

34.6.3.10 ETH DMA 通道 0 发送描述符尾指针寄存器（ETH_DMACH0TXDTP）

偏移地址：0x1120

复位值：0x0000 0000

该针寄存器指向从基址开始的偏移量，并指示最后一个有效描述符的位置。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
TDTP[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TDTP[15:2]														TDTP[1:0]	
rw														ro	

位域	名称	描述
31:0	TDTP	发送描述符尾指针（Transmit Descriptor Tail Pointer） 该字段包含 Tx 描述符环的尾指针。软件写入尾指针是为了向 Tx 通道添加更多描述符。硬件尝试发送由头指针和尾指针寄存器之间描述符引用的所有数据包。 *注：LSB 位（1:0）为只读（RO）。*

34.6.3.11 ETH DMA 通道 0 接收描述符尾指针寄存器（ETH_DMACH0RXDTP）

偏移地址：0x1128

复位值：0x0000 0000

该针寄存器指向从基址开始的偏移量，并指示最后一个有效描述符的位置。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
RDTP[31:16]															
rw															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RDTP[15:2]														RDTP[1:0]	
rw														ro	

位域	名称	描述
31:0	RDTP	接收描述符尾指针（Receive Descriptor Tail Pointer） 该字段包含 Rx 描述符环的尾指针。软件写入尾指针是为了向 Rx 通道添加更多描述符。硬件尝试发送由头指针和尾指针寄存器之间描述符引用的所有数据包。 *注：LSB 位（1:0）为只读（RO）。*

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.

地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦

电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100

网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

34.6.3.12 ETH DMA 通道 0 发送描述符环长度寄存器（ETH_DMACH0TXDRLEN）

偏移地址：0x112C

复位值：0x0000 0000

该寄存器包含发送描述符环的长度。

31:16
Reserved

15:10	9:0
Reserved	TDRL
	rw

位域	名称	描述
31:10	Reserved	保留，必须保持复位值。
9:0	TDRL	发送描述符环长度（Transmit Descriptor Ring Length） 该字段设置循环描述符环中 Tx 描述符的最大数量。描述符的最大数量限制为 1K 个描述符。Synopsys 建议环形描述符的最小长度为 4。 例如，可以在该字段中编程任何值，最大值为 0x3FF。该字段宽 10 位，如果编程为 0x3FF，则可以有 1024 个描述符。如果想要 10 个描述符，则将其编程为 0x9。

34.6.3.13 ETH DMA 通道 0 接收控制寄存器 2（ETH_DMACH0RXCTRL2）

偏移地址：0x1130

复位值：0x0000 0000

该寄存器控制接收功能，如接收描述符环的长度和备用接收缓冲区的大小。

31:24	23:16
Reserved	ARBS
	rw

15:10	9:0
Reserved	RDRL
	rw

位域	名称	描述
31:24	Reserved	保留，必须保持复位值。
23:16	ARBS	备用接收缓冲区大小（Alternate Receive Buffer Size） 当 ARBS 编程为非零值（未启用拆分报头功能）时，表示缓冲区 1 的大小（字节）。启用拆分报文头功能时，ARBS 表示报头数据的缓冲区大小。最大备用缓

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		冲区限制为 1020 字节（总线宽度为 32 位）。当 ARBS = 0 时，Rx Buffer1 和 Rx Buffer2 的大小基于 DMA 通道 0 接收控制寄存器中的 RBSZ 字段。
15:10	Reserved	保留，必须保持复位值。
9:0	RDRL	接收描述符环长度（Receive Descriptor Ring Length） 该字段设置循环描述符环中 Rx 描述符的最大数量。描述符的最大数量限制为 1K 个描述符。 例如，可以在该字段中编程任何值，最大值为 0x3FF。该字段宽 10 位，如果编程为 0x3FF，则可以有 1024 个描述符。如果想要 10 个描述符，则将其编程为 0x9。

34.6.3.14 ETH DMA 通道 0 中断使能寄存器（ETH_DMACH0INTEN）

偏移地址：0x1134

复位值：0x0000 0000

该寄存器可启用状态寄存器报告的中断。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
NIE	AIE	CDEE	FBEE	ERIE	ETIE	RWTE	RSE	RBUE	RIE	Reserved			TBUE	TXSE	TIE
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw				rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15	NIE	正常中断汇总使能（Normal Interrupt Summary Enable） 该位置 1 时，会使能正常中断汇总。该位可使能 DMA 通道 0 状态寄存器中的以下中断： bit[0]：发送中断 bit[2]：发送缓冲区不可用 bit[6]：接收中断 bit[11]：提前接收中断 该位复位时，将禁止正常中断汇总。 0：禁用正常中断汇总 1：启用正常中断汇总
14	AIE	异常中断汇总使能（Abnormal Interrupt Summary Enable） 该位置 1 时，会使能异常中断汇总。该位可使能 DMA 通道 0 状态寄存器中的以下中断： bit[1]：发送过程停止 bit[7]：接收缓冲区不可用 bit[8]：接收过程停止

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		bit[9]：接收看门狗超时 bit[10]：提前发送中断 bit[12]：致命总线错误 bit[13]：上下文描述符错误 该位复位时，将禁止异常中断汇总。 0：禁用异常中断汇总 1：启用异常中断汇总
13	CDEE	上下文描述符错误使能（Context Descriptor Error Enable） 当该位与 AIE 位一起置 1 时，上下文描述符错误中断被启用。该位复位时，上下文描述符错误中断被禁用。 0：禁用上下文描述符错误中断 1：启用上下文描述符错误中断
12	FBEE	致命总线错误使能（Fatal Bus Error Enable） 当该位与 AIE 位一起置 1 时，致命总线错误中断被启用。该位复位时，致命总线错误中断被禁用。 0：禁用致命总线错误中断 1：启用致命总线错误中断
11	ERIE	提前接收中断使能（Early Receive Interrupt Enable） 当该位与 NIE 位一起置 1 时，提前接收中断被启用。该位复位时，提前接收中断被禁用。 0：禁用提前接收中断 1：启用提前接收中断
10	ETIE	提前发送中断使能（Early Transmit Interrupt Enable） 当该位与 AIE 位一起置 1 时，提前发送中断被启用。该位复位时，提前发送中断被禁用。 0：禁用提前发送中断 1：启用提前发送中断
9	RWTE	接收看门狗超时使能（Receive Watchdog Timeout Enable） 当该位与 AIE 位一起置 1 时，接收看门狗超时中断被启用。该位复位时，接收看门狗超时中断被禁用。 0：禁用接收看门狗超时中断 1：启用接收看门狗超时中断
8	RSE	接收停止使能（Receive Stopped Enable） 当该位与 AIE 位一起置 1 时，接收停止中断被启用。该位复位时，接收停止中断被禁用。 0：禁用接收停止中断 1：启用接收停止中断
7	RBUE	接收缓冲区不可用使能（Receive Buffer Unavailable Enable） 当该位与 AIE 位一起置 1 时，接收缓冲区不可用中断被启用。该位复位时，接收缓冲区不可用中断被禁用。 0：禁用接收缓冲区不可用中断 1：启用接收缓冲区不可用中断
6	RIE	接收中断使能（Receive Interrupt Enable）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		当该位与 NIE 位一起置 1 时，接收中断被启用。该位复位时，接收中断被禁用。 0：禁用接收中断 1：启用接收中断
5:3	Reserved	保留，必须保持复位值。
2	TBUE	发送缓冲区不可用使能（Transmit Buffer Unavailable Enable） 当该位与 NIE 位一起置 1 时，发送缓冲区不可用中断被启用。该位复位时，发送缓冲区不可用中断被禁用。 0：禁用发送缓冲区不可用中断 1：启用发送缓冲区不可用中断
1	TXSE	发送停止使能（Transmit Stopped Enable） 当该位与 AIE 位一起置 1 时，发送停止中断被启用。该位复位时，发送停止中断被禁用。 0：禁用发送停止中断 1：启用发送停止中断
0	TIE	发送中断使能（Transmit Interrupt Enable） 当该位与 NIE 位一起置 1 时，发送中断被启用。该位复位时，发送中断被禁用。 0：禁用发送中断 1：启用发送中断

34.6.3.15 ETH DMA 通道 0 接收中断看门狗定时器寄存器（ETH_DMACH0RXINTWT）

偏移地址：0x1138

复位值：0x0000 0000

该寄存器指示 DMA 接收中断的看门狗超时。向该寄存器写入非零值时，将针对 DMA 通道状态寄存器的 RI 位使能看门狗定时器。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved														RWTU	
														rw	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved								RWT							
								rw							

位域	名称	描述
31:18	Reserved	保留，必须保持复位值。
17:16	RWTU	接收中断看门狗定时器计数单位（Receive Interrupt Watchdog Timer Count Units） 该字段表示 RWT 字段中一个单位对应的系统时钟周期数。 00：256 01：512 10：1024 11：2048

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		例如，当 RWT = 2 和 RWTU = 1 时，看门狗定时器设置的周期则为：2×512 = 1024 个系统时钟周期。
15:8	Reserved	保留，必须保持复位值。
7:0	RWT	接收中断看门狗定时器计数（Receive Interrupt Watchdog Timer Count） 该字段表示看门狗定时器被设置的系统时钟周期数（乘以 RWTU 字段中指示的系数）。 当 Rx DMA 完成一个在 DMA 通道 0 状态寄存器中 RI 位未置 1 的数据包的传输后，看门狗定时器将以编程值触发，因为相应描述符中的中断使能位 RDES3[30]已置 1。 当看门狗定时器计数结束时，RI 位被置位，定时器停止。当 RI 位被设置为高电平时，看门狗定时器将被重置，因为任何接收到的数据包都会根据中断使能位 RDES3[30]自动设置 RI。

34.6.3.16 ETH DMA 通道 0 当前应用程序发送描述符寄存器（ETH_DMACH0CATXD）

偏移地址：0x1144

复位值：0x0000 0000

该寄存器指向 DMA 读取的当前发送描述符。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CURTDESAPTR[31:16]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CURTDESAPTR[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:0	CURTDESAPTR	应用程序发送描述符地址指针（Application Transmit Descriptor Address Pointer） 在 Tx 操作期间，DMA 会更新该指针。该指针在复位时清零。

34.6.3.17 ETH DMA 通道 0 当前应用程序接收描述符寄存器（ETH_DMACH0CARXD）

偏移地址：0x114C

复位值：0x0000 0000

该寄存器指向 DMA 读取的当前接收描述符。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CURRDESAPTR[31:16]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CURRDESAPTR[15:0]															

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

r

位域	名称	描述
31:0	CURRDESAPTR	应用程序接收描述符地址指针（Application Receive Descriptor Address Pointer） 在 Rx 操作期间，DMA 会更新该指针。该指针在复位时清零。

34.6.3.18 ETH DMA 通道 0 当前应用程序发送缓冲区寄存器（ETH_DMACH0CATXB）

偏移地址：0x1154

复位值：0x0000 0000

该寄存器指向 DMA 读取的当前发送缓冲区地址。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CURTBUFAPTR[31:16]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CURTBUFAPTR[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:0	CURTBUFAPTR	应用程序发送缓冲区地址指针（Application Transmit Buffer Address Pointer） 在 Tx 操作期间，DMA 会更新该指针。该指针在复位时清零。

34.6.3.19 ETH DMA 通道 0 当前应用程序接收缓冲区寄存器（ETH_DMACH0CARXB）

偏移地址：0x115C

复位值：0x0000 0000

该寄存器指向 DMA 读取的当前接收缓冲区地址。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CURRBUFAPTR[31:16]															
r															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CURRBUFAPTR[15:0]															
r															

位域	名称	描述
31:0	CURRBUFAPTR	应用程序接收缓冲区地址指针（Application Receive Buffer Address Pointer） 在 Rx 操作期间，DMA 会更新该指针。该指针在复位时清零。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

34.6.3.20 ETH DMA 通道 0 状态寄存器（ETH_DMACH0STS）

偏移地址：0x1160

复位值：0x0000 0000

软件驱动程序（应用程序）在中断服务例程或轮询期间读取状态寄存器，以确定 DMA 的状态。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved										REB			TEB		
											r			r	

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
NIS	AIS	CDE	FBE	ERI	ETI	RWT	RPS	RBU	RI	Reserved			TBU	TPS	TI
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw				rw	rw	rw

位域	名称	描述
31:22	Reserved	保留，必须保持复位值。
21:19	REB	Rx DMA 错误位（Rx DMA Error Bits） 该字段指示导致总线错误的错误类型。例如，AHB 接口上的错误响应。 ● bit[21]： 1：Rx DMA 传输数据时出错 0：Rx DMA 传输数据时未出错 ● bit[20]： 1：访问描述符时出错 0：访问数据缓冲区时出错 ● bit[19]： 1：读传输时出错 0：写传输时出错 只有在 FBE 位置 1 时，该字段才有效。此字段不会产生中断。
18:16	TEB	Tx DMA 错误位（Tx DMA Error Bits） 该字段指示导致总线错误的错误类型。例如，AHB 接口上的错误响应。 ● bit[18]： 1：Tx DMA 传输数据时出错 0：Tx DMA 传输数据时未出错 ● bit[17]： 1：访问描述符时出错 0：访问数据缓冲区时出错 ● bit[16]： 1：读传输时出错 0：写传输时出错 只有在 FBE 位置 1 时，该字段才有效。此字段不会产生中断。
15	NIS	正常中断汇总（Normal Interrupt Summary） 当 DMA 通道 0 中断使能寄存器中的相应中断位被使能时，正常中断汇总位的值为以下位的逻辑或（OR）： bit[0]：发送中断 bit[2]：发送缓冲区不可用 bit[6]：接收中断 bit[11]：提前接收中断 只有未屏蔽位（在 DMA 通道 0 中断使能寄存器中设置了中断使能的中断）才会

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		影响正常中断汇总位。 每次清除导致 NIS 置 1 的相应位时，都必须清除该位（向该位写 1）。 0：未检测到正常中断汇总状态 1：检测到正常中断汇总状态 *注：该位有访问限制，内部事件时自动置 1，写 1 清零，写 0 无影响。*
14	AIS	异常中断汇总（Abnormal Interrupt Summary） 当 DMA 通道 0 中断使能寄存器中的相应中断位被使能时，正常中断汇总位的值为以下位的逻辑或（OR）： bit[1]：发送过程停止 bit[7]：接收缓冲区不可用 bit[8]：接收过程停止 bit[9]：接收看门狗超时 bit[10]：提前发送中断 bit[12]：致命总线错误 bit[13]：上下文描述符错误 只有未屏蔽位（在 DMA 通道 0 中断使能寄存器中设置了中断使能的中断）才会影响正常中断汇总位。 每次清除导致 NIS 置 1 的相应位时，都必须清除该位（向该位写 1）。 0：未检测到异常中断汇总状态 1：检测到异常中断汇总状态 *注：该位有访问限制，内部事件时自动置 1，写 1 清零，写 0 无影响。*
13	CDE	上下文描述符错误（Context Descriptor Error） 该位指示 DMA Tx/Rx 引擎接收到了一个描述符错误，这表明在数据包流中间出现了无效上下文（中间描述符），或者在发送情况下表示所有的描述符都无效；而在接收侧，这表示 DMA 读取的描述符的缓冲区地址全部为 1，这在许多情况下都被视为无效。 0：未检测到上下文描述符错误状态 1：检测到上下文描述符错误状态 *注：该位有访问限制，内部事件时自动置 1，写 1 清零，写 0 无影响。*
12	FBE	致命总线错误（Fatal Bus Error） 该位指示发生了总线错误（如 TEB/REB 字段所述）。当该位被置 1 时，相应的 DMA 通道引擎将禁止所有总线访问。 0：未检测到致命总线错误状态 1：检测到致命总线错误状态 *注：该位有访问限制，内部事件时自动置 1，写 1 清零，写 0 无影响。*
11	ERI	提前接收中断（Early Receive Interrupt） 当该位被置 1 时，指示 Rx DMA 已完成数据包数据到内存的传输。 ERIC = 0 时：只有在 Rx DMA 用数据包数据完全填满接收缓冲区后才会设置该位。 ERIC = 1 时：每次从 Rx DMA 向缓冲区突发传输数据后，都会设置该位。 设置 RI 位会自动清除该位。 0：未检测到提前接收中断状态 1：检测到提前接收中断状态

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		注：该位有访问限制，内部事件时自动置 1，写 1 清零，写 0 无影响。
10	ETI	提前发送中断（Early Transmit Interrupt） 当该位被置 1 时，指示 Tx DMA 已完成数据包数据到 MTL Tx FIFO 内存的传输。 ETIC = 0 时：只有在 Tx DMA 向 MTL 传输完一个完整数据包后，该位才会被置位。 ETIC = 1 时：在 IOC = 1 的发送描述符中的缓冲区完成（部分）数据包传输后，该位被置位。 0：未检测到提前发送中断状态 1：检测到提前发送中断状态 *注：该位有访问限制，内部事件时自动置 1，写 1 清零，写 0 无影响。*
9	RWT	接收看门狗超时（Receive Watchdog Timeout） 当接收到长度超过 2048 字节（启用巨型数据包模式时为 10240 字节）的数据包时，该位被置 1。 0：未检测到接收看门狗超时状态 1：检测到接收看门狗超时状态 *注：该位有访问限制，内部事件时自动置 1，写 1 清零，写 0 无影响。*
8	RPS	接收过程停止（Receive Process Stopped） 当接收过程进入停止状态时，该位被置 1。 0：未检测到接收过程停止状态 1：检测到接收过程停止状态 *注：该位有访问限制，内部事件时自动置 1，写 1 清零，写 0 无影响。*
7	RBU	接收缓冲区不可用（Receive Buffer Unavailable） 该位指示应用程序拥有接收列表中的下一个描述符，DMA 无法获取该描述符。Rx 过程暂停（挂起）。要恢复处理 Rx 描述符，应用程序应更改描述符的所有权，并发出接收轮询需求命令。如果未发出该命令，则在接收到下一个可识别的传入数据包时恢复 Rx 进程。 在环模式下，应用程序应将通道的接收描述符尾指针寄存器提前。只有当 DMA 拥有前一个 Rx 描述符时，该位才会被置 1。 0：未检测到接收缓冲区不可用状态 1：检测到接收缓冲区不可用状态 *注：该位有访问限制，内部事件时自动置 1，写 1 清零，写 0 无影响。*
6	RI	接收中断（Receive Interrupt） 该位指示数据包接收已完成。数据包接收完成后，最后一个描述符的 RDES3 的第 31 位将被复位，并在描述符中更新具体的数据包状态信息。 接收仍处于运行状态。 0：未检测到接收中断状态 1：检测到接收中断状态 *注：该位有访问限制，内部事件时自动置 1，写 1 清零，写 0 无影响。*
5:3	Reserved	保留，必须保持复位值。
2	TBU	发送缓冲区不可用（Transmit Buffer Unavailable） 该位指示应用程序拥有发送列表中的下一个描述符，DMA 无法获取该描述符，Tx 过程暂停（挂起）。DMA 调试状态寄存器的 TPS0 字段解释了发送过程的状态

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		转换。 要恢复处理发送描述符，应用程序应执行以下操作： ● 通过设置 TDES3 的第 31 位来更改描述符的所有权。 ● 发出发送轮询需求命令。 对于环模式，应用程序应将通道的发送描述符尾指针寄存器提前。 0：未检测到发送缓冲区不可用状态 1：检测到发送缓冲区不可用状态 *注：该位有访问限制，内部事件时自动置 1，写 1 清零，写 0 无影响。*
1	TPS	发送过程停止（Transmit Process Stopped） 当发送过程进入停止状态时，该位被置 1。 0：未检测到发送过程停止状态 1：检测到发送过程停止状态 *注：该位有访问限制，内部事件时自动置 1，写 1 清零，写 0 无影响。*
0	TI	发送中断（Transmit Interrupt） 该位指示数据包发送已完成。数据包发送完成后，最后一个描述符的 TDES3 的第 31 位将被复位，并在描述符中更新具体的数据包状态信息。 0：未检测到发送中断状态 1：检测到发送中断状态 *注：该位有访问限制，内部事件时自动置 1，写 1 清零，写 0 无影响。*

34.6.3.21 ETH DMA 通道 0 丢失帧计数寄存器（ETH_DMACH0DPCNT）

偏移地址：0x1164

复位值：0x0000 0000

该寄存器记录由于总线错误或编程 DMA 通道 0 接收控制寄存器中的 RPF 字段而被 DMA 丢弃的数据包计数器的数量。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DPCO	Reserved				DPC										
r					r										

位域	名称	描述
31:16	Reserved	保留，必须保持复位值。
15	DPCO	DPC 计数器的上溢状态（Overflow status of the DPC Counter） 该位置 1 时，DPC 计数器不会再递增。对此寄存器执行读操作时，该位清零。 *注：该位有访问限制。读清零。内部事件时自动置 1。*
14:11	Reserved	保留，必须保持复位值。
10:0	DPC	丢包计数器（Dropped Packet Counters）

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		该计数器指示因总线错误或编程 DMA 通道 0 接收控制寄存器中的 RPF 字段而被 DMA 丢弃的数据包计数器的数量。对此寄存器执行读操作时，计数器清零。 *注：该位域有访问限制。读清零。内部事件时自动置 1。*

34.6.3.22 ETH DMA 通道 0 接收 ERI 计数寄存器（ETH_DMACH0RXERICNT）

偏移地址：0x116C

复位值：0x0000 0000

该寄存器提供 ERI（提前接收中断）有效次数的计数数量。

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved				ECNT											
				r											

位域	名称	描述
31:12	Reserved	保留，必须保持复位值。
11:0	ECNT	ERI 计数器（ERI Counter） 当 DMA 通道 0 接收控制寄存器的 ERIC 位被置 1 时，Rx DMA 从数据包传输开始完成突发传输时，该计数器会递增。该计数器在新数据包开始时复位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

35 密码算法硬件加速引擎(SAC)

内嵌算法硬件加速引擎，支持多种国际算法及国家密码对称密码算法和杂凑密码算法加速，相较于纯软件算法而言能极大的提高加解密速度。

硬件支持的算法如下：

- 支持 DES 对称算法
  - 支持 DES 和 3DES 加解密运算
  - TDES 支持 2KEY 和 3KEY 模式
  - 支持 CBC 和 ECB 模式
- 支持 AES 对称算法
  - 支持 128bit/192bit/ 256bit 密钥长度
  - 支持 CBC、ECB、CTR 模式
- 支持 SM4 对称算法
  - 支持 CBC、ECB 模式
- 支持 SHA 杂凑算法
  - 支持 SHA1/SHA224/SHA256
- 支持 MD5 摘要算法
- 支持 SM3 杂凑算法
- 支持随机数生成

注：密码算法性能及使用请联系国民技术销售人员

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

36 模块级联

为了满足应用需求，部分外设支持内部信号互联。

36.1 ADC 内部触发源

ADC 规则通道和注入通道可通过多个触发源启动转换，由 ADCx_CTRL2（x=1，2，3）寄存器中的 EXTRSEL[5:0]与 EXTJSEL[5:0]分别配置，且每个 ADC 可独立配置，详见 ADC 章节寄存器说明。

EXTRSEL[5:0]、EXTRSEL[5:0]寄存器值与触发源对应关系见下表。

表 36-1 ADC 触发源

寄存器值	触发源			
	ADC1	ADC2	ADC3	说明
0	ATIM1_CC4	ATIM1_CC4	ATIM1_CC4	ATIM1 通道 4 比较输出事件
1	ATIM1_TRGO	ATIM1_TRGO	ATIM1_TRGO	ATIM1 主模式触发输出
2	ATIM1_TRGO2	ATIM1_TRGO2	ATIM1_TRGO2	ATIM1 主模式触发输出 2
3	ATIM2_CC4	ATIM2_CC4	ATIM2_CC4	ATIM2 通道 4 比较输出事件
4	ATIM2_TRGO	ATIM2_TRGO	ATIM2_TRGO	ATIM2 主模式触发输出
5	ATIM2_TRGO2	ATIM2_TRGO2	ATIM2_TRGO2	ATIM2 主模式触发输出 2
6	ATIM3_CC4	ATIM3_CC4	ATIM3_CC4	ATIM3 通道 4 比较输出事件
7	ATIM3_TRGO	ATIM3_TRGO	ATIM3_TRGO	ATIM3 主模式触发输出
8	ATIM3_TRGO2	ATIM3_TRGO2	ATIM3_TRGO2	ATIM3 主模式触发输出 2
9	GTIM1_CC4	GTIM1_CC4	GTIM1_CC4	GTIM1 通道 4 比较输出事件
10	GTIM2_CC4	GTIM2_CC4	GTIM2_CC4	GTIM2 通道 4 比较输出事件
11	GTIM3_CC4	GTIM3_CC4	GTIM3_CC4	GTIM3 通道 4 比较输出事件
12	GTIM4_CC4	GTIM4_CC4	GTIM4_CC4	GTIM4 通道 4 比较输出事件
13	GTIM5_CC4	GTIM5_CC4	GTIM5_CC4	GTIM5 通道 4 比较输出事件
14	GTIM6_CC4	GTIM6_CC4	GTIM6_CC4	GTIM6 通道 4 比较输出事件
15	GTIM7_CC4	GTIM7_CC4	GTIM7_CC4	GTIM7 通道 4 比较输出事件
16	GTIM8_CC4	GTIM8_CC4	GTIM8_CC4	GTIM8 通道 4 比较输出事件
17	GTIM9_CC4	GTIM9_CC4	GTIM9_CC4	GTIM9 通道 4 比较输出事件
18	GTIM10_CC4	GTIM10_CC4	GTIM10_CC4	GTIM10 通道 4 比较输出事件
19	GTIM1_TRGO	GTIM1_TRGO	GTIM1_TRGO	GTIM1 主模式触发输出
20	GTIM2_TRGO	GTIM2_TRGO	GTIM2_TRGO	GTIM2 主模式触发输出
21	GTIM3_TRGO	GTIM3_TRGO	GTIM3_TRGO	GTIM3 主模式触发输出
22	GTIM4_TRGO	GTIM4_TRGO	GTIM4_TRGO	GTIM4 主模式触发输出
23	GTIM5_TRGO	GTIM5_TRGO	GTIM5_TRGO	GTIM5 主模式触发输出
24	GTIM6_TRGO	GTIM6_TRGO	GTIM6_TRGO	GTIM6 主模式触发输出
25	GTIM7_TRGO	GTIM7_TRGO	GTIM7_TRGO	GTIM7 主模式触发输出
26	GTIM8_TRGO	GTIM8_TRGO	GTIM8_TRGO	GTIM8 主模式触发输出
27	GTIM9_TRGO	GTIM9_TRGO	GTIM9_TRGO	GTIM9 主模式触发输出
28	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO	GTIM10 主模式触发输出
29~38	保留未使用	保留未使用	保留未使用	

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.

地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

寄存器值	触发源			
	ADC1	ADC2	ADC3	说明
39	LPTIM1_OUT	LPTIM1_OUT	LPTIM1_OUT	LPTIM1 比较输出
40	LPTIM2_OUT	LPTIM2_OUT	LPTIM2_OUT	LPTIM2 比较输出
41	EXTI0～15	EXTI0～15	EXTI0～15	外部中断通道 0～15 中的任意通道
42	SWSTRRCH/ SWSRTJCH	SWSTRRCH/ SWSRTJCH	SWSTRRCH/ SWSRTJCH	软件触发（规则/注入通道）
43~63	保留未使用	保留未使用	保留未使用	

36.2 DAC 内部触发源

DAC 的伪噪声、三角波和锯齿波更新/复位和锯齿波步进支持多个内部触发源。通过 DACxy_SELCTRL 寄存器中的 TxSEL[4:0]、TySEL[4:0]、STINCSELx[4:0] 、STINCSELy[4:0]分别配置(x=1,y=2)，且每个 DAC 可独立配置，详见 DAC 章节寄存器说明。

TxSEL[4:0]、TySEL[4:0]寄存器值与伪噪声、三角波和锯齿波更新/复位触发源对应关系见下表。

表 36-2 DAC 更新/复位触发源

寄存器值	更新/复位触发源		
	DAC1	DAC2	说明
0	SW	SW	软件触发
1	ATIM1_TRGO	ATIM1_TRGO	ATIM1 主模式触发输出
2	ATIM2_TRGO	ATIM2_TRGO	ATIM2 主模式触发输出
3	ATIM3_TRGO	ATIM3_TRGO	ATIM3 主模式触发输出
4	保留未使用	保留未使用	
5	GTIM1_TRGO	GTIM1_TRGO	GTIM1 主模式触发输出
6	GTIM2_TRGO	GTIM2_TRGO	GTIM2 主模式触发输出
7	GTIM3_TRGO	GTIM3_TRGO	GTIM3 主模式触发输出
8	GTIM4_TRGO	GTIM4_TRGO	GTIM4 主模式触发输出
9	GTIM5_TRGO	GTIM5_TRGO	GTIM5 主模式触发输出
10	GTIM6_TRGO	GTIM6_TRGO	GTIM6 主模式触发输出
11	GTIM7_TRGO	GTIM7_TRGO	GTIM7 主模式触发输出
12	GTIM8_TRGO	GTIM8_TRGO	GTIM8 主模式触发输出
13	GTIM9_TRGO	GTIM9_TRGO	GTIM9 主模式触发输出
14	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO	GTIM10 主模式触发输出
15	EXTI5	EXTI5	外部中断通道 5
16	EXTI7	EXTI7	外部中断通道 7
17	EXTI9	EXTI9	外部中断通道 9
18~31	保留未使用	保留未使用	

STINCSELx[4:0] 、STINCSELy[4:0]寄存器值与锯齿波步进触发源对应关系见下表。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 36-3 DAC1/2 步进触发源

寄存器值	步进触发源		
	DAC1	DAC2	说明
0	SW	SW	软件触发
1	ATIM1_TRGO	ATIM1_TRGO	ATIM1 主模式触发输出
2	ATIM2_TRGO	ATIM2_TRGO	ATIM2 主模式触发输出
3	ATIM3_TRGO	ATIM3_TRGO	ATIM3 主模式触发输出
4	保留未使用	保留未使用	
5	GTIM1_TRGO	GTIM1_TRGO	GTIM1 主模式触发输出
6	GTIM2_TRGO	GTIM2_TRGO	GTIM2 主模式触发输出
7	GTIM3_TRGO	GTIM3_TRGO	GTIM3 主模式触发输出
8	GTIM4_TRGO	GTIM4_TRGO	GTIM4 主模式触发输出
9	GTIM5_TRGO	GTIM5_TRGO	GTIM5 主模式触发输出
10	GTIM6_TRGO	GTIM6_TRGO	GTIM6 主模式触发输出
11	GTIM7_TRGO	GTIM7_TRGO	GTIM7 主模式触发输出
12	GTIM8_TRGO	GTIM8_TRGO	GTIM8 主模式触发输出
13	GTIM9_TRGO	GTIM9_TRGO	GTIM9 主模式触发输出
14	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO	GTIM10 主模式触发输出
15	EXTI6	EXTI6	外部中断通道 6
16	EXTI8	EXTI8	外部中断通道 8
17	EXTI10	EXTI10	外部中断通道 10

36.3 ATIM/GTIM 内部触发输入

定时器 ATIM1~3、GTIM1~10 支持多个内部触发输入信号 tim_itr[15:0]，可在从模式下作为参考时钟，且每个定时器可通过 TIMx_INSEL 寄存器中的 ITRS[3:0]独立配置，详见 ATIM/GTIM 章节说明。

内部触发输入信号源如下表所示：

表 36-4 ATIM1~3/GTIM1~4 内部触发输入信号源

触发输入	触发输入信号源						
	ATIM1	ATIM2	ATIM3	GTIM1	GTIM2	GTIM3	GTIM4
tim_itr0	保留未使用	ATIM1_TRGO	ATIM1_TRGO	ATIM1_TRGO	ATIM1_TRGO	ATIM1_TRGO	ATIM1_TRGO
tim_itr1	GTIM1_TRGO	GTIM1_TRGO	GTIM1_TRGO	保留未使用	GTIM1_TRGO	GTIM1_TRGO	GTIM1_TRGO
tim_itr2	GTIM2_TRGO	GTIM2_TRGO	GTIM2_TRGO	GTIM2_TRGO	保留未使用	GTIM2_TRGO	GTIM2_TRGO
tim_itr3	GTIM3_TRGO	GTIM3_TRGO	GTIM3_TRGO	GTIM3_TRGO	GTIM3_TRGO	保留未使用	GTIM3_TRGO
tim_itr4	GTIM4_TRGO	GTIM4_TRGO	GTIM4_TRGO	GTIM4_TRGO	GTIM4_TRGO	GTIM4_TRGO	保留未使用
tim_itr5	ATIM2_TRGO	保留未使用	ATIM2_TRGO	ATIM2_TRGO	ATIM2_TRGO	ATIM2_TRGO	ATIM2_TRGO
tim_itr6	GTIM8_TRGO	GTIM8_TRGO	GTIM8_TRGO	GTIM8_TRGO	GTIM8_TRGO	GTIM8_TRGO	GTIM8_TRGO
tim_itr7	GTIM9_TRGO	GTIM9_TRGO	GTIM9_TRGO	GTIM9_TRGO	GTIM9_TRGO	GTIM9_TRGO	GTIM9_TRGO
tim_itr8	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO
tim_itr9	ATIM3_TRGO	ATIM3_TRGO	保留未使用	ATIM3_TRGO	ATIM3_TRGO	ATIM3_TRGO	ATIM3_TRGO
tim_itr10	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

触发输入	触发输入信号源						
	ATIM1	ATIM2	ATIM3	GTIM1	GTIM2	GTIM3	GTIM4
tim_itr11	保留未使用	保留未使用	保留未使用	USB_SOF_SYNC	保留未使用	保留未使用	保留未使用
tim_itr12	GTIM5_TRGO	GTIM5_TRGO	GTIM5_TRGO	GTIM5_TRGO	GTIM5_TRGO	GTIM5_TRGO	GTIM5_TRGO
tim_itr13	GTIM6_TRGO	GTIM6_TRGO	GTIM6_TRGO	GTIM6_TRGO	GTIM6_TRGO	GTIM6_TRGO	GTIM6_TRGO
tim_itr14	GTIM7_TRGO	GTIM7_TRGO	GTIM7_TRGO	GTIM7_TRGO	GTIM7_TRGO	GTIM7_TRGO	GTIM7_TRGO
tim_itr15	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用

表 36-5 GTIM5~10 内部触发输入信号源

触发输入	触发输入信号源					
	GTIM5	GTIM6	GTIM7	GTIM8	GTIM9	GTIM10
tim_itr0	ATIM1_TRGO	ATIM1_TRGO	ATIM1_TRGO	ATIM1_TRGO	ATIM1_TRGO	ATIM1_TRGO
tim_itr1	GTIM1_TRGO	GTIM1_TRGO	GTIM1_TRGO	GTIM1_TRGO	GTIM1_TRGO	GTIM1_TRGO
tim_itr2	GTIM2_TRGO	GTIM2_TRGO	GTIM2_TRGO	GTIM2_TRGO	GTIM2_TRGO	GTIM2_TRGO
tim_itr3	GTIM3_TRGO	GTIM3_TRGO	GTIM3_TRGO	GTIM3_TRGO	GTIM3_TRGO	GTIM3_TRGO
tim_itr4	GTIM4_TRGO	GTIM4_TRGO	GTIM4_TRGO	GTIM4_TRGO	GTIM4_TRGO	GTIM4_TRGO
tim_itr5	ATIM2_TRGO	ATIM2_TRGO	ATIM2_TRGO	ATIM2_TRGO	ATIM2_TRGO	ATIM2_TRGO
tim_itr6	GTIM8_TRGO	GTIM8_TRGO	GTIM8_TRGO	保留未使用	GTIM8_TRGO	GTIM8_TRGO
tim_itr7	GTIM9_TRGO	GTIM9_TRGO	GTIM9_TRGO	GTIM9_TRGO	保留未使用	GTIM9_TRGO
tim_itr8	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO	GTIM10_TRGO	保留未使用
tim_itr9	ATIM3_TRGO	ATIM3_TRGO	ATIM3_TRGO	ATIM3_TRGO	ATIM3_TRGO	ATIM3_TRGO
tim_itr10	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用
tim_itr11	FDCAN1_SOC	FDCAN2_SOC	ETH_PTP	保留未使用	保留未使用	保留未使用
tim_itr12	保留未使用	GTIM5_TRGO	GTIM5_TRGO	GTIM5_TRGO	GTIM5_TRGO	GTIM5_TRGO
tim_itr13	GTIM6_TRGO	保留未使用	GTIM6_TRGO	GTIM6_TRGO	GTIM6_TRGO	GTIM6_TRGO
tim_itr14	GTIM7_TRGO	GTIM7_TRGO	保留未使用	GTIM7_TRGO	GTIM7_TRGO	GTIM7_TRGO
tim_itr15	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用

36.4 ATIM/GTIM 外部触发输入

定时器 ATIM1~3、GTIM1~10 支持多个外部触发输入信号 tim_etr[15:0]，可在从模式下用作参考时钟，也可用作触发输入，且每个定时器可通过 TIMx_INSEL 寄存器中的 ETRS[3:0]独立配置，详见 ATIM/GTIM 章节说明。

外部触发输入信号源如下所示：

表 36-6 ATIM1~3/GTIM1~4 外部触发输入信号源

触发输入	触发输入信号源						
	ATIM1	ATIM2	ATIM3	GTIM1	GTIM2	GTIM3	GTIM4
tim_etr0	ATIM1_ETR	ATIM2_ETR	ATIM3_ETR	GTIM1_ETR	GTIM2_ETR	GTIM3_ETR	GTIM4_ETR
tim_etr[7:1]	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用
tim_etr8	ADC1_AWD1	ADC2_AWD1	ADC3_AWD1	GTIM2_ETR	GTIM1_ETR	GTIM2_ETR	GTIM1_ETR

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

触发输入	触发输入信号源						
	ATIM1	ATIM2	ATIM3	GTIM1	GTIM2	GTIM3	GTIM4
tim_etr9	ADC1_AWD2	ADC2_AWD2	ADC3_AWD2	GTIM8_ETR	GTIM3_ETR	GTIM4_ETR	GTIM2_ETR
tim_etr10	ADC1_AWD3	ADC2_AWD3	ADC3_AWD3	ADC1_AWD3	GTIM9_ETR	GTIM10_ETR	GTIM8_ETR
tim_etr11	保留未使用	ADC3_AWD1	ADC1_AWD1	LSE	ADC2_AWD1	ADC3_AWD1	保留未使用
tim_etr12	保留未使用	ADC3_AWD2	ADC1_AWD2	ADC1_AWD1	ADC2_AWD2	ADC3_AWD2	保留未使用
tim_etr13	保留未使用	ADC3_AWD3	ADC1_AWD3	ADC1_AWD2	ADC2_AWD3	ADC3_AWD3	保留未使用
tim_etr[14:15]	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用

表 36-7 GTIM5~10 外部触发输入信号源

触发输入	触发输入信号源					
	GTIM5	GTIM6	GTIM7	GTIM8	GTIM9	GTIM10
tim_etr0	GTIM5_ETR	GTIM6_ETR	GTIM7_ETR	GTIM8_ETR	GTIM9_ETR	GTIM10_ETR
tim_etr[7:1]	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用
tim_etr8	GTIM6_ETR	GTIM5_ETR	GTIM5_ETR	GTIM9_ETR	GTIM8_ETR	GTIM8_ETR
tim_etr9	GTIM7_ETR	GTIM7_ETR	GTIM6_ETR	GTIM10_ETR	GTIM10_ETR	GTIM9_ETR
tim_etr10	GTIM9_ETR	GTIM10_ETR	GTIM8_ETR	GTIM1_ETR	GTIM2_ETR	GTIM3_ETR
tim_etr11	ADC1_AWD1	ADC2_AWD1	ADC3_AWD1	保留未使用	ADC1_AWD1	ADC2_AWD1
tim_etr12	ADC1_AWD2	ADC2_AWD2	ADC3_AWD2	保留未使用	ADC1_AWD2	ADC2_AWD2
tim_etr13	ADC1_AWD3	ADC2_AWD3	ADC3_AWD3	保留未使用	ADC1_AWD3	ADC2_AWD3
tim_etr[14:15]	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用

36.5 ATIM/GTIM 输入通道

定时器 ATIM1~3、GTIM1~10 输入通道支持外部引脚输入，也支持内部信号。每个输入通道支持多个输入信号源 tim_tix_in[15:0] （x=1~4），通过 TIMx_INSEL 寄存器中的 TIxS[3:0]配置，详见 ATIM/GTIM 章节说明。

输入通道信号源如下所示：

表 36-8 ATIM1~3/GTIM1~4 输入通道 1 信号源

输入信号	信号源						
	ATIM1	ATIM2	ATIM3	GTIM1	GTIM2	GTIM3	GTIM4
tim_ti1_in[0]	ATIM1_CH1	ATIM2_ CH1	ATIM3_ CH1	GTIM1_ CH1	GTIM2_ CH1	GTIM3_ CH1	GTIM4_ CH1
tim_ti1_in [15:1]	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用

表 36-9 GTIM5~10 输入通道 1 信号源

输入信号	信号源					
	GTIM5	GTIM6	GTIM7	GTIM8	GTIM9	GTIM10
tim_ti1_in[0]	GTIM5_ CH1	GTIM6_ CH1	GTIM7_ CH1	GTIM8_ CH1	GTIM9_ CH1	GTIM10_ CH1
tim_ti1_in [4:1]	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用
tim_ti1_in[5]	LSI	FDCAN2_TMP	HSE/128	保留未使用	保留未使用	保留未使用

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900　传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

输入信号	信号源					
	GTIM5	GTIM6	GTIM7	GTIM8	GTIM9	GTIM10
tim_ti1_in[6]	FDCAN1_TMP	RTC_WAKE_UP	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用
tim_ti1_in[7]	FDCAN1_RTP	FDCAN2_RTP	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用
tim_ti1_in [15:8]	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用

表 36-10 ATIM1~3/GTIM1~4 输入通道 2 信号源

输入信号	信号源						
	ATIM1	ATIM2	ATIM3	GTIM1	GTIM2	GTIM3	GTIM4
tim_ti1_in[0]	ATIM1_CH2	ATIM2_ CH2	ATIM3_ CH2	GTIM1_ CH2	GTIM2_ CH2	GTIM3_ CH2	GTIM4_ CH2
tim_ti1_in[1]	GTIM7_CC1	GTIM7_CC2	GTIM7_CC3	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用
tim_ti1_in [3:2]	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用
tim_ti1_in[4]	保留未使用	保留未使用	保留未使用	GTIM6_CC1	GTIM6_CC2	GTIM6_CC3	GTIM6_CC4
tim_ti1_in [15:5]	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用

表 36-11 GTIM5~10 输入通道 2 信号源

输入信号	信号源					
	GTIM5	GTIM6	GTIM7	GTIM8	GTIM9	GTIM10
tim_ti1_in[0]	GTIM5_ CH2	GTIM6_ CH2	GTIM7_ CH2	GTIM8_ CH2	GTIM9_ CH2	GTIM10_ CH2
tim_ti1_in [3:1]	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用
tim_ti1_in[4]	LSE	HSE/128	LSI	GTIM7_CC3	GTIM7_CC4	GTIM7_CC3
tim_ti1_in [15:5]	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用

表 36-12 ATIM1~3/GTIM1~4 输入通道 3 信号源

输入信号	信号源						
	ATIM1	ATIM2	ATIM3	GTIM1	GTIM2	GTIM3	GTIM4
tim_ti1_in[0]	ATIM1_CH3	ATIM2_ CH3	ATIM3_ CH3	GTIM1_ CH3	GTIM2_ CH3	GTIM3_ CH3	GTIM4_ CH3
tim_ti1_in [15:1]	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用

表 36-13 GTIM5~10 输入通道 3 信号源

输入信号	信号源					
	GTIM5	GTIM6	GTIM7	GTIM8	GTIM9	GTIM10
tim_ti1_in[0]	GTIM5_ CH3	GTIM6_ CH3	GTIM7_ CH3	GTIM8_ CH3	GTIM9_ CH3	GTIM10_ CH3
tim_ti1_in [1]	HSE/128	LSI	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用
tim_ti1_in [15:2]	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用

表 36-14 ATIM1~3/GTIM1~4 输入通道 4 信号源

输入信号	信号源						
	ATIM1	ATIM2	ATIM3	GTIM1	GTIM2	GTIM3	GTIM4
tim_ti1_in[0]	ATIM1_CH4	ATIM2_ CH4	ATIM3_ CH4	GTIM1_ CH4	GTIM2_ CH4	GTIM3_ CH4	GTIM4_ CH4
tim_ti1_in [15:1]	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

表 36-15 GTIM5~10 输入通道 4 信号源

输入信号	信号源					
	GTIM5	GTIM6	GTIM7	GTIM8	GTIM9	GTIM10
tim_ti1_in[0]	GTIM5_ CH4	GTIM6_ CH4	GTIM7_ CH4	GTIM8_ CH4	GTIM9_ CH4	GTIM10_ CH4
tim_ti1_in [1]	保留未使用	MCO	MCO2	保留未使用	保留未使用	保留未使用
tim_ti1_in [2]	RTC_WAKE_UP	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用
tim_ti1_in [15:3]	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用

36.6 ATIM/GTIM 刹车输入

定时器 ATIM1~3、GTIM8~10 刹车信号支持外部引脚输入，也支持内部信号输入，详见 ATIM/GTIM 章节描述。刹车输入信号源如下所示：

表 36-16 ATIM1~3/GTIM8~10 刹车 1 输入信号源

输入信号	刹车 1 输入信号源					
	ATIM1	ATIM2	ATIM3	GTIM8	GTIM9	GTIM10
TIM_BKIN	ATIM1_BKIN	ATIM2_BKIN	ATIM3_BKIN	GTIM8_BKIN	GTIM9_BKIN	GTIM10_BKIN
tim_brk_in1	dsmu_brk0	dsmu_brk0	dsmu_brk0	dsmu_brk0	保留未使用	保留未使用
tim_brk_in2	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	dsmu_brk1	保留未使用
tim_brk_in3	dsmu_brk2	dsmu_brk2	dsmu_brk2	保留未使用	保留未使用	dsmu_brk2
tim_brk_in4	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用	保留未使用

表 36-17 ATIM1~3 刹车 2 输入信号源

输入信号	刹车 2 输入信号源		
	ATIM1	ATIM2	ATIM3
TIM_BKIN2	ATIM1_BKIN2	ATIM2_BKIN2	ATIM3_BKIN2
tim_brk2_in1	保留未使用	保留未使用	保留未使用
tim_brk2_in2	dsmu_brk1	dsmu_brk1	dsmu_brk1
tim_brk_in3	保留未使用	保留未使用	保留未使用
tim_brk_in4	dsmu_brk3	dsmu_brk3	dsmu_brk3

36.7 LPTIM 启动触发信号

LPTIM1~2 支持外部 ETR 管脚或内部信号触发启动，可通过 LPTIMx_CFG（x=1,2）寄存器中的 TRGSEL[3:0]配置。TRGSEL[3:0]寄存器值与触发信号源对应关系见下表：

表 36-18 LPTIM1~2 触发信号源

寄存器值	LPTIM1	LPTIM2
0	LPTIM1_ETR	LPTIM2_ETR
1	RTC_ALARM_A	RTC_ALARM_A
2	RTC_ALARM_B	RTC_ALARM_B
3	RTC_TAMP1	RTC_TAMP1
4	RTC_TAMP2	RTC_TAMP2
5	RTC_TAMP3	RTC_TAMP3

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

寄存器值	LPTIM1	LPTIM2
6~15	保留未使用	保留未使用

36.8 DSMU 注入转换触发信号

DSMU 注入转换的触发信号可以通过 DSMU_FLTxCTRL1 寄存器中的 JEXTSEL[4 :0]位进行配置。触发信号源如下所示：

表 36-19 DSMU 注入转换触发信号源

触发信号	信号源	说明
dsmu_jtrg0	ATIM1_TRGO	ATIM1 主模式触发输出
dsmu_jtrg 1	ATIM2_TRGO	ATIM2 主模式触发输出
dsmu_jtrg 2	ATIM3_TRGO	ATIM3 主模式触发输出
dsmu_jtrg 3	GTIM1_TRGO	GTIM1 主模式触发输出
dsmu_jtrg 4	GTIM2_TRGO	GTIM2 主模式触发输出
dsmu_jtrg 5	GTIM3_TRGO	GTIM3 主模式触发输出
dsmu_jtrg 6	GTIM4_TRGO	GTIM4 主模式触发输出
dsmu_jtrg 7	GTIM5_TRGO	GTIM5 主模式触发输出
dsmu_jtrg 8	GTIM6_TRGO	GTIM6 主模式触发输出
dsmu_jtrg 9	GTIM7_TRGO	GTIM7 主模式触发输出
dsmu_jtrg 10	GTIM8_TRGO	GTIM8 主模式触发输出
dsmu_jtrg 11	GTIM9_TRGO	GTIM9 主模式触发输出
dsmu_jtrg 12	GTIM10_TRGO	GTIM10 主模式触发输出
dsmu_jtrg 13	ATIM1_TRGO2	ATIM1 主模式触发输出 2
dsmu_jtrg 14	ATIM2_TRGO2	ATIM2 主模式触发输出 2
dsmu_jtrg 15	ATIM3_TRGO2	ATIM3 主模式触发输出 2
dsmu_jtrg 16	EXTI6	外部中断通道 6
dsmu_jtrg 17	EXTI7	外部中断通道 7
dsmu_jtrg 18	EXTI8	外部中断通道 8
dsmu_jtrg 19	EXTI9	外部中断通道 9
dsmu_jtrg 20	EXTI10	外部中断通道 10
dsmu_jtrg 21	EXTI11	外部中断通道 11
dsmu_jtrg 22	EXTI12	外部中断通道 12
dsmu_jtrg 23	EXTI13	外部中断通道 13
dsmu_jtrg 24	EXTI14	外部中断通道 14
dsmu_jtrg 25	EXTI15	外部中断通道 15
dsmu_jtrg 26	LPTIM1_OUT	LPTIM1 比较输出
dsmu_jtrg 27	LPTIM2_OUT	LPTIM2 比较输出
dsmu_jtrg 28~31	保留未使用	

36.9 FDCAN 外部输入信号

FDCAN1~2 支持外部输入事件触发与停止监视信号，通过 FDCANx_TTSS（x=1,2）寄存器中的 SEVT[1:0]

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

与 SSWT[1:0]分别配置，详见 FDCAN 章节说明。

输入信号源详见下表：

表 36-20 FDCAN 事件触发信号源

触发信号	FDCAN1	FDCAN2
EVT[0]	GTIM1_TRGO	GTIM3_TRGO
EVT[1]	GTIM2_TRGO	GTIM4_TRGO
EVT[2]	ETH_PPS	ETH_PPS
EVT[3]	保留未使用	保留未使用

表 36-21 FDCAN 停止监视信号源

触发信号	FDCAN1	FDCAN2
SWT[0]	GTIM1_TRGO	GTIM3_TRGO
SWT[1]	GTIM2_TRGO	GTIM4_TRGO
SWT[2]	ETH_PPS	ETH_PPS
SWT[3]	保留未使用	保留未使用

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

37 调试支持（DBG）

37.1 简介

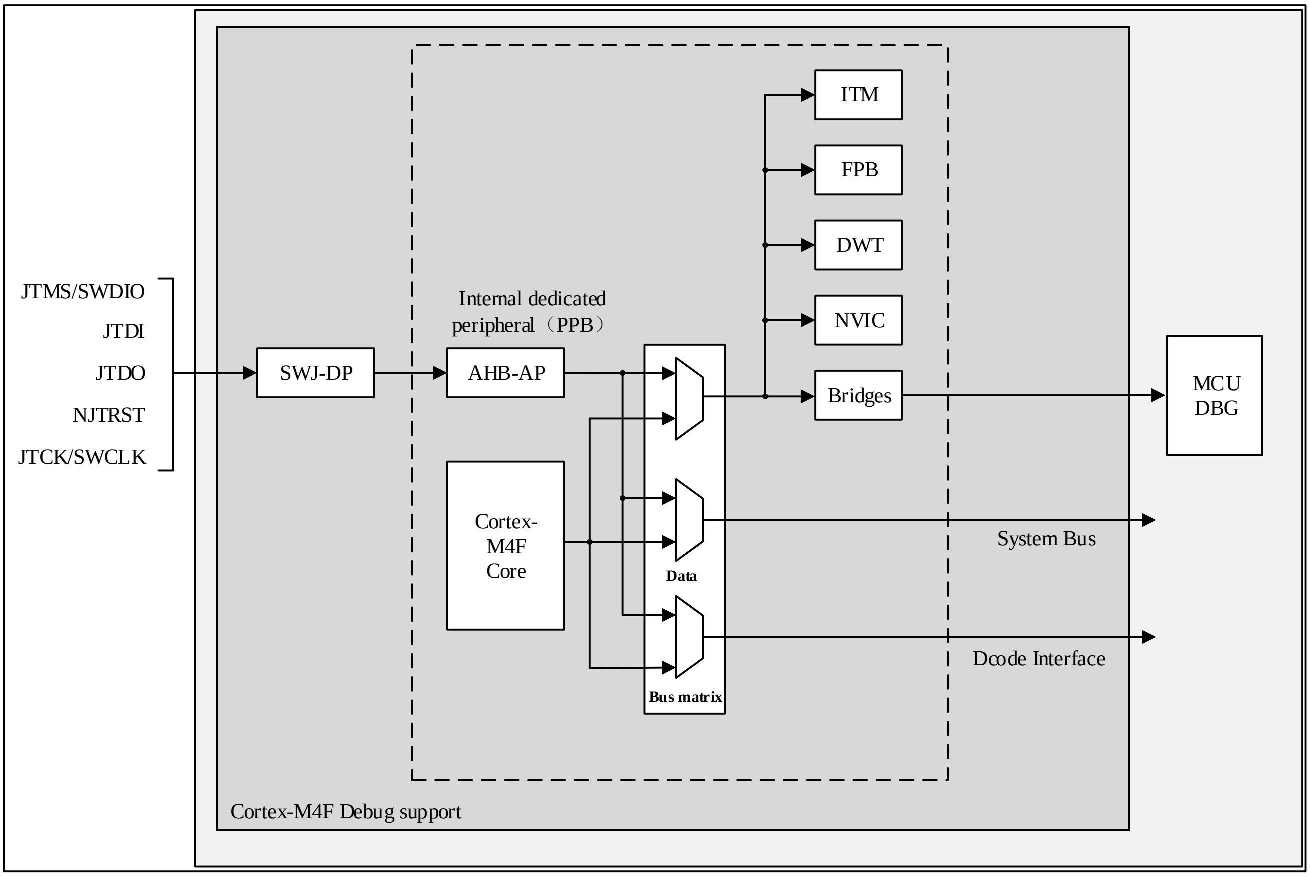
N32H49x 系列芯片使用集成硬件调试模块的 Cortex™-M4F 内核。支持指令断点（指令取值时停止）和数据断点（数据访问时停止）。当内核停止时，用户可以查看内核的内部状态和系统的外部状态。用户查询操作完成后，可以恢复内核和外设，继续执行相应的程序。内核的硬件调试模块在连接到调试器时即可使用（在未被禁用的情况下）。

支持以下调试接口：

■ 串行接口

■ JTAG 调试接口

图 37-1 芯片级别和 Cortex™-M4F 级别的调试框图



ARM Cortex™-M4F 内核硬件调试模块可提供如下调试功能：

■ SWJ-DP：串行/JTAG 调试端口

■ AHP-AP：AHB 访问端口

■ ITM：执行跟踪单元

■ FPB：闪存指令断点

■ DWT：数据触发

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

可参考：

- Cortex^{TM}-M4 技术参考手册（TRM）
- ARM 调试接口 V5 结构规范
- ARM CoreSight 开发工具集（r1p0 版）技术参考手册

调试系统支持低功耗模式调试和对部分外设的调试。支持调试的外设包括：I2C 接口和 TIMER、WWDG、IWDG 模块。用户进行低功耗调试或者外设调试时，需要将调试控制寄存器（DBG_CTRL）的相应位置 1。

37.2 JTAG/SWD 功能

调试工具可以通过上述的 SWD 调试接口或者 JTAG 调试接口来调用调试功能。

37.2.1 切换 JTAG/SWD 接口

芯片默认使用 JTAG 调试接口，如需切换调试接口，可以通过以下操作进行 SWD 接口和 JTAG 接口的相互切换：

JTAG 调试接口切换到 SWD 调试接口：

1. 发送 50 个以上 JTCK 周期的 JTMS = 1 信号；
2. 发送 16 位 JTMS = 1110011110011110（0xE79E LSB）信号；
3. 发送 50 个以上 JTCK 周期的 JTMS = 1 信号。

SWD 调试接口切换到 JTAG 调试接口：

1. 发送 50 个以上 JTCK 周期的 JTMS = 1 信号；
2. 发送 16 位 JTMS = 1110011100111100（0xE73C LSB）信号；
3. 发送 50 个以上 JTCK 周期的 JTMS = 1 信号。

37.2.2 引脚分配

JTAG 调试接口包含 5 个管脚：JTCK（JTAG 时钟管脚），JTMS（JTAG 模式选择引脚），JTDI（JTAG 数据输入管脚），JTDO（JTAG 数据输出管脚），NJTRST（JTAG 数据复位管脚，低电平复位）。

SWD（串行调试）接口包含 2 个管脚：SWCLK（时钟管脚）和 SWDIO（数据输入输出管脚）提供两个引脚的接口：数据输入输出引脚（SWDIO）和时钟引脚（SWCLK）。

JTAG 调试接口和 SWD 调试接口管脚分配见下表（SWDIO 同 JTMS 复用，SWCLK 同 JTCK 复用）：

表 37-1 调试端口引脚

调试端口	引脚分配
JTMS/SWDIO	PA13
JTCK/SWCLK	PA14
JTDI	PA15
JTDO	PB3/PG15
NJTRST	PB4

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

- JTAG 调试接口和 SWD 调试接口都使能的情况下，复位后默认使用 5 线 JTAG 调试接口。
- 使用 JTAG 接口时，用户可以不使用 NJTRST 管脚，此时可将 NJTRST 管脚（PB4，内部硬件上拉）用作通用 GPIO。
- 使用 SWD 接口时，JTDI（PA15）、JTDO（PB3/PG15）、NJTRST（PB4）三个管脚可作为通用 GPIO 使用。
- 不使用调试功能时，上述 5 个管脚都可作为通用 GPIO 使用。

37.3 MCU 调试功能

37.3.1 低功耗模式支持

提供多种低功耗模式（详细参考章节 2）。在进行调试时，要保证内核的 FCLK 和 HCLK 是开启状态，为内核调试提供必要的时钟。用户可以根据特定的操作（保证低功耗模式下 FCLK 或 HCLK 的输出），在低功耗模式下进行 MCU 调试。

用户想要在进行低功耗模式下调试 MCU，则首先需要调试器配置低功耗模式相关的寄存器：

- DBG_SLEEP 模式：

  需要配置 DBG_CTRL.SLEEP 位，为 HCLK 提供与提供给 FCLK 相同的时钟（即：原始配置的系统时钟）。

- DBG_STOP 模式：

  需要配置 DBG_CTRL.STOP 位，启动内部 RC 振荡器，为 HCLK 和 FCLK 提供时钟。

- DBG_STANDBY 模式：

  需要配置 DBG_CTRL.STDBY 位，启动内部 RC 振荡器，为 HCLK 和 FCLK 提供时钟。

37.3.2 外设调试支持

当 DBG_CTRL 寄存器中外设控制位的相应位置 1 时，当内核停止后相应的外设进入调试状态：

- Timer 外设：定时器的计数器停止并进入调试状态；
- I2C 外设：I2C 的 SMBUS 保持状态并进入调试状态；
- WWDG/IWDG 外设：WWDG/IWDG 计数器停止并进入调试状态；

37.4 寄存器

必须以字（32 位）的方式操作这些外设寄存器。寄存器的基地址为 0xE004 2000。

37.4.1 ID 寄存器（DBG_ID）

地址偏移：0x00

只支持 32 位访问，固定值不可修改。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

31:28	27:24	23:20	19:16
SRAM[3:0]	Reserved	DEV_NUM_L[3:0]	FLASH[3:0]
r		r	r

15:12	11:8	7:4	3:0
DEV_NUM_H[3:0]	DEV_NUM_M[3:0]	REV_NUM_H[3:0]	REV_NUM_L[3:0]
r	r	r	r

位域	名称	描述
31:28	SRAM[3:0]	SRAM 容量指示位。 芯片 SRAM 容量为 SRAM[3:0] * 256KB + 4KB *注：SRAM 容量基于使能 ECC 的情况计算*
27:24	Reserved	保留，必须保持复位值。
23:20	DEV_NUM_L[3:0]	设备型号的低 4 位。 设备型号由高、中、低共 12 位组成，代表芯片的型号。取值如下： ■ 0x492：基础型 N32H492 ■ 0x493：光模块应用型 N32H493 ■ 0x497：高容量型 N32H497
19:16	FLASH[3:0]	FLASH 容量指示位。 芯片 FLASH 容量为 FLASH[3:0] *512KB
15:12	DEV_NUM_H[3:0]	设备型号的高 4 位。 见 DEV_NUM_L[3:0]的说明。
11:8	DEV_NUM_M[3:0]	设备型号的中 4 位。 见 DEV_NUM_L[3:0]的说明。
7:4	REV_NUM_H[3:0]	芯片版本号高 4 位。
3:0	REV_NUM_L[3:0]	芯片版本号低 4 位。

37.4.2 调试控制寄存器（DBG_CTRL）

地址偏移：0x04

POR 复位值：0x0000 0000（系统复位不会重置）

31:29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved	GTIM10_STOP	GTIM9_STOP	GTIM8_STOP	GTIM7_STOP	GTIM6_STOP	GTIM5_STOP	GTIM4_STOP	GTIM3_STOP	GTIM2_STOP	GTIM1_STOP	BTIM2_STOP	BTIM1_STOP	ATIM3_STOP
	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw		rw	rw	rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7:3	2	1	0
ATIM2_STOP	ATIM1_STOP	I2C4SMBUS_TIMEOUT	I2C3SMBUS_TIMEOUT	I2C2SMBUS_TIMEOUT	I2C1SMBUS_TIMEOUT	WWDG_STOP	IWDG_STOP	Reserved	STDBY	STOP	SLEEP
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw		rw	rw	rw

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
31:29	Reserved	保留，必须保持复位值。
28:19	GTIMx_STOP	当内核停止时通用定时器计数器停止工作（x=10,9,8,7,6,5,4,3,2,1）。 由软件置 1 或清零。 0: 所选通用定时器的计数器仍正常工作； 1: 所选通用定时器的计数器停止工作。
18:17	BTIMx_STOP	当内核停止时基本定时器计数器停止工作（x=2,1）。 由软件置 1 或清零。 0: 所选基本定时器的计数器仍正常工作； 1: 所选基本定时器的计数器停止工作。
16:14	ATIMx_STOP	当内核停止时高级定时器计数器停止工作（x=3,2,1）。 由软件置 1 或清零。 0: 所选高级定时器的计数器仍正常工作； 1: 所选高级定时器的计数器停止工作。
13:10	I2CxSMBUS_TIMEOUT	当内核停止时停止 SMBUS 超时模式（x=4,3,2,1）。 由软件置 1 或清零。 0：与正常模式操作相同； 1：冻结 SMBUS 的超时控制。
9	WWDG_STOP	当内核进入调试状态时，调试窗口看门狗停止工作。 由软件置 1 或清零。 0: 窗口看门狗计数器仍正常工作； 1: 窗口看门狗计数器停止工作。
8	IWDG_STOP	当内核进入调试状态时，看门狗停止工作。 由软件置 1 或清零。 0: 门狗计数器仍然正常工作； 1: 看门狗计数器停止工作。
7:3	Reserved	保留，必须保持复位值。
2	STDBY	调试待机模式。 由软件置 1 或清零。 0: (FCLK 关、HCLK 关) 整个数字电路部分都断电。从软件的角度来看，退出 STANDBY 模式与复位相同（除了一些状态位指示微控制器刚从 STANDBY 状态退出）。 1:(FCLK 开、HCLK 开) 数字电路部分不掉电，FCLK 和 HCLK 时钟由内部 RLD 振荡器提供时钟。另外，微控制器通过产生系统复位来退出 STANDBY 模式和复位是一样的。
1	STOP	调试停止模式。 由软件置 1 或清零。 0: (FCLK 关、HCLK 关)在停止模式下，时钟控制器禁用所有时钟（包括 HCLK 和 FCLK）。退出 STOP 模式时，时钟的配置与复位后的配置相同（微控制器由 8MHz 内部 RC 振荡器（HSI）提供时钟）。因此，软件必须重新配置时钟控制系统来启动 PLL、晶振等。 1:(FCLK 开、HCLK 开) 在停止模式下，FCLK 和 HCLK 时钟由内部 RC 振荡器提供。退出停止模式时，软件必须重新配置时钟系统以启动 PLL、晶振

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

位域	名称	描述
		等（与配置该位为 0 时的操作相同）。
0	SLEEP	调试睡眠模式。 由软件置 1 或清零。 0:(FCLK 开, HCLK 关) 在睡眠模式下，FCLK 由先前已配置好的系统时钟提供，而 HCLK 则关闭。由于睡眠模式不会重置已配置好的时钟系统，因此在退出睡眠模式时，无需重新配置时钟系统。 1:(FCLK 开, HCLK 开) 在睡眠模式下，FCLK 和 HCLK 时钟均由先前配置好的系统时钟提供。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

38 唯一设备序列号 (UID)

38.1 简介

MCU 系列产品内置两个不同长度的唯一设备序列号，分别为 96 位的 UID(Unique device ID)和 128 位的 UCID(Unique Customer ID)，这两个设备序列号存放在闪存存储器的系统配置块中，它们所包含的信息在出厂时编写，并保证对任意一个 MCU 微控制器在任何情况下都是唯一的，用户应用程序或外部设备可以通过 CPU 或 SWD 接口读取，不可被修改。

UID 为 96 位，通常用来作为序列号或作为密码，在编写闪存时，将此唯一标识与软件加解密算法相结合，进一步提高代码在闪存存储器内的安全性，也可用于激活带安全功能的自举程序(Secure Bootloader)。

UCID 为 128 位，遵守国民技术芯片序列号定义，它包含芯片生产及版本相关信息。

38.2 UID 寄存器

起始地址： 0x1FFF_C760 长度 96 位。

38.3 UCID 寄存器

起始地址： 0x1FFF_C740 长度 128 位。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

39 版本历史

日期	版本	修改点
2025.10.28	V0.6.0	初始版本
2026.1.22	V1.0.0	1. 2.2.1.4.5 章节新增选项字节与 Bank1/2 同时操作注意点 2. 7.4.12 章节修改 memory 到 memory 模式的请求映射注意点 3. 21.4.3.5 章节更新数据发送延时注意点 4. 28.4 章节新增 FEMC 接口存储器工作在 XIP 模式注意点 5. 29.5.1 章节新增 SDRAM 时钟配置注意点 6. 31.4.1 章节更新 DSMU 功能框图 7. 更新表 3-2 的 IWDG 运行状态 8. 2.2.1.7 选项字节 DBANK 位新增注意点 9. 电源控制（PWR）章节更新 VDDIO 引脚描述 10. 25.2.13 章节新增唤醒定时器配置注意点 11. 17.3.12 章节新增停止转换使用注意点 12. 修改 20.4.1 章节 Phase 参数及 Modulus 参数的输出结果范围 13. 更新 4.2 章节 ATIM/GTIM/BTIM 时钟源选择描述

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057

40 声明

国民技术股份有限公司（下称“国民技术”）对此文档拥有专属产权。依据中华人民共和国的法律、条约以及世界其他法域相适用的管辖，此文档及其中描述的国民技术产品（下称“产品”）为公司所有。

国民技术在此并未授予专利权、著作权、商标权或其他任何知识产权许可。所提到或引用的第三方名称或品牌（如有）仅用作区别之目的。

国民技术保留随时变更、订正、增强、修改和改良此文档的权利，恕不另行通知。请使用人在下单购买前联系国民技术获取此文档的最新版本。

国民技术竭力提供准确可信的资讯，但即便如此，并不推定国民技术对此文档准确性和可靠性承担责任。

使用此文档信息以及生成产品时，使用者应当进行合理的设计、编程并测试其功能性和安全性，国民技术不对任何因使用此文档或本产品而产生的任何直接、间接、意外、特殊、惩罚性或衍生性损害结果承担责任。

国民技术对于产品在系统或设备中的应用效果没有任何故意或保证，如有任何应用在其发生操作不当或故障情况下，有可能致使人员伤亡、人身伤害或严重财产损失，则此类应用被视为“不安全使用”。

不安全使用包括但不限于：外科手术设备、原子能控制仪器、飞机或宇宙飞船仪器、所有类型的安全装置以及其他旨在支持或维持生命的应用。

所有不安全使用的风险应由使用人承担，同时使用人应使国民技术免于因为这类不安全使用而导致被诉、支付费用、发生损害或承担责任时的赔偿。

对于此文档和产品的任何明示、默示之保证，包括但不限于适销性、特定用途适用性和不侵权的保证责任，国民技术可在法律允许范围内进行免责。

未经明确许可，任何人不得以任何理由对此文档的全部或部分进行使用、复制、修改、抄录和传播。

国民技术股份有限公司 NSING TECHNOLOGIES INC.
地址：深圳市南山区高新北区宝深路109号国民技术大厦
电话：+86-755-86309900 传真：+86-755-86169100
网址：https://www.nsingtech.com 邮编：518057