

航芯 ACM32F0X0_FP0X_A070 用户手册

Version 2.0



上海爱信诺航芯电子科技有限公司

<http://www.aisinochip.com>

条款协议

本文档的所有部分，其著作权归上海爱信诺航芯电子科技有限公司（以下简称航芯科技）所有，未经航芯科技授权许可，任何个人及组织不得复制、转载、仿制本文档的全部或部分组件。本文档没有任何形式的担保、立场表达或其他暗示，若有任何因本文档或其中提及的产品所有资讯所引起的直接或间接损失，航芯公司及所属员工恕不为其担保任何责任。除此以外，本文档所提到的产品规格及资讯仅供参考，内容亦会随时更新，恕不另行通知。

版本修订

版本	日期	作者	描述
V1.0	2020-10-09	Aisinochip	初始化版本
V1.1	2021-04-23	Aisinochip	增加低功耗章节 ADC 中增加 ADC_TSREF 寄存器中 VREF1P2_EN 位以及说明； DMA 中寄存器 DMACCxCtrl 修改 BIT31 说明，修改 DMACCxConfig 中关于源和目标 ID 的 BIT 位置和说明；
V1.2	2021-06-16	Aisinochip	修改了定时器的 PWM 输出描述和 GPIO 的使用描述
V1.3	2021-07-14	Aisinochip	增加了ACM32F0X0系列的相关说明
V1.4	2021-08-16	Aisinochip	修改版本寄存器的值；修改I2C分频系数的说明
V1.5	2021-09-09	Aisinochip	增加I2C滤波算法的描述；增加UART IFLS的TX 1/16的注意事项
V1.6	2022-03-05	Aisinochip	修改ADC寄存器表错误； 完善EFC寄存器rd_wait的描述； 修改 TKEY 部分原理说明，增加功能描述； 修改系统架构图和系统时钟结构图； 增加定时器 TIM1/TIM15/TIM16/TIM17 CR1 寄存器关于刹车滤波参数的描述；
V1.7	2023-02-05	Aisinochip	增加 A070 型号 I2C_CR 寄存器删除 bit13: OD_MODE
V1.8	2023-04-21	Aisinochip	修改 5.4 中关于唤醒的描述 Can 最低波特率改为 20K
V1.9	2022-10-23	Aisinochip	26.4.8 芯片改版前为 A 版，改版后为 B 版，B 版修改了 CAN_OCR 寄存器的用法，增加读取 TX-Clock 状态的功能。 23.1，删除内部可编程放大器功能
V2.0	2024-1-5	Aisinochip	调整 NVR 区编号，2 个保留区为 NVR1/NVR2，原 NVR1/NVR2 改为 NVR3/NVR4

目录

版本修订	3
目录	I
图目录	XVII
表目录	XIX
1. 文档约定	1
1.1. 基本信息	1
1.2. 寄存器属性缩写表	1
1.3. 术语	1
2. 存储器及系统架构	2
2.1. ARM Cortex-M0 处理器	2
2.2. 系统架构	3
2.3. 存储器映射	3
2.4. 片上 SRAM	6
2.5. 片上 Flash	6
2.6. BOOT 配置	6
2.7. 芯片序列号	7
2.8. 电源控制	7
2.9. 低功耗模式	7
2.10. 系统寄存器	9
2.10.1. 复位控制寄存器/RCR (偏移: 00h)	11
2.10.2. 复位源状态寄存器/RSR (偏移: 04h)	12
2.10.3. 模块复位控制寄存器 1/IPRSTR(偏移: 0Ch)	13
2.10.4. 时钟控制寄存器 1/CCR1(偏移: 10h)	15
2.10.5. 时钟控制寄存器 2/CCR2 (偏移: 14h)	16
2.10.6. 时钟中断寄存器/CIR (偏移: 18h)	18
2.10.7. 模块时钟使能寄存器/IPCKENR (偏移: 1Ch)	20
2.10.8. 模块时钟使能寄存器 2/IPCKENR2 (偏移: 20h)	22
2.10.9. RCH 模块控制寄存器/RCHCR (偏移: 24h)	23
2.10.10. XTHCR 模块控制寄存器/XTHCR (偏移: 28h)	24
2.10.11. PLL 模块控制寄存器/PLLCR (偏移: 2Ch)	25
2.10.12. 模拟 LDO 控制寄存器 LDOCR (偏移: 30h)	27
2.10.13. 工作模式寄存器/WMR(偏移: 38h)	27
2.10.14. 时钟输出控制寄存器/CLKOCR(偏移: 3Ch)	28
2.10.15. 版本寄存器/VER (偏移: 40h)	29
2.10.16. 系统配置寄存器 1/SYSCFG1(偏移: 44h)	30
2.10.17. LVD 配置寄存器/LVDCFG (偏移: 48h)	31
2.10.18. STOP 模式配置寄存器/STOPCFG(偏移: 4Ch)	33
2.10.19. 中断向量表重映射寄存器/VECTOROFFSET(偏移: 50h)	35
2.10.20. Memory 配置寄存器/MEMCFG (偏移: 58h)	35
2.10.21. PA 管脚复用寄存器 1/PASEL1(偏移: 60h)	36
2.10.22. PA 管脚复用寄存器 2/PASEL2(偏移: 64h)	38
2.10.23. PB 管脚复用寄存器 1/PBSEL1(偏移: 68h)	41

2.10.24. PB 管脚控制寄存器 2/PBSEL2(偏移: 6Ch)	43
2.10.25. PA/B 管脚上拉寄存器/PA/BPUR (偏移: 70h).....	45
2.10.26. PA/B 管脚下拉寄存器/PA/BPDR (偏移: 74h).....	45
2.10.27. PA 管脚驱动选择寄存器 PASTR (偏移: 78h)	46
2.10.28. PB 管脚驱动选择寄存器 PBSTR (偏移: 7ch)	47
2.10.29. PA/B 管脚施密特使能寄存器 PA/BSMTR (偏移: 80h)	47
2.10.30. PA/B 管脚 OD 使能寄存器 PA/BODR (偏移: 84h)	48
2.10.31. PA/B 管脚数模选择寄存器 PA/BADS (偏移: 88h)	48
2.10.32. PC 管脚复用寄存器 1/PCSEL1(偏移: 90h).....	49
2.10.33. PC 管脚复用寄存器 2/PCSEL2(偏移: 94h).....	51
2.10.34. PD 管脚复用寄存器 1/PDSEL1(偏移: 98h).....	53
2.10.35. PC/D 管脚上拉寄存器 PC/DPUR (偏移: a0h).....	55
2.10.36. PC/D 管脚下拉寄存器/PC/DPDR (偏移: A4h).....	55
2.10.37. PC 管脚驱动选择寄存器 PCSTR (偏移: A8h)	56
2.10.38. PD 管脚驱动选择寄存器 PDSTR (偏移: ACh)	57
2.10.39. PC/D 管脚施密特使能寄存器 PC/DSMTR (偏移: B0h)	57
2.10.40. PC/D 管脚 OD 使能寄存器 PC/DODR (偏移: B4h)	57
2.10.41. PC/D 管脚数模选择寄存器 PC/DADS (偏移: B8h).....	58
3. 复位和时钟单元.....	59
3.1. 复位源.....	59
3.1.1. 上电复位:	60
3.1.2. BOR(Brown Out Reset)复位:	60
3.1.3. POR12 复位:	60
3.1.4. 外部引脚复位:	60
3.1.5. EFC 复位:	61
3.1.6. LVD 复位:	61
3.1.7. LOCKUP 复位:	61
3.1.8. Soft Reset:	61
3.1.9. SYSREQRST:	61
3.1.10. IWDT 复位:	61
3.1.11. WDT 复位:	61
3.1.12. RTC 域复位:	61
3.2. 时钟结构图	62
3.3. 系统时钟选择.....	62
3.4. 时钟输出	63
4. 嵌套矢量中断控制器 (NVIC)	64
4.1. 主要特性.....	64
4.2. 中断源.....	64
5. 外部中断/事件控制器 (EXTI)	66
5.1. 系统框图	66
5.2. 主要特性.....	66
5.3. 触发源.....	66
5.4. 唤醒管理	68
5.5. 功能说明.....	68

5.5.1. EXTI 中断	68
5.5.2. EXTI 中断/事件唤醒	69
5.6. EXTI 寄存器	69
5.6.1. 中断使能寄存器/IENR (偏移: 00h)	70
5.6.2. 事件使能寄存器/EENR (偏移: 04h)	70
5.6.3. 上升沿触发使能寄存器/RTENR (偏移: 08h)	70
5.6.4. 下降沿触发使能寄存器/FTENR (偏移: 0Ch)	70
5.6.5. 软件中断事件寄存器/EXTI_SWIER (偏移: 10h)	71
5.6.6. 中断挂起寄存器/PDR (偏移: 14h)	71
5.6.7. 外部中断配置寄存器 1/EXTICR1 (偏移: 18h)	71
5.6.8. 外部中断配置寄存器 2/EXTICR2 (偏移: 1Ch)	72
6. Flash 控制器 (EFC)	73
6.1. 概述	73
6.2. 主要特性	73
6.3. 功能描述	73
6.3.1. 主区闪存结构	73
6.3.2. 储存地址映射	74
6.3.3. 读操作	74
6.3.4. 闪存编程操作	75
6.3.5. 页擦除	76
6.4. 寄存器描述	76
6.4.1. 控制寄存器 EFC_CTRL(偏移: 00h)	77
6.4.2. 写擦安全寄存器 EFC_SEC (偏移: 04h)	78
6.4.3. tERASE 等待周期寄存器 (EFC_TERASE) (偏移: 0ch)	78
6.4.4. tPROG 等待周期寄存器 (EFC_TPROG) (偏移: 10h)	78
6.4.5. 状态寄存器 EFC_STATUS (偏移: 14h)	79
6.4.6. 中断状态寄存器 EFC_INTSTATUS (偏移: 18h)	79
6.4.7. 中断使能寄存器 EFC_INTEN (偏移: 1ch)	80
7. DMA 控制器 (DMAC)	81
7.1. 概述	81
7.2. 主要特性	81
7.3. 结构框图	82
7.4. 功能描述	82
7.4.1. DMA 操作	82
7.4.2. 外设握手	82
7.4.3. 仲裁	83
7.4.4. 地址生成	83
7.4.5. 链表功能	83
7.4.6. 存储器到存储器模式	83
7.4.7. 突发模式	84
7.4.8. 中断	84
7.4.9. 目标外设和源外设请求号	85
7.5. 寄存器描述	86
7.5.1. 中断状态寄存器 DMACIntStatus (偏移: 00h)	87

7.5.2. 传输完成中断寄存器 DMACIntTCStatus (偏移: 04h)	87
7.5.3. 传输完成中断清除寄存器 DMACIntTCClr (偏移: 08h)	87
7.5.4. 传输错误中断寄存器 DMACIntErrStatus (偏移: 0Ch)	88
7.5.5. 传输错误中断清除寄存器 DMACIntErrClr (偏移: 10h)	88
7.5.6. 传输完成原始中断寄存器 DMACRawIntTCStatus (偏移: 14h)	88
7.5.7. 传输错误原始中断寄存器 DMACRawIntErrStatus (偏移: 18h)	88
7.5.8. 通道使能状态寄存器 DMACEnChStatus (偏移: 1Ch)	89
7.5.9. DMAC 配置寄存器 DMACConfig (偏移: 30h)	89
7.5.10. 同步寄存器 DMACSync (偏移: 34h)	90
7.5.11. 源通道地址寄存器 DMACCxSrcAddr (偏移: 100h, 120h, 140h, 160h, 180h)	90
7.5.12. 目标通道地址寄存器 DMACCxDestAddr (偏移: 104h, 124h, 144h, 164h, 184h)	90
7.5.13. 通道链接表寄存器 DMACCxLLI (偏移: 108h, 128h, 148h, 168h, 188h)	90
7.5.14. 通道控制寄存器 DMACCxCtrl (偏移: 10Ch, 12Ch, 14Ch, 16Ch, 18Ch, 1ACh, 1CCh, 1ECh)	91
7.5.15. 通道配置寄存器 DMACCxConfig (偏移: 110h, 130h, 150h, 170h, 190h, 1B0h, 1D0h, 1F0h)	92
7.6. 使用说明	94
7.6.1. DMA 优先级	94
7.6.2. 软件注意事项	94
7.6.3. DMAC 使用流程	94
7.6.4. DMAC 链表使用流程	94
8. 高级定时器 (TIM1)	96
8.1. 概述	96
8.2. 主要特性	96
8.3. 功能描述	97
8.3.1. 定时器基本单元	97
8.3.2. 定时器计数模式	98
8.3.3. 预分频器	99
8.3.4. 重复计数器	100
8.3.5. 时钟源选择	100
8.3.6. 捕获比较通道	102
8.3.7. 强制输出模式	105
8.3.8. PWM 模式	106
8.3.9. 互补输出和死区插入	109
8.3.10. 刹车功能	110
8.3.11. 六步 PWM 输出	113
8.3.12. 正交编码器模式	114
8.3.13. 与霍尔传感器的接口	115
8.3.14. 单脉冲模式	117
8.3.15. 定时器互连	119
8.3.16. DMA 功能	122
8.4. 寄存器描述	123
8.4.1. TIM1 控制寄存器 1 (TIM1_CR1 偏移: 0x00)	124
8.4.2. TIM1 控制寄存器 2 (TIM1_CR2 偏移: 0x04)	127
8.4.3. TIM1 从模式控制寄存器 (TIM1_SMCR 偏移: 0x08)	129

8.4.4. TIM1 DMA/中断使能寄存器 (TIM1_DIER 偏移: 0x0C)	132
8.4.5. TIM1 状态寄存器 (TIM1_SR 偏移: 0x10)	134
8.4.6. TIM1 事件产生寄存器 (TIM1_EGR 偏移: 0x14)	137
8.4.7. TIM1 捕获/比较模式寄存器 1 (TIM1_CCMR1 偏移: 0x18)	139
8.4.8. TIM1 捕获/比较模式寄存器 2 (TIM1_CCMR2 偏移: 0x1C)	144
8.4.9. TIM1 捕获/比较使能寄存器 (TIM1_CCER 偏移: 0x20)	146
8.4.10. TIM1 计数器 (TIM1_CNT 偏移: 0x24)	149
8.4.11. TIM1 预分频器 (TIM1_PSC 偏移: 0x28)	150
8.4.12. TIM1 自动加载寄存器 (TIM1_ARR 偏移: 0x2c)	150
8.4.13. TIM1 重复计数寄存器 (TIM1_RCR 偏移: 0x30)	150
8.4.14. TIM1 捕获/比较寄存器 1 (TIM1_CCR1 偏移: 0x34)	151
8.4.15. TIM1 捕获/比较寄存器 2 (TIM1_CCR2 偏移: 0x38)	151
8.4.16. TIM1 捕获/比较寄存器 3 (TIM1_CCR3 偏移: 0x3C)	152
8.4.17. TIM1 捕获/比较寄存器 4 (TIM1_CCR4 偏移: 0x40)	152
8.4.18. TIM1 刹车和死区寄存器 (TIM1_BDTR 偏移: 0x44)	153
8.4.19. TIM1 DMA 控制寄存器 (TIM1_DCR 偏移: 0x48)	156
8.4.20. TIM1 连续模式的 DMA 地址 (TIM1_DMAR 偏移: 0x4C)	157
8.4.21. TIM1 复用功能选择寄存器 (TIM1_AF1 偏移: 0x60)	158
8.4.22. TIM1 输入选择寄存器 (TIM1_TISEL 偏移: 0x68)	159
8.4.23. TIM1 DMA 请求类型选择寄存器 (TIM1_DBER 偏移: 0x6C)	159
9. 通用定时器 (TIM3)	161
9.1. 概述	161
9.2. 主要特性	161
9.3. 结构框图	162
9.4. 功能描述	162
9.4.1. 计数单元	162
9.4.2. 预分频器	162
9.4.3. 时钟源选择	162
9.4.4. 捕获比较通道	162
9.4.5. 强制输出模式	163
9.4.6. PWM 模式	163
9.4.7. 正交编码器模式	163
9.4.8. 与霍尔传感器的接口	163
9.4.9. 单脉冲模式	163
9.4.10. 定时器互连	163
9.4.11. DMA 功能	163
9.5. 寄存器描述	163
9.5.1. TIMx 控制寄存器 1 (TIMx_CR1 偏移: 0x00)	165
9.5.2. TIMx 控制寄存器 2 (TIMx_CR2 偏移: 0x04)	167
9.5.3. TIMx 从模式控制寄存器 (TIMx_SMCR 偏移: 0x08)	169
9.5.4. TIMx DMA/中断使能寄存器 (TIMx_DIER 偏移: 0x0C)	172
9.5.5. TIMx 状态寄存器 (TIMx_SR 偏移: 0x10)	174
9.5.6. TIMx 事件产生寄存器 (TIMx_EGR 偏移: 0x14)	176
9.5.7. TIMx 捕获/比较模式寄存器 1 (TIMx_CCMR1 偏移: 0x18)	178

9.5.8. TIMx 捕获/比较模式寄存器 2 (TIMx_CCMR2 偏移: 0x1C)	183
9.5.9. TIMx 捕获/比较使能寄存器 (TIMx_CCER 偏移: 0x20)	185
9.5.10. TIMx 计数器 (TIMx_CNT 偏移: 0x24)	187
9.5.11. TIMx 预分频器 (TIMx_PSC 偏移: 0x28)	187
9.5.12. TIMx 自动重载寄存器 (TIMx_ARR 偏移: 0x2C)	188
9.5.13. TIMx 捕获/比较寄存器 1 (TIMx_CCR1 偏移: 0x34)	188
9.5.14. TIMx 捕获/比较寄存器 2 (TIMx_CCR2 偏移: 0x38)	188
9.5.15. TIMx 捕获/比较寄存器 3 (TIMx_CCR3 偏移: 0x3C)	189
TIMx 捕获/比较寄存器 4 (TIMx_CCR4 偏移: 0x40)	189
9.5.16. TIMx DMA 控制寄存器 (TIMx_DCR 偏移: 0x48)	190
9.5.17. TIMx 连续模式的 DMA 地址 (TIMx_DMAR 偏移: 0x4C)	191
9.5.18. TIMx 复用功能选择寄存器 (TIMx_AF1 偏移: 0x60)	192
9.5.19. TIMx 输入选择寄存器 (TIMx_TISEL 偏移: 0x68)	192
9.5.20. TIMx DMA 请求类型选择寄存器 (TIMx_DBER 偏移: 0x6C)	192
10. 基本定时器 (TIM6)	194
10.1. 概述	194
10.2. 主要特性	194
10.3. 结构框图	194
10.4. 功能描述	194
10.4.1. 计数单元	194
10.4.2. 预分频器	195
10.4.3. 时钟源选择	195
10.4.4. 定时器互连	195
10.4.5. DMA 功能	195
10.5. 寄存器描述	195
10.5.1. TIMx 控制寄存器 1 (TIMx_CR1 偏移: 0x00)	196
10.5.2. TIMx 控制寄存器 2 (TIMx_CR2 偏移: 0x04)	198
10.5.3. TIMx DMA/中断使能寄存器 (TIMx_DIER 偏移: 0x0C)	199
10.5.4. TIMx 状态寄存器 (TIMx_SR 偏移: 0x10)	200
10.5.5. TIMx 事件产生寄存器 (TIMx_EGR 偏移: 0x14)	201
10.5.6. TIMx 计数器 (TIMx_CNT 偏移: 0x24)	201
10.5.7. TIMx 预分频器 (TIMx_PSC 偏移: 0x28)	202
10.5.8. TIMx 自动重载寄存器 (TIMx_ARR 偏移: 0x2C)	203
11. 通用定时器 (TIM14)	204
11.1. 概述	204
11.2. 主要特性	204
11.3. 结构框图	205
11.4. 功能描述	205
11.4.1. 计数单元	205
11.4.2. 预分频器	205
11.4.3. 时钟源选择	205
11.4.4. 捕获比较通道	205
11.4.5. 强制输出模式	205
11.4.6. PWM 模式	205

11.4.7. 单脉冲模式	206
11.4.8. 定时器互连	206
11.4.9. DMA 功能	206
11.5. 寄存器描述	206
11.5.1. TIMx 控制寄存器 1 (TIMx_CR1 偏移: 0x00)	207
11.5.2. TIMx DMA/中断使能寄存器 (TIMx_DIER 偏移: 0x0C)	209
11.5.3. TIMx 状态寄存器 (TIMx_SR 偏移: 0x10)	209
11.5.4. TIMx 事件产生寄存器 (TIMx_EGR 偏移: 0x14)	211
11.5.5. TIMx 捕获/比较模式寄存器 1 (TIMx_CCMR1 偏移: 0x18)	212
11.5.6. TIMx 捕获/比较使能寄存器 (TIMx_CCER 偏移: 0x20)	215
11.5.7. TIMx 计数器 (TIMx_CNT 偏移: 0x24)	217
11.5.8. TIMx 预分频器 (TIMx_PSC 偏移: 0x28)	217
11.5.9. TIMx 自动重装载寄存器 (TIMx_ARR 偏移: 0x2C)	218
11.5.10. TIMx 捕获/比较寄存器 1 (TIMx_CCR1 偏移: 0x34)	218
12. 通用定时器 (TIM15/TIM16/TIM17)	219
12.1. 概述	219
12.2. 主要特性	219
12.3. 结构框图	220
12.4. 功能描述	221
12.4.1. 计数单元	221
12.4.2. 预分频器	221
12.4.3. 时钟源选择	221
12.4.4. 捕获比较通道	221
12.4.5. 强制输出模式	221
12.4.6. PWM 模式	221
12.4.7. 互补输出和死区插入	221
12.4.8. 刹车功能	221
12.4.9. 六步 PWM 输出	221
12.4.10. 单脉冲模式	222
12.4.11. 定时器互连	222
12.4.12. DMA 功能	222
12.5. 寄存器描述	222
12.5.1. TIMx 控制寄存器 1 (TIMx_CR1 偏移: 0x00)	224
12.5.2. TIMx 控制寄存器 2 (TIMx_CR2 偏移: 0x04)	227
12.5.3. TIMx 从模式控制寄存器 (TIMx_SMCR 偏移: 0x08)	230
12.5.4. TIMx DMA/中断使能寄存器 (TIMx_DIER 偏移: 0x0C)	231
12.5.5. TIMx 状态寄存器 (TIMx_SR 偏移: 0x10)	233
12.5.6. TIMx 事件产生寄存器 (TIMx_EGR 偏移: 0x14)	236
12.5.7. TIMx 捕获/比较模式寄存器 1 (TIMx_CCMR1 偏移: 0x18)	237
12.5.8. TIMx 捕获/比较使能寄存器 (TIMx_CCER 偏移: 0x20)	242
12.5.9. TIMx 计数器 (TIMx_CNT 偏移: 0x24)	246
12.5.10. TIMx 预分频器 (TIMx_PSC 偏移: 0x28)	247
12.5.11. TIMx 自动重装载寄存器 (TIMx_ARR 偏移: 0x2C)	247
12.5.12. TIMx 重复计数寄存器 (TIMx_RCR 偏移: 0x30)	248

12.5.13. TIMx 捕获/比较寄存器 1 (TIMx_CCR1 偏移: 0x34)	249
12.5.14. TIMx 捕获/比较寄存器 2 (TIMx_CCR2 偏移: 0x38)	250
12.5.15. TIMx 刹车和死区寄存器 (TIMx_BDTR 偏移: 0x44)	251
12.5.16. TIMx DMA 控制寄存器 (TIMx_DCR 偏移: 0x48)	254
12.5.17. TIMx 连续模式的 DMA 地址 (TIMx_DMAR 偏移: 0x4C)	256
12.5.18. TIMx 复用功能选择寄存器 (TIMx_AF1 偏移: 0x60)	257
12.5.19. TIMx 输入选择寄存器 (TIMx_TISEL 偏移: 0x68)	258
12.5.20. TIMx DMA 请求类型选择寄存器 (TIMx_DBER 偏移: 0x6C)	258
13. 看门狗 (WDT)	260
13.1. 概述	260
13.2. 主要特性	260
13.3. 功能描述	261
13.3.1. 功能框图	261
13.3.2. 看门狗模式	261
13.3.3. 中断清除时限	261
13.4. 寄存器描述	262
13.4.1. WDTLOAD 加载寄存器(偏移: 00h)	262
13.4.2. WDTCOUNT 当前计数寄存器(偏移: 04h)	262
13.4.3. WDTCTRL 控制寄存器(偏移: 08h)	262
13.4.4. WDTFEED 喂狗寄存器(偏移: 0Ch)	263
13.4.5. WDTINTCLRTIME 中断清除时限寄存器 (偏移: 10h)	263
13.4.6. WDTRIS 原始中断状态寄存器(偏移: 14h)	264
13.5. 使用流程	264
13.5.1. 定时器溢出产生中断	264
13.5.2. 定时器溢出产生复位	264
14. 独立看门狗 (IWDG)	265
14.1. 概述	265
14.2. 主要特性	265
14.3. 功能描述	265
14.3.1. 功能框图	265
14.3.2. 寄存器访问保护	266
14.3.3. 窗口选项	266
14.3.4. 唤醒功能	266
14.4. 寄存器描述	267
14.4.1. IWDG_CMDR 命令寄存器(偏移: 00h)	267
14.4.2. IWDG_PR 预分频寄存器(偏移: 04h)	268
14.4.3. IWDG_RLR 重装载寄存器(偏移: 08h)	268
14.4.4. IWDG_SR 状态寄存器(偏移: 0Ch)	269
14.4.5. IWDG_WINR 窗口寄存器(偏移: 10h)	270
14.4.6. IWDG_WUTR 窗口寄存器(偏移: 14h)	271
14.5. 使用流程	271
14.5.1. 不带窗口	271
14.5.2. 带窗口	271
15. 实时时钟 (RTC)	273

15.1. 概述.....	273
15.2. 主要特性.....	273
15.3. RTC 功能描述.....	273
15.3.1. RTC 时间设置.....	274
15.3.2. RTC 时间读取.....	275
15.3.3. 闹钟功能.....	275
15.3.4. 时钟误差补偿.....	276
15.3.5. FSEL_OUT.....	277
15.3.6. 周期中断唤醒.....	277
15.3.7. 侵入检测和备份寄存器.....	277
15.4. 寄存器描述.....	278
15.4.1. RTC_WP 写保护寄存器(偏移: 00h).....	279
15.4.2. RTC_IE 中断使能寄存器(偏移: 04h).....	279
15.4.3. RTC_SR 中断标志寄存器(偏移: 08h).....	281
15.4.4. RTC_SEC 秒计数寄存器(偏移: 0Ch).....	283
15.4.5. RTC_MIN 时计数寄存器(偏移: 10h).....	283
15.4.6. RTC_HOUR 分计数寄存器(偏移: 14h).....	283
15.4.7. RTC_DAY 日计数寄存器(偏移: 18h).....	284
15.4.8. RTC_WEEK 周计数寄存器(偏移: 1Ch).....	284
15.4.9. RTC_MONTH 周计数寄存器(偏移: 20h).....	284
15.4.10. RTC_YEAR 年计数寄存器(偏移: 24h).....	284
15.4.11. RTC_ALM 闹钟寄存器(偏移: 28h).....	284
15.4.12. RTC_CR 控制寄存器(偏移: 2Ch).....	285
15.4.13. RTC_ADJUST 时钟误差补偿寄存器(偏移: 30h).....	288
15.4.14. RTC_CLKSTAMP1 时间戳 1(偏移: 44h).....	288
15.4.15. RTC_CALSTAMP1 日历戳 1(偏移: 48h).....	289
15.4.16. RTC_CLKSTAMP2 时间戳 2(偏移: 4Ch).....	289
15.4.17. RTC_CALSTAMP2 日历戳 2(偏移: 50h).....	289
15.4.18. RTC_BAKUP0~4 备份寄存器 0~4(偏移: 70~80h).....	290
16. 电源管理和低功耗 (RPMU)	291
16.1. 概述.....	291
16.2. 功能描述.....	291
16.2.1. 唤醒引脚配置.....	291
16.2.2. RTC Clock 管理.....	292
16.2.3. PMU 区引脚控制.....	292
16.3. 寄存器描述.....	292
16.3.1. RPMU_CR/RTC 域控制寄存器(偏移: 00h).....	292
16.3.2. RPMU_SR/RTC 域状态寄存器(偏移: 04h).....	294
16.3.3. RPMU_IOSEL/RTC 域 IO 复用寄存器(偏移: 08h).....	296
16.3.4. RPMU_IOCRR/RTC 域 IO 控制寄存器(偏移: Ch).....	297
16.3.5. RPMU_ANACR/ RTC_PMU 模拟控制寄存器 (偏移: 10h).....	299
16.3.6. RPMU_CR2/RTC 域控制寄存器 2(偏移: 14h).....	301
17. 通用输入输出接口 (GPIO)	302
17.1. 概述.....	302

17.2. 主要特性.....	302
17.3. 功能描述.....	302
17.3.1. 结构框图.....	303
17.3.2. 输入功能.....	303
17.3.3. 输出功能.....	303
17.3.4. 复用功能 (AF)	303
17.3.5. 开漏、驱动能力、上下拉、管脚复用、数字模拟配置	304
17.3.6. 附加功能.....	304
17.4. 寄存器描述.....	304
17.4.1. 数据方向寄存器 GPIO_DIR(偏移: 00h).....	305
17.4.2. 输出置位寄存器 GPIO_SET(偏移: 08h).....	305
17.4.3. 输出清零寄存器 GPIO_CLR(偏移: 0Ch).....	305
17.4.4. GPIO 输出引脚映射寄存器 GPIO_ODATA(偏移: 10h).....	306
17.4.5. GPIO 输入引脚映射寄存器 GPIO_IDATA(偏移: 14h).....	306
17.4.6. GPIO 中断使能寄存器 GPIO_IEN(偏移: 18h).....	306
17.4.7. GPIO 中断触发模式寄存器 GPIO_IS(偏移: 1Ch).....	306
17.4.8. GPIO 中断触发模式寄存器 GPIO_IBE(偏移: 20h).....	307
17.4.9. GPIO 中断触发模式寄存器 GPIO_IEV(偏移: 24h).....	307
17.4.10. GPIO 中断状态清除寄存器 GPIO_IC(偏移: 28h).....	307
17.4.11. GPIO 原始中断状态寄存器 GPIO_RIS(偏移: 2Ch).....	307
17.4.12. GPIO 屏蔽后中断状态寄存器 GPIO_MIS(偏移: 30h).....	308
17.5. 使用流程.....	308
17.5.1. 输入输出 IO	308
17.5.2. 中断触发模式.....	308
17.5.3. 清除中断.....	308
18. 串行外设接口 (SPI)	309
18.1. 概述.....	309
18.2. 主要特性.....	309
18.3. 结构框图.....	309
18.4. 功能描述.....	310
18.4.1. 时序图.....	310
18.4.2. 时钟波特率设置	314
18.4.3. DMA 请求.....	314
18.4.4. 存储器读取模式.....	314
18.5. 寄存器描述.....	315
18.5.1. SPI 发送数据寄存器 SPI_TX_DAT(偏移: 00h).....	315
18.5.2. SPI 接收数据寄存器 SPI_RX_DAT(偏移: 00h).....	316
18.5.3. SPI 波特率设置寄存器 SPI_BAUD(偏移: 04h).....	316
18.5.4. SPI 控制寄存器 SPI_CTL(偏移: 08h).....	316
18.5.5. SPI 发送控制寄存器 SPI_TX_CTL (偏移: 0Ch)	318
18.5.6. SPI 接收控制寄存器 SPI_RX_CTL(偏移: 10h).....	319
18.5.7. SPI 中断控制寄存器 SPI_IE(偏移: 14h).....	319
18.5.8. SPI 状态寄存器 SPI_STATUS(偏移: 18h).....	321
18.5.9. SPI 发送等待寄存器 SPI_TXDelay(偏移: 1Ch).....	324

18.5.10. SPI 批量传输数据个数寄存器 SPI_BATCH (偏移: 20h).....	324
18.5.11. SPI 从设备选择寄存器 SPI_CS(偏移: 24h).....	324
18.5.12. SPI 管脚输出方向 SPI_OUT_EN(偏移: 28h).....	325
18.5.13. SPI2 取值控制寄存器 SPI_MEMO_ACC(偏移: 2Ch).....	326
18.5.14. SPI2 取值命令寄存器 SPI_CMD(偏移: 30h).....	327
18.5.15. SPI2 取值参数寄存器 SPI_PARA(偏移: 34h).....	327
18.6. 使用流程.....	328
18.6.1. SPI 主模式发送.....	328
18.6.2. SPI 主模式接收.....	328
18.6.3. SPI 主模式接收时 Dummy 控制位.....	329
18.6.4. SPI 从模式发送时 Dummy 控制位.....	329
18.6.5. SPI 从模式接收时 Dummy 控制位.....	329
18.6.6. SPI 存储器读取.....	329
18.6.7. SPI 存储器读取 (连读).....	330
18.6.8. SPI SRAM 写入.....	330
19. 通用异步收发器 (UART).....	332
19.1. 概述.....	332
19.2. 主要特性.....	332
19.3. 结构框图.....	333
19.4. 功能描述.....	333
19.4.1. 串口设置.....	333
19.4.2. CTS 和 RTS 流控功能.....	334
19.4.3. DMA 请求.....	335
19.4.4. LIN 总线功能.....	335
19.4.5. IrDA SIR 功能.....	336
19.4.6. 单线模式.....	337
19.5. 寄存器描述.....	337
19.5.1. 数据寄存器 UART_DR(偏移: 00h).....	338
19.5.2. 接收状态寄存器 UART_RSR(偏移: 04h).....	339
19.5.3. 标志位寄存器 UART_FR(偏移: 18h).....	340
19.5.4. IrDA 低功耗分频因子寄存器 UART_ILPR(偏移: 20h).....	341
19.5.5. 整数分频因子寄存器 UART_IBRD(偏移: 24h).....	341
19.5.6. 小数分频因子寄存器 UART_FBRD (偏移: 28h).....	342
19.5.7. 线控制器寄存器 UART_LCRH (偏移: 2Ch).....	342
19.5.8. 控制寄存器 UART_CR (偏移: 30h).....	343
19.5.9. FIFO 中断触发寄存器 UART_IFLS(偏移: 34h).....	344
19.5.10. 中断使能寄存器 UART_IMSC (偏移: 38h).....	345
19.5.11. 原始中断状态寄存器 UART_RIS (偏移: 3Ch).....	346
19.5.12. MASK 后的中断状态寄存器 UART_MIS (偏移: 40h).....	349
19.5.13. 中断状态清除 UART_ICR (偏移: 44h).....	350
19.5.14. DMA 控制寄存器 UART_DMACR (偏移: 48h).....	351
19.5.15. 控制寄存器 2UART_CR2 (偏移: 54h).....	351
19.5.16. 比特计时寄存器 UART_BCNT (偏移: 58h).....	352
19.6. 使用流程.....	352

19.6.1. 串口的发送和接收.....	352
19.6.2. CTS 和 RTS 控制流功能	352
19.6.3. LIN 硬件功能支持	353
19.6.4. IrDA SIR 功能使用流程	353
19.6.5. 单线模式功能使用流程	353
20. 内部集成电路总线接口 (I2C)	354
20.1. 概述.....	354
20.2. 主要特性.....	354
20.3. 结构框图.....	355
20.4. 功能描述.....	355
20.4.1. 模式选择	355
20.4.2. I2C 从模式	356
20.4.3. I2C 主模式	357
20.4.4. TXE 状态.....	359
20.5. 寄存器描述.....	359
20.5.1. I2C 设备地址寄存器 1 I2C_SLAVE_ADDR1(偏移: 0x0h).....	360
20.5.2. I2C 时钟分频寄存器 I2C_CLK_DIV(偏移: 0x04h).....	360
20.5.3. 控制寄存器 I2C_CR(偏移: 0x08h).....	360
20.5.4. 状态寄存器 I2C_SR(偏移: 0x0Ch).....	363
20.5.5. 数据寄存器 I2C_DR(偏移: 0x10h).....	366
20.5.6. I2C 设备地址寄存器 2/3 I2C_SLAVE_ADDR2/3 (偏移: 0x14h).....	366
20.5.7. I2C 滤波寄存器 I2C_FILTER(偏移: 0x1C).....	367
20.5.8. I2C 超时配置寄存器 I2C_TIMEOUT(偏移: 0x24h).....	367
20.6. 软件操作流程	369
20.6.1. 作为主发送器	369
20.6.2. 作为主接收器.....	371
20.6.3. 作为从发送器.....	373
20.6.4. 作为从接收器.....	374
20.6.5. 滤波算法.....	374
21. 低功耗串口 (LPUART)	375
21.1. 概述.....	375
21.2. 主要特性.....	375
21.3. 功能描述.....	375
21.3.1. 时钟选择.....	376
21.3.2. 波特率设置	376
21.3.3. STOP 模式唤醒	377
21.3.4. DMA 请求	378
21.4. 寄存器描述.....	378
21.4.1. 接收数据寄存器/LPUART_RXDR (偏移: 00h)	378
21.4.2. 发送数据寄存器/LPUART_TXDR (偏移: 04h).....	378
21.4.3. 线控寄存器/LPUART_LCR (偏移: 08h).....	379
21.4.4. 控制寄存器/LPUART_CR (偏移: 0Ch).....	380
21.4.5. 波特率整数部分/LPUART_IBAUD (偏移: 10h).....	380
21.4.6. 波特率小数部分/LPUART_FBAUD (偏移: 14h).....	381

21.4.7. 中断使能寄存器/LPUART_IE (偏移: 18h).....	381
21.4.8. 状态寄存器 LPUART_SR (偏移: 1Ch).....	382
21.4.9. 地址寄存器/LPUART_ADDR (偏移: 20h).....	384
21.5. 使用流程.....	384
21.5.1. 串口收发.....	384
21.5.2. 配置 STOP 唤醒.....	384
22. 模数转换器 (ADC)	385
22.1. 概述.....	385
22.2. 主要特性.....	385
22.3. 结构框图.....	386
22.4. 功能描述.....	387
22.4.1. 通道选择.....	387
22.4.2. 单次转换模式.....	387
22.4.3. 连续转换模式.....	388
22.4.4. 间断模式.....	388
22.4.5. 停止控制.....	389
22.4.6. 时序图.....	389
22.4.7. 模拟看门狗.....	389
22.4.8. 注入通道.....	390
22.4.9. 可编程的通道采样时间.....	391
22.4.10. 外部触发转换.....	391
22.4.11. DMA 请求.....	392
22.4.12. 温度传感器.....	392
22.4.13. 差分信号转换.....	392
22.4.14. 溢出控制.....	392
22.4.15. 差分模式和有符号数.....	393
22.4.16. 过采样.....	393
22.4.17. ADC 中断.....	394
22.5. 寄存器描述.....	395
22.5.1. ADC 状态寄存器(ADC_SR 偏移 00h)	395
22.5.2. ADC 中断使能寄存器(ADC_IE 偏移 04h)	397
22.5.3. ADC 控制寄存器 1 (ADC_CR1 偏移 08h).....	398
22.5.4. ADC 控制寄存器 2 (ADC_CR2 偏移 0ch)	401
22.5.5. ADC 采样时间寄存器 1 (ADC_SMPR1 偏移 10h)	404
22.5.6. ADC 采样时间寄存器 2 (ADC_SMPR2 偏移 14h)	405
22.5.7. ADC 看门狗高阈值寄存器(ADC_HTR 偏移 18h).....	405
22.5.8. ADC 看门狗低阈值寄存器(ADC_LTR 偏移 1ch)	406
22.5.9. ADC 规则序列寄存器 1(ADC_SQR1 偏移 20h)	406
22.5.10. ADC 规则序列寄存器 2(ADC_SQR2 偏移 24h)	407
22.5.11. ADC 规则序列寄存器 3(ADC_SQR3 偏移 28h).....	408
22.5.12. ADC 注入通道寄存器(ADC_JSQR 偏移 2ch).....	408
22.5.13. ADC 注入数据寄存器(ADC_JDR 偏移 30h)	408
22.5.14. ADC 规则数据寄存器(ADC_DR 偏移 34h)	409
22.5.15. ADC 单端/差分选择寄存器 (ADC_DIFF 偏移 38h)	409

22.5.16. ADC 符号数选择寄存器 (ADC_SIGN 偏移 3ch)	410
22.5.17. ADC 温度传感器/REF 寄存器 (ADC_TSREF 偏移 40h)	412
22.5.18. ADC 采样时间寄存器 3 (ADC_SMPR3 偏移 44h)	413
22.6. 使用流程	413
22.6.1. ADC 操作流程	413
22.6.2. 温度传感器操作	414
23. 运算放大器 (OPAMP)	415
23.1. 概述	415
23.2. 主要特性	415
23.3. 结构框图	415
23.4. 功能描述	416
23.4.1. 操作模式和校准	416
23.4.2. 正常模式	416
23.4.3. 校准模式	416
23.5. 寄存器描述	417
23.5.1. OPAMP1 控制寄存器(OPAMP_CSR1 偏移 00h)	417
23.5.2. OPAMP2 控制寄存器(OPAMP_CSR2 偏移 04h)	418
23.5.3. OPAMP3 控制寄存器(OPAMP_CSR3 偏移 08h)	419
23.6. 使用流程	421
23.6.1. 运放不使用修调	421
23.6.2. 运放使用修调	421
24. 模拟比较器 (COMP)	422
24.1. 概述	422
2.10. 主要特性	422
24.3. 结构框图	422
24.4. 功能描述	423
24.4.1. 负端输入	423
24.4.2. 滤波	423
24.4.3. 迟滞比较	423
24.4.4. 切断	423
24.4.5. STOP 模式唤醒	423
24.4.6. 窗口模式级联	424
24.5. 寄存器描述	425
24.5.1. COMP1 控制寄存器(COMP_CR1 偏移 00h)	425
24.5.2. COMP2 控制寄存器(COMP_CR2 偏移 04h)	427
24.5.3. COMP 状态寄存器(COMP_SR 偏移 08h)	430
24.6. 使用流程	431
25. 自电容式触摸传感器 (TKEY)	432
25.1. 概述	432
25.2. 主要特性	432
25.3. 结构框图	432
2.10. 功能描述	433
25.4.1. 基本原理	433
25.4.2. 按键检测原理	434

25.4.3. 睡眠模式.....	434
25.4.4. 主动屏蔽.....	434
25.4.5. 扫描时钟扩频.....	435
25.4.6. 内置通道和通道补偿.....	435
25.5. 寄存器描述.....	436
25.5.1. TKEY 中断状态寄存器 (TKEY_ISR 偏移: 0x00)	438
25.5.2. TKEY 中断使能寄存器 (TKEY_IER 偏移: 0x04)	439
25.5.3. TKEY 控制寄存器 (TKEY_CR 偏移: 0x08)	439
25.5.4. TKEY 采样控制寄存器 (TKEY_SMPR 偏移: 0x0C)	441
25.5.5. TKEY 扫描时钟控制寄存器 (TKEY_SOFR 偏移: 0x10)	441
25.5.6. TKEY 通道使能寄存器 (TKEY_CXSELR 偏移: 0x14)	442
25.5.7. TKEY 通道补偿使能寄存器 (TKEY_CRSELR 偏移: 0x18)	442
25.5.8. TKEY 通道数据寄存器 (TKEY_DR 移: 0x1C)	443
25.5.9. TKEY 通道 x 唤醒门限寄存器 (TKEY_THx 偏移: 0x20-0x5C)	443
25.5.10. TKEY 通道 x 数据寄存器 (TKEY_CHx 偏移: 0x60-0x9C)	444
25.6. 使用说明.....	444
25.6.1. 内置通道扫描.....	444
25.6.2. 正常模式.....	444
25.6.3. 睡眠模式.....	445
26. 控制器区域网络 (CAN)	446
26.1. 概述.....	446
26.2. 主要特性.....	446
26.3. 功能描述.....	447
26.3.1. 功能框图.....	447
26.3.2. 操作模式.....	448
26.3.3. 发送.....	449
26.3.4. 接收.....	451
26.3.5. 自我接收.....	452
26.3.6. 接收过滤.....	452
26.3.7. 波特率.....	454
26.3.8. 仲裁器.....	456
26.3.9. 错误处理.....	456
26.3.10. 睡眠模式.....	456
26.4. 寄存器描述.....	457
26.4.1. 模式寄存器 CAN_MOD(偏移: 00h).....	458
26.4.2. 命令寄存器 CAN_CMAR(偏移: 04h).....	459
26.4.3. 状态寄存器 CAN_SR(偏移: 08h).....	460
26.4.4. 中断寄存器 CAN_IR(偏移: 0Ch).....	461
26.4.5. 中断使能寄存器 CAN_IER(偏移: 10h).....	462
26.4.6. 时序寄存器 CAN_BTR0(偏移: 18h).....	463
26.4.7. 时序寄存器 CAN_BTR1(偏移: 1Ch).....	464
26.4.8. 输出寄存器 CAN_OCR(偏移: 20h).....	464
26.4.9. 仲裁失败位置获取寄存器 CAN_ALC(偏移: 2Ch).....	465
26.4.10. 错误代码获取寄存器 CAN_ECC(偏移: 30h).....	465

26.4.11. 错误报警寄存器 CAN_EWLR(偏移: 34h)	466
26.4.12. 接收错误寄存器 CAN_RXERR(偏移: 38h)	467
26.4.13. 发送错误寄存器 CAN_TXERR(偏移: 3Ch)	467
26.4.14. 发送缓存写寄存器 CAN_TXBUFFx(写偏移: 0x40~0x70)	467
26.4.15. 接收缓存读寄存器 CAN_RXBUFFx(读偏移: 0x40~0x70)	467
26.4.16. 接收过滤寄存器 CAN_ACRx(偏移: 0x40~0x4C)	468
26.4.17. 接收过滤屏蔽寄存器 CAN_AMRx(偏移: 0x50~0x5C)	468
26.4.18. 接收报文计数寄存器 CAN_RMC(偏移: 0x74)	468
26.4.19. 接收缓存起始地址寄存器 CAN_RBSA(偏移: 0x78)	468
26.4.20. 时钟输出分频寄存器 CAN_CDR(偏移: 0x7C)	468
26.4.21. 接收 FIFO 访问寄存器 CAN_RXFIFO(偏移: 0x80~0x17C)	469
26.4.22. 发送 FIFO 访问寄存器 CAN_TXFIFO(偏移: 0x180~0x1B0)	469
26.5. 使用流程	470
26.5.1. CAN 发送和接收	470
27. 液晶控制器 (LCD)	471
27.1. LCD 简介	471
27.2. LCD 主要特性	471
27.3. 功能描述	472
27.3.1. LCD 框图	472
27.3.2. LCD 驱动波形	472
27.3.3. LCD Bias 产生电路	474
27.3.4. DMA 请求	477
27.3.5. LCD 中断	477
27.3.6. LCD 闪屏	477
27.3.7. LCD 显示模式	478
27.4. 寄存器描述	481
27.4.1. 配置寄存器 0 (LCD_CR0 偏移: 0x00)	482
27.4.2. 配置寄存器 1 (LCD_CR1 偏移: 0x04)	485
27.4.3. 中断清除寄存器 (INTCLR 偏移: 0x08)	487
27.4.4. 输出配置寄存器 0 (LCD_POEN0 偏移: 0x0C)	487
27.4.5. 输出配置寄存器 1 (LCD_POEN1: 0x10)	487
27.4.6. LCD_RAM0~7 (LCD_RAM0~7 偏移: 0x40~0x5C)	488
27.4.7. LCD_RAM8~F (LCD_RAM8~F 偏移: 0x60~0x7C)	489
27.5. 使用流程	489
27.5.1. 驱动 LCD	489
28. CRC 计算单元	490
28.1. 概述	490
28.2. 主要特性	490
28.3. 寄存器描述	490
28.3.1. 数据寄存器/ CRC_DATA (偏移: 00h)	490
28.3.2. 控制寄存器/ CRC_CTRL (偏移: 04h)	490
28.3.3. 初始值寄存器/ CRC_INIT (偏移: 08h)	491
28.3.4. 结果异或值寄存器/ CRC_OUTXOR (偏移: 10h)	492
28.3.5. 多项式寄存器/ CRC_POLY (偏移: 14h)	492

28.3.6. 独立数据寄存器/CRC_FDATA (偏移: 18h).....	492
28.4. 使用流程.....	492
29. 算法库.....	493
29.1. 数据类型.....	493
29.2. HRNG.....	493
29.2.1. 主要特性.....	493
29.2.2. 库文件说明.....	493
29.3. AES.....	493
29.3.1. 主要特性.....	493
29.3.2. 库文件说明.....	494
29.3.3. 注意事项.....	494

图目录

图 2-1 处理器结构框图.....	2
图 2-2 处理器寄存器组.....	2
图 2-3 芯片系统架构图.....	3
图 2-4 芯片启动模式选择.....	6
图 2-5 芯片电源域.....	7
图 3-1 复位关系图.....	60
图 3-2 时钟结构图.....	62
图 5-1 EXTI 系统框图.....	66
图 6-1 eFlash 地址映射.....	74
图 6-2 闪存编程操作流程.....	75
图 6-3 页擦除操作流程.....	76
图 7-1 DMA 结构框图.....	82
图 8-1 高级定时器结构框图.....	97
图 8-2 计数单元的结构.....	98
图 8-3 当预分频器的参数从 1 变到 2 时, 计数器的时序图.....	99
图 8-4 当预分频器的参数从 1 变到 4 时, 计数器的时序图.....	100
图 8-5 外部时钟模式 1.....	101
图 8-6 外部时钟模式 2.....	101
图 8-7 通道 1 输入捕获 TI1 信号.....	102
图 8-8 PWM 输入模式时序.....	104
图 8-9 输出比较模式, 翻转 OC1.....	105
图 8-10 边沿对齐的 PWM 波形 (ARR=8).....	107
图 8-11 中央对齐的 PWM 波形 (ARR=8).....	108
图 8-12 带死区插入的互补输出.....	109
图 8-13 死区波形延迟大于负脉冲.....	110
图 8-14 死区波形延迟大于正脉冲.....	110
图 8-15 响应刹车的输出.....	112
图 8-16 刹车控制.....	113
图 8-17 产生六步 PWM, 使用 COM 的例子(OSSR=1).....	114
图 8-18 编码器模式下计数器操作实例.....	115

图 8-19 霍尔传感器接口的实例.....	117
图 8-20 单脉冲模式的例子.....	118
图 8-21 复位模式下的控制电路.....	119
图 8-22 门控模式下的控制电路.....	120
图 8-23 触发模式下的控制电路.....	121
图 8-24 外部时钟模式 2+触发模式控制电路.....	121
图 9-1 通用定时器 TIM3 框图.....	162
图 10-1 基本定时器 TIM6 结构框图.....	194
图 11-1 通用定时器 TIM14 结构框图.....	205
图 12-1 通用定时器 TIM15 结构框图.....	220
图 12-2 通用定时器 TIM16/TIM17 结构框图.....	220
图 13-1 WDT 功能框图.....	261
图 14-1 IWDG 框图.....	266
图 15-1 RTC 内部结构框图.....	274
图 17-1 GPIO 结构框图.....	303
图 18-1 SPI 结构框图.....	309
图 18-2 SPI 一线模式时序图 (MSB).....	310
图 18-3 SPI 一线模式时序图 (LSB).....	310
图 18-4 SPI 二线模式时序图 (MSB).....	311
图 18-5 SPI 二线模式时序图 (LSB).....	312
图 18-6 SPI 四线模式时序图 (MSB).....	312
图 18-7 SPI 四线模式时序图 (LSB).....	313
图 19-1 UART 结构框图.....	333
图 19-2 两个 UART 之间的硬件流控连接示意图.....	334
图 19-3 硬件流控时序图.....	335
图 19-4 LIN 帧格式.....	335
图 19-5 LIN 间隔场格式.....	336
图 19-6 LIN 字符格式.....	336
图 19-7 IrDA SIR 数据调制解调.....	337
图 19-8 UART 单线半双工模式框图.....	337
图 20-1 I2C 结构框图.....	355
图 20-2 I2C 总线传输.....	356
图 20-3 7 位从发送器的传送图.....	356
图 20-4 7 位从接收器的传送图.....	357
图 20-5 从机发送模式时钟延长时序 (虚线部分 SCL 为低, 主机无法发送 SCL).....	357
图 20-6 7 位主发送器的传送图.....	358
图 20-7 7 位主接收器的传送图.....	358
图 20-8 TXE 功能说明图.....	359
图 20-9 主机发送流程图 (虚线步骤可跳过, 下同).....	369
图 20-10 主机接收流程图.....	371
图 20-11 从机发送接收流程图.....	373
图 21-1 LPUR 整体框图.....	376
图 21-2 LPUR BIT 分布.....	377
图 22-1 ADC 框图.....	386

图 22-2 ADC 转换时序图.....	389
图 22-3 AWD 阈值图.....	390
图 23-1 OPAMP 结构框图.....	415
图 24-1 COMP 结构框图.....	422
图 24-2 比较器窗口模式级联.....	424
图 25-1 TKEY 结构框图.....	432
图 26-1 内部功能框图.....	447
图 26-2 正常模式示意图.....	448
图 26-3 监听模式示意图.....	448
图 26-4 自测试模式示意图.....	449
图 26-5 CAN 数据帧结构.....	449
图 26-6 TxBuff 数据结构.....	450
图 26-7 RxBuff 数据结构.....	451
图 26-8 CAN 接收示意图.....	452
图 26-9 单过滤模式过滤器示意图.....	453
图 26-10 双过滤模式过滤器示意图.....	454
图 26-11 CAN 位时序图.....	455
图 27-1 LCD 系统框图.....	472
图 27-2 1/6 占空比 1/3 偏压 A 类波形图.....	473
图 27-3 1/6 占空比 1/3 偏压 B 类波形图.....	474
图 27-4 内部电阻分压电路示意图.....	475
图 27-5 内部电阻模式外接滤波电容示意图.....	476
图 27-6 外部电阻模式连接示意图.....	477
图 27-7 1/8 占空比(模式 1).....	478
图 27-8 1/6 占空比(模式 1).....	478
图 27-9 1/4 占空比(模式 1).....	478
图 27-10 1/3 占空比(模式 1).....	479
图 27-11 1/2 占空比(模式 1).....	479
图 27-12 静态 (模式 1).....	479
图 27-13 1/8 占空比(模式 0).....	479
图 27-14 1/6 占空比(模式 0).....	480
图 27-15 1/4 占空比(模式 0).....	480
图 27-16 1/3 占空比(模式 0).....	480
图 27-17 1/2 占空比(模式 0).....	480
图 27-18 静态(模式 0).....	481

表目录

表格 2-1 ACM32F0X0_FPOX 存储空间映射表.....	4
表格 2-2 低功耗模式.....	8
表格 3-1 系统复位源.....	59

表格 3-2 系统时钟选择	63
表格 4-1 中断源	64
表格 7-1 DBSIZE/SBSIZE 对应的 burst size	84
表格 7-2 目标外设和源外设请求号	85
表格 8-1 计数器方向和编码器信号的关系	114
表格 8-2 TIM1 从模式互连-ITRx	132
表格 8-3 TIM1 从模式互连-ETRx	132
表格 8-4 互补输出通道 OCx 和 OCxN 的控制	148
表格 9-1 TIM3 从模式互联: ITRx	172
表格 9-2 TIM3 从模式互联: ETRx	172
表格 9-3 标准 OCx 通道的输出控制位	187
表格 11-1 标准 OCx 通道的输出控制位	217
表格 12-1 TIM15 从模式互联: ITRx	231
表格 16-1 唤醒引脚对应表	291
表格 22-1 ADC 通道说明	387
表格 22-2 AWD 控制位表	390
表格 22-3 ADC 触发源选择表	391
表格 22-4 ADC 中断控制表	394
表格 23-1 运放工作模式控制和输出关系	416
表格 29-1 库文件说明	494

1. 文档约定

1.1. 基本信息

ACM32F0X0_FP0X_A070 芯片是基于 ARM Cortex-M0 内核的通用处理器芯片。芯片具体信息以数据手册为准。

1.2. 寄存器属性缩写表

read/write (RW): 可读写

read-only (RO): 只读

write-only (WO): 只写

read/clear write0 (RC_W0): 只读, 写 0 清 0, 写 1 无效

read/clear write1 (RC_W1): 只读, 写 1 清 0, 写 0 无效

read/clear by read (RC_R): 只读, 读该位后硬件自动清零该位, 写无效

RSV: 保留

1.3. 术语

AHB: advanced high-performance bus.

APB: advanced peripheral bus.

Word: data of 32-bit length.

Half-word: data of 16-bit length.

Byte: data of 8-bit length.

NVR: Non-Volatile Region

eFlash: embedded Flash

2. 存储器及系统架构

ACM32F0X0_FP0X_A070 芯片基于 ARM Cortex-M0 处理器，基于 ARMv6-M 架构。

2.1. ARM Cortex-M0 处理器

ARM Cortex-M0 32 位 ARM 处理器功耗极低、门数少、代码资源占用小，主要应用在这些对面积有最优化要求的微控制器和嵌入式应用场合，是超低功耗 MCU 和混合信号应用的理想之选，它可以用 16 位的资源占用来提供 32 位的性能和效率。

处理器结构框图如图 2-1 所示，寄存器组见图 2-2 所示。

图 2-1 处理器结构框图

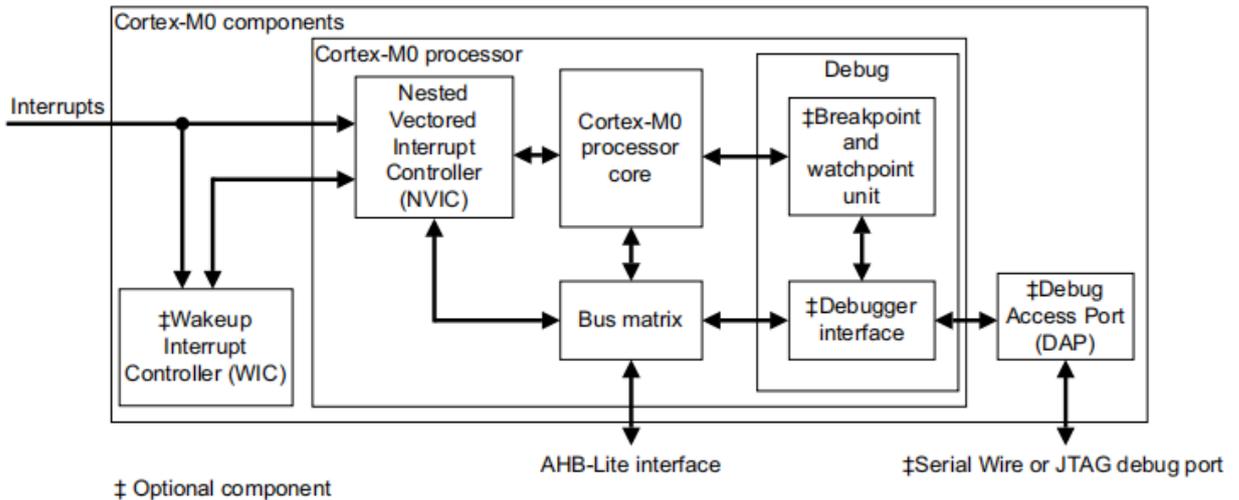
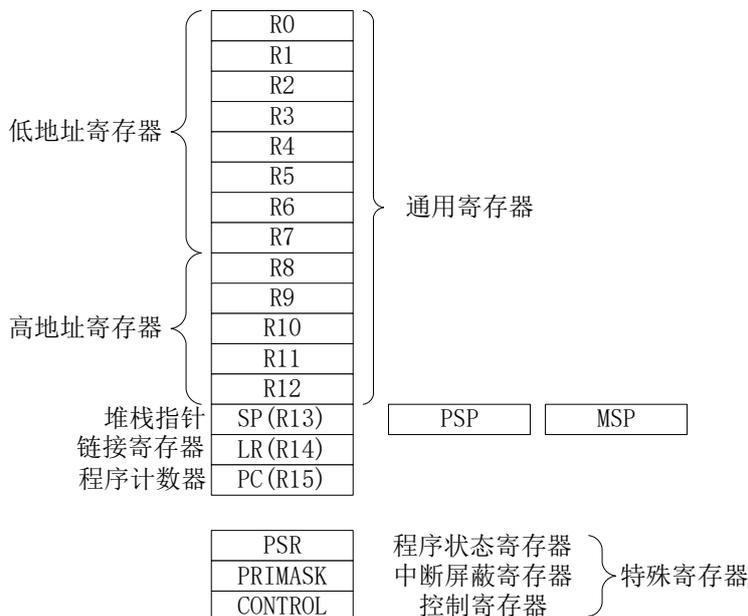


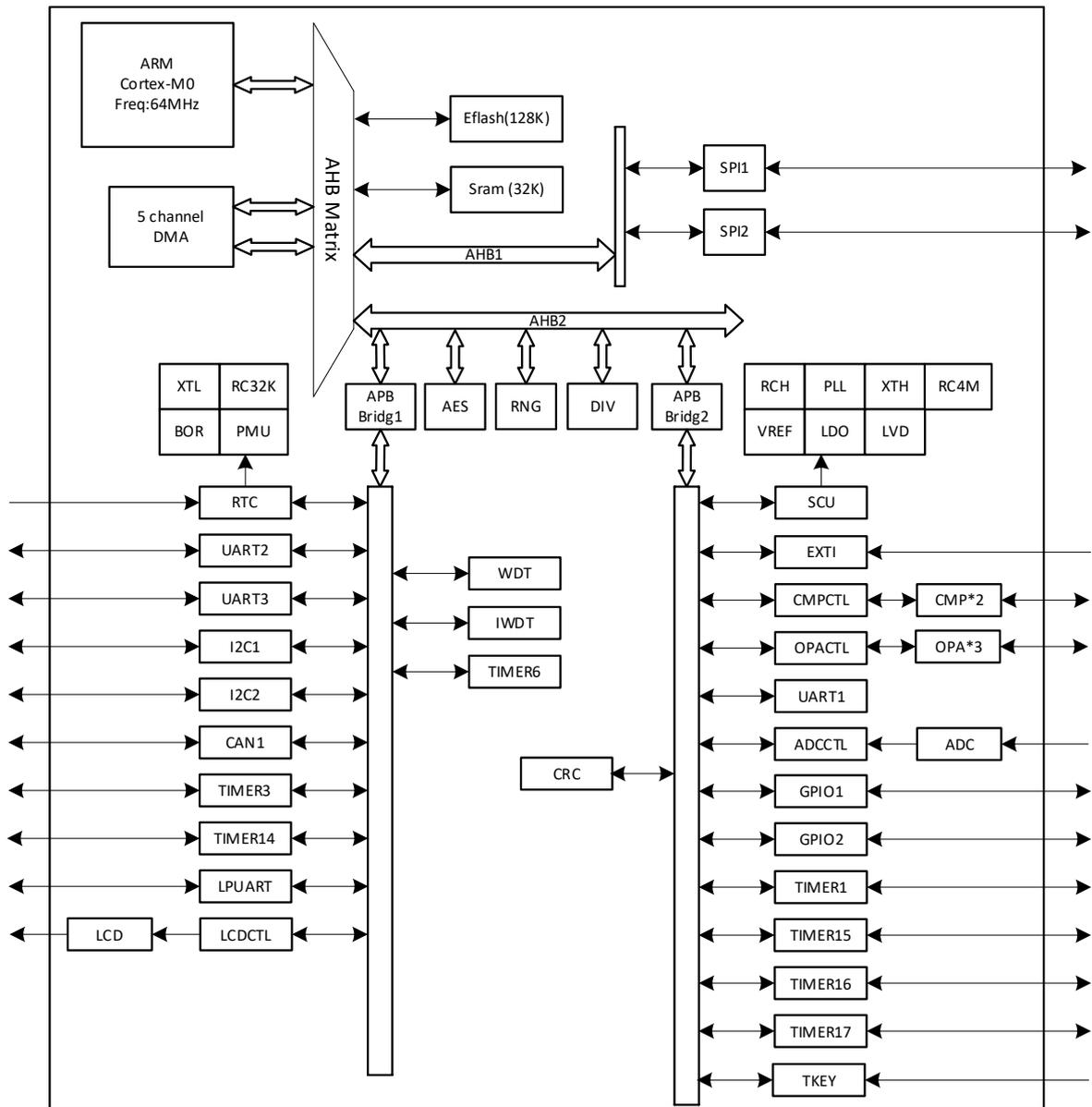
图 2-2 处理器寄存器组



2.2. 系统架构

系统架构图如图 2-3 所示。AHB1 和 AHB2 的时钟频率一致且等于系统频率，APB1 和 APB2 的时钟频率一致且可由系统频率分频而来。

图 2-3 芯片系统架构图



注：ACM32FP0X 系列无 CAN、LCD 功能。

2.3. 存储器映射

ACM32F0X0_FP0X_A070 芯片的存储空间分为 ROM 启动和 Flash 启动两种模式，具体如

下表所示。

ROM 上电时，ROM 的地址为 0x0000_0000 和 0x1200_0000 同时有效，0x1200_0000 为 shadow 区；Flash 地址映射为 0x1000_0000。系统支持存储地址空间重映射（remapping）机制，即将 128KB Flash 空间映射到 0x0 起始地址，以屏蔽 ROM 启动，直接从 Flash 启动，便于用户控制所有系统资源，此时 Flash 的地址为 0x0000_0000；ROM 空间起始地址为 0x1200_0000。

表格 2-1 ACM32F0X0_FP0X_A070 存储空间映射表

模块名	ROM 启动	EFlash 启动
ROM	0x0000_0000——0x0000_2fff 0x1200_0000——0x1200_3fff	0x1200_0000——0x12000_2fff
EFlash	0x1000_0000——0x1001_ffff	0x0000_0000——0x0001_ffff
EFlash Ctrl	0x1010_0000——0x1010_ffff	0x0010_0000——0x0010_ffff
EFlash NVR	0x1008_0000——0x1008_07ff	0x0008_0000——0x0008_07ff
SRAM		
SRAM	0x2000_0000——0x2000_7fff	
APB1 Slave		
TIM3	0x4000_0400——0x4000_07ff	
TIM6	0x4000_1000——0x4000_13ff	
TIM14	0x4000_2000——0x4000_23ff	
RTC_PMU	0x4000_2400——0x4000_27ff	
RTC	0x4000_2800——0x4000_2Bff	
WDT	0x4000_2C00——0x4000_2fff	
IWDT	0x4000_3000——0x4000_33ff	
UART2	0x4000_4400——0x4000_47ff	
UART3	0x4000_4800——0x4000_4Bff	
I2C1	0x4000_5400——0x4000_57ff	
I2C2	0x4000_5800——0x4000_5Bff	
CAN1	0x4000_6400——0x4000_67ff	
LPUART	0x4000_8000——0x4000_83ff	
LCD	0x4000_F000——0x4000_F3ff	
APB2 Slave		

COMP	0x4001_0200—0x4001_02ff
OPA	0x4001_0300—0x4001_03ff
EXTI	0x4001_0400—0x4001_07ff
SCU	0x4001_0800—0x4001_0Bff
CRC	0x4001_0C00—0x4001_0fff
ADC	0x4001_2400—0x4001_27ff
TM1	0x4001_2c00—0x4001_2fff
UART1	0x4001_3800—0x4001_3bff
TM15	0x4001_4000—0x4001_43ff
TM16	0x4001_4400—0x4001_47ff
TM17	0x4001_4800—0x4001_4bff
TKEY	0x4001_6400—0x4001_67ff
GPIO1(31-0)	0x4001_F000—0x4001_F3ff
GPIO2(55-32)	0x4001_F400—0x4001_F7ff
AHB1 Slave	
SPI1	0x4002_0000—0x4002_03ff
SPI2	0x4002_0400—0x4002_07ff
DMA Ctrl	0x4002_1000—0x4002_1fff
AHB2 Slave	
AES	0x4003_0000—0x4003_03ff
DIV	0x4003_0400—0x4003_07ff
HRNG	0x4003_0800—0x4003_0bff
QSPI memory	
SPI2	0x9000_0000—0x9fff_ffff

注：ACM32FP0X 系列无 CAN、LCD、COMP、OPA 功能。

2.4. 片上 SRAM

芯片集成了多达 32KB 的 SRAM，支持字节、半字（16 位）以及字（32 位）访问。处理器可以以 64MHz 的系统频率无等待地访问 SRAM。SRAM 支持奇偶校验，当校验出错时，能产生错误标志。

2.5. 片上 Flash

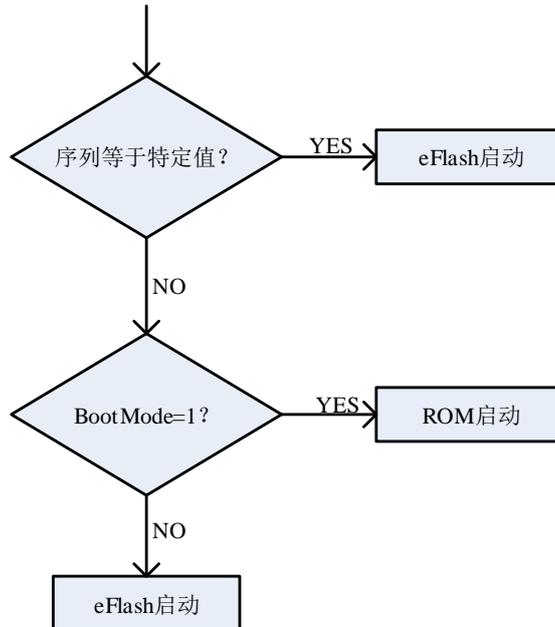
芯片集成了多达 128KB 的 Flash 以及 4 页的 NVR，支持字节、半字（16 位）以及字（32 位）访问。NVR 区的配置字可用于芯片配置，重新上电后生效。片上 Flash 的具体信息请参考 EFC 章节。

2.6. BOOT 配置

芯片有两种启动模式：ROM 启动和 eFlash 启动。

系统上电时，芯片会读取安全序列字段和系统寄存器 WMR 的 BootMode 标志位，决定是将 eFlash 还是将 ROM 映射到 0x0 起始逻辑地址。BootMode 标志位由上电时 BOOT 引脚的高低电平决定。图 2-3 描述了芯片启动模式选择过程。

图 2-4 芯片启动模式选择



2.7. 芯片序列号

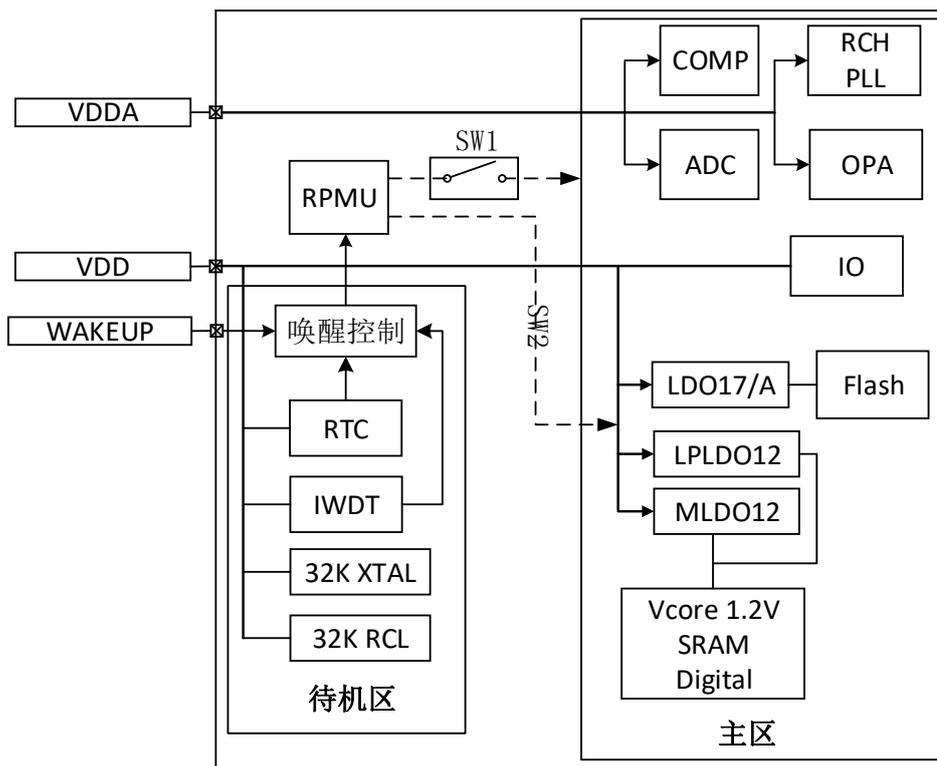
每颗芯片都包含唯一的 128 位（16 字节）的序列号。

基地址：0x0008_0208

2.8. 电源控制

芯片的供电电源为 VCC，支持 1.70~3.60V 的电压范围。如下图所示，整个电源分为主区和待机区域两个部分。主区为芯片正常运行的主供电区，通过 VDDA/VDD 分别提供模拟电源和数字电源。待机区是芯片进入低功耗待机（STANDBY 模式）的供电区域。RPMU 模块见 RPMU 章节的详细介绍。

图 2-5 芯片电源域



2.9. 低功耗模式

芯片除正常工作模式外，为了降低芯片的功耗，芯片提供三种低功耗模式：睡眠（SLEEP）

模式、停止（STOP）模式和待机（STANDBY）模式。

- 睡眠模式（SLEEP）：内核停止工作，但所有外设的时钟仍然工作
- 停止模式（STOP）：所有时钟停止，IWDT、RTC 和 LPUART 可以工作在低速时钟
- 待机模式（STANDBY）：主区断电，待机区工作，IWDT 和 RTC 能继续工作

详细的描述如下表：

表格 2-2 低功耗模式

模式	模式描述	进入条件	退出条件
SLEEP	CPU 休眠；功能模块不休眠；软件可关闭各模块时钟。	<ol style="list-style-type: none"> 1.根据需要，关闭各外设模块时钟，仅留下需要监测中断事件的模块 2.执行 WFI/WFE 指令 	<ol style="list-style-type: none"> 1.CPU 检测到中断或事件发生； 2.如果是 WFI 唤醒，则进入中断服务程序清中断并返回； 3.继续执行后续指令
STOP	大部分数字逻辑关闭时钟 (LPUART/RTC/IWDT 数字时钟保留，因为可工作在 RC32K 或 XTAL 时钟下，可作为唤醒源)；Disable 所有 analog 模块（LDO 除外），eFlash 可选择是否进入 SLEEP 模式。	<ol style="list-style-type: none"> 1.关闭全局中断 2.确保系统时钟切换到 RCH；配置唤醒源，将 STOPCFG 中的 PDDS 写为 0，关闭不需要的模拟模块（如 PLL，比较器，运放，RC32K, LVD 等） 4.如需更低功耗，可将系统寄存器 STOPCFG 中的 RC64MPDEN 位和 LPSTOP 位置 1，在进入 STOP 模式后，LDO12 会自动进入低功耗模式，RC64M 会自动关闭。 5.调用 SRAM 中的 STOP 接口函数进入 STOP 模式。 <p>注：如果配置的唤醒源在调用 SRAM 中 STOP 接口函数之前就是有效的，则不会进入 STOP 模式。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.唤醒信号（EXTI 信号，见 EXTI 唤醒管理）到来。 2.MCU 唤醒，运行 SRAM 中 STOP 接口函数的后续程序，为回到正常模式提供运行环境。 3.程序从 SRAM 中返回，回到了正常模式，使能全局中断，执行后续指令。

STANDBY	关闭主区电源，保留 RTC 待机区工作	<ol style="list-style-type: none"> 配置 RPMU 中 CR 寄存器来使能唤醒管脚的唤醒功能，或者使能 RTC 模块以及 RTC 中断。 将 STOPCFG 中的 PDDS 写为 1。 通过 WFI 或 WFE 进入 STANDBY 模式。 	WAKEUP 引脚的有效边沿/RTC 中断/RSTN 管脚复位/IWDT 复位
---------	---------------------	--	---

注意：进入 LPSTP 模式前，需要将 MLDO12 电压自动降低(MLDO12_LV)，以减小随后关闭 MLDO12 带来的电压波动。

2.10. 系统寄存器

系统控制器是 APB2 从设备。寄存器映射如下表所示：

SCU 寄存器基地址：0x4001_0800

地址	名称	描述
0x0000	RCR	复位控制寄存器
0x0004	RSR	复位源状态寄存器
0x000C	IPRSTR1	模块复位寄存器 1
0x0010	CCR1	时钟控制寄存器 1
0x0014	CCR2	时钟控制寄存器 2
0x0018	CIR	时钟中断寄存器
0x001C	IPCKENR	模块使能寄存器
0x0020	IPCKENR2	模块使能寄存器 2
0x0024	RCHCR	RCH 控制寄存器
0x0028	XTHCR	XTH 控制寄存器
0x002C	PLLCR	PLL 控制寄存器
0x0030	LDOCR	模拟 LDO 控制寄存器
0x0034	REV	备用
0x0038	WMR	工作模式寄存器

0x003C	CLKOCR	时钟输出控制寄存器
0x0040	VER	版本寄存器
0x0044	SYSCFG1	系统配置寄存器 1
0x0048	LVDCFG	LVD 配置寄存器
0x004C	STOPCFG	STOP 模式配置寄存器
0x0050	VECTOROFFSET	中断向量表重映射寄存器
0x0058	MEMCFG	Memory 配置寄存器
0x0060	PASEL1	PA 管脚复用寄存器 1
0x0064	PASEL2	PA 管脚复用寄存器 2
0x0068	PBSEL1	PB 管脚复用寄存器 1
0x006C	PBSEL2	PB 管脚复用寄存器 2
0x0070	PA/BPUR	PA/PB 管脚上拉寄存器
0x0074	PA/BPDR	PA/PB 管脚下拉寄存器
0x0078	PASTR	PA 管脚输出驱动选择寄存器
0x007C	PBSTR	PB 管脚输出驱动选择寄存器
0x0080	PA/BSMTR	PA/PB 管脚 SMT 使能寄存器
0x0084	PA/BODR	PA/PB 管脚 OD 使能寄存器
0x0088	PA/BADS	PA/PB 管脚数模选择寄存器
0x0090	PCSEL1	PC 管脚复用寄存器 1
0x0094	PCSEL2	PC 管脚复用寄存器 2
0x0098	PDSEL1	PPD 管脚复用寄存器 1
0x009C	PDSEL2	PPD 管脚复用寄存器 2
0x00A0	PC/DPUR	PC/PD 管脚上拉寄存器
0x00A4	PC/DPDR	PC/PD 管脚下拉寄存器
0x00A8	PCSTR	PC 管脚驱动选择寄存器
0x00AC	PDSTR	PD 管脚驱动选择寄存器
0x00B0	PC/DSMTR	PC/PD 管脚 SMT 使能寄存器
0x00B4	PC/DODR	PC/PD 管脚 OD 使能寄存器
0x00B8	PC/DAD	PC/PD 管脚数模选择寄存器

2.10.1. 复位控制寄存器/RCR (偏移: 00h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31	RSV	-	-	保留
30	SRST	W	1	Soft Reset: 芯片软复位
29	EFC_RST	W	1	eFlash 复位: 芯片复位并发起 NVR 重新加载。复位层级和 NRST 复位相当, 详情见时钟与复位章节。
28:17	RSV	-	-	保留
16	REMAP_IMP	RW	0	REMAP 立刻使能 0: 无效 1: 写 1 立刻使能 REMAP, 下次 REMAP 先写 0 再写 1
15:4	RSV	-	-	保留
3	LOCKRST_EN	RW	0	CPU 发生 LOCKUP 后, 是否复位系统 0: 不允许其复位系统逻辑 1: 允许 LOCKUP 复位系统逻辑
2	IWDTRST_EN	RW	0	IWDT reset 使能, 使能后允许独立看门狗信号复位系统 0: 不允许其复位系统逻辑 1: 允许看门狗 reset 复位系统逻辑
1	WDTRST_EN	RW	0	WDT reset 使能, 使能后允许看门狗信号复位系统 0: 不允许其复位系统逻辑 1: 允许看门狗 reset 复位系统逻辑
0	LVDRST_EN	RW	0	低压 LVD reset 使能, 使能后允许低电压检测电路产生的信号复位系统 0: 不允许其复位系统逻辑 1: 允许 VDL RESET 复位系统逻辑

2.10.2. 复位源状态寄存器/RSR (偏移: 04h)

复位状态寄存器，记录引起系统复位的原因。需要通过 RSTFlag_Clr 清除，或者上电复位清除。

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:17	RSV	-	-	保留
16	RSTFlag_Clr	RW	0	写 1 清除所有复位标志
15:9	RSV	-	-	保留
10	PWRRST_F	RO	1	PWR 复位标志： 0:上一次复位不是由 POR/BOR 复位设置引起 1:上一次复位由 POR/BOR 复位设置引起 注：此标志在 STANDBY 区域，清除会有延迟。
9	POR12RST_F	RO	1	POR12 复位标志： 0:上一次复位不是由 POR12 复位设置引起 1:上一次复位由 POR12 复位设置引起
8	RSV	-	-	保留
7	SRST_F	RO	0	Soft Reset 标志： 0:上一次复位不是由系统软复位设置引起 1:上一次复位由系统软复位设置引起
6	EFCRST_F	RO	0	EFC Reset 标志： 0:上一次复位不是由 EFC 复位引起 1:上一次复位由 EFC 复位引起
5	RSTN_F	RO	0	RSTN Reset 标志： 0:上一次复位不是由复位管脚引起 1:上一次复位由复位管脚引起 注：此标志在 STANDBY 区域，清除会有延迟。
4	SYSREQRST_F	RO	0	CPU SYSREQ Reset 标志： 0:上一次复位不是由 SYSREQ 引起 1:上一次复位由 SYSREQ 引起

3	LOCKRST_F	RO	0	LOCKUP Reset 标志: 0:上一次复位不是由 LOCKUP 引起 1:上一次复位由 LOCKUP 引起
2	IWDTRST_F	RO	0	IWDT Reset 标志: 0:上一次复位不是由独立看门狗模块引起 1:上一次复位由独立看门狗模块引起 注: 此标志在 STANDBY 区域, 清除会有延迟。
1	WDTRST_F	RO	0	WDT Reset 标志: 0:上一次复位不是由看门狗模块引起 1:上一次复位由看门狗模块引起
0	VDLRST_F	RO	0	VDL Reset 标志: 0: 上一次复位不是由低压检测模块引起 1: 上一次复位由低电压检测模块引起

2.10.3. 模块复位控制寄存器 1/IPRSTR(偏移: 0Ch)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31	CAN1	RW	1	CAN1 模块复位 0: 复位; 1: 不复位
30	RSV	-	-	保留
29	LCDRST	RW	1	LCD 控制器复位 0: 复位; 1: 不复位
28	UACRST	RW	1	UAC 模块复位 0: 复位; 1: 不复位
27	TIM17RST	RW	1	TIM17 模块复位 0: 复位; 1: 不复位
26	TIM16RST	RW	1	TIM16 模块复位 0: 复位; 1: 不复位
25	TIM15RST	RW	1	TIM15 模块复位

				0: 复位; 1: 不复位
24	TIM14RST	RW	1	TIM14 模块复位 0: 复位; 1: 不复位
23	RSV	-	-	保留
22	TIM6RST	RW	1	TIM6 模块复位 0: 复位; 1: 不复位
21	TIM3RST	RW	1	TIM3 模块复位 0: 复位; 1: 不复位
20	TIM1RST	RW	1	TIM1 模块复位 0: 复位; 1: 不复位
19	UART3RST	RW	1	UART3 模块复位 0: 复位; 1: 不复位
18	EXTIRST	RW	1	EXTI 模块复位 0: 复位; 1: 不复位
17	OPARST	RW	1	OPA 运放模块复位 0: 复位; 1: 不复位
16	COMPRST	RW	1	COMP 比较器模块复位 0: 复位; 1: 不复位
15	TKRST	RW	1	TK 触控按键模块复位 0: 复位; 1: 不复位
14	ADCRST	RW	1	ADC 模块复位 0: 复位; 1: 不复位
13	RSV	RW	1	保留
12	DMACRST	RW	1	DMA 模块复位 0: 复位; 1: 不复位
11	CRCRST	RW	1	CRC 模块复位 0: 复位; 1: 不复位
10	RSV	-	-	保留
9	WDTRST	RW	1	WDT 模块复位

				0: 复位; 1: 不复位
8	LPUARTRST	RW	1	LPUART 模块复位 0: 复位; 1: 不复位
7	I2C2RST	RW	1	I2C2 模块复位 0: 复位; 1: 不复位
6	I2C1RST	RW	1	I2C1 模块复位 0: 复位; 1: 不复位
5	SPI2RST	RW	1	SPI2 模块复位 0: 复位; 1: 不复位
4	SPI1RST	RW	1	SPI1 模块复位 0: 复位; 1: 不复位
3	UART2RST	RW	1	UART2 模块复位 0: 复位; 1: 不复位
2	UART1RST	RW	1	UART1 模块复位 0: 复位; 1: 不复位
1	GPIO2RST	RW	1	GPIO2 模块复位 0: 复位; 1: 不复位
0	GPIO1RST	RW	1	GPIO1 模块复位 0: 复位; 1: 不复位

2.10.4. 时钟控制寄存器 1/CCR1(偏移: 10h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:3	RSV	-	-	保留
2:0	SYS_CLK_SEL	RW	000	系统时钟 SYS_CLK 选择: 000: 来自 RCH 001: 来自 RC32K 010: 来自 XTH 011: 来自 XTL

				1xx: 来自 PLLCLK 复位域和内核一致
--	--	--	--	----------------------------

2.10.5. 时钟控制寄存器 2/CCR2 (偏移: 14h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31	DIVDONE	RO	1	SYSDIV 分频设置计数 256 个时钟完成, 可以更新分频值 0: 计数 256 个时钟未完成 1: 计数 256 个时钟完成
30:19	RSV	-	-	保留
18	LCDSCLK_SEL	RW	0	LCD 扫描时钟选择 0: 选择 RC32K 1: 选择 XTL
17	TKCTLCLK_SEL	RW	0	TK 模块 CTL 时钟选择 (用于计数按键间隔)。 0: 选择 RC32K 1: 选择 XTL
16	TKSCLK_SEL	RW	0	TK 模块扫描时钟选择 0: 来自于 PCLK 1: 来自于 RC4M
15	FLTCLK_SEL	RW	0	FLTCLK 选择, LVD 和 CMP 的滤波时钟选择 0: PCLK 的 32 分频 1: RC32K
14:13	LPUCLK_SEL	RW	00	LPUART 时钟选择 00: RC32K 01: XTL 10: PCLK 分频, 由 LPUARTDIV 确定
12:11	LPUARTDIV	RW	11	LPUART 使用 PCLK 分频选择 00:4 分频 01:8 分频 10:16 分频

				11:32 分频
10:8	PCLKDIV	RW	000	PCLK 分频设置 0xx: 不分频 100: 2 分频 101: 4 分频 110: 8 分频 111: 16 分频
7:4	SYSDIV1	RW	0001	系统时钟第二级分频选择, 产生 HCLK 0000:不分频 0001:2 分频 0010:3 分频 0011:4 分频 ... 1100:13 分频 1101:14 分频 1110:15 分频 1111:16 分频
3:0	SYSDIV0	RW	0011	系统时钟第一级分频选择, 产生 SYS_CLK_DIV0 0000:不分频 0001:2 分频 0010:3 分频 0011:4 分频 ... 1100:13 分频 1101:14 分频 1110:15 分频 1111:16 分频

注意: 为了防止频率突变导致电源不稳定, 更改系统时钟和算法时钟分频设置需要逐级变化, 每次更改变化后保证 256 个时钟后 (读取 DIVDONE 为 1) 再更新分频值。

2.10.6. 时钟中断寄存器/CIR (偏移: 18h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:22	RSV	-	-	保留
21	RC4MRDYIC	WO	0	RC4M 时钟稳定中断清除。 软件写 1 清除中断 RC4MRDYIF 0: 无影响 1: 清除 RC4M 时钟稳定中断标志
20	PLLLOCKIC	WO	0	PLL LOCK 中断清除。 软件写 1 清除中断 PLLLOCKIF 0: 无影响 1: 清除 PLL LOCK 中断标志
19	XTHRDIYIC	WO	0	XTH 时钟稳定中断清除。 软件写 1 清除中断 XTHRDIYIF 0: 无影响 1: 清除 XTH 时钟稳定中断标志
18	RCHRDIYIC	WO	0	RCH 时钟稳定中断清除。 软件写 1 清除中断 RCHRDIYIF 0: 无影响 1: 清除 RCH 时钟稳定中断标志
17	XTLRDIYIC	WO	0	XTL 时钟稳定中断清除。 软件写 1 清除中断 XTLRDIYIF 0: 无影响 1: 清除 XTL 时钟稳定中断标志
16	RC32KRDIYIC	WO	0	RC32K 时钟稳定中断清除。 软件写 1 清除中断 RC32KRDIYIF 0: 无影响 1: 清除 RCK 时钟稳定中断标志
15:14	RSV	-	-	保留

13	RC4MRDYIE	RW	0	RC4M 时钟稳定中断使能 0: 禁止 RC4M 时钟稳定中断 1: 使能 RC4M 时钟稳定中断
12	PLLLOCKIE	RW	0	PLL LOCK 中断使能 0: 禁止 PLL LOCK 中断 1: 使能 PLL LOCK 中断
11	XTHRDIIE	RW	0	XTH 时钟稳定中断使能 0: 禁止 XTH 时钟稳定中断 1: 使能 XTH 时钟稳定中断
10	RCHRDIIE	RW	0	RCH 时钟稳定中断使能 0: 禁止 RCH 时钟稳定中断 1: 使能 RCH 时钟稳定中断
9	XTLRDIIE	RW	0	XTL 时钟稳定中断使能 0: 禁止 XTL 时钟稳定中断 1: 使能 XTL 时钟稳定中断
8	RC32KRDIIE	RW	0	RC32K 时钟稳定中断使能 0: 禁止 RCK 时钟稳定中断 1: 使能 RCK 时钟稳定中断
7: 6	RSV	-	-	保留
5	RC4MRDYIF	RO	0	RC4M 时钟稳定中断标志 当 RC4M 时钟稳定, RC4MRDY 标志有效后硬件置位。软件设置 RC4MRDYIC 清除 0: 无 RC4M 时钟稳定中断 1: 产生 RC4M 时钟稳定中断
4	PLLLOCKIF	RO	0	PLL LOCK 中断标志 当 PLL 模块 LOCK, PLL_LOCK(或 PLL_FREE_RUN)标志有效后硬件置位。软件设置 PLLLOCKIC 清除 0: 无 PLL LOCK 中断

				1: 产生 PLL LOCK 中断
3	XTHRDIIF	RO	0	XTH 时钟稳定中断标志 当 XTH 时钟稳定, XTHRDI 标志有效后硬件置位。软件设置 XTHRDIIC 清除 0: 无 XTH 时钟稳定中断 1: 产生 XTH 时钟稳定中断
2	RCHRDIIF	RO	1	RCH 时钟稳定中断标志 当 RCH 时钟稳定, RCHRDI 标志有效后硬件置位。软件设置 RCHRDIIC 清除 0: 无 RCH 时钟稳定中断 1: 产生 RCH 时钟稳定中断
1	XTLRDIIF	RO	0	XTL 时钟稳定中断标志 当 XTL 时钟稳定, XTLRDI (RTC 阈) 标志有效后硬件置位。软件设置 XTLRDIIC 清除 0: 无 XTL 时钟稳定中断 1: 产生 XTL 时钟稳定中断
0	RC32KRDIIF	RO	1	RC32K 时钟稳定中断标志 当 RC32K 时钟稳定, RC32KRDI (RTC 域) 标志有效后硬件置位。软件设置 RC32KRDIIC 清除 0: 无 RC32K 时钟稳定中断 1: 产生 RC32K 时钟稳定中断

2.10.7. 模块时钟使能寄存器/IPCKENR (偏移: 1Ch)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31	CAN1 CLKEN	RW	0	CAN1 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
30	ROM CLKEN	RW	1	ROM 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能

29	HRNGCLKEN	RW	0	HRNG 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
28	AES CLKEN	RW	0	AES 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
27	TIM17 CLKEN	RW	0	TIM17 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
26	TIM16 CLKEN	RW	0	TIM16 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
25	TIM15 CLKEN	RW	0	TIM15 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
24	TIM14 CLKEN	RW	0	TIM14 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
23	RSV	-	-	保留
22	TIM6 CLKEN	RW	1	TIM6 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
21	TIM3 CLKEN	RW	0	TIM3 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
20	TIM1 CLKEN	RW	0	TIM1 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
19	UART3 CLKEN	RW	1	UART3 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
18	RSV	-	-	保留
17	OPA CLKEN	RW	0	OPA 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
16	COMP CLKEN	RW	0	COMP 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
15	TK CLKEN	RW	0	TK 触控按键模块时钟使能
14	ADC CLKEN	RW	0	ADC 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能

13	RTC PCLKEN	RW	1	RTC 域总线时钟 PCLK 使能 0: 不使能; 1: 使能
12	DMAC CLKEN	RW	0	DMA 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
11	CRC CLKEN	RW	0	CRC 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
10	RSV	-	-	保留
9	LCD CLKEN	RW	0	LCD 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
8	LPUART CLKEN	RW	0	LPUART 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
7	I2C2 CLKEN	RW	0	I2C2 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
6	I2C1 CLKEN	RW	0	I2C1 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
5	SPI2 CLKEN	RW	0	SPI2 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
4	SPI1 CLKEN	RW	0	SPI1 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
3	UART2 CLKEN	RW	0	UART2 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
2	UART1 CLKEN	RW	1	UART1 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
1	RSV	-	-	保留
0	RSV	-	-	保留

2.10.8. 模块时钟使能寄存器 2/IPCKENR2 (偏移: 20h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
----	----	----	-----	------

31:7	RSV	-	-	保留
6	EFC CLKEN	RW	1	Eflash 模块在 SLEEP 模式下时钟使能 0: SLEEP 模式下不使能 1: SLEEP 模式下使能
5	SRAM CLKEN	RW	1	SRAM 在 SLEEP 模式下时钟使能 0: SLEEP 模式下不使能 1: SLEEP 模式下使能
4	EXTI CLKEN	RW	1	EXTI 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
3	RSV	-	-	保留
2	WDT CLKEN	RW	0	WDT 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
1	GPIO2 CLKEN	RW	0	GPIO2 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能
0	GPIO1 CLKEN	RW	1	GPIO1 模块时钟使能 0: 不使能; 1: 使能

2.10.9. RCH 模块控制寄存器/RCHCR (偏移: 24h)

该寄存器用于模拟 RCH

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:23	RSV	-	-	保留
22	RC4MRDY	RO	0	内部 RC4M 时钟 ready。RC4M 时钟稳定标志 0: RC4M 时钟未稳定 1: RC4M 时钟稳定, 时钟有效
21:17	RC4M_TRIM[4:0]	RW	00000	RC4M 时钟 Trim 值 Trim 越高频率越高
16	RC4M_EN	RW	0	RC4M 模块使能
15:10	RSV	-	-	保留
9	RCHRDY	RO	1	内部 RCH 时钟 ready。RCH 时钟稳定标志

				0: RCH 时钟未稳定 1: RCH 时钟稳定, 时钟有效
8	RCH_DIV	RW	0	选择 16 分频后的输出, 用于低功耗场景 0: 不分频输出 1: 选择 16 分频后输出
7:1	RCH_TRIM[6:0]	RW	0x00	RCH 时钟 TRIM 值 TRIM 值越高频率越高
0	RCH_EN	RW	1	RCH 模块使能 复位域和内核一致

2.10.10. XTHCR 模块控制寄存器/XTHCR (偏移: 28h)

该寄存器用于模拟 XTH

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:5	RSV	-	-	保留
4	XTHRDY	RO	0	XTH 振荡器 ready。XTH 振荡器时钟稳定标志, 输出时钟有效。 0: XTH 时钟未稳定 1: XTH 时钟稳定, 时钟有效
3:2	XTH_RDYTIME	RW	11	XTH 稳定时间设置, 以 XTH 时钟计数 00: 1024 个时钟 01: 4096 个时钟 10: 16384 个时钟 11: 32768 个时钟
1	XTH_BYP	RW	0	XTH 振荡器旁路使能 0: 禁止 XTL 振荡器旁路模式 1: 使能 XTL 振荡器旁路模式
0	XTH_EN	RW	0	XTH 模块使能

2.10.11. PLL 模块控制寄存器/PLLCR (偏移: 2Ch)

该寄存器用于模拟 PLL

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31	PLL_LOCK_SEL	RW	0	PLL LOCK 信号选择, 用于产生 PLL LOCK 中断 0: 选择 PLL_LOCK (模拟输出) 1: 选择 PLL_FREE_RUN (数字计数)
30	PLL_FREE_RUN	RO	0	PLL 工作状态寄存器。该位即时地反映 PLL 的工作状态, 当 PLL 进入 SLEEP 模式或重新配置频率后, 硬件自动清除该位; 当 PLL 退出 SLEEP 模式且配置生效后, 等待 PLL_RUN_DLY 设置时间后, 硬件自动置位。 1: PLL 正常工作。 0: PLL 正常不正常。
29	PLL_LOCK	RO	0	PLL 锁定状态位。检测模拟 PLL 锁定信号的上升沿。 1: PLL 已经锁定。 0: PLL 未锁定。
28:23	PLL_RUN_DLY	RW	0x10=010000	PLL 锁定等待时钟周期数。PLL 重新重新配置频率后, 至少需要 200us 的时间才能锁定。该控制位设定的锁定时间计算如下: $PLLLOCKDLY * 512 * (1/PCLK)$ PCLK 为 32M 时, 1 代表等待约 16us。
22	PLL_UPDATE_EN	RW	0	PLL 配置更新控制位, 下一个周期自动回 0。重新改写 PLL_M、PLL_N 和 PLL_F、PLL_SRC_SEL 后, 需要该该比特置位新的配置才能生效。复位时间 $60 * (1/PCLK)$ 1: PLL 配置更新。 0: PLL 配置不更新。

21	PLL_SLEEP	RW	1	PLL 休眠控制位（PLL 处于复位状态） 1：PLL 进入休眠。 0：PLL 不进入休眠。 注：先使能 PLL，再退出休眠。
20:18	RSV	-	-	保留
17:16	PLL_M	RW	01	输出分频控制字段。PLL_M 含有输出分配控制字段。对应分频值为 00: 1 分频 01: 2 分频 10: 4 分频 11: 8 分频
15:14	RSV	-	-	保留
13:12	PLL_N	RW	01	降频因子分频器字段。PLL_N 含有 PLL 输入时钟的分频因子，该值的实际作用是参考频率的分频因子。对应分频值为 (PLL_N+1)
11:7	RSV	-	-	保留
6:3	PLL_F	RW	0001	增频因子分频器字段。PLL_F 含有 PLL 反馈回路中分频器的分频因子，该值的实际作用是参考频率的倍频因子。对应倍频值为(PLL_F+1) PLL 输出公式为: $F_{pll} = ((PLL_F+1)*F_{in}/(PLL_N+1))/2^{PLL_M}$ 其中输入频率 F_{in} 范围为 3~32MHz VCO 输入频率范围 $F_{in}/(PLL_N+1)$ 为 3~8Mhz VCO 的工作范围 $(PLL_F+1)*F_{in}/(PLL_N+1)$ 为 32~64Mhz
2:1	PLL_SRC_SEL	RW	00	PLL 时钟源选择 00: 选择片内 RCH（需设置 16 分频模式） 1x: 选择片外 XTH
0	PLL_EN	RW	0	PLL 模块使能

				0: 不使能, PLL 模块处于 power down 状态 1: 使能, PLL 模块使能
--	--	--	--	---

2.10.12. 模拟 LDO 控制寄存器 LDOCR (偏移: 30h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:29	RSV	-	-	保留
28:26	LPLDO12_TRIM	RW	100	正常模式下, LPLDO12 选择 100: 1.1V 其他值: 保留
25:15	RSV	-	-	保留
14	LDO18A_EN	RW	1	LDO18A 使能信号, 默认为高
13:10	RSV	RW	-	保留
9	LDO18_EN	RW	1	LDO18 使能信号, 默认为高
8	LDOCTL_SEL	RW	0	LDO 控制选择 0: MLDO12_LV、MLDO12_LOWP、LPSTP、 LPLDO_EN 受 STOPCFG 相关位控制 1: 测试模式
7:4	LDO12_TRIM	RW	1000	LDO12 电压 TRIM
3	RSV	-	-	保留
2:0	VREF_TRIM	RW	100	基准电压 TRIM

2.10.13. 工作模式寄存器/WMR(偏移: 38h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:7	RSV	-	-	保留
6	RTC_ready	RO	1	Standby 唤醒后, RTC 域是否准备完成 0: RTC 域未完成, 不能访问 1: RTC 域完成, 可以访问

5	RSV	-	-	保留
4	REMAP_Flag	RO	X	REMAP 标志，表示现在是 ROM 工作模式还是 eFlash 工作模式： 0: ROM 工作模式 1: eFlash 工作模式 该寄存器的值会反映在 REMAP 管脚上。
3	BootMode	RO	X	BootMode 状态，用于指示芯片从 ROM 启动还是从 eFlash 启动，优先级低于 NVR Remapping 。 0:指示系统从 eFlash 启动； 1:指示系统从 ROM 启动，优先级低于 NVR remapping bit
2:0	RSV	-	-	保留

2.10.14. 时钟输出控制寄存器/CLKOCR(偏移: 3Ch)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31	BUZZER2_EN	RW	0	蜂鸣器 2 时钟输出使能，对应 MCO2 输出 0: 不使能，信号为 BUZZER2_POL 1: 使能
30	BUZZER2_POL	RW	0	蜂鸣器 2 时钟极性选择 0: 原极性（停止的时候为 0） 1: 反极性（停止的时候为 1）
29:24	BUZZER2_DIV	RW	0x3F= 111111	蜂鸣器 2 时钟分频值：分频数为寄存器值+1 默认为 64 分频
23	BUZZER_EN	RW	1	蜂鸣器时钟输出使能，对应 MCO 输出 0: 不使能，信号为 BUZZER_POL 1: 使能
22	BUZZER_POL	RW	0	蜂鸣器时钟极性选择 0: 原极性（停止的时候为 0）

				1: 反极性 (停止的时候为 1)
21:5	BUZZER_DIV	RW	0x4F	蜂鸣器时钟分频值: 分频数为寄存器值+1 默认为 80 分频
4	MCO_SEL	RW	1	Main Clock Output 信号选择 0: CLK_TEST 信号(详见 CLKTEST_SEL) 1: BUZZER 信号 (详见 BUZZER_DIV)
3:0	CLKTEST_SEL	RW	0	CLK_TEST 选择 0000: HCLK 0001: RCH 0010: RC32K 0011: XTH 0100: XTL 0101: PLLCLK 0110: PCLK 0111: SYS_CLK 1000: TIMCLK 1001: LPUARTCLK 1010: SysTick 1011: RC4M(触控按键模块专用) 1100: SW1 (触控按键开关) 其他: 无时钟

2.10.15. 版本寄存器/VER (偏移: 40h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31: 0	Version	RO	0xFFDE0021	芯片版本 0xFFDE0021 代表 V1 版本

2.10.16. 系统配置寄存器 1/SYSCFG1(偏移: 44h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:26	RSV	-	-	保留
25:24	TIM15_CH2_SE L	RW	00	TIM15_CH2 输入选择 00: 来自 IO 输入 01: 来自 MCO, 用于时钟校准 10: 来自 UART1_RX, 用于 UART 波特率校验 11: 来自 UART2_RX, 用于 UART 波特率校验
23: 22	TIM15_CH1_SE L	RW	00	TIM15_CH1 输入选择 00: 来自 IO 输入 01: 来自 MCO, 用于时钟校准 10: 来自 UART1_RX, 用于 UART 波特率校验 11: 来自 UART2_RX, 用于 UART 波特率校验
21	RSV	-	-	保留
20	TIM14_CH1_SE L	RW	0	TIM14_CH1 输入选择 0: 来自 IO 输入 1: 来自 MCO, 用于时钟校准
19	RSV	-	-	保留
18: 17	IR_MODE	RW	00	IR_OUT 一端选择 TIM16_CH1 还是 UART1/2_TXD 00: IR_OUT= \sim (TIM17_CH1& TIM16_CH1) 01: IR_OUT= \sim (TIM17_CH1&UART1_TXD) 10: IR_OUT= \sim (TIM17_CH1&UART2_TXD) 11: 保留
16	IR_POL	RW	0	IR_OUT 输出极性控制 0: 原极性 1: 取反
15:9	RSV	-	-	保留
8	SRAM_PEF	RC_	0	SRAM 校验错误标志, 写 1 清除

		W1		0: 无 SRAM 校验错误 1: 发生 SRAM 校验错误
7:4	RSV	-	-	保留
3	LCD_DMA_SE L	RW	1	LCD DMA 选择, 对于 DMA 的 REQ22/REQ25 申请 选择来源 0: REQ22 来自于 TIM3_CH2, REQ25 来自于 TIM15_CH2。 1: REQ22 来自于 LCD_TX, REQ25 来自于 LCD_RX。
2	LVD_LOCK	RW	0	LVD 检测错误锁定 0: LVD 检测错误输出从 TIM1/15/16/17 的 break 输 入端断开 1: LVD 检测错误输出与 TIM1/15/16/17 的 break 输 入端连接
1	SRAM_PARITY _LOCK	RW	0	SRAM 奇偶校验错误锁定 0: SRAM 校验错误输出从 TIM1/15/16/17 的 break 输入端断开 1: SRAM 校验错误输出与 TIM1/15/16/17 的 break 输入端连接
0	LOCKUP_LOC K	RW	0	Core LOCKUP 输出锁定 0: LOCKUP 输出从 TIM1/15/16/17 的 break 输入端 断开 1: LOCKUP 输出与 TIM1/15/16/17 的 break 输入端 连接

2.10.17. LVD 配置寄存器/LVDCFG (偏移: 48h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:16	REV	-	-	保留

15	LVD_Value	RW	0	LVD 原始状态
14	LVD_Filter	RW	0	LVD Filter 后的状态
11: 9	FLT_TIME	RW	000	<p>比较器滤波时间配置，滤波时间按 FiltClk 计算，FiltClk 由系统控制单元 SCU 进行配置。</p> <p>000: 1 个周期 001: 2 个周期 010: 4 个周期 011: 16 个周期 100: 64 个周期 101: 256 个周期 110: 1024 个周期 111: 4095 个周期</p>
8	LVD_FLTEN	RW	0	<p>数字滤波使能配置</p> <p>0: 禁止数字滤波 1: 使能数字滤波</p> <p>如果在 STOP 模式用 LVD 唤醒，需要禁止数字滤波或者使用 RC32K 时钟滤波</p>
7:5	RSV	-	-	保留
4:1	LVD_TRIM	RW	0000	<p>LVD 阈值电压选择，下列电压值为触发报警的典型值，解除报警电压值为所列电压值+0.1V。</p> <p>0000: 1.71 0001: 2.01 0010: 2.23 0011: 2.43 0100: 2.51 0101: 2.73 0110: 2.80 0111: 2.90 其它: 预留</p>

0	LV DEN	RW	0	<p>LVD 使能控制</p> <p>0: 禁止 LVD</p> <p>1: 使能 LVD</p> <p>注: 中断功能在 EXTI 中设置, 复位功能在 RCR 中设置。滤波后为高就产生复位。</p> <p>使能后, LVD 模拟需要 2us 的稳定时间, 在使能 2us 内可能误报警。</p>
---	--------	----	---	---

2.10.18. STOP 模式配置寄存器/STOPCFG(偏移: 4Ch)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:29	RSV	-	-	保留
28	SRAM_RET_A UTO	RW	0	<p>SRAM 下 STOP 模式下是否自动进入 retention 模式。</p> <p>在 Retention 模式下, SRAM 数据保持, 并减少漏电</p> <p>0: STOP 下不进入 retention 模式</p> <p>1: STOP 下自动进入 retention 模式</p>
27:16	WakeTime	RW	0x3C0	<p>STOP 唤醒时间设置</p> <p>从 STOP 模式唤醒时钟周期数(以系统时钟计数)</p>
15:13	LPLDO12_LV	RW	100	<p>停止 (STOP) 模式下, 低功耗模式(LPSTP)的 LPLDO12 调整选择</p> <p>100: 调整为 1.1V (不变)</p> <p>其他: 保留</p>
12	TKPCLK_SEL	RW	0	<p>在 STOP 模式下, TKEY 模块的 PCLK 时钟是否选择 RC4M。用于 STOP 模式下触控按键扫描保存通道数据。</p> <p>0: TK_PCLK 不切换, 时钟停止</p> <p>1: TK_PCLK 切换为 RC4M。</p>
11	PDDS	RW	0	<p>DeepSleep 待机模式使能</p> <p>0: DeepSleep 下进入 STOP 模式。LDO 工作状态受</p>

				<p>LPSTOP 控制</p> <p>1: DeepSleep 下进入 STANDBY 模式，主区断电</p>
10	TK_LPLDOLV	RW	0	<p>在低功耗停止 LPSTOP 模式下，触控按键扫描</p> <p>LPLDO 电压控制</p> <p>0: 触控按键扫描时，电压降低，由 LPLDO12_LV 决定</p> <p>1: 触控按键扫描时，电压恢复，受 LPLDO12_TRIM 控制</p>
9	LPSTOP	RW	0	<p>停止 (STOP) 模式下，LDO 是否进入 LPSTOP 模式。LDO12 使用 LPLDO12，LDO18 关闭，MLDO12 关闭。</p> <p>0: STOP 下不进入 LPSTP 模式</p> <p>1: STOP 下自动进入 LPSTP 模式</p> <p>注意：进入 LPSTP 模式前，需要将 MLDO12 电压自动降低(MLDO12_LV)，以减小随后关闭 MLDO12 带来的电压波动。</p>
8	RCH_DIV_EN	RW	0	<p>停止 (STOP) 模式下，RCH 选择 16 分频输出</p> <p>0: 选择原始不分频输出</p> <p>1: 选择 16 分频输出</p>
7	RSV	-	-	保留
6	MLDO12_LOW P	RW	0	<p>停止 (STOP) 模式下，MLDO 是否进入低功耗模式 (非 LPSTOP 模式有效)。</p> <p>0: STOP 下 MLDO12 不降低自身功耗</p> <p>1: STOP 下 MLDO12 降低自身功耗</p>
5:4	MLDO12_LV	RW	0	<p>停止 (STOP) 模式下，MLDO12 电压是否自动调整</p> <p>00: 保持为 1.2V</p> <p>01: 调整为 1.0V</p> <p>10: 调整为 0.9V</p> <p>11: 调整为 08V</p>

				注意：进入 LPSTP 模式前，需要将 MLDO12 电压自动降低，以减小随后关闭 MLDO12 带来的电压波动。
3	RC64MPDEN	RW	0	停止（STOP）模式下，RC64M 是否自动关闭 0: RC64M 不自动关闭 1: RC64M 自动关闭 注：PLL、RC32K、XTH、XTL 不会自动关闭，需软件控制
2:1	RSV	-	-	保留
0	RTC_WE	RW	0	RTC 域写使能 0: RTC 域写禁止 1: RTC 域写使能

2.10.19. 中断向量表重映射寄存器/VECTOROFFSET(偏移：50h)

注：复位与内核一致

比特	名称	属性	复位值	描述
31:10	VOFFSETADDR	RW	0	中断重映射使能后，设置中断向量表的高位地址 (Addr[31:10])，低位地址 (Addr[9:0]) 保持不变。
9:1	RSV	-	-	保留
0	VOFFSETEN	RW	0	中断重映射使能 0: 中断重映射禁止 1: 中断重映射使能

2.10.20. Memory 配置寄存器/MEMCFG (偏移：58h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:20	REV	-	-	保留
19:16	SRAM_SLP[RW	0000	SRAM 进入 SLEEP 模式（数据丢失），高有效

	3:0]			<p>SLEEP 模式下 SRAM 不能操作并数据丢失，但比 Retention 降低 0.2uA 功耗（每一块 8KB）</p> <p>以 8KB 为单位设置 SRAM 进入 Sleep 模式，对应关系如下：</p> <p>SRAM_SLP[x]: $8K*x \sim 8K*(x+1)$。</p> <p>例如：</p> <p>SRAM_SLP[0]设置 0~8KB</p> <p>SRAM_SLP[3]设置 24KB~32KB</p>
15: 5	RSV	-	-	保留
4:1	SRAM_RET[3:0]	RW	0000	<p>SRAM 进入 retention 模式（数据保持），高有效 Retention 模式下 SRAM 不能操作，但会降低 0.7uA 功耗（每一块 8KB）</p> <p>以 8KB 为单位设置 SRAM 进入 retention 模式，对应关系如下：</p> <p>SRAM_RET[x]: $8K*x \sim 8K*(x+1)$。</p> <p>例如：</p> <p>SRAM_RET[0]设置 0~8KB</p> <p>SRAM_RET[3]设置 24KB~32KB</p>
0	RSV	-	-	保留

2.10.21. PA 管脚复用寄存器 1/PASEL1(偏移：60h)

注：MCU 复位时 IO 配置也会复位，同 PB/PC/PD，具体功能见数据手册

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:28	PA7_SEL	RW	0000	<p>PA7 复用功能选择</p> <p>0000: GPIO7</p> <p>0001: 复用功能 1</p> <p>0010: 复用功能 2</p> <p>...</p>

				0111: 复用功能 7 其余: 保留
27:24	PA6_SEL	RW	0000	PA6 复用功能选择 0000: GPIO6 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
23:20	PA5_SEL	RW	0000	PA5 复用功能选择 0000: GPIO5 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
19:16	PA4_SEL	RW	0000	PA4 复用功能选择 0000: GPIO4 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
15:12	PA3_SEL	RW	0000	PA3 复用功能选择 0000: GPIO3 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ...

				0111: 复用功能 7 其余: 保留
11:8	PA2_SEL	RW	0000	PA2 复用功能选择 0000: GPIO2 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
7:4	PA1_SEL	RW	0000	PA1 复用功能选择 0000: GPIO1 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
3:0	PA0_SEL	RW	0000	PA0 复用功能选择 0000: GPIO0 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留

2.10.22. PA 管脚复用寄存器 2/PASEL2(偏移: 64h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:28	PA15_SEL	RW	0000	PA15 复用功能选择 (默认 JTDI)

				<p>0000: GPIO15</p> <p>0001: 复用功能 1</p> <p>0010: 复用功能 2</p> <p>...</p> <p>0111: 复用功能 7</p> <p>其余: 保留</p>
27:24	PA14_SEL	RW	0001	<p>PA14 复用功能选择 (默认 SWCLK)</p> <p>0000: GPIO14</p> <p>0001: 复用功能 1</p> <p>0010: 复用功能 2</p> <p>...</p> <p>0111: 复用功能 7</p> <p>其余: 保留</p>
23:20	PA13_SEL	RW	0001	<p>PA13 复用功能选择 (默认 SWDIO)</p> <p>0000: GPIO13</p> <p>0001: 复用功能 1</p> <p>0010: 复用功能 2</p> <p>...</p> <p>0111: 复用功能 7</p> <p>其余: 保留</p>
19:16	PA12_SEL	RW	0000	<p>PA12 复用功能选择</p> <p>0000: GPIO12</p> <p>0001: 复用功能 1</p> <p>0010: 复用功能 2</p> <p>...</p> <p>0111: 复用功能 7</p> <p>其余: 保留</p>
15:12	PA11_SEL	RW	0000	PA11 复用功能选择

				<p>0000: GPIO11</p> <p>0001: 复用功能 1</p> <p>0010: 复用功能 2</p> <p>...</p> <p>0111: 复用功能 7</p> <p>其余: 保留</p>
11:8	PA10_SEL	RW	0000	<p>PA10 复用功能选择</p> <p>0000: GPIO10</p> <p>0001: 复用功能 1</p> <p>0010: 复用功能 2</p> <p>...</p> <p>0111: 复用功能 7</p> <p>其余: 保留</p>
7:4	PA9_SEL	RW	0000	<p>PA9 复用功能选择</p> <p>0000: GPIO9</p> <p>0001: 复用功能 1</p> <p>0010: 复用功能 2</p> <p>...</p> <p>0111: 复用功能 7</p> <p>其余: 保留</p>
3:0	PA8_SEL	RW	0001	<p>PA8 复用功能选择</p> <p>0000: GPIO8</p> <p>0001: 复用功能 1</p> <p>0010: 复用功能 2</p> <p>...</p> <p>0111: 复用功能 7</p> <p>其余: 保留</p>

2.10.23. PB 管脚复用寄存器 1/PBSEL1(偏移: 68h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:28	PB7_SEL	RW	0000	PB7 复用功能选择 0000: GPIO23 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
27:24	PB6_SEL	RW	0000	PB6 复用功能选择 0000: GPIO22 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
23:20	PB5_SEL	RW	0000	PB5 复用功能选择 0000: GPIO21 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
19:16	PB4_SEL	RW	0000	PB4 复用功能选择 (默认 JTRST) 0000: GPIO20 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ...

				0111: 复用功能 7 其余: 保留
15:12	PB3_SEL	RW	0000	PB3 复用功能选择 (默认 JTDO) 0000: GPIO19 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
11:8	PB2_SEL	RW	0000	PB2 复用功能选择 0000: GPIO18 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
7:4	PB1_SEL	RW	0000	PB1 复用功能选择 0000: GPIO17 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
3:0	PB0_SEL	RW	0000	PB0 复用功能选择 0000: GPIO16 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ...

				0111: 复用功能 7 其余: 保留
--	--	--	--	------------------------

2.10.24. PB 管脚控制寄存器 2/PBSEL2(偏移: 6Ch)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:28	PB15_SEL	RW	0000	PB15 复用功能选择 0000: GPIO31 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
27:24	PB14_SEL	RW	0000	PB14 复用功能选择 0000: GPIO30 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
23:20	PB13_SEL	RW	0000	PB13 复用功能选择 0000: GPIO29 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
19:16	PB12_SEL	RW	0000	PB12 复用功能选择

				0000: GPIO28 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
15:12	PB11_SEL	RW	0000	PB11 复用功能选择 0000: GPIO27 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
11:8	PB10_SEL	RW	0000	PB10 复用功能选择 0000: GPIO26 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
7:4	PB9_SEL	RW	0000	PB9 复用功能选择 0000: GPIO25 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
3:0	PB8_SEL	RW	0000	PB8 复用功能选择

				0000: GPIO24 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
--	--	--	--	---

2.10.25. PA/B 管脚上拉寄存器/PA/BPUR (偏移: 70h)

该位控制管脚是否上拉，对应的管脚在复用时此控制位仍然有效。

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:16	PBPU	RW	0xFFFF	端口 PB 上拉使能配置寄存器 (对应 PB15-PB00) 1: 使能 0: 禁止
15:0	PAPU	RW	0xBFFF	端口 PA 上拉使能配置寄存器 (对应 PA15-PA00) 1: 使能 0: 禁止

2.10.26. PA/B 管脚下拉寄存器/PA/BPDR (偏移: 74h)

该位控制管脚是否下拉，对应的管脚在复用时此控制位仍然有效。

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:16	PBPD	RW	0x0000	端口 PB 下拉使能配置寄存器 (对应 PB15-PB00) 1: 使能 0: 禁止
15:0	PAPD	RW	0x4000	端口 PA 下拉使能配置寄存器 (对应 PA15-PA00) 1: 使能 0: 禁止

2.10.27. PA 管脚驱动选择寄存器 PASTR (偏移: 78h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:30	PA15_STH	RW	00	PA15 输出驱动设置
29:28	PA14_STH	RW	00	PA14 输出驱动设置
27:26	PA13_STH	RW	00	PA13 输出驱动设置
25:24	PA12_STH	RW	00	PA12 输出驱动设置
23:22	PA11_STH	RW	00	PA11 输出驱动设置
21:20	PA10_STH	RW	00	PA10 输出驱动设置
19:18	PA9_STH	RW	00	PA9 输出驱动设置
17:16	PA8_STH	RW	00	PA8 输出驱动设置
15:14	PA7_STH	RW	00	PA7 输出驱动设置
13:12	PA6_STH	RW	00	PA6 输出驱动设置
11:10	PA5_STH	RW	00	PA5 输出驱动设置
9:8	PA4_STH	RW	00	PA4 输出驱动设置
7:6	PA3_STH	RW	00	PA3 输出驱动设置
5:4	PA2_STH	RW	00	PA2 输出驱动设置
3:2	PA1_STH	RW	00	PA1 输出驱动设置
1:0	PA0_STH	RW	00	PA0 输出驱动设置 IO 电压 3.3V 时, 输出驱动如下 00: 4.5mA 01: 9mA 10: 13.5mA 11: 18mA IO 电压 2.5V 时, 输出驱动如下 00: 3.5mA 01: 7mA 10: 10.5mA 11: 14mA

				IO 电压 1.8V 时，输出驱动如下 00: 2.1mA 01: 4.2mA 10: 6.3mA 11: 8.4mA
--	--	--	--	---

2.10.28. PB 管脚驱动选择寄存器 PBSTR (偏移: 7ch)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:30	PB15_STH	RW	00	PB15 输出驱动设置
29:28	PB14_STH	RW	00	PB14 输出驱动设置
27:26	PB13_STH	RW	00	PB13 输出驱动设置
25:24	PB12_STH	RW	00	PB12 输出驱动设置
23:22	PB11_STH	RW	00	PB11 输出驱动设置
21:20	PB10_STH	RW	00	PB10 输出驱动设置
19:18	PB9_STH	RW	00	PB9 输出驱动设置
17:16	PB8_STH	RW	00	PB8 输出驱动设置
15:14	PB7_STH	RW	00	PB7 输出驱动设置
13:12	PB6_STH	RW	00	PB6 输出驱动设置
11:10	PB5_STH	RW	00	PB5 输出驱动设置
9:8	PB4_STH	RW	00	PB4 输出驱动设置
7:6	PB3_STH	RW	00	PB3 输出驱动设置
5:4	PB2_STH	RW	00	PB2 输出驱动设置
3:2	PB1_STH	RW	00	PB1 输出驱动设置
1:0	PB0_STH	RW	00	PB0 输出驱动设置，同 PA0

2.10.29. PA/B 管脚施密特使能寄存器 PA/BSMTR (偏移: 80h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
----	----	----	-----	------

31:16	PB_SMTEN	RW	0xFFFF	端口 PB 施密特使能配置寄存器 (对应 PB15-PB00) 1: 使能 0: 禁止
15:0	PA_SMTEN	RW	0xFFFF	端口 PA 施密特使能配置寄存器 (对应 PA15-PA00) 1: 使能 0: 禁止

2.10.30. PA/B 管脚 OD 使能寄存器 PA/BODR (偏移: 84h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:16	PB_ODEN	RW	0x0000	端口 PB open-drain 使能配置寄存器 (对应 PB15-PB00) 1: 使能 0: 禁止
15:0	PA_ODEN	RW	0x0000	端口 PA open-drain 使能配置寄存器 (对应 PA15-PA00) 1: 使能 0: 禁止

2.10.31. PA/B 管脚数模选择寄存器 PA/BADS (偏移: 88h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:16	PB_ADEN	RW	0xFFFF	端口 PB 数模选择寄存器 (对应 PB15-PB00) 1: 配置为模拟端口 0: 配置为数字端口
15:0	PA_ADEN	RW	0x9EFF	端口 PA 数模选择寄存器 (对应 PA15-PA00) 1: 配置为模拟端口 0: 配置为数字端口

2.10.32. PC 管脚复用寄存器 1/PCSEL1(偏移: 90h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:28	PC7_SEL	RW	0000	PC7 复用功能选择 0000: GPIO39 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
27:24	PC6_SEL	RW	0000	PA6 复用功能选择 0000: GPIO38 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
23:20	PC5_SEL	RW	0000	PC5 复用功能选择 0000: GPIO37 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
19:16	PC4_SEL	RW	0000	PC4 复用功能选择 0000: GPIO36 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ...

				0111: 复用功能 7 其余: 保留
15:12	PC3_SEL	RW	0000	PC3 复用功能选择 0000: GPIO35 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
11:8	PC2_SEL	RW	0000	PC2 复用功能选择 0000: GPIO34 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
7:4	PC1_SEL	RW	0000	PC1 复用功能选择 0000: GPIO33 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
3:0	PC0_SEL	RW	0000	PC0 复用功能选择 0000: GPIO32 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ...

				0111: 复用功能 7 其余: 保留
--	--	--	--	------------------------

2.10.33. PC 管脚复用寄存器 2/PCSEL2(偏移: 94h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:28	PC15_SEL	RW	0000	PC15 复用功能选择(最终复用由 RTC 域决定) 0000: GPIO47 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
27:24	PC14_SEL	RW	0000	PC14 复用功能选择(最终复用由 RTC 域决定) 0000: GPIO46 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
23:20	PC13_SEL	RW	0000	PC13 复用功能选择(最终复用由 RTC 域决定) 0000: GPIO45 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
19:16	PC12_SEL	RW	0000	PC12 复用功能选择

				<p>0000: GPIO44</p> <p>0001: 复用功能 1</p> <p>0010: 复用功能 2</p> <p>...</p> <p>0111: 复用功能 7</p> <p>其余: 保留</p>
15:12	PC11_SEL	RW	0000	<p>PC11 复用功能选择</p> <p>0000: GPIO43</p> <p>0001: 复用功能 1</p> <p>0010: 复用功能 2</p> <p>...</p> <p>0111: 复用功能 7</p> <p>其余: 保留</p>
11:8	PC10_SEL	RW	0000	<p>PC10 复用功能选择</p> <p>0000: GPIO42</p> <p>0001: 复用功能 1</p> <p>0010: 复用功能 2</p> <p>...</p> <p>0111: 复用功能 7</p> <p>其余: 保留</p>
7:4	PC9_SEL	RW	0000	<p>PC9 复用功能选择</p> <p>0000: GPIO41</p> <p>0001: 复用功能 1</p> <p>0010: 复用功能 2</p> <p>...</p> <p>0111: 复用功能 7</p> <p>其余: 保留</p>
3:0	PC8_SEL	RW	0000	PC8 复用功能选择

				0000: GPIO40 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
--	--	--	--	---

2.10.34. PD 管脚复用寄存器 1/PDSEL1(偏移: 98h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:28	PD7_SEL	RW	0000	PD7 复用功能选择 0000: GPIO55 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
27:24	PD6_SEL	RW	0000	PD6 复用功能选择 0000: GPIO54 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
23:20	PD5_SEL	RW	0001	PD5 复用功能选择 (默认 REMAP) 0000: GPIO53 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2

				... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
19:16	PD4_SEL	RW	0001	PD4 复用功能选择 (默认 RSTO) 0000: GPIO52 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
15:12	PD3_SEL	RW	0000	PD3 复用功能选择 0000: GPIO51 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
11:8	PD2_SEL	RW	0000	PD2 复用功能选择 0000: GPIO50 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2 ... 0111: 复用功能 7 其余: 保留
7:4	PD1_SEL	RW	0000	PD1 复用功能选择 0000: GPIO49 0001: 复用功能 1 0010: 复用功能 2

				...
				0111: 复用功能 7
				其余: 保留
3:0	PD0_SEL	RW	0000	PD0 复用功能选择
				0000: GPIO48
				0001: 复用功能 1
				0010: 复用功能 2
				...
				0111: 复用功能 7
				其余: 保留

2.10.35. PC/D 管脚上拉寄存器 PC/DPUR (偏移: a0h)

该位控制管脚是否上拉，对应的管脚在复用时此控制位仍然有效。

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:24	RSV	-	-	保留
23:16	PDPUR	RW	0xFF	端口 PD 上拉使能配置寄存器 (对应 PD07-PD00) 1: 使能 0: 禁止
15:13	RSV	-	-	保留
12:0	PCPUR	RW	0x1FFF	端口 PC 上拉使能配置寄存器 (对应 PC12-PC00) 1: 使能 0: 禁止

注: PC15~13 由 RTC 域的 RPMU 寄存器决定

2.10.36. PC/D 管脚下拉寄存器/PC/DPDR (偏移: A4h)

该位控制管脚是否下拉，对应的管脚在复用时此控制位仍然有效。

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:24	RSV	-	-	保留

23:16	PDPD	RW	0x0000	端口 PD 下拉使能配置寄存器 (对应 PD07-PD00) 1: 使能 0: 禁止
15:13	RSV	-	-	保留
12:0	PCPD	RW	0x0000	端口 PC 下拉使能配置寄存器 (对应 PC12-PC00) 1: 使能 0: 禁止

注: PC15~13 由 RTC 域的 RPMU 寄存器决定

2.10.37. PC 管脚驱动选择寄存器 PCSTR (偏移: A8h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
25:24	PC12_STH	RW	00	PC12 输出驱动设置
23:22	PC11_STH	RW	00	PC11 输出驱动设置
21:20	PC10_STH	RW	00	PC10 输出驱动设置
19:18	PC9_STH	RW	00	PC9 输出驱动设置
17:16	PC8_STH	RW	00	PC8 输出驱动设置
15:14	PC7_STH	RW	00	PC7 输出驱动设置
13:12	PC6_STH	RW	00	PC6 输出驱动设置
11:10	PC5_STH	RW	00	PC5 输出驱动设置
9:8	PC4_STH	RW	00	PC4 输出驱动设置
7:6	PC3_STH	RW	00	PC3 输出驱动设置
5:4	PC2_STH	RW	00	PC2 输出驱动设置
3:2	PC1_STH	RW	00	PC1 输出驱动设置
1:0	PC0_STH	RW	00	PC0 输出驱动设置 具体驱动能力参见 PA0_STH

注: PC15~13 由 RTC 域的 RPMU 寄存器决定

2.10.38. PD 管脚驱动选择寄存器 PDSTR (偏移: ACh)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:16	RSV	-	-	保留
15:14	PD7_STH	RW	00	PD7 输出驱动设置
...
7:6	PD3_STH	RW	00	PD3 输出驱动设置
5:4	PD2_STH	RW	00	PD2 输出驱动设置
3:2	PD1_STH	RW	00	PD1 输出驱动设置
1:0	PD0_STH	RW	00	PD0 输出驱动设置 具体驱动能力参见 PA0_STH

2.10.39. PC/D 管脚施密特使能寄存器 PC/DSMTR (偏移: B0h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:24	RSV	-	-	保留
23:16	PD_SMTEN	RW	0xFF	端口 PD 施密特使能配置寄存器 (对应 PD07-PD00) 1: 使能 0: 禁止
15:13	RSV	-	-	保留
12:0	PC_SMTEN	RW	0x1FFF	端口 PC 施密特使能配置寄存器 (对应 PC12-PC00) 1: 使能 0: 禁止

注: PC15~13 由 RTC 域的 RPMU 寄存器决定

2.10.40. PC/D 管脚 OD 使能寄存器 PC/DODR (偏移: B4h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:24	RSV	-	-	保留

23:16	PD_ODEN	RW	0x00	端口 PD open-drain 使能配置寄存器 (对应 PD07- PD00) 1: 使能 0: 禁止
15:13	RSV	-	-	保留
12:0	PC_ODEN	RW	0x0000	端口 PC open-drain 使能配置寄存器 (对应 PC12- PC00) 1: 使能 0: 禁止

注：PC15~13 由 RTC 域的 RPMU 寄存器决定

2.10.41. PC/D 管脚数模选择寄存器 PC/DADS (偏移: B8h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:24	RSV	-	-	保留
23:16	PD_ADEN	RW	0xC7	端口 PD 数模选择寄存器 (对应 PD07-PD00) 1: 配置为模拟端口 0: 配置为数字端口
15:13	RSV	-	-	保留
12:0	PC_ADEN	RW	0x1FFF	端口 PC 数模选择寄存器 (对应 PC12-PC00) 1: 配置为模拟端口 0: 配置为数字端口

注：PC15~PC13 由 RTC 域的 RPMU 寄存器决定

3. 复位和时钟单元

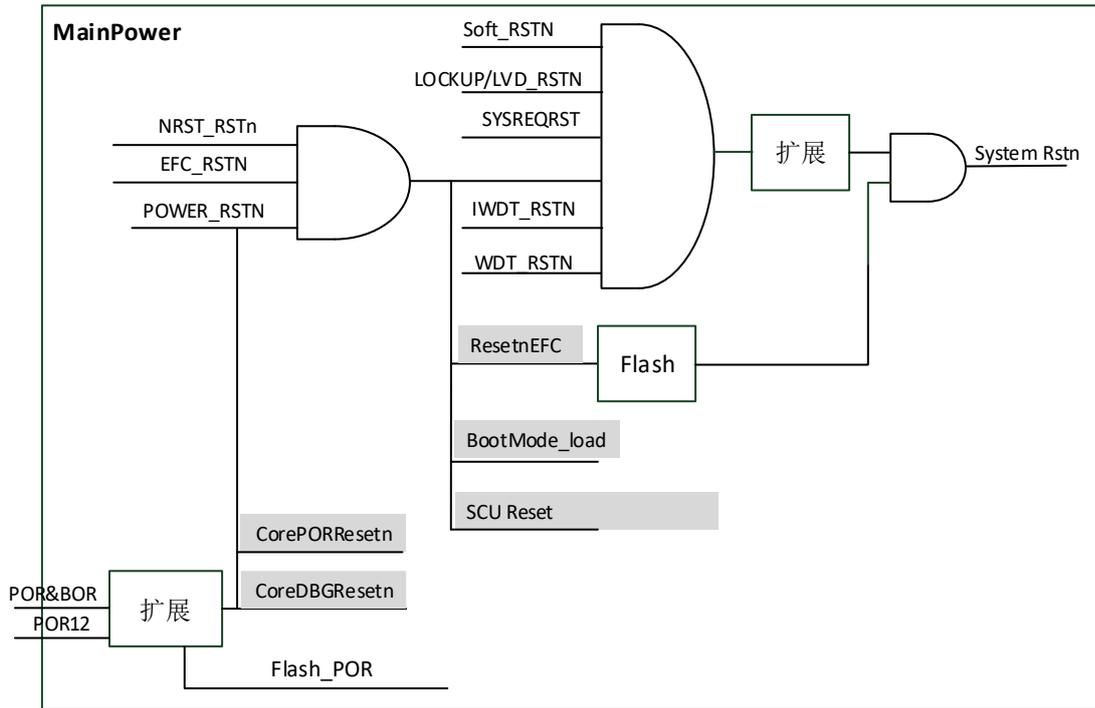
3.1. 复位源

芯片有多个复位源，包括 POR 复位，检测异常复位，看门狗复位，软复位等。具体复位源如下表：

表格 3-1 系统复位源

RESET SOURCE	FUNCTION
内部模拟 POR/BOR 上电复位	复位所有：芯片冷启动时产生该复位
模拟 POR12	复位主区：当芯片从 standby 模式唤醒或芯片冷启动时，产生该复位
外部 NRST 管脚复位	复位主区：复位信号来自于外部复位引脚，低电平有效
EFC_RST	复位主区：会产生 NVR 预加载，所有的 SCU 寄存器被复位，EFC 被复位，模拟 IP 也被复位
LVD_resetn	复位主区，不影响模拟 IP、EFC 控制器、系统寄存器（偏移量 0x60-0xB8 除外）。复位后，复位原因记录在系统寄存器 RSR 中。
LOCKUP_resetn	
SRST	
SYSREQRST	
IWDT_resetn	
WDT_resetn	
RTC 软复位	复位 RTC 待机区域

图 3-1 复位关系图



3.1.1. 上电复位:

上电复位 POR: 无条件复位整个芯片, 包括 RTC 待机区和主区。POR 电压见数据手册。

3.1.2. BOR(Brown Out Reset)复位:

欠压复位, 复位主区和 IWDT 模块。BOR 电压见数据手册。

3.1.3. POR12 复位:

当芯片初次上电或者从 STANDBY 模式唤醒, LDO12 会重新上电, 产生 POR12 复位。只对主区有效。

3.1.4. 外部引脚复位:

在芯片引脚 RSTN 接低电平, 芯片主区复位, RSTN 变高后芯片复位释放。只对主区有效。

3.1.5. EFC 复位:

EFC 寄存器复位，继而引起芯片复位。

3.1.6. LVD 复位:

当 LVD 模块检测到芯片 VDD 电压低于设定的 LVD 复位电压时，就会产生复位。只对主区有效。LVD 复位电压见数据手册。

3.1.7. LOCKUP 复位:

当处理器遇到严重的错误时，如在 HardFault 处理函数里再次遇到 HardFault 异常，如果 LOCKUP 复位使能（见系统寄存器 RCR），那么就会产生 LOCKUP 复位。只对主区有效。

3.1.8. Soft Reset:

在系统寄存器 RCR 的 BIT30 写 0，产生系统复位。只对主区有效。

3.1.9. SYSREQRST:

调 CMSIS 中的 NVIC SYSREQRST 接口复位内核。只对主区有效。

3.1.10. IWDT 复位:

IWDT 计数器溢出产生系统复位。只对主区有效。

3.1.11. WDT 复位:

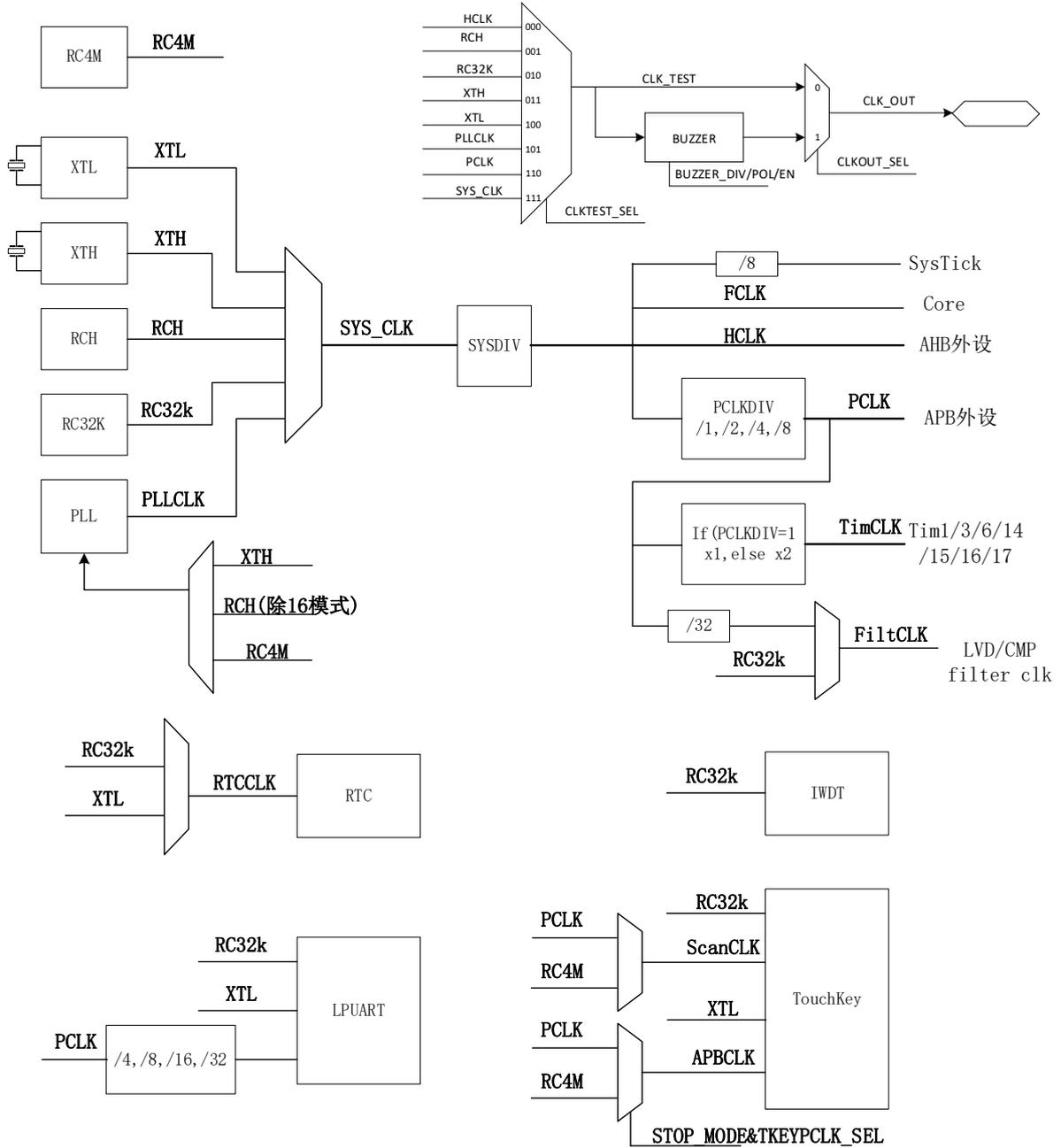
WDT 计数器溢出产生系统复位。只对主区有效。

3.1.12. RTC 域复位:

RPMU 模块的 CR 寄存器 BIT6 写 0 产生 RTC 域复位。只对 RTC 域有效。

3.2. 时钟结构图

图 3-2 时钟结构图



3.3. 系统时钟选择

ACM32F0X0_FP0X_A070 共有 5 个系统时钟源：

- 内部高速 RC 产生的 RCH 时钟，最高 64M

- 内部低速 32K 产生的 RC32K 时钟，作为低功耗时钟
- 外部高速晶振时钟 XTH
- 外部低速晶振时钟 XTL
- 从 PLL 产生的最高 64M 时钟

根据工作模式不同，采用不同时钟方案，通过配置时钟控制寄存器 CCR 来选择系统时钟的来源。切换时钟时候，请保证目标时钟源已经使能，并且切换完成后才能关闭原时钟源。关系如下表所示：

表格 3-2 系统时钟选择

SYS_CLK_SEL	系统时钟源
000	RCH
001	RC32K
010	XTH
011	XTL
100	PLLCLK

系统上电后，默认使用 RCH 作为系统时钟，RCH 时钟的频率约为 64MHz(正负偏差 1%以内)。当系统从 STOP 模式唤醒后，自动启用 RCH 时钟作为系统时钟，后续程序可以配置并使能 PLLCLK，待稳定后切换到更高频率的 PLLCLK。

PLL 时钟的输入可以来自于外部晶振 XTH，也可以来自于 RCH/16(将 RCH_DIV 设为 1)。PLL 的输入时钟范围为 3MHz-32MHz。

3.4. 时钟输出

ACM32F0X0_FP0X_A070 芯片的时钟输出可以通过 MCO 引脚或 MCO2 引脚。如图 3-1 所示，输出的时钟信号可以通过 CLKTEST_SEL 选择，可以来自于系统时钟 SYS_CLK，也可以来自于其他时钟源如 XTL（低速晶振），然后可以直接输出到 MCO/MCO2，也可以通过一个 Buzzer 控制电路再输出到 MCO/MCO2。Buzzer 控制电路主要影响了输出信号的频率，极性，以及输出使能，具体见 CLKOCR 系统寄存器。

4. 嵌套矢量中断控制器（NVIC）

嵌套向量中断控制器(NVIC) 是 Cortex-M0 的一个重要组成部分。它与 CPU 处理器内核紧密耦合，实现低中断延迟以及对新到中断的有效处理，外部中断信号连接到 NVIC，NVIC 将对这些中断进行优先级排序。

所有的 NVIC 寄存器只能采用字传输。任何试图读/写半字或字节的结果都是不可预知的。

NVIC 寄存器都是小端格式。访问处理器要正确处理处理器的大小端配置。

(关于 NVIC 更详细的内容可查看 ARM Cortex-M0 内核的相关官方文档)

4.1. 主要特性

- 支持 30 路可屏蔽向量中断。
- 一个外部不可屏蔽中断 NMI。
- 4 个带硬件优先级屏蔽的可编程中断优先级。
- 可嵌套中断支持。
- 中断可屏蔽。
- 电平触发和边沿触发。

4.2. 中断源

表格 4-1 中断源

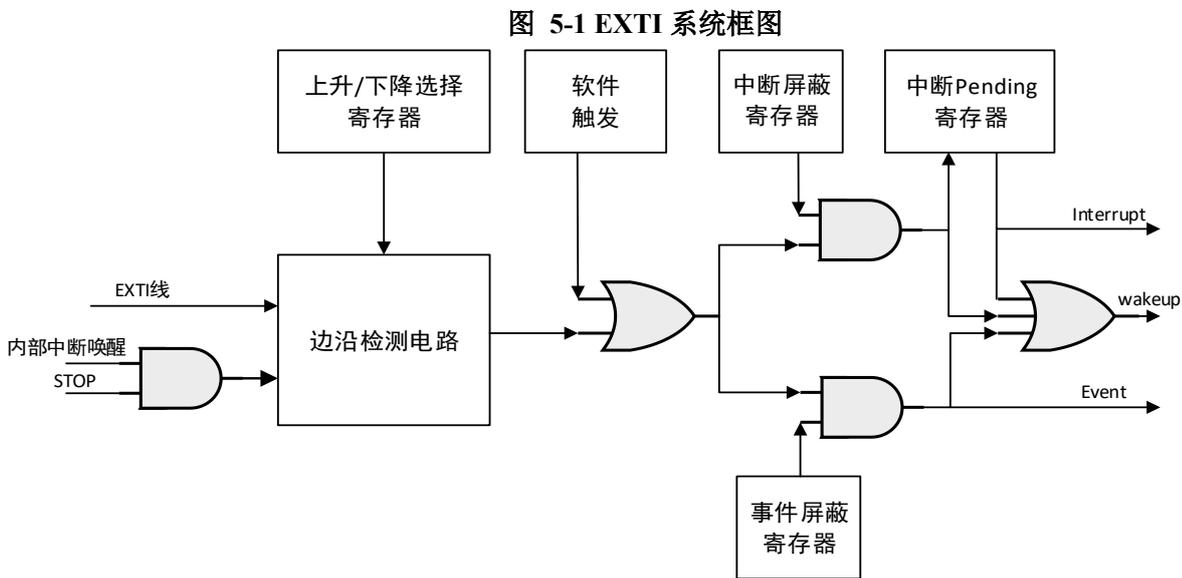
中断号	中断源	备注
Int0	Watchdog	
Int1	RTC	
Int2	EFC_INT	
Int3	GPIO1	包括 PA/PB 的所有引脚
Int4	GPIO2	包括 PC/PD 的所有引脚
Int5	EXTI	

Int6	SRAM Parity	
Int7	CLKRDY_INT	时钟 Ready 中断，中断使能 见系统寄存器 CIR
Int8	LCD	
Int9	DMA	
Int10	UART3	
Int11	TKEY	
Int12	ADC	
Int13	TIM1_BRK_UP_T RG_COM	BREAK/UPDATE/TRIGGER /COM 中断
Int14	TIM1_CC	捕获/比较中断
Int15	RSV	保留
Int16	TIM3	
Int17	TIM6	
Int18	RSV	
Int19	TIM14	
Int20	TIM15	
Int21	TIM16	
Int22	TIM17	
Int23	I2C1	
Int24	I2C2	
Int25	SPI1	
Int26	SPI2	
Int27	UART1	
Int28	UART2	
Int29	LPUART	
Int30	CAN1	
Int31	AES	

5. 外部中断/事件控制器（EXTI）

EXTI 包含 24 个相互独立的边沿检测电路并且可以向处理器产生中断请求或事件唤醒。EXTI 提供 3 种触发类型：上升沿触发，下降沿触发和任意沿触发。EXTI 中每个边沿检测电路都可以分别配置或屏蔽。挂起寄存器保持着状态线的中断请求。

5.1. 系统框图



5.2. 主要特性

EXTI 控制器的主要特性如下：

- 每个中断/事件都有独立的触发和屏蔽
- 每个中断线都有专用的状态位
- 支持多达 24 个软件的中断/事件请求

5.3. 触发源

EXTI 触发源包括来自 I/O 管脚的 16 根线以及来自内部模块的 8 根线，包括 LVD、RTC、LPUART、IWDG（唤醒）、CMP1、CMP2、TKEY 和 LCD。通过配置 EXTICR 寄存器，所

有的 GPIO 管脚都可以被选作 EXTI 的触发源。

EXTI 序号	对应源
0	PA0/PB0/PC0/PD0
1	PA1/PB1/PC1/PD1
2	PA2/PB2/PC2/PD2
3	PA3/PB3/PC3/PD3
4	PA4/PB4/PC4/PD4
5	PA5/PB5/PC5/PD5
6	PA6/PB6/PC6/PD6
7	PA7/PB7/PC7/PD7
8	PA8/PB8/PC8
9	PA9/PB9/PC9
10	PA10/PB10/PC10
11	PA11/PB11/PC11
12	PA12/PB12/PC12
13	PA13/PB13/PC13
14	PA14/PB14/PC14
15	PA15/PB15/PC15
16	LVD
17	RTC
18	LPUART
19	IWDT
20	CMP1
21	CMP2
22	TKEY
23	LCD
24~31	Reserved

5.4. 唤醒管理

唤醒事件可以通过下述配置产生：

- 在 SLEEP 模式下，在外设的控制寄存器使能一个中断，但不在 NVIC 中使能，同时在 Core 的系统控制寄存器中使能 SEVONPEND 位。当 CPU 从 WFE 恢复后，需要清除相应外设的中断挂起位和外设 NVIC 中断通道挂起位(在 NVIC 中断清除挂起寄存器中)。
- 在 STOP 模式下，配置一个外部或内部 EXTI 线为事件模式(EENR)，当 CPU 从 WFE 恢复后，因为对应事件线的挂起位没有被置位，不必清除相应外设的中断挂起位或 NVIC 中断通道挂起位。

唤醒中断可以通过下述配置产生：

- 在 SLEEP 模式下，在外设的控制寄存器使能一个中断，同时在 NVIC 中使能。当 CPU 从 SLEEP 恢复后，通过中断处理函数处理相应中断。
- 在 STOP 模式下，使能 EXTI 的 NVIC 中断(INT5)，根据外部 EXTI 线的边沿检测需求设置 2 个触发寄存器(RTENR/FTENR)，同时在中断屏蔽寄存器的相应位写 ‘1’ 允许中断请求(IENR)。当外部中断线上发生了期待的边沿时，将产生一个 EXTI 中断请求，对应的挂起位(PDR)也随之被置 ‘1’。对于 RTC 和 LPUART 模块，建议采用 EXTI 事件方式唤醒（不采用 EXTI 中断方式），避免同时产生模块中断和 EXTI 中断。

5.5. 功能说明

5.5.1. EXTI 中断

EXTI 具有 24 个触发源，每个触发源都可以触发 EXTI 中断。

EXTI 中断配置流程：

- ◆ 配置 EXTICR1、EXTICR2，选择 GPIO 引脚作为触发源。
- ◆ 配置 IENR，使能所需的中断线。
- ◆ 配置 RTENR、FTENR 选择上升沿触发、下降沿触发或任意沿触发。
- ◆ 当线上发生了需要的边沿时，PDR 寄存器相应的位会置位。进入 EXTI 中断。

注：通过在寄存器 EXTI_SWIER 对应位写“1”，也可以通过软件产生中断

5.5.2. EXTI 中断/事件唤醒

EXTI 可以通过中断或者事件唤醒 MCU。

硬件中断/事件源选择

通过下面的过程来配置 24 个线路做为中断/事件源：

- ◆ 配置 EXTICR1、EXTICR2，选择 GPIO 引脚作为触发源。
- ◆ 配置 24 个中断线的使能位 IENR 或配置 24 个事件线的使能位 EENR。
- ◆ 配置 RTENR、FTENR 选择上升沿触发、下降沿触发。
- ◆ 如果使用中断唤醒，需要配置 NVIC 控制寄存器中相应的使能位和屏蔽位，使得 24 个中断线中的请求可以被正确地响应。

5.6. EXTI 寄存器

寄存器映射如下表

EXTI 寄存器基地址：0x4001_0400

地址	名称	描述
0x0000	IENR	中断使能寄存器
0x0004	EENR	事件使能寄存器
0x0008	RTENR	上升沿触发使能寄存器
0x000C	FTENR	下降沿触发使能寄存器
0x0010	SWIER	软件中断事件寄存器
0x0014	PDR	中断挂起寄存器
0x0018	EXTICR1	外部 I/O 选择寄存器 1
0x001C	EXTICR2	外部 I/O 选择寄存器 2

5.6.1. 中断使能寄存器/IENR (偏移: 00h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:24	RSV	-	-	保留
23:0	INTENx	RW	0x0	EXTIx 上的中断使能 0: 禁止来自线 x 上的中断请求; 1: 使能来自线 x 上的中断请求。

5.6.2. 事件使能寄存器/EENR (偏移: 04h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:24	RSV	-	-	保留
23:0	EVENx	RW	0x0	EXTIx 上的事件使能 0: 禁止来自线 x 上的事件请求; 1: 使能来自线 x 上的事件请求。

5.6.3. 上升沿触发使能寄存器/RTENR (偏移: 08h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:24	RSV	-	-	保留
23:0	RTENx	RW	0x0	EXTIx 上的上升沿触发使能 0: 禁止来自线 x 上的上升沿触发; 1: 使能来自线 x 上的上升沿触发。

注: 外部唤醒线是边沿触发的, 这些线上不能出现毛刺信号。

5.6.4. 下降沿触发使能寄存器/FTENR (偏移: 0Ch)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:24	RSV	-	-	保留

23:0	FTENx	RW	0x0	EXTIx 上的下降沿触发使能 0: 禁止来自线 x 上的下降沿触发; 1: 使能来自线 x 上的下降沿触发。
------	-------	----	-----	---

注：外部唤醒线是边沿触发的，这些线上不能出现毛刺信号。

5.6.5. 软件中断事件寄存器/EXTI_SWIER (偏移：10h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:24	RSV	-	-	保留
23:0	SWIEx	WO	0x0	EXTIx 上的软件中断 当该位为 ‘0’ 时，写 ‘1’ 将设置 PDR 中相应的挂起位。如果在 IENR 中允许产生该中断，则此时将产生一个中断。

5.6.6. 中断挂起寄存器/PDR (偏移：14h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:24	RSV	-	-	保留
23:0	PDx	RW1C	0	EXTIx 上的挂起位 0: 没有发生触发请求 1: 发生了选择的触发请求 当在外部中断线上发生了选择的边沿事件，该位被置 ‘1’。 在该位中写入 ‘1’ 可以清除它。

5.6.7. 外部中断配置寄存器 1/EXTICR1 (偏移：18h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:0	EXTIx	RW	0000	EXTI 源选择，每 4Bit 为一组，分别选择 EXTI0~7 的源 0000: EXTI0~7 选择 GPA0~7

				0001: EXTI0~7 选择 GPB0~7 0010: EXTI0~7 选择 GPC0~7 0011: EXTI0~7 选择 GPD0~7 其它: 备用
--	--	--	--	---

5.6.8. 外部中断配置寄存器 2/EXTICR2 (偏移: 1Ch)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:0	EXTIx	RW	0000	EXTI 源选择, 每 4Bit 为一组, 分别选择 EXTI8~15 的源 0000: EXTI8~15 选择 GPA8~15 0001: EXTI8~15 选择 GPB8~15 0010: EXTI8~15 选择 GPC8~15 其它: 备用

6. Flash 控制器（EFC）

6.1. 概述

芯片上集成了 128KB 的 eFlash 存储器，用于保存芯片所有的关键脱机信息和数据。EFC 为 eFlash 控制器，在 CPU 的配置下，完成 eFlash Read、Program、Erase 等操作。

6.2. 主要特性

- 支持 eFlash 的读（8/16/32bit）、写（32bit）、擦除等操作流程。
- Read 等待时间可以配置。
- Program/Erase 等待时间由软件配置。
- 主区多达 256 个 Page，每个 page 512 字节。
- NVR 区有 4 个 Page，每个 Page 512 字节。
- 支持对 NVR 区域 Program/Erase 保护功能（OTP）。
- Page Erase 时间为 4ms，Word Program 写 40us（max），Read 时间 37ns（max）。
- 主区支持 WRP（写保护），PCROP（只执行），Secure Memory（保护区）。

6.3. 功能描述

6.3.1. 主区闪存结构

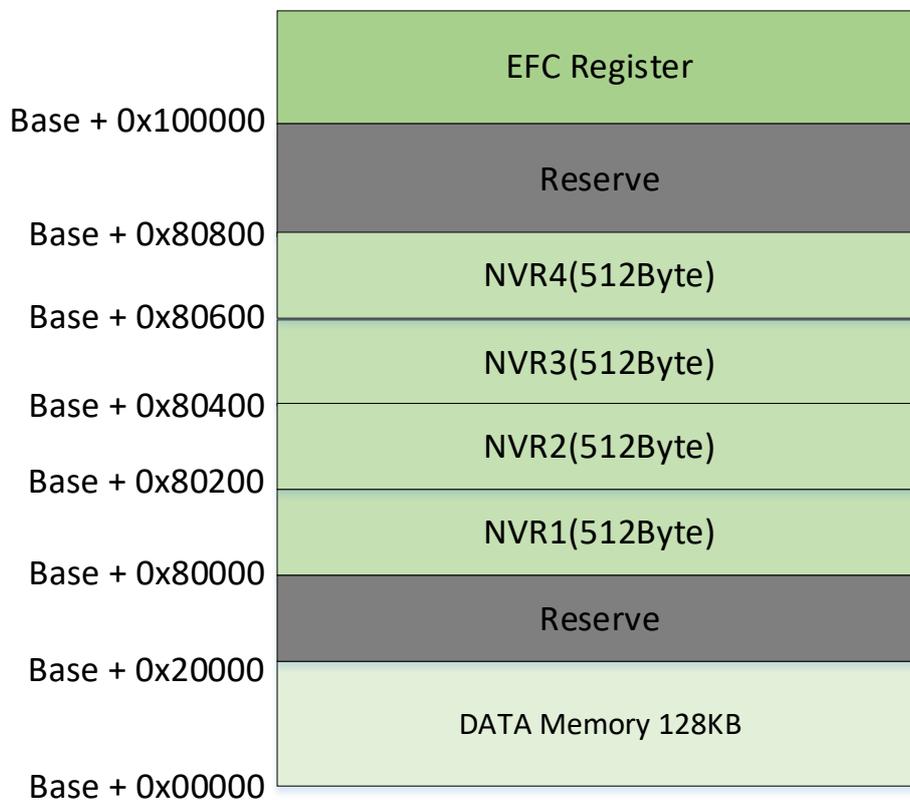
主区闪存包括 128K byte Flash，每 Page 大小为 512 byte。

闪存块	名称	地址范围	大小
主区闪存	Page 0	0x00000000~0x000001FF	512byte
	Page 1	0x00000200~0x000003FF	512byte
	Page 2	0x00000400~0x000005FF	512byte

	Page 255	0x0001FE00~0x0001FFFF	512byte

6.3.2. 储存地址映射

图 6-1 eFlash 地址映射



注：Base：ROM 启动为 0x1000_0000；eFlash 启动为 0x0000_0000。

6.3.3. 读操作

闪存可以像普通存储空间一样直接寻址访问。在 eFlash 上电稳定后就可以执行读操作。读操作注意配置读等待时间 RD_WAIT。

6.3.4. 闪存编程操作

EFC 提供了 32 位整字编程功能，用来修改主闪存存储器的内容。

eFlash 上电稳定后可以执行 Program 操作。Program 操作之前需要向 EFC_SEC 寄存器内写 0x55AAAA55，否则 EFC 忽略此次 Program 操作。

图 6-2 闪存编程操作流程

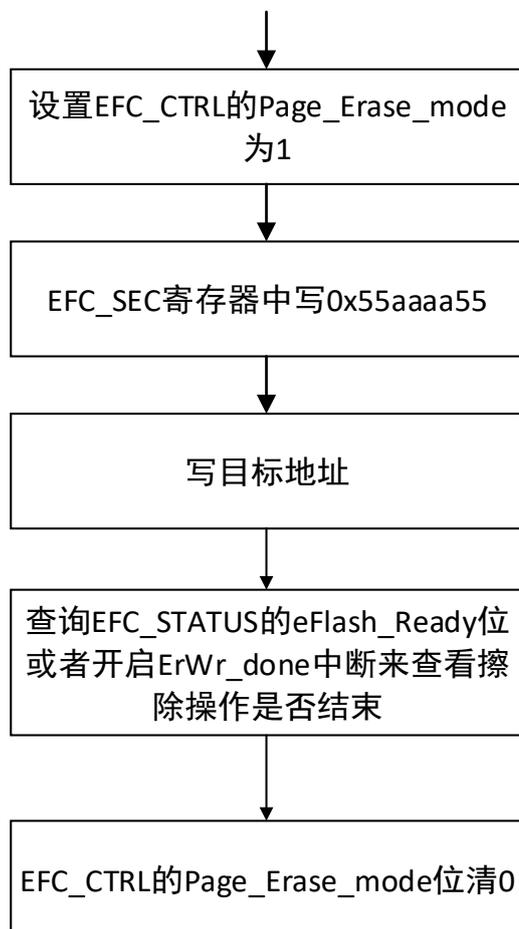


注：进行 program 操作时时钟频率需要大于 0.5M

6.3.5. 页擦除

EFC 的页擦除功能将一个主闪存存储页的内容初始化为高电平。每一页都可以被独立擦除，不影响其他页的内容。

图 6-3 页擦除操作流程



6.4. 寄存器描述

寄存器基地址：ROM 启动为 0x10100000 ， eFlash 启动为 0x00100000。

偏置	名称	描述
0x00	EFC_CTRL	控制寄存器。
0x04	EFC_SEC	写擦除操作安全寄存器。
0x0C	EFC_tERASE	擦除等待周期寄存器。
0x10	EFC_tPROG	写等待周期寄存器。
0x14	EFC_STATUS	状态寄存器。

0x18	EFC_INTSTATUS	中断状态寄存器。
0x1C	EFC_INTEN	中断使能寄存器。

6.4.1. 控制寄存器 EFC_CTRL(偏移: 00h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:14	RSV	-	-	保留
13	Resetb	RW	1	eFlash 复位控制位。 0: eFlash 复位, 任何操作发起无效; 1: eFlash 复位释放, 可以发起操作; 注: 复位持续时间至少为 1us。复位释放后需要延迟 10us 后才能对 eFlash 发起 Read/Program/Erase 操作。
12	SLEEP	RW	0	eFlash Sleep 模式启动位。 0: eFlash 退出 SLEEP 模式; 1: eFlash 进入 SLEEP 模式; 注: 退出 SLEEP 模式后, 要延时至少 10us 再去对 eFlash 进行 Read/Program/Erase 操作。
11:7	Rd_Wait	RW	0xC	读等待时间设置位。 Rd_Wait 典型值: 系统时钟<=32M时, Rd_Wait=0; 系统时钟=48M时, Rd_Wait=1; 系统时钟=64M时, Rd_Wait=2;
6:2	RSV	--	--	保留
1	Page_Erase_Mode	RW	0	Page Erase Mode 模式设置位。 1: Page Erase Mode 模式使能; 0: Page Erase Mode 模式禁止。
0	Program_Mode	RW	0	Write 模式设置位。 1: 写操作模式使能; 0: 写操作模式禁止。

注：Program_Mode，Page_Erase_Mode 不能同时写 1，否则会造成擦写失败并且 EFC_INTSTATUS 的 Wrong_Program 位会置 1；Program/Erase 发起后在 EFC_STATUS 中的 eFlash_Ready 位不为 1 时不可以改变控制寄存器的值，否则也会造成 Program/Erase 失败并且 Wrong_program 也会置 1。

6.4.2. 写擦安全寄存器 EFC_SEC (偏移：04h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:0	Write_Lock_Ser	WO	0x0	eFlash 在执行 Program/Erase 操作前，须向此寄存器内写 0x55AAAA55 值，否则控制器忽略此次操作。

6.4.3. tERASE 等待周期寄存器 (EFC_TERASE) (偏移：0ch)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:21	RSV	-	-	保留
20:0	ErCycle	RW	0x1FFFFFF	tERASE 等待周期设置位。每一个单位代表 1 个系统时钟周期。Pageerase 操作设置时间要求范围：3.2~4ms。 注：TERASE 等待周期必须在范围内。

6.4.4. tPROG 等待周期寄存器 (EFC_TPROG) (偏移：10h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:11	RSV	-	-	保留
10:0	ProgCycle	RW	0x7FF	tPROG 等待周期设置位，每一个单位代表 1 个系统时钟周期。设置时间要求范围为 8~10us。 注：进行 Program 操作时时钟频率需要大于 0.5M。

6.4.5. 状态寄存器 EFC_STATUS (偏移: 14h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:5	RSV	-	-	保留
4	NVR2_Lock	RO	0/1	NVR2 区是否锁住。 1: NVR2 区已经锁住; 0: NVR2 区没有锁住。
3	NVR1_Lock	RO	0/1	NVR1 区是否锁住。 1: NVR1 区已经锁住; 0: NVR1 区没有锁住。
2: 1	RSV	RO	0/1	保留
0	EFlash_Ready	RO	1	eFlash 状态指示位。该反映 eFlash 工作的状态。 1: eFlash 状态空闲; 0: eFlash 状态忙。

6.4.6. 中断状态寄存器 EFC_INTSTATUS (偏移: 18h)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:7	RSV	--	--	保留
6	Wrong_program	RO_W1	0	1: Program/Erase 操作有误。当 EFC_CTRL 寄存器的 Program_mode, Page_erase_mode 位都为 1 时并进行 Program&Erase 操作, 或在 Program/Erase 操作还没完成 (EFC_STATUS 中的 eFlash_Ready 为 0) 但 EFC_CTRL 相应操作位被写 0 时, 此位均会置 1。 0: 正常状态。 写 1 清 0。
5	Nvr_Err	RO_W1	0	1: Nvr 区发生操作错误。对 Lock 住的 Nvr 区域进行读之外的任何操作, 此位会置 1。 0: 正常状态。

				写 1 清 0。
4: 1	RSV	--	--	保留
0	ErWr_done	RO_W1	0	<p>Program/Erase 完成中断状态位，如果中断允许，则产生中断</p> <p>1: Program/Erase 完成。</p> <p>0: Program/Erase 未完成。</p> <p>写 1 清 0。</p> <p>注: Program/Erase 被 OTP 锁住的 eNVR 区时 EFC 不会发起任何操作，此位不会置起。查 eNVR_Err 状态位可以确定是否发生过错误操作。</p>

6.4.7. 中断使能寄存器 EFC_INTEN (偏移: 1ch)

比特	名称	属性	默认值	功能描述
31:7	RSV	-	-	保留
6	Wrong_program_IE	RW	0	<p>Wrong_program 中断使能。</p> <p>1: Wrong_program 中断使能；</p> <p>0: Wrong_program 中断不使能。</p>
5	Nvr_Err_IE	RW	0	<p>Nvr_Err 中断使能。</p> <p>1: Nvr_Err 中断使能；</p> <p>0: Nvr_Err 中断不使能。</p>
4: 1	RSV	--	--	保留
0	Er_done_IE	RW	0	<p>擦除完成中断使能。</p> <p>1: 写/擦除中断使能；</p> <p>0: 写/擦除中断不使能；</p>

7. DMA 控制器（DMAC）

7.1. 概述

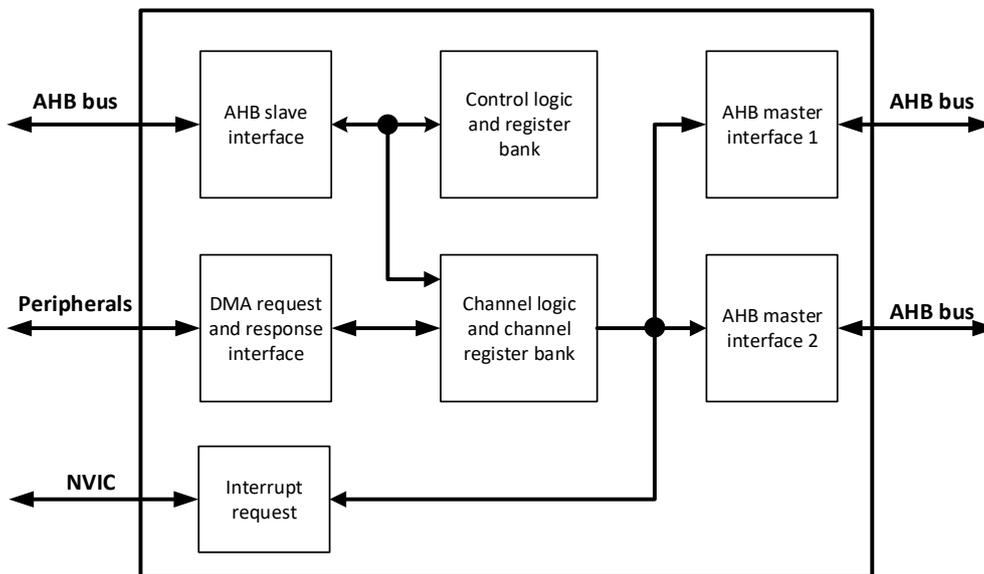
DMAC 即 DMA 控制器，提供了一种硬件的数据传输方式，无需 CPU 的介入，可以处理外设和存储器之间或者存储器和存储器之间的传输数据。因无 CPU 介入，从而使 CPU 可以专注在处理其他系统功能上。DMA 控制器有 5 通道，每个通道都可以处理一个或多个外设的存储器访问请求。DMA 控制器内部包含了仲裁器，用来仲裁多个 DMA 请求的优先级。

7.2. 主要特性

- 5 个 DMA 通道，每个通道都可独立配置
- 支持外设到存储器、存储器到外设、存储器到存储器的数据传输
- 每个通道连接固定的硬件 DMA 请求
- 支持硬件优先级（通道号越低，优先级越高）
- 支持源地址/目标地址递增或不变
- 每个通道有 16 bytes 的内部 FIFO
- 支持 8/16/ 32 位宽的传输
- 支持 Big-endian 和 Little-endian 的字节存储次序配置
- 支持 DMA 中断功能
- 支持链表功能，可用于循环模式

7.3. 结构框图

图 7-1 DMA 结构框图



7.4. 功能描述

7.4.1. DMA 操作

DMA 传输分为两步操作：从源地址读取数据，然后将读取的数据存储到目标地址。DMA 控制器基于 DMACCxSrcAddr、DMACCxDestAddr、DMACCxCtrl 寄存器的值计算下一次操作的源/目的地址。DMACCxCtrl 寄存器 TransferSize 位域用于控制传输的次数，SWidth 和 DWidth 位域决定每次读取和存储的字节数（字节/半字/字）。

DMACCxCtrl 寄存器 TransferSize 位域需要在 DMACCxConfig 的 EN 被使能之前填入，读 TransferSize 可以得到当前目标总线上剩余还未完成的数据量。当一次 DMA 传输完成后，TransferSize 自动清零。

7.4.2. 外设握手

DMA 控制器中引入了外设和存储器的握手机制，包括请求信号和应答信号：

- 请求信号：由外设发出，表明外设已经准备好发送或接收数据；

- 应答信号: 由 DMA 控制器响应, 表明 DMA 控制器已经发送 AHB 命令去访问外设。

7.4.3. 仲裁

当 DMA 控制器在同一时间接收到多个请求时, 仲裁器将根据硬件优先级来决定响应哪一个外设请求。

硬件优先级: 编号低的通道优先级高。例: 通道 0 和通道 1 配置为相同的软件优先级时, 通道 0 的优先级高于通道 1。

7.4.4. 地址生成

存储器和外设都独立的支持两种地址生成算法: 固定模式和递增模式。寄存器 DMACCxCtrl 的 DI 和 SI 位用来设置存储器和外设的地址生成算法。

在固定模式中, 地址一直固定为初始化的基地址 (DMACCxSrcAddr、DMACCxDestAddr)。

在递增模式中, 下一次传输数据的地址是当前地址加 1 (或者 2, 4), 这个值取决于数据传输宽度。

7.4.5. 链表功能

通道链表寄存器 DMACCxLLI 中, 可以写入下一个 32 位链表的地址。链表项必须由几个通道寄存器项组成 (DMACCxSrcAddr, DMACCxDestAddr, DMACCxLLI, DMACCxCtrl), 通过链表功能, DMA 控制器会自动载入下一次通道寄存器配置参数, 可以实现更复杂的 DMA 传输方式, 例如: 循环模式。

7.4.6. 存储器到存储器模式

将 DMACCxConfig 寄存器的 FlowCtrl 位域设置为 0 时可以使能存储器到存储器模式。在此模式下, DMA 通道传输数据时不依赖外设的请求信号。一旦 DMACCxConfig 的 EN 位被置 1, DMA 通道就立即开始传输数据, 直到 DMACCxCtrl 寄存器 TransferSize 达到 0, DMA 通道才会停止。

7.4.7. 突发模式

DMA 可以通过设置 DMACCxCtrl 的位域 DBSize 和 SBSize 来实现突发模式。DBSize 和 SBSize 的设置值必须一样（DBSize、SBSize 和 Burst size 的对应关系见下表）。设置为突发模式时，每次 DMA 请求将产生 Burst size 次数据传输（每次传输的长度为 DWidth 或 SWidth 设置值）。普通的 DMA 模式相当于 Burst size 为 1 的模式。

设置为突发模式时，DMACCxCtrl 的 TransferSize 依然为总的传输长度，但必须是 Burst size 的整数倍。

例如：如需使用 Burst size 为 8 的突发模式传输 128 个字（32 位）的数据，需设置 DWidth 和 SWidth 为 0b010（字 32 位），DBSIZE 和 SBSIZE 为 0b010（Burst size 为 8），TransferSize 为 128（刚好是 Burst size 为 8 的 16 倍）；传输时一共会产生 16 次 DMA 请求，每次 DMA 请求会产生 8 次传输，每次传输的长度为 1 个字（32 位）。

表格 7-1 DBSIZE/SBSIZE 对应的 burst size

DBSIZE/SBSIZE	Burst size
0b000	1
0b001	4
0b010	8
0b011	16
0b100	32
0b101	64
0b110	128
0b111	256

7.4.8. 中断

每个 DMA 通道都有一个专用的中断。中断事件有两种类型：传输完成和传输错误。每一个中断事件在状态寄存器和清除寄存器中有专用的标志位，其中 DMACIntTCStatus 指示传输完成中断的状态，DMACIntTCClr 寄存器负责清除传输完成中断状态，DMACIntErrStatus 指示传输错误中断的状态，DMACIntErrClr 寄存器负责清除传输错误中断状态，DMACRawIntTCStatus 指示传输完成原始中断的状态，DMACRawIntErrStatus 寄存器指示传输错误原始中断的状态。

7.4.9. 目标外设和源外设请求号

表格 7-2 目标外设和源外设请求号

请求号	请求源	备注
REQ 0	ADC 转换完成	
REQ 1	SPI1 发送请求	
REQ 2	SPI1 接收请求	
REQ 3	SPI2 发送请求	
REQ 4	SPI2 接收请求	
REQ 5	UART1 发送请求	
REQ 6	UART1 接收请求	
REQ 7	UART2 发送请求	
REQ 8	UART2 接收请求	
REQ 9	I2C1 发送请求	
REQ10	I2C1 接收请求	
REQ11	I2C2 发送请求	
REQ12	I2C2 接收请求	
REQ13	TIM1_CH1	
REQ14	TIM1_CH2	
REQ15	TIM1_CH3	
REQ16	TIM1_CH4	
REQ17	TIM1_UP	
REQ18	TIM1_TRIG_COM	
REQ19	TIM3_CH3	
REQ20	TIM3_CH4 或 TIM3_UP	
REQ21	TIM3_CH1 或 TIM3_TRIG	
REQ22	TIM3_CH2 or LCD_Frame	
REQ23	TIM6_UP	
REQ24	TIM15_CH1 或 TIM15_UP 或 TIM15_TRIG 或 TIM15_COM	

REQ25	TIM15_CH2	
REQ26	TIM16_CH1 或 TIM16_UP	
REQ27	UART3 发送请求	
REQ28	TIM17_CH1 或 TIM17_UP	
REQ29	UART3 接收请求	
REQ30	LPUART 发送请求	
REQ31	LPUART 接收请求	

7.5. 寄存器描述

DMAC 寄存器基地址：0x4002_1000

偏置	名称	描述
0x00	DMACIntStatus	中断状态寄存器
0x04	DMACIntTCStatus	传输完成中断寄存器
0x08	DMACIntTCClr	传输完成中断清除寄存器
0x0C	DMACIntErrStatus	传输错误中断寄存器
0x10	DMACIntErrClr	传输错误中断清除寄存器
0x14	DMACRawIntTCStatus	传输完成原始中断寄存器
0x18	DMACRawIntErrStatus	传输错误原始中断寄存器
0x1C	DMACEnChStatus	通道使能状态寄存器
0x30	DMACConfig	DMAC 配置寄存器
0x34	DMACSync	同步寄存器
0x100, 0x120, 0x140, 0x160, 0x180	DMACCxSrcAddr	源通道 0/1/2/3/4 地址寄存器
0x104, 0x124, 0x144, 0x164, 0x184	DMACCxDestAddr	目标通道 0/1/2/3/4 地址寄存器
0x108, 0x128, 0x148, 0x168, 0x188	DMACCxLLI	通道 0/1/2/3/4 链接表寄存器
0x10C, 0x12C, 0x14C, 0x16C, 0x18C	DMACCxCtrl	通道 0/1/2/3/4 控制寄存器
0x110, 0x130h, 0x150, 0x170, 0x190	DMACCxConfig	通道 0/1/2/3/4 配置寄存器

7.5.1. 中断状态寄存器 DMACIntStatus (偏移: 00h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:5	RSV	-	-	保留
4:0	IntStatus	RO	0x0	中断状态寄存器。 1: 表示对应的通道产生中断, 当 DMA 控制器传输完成 (DMACIntTCStatus) 或传输错误 (DMACIntErrStatus) 时触发该中断。 0: 没有产生中断

7.5.2. 传输完成中断寄存器 DMACIntTCStatus (偏移: 04h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:5	RSV	-	-	保留
4:0	IntTCStatus	RO	0x0	传输完成中断状态 1: 对应的通道传输完成中断 0: 没有传输完成中断 如果禁止了该中断, 可以查询 DMACRawIntTCStatus 寄存器。

7.5.3. 传输完成中断清除寄存器 DMACIntTCClr (偏移: 08h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:5	RSV	-	-	保留
4:0	IntTCClr	WO	0x0	传输完成中断状态清除 1: 写 1 将清除相应通道的传输完成状态。 0: 无动作

7.5.4. 传输错误中断寄存器 **DMACIntErrStatus** (偏移: 0Ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:5	RSV	-	-	保留
4:0	IntErrStatus	RO	0x0	传输错误中断状态 1: 对应的通道传输错误中断。 0: 没有传输错误中断。 如果禁止了该中断, 可以查询 DMACRawIntErrStatus 寄存器。

7.5.5. 传输错误中断清除寄存器 **DMACIntErrClr** (偏移: 10h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:5	RSV	-	-	保留
4:0	IntErrClr	WO	0x0	传输错误中断状态清除。 1: 写 1 将清除相应通道的传输错误状态 0: 无动作

7.5.6. 传输完成原始中断寄存器 **DMACRawIntTCStatus** (偏移: 14h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:5	RSV	-	-	保留
4:0	RawIntTCStatus	RO	0x0	传输完成原始中断状态。 1: 对应的通道传输完成 0: 没有传输完成

7.5.7. 传输错误原始中断寄存器 **DMACRawIntErrStatus** (偏移: 18h)

比特	名称	属性	复位值	描述
----	----	----	-----	----

31:5	RSV	-	-	保留
4:0	RawIntErrStatus	RO	0x0	传输错误中断状态。 1: 对应的通道传输错误 0: 没有错误

7.5.8. 通道使能状态寄存器 DMACEnChStatus (偏移: 1Ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:5	RSV	-	-	保留
4:0	EnChStat	RO	0x0	1: 对应的通道已使能 0: 对应的通道未使能

7.5.9. DMAC 配置寄存器 DMACConfig (偏移: 30h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:3	RSV	-	-	保留
2	M2ENDIAN	RW	0	Master 2 字节存储次序配置 1: big-endian 模式 0: little-endian 模式
1	M1ENDIAN	RW	0	Master 1 字节存储次序配置 1: big-endian 模式 0: little-endian 模式
0	EN	RW	0	Dmac 使能 1: 打开 dmac 0: 关闭 dmac

7.5.10. 同步寄存器 DMACSync (偏移: 34h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:0	Sync	RW	0x0	DMAC 同步逻辑控制 1: 对应通道同步逻辑不打开 0: 对应通道同步逻辑打开

注意：当外设产生请求信号的时钟和 DMAC 的时钟不是同一个时钟时，必须打开同步逻辑。

7.5.11. 源通道地址寄存器 DMACCxSrcAddr (偏移: 100h, 120h, 140h, 160h, 180h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:0	DMACCxSrcAddr	RW	0x0	源通道地址寄存器

注意：当通道使能打开时，不允许改变该寄存器的值。

7.5.12. 目标通道地址寄存器 DMACCxDestAddr (偏移: 104h, 124h, 144h, 164h, 184h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:0	DMACCxDestAddr	RW	0x0	目标通道地址寄存器

注意：当通道使能打开时，不允许改变该寄存器的值。

7.5.13. 通道链接表寄存器 DMACCxLLI (偏移: 108h, 128h, 148h, 168h, 188h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:2	LLI	RW	0x0	通道链接表，表示下一个 32 位的链接表地址 Addr[31:2]，其中 Addr[1:0]为 0.
1	RSV	-	-	保留
0	LM	RW	0	下一个 LLI 的 master 号

				1: master 2 0: master 1
--	--	--	--	----------------------------

7.5.14. 通道控制寄存器 DMACCxCtrl (偏移: 10Ch, 12Ch, 14Ch, 16Ch, 18Ch, 1ACh, 1CCh, 1ECh)

比特	名称	属性	复位值	描述
31	LLI_ITC	RW	0	当前链表传输是否使能中断产生逻辑。 1: 使能。 0: 禁止。
30:28	RSV	-	-	保留
27	DI	RW	0	目标地址递增使能位, 置 1 使能目标地址递增, 每个 transfer 后目标地址将加上一个递增量
26	SI	RW	0	源地址递增使能位, 置 1 使能源地址递增, 每个 transfer 后源地址将加上一个递增量
25	D	RW	0	目标 AHB master 选择 1: master 1 0: master 0
24	S	RW	0	源 AHB master 选择 1: master 1 0: master 0
23:21	DWidth	RW	000	目标传输位宽。源和目标位宽可以不同, 硬件会自动打包、解包数据。 DWidth 对应的位宽如下: 000: 字节 (8 位) 001: 半字 (16 位) 010: 字 (32 位) 其它: 保留

20:18	SWidth	RW	000	源传输位宽。源和目标位宽可以不同，硬件会自动打包、解包数据。 SWidth 对应的位宽如下： 000：字节（8 位） 001：半字（16 位） 010：字（32 位） 其它：保留
17:15	DBSize	RW	000	目标 burst size。一个 burst 由 DBSize 个 transfer 组成。用户必须把这个值设置成与目标外设的 burst size 一致。Burst size 是目标外设的 DMACxBREQ 为高时传输的数据量。DBSize 对应的 Burst size 见下表
14:12	SBSize	RW	000	源 burst size。一个 burst 由 SBSize 个 transfer 组成。用户必须把这个值设置成与源外设的 burst size 一致。Burst size 是源外设的 DMACxBREQ 为高时传输的数据量。SBSize 对应的 Burst size 见功能描述“ <u>突发模式</u> ”章节
11:0	TransferSize	RW	0x0	Transfer Size(写操作的单位是源位宽，读操作的单位是目标位宽) 读该位可以得到当前目标总线上剩余还未完成的数据量。当一次 DMA 传输完成后，该位自动清零。

注意：当通道使能打开时，不允许改变该寄存器的值。在通道使能打开前将各个通道寄存器配置好，打开使能后，配置好的寄存器即生效。

3.1.10. 通道配置寄存器 DMACCxConfig（偏移：110h, 130h, 150h, 170h, 190h, 1B0h, 1D0h, 1F0h）

比特	名称	属性	复位值	描述
----	----	----	-----	----

31:19	RSV	-	-	保留
18	Halt	RW	0	1: 中止当前 DMA 传输，中止后通道 FIFO 中的内容会被清除。 0: 正常
17	Active	RO	0	1: 通道 FIFO 中有数据 0: 通道 FIFO 中没有数据
16	Lock	RW	0	LOCK（芯片无此功能，必须设为 0）
15	ITC	RW	0	传输完成中断使能 1: 使能该通道的传输完成中断 0: 屏蔽该通道的传输完成中断
14	IE	RW	0	传输错误中断使能 1: 使能该通道的传输错误中断 0: 屏蔽该通道的传输错误中断
13:11	FlowCtrl	RW	000	流控制器和传输类型。 FlowCtrl 传输方向 控制器 000 存储器到存储器 DMA 001 存储器到外设 DMA 010 外设到存储器 DMA
10:6	DestPeriph	RW	0x0	目标外设 ID。对应关系见功能描述“ <u>目标外设和源外设请求号</u> ”章节。当目标是存储器时，该值无效。
5:1	SrcPeriph	RW	0x0	源外设 ID。对应关系见功能描述“ <u>目标外设和源外设请求号</u> ”章节。当源是存储器时，该值无效。
0	EN	RW	0	通道使能 1: 通道使能，传输完成后硬件自动清零。软件写 0 无效。 0: 通道关闭 可以读取 DMACEChStatus 寄存器知道通道使能的情况。

注：DMA 不能访问 eFlash、ROM 空间

7.6. 使用说明

7.6.1. DMA 优先级

DMA 优先级是固定的，通道 0 最高优先级，通道 7 最低优先级。如果 DMAC 正在为一个低优先级的通道传输数据时，一个高优先级的通道请求产生了，那么 DMAC 将会先把低优先级通道的数据传输完毕，然后再来处理高优先级的通道要求。

7.6.2. 软件注意事项

1. 在通道使能后，不能再对通道寄存器有任何写操作；如果一定要写通道寄存器，只能在把使能关闭后再写。
2. 源位宽乘以 TransferSize 必须是目标位宽的整数倍。
3. 如果软件通过设置 DMACCxConfig 寄存器的 bit 0 位来关闭通道，那么必须在读 EnChStat 对应通道 enable 为 0 后才能再次打开通道。因为关闭通道的过程是有延时的。
4. 如果 DMAC 是流控制器，而且 TransferSize 为 0，那么打开 enable 之后不会产生任何数据传输。

7.6.3. DMAC 使用流程

1. 打开 DMAC 总开关（DMAC 配置寄存器（config）第 0 位）。
2. 配置好 DMAC 的通道，传输方向，DMA master，源地址和目标地址，源位宽，目标位宽，源/目标的 burst size，传输数据的 transfer size 等传输参数。
3. 打开 DMAC 通道 enable（DMAC 通道配置寄存器（DMACCxConfig）第 0 位）。

7.6.4. DMAC 链表使用流程

一个链表项（LLI）由四个字组成，这些字按照以下顺序来排列：

1. REG_DMACCSrcAddr(x)
2. REG_DMACCDestAddr(x)
3. REG_DMACCLinkList(x)
4. REG_DMACCControl(x)

其中 REG_DMACCLinkList(x)为下一个链表项的地址，最后一个 LLi 的链表项指针需设置为 0。

实现特点：

将第一个先前写入寄存器的链表项写入 DMA 控制器的相关通道。向通道配置寄存器写入通道配置信息，并置位通道使能位，接下来会启动 DMA 传输，每个数据块传输完毕后，会自动装载下个链表项每个数据块传输完成后都可以产生中断。

8. 高级定时器（TIM1）

8.1. 概述

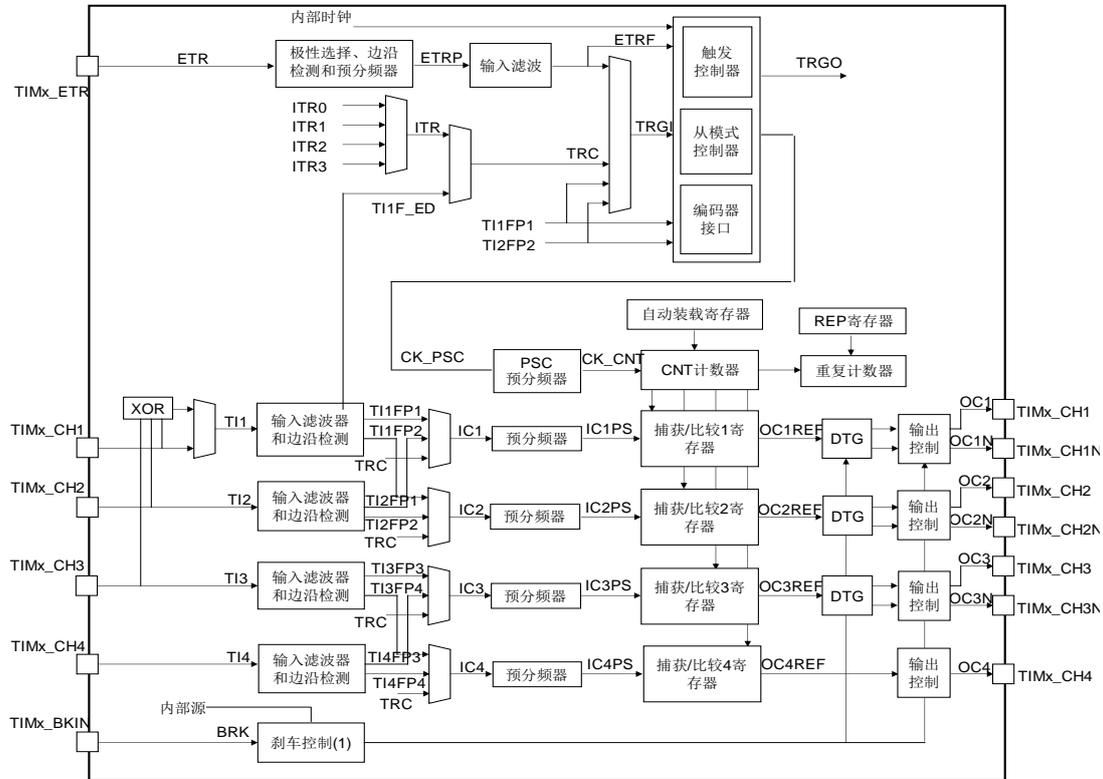
高级控制定时器 TIM1 由一个 16 位的自动装载计数器组成，它由一个可编程的预分频器驱动。它适合多种用途，包含测量输入信号的脉冲宽度(输入捕获)，或者产生输出波形(输出比较、PWM、嵌入死区时间的互补 PWM 等)。使用定时器预分频器和系统时钟控制预分频器，可以实现脉冲宽度和波形周期从几个微秒到几个毫秒的调节。高级控制定时器和通用定时器是完全独立的，它们不共享任何资源，但它们可以同步操作。

8.2. 主要特性

- 16 位向上、向下、向上/下自动装载计数器
- 16 位可编程(可以实时修改)预分频器，计数器时钟频率的分频系数为 1~65536 之间的任意数值
- 多达 4 个独立通道
 - 输入捕获
 - 输出比较
 - PWM 生成（边沿或中间对齐模式）
 - 单脉冲模式输出
- 死区时间可编程的互补输出
- 使用外部信号控制定时器和定时器互联的同步电路
- 允许在指定数目的计数器周期之后更新定时器寄存器的重复计数器
- 刹车输入信号可以将定时器输出信号置于复位状态或者一个已知状态
- 如下事件发生时产生中断/DMA：
 - 更新：计数器向上溢出/向下溢出，计数器初始化(通过软件或者内部/外部触发)
 - 触发事件：(计数器启动、停止、初始化或者由内部/外部触发计数)
 - 输入捕获
 - 输出比较
 - 刹车信号输入

- 支持针对定位的增量(正交)编码器和霍尔传感器电路
- 触发输入作为外部时钟或者按周期的电流管理

图 8-1 高级定时器结构框图



8.3. 功能描述

8.3.1. 定时器基本单元

可编程高级控制定时器的主要部分是一个 16 位计数器和与其相关的自动装载寄存器。这个计数器可以向上计数、向下计数或者向上向下双向计数。此计数器时钟由预分频器分频得到。计数器、自动装载寄存器和预分频器寄存器可以由软件读写，即使计数器还在运行。定时器基本单元包含：

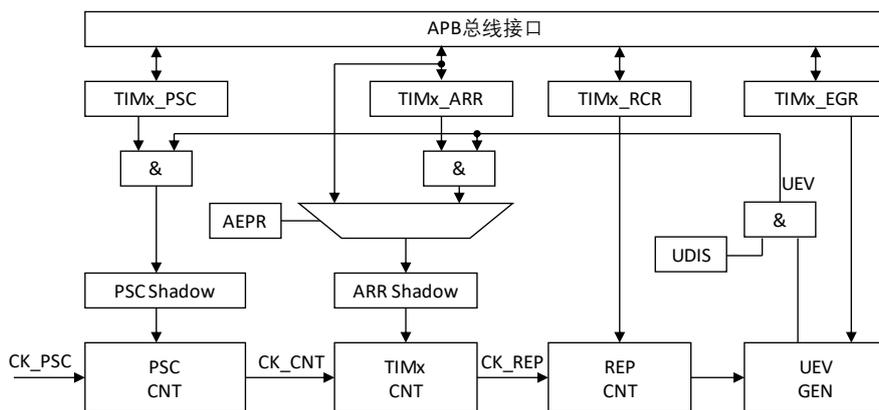
计数器寄存器(TIMx_CNT)

自动装载寄存器 (TIMx_ARR)

预分频器寄存器 (TIMx_PSC)

重复计数寄存器 (TIMx_RCR)

图 8-2 计数单元的结构



如图 8-2 所示，自动重载寄存器（ARR）是可预装载的。当在 TIMx_CR1 寄存器中的 ARR 预装载使能位未使能时 (ARPE=0)，写入 ARR 的内容被立即传送到 ARR 影子寄存器 (ARR Shadow)，而当 ARPE=1 时，写入 ARR 的内容在每次的更新事件 UEV 时才被传送到影子寄存器。当计数器达到溢出条件并当 TIMx_CR1 寄存器中的 UDIS 位等于 0 时，产生更新事件。

计数器由预分频器的时钟输出 CK_CNT 驱动，仅当设置了计数器 TIMx_CR1 寄存器中的计数器使能位 (CEN) 时，CK_CNT 才有效。

注意，在设置了 TIMx_CR1 寄存器的 CEN 位的一个时钟周期后，计数器开始计数。

8.3.2. 定时器计数模式

定时器支持三种计数模式：

向上计数模式

在向上计数模式中，计数器从 0 计数到自动加载值 (TIMx_ARR 计数器的内容)，然后重新从 0 开始计数并且产生一个计数器溢出事件，如果 UDIS=0，就会产生一次更新事件。更新事件也可以由 UG bit 置位产生（通过 EGR 寄存器软件置位或通过硬件从模式方式）。当更新事件产生后，如果 TIMx_CR1 的 URS=0，并且更新中断或 DMA 已使能，就会产生更新中断或更新 DMA 请求；如果 URS=1，则只有溢出事件产生的更新事件才产生更新中断和更新 DMA 请求。

向下计数模式

在向下模式中，计数器从自动装入的值 (TIMx_ARR 计数器的值) 开始向下计数到 0，然后从自动装入的值重新开始并且产生一个计数器向下溢出事件，如果 UDIS=0，就会产生一次更新事件。更新事件也可以由 UG bit 置位产生（通过 EGR 寄存器软件置位或通过硬件从模式方

式)。当更新事件产生后，如果 TIMx_CR1 的 URS=0，并且更新中断或 DMA 已使能，就会产生更新中断或更新 DMA 请求；如果 URS=1，则只有溢出事件产生的更新事件才产生更新中断和更新 DMA 请求。

中央对齐模式

在中央对齐模式下，计数器交替的从 0 开始向上计数到自动加载值，然后再向下计数到 0。向上计数时，定时器模块在计数器计数到自动加载值减 1 产生一个上溢事件；向下计数时，定时器模块在计数器计数到 1 时产生一个下溢事件。无论上溢还是下溢，当 UDIS=0 时，都会产生一次更新事件。当更新事件产生后，如果 TIMx_CR1 的 URS=0，并且更新中断或 DMA 已使能，就会产生更新中断或更新 DMA 请求；如果 URS=1，则只有溢出事件产生的更新事件才产生更新中断和更新 DMA 请求。

在中央计数模式中，TIMx_CR1 寄存器中的计数方向控制位 DIR 为只读，指示计数方向。计数方向被硬件自动更新。

8.3.3. 预分频器

预分频器可以将计数器的时钟频率按 1 到 65536 之间的任意值分频。它是基于一个(在 TIMx_PSC 寄存器中的)16 位寄存器控制的 16 位计数器。因为这个控制寄存器带有缓冲器，它能够在运行时被改变。新的预分频器的参数在下一次更新事件到来时被采用。

图 8-3 和图 8-4 给出了在预分频器运行时，更改计数器参数的例子。

图 8-3 当预分频器的参数从 1 变到 2 时，计数器的时序图

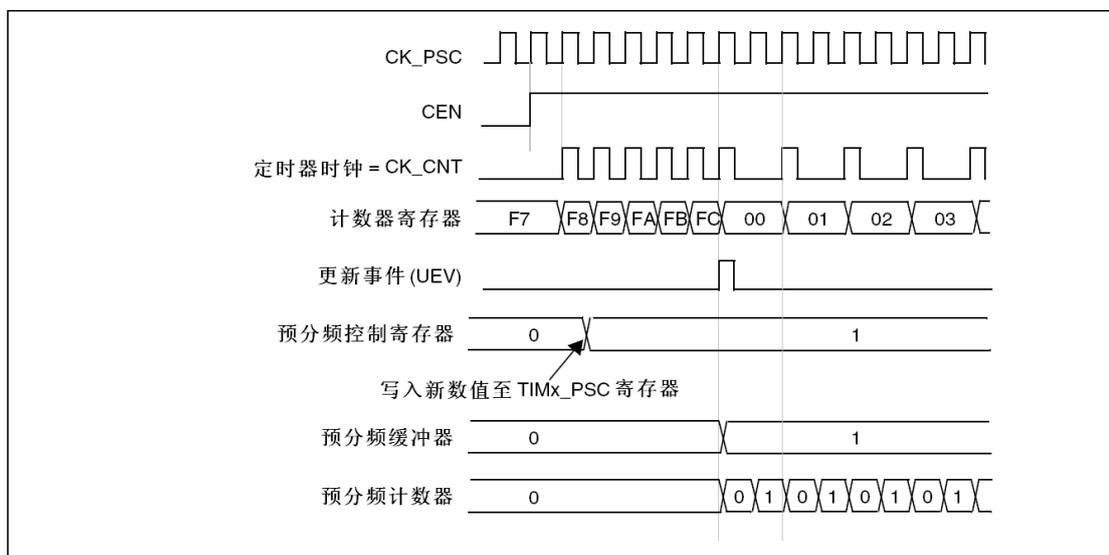
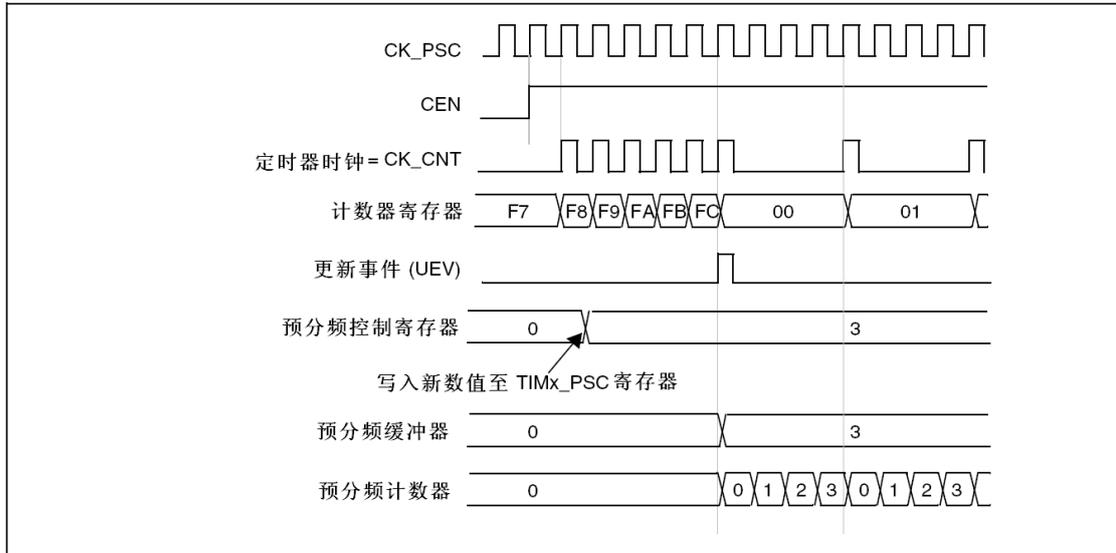


图 8-4 当预分频器的参数从 1 变到 4 时，计数器的时序图



8.3.4. 重复计数器

重复计数器是一个 8 位的递减计数器，更新事件 UEV 只能在重复计数器计数达到 0 时产生。重复计数器在下述任一条件成立时递减：

- 向上计数模式下每次计数器溢出时，
- 向下计数模式下每次计数器下溢时，
- 中央对齐模式下每次上溢和每次下溢时。

重复计数器是自动加载的，重复速率是由 TIMx_RCR 寄存器的值。当更新事件由软件产生(通过设置 TIMx_EGR 中的 UG 位)或者通过硬件的从模式控制器产生，则无论重复计数器的值是多少，TIMx_RCR 寄存器中的内容被重载入到重复计数器。

8.3.5. 时钟源选择

计数器时钟可由下列时钟源提供：

- 内部时钟(CK_INT)
- 外部时钟模式 1：外部输入引脚
- 外部时钟模式 2：外部触发输入 ETR
- 编码器模式

图 8-5 外部时钟模式 1

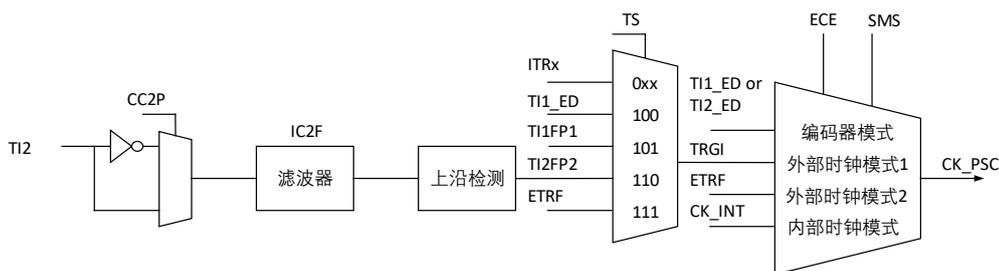
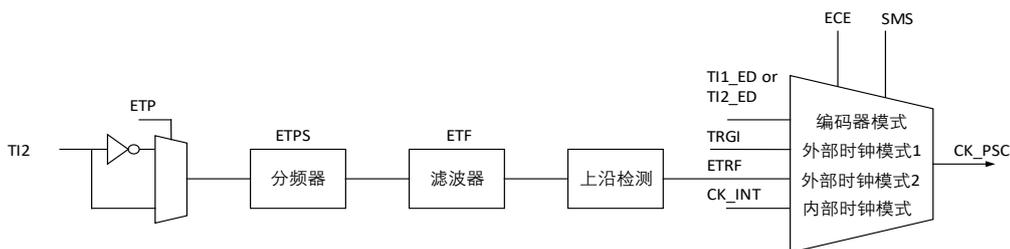


图 8-6 外部时钟模式 2



内部时钟(CK_INT)：当禁止从模式(SMS=000, ECE=0)时，计数时钟就来自于 CK_INT，即来自于 PCLK。只要 CEN 位被写成‘1’，预分频器的时钟就由内部时钟 CK_INT 提供。

外部时钟模式 1：SMS=111, ECE=0, CK_PSC 由 TRGI 产生，TRGI 有七个信号源，并由 TIMx_SMCR.TS 寄存器选择，如图 8-5 所示。

TS=000，内部触发 0 (ITR0)

TS=001，内部触发 1 (ITR1)

TS=010，内部触发 2 (ITR2)

TS=011，内部触发 3 (ITR3)

TS=100，TI1 的边沿检测器 (TI1F_ED)

TS=101，滤波后的定时器输入 1 (TI1FP1)

TS=110，滤波后的定时器输入 2 (TI2FP2)

外部时钟模式 2：ECE=1 或 SMS=111、TS=111, CK_PSC 来自 ETRF，如图 8-6 所示。

编码器模式

编码器模式 1：SMS=001, ECE=0, CK_PSC 来自 TI1FP1 的上下沿

编码器模式 2：SMS=010, ECE=0, CK_PSC 来自 TI2FP2 的上下沿

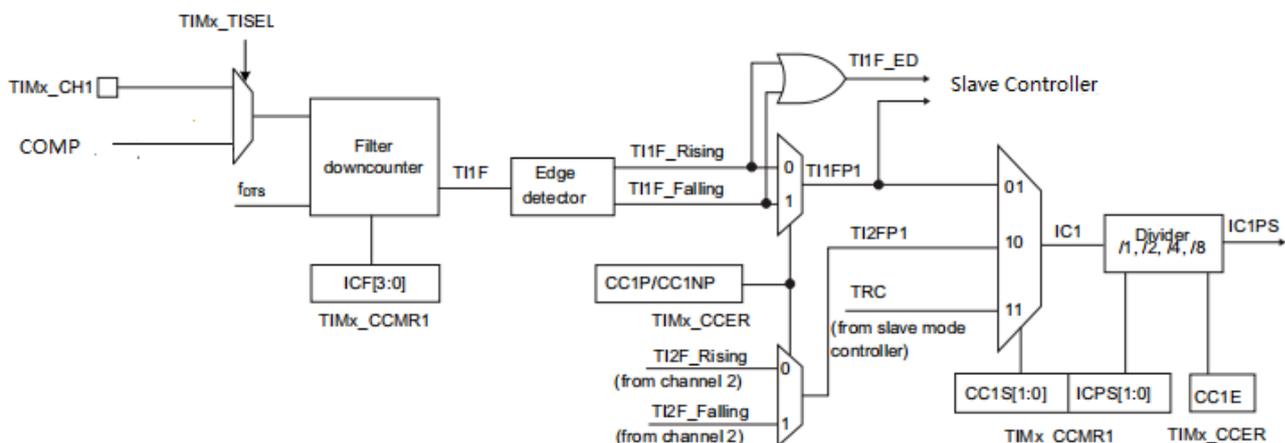
编码器模式 3：SMS=011, ECE=0, CK_PSC 来自 TI1FP1 和 TI2FP2 的上下沿

8.3.6. 捕获比较通道

输入捕获模式：

在输入捕获模式下，当检测到 IC_x 信号上相应的边沿后，计数器的当前值被锁存到捕获/比较寄存器(TIM_x_CCR_x)中。当发生捕获事件时，相应的 CC_xIF 标志(TIM_x_SR 寄存器)被置 1,如果使能了中断或者 DMA 操作,则将产生中断或者 DMA 请求。如果发生捕获事件时 CC_xIF 标志已经为高,那么重复捕获标志 CC_xOF(TIM_x_SR 寄存器)被置 1。写 CC_xIF=0 可清除 CC_xIF,或读取存储在 TIM_x_CCR_x 寄存器中的捕获数据也可清除 CC_xIF。写 CC_xOF=0 可清除 CC_xOF。

图 8-7 通道 1 输入捕获 TI1 信号



以下例子说明如何在 TI1 输入的上升沿时捕获计数器的值到 TIM_x_CCR1 寄存器中，步骤如下：

1、由于是从 TI1 引脚输入，因此需要将 TISEL BIT0 写 0。

2、因为 TI1 捕获的值要写入到 TIM_x_CCR1,因此写入 TIM_x_CCR1 寄存器中的 CC1S=01。因为通道被配置为输入，TIM_x_CCR1 寄存器变为只读。

3、根据输入信号的特点，配置输入滤波器为所需的带宽(即输入为 TI_x 时，输入滤波器控制位是 TIM_x_CCMR_x 寄存器中的 IC_xF 位)。假设输入信号在最多 5 个内部时钟周期的时间内抖动，我们须配置滤波器的带宽长于 5 个时钟周期，此例中我们可以(以 fDTS 频率)连续采样 8 次，以确认在 TI1 上一次真实的边沿变换，即在 TIM_x_CCMR1 寄存器中写入 IC1F=0011。

4、选择 TI1 通道的有效转换边沿，在 TIM_x_CCER 寄存器中写入 CC1P=0(上升沿)。

5、配置输入预分频器。在本例中，我们希望捕获发生在每一个有效的电平转换时刻，因此预分频器被禁止(写 TIM_x_CCMR1 寄存器的 IC1PS=00)。

6、设置 TIM_x_CCER 寄存器的 CC1E=1，允许捕获计数器的值到捕获寄存器中。

如果需要，通过设置 TIMx_DIER 寄存器中的 CC1IE 位使能捕获中断请求，通过设置 TIMx_DIER 寄存器中的 CC1DE 位使能捕获 DMA 请求。

当发生一个输入捕获时：

产生有效的电平转换时，计数器的值被传送到 TIMx_CCR1 寄存器。

CC1IF 标志被设置(中断标志)。当发生至少 2 个连续的捕获时，而 CC1IF 未曾被清除，CC1OF 也被置 1。

如设置了 CC1IE 位，则会产生一个中断。

如设置了 CC1DE 位，则还会产生一个 DMA 请求。为了处理捕获溢出，建议在读捕获溢出标志之前读取数据，这是为了避免丢失在读捕获溢出标志之后和读取数据之前可能产生的捕获溢出信息。

注：设置 TIMx_EGR 寄存器中相应的 CCxG 位，可以通过软件产生输入捕获中断和/或 DMA 请求。

PWM 输入模式：

该模式是输入捕获模式的一个特例，除下列区别外，操作与输入捕获模式相同：

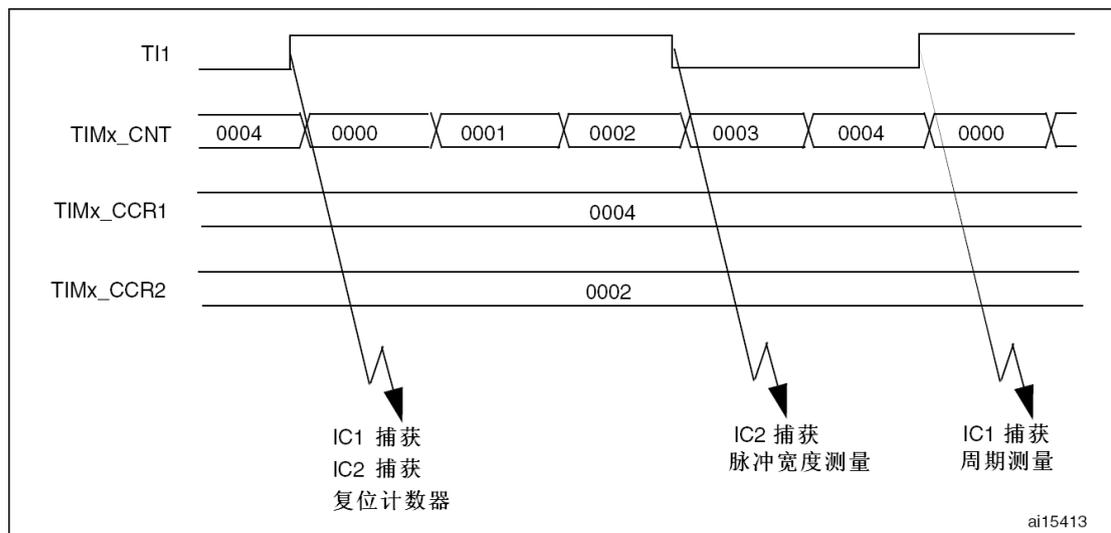
两个 ICx 信号被映射至同一个 TIx 输入。

这 2 个 ICx 信号为边沿有效，但是极性相反。

其中一个 TIxFP 信号被作为触发输入信号，而从模式控制器被配置成复位模式。例如，测量输入到 TI1 上的 PWM 信号的周期(TIMx_CCR1 寄存器)和占空比(TIMx_CCR2 寄存器)，具体步骤如下：

- 1、由于是从 TI1 引脚输入，因此需要将 TISEL BIT0 写 0。
- 2、选择 TIMx_CCR1 的有效输入：置 TIMx_CCMR1 寄存器的 CC1S=01(选中 TI1)。
- 3、选择 TI1FP1 的有效极性(用来捕获数据到 TIMx_CCR1 中和清除计数器)：置 CC1P=0(上升沿有效)。
- 4、选择 TIMx_CCR2 的有效输入：置 TIMx_CCMR1 寄存器的 CC2S=10(选中 TI1)。
- 5、选择 TI1FP2 的有效极性(捕获数据到 TIMx_CCR2)：置 CC2P=1(下降沿有效)。
- 6、选择有效的触发输入信号：置 TIMx_SMCR 寄存器中的 TS=101(选择 TI1FP1)。
- 7、配置从模式控制器为复位模式：置 TIMx_SMCR 中的 SMS=100。
- 8、使能捕获：置 TIMx_CCER 寄存器中 CC1E=1 且 CC2E=1。

图 8-8 PWM 输入模式时序



输出比较模式:

此项功能是用来控制一个输出波形如 PWM，或者指示一段给定的时间已经到时。

当计数器与捕获/比较寄存器的内容相同时，输出比较功能做如下操作：

- 将输出比较模式(TIMx_CCMRx 寄存器中的 OCxM 位)和输出极性(TIMx_CCER 寄存器中的 CCxP 位)定义的值输出到对应的引脚上。在比较匹配时，输出引脚可以保持它的电平(OCxM=000)、被设置成有效电平(OCxM=001)、被设置成无效电平(OCxM=010)或进行翻转(OCxM=011)。
- 设置中断状态寄存器中的标志位(TIMx_SR 寄存器中的 CCxIF 位)。
- 若设置了相应的中断屏蔽(TIMx_DIER 寄存器中的 CCxIE 位)，则产生一个中断。
- 若设置了相应的使能位(TIMx_DIER 寄存器中的 CCxDE 位，TIMx_CR2 寄存器中的 CCDS 位选择 DMA 请求功能)，则产生一个 DMA 请求。

TIMx_CCMRx 中的 OCxPE 位选择 TIMx_CCRx 寄存器是否需要使用预装载寄存器。

在输出比较模式下，更新事件 UEV 对 OCxREF 和 OCx 输出没有影响。

同步的精度可以达到计数器的一个计数周期。输出比较模式(在单脉冲模式下)也能用来输出一个单脉冲。

输出比较模式的配置步骤：

- 1、选择计数器时钟(内部，外部，预分频器)。
- 2、将相应的数据写入 TIMx_ARR 和 TIMx_CCRx 寄存器中。
- 3、如果要产生一个中断请求，设置 CCxIE 位。

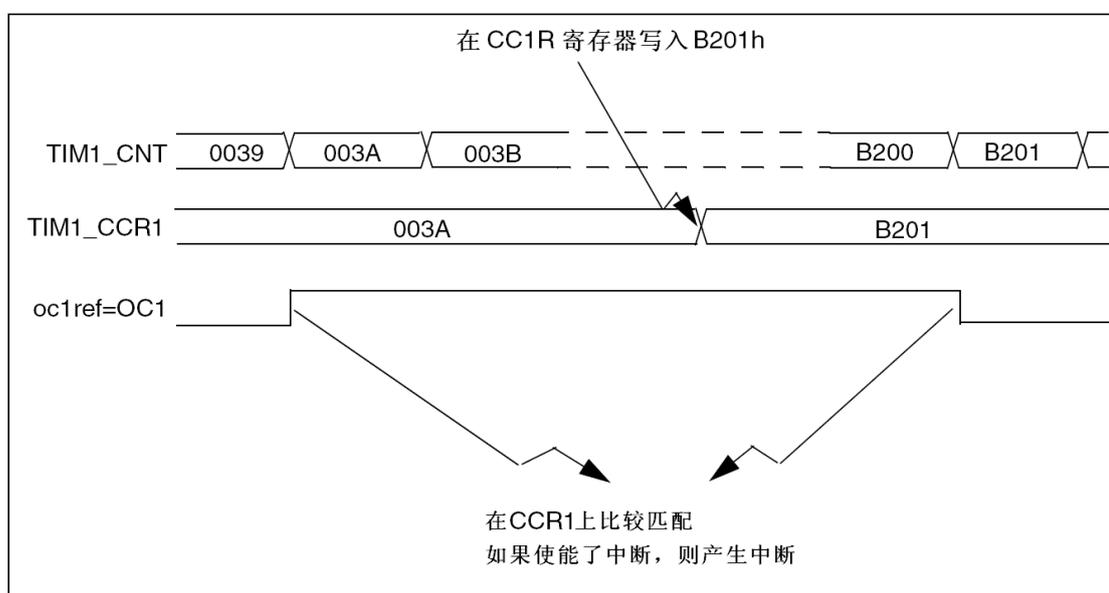
4、选择输出模式，例如：

- 要求计数器与 CCRx 匹配时翻转 OCx 的输出引脚，设置 OCxM=011
- 置 OCxPE = 0 禁用预装载寄存器
- 置 CCxP = 0 选择极性为高电平有效
- 置 CCxE = 1 使能输出。

5、设置 TIMx_CR1 寄存器的 CEN 位启动计数器。

TIMx_CCRx 寄存器能够在任何时候通过软件进行更新以控制输出波形，条件是未使用预装载寄存器(OCxPE='0'，否则 TIMx_CCRx 的影子寄存器只能在发生下一次更新事件时被更新)。图 8-9 是输出比较模式的一个例子。

图 8-9 输出比较模式，翻转 OC1



8.3.7. 强制输出模式

在输出模式(TIMx_CCMRx 寄存器中 CCxS=00)下，输出比较信号(OCxREF 和相应的 OCx/OCxN)能够直接由软件强置为有效或无效状态，而不依赖于输出比较寄存器和计数器间的比较结果。配置 TIMx_CCMRx 寄存器中的 OCxM=101，即可强置输出比较信号(OCxREF/OCx)为有效状态。这样 OCxREF 被强置为高电平(OCxREF 始终为高电平有效)，同时 OCx 得到 CCxP 极性相反的信号。

例如：CCxP=0(OCx 高电平有效)，则 OCx 被强置为高电平。

置 TIMx_CCMRx 寄存器中的 OCxM=100，可强置 OCxREF 信号为低。

该模式下，在 TIMx_CCRx 影子寄存器和计数器之间的比较仍然在进行，相应的标志也会被修改。因此仍然会产生相应的中断和 DMA 请求。

8.3.8. PWM 模式

脉冲宽度调制模式可以产生一个由 TIMx_ARR 寄存器确定频率、由 TIMx_CCRx 寄存器确定占空比的信号。

在 TIMx_CCMRx 寄存器中的 OCxM 位写入 '110' (PWM 模式 1) 或 '111' (PWM 模式 2)，能够独立地设置每个 OCx 输出通道产生一路 PWM。必须通过设置 TIMx_CCMRx 寄存器的 OCxPE 位使能相应的预装载寄存器，最后还要设置 TIMx_CR1 寄存器的 ARPE 位，(在向上计数或中心对称模式中)使能自动重载的预装载寄存器。

仅当发生一个更新事件的时候，预装载寄存器才能被传送到影子寄存器，因此在计数器开始计数之前，必须通过设置 TIMx_EGR 寄存器中的 UG 位来初始化所有的寄存器。OCx 的极性可以通过软件在 TIMx_CCER 寄存器中的 CCxP 位设置，它可以设置为高电平有效或低电平有效。OCx 的输出使能通过 (TIMx_CCER 和 TIMx_BDTR 寄存器) CCxE、CCxNE、MOE、OSSI 和 OSSR 位的组合控制。详见 TIMx_CCER 和 BDTR 寄存器的描述。

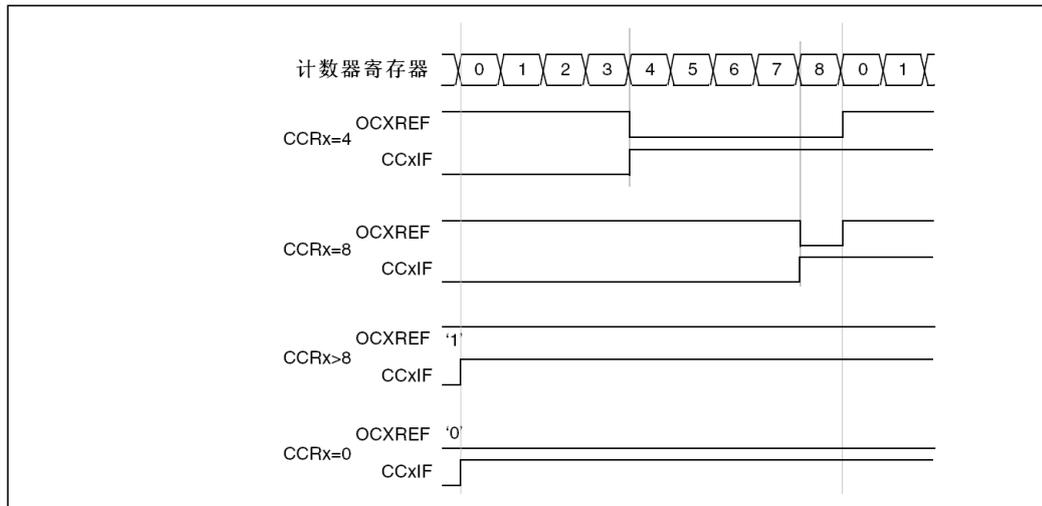
在 PWM 模式(模式 1 或模式 2)下，TIMx_CNT 和 TIMx_CCRx 始终在进行比较，(依据计数器的计数方向)以确定是否符合 $TIMx_CCRx \leq TIMx_CNT$ 或者 $TIMx_CNT \leq TIMx_CCRx$ 。根据 TIMx_CR1 寄存器中 CMS 位的状态，定时器能够产生边沿对齐的 PWM 信号或中央对齐的 PWM 信号。

PWM 边沿对齐模式

向上计数配置

当 TIMx_CR1 寄存器中的 DIR 位为低的时候执行向上计数。图 8-10 是一个 PWM 模式 1 的例子。当 $TIMx_CNT < TIMx_CCRx$ 时，PWM 参考信号 OCxREF 为高，否则为低。如果 TIMx_CCRx 中的比较值大于自动重载值 (TIMx_ARR)，则 OCxREF 保持为 '1'。如果比较值为 0，则 OCxREF 保持为 '0'。

图 8-10 边沿对齐的 PWM 波形 (ARR=8)



向下计数的配置

当 $TIMx_CR1$ 寄存器的 DIR 位为高时执行向下计数。在 PWM 模式 1，当 $TIMx_CNT > TIMx_CCRx$ 时参考信号 $OCxREF$ 为低，否则为高。如果 $TIMx_CCRx$ 中的比较值大于 $TIMx_ARR$ 中的自动重装载值，则 $OCxREF$ 保持为 '1'。该模式下不能产生 0% 的 PWM 波形。

PWM 中央对齐模式

当 $TIMx_CR1$ 寄存器中的 CMS 位不为 '00' 时为中央对齐模式(所有保留的配置对 $OCxREF/OCx$ 信号都有相同的作用)。根据不同的 CMS 位设置，比较标志可以在计数器向上计数时被置 1、在计数器向下计数时被置 1、或在计数器向上和向下计数时被置 1。 $TIMx_CR1$ 寄存器中的计数方向位(DIR)由硬件更新，不要用软件修改它。

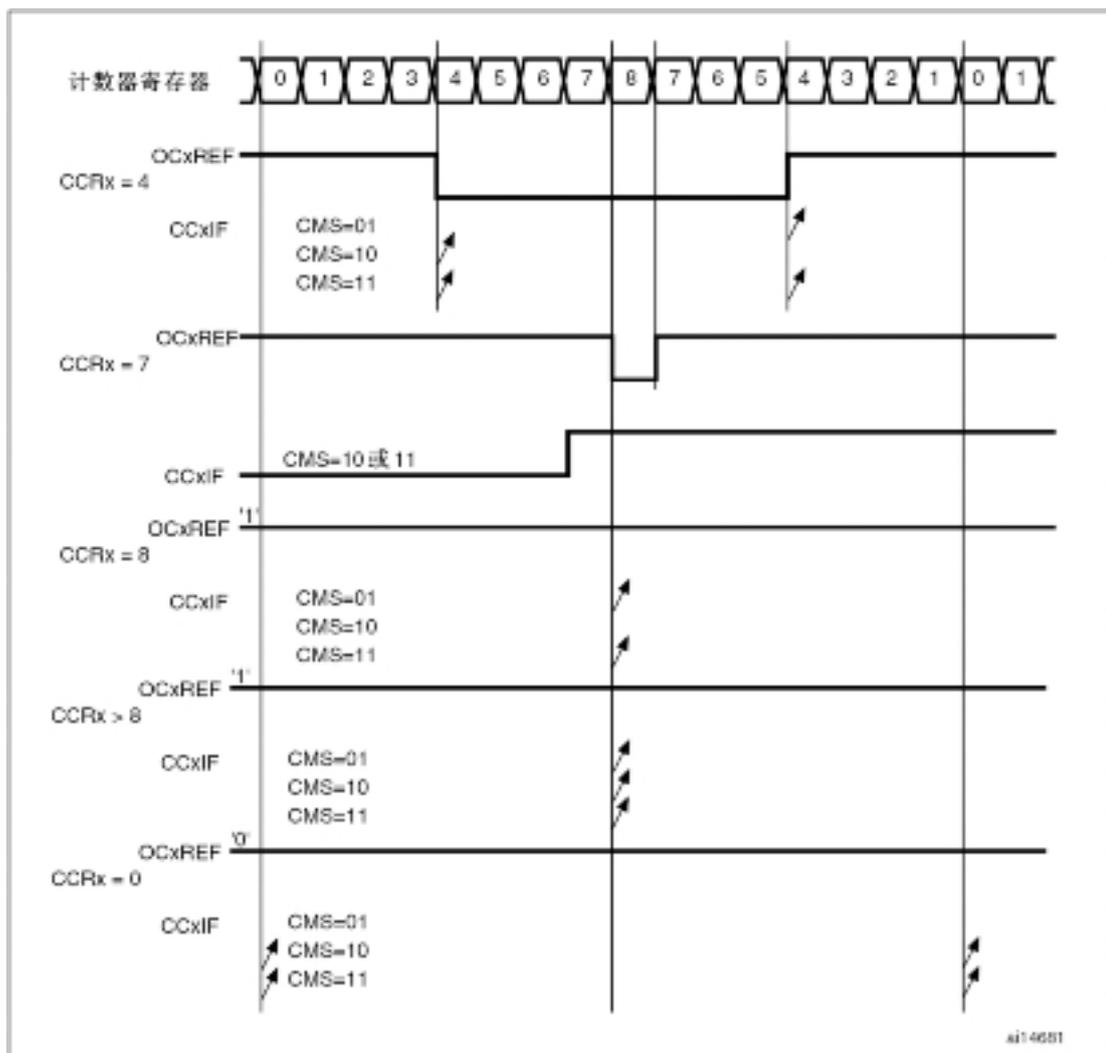
图 8-11 给出了一些中央对齐的 PWM 波形的例子

$TIMx_ARR=8$

PWM 模式 1

$TIMx_CR1$ 寄存器的 $CMS=01$ ，在中央对齐模式 1 下，当计数器向下计数时设置比较标志。

图 8-11 中央对齐的 PWM 波形 (ARR=8)



使用中央对齐模式的注意事项:

- 进入中央对齐模式时,使用当前的向上/向下计数配置;这就意味着计数器向上还是向下计数取决于 TIMx_CR1 寄存器中 DIR 位的当前值。此外,软件不能同时修改 DIR 和 CMS 位。
- 不推荐当运行在中央对齐模式时改写计数器,因为这会产生不可预知的结果。特别地:
- 如果写入计数器的值大于自动重加载的值(TIMx_CNT>TIMx_ARR),则方向不会被更新。例如,如果计数器正在向上计数,它就会继续向上计数。
- 如果将 0 或者 TIMx_ARR 的值写入计数器,方向被更新,但不产生更新事件 UEV。
- 使用中央对齐模式最保险的方法,就是在启动计数器之前产生一个软件更新(设置 TIMx_EGR 位中的 UG 位),并且不要在计数进行过程中修改计数器的值。

8.3.9. 互补输出和死区插入

高级控制定时器能够输出两路互补信号，并且能够管理输出的瞬时关断和接通。这段时间通常被称为死区，用户应该根据连接的输出器件和它们的特性(电平转换的延时、电源开关的延时等)来调整死区时间。

配置 TIMx_CCER 寄存器中的 CCxP 和 CCxNP 位，可以为每一个输出独立地选择极性(主输出 OCx 或互补输出 OCxN)。

互补信号 OCx 和 OCxN 通过下列控制位的组合进行控制：TIMx_CCER 寄存器的 CCxE 和 CCxNE 位，TIMx_BDTR 和 TIMx_CR2 寄存器中的 MOE、OISx、OISxN、OSSI 和 OSSR 位，带刹车功能的互补输出通道 OCx 和 OCxN 的控制位。特别的是，在转换到 IDLE 状态时(MOE 下降到 0)死区被激活。

同时设置 CCxE 和 CCxNE 位将插入死区，如果存在刹车电路，则还要设置 MOE 位。每一个通道都有一个 10 位的死区发生器。参考信号 OCxREF 可以产生 2 路输出 OCx 和 OCxN。

如果 OCx 和 OCxN 为高有效：

- OCx 输出信号与参考信号相同，只是它的上升沿相对于参考信号的上升沿有一个延迟。
- OCxN 输出信号与参考信号相反，只是它的上升沿相对于参考信号的下降沿有一个延迟。

如果延迟大于当前有效的输出宽度(OCx 或者 OCxN)，则不会产生相应的脉冲。下列几张图显示了死区发生器的输出信号和当前参考信号 OCxREF 之间的关系。(假设 CCxP=0、CCxNP=0、MOE=1、CCxE=1 并且 CCxNE=1)

图 8-12 带死区插入的互补输出

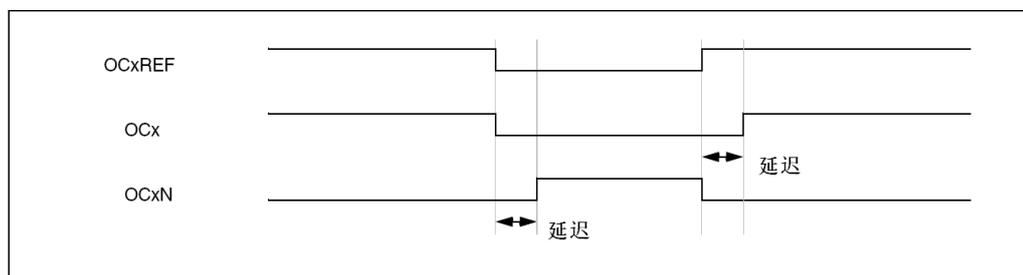


图 8-13 死区波形延迟大于负脉冲

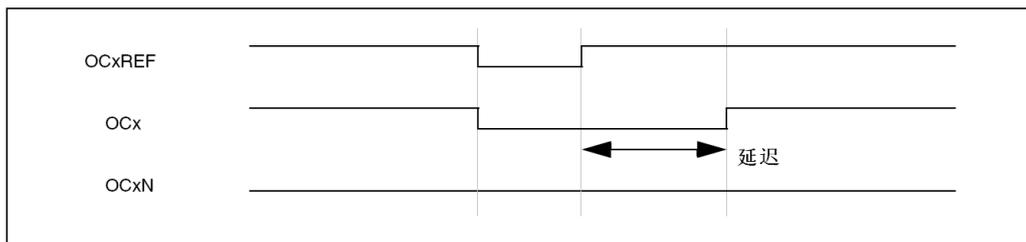
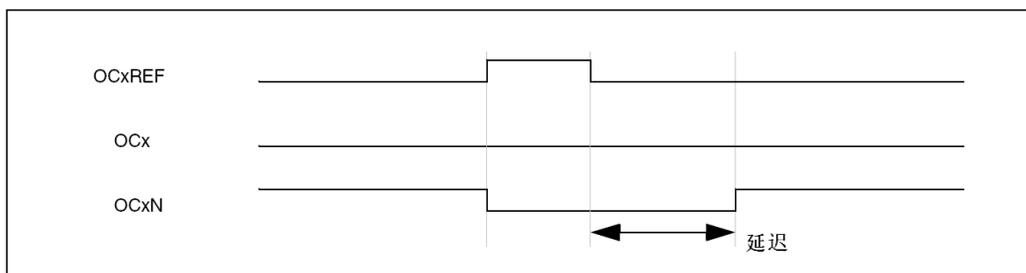


图 8-14 死区波形延迟大于正脉冲



每一个通道的死区延时都是相同的，是由 `TIMx_BDTR` 寄存器中的 `DTG` 位编程配置。

重定向 `OCxREF` 到 `OCx` 或 `OCxN`:

在输出模式下(强置、输出比较或 PWM),通过配置 `TIMx_CCER` 寄存器的 `CCxE` 和 `CCxNE` 位, `OCxREF` 可以被重定向到 `OCx` 或者 `OCxN` 的输出。这个功能可以在互补输出处于无效电平时,在某个输出上送出一个特殊的波形(例如 PWM 或者静态有效电平)。另一个作用是,让两个输出同时处于无效电平,或处于有效电平和带死区的互补输出。

注: 当只使能 `OCxN`(`CCxE=0, CCxNE=1`)时,它不会反相,当 `OCxREF` 有效时立即变高。例如,如果 `CCxNP=0`,则 `OCxN=OCxREF`。另一方面,当 `OCx` 和 `OCxN` 都被使能时(`CCxE=CCxNE=1`),当 `OCxREF` 为高时 `OCx` 有效;而 `OCxN` 相反,当 `OCxREF` 低时 `OCxN` 变为有效。

8.3.10. 刹车功能

当使用刹车功能时,依据相应的控制位(`TIMx_BDTR` 寄存器中的 `MOE`、`OSSI` 和 `OSSR` 位, `TIMx_CR2` 寄存器中的 `OISx` 和 `OISxN` 位),输出使能信号和无效电平都会被修改。但无论何时, `OCx` 和 `OCxN` 输出不能在同一时间同时处于有效电平上。

刹车源既可以是刹车输入引脚又可以是一个系统异常事件。

系统复位后,刹车电路被禁止, `MOE` 位为低。设置 `TIMx_BDTR` 寄存器中的 `BKE` 位可以使能刹车功能,刹车输入信号的极性可以通过配置 `TIMx_BDTR` 寄存器中的 `BKP` 位选择。`BKE`

和 BKP 可以同时被修改。当写入 BKE 和 BKP 位时，在真正写入之前会有 1 个 PCLK 时钟周期的延迟，因此需要等待一个 PCLK 时钟周期之后，才能正确地读回写入的位。

因为 MOE 下降沿可以是异步的，在实际信号(作用在输出端)和同步控制位(在 TIMx_BDTR 寄存器中)之间设置了一个再同步电路。这个再同步电路会在异步信号和同步信号之间产生延迟。特别的，如果当 MOE=0 低时写 MOE=1，则读出它之前必须先插入一个延时(空指令)才能读到正确的值。这是因为写入的是异步信号而读的是同步信号。

当发生刹车时(在刹车输入端出现选定的电平)，有下述动作：

1、MOE 位被异步地清除，将输出置于无效状态、空闲状态或者复位状态(由 OSS1 位选择)。如果未开启对 break 输入信号的滤波，这个特性在 MCU 的振荡器关闭时依然有效。

2、一旦 MOE=0，每一个输出通道输出由 TIMx_CR2 寄存器中的 OISx 位设定的电平。如果 OSS1=0，则定时器输出禁止，否则输出使能。

当使用互补输出时：

输出首先被置于复位状态即无效的状态(取决于极性)。这是异步操作，即使定时器没有时钟时，此功能也有效。

如果定时器的时钟依然存在，死区生成器将会重新生效，在死区之后根据 OISx 和 OISxN 位指示的电平驱动输出端口。即使在这种情况下，OCx 和 OCxN 也不能被同时驱动到有效的电平。注，因为重新同步 MOE，死区时间比通常情况下长一些(大约 2 个 CK_INT 的时钟周期)。

如果 OSS1=0，定时器输出禁止，否则保持使能输出；或一旦 CCxE 与 CCxNE 二者之一变高时，使能输出。

详情请参考表格 8-2。

如果设置了 TIMx_DIER 寄存器中的 BIE 位，当刹车状态标志(TIMx_SR 寄存器中的 BIF 位)为'1'时，则产生一个中断。如果设置了 TIMx_DIER 寄存器中的 BDE 位，则产生一个 DMA 请求。

如果设置了 TIMx_BDTR 寄存器中的 AOE 位，在下一个更新事件 UEV 时 MOE 位被自动置位。否则，MOE 始终保持低直到被再次置'1'。

注：刹车输入为电平有效。所以，当刹车输入有效时，不能同时(自动地或者通过软件)设置 MOE。状态标志 BIF 不能被软件清除，只能等刹车输入无效后自动被硬件清除。

刹车由 BRK 输入产生，它的有效极性是可编程的，且由 TIMx_BDTR 寄存器中的 BKE 位开启。除了刹车输入和输出管理，刹车电路中还实现了写保护以保证应用程序的安全。它允许用户冻结几个配置参数(死区长度，OCx/OCxN 极性和被禁止的状态，OCxM 配置，刹车使能和极性)。用户可以通过 TIMx_BDTR 寄存器中的 LOCK 位，从三级保护中选择一种，参看刹车和死区寄存器(TIMx_BDTR)。在 MCU 复位后 LOCK 位只能被修改一次。图 8-15 显示响应刹车的输出实例。图 8-16 显示了刹车输入信号以及极性选择。

图 8-15 响应刹车的输出

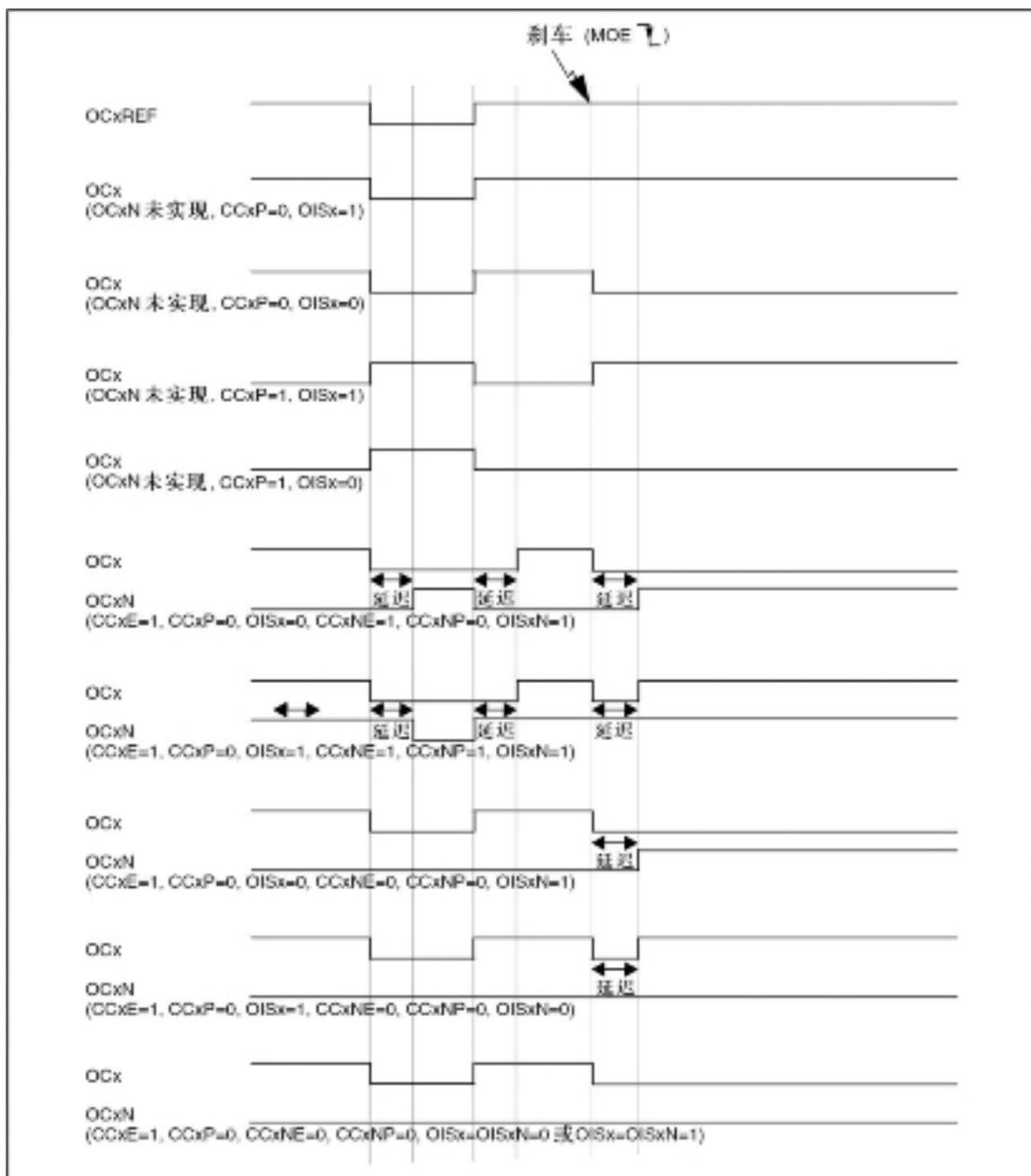
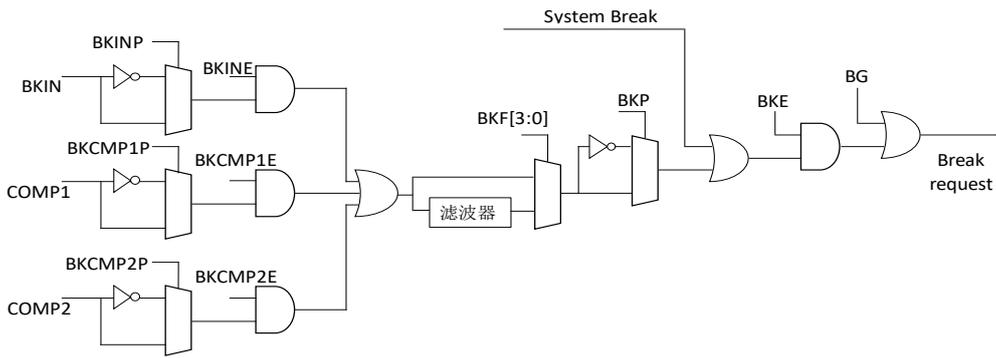


图 8-16 刹车控制



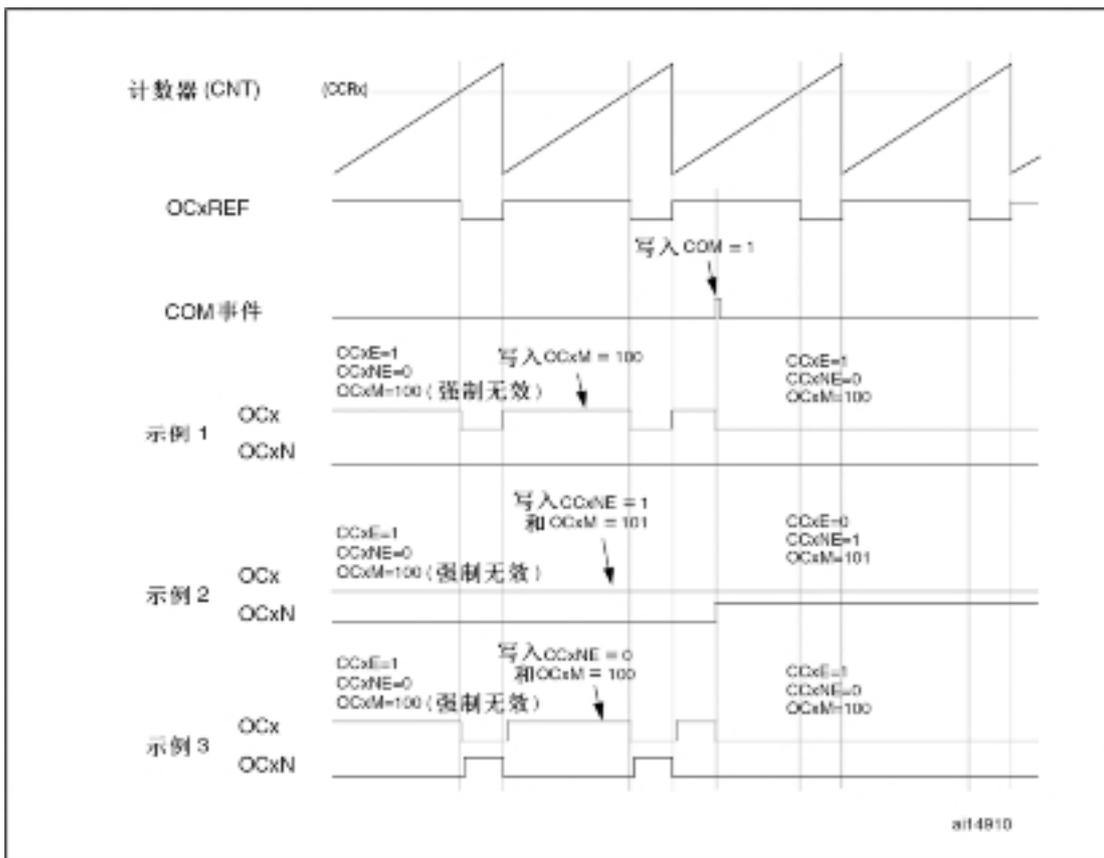
8.3.11. 六步 PWM 输出

当在一个通道上需要互补输出时，预装载位有 OCxM、CCxE 和 CCxNE。在发生 COM 换相事件时，这些预装载位被传送到影子寄存器位。这样你就可以预先设置好下一步骤配置，并在同一个时刻同时修更改所有通道的配置。

COM 可以通过设置 TIMx_EGR 寄存器的 COM 位由软件产生，或在 TRGI 上升沿由硬件产生(取决于 CR2 寄存器中的 CCUS 位)。当发生 COM 事件时会设置一个标志位(TIMx_SR 寄存器中的 COMIF 位)，这时如果已设置了 TIMx_DIER 寄存器的 COMIE 位，则产生一个中断；如果已设置了 TIMx_DIER 寄存器的 COMDE 位，则产生一个 DMA 请求。

下图显示当发生 COM 事件时，三种不同配置下 OCx 和 OCxN 输出。

图 8-17 产生六步 PWM，使用 COM 的例子(OSSR=1)



8.3.12. 正交编码器模式

从上节可知，编码器接口模式基本上相当于使用了一个带有方向选择的外部时钟。在这个模式下，计数器依照增量编码器的速度和方向被自动的修改，因此计数器的内容始终指示着编码器的位置。计数方向与相连的传感器旋转的方向对应。表格 8-1 列出了所有可能的组合，假设 TI1 和 TI2 不同时变换。

表格 8-1 计数器方向和编码器信号的关系

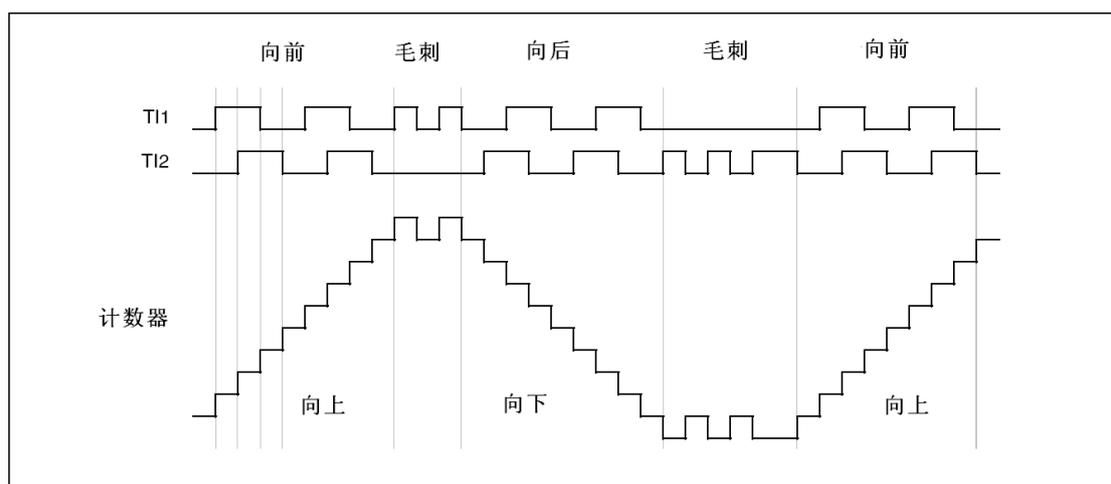
有效边沿	相对信号的电平 (TI1FP1 对应 TI2, TI2FP2 对 应 TI1)	TI1FP1		TI2FP2	
		上升	下降	上升	下降
仅在 TI1 计数	高	向下计数	向上计数	不计数	不计数
	低	向上计数	向下计数	不计数	不计数
仅在 TI2 计数	高	不计数	不计数	向上计数	向下计数

	低	不计数	不计数	向下计数	向上计数
TI1 和 TI2 都计数	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

两个输入 TI1 和 TI2 被用来作为增量编码器的接口。假定计数器已经启动(TIMx_CR1 寄存器中的 CEN=1), 则计数器由每次在 TI1FP1 或 TI2FP2 上的有效跳变驱动。TI1FP1 和 TI2FP2 是 TI1 和 TI2 在通过输入滤波器和极性控制后的信号; 如果没有滤波和变相, 则 TI1FP1=TI1, TI2FP2=TI2。根据两个输入信号的跳变顺序, 产生了计数脉冲和方向信号。依据两个输入信号的跳变顺序, 计数器向上或向下计数, 同时硬件对 TIMx_CR1 寄存器的 DIR 位进行相应的设置。不管计数器是依靠 TI1 计数、依靠 TI2 计数或者同时依靠 TI1 和 TI2 计数, 在任一输入端(TI1 或者 TI2)的跳变都会重新计算 DIR 位。

一个外部的增量编码器可以直接与 MCU 连接而不需要外部接口逻辑。但是, 一般会使用比较器将编码器的差动输出转换到数字信号, 这大大增加了抗噪声干扰能力。编码器输出的第三个信号表示机械零点, 可以把它连接到一个外部中断输入并触发一个计数器复位。图 8-18 是一个计数器操作的实例, 显示了计数信号的产生和方向控制。它还显示了当选择了双边沿时, 输入抖动是如何被抑制的; 抖动可能会在传感器的位置靠近一个转换点时产生。

图 8-18 编码器模式下计数器操作实例



8.3.13. 与霍尔传感器的接口

TIMx_CR2 寄存器中的 TI1S 位, 允许通道 1 的输入滤波器连接到一个异或门的输出端,

异或门的 3 个输入端为 TIMx_CH1、TIMx_CH2 和 TIMx_CH3。异或输出能够被用于所有定时器的输入功能，如触发或输入捕获。下面给出了此特性用于连接霍尔传感器的例子。

使用高级控制定时器产生 PWM 信号驱动马达时，可以用另一个通用定时器作为“接口定时器”来连接霍尔传感器，见图 8-19，3 个定时器输入脚通过一个异或门连接到 TI1 输入通道(通过设置 TIMx_CR2 寄存器中的 TI1S 位来选择)，“接口定时器”捕获这个信号。

从模式控制器被配置于复位模式，从输入是 TI1F_ED。每当 3 个输入之一变化时，计数器从新从 0 开始计数。这样产生一个由霍尔输入端的任何变化而触发的时间基准。

“接口定时器”上的捕获/比较通道 1 配置为捕获模式，捕获信号为 TRC。捕获值反映了两个输入变化间的时间延迟，给出了马达速度的信息。

“接口定时器”可以用来在输出模式产生一个脉冲，这个脉冲可以(通过触发一个 COM 事件)用于改变高级定时器各个通道的属性，而高级控制定时器产生 PWM 信号驱动马达。因此“接口定时器”通道必须编程为在一个指定的延时(输出比较或 PWM 模式)之后产生一个正脉冲，这个脉冲通过 TRGO 输出被送到高级控制定时器。举例：霍尔输入连接到 TIMx 定时器，要求每次任一霍尔输入上发生变化之后的一个指定的时刻，改变高级控制定时器 TIMx 的 PWM 配置。

置 TIMx_CR2 寄存器的 TI1S 位为'1'，配置三个定时器输入逻辑或到 TI1 输入，

时基编程：置 TIMx_ARR 为其最大值(计数器必须通过 TI1 的变化清零)。设置预分频器得到一个最大的计数器周期，它长于传感器上的两次变化的时间间隔。

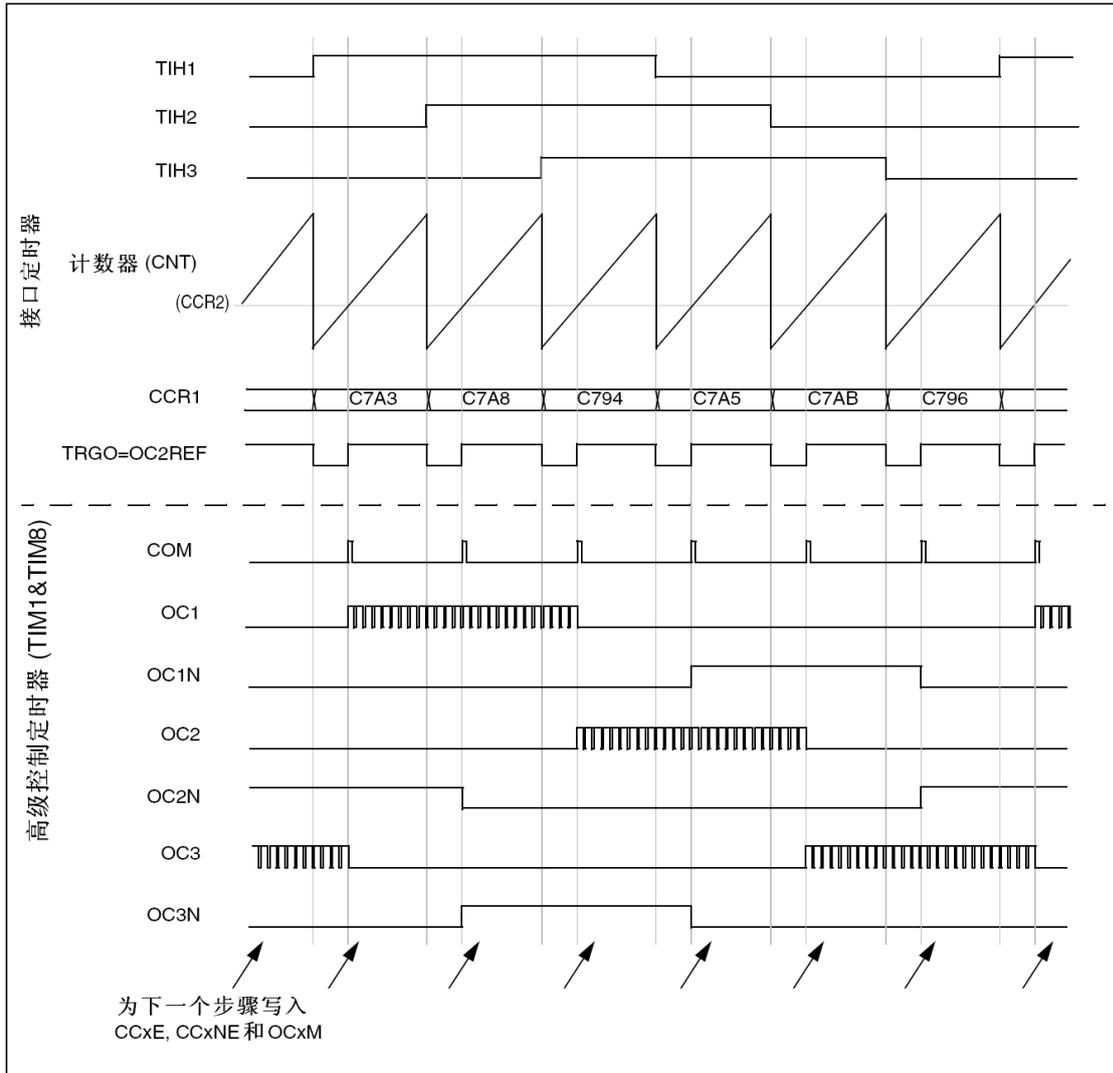
设置通道 1 为捕获模式(选中 TRC)：置 TIMx_CCMR1 寄存器中 CC1S=01，如果需要，还可以设置数字滤波器。

设置通道 2 为 PWM2 模式，并具有要求的延时：置 TIMx_CCMR1 寄存器中的 OC2M=111 和 CC2S=00。

选择 OC2REF 作为 TRGO 上的触发输出：置 TIMx_CR2 寄存器中的 MMS=101。

在高级控制寄存器 TIM1 中，正确的 ITR 输入必须是触发器输入，定时器被编程为产生 PWM 信号，捕获/比较控制信号为预装载的(TIMx_CR2 寄存器中 CCPC=1)，同时触发输入控制 COM 事件(TIMx_CR2 寄存器中 CCUS=1)。在一次 COM 事件后，写入下一步的 PWM 控制位(CCxE、OCxM)，这可以在处理 OC2REF 上升沿的中断子程序里实现。

图 8-19 霍尔传感器接口的实例



8.3.14. 单脉冲模式

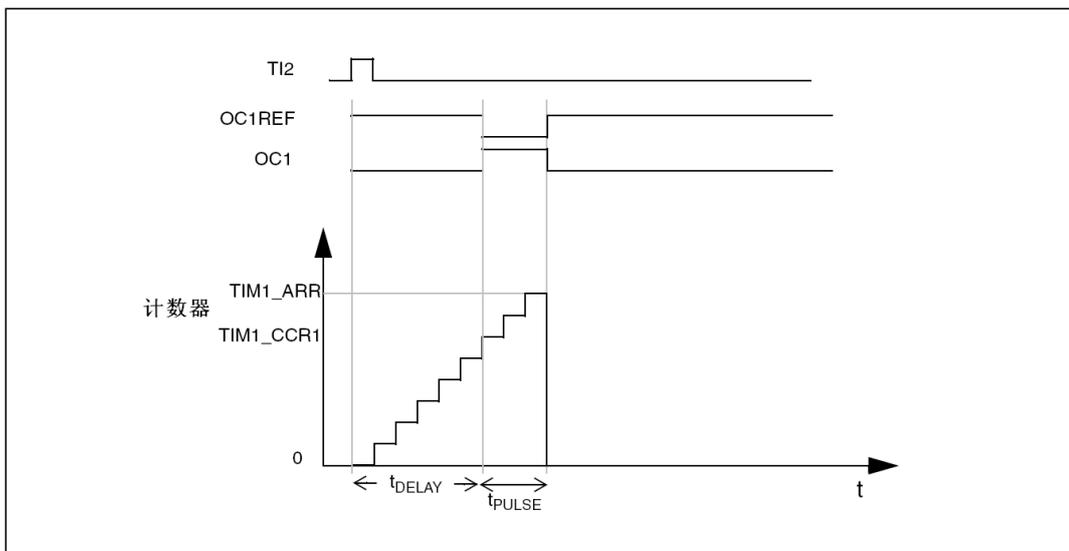
单脉冲模式(OPM)是前述众多模式的一个特例。这种模式允许计数器响应一个激励，并在一个程序可控的延时之后产生一个脉宽可程序控制的脉冲。可以通过从模式控制器启动计数器，在输出比较模式或者 PWM 模式下产生波形。设置 TIMx_CR1 寄存器中的 OPM 位将选择单脉冲模式，这样可以使计数器自动地在产生下一个更新事件 UEV 时停止。

仅当比较值与计数器的初始值不同时，才能产生一个脉冲。启动之前(当时器正在等待触发)，必须如下配置：

向上计数方式：计数器 $CNT < CCRx \leq ARR$ (特别地, $0 < CCRx$),

向下计数方式：计数器 $CNT > CCRx$ 。

图 8-20 单脉冲模式的例子



例如，你需要在从 TI2 输入脚上检测到一个上升沿开始，延迟 t_{DELAY} 之后，在 OC1 上产生一个长度为 t_{PULSE} 的正脉冲。假定 TI2FP2 作为触发 1:

置 TIMx_CCMR1 寄存器中的 CC2S=01，把 TI2FP2 映像到 TI2。

置 TIMx_CCER 寄存器中的 CC2P=0，使 TI2FP2 能够检测上升沿。

置 TIMx_SMCR 寄存器中的 TS=110，TI2FP2 作为从模式控制器的触发(TRGI)。

置 TIMx_SMCR 寄存器中的 SMS=110(触发模式)，TI2FP2 被用来启动计数器。

OPM 的波形由写入比较寄存器的数值决定(要考虑时钟频率和计数器预分频器)

t_{DELAY} 由 TIMx_CCR1 寄存器中的值定义。

t_{PULSE} 由自动装载值和比较值之间的差值定义(TIMx_ARR - TIMx_CCR1)。

假定当发生比较匹配时要产生从 0 到 1 的波形，当计数器达到预装载值时要产生一个从 1 到 0 的波形；首先要置 TIMx_CCMR1 寄存器的 OC1M=111，进入 PWM 模式 2；根据需要要选择地使能预装载寄存器：置 TIMx_CCMR1 中的 OC1PE=1 和 TIMx_CR1 寄存器中的 ARPE；然后在 TIMx_CCR1 寄存器中填写比较值，在 TIMx_ARR 寄存器中填写自动装载值，设置 UG 位来产生一个更新事件，然后等待在 TI2 上的一个外部触发事件。本例中，CC1P=0。

在这个例子中，TIMx_CR1 寄存器中的 DIR 和 CMS 位应该置低。因为只需要一个脉冲，所以必须设置 TIMx_CR1 寄存器中的 OPM=1，在下一个更新事件(当计数器从自动装载值翻转到 0)时停止计数。

8.3.15. 定时器互连

TIMx 定时器能够在从模式下和一个外部的触发同步：复位模式、门控模式和触发模式。

复位模式：

在发生一个触发输入事件时，计数器和它的预分频器能够重新被初始化；同时，如果 TIMx_CR1 寄存器的 URS 位为低，还产生一个更新事件 UEV；然后所有的预装载寄存器 (TIMx_ARR, TIMx_CCRx) 都被更新了。

在以下的例子中，TI1 输入端的上升沿导致向上计数器被清零：

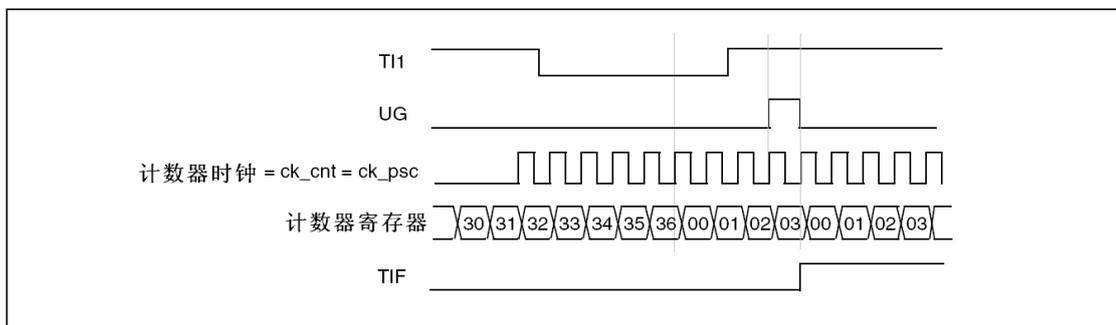
配置通道 1 以检测 TI1 的上升沿。配置输入滤波器的带宽(在本例中，不需要任何滤波器，因此保持 IC1F=0000)。触发操作中不使用捕获预分频器，所以不需要配置。CC1S 位只选择输入捕获源，即 TIMx_CCMR1 寄存器中 CC1S=01。置 TIMx_CCER 寄存器中 CC1P=0 以确定极性(只检测上升沿)。

置 TIMx_SMCR 寄存器中 SMS=100，配置定时器为复位模式；置 TIMx_SMCR 寄存器中 TS=101，选择 TI1 作为输入源。

置 TIMx_CR1 寄存器中 CEN=1，启动计数器。

计数器开始依据内部时钟计数，然后正常运转直到 TI1 出现一个上升沿；此时，计数器被清零然后从 0 重新开始计数。同时，触发标志(TIMx_SR 寄存器中的 TIF 位)被设置，根据 TIMx_DIER 寄存器中 TIE(中断使能)位和 TDE(DMA 使能)位的设置，产生一个中断请求或一个 DMA 请求。下图显示当自动重装载寄存器 TIMx_ARR=0x36 时的动作。在 TI1 上升沿和计数器的实际复位之间的延时取决于 TI1 输入端的重同步电路。

图 8-21 复位模式下的控制电路



门控模式：

按照选中的输入端电平使能计数器。

在如下的例子中，计数器只在 TI1 为低时向上计数：

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 IC1F=0000)。触发操作中不使用捕获预分频器，所以不需要配置。CC1S 位用于选择输入捕获源，置 TIMx_CCMR1 寄存器中 CC1S=01。置 TIMx_CCER 寄存器中 CC1P=1 以确定极性(只检测低电平)。

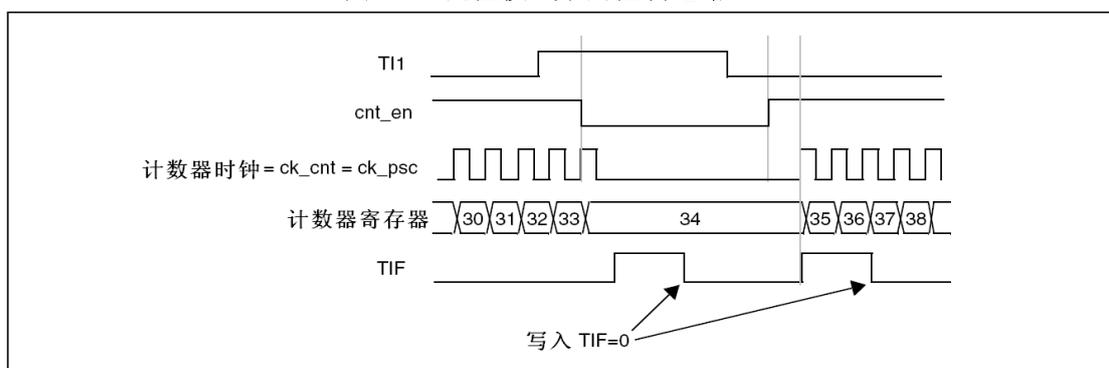
置 TIMx_SMCR 寄存器中 SMS=101，配置定时器为门控模式；置 TIMx_SMCR 寄存器中 TS=101，选择 TI1 作为输入源。

置 TIMx_CR1 寄存器中 CEN=1，启动计数器。在门控模式下，如果 CEN=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_SR 中的 TIF 标志。

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。

图 8-22 门控模式下的控制电路



触发模式：

输入端上选中的事件使能计数器。

在下面的例子中，计数器在 TI2 输入的上升沿开始向上计数：

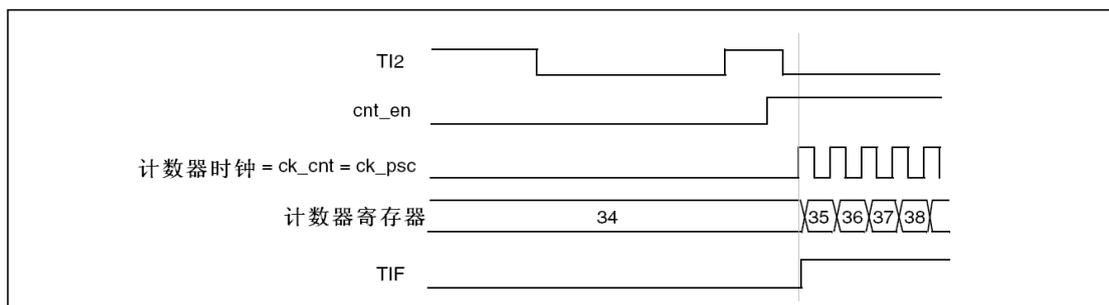
配置通道 2 检测 TI2 的上升沿。配置输入滤波器带宽(本例中，不需要任何滤波器，保持 IC2F=0000)。触发操作中不使用捕获预分频器，不需要配置。CC2S 位只用于选择输入捕获源，置 TIMx_CCMR1 寄存器中 CC2S=01。置 TIMx_CCER 寄存器中 CC2P=1 以确定极性(只检测低电平)。

置 TIMx_SMCR 寄存器中 SMS=110，配置定时器为触发模式；置 TIMx_SMCR 寄存器中 TS=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 TIF 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。

图 8-23 触发模式下的控制电路

**外部时钟模式 2+触发模式:**

外部时钟模式 2 可以与另一种从模式(外部时钟模式 1 和编码器模式除外)一起使用。这时, ETR 信号被用作外部时钟的输入, 在复位模式、门控模式或触发模式可以选择另一个输入作为触发输入。不建议使用 TIMx_SMCR 寄存器的 TS 位选择 ETR 作为 TRGI。

在下面的例子中, 一旦在 TI1 上出现一个上升沿, 计数器即在 ETR 的每一个上升沿向上计数一次:

通过 TIMx_SMCR 寄存器配置外部触发输入电路: —ETF=0000: 没有滤波 —ETPS=00: 不用预分频器 —ETP=0: 检测 ETR 的上升沿, 置 ECE=1 使能外部时钟模式 2。

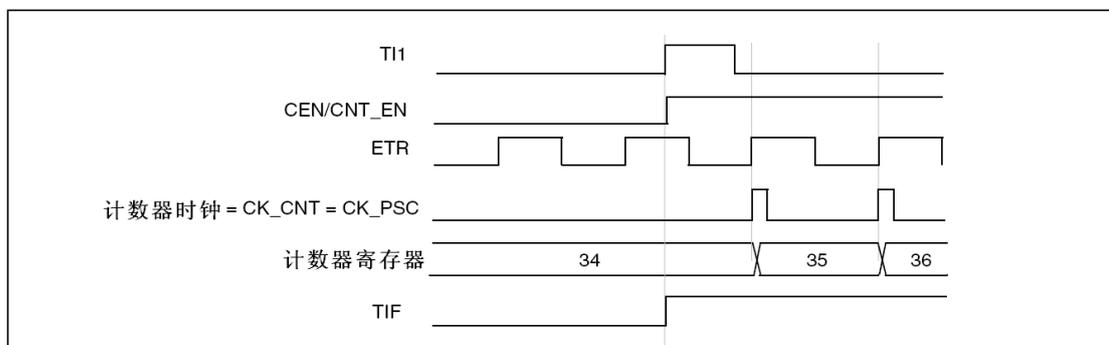
按如下配置通道 1, 检测 TI 的上升沿: —IC1F=0000: 没有滤波 — 触发操作中不使用捕获预分频器, 不需要配置 — 置 TIMx_CCMR1 寄存器中 CC1S=01, 选择输入捕获源 — 置 TIMx_CCER 寄存器中 CC1P=0 以确定极性(只检测上升沿)

置 TIMx_SMCR 寄存器中 SMS=110, 配置定时器为触发模式。置 TIMx_SMCR 寄存器中 TS=101, 选择 TI1 作为输入源。

当 TI1 上出现一个上升沿时, TIF 标志被设置, 计数器开始在 ETR 的上升沿计数。

ETR 信号的上升沿和计数器实际复位间的延时, 取决于 ETRP 输入端的重同步电路。

图 8-24 外部时钟模式 2+触发模式控制电路



8.3.16. DMA 功能

定时器 DMA 模式是指通过 DMA 模块配置定时器的寄存器。有两个跟定时器 DMA 模式相关的寄存器：TIMx_DCR 和 TIMx_DMAR。当然，必须要使能 DMA 请求，一些内部中断事件可以产生 DMA 请求。当中断事件发生，TIMx 会给 DMA 发送请求。DMA 配置成 M2P 模式，PADDR 是 TIMx_DMAR 寄存器地址，DMA 就会访问 TIMx_DMAR 寄存器。实际上，TIMx_DMAR 寄存器只是一个缓冲，定时器会将 TIMx_DMAR 映射到一个内部寄存器，这个内部寄存器由 TIMx_DCR 寄存器中的 DBL 来指定。如果 TIMx_DCR 寄存器的 DBL 位域值为 0，表示 1 次传输，定时器的发送 1 个 DMA 请求就可以完成。如果 TIMx_DCR 寄存器的 DBL 位域值不为 1，例如其值为 3，表示 4 次传输，定时器就需要再多发 3 次 DMA 请求。在这 3 次请求下，DMA 对 TIMx_DMAR 寄存器的访问会映射到访问定时器的 DBA+0x4, DBA+0x8, DBA+0xc 寄存器。总之，发生一次 DMA 内部中断请求，定时器会连续发送 (DBL+1) 次请求。

如果再来 1 次 DMA 请求事件，TIMx 将会重复上面的过程。

8.4. 寄存器描述

TIM1 寄存器基地址：0x40012c00

偏置	名称	描述
0x00	TIM1_CR1	TIM1 控制寄存器 1
0x04	TIM1_CR2	TIM1 控制寄存器 2
0x08	TIM1_SMCR	TIM1 从模式控制寄存器
0x0C	TIM1_DIER	TIM1 DMA/中断使能寄存器
0x10	TIM1_SR	TIM1 状态寄存器
0x14	TIM1_EGR	TIM1 事件产生寄存器
0x18	TIM1_CCMR1	TIM1 捕获/比较模式寄存器 1
0x1C	TIM1_CCMR2	TIM1 捕获/比较模式寄存器 2
0x20	TIM1_CCER	TIM1 捕获/比较使能寄存器
0x24	TIM1_CNT	TIM1 计数器
0x28	TIM1_PSC	TIM1 预分频器
0x2C	TIM1_ARR	TIM1 自动装载寄存器
0x30	TIM1_RCR	TIM1 重复计数寄存器
0x34	TIM1_CCR1	TIM1 捕获比较寄存器 1
0x38	TIM1_CCR2	TIM1 捕获比较寄存器 2
0x3C	TIM1_CCR3	TIM1 捕获比较寄存器 3
0x40	TIM1_CCR4	TIM1 捕获比较寄存器 4
0x44	TIM1_BDTR	TIM1 刹车和死区控制寄存器
0x48	TIM1_DCR	TIM1 DMA 控制寄存器
0x4C	TIM1_DMAR	TIM1 连续模式的 DMA 地址
0x60	TIM1_AF1	TIM1 复用功能选择寄存器
0x68	TIM1_TISEL	TIM1 输入选择寄存器
0x6C	TIM1_DBER	TIM1 DMA 请求类型选择寄存器

8.4.1. TIM1 控制寄存器 1 (TIM1_CR1 偏移: 0x00)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:14	-	-	-	保留, 始终读为 0。
13:10	BKF	RW	0000	<p>刹车滤波器 (Break filter)</p> <p>这几位定义了用于刹车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:</p> <p>0000: 无滤波器, 以 fDTS 采样</p> <p>100: : 0: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/8, N=6</p> <p>0001: 采样频率 fSAMPLING=fCK_INT, N=2</p> <p>1001: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/8, N=8</p> <p>0010: 采样频率 fSAMPLING=fCK_INT, N=4</p> <p>1010: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/16, N=5</p> <p>0011: 采样频率 fSAMPLING=fCK_INT, N=8</p> <p>1011: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/16, N=6</p> <p>0100: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/2, N=6</p> <p>1100: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/16, N=8</p> <p>0101: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/2, N=8</p> <p>1101: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/32, N=5</p> <p>0110: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/4, N=6</p> <p>1110: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/32, N=6</p> <p>0111: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/4, N=8</p> <p>1111: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/32, N=8</p>
9:8	CKD	RW	0x0	<p>时钟分频因子</p> <p>死区发生器和数字滤波器所用的采样时钟与定时器时钟 (CK_INT) 的分频比例。</p> <p>00: tDTS=tCK_INT</p> <p>01: tDTS=2 x tCK_INT</p>

				10: tDTS=4 x tCK_INT 11:保留
7	ARPE	RW	0x0	自动重载预装载允许位 0:TIM1_ARR 寄存器没有缓冲 1:TIM1_ARR 寄存器被装入缓冲器
6:5	CMS	RW	0x0	计数模式 00:边沿对齐模式，计数器根据方向位（DIR）向上或向下计数。 01: 中央对齐模式 1。计数器交替地向上和向下计数。配置为输出的通道(TIM1_CCMRx 寄存器中 CCxS=00)的输出比较中断标志位，只在计数器向下计数时被设置。 10: 中央对齐模式 2。计数器交替地向上和向下计数。配置为输出的通道(TIM1_CCMRx 寄存器中 CCxS=00)的输出比较中断标志位，只在计数器向上计数时被设置。 11: 中央对齐模式 3。计数器交替地向上和向下计数。配置为输出的通道(TIM1_CCMRx 寄存器中 CCxS=00)的输出比较中断标志位，在计数器向上和向下计数时均被设置。 注：在计数器开启时(CEN=1)，不允许从边沿对齐模式转换到中央对齐模式。
4	DIR	RW	0x0	方向控制位 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。
3	OPM	RW	0x0	单脉冲模式 0: 在发生更新事件时，计数器不停止；

				1: 在发生下一次更新事件(清除 CEN 位)时, 计数器停止。
2	URS	RW	0x0	<p>更新请求源</p> <p>软件通过该位选择 UEV 事件的源</p> <p>0: 如果使能了更新中断或 DMA 请求, 则下述任一事件产生更新中断或 DMA 请求:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 计数器溢出/下溢 - 设置 UG 位 - 从模式控制器产生的更新 <p>1: 如果使能了更新中断或 DMA 请求, 则只有计数器溢出/下溢才产生更新中断或 DMA 请求。</p>
1	UDIS	RW	0x0	<p>禁止更新</p> <p>软件通过该位允许/禁止 UEV 事件的产生</p> <p>0: 允许 UEV。更新(UEV)事件由下述任一事件产生:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 计数器溢出/下溢 - 设置 UG 位 - 从模式控制器产生的更新 <p>具有缓存的寄存器被装入它们的预装载值。(译注: 更新影子寄存器)</p> <p>1: 禁止 UEV。不产生更新事件, 影子寄存器 (ARR、PSC、CCR_x)保持它们的值。如果设置了 UG 位或从模式控制器发出了一个硬件复位, 则计数器和预分频器被重新初始化。</p>
0	CEN	RW	0x0	<p>使能计数器</p> <p>0: 禁止计数器;</p> <p>1: 使能计数器。</p> <p>注: 在软件设置了 CEN 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 CEN 位。</p>

8.4.2. TIM1 控制寄存器 2 (TIM1_CR2 偏移: 0x04)

比特	名称	属性	复位值	描述
15	-	-	-	保留, 始终读为 0。
14	OIS4	RW	0x0	输出空闲状态 4(OC4 输出)。参见 OIS1 位。
13	OIS3N	RW	0x0	输出空闲状态 3(OC3N 输出)。参见 OIS1N 位。
12	OIS3	RW	0x0	输出空闲状态 3(OC3 输出)。参见 OIS1 位。
11	OIS2N	RW	0x0	输出空闲状态 2(OC2N 输出)。参见 OIS1N 位。
10	OIS2	RW	0x0	输出空闲状态 2(OC2 输出)。参见 OIS1 位。
9	OIS1N	RW	0x0	输出空闲状态 1(OC1N 输出) (Output Idle state 1) 0: 当 MOE=0 时, 死区后 OC1N=0; 1: 当 MOE=0 时, 死区后 OC1N=1。 注: 已经设置了 LOCK(TIM1_BKR 寄存器)级别 1、2 或 3 后, 该位不能被修改。
8	OIS1	RW	0x0	输出空闲状态 1(OC1 输出) (Output Idle state 1) 0: 当 MOE=0 时, 如果实现了 OC1N, 则死区后 OC1=0; 1: 当 MOE=0 时, 如果实现了 OC1N, 则死区后 OC1=1。注: 已经设置了 LOCK(TIM1_BKR 寄存器)级别 1、2 或 3 后, 该位不能被修改。
7	TIIS	RW	0x0	TI1 选择 (TI1 selection) 0: TIM1_CH1 引脚连到 TI1 输入; 1: TIM1_CH1、TIM1_CH2 和 TIM1_CH3 引脚经异或后连到 TI1 输入。
6:4	MMS	RW	0x0	主模式选择 (Master mode selection) 这 3 位用于选择在主模式下送到从定时器的同步信息 (TRGO)。可能的组合如下: 000: 复位 - TIM1_EGR 寄存器的 UG 位被用于作为触发输出(TRGO)。如果是触发输入产生的复位(从模

				<p>式控制器处于复位模式), 则 TRGO 上的信号相对实际的复位会有一个延迟。</p> <p>001: 使能- 计数器使能信号 CNT_EN 被用于作为触发输出(TRGO)。有时需要在同一时间启动多个定时器或控制在一段时间内使能从定时器。计数器使能信号是通过 CEN 控制位和门控模式下的触发输入信号的逻辑或产生。当计数器使能信号受控于触发输入时, TRGO 上会有一个延迟, 除非选择了主/从模式(见 TIM1_SMCR 寄存器中 MSM 位的描述)。</p> <p>010: 更新 - 更新事件被选为触发输入(TRGO)。例如, 一个主定时器的时钟可以被用作一个从定时器的预分频器。</p> <p>011: 比较脉冲 - 在发生一次捕获或一次比较成功时, 当要设置 CC1IF 标志时(即使它已经为高), 触发输出送出一个正脉冲(TRGO)。</p> <p>100: 比较 - OC1REF 信号被用于作为触发输出(TRGO)。</p> <p>101: 比较 - OC2REF 信号被用于作为触发输出(TRGO)。</p> <p>110: 比较 - OC3REF 信号被用于作为触发输出(TRGO)。</p> <p>111: 比较 - OC4REF 信号被用于作为触发输出(TRGO)。</p>
3	CCDS	RW	0x0	<p>捕获/比较的 DMA 选择 (Capture/compare DMA selection)</p> <p>0: 当发生 CCx 事件时, 送出 CCx 的 DMA 请求;</p> <p>1: 当发生更新事件时, 送出 CCx 的 DMA 请求。</p>
2	CCUS	RW	0x0	<p>捕获/比较控制更新选择 (Capture/compare control update selection)</p>

				<p>0: 如果捕获/比较控制位是预装载的(CCPC=1), 只能通过设置 COM 位更新它们;</p> <p>1: 如果捕获/比较控制位是预装载的(CCPC=1), 可以通过设置 COM 位或 TRGI 上的一个上升沿更新它们。 注: 该位只对具有互补输出的通道起作用。</p>
1	-	-	-	保留, 始终读为 0。
0	CCPC	RW	0x0	<p>捕获/比较预装载控制位 (Capture/compare preloaded control)</p> <p>0: CCxE, CCxNE 和 OCxM 位不是预装载的;</p> <p>1: CCxE, CCxNE 和 OCxM 位是预装载的;</p> <p>设置该位后, 它们只在设置了 COM 位后被更新。</p>

8.4.3. TIM1 从模式控制寄存器 (TIM1_SMCR 偏移: 0x08)

比特	名称	属性	复位值	描述
15	ETP	RW	0x0	<p>外部触发极性 (External trigger polarity)</p> <p>该位选择是用 ETR 还是 ETR 的反相来作为触发操作</p> <p>0: ETR 不反相, 高电平或上升沿有效;</p> <p>1: ETR 被反相, 低电平或下降沿有效。</p>
14	ECE	RW	0x0	<p>外部时钟使能位 (External clock enable)</p> <p>该位启用外部时钟模式 2</p> <p>0: 禁止外部时钟模式 2;</p> <p>1: 使能外部时钟模式 2。</p> <p>计数器由 ETRF 信号上的任意有效边沿驱动。</p> <p>注 1: 设置 ECE 位与选择外部时钟模式 1 并将 TRGI 连到 ETRF(SMS=111 和 TS=111)具有相同功效。</p> <p>注 2: 下述从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, 这时 TRGI 不能连到 ETRF(TS 位不能是'111')。</p>

				注 3: 外部时钟模式 1 和外部时钟模式 2 同时被使能时, 外部时钟的输入是 ETRF。
13:12	ETPS	RW	0x0	<p>外部触发预分频 (External trigger prescaler)</p> <p>外部触发信号 ETRP 的频率必须最多是 TIM1CLK 频率的 1/4。当输入较快的外部时钟时, 可以使用预分频降低 ETRP 的频率。</p> <p>00: 关闭预分频;</p> <p>01: ETRP 频率除以 2;</p> <p>10: ETRP 频率除以 4;</p> <p>11: ETRP 频率除以 8。</p>
11:8	ETF	RW	0x0	<p>外部触发滤波 (External trigger filter)</p> <p>这些位定义了对 ETRP 信号采样的频率和对 ETRP 数字滤波的带宽。实际上, 数字滤波器是一个事件计数器, 它记录到 N 个事件后会产生一个输出的跳变。</p> <p>0000: 无滤波器, 以 fDTS 采样</p> <p>1000: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/8, N=6</p> <p>0001: 采样频率 fSAMPLING=fCK_INT, N=2</p> <p>1001: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/8, N=8</p> <p>0010: 采样频率 fSAMPLING=fCK_INT, N=4</p> <p>1010: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/16, N=5</p> <p>0011: 采样频率 fSAMPLING=fCK_INT, N=8</p> <p>1011: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/16, N=6</p> <p>0100: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/2, N=6</p> <p>1100: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/16, N=8</p> <p>0101: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/2, N=8</p> <p>1101: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/32, N=5</p> <p>0110: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/4, N=6</p> <p>1110: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/32, N=6</p> <p>0111: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/4, N=8</p>

				1111: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/32$, $N=8$
7	MSM	RW	0x0	<p>主/从模式 (Master/slave mode)</p> <p>0: 无作用;</p> <p>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。</p>
6:4	TS	RW	0x0	<p>触发选择 (Trigger selection)</p> <p>这 3 位选择用于同步计数器的触发输入。</p> <p>000: 内部触发 0(ITR0)</p> <p>100: TI1 的边沿检测器(TI1F_ED)</p> <p>001: 内部触发 1(ITR1)</p> <p>101: 滤波后的定时器输入 1(TI1FP1)</p> <p>010: 内部触发 2(ITR2)</p> <p>110: 滤波后的定时器输入 2(TI2FP2)</p> <p>011: 内部触发 3(ITR3)</p> <p>111: 外部触发输入(ETRF)</p> <p>注: 这些位只能在未用到(如 SMS=000)时被改变, 以避免在改变时产生错误的边沿检测。</p>
3	-	-	-	保留, 始终读为 0。
2:0	SMS	RW	0x0	<p>从模式选择 (Slave mode selection)</p> <p>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)</p> <p>000: 关闭从模式 – 如果 CEN=1, 则预分频器直接由内部时钟驱动。</p> <p>001: 编码器模式 1 – 根据 TI1FP1 的电平, 计数器在 TI2FP2 的边沿向上/下计数。</p> <p>010: 编码器模式 2 – 根据 TI2FP2 的电平, 计数器在</p>

				<p>TI1FP1 的边沿向上/下计数。</p> <p>011: 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。</p> <p>100: 复位模式 – 选中的触发输入(TRGI)的上升沿重新初始化计数器, 并且产生一个更新寄存器的信号。</p> <p>101: 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。</p> <p>110: 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。</p> <p>111: 外部时钟模式 1 – 选中的触发输入(TRGI)的上升沿驱动计数器。</p> <p>注: 如果 TI1F_EN 被选为触发输入(TS=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。</p>
--	--	--	--	---

表格 8-2 TIM1 从模式互连-ITRx

ITR0	TIM15_TRGO
ITR1	RSV
ITR2	TIM3_TRGO
ITR3	TIM17_OC1

表格 8-3 TIM1 从模式互连-ETRx

ETR 输入	
ETRSEL =00	PA12
ETRSEL =01	COMP1
ETRSEL =02	COMP2
ETRSEL =03	AWD(ADC 模块的模拟看门狗输出)

8.4.4. TIM1 DMA/中断使能寄存器 (TIM1_DIER 偏移: 0x0C)

比特	名称	属性	复位值	描述
----	----	----	-----	----

15	-	-	-	保留，始终读为 0。
14	TDE	RW	0x0	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。
13	COMDE	RW	0x0	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。
12	CC4DE	RW	0x0	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。
11	CC3DE	RW	0x0	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。
10	CC2DE	RW	0x0	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。
9	CC1DE	RW	0x0	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。
8	UDE	RW	0x0	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。
7	BIE	RW	0x0	允许刹车中断 (Break interrupt enable) 0: 禁止刹车中断; 1: 允许刹车中断。

6	TIE	RW	0x0	触发中断使能 (Trigger interrupt enable) 0: 禁止触发中断; 1: 使能触发中断。
5	COMIE	RW	0x0	允许 COM 中断 (COM interrupt enable) 0: 禁止 COM 中断; 1: 允许 COM 中断。
4	CC4IE	RW	0x0	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。
3	CC3IE	RW	0x0	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。
2	CC2IE	RW	0x0	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。
1	CC1IE	RW	0x0	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。
0	UIE	RW	0x0	允许更新中断 (Update interrupt enable) 0: 禁止更新中断; 1: 允许更新中断。

8.4.5. TIM1 状态寄存器 (TIM1_SR 偏移: 0x10)

比特	名称	属性	复位值	描述
----	----	----	-----	----

15:13	-	-	-	保留，始终读为 0。
12	CC4OF	W0C	0x0	捕获/比较 4 重复捕获标记 (Capture/Compare 4 overcapture flag) 参见 CC1OF 描述。
11	CC3OF	W0C	0x0	捕获/比较 3 重复捕获标记 (Capture/Compare 3 overcapture flag) 参见 CC1OF 描述。
10	CC2OF	W0C	0x0	捕获/比较 2 重复捕获标记 (Capture/Compare 2 overcapture flag) 参见 CC1OF 描述。
9	CC1OF	W0C	0x0	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 TIM1_CCR1 寄存器时，CC1IF 的状态已经为'1'。
8	-	-	-	位 8 保留，始终读为 0。
7	BIF	W0C	0x0	刹车中断标记 (Break interrupt flag) 一旦刹车输入有效，由硬件对该位置'1'。如果刹车输入无效，则该位可由软件清'0'。 0: 无刹车事件产生； 1: 刹车输入上检测到有效电平。
6	TIF	W0C	0x0	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。
5	COMIF	W0C	0x0	COM 中断标记 (COM interrupt flag) 一旦产生 COM 事件(当捕获/比较控制位: CCxE、

				<p>CCxNE、OCxM 已被更新)该位由硬件置'1'。它由软件清'0'。</p> <p>0: 无 COM 事件产生;</p> <p>1: COM 中断等待响应。</p>
4	CC4IF	W0C	0x0	<p>捕获/比较 4 中断标记 (Capture/Compare 4 interrupt flag) 参考 CC1IF 描述。</p>
3	CC3IF	W0C	0x0	<p>捕获/比较 3 中断标记 (Capture/Compare 3 interrupt flag) 参考 CC1IF 描述。</p>
2	CC2IF	W0C	0x0	<p>捕获/比较 2 中断标记 (Capture/Compare 2 interrupt flag) 参考 CC1IF 描述。</p>
1	CC1IF	W0C	0x0	<p>捕获/比较 1 中断标记 (Capture/Compare 1 interrupt flag)</p> <p>如果通道 CC1 配置为输出模式: 当计数器值与比较值匹配时该位由硬件置 1, 但在中心对称模式下除外 (参考 TIM1_CR1 寄存器的 CMS 位)。它由软件清'0'。 0: 无匹配发生;</p> <p>1: TIM1_CNT 的值与 TIM1_CCR1 的值匹配。</p> <p>当 TIM1_CCR1 的内容大于 TIM1_APR 的内容时, 在向上或向上/下计数模式时计数器溢出, 或向下计数模式时的计数器下溢条件下, CC1IF 位变高</p> <p>如果通道 CC1 配置为输入模式: 当捕获事件发生时该位由硬件置'1', 它由软件清'0'或通过读 TIM1_CCR1 清'0'。</p> <p>0: 无输入捕获产生;</p> <p>1: 计数器值已被捕获(拷贝)至 TIM1_CCR1(在 IC1 上检测到与所选极性相同的边沿)。</p>
0	UIF	W0C	0x0	<p>更新中断标记 (Update interrupt flag)</p> <p>当产生更新事件时该位由硬件置'1'。它由软件清'0'。</p>

				<p>0: 无更新事件产生;</p> <p>1: 更新中断等待响应。当寄存器被更新时该位由硬件置'1':</p> <ul style="list-style-type: none"> - 若 TIM1_CR1 寄存器的 UDIS=0, 当重复计数器数值上溢或下溢时(重复计数器=0 时产生更新事件)。 - 若 TIM1_CR1 寄存器的 URS=0、UDIS=0, 当设置 TIM1_EGR 寄存器的 UG=1 时产生更新事件, 通过软件对计数器 CNT 重新初始化时。 - 若 TIM1_CR1 寄存器的 URS=0、UDIS=0, 当计数器 CNT 被触发事件重新初始化时。
--	--	--	--	--

8.4.6. TIM1 事件产生寄存器 (TIM1_EGR 偏移: 0x14)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:8	-	-	-	位 15:8 保留, 始终读为 0。
7	BG	WO	0x0	<p>产生刹车事件 (Break generation)</p> <p>该位由软件置'1', 用于产生一个刹车事件, 由硬件自动清'0'。</p> <p>0: 无动作;</p> <p>1: 产生一个刹车事件。此时 MOE=0、BIF=1, 若开启对应的中断和 DMA, 则产生相应的中断和 DMA。</p>
6	TG	WO	0x0	<p>产生触发事件 (Trigger generation)</p> <p>该位由软件置'1', 用于产生一个触发事件, 由硬件自动清'0'。</p> <p>0: 无动作;</p> <p>1: TIM1_SR 寄存器的 TIF=1, 若开启对应的中断和 DMA, 则产生相应的中断和 DMA。</p>
5	COMG	WO	0x0	捕获/比较事件, 产生控制更新 (Capture/Compare

				<p>control update generation)</p> <p>该位由软件置'1'，由硬件自动清'0'。</p> <p>0: 无动作；</p> <p>1: 当 CCPC=1，允许更新 CCxE、CCxNE、OCxM 位。注：该位只对拥有互补输出的通道有效。</p>
4	CC4G	WO	0x0	<p>产生捕获/比较 4 事件 (Capture/Compare 4 generation)</p> <p>参考 CC1G 描述。</p>
3	CC3G	WO	0x0	<p>产生捕获/比较 3 事件 (Capture/Compare 3 generation)</p> <p>参考 CC1G 描述。</p>
2	CC2G	WO	0x0	<p>产生捕获/比较 2 事件 (Capture/Compare 2 generation)</p> <p>参考 CC1G 描述。</p>
1	CC1G	WO	0x0	<p>产生捕获/比较 1 事件 (Capture/Compare 1 generation)</p> <p>该位由软件置'1'，用于产生一个捕获/比较事件，由硬件自动清'0'。</p> <p>0: 无动作；</p> <p>1: 在通道 CC1 上产生一个捕获/比较事件：若通道 CC1 配置为输出：设置 CC1IF=1，若开启对应的中断和 DMA，则产生相应的中断和 DMA。若通道 CC1 配置为输入：当前的计数器值被捕获至 TIM1_CCR1 寄存器；设置 CC1IF=1，若开启对应的中断和 DMA，则产生相应的中断和 DMA。若 CC1IF 已经为 1，则设置 CC1OF=1。</p>
0	UG	WO	0x0	<p>产生更新事件 (Update generation)</p> <p>该位由软件置'1'，由硬件自动清'0'。</p> <p>0: 无动作；</p> <p>1: 重新初始化计数器，并产生一个更新事件。</p> <p>注意预分频器的计数器也被清'0' (但是预分频系数不变)。若在中心对称模式下或 DIR=0 (向上计数) 则计数器被清'0'；若 DIR=1 (向下计数) 则计数器取</p>

				TIM1_ARR 的值。
--	--	--	--	--------------

8.4.7. TIM1 捕获/比较模式寄存器 1 (TIM1_CCMR1 偏移: 0x18)

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 CCxS 位定义输出比较模式:

比特	名称	属性	复位值	描述
15	OC2CE	RW	0x0	输出比较 2 清 0 使能 (Output Compare 2 clear enable)
14:12	OC2M	RW	0x0	输出比较 2 模式 (Output Compare 2 mode)
11	OC2PE	RW	0x0	输出比较 2 预装载使能 (Output Compare 2 preload enable)
10	OC2FE	RW	0x0	输出比较 2 快速使能 (Output Compare 2 fast enable)
9:8	CC2S	RW	0x0	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器输入被选中时(由 TIM1_SMCR 寄存器的 TS 位选择)。 注: CC2S 仅在通道关闭时(TIM1_CCER 寄存器的 CC2E=0)才是可写的。
7	OC1CE	RW	0x0	输出比较 1 清'0'使能 (Output Compare 1 clear enable) 0: OC1REF 不受 ETRF 输入的影响; 1: 一旦检测到 ETRF 输入高电平, 清除 OC1REF=0。
6:4	OC1M	RW	0x0	输出比较 1 模式 (Output Compare 1 mode) 该 3 位定义了输出参考信号 OC1REF 的动作, 而 OC1REF 决定了 OC1、OC1N 的值。OC1REF 是高电

			<p>平有效，而 OC1、OC1N 的有效电平取决于 CC1P、CC1NP 位。</p> <p>000: 冻结。输出比较寄存器 TIM1_CCR1 与计数器 TIM1_CNT 间的比较对 OC1REF 不起作用；</p> <p>001: 匹配时设置通道 1 为有效电平。当计数器 TIM1_CNT 的值与捕获/比较寄存器 1 (TIM1_CCR1) 相同时，强制 OC1REF 为高。</p> <p>010: 匹配时设置通道 1 为无效电平。当计数器 TIM1_CNT 的值与捕获/比较寄存器 1 (TIM1_CCR1) 相同时，强制 OC1REF 为低。</p> <p>011: 翻转。当 TIM1_CCR1=TIM1_CNT 时，翻转 OC1REF 的电平。</p> <p>100: 强制为无效电平。强制 OC1REF 为低。</p> <p>101: 强制为有效电平。强制 OC1REF 为高。</p> <p>110: PWM 模式 1— 在向上计数时，一旦 TIM1_CNT<TIM1_CCR1 时通道 1 为有效电平，否则为无效电平；在向下计数时，一旦 TIM1_CNT>TIM1_CCR1 时通道 1 为无效电平 (OC1REF=0)，否则为有效电平(OC1REF=1)。</p> <p>111: PWM 模式 2— 在向上计数时，一旦 TIM1_CNT<TIM1_CCR1 时通道 1 为无效电平，否则为有效电平；在向下计数时，一旦 TIM1_CNT>TIM1_CCR1 时通道 1 为有效电平，否则为无效电平。</p> <p>注 1: 一旦 LOCK 级别设为 3(TIM1_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)并且 CC1S=00(该通道配置成输出)则该位不能被修改。</p> <p>注 2: 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</p>
--	--	--	--

				PWM 模式时，OC1REF 电平才改变。
3	OC1PE	RW	0x0	<p>输出比较 1 预装载使能 (Output Compare 1 preload enable)</p> <p>0: 禁止 TIM1_CCR1 寄存器的预装载功能，可随时写入 TIM1_CCR1 寄存器，并且新写入的数值立即起作用。</p> <p>1: 开启 TIM1_CCR1 寄存器的预装载功能，读写操作仅对预装载寄存器操作，TIM1_CCR1 的预装载值在更新事件到来时被加载至当前寄存器中。</p> <p>注 1: 一旦 LOCK 级别设为 3(TIM1_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)并且 CC1S=00(该通道配置成输出)则该位不能被修改。</p> <p>注 2: 仅在单脉冲模式下(TIM1_CR1 寄存器的 OPM=1)，可以在未确认预装载寄存器情况下使用 PWM 模式，否则其动作不确定。</p>
2	OC1FE	RW	0x0	<p>输出比较 1 快速使能 (Output Compare 1 fast enable)</p> <p>该位用于加快 CC 输出对触发输入事件的响应。</p> <p>0: 根据计数器与 CCR1 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。</p> <p>1: 输入到触发器的有效沿的作用就象发生了一次比较匹配。因此，OC 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。OCFE 只在通道被配置成 PWM1 或 PWM2 模式时起作用。</p>
1:0	CC1S	RW	0x0	<p>捕获/比较 1 选择。(Capture/Compare 1 selection)</p> <p>这 2 位定义通道的方向(输入/输出)，及输入脚的选择:</p> <p>00: CC1 通道被配置为输出;</p> <p>01: CC1 通道被配置为输入，IC1 映射在 TI1 上;</p>

				<p>10: CC1 通道被配置为输入, IC1 映射在 TI2 上;</p> <p>11: CC1 通道被配置为输入, IC1 映射在 TRC 上。</p> <p>此模式仅工作在内部触发器输入被选中时(由 TIM1_SMCR 寄存器的 TS 位选择)。</p> <p>注: CC1S 仅在通道关闭时(TIM1_CCER 寄存器的 CC1E=0)才是可写的。</p>
--	--	--	--	---

输入捕获模式:

比特	名称	属性	复位值	描述
15:12	IC2F	RW	0x0	输入捕获 2 滤波器 (Input capture 2 filter)
11:10	IC2PSC	RW	0x0	输入/捕获 2 预分频器 (Input capture 2 prescaler)
9:8	CC2S	RW	0x0	<p>捕获/比较 2 选择 (Capture/Compare 2 selection)</p> <p>这 2 位定义通道的方向(输入/输出), 及输入脚的选择:</p> <p>00: CC2 通道被配置为输出;</p> <p>01: CC2 通道被配置为输入, IC2 映射在 TI2 上;</p> <p>10: CC2 通道被配置为输入, IC2 映射在 TI1 上;</p> <p>11: CC2 通道被配置为输入, IC2 映射在 TRC 上。</p> <p>此模式仅工作在内部触发器输入被选中时(由 TIM1_SMCR 寄存器的 TS 位选择)。</p> <p>注: CC2S 仅在通道关闭时(TIM1_CCER 寄存器的 CC2E=0)才是可写的。</p>
7:4	IC1F	RW	0x0	<p>输入捕获 1 滤波器 (Input capture 1 filter)</p> <p>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:</p> <p>0000: 无滤波器, 以 fDTS 采样</p> <p>1000: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/8, N=6</p> <p>0001: 采样频率 fSAMPLING=fCK_INT, N=2</p> <p>1001: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/8, N=8</p>

				<p>0010: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{CK_INT}}$, $N=4$</p> <p>1010: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/16$, $N=5$</p> <p>0011: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{CK_INT}}$, $N=8$</p> <p>1011: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/16$, $N=6$</p> <p>0100: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/2$, $N=6$</p> <p>1100: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/16$, $N=8$</p> <p>0101: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/2$, $N=8$</p> <p>1101: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/32$, $N=5$</p> <p>0110: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/4$, $N=6$</p> <p>1110: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/32$, $N=6$</p> <p>0111: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/4$, $N=8$</p> <p>1111: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/32$, $N=8$</p>
3:2	IC1PSC	RW	0x0	<p>输入/捕获 1 预分频器 (Input capture 1 prescaler)</p> <p>这 2 位定义了 CC1 输入(IC1)的预分频系数。一旦 $\text{CC1E}=0$(TIM1_CCER 寄存器中), 则预分频器复位。</p> <p>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;</p> <p>01: 每 2 个事件触发一次捕获;</p> <p>10: 每 4 个事件触发一次捕获;</p> <p>11: 每 8 个事件触发一次捕获。</p>
1:0	CC1S	RW	0x0	<p>捕获/比较 1 选择 (Capture/Compare 1 Selection)</p> <p>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;</p> <p>01: CC1 通道被配置为输入, IC1 映射在 TI1 上;</p> <p>10: CC1 通道被配置为输入, IC1 映射在 TI2 上;</p> <p>11: CC1 通道被配置为输入, IC1 映射在 TRC 上。</p> <p>此模式仅工作在内部触发器输入被选中时(由 TIM1_SMCR 寄存器的 TS 位选择)。</p>

8.4.8. TIM1 捕获/比较模式寄存器 2 (TIM1_CCMR2 偏移: 0x1C)

输出比较模式:

比特	名称	属性	复位值	描述
15	OC4CE	RW	0x0	输出比较 4 清 0 使能 (Output compare 4 clear enable)
14:12	OC4M	RW	0x0	输出比较 4 模式 (Output compare 4 mode)
11	OC4PE	RW	0x0	输出比较 4 预装载使能 (Output compare 4 preload enable)
10	OC4FE	RW	0x0	输出比较 4 快速使能 (Output compare 4 fast enable)
9:8	CC4S	RW	0x0	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器输入被选中时(由 TIM1_SMCR 寄存器的 TS 位选择)。 注: CC4S 仅在通道关闭时(TIM1_CCER 寄存器的 CC4E=0)才是可写的。
7	OC3CE	RW	0x0	输出比较 3 清 0 使能 (Output compare 3 clear enable)
6:4	OC3M	RW	0x0	输出比较 3 模式 (Output compare 3 mode)
3	OC3PE	RW	0x0	输出比较 3 预装载使能 (Output compare 3 preload enable)
2	OC3FE	RW	0x0	输出比较 3 快速使能 (Output compare 3 fast enable)
1:0	CC3S	RW	0x0	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;

				<p>11: CC3 通道被配置为输入, IC3 映射在 TRC 上。</p> <p>此模式仅工作在内部触发器输入被选中时(由 TIM1_SMCR 寄存器的 TS 位选择)。</p> <p>注: CC3S 仅在通道关闭时(TIM1_CCER 寄存器的 CC3E=0)才是可写的。</p>
--	--	--	--	---

输入捕获模式:

比特	名称	属性	复位值	描述
15:12	IC4F	RW	0x0	输入捕获 4 滤波器 (Input capture 4 filter)
11:10	IC4PSC	RW	0x0	输入/捕获 4 预分频器 (Input capture 4 prescaler)
9:8	CC4S	RW	0x0	<p>捕获/比较 4 选择 (Capture/Compare 4 selection)</p> <p>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;</p> <p>01: CC4 通道被配置为输入, IC4 映射在 TI4 上;</p> <p>10: CC4 通道被配置为输入, IC4 映射在 TI3 上;</p> <p>11: CC4 通道被配置为输入, IC4 映射在 TRC 上。</p> <p>此模式仅工作在内部触发器输入被选中时(由 TIM1_SMCR 寄存器的 TS 位选择)。</p> <p>注: CC4S 仅在通道关闭时(TIM1_CCER 寄存器的 CC4E=0)才是可写的。</p>
7:4	IC3F	RW	0x0	输入捕获 3 滤波器 (Input capture 3 filter)
3:2	IC3PSC	RW	0x0	输入/捕获 3 预分频器 (Input capture 3 prescaler)
1:0	CC3S	RW	0x0	<p>捕获/比较 3 选择 (Capture/compare 3 selection)</p> <p>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;</p> <p>01: CC3 通道被配置为输入, IC3 映射在 TI3 上;</p> <p>10: CC3 通道被配置为输入, IC3 映射在 TI4 上;</p> <p>11: CC3 通道被配置为输入, IC3 映射在 TRC 上。</p> <p>此模式仅工作在内部触发器输入被选中时(由</p>

				TIM1_SMCR 寄存器的 TS 位选择)。
--	--	--	--	-------------------------

8.4.9. TIM1 捕获/比较使能寄存器 (TIM1_CCER 偏移: 0x20)

比特	名称	属性	复位值	描述
15	CC4NP	RW	0x0	输入/捕获 4 互补输出极性 (Capture/Compare 4 complementary output polarity) 参考 CC1NP 的描述。
14	-	-	-	保留, 始终读为 0。
13	CC4P	RW	0x0	输入/捕获 4 输出极性 (Capture/Compare 4 output polarity) 参考 CC1P 的描述。
12	CC4E	RW	0x0	输入/捕获 4 输出使能 (Capture/Compare 4 output enable) 参考 CC1E 的描述。
11	CC3NP	RW	0x0	输入/捕获 3 互补输出极性 (Capture/Compare 3 complementary output polarity) 参考 CC1NP 的描述。
10	CC3NE	RW	0x0	输入/捕获 3 互补输出使能 (Capture/Compare 3 complementary output enable) 参考 CC1NE 的描述。
9	CC3P	RW	0x0	输入/捕获 3 输出极性 (Capture/Compare 3 output polarity) 参考 CC1P 的描述。
8	CC3E	RW	0x0	输入/捕获 3 输出使能 (Capture/Compare 3 output enable) 参考 CC1E 的描述。
7	CC2NP	RW	0x0	输入/捕获 2 互补输出极性 (Capture/Compare 2 complementary output polarity) 参考 CC1NP 的描述。
6	CC2NE	RW	0x0	输入/捕获 2 互补输出使能 (Capture/Compare 2 complementary output enable) 参考 CC1NE 的描述。
5	CC2P	RW	0x0	输入/捕获 2 输出极性 (Capture/Compare 2 output polarity) 参考 CC1P 的描述。
4	CC2E	RW	0x0	输入/捕获 2 输出使能 (Capture/Compare 2 output enable) 参考 CC1E 的描述。
3	CC1NP	RW	0x0	输入/捕获 1 互补输出极性 (Capture/Compare 1

				<p>complementary output polarity)</p> <p>0: OC1N 高电平有效;</p> <p>1: OC1N 低电平有效。</p> <p>CC1 通道配置为输入: 该位与 CC1P 结合使用以定义 TI1FP1 和 TI2FP1 的极性。参考 CC1P 的描述。</p> <p>注: 一旦 LOCK 级别 (TIM1_BDTR 寄存器中的 LOCK 位) 设为 3 或 2 且 CC1S=00 (通道配置为输出) 则该位不能被修改。</p>
2	CC1NE	RW	0x0	<p>输入/捕获 1 互补输出使能 (Capture/Compare 1 complementary output enable)</p> <p>0: 关闭— OC1N 禁止输出, 因此 OC1N 的电平依赖于 MOE、OSSI、OSSR、OIS1、OIS1N 和 CC1E 位的值。</p> <p>1: 开启— OC1N 信号输出到对应的输出引脚, 其输出电平依赖于 MOE、OSSI、OSSR、OIS1、OIS1N 和 CC1E 位的值。</p>
1	CC1P	RW	0x0	<p>输入/捕获 1 输出极性 (Capture/Compare 1 output polarity) CC1 通道配置为输出:</p> <p>0: OC1 高电平有效</p> <p>1: OC1 低电平有效</p> <p>CC1 通道配置为输入: CC1NP/CC1P 位选择 TI1FP1 和 TI2FP1 的有效极性, 用于触发或捕获操作。</p> <p>00: 不反相/上升沿。在复位、外部时钟或触发模式下, 捕获或触发发生在 TIxFP1 的上升沿, 在门控模式或编码器模式下触发操作, TIxFP1 不反相。</p> <p>01: 反向/下降沿。在复位、外部时钟或触发模式下, 捕获或触发发生在 TIxFP1 的下降沿, 在门控模式或编码器模式下触发操作, TIxFP1 反相。</p>

				<p>10: 保留, 不使用此配置。</p> <p>11: 不反相/双边沿。在复位、外部时钟或触发模式下, 捕获或触发发生在 TIxFP1 的上升沿和下降沿, 在门控模式下触发操作, TIxFP1 不反相 (此配置不得在编码器模式下使用)</p> <p>注: 一旦 LOCK 级别(TIM1_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)设为 3 或 2, 则该位不能被修改。</p>
0	CC1E	RW	0x0	<p>输入/捕获 1 输出使能 (Capture/Compare 1 output enable) CC1 通道配置为输出:</p> <p>0: 关闭— OC1 禁止输出, 因此 OC1 的输出电平依赖于 MOE、OSSI、OSSR、OIS1、OIS1N 和 CC1NE 位的值。</p> <p>1: 开启— OC1 信号输出到对应的输出引脚, 其输出电平依赖于 MOE、OSSI、OSSR、OIS1、OIS1N 和 CC1NE 位的值。</p> <p>CC1 通道配置为输入: 该位决定了计数器的值是否能捕获入 TIM1_CCR1 寄存器。</p> <p>0: 捕获禁止</p> <p>1: 捕获使能</p>

表格 8-4 互补输出通道 OCx 和 OCxN 的控制

控制位					输出状态	
MOE 位	OSSI 位	OSSR 位	CCxE 位	CCxNE 位	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 ⊕ CCxNP OCxN_EN=1
		0	1	0	OCxREF+ 极性, OCx=OCxREF ⊕ CCxP	输出禁止 (与定时器断开) OCxN=0, OCxN_EN=0

					OCx_EN=1		
		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 ⊕ CCxNP, OCxN_EN=1	
		1	1	0	OCxREF + 极性, OCx=OCxREF ⊕ CCxP, OCxN_EN=1	关闭状态(输出使能且为无效电平) OCxN=CCxNP, OCx_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	X	0	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
			0	0	1	输出禁止 (与定时器断开)	
			0	1	0	异步地: OCx=CCxP, OCx_EN=0, OCxN=CCxNP, OCxN_EN=0,	
			0	1	1	若时钟存在: 经过一个死区时间后, OCx=OISx, OCxN=OISx,	
			0	1	1	假设 OISx 和 OISxN 并不都对应 OCx 和 OCxN 的有效电平	
			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)	
1	1	X	1	0	异步地: OCx=CCxP, OCx_EN=1, OCxN=CCxNP, OCxN_EN=1,		
			1	1	若时钟存在: 经过一个死区时间后 OCx=OISx, OCxN=OISxN,		
			1	1	假设 OISx 与 OISxN 并不都对应 OCx 和 OCxN 的有效电平。		

8.4.10. TIM1 计数器 (TIM1_CNT 偏移: 0x24)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	CNT	RW	0x0	计数器的值 (Counter value)

8.4.11. TIM1 预分频器 (TIM1_PSC 偏移: 0x28)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	PSC	RW	0x0	<p>预分频器的值 (Prescaler value)</p> <p>计数器的时钟频率(CK_CNT)等于 $f_{CK_PSC}/(PSC[15:0]+1)$。</p> <p>PSC 包含了每次当更新事件产生时，装入当前预分频器寄存器的值；更新事件包括计数器被 TIM_EGR 的 UG 位清'0'或被工作在复位模式的从控制器清'0'</p>

8.4.12. TIM1 自动加载寄存器 (TIM1_ARR 偏移: 0x2c)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	ARR	RW	0x0	<p>自动重载的值 (Prescaler value)</p> <p>ARR 包含了将要装载入实际的自动重载寄存器的值。当自动重载的值为空时，计数器不工作。</p>

8.4.13. TIM1 重复计数寄存器 (TIM1_RCR 偏移: 0x30)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:8	-	-	-	位 15:8 保留，始终读为 0。
7:0	REP	RW	0x0	<p>重复计数器的值 (Repetition counter value)</p> <p>开启了预装载功能后，这些位允许用户设置比较寄存器的更新速率(即周期性地从预装载寄存器传输到当前寄存器)；如果允许产生更新中断，则会同时影响产生更新中断的速率。每次向下计数器 REP_CNT 达到 0，会产生一个更新事件并且计数器 REP_CNT 重新从 REP 值开始计数。由于 REP_CNT 只有在周</p>

				<p>期更新事件 U_RC 发生时才重载 REP 值，因此对 TIM1_RCR 寄存器写入的新值只在下次周期更新事件发生时才起作用。这意味着在 PWM 模式中，(REP+1)对应着：</p> <ul style="list-style-type: none"> — 在边沿对齐模式下，PWM 周期的数目； — 在中心对称模式下，PWM 半周期的数目；
--	--	--	--	---

8.4.14. TIM1 捕获/比较寄存器 1 (TIM1_CCR1 偏移: 0x34)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	CCR1	RW	0x0	<p>捕获/比较通道 1 的值 (Capture/Compare 1 value)</p> <p>若 CC1 通道配置为输出： CCR1 包含了装入当前捕获/比较 1 寄存器的值(预装载值)。如果在 TIM1_CCMR1 寄存器(OC1PE 位)中未选择预装载功能，写入的数值会立即传输至当前寄存器中。否则只有当更新事件发生时，此预装载值才传输至当前捕获/比较 1 寄存器中。当前捕获/比较寄存器参与同计数器 TIM1_CNT 的比较，并在 OC1 端口上产生输出信号。若 CC1 通道配置为输入： CCR1 包含了由上一次输入捕获 1 事件(IC1)传输的计数器值。</p>

注意：当 CCMRx 寄存器的 OCxM 位为 PWM 模式时，设置 CCRx=0 时占空比不为 0（有一个时钟周期的高电平）。将 OCxM 设为强制无效电平，可解决此问题。其他定时器的情况同 TIM1

8.4.15. TIM1 捕获/比较寄存器 2 (TIM1_CCR2 偏移: 0x38)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	CCR2	RW	0x0	<p>捕获/比较通道 2 的值 (Capture/Compare 2 value)</p> <p>若 CC2 通道配置为输出： CCR2 包含了装入当前捕获/比较 2 寄存器的值(预装载值)。如果在 TIM1_CCMR2 寄存器(OC2PE 位)中未选择预装载特</p>

				性，写入的数值会立即传输至当前寄存器中。否则只有当更新事件发生时，此预装载值才传输至当前捕获/比较 2 寄存器中。当前捕获/比较寄存器参与同计数器 TIM1_CNT 的比较，并在 OC2 端口上产生输出信号。若 CC2 通道配置为输入：CCR2 包含了由上一次输入捕获 2 事件(IC2)传输的计数器值。
--	--	--	--	--

8.4.16. TIM1 捕获/比较寄存器 3 (TIM1_CCR3 偏移: 0x3C)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	CCR3	RW	0x0	捕获/比较通道 3 的值 (Capture/Compare 3 value) 若 CC3 通道配置为输出：CCR3 包含了装入当前捕获/比较 3 寄存器的值(预装载值)。如果在 TIM1_CCMR3 寄存器(OC3PE 位)中未选择预装载特性，写入的数值会立即传输至当前寄存器中。否则只有当更新事件发生时，此预装载值才传输至当前捕获/比较 3 寄存器中。当前捕获/比较寄存器参与同计数器 TIM1_CNT 的比较，并在 OC3 端口上产生输出信号。若 CC3 通道配置为输入：CCR3 包含了由上一次输入捕获 3 事件(IC3)传输的计数器值。

8.4.17. TIM1 捕获/比较寄存器 4 (TIM1_CCR4 偏移: 0x40)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	CCR4	RW	0x0	捕获/比较通道 4 的值 (Capture/Compare 4 value) 若 CC4 通道配置为输出：CCR4 包含了装入当前捕获/比较 4 寄存器的值(预装载值)。如果在 TIM1_CCMR4 寄存器(OC4PE 位)中未选择预装载特性，写入的数值会立即传输至当前寄存器中。否则只

				有当更新事件发生时，此预装载值才传输至当前捕获/比较 4 寄存器中。当前捕获/比较寄存器参与同计数器 TIM1_CNT 的比较，并在 OC4 端口上产生输出信号。若 CC4 通道配置为输入：CCR4 包含了由上一次输入捕获 4 事件(IC4)传输的计数器值。
--	--	--	--	---

8.4.18. TIM1 刹车和死区寄存器 (TIM1_BDTR 偏移: 0x44)

比特	名称	属性	复位值	描述
15	MOE	RW	0x0	<p>主输出使能 (Main output enable)</p> <p>一旦刹车输入有效，该位被硬件异步清'0'。根据 AOE 位的设置值，该位可以由软件清'0'或被自动置 1。它仅对配置为输出的通道有效。</p> <p>0: 禁止 OC 和 OCN 输出或强制为空闲状态；</p> <p>1: 如果设置了相应的使能位(TIM1_CCER 寄存器的 CCxE、CCxNE 位)，则开启 OC 和 OCN 输出。</p>
14	AOE	RW	0x0	<p>自动输出使能 (Automatic output enable)</p> <p>0: MOE 只能被软件置'1'；</p> <p>1: MOE 能被软件置'1'或在下一个更新事件被自动置'1'(如果刹车输入无效)。</p> <p>注：一旦 LOCK 级别(TIM1_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)设为'1'，则该位不能被修改。</p>
13	BKP	RW	0x0	<p>刹车输入极性 (Break polarity)</p> <p>0: 刹车输入低电平有效；</p> <p>1: 刹车输入高电平有效。</p> <p>注：一旦 LOCK 级别(TIM1_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)设为'1'，则该位不能被修改。</p> <p>注：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。</p>

12	BKE	RW	0x0	<p>刹车功能使能 (Break enable)</p> <p>0: 禁止刹车输入(BRK 及 CCS 时钟失效事件);</p> <p>1: 开启刹车输入(BRK 及 CCS 时钟失效事件)。</p> <p>注: 当设置了 LOCK 级别 1 时(TIM1_BDTR 寄存器中的 LOCK 位), 该位不能被修改。</p> <p>注: 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。</p>
11	OSSR	RW	0x0	<p>运行模式下“关闭状态”选择 (Off-state selection for Run mode)</p> <p>该位用于当 MOE=1 且通道为互补输出时。没有互补输出的定时器中不存在 OSSR 位。参考 OC/OCN 使能的详细说明。</p> <p>0: 当定时器不工作时, 禁止 OC/OCN 输出(OC/OCN 使能输出信号=0);</p> <p>1: 当定时器不工作时, 一旦 CCxE=1 或 CCxNE=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。</p> <p>注: 一旦 LOCK 级别(TIM1_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)设为 2, 则该位不能被修改。</p>
10	OSSI	RW	0x0	<p>空闲模式下“关闭状态”选择 (Off-state selection for Idle mode)</p> <p>该位用于当 MOE=0 且通道设为输出时。参考 OC/OCN 使能的详细说明。</p> <p>0: 当定时器不工作时, 禁止 OC/OCN 输出(OC/OCN 使能输出信号=0);</p> <p>1: 当定时器不工作时, 一旦 CCxE=1 或 CCxNE=1, OC/OCN 首先输出其空闲电平, 然后 OC/OCN 使能输出信号=1。</p> <p>注: 一旦 LOCK 级别(TIM1_BDTR 寄存器中的</p>

				LOCK 位)设为 2, 则该位不能被修改。
9:8	LOCK	RW	0x0	<p>锁定设置 (Lock configuration) 该位为防止软件错误而提供写保护。</p> <p>00: 锁定关闭, 寄存器无写保护;</p> <p>01: 锁定级别 1, 不能写入 TIM1_BDTR 寄存器的 DTG、BKE、BKP、AOE 位和 TIM1_CR2 寄存器的 OISx/OISxN 位;</p> <p>10: 锁定级别 2, 不能写入锁定级别 1 中的各位, 也不能写入 CC 极性位(一旦相关通道通过 CCxS 位设为输出, CC 极性位是 TIM1_CCER 寄存器的 CCxP/CCNxP 位)以及 OSSR/OSSI 位;</p> <p>11: 锁定级别 3, 不能写入锁定级别 2 中的各位, 也不能写入 CC 控制位(一旦相关通道通过 CCxS 位设为输出, CC 控制位是 TIM1_CCMRx 寄存器的 OCxM/OCxPE 位);</p> <p>注: 在系统复位后, 只能写一次 LOCK 位, 一旦写入 TIM1_BDTR 寄存器, 则其内容冻结直至复位。</p>
7:0	UTG	RW	0x0	<p>死区发生器设置 (Dead-time generator setup)</p> <p>这些位定义了插入互补输出之间的死区持续时间。假设 DT 表示其持续时间:</p> <p>$DTG[7:5]=0xx \Rightarrow DT=DTG[7:0] \times Tdtg, Tdtg = TDTS;$</p> <p>$DTG[7:5]=10x \Rightarrow DT=(64+DTG[5:0]) \times Tdtg, Tdtg = 2 \times TDTS;$</p> <p>$DTG[7:5]=110 \Rightarrow DT=(32+DTG[4:0]) \times Tdtg, Tdtg = 8 \times TDTS;$</p> <p>$DTG[7:5]=111 \Rightarrow DT=(32+DTG[4:0]) \times Tdtg, Tdtg = 16 \times TDTS;$</p> <p>例: 若 $TDTS = 125ns(8MHZ)$, 可能的死区时间为: 0 到 15875ns, 若步长时间为 125ns;</p>

				<p>16us 到 31750ns, 若步长时间为 250ns;</p> <p>32us 到 63us, 若步长时间为 1us;</p> <p>64us 到 126us, 若步长时间为 2us;</p> <p>注: 一旦 LOCK 级别(TIM1_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)设为 1、2 或 3, 则不能修改这些位。</p>
--	--	--	--	---

8.4.19. TIM1 DMA 控制寄存器 (TIM1_DCR 偏移: 0x48)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:13	-	-	-	位 15:13 保留, 始终读为 0。
12:8	DBL	RW	0x0	<p>DMA 连续传送长度 (DMA burst length)</p> <p>这些位定义了 DMA 在连续模式下的传送长度(当对 TIM1_DMAR 寄存器进行读或写时, 定时器则进行一次连续传送), 即: 定义传输的次数, 传输可以是半字(双字节)或字节:</p> <p>00000: 1 次传输</p> <p>00001: 2 次传输</p> <p>00010: 3 次传输</p> <p>.....</p> <p>10001: 18 次传输</p> <p>例: 我们考虑这样的传输: DBL=7,</p> <p>DBA=TIM1_CR1 - 如果 DBL=7, DBA=TIM1_CR1 表示待传输数据的地址, 那么传输的地址由下式给出: (TIM1_CR1 的地址)+ DBA + (DMA 索引), 其中 DMA 索引 = DBL 其中(TIM1_CR1 的地址)+ DBA 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(TIM1_CR1 的地址)+ DBA 开始的 7 个寄存器。</p> <p>根据 DMA 数据长度的设置, 可能发生以下情况:</p>

				<ul style="list-style-type: none"> - 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。
7:5	-	-	-	位 7:5 保留, 始终读为 0。
4:0	DBA	RW	0x0	<p>这些位定义了 DMA 在连续模式下的基地址(当对 TIM1_DMAR 寄存器进行读或写时), DBA 定义为从 TIM1_CR1 寄存器所在地址开始的偏移量:</p> <p>00000: TIM1_CR1, 00001: TIM1_CR2, 00010: TIM1_SMCR, ...</p>

8.4.20. TIM1 连续模式的 DMA 地址 (TIM1_DMAR 偏移: 0x4C)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	DMAB	RW	0x0	<p>DMA 连续传送寄存器 (DMA register for burst accesses)</p> <p>对 TIM1_DMAR 寄存器的读或写会导致对以下地址所在寄存器的存取操作: TIM1_CR1 地址 + DBA + DMA 索引, 其中: “TIM1_CR1 地址”是控制寄存器 1(TIM1_CR1)所在的地址; “DBA”是 TIM1_DCR 寄存器中定义的基地址; “DMA 索引”是由 DMA 自动控制的偏移量, 它取决于 TIM1_DCR 寄存器中定义的 DBL。</p>

8.4.21. TIM1 复用功能选择寄存器 (TIM1_AF1 偏移: 0x60)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:14	ETRSEL	RW	0x0	ETR 输入源选择 00: GPIO 01: COMP1 10: COMP2 11: AWD
13:12	-	-	-	保留, 始终为 0。
11	BKCMP2P	RW	0x0	比较器 2 输入极性控制 0: 不反相 1: 被反相
10	BKCMP1P	RW	0x0	比较器 1 输入极性控制 0: 不反相 1: 被反相
9	BKINP	RW	0x0	刹车输入极性控制 0: 不反相 1: 被反相
8:3	-	-	-	保留, 始终为 0。
2	BKCMP2E	RW	0x0	比较器 2 输入使能控制 0: 禁止 1: 使能
1	BKCMP1E	RW	0x0	比较器 1 输入使能控制 0: 禁止 1: 使能
0	BKINE	RW	0x0	刹车输入使能控制 0: 禁止 1: 使能

8.4.22. TIM1 输入选择寄存器 (TIM1_TISEL 偏移: 0x68)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:9	-	-	-	保留, 始终为 0。
8	T2SEL	RW	0x0	TI2 输入选择 0: TIM1_CH2 1: COMP2
7:1	-	-	-	保留, 始终为 0。
0	T1SEL	RW	0x0	TI1 输入选择 0: TIM1_CH1 1: COMP1

8.4.23. TIM1 DMA 请求类型选择寄存器 (TIM1_DBER 偏移: 0x6C)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:7	-	-	-	保留, 始终读为 0。
6	TBE	RW	0x0	触发事件的 DMA 请求类型 0: Single; 1: Burst;
5	COMBE	RW	0x0	COM 事件的 DMA 请求类型 0: Single; 1: Burst;
4	CC4BE	RW	0x0	捕获/比较 4 事件的 DMA 请求类型 0: Single; 1: Burst;
3	CC3BE	RW	0x0	捕获/比较 3 事件的 DMA 请求类型 0: Single; 1: Burst;
2	CC2BE	RW	0x0	捕获/比较 2 事件的 DMA 请求类型

				0: Single; 1: Burst;
1	CC1BE	RW	0x0	捕获/比较 1 事件的 DMA 请求类型 0: Single; 1: Burst;
0	UBE	RW	0x0	更新事件的 DMA 请求类型 0: Single; 1: Burst;

9. 通用定时器（TIM3）

9.1. 概述

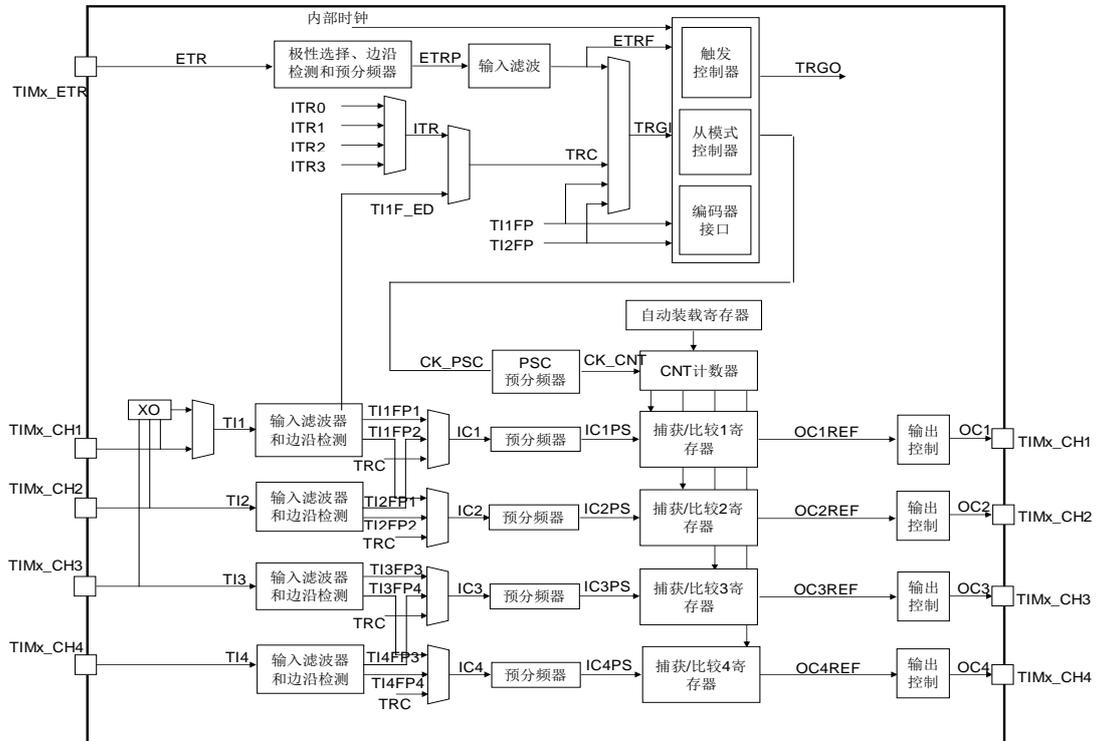
通用定时器 TIM3 由一个 16 位的自动装载计数器组成,它由一个可编程的预分频器驱动。它适合多种用途, 包含测量输入信号的脉冲宽度(输入捕获), 或者产生输出波形(输出比较、PWM 等)。

9.2. 主要特性

- 16 位向上、向下、向上/下自动装载计数器
- 16 位可编程(可以实时修改)预分频器, 计数器时钟频率的分频系数为 1~65536 之间的任意数值
- 多达 4 个独立通道:
 - 输入捕获
 - 输出比较
 - PWM 生成(边沿或中间对齐模式)
 - 单脉冲模式输出
- 使用外部信号控制定时器和定时器互联的同步电路
- 如下事件发生时产生中断/DMA:
 - 更新: 计数器向上溢出/向下溢出, 计数器初始化(通过软件或者内部/外部触发)
 - 触发事件(计数器启动、停止、初始化或者由内部/外部触发计数)
 - 输入捕获
 - 输出比较
- 支持针对定位的增量(正交)编码器和霍尔传感器电路
- 触发输入作为外部时钟或者按周期的电流管理

9.3. 结构框图

图 9-1 通用定时器 TIM3 框图



9.4. 功能描述

9.4.1. 计数单元

请参考 TIM1 相应章节。

9.4.2. 预分频器

请参考 TIM1 相应章节。

9.4.3. 时钟源选择

请参考 TIM1 相应章节。

9.4.4. 捕获比较通道

请参考 TIM1 相应章节。

9.4.5. 强制输出模式

请参考 TIM1 相应章节。

9.4.6. PWM 模式

请参考 TIM1 相应章节。

9.4.7. 正交编码器模式

请参考 TIM1 相应章节。

9.4.8. 与霍尔传感器的接口

请参考 TIM1 相应章节。

9.4.9. 单脉冲模式

请参考 TIM1 相应章节。

9.4.10. 定时器互连

请参考 TIM1 相应章节。

9.4.11. DMA 功能

请参考 TIM1 相应章节。

9.5. 寄存器描述

寄存器基地址：TIM3: 0x4000_0400

偏置	名称	描述
0x00	TIMx_CR1	TIMx 控制寄存器 1
0x04	TIMx_CR2	TIMx 控制寄存器 2
0x08	TIMx_SMCR	TIMx 从模式控制寄存器
0x0C	TIMx_DIER	TIMx DMA/中断使能寄存器

0x10	TIMx_SR	TIMx 状态寄存器
0x14	TIMx_EGR	TIMx 事件产生寄存器
0x18	TIMx_CCMR1	TIMx 捕获/比较模式寄存器 1
0x1C	TIMx_CCMR2	TIMx 捕获/比较模式寄存器 2
0x20	TIMx_CCER	TIMx 捕获/比较使能寄存器
0x24	TIMx_CNT	TIMx 计数器
0x28	TIMx_PSC	TIMx 预分频器
0x2C	TIMx_ARR	TIMx 自动装载寄存器
0x30	-	保留
0x34	TIMx_CCR1	TIMx 捕获比较寄存器 1
0x38	TIMx_CCR2	TIMx 捕获比较寄存器 2
0x3C	TIMx_CCR3	TIMx 捕获比较寄存器 3
0x40	TIMx_CCR4	TIMx 捕获比较寄存器 4
0x44	-	保留
0x48	TIMx_DCR	TIMx DMA 控制寄存器
0x4C	TIMx_DMAR	TIMx 连续模式的 DMA 地址
0x60	TIMx_AF1	TIMx 复用功能选择寄存器
0x68	TIMx_TISEL	TIMx 输入选择寄存器
0x6C	TIMx_DBER	TIMx DMA 请求类型选择寄存器

9.5.1. TIMx 控制寄存器 1 (TIMx_CR1 偏移: 0x00)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:10	-	-	-	保留, 始终读为 0。
9:8	CKD	RW	0x0	时钟分频因子 死区发生器和数字滤波器所用的采样时钟与定时器时钟 (CK_INT) 的分频比例。 00: tDTS=tCK_INT 01: tDTS=2 x tCK_INT 10: tDTS=4 x tCK_INT 11:保留
7	ARPE	RW	0x0	自动重装载预装载允许位 0:TIMx_ARR 寄存器没有缓冲 1:TIMx_ARR 寄存器被装入缓冲器
6:5	CMS	RW	0x0	计数模式 00:边沿对齐模式, 计数器根据方向位 (DIR) 向上或向下计数。 01: 中央对齐模式 1。计数器交替地向上和向下计数。配置为输出的通道(TIMx_CCMRx 寄存器中 CCxS=00)的输出比较中断标志位, 只在计数器向下计数时被设置。 10: 中央对齐模式 2。计数器交替地向上和向下计数。配置为输出的通道(TIMx_CCMRx 寄存器中 CCxS=00)的输出比较中断标志位, 只在计数器向上计数时被设置。 11: 中央对齐模式 3。计数器交替地向上和向下计数。配置为输出的通道(TIMx_CCMRx 寄存器中 CCxS=00)的输出比较中断标志位, 在计数器向上和向下计数时均被设置。

				注：在计数器开启时(CEN=1)，不允许从边沿对齐模式转换到中央对齐模式。
4	DIR	RW	0x0	<p>方向控制位</p> <p>0：计数器向上计数；</p> <p>1：计数器向下计数。</p> <p>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。</p>
3	OPM	RW	0x0	<p>单脉冲模式</p> <p>0：在发生更新事件时，计数器不停止；</p> <p>1：在发生下一次更新事件(清除 CEN 位)时，计数器停止。</p>
2	URS	RW	0x0	<p>更新请求源</p> <p>软件通过该位选择 UEV 事件的源</p> <p>0：如果使能了更新中断或 DMA 请求，则下述任一事件产生更新中断或 DMA 请求：</p> <ul style="list-style-type: none"> - 计数器溢出/下溢 - 设置 UG 位 - 从模式控制器产生的更新 <p>1：如果使能了更新中断或 DMA 请求，则只有计数器溢出/下溢才产生更新中断或 DMA 请求。</p>
1	UDIS	RW	0x0	<p>禁止更新</p> <p>软件通过该位允许/禁止 UEV 事件的产生</p> <p>0：允许 UEV。更新(UEV)事件由下述任一事件产生：</p> <ul style="list-style-type: none"> - 计数器溢出/下溢 - 设置 UG 位 - 从模式控制器产生的更新 <p>具有缓存的寄存器被装入它们的预装载值。(译注：</p>

				更新影子寄存器) 1: 禁止 UEV。不产生更新事件, 影子寄存器 (ARR、PSC、CCR _x)保持它们的值。如果设置了 UG 位或从模式控制器发出了一个硬件复位, 则计数器和预分频器被重新初始化。
0	CEN	RW	0x0	使能计数器 0: 禁止计数器; 1: 使能计数器。 注: 在软件设置了 CEN 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 CEN 位。

9.5.2. TIMx 控制寄存器 2 (TIMx_CR2 偏移: 0x04)

比特	名称	属性	复位值	描述
15: 8	-	-	-	保留, 始终读为 0。
7	TIIS	RW	0x0	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。
6:4	MMS	RW	0x0	主模式选择 (Master mode selection) 这 3 位用于选择在主模式下送到从定时器的同步信息 (TRGO)。可能的组合如下: 000: 复位 – TIMx_EGR 寄存器的 UG 位被用于作为触发输出(TRGO)。如果是触发输入产生的复位(从模式控制器处于复位模式), 则 TRGO 上的信号相对实际的复位会有一个延迟。 001: 使能– 计数器使能信号 CNT_EN 被用于作为触发输出(TRGO)。有时需要在同一时间启动多个定时

				<p>器或控制在一段时间内使能从定时器。计数器使能信号是通过 CEN 控制位和门控模式下的触发输入信号的逻辑或产生。当计数器使能信号受控于触发输入时，TRGO 上会有一个延迟，除非选择了主/从模式(见 TIMx_SMCR 寄存器中 MSM 位的描述)。</p> <p>010: 更新 – 更新事件被选为触发输入(TRGO)。例如，一个主定时器的时钟可以被用作一个从定时器的预分频器。</p> <p>011: 比较脉冲 – 在发生一次捕获或一次比较成功时，当要设置 CC1IF 标志时(即使它已经为高)，触发输出送出一个正脉冲(TRGO)。</p> <p>100: 比较 – OC1REF 信号被用于作为触发输出 (TRGO)。</p> <p>101: 比较 – OC2REF 信号被用于作为触发输出 (TRGO)。</p> <p>110: 比较 – OC3REF 信号被用于作为触发输出 (TRGO)。</p> <p>111: 比较 – OC4REF 信号被用于作为触发输出 (TRGO)。</p>
3	CCDS	RW	0x0	<p>捕获/比较的 DMA 选择 (Capture/compare DMA selection)</p> <p>0: 当发生 CCx 事件时，送出 CCx 的 DMA 请求；</p> <p>1: 当发生更新事件时，送出 CCx 的 DMA 请求。</p>
2: 0	-	-	-	保留，始终读为 0。

9.5.3. TIMx 从模式控制寄存器 (TIMx_SMCR 偏移: 0x08)

比特	名称	属性	复位值	描述
15	ETP	RW	0x0	<p>外部触发极性 (External trigger polarity)</p> <p>该位选择是用 ETR 还是 ETR 的反相来作为触发操作</p> <p>0: ETR 不反相, 高电平或上升沿有效;</p> <p>1: ETR 被反相, 低电平或下降沿有效。</p>
14	ECE	RW	0x0	<p>外部时钟使能位 (External clock enable)</p> <p>该位启用外部时钟模式 2</p> <p>0: 禁止外部时钟模式 2;</p> <p>1: 使能外部时钟模式 2。</p> <p>计数器由 ETRF 信号上的任意有效边沿驱动。</p> <p>注 1: 设置 ECE 位与选择外部时钟模式 1 并将 TRGI 连到 ETRF(SMS=111 和 TS=111)具有相同功效。</p> <p>注 2: 下述从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, 这时 TRGI 不能连到 ETRF(TS 位不能是'111')。</p> <p>注 3: 外部时钟模式 1 和外部时钟模式 2 同时被使能时, 外部时钟的输入是 ETRF。</p>
13:12	ETPS	RW	0x0	<p>外部触发预分频 (External trigger prescaler)</p> <p>外部触发信号 ETRP 的频率必须最多是 TIMxCLK 频率的 1/4。当输入较快的外部时钟时, 可以使用预分频降低 ETRP 的频率。</p> <p>00: 关闭预分频;</p> <p>01: ETRP 频率除以 2;</p> <p>10: ETRP 频率除以 4;</p> <p>11: ETRP 频率除以 8。</p>
11:8	ETF	RW	0x0	<p>外部触发滤波 (External trigger filter)</p> <p>这些位定义了对 ETRP 信号采样的频率和对 ETRP 数</p>

				<p>字滤波的带宽。实际上，数字滤波器是一个事件计数器，它记录到 N 个事件后会产生一个输出的跳变。</p> <p>0000: 无滤波器，以 fDTS 采样</p> <p>1000: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/8, N=6</p> <p>0001: 采样频率 fSAMPLING=fCK_INT, N=2</p> <p>1001: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/8, N=8</p> <p>0010: 采样频率 fSAMPLING=fCK_INT, N=4</p> <p>1010: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/16, N=5</p> <p>0011: 采样频率 fSAMPLING=fCK_INT, N=8</p> <p>1011: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/16, N=6</p> <p>0100: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/2, N=6</p> <p>1100: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/16, N=8</p> <p>0101: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/2, N=8</p> <p>1101: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/32, N=5</p> <p>0110: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/4, N=6</p> <p>1110: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/32, N=6</p> <p>0111: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/4, N=8</p> <p>1111: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/32, N=8</p>
7	MSM	RW	0x0	<p>主/从模式 (Master/slave mode)</p> <p>0: 无作用;</p> <p>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。</p>
6:4	TS	RW	0x0	<p>触发选择 (Trigger selection)</p> <p>这 3 位选择用于同步计数器的触发输入。</p> <p>000: 内部触发 0(ITR0)</p> <p>100: TI1 的边沿检测器(TI1F_ED)</p> <p>001: 保留</p>

				<p>101: 滤波后的定时器输入 1(TI1FP1)</p> <p>010: 内部触发 2(ITR2)</p> <p>110: 滤波后的定时器输入 2(TI2FP2)</p> <p>011: 内部触发 3(ITR3)</p> <p>111: 外部触发输入(ETRF)</p> <p>注: 这些位只能在未用到(如 SMS=000)时被改变, 以避免在改变时产生错误的边沿检测。</p>
3	-	-	-	保留, 始终读为 0。
2:0	SMS	RW	0x0	<p>从模式选择 (Slave mode selection)</p> <p>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)</p> <p>000: 关闭从模式 – 如果 CEN=1, 则预分频器直接由内部时钟驱动。</p> <p>001: 编码器模式 1 – 根据 TI1FP1 的电平, 计数器在 TI2FP2 的边沿向上/下计数。</p> <p>010: 编码器模式 2 – 根据 TI2FP2 的电平, 计数器在 TI1FP1 的边沿向上/下计数。</p> <p>011: 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。</p> <p>100: 复位模式 – 选中的触发输入(TRGI)的上升沿重新初始化计数器, 并且产生一个更新寄存器的信号。</p> <p>101: 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。</p> <p>110: 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。</p> <p>111: 外部时钟模式 1 – 选中的触发输入(TRGI)的上升沿驱动计数器。</p>

				注：如果 TI1F_EN 被选为触发输入(TS=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。
--	--	--	--	---

表格 9-1 TIM3 从模式互联：ITRx

ITR0	TIM1_TRGO
ITR1	RSV
ITR2	TIM15_TRGO
ITR3	TIM14_OC1

表格 9-2 TIM3 从模式互联：ETRx

ETRSEL =00	PD2
ETRSEL =01	COMP1
ETRSEL =02	COMP2
ETRSEL =03	AWD(ADC 模块的模拟看门狗输出)

9.5.4. TIMx DMA/中断使能寄存器 (TIMx_DIER 偏移: 0x0C)

比特	名称	属性	复位值	描述
15	-	-	-	保留，始终读为 0。
14	TDE	RW	0x0	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。
13	-	-	-	保留，始终读为 0。
12	CC4DE	RW	0x0	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。
11	CC3DE	RW	0x0	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。

10	CC2DE	RW	0x0	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。
9	CC1DE	RW	0x0	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。
8	UDE	RW	0x0	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。
7	-	-	-	保留, 始终读为 0。
6	TIE	RW	0x0	触发中断使能 (Trigger interrupt enable) 0: 禁止触发中断; 1: 使能触发中断。
5	-	-	-	保留, 始终读为 0。
4	CC4IE	RW	0x0	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。
3	CC3IE	RW	0x0	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。
2	CC2IE	RW	0x0	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。
1	CC1IE	RW	0x0	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。
0	UIE	RW	0x0	允许更新中断 (Update interrupt enable) 0: 禁止更新中断; 1: 允许更新中断。

9.5.5. TIMx 状态寄存器 (TIMx_SR 偏移: 0x10)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:13	-	-	-	保留, 始终读为 0。
12	CC4OF	W0C	0x0	捕获/比较 4 重复捕获标记 (Capture/Compare 4 overcapture flag) 参见 CC1OF 描述。
11	CC3OF	W0C	0x0	捕获/比较 3 重复捕获标记 (Capture/Compare 3 overcapture flag) 参见 CC1OF 描述。
10	CC2OF	W0C	0x0	捕获/比较 2 重复捕获标记 (Capture/Compare 2 overcapture flag) 参见 CC1OF 描述。
9	CC1OF	W0C	0x0	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_CCR1 寄存器时, CC1IF 的状态已经为'1'。
8:7	-	-	-	保留, 始终读为 0。
6	TIF	W0C	0x0	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

				<p>软件清'0'。</p> <p>0: 无触发器事件产生；</p> <p>1: 触发中断等待响应。</p>
5	-	-	-	保留，始终读为 0。
4	CC4IF	W0C	0x0	捕获/比较 4 中断标记 (Capture/Compare 4 interrupt flag) 参考 CC1IF 描述。
3	CC3IF	W0C	0x0	捕获/比较 3 中断标记 (Capture/Compare 3 interrupt flag) 参考 CC1IF 描述。
2	CC2IF	W0C	0x0	捕获/比较 2 中断标记 (Capture/Compare 2 interrupt flag) 参考 CC1IF 描述。
1	CC1IF	W0C	0x0	<p>捕获/比较 1 中断标记 (Capture/Compare 1 interrupt flag)</p> <p>如果通道 CC1 配置为输出模式： 当计数器值与比较值匹配时该位由硬件置 1，但在中心对称模式下除外 (参考 TIMx_CR1 寄存器的 CMS 位)。它由软件清'0'。 0: 无匹配发生；</p> <p>1: TIMx_CNT 的值与 TIMx_CCR1 的值匹配。</p> <p>当 TIMx_CCR1 的内容大于 TIMx_APR 的内容时，在向上或向上/下计数模式时计数器溢出，或向下计数模式时的计数器下溢条件下，CC1IF 位变高</p> <p>如果通道 CC1 配置为输入模式： 当捕获事件发生时该位由硬件置'1'，它由软件清'0'或通过读 TIMx_CCR1 清'0'。</p> <p>0: 无输入捕获产生；</p> <p>1: 计数器值已被捕获(拷贝)至 TIMx_CCR1(在 IC1 上检测到与所选极性相同的边沿)。</p>
0	UIF	W0C	0x0	<p>更新中断标记 (Update interrupt flag)</p> <p>当产生更新事件时该位由硬件置'1'。它由软件清'0'。</p>

				<p>0: 无更新事件产生;</p> <p>1: 更新中断等待响应。当寄存器被更新时该位由硬件置'1':</p> <ul style="list-style-type: none"> - 若 TIMx_CR1 寄存器的 UDIS=0, 当重复计数器数值上溢或下溢时(重复计数器=0 时产生更新事件)。 - 若 TIMx_CR1 寄存器的 URS=0、UDIS=0, 当设置 TIMx_EGR 寄存器的 UG=1 时产生更新事件, 通过软件对计数器 CNT 重新初始化时。 - 若 TIMx_CR1 寄存器的 URS=0、UDIS=0, 当计数器 CNT 被触发事件重新初始化时。
--	--	--	--	--

9.5.6. TIMx 事件产生寄存器 (TIMx_EGR 偏移: 0x14)

比特	名称	属性	复位值	描述
15: 7	-	-	-	保留, 始终读为 0。
6	TG	WO	0x0	<p>产生触发事件 (Trigger generation)</p> <p>该位由软件置'1', 用于产生一个触发事件, 由硬件自动清'0'。</p> <p>0: 无动作;</p> <p>1: TIMx_SR 寄存器的 TIF=1, 若开启对应的中断和 DMA, 则产生相应的中断和 DMA。</p>
5	-	-	-	保留, 始终读为 0。
4	CC4G	WO	0x0	<p>产生捕获/比较 4 事件 (Capture/Compare 4 generation)</p> <p>参考 CC1G 描述。</p>
3	CC3G	WO	0x0	<p>产生捕获/比较 3 事件 (Capture/Compare 3 generation)</p> <p>参考 CC1G 描述。</p>
2	CC2G	WO	0x0	<p>产生捕获/比较 2 事件 (Capture/Compare 2 generation)</p> <p>参考 CC1G 描述。</p>

1	CC1G	WO	0x0	<p>产生捕获/比较 1 事件 (Capture/Compare 1 generation)</p> <p>该位由软件置'1'，用于产生一个捕获/比较事件，由硬件自动清'0'。</p> <p>0: 无动作；</p> <p>1: 在通道 CC1 上产生一个捕获/比较事件：若通道 CC1 配置为输出：设置 CC1IF=1，若开启对应的中断和 DMA，则产生相应的中断和 DMA。若通道 CC1 配置为输入：当前的计数器值被捕获至 TIMx_CCR1 寄存器；设置 CC1IF=1，若开启对应的中断和 DMA，则产生相应的中断和 DMA。若 CC1IF 已经为 1，则设置 CC1OF=1。</p>
0	UG	WO	0x0	<p>产生更新事件 (Update generation)</p> <p>该位由软件置'1'，由硬件自动清'0'。</p> <p>0: 无动作；</p> <p>1: 重新初始化计数器，并产生一个更新事件。</p> <p>注意预分频器的计数器也被清'0'(但是预分频系数不变)。若在中心对称模式下或 DIR=0(向上计数)则计数器被清'0'；若 DIR=1(向下计数)则计数器取 TIMx_ARR 的值。</p>

9.5.7. TIMx 捕获/比较模式寄存器 1 (TIMx_CCMR1 偏移: 0x18)

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 CCxS 位定义。该寄存器其它位的作用在输入和输出模式下不同。OCxx 描述了通道在输出模式下的功能，ICxx 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：

比特	名称	属性	复位值	描述
15	OC2CE	RW	0x0	输出比较 2 清 0 使能 (Output Compare 2 clear enable)
14:12	OC2M	RW	0x0	输出比较 2 模式 (Output Compare 2 mode)
11	OC2PE	RW	0x0	输出比较 2 预装载使能 (Output Compare 2 preload enable)
10	OC2FE	RW	0x0	输出比较 2 快速使能 (Output Compare 2 fast enable)
9:8	CC2S	RW	0x0	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器输入被选中时(由 TIMx_SMCR 寄存器的 TS 位选择)。 注：CC2S 仅在通道关闭时(TIMx_CCER 寄存器的 CC2E=0)才是可写的。
7	OC1CE	RW	0x0	输出比较 1 清'0'使能 (Output Compare 1 clear enable) 0: OC1REF 不受 ETRF 输入的影响； 1: 一旦检测到 ETRF 输入高电平，清除 OC1REF=0。
6:4	OC1M	RW	0x0	输出比较 1 模式 (Output Compare 1 mode) 该 3 位定义了输出参考信号 OC1REF 的动作，而

			<p>OC1REF 决定了 OC1、OC1N 的值。OC1REF 是高电平有效，而 OC1、OC1N 的有效电平取决于 CC1P、CC1NP 位。</p> <p>000: 冻结。输出比较寄存器 TIMx_CCR1 与计数器 TIMx_CNT 间的比较对 OC1REF 不起作用；</p> <p>001: 匹配时设置通道 1 为有效电平。当计数器 TIMx_CNT 的值与捕获/比较寄存器 1 (TIMx_CCR1) 相同时，强制 OC1REF 为高。</p> <p>010: 匹配时设置通道 1 为无效电平。当计数器 TIMx_CNT 的值与捕获/比较寄存器 1 (TIMx_CCR1) 相同时，强制 OC1REF 为低。</p> <p>011: 翻转。当 TIMx_CCR1=TIMx_CNT 时，翻转 OC1REF 的电平。</p> <p>100: 强制为无效电平。强制 OC1REF 为低。</p> <p>101: 强制为有效电平。强制 OC1REF 为高。</p> <p>110: PWM 模式 1— 在向上计数时，一旦 TIMx_CNT<TIMx_CCR1 时通道 1 为有效电平，否则为无效电平；在向下计数时，一旦 TIMx_CNT>TIMx_CCR1 时通道 1 为无效电平 (OC1REF=0)，否则为有效电平(OC1REF=1)。</p> <p>111: PWM 模式 2— 在向上计数时，一旦 TIMx_CNT<TIMx_CCR1 时通道 1 为无效电平，否则为有效电平；在向下计数时，一旦 TIMx_CNT>TIMx_CCR1 时通道 1 为有效电平，否则为无效电平。</p> <p>注 1: 一旦 LOCK 级别设为 3(TIMx_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)并且 CC1S=00(该通道配置成输出)则该位不能被修改。</p> <p>注 2: 在 PWM 模式 1 或 PWM 模式 2 中，只有当比</p>
--	--	--	--

				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，OC1REF 电平才改变。
3	OC1PE	RW	0x0	<p>输出比较 1 预装载使能 (Output Compare 1 preload enable)</p> <p>0: 禁止 TIMx_CCR1 寄存器的预装载功能，可随时写入 TIMx_CCR1 寄存器，并且新写入的数值立即起作用。</p> <p>1: 开启 TIMx_CCR1 寄存器的预装载功能，读写操作仅对预装载寄存器操作，TIMx_CCR1 的预装载值在更新事件到来时被加载至当前寄存器中。</p> <p>注 1: 一旦 LOCK 级别设为 3(TIMx_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)并且 CC1S=00(该通道配置成输出)则该位不能被修改。</p> <p>注 2: 仅在单脉冲模式下(TIMx_CR1 寄存器的 OPM=1)，可以在未确认预装载寄存器情况下使用 PWM 模式，否则其动作不确定。</p>
2	OC1FE	RW	0x0	<p>输出比较 1 快速使能 (Output Compare 1 fast enable)</p> <p>该位用于加快 CC 输出对触发输入事件的响应。</p> <p>0: 根据计数器与 CCR1 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。</p> <p>1: 输入到触发器的有效沿的作用就象发生了一次比较匹配。因此，OC 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。OCFE 只在通道被配置成 PWM1 或 PWM2 模式时起作用。</p>
1:0	CC1S	RW	0x0	<p>捕获/比较 1 选择。(Capture/Compare 1 selection)</p> <p>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；</p>

				<p>01: CC1 通道被配置为输入, IC1 映射在 TI1 上;</p> <p>10: CC1 通道被配置为输入, IC1 映射在 TI2 上;</p> <p>11: CC1 通道被配置为输入, IC1 映射在 TRC 上。</p> <p>此模式仅工作在内部触发器输入被选中时(由 TIMx_SMCR 寄存器的 TS 位选择)。</p> <p>注: CC1S 仅在通道关闭时(TIMx_CCER 寄存器的 CC1E=0)才是可写的。</p>
--	--	--	--	---

输入捕获模式:

比特	名称	属性	复位值	描述
15:12	IC2F	RW	0x0	输入捕获 2 滤波器 (Input capture 2 filter)
11:10	IC2PSC	RW	0x0	输入/捕获 2 预分频器 (Input capture 2 prescaler)
9:8	CC2S	RW	0x0	<p>捕获/比较 2 选择 (Capture/Compare 2 selection)</p> <p>这 2 位定义通道的方向(输入/输出), 及输入脚的选择:</p> <p>00: CC2 通道被配置为输出;</p> <p>01: CC2 通道被配置为输入, IC2 映射在 TI2 上;</p> <p>10: CC2 通道被配置为输入, IC2 映射在 TI1 上;</p> <p>11: CC2 通道被配置为输入, IC2 映射在 TRC 上。</p> <p>此模式仅工作在内部触发器输入被选中时(由 TIMx_SMCR 寄存器的 TS 位选择)。</p> <p>注: CC2S 仅在通道关闭时(TIMx_CCER 寄存器的 CC2E=0)才是可写的。</p>
7:4	IC1F	RW	0x0	<p>输入捕获 1 滤波器 (Input capture 1 filter)</p> <p>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:</p> <p>0000: 无滤波器, 以 fDTS 采样</p> <p>1000: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/8, N=6</p> <p>0001: 采样频率 fSAMPLING=fCK_INT, N=2</p>

				<p>1001: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/8$, $N=8$</p> <p>0010: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{CK_INT}}$, $N=4$</p> <p>1010: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/16$, $N=5$</p> <p>0011: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{CK_INT}}$, $N=8$</p> <p>1011: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/16$, $N=6$</p> <p>0100: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/2$, $N=6$</p> <p>1100: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/16$, $N=8$</p> <p>0101: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/2$, $N=8$</p> <p>1101: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/32$, $N=5$</p> <p>0110: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/4$, $N=6$</p> <p>1110: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/32$, $N=6$</p> <p>0111: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/4$, $N=8$</p> <p>1111: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/32$, $N=8$</p>
3:2	IC1PSC	RW	0x0	<p>输入/捕获 1 预分频器 (Input capture 1 prescaler)</p> <p>这 2 位定义了 CC1 输入(IC1)的预分频系数。一旦 $\text{CC1E}=0$(TIMx_CCER 寄存器中), 则预分频器复位。</p> <p>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;</p> <p>01: 每 2 个事件触发一次捕获;</p> <p>10: 每 4 个事件触发一次捕获;</p> <p>11: 每 8 个事件触发一次捕获。</p>
1:0	CC1S	RW	0x0	<p>捕获/比较 1 选择 (Capture/Compare 1 Selection)</p> <p>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;</p> <p>01: CC1 通道被配置为输入, IC1 映射在 TI1 上;</p> <p>10: CC1 通道被配置为输入, IC1 映射在 TI2 上;</p> <p>11: CC1 通道被配置为输入, IC1 映射在 TRC 上。</p> <p>此模式仅工作在内部触发器输入被选中时(由 TIMx_SMCR 寄存器的 TS 位选择)。</p>

9.5.8. TIMx 捕获/比较模式寄存器 2 (TIMx_CCMR2 偏移: 0x1C)

输出比较模式:

比特	名称	属性	复位值	描述
15	OC4CE	RW	0x0	输出比较 4 清 0 使能 (Output compare 4 clear enable)
14:12	OC4M	RW	0x0	输出比较 4 模式 (Output compare 4 mode)
11	OC4PE	RW	0x0	输出比较 4 预装载使能 (Output compare 4 preload enable)
10	OC4FE	RW	0x0	输出比较 4 快速使能 (Output compare 4 fast enable)
9:8	CC4S	RW	0x0	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器输入被选中时(由 TIMx_SMCR 寄存器的 TS 位选择)。 注: CC4S 仅在通道关闭时(TIMx_CCER 寄存器的 CC4E=0)才是可写的。
7	OC3CE	RW	0x0	输出比较 3 清 0 使能 (Output compare 3 clear enable)
6:4	OC3M	RW	0x0	输出比较 3 模式 (Output compare 3 mode)
3	OC3PE	RW	0x0	输出比较 3 预装载使能 (Output compare 3 preload enable)
2	OC3FE	RW	0x0	输出比较 3 快速使能 (Output compare 3 fast enable)
1:0	CC3S	RW	0x0	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;

				<p>11: CC3 通道被配置为输入, IC3 映射在 TRC 上。</p> <p>此模式仅工作在内部触发器输入被选中时(由 TIMx_SMCR 寄存器的 TS 位选择)。</p> <p>注: CC3S 仅在通道关闭时(TIMx_CCER 寄存器的 CC3E=0)才是可写的。</p>
--	--	--	--	---

输入捕获模式:

比特	名称	属性	复位值	描述
15:12	IC4F	RW	0x0	输入捕获 4 滤波器 (Input capture 4 filter)
11:10	IC4PSC	RW	0x0	输入/捕获 4 预分频器 (Input capture 4 prescaler)
9:8	CC4S	RW	0x0	<p>捕获/比较 4 选择 (Capture/Compare 4 selection)</p> <p>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;</p> <p>01: CC4 通道被配置为输入, IC4 映射在 TI4 上;</p> <p>10: CC4 通道被配置为输入, IC4 映射在 TI3 上;</p> <p>11: CC4 通道被配置为输入, IC4 映射在 TRC 上。</p> <p>此模式仅工作在内部触发器输入被选中时(由 TIMx_SMCR 寄存器的 TS 位选择)。</p> <p>注: CC4S 仅在通道关闭时(TIMx_CCER 寄存器的 CC4E=0)才是可写的。</p>
7:4	IC3F	RW	0x0	输入捕获 3 滤波器 (Input capture 3 filter)
3:2	IC3PSC	RW	0x0	输入/捕获 3 预分频器 (Input capture 3 prescaler)
1:0	CC3S	RW	0x0	<p>捕获/比较 3 选择 (Capture/compare 3 selection)</p> <p>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;</p> <p>01: CC3 通道被配置为输入, IC3 映射在 TI3 上;</p> <p>10: CC3 通道被配置为输入, IC3 映射在 TI4 上;</p> <p>11: CC3 通道被配置为输入, IC3 映射在 TRC 上。</p> <p>此模式仅工作在内部触发器输入被选中时(由</p>

				TIMx_SMCR 寄存器的 TS 位选择)。
--	--	--	--	-------------------------

9.5.9. TIMx 捕获/比较使能寄存器 (TIMx_CCER 偏移: 0x20)

比特	名称	属性	复位值	描述
15	CC4NP	RW	0x0	输入/捕获 4 互补输出极性 (Capture/Compare 4 complementary output polarity) 参考 CC1NP 的描述。
14	-	-	-	保留, 始终读为 0。
13	CC4P	RW	0x0	输入/捕获 4 输出极性 (Capture/Compare 4 output polarity) 参考 CC1P 的描述。
12	CC4E	RW	0x0	输入/捕获 4 输出使能 (Capture/Compare 4 output enable) 参考 CC1E 的描述。
11	CC3NP	RW	0x0	输入/捕获 3 互补输出极性 (Capture/Compare 3 complementary output polarity) 参考 CC1NP 的描述。
10	-	-	-	保留, 始终读为 0。
9	CC3P	RW	0x0	输入/捕获 3 输出极性 (Capture/Compare 3 output polarity) 参考 CC1P 的描述。
8	CC3E	RW	0x0	输入/捕获 3 输出使能 (Capture/Compare 3 output enable) 参考 CC1E 的描述。
7	CC2NP	RW	0x0	输入/捕获 2 互补输出极性 (Capture/Compare 2 complementary output polarity) 参考 CC1NP 的描述。
6	-	-	-	保留, 始终读为 0。
5	CC2P	RW	0x0	输入/捕获 2 输出极性 (Capture/Compare 2 output polarity) 参考 CC1P 的描述。
4	CC2E	RW	0x0	输入/捕获 2 输出使能 (Capture/Compare 2 output enable) 参考 CC1E 的描述。
3	CC1NP	RW	0x0	输入/捕获 1 互补输出极性 (Capture/Compare 1 complementary output polarity) 0: OC1N 高电平有效;

				<p>1: OC1N 低电平有效。</p> <p>CC1 通道配置为输入: 该位与 CC1P 结合使用以定义 TI1FP1 和 TI2FP1 的极性。参考 CC1P 的描述。</p> <p>注: 一旦 LOCK 级别(TIMx_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)设为 3 或 2 且 CC1S=00(通道配置为输出) 则该位不能被修改。</p>
2	-	-	-	保留, 始终读为 0。
1	CC1P	RW	0x0	<p>输入/捕获 1 输出极性 (Capture/Compare 1 output polarity) CC1 通道配置为输出:</p> <p>0: OC1 高电平有效;</p> <p>1: OC1 低电平有效。</p> <p>CC1 通道配置为输入: CC1NP/CC1P 位选择 TI1FP1 和 TI2FP1 的有效极性, 用于触发或捕获操作。</p> <p>00: 不反相/上升沿。在复位、外部时钟或触发模式下, 捕获或触发发生在 TIxFP1 的上升沿, 在门控模式或编码器模式下触发操作, TIxFP1 不反相。</p> <p>01: 反向/下降沿。在复位、外部时钟或触发模式下, 捕获或触发发生在 TIxFP1 的下降沿, 在门控模式或编码器模式下触发操作, TIxFP1 反相。</p> <p>10: 保留, 不使用此配置。</p> <p>11: 不反相/双边沿。在复位、外部时钟或触发模式下, 捕获或触发发生在 TIxFP1 的上升沿和下降沿, 在门控模式下触发操作, TIxFP1 不反相 (此配置不得在编码器模式下使用)</p> <p>注: 一旦 LOCK 级别(TIMx_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)设为 3 或 2, 则该位不能被修改。</p>
0	CC1E	RW	0x0	<p>输入/捕获 1 输出使能 (Capture/Compare 1 output enable) CC1 通道配置为输出:</p>

				<p>0: 关闭— OC1 禁止输出, 因此 OC1 的输出电平依赖于 MOE、OSSI、OSSR、OIS1、OIS1N 和 CC1NE 位的值。</p> <p>1: 开启— OC1 信号输出到对应的输出引脚, 其输出电平依赖于 MOE、OSSI、OSSR、OIS1、OIS1N 和 CC1NE 位的值。</p> <p>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_CCR1 寄存器。</p> <p>0: 捕获禁止;</p> <p>1: 捕获使能。</p>
--	--	--	--	--

表格 9-3 标准 OCx 通道的输出控制位

CCxE 位	OCx 输出状态
0	输出禁止 (OCx=0, OCx_EN=0)
1	OCx=OCxREF + 极性, OCx_EN=1

9.5.10. TIMx 计数器 (TIMx_CNT 偏移: 0x24)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	CNT	RW	0x0	计数器的值 (Counter value)

9.5.11. TIMx 预分频器 (TIMx_PSC 偏移: 0x28)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	PSC	RW	0x0	<p>预分频器的值 (Prescaler value)</p> <p>计数器的时钟频率(CK_CNT)等于 $f_{CK_PSC}/(PSC[15:0]+1)$。</p> <p>PSC 包含了每次当更新事件产生时, 装入当前预分频器寄存器的值; 更新事件包括计数器被 TIM_EGR 的 UG 位清'0'或被工作在复位模式的从控制器清'0'</p>

9.5.12. TIMx 自动重载寄存器 (TIMx_ARR 偏移: 0x2C)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	ARR	RW	0x0	自动重载的值 (Prescaler value) ARR 包含了将要装载入实际的自动重载寄存器的值。当自动重载的值为空时, 计数器不工作。

9.5.13. TIMx 捕获/比较寄存器 1 (TIMx_CCR1 偏移: 0x34)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	CCR1	RW	0x0	捕获/比较通道 1 的值 (Capture/Compare 1 value) 若 CC1 通道配置为输出: CCR1 包含了装入当前捕获/比较 1 寄存器的值(预装载值)。如果在 TIMx_CCMR1 寄存器(OC1PE 位)中未选择预装载功能, 写入的数值会立即传输至当前寄存器中。否则只有当更新事件发生时, 此预装载值才传输至当前捕获/比较 1 寄存器中。当前捕获/比较寄存器参与同计数器 TIMx_CNT 的比较, 并在 OC1 端口上产生输出信号。若 CC1 通道配置为输入: CCR1 包含了由上一次输入捕获 1 事件(IC1)传输的计数器值。

9.5.14. TIMx 捕获/比较寄存器 2 (TIMx_CCR2 偏移: 0x38)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	CCR2	RW	0x0	捕获/比较通道 2 的值 (Capture/Compare 2 value) 若 CC2 通道配置为输出: CCR2 包含了装入当前捕

				<p>获/比较 2 寄存器的值(预装载值)。如果在 TIMx_CCMR2 寄存器(OC2PE 位)中未选择预装载特性, 写入的数值会立即传输至当前寄存器中。否则只有当更新事件发生时, 此预装载值才传输至当前捕获/比较 2 寄存器中。当前捕获/比较寄存器参与同计数器 TIMx_CNT 的比较, 并在 OC2 端口上产生输出信号。若 CC2 通道配置为输入: CCR2 包含了由上一次输入捕获 2 事件(IC2)传输的计数器值。</p>
--	--	--	--	---

9.5.15. TIMx 捕获/比较寄存器 3 (TIMx_CCR3 偏移: 0x3C)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	CCR3	RW	0x0	<p>捕获/比较通道 3 的值 (Capture/Compare 3 value) 若 CC3 通道配置为输出: CCR3 包含了装入当前捕获/比较 3 寄存器的值(预装载值)。如果在 TIMx_CCMR3 寄存器(OC3PE 位)中未选择预装载特性, 写入的数值会立即传输至当前寄存器中。否则只有当更新事件发生时, 此预装载值才传输至当前捕获/比较 3 寄存器中。当前捕获/比较寄存器参与同计数器 TIMx_CNT 的比较, 并在 OC3 端口上产生输出信号。若 CC3 通道配置为输入: CCR3 包含了由上一次输入捕获 3 事件(IC3)传输的计数器值。</p>

TIMx 捕获/比较寄存器 4 (TIMx_CCR4 偏移: 0x40)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	CCR4	RW	0x0	<p>捕获/比较通道 4 的值 (Capture/Compare 4 value) 若 CC4 通道配置为输出: CCR4 包含了装入当前捕获/比较 4 寄存器的值(预装载值)。如果在</p>

				<p>TIMx_CCMR4 寄存器(OC4PE 位)中未选择预装载特性，写入的数值会立即传输至当前寄存器中。否则只有当更新事件发生时，此预装载值才传输至当前捕获/比较 4 寄存器中。当前捕获/比较寄存器参与同计数器 TIMx_CNT 的比较，并在 OC4 端口上产生输出信号。若 CC4 通道配置为输入：CCR4 包含了由上一次输入捕获 4 事件(IC4)传输的计数器值。</p>
--	--	--	--	--

9.5.16. TIMx DMA 控制寄存器 (TIMx_DCR 偏移: 0x48)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:13	-	-	-	位 15:13 保留，始终读为 0。
12:8	DBL	RW	0x0	<p>DMA 连续传送长度 (DMA burst length)</p> <p>这些位定义了 DMA 在连续模式下的传送长度(当对 TIMx_DMAR 寄存器进行读或写时，定时器则进行一次连续传送)，即：定义传输的次数，传输可以是半字(双字节)或字节：</p> <p>00000: 1 次传输 00001: 2 次传输 00010: 3 次传输 10001: 18 次传输</p> <p>例：我们考虑这样的传输：DBL=7， DBA=TIM3_CR1 - 如果 DBL=7，DBA=TIM3_CR1 表示待传输数据的地址，那么传输的地址由下式给出：(TIMx_CR1 的地址)+DBA+(DMA 索引)，其中 DMA 索引 = DBL 其中(TIMx_CR1 的地址)+DBA 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_CR1 的</p>

				地址) + DBA 开始的 7 个寄存器。 根据 DMA 数据长度的设置, 可能发生以下情况: - 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。
7:5	-	-	-	位 7:5 保留, 始终读为 0。
4:0	DBA	RW	0x0	这些位定义了 DMA 在连续模式下的基地址(当对 TIMx_DMAR 寄存器进行读或写时), DBA 定义为从 TIMx_CR1 寄存器所在地址开始的偏移量: 00000: TIMx_CR1, 00001: TIMx_CR2, 00010: TIMx_SMCR, ...

9.5.17. TIMx 连续模式的 DMA 地址 (TIMx_DMAR 偏移: 0x4C)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	DMAB	RW	0x0	DMA 连续传送寄存器 (DMA register for burst accesses) 对 TIMx_DMAR 寄存器的读或写会导致对以下地址所在寄存器的存取操作: TIMx_CR1 地址 + DBA + DMA 索引, 其中: “TIMx_CR1 地址”是控制寄存器 1(TIMx_CR1)所在的地址; “DBA”是 TIMx_DCR 寄存器中定义的基地址; “DMA 索引”是由 DMA 自动控制的偏移量, 它取决于 TIMx_DCR 寄存器中定义

				的 DBL。
--	--	--	--	--------

9.5.18. TIMx 复用功能选择寄存器 (TIMx_AF1 偏移: 0x60)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:14	ETRSEL	RW	0x0	ETR 输入源选择 00: GPIO 01: COMP1 10: COMP2 11: AWD
13:0	-	-	-	保留, 始终为 0。

9.5.19. TIMx 输入选择寄存器 (TIMx_TISEL 偏移: 0x68)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:9	-	-	-	保留, 始终为 0。
8	T2SEL	RW	0x0	TI2 输入选择 0: TIM_CH2 1: COMP2
7:1	-	-	-	保留, 始终为 0。
0	T1SEL	RW	0x0	TI1 输入选择 0: TIM_CH1 1: COMP1

9.5.20. TIMx DMA 请求类型选择寄存器 (TIMx_DBER 偏移: 0x6C)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:7	-	-	-	保留, 始终读为 0。
6	TBE	RW	0x0	触发事件的 DMA 请求类型 0: Single; 1: Burst;

5	COMBE	RW	0x0	COM 事件的 DMA 请求类型 0: Single; 1: Burst;
4	CC4BE	RW	0x0	捕获/比较 4 事件的 DMA 请求类型 0: Single; 1: Burst;
3	CC3BE	RW	0x0	捕获/比较 3 事件的 DMA 请求类型 0: Single; 1: Burst;
2	CC2BE	RW	0x0	捕获/比较 2 事件的 DMA 请求类型 0: Single; 1: Burst;
1	CC1BE	RW	0x0	捕获/比较 1 事件的 DMA 请求类型 0: Single; 1: Burst;
0	UBE	RW	0x0	更新事件的 DMA 请求类型 0: Single; 1: Burst;

10. 基本定时器（TIM6）

10.1. 概述

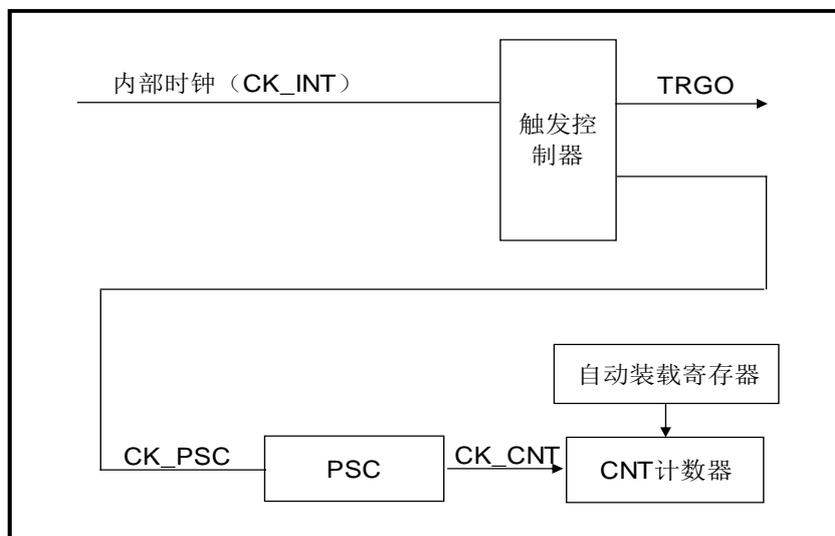
基本定时器包含一个 16 位自动装载计数器，由各自的可编程预分频器驱动。

10.2. 主要特性

- 16 位自动重载累加计数器
- 16 位可编程(可实时修改)预分频器，用于对输入的时钟按系数为 1~65536 之间的任意数值分频
- 在更新事件(计数器溢出)时产生中断/DMA 请求

10.3. 结构框图

图 10-1 基本定时器 TIM6 结构框图



10.4. 功能描述

10.4.1. 计数单元

请参考 TIM1 相应章节。

10.4.2. 预分频器

请参考 TIM1 相应章节。

10.4.3. 时钟源选择

计数器的时钟由内部时钟(CK_INT)提供。具体请参考 TIM1 相应章节。

10.4.4. 定时器互连

请参考 TIM1 相应章节。

10.4.5. DMA 功能

请参考 TIM1 相应章节。

10.5. 寄存器描述

寄存器基地址：TIM6:0x4000_1000

偏置	名称	描述
0x00	TIMx_CR1	TIMx 控制寄存器 1
0x04	-	保留
0x0C	TIMx_DIER	TIMx DMA/中断使能寄存器
0x10	TIMx_SR	TIMx 状态寄存器
0x14	TIMx_EGR	TIMx 事件产生寄存器
0x24	TIMx_CNT	TIMx 计数器
0x28	TIMx_PSC	TIMx 预分频器
0x2C	TIMx_ARR	TIMx 自动装载寄存器

10.5.1. TIMx 控制寄存器 1 (TIMx_CR1 偏移: 0x00)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:8	-	-	-	保留, 始终读为 0。
7	ARPE	RW	0x0	自动重装载预装载允许位 0:TIMx_ARR 寄存器没有缓冲 1:TIMx_ARR 寄存器被装入缓冲器
6:4	-	-	-	保留, 始终读为 0。
3	OPM	RW	0x0	单脉冲模式 0: 在发生更新事件时, 计数器不停止; 1: 在发生下一次更新事件(清除 CEN 位)时, 计数停止。
2	URS	RW	0x0	更新请求源 软件通过该位选择 UEV 事件的源 0: 如果使能了更新中断或 DMA 请求, 则下述任一事件产生更新中断或 DMA 请求: - 计数器溢出/下溢 - 设置 UG 位 - 从模式控制器产生的更新 1: 如果使能了更新中断或 DMA 请求, 则只有计数器溢出/下溢才产生更新中断或 DMA 请求。
1	UDIS	RW	0x0	禁止更新 软件通过该位允许/禁止 UEV 事件的产生 0: 允许 UEV。更新(UEV)事件由下述任一事件产生: - 计数器溢出/下溢 - 设置 UG 位 - 从模式控制器产生的更新

				<p>具有缓存的寄存器被装入它们的预装载值。(译注：更新影子寄存器)</p> <p>1: 禁止 UEV。不产生更新事件，影子寄存器 (ARR、PSC、CCR_x)保持它们的值。如果设置了 UG 位或从模式控制器发出了一个硬件复位，则计数器和预分频器被重新初始化。</p>
0	CEN	RW	0x0	<p>使能计数器</p> <p>0: 禁止计数器；</p> <p>1: 使能计数器。</p> <p>注：在软件设置了 CEN 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 CEN 位。</p>

10.5.2. TIMx 控制寄存器 2 (TIMx_CR2 偏移: 0x04)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:7	-	-	-	保留, 始终读为 0。
6:4	MMS	RW	0x0	<p>主模式选择 (Master mode selection)</p> <p>这 3 位用于选择在主模式下送到从定时器的同步信息 (TRGO)。可能的组合如下:</p> <p>000: 复位 – TIMx_EGR 寄存器的 UG 位被用于作为触发输出(TRGO)。如果是触发输入产生的复位(从模式控制器处于复位模式), 则 TRGO 上的信号相对实际的复位会有一个延迟。</p> <p>001: 使能– 计数器使能信号 CNT_EN 被用于作为触发输出(TRGO)。有时需要在同一时间启动多个定时器或控制在一段时间内使能从定时器。计数器使能信号是通过 CEN 控制位和门控模式下的触发输入信号的逻辑或产生。当计数器使能信号受控于触发输入时, TRGO 上会有一个延迟, 除非选择了主/从模式 (见 TIMx_SMCR 寄存器中 MSM 位的描述)。</p> <p>010: 更新 – 更新事件被选为触发输入(TRGO)。例如, 一个主定时器的时钟可以被用作一个从定时器的预分频器。</p> <p>011: 比较脉冲 – 在发生一次捕获或一次比较成功时, 当要设置 CC1IF 标志时(即使它已经为高), 触发输出送出一个正脉冲(TRGO)。</p> <p>100: 比较 – OC1REF 信号被用于作为触发输出 (TRGO)。</p> <p>101: 比较 – OC2REF 信号被用于作为触发输出 (TRGO)。</p> <p>110: 比较 – OC3REF 信号被用于作为触发输出</p>

				(TRGO)。 111: 比较 – OC4REF 信号被用于作为触发输出 (TRGO)。
3:0	-	-	-	保留, 始终读为 0。

10.5.3. TIMx DMA/中断使能寄存器 (TIMx_DIER 偏移: 0x0C)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:9	-	-	-	保留, 始终读为 0。
8	UDE	RW	0x0	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。
7:1	-	-	-	保留, 始终读为 0。
0	UIE	RW	0x0	允许更新中断 (Update interrupt enable) 0: 禁止更新中断; 1: 允许更新中断。

10.5.4. TIMx 状态寄存器 (TIMx_SR 偏移: 0x10)

比特	名称	属性	复位值	描述
15: 1	-	-	-	保留，始终读为 0。
0	UIF	RW	0x0	<p>更新中断标记 (Update interrupt flag)</p> <p>当产生更新事件时该位由硬件置'1'。它由软件清'0'。</p> <p>0: 无更新事件产生;</p> <p>1: 更新中断等待响应。当寄存器被更新时该位由硬件置'1':</p> <ul style="list-style-type: none"> - 若 TIMx_CR1 寄存器的 UDIS=0, 当重复计数器数值上溢或下溢时(重复计数器=0 时产生更新事件)。 - 若 TIMx_CR1 寄存器的 URS=0、UDIS=0, 当设置 TIMx_EGR 寄存器的 UG=1 时产生更新事件, 通过软件对计数器 CNT 重新初始化时。 - 若 TIMx_CR1 寄存器的 URS=0、UDIS=0, 当计数器 CNT 被触发事件重新初始化时。

10.5.5. TIMx 事件产生寄存器 (TIMx_EGR 偏移: 0x14)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:1	-	-	-	保留, 始终读为 0。
0	UG	WO	0x0	<p>产生更新事件 (Update generation)</p> <p>该位由软件置'1', 由硬件自动清'0'。</p> <p>0: 无动作;</p> <p>1: 重新初始化计数器, 并产生一个更新事件。</p> <p>注意预分频器的计数器也被清'0'(但是预分频系数不变)。若在中心对称模式下或 DIR=0(向上计数)则计数器被清'0'; 若 DIR=1(向下计数)则计数器取 TIMx_ARR 的值。</p>

10.5.6. TIMx 计数器 (TIMx_CNT 偏移: 0x24)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	CNT	RW	0x0	计数器的值 (Counter value)

10.5.7. TIMx 预分频器 (TIMx_PSC 偏移: 0x28)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	PSC	RW	0x0	<p>预分频器的值 (Prescaler value)</p> <p>计数器的时钟频率(CK_CNT)等于 $f_{CK_PSC}/(PSC[15:0]+1)$。</p> <p>PSC 包含了每次当更新事件产生时，装入当前预分频器寄存器的值；更新事件包括计数器被 TIM_EGR 的 UG 位清'0'或被工作在复位模式的从控制器清'0'</p>

10.5.8. TIMx 自动重载寄存器 (TIMx_ARR 偏移: 0x2C)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	ARR	RW	0x0	自动重载的值 (Prescaler value) ARR 包含了将要装载入实际的自动重载寄存器的值。当自动重载的值为空时，计数器不工作。

11. 通用定时器（TIM14）

11.1. 概述

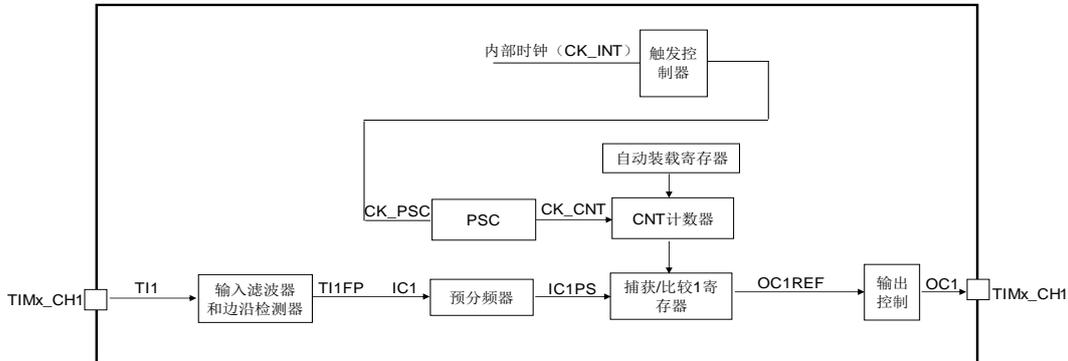
通用定时器 TIM14 由一个 16 位的自动装载计数器组成，它由一个可编程的预分频器驱动。它适合多种用途，包含测量输入信号的脉冲宽度(输入捕获)，或者产生输出波形(输出比较、PWM 等)。高级控制定时器和通用定时器是完全独立的，它们不共享任何资源，但它们可以同步操作。

11.2. 主要特性

- 16 位向上自动装载计数器
- 16 位可编程(可以实时修改)预分频器，计数器时钟频率的分频系数为 1~65536 之间的任意数值
- 1 个独立通道：
 - 输入捕获
 - 输出比较
 - PWM 生成
 - 单脉冲模式输出
 - 使用外部信号控制定时器和定时器互联的同步电路
 - 如下事件发生时产生中断/DMA：
 - 更新：计数器向上溢出/向下溢出，计数器初始化(通过软件或者内部/外部触发)
 - 触发事件(计数器启动、停止、初始化或者由内部/外部触发计数)
 - 输入捕获
 - 输出比较

11.3. 结构框图

图 11-1 通用定时器 TIM14 结构框图



11.4. 功能描述

11.4.1. 计数单元

请参考 TIM1 相应章节。

11.4.2. 预分频器

请参考 TIM1 相应章节。

11.4.3. 时钟源选择

计数器的时钟由内部时钟(CK_INT)提供。请参考 TIM1 相应章节。

11.4.4. 捕获比较通道

请参考 TIM1 相应章节。

11.4.5. 强制输出模式

请参考 TIM1 相应章节。

11.4.6. PWM 模式

请参考 TIM1 相应章节。

11.4.7. 单脉冲模式

请参考 TIM1 相应章节。

11.4.8. 定时器互连

请参考 TIM1 相应章节。

11.4.9. DMA 功能

请参考 TIM1 相应章节。

11.5. 寄存器描述

寄存器基地址：0x4000_2000

偏置	名称	描述
0x00	TIMx_CR1	TIMx 控制寄存器 1
0x04	-	保留
0x08	-	保留
0x0C	TIMx_DIER	TIMx DMA/中断使能寄存器
0x10	TIMx_SR	TIMx 状态寄存器
0x14	TIMx_EGR	TIMx 事件产生寄存器
0x18	TIMx_CCMR1	TIMx 捕获/比较模式寄存器 1
0x1C	-	保留
0x20	TIMx_CCER	TIMx 捕获/比较使能寄存器
0x24	TIMx_CNT	TIMx 计数器
0x28	TIMx_PSC	TIMx 预分频器
0x2C	TIMx_ARR	TIMx 自动装载寄存器
0x30	-	保留
0x34	TIMx_CCR1	TIMx 捕获比较寄存器 1

11.5.1. TIMx 控制寄存器 1 (TIMx_CR1 偏移: 0x00)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:10	-	-	-	保留, 读始终为 0。
9:8	CKD	RW	0x0	时钟分频因子 死区发生器和数字滤波器所用的采样时钟与定时器时钟 (CK_INT) 的分频比例。 00:tDTS=tCK_INT 01: tDTS=2 x tCK_INT 10: tDTS=4 x tCK_INT 11:保留
7	ARPE	RW	0x0	自动重载预装载允许位 0:TIMx_ARR 寄存器没有缓冲 1:TIMx_ARR 寄存器被装入缓冲器
6:3	-	-	-	保留, 读始终为 0。
2	URS	RW	0x0	更新请求源 软件通过该位选择 UEV 事件的源 0: 如果使能了更新中断或 DMA 请求, 则下述任一事件产生更新中断或 DMA 请求: - 计数器溢出/下溢 - 设置 UG 位 - 从模式控制器产生的更新 1: 如果使能了更新中断或 DMA 请求, 则只有计数器溢出/下溢才产生更新中断或 DMA 请求。
1	UDIS	RW	0x0	禁止更新 软件通过该位允许/禁止 UEV 事件的产生 0: 允许 UEV。更新(UEV)事件由下述任一事件产生: - 计数器溢出/下溢

				<ul style="list-style-type: none"> - 设置 UG 位 - 从模式控制器产生的更新 <p>具有缓存的寄存器被装入它们的预装载值。(译注：更新影子寄存器)</p> <p>1: 禁止 UEV。不产生更新事件，影子寄存器 (ARR、PSC、CCRx)保持它们的值。如果设置了 UG 位或从模式控制器发出了一个硬件复位，则计数器和预分频器被重新初始化。</p>
0	CEN	RW	0x0	<p>使能计数器</p> <p>0: 禁止计数器；</p> <p>1: 使能计数器。</p> <p>注：在软件设置了 CEN 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 CEN 位。</p>

11.5.2. TIMx DMA/中断使能寄存器 (TIMx_DIER 偏移: 0x0C)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:2	-	-	-	保留, 始终读为 0。
1	CC1IE	RW	0x0	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。
0	UIE	RW	0x0	允许更新中断 (Update interrupt enable) 0: 禁止更新中断; 1: 允许更新中断。

11.5.3. TIMx 状态寄存器 (TIMx_SR 偏移: 0x10)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:10	-	-	-	保留, 始终读为 0。
9	CC1OF	W0C	0x0	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_CCR1 寄存器时, CC1IF 的状态已经为'1'。
8:2	-	-	-	位 8 保留, 始终读为 0。
1	CC1IF	W0C	0x0	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: 当计数器值与比较值匹配时该位由硬件置 1, 但在中心对称模式下除外 (参考 TIMx_CR1 寄存器的 CMS 位)。它由软件清'0'。 0: 无匹配发生;

				<p>1: TIMx_CNT 的值与 TIMx_CCR1 的值匹配。</p> <p>当 TIMx_CCR1 的内容大于 TIMx_APR 的内容时，在向上或向上/下计数模式时计数器溢出，或向下计数模式时的计数器下溢条件下，CC1IF 位变高</p> <p>如果通道 CC1 配置为输入模式： 当捕获事件发生时该位由硬件置'1'，它由软件清'0'或通过读 TIMx_CCR1 清'0'。</p> <p>0: 无输入捕获产生；</p> <p>1: 计数器值已被捕获(拷贝)至 TIMx_CCR1(在 IC1 上检测到与所选极性相同的边沿)。</p>
0	UIF	W0C	0x0	<p>更新中断标记 (Update interrupt flag)</p> <p>当产生更新事件时该位由硬件置'1'。它由软件清'0'。</p> <p>0: 无更新事件产生；</p> <p>1: 更新中断等待响应。当寄存器被更新时该位由硬件置'1':</p> <ul style="list-style-type: none"> - 若 TIMx_CR1 寄存器的 UDIS=0，当重复计数器数值上溢或下溢时(重复计数器=0 时产生更新事件)。 - 若 TIMx_CR1 寄存器的 URS=0、UDIS=0，当设置 TIMx_EGR 寄存器的 UG=1 时产生更新事件，通过软件对计数器 CNT 重新初始化时。 - 若 TIMx_CR1 寄存器的 URS=0、UDIS=0，当计数器 CNT 被触发事件重新初始化时。

11.5.4. TIMx 事件产生寄存器 (TIMx_EGR 偏移: 0x14)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:2	-	-	-	保留，始终读为 0。
1	CC1G	WO	0x0	<p>产生捕获/比较 1 事件 (Capture/Compare 1 generation)</p> <p>该位由软件置'1'，用于产生一个捕获/比较事件，由硬件自动清'0'。</p> <p>0: 无动作；</p> <p>1: 在通道 CC1 上产生一个捕获/比较事件：若通道 CC1 配置为输出：设置 CC1IF=1，若开启对应的中断和 DMA，则产生相应的中断和 DMA。若通道 CC1 配置为输入：当前的计数器值被捕获至 TIMx_CCR1 寄存器；设置 CC1IF=1，若开启对应的中断和 DMA，则产生相应的中断和 DMA。若 CC1IF 已经为 1，则设置 CC1OF=1。</p>
0	UG	WO	0x0	<p>产生更新事件 (Update generation)</p> <p>该位由软件置'1'，由硬件自动清'0'。</p> <p>0: 无动作；</p> <p>1: 重新初始化计数器，并产生一个更新事件。</p> <p>注意预分频器的计数器也被清'0'(但是预分频系数不变)。若在中心对称模式下或 DIR=0(向上计数)则计数器被清'0'；若 DIR=1(向下计数)则计数器取 TIMx_ARR 的值。</p>

11.5.5. TIMx 捕获/比较模式寄存器 1 (TIMx_CCMR1 偏移: 0x18)

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 CCxS 位定义。该寄存器其它位的作用在输入和输出模式下不同。OCxx 描述了通道在输出模式下的功能，ICxx 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：

比特	名称	属性	复位值	描述
15:7	-	-	-	保留，始终读为 0。
6:4	OC1M	RW	0x0	<p>输出比较 1 模式 (Output Compare 1 mode)</p> <p>该 3 位定义了输出参考信号 OC1REF 的动作，而 OC1REF 决定了 OC1、OC1N 的值。OC1REF 是高电平有效，而 OC1、OC1N 的有效电平取决于 CC1P、CC1NP 位。</p> <p>000：冻结。输出比较寄存器 TIMx_CCR1 与计数器 TIMx_CNT 间的比较对 OC1REF 不起作用；</p> <p>001：匹配时设置通道 1 为有效电平。当计数器 TIMx_CNT 的值与捕获/比较寄存器 1 (TIMx_CCR1) 相同时，强制 OC1REF 为高。</p> <p>010：匹配时设置通道 1 为无效电平。当计数器 TIMx_CNT 的值与捕获/比较寄存器 1 (TIMx_CCR1) 相同时，强制 OC1REF 为低。</p> <p>011：翻转。当 TIMx_CCR1=TIMx_CNT 时，翻转 OC1REF 的电平。</p> <p>100：强制为无效电平。强制 OC1REF 为低。</p> <p>101：强制为有效电平。强制 OC1REF 为高。</p> <p>110：PWM 模式 1— 在向上计数时，一旦 TIMx_CNT<TIMx_CCR1 时通道 1 为有效电平，否则为无效电平；在向下计数时，一旦</p>

				<p>TIMx_CNT>TIMx_CCR1 时通道 1 为无效电平 (OC1REF=0), 否则为有效电平(OC1REF=1)。</p> <p>111: PWM 模式 2— 在向上计数时, 一旦 TIMx_CNT<TIMx_CCR1 时通道 1 为无效电平, 否则为有效电平; 在向下计数时, 一旦 TIMx_CNT>TIMx_CCR1 时通道 1 为有效电平, 否则为无效电平。</p> <p>注 1: 一旦 LOCK 级别设为 3(TIMx_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)并且 CC1S=00(该通道配置成输出)则该位不能被修改。</p> <p>注 2: 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, OC1REF 电平才改变。</p>
3	OC1PE	RW	0x0	<p>输出比较 1 预装载使能 (Output Compare 1 preload enable)</p> <p>0: 禁止 TIMx_CCR1 寄存器的预装载功能, 可随时写入 TIMx_CCR1 寄存器, 并且新写入的数值立即起作用。</p> <p>1: 开启 TIMx_CCR1 寄存器的预装载功能, 读写操作仅对预装载寄存器操作, TIMx_CCR1 的预装载值在更新事件到来时被加载至当前寄存器中。</p> <p>注 1: 一旦 LOCK 级别设为 3(TIMx_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)并且 CC1S=00(该通道配置成输出)则该位不能被修改。</p> <p>注 2: 仅在单脉冲模式下(TIMx_CR1 寄存器的 OPM=1), 可以在未确认预装载寄存器情况下使用 PWM 模式, 否则其动作不确定。</p>
2	OC1FE	RW	0x0	<p>输出比较 1 快速使能 (Output Compare 1 fast enable)</p> <p>该位用于加快 CC 输出对触发输入事件的响应。</p>

				<p>0: 根据计数器与 CCR1 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。</p> <p>1: 输入到触发器的有效沿的作用就象发生了一次比较匹配。因此, OC 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。OCFE 只在通道被配置成 PWM1 或 PWM2 模式时起作用。</p>
1:0	CC1S	RW	0x0	<p>捕获/比较 1 选择。(Capture/Compare 1 selection)</p> <p>这 2 位定义通道的方向(输入/输出), 及输入脚的选择:</p> <p>00: CC1 通道被配置为输出;</p> <p>01: CC1 通道被配置为输入, IC1 映射在 TI1 上;</p> <p>其它: 保留</p> <p>注: CC1S 仅在通道关闭时(TIMx_CCER 寄存器的 CC1E=0)才是可写的。</p>

输入捕获模式:

比特	名称	属性	复位值	描述
15:8	-	-	-	保留, 始终读为 0。
7:4	IC1F	RW	0x0	<p>输入捕获 1 滤波器 (Input capture 1 filter)</p> <p>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:</p> <p>0000: 无滤波器, 以 fDTS 采样</p> <p>1000: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/8, N=6</p> <p>0001: 采样频率 fSAMPLING=fCK_INT, N=2</p> <p>1001: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/8, N=8</p> <p>0010: 采样频率 fSAMPLING=fCK_INT, N=4</p> <p>1010: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/16, N=5</p> <p>0011: 采样频率 fSAMPLING=fCK_INT, N=8</p>

				<p>1011: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/16$, $N=6$</p> <p>0100: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/2$, $N=6$</p> <p>1100: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/16$, $N=8$</p> <p>0101: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/2$, $N=8$</p> <p>1101: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/32$, $N=5$</p> <p>0110: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/4$, $N=6$</p> <p>1110: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/32$, $N=6$</p> <p>0111: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/4$, $N=8$</p> <p>1111: 采样频率 $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}}/32$, $N=8$</p>
3:2	IC1PSC	RW	0x0	<p>输入/捕获 1 预分频器 (Input capture 1 prescaler)</p> <p>这 2 位定义了 CC1 输入(IC1)的预分频系数。一旦 $CC1E=0$(TIMx_CCER 寄存器中), 则预分频器复位。</p> <p>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;</p> <p>01: 每 2 个事件触发一次捕获;</p> <p>10: 每 4 个事件触发一次捕获;</p> <p>11: 每 8 个事件触发一次捕获。</p>
1:0	CC1S	RW	0x0	<p>捕获/比较 1 选择 (Capture/Compare 1 Selection)</p> <p>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;</p> <p>01: CC1 通道被配置为输入, IC1 映射在 TI1 上;</p> <p>其它: 保留</p> <p>注: CC1S 仅在通道关闭时(TIMx_CCER 寄存器的 $CC1E=0$)才是可写的。</p>

11.5.6. TIMx 捕获/比较使能寄存器 (TIMx_CCER 偏移: 0x20)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:4	-	-	-	保留, 始终读为 0。
3	CC1NP	RW	0x0	输入/捕获 1 互补输出极性 (Capture/Compare 1

				<p>complementary output polarity)</p> <p>0: OC1N 高电平有效;</p> <p>1: OC1N 低电平有效。</p> <p>CC1 通道配置为输入: 该位与 CC1P 结合使用以定义 TI1FP1 和 TI2FP1 的极性。参考 CC1P 的描述。</p> <p>注: 一旦 LOCK 级别(TIMx_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)设为 3 或 2 且 CC1S=00(通道配置为输出) 则该位不能被修改。</p>
2	-	-	-	保留, 始终读为 0。
1	CC1P	RW	0x0	<p>输入/捕获 1 输出</p> <p>极性 (Capture/Compare 1 output polarity) CC1 通道配置为输出:</p> <p>0: OC1 高电平有效;</p> <p>1: OC1 低电平有效。</p> <p>CC1 通道配置为输入: CC1NP/CC1P 位选择 TI1FP1 和 TI2FP1 的有效极性, 用于触发或捕获操作。</p> <p>00: 不反相/上升沿。在复位、外部时钟或触发模式下, 捕获或触发发生在 TIxFP1 的上升沿, 在门控模式或编码器模式下触发操作, TIxFP1 不反相。</p> <p>01: 反向/下降沿。在复位、外部时钟或触发模式下, 捕获或触发发生在 TIxFP1 的下降沿, 在门控模式或编码器模式下触发操作, TIxFP1 反相。</p> <p>10: 保留, 不使用此配置。</p> <p>11: 不反相/双边沿。在复位、外部时钟或触发模式下, 捕获或触发发生在 TIxFP1 的上升沿和下降沿, 在门控模式下触发操作, TIxFP1 不反相 (此配置不得在编码器模式下使用)</p> <p>注: 一旦 LOCK 级别(TIMx_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)设为 3 或 2, 则该位不能被修改。</p>

0	CC1E	RW	0x0	<p>输入/捕获 1 输出使能 (Capture/Compare 1 output enable) CC1 通道配置为输出：</p> <p>0： 关闭— OC1 禁止输出，因此 OC1 的输出电平依赖于 MOE、OSSI、OSSR、OIS1、OIS1N 和 CC1NE 位的值。</p> <p>1： 开启— OC1 信号输出到对应的输出引脚，其输出电平依赖于 MOE、OSSI、OSSR、OIS1、OIS1N 和 CC1NE 位的值。</p> <p>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_CCR1 寄存器。</p> <p>0： 捕获禁止；</p> <p>1： 捕获使能。</p>
---	------	----	-----	---

表格 11-1 标准 OCx 通道的输出控制位

CCxE 位	OCx 输出状态
0	输出禁止 (OCx=0, OCx_EN=0)
1	OCx=OCxREF + 极性, OCx_EN=1

11.5.7. TIMx 计数器 (TIMx_CNT 偏移: 0x24)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	CNT	RW	0x0	计数器的值 (Counter value)

11.5.8. TIMx 预分频器 (TIMx_PSC 偏移: 0x28)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	PSC	RW	0x0	<p>预分频器的值 (Prescaler value)</p> <p>计数器的时钟频率(CK_CNT)等于</p>

				<p>fCK_PSC/(PSC[15:0]+1)。</p> <p>PSC 包含了每次当更新事件产生时，装入当前预分频器寄存器的值；更新事件包括计数器被 TIM_EGR 的 UG 位清'0'或被工作在复位模式的从控制器清'0'</p>
--	--	--	--	--

11.5.9. TIMx 自动重载寄存器 (TIMx_ARR 偏移: 0x2C)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	ARR	RW	0x0	<p>自动重载的值 (Prescaler value)</p> <p>ARR 包含了将要装载入实际的自动重载寄存器的值。当自动重载的值为空时，计数器不工作。</p>

11.5.10. TIMx 捕获/比较寄存器 1 (TIMx_CCR1 偏移: 0x34)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	CCR1	RW	0x0	<p>捕获/比较通道 1 的值 (Capture/Compare 1 value)</p> <p>若 CC1 通道配置为输出：CCR1 包含了装入当前捕获/比较 1 寄存器的值(预装载值)。如果在 TIMx_CCMR1 寄存器(OC1PE 位)中未选择预装载功能，写入的数值会立即传输至当前寄存器中。否则只有当更新事件发生时，此预装载值才传输至当前捕获/比较 1 寄存器中。当前捕获/比较寄存器参与同计数器 TIMx_CNT 的比较，并在 OC1 端口上产生输出信号。若 CC1 通道配置为输入：CCR1 包含了由上一次输入捕获 1 事件(IC1)传输的计数器值。</p>

12. 通用定时器（TIM15/TIM16/TIM17）

12.1. 概述

通用定时器由 TIM15 一个 16 位的自动装载计数器组成，它由一个可编程的预分频器驱动。它适合多种用途，包含测量输入信号的脉冲宽度(输入捕获)，或者产生输出波形(输出比较、PWM、嵌入死区时间的互补 PWM 等)。使用定时器预分频器和系统时钟控制预分频器，可以实现脉冲宽度和波形周期从几个微秒到几个毫秒的调节。

12.2. 主要特性

- 16 位向上自动装载计数器
- 16 位可编程(可以实时修改)预分频器，计数器时钟频率的分频系数为 1~65536 之间的任意数值
- 1 个/2 个独立通道（TIM15 两个通道，TIM16 和 TIM17 各一个通道）：
 - 输入捕获
 - 输出比较
 - PWM 生成
 - 单脉冲模式输出
- 死区时间可编程的互补输出
- 使用外部信号控制定时器和定时器互联的同步电路
- 允许在指定数目的计数器周期之后更新定时器寄存器的重复计数器
- 刹车输入信号可以将定时器输出信号置于复位状态或者一个已知状态
- 如下事件发生时产生中断/DMA：
 - 更新：计数器向上溢出/向下溢出，计数器初始化(通过软件或者内部/外部触发)
 - 触发事件(计数器启动、停止、初始化或者由内部/外部触发计数)
 - 输入捕获
 - 输出比较
 - 刹车信号输入
- 触发输入作为外部时钟

12.3. 结构框图

图 12-1 通用定时器 TIM15 结构框图

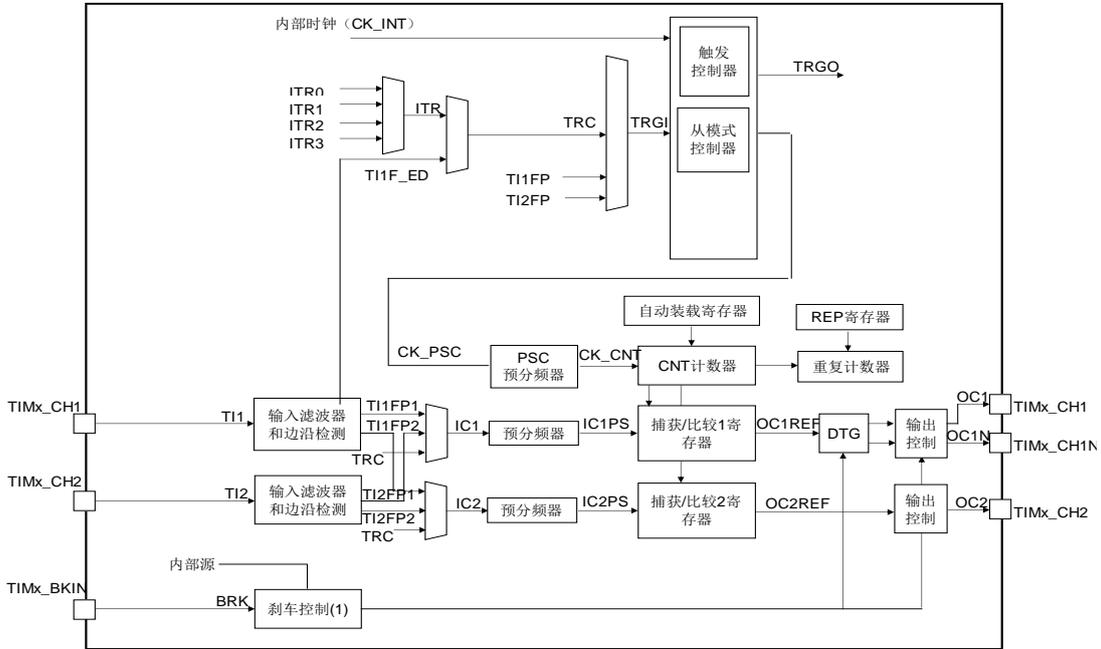
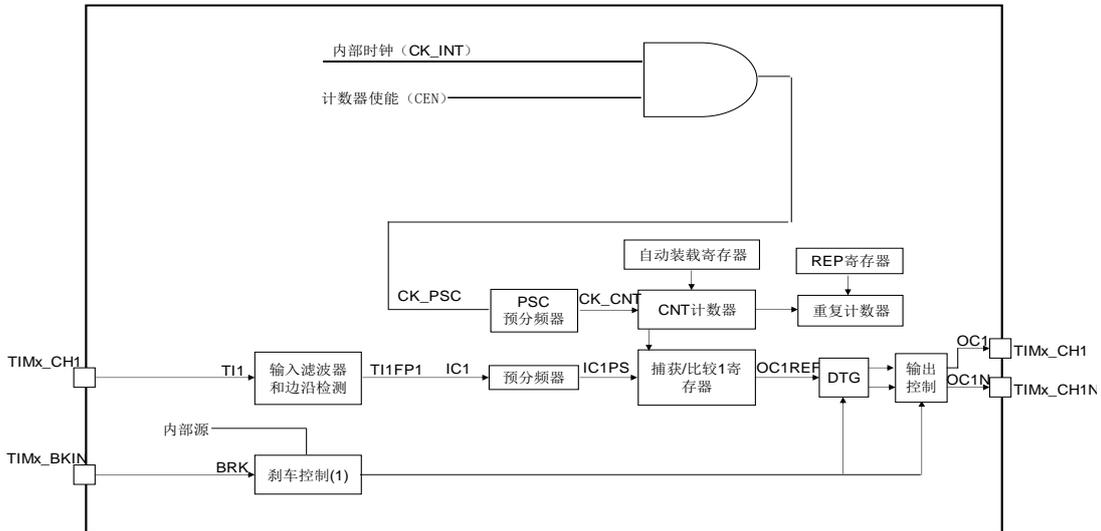


图 12-2 通用定时器 TIM16/TIM17 结构框图



12.4. 功能描述

12.4.1. 计数单元

请参考 TIM1 相应章节。

12.4.2. 预分频器

请参考 TIM1 相应章节。

12.4.3. 时钟源选择

请参考 TIM1 相应章节。

12.4.4. 捕获比较通道

请参考 TIM1 相应章节。

12.4.5. 强制输出模式

请参考 TIM1 相应章节。

12.4.6. PWM 模式

请参考 TIM1 相应章节。

12.4.7. 互补输出和死区插入

请参考 TIM1 相应章节。

12.4.8. 刹车功能

请参考 TIM1 相应章节。

12.4.9. 六步 PWM 输出

请参考 TIM1 相应章节。

12.4.10. 单脉冲模式

请参考 TIM1 相应章节。

12.4.11. 定时器互连

请参考 TIM1 相应章节。

12.4.12. DMA 功能

请参考 TIM1 相应章节。

12.5. 寄存器描述

寄存器基地址：

TIM15: 0x4001_4000

TIM16: 0x4001_4400

TIM17: 0x4001_4800

偏置	名称	描述
0x00	TIMx_CR1	TIMx 控制寄存器 1
0x04	TIMx_CR2	TIMx 控制寄存器 2
0x08	TIMx_SMCR	TIMx 从模式控制寄存器
0x0C	TIMx_DIER	TIMx DMA/中断使能寄存器
0x10	TIMx_SR	TIMx 状态寄存器
0x14	TIMx_EGR	TIMx 事件产生寄存器
0x18	TIMx_CCMR1	TIMx 捕获/比较模式寄存器 1
0x1C	-	保留
0x20	TIMx_CCER	TIMx 捕获/比较使能寄存器
0x24	TIMx_CNT	TIMx 计数器
0x28	TIMx_PSC	TIMx 预分频器
0x2C	TIMx_ARR	TIMx 自动装载寄存器
0x30	TIMx_RCR	TIMx 重复计数寄存器

0x34	TIMx_CCR1	TIMx 捕获比较寄存器 1
0x38	TIMx_CCR2	TIMx 捕获比较寄存器 2
0x3C	-	保留
0x40	-	保留
0x44	TIMx_BDTR	TIMx 刹车和死区控制寄存器
0x48	TIMx_DCR	TIMx DMA 控制寄存器
0x4C	TIMx_DMAR	TIMx 连续模式的 DMA 地址
0x60	TIMx_AF1	TIMx 复用功能选择寄存器
0x68	TIMx_TISEL	TIMx 输入选择寄存器
0x6C	TIMx_DBER	TIMx DMA 请求类型选择寄存器

12.5.1. TIMx 控制寄存器 1 (TIMx_CR1 偏移: 0x00)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:14	-	-	-	保留，读始终为 0。
13:10	BKF	RW	0000	<p>刹车滤波器 (Break filter)</p> <p>这几位定义了用于刹车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：</p> <p>0000: 无滤波器，以 fDTS 采样</p> <p>100: : 0: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/8, N=6</p> <p>0001: 采样频率 fSAMPLING=fCK_INT, N=2</p> <p>1001: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/8, N=8</p> <p>0010: 采样频率 fSAMPLING=fCK_INT, N=4</p> <p>1010: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/16, N=5</p> <p>0011: 采样频率 fSAMPLING=fCK_INT, N=8</p> <p>1011: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/16, N=6</p> <p>0100: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/2, N=6</p> <p>1100: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/16, N=8</p> <p>0101: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/2, N=8</p> <p>1101: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/32, N=5</p> <p>0110: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/4, N=6</p> <p>1110: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/32, N=6</p> <p>0111: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/4, N=8</p> <p>1111: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/32, N=8</p>
9:8	CKD	RW	0x0	<p>时钟分频因子</p> <p>死区发生器和数字滤波器所用的采样时钟与定时器时钟 (CK_INT) 的分频比例。</p> <p>00: tDTS=tCK_INT</p> <p>01: tDTS=2 x tCK_INT</p>

				10: tDTS=4 x tCK_INT 11:保留
7	ARPE	RW	0x0	自动重装载预装载允许位 0:TIMx_ARR 寄存器没有缓冲 1:TIMx_ARR 寄存器被装入缓冲器
6:4	-	-	-	保留，读始终为 0。
3	OPM	RW	0x0	单脉冲模式 0: 在发生更新事件时，计数器不停止； 1: 在发生下一次更新事件(清除 CEN 位)时，计数器停止。
2	URS	RW	0x0	更新请求源 软件通过该位选择 UEV 事件的源 0: 如果使能了更新中断或 DMA 请求，则下述任一事件产生更新中断或 DMA 请求： - 计数器溢出/下溢 - 设置 UG 位 - 从模式控制器产生的更新 1: 如果使能了更新中断或 DMA 请求，则只有计数器溢出/下溢才产生更新中断或 DMA 请求。
1	UDIS	RW	0x0	禁止更新 软件通过该位允许/禁止 UEV 事件的产生 0: 允许 UEV。更新(UEV)事件由下述任一事件产生： - 计数器溢出/下溢 - 设置 UG 位 - 从模式控制器产生的更新 具有缓存的寄存器被装入它们的预装载值。(译注：更新影子寄存器)

				<p>1: 禁止 UEV。不产生更新事件，影子寄存器 (ARR、PSC、CCR_x)保持它们的值。如果设置了 UG 位或从模式控制器发出了一个硬件复位，则计数器和预分频器被重新初始化。</p>
0	CEN	RW	0x0	<p>使能计数器</p> <p>0: 禁止计数器；</p> <p>1: 使能计数器。</p> <p>注：在软件设置了 CEN 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 CEN 位。</p>

12.5.2. TIMx 控制寄存器 2 (TIMx_CR2 偏移: 0x04)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:11	-	-	-	保留, 始终读为 0。
10	OIS2	RW	0x0	输出空闲状态 2(OC2 输出)。参见 OIS1 位。
9	OIS1N	RW	0x0	输出空闲状态 1(OC1N 输出) (Output Idle state 1) 0: 当 MOE=0 时, 死区后 OC1N=0; 1: 当 MOE=0 时, 死区后 OC1N=1。 注: 已经设置了 LOCK(TIMx_BKR 寄存器)级别 1、2 或 3 后, 该位不能被修改。
8	OIS1	RW	0x0	输出空闲状态 1(OC1 输出) (Output Idle state 1) 0: 当 MOE=0 时, 如果实现了 OC1N, 则死区后 OC1=0; 1: 当 MOE=0 时, 如果实现了 OC1N, 则死区后 OC1=1。注: 已经设置了 LOCK(TIMx_BKR 寄存器)级别 1、2 或 3 后, 该位不能被修改。
7	-	-	-	保留, 始终读为 0。
6:4	MMS	RW	0x0	主模式选择 (Master mode selection) 这 3 位用于选择在主模式下送到从定时器的同步信息 (TRGO)。可能的组合如下: 000: 复位 – TIMx_EGR 寄存器的 UG 位被用于作为触发输出(TRGO)。如果是触发输入产生的复位(从模式控制器处于复位模式), 则 TRGO 上的信号相对实际的复位会有一个延迟。 001: 使能– 计数器使能信号 CNT_EN 被用于作为触发输出(TRGO)。有时需要在同一时间启动多个定时器或控制在一段时间内使能从定时器。计数器使能信号是通过 CEN 控制位和门控模式下的触发输入信号的逻辑或产生。当计数器使能信号受控于触发输入时, TRGO 上会有一个延迟, 除非选择了主/从模式

				<p>(见 TIMx_SMCR 寄存器中 MSM 位的描述)。</p> <p>010: 更新 – 更新事件被选为触发输入(TRGO)。例如, 一个主定时器的时钟可以被用作一个从定时器的预分频器。</p> <p>011: 比较脉冲 – 在发生一次捕获或一次比较成功时, 当要设置 CC1IF 标志时(即使它已经为高), 触发输出送出一个正脉冲(TRGO)。</p> <p>100: 比较 – OC1REF 信号被用于作为触发输出 (TRGO)。</p> <p>101: 比较 – OC2REF 信号被用于作为触发输出 (TRGO)。</p> <p>110: 比较 – OC3REF 信号被用于作为触发输出 (TRGO)。</p> <p>111: 比较 – OC4REF 信号被用于作为触发输出 (TRGO)。</p>
3	CCDS	RW	0x0	<p>捕获/比较的 DMA 选择 (Capture/compare DMA selection)</p> <p>0: 当发生 CCx 事件时, 送出 CCx 的 DMA 请求;</p> <p>1: 当发生更新事件时, 送出 CCx 的 DMA 请求。</p>
2	CCUS	RW	0x0	<p>捕获/比较控制更新选择 (Capture/compare control update selection)</p> <p>0: 如果捕获/比较控制位是预装载的(CCPC=1), 只能通过设置 COM 位更新它们;</p> <p>1: 如果捕获/比较控制位是预装载的(CCPC=1), 可以通过设置 COM 位或 TRGI 上的一个上升沿更新它们。注: 该位只对具有互补输出的通道起作用。</p>
1	-	-	-	保留, 始终读为 0。
0	CCPC	RW	0x0	捕获/比较预装载控制位 (Capture/compare preloaded control)

				<p>0: CCxE, CCxNE 和 OCxM 位不是预装载的;</p> <p>1: CCxE, CCxNE 和 OCxM 位是预装载的;</p> <p>设置该位后, 它们只在设置了 COM 位后被更新。</p>
--	--	--	--	---

12.5.3. TIMx 从模式控制寄存器 (TIMx_SMCR 偏移: 0x08)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:8	-	-	-	保留, 始终读为 0。
7	MSM	RW	0x0	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。
6:4	TS	RW	0x0	触发选择 (Trigger selection) 这 3 位选择用于同步计数器的触发输入。 000: 保留 100: TI1 的边沿检测器(TI1F_ED) 001: 内部触发 1(ITR1) 101: 滤波后的定时器输入 1(TI1FP1) 010: 内部触发 2(ITR2) 110: 滤波后的定时器输入 2(TI2FP2) 011: 内部触发 3(ITR3) 111: 保留 注: 这些位只能在未用到(如 SMS=000)时被改变, 以避免在改变时产生错误的边沿检测。
3	-	-	-	保留, 始终读为 0。
2:0	SMS	RW	0x0	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) 000: 关闭从模式 – 如果 CEN=1, 则预分频器直接由内部时钟驱动。

				<p>001: 保留</p> <p>010: 保留</p> <p>011: 保留</p> <p>100: 复位模式 – 选中的触发输入(TRGI)的上升沿重新初始化计数器, 并且产生一个更新寄存器的信号。</p> <p>101: 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。</p> <p>110: 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。</p> <p>111: 外部时钟模式 1 – 选中的触发输入(TRGI)的上升沿驱动计数器。</p> <p>注: 如果 TI1F_EN 被选为触发输入(TS=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。</p>
--	--	--	--	---

表格 12-1 TIM15 从模式互联: ITRx

ITR0	RSV
ITR1	TIM3_TRGO
ITR2	TIM16_OC1
ITR3	TIM17_OC1

12.5.4. TIMx DMA/中断使能寄存器 (TIMx_DIER 偏移: 0x0C)

比特	名称	属性	复位值	描述
15	-	-	-	保留, 始终读为 0。
14	TDE	RW	0x0	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。
13:11	-	-	-	保留, 始终读为 0。

10	CC2DE	RW	0x0	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。
9	CC1DE	RW	0x0	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。
8	UDE	RW	0x0	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。
7	BIE	RW	0x0	允许刹车中断 (Break interrupt enable) 0: 禁止刹车中断; 1: 允许刹车中断。
6	TIE	RW	0x0	触发中断使能 (Trigger interrupt enable) 0: 禁止触发中断; 1: 使能触发中断。
5	COMIE	RW	0x0	允许 COM 中断 (COM interrupt enable) 0: 禁止 COM 中断; 1: 允许 COM 中断。
4:3	-	-	-	保留, 始终读为 0。
2	CC2IE	RW	0x0	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。
1	CC1IE	RW	0x0	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。

0	UIE	RW	0x0	<p>允许更新中断 (Update interrupt enable)</p> <p>0: 禁止更新中断;</p> <p>1: 允许更新中断。</p>
---	-----	----	-----	---

12.5.5. TIMx 状态寄存器 (TIMx_SR 偏移: 0x10)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:11	-	-	-	保留, 始终读为 0。
10	CC2OF	W0C	0x0	捕获/比较 2 重复捕获标记 (Capture/Compare 2 overcapture flag) 参见 CC1OF 描述。
9	CC1OF	W0C	0x0	<p>捕获/比较 1 重复捕获标记 (Capture/Compare 1 overcapture flag)</p> <p>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。</p> <p>0: 无重复捕获产生;</p> <p>1: 计数器的值被捕获到 TIMx_CCR1 寄存器时, CC1IF 的状态已经为'1'。</p>
8	-	-	-	位 8 保留, 始终读为 0。
7	BIF	W0C	0x0	<p>刹车中断标记 (Break interrupt flag)</p> <p>一旦刹车输入有效, 由硬件对该位置'1'。如果刹车输入无效, 则该位可由软件清'0'。</p> <p>0: 无刹车事件产生;</p> <p>1: 刹车输入上检测到有效电平。</p>
6	TIF	W0C	0x0	<p>触发器中断标记 (Trigger interrupt flag)</p> <p>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'。</p> <p>0: 无触发器事件产生;</p>

				1: 触发中断等待响应。
5	COMIF	W0C	0x0	COM 中断标记 (COM interrupt flag) 一旦产生 COM 事件(当捕获/比较控制位: CCxE、CCxNE、OCxM 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。
4:3	-	-	-	保留, 始终读为 0。
2	CC2IF	W0C	0x0	捕获/比较 2 中断标记 (Capture/Compare 2 interrupt flag) 参考 CC1IF 描述。
1	CC1IF	W0C	0x0	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: 当计数器值与比较值匹配时该位由硬件置 1, 但在中心对称模式下除外(参考 TIMx_CR1 寄存器的 CMS 位)。它由软件清'0'。 0: 无匹配发生; 1: TIMx_CNT 的值与 TIMx_CCR1 的值匹配。 当 TIMx_CCR1 的内容大于 TIMx_APR 的内容时, 在向上或向上/下计数模式时计数器溢出, 或向下计数模式时的计数器下溢条件下, CC1IF 位变高 如果通道 CC1 配置为输入模式: 当捕获事件发生时该位由硬件置'1', 它由软件清'0'或通过读 TIMx_CCR1 清'0'。 0: 无输入捕获产生; 1: 计数器值已被捕获(拷贝)至 TIMx_CCR1(在 IC1 上检测到与所选极性相同的边沿)。
0	UIF	W0C	0x0	更新中断标记 (Update interrupt flag) 当产生更新事件时该位由硬件置'1'。它由软件清'0'。

				<p>0: 无更新事件产生;</p> <p>1: 更新中断等待响应。当寄存器被更新时该位由硬件置'1':</p> <ul style="list-style-type: none">- 若 TIMx_CR1 寄存器的 UDIS=0, 当重复计数器数值上溢或下溢时(重复计数器=0 时产生更新事件)。- 若 TIMx_CR1 寄存器的 URS=0、UDIS=0, 当设置 TIMx_EGR 寄存器的 UG=1 时产生更新事件, 通过软件对计数器 CNT 重新初始化时。- 若 TIMx_CR1 寄存器的 URS=0、UDIS=0, 当计数器 CNT 被触发事件重新初始化时。
--	--	--	--	--

12.5.6. TIMx 事件产生寄存器 (TIMx_EGR 偏移: 0x14)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:8	-	-	-	位 15:8 保留, 始终读为 0。
7	BG	WO	0x0	产生刹车事件 (Break generation) 该位由软件置'1', 用于产生一个刹车事件, 由硬件自动清'0'。 0: 无动作; 1: 产生一个刹车事件。此时 MOE=0、BIF=1, 若开启对应的中断和 DMA, 则产生相应的中断和 DMA。
6	TG	WO	0x0	产生触发事件 (Trigger generation) 该位由软件置'1', 用于产生一个触发事件, 由硬件自动清'0'。 0: 无动作; 1: TIMx_SR 寄存器的 TIF=1, 若开启对应的中断和 DMA, 则产生相应的中断和 DMA。
5	COMG	WO	0x0	捕获/比较事件, 产生控制更新 (Capture/Compare control update generation) 该位由软件置'1', 由硬件自动清'0'。 0: 无动作; 1: 当 CCPC=1, 允许更新 CCxE、CCxNE、OCxM 位。注: 该位只对拥有互补输出的通道有效。
4:3	-	-	-	保留, 始终读为 0。
2	CC2G	WO	0x0	产生捕获/比较 2 事件 (Capture/Compare 2 generation) 参考 CC1G 描述。
1	CC1G	WO	0x0	产生捕获/比较 1 事件 (Capture/Compare 1 generation) 该位由软件置'1', 用于产生一个捕获/比较事件, 由硬件自动清'0'。

				<p>0: 无动作;</p> <p>1: 在通道 CC1 上产生一个捕获/比较事件: 若通道 CC1 配置为输出: 设置 CC1IF=1, 若开启对应的中断和 DMA, 则产生相应的中断和 DMA。若通道 CC1 配置为输入: 当前的计数器值被捕获至 TIMx_CCR1 寄存器; 设置 CC1IF=1, 若开启对应的中断和 DMA, 则产生相应的中断和 DMA。若 CC1IF 已经为 1, 则设置 CC1OF=1。</p>
0	UG	WO	0x0	<p>产生更新事件 (Update generation)</p> <p>该位由软件置'1', 由硬件自动清'0'。</p> <p>0: 无动作;</p> <p>1: 重新初始化计数器, 并产生一个更新事件。</p> <p>注意预分频器的计数器也被清'0'(但是预分频系数不变)。若在中心对称模式下或 DIR=0(向上计数)则计数器被清'0'; 若 DIR=1(向下计数)则计数器取 TIMx_ARR 的值。</p>

12.5.7. TIMx 捕获/比较模式寄存器 1 (TIMx_CCMR1 偏移: 0x18)

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 CCxS 位定义。该寄存器其它位的作用在输入和输出模式下不同。OCxx 描述了通道在输出模式下的功能, ICxx 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:

比特	名称	属性	复位值	描述
15	-	-	-	保留, 读始终为 0。
14:12	OC2M	RW	0x0	输出比较 2 模式 (Output Compare 2 mode)
11	OC2PE	RW	0x0	输出比较 2 预装载使能 (Output Compare 2 preload enable)
10	OC2FE	RW	0x0	输出比较 2 快速使能 (Output Compare 2 fast enable)

9:8	CC2S	RW	0x0	<p>捕获/比较 2 选择。(Capture/Compare 2 selection)</p> <p>该位定义通道的方向(输入/输出), 及输入脚的选择:</p> <p>00: CC2 通道被配置为输出;</p> <p>01: CC2 通道被配置为输入, IC2 映射在 TI2 上;</p> <p>10: CC2 通道被配置为输入, IC2 映射在 TI1 上;</p> <p>11: CC2 通道被配置为输入, IC2 映射在 TRC 上。</p> <p>此模式仅工作在内部触发器输入被选中时(由 TIMx_SMCR 寄存器的 TS 位选择)。</p> <p>注: CC2S 仅在通道关闭时(TIMx_CCER 寄存器的 CC2E=0)才是可写的。</p>
7	-	-	-	保留, 读始终为 0。
6:4	OC1M	RW	0x0	<p>输出比较 1 模式 (Output Compare 1 mode)</p> <p>该 3 位定义了输出参考信号 OC1REF 的动作, 而 OC1REF 决定了 OC1、OC1N 的值。OC1REF 是高电平有效, 而 OC1、OC1N 的有效电平取决于 CC1P、CC1NP 位。</p> <p>000: 冻结。输出比较寄存器 TIMx_CCR1 与计数器 TIMx_CNT 间的比较对 OC1REF 不起作用;</p> <p>001: 匹配时设置通道 1 为有效电平。当计数器 TIMx_CNT 的值与捕获/比较寄存器 1 (TIMx_CCR1) 相同时, 强制 OC1REF 为高。</p> <p>010: 匹配时设置通道 1 为无效电平。当计数器 TIMx_CNT 的值与捕获/比较寄存器 1 (TIMx_CCR1) 相同时, 强制 OC1REF 为低。</p> <p>011: 翻转。当 TIMx_CCR1=TIMx_CNT 时, 翻转 OC1REF 的电平。</p> <p>100: 强制为无效电平。强制 OC1REF 为低。</p> <p>101: 强制为有效电平。强制 OC1REF 为高。</p> <p>110: PWM 模式 1— 在向上计数时, 一旦</p>

				<p>TIMx_CNT<TIMx_CCR1 时通道 1 为有效电平，否则为无效电平；在向下计数时，一旦</p> <p>TIMx_CNT>TIMx_CCR1 时通道 1 为无效电平(OC1REF=0)，否则为有效电平(OC1REF=1)。</p> <p>111: PWM 模式 2— 在向上计数时，一旦</p> <p>TIMx_CNT<TIMx_CCR1 时通道 1 为无效电平，否则为有效电平；在向下计数时，一旦</p> <p>TIMx_CNT>TIMx_CCR1 时通道 1 为有效电平，否则为无效电平。</p> <p>注 1: 一旦 LOCK 级别设为 3(TIMx_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)并且 CC1S=00(该通道配置成输出)则该位不能被修改。</p> <p>注 2: 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，OC1REF 电平才改变。</p>
3	OC1PE	RW	0x0	<p>输出比较 1 预装载使能 (Output Compare 1 preload enable)</p> <p>0: 禁止 TIMx_CCR1 寄存器的预装载功能，可随时写入 TIMx_CCR1 寄存器，并且新写入的数值立即起作用。</p> <p>1: 开启 TIMx_CCR1 寄存器的预装载功能，读写操作仅对预装载寄存器操作，TIMx_CCR1 的预装载值在更新事件到来时被加载至当前寄存器中。</p> <p>注 1: 一旦 LOCK 级别设为 3(TIMx_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)并且 CC1S=00(该通道配置成输出)则该位不能被修改。</p> <p>注 2: 仅在单脉冲模式下(TIMx_CR1 寄存器的 OPM=1)，可以在未确认预装载寄存器情况下使用 PWM 模式，否则其动作不确定。</p>

2	OC1FE	RW	0x0	<p>输出比较 1 快速使能 (Output Compare 1 fast enable)</p> <p>该位用于加快 CC 输出对触发输入事件的响应。</p> <p>0: 根据计数器与 CCR1 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。</p> <p>1: 输入到触发器的有效沿的作用就象发生了一次比较匹配。因此, OC 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。OCFE 只在通道被配置成 PWM1 或 PWM2 模式时起作用。</p>
1:0	CC1S	RW	0x0	<p>捕获/比较 1 选择。(Capture/Compare 1 selection)</p> <p>这 2 位定义通道的方向(输入/输出), 及输入脚的选择:</p> <p>00: CC1 通道被配置为输出;</p> <p>01: CC1 通道被配置为输入, IC1 映射在 TI1 上;</p> <p>10: CC1 通道被配置为输入, IC1 映射在 TI2 上;</p> <p>11: CC1 通道被配置为输入, IC1 映射在 TRC 上。</p> <p>此模式仅工作在内部触发器输入被选中时(由 TIMx_SMCR 寄存器的 TS 位选择)。</p> <p>注: CC1S 仅在通道关闭时(TIMx_CCER 寄存器的 CC1E=0)才是可写的。</p>

输入捕获模式:

比特	名称	属性	复位值	描述
15:12	IC2F	RW	0x0	输入捕获 2 滤波器 (Input capture 2 filter)
11:10	IC2PSC	RW	0x0	输入/捕获 2 预分频器 (Input capture 2 prescaler)
9:8	CC2S	RW	0x0	<p>捕获/比较 2 选择 (Capture/Compare 2 selection)</p> <p>这 2 位定义通道的方向(输入/输出), 及输入脚的选择:</p> <p>00: CC2 通道被配置为输出;</p> <p>01: CC2 通道被配置为输入, IC2 映射在 TI2 上;</p>

				<p>10: CC2 通道被配置为输入, IC2 映射在 TI1 上;</p> <p>11: CC2 通道被配置为输入, IC2 映射在 TRC 上。</p> <p>此模式仅工作在内部触发器输入被选中时(由 TIMx_SMCR 寄存器的 TS 位选择)。</p> <p>注: CC2S 仅在通道关闭时(TIMx_CCER 寄存器的 CC2E=0)才是可写的。</p>
7:4	IC1F	RW	0x0	<p>输入捕获 1 滤波器 (Input capture 1 filter)</p> <p>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:</p> <p>0000: 无滤波器, 以 fDTS 采样</p> <p>1000: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/8, N=6</p> <p>0001: 采样频率 fSAMPLING=fCK_INT, N=2</p> <p>1001: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/8, N=8</p> <p>0010: 采样频率 fSAMPLING=fCK_INT, N=4</p> <p>1010: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/16, N=5</p> <p>0011: 采样频率 fSAMPLING=fCK_INT, N=8</p> <p>1011: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/16, N=6</p> <p>0100: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/2, N=6</p> <p>1100: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/16, N=8</p> <p>0101: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/2, N=8</p> <p>1101: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/32, N=5</p> <p>0110: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/4, N=6</p> <p>1110: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/32, N=6</p> <p>0111: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/4, N=8</p> <p>1111: 采样频率 fSAMPLING=fDTS/32, N=8</p>
3:2	IC1PSC	RW	0x0	<p>输入/捕获 1 预分频器 (Input capture 1 prescaler)</p> <p>这 2 位定义了 CC1 输入(IC1)的预分频系数。一旦 CC1E=0(TIMx_CCER 寄存器中), 则预分频器复位。</p>

				<p>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;</p> <p>01: 每 2 个事件触发一次捕获;</p> <p>10: 每 4 个事件触发一次捕获;</p> <p>11: 每 8 个事件触发一次捕获。</p>
1:0	CC1S	RW	0x0	<p>捕获/比较 1 选择 (Capture/Compare 1 Selection)</p> <p>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;</p> <p>01: CC1 通道被配置为输入, IC1 映射在 TI1 上;</p> <p>10: CC1 通道被配置为输入, IC1 映射在 TI2 上;</p> <p>11: CC1 通道被配置为输入, IC1 映射在 TRC 上。</p> <p>此模式仅工作在内部触发器输入被选中时(由 TIMx_SMCR 寄存器的 TS 位选择)。</p>

12.5.8. TIMx 捕获/比较使能寄存器 (TIMx_CCER 偏移: 0x20)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:8	-	-	-	保留, 始终读为 0。
7	CC2NP	RW	0x0	输入/捕获 2 互补输出极性 (Capture/Compare 2 complementary output polarity) 参考 CC1NP 的描述。
6	-	-	-	保留, 始终读为 0。
5	CC2P	RW	0x0	输入/捕获 2 输出极性 (Capture/Compare 2 output polarity) 参考 CC1P 的描述。
4	CC2E	RW	0x0	输入/捕获 2 输出使能 (Capture/Compare 2 output enable) 参考 CC1E 的描述。
3	CC1NP	RW	0x0	<p>输入/捕获 1 互补输出极性 (Capture/Compare 1 complementary output polarity)</p> <p>0: OC1N 高电平有效;</p> <p>1: OC1N 低电平有效。</p>

				<p>CC1 通道配置为输入：该位与 CC1P 结合使用以定义 TI1FP1 和 TI2FP1 的极性。参考 CC1P 的描述。</p> <p>注：一旦 LOCK 级别(TIMx_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)设为 3 或 2 且 CC1S=00(通道配置为输出) 则该位不能被修改。</p>
2	CC1NE	RW	0x0	<p>输入/捕获 1 互补输出使能 (Capture/Compare 1 complementary output enable)</p> <p>0: 关闭— OC1N 禁止输出，因此 OC1N 的电平依赖于 MOE、OSSI、OSSR、OIS1、OIS1N 和 CC1E 位的值。</p> <p>1: 开启— OC1N 信号输出到对应的输出引脚，其输出电平依赖于 MOE、OSSI、OSSR、OIS1、OIS1N 和 CC1E 位的值。</p>
1	CC1P	RW	0x0	<p>输入/捕获 1 输出极性 (Capture/Compare 1 output polarity) CC1 通道配置为输出：</p> <p>0: OC1 高电平有效；</p> <p>1: OC1 低电平有效。</p> <p>CC1 通道配置为输入： CC1NP/CC1P 位选择 TI1FP1 和 TI2FP1 的有效极性，用于触发或捕获操作。</p> <p>00: 不反相/上升沿。在复位、外部时钟或触发模式下，捕获或触发发生在 TIxFP1 的上升沿，在门控模式或编码器模式下触发操作，TIxFP1 不反相。</p> <p>01: 反向/下降沿。在复位、外部时钟或触发模式下，捕获或触发发生在 TIxFP1 的下降沿，在门控模式或编码器模式下触发操作，TIxFP1 反相。</p> <p>10: 保留，不使用此配置。</p> <p>11: 不反相/双边沿。在复位、外部时钟或触发模式下，捕获或触发发生在 TIxFP1 的上升沿和下降沿，</p>

				<p>在门控模式下触发操作，TIxFP1 不反相（此配置不得在编码器模式下使用）</p> <p>注：一旦 LOCK 级别(TIMx_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)设为 3 或 2，则该位不能被修改。</p>
0	CC1E	RW	0x0	<p>输入/捕获 1 输出使能 (Capture/Compare 1 output enable) CC1 通道配置为输出：</p> <p>0： 关闭— OC1 禁止输出，因此 OC1 的输出电平依赖于 MOE、OSSI、OSSR、OIS1、OIS1N 和 CC1NE 位的值。</p> <p>1： 开启— OC1 信号输出到对应的输出引脚，其输出电平依赖于 MOE、OSSI、OSSR、OIS1、OIS1N 和 CC1NE 位的值。</p> <p>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_CCR1 寄存器。</p> <p>0： 捕获禁止；</p> <p>1： 捕获使能。</p>

表 12-1 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	
MOE 位	OSSI 位	OSSR 位	CCxE 位	CCxNE 位	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 ⊕ CCxNP OCxN_EN=1
		0	1	0	OCxREF + 极性， OCx=OCxREF ⊕	输出禁止（与定时器断开） OCxN=0, OCxN_EN=0

					CCxP OCx_EN=1	
		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 ⊕ CCxNP, OCxN_EN=1
		1	1	0	OCxREF + 极性, OCx=OCxREF ⊕ CCxP, OCxN_EN=1	关闭状态(输出使能且为无效电平) OCxN=CCxNP, OCx_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	X	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
	0		0	1	输出禁止 (与定时器断开)	
	0		1	0	异步地: OCx=CCxP, OCx_EN=0, OCxN=CCxNP, OCxN_EN=0,	
	0		1	1	若时钟存在: 经过一个死区时间后, OCx=OISx, OCxN=OISx, 假设 OISx 和 OISxN 并不都对应 OCx 和 OCxN 的有效	

					电平
	1		0	0	输出禁止（与定时器断开） OCx=CCxP, OCx_EN=0
	1		0	1	关闭状态（输出使能且为无效电平）
	1		1	0	异步地：OCx=CCxP, OCx_EN=1, OCxN=CCxNP, OCxN_EN=1,
	1		1	1	若时钟存在：经过一个死区时间后 OCx=OISx, OCxN=OISxN, 假设 OISx 与 OISxN 并不都对应 OCx 和 OCxN 的有效电平。

12.5.9. TIMx 计数器（TIMx_CNT 偏移：0x24）

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	CNT	RW	0x0	计数器的值 (Counter value)

12.5.10. TIMx 预分频器 (TIMx_PSC 偏移: 0x28)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	PSC	RW	0x0	<p>预分频器的值 (Prescaler value)</p> <p>计数器的时钟频率(CK_CNT)等于 $f_{CK_PSC}/(PSC[15:0]+1)$。</p> <p>PSC 包含了每次当更新事件产生时，装入当前预分频器寄存器的值；更新事件包括计数器被 TIM_EGR 的 UG 位清'0'或被工作在复位模式的从控制器清'0'</p>

12.5.11. TIMx 自动重载寄存器 (TIMx_ARR 偏移: 0x2C)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	ARR	RW	0x0	<p>自动重载的值 (Prescaler value)</p> <p>ARR 包含了将要装载入实际的自动重载寄存器的值。当自动重载的值为空时，计数器不工作。</p>

12.5.12. TIMx 重复计数寄存器 (TIMx_RCR 偏移: 0x30)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:8	-	-	-	位 15:8 保留, 始终读为 0。
7:0	REP	RW	0x0	<p>重复计数器的值 (Repetition counter value)</p> <p>开启了预装载功能后, 这些位允许用户设置比较寄存器的更新速率(即周期性地从预装载寄存器传输到当前寄存器); 如果允许产生更新中断, 则会同时影响产生更新中断的速率。 每次向下计数器 REP_CNT 达到 0, 会产生一个更新事件并且计数器 REP_CNT 重新从 REP 值开始计数。由于 REP_CNT 只有在周期更新事件 U_RC 发生时才重载 REP 值, 因此对 TIMx_RCR 寄存器写入的新值只在下次周期更新事件发生时才起作用。 这意味着在 PWM 模式中, (REP+1)对应着:</p> <ul style="list-style-type: none"> — 在边沿对齐模式下, PWM 周期的数目; — 在中心对称模式下, PWM 半周期的数目;

12.5.13. TIMx 捕获/比较寄存器 1 (TIMx_CCR1 偏移: 0x34)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	CCR1	RW	0x0	<p>捕获/比较通道 1 的值 (Capture/Compare 1 value)</p> <p>若 CC1 通道配置为输出: CCR1 包含了装入当前捕获/比较 1 寄存器的值(预装载值)。如果在 TIMx_CCMR1 寄存器(OC1PE 位)中未选择预装载功能, 写入的数值会立即传输至当前寄存器中。否则只有当更新事件发生时, 此预装载值才传输至当前捕获/比较 1 寄存器中。当前捕获/比较寄存器参与同计数器 TIMx_CNT 的比较, 并在 OC1 端口上产生输出信号。若 CC1 通道配置为输入: CCR1 包含了由上一次输入捕获 1 事件(IC1)传输的计数器值。</p>

12.5.14. TIMx 捕获/比较寄存器 2 (TIMx_CCR2 偏移: 0x38)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	CCR2	RW	0x0	<p>捕获/比较通道 2 的值 (Capture/Compare 2 value)</p> <p>若 CC2 通道配置为输出: CCR2 包含了装入当前捕获/比较 2 寄存器的值(预装载值)。如果在 TIMx_CCMR2 寄存器(OC2PE 位)中未选择预装载特性, 写入的数值会立即传输至当前寄存器中。否则只有当更新事件发生时, 此预装载值才传输至当前捕获/比较 2 寄存器中。当前捕获/比较寄存器参与同计数器 TIMx_CNT 的比较, 并在 OC2 端口上产生输出信号。若 CC2 通道配置为输入: CCR2 包含了由上一次输入捕获 2 事件(IC2)传输的计数器值。</p>

12.5.15. TIMx 刹车和死区寄存器 (TIMx_BDTR 偏移: 0x44)

比特	名称	属性	复位值	描述
15	MOE	RW	0x0	<p>主输出使能 (Main output enable)</p> <p>一旦刹车输入有效, 该位被硬件异步清'0'。根据 AOE 位的设置值, 该位可以由软件清'0'或被自动置1。它仅对配置为输出的通道有效。</p> <p>0: 禁止 OC 和 OCN 输出或强制为空闲状态;</p> <p>1: 如果设置了相应的使能位(TIMx_CCER 寄存器的 CCxE、CCxNE 位), 则开启 OC 和 OCN 输出。</p>
14	AOE	RW	0x0	<p>自动输出使能 (Automatic output enable)</p> <p>0: MOE 只能被软件置'1';</p> <p>1: MOE 能被软件置'1'或在下一个更新事件被自动置'1'(如果刹车输入无效)。</p> <p>注: 一旦 LOCK 级别(TIMx_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)设为'1', 则该位不能被修改。</p>
13	BKP	RW	0x0	<p>刹车输入极性 (Break polarity)</p> <p>0: 刹车输入低电平有效;</p> <p>1: 刹车输入高电平有效。</p> <p>注: 一旦 LOCK 级别(TIMx_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)设为'1', 则该位不能被修改。</p> <p>注: 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。</p>
12	BKE	RW	0x0	<p>刹车功能使能 (Break enable)</p> <p>0: 禁止刹车输入(BRK 及 CCS 时钟失效事件);</p> <p>1: 开启刹车输入(BRK 及 CCS 时钟失效事件)。</p> <p>注: 当设置了 LOCK 级别 1 时(TIMx_BDTR 寄存器中的 LOCK 位), 该位不能被修改。</p> <p>注: 任何对该位的写操作都需要一个 APB 时钟的延</p>

				迟以后才能起作用。
11	OSSR	RW	0x0	<p>运行模式下“关闭状态”选择 (Off-state selection for Run mode)</p> <p>该位用于当 MOE=1 且通道为互补输出时。没有互补输出的定时器中不存在 OSSR 位。参考 OC/OCN 使能的详细说明。</p> <p>0: 当定时器不工作时, 禁止 OC/OCN 输出(OC/OCN 使能输出信号=0);</p> <p>1: 当定时器不工作时, 一旦 CCxE=1 或 CCxNE=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。</p> <p>注: 一旦 LOCK 级别(TIMx_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)设为 2, 则该位不能被修改。</p>
10	OSSI	RW	0x0	<p>空闲模式下“关闭状态”选择 (Off-state selection for Idle mode)</p> <p>该位用于当 MOE=0 且通道设为输出时。参考 OC/OCN 使能的详细说明。</p> <p>0: 当定时器不工作时, 禁止 OC/OCN 输出(OC/OCN 使能输出信号=0);</p> <p>1: 当定时器不工作时, 一旦 CCxE=1 或 CCxNE=1, OC/OCN 首先输出其空闲电平, 然后 OC/OCN 使能输出信号=1。</p> <p>注: 一旦 LOCK 级别(TIMx_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)设为 2, 则该位不能被修改。</p>
9:8	LOCK	RW	0x0	<p>锁定设置 (Lock configuration) 该位为防止软件错误而提供写保护。</p> <p>00: 锁定关闭, 寄存器无写保护;</p> <p>01: 锁定级别 1, 不能写入 TIMx_BDTR 寄存器的 DTG、BKE、BKP、AOE 位和 TIMx_CR2 寄存器的</p>

				<p>OISx/OISxN 位;</p> <p>10: 锁定级别 2, 不能写入锁定级别 1 中的各位, 也不能写入 CC 极性位(一旦相关通道通过 CCxS 位设为输出, CC 极性位是 TIMx_CCER 寄存器的 CCxP/CCNxP 位)以及 OSSR/OSSI 位;</p> <p>11: 锁定级别 3, 不能写入锁定级别 2 中的各位, 也不能写入 CC 控制位(一旦相关通道通过 CCxS 位设为输出, CC 控制位是 TIMx_CCMRx 寄存器的 OCxM/OCxPE 位);</p> <p>注: 在系统复位后, 只能写一次 LOCK 位, 一旦写入 TIMx_BDTR 寄存器, 则其内容冻结直至复位。</p>
7:0	UTG	RW	0x0	<p>死区发生器设置 (Dead-time generator setup)</p> <p>这些位定义了插入互补输出之间的死区持续时间。</p> <p>假设 DT 表示其持续时间:</p> <p>$DTG[7:5]=0xx \Rightarrow DT=DTG[7:0] \times Tdtg, Tdtg = TDTs;$</p> <p>$DTG[7:5]=10x \Rightarrow DT=(64+DTG[5:0]) \times Tdtg, Tdtg = 2 \times TDTs;$</p> <p>$DTG[7:5]=110 \Rightarrow DT=(32+DTG[4:0]) \times Tdtg, Tdtg = 8 \times TDTs;$</p> <p>$DTG[7:5]=111 \Rightarrow DT=(32+DTG[4:0]) \times Tdtg, Tdtg = 16 \times TDTs;$</p> <p>例: 若 $TDTs = 125ns(8MHZ)$, 可能的死区时间为:</p> <p>0 到 15875ns, 若步长时间为 125ns;</p> <p>16us 到 31750ns, 若步长时间为 250ns;</p> <p>32us 到 63us, 若步长时间为 1us;</p> <p>64us 到 126us, 若步长时间为 2us;</p> <p>注: 一旦 LOCK 级别(TIMx_BDTR 寄存器中的 LOCK 位)设为 1、2 或 3, 则不能修改这些位。</p>

12.5.16. TIMx DMA 控制寄存器 (TIMx_DCR 偏移: 0x48)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:13	-	-	-	位 15:13 保留, 始终读为 0。
12:8	DBL	RW	0x0	<p>DMA 连续传送长度 (DMA burst length)</p> <p>这些位定义了 DMA 在连续模式下的传送长度(当对 TIMx_DMAR 寄存器进行读或写时, 定时器则进行一次连续传送), 即: 定义传输的次数, 传输可以是半字(双字节)或字节:</p> <p>00000: 1 次传输</p> <p>00001: 2 次传输</p> <p>00010: 3 次传输</p> <p>.....</p> <p>10001: 18 次传输</p> <p>例: 我们考虑这样的传输: DBL=7,</p> <p>DBA=TIM15_CR1 - 如果 DBL=7, DBA=TIM15_CR1 表示待传输数据的地址, 那么传输的地址由下式给出: (TIMx_CR1 的地址)+DBA+(DMA 索引), 其中 DMA 索引 = DBL 其中(TIMx_CR1 的地址)+DBA 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_CR1 的地址)+DBA 开始的 7 个寄存器。</p> <p>根据 DMA 数据长度的设置, 可能发生以下情况:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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。
7:5	-	-	-	位 7:5 保留，始终读为 0。
4:0	DBA	RW	0x0	<p>这些位定义了 DMA 在连续模式下的基地址(当对 TIMx_DMAR 寄存器进行读或写时)，DBA 定义为从 TIMx_CR1 寄存器所在地址开始的偏移量：</p> <p>00000: TIMx_CR1,</p> <p>00001: TIMx_CR2,</p> <p>00010: TIMx_SMCR,</p> <p>...</p>

12.5.17. TIMx 连续模式的 DMA 地址 (TIMx_DMAR 偏移: 0x4C)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	DMAB	RW	0x0	<p>DMA 连续传送寄存器 (DMA register for burst accesses)</p> <p>对 TIMx_DMAR 寄存器的读或写会导致对以下地址所在寄存器的存取操作: TIMx_CR1 地址 + DBA + DMA 索引, 其中: “TIMx_CR1 地址”是控制寄存器 1(TIMx_CR1)所在的地址; “DBA”是 TIMx_DCR 寄存器中定义的基地址; “DMA 索引”是由 DMA 自动控制的偏移量, 它取决于 TIMx_DCR 寄存器中定义的 DBL。</p>

12.5.18. TIMx 复用功能选择寄存器 (TIMx_AF1 偏移: 0x60)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:14	ETRSEL	RW	0x0	ETR 输入源选择 00: GPIO 01: COMP1 10: COMP2 11: AWD
13:12	-	-	-	保留, 始终为 0。
11	BKCMP2P	RW	0x0	比较器 2 输入极性控制 0: 不反相 1: 被反相
10	BKCMP1P	RW	0x0	比较器 1 输入极性控制 0: 不反相 1: 被反相
9	BKINP	RW	0x0	刹车输入极性控制 0: 不反相 1: 被反相
8:3	-	-	-	保留, 始终为 0。
2	BKCMP2E	RW	0x0	比较器 2 输入使能控制 0: 禁止 1: 使能
1	BKCMP1E	RW	0x0	比较器 1 输入使能控制 0: 禁止 1: 使能
0	BKINE	RW	0x0	刹车输入使能控制 0: 禁止 1: 使能

12.5.19. TIMx 输入选择寄存器 (TIMx_TISEL 偏移: 0x68)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:9	-	-	-	保留, 始终为 0。
8	T2SEL	RW	0x0	TI2 输入选择 0: TIM_CH2 1: COMP2
7:1	-	-	-	保留, 始终为 0。
0	T1SEL	RW	0x0	TI1 输入选择 0: TIM_CH1 1: COMP1

12.5.20. TIMx DMA 请求类型选择寄存器 (TIMx_DBER 偏移: 0x6C)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:7	-	-	-	保留, 始终读为 0。
6	TBE	RW	0x0	触发事件的 DMA 请求类型 0: Single; 1: Burst;
5	COMBE	RW	0x0	COM 事件的 DMA 请求类型 0: Single; 1: Burst;
4	CC4BE	RW	0x0	捕获/比较 4 事件的 DMA 请求类型 0: Single; 1: Burst;
3	CC3BE	RW	0x0	捕获/比较 3 事件的 DMA 请求类型 0: Single; 1: Burst;

2	CC2BE	RW	0x0	捕获/比较 2 事件的 DMA 请求类型 0: Single; 1: Burst;
1	CC1BE	RW	0x0	捕获/比较 1 事件的 DMA 请求类型 0: Single; 1: Burst;
0	UBE	RW	0x0	更新事件的 DMA 请求类型 0: Single; 1: Burst;

13. 看门狗（WDT）

13.1. 概述

看门狗模块（WatchDog TIMER）采用 32 位的递减计数器，可从一个可编程的加载值减到零。当计数器计数减为 0，如果看门狗动作设为复位，则看门狗模块输出复位信号，复位系统；如果看门狗动作设为中断，则触发看门狗中断，如果在设定的清除时间限定内软件仍未清除看门狗中断，则产生复位信号复位系统。用户可以通过设置定时器使能位来停止/启动计数器。

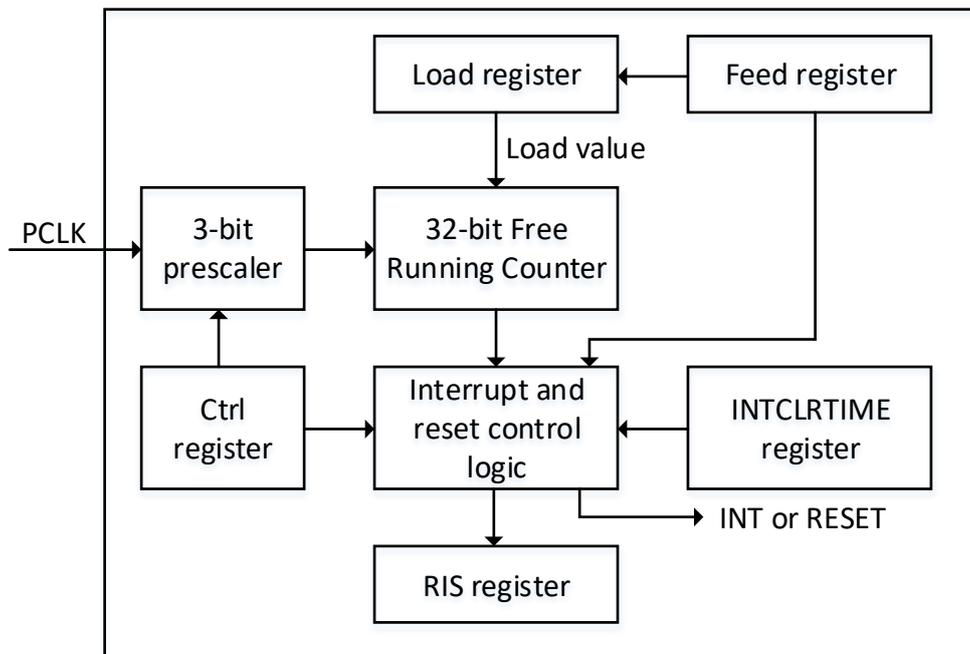
13.2. 主要特性

- 32 位的递减计数器
- 可编程预分频因子
- 可编程装载值
- 可编程中断清除时限

13.3. 功能描述

13.3.1. 功能框图

图 13-1 WDT 功能框图



13.3.2. 看门狗模式

看门狗模块可以通过设置控制寄存器 WDTCTRL 的 MODE 位选择看门狗模式，包括：

- 中断模式：当计数器计数减为 0，触发看门狗中断，如果在设定的清除时间限定内软件仍未清除看门狗中断，则产生复位信号复位系统。
- 复位模式：当计数器计数减为 0，则看门狗模块输出复位信号，复位系统。

13.3.3. 中断清除时限

看门狗模块可以通过设置一个 32 位的中断清除时限寄存器 WDTINTCLRTIME 配置中断清除时限，当看门狗模块工作在中断模式时，当计数器计数减为 0，会触发看门狗中断(即使中断未使能)，若在中断清除时限寄存器定义的时间内没有去喂狗，WDT 将会产生复位信号。

13.4. 寄存器描述

WDT 寄存器基地址：0x4000_2C00

偏置	名称	描述
0x00	WDTLOAD	加载寄存器
0x04	WDTCOUNT	当前计数寄存器
0x08	WDTCTRL	控制寄存器
0x0C	WDTFEED	喂狗寄存器
0x10	WDTINTCLRTIME	中断清除时限寄存器
0x14	WDTRIS	原始中断状态寄存器

13.4.1. WDTLOAD 加载寄存器(偏移：00h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:0	LOAD	RW	0xffffffff	32 位寄存器，用来存入加载值。

13.4.2. WDTCOUNT 当前计数寄存器(偏移：04h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31: 0	COUNT	RO	0xffffffff	32 位寄存器，看门狗当前计数值。

13.4.3. WDTCTRL 控制寄存器(偏移：08h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:8	RSV	-	-	保留
7	EN	RW	0	看门狗使能位：0 禁止，1 使能。
6	MODE	RW	0	看门狗模式位：0 复位，1 中断。
5	RSV	-	-	保留
4	INTEN	RW	0	看门狗中断使能位：0 禁止，1 使能。

3	RSV	-	-	保留
2:0	DIVISOR	RW	110	看门狗时钟预分频： 3'b000: 不分频 3'b001: 2 分频 3'b010: 4 分频 3'b011: 8 分频 3'b100: 16 分频 3'b101: 32 分频 3'b110: 64 分频 3'b111: 128 分频

13.4.4. WDTFEED 喂狗寄存器(偏移: 0Ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:0	FEED	WO	0x00000000	32 位寄存器，喂狗寄存器，写入特征值 0xAA55A55A 使计数器从装载寄存器加载装载值，加载动作会清除 WDT 中断。

13.4.5. WDTINTCLRTIME 中断清除时限寄存器 (偏移: 10h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:16	RSV	-	-	保留
15:0	INTCLRRT	RW	0x1000	32 位寄存器，中断清除时限寄存器，中断产生后(即使中断未使能)，在这个寄存器定义的时间内没有去喂狗，WDT 会产生复位信号。

13.4.6. WDTRIS 原始中断状态寄存器(偏移: 14h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:1	RSV	-	-	保留
0	WDTRIS	RO	0	原始中断状态标志位。

13.5. 使用流程

13.5.1. 定时器溢出产生中断

- 配置加载寄存器；
- 配置中断清除时限寄存器；
- 配置定时器时钟预分频值；
- 配置看门狗工作模式；
- 配置中断使能位；
- 使能看门狗定时器。

注意：如果没有使能中断，则在计数到 0 溢出，经过中断清除时限寄存器值个计数后，将产生一个系统复位。

13.5.2. 定时器溢出产生复位

- 配置加载寄存器；
- 配置中断清除时限寄存器；
- 配置定时器时钟预分频值；
- 配置看门狗工作模式；
- 配置中断使能位；
- 使能看门狗定时器。

注意：计数器计数到 0 溢出，将产生一个系统复位。

14. 独立看门狗 (IWDT)

14.1. 概述

独立看门狗定时器(IWDT)有独立的时钟源(RC32K)。因此即使主时钟失效了,它仍然能保持工作状态,这非常适合于需要独立环境且对计时精度要求不高的场合。当内部向下计数器的计数值达到 0,独立看门狗会产生一个复位。使能独立看门狗的寄存器写保护功能可以避免寄存器的值被意外的配置篡改。

14.2. 主要特性

- 自由运行的 12 位向下计数器
- 计数器计数至 0x000 时产生复位
- 当递减计数器在窗口外被重新装载,则产生复位
- 可编程预分频因子和可编程装载值
- 时钟由独立的 RC32K 时钟提供
- 上电硬件使能
- 可作为 STOP 模式唤醒源

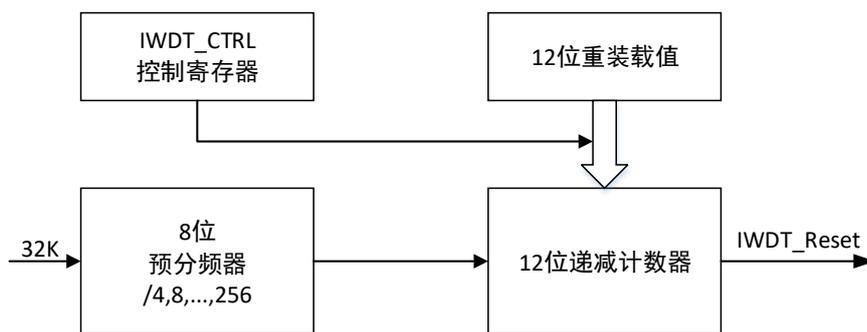
14.3. 功能描述

14.3.1. 功能框图

在命令寄存器(IWDT_CMDR)中写入 0xCCCC,开始启用独立看门狗;此时计数器开始从其复位值 0xFFF 递减计数。当计数器计数到末尾 0x000 时,会产生一个复位信号(IWDT_RESET)。无论何时,只要在控制寄存器 IWDT_CMD 中写入 0xAAAA, IWDT_RLR 中的值就会被重新加载到计数器,从而避免产生看门狗复位。

IWDT 整体框图如下:

图 14-1 IWDT 框图



14.3.2. 寄存器访问保护

IWDT_PR、IWDT_RLR、IWDT_WINR 和 IWDT_WUTR 寄存器具有写保护功能。要修改这几个寄存器的值，必须先向 IWDT_CMDR 寄存器中写入 0x5555 打开写保护。写打开后可以一次对多个受保护寄存器改写。以不同的值写入这个寄存器将会中断操作流程，寄存器将重新被保护。重载操作(即写入 0xAAAA)也会启动写保护功能。状态寄存器指示 IWDT_PR、IWDT_RLR、IWDT_WINR 和 IWDT_WUTR 寄存器是否正在被更新。

14.3.3. 窗口选项

独立看门狗定时器通过配置窗口寄存器 IWDT_WINR 中的 WIN[11:0]位用来设定窗口值。当计数值大于 WIN[11:0]中值，重载操作(IWDT_CMDR 写入 0xAAAA)会引起复位；只有当计数器的值小于窗口值，重载向下计数器可以避免复位。

IWDT_WINR 的默认值为 0xFFFF，与重载值 IWDT_RLR 一样，因此默认不开启窗口功能。只有当 IWDT_WINR 设置为小于 IWDT_RLR 时，窗口功能才会开启。

配置 IWDT_WINR 会自动发起计数器重载为重载值。

14.3.4. 唤醒功能

独立看门狗定时器有独立唤醒功能，开启后可以从 STOP 模式唤醒，防止产生复位。IWDT_WUTR 寄存器可以设置唤醒值，当计数到预设唤醒值后，会产生一个预分频周期的 WakeUP 信号，通过 RPMU 模块唤醒系统。IWDT_WUTR 设置需要小于 IWDT_RLR，否则唤醒功能无法工作。此功能默认不开启，对 IWDT_CMD 写入 0x6666 开启；开启后对 IWDT_CMD

写入 0x9999 关闭。

14.4. 寄存器描述

IWDT 寄存器基地址：0x4000_3000

偏置	名称	描述
0x00	IWDT_CMDR	命令寄存器
0x04	IWDT_PR	预分频寄存器
0x08	IWDT_RLR	重装载寄存器
0x0C	IWDT_SR	状态寄存器
0x10	IWDT_WINR	窗口寄存器
0x14	IWDT_WUTR	唤醒值设置

14.4.1. IWDT_CMDR 命令寄存器(偏移：00h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:16	RSV	-	-	保留
15:0	CMD	WO	0x0000	独立看门狗定时器命令 只写寄存器 软件必须以一定的间隔写入 0xAAAA，否则，当计数器为 0 时，看门狗会产生复位。 写入 0x5555 表示允许访问 IWDT_PR、IWDT_RLR 和 IWDT_WINR 寄存器。 写入 0xCCCC，启动看门狗工作。 写入 0xEF01ABCD，关闭看门狗工作。 写入 0x6666，使能唤醒功能 写入 0x9999，禁止唤醒功能 注：请在启动看门狗后再配置寄存器

14.4.2. IWDT_PR 预分频寄存器(偏移: 04h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:3	RSV	-	-	保留
2:0	PR	RW	000	<p>独立看门狗定时器预分频因子 (Prescaler divider)</p> <p>这些位具有写保护设置。通过设置这些位来选择计数器时钟的预分频因子。要改变预分频因子, IWDT_SR 寄存器的 PVU 位必须为 0。</p> <p>3'b000: 4 分频</p> <p>3'b001: 8 分频</p> <p>3'b010: 16 分频</p> <p>3'b011: 32 分频</p> <p>3'b100: 64 分频</p> <p>3'b101: 128 分频</p> <p>3'b110: 256 分频</p> <p>3'b111: 256 分频</p> <p>注意: 如果写操作正在进行, 则读回的值可能是无效的。因此, 只有当 IWDT_SR 寄存器的 PVU 位为 0 时, 读出的值才有效。</p>

14.4.3. IWDT_RLR 重装载寄存器(偏移: 08h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:12	RSV	-	-	保留
11:0	PL	RW	0xFFFF	<p>独立看门狗定时器重装载值</p> <p>这些位具有写保护功能。用于定义看门狗计数器的重装载值, 每当向 IWDT_CMDR 寄存器写入 0xAAAA 时, 重装载值会被传送到计数器</p>

				<p>中。随后计数器从这个值开始递减计数。看门狗超时周期可通过此重装载值和时钟预分频值来计算。</p> <p>只有当 IWDT_SR 寄存器中的 RVU 位为 0 时，才能对此寄存器进行修改。</p> <p>注：如果写操作正在进行，则读回的值可能是无效的。因此，只有当 IWDT_SR 寄存器的 RVU 位为 0 时，读出的值才有效。这些位有写保护功能。</p>
--	--	--	--	---

14.4.4. IWDT_SR 状态寄存器(偏移：0Ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:3	RSV	-	-	保留
4	RLF	RO	0	<p>独立看门狗定时器喂狗完成</p> <p>此位由硬件置 1 用来指示喂狗正在进行中。当喂狗结束后，此位由硬件清 0。</p> <p>关闭 IWDT 时钟或者进入 STOP 模式前，需要等待完成。</p>
3	WTU	RO	0	<p>独立看门狗定时器唤醒值更新</p> <p>此位由硬件置 1 用来指示唤醒值的更新正在进行中。当唤醒值更新结束后，此位由硬件清 0（最多需 5 个 32kHz 时钟周期）。唤醒值只有在 WTU 位被清 0 后才可更新。</p>
2	WVU	RO	0	<p>独立看门狗定时器窗口值更新</p> <p>此位由硬件置 1 用来指示窗口值的更新正在进行中。当窗口值更新结束后，此位由硬件清 0（最多需 5 个 32kHz 时钟周期）。窗口值只有在 WVU 位被清 0 后才可更新。</p>

1	RVU	RO	0	<p>独立看门狗定时器重装载值更新</p> <p>此位由硬件置 1 用来指示重装载值的更新正在进行中。当重装载更新结束后，此位由硬件清 0（最多需 5 个 32kHz 时钟周期）。重装载值只有在 RVU 位被清 0 后才可更新。</p>
0	PVU	RO	0	<p>独立看门狗定时器预分频值更新</p> <p>此位由硬件置 1 用来指示预分频值的更新正在进行中。当预分频值更新结束后，此位由硬件清 0(最多需 5 个 32kHz 时钟周期)。预分频值只有在 PVU 位被清 0 后才可更新。</p>

14.4.5. IWDT_WINR 窗口寄存器(偏移: 10h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:12	RSV	-	-	保留
11:0	WIN	RW	0xFFF	<p>独立看门狗定时器窗口值</p> <p>这些位有写保护功能。定义窗口值的上限值，用于与向下递减计数器进行比较。当计数值大于 WIN[11:0]中值，重装载操作会引起复位。只有当 IWDT_SR 寄存器中的 WVU 位为 0 时，才能对此寄存器进行修改。</p> <p>注：如果写操作正在进行，则读回的值可能是无效的。因此，只有当 IWDT_SR 寄存器的 WVU 位为 0 时，读出的值才有效。</p> <p>在写这些位之前需向 IWDT_CMDR 寄存器中写 0x5555。</p>

14.4.6. IWDT_WUTR 窗口寄存器(偏移: 14h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:12	RSV	-	-	保留
11:0	WUT	RW	0xFFF	<p>独立看门狗定时器唤醒值</p> <p>这些位有写保护功能。定义唤醒值，用于定义唤醒信号产生的计数值，只产生一个预分频周期的 WakeUp 信号。只有当 IWDT_SR 寄存器中的 WTU 位为 0 时，才能对此寄存器进行修改。</p> <p>注：如果写操作正在进行，则读回的值可能是无效的。因此，只有当 IWDT_SR 寄存器的 WTU 位为 0 时，读出的值才有效。</p> <p>在写这些位之前需向 IWDT_CMDR 寄存器中写 0x5555。</p>

14.5. 使用流程

14.5.1. 不带窗口

1. 对 IWDT_CMDR 写入 0xCCCC 使能 IWDT
2. 对 IWDT_CMDR 写入 0x5555 打开写保护
3. 写 IWDT_PR 配置预分频值 4~256
4. 写 IWDT_RLR 配置重装载值
5. 等待 IWDT_SR 为 0x00000000
6. 对 IWDT_CMDR 写入 0xAAAA 进行重装载操作

14.5.2. 带窗口

1. 对 IWDT_CMDR 写入 0xCCCC 使能 IWDT
2. 对 IWDT_CMDR 写入 0x5555 打开写保护

3. 写 IWDT_PR 配置预分频值 4~256
4. 写 IWDT_RLR 配置重装载值
5. 等待 IWDT_SR 为 0x00000000
6. 写 IWDT_WINR 配置窗口值，会自动进行重装载操作

15. 实时时钟（RTC）

15.1. 概述

RTC 提供秒、分、时、日、周、月、年的信息，每月的天数和闰年的天数可自动调整。时间和日期都以 BCD 码的形式显示。RTC 可以进行夏令时补偿。RTC 可以工作在省电模式下，并通过软件配置来智能唤醒。RTC 支持外接更高精度的低频时钟，用以达到更高的日历精度

15.2. 主要特性

- 可计算 00~99 年之间的秒、分、时、日、周、月、年
- BCD 时间显示
- 自动闰年调整
- 数字校准功能：通过调整最小时间单位（最大可调精度 0.95ppm）来进行日历校准，调校后理论精度 $\pm 0.477\text{ppm}$
- 周期唤醒中断
- 闹钟功能
- 可从管脚输出 XTALF 时钟信号供用户校准
- RTC 计时器部分不复位
- 2 路输入上下沿(侵入)时间戳功能
- 5 个 32 位 (共 20 字节) 通用备份寄存器，能够在省电模式下保存数据。当有外部侵入事件发生时，备份寄存器可复位（可配置）。

15.3. RTC 功能描述

实时时钟的时钟源可配置为外部低速晶振，外部高速晶振，内部低速 RC；默认使用外部低速晶振。RTC 中断使能寄存器 IE、闹钟寄存器 ALARM、侵入时间戳使能只受上电复位控制，其他复位源不能复位这三个控制寄存器。其他数据寄存器上电状态不定，上电后需要初始化，不受任何复位影响。所有软件写入和读取的日期时间值都为 BCD 码，无须十六进制转换

为十进制。

整体框图如下：

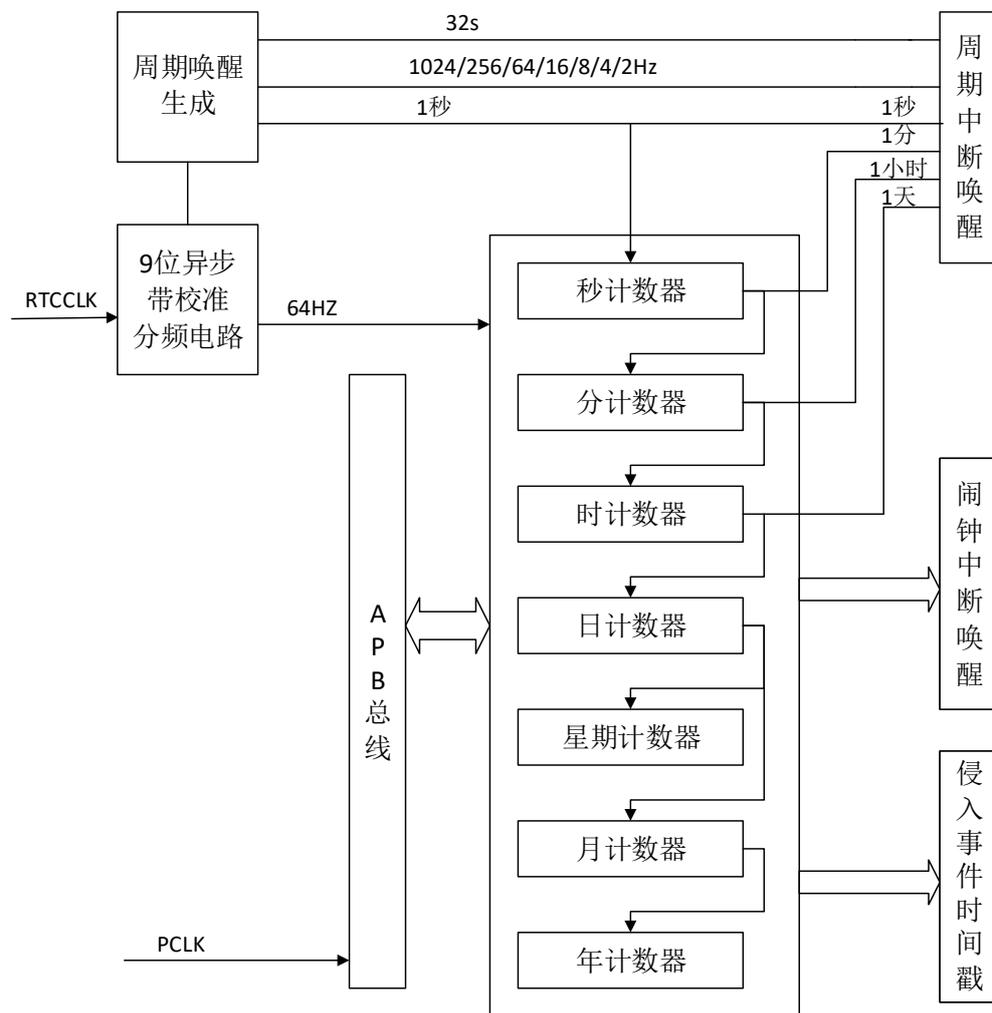


图 15-1 RTC 内部结构框图

15.3.1. RTC 时间设置

RTC 模块提供时间写保护功能，必须先对写保护寄存器写入 0xCA53CA53，才能改写时间寄存器；软件写入除 0xCA53CA53 外的任意值来禁止时间寄存器的写入，恢复写保护。

软件应在秒中断发生后再去置时，计时更加准确。当软件写入秒时间时，硬件自动清除秒内计数器。

推荐的 RTC 时间设置流程如下：

- 等待秒中断时间发生
- 打开写保护

- 连续写入年月日时分秒寄存器
- 读出时间寄存器进行校验
- 使能写保护

注：秒、分、时、天、周、月、年和亚秒不会被复位

15.3.2. RTC 时间读取

有两种读取防止

方式 1：任意时刻读取方式

- 1、读出分，时，周，日，月，年计数寄存器值；
- 2、读出秒计数寄存器值；
- 3、再次读出秒计数寄存器值；
- 4、判断两次秒的读出值是否相同，不同重新从第一步开始，相同读取结束。

方式 2：中断读取方式

在 RTC 周期中断服务中读取秒，分，时，周，日，月，年计数寄存器值。因为中断发生后到下次数据改变至少 1s 的时间。

15.3.3. 闹钟功能

闹钟功能可以设定一个星期内，任意几天（0 到 7 天）定时唤醒，可以精确到秒级别。软件先设置好闹钟秒寄存器，闹钟分寄存器和闹钟小时寄存器的值。当 RTC 日历中的秒计数器，分计数器和小时计数器的值分别与闹钟寄存器的值相等时，产生闹钟中断。

- 1、CR.ALM_EN=0，闹钟关闭
- 2、设定 ALM_IE=1，闹钟中断禁止；
- 3、周闹钟 ALM WEEK 设定，设置每周几闹钟工作；秒闹钟 ALM SEC，分闹钟 ALM MIN，时闹钟 ALM HOUR，
- 4、设定 CR.ALM_EN=1，闹钟许可；
- 5、等待发生中断；
- 6、由于闹钟中断和周期中断共用中断请求信号，当 SR.ALM_IF=1 时，进入闹钟中断处

理。

15.3.4. 时钟误差补偿

由于计数器采用 32.768KHz 的时钟计数，如果需要对每秒精度进行补偿时，只能按照 32.768KHz 的整数周期补偿，则每秒补偿的最小单位为 $(1/32768) * 10^6 = 30.5\text{ppm}$ ，无法满足高精度的要求。

那么要在 32.768KHz 的计数时钟下实现精度较高的时钟补偿时，需要在算法上做调整，将最大补偿周期扩大 32 倍。则在只能补偿的最小单位为 30.5ppm 的情况下，平均到每秒的补偿单位变为 $30.5\text{ppm}/32 = 0.96\text{ppm}$ ，最大调校范围为 $\pm(511 * 30.517\text{us}/32\text{s}) = \pm 487\text{ppm}$ 。满足了精度较高的时钟补偿要求。而且补偿发生在每 32 秒内比较均匀的范围。

调校值由 10bit 寄存器组成，其中最高位为符号位，表示计数值增减，其余 9bit 表示增减的绝对值。为了提高每秒的平均精度，避免较大的秒间跃变，采取将 32s 调校值平均分配到每秒内的做法，其实现方法如下：

除了最高符号位，其余 9bit 可分为高 4bit 的公共值和 5bit 私有值，其中公共值表示 32s 内每秒都要调整的值，私有值表示 32s 内部分秒需要加减 1。

Bit9	Bit[8:5]	Bit[4:0]
Sign	Common Value (C)	Differential Value (D)

调校值公式可表示为： $\text{Correction}(\text{ppm}) = (C * 32 + D) * 30.517 / 32000000$

假设只使时钟增加 0.952ppm，即 32s 周期只增加一个 30.5us，调校值写为 0_0000_00001，所以公共值为 0，私有值为 1，只需要对 32s 内的一个秒周期加 1 即可；假设增加 487ppm，即 32s 周期内增加 511 个 30.5us，调校值写为 0_1111_11111，公共值为 15，私有值为 31，表示 32s 中每秒都要加 15，同时其中还有 31s 需要额外加 1。

调校值举例：

ppm	ADJUST	Common	Differential	Expression
0.953	0_0000_00001	0	1	$1 * 30.517 / 32000000$

-125.88	1_0100_00100	4	4	$(4*32+4)*30.517/32000000$
32.42	0_0001_00010	1	2	$(1*32+2)*30.517/32000000$
487	0_1111_11111	15	31	$(15*32+31)*30.517/32000000$

通过以上方式，可以得到平滑调整的秒周期，秒和秒之间最大只差 30.5ppm，可以避免集中式调整引入的秒周期抖动。

15.3.5. FSEL_OUT

RTC 模块可以从 FSEL_OUT 输出内部的频率信号或者闹钟信号到管脚上用于调试和校准。具体输出信号由 RTC_CR 寄存器的 FSEL 选择。

15.3.6. 周期中断唤醒

RTC 模块提供多种周期唤醒，除了包括 1 秒、1 分、1 小时、1 天日历唤醒外，还提供 1024Hz、256Hz、64Hz、16Hz、8Hz、4Hz、2Hz 和 32s 等多种唤醒方式。

15.3.7. 侵入检测和备份寄存器

备份寄存器处于备份域中。待机模式唤醒或系统复位操作都不会影响这些寄存器。只有当被检测到有侵入事件和备份域复位时，这些寄存器才会复位。

RTC 支持两个外部 IO 侵入事件检测，侵入检查通过 TAMPxEN 使能对应 IO 检测功能。两个侵入 IO 各有一组独立 STAMP 寄存器组（CLKSTAMPx 和 CALSTAMPx），通过设置 TSxEDGE 选择记录上升沿或者下降沿时间戳，当侵入 IO 出现选择的上升沿或下降沿时，RTC 会自动记录当前时间到 STAMP 寄存器组中。侵入 IO 有上升沿相应的标志，可用于产生中断或者供软件查询。为了确保输入检测的可靠性，建议使能外部 IO 的输入数字滤波，通过 TAMPxFLTEN 使能某个通道滤波功能，设置 TAMPxFLT 选择滤波周期。滤波时钟可以选择 RTC 时钟或者 64HZ 时钟，滤波时钟两个 IO 使用同一种配置。备份寄存器是否同时清除可以由 TAMPxFCLR（下降沿）TAMPxRCLR（上升沿）控制。

侵入检查时间戳在相应标志寄存器为 0 的情况下记录事件发生时间，如果对应标志已经为 1，则忽略相应事件。因此如果有多次事件发生，时间戳仅记录第一次事件发生的时间，除非软件在事件发生后清除了标志寄存器。

15.4. 寄存器描述

RTC 寄存器基地址：0x4000_2800

偏置	名称	描述
0x00	RTC_WP	写保护寄存器
0x04	RTC_IE	中断使能寄存器
0x08	RTC_SR	中断标志寄存器
0x0C	RTC_SEC	秒计数寄存器
0x10	RTC_MIN	分计数寄存器
0x14	RTC_HOUR	时计数寄存器
0x18	RTC_DATE	日计数寄存器
0x1C	RTC_WEEK	周计数寄存器
0x20	RTC_MONTH	月计数寄存器
0x24	RTC_YEAR	年计数寄存器
0x28	RTC_ALM	闹钟寄存器
0x2C	RTC_CR	控制寄存器
0x30	RTC_ADJUST	时钟误差补偿寄存器
0x44	RTC_CLKSR1	上升沿时间戳 1
0x48	RTC_CALSR1	上升沿日历戳 1
0x4C	RTC_CLKSF1	下降沿时间戳 1
0x50	RTC_CALPF1	下降沿日历戳 1
0x54	RTC_CLKSR2	上升沿时间戳 2
0x58	RTC_CALSR2	上升沿日历戳 2
0x5C	RTC_CLKSF2	下降沿时间戳 2
0x60	RTC_CALPF2	下降沿日历戳 2

0x70~80	RTC_BAKUP0~4	备份寄存器 0~4
---------	--------------	-----------

15.4.1. RTC_WP 写保护寄存器(偏移: 00h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:0	WE	RW	0	RTC 写使能命令， 当 CPU 向 RTC_WP 写入 0x CA53CA53 时，允许 CPU 向 RTC 的时间/日期寄存器写入初值，这时 WE 读为 1；当 CPU 向 RTC_WP 写入不为 0x CA53CA53 的任意值时恢复写保护,这时读 WE 为 0。

15.4.2. RTC_IE 中断使能寄存器(偏移: 04h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:15	RSV	-	-	保留
16	STP2RIE	RW	0	RTC STAMP2 上升沿事件中断使能 0: 禁止中断 1: 使能中断
15	STP2FIE	RW	0	RTC STAMP2 下降沿事件中断使能 0: 禁止中断 1: 使能中断
14	STP1RIE	RW	0	RTC STAMP1 上升沿事件中断使能 0: 禁止中断 1: 使能中断
13	STP1FIE	RW	0	RTC STAMP1 下降沿事件中断使能 0: 禁止中断 1: 使能中断
12	ADJ32_IE	RW	0	32 秒中断使能。 1: 中断使能打开

				0: 中断使能禁止
11	ALM_IE	RW	0	闹钟中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
10	1KHZ_IE	RW	0	1khz 中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
9	256HZ_IE	RW	0	256hz 中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
8	64HZ_IE	RW	0	64hz 中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
7	16HZ_IE	RW	0	16hz 中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
6	8HZ_IE	RW	0	8hz 中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
5	4HZ_IE	RW	0	4hz 中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
4	2HZ_IE	RW	0	2hz 中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
3	SEC_IE	RW	0	秒中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
2	MIN_IE	RW	0	分中断使能。

				1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
1	HOUR_IE	RW	0	小时中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
0	DATE_IE	RW	0	天中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止

15.4.3. RTC_SR 中断标志寄存器(偏移: 08h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:12	RSV	-	-	保留
16	STP2RIF	RC_W1	0	RTC TAMP2 上升沿事件中断标志 1: 中断置位 0: 无中断产生 此寄存器为 1 的情况下时间戳不再记录新的上升沿事件
15	STP2FIF	RC_W1	0	RTC TAMP2 下降沿事件中断标志 1: 中断置位 0: 无中断产生 此寄存器为 1 的情况下时间戳不再记录新的下降沿事件
14	STP1RIF	RC_W1	0	RTC TAMP1 上升沿事件中断标志 1: 中断置位 0: 无中断产生 此寄存器为 1 的情况下时间戳不再记录新的上升沿事件
13	STP1FIF	RC_W1	0	RTC TAMP1 下降沿事件中断标志 1: 中断置位 0: 无中断产生 此寄存器为 1 的情况下时间戳不再记录新的下降沿事件

12	ADJ32_IF	RC_W1	0	32S 中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
11	ALM_IF	RC_W1	0	闹钟中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
10	1KHZ_IF	RC_W1	0	1khz 中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
9	256HZ_IF	RC_W1	0	256hz 中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
8	64HZ_IF	RC_W1	0	64hz 中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
7	16HZ_IF	RC_W1	0	16hz 中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
6	8HZ_IF	RC_W1	0	8hz 中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
5	4HZ_IF	RC_W1	0	4hz 中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
4	2HZ_IF	RC_W1	0	2hz 中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
3	SEC_IF	RC_W1	0	秒中断标志。写 1 清零 1: 中断置位

				0: 无中断产生
2	MIN_IF	RC_W1	0	分中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
1	HOUR_IF	RC_W1	0	小时中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
0	DATE_IF	RC_W1	0	天中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生

15.4.4. RTC_SEC 秒计数寄存器(偏移: 0Ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:12	RSV	-	-	保留
6:0	BCDSEC	RW	X	秒时间数值, BCD 格式。

15.4.5. RTC_MIN 时计数寄存器(偏移: 10h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:12	RSV	-	-	保留
6:0	BCDMIN	RW	X	分钟时间数值, BCD 格式。

15.4.6. RTC_HOUR 分计数寄存器(偏移: 14h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:6	RSV	-	-	保留
5:0	BCDHOURL	RW	X	小时数值, BCD 格式。

15.4.7. RTC_DAY 日计数寄存器(偏移: 18h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:12	RSV	-	-	保留
5:0	BCDDATE	RW	X	天数值, BCD 格式。

15.4.8. RTC_WEEK 周计数寄存器(偏移: 1Ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:12	RSV	-	-	保留
2:0	BCDWEEK	RW	X	周数值, BCD 格式。

15.4.9. RTC_MONTH 月计数寄存器(偏移: 20h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:12	RSV	-	-	保留
4:0	BCDMONTH	RW	X	月数值, BCD 格式。

15.4.10. RTC_YEAR 年计数寄存器(偏移: 24h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:12	RSV	-	-	保留
7:0	BCDYEAR	RW	X	年数值, BCD 格式。

15.4.11. RTC_ALM 闹钟寄存器(偏移: 28h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31	ALM_WDS	RW	0	闹钟星期/天选择 0: 选择闹钟星期模式

				1: 选择闹钟日模式
30:24	ALMWEEK/ ALMDAY	RW	0x7F	<p>闹钟的星期数值/日数值</p> <p>当为星期模式时:</p> <p>b24:b30 分别对应周日:周六, 对应为置 '1' 时, 代表每周该日闹钟有效。</p> <p>如, b24=1, b30=1 代表周日和周六闹钟设定有效</p> <p>当为日模式时:</p> <p>[29:24]: 闹钟的日 BCD 格式</p>
23:22	RSV	-	-	保留
21:16	ALMHOUR	RW	00	闹钟的小时 BCD 格式。
15	RSV	-	-	保留
14:8	ALMMIN	RW	00	闹钟的分 BCD 格式。
7	RSV	-	-	保留
6:0	ALMSEC	RW	00	闹钟的秒 BCD 格式

15.4.12. RTC_CR 控制寄存器(偏移: 2Ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:23	RSV	-	-	保留
22	TAMPFLTCLK	RW	1	<p>侵入信号滤波时钟选择</p> <p>0: RTCCLK</p> <p>1: 512 个 RTCCLK (64Hz)</p>
21	TS2EDGE	RW	0	<p>TAMP2 记录 STAMP2 边沿选择, 只影响 STAMP2 时间戳记录的边沿选择, 不影响 TAMP2 的 STP2FIF 和 STP2RIF 标志产生。</p> <p>0: STAMP2 选择记录 TAMP2 上升沿</p> <p>1: STAMP2 选择记录 TAMP2 下降沿</p>
20:19	TAMP2FLT	RW	00	<p>侵入信号 2 滤波周期</p> <p>00: 1 个 RTCCLK 或 64Hz</p>

				01: 2 个 RTCCLK 或 64Hz 10: 4 个 RTCCLK 或 64Hz 11: 8 个 RTCCLK 或 64Hz
18	TAMP2FLTEN	RW	0	侵入信号 2 滤波使能 0: 滤波不使能 1: 滤波使能
17	TAMP2FCLR	RW	0	侵入 2 下降沿清除备份寄存器 0: 不清除备份寄存器 1: 清除备份寄存器
16	TAMP2RCLR	RW	0	侵入 2 上升沿清除备份寄存器 0: 不清除备份寄存器 1: 清除备份寄存器
15	TS1EDGE	RW	0	TAMP1 记录 STAMP1 边沿选择, 只影响 STAMP1 时间戳记录的边沿选择, 不影响 TAMP1 的 STP1FIF 和 STP1RIF 标志产生。 0: STAMP1 选择记录 TAMP1 上升沿 1: STAMP1 选择记录 TAMP1 下降沿
14:13	TAMP1FLT	RW	00	侵入信号 1 滤波周期 00: 1 个 RTCCLK 或 64Hz 01: 2 个 RTCCLK 或 64Hz 10: 4 个 RTCCLK 或 64Hz 11: 8 个 RTCCLK 或 64Hz
12	TAMP1FLTEN	RW	0	侵入信号 1 滤波使能 0: 滤波不使能 1: 滤波使能
11	ALM_MSKD	RW	0	闹钟星期/天数值功能屏蔽位 0: 闹钟不屏蔽星期/天数值比较 1: 闹钟屏蔽星期/天数值比较
10	ALM_MSKH	RW	0	闹钟时数值屏蔽位

				0: 闹钟不屏蔽时数值比较 1: 闹钟屏蔽时数值比较
9	ALM_MSKM	RW	0	闹钟分数字屏蔽位 0: 闹钟不屏蔽分数值比较 1: 闹钟屏蔽分数值比较
8	TAMP1FCLR	RW	0	侵入 1 下降沿清除备份寄存器 0: 不清除备份寄存器 1: 清除备份寄存器
7	TAMP1RCLR	RW	0	侵入 1 上升沿清除备份寄存器 0: 不清除备份寄存器 1: 清除备份寄存器
6	TAMP2EN	RW	0	侵入 2 时间戳功能使能位。 1: 打开时间戳 0: 关闭时间戳
5	TAMP1EN	RW	0	侵入 1 时间戳功能使能位。 1: 打开时间戳 0: 关闭时间戳
4	ALM_EN	-	-	闹钟功能使能 0: 不使能闹钟 1: 使能闹钟
3:0	FSEL	RW	0000	频率输出选择信号: 4'b0000: RFU 4'b0001: RFU 4'b0010: 输出秒计数器进位信号, 高电平宽度 1s 4'b0011: 输出分计数器进位信号, 高电平宽度 1s 4'b0100: 输出小时计数器进位信号, 高电平宽度 1s 4'b0101: 输出天计数器进位信号, 高电平宽度 1s 4'b0110: 输出闹钟匹配信号 4'b0111: 输出 32 秒方波信号

				4'b1000: RFU 4'b1001: 反向输出秒计数器进位信号 4'b1010: 反向输出分计数器进位信号 4'b1011: 反向输出小时计数器进位信号 4'b1100: 反向输出天计数器进位信号 4'b1101: 反向输出闹钟匹配信号 4'b1110: RFU 4'b1111: 输出 RTC 内部秒时标方波
--	--	--	--	---

15.4.13. RTC_ADJUST 时钟误差补偿寄存器(偏移: 30h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:10	RSV	-	-	保留
9	ADJSIGN	RW	X	补偿调整方向 0: 增加 1: 减少
8:0	ADJVALUE	RW	XX	补偿调整数值

15.4.14. RTC_CLKSTAMP1 时间戳 1(偏移: 44h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:10	RSV	-	-	保留
21:16	HRSTP1	RO	XX	检测到 TAMP1 后存储 BCD 小时寄存器的值。
15	RSV	-	-	保留
14:8	MINSTP1	RO	XX	检测到 TAMP1 后存储 BCD 分寄存器的值。
7	RSV	-	-	保留
6:0	SECSTP1	RO	XX	检测到 TAMP1 后存储 BCD 秒寄存器的值

15.4.15. RTC_CALSTAMP1 日历戳 1(偏移: 48h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:21	YEARSTP1	RO	XX	检测到 TAMP1 后存储 BCD 年寄存器的值。
23:21	RSV	-	-	保留
20:16	MONSTP1	RO	XX	检测到 TAMP1 后存储 BCD 月寄存器的值。
15:11	RSV	-	-	保留
10:8	WKSTP1	RO	XX	检测到 TAMP1 后存储 BCD 周寄存器的值。
7:6	RSV	-	-	保留
5:0	DAYSTP1	RO	XX	检测到 TAMP1 后存储 BCD 日寄存器的值

15.4.16. RTC_CLKSTAMP2 时间戳 2(偏移: 4Ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:10	RSV	-	-	保留
21:16	HRSTP2	RO	XX	检测到 TAMP2 后存储 BCD 小时寄存器的值。
15	RSV	-	-	保留
14:8	MINSTP2	RO	XX	检测到 TAMP2 后存储 BCD 分寄存器的值。
7	RSV	-	-	保留
6:0	SECSTP2	RO	XX	检测到 TAMP2 后存储 BCD 秒寄存器的值

15.4.17. RTC_CALSTAMP2 日历戳 2(偏移: 50h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:24	YEARSTP2	RO	XX	检测到 TAMP1 后存储 BCD 年寄存器的值。
23:21	RSV	-	-	保留
20:16	MONSTP2	RO	XX	检测到 TAMP2 后存储 BCD 月寄存器的值。
15:11	RSV	-	-	保留
10:8	WKSTP2	RO	XX	检测到 TAMP2 后存储 BCD 周寄存器的值。

7:6	RSV	-	-	保留
5:0	DAYSTP2	RO	XX	检测到 TAMP2 后存储 BCD 日寄存器的值

15.4.18. RTC_BAKUP0~4 备份寄存器 0~4(偏移: 70~80h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:0	BAKUP	RW	00	备份寄存器

16. 电源管理和低功耗（RPMU）

16.1. 概述

待机区域的模拟和电源管理由 RPMU（RTC PMU）模块完成。RTC_PMU 模块主要负责 LPLDO12 的 TRIM，XTL 和 RC32K 两个模拟时钟模块的管理，以及待机唤醒管理。

Standby 模式唤醒主要有三种唤醒源：WKUP 管脚的上升或下降沿，RSTN 管脚复位或者 RTC 的周期唤醒/闹钟/时间戳事件。唤醒后，芯片产生一次系统复位；复位后，Core 从 0x00 地址重新取指。

WKUP 管脚使用上升或下降沿唤醒，因此对于唤醒使能的 WKUP 管脚，板级建议增加上下拉电阻，防止悬空。如果待机模式下 RTCCLK 存在，可以开启数字滤波功能，连续两拍信号变化相同才认为 WKUP 管脚状态变化。RTC 的唤醒事件选择与 RTC 中断一致，由 RTC_IE 中使能，可以选择周期唤醒（包括 1 秒、1 分、1 小时、1 天日历唤醒外，还提供 1024HZ、256Hz、64Hz、16Hz、8Hz、4Hz、2Hz 和 32s），或者闹钟事件，或者时间戳功能（可以配合侵入检测）。RSTN 管脚复位也可以唤醒待机模式

（注：当 EWUPx 位使能时，如果 WKUP 管脚为高，则立刻会产生一个 WUK 标志。）

16.2. 功能描述

16.2.1. 唤醒引脚配置

芯片提供了 6 个唤醒引脚，并配有唤醒引脚滤波功能。滤波为一拍 RTC Clock。唤醒引脚上升沿、下降沿可选。

表格 16-1 唤醒引脚对应表

唤醒源	唤醒引脚
Wakeup1	PA0
Wakeup2	PC13
Wakeup3	PA2
Wakeup4	PC5
Wakeup5	PB5

Wakeup6	PB15
---------	------

16.2.2. RTC Clock 管理

RTC 时钟选择控制, RTC 可选时钟片上 RC32K 或片外低速晶振 XTL, 通过 RPMU_ANACR 使能 RC32K 或 XTL, 通过 RPMU_CR 寄存器选择 RTC 时钟。

16.2.3. PMU 区引脚控制

PC13、PC14、PC15 引脚属于 PMU 特殊控制引脚, RPMU_IOSEL、RPMU_IOCRR 设置优先级高于 GPIO 寄存器和系统寄存器。

若 RPMU_IOSEL 寄存器配置中不做主区 GPIO 功能, 则以 RPMU_IOSEL 寄存器为最高优先级, 此时系统寄存器中 PCSEL2 中对 PC13、PC14、PC15 的配置将会忽略。

16.3. 寄存器描述

RTC_PMU 寄存器基地址: 0x4000_2400

偏置	名称	描述
0x00	RPMU_CR	RTC_PMU 控制寄存器
0x04	RPMU_SR	RTC_PMU 状态寄存器
0x08	RPMU_IOSEL	RTC_PMU IO 复用寄存器
0x0C	PRMU_IOCRR	RTC_PMU IO 控制寄存器
0x10	RPMU_ANACR	RTC_PMU 模拟控制寄存器(XTL/RC32K/LPBGR)
0x14	PRMU_CR2	RTC_PMU 控制寄存器 2

16.3.1. RPMU_CR/RTC 域控制寄存器(偏移: 00h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:30	RSV	-	-	保留
29:25	WU6~2FILEN	RW	0	WKUP6~2 管脚滤波使能, 使用 RTCCLK 滤波, 滤波 1 拍毛刺

				0: WKUP6~2 管脚滤波不使能 1: WKUP6~2 管脚滤波使能
24	WU1FILEN	RW	0	WKUP1 管脚滤波使能, 使用 RTCCLK 滤波, 滤波 1 拍毛刺 0: WKUP1 管脚滤波不使能 1: WKUP1 管脚滤波使能
23:22	RSV	-	-	保留
21:17	EWUP6~2	RW	0	WKUP6~2 管脚唤醒功能使能 0: WKUP6~2 管脚唤醒功能不使能 1: WKUP6~2 管脚唤醒功能使能, 滤波功能由 WUxFIL 位选择。
16	EWUP1	RW	0	WKUP1 管脚唤醒功能使能 0: WKUP1 管脚唤醒功能不使能 1: WKUP1 管脚唤醒功能使能, 滤波功能由 WU1FIL 位选择。
15:13	RSV	-	-	保留
12	BORRST_EN	RW	0	BOR 复位使能 0: BOR 复位不使能 1: BOR 复位使能
11:9	WK_TIME	RW	010	RTC 模块 STANDBY 模式唤醒等待寄存器 000: 等待 1 个 RC32K 001: 等待 2 个 RC32K 010: 等待 3 个 RC32K 。 。 。 110: 等待 7 个 RC32K 111: 无效, 不等待
8	STB_EN	RW	0	STANDBY 进入使能, 提供进入 STANDBY 模式的保护, 请写此位再进入 DeepSleep 0: 不能进入 STANDBY 模式

				1: 允许进入 STANDBY 模式
7	RSV	-	-	保留
6	BDRST	RW	1	RTC 域软复位，写 0 后下一拍自动变 1 0: 复位 RTC 域 1: 不复位 RTC 域 注: BOR_EN/BOR_CFG/BORRST_EN 不会被复位
5	RTCEN	RW	1	RTCCLK 使能 0: 不使能 1: 使能
4	RSV	-	-	保留
3:2	RTCSEL	RW	00	RTCCLK 选择 00: RC32K 时钟 01: XTL 时钟 1x: 没有时钟
1	CWUF	WO	0	清除唤醒标志。读始终为 0，写 1 清除唤醒标志 0: 没有作用 1: 清除唤醒标志
0	CSBF	WO	0	清除 STANDBY 标志。读始终为 0，写 1 清除 STANDBY 标志 0: 没有作用 1: 清除 STANDBY 标志

16.3.2. RPMU_SR/RTC 域状态寄存器(偏移: 04h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:17	RSV	-	-	保留
16	BORN	RO	1	BORN 的原始状态
15:12	RSV	-	-	保留
13	BORWUF	RO	0	BOR 唤醒标志。通过写 CSBF 位 (RPMU_CR 寄存

				器) 清除 0: 没有 BOR 唤醒事件 1: BOR 发生唤醒事件 BORWUF 不清除, 会引起 STANDBY 模式立刻唤醒
12	IWDTWUF	RO	0	IWDT 唤醒标志。通过写 CSBF 位 (RPMU_CR 寄存器) 清除 0: 没有 IWDT 唤醒事件 1: IWDT 发生唤醒事件 IWDTWUF 不清除, 会引起 STANDBY 模式立刻唤醒
11	RSTWUF	RO	0	RSTN 唤醒标志。通过写 CSBF 位 (RPMU_CR 寄存器) 清除 0: 没有 RSTN 唤醒事件 1: RSTN 发生唤醒事件 RSTWUF 不清除, 会引起 STANDBY 模式立刻唤醒
10	RTCWUF	RO	0	RTC 唤醒标志。通过写 CSBF 位 (RPMU_CR 寄存器) 清除 0: 没有 RTC 唤醒事件 1: RTC 发生唤醒事件 RTCWUF 即使不清除, 也不会引起 STANDBY 模式唤醒
9:7	RSV	-	-	保留
6:2	WUP6-2F	RO	0	WKUP6~2 唤醒标志。WKUP6~2 管脚检测到一个唤醒事件, 可以通过写 CSBF 位 (RPMU_CR 寄存器) 清除 0: 没有 WKUP6~2 唤醒事件 1: WKUP6~2 管脚发生唤醒事件 注: WUPxF 标志如果为高, 进入 STANDBY 后会立刻唤醒
1	WUP1F	RO	0	WKUP1 唤醒标志。WKUP1 管脚检测到一个唤醒事件, 可以通过写 CSBF 位 (RPMU_CR 寄存器) 清除

				<p>0: 没有 WKUP1 唤醒事件</p> <p>1: WKUP1 管脚发生唤醒事件</p> <p>注: WUP1F 标志如果为高, 进入 STANDBY 后会立刻唤醒</p>
0	SBF	RO	0	<p>STANDBY 标志。当芯片进入 STANDBY 模式时, 硬件自动设置, 只能被 POR 或者写 CSBF 位 (RPMU_CR 寄存器) 清除</p> <p>0: 芯片未进入过 STANDBY 模式</p> <p>1: 芯片未进入过 STANDBY 模式</p>

16.3.3. RPMU_IOSEL/RTC 域 IO 复用寄存器(偏移: 08h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:11	RSV	-	-	保留
10	PC15_Value	RW	0	PC15_Value, 具体见 PC15_SEL
9	PC14_Value	RW	0	PC14_Value, 具体见 PC14_SEL
8	PC13_Value	RW	0	PC13_Value, 具体见 PC13_SEL
7	RSV	-	-	保留
6:5	PC15_SEL	RW	0	<p>PC15 管脚功能选择</p> <p>00: 主区 GPIO 功能, STANDBY 模式下为输入状态</p> <p>01: 输出 PC15_Value, 以 push-pull 模式</p> <p>其它: 输出关闭</p> <p>注: 需要选择 XTL_OUT, 请配置为模拟端口</p>
4:3	PC14_SEL	RW	0	<p>PC14 管脚功能选择</p> <p>00: 主区 GPIO 功能, STANDBY 模式下为输入状态</p> <p>01: 输出 PC14_Value, 以 push-pull 模式</p> <p>其它: 输出关闭</p> <p>注: 需要选择 XTL_IN, 请配置为模拟端口</p>
2	RSV	-	-	保留

1:0	PC13_SEL	RW	0	<p>PC13 管脚功能选择</p> <p>00: 主区 GPIO 功能, STANDBY 模式下为输入状态</p> <p>01: RTC Fout, 选择 RTC 的 FSEL_OUT 输出。此时 PC13_Value 作为 OD 输出 (0) 或者 push-pull 输出 (1)。</p> <p>10: RTC 输入, 作为时间戳功能 (Tamper)</p> <p>11: 输出 PC13_Value, 以 push-pull 模式</p>
-----	----------	----	---	---

16.3.4. RPMU_IOCRR/RTC 域 IO 控制寄存器(偏移: Ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:25	RSV	-	-	保留
22	PC15_ADS	RW	1	<p>PC15 数模选择</p> <p>0: 配置为数字端口</p> <p>1: 配置为模拟端口</p>
21	PC15_IE	RW	1	<p>PC15 输入使能</p> <p>0: 禁止</p> <p>1: 使能</p>
20	PC15_SMT	RW	1	<p>PC15 施密特使能</p> <p>0: 禁止</p> <p>1: 使能</p>
19:18	PC15_STH	RW	0	<p>PC15 输出驱动设置</p> <p>具体定义参见 PA0_STH</p>
17	PC15_PD	RW	0	<p>PC15 下拉电阻使能</p> <p>0: 禁止</p> <p>1: 使能</p>
16	PC15_PU	RW	1	<p>PC15 上拉电阻使能</p> <p>0: 禁止</p> <p>1: 使能</p>

15	RSV	-	-	保留
14	PC14_ADS	RW	1	PC14 数模选择 0: 配置为数字端口 1: 配置为模拟端口
13	PC14_IE	RW	1	PC14 输入使能 0: 禁止 1: 使能
12	PC14_SMT	RW	1	PC14 施密特使能 0: 禁止 1: 使能
11:10	PC14_STH	RW	0	PC14 输出驱动设置 具体定义参见 PA0_STH
9	PC14_PD	RW	0	PC14 下拉电阻使能 0: 禁止 1: 使能
8	PC14_PU	RW	1	PC14 上拉电阻使能 0: 禁止 1: 使能
7	RSV	-	-	保留
6	PC13_ADS	RW	1	PC13 数模选择 0: 配置为数字端口 1: 配置为模拟端口
5	PC13_IE	RW	1	PC13 输入使能 0: 禁止 1: 使能
4	PC13_SMT	RW	1	PC13 施密特使能 0: 禁止 1: 使能
3:2	PC13_STH	RW	0	PC13 输出驱动设置

				具体定义参见 PA0_STH
1	PC13_PD	RW	0	PC13 下拉电阻使能 0: 禁止 1: 使能
0	PC13_PU	RW	1	PC13 上拉电阻使能 0: 禁止 1: 使能

16.3.5. RPMU_ANACR/ RTC_PMU 模拟控制寄存器 (偏移: 10h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:30	RSV	-	-	保留
29:27	TRIM_Regu18	RW	100	修调 Regu18 的信号, 默认为 100
26	EN_Regu18	RW	0	Regu18 使能信号, 高有效, 默认为低;
25:24	BOR_CFG	RW	00	BOR 电压选择 00: 2.1V/2V 01: 2.3V/2.2V 10: 2.61V/2.49V 11: 2.90V/2.77V
23	BOR_EN	RW	0	BOR 使能 0: 禁止 BOR 1: 使能 BOR 注: BOR 使能后, 1us 后输出稳定, 可以设置 BOR 复位使能 (BORSTN_EN)。关闭 BOR 前, 请先关闭 BORRST_EN。
22:20	LPBGR_TRIM	RW	100	LPBGR 的 TRIM 值
19:16	RSV	-	-	保留
15:10	RC32K_TRIM	RW	0x20	RC32K 模块的 TRIM 值 TRIM 值增大, RC32K 时钟增加。

9	RC32KRDY	RO	1	RC32K 时钟 ready。RC32K 时钟稳定标志。在 RC32KEN 位清除后，RC32RDY 在额外 1 个 RC32K CLK 后变低 0: RC32K 时钟未稳定 1: RC32K 时钟稳定，时钟有效
8	RC32EN	RW	1	RC32K 时钟使能 0: RC32K 不使能 1: RC32K 使能
7:6	RSV	-	-	保留
5:3	XTLDRV	RW	111	XTL 振荡器驱动能力选择 XTLDRV[2]决定功耗模式： 0: 正常功耗 1: 低功耗 XTLDRV[1:0]决定功耗： 00: XTL 低驱动 11: XTL 高驱动
2	XTLBYP	RW	0	XTL 振荡器旁路使能 0: 禁止 XTL 振荡器旁路模式 1: 使能 XTL 振荡器旁路模式
1	XTLRDY	RO	0	XTL 振荡器 ready。XTL 振荡器时钟稳定标志，输出时钟有效。在 XTLEN 位清除后，XTLRDY 在额外 6 个 XTLCLK 后变低 0: XTL 时钟未稳定 1: XTL 时钟稳定，时钟有效
0	XTLEN	RW	0	XTL 振荡器使能 0: XTL 不使能 1: XTL 使能

16.3.6. RPMU_CR2/RTC 域控制寄存器 2(偏移: 14h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:6	RSV	-	-	保留
5:1	WU6~2POL	RW	0	WKUP6~2 管脚唤醒极性选择 0: WKUP6~2 管脚上升沿唤醒 1: WKUP6~2 管脚下降沿唤醒
0	WU1POL	RW	0	WKUP1 管脚唤醒极性选择 0: WKUP1 管脚上升沿唤醒 1: WKUP1 管脚下降沿唤醒

17. 通用输入输出接口（GPIO）

17.1. 概述

GPIO 包含通用数据输入输出接口，这些管脚可以与其他功能管脚共享，这取决于芯片的配置。通过这些数据接口，可以配置任意数目的管脚作为中断信号输入。

复用功能（AF）的备用引脚，极大提高了端口利用的灵活性。GPIO 引脚通过配置相关的寄存器可以用作复用功能输入/输出引脚。

GPIO 共有 2 组控制器，GPIO1、GPIO2。在命名规则上 GPIO1 可分为 PA0~PA15(GPIO0-GPIO15) 和 PB0~PB15(GPIO16-GPIO31)；GPIO2 可分为 PC0~PC15(GPIO32-GPIO47) 和 PD0~PD7(GPIO48-GPIO55)。

管脚所对应的功能详见《[航芯 ACM32F0X0_Datasheet](#)》或《[航芯 ACM32FP0X_Datasheet](#)》。

17.2. 主要特性

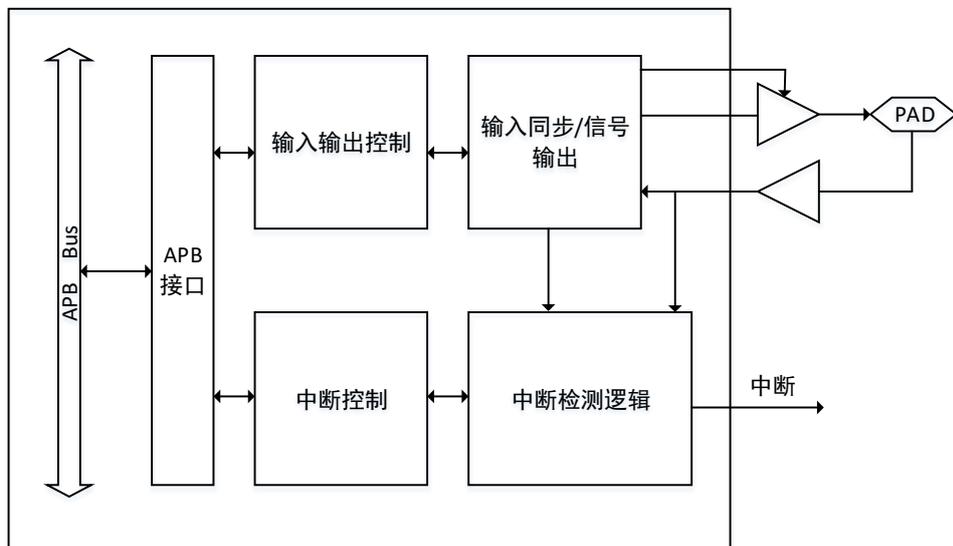
- 每个 GPIO_IN 引脚可配置成边沿或电平方式触发中断。
- 每个 GPIO 引脚可以由软件配置为输出（推挽或开漏）、输入、外设复用功能或者模拟模式。每个 GPIO 引脚都可以配置为上拉、下拉或无上拉/下拉。

17.3. 功能描述

在复位后，默认 GPIO 配置为输入，接上拉电阻，并为模拟模式。当为模拟模式时，上下拉电阻功能和施密特功能失效。

17.3.1. 结构框图

图 17-1 GPIO 结构框图



17.3.2. 输入功能

当 GPIO 配置为输入功能时：

- 施密特触发输入使能。
- 可选择弱上拉或弱下拉。上拉电阻阻值见数据手册。
- I/O 引脚的状态会不断采集并保存在 GPIO_IDATA 寄存器中。

17.3.3. 输出功能

- 施密特触发输入使能。
- 可选择弱上拉或弱下拉。
- 可选择推挽输出或开漏输出。
- 可通过配置 GPIO_SET、GPIO_CLR 控制 I/O 引脚状态或者通过 GPIO_ODATA 控制 I/O 引脚状态。

17.3.4. 复用功能 (AF)

当端口需要配置复用功能时，通过配置 SCU_PASEL1、SCU_PASEL2、SCU_PBSEL1、

SCU_PBSEL2 等系统寄存器，配置为相应的复用功能，

端口复用功能分配的介绍详见《航芯 ACM32F0X0_Datasheet》、《航芯 ACM32FP0X_Datasheet》、《航芯 ACM32A070_Datasheet》。

17.3.5. 开漏、驱动能力、上下拉、管脚复用、数字模拟配置

- 通过配置系统寄存器 PA/BODR、PC/DODR 来使能开漏。
- 通过配置系统寄存器 PASTR、PBSTR、PCSTR、PDSTR 来设置驱动能力。
- 通过配置系统寄存器 PA/BPUP、PA/BPDR；PC/DPUP、PC/DPDR 来设置上下拉电阻。
- 通过配置系统寄存器 PASEL1、PASEL2；PBSEL1、PBSEL2；PCSEL1、PCSEL2；PDSEL1 来设置复用功能。
- 通过配置系统寄存器 PA/BADS、PC/DADS 来设置数字功能或者模拟功能。

17.3.6. 附加功能

部分引脚具有附加功能，附加功能主要包括两类：模拟功能和 Standby 唤醒功能。模拟功能的引脚，直接通过 PA/BADS、PC/DADS 来配置即可，无需其他配置。对于 Standby 唤醒功能引脚，除 PC13 需要保持数字功能外，其他唤醒引脚无需配置，因为在 standby 模式下主区已经断电。唤醒功能具体见 RPMU 模块。

注意：PC13/PC14/PC15 为 RTC 域引脚，当作为 GPIO 使用时，需要配置 RPMU 模块的寄存器（主要是 IOSEL 和 IOCR），具体见 RTC 模块的 Demo 程序。

17.4. 寄存器描述

GPIO1 寄存器基地址：0x4001_F000

GPIO2 寄存器基地址：0x4001_F400

偏置	名称	描述
0x00	GPIO_DIR	GPIO 数据方向寄存器
0x08	GPIO_SET	GPIO 输出置位寄存器
0x0C	GPIO_CLR	GPIO 输出清零寄存器
0x10	GPIO_ODATA	GPIO 输出引脚映射寄存器

0x14	GPIO_IDATA	GPIO 输入引脚映射寄存器
0x18	GPIO_IEN	GPIO 中断使能寄存器
0x1C	GPIO_IS	GPIO 中断触发模式寄存器
0x20	GPIO_IBE	GPIO 中断触发模式寄存器
0x24	GPIO_IEV	GPIO 中断触发模式寄存器
0x28	GPIO_IC	GPIO 中断状态清除寄存器
0x2C	GPIO_RIS	GPIO 原始中断状态寄存器
0x30	GPIO_MIS	GPIO 屏蔽后中断状态寄存器

17.4.1. 数据方向寄存器 GPIO_DIR(偏移: 00h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31: 0	GPIO_DIR	RW	0x00000000	32 位寄存器, GPIO 输入输出控制寄存器: 0: 输入; 1: 输出。

17.4.2. 输出置位寄存器 GPIO_SET(偏移: 08h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31: 0	GPIO_SET	WO	0x00000000	32 位寄存器, GPIO 输出置位寄存器: 0: 无效操作; 1: 当 IO 为输出时, IO 置位。

17.4.3. 输出清零寄存器 GPIO_CLR(偏移: 0Ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31: 0	GPIO_CLR	WO	0x00000000	32 位寄存器, GPIO 输出清零寄存器: 0: 无效操作; 1: 当 IO 为输出时, IO 清零。

17.4.4. GPIO 输出引脚映射寄存器 GPIO_ODATA(偏移: 10h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31: 0	GPIO_ODATA	RW	0x00000000	32 位寄存器, GPIO 输出引脚映射寄存器: 当 GPIO 方向为输出有效, 写直接写至外部引脚, 读获得外部引脚值。

17.4.5. GPIO 输入引脚映射寄存器 GPIO_IDATA(偏移: 14h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31: 0	GPIO_IDATA	RO	0x00000000	32 位寄存器, GPIO 输入引脚映射寄存器: 当 GPIO 方向为输入有效, 读获得外部引脚值; 此寄存器为只读寄存器。

17.4.6. GPIO 中断使能寄存器 GPIO_IEN(偏移: 18h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31: 0	GPIO_IEN	RW	0x00000000	32 位寄存器, GPIO 中断使能寄存器: 0= 禁止相应引脚中断; 1= 使能相应引脚中断。

17.4.7. GPIO 中断触发模式寄存器 GPIO_IS(偏移: 1Ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31: 0	GPIO_IS	RW	0x00000000	32 位寄存器, GPIO 中断模式: 0= 边沿检测; 1= 电平检测。

17.4.8. GPIO 中断触发模式寄存器 GPIO_IBE(偏移: 20h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31: 0	GPIO_IBE	RW	0x00000000	32 位寄存器, GPIO 中断模式: 0= 单边沿触发; 1= 双边沿触发。

17.4.9. GPIO 中断触发模式寄存器 GPIO_IEV(偏移: 24h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31: 0	GPIO_IEV	RW	0x00000000	32 位寄存器, GPIO 中断模式: 0= 下降沿/低电平触发; 1= 上升沿/高电平触发。

17.4.10. GPIO 中断状态清除寄存器 GPIO_IC(偏移: 28h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31: 0	GPIO_IC	WO	0x00000000	32 位寄存器, GPIO 中断清除寄存器: 0= 无效操作。 1= 清除对应引脚中断。

17.4.11. GPIO 原始中断状态寄存器 GPIO_RIS(偏移: 2Ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31: 0	GPIO_RIS	RO	0x00000000	32 位寄存器, GPIO 原始中断寄存器: 0= 对应引脚无中断挂起。 1= 对应引脚有中断挂起。

17.4.12. GPIO 屏蔽后中断状态寄存器 GPIO_MIS(偏移: 30h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31: 0	GPIO_MIS	RO	0x00000000	32 位寄存器，GPIO 屏蔽后中断状态寄存器：反映对应引脚屏蔽后的中断状态。

17.5. 使用流程

17.5.1. 输入输出 IO

- 配置 GPIO_DIR 寄存器，选择 GPIO 方向
- 可使用 GPIO_SET/GPIO_CLR 或 GPIO_ODATA 来设置输出电平
- 使用 GPIO_IDATA 来获取输入引脚电平

17.5.2. 中断触发模式

中断初始化过程：

1. 设置 GPIO_DIR 为输入。
2. 清除 GPIO_IE 以避免异常。
3. 配置寄存器 GPIO_IS，选择是边沿/电平触发类型。
4. 在单边沿触发方式下，配置寄存器 GPIO_IBE，确定是单边触发还是双边触发。
5. 在单边沿触发方式下，配置寄存器 GPIO_IEV，确定是哪种边沿触发类型。
6. 在电平触发方式下，配置寄存器 GPIO_IEV，确定是哪种电平触发类型。
7. 配置寄存器 GPIO_IC 来清除中断。
8. 配置寄存器 GPIO_IE 使能相应位中断。

17.5.3. 清除中断

ISR 写 GPIO_IC 来清除中断状态。如果在清除寄存器的同时有新的边沿触发中断产生，这个新的中断将会保持有效直到下一次清除。读取中断状态操作应该在清 GPIO_IE 之前进行，清 GPIO_IE 操作将清除相应中断状态。

18. 串行外设接口（SPI）

18.1. 概述

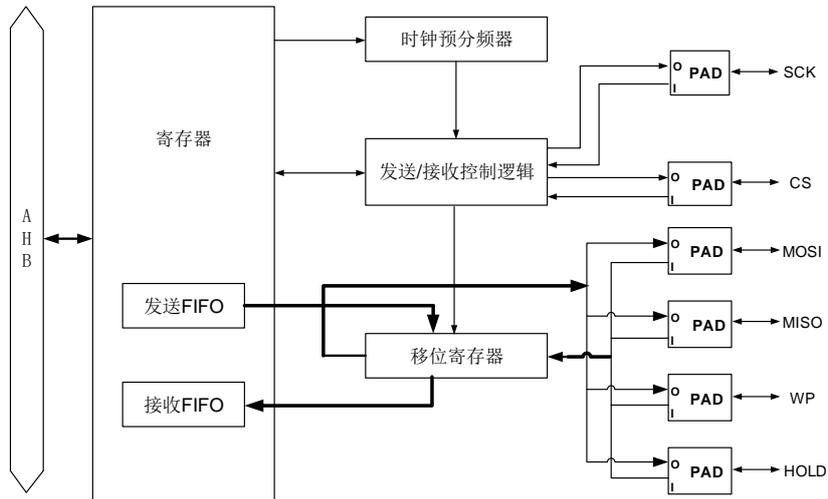
SPI 接口模块用于微控制器（MCU）与满足 SPI 外设之间进行全双工、全同步、串行通讯；SPI 接口 IP 可以工作在查询或中断方式下。

18.2. 主要特性

- 可选择主/从模式；
- 可通过两级分频因子来配置宽范围波特率；
- 支持 Mode0/1/2 /3 四种传输协议；
- 支持 SPI 一线、二线、四线传输；
- 其中 SPI2 支持存储器读取模式；

18.3. 结构框图

图 18-1 SPI 结构框图



18.4. 功能描述

18.4.1. 时序图

SPI 模块支持一线模式和多线传输模式（二线和四线模式）下的 IO 定义为：IO0 (MOSI), IO1 (MISO), IO2 (WP), IO3 (HOLD)。

时序图如下：

- 一线模式时序

图 18-2 SPI 一线模式时序图 (MSB)

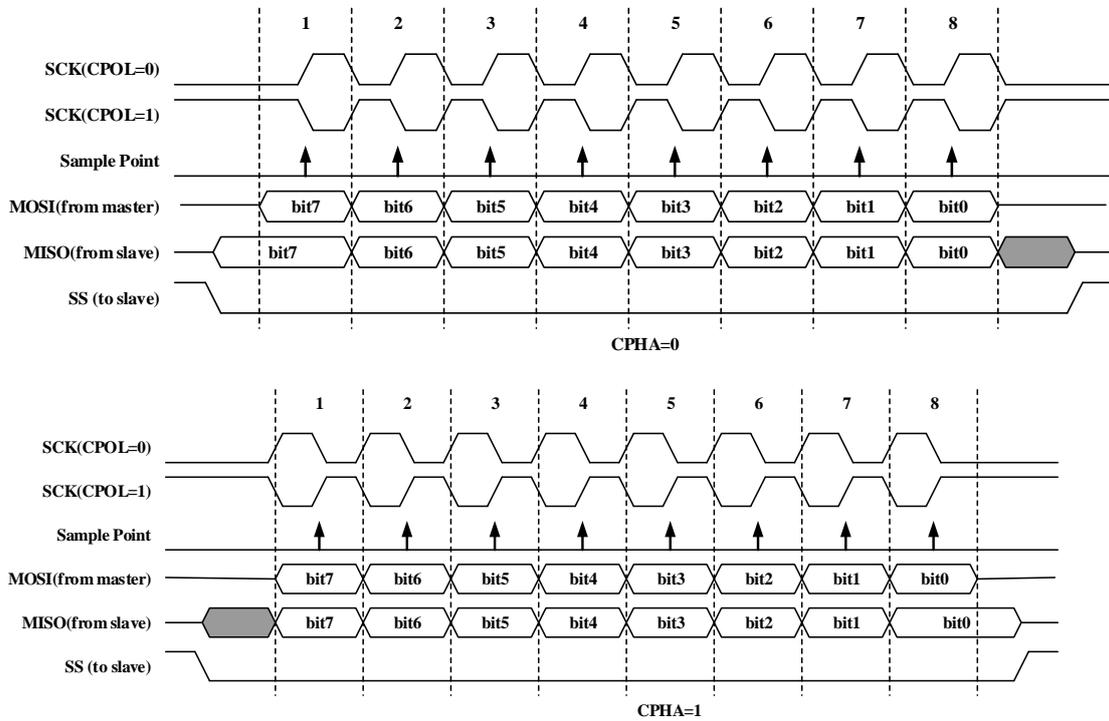
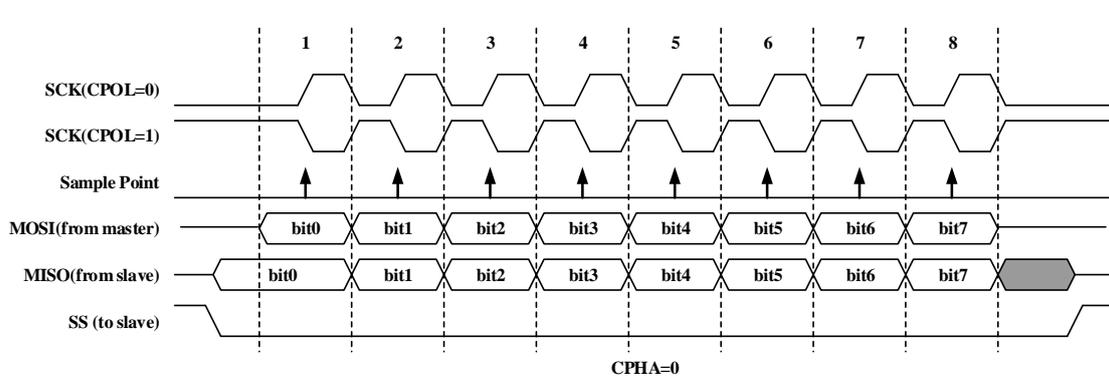
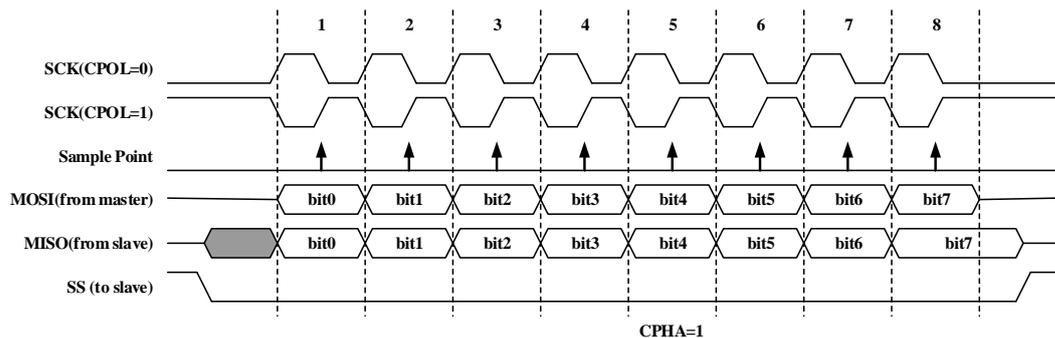


图 18-3 SPI 一线模式时序图 (LSB)





● 二线模式时序

图 18-4 SPI 二线模式时序图 (MSB)

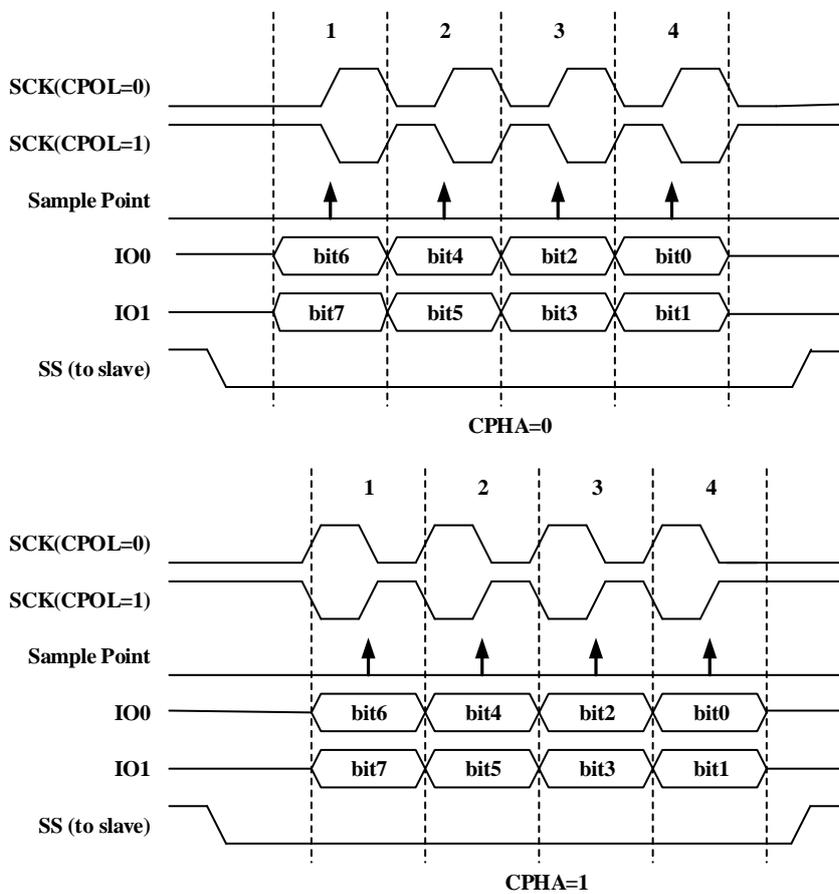
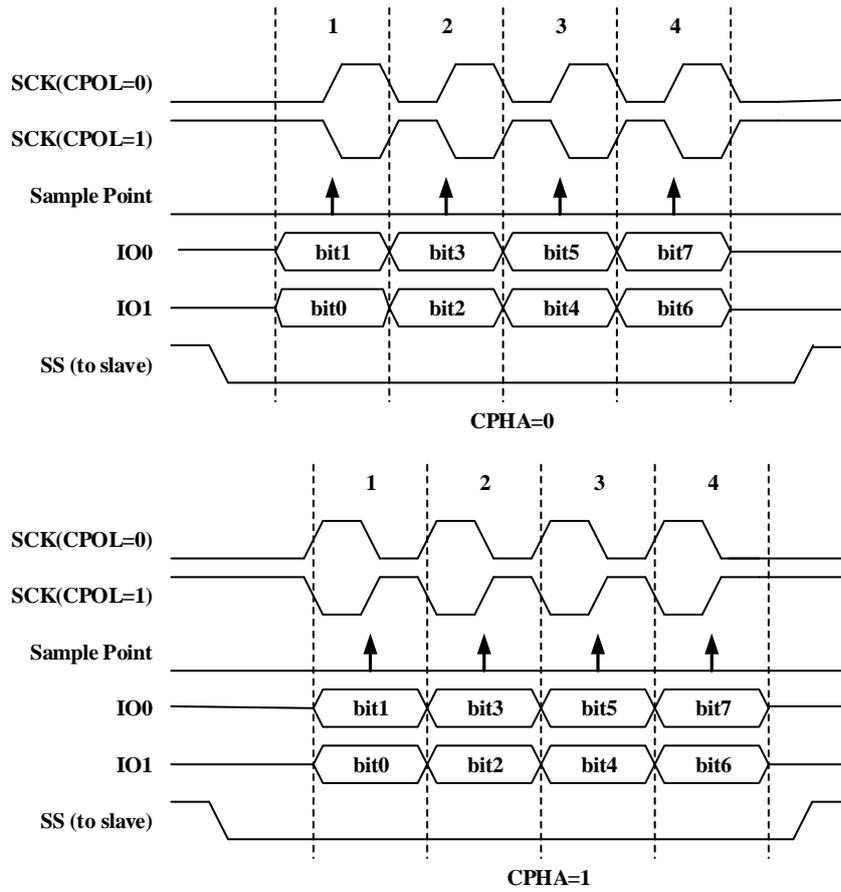
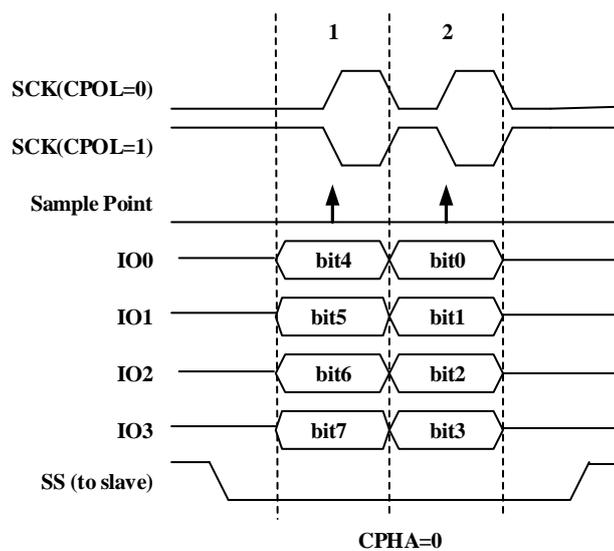


图 18-5 SPI 二线模式时序图 (LSB)



● 四线模式时序

图 18-6 SPI 四线模式时序图 (MSB)



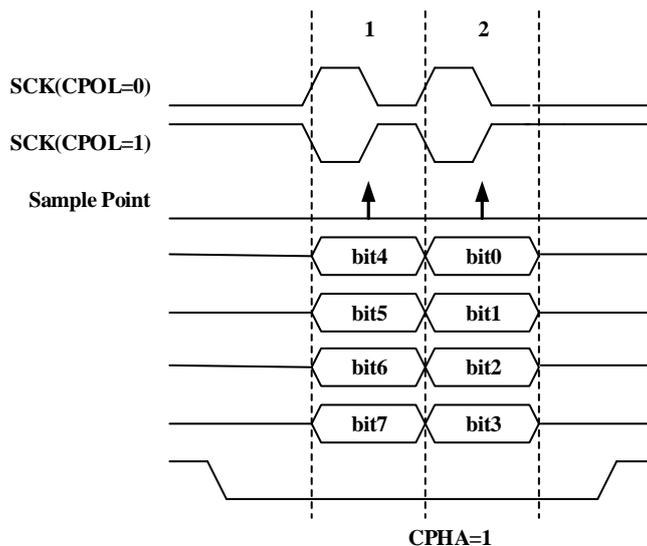
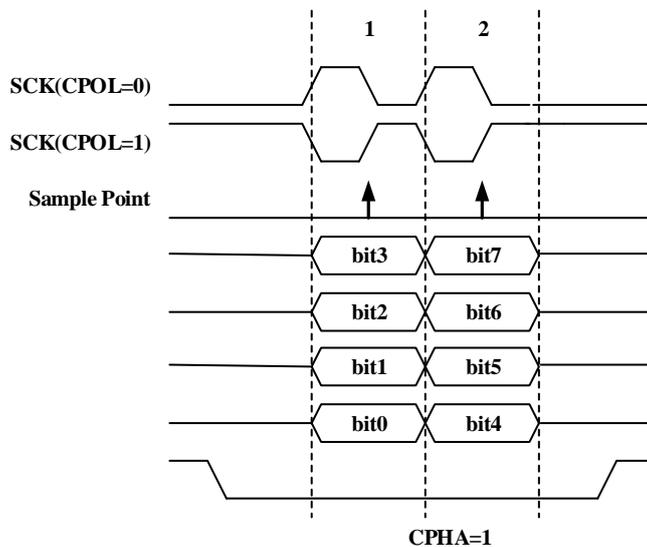
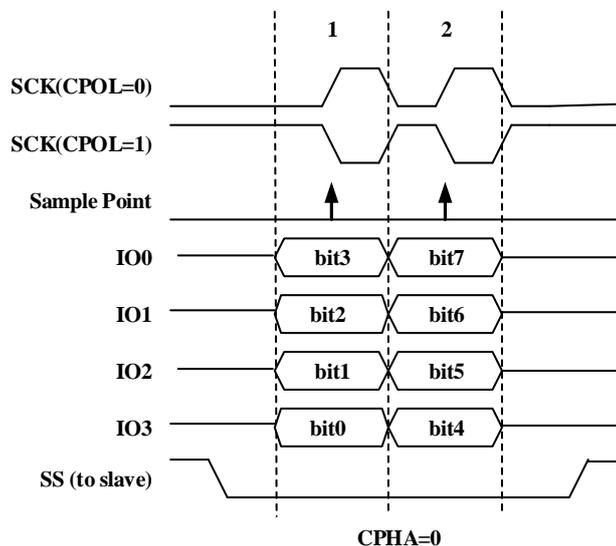


图 18-7 SPI 四线模式时序图 (LSB)



18.4.2. 时钟波特率设置

SPI 的时钟波特率设置，通过设置 SPI_BAUD 寄存器来完成。

根据 HCLK 频率和需要设定的 SPI 时钟频率，计算并设置 DIV2 和 DIV1。

注：分频因子 DIV1 必须是 2 到 254 之间的偶数（包括 2 和 254）。

SPI 串行时钟计算公式： $SPI_CLK = F_{HCLK} / (DIV1 * (DIV2+1))$ 。

例如：在 F_{HCLK} 为 64MHz 时，如需设置 SPI 的时钟频率为 8MHz，可设置 DIV1 为 8，DIV2 为 0。

18.4.3. DMA 请求

每个 SPI 接口的 TX 和 RX 都支持 DMA 功能，都有其对应的 DMA 请求号。

设置 SPI_TX_CTL 寄存器中的 TX_DMA_REQ_EN 位使能 SPI 的 DMA 发送，设置 SPI_RX_CTL 寄存器中的 RX_DMA_REQ_EN 位使能 SPI 的 DMA 接收。

同时还可以用 SPI 的 FIFO 功能来发起 DMA 请求。

设置 SPI_TX_CTL 寄存器中的 TX_DMA_Level 位域，值为 TX DMA 请求 level。当 TX FIFO 中的数据小于等于此值时，TX DMA 请求有效。设置 SPI_RX_CTL 寄存器中的 RX_DMA_Level 位域，值为 RX DMA 请求 level。当 RX FIFO 中的数据大于等于此值时，RX DMA 请求有效。

18.4.4. 存储器读取模式

其中一个 SPI 控制器接口模块支持对满足 SPI 协议的存储器的快速读取功能，当该功能开启时 MCU 可以如读取普通存储器一样通过内存地址直接访问 SPI 协议的 nor_flash。

基本原理是在设定 SPI 的基本参数如时钟波特率、工作模式、线宽模式之后，在 SPI_CMD 寄存器的 Rd_Cmd 位中写入需要发送的读命令，SPI_PARA 寄存器的 Para1 位设置需要发送的参数 1（如果需要）；再通过 SPI_MEMO_ACC 寄存器 Addr_width / PARA_NO2 / PARA_NO1 / Para_Ord2 / Para_Ord1 设置地址宽度、参数及发送次序；最后使能 SPI_ACC_EN 位，开启 SPI_ACC_EN 位后，硬件自动控制 SPI 接口的输入与输出，即完成读取 SPI 存储设备的准备设置。

AHB 总线可以直接对存储器地址进行读操作，硬件会自动开启对 SPI 存储器的通信，包

括发送命令和地址和接收存储器发回的数据,在通信完成后 SPI 接口将把读取的数值通过 AHB 总线返回 MCU。

例如: 在开启存储器读取模式后, SPI flash 中的数据将被映射到 0x9000_0000 开始的地址中, 可以从该地址直接读取数据。

18.5. 寄存器描述

SPI1 寄存器基地址: 0x4002_0000

SPI2 寄存器基地址: 0x4002_0400

偏置	名称	描述
0x00	SPI_TX_DAT	发送数据寄存器
0x00	SPI_RX_DAT	接收数据寄存器
0x04	SPI_BAUD	波特率设置寄存器
0x08	SPI_CTL	控制寄存器
0x0C	SPI_TX_CTL	发送控制寄存器
0x10	SPI_RX_CTL	接收控制寄存器
0x14	SPI_IE	中断控制寄存器
0x18	SPI_STATUS	状态寄存器
0x1C	SPI_TXDelay	发送等待寄存器
0x20	SPI_BATCH	批量数据个数寄存器
0x24	SPI_CS	从设备选择寄存器
0x28	SPI_OUT_EN	管脚输出使能
0x2C	SPI_MEMO_ACC	SPI2 取值控制寄存器
0x30	SPI_CMD	SPI2 取值命令寄存器
0x34	SPI_PARA	SPI2 取值参数寄存器

18.5.1. SPI 发送数据寄存器 SPI_TX_DAT(偏移: 00h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:8	RSV	-	-	保留

7:0	TX_DAT	WO	0x0	发送数据寄存器 该寄存器只写，读操作返回 SPI_RX_DAT 的值。
-----	--------	----	-----	--

18.5.2. SPI 接收数据寄存器 SPI_RX_DAT(偏移: 00h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:8	RSV	-	-	保留
7:0	RX_DAT	RO	0x0	接收数据寄存器 该寄存器只读，写操作改变 SPI_TX_DAT 的值。

18.5.3. SPI 波特率设置寄存器 SPI_BAUD(偏移: 04h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:16	RSV	-	-	保留
15:8	DIV2	RW	0x0	SPI 串行时钟二级分频因子。
7:0	DIV1	RW	0x2	SPI 串行时钟一级分频因子。该分频因子必须是 2 到 254 之间的偶数（包括 2 和 254）。Bit[0]返回值总是为 0。

$$\text{SPI 串行时钟:SPI_CLK} = F_{\text{HCLK}} / (\text{DIV1} * (\text{DIV2}+1))$$

18.5.4. SPI 控制寄存器 SPI_CTL(偏移: 08h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:20	RSV	-	-	保留
19	RSV	-	-	保留，此位须为 0
18:11	CS_TIME	RW	0x5	存储映射模式下 CS 高电平持续周期 (CS 高电平持续周期为寄存器值加 1，为 0 时 CS 持续一个系统时钟周期)
10	CS_FILTER	RW	0	1: 开启从机 CS 滤毛刺功能;

				0: 不开启从机 CS 滤毛刺功能;
9	CS_RST	RW	0	从机 CS 复位选择位 1: CS 无效时不复位从机内部比特计数; 0: CS 无效时复位从机内部比特计数; 注: 此寄存器不向客户开放
8	SLAVE_EN	RW	0	从机收发逻辑使能位 1: 使能 SPI 从机功能; 0: 不使能 SPI 从机功能 ; 注: 默认 SPI 从模式时不使能 SPI 从机逻辑不影响 FIFO 读写, SPI 从模式初始化时, 该位需要置 0, 待从机 SPI 初始化完成后使能该位。
7	IO_MODE	RW	0	IO 方向模式选择位 1: 硬件自动切换; 0: 软件切换;
6:5	X_Mode	RW	00	多线模式控制位 00: 1X 模式; 01: 2X 模式; 10: 4X 模式; 11: 保留;
4	LSB_first	RW	0	MSB/LSB 在前选择位 1: SPI 总线传输中 LSB 在前; 0: SPI 总线传输中 MSB 在前;
3	CPOL	RW	0	时钟极性控制位 1: SCLK 低电平有效。空闲状态下为高; 0: SCLK 高电平有效。空闲状态下为低;
2	CPHA	RW	0	时钟相位控制位 1: 在时钟 SCLK 的偶边沿采样数据。 0: 在时钟 SCLK 的奇边沿采样数据。
1	SFILTER	RW	0	从机时钟滤毛刺选择位

				<p>1: 开启从机时钟滤毛刺功能;</p> <p>0: 不开启从机时钟滤毛刺功能;</p> <p>注: 开启从机时钟滤毛刺功能后, 48M 主频下从机 SPI 最高频率为 4M</p>
0	Mst_mode	RW	0	<p>主从模式选择位</p> <p>1: SPI 工作在主模式下;</p> <p>0: SPI 工作在从模式下;</p>

18.5.5. SPI 发送控制寄存器 SPI_TX_CTL (偏移: 0Ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:16	RSV	-	-	保留
15:8	Dummy	RW	0x0	无效字节寄存器
7:4	TX_DMA_Level	RW	0000	TX DMA 请求 level。当 TX FIFO 中的数据小于等于此值时, TX DMA 请求有效。
3	TX_DMA_REQ_EN	RW	0	TX DMA 请求使能。 其值为 1, 且 FIFO 中的数据小于等于 TX_DMA_Level 时, 发出 DMA 请求。
2	TX_MODE	RW	0	从机发送数据选择位 1: 发送 FIFO 中数据, 不发送 Dummy; 0: 先发送 Dummy, 然后发送 FIFO 中数据 置 1 不发送 Dummy 时, 必须保证 SPI 作为从机发送数据时 FIFO 有数据, 该位值必须在 CS 无效或 SLAVE_EN 为 0 时修改。
1	TX_FIFO_Reset	RW	0	TX_FIFO 复位控制位 1: 写 1 复位发送 FIFO 指针; 0: 无影响; 写 1 复位有效, 直到写 0 复位才会撤销。
0	TX_EN	RW	0	发送使能位

				1: TX 方向使能; 0: TX 方向禁止;
--	--	--	--	----------------------------

18.5.6. SPI 接收控制寄存器 SPI_RX_CTL(偏移: 10h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:8	RSV	-	-	保留
7:4	RX_DMA_Level	RW	0000	RX DMA 请求 level。当 RX FIFO 中的数据大于等于此值时，RX DMA 请求有效。
3	RX_DMA_REQ_EN	RW	0	RX DMA 请求使能。 其值为 1，且当 FIFO 中的数据大于等于 RX_DMA_Level 时，发出 DMA 请求。
2	RSV	-	-	保留
1	RX_FIFO_Reset	RW	0	RX_FIFO 复位控制位 1: 写 1 复位接收 FIFO 指针; 0: 无影响; 写 1 复位有效，直到写 0 复位才会撤销
0	RX_EN	RW	0	接收使能位 1: RX 方向使能; 0: RX 方向禁止;

18.5.7. SPI 中断控制寄存器 SPI_IE(偏移: 14h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:16	RSV	-	-	保留
15	RX_BATCH_DONE_EN	RW	0	接收批量传输完成中断使能位 1: 中断使能; 0: 中断禁止;

14	TX_BATCH_DONE_EN	RW	0	发送批量传输完成中断使能位 1: 中断使能; 0: 中断禁止;
13	RX_FIFO_FULL_OVERFLOW_EN	RW	0	从机接收 FIFO 写溢出中断使能位 1: 中断使能; 0: 中断禁止;
12	RX_FIFO_EMPTY_OVERFLOW_EN	RW	0	从机接收 FIFO 读溢出中断使能位 1: 中断使能; 0: 中断禁止;
11	RX_FIFO_NOT_EMPTY_EN	RW	0	接收 FIFO 非空中断使能位 1: 中断使能; 0: 中断禁止;
10	CS_POS_EN	RW	0	CS 管脚电平上升沿事件中断使能位 1: 中断使能; 0: 中断禁止;
9	RX_FIFO_HALF_FULL_EN	RW	0	接收 FIFO 半满中断使能位 1: 中断使能; 0: 中断禁止;
8	RX_FIFO_HALF_EMPTY_EN	RW	0	接收 FIFO 半空中断使能位 1: 中断使能; 0: 中断禁止;
7	TX_FIFO_HALF_FULL_EN	RW	0	发送 FIFO 半满中断使能位 1: 中断使能; 0: 中断禁止;
6	TX_FIFO_HALF_EMPTY_EN	RW	0	发送 FIFO 半空中断使能位 1: 中断使能; 0: 中断禁止;
5	RX_FIFO_FULL_EN	RW	0	接收 FIFO 满中断使能位 1: 中断使能;

				0: 中断禁止;
4	RX_FIFO_EMPTY_EN	RW	0	接收 FIFO 空中断使能位 1: 中断使能; 0: 中断禁止;
3	TX_FIFO_FULL_EN	RW	0	发送 FIFO 满中断使能位 1: 中断使能; 0: 中断禁止;
2	TX_FIFO_EMPTY_EN	RW	0	发送 FIFO 空中断使能位 1: 中断使能; 0: 中断禁止;
1	BATCH_DONE_EN	RW	0	批量完成中断使能位 1: 中断使能; 0: 中断禁止;
0	RSV	-	-	保留

18.5.8. SPI 状态寄存器 SPI_STATUS(偏移: 18h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:16	RSV	-	-	保留
15	RX_BATCH_DONE	RO	0	接收模式下批量传输完成标志位 写第 1 位 BATCH_DONE 清除该位 注: 全双工模式下与 TX_BATCH_DONE 同时产生
14	TX_BATCH_DONE	RO	0	发送模式下批量传输完成标志位 写第 1 位 BATCH_DONE 清除该位
13	RX_FIFO_FULL_OVERFLOW	RO	0	从机接收 FIFO 写入溢出标志位 1: 发生从机接收 FIFO 写入溢出; 0: 未发生从机接收 FIFO 写入溢出;
12	RX_FIFO_EMPTY_OVER	RO	0	从机接收 FIFO 读出溢出标志位

	FLOW			1: 发生从机接收 FIFO 读出溢出; 0: 未发生从机接收 FIFO 读出溢出;
11	RX_FIFO_NOT_EMPTY	RO	0	接收 FIFO 非空标志位
10	CS_POS_Flg	RC_W1	0	CS 管脚电平上升沿事件标志位 1: 发生管脚电平上升沿事件; 0: 未发生事件; 写 1 清除该标志位。
9	RX_FIFO_HALF_FULL	RO	0	接收 FIFO 半满标志位 1: 接收 FIFO 中的字节数大于等于 8; 0: 接收 FIFO 中的字节数小于 8;
8	RX_FIFO_HALF_EMPTY	RO	1	接收 FIFO 半空标志位 1: 接收 FIFO 的剩余空间大于等于 8; 0: 接收 FIFO 中的字节数小于等于 8;
7	TX_FIFO_HALF_FULL	RO	0	发送 FIFO 半满标志位 1: 发送 FIFO 中的字节数大于等于 8; 0: 发送 FIFO 中的字节数小于 8;
6	TX_FIFO_HALF_EMPTY	RO	1	发送 FIFO 半空标志位 1: 发送 FIFO 的剩余空间大于等于 8; 0: 发送 FIFO 中的字节数小于等于 8;
5	RX_FIFO_FULL	RO	0	接收 FIFO 满标志位 1: 接收 FIFO 中满; 0: 接收 FIFO 未满; 注: 从机接收数据时, 为防止数据接

				收溢出，可通过查询接收 FIFO 非空和接收 FIFO 半满来读数据。
4	RX_FIFO_EMPTY	RO	1	接收 FIFO 空标志位 1: 接收 FIFO 空; 0: 接收 FIFO 非空;
3	TX_FIFO_FULL	RO	0	发送 FIFO 满标志位 1: 发送 FIFO 中满; 0: 发送 FIFO 未满;
2	TX_FIFO_EMPTY	RO	1	发送 FIFO 空标志位 1: 发送 FIFO 空; 0: 发送 FIFO 非空; 注:从机发送数据时, 为从机连续发送有效数据, 可通过查询发送 FIFO 半空或发送 FIFO 满标志来往 FIFO 中写数据。
1	BATCH_DONE	RC_W1	0	批量传输完成标志位。写 1 则清除该标志位 1: 传输完成; 0: 传输未完成; 该状态发送模式和接收模式均会产生
0	TX_BUSY	RO	0	SPI 忙于发送标志位 1: 作从机时, SPI 正在发送数据或发送状态下发送 FIFO 不为空。作主机时, SPI 主机正在发送数据; 0: SPI 空闲; 硬件清 0 和置 1 从机模式下, FIFO 非空, SPI 正在发送数据, TX_BUSY 将置 1

注明: SPI 模块作为主机时, 批量传输完成后, BATCH_DONE 置位, SPI 模块不会再发送

/接收数据。

SPI 模块作为从机发送模式时，批量传送完成后，`BATCH_DONE` 置位，如主机继续读取数据，从机重新开始一次新的计数，SPI 模块会继续发送数据，优先发送 FIFO 中的数据，FIFO 中数据发送为空后，发送 dummy byte。

SPI 模块作为从机接收模式时，批量传送完成后，`BATCH_DONE` 置位，如主机继续发送数据，从机重新开始一次新的计数，并将数据写入 FIFO 中。

在全双工模式下时，`BATCH_DONE` 表示批量发送和接收完成。从机双工模式下，批量发送和接收完成后，如果主机继续传输，从机从新开始一次新的计数。从机双工模式下，批量传输完成后主机停止发送和接收。

`TX_BUSY` 标志由硬件置 1 和清 0（对此操作写没有任何作用），`TX_BUSY` 用于 SPI 通信状态。`TX_BUSY` 置 1 时，表示 SPI 正在发送数据。如果软件要关闭 SPI 或 SPI 其他操作，可以使用 `TX_BUSY` 标志检测传输是否结束以避免破坏最后一个字节传输。

18.5.9. SPI 发送等待寄存器 `SPI_TXDelay`(偏移：1Ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:0	<code>SPI_TDY</code>	RW	0x0	SPI 每发送一个字节需要等待的 SPI 引擎。该控制位只在主模式下有效。

在发送等待的过程中，CLK 将按照 CPOL 设定值停止。

18.5.10. SPI 批量传输数据个数寄存器 `SPI_BATCH` (偏移：20h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:20	<code>RSV</code>	-	-	保留
19:0	<code>Batch_Number</code>	RW	0x0	该寄存器用来存储 SPI 总线上即将传输的数据字节个数。

18.5.11. SPI 从设备选择寄存器 `SPI_CS`(偏移：24h)

比特	名称	属性	复位值	描述
----	----	----	-----	----

31:2	RSV	-	-	保留
1:0	SPI_CS	WO	00	置 1 将使设备选择信号 SPI_CS[1:0]变低。主模式下此位应该在配置的最后一步写入，写此位后数据传输立即开始。如果主模式在传输的不同阶段需要改变其它寄存器的配置，即么需要重新写此位（不管此位变或不变）来触发下一次传输。 从模式下，写此位无效。 读此位 0，反映 CS[0]管脚的状态。

注：从机 SPI_CLK 极性必须在 CS 有效之前的一个 SPI_CLK 周期初始化完成。

18.5.12. SPI 管脚输出方向 SPI_OUT_EN(偏移：28h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:4	RSV	-	-	保留
3	SPI_HOLD_EN	RW	0	管脚输出使能位 1: 输出模式; 0: 输入模式; 在 IO 自动切换的时候, 该位无效
2	SPI_WP_EN	RW	0	管脚输出使能位 1: 输出模式; 0: 输入模式; 在 IO 自动切换的时候, 该位无效
1	SPI_MISO_EN	RW	0	管脚输出使能位 1: 输出模式; 0: 输入模式; 在 IO 自动切换的时候, 该位无效
0	SPI_MOSI_EN	RW	0	管脚输出使能位 1: 输出模式; 0: 输入模式;

				在 IO 自动切换的时候，该位无效
--	--	--	--	-------------------

18.5.13. SPI2 取值控制寄存器 SPI_MEMO_ACC(偏移：2Ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:19	RSV	-	-	保留位。
18:14	Addr_width	RW	0x10	发送地址的位数等于该寄存器值。 地址从 AHB 地址总线 LSB 向上取值。 最大值为 24，超过将会按 24 进行后续计算 0x08 : 8 bit 0x10 : 16bit 0x18 : 24bit 其他非 0: 24bit
13:9	PARA_NO2	RW	0x0	发送参数 1 的位数等于该寄存器值。 参数从 PARA2 的 LSB 向上取值。 0 表示不使用参数 2，最大值为 16，超过将会按 16 进行后续计算。 0x08: 8 bit 0x10: 16bit 0x00: 不使能 其他非 0: 16bit
8:5	PARA_NO1	RW	0000	发送参数 2 的位数等于该寄存器值。 参数从 PARA1 的 LSB 向上取值。 0 表示不使用参数 1，最大值为 8，超过将会按 8 进行后续计算。 1000: 8 bit 0000: 不使能 其他非 0: 8bit。
4	RVS	-	-	保留
3	Con_Rd_EN	RW	0	连读使能位。

				1: 使能连续。 0: 不使能连续。
2	Para_Ord2	RW	0	决定在发送地址前后加入参数 2。 1: 在地址后发送。 0: 在地址前发送。
1	Para_Ord1	RW	0	决定在发送地址前后加入参数 1。 1: 在地址后发送。 0: 在地址前发送。
0	SPI_Acc_EN	RW	0	SPI 快速访问存储器功能块使能。 1: 使能。 0: 不使能, 作为普通 spi 接口。

18.5.14. SPI2 取值命令寄存器 SPI_CMD(偏移: 30h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:16	RSV	-	-	保留位。
15:8	Wr_Cmd	RW	0x0	存放写 SPI 存储器的指令。
7:0	Rd_Cmd	RW	0x0	存放读 SPI 存储器的指令。

18.5.15. SPI2 取值参数寄存器 SPI_PARA(偏移: 34h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:24	RSV	-	-	保留位。
23:8	Para2	RW	0x0	存放可能使用的地址 Dummy 或命令参数。
7:0	Para1	RW	0x0	存放可能使用的地址 Dummy 或命令参数。

PS: 取值模式多线模式下, 命令、地址、参数, 仍然以一线模式传输。

参数 1 和参数 2 如果需要同时发送, 先发送参数 1, 后发送参数 2。

18.6. 使用流程

18.6.1. SPI 主模式发送

1、初始阶段

- 1) 配置 SPI 控制寄存器。X_Mode、LSB_first、CPOL、CPHA、Mst_mode 比特位。
- 2) 配置波特率寄存器。
- 3) 配置发送等待寄存器。
- 4) 配置 SPI_OUT_EN 寄存器切换管脚或配置 SPI_CTL 的 IO_MODE 位为 1 硬件自动切换管脚。

2、发送阶段

- 1) 设置 SPI 发送控制寄存器 SPI_TX_CTRL 中的 TX_EN 比特位。
- 2) 设置 SPI_BATCH 寄存器。
- 3) 通过 SPI 从设备选择寄存器，将 SPI 配置成选择状态。
- 4) 当发送 FIFO 非满时，写入待发送的数据，直到 BATCH 个数据全部发完。
- 5) 等待 SPI 状态寄存器 BATCH_DONE 状态位置位。
- 6) 再次发送数据重复 2-5，直至 SPI 数据全部发送完成。
- 7) 清除 SPI_TX_CTRL 中的 TX_EN 位。
- 8) 清除 SPI 从设备选择寄存器，结束发送。

18.6.2. SPI 主模式接收

1、初始阶段

- 1) 配置 SPI 控制寄存器。X_Mode、LSB_first、CPOL、CPHA、Mst_mode 比特位。
- 2) 配置波特率寄存器。
- 3) 配置发送等待寄存器。
- 4) 配置管脚输出使能寄存器。
- 5) 配置 SPI_OUT_EN 寄存器切换管脚或配置 SPI_CTL.IO_MODE 硬件自动切换管脚

2、发送阶段

- 1) 设置 SPI 发送控制寄存器 SPI_RX_CTRL 中的 RX_EN 比特位。
- 2) 设置 SPI_BATCH 寄存器。
- 3) 通过 SPI 从设备选择寄存器，将 SPI 配置成选择状态。
- 4) 当接收 FIFO 非空时，读取接收 FIFO 中的数据，直到 BATCH 个数据全部收完。
- 5) 等待 SPI 状态寄存器 BATCH_DONE 状态位置位。
- 6) 再次接收数据重复 2-5，直至 SPI 数据全部接收完成。
- 7) 清除 SPI_RX_CTRL 中的 RX_EN 位。
- 8) 清除 SPI 从设备选择寄存器，结束接收。

18.6.3. SPI 主模式接收时 Dummy 控制位

SPI 工作在主模式，当仅处于接收模式下，MOSI 数据线的状态由 Dummy 控制位决定。当 SPI 引擎会将 Dummy 数据按比特移出。

18.6.4. SPI 从模式发送时 Dummy 控制位

当 TX_MODE 为 0，SPI 发送 FIFO 为空时，FIFO 指针需要从 CPU 时钟域同步到 SPI 时钟域，1 线和 2 线模式需要一个字节进行同步，4 线模式则需要 2 个字节进行同步，当主设备发起传输时，主设备需要多接收 1 到 2 个 Dummy 字节。

当 TX_MODE 为 1，SPI 发送 FIFO 为空时，FIFO 指针不需要从 CPU 时钟域同步到 SPI 时钟域，当主设备发起传输时，从机中的 FIFO 有效数据可以立即发送出去，主设备不会多接收 Dummy 字节。

18.6.5. SPI 从模式接收时 Dummy 控制位

SPI 工作在从模式，当仅处于接收模式下，MISO 数据线的状态由 Dummy 控制位决定。SPI 引擎会将 Dummy 数据按比特移出。

18.6.6. SPI 存储器读取

SPI2 接口模块支持对满足 SPI 协议的存储器的快速读取功能，当该功能开启时 MCU 可以

如读取普通存储器一般快速读取支持 SPI 协议的 sram 或者 nor_flash。其使用方法及设置步骤如下：

对于不同的 spi 存储器件，如有需要需按照器件的各自要求设置其状态寄存器。关于 spi 存储器的设置要求，请参照其各自 spec。

进行读操作前，需要进行一些基本设定，通过 SPI_BAUD 寄存器设置时钟波特率；通过 SPI_CTL 寄存器的 CPOL 位和 CPHA 位设置 SPI 工作模式；通过设置 SPI_CTL 寄存器的 X_mode 位设置线宽模式；之后在在 SPI_CMD 寄存器的 Rd_Cmd 位中写入需要发送的读命令，SPI_PARA 寄存器的 Para1 位设置需要发送的参数 1（如果需要）；再通过 SPI_MEMO_ACC 寄存器 Addr_width / PARA_NO2/ PARA_NO1/ Para_Ord2/ Para_Ord1 设置地址宽度、参数及发送次序；最后使能 SPI_ACC_EN 位，开启 SPI_ACC_EN 位后，硬件自动控制 SPI 接口的输入与输出，即完成读取 SPI 存储设备的准备设置。

AHB 总线可以直接对存储器地址进行读操作，硬件会自动开启对 SPI 存储器的通信，包括发送命令和地址和接收存储器发回的数据，在通信完成后 SPI 接口将把读取的数值通过 AHB 总线返回 MCU。

18.6.7. SPI 存储器读取（连读）

启动连读使能位即 SPI_MEMO_ACC 寄存器的 Con_Rd_EN 位之后，当条件满足时，硬件会自动开启连读功能停止发送命令以及地址以减少读操作用时。连读的条件为：

- 1) 读取地址为连续值，即没有地址跳变。
- 2) 没有进行过写操作。

除了设置寄存器外，连读模式对用户操作没有影响，当连读模式启动时，用户操作等同于读取普通读取 spi 存储器。

18.6.8. SPI SRAM 写入

同时 SPI 接口模块支持对满足 SPI 协议的 sram 的写功能，其使用方法如下：

首先需要设置 SPI_CTL 寄存器的 Mst_mode 位，将 SPI 接口置于主模式；然后通过 SPI_BAUD 设置时钟波特率，通过 SPI_CTL 的 CPOL 和 CPHA 设置 SPI 工作模式；再后设置 SPI_CTL 的 X_mode 位和 SPI_OUT_EN 寄存器设定通信 IO。以上为 SPI 主模块发送准备设置。

之后通过 SPI_CMD 寄存器的 Wr_Cmd 位设置需要发送的写命令、SPI_PARA 寄存器的 Para1(2)位设置需要发送的参数 1(2)(如果需要);再通过 SPI_MEMO_ACC 寄存器 Addr_width / PARA_NO2/ PARA_NO1/ Para_Ord2/ Para_Ord1 设置地址宽度、参数及发送次序,最后使能 SPI_ACC_EN 位,开启 SPI_ACC_EN 位后,硬件自动控制 SPI 接口的输入与输出,即完成写 SPI sram 的准备设置。

最后 AHB 可以直接对 sram 地址进行写操作,硬件会自动开启对 SPI sram 的通信,在通信完成后 SPI 接口会将值写入 sram。

19. 通用异步收发器（UART）

19.1. 概述

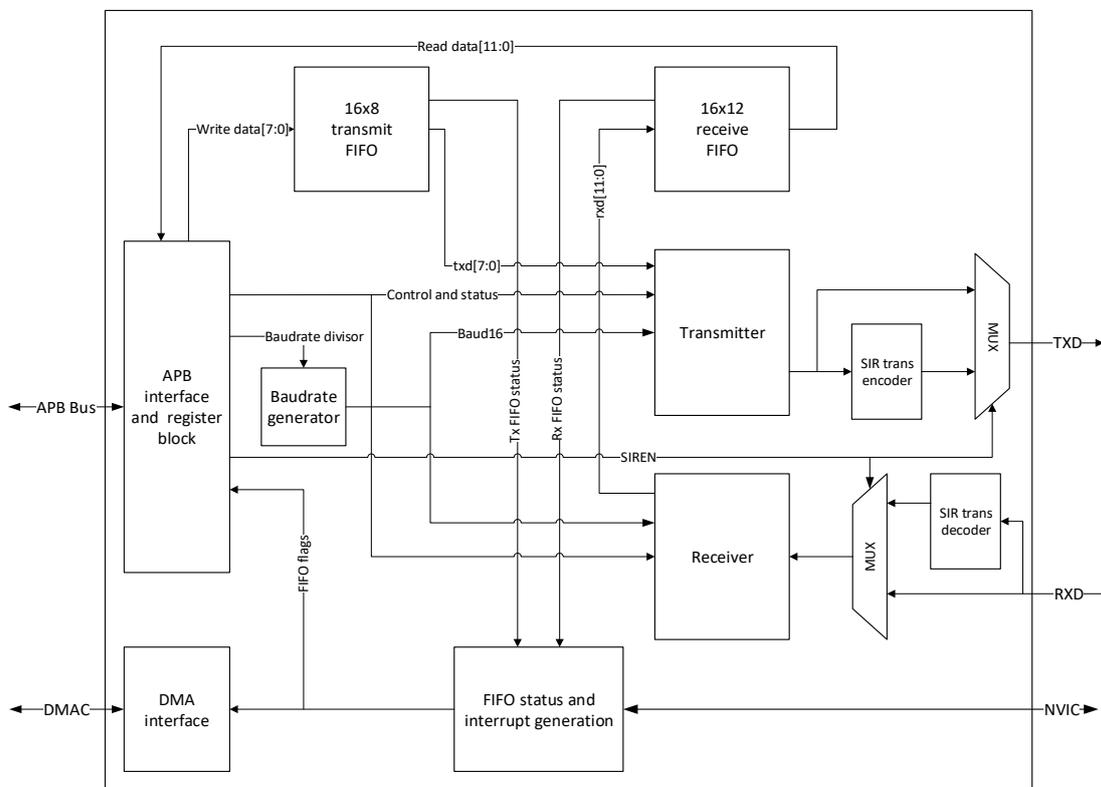
芯片上集成了 3 个 UART 串口模块。模块的收发端口可与 GPIO 管脚复用。

19.2. 主要特性

- 16 字节的硬件 FIFO
- 波特率支持整数和小数分频
- 支持 CTS, RTS 流控制
- Break 错误、奇偶或 0/1 校验位错误、帧格式错误检测
- 可编程位宽，奇偶或 0/1 校验，停止位个数
- 支持 LIN 和 IrDA 等功能
- 支持 DMA

19.3. 结构框图

图 19-1 UART 结构框图



19.4. 功能描述

19.4.1. 串口设置

串口设置中，首先配置波特率，通过设置分频因子寄存器来完成。分频因子寄存器包含两个，其中 `UART_IBRD` 中设置波特率计算值的整数部分， $UART_IBAUD = (\text{integer}(F_{PCLK}/(16*BAUD)))$ ，`integer` 为取整操作；寄存器 `UART_FBRD` 中设置波特率计算值的小数部分， $UART_FBAUD = (\text{integer}(\text{badf}*64 + 0.5))$ ，`integer` 为取整操作，`badf` 为 $F_{PCLK}/(16*BAUD)$ 小数部分。

在寄存器 `UART_LCRH` 中：

- 1、SPS 位选择校验模式（选择奇偶校验还是 0/1 校验）；
- 2、WLEN 位域选择字宽（支持 5~8bit）；
- 3、FEN 位配置 FIFO(是否使用 FIFO)；
- 4、STP2 位配置停止位的个数；

5、EPS 位配置具体的校验方式（选择奇检验还是偶校验、选择强制 0 校验还是强制 1 校验，和 SPS 位有关）；

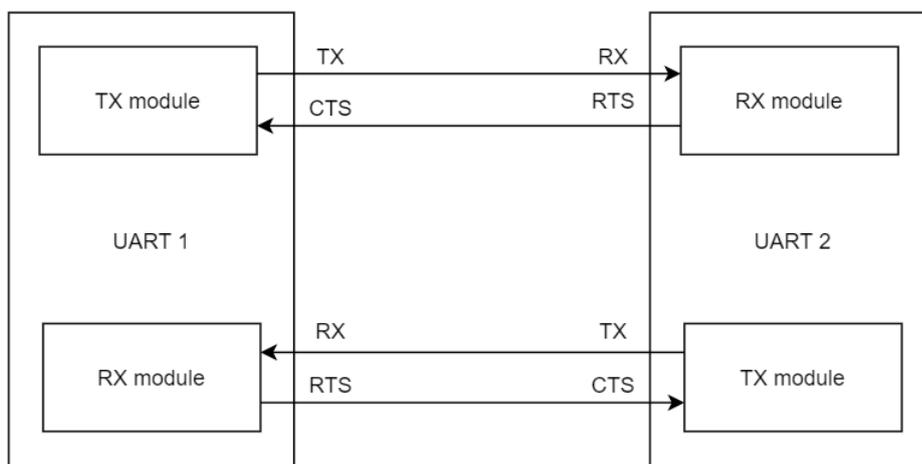
6、PEN 位配置校验使能；

完成基本的配置后，再选择是否使能中断。就可以进行串口数据的发送和接收了。

19.4.2. CTS 和 RTS 流控功能

硬件流控功能的通过 CTS 和 RTS 引脚来实现。通过配置控制寄存器 UART_CR 的 CTSEn 和 RTSEn 位来使能硬件流控功能。

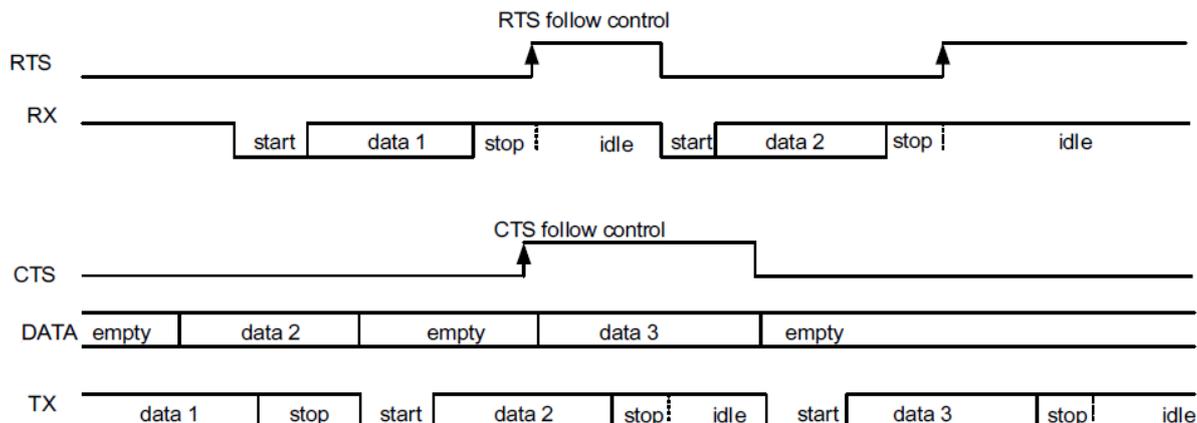
图 19-2 两个 UART 之间的硬件流控连接示意图



RTS 流控：由接收器输出，反映接收器缓冲区状态。，它用于反映接收缓冲区状态。当一帧数据接收完成，RTS 变成高电平，这样是为了阻止发送器继续发送下一帧数据。当接收缓冲区满时，RTS 保持高电平，可以通过读取 UART_DR 中的数据来清除 RTS 状态。

CTS 流控：发送器监视 CTS 输入引脚来决定数据帧是否可以发送。如果 CTS 为低电平，发送器发送数据帧。在发送期间，若 CTS 信号变为高电平，发送器将会在当前数据帧发送完成后停止发送。

图 19-3 硬件流控时序图



19.4.3. DMA 请求

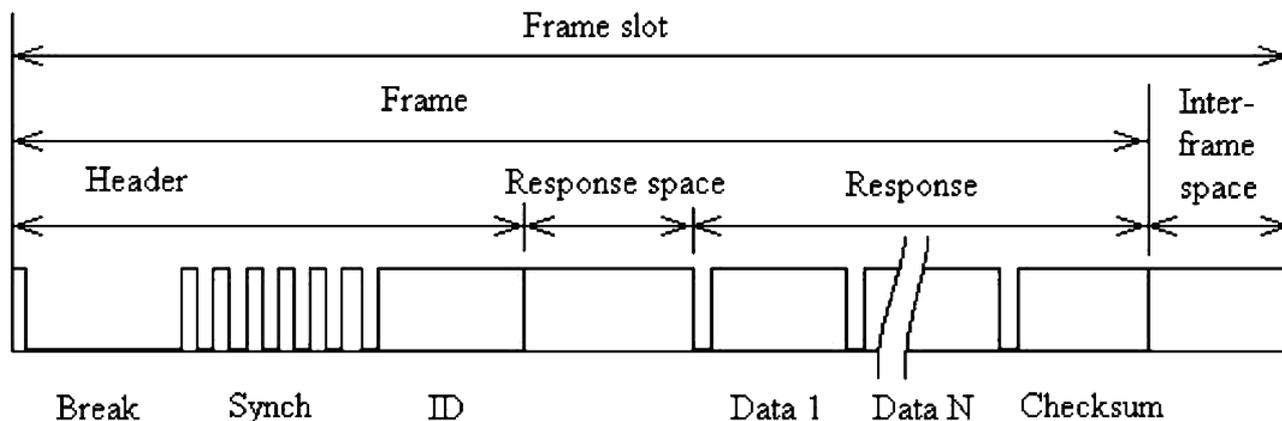
每个 UART 接口的 TX 和 RX 都支持 DMA 功能，都有其对应的 DMA 请求号。

设置 UART_DMCCR 寄存器中的 TXDMAE 位使能 DMA 发送，设置 RXDMAE 位使能 DMA 接收。

另外设置 DMAONERR 时可以忽略接收错误。

19.4.4. LIN 总线功能

图 19-4 LIN 帧格式



上图是 LIN 总线的基本数据帧格式图，其中包含间隔场、同步场、标识符场、数据场和校验场。其中除了间隔场外，其他场的格式都和普通带 1 个起始位和 1 个停止位的 UART 数据格式一样。间隔场包含一个连续不少于 13 个 BIT 的低电平信号。见下图所示。

图 19-5 LIN 间隔场格式

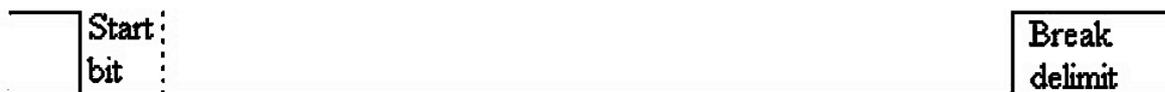
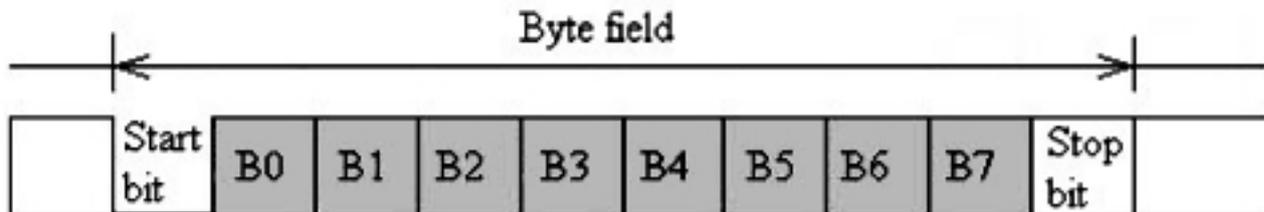


图 19-6 LIN 字符格式



设置 UART_BCNT 寄存器的 BCNT_VALUE 位域可以改变 LIN 总线模式间隔场的 Break 信号长度，使能其中的 BCNT_START 位开始计时，然后使能 UART_LCRH 寄存器的 BRK 位发送间隔场。

在发送同步场时，可以发送一个 0x55，发送过程与普通 UART 发送过程相同。

在发送标识符场、数据场和校验场时，LIN 发送过程与普通 UART 发送过程相同。

从模式接收时，需使用间隔场 Break 信号的检测功能，可以通过直接轮询访问 UART_RIS 的 LBDI 位,或通过使能 LBDI 中断，在中断服务函数中检测 Break 信号来实现。

同时 LIN 总线还支持在从机进入 STOP 模式时，通过 EXTI 模块唤醒，实现低功耗应用。

19.4.5. IrDA SIR 功能

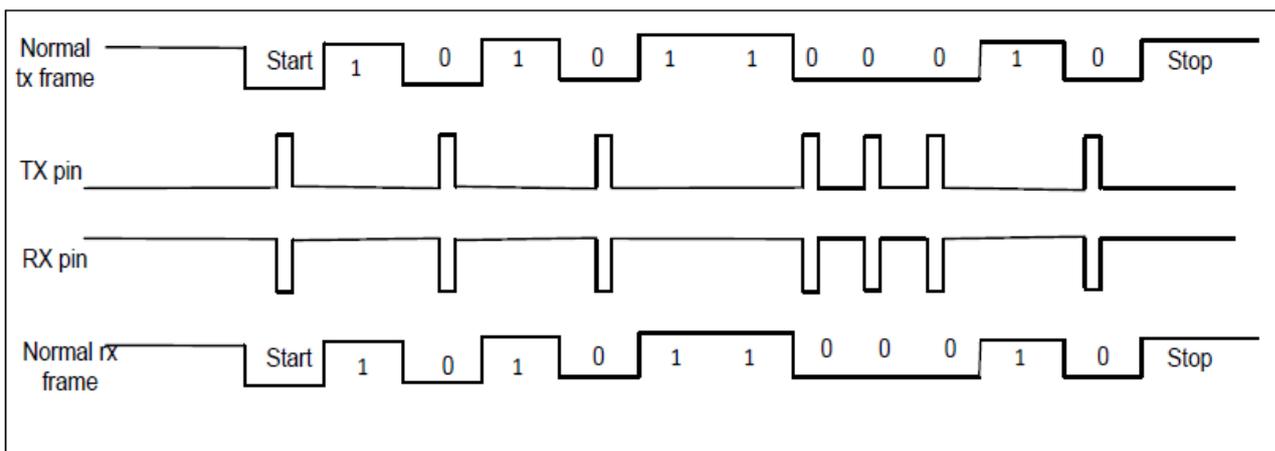
使能 UART_CR 寄存器的 SIREN 位，即可打开 IrDA SIR 红外功能。

如若使用 IrDA SIR Low Power 模式，需要使能 UART_CR 寄存器的 SIRLP 位。

在 IrDA 模式下，UART 数据帧由 SIR 发送编码器进行调制，调制后的信号经由红外 LED 进行发送，经解调后将数据发送至 UART 接收器。对于编码器而言，波特率应小于 115200。在 IrDA 模式下，TX 引脚电平与 RX 引脚不同。TX 引脚通常为低电平，RX 引脚通常为高电平。IrDA 引脚电平保持稳定代表逻辑‘1’，红外光源脉冲(RTZ 信号)代表逻辑‘0’。其脉冲宽度通常占一个位时间的 3/16。

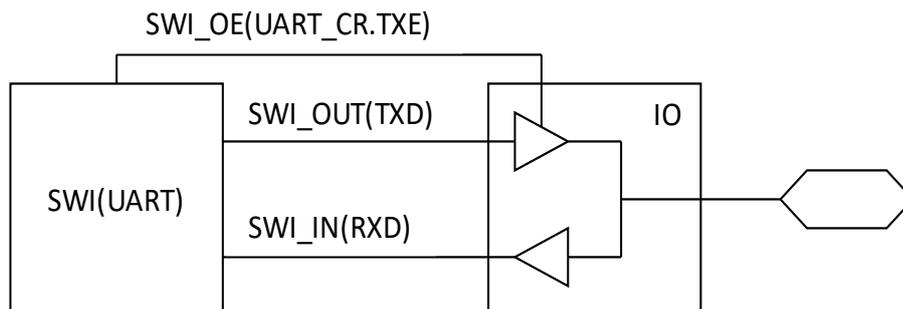
启用 Low Power 模式时，高电平脉冲宽度为为最高波特率 115200 时的一个位宽的 3/16。

图 19-7 IrDA SIR 数据调制解调



19.4.6. 单线模式

图 19-8 UART 单线半双工模式框图



UART 可以工作在单线半双工模式，通过设置使能 UART_CR2 寄存器的 TXOE_SEL 位和 RX_SEL 位开启。开启单线半双工模式时，发送和接收都是通过 TX 引脚完成。

发送时，设置 UART_CR 的 TXE 为 1，开启 TX 引脚发送，此时需禁用 RXE。

接收时，设置 UART_CR 的 TXE 为 0，开启 TX 引脚接收，此时需启用 RXE。

19.5. 寄存器描述

UART1 寄存器基地址：0x4001_3800。

UART2 寄存器基地址：0x4000_4400。

UART3 寄存器基地址：0x4000_4800。

偏置	名称	描述
0x00	UART_DR	数据寄存器

0x04	UART_RSR	接收状态寄存器
0x18	UART_FR	标志寄存器
0x20	UART_ILPR	IrDA 低功耗分频因子寄存器
0x24	UART_IBRD	整数分频因子寄存器
0x28	UART_FBRD	小数分频因子寄存器
0x2C	UART_LCRH	线控制器寄存器
0x30	UART_CR	控制寄存器
0x34	UART_IFLS	FIFO 中断触发值寄存器
0x38	UART_IMSC	中断屏蔽使能/清除寄存器
0x3C	UART_RIS	原始中断状态寄存器
0x40	UART_MIS	屏蔽后的中断状态寄存器
0x44	UART_ICR	中断清除寄存器
0x48	UART_DMACR	DMA 控制寄存器
0x54	UART_CR2	控制寄存器 2
0x58	UART_BCNT	比特计时寄存器

19.5.1. 数据寄存器 UART_DR(偏移: 00h)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:12	RSV	-	-	保留
11	OE	RO	0	Overrun 错误 0: 无错误 1: 有错误
10	BE	RO	0	Break 错误 0: 无错误 1: 有错误
9	PE	RO	0	奇偶校验错误 0: 无错误 1: 有错误

8	FE	RO	0	<p>帧格式错误</p> <p>0: 无错误</p> <p>1: 有错误</p>
7:0	DATA	RW	0x0	<p>发送或接收的数据</p> <p>注:</p> <p>使能 FIFO 功能时, 若 FIFO 已满, 有新的数据进入, FIFO 中原有数据不会被覆盖, 新的数据会被直接丢失。</p> <p>禁止 FIFO 功能时, 若 UART_DR 寄存器中有数据还未发送, 写 UART_DR 寄存器, 新的发送数据会被直接丢失, 不会覆盖 UART_DR 寄存器中原有未发送数据。</p>

19.5.2. 接收状态寄存器 UART_RSR(偏移: 04h)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:4	RSV	-	-	保留
3	OE	RC_W1	0	<p>Overrun 错误</p> <p>0: 无错误</p> <p>1: 有错误</p> <p>注: OE 只在接收时有效</p> <p>开启 FIFO 功能时, 当接收 FIFO 已满后再接收到数据时被置位。</p> <p>2. 关闭 FIFO 功能时, 当 UART_DR 寄存器中有数据后再接收到数据时被置位</p> <p>写 1 清 0;</p>
2	BE	RC_W1	0	<p>Break 错误</p> <p>0: 无错误</p> <p>1: 有错误</p> <p>当接收数据持续为低超过传输 1 个 word 的时间</p>

				时被置位 写 1 清 0;
1	PE	RC_W1	0	奇偶或 0/1 校验位错误 0: 无错误 1: 有错误 写 1 清 0;
0	FE	RC_W1	0	帧格式错误 0: 无错误 1: 有错误 当停止位错误时被置位 写 1 清 0;

19.5.3. 标志位寄存器 UART_FR(偏移: 18h)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:8	RSV	-	-	保留
7	TXFE	RO	1	发送 FIFO/UART_DR 寄存器空状态位: 0: 如果使能 FIFO 表示发送 FIFO 非空; 如果禁止 FIFO 表示 UART_DR 寄存器有数据。 1: 如果使能 FIFO 表示发送 FIFO 为空; 如果禁止 FIFO 表示 UART_DR 寄存器无数据。
6	RXFF	RO	0	接收 FIFO/UART_DR 寄存器满状态位: 0: 如果使能 FIFO 表示接收 FIFO 非满; 如果禁止 FIFO 表示 UART_DR 寄存器非满。 1: 如果使能 FIFO 表示接收 FIFO 为满; 如果禁止 FIFO 表示 UART_DR 寄存器为满。
5	TXFF	RO	0	发送 FIFO/UART_DR 寄存器满状态位: 0: 如果使能 FIFO 表示发送 FIFO 非满; 如果禁止 FIFO 表示 UART_DR 寄存器非满。 1: 如果使能 FIFO 表示发送 FIFO 为满; 如果

				禁止 FIFO 表示 UART_DR 寄存器为满。
4	RXFE	RO	1	接收 FIFO/UART_DR 寄存器空状态位： 0：如果使能 FIFO 表示接收 FIFO 非空；如果禁止 FIFO 表示 UART_DR 寄存器有数据。 1：如果使能 FIFO 表示接收 FIFO 为空；如果禁止 FIFO 表示 UART_DR 寄存器无数据。
3	BUSY	RO	0	发送忙标志 0：发送 FIFO 为空并且所有位都从移位寄存器中移出 1：发送 FIFO 有数据
2:1	RSV	-	-	保留
0	CTS	RO	0	CTS 输入管脚状态 0：CTS 输入高电平 1：CTS 输入低电平

19.5.4. IrDA 低功耗分频因子寄存器 UART_ILPR(偏移：20h)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:8	RSV	-	-	保留
7:0	ILPD	RW	0x0	IrDA 低功耗分频分数因子。 $ILRD = \text{integer}(F_{PCLK}/(16*ILPBAUD))$, integer 为取整操作, ILPBAUD 是低功耗模式的目标波特率, 正常为 115200, 范围要求在 88750~132500 之间。

19.5.5. 整数分频因子寄存器 UART_IBRD(偏移：24h)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	UART_IBAUD	RW	0x0	波特率分频整数因子

				$\text{UART_IBAUD} = (\text{integer}(\text{F}_{\text{PCLK}}/(16*\text{BAUD}))),$ integer 为取整操作
--	--	--	--	---

19.5.6. 小数分频因子寄存器 UART_FBRD (偏移: 28h)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:6	RSV	-	-	保留
5:0	UART_FBAUD	RW	0x0	波特率分频分数因子。 $\text{UART_FBAUD} = (\text{integer}(\text{badf}*64 + 0.5)),$ integer 为取整操作, badf 为 $\text{F}_{\text{PCLK}}/(16*\text{BAUD})$ 小数部分 注: 若 FBAUD 计算结果大于等于 64, 将本寄存器写 0, 将原本写入 UART_IBRD 的值加 1;

19.5.7. 线控制器寄存器 UART_LCRH (偏移: 2Ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:8	RSV	-	-	保留
7	SPS	RW	0	校验模式选择位 0: 奇/偶校验 1: 0/1 校验
6:5	WLEN	RW	00	字宽选择位 00: 5bits 01: 6bits 10: 7bits 11: 8bits
4	FEN	RW	0	FIFO 使能位 0: 禁止 FIFO 1: 使能 FIFO

3	STP2	RW	0	停止位数选择位： 0: 1 位停止位 1: 2 位停止位
2	EPS	RW	0	0/1 校验或者奇/偶校验选择位（取决于 SPS） 0: 奇/偶校验选择奇校验，或 0/1 校验选择校验位强制为 1 1: 奇/偶校验选择偶校验，或 0/1 校验选择校验位强制为 0
1	PEN	RW	0	校验使能位： 0: 禁止奇/偶校验或 0/1 校验 1: 使能奇/偶校验或 0/1 校验
0	BRK	RW	0	BREAK 发送使能位 0: 禁止 1: 使能

19.5.8. 控制寄存器 UART_CR (偏移: 30h)

比特	名称	属性	复位值	描述
15	CTSEn	RW	0	CTS 流控制使能位 0: 禁止 1: 使能
14	RTSEn	RW	0	RTS 流控制使能位 0: 禁止 1: 使能
13:12	RSV	-	-	保留
11	RTS	RW	0	RTS 输出管脚状态 0: RTS 输出高电平 1: RTS 输出低电平
10	RSV	-	-	保留
9	RXE	RW	1	接收使能位

				0: 禁止 1: 使能
8	TXE	RW	1	发送使能位: 0: 禁止 1: 使能
7:3	RSV	-	-	保留
2	SIRLP	RW	0	IrDA SIR 低功耗模式使能位: 0: 禁止 1: 使能
1	SIREN	RW	0	IrDA SIR ENDEC 模块使能位: 0: 禁止 1: 使能
0	UARTEN	RW	0	UART 使能位 0: 禁止 1: 使能

19.5.9. FIFO 中断触发寄存器 UART_IFLS(偏移: 34h)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:6	RSV	-	-	保留
5:3	RXIFLSEL	RW	010	接收中断的触发点选择位: 000: 1/8 (接收 FIFO 收到 2 个数据)。 001: 1/4 (接收 FIFO 收到 4 个数据)。 010: 1/2 (接收 FIFO 收到 8 个数据)。 011: 3/4 (接收 FIFO 收到 12 个数据)。 100: 7/8 (接收 FIFO 收到 14 个数据)。 101: 1/16 (接收 FIFO 收到 1 个数据)。
2:0	TXIFLSEL	RW	010	发送中断的触发点选择位: 000: 1/8 (发送到 FIFO 中剩余 2 个数据)。 001: 1/4 (发送到 FIFO 中剩余 4 个数据)。

				<p>010: 1/2 (发送到 FIFO 中剩余 8 个数据)。</p> <p>011: 3/4 (发送到 FIFO 中剩余 12 个数据)。</p> <p>100: 7/8 (发送到 FIFO 中剩余 14 个数据)。</p> <p>101: 发送 FIFO 由非空到空时 (发送 FIFO 为空时不会产生中断, 从仅剩 1 个数据到完全为空变化时才会产生中断; 产生中断不代表最后一个数据发送完成, 仅代表最后一个数据从 FIFO 中移除并开始发送)。注意, 此种配置下, 如果 TX 使能且 FIFO 里一开始为空时只写入一个字节的的数据, 该数据会不经过 FIFO 直接写到移位寄存器里, FIFO 不会有从非空到空的过程, 因此 TX 中断也不会产生。</p>
--	--	--	--	--

注: 中断产生不是单纯由 FIFO 中的数据数量决定, 触发仅产生于特定操作行为时数据数量到达中断触发点的瞬间。对于接收 FIFO, 仅产生于接收数据时 FIFO 中数据数量到达中断出发点的瞬间, 读取时到达触发点不会产生中断; 对于发送 FIFO, 中断仅产生于发送时 FIFO 中数据数量到达中断出发点的瞬间, 往发送 FIFO 中写入数据达到触发点时也不会产生中断。

19.5.10. 中断使能寄存器 UART_IMSC (偏移: 38h)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:13	RSV	-	-	保留
12	BCNTI	RW	0	Bit Count Timeout 中断使能位 0: 禁止 1: 使能
11	LBDI	RW	0	LIN Break Detection 中断使能位。 0: 禁止 1: 使能
10	OEI	RW	0	overrun 中断使能位 0: 禁止

				1: 使能
9	BEI	RW	0	break error 中断使能位 0: 禁止 1: 使能
8	PEI	RW	0	奇偶校验错误中断使能位 0: 禁止 1: 使能
7	FEI	RW	0	帧格式错误中断使能位 0: 禁止 1: 使能
6	RTI	RW	0	接收数据读取超时中断使能位 0: 禁止 1: 使能
5	TXI	RW	0	发送中断使能位 0: 禁止 1: 使能
4	RXI	RW	0	接收中断使能位 0: 禁止 1: 使能
3:0	RSV	-	-	保留

19.5.11. 原始中断状态寄存器 UART_RIS (偏移: 3Ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:13	RSV	-	-	保留
12	BCNTI	RO	0	Bit Count Timeout 原始中断 0: 无中断 1: 有中断
11	LBDI	RO	0	LIN Break Detection 原始中断 0: 无中断

				1: 有中断
10	OEI	RO	0	<p>overrun 原始中断</p> <p>0: 无中断</p> <p>1: 有中断</p> <p>当 OE 标志产生时此位被置位</p>
9	BEI	RO	0	<p>break error 原始中断</p> <p>0: 无中断</p> <p>1: 有中断</p> <p>当 BE 标志产生时此位被置位</p>
8	PEI	RO	0	<p>奇偶校验错误原始中断</p> <p>0: 无中断</p> <p>1: 有中断</p> <p>当 PE 标志产生时此位被置位</p>
7	FEI	RO	0	<p>帧格式错误原始中断</p> <p>0: 无中断</p> <p>1: 有中断</p> <p>当 FE 标志产生时此位被置位</p>
6	RTI	RO	0	<p>接收数据读取超时原始中断</p> <p>0: 无中断</p> <p>1: 有中断</p> <p>当接收 FIFO 非空时, 32 个 bit 传输时间内没有任何新数据进入接收 FIFO, 也没有任何读操作时此位被置位</p>
5	TXI	RO	0	<p>发送原始中断</p> <p>0: 无中断</p> <p>1: 有中断</p> <p>注:</p> <p>使能 FIFO 功能时, 当发送时发送 FIFO 中的数据个数到达 TXIFLSEL 寄存器所设的中断触发</p>

				<p>点时此位被置位。可以通过以下 3 种方式清除该中断：</p> <p>将 UART_ICR[5]寄存器写 1</p> <p>向 FIFO 中填入数据使 FIFO 中的数据数量大于 TXIFLSEL 寄存器所设的中断触发个数</p> <p>重新设置 TXIFLSEL 寄存器使中断触发个数由大变小（如由 8 个触发变为 2 个触发）。</p> <p>禁止 FIFO 功能时，当数据从 UART_DR 寄存器进入发送移位寄存器时此位被置位。可以通过以下 2 种方式清楚该中断：</p> <p>写 UART_ICR[5]寄存器</p> <p>发送未完成时，写新的数据到 UART_DR 寄存器。</p>
4	RXI	RO	0	<p>接收原始中断</p> <p>0：无中断</p> <p>1：有中断</p> <p>注：</p> <p>使能 FIFO 功能时，接收时当接收 FIFO 中的数据个数到达 RXIFLSEL 寄存器所设的中断触发点时此位被置位。可以通过以下 3 种方式清除该中断：</p> <p>写 UART_ICR[4]寄存器</p> <p>将接收 FIFO 中的数据读走使 FIFO 中的数据数量小于 RXIFLSEL 寄存器所设的中断触发点个数</p> <p>重新设置 RXIFLSEL 寄存器使中断触发个数由小变大（如由 2 个触发变为 8 个触发）。</p> <p>禁止 FIFO 功能时，当 UART_DR 寄存器有新的数据进入时此位被置位。可以通过以下 2 种方</p>

				式清除该中断： 写 UART_ICR[4]寄存器 读 UART_DR 寄存器
3:0	RSV	-	-	保留

19.5.12. MASK 后的中断状态寄存器 UART_MIS (偏移: 40h)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:13	RSV	-	-	保留
12	BCNTI	RO	0	Bit Count Timeout MASK 后的中断 0: 无中断 1: 有中断
11	LBDI	RO	0	LIN Break Detection MASK 后的中断 0: 无中断 1: 有中断
10	OEI	RO	0	Overrun MASK 后的中断 0: 无中断 1: 有中断
9	BEI	RO	0	break error MASK 后的中断 0: 无中断 1: 有中断
8	PEI	RO	0	奇偶校验错误 MASK 后的中断 0: 无中断 1: 有中断
7	FEI	RO	0	帧格式错误 MASK 后的中断 0: 无中断 1: 有中断
6	RTI	RO	0	接收数据读取超时 MASK 后的中断 0: 无中断 1: 有中断

5	TXI	RO	0	发送 MASK 后的中断 0: 无中断 1: 有中断
4	RXI	RO	0	接收 MASK 后的中断 0: 无中断 1: 有中断
3:0	RSV	-	-	保留

19.5.13. 中断状态清除 UART_ICR (偏移: 44h)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:13	RSV	-	-	保留
12	BCNTIC	WO	0	Bit Count Timeout 中断状态清除位 写 1 清
11	LBDIC	WO	0	LIN Break Detection 中断状态清除位 写 1 清
10	OEI	WO	0	overrun 中断状态清除位 写 1 清
9	BEI	WO	0	break error 中断状态清除位 写 1 清
8	PEI	WO	0	奇偶校验错误中断状态清除位 写 1 清
7	FEI	WO	0	帧格式错误中断状态清除位 写 1 清
6	RTI	WO	0	接收数据读取超时中断状态清除位 写 1 清
5	TXI	WO	0	发送中断状态清除位 写 1 清
4	RXI	WO	0	接收中断状态清除位 写 1 清

3:0	RSV	-	-	保留
-----	-----	---	---	----

19.5.14. DMA 控制寄存器 UART_DMACR (偏移: 48h)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:3	RSV	-	-	保留
2	DMAONERR	RW	0	发生接收错误 (PE、FE、BE、OE) 时, DMA 接收请求不置位 0: 不使能 1: 使能
1	TXDMAE	RW	0	发送 DMA 使能 0: 不使能 1: 使能
0	RXDMAE	RW	0	接收 DMA 使能 0: 不使能 1: 使能

19.5.15. 控制寄存器 2UART_CR2 (偏移: 54h)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:2	RSV	-	-	保留
1	TXOE_SEL	RW	0	TX 通路输出使能控制 0: TX 输出一直使能 1: TX 输出在发送时输出, 用于单线半双工模式
0	RX_SEL	RW	0	接收通路选择 0: 从 RX 通路输入 1: 从 TX 通路输入, 用于单线半双工模式, 或者通路测试

19.5.16. 比特计时寄存器 UART_BCNT (偏移: 58h)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:9	RSV	-	-	保留
8	BCNT_START	WO	0	比特计时开始。
7:0	BCNT_VALUE	RW	0xD	比特计时初值。

19.6. 使用流程

19.6.1. 串口的发送和接收

1. 配置波特率
2. 配置 FIFO(是否使用 FIFO)
3. 配置线控制寄存器(奇偶校验位等)
4. 配置控制寄存器(是否使用中断)
5. 使能 UART

19.6.2. CTS 和 RTS 控制流功能

- 控制流功能不影响 UART 的正常使用，没用使用需求时请禁止使用该功能。
- CTS 为 UART 输入端口，低电平有效，表示 uart 可以发送数据。如果 CTS 输入状态为 1，写 UART_DR 寄存器时，数据只会保存在发送 FIFO 中不会被发出，为 0 时开始发送。
- RTS 为 UART 输出端口，低电平有效，表示 uart 已经准备好可以接收数据，当接收 FIFO 中数据个数大于 RXIFLSEL 寄存器所设的中断触发点个数时，RTS 输出状态会被置位，表示不能再接收更多数据。

19.6.3. LIN 硬件功能支持

- LIN 作为从机，检测 Break 同步间隔帧有两种方式：
 - 直接轮询访问 UARTRIS 的 LBDI 位；
 - 使能 UARTIE 的 LBDI 位，然后触发中断，在中断查看 UARTRIS 的 LBDI 位。
- LIN 检测 Break 同步间隔帧的最小长度由一个当前设置的标准数据帧决定，LBDI 信号会在 RXD 数据变为高时被置为有效。
 - 1 位起始位
 - N 位数据位（由 UART_LCRH 的 WLEN 决定，建议 8 位。）
 - 校验位（0 位或 1 位校验位，由 UART_LCRH 的 PEN 决定）
 - 停止位（1 位或 2 位停止位，由 UART_LCRH 的 STP2 决定）
- LIN 作为主机发送 Break 同步间隔帧流程：
 - 配置 UART_BCNT 寄存器的 BCNT_VALUE 为 13。
 - 同步使能 UART_LCRH 的 BRK 位和 UART_BCNT 的 BCNT_START 位。
 - 轮询访问 UARTRIS 的 BCNTI 位，等待置 1；或者使能中断，等待 BCNTI 中断。
 - 清零 UART_LCRH 的 BRK 位。

19.6.4. IrDA SIR 功能使用流程

- 使能 UART_CR 寄存器的 SIREN 位，即可打开 IrDA SIR 红外功能。
- 如若使用 IrDA SIR Low Power 模式，需要使能 UART_CR 寄存器的 SIRLP 位。

19.6.5. 单线模式功能使用流程

- 使能 UART_CR2 寄存器的 TXOE_SEL 位和 RX_SEL 位。

20. 内部集成电路总线接口（I2C）

20.1. 概述

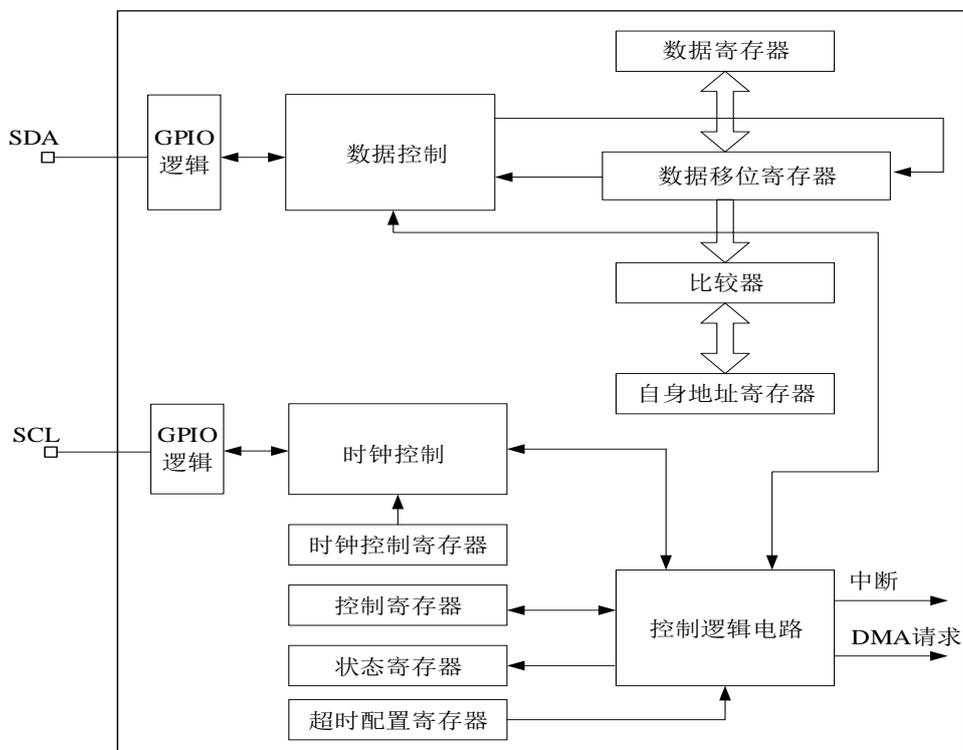
I2C 总线接口连接微控制器和串行 I2C 总线。I2C 模块接收和发送数据，并将数据从串行转换成并行，或并行转换成串行。I2C 模块通过数据引脚 SDA 和时钟引脚 SCL 连接到 I2C 总线，控制所有 I2C 总线规定的时序。本模块支持主模式和从模式。

20.2. 主要特性

- I2C 主设备功能；
- I2C 从设备功能：
 - 可编程的 I2C 从设备地址；
 - 可编程的 NACK/ACK 回复；
- 速率支持 100K 标准模式/400K 快速模式/1M 快速加模式；
- 支持 7bit 设备地址；
- 支持主机仲裁模式；

20.3. 结构框图

图 20-1 I2C 结构框图

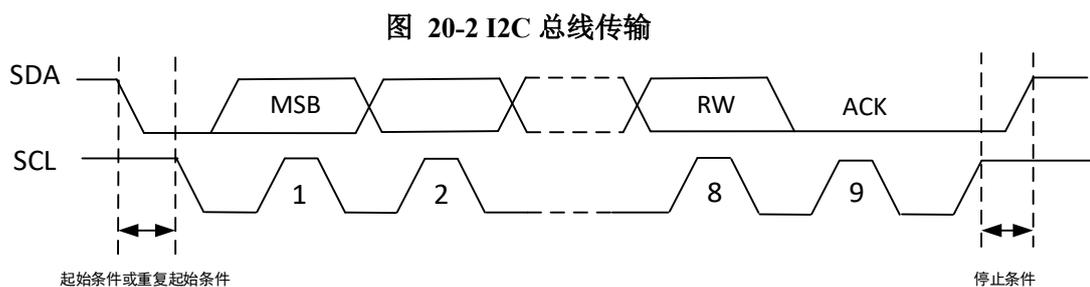


20.4. 功能描述

20.4.1. 模式选择

该模块默认为从模式，当软件写MASTER为1时设备变成主模式。主模式时，I2C接口启动数据传输并产生时钟信号，并可以发出停止条件信号停止传输。从模式时，I2C接口能识别设置的设备地址（7位）。数据和地址按8位/字节进行传输，高位在前。跟在起始条件后的是地址。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。参考下图：

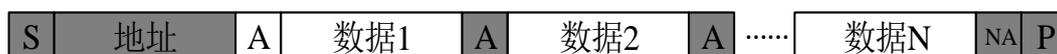


20.4.2. I2C 从模式

一旦检测到起始条件，在 SDA 线上接收到的地址被送到移位寄存器。然后与芯片自己的设备地址相比较，如果地址不匹配 I2C 将其忽略并等待另一个起始条件。如果地址匹配，则此控制器会检测当前操作是发送还是接收（I2C_SR 寄存器的 SRW 位），I2C 接口进行如下操作：

- 从发送器：
 - 发送器将字节从数据寄存器加载到内部移位寄存器发送到 SDA 线上，并将状态寄存器 TXE 置 1 表示数据寄存器数据已被取走，软件需要更新数据寄存器来清除 TXE 标志。
 - 当收到应答脉冲后，如果在下一个数据发送结束之前新数据仍然没有被写进数据寄存器，即 TXE 仍然为 1，则字节等待标志位（OVR）被置 1。此时如果 NOSTRETCH 为 1，则从机不会延长 SCL 时钟，当主机发起新的时序时，数据寄存器的数据将再次发送给主机。此时如果 NOSTRETCH 为 0 且收到 ACK 应答，则 I2C 接口保持 SCL 为低以等待新的数据被写进数据寄存器。

图 20-3 7 位从发送器的传送图



说明：S=Start(起始条件)， P=Stop(停止条件)， A=响应， NA=非响应

■:主机到从机

□:从机到主机

- 从接收器：

在接收到数据后，从接收器将通过内部移位寄存器从 SDA 线接收到的字节存储到数据寄存器，并产生数据寄存器非空标志 RXNE，软件需要读出数据寄存器的值来清除 RXNE 标志。

- I2C 接口在接收到每个字节后都产生一个应答脉冲。

- 如果在接收到新数据前数据寄存器的值未被读出，即 RXNE 仍然为 1，则字节等待标志位 (OVR) 被置 1。此时如果 NOSTRETCH 为 0，这时 I2C 接口保持 SCL 为低以等待数据寄存器的值被读出；否则主机将继续传输数据，新收到的数据将被写到数据寄存器中，原来的数据丢失。

图 20-4 7 位从接收器的传送图



说明：S=Start(起始条件)， P=Stop(停止条件)， A=响应， NA=非响应

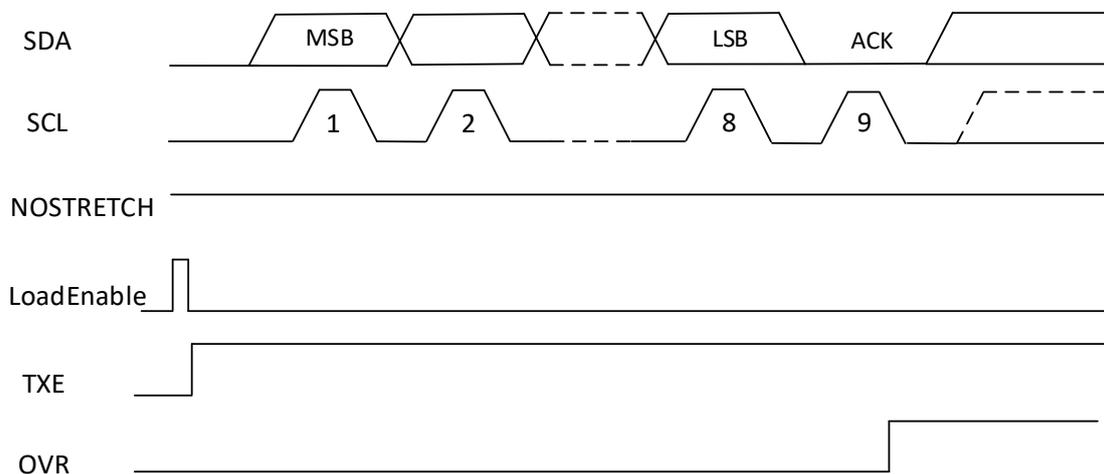
- 关闭从通信

在传输完最后一个数据字节后，主设备发出一个停止操作，I2C 接口检测到这一条件时释放 SCL 和 SDA 线。

- 时钟延长

- 发送模式：当数据寄存器里的数据没有被更新时且主机应答为 ACK，把 SCL 拉低以等待新的数据写入。当主机应答为 NACK 时，SCL 不会被拉低
- 接收模式：当数据寄存器里的数据没有被读走时，把 SCL 拉低以等待旧的数据被读走。
- SCL 拉低功能可以通过 I2C_CR 的 NOSTRETCH 禁止。

图 20-5 从机发送模式时钟延长时序（虚线部分 SCL 为低，主机无法发送 SCL）



20.4.3. I2C 主模式

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。当写控制寄存器的 START 位为 1 在总线上发起一次起始条件，设备就进

入了主模式传输。

以下是主模式的操作顺序：

- 使能设备，配置时钟控制寄存器和主模式。
- 配置控制寄存器的 START 位为 1，产生起始条件。
- 写入数据寄存器，开始发送数据。

● 主发送器

发送了地址后，主设备通过内部移位寄存器将字节从数据寄存器加载到 SDA 线上，并将状态寄存器 TXE 置 1 表示数据寄存器数据已被取走，软件需要更新数据寄存器来清除 TXE 标志。

收到应答脉冲后确认新的数据已经发送到数据寄存器。如果在下一个数据发送结束之前新数据仍然没有被写进数据寄存器，即 TXE 仍然为 1，这时 I2C 接口保持 SCL 为低以等待新的数据被写进数据寄存器。

主设备发出 STOP 信号产生停止条件。

图 20-6 7 位主发送器的传送图



说明：S=Start(起始条件)， P=Stop(停止条件)， A=响应， NA=非响应

● 主接收器

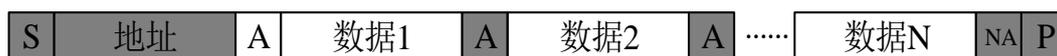
发送了地址后，I2C 接口从 SDA 线接收数据字节，并通过内部移位寄存器存储到数据寄存器，产生数据寄存器非空标志 RXNE，软件需要读出数据寄存器的值来清除 RXNE 标志。

若当前字节传输完成，不读取数据清除 RXNE，这时 I2C 接口保持 SCL 为低以等待数据寄存器的值被读出。

读出数据后，寄存器非空标志 RXNE 清 0，主机开始一次新的传输。

主设备在从从设备接发送最后一个字节后发送一个 NACK 应答。收到 NACK 应答后，从设备释放 SCL 线和 SDA 线的控制。主设备就可以发送一个停止/重开始条件。

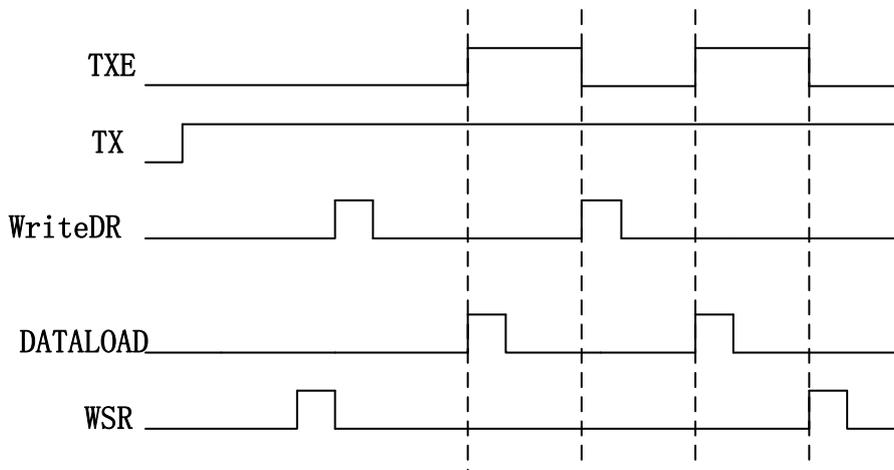
图 20-7 7 位主接收器的传送图



说明：S=Start(起始条件)， P=Stop(停止条件)， A=响应， NA=非响应

20.4.4. TXE 状态

图 20-8 TXE 功能说明图



TXE 反应了 I2C_DR 数据是否被取走。

在接收状态下，TXE 为 0。

在发送模式下，写 I2C_DR 寄存器，TXE 清 0，发送器取走 I2C_DR 寄存器中的数据，TXE 置 1，写状态寄存器 TXE 位为 1 清 0；

PS：TX 1 为发送，0 为接收，DATALOAD 加载数据到发送引擎，WriteDR 写 I2C_DR 寄存器，WSR 写状态寄存器。

20.5. 寄存器描述

I2C1 寄存器基地址：0x4000_5400

I2C2 寄存器基地址：0x4000_5800

偏置	名称	描述
0x00	I2C_SLAVE_ADDR1	I2C 设备地址寄存器 1
0x04	I2C_CLK_DIV	I2C 时钟分频寄存器
0x08	I2C_CR	控制寄存器
0x0C	I2C_SR	状态寄存器
0x10	I2C_DR	数据寄存器
0x14	I2C_SLAVE_ADDR2/3	I2C 设备地址寄存器 2/3

0x1C	I2C_FILTER	I2C 滤波寄存器
0x24	I2C_Timeout	I2C 超时配置寄存器

20.5.1. I2C 设备地址寄存器 I2C_SLAVE_ADDR1(偏移: 0x0h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:8	RSV	-	-	保留
7:1	ADDR1[7:1]	RW	0x0	地址的 7~1 位
0	RSV	-	-	保留

20.5.2. I2C 时钟分频寄存器 I2C_CLK_DIV(偏移: 0x04h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:12	RSV	-	-	保留
11:0	I2C_CLK_DIV	RW	0x0	I2C 时钟分频值, 只在主模式时设置。 $F_{scl} = (F_{PCLK}) / (4 * (I2C_CLK_DIV + 1))$ 注: 1、 F_{PCLK} 为 APB 时钟频率。 2、I2C_CLK_DIV 的值必须大于 4。

20.5.3. 控制寄存器 I2C_CR(偏移: 0x08h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:21	RSV	-	-	保留
20	STOPF_INTEN	RW	0	STOPF 中断使能 0: STOPF=1 中断不使能 1: STOPF=1 中断使能
19	RX_ADDR3_INTEN	RW	0	ADDR3 地址匹配中断使能: 0: RX_ADDR3=1 中断不使能 1: RX_ADDR3=1 中断使能

18	DMA_EN	RW	0	DMA 功能使能 0: 不使能 1: 使能, 使用 TXE 和 RXNE 分别产生发送和接收请求。此时不能打开 TXE 和 RXNE 中断, 不能用软件清除两个状态
17	TXE_SEL	RW	0	从模式发送地址匹配后, TXE 是否变高 0: 不变高, 兼容以前产品 1: 变高, DMA 模式一定要选择
16	MARLO_INTEN	RW	0	主仲裁丢失中断使能: 0: MARLO=1 中断不使能 1: MARLO=1 中断使能
15	TX_AUTO_EN	RW	1	SDA 数据线方向自动切换。此位设置为 1, 根据地址字节的 RW 位自动切换 SDA 数据线的传输方向。 0: 不使能自动切换功能; 1: 使能自动切换功能;
14	RSV	-	0	保留, 此位须为 0
13	RSV	-	0	保留, 此位须为 0
12	RX_ADDR2_INT_EN	RW	0	ADDR2 地址匹配中断使能: 0: RX_ADDR2=1 中断不使能 1: RX_ADDR2=1 中断使能
11	OVR_INT_EN	RW	0	从机上溢/下溢中断使能: 0: OVR=1 中断不使能 1: OVR=1 中断使能
10	RXNE_INT_EN	RW	0	接收数据中断使能: 0: RXNE=1 中断不使能 1: RXNE=1 中断使能
9	TXE_INT_EN	RW	0	发送数据中断使能: 0: TXE=1 中断不使能

				1: TXE=1 中断使能
8	RX_ADDR1_INT_EN	RW	0x0	ADDR1 地址匹配中断使能: 0: RX_ADDR1=1 中断不使能 1: RX_ADDR1=1 中断使能
7	MTF_INT_EN	RW	0	字节传输完成中断使能: 0: MTF=1 中断不使能 1: MTF=1 中断使能
6	TACK	RW	0	传输应答位 0: 接收一字节后, 在应答周期产生 ACK; 1: 接收一字节后, 在应答周期产生 NACK; 注:TACK 必须在应答周期前写入。
5	STOP	RW	0	结束条件产生位 0: 发送完当前字节不产生结束条件; 1: 主设备在发送完当前字节后, 将产生结束条件。产生结束条件后, 硬件自动清 0
4	START	RW	0	起始条件产生位 0: 主模式下不产生起始条件 1: 主模式下产生起始条件 注: 空闲时刻和 NACK/ACK 应答后才可产生起始条件, 起始条件产生后, 硬件自动清 0, I2C_SR 的 STARTF 位置 1。
3	TX	RW	0	发送接收选择位 0: 设备作为接收器 1: 设备作为发送器 当作为从设备时, 处理器应该查询 I2C_SR 的 SRW 位, 判断是作为发送器还是接收器, 然后设置与之匹配的 TX 位 TX_AUTO_EN 位使能后 TX 位设置无效

2	MASTER	RW	0	主从设备选择位 0: 从模式 1: 主模式。
1	NOSTRETCH	RW	0	从模式禁止时钟延长 0: 使能时钟延长 1: 禁止时钟延长
0	MEN	RW	0	设备使能位 0: 设备不使能 1: 设备使能

注：TX_AUTO_EN 自动使能后 I2C 模块 SDA 方向由硬件自动切换，无需软件配置，主机模式下默认为发送器，根据第一个发送的地址的 RW 位自动切换发送器或接收器，从机模式下默认为接收器，根据第一个接收的地址的 RW 位自动切换发送器或接收器。

20.5.4. 状态寄存器 I2C_SR(偏移：0x0Ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:17	RSV	-	-	保留位
16	TIMEOUTBF	RC_W1	0	TIMEOUTB 超时标志，表示 SMBus EXT 超时 写 1 清 0
15	TIMEOUTAF	RC_W1	0	TIMEOUTA 超时标志，表示 SMBus SCL Timeout 超时 写 1 清 0
14	RX_ADDR3	RC_W1	0	从设备地址 3 匹配状态位 0: 设备地址 3 和接收到的地址不相等 1: 设备地址 3 和接收到的地址相等 写 1 清 0 注：当地址匹配时，SRW 位表示了地址字节的 RW 位。
13	RSV	-	-	保留
12	RX_ADDR2	RC_W1	0	从设备地址 2 匹配状态位

				<p>0: 设备地址 2 和接收到的地址不相等</p> <p>1: 设备地址 2 和接收到的地址相等</p> <p>写 1 清 0</p> <p>注: 当地址匹配时, SRW 位表示了地址字节的 RW 位。</p>
11	OVR	RO	0	<p>从机上溢/下溢状态位</p> <p>0: 未发生上溢/下溢</p> <p>1: 发生上溢/下溢</p> <p>从机收到的字节尚未读取, 并收到新的字节时 OVR 置 1。</p> <p>从机发送过程中从机需要发送一个新的字节但尚未向 DR 寄存器写入数据时 OVR 置 1。</p>
10	RXNE	RC_W1	0	<p>接收数据时数据寄存器状态位</p> <p>0: 接收时数据寄存器空</p> <p>1: 接收时数据寄存器非空</p> <p>硬件置位, 通过读数据寄存器 I2C_DR 可以清除该位, 写 1 清 0。</p> <p>注: 主机接收模式下收到数据后必须读取 DR 寄存器数据否则主机不会产生新的读时序</p>
9	TXE	RC_W1	0	<p>发送数据时数据寄存器状态位</p> <p>0: I2C_DR 数据未被发送器取走</p> <p>1: I2C_DR 数据被发送器取走</p> <p>硬件置位, 写 1 清 0, 写 DR 清 0</p> <p>注: 主机发送模式下, 写 DR 寄存器后主机才会发送数据</p>
8	RX_ADDR1	RC_W1	0	<p>从设备地址 1 匹配状态位</p> <p>0: 设备地址 1 和接收到的地址不相等</p> <p>1: 设备地址 1 和接收到的地址相等</p> <p>写 1 清 0</p>

				注：当地址匹配时，SRW 位表示了地址字节的 RW 位。
7	MTF	RC_W1	0	<p>字节传输完成状态位</p> <p>0: 字节传输未完成</p> <p>1: 字节传输完成</p> <p>当一个字节数据（包括地址）正在传输时，该位为 0；在一个字节传输完后，在第 9 个 SCL 时钟下降沿（应答周期）MTF 被置为 1。写 1 清 0</p>
6	MARLO	RO	0	<p>主模式仲裁丢失</p> <p>0: 没有检测到仲裁丢失</p> <p>1: 检测到仲裁丢失</p> <p>主发送 SDA 为高，但接收到 SDA 为低时认为丢失仲裁，需要软件如理</p>
5	TX_RX_FLAG	RC_W1	0	<p>主机发送转接收状态位</p> <p>0: 主机未由发送状态转成接收状态</p> <p>1: 主机由发送状态转为接收状态。</p> <p>硬件置 1，写 1 清 0；</p> <p>注：当 TX_RX_FLAG 状态置 1 后，硬件停止 I2C 时钟，需软件清该状态。从模式下该状态无效。</p>
4	BUS_BUSY	RO	0	<p>总线忙碌状态位</p> <p>0: 总线上无数据通信（检测到总线上的结束条件，此位清 0）</p> <p>1: 总线上正在进行数据通信（检测到总线上的起始条件，此位置 1）</p>
3	SRW	RO	0	<p>从机读状态指示位</p> <p>0: 作为从设备接收器</p> <p>1: 作为从设备发送器</p> <p>当地址匹配后，SRW 指示地址字节中的 RW 位，该位仅在如下条件有效：一个完整的传输已经发生，没</p>

				有其他传输被初始化；并且 I2C 被配置为从模式，且从地址匹配。当接收到停止条件或一个新的起始条件，该位自动清除
2	STOPF	RC_W1	0	STOP 条件位检测位，主从都会产生 1: 检测到停止位 0: 未检测到停止位 只能写 1 清 0
1	STARTF	RC_W1	0	主机起始条件发送状态位 1: 起始条件已发送 0: 起始条件未发送 写 1 清 0 注: I2C_DR 寄存器有数据将自动启动发送时序并清除该位，主机模式下，SDA 方向不由硬件切换并处于接收状态时 STARTF 也将被清除。
0	RACK	RO	1	应答接收状态位 0: 最近的发送应答周期接收到 ACK 1: 最近的发送应答周期接收到 NACK 只有 START 条件将清除 RACK 位 注: 主机发送模式下收到 NACK 停止发送，等待软件处理事件

20.5.5. 数据寄存器 I2C_DR(偏移: 0x10h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:8	RSV	-	-	保留
7:0	I2CDR	RW	0x0	I2C 数据寄存器

20.5.6. I2C 设备地址寄存器 2/3 I2C_SLAVE_ADDR2/3 (偏移: 0x14h)

比特	名称	属性	复位值	描述
----	----	----	-----	----

31:16	RSV	-	-	保留
15:9	ADDR3[7:1]	RW	0x0	地址的 7~1 位
8	ADDR3_EN	RW	0	0: SLAVE_ADDR3 地址匹配不使能 1: SLAVE_ADDR3 地址匹配使能
7:1	ADDR2[7:1]	RW	0x0	地址的 7~1 位
0	ADDR2_EN	RW	0	0: SLAVE_ADDR2 地址匹配不使能 1: SLAVE_ADDR2 地址匹配使能

20.5.7. I2C 滤波寄存器 I2C_FILTER(偏移: 0x1C)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:13	RSV	-	-	保留
12:8	SDA_IN_DELAY	RW	0x0	SDA 输入延时设置位，SCL 滤波功能使能后，SDA_IN_DELAY 与 SCL_FILTER 的值设置相同，SDA 信号与 SCL 信号在经过滤波后，将保持输入时的相位。
7:5	RSV	-	-	保留
4:0	SCL_FILTER	RW	0x0	SCL 滤波值设置位。 滤的毛刺的最大宽度为 $T_{pclk} * 8 * SCL_FILTER$ 。T _{pclk} 为 PCLK 周期

20.5.8. I2C 超时配置寄存器 I2C_TIMEOUT(偏移: 0x24h)

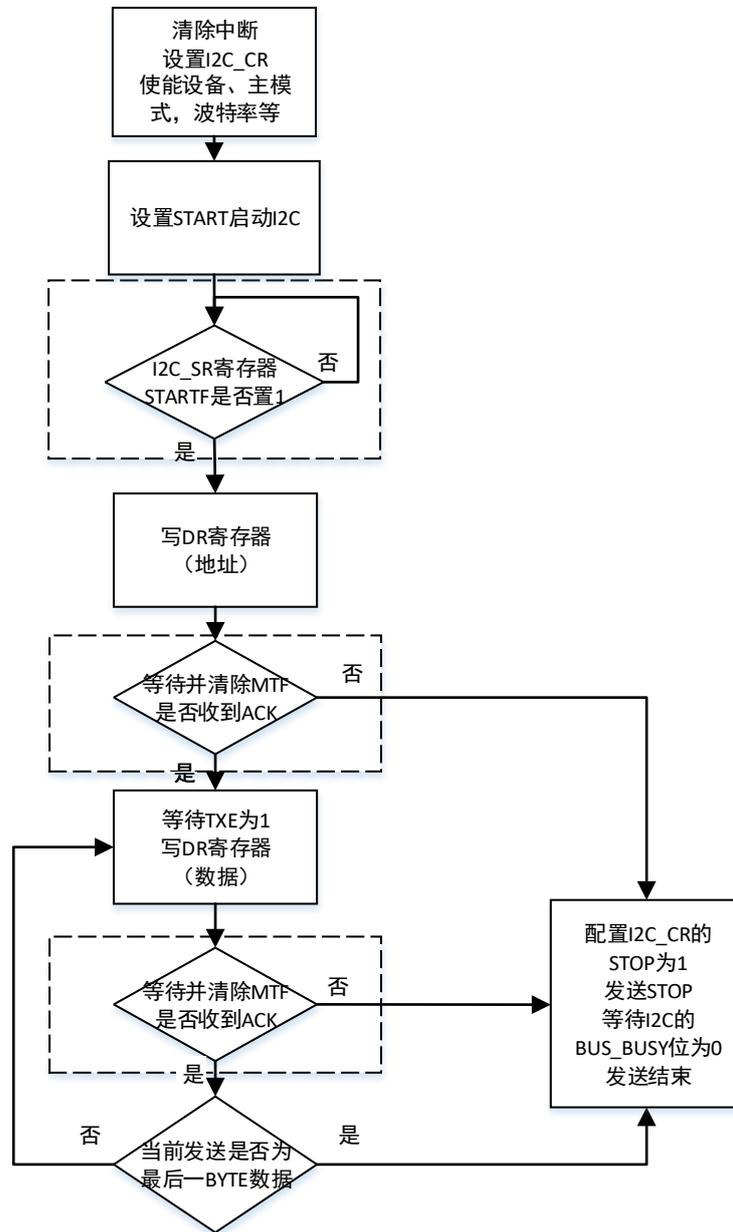
比特	名称	属性	复位值	描述
31	EXTEN			TimeoutB 定时使能，超出后产生 TIMEOUTB 标志
30	TOUTB_INTEN			TIMEOUTBF 标志中断使能
29	EXT_MODE			EXT 计数 (TimeoutB) 模式选择 0: 计数 SEXT 模式 1: 计数 MEXT 模式
28	RSV	-	-	保留
27:16	TIMEOUTB	RW	0x0	SMBus EXT 时间设置，以 PCLK 的 2048 倍

				为计时长度
15	TIMOUTEN			TimeoutA 定时使能，超出后产生 TIMEOUTA 标志
14	TOUTA_INTEN			TIMEOUTAF 标志中断使能
13:12	RSV	-	-	保留
11:0	TIMEOUTA	RW	0x0	SMBus Timeout 时间设置，以 PCLK 的 2048 倍为计时长度

20.6. 软件操作流程

20.6.1. 作为主发送器

图 20-9 主机发送流程图（虚线步骤可跳过，下同）



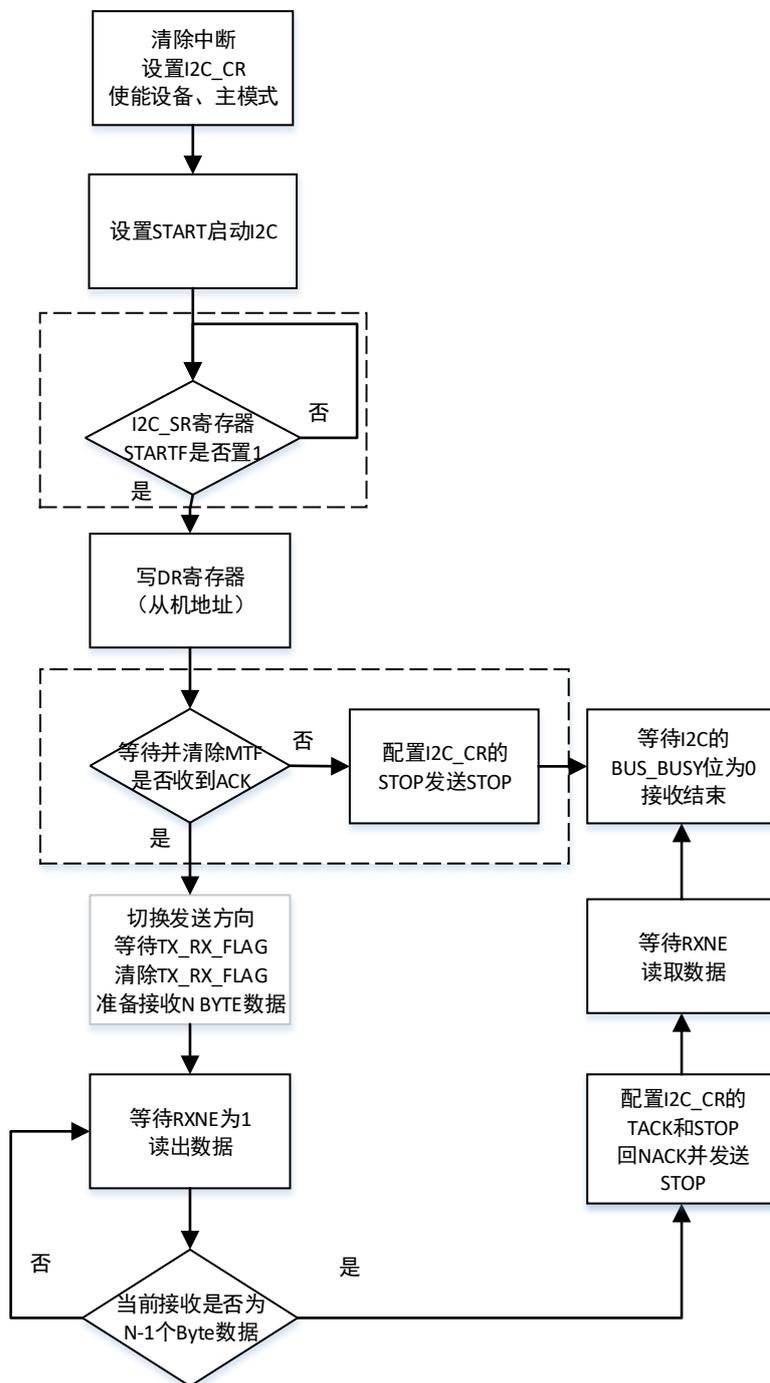
1. 清除中断标志。
2. 写 I2C_CLK_DIV 寄存器的值确定 I2C 传输频率。
3. 写 I2C_CR 寄存器的 TX、MEN、MASTER 和 START 为 1，发起 START 条件。
4. 等待 I2C_SR 的 STARTF 标志为 1(也可不等待)，把 I2C 要访问的 SLAVE 的 7 位地址

- 写入 I2C_DR 寄存器中。(如若直接写数据或 start 之前数据以写入, STARTF 将被清 0)
5. 等待 MTF 标志并清除 MTF, 判断是否收到 ACK 后, 表示从机正确。如果收到 NAK, 软件写 I2C_CR 的 STOP 位为 1, 1, 结束发送并释放总线, 软件等待 I2C_SR 的 BUS_BUSY 为 0 后退出。
 6. 等待 TXE 为 1, 往 I2C_DR 寄存器写入要发送的字节, 同时硬件会清除 TXE 位。若当前数据发送完成后, 新的数据没有写入, 主机不会产生新的发送时序。
 7. 等待 MTF 标志并清除 MTF, 判断是否收到 ACK, 如果收到 ACK 表示从机正确。如果收到 NACK, 软件写 I2C_CR 的 STOP 位为 1, 结束发送并释放总线, 软件等待 I2C_SR 的 BUS_BUSY 为 0 后退出。
 8. 重复 6-7 操作。在 7 操作中如确定回 ACK, 可跳过。
 9. 向 I2C_DR 写完最后一个字节后, 等到倒数第二个字节发送完成 (MTF==1)。最后一个字节写 I2C_CR 的 STOP 为 1 结束发送。STOP 也可以在最后字节发送完成后写入。

MTX_AUTO_EN 使能后, I2C_CR 位的 TX 位可以不配置, 主默认作为发送器, 地址字节最后 1bit, 为 1 则为接收器, 为 0 则为发送器。

20.6.2. 作为主接收器

图 20-10 主机接收流程图

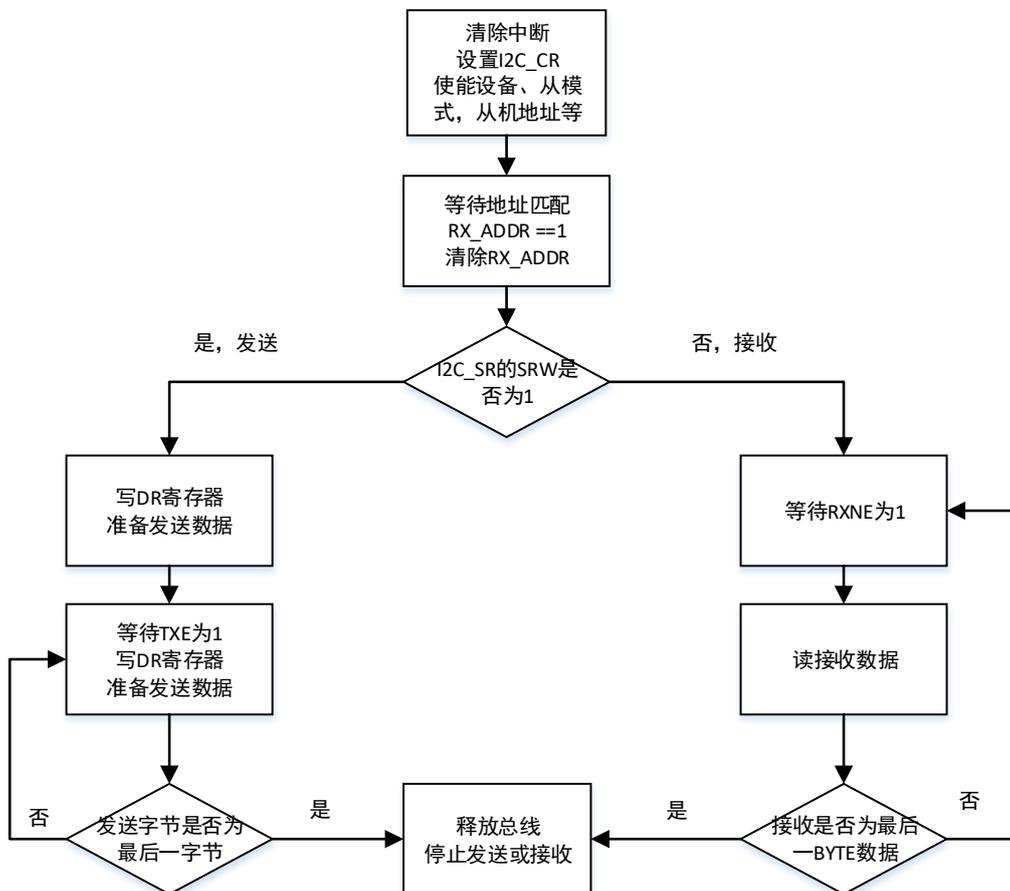


1. 清除中断标志
2. 写 I2C_CLK_DIV 寄存器的值确定 I2C 传输频率
3. 写 I2C_CR 寄存器的 MEN、MASTER 和 START 为 1，发起 START 条件。
4. 等待 I2C_SR 的 SRARTF 标志为 1(也可不等待)，把 I2C 要访问的 SLAVE 的 7 位地址

- 和 1bit 的 1 写入 I2C_DR 寄存器中，表示作为接收器。
5. 等待 MTF 标志并清除 MTF，判断是否收到 ACK 后，如果收到 ACK 表示从机正确。如果收到 NAK，软件写 I2C_CR 的 STOP 位，结束发送并释放总线，软件等待 I2C_SR 的 BUS_BUSY 位为 0 后退出。或者收到 NACK 后，软件写 I2C_CR 的 START 位为 1，从新发起一次新的操作。（写 STOP 位后，需要重新写 DR 寄存器）。
 6. 切换发送为接收后，软件需要查看 I2C_SR 的 TX_RX_FLAG，若为 1，清除该状态。若该状态不清除。硬件会停止接收时序。
 7. 读到 RXNE 为 1 时，处理器需读取 I2C_DR 寄存器中接收到的字节，同时硬件会清除 RXNE 位。等待下一个字节的接收结束。数据接收完成后若软件不读取数据，硬件将不会产生 SCL 时钟接收新的数据。
 8. 重复 7 操作。
 9. 当倒数第二个字节接收完成，且发送完 ACK 信号后(即倒数第二个 RXNE 标志)，主机写 I2C_CR 的 TACK 和 STOP 为 1，表示下一个要接收的字节为最后一个字节。
 10. 最后一个字节接收完成后硬件发出 NACK 信号并产生 STOP 条件，软件等待 I2C_SR 的 BUS_BUSY 为 0 后退出。

20.6.3. 作为从发送器

图 20-11 从机发送接收流程图



1. 清除中断标志
2. 向 I2C_SLAVE_ADDR1 寄存器或 I2C_SLAVE_ADDR2 寄存器写入 7 位地址作为自己在从机状态下被寻址的地址。
3. 写 I2C_CR 寄存器的 MEN 为 1，使能 I2C 模块。
4. 等待 RX_ADDR1 或 RX2_ADDR2 (ADDR2_EN=1) 标志是否有效。地址匹配无效则重复 4。
5. 地址匹配有效，判断 SRW 位是否为 1。为 0 表示从接收，为 1 表示从发送。
6. 写 I2C_CR 寄存器的 TX 为 1，切换到发送器，写第一个要发送的数据给 I2C_DR。
7. 等待 TXE 为 1 时，向 I2C_DR 寄存器中写入即将要发送的数据，同时硬件会清除 TXE 位。
8. 重复 7，当收到主机发来的 STOP 后，I2C 模块释放总线。软件等待 I2C_SR 的 BUS_BUSY 为 0 后退出。

注：MTX_AUTO_EN 使能后，I2C_CR 位的 TX 位可以不配置，从默认作为接收器，到地址字节最后 1bit，如果是 1 则为发送器，为 0 则为接收器。

20.6.4. 作为从接收器

1. 清除中断标志
2. 向 I2C_SLAVE_ADDR1 寄存器或 I2C_SLAVE_ADDR2 寄存器写入 7 位地址作为自己在从机状态下被寻址的地址。
3. 写 I2C_CR 寄存器的 MEN 为 1，使能 I2C 模块。
4. 等待 RX_ADDR1 或 RX_ADDR2 (ADDR2_EN=1) 标志是否有效。地址匹配无效则重复 4。
5. 地址匹配有效，判断 SRW 位是否为 1。为 0 表示从接收，为 1 表示从发送
6. 等待 RXNE 为 1 时，读取 I2C_DR 寄存器中接收到的字节，同时硬件会清除 RXNE 位。
1. 重复 6，当收到主机发来的 STOP 后，I2C 模块释放总线。软件等待 I2C_SR 的 BUS_BUSY 为 0 后退出。

20.6.5. 滤波算法

当 I2C_FILTER 寄存器中的 SCL_FILTER 不为 0 时，I2C 滤波功能开启。例如，I2C_FILTER=2 时，SCL 必须采样到连续两个 T_{cntc} 宽度的高电平才能输出高电平，宽度小于两个 T_{cntc} 的脉冲被认为是干扰毛刺而被过滤掉。其中 T_{cntc} 为 PCLK 的 8 分频时钟周期。

注：

1. 在使用过程中，设置 SDA_IN_DELAY 与 SCL_FILTER 的值相同，SDA 信号与 SCL 信号在经过滤波后，将保持输入时的相位。
2. 在通信过程中，SCL 滤波功能只滤低于 $T_{cntc} * I2C_FILTER$ 时间的高电平，低电平不滤波；非通信过程中，SCL 滤波功能只滤低于 $T_{cntc} * I2C_FILTER$ 时间的低电平，高电平不滤波；SCL 滤波功能的电平会根据 START 位自动切换。

21. 低功耗串口（LPUART）

21.1. 概述

低功耗 UART(LPUART)是一个低功耗的 UART 模块，通讯可以使用独立的时钟源。只需要使用 32.768KHz 的时钟就可以使用 9600 波特率通讯。更高的波特率可以通过外部选择更快的时钟源实现。

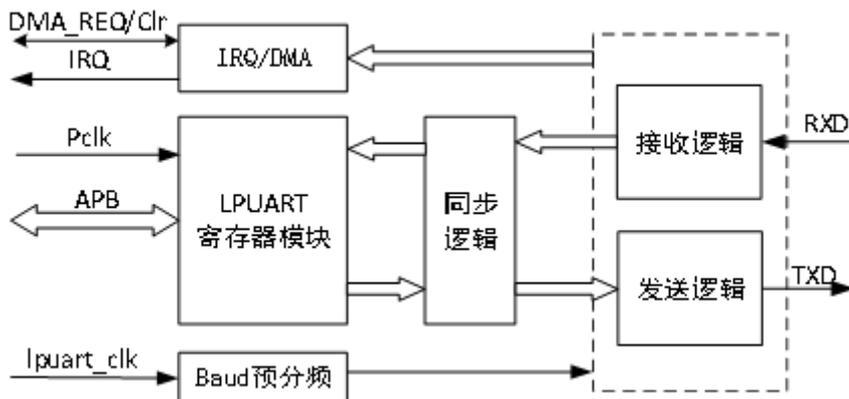
21.2. 主要特性

- 寄存器和通讯时钟独立
- 32.768KHz 时钟下，最大支持 9600 波特率
- 可使用 PCLK 的分频时钟作为工作时钟
- 7-8 位数据位可配置
- 奇/偶校验、0/1 校验或者无校验，可配置
- 1-2 停止位可配置
- STOP 模式下唤醒系统：起始位、收到 1 字节或者收到字节匹配
- 支持 DMA 工作

21.3. 功能描述

LPUART 主要分为寄存器接口、接收逻辑、发送逻辑、中断/唤醒/DMA 逻辑等组成。整体框图如下：

图 21-1 LPURT 整体框图



21.3.1. 时钟选择

LPUART 一共支持三种时钟，分别为：

- RC32K
- XTL
- PCLK 分频，分频系数由 LPUARTDIV 确定

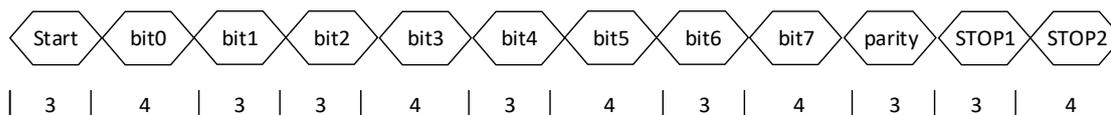
通过 SCU 的 CCR2 寄存器进行设置，当选择 RC32K 或 XTL 为时钟源时，可以作为低功耗串口进行工作，最大波特率支持 9600。当需要更高波特率时，可以选择 PCLK 分频作为时钟源，此时 LPUART 可以当做普通 UART 使用。

21.3.2. 波特率设置

波特率设置分为整数部分和小数部分，其中整数部分至少为 3 分频（设置值为 2），设置整数分频；小数部分按照比特设置从 Start 到 STOP，每比特是否增加 1。由于 LPUART 工作在 32.768K 频率下时，通讯时钟不是 9600 的整数倍，故必须采用这种小数分频的方式，如采用 3-4 分频循环的方式实现。

下图为 32.768K 频率下，使用 9600 波特率，8 位数据，校验位，和 2 个停止位的示意图。波特率整数部分配置为 3 分频（设置值为 2），接收采样设为第 2 个时钟（设置值为 1）；小数寄存器配置位 12'b1001_0101_0010。其中接收采样在每个 bit 的中间时钟。

图 21-2 LPURT BIT 分布



波特率小数部分的加权平均加上整数部分，应该和工作时钟除以波特率相等；并且从一个字节看小数的 0-1 分布应该均匀，比如要设置为 4'b0101,而不是 4'b0011。上面的例子中，工作时钟除以波特率为 $32768/9600=3.413$ ，波特率加权平均值为 3.416。

如果外部选择更高的时钟，则 LPUART 可以实现更快的波特率。

- 波特率计算公式为
 - 波特率整数部分=（工作频率/需要波特率）的整数部分
 - 小数部分相求加权平均=工作频率/需要波特率-波特率整数部分
- 如要设为 115200，系统时钟为 64M，经过 32 分频产生 LPUART 工作时钟，则：
 - 波特率应为 $2000000/115200=17.361$
 - 整数部分可以设置为 17 分频（寄存器值 16）
 - 小数加权平均为 0.361,如采用 Start+8 位数据+校验+1 位 STOP 共 11 位，则小数部分在 11 比特中需要 $11*0.361\approx 4$ 个 1，可以设置为 12'b100100100100。

21.3.3. STOP 模式唤醒

在 STOP 模式系统时钟（PCLK）停止情况下，LPUART 收发逻辑可以独立工作在 32.768K 时钟下，此时可以选择接收唤醒方式，通过设置 RXWKS[6:5]选择三种唤醒中的一种：

- START 位检测唤醒：当接收到 START 位时唤醒；
- 1byte 数据接收完成：当接收到 1byte 的字节时唤醒；
- 接收数据匹配成功：若选择此唤醒模式，则还需要设置地址寄存器

LPUART_ADDR，写入匹配地址，当接到到 1byte 字节数据且数据等于

LPUART_ADDR 中的匹配地址时唤醒，即使采用地址匹配方式，收到的数据也会放入数据寄存器。

另外，通过设置 WKCK 位，可以选择接收完 1 字节，是否检查校验位和 STOP 位，再触发唤醒/中断

21.3.4. DMA 请求

LPUART 可以利用 DMA 连续通信,通过设置线控制寄存器 LPUART_CR 的 DMA_EN 位,使能 DMA 功能,利用 DMA 可以实现 LPUART 的发送/接受。

当传输完成 DMA 控制器指定的数据量时, DMA 控制器会产生完成中断。

21.4. 寄存器描述

LPUART 寄存器基地址: 0x4000_8000

偏置	名称	描述
0x00	LPUART_RXDR	接收数据寄存器
0x04	LPUART_TXDR	发送数据寄存器
0x08	LPUART_LCR	线控制寄存器
0x0C	LPUART_CR	控制寄存器
0x10	LPUART_IBAUD	波特率整数部分
0x14	LPUART_FBAUD	波特率整数部分
0x18	LPUART_IE	中断使能寄存器
0x1C	LPUART_SR	状态寄存器
0x20	LPUART_ADDR	地址寄存器

21.4.1. 接收数据寄存器/LPUART_RXDR (偏移: 00h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:8	RSV	-	-	保留
7:0	RXDATA	RO	0	接收的数据

21.4.2. 发送数据寄存器/LPUART_TXDR (偏移: 04h)

比特	名称	属性	复位值	描述
----	----	----	-----	----

31:8	RSV	-	-	保留
7:0	TXDATA	WO	0	发送的数据

21.4.3. 线控寄存器/LPUART_LCR (偏移: 08h)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:10	RSV	-	-	保留
9	TXPOL	RW	0	发送数据极性是否取反 0: 不取反 1: 取反
8	RXPOL	RW	0	接收数据极性是否取反 0: 不取反 1: 取反
7	WKCK	RW	1	接收唤醒校验选择 0: 接收完 1 字节, 不检查校验位和 STOP 位, 直接触发唤醒/中断 1: 接收完 1 字节, 检查校验位和 STOP 位都正确, 才触发唤醒/中断
6:5	RXWKS	RW	00	接收唤醒选择, STOP 模式用于唤醒选择 00: START 位检测唤醒 01: 1byte 数据接收完成 10: 接收数据匹配成功 11: 无唤醒 STOP 模式下用于唤醒
4	WLEN	RW	0	字宽选择位 0: 8bits 1: 7bit
3	STP2	RW	0	停止位数选择位: 0: 1 位停止位

				1: 2 位停止位
2	EPS	RW	0	0/1 校验或者奇/偶校验选择位（取决于 SPS） 0: 奇/偶校验选择奇校验，或 0/1 校验选择校验位强制为 1 1: 奇/偶校验选择偶校验，或 0/1 校验选择校验位强制为 0
1	SPS	RW	0	校验模式选择位 0: 奇/偶校验 1: 0/1 校验
0	PEN	RW	0	校验使能位： 0: 禁止奇/偶校验或 0/1 校验 1: 使能奇/偶校验或 0/1 校验

21.4.4. 控制寄存器/LPUART_CR (偏移: 0Ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:2	RSV	-	-	保留
2	DMA_EN	RW	0	使能 DMA 功能
1	TXE	RW	0	发送使能位 0: 禁止 1: 使能
0	RXE	RW	0	接收使能位： 0: 禁止 1: 使能

21.4.5. 波特率整数部分/LPUART_IBAUD (偏移: 10h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:6	RSV	-	-	保留

15:8	RXSAM	RW	0x1	接收采样点设置，一般设为 IBAUD>>1，可以略微调整。
7:0	IBAUD	RW	0x2	波特率分频整数因子-1，设置范围为 2~254 $IBAUD = (\text{integer}(F_{PCLK}/BAUD)) - 1$, integer 为取整操作 最小值为 2，即 3 分频；最大值为 254，即 256 分频。 结合小数部分，波特率最大为 3~4 分频之间，最小值为 255~256 之间。

21.4.6. 波特率小数部分/LPUART_FBAUD (偏移: 14h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:12	RSV	-	-	保留
11:0	FBAUD	RW	0x000	波特率小数部分，设置 1 字节内的每一个 bit 是否调整。从低位到高位对应为 Start 到 STOP。 0: 不调整 1: 增加一个时钟。 这个比较麻烦，需要增加一张常用波特率表 小数部分的加权平均为 $(F_{PCLK}/BAUD) - 1 - IBAUD$

21.4.7. 中断使能寄存器/LPUART_IE (偏移: 18h)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:11	RSV	-	-	保留
9	STARTIE	RW	0	起始位检测中断使能位 0: 禁止

				1: 使能
8	MATCHIE	RW	0	地址匹配中断使能位 0: 禁止 1: 使能
7:6	RSV	-	-	保留
5	RXOVIE	RW	0	接收 overrun 中断使能位 0: 禁止 1: 使能
4	FEIE	RW	0	接收帧格式错误(STOP 位)中断使能位 0: 禁止 1: 使能
3	PEIE	RW	0	接收校验错误中断使能位 0: 禁止 1: 使能
2	TXEIE	RW	0	发送 buffer 空中断使能 0: 禁止 1: 使能
1	TCIE	RW	0	数据发送完成中断使能位 0: 禁止 1: 使能
0	RXIE	RW	0	字节接收完成中断使能位 0: 禁止 1: 使能

21.4.8. 状态寄存器 LPUART_SR (偏移: 1Ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:10	RSV	-	-	保留
9	STARTIF	RC_W1	0	起始位检测中断标志, 写 1 清零

8	MATCHIF	RC_W1	0	地址匹配中断标志，表示接收缓冲区内的数据与地址寄存器相同，写 1 清零 可以设置 WKCK 位选择是否检查校验和 STOP 位
7	TXOVF	RC_W1	0	TXDR 溢出错误，软件写 1 清零 当 TXDR 满时，软件又向 TXDR 写入新数据，该位置 1
6	RXF	RO	0	接收缓冲满，读 RXDR 清零，不产生中断 注：不管校验是否正确
5	RXOVIF	RC_W1	0	接收 overrun 中断标志，写 1 清零 0：无中断 1：有中断 注：不管校验是否正确
4	FEIF	RC_W1	0	帧格式错误（STOP）中断标志，写 1 清零 0：无中断 1：有中断
3	PEIF	RC_W1	0	校验错误中断标志，写 1 清零 0：无中断 1：有中断
2	TXEIF	RO	1	发送 buffer 空中断标志，写入 TXDR 后清零 0：无中断产生 1：发送 buffer 空
1	TCIF	RC_W1	0	数据发送完成中断标志，TXDR 为空并且当前字节发送完成。写 1 清 0：无中断 1：有中断
0	RXIF	RC_W1	0	字节接收完成中断标志，写 1 或读取 RXDR 时清零 1：接收完一帧数据后中断产生

				0: 无中断产生
--	--	--	--	----------

21.4.9. 地址寄存器/LPUART_ADDR (偏移: 20h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:8	RSV	-	-	保留
7:0	ADDR	RW	0	匹配地址设置

21.5. 使用流程

21.5.1. 串口收发

1. 配置波特率寄存器 (FBAUD/IBAUD)
2. 配置线控制寄存器(LCR),选择校验、位宽和 STOP 位数
3. 配置中断使能寄存器 (IE), 使能收发中断等
4. 设置控制寄存器 (CR), 使能 RXE/TXE
5. 等待中断或者查询标志

21.5.2. 配置 STOP 唤醒

1. 配置波特率寄存器 (FBAUD/IBAUD)
2. 配置线控制寄存器(LCR),选择校验、位宽和 STOP 位数
3. 配置线控寄存器 RXWKS, 选择唤醒方式 START、接收 1 字节或者接收 1 字节并且地址匹配
4. 配置线控寄存器 WKCK, 选择接收数据是否检查校验位和 STOP
5. 设置控制寄存器 (CR), 使能 RXE

22. 模数转换器（ADC）

22.1. 概述

ADC 控制模块通过 12 位逼近型模拟数字转换电路，实现模数转换控制，转换电路内嵌温度传感器实现温度检测。ADC 控制器支持单端信号转换和差分信号转换，最多达 21 个通道，包括 16 路外部普通通道，1 路外部 1/4 电源电压，2 路外部 BUFFER 通道，1 路内部 BUFFER 通道（内部 BGR 通道，仅校准时使用），1 路内部温度传感器。

ADC 控制器支持最大 16 次可设通道的规则转换，以及 1 次通道可设的注入转换。每次 A/D 转换可以按照单次、连续或间断模式执行。

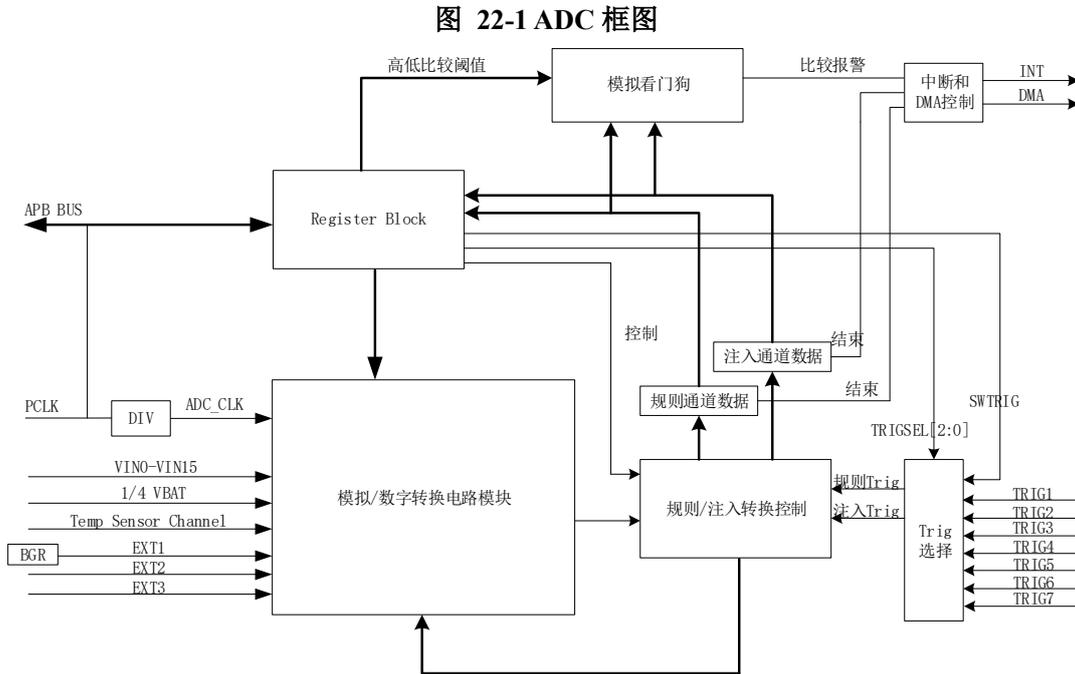
模拟看门狗特性允许应用程序检测输入电压是否超出用户定义的高/低阈值。

ADC 控制模块支持 PCLK 的单时钟输入；ADC_CLK 由内部分频产生。

22.2. 主要特性

- 12 位分辨率
- 转换速率 1.6Msps
- 21 个可用通道，包括 16 路外部普通通道，1 路外部 1/4 电源电压，2 路外部 BUFFER 通道，1 路内部 BUFFER 通道（内部 BGR 通道，仅校准时使用），1 路内部温度传感器
- 支持单端信号转换和差分信号转换
- 转换结束、注入转换结束和发生模拟看门狗事件时产生中断
- 单次、连续和间断转换模式
- 从序列 1 到序列 16 的规则扫描模式，序列通道可设
- 采样时间可以按通道分别编程
- 规则转换和注入转换均有外部触发选项
- 规则通道转换期间有 DMA 请求产生
- APB 总线便于系统集成，同时实现高速的读写操作
- 支持过采样

22.3. 结构框图



- Register Block

Register Block 通过 APB 接口实现对 ADC 模块内部的控制、中断和数据寄存器的读写译码访问。

- 转换控制

转换控制模块实现规则序列的转换，以及注入转换的插入。根据当前转换的通道号，通过对 ADC 转化电路的时序控制，完成一次转换，并把结果和通道号存到相应的数据寄存器。转换的触发源可以在外部 TRIG 和软件 TRIG 中选择，每个通道的转换定义独立的采样间隔时间。

- 模拟看门狗

模拟看门狗电路监控转化的结果，并与设置的高低阈值比较，超过阈值产生报警

- 中断控制

根据设置，可以产生单次转化结束中断、注入转换结束中断和模拟看门狗中断

- 时钟分频

DIV 模块实现 PCLK 分频产生 ADC_CLK。在 ADC 控制模块内部，PCLK 和 ADC_CLK 为全同频设计

22.4. 功能描述

22.4.1. 通道选择

一共有 21 个 ADC 通道(通道 0-通道 20), 见下表。使用时可以把转换组织成两组: 规则组和注入组。在任意多个通道上以任意顺序进行的一系列转换构成成组转换。例如, 可以如下顺序完成转换: 通道 3、通道 8、通道 2、通道 2、通道 0、通道 2、通道 2、通道 15。

注: 通道 0 对应模拟输入 VIN0(ADC_IN0), 通道 15 对应模拟输入 VIN15(ADC_IN15)。

- 规则组由多达 16 个转换组成。规则通道和它们的转换顺序在 ADC_SQRx 寄存器中选择。规则组中转换的总数应写入 ADC_SQR1 寄存器的 L[3:0]位中。
- 注入组只支持一个转换组成。注入通道在 ADC_JSQR 寄存器中选择。

如果 ADC_SQRx 或 ADC_JSQR 寄存器在转换期间被更改, 当前的转换继续完成, 随后序列以新组继续进行转换。

表格 22-1 ADC 通道说明

通道号	差分模式	通道类型	说明备注
0~15	支持	普通	16 路普通外部输入通道 ADC_IN0~15
16	不支持	温度	内部模拟温度传感器
17	不支持	Vbat	1/4 Vbat, 外部输入 ADC_VBAT
18	不支持	带 BUFFER	内部 BGR 通道, 仅校准时使用
19~20	不支持	带 BUFFER	外部输入带 BUFFER 通道 ADC_EXT2/3

注: ADC 章节中提及的 BUFFER 是指缓冲放大器。

22.4.2. 单次转换模式

在规则组内, 单次转换模式下, ADC 模块只执行一次转换。该模式既可通过设置软件触发也可通过外部触发启动, 此时 CONT 位为 0。

每次转换结束:

- 转换数据被储存在 16 位 ADC_DR 寄存器中
- EOC(转换结束)标志被设置

- 如果设置了 EOCIE，则产生 EOC 中断。
- 如果所有规则通道（由 ADC_SQR1.L 决定的转换长度）转换结束，EOG(规则组转换结束)标志被置位
- 如果设置了 EOGIE，则产生 EOG 中断，ADC 停止。

22.4.3. 连续转换模式

在规则组内，连续转换模式中，当前面 ADC 转换一结束马上就启动另一次转换。此模式可通过外部触发启动或软件触发位启动，此时 CONT 位是 1。

每次转换结束：

- 转换数据被储存在 16 位的 ADC_DR 寄存器中
- EOC(转换结束)标志被设置
- 如果设置了 EOCIE，则产生中断。
- 如果所有规则通道（由 ADC_SQR1.L 决定的转换长度）转换结束，EOG(规则组转换结束)标志被置位。
- 如果设置了 EOGIE，则产生 EOG 中断。

22.4.4. 间断模式

此模式通过设置 ADC_CR1 的 DISCEN 位激活。它可以用来在规则组的转换中执行一个短序列的 $n(n \leq 16)$ 次转换，此转换是 ADC_SQRx 寄存器所选择的转换序列的一部分。数值 n 由 ADC_CR1 寄存器的 DISCNUM[3:0] 位给出。

一个触发信号可以启动 ADC_SQRx 寄存器中描述的下轮 n 次转换，直到此序列所有的转换完成为止。总的序列长度由 ADC_SQR1 寄存器的 L[3:0] 定义。

举例：

$n=3$ ，被转换的通道=0,1,2,3,6,7,9,10

第一次触发：转换的序列为 0,1,2

第二次触发：转换的序列为 3,6,7

第三次触发：转换的序列为 9,10

第四次触发：转换的序列为 0,1,2

注意：当以间断模式转换一个规则组时，转换序列结束后不自动从头开始。当所有子组被

转换完成，下一次触发启动第一个子组的转换。每次转换结束均产生 EOC 事件，一个规则组转换结束后产生 EOG 事件。当 ADC_CR1 寄存器的 DISCEN 位和 CONT 位同时使能时，即间断模式和连续转换模式同时使能，规则通道以连续模式进行转换。

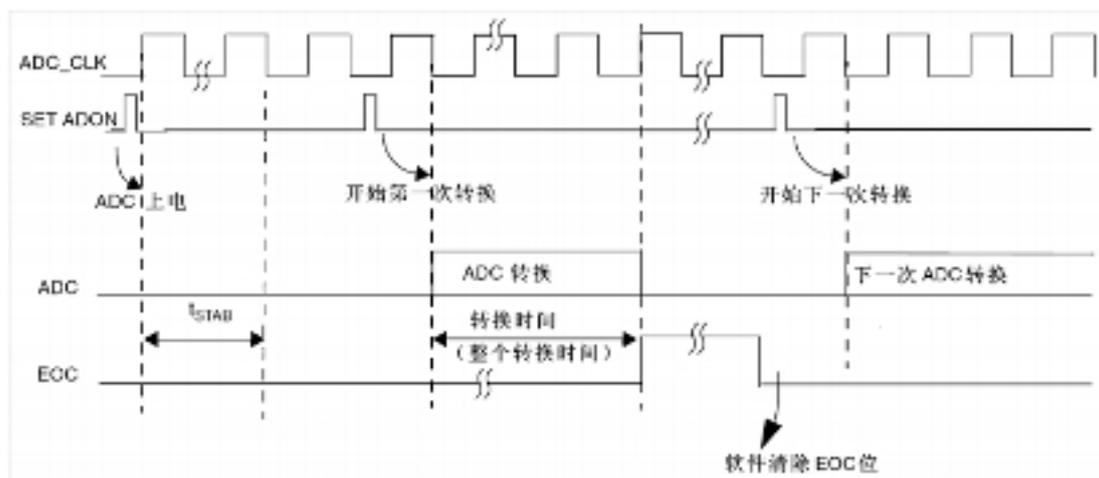
22.4.5. 停止控制

当 ADC_CR2 寄存器的 ADC_STP 置位后，ADC 控制器将在当前通道转换结束后停止 ADC 转换，并且停止后硬件会自动清除 ADC_STP 位，此时可以等待新的触发事件。当新的触发事件发生时，规则通道的转换序列将从 SQ1 开始启动，如果使能了过采样功能，过采样次数也将从 0 开始计数。

22.4.6. 时序图

如下图所示，ADC 转换完成后，EOC 标志被设置，12 位 ADC 数据寄存器包含转换的结果。

图 22-2 ADC 转换时序图

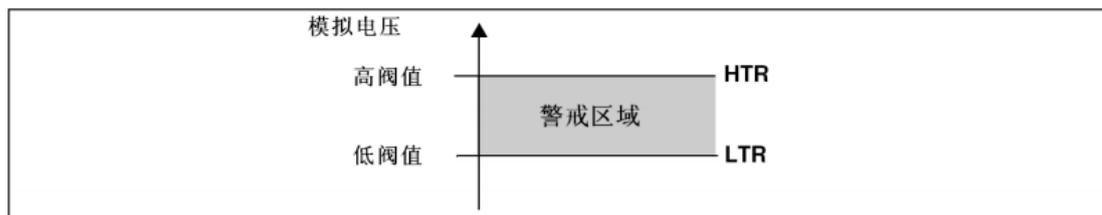


22.4.7. 模拟看门狗

如果被 ADC 转换的模拟电压低于低阈值或高于高阈值，AWD 模拟看门狗状态位被设置。单端输入通道的高低阈值分别由 ADC_HTR 寄存器的 HT 位和 ADC_LTR 寄存器的 LT 位决定，用无符号数表示；差分输入通道的高低阈值分别由 ADC_HTR 寄存器的 DHT 位和 ADC_LTR

寄存器的 DLT 位决定，通道应该设置为有符号数。通过设置 ADC_IE 寄存器的 AWDIE 位以允许产生相应中断。

图 22-3 AWD 阈值图



通过配置 ADC_CR1 寄存器的 AWDEN 位或 JAWDEN 位，使能模拟看门狗功能，AWDSGL 位控制模拟看门狗作用于匹配 AWDCH/AWDJCH 的规则/注入通道或所有通道，如表所示。

表格 22-2 AWD 控制位表

模拟看门狗警戒的通道	ADC_CR1 寄存器控制位		
	AWDSGL 位	AWDEN 位	JAWDEN 位
无	x	0	0
所有规则通道	0	1	0
所有注入通道	0	0	1
所有注入和规则通道	0	1	1
匹配 AWDCH 的规则通道	1	1	0
匹配 AWDJCH 的注入通道	1	0	1
匹配 AWDJCH 的注入或 匹配 AWDCH 的规则通道	1	1	1

22.4.8. 注入通道

注入通道只能触发注入，不能自动插入到扫描序列中。

使能 ADC_CR1 寄存器的 JEN 位，即可使用触发注入功能。

1. 利用外部触发或通过软件 TRIG 位，启动一组规则通道的转换。
2. 如果在规则通道转换期间产生注入触发，当前转换完成后(不等待采样间隔时间)，注入通道序列进行转换。
3. 结果放到注入数据寄存器 ADC_JDR，JEOC 标志置位，如果设置了 JEOCIE 为，则产

生 JEOC 中断。

4. 然后，恢复上次被中断的规则组通道转换。

22.4.9. 可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，每个通道的采样时间 TSAMP 可以通过 ADC_SMPR1/2/3 的 SMPx[3:0]位进行设置。

ADC 转换时间 TCONV 的计算如下：

$$T_{CONV} = T_{SAMP} + 17T_{ADC_CLK}$$

例如：ADC_CLK = 40MHz，TSAMP = 3TADC_CLK，TCONV = (3+17) TADC_CLK = 20 TADC_CLK = 500ns。

注意：在 ADC 转换期间，新发生的触发事件将被忽略，直到转换结束，才启动新的转换序列，EOC 事件还是在转换结束后立即产生。

22.4.10. 外部触发转换

转换可以由外部事件或者软件触发(例如定时器捕获，EXTI 线)。EXTSEL[2:0]和 JEXTSEL[2:0]控制位允许应用程序选择 8 个可能的事件中的某一个，可以触发规则和注入组的采样。

注意：当外部触发信号被选为 ADC 规则或注入转换时，只有它的上升沿可以启动转换。通道的触发选择，见下表：

表格 22-3 ADC 触发源选择表

名称	触发源	EXTSEL[2:0]	JEXTSEL[2:0]
SWSTART/JSWSTART	软件触发	000	000
TIG1	TIM1_TRGO	001	001
TIG2	TIM1_CC4	010	010
TIG3	RSV	011	011
TIG4	TIM3_TRGO	100	100
TIG5	TIM15_TRGO	101	101
TIG6	TIM6_TRGO	110	110

TIG7	EXTi Line 11	111	111
------	--------------	-----	-----

22.4.11. DMA 请求

因为规则通道转换的值储存在一个仅有的数据寄存器中，所以当转换多个规则通道时需要使用 DMA，这可以避免丢失已经存储在 ADC_DR 寄存器中的数据。

只有在规则通道的转换结束时才产生 DMA 请求，并将转换的数据从 ADC_DR 寄存器传输到用户指定的目的地址。

22.4.12. 温度传感器

温度传感器可以用来测量器件周围的温度(TA)。温度传感器在内部和 ADC 模拟输入通道 16 相连接，此通道把传感器输出的电压转换成数字值。

温度传感器输出电压随温度线性变化，由于生产过程中的变化，温度变化曲线的偏移在不同芯片内部温度传感器更适合于检测温度的变化，而不是测量绝对的温度。如果需要测量精确的温度，应该使用一个外置的温度传感器。

22.4.13. 差分信号转换

ADC 比较电路支持差分信号转换，选择差分模式后，输入差分信号成对比较后再进行 AD 转换。差分信号分为 8 对：VIN0/VIN8、VIN1/VIN9、VIN2/VIN10、VIN3/VIN11、VIN4/VIN12、VIN5/VIN13、VIN6/VIN14、VIN7/VIN15。在 ADC_SQRx 或 ADC_JSQR 输入某一个通道号，按照通道号选择单端或差分模式。

为了得到正确的比较结果，差分转换时，根据应用选择结果为 16 位有符号数，在符号位为最高位 bit15，在未使用过采样功能的情况下，仅低 11 位数据有效。

22.4.14. 溢出控制

当 ADC_DR 寄存器的数据没有及时被软件或 DMA 读取时，将产生溢出事件，ADC_SR 寄存器的 OVERF 被置位。当发生溢出事件时，最新采样数据的处理方式有两种，由 ADC_CR2 寄存器的 OVRMOD 为控制，当 OVRMOD=0 时，最新采样数据被丢弃，ADC_DR 寄存器保

留上次的转换数据；当 OVRMOD=1 时，最新采样数据保存到 ADC_DR 寄存器。当 OVERF 状态为高时，停止发送 EOC 事件的 DMA 请求，以保证通过 DMA 方式存放到 RAM 中的转换数据是有效的。

22.4.15. 差分模式和符号数

对应通道 ADC_IN0~IN15 支持单端和差分输入两种模式，其他通道只支持单端模式；仅差分模式支持有符号数输出，其他通道只支持无符号。

单端模式下(DIFFx_x=0)，输入 ADC_INx 为无符号数，无符号输出(SIGNx_x=0)为 DR[11:0]=ADC_INx。

差分模式下(DIFFx_x=1)，输入 ADC_INx_P 和 ADC_INx_N 对应有符号输出(SIGNx_x=1)为 DR[15:0]=(ADC_INx_P-ADC_INx_N)/2。一个差分对中序号小的为 ADC_INx_P，序号大的为 ADC_INx_N。例如 ADC_IN0=12'hfff, ADC_IN8=12'h000，配置 DIFF0_8=1/ SIGN0_8=1，则 DR[15:0]=(ADC_IN0-ADC_IN8)/2=16'h07ff，反过来如果 ADC_IN0=12'h000, ADC_IN8=12'hfff，则 DR[15:0]=(ADC_IN0-ADC_IN8)/2=16'hf800。

2.10.10. 过采样

如果使能了 ADC 的过采样功能，那么每个通道将进行 N 次转换后产生一次 EOC 事件，并对每次的转换结果进行累加，累加器的长度为 20-bit（256 x 12-bit），然后，右移实现除数为 M 的平均，并对右移舍弃的数据做四舍五入处理，截去数据位的高 4 比特，最终保留 16-bit 的有效数据；将结果保存到 ADC_DR 寄存器中。累加平均的表达式如下所示。

$$result = \frac{1}{M} \times \sum_{n=0}^{n=N-1} Conversion(t_n)$$

过采样率 N 由 ADC_CR2 寄存器的 OVSR[2:0]位决定，表示范围从 2 倍到 256 倍。平均系数 M 由 ADC_CR2 寄存器的 OVSS[3:0]决定，最大右移范围 8-bit。

规则组通道的过采样通过 OVSE 位使能，注入组通过 JOVSE 使能。注入组过采样的触发模式由 JTOVS 控制，当 JTOVS=0 时，一次触发进行一次 ADC 转换；当 JTOVS=1 时，一次触发进行 N 次 ADC 转换。

22.4.17. ADC 中断

规则和注入组转换结束时能产生中断，当模拟看门狗状态位被设置时也能产生中断。它们都有独立的中断使能位。

ADC_SR 寄存器中有 2 个其他标志，但是它们没有相关联的中断：

- AFE_VLDT (ADC 模拟 TS 转换结束信号)
- AFE_EOC (ADC 模拟转换结束信号)

表格 22-4 ADC 中断控制表

中断事件	事件标志	使能控制位
规则通道转换结束	EOC	EOCIE
规则组转换结束	EOG	EOGIE
注入转换结束	JEOC	JEOCIE
模拟看门狗状态	AWD	AWDIE
规则转换数据溢出	OVERF	OVERFIE

22.5. 寄存器描述

ADC 寄存器基地址：0x4001_2400

偏置	名称	属性	描述
0x00	ADC_SR	RO	ADC 状态寄存器
0x04	ADC_IE	RW	中断使能寄存器
0x08	ADC_CR1	RW	ADC 控制寄存器 1
0x0c	ADC_CR2	RW	ADC 控制寄存器 2
0x10	ADC_SMPR1	RW	ADC 转换时间寄存器 1
0x14	ADC_SMPR2	RW	ADC 转换时间寄存器 2
0x18	ADC_HTR	RW	ADC 看门狗高阈值寄存器
0x1c	ADC_LTR	RW	ADC 看门狗低阈值寄存器
0x20	ADC_SQR1	RW	ADC 规则序列寄存器 1
0x24	ADC_SQR2	RW	ADC 规则序列寄存器 2
0x28	ADC_SQR3	RW	ADC 规则序列寄存器 3
0x2c	ADC_JSQR	RW	ADC 注入序列寄存器
0x30	ADC_JDR	RO	ADC 注入数据寄存器
0x34	ADC_DR	RO	ADC 规则数据寄存器
0x38	ADC_DIFF	RW	ADC 单端/差分选择寄存器
0x3c	ADC_SIGN	RW	ADC 符号数选择寄存器
0x40	ADC_TSREF	RW	ADC 温度传感器/REF 寄存器
0x44	ADC_SMPR3	RW	ADC 转换时间寄存器 3

22.5.1. ADC 状态寄存器(ADC_SR 偏移 00h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:6	RSV	-	-	保留
5	AWD	RC_W1	0	模拟看门狗标志位 该位由硬件在转换的电压值超出了 ADC_LTR 和

				ADC_HTR 寄存器定义的范围时设置，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。
4	OVERF	RC_W1	0	规则通道数据溢出位 该位在规则转换数据溢出时置位，由软件写 1 清除 0：规则转换数据未溢出 1：规则转换数据溢出
3	EOG	RC_W1	0	转换结束位 该位由硬件在一个规则组序列转换结束时设置，由软件写 1 清除 0：一组转换未完成； 1：一组转换完成。
2	JEOC	RC_W1	0	注入通道转换结束位 该位由硬件在注入通道转换结束时设置，由软件写 1 清除 0：转换未完成； 1：转换完成
1	EOC	RC_W1	0	转换结束位 该位由硬件在规则通道（或者一个规则组序列）转换结束时设置，由软件写 1 清除或由读取 ADC_DR 时清除 0：转换未完成； 1：转换完成。
0	ADRDY	RO	0	ADC 就绪状态 该位由硬件置位。 0：复位状态 1：就绪状态

22.5.2. ADC 中断使能寄存器(ADC_IE 偏移 04h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:6	RSV	-	-	保留
5	AWDIE	RW	0	<p>允许产生模拟看门狗中断</p> <p>该位由软件设置和清除，用于禁止或允许模拟看门狗产生中断。在扫描模式下，如果看门狗检测到超范围的数值时，设置了该位时扫描也不会中止。</p> <p>0: 禁止模拟看门狗中断；</p> <p>1: 允许模拟看门狗中断。</p>
4	OVERFIE	RW	0	<p>允许产生规则通道数据溢出中断</p> <p>该位由软件设置和清除，用于禁止或允许规则通道数据溢出产生中断。</p> <p>0: 溢出中断禁止</p> <p>1: 允许产生溢出中断，规则序列上次结果未取走，又有新的转换结果时，产生中断</p>
3	EOGIE	RW	0	<p>允许产生 EOG 中断</p> <p>该位由软件设置和清除，用于禁止或允许规则组转换结束后产生中断。</p> <p>0: 禁止 EOG 中断；</p> <p>1: 允许 EOG 中断。当硬件设置 EOG 位时产生中断</p>
2	JEOCIE	RW	0	<p>允许产生注入通道转换结束中断</p> <p>该位由软件设置和清除，用于禁止或允许所有注入通道转换结束后产生中断。</p> <p>0: 禁止 JEOC 中断；</p> <p>1: 允许 JEOC 中断。当硬件设置 JEOC 位时产生中断</p>
1	EOCIE	RW	0	<p>允许产生 EOC 中断</p> <p>该位由软件设置和清除，用于禁止或允许转换结束后产生中断。</p>

				0: 禁止 EOC 中断; 1: 允许 EOC 中断。当硬件设置 EOC 位时产生中断
0	RSV	-	-	保留

22.5.3. ADC 控制寄存器 1 (ADC_CR1 偏移 08h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:27	AWDJCH[4:0]	RW	00000	注入通道模拟看门狗通道选择位 这些位由软件设置和清除，用于选择模拟看门狗保护的注入输入通道。 00000: ADC 模拟输入通道 0 00001: ADC 模拟输入通道 1 01111: ADC 模拟输入通道 15 10000: ADC 模拟温度传感器（输入通道 16） 10001: ADC 模式 1/4 Vbat（输入通道 17） 10010: 内部 BGR 通道，仅校准时使用 10011: ADC 模拟 BUF 输入通道 19（ADC_EXT2） 10100: ADC 模拟 BUF 输入通道 20（ADC_EXT3）
26:23	DISCNUM[3:0]	RW	0000	规则通道间断模式通道计数 软件通过这些定义在间断模式下，收到外部触发后转换规则通道的数目。 0000: 1 个通道 0001: 2 个通道 ... 1111: 16 个通道 注：需要小于或者等于 ADC_SQR1 中的 L 长度
22	DISCEN	RW	0	规则通道上的间断模式使能控制

				<p>0: 规则通道组禁用间断模式</p> <p>1: 规则通道组使用间断模式</p>
21	CONT	RW	0	<p>连续转换</p> <p>该位由软件设置和清除。如果设置了此位，则转换将连续进行直到该位被清除。</p> <p>0: 单次转换模式；</p> <p>1: 连续转换模式。</p>
20	SWSTART	RW	0	<p>开始转换规则通道</p> <p>如果在 EXTSEL[2:0]位中选择了 SWSTART 为触发事件，由软件设置该位用于启动一组规则通道的转换，在单次转换模式下，当 EOG 标志置位时，或者间断模式下，当 EOC 标志置位时，由硬件清除该位；连续转换模式下，由 ADC_CR2 的 ADC_STP 位，清除该位。</p> <p>0: 复位状态；</p> <p>1: 开始转换规则通道。</p>
19	JSWSTART	RW	0	<p>开始转换注入通道</p> <p>如果在 JEXTSEL[2:0]位中选择了 JSWSTART 为触发事件，由软件设置该位用于启动一组注入通道的转换，当 JEOC 置位时，由硬件清除该位。</p> <p>0: 复位状态；</p> <p>1: 开始转换注入通道。</p>
18:16	EXTSEL[2:0]	RW	000	<p>选择启动规则通道组转换的外部触发</p> <p>选择用于启动规则通道组转换的外部触发</p> <p>000: SWSTART</p> <p>001: TIG1</p> <p>010: TIG2</p> <p>...</p> <p>111: TIG7</p>
15:13	JEXTSEL[2:0]	RW	000	<p>选择启动注入通道组转换的外部事件</p>

				<p>选择用于启动注入通道组转换的外部触发</p> <p>000: JSWSTART</p> <p>001: TIG1</p> <p>010: TIG2</p> <p>...</p> <p>111: TIG7</p>
12	DMA	RW	0	<p>直接存储器访问模式</p> <p>该位由软件设置和清除。详见 DMA 控制器章节。</p> <p>0: 不使用 DMA 模式；</p> <p>1: 使用 DMA 模式。</p>
11	AWDEN	RW	0	<p>在规则通道上开启模拟看门狗</p> <p>该位由软件设置和清除。</p> <p>0: 在规则通道上禁用模拟看门狗；</p> <p>1: 在规则通道上使用模拟看门狗。</p>
10	JAWDEN	RW	0	<p>在注入通道上开启模拟看门狗</p> <p>该位由软件设置和清除。</p> <p>0: 在注入通道上禁用模拟看门狗；</p> <p>1: 在注入通道上使用模拟看门狗。</p>
9	JEN	RW	0	<p>注入通道组转换使能位</p> <p>该位由软件设置和清除，用于开启或关闭注入通道组转换使能</p> <p>0: 关闭注入通道组转换；</p> <p>1: 开启注入通道组转换</p>
8	AWDSGL	RW	0	<p>在一个单一的通道上使用看门狗</p> <p>该位由软件设置和清除，用于开启或关闭由 AWDCH/AWDJCH 位指定的通道上的模拟看门狗功能</p> <p>0: 在所有的通道上使用模拟看门狗；</p> <p>1: 在单一通道上使用模拟看门狗。</p>
7:5	RSV	-	-	保留

4:0	AWDCH[4:0]	RW	00000	<p>模拟看门狗规则通道选择位</p> <p>这些位由软件设置和清除，用于选择模拟看门狗保护的规则输入通道。</p> <p>00000: ADC 模拟输入通道 0</p> <p>00001: ADC 模拟输入通道 1</p> <p>.....</p> <p>01111: ADC 模拟输入通道 15</p> <p>10000: ADC 模拟温度传感器（输入通道 16）</p> <p>10001: ADC 模式 1/4 Vbat（输入通道 17）</p> <p>10010: 内部 BGR 通道，仅校准时使用</p> <p>10011: ADC 模拟 BUF 输入通道 19（ADC_EXT2）</p> <p>10100: ADC 模拟 BUF 输入通道 20（ADC_EXT3）</p>
-----	------------	----	-------	--

22.5.4. ADC 控制寄存器 2 (ADC_CR2 偏移 0ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:28	RSV	-	-	保留
27	FASTMOD	RW	0	<p>ADC 快速转换模式(转换时间最短)</p> <p>0: 禁止</p> <p>1: 使能</p> <p>注：模拟温度传感器和 BUFFER 通道不支持快速转换模式</p>
26	AFE_RSTN	RW	0	<p>ADCAFE 复位信号,复位 AFE 内部数字部分。在 ADC_EN 使能后，等待 2us 释放（设为高）。</p> <p>在强制退出某次转换，需要立刻启动一次新的转换时，可以拉低 ADC_RSTN 复位 AFE 数字部分，然后启动新的转换。</p>
25	JOVSE	RW	0	<p>注入组过采样功能使能</p> <p>0: 禁止</p> <p>1: 使能</p>

24	JTOVS	RW	0	注入组过采样触发模式 0: 一次触发进行 1 次 ADC 转换 1: 一次触发进行 N 次 ADC 转换, N 是由 OVSR 决定的过采样率。
23:20	OVSS[3:0]	RW	0000	过采样移位系数 0000: 不移位 0001: 右移 1 位 0010: 右移 2 位 0011: 右移 3 位 0100: 右移 4 位 0101: 右移 5 位 0110: 右移 6 位 0111: 右移 7 位 1000: 右移 8 位 其他: 保留
19:17	OVSR[2:0]	RW	000	过采样率 000: 2x 001: 4x 010: 8x 011: 16x 100: 32x 101: 64x 110: 128x 111: 256x
16	OVSE	RW	0	规则组过采样功能使能 0: 禁止 1: 使能
15:8	BUF_STIME	RW	0x40	BUF 通道稳定时间, 对于三个 BUF 通道 (10010~10100), 通道地址切换到转换开始需要额外的

				3us 稳定时间。通过计数 ADC 时钟延迟产生，计数周期为 (BUF_STIME + 3) 个 ADC 时钟
7	EN_BUF	RW	0	ADC 模拟 BUF 使能，当 ADC_EN 为 0，内部模拟 BUF 也会无效。最大需要 8us 启动时间
6:3	DIV [3:0]	RW	0001	ADC_CLK 分频选择 该位由软件设置和清除，决定 ADC_CLK 相对于 PCLK 的分频数 0000: 不分频 0001: 2 分频 0010: 3 分频 ... 1110: 15 分频 1111: 16 分频
2	ADC_STP	RW	0	ADC 停止控制 该位由软件设置为 1 时，由硬件等待当前 ADC 转换结束后，该位由硬件清除。 0: 不执行 ADC 停止转换； 1: 写 1 用来停止 ADC，读为 1 表明 ADC 转换仍在进行；
1	OVRMOD	RW	0	溢出模式 0: 发生溢出时 ADC_DR 保留上次采样数据； 1: 发生溢出时 ADC_DR 保存最新采样数据；
0	ADC_EN	RW	0	开/关 A/D 转换器 该位由软件设置和清除。当该位为 '0' 时，写入 '1' 将把 ADC 从断电模式下唤醒。启动时间需要 2us 0: 关闭 ADC 转换，并进入断电模式； 1: 开启 ADC 并启动转换。

22.5.5. ADC 采样时间寄存器 1 (ADC_SMPR1 偏移 10h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:28	SMP7[3:0]	RW	0000	通道 7 采样时间 具体定义见 SMP0
27:24	SMP6[3:0]	RW	0000	通道 6 采样时间 具体定义见 SMP0
23:20	SMP5[3:0]	RW	0000	通道 5 采样时间 具体定义见 SMP0
19:16	SMP4[3:0]	RW	0000	通道 4 采样时间 具体定义见 SMP0
15:12	SMP3[3:0]	RW	0000	通道 3 采样时间 具体定义见 SMP0
11:8	SMP2[3:0]	RW	0000	通道 2 采样时间 具体定义见 SMP0
7:4	SMP1[3:0]	RW	0000	通道 1 采样时间 具体定义见 SMP0
3:0	SMP0[3:0]	RW	0000	通道 0 采样时间 0000: 3 周期 0001: 5 周期 0010: 7 周期 0011: 10 周期 0100: 13 周期 0101: 16 周期 0110: 20 周期 0111: 30 周期 1000: 60 周期 1001: 80 周期 1010: 100 周期

				1011: 120 周期 1100: 160 周期 1101: 320 周期 1110: 480 周期 1111: 640 周期
--	--	--	--	--

22.5.6. ADC 采样时间寄存器 2 (ADC_SMPR2 偏移 14h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:28	SMP15[3:0]	RW	0000	通道 15 采样时间 具体定义见 SMP0
27:24	SMP14[3:0]	RW	0000	通道 14 采样时间 具体定义见 SMP0
23:20	SMP13[3:0]	RW	0000	通道 13 采样时间 具体定义见 SMP0
19:16	SMP12[3:0]	RW	0000	通道 12 采样时间 具体定义见 SMP0
15:12	SMP11[3:0]	RW	0000	通道 11 采样时间 具体定义见 SMP0
11:8	SMP10[3:0]	RW	0000	通道 10 采样时间 具体定义见 SMP0
7:4	SMP9[3:0]	RW	0000	通道 9 采样时间 具体定义见 SMP0
3:0	SMP8[3:0]	RW	0000	通道 8 采样时间 具体定义见 SMP0

22.5.7. ADC 看门狗高阈值寄存器(ADC_HTR 偏移 18h)

比特	名称	属性	复位值	描述
----	----	----	-----	----

31:28	RSV	-	-	保留
27:16	DHT[11:0]	RW	0x0	差分通道的模拟看门狗高阈值 这些位定义了模拟看门狗的阈值高限，用有符号数表示。
15:12	RSV	-	-	保留
11:0	HT[11:0]	RW	0x0	单端通道的模拟看门狗高阈值 这些位定义了模拟看门狗的阈值高限，用无符号数表示。

22.5.8. ADC 看门狗低阈值寄存器(ADC_LTR 偏移 1ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:28	RSV	-	-	保留
27:16	DLT[11:0]	RW	0x0	差分通道的模拟看门狗低阈值 这些位定义了模拟看门狗的阈值低限，用有符号数表示。
15:12	RSV	-	-	保留
11:0	LT[11:0]	RW	0x0	单端通道的模拟看门狗低阈值 这些位定义了模拟看门狗的阈值低限，用无符号数表示。

22.5.9. ADC 规则序列寄存器 1(ADC_SQR1 偏移 20h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:30	RSV	-	-	保留
29:25	SQ5[4:0]	RW	00000	规则序列中的第 5 个转换
24:20	SQ4[4:0]	RW	00000	规则序列中的第 4 个转换
19:15	SQ3[4:0]	RW	00000	规则序列中的第 3 个转换
14:10	SQ2[4:0]	RW	00000	规则序列中的第 2 个转换
9:5	SQ1[4:0]	RW	00000	规则序列中的第 1 个转换

				<p>这些位由软件定义转换序列中的第 1 个转换通道的编号 (0~20)。</p> <p>00000: ADC 模拟输入通道 0</p> <p>00001: ADC 模拟输入通道 1</p> <p>.....</p> <p>01111: ADC 模拟输入通道 15</p> <p>10000: ADC 模拟温度传感器 (输入通道 16)</p> <p>10001: ADC 模式 1/4 Vbat (输入通道 17)</p> <p>10010: 内部 BGR 通道, 仅校准时使用</p> <p>10011: ADC 模拟 BUF 输入通道 19 (ADC_EXT2)</p> <p>10100: ADC 模拟 BUF 输入通道 20 (ADC_EXT3)</p>
4	RSV	-	-	保留
3:0	L[3:0]	RW	0000	<p>规则通道序列长度</p> <p>这些位由软件定义在规则通道转换序列中的通道数目。</p> <p>0000: 1 个转换</p> <p>0001: 2 个转换</p> <p>.....</p> <p>1111: 16 个转换</p>

22.5.10. ADC 规则序列寄存器 2(ADC_SQR2 偏移 24h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:30	RSV	-	-	保留
29:25	SQ11[4:0]	RW	00000	规则序列中的第 11 个转换
24:20	SQ10[4:0]	RW	00000	规则序列中的第 10 个转换
19:15	SQ9[4:0]	RW	00000	规则序列中的第 9 个转换
14:10	SQ8[4:0]	RW	00000	规则序列中的第 8 个转换
9:5	SQ7[4:0]	RW	00000	规则序列中的第 7 个转换
4:0	SQ6[4:0]	RW	00000	规则序列中的第 6 个转换

22.5.11. ADC 规则序列寄存器 3(ADC_SQR3 偏移 28h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:25	RSV	-	-	保留
24:20	SQ16[4:0]	RW	00000	规则序列中的第 16 个转换
19:15	SQ15[4:0]	RW	00000	规则序列中的第 15 个转换
14:10	SQ14[4:0]	RW	00000	规则序列中的第 14 个转换
9:5	SQ13[4:0]	RW	00000	规则序列中的第 13 个转换
4:0	SQ12[4:0]	RW	00000	规则序列中的第 12 个转换

22.5.12. ADC 注入通道寄存器(ADC_JSQR 偏移 2ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:5	RSV	-	-	保留
4:0	JSQ[4:0]	RW	00000	注入序列中转换 这些位由软件定义注入转换通道的编号(0~20)。

22.5.13. ADC 注入数据寄存器(ADC_JDR 偏移 30h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:21	RSV	-	-	保留
20:16	JCH[4:0]	RO	00000	注入转换结果通道号 这些位为只读，包含了注入通道的转换结果对应通道号
15:0	JDATA[15:0]	RO	0x0	注入转换的结果数据 这些位为只读，包含了注入通道的转换结果。数据可以为有符号或者无符号

22.5.14. ADC 规则数据寄存器(ADC_DR 偏移 34h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:21	RSV	-	-	保留
20:16	CH[4:0]	RO	00000	规则转换结果通道号 这些位为只读，包含了规则通道的转换结果对应通道号
15:0	DATA[15:0]	RO	0x0	规则转换的结果数据 这些位为只读，包含了规则通道的转换结果。数据可以为有符号或者无符号

22.5.15. ADC 单端/差分选择寄存器 (ADC_DIFF 偏移 38h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:8	RSV	-	-	保留
7	DIFF7_15	RW	0	通道 7/15(VIN7/VIN15)单端/差分转换模式选择 该位由软件设置和清除。 0: 单端模式 1: 差分模式
6	DIFF6_14	RW	0	通道 6/14(VIN6/VIN14)单端/差分转换模式选择 该位由软件设置和清除。 0: 单端模式 1: 差分模式
5	DIFF5_13	RW	0	通道 5/13(VIN5/VIN13)单端/差分转换模式选择 该位由软件设置和清除。 0: 单端模式 1: 差分模式
4	DIFF4_12	RW	0	通道 4/12(VIN4/VIN12)单端/差分转换模式选择 该位由软件设置和清除。 0: 单端模式

				1: 差分模式
3	DIFF3_11	RW	0	通道 3/11(VIN3/VIN11)单端/差分转换模式选择 该位由软件设置和清除。 0: 单端模式 1: 差分模式
2	DIFF2_10	RW	0	通道 2/10(VIN2/VIN10)单端/差分转换模式选择 该位由软件设置和清除。 0: 单端模式 1: 差分模式
1	DIFF1_9	RW	0	通道 1/9(VIN1/VIN9)单端/差分转换模式选择 该位由软件设置和清除。 0: 单端模式 1: 差分模式
0	DIFF0_8	RW	0	通道 0/8(VIN0/VIN8)单端/差分转换模式选择 该位由软件设置和清除。 0: 单端模式 1: 差分模式

注：只对外部输入通道有效，内部通道恒定为无符号数。

22.5.16. ADC 符号数选择寄存器 (ADC_SIGN 偏移 3ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:8	RSV	-	-	保留
7	SIGN7_15	RW	0	通道 7/15(VIN7/VIN15)转换结果符号数选择 该位由软件设置和清除。 0: 结果为无符号数 1: 结果为有符号数
6	SIGN6_14	RW	0	通道 6/14(VIN6/VIN14)转换结果符号数选择 该位由软件设置和清除。

				0: 结果为无符号数 1: 结果为有符号数
5	SIGN5_13	RW	0	通道 5/13(VIN5/VIN13)转换结果符号数选择 该位由软件设置和清除。 0: 结果为无符号数 1: 结果为有符号数
4	SIGN4_12	RW	0	通道 4/12(VIN4/VIN12)转换结果符号数选择 该位由软件设置和清除。 0: 结果为无符号数 1: 结果为有符号数
3	SIGN3_11	RW	0	通道 3/11(VIN3/VIN11)转换结果符号数选择 该位由软件设置和清除。 0: 结果为无符号数 1: 结果为有符号数
2	SIGN2_10	RW	0	通道 2/10(VIN2/VIN10)转换结果符号数选择 该位由软件设置和清除。 0: 结果为无符号数 1: 结果为有符号数
1	SIGN1_9	RW	0	通道 1/9(VIN1/VIN9) 转换结果符号数选择 该位由软件设置和清除。 0: 结果为无符号数 1: 结果为有符号数
0	SIGN0_8	RW	0	通道 0/8(VIN0/VIN8)转换结果符号数选择 该位由软件设置和清除。 0: 结果为无符号数 1: 结果为有符号数

注：只对外部输入 0~15 通道有效，内部通道和 BUF 通道恒定为无符号数。

22.5.17. ADC 温度传感器/REF 寄存器 (ADC_TSREF 偏移 40h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31	VREF1P2_EN	RW	0	1.2V 基准电压使能 0: 输出浮空 1: 输出 1.2V 基准电压到 ADC BUF 通道
30:28	RSV	-	-	保留
27	HIZ_EN	RW	1	当内嵌 VREF 关闭后, VREFBI 信号高阻使能。 高有效
26:25	VREFBI_SEL	RW	00	ADC 内嵌 VREF 电压选择 00: 1.5V 01: 2.0V 1x: 2.5V
24	VREFBI_EN	RW	0	ADC 内嵌 VREF 使能, 不受 ADC_EN 控制。最大需要 200us 启动时间
23:19	VTRIM	RW	01110	内建 REF 电压输出 Trim 值
18:15	TTRIM	RW	0111	内建 REF 电压温度系数控制
14:11	RSV	-	-	保留
10:9	ALG_MEAN[1:0]	RW	10	温度传感器转换次数选择, 当通道选择温度传感器时, 转换时间变为转换次数*20(Teoc)个 ADC 时钟。 00:32 01:64 10:128 11:256
8:5	ADJ_TD_OS[3:0]	RW	1000	温度传感器失调系数 TRIM 值
4:1	ADJ_TD_GA[3:0]	RW	1000	温度传感器增益系数 TRIM 值
0	EN_TS	RW	0	温度传感器使能信号 该位由软件设置和清除。 0: 温度传感器断电

				1: 温度传感器正常工作
--	--	--	--	--------------

22.5.18. ADC 采样时间寄存器 3 (ADC_SMPR3 偏移 44h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:20	RSV	-	-	保留
19:16	SMP20[3:0]	RW	0000	通道 20 采样时间 具体定义见 SMP0
15:12	SMP19[3:0]	RW	0000	通道 19 采样时间 具体定义见 SMP0
11:8	SMP18[3:0]	RW	0000	通道 18 采样时间 具体定义见 SMP0
7:4	SMP17[3:0]	RW	0000	通道 17 采样时间 具体定义见 SMP0
3:0	SMP16[3:0]	RW	0000	通道 16 采样时间 具体定义见 SMP0

22.6. 使用流程

22.6.1. ADC 操作流程

1. 设置 ADC 输入源:
2. 根据需要设置 ADC 输入源, 输入 GPIO 设为 GPIO_ANALOG
3. 设置 ADC_CR1/2 寄存器, 配置工作模式, 包括:
 - a) 连续模式 (CONT)
 - b) 注入转换是否使能 (JEN)
 - c) ADC_CLK 的分频 (DIV)
 - d) 规则/注入转换触发源 (EXTSEL/JEXTSEL)
 - e) 选择模拟看门模拟功能(AWDEN/J AWDEN/ AWDSGL/ AWDCH)
 - f) 是否支持 DMA 功能 (DMA)

- g) 中断使能 (EOCIE/ JEOCIE/AWDIE)
 - h) 结果是否为有符号位 (ADC_SIGN)
4. 设置 ADC_SQR1/2/3, 选择规则序列的长度和通道号
 5. 设置 ADC_DIFF, 选择每个通道差分/单端模式
 6. 设置 ADC_JSQR, 选择注入转换的通道号 (可选)
 7. 设置 ADC_SMPR1/2/3, 配置每个通道的采样时间
 8. 设置 ADC_HTR/LTR, 选择模拟看门狗的高低阈值 (可选)
 9. 设置 DMA 通道相关设置 (可选)
 10. 使能 ADC 转换电路(ADC_EN)
 11. 等待外部 TRIG 或者触发软件 TRIG (SWSTART/ JSWSTART), 使能转换序列
 12. 等待相应的中断信号

22.6.2. 温度传感器操作

温度传感器的 VTEMP 与 ADC 转换电路的通道 16 相连, 为了使温度传感器工作正常, 需要额外的设置, 流程如下

1. 设置 ADC_TSREF 寄存器 EN_TS 为 1, 使能温度传感器
2. 从 NVR 读取 TRIM 值, 设置 ADC_TSREF 寄存器 ADJ_TD_OS/ ADJ_TD_GA 位, 配置温度传感器
3. 设置 ADC_TSREF 的 ALG_MEAN 位, 选择合适的温度采样次数
4. 设置 ADC_SQR2/3 寄存器, 选择通道 16
5. 设置 SMPR 时间

23. 运算放大器（OPAMP）

23.1. 概述

OPAMP 模块包含三个独立配置的运算放大器。每个运算放大器有两个输入和一个输出，三个 I/O 可以连接到外部引脚。

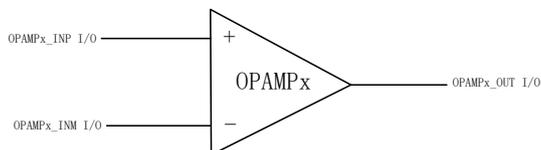
主要特性

- 轨到轨输入输出；
- 低工作电压，典型工作电压 3.3V；
- 低消耗电流，典型值 115uA；
- 失调电压可修调。

23.2. 结构框图

下图为运放信号通路。

图 23-1 OPAMP 结构框图



23.3. 功能描述

23.3.1. 操作模式和校准

运放可工作在正常模式和校准模式。校准模式下软件可对运放的失调电压进行校准。

表格 23-1 运放工作模式控制和输出关系

Mode	Control bits			Output	
	OPAxEN	OPAxCAL H	OPAxCAL L	Vout	CALout flag
Normal	1	0	0	analog	0
		1	1	analog	0
Power down	0	x	x	z	0
Offset cal high	1	1	0	analog	x
Offset cal low	1	0	1	analog	x

23.3.2. 正常模式

当运放使能，且 CAL_H 和 CAL_L 同时为 0 或者 1 时，运放工作在正常模式，即是作为运放使用的工作模式。CAL_H 和 CAL_L 同时为 0 时，运放的 TRIM 值无效，同时为 1 时，运放的 TRIM 值生效。

23.3.3. 校准模式

当运放使能，且 CAL_H 和 CAL_L 为不同值时，运放处于校准模式。当 CAL_H 为 1 而 CAL_L 为 0 时，从低到高写入 TRIM_HIGH 值，直到 CAL_OUT 修调变为 1 时为止，可校准 N 差分对管。同理，可以校准 P 差分对管。

23.4. 寄存器描述

OPAMP 寄存器基地址：0x40010300

偏置	名称	属性	描述
0x00	OPAMP1_CSR	RW	OPAMP1 控制/状态寄存器
0x04	OPAMP2_CSR	RW	OPAMP2 控制/状态寄存器
0x08	OPAMP3_CSR	RW	OPAMP3 控制/状态寄存器

23.4.1. OPAMP1 控制寄存器(OPAMP_CSR1 偏移 00h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:24	REV			保留位。
23:20	VINPSEL	RW	0000	运放正端信号选择 0000: PA4 0001: PB6 其它: 保留
19:16	VINMSEL	RW	0000	运放负端信号选择 0000: PB5 0001: PA3 其它: 保留
15:14	REV			保留位
13:9	TRIM_HIGH	RW	0x0	OPAMP1 的 N 差分对管失调电压的修调值。
8:4	TRIM_LOW	RW	0x0	OPAMP1 的 P 差分对管失调电压的修调值。
3	CAL_OUT	RO	0	OPAMP1 的差分对管失调电压修调标志 0: 未完成 1: 完成
2	CAL_H	RW	0	OPAMP1 的 N 差分对管失调电压修调使能 0: 禁止 1: 使能
1	CAL_L	RO	0	OPAMP1 的 P 差分对管失调电压修调使能

				0: 禁止 1: 使能
0	EN	RW	0	OPAMP1 使能位 0: 禁止 1: 使能

23.4.2. OPAMP2 控制寄存器(OPAMP_CSR2 偏移 04h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:24	REV	RO	0	保留位。
23:20	VINPSEL	RW	0000	运放正端信号选择 0000: PB3 0001: PB4 其它: 保留
19:16	VINMSEL	RW	0000	运放负端信号选择 0000: PB1 0001: PA2 其它: 保留
15:14	REV			保留位
13:9	TRIM_HIGH	RW	0x0	OPAMP2 的 N 差分对管失调电压的修调值。
8:4	TRIM_LOW	RW	0x0	OPAMP2 的 P 差分对管失调电压的修调值。
3	CAL_OUT	RO	0	OPAMP2 的差分对管失调电压修调标志 0: 未完成 1: 完成
2	CAL_H	RW	0	OPAMP2 的 N 差分对管失调电压修调使能 0: 禁止 1: 使能
1	CAL_L	RO	0	OPAMP2 的 P 差分对管失调电压修调使能 0: 禁止

				1: 使能
0	EN	RW	0	OPAMP2 使能位 0: 禁止 1: 使能

23.4.3. OPAMP3 控制寄存器(OPAMP_CSR3 偏移 08h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:24	REV	RO	0	保留位。
23:20	VINPSEL	RW	0000	运放正端信号选择 0000: PA7 0001: PB2 其它: 保留
19:16	VINMSEL	RW	0000	运放负端信号选择 0000: PA5 0001: PC4 其它: 保留
15:14	REV			保留位
13:9	TRIM_HIGH	RW	0x0	OPAMP3 的 N 差分对管失调电压的修调值。
8:4	TRIM_LOW	RW	0x0	OPAMP3 的 P 差分对管失调电压的修调值。
3	CAL_OUT	RO	0	OPAMP3 的差分对管失调电压修调标志 0: 未完成 1: 完成
2	CAL_H	RW	0	OPAMP3 的 N 差分对管失调电压修调使能 0: 禁止 1: 使能
1	CAL_L	RO	0	OPAMP3 的 P 差分对管失调电压修调使能 0: 禁止 1: 使能

0	EN	RW	0	OPAMP3 使能位 0: 禁止 1: 使能
---	----	----	---	------------------------------

23.5. 使用流程

23.5.1. 运放不使用修调

1. 将运放对应的 GPIO 口配置成模拟端口。
2. 配置运放的正端信号选择（VINPSEL）和负端信号选择（VINMSEL）。
3. 使能运放。
4. 从 NVR 中读取工厂校准 TRIM 值填入 TRIM_HIGH 和 TRIM_LOW。
5. 将 CAL_H 和 CAL_L 设为 1。

23.5.2. 运放使用修调

1. 将运放对应的 GPIO 口配置成模拟端口。
2. 配置运放的正端输入（VINPSEL）和负端输入引脚（VINMSEL）。
3. 使能运放。
4. 打开运放的 N 差分对管失调电压修调使能 CAL_H。
5. 写入 N 差分对管失调电压的修调值 TRIM_HIGH。
6. 检查 CAL_OUT 修调完成标志至完成。
7. 打开运放的 P 差分对管失调电压修调使能 CAL_L。
8. 写入 P 差分对管失调电压的修调值 TRIM_LOW。
9. 检查 CAL_OUT 修调完成标志至完成。
10. 将 CAL_H 和 CAL_L 设为 1。

24. 模拟比较器（COMP）

24.1. 概述

模拟电压比较器用于比较两个输入模拟电压的大小，并根据比较结果输出高/低电平。当比较器正端输入电压高于负端输入电压时，电压比较器输出高电平；当比较器正端输入电压低于负端输入电压时，电压比较器输出低电平。

注：ACM32FP0X 系列无 COMP 功能。

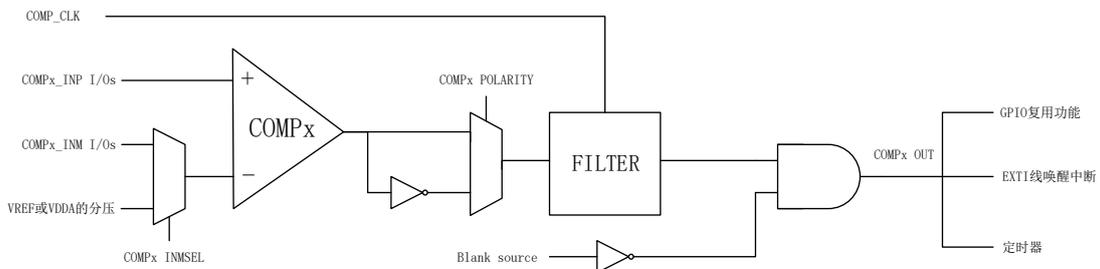
24.2. 主要特性

- 支持电压比较功能；
- 比较器负端输入可选择 I/O 或内部参考电压作为输入；
- 可编程的迟滞窗口；
- 比较器输出到管脚；
- 比较器输出可作为定时器的刹车输入或捕获输入；
- 比较器输出可通过定时器切断；
- 比较器输出可作为 EXTI 控制器输入，支持 Sleep 和 Stop 模式下的唤醒功能；
- 提供软件可配置的滤波时间以增强芯片的抗干扰能力。

24.3. 结构框图

下图为比较器结构框图。

图 24-1 COMP 结构框图



24.4. 功能描述

24.4.1. 负端输入

负端输入可以选择来自外部，或者来自内部基准分压。通过配置 COMP_CR 的 INMSEL 位域选择。

选择内部基准分压时，可以通过配置 CRV_SEL 位域选择基准分压来源为 VDDA 或 VREF，分压系数通过配置 CRV_CFG 来实现内部输入不同负端电压。

24.4.2. 滤波

滤波功能可以滤除来自比较器输入端的尖峰毛刺，防止应用电路的误触发。比较器滤波电路可以滤除因毛刺输入产生的窄脉冲输出，可以通过配置控制寄存器的 FLTEN 位使能滤波功能，配置 FLTTIME 位域可以更改滤除毛刺的最大宽度。

比较器滤波时钟可通过设置 SCU 模块中的 CCR2 寄存器，通过设置其中的 FLTCLK_SEL 位来选择，设置 0 时滤波时钟为 PCLK 的 32 分频，设置 1 时为 RC32K。

注：在比较器用于唤醒 STOP 模式 MCU，且需要使用比较器滤波功能时，滤波时钟只能选择 RC32K。

24.4.3. 迟滞比较

迟滞比较功能可以防止在比较电压附近时，输出产生振荡。通过配置控制寄存器的 HYS 位域开启或更改迟滞窗口的电压范围值。

24.4.4. 切断

切断功能可以通过其他输入来切断比较器输出。通过配置控制寄存器的 BLANKSEL 位域开启或更改切断源，配置 BLANKTIME 位域更改切断窗口时间宽度。

24.4.5. STOP 模式唤醒

比较器输出支持将 MCU 从 STOP 模式唤醒。比较器输出在内部连接到 EXTI 模块的触发

输入，详情见 EXTI 模块的“触发源”章节。

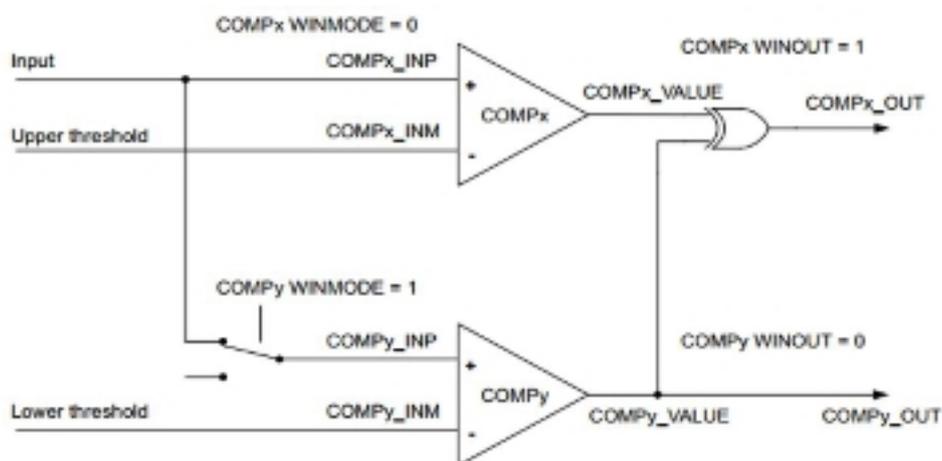
24.4.6. 窗口模式级联

可以将两个比较器连接成窗口模式，设置两个负端为不同输入电压，其中一个为上门限电压，一个为下门限电压，这样输入在门限电压之间时产生比较输出。

设置为窗口模式级联时，如下图所示：

- 需将 COMP_x 的输出设置 WINOUT 设为 1，此时输出为 VCOUT1 XOR VCOUT2；
- 需将 COMP_y 的正端输入设置 WINMODE 设为 1，此时 COMP_y 的正端输入连接到 COMP_x 的正端输入。

图 24-2 比较器窗口模式级联



24.5. 寄存器描述

COMP 寄存器基地址：0x4001_0200

偏置	名称	属性	描述
0x00	COMP_CR1	RW	COMP1 控制寄存器
0x04	COMP_CR2	RW	COMP2 控制寄存器
0x08	COMP_SR	RW	COMP 状态寄存器

24.5.1. COMP1 控制寄存器(COMP_CR1 偏移 00h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31	LOCK	RW	0	COMP_CR1 寄存器写保护控制 该位由软件设置，通过系统控制单元 SCU 复位清除。 0：允许软件写入 COMP_CR1 寄存器 1：禁止软件写入 COMP_CR1 寄存器
30:29	BLANKTIME	RW	00	BLANK WINDOW 的时间配置，宽度按 PCLK 计算。 00：32 个周期 01：64 个周期 10：128 个周期 11：256 个周期
28:25	CRV_CFG	RW	0000	基准电阻分压配置 分压为：(CRV_CFG+1)/20。
24	CRV_SEL	RW	0	基准分压来源选择。 0：选择 VDDA 1：选择 VREF
23	CRV_EN	RW	0	基准分压使能信号。 0：禁止

				1: 使能
22	WINMODE	RW	0	比较器 1 窗口模式正端输入选择 0: 比较器 1 的 INPSEL 决定。 1: 比较器 2 的正端
21	WINOUT	RW	0	比较器 1 输出模式控制 0: 输出 VCOUT1 1: 输出 VCOUT1 XOR VCOUT2
20	POLARITY	RW	0	比较器 1 极性选择
19	FLTEN	RW	0	比较器 1 滤波使能 0: 禁止 1: 使能
18:16	FLTTIME	RW	000	比较器滤波时间配置, 滤波时间按 FILT_CLK 计算, FILT_CLK 由系统控制单元 SCU 进行配置。 000: 1 个周期 001: 2 个周期 010: 4 个周期 011: 16 个周期 100: 64 个周期 101: 256 个周期 110: 1024 个周期 111: 4095 个周期
15:12	BLANKSEL	RW	0000	比较器 1 切断源选择 0000: 不切断 xxx1: TIM1 OC4 xx1x: TIM3 OC4 x1xx: TIM3 OC3 1xxx: TIM15 OC2
11:8	INPSEL	RW	0000	比较器 1 正端信号选择

				0000: PA5 0001: PB2 0010: PC5 其它: 保留
7:4	INMSEL	RW	0000	比较器 1 负端信号选择 0000: PA4 0001: PB1 0010: PC4 0011: VREF 或 VDDA 的分压。 其它: 保留
3:1	HYS	RO	000	比较器 1 迟滞窗口选择 0xx: 禁止迟滞功能 100: 12mV 101: 24mV 110: 36mV 111: 48mV
0	EN	RW	0	比较器 1 使能位 0: 禁止 1: 使能

24.5.2. COMP2 控制寄存器(COMP_CR2 偏移 04h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31	LOCK	RW	0	COMP_CR2 寄存器写保护控制 该位由软件设置，通过系统控制单元 SCU 复位清除。 0: 允许软件写入 COMP_CR2 寄存器 1: 禁止软件写入 COMP_CR2 寄存器
30:29	BLANKTIME	RW	00	BLANK WINDOW 的时间配置，按 PCLK 计

				算。 00: 32 个周期 01: 64 个周期 10: 128 个周期 11: 256 个周期
28:25	CRV_CFG	RW	0000	基准电阻分压配置 分压为: $(CRV_CFG+1)/20$ 。
24	CRV_SEL	RW	0	基准分压来源选择。 0: 选择 VDDA 1: 选择 VREF
23	CRV_EN	RW	0	基准分压使能信号。 0: 禁止 1: 使能
22	WINMODE	RW	0	比较器 2 窗口模式正端输入选择 0: 比较器 2 的 INPSEL 决定。 1: 比较器 1 的正端
21	WINOUT	RW	0	比较器 2 输出模式控制 0: 输出 VCOUT2 1: 输出 VCOUT1 XOR VCOUT2
20	POLARITY	RW	0	比较器 2 极性选择
19	FLTEN	RW	0	比较器 2 滤波使能 0: 禁止 1: 使能
18:16	FLTTIME	RW	000	比较器滤波时间配置, 滤波时间按 FILT_CLK 计算, FILT_CLK 由系统控制单元 SCU 进行配置。 000: 1 个周期 001: 2 个周期 010: 4 个周期

				011: 16 个周期 100: 64 个周期 101: 256 个周期 110: 1024 个周期 111: 4095 个周期
15:12	BLANKSEL	RW	0000	比较器 2 切断源选择 0000: 不切断 xxx1: TIM1 OC4 xx1x: TIM3 OC4 x1xx: TIM3 OC3 lxxx: TIM15 OC2
11:8	INPSEL	RW	0000	比较器 2 正端信号选择 0000: PB4 (GPIO20) 0001: PB6 (GPIO22) 0010: PA3 (GPIO3) 其它: 保留
7:4	INMSEL	RW	0000	比较器 2 负端信号选择 0000: PB3 (GPIO19) 0001: PB7 (GPIO23) 0010: PA2 (GPIO2) 0011: VREF 或 VDDA 的分压 其它: 保留
3:1	HYS	RO	000	比较器 2 迟滞窗口选择 0xx: 禁止迟滞功能 100: 12mV 101: 24mV 110: 36mV 111: 48mV
0	EN	RW	0	比较器 2 使能位

				0: 禁止 1: 使能
--	--	--	--	----------------

24.5.3. COMP 状态寄存器(COMP_SR 偏移 08h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:4	REV	RO	0	保留位。
3	VCOUT2_ORG	RO	0	比较器 2 原始输出状态
2	VCOUT1_ORG	RO	0	比较器 1 原始输出状态
1	VCOUT2	RO	0	比较器 2 滤波输出状态
0	VCOUT1	RO	0	比较器 1 滤波输出状态

24.6. 使用流程

1. 将比较器对应的 GPIO 口配置成模拟端口。
2. 清除控制寄存器 COMP_CR 的 LOCK 位解锁寄存器。
3. 配置比较器的正端信号选择 (INPSEL) 和负端信号选择 (INMSEL)。
4. 设置窗口模式正端输入选择 WINMODE (窗口模式可选)。
5. 设置输出模式 WINOUT (窗口模式可选)。
6. 设置输出极性 POLARITY。
7. 设置 CRV_SEL 选择基准分压源 (内部基准源可选)。
8. 设置 CRV_EN 使能基准分压 (基准分压可选)。
9. 设置分压系数 CRV_CFG (基准分压可选)。
10. 设置 FLTEN 使能滤波功能 (滤波可选)。
11. 设置滤波时间配置 (FLTTIME) (滤波可选)。
12. 设置 HYS 配置迟滞比较窗口值 (迟滞比较可选)。
13. 设置 BLANKSEL 选择切断源 (切断可选)。
14. 设置和切断源对应的系统定时器实现触发功能 (切断可选)。
15. 设置 EN 使能比较器。
16. 设置控制寄存器 COMP_CR 的 LOCK 位锁定寄存器。
17. 在 VOUT 端测量或者在 COMP_SR 状态寄存器中读取输出信号。
18. 如需将输出用作定时器刹车输入功能, 请在定时器刹车输出相关寄存器中配置 (可选)。
19. 如需将输出用作 EXTI 功能, 请配置 EXTI 的触发源为对应比较器 (可选)。

25. 自电容式触摸传感器（TKEY）

25.1. 概述

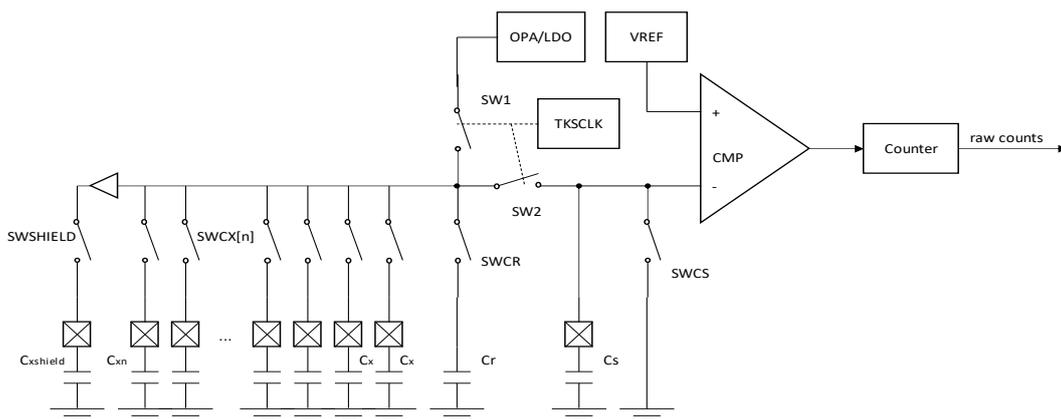
自电容式触摸控制传感器通过检测电容的变化来检测手指是否触及触摸表面。通过调整检测到的电容变化量来调整触摸的灵敏度。

25.2. 主要特性

- 最大支持 16 个自电容检测通道
- 支持通道补偿
- 自电容检测范围 5~50pf，灵敏度 0.1pf
- 支持扫描时钟扩频
- 支持屏蔽通道
- 支持睡眠模式

25.3. 结构框图

图 25-1 TKEY 结构框图



25.4. 功能描述

25.4.1. 基本原理

自电容检测原理框图见结构框图章节所示。比较器负端连接到采样电容 C_s ，正端连接 TKEY 模块的参考电压 V_{REF} 输出。每个 TKSCLK 周期,通过对 SW1 和 SW2 的控制,OPA/LDO 输出的充电电压 V_{KEY} 会先给外置通道按键分布电容 C_x 充电,然后 C_x 给 C_s 充电,一般情况下 C_x (pF 级) 的值远小于 C_s (nF 级)。经过多次充放电后 C_s 两端电压超过参考电压 V_{REF} 时,比较器输出翻转;由一个计数器对 C_x 向 C_s 充电的次数(从单个通道扫描开始到比较器输出翻转)进行计数,得到单次扫描的计数值。当手指和触摸按键靠近时,会引起 C_x 值发生变化,扫描的计数值就会发生变化。通过计数值的变化可以测量出 C_x 上电容的变化,从而达到触摸检测的目的。另外,电路上除了外置的 C_x 通道,还有一个内置扫描通道连接到补偿电容 C_r , C_r 可以用于测量 C_s ,在 C_x 电容小于 10pF 时,也可以通过使能 C_r 进行补偿;还有用于防水控制和增加检测灵敏度的 C_{shield} 屏蔽通道。

一个通道扫描控制流程如下:

- 使能检测通道,闭合 SWCX[n] (正常模式) 或 SWCR (内置通道);
- SW1,SW2 断开,SWCS 闭合,使得 C_s 对地放电;
- SW1,SW2,SWCS 断开,计数器清零;
- SW1 闭合,SW2 断开,OPA/LDO 给 C_x 充电;
- SW1 断开,SW2 闭合, C_x 给 C_s 充电,计数器加 1;
- 重复上两个步骤直到 C_s 电压超过 V_{REF} ;
- 比较器输出翻转,计数器结果锁存,并通过总线交给软件处理。

TKEY 数字逻辑部分包含计数模块和控制模块。

计数模块工作在 TKSCLK 时钟下,它主要包含两部分功能:时钟扫描和扫描计数。扫描时钟可以先经由伪随机序列将 TKSCLK 进行扩频,然后经过死区发生器产生互补的 SW1 和 SW2 扫描开关信号。扫描计数则在控制模块发起扫描请求时,开始计数;当比较器滤波输出翻转信号时,计数结束,即一次扫描完成。

控制模块工作在 TKCTLCLK 时钟下,它主要包含两部分功能:扫描控制和唤醒控制。扫描控制在软件启动扫描时,会产生计数启动信号模拟模块的使能信号,启动后会计时通道扫描

时间，以此检测扫描超时和控制每两个通道的扫描间隔。TKEY 可以设置为正常模式和睡眠模式，两种模式下扫描过程都一样。只是正常模式下，扫描计数值会保存到 TKEY_CHx 相应的寄存器中，而睡眠模式下，扫描计数值会和相应 TKEY_CHx 寄存器中的值进行比较，如果差值大于 TKEY_THx 的设置，则发生唤醒事件。

25.4.2. 按键检测原理

- 按键电容 Cx 扫描

通过内部 LDO 或者 OPA 输出电压 VKEY 多次对外部按键分布电容 Cx 充电，多次将 Cx 的电荷释放到采样电容 Cs 中，计数器同时记录充放电次数。经过多次充电后，Cs 电压超过比较器正端基准电压 VREF 后，比较输出翻转，同时计数器停止得到计数值 Nx。在 Cx 的大小固定不变时，将得到比较稳定的计数值 Nx。

- 触摸检测

当外部按键发生触摸事件时，由于人体手指和按键电极间会形成一个新的电容，此时 Cx 会增加。通过检测 Cx 的增加量，获得新的 Nx' 值，和原来的 Nx 相减得到 ΔN_x 值，通过 ΔN_x 的大小变化来判断是否产生了触摸按键事件。

- 抬起检测

当手指抬起时，Cx 的增量会由大变小，相应的 ΔN_x 也会变小，这样可以判断按键抬起。

25.4.3. 睡眠模式

TKEY 支持低功耗的睡眠模式，在睡眠模式下 MCU 可以进入 STOP 模式，此时需要保持 TK_SCLK 和 TK_CTLCLK，使用睡眠模式时建议使用 RC4M 和 RC32K 工作，通过加长每两个通道扫描的间隔，功耗可以更低。TKEY 内部连接到 EXTI 模块，可以支持 EXTI 的事件或中断唤醒 STOP 模式的 MCU。

25.4.4. 主动屏蔽

TKEY 包含屏蔽通道，可以通过 TKEY_CR.SHIELDEN 设置打开。在复杂环境中建议使用主动屏蔽电极，电极连接到屏蔽通道，会在屏蔽电极上加上和触摸按键电极一样的扫描信号。

使用主动屏蔽功能有如下一些优点：

- 电极和地线之间的寄生电容不再需要充电，起到降低寄生电容的作用
- 屏蔽触摸电极降低噪声源干扰
- 在其他导体接近触摸电极时，增加稳定性

25.4.5. 扫描时钟扩频

TKEY 支持按键扫描时钟扩频功能。扩频功能是指在扫描时钟的相位上增加一些随机的抖动，其单位是 TKSCLK，这样可以扩展扫描时钟的基频范围。扩频功能具有如下优点：

- 减少扫描时钟的基频能量，降低基频辐射。
- 扩展扫描时钟的基频频谱，增加抗干扰能力。

通过设置 TKEY_CR.SPREAD 使能时钟扩频功能，另外还需要通过 TKEY_CR.RANM 设置时钟加入随机抖动的范围。随机抖动范围越宽，扩频越宽。

25.4.6. 内置通道和通道补偿

TKEY 包含内置通道，内置通道上接有电容 C_r (8pF)。内置通道有两个功能：估计 C_s 大小和补偿外部通道。

通过内部通道扫描，可得到扫描计数值 N_r ，因 C_r 是已知固定值，这样可估计 C_s 的大小。

如果外部通道电容值过小（例如： C_x 电容小于 10pF 时），可以通过设置并联 C_r 来进行补偿。寄存器 TKEY_CRSELR 中可以分别对任一通道进行补偿。

25.5. 寄存器描述

TKEY 寄存器基地址：0x4001_6400

偏置	名称	描述
0x00	TKEY_ISR	TKEY 状态寄存器
0x04	TKEY_IER	TKEY 中断使能寄存器
0x08	TKEY_CR	TKEY 控制寄存器
0x0C	TKEY_SMPR	TKEY 配置寄存器
0x10	TKEY_SOFR	TKEY 扫描时钟频率控制器
0x14	TKEY_CXSELR	TKEY 通道选择寄存器
0x18	TKEY_CRSELR	TKEY 通道补偿寄存器
0x1C	TKEY_DR	TKEY 数据寄存器
0x20	TKEY_TH0	TKEY 通道 0 唤醒门限寄存器
0x24	TKEY_TH1	TKEY 通道 1 唤醒门限寄存器
0x28	TKEY_TH2	TKEY 通道 2 唤醒门限寄存器
0x2C	TKEY_TH3	TKEY 通道 3 唤醒门限寄存器
0x30	TKEY_TH4	TKEY 通道 4 唤醒门限寄存器
0x34	TKEY_TH5	TKEY 通道 5 唤醒门限寄存器
0x38	TKEY_TH6	TKEY 通道 6 唤醒门限寄存器
0x3C	TKEY_TH7	TKEY 通道 7 唤醒门限寄存器
0x40	TKEY_TH8	TKEY 通道 8 唤醒门限寄存器
0x44	TKEY_TH9	TKEY 通道 9 唤醒门限寄存器
0x48	TKEY_TH10	TKEY 通道 10 唤醒门限寄存器
0x4C	TKEY_TH11	TKEY 通道 11 唤醒门限寄存器
0x50	TKEY_TH12	TKEY 通道 12 唤醒门限寄存器
0x54	TKEY_TH13	TKEY 通道 13 唤醒门限寄存器
0x58	TKEY_TH14	TKEY 通道 14 唤醒门限寄存器
0x5C	TKEY_TH15	TKEY 通道 15 唤醒门限寄存器
0x60	TKEY_CH0	TKEY 通道 0 数据寄存器

0x64	TKEY_CH1	TKEY 通道 1 数据寄存器
0x68	TKEY_CH2	TKEY 通道 2 数据寄存器
0x6C	TKEY_CH3	TKEY 通道 3 数据寄存器
0x70	TKEY_CH4	TKEY 通道 4 数据寄存器
0x74	TKEY_CH5	TKEY 通道 5 数据寄存器
0x78	TKEY_CH6	TKEY 通道 6 数据寄存器
0x7C	TKEY_CH7	TKEY 通道 7 数据寄存器
0x80	TKEY_CH8	TKEY 通道 8 数据寄存器
0x84	TKEY_CH9	TKEY 通道 9 数据寄存器
0x88	TKEY_CH10	TKEY 通道 10 数据寄存器
0x8C	TKEY_CH11	TKEY 通道 11 数据寄存器
0x90	TKEY_CH12	TKEY 通道 12 数据寄存器
0x94	TKEY_CH13	TKEY 通道 13 数据寄存器
0x98	TKEY_CH14	TKEY 通道 14 数据寄存器
0x9C	TKEY_CH15	TKEY 通道 15 数据寄存器

25.5.1. TKEY 中断状态寄存器 (TKEY_ISR 偏移: 0x00)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:12	REV	RO	0	保留位
11:8	CHNUM	RO	0000	单通道扫描或者发生唤醒和扫描超时的通道号
7:3	REV	RO	0	保留位
3	BUSY	RO	0	通道扫描 BUSY 标志 停止扫描时需要等待 BUSY 标志为 0
2	TIMEOUT	RC_W1	0	通道扫描超时标志 该位由硬件在扫描超时置位，软件写 1 清除。 0: 未发生超时事件 1: 已发生超时事件
1	WAKEUP	RC_W1	0	通道唤醒标志 该位由硬件在 SLEEP 模式下，当扫描通道发生唤醒事件时置位，软件写 1 清除。 0: 未发生唤醒事件 1: 已发生唤醒事件
0	EOC	RC_W1	0	通道扫描结束标志 该位由硬件在所有使能的通道扫描结束后置位，软件写 1 清除。 0: 扫描未完成 1: 扫描已完成

25.5.2. TKEY 中断使能寄存器 (TKEY_IER 偏移: 0x04)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:3	REV	RO	0	保留位
2	TIMEOUTIE	RW	0	通道扫描超时中断使能 0: 禁止 1: 使能
1	WAKEUPIE	RW	0	通道扫描唤醒中断使能 0: 禁止 1: 使能
0	EOCIE	RW	0	通道扫描结束中断使能 0: 禁止 1: 使能

25.5.3. TKEY 控制寄存器 (TKEY_CR 偏移: 0x08)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:14	REV	RO	0	保留位
13:12	RANDM	RW	00	扫描时钟抖动控制 00: 扫描时钟随机抖动±1 01: 扫描时钟随机抖动±1, ±2 10: 扫描时钟随机抖动±1, ±2, ±3 11: 扫描时钟随机抖动±1, ±2, ±3, ±4
11	ChargeSel	RW	0	选择 Cx 电极充电模式: 0 为 OPA 充电模式 1 为 LDO 充电模式
10:9	VKEYSEL	RW	00	OPA 或 LDO 输出电压选择 00: 1.2V 01: 2.0V

				10: 2.5V 11: 3.0V
8:7	VREFSEL	RW	00	内部基准电压选择 00: 0.6V 01: 1.0V 10: 1.5V 11: 2.0V
6	SLEEP	RW	0	TKEY 工作模式 0: 正常模式, 软件处理扫描结果 1: 睡眠模式, 硬件自动判断唤醒
5	SPREAD	RW	0	扫描时钟扩频使能 0: 禁止 1: 使能
4	CONT	RW	0	扫描模式控制 0: 单次扫描 1: 连续扫描
3	SHIELDEN	RW	0	屏蔽通道输出使能 0: 禁止输出 1: 使能输出
2	CREN	RW	0	内置通道扫描使能 0: 扫描外部通道 1: 扫描内置通道
1	START	WO	0	启动扫描 软件向该位写 1 启动扫描, 硬件自动清除。 0: 默认状态 1: 启动扫描
0	SCAN	RW	0	TKEY 扫描使能 0: 禁止 1: 使能

25.5.4. TKEY 采样控制寄存器 (TKEY_SMPR 偏移: 0x0C)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:4	SWT	RW	0x0	通道扫描时间控制 两次扫描之间的时间间隔 $T_{smp} = TCs + 4 * (SWT + 1) * T_{TKCTLCLK}$ 。当扫描时间结束时, 如果比较器输出低, 则 TIMEOUT 标志被置位, 表示扫描超时, 相应的扫描通道数据设置为 0xffff。
3:0	CST	RW	0	Cs 电容放电时间 $TCs = (CST + 1) * T_{TKCTLCLK}$

25.5.5. TKEY 扫描时钟控制寄存器 (TKEY_SOFR 偏移: 0x10)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:8	SW1H	RW	00000000	扫描时钟 SW1 高电平 (SW2 低电平) 00000000: $1 * T_{TKSCLK}$ 00000001: $2 * T_{TKSCLK}$... 11111111: $256 * T_{TKSCLK}$
7:0	SW1L	RW	00000000	扫描时钟 SW1 低电平 (SW2 高电平) 00000000: $1 * T_{TKSCLK}$ 00000001: $2 * T_{TKSCLK}$... 11111111: $256 * T_{TKSCLK}$ 扫描中心频率: 当 TKEY_CR.SPREAD=0 时, $F_{sw} = TKSCLK / (SW1H + SW1L + 2)$ 当 TKEY_CR.SPREAD=1 时,

				$F_{sw} = \text{TKSCLK} / ((\text{SW1H} + \text{SW1L} + 2) + (\text{RANDM} + 1))$
--	--	--	--	---

25.5.6. TKEY 通道使能寄存器 (TKEY_CXSELR 偏移: 0x14)

比特	名称	属性	复位值	描述
15	CX15SEL	RW	0	通道 Cx15 使能控制, 参考 CX0SEL 描述
14	CX14SEL	RW	0	通道 Cx14 使能控制, 参考 CX0SEL 描述
13	CX13SEL	RW	0	通道 Cx13 使能控制, 参考 CX0SEL 描述
12	CX12SEL	RW	0	通道 Cx12 使能控制, 参考 CX0SEL 描述
11	CX11SEL	RW	0	通道 Cx11 使能控制, 参考 CX0SEL 描述
10	CX10SEL	RW	0	通道 Cx10 使能控制, 参考 CX0SEL 描述
9	CX9SEL	RW	0	通道 Cx9 使能控制, 参考 CX0SEL 描述
8	CX8SEL	RW	0	通道 Cx8 使能控制, 参考 CX0SEL 描述
7	CX7SEL	RW	0	通道 Cx7 使能控制, 参考 CX0SEL 描述
6	CX6SEL	RW	0	通道 Cx6 使能控制, 参考 CX0SEL 描述
5	CX5SEL	RW	0	通道 Cx5 使能控制, 参考 CX0SEL 描述
4	CX4SEL	RW	0	通道 Cx4 使能控制, 参考 CX0SEL 描述
3	CX3SEL	RW	0	通道 Cx3 使能控制, 参考 CX0SEL 描述
2	CX2SEL	RW	0	通道 Cx2 使能控制, 参考 CX0SEL 描述
1	CX1SEL	RW	0	通道 Cx1 使能控制, 参考 CX0SEL 描述
0	CX0SEL	RW	0	通道 Cx0 使能控制 0: 禁止 1: 使能

25.5.7. TKEY 通道补偿使能寄存器 (TKEY_CRSELR 偏移: 0x18)

比特	名称	属性	复位值	描述
15	CR15SEL	RW	0	通道 Cx15 补偿使能控制, 参考 CR0SEL 描述
14	CR14SEL	RW	0	通道 Cx14 补偿使能控制, 参考 CR0SEL 描述

13	CR13SEL	RW	0	通道 Cx13 补偿使能控制, 参考 CR0SEL 描述
12	CR12SEL	RW	0	通道 Cx12 补偿使能控制, 参考 CR0SEL 描述
11	CR11SEL	RW	0	通道 Cx11 补偿使能控制, 参考 CR0SEL 描述
10	CR10SEL	RW	0	通道 Cx10 补偿使能控制, 参考 CR0SEL 描述
9	CR9SEL	RW	0	通道 Cx9 补偿使能控制, 参考 CR0SEL 描述
8	CR8SEL	RW	0	通道 Cx8 补偿使能控制, 参考 CR0SEL 描述
7	CR7SEL	RW	0	通道 Cx7 补偿使能控制, 参考 CR0SEL 描述
6	CR6SEL	RW	0	通道 Cx6 补偿使能控制, 参考 CR0SEL 描述
5	CR5SEL	RW	0	通道 Cx5 补偿使能控制, 参考 CR0SEL 描述
4	CR4SEL	RW	0	通道 Cx4 补偿使能控制, 参考 CR0SEL 描述
3	CR3SEL	RW	0	通道 Cx3 补偿使能控制, 参考 CR0SEL 描述
2	CR2SEL	RW	0	通道 Cx2 补偿使能控制, 参考 CR0SEL 描述
1	CR1SEL	RW	0	通道 Cx1 补偿使能控制, 参考 CR0SEL 描述
0	CR0SEL	RW	0	通道 Cx0 补偿使能控制, 使能后扫描时并联 Cr 0: 禁止 1: 使能

25.5.8. TKEY 通道数据寄存器 (TKEY_DR 移: 0x1C)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	DATA	RO	0x0	通道扫描数据 当内置通道扫描使能时, 该寄存器保存内置通道扫描计数结果。当使能外置通道扫描时, 该寄存器保存最后一个通道的扫描计数结果。

25.5.9. TKEY 通道 x 唤醒门限寄存器 (TKEY_THx 偏移: 0x20-0x5C)

比特	名称	属性	复位值	描述
15:8	REV	RW	0x0	保留位

7:0	DNx	RW	0x0	通道 Cx 的变化量，即唤醒门限（减小）。
-----	-----	----	-----	-----------------------

25.5.10. TKEY 通道 x 数据寄存器（TKEY_CHx 偏移：0x60-0x9C）

比特	名称	属性	复位值	描述
15:0	CNTx	RW	0x0	SLEEP=0 时，表示通道 Cx 扫描计数值； SLEEP=1 时，表示通道基线值，由软件在进入 SLEEP 前写入。

25.6. 使用说明

在使用 TKEY 之前，需要将使能的 TKEY 通道引脚、Cs 引脚和 Creg 引脚（TKEY 的 LDO 输出电容）对应的 GPIO 都设置为模拟功能，打开 TKEY 的时钟等，具体细节参考 demo 程序和应用指南。

25.6.1. 内置通道扫描

TKEY 的内置通道扫描功能用于测量 Cs 的大小，软件操作流程如下：

1. 配置 TKEY_CR.CREN=1，使能内置通道扫描；
2. 配置 TKEY_CR.SLEEP=0，使用正常模式；
3. 配置 TKEY_CR.SCAN=1，使能 TKEY 扫描；
4. 配置 TKEY_CR.START=1，启动扫描；
5. 等待 EOC 转换完成状态标志；
6. 从 TKEY_DR 寄存器读取；

25.6.2. 正常模式

TKEY 的正常模式主要用于扫描测量外置通道 Cx 的容值。正常模式的软件操作流程如下：

1. 配置 TKEY_CXSEL.CXnEN 寄存器，使能将要扫描的通道；
2. 配置 TKEY_CRSEL.CRnEN 寄存器，使能需要进行补偿的通道（可选）；
3. 配置 TKEY_SMPR 寄存器，设置扫描速率；

4. 配置 TKEY_SOFR 寄存器，设置扫描时钟；
5. 配置 TKEY_CR.CONT=1 为连续模式；
6. 配置 TKEY_CR.START=1，启动扫描；
7. 等待 EOC 转换完成状态标志；
8. 从 TKEY_CHx 寄存器读取扫描通道数据；
9. 循环不停扫描数据，通过通道数据计算获得 Cx 的变化值来检测是否有按键事件。

25.6.3. 睡眠模式

TKEY 的睡眠模式主要用于检测外置通道 Cx 的容值的变化，当扫描通道容值的变化大于设置门限时，产生唤醒事件，通过 EXTI 模块唤醒休眠模式的 MCU。睡眠模式的软件操作流程如下：

1. 配置 TKEY_CXSEL.CXnEN 寄存器，使能将要扫描的通道；
2. 配置 TKEY_CRSEL.CRnEN 寄存器，使能需要进行补偿的通道；
3. 配置 TKEY_SMPR 寄存器，设置扫描速率；
4. 配置 TKEY_THx 寄存器，设置唤醒门限
5. 配置 TKEY_SOFR 寄存器，设置扫描时钟（降频）；
6. 配置 TKEY_DRx 寄存器，设置基线值
7. 配置 TKEY_CR.SLEEP=1，使用睡眠模式；
8. 配置 TKEY_CR.CONT=1 为连续模式；
9. 配置 TKEY_CR.START=1，启动扫描；
10. 设置 MCU 进入 STOP 模式，等待按键唤醒；
11. 按键唤醒后，恢复正常扫描时钟，切换到正常模式进行按键检测；

26. 控制器区域网络（CAN）

26.1. 概述

CAN 是控制器局域网络(Controller Area Network)的简称，是一种异步的半双工通讯，该芯片上集成了 1 路 CAN 模块。

注：ACM32FP0X 系列无 CAN 功能。

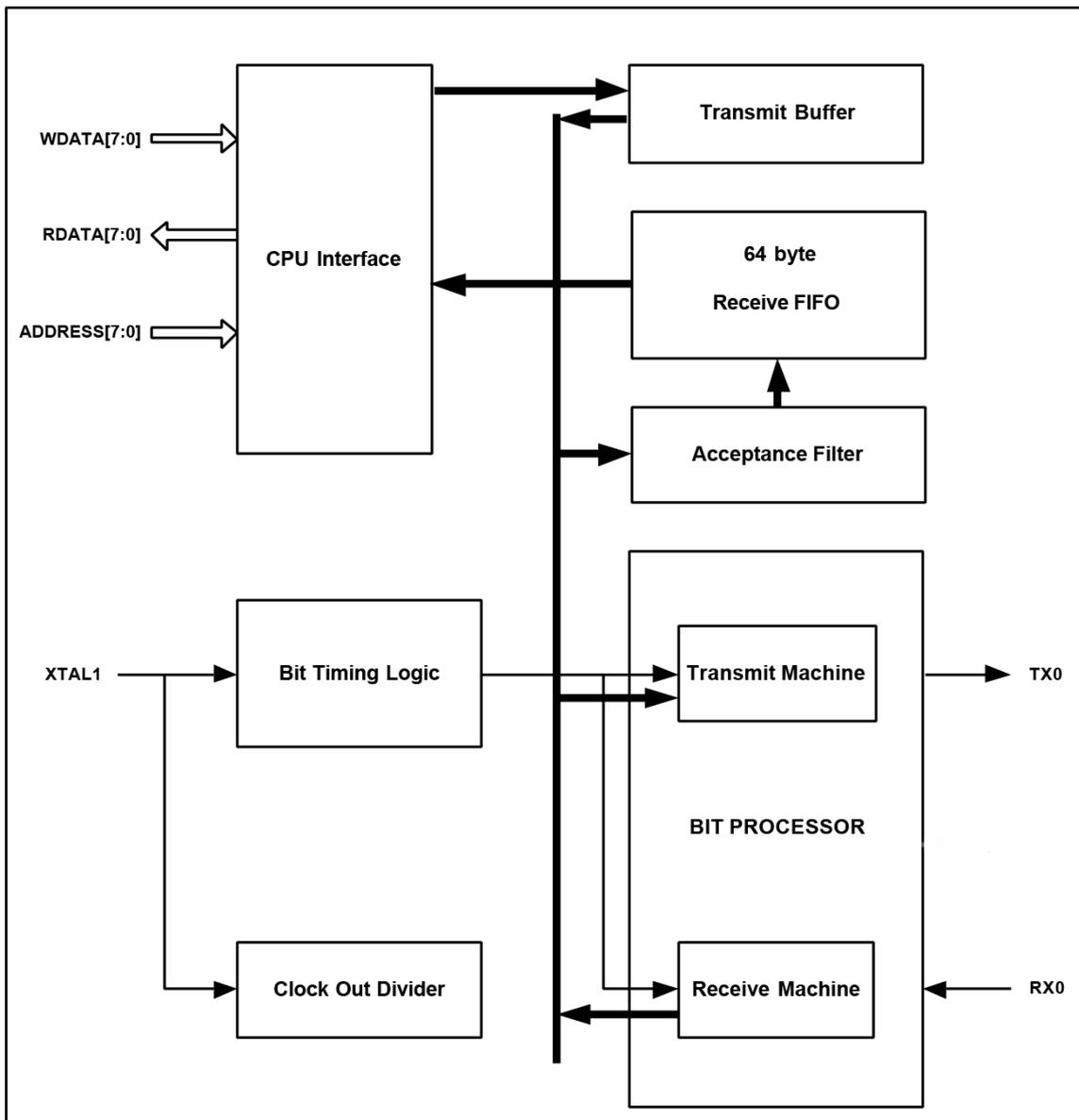
26.2. 主要特性

- 支持 CAN2.0，包括 CAN2.0A 和 CAN2.0B。
- 支持 11 比特和 29 比特的识别符。
- 支持最低 20K 波特率和 1M 波特率。
- 64 字节的接收 FIFO。
- 支持热拔插。
- 支持接收器滤波。
- Single-Shot 传输选项。
- 支持只监听模式。
- 可以接收自己的信息。
- 支持自测模式。
- 支持 CAN 总线错误的中断。
- 记录仲裁失败后的 bit 位置。
- 读写错误计数器。
- 可编程的错误上限警告。
- 通过 BOSCH CAN2.0 测试。

26.3. 功能描述

26.3.1. 功能框图

图 26-1 内部功能框图



注：CPU 通过独立的地址线、输入数据线、输出数据线来访问 CAN 模块。发送的数据被放到 TxBuff 中去，并由发送器发送出去。接收的数据先通过接收滤波器过滤以后再放到 RxBuff 中。CPU 通过一个 13bytes 宽度的数据接口访问 RxFIFO。RxFIFO 总共有 64 个字节的缓存，可以一次性存储 5 组扩展帧。Bit-Timing-Logic 模块负责用来产生波特率。TX0 用于发送，RX0 用于接收。

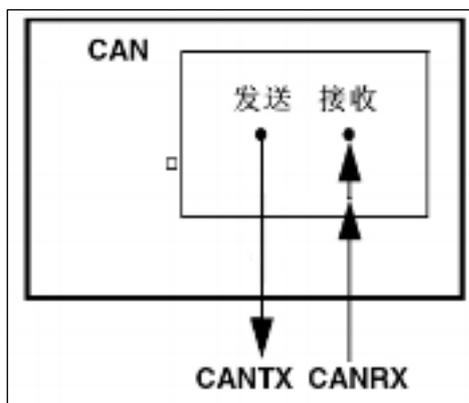
26.3.2. 操作模式

CAN 有两种工作模式：

- **Operating Mode:** 时可以正常发送接收 CAN 总线数据

进入 Operating Mode 的方式是清除 MOD 的 BIT0。

图 26-2 正常模式示意图



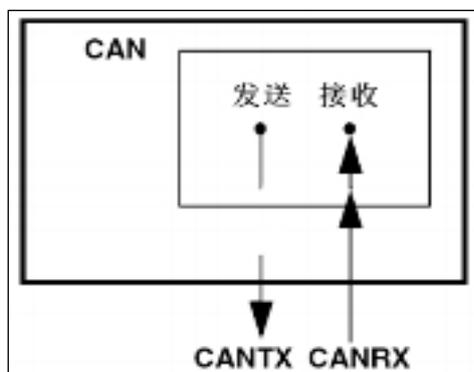
- **Reset Mode:** 可以修改时间参数和报文过滤参数。

进入 Reset Mode 的方式有两种：第一种就是执行一次硬件复位，第二种方式是写 MOD 寄存器的 BIT0。

CAN 可以支持监听模式和自测模式，在 Reset Mode 和 Operating Mode 两种模式下都可使用。

在监听模式下，CAN 只能用于接收数据，不能发送。CAN 在成功接收到一帧数据时也不会回复 ACK。并且会强制进入“Error Passive”模式。这种模式允许软驱动波特率检测，使 CAN 支持 hot plug-in 模式。

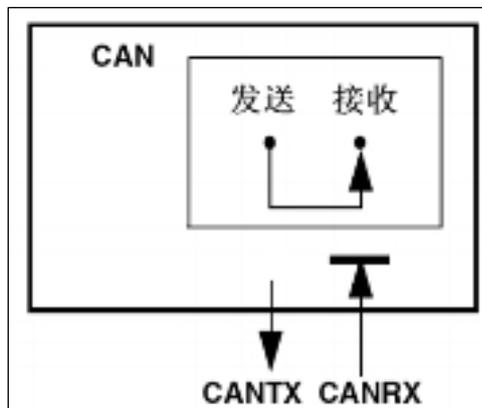
图 26-3 监听模式示意图



在自测试模式下，CAN 通过自己接收的模式进行发送和接收，不需要从远程节点获取

ACK。使用自测试模式可以进行自检，而不需要外接任何 CAN 节点。

图 26-4 自测试模式示意图

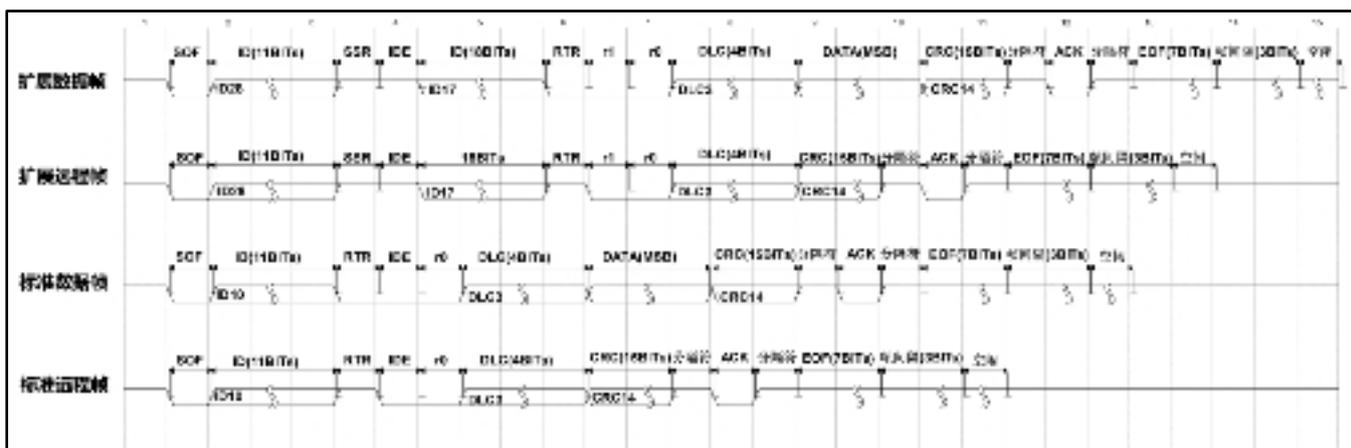


CAN 提供了一种时钟输出模式，但是只能在 Reset Mode 时需选择，TX0 用来输出发送的时钟而不是数据。

26.3.3. 发送

根据 CAN 数据帧的结构，如图所示。将需要发送的帧类型、帧长度、帧数据写入到 CAN 的 TxBuff 中，不管数据帧格式是标准帧还是扩展帧，TxBuff 由 13 字节的数据组成，从地址 0x10 到 0x1C，这样可以保证能写入一个数据长度为 8 字节的数据帧。注：在向 TxBuff 写数据之前需要先检查一下 SR.2 状态，确保 TxBuff 被释放了，否则写入的数据就丢失。

图 26-5 CAN 数据帧结构



为了将存放在 TxBuff 里面的数据发送出去，可以通过设置 CMR.0（发送请求）或者设置自接收请求 CMR.4。开始发送时，SR.5 被置为 1 并且发送请求被清除。

发送的比特流是通过 TX0 发送出去的，如果遇到仲裁失败或者发送错误，CAN 能够自动重发。

在每个数据帧后都会自动发送一个 15bit 的 CRC 校验值，而 CRC 是根据 SOF、仲裁域、

控制域和数据域产生。

如果发送还没开始的话，可以通过写 CMR.1 中断一帧数据的发送，但是一旦开始了，就不能中断发送过程了。

TxBuff 的数据结构如图所示，由 13 个字节组成，发送时只需按照 TxBuff 结构填入相应的 RTR（远程帧 1/数据帧 0）、DLC（数据长度）、FF（标准帧 0/扩展帧 1）、ID 以及数据即可。

图 26-6 TxBuff 数据结构

Standard Frame Format (SFF)		Extended Frame Format (EFF)	
CAN Address	Field	CAN Address	Field
10h	TX Frame Information	10h	TX Frame Information
11h	TX Identifier 1	11h	TX Identifier 1
12h	TX Identifier 2	12h	TX Identifier 2
13h	TX Data Byte 1	13h	TX Identifier 3
14h	TX Data Byte 2	14h	TX Identifier 4
15h	TX Data Byte 3	15h	TX Data Byte 1
16h	TX Data Byte 4	16h	TX Data Byte 2
17h	TX Data Byte 5	17h	TX Data Byte 3
18h	TX Data Byte 6	18h	TX Data Byte 4
19h	TX Data Byte 7	19h	TX Data Byte 5
1Ah	TX Data Byte 8	1Ah	TX Data Byte 6
1Bh	(Unused)	1Bh	TX Data Byte 7
1Ch	(Unused)	1Ch	TX Data Byte 8

CAN Address	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
10h	FF	RTR	X (?)	X (?)	DLC.3	DLC.2	DLC.1	DLC.0
11h	ID.28	ID.27	ID.26	ID.25	ID.24	ID.23	ID.22	ID.21
12h	ID.20	ID.19	ID.18	X (?)				

CAN Address	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
10h	FF	RTR	X (?)	X (?)	DLC.3	DLC.2	DLC.1	DLC.0
11h	ID.28	ID.27	ID.26	ID.25	ID.24	ID.23	ID.22	ID.21
12h	ID.20	ID.19	ID.18	ID.17	ID.16	ID.15	ID.14	ID.13
13h	ID.12	ID.11	ID.10	ID.9	ID.8	ID.7	ID.6	ID.5
14h	ID.4	ID.3	ID.2	ID.1	ID.0	X (?)	X (?)	X (?)

26.3.4. 接收

CAN 接收的数据首先通过接收滤波器才能写入到 RxBuff。接收滤波器只会通过那些标识符合条件的报文。

数据放到 RxBuff 时，SR.4 寄存器就会被置位。一旦接收到数据，SR.0 就会被置位，同时才生一个接收中断。RxBuff 的数据结构如图所示，由 13 个字节组成，接收时只需按照 RxBuff 结构读取相应的 RTR（远程帧 1/数据帧 0）、DLC（数据长度）、FF（标准帧 0/扩展帧 1）、ID 以及数据即可。

图 26-7 RxBuff 数据结构

Standard Frame Format (SFF)		Extended Frame Format (EFF)	
CAN Address	Field	CAN Address	Field
10h	RX Frame Information	10h	RX Frame Information
11h	RX Identifier 1	11h	RX Identifier 1
12h	RX Identifier 2	12h	RX Identifier 2
13h	RX Data Byte 1	13h	RX Identifier 3
14h	RX Data Byte 2	14h	RX Identifier 4
15h	RX Data Byte 3	15h	RX Data Byte 1
16h	RX Data Byte 4	16h	RX Data Byte 2
17h	RX Data Byte 5	17h	RX Data Byte 3
18h	RX Data Byte 6	18h	RX Data Byte 4
19h	RX Data Byte 7	19h	RX Data Byte 5
1Ah	RX Data Byte 8	1Ah	RX Data Byte 6
1Bh	(Unused)	1Bh	RX Data Byte 7
1Ch	(Unused)	1Ch	RX Data Byte 8

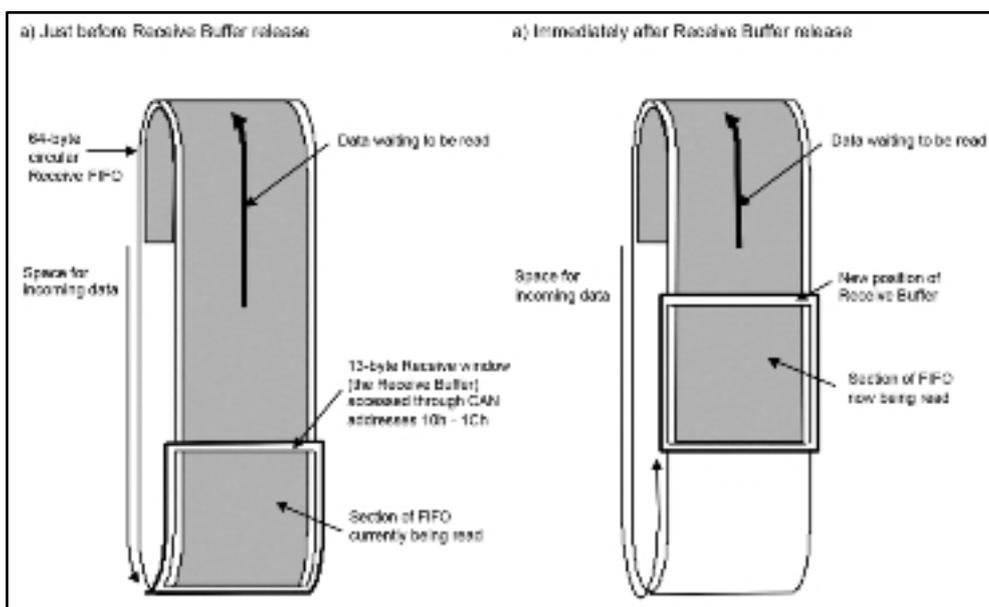
CAN Address	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
10h	FF	RTR	0	0	DLC.3	DLC.2	DLC.1	DLC.0
11h	ID.28	ID.27	ID.26	ID.25	ID.24	ID.23	ID.22	ID.21
12h	ID.20	ID.19	ID.18	RTR	0	0	0	0

CAN Address	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
10h	FF	RTR	0	0	DLC.3	DLC.2	DLC.1	DLC.0
11h	ID.28	ID.27	ID.26	ID.25	ID.24	ID.23	ID.22	ID.21
12h	ID.20	ID.19	ID.18	ID.17	ID.16	ID.15	ID.14	ID.13
13h	ID.12	ID.11	ID.10	ID.9	ID.8	ID.7	ID.6	ID.5
14h	ID.4	ID.3	ID.2	ID.1	ID.0	RTR	0	0

RxBuff 是 64 字节深度，最多允许存放 5 组 EFF 数据。如果 RxBuff 中没有空间接收新的数据，那么新的数据进来的话就会触发一次 Over Run，SR.1 会被置位，接收的数据也会被丢弃，也产生一个中断。

放在 RxBuff 中的数据通过一个 13 位宽的窗口读取，地址是 0x10~0x1C。为了读取所有的报文，CPU 需要移动窗口，这是通过设置 CMR.2 来实现的。如果还有数据需要被读取，那么这个数据将会被移动到窗口，如果没有数据被读取了，那么接收标志就会自动清零，接收过程如图所示。

图 26-8 CAN 接收示意图



26.3.5. 自我接收

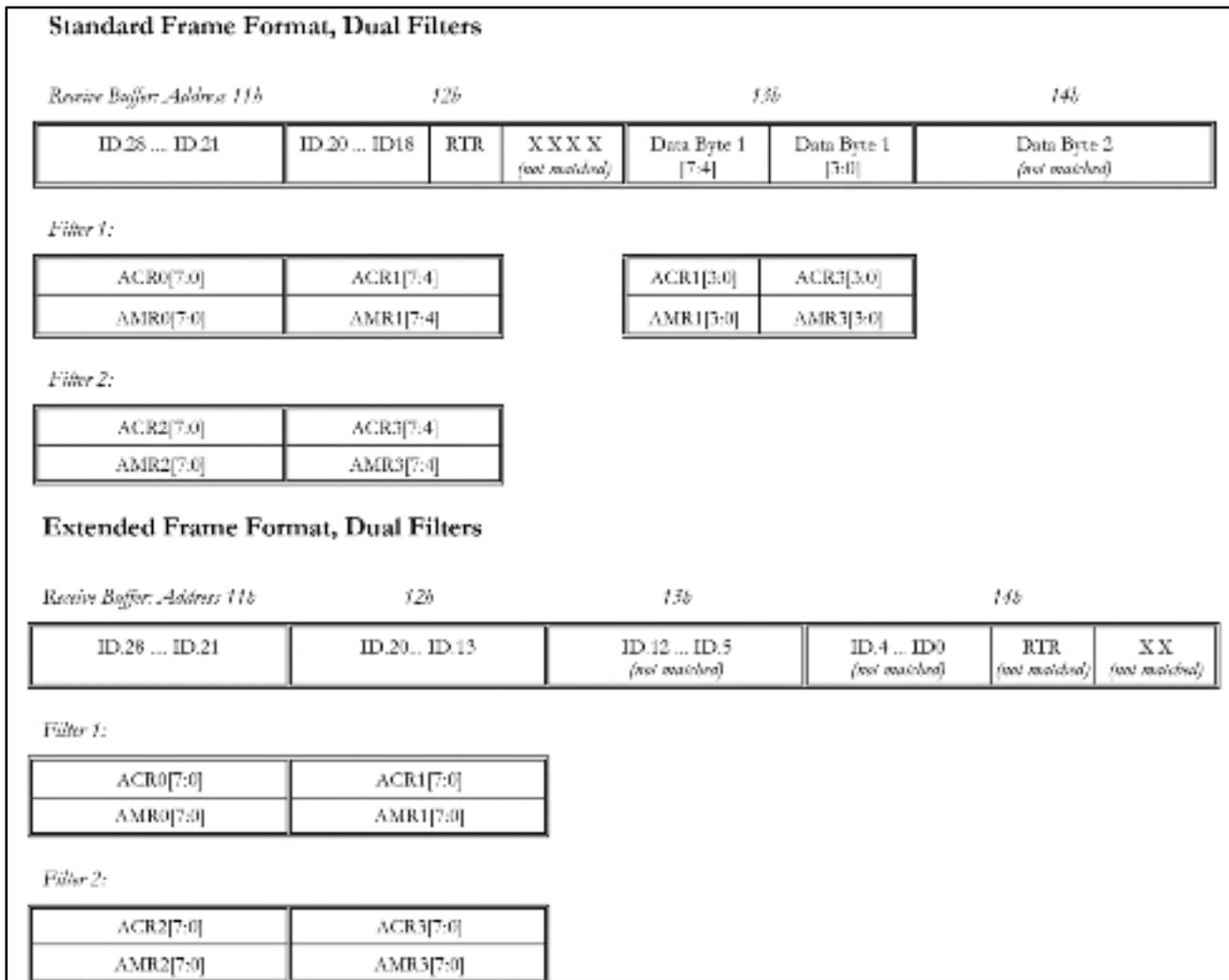
CAN 可以接收自己发送给其他节点的数据。通过 CMR.4 来使能此功能。CAN 自动产生发送和接收中断。

此功能的作用在于让 CAN 总线可以直接同时接收和发送，而不需要其他节点配合，方便测试。

26.3.6. 接收过滤

在 CAN 总线中，所有节点接收总线上的所有报文。为了让节点忽略与它无关的报文信息，CAN 允许对接收的报文进行过滤，通过一个 4 字节的接收过滤器实现。只有报文的标识符与过滤器匹配，才能被写入到 RxBuff。

图 26-10 双过滤模式过滤器示意图



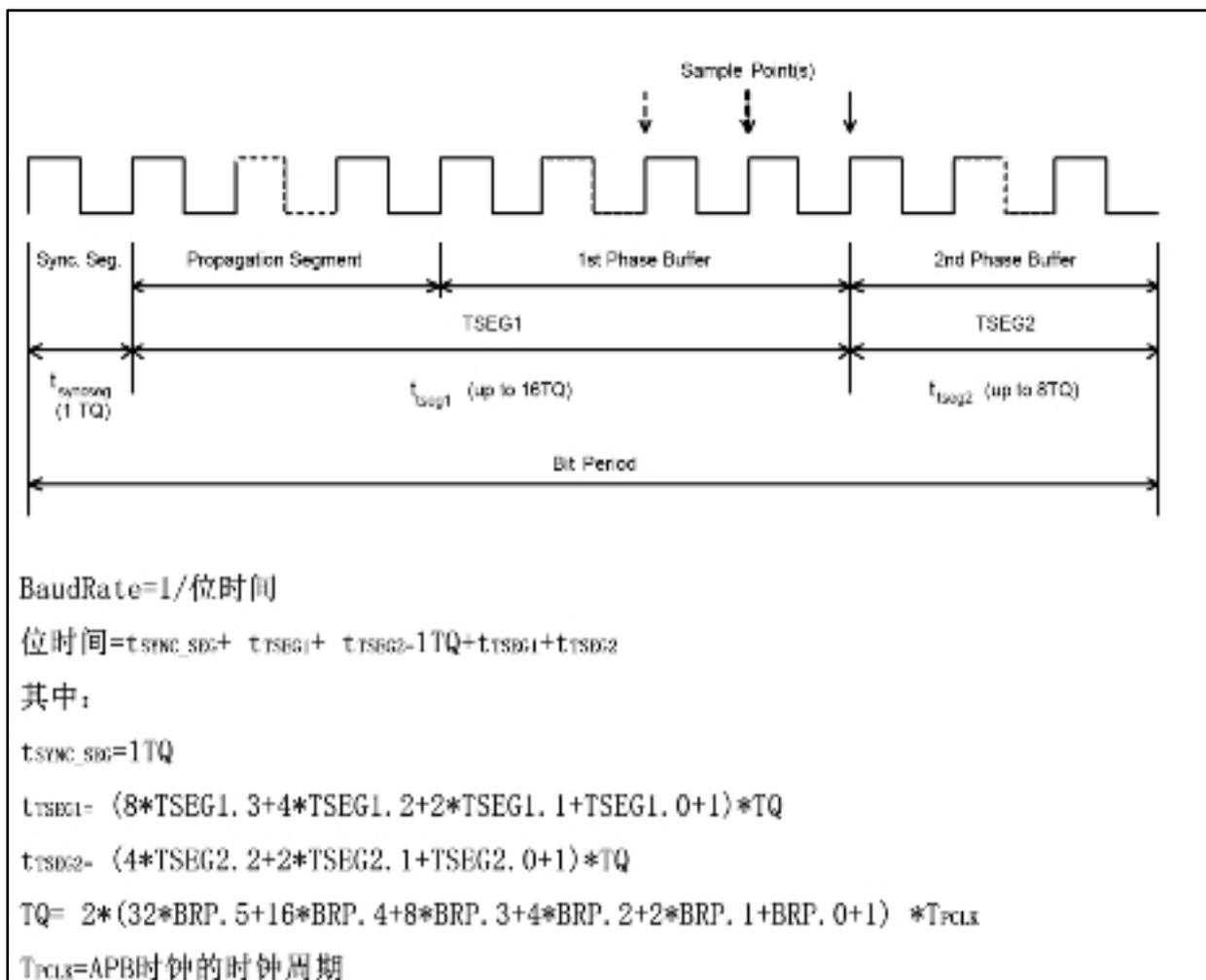
可以通过设置 AMRx 里相应的位来决定是否过滤 ACRx 中对应的位，当 AMRx 中的位为 1 时，表示“Don't Care”，不对 ACRx 中相应位进行过滤；当 AMRx 中的位为 0 时，表示对 ACRx 中相应位进行过滤，只有当接收到的 CAN 报文 ID 对应位与 ACRx 中对应位一致，报文才能被接收进来写入到 RxBuff。

26.3.7. 波特率

CAN 总线的波特率是通过每一个数据位的时序分解，分解的最小时间单位是 TQ，根据 BOSCH 标准，一个完整的位通常由 8-25 个 TQ 组成。

CAN 模块定义的位时序如图所示，共有三部分组成：

图 26-11 CAN 位时序图



- 同步段(SYNC_SEG): 通常期望位的变化发生在该时间段内, 其值固定为 1TQ。
- 时间段 1(TSEG1): 定义采样点的位置。它包含 CAN 标准里的 PROP_SEG 和 PHASE_SEG1。其值可以编程为 1 到 16 个 TQ。
- 时间段 2(TSEG2): 定义发送点的位置。它代表 CAN 标准里的 PHASE_SEG2。其值可以编程为 1 到 8 个 TQ。

重新同步跳跃宽度(SJW)定义了在该位中可以延长或缩短多少个时间单元的上限, 其值可以为 1 到 4 个 TQ。

如设置波特率为 500K, 系统时钟 64M, APB 时钟为 64M, 则 $BRP=7$, $TQ=2*(7+1)*(1/64M)=16*(1/64M)=1/4M$, 设置 $TSEG1=2$, $TSEG2=3$, 则数据位时间= $1+(2+1)+(3+1)=8TQ$, 则 $baud=1/8TQ=1/(8*1/4M)=1/(2M)=500Kbps$ 。

26.3.8. 仲裁器

CAN 总线是由小的识别符节点控制的，失去仲裁的节点必须在总线空闲之前放弃控制总线。如果 CAN 仲裁失败，那么一个仲裁失败的中断将会起来，并且会记录失去仲裁的位置。

26.3.9. 错误处理

CAN 包括两个错误计数器，接收错误计数器 RXERR 和发送错误接收器 TXERR。并且错误的类型和错误的位置都可以在 Error-Code-Capture-Register 中看到。CAN 也包括一个 EWL 寄存器，其值表示接收或者发送的错误值达到多少时产生一个警告。默认的 EWL 值为 96，不管接收错误还是发送错误达到这个值都会产生一个错误警告中断。

如果错误计数超过 127，那么 CAN 就会进入“Error Passive”状态。如果发送错误计数器超过 255，那么 SR.7 就会被置 1 (Bus Off)。CAN 就会进入 Reset Mode 并且会产生一个 EI 中断。在重现进入 Bus On 状态前，CAN 必须等待 128 个 Bus-Free-Sequence。

26.3.10. 睡眠模式

如果 Bus 是空闲的，并且没有中断被挂起，那么可以将 CAN 模块进入那 Sleep 模式。进入 Sleep 模式的方式是置位 MOD.4。TX0 和 TX1 在 Sleep 模式时为高。

可以通过以下方式唤醒：

1. 将 Sleep 模式设为 0。
2. 在 RX0 上检查的数据。
3. NINT_IN 有一个低电平，NINT_IN 为 CAN 中断信号线，即有任意 CAN 中断触发，将会唤醒 Sleep 模式。

唤醒后，CAN 会产生一个 Wake-Up 中断。

26.4. 寄存器描述

CAN 寄存器基地址：参见系统说明

偏置	名称	正常模式	复位模式	描述
0x00	CAN_MOD	RW	RW	模式寄存器
0x04	CAN_CMR	WO	WO	命令寄存器
0x08	CAN_SR	RO	RO	状态寄存器
0x0C	CAN_IR	RO	RO	中断寄存器
0x10	CAN_IER	RW	RW	中断使能寄存器
0x18	CAN_BTR0	RO	RW	总线时序控制寄存器 0
0x1C	CAN_BTR1	RO	RW	总线时序控制寄存器 1
0x20	CAN_OCR	RO	RW	输出控制寄存器
0x2C	CAN_ALC	RO	RO	仲裁失败抓取寄存器
0x30	CAN_ECC	RO	RO	错误抓取寄存器
0x34	CAN_EWLR	RO	RW	错误警告上限寄存器
0x38	CAN_RXERR	RO	RW	接收错误计数寄存器
0x3C	CAN_TXERR	RO	RW	发送错误计数寄存器
0x40~0x70	CAN_TXBUFF	WO	--	发送缓存寄存器（写操作）
0x40~0x70	CAN_RXBUFF	RO	--	接收缓存寄存器（读操作）
0x40~0x4C	CAN_ACR0 ~ CAN_ACR3	--	RW	接收过滤寄存器
0x50~0x5C	CAN_AMR0~ CAN_AMR3	--	RW	接收屏蔽寄存器
0x74	CAN_RMC	RO	RO	接收报文计数器
0x78	CAN_RBSA	RO	RW	接收缓存起始位置寄存器
0x7C	CAN_CDR	RW	RW	时钟分频因子寄存器

0x80~0x17C	CAN_RX_FIFO	RO	RW	接收 FIFO
0x180~0x1B0	CAN_TX_FIFO	RO	RO	发送 FIFO

26.4.1. 模式寄存器 CAN_MOD(偏移: 00h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:5	RSV	-	-	保留
4	SM	RW	0	睡眠模式 0: 正常状态。 1: 进入睡眠模式。（如果有中断挂起或者总线在传输数据，则立即会被唤醒）
3	AFM	RW	0	接收过滤器模式 0: 双过滤模式，两个较短字节的过滤器。 1: 单过滤模式，单个 4 字节的过滤器。
2	STM	RW	0	自测试模式 0: 正常模式。 1: 自测模式。（不检查 ACK）
1	LOM	RW	0	监听模式使能。 0: 正常模式，错误计数器停止工作。 1: 监听模式，CAN 接收到正确的数据帧也不会回发 ACK。强制进入 Error-passive 模式。
0	RM	RW	1	进入复位模式 0: 正常模式，此位“1->0”可以进入正常模式。 1: 进入复位模式，并中断正在发送或接收的数据。

26.4.2. 命令寄存器 CAN_CMRR(偏移: 04h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:5	RSV	-	-	保留
4	SRR	WO	0	自我接收请求 0: 无效。 1: 同步接收自己即将发送的报文。(包含发送功能) 注意: 不能和 TR 同时使能, 如果 SRR 和 TR 同时使能, SRR 将被忽略。
3	CDO	WO	0	清除过载状态 0: 无效。 1: 清除过载状态 SR.1。
2	RRB	WO	0	释放接收缓存 0: 无效。 1: 释放接收缓存。
1	AT	WO	0	终止发送 0: 无效 1: 如果发送请求还未处理, 就取消下一个发送的请求。否则无效。
0	TR	WO	0	发送请求 0: 无效。 1: 发送报文。

26.4.3. 状态寄存器 CAN_SR(偏移: 08h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:8	RSV	-	-	保留
7	BS	RO	0	总线状态 0: 总线处于激活状态。 1: 总线处于“Bus Off”状态。
6	ES	RO	0	错误状态 0: 接收和发送错误计数器低于报警值。 1: 接收或者发送错误计数器大于等于报警值。
5	TS	RO	1(Reset) /0(Normal)	发送状态 0: 没有报文正在被发送 1: 正在发送报文
4	RS	RO	1(Reset) /0(Normal)	接收状态 0: 没有报文正在被接收。 1: 正在接收报文。
3	TCS	RO	1	发送完成状态 0:最近一次的发送请求还未完成。 1: 最近一次的发送请求已经完成。
2	TBS	RO	1	发送缓存状态 0: 发送缓存锁定状态, 报文正在被发送或者等待被发送, CPU 不能访问发送缓存。 1: 发送缓存释放。CPU 可以访问发送缓存。
1	DOS	RO	0	数据过载状态位。 0: 无数据过载。 1: 数据过载, 因为接收缓存没有空间导

				致丢失报文。
0	RBS	RO	0	接收缓存状态位 0: 接收缓存为空。 1: 接收缓存不为空。

26.4.4. 中断寄存器 CAN_IR(偏移: 0Ch)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:8	RSV	-	-	保留
7	BEI	RO	0	总线错误中断 0: 无中断。 1: 有中断。 注: 读清 0, 硬件自动清零, BEI 是脉冲信号, 一般软件很难读到 1, 需要结合 ECCR 寄存器判断出错原因。
6	ALI	RO	0	仲裁失败中断 0: 无中断。 1: 有中断。 注: 读清 0
5	EPI	RO	0	Error-Passive 中断 0: 无中断 1: 有中断 注: 读清 0
4	WUI	RO	0	唤醒中断 0: 无中断。 1: 有中断。 注: 读清 0
3	DOI	RO	0	数据过载中断 0: 无中断。

				1: 有中断。 注: 读清 0
2	EI	RO	0	错误报警中断 0: 无中断。 1: 有中断。 注: 读清 0
1	TI	RO	0	发送中断。 0: 无中断。 1: 有中断。 注: 读清 0
0	RI	RO	0	接收中断 0: 无中断。 1: 有中断。 注: 读清 0

26.4.5. 中断使能寄存器 CAN_IER(偏移: 10h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:8	RSV	-	-	保留
7	BEIE	RW	0	总线错误中断使能 0: 禁止。 1: 使能。
6	ALIE	RW	0	仲裁失败中断使能 0: 禁止。 1: 使能。
5	EPIE	RW	0	Error-Passive 中断使能 0: 禁止 1: 使能

4	WUIE	RW	0	唤醒中断使能 0: 禁止。 1: 使能。
3	DOIE	RW	0	数据过载中断使能 0: 禁止。 1: 使能。
2	EIE	RW	0	错误报警中断使能 0: 禁止。 1: 使能。
1	TIE	RW	0	发送中断使能。 0: 禁止。 1: 使能。
0	RIE	RW	0	接收中断使能 0: 禁止。 1: 使能。

26.4.6. 时序寄存器 CAN_BTR0(偏移: 18h)

比特	名称	正常模式	复位模式	复位值	描述
31:8	RSV	-		-	保留
7:6	SJW	RO	RW	0	同步偏移宽度。 定义每个比特在重新同步前可能偏差的最大时钟数。
5:0	BRP	RO	RW	0	波特率因子 TQ $TQ = 2 * (BRP + 1) * T_{PCLK}$

26.4.7. 时序寄存器 CAN_BTR1(偏移: 1Ch)

比特	名称	正常模式	复位模式	复位值	描述
31:8	RSV	-		-	保留
7	SAM	RO	RW	0	采样选择 0: 采样一次 1: 采样三次
6:4	TSEG2	RO	RW	0	采样点尾部 = TSEG2+1
3:0	TSEG1	RO	RW	0	采样点前部 = TSEG1+1

26.4.8. 输出寄存器 CAN_OCR(偏移: 20h)

比特	名称	正常模式	复位模式	复位值	描述
31:4	RSV	-		-	保留
5	CRC_ERR_COD	RO	RW	0	CRC 错误发生时产生的 ECC 值。
4:2	TX0_SEL	RO	RW	3'b000	对于 A 版本芯片, 本字段读写都表示 TX0_SEL[2:0]。 3'b000:TX0 3'b001:~TX0 3'b010:Simple Time 3'b011:Tx_clock 3'b100:Clock out 3'b101:0 3'b110:1 3'b111:1 对于 B 版本芯片, 本字段写入时表示 TX0_SEL[2:0]:

					<p>3'b000:TX0</p> <p>3'b001:~TX0</p> <p>3'b010:Simple Time</p> <p>3'b011: 固定输出 1</p> <p>3'b100:Clock out</p> <p>3'b101:0</p> <p>3'b110:输出 sample_time clock_out</p> <p>3'b111:1</p> <p>B 版本芯片读取时，OCR[4]位，表示内部 Tx_Clock 的状态。OCR[3:2]位，表示 TX0_SEL[1:0]</p>
1:0	RSV	-		-	保留

备注：EFALSH NVR 区域地址 0x00080268 的 32bit 数据，表示芯片版本。0xFFDE0021 表示 A 版本，0xFEDE0121 表示 B 版本。

26.4.9. 仲裁失败位置获取寄存器 CAN_ALC(偏移：2Ch)

比特	名称	正常模式	复位模式	复位值	描述
31:5	RSV	-		-	保留
4:0	ALC	RO	RO	0	仲裁失败位置值=ALC + 1

26.4.10. 错误代码获取寄存器 CAN_ECC(偏移：30h)

比特	名称	正常模式	复位模式	复位值	描述
31:8	RSV	-		-	保留
7:6	ErrCode	RO	RO	0	<p>0b00: 比特错误</p> <p>0b01: 形式错误</p> <p>0b10: 填充错误</p> <p>0b11: 其他错误</p>

5	Direction	RO	RO	0	出错方向： 0: 发送时出错 1: 接收时出错
4:0	SegCode	RO	RO	0	出错的段代码，见下表

SegCode[4:0]	描述	SegCode[4:0]	描述
00011	SOF	01010	数据域
00010	ID.28~ID.21	01000	CRC 域
00110	ID.20~ID.18	11000	CRC 分隔符
00100	SRTR 位	11001	ACK
00101	IDE 位	11011	ACK 分隔符
00111	ID.17~ID.13	11010	EOF
01111	ID.12~ID.5	10010	间隙
01110	ID.4~ID.0	10001	Active Error 标志
01100	RTR 位	10110	Passive Error 标志
01101	保留	10011	容忍显性位
01001	保留	10111	错误分隔符
01011	DLC	11100	过载标志

26.4.11. 错误报警寄存器 CAN_EWLR(偏移: 34h)

比特	名称	正常模式	复位模式	复位值	描述
31:8	RSV	-		-	保留

7:0	EWL	RO	RW	96	错误报警值
-----	-----	----	----	----	-------

26.4.12. 接收错误寄存器 CAN_RXERR(偏移: 38h)

比特	名称	正常模式	复位模式	复位值	描述
31:8	RSV	-		-	保留
7:0	RXERR	RO	RW	0	接收错误计数寄存器

26.4.13. 发送错误寄存器 CAN_TXERR(偏移: 3Ch)

比特	名称	正常模式	复位模式	复位值	描述
31:8	RSV	-		-	保留
7:0	TXERR	RO	RW	0	发送错误计数寄存器

26.4.14. 发送缓存写寄存器 CAN_TXBUFFx(写偏移: 0x40~0x70)

比特	名称	正常模式	复位模式	复位值	描述
31:8	RSV	-		-	保留
7:0	TXBUFFx	WO	--	0	发送缓存的字节 x

26.4.15. 接收缓存读寄存器 CAN_RXBUFFx(读偏移: 0x40~0x70)

比特	名称	正常模式	复位模式	复位值	描述
31:8	RSV	-		-	保留
7:0	RXBUFFx	RO	--	0	接收缓存的字节 x

26.4.16. 接收过滤寄存器 CAN_ACRx(偏移: 0x40~0x4C)

比特	名称	正常模式	复位模式	复位值	描述
31:8	RSV	--	--	-	保留
7:0	ACRx	--	RW	0	接收过滤字节 x

26.4.17. 接收过滤屏蔽寄存器 CAN_AMRx(偏移: 0x50~0x5C)

比特	名称	正常模式	复位模式	复位值	描述
31:8	RSV	--	--	-	保留
7:0	AMR0	--	RW	0	接收过滤字节 0

26.4.18. 接收报文计数寄存器 CAN_RMC(偏移: 0x74)

比特	名称	正常模式	复位模式	复位值	描述
31:5	RSV	--	--	--	保留
4:0	RMC	RO	RO	0	接收 FIFO 中已接收的报文个数

26.4.19. 接收缓存起始地址寄存器 CAN_RBSA(偏移: 0x78)

比特	名称	正常模式	复位模式	复位值	描述
31:6	RSV	--	--	--	保留
5:0	RBSA	RO	RW	0	接收 FIFO 起始地址

26.4.20. 时钟输出分频寄存器 CAN_CDR(偏移: 0x7C)

比特	名称	正常模式	复位模式	复位值	描述
----	----	------	------	-----	----

31:4	RSV	--	--	-	保留
3	Clock OFF	RW	RW	0	Clock Out 关闭 0: 使能 Clock Out 1: 禁止 Clock Out
2:0	CD	RW	RW	0	3'b000: fosc/2 3'b001: fosc/4 3'b010: fosc/6 3'b011: fosc/8 3'b100: fosc/10 3'b101: fosc/12 3'b110: fosc/14 3'b111: fosc

26.4.21. 接收 FIFO 访问寄存器 CAN_RXFIFO(偏移: 0x80~0x17C)

比特	名称	正常模式	复位模式	复位值	描述
31:8	RSV	--	--	--	保留
7:0	RXFIFOx	RO	RW	0	接收 FIFO 字节 x (0~63)

26.4.22. 发送 FIFO 访问寄存器 CAN_TXFIFO(偏移: 0x180~0x1B0)

比特	名称	正常模式	复位模式	复位值	描述
31:8	RSV	--	--	-	保留
7:0	TXFIFOx	RO	RO	0	发送 FIFO 字节 x (0~12)

26.5. 使用流程

26.5.1. CAN 发送和接收

1、初始阶段

初始化 CAN 引脚，使能 CAN 模块时钟，复位 CAN 模块；

配置 CAN_MOD 寄存器，进入复位模式；

配置 CAN 通讯速率，通过时序寄存器 CAN_BTR0 和 CAN_BTR1 设置；

配置接收过滤模式和规则，通过 CAN_ACRx 和 CAN_AMRx 设置过滤规则，通过 CAN_MOD 设置过滤模式；

配置使能/禁止相应中断；

配置 CAN_MOD 寄存器，进入正常模式；

2、发送阶段

检查状态寄存器 CAN_SR 中发送状态；

将要发送的数据（包括长度、ID、Data)写入到发送缓存写寄存器 CAN_TXBUFFx 中；

使能命令寄存器 CAN_CMR 中的发送请求，开始发送数据；

等待状态寄存器 CAN_SR 中的发送完成置位，发送完成；

3、接收阶段

检查状态寄存器 CAN_SR 中接收缓存状态是否非空；

读取接收缓存读寄存器 CAN_RXBUFFx 中的数据（包括长度、ID、Data)，接收完成；

配置命令寄存器 CAN_CMR，释放接收缓存，等待下一次接收；

27. 液晶控制器（LCD）

27.1. LCD 简介

LCD 控制器是一款适用于单色无源液晶显示器(LCD)的数字控制器/驱动器，最多具有 8 个公用端子（COM）和 40 个区段端子（SEG），用以驱动 160(4x40)或 288(8x36)个 LCD 图像元素。端子的确切数量取决于数据手册中所述的器件引脚。

LCD 由若干区段（像素或完整符号）组成，这些区段均可点亮或熄灭。每个区段都包含一层在两根电极之间对齐的液晶分子。当向液晶施加高于阈值电压的电压时，相应的区段可见。区段电压必须为交流，以避免液晶中出现电泳效应（这将影响显示效果）。之后，必须在区段两端生成波形以避免出现直流。

注：ACM32FP0X 系列无 LCD 功能。

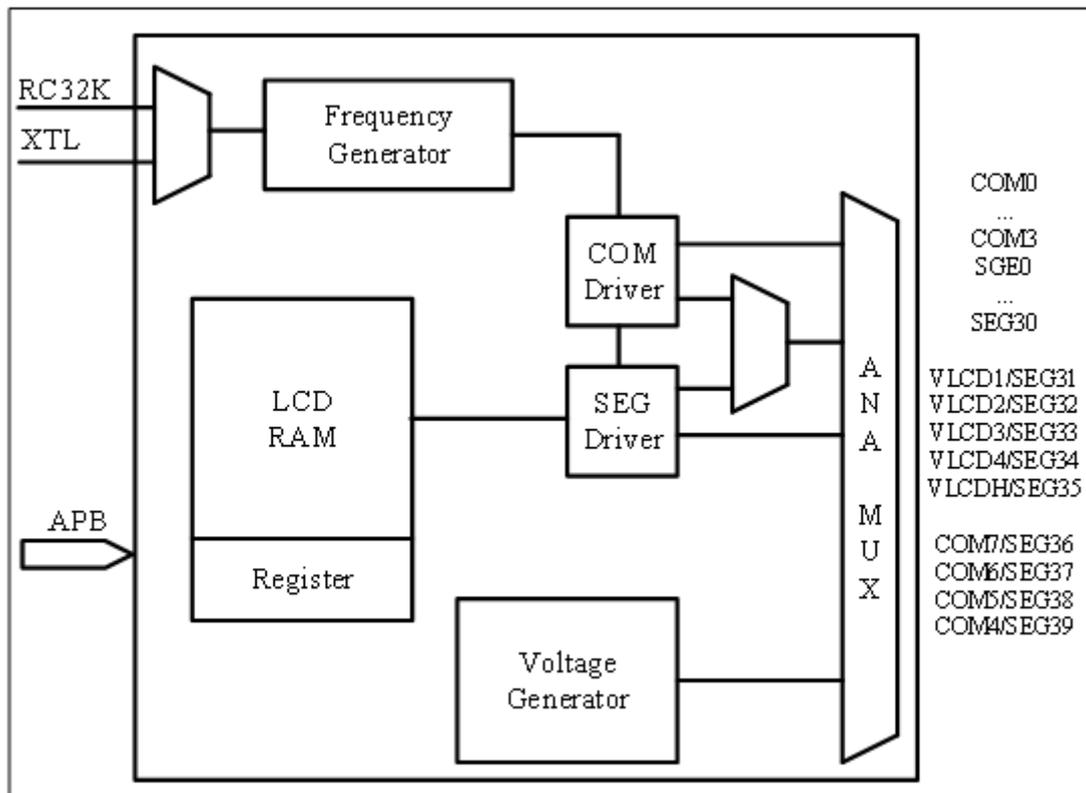
27.2. LCD 主要特性

- 高度灵活的帧速率控制
- 支持静态、1/2、1/3、1/4、1/6 和 1/8 占空比
- 支持 1/2、1/3、1/4 偏置
- 多达 16 个寄存器的 LCD 数据 RAM
- 可通过软件配置 LCD 的对比度
- 支持 A 类、B 类波形
- 2 种驱动波形生成方式
 - 内部电阻分压、外部电阻分压
 - 可选的滤波电容
 - 可通过软件配置内部电阻分压方式的功耗，从而匹配 LCD 面板所需的电容电荷
- 支持低功耗模式：LCD 控制器可在 Active、Sleep、Stop 模式下进行显示
- 可配置帧中断
- 支持 LCD 闪烁功能且可配置多种闪烁频率
- 未使用的 LCD 区段和公共引脚可配置为数字或模拟功能

27.3. 功能描述

27.3.1. LCD 框图

图 27-1 LCD 系统框图



27.3.2. LCD 驱动波形

为了保护 LCD 面板，LCD 控制器的驱动波形，每隔一段时间液晶两端的电压反向一次。LCD 控制器可以输出两种驱动波形：A 类和 B 类。A 类驱动波形中，COM 和 SEG 的电压差在一个 common 扫描周期内完成反向。B 类驱动波形中，COM 和 SEG 的电压差在两个 common 扫描周期内完成反向。

LCD 支持 5 种占空比（Duty）的驱动波形：静态、1/2、1/3、1/4、1/6 和 1/8，由 LCD_CR0.Duty 进行设置。LCD 支持 3 种偏置（Bias）的驱动波形 1/2、1/3 和 1/4，由 LCD_CR0.Bias 进行设置。建议的组合方式如下表所示：

表 27-1 LCD 偏压占空比组合

	1/2 Duty	1/3 Duty	1/4 Duty	1/6 Duty	1/8 Duty
1/2 偏压	√	√	√	不推荐	不推荐
1/3 偏压	√	√	√	√	√
1/4 偏压	不推荐	不推荐	√	√	√

如 1/6 占空比, 1/3 偏压时, 的 A/B 类波形示例波形图中, LCD_RAM0 数据为 0x01, COM0 和 SEG0 的电压差最大, 所以 COM0 和 SEG0 之间的液晶将被点亮。

图 27-2 1/6 占空比 1/3 偏压 A 类波形图

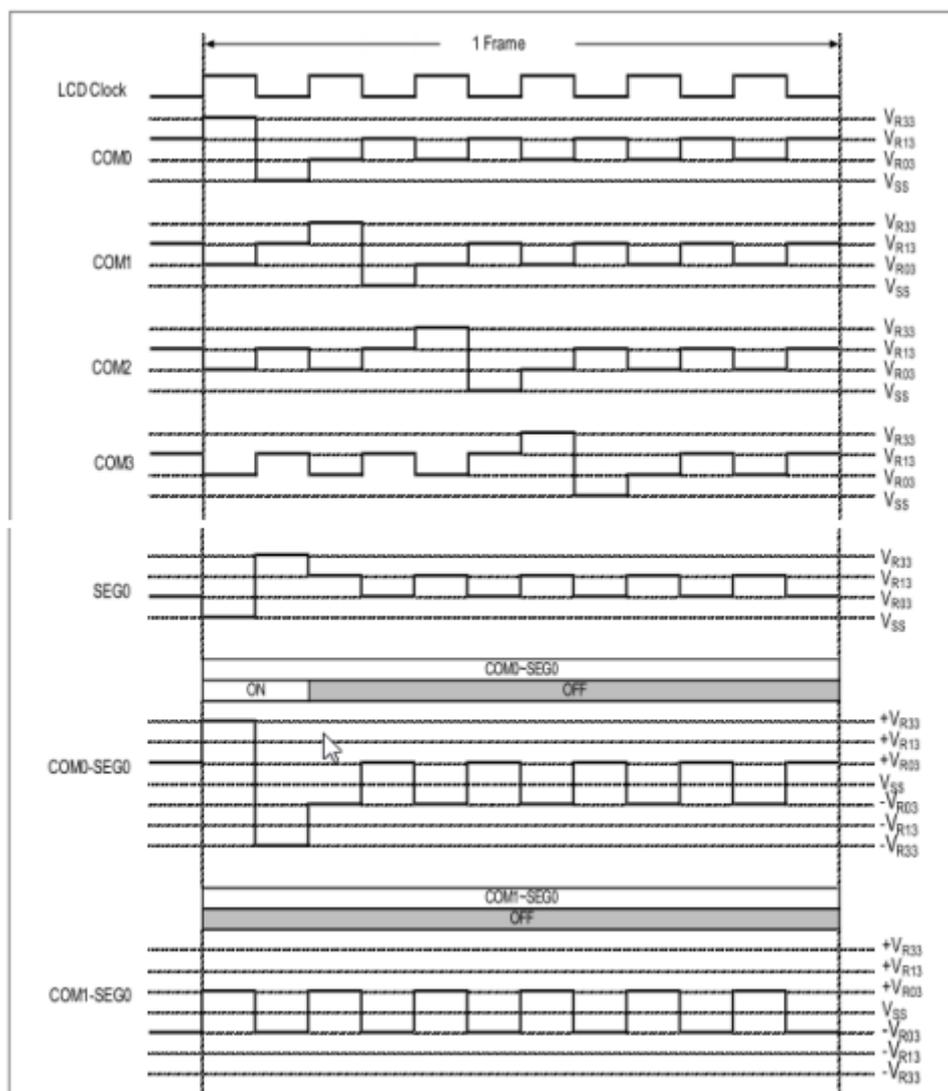
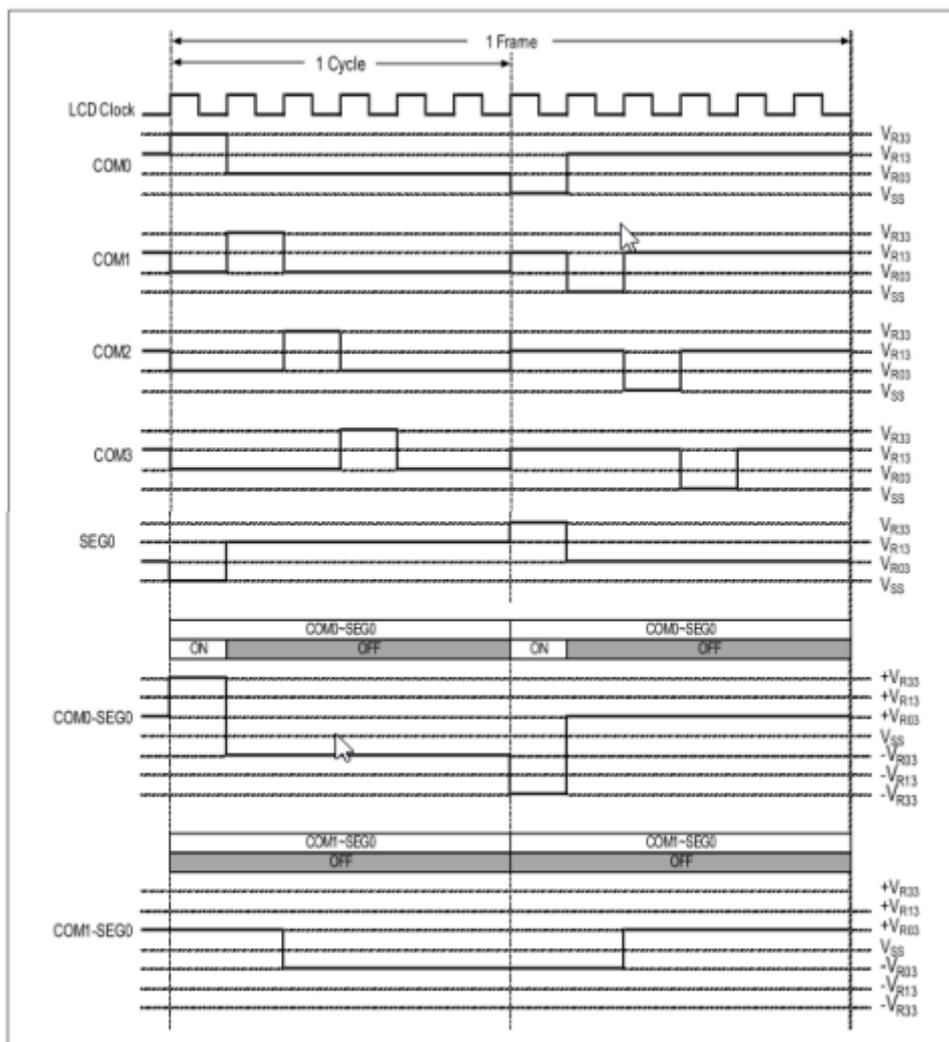


图 27-3 1/6 占空比 1/3 偏压 B 类波形图



27.3.3. LCD Bias 产生电路

LCD 的 Bias 电压共具有 2 种来源：内部电阻分压、外部电阻分压。当选择内部电阻分压时，芯片会自动切换内部的电路以产生符合 Bias 和 Duty 的电压。当选择外部电阻分压或外部电容分压时，需要用户在芯片的外围引脚搭建相关电路。且在两种分压模式时，还可选择是否要外接滤波电容，以得到更好的驱动效果。通过 LCD_CR0.MOD[1:0]选择，三种模式如下：

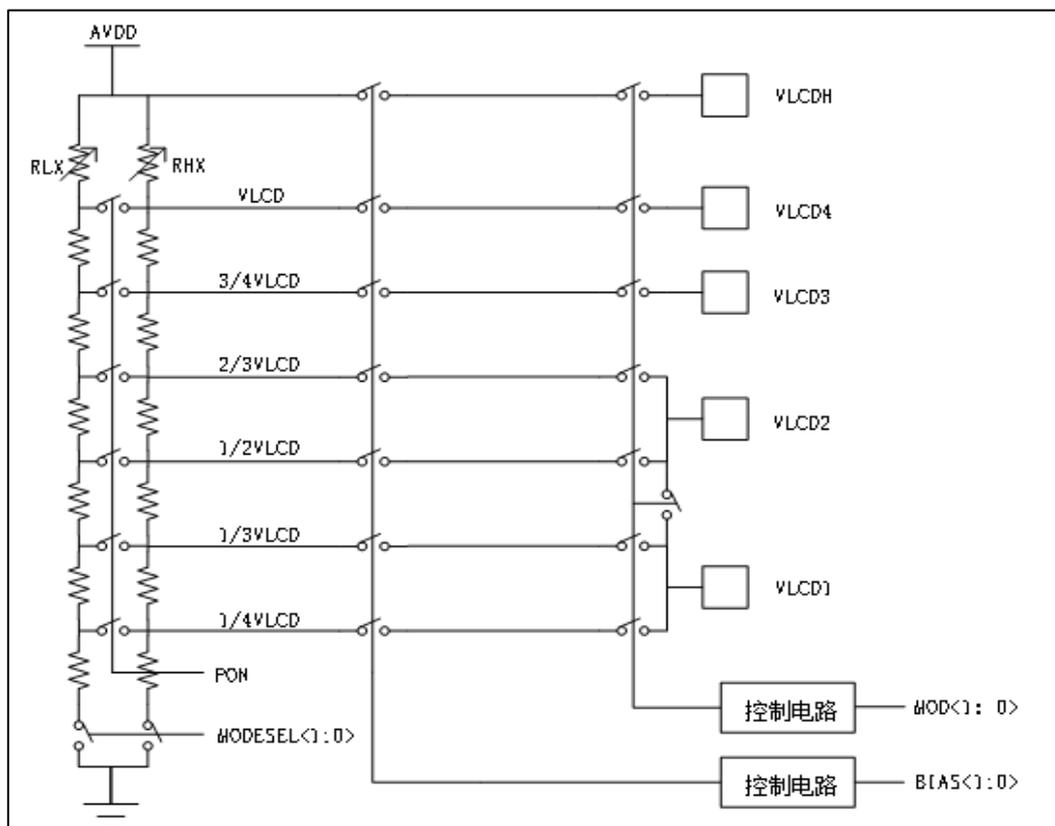
表 27-2 LCD Bias 模式选择表

LCD_CR0.MOD[1:0]	功能	说明
00	断开 SEG[35:31]到内部电阻的分压通道，SEG[35:31]做段码电极	内部电阻分压
01	闭合 SEG[35:31]到内部电阻的分压通道，此时可使用外接电容对偏置电压滤波	内部电阻分压+外接滤波电容，此时 SEG[35:31]用于外接电容，不可作为 SEG
10	断开 SEG[35:31]到内部电阻的分压通道，且闭合外部分压通道，此时可使用外部电阻网络提供偏置电压	外部电阻分压+外接滤波电容，此时 SEG[35:31]用于外接电容/电阻，不可作为 SEG

● 内部电阻分压

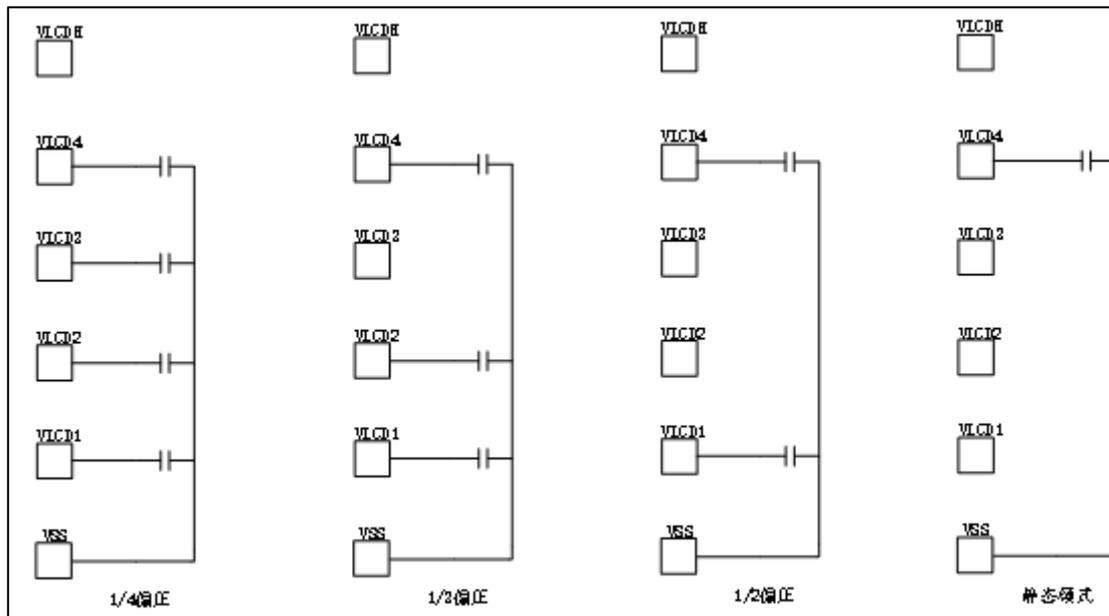
LCD 控制器内部集成了电阻分压电路，要使用内部电阻分压模式，寄存器 LCD_CR0 的 MOD 位需要写“00”或“01”。内部电阻分压电路示意如图所示。

图 27-4 内部电阻分压电路示意图



当寄存器 LCD_CR0 的 MOD 位写” 01 “时，使用内部电阻分压，可接外部电容对偏执电压滤波，不同偏压下的滤波电容连接示意图如图 5.2 所示。

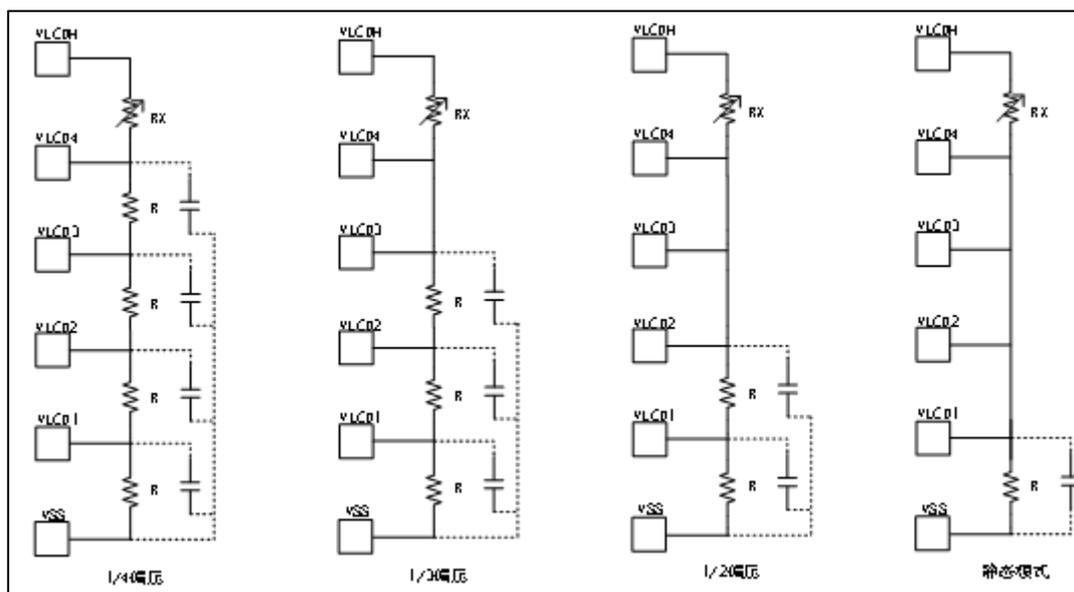
图 27-5 内部电阻模式外接滤波电容示意图



- 当使用内部电阻分压时，可以通过 LCD_CR0.CONTRAST[16:13]设置 LCD 对比度，通过调整 VLCD 和 VDD 的大小关系来调节 LCD 对比度强弱。
- 当使用内部电阻分压时，可以通过 LCD_CR1.RSEL 设置 LCD 内部电阻分压的偏置电阻大小
- 当使用内部电阻分压时，可以通过 LCD_CR1.MODSE[14:13]设置 LCD 内部电阻分压的驱动模式
- 当使用内部电阻分压时，LCD_CR1.MODSE[14:13]选择为快速充电模式且 LCD_CR1.FCC 快速充电控制
- 使能时，可以通过设置 LCD_CR1.PON[22:18]设置脉冲打开持续时间，较短的脉冲有助于降低功耗，但内部电阻较高的显示器可能需要更长的脉冲才能达到令人满意的对比度。
- 外部电阻分压

要使用外部电阻模式，寄存器 LCD_CR0 的 MOD 位需要写 “10”。外部电阻模式时，不同偏压对应的外部连接如图所示，其中分压电阻需根据不同 Bias 连接，滤波电容可根据需要选择添加。

图 27-6 外部电阻模式连接示意图



注：- Rx 为可调电阻，用于调节 LCD 屏幕亮度。

- 请根据使用的 LCD 屏幕选择合适的电阻 R。

27.3.4. DMA 请求

LCD 支持软件和硬件触发 DMA 数据传输，可以将需要显示的内容从 RAM 或 ROM 中自动搬到 LCD 显示 RAM 中。硬件触发使用的是帧中断信号，在不使能 LCD 中断情况下也可产生 DMA 请求。

27.3.5. LCD 中断

当 LCD 设置有效时，LCD 中断可以配置为帧数产生中断，通过配置 LCD_CR1.BLINKCNT[5:0]可配置帧中断产生的时间快慢。

27.3.6. LCD 闪屏

当 LCD 设置有效时，LCD 可以开启闪屏，通过配置 LCD_CR1.BLINKEN 选择开启/关闭使能，并通过 LCD_CR1.BLINKCNT[5:0]配置闪屏速率，在不使能 LCD 中断情况下也可产生 LCD 闪屏。

27.3.7. LCD 显示模式

LCD 支持两种显示模式。一种以 COM 为显示单元，同一个 SEG 的所有 COM 段在同一字节中（模式 0）。另外一种为同一个 COM 的不同 SEG 在同一字节中（模式 1）。根据 LCD 面板选择合适的显示方式可以简化程序操作。

- LCD 显示模式 1

图 27-7 1/8 占空比(模式 1)

	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	
COM0	SEG31	SEG30	SEG29	SEG28	SEG27	SEG26	SEG25	SEG24	SEG23	SEG22	SEG21	SEG20	SEG19	SEG18	SEG17	SEG16	SEG15	SEG14	SEG13	SEG12	SEG11	SEG10	SEG9	SEG8	SEG7	SEG6	SEG5	SEG4	SEG3	SEG2	SEG1	SEG0	LCDRAM0
COM1																																	LCDRAM1
COM2																																	LCDRAM2
COM3																																	LCDRAM3
COM4																																	LCDRAM4
COM5																																	LCDRAM5
COM6																																	LCDRAM6
COM7																																	LCDRAM7

图 27-14 1/6 占空比(模式 0)

Bit31 COM7	Bit30 COM6	Bit29 COM5	Bit28 COM4	Bit27 COM3	Bit26 COM2	Bit25 COM1	Bit24 COM0	Bit23 COM7	Bit22 COM6	Bit21 COM5	Bit20 COM4	Bit19 COM3	Bit18 COM2	Bit17 COM1	Bit16 COM0	Bit15 COM7	Bit14 COM6	Bit13 COM5	Bit12 COM4	Bit11 COM3	Bit10 COM2	Bit9 COM1	Bit8 COM0	Bit7 COM7	Bit6 COM6	Bit5 COM5	Bit4 COM4	Bit3 COM3	Bit2 COM2	Bit1 COM1	Bit0 COM0	
							SEG3								SEG2								SEG1								SEG0	LCDRAM0
							SEG7								SEG6									SEG5							SEG4	LCDRAM1
							SEG11								SEG10									SEG9							SEG8	LCDRAM2
							SEG15								SEG14									SEG13							SEG12	LCDRAM3
							SEG19								SEG18									SEG17							SEG16	LCDRAM4
							SEG23								SEG22									SEG21							SEG20	LCDRAM5
							SEG27								SEG26									SEG25							SEG24	LCDRAM6
							SEG31								SEG30									SEG19							SEG28	LCDRAM7
																															SEG32	LCDRAM8
																															SEG33	LCDRAM9
																															SEG34	LCDRAMA
																															SEG35	LCDRAMB
																															SEG36	LCDRAMC
																															SEG37	LCDRAMD
																															SEG38	LCDRAME
																															SEG39	LCDRAMF

图 27-15 1/4 占空比(模式 0)

Bit31 COM7	Bit30 COM6	Bit29 COM5	Bit28 COM4	Bit27 COM3	Bit26 COM2	Bit25 COM1	Bit24 COM0	Bit23 COM7	Bit22 COM6	Bit21 COM5	Bit20 COM4	Bit19 COM3	Bit18 COM2	Bit17 COM1	Bit16 COM0	Bit15 COM7	Bit14 COM6	Bit13 COM5	Bit12 COM4	Bit11 COM3	Bit10 COM2	Bit9 COM1	Bit8 COM0	Bit7 COM7	Bit6 COM6	Bit5 COM5	Bit4 COM4	Bit3 COM3	Bit2 COM2	Bit1 COM1	Bit0 COM0	
							SEG3								SEG2								SEG1								SEG0	LCDRAM0
							SEG7								SEG6									SEG5							SEG4	LCDRAM1
							SEG11								SEG10									SEG9							SEG8	LCDRAM2
							SEG15								SEG14									SEG13							SEG12	LCDRAM3
							SEG19								SEG18									SEG17							SEG16	LCDRAM4
							SEG23								SEG22									SEG21							SEG20	LCDRAM5
							SEG27								SEG26									SEG25							SEG24	LCDRAM6
							SEG31								SEG30									SEG19							SEG28	LCDRAM7
																															SEG32	LCDRAM8
																															SEG33	LCDRAM9
																															SEG34	LCDRAMA
																															SEG35	LCDRAMB
																															SEG36	LCDRAMC
																															SEG37	LCDRAMD
																															SEG38	LCDRAME
																															SEG39	LCDRAMF

图 27-16 1/3 占空比(模式 0)

Bit31 COM7	Bit30 COM6	Bit29 COM5	Bit28 COM4	Bit27 COM3	Bit26 COM2	Bit25 COM1	Bit24 COM0	Bit23 COM7	Bit22 COM6	Bit21 COM5	Bit20 COM4	Bit19 COM3	Bit18 COM2	Bit17 COM1	Bit16 COM0	Bit15 COM7	Bit14 COM6	Bit13 COM5	Bit12 COM4	Bit11 COM3	Bit10 COM2	Bit9 COM1	Bit8 COM0	Bit7 COM7	Bit6 COM6	Bit5 COM5	Bit4 COM4	Bit3 COM3	Bit2 COM2	Bit1 COM1	Bit0 COM0	
							SEG3								SEG2								SEG1								SEG0	LCDRAM0
							SEG7								SEG6									SEG5							SEG4	LCDRAM1
							SEG11								SEG10									SEG9							SEG8	LCDRAM2
							SEG15								SEG14									SEG13							SEG12	LCDRAM3
							SEG19								SEG18									SEG17							SEG16	LCDRAM4
							SEG23								SEG22									SEG21							SEG20	LCDRAM5
							SEG27								SEG26									SEG25							SEG24	LCDRAM6
							SEG31								SEG30									SEG19							SEG28	LCDRAM7
																															SEG32	LCDRAM8
																															SEG33	LCDRAM9
																															SEG34	LCDRAMA
																															SEG35	LCDRAMB
																															SEG36	LCDRAMC
																															SEG37	LCDRAMD
																															SEG38	LCDRAME
																															SEG39	LCDRAMF

图 27-17 1/2 占空比(模式 0)

Bit31 COM7	Bit30 COM6	Bit29 COM5	Bit28 COM4	Bit27 COM3	Bit26 COM2	Bit25 COM1	Bit24 COM0	Bit23 COM7	Bit22 COM6	Bit21 COM5	Bit20 COM4	Bit19 COM3	Bit18 COM2	Bit17 COM1	Bit16 COM0	Bit15 COM7	Bit14 COM6	Bit13 COM5	Bit12 COM4	Bit11 COM3	Bit10 COM2	Bit9 COM1	Bit8 COM0	Bit7 COM7	Bit6 COM6	Bit5 COM5	Bit4 COM4	Bit3 COM3	Bit2 COM2	Bit1 COM1	Bit0 COM0	
							SEG3								SEG2								SEG1								SEG0	LCDRAM0
							SEG7								SEG6									SEG5							SEG4	LCDRAM1
							SEG11								SEG10									SEG9							SEG8	LCDRAM2
							SEG15								SEG14									SEG13							SEG12	LCDRAM3
							SEG19								SEG18									SEG17							SEG16	LCDRAM4
							SEG23								SEG22									SEG21							SEG20	LCDRAM5
							SEG27								SEG26									SEG25							SEG24	LCDRAM6
							SEG31								SEG30									SEG19							SEG28	LCDRAM7
																															SEG32	LCDRAM8
																															SEG33	LCDRAM9
																															SEG34	LCDRAMA
																															SEG35	LCDRAMB
																															SEG36	LCDRAMC
																															SEG37	LCDRAMD
																															SEG38	LCDRAME
																															SEG39	LCDRAMF

图 27-18 静态(模式 0)

Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	
COM7	COM6	COM5	COM4	COM3	COM2	COM1	COM0	COM7	COM6	COM5	COM4	COM3	COM2	COM1	COM0	COM7	COM6	COM5	COM4	COM3	COM2	COM1	COM0	COM7	COM6	COM5	COM4	COM3	COM2	COM1	COM0	
							SEG3								SEG2								SEG1								SEG0	LCDRAM0
							SEG7								SEG6								SEG5								SEG4	LCDRAM1
							SEG11								SEG10								SEG9								SEG8	LCDRAM2
							SEG15								SEG14								SEG13								SEG12	LCDRAM3
							SEG19								SEG18								SEG17								SEG16	LCDRAM4
							SEG23								SEG22								SEG21								SEG20	LCDRAM5
							SEG27								SEG26								SEG25								SEG24	LCDRAM6
							SEG31								SEG30								SEG19								SEG28	LCDRAM7
																															SEG32	LCDRAM8
																															SEG33	LCDRAM9
																															SEG34	LCDRAMA
																															SEG35	LCDRAMB
																															SEG36	LCDRAMC
																															SEG37	LCDRAMD
																															SEG38	LCDRAME
																															SEG39	LCDRAMF

27.4. 寄存器描述

寄存器	偏移地址	描述
LCD_CR0	0x000	LCD 配置寄存器 0
LCD_CR1	0x004	LCD 配置寄存器 1
LCD_INTCLR	0x008	LCD 中断清除寄存器
LCD_POEN0	0x00C	LCD 输出配置寄存器
LCD_POEN1	0x010	LCD 输出配置寄存器
LCD_RAM0	0x040	LCD RAM0
LCD_RAM1	0x044	LCD RAM1
LCD_RAM2	0x048	LCD RAM2
LCD_RAM3	0x04C	LCD RAM3
LCD_RAM4	0x050	LCD RAM4
LCD_RAM5	0x054	LCD RAM5
LCD_RAM6	0x058	LCD RAM6
LCD_RAM7	0x05C	LCD RAM7
LCD_RAM8	0x060	LCD RAM8

LCD_RAM9	0x064	LCD RAM9
LCD_RAMA	0x068	LCD RAM10
LCD_RAMB	0x06C	LCD RAM11
LCD_RAMC	0x070	LCD RAM12
LCD_RAMD	0x074	LCD RAM13
LCD_RAME	0x078	LCD RAM14
LCD_RAMF	0x07C	LCD RAM15

27.4.1. 配置寄存器 0 (LCD_CR0 偏移: 0x00)

比特	名称	属性	复位值	描述
31: 18	RSV	-	-	保留
17	WSEL	RW	0x1	LCD 驱动波形选择 1: B 类波形 0: A 类波形 注: 在静态模式下该配置无效
16: 13	CONTRAST	RW	0x0	LCD 对比度调整 注: 仅当 Bias 电压来源选择内部电阻分压时有效。 0000: VLCD = 0.531VDD 0001: VLCD = 0.562VDD 0010: VLCD = 0.593VDD 0011: VLCD = 0.623VDD 0100: VLCD = 0.654VDD 0101: VLCD = 0.686VDD 0110: VLCD = 0.717VDD 0111: VLCD = 0.748VDD 1000: VLCD = 0.778VDD

				<p>1001: VLCD = 0.810VDD</p> <p>1010: VLCD = 0.840VDD</p> <p>1011: VLCD = 0.871VDD</p> <p>1100: VLCD = 0.903VDD</p> <p>1101: VLCD = 0.939VDD</p> <p>1110: VLCD = 0.969VDD</p> <p>1111: VLCD = 1.000VDD</p>										
12: 11	MOD	RW	0x0	<p>外接模式选择信号</p> <p>00: 断开 SEG[35:31]到内部电阻的分压通道, SEG[35:31]做段码电极;</p> <p>01: 闭合 SEG[35:31]到内部电阻的分压通道, 此时可使用外接电容对偏置电压滤波;</p> <p>10: 断开 SEG[35:31]到内部电阻的分压通道, 且闭合外部分压通道, 此时可使用外部电阻网络提供偏置电压;</p>										
10	RSV	-	-	保留										
9: 7	DUTY	RW	0x0	<p>LCD duty 配置</p> <p>000: 静态</p> <p>001: 1/2 duty</p> <p>010: 1/3 duty</p> <p>011: 1/4 duty</p> <p>100: Reserved</p> <p>101: 1/6 duty</p> <p>110: Reserved</p> <p>111: 1/8 duty</p> <table border="1" data-bbox="730 1691 1437 2022"> <thead> <tr> <th>duty</th> <th>PAD</th> <th>FUNCTION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">1/4 duty</td> <td>COM4SEG39PAD</td> <td>SEG39</td> </tr> <tr> <td>COM5SEG38PAD</td> <td>SEG38</td> </tr> <tr> <td>COM6SEG37PAD</td> <td>SEG37</td> </tr> </tbody> </table>	duty	PAD	FUNCTION	1/4 duty	COM4SEG39PAD	SEG39	COM5SEG38PAD	SEG38	COM6SEG37PAD	SEG37
duty	PAD	FUNCTION												
1/4 duty	COM4SEG39PAD	SEG39												
	COM5SEG38PAD	SEG38												
	COM6SEG37PAD	SEG37												

					COM7SEG36PAD	SEG36
				1/6 duty	COM4SEG39PAD	COM4
					COM5SEG38PAD	COM5
					COM6SEG37PAD	SEG37
					COM7SEG36PAD	SEG36
				1/8 duty	COM4SEG39PAD	COM4
					COM5SEG38PAD	COM5
					COM6SEG37PAD	COM6
					COM7SEG36PAD	COM7
6: 5	BIAS	RW	0x0	LCD Bias 配置 00: 1/2 偏压 01: 1/3 偏压 10: 1/4 偏压 11: Reserved 注：在静态模式下该配置无效		
4	STATIC	RW	0x0	静态模式选择信号： 当 DUTY 选择静态时， 0: 开启普通功耗静态模式，VLCD 给电极充电 1: 开启低功耗静态模式，VCC 给电极充电，该模式下对比度不可调节 当 DUTY 选择非静态时，该位必须设置为 0		
3	RSV	-	-	保留		
2: 1	LCDCLK	RW	0x0	LCD 扫描频率选择 00: 64Hz (512 分频) 01: 128Hz (256 分频) 10: 256Hz (128 分频)		

				11: 512Hz (64 分频) 注: LCD 帧频率 = LCD 扫描频率×Duty
0	LCDEN	RW	0x0	LCD 使能控制 1: 使能 0: 禁止

27.4.2. 配置寄存器 1 (LCD_CR1 偏移: 0x04)

比特	名称	属性	复位值	描述
31: 16	RSV	-	-	保留
22: 18	PON	RW	0x0	脉冲打开持续时间 (Pulse ON duration) 这些位通过软件写入, 用于根据 32k 时钟, 定义脉冲持续时间。较短的脉冲有助于降低功耗, 但内部电阻较高的显示器可能需要更长的脉冲才能达到令人满意的对比度。 请注意, 脉冲长度永远不会超过 LCD 扫描时钟周期的一半。 PON 持续时间 = PON/32.768 秒 仅在 LCD_CR0.MOD[1:0]为 00/01 且 FCC 使能时有效
17:16	RSV	-	-	保留
15	RSEL	RW	0x0	偏置电阻选择 1: 偏置电阻为 4M 0: 偏置电阻为 240K 仅在 LCD_CR0.MOD[1:0]为 00/01 时有效
14: 13	MODSEL[1:0]	RW	0x0	驱动模式选择位 00: 传统电阻型模式, 偏置电阻总和为 240k/4M 01: 传统电阻型模式, 偏置电阻总和为 60k 10: 快速充电模式, 偏置电阻总和自动在 60k 和

				240k/4M 之间切换 11: 保留 仅在 LCD_CR0.MOD[1:0]为 00/01 时有效
12	FCC	RW	0x0	快速充电控制 此位仅在 MODSEL 配置为快速充电模式下有效，且必须配置为 1，开关闭合的脉冲数可通过 PON[4:0]位进行设置 仅在 LCD_CR0.MOD[1:0]为 00/01 时有效
11	INTF	RO	0x0	中断标志 1: 中断 0: 无中断
10	DMAEN	RW	0x0	DMA 硬件触发使能 1: 使能 LCD 中断触发 DMA, 0: 禁止 LCD 中断触发 DMA
9	IE	RW	0x0	中断使能 1: 使能 0: 禁止
8	MODE	RW	0x0	LCD RAM 显示模式选择 0 模式 0 1 模式 1
7	RSV	-	-	保留
6	BLINKEN	RW	0x0	LCD 闪屏配置 1: 使能 0: 禁止
5: 0	BLINKCNT	RW	0x0	闪屏频率与 LCD 中断间隔设置 注: LCD 闪烁频率为 $\text{LCD 帧频率} / (\text{BlinkCnt}+1)$ LCD 中断间隔 = $(\text{BlinkCnt}+1) * (1/\text{LCD 帧频率})$

27.4.3. 中断清除寄存器 (INTCLR 偏移: 0x08)

比特	名称	属性	复位值	描述
31: 11	RSV	-	-	保留
10	INTF	R1W0	0x1	中断标志清除, 写 0 清除, 写 1 无效
9: 0	RSV	-	-	保留

27.4.4. 输出配置寄存器 0 (LCD_POEN0 偏移: 0x0C)

比特	名称	属性	复位值	描述
31: 0	Sx	RW	0xFFFFFFFF	Segx 输出控制位 0: SEG 输出使能 1: SEG 输出关闭, 可以使用其他功能, 如 IO, 模拟输入输出

27.4.5. 输出配置寄存器 1 (LCD_POEN1: 0x10)

比特	名称	属性	复位值	描述
31: 12	RSV	-	-	保留
11: 8	Cx	RW	0xF	COM3-0 输出控制位 0: COM 输出使能 1: COM 输出关闭, 可以使用其他功能, 如 IO, 模拟输入输出
7: 4	SxCy	RW	0xF	Segx/COMy 输出控制位 0: SEG/COM 输出使能 1: SEG/COM 输出关闭, 可以使用其他功能, 如 IO, 模拟输入输出 SEG COM 引脚功能选择由 CR0.DUTY 决定
3: 0	Sx	RW	0xF	Seg35-32 输出控制位

				0: SEG 输出使能 1: SEG 输出关闭, 可以使用其他功能, 如 IO, 模拟输入输出
--	--	--	--	--

VLCDXSEGXPAD 状态描述		寄存器如何配置	
		MOD	Sx
选择内部电阻 工作模式	VLCDHSEG35=SEG35/IO	00	0x0: SEG 输出 0x1f: IO 功能
	VLCDHSEG34=SEG34/IO		
	VLCDHSEG33=SEG33/IO		
	VLCDHSEG32=SEG32/IO		
	VLCDHSEG31=SEG31/IO		
选择内部电阻 工作模式, 且外接 电容滤波	VLCDXSEGX 外接电容	01	XXXXXX
选择外部电阻 工作模式, 内部电 阻断路	VLCD35SEG35=VLCDH	10	XXXXXX
	VLCD34SEG34=VLCD4		
	VLCD33SEG33=VLCD3		
	VLCD32SEG32=VLCD2		
	VLCD31SEG31=VLCD1		

注: 当 MOD 为 11 时, 内外部分压通道都断开。当 SEG 和 COM 控制位配置为 0 时, COM 和 SEG 输出使能; 配置为 1 时, COM 和 SEG 可以用做 IO

27.4.6. LCD_RAM0~7 (LCD_RAM0~7 偏移: 0x40~0x5C)

比特	名称	属性	复位值	描述
----	----	----	-----	----

31: 0	Dx	RW	无	LCD 点输出，显示参考 LCD 显示模式 0 对应的 SEG COM 交叉点不亮；1 对应的 SEG COM 交叉点亮；
-------	----	----	---	--

27.4.7. LCD_RAM8~F (LCD_RAM8~F 偏移: 0x60~0x7C)

比特	名称	属性	复位值	描述
31: 8	RSV	-	-	保留
7: 0	Dx	RW	0x0	LCD 点输出，显示参考 LCD 显示模式 0 对应的 SEG COM 交叉点不亮；1 对应的 SEG COM 交叉点亮；

27.5. 使用流程

27.5.1. 驱动 LCD

- 1.根据 LCD 显示屏初始化 GPIO，使能相应的 SEG/COM，使能 LCD 模块时钟/中断；
- 2.根据 LCD 显示屏设置合适的占空比/偏压/频率/显示模式等配置；
- 3.选择合适的分压模式，并搭建相应的外部电路；
- 4.使能 LCD 模块，向 LCD_RAM 中写入相应的数值开始驱动显示。

28. CRC 计算单元

28.1. 概述

循环冗余校验(Cyclic Redundancy Check CRC)是一种根据数据产生简短固定位数校验码的一种散列函数,主要利用除法及余数的原理来检测或校验数据传输或者保存后可能出现的错误。CRC 硬件电路支持用户设置 CRC 初值,结果异或值,输入输出数据正反向,并且支持配置 7/8/16/32 位多项式。

28.2. 主要特性

- 支持设置 7/8/16/32 位多项式及其正反向设置;
- 支持 8/16/32 位数据输入输出及其正反向设置;
- 支持设置 CRC 初值和结果异或值及其正反向设置;

28.3. 寄存器描述

CRC 寄存器基地址: 0x40010c00

28.3.1. 数据寄存器/ CRC_DATA (偏移: 00h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:0	DATA	RW	0	<p>写: 写入需要进行 CRC 校验计算的数据, 如需要校验的数据是多个字节数据只需按顺序逐次写入</p> <p>读: 读出 CRC 计算结果, 写入的数据无法再次读出, 读操作返回的是上一次 CRC 计算的结果</p>

28.3.2. 控制寄存器/ CRC_CTRL (偏移: 04h)

比特	名称	属性	复位值	描述
----	----	----	-----	----

31:11	RSV	-	-	保留
10	PLOY_REV	RW	0	多项式是否进行高低位倒序 0: 不倒序 1: 倒序
9	OUTXOR_REV	RW	0	结果异或值是否进行高低位倒序 0: 不倒序 1: 倒序
8	INITIAL_REV	RW	0	CRC 初始值是否进行高低位倒序 0: 不倒序 1: 倒序
7	RSLT_REV	RW	0	CRC 计算结果是否进行高低位倒序 0: 不倒序 1: 倒序
6:5	DATA_REV	RW	0	CRC 计算数据是否进行高低位倒序 0: 输入数据不倒序 1: 输入数据按字节倒序 2: 输入数据按半字倒序 3: 输入数据按字倒序
4:3	PLOY_LEN	RW	0	多项式长度 0: 32 位 1: 16 位 2: 8 位 3: 7 位
2:1	DATA_LEN	RW	0	数据寄存器有效数据字节长度 0: 1 个字节 1: 2 个字节 2: 3 个字节 3: 4 个字节
0	RST	RW	0	写 1 复位 CRC_DATA 寄存器, CRC_DATA 寄存器将自动初始化为 CRC_INIT 寄存器中的值

28.3.3. 初始值寄存器/ CRC_INIT (偏移: 08h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:0	INIT	RW	0	写入 CRC 初始值

28.3.4. 结果异或值寄存器/ CRC_OUTXOR (偏移: 10h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:0	OUTXOR	RW	0	写入结果异或值

28.3.5. 多项式寄存器/ CRC_POLY (偏移: 14h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:0	POLY	RW	0x04C11DB7	写入多项式值， 同时需要配置 CTRL[4: 3]

28.3.6. 独立数据寄存器/CRC_FDATA (偏移: 18h)

比特	名称	属性	复位值	描述
31:0	DATA	RW	0	独立数据寄存器位，这些位与 CRC 计算无关，可以给任何其他外设用于其他目的。

28.4. 使用流程

1. 设置控制寄存器 CRC_CTRL，选择多项式长度和有效数据字节长度以及是否逆序；
2. 往多项式寄存器 CRC_POLY 写入多项式；
3. 往初始值寄存器 CRC_INIT 写入初始值，如果初始值为 0，此步可省略；
4. 往结果异或寄存器 CRC_OUTXOR 写入结果异或值，如果初始值为 0，此步可省略；
5. 向 CRC_DATA 中依次写入 8/16/32 位 CRC 计算数据；
6. 写完之后即可读 CRC_DATA，将一次返回 CRC 计算结果。

29. 算法库

29.1. 数据类型

算法库中的数据类型定义如下：

```
typedef unsigned char UINT8;
```

```
typedef unsigned int  UINT32;
```

即 UINT8 表示 8 位无符号数，UINT32 表示 32 位无符号数。

29.2. HRNG

29.2.1. 主要特性

- 内含可靠噪声振荡器；
- 符合国际 FIPS-140-2 和 NIST SP800-22 测试标准；
- 符合国密局《随机数检测规范》测试标准；

29.2.2. 库文件说明

HRNG 模块需要的库及头文件如下：

HAL_HRNG.lib	实现取随机数操作
HAL_HRNG.h	HAL_HRNG.lib 对应的头文件

HRNG 库需要的资源如下：

库大小	224(字节)
全局变量	无
堆栈大小	200(字节)

29.3. AES

29.3.1. 主要特性

- 支持 AES 加密和解密运算
- 支持 ECB 模式和 CBC 模式
- 数据输入和输出支持 SWAP 模式，即大小端可配置
- 支持 128/192/256 bit 密钥长度

29.3.2. 库文件说明

表格 29-1 库文件说明

HAL_AES.lib	实现 AES 加解密运算
HAL_AES.h	源文件对应的头文件

29.3.3. 注意事项

1) 如果输入 AES 模块进行加解密运算的数据为 32bit 数组，高 32 位字数据存储于数组的低位元素中，每个字以大端方式存放，举例如下：

设待加密数据为：0x112233445566778899aabbccddeeff00

则输入 AES 模块进行运算的数组为：

```
UINT32 plain_text[4] = {0x11223344, 0x55667788, 0x99aabbcc, 0xdddeeff0};
```

如果使能 SWAP 模式，则输入 AES 模块进行运算的数组为：

```
UINT32 plain_text [4]= {0x44332211, 0x88776655, 0xccbbaa99, 0x00ffeedd};
```

输出数据格式与输入相同。

2) 如果输入 AES 模块进行加解密运算的数据为 8bit 数组，举例如下：

设待加密数据为：0x112233445566778899aabbccddeeff00

则输入 AES 模块进行运算的数组为：

```
UINT8 plain_text[16] = {0x11,0x22,0x33,0x44,0x55,0x66,0x77,0x88,0x99,0xaa,0xbb,
0xcc,0x dd,0xee,0xff,0x00};
```

如果使能 SWAP 模式，则输入 AES 模块进行运算的数组为：

```
UINT8 plain_text [16]= {0x44,0x33,0x22,0x11,0x88,0x77,0x66,0x55,0xcc,0xbb,0xaa,0x99,
0x00, 0xff, 0xee, 0xdd};
```

输出数据格式与输入相同。

3) SWAP 模式对密钥、初始向量、输入数据、输出数据同时有效。