



复旦微电子

FM33A048D

低功耗 MCU 芯片

产品说明书 V1.1

2024. 08

产品说明书版本列表

版本号	发布日期	页数	章节或图表	更改说明
1.0	2023.09			首次发布
1.1	2024.08		1.4.2 28.3	修改 VDD15 管脚描述：串 100 欧+1uF 电容； 增加芯片 UID 访问地址描述；



本资料是为了让用户根据用途选择合适的上海复旦微电子集团股份有限公司（以下简称复旦微电子）的产品而提供的参考资料，不保证其中不含任何瑕疵，不转让属于复旦微电子或者第三者所有的知识产权以及其他权利的许可。

在使用本资料所记载的信息最终做出有关信息和产品是否适用的判断前，请您务必将所有信息作为一个整体系统来进行评价。

采购方对于选择与使用本文描述的复旦微电子的产品和服务全权负责，复旦微电子不承担采购方选择与使用本文描述的产品和服务的责任。除非以书面形式明确地认可，复旦微电子的产品不推荐、不授权、不担保用于包括军事、航空、航天、救生及生命维持系统在内的，由于失效或故障可能导致人身伤亡、严重的财产或环境损失的产品或系统中。

未经复旦微电子的许可，不得翻印或者复制全部或部分本资料的内容。

今后日常的产品更新会在适当的时候发布，恕不另行通知。在购买本资料所记载的产品时，请预先向复旦微电子在当地的销售办事处确认最新信息，并请您通过各种方式关注复旦微电子公布的信息，包括复旦微电子的网站(<http://www.fmsh.com/>)。

如果您需要了解有关本资料所记载的信息或产品的详情，请与上海复旦微电子集团股份有限公司在当地的销售办事处联系。

商 标

上海复旦微电子集团股份有限公司的公司名称、徽标以及“复旦”徽标均为上海复旦微电子集团股份有限公司及其分公司在中国的商标或注册商标。

上海复旦微电子集团股份有限公司在中国发布，版权所有。

章节列表

产品说明书版本列表	2
章节列表	4
表目录	16
图目录	17
1 产品综述	19
1.1 概述	19
1.2 产品型号列表	20
1.3 性能指标	20
1.3.1 极限参数	20
1.3.2 电参数	21
1.4 引脚和封装定义	26
1.4.1 LQFP80 封装图	26
1.4.2 引脚功能定义	27
1.4.3 功能引脚分布	32
1.4.1 PA 引脚组数字外设功能	34
1.4.2 PB 引脚组数字外设功能	35
1.4.3 PC 引脚组数字外设功能	35
1.4.4 PD 引脚组数字外设功能	36
1.4.5 PE 引脚组数字外设功能	36
1.4.6 PF 引脚组数字外设功能	36
1.4.7 PG 引脚组数字外设功能	37
1.4.8 封装尺寸图	37
1.5 焊接安装说明	39
2 电源管理	41
2.1 功耗模式	41
2.1.1 功耗模式与外设功能	41
2.1.2 LP Run 模式	42
2.1.3 SLEEP 模式	42
2.1.4 DEEPSLEEP 模式	42
2.1.5 唤醒源	42
2.1.6 休眠唤醒后的时钟控制	43
2.2 寄存器	43
2.2.1 低功耗控制寄存器	43
2.2.2 唤醒时间控制寄存器	44
2.2.3 引脚唤醒标志寄存器	45
2.2.4 PMU 中断使能寄存器	46
2.2.5 PMU 中断标志寄存器	46
3 CPU	48
3.1 概述	48
3.1.1 处理器配置	48
3.2 编程模型	48
3.2.1 内核工作模式	48
3.2.2 内核寄存器	48
3.2.3 系统控制寄存器	49
3.3 异常和中断	49



3.3.1	中断向量表.....	50
3.3.2	中断优先级.....	51
3.3.3	错误处理.....	51
3.3.4	锁定 (Lockup)	51
3.3.5	VTOR	51
3.4	调试特性.....	52
3.4.1	调试功能引脚.....	52
3.4.2	调试状态下的看门狗控制.....	52
3.4.3	DEBUG 的复位.....	52
3.5	扩展寄存器.....	53
3.5.1	MCU DEBUG 配置寄存器.....	53
3.5.2	HardFault 标志寄存器.....	54
4	总线与存储.....	56
4.1	系统总线.....	56
4.2	存储空间分配.....	56
4.3	FLASH 读取.....	57
4.4	FLASH 编程.....	57
4.4.1	概述.....	57
4.4.2	Flash 擦写方法.....	58
4.5	FLASH 的内容保护.....	60
4.5.1	Debug 接口保护 (DBRDP)	60
4.5.2	应用代码保护 (ACLOCK)	60
4.5.3	Flash 访问权限说明.....	60
4.6	NVR13 说明.....	61
4.7	寄存器.....	61
	Flash 读取控制寄存器.....	61
	用户配置寄存器.....	61
	代码锁定寄存器 1.....	61
	Flash 擦写控制寄存器.....	61
	Flash Key 输入寄存器.....	61
	Flash 中断使能寄存器.....	61
	Flash 中断标志寄存器.....	61
4.7.1	Flash 读取控制寄存器.....	61
4.7.2	用户配置字寄存器.....	62
4.7.3	ACLOCK 寄存器 1.....	63
4.7.4	Flash 擦写控制寄存器.....	63
4.7.5	Flash Key 输入寄存器.....	64
4.7.6	Flash 中断使能寄存器.....	64
4.7.7	Flash 中断标志寄存器.....	65
5	复位.....	66
5.1	概述.....	66
5.2	模块框图.....	66
5.3	上下电复位 (BOR+PDR)	66
5.4	独立看门狗 (IWDG)	67
5.4.1	概述.....	67
5.4.2	IWDG 操作.....	67
5.5	窗口看门狗 (WWDG) 复位.....	68
5.5.1	功能描述.....	68
5.5.2	WWDG 工作方式.....	68
5.6	软件复位.....	69
5.7	NRST 引脚复位.....	70
5.8	寄存器.....	70



5.8.1	PDR 配置寄存器.....	70
5.8.2	BOR 配置寄存器.....	71
5.8.3	复位配置寄存器.....	71
5.8.4	软件复位寄存器.....	72
5.8.5	复位标志寄存器.....	72
5.8.6	外设复位使能寄存器 (RMU_PRSTEN).....	73
5.8.7	AHB 外设复位寄存器 (RMU_AHBRSST).....	74
5.8.8	APB 外设复位寄存器 1 (RMU_APBRSST1).....	74
5.8.9	APB 外设复位寄存器 2 (RMU_APBRSST2).....	76
5.8.10	APB 外设复位寄存器 3 (RMU_APBRSST3).....	77
5.8.11	IWDT 清除寄存器.....	77
5.8.12	IWDT 配置寄存器.....	78
5.8.13	IWDT 计数值寄存器.....	78
5.8.14	WWDT 控制寄存器.....	79
5.8.15	WWDT 配置寄存器.....	79
5.8.16	WWDT 计数寄存器.....	80
5.8.17	WWDT 中断使能寄存器.....	80
5.8.18	WWDT 中断标志寄存器.....	81
5.8.19	WWDT 预分频寄存器.....	81
6	时钟与振荡器.....	83
6.1	概述.....	83
6.2	模块框图.....	83
6.3	高频 RC 振荡器(RCHF).....	84
6.4	高频晶体振荡电路(XTHF).....	84
6.4.1	概述.....	84
6.4.2	工作方式.....	84
6.4.3	停振检测 (HFDET).....	84
6.4.4	XTHF 启动过程.....	84
6.5	低功耗 RC 振荡器(RCLP).....	84
6.6	低频 RC 振荡器(RCLF).....	84
6.7	低频晶体振荡电路(XTLF).....	85
6.7.1	概述.....	85
6.7.2	工作方式.....	85
6.7.3	停振检测.....	85
6.8	锁相环(PLL).....	85
6.9	寄存器.....	85
6.9.1	停振检测中断使能寄存器.....	86
6.9.2	停振检测中断标志寄存器.....	86
6.9.3	系统时钟配置寄存器.....	87
6.9.4	RCHF 时钟控制寄存器.....	88
6.9.5	RCHF 调校寄存器.....	89
6.9.6	PLL 时钟控制寄存器.....	89
6.9.7	RCLP 时钟控制寄存器.....	90
6.9.8	RCLP 调校寄存器.....	91
6.9.9	XTLF 振荡强度配置寄存器.....	91
6.9.10	外设时钟控制寄存器 1.....	92
6.9.11	外设时钟控制寄存器 2.....	93
6.9.12	外设时钟控制寄存器 3.....	93
6.9.13	外设时钟控制寄存器 4.....	94
6.9.14	外设时钟控制寄存器 5.....	95
6.9.15	AHB Master 控制寄存器.....	96
6.9.16	RCLF 时钟控制寄存器.....	96



6.9.17	RCLF 调校寄存器.....	97
6.9.18	XTHF 控制寄存器.....	97
7	电源电压监测 (SVD)	99
7.1	概述	99
7.2	工作原理	99
7.3	应用说明	100
7.4	寄存器	100
7.4.1	SVD 配置寄存器.....	100
7.4.2	SVD 控制寄存器.....	101
7.4.3	SVD 状态和标志寄存器.....	102
7.4.4	SVD 参考电压选择寄存器.....	102
8	AES 硬件运算单元.....	104
8.1	功能描述	104
8.2	工作模式	104
8.3	AES 数据流处理模式	104
8.3.1	ECB 模式.....	104
8.3.2	CBC 模式.....	105
8.3.3	暂停模式.....	107
8.3.4	CTR 模式.....	107
8.3.5	CTR 模式下的暂停模式.....	109
8.3.6	GCM 模式.....	109
8.3.7	MultH 模块.....	111
8.3.8	推荐的GCM 流程.....	112
8.4	数据类型	112
8.5	工作流程	114
8.5.1	模式1: 加密.....	114
8.5.2	模式2: 密钥扩展.....	115
8.5.3	模式3: 解密.....	115
8.5.4	模式4: 密钥扩展+解密.....	116
8.5.5	使用MultH 模块.....	116
8.6	错误标志	117
8.7	寄存器	117
8.7.1	AES 控制寄存器 (AES_CR)	118
8.7.2	AES 中断使能寄存器 (AES_IER)	119
8.7.3	AES 中断标志寄存器 (AES_ISR)	119
8.7.4	AES 数据输入寄存器 (AES_DIR)	120
8.7.5	AES 数据输出寄存器 (AES_DOR)	120
8.7.6	AES 密钥寄存器 (AES_KEYx)	121
8.7.7	AES 初始向量寄存器 (AES_IVRx)	121
8.7.8	AES MultH 参数寄存器 (AES_Hx)	122
9	随机数发生器 (TRNG)	123
9.1	概述	123
9.2	设计方案	123
9.2.1	随机数产生.....	123
9.2.2	CRC 运算.....	123
9.3	寄存器	124
9.3.1	TRNG 控制寄存器.....	124
9.3.2	随机数/CRC 结果输出寄存器.....	125
9.3.3	RNG 中断标志寄存器.....	125
9.3.4	CRC 控制寄存器.....	126
9.3.5	CRC 输入数据寄存器.....	126



9.3.6	CRC 完成标志寄存器	127
10	模拟比较器 (COMPARATOR)	128
10.1	概述	128
10.2	结构框图	128
10.3	输出连接	128
10.4	寄存器	129
10.4.1	COMP1 控制寄存器	129
10.4.2	COMP2 控制寄存器	129
10.4.3	COMP 中断配置寄存器	130
10.4.4	COMP 中断标志寄存器	131
11	I²C	132
11.1	概述	132
11.2	接口时序	132
11.2.1	接口时序图	132
11.2.2	接口时序描述	133
11.3	I ² C 工作流程	134
11.3.1	数据发送流程	134
11.3.2	数据接收流程	135
11.3.3	数据双向数据读写流程	136
11.3.4	DMA 支持	136
11.4	I ² C 配置	138
11.4.1	IO 配置	138
11.4.2	波特率配置	138
11.5	寄存器	139
11.5.1	I2C 控制寄存器	139
11.5.2	I2C 状态寄存器	140
11.5.3	I2C 波特率设置寄存器	141
11.5.4	I2C 收发缓冲寄存器	142
11.5.5	I2C 中断寄存器	142
11.5.6	I2C 错误标志寄存器	143
12	UART	144
12.1	概述	144
12.2	接口时序	144
12.3	工作流程	145
12.3.1	数据发送流程	145
12.3.2	数据接收流程	146
12.4	波特率发生	146
12.4.1	波特率发生	146
12.4.2	波特率自适应	147
12.5	红外调制	147
12.6	寄存器	148
12.6.1	中断允许寄存器 UARTIE	149
12.6.2	中断标志寄存器 UARTIF	150
12.6.3	红外调制配置寄存器 IRCON	152
12.6.4	接收状态控制寄存器 RXSTAx	152
12.6.5	发送状态控制寄存器 TXSTAx	153
12.6.6	接收缓存寄存器 RXREGx	154
12.6.7	发送缓存寄存器 TXREGx	154
12.6.8	波特率产生寄存器 SPBRGx	155
12.6.9	发送 Buffer 状态控制寄存器 TXBUFSTAx	155
12.6.10	接收 Buffer 状态控制寄存器 RXBUFSTAx	156



12.6.11	接收发送取反控制寄存器 RTXCONx	157
13	LPUART	158
13.1	概述	158
13.2	结构框图	158
13.3	接口时序	159
13.4	软件应用指南	159
13.4.1	接收流程	159
13.4.2	发送流程	159
13.4.3	调制寄存器建议配置	159
13.4.4	休眠模式下的数据接收唤醒	160
13.4.5	LPRUN 模式下的数据自动收发	160
13.5	寄存器	160
13.5.1	接收数据寄存器	161
13.5.2	发送数据寄存器	161
13.5.3	状态标志寄存器	162
13.5.4	控制寄存器	162
13.5.5	中断标志寄存器	163
13.5.6	波特率寄存器	164
13.5.7	发送接收使能寄存器	165
13.5.8	数据匹配寄存器	165
13.5.9	调制控制寄存器	166
14	SPI0	167
14.1	概述	167
14.2	应用场景	167
14.2.1	单主单从应用	167
14.3	工作流程	168
14.3.1	Master 模式	168
14.3.2	Slave 模式	169
14.3.3	TXONLY 模式	169
14.4	接口时序	169
14.5	寄存器	170
14.5.1	SPI0 控制寄存器 1	170
14.5.2	SPI0 控制寄存器 2	171
14.5.3	SPI0 控制寄存器 3	172
14.5.4	SPI0 中断控制寄存器	173
14.5.5	SPI0 中断标志寄存器	173
14.5.6	SPI0 发送缓存寄存器	174
14.5.7	SPI0 接收缓存寄存器	174
15	SPI1/2	176
15.1	概述	176
15.2	结构框图	176
15.3	接口时序	177
15.3.1	CPHA=0	177
15.3.2	CPHA=1	177
15.3.3	从器件 SSN	178
15.4	SPI 配置	178
15.4.1	I/O 配置	178
15.4.2	数据传输配置	179
15.4.3	数据冲突	179
15.5	寄存器	180
15.5.1	SPI 控制寄存器 1	180



15.5.2	SPI 控制寄存器 2.....	181
15.5.3	SPI 控制寄存器 3.....	182
15.5.4	SPI 中断控制寄存器.....	183
15.5.5	SPI 中断标志寄存器.....	183
15.5.6	SPI 发送缓存寄存器.....	184
15.5.7	SPI 接收缓存寄存器.....	184
16	智能卡接口 (ISO7816)	186
16.1	概述	186
16.2	接口时序	186
16.3	通信流程	187
16.3.1	数据接收	187
16.3.2	数据发送	187
16.4	寄存器	188
16.4.1	7816 通道控制寄存器 U7816CTRLx	189
16.4.2	U7816 帧格式控制寄存器 U7816FRCx	190
16.4.3	U7816EGT 配置寄存器 U7816EGTx	191
16.4.4	U7816 工作时钟分频寄存器 U7816CLKDIVx	191
16.4.5	U7816 预分频控制寄存器 U7816PDIVx	192
16.4.6	U7816 接收缓冲寄存器 U7816RXBUFx	192
16.4.7	U7816 发送缓冲寄存器 U7816TXBUFx	193
16.4.8	U7816 中断使能寄存器 U7816IEx	193
16.4.9	U7816 中断标志寄存器 U7816IFx	194
16.4.10	U7816 错误标志寄存器 U7816ERRx	195
16.4.11	U7816 状态标志寄存器 U7816STAx	195
17	DMA	197
17.1	概述	197
17.2	工作原理	197
17.3	工作流程	198
17.4	访问带宽	198
17.5	通道控制	199
17.5.1	通道控制器	199
17.5.2	通道优先级	201
17.6	寄存器	201
17.6.1	DMA 全局控制寄存器	202
17.6.2	通道 0 控制寄存器	202
17.6.3	通道 0 RAM 指针寄存器	203
17.6.4	通道 1 控制寄存器	204
17.6.5	通道 1 RAM 指针寄存器	205
17.6.6	通道 2 控制寄存器	205
17.6.7	通道 2 RAM 指针寄存器	206
17.6.8	通道 3 控制寄存器	207
17.6.9	通道 3 RAM 指针寄存器	208
17.6.10	通道 4 控制寄存器	208
17.6.11	通道 4 RAM 指针寄存器	209
17.6.12	通道 5 控制寄存器	210
17.6.13	通道 5 RAM 指针寄存器	211
17.6.14	通道 6 控制寄存器	211
17.6.15	通道 6 RAM 指针寄存器	212
17.6.16	通道 7 控制寄存器	213
17.6.17	通道 7 Flash 指针寄存器	214
17.6.18	通道 7 RAM 指针寄存器	215
17.6.19	DMA 状态标志寄存器	215



18	CRC	216
18.1	概述	216
18.2	软件配置过程	217
18.3	DMA 接口	217
18.4	FLASH 数据完整性校验	218
18.5	寄存器	218
18.5.1	CRC 数据寄存器	218
18.5.2	CRC 控制状态寄存器	219
18.5.3	CRC LFSR 寄存器	220
18.5.4	CRC 输出异或寄存器	221
18.5.5	CRC 多项式寄存器 (CRC_POLY)	221
19	基本定时器 (BSTIM)	223
19.1	概述	223
19.2	结构框图	223
19.3	工作模式	224
19.3.1	计数和定时	224
19.3.2	输入捕捉	226
19.3.3	8bit PWM	228
19.3.4	脉冲输出	229
19.3.5	Toggle 输出	230
19.3.6	其他功能说明	230
19.4	寄存器	230
19.4.1	BasicTimer1/BasicTimer2 控制寄存器 1	231
19.4.2	BasicTimer1/BasicTimer2 控制寄存器 2	232
19.4.3	BasicTimer1/BasicTimer2 配置寄存器 1	234
19.4.4	BasicTimer1/BasicTimer2 配置寄存器 2	235
19.4.5	BasicTimer1/BasicTimer2 预分频寄存器	236
19.4.6	BasicTimer1/BasicTimer2 加载控制寄存器	236
19.4.7	BasicTimer1/BasicTimer2 低位计数器寄存器	237
19.4.8	BasicTimer1/BasicTimer2 高位计数器寄存器	237
19.4.9	BasicTimer1/BasicTimer2 预置数寄存器	238
19.4.10	BasicTimer1/BasicTimer2 加载寄存器低位	238
19.4.11	BasicTimer1/BasicTimer2 加载寄存器高位	239
19.4.12	BasicTimer1/BasicTimer2 比较寄存器低位	239
19.4.13	BasicTimer1/BasicTimer2 比较寄存器高位	240
19.4.14	BasicTimer1/BasicTimer2 输出脉冲宽度寄存器	240
19.4.15	BasicTimer1/BasicTimer2 输出控制寄存器	241
19.4.16	BasicTimer1/BasicTimer2 中断使能寄存器	242
19.4.17	BasicTimer1/BasicTimer2 中断标志寄存器	242
20	扩展定时器 (EXTIM)	244
20.1	概述	244
20.2	结构框图	244
20.3	输入信号	245
20.4	外部引脚输入数字滤波	245
20.5	功能说明	246
20.5.1	计数和定时	246
20.5.2	输入捕捉	246
20.5.3	PWM	246
20.6	寄存器	247
21	通用定时器 (GPTIM)	256



21.1	概述	256
21.2	主要特性	256
21.3	结构框图	257
21.4	功能描述	258
21.4.1	定时单元	258
21.4.2	定时器工作模式	260
21.4.3	计数器工作时钟	267
21.4.4	内部触发信号 (ITRx) 的捕捉	272
21.4.5	捕捉/比较通道	273
21.4.6	输入捕捉模式	275
21.4.7	软件 Force 输出	276
21.4.8	输出比较模式	276
21.4.9	PWM 输出	277
21.4.10	单脉冲输出	279
21.4.11	外部事件清除 OCxREF	281
21.4.12	编码器接口模式 (encoder interface)	281
21.4.13	GPTIM 从机模式	282
21.4.14	输入异或功能	285
21.4.15	Debug 模式	285
21.5	寄存器	286
21.5.1	GPTIMx 控制寄存器 1	286
21.5.2	GPTIMx 控制寄存器 2	288
21.5.3	GPTIMx 从机模式控制寄存器	289
21.5.4	GPTIMx 中断使能寄存器	290
21.5.5	GPTIMx 状态寄存器	291
21.5.6	GPTIMx 事件产生寄存器	292
21.5.7	GPTIMx 捕捉/比较模式寄存器 1	293
21.5.8	GPTIMx 捕捉/比较模式寄存器 2	295
21.5.9	GPTIMx 捕捉/比较使能寄存器	298
21.5.10	GPTIMx 计数器寄存器	299
21.5.11	GPTIMx 预分频寄存器	299
21.5.12	GPTIMx 自动重载寄存器	300
21.5.13	GPTIMx 捕捉/比较寄存器 1	300
21.5.14	GPTIMx 捕捉/比较寄存器 2	301
21.5.15	GPTIMx 捕捉/比较寄存器 3	301
21.5.16	GPTIMx 捕捉/比较寄存器 4	302
21.5.17	GPTIMx ITR 选择寄存器	302
22	低功耗定时器 (LPTIMER)	304
22.1	概述	304
22.2	结构框图	304
22.3	工作模式	304
22.3.1	普通定时器	304
22.3.2	Trigger 脉冲触发计数	305
22.3.3	外部异步脉冲计数	305
22.3.4	Timeout 模式	305
22.3.5	计数模式	305
22.3.6	外部触发的超时唤醒	305
22.3.7	16bit PWM	305
22.4	软件工作流程	305
22.5	寄存器	306
22.5.1	配置寄存器	306
22.5.2	计数值寄存器	307



22.5.3	比较值寄存器	308
22.5.4	目标值寄存器	308
22.5.5	中断使能寄存器	309
22.5.6	中断标志寄存器	309
22.5.7	控制寄存器	310
23	实时时钟 (RTC)	311
23.1	概述	311
23.2	实时时钟工作原理	311
23.2.1	时基计数器 (LTBC)	311
23.2.2	RTC 数字调校	311
23.2.3	BCD 时间	313
23.2.4	RTC 使能与停止	314
23.2.5	RTC 时间设置	314
23.2.6	RTC 时间读取	314
23.2.7	RTC 时间戳	315
23.3	寄存器	315
23.3.1	RTC 写使能寄存器	316
23.3.2	RTC 中断使能寄存器	316
23.3.3	RTC 中断标志寄存器	318
23.3.4	BCD 时间秒寄存器	319
23.3.5	BCD 时间分钟寄存器	320
23.3.6	BCD 时间小时寄存器	320
23.3.7	BCD 时间天寄存器	321
23.3.8	BCD 时间星期寄存器	321
23.3.9	BCD 时间月寄存器	322
23.3.10	BCD 时间年寄存器	322
23.3.11	闹钟设置寄存器	322
23.3.12	时钟信号输出控制寄存器	323
23.3.13	LTBC 数值调整寄存器	324
23.3.14	LTBC 数值调整方向寄存器	324
23.3.15	LTBC 虚拟调校使能寄存器	325
23.3.16	毫秒计数寄存器	325
23.3.17	RTC 时间戳使能寄存器	326
23.3.18	RTC 上升沿时间戳 0	326
23.3.19	RTC 上升沿日历戳 0	327
23.3.20	RTC 下降沿时间戳 0	327
23.3.21	RTC 下降沿日历戳 0	328
23.3.22	RTC 上升沿时间戳 1	329
23.3.23	RTC 上升沿日历戳 1	329
23.3.24	RTC 下降沿时间戳 1	330
23.3.25	RTC 下降沿日历戳 1	330
23.3.26	RTC 自动温补控制寄存器	331
23.3.27	自动温补零点修正值寄存器	331
23.3.28	RTC 调校步长选择寄存器	332
23.3.29	RTC 自动温补状态寄存器	332
23.3.30	RTC 补偿周期计数器	333
24	LCD 显示	334
24.1	概述	334
24.2	工作原理	335
24.2.1	LCD Type A 扫描波形	335
24.2.2	LCD Type B 扫描波形	336

24.2.3	片内 buffer 驱动模式	336
24.2.4	显示闪烁功能	337
24.3	推荐工作流程	337
24.4	寄存器	337
24.4.1	显示控制寄存器	338
24.4.2	显示测试控制寄存器	339
24.4.3	测试模式下引脚输出数据寄存器	339
24.4.4	显示频率控制寄存器	340
24.4.5	显示点亮时间寄存器	341
24.4.6	显示熄灭时间寄存器	341
24.4.7	显示中断使能寄存器	342
24.4.8	显示中断标志寄存器	342
24.4.9	LCD 显示设置寄存器	343
24.4.10	LCD 驱动模式控制寄存器	343
24.4.11	显示数据寄存器	344
24.4.12	LCD 显示灰度设置寄存器	351
24.4.13	LCD COM 使能控制寄存器	352
24.4.14	LCD SEG 使能控制寄存器 0	352
24.4.15	LCD SEG 使能控制寄存器 1	353
25	ADC 与温度传感器	354
25.1	概述	354
25.2	电压测量	354
25.2.1	测量电源电压	354
25.2.2	测量外部通道输入	354
25.3	温度传感器	354
25.3.1	温度调校	355
25.3.2	使用方式	355
25.4	寄存器	355
25.4.1	ADC 输入通道选择寄存器	355
25.4.2	ADC 控制寄存器	356
25.4.3	ADC 调校寄存器	357
25.4.4	ADC 输出数据寄存器	357
25.4.5	ADC 中断标志寄存器	358
26	SAR-ADC	359
26.1	概述	359
26.2	结构框图	359
26.3	工作时序	361
26.4	电源和基准	362
26.5	输入通道	362
26.6	SAR-ADC 使能和配置	363
26.7	SAR-ADC 时钟和复位	363
26.8	功能描述	364
26.8.1	采样值与实际电压转换	364
26.8.2	可编程采样时间	365
26.8.3	转换模式	366
26.8.4	转换触发	367
26.8.5	过采样和硬件平均	369
26.8.6	数据冲突和自动等待	369
26.8.7	DMA	370
26.8.8	模拟窗口看门狗 (AWD)	370
26.9	寄存器	371
26.9.1	SARADC 中断和状态寄存器	371



26.9.2	SARADC 中断使能寄存器	372
26.9.3	SARADC 控制寄存器	373
26.9.4	SARADC 配置寄存器	373
26.9.5	SARADC 采样时间控制寄存器	376
26.9.6	SARADC 通道控制寄存器	377
26.9.7	SARADC 数据寄存器	378
26.9.8	SARADC 模拟看门狗阈值寄存器	378
26.9.9	BUFFERCTRL 寄存器	379
27	I/O 端口	380
27.1	概述	380
27.2	PAD 结构	380
27.2.1	GPIO, 输入输出使能, 可控上拉电阻, 可控开漏输出	380
27.2.2	GPIO, 输入输出使能, 真开漏输出(PA14/PA15)	382
27.3	IO 端口功能定义	382
27.4	引脚开漏	383
27.5	测试引脚	383
27.6	NRST 引脚	383
27.7	WKUPx 引脚	384
27.8	GPIO 输入数字滤波	384
27.9	外部引脚中断	384
27.9.1	应用指南	386
27.10	快速 GPIO 输出	387
27.11	寄存器	387
27.11.1	PortX 输入使能寄存器	389
27.11.2	PortX 上拉使能寄存器	390
27.11.3	PortX 开漏使能寄存器	390
27.11.4	PortX 功能选择寄存器	391
27.11.5	PortX 输出数据寄存器	393
27.11.6	PortX 输出数据置位寄存器	393
27.11.7	PortX 输出数据复位寄存器	394
27.11.8	PortX 输入数据寄存器	394
27.11.9	GPIO EXTI Select 0	395
27.11.10	GPIO EXTI Select 1	397
27.11.11	GPIO EXTI Select 2	399
27.11.12	GPIO 外部中断标志 0	400
27.11.13	GPIO 外部中断标志 1	401
27.11.14	GPIO 外部中断标志 2	402
27.11.15	FOUT 配置寄存器	403
27.11.16	强驱动引脚配置寄存器	404
27.11.17	模拟功能选择寄存器	404
27.11.18	GPIO 输入数字滤波寄存器	405
27.11.19	WKUP 使能寄存器	407
27.11.20	PF4 功能选择寄存器	408
27.11.21	PortX 驱动和速度配置寄存器	408
27.11.22	PortX 额外数字功能选择寄存器	409
27.11.23	PortX 下拉使能寄存器	409
28	专用编程接口	411
28.1	概述	411
28.2	编程器使用	411
	上海复旦微电子集团股份有限公司销售及服务中心	412

表目录

表 1-1 FM33A048D 型号列表	20
表 1-2 FM33A048D 极限参数	20
表 1-3 FM33A048D 电源参数	21
表 1-4 FM33A048D 电流参数	21
表 1-5 FM33A048D 复位参数	22
表 1-6 FM33A048D I/O 参数	23
表 1-7 FM33A048D FLASH 参数	23
表 1-8 FM33A048D 内部 RC 振荡器参数	23
表 1-9 FM33A048D 外部晶体振荡器参数	24
表 1-10 SAR-ADC 参数	25
表 1-11 引脚列表	32
表 11-1 I ² C 接口时序要求	134
表 11-2 常用时钟频率下波特率计算	139
表 12-1 UART 工作方式	144
表 12-2 常用时钟频率下波特率计算	147
表 21-1 ENCODER INTERFACE 计数方式	281

图目录

图 1-1 FM33A048D LQFP80 封装图	26
图 1-2 LQFP80 封装尺寸图	38
图 5-1 芯片复位源框图	66
图 5-2 上下电复位示意图	67
图 6-1 芯片时钟框图	83
图 7-1 电源检测电路间歇工作模式	99
图 8-1 ECB 模式加密流程	105
图 8-2 ECB 模式解密流程	105
图 8-3 CBC 加密过程	106
图 8-4 CBC 解密过程	106
图 8-5 暂停模式流程	107
图 8-6 CTR 加密流程	108
图 8-7 CTR 解密流程	108
图 8-8 32 位计数器和随机数的存储方式	109
图 8-9 GCM 加密流程	110
图 8-10 GCM 解密流程	111
图 8-11 MULTH 模块框图	112
图 8-12 根据数据类型存储数据的示意图	114
图 8-13 模式 1: 加密流程	114
图 8-14 模式 2 示意图	115
图 8-15 模式 3 示意图	115
图 8-16 模式 4 示意图	116
图 8-17 MULTH 模块使用流程示意图	117
图 11-1 I ² C 总线时序	132
图 11-2 数据有效时序	132
图 11-3 起始 (START) 与停止 (STOP) 命令定义	133
图 11-4 输出应答 (ACK)	133
图 11-5 主机向从机发送数据流图	134
图 11-6 I2C 软件发送数据流图	135
图 11-7 典型的主机从从机读取数据流图	135
图 11-8 I2C 软件从从机读取数据流图	136
图 11-9 典型的双向数据读写流图	136
图 11-10 DMA 发送数据流图	137
图 11-11 DMA 接收数据流图 (7-BIT 从机地址)	137
图 11-12 DMA 接收数据流图 (10-BIT 从机地址)	138
图 12-1 UART 接口时序	144
图 12-2 UART 异步发送工作模式	145
图 15-1 SPI 结构框图	176
图 15-2 SPI 数据/时钟时序图 (CPHA=0)	177
图 15-3 SPI 数据/时钟时序图 (CPHA=1)	177
图 15-4 SPI SSN 时序图 (CPHA=0)	178
图 15-5 SPI SSN 时序图 (CPHA=1)	178
图 15-6 SPI MASTER/SPI SLAVE 互连	179
图 17-1 DMA 寄存器配置	198
图 17-2 DMA 工作流程	198
图 17-3 DMA 通道控制器	200
图 21-1 GPTIM 结构框图	257
图 21-2 预分频从 1 变为 2 的波形	259
图 21-3 预分频从 1 变为 4 的波形	259

图 21-4 向上计数波形, 内部时钟不分频	260
图 21-5 向上计数波形, 内部时钟 2 分频	261
图 21-6 ARPE=0 (GPTIM_ARR 没有预装载) 时的更新事件	261
图 21-7 ARPE=1 (ATIM_ARR 预装载) 时的更新事件	262
图 21-8 向下计数, 内部时钟不分频	263
图 21-9 向下计数, 内部时钟 2 分频	263
图 21-10 向下计数, 内部时钟 2 分频	264
图 21-11 向下计数, 不使用重复计数时的更新事件	264
图 21-12 中心对齐计数器时序图, GPTIM_PCS=0, GPTIM_ARR=0x6	265
图 21-13 计数器时序图, ARPE=1 时的更新事件(计数器下溢)	266
图 21-14 计数器时序图, ARPE=1 时的更新事件(计数器溢出)	266
图 21-15 GPTIM 时钟源框图	267
图 21-16 内部时钟源模式, 时钟分频因子为 1	267
图 21-17 TI2 外部时钟连接例子	268
图 21-18 外部时钟模式 1 下的时序	268
图 21-19 外部时钟模式 1 下的时序	269
图 21-20 外部触发输入框图	270
图 21-21 外部时钟模式 2 下的时序 1	270
图 21-22 外部时钟模式 2 下的时序 2	271
图 21-23 捕获/比较通道(通道 1 输入部分)	274
图 21-24 捕获/比较通道 1 的主电路	274
图 21-25 捕获/比较通道的输出部分	275
图 21-26 PWM 输入捕获模式时序	276
图 21-27 输出比较模式, 翻转 OC1	277
图 21-28 边沿对齐的 PWM 波形(ARR=7)	278
图 21-29 中央对齐的 PWM 波形(APR=7)	279
图 21-30 单脉冲模式的例子	280
图 21-31 ETR 信号清除 GPTIM 的 OCxREF	281
图 21-32 编码器模式下的计数器操作实例	282
图 21-33 复位模式下的时序	283
图 21-34 门控模式下的时序	284
图 21-35 触发器模式下的时序	284
图 21-36 外部时钟模式 2 + 触发模式下的时序	285
图 24-1 LCD 驱动波形(1/4 DUTY, 1/3 BIAS, TYPE A)	335
图 24-2 LCD 驱动波形(1/4 DUTY, 1/3 BIAS, TYPE B)	336
图 24-3 LCD 片内电阻 BUFFER 型驱动电路	337
图 26-1 SARADC 结构框图	359
图 26-2 SARADC 时钟结构图	363

1 产品综述

1.1 概述

FM33A048D的主要特性如下:

- 宽电压范围: 1.8~5.5V
- 模拟电路工作电压范围: 2.5~5.5V
- 工作温度范围: -40℃~+85℃
- 处理器内核
 - ARM Cortex-M0+
 - 支持用户/特权模式
 - 支持中断向量表重定向 (VTOR)
 - 最高32MHz主频
 - SWD调试接口
- 低功耗技术平台
 - 典型运行功耗180uA/MHz
 - 32KHz下LPRUN功耗: 15uA
 - Sleep模式下带LCD显示: 6uA
 - DeepSleep模式, RTC走时+24KB RAM保持+CPU内核保持: 1.2uA
- 存储器
 - 256/128KB Flash空间
 - Flash擦写寿命: >100,000次
 - Flash数据保存时间: 10年@85℃
 - 用户代码保护
 - 32/16KB RAM空间
- 最大支持73个GPIO, 最多24个外部引脚中断, 最多8个异步唤醒引脚
- 丰富的模拟外设
 - 高可靠、可配置BOR电路 (支持4级可编程下电复位阈值)
 - 超低功耗PDR电路 (支持4级可编程下电复位阈值)
 - 可编程电源监测模块 (SVD)
 - 2x低功耗模拟比较器
 - 11-bit低功耗 Σ - Δ ADC, 最大支持9个外部通道
 - 12-bit SAR-ADC
 - 高精度温度传感器, 精度优于 $\pm 2^{\circ}\text{C}$
- 通信接口
 - UART*6
 - LPUART*2
 - 7816智能卡接口*2
 - SPI*3, 主从模式
 - I2C*2, 主机400K
 - 7通道外设DMA
 - 可编程CRC校验模块
- 定时资源
 - 8-bit基本定时器*4
 - 16-bit扩展定时器*4
 - 16-bit通用定时器*2
 - 24-bit SysTick*1
 - 16-bit低功耗定时器*1, 可在休眠模式下工作
 - 带窗口的CPU看门狗定时器*1

- 系统看门狗定时器*1
- 低功耗实时时钟日历 (RTCC)，带有数字调校功能，最高调校精度 $\pm 0.03\text{ppm}$
- LCD显示控制电路
 - 最大支持4COMx44SEG / 6COMx42SEG / 8COMx40SEG
 - 1/3 bias、1/4bias
 - 支持片内电阻
 - 支持休眠显示
- 安全算法
 - AES硬件运算单元，128/192/256-bit
 - AES支持ECB/CBC/CTR/GCM/GMAC模式
 - 真随机数发生器
- 时钟发生电路
 - 片上可配置高速RC振荡器，可配置频率输出8/16/24/32/36MHz。8MHz输出时，出厂调校误差小于 $\pm 0.5\%$ ，其它频率输出出厂调校误差小于 $\pm 1\%$
 - 低功耗32768Hz晶体振荡器，带有停振检测电路
 - 低功耗低速RC振荡器，32KHz
 - PLL，输入32768Hz，最高输出40MHz

1.2 产品型号列表

型号	Flash 容量 (KBytes)	RAM 容量 (KBytes)	封装
FM33A048D	256	32	LQFP80

表 1-1 FM33A048D 型号列表

1.3 性能指标

1.3.1 极限参数

符号	参数说明	数值	单位
V_{DD}	电源电压	-0.3 ~ 6	V
V_{PIN}	管脚电压	$V_{SS}-0.3 \sim V_{DD}+0.3$	V
T_A	工作温度	-40 ~ 85	°C
T_{STG}	存储温度	-55 ~ 150	°C
HBM	ESD HBM 模式 TA=25°C 测试标准符合 JEDEC JS-001	± 4000	V
CDM	ESD CDM 模式 TA=25°C 测试标准符合 JEDEC JS-002	± 1000	V
LU	IO Latchup $-(0.5V_{DD}) < V_I < (1.5V_{DD})$ TA=25°C 测试标准符合 JESD78E	± 200	mA
$\sum I_{VDD}$	VDD 最大 source 电流	90	mA
$\sum I_{VSS}$	VSS 最大 sink 电流	70	mA

表 1-2 FM33A048D 极限参数

1.3.2 电参数

除非特别注明，以下指标默认 $V_{DD}=5.0V$ ， $T=25^{\circ}C$

1.3.2.1 电源

符号	参数说明	测试条件	参数值			单位
			最小值	典型值	最大值	
V_{DD}	主电源电压		1.8		5.5	V
V_{DD15}	内核电源电压		1.35	1.5	1.65	V

表 1-3 FM33A048D 电源参数

1.3.2.2 供电电流

$V_{DD}=5V$ ， $T=-40\sim+85^{\circ}C$ ；

符号	参数说明	测试条件	参数值			单位
			最小值	典型值	最大值	
I_{sleep1}	Sleep 模式电流 1	Sleep 模式； BOR、RCHF、SVD、LCD 显示关闭， 32K 晶振运行，RTC 走时，CPU、 RAM、外设数据保持；	-	3	$8^{[1]}$ ($85^{\circ}C$)	μA
$I_{dpsleep}$	深度 Sleep 模式电流	DeepSleep 模式； $V_{DD}=3V$ BOR、RCHF、SVD、LCD 显示关闭， 32K 晶振运行，RTC 走时，CPU、 RAM、外设数据保持；	-	0.8	$5^{[1]}$ ($85^{\circ}C$)	μA
I_{LPRUN}	LPRUN 模式电流	LPRUN 模式； BOR、RCHF、SVD、LCD 关闭 32K 晶振运行，CPU 以 32KHz 运行， 从 Flash 取指	-	115	$150^{[1]}$ ($85^{\circ}C$)	μA
I_{VDD5}	正常模式 V_{DD} 电流 5	正常工作模式， $f_{mclk}=8MHz(RCHF)$ 从 Flash 中执行代码	-	1.3	$2.5^{[1]}$ ($85^{\circ}C$)	mA
I_{VDD3}	正常模式 V_{DD} 电流 3	正常工作模式， $f_{mclk}=40MHz(PLL)$ 从 Flash 中执行代码	-	4.6	$5^{[1]}$ ($85^{\circ}C$)	mA

表 1-4 FM33A048D 电流参数

[注1]: 此项指标基于特征参数提取

1.3.2.3 复位

符号	参数说明	测试条件		参数值			单位
				最小值	典型值	最大值	
V _{POR}	上电复位电压			-	1.8	1.95 ^[1] (-40℃)	V
V _{BOR}	下电复位电压	BORCFG==2'b01		1.52	1.65	1.69	V
V _{PDR}	低功耗下电复位电压	PDRCFG==2'b01		-	1.5	-	V
V _{SVD}	电压监测阈值电平	SVD[3:0]=0000	Fall	1.791	1.800	1.809	V
			Rise	1.891	1.900	1.910	
		SVD[3:0]=0001	Fall	2.004	2.014	2.024	V
			Rise	2.103	2.114	2.125	
		SVD[3:0]=0010	Fall	2.218	2.229	2.240	V
			Rise	2.317	2.329	2.341	
		SVD[3:0]=0011	Fall	2.431	2.443	2.455	V
			Rise	2.530	2.543	2.556	

符号	参数说明	测试条件		参数值			单位
				最小值	典型值	最大值	
		SVD[3:0]=0100	Fall	2.644	2.657	2.670	V
			Rise	2.743	2.757	2.771	
		SVD[3:0]=0101	Fall	2.857	2.871	2.885	V
			Rise	2.956	2.971	2.986	
		SVD[3:0]=0110	Fall	3.071	3.086	3.101	V
			Rise	3.170	3.186	3.202	
		SVD[3:0]=0111	Fall	3.284	3.300	3.317	V
			Rise	3.383	3.400	3.417	
		SVD[3:0]=1000	Fall	3.496	3.514	3.532	V
			Rise	3.596	3.614	3.632	
		SVD[3:0]=1001	Fall	3.710	3.729	3.748	V
			Rise	3.810	3.829	3.848	
		SVD[3:0]=1010	Fall	3.923	3.943	3.963	V
			Rise	4.023	4.043	4.063	
		SVD[3:0]=1011	Fall	4.136	4.157	4.178	V
			Rise	4.236	4.257	4.278	
		SVD[3:0]=1100	Fall	4.349	4.371	4.393	V
			Rise	4.449	4.471	4.493	
		SVD[3:0]=1101	Fall	4.563	4.586	4.609	V
			Rise	4.663	4.686	4.709	
		SVD[3:0]=1110	Fall	4.776	4.800	4.824	V
			Rise	4.876	4.900	4.925	
		SVD[3:0]=1111 (SVS 外部通道)	V0P8 EN		0.8		V
			V0P7 5EN		0.75		
			V0P7 EN		0.7		

表 1-5 FM33A048D 复位参数

[注1]: 此项指标基于特征参数提取

[注2]: SVD工作时, 需要启动内部基准源, 内部基准源有额外2.5uA左右功耗 (VDD=5V, T_A=25℃)

1.3.2.4 I/O

符号	参数说明	测试条件	参数值			单位
			最小值	典型值	最大值	
V _{IL}	输入低电平		0		0.3V _{DD}	V
V _{IH}	输入高电平		0.7V _{DD}		V _{DD}	V
V _{TL}	施密特输入低电平	V _{DD} =5V	2.13	2.33	2.53	V
		V _{DD} =3V	1.22	1.37	1.52	
V _{TH}	施密特输入高电平	V _{DD} =5V	2.3	2.6	2.9	V
		V _{DD} =3V	1.49	1.64	1.79	
I _{IL}	输入低漏电	V _{IL} =0V	-1			μA
I _{IH}	输入高漏电	V _{IH} =5V			1	μA
V _{OL}	输出低电平	V _{DD} =5V I _{SOURCE} =5mA	0		0.5	V
V _{OH}	输出高电平	V _{DD} =5V I _{SOURCE} =5mA	4		5	V
R _{PU}	弱上拉电阻	V _{DD} =5V		50		KΩ

符号	参数说明	测试条件	参数值			单位
			最小值	典型值	最大值	
HR _{PU}	强上拉电阻	V _{DD} =5V		10		KΩ

表 1-6 FM33A048D I/O 参数

1.3.2.5 Flash

符号	参数说明	测试条件	参数值			单位
			最小值	典型值	最大值	
	Flash size				256K	Bytes
N _{SEC}	Sector Number				512	Sectors
S _{SEC}	Sector Size			512		Bytes
T _{PROG}	Byte Program Time		6		7.5	μs
T _{ERASE}	Sector/Block Erase		4		5	ms
	Chip Erase		20		40	ms
N _{ED}	Sector Endurance	T=25℃ V _{DD} =5V 全部扇区擦写 ^[1]	100,000			Erase/Write cycles
T _{DR}	Data Retention	T=85℃	10			yrs

表 1-7 FM33A048D Flash 参数

注：[1] 每个扇区经过N_{ED}次擦除、编程，覆盖所有扇区

1.3.2.6 内部 RC 振荡器

符号	参数说明	测试条件	参数值			单位
			最小值	典型值	最大值	
f _{RCHF} ^[1]	RCHF 振荡频率	VDD=1.8~5.5V T=25℃	FSEL==0000	7.92	8	8.08
			FSEL==0001	15.84	16	16.16
			FSEL==0010	23.76	24	24.24
			FSEL==1111	35.64	36	36.36
			others	RFU		
ACC _{RCHF} ^[2]	RCHF 温度系数	VDD=1.8~5.5V T=-40~+85℃	FSEL==0000	-1.5	-	1.5
			FSEL==0001	-2	-	2
			FSEL==0010	-2.5	-	3
			FSEL==1111	-3	-	4
			others	RFU		
f _{RCLP}	RCLP 振荡频率	VDD=1.8~5.5V T=25℃		28	32	36
f _{RCLF}	RCLF 振荡频率	VDD=1.8~5.5V T=25℃		501	512	523

表 1-8 FM33A048D 内部 RC 振荡器参数

[注1]：此项指标由量产测试保证

[注2]：此项指标基于特征参数提取

[注3]：Flash擦写时，应用程序需保证RCHF使能，并且FSEL=0000/0001/0010，在FSEL为其他值的情况下，无法保证Flash擦写的可靠性。

1.3.2.7 外部晶体振荡器

符号	参数说明	测试条件	参数值	单位
----	------	------	-----	----

			最小值	典型值	最大值	
f_{XTLF}	XTLF 振荡频率	外接 32768Hz 晶体	32700	32768	32800	Hz
T_{start}	XTLF 起振时间	外接 32768Hz 晶体 $C_{load}=12.5pF$ $XTLFI PW==3'b000$		1	3	s

表 1-9 FM33A048D 外部晶体振荡器参数

1.3.2.8 锁相环

符号	参数说明	测试条件	参数值			单位
			最小值	典型值	最大值	
F_{PLL}	PLL 输出频率	VDD=1.8~5.5V 输入 32768Hz			40M	Hz
T_{LOCK}	PLL 锁定时间	VDD=1.8~5.5V 输入 32768Hz, 输出 16.384MHz		2		ms
I_{PLL}	PLL 工作电流	VDD=5V 输出 16.384MHz	600 ^[1]	745	800 ^[1]	uA
		VDD=5V 输出 40MHz	800 ^[1]	880	1000 ^[1]	uA

表 1-10 FM33A048D 外部晶体振荡器参数

注:

[1] 此项指标基于特征参数提取

1.3.2.9 SDADC

符号	参数说明	测试条件	参数值			单位
			最小值	典型值	最大值	
Reso	分辨率			11		bits
DNL	差分非线性			± 1		LSB
INL	积分非线性		-2	± 4	+5	LSB
Offset	失调误差		-12	± 2	-8	LSB
V_{IN}	输入电压幅度		0		4.92	V
	ADC 时钟频率			0.5	1	MHz
	转换时间				2048	Clocks
	转换速率 (Throughput Rate)			500	1000	SPS
I_{ADC}	ADC 工作电流	VDD=5V 工作时钟 512KHz 外部电压测量		150		uA
		VDD=5V 工作时钟 512KHz 温度测量		200		uA

表 1-11 FM33A048D SDADC 参数

1.3.2.10 SARADC

符号	参数说明	测试条件	参数值			单位
			最小值	典型值	最大值	
VDDA	工作电压范围	-	1.8		5.5	V
VREF+	正参考电压	-	1.8		VDDA	V
VREF-	负参考电压	-	0		0.5	V
T_J	工作结温范围	-	-40		125	°C

符号	参数说明	测试条件	参数值			单位
			最小值	典型值	最大值	
V_{AIN}	输入电压范围		VREF-		VREF+	V
C_s	采样保持电容	-		5		pF
R_{AIN}	模拟输入阻抗	VDD=5V		1		K Ω
		VDD=1.8V		2		
F_{CLK}	ADC 工作时钟频率	-			32	MHz
F_s	ADC 采样频率				1	Msp/s
T_{SAMP}	采样保持时间	-	4		512	F_{CLK}
T_{CONV}	转换时间	-		12		F_{CLK}
ADC 动态性能						
ENOB	VDDA=5V $F_s=1\text{Msp/s}$ $-40^{\circ}\text{C}\leq T_A\leq 85^{\circ}\text{C}$	$F_{AIN}=29\text{KHz}$		11.2		bits
SNDR	VDDA=5V $F_s=1\text{Msp/s}$ $-40^{\circ}\text{C}\leq T_A\leq 85^{\circ}\text{C}$	$F_{AIN}=29\text{KHz}$		65		dB
ADC 静态性能						
DNL	差分非线性	单端模式	-1		1	LSB
INL	积分非线性	单端模式	-3		3	LSB
Offset Error	失调误差 校准后	单端模式		+/-0.5	+/-3	LSB
Gain Error	增益误差 校准后	单端模式		+/-1	+/-3	LSB

表 1-10 SAR-ADC 参数

1.3.2.11 温度传感器

符号	参数说明	测试条件	参数值			单位
			最小值	典型值	最大值	
Reso	分辨率			± 0.2		$^{\circ}\text{C}$
Slope			4.8	5.08	5.5	LSB/ $^{\circ}\text{C}$

表 1-12 FM33A048D 温度传感器参数

1.3.2.12 模拟比较器

符号	参数说明	测试条件	参数值			单位
			最小值	典型值	最大值	
$V_{I_{comp1}}$	比较器 1 输入电压范围		0		VDD-0.7	V
$V_{I_{comp2}}$	比较器 2 输入电压范围		0		VDD	V
I_{comp1}	比较器 1 工作电流	VDD=5V		200		nA
I_{comp2}	比较器 2 工作电流	VDD=5V		2		μA

表 1-13 FM33A048D 比较器参数

1.4.1 LQFP80 封装图



1.4.2 引脚功能定义

Pin Number			Pin Function	Descriptions
LQFP80	LQFP64	LQFP48		
1	-	-	PF3	GPIO
			SAR_IN6	SAR 输入通道
			UART0_RX	UART0 接收
			LPUART0_RX	LPUART0 接收
2	-	-	PF4	GPIO
			UART0_TX	UART0 发送
			LPUART0_TX	LPUART0 发送
3	-	-	PF5(WKUP0)	GPIO (异步唤醒)
			ACMP1_INN0	模拟比较器 1 负端输入
4	-	-	PF6	GPIO
			ACMP1_INP0	模拟比较器 1 正端输入
			ADC_IN5	ADC 输入通道
5	-	-	PF11	GPIO
			SAR_IN10	SAR 输入通道
			SVS	SVD 外部电源检测输入
6	-	-	PA0	GPIO
			COM0	LCD COM
			UART4_RX	UART4 接收
7	-	-	PA1	GPIO
			COM1	LCD COM
			UART4_TX	UART4 发送
8	-	-	PA2	GPIO
			COM2	LCD COM
			UART0_RX	UART0 接收
9	-	-	PA3	GPIO
			COM3	LCD COM
			UART0_TX	UART0 发送
10	-	-	PA4	GPIO
			COM4(6)/SEG 42	LCD COM/SEG
			GPT1_CH3	通用定时器 1 输入通道 3
11	-	-	PA5	GPIO
			COM5(7)/SEG 43	LCD COM/SEG
			GPT1_CH4	通用定时器 1 输入通道 4
12	-	-	PA6	GPIO
			COM4/SEG40	LCD COM/SEG
13	-	-	PA7	GPIO
			COM5/SEG41	LCD COM/SEG
14	-	-	PA8	GPIO
			SEG0	LCD SEG
			BT1_IN2	基本定时器 1 输入通道
15	-	-	PA9	GPIO



Pin Number			Pin Function	Descriptions
LQFP80	LQFP64	LQFP48		
			SEG1	LCD SEG
			BT2_IN2	基本定时器 2 输入通道
16	-	-	PA10	GPIO
			SEG2	LCD SEG
			BT2_OUT	基本定时器 2 输出通道
17	-	-	PA11	GPIO
			SEG3	LCD SEG
			LPTI	低功耗定时器输入通道
			SPI1_SSN	SPI1 片选
18	-	-	PA12	GPIO
			SEG4	LCD SEG
			LPTO	低功耗定时器输出通道
			SPI1_SCK	SPI1 时钟
19	-	-	PA13(WKUP4)	GPIO（异步唤醒）
			SEG5	LCD SEG
			LPTRG	低功耗定时器外部触发
20	-	-	PA14	GPIO
			SCL0	I2C0 时钟
21	-	-	PA15	GPIO
			SDA0	I2C0 数据
22	-	-	PB0(WKUP1)	GPIO（异步唤醒）
			UART1_RX	UART1 接收
			SPI0_MISO	SPI0 数据
23	-	-	PB1	GPIO
			UART1_TX	UART1 发送
			SPI0_MOSI	SPI0 数据
24	-	-	PB2	GPIO
			UART2_RX	UART2 接收
			ADC_IN7	ADC 输入通道
25	-	-	PB3	GPIO
			UART2_TX	UART2 发送
			ADC_IN8	ADC
26	-	-	PB4(STAMP0)	GPIO（RTC 时间戳）
			SEG6	LCD SEG
			BT1_IN0	基本定时器 1 输入通道
27	-	-	PB5(STAMP1)	GPIO（RTC 时间戳）
			SEG7	LCD SEG
			BT2_IN0	基本定时器 2 输入通道
28	-	-	PB6	GPIO
			SEG8	LCD SEG
			BT1_OUT	基本定时器 1 输出通道
29	-	-	PB7	GPIO
			SEG9	LCD SEG
			ET1_IN0	扩展定时器 1 输入通道
30	-	-	PB8	GPIO
			SEG10	LCD SEG



Pin Number			Pin Function	Descriptions
LQFP80	LQFP64	LQFP48		
31	-	-	ET2_IN0	扩展定时器 2 输入通道
			PB9	GPIO
			SEG11	LCD SEG
			ET3_IN0	扩展定时器 3 输入通道
32	-	-	PB10	GPIO
			SEG12	LCD SEG
			ET4_IN0	扩展定时器 4 输入通道
33	-	-	PB11	GPIO
			SEG13	LCD SEG
			ET1_OUT	扩展定时器 1 输出通道
34	-	-	PB12	GPIO
			SEG14	LCD SEG
			SPI1_SSN	SPI1 片选
			GPT1_ETR	通用定时器 1 输入通道 ETR
35	-	-	PB13	GPIO
			SEG15	LCD SEG
			SPI1_SCK	SPI1 时钟
			GPT0_ETR	通用定时器 0 输入通道 ETR
36	-	-	PB14	GPIO
			SEG16	LCD SEG
			SPI1_MISO	SPI1 数据
			GPT0_CH1	通用定时器 0 输入通道 1
37	-	-	PB15	GPIO
			SEG17	LCD SEG
			SPI1_MOSI	SPI1 数据
			GPT0_CH2	通用定时器 0 输入通道 2
38	-	-	PE2(WKUP5)	GPIO (异步唤醒)
			ET1_IN1	扩展定时器 1 输入通道
39	-	-	PE3	GPIO
			ACMP2_INN1/SEG18	模拟比较器 2 负端输入/LCD SEG
			UART1_RX	UART1 接收
			LPUART1_RX	LPUART1 接收
40	-	-	PE4	GPIO
			ACMP2_INP1/SEG19	模拟比较器 2 正端输入/LCD SEG
			UART1_TX	UART1 发送
			LPUART1_TX	LPUART1 发送
41	-	-	PF12	GPIO
			SPI0_MOSI	SPI0 数据
			SCL1	I2C1 SCL 时钟
42	-	-	PF13	GPIO
			SPI0_MISO	SPI0 数据
			SDA1	I2C1 SDA 数据
43	-	-	PF14	GPIO
			SPI0_SCK	SPI0 时钟



Pin Number			Pin Function	Descriptions
LQFP80	LQFP64	LQFP48		
44	-	-	GPT1_CH1	通用定时器 1 通道 1
			PF15	GPIO
			SPI0_SSN	SPI0 片选
			GPT1_CH2	通用定时器 1 通道 2
45	-	-	PC2	GPIO
			SEG26	LCD SEG
			U7816CLK1	7816 时钟
46	-	-	PC3	GPIO
			SEG27	LCD SEG
			U7816IO1	7816 数据或者 UART 发送
47	-	-	PC4	GPIO
			SEG28	LCD SEG
			UART5_RX	UART5 接收
48	-	-	PC5	GPIO
			SEG29	LCD SEG
			UART5_TX	UART5 发送
49	-	-	PC6	GPIO
			SAR_IN8	SAR 输入通道
			SEG30	LCD SEG
50	-	-	SPI1_SSN	SPI1 片选
			PC7	GPIO
			SAR_IN9	SAR 输入通道
			SEG31	LCD SEG
51	-	-	SPI1_SCK	SPI1 时钟
			PC8	GPIO
			SEG32	LCD SEG
			SPI1_MISO	SPI1 数据
52	-	-	PC9	GPIO
			SAR_IN10	SAR 输入通道
			SEG33	LCD SEG
			SPI1_MOSI	SPI1 数据
53	-	-	PC10	GPIO
			SAR_IN11	SAR 输入通道
			SEG34	LCD SEG
			UART3_RX	UART3 接收
			GPT0_CH3	通用定时器 0 通道 3
54	-	-	PC11	GPIO
			SEG35	LCD SEG
			UART3_TX	UART3 发送
			GPT0_CH4	通用定时器 0 通道 4
55	-	-	PC12	GPIO
			SEG36	LCD SEG
			ADC_IN1	ADC 输入通道
			ET3_OUT	扩展定时器 3 输出通道
56	-	-	PC13(WKUP2)	GPIO (异步唤醒)

Pin Number			Pin Function	Descriptions
LQFP80	LQFP64	LQFP48		
			SEG37	LCD SEG
			SAR_IN13	SAR 输入通道
			ADC_IN2	ADC 输入通道
57	-	-	PC14(WKUP6)	GPIO (异步唤醒)
			SEG38	LCD SEG
			ACMP2_INN0	模拟比较器 2 负端输入
58	-	-	PC15	GPIO
			SEG39	LCD SEG
			SAR_IN14	SAR 输入通道
			ACMP2_INP0/ ADC_IN6	模拟比较器 2 正端输入/ADC 输入通道
59	-	-	PE5	GPIO
			ACMP10	模拟比较器 1 输出
			ET2_OUT	扩展定时器 2 输出通道
60	-	-	XTALOUT	32768Hz 晶振输出脚
61	-	-	XTALIN	32768Hz 晶振输入脚
62	-	-	VSS	地
63	-	-	VDD	主电源
64	-	-	VDD15	内核电源, 引脚串 100 欧电阻后再接 1uF 对地电容
65	-	-		
66	-	-	PG6	GPIO
			FOUT	测试时钟输出
			SAR_IN2	SAR 输入通道
67	-	-	PD0	GPIO
			UART4_RX	UART4 接收
			SAR_IN3	SAR 输入通道
			ADC_IN3	ADC 输入通道
68	-	-	PD1	GPIO
			UART4_TX	UART4 发送
			SAR_IN4	SAR 输入通道
			ADC_IN4	ADC 输入通道
69	-	-	PD2	GPIO
			SEG20	LCD SEG
			SAR_IN5	SAR 输入通道
			SPI2_SSN	SPI2 片选
70	-	-	PD3	GPIO
			SEG21	LCD SEG
			SPI2_SCK	SPI2 时钟
71	-	-	PD4	GPIO
			SEG22	LCD SEG
			SPI2_MISO	SPI2 数据
72	-	-	PD5	GPIO
			SEG23	LCD SEG
			SPI2_MOSI	SPI2 数据

Pin Number			Pin Function	Descriptions
LQFP80	LQFP64	LQFP48		
73	-	-	PD6(WKUP7)	GPIO（异步唤醒）
			ET3_IN1	扩展定时器 3 输入通道
74	-	-	PD7	GPIO
			ANATST	模拟测试通道，仅限测试使用
			ET4_IN1	扩展定时器 4 输入通道 1
75	-	-	PG2	GPIO
			U7816CLK0	7816 时钟
			ACMP1_INP2	模拟比较器 1 正端输入
76	-	-	PG3	GPIO
			U7816IO0	7816 数据或 UART 发送
			ACMP1_INP3	模拟比较器 1 正端输入
77	-	-	PG7(WKUP3)	GPIO（异步唤醒）
			ET4_OUT	扩展定时器 4 输出通道
			GPTO_CH2	通用定时器输出通道 2
78	-	-	PG8	GPIO
			SWCLK	SWD 时钟
79	-	-	PG9	GPIO
			SWIO	SWD 数据
80	-	-	NRST/TESTN	复位或测试引脚

表 1-11 引脚列表

注1：PG8、PG9引脚默认输入，其中PG9带有内部上拉电阻；其它PAx~PGx默认均为三态；

注2：NRST/TESTN引脚默认为输入态

1.4.3 功能引脚分布

功能	引脚	LQFP80 编号	LQFP64 编号	LQFP48 编号	TSSOP1 6 编号	备注
ADC 输入通道	PC12	55				ADC_IN1
	PC13	56				ADC_IN2
	PD0	67				ADC_IN3
	PD1	68				ADC_IN4
	PF6	4				ADC_IN5
	PC15	58				ADC_IN6
	PB2	24				ADC_IN7
	PB3	25				ADC_IN8
UART 接收	PF3	1				UART0_RX
	PB0	22				UART1_RX
	PE3	39				
	PB2	24				UART2_RX
	PC10	53				UART3_RX
	PD0	67				UART4_RX
	PC4	47				UART5_RX
UART 发送	PF4	2				UART0_TX
	PB1	23				UART1_TX
	PE4	40				

功能	引脚	LQFP80 编号	LQFP64 编号	LQFP48 编号	TSSOP1 6 编号	备注
	PB3	25				UART2_TX
	PC11	54				UART3_TX
	PD1	68				UART4_TX
	PC5	48				UART5_TX
LPUART 接收	PF3	1				LPUART0_RX
	PE3	39				LPUART1_RX
LPUART 发送	PF4	2				LPUART0_TX
	PE4	40				LPUART1_TX
SPI	PF15	44				SPI0_SSN
	PF14	43				SPI0_SCK
	PF13	42				SPI0_MISO
	PF12	41				SPI0_MOSI
	PB12	34				SPI1_SSN
	PC6	49				
	PB13	35				SPI1_SCK
	PC7	50				
	PB14	36				SPI1_MISO
	PC8	51				
	PB15	37				SPI1_MOSI
	PC9	52				
	PD2	69				SPI2_SSN
	PD3	70				SPI2_SCK
	PD4	71				SPI2_MISO
	PD5	72				SPI2_MOSI
I2C	PA14	20				SCL0
	PF12	41				SCL1
	PA15	21				SDA0
	PF13	42				SDA1
7816	PC2	45				7816-1 CLK
	PC3	46				7816-1 IO
	PG2	75				7816-0 CLK
	PG3	76				7816-0 IO
Timer 输入	PB4	26				BT1_IN0
	PA8	14				BT1_IN2
	PB5	27				BT2_IN0
	PA9	15				BT2_IN2
	PB7	29				ET1_IN0
	PE2	38				ET1_IN1
	PB8	30				ET2_IN0
	PD6	73				ET3_IN1
	PB9	31				ET3_IN0
	PB10	32				ET4_IN0
	PD7	74				ET4_IN1
	PA11	17				LPTI

功能	引脚	LQFP80 编号	LQFP64 编号	LQFP48 编号	TSSOP1 6 编号	备注
	PA13	19				LPTRG
Timer 输出	PB6	28				BT1_OUT
	PA10	16				BT2_OUT
	PB11	33				ET1_OUT
	PE5	59				ET2_OUT
	PC12	55				ET3_OUT
	PG7	77				ET4_OUT
	PA12	18				LPTO
RTC 时间戳	PB4	26				RTC STAMP0
	PB5	27				RTC STAMP1
GPTIMER	PB14	36				GPT0_CH1
	PB15	37				GPT0_CH2
	PC10	53				GPT0_CH3
	PC11	54				GPT0_CH4
	PB13	35				GPT0_ETR
	PF14	43				GPT1_CH1
	PF15	44				GPT1_CH2
	PA4	10				GPT1_CH3
	PA5	11				GPT1_CH4
	PB12	34				GPT1_ETR
WKUP 唤醒	PF5	3				WKUP0
	PB0	22				WKUP1
	PC13	56				WKUP2
	PG7	77				WKUP3
	PA13	19				WKUP4
	PE2	38				WKUP5
	PC14	57				WKUP6
	PD6	73				WKUP7
比较器输入	PF5	3				ACMP1_INN0
	PF6	4				ACMP1_INP0
	PG2	75				ACMP1_INP2
	PG3	76				ACMP1_INP3
	PC14	57				ACMP2_INN0
	PC15	58				ACMP2_INP0
	PE3	39				ACMP2_INN1
	PE4	40				ACMP2_INP1
外部电源检测	PF11	5				SVS
Debug	PG8	78				SWCLK
	PG9	79				SWIO

1.4.1 PA 引脚组数字外设功能

GPIO	PADFS	
	0	1
PA0	UART4_RX	-

GPIO	PADFS	
	0	1
PA1	UART4_TX	-
PA2	UART0_RX	-
PA3	UART0_TX	-
PA4	GPT1_CH3	-
PA5	GPT1_CH4	-
PA6	-	-
PA7	-	-
PA8	BT1_IN2	SPI1_SSN
PA9	BT2_IN2	SPI1_SCK
PA10	BT2_OUT	-
PA11	LPTI	SPI1_SSN
PA12	LPTO	SPI1_SCK
PA13	LPTRG	-
PA14(OD)	SCL0	-
PA15(OD)	SDA0	-

1.4.2 PB 引脚组数字外设功能

GPIO	PBDFS	
	0	1
PB0	UART1_RX	SPI0_MISO
PB1	UART1_TX	SPI0_MOSI
PB2	UART2_RX	-
PB3	UART2_TX	-
PB4	BT1_IN0	-
PB5	BT2_IN0	-
PB6	BT1_OUT	-
PB7	ET1_IN0	-
PB8	ET2_IN0	-
PB9	ET3_IN0	-
PB10	ET4_IN0	-
PB11	ET1_OUT	-
PB12	SPI1_SSN	GPT1_ETR
PB13	SPI1_SCK	GPT0_ETR
PB14	SPI1_MISO	GPT0_CH1
PB15	SPI1_MOSI	CPT0_CH2

1.4.3 PC 引脚组数字外设功能

GPIO	PCDFS	
	00	01
PC0	-	-
PC1	-	-
PC2	U7816CLK1	-
PC3	U7816IO1	-

GPIO	PCDFS	
	00	01
PC4	UART5_RX	-
PC5	UART5_TX	-
PC6	SPI1_SSN	-
PC7	SPI1_SCK	-
PC8	SPI1_MISO	-
PC9	SPI1_MOSI	-
PC10	UART3_RX	GPT0_CH3
PC11	UART3_TX	GPT0_CH4
PC12	ET3_OUT	-
PC13	-	-
PC14	-	-
PC15	-	-

1.4.4 PD 引脚组数字外设功能

GPIO	PDDFS	
	00	01
PD0	UART4_RX	-
PD1	UART4_TX	-
PD2	SPI2_SSN	-
PD3	SPI2_SCK	-
PD4	SPI2_MISO	-
PD5	SPI2_MOSI	-
PD6	ET3_IN1	-
PD7	ET4_IN1	-

1.4.5 PE 引脚组数字外设功能

GPIO	PDDFS	
	00	01
PE2	ET1_IN1	-
PE3	UART1_RX	LPUART1_RX
PE4	UART1_TX	LPUART1_TX
PE5	ET2_OUT	-

1.4.6 PF 引脚组数字外设功能

GPIO	PDDFS	
	00	01
PF3	UART0_RX	LPUART0_RX
PF4	UART0_TX	LPUART0_TX
PF5	-	-
PF6	-	-
PF11	-	-
PF12	SPI0_MOSI	SCL1

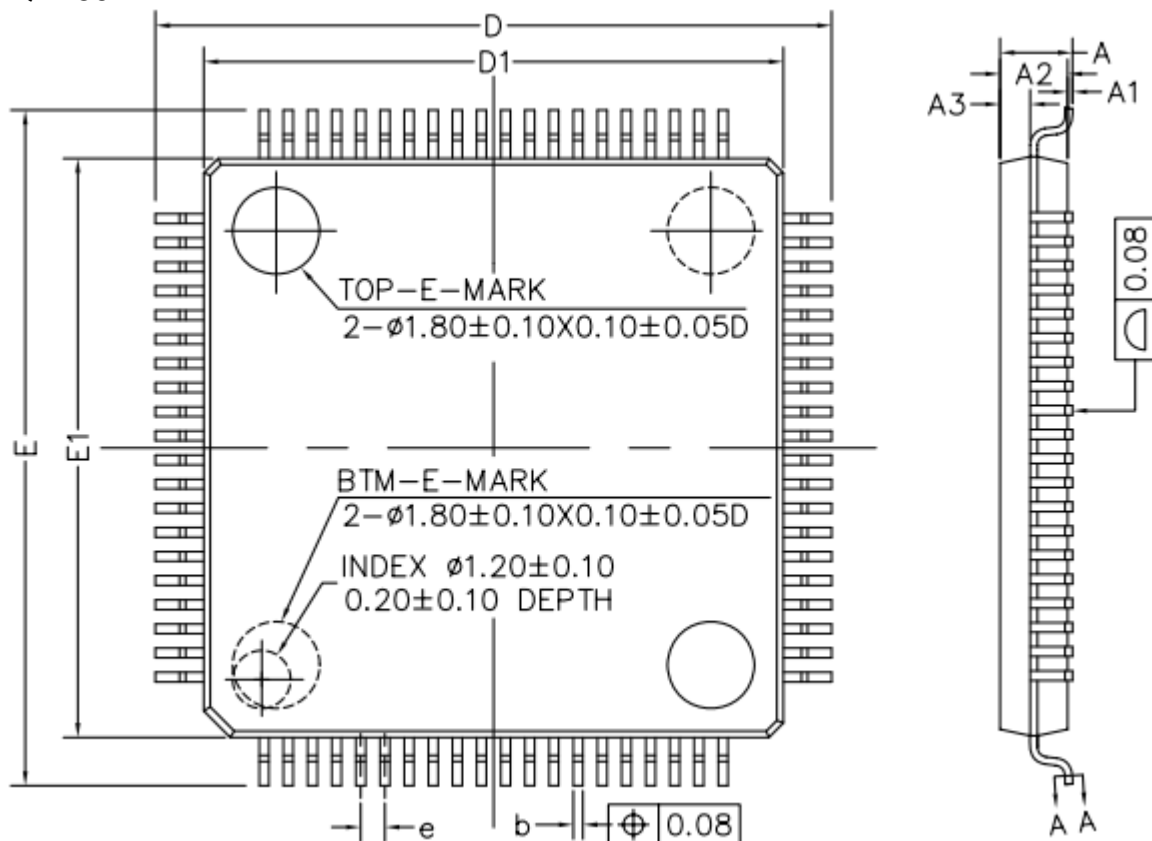
GPIO	PDDFS	
	00	01
PF13	SPI0_MISO	SDA1
PF14	SPI0_SCK	GPT1_CH1
PF15	SPI0_SSN	GPT1_CH2

1.4.7 PG 引脚组数字外设功能

GPIO	PDDFS	
	00	01
PG2	U7816CLK0	-
PG3	U7816IO0	-
PG6	FOUT	-
PG7	ET4_OUT	-
PG8	SWCLK	-
PG9	SWIO	-

1.4.8 封装尺寸图

1.4.8.1 LQFP80



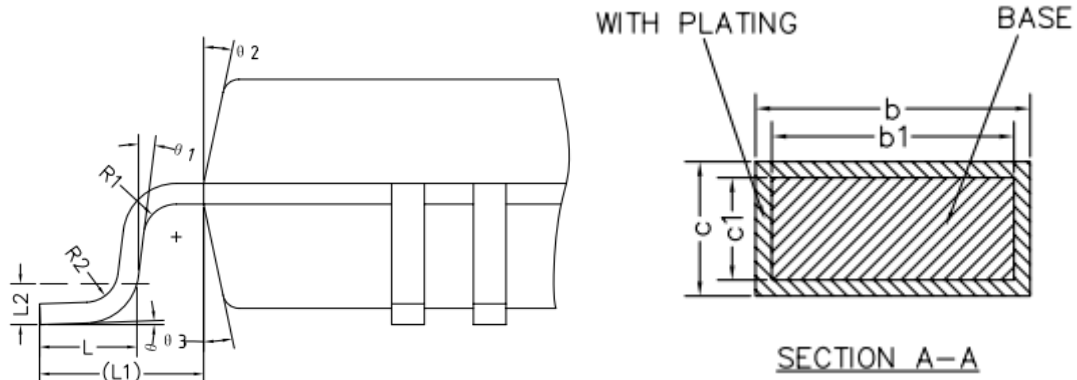


图 1-2 LQFP80 封装尺寸图

Symbol	MIN	NOM	MA
A	—	—	1.60
A1	0.05	—	0.15
A2	1.35	1.40	1.45
A3	0.59	0.64	0.69
b	0.18	—	0.27
b1	0.17	0.20	0.23
c	0.13	—	0.18
c1	0.12	0.127	0.134
D	13.80	14.00	14.20
D1	11.90	12.00	12.10
E	13.80	14.00	14.20
E1	11.90	12.00	12.10
e	0.40	0.50	0.60
L	0.45	0.60	0.75
L1	1.00REF		
L2	0.25BSC		
R1	0.08	—	—
R2	0.08	—	0.20
S	0.20	—	—
θ	0°	3.5°	7°
θ1	0°	—	—
θ2	11°	12°	13°
θ3	11°	12°	13°

NOTE:

ALL DIMENSIONS REFER TO JEDEC STANDARD MO-220 WMMD-4.

1.5 焊接安装说明

复旦微电子芯片采用无铅工艺封装。回流焊工艺参数建议遵循JEDEC标准进行设定。

根据JEDEC标准J-STD-020，无铅工艺回流焊时的峰值温度设定建议如下表。用户可根据芯片不同厚度和体积的规格，在下表中选择合适的回流焊峰值温度。

封装厚度	塑封体体积 mm ³ <350	塑封体体积 mm ³ 350 - 2000	塑封体体积 mm ³ >2000
<1.6mm	260℃	260℃	260℃
1.6~2.5 mm	260℃	250℃	245℃
>2.5mm	250℃	245℃	245℃

下表给出了各种封装形式的回流焊峰值温度：

封装类型	塑封体厚度 mm	塑封体体积 mm ³	回流焊峰值温度
LQFP80	1.4	201.6	260℃

焊接曲线设定请参考JEDEC标准J-STD-020，无铅工艺回流焊温度曲线设定的说明进行设置。

Profile Feature	Pb-Free Assembly
Preheat/Soak	
Temperature Min (T_{smin})	150 °C
Temperature Max (T_{smax})	200 °C
Time (t_s) from (T_{smin} to T_{smax})	60-120 seconds
Ramp-up rate (T_L to T_p)	3 °C/second max.
Liquidous temperature (T_L)	217 °C
Time (t_L) maintained above T_L	60-150 seconds
Peak package body temperature (T_p)	For users T_p must not exceed the Classification temp in Table 4-2. For suppliers T_p must equal or exceed the Classification temp in Table 4-2.
Time (t_p)* within 5 °C of the specified classification temperature (T_c), see Figure 5-1.	30* seconds
Ramp-down rate (T_p to T_L)	6 °C/second max.
Time 25 °C to peak temperature	8 minutes max.

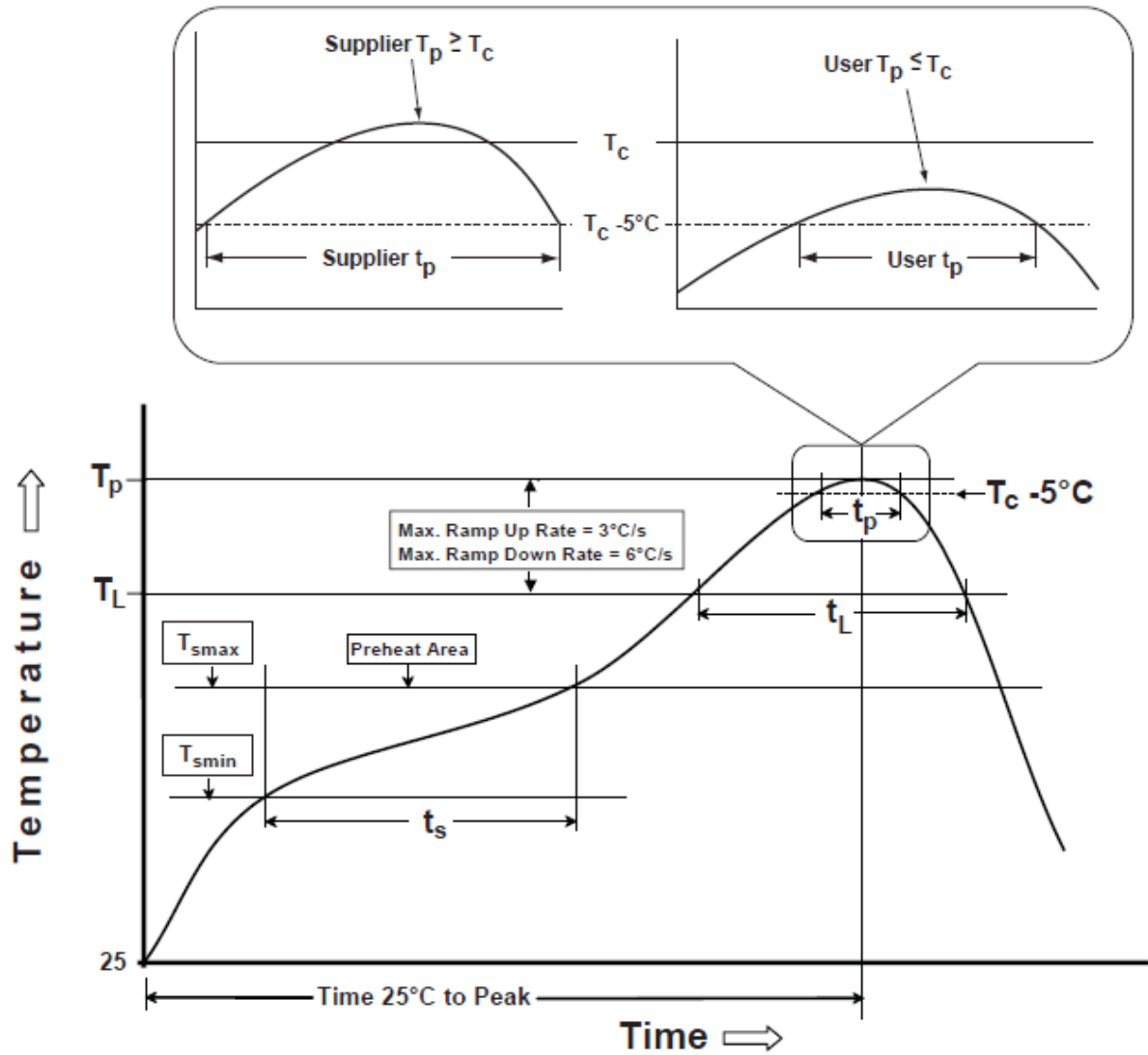


图 1-7 JEDEC 标准的耐热回流温度曲线

特别声明：

- 芯片在上板焊接之前，请观察湿度卡是否变色以确认湿敏包装是否完好。如无特别说明，芯片封装为MSL3等级，请在包装打开置于非干燥环境一周内，进行焊接操作
- 如无特殊指定，回流焊次数请勿超过3次

2 电源管理

2.1 功耗模式

芯片支持多种功耗模式：

- ACTIVE 模式
- LP Run 模式
- SLEEP 模式
- DEEPSLEEP 模式

功耗模式	典型功耗	唤醒条件	芯片状态	典型唤醒时间 ^[1]
ACTIVE	150uA/MHz		正常工作	-
LP Run	115uA@32KHz	软件主动退出	低速工作	-
SLEEP	3uA	电源检测中断 比较器中断 RTC 定时中断 IO 引脚中断 WKUPx 唤醒 32K 晶振停振 看门狗复位 LPTIM 中断 LPUART 中断	CPU 休眠 ^[2]	15us
DEEPSLEEP	0.8uA			

注：[1] 典型唤醒时间指从唤醒信号到来，到 CPU 开始执行唤醒中断服务程序的时间间隔。

[2] CPU 自身进入休眠的步骤参见 ARMv6-M 架构参考手册

2.1.1 功耗模式与外设功能

	ACTIVE	LPRUN	SLEEP	DEEPSLEEP
Wakeup time to ACTIVE	-	-	15us	15us
CPU clock	On	On	-	-
RCHF	On	-	-	-
PLL	On	-	-	-
RCLF	On	On	-	-
RCLP	On	On	On	On
XTLF	On	On	On	On
UART	On	On	-	-
SPI	On	On	-	-
I2C	On	On	-	-
7816	On	-	-	-
AES	On	On	-	-
TRNG	On	On	-	-
CRC	On	On	-	-
DMA	On	On	-	-
LPUART	On	On	On	On
RTC	On	On	On	On
BSTIM	On	On	-	-

	ACTIVE	LPRUN	SLEEP	DEEPSLEEP
EXTIM	On	On	-	-
LPTIM	On	On	On	On
LCD	On	On	On	On
Comparator	On	On	On	On
ADC	On	On	On	On
TempSensor	On	On	On	On
SVD	On	On	On	On
WWDT	On	On	-	-
IWDT	On	On	On	On
RAM	On	On	On	On
Retention Registers	On	On	On	On
GPIO interrupt	On	On	On	On
WKUPx	On	On	On	On
BOR	On	On	On	On
PDR	On	On	On	On
NRST	On	On	On	On
GPIO state retention	On	On	On	On

2.1.2 LP Run 模式

当芯片需要低功耗低速运行时,可进入 LP RUN 模式,此时 LDO 进入低功耗模式,内核使用 LSCLK 运行,典型频率 32KHz。在需要高速运行时,软件可主动退出 LP RUN 进入 ACTIVE 模式,然后再将系统时钟切换到较高频率。

ADC、SVD、比较器仍可以在 LPRUN 模式下工作。

LP Run 模式下 CPU 改写 PMOD 寄存器可以返回 ACTIVE,或者进入 SLEEP/DEEPSLEEP。

2.1.3 SLEEP 模式

SLEEP 模式通过 CPU 配置寄存器 PMOD (2'b10) 后并执行 WFI/WFE 进入,进入 SLEEP 模式后关闭所有外设时钟和 CPU 时钟,Flash 进入待机模式。ADC、SVD、比较器仍可以在 SLEEP 模式下工作。

系统可以使用任何时钟进入 SLEEP,从 SLEEP 唤醒后使用可配置的 RCHF 时钟进入 ACTIVE 模式。

2.1.4 DEEPSLEEP 模式

DEEPSLEEP 模式可以通过 CPU 配置寄存器 PMOD (2'b10),并设定自身休眠模式为深度休眠,然后执行 WFI/WFE 进入。进入 DEEPSLEEP 模式前软件需置位 PMU.VREFOFF 寄存器;进入 DEEPSLEEP 后硬件门控所有外设时钟和 CPU 时钟,关闭内部基准源,Flash 进入深度待机模式。与 SLEEP 模式相比,DEEPSLEEP 芯片功耗较 SLEEP 进一步降低。ADC、SVD、比较器仍可以在 DEEPSLEEP 模式下工作。

系统可以使用任何时钟进入 DEEPSLEEP,从 DEEPSLEEP 唤醒后使用可配置的 RCHF 时钟进入 ACTIVE 模式。

2.1.5 唤醒源

2.1.5.1 唤醒源列表

唤醒源	应用	可唤醒模式	
		Sleep	DeepSleep

停振检测	可屏蔽, 32786Hz 晶振停振时唤醒芯片	√	√
SVD	可屏蔽, 在电源电压跌落至阈值以下或升高至阈值以上时唤醒芯片	√	√
比较器	可屏蔽, 用于外部事件唤醒	√	√
RTC	可屏蔽, 根据需要的唤醒周期设置	√	√
IO 引脚中断	可屏蔽, 用于外部事件唤醒	√	√
Debug	不可屏蔽, 用于 debug 唤醒	√	√
LPUART	可屏蔽, 接收数据唤醒	√	√
WKUPx 引脚	可屏蔽, 用于外部输入唤醒	√	√
NRST	不可屏蔽, 用于全局复位	√	√
LPTIM	可屏蔽, 用于定时唤醒	√	√

通过PRIMASK能够实现事件唤醒芯片, 但是不进入中断服务程序, 省去进出中断的时间。

2.1.6 休眠唤醒后的时钟控制

当芯片从Sleep/DeepSleep模式唤醒后, 芯片可以根据软件配置, 使用RCHF或RCHF/16运行。

详细寄存器配置参见下表:

SYSCLKSEL.WKUPCLK	休眠唤醒后的工作时钟
0	RCHF, 8MHz
1	RCHF/16, 512KHz

2.2 寄存器

地址	名称	符号
0x40000100	低功耗控制寄存器	LPMCFCG
0x40000104	唤醒时间控制寄存器	WKDLYCON
0x40000108	引脚唤醒标志寄存器	WKPFLAG
0x4000010C	PMU 中断使能寄存器	LPREIE
0x40000110	PMU 中断标志寄存器	LPREIF

2.2.1 低功耗控制寄存器

名称	LPMCFCG							
地址	0x40000100							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							FLSDPS EN
位权限	U-0							R-1
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-				XTOFF	XTOFF_B	LDO15E N	LDO15E N_B
位权限	U-0				R/W/Dy-0	R/W/Dy-1	R/Dy-1	R/Dy-0
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-						SLPDP	CVS
位权限	U-0						R/W-0	R/W-0



位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-						PMOD	
位权限	U-0						R/W-00	

Bit	助记符	功能描述
31:25	--	未实现，读为 0
24	FLSDPSEN	无功能，固定为 1
23:20	--	未实现，读为 0
19	XTOFF	关闭 XTLP，仅在 SLEEP/DEEPSLEEP 下起作用 1: 关闭 XTLP 0: 保持 XTLP 开启 若为无晶振产品，无论 XTOFF 是什么值，均关闭 XTLP
18	XTOFFB	XTOFF 反码校验位
17	LDO15EN	LDO15 使能标志位 1: LDO15 处于工作状态 0: LDO15 被关闭
16	LDO15EN_B	LDO15 使能标志反码校验位
15:11	--	未实现，读为 0
10	DUMMY	DUMMY 寄存器
9	SLPDP	DeepSleep 控制寄存器 1: DeepSleep 模式使能，下关闭基准电压源 0: 常规 Sleep 模式 在 Sleep 下，如果置位了 SLPDP 位即为 DeepSleep 模式； 该位仅在 Sleep 下有效
8	CVS	CoreVoltageScaling 配置 0: 低功耗模式下不使能内核电压调整 1: 低功耗模式下降低内核电压 该位仅在 Sleep/DeepSleep 下起作用
7:2	--	未实现，读为 0
1:0	PMOD	低功耗模式配置寄存器 00: Active mode 01: LPRUN mode 10: Sleep mode 11: RFU

2.2.2 唤醒时间控制寄存器

名称	PMU_WKTR							
offset	0x04							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0



位名	-	FWUP	T1a
位权限	U-0	R/W-0	R/W-11

Bit	助记符	功能描述
31:3	--	未实现，读为 0
2	FWUP	Flash 唤醒速度配置 1: 快速唤醒 (5us) 0: 慢速唤醒 (10us)
1:0	T1a	可编程额外唤醒延迟 在 DeepSleep 模式下, RCHF 时钟到来后, 根据此寄存器配置等待额外延迟时间后, 再读取 Flash 校验字 当 FWUP=1: 00: 0us 01: 2us 10: 4us 11: 8us 当 FWUP=0: 00: 10us 01: 12us 10: 16us 11: 20us 此延迟主要有两个作用: 1、芯片复位后, 在复位释放到 cfgloader 开始读 flash 之间的延迟, 用于保证 flash 要求的 T_{RHR} 参数 2、芯片唤醒后, 从 DPSTB 撤销到 CPU 读取 flash 之间的延迟, 用于保证 flash 要求的 T_{WUP} 参数

2.2.3 引脚唤醒标志寄存器

名称	WKPFLAG							
地址	0x40000108							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							DBGWK F
位权限	U-0							R/W1C-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	WKP7F	WKP6F	WKP5F	WKP4F	WKP3F	WKP2F	WKP1F	WKP0F
位权限	R/W1C-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31:9	--	未实现，读为 0

Bit	助记符	功能描述
8	DBGWKF	CPU Debugger 唤醒标志, 软件写 1 清零
7:0	WKPxF	WKUPx Pin 唤醒标志寄存器, 对应引脚上的有效唤醒事件将置位寄存器, 软件写 1 清零

2.2.4 PMU 中断使能寄存器

名称	LPREIE							
地址	0x4000010C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					RTCBKPEIE	SLPEIE	LPREIE
位权限	U-0					R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:3	--	未实现, 读为 0
2	RTCBKPEIE	DUMMY 寄存器
1	SLPEIE	SLEEP 错误中断使能 1: 使能 SLEEP 错误中断 0: 禁止 SLEEP 错误中断
0	LPREIE	LPRUN 错误中断使能 1: 使能 LPRUN 错误中断 0: 禁止 LPRUN 错误中断

2.2.5 PMU 中断标志寄存器

名称	LPREIF							
地址	0x40000110							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0



位名	-	RTCBKPEIF	SLPEIF	LPREIF
位权限	U-0	R/W1C-0	R/W1C-0	R/W1C-0

Bit	助记符	功能描述
31:2	--	未实现，读为 0
2	RTCBKPEIF	DUMMY 寄存器
1	SLPEIF	SLEEP 错误中断标志，硬件置位，软件写 1 清零 1：在 PMOD=2'h2 后，CPU 执行 WFI/WFE 指令前置位了 SLEEPDEEP 寄存器时置位 0：在 PMOD=2'h2 后，CPU 正确进入 SLEEP
0	LPREIF	LPRUN 错误中断标志，硬件置位，软件写 1 清零；软件进入 LPRUN 模式时如果触发了 LPREIF，则芯片仍将停留在 ACTIVE 模式 1：LPRUN Condition Error，即进入 LPRUN 时满足如下情况： 1) HSCLK 选择不是 LSCLK 或 RCLP 2) RCHF、PLL、ADC 使能未关闭 0：LPRUN 正常进入

3 CPU

3.1 概述

FM33A048D 使用的 CPU 内核为 Cortex-M0，符合 ARMv6-M 架构和编程模型；更多信息请参考 ARM 官网 www.arm.com

其支持的特性如下：

- 用户/特权模式
- VTOR（中断向量表重定向）
- NVIC 支持 32 个外部中断
- 数据监视点：1
- 硬件断点：4
- 单周期 32-bit 硬件乘法器
- SWD 调试接口

3.1.1 处理器配置

Feature	Options	FM33A048D Config
Interrupts	1~32	32
Data endianness	little/big	little
SysTick Timer	Present or absent	Present
watchpoints	0,1,2	1
breakpoints	0,1,2,3,4	4
halting debug support	Present or absent	Present
multiplier	Fast or Small	Fast
Single-Cycle IO	Present or absent	Absent
wake-up interrupt controller(WIC)	Present or absent	Present
Vector Table Offset Register	Present or absent	Present
Unprivileged/Privileged support	Present or absent	Present
JTAGnSW	JTAG or SWD for DAP	SWD
Memory Protection Unit	Present or absent	Absent

3.2 编程模型

3.2.1 内核工作模式

内核工作模式可参考《ARMv6-M Architecture Reference Manual》。

FM33A048D 内核支持的 ARMv6-M 扩展包括：

- PU 扩展，Privileged/UnPrivileged
- OS 扩展，Systick

3.2.2 内核寄存器

主要内核寄存器列表

名字	描述
R0-R12	通用寄存器
MSP (R13)	堆栈指针; Handler 模式下使用 MSP (Main Stack Pointer), Thread 模式下通过 CONTROL 寄存器选择 MSP 或 PSP (Process Stack Pointer) 使用
PSP (R13)	
LR (R14)	Link 寄存器, 保存子函数/函数调用/异常处理的返回信息
PC (R15)	程序指针
PSR	包含应用程序状态 (APSR)、中断程序状态 (IPSR) 和程序执行状态 (EPSR)
PRIMASK	PRIMASK 用于屏蔽指定优先级及以下的所有中断响应
CONTROL	设置 Thread 模式下使用的堆栈指针

寄存器详细定义参见 ARMv6-M 架构参考手册。

3.2.3 系统控制寄存器

主要的系统控制寄存器列表

名字	地址	描述
ACTLR	0xE000E008	Auxiliary Control Register
CPUID ^[1]	0xE000ED00	CPU ID Register, 只读, 0x410CC300
ICSR	0xE000ED04	Interrupt Control State Register
VTOR	0xE000ED08	Vector Table Offset Register
AIRCR	0xE000ED0C	Application Interrupt and Reset Control Register
SCR	0xE000ED10	System Control Register
CCR	0xE000ED14	Configuration and Control Register
SHPR2	0xE000ED1C	System Handler Priority Register 2
SHPR3	0xE000ED20	System Handler Priority Register 3
SHCSR	0xE000ED24	System Handler Control and State Register
DFSR	0xE000ED30	Debug Fault Status Register
SYST_CSR	0xE000E010	Systick Control and Status Register
SYST_RVR	0xE000E014	Systick Reload Value Register
SYST_CVR	0xE000E018	Systick Current Value Register
SYST_CALIB	0xE000E01C	Systick Calibration value Register

注[1]: CPUID指CPU内核ID, 同一型号CPU内核ID均一致

寄存器详细定义参见 ARMv6-M 架构参考手册。

3.3 异常和中断

内核的异常和中断管理通过 NVIC 完成。NVIC 的可编程管理寄存器位于 PPB 总线的 SCS 空间内, NVIC 具有如下特性:

- 支持 32 个外部中断, 5 个内部异常
- 1 个 NMI 中断
- 支持中断嵌套
- 向量化的异常入口
- 中断屏蔽
- VTOR (中断向量表重定向)

处理器内核接受一个异常请求后, 首先会将内核寄存器 R0~R3、R12、R14、PC、xPSR 压入堆栈。

链接寄存器 LR (R14) 被更新为异常返回时使用的特殊值 (EXC_RETURN)，然后根据异常向量表定位异常处理程序开始执行。注意在异常处理中没有被自动压栈的寄存器，必须通过软件来保存和恢复。

3.3.1 中断向量表

Position	Priority	Priority type	Acronym	Description	Address
0	-	-	MSP 初值	主栈指针初始化地址	0x0000_0000
1	-3	fixed	Reset	复位向量	0x0000_0004
2	-2	fixed	NMI	WKUPx 中断 Debugger 唤醒中断 低功耗模式错误中断	0x0000_0008
3	-1	fixed	HardFault	HardFault 中断向量	0x0000_000C
4-10	-	-	-	Reserved	0x0000_0010~0x0000_002B
11	3	settable	SVC	SVCall 系统服务请求	0x0000_002C
12-13	-	-	-	Reserved	0x0000_0030~0x0000_0037
14	5	settable	PendSV	可挂起系统服务请求	0x0000_0038
15	6	settable	Systick	内部定时器中断向量	0x0000_003C
16	7	settable	WWDT	窗口看门狗中断	0x0000_0040
17	8	settable	SVD	电源监测报警中断	0x0000_0044
18	9	settable	RTC	实时时钟中断	0x0000_0048
19	10	settable	FLASH	NVMIF 中断	0x0000_004C
20	11	settable	FDET	XTLF 停振检测中断	0x0000_0050
21	12	settable	ADC	ADC 转换完成中断	0x0000_0054
22	13	settable	SPI0	SPI 中断	0x0000_0058
23	14	settable	SPI1		0x0000_005C
24	15	settable	SPI2		0x0000_0060
25	16	settable	UART0	UART 中断	0x0000_0064
26	17	settable	UART1		0x0000_0068
27	18	settable	UART2		0x0000_006C
28	19	settable	UART3		0x0000_0070
29	20	settable	UART4		0x0000_0074
30	21	settable	UART5		0x0000_0078
31	22	settable	U78160	7816 中断	0x0000_007C
32	23	settable	U78161		0x0000_0080
33	24	settable	I2C	I2C 中断	0x0000_0084
34	25	settable	GPTIMER	GPTIMER 中断	0x0000_0088
35	26	settable	AES	AES 中断	0x0000_008C
36	27	settable	LPTIM	低功耗定时器中断	0x0000_0090
37	28	settable	DMA	DMA 中断	0x0000_0094
38	29	settable	WKUPx	WKUP 引脚中断	0x0000_0098
39	30	settable	Comp	模拟比较器中断	0x0000_009C
40	31	settable	BT1	Basic Timer1 中断	0x0000_00A0
41	32	settable	BT2	Basic Timer2 中断	0x0000_00A4
42	33	settable	ET1	Extended Timer1 中断	0x0000_00A8

Position	Priority	Priority type	Acronym	Description	Address
43	34	settable	ET2	Extended Timer2 中断	0x0000_00AC
44	35	settable	ET3	Extended Timer3 中断	0x0000_00B0
45	36	settable	ET4	Extended Timer4 中断	0x0000_00B4
46	37	settable	EXTI	外部引脚中断	0x0000_00B8
47	38	settable	LPUART	低功耗 UART 接收中断	0x0000_00BC

其中WKUPx中断可以接到NMI或者38#入口。通过PADCFG模块的WKUPEN.WKISEL寄存器来选择中断入口地址。当配置为38#入口时，可以通过PRIMASK将WKUPx中断屏蔽，唤醒后CPU不进入中断服务程序，而是继续从休眠指令处向下执行。

3.3.2 中断优先级

处理器支持 3 个固定的最高优先级及 4 个可编程优先级。当两个相同优先级的异常同时发生，则异常编号较小的异常将被首先执行。

3.3.3 错误处理

处理器只支持一种硬件错误处理方式：HardFault 异常。HardFault 优先级-1，只有 NMI 能对其抢占。

HardFault 的触发原因包含以下几种情况：

错误类型	错误条件
存储器相关	总线错误。由于在总线传输中使用了非法地址而产生的总线错误。 试图在 XN 区域内执行程序
程序错误	执行未定义的指令 试图切换至 ARM 状态 试图进行非对齐的存储器访问 在更高优先级异常处理中执行 SVC 指令 执行异常返回时 EXC_RETURN 的值非法 当调试未使能时试图执行 BKPT 指令

FM33A048D 的 HardFault 触发原因可以通过寄存器查询，以帮助软件开发者定位错误原因。

3.3.4 锁定 (Lockup)

当处理器在进行 HardFault 处理的过程中发生了另一个 HardFault，或者 NMI 处理期间发生了 HardFault，则处理器将进入锁定状态（停止执行），并输出 LOCKUP 信号，此时芯片将自动复位处理器内核，而不是等待看门狗溢出。

3.3.5 VTOR

通过系统控制寄存器中的VTOR寄存器，可以实现中断向量表重新定向功能。

VTOR寄存器定义如下：

名称	VTOR							
地址	0xE000ED08							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-		TBLBASE	TBLOFF				
位权限	U-0		R/W-0	R/W-00000				
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	TBLOFF							
位权限	R/W-00000000							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8

名称	VTOR							
地址	0xE000ED08							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	TBLOFF							
位权限	R/W-00000000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-							
位权限	U-0							

Bit	助记符	功能描述
31:30	--	RFU: 未实现, 读为 0
29	TBLBASE	中断向量表基址区域 0: CODE 区域, 起始地址 0x00000000 1: SRAM 区域, 起始地址 0x20000000
28:8	TBLOFF	向量表偏移地址, 定义在 TBLBASE 基础上的偏移量
7:0	--	RFU: 未实现, 读为 0

3.4 调试特性

处理器支持以下调试特性

- 程序的暂停、恢复及单步执行
- 访问内核寄存器和特殊寄存器
- 硬件断点（4 个）
- 软件断点（不限数量的 BKPT 指令）
- 数据监视点（1 个）
- 动态非侵入式存储器访问（无需停止处理器）
- SWD 接口

Cortex-M0+的调试特性是基于 ARM CoreSight 调试架构的, 详情请参考《CoreSight Technology System Design Guide》和《ARM Debug Interface Architecture Specification ADIv5.0 to ADIv5.2》

3.4.1 调试功能引脚

FM33A048D 使用 SWD 调试接口, 用户模式下最少仅需 4 线 (NRST, GND, SWIO, SWCLK) 即可实现调试功能。2 线调试引脚可以复用为 GPIO, 其功能由软件选择配置。

NRST 引脚用于复位芯片, 通过 NRST 与 SWD 的配合, 可以使芯片复位后 Halt 在第一条指令处。

调试功能引脚的复用说明参见 I/O 控制章节。

3.4.2 调试状态下的看门狗控制

看门狗在调试模式下可以保持使能或关闭。当 TEST_N 引脚为低电平超过 8ms 后, 看门狗自动关闭。当调试器不使用 TEST_N 引脚时, 软件或 Debugger 可以通过 MCUDBGCR 寄存器配置看门狗打开或关闭。

3.4.3 DEBUG 的复位

内核的 DEBUG 部分仅受上下电复位影响, 其他系统复位源如看门狗、引脚复位、软件复位等, 都不会复位 DAP 电路。这样可以在芯片上电后通过引脚复位使 CPU 内核处于复位状态, 但是调试器

仍可以正常与 DAP 建立通信并设置断点，在复位放开后可以使 CPU 立即进入调试模式。

建议调试器在系统复位时连接内核(在复位向量处设置断点)。

3.5 扩展寄存器

地址	名称	符号
0x40000004	MCU Debug 配置寄存器	DBGCFG
0x40000008	Hardfault 标志寄存器	HDFFLAG

3.5.1 MCU DEBUG 配置寄存器

FM33A048D 扩展了 MCUIDBGCR 寄存器,用于配置 Debug 状态下的看门狗和定时器。MCUIDBGCR 寄存器可以由 SWD 接口或软件改写。此寄存器仅在 NVR5 的 User Option Bytes 中使能了 MCUIDBGEN 的情况下才起作用。

名称	DBG_CR							
offset	0x04							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-		-	DBG_LP T_STOP	DBG_GT 1_STOP	DBG_GT 0_STOP	-	-
位权限	U-0		U-0	R/W-1	R/W-1	R/W-1	U-0	U-0
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-		DBG_E T4_STO P	DBG_ET 3_STOP	DBG_ET 2_STOP	DBG_ET 1_STOP	DBG_BT 2_STOP	DBG_BT1 _STOP
位权限	U-0		R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-						DBG_W WDT_ST OP	DBG_IW DT_STOP
位权限	U-0						R/W-1	R/W-1

Bit	助记符	功能描述
31:22	--	RFU: 未实现, 读为 0
21	--	RFU: 未实现, 读为 0
20	DBG_LPT_STOP	Debug 状态下 LPTIM16 使能控制位 1: Debug 时关闭 LPTIM16 0: Debug 时保持 LPTIM16 原来状态
19	DBG_GT1_STOP	Debug 状态下 GPTIM1 使能控制位 1: Debug 时关闭 GPTIM1 0: Debug 时保持 GPTIM1 原来状态
18	DBG_GT0_STOP	Debug 状态下 GPTIM0 使能控制位 1: Debug 时关闭 GPTIM0 0: Debug 时保持 GPTIM0 原来状态
17	--	RFU: 未实现, 读为 0

Bit	助记符	功能描述
16	--	RFU: 未实现, 读为 0
15:14	--	RFU: 未实现, 读为 0
13	DBG_ET4_STOP	Debug 状态下 ET4 使能控制位 1: Debug 时关闭 ET4 0: Debug 时保持 ET4 原来状态
12	DBG_ET3_STOP	Debug 状态下 ET3 使能控制位 1: Debug 时关闭 ET3 0: Debug 时保持 ET3 原来状态
11	DBG_ET2_STOP	Debug 状态下 ET2 使能控制位 1: Debug 时关闭 ET2 0: Debug 时保持 ET2 原来状态
10	DBG_ET1_STOP	Debug 状态下 ET1 使能控制位 1: Debug 时关闭 ET1 0: Debug 时保持 ET1 原来状态
9	DBG_BT2_STOP	Debug 状态下 BT2 使能控制位 1: Debug 时关闭 BT2 0: Debug 时保持 BT2 原来状态
8	DBG_BT1_STOP	Debug 状态下 BT1 使能控制位 1: Debug 时关闭 BT1 0: Debug 时保持 BT1 原来状态
7:2	--	RFU: 未实现, 读为 0
1	DBG_WWD T_STOP	Debug 状态下 WWD T 使能控制位 1: Debug 时关闭 WWD T 0: Debug 时保持 WWD T 原来状态
0	DBG_IWDT_STOP	Debug 状态下 IWDT 使能控制位 1: Debug 时关闭 IWDT 0: Debug 时保持 IWDT 开启

3.5.2 HardFault 标志寄存器

名称	HDFFLAG							
地址	0x40000008							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	DABOR T_ADDR_FLAG	DABOR T_RESP_FLAG	SVCUN DEF_FL AG	BKPT_F LAG	TBIT_FL AG	SPECIAL_OP_FL AG	HDF_RE QUEST_F LAG
位权限	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

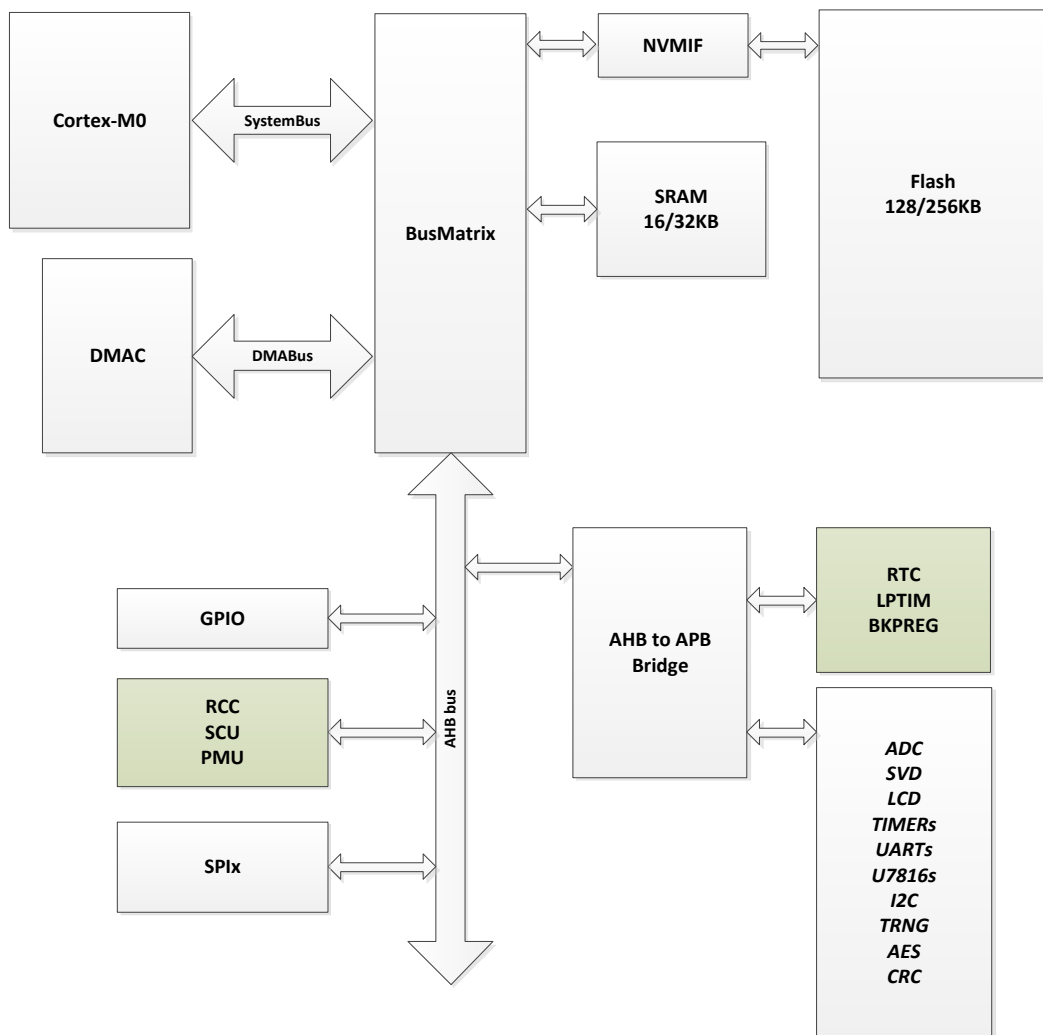
Bit	助记符	功能描述
-----	-----	------

Bit	助记符	功能描述
31:7	--	RFU: 未实现, 读为 0
6	DABORT_A DDR_FLAG	地址非对齐访问错误标志, 写 1 清零 1: 地址非对齐访问错误 0: 未进行地址非对齐访问
5	DABORT_R ESP_FLAG	非法地址访问错误标志, 写 1 清零 1: 总线传输中访问了非法地址导致 HRESP 为高产生错误 0: 未访问非法地址
4	SVCUNDE F_FLAG	SVC instructions 未定义标志, 写 1 清零 if the SVCcall priority is lower than the currently activelevel, or if HardFault or NMI is active, or PRIMASK is set, the core should treat SVC instructions as though theywere UNDEFINED。
3	BKPT_FLA G	执行 BKPT 指令标志, 写 1 清零 1: 执行了 BKPT 指令 0: 未执行 BKPT 指令
2	TBIT_FLAG	Thumb-State 标志, 写 1 清零 1: 切换到 ARM 状态 0: 处于 Thumb-State
1	SPECIAL_ OP_FLAG	特殊指令标志, 写 1 清零 1: 执行了特殊指令代码, 如试图在 XN 区域内取指 0: 无特殊指令代码被执行
0	HDF_REQ UEST_FLA G	hardfault 标志位, 任何类型的 hardfault 都会导致该位置位, 写 1 清零 1: hardfault 请求 0: 无 hardfault 请求

4 总线与存储

4.1 系统总线

FM33A048D 的系统总线示意图如下，包含一条 AHB-Lite 总线、一条 APB 总线。

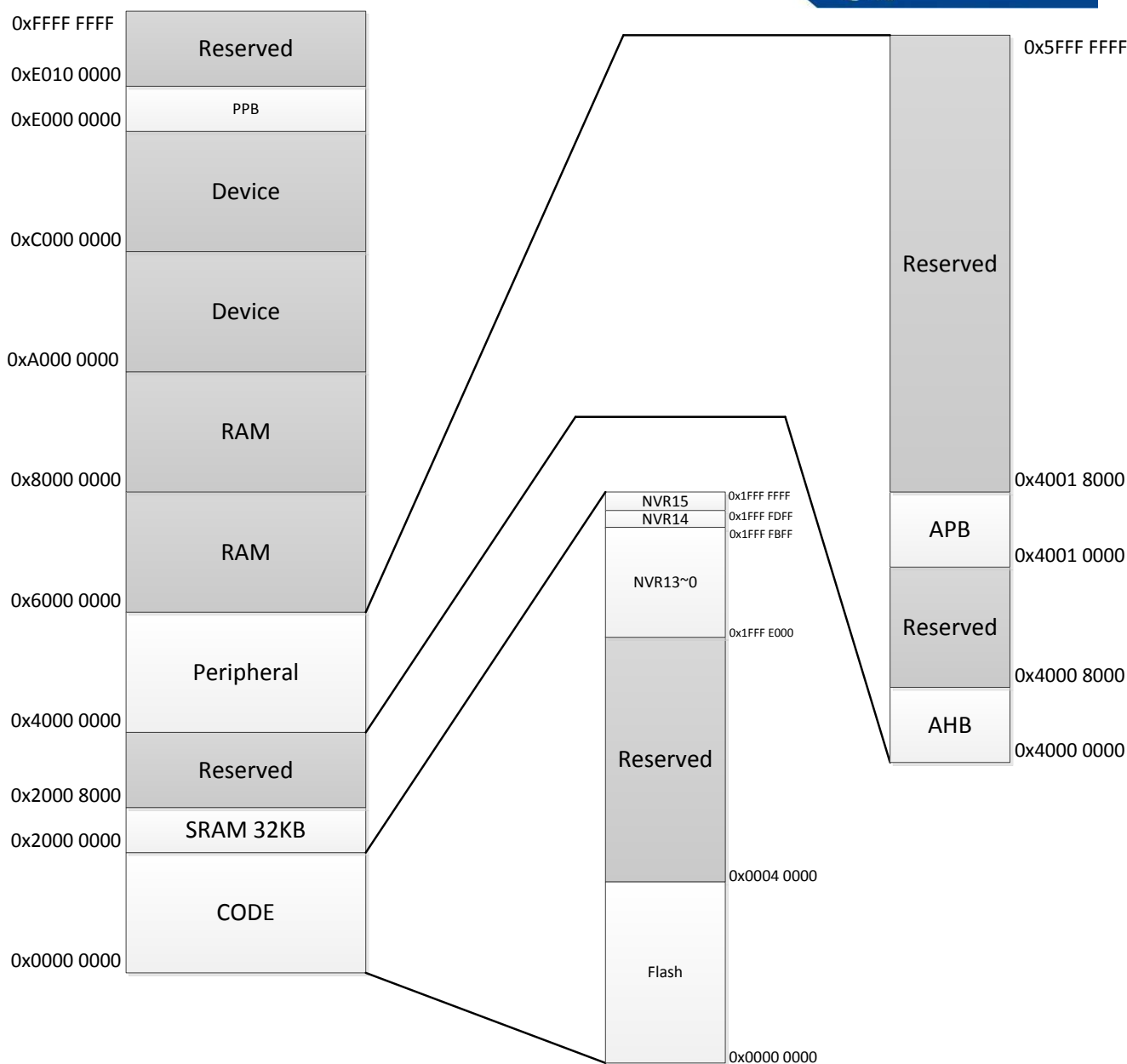


4.2 存储空间分配

Flash 扇区（Sector）大小为 512 字节。

其中 NVR15 和 NVR14 为芯片原厂保留扇区，不对用户开放。NVR13~NVR0 为用户配置扇区，用于保存用户配置信息。所有 NVR 扇区在地址上与 Flash 主区域互相隔离。

当芯片从 Flash 启动时，FM33A048D 的地址空间分配如下图：



4.3 Flash 读取

芯片的嵌入式 Flash 可以实现 24MHz 主频下的无等待读取，当芯片工作主频高于 24MHz 时，建议配置寄存器插入 1 个等待周期。CPU 运行在较高频率前，需先根据目标频率设置等待周期，否则可能导致运行错误。

芯片上电复位后，默认运行在 8MHz 主频，没有 Flash 等待周期。

4.4 Flash 编程

4.4.1 概述

FM33A048D 支持以下 Flash 编程方法：

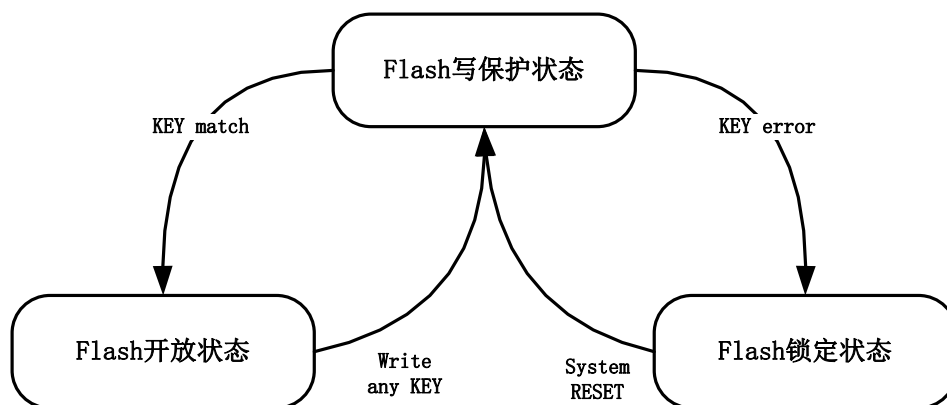
- 在系统编程（ISP）：通过 FMSH 专用编程器或者 KEIL 用户界面实施芯片编程，使用 SWD 接口
- 在应用编程（IAP）：通过 bootloader 代码实现芯片自编程，用户可定义任意串口，可用于实现程序在线升级

4.4.2 Flash 擦写方法

FM33A048D 支持 Flash 擦除操作，以及单次编程和连续编程。执行 Flash 擦写使用校准后的 RCHF 时钟，而此时 CPU 运行的系统时钟可以是任意时钟。

注意，在擦写 Flash 时，必须保证 RCHF 开启，并且 RCHF 频率选择为 8/16/24MHz，当 RCHF 为其他频率时，无法保证 Flash 擦写的可靠性。

Flash 擦写前须进行 Key 校验，写入顺序错误或写入值错误，或者在 Flash Key 验证正确之前就进行擦除或编程 Flash 操作将会进入错误状态，并产生相应中断。Flash Key 认证错误之后将禁止擦写 Flash 直到下一次复位。而在正常擦写完成后，向 KEY 寄存器写入任意值都会使状态机返回初始的写保护状态。状态转换如下图：



4.4.2.1 全擦操作（Chip Erase）

全擦操作只能由 SWD 接口启动，软件禁止进行全擦。全擦操作仅擦除 main array，硬件确保 NVR 引脚拉低，不会擦除 NVR 扇区。SWD 操作流程如下：

- 编程器通过 SWD 配置 ERTYPE 寄存器为 10
- 编程器通过 SWD 清除 PREQ 寄存器，置位 EREQ 寄存器
- 编程器通过 SWD 写入 Flash 全擦 Key: 0x9696_9696 和 0x7D7D_7D7D
- SWD 向 Flash 任意地址写擦除请求 0x1234_ABCD
- NVMIF 启动对 Flash 的全擦，并暂停任何 Master 对 Flash 的访问
- 全擦完成后置位中断标志和全擦标志（全擦标志表示 main array 全部擦除，任何对 main array 的编程将清除此标志）
- 在全擦标志有效的情况下，SWD 可以任意擦写 NVR5，否则擦写 NVR5 被禁止并触发错误中断
- 软件确认擦除结束后向 FlashKEY 寄存器写任意值恢复写保护

4.4.2.2 扇区擦操作 (Sector Erase)

SWD 和应用代码都可以执行扇区擦。操作流程如下：

- 配置 ERTYPE 寄存器为 00
- 清除 PREQ 寄存器，置位 EREQ 寄存器
- 写入 Flash 块擦 Key: 0x9696_9696 和 0xEAEA_EAEA
- 向需要擦除的扇区内任意地址写擦除请求 0x1234_ABCD
- NVMIF 检查目标扇区是否属于被 ACLOCK 锁定的 Block, 如果没有锁定则启动对目标扇区的擦除, 如果被锁定则触发错误标志
- 扇区擦完成后置位中断标志
- 软件确认擦除结束后向 FlashKEY 寄存器写任意值恢复写保护

4.4.2.3 单次编程

单次编程由软件发起，通过总线直接写 Flash，每次操作可执行 byte/half-word/word 编程，操作流程如下：

- 清除 EREQ 寄存器，置位 PREQ 寄存器
- 清除连续编程使能寄存器
- 写入 Flash 编程 Key: 0xA5A5_A5A5 和 0xF1F1_F1F1
- 向 Flash 目标地址写数据，如果目标地址被 ACLOCK 锁定，则触发错误标志，如果没有锁定，则执行编程
- Byte 写入直接完成，half-word 写入则由 NVMIF 自动执行 2 次 byte program，word 编程由 NVMIF 执行 4 次 byte program
- 编程完成后置位中断标志
- 软件确认编程结束后向 FlashKEY 寄存器写任意值恢复写保护

4.4.2.4 连续编程

连续编程指通过 DMA 的 Memory 通道一次向 Flash 写入 half-sector (128 字节)。连续编程时 DMA 从 RAM 指定地址读取数据，Flash 目标编程地址必须是四分之一 sector 对齐的，也就是 Flash 地址低 5 位为 0。采用这种方式时一次编程的数据长度是固定的，主要用于快速大数据量写入。

在启动连续编程期间，DMA 完全占据 Flash 总线，暂停 CPU 对 Flash 的一切访问。连续编程的操作流程如下：

- 清除 EREQ 寄存器，置位 PREQ 寄存器
- 置位连续编程使能寄存器 (DMA 模式使能)
- 向 RAM 中写入 128 字节待编程数据
- 配置 DMA 存储器通道，设定传输方向、读地址和写地址
- 使能 DMA 存储器通道
- 写入 Flash 编程 Key: 0xA5A5_A5A5 和 0xF1F1_F1F1
- 软件触发 DMA 存储器通道，DMA 连续 32 次读取 RAM 并对 Flash 编程，NVMIF 每收到 1 个 word 自动完成 4 次 byte program
- NVMIF 检查被编程扇区是否被 ACLOCK 锁定，如果锁定则触发错误中断并通知 DMA 停止编程
- 128 字节完全编程结束后产生中断，释放 Flash 总线
- 软件确认编程结束后向 FlashKEY 寄存器写任意值恢复写保护

注意：如果 CPU 在 Flash 中取指时进行 Flash 擦写，则 CPU 取指将被暂停，直到擦写操作完成。如果 CPU 跳转到 RAM 中取指运行，则 Flash 擦写不会暂停 CPU 的执行。Flash 擦写过程中，若用户希望在 RAM 中执行代码时仍然能够实时响应中断，应将中断向量表重新映射到 RAM 中。

4.5 Flash 的内容保护

Flash 内容保护主要用于保护 Flash 中的用户代码、用户数据和用户配置信息被非授权方读取或篡改。

Flash 保护包含两种类型：Debug 接口读取保护（DBRDP-DeBug ReaD Protection）和应用代码权限保护（ACLOCK-Application Code Block Locking）。Flash 保护的控制通过 NVR13 中的 OPTBYTES 来控制。

4.5.1 Debug 接口保护（DBRDP）

DBRDP 的主要目的是防止非授权的第三方通过 debug 接口访问芯片 Flash 内容。DBRDP 由 NVR13 扇区内的 DBRDPEN 配置字使能或者禁止（0xAA 表示禁止 DBRDP，芯片出厂时默认写为 0xAA）。当 DBRDP 使能时，无法通过 SWD 接口读取或擦写 Flash main array；

4.5.2 应用代码保护（ACLOCK）

ACLOCK 的主要目的是防止 hacking code 读取或篡改 Flash 中的 application code。通过 ACLOCK 功能，可以设置 CPU 对 Flash 的某些区域只能进行取指操作，不能 read-as-data，也不能擦写。

ACLOCK 以 Block 为单位工作，即对 Flash 保护的颗粒度是 8KB，整个 Flash 包含最大 32 个 Blocks，对应每个 Block 有 1bit LOCK 信息。当对应 LOCK 位为 1 时，此 Block 禁止 CPU 擦写和读取，只能取指。芯片出厂时 NVR13 中关闭 ACLOCK 功能，用户需要通过编程器使能 ACLOCK，并且用户代码编译时要符合 ACLOCK 配置（比如不能将 literal pool 编译到被 LOCK 的 Block）。

ACLOCK 的功能：

- 无保护：所有 Block 允许取指、读取、改写
- 读写保护：指定 Block 允许 CPU 取指，不允许 CPU 和 DMA 读取、擦写

ACLOCK 信息在芯片复位时 load 到寄存器中，这些寄存器软件也可以置位，但是不能写 0（即只能提升保护等级）。

ACLOCK 不使能时，LOCK 寄存器内容无效。ACLOCK 仅针对应用代码，即对 SWD 接口无效。

4.5.3 Flash 访问权限说明

Flash 空间访问权限分配：

Master	DBRDP	ACLOCK	Flash Area	Access
SWD	disabled	x	NVR15/14	R
			User code area	R/E/W
			NVR13-0	R/E/W
	enabled	x	NVR15/14	R
			User code area	-
			NVR13-0	R
Application code	x	Disabled	NVR15/14	R
			User code area	R/E/W
			NVR13-0	R
		Enabled	NVR15/14	R
			User code area	F
			NVR13-0	R

注：[1] R: Read, E: Erase, W: Write, F: Fetch

4.6 NVR13 说明

NVR13 的地址位于 0x1FFF_FA00~0x1FFF_FBFF，其中部分保留地址用于存放用户配置信息：

Address	[31:16]	[15:0]
0x1FFF_FA00	~OPTBYTE[15:0]	OPTBYTE[15:0]
0x1FFF_FA04	~OPTBYTE[31:16]	OPTBYTE[31:16]
0x1FFF_FA08	~LOCK1[15:0]	LOCK1[15:0]
0x1FFF_FA0C	~LOCK1[31:16]	LOCK1[31:16]

其中每个地址高低 half-word 都采用正反码校验。OPTBYTE 的定义如下：

Bit	助记符	功能描述	出厂默认
31:24	BOOTCFG	使能或禁止 BOOTSWAP 0x55: 允许 Bootswap 其他: 禁止 Bootswap	0xFF
23:16	DBGCFG	使能或禁止 MCUDBGCR 寄存器 0xFF: 使能 MCUDBGCR 寄存器 其他: 禁止 MCUDBGCR 寄存器	0xFF
15:8	ACLOCKEN	应用代码保护使能 0x33: 禁止 ACLOCK 其他: 使能 ACLOCK	0x33
7:0	DBRDPEN	调试接口访问保护使能 0xAA: 关闭调试接口保护 其他: 使能调试接口保护	0xAA

4.7 寄存器

地址	名称	符号
0x40001000	Flash 读取控制寄存器	FLASHRCON
0x40001008	用户配置寄存器	USRCFG
0x4000100C	代码锁定寄存器 1	ACLOCK1
0x40001014	Flash 擦写控制寄存器	EPCON
0x40001018	Flash Key 输入寄存器	FLSKEY
0x4000101C	Flash 中断使能寄存器	FLSIE
0x40001020	Flash 中断标志寄存器	FLSIF

4.7.1 Flash 读取控制寄存器

名称	FLASHRCON							
地址	0x40001000							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							

位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-						WAIT	
位权限	U-0						R/W-00	

Bit	助记符	功能描述
31:2	--	RFU: 未实现, 读为 0
1:0	WAIT	Flash 读等待周期配置 00/11: 0 wait cycle 01: 1 wait cycle 10: 2 wait cycles

4.7.2 用户配置寄存器

名称	USRCFG							
地址	0x40001008							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	DBGCFGEN	-						
位权限	R-0	U-0						
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-						BTSEN	
位权限	U-0						R-01	
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-				ACLOCKEN		DBRDPEN	
位权限	U-0				R-01		R-01	

Bit	助记符	功能描述
31	DBGCFGEN	DBG 控制寄存器使能 0: MCUIDBGCR 寄存器使能 1: 屏蔽 MCUIDBGCR 寄存器功能
30:10	--	RFU: 未实现, 读为 0
9:8	BTSEN	BootSwap 功能使能 00/01/11: 禁止 BootSwap 功能 10: 允许 BootSwap
7:4	--	RFU: 未实现, 读为 0
3:2	ACLOCKEN	应用代码权限锁定使能 00/01/11: ACLOCK 不使能 10: ACLOCK 使能
1:0	DBRDPEN	Debug Port 读取保护使能 00/01/11: DBRDP 不使能 10: DBRDP 使能

4.7.3 ACLOCK 寄存器 1

名称	ACLOCK1							
地址	0x4000100C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	ACLOCK[31:24]							
位权限	R/W1-00000000							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	ACLOCK[23:16]							
位权限	R/W1-00000000							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	ACLOCK[15:8]							
位权限	R/W1-00000000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	ACLOCK[7:0]							
位权限	R/W1-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31:0	ACLOCK[31:0]	ACLOCK 配置寄存器低 32bit, 分别用于控制 Block31~Block0 的应用代码读写锁定。 1: 读取和擦写权限锁定 0: 读取和擦写权限放开 软件只能写 1, 不能清零。

4.7.4 Flash 擦写控制寄存器

名称	EPCON							
地址	0x40001014							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-						ERTYPE	
位权限	U-0						R/W-00	
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-						PREQ	EREQ
位权限	U-0						R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:10	--	RFU: 未实现, 读为 0
9:8	ERTYPE	Flash 擦除类型配置 00/11: Sector Erase 01: Block Erase 10: 禁止
7:2	--	RFU: 未实现, 读为 0

Bit	助记符	功能描述
1	PREQ	Program Request 软件置位，硬件完成编程后自动清零
0	EREQ	Erase Request 软件置位，硬件完成擦除后自动清零

4.7.5 Flash Key 输入寄存器

名称	FLSKEY							
地址	0x40001018							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	FLSKEY[31:24]							
位权限	W							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	FLSKEY[23:16]							
位权限	W							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	FLSKEY[15:8]							
位权限	W							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	FLSKEY[7:0]							
位权限	W							

Bit	助记符	功能描述
31:0	FLSKEY	Flash 擦写 Key 输入寄存器，软件或者 SWD 在启动擦写前必须正确地 向此地址写入合法 KEY 序列。空地址，物理上无寄存器实现。

4.7.6 Flash 中断使能寄存器

名称	FLSIE							
地址	0x4000101C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-					AUTHIE	KEYIE	CKIE
位权限	U-0					R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-						PRDIE	ERDIE
位权限	U-0						R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:11	--	RFU: 未实现，读为 0
10	AUTHIE	Flash 读写权限错误中断使能
9	KEYIE	Flash KEY 错误中断使能

Bit	助记符	功能描述
8	CKIE	擦写定时时钟错误中断使能
7:2	--	RFU: 未实现, 读为 0
1	PRDIE	编程完成标志中断使能
0	ERDIE	擦写完成标志中断使能

4.7.7 Flash 中断标志寄存器

名称	FLSIF							
地址	0x40001020							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-				KEYSTA			-
位权限	U-0				R-000			U-0
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-					AUTHE RR	KEYER R	CKERR
位权限	U-0					R/W1C-0	R/W1C-0	R/W1C-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-						PRD	ERD
位权限	U-0						R/W1C-0	R/W1C-0

Bit	助记符	功能描述
31:20	--	RFU: 未实现, 读为 0
19:17	KEYSTA	Flash 擦写 KEY 输入状态 000: Flash 写保护状态, 未输入 KEY 001: 全擦解锁状态 010: 扇区擦解锁状态 011: 编程解锁状态 100: KEY 错误锁定状态, 需要复位才能解锁 101~111: RFU
16:11	--	RFU: 未实现, 读为 0
10	AUTHERR	Flash 读写权限错误, 读取 LOCK 块数据或对 LOCK 块擦写时置位, 软件写 1 清零。 1: Flash 访问权限错误
9	KEYERR	Flash KEY 错误, 硬件置位, 软件写 1 清零
8	CKERR	擦写定时时钟错误, NVMIF 擦写 Flash 时如果 RCHF 未使能, 则触发 CKERR 中断, 软件写 1 清零。
7:2	--	RFU: 未实现, 读为 0
1	PRD	Program Done, 编程完成标志, 硬件置位, 软件写 1 清零
0	ERD	Erase Done, 擦写完成标志, 硬件置位, 软件写 1 清零

5 复位

5.1 概述

复位电路特点：

- 支持多个复位源，如上下电复位、看门狗复位、软件复位、引脚复位等
- 上下电复位（BOR）监控主电源供电
- BOR 上电复位典型释放电压 1.8V
- BOR 下电复位产生电压软件可配置为 1.75/1.7/1.65/1.6V，可关闭。
- 低功耗下电复位电路（PDR），下电复位电压可配置为 1.25/1.35/1.4/1.5V，可关闭
- 上下电复位信号经过去抖动和延时，抗干扰能力强

进入复位状态时，所有寄存器都恢复到初始值（除 RTC 内部寄存器）；退出复位状态时，MCU 使用内部 RC 振荡器（RCHF，默认频率 8MHz）作为系统时钟。

5.2 模块框图

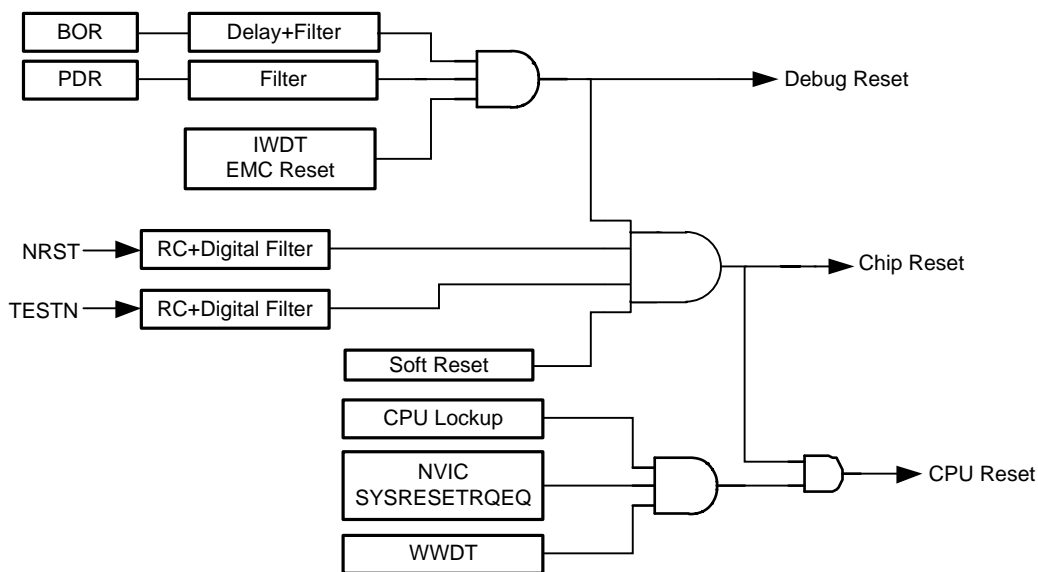


图 5-1 芯片复位源框图

5.3 上下电复位（BOR+PDR）

上下电复位电路监控 VDD 电源，由 BOR 和低功耗 PDR 组成。BOR 复位阈值电压精确度高，但是工作电流较大，因此在不需要精确下电复位阈值的场合，推荐关闭 BOR，仅保留 PDR。

VDD 电源上电期间上电复位信号有效，当 VDD 电压超过 V_{POR} 时，上电复位放开；VDD 跌落到 V_{PDR} 时下电复位有效。为防止电源抖动，保证上电复位电路的抗干扰能力，对上电复位信号进行滤波和延时处理。

V_{POR} 阈值固定为 1.8V，BOR 下电复位阈值和低功耗 PDR 下电复位阈值软件可设置。

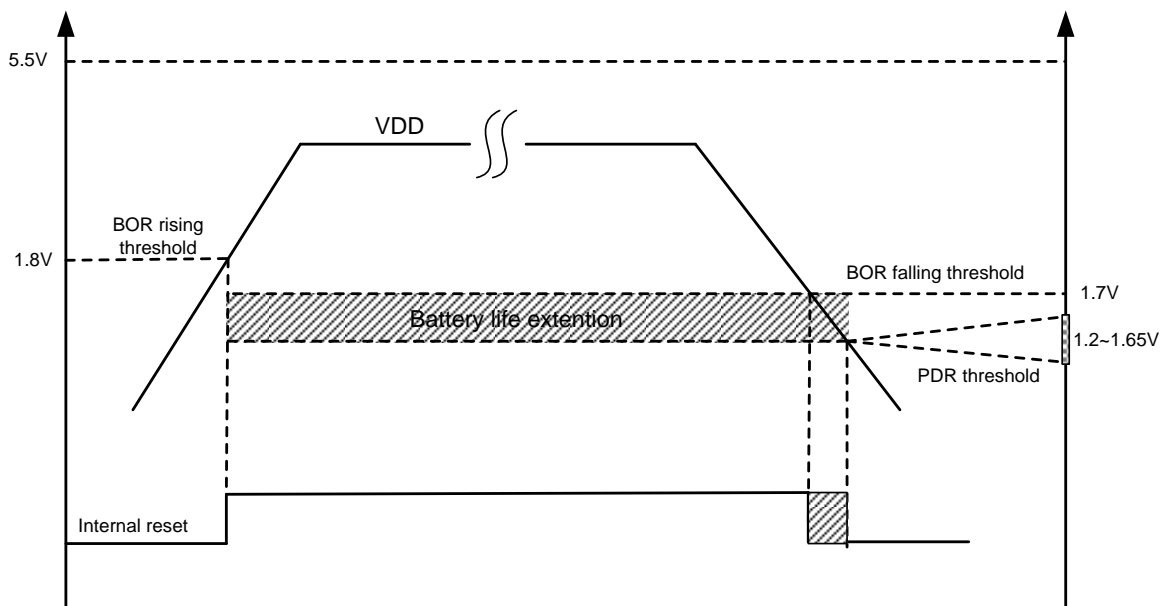


图 5-2 上下电复位示意图

5.4 独立看门狗（IWDT）

5.4.1 概述

独立看门狗用于监视系统运行，如果 CPU 运行异常，无法定时清狗，则看门狗在溢出后产生全局复位信号，重启系统，以避免系统锁死。看门狗在芯片上电后自行启动，无法关闭；为了便于调试，当芯片处于调试模式时，软件可以通过配置 MCUDBGCR 寄存器在调试过程中暂停 IWDT。

独立看门狗使用 LSCLK 工作，溢出周期可配置为 125ms、500ms、2s、8s、4096s，其中 4096s 档位仅在休眠模式下可以使用。芯片一旦从休眠模式唤醒则自动切换回 4 个正常周期之一，并且唤醒完成后硬件会自动清狗，重新开始计数。

5.4.2 IWDT 操作

CPU 正常运行时，看门狗应使用较短的溢出周期，而在 SLEEP/DEEPSLEEP 等低功耗模式下，为了使芯片尽可能长时间的停留在低功耗模式下，则看门狗应使用较长的溢出周期。

为了兼容两者的不同应用需求，软件可以实时修改 IWDT 的溢出周期配置。为避免不当操作引发不可预计的后果，软件在更新溢出周期配置时应遵循以下操作步骤：

- 确保看门狗正在运行
- 首先进行一次清狗操作
- 随后改写 IWDTCFG 寄存器，选择合适的溢出周期
- 读 IWDTCFG，确保写入正确
- 溢出周期更新完毕，CPU 正常运行

5.5 窗口看门狗（WWDT）复位

5.5.1 功能描述

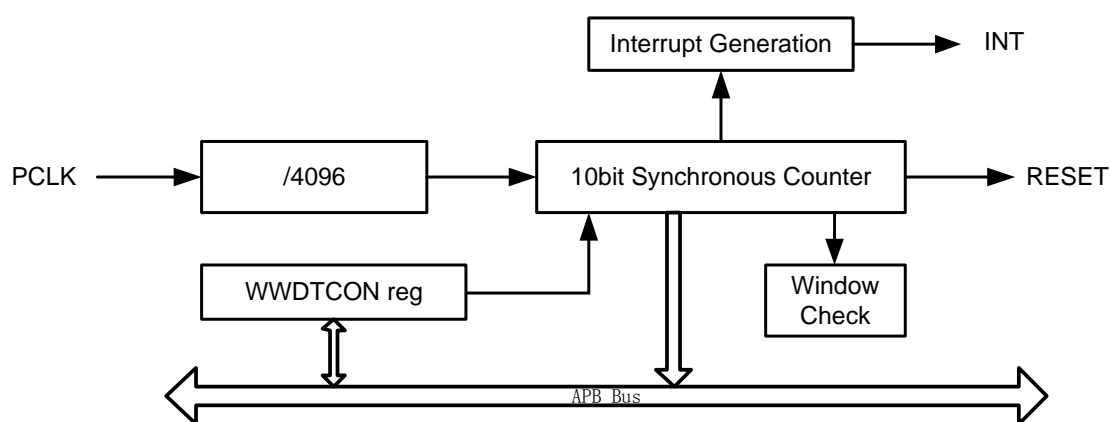
带窗口的看门狗是一个与 CPU 同步运行的看门狗，目的是实时监控 CPU 运行状态，在 CPU 运行异常的情况下复位 CPU，避免不可预计的后果。

为了保证同步性和实时性，WWDT 使用 CPU 时钟工作，内部有一个预分频电路，以产生同步计数使能信号。

在以下情况时 WWDT 产生 CPU 复位：

- 计数器溢出
- 对 WWDT 清零寄存器写 0xAC 以外的值（可用于触发 CPU 软复位）
- 在窗口关闭期内对 WWDT 清零寄存器写 0xAC

当计数器达到溢出时间的 75% 时，会触发一个预警中断。



5.5.2 WWDT 工作方式

WWDT 在芯片复位后默认关闭，软件需对 WWDTCON 寄存器写入 0x5A 来启动 WWDT。WWDT 启动后，如果软件在 open window 内对 WWDTCON 写 0xAC，将清零计数器。WWDT 一旦使能后不能关闭，直到下一次复位，WWDT 复位发生后将会关闭 WWDT。

WWDT 使用 PCLK 工作，内部预分频 4096，分频后的计数器溢出长度可配置为 1~1024（共 8 个可用档位），溢出时间长度计算公式如下：

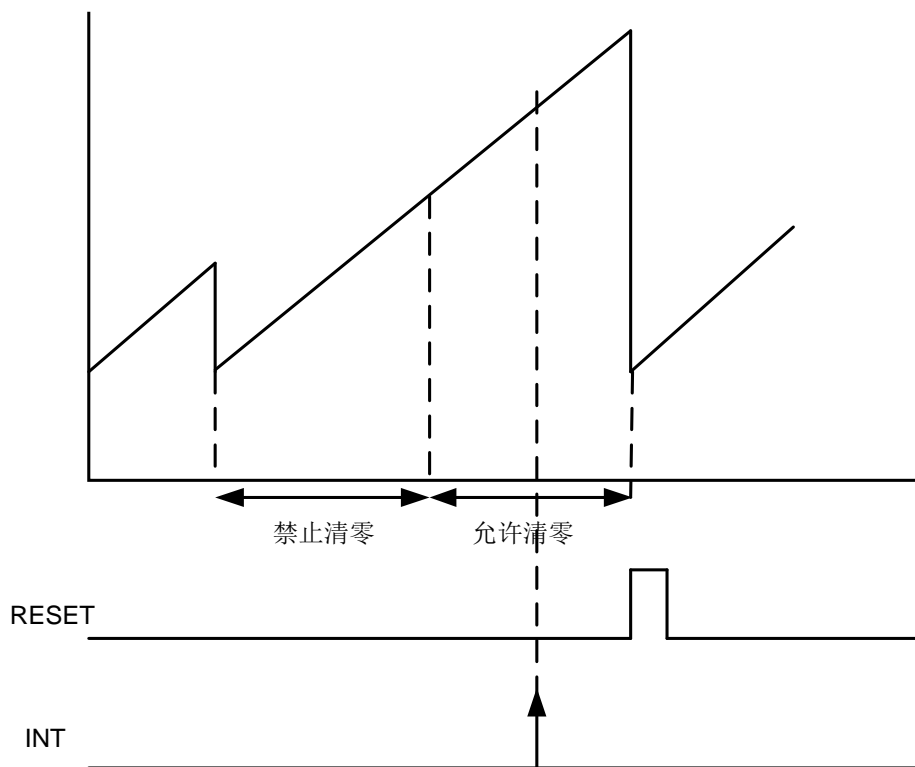
$$t_{WWDT} = T_{APBCLK} * 4096 * N_{CFG}$$

下表为计算示例：

APBCLK 频率	溢出长度配置	溢出时间 (ms)
32MHz	1	0.128
	4	0.512
	16	2.048
	64	8.192
	128	16.384
	256	32.768
	512	64.536
	1024	131.072
16MHz	1	0.256

APBCLK 频率	溢出长度配置	溢出时间 (ms)
	4	1.024
	16	4.096
	64	16.384
	128	32.768
	256	65.536
	512	129.072
	1024	262.144
8MHz	1	0.512
	4	2.048
	16	8.192
	64	32.768
	128	65.536
	256	131.072
	512	258.144
	1024	524.288

WWDT 只允许在 open window 内进行清除，否则将直接触发复位。使能窗口为计数器的后半周期，软件在清零看门狗之前应注意查询计数值。



5.6 软件复位

软复位由 CPU 写寄存器发起，操作方式为向 SOFTRST 寄存器写 0x5C5C_AABB。

5.7 NRST 引脚复位

NRST 是芯片专用复位引脚，NRST 保持低电平超过 16ms 后，芯片将进入系统复位，但是并不会复位 DEBUG 逻辑。如果芯片处于低功耗模式，NRST 有效也会使芯片复位退出低功耗模式。

5.8 寄存器

地址	名称	符号
0x40012800	PDR 配置寄存器	PDRCFG
0x40012804	BOR 配置寄存器	BORCFG
0x40000200	复位配置寄存器	RSTCFG
0x40000204	软件复位寄存器	SOFT_RST
0x40000208	复位标志寄存器	RSTFLAG
0x40000250	外设复位使能寄存器	RMU_PRSTEN
0x40000254	AHB 外设复位寄存器	RMU_AHB_RST
0x40000258	APB 外设复位寄存器 1	RMU_APB_RST1
0x4000025C	APB 外设复位寄存器 2	RMU_APB_RST2
0x40000260	APB 外设复位寄存器 3	RMU_APB_RST3
0x40011400	IWDT 清除寄存器	IWDT_SERV
0x40011404	IWDT 配置寄存器	IWDT_CFG
0x40011408	IWDT 计数值寄存器	IWDT_CNT
0x40011800	WWDT 控制寄存器	WWDT_CON
0x40011804	WWDT 配置寄存器	WWDT_CFG
0x40011808	WWDT 计数值寄存器	WWDT_CNT
0x4001180C	WWDT 中断使能寄存器	WWDT_IE
0x40011810	WWDT 中断标志寄存器	WWDT_IF
0x40011814	WWDT 预分频寄存器	WWDT_DIV

5.8.1 PDR 配置寄存器

名称	PDRCFG							
地址	0x40012800							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					PDRCFG		PDREN
位权限	U-0					R/W-01		R/W-1

Bit	助记符	功能描述
31:3	--	RFU: 未实现, 读为 0

Bit	助记符	功能描述
2:1	PDRCFG	下电复位电压配置 00—1.5V 01—1.25V（默认） 10—1.35V 11—1.4V
0	PDREN	下电复位使能 0：关闭下电复位 1：使能下电复位

5.8.2 BOR 配置寄存器

名称	BORCFG							
地址	0x40012804							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					BOR_PDRCFG		OFF_BOR
位权限	U-0					RW-01		R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:3	--	RFU：未实现，读为 0
2:1	BOR_PDRCFG	下电复位电压配置 00—1.7V 01—1.6V（默认） 10—1.65V 11—1.75V
0	OFF_BOR	BOR 使能控制寄存器 0：使能 BOR 1：关闭 BOR

5.8.3 复位配置寄存器

名称	RSTCFG							
地址	0x40000200							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							

名称	RSTCFG							
地址	0x40000200							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-						LKUPRST_T_EN	EMCRST_EN
位权限	U-0						R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:2	--	RFU: 未实现, 读为 0
1	LKUPRST_EN	LOCKUP 复位使能 1: 使能 SC000 LOCKUP 复位 0: 屏蔽 SC000 LOCKUP 复位
0	EMCRST_EN	EMC 复位使能 1: 使能 EMC 复位 0: 屏蔽 EMC 复位

5.8.4 软件复位寄存器

名称	SOFTIRST							
地址	0x40000204							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	SOFTIRST							
位权限	W							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	SOFTIRST							
位权限	W							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	SOFTIRST							
位权限	W							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	SOFTIRST							
位权限	W							

Bit	助记符	功能描述
31:0	SOFTIRST	软件写 0x5C5C_AABB 触发全局复位

5.8.5 复位标志寄存器

名称	RSTFLAG							
地址	0x40000208							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							



名称	RSTFLAG							
地址	0x40000208							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-				NRSTN_FLAG	TESTN_FLAG	PORN_FLAG	PDRN_FLAG
位权限	U-0				R/W1C/Dy-0011			
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	EMCN_FLAG	SOFTN_FLAG	IWDTN_FLAG	-	WWDTN_FLAG	LKUPN_FLAG	NVICN_FLAG
位权限	U-0	R/W1C/Dy-000			U-0	R/W1C/Dy-000		

Bit	助记符	功能描述
31:12	--	RFU: 未实现, 读为 0
11	NRSTN_FLAG	NRST 引脚复位标志, 高有效
10	TESTN_FLAG	TESTN 引脚复位标志, 高有效
9	PORN_FLAG	上电复位标志, 高有效
8	PDRN_FLAG	下电复位标志, 高有效
7	--	RFU: 未实现, 读为 0
6	EMCN_FLAG	EMC 复位标志, 高有效
5	SOFTN_FLAG	软件复位标志, 高有效
4	IWDTN_FLAG	IWDT 复位标志, 高有效
3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2	WWDTN_FLAG	WWDT 复位标志, 高有效
1	LKUPN_FLAG	LOOKUP 复位标志, 高有效
0	NVICN_FLAG	NVIC 复位标志, 高有效

5.8.6 外设复位使能寄存器 (RMU_PRSTEN)

名称	RMU_PRSTEN							
offset	0x40000214							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	PERHRSTEN[31:24]							
位权限	W							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	PERHRSTEN[23:16]							
位权限	W							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	PERHRSTEN[15:8]							
位权限	W							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	PERHRSTEN[7:0]							
位权限	W							

位号	助记符	功能描述
31:0	PERHRSTEN	外设模块复位使能, 32bit 虚寄存器, 只写

位号	助记符	功能描述
		软件对此地址写 0x1357_9BDF, 使能外设复位功能, 此后可以通过外设模块复位寄存器复位各个模块 软件对此地址写任意其他数据, 将关闭外设复位功能

5.8.7 AHB 外设复位寄存器 (RMU_AHBRST)

名称	RMU_AHBRST							
offset	0x40000218							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					-	-	DMARST
位权限	U-0					U-0	U-0	R/W-0

位号	助记符	功能描述
31:3	-	RFU: 未实现, 读为 0
2	-	RFU: 未实现, 读为 0
1	-	RFU: 未实现, 读为 0
0	DMARST	DMA 模块复位, 软件写 1 复位, 写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位

5.8.8 APB 外设复位寄存器 1 (RMU_APBRS1)

名称	RMU_APBRS1							
offset	0x4000021C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	UART5RST	UART4RST	UART3RST	UART2RST	-			
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0			
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	TIMARST	-						LCDRST
位权限	R/W-0	U-0						R/W-0
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-	U7816RST	-	SPI2RST	SPI1RST	SPI0RST	-	
位权限	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0



位名	-	LPUART0RST	-	LPTRST
位权限	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0

位号	助记符	功能描述
31	UART5RST	UART5 模块复位，软件写 1 复位，写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位
30	UART4RST	UART4 模块复位，软件写 1 复位，写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位
29	UART3RST	UART3 模块复位，软件写 1 复位，写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位
28	UART2RST	UART2 模块复位，软件写 1 复位，写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位
27:24	-	RFU: 未实现，读为 0
23	TIMARST	Timer array 复位，软件写 1 复位，写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位
22:17	-	RFU: 未实现，读为 0
16	LCDRST	LCD 模块复位，软件写 1 复位，写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位
15	-	RFU: 未实现，读为 0
14	U7816RST	U7816 模块复位，软件写 1 复位，写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位
13	-	RFU: 未实现，读为 0
12	SPI2RST	SPI2 模块复位，软件写 1 复位，写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位
11	SPI1RST	SPI1 模块复位，软件写 1 复位，写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位
10	SPI0RST	SPI0 模块复位，软件写 1 复位，写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位
9:7	-	RFU: 未实现，读为 0
6	LPUART0RST	EUART0 模块复位，软件写 1 复位，写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位
5:1	-	RFU: 未实现，读为 0
0	LPTRST	LPTIM 模块复位，软件写 1 复位，写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位

5.8.9 APB 外设复位寄存器 2 (RMU_APBRS2)

名称	RMU_APBRS2							
offset	0x40000220							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	UART1RST	UART0RST	UARTIRST	-	-			-
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0			U-0
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-					AESRST	CRCRST	RNGRST
位权限	U-0					R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-						SPI1RST	SPI0RST
位权限	U-0						R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	LPUART1RST	-			I2C0RST	-		
位权限	R/W-0	U-0			R/W-0	U-0		

位号	助记符	功能描述
31	UART1RST	UART1 模块复位，软件写 1 复位，写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位
30	UART0RST	UART0 模块复位，软件写 1 复位，写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位
29	UARTIRST	UART 红外模块复位，软件写 1 复位，写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位
28:25	-	RFU: 未实现，读为 0
24	-	RFU: 未实现，读为 0
23:19	--	RFU: 未实现，读为 0
18	AESRST	AES 模块复位，软件写 1 复位，写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位
17	CRCRST	CRC 模块复位，软件写 1 复位，写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位
16	RNGRST	RNG 模块复位，软件写 1 复位，写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位
15:8	-	RFU: 未实现，读为 0
7	LPUART1RST	EUART1 模块复位，软件写 1 复位，写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位
6:4	-	RFU: 未实现，读为 0
3	I2C0RST	I2C0 模块复位，软件写 1 复位，写 0 撤销复位 0: 不复位

位号	助记符	功能描述
		1: 复位
2:0	-	RFU: 未实现, 读为 0

5.8.10 APB 外设复位寄存器 3 (RMU_APBRS3)

名称	RMU_APBRS3							
offset	0x40000224							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							-
位权限	U-0							U-0
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-				GT1RST	GT0RST	SADCRST	I2C1RST
位权限	U-0				R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

位号	助记符	功能描述
31:1	-	RFU: 未实现, 读为 0
3	GT1RST	GT1 模块复位, 软件写 1 复位, 写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位
2	GT0RST	GT0 模块复位, 软件写 1 复位, 写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位
1	SADCRST	SARADC 模块复位, 软件写 1 复位, 写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位
0	I2C1RST	I2C1 模块复位, 软件写 1 复位, 写 0 撤销复位 0: 不复位 1: 复位

5.8.11 IWDG 清除寄存器

名称	IWDTSERV							
地址	0x40011400							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	IWDTSERV[31:24]							
位权限	W							

位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	IWDTSERV[23:16]							
位权限	W							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	IWDTSERV[15:8]							
位权限	W							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	IWDTSERV[7:0]							
位权限	W							

Bit	助记符	功能描述
31:0	IWDTSERV	软件向此地址写入 0x1234_5A5A 时清除

5.8.12 IWDT 配置寄存器

名称	IWDTCFG							
地址	0x40011404							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					IWDTOVP		
位权限	U-0					R/W-001		

Bit	助记符	功能描述
31:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2:0	IWDTOVP	IWDT 溢出周期设置 x00: 125ms x01: 500ms x10: 2s x11: 8s 说明: 当 bit2 为 0 时, 休眠后仍使用短周期, 而 bit2 为 1 时, 休眠后自动使用 4096s; 非休眠状态下仅支持 125ms/500ms/2s/8s 四种周期。

5.8.13 IWDT 计数值寄存器

名称	IWDCNT							
地址	0x40011408							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16

位名	-						IWDTCNT	
位权限	U-0						R-00	
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	IWDTCNT							
位权限	R-00000000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	IWDTCNT							
位权限	R-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31:18	--	RFU: 未实现, 读为 0
17:0	IWDTCNT	IWDT 当前计数值

5.8.14 WWDT 控制寄存器

名称	WWDTCON							
地址	0x40011800							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	WWDTCON							
位权限	W							

Bit	助记符	功能描述
31:8	--	RFU: 未实现, 读为 0
7:0	WWDTCON	当 CPU 向此地址写入 0x5A 时启动 WWDT 定时器 在启动 WWDT 后, 当 CPU 向此地址写入 0xAC 时清零计数器

5.8.15 WWDT 配置寄存器

名称	WWDTCFG							
地址	0x40011804							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							

位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					WWDT_CFG		
位权限	U-0					R/W-000		

Bit	助记符	功能描述
31:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2:0	WWDT_CFG	配置看门狗溢出时间 000: $T_{PCLK} * 4096 * 1$ 001: $T_{PCLK} * 4096 * 4$ 010: $T_{PCLK} * 4096 * 16$ 011: $T_{PCLK} * 4096 * 64$ 100: $T_{PCLK} * 4096 * 128$ 101: $T_{PCLK} * 4096 * 256$ 110: $T_{PCLK} * 4096 * 512$ 111: $T_{PCLK} * 4096 * 1024$

5.8.16 WWDT 计数寄存器

名称	WWDTCNT							
地址	0x40011808							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-						WWDT_CNT[9:8]	
位权限	U-0						R-00	
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	WWDT_CNT[7:0]							
位权限	R-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31:10	--	RFU: 未实现, 读为 0
9:0	WWDT_CNT	WWDT 计数寄存器值, 软件可通过查询此寄存器了解 WWDT 计时进度

5.8.17 WWDT 中断使能寄存器

名称	WWDTIE							
地址	0x4001180C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							

位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-							WWDT_I E
位权限	U-0							R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:1	--	RFU: 未实现, 读为 0
0	WWDT_IE	WWDT 中断使能 0: 中断使能禁止 1: 中断使能打开

5.8.18 WWDT 中断标志寄存器

名称	WWDTIF							
地址	0x40011810							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-							WWDT_I F
位权限	U-0							R/W1C- 0

Bit	助记符	功能描述
31:1	--	RFU: 未实现, 读为 0
0	WWDT_IF	WWDT 75%计时中断标志, 写 1 清零 0: 无中断产生 1: 中断标志置位

5.8.19 WWDT 预分频寄存器

名称	WWDTDIV							
地址	0x40011814							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							



位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-				DIV_CNT[11:8]			
位权限	U-0				R-0000			
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	DIV_CNT[7:0]							
位权限	R-0000000							

Bit	助记符	功能描述
31:12	--	RFU: 未实现, 读为 0
11:0	DIV_CNT	WWDT 的 4096 预分频计数器

6 时钟与振荡器

6.1 概述

芯片内包含32KHz低频晶体振荡电路(XTLF)、最高36MHz高频RC振荡器(RCHF)、32KHz低功耗内部环振(RCLP)、512KHz低频环振(RCLF)和一个锁相环(PLL)。芯片内部的时钟产生模块整合这些时钟源,产生各个模块工作所需要的时钟。

特点:

- 系统主时钟可选多个时钟源
- 时钟可在系统运行中实时切换
- 低频晶体振荡器配备停振检测电路

6.2 模块框图

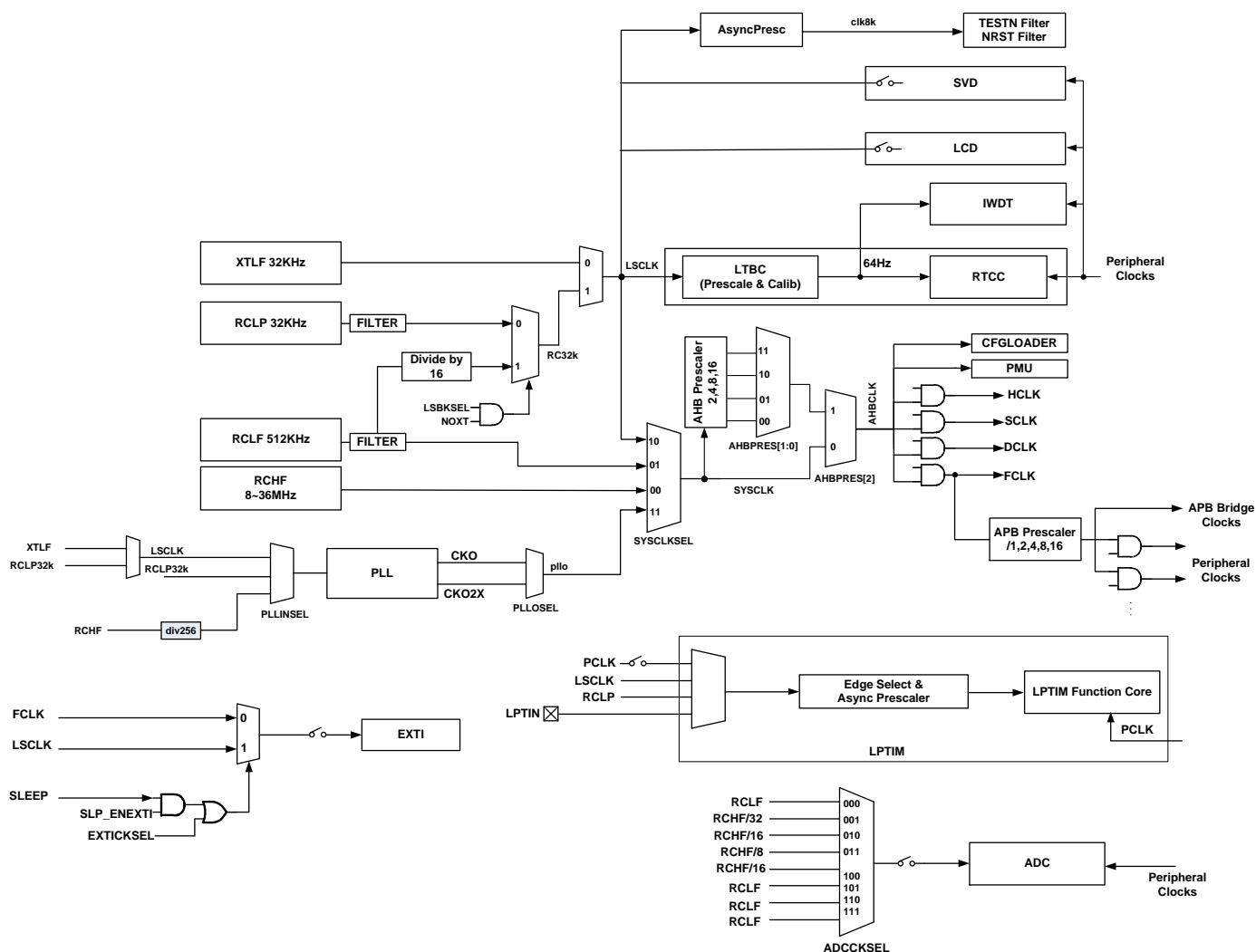


图 6-1 芯片时钟框图

系统主时钟(AHBCLK)可由XTLF、RCHF、RCLP、PLL及它们的分频时钟产生。上电默认使用8MHz的RCHF作为系统主时钟，各外设模块的时钟可以分别独立控制。芯片工作时可以只打开需要工作



的模块时钟，其他模块的时钟可关闭，以节省功耗。APB总线时钟APBCLK可以是AHBCLK的分频或同频时钟，用于驱动APB总线上的低速外设。

6.3 高频 RC 振荡器(RCHF)

高频RC振荡器典型振荡频率为8MHz，可用作系统主时钟，MCU在此频率下工作，可达到性能与功耗的平衡。为满足不同应用对MCU执行速度的需求，高频RC振荡器的输出频率可调，最高能达到36MHz。RCHF输出频率可以进行调校，调校步长小于0.5%，调校幅度 $\pm 30\%$ 。

6.4 高频晶体振荡电路(XTHF)

6.4.1 概述

通过外接高频晶体，XTHF能够为MCU提供高精度的高频时钟源。静态和负载电容应尽可能靠近XTHF引脚布置，其中负载电容大小应合理选择，以适配所选用的晶体类型。

XTHF可以适配4~16MHz晶体。软件可以通过XTHFEN寄存器使能或关闭XTHF时钟。

6.4.2 工作方式

XTHF上电后默认关闭。上电复位完成后，软件可以根据需要打开XTHF。由于晶振引脚与GPIO复用，软件使能XTHF前，需要将PC2和PC3引脚配置为模拟功能。

6.4.3 停振检测 (HFDET)

FM33A048D带有片上停振检测电路，与XTHF电路一起使能或关闭。停振检测使能后可以持续检测XTHF输出，当发现XTHF停振时，会产生报警中断，同时产生高级定时器刹车信号；如果XTHF正在被直接或者间接的用作系统工作时钟，则停振信号将自动使能RCHF并将SYSCLK切换到RCHF，以避免高频晶体意外停振导致系统异常。

停振检测电路总是与XTHF同时打开或关闭，无法单独关闭，一旦XTHF使能，停振检测电路就会自动打开；当XTHF关闭时，停振检测也会自动关闭，避免误触发停振报警。

HFDET停振检测阈值约200KHz，即XTHF时钟频率低于200KHz时触发停振报警；HFDET工作电流约1.2uA。

6.4.4 XTHF 启动过程

软件使能XTHF后，硬件等待XTHF输出稳定后自动置位RDY标志寄存器。

XTHF关闭或者HFDET检测到停振时，会自动清零计数器以及RDY标志。

软件使能XTHF后应等待RDY标志置位，再将XTHF作为系统时钟使用。

6.5 低功耗 RC 振荡器(RCLP)

低功耗RC振荡器典型振荡频率为32KHz，功耗极低，典型功耗约200nA，主要用作XTLF晶体振荡器的备份时钟，当XTLF停振时，芯片自动启动RCLP工作。

6.6 低频 RC 振荡器(RCLF)

低频RC振荡器典型振荡频率大约为512KHz，RCLF为一个低功耗低频环振，可以用作系统时钟或ADC工作时钟，与RCLP完全独立。

RCLF的主要应用场景是：

- 休眠模式下提供自动温度补偿工作时钟
- 作为可选的CPU运行时钟
- 上电后默认启动，作为ADC工作时钟

6.7 低频晶体振荡电路(XTLF)

6.7.1 概述

低频晶体振荡电路通过外接32768Hz晶体提供稳定的振荡源，功耗极低，主要用来给实时时钟(RTC)模块提供输入时钟。XTLF的振荡强度可调，用户可根据需要选择振荡强度，达到振荡能力与功耗的平衡。XTLF的反馈电阻集成在芯片内部，用户需要在振荡引脚上外加负载电容。

芯片内部集成了一个停振检测电路，用来检测XTLF是否停振。一旦检测到XTLF停振，将产生XTLF停振中断，通知CPU及时处理。

6.7.2 工作方式

XTLF上电后开始起振，默认使用中等强度，以缩短起振时间，相应的振荡功耗也较大。典型的起振时间约1s。当振荡器充分起振后，软件可以通过配置寄存器降低振荡功耗。

6.7.3 停振检测

FM33A048D带有片上停振检测电路，使能后可以持续检测XTLF输出，当发现XTLF停振时，产生报警中断，并自动将RTC工作时钟切换为备份时钟（RCLP）。

停振检测电路与XTLF同时打开，无法单独关闭。

6.8 锁相环(PLL)

锁相环输入参考时钟可以是XTLF、RCLP或RCHF分频。软件使用PLL作为系统时钟前，需配置输入参考时钟和倍频系数。

出于可靠性考虑，软件需注意以下几点：

- XTLF停振或CRYSLESS=1时不能选XTLF作为PLL输入
- PLL输出选为SYSCLK时不能关闭PLL
- 软件应等待PLL锁定后再将SYSCLK配置为PLL输出

PLL频率输出计算公式：

$$F_{CKO} = \frac{F_{VCO}}{2} = F_{REFIN} \times (DB < 9:0 > + 1)$$

根据上式，计算并改写DB寄存器的数据，获得目标频率。

举例：

- 1) 输入时钟为32.768KHz，希望得到16.384MHz的PLL输出，应配置PLLDB=499=2'b01_1111_0011，以及PLLOSEL=0
- 2) 输入时钟为32.768KHz，希望得到40MHz输出频率，应配置PLLDB=305=2'b01_0011_0001，同时配置PLLOSEL=1，此时PLL输出频率为20.054MHz

6.9 寄存器

地址	名称	符号
0x40012820	停振检测中断使能寄存器	FDETIE

地址	名称	符号
0x40012824	停振检测中断标志寄存器	FDETIF
0x4000020C	系统时钟配置寄存器	SYSCCLKSEL
0x40000210	RCHF 时钟控制寄存器	RCHFCON
0x40000214	RCHF 调校寄存器	RCHFTRIM
0x40000218	PLL 时钟控制寄存器	PLLCON
0x4000021C	RCLP 时钟控制寄存器	RCLPCON
0x40000220	RCLP 调校寄存器	RCLPTRIM
0x40000224	XTLF 振荡强度配置寄存器	XTLFIPW
0x40000228	外设时钟控制寄存器 1	PERCLKCON1
0x4000022C	外设时钟控制寄存器 2	PERCLKCON2
0x40000230	外设时钟控制寄存器 3	PERCLKCON3
0x40000234	外设时钟控制寄存器 4	PERCLKCON4
0x40000238	外设时钟控制寄存器 5	PERCLKCON5
0x40000244	AHB Master 优先级配置寄存器	MPRIL
0x40000248	RCLF 时钟控制寄存器	RCLFCON
0x4000024C	RCLF 调校寄存器	RCLFTRIM
0x40000264	XTHF 控制寄存器	XTHFCR

6.9.1 停振检测中断使能寄存器

名称	FDETIE							
地址	0x40012820							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-							FDET_IE
位权限	U-0							R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:1	--	RFU: 未实现, 读为 0
0	FDET_IE	XTLF 低频检测报警中断使能 上电默认关闭, 避免刚上电时晶振未起振触发中断

6.9.2 停振检测中断标志寄存器

名称	FDETIF							
地址	0x40012824							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							

位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	HFDETO	LFDETO	-				HFDETIF	LFDETIF
位权限	R	R	U-0				R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:8	--	RFU: 未实现, 读为 0
7	HFDETO	高频晶振停振检测模块输出 1: XTHF 停振 0: XTHF 未停振
6	LFDETO	低频晶振停振检测模块输出 1: XTLE 未停振 0: XTLE 停振
5:2	--	RFU: 未实现, 读为 0
1	HFDETIF	高频晶振停振检测中断标志寄存器, XTHF 停振时硬件异步置位, 软件写 1 清零; 只有在 HFDETO 不为 0 的情况下才能够清除此寄存器
0	LFDETIF	低频晶振停振检测中断标志寄存器, XTLE 停振时硬件异步置位, 软件写 1 清零; 只有在 LFDETO 不为 0 的情况下才能够清除此寄存器

6.9.3 系统时钟配置寄存器

名称	SYSCLKSEL							
地址	0x4000020C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	LPM_RCLP_OFF	-				WKUPCLK	SLP_ENEXTI	EXTICKSEL
位权限	R/W-0	U-0				R/W-0	R/W-1	R/W-0
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-					APBPRES		
位权限	U-0					R/W-000		
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-					AHBPRES		
位权限	U-0					R/W-000		
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					SYSCLKSEL		
位权限	U-0					R/W-000		

Bit	助记符	功能描述
31	LPM_RCLP_OFF	Sleep/DeepSleep 模式下禁止 RCLP 1: 休眠模式下关闭 RCLP 0: 休眠模式下保持 RCLP 开启

Bit	助记符	功能描述
		【注】无晶体方案中，在休眠模式下关闭 RCLP，RTC、IWDT、SVD 间歇工作模式都将无法使用
30:27	--	RFU：未实现，读为 0
26	WKUPCLK	休眠唤醒后默认时钟频率选择 1: RCHF/16, 512KHz 0: RCHF 8MHz
25	SLP_ENEXTI	Sleep/DeepSleep 模式下 EXTI 采样设置 1: Sleep/DeepSleep 模式下使能外部引脚中断采样（采样时钟为 LSCLK） 0: Sleep/DeepSleep 模式下禁止外部引脚中断采样（将无法产生 EXTI 中断）
24	EXTICKSEL	EXTI 中断采样时钟选择 1: 外部引脚中断使用 LSCLK 采样 0: 外部引脚中断使用 AHBCLK 采样 *建议在关闭所有 EXTI 中断的情况下设置，设置完成后再使能 EXTI 中断
23:19	--	RFU：未实现，读为 0
18:16	APBPRES	APB 时钟分频选择 0xx: 不分频 100: 2 分频 101: 4 分频 110: 8 分频 111: 16 分频
15:11	--	RFU：未实现，读为 0
10:8	AHBPRES	AHB 时钟分频选择 0xx: 不分频 100: 2 分频 101: 4 分频 110: 8 分频 111: 16 分频
7:3	--	RFU：未实现，读为 0
2:0	SYSCLKSEL	系统时钟源选择 000: RCHF 001: RCLF 010: LSCLK 011: PLL 100: XTHF 101: RCHF 110: RCHF 111: RCHF

6.9.4 RCHF 时钟控制寄存器

名称	RCHFCON							
地址	0x40000210							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							



位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-				FSEL			
位权限	U-0				R/W/Dy-0000			
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-							RCHFEN
位权限	U-0							R/W-1

Bit	助记符	功能描述
31:20	--	RFU: 未实现, 读为 0
19:16	FSEL	RCHF 频率选择寄存器 0000: 8MHz 0001: 16MHz 0010: 24MHz 1111: 36MHz 其他: 禁止使用
15:1	--	RFU: 未实现, 读为 0
0	RCHFEN	RCHF 使能寄存器 1: 使能 RCHF 0: 关闭 RCHF

6.9.5 RCHF 调校寄存器

名称	RCHFTRIM							
地址	0x40000214							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	RCHFTRIM						
位权限	U-0	R/W/Dy-1000000						

Bit	助记符	功能描述
31:7	--	RFU: 未实现, 读为 0
6:0	RCHFTRIM	RCHF 频率调校寄存器, 7'h00 表示频率最低, 7'h7F 表示频率最高, 调校范围为中心频率 $\pm 30\%$, 调校步长为中心频率 0.5% 上电后芯片自动从 Flash 信息区读取 8MHz 调校值并写入此寄存器

6.9.6 PLL 时钟控制寄存器

名称	PLLCON
----	--------

地址	0x40000218							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-						PLLDB[9:8]	
位权限	U-0						R/W-01	
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	PLLDB[7:0]							
位权限	R/W-11110011							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	LOCKED	-			PLLOSEL	PLLINSEL		PLLEN
位权限	R-0	U-0			R/W-0	R/W-00		R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:26	--	RFU: 未实现, 读为 0
25:16	PLLDB	PLL 倍频比 输入为 32768Hz, 输出为 16.384MHz, 则 PLLDB=0111110011
15:8	--	RFU: 未实现, 读为 0
7	LOCKED	PLL 锁定标志 1: PLL 已锁定 0: PLL 未锁定
6:4	--	RFU: 未实现, 读为 0
3	PLLOSEL	PLL 输出选择寄存器 0: 选择 PLL 一倍输出作为数字电路内的 PLL 时钟 1: 选择 PLL 两倍输出作为数字电路内的 PLL 时钟
2:1	PLLINSEL	PLL 输入选择寄存器 00/11: XTLP 01: RCLP 10: RCHF/256
0	PLLEN	PLL 使能寄存器 1: 使能 PLL 0: 关闭 PLL 注意: 当系统时钟使用 PLL 时, 无法关闭 PLL

6.9.7 RCLP 时钟控制寄存器

名称	RCLPCON							
地址	0x4000021C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							

位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-							RCLP_EN_B
位权限	U-0							R/Dy-0

Bit	助记符	功能描述
31:1	--	RFU: 未实现, 读为 0
0	RCLP_EN_B	RCLP 使能寄存器, 硬件自动控制, 软件只读 1: RCLP 关闭 0: RCLP 开启

6.9.8 RCLP 调校寄存器

名称	RCLPTRIM							
地址	0x40000220							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-				RCLPTRIM			
位权限	U-0				R/W-1000			

Bit	助记符	功能描述
31:4	--	RFU: 未实现, 读为 0
3:0	RCLPTRIM	RCLP 频率调校寄存器, 调校步长约 4%

6.9.9 XTLE 振荡强度配置寄存器

名称	XTLEFIPW							
地址	0x40000224							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					XTLEFIPW		
位权限	U-0					R/W-000		

Bit	助记符	功能描述
31:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2:0	XTLFIPW	XTLF 工作电流选择, 电流越大表示振荡强度越高, 上电复位后使用 000 档位起振, 正常工作时推荐使用 100 或 101 档位 000 : 450 nA 001 : 400 nA 010 : 350 nA 011 : 300 nA 100 : 250 nA 101 : 200 nA 110 : 150 nA 111 : 100 nA

6.9.10 外设时钟控制寄存器 1

名称	PERCLKCON1							
地址	0x40000228							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	DCUCKEN	-						
位权限	R/W-1	U-0						
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-					EXTICKEN		
位权限	U-0					R/W-000		
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	PDCCCKEN	ANACCKEN	IWDTCKEN	SCUCKEN	PMUCKEN	RTCCCKEN	LPTFCKEN	LPTRCKEN
位权限	R/W-0	R/W-1	R/W-0	R/W/Dy-1	R/W/Dy-1	R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31	DCUCKEN	调试控制单元总线时钟使能, 用于开启/关闭仿真调试寄存器时钟, 高使能
30:11	--	RFU: 未实现, 读为 0
10:8	EXTICKEN	EXTI 外部引脚中断采样时钟使能, 高使能 bit10~8 分别用于控制 EXTI2/1/0 的采样时钟
7	PDCCCKEN	I/O 引脚配置单元总线时钟使能, 用于开启/关闭 I/O 控制寄存器时钟, 高使能
6	ANACCKEN	模拟控制模块总线时钟使能, 高使能
5	IWDTCKEN	IWDT 总线时钟使能, 高使能 访问 IWDT 寄存器前必须使能此寄存器
4	SCUCKEN	系统配置单元总线时钟使能, 用于开启/关闭系统配置寄存器时钟, 高使能
3	PMUCKEN	功耗模式管理单元总线时钟使能, 用于开启/关闭功耗模式控制寄存器时钟, 高使能
2	RTCCCKEN	RTC 总线时钟使能, 高使能; 访问 RTC 寄存器前必须使能此寄存器

Bit	助记符	功能描述
1	LPTFCKEN	LPTIM 计数时钟使能, 高使能;
0	LPTRCKEN	LPTIM 总线时钟使能, 高使能; 访问 LPTIM 寄存器前必须使能此寄存器

6.9.11 外设时钟控制寄存器 2

名称	PERCLKCON2							
地址	0x4000022C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-				SARAD CCKEN	SDADCCKSEL		
位权限	U-0				R/W-0	R/W-110		
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							ADCCK EN
位权限	U-0							R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	WWDTC KEN	RAMBIS TCKEN	FLSEPC KEN	DMACKE N	LCDCKE N	AESCKE N	TRNGCK EN	CRCKE N
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:20	--	RFU: 未实现, 读为 0
19	SARADCCKEN	SARADC 时钟使能, 高使能
18:16	SDADCCKSEL	ADC 工作时钟选择 000: RCLF 001: RCHF/32 010: RCHF/16 011: RCHF/8 100: RCHF/16 101/110/111: RCLF
15:9	--	RFU: 未实现, 读为 0
8	ADCCKEN	ADC 时钟使能, 高使能
7	WWDTCCKEN	WWDTC 时钟使能, 高使能
6	RAMBISTCKEN	RAMBIST 时钟使能, 高使能
5	FLSEPCCKEN	FLSC (Flash 擦写控制器) 时钟使能, 高使能
4	DMACKEN	DMA 时钟使能, 高使能
3	LCDCKEN	LCD 时钟使能, 高使能
2	AESCKEN	AES 时钟使能, 高使能
1	TRNGCKEN	RNG 时钟使能, 高使能
0	CRCKEN	CRC 时钟使能, 高使能

6.9.12 外设时钟控制寄存器 3

名称	PERCLKCON3
----	------------

地址	0x40000230							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-				LPUART1FCKEN	LPUART1CKEN	I2C1CKE	I2C0CKE
位权限	U-0				R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	LPUART0FCKEN	-					U7816CKE1	U7816CKE0
位权限	R/W-0	U-0					R/W-0	R/W-0
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	LPUART0CKEN	UARTCCKEN	UART5CKE	UART4CKE	UART3CKE	UART2CKE	UART1CKE	UART0CKE
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					SPI0CKE	SPI2CKE	SPI1CKE
位权限	U-0					R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:25	--	RFU: 未实现, 读为 0
27	LPUART1FCKEN	LPUART1 工作时钟使能, 高有效
26	LPUART1CKEN	LPUART1 时钟使能, 高有效
25	I2C1CKE	I2C1 时钟使能, 高有效
24	I2C0CKE	I2C0 时钟使能, 高有效
23	LPUART0FCKEN	LPUART0 工作时钟使能, 高有效
22:18	--	RFU: 未实现, 读为 0
17	U7816CKE1	USART-1 时钟使能, 高有效
16	U7816CKE0	USART-0 时钟使能, 高有效
15	LPUART0CKEN	LPUART 时钟使能, 高有效
14	UARTCCKEN	UART0~5 共享寄存器时钟使能, 高使能
13	UART5CKE	UART5 时钟使能, 高有效
12	UART4CKE	UART4 时钟使能, 高有效
11	UART3CKE	UART3 时钟使能, 高有效
10	UART2CKE	UART2 时钟使能, 高有效
9	UART1CKE	UART1 时钟使能, 高有效
8	UART0CKE	UART0 时钟使能, 高有效
7:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2	SPI0CKE	SPI0 时钟使能, 高有效
1	SPI2CKE	SPI2 时钟使能, 高有效
0	SPI1CKE	SPI1 时钟使能, 高有效

6.9.13 外设时钟控制寄存器 4

名称	PERCLKCON4							
地址	0x40000234							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							

位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	GT1CKE	GT0CKE	ET4CKE	ET3CKE	ET2CKE	ET1CKE	BT34CKE	BT12CKE
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:8	--	RFU: 未实现, 读为 0
7	GT1CKE	GT1 时钟使能, 高使能
6	GT0CKE	GT0 时钟使能, 高使能
5	ET4CKE	扩展定时器 4 时钟使能, 高使能
4	ET3CKE	扩展定时器 3 时钟使能, 高使能
3	ET2CKE	扩展定时器 2 时钟使能, 高使能
2	ET1CKE	扩展定时器 1 时钟使能, 高使能
1	BT2CKE	基本定时器 2 时钟使能, 高使能
0	BT1CKE	基本定时器 1 时钟使能, 高使能

6.9.14 外设时钟控制寄存器 5

名称	PERCLKCON5							
offset	0x40000238							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-			-			-	
位权限	U-0			U-0			U-0	
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	SARCKE	-		SARADCPRSC			SARADCKS	
位权限	R/W-0	U-0		R/W-000			R/W-00	

Bit	助记符	功能描述
31:8	--	RFU: 未实现, 读为 0
7	SARCKE	SAR ADC 工作时钟使能 0: 关闭 SAR 工作时钟 1: 使能 SAR 工作时钟
6:5	--	RFU: 未实现, 读为 0
4:2	SARADCPRSC	SARADC 工作时钟预分频

Bit	助记符	功能描述
		000: 不分频 001: 2 分频 010: 4 分频 011: 8 分频 100: 16 分频 101: 32 分频 110, 111: RFU
1:0	SARADCCKS	SARADC 工作时钟选择 00: RCLF 01: RCHF 10: XTHF 11: PLL

6.9.15 AHB Master 控制寄存器

名称	MPRIL							
地址	0x40000244							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	RFUI	RFUI	-					
位权限	R/W-1	R/W-0	U-0					
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-							MPRIL
位权限	U-0							R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:30	RFUI	保留位
29:1	--	RFU: 未实现, 读为 0
0	MPRIL	AHB Master 优先级配置寄存器 0: DMA 优先 1: CPU 优先

6.9.16 RCLF 时钟控制寄存器

名称	RCLFCON							
地址	0x40000248							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							

位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-							RCLFEN B
位权限	U-0							R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:1	--	RFU: 未实现, 读为 0
0	RCLFENB	RCLF 使能寄存器 0: 使能 RCLF 1: 关闭 RCLF

6.9.17 RCLF 调校寄存器

名称	RCLFTRIM							
地址	0x4000024C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-		RCLFTRIM					
位权限	U-0		R/W-100000					

Bit	助记符	功能描述
31:6	--	RFU: 未实现, 读为 0
5:0	RCLFTRIM	RCLF 调校寄存器 调校步长约 2%

6.9.18 XTHF 控制寄存器

名称	CMU_XTHFCR							
offset	0x40000264							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	RFUI	-						
位权限	R/W-0	U-0						
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-					CAP_CFG		
位权限	U-0					R/W-000		
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8



位名	WAIT			HF_CFG				
位权限	R/W-111			R/W-00000				
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-						RDY	EN
位权限	U-0						R-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31	RFUI	保留
30:19	--	RFU: 未实现, 读为 0
18:16	CAP_CFG	XTHF 的片内电容配置
15:13	WAIT	XTHF 启动等待时间配置, 单位是 XTHF 时钟周期 000: 128 001: 256 010: 512 011: 1024 100: 2048 101: 4096 110: 8192 111: 16384
12:8	HF_CFG	XTHF 振荡强度配置 00000: 最弱 11111: 最强
7:2	--	RFU: 未实现, 读为 0
1	RDY	XTHF 稳定标志, 硬件置位, 只读 关闭 XTHF 或者 XTHF 发生停振时自动清零
0	EN	XTHF 使能寄存器 0: 关闭 XTHF 1: 使能 XTHF

7 电源电压监测（SVD）

7.1 概述

电源检测电路主要用来监测外部主电源的供电情况，及时检测到外部主电源欠压或恢复的情况，并给出中断信号。电源检测电路可关断或周期使能以节省功耗。

特点：

- 监测主电源，电压低于或高于设定的阈值时产生中断
- 低压检测范围 1.8V~4.8V，15 级可编程阈值档位，档位间隔 0.214V
- 电压检测迟滞窗口 0.1V
- 可关断或间歇式工作
- 支持 1 个外部通道直接输入与内部基准电压源比较

7.2 工作原理

电源检测电路可以用来检测主电源电压及外部电压。电源电压通过分压电阻产生15级检测电平，检测范围1.8V~4.8V，每级相差0.214V；另外还支持1路外部输入检测电平，共16级检测电平。通过16选1 MUX送入比较器，与内部参考电压相比较，根据低压报警阈值设置，若待检测电平低于参考电压，引起输出电压跳变，会产生欠压中断，通知MCU及时处理该事件；而当VDD恢复至阈值以上（有大约0.1V迟滞窗口），则会产生欠压恢复中断。

电源检测电路可由软件配置使能或禁止工作。为节省功耗，使能时又可分为常使能和间歇工作两种模式。间歇工作时，可通过设置寄存器DSEF设置开启时间间隔。

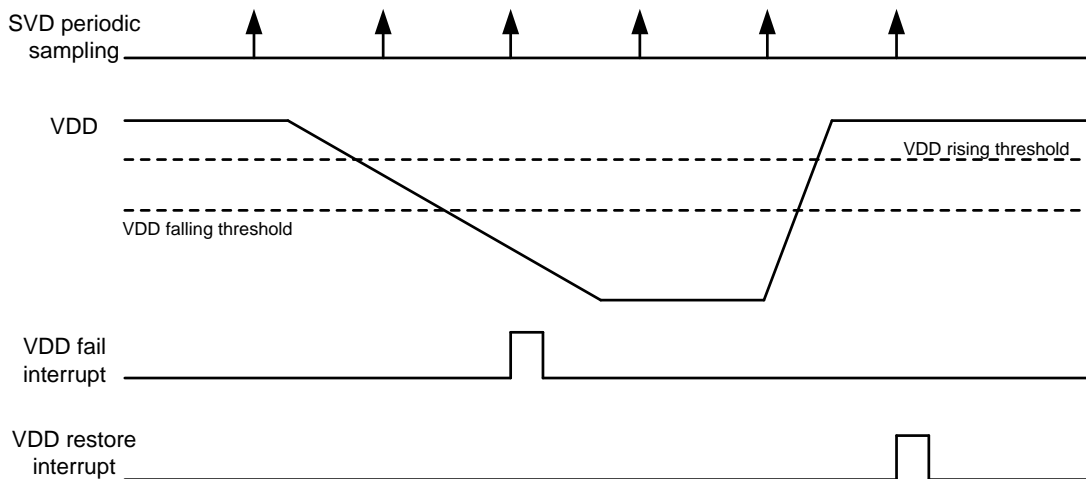


图 7-1 电源检测电路间歇工作模式

间歇工作时，SVD开启窗口与RTC同步，当软件使能SVD的间隙使能后，SVD并不一定会立刻工作，而是要等待下一个开启窗口到来。而常使能情况下，软件开启SVD后经过一到两个LSCLK时钟同步周期后，SVD就会开始工作。SVD开启后到输出稳定建立大约需要100us时间，软件读取SVD输出时需要注意。

如果芯片进入休眠模式后关闭了所有时钟，又希望使用SVD，则需要在休眠前将SVD设置为常使能，并且关闭数字滤波功能。

7.3 应用说明

- SVD使能后默认检测下降阈值。
- 在常使能、内部通道模式下，下降阈值和上升阈值各有0.1V左右的窗口。
- 在间歇使能、内部通道模式下，在每次间歇使能启动时都是检测下降阈值，此时没有阈值窗口，为了提高检测可靠性，需要软件配合，即在前次间歇使能检测到欠压时，软件将阈值电压档位调高（SVDLVL寄存器）；在前次间歇使能检测到非欠压时，软件将阈值电压档位降低。
- 在常使能、外部通道模式下，输入的参考电压为可配置的三档位输入，分别为0.8V、0.75V、0.7V，检测阈值没有窗口，需要软件配合，即在前次间歇使能检测到欠压时，软件将参考电压档位调高（SVDVOL寄存器）；在前次间歇使能检测到非欠压时，软件将参考电压档位降低。
- 在间歇使能、外部通道模式下，输入的基准电压为三档位输入，分别为0.8V、0.75V、0.7V，检测阈值没有窗口，需要软件配合，即在前次间歇使能检测到欠压时，软件将参考电压档位调高（SVDVOL寄存器）；在前次间歇使能检测到非欠压时，软件将参考电压档位降低。

7.4 寄存器

地址	名称	符号
0x40012814	SVD 配置寄存器	SVDCFG
0x40012818	SVD 控制寄存器	SVDCON
0x4001281C	SVD 状态和标志寄存器	SVDSIF
0x40012860	SVD 参考电压选择寄存器	SVDVOL

7.4.1 SVD 配置寄存器

名称	SVDCFG							
地址	0x40012814							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-						PFIE	PRIE
位权限	U-0						R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	SVDLVL				DFEN	SVDMOD	SVDITVL	
位权限	R/W-0000				R/W-1	R/W-0	R/W-00	

Bit	助记符	功能描述
31:10	--	RFU: 未实现，读为 0
9	PFIE	Power Fail Interrupt Enable, SVD 电源跌落中断使能 1: 使能电源跌落中断 0: 禁止电源跌落中断
8	PRIE	Power Restore Interrupt Enable, SVD 电源恢复中断使能 1: 使能电源恢复中断

Bit	助记符	功能描述																																																			
		0: 禁止电源恢复中断																																																			
7:4	SVDLVL	SVD 报警阈值设置（以下为典型值） <table border="1"> <thead> <tr> <th>SVDLVL</th><th>下降阈值</th><th>上升阈值</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0000</td><td>1.800V</td><td>1.900V</td></tr> <tr><td>0001</td><td>2.014V</td><td>2.114V</td></tr> <tr><td>0010</td><td>2.229V</td><td>2.329V</td></tr> <tr><td>0011</td><td>2.443V</td><td>2.543V</td></tr> <tr><td>0100</td><td>2.657V</td><td>2.757V</td></tr> <tr><td>0101</td><td>2.871V</td><td>2.971V</td></tr> <tr><td>0110</td><td>3.086V</td><td>3.186V</td></tr> <tr><td>0111</td><td>3.300V</td><td>3.400V</td></tr> <tr><td>1000</td><td>3.514V</td><td>3.614V</td></tr> <tr><td>1001</td><td>3.729V</td><td>3.829V</td></tr> <tr><td>1010</td><td>3.943V</td><td>4.043V</td></tr> <tr><td>1011</td><td>4.157V</td><td>4.257V</td></tr> <tr><td>1100</td><td>4.371V</td><td>4.471V</td></tr> <tr><td>1101</td><td>4.586V</td><td>4.686V</td></tr> <tr><td>1110</td><td>4.800V</td><td>4.900V</td></tr> <tr><td>1111</td><td>SVS</td><td>SVS</td></tr> </tbody> </table>	SVDLVL	下降阈值	上升阈值	0000	1.800V	1.900V	0001	2.014V	2.114V	0010	2.229V	2.329V	0011	2.443V	2.543V	0100	2.657V	2.757V	0101	2.871V	2.971V	0110	3.086V	3.186V	0111	3.300V	3.400V	1000	3.514V	3.614V	1001	3.729V	3.829V	1010	3.943V	4.043V	1011	4.157V	4.257V	1100	4.371V	4.471V	1101	4.586V	4.686V	1110	4.800V	4.900V	1111	SVS	SVS
SVDLVL	下降阈值	上升阈值																																																			
0000	1.800V	1.900V																																																			
0001	2.014V	2.114V																																																			
0010	2.229V	2.329V																																																			
0011	2.443V	2.543V																																																			
0100	2.657V	2.757V																																																			
0101	2.871V	2.971V																																																			
0110	3.086V	3.186V																																																			
0111	3.300V	3.400V																																																			
1000	3.514V	3.614V																																																			
1001	3.729V	3.829V																																																			
1010	3.943V	4.043V																																																			
1011	4.157V	4.257V																																																			
1100	4.371V	4.471V																																																			
1101	4.586V	4.686V																																																			
1110	4.800V	4.900V																																																			
1111	SVS	SVS																																																			
3	DFEN	数字滤波使能（SVDMODE=1 时必须置 1） 1: 启动 SVD 输出的数字滤波 0: 关闭 SVD 输出的数字滤波																																																			
2	SVDMOD	SVD 工作模式选择，配置模式后还要置位 SVDEN 才会启动 SVD 1: 间歇使能模式 0: 常使能模式 注意：间歇使能模式下必须开启数字滤波																																																			
1:0	SVDITVL	SVD Interval, SVD 间歇使能间隔 00: 15.625ms 01: 62.5ms 10: 256ms 11: 1s																																																			

7.4.2 SVD 控制寄存器

名称	SVDCON							
地址	0x40012818							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							SVDTE
位权限	U-0							R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-							SVDEN
位权限	U-0							R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:9	--	RFU: 未实现, 读为 0
8	SVDTE	SVD 测试使能, 避免写 1
7:1	--	RFU: 未实现, 读为 0
0	SVDEN	SVD 使能 1: 启动 SVD 0: 关闭 SVD

7.4.3 SVD 状态和标志寄存器

名称	SVDSIF							
地址	0x4001281C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							SVDO
位权限	U-0							R-X
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	SVDR	-					PFF	PRF
位权限	R-X	U-0					R/W1C-0	R/W1C-0

Bit	助记符	功能描述
31:9	--	RFU: 未实现, 读为 0
8	SVDO	SVD 电源电压检测电路输出 1: 电源电压高于 SVD 当前阈值 0: 电源电压低于 SVD 当前阈值 注: 电压检测结果的实时锁存
7	SVDR	经数字滤波的 SVD 电源电压检测结果 1: 电源电压高于 SVD 当前阈值 0: 电源电压低于 SVD 当前阈值 注: 仅在开启滤波模式后有参考意义
6:2	--	RFU: 未实现, 读为 0
1	PFF	电源跌落中断标志寄存器, 电源电压跌落到 SVD 阈值之下时置位, 软件写 1 清零
0	PRF	电源恢复中断标志寄存器, 电源电压上升到 SVD 阈值之上时置位, 软件写 1 清零

7.4.4 SVD 参考电压选择寄存器

名称	SVDVOL							
地址	0x40012860							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16

位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					V0P8EN	V0P75EN	V0P7EN
位权限	U-0					R/W-1	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2	V0P8EN	0.8V 基准输入使能信号 1: 使能 0.8V 基准输入 0: 关闭 0.8V 基准输入
1	V0P75EN	0.75V 基准输入使能信号 1: 使能 0.75V 基准输入 0: 关闭 0.75V 基准输入
0	V0P7EN	0.7V 基准输入使能信号 1: 使能 0.7V 基准输入 0: 关闭 0.7V 基准输入

8 AES 硬件运算单元

8.1 功能描述

AES单元主要功能如下：

- 支持解密密钥扩展
- 支持128bit/192bit/256bit的密钥长度
- 支持ECB, CBC, CTR, GCM
- 支持GF (2^{128}) 域下的乘法, 支持GMAC

8.2 工作模式

AES有4种工作模式，通过配置MODE[1:0]寄存器设置。

模式1：用存储在AES_KEYRx寄存器中的密钥加密。

模式2：密钥扩展，把初始存储在AES_KEYRx寄存器的加密密钥覆盖成在密钥扩展完成后存储在内部寄存器的密钥计算结果。

模式3：用存储在AES_KEYRx寄存器中的解密密钥（预计算的）解密。

模式4：用存储在AES_KEYRx寄存器中的加密密钥进行密钥扩展和解密。（在CTR模式下不使用）

首先通过配置MODE[1:0]寄存器确定工作模式，MODE寄存器必须在AES使能前（EN=0时）才能够配置。KEY寄存器也应该在AES使能前配置。之后配置数据流处理模式寄存器CHMOD[1:0]，在CBC/CTR/GCM模式下还需要配置IV寄存器。

接着可以使能EN，在模式1/模式3/模式4下，AES模块等待软件往AES_DINR寄存器写入输入数据，写4次写完128bit后AES开始计算。在模式2时，使能EN后就马上进行密钥扩展运算了。

计算完成后标志CCF会置起，如果CCFIE=1，会产生一个中断信号。软件再从AES_DOUTR寄存器中读4次共128bit的结果。

错误标志RDERR和WRERR会在一次错误的读写操作时置起，如果ERRIE使能，还会产生相应的错误中断。AES在产生错误后还会继续正常工作。

通过重置EN寄存器能够在任何时候复位AES模块。

8.3 AES 数据流处理模式

AES有4种数据流处理模式：ECB, CBC, CTR, GCM。

8.3.1 ECB 模式

默认的工作模式，该模式下无需使用IV寄存器，每个block单独进行加解密计算。加解密流程如图 8-1和图 8-2所示。

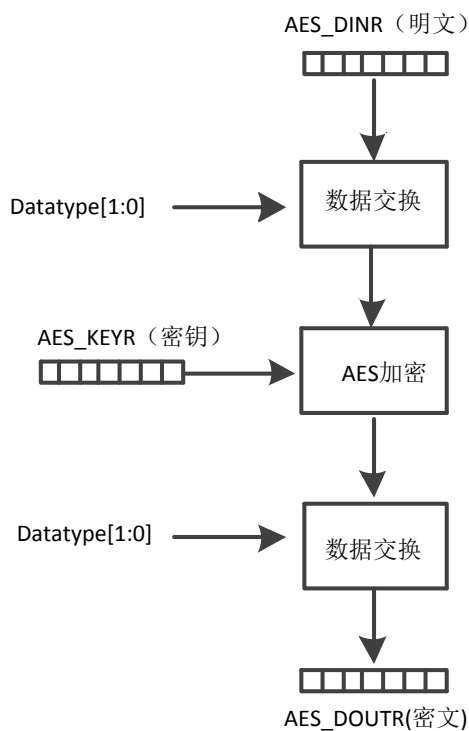


图 8-1 ECB 模式加密流程

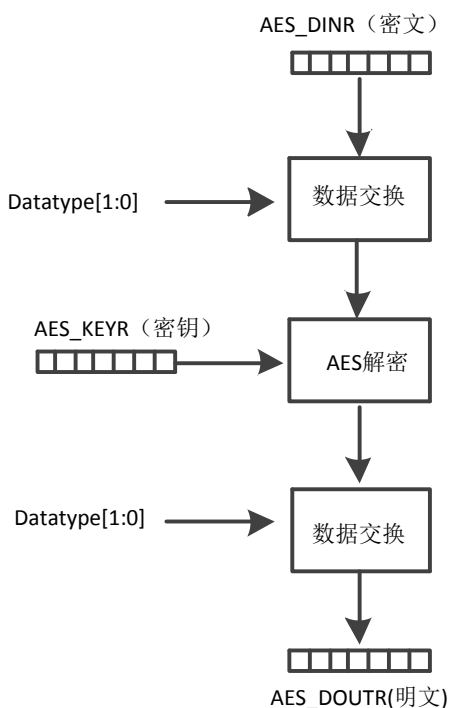


图 8-2 ECB 模式解密流程

8.3.2 CBC 模式

每个block的明文数据与前一block的加密结果异或后作为加密的数据输入。第一个block需要一个初始的IVRx寄存器值。加密时异或操作在加密前而解密时异或操作在加密后。工作流程如图 8-3和图 8-4所示。

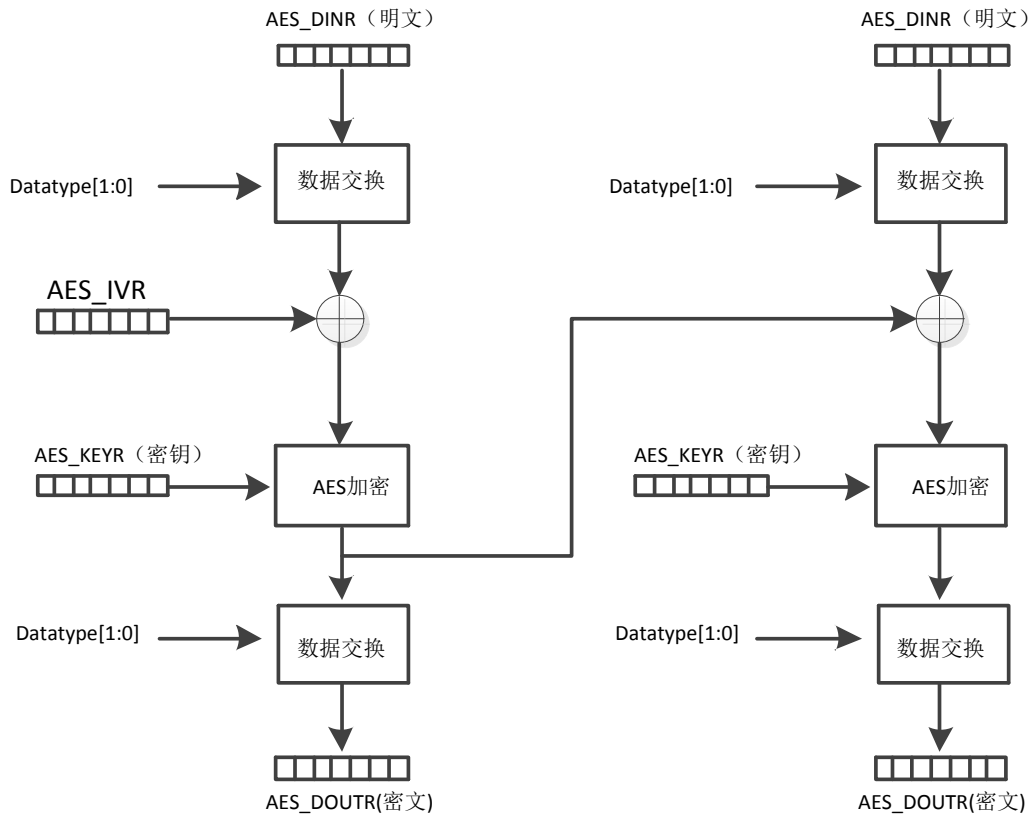


图 8-3 CBC 加密过程

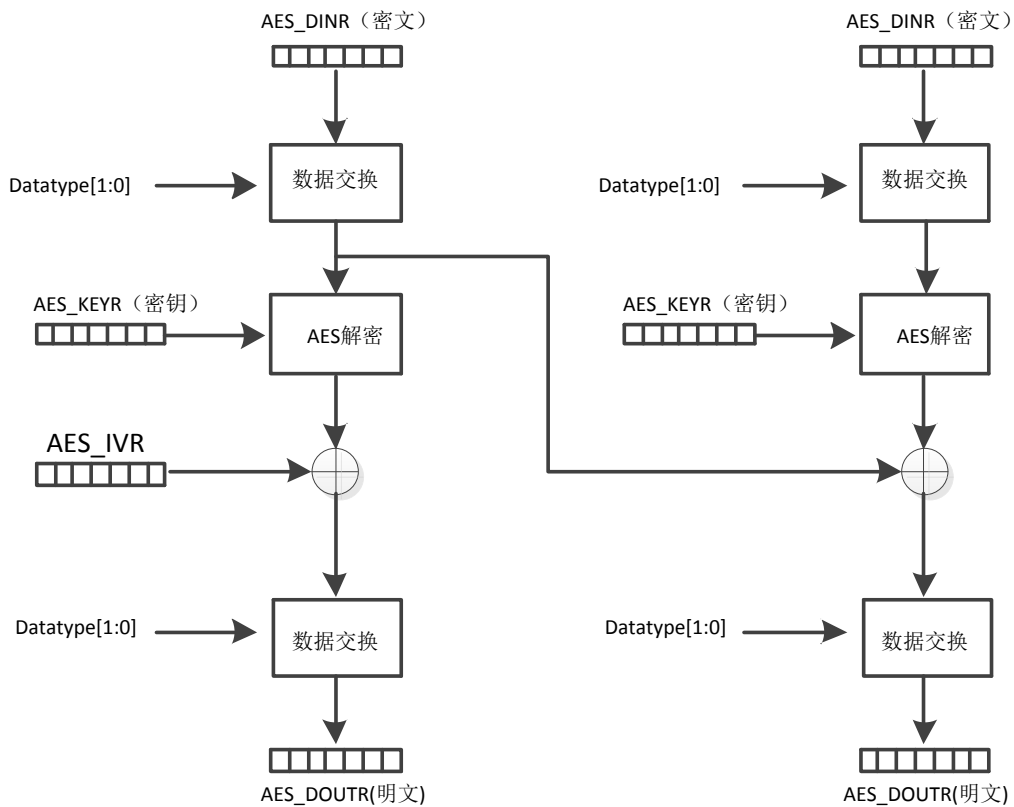


图 8-4 CBC 解密过程

注：在AES工作时读取AES_IVR寄存器的值为0x00000000

8.3.3 暂停模式

如果一个更高优先级的数据需要处理，当前的数据运算是可以暂停的。暂停的数据处理在加解密运算模式下都能够恢复。仅在CPU参与的模式下可用，DMA模式下不可用。

正确的工作流程为：数据在一个block的结果被读完后暂停。

通过对EN bit写0暂停AES。软件读AES_IVRx寄存器中的值并存储，在恢复运算时该值需要被写入AES_IVRx寄存器。

流程如图 8-5所示



图 8-5 暂停模式流程

8.3.4 CTR 模式

该模式下，一个32bit的计数器和一个随机数被用作加解密模块的输入。结果与明文数据进行异或。流程如图 8-6和图 8-7所示。

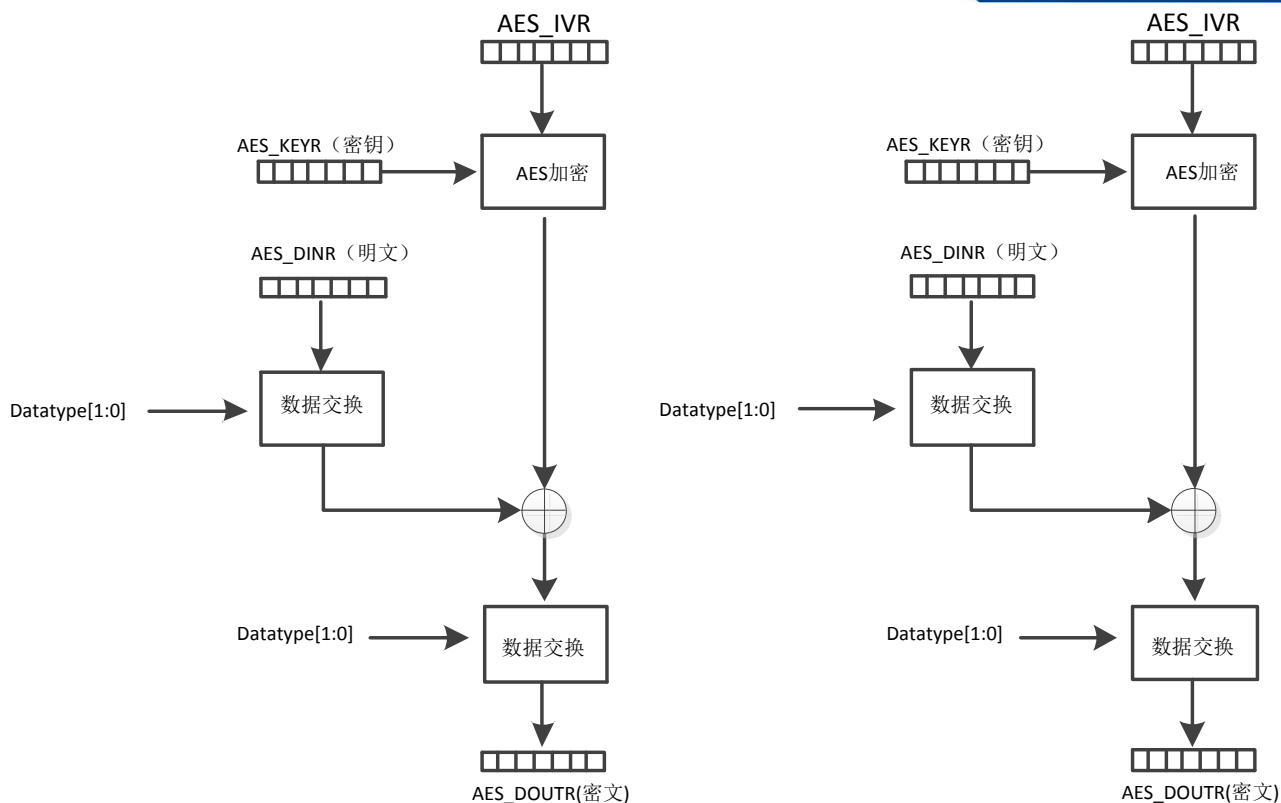


图 8-6 CTR 加密流程

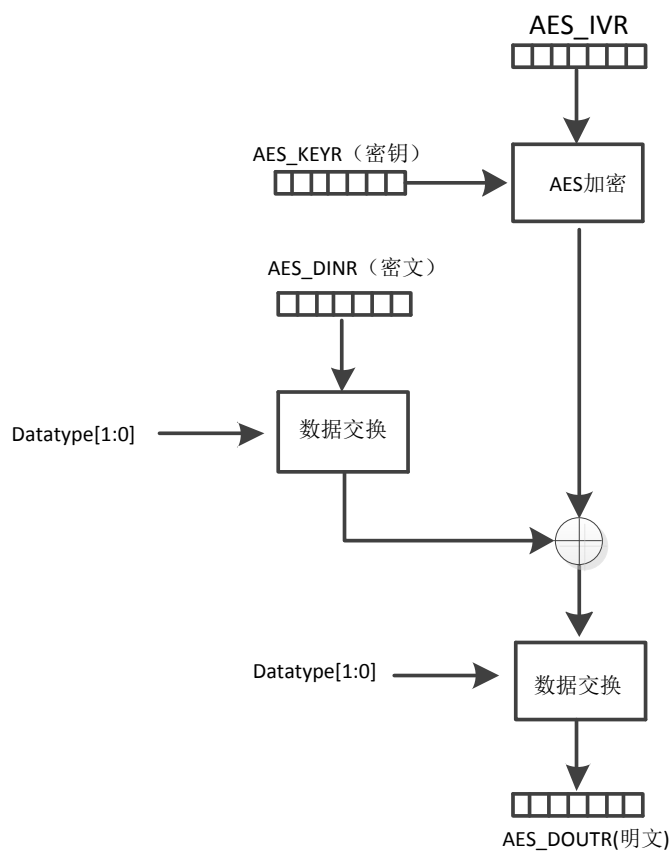


图 8-7 CTR 解密流程

随机数（nonce）和32位计数器存储在IV寄存器中，如图 8-8所示

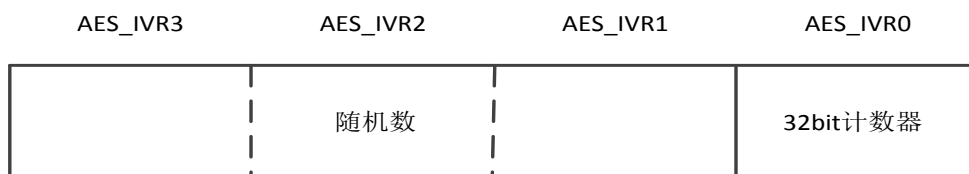


图 8-8 32 位计数器和随机数的存储方式

CTR模式下密钥扩展和解密模式没有意义。

8.3.5 CTR 模式下的暂停模式

与CBC下暂停模式类似。参考CBC下暂停模式。

8.3.6 GCM 模式

具体可以参考文档The Galois/Counter Mode of Operation (GCM)

GCM的加密按照以下公式定义：

$$\begin{aligned}
 H &= E(K, 0^{128}) \\
 Y_0 &= \begin{cases} IV \parallel 0^{31}1 & \text{if } \text{len}(IV) = 96 \\ \text{GHASH}(H, \{\}, IV) & \text{otherwise.} \end{cases} \\
 Y_i &= \text{incr}(Y_{i-1}) \text{ for } i = 1, \dots, n \\
 C_i &= P_i \oplus E(K, Y_i) \text{ for } i = 1, \dots, n-1 \\
 C_n^* &= P_n^* \oplus \text{MSB}_u(E(K, Y_n)) \\
 T &= \text{MSB}_t(\text{GHASH}(H, A, C) \oplus E(K, Y_0))
 \end{aligned}$$

其中GHASH函数的定义为 $\text{GHASH}(H, A, C) = X_{m+n+1}$ ，其中X的定义为

$$X_i = \begin{cases} 0 & \text{for } i = 0 \\ (X_{i-1} \oplus A_i) \cdot H & \text{for } i = 1, \dots, m-1 \\ (X_{m-1} \oplus (A_m^* \parallel 0^{128-v})) \cdot H & \text{for } i = m \\ (X_{i-1} \oplus C_i) \cdot H & \text{for } i = m+1, \dots, m+n-1 \\ (X_{m+n-1} \oplus (C_m^* \parallel 0^{128-u})) \cdot H & \text{for } i = m+n \\ (X_{m+n} \oplus (\text{len}(A) \parallel \text{len}(C))) \cdot H & \text{for } i = m+n+1. \end{cases}$$

GCM模式的加解密流程如图 8-9，图 8-10所示。

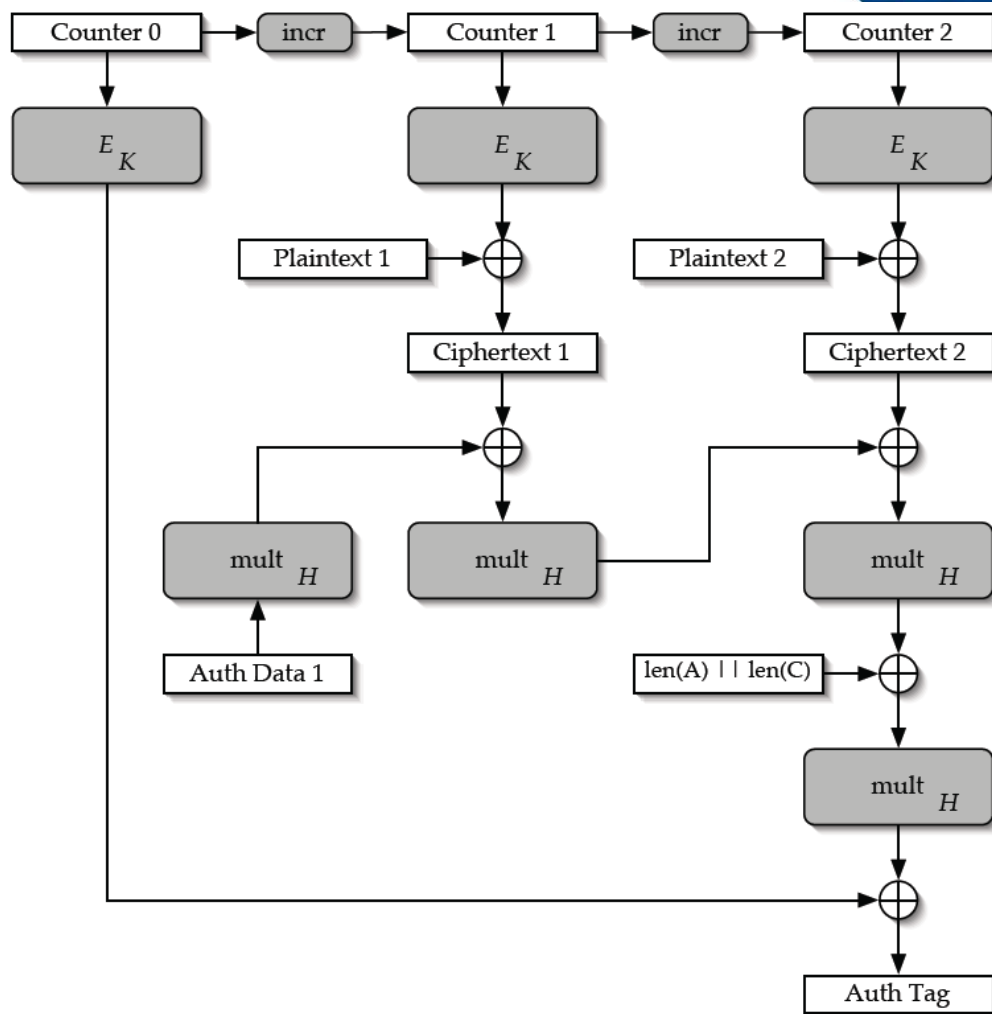


图 8-9 GCM 加密流程

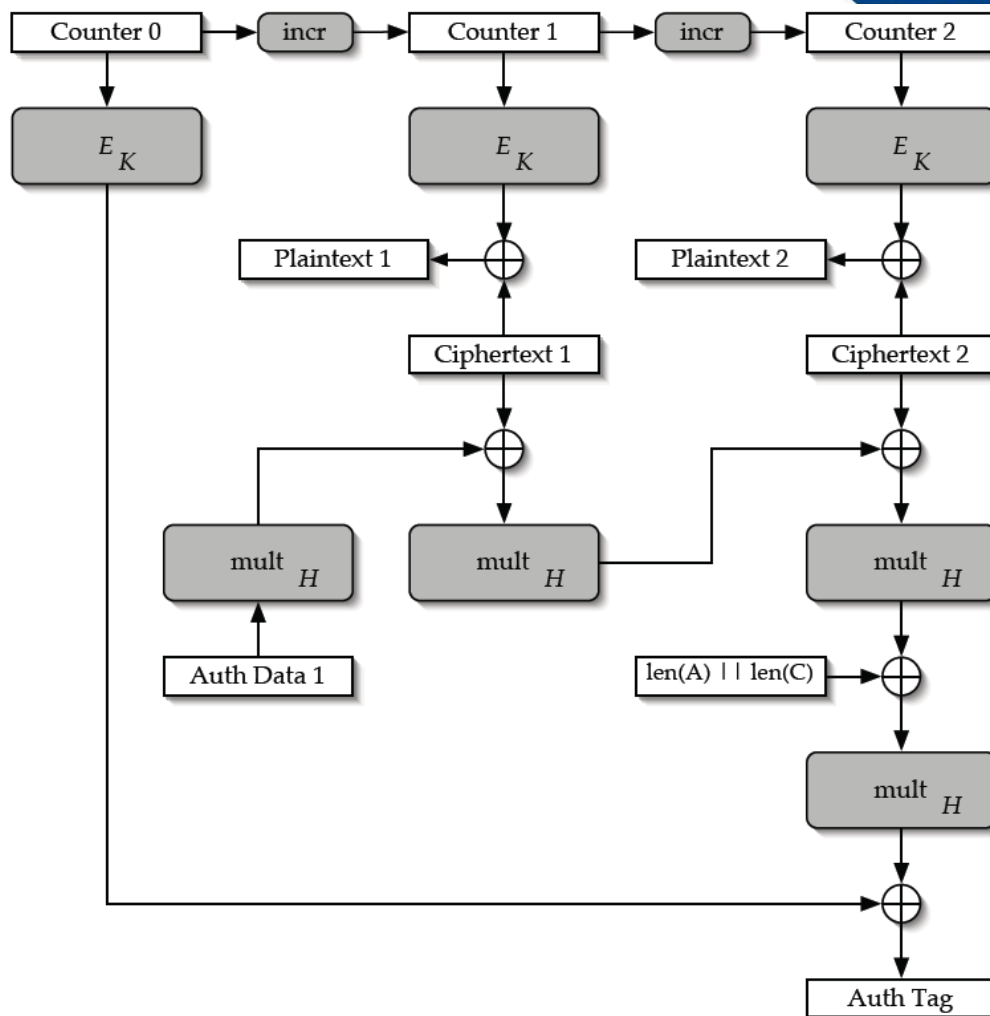


图 8-10 GCM 解密流程

图中 E_K 表示AES加密模块。 mult_H 模块是一个 $GF(2^{128})$ 域上的乘法。 Incr 表示计数器加一。

GCM模式由软件配合实现，硬件提供一个AES模块和 mult_H 模块供软件调度。GCM模式加解密的过程与CTR模式相同。认证过程通过软件调度 mult_H 模块实现。

8.3.7 MultH 模块

$GF(2^{128})$ 上的乘法使用如下算法实现。

Algorithm 1 Multiplication in $GF(2^{128})$. Computes the value of $Z = X \cdot Y$, where X, Y and $Z \in GF(2^{128})$.

```

 $Z \leftarrow 0, V \leftarrow X$ 
for  $i = 0$  to 127 do
  if  $Y_i = 1$  then
     $Z \leftarrow Z \oplus V$ 
  end if
  if  $V_{127} = 0$  then
     $V \leftarrow \text{rightshift}(V)$ 
  else
     $V \leftarrow \text{rightshift}(V) \oplus R$ 
  end if
end for
return  $Z$ 

```

MultH模块的输入输出寄存器复用AES的寄存器。模块框图如图 8-11所示。

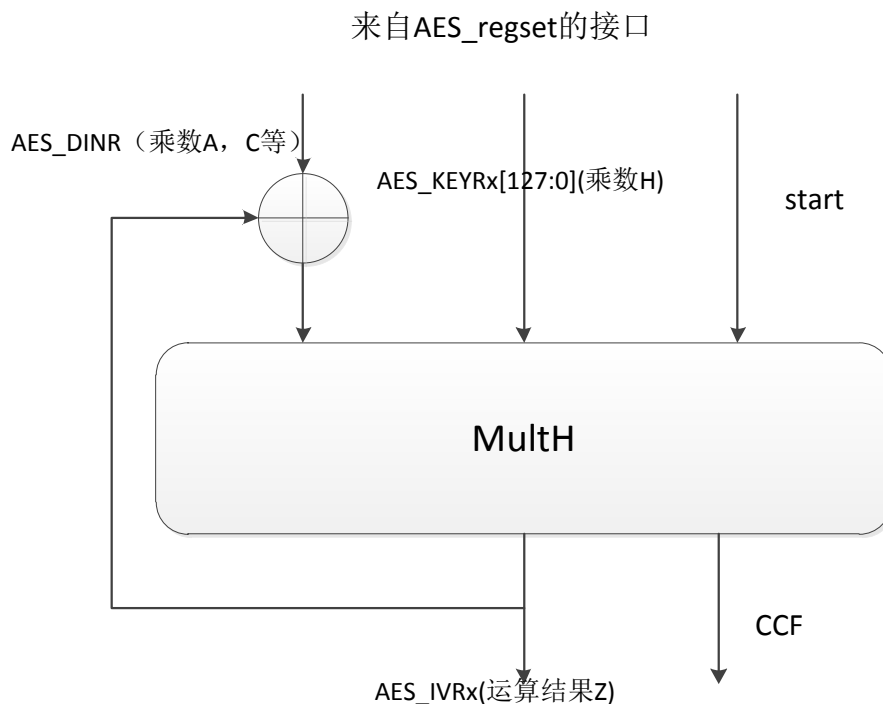


图 8-11 multH 模块框图

multH模块的输入寄存器为AES的输入寄存器AES_DINR和AESHx寄存器。输出寄存器复用AES_IVR寄存器。使用时配置CHMOD[1:0]寄存器为MultH模式，接着配置好AESHx和AES_IVR寄存器输入和输出各128bit，使能EN，向AES_DINR输入数据，等待CCF置起即计算完成。

8.3.8 推荐的 GCM 流程

GCM模式的实现需要软硬件配合，本文档提供一种推荐的使用方法。

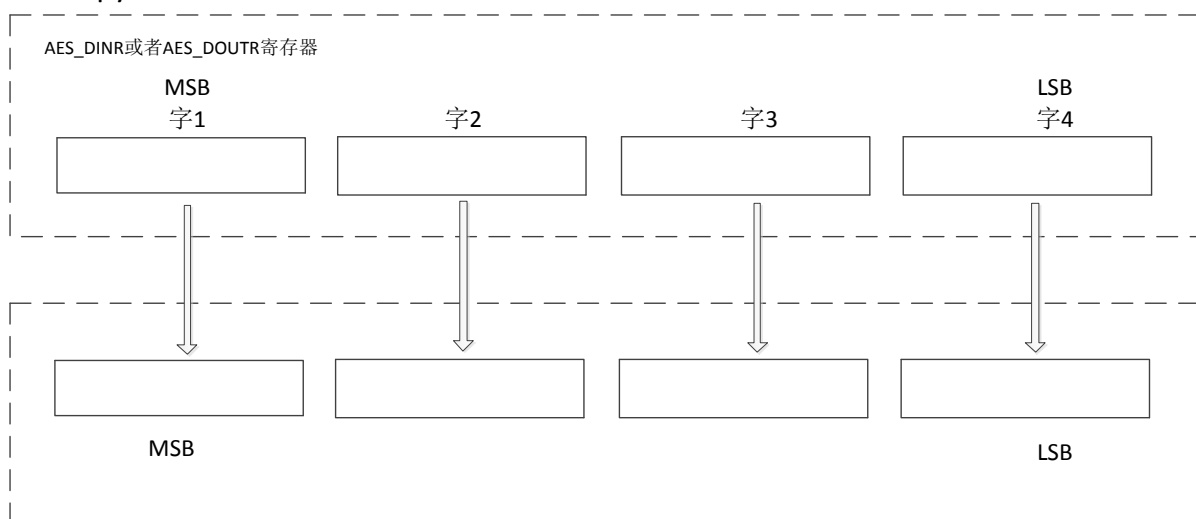
GCM模式的加解密过程和CTR模式相同。认证过程时仅使用MultH模块而不用AES加解密。

- 调用一次AES模块计算H。并存储。
- 调用一次AES模块计算E (K, Y0)，并存储。
- 使用CTR模式开始连续数据的AES加解密操作。IV寄存器初值为Y1
- 使用multH模块连续计算GHASH结果
- 最终GHASH的结果异或上E (K, Y0) 即可计算得到tag的值。

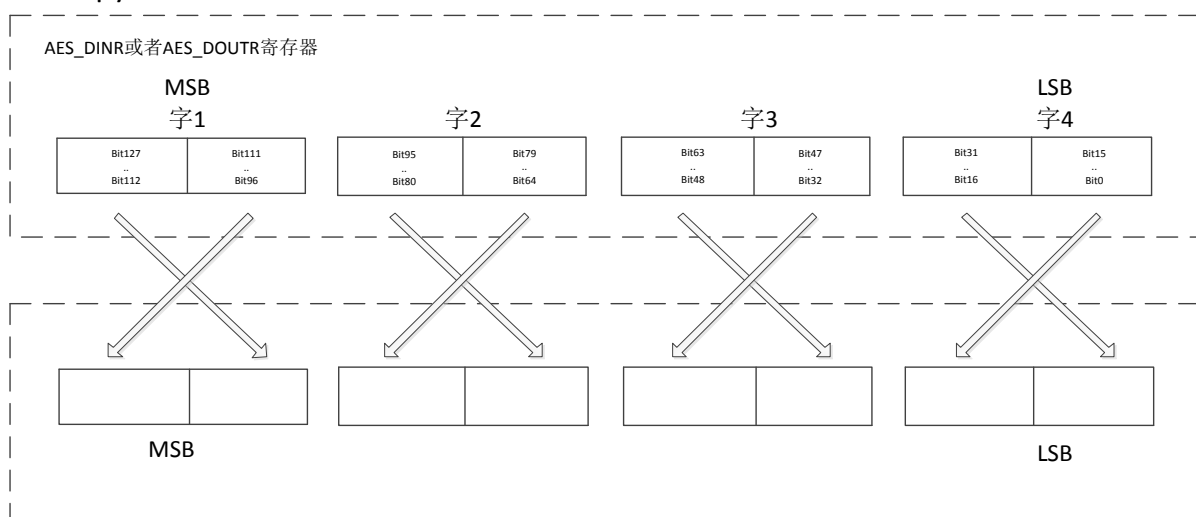
8.4 数据类型

AES一次读写32bit数据，每32bit可以根据DATATYPE[1:0]寄存器的设置按照不同的方式交换数据的顺序。如图 8-12所示。

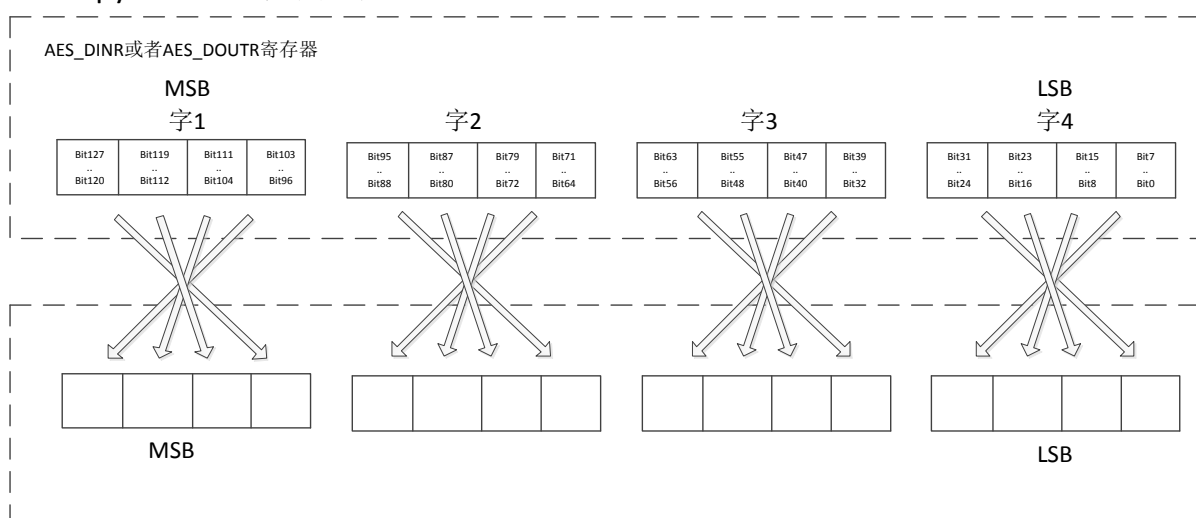
Datatype 2'b00 : 不交换



Datatype 2'b01 : 半字交换



Datatype 2'b10 : 字节交换



Datatype 2'b11 : bit交换

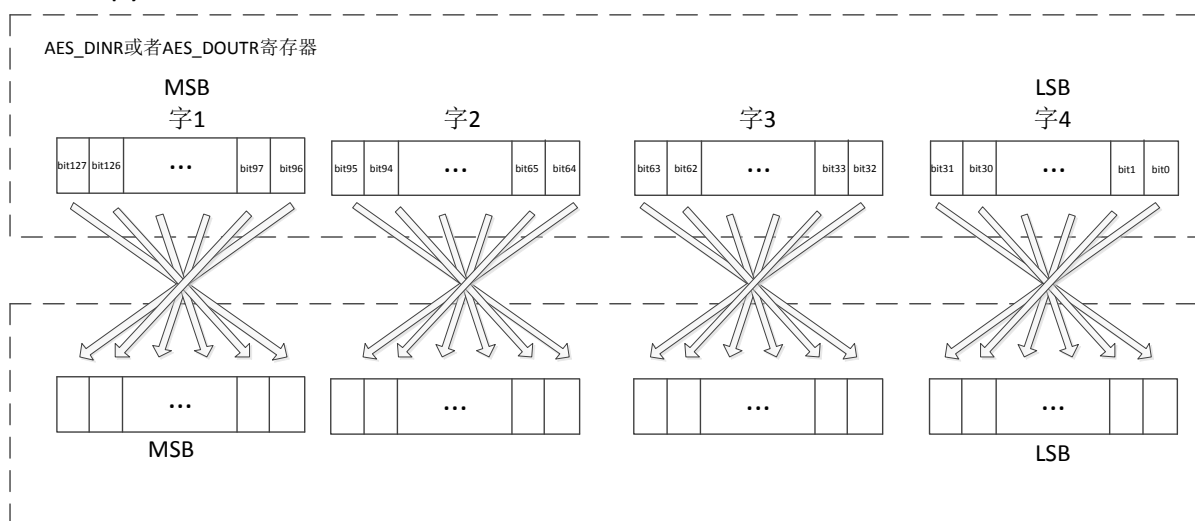


图 8-12 根据数据类型存储数据的示意图

8.5 工作流程

8.5.1 模式 1：加密

- 复位EN 重置AES模块
- 设置模式寄存器mode[1:0]=00，设置流数据处理模式寄存器CHMOD[1:0]
- 写AES_KEYRx寄存器，CTR和CBC模式下写AES_IVRx寄存器
- 写EN=1，使能AES
- 写AES_DINR 寄存器4次
- 等待CCF标志置起
- 从AES_DOUTR分4次读出加密结果
- 对于同一个key，重复步骤5,6,7对接下来的128bit block进行加密

步骤5-7如图所示。

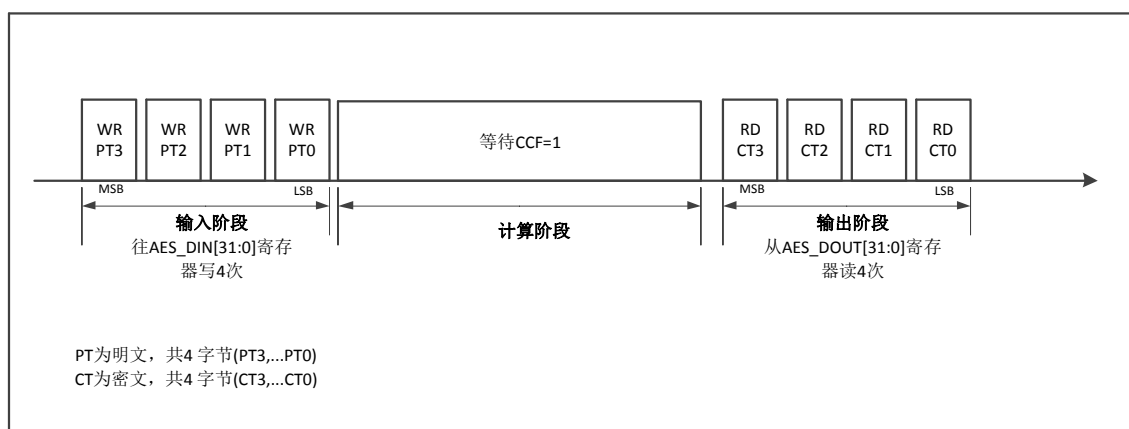


图 8-13 模式 1：加密流程

8.5.2 模式 2：密钥扩展

- 复位EN 重置AES模块
- 设置模式寄存器mode[1:0]=01，CHMOD[1:0]寄存器的值不关心。
- 写AES_KEYRx寄存器。
- 写EN=1，使能AES
- 等待CCF标志置起
- 清除CCF标志，扩展完的key自动写回AES_KEYRx寄存器。如果需要的话可以读取AES_KEYRx寄存器获取结果。想要重新计算扩展密钥，重复步骤3,4,5,6。

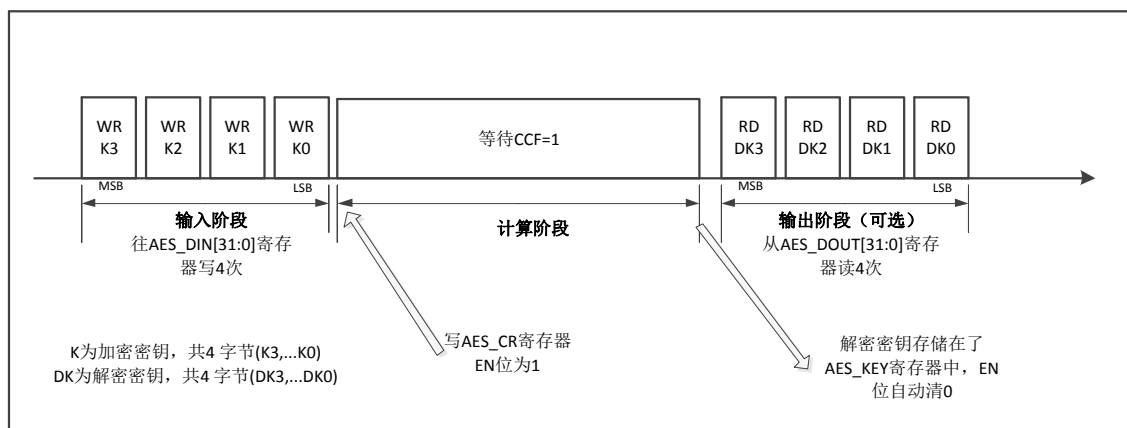


图 8-14 模式 2 示意图

8.5.3 模式 3：解密

- 复位EN 重置AES模块
- 设置模式寄存器mode[1:0]=10，设置流数据处理模式寄存器CHMOD[1:0]
- 写AES_KEYRx寄存器（如果已经通过模式2计算得到了扩展密钥则可跳过这个步骤），CTR和CBC模式下写AES_IVRx寄存器。
- 写EN=1，使能AES
- 写AES_DINR 寄存器4次
- 等待CCF标志置起
- 从AES_DOUTR分4次读出解密结果
- 对于同一个key，重复步骤5,6,7对接下来的128bit block进行解密

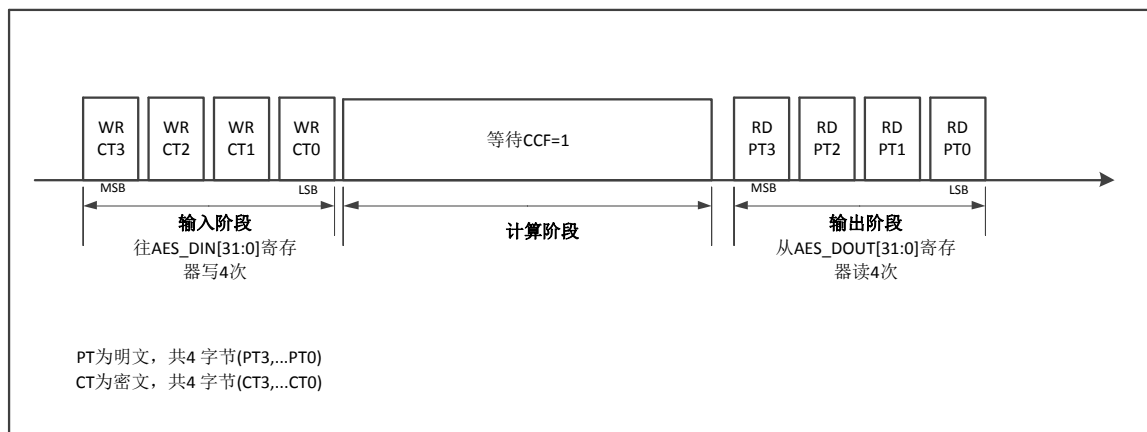


图 8-15 模式 3 示意图

8.5.4 模式 4：密钥扩展+解密

- 复位EN 重置AES模块
- 设置模式寄存器mode[1:0]=11，设置流数据处理模式寄存器CHMOD[1:0]。该模式在CTR模式下被禁止使用。如果设置mode[1:0]=11，CHMOD[1:0]=10，将强制进入CTR解密模式。
- 写AES_KEYRx寄存器，CBC模式下写AES_IVRx寄存器。
- 写EN=1，使能AES
- 写AES_DINR 寄存器4次
- 等待CCF标志置起
- 从AES_DOUTR分4次读出解密结果
- 对于同一个key，重复步骤5,6,7对接下来的128bit block进行解密

注意：该模式下AES_KEYRx寄存器内存储的一直是加密密钥，扩展密钥每次都会在内部被重新计算而不会被存储到AES_KEYRx寄存器中。

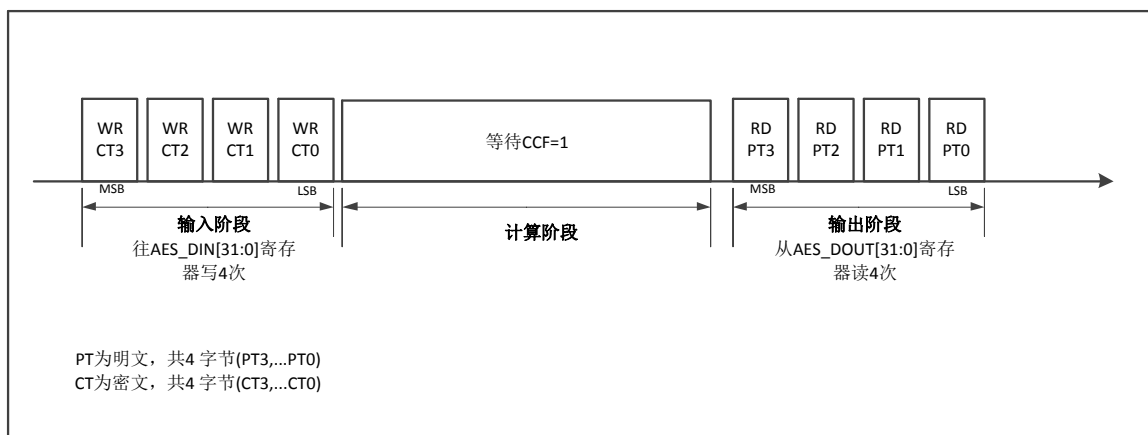


图 8-16 模式 4 示意图

8.5.5 使用 MultH 模块

- 复位EN 重置AES模块。
- 设置流数据处理模式寄存器CHMOD[1:0]=11。该模式下mode[1:0]寄存器的值不能够是01配置在模式2：密钥扩展下。同时配置mode[1:0]=01和CHMOD[1:0]=11会由于mode寄存器优先值更高而进行密钥扩展操作。
- 写AESHx寄存器，若为第一轮计算，则初始值为0x00000000。
- 写EN=1，使能multH模块。
- 写AES_DINR 寄存器4次。MultH模块会把上一次的计算结果异或上AES_DINR寄存器输入的值做为multH模块的一个乘数。所以把上一轮的计算结果赋为0x00000000，即实现了直接把AES_DINR寄存器输入的值做为multH模块的一个乘数的功能。
- 等待CCF标志置起
- 从AES_IVR寄存器中读出计算结果。
- 对于同一个H，重复步骤5,6进行连续计算。即可实现了一个GMAC的功能。

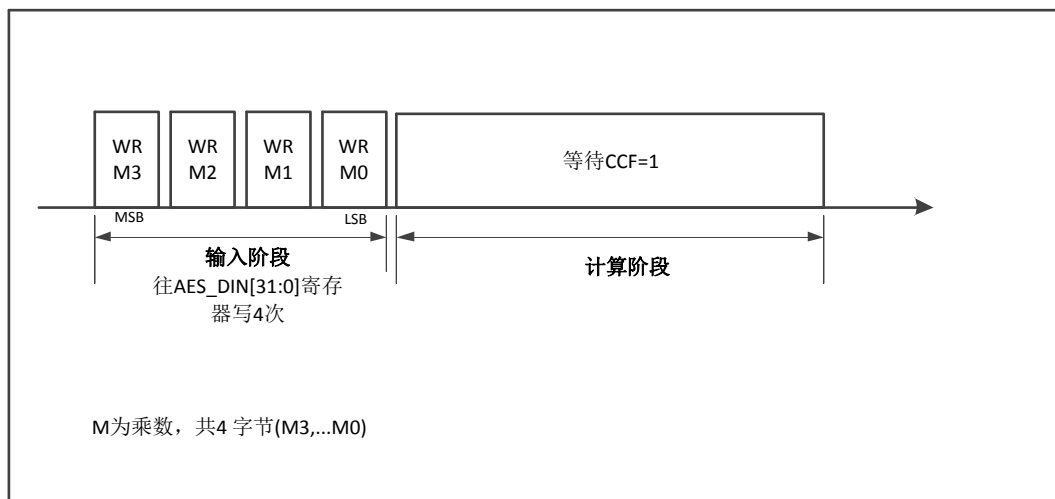


图 8-17 multH 模块使用流程示意图

8.6 错误标志

在计算和输入阶段发生一个读操作，置起RDERR。

在计算和输出阶段发生一个写操作，置起WRERR。

产生错误后AES模块不会被硬件自动停止，会像正常一样继续运算。

8.7 寄存器

地址	名称	符号
0x40013800	AES 控制寄存器	AES_CR
0x40013804	AES 中断使能寄存器	AES_IER
0x40013808	AES 中断标志寄存器	AES_ISR
0x4001380C	AES 数据输入寄存器	AES_DIR
0x40013810	AES 数据输出寄存器	AES_DOR
0x40013814	AES 密钥寄存器 0	AES_KEY0
0x40013818	AES 密钥寄存器 1	AES_KEY1
0x4001381C	AES 密钥寄存器 2	AES_KEY2
0x40013820	AES 密钥寄存器 3	AES_KEY3
0x40013824	AES 密钥寄存器 4	AES_KEY4
0x40013828	AES 密钥寄存器 5	AES_KEY5
0x4001382C	AES 密钥寄存器 6	AES_KEY6
0x40013830	AES 密钥寄存器 7	AES_KEY7
0x40013834	AES 初始向量寄存器 0	AES_IVR0
0x40013838	AES 初始向量寄存器 1	AES_IVR1
0x4001383C	AES 初始向量寄存器 2	AES_IVR2
0x40013840	AES 初始向量寄存器 3	AES_IVR3
0x40013844	AES MultH 参数寄存器 0	AES_H0
0x40013848	AES MultH 参数寄存器 1	AES_H1
0x4001384C	AES MultH 参数寄存器 2	AES_H2

0x40013850	AES MultH 参数寄存器 3	AES_H3
------------	-------------------	--------

8.7.1 AES 控制寄存器 (AES_CR)

名称	AES_CR							
offset	0x00							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-	KEYLEN		DMAOE N	DMAIEN	IVRSWAP		-
位权限	U-0	R/W-00		R/W-0	R/W-0	R/W-00		U-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	CHMOD		MODE		DATATYP		EN
位权限	U-0	R/W-00		R/W-00		R/W-00		R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:15	--	RFU: 未实现, 读为 0
14:13	KEYLEN	AES 加密密钥长度, AESEN=1 时不可修改。 (Key Length) 00: 128bit 01: 192bit 10: 256bit 11: 保留
12	DMAOEN	DUMMY 寄存器
11	DMAIEN	DUMMY 寄存器
10:9	IVRSWAP	IVR 寄存器读出交换功能 (IVR register read-out swapping) 此寄存器仅针对 IVR 寄存器读取, 读出的数据在放到系统总线上之前先经过顺序交换处理 00: 32bit 数据不交换 01: 16bit 数据半字交换 10: 8bit 数据字节交换 11: 1bit 数据比特交换
8:7	--	RFU: 未实现, 读为 0
6:5	CHMOD	AES 数据流处理模式, AESEN=1 时不可修改。 (Cipher Mode) 00: ECB 01: CBC 10: CTR 11: 使用 MultH 模块
4:3	MODE	AES 工作模式, AESEN=1 时不可修改。 (operation MODE) 00: 模式 1: 加密 01: 模式 2: 密钥扩展 10: 模式 3: 解密 11: 模式 4: 密钥扩展+解密

Bit	助记符	功能描述
		CTR 模式下配置成模式 4 将自动进入 CTR 的解密模式。即在 CHMOD=2'b10 时配置 MODE=2'b11, AES 将按照 MODE=2'b10 的情形执行。
2:1	DATATYP	选择数据类型, AESEN=1 时不可修改。具体交换规则可参考 AES 数据类型章节。 (Data type) 00: 32bit 数据不交换 01: 16bit 数据半字交换 10: 8bit 数据字节交换 11: 1bit 数据比特交换
0	EN	AES 使能 (AES enable) 0: 不使能 1: 使能 在任何时候清除 AESEN 位都能够复位 AES 模块 在模式 2 下该位会在一次计算完成后硬件自动清 0

8.7.2 AES 中断使能寄存器 (AES_IER)

名称	AES_IER							
offset	0x04							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					WRERR_I E	RDERR_I E	CCF_IE
位权限	U-0					R/W-0	R/W-0	R/W-0

位号	助记符	功能描述
31:3	-	RFU: 未实现, 读为 0
2	WRERR_IE	写错误中断使能, 1 有效。(Write Error interrupt enable)
1	RDERR_IE	读错误中断使能, 1 有效。(Read Error interrupt enable)
0	CCF_IE	AES 计算完成中断使能, 1 有效。(Cipher Complete Interrupt enable)

8.7.3 AES 中断标志寄存器 (AES_ISR)

名称	AES_ISR							
地址	0x08							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							

位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					WRERR	RDERR	CCF
位权限	U-0					R/W1C-0	R/W1C-0	R/W1C-0

Bit	助记符	功能描述
31:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2	WRERR	写错误标志: 在计算或输出阶段发生写操作时置位, 软件写 1 清零
1	RDERR	读错误标志: 在计算或输入阶段发生读操作时置位, 软件写 1 清零
0	CCF	AES 计算完成标志, 软件写 1 清零 1: 计算完成 0: 计算没有完成

8.7.4 AES 数据输入寄存器 (AES_DIR)

名称	AES_DIR							
offset	0x0C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	DIN[31:24]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit23	Bit23	Bit23	Bit23	Bit23	Bit23	Bit23	Bit23
位名	DIN[23:16]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit15	Bit15	Bit15	Bit15	Bit15	Bit15	Bit15	Bit15
位名	DIN[15:8]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit7	Bit7	Bit7	Bit7	Bit7	Bit7	Bit7	Bit7
位名	DIN[7:0]							
位权限	R/W-0000 0000							

Bit	助记符	功能描述
31:0	DIN	数据输入寄存器, 当 AES 需要输入加解密数据时, 应该往该寄存器连续写 4 次。(AES Data Input) 模式 1 (加密): 把明文从 MSB 到 LSB 分 4 次写入。 模式 2 (密钥扩展): 无需使用数据输入寄存器 模式 3 和模式 4 (解密): 把密文从 MSB 到 LSB 分 4 次写入。 MultH 模式: 把乘数 A 或 C 从 MSB 到 LSB 分 4 次写入。

8.7.5 AES 数据输出寄存器 (AES_DOR)

名称	AES_DOR
offset	0x10

位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	DOUT[31:24]							
位权限	R-0000 0000							
位	Bit23	Bit23	Bit23	Bit23	Bit23	Bit23	Bit23	Bit23
位名	DOUT[23:16]							
位权限	R-0000 0000							
位	Bit15	Bit15	Bit15	Bit15	Bit15	Bit15	Bit15	Bit15
位名	DOUT[15:8]							
位权限	R-0000 0000							
位	Bit7	Bit7	Bit7	Bit7	Bit7	Bit7	Bit7	Bit7
位名	DOUT[7:0]							
位权限	R-0000 0000							

Bit	助记符	功能描述
31:0	DOUT	<p>数据输出寄存器，当 AES 计算完成后，可以分四次读出加解密的结果。(AES Data Output)</p> <p>模式 1（加密）：把密文从 MSB 到 LSB 分 4 次读出。</p> <p>模式 2（密钥扩展）：无需使用数据输出寄存器</p> <p>模式 3 和模式 4（解密）：把明文从 MSB 到 LSB 分 4 次输出。</p> <p>MultH 模式：运算结果存储在 IVR 寄存器中，无需读取 AES_DOUTR 寄存器。</p>

8.7.6 AES 密钥寄存器（AES_KEYx）

名称	AES_KEYx(x=0,1,2,3,4,5,6,7)							
offset	0x14 + x*0x04							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	KEYx[31:24]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit23	Bit23	Bit23	Bit23	Bit23	Bit23	Bit23	Bit23
位名	KEYx[23:16]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit15	Bit15	Bit15	Bit15	Bit15	Bit15	Bit15	Bit15
位名	KEYx[15:8]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit7	Bit7	Bit7	Bit7	Bit7	Bit7	Bit7	Bit7
位名	KEYx[7:0]							
位权限	R/W-0000 0000							

Bit	助记符	功能描述
31:0	KEYx	AES 运算密钥，最长 256bit，AESKEY0 存放密钥最低 32bit，AESLKEY7 存放密钥最高 32bit。(AES Key)

8.7.7 AES 初始向量寄存器（AES_IVRx）

名称	AES_IVRx(x=0,1,2,3)							
offset	0x34 + x*0x04							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24

位名	IVRx[31:24]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit23	Bit23	Bit23	Bit23	Bit23	Bit23	Bit23	Bit23
位名	IVRx[23:16]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit15	Bit15	Bit15	Bit15	Bit15	Bit15	Bit15	Bit15
位名	IVRx[15:8]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit7	Bit7	Bit7	Bit7	Bit7	Bit7	Bit7	Bit7
位名	IVRx[7:0]							
位权限	R/W-0000 0000							

Bit	助记符	功能描述
31:0	IVRx	AES 运算 128bit 初始向量, 在 MultH 模式下保存运算结果。 (AES Initial Vector Registers)

8.7.8 AES MultH 参数寄存器 (AES_Hx)

名称	AES_Hx(x=0,1,2,3)							
地址	0x44 + x*0x04							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	Hx[31:24]							
位权限	R/W-00000000							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	Hx[23:16]							
位权限	R/W-00000000							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	Hx[15:8]							
位权限	R/W-00000000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	Hx[7:0]							
位权限	R/W-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31:0	Hx	MultH 运算 128bit 输入 H 参数 (H Parameter) H0 保存 H[31:0], H3 保存 H[127:96]

9 随机数发生器 (TRNG)

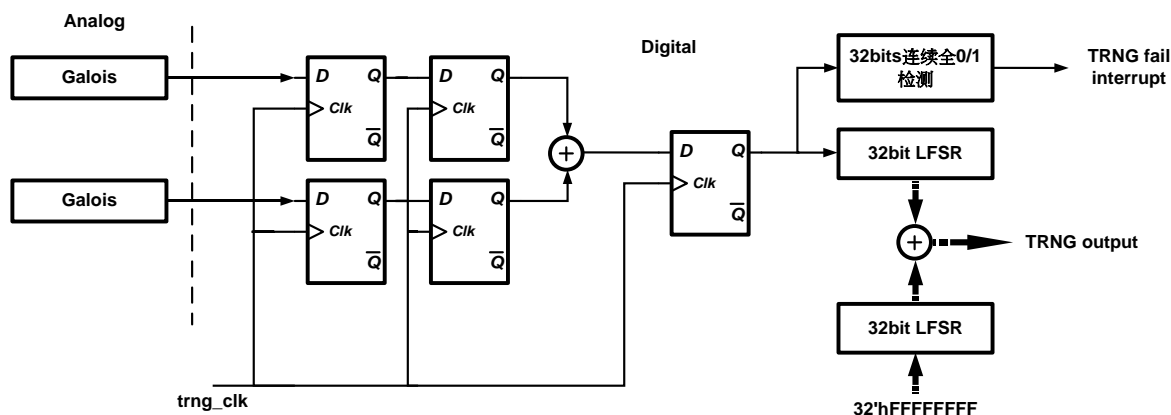
9.1 概述

FM33A0xx使用2个Galois真随机噪声源作为真随机数种子，配合简单在线检测（32位全0全1检测）、LFSR后处理、伪随机LFSR共同组成芯片的随机数发生器。

TRNG的启动测试和完整的在线测试功能需要固件实现。

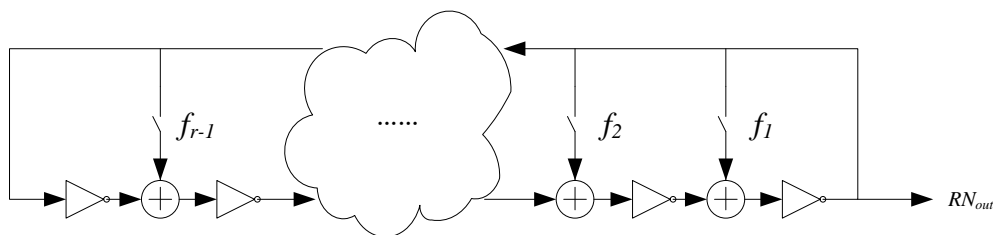
9.2 设计方案

9.2.1 随机数产生



真随机源为2个Galois环振，环振输出pin使用底层金属布线，避免被探针攻击。Galois输出在数字电路内部异或并使用系统时钟采样，然后进行LFSR后处理。LFSR后处理之前经过随机数在线检测，如果发现连续32bit全0或全1的情况，则产生TRNG失效报警中断。同时为了避免小概率的真随机数性能不良情况，另外使用一组LFSR以32'hFFFFFFFF为初始值，与后处理LFSR同步运算，并以两组LFSR按位异或后的结果作为最终的32bit随机数输出。

Galois环振电路结构如下图：



9.2.2 CRC 运算

在进行CRC运算时，两组32bit LFSR分别作为输入数据寄存器和CRC运算寄存器，一次可以运算32bit数据的CRC结果。CRC运算前CPU需查询当前LFSR是否被占用，如LFSR空闲，方可以使用CRC功能。

CPU一旦启动CRC运算，LFSR自动置为复位值，随后进行32bit运算，运算结束后清除CRC启动寄存器，不产生中断；软件启动CRC后应连续查询启动寄存器状态，直到运算结束后再读取结果。

CRC多项式:

$$\text{CRC32} = X^{32} + X^{26} + X^{23} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X^1 + X^0$$

软件操作流程:

- 查询lfsr_busy, 确认LFSR不在运行中
- 将待运算数据写入CRCDATA0~3
- 置位CRC_EN
- 查询并等待CRC_EN被清零
- 从LFSROUT0~3读出运算结果

9.3 寄存器

地址	名称	符号
0x4001238C	TRNG 控制寄存器	TRNGCON
0x40013C04	随机数/CRC 结果输出寄存器	RNGOUT
0x40013C10	RNG 中断标志寄存器	RNGIF
0x40013C14	CRC 控制寄存器	CRCCON
0x40013C18	CRC 输入数据寄存器	CRCIN
0x40013C1C	CRC 完成标志寄存器	CRCIF

9.3.1 TRNG 控制寄存器

名称	TRNGCON							
地址	0x4001238C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-							RNGEN
位权限	U-0							R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:1	--	RFU: 未实现, 读为 0
0	RNGEN	RNG 使能寄存器, 软件写 1 启动, 完成随机数产生后自动清零 1: 启动 RNG 0: 关闭 RNG

9.3.2 随机数/CRC 结果输出寄存器

名称	RNGOUT							
地址	0x40013C04							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	RNGOUT[31:24]							
位权限	R							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	RNGOUT[23:16]							
位权限	R							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	RNGOUT[15:8]							
位权限	R							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	RNGOUT[7:0]							
位权限	R							

Bit	助记符	功能描述
31:0	RNGOUT	随机数生成结果或 CRC 运算结果寄存器

9.3.3 RNG 中断标志寄存器

名称	RNGIF							
地址	0x40013C10							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-						LFSREN	RNF
位权限	U-0						R-0	R/W1C-0

Bit	助记符	功能描述
31:2	--	RFU: 未实现, 读为 0
1	LFSREN	LFSR 使能标志 1: LFSR 在运行中, 不可进行 CRC 验证 0: LFSR 不在运行中, 可进行 CRC 验证 注: 本寄存器不会引起模块中断, 仅供查询
0	RNF	随机数生成失败标志, 软件写 1 清 0 1: 随机数未能通过质量检测 0: 随机数通过质量检测

9.3.4 CRC 控制寄存器

名称	CRCCON							
地址	0x40013C14							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-							CRCEN
位权限	U-0							R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:1	--	RFU: 未实现, 读为 0
0	CRCEN	CRC 使能控制寄存器, 软件写 1 启动 CRC, 运算完成后硬件自动清零 1: CRC 使能 0: CRC 关闭 注: 在 LFSREN=1 时, CRC 不能启动。

9.3.5 CRC 输入数据寄存器

名称	CRCIN							
地址	0x40013C18							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	CRCIN[31:24]							
位权限	R/W-11111111							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	CRCIN[23:16]							
位权限	R/W-11111111							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	CRCIN[15:8]							
位权限	R/W-11111111							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CRCIN[7:0]							
位权限	R/W-11111111							

Bit	助记符	功能描述
31:0	CRCIN	CRC 运算数据输入寄存器 注: 在 LFSREN=1 时, 该寄存器不能写入数据。

9.3.6 CRC 完成标志寄存器

名称	CRCIF							
地址	0x40013C1C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-							CRCDONE
位权限	U-0							R/W-0

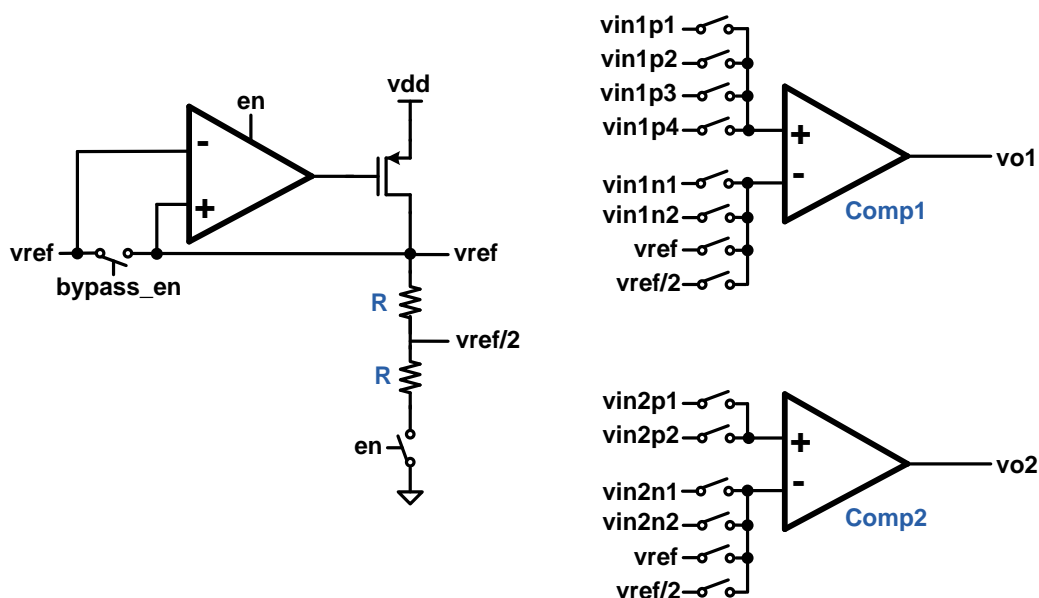
Bit	助记符	功能描述
31:1	--	RFU: 未实现, 读为 0
0	CRCDONE	CRC 计算完成标志, 软件写 0 清 0 1: CRC 计算完成 0: CRC 计算未完成

10 模拟比较器 (Comparator)

10.1 概述

- 两个比较器，Comp1为低功耗比较器，Comp2为rail-to-rail快速比较器
- 比较器负端输入为vref或者IO输入，比较器正端为IO输入
- Buffer有Bypass功能，Bypass使能有效则不经过Buffer直接输入至比较器
- Buffer有1/2分压功能
- 比较器中断能够将芯片从所有低功耗模式下唤醒
- 比较器输出可以连接到扩展定时器输入

10.2 结构框图



比较器结构如上图所示，基准电压VREF输入经过BUFFER模块后输出VREF和VREF/2，BUFFER输出可以配置为BYPASS，在配置成BYPASS使能后，BUFFER功能关闭，VREF直接输出，无法输出VREF/2。COMP1和COMP2分别为低功耗比较器和快速比较器，输入端连接方式如结构图所示，两个比较器产生输出信号输出至数字电路。

其中Comp1输入电压范围0~VDD-0.7V，建立时间小于10us，传输延迟小于5us。
Comp2输入电压范围0~VDD，建立时间小于15us，传输延迟小于2us。

10.3 输出连接

比较器输出可以连接到ET1和ET2输入，将比较器输出的上升沿或下降沿作为Timer计数源使用。具体参见扩展定时器章节。

10.4 寄存器

地址	名称	符号
0x40012840	COMP1 控制寄存器	COMP1CR
0x40012844	COMP2 控制寄存器	COMP2CR
0x40012848	COMP 中断配置寄存器	COMPICR
0x4001284C	COMP 中断标志寄存器	COMPIF

10.4.1 COMP1 控制寄存器

名称	COMP1CR							
地址	0x40012840							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							CMP1O
位权限	U-0							R-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-			V1PSEL		V1NSEL		CMP1EN
位权限	U-0			R/W-00		R/W-00		R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:9	--	RFU: 未实现, 读为 0
8	CMP1O	比较器 1 输出, 软件只读
7:5	--	RFU: 未实现, 读为 0
4:3	V1PSEL	比较器 1 正极输入选择 00: PF6 01: PF1 10: PG2 11: PG3
2:1	V1NSEL	比较器 1 负极输入选择 00: PF5 01: PF0 10: Vref 0.8V 11: Vref/2 0.4V
0	CMP1EN	比较器 1 使能位 0: 关闭比较器 1 1: 使能比较器 1

10.4.2 COMP2 控制寄存器

名称	COMP2CR							
地址	0x40012844							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24

位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							CMP2O
位权限	U-0							R-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-				V2PSEL	V2NSEL		CMP2EN
位权限	U-0				R/W-0	R/W-00		R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:9	--	RFU: 未实现, 读为 0
8	CMP2O	比较器 2 输出, 软件只读
7:4	--	RFU: 未实现, 读为 0
3	V2PSEL	比较器 2 正极输入选择 0: PC15 1: PE4
2:1	V2NSEL	比较器 2 负极输入选择 00: PC14 01: PE3 10: Vref 0.8V 11: Vref/2 0.4V
0	CMP2EN	比较器 2 使能位 0: 关闭比较器 1 1: 使能比较器 1

10.4.3 COMP 中断配置寄存器

名称	COMPICR							
地址	0x40012848							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							CMP2DF
位权限	U-0							R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	BUFBYP	BUFENB	CMP2SEL		CMP1SEL		CMP2IE	CMP1IE
位权限	RW-0	RW-1	R/W-00		R/W-00		R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:10	--	RFU: 未实现, 读为 0
9	CMP2DF	比较器 2 数字滤波使能

Bit	助记符	功能描述
		0: 禁止数字滤波 1: 使能数字滤波
8	CMP1DF	比较器 1 数字滤波使能 0: 禁止数字滤波 1: 使能数字滤波
7	BUFBYP	比较器 Buffer Bypass 0: 不 Bypass 比较器 Buffer 1: Bypass 比较器 Buffer
6	BUFENB	比较器 Buffer 使能 0: 使能比较器 Buffer 1: 禁止比较器 Buffer
5:4	CMP2SEL	比较器 2 中断源选择 00/11: 比较器 2 输出上升或下降沿产生中断 01: 比较器 2 输出上升沿产生中断 10: 比较器 2 输出下降沿产生中断
3:2	CMP1SEL	比较器 1 中断源选择 00/11: 比较器 1 输出上升或下降沿产生中断 01: 比较器 1 输出上升沿产生中断 10: 比较器 1 输出下降沿产生中断
1	CMP2IE	比较器 2 中断使能
0	CMP1IE	比较器 1 中断使能

*注: 为了避免误触发中断, 应在关闭中断使能的情况下设置中断源选择寄存器。

10.4.4 COMP 中断标志寄存器

名称	COMPIF							
地址	0x4001284C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-						CMP2IF	CMP1IF
位权限	U-0						R/W1C-0	R/W1C-0

Bit	助记符	功能描述
31:2	--	RFU: 未实现, 读为 0
1	CMP2IF	比较器 2 中断标志, 硬件置位, 软件写 1 清零
0	CMP1IF	比较器 1 中断标志, 硬件置位, 软件写 1 清零

11 I²C

11.1 概述

I²C 模块实现 MCU 与外部 I2C 接口器件之间的同步通信，硬件实现串并转换。支持 I2C 的主机模式，不支持从机模式和多主机模式。

特点：

- 只支持 I²C 主机模式，不支持从机模式和多主机模式
- 支持 7 位或 10 位从机地址
- 传输速度支持标准模式(100K)和快速模式(400K)
- 支持 DMA

11.2 接口时序

11.2.1 接口时序图

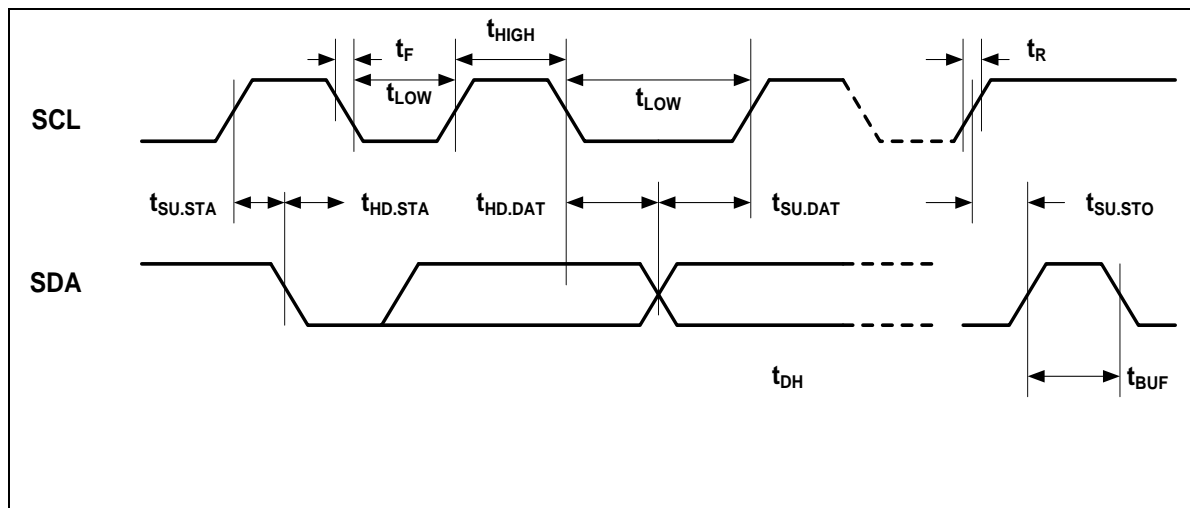


图 11-1 I²C 总线时序

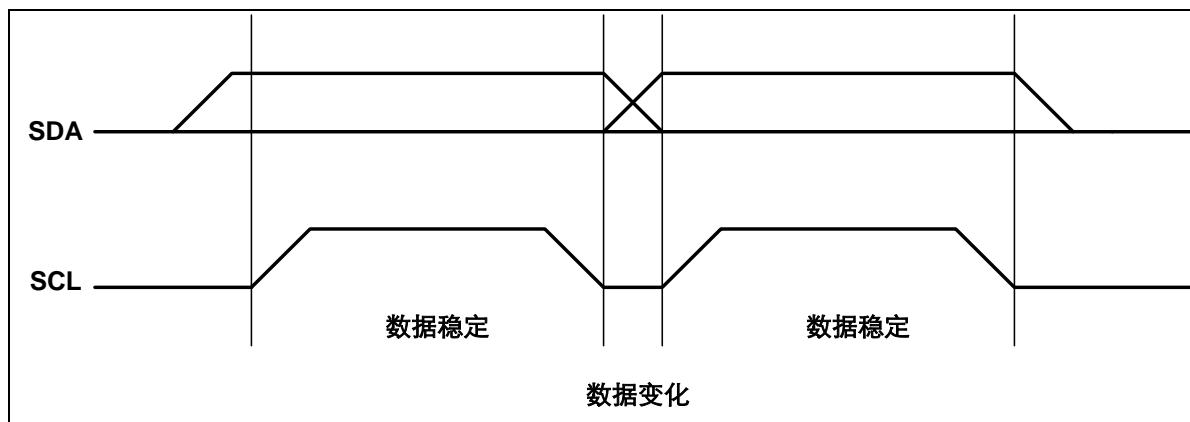


图 11-2 数据有效时序

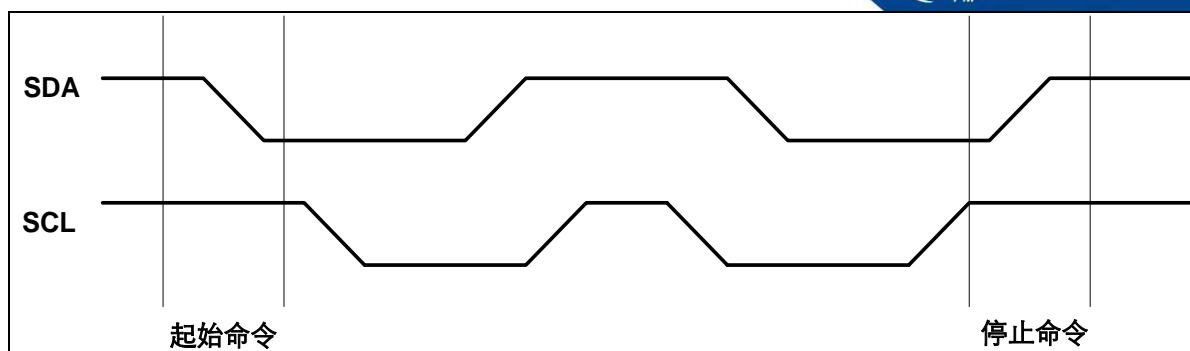


图 11-3 起始 (Start) 与停止(Stop)命令定义

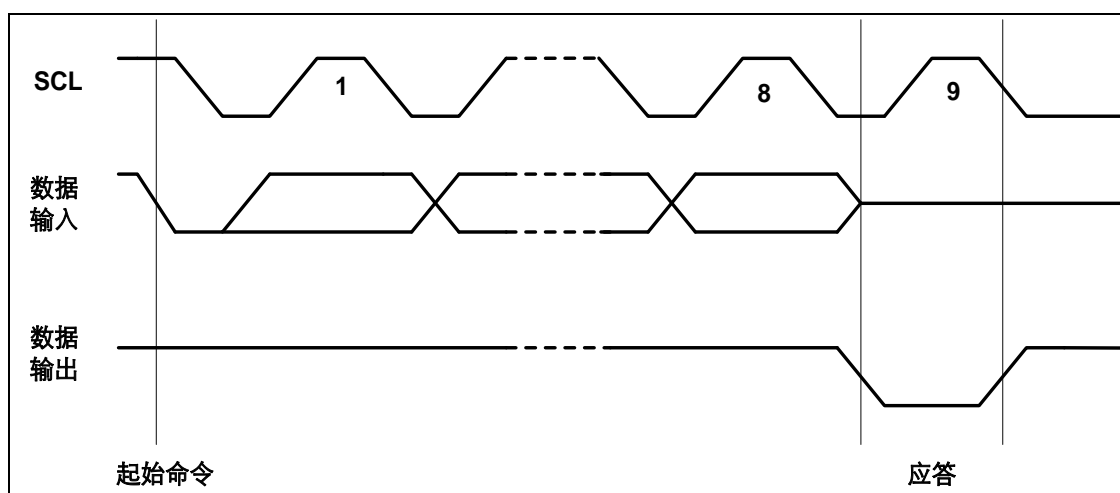


图 11-4 输出应答(ACK)

11.2.2 接口时序描述

时钟有效时序：SDA 引脚通常被外围器件拉高。SDA 引脚的数据应在 SCL 为低时变化（参见图 11-2）；当数据在 SCL 为高时变化，将视为下文所述的一个起始或停止命令。

起始命令：当 SCL 为高，SDA 由高到低的变化被视为起始命令，必须以起始命令作为任何一次读/写操作命令的开始（参见图 11-3）。

停止命令：当 SCL 为高，SDA 由低到高的变化被视为停止命令，在一个读操作后，停止命令会使 EEPROM 进入等待态低功耗模式（参见图 11-3）。

输出应答：SDA 上的数据都是以 8 位为一组串行输入和输出的，MSB 先发，接收方在收完每个字节后应当在第 9 个周期回发一个回应 acknowledge 位（以下简称 ack），ack 的时钟由主机提供。发送方在 ack 期间悬空 SDA，接收方须将 SDA 拉低，确保 ack 时钟高电平期间 SDA 为低，形成有效的 ack 信号(参见图 11-4)。

编号	参数	符号	标准模式 (100K)		快速模式(400K)		单位
			最小值	最大值	最小值	最大值	
SCL 时钟频率	F_{SCL}		0	100	0	400	KHz
启动条件建立时间	$T_{SU:STA}$		4.7	—	0.6	—	us
启动条件保持时间	$T_{HD:STA}$		4.0	—	0.6	—	us
时钟低电平时间	T_{LOW}		4.7	—	1.3	—	us
时钟高电平时间	T_{HIGH}		4.0	—	0.6	—	us

编号	参数	符号	标准模式 (100K)		快速模式(400K)		单位
			最小值	最大值	最小值	最大值	
数据输入建立时间	$T_{SU:DAT}$		250	—	100 ⁽⁴⁾	—	ns
数据输入保持时间	$T_{HD:DAT}$		5.0 0 ⁽²⁾	— 3.45 ⁽³⁾	— 0 ⁽²⁾	— 0.9 ⁽³⁾	us us
SDA 和 SCL 上升时间	T_R		—	1000	20+0.1Cb ⁽⁵⁾	300	ns
SDA 和 SCL 下降时间	T_F		—	300	20+0.1Cb ⁽⁵⁾	300	ns
停止条件建立时间	$T_{SU:STO}$		4.0	—	0.6	—	us
总线空闲时间	T_{BUF}		4.7	—	1.3	—	us
总线的容性负载	Cb		—	400	—	400	Pf
噪声容限低值	V_{nL}		0.1V _{DD}	—	0.1V _{DD}	—	V
噪声容限高值	V_{nH}		0.2V _{DD}	—	0.2V _{DD}	—	V

表 11-1 I²C 接口时序要求

11.3 I²C 工作流程

FM33A0XX的I2C接口只用作主机，且不支持多主机，因此挂在总线上的其他设备都是从机。总线上总是由主机提供同步时钟SCL，SDA数据流方向可以是主机发送从机接收，或者从机发送主机接收。

11.3.1 数据发送流程

典型的主机向从机发送数据流程图如图 11-5所示。

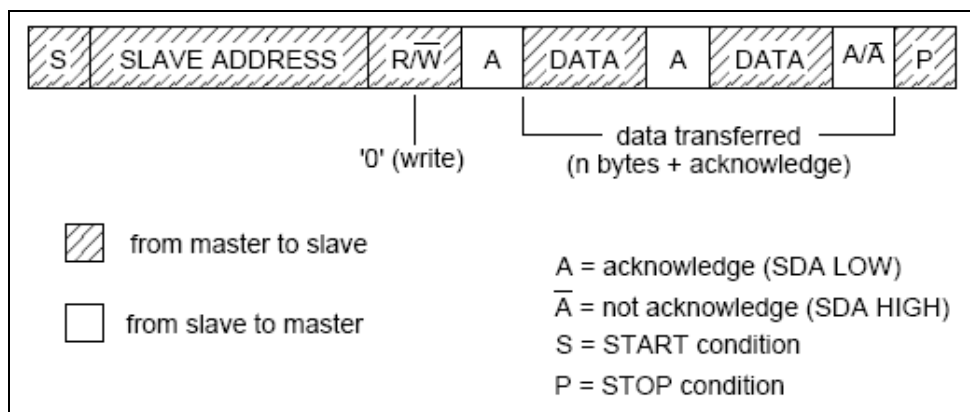


图 11-5 主机向从机发送数据流程图

- 1、主机发起 START 时序
- 2、主机发送从机地址，从机地址包含 7 位从机地址和 1 位 R/W 标志位，发送数据时 R/W 位为 0。
- 4、主机发送第一帧 8 位数据。
- 5、主机在每次发送完 8 位数据后，会在第 9 个 clock 判断是否检测到有效的 ack，如果主机检测到 ack 成功后，会继续输出下一组 8 位的数据。
- 6、若从机无法响应 ack，主机检测到 ack 失败后应发送 STOP 时序终止发送。

注：从机地址包含 7 位从机地址和 1 位 R/W 标志位。

软件启动 I2C 发送的操作流程如下图：

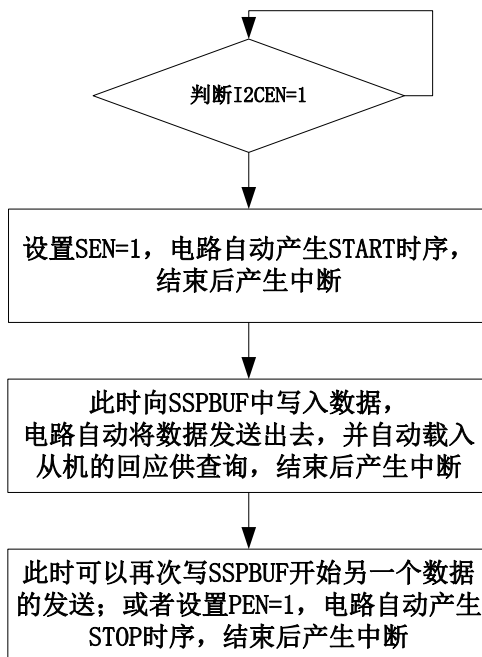


图 11-6 I2C 软件发送数据流程图

11.3.2 数据接收流程

典型的主机从机读取数据流程图如图 11-7所示。

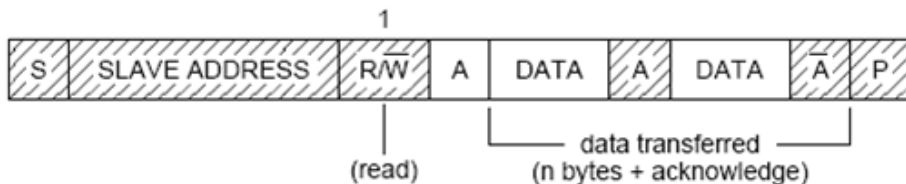


图 11-7 典型的主机从机读取数据流程图

- 1、主机发起 START 时序
- 2、主机发送从机地址，从机地址包含 7 位从机地址和 1 位 R/W 标志位，数据读取时 R/W 位为 1。
- 3、此时设置 SSPCON.RCEN 为 1，主机自动转为接受状态
- 4、主机开始接收第一帧 8 位数据，并在第 9 个 clock 向从机发送有效 ack,从而继续读取下一帧 8 位数据。
- 5、主机读取结束后，发送 STOP 时序终止读取。

软件启动 I2C 接收的操作流程如下图（左右分别为 7 位从机地址和 10 位从机地址）：

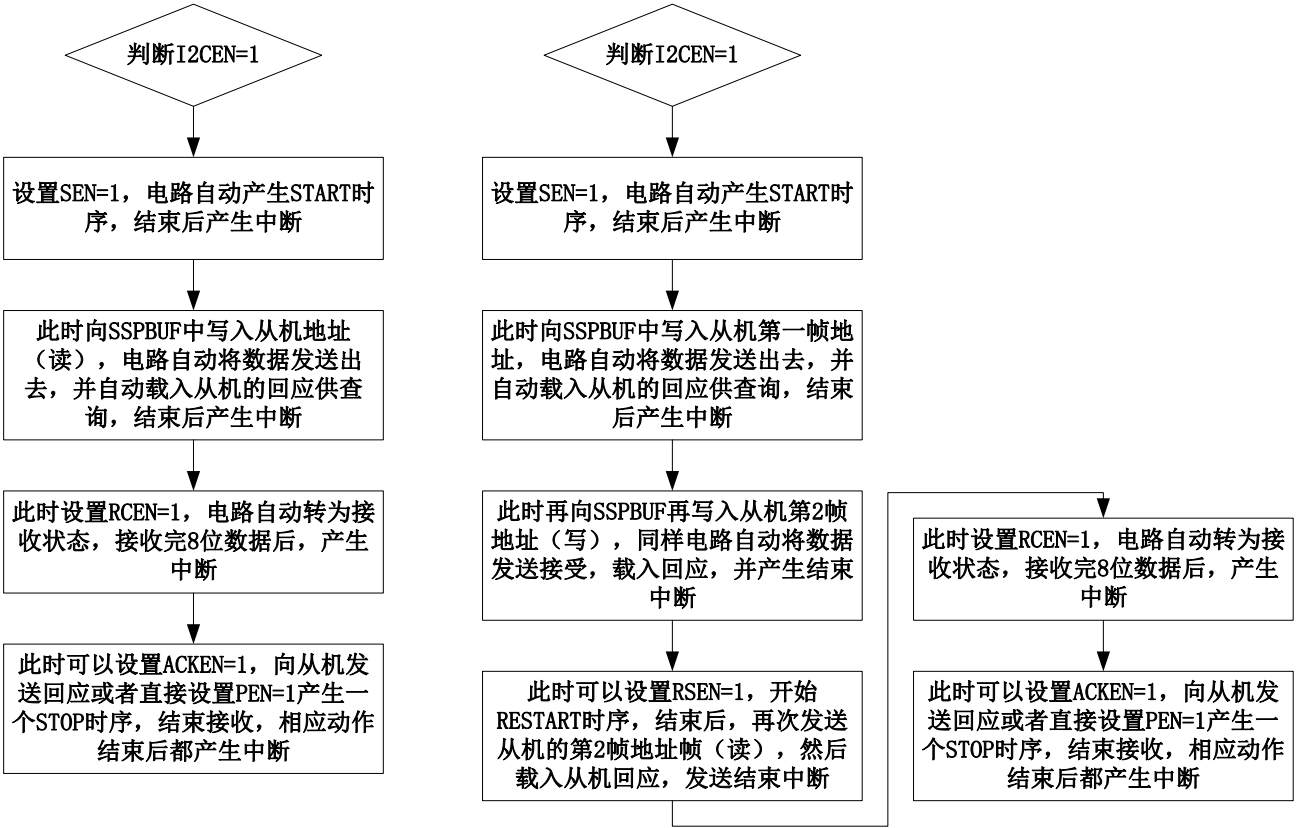


图 11-8 I2C 软件从从机读取数据流程图

11.3.3 数据双向数据读写流程

典型的双向数据读写流程图如图 11-9 所示。在主机发送或读取数据过程中，主机可以通过发送 Repeated Start 时序来重新启动一次新的发送或读取通信，所以主机在一次流程中，即可以有数据发送也可以有数据读取。

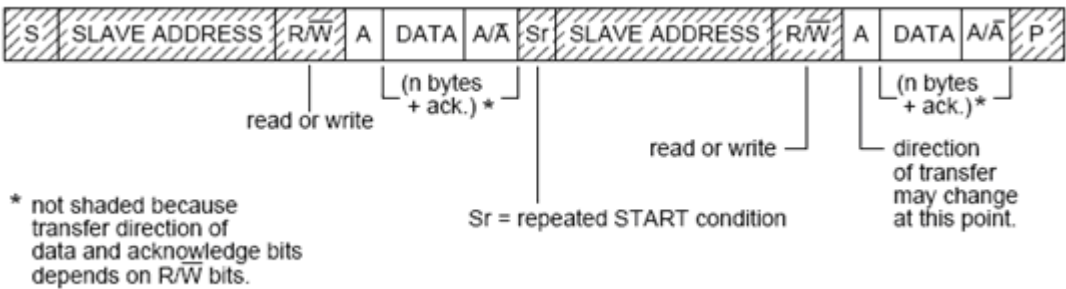


图 11-9 典型的双向数据读写流程图

11.3.4 DMA 支持

在 DMA 模式下，DMA 从 RAM 向 I2C 搬运数据时，I2C 硬件自动设置 SEN=1，其他步骤按照正常流程即可，如图 11-10 所示；DMA 从 I2C 向 RAM 搬运数据时，I2C 硬件自动设置 RCEN=1，其他步骤按照正常流程即可，如图 11-11 和图 11-12 所示。

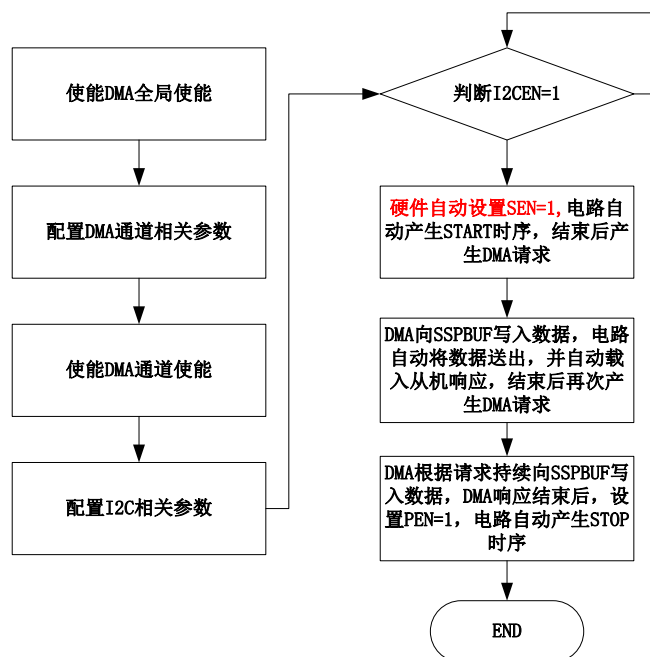


图 11-10 DMA 发送数据流程图

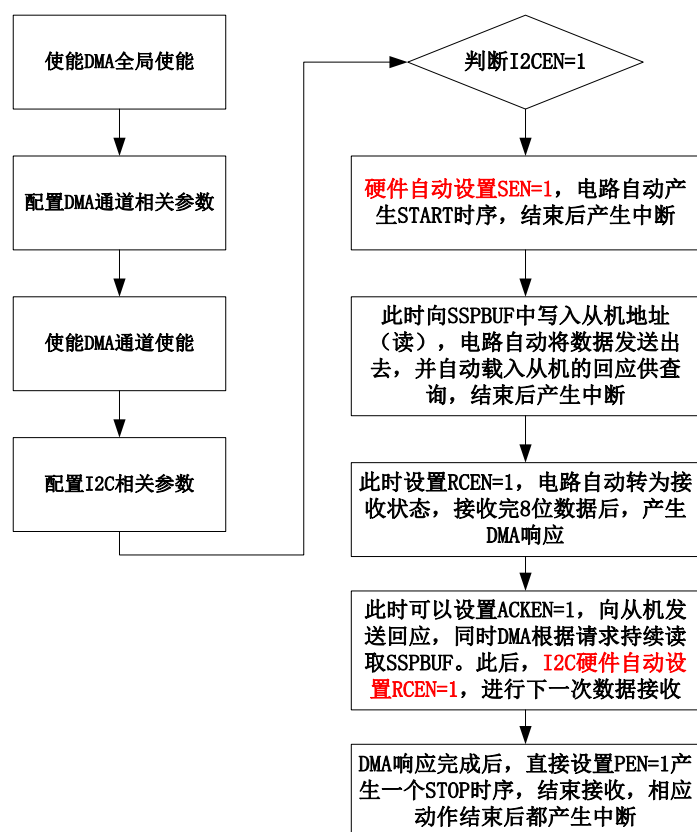


图 11-11 DMA 接收数据流程图 (7-bit 从机地址)

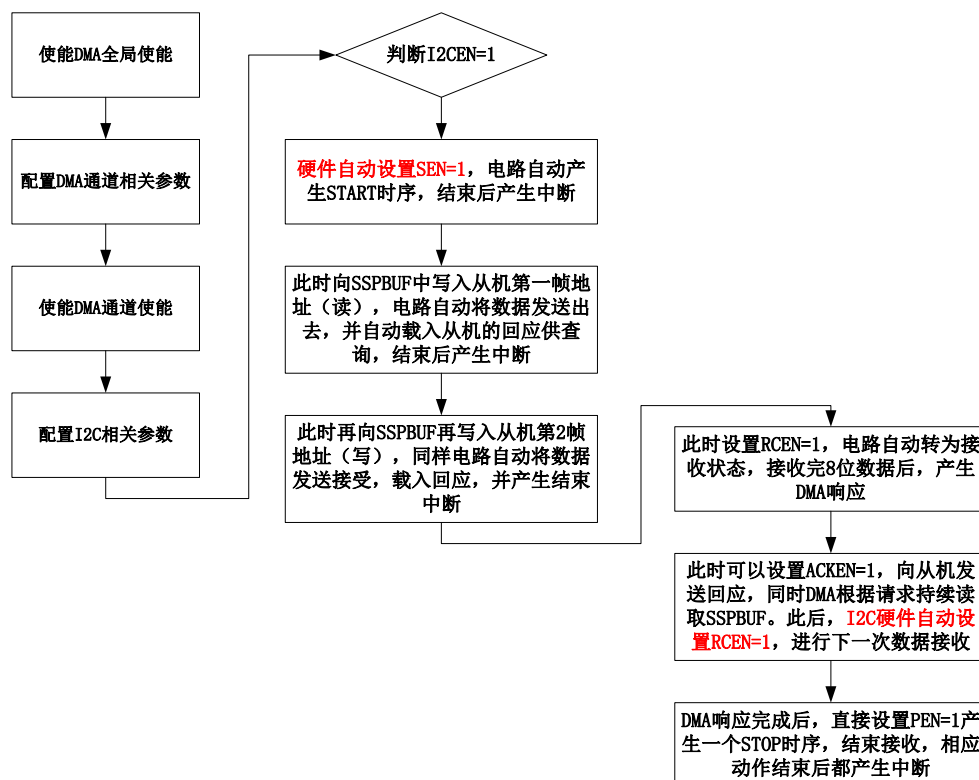


图 11-12 DMA 接收数据流程图（10-bit 从机地址）

11.4 I²C 配置

11.4.1 IO 配置

FM33A0xx 最多有两组引脚用于数据传输，开始 I2C 通信前需将对应引脚的 FCR 寄存器设置为 AF：

SDA0: PA15
SCL0: PA14
SDA1: PF13
SCL1: PF12

11.4.2 波特率配置

SSPBRG[8:0]波特率配置寄存器用于产生通信波特率。SSPBRG 是 9 bit 波特率分频系数，波特率计算公式如下：

$$T_{scl} = 2T_{brg}$$

$$T_{brg} = 2 \times T_{APBCLK} \times (SSPBRG[8:0] + 1); T_{APBCLK} \text{ 为 APB 时钟周期，即：}$$

$$SSPBRG = F_{APBCLK} / (4 \times F_{SCL}) - 1$$

例如对于 100k 波特率，若 APB 时钟为 8M，则 SSPBRG=19。

表 11-2 是不同系统时钟频率下常用的波特率及 SSPBRG 设置值：

波特率 (kHz)	系统时钟 (MHz)	SSPBRG 值 (十进制)	实际波特率 (kHz)	误差
100	8	19	100	0.00%
	4	9	100	0.00%

波特率 (kHz)	系统时钟 (MHz)	SSPBRG 值 (十进制)	实际波特率 (kHz)	误差
400	2	4	100	0.00%
	8	4	400	0.00%
	4	2	333.33	-16.67%

表 11-2 常用时钟频率下波特率计算

11.5 寄存器

I2C0 寄存器:

地址	名称	符号
0x40012400	I2C 控制寄存器	I2CCTRL
0x40012404	I2C 状态寄存器	I2CSTA
0x40012408	I2C 波特率设置寄存器	I2CBRG
0x4001240C	I2C 收发缓冲寄存器	I2CBUF
0x40012410	I2C 中断寄存器	I2CIR
0x40012418	I2C 错误标志寄存器	I2CERR

I2C1 寄存器:

地址	名称	符号
0x40014000	I2C 控制寄存器	I2CCTRL
0x40014004	I2C 状态寄存器	I2CSTA
0x40014008	I2C 波特率设置寄存器	I2CBRG
0x4001400C	I2C 收发缓冲寄存器	I2CBUF
0x40014010	I2C 中断寄存器	I2CIR
0x40014018	I2C 错误标志寄存器	I2CERR

11.5.1 I2C 控制寄存器

名称	I2CCTRL							
地址	0x40012400/0x40014000							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-	SCLHL	SDAHL	ACKEN	RCEN	PEN	RSEN	SEN
位权限	U-0	R/W-1	R/W-1	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-							I2CEN
位权限	U-0							R/W-0

位号	位名	说明
31:15	--	RFU: 未实现, 读为 0
14	SCLHL	当 I2C 模块禁止时, SCL 固定为高低电平控制位

位号	位名	说明
		1 = 将 SCL 信号转化为高电平，如非必要，建议常态设为 1 0 = 将 SCL 信号转化为低电平
13	SDAHL	当 I2C 模块禁止时，SDA 固定为高低电平控制位 1 = 将 SDA 信号转化为高电平，如非必要，建议常态设为 1 0 = 将 SDA 信号转化为低电平
12	ACKEN	主控接收模式下，主机给从机应答使能位 1 = 主机将寄存器 ACKDT 的值做为回应发送给从机 0 = 主机不产生应答周期
11	RCEN	主控接收模式下，接收使能位 1 = 主机接收使能 0 = 接收禁止
10	PEN	STOP 时序产生使能控制位 1 = STOP 时序产生使能 0 = STOP 时序产生禁止
9	RSEN	Repeated START 时序产生使能控制位 1 = Repeated START 时序产生使能 0 = Repeated START 时序产生禁止
8	SEN	START 时序产生使能控制位 1 = START 时序产生使能 0 = START 时序产生禁止
7:1	--	RFU: 未实现，读为 0
0	I2CEN	I2C 模块使能控制位 1 = I2C 使能 0 = I2C 禁止，（并复位状态机至 idle 状态，清除所有错误状态及标志，使得 I2C 模块可由初始态重新进行工作，并释放对 SCL 和 SDA 的控制）

11.5.2 I2C 状态寄存器

名称	I2CSTA							
地址	0x40012404/0x40014004							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	WCOL	RW	P	S	BF	ACKSTA	ACKDT
位权限	U-0	R/W-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R/W-0	R/W-0

位号	位名	说明
31:7	--	RFU: 未实现，读为 0
6	WCOL	写冲突检测位，MCU 只能在完成 START 时序或完成一帧读写之后才能写 SSPBUF，否则发生写冲突；硬件置位，软件写 1 清零 1 = 发送写冲突

位号	位名	说明
		0 = 未发生冲突、
5	RW	I2C 接口状态位 1 = 接口处于读写状态，正在进行数据传输， 0 = 已完成数据传输
4	P	STOP 标志位，MCU 查询后硬件清 0 1 = 检测到 STOP 时序 0 = 未检测到 STOP 时序
3	S	START 标志位，MCU 查询后硬件清 0 1 = 检测到 START 时序 0 = 未检测到 START 时序
2	BF	缓冲器满状态位 接收： 1 = 接收完成，SSPBUF 满 0 = 接收未完成，SSPBUF 空 发送： 1 = 正在发送，SSPBUF 满 0 = 发送完成，SSPBUF 空
1	ACKSTA	主控发送模式下，来自从机的回应信号 1 = 从机无回应 0 = 接收到从机的回应 0
0	ACKDT	主控接收模式下，主机回应从机的信号状态 1 = 如果 ACKEN 使能，主机将给从机回应 1，即表示无应答 0 = 如果 ACKEN 使能，主机将给从机回应 0，即表示应答

11.5.3 I2C 波特率设置寄存器

名称	I2CBRG							
地址	0x40012408/0x40014008							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							SSPBRG[8]
位权限	U-0							R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	SSPBRG[7:0]							
位权限	R/W-00010011							

位号	位名	说明
31:9	--	RFU：未实现，读为 0
8:0	SSPBRG	SCL 波特率分频配置

11.5.4 I2C 收发缓冲寄存器

名称	I2CBUF							
地址	0x4001240C/0x4001400C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	SSPBUF							
位权限	R/W-00000000							

位号	位名	说明
31:8	--	RFU: 未实现, 读为 0
7:0	SSPBUF	SSPBUF[7:0]: 数据的读写通过对 SSPBUF 的操作完成。发送时, 对 SSPBUF 执行写操作, 同时也载入数据收发移位寄存器(SSPSR); 接收时, SSPBUF 与 SSPSR 组成双缓冲结构, 读出数据为 SSPBUF 的数据。接收完一个字节的的数据, SSPSR 将数据载入 SSPBUF, 同时置位 I2CIF。SSPSR 不是直接寄存器, 没有物理地址。

11.5.5 I2C 中断寄存器

名称	I2CIR							
地址	0x40012410/0x40014010							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	DUMMY						I2CIE	I2CIF
位权限	R/W-0						R/W-0	R/W-0

位号	位名	说明
31:8	--	RFU: 未实现, 读为 0
7:6	DUMMY	预留 可读写, 无功能
5:2	--	RFU: 未实现, 读为 0
1	I2CIE	I2C 中断使能控制位

		1 = I2C 中断使能 0 = I2C 中断禁止
0	I2CIF	I2C 中断标志位，硬件置位，软件写 1 清零 1 = 产生 I2C 中断 0 = 未产生 I2C 中断 置起条件： START 时序发送完毕；写冲突发生；发送数据完毕；STOP 时序发送完毕；数据接收完毕；ACK 应答完毕； 可写 1 清零条件： START 时序发送完毕且未向 SSPBUF 填入数据；发送数据完毕且 PEN/RSEN/RCEN/ACKEN 为 0；

11.5.6 I2C 错误标志寄存器

名称	I2CERR							
地址	0x40012418/0x40014018							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							ERRIE
位权限	U-0							R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					OIERR	SDERR	IERR
位权限	U-0					R/W-0	R/W-0	R/W-0

位号	位名	说明
31:9	--	RFU: 未实现，读为 0
8	ERRIE	错误标志中断使能
7:3	---	未实现，读为 0
2	OIERR	OP_IDLE 状态下错误标志位 硬件置位，软件写 1 清 0
1	SDERR	START_DONE 状态下错误标志位 硬件置位，软件写 1 清 0
0	IERR	IDLE 状态下错误标志位 硬件置位，软件写 1 清 0

12 UART

12.1 概述

UART串行通信模块特点如下

- 最高波特率可至230400(系统主频8MHz)，波特率可软件配置
- 6路独立通道
- 全双工通信口
- UART具有数据接收完成/接收错误中断，并提示错误类型
- 可配置的停止位-支持1个停止位或2个停止位
- 可配置为红外调制输出功能，且载波频率可设置，及载波占空比可设置
- 支持DMA

12.2 接口时序

UART 传输的基本时序如下：

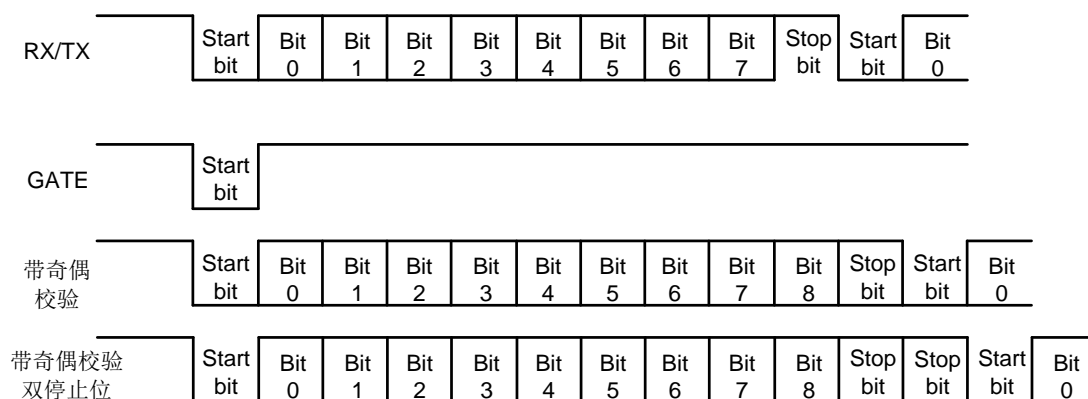


图 12-1 UART 接口时序

UART 可有八种工作方式，由接收状态控制寄存器的 RXSTAx.PDSELx[1:0]位和发送状态寄存器的 TXSTAx.STOPSELx 位控制。见下表：

方式	数据位	第 9 位功能	起始位	停止位
0	8	无	1	1
1	8	无	1	2
2	9	奇校验	1	1
3	9	奇校验	1	2
4	9	偶校验	1	1
5	9	偶校验	1	2
6	9	用户自定义	1	1
7	9	用户自定义	1	2

表 12-1 UART 工作方式

表中的波特率分频系数 X 由波特率发生寄存器 SPBRGx 产生。

12.3 工作流程

12.3.1 数据发送流程

在发送模式下，UART 的串行数据发送电路主要包括一个发送移位寄存器(TSR)，TSR 功能是将数据逐个移位送出。待发数据必须先写到发送缓冲区中。

TXIFx 是发送中断标志位，可配置为发送缓冲区空或 TSR 空。

数据的发送支持 7bit、8bit 或 9bit 数据格式，如果使用 9bit 的数据格式，必须先设置 RXSTA.PDSEL[1:0]=11，第 9 位数据要被放入 TXSTA.TX9D 位之中。在数据发送之前，必须先将此位写入，然后再把 8 位的值写入 TXREG 中。因为一旦 TXREG 寄存器被写入数据后，这个 8 位的数据可能马上就会被放入 TSR 寄存器开始发送工作，所以为了数据发送正确性，必须先写入第 9 位的值。

一般情况下，一开始 TSR 寄存器是空的，数据的发送需先设定波特率 SPBRG，使能发送模块(设定 TXEN 为 1)，然后写入 TXREG 寄存器开始发送。也可以在设定好波特率 SPBRG 后，先写入 TXREG 寄存器，然后再设定 TXEN 使能发送模块来开始数据发送。如果在数据发送过程中将发送模块使能位 TXEN 清 0，那么数据发送工作就会被中断，发送模块也会被复位。

下图是UART异步发送的两种工作模式：

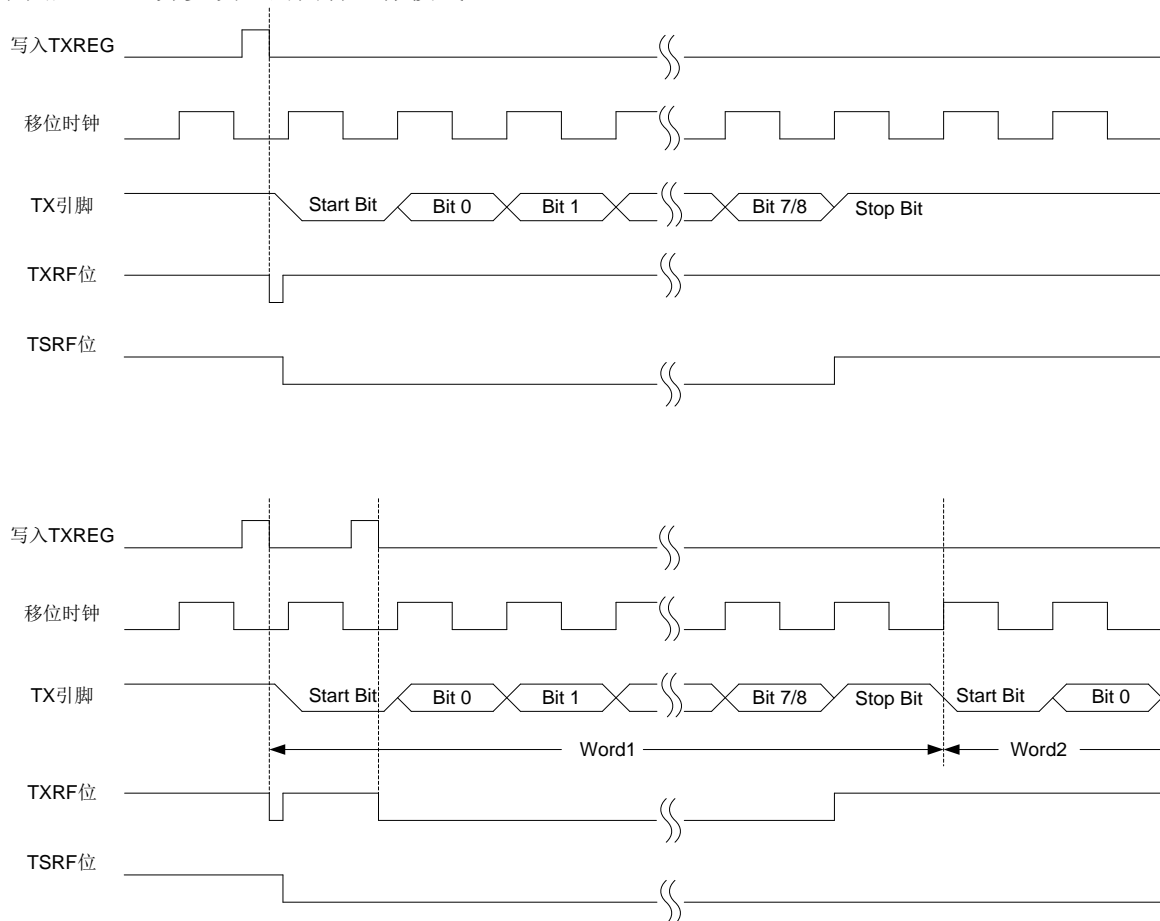


图 12-2 UART 异步发送工作模式

设置异步发送操作的步骤如下：

1. 根据 CPU 的工作时钟，选择合适的波特率，初始化 SPBRG
2. 若需要中断，置相应的 UARTIE.TXIE=1
3. 决定数据发送的格式。设定 RXSTA.PDSEL[1:0]位，决定发送 8 位数据还是 9 位数据；设定

TXSTA.STOPSEL 位, 决定发送 1 位还是 2 位停止位

4. 如果希望发送的串行数据红外调制, 向 IRCON 寄存器写入合适的值来获得相应的调制频率和占空比, 并置 TXSTA.IREN=1
5. 使能发送模块。置 TXSTA.TXEN=1
6. 如果选择发送 9 位数据, 第 9 位应先写入 TXSTA.TX9D 位
7. 将 8 位要发送的数据写入 TXREG 寄存器(启动发送)

12.3.2 数据接收流程

UART 的串行数据接收电路主要包括一个接收移位寄存器(RSR)。当接收到停止位后, RSR 就把接收到的数据送入接收缓冲区(RXBUFFER), 传送完成后, 根据接收中断控制 RX_INTSEL, 在每次接收数据送入 RXBUFFER 后将中断标志 RXIF 置 1 或是在接收 RXBUFFER 满时将中断标志置 1。是否响应中断, 可以设置 UARTIE 寄存器的 RXIE 位来控制。RXIF 位是只读位, 只能硬件清 0。当 RXBUFFER 已满时, RSR 接收到一帧数据后会将其写入 RXBUFFER, 并置 RXIF 为 1, 同时发生溢出错, OERR 被置 1。对 OERR 的清零可以通过把 RXSTA 寄存器的 RXEN 位清 0 来复位接收逻辑电路, 然后再置 1。接收过程中, 如果检测到的停止位是“0”, 则发生帧格式错, FERR 被置 1; 如果发生奇偶校验错, 标志位 PERR 被置 1。OERR、FERR、PERR 都可以软件清 0。

设置异步接收操作的步骤如下:

1. 根据 CPU 的工作时钟, 选择合适的波特率。初始化 SPBRG
2. 若需要中断, 置 UARTIE.RXIE=1
3. 设置数据接收的格式。设定 RXSTA.PDSEL[1:0]位, 设置接收 8 位数据还是 9 位数据; 接收到的停止位应紧跟数据及校验位, 长度至少 1 位, 否则将会产生帧格式错误 FERR
4. 使能接收模块。置 RXSTA.RXEN=1; 配置 RXFIFOSTA. RX_INTSEL 位选择 RX 中断为单 BYTE 接收中断或 RXBUFFER 满中断
5. 在接收完毕时, RXIF 位会置 1, 如果 RXIE 位为 1, 将会产生 RXIF 的中断
6. 读取 RXSTA 寄存器, 获得第 9 位数据 RX9D 的值(如果接收 9 位的数据格式), 并判断数据接收是否出错
7. 读取 RXREG 寄存器, 获得 8 位数据
8. 如果接收过程中有错误发生, 写 0 清 0 或将 RXEN 位清 0 来清除错误

12.4 波特率发生

12.4.1 波特率发生

波特率因子寄存器是一个 16 位的可读写的寄存器, 其值 X 为 0—65535 之间的任一整数。

波特率计算公式:

$$\text{Baud} = F_{\text{APBCLK}} / (\text{SPBRG} + 1);$$

为了支持全双工通信, 接收和发送波特率单独产生;

下表是常用系统时钟频率下的波特率:

Baud	fcoreclk=16MHz			fcoreclk=8MHz		
	Actual (bps)	Error%	X+1	Actual (bps)	Error%	X+1
300	300.0019	0.000625	53333	299.9963	-0.00125	26667
1200	1200.03	0.0025	13333	1199.94	-0.005	6667
2400	2399.88	-0.005	6667	2400.24	0.010001	3333
4800	4800.48	0.010001	3333	4799.04	-0.02	1667
9600	9598.08	-0.02	1667	9603.842	0.040016	833

Baud	fcoreclk=16MHz			fcoreclk=8MHz		
	Actual (bps)	Error%	X+1	Actual (bps)	Error%	X+1
19200	19207.68	0.040016	833	19184.65	-0.07994	417
38400	38369.3	-0.07994	417	38461.54	0.160256	208
57600	57553.96	-0.07994	278	57553.96	-0.07994	139
115200	115107.9	-0.07994	139	115942	0.644122	69
230400	231884.1	0.644122	69	228571.4	-0.79365	35
460800	457142.9	-0.79365	35	470588.2	2.124183	17

Baud	fcoreclk=24MHz			fcoreclk=32MHz		
	Actual (bps)	Error%	X+1	Actual (bps)	Error%	X+1
300	300	0	80000	299.9991	-0.00031	106667
1200	1200	0	20000	1199.985	-0.00125	26667
2400	2400	0	10000	2400.06	0.0025	13333
4800	4800	0	5000	4799.76	-0.005	6667
9600	9600	0	2500	9600.96	0.010001	3333
19200	19200	0	1250	19196.16	-0.02	1667
38400	38400	0	625	38415.37	0.040016	833
57600	57553.96	-0.07994	417	57553.96	-0.07994	556
115200	115384.6	0.160256	208	115107.9	-0.07994	278
230400	230769.2	0.160256	104	230215.8	-0.07994	139
460800	461538.5	0.160256	52	463768.1	0.644122	69

表 12-2 常用时钟频率下波特率计算

12.4.2 波特率自适应

利用 Timer 的 Capture 功能, 可以实现波特率自适应功能。可实现的一种方法为, 外部 UART 设备按约定的数据内容(比如 0xF8)发送一帧, 由 Timer 对该帧数据的高电平脉宽进行计数, MCU 读取 Timer 捕捉结果计算得到波特率因子, 并写入波特率发生寄存器中, 作为波特率发生的时钟分频计数值 X 使用。这时接收状态复位, 重新等待起始位, 以写入的波特率因子所产生的波特率接收数据。参考 Timer 章节。

12.5 红外调制

TZBRG 寄存器保存一个 11 位的分频系数 X, 其值为 0~2047 之间的任一整数。6 路 UART 共用一个红外调制频率发生器。

红外调制频率计算公式:

$$FIR = F_{APBCLK} / (TZBRG + 1)$$

红外调制的方式为: 发送数据 0 时调制红外频率, 发送数据 1 时不调制。为满足 PNP 和 NPN 两种红外驱动管的需求, 寄存器 IRFLAG 位控制红外调制输出的极性。IRFLAG=0 时为正极性输出, 适合 PNP 管驱动; IRFLAG=1 时为负极性输出, 适合 NPN 管驱动。

TH 寄存器用于配置红外调制占空比

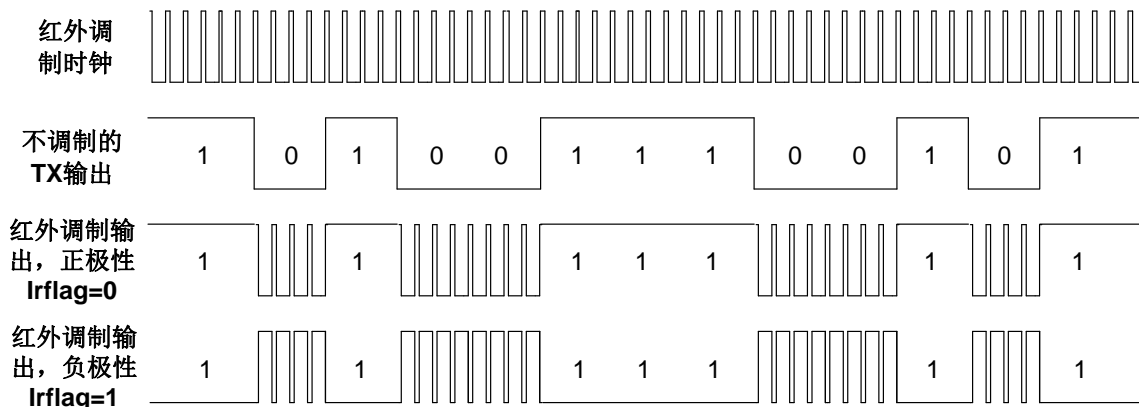
$$\text{占空比: } Y = (TZBRG[10:4] * TH) / (TZBRG + 1)$$

当 $TH=4'b0000$ 时, 占空比为 $Y = (TZBRG[10:1] + 1) / (X + 1)$;

当 $TZBRG[10:4]=7'h00$ 时, 占空比为 $Y = TH / (TZBRG[3:0] + 1)$; 若此时 $TH > TZBRG[3:0]$, 则红外调制时钟 $IRCLK$ 为固定高电平。

当红外调制极性反向时 ($IRFLAG=1$), 占空比也为 $1-Y$

红外调制波形见下图:



无论有效电平是 0 还是 1, 占空比定义为高电平长度/周期。

12.6 寄存器

地址	名称	符号
0x40012000	中断使能寄存器	UARTIE
0x40012004	中断标志寄存器	UARTIF
0x40012008	红外调制配置寄存器	IRCON
0x4001200C	UART0 接收状态控制寄存器	RXSTA0
0x40012010	UART0 发送状态控制寄存器	TXSTA0
0x40012014	UART0 接收数据缓存寄存器	RXREG0
0x40012018	UART0 发送数据缓存寄存器	TXREG0
0x4001201C	UART0 波特率寄存器	SPBRG0
0x40012020	UART0 发送 BUF 状态控制寄存器	TXBUFSTA0
0x40012024	UART0 接收 BUF 状态控制寄存器	RXBUFSTA0
0x40012028	UART0 接收发送取反控制寄存器	RTXCON0
0x4001202C	UART1 接收状态控制寄存器	RXSTA1
0x40012030	UART1 发送状态控制寄存器	TXSTA1
0x40012034	UART1 接收数据缓存寄存器	RXREG1
0x40012038	UART1 发送数据缓存寄存器	TXREG1
0x4001203C	UART1 波特率寄存器	SPBRG1
0x40012040	UART1 发送 BUF 状态控制寄存器	TXBUFSTA1
0x40012044	UART1 接收 BUF 状态控制寄存器	RXBUFSTA1
0x40012048	UART1 接收发送取反控制寄存器	RTXCON1
0x4001204C	UART2 接收状态控制寄存器	RXSTA2
0x40012050	UART2 发送状态控制寄存器	TXSTA2
0x40012054	UART2 接收数据缓存寄存器	RXREG2
0x40012058	UART2 发送数据缓存寄存器	TXREG2

地址	名称	符号
0x4001205C	UART2 波特率寄存器	SPBRG2
0x40012060	UART2 发送 BUF 状态控制寄存器	TXBUFSTA2
0x40012064	UART2 接收 BUF 状态控制寄存器	RXBUFSTA2
0x40012068	UART2 接收发送取反控制寄存器	RTXCON2
0x4001206C	UART3 接收状态控制寄存器	RXSTA3
0x40012070	UART3 发送状态控制寄存器	TXSTA3
0x40012074	UART3 接收数据缓存寄存器	RXREG3
0x40012078	UART3 发送数据缓存寄存器	TXREG3
0x4001207C	UART3 波特率寄存器	SPBRG3
0x40012080	UART3 发送 BUF 状态控制寄存器	TXBUFSTA3
0x40012084	UART3 接收 BUF 状态控制寄存器	RXBUFSTA3
0x40012088	UART3 接收发送取反控制寄存器	RTXCON3
0x4001208C	UART4 接收状态控制寄存器	RXSTA4
0x40012090	UART4 发送状态控制寄存器	TXSTA4
0x40012094	UART4 接收数据缓存寄存器	RXREG4
0x40012098	UART4 发送数据缓存寄存器	TXREG4
0x4001209C	UART4 波特率寄存器	SPBRG4
0x400120A0	UART4 发送 BUF 状态控制寄存器	TXBUFSTA4
0x400120A4	UART4 接收 BUF 状态控制寄存器	RXBUFSTA4
0x400120A8	UART4 接收发送取反控制寄存器	RTXCON4
0x400120AC	UART5 接收状态控制寄存器	RXSTA5
0x400120B0	UART5 发送状态控制寄存器	TXSTA5
0x400120B4	UART5 接收数据缓存寄存器	RXREG5
0x400120B8	UART5 发送数据缓存寄存器	TXREG5
0x400120BC	UART5 波特率寄存器	SPBRG5
0x400120C0	UART5 发送 BUF 状态控制寄存器	TXBUFSTA5
0x400120C4	UART5 接收 BUF 状态控制寄存器	RXBUFSTA5
0x400120C8	UART5 接收发送取反控制寄存器	RTXCON5

12.6.1 中断允许寄存器 UARTIE

名称	UARTIE							
地址	0x40012000							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-				RXIE5	TXIE5	RXIE4	TXIE4
位权限	U-0				R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	RXIE3	TXIE3	RXIE2	TXIE2	RXIE1	TXIE1	RXIE0	TXIE0
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

位号	位名	说明
31:12	--	未实现：读为0
11	RXIE5	UART5 接收中断允许位 1 = 允许 UART5 接收中断 0 = 禁止 UART5 接收中断
10	TXIE5	UART5 的发送中断允许位 1 = 允许 UART5 发送中断 0 = 禁止 UART5 发送中断
9	RXIE4	UART4 接收中断允许位 1 = 允许 UART4 接收中断 0 = 禁止 UART4 接收中断
8	TXIE4	UART4 的发送中断允许位 1 = 允许 UART4 发送中断 0 = 禁止 UART4 发送中断
7	RXIE3	UART3 接收中断允许位 1 = 允许 UART3 接收中断 0 = 禁止 UART3 接收中断
6	TXIE3	UART3 的发送中断允许位 1 = 允许 UART3 发送中断 0 = 禁止 UART3 发送中断
5	RXIE2	UART2 接收中断允许位 1 = 允许 UART2 接收中断 0 = 禁止 UART2 接收中断
4	TXIE2	UART2 的发送中断允许位 1 = 允许 UART2 发送中断 0 = 禁止 UART2 发送中断
3	RXIE1	UART1 接收中断允许位 1 = 允许 UART1 接收中断 0 = 禁止 UART1 接收中断
2	TXIE1	UART1 的发送中断允许位 1 = 允许 UART1 发送中断 0 = 禁止 UART1 发送中断
1	RXIE0	UART0 接收中断允许位 1 = 允许 UART0 接收中断 0 = 禁止 UART0 接收中断
0	TXIE0	UART0 的发送中断允许位 1 = 允许 UART0 发送中断 0 = 禁止 UART0 发送中断

12.6.2 中断标志寄存器 UARTIF

名称	UARTIF							
地址	0x40012004							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							



位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-				RXIF5	TXIF5	RXIF4	TXIF4
位权限	U-0				R/Dy-0	R/W-1	R/Dy-0	R/W-1
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	RXIF3	TXIF3	RXIF2	TXIF2	RXIF1	TXIF1	RXIF0	TXIF0
位权限	R/Dy-0	R/W-1	R/Dy-0	R/W-1	R/Dy-0	R/W-1	R/Dy-0	R/W-1

位号	位名	说明
31:12	--	未实现：读为0
11	RXIF5	UART5 接收中断标志位 1 = 接收完成标志，数据被写入 RXREG 后硬件自动置 1； 0 = 等待接收或正在接收（CPU 执行任何对 RXREG 的操作将会引起硬件清
10	TXIF5	UART4 发送中断标志位 1 = 根据 TX_INTSEL5 的设定产生中断，默认为发送缓冲器空产生中断，硬件自动置 1； 0 = CPU/DMA 向发送缓冲器 TXREG5 写入数据后，硬件自动清 0。也可软件清写 1 清 0
9	RXIF4	UART4 接收中断标志位 1 = 接收完成标志，数据被写入 RXREG 后硬件自动置 1； 0 = 等待接收或正在接收（CPU 执行任何对 RXREG 的操作将会引起硬件清
8	TXIF4	UART4 发送中断标志位 1 = 根据 TX_INTSEL4 的设定产生中断，默认为发送缓冲器空产生中断，硬件自动置 1； 0 = CPU/DMA 向发送缓冲器 TXREG4 写入数据后，硬件自动清 0。也可软件清写 1 清 0
7	RXIF3	UART3 接收中断标志位 1 = 接收完成标志，数据被写入 RXREG 后硬件自动置 1； 0 = 等待接收或正在接收（CPU 执行任何对 RXREG 的操作将会引起硬件清
6	TXIF3	UART3 发送中断标志位 1 = 根据 TX_INTSEL3 的设定产生中断，默认为发送缓冲器空产生中断，硬件自动置 1； 0 = CPU/DMA 向发送缓冲器 TXREG3 写入数据后，硬件自动清 0。也可软件清写 1 清 0
5	RXIF2	UART2 接收中断标志位 1 = 接收完成标志，数据被写入 RXREG 后硬件自动置 1； 0 = 等待接收或正在接收（CPU 执行任何对 RXREG 的操作将会引起硬件清
4	TXIF2	UART2 发送中断标志位 1 = 根据 TX_INTSEL2 的设定产生中断，默认为发送缓冲器空产生中断，硬件自动置 1； 0 = CPU/DMA 向发送缓冲器 TXREG2 写入数据后，硬件自动清 0。也可软件清写 1 清 0
3	RXIF1	UART1 接收中断标志位 1 = 接收完成标志，数据被写入 RXREG 后硬件自动置 1； 0 = 等待接收或正在接收（CPU 执行任何对 RXREG 的操作将会引起硬件清

位号	位名	说明
2	TXIF1	UART1 发送中断标志位 1 = 根据 TX_INTSEL1 的设定产生中断，默认为发送缓冲器空产生中断，硬件自动置 1； 0 = CPU/DMA 向发送缓冲器 TXREG1 写入数据后，硬件自动清 0。也可软件清写 1 清 0
1	RXIF0	UART0 接收中断标志位 1 = 接收完成标志，数据被写入 RXREG 后硬件自动置 1； 0 = 等待接收或正在接收（CPU 执行任何对 RXREG 的操作将会引起硬件清
0	TXIF0	UART0 发送中断标志位 1 = 根据 TX_INTSEL0 的设定产生中断，默认为发送缓冲器空产生中断，硬件自动置 1； 0 = CPU/DMA 向发送缓冲器 TXREG0 写入数据后，硬件自动清 0。也可软件清写 1 清 0

12.6.3 红外调制配置寄存器 IRCON

名称	IRCON							
地址	0x40012008							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	IRFLAG	TH				TZBRG[10:8]		
位权限	RW-0	RW-0000				RW-000		
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	TZBRG[7:0]							
位权限	RW-11010010							

位号	位名	说明
31:16	--	未实现：读为0
15	IRFLAG	控制红外调制发送数据时的默认输出
14:11	TH	红外占空比调制参数
10:0	TZBRG	红外调制频率

12.6.4 接收状态控制寄存器 RXSTAx

名称	RXSTAx(x=0~5)							
地址	0x4001200C/0x4001202C/0x4001204C/0x4001206C/0x4001208C/0x400120AC							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							

位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	PDSEL[1:0]		ERRIE	RXEN	PERR	FERR	OERR	RX9D
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R-0

位号	位名	说明
31:8	--	未实现：读为0
7:6	PDSEL	模式选择位 00 = 8 位数据，无奇偶校验； 01 = 8 位数据，偶校验； 10 = 8 位数据，奇校验。 11 = 9 位数据，无奇偶校验；
5	ERRIE	错误中断允许位 包括奇偶校验错，帧格式错，溢出错
4	RXEN	接收模块使能位 1 = 使能接收模块； 0 = 禁止接收模块，接收模块被复位。
3	PERR	奇偶校验错标志位，只可写 0 1 = 校验错； 0 = 无校验错。
2	FERR	帧格式错标志位，只可写 0 1 = 帧格式错； 0 = 无帧格式错。
1	OERR	溢出错标志位 1 = 有溢出错误； 0 = 无溢出错。
0	RX9D	接收数据的第 9 位

12.6.5 发送状态控制寄存器 TXSTAx

名称	TXSTAx(x=0~5)							
地址	0x40012010/0x40012030/0x40012050/0x40012070/0x40012090/0x400120B0							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	STOPSEL	TXIS	TXEN	IREN	-		TX9D
位权限	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0		R-0

位号	位名	说明
31:7	--	未实现：读为0
6	STOPSEL	停止位选择位 1 = 停止位为 2 位； 0 = 停止位为 1 位
5	TXIS	TX_INTSEL=0 时，发送中断选择位 1 = 移位寄存器空产生中断； 0 = 发送缓冲器空产生中断。
4	TXEN	发送模块使能位 1 = 使能发送模块； 0 = 禁止发送模块，发送模块被复位。
3	IREN	发送红外调制使能位 1 = 使能发送红外调制； 0 = 禁止发送红外调制。
2:1	--	未实现：读为 0
0	TX9D	发送数据的第 9 位 注：该位应该在发送缓冲寄存器前写入

12.6.6 接收缓存寄存器 RXREGx

名称	RXREGx(x=0~5)							
地址	0x40012014/0x40012034/0x40012054/0x40012074/0x40012094/0x400120B4							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	RXREG							
位权限	R-0							

位号	位名	说明
31:8	--	未实现：读为0
7:0	RXREG	接收数据缓存寄存器数据

7位收发时，接收的7bits数据存入RXREG[6:0]

12.6.7 发送缓存寄存器 TXREGx

名称	TXREGx(x=0~5)							
地址	0x40012018/0x40012038/0x40012058/0x40012078/0x40012098/0x400120B8							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							

位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	TXREG							
位权限	W-0							

位号	位名	说明
31:8	--	未实现：读为0
7:0	TXREG	发送数据缓存寄存器数据

7位收发时，发送的7bits数据写入TXREG[6:0]

12.6.8 波特率产生寄存器 SPBRGx

名称	SPBRGx(x=0~5)							
地址	0x4001201C/0x4001203C/0x4001205C/0x4001207C/0x4001209C/0x400120BC							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	SPBRG[15:8]							
位权限	R/W-00000011							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	SPBRG[7:0]							
位权限	R/W-01000001							

位号	位名	说明
31:8	--	未实现：读为0
15:0	SPBRG	波特率产生器寄存器值

波特率计算详见13.4波特率发生章节

注：当SPBRG ≤ 0x000F时，UARTDIV=16'H000F；

当SPBRG > 0x000F时，UARTDIV=SPBRG；

12.6.9 发送 Buffer 状态控制寄存器 TXBUFSTAx

名称	TXBUFSTAx(x=0~5)							
地址	0x40012020/0x40012040/0x40012060/0x40012080/0x400120A0/0x400120C0							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							



位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	---	REV2	REV1	REV0	TX_INTSEL		--	txff
位权限	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R-0	U-0

位号	位名	说明
31:7	--	未实现：读为0
6:4	REV	保留位
3:2	TX_INTSEL	发送中断选择位 11 = 不产生中断 10 = TXBUF 空产生中断 01 = TXBUF 空且移位寄存器空产生中断 00 = 由 TXIS 决定发送中断在发送缓冲空或者移位寄存器空时产生
1	--	未实现：读为0
0	TXFF	TXBUF 状态位 1 = TXBUF 中有数据 0 = TXBUF 空

12.6.10 接收 Buffer 状态控制寄存器 RXBUFSTAx

名称	RXBUFSTAx(x=0~5)							
地址	0x40012024/0x40012044/0x40012064/0x40012084/0x400120A4/0x400120C4							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	--	REV2	REV1	REV0	--	RX_INTSEL	--	RXFF
位权限	U-0	R/W-1	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

位号	位名	说明
31:7	--	未实现：读为0
6:4	REV	保留位
3	--	未实现：读为0

位号	位名	说明
2	RX_INTSEL	接收中断选择位 1 = RXBUF 满产生中断 0 = 数据接收完成产生中断
1	--	未实现：读为0
0	RXFF	RXBUF 状态位 1 = RXBUF 中有 1 笔数据； 0 = RXBUF 空；

12.6.11 接收发送取反控制寄存器 RTXCONx

名称	RTXCONx(x=0~5)							
地址	0x40012028/0x40012048/0x40012068/0x40012088/0x400120A8/0x400120C8							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	---	---	---	---	---	RTX7EN	RXDFLAG	TXDFLAG
位权限	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

位号	位名	说明
31:7	--	未实现：读为0
2	RTX7EN	收发 7bit 数据使能 1 = 收发 7 位数据帧，格式为 7 位数据位+STOP， 收发数据为 RXREG/TXREG[6:0] 0 = 正常收发；
1	RXDFLAG	接收控制位 1 = 接收数据取反； 0 = 接收数据不取反。
0	TXDFLAG	发送控制位 1 = 发送数据取反，若红外调制开启时，则取反无效， 详见下图波形； 0 = 发送数据不取反。

13 LPUART

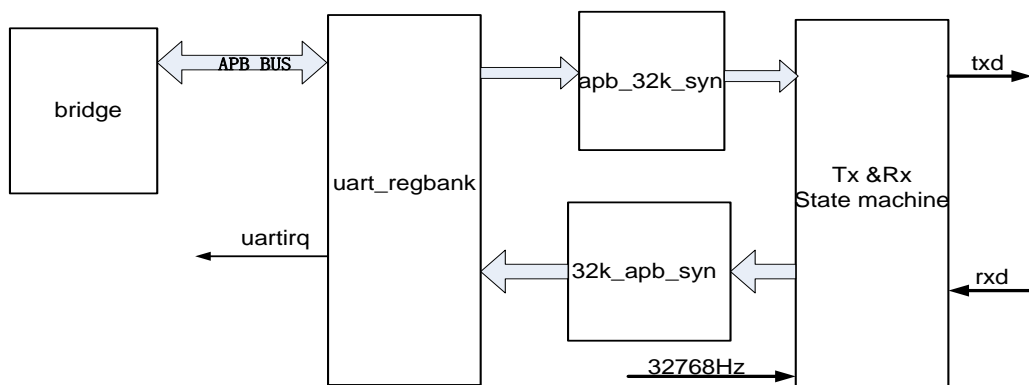
13.1 概述

LPUART 是一个低功耗 UART 接口，其工作仅需 32768Hz 时钟，可以支持到最高 9600 波特率的数据接收。LPUART 功耗极低，可以在 Sleep/DeepSleep 模式下工作。

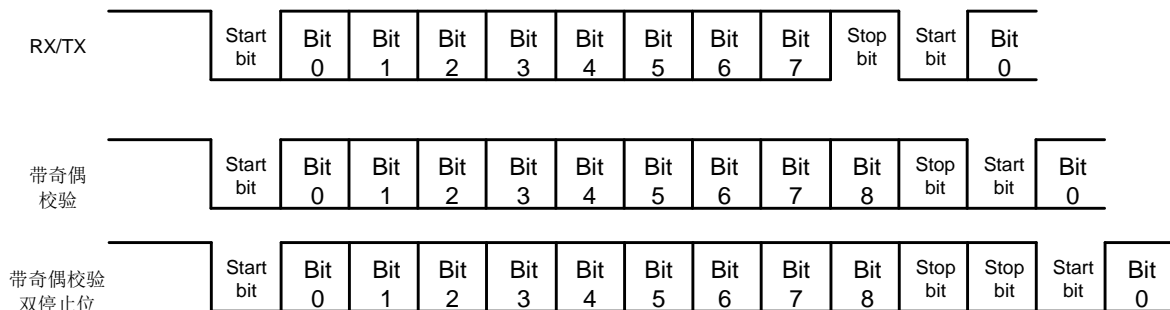
特点：

- 异步数据收发
- 标准UART帧格式
 - 1bit起始位
 - 7或8bit数据
 - 奇校验、偶校验或无校验位
 - 1或2bit停止位
- 使用32768Hz XTALF时钟或者32KHz RCLP时钟工作，支持波特率300~9600
- 可编程数据极性
- 支持Sleep/DeepSleep模式下的数据收发（休眠模式下不支持DMA）
- 中断标志
 - 接收Buffer满
 - 接收Buffer溢出
 - 接收帧格式错误
 - 接收校验位错误
 - START检测
 - 数据匹配
 - 发送完成
- 休眠模式下唤醒芯片
 - RXD下降沿唤醒
 - 起始位检测唤醒
 - 1字节接收完成唤醒
 - 1字节数据匹配唤醒
- LPRUN/ACTIVE模式下支持DMA

13.2 结构框图



13.3 接口时序



13.4 软件应用指南

13.4.1 接收流程

- 配置LPUBAUD寄存器决定波特率
- 根据波特率选择合适的调制参数，配置MCTL寄存器
- 配置LPUCON寄存器，选择帧格式、极性、中断参数等
- 配置LPUEN寄存器打开接收使能
- 等待中断事件
-

13.4.2 发送流程

- 配置LPUBAUD寄存器决定波特率
- 根据波特率选择合适的调制参数，配置MCTL寄存器
- 配置LPUCON寄存器，选择帧格式、极性、中断参数等
- 配置LPUEN寄存器打开发送使能
- 等待中断事件

13.4.3 调制寄存器建议配置

软件需要根据通信波特率的不同合理配置调制控制寄存器 MCTL，建议的配置参数表如下：

Baud	MCTL											
	Bit0 (start)	Bit1	Bit2	Bit3	Bit4	Bit5	Bit6	Bit7	Bit8	Bit9	Bit10	Bit11
9600	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
4800	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
2400	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
1200	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
600	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0
300	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1

以上参数表假设 LPUART 工作时钟为准确的 32768Hz，如果使用 RCLP 工作，则会引入额外的误差，可能需要微调波特率调制方案来获得更好的通信效果。

13.4.4 休眠模式下的数据接收唤醒

LPUART 支持在 Sleep、DeepSleep 模式下进行数据接收并唤醒芯片。此时芯片功耗极低，并保持对 RXD 引脚的监听，直到特定事件到来后唤醒芯片退出休眠模式。

- 配置LPUBAUD寄存器决定波特率
- 根据波特率选择合适的调制参数，配置MCTL寄存器
- 配置LPUCON寄存器，选择帧格式、极性，通过LPUCON.RXEV选择唤醒事件为START位、一帧接收完成、一帧数据匹配或RXD下降沿检测
- 配置LPUEN寄存器打开接收使能
- 软件进入Sleep/DeepSleep

13.4.5 LPRUN 模式下的数据自动收发

通过 LPUART 和 DMA，软件可以实现 LPRUN 模式下一定数据量的 LPUART 自动收发，而无需 CPU 干预，典型条件下全芯片功耗小于 10uA。

- 配置LPUBAUD寄存器决定波特率
- 根据波特率选择合适的调制参数，配置MCTL寄存器
- 配置LPUCON寄存器，选择帧格式、极性、中断参数等
- 配置DMA通道5和通道6控制寄存器，选择LPUART收发
- 如果需要发送数据，将待发数据写入RAM中指定位置
- 配置DMA数据收发长度和RAM指针
- 将系统主时钟选为LSCLK
- 软件进入LPRUN
- 配置LPUEN寄存器打开发送接收使能
- 如CPU无额外工作，可以主动进入WFI/WFE，等待中断唤醒

13.5 寄存器

LPUART0 寄存器:

地址	名称	符号
0x40010400	接收数据寄存器	LPURXD
0x40010404	发送数据寄存器	LPUTXD
0x40010408	状态寄存器	LPUSTA
0x4001040C	控制寄存器	LPUCON
0x40010410	中断标志寄存器	LPUIF
0x40010414	波特率寄存器	LPUBAUD
0x40010418	接收使能寄存器	LPUEN
0x4001041C	数据匹配寄存器	COMPARE
0x40010420	波特率调制控制寄存器	MODU

LPUART1 寄存器:

地址	名称	符号
0x40010800	接收数据寄存器	LPURXD
0x40010804	发送数据寄存器	LPUTXD

地址	名称	符号
0x40010808	状态寄存器	LPUSTA
0x4001080C	控制寄存器	LPUCON
0x40010810	中断标志寄存器	LPUIF
0x40010814	波特率寄存器	LPUAUD
0x40010818	接收使能寄存器	LPUEN
0x4001081C	数据匹配寄存器	COMPARE
0x40010820	波特率调制控制寄存器	MODU

13.5.1 接收数据寄存器

名称	LPURXD							
地址	0x40010400/0x40010800							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	DATA							
位权限	R-0							

位号	位名	说明
31:8	--	未实现：读为0
7:0	LPURXD	接收数据缓冲

13.5.2 发送数据寄存器

名称	LPUTXD							
地址	0x40010404/0x40010804							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	DATA							
位权限	R-0							

位号	位名	说明
31:8	--	未实现：读为0
7:0	LPUTXD	发送数据缓冲

13.5.3 状态标志寄存器

名称	LPUSTA							
地址	0x40010408/0x40010808							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	TC	TXE	START	PERR	FERR	RXOV	RXF	MATCH
位权限	R/Dy-1	R/Dy-1	R/W1C-0	R/W1C-0	R/W1C-0	R/W1C-0	R	R/W1C-0

位号	位名	说明
31:8	--	未实现：读为0
7	TC	发送完成标志，当一帧数据发送完成且发送 buffer 为空时置位。数据发送时清零。
6	TXE	发送 buffer 空标志 硬件置位，软件向发送 buffer 写数据时自动清零
5	START	起始位检测标志，写 1 清零
4	PERR	校验位错误，写 1 清零
3	FERR	帧格式错误，写 1 清零
2	RXOV	接收缓冲溢出，写 1 清零
1	RXF	接收缓冲满，读 LPU DATA 寄存器清零
0	MATCH	数据匹配标志，表示接收缓冲区内的数据与比较寄存器相同，写 1 清零

13.5.4 控制寄存器

名称	LPUCON							
地址	0x4001040C/0x4001080C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-			TXPOL	TCIE	TXIE	NEDET	PAREN

位权限	U-0			R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	PTYP	SL	DL	RXPOL	ERRIE	RXIE	RXEV	
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-00	

位号	位名	说明
31:13	--	未实现：读为0
12	TXPOL	数据发送极性 0：非取反 1：取反
11	TCIE	发送完成中断使能 0：禁止发送完成中断 1：允许发送完成中断
10	TXIE	发送 buffer 空中断使能 0：禁止发送 buffer 空中断 1：允许发送 buffer 空中断
9	NEDET	下降沿采样使能位 0：不使用 32k 时钟下降沿检测 start bit 1：使用 32k 时钟下降沿检测 start bit
8	PAREN	校验位使能 0：数据帧无奇偶校验位 1：数据帧有奇偶校验位
7	PTYP	校验位类型 0：偶校验 1：奇校验
6	SL	停止位长度 0：1bit 1：2bits
5	DL	数据长度 0：8bits 1：7bits
4	RXPOL	接收极性 0：非取反 1：取反
3	ERRIE	错误中断使能 0：禁止接收错误中断 1：允许接收错误中断
2	RXIE	接收中断使能 0：禁止接收中断 1：允许接收中断
1:0	RXEV	接收中断事件配置，用于控制何种事件下向 CPU 提供接收中断 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：RXD 下降沿唤醒

13.5.5 中断标志寄存器

名称	LPUIF
----	-------



地址	0x40010410/0x40010810							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-				TC_IF	TXIF	RXNEGIF	RXIF
位权限	U-0				R/W1C-0	R/W1C-0	R/W1C-0	R/W1C-0

位号	位名	说明
31:4	--	未实现：读为0
3	TC_IF	发送完成中断标志 1：发送完一帧数据后中断产生 0：无中断产生
2	TXIF	发送 buffer 空中断标志 1：发送 buffer 空后中断产生 0：无中断产生
1	RXNEGIF	RXD 下降沿中断标志 1：中断产生 0：无中断产生
0	RXIF	接收完成中断标志 1：接收完一帧数据后中断产生 0：无中断产生

13.5.6 波特率寄存器

名称	LPUBAUD							
地址	0x40010414/0x40010814							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					BAUD		
位权限	U-0					R/W-000		

位号	位名	说明
----	----	----

位号	位名	说明
31:3	--	未实现：读为0
2:0	BAUD	波特率控制（bps） 000: 9600 001: 4800 010: 2400 011: 1200 100: 600 101/110/111: 300

13.5.7 发送接收使能寄存器

名称	LPUEN							
地址	0x40010418/0x40010818							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-						TXEN	RXEN
位权限	U-0						R/W-0	R/W-0

位号	位名	说明
31:2	--	未实现：读为0
1	TXEN	发送使能 0: 关闭 LPUART 发送 1: 打开 LPUART 发送
0	RXEN	接收使能 0: 关闭 LPUART 接收 1: 打开 LPUART 接收

13.5.8 数据匹配寄存器

名称	COMPARE							
地址	0x4001041C/0x4001081C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8

位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	COMPARE							
位权限	R/W-0							

位号	位名	说明
31:8	--	未实现：读为0
7:0	COMPARE	比较数据，如果 RXEV=10，当接收缓冲区内的数据与 COMPARE 相同时，触发接收完成中断

13.5.9 调制控制寄存器

名称	MCTL							
地址	0x40010420/0x40010820							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-				MCTL			
位权限	U-0				R/W-0000			
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	MCTL							
位权限	R/W-00000000							

位号	位名	说明
31:12	--	未实现：读为0
11:0	MCTL	LPUART 每个 bit 的调制控制信号

14 SPI0

14.1 概述

SPI0 模块实现与外部 SPI 接口器件之间的同步通信，硬件实现串并转换。主要特性如下：

- 最高波特率支持到 $F_{AHBCLK}/1$
- 4 线工作方式：SCLK、MOSI、MISO、SSN
- 主从模式可配置
- 时钟极性可控制
- 时钟频率可调
- 支持 DMA

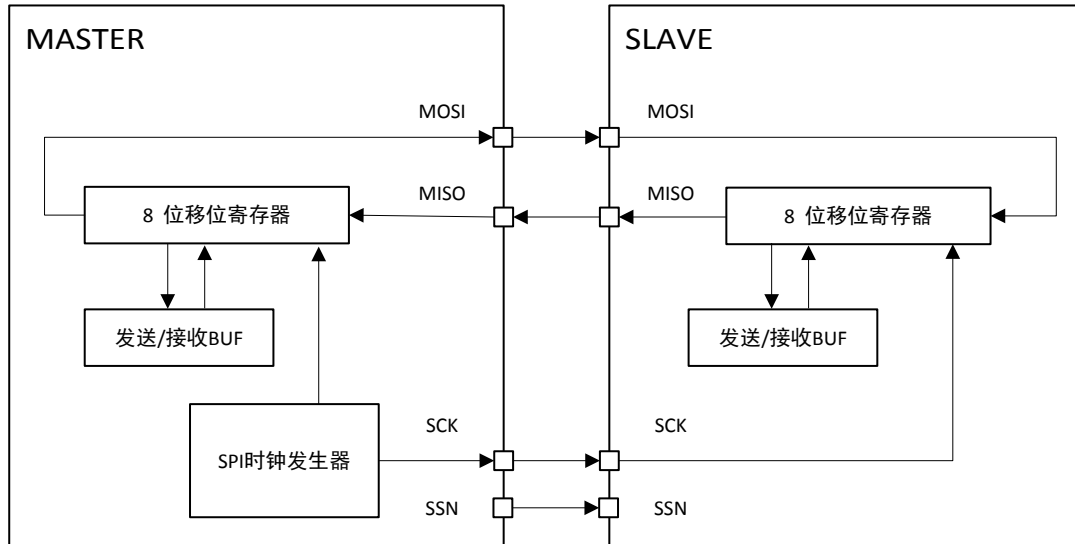
14.2 应用场景

SPI0 通过 4 个引脚与外部器件相连：

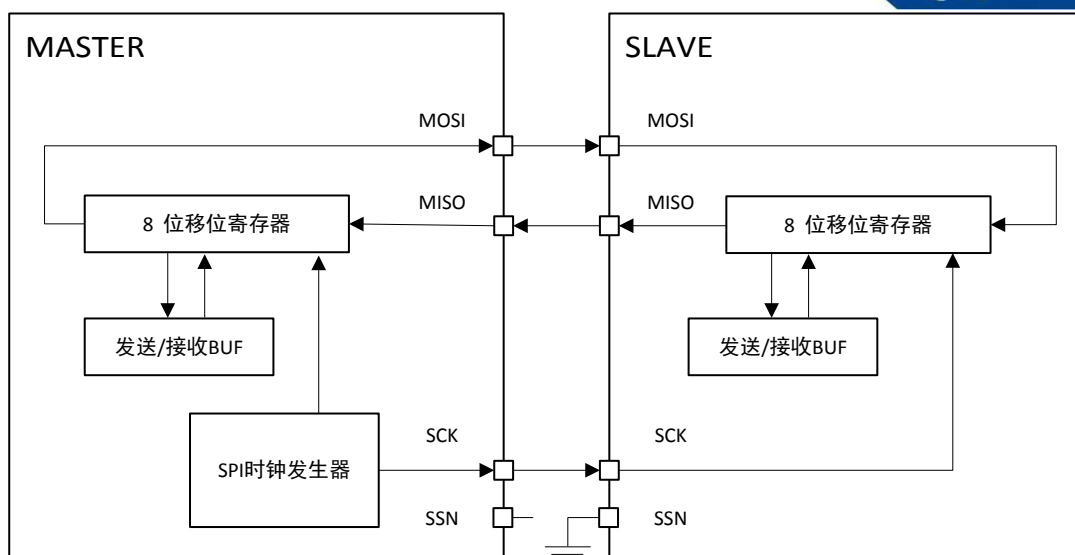
- MISO：在 Master 下为输入引脚，接收数据；在 Slave 下为输出引脚，发送数据。
- MOSI：在 Master 下为输出引脚，发送数据；在 Slave 下为输入引脚，接收数据。
- SCK：时钟，Master 的输出，Slave 为输入
- SSN：片选信号，Slave 设备的选择信号。

14.2.1 单主单从应用

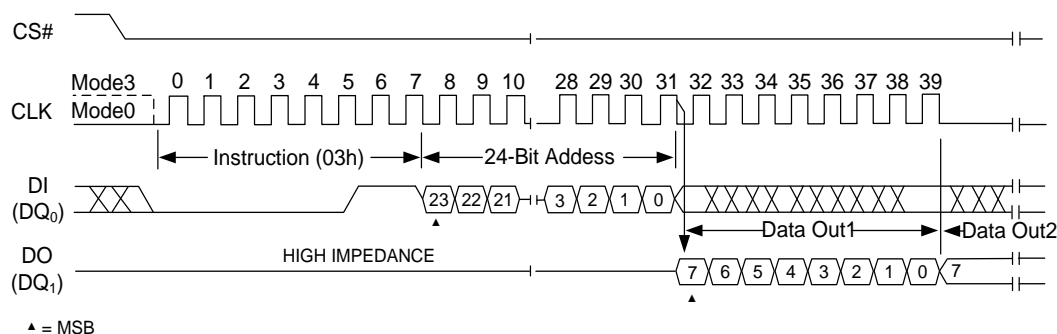
(1) Master 和 Slave 的 SSN 互联



(2) Slave 的 SSN 接地（片选始终有效）



单组单从应用中当作为 Master 时, SSN 的控制需要能够灵活控制。比如连接 Spi Flash 时, SpiFlash 的时序如下:



Master 输出 SSN 可以在一定程度保持常低, 增加软件控制 SSN 输出的功能。

14.3 工作流程

14.3.1 Master 模式

发送流程:

- 通信开始

总线写数据到 TXBUF。TXBUF 的数据被装载到发送寄存器, 接着, 串行地移出到 MOSI 脚上; MSB 在先还是 LSB 在前, 由寄存器控制。

- 中断

中断标志位: TXBUF 为空时, TXEMPTY 标志被置位, 根据使能报中断。

- Busy 位

当 TXBUF 非空, 或者数据发送中, BUSY=1; 当 TXBUF 为空, 而且数据发送完毕, BUSY=0。

接收流程:

和发送流程一样, 如果本次操作只是接收流程, 那么写到 TXBUF 的数据为无效数据 (可为 0)。

- 通信开始: 总线写数据到 TXBUF, MISO 脚串行输入 (MSB 在先), 先接收的数据先存入

RXBUF。

- 通信结束：TXBUF 为空时，TXEMPTY 标志被置位，根据使能报中断。RXBUF 不为空时（表示有接收的数据），根据使能报非空中断。

14.3.2 Slave 模式

发送流程：

- 通信流程：在 SSN 跳变之前，写 TXBUF。发送过程开始(此时第一个位被发送出去)。余下的位(对于 8 位数据，还有 7 位)被装进移位寄存器。当 TXBUF 中的数据传输到移位寄存器而且移位寄存器开始动作时，TXBUF 被读出一个字节，当被读空标志被置起，根据其使能报中断。
- 中断种类：TXBUF 为空时，TXEMPTY 标志被置位，根据使能报中断。

接收流程：

- 通信流程：被动开始，SSN 的跳变。
- 中断分类：RXBUF 非空中断。RXBUF 不为空时（表示有接收的数据），RXBUF 一次只能被读走一个字节。根据使能报中断。

14.3.3 TXONLY 模式

TXONLY 模式设置的目的在于 SPI 通信的时候很多情况是半双工的，可以支持只发送模式，接收的内容直接舍弃。

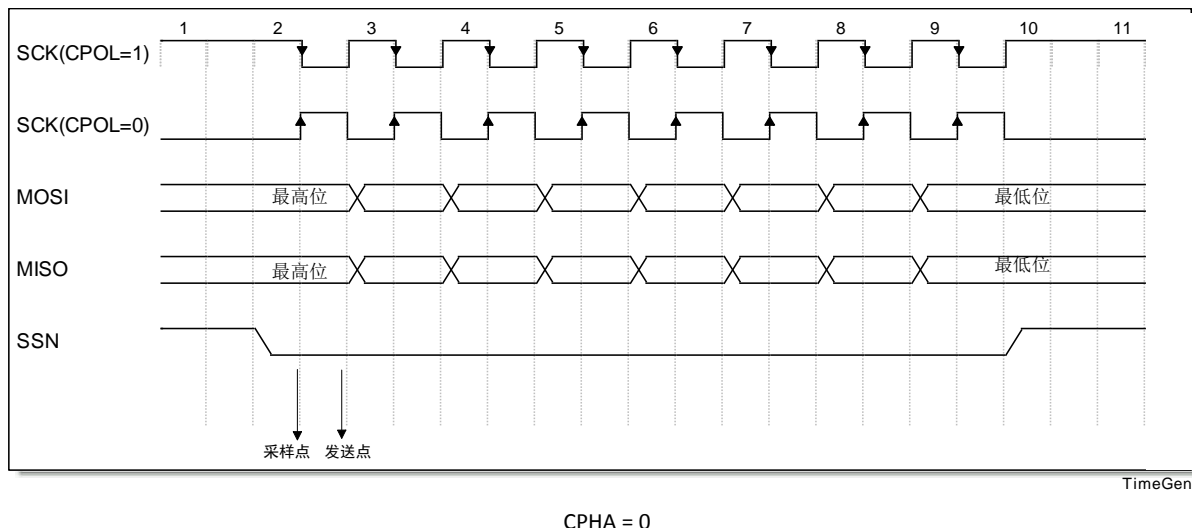
在 Master 模式或者 Slave 模式，都支持只发送模式（TXONLY）。在 TXONLY 模式下，从 SPI 接口返回的数据不会被写入到 RXBUF 中。

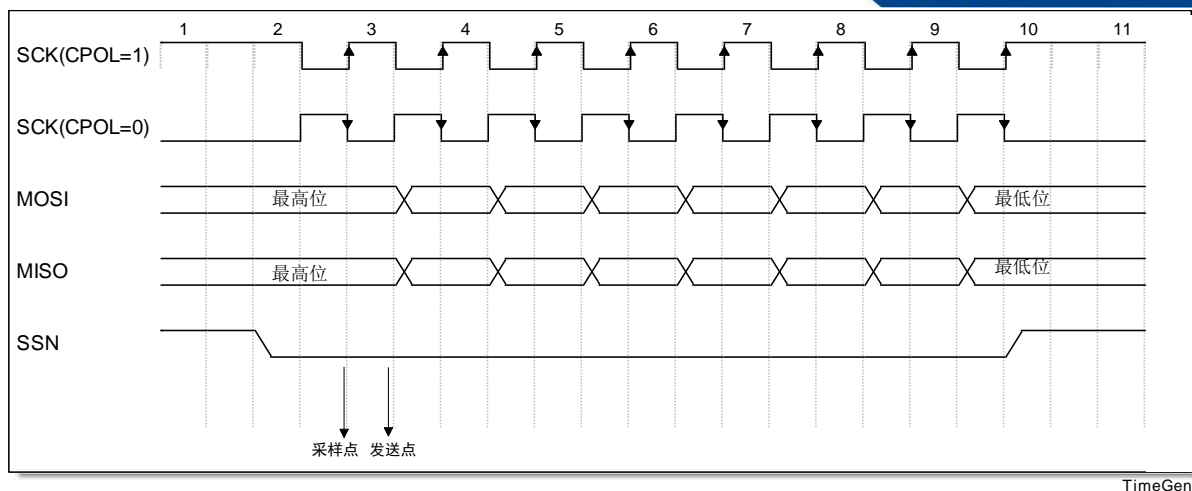
TXONLY 模式进入：软件打开 TXONLY 的使能。

TXONLY 模式退出：当 TXBUF 为空时，而且 SPI 接口已经完成本次传输，若 TXO_AC 寄存器为 1，硬件自动清除 TXO 寄存器，退出 TXONLY 模式。

14.4 接口时序

根据 CPOL 和 CPHA 寄存器的配置，SPI0 支持 4 种接口时序，如下图所示：





CPHA = 1

14.5 寄存器

地址	名称	符号
0x40000800	SPI0 控制寄存器 1	SPI0CR1
0x40000804	SPI0 控制寄存器 2	SPI0CR2
0x40000808	SPI0 控制寄存器 3	SPI0CR3
0x4000080C	SPI0 中断控制寄存器	SPI0IE
0x40000810	SPI0 中断标志寄存器	SPI0IF
0x40000814	SPI0 发送缓存寄存器	SPI0TXBUF
0x40000818	SPI0 接收缓存寄存器	SPI0RXBUF

14.5.1 SPI0 控制寄存器 1

名称	Name: SPI0CR1							
地址	0x40000800							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名					DELAY_CFG			MM
位权限					R/W-000			R/W-1
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	WAIT		BAUD			LSBF	CPOL	CPHA
位权限	R/W-00		R/W-001			R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:12	--	RFU: 未实现, 读为 0
11:9	DELAY_CFG	RFU
8	MM	Master/Slave 模式选择。

Bit	助记符	功能描述
		1: Master 模式 0: Slave 模式
7:6	WAIT	Master 模式下, 每发完 8Bit 后加入至少(1+WAIT)个 SCK cycle 等待时间再传输下一个 8Bit 的数据
5:3	BAUD_RATE	Master 模式波特率配置位: 000: $f_{AHBCLK}/2$ 001: $f_{AHBCLK}/2$ 010: $f_{AHBCLK}/4$ 011: $f_{AHBCLK}/8$ 100: $f_{AHBCLK}/16$ 101: $f_{AHBCLK}/32$ 110: $f_{AHBCLK}/64$ 111: $f_{AHBCLK}/128$ 当通信正在进行的时候, 不能修改这些位。
2	LSBF	帧格式 (Frame format) 0: 先发送 MSB 1: 先发送 LSB 注: 当通信在进行时不能改变该位的值。
1	CPHOL	时钟极性选择。 1: 串行时钟停止在高电平 0: 串行时钟停止在低电平 注: 当通信在进行时不能改变该位的值。 注: 当 SSN 为低时不能改变该位的值
0	CPHA	时钟相位选择: 1: 第二个时钟边沿是第一个捕捉边沿 0: 第一个时钟边沿是第一个捕捉边沿 注: 当通信在进行时不能改变该位的值。

14.5.2 SPI0 控制寄存器 2

名称	Name: SPI0CR2							
地址	0x40000804							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	FILTEN	SSNM	TXO_AC	TXO	SSN	SSNSE N	SPI0EN
位权限	U-0	R/W-1	R/W-0	R/W-1	R/W1-0	R/W-1	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:7	--	RFU: 未实现, 读为 0

Bit	助记符	功能描述
6	FLTEN	Slave 输入管脚滤波使能 (SSN/SCK/MOSI) 1: 使能 4ns 滤波 0: 不滤波
5	SSNM	Master 模式下 SSN 控制模式选择 1: 每发送完 8bit 后 Master 拉高 SSN, 维持高电平时间由 WAIT 寄存器控制 0: 每发送完 8bit 后 Master 保持 SSN 为低
4	TXO_AC	TXONLY 硬件自动清零的使能 1: TXONLY 硬件自动清零有效, 软件使能 TXO 后, 等待发送完毕后, 硬件清零 0: 关闭 TXONLY 硬件自动清零
3	TXO	TXONLY 控制位, 软件只能写 1, 无法清零 1: 启动 Master 的单发送模式 0: 关闭单发送模式
2	SSN	Master 模式下, 如果 SSNSEN 为 1, 软件可以通过此位控制 SSN 输出电平 1: SSN 输出高电平 0: SSN 输出低电平
1	SSNSEN	Master 模式下, 软件控制 SSN 使能 1: Master 模式下 SSN 输出由软件控制 0: Master 模式下 SSN 输出由硬件自动控制
0	SPI0EN	SPI0 使能。采用关闭时钟的方式来关闭使能。 1: 使能 SPI0 0: 关闭 SPI0, 清空发送接收缓存

14.5.3 SPI0 控制寄存器 3

名称	Name: SPI0CR3							
地址	0x40000808							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-				TXBFC	RXBFC	MERRC	SERRC
位权限	U-0				R/W1C-0000			

Bit	助记符	功能描述
31:4	--	RFU: 未实现, 读为 0
3	TXBFC	Transmit Buffer Clear, 软件写 1 清除发送缓存, 写 0 无效
2	RXBFC	Receive Buffer Clear, 软件写 1 清除接收缓存, 写 0 无效
1	MERRC	Master Error Clear, 软件写 1 清除 SPI0STA.MERR 寄存器
0	SERRC	Slave Error Clear, 软件写 1 清除 SPI0STA.SERR 寄存器

14.5.4 SPI0 中断控制寄存器

名称	Name: SPI0IE							
地址	0x4000080C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					ERRIE	TXIE	RXIE
位权限	U-0					R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2	ERRIE	SPI0 错误中断使能
1	TXIE	发送完成中断使能
0	RXIE	接收完成中断使能

14.5.5 SPI0 中断标志寄存器

名称	Name: SPI0IF							
地址	0x40000810							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	MERR	SERR	RXCOL	TXCOL	BUSY	TXBE	RXBF
位权限	U-0	R-0	R-0	R/W-0	R/W-0	R-0	R-1	R-0

Bit	助记符	功能描述
31:7	--	RFU: 未实现, 读为 0
6	MERR	Master Error 标志 当 Master 下传输未满 8 位 SSN 就被拉高时, MERR 置位
5	SERR	Slave Error 标志 当 Slave 下传输未满 8 位 SSN 就被拉高时, SERR 置位
4	RXCOL	接收缓存溢出, 软件写 1 清零

Bit	助记符	功能描述
3	TXCOL	发送缓存溢出，软件写 1 清零
2	BUSY	SPI0 空闲标志，只读 1: SPI0 传输进行中 0: SPI0 传输空闲
1	TXBE	TX Buffer Empty 标志位 1: 发送缓存空，软件写 TXBUF 清零 0: 发送缓存满
0	RXBF	RX Buffer Full 标志位 1: 接收缓存满，软件读 RXBUF 清零 0: 接收缓存空

14.5.6 SPI0 发送缓存寄存器

名称	Name: SPI0TXBUF							
地址	0x40000814							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	TXBUF							
位权限	W-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31:8	--	RFU: 未实现，读为 0
7:0	TXBUF	SPI0 发送缓存

14.5.7 SPI0 接收缓存寄存器

名称	Name: SPI0RXBUF							
地址	0x40000818							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	RXBUF							



位权限	R-00000000
-----	------------

Bit	助记符	功能描述
31:8	--	RFU: 未实现, 读为 0
7:0	RXBUF	SPI0 接收缓存

15 SPI1/2

15.1 概述

芯片的 2 个 SPI 接口模块 SPI1 和 SPI2，可配置为主设备或从设备，实现与外部的 SPI 通信。

特点：

- 全双工3线串行同步收发
- 2路独立通道
- 主从模式
- 可编程时钟极性和相位
- 可编程比特速率
- 从模式最大频率为 $F_{AHBCLK}/2$
- 传输结束中断标志
- 写冲突错标志
- 主模式错误检测、保护和中断标志
- 支持DMA

15.2 结构框图

图 15-1 为 SPI 模块的结构示意图。

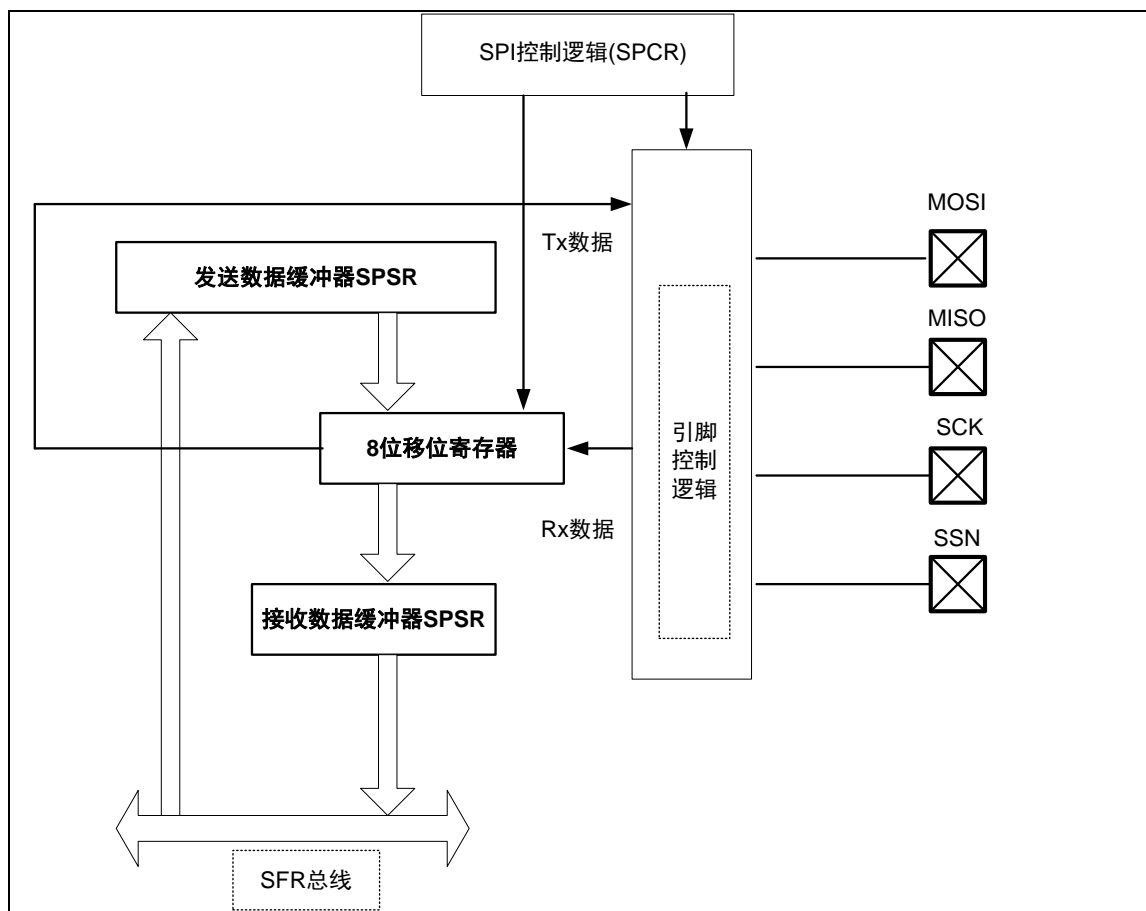


图 15-1 SPI 结构框图

15.3 接口时序

为了兼容不同的 SPI 外设，SPI 串行时钟的时序可以通过时钟相位选择位 (SPCR.CPHA) 和时钟极性选择位 (SPCR.CPOL) 设置产生 4 种不同组合。为保证数据正确传输，主从器件的时序配置必需一致。

当处于从器件模式或 SPI 系统使能位 (SPCR.SPE) 位为 0 时，SPI 的 SCK 引脚无串行时钟输出。

15.3.1 CPHA=0

CPHA=0 时，SPI 模块在串行时钟的第一个跳变沿采样数据，即：

若 CPOL=1，在串行时钟的下降沿采样数据；

若 CPOL=0，在串行时钟的上升沿采样数据。如图 15-2 所示：

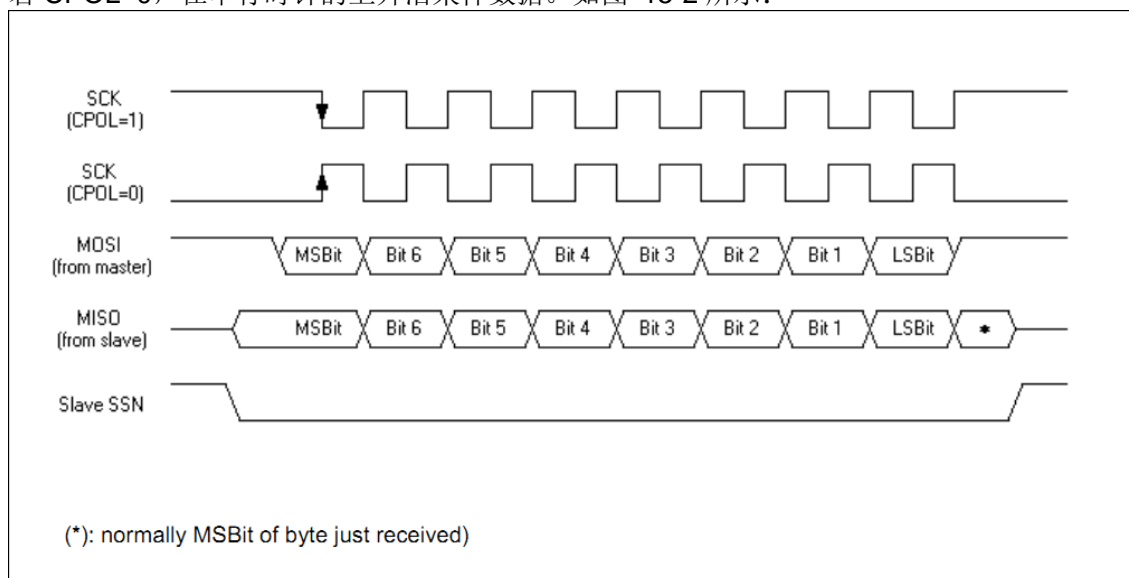


图 15-2 SPI 数据/时钟时序图 (CPHA=0)

15.3.2 CPHA=1

CPHA=1 时，SPI 模块在串行时钟的第二个跳变沿采样数据，即：

若 CPOL=1，在串行时钟的上升沿采样数据；

若 CPOL=0，在串行时钟的下降沿采样数据。如图 15-3 所示：

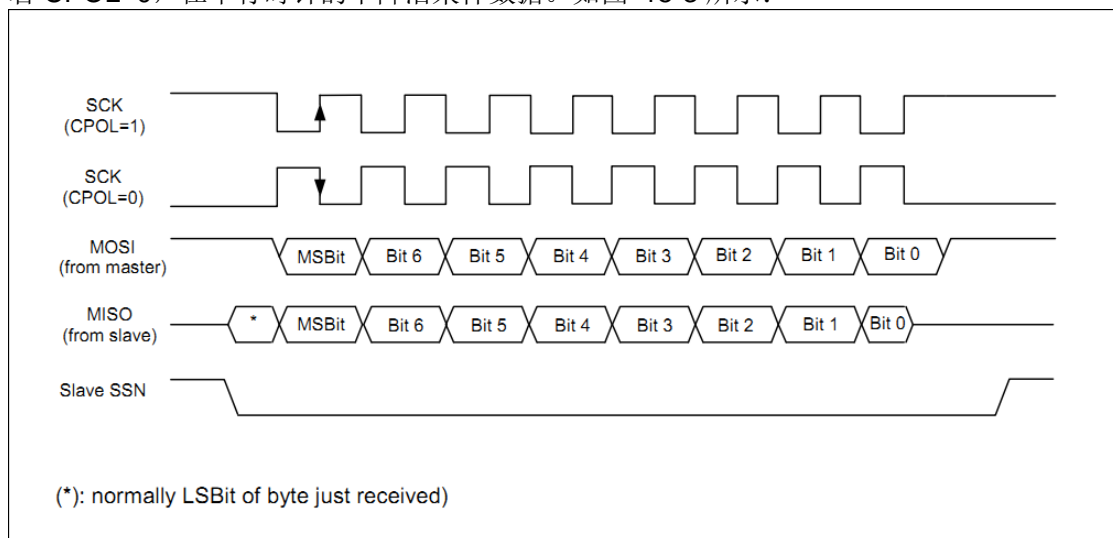


图 15-3 SPI 数据/时钟时序图 (CPHA=1)

15.3.3 从器件 SSN

若 SPI 为从器件，则 $CPHA=0$ 时，SSN 引脚必须在每字节数据传输后拉高，以便可以拉低启动下一字节传输，并避免产生写冲突错误。如图 15-4 所示：

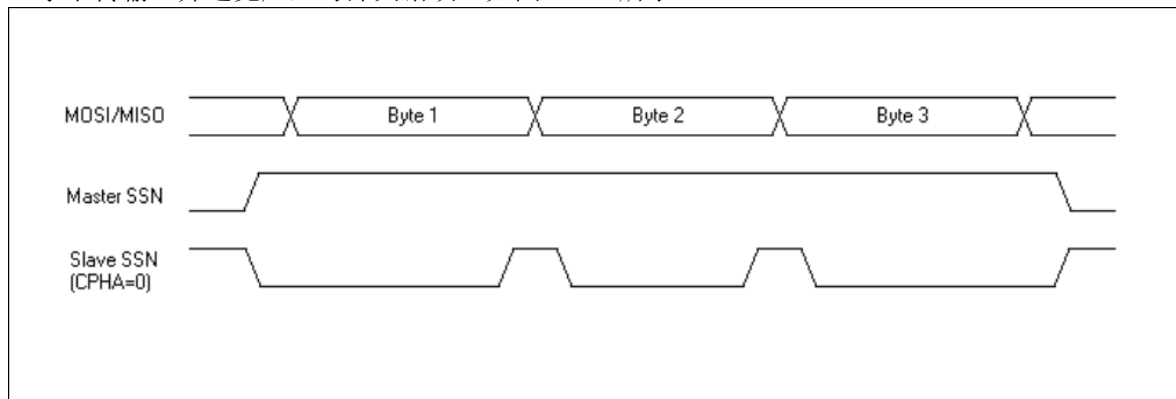


图 15-4 SPI SSN 时序图 ($CPHA=0$)

$CPHA=1$ 时，从器件的 SSN 引脚可以在连续数据传输时一直为低，如图 15-5 示：

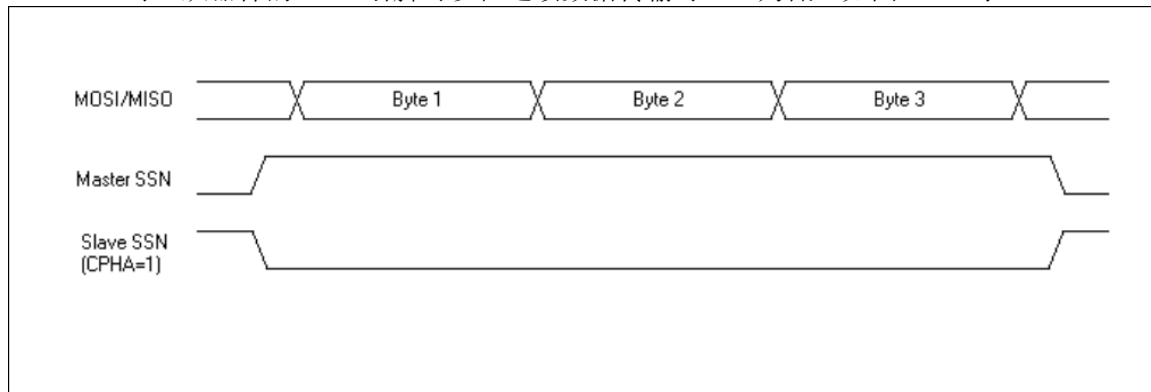


图 15-5 SPI SSN 时序图 ($CPHA=1$)

15.4 SPI 配置

15.4.1 I/O 配置

主输出、从输入 (MOSI)

主出从入 (MOSI) 引脚是主器件的输出和从器件的输入，用于主器件到从器件的串行数据传输。当 SPI 配置为主器件时，该引脚为输出，当 SPI 配置为从器件时，该引脚为输入。数据传输时 MSB 在前。

主输入、从输出 (MISO)

主入从出 (MISO) 引脚是从器件的输出和主器件的输入，用于从器件到主器件的串行数据传输。当 SPI 配置为主器件时，该引脚为输入，当 SPI 配置为从器件时，该引脚为输出。数据传输时 MSB 在前。

串行时钟 (SCK)

串行时钟 (SCK) 引脚是主器件的输出和从器件的输入，用于同步主器件和从器件之间在 MOSI 和 MISO 线上的串行数据传输。当 SPI 配置为主器件时，该引脚输出时钟，当 SPI 配置为从器件时，该引脚为输入。

从选择 (SSN)

从选择（SSN）引脚用来控制从器件选中，如图 15-2 所示，当 SPI 配置为主器件时，SSN 引脚必须接高电平，当 SPI 配置为从器件时，SSN 引脚必须接低电平。

SPI 主从器件的连接如图 15-6 所示：

主从器件的 MOSI、MISO 和 SCK 分别连在一起，主器件的 SSN 必须接高电平，从器件的 SSN 必须接低电平。主从器件通过 MOSI、MISO 连成一个环路，主器件输出时钟，数据传输时，主器件通过 MOSI 输出数据，从器件通过 MISO 输出数据。一字节数据传输完毕，主从器件将交换 8 位移位寄存器数值。

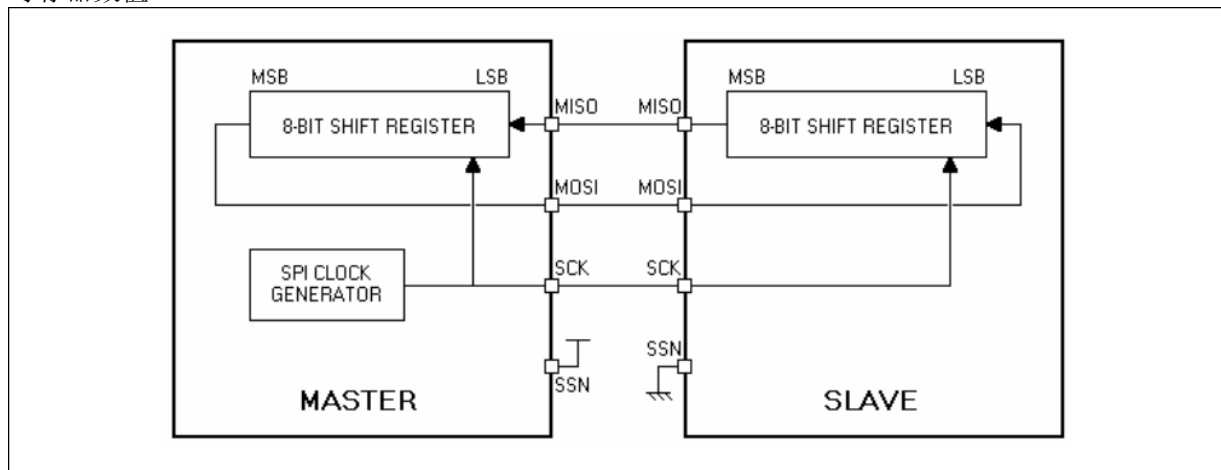


图 15-6 SPI Master/SPI Slave 互连

15.4.2 数据传输配置

- 1、进行数据传输前需先配置 SPCR.SPE 位和 SPCR.MSTR 位，以使能 SPI 和设置主从模式。
- 2、配置 SPCR.CPHA 位和 SPCR.CPOL 位，以设置串行时钟相位和极性（主从器件需一致）。
- 3、配置 SPCR1.SPR3 位和 SPCR.SPR[2:0]位，以设置串行时钟波特率（若为从器件模式则不用设置，串行时钟速率由主器件决定）。
- 4、需要时，配置中断，配置 IRCIE2.SPIIE, SPCR.SPIE 和 SPCR.SPIF 位。
- 5、主器件模式下数据传输前需先将从器件的 SSN 引脚拉低，主器件的 SSN 引脚必须保持高电平。主器件模式下 MCU 写 SPDR 寄存器的动作启动数据传输，中断标志 SPIF 置起完成数据传输。
- 6、从器件模式处理较为特殊，当 CPHA=0 时，从器件的 SSN 引脚拉低启动数据传输，从器件的 SSN 引脚拉高结束数据传输（即使在此之前 SPIF 中断已经产生），因为从器件不知道传输何时开始，当 SSN 引脚拉低后，MISO 引脚立即开始数据 MSB 的传输（见图 15-4）。当 CPHA=1 时，从器件在串行时钟的第一个沿启动数据传输，在 SPIF 置位后结束数据传输（见图 15-5）。

15.4.3 数据冲突

当 SPITXBUF 数据尚未被读进移位寄存器，或者 SPIRXBUF 中的数据未被 CPU 读取时，对 SPITXBUF/SPIRXBUF 寄存器的写操作会产生对应的冲突错误，SPIIF.TXCOL/SPIIF.RXCOL 位会置起，产生中断。导致冲突的写入数据将被忽略。数据冲突错误在主从模式下都会产生。

对 SPITXBUF 的写操作，由芯片内部的 Master 模块发起，包括 CPU、DMA 等等。对 SPIRXBUF 的写操作，则由外部 SPI 器件发起。

当数据冲突发生时，SPITXBUF 和 SPIRXBUF 内原有数据不会被刷新，新写入的数据丢失。

15.5 寄存器

地址	名称	符号
0x40000840	SPI1 控制寄存器 1	SPI1CR1
0x40000844	SPI1 控制寄存器 2	SPI1CR2
0x40000848	SPI1 控制寄存器 3	SPI1CR3
0x4000084C	SPI1 中断使能寄存器	SPI1IE
0x40000850	SPI1 中断标志寄存器	SPI1IF
0x40000854	SPI1 发送缓存寄存器	SPI1TXBUF
0x40000858	SPI1 接收缓存寄存器	SPI1RXBUF
0x40000880	SPI2 控制寄存器 1	SPI2CR1
0x40000884	SPI2 控制寄存器 2	SPI2CR2
0x40000888	SPI2 控制寄存器 3	SPI2CR3
0x4000088C	SPI2 中断控制寄存器	SPI2IE
0x40000890	SPI2 中断标志寄存器	SPI2IF
0x40000894	SPI2 发送缓存寄存器	SPI2TXBUF
0x40000898	SPI2 接收缓存寄存器	SPI2RXBUF

15.5.1 SPI 控制寄存器 1

名称	Name: SPI1CR1/SPI2CR1							
地址	0x40000840/0x40000880							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-					MSPA	SSPA	MM
位权限	U-0					R/W-0	R/W-0	R/W-1
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	WAIT		BAUD			LSBF	CPOL	CPHA
位权限	R/W-00		R/W-001			R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:11	--	RFU: 未实现, 读为 0
10	MSPA	Master Sampling Position Adjustment, Master 对 MISO 信号的采样位置调整, 用于高速通信时补偿 PCB 走线延迟 1: 采样点延迟半个 SCK 周期 0: 不调整
9	SSPA	Slave Sending Position Adjustment, Slave MISO 发送位置调整 1: 提前半个 SCK 周期发送 0: 不调整
8	MM	Master/Slave 模式选择。 1: Master 模式 0: Slave 模式
7:6	WAIT	Master 模式下, 每发完 8Bit 后加入至少(1+WAIT)个 SCK cycle

Bit	助记符	功能描述
		等待时间再传输下一个 8Bit 的数据
5:3	BAUD	Master 模式波特率配置位: 000: $f_{AHBCLK}/2$ 001: $f_{AHBCLK}/4$ 010: $f_{AHBCLK}/8$ 011: $f_{AHBCLK}/16$ 100: $f_{AHBCLK}/32$ 101: $f_{AHBCLK}/64$ 110: $f_{AHBCLK}/128$ 111: $f_{AHBCLK}/256$ 当通信正在进行的时候, 不能修改这些位。
2	LSBF	帧格式 (Frame format) 0: 先发送 MSB 1: 先发送 LSB 注: 当通信在进行时不能改变该位的值。
1	CPHOL	时钟极性选择。 1: 串行时钟停止在高电平 0: 串行时钟停止在低电平 注: 当通信在进行时不能改变该位的值。 注: 当 SSN 为低时不能改变该位的值
0	CPHA	时钟相位选择: 1: 第二个时钟边沿是第一个捕捉边沿 0: 第一个时钟边沿是第一个捕捉边沿 注: 当通信在进行时不能改变该位的值。

15.5.2 SPI 控制寄存器 2

名称	Name: SPI1CR2/SPI2CR2							
地址	0x40000844/0x40000884							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	FILTEN	SSNM	TXO_AC	TXO	SSN	SSNSE N	SPIEN
位权限	U-0	R/W-1	R/W-0	R/W-1	R/W-0	R/W-1	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:7	--	RFU: 未实现, 读为 0
6	FLTEN	Slave 输入管脚滤波使能 (SSN/SCK/MOSI) 1: 使能 4ns 滤波 0: 不滤波

Bit	助记符	功能描述
5	SSNM	Master 模式下 SSN 控制模式选择 1: 每发送完 8bit 后 Master 拉高 SSN, 维持高电平时间由 WAIT 寄存器控制 0: 每发送完 8bit 后 Master 保持 SSN 为低
4	TXO_AC	TXONLY 硬件自动清零的使能 1: TXONLY 硬件自动清零有效, 软件使能 TXO 后, 等待发送完毕后, 硬件清零 0: 关闭 TXONLY 硬件自动清零
3	TXO	TXONLY 控制位 1: 启动 Master 的单发送模式 0: 关闭单发送模式
2	SSN	Master 模式下, 如果 SSNSEN 为 1, 软件可以通过此位控制 SSN 输出电平 1: SSN 输出高电平 0: SSN 输出低电平
1	SSNSEN	Master 模式下, 软件控制 SSN 使能 1: Master 模式下 SSN 输出由软件控制 0: Master 模式下 SSN 输出由硬件自动控制
0	SPIEN	SPI 使能。采用关闭时钟的方式来关闭使能。 1: 使能 SPI 0: 关闭 SPI, 清空发送接收缓存

15.5.3 SPI 控制寄存器 3

名称	Name: SPI1CR3/SPI2CR3							
地址	0x40000848/0x40000888							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-				TXBFC	RXBFC	MERRC	SERRC
位权限	U-0				R/W1C-0000			

Bit	助记符	功能描述
31:4	--	RFU: 未实现, 读为 0
3	TXBFC	Transmit Buffer Clear, 软件写 1 清除发送缓存, 写 0 无效
2	RXBFC	Receive Buffer Clear, 软件写 1 清除发送缓存, 写 0 无效
1	MERRC	Master Error Clear, 软件写 1 清除 SPI0STA.MERR 寄存器
0	SERRC	Slave Error Clear, 软件写 1 清除 SPI0STA.SERR 寄存器

15.5.4 SPI 中断控制寄存器

名称	Name: SPI1IE/SPI2IE							
地址	0x4000084C/0x4000088C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					ERRIE	TXIE	RXIE
位权限	U-0					R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2	ERRIE	SPI0 错误中断使能
1	TXIE	发送完成中断使能
0	RXIE	接收完成中断使能

15.5.5 SPI 中断标志寄存器

名称	Name: SPI1IF/SPI2IF							
地址	0x40000850/0x40000890							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	MERR	SERR	RXCOL	TXCOL	BUSY	TXBE	RXBF
位权限	U-0	R-0	R-0	R/W-0	R/W-0	R-0	R-1	R-0

Bit	助记符	功能描述
31:7	--	RFU: 未实现, 读为 0
6	MERR	Master Error 标志 当 Master 下传输未满 8 位 SSN 就被拉高时, MERR 置位
5	SERR	Slave Error 标志 当 Slave 下传输未满 8 位 SSN 就被拉高时, SERR 置位
4	RXCOL	接收缓存溢出, 软件写 1 清零
3	TXCOL	发送缓存溢出, 软件写 1 清零

Bit	助记符	功能描述
2	BUSY	SPI 空闲标志, 只读 1: SPI 传输进行中 0: SPI 传输空闲
1	TXBE	TX Buffer Empty 标志位 1: 发送缓存空, 软件写 TXBUF 清零 0: 发送缓存满
0	RXBF	RX Buffer Full 标志位 1: 接收缓存满, 软件读 RXBUF 清零 0: 接收缓存空

15.5.6 SPI 发送缓存寄存器

名称	Name: SPI1TXBUF/SPI2TXBUF							
地址	0x40000854/0x40000894							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	TXBUF							
位权限	W-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31:8	--	RFU: 未实现, 读为 0
7:0	TXBUF	SPI 发送缓存

15.5.7 SPI 接收缓存寄存器

名称	Name: SPI1RXBUF/SPI2RXBUF							
地址	0x40000858/0x40000898							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	RXBUF							
位权限	R-00000000							



Bit	助记符	功能描述
31:8	--	RFU: 未实现, 读为 0
7:0	RXBUF	SPI 接收缓存

16 智能卡接口（ISO7816）

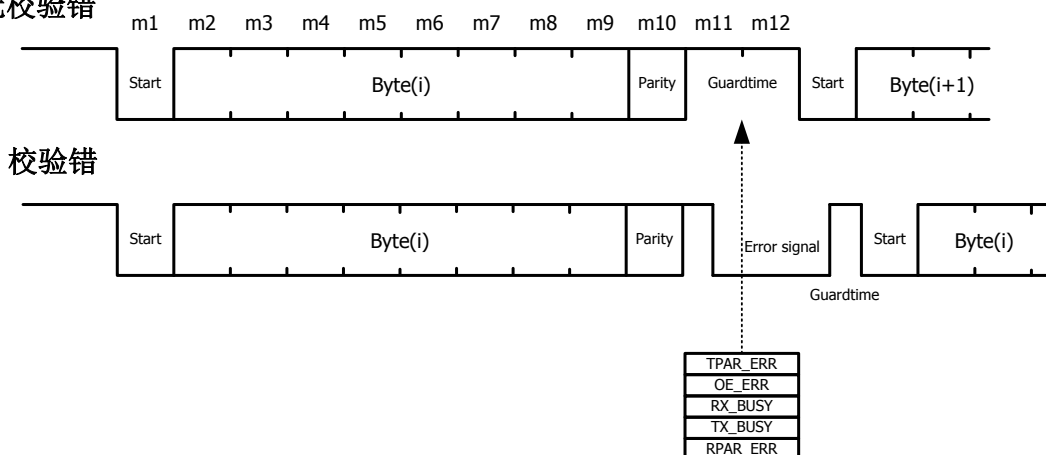
16.1 概述

智能卡接口（7816）是外部智能卡通过 2 线交换 8 位数据的串行同步通讯手段。芯片提供了 2 个 7816 主机接口模块。

- 2路独立7816接口
- 具备卡时钟输出端口，输出频率在1MHz~5MHz之间可设
- 位传输方向可配置，支持MSB First或LSB First
- 错误信号宽度可配置为1/1.5/2个ETU
- 发送数据支持传输错误重发机制，重发次数可配置为0~3次
- 支持EGT可设0~256，并支持多种超时中断
- 具有数据接收完成/接收错误中断，并提示错误类型
- 发送中断产生条件可配置为缓冲区空或移位寄存器空
- 支持DMA接口

16.2 接口时序

无校验错



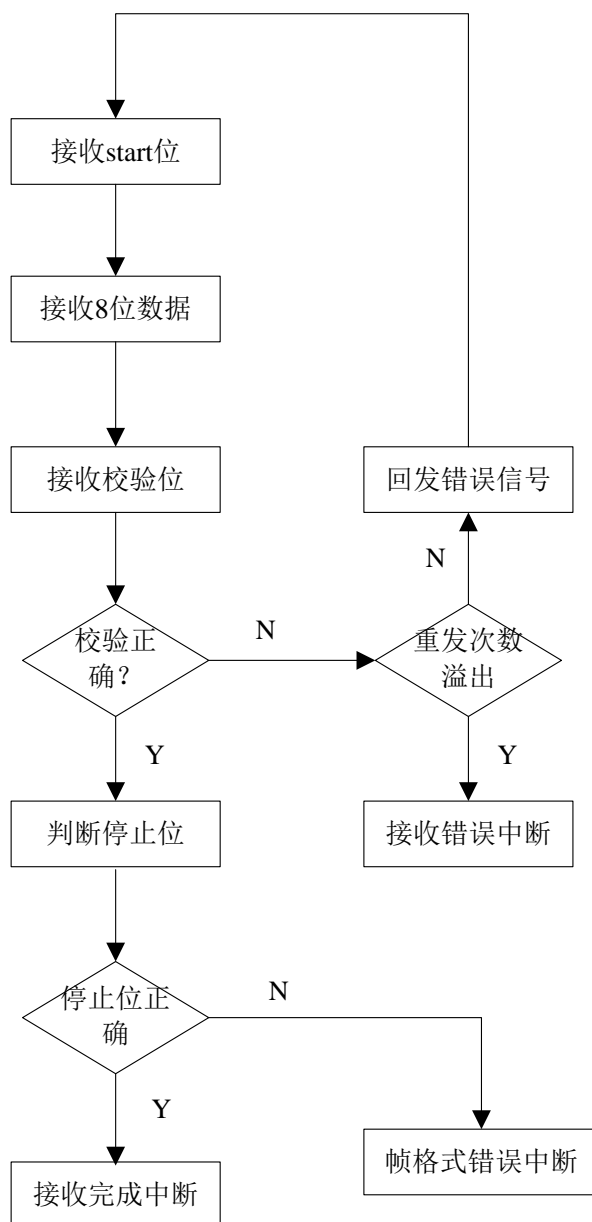
参照 7816 协议标准，7816 基本接口时序如下：

- 一个起始位后跟8个数据位及1个校验位，以1ETU或2ETU的GUARDTIME结束。
- 单字节数据长度最小为11ETU或12ETU。
- 第10.5个ETU接收电路校验接收数据，若校验正确，则插入2个ETU的GUARDTIME，确保数据长度为12ETU，并在第11个ETU时令RX_BUSY无效并产生可能的OE_ERR标志，完成数据发送；若接收校验出错，则在第10.5ETU拉低IO，产生ERROR SIGNAL。ERROR SIGNAL最短1个ETU，最长2个ETU。并在第11个ETU根据需要产生RPAR_ERR标志。
- 第11个ETU时发送电路未采样到ERROR SIGNAL，则说明发送数据正确，数据发送完成，令TX_BUSY无效。
- 若第11个ETU发送电路采样到ERROR SIGNAL，则说明发送数据错误，根据设定产生需要的TPAR_ERR或等待2个ETU后重发数据。
- 所有中断标志尽可能都在同一时刻产生，使得MCU可以正确及时处理中断。

16.3 通信流程

16.3.1 数据接收

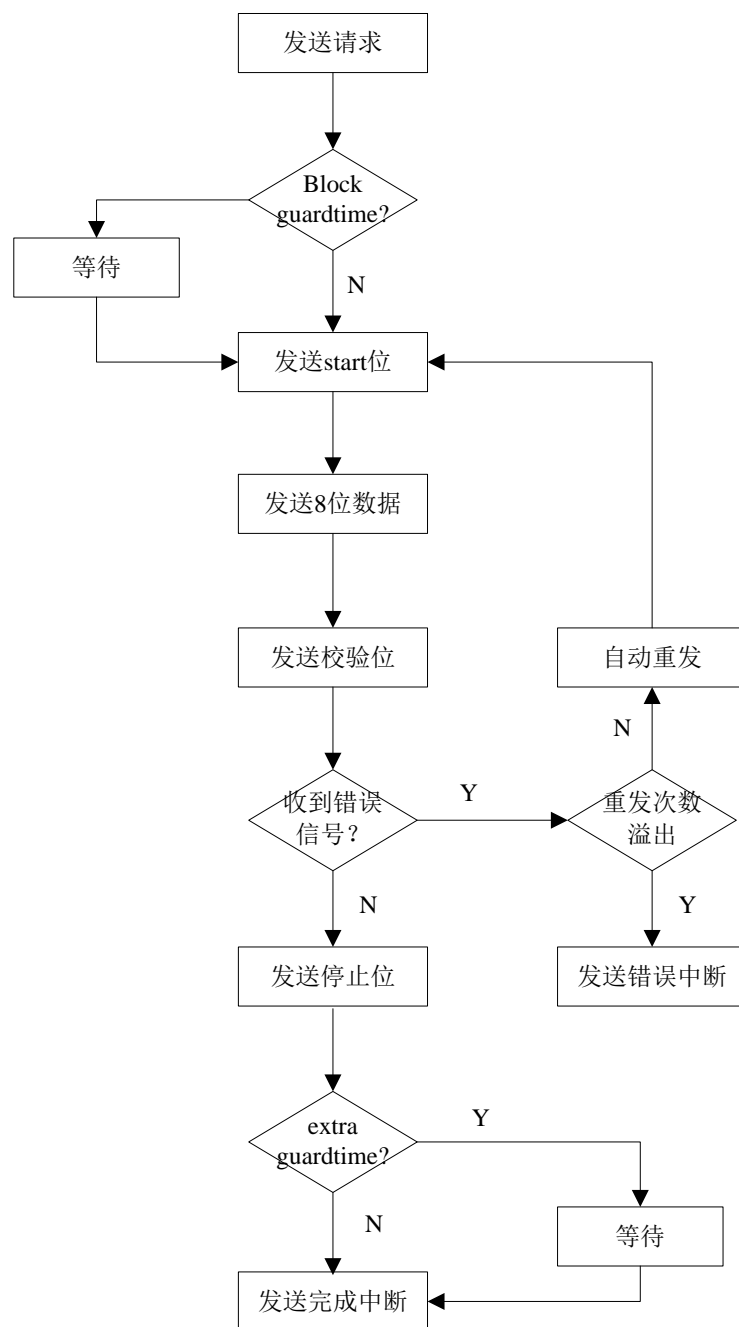
7816 数据接收过程:



16.3.2 数据发送

在 TXEN 开启的时候, 软件只要向 TXBUF 写入数据, 硬件在相应 IO 口空闲的条件下会自动发送数据, 软件可以在发送过程中向 TXBUF 写入数据, 硬件会在前一帧发送结束后继续发送下一帧。当进行数据发送时, 内部输入端口自动关闭, 即电路正常应用模式下不能收到自己发出的数据。要注意的是, 由于本设计中只有一级缓存, 软件两次写 TXBUF 的间隔不能太短, 如果在状态机把数据装入移位寄存器开始发送之前又写 TXBUF, 会把前面的数据冲掉。注意在发送时, 软件至少要等硬件将前一笔数据移入移位寄存器以后才能写下一笔数据, 软件可以监视 TX_FLAG, TX_FLAG 为 1 表示发送缓存寄存器空, 数据已经进入移位寄存器发送, 可以向 TXBUF 写入下一笔数据。

7816 数据发送流程:



16.4 寄存器

地址	名称	符号
0x40011C00	7816-0 控制寄存器	U7816CTRL0
0x40011C04	7816-0 帧格式寄存器	U7816FRC0
0x40011C08	7816-0 EGT 配置寄存器	U7816EGTC0
0x40011C0C	7816-0 工作时钟分频寄存器	U7816CLKDIV0
0x40011C10	7816-0 预分频寄存器	U7816PDIV0
0x40011C14	7816-0 接收缓存寄存器	U7816RXBUF0
0x40011C18	7816-0 发送缓存寄存器	U7816TXBUF0

地址	名称	符号
0x40011C1C	7816-0 中断使能寄存器	U7816IE0
0x40011C20	7816-0 中断标志寄存器	U7816IF0
0x40011C24	7816-0 错误标志寄存器	U7816ERR0
0x40011C28	7816-0 状态寄存器	U7816STA0
0x40011C2C	7816-1 控制寄存器	U7816CTRL1
0x40011C30	7816-1 帧格式寄存器	U7816FRC1
0x40011C34	7816-1 EGT 配置寄存器	U7816EGTC1
0x40011C38	7816-1 工作时钟分频寄存器	U7816CLKDIV1
0x40011C3C	7816-1 预分频寄存器	U7816PDIV1
0x40011C40	7816-1 接收缓存寄存器	U7816RXBUF1
0x40011C44	7816-1 发送缓存寄存器	U7816TXBUF1
0x40011C48	7816-1 中断使能寄存器	U7816IE1
0x40011C4C	7816-1 中断标志寄存器	U7816IF1
0x40011C50	7816-1 错误标志寄存器	U7816ERR1
0x40011C54	7816-1 状态寄存器	U7816STA1

16.4.1 7816 通道控制寄存器 U7816CTRLx

名称	U7816CTRLx(x=0~1)							
地址	0x40011C00/0x40011C2C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-		TXEN	RXEN	CKOEN	HPUAT	HPUEN	RFUI
位权限	U-0		R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:6	--	RFU: 未实现, 读为 0
5	TXEN	U7816 通道发送使能控制位 1 = 通道发送使能, 可发送数据 0 = 通道发送禁止, 不可发送数据, 并关断输出端口 0 = 将 SCL 信号转化为低电平
4	RXEN	U7816 通道接收使能控制位。 1 = 通道接收使能, 可接收数据 0 = 通道接收禁止, 不可接收数据, 并关断输入端口
3	CKOEN	U7816 时钟 CLK 输出使能控制位 1 = 7816 时钟输出使能 0 = 7816 时钟输出禁止
2	HPUAT	U7816 通道数据发送强上拉电阻自动有效控制位 1 = 数据发送时上拉电阻自动有效, 接收态上拉电阻无效

Bit	助记符	功能描述
		0 = 数据发送时上拉电阻自动有效功能禁止，上拉电阻由 HPUEN, LPUEN 控制
1	HPUEN	U7816 通道强上拉使能控制位 1 = 强上拉有效 0 = 强上拉无效
0	RFUI	可读写，无功能

16.4.2 U7816 帧格式控制寄存器 U7816FRCx

名称	U7816FRCx(x=0~1)							
地址	0x40011C04/0x40011C30							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-					ERSW		ERSGD
位权限	U-0					R/W-00		R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	BGTEN	REP_T	PAR		FREN	TREPEN	RREPEN	DICONV
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-00		R/W-0	R/W-1	R/W-1	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:13	--	RFU: 未实现, 读为 0
12:11	DUMMY	可读写, 无功能
10:9	ERSW	ERROR SIGNAL 宽度选择 11 = ERROR SIGNAL 宽度为 1ETU; 10 = ERROR SIGNAL 宽度为 1.5ETU; 01 = ERROR SIGNAL 宽度为 2ETU; 00 = ERROR SIGNAL 宽度为 2ETU;
8	ERSGD	ERROR SIGNAL 后 GUARDTIME 宽度选择(仅在发送时有效) 1 = ERROR SIGNAL 后 GUARDTIME 为 1~1.5ETU。 0 = ERROR SIGNAL 后 GUARDTIME 为 2~2.5ETU。 ERROR SIGNAL 宽度为整数 ETU 时 GUARDTIME 为 1.5 或 2.5ETU; ERROR SIGNAL 宽度为 1.5ETU 时 GUARDTIME 为 1 或 2ETU
7	BGTEN	BGT (block guard time) 控制位。控制接收->发送之间是否插入 BGT。BGT 是接收->发送之间需要的最小时间 1 = BGT 使能, 插入 Block guard time(22 etu); 0 = BGT 禁止, 不插入 Block guard time(22 etu);
6	REP_T	控制接收数据奇偶校验出错时自动重发次数 1 = 3 次 0 = 1 次
5:4	PAR	奇偶校验类型选择 00: Even

Bit	助记符	功能描述
		01: Odd 10: Always 1 11: 不校验, 处理
3	FREN	Guard Time 长度控制位 (发送时严格按照协议 2etu) 1 = Guard time 为 1 etu 0 = Guard time 为 2 etu
2	TREPEN	缓发送数据奇偶校验错的处理方式选择 1 = 收到奇偶校验出错标志 (error signal), 根据 T=0 协议自动进行回发。在单一 byte 重复发送次数超过 REP_T 后, 置 tx_parity_err 标志, 进行中断 0 = 收到 Error signal 时不进行自动回发, 置 tx_parity_err 标志, 直接中断
1	RREPEN	接收数据奇偶校验错的处理方式选择 1 = 奇偶校验错, 根据 T=0 协议自动回发 ERROR SIGNAL。单一 BYTE 连续接收次数超过 REP_T 后, 置 RX_PARITY_ERR 标志, 进行中断 0 = 奇偶校验错, 不自动发送 ERROR SIGNAL, 置 RX_PARITY_ERR 标志, 进行中断
0	DICONV	传输次序, 编码方式选择 1 = 反向编码, 先收发 MSB; (收发数据+校验位)反逻辑电平 0 = 正向编码, 先收发 LSB; (收发数据+校验位)正逻辑电平

16.4.3 U7816EGT 配置寄存器 U7816EGTx

名称	U7816EGTx(x=0~1)							
地址	0x40011C08/0x40011C34							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	TXEGT							
位权限	R/W-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31:8	--	RFU: 未实现, 读为 0
7:0	TXEGT	发送时插入的 EGT 时间 (以 ETU 为单位)

16.4.4 U7816 工作时钟分频寄存器 U7816CLKDIVx

名称	U7816CLKDIVx(x=0~1)
地址	0x40011C0C/0x40011C38

位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名					CLKDIV			
位权限					R/W-00011			

Bit	助记符	功能描述
31:5	--	RFU: 未实现, 读为 0
4:0	CLKDIV	U7816 时钟输出分频控制寄存器, 控制 7816 工作时钟分频数。 U7816 工作时钟与 APBCLK 的分频关系: $F_{7816} = F_{APBCLK} / (CLKDIV + 1)$ 特殊情况: CLK_DIV 设置成 0 或 1 时, $F_{7816} = F_{APBCLK} / 2$ 注: 7816 协议规定的工作时钟范围是 1~5MHZ。

16.4.5 U7816 预分频控制寄存器 U7816PDIVx

名称	U7816PDIVx(x=0~1)							
地址	0x40011C10/0x40011C3C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-				PDIV			
位权限	U-0				R/W-0001			
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	PDIV							
位权限	R/W-01110011							

Bit	助记符	功能描述
31:12	--	RFU: 未实现, 读为 0
11:0	PDIV	U7816 预分频控制寄存器, 控制 7816 通信分频比 (波特率) $Baud = F_{7816} / (PDIV + 1)$

16.4.6 U7816 接收缓冲寄存器 U7816RXBUFx

名称	U7816RXBUFx(x=0~1)							
地址	0x40011C14/0x40011C40							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24

位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	RXBUF							
位权限	R/W-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31:8	--	RFU: 未实现, 读为 0
7:0	RXBUF	U7816 数据接收缓存寄存器

16.4.7 U7816 发送缓冲寄存器 U7816TXBUFx

名称	U7816TXBUFx(x=0~1)							
地址	0x40011C18/0x40011C44							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	TXBUF							
位权限	R/W-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31:8	--	RFU: 未实现, 读为 0
7:0	TXBUF	U7816 数据发送缓存寄存器

16.4.8 U7816 中断使能寄存器 U7816IEx

名称	U7816IEx(x=0~1)							
地址	0x40011C1C/0x40011C48							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8

位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名						RXIE	TXIE	LSIE
位权限						R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2	RXIE	数据接收中断使能位。对应 RX_FLAG 中断标志位 1 = 数据接收中断使能位 0 = 数据接收中断使能位
1	TXIE	数据发送中断使能位。对应 TX_FLAG 中断标志位 1 = 数据发送中断使能 0 = 数据发送中断禁止
0	LSIE	线路状态中断使能位。对应 ERROR_FLAG 中断标志位 1 = 线路状态中断使能 0 = 线路状态中断禁止

16.4.9 U7816 中断标志寄存器 U7816IFx

名称	U7816IFx(x=0~1)							
地址	0x40011C20//0x40011C4C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					ERRIF	TXIF	RXIF
位权限	U-0					R/W-0	R/W-1	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2	ERRIF	错误标志, 寄存器配置出错或传输过程中出错。硬件置位, 清 U7816ERR 中相应错误标志清零 1 = 出错, 错误类型见 U7816ERR 寄存器 0 = 无出错情况
1	TXIF	发送缓冲区空标志, 上电复位后此标志就自动置位, 表示缓冲区空, 可以写入数据。软件写入数据后标志自动清除, 数据从发送缓存移入移位寄存器后置 1 1 = 数据发送缓冲器空 0 = 数据发送缓冲器内有数据待发送
0	RXIF	接收完成标志, U7816 接口控制器每收到 1byte 数据, 根据接收的通道相应发出一次中断。硬件置位, 读数据接收缓冲寄存器清零

Bit	助记符	功能描述
		1 = 接收到 1byte 数据, 数据接收缓冲器满 0 = 未接收到数据, 数据接收缓冲器空

16.4.10 U7816 错误标志寄存器 U7816ERRx

名称	U7816ERRx(x=0~1)							
地址	0x40011C24/0x40011C50							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-				TPARERR	RPARERR	FRERR	OVERR
位权限	U-0				R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
3	TPARERR	发送数据奇偶校验错误标志位。硬件置位, 写 1 清零
2	RPARERR	接收数据奇偶校验错误标志位。硬件置位, 写 1 清零
1	FRERR	接收帧格式错误标志位。硬件置位, 写 1 清零 1 = 帧格式有错误, 接收到的 frame 字节长度有误或接收到的 frame 或者 stop 位有误 0 = 接收数据时无奇偶校验错误
0	OVERR	接收溢出错误标志位。硬件置位, 写 1 清零 1 = 接收缓冲寄存器未被读出, 又接收到新的数据, 溢出错误标志有效。原接收缓冲寄存器内数据被新覆盖 0 = 无溢出错误

16.4.11 U7816 状态标志寄存器 U7816STAx

名称	U7816STAx(x=0~1)							
地址	0x40011C28/0x40011C54							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							



位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					WAIT_RPT	TXBUSY	RXBUSY
位权限	U-0					R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2	WAIT_RPT	U7816 接口发送了错误信号, 正在等待对方重发数据; 状态机进入发送错误信号状态时置位, 收到数据起始位或者进入发送状态时硬件清零; 软件可以查询此位, 但是不能改写;
1	TXBUSY	发送数据忙标志。(发送完成后自动清零) 1 = 处于数据发送状态, 发送移位寄存器正在发送数据。(开始发送起始位置 1, 停止位中间清零) 0 = 数据发送空闲
0	RXBUSY	接收数据忙标志。(接收完成后自动清零) 1 = 处于数据接收状态, 接收移位寄存器正在接收数据。(收到起始位置 1, 收到停止位清零, 若接收数据出错需重发, 则回发 error signal 时清零。即数据及校验位接收之后, 无论是否需要重发, 都需要及时清除该标志) 0 = 数据接收空闲

17 DMA

17.1 概述

- 7通道外设PDMA，支持Peripherals<>RAM传输
- 1通道存储器MDMA，支持Flash<>RAM传输
- 外设DMA传输由外设请求触发，DMA工作期间不影响CPU运行
- 外设通道最大传输长度8192次，支持byte/half-word/word传输
- Flash->RAM通道最大传输长度8192次，只支持word传输
- 支持Flash连续编程（RAM->Flash），需要预先进行擦除，一次编程固定为128字节
- RAM指针递增、递减
- 可产生半程中断和全程中断
- 通道优先级可配置（4级优先级）
- 接入外设可选择为SPIx、UARTx、I2C、U7816x、ADC、CRC、TIMERx

17.2 工作原理

外设 DMA 为 Peripheral<>RAM 通道，采用外设请求触发方式进行数据传输，每个外设通道都可以支持外设->RAM 或者 RAM->外设的数据传输，并且根据目标外设类型的不同，自适应选择 byte/half-word/word 传输方式。DMA 作为 Master，在收到 request 后将发起 AHB transactions 进行数据操作，外设目标地址根据通道接入选择自动定位，RAM 目标地址则根据寄存器配置定位。

每个 channel 可以从多个外设中选择一个作为 source 或 destination，同时软件可以设置通道优先级，当两个通道同时要访问 RAM 时，由优先级决定谁先访问，另一个通道将被挂起，直到优先通道访问完毕。

外设请求可以是发送完成（RAM->Peripheral）或接收完成（Peripheral->RAM），数据传输通过 AHB 总线完成，当 DMA 访问外设时，CPU 对同一个外设的访问将引起冲突，哪个 Master 访问被挂起取决于 BusMatrix 设置的仲裁优先级。这里需要注意的是，由于大部分外设都被挂在 APB 总线上，APB 映射到 AHB 仅为一个 slave，因此当 DMA 访问 APB 中任意外设时，CPU 即使访问 APB 下的其他外设，也同样会引起总线仲裁。

软件可设置 DMA 的 RAM 指针，用于配置 DMA 传输的起始地址，可以选择指针递增或递减方式。另有 TRFLEN 寄存器配置传输次数，根据起始地址和传输次数，计算得到终止地址，当 RAM 指针指向终止地址时，本次传输结束，关闭通道。

当 channel 被使能后，DMA 就准备好接受通道所选中的外设请求。当配置传输长度一半的字节被传输后，一个 HTIF（Half transfer interrupt flag）中断置位；当配置传输长度全部完成后，TCIF（Transfer complete interrupt flag）中断置位。上述中断都可以被相应的中断使能寄存器屏蔽。

在 DMA 一个完整 transfer block 完成之前，软件随时可以关闭 channel 使能，此时 DMA 将被挂起，如果软件此后重新使能通道，则 DMA 继续执行之前挂起的操作。

当接入外设为SPI/I2C时，DMA传输长度应大于等于2个字节。

17.3 工作流程

DMA 寄存器配置:



图 17-1 DMA 寄存器配置

DMA 工作的流程如下图所示:

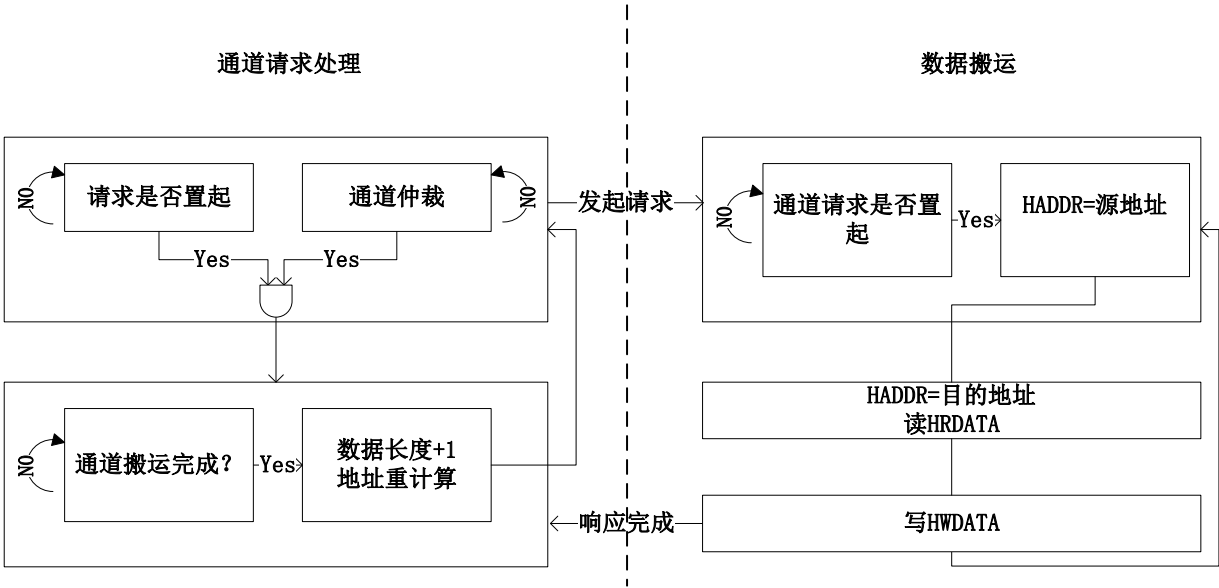


图 17-2 DMA 工作流程

17.4 访问带宽

DMA 外设通道支持字节/半字/字访问, 对应的外设列表如下:

外设	访问带宽
FLASH	
ADC	Half-word

外设	访问带宽
BSTIM	Byte
EXTIM	
SPI	
UART	
LPUART	
7816	
I2C	
CRC	

17.5 通道控制

17.5.1 通道控制器

DMA 共有 7 个优先级可配的通道，每个通道可接受 8 个请求响应，根据每个通道的配置寄存器选择其中一个请求送入通道控制器，通道控制器根据各个通道的 **busy** 状态和优先级选择其中一个通道请求进行响应处理，通道控制器的结构示意图如图 17.3 所示。

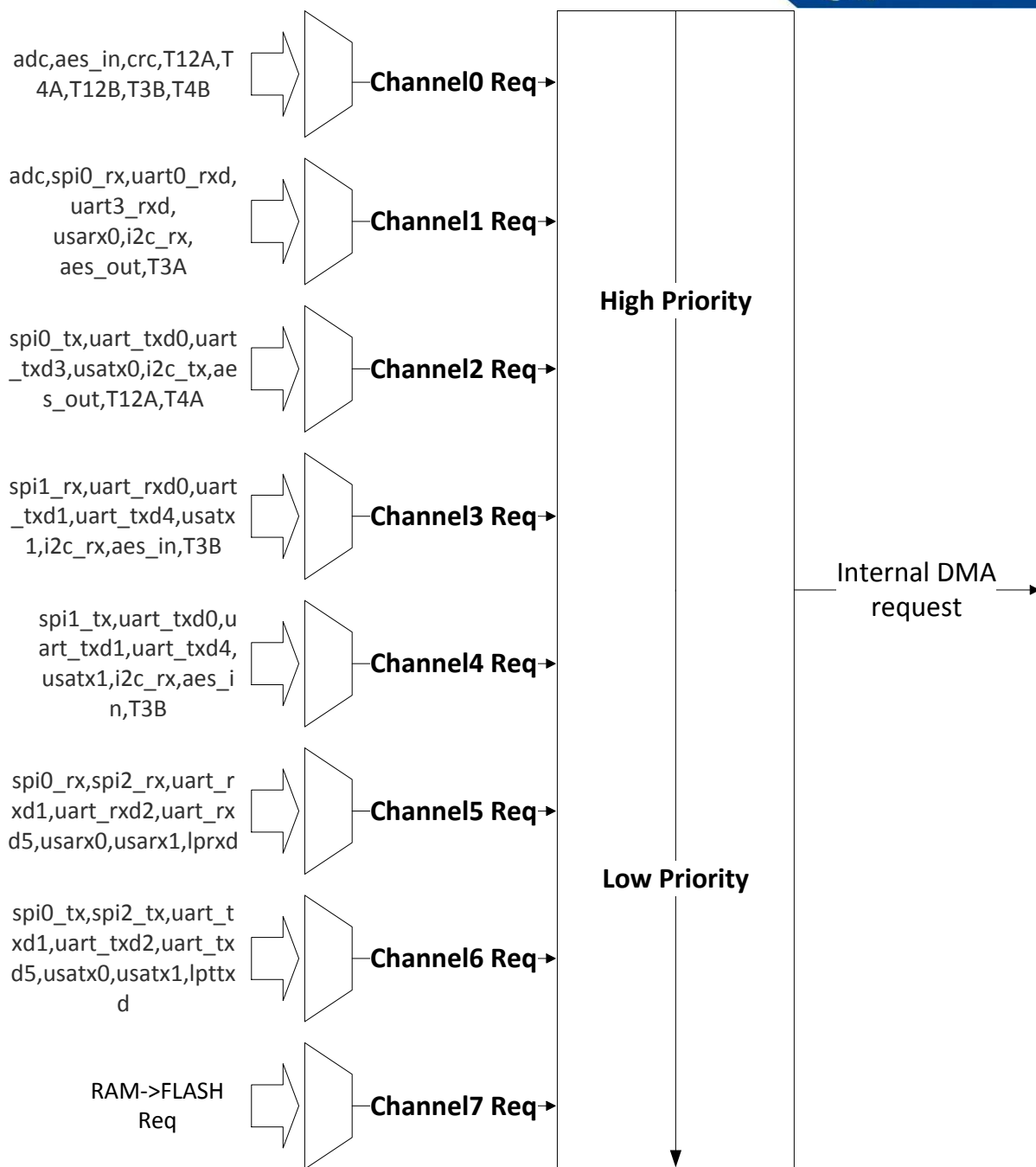


图 17-3 DMA 通道控制器

外设 DMA 共有 7 个通道，外设请求映射如下

编号	外设	通道0	通道1	通道2	通道3	通道4	通道5	通道6
0	SARADC	SARADC	SARADC					
1	SPI0		SPI0_RX	SPI0_TX			SPI0_RX	SPI0_TX
2	SPI1				SPI1_RX	SPI1_TX		
3	SPI2						SPI2_RX	SPI2_TX
4	UART0		RXD0	TXD0	RXD0	TXD0		
5	UART1				RXD1	TXD1	RXD1	TXD1
6	UART2						RXD2	TXD2
7	UART3		RXD3	TXD3				

编号	外设	通道0	通道1	通道2	通道3	通道4	通道5	通道6
8	UART4				RXD4	TXD4		
9	UART5						RXD5	TXD5
10	U7816-0		U7816RX-0	U7816TX-0			U7816-RX0	U7816-TX0
11	U7816-1				U7816-RX1	U7816-TX1	U7816-RX1	U7816-TX1
12	I2C0		I2C_RX	I2C_TX	I2C_TX	I2C_RX		
13	-							
14	CRC	CRC						
15	BT1_CAP	BT12		BT12				
16	ET1_CAP		ET1		ET1			
17	ET3_CAP	ET3		ET3				
18	BT2_CAP	BT34			BT34			
19	ET2_CAP	ET2				ET2		
20	ET4_CAP	ET4						
21	LPUART0						LPUART_RX	LPUART_TX

17.5.2 通道优先级

DMA 总共有 7 个通道，每个通道的优先级别可以通过寄存器配置为：very high, high, low, very low。当多个通道配置为相同优先级别时，通道序号越大，优先级别越低。

DMA 每搬运完一次数据都会重新进行通道请求选择，假设通道 0 传输长度为 3，通道 1 传输长度为 2。当通道 0 完成第二次传输准备进行第三次数据搬运时，通道 1 请求响应置起，这时通道控制器根据通道优先级切换至通道 1 数据搬运，直至通道 1 数据全部搬运完成，通道寄存器再切换回通道 0 完成剩下的数据搬运。

17.6 寄存器

地址	名称	符号
0x40000400	DMA 全局控制寄存器	GLOBALCTRL
0x40000404	通道 0 控制寄存器	CH0CTRL
0x40000408	通道 0 RAM 地址寄存器	CH0RAMADDR
0x4000040C	通道 1 控制寄存器	CH1CTRL
0x40000410	通道 1 RAM 地址寄存器	CH1RAMADDR
0x40000414	通道 2 控制寄存器	CH2CTRL
0x40000418	通道 2 RAM 地址寄存器	CH2RAMADDR
0x4000041C	通道 3 控制寄存器	CH3CTRL
0x40000420	通道 3 RAM 地址寄存器	CH3RAMADDR
0x40000424	通道 4 控制寄存器	CH4CTRL
0x40000428	通道 4 RAM 地址寄存器	CH4RAMADDR
0x4000042C	通道 5 控制寄存器	CH5CTRL
0x40000430	通道 5 RAM 地址寄存器	CH5RAMADDR
0x40000434	通道 6 控制寄存器	CH6CTRL
0x40000438	通道 6 RAM 地址寄存器	CH6RAMADDR
0x4000043C	通道 7 控制寄存器	CH7CTRL



地址	名称	符号
0x40000440	通道 7 Flash 地址寄存器	CH7FLSADDR
0x40000444	通道 7 RAM 地址寄存器	CH7RAMADDR
0x40000448	DMA 通道状态标志寄存器	CHSTATUS

17.6.1 DMA 全局控制寄存器

名称	GLOBALCTRL							
地址	0x40000400							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-							DMAEN
位权限	U-0							R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:1	--	RFU: 未实现, 读为 0
0	DMAEN	DMA 全局使能 1: DMA 使能 0: DMA 关闭

17.6.2 通道 0 控制寄存器

名称	CH0CTRL							
地址	0x40000404							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-			CH0TSIZE				
位权限	U-0			R/W-00000				
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	CH0TSIZE							
位权限	R/W-00000000							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-			CH0PRI		CH0INC	CH0SSEL	
位权限	U-0			R/W-00		R/W-0	R/W-000	
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					CH0FTIE	CH0HTIE	CH0EN
位权限	U-0					R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:29	--	RFU: 未实现, 读为 0

Bit	助记符	功能描述
28:16	CH0TSIZE	Channel0 传输长度, 1-8192 次传输
15:14	--	RFU: 未实现, 读为 0
13:12	CH0PRI	Channel0 优先级 00: Low 01: Medium 10: High 11: Very High
11	CH0INC	RAM 地址增减设置 1: RAM 地址递增 0: RAM 地址递减
10:8	CH0SSEL	Channel0 外设通道选择 000: ET4 001: ET2 010: BT2 011: ET3 100: BT1 101: CRC_IN 110: - 111: ADC_OUT
7:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2	CH0FTIE	Channel0 传输完成中断使能 1: 使能传输完成中断 0: 关闭传输完成中断
1	CH0HTIE	Channel0 半程传输完成中断使能 1: 使能半程中断 0: 关闭半程中断
0	CH0EN	Channel0 使能 1: 启动通道 0 0: 关闭通道 0

17.6.3 通道 0 RAM 指针寄存器

名称	CH0RAMADDR							
地址	0x40000408							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-	CH0RAMAD[14:8]						
位权限	U-0	R/W-00000000						
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CH0RAMAD[7:0]							

名称	CH0RAMADDR
位权限	R/W-00000000

Bit	助记符	功能描述
31:15	--	RFU: 未实现, 读为 0
14:0	CH0RAMAD	Channel0 RAM 指针地址, DMA 传输启动前软件向此寄存器写入 RAM 目标地址, DMA 启动后此寄存器随 DMA 传输自增或自减 软件可以查询当前 DMA 传输的目标 RAM 地址

17.6.4 通道 1 控制寄存器

名称	CH1CTRL							
地址	0x4000040C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-			CH1TSIZE				
位权限	U-0			R/W-00000				
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	CH1TSIZE							
位权限	R/W-00000000							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-		CH1PRI		CH1INC	CH1SSEL		
位权限	U-0		R/W-00		R/W-0	R/W-000		
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					CH1FTI E	CH1HTI E	CH1EN
位权限	U-0					R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:29	--	RFU: 未实现, 读为 0
28:16	CH1TSIZE	Channel1 传输长度, 1-8192 次传输
15:14	--	RFU: 未实现, 读为 0
13:12	CH1PRI	Channel1 优先级 00: Low 01: Medium 10: High 11: Very High
11	CH1INC	RAM 地址增减设置 1: RAM 地址递增 0: RAM 地址递减
10:8	CH1SSEL	Channel1 外设通道选择 000: ET1 001: - 010: I2C_RX 011: U7816-0_RX 100: UART3_RX 101: UART0_RX 110: SPI0_RX 111: ADC_OUT

Bit	助记符	功能描述
7:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2	CH1FTIE	Channel1 传输完成中断使能 1: 使能传输完成中断 0: 关闭传输完成中断
1	CH1HTIE	Channel1 半程传输完成中断使能 1: 使能半程中断 0: 关闭半程中断
0	CH1EN	Channel1 使能 1: 启动通道 1 0: 关闭通道 1

17.6.5 通道 1 RAM 指针寄存器

名称	CH1RAMADDR							
地址	0x40000410							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-	CH1RAMAD[14:8]						
位权限	U-0	R/W-00000000						
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CH1RAMAD[7:0]							
位权限	R/W-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31:15	--	RFU: 未实现, 读为 0
14:0	CH1RAMAD	Channel1 RAM 指针地址, DMA 传输启动前软件向此寄存器写入 RAM 目标地址, DMA 启动后此寄存器随 DMA 传输自增或自减 软件可以查询当前 DMA 传输的目标 RAM 地址

17.6.6 通道 2 控制寄存器

名称	CH2CTRL							
地址	0x40000414							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-			CH2TSIZE				
位权限	U-0			R/W-00000				
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	CH2TSIZE							
位权限	R/W-00000000							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-			CH2PRI		CH2INC	CH2SSEL	
位权限	U-0			R/W-00		R/W-0	R/W-000	



名称	CH2CTRL							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					CH2FTIE	CH2HTIE	CH2EN
位权限	U-0					R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:29	--	RFU: 未实现, 读为 0
28:16	CH2TSIZE	Channel2 传输长度, 1-8192 次传输
15:14	--	RFU: 未实现, 读为 0
13:12	CH2PRI	Channel2 优先级 00: Low 01: Medium 10: High 11: Very High
11	CH2INC	RAM 地址增减设置 1: RAM 地址递增 0: RAM 地址递减
10:8	CH2SSEL	Channel2 外设通道选择 000: ET3 001: BT1 010: - 011: I2C_TX 100: U7816-0_TX 101: UART3_TX 110: UART0_TX 111: SPI0_TX
7:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2	CH2FTIE	Channel2 传输完成中断使能 1: 使能传输完成中断 0: 关闭传输完成中断
1	CH2HTIE	Channel2 半程传输完成中断使能 1: 使能半程中断 0: 关闭半程中断
0	CH2EN	Channel2 使能 1: 启动通道 2 0: 关闭通道 2

17.6.7 通道 2 RAM 指针寄存器

名称	CH2RAMADDR							
地址	0x40000418							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8

名称	CH2RAMADDR							
位名	-	CH2RAMAD[14:8]						
位权限	U-0	R/W-00000000						
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CH2RAMAD[7:0]							
位权限	R/W-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31:15	--	RFU: 未实现, 读为 0
14:0	CH2RAMAD	Channel2 RAM 指针地址, DMA 传输启动前软件向此寄存器写入 RAM 目标地址, DMA 启动后此寄存器随 DMA 传输自增或自减, 软件可以查询当前 DMA 传输的目标 RAM 地址

17.6.8 通道 3 控制寄存器

名称	CH3CTRL							
地址	0x4000041C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-			CH3TSIZE				
位权限	U-0			R/W-00000				
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	CH3TSIZE							
位权限	R/W-00000000							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-		CH3PRI		CH3INC	CH3SSEL		
位权限	U-0		R/W-00		R/W-0	R/W-000		
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					CH3FTI E	CH3HTI E	CH3EN
位权限	U-0					R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:29	--	RFU: 未实现, 读为 0
28:16	CH3TSIZE	Channel3 传输长度, 1-8192 次传输
15:14	--	RFU: 未实现, 读为 0
13:12	CH3PRI	Channel3 优先级 00: Low 01: Medium 10: High 11: Very High
11	CH3INC	RAM 地址增减设置 1: RAM 地址递增 0: RAM 地址递减
10:8	CH3SSEL	Channel3 外设通道选择 000: BT2 001: ET1 010: I2C_TX 011: U7816-1_RX 100: UART4_RX

Bit	助记符	功能描述
		101: UART1_RX 110: UART0_RX 111: SPI1_RX
7:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2	CH3FTIE	Channel3 传输完成中断使能 1: 使能传输完成中断 0: 关闭传输完成中断
1	CH3HTIE	Channel3 半程传输完成中断使能 1: 使能半程中断 0: 关闭半程中断
0	CH3EN	Channel3 使能 1: 启动通道 3 0: 关闭通道 3

17.6.9 通道 3 RAM 指针寄存器

名称	CH3RAMADDR							
地址	0x40000420							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-	CH3RAMAD[14:8]						
位权限	U-0	R/W-00000000						
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CH3RAMAD[7:0]							
位权限	R/W-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31:15	--	RFU: 未实现, 读为 0
14:0	CH3RAMAD	Channel3 RAM 指针地址, DMA 传输启动前软件向此寄存器写入 RAM 目标地址, DMA 启动后此寄存器随 DMA 传输自增或自减 软件可以查询当前 DMA 传输的目标 RAM 地址

17.6.10 通道 4 控制寄存器

名称	CH4CTRL							
地址	0x40000424							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-			CH4TSIZE				
位权限	U-0			R/W-00000				
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	CH4TSIZE							
位权限	R/W-00000000							



名称	CH4CTRL							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-		CH4PRI		CH4INC	CH4SSEL		
位权限	U-0		R/W-00		R/W-0	R/W-000		
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					CH4FTIE	CH4HTIE	CH4EN
位权限	U-0					R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:29	--	RFU: 未实现, 读为 0
28:16	CH4TSIZE	Channel4 传输长度, 1-8192 次传输
15:14	--	RFU: 未实现, 读为 0
13:12	CH4PRI	Channel4 优先级 00: Low 01: Medium 10: High 11: Very High
11	CH4INC	RAM 地址增减设置 1: RAM 地址递增 0: RAM 地址递减
10:8	CH4SSEL	Channel4 外设通道选择 000: ET2 001: - 010: I2C_RX 011: U7816-1_TX 100: UART4_TX 101: UART1_TX 110: UART0_TX 111: SPI1_TX
7:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2	CH4FTIE	Channel4 传输完成中断使能 1: 使能传输完成中断 0: 关闭传输完成中断
1	CH4HTIE	Channel4 半程传输完成中断使能 1: 使能半程中断 0: 关闭半程中断
0	CH4EN	Channel4 使能 1: 启动通道 4 0: 关闭通道 4

17.6.11 通道 4 RAM 指针寄存器

名称	CH4RAMADDR							
地址	0x40000428							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16

名称	CH4RAMADDR							
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-	CH4RAMAD[14:8]						
位权限	U-0	R/W-00000000						
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CH4RAMAD[7:0]							
位权限	R/W-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31:15	--	RFU: 未实现, 读为 0
14:0	CH4RAMAD	Channel4 RAM 指针地址, DMA 传输启动前软件向此寄存器写入 RAM 目标地址, DMA 启动后此寄存器随 DMA 传输自增或自减 软件可以查询当前 DMA 传输的目标 RAM 地址

17.6.12 通道 5 控制寄存器

名称	CH5CTRL							
地址	0x4000042C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-			CH5TSIZE				
位权限	U-0			R/W-00000				
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	CH5TSIZE							
位权限	R/W-00000000							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-		CH5PRI		CH5INC	CH5SSEL		
位权限	U-0		R/W-00		R/W-0	R/W-000		
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					CH5FTI E	CH5HTI E	CH5EN
位权限	U-0					R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:29	--	RFU: 未实现, 读为 0
28:16	CH5TSIZE	Channel5 传输长度, 1-8192 次传输
15:14	--	RFU: 未实现, 读为 0
13:12	CH5PRI	Channel5 优先级 00: Low 01: Medium 10: High 11: Very High
11	CH5INC	RAM 地址增减设置 1: RAM 地址递增 0: RAM 地址递减
10:8	CH5SSEL	Channel5 外设通道选择 000: LPUART_RX

Bit	助记符	功能描述
		001: U7816-1_RX 010: U7816-0_RX 011: UART5_RX 100: UART2_RX 101: UART1_RX 110: SPI2_RX 111: SPI0_RX
7:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2	CH5FTIE	Channel5 传输完成中断使能 1: 使能传输完成中断 0: 关闭传输完成中断
1	CH5HTIE	Channel5 半程传输完成中断使能 1: 使能半程中断 0: 关闭半程中断
0	CH5EN	Channel5 使能 1: 启动通道 5 0: 关闭通道 5

17.6.13 通道 5 RAM 指针寄存器

名称	CH5RAMADDR							
地址	0x40000430							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	CH5RAMAD[14:8]							
位权限	R/W-00000000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CH5RAMAD[7:0]							
位权限	R/W-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31:15	--	RFU: 未实现, 读为 0
14:0	CH5RAMAD	Channel5 RAM 指针地址, DMA 传输启动前软件向此寄存器写入 RAM 目标地址, DMA 启动后此寄存器随 DMA 传输自增或自减 软件可以查询当前 DMA 传输的目标 RAM 地址

17.6.14 通道 6 控制寄存器

名称	CH6CTRL							
地址	0x40000434							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-			CH6TSIZE				

名称	CH6CTRL							
位权限	U-0				R/W-00000			
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	CH6TSIZE							
位权限	R/W-00000000							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-		CH6PRI		CH6INC	CH6SSEL		
位权限	U-0		R/W-00		R/W-0	R/W-000		
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					CH6FTIE	CH6HTIE	CH6EN
位权限	U-0					R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:29	--	RFU: 未实现, 读为 0
28:16	CH6TSIZE	Channel6 传输长度, 1-8192 次传输
15:14	--	RFU: 未实现, 读为 0
13:12	CH6PRI	Channel6 优先级 00: Low 01: Medium 10: High 11: Very High
11	CH6INC	RAM 地址增减设置 1: RAM 地址递增 0: RAM 地址递减
10:8	CH6SSEL	Channel6 外设通道选择 000: LPUART_TX 001: U7816-1_TX 010: U7816-0_TX 011: UART5_TX 100: UART2_TX 101: UART1_TX 110: SPI2_TX 111: SPI0_TX
7:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2	CH6FTIE	Channel6 传输完成中断使能 1: 使能传输完成中断 0: 关闭传输完成中断
1	CH6HTIE	Channel6 半程传输完成中断使能 1: 使能半程中断 0: 关闭半程中断
0	CH6EN	Channel6 使能 1: 启动通道 6 0: 关闭通道 6

17.6.15 通道 6 RAM 指针寄存器

名称	CH6RAMADDR
地址	0x40000438

名称	CH6RAMADDR							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-	CH6RAMAD[14:8]						
位权限	U-0	R/W-00000000						
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CH6RAMAD[7:0]							
位权限	R/W-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31:15	--	RFU: 未实现, 读为 0
14:0	CH6RAMAD	Channel6 RAM 指针地址, DMA 传输启动前软件向此寄存器写入 RAM 目标地址, DMA 启动后此寄存器随 DMA 传输自增或自减 软件可以查询当前 DMA 传输的目标 RAM 地址

17.6.16 通道 7 控制寄存器

名称	CH7CTRL							
地址	0x4000043C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-			CH7TSIZE				
位权限	U-0			R/W-00000				
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	CH7TSIZE							
位权限	R/W-00000000							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-		CH7PRI		-	CH7DIR	CH7RI	CH7FI
位权限	U-0		R/W-00		U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					CH7FTIE	CH7HTIE	CH7EN
位权限	U-0					R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:29	--	RFU: 未实现, 读为 0
28:16	CH7TSIZE	Channel7 传输长度, 1-8192 次传输, 仅在 Flash->RAM 传输时有效, RAM->Flash 传输为固定长度 32 次传输
15:14	--	RFU: 未实现, 读为 0
13:12	CH7PRI	Channel7 优先级 00: Low 01: Medium 10: High 11: Very High
11	--	RFU: 未实现, 读为 0

Bit	助记符	功能描述
10	CH7DIR	Channel7 传输方向 1: Flash->RAM 传输 0: RAM->Flash 传输
9	CH7RI	Channel7 RAM 地址增减设置, 仅在 Flash->RAM 传输中有效, RAM->Flash 传输时地址固定递增。 1: RAM 地址递增 0: RAM 地址递减
8	CH7FI	Channel7 Flash 地址增减设置, 仅在 Flash->RAM 传输中有效, RAM->Flash 传输时地址固定递增。 1: Flash 地址递增 0: Flash 地址递减
7:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2	CH7FTIE	Channel7 传输完成中断使能 1: 使能传输完成中断 0: 关闭传输完成中断
1	CH7HTIE	Channel7 半程传输完成中断使能 1: 使能半程中断 0: 关闭半程中断
0	CH7EN	Channel7 使能 1: 启动通道 7 0: 关闭通道 7

17.6.17 通道 7 Flash 指针寄存器

名称	CH7FLSADDR							
地址	0x40000440							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	CH7FLSAD[15:8]							
位权限	R/W-00000000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CH7FLSAD[7:0]							
位权限	R/W-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31:16	--	RFU: 未实现, 读为 0
15:0	CH7FLSAD	Channel7 Flash 指针地址, DMA 传输启动前软件向此寄存器写入 Flash 目标地址, DMA 启动后此寄存器随 DMA 传输自增或自减 软件可以查询当前 DMA 传输的目标 Flash 地址 此寄存器低位 (bit4-0) 仅在 Flash->RAM 传输中有效, RAM->Flash 传输中默认对齐 Flash 的 half-sector 起始地址

17.6.18 通道 7 RAM 指针寄存器

名称	CH7RAMADDR							
地址	0x40000444							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-			CH7RAMAD[12:8]				
位权限	U-0			R/W-00000000				
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CH7RAMAD[7:0]							
位权限	R/W-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31:13	--	RFU: 未实现, 读为 0
12:0	CH7RAMAD	Channel7 RAM 字指针地址, DMA 传输启动前软件向此寄存器写入 RAM 目标地址 (word 地址), DMA 启动后此寄存器随 DMA 传输自增或自减 软件可以查询当前 DMA 传输的目标 RAM 地址

17.6.19 DMA 状态标志寄存器

名称	CHSTATUS							
地址	0x40000448							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	DMACHFT[7:0]							
位权限	R/W1C-00000000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	DMACHHT[7:0]							
位权限	R/W1C-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31:16	--	RFU: 未实现, 读为 0
15:8	DMACHFT[7:0]	DMA 通道 x 传输完成标志, 硬件置位, 软件写 1 清零 1: 对应通道传输完成 0: 对应通道传输未完成
7:0	DMACHHT[7:0]	DMA 通道 x 传输半程标志, 硬件置位, 软件写 1 清零

18 CRC

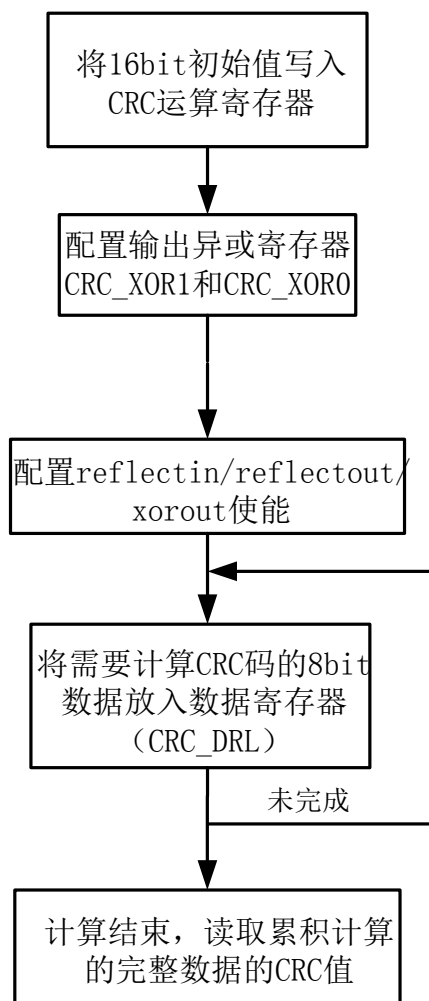
18.1 概述

循环冗余校验(Cyclic Redundancy Check, CRC)是最为常用的计算机和仪表数据通信的校验方法, FM33A048D中CRC计算单元为完全独立模块, 通过软件控制可进行7816、I2C、UART和SPI模块有串行数据流接口的收发CRC计算和校验, 也可进行Flash内容的CRC校验。

CRC也可进行Flash内容的完整性校验。通过结合DMA, 可以实时计算Flash中程序内容的CRC结果, 并生成一个完整性签名, 与程序一同保存在Flash中。通过校验这个CRC签名, 可以验证Flash内容是否正确、完整。

- 支持7/8/16/32位CRC, 支持任意多项式
- 初值可设置
- CRC快速算法, 1个时钟周期完成8bit CRC运算, 4个时钟周期完成32bit CRC运算
- 支持输入输出数据顺序自动调整(以字节、半字、或全字为单位)
- 支持对输出结果异或

18.2 软件配置过程



CRC 配置及计算流程如下：

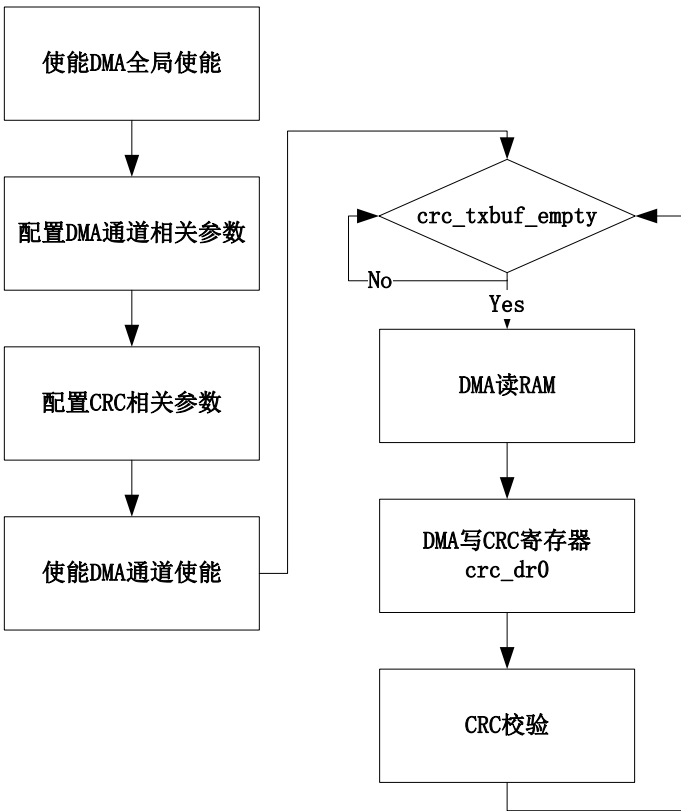
- 1、CRC开始计算的时候，配置运算移位寄存器中的初始值，范围是0000~FFFF。
- 2、配置输出异或寄存器CRC_XOR
- 3、软件需配置好输入reflectin处理使能；输出reflectout和xorout处理使能
- 4、软件将需要计算CRC码的8bit数据放入数据寄存器(CRC_DRL)，然后自动开始计算逐次移位，总共移位8拍。（注意：触发计算的动作即是软件将需要计算CRC码的数据写入此数据寄存器，所以在这之前，所有的配置动作须完成）
- 5、计算完毕后，结果数据回写到数据寄存器，软件根据当前计算状态busy位来判断是否能取结果：16bit计算结果存在{CRC_DRL[15:0]}；
- 6、计算完前一次CRC后，数据寄存器中会保留前一次结果，作为后续数据的移位寄存器初始值。在多次连续触发CRC计算后，软件最终读取的是累积计算的完整数据的CRC值。

18.3 DMA 接口

CRC与DMA之间通道为单向的（RAM->CRC）。CRC模块可以通过DMA模块读取并校验RAM数据，其工作流程如图所示。CRC向DMA发起请求，DMA接收请求后，读取RAM并将数据写入CRC模块的CRC_DRL寄存器中。CRC模块接收到数据后，撤销DMA请求并开始计算校验值，校验完成后，CRC



模块重新置起DMA请求。



18.4 Flash 数据完整性校验

通过使用 DMA，可以实现 CRC 进行 Flash 内容的完整性校验，需要通过分块校验的方式进行。先将需要校验的 flash 数据通过 DMA 搬运到 RAM 中，然后通过 DMA 从 RAM 搬运到 CRC，完成 CRC 计算；重复以上步骤，直到所有 flash 数据完成 CRC 计算后，读出 CRC 结果与预期值比较。

18.5 寄存器

地址	名称	符号
0x40010000	CRC 数据寄存器	CRCDR
0x40010004	CRC 控制状态寄存器	CRCCR
0x40010008	CRC 运算寄存器	CRCCAL
0x4001000C	CRC 异或输出寄存器	CRCXOR
0x4001001C	CRC 多项式寄存器	CRC_POLY

18.5.1 CRC 数据寄存器

名称	CRCDR							
地址	0x40010000							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	CRCDR[31:24]							

位权限	RW-11111111							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	CRCDR[23:16]							
位权限	RW-11111111							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	CRCDR[15:8]							
位权限	RW-11111111							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CRCDR[7:0]							
位权限	R/W-11111111							

Bit	助记符	功能描述
31:0	CRCDR	<p>CRCDR 用于作为数据输入寄存器，并且在运算结束后保存 CRC 计算结果。</p> <p>作为输入时：若为 Flash CRC 计算或 word 操作使能，则对 crc_dr[31:0] 进行计算，共 4 次 byte 运算（由低到高）；否则对 crc_dr[7:0] 进行计算，共 1 次 byte 运算。</p> <p>保存结果时：若为 7 位多项式结果保存在 crc_dr[6:0]，若为 8 位多项式结果保存在 crc_dr[7:0]，若为 16 位多项式结果保存在 crc_dr[15:0]，若为 31 位多项式结果保存在 crc_dr[31:0]。</p>

18.5.2 CRC 控制状态寄存器

名称	CRCCR							
地址	0x40010004							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-						OP_WO RD	-
位权限	U-0						R/W-0	U-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	RFLTIN		RFLT0	RES	BUSY	XOR	CRCSEL	
位权限	R/W-0		R/W-0	R-0	R-0	R/W-0	R/W-01	

Bit	助记符	功能描述
31:10	--	RFU：未实现，读为 0
9	OP_WORD	配置成 0
8	--	RFU：未实现，读为 0
7:6	RFLTIN	<p>reflectin 位，表示输入数据是否反转</p> <p>00：不反转</p> <p>01：按字节反转</p> <p>10：按半字反转</p> <p>11：按字反转</p>

Bit	助记符	功能描述
		例如： 计算数据为 11223344h， 如果 reflectin==00，则直接使用 11223344h 进行计算 如果 reflectin==01，则需要将数据变为 8844CC22h，再进行计算 如果 reflectin==10，则需要将数据变为 448822CCCh，再进行计算 如果 reflectin==11，则需要将数据变为 22CC4488h，再进行计算
5	RFLTO	CRC 输出反转控制 0: 输入不反转 1: 输入按字节反转 例如： 如果 RFLTO==1，若当前计算的 CRC 结果为 1234h，则输出的结果为 2C48h 如果 RFLTO==0.则直接输出 1234h 注意：此结果不一定为最终输出结果，还需要看 bit2 是否为 1，详见本寄存器 bit2 说明
4	RES	CRC 结果标志位，只读 0: CRC 结果为 0 1: CRC 结果非全 0
3	BUSY	CRC 运算标志位，只读 0: CRC 运算结束 1: CRC 运算进行中
2	XOR	输出异或使能 0: 输出不异或 CRC_XOR 寄存器 1: 输出异或 CRC_XOR 寄存器
1:0	CRCSEL	CRC 校验多项式选择 00: CRC32 01: CRC16 10: CRC8 11: CRC7

18.5.3 CRC LFSR 寄存器

名称	CRCLFSR							
地址	0x40010008							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	LFSR[15:8]							
位权限	R/W-11111111							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	LFSR[7:0]							

位权限	R/W-11111111
-----	--------------

Bit	助记符	功能描述
31:16	--	RFU: 未实现, 读为 0
15:0	LFSR	CRC LFSR 寄存器, 运算开始前可以由软件写入初始值

18.5.4 CRC 输出异或寄存器

名称	CRC_XOR							
地址	0x4001000C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	CRC_XOR[15:8]							
位权限	R/W-00000000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CRC_XOR[7:0]							
位权限	R/W-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31:16	--	RFU: 未实现, 读为 0
15:0	CRC_XOR	CRC 运算结果异或寄存器

18.5.5 CRC 多项式寄存器 (CRC_POLY)

名称	CRC_POLY							
Offset	0x4000001C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	POLY[31:24]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	POLY[23:16]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	POLY[15:8]							
位权限	R/W-0001 0000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	POLY[7:0]							
位权限	R/W-0010 0001							

位号	助记符	功能描述
31:0	POLY	CRC 运算多项式系数 (CRC Polynomials)



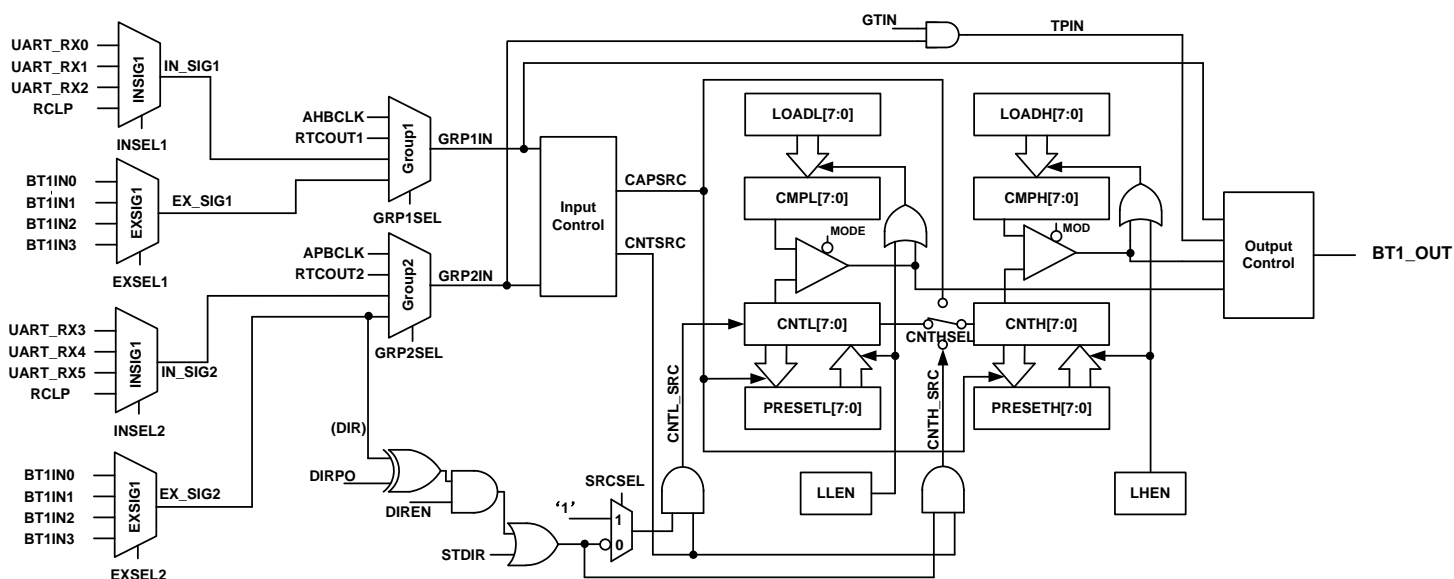
19 基本定时器 (BSTIM)

19.1 概述

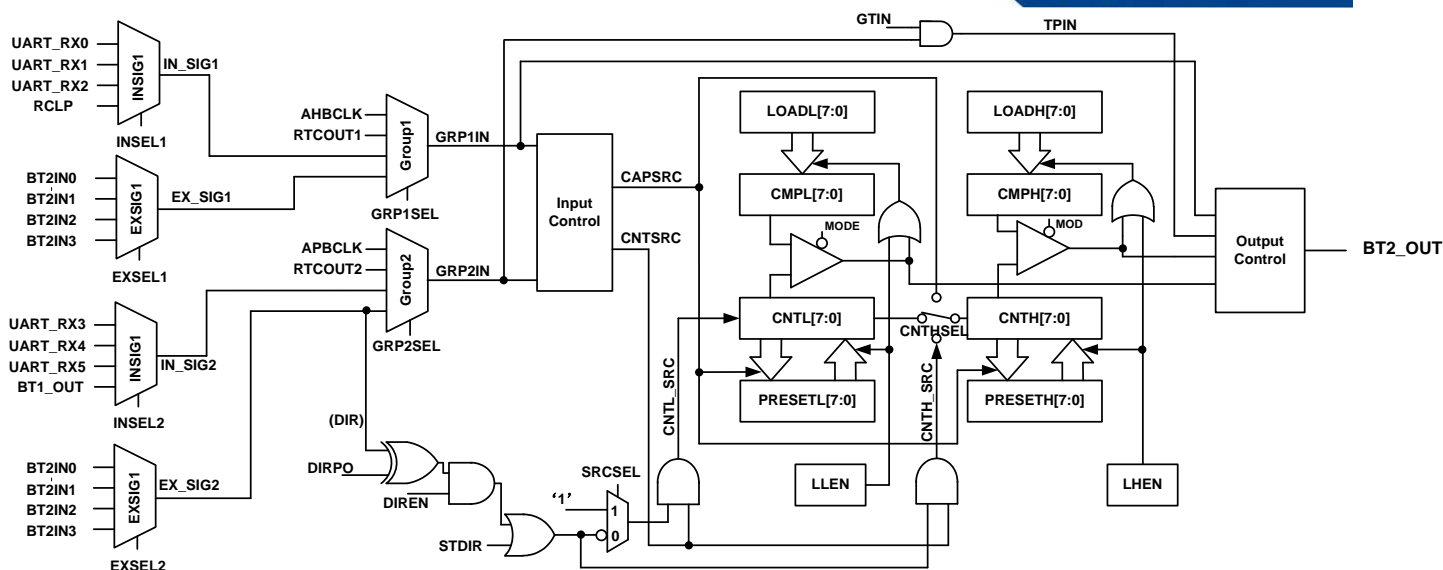
- ✓ 4个8位定时/计数器，时钟源/计数源可分别选择，均支持预置数、重加载、软件加载等功能，可级联成2个16位定时/计数器；
- ✓ 包含8位初值寄存器和比较寄存器，支持计数、输入捕捉、输出比较和PWM
- ✓ 8bit预分频器，可对输入信号进行上升沿或下降沿分频
- ✓ 可配置成支持电能表专用的电量脉冲计数器，计数匹配信号可由输出引脚输出，输出信号可选择电平和脉冲，电平和脉冲的极性可设，脉冲宽度可设置；
- ✓ 捕捉功能仅支持16位捕捉模式，捕捉模式支持多周期捕捉（由预分频器配合）、周期捕捉、脉宽捕捉等，均支持清零和不清零模式，支持单次捕捉；
- ✓ 捕捉模式下支持DMA接口（Half-word传输，Timer->RAM）

19.2 结构框图

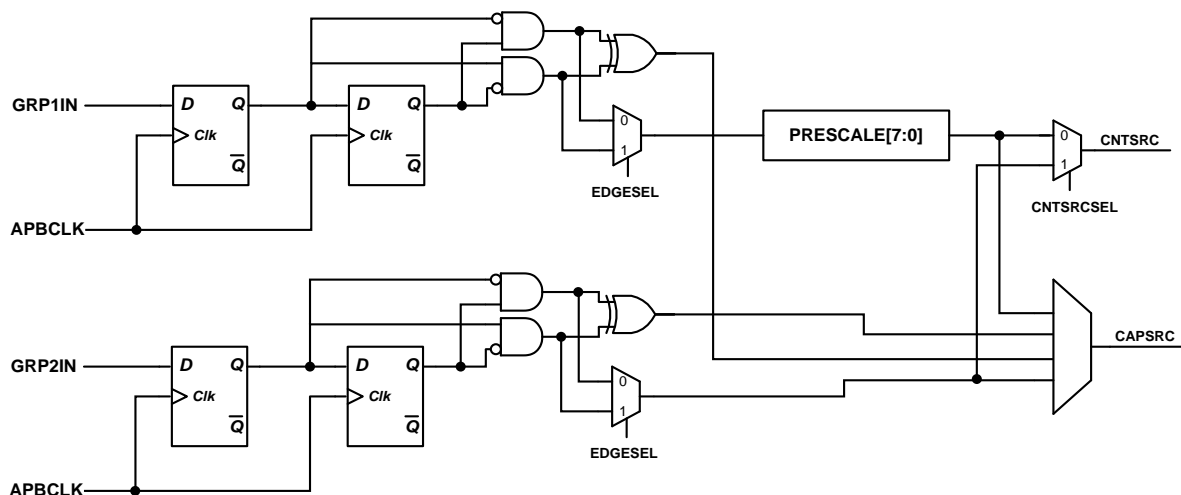
BT1（包含两个8bit定时器）：



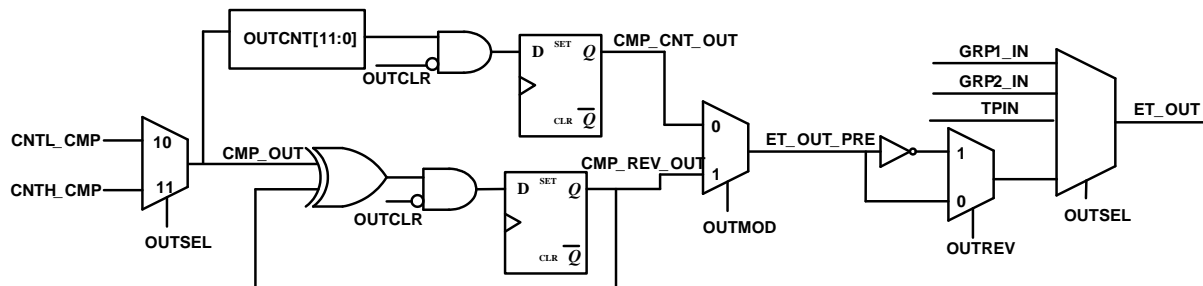
BT2的结构框图，与BT1类似，只是输入信号源有所不同：



BT1和BT2的输入控制逻辑示意图如下，可以实现对计数源的预分频，以及计数、捕捉的边沿选择。



BT1和BT2的输出控制逻辑示意图如下，比较值匹配后，可以输出电平或脉冲信号，脉冲信号宽度可以设置，输出极性可配置。



19.3 工作模式

19.3.1 计数和定时

BasicTimer支持8位或16位向上计数模式。当计数值大于等于比较寄存器（CMPH、CMPL），会产生

生计数中断标志，并从自动重载寄存器（LOADH、LOADL）加载新的比较值。这样可以实时调整每个计数周期的计数长度。

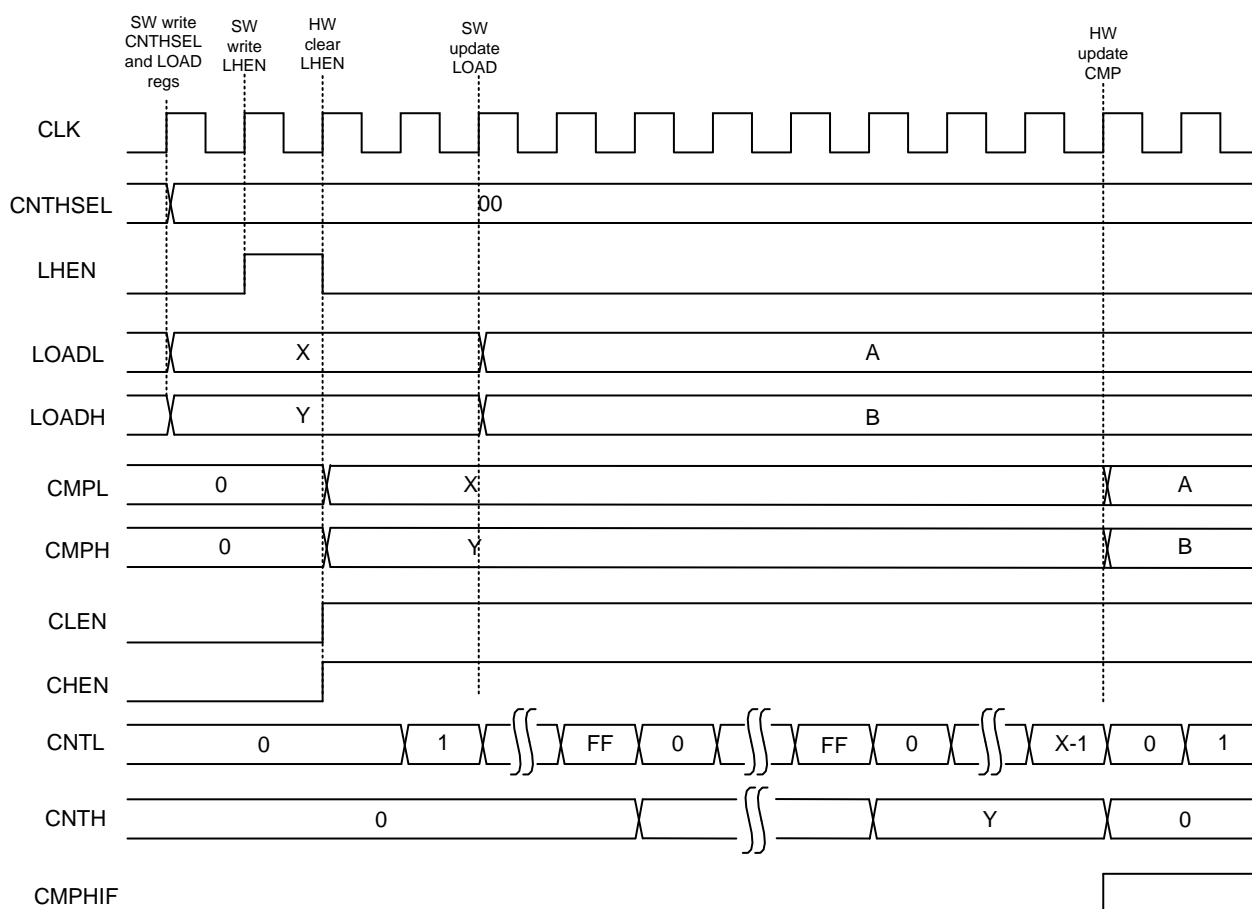
- 8/16bit upcounter
- 上升沿或下降沿计数
- 计数初值和终值可配置
- 计数值大于等于比较值时触发中断
- 计数达到比较值后自动重载
- 计数周期中可以通过改写重载寄存器修改下一周期长度

➤ 16bit级联计数模式

16bit计数值等于16bit比较寄存器时，比较中断状态寄存器只有CMPHIF置起。下图的参考波形中，CHTHSEL=00/11表示级联模式；LOADL和LOADH为比较值加载寄存器；LLEN和LHEN是加载使能寄存器，16位级联计数模式下软件对LHEN写1将使BasicTimer自动加载比较值和计数器预设值，随后自动启动计数；CMPH和CMPL为高低位比较寄存器；CLEN和CHEN是计数器使能信号；CNTL和CNTH是两组8bit计数器；COMPHIF和COMPHIF为高低计数器比较中断标志位；OVHIF和OVLIF为高低计数器溢出标志位。

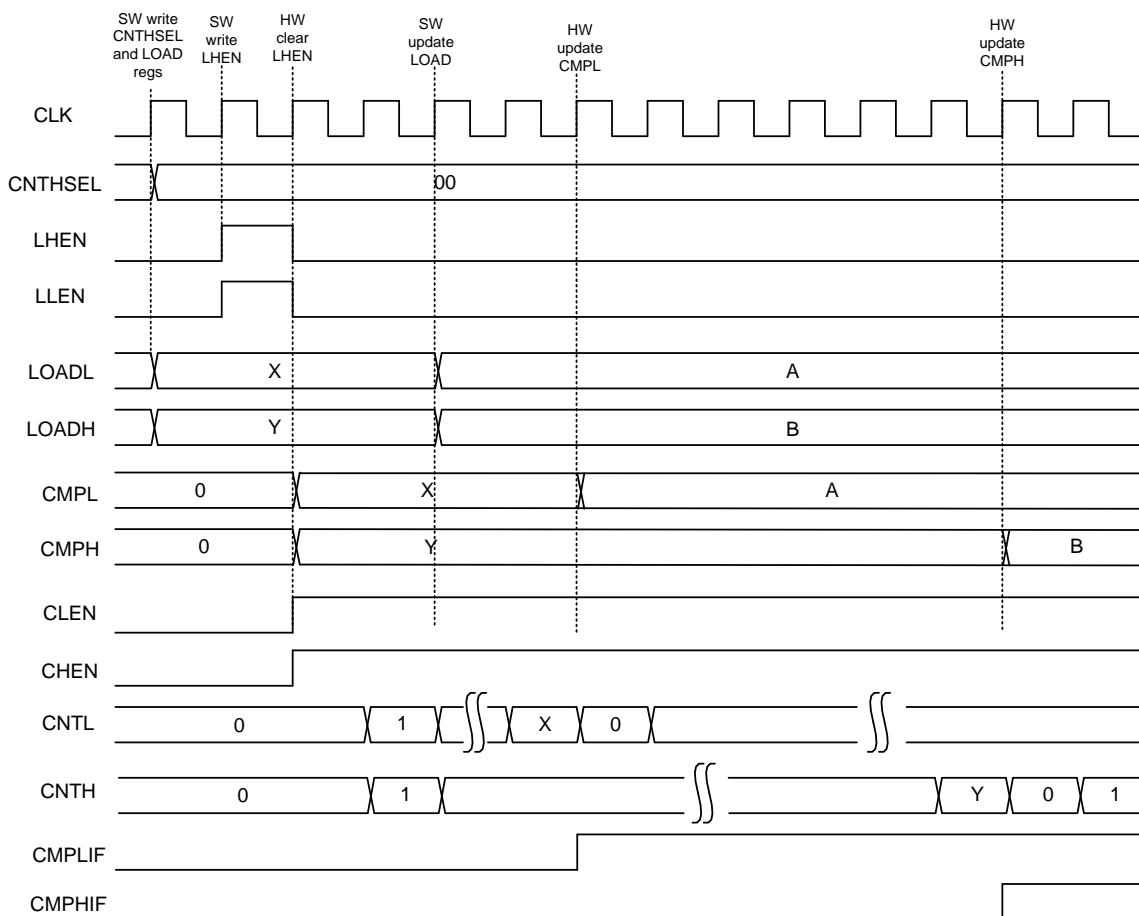
当16bit级联计数器的计数值等于比较寄存器{CMPH,CMPL}时，CMPHIF中断标志置位，同时计数器自动归零，重新开始计数。

在计数器启动后，软件可以通过改写LOADL和LOADH寄存器动态调整下一个计数周期使用的比较值；当计数值匹配比较值，并重启计数器时，Basic Timer也会同时重新从LOAD寄存器加载比较值，这样下一个计数周期的长度也就相应的改变了。



➤ 8bit独立计数模式

8bit独立计数模式下，每个8bit计数器独立工作，波形示意图如下。



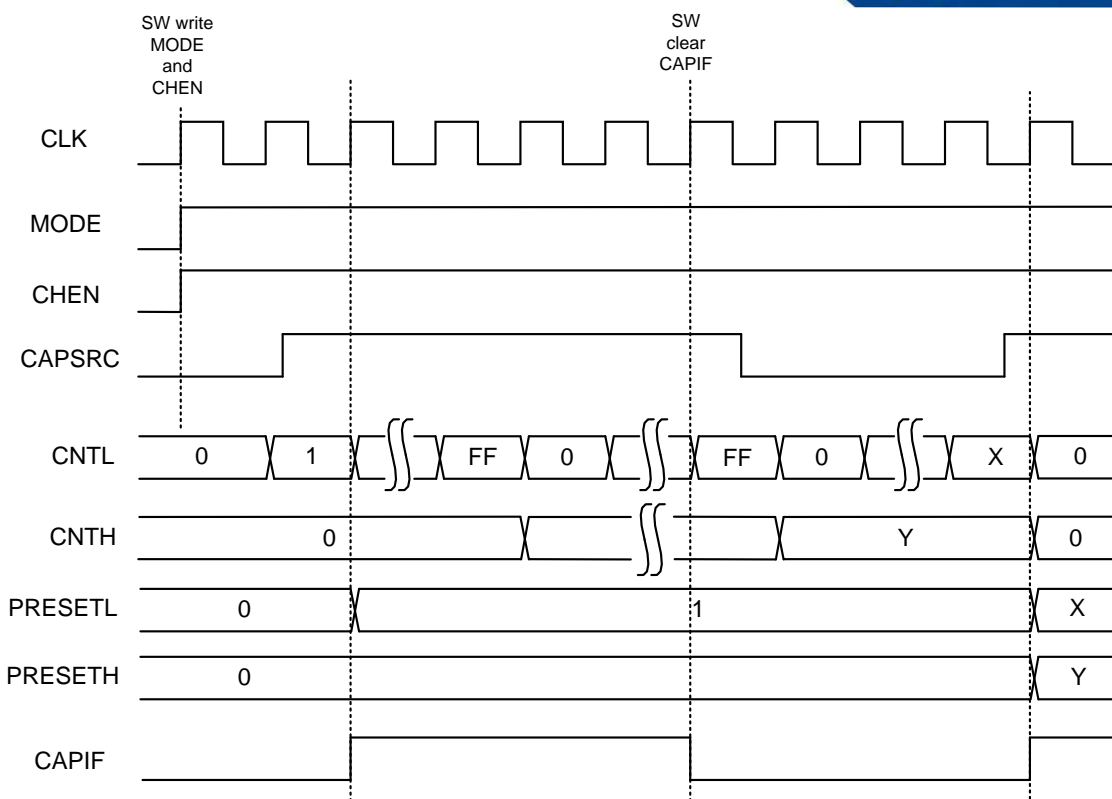
19.3.2 输入捕捉

输入捕捉功能的主要特点：

- 上升沿或下降沿捕捉
- 脉冲宽度捕捉或脉冲周期捕捉
- 带清零的捕捉或自由计数捕捉
- 单次捕捉或连续捕捉

捕捉模式只能工作在16bit级联模式下，从0开始计数。当选择上升沿捕捉周期模式时，电路在检测到捕捉源CAPSRC的有效沿时把计数器CNTL和CNTH的值捕捉到寄存器PRESETL和PRESETH中，并置位中断标志位CAPIF。

下图以捕捉CAPSRC信号上升沿为例。



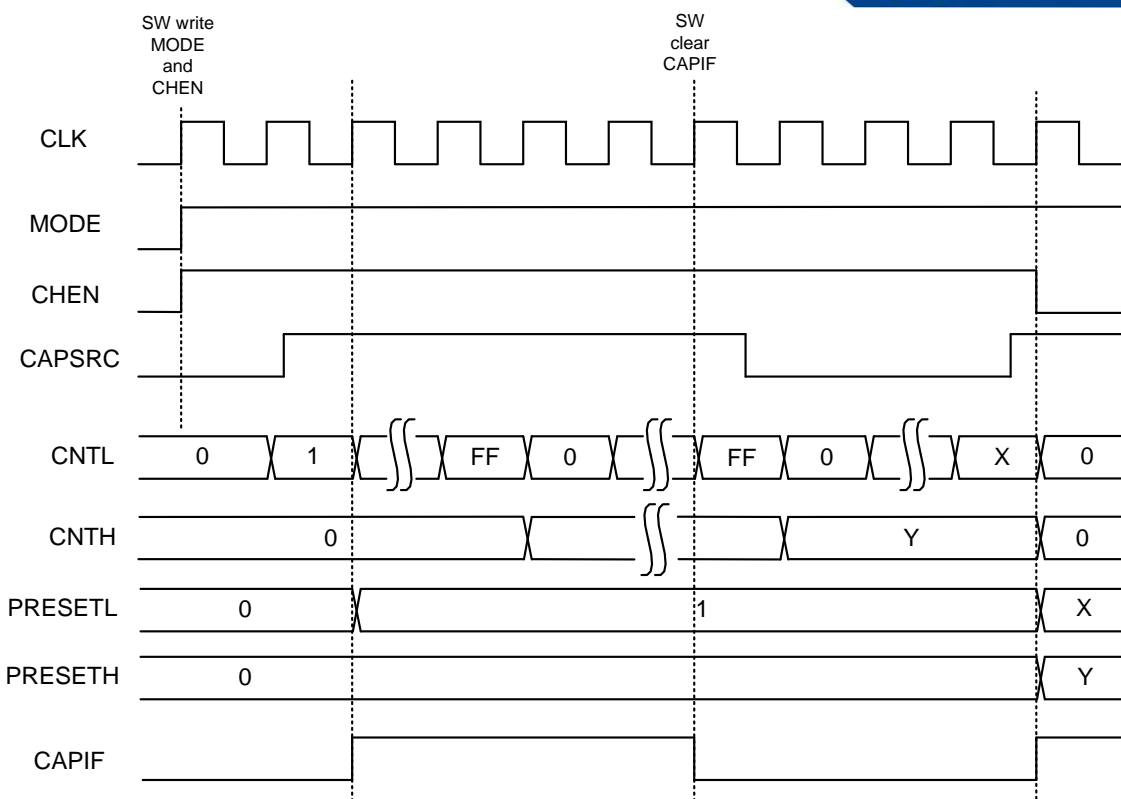
捕捉模式支持清零捕捉和单次捕捉

- 清零捕捉

不论在脉冲宽度还是周期捕捉情况下，捕捉到第一个沿后将计数器清零产生中断，捕捉到第二个沿后把计数值锁存到高低位预置数寄存器，同时清零计数器。

- 单次捕捉

单次捕捉是指捕捉到一个有效的脉冲宽度（宽度捕捉）或者一个有效的周期（周期捕捉）后停止计数。以带清零捕捉模式下周期捕捉为例见下图：**CAPSRC**为捕捉源信号；**PRESETL**和**PRESETH**为预置数寄存器；**CLEN**和**CHEN**为计数器使能信号；**CNTL**和**CNTH**为计数器；**CAPIF**为捕捉中断标志位。

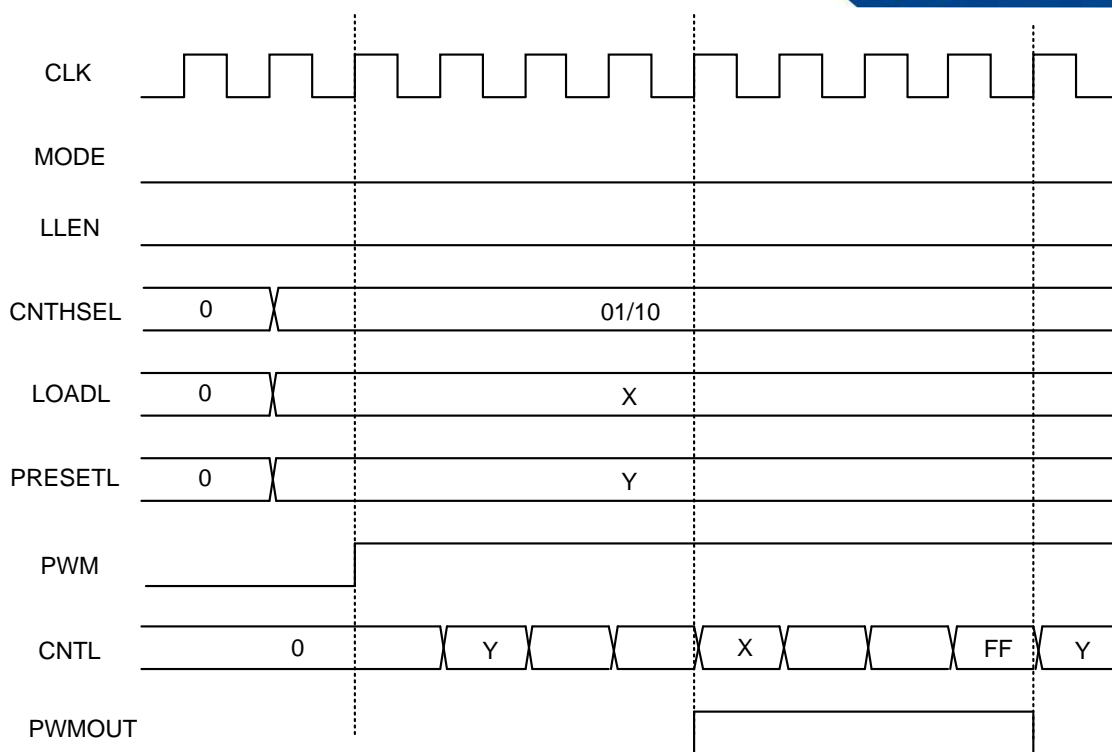


19.3.3 8bit PWM

PWM模式开启时，计数器与比较寄存器连续比较，当计数值小于比较寄存器，输出为低，当计数值大于等于比较寄存器，输出为高，并且保持到计数值等于重载寄存器，然后计数器回到0开始重新计数，并将输出恢复为低。

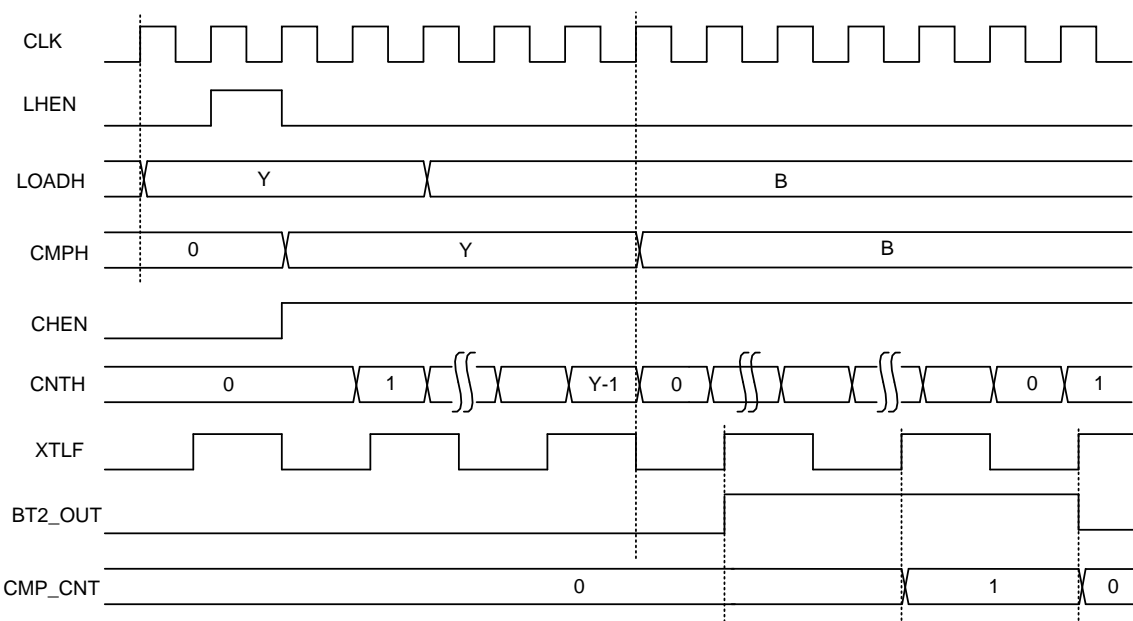
PWM周期由重载寄存器控制，占空比由比较寄存器控制。理论上要求比较寄存器值小于重载寄存器。如果比较寄存器大于等于重载寄存器，则输出没有高电平信号。

示意图如下：



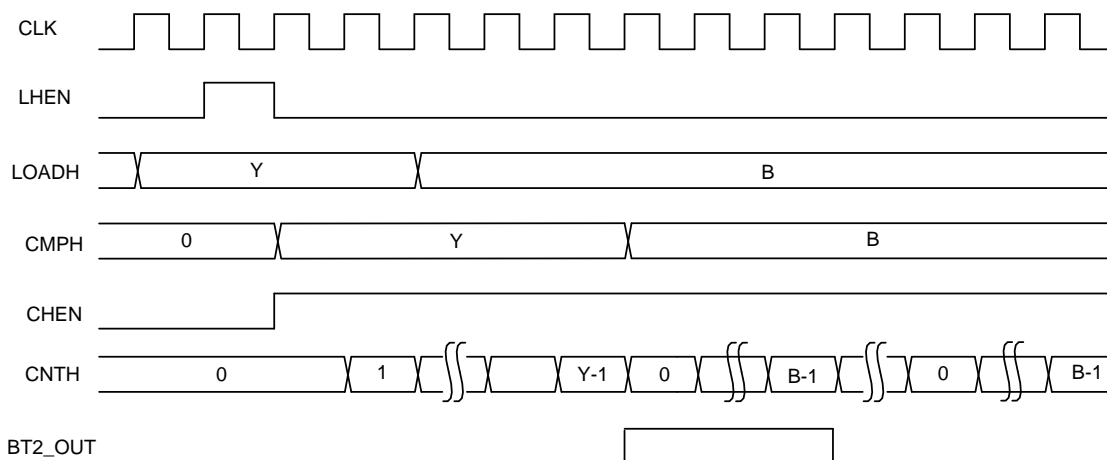
19.3.4 脉冲输出

当设置了BT_OUT输出脉冲宽度寄存器后，模块可以输出相应的脉冲宽度。当计数器匹配到来后的第一个32768时钟上升沿开始触发脉冲输出，计数时钟为32768Hz。输出脉冲宽度 $=([OUTCNTH, OUTCNTL]+1)/32768$ 秒。以高8BIT计数器匹配为例，设 $[OUTCNTH, OUTCNTL]=1$ ，波形如下：LOADH为高位加载寄存器；LHEN是高位加载使能寄存器，用来把高位加载寄存器的值加载进高位比较寄存器里；CMPH为高位比较寄存器；CHEN高位是计数器使能信号；CNTH是高位计数器；XTLF是32768HZ时钟信号；CMP_CNT是以32768HZ为计数周期的脉冲宽度内部计数器，当它计数到等于 $[OUTCNTH, OUTCNTL]$ 的值时回到0；BT_OUT为输出脉冲信号。



19.3.5 Toggle 输出

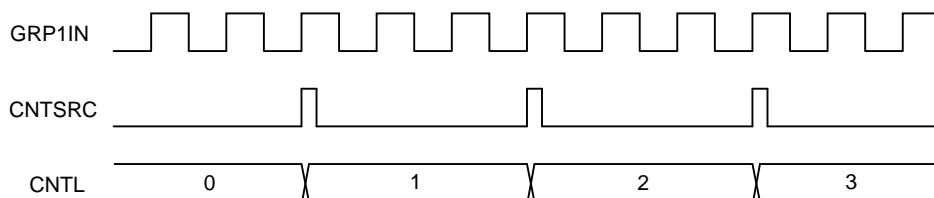
当设置了输出BT_OUT控制寄存器的OUTMOD位为1后，当比较匹配后模块可以输出与之前相反的电平（Toggle）。以高8位的计数器为例，示意波形如下图。



19.3.6 其他功能说明

19.3.6.1 输入预分频功能

通过写计数源预分频寄存器，分频数= (X+1)，即0x00表示1分频，0xFF表示256分频。预分频后的信号为单周期脉冲同步计数使能信号。假设X=2，计数源预分频示意图如下：PRESCALE为分频寄存器；CNTSRC为分频后的计数脉冲；CNTL为计数器；这里假设BT1对GRP1IN输入信号进行计数。



19.3.6.2 计数器加载功能

预置数功能（PRESET）：加载控制寄存器（LHEN/LLEN）有效时将预置数寄存器（PRESET）的值加载到计数器中作为初值。

比较寄存器 (CMP)：存放计数目标值，计数模式下有效；当计数器当前值与比较寄存器匹配、或加载控制有效时，硬件自动将LOAD寄存器的值加载到比较寄存器中。

19.4 寄存器

地址	名称	符号
0x40013000	Basic Timer1 控制寄存器 1	BT1CR1
0x40013004	Basic Timer1 控制寄存器 2	BT1CR2
0x40013008	Basic Timer1 配置寄存器 1	BT1CFG1

地址	名称	符号
0x4001300C	Basic Timer1 配置寄存器 2	BT1CFG2
0x40013010	Basic Timer1 预分频寄存器	BT1PRES
0x40013014	Basic Timer1 计数值和比较值加载寄存器	BT1LOADCR
0x40013018	Basic Timer1 计数器低位	BT1CNTL
0x4001301C	Basic Timer1 计数器高位	BT1CNTH
0x40013020	Basic Timer1 预置数寄存器位	BT1PRESET
0x40013024	Basic Timer1 计数加载寄存器低位	BT1LOADL
0x40013028	Basic Timer1 计数加载寄存器高位	BT1LOADH
0x4001302C	Basic Timer1 比较值寄存器低位	BT1CMPL
0x40013030	Basic Timer1 比较值寄存器高位	BT1CMPH
0x40013034	Basic Timer1 输出脉冲宽度寄存器	BT1OUTCNT
0x40013038	Basic Timer1 输出控制寄存器	BT1OCR
0x4001303C	Basic Timer1 中断使能寄存器	BT1IE
0x40013040	Basic Timer1 中断标志寄存器	BT1IF
0x40013044	Basic Timer2 控制寄存器 1	BT2CR1
0x40013048	Basic Timer2 控制寄存器 2	BT2CR2
0x4001304C	Basic Timer2 配置寄存器 1	BT2CFG1
0x40013050	Basic Timer2 配置寄存器 2	BT2CFG2
0x40013054	Basic Timer2 预分频寄存器	BT2PRES
0x40013058	Basic Timer2 计数值和比较值加载寄存器	BT2LOADCR
0x4001305C	Basic Timer2 计数器低位	BT2CNTL
0x40013060	Basic Timer2 计数器高位	BT2CNTH
0x40013064	Basic Timer2 预置数寄存器	BT2PRESET
0x40013068	Basic Timer2 计数加载寄存器低位	BT2LOADL
0x4001306C	Basic Timer2 计数加载寄存器高位	BT2LOADH
0x40013070	Basic Timer2 比较值寄存器低位	BT2CMPL
0x40013074	Basic Timer2 比较值寄存器高位	BT2CMPH
0x40013078	Basic Timer2 输出脉冲宽度寄存器	BT2OUTCNT
0x4001307C	Basic Timer2 输出控制寄存器	BT2OCR
0x40013080	Basic Timer2 中断使能寄存器	BT2IE
0x40013084	Basic Timer2 中断标志寄存器	BT2IF

19.4.1 BasicTimer1/BasicTimer2 控制寄存器 1

*两个 8bit 定时器 BT1H 和 BT1L 组合成 BT1；两个 8bit 定时器 BT2H 和 BT2L 组合成 BT2

名称	BT1CR1/BT2CR1							
地址	0x40013000/0x40013044							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0



位名	CHEN	CLEN	MODE	EDGESEL	CAPMOD	CAPCLR	CAPONCE	PWM
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:8	-	RFU, 未实现, 读为 0
7	CHEN	高 8 位计数器 (BT1H 或 BT2H) 启动控制 1: 启动高 8bit 计数器, 在计数器模式下启动时将预置数值和加载值分别加载至计数器和比较寄存器; 捕捉模式下启动时计数器由零开始自由计数, 计数到 0xFFFF 后产生溢出信号然后由零开始重新计数, 捕捉功能只工作在 16 位模式; 在 16 位的定时/计数和捕捉模式下 CHEN 作为 16 位计数器的启动控制, CLEN 自动失效 0: 停止高 8bit 计数器
6	CLEN	低 8 位计数器 (BT1L 或 BT2L) 启动控制 1: 启动低 8bit 计数器, 在计数器模式下启动时将预置数值和加载值分别加载至计数器和比较寄存器; 捕捉模式下启动时计数器由零开始自由计数, 计数到 0xFFFF 后产生溢出信号然后由零开始重新计数, 捕捉功能只工作在 16 位模式; 在 16 位的定时/计数和捕捉模式下 CHEN 作为计数器的启动控制, CLEN 自动失效 0: 停止低 8bit 计数器计数
5	MODE	工作模式选择 1: 16 位捕捉模式 0: 8 位定时/计数模式, 若高位计数器计数源选择为低位计数器的溢出信号, 则可实现 16 位定时/计数模式
4	EDGESEL	计数模式下的计数沿和周期捕捉时的捕捉沿选择位 1: 计数模式采样计数源下降沿, 周期捕捉模式时下沿捕捉 0: 计数模式采样计数源上升沿, 周期捕捉模式时上沿捕捉 注: 不支持系统时钟的下降沿计数, 捕捉源和计数源为系统时钟时选择下降沿将不会有效计数。
3	CAPMOD	捕捉模式控制 (只在捕捉模式下有效) 1: 脉冲宽度捕捉 0: 脉冲周期捕捉
2	CAPCLR	带清零捕捉模式控制 1: 不论在脉冲宽度还是周期捕捉情况下, 捕捉到第一个沿后将计数器清零产生中断, 捕捉到第二个沿后锁存 (锁存到高低位预置数寄存器) 计数值并同时清零计数器 0: 捕捉不清零, 计数器一直自由计数
1	CAPONCE	单次捕捉控制 1: 单次捕捉有效, 在捕捉到一次脉冲宽度或脉冲周期后计数器停止, 若需要再次捕捉需重新启动 0: 连续捕捉
0	PWM	PWM 模式输出 1: PWM 输出使能 0: PWM 输出不使能

19.4.2 BasicTimer1/BasicTimer2 控制寄存器 2

名称	BT1CR2/BT2CR2							
地址	0x40013004/0x40013048							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24

位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	SIG2SEL	SIG1SEL	CNTHSEL	CNTHSEL	DIREN	STDIR	SRCSEL	DIRPO
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:8	-	RFU, 未实现, 读为 0
7	SIG2SEL	计数器内部计数源信号选择 1: 内部计数源信号选择 Group2 0: 内部计数源信号选择 Group1
6	SIG1SEL	计数器内部捕捉源信号选择 1: 内部捕捉源信号选择 Group1 0: 内部捕捉源信号选择 Group2
5:4	CNTHSEL	高 8 位计数器计数源选择 00/11: 选择 ET1 的低位计数器的溢出信号, 与低位计数器组成 16 位计数器 01: 选择内部捕捉源信号 10: 选择内部计数源信号或外部 DIR 输入组合信号
3	DIREN	外部输入 DIR 控制使能。通常电量脉冲输出时同时会输出一个由高低电平指示正反向的方向信号 DIR。电路将通过 DIR 信号电平的高低, 分别控制高位计数器和低位计数器计数使能, 以实现针对正向、反向脉冲的各种计数功能 1: 外部输入的 DIR 信号有效, 此时高低位计数器是否计数可由外部输入的 DIR 信号控制。 0: 外部输入的 DIR 信号无效, 此时高低位计数器是否计数将由内部控制信号控制。
2	STDIR	内部 DIR 控制信号, 当 DIREN 为 0, 即外部输入 DIR 控制无效时, 可由该信号代替 DIR 输入, 直接控制内部计数器的计数。当需要外部 DIR 输入, 即 DIREN 为 1 时, 该位应设置为 0 1: 内部 DIR 信号为高电平, 则高 8 位计数器计数
1	SRCSEL	低位计数器计数使能控制选择信号 1 低位计数器计数使能端选则常使能。此时低位计数器计数不受 DIR 控制, 可将正反向所有脉冲一并计数 0: 低位计数器计数使能端选则由寄存器 STDIR 或外部 EX_SIG2 输入控制。
0	DIRPO	输入信号 2 极性选择 1: 对外部输入 DIR 信号 EX_SIG2 反向 0: 对外部输入 DIR 信号 EX_SIG2 不反向

外部DIR信号 (EX_SIG2)、内部控制寄存器与计数器计数的关系如下表:

DIR (EX_SIG2)	DIRPO	DIREN	STDIR	SRCSEL	CNTL	CNTH
X	X	0	0	1	√	x

DIR (EX_SIG2)	DIRPO	DIREN	STDIR	SRCSEL	CNTL	CNTH
X	X	0	1	1	√	√
0	0	1	0	1	√	x
1	0	1	0	1	√	√
0	1	1	0	1	√	√
1	1	1	0	1	√	x
X	X	0	0	0	√	x
X	X	0	1	0	x	√
0	0	1	0	0	√	x
1	0	1	0	0	x	√
0	1	1	0	0	x	√
1	1	1	0	0	√	x

19.4.3 BasicTimer1/BasicTimer2 配置寄存器 1

名称	BT1CFG1/BT2CFG1							
地址	0x40013008/0x4001304C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	RTCSEL2		RTCSEL1		GRP2SEL		GRP1SEL	
位权限	R/W-00		R/W-00		R/W-00		R/W-00	

Bit	助记符	功能描述
31:8	-	RFU, 未实现, 读为 0
7: 6	RTCSEL2	RTCCOUT2 信号选择控制 2 00 = 32768Hz, XTALF 时钟输出 01 = RTCSec, 由 RTC 模块输出的秒信号 10 = RTCMin, 由 RTC 模块输出的分钟信号 11 = LPTIM_OUT, 由 LPTIM 模块输出的信号
5: 4	RTCSEL1	RTCCOUT1 信号选择控制 1 00 = 32768Hz, XTALF 时钟输出 01 = RTCSec, 由 RTC 模块输出的秒信号 10 = RTCMin, 由 RTC 模块输出的分钟信号 11 = LPTIM_OUT, 由 LPTIM 模块输出的信号
3:2	GRP2SEL	Group2 信号选择控制 00 = APBCLK 01 = RTCCOUT2 10 = IN_SIG2, 内部输入信号 2 11 = EX_SIG2, 外部输入信号 2 注: 不支持 APBCLK 的下降沿捕捉和计数, 捕捉源和计数源为 APBCLK 时选择下降沿将不会有效捕捉和计数。



Bit	助记符	功能描述
1:0	GRP1SEL	<p>Group1 信号选择控制（可作为捕捉模式下采样时钟选择，同时可作为信号捕捉源）</p> <p>00 = APBCLK</p> <p>01 = RTCOUT1</p> <p>10 = IN_SIG1，内部输入信号 1</p> <p>11 = EX_SIG1，外部输入信号 1</p> <p>注：不支持 APBCLK 的下降沿捕捉和计数，捕捉源和计数源为 APBCLK 时选择下降沿将不会有效捕捉和计数。</p>

19.4.4 BasicTimer1/BasicTimer2 配置寄存器 2

名称	BT1CFG2/BT2CFG2							
地址	0x4001300C/0x40013050							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	EXSEL2		EXSEL1		INSEL2		INSEL1	
位权限	R/W-00		R/W-00		R/W-00		R/W-00	

Bit	助记符	功能描述
31:8	-	RFU，未实现，读为 0
7:6	EXSEL2	<p>外部输入信号选择控制 2</p> <p>00 = BT1_IN0/BT2_IN0</p> <p>01 = BT1_IN1/BT2_IN1</p> <p>10 = BT1_IN2/BT2_IN2</p> <p>11 = BT1_IN3/BT2_IN3</p>
5:4	EXSEL1	<p>外部输入信号选择控制 1</p> <p>00 = BT1_IN0/BT2_IN0</p> <p>01 = BT1_IN1/BT2_IN1</p> <p>10 = BT1_IN2/BT2_IN2</p> <p>11 = BT1_IN3/BT2_IN3</p>
3:2	INSEL2	<p>内部输入信号选择控制 2</p> <p>00 = UART_RX3/UART_RX3</p> <p>01 = UART_RX4/UART_RX4</p> <p>10 = UART_RX5/UART_RX5</p> <p>11 = RCLP/BT1_OUT</p>
1:0	INSEL1	<p>内部输入信号选择控制 1</p> <p>00 = UART_RX0/UART_RX0</p> <p>01 = UART_RX1/UART_RX1</p> <p>10 = UART_RX2/UART_RX2</p> <p>11 = RCLP/RCLP</p>

19.4.5 BasicTimer1/BasicTimer2 预分频寄存器

名称	BT1PRES/BT2PRES							
地址	0x40013010/0x40013054							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	PRESCALE							
位权限	R/W-00000000							

位号	位名	说明
7:0	PRESCALE	输入 Group1 的预分频寄存器 分频数= (X+1)，即 00 表示 1 分频，FF 表示 256 分频。预分频后的信号都为单周期脉冲的形式，占空比 1:X

19.4.6 BasicTimer1/BasicTimer2 加载控制寄存器

名称	BT1LOADCR/BT2LOADCR							
地址	0x40013014/0x40013058							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-			LHEN	-			LLEN
位权限	U-0			R/W-0	U-0			R/W-0

位号	位名	说明
31:5	---	未实现：读为 0
4	LHEN	高位加载控制 写 1 将预置数寄存器 ET1PRESETH 和加载寄存器 ET1LOADH 分别加载到计数值寄存器 ET1CNTH 和比较寄存器 ET1CMPH，写 0 无效，该位硬件自动清 0。在 16 位的定时/计数下 LHEN 作为计数器的加载控制，LLEN 自动失效
3:1	---	未实现：读为 0

位号	位名	说明
0	LLEN	低位加载控制 写 1 将预置数寄存器 PRESETL 和加载寄存器 LOADL 分别加载到计数值寄存器 ET1CNTL 和比较寄存器 ET1CMPL, 写 0 无效, 该位硬件自动清 0。在 16 位的定时/计数下 LHEN 作为计数器的加载控制, LLEN 自动失效

19.4.7 BasicTimer1/BasicTimer2 低位计数器寄存器

名称	BT1CNTL/BT2CNTL							
地址	0x40013018/0x4001305C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CNTL							
位权限	R-00000000							

位号	位名	说明
31:8	--	未实现: 读为 0
7:0	CNTL	计数器低位计数值寄存器 LLEN 有效时加载预置数到该寄存器。

19.4.8 BasicTimer1/BasicTimer2 高位计数器寄存器

名称	BT1CNTH/BT2CNTH							
地址	0x4001301C/0x40013060							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CNTH							
位权限	R-00000000							

位号	位名	说明
31:8	--	未实现: 读为 0



位号	位名	说明
7:0	CNTH	计数器高位计数值寄存器 LHEN 有效时加载预置数到该寄存器。

19.4.9 BasicTimer1/BasicTimer2 预置数寄存器

名称	BT1PRESET/BT2PRESET							
地址	0x40013020/0x40013064							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	PRESETH							
位权限	R/W-00000000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	PRESETL							
位权限	R/W-00000000							

位号	位名	说明
31:8	--	未实现：读为 0
15:8	PRESETH	计数器高位预置数寄存器 用于保存高位计数器初值，或保存捕捉结果高 8bit
7:0	PRESETL	计数器低位预置数寄存器 用于保存低位计数器初值，或保存捕捉结果低 8bit

19.4.10 BasicTimer1/BasicTimer2 加载寄存器低位

名称	BT1LOADL/BT2LOADL							
地址	0x40013024/0x40013068							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	LOADL							
位权限	R/W-00000000							

位号	位名	说明
31:8	--	未实现：读为 0

位号	位名	说明
7:0	LOADL	计数器低位加载寄存器 在计数匹配或执行加载命令时将加载寄存器的值加载至比较工作寄存器。

19.4.11 BasicTimer1/BasicTimer2 加载寄存器高位

名称	BT1LOADH/BT2LOADH							
地址	0x40013028/0x4001306C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	LOADH							
位权限	R/W-00000000							

位号	位名	说明
31:8	--	未实现：读为 0
7:0	LOADH	计数器高位加载寄存器 在计数匹配或执行加载命令时将加载寄存器的值加载至比较工作寄存器。当工作在 8 位定时/计数器模式时，该高位加载寄存器不支持加载值为 0x00 的设置。

19.4.12 BasicTimer1/BasicTimer2 比较寄存器低位

名称	BT1CMPL/BT2CMPL							
地址	0x4001302C/0x40013070							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CMPL							
位权限	R/W-00000000							

位号	位名	说明
31:8	--	未实现：读为 0

位号	位名	说明
7:0	CMPL	计数器低位比较寄存器 加载寄存器的值加载后将写入该寄存器，该寄存器与计数器比较，若计数值大于等于该寄存器的值，则产生计数匹配信号至输出控制模块，并产生相应中断。

19.4.13 BasicTimer1/BasicTimer2 比较寄存器高位

名称	BT1CMPH/BT2CMPH							
地址	0x40013030/0x40013074							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CMPH							
位权限	R/W-00000000							

位号	位名	说明
31:8	--	未实现：读为 0
7:0	CMPH	计数器高位比较寄存器 加载寄存器的值加载后将写入该寄存器，该寄存器与计数器比较，若计数值大于等于该寄存器的值，则产生计数匹配信号至输出控制模块，并产生相应中断。

19.4.14 BasicTimer1/BasicTimer2 输出脉冲宽度寄存器

名称	BT1OUTCNT/BT2OUTCNT							
地址	0x40013034/0x40013078							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-				OUTCNT[11:8]			
位权限	U-0				R/W-0000			
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	OUTCNT[7:0]							
位权限	R/W-00000000							

位号	位名	说明
31:12	--	未实现：读为 0

位号	位名	说明
11:0	OUTCNT	计数器输出脉冲宽度计数器 该寄存器用于调整输出脉冲宽度。计数时钟为 32768Hz，对应的输出脉冲宽度范围为 30.5uS~125mS。输出脉冲宽度=(OUTCNT+1)/32768 秒

19.4.15 BasicTimer1/BasicTimer2 输出控制寄存器

名称	BT1OCR/BT2OCR							
地址	0x40013038/0x4001307C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-		OUTCLR	OUTINV	OUTMOD	OUTSEL		
位权限	U-0		R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-000		

位号	位名	说明
31:6	---	未实现：读为 0
5	OUTCLR	输出清零，该位硬件自动清0，清0后输出由原信号驱动 1 = 输出清零，若设置了输出反向则清零后输出为高电平，反之为低电平（只适用于 OUTMOD 输出模式=1 输出之前反向电平的情况，OUTMOD 输出模式=0 输出脉冲模式无效） 0 = 写入无效
4	OUTINV	输出电平反向选择 1 = 输出电平取反（CHEN/CLEN 有效后，ETOUT 信号输出本信号在 CHEN/CLEN 有效之前的状态） 0 = 输出电平不取反（CHEN/CLEN 有效后，ETOUT 信号输出本信号在 CHEN/CLEN 有效之前状态的反态）
3	OUTMOD	输出模式选择 1 = 输出之前的反向电平 0 = 输出脉冲，脉冲宽度可调
2:0	OUTSEL[2:0]	输出信号选择 000 = 输出高位计数器的比较信号，只在计数模式有效。 001 = 输出低位计数器的比较信号，只在计数模式有效。 010 = 直接输出 Group1 的输入信号，计数模式、捕捉模式有效。 011 = 直接输出 Group2 的输入信号，计数模式、捕捉模式有效。 其他 = PWM 输出 注：输出信号不能配置为 APBCLK 的同频信号，实际得到的结果为正向输出高电平，反向输出低电平

19.4.16 BasicTimer1/BasicTimer2 中断使能寄存器

名称	BT1IE/BT2IE							
地址	0x4001303C/0x40013080							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-			CMPHIE	CMPLIE	OVHIE	OVLIE	CAPIE
位权限	U-0			R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

位号	位名	说明
31:5	---	未实现：读为 0
4	CMPHIE	扩展定时器高位比较发生信号 1 = 中断使能 0 = 中断禁止
3	CMPLIE	扩展定时器低位比较发生信号 1 = 中断使能 0 = 中断禁止
2	OVHIE	扩展定时器高位溢出信号 1 = 中断使能 0 = 中断禁止
1	OVLIE	扩展定时器低位溢出信号 1 = 中断使能 0 = 中断禁止
0	CAPIE	扩展定时器捕捉产生信号 1 = 中断使能 0 = 中断禁止

19.4.17 BasicTimer1/BasicTimer2 中断标志寄存器

名称	BT1IF/BT2IF							
地址	0x40013040/0x40013084							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0



位名	-	EDGE	CMPHIF	CMPLIF	OVHIF	OVLIF	CAPIF
位权限	U-0	R-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

位号	位名	说明
31:6	---	未实现：读为 0
5	EDGE STA	捕捉沿状态 1 = 脉冲宽度捕捉模式时表示捕捉到下沿 0 = 脉冲宽度捕捉模式时表示捕捉到上沿
4	CM PHIF	扩展定时器高位比较发生信号 1 = 当前计数器的值大于等工作寄存器的值，该信号将重新加载新的加载寄存器的值到工作寄存器。 0 = 当前计数器的值小于工作寄存器的值
3	CM PLIF	扩展定时器低位比较发生信号 1 = 当前计数器的值大于等工作寄存器的值，该信号将重新加载新的加载寄存器的值到工作寄存器。 0 = 当前计数器的值小于工作寄存器的值
2	OV HIF	扩展定时器高位溢出信号 1 = 产生计数溢出 0 = 未产生溢出
1	OV LIF	扩展定时器低位溢出信号 1 = 产生计数溢出 0 = 未产生溢出
0	CA PIF	扩展定时器捕捉产生信号 1 = 捕捉到指定的沿 0 = 未捕捉到指定的沿

20 扩展定时器（EXTIM）

20.1 概述

扩展定时器支持以下功能

- 4个独立的16bit定时器
- Auto-reload定时
- 外部事件计数
- 输入边沿捕捉（事件触发、自由计数）
- 脉冲宽度或周期捕捉（PWC模式）
- 脉冲宽度调制（PWM模式）
- 32bit级联模式

4个扩展定时器结构相同，仅是计数源和捕捉源信号不同而已；每个扩展定时器包含一个计数器和一个初值寄存器，初值寄存器同时作为捕捉寄存器使用。扩展定时器使能后自动将初值寄存器的值加载至计数器，然后计数器以这个初值开始计数，计数至溢出后产生溢出信号，同时将初值寄存器的值重新加载至计数器。扩展定时器允许在计数过程中改变计数初值，完成动态的定时时间更新；

支持2种边沿捕捉模式：

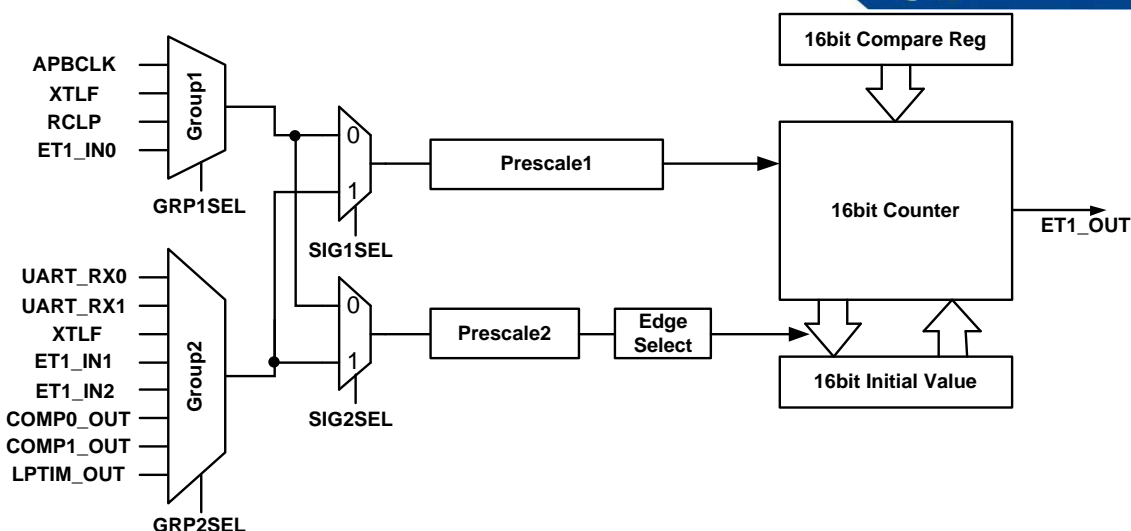
- ✓ 事件触发捕捉：使能后计数器保持0，捕捉到第一个有效沿之后定时器才开始计数；
- ✓ 自由计数捕捉：定时器使能后立即由0开始计数，在有效捕捉信号沿到来时锁存当前计数值，同时产生捕捉中断，在下一有效捕捉沿到来时再次锁存当前计数值并产生捕捉中断，在计数溢出后产生溢出中断。

PWC模式与事件触发捕捉类似，只不过在第一个有效沿到来后开始计数，第二个有效沿到来后停止计数，两个有效沿可以独立配置上升或下降，即可以实现正脉冲宽度捕捉、负脉冲宽度捕捉、正沿周期捕捉、负沿周期捕捉。

每个扩展定时器支持多个外部引脚输入，和一个外部引脚输出。

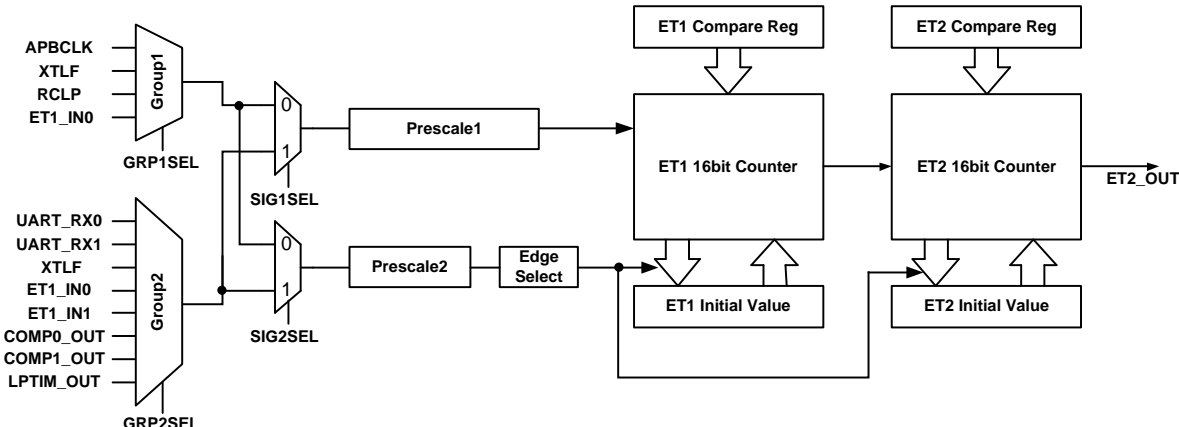
20.2 结构框图

ET1结构框图如下：



ET2/3/4结构与ET1相同，只是输入信号源不一样。参见输入源选择寄存器定义。

级联模式下，32bit定时器的输入为ET1和ET3的输入，以ET1+ET2级联为例，结构框图如下：



级联后的ET1+ET2，仅产生ET2中断标志和ET2输出。

级联后的ET3+ET4，仅产生ET4中断标志和ET4输出。

20.3 输入信号

每个扩展定时器的输入分为两组，Group1为计数器计数源选择，Group2为捕捉源选择。根据寄存器设置，Group1和Group2可以互换。

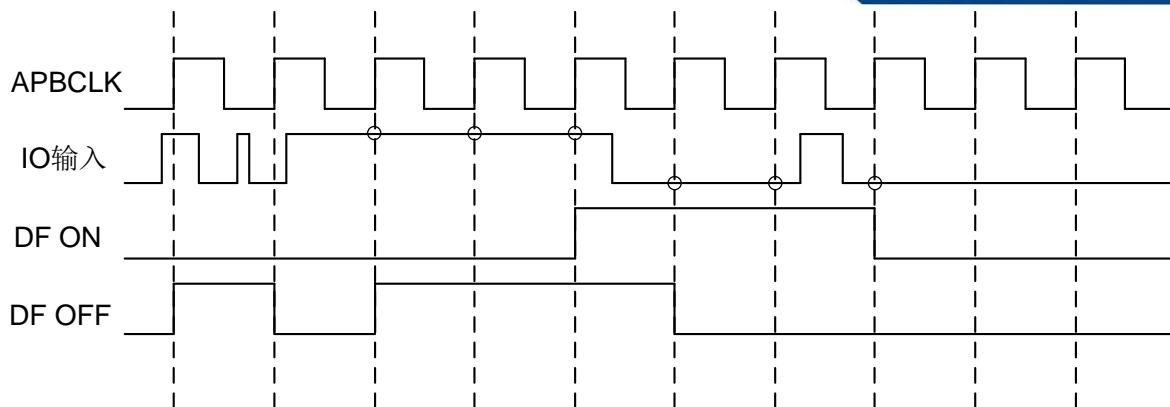
每个扩展定时器的计数源和捕捉源具体定义参见寄存器说明。

输入源1和2各自有独立的8bit预分频，预分频值X+1。

20.4 外部引脚输入数字滤波

ETx的外部引脚输入可以选择是否使能数字滤波。使能数字滤波的情况下，APBCLK连续3次采样相同才认为是输入变化有效；不使能数字滤波时，扩展定时器直接对管脚输入进行采样。

数字滤波示意图如下：



20.5 功能说明

20.5.1 计数和定时

- 16bit upcounter
- 上升沿或下降沿计数
- 计数初值和终值可配置
- 计数值大于等于比较值时触发中断
- 计数溢出后自动重载
- 计数周期中可以通过改写重载寄存器修改下一周期长度

支持16bit计数或级联的32bit计数。当CNTSEL=0, 计数器为16bit; 当CNTSEL=1, 用ET1/ET3的16bit计数溢出信号作为ET2/ET4的计数指示信号。计数模式启动和计数溢出时将初值寄存器的值加载到计数器中。计数值达到0xFFFF时产生计数溢出中断。32bit级联模式下, ET2/ET4的计数值达到0xFFFF时产生级联溢出中断。

20.5.2 输入捕捉

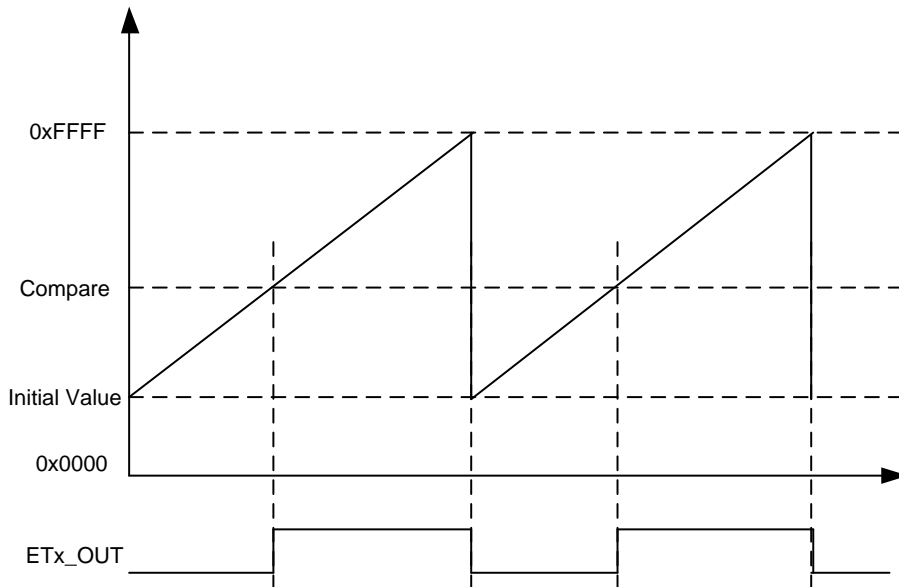
- 上升沿或下降沿捕捉
- 脉冲宽度捕捉或脉冲周期捕捉
- 带清零的捕捉或自由计数捕捉
- 单次捕捉或连续捕捉

ET使能后从0x0000开始自动计数, 当捕捉源有效沿到来时, 将当前计数值写入初值寄存器, 并产生捕捉中断标志。ET保持计数和信号沿捕捉直到被关闭为止。

ETx用APBCLK采样其输入信号进行计数, 所以应用中应避免被采样的输入信号频率高于APBCLK时钟频率。

20.5.3 PWM

扩展定时器支持16bit或32bit的PWM输出, 启动PWM之后定时器从初值开始计数, 当计数值等于比较寄存器时, PWM输出置1, 当计数值溢出时PWM输出置0, 16bit PWM如下图所示:



20.6 寄存器

地址	名称	符号
0x40013090	ET1 控制寄存器	ET1CR
0x40013094	ET1 输入源选择寄存器	ET1INSEL
0x40013098	ET1 预分频寄存器 1	ET1PRESCALE1
0x4001309C	ET1 预分频寄存器 2	ET1PRESCALE2
0x400130A0	ET1 初值寄存器	ET1IVR
0x400130A4	ET1 比较寄存器	ET1CMP
0x400130A8	ET1 中断使能寄存器	ET1IE
0x400130AC	ET1 中断标志寄存器	ET1IF
0x400130B0	ET2 控制寄存器	ET2CR
0x400130B4	ET2 输入源选择寄存器	ET2INSEL
0x400130B8	ET2 预分频寄存器 1	ET2PRESCALE1
0x400130BC	ET2 预分频寄存器 2	ET2PRESCALE2
0x400130C0	ET2 初值寄存器	ET2IVR
0x400130C4	ET2 比较寄存器	ET2CMP
0x400130C8	ET2 中断使能寄存器	ET2IE
0x400130CC	ET2 中断标志寄存器	ET2IF
0x400130D0	ET3 控制寄存器	ET3CR
0x400130D4	ET3 输入源选择寄存器	ET3INSEL
0x400130D8	ET3 预分频寄存器 1	ET3PRESCALE1
0x400130DC	ET3 预分频寄存器 2	ET3PRESCALE2
0x400130E0	ET3 初值寄存器	ET3IVR
0x400130E4	ET3 比较寄存器	ET3CMP
0x400130E8	ET3 中断使能寄存器	ET3IE
0x400130EC	ET3 中断标志寄存器	ET3IF
0x400130F0	ET4 控制寄存器	ET4CR
0x400130F4	ET4 输入源选择寄存器	ET4INSEL

地址	名称	符号
0x400130F8	ET4 预分频寄存器 1	ET4PRESCALE1
0x400130FC	ET4 预分频寄存器 2	ET4PRESCALE2
0x40013100	ET4 初值寄存器	ET4IVR
0x40013104	ET4 比较寄存器	ET4CMP
0x40013108	ET4 中断使能寄存器	ET4IE
0x4001310C	ET4 中断标志寄存器	ET4IF
0x40013110	ET1 计数值寄存器	ET1CNT
0x40013114	ET2 计数值寄存器	ET2CNT
0x40013118	ET3 计数值寄存器	ET3CNT
0x4001311C	ET4 计数值寄存器	ET4CNT

20.6.1.1 ET1/2/3/4 控制寄存器

名称	ET1CR/ET2CR/ET3CR/ET4CR							
地址	0x40013090/0x400130B0/0x400130D0/0x400130F0							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-						EXFLT	PWM
位权限	U-0						R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CEN	MOD	CASEN	EDGES EL	CAPMO D	CAPCLR	CAPON CE	CAPED GE
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

位号	位名	说明
31:8	--	未实现：读为0
9	EXFLT	外部引脚输入数字滤波使能 1 = 打开引脚输入信号数字滤波 0 = 关闭引脚输入信号数字滤波
8	PWM	PWM 输出控制 1 = PWM 输出使能 0 = PWM输出禁止
7	CEN	启动控制 1 = 启动定时器，在计数器模式下启动时将计数初值加载至计数器和工作寄存器；在捕捉模式下，启动时计数器由零开始自由计数，计数到0xFFFF后产生溢出信号然后由零开始重新计数 0 = 停止计数器计数
6	MOD	工作模式选择 1 = 捕捉模式 0 = 定时/计数模式

位号	位名	说明
5	CASEN	Cascade Enable , 扩展定时器级联使能。仅 ET1CR 和 ET3CR 有此位。 1 = ET1 (ET3) 和 ET2 (ET4) 级联成 32bit 定时器 0 = 16bit 定时器独立工作
4	EDGESEL	计数模式采沿方式选择 (计数时钟选择mcu_clk时该位无效, 总是采用mcu_clk时钟上升沿计数) 1 = 计数模式采下降沿 0 = 计数模式采上升沿
3	CAPMOD	捕捉模式控制 1 = 脉宽捕捉 0 = 脉冲周期捕捉
2	CAPCLR	带清零捕捉模式控制 1 = 事件触发捕捉: 使能后计数器保持0, 捕捉到第一个有效沿之后 timer 才开始计数 0 = 捕捉不清零, 计数器一直自由计数
1	CAPONCE	单次捕捉控制 1 = 单次捕捉有效, 在捕捉到一次脉冲周期后计数器停止, 若需要再次捕捉需重新启动 0 = 连续捕捉
0	CAPEDGE	捕捉沿选择 1 = 周期捕捉模式时下沿捕捉 0 = 周期捕捉模式时上沿捕捉

20.6.1.2 ET1/2/3/4 输入源选择寄存器

名称	ET1INSEL/ET2INSEL/ET3INSEL/ET4INSEL							
地址	0x40013094/0x400130B4/0x400130D4/0x400130F4							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	SIG2SEL L	SIG1SEL L	--	GRP2SEL[2:0]			GRP1SEL[1:0]	
位权限	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-000			R/W-00	

位号	位名	说明
31:8	---	未实现, 读为0
7	SIG2SEL	内部信号2源选择(捕捉源) 1 = 扩展定时器3的内部信号2选择Group1 0 = 扩展定时器3的内部信号2选择Group2

位号	位名	说明
6	SIG1SEL	内部信号1源选择（在计数模式下计数源仅由此选择，捕捉模式下计数源） 1 = 扩展定时器3的内部信号1选择Group2 0 = 扩展定时器 3 的内部信号 1 选择 Group1
5	---	未实现，读为0
4:2	GRP2SEL[2:0]	GROUP2 信号选择控制 ET1 000 = RCLF 001 = UART1_RX 010 = XTLF 011 = ET1_IN1 100 = ET1_IN2 101 = CMP1O(比较器1输出) 110 = CMP2O(比较器2输出) 111 = LPTO ET2 000 = UART2_RX 001 = UART3_RX 010 = XTLF 011 = ET2_IN1 100 = ET2_IN2 101 = CMP1O(比较器1输出) 110 = CMP2O(比较器2输出) 111 = LPTO ET3 000 = ET3_IN1 001 = XTLF 010 = UART4_RX 011 = UART5_RX 100 = RTCSEC 101~111 = RFU ET4 000 = ET4_IN1 001 = XTLF 010 = UART_RX2 011 = UART_RX0 101 = CMP1O(比较器1输出) 110 = CMP2O(比较器2输出) 110= RTCSEC 111= LPTO

位号	位名	说明
1:0	GRP1SEL[1:0]	GROUP1 信号选择控制 ET1 00 = APBCLK 01 = XTLF 10 = RCLP 11 = ET1_IN0 ET2 00 = APBCLK 01 = XTLF 10 = RCLP 11 = ET2_IN0 ET3 00 = APBCLK 01 = ET3_IN0 10 = RTCSEC 11 = RCLP ET4 00 = APBCLK 01 = ET4_IN0 10 = RTC64HZ 11 = LPTO

20.6.1.3 ET1/2/3/4 预分频寄存器 1

名称	ET1PESCALE1/ET2PESCALE1/ET3PESCALE1/ET4PESCALE1							
地址	0x40013098/0x400130B8/0x400130D8/0x400130F8							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	PRESCALE1							
位权限	R/W-00000000							

位号	位名	说明
31:8	---	未实现，读为0
7:0	PRESCALE1	输入 Signal1 （计数源）的预分频寄存器 00 表示 1 分频，FF 表示 256 分频

20.6.1.4 ET1/2/3/4 预分频寄存器 2

名称	ET1PESCALE2/ET2PESCALE2/ET3PESCALE2/ET4PESCALE2							
地址	0x4001309C/0x400130BC/0x400130DC/0x400130FC							

位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	PRESCALE2							
位权限	R/W-00000000							

位号	位名	说明
31:8	---	未实现，读为0
7:0	PRESCALE2	输入 Signal2 （捕捉源）的预分频寄存器 00 表示 1 分频，FF 表示 256 分频。

20.6.1.5 ET1/2/3/4 初值寄存器

名称	ET1IVR/ET2IVR/ET3IVR/ET4IVR							
地址	0x400130A0/0x400130C0/0x400130E0/0x40013100							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	INITVALUE[15:8]							
位权限	R/W-00000000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	INITVALUE[7:0]							
位权限	R/W-00000000							

位号	位名	说明
31:16	---	未实现，读为0
15:0	INITVALUE	扩展定时器初值寄存器

20.6.1.6 ET1/2/3/4 比较寄存器

名称	ET1CMP/ET2CMP/ET3CMP/ET4CMP							
地址	0x400130A4/0x400130C4/0x400130E4/0x40013104							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							

位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	CMP[15:8]							
位权限	R/W-00000000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CMP[7:0]							
位权限	R/W-00000000							

位号	位名	说明
31:16	---	未实现，读为0
15:0	CMP	扩展定时器比较寄存器 该寄存器与计数器比较，若计数值大于等于该寄存器的值，则产生计数匹配信号至输出控制模块，并产生相应中断。

20.6.1.7 ET1/2/3/4 中断使能寄存器

名称	ET1IE/ET2IE/ET3IE/ET4IE							
地址	0x400130A8/0x400130C8/0x400130E8/0x40013108							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	---					CMPIE	CAPIE	OVIE
位权限	U-0					R/W-0	R/W-0	R/W-0

位号	位名	说明
31:3	---	未实现：读为 0
2	CMPIE	扩展定时器比较使能 1 = 使能 0 = 禁止
1	CAPIE	扩展定时器捕捉中断使能 1 = 使能 0 = 禁止
0	OVIE	扩展定时器3溢出中断使能 1 = 使能 0 = 禁止

20.6.1.8 ET1/2/3/4 中断标志寄存器

名称	ET1IF/ET2IF/ET3IF/ET4IF							
地址	0x400130AC/0x400130CC/0x400130EC/0x4001310C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	---				CMPIF	EDGESTA	CAPIF	OVIF
位权限	U-0				R/W1C-0	R/W1C-0	R/W1C-0	R/W1C-0

位号	位名	说明
31:4	---	未实现：读为 0
3	CMPIF	比较状态 1 = 当前计数器的值大于等于比较寄存器的值 0 = 当前计数器的值小于比较寄存器的值
2	EDGESTA	捕捉沿状态 1 = 脉冲宽度捕捉模式时表示捕捉到下沿 0 = 脉冲宽度捕捉模式时表示捕捉到上沿
1	CAPIF	扩展定时器捕捉产生信号 1 = 捕捉到指定的沿 0 = 未捕捉到指定的沿
0	OVIF	扩展定时器3溢出信号，当计数器的值由0xFFFF再增加时将置位 1 = 产生计数溢出 0 = 未产生溢出

20.6.1.9 ET1/2/3/4 计数值寄存器

名称	ET1CNT/ ET2CNT/ ET3CNT/ ET4CNT							
地址	0x40013110/0x40013114/0x40013118/0x4001311C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	ETxCNT[15:8]							
位权限	R							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	ETxCNT[7:0]							



位权限	R
-----	---

位号	位名	说明
31:16	--	未实现：读为0
15:0	ETxCNT	计数器数值

21 通用定时器（GPTIM）

21.1 概述

FM33A048D包含2个通用定时器。

通用定时器包含一个16bit自动重载计数器及一个可编程预分频器。

通用定时器可以支持多种应用，包括如捕捉、输出比较、PWM。

21.2 主要特性

- 16bit向上、向下、双向计数自动重载计数器
- 16bit可编程预分频器，支持实时调整计数时钟分频
- 灵活的计数时钟源选择，使用部分时钟可以在休眠模式下运行
- 4个独立通道可用于输入捕捉、输出比较、PWM（边缘或中心对齐模式）、单脉冲输出
- 支持与其他定时器级联
- 支持在以下事件发生时产生中断
 - 计数器溢出，计数器初始化（软件或硬件 trigger）
 - Trigger 事件（计数器启动、停止、初始化、内外部触发）
 - 输入捕捉
 - 输出比较

21.3 结构框图

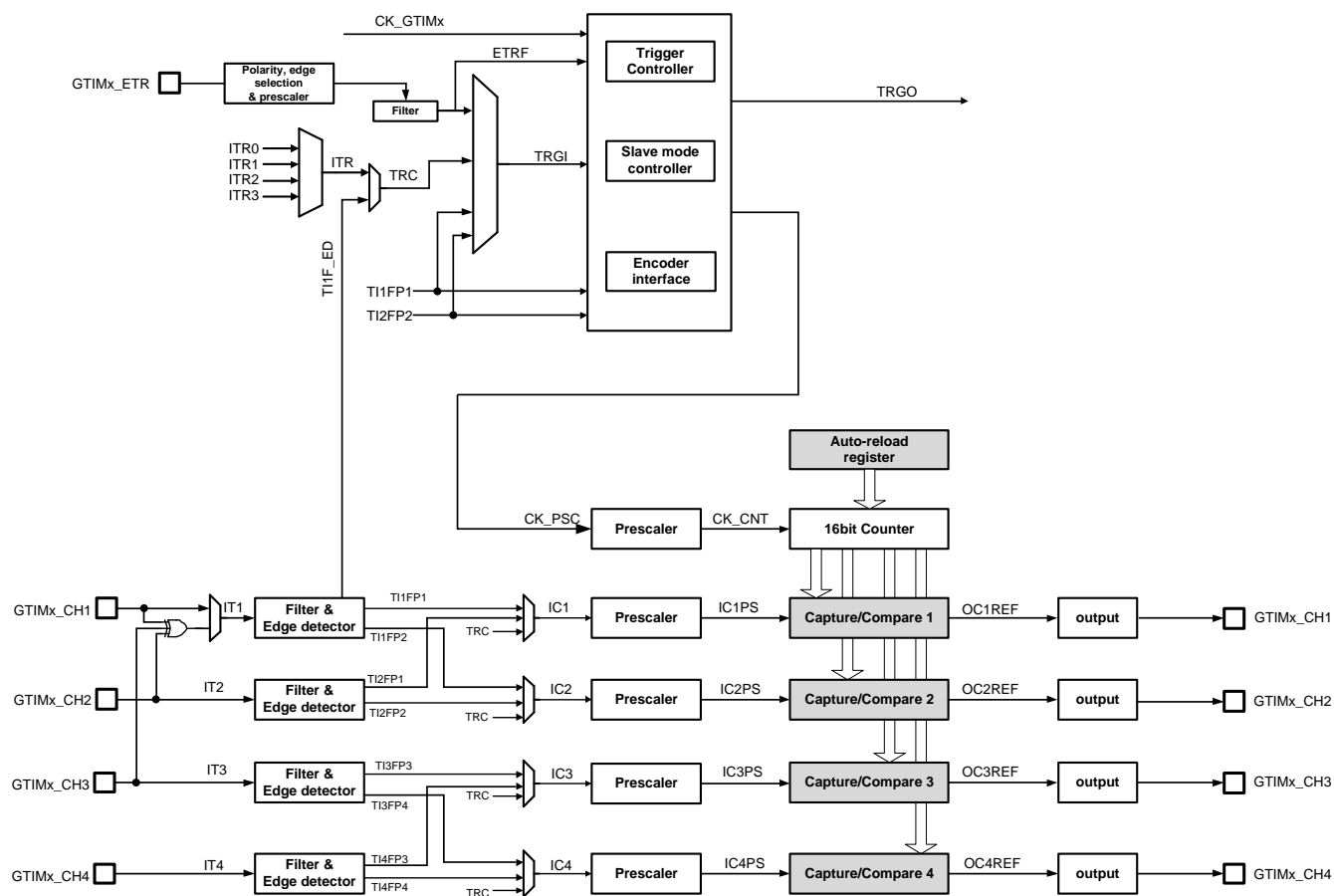


图 21-1 GPTIM 结构框图

21.4 功能描述

21.4.1 定时单元

高级定时器的定时单元由一个16位计数器和自动重载寄存器组成。计数器可以向上、向下或双向计数。计数时钟可以通过16位预分频器对APBCLK进行分频后得到。

计数器、自动重载寄存器预分频寄存器都可以由软件改写或读取，即使在计数器正在运行时也是如此。

定时单元包含如下寄存器：

- 计数器（GPTIM_CNT）
- 预分频寄存器（GPTIM_PSC）
- 自动重载寄存器（GPTIM_ARR）
- 重复计数寄存器（GPTIM_RCR）

ARR包含预装载功能，该功能通过ARPE（Auto Reload Preload Enable）寄存器控制。当ARPE=0时，对ARR寄存器执行写入，写入数据将直接传入到影子寄存器；当ARPE=1时，对ARR寄存器执行写入的数据在update event（GPTIM_CNT上溢出或者下溢出）发生时，传送到影子寄存器。软件也可以通过寄存器操作主动触发ARR更新（UEV）。

GPTIM_CNT工作时钟由GPTIM_PSC产生的分频时钟驱动，只有在计数器使能寄存器（CEN）置位时，CNT才开始计数。当CNT=ARR时，本轮计数结束，发送update event。

GPTIM_PSC是一个同步预分频器，能够对APBCLK进行1~65536分频。PSC寄存器同样被缓存，改写PSC实际不改写影子寄存器，只有当新的update event到来时，才会从PSC更新至影子寄存器。因此在CNT计数过程中，软件可以实时改写PSC，而新的预分频比将在下一更新事件发生时被采用。

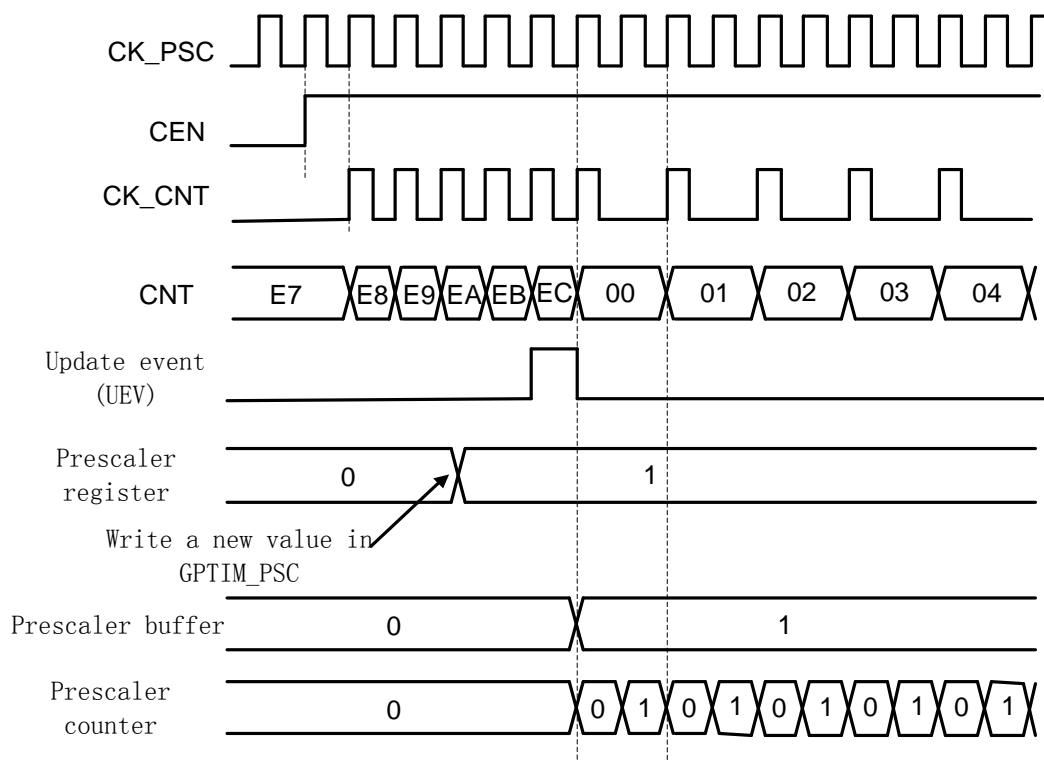


图 21-2 预分频从 1 变为 2 的波形

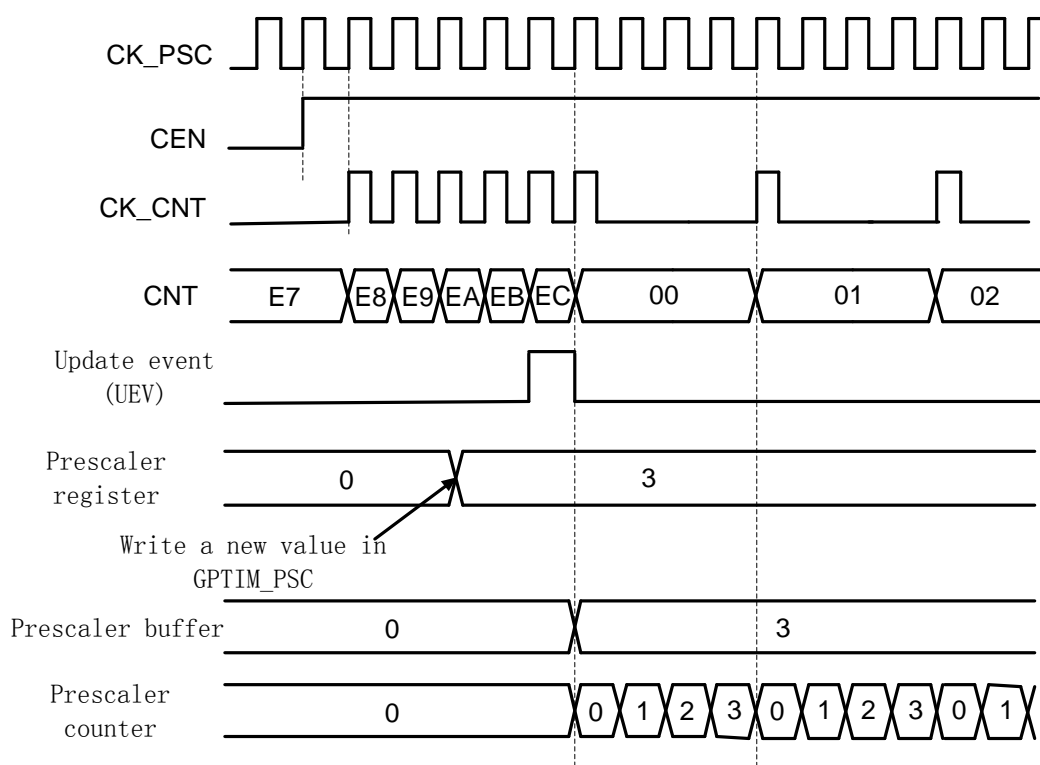


图 21-3 预分频从 1 变为 4 的波形

21.4.2 定时器工作模式

定时器支持向上计数、向下计数和中心计数模式。

向上计数

此模式中，计数器使能后从0开始计数，直到 $CNT=ARR$ ，产生溢出事件，然后重新从0开始计数。

软件可以通过设置UG寄存器直接触发update event，此时CNT和预分频计数器自动清零。设置UG寄存器是否触发UIF（Update Interrupt Flag）中断标志置位由URS寄存器的设置决定。

通过设置UDIS寄存器可以禁止update event，这样可以避免将preload寄存器中的值更新到工作寄存器中。

当update event发生时，以下寄存器被更新，并且UIF置位：

- ARR影子寄存器被更新为GPTIM_ARR内容
- PSC影子寄存器被更新为GPTIM_PSC内容

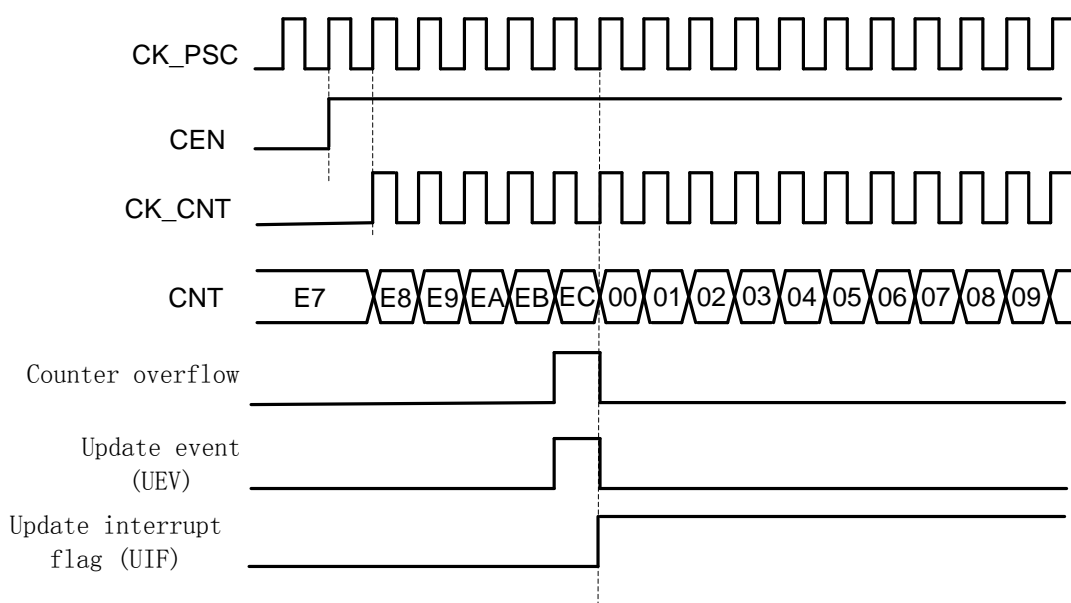


图 21-4 向上计数波形，内部时钟不分频

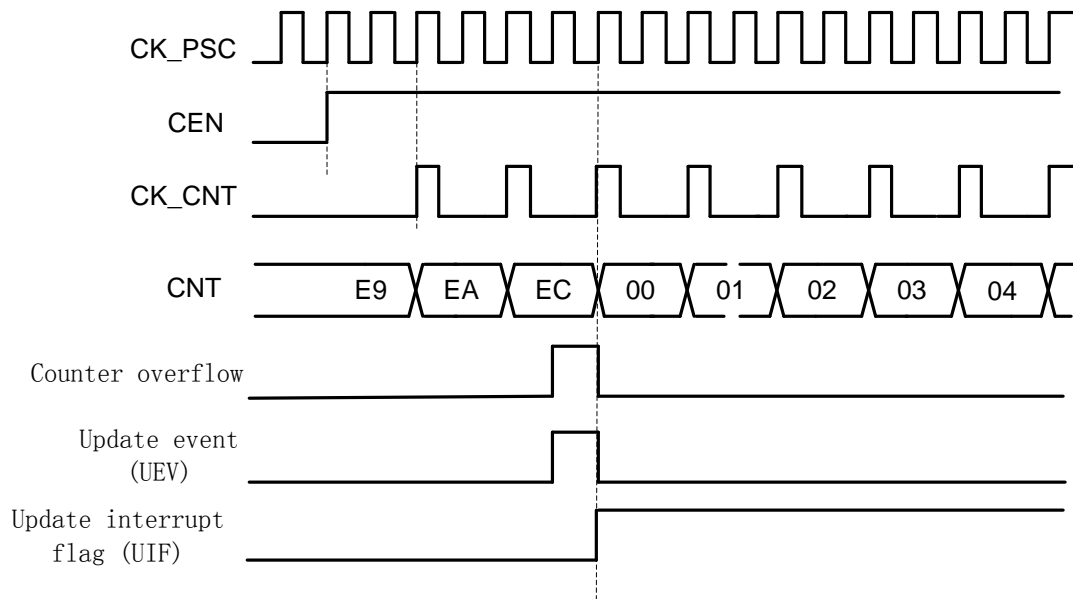
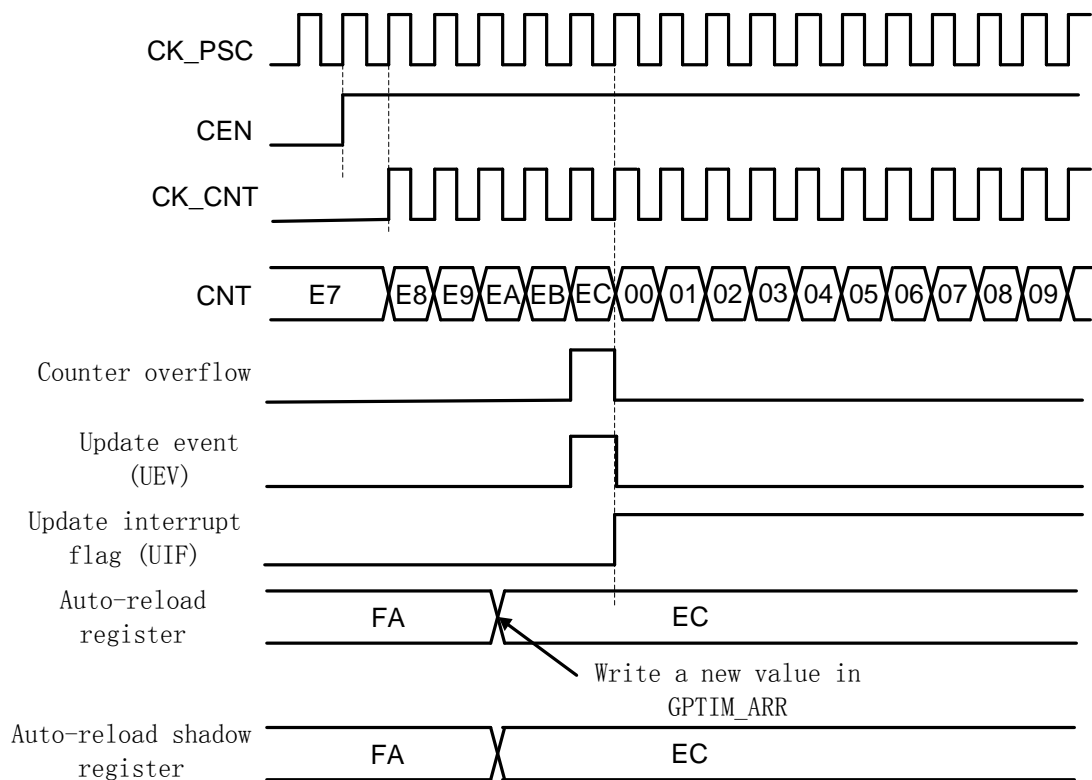


图 21-5 向上计数波形，内部时钟 2 分频

图 21-6 $ARPE=0$ (GPTIM_ARR 没有预装载) 时的更新事件

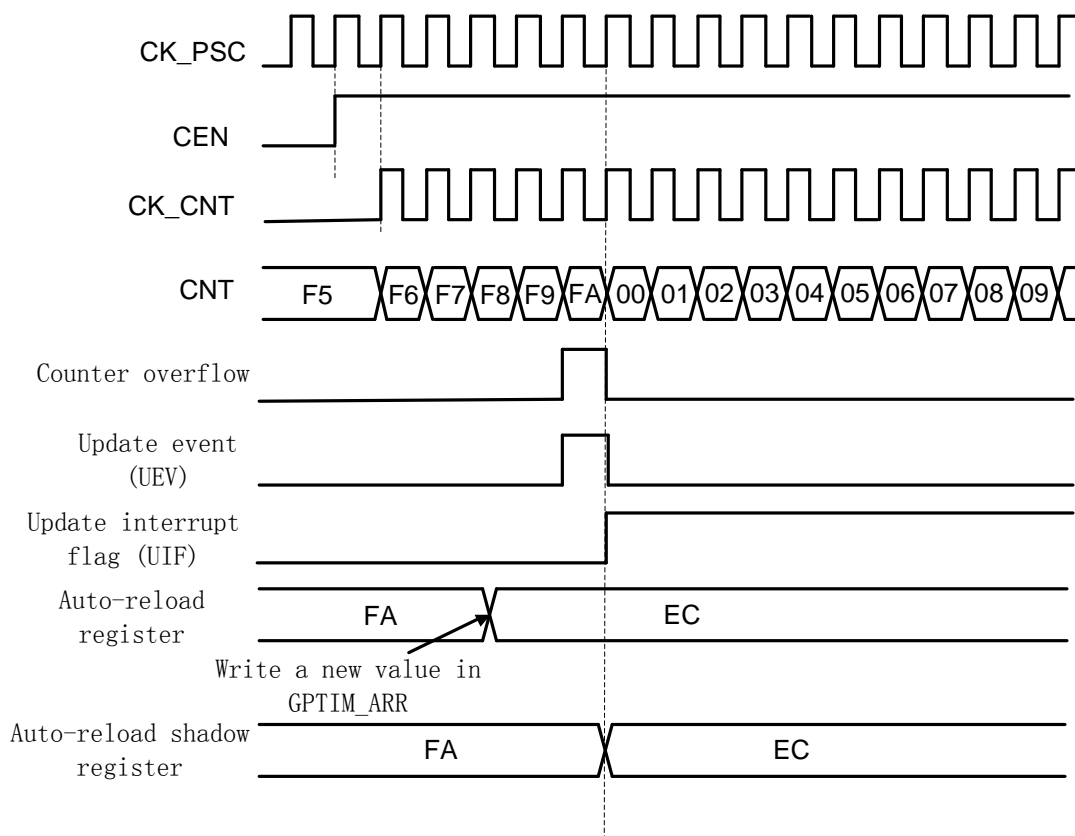


图 21-7ARPE=1 (ATIM_ARR 预装载) 时的更新事件

向下计数

向下计数模式中，计数器从ARR值开始递减，到0后产生下溢出事件，并且重新从ARR开始计数。

软件可以通过设置UG寄存器直接触发update event，此时CNT和预分频计数器自动清零。设置UG寄存器是否触发UIF（Update Interrupt Flag）中断标志置位由URS寄存器的设置决定。

通过设置UDIS寄存器可以禁止update event，这样可以避免将preload寄存器中的值更新到工作寄存器中。

当update event发生时，以下寄存器被更新，并且UIF置位：

- ARR影子寄存器被更新为GPTIM_ARR内容
- PSC影子寄存器被更新为GPTIM_PSC内容

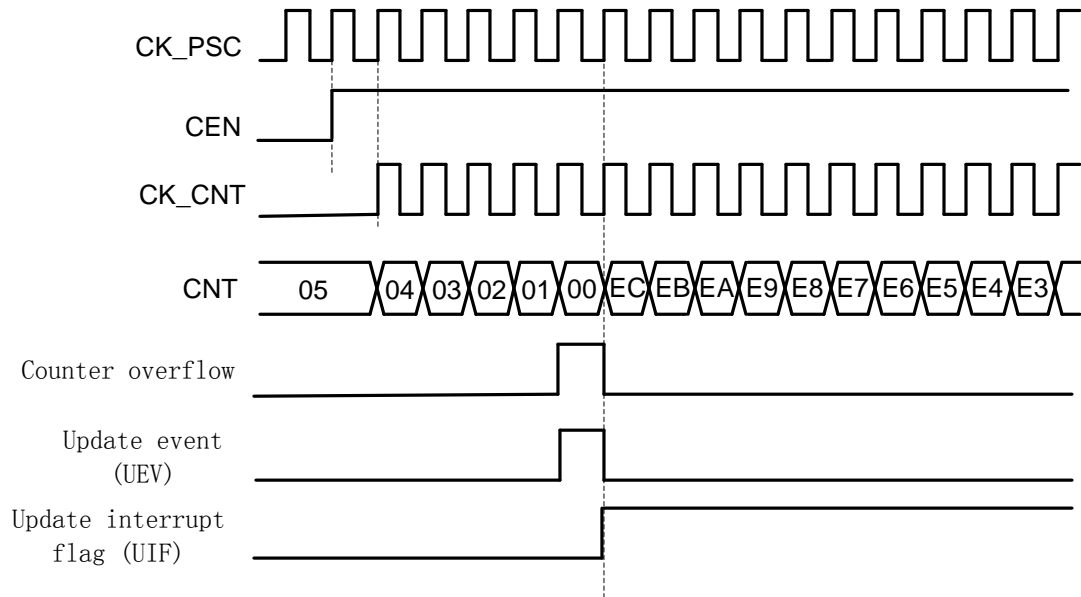


图 21-8 向下计数，内部时钟不分频

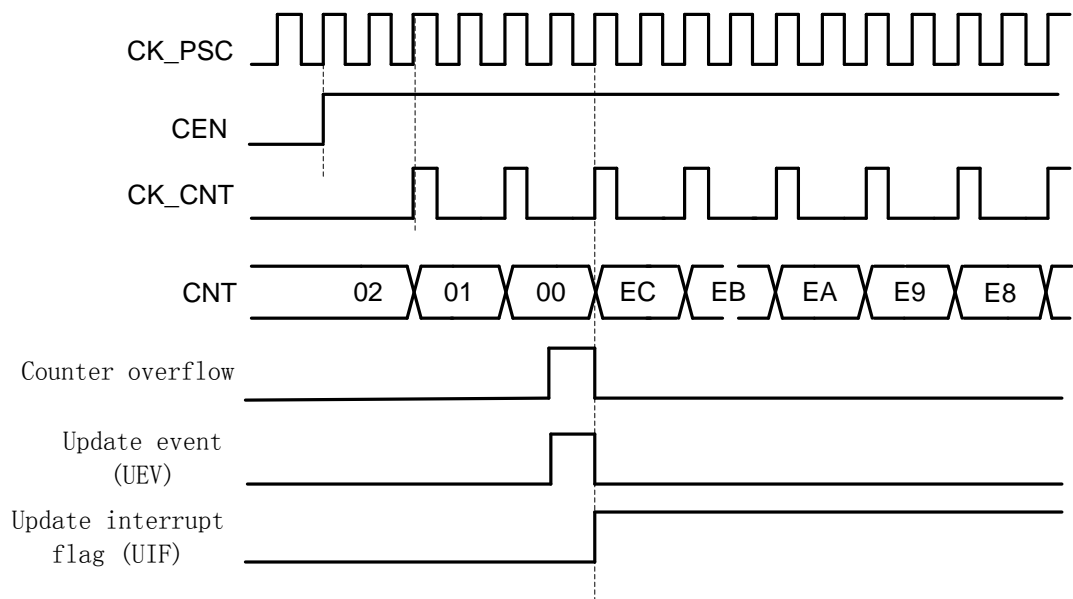


图 21-9 向下计数，内部时钟 2 分频

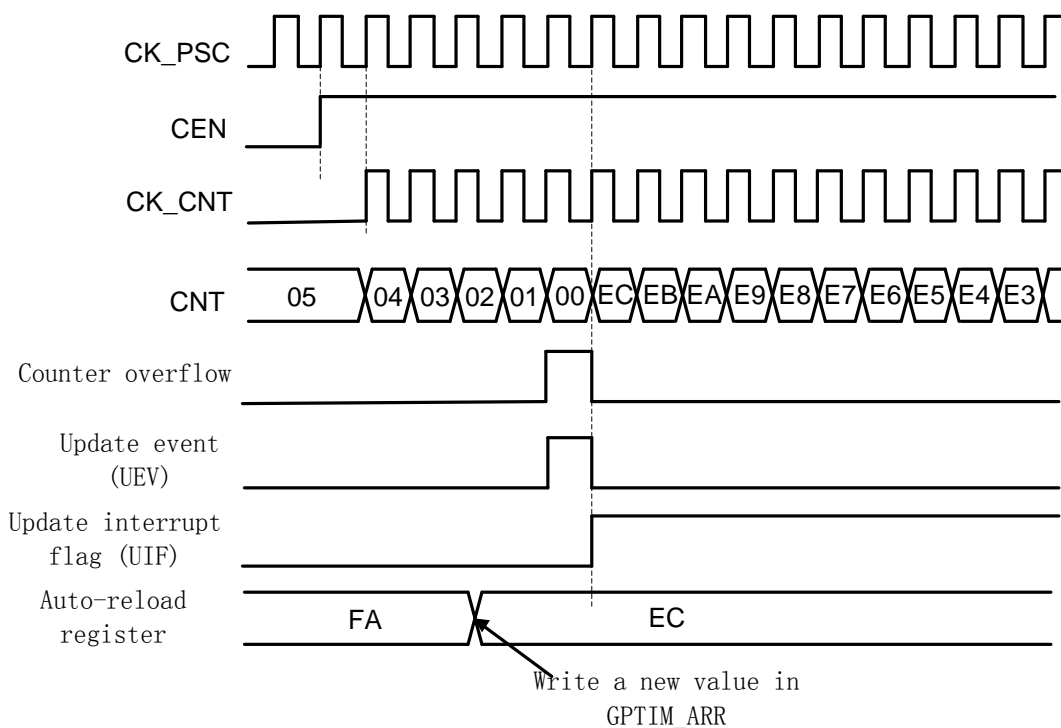


图 21-10 向下计数，内部时钟 2 分频

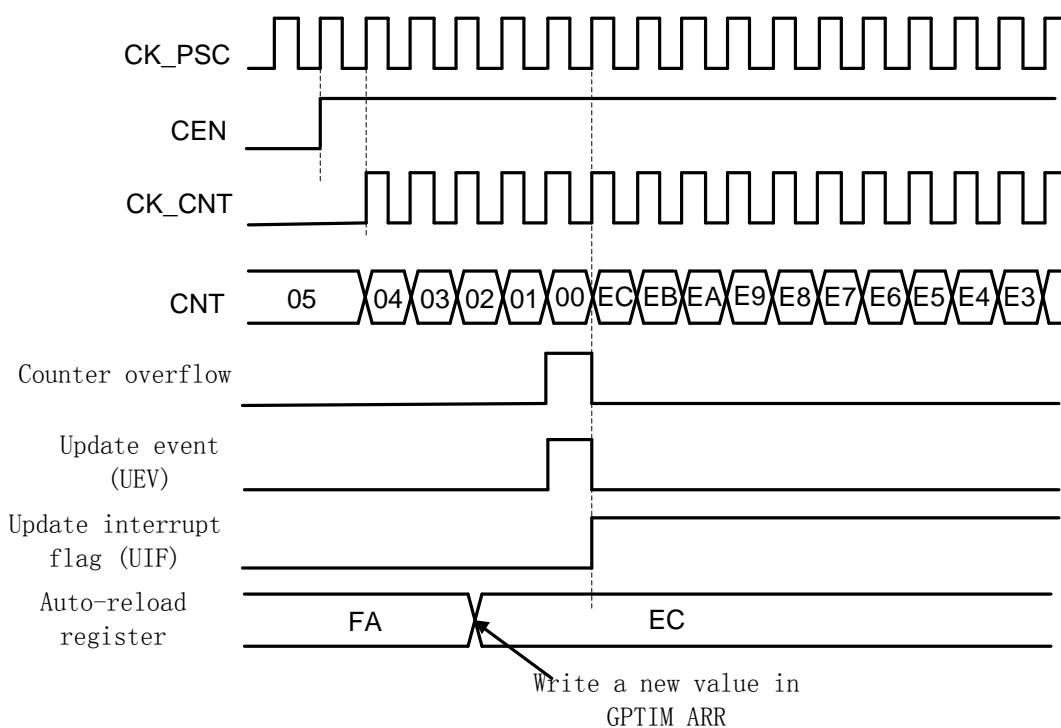


图 21-11 向下计数，不使用重复计数时的更新事件

中心对齐计数

在中心对齐模式下，计数器从0开始向上计数，到ARR-1产生上溢出事件，然后从ARR开始向下计数到1，产生下溢出事件，再从0重新开始向上计数。

CMS[1:0]寄存器用于使能中心对齐模式，并选择中心对齐模式下的输出比较工作方式。当CMS!=00时为中心对齐计数，当CMS=01时，输出比较功能仅在向下计数时有效，当CMS=10时，输出比较功能仅在向上计数时有效，当CMS=11时，输出比较功能在上下计数时都有效。

中心对齐模式下，DIR寄存器无法由软件改写，而是随着计数方向变化硬件自动更新，表示当前计数方向。

计数器在overflow和underflow的事件上都会更新 ARR、PSC的影子寄存器。

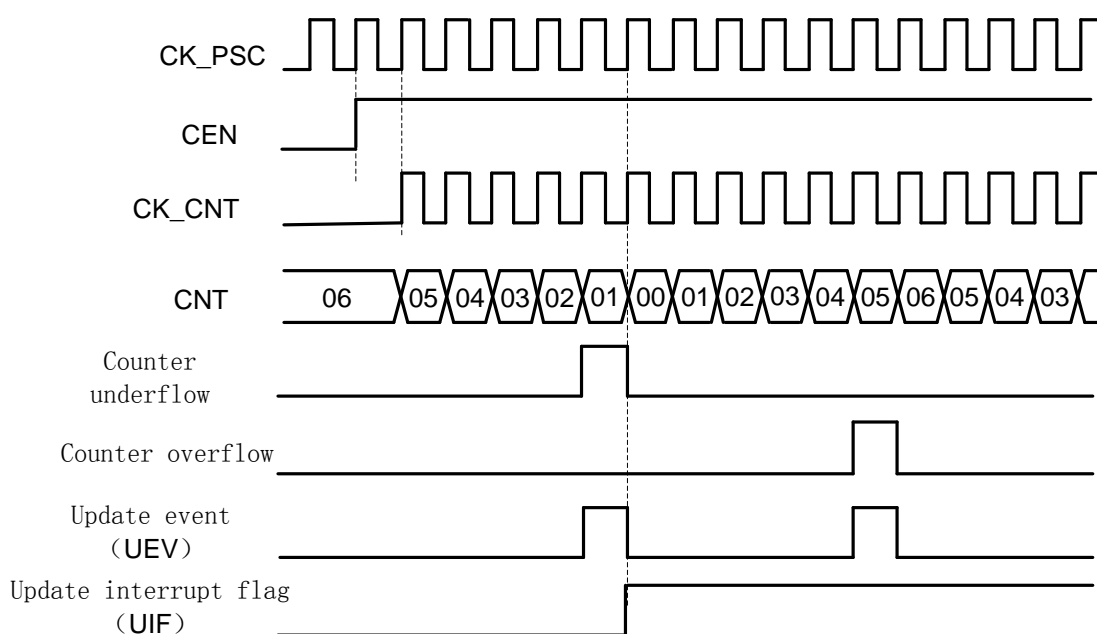


图 21-12 中心对齐计数器时序图，GPTIM_PCS=0，GPTIM_ARR=0x6

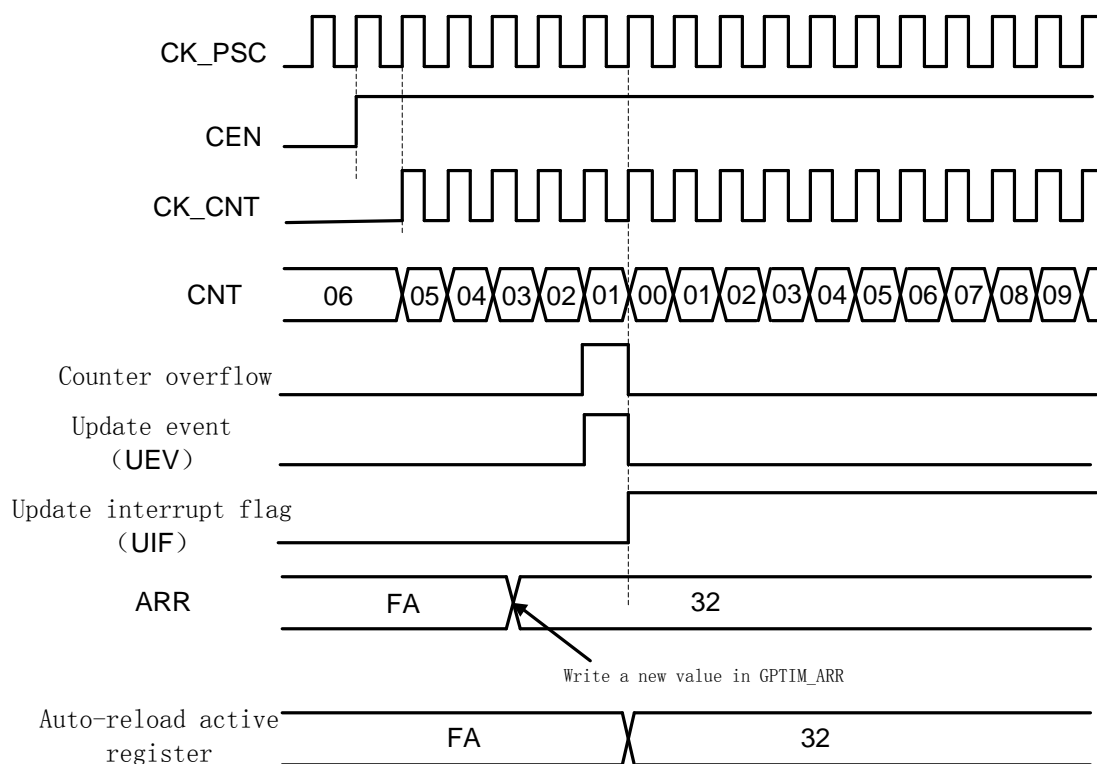


图 21-13 计数器时序图, ARPE=1 时的更新事件(计数器下溢)

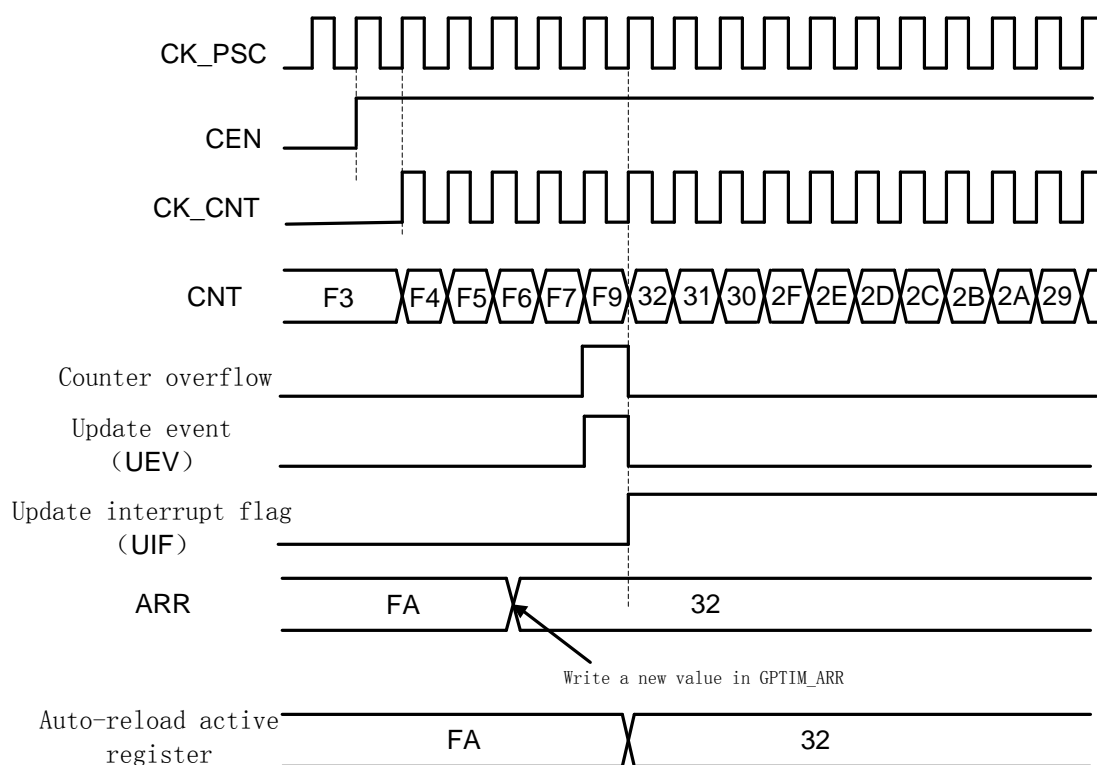


图 21-14 计数器时序图, ARPE=1 时的更新事件(计数器溢出)

21.4.3 计数器工作时钟

计数器可以使用如下时钟工作：

- APBCLK——内部时钟模式
- 外部引脚输入时钟（Tlx）——外部时钟模式1
- 外部引脚触发输入（ETR）——外部时钟模式2
- 内部触发（ITRx）——使用一个timer的触发输出（TGO）作为计数时钟

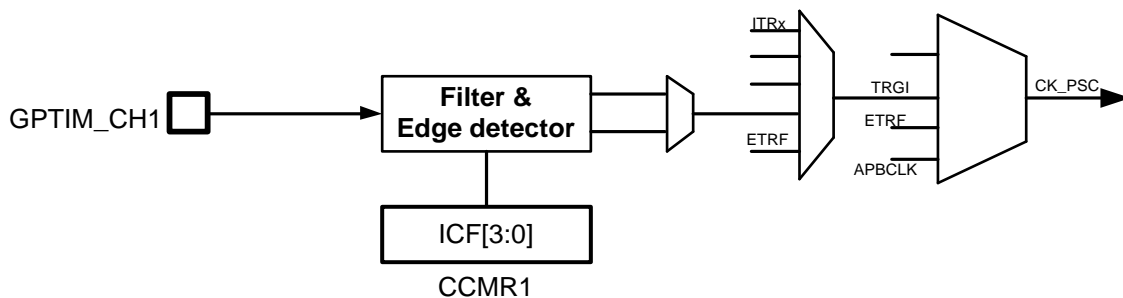


图 21-15 GPTIM 时钟源框图

21.4.3.1 内部时钟模式

内部时钟模式下，禁止从机模式（SMS=000），CEN、DIR、UG等寄存器位都是软件控制

软件操作UG寄存器后，update信号经过CLK_PSC同步后，计数器值将被重新初始化。

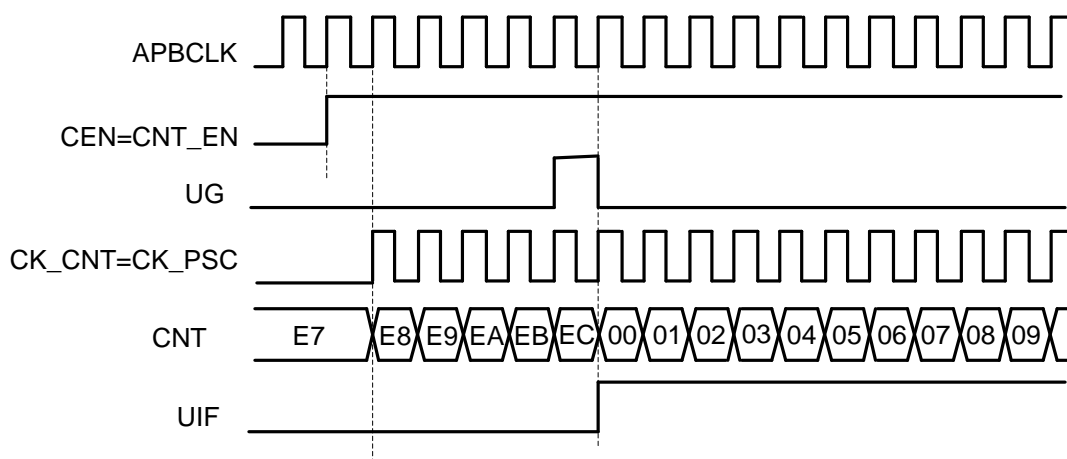


图 21-16 内部时钟源模式，时钟分频因子为 1

21.4.3.2 外部时钟模式 1

此模式下直接使用外部引脚输入信号作为计数时钟，配置SMS=111，计数边沿可以配置为上升或下

降沿。

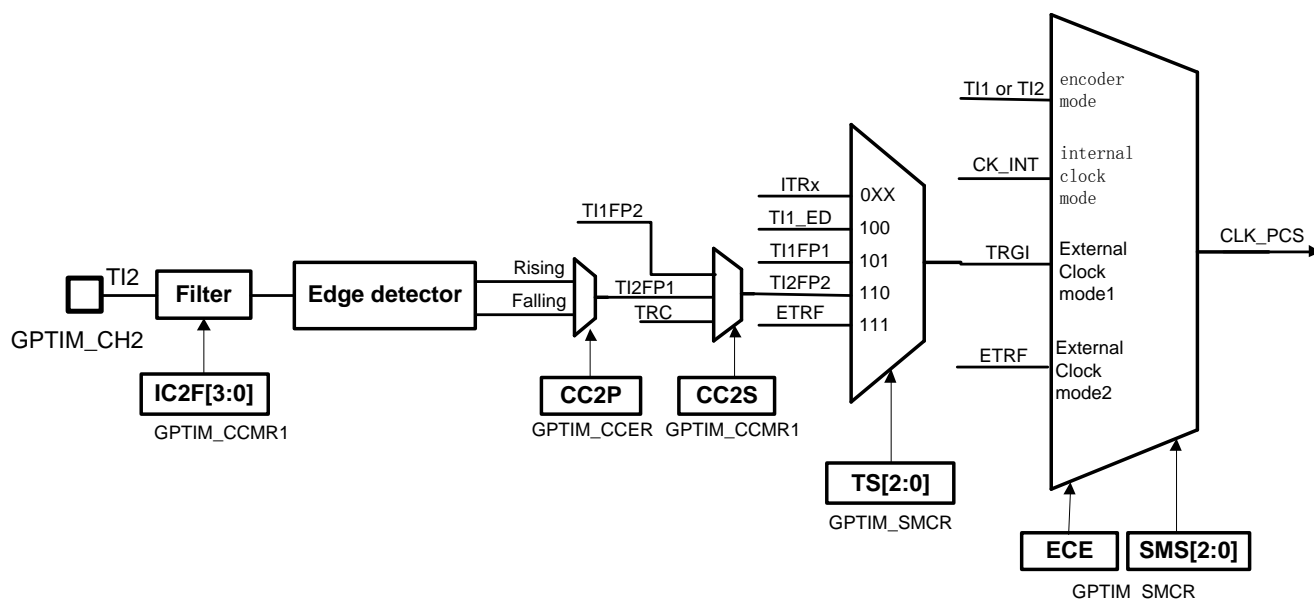


图 21-17 TI2 外部时钟连接例子

外部输入信号在触发计数器计数前，会先经过内部时钟的同步过程，同时输入信号的有效沿会触发 TIF 标志

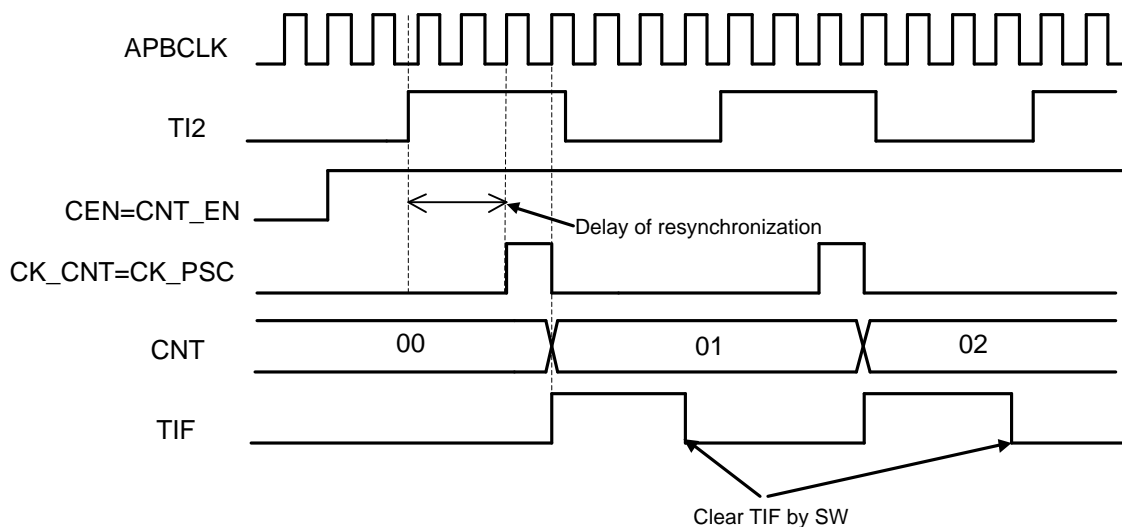


图 21-18 外部时钟模式 1 下的时序

使用外部时钟计数时，仍然要使能GPTIM的内部时钟（APBCLK），因为GPTIM要使用APB_CLK来对外部输入时钟进行同步和滤波。在外部时钟模式1下，外部输入时钟首先经过滤波和边沿选择，得到有效的计数沿，作为有效工作时钟（CLK_PSC）输入给预分频模块。

外部时钟同步采用简单的2级触发器结构，因此为了避免亚稳态，要求外部输入时钟宽度至少大于2

个APB_CLK周期。

此模式下只有通道1和2的输入可以用做时钟输入，所需配置如下：

- 在GPIO模块中，配置相应管脚为GPTIM_CH2功能
- 关闭通道使能，配置GPTIM_CCER.CC2E=0，确保之后通道配置成功
- 选择输入通道，配置GPTIM_CCMR1.CC2S=01, IC2映射到TI2
- 选择计数有效沿，配置GPTIM_CCER.CC2P=0，选择上沿或者下沿
- 配置输入滤波时间，配置GPTIM_CCMR1.IC2F[3:0](IC2F=0000，不进行输入滤波)
- 使能外部时钟模式1，配置GPTIM_SMCR.SMCR=111
- 选择触发输入源，配置GPTIM_SMCR.TS=110,选定TI2作为触发输入源
- 打开通道使能，配置GPTIM_CCER.CC2E=1
- 使能计数器，配置GPTIM_CR1.CEN=1

下图是一个典型的外部时钟计数模式1的示例：

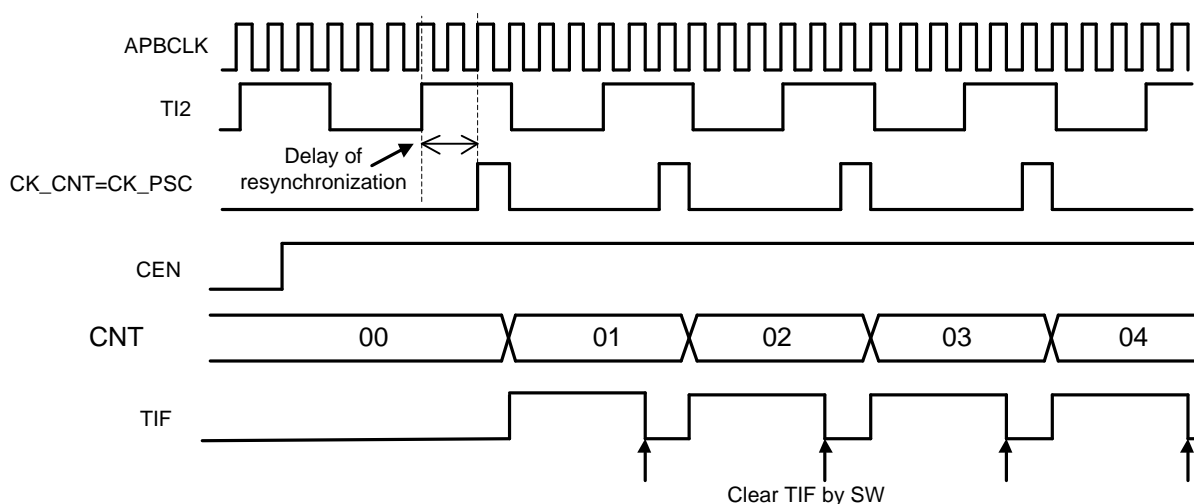


图 21-19 外部时钟模式 1 下的时序

21.4.3.3 外部时钟模式 2

此模式下使用GPTIM_ETR管脚输入信号的上升沿或下降沿（不支持双沿）来计数。

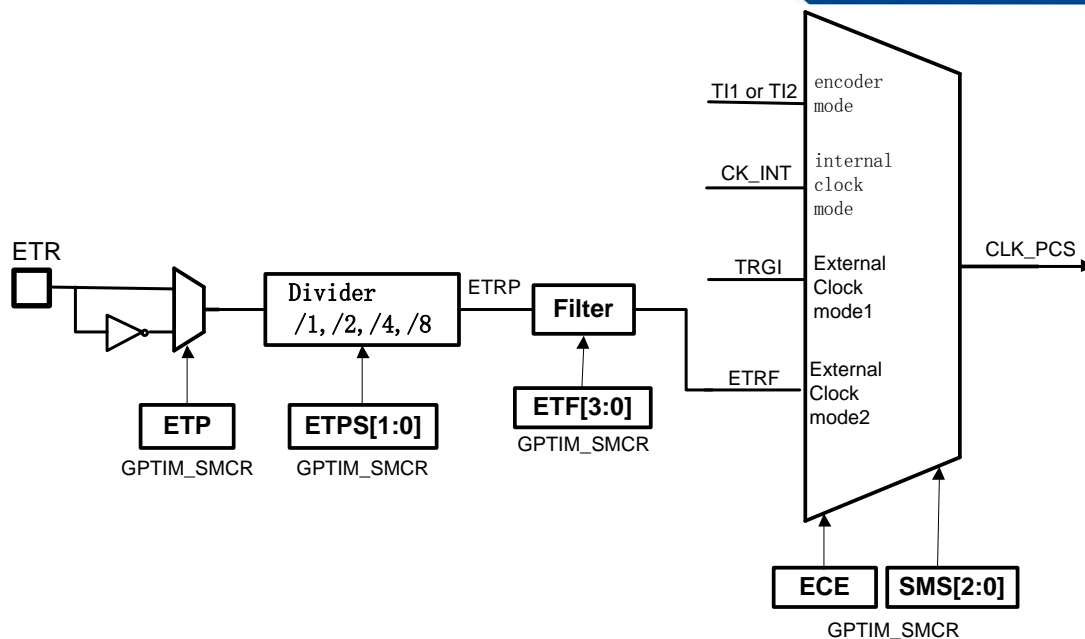


图 21-20 外部触发输入框图

下图是使用 ETR 二分频后的上升沿进行计数，其中实际计数发生时间因为内部时钟的同步过程而延迟于 ETR 输入上升沿。

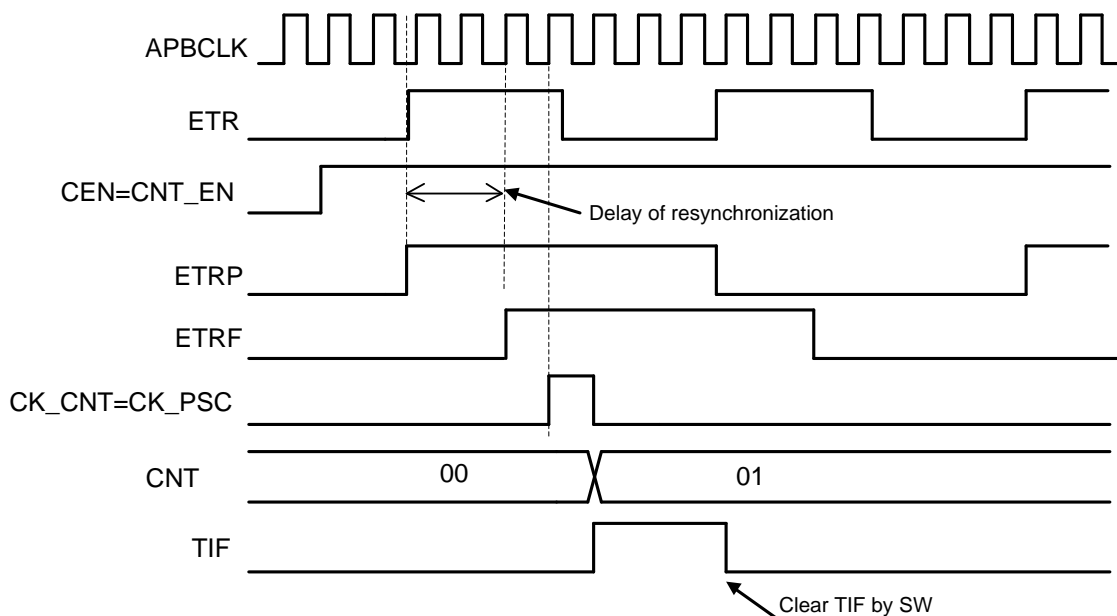


图 21-21 外部时钟模式 2 下的时序 1

与外部时钟模式 1 的主要差别是，ETR 输入直接被分频后再进行滤波，产生 CK_PSC 时钟，这意味着可以支持 ETR 输入频率高于 APB_CLK 的应用场景，这种情况下，需要首先对 ETR 输入进行预分频，再用于驱动计数器。

此模式所需配置如下：

- 在GPIO模块中，配置相应管脚为GPTIM_ETR功能
- 设置ETP进行沿选择，GPTIM_SMCR.ETP=0
- 设置ETR分频比，配置GPTIM_SMCR.ETPS[1:0]=01
- 配置输入滤波时间，GPTIM_SMCR.ETF[3:0]=0000
- 置位ECE寄存器，使能外部时钟模式2, GPTIM_SMCR.ECE=1, GPTIM_SMCR.SMS=000
- 使能计数器，配置GPTIM_CR1.CEN=1

下图是一个典型的外部时钟模式2的示例：

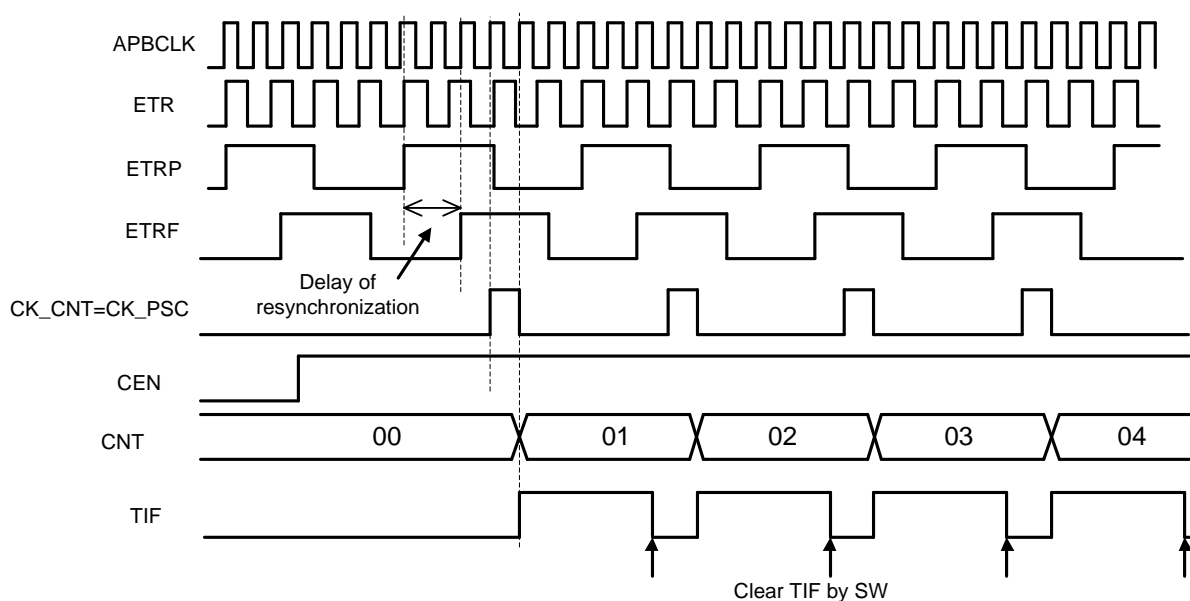
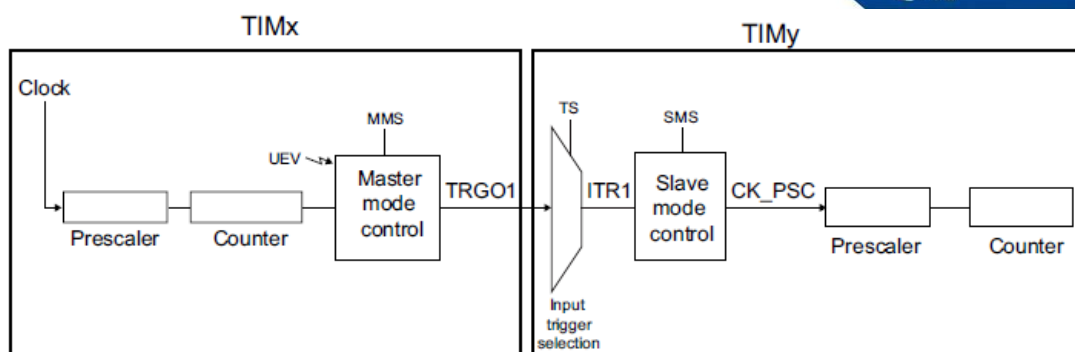


图 21-22 外部时钟模式 2 下的时序 2

在使用外部时钟模式2时，仍可以将GPTIM配置为slave模式：比如使用ETR输入计数，同时使用另一个Timer的TRGO作为触发信号，当触发事件到来时，复位计数器重新开始计数。

21.4.3.4 内部触发模式

每个GPTIM支持4个ITR输入，可用于计数触发或者内部信号捕捉。当ITR选择为计数触发信号时，GPTIM计数器将在每个ITR信号的高电平期间计数，或者由ITR信号上升沿触发计数。通过内部触发模式可以实现Timer级联，下图是一个例子：



配置TIMx为master mode并周期性输出TRGO脉冲信号，TIMy配置为Slave mode并将TIMx的TRGO设置为ITR；当TIMx.TRGO脉冲到来时，TIMy计数一次。

基于内部触发模式的timer级联有如下要求：

- TRGO信号设计为APBCLK单周期脉冲
- TIMx和TIMy都工作在APBCLK时钟域
- TRGO对于接收方来说是一个同步脉冲
- Master和Slave的工作时钟都必须使能

内部触发模式可以使用的触发信号除了其他定时器输出外，还可以是ADC_EOC或者OPA比较器模式输出，为了满足以上要求，需要设计时将ADC和OPA输出的trigger信号处理成APBCLK同步脉冲。

21.4.4 内部触发信号（ITRx）的捕捉

每个GPTIM支持4个ITR输入，可用于计数触发或者内部信号捕捉。当用于内部信号捕捉时，需要将TS配置为000~011用于选择ITR0~ITR3，并将CCxS配置为11，即将TRC选为捕捉信号。通过这个方法，Timer可以捕捉各种芯片内部信号的周期。

每个ITR输入支持4个内部信号扩展，由ITRxSEL寄存器配置。输入信号源参考下表：

GPTIM1			Function
ITR0SEL	00	-	-
	01	UART0_RX	周期捕捉
	10	UART1_RX	周期捕捉
	11	UART4_RX	周期捕捉
ITR1SEL	00	GPTIM1_TRGO	计数触发
	01	XTHF	周期捕捉
	10	RCHF	周期捕捉
	11	LPUART0_RX	周期捕捉
ITR2SEL	00	-	-
	01	LPUART1_RX	周期捕捉
	10	RCLP	周期捕捉
	11	XTLF	周期捕捉

ITR3SEL	00	COMP1_O	计数触发
	01	-	-
	10	COMP2_O	计数触发
	11	LPTOUT	计数触发
GPTIM2			
ITR0SEL	00	-	-
	01	UART0_RX	周期捕捉
	10	UART1_RX	周期捕捉
	11	UART5_RX	周期捕捉
ITR1SEL	00	GPTIM0_TRGO	计数触发
	01	XTHF	周期捕捉
	10	RCHF	周期捕捉
	11	ADC_EOC	计数触发
ITR2SEL	00	-	-
	01	LSCLK	周期捕捉
	10	RCLP	周期捕捉
	11	XTLF	周期捕捉
ITR3SEL	00	COMP1_O	计数触发
	01	-	-
	10	COMP2_O	计数触发
	11	LPTOUT	计数触发

其中，作为计数触发的TRGO信号，在到达GPTIM的ITRx之前都被处理成一个APBCLK宽度的同步使能信号。而用作周期或宽度捕捉的信号，则无需处理，直接由GPTIM进行捕捉。

软件应保证选择正确的信号用于正确的功能，错误的配置将导致完全错误的结果。比如将GPTIM_TRGO用于宽度捕捉，则结果没有意义。

21.4.5 捕捉/比较通道

GPTIM包含4个捕捉/比较通道，每个通道由一个捕捉比较寄存器（CCR）（包含影子寄存器）、一个捕捉输入级、一个比较输出级组成。

输入级电路会采样Tix输入并产生滤波后的信号TixF，然后边沿检测和极性选择产生对应的TixFPx信号，此信号可作为计数触发或者待捕捉信号，并且在被捕捉前经过预分频。

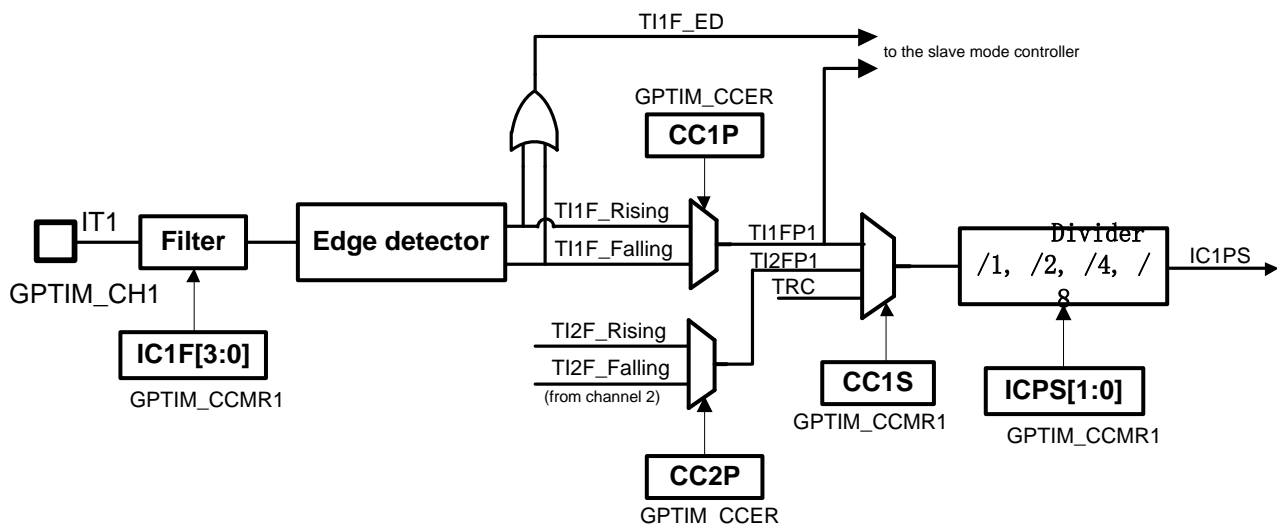


图 21-23 捕获/比较通道(通道 1 输入部分)

输出级电路会产生一个输出基准信号OCxREF，此信号固定为高电平有效，作为最终输出电路的参考输入。GPTIM输出通道不支持互补输出。

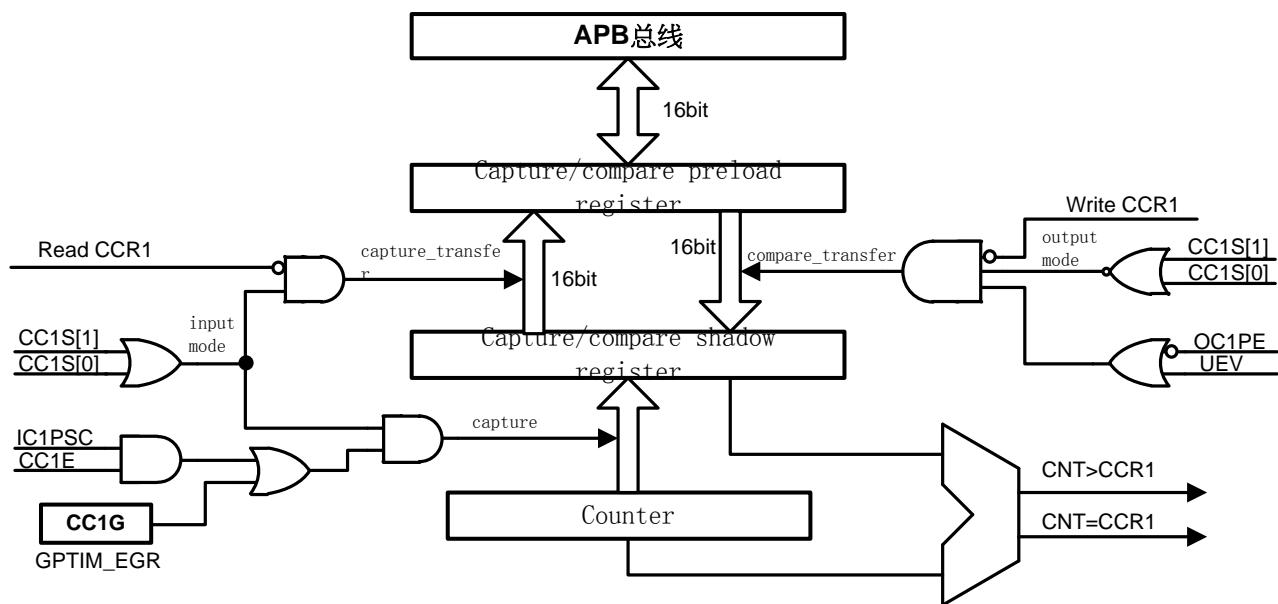


图 21-24 捕获/比较通道 1 的主电路

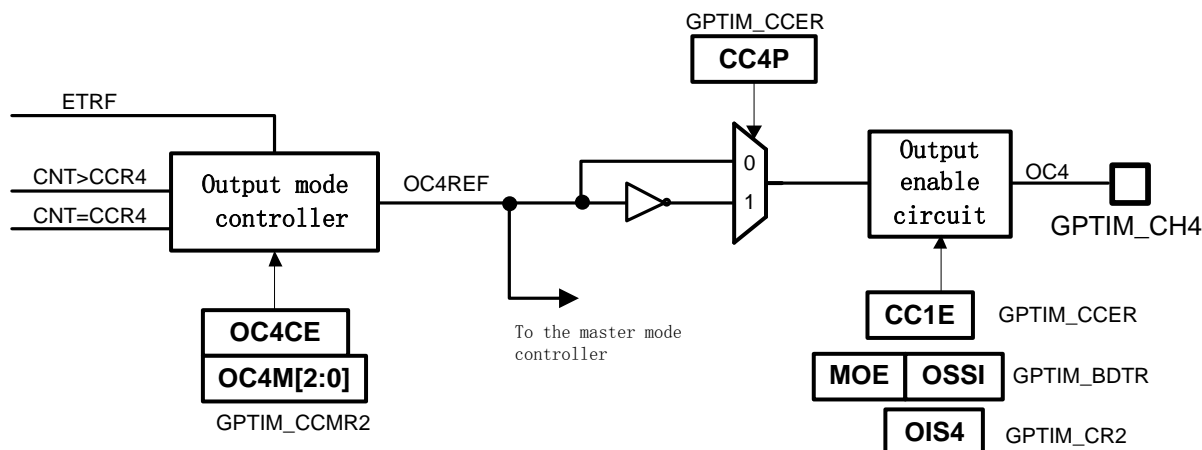


图 21-25 捕获/比较通道的输出部分

捕捉/比较寄存器（CCR）包含preload寄存器和shadow寄存器，软件读写总是访问preload寄存器。在捕捉模式下，捕捉值保存在shadow寄存器中并复制到preload寄存器。在比较模式下，preload寄存器的值被拷贝到shadow寄存器用来与计数器比较。

21.4.6 输入捕捉模式

当ICx信号上出现预期的电平变换，将触发一次capture，当前计数器值被锁存进CCR，与此同时，CCxIF中断标志置位，并且可以触发对应的中断或者DMA请求。如果一个捕捉事件在CCxIF为高的情况下出现，则捕捉数据冲突标志（CCxOF, Over-Capture）置位（CCR中上次捕捉值被覆盖）。CCxIF可以由软件清零，或者通过读取CCR寄存器自动清零。CCxOF标志通过软件写1清零。

通过两个或更多通道配合，可以实现PWM信号的输入捕捉。比如要计算一个输入信号的周期和占空比，可以将此信号从TI1引脚输入，芯片内部将滤波后的信号取上升沿得到TI1FP1，将滤波后的信号取下降沿得到TI1FP2，将TI1FP1输入给捕捉通道1，将TI1FP2输入给捕捉通道2，即可实现通道1对输入信号上升沿捕捉，同时通道2对输入信号下降沿捕捉；捕捉中断定期发生后，软件通过CCR1和CCR2寄存器的值，即可计算输入信号的周期和占空比。

实现在TI1输入的上升沿捕获计数器的值到GPTIM_CCR1寄存器，配置步骤如下：

- 在GPIO模块中，配置相应管脚为GPTIM_CH1功能
- 关闭通道使能，配置GPTIM_CCER.CC1E=0，确保之后通道配置成功
- 选择输入通道，配置GPTIM_CCMR1.CC1S=01，IC1映射到TI1
- 选择计数有效沿，配置GPTIM_CCER.CC1P，选择上沿或者下沿
- 配置输入滤波时间，配置GPTIM_CCMR1.IC1F[3:0]
- 配置输入预分频器，配置GPTIM_CCMR1.IC1PS[1:0]
- 打开通道使能，配置GPTIM_CCER.CC1E=1

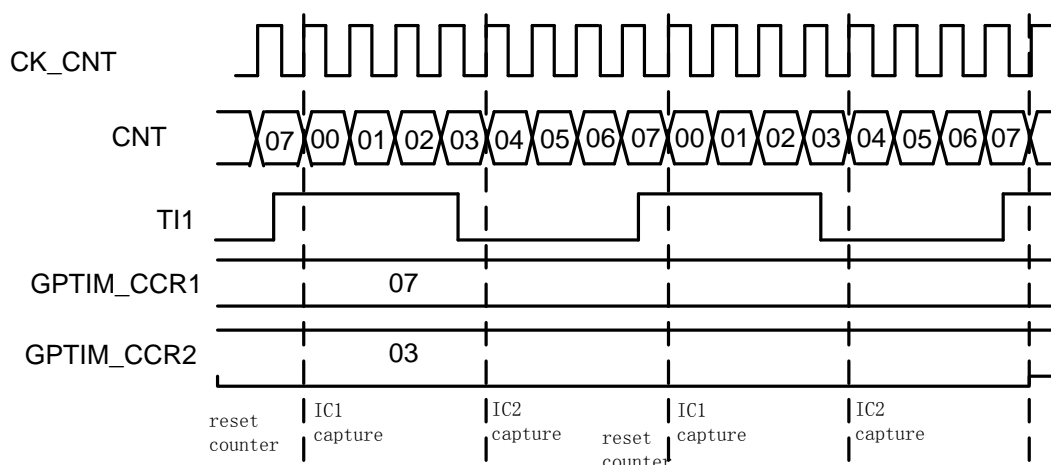


图 21-26 PWM 输入捕获模式时序

若想实现PWM输入捕获功能，需进行如下设置：

- 在GPIO模块中，配置相应管脚为GPTIM_CH1功能
- 关闭通道使能，配置GPTIM_CCER.CC1E=0，GPTIM_CCER.CC2E=0确保之后通道配置成功
- 选择输入通道，两个通道IC1,IC2被映射到同一个TI1输入口，配置GPTIM_CCMR1.CC1S=01，GPTIM_CCMR1.CC2S=10
- 选择计数有效沿，两个通道IC1,IC2有效沿极性相反，配置GPTIM_CCER.CC1P=0，GPTIM_CCER.CC2P=1
- 配置输入滤波时间，配置GPTIM_CCMR1.IC1F[3:0]，GPTIM_CCMR1.IC2F[3:0]
- 配置输入预分频器，配置GPTIM_CCMR1.IC1PS[1:0]，GPTIM_CCMR1.IC2PS[1:0]
- 选择触发输入信号，配置GPTIM_SMCR.TS[2:0]=101
- 设定从模式控制器为复位模式，配置GPTIM_SMCR.SMS[2:0]=100
- 打开通道使能，配置GPTIM_CCER.CC1E=1，GPTIM_CCER.CC2E=1

21.4.7 软件 Force 输出

在比较输出模式下，软件可以直接将OCxREF force成特定电平，而独立于CCR和计数器的比较结果。

软件通过写OCxM=101寄存器，可以直接将OCxREF强制为有效（OCxREF固定为高有效），通过写OCxM=100可以直接将OCxREF强制为无效（低电平）。但是软件force操作不会取消比较过程，CCR和计数器的比较还会一直进行。

21.4.8 输出比较模式

输出比较模式下，当CCR与计数器值相等，OCxREF可以被置位成有效、无效、或电平翻转。同时，中断标志也会置位，DMA请求可以发送。

输出比较也可以被用于输出一个特定宽度的脉冲信号（单次输出）。

使用步骤：

- 1、选择计数时钟（内部、外部、预分频等）
- 2、向ARR和CCR寄存器写入期望数据
- 3、根据需要设置中断使能和DMA使能
- 4、选择输出模式
- 5、使能计数器

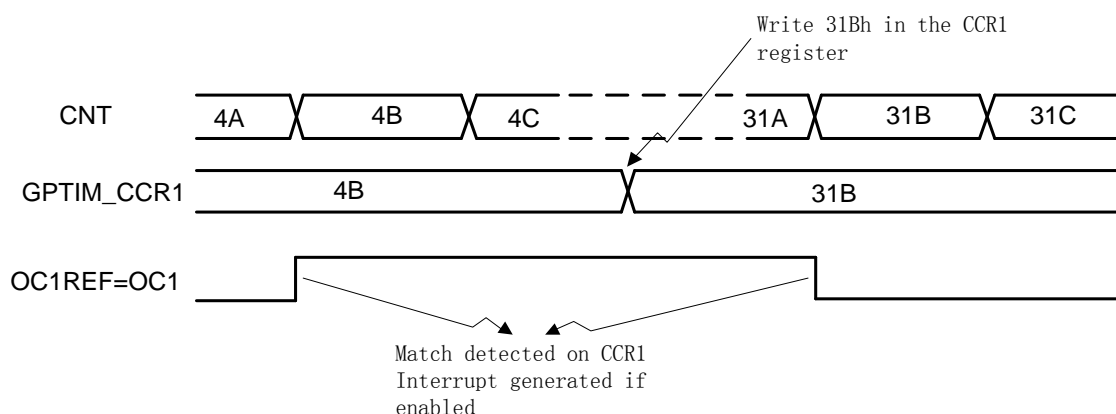


图 21-27 输出比较模式，翻转 OC1

在不使能preload的情况下，软件可以随时改写CCR寄存器实现对输出波形的实时控制。如果使能了preload，则CCR shadow寄存器仅在下一一次update event发生时更新为preload寄存器的内容。

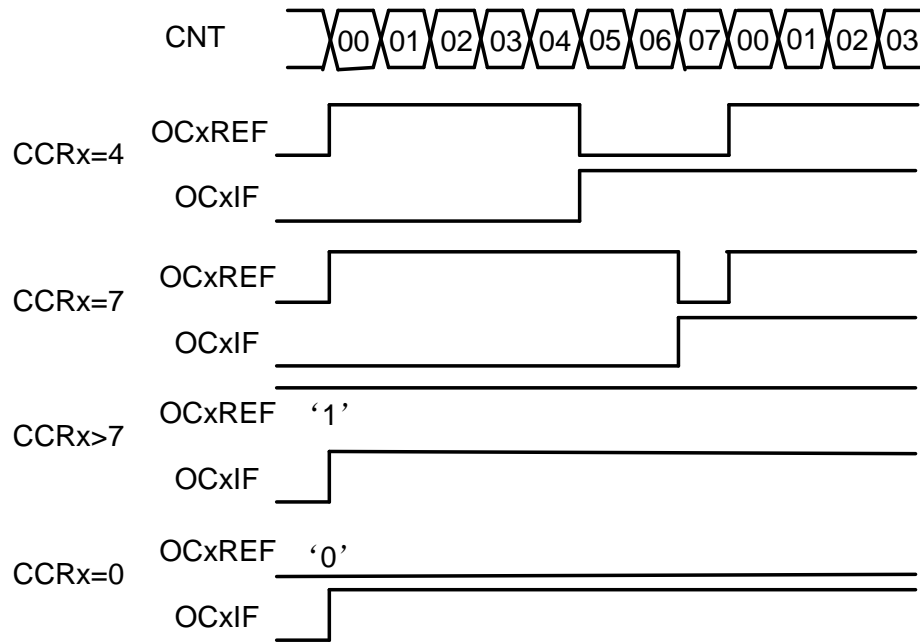
21.4.9 PWM 输出

PWM模式可以输出脉宽调制信号，其周期由ARR寄存器决定，占空比由CCR寄存器决定。

输出信号的极性可以由CCxP寄存器配置。PWM模式工作中，CNT和CCR实时比较。由于计数器支持边缘对齐和中央对齐计数模式，PWM输出也支持边缘对齐和中央对齐模式。

PWM边缘对齐模式

在向上计数的情况下，配置为PWM模式1时，OCxREF信号在CNT<CCR时为高电平，否则为低电平。如果CCR值大于ARR值，则OCxREF被固定为1；如果CCR为0则OCxREF被固定为0。

图 21-28 边沿对齐的 PWM 波形($ARR=7$)**PWM 中央对齐模式**

OCxREF 电平定义与边缘对齐模式相同。下图是一个示例：

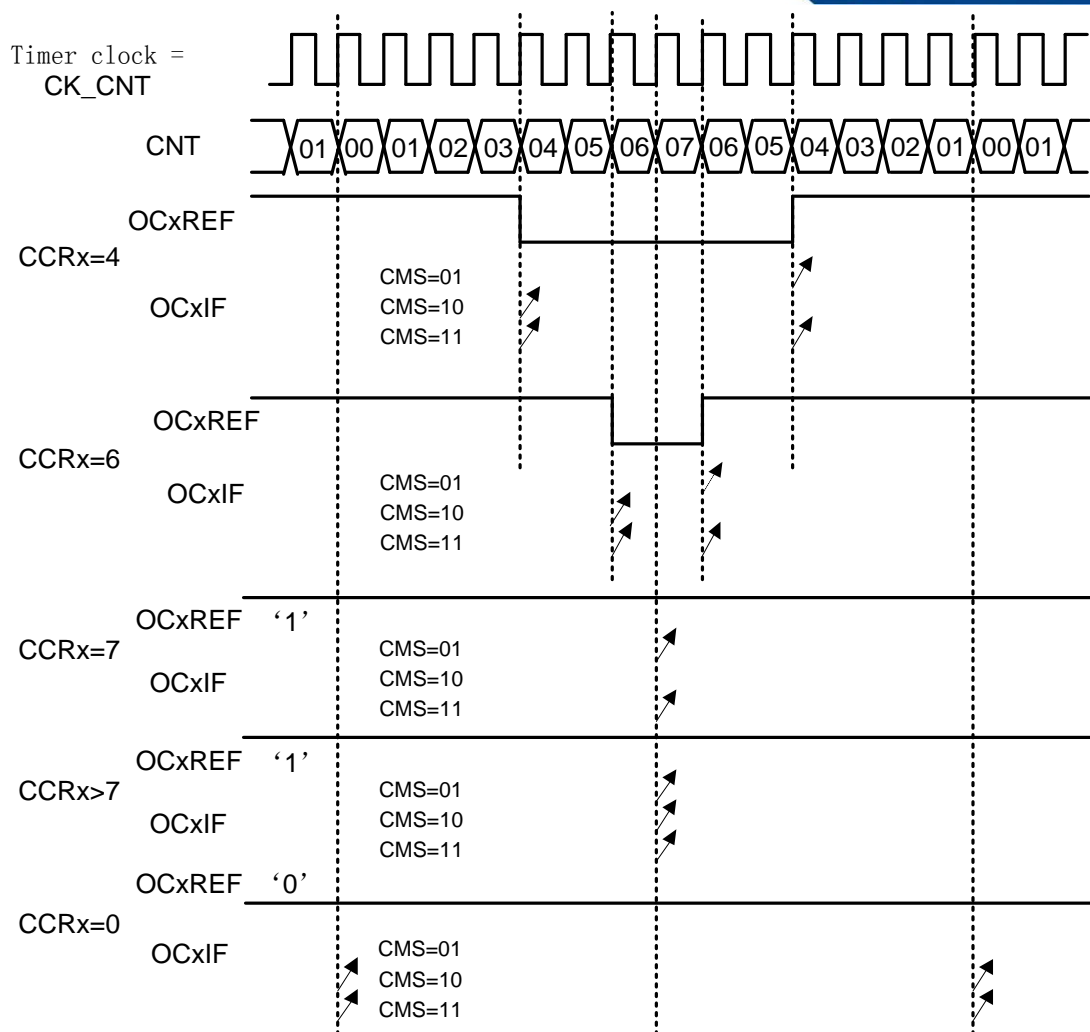


图 21-29 中央对齐的 PWM 波形(APR=7)

当启动中央对齐计数时，一开始的计数方向是由DIR寄存器决定的；随后在计数过程中，DIR寄存器的状态由硬件直接控制。安全起见，建议用户程序在启动计数器之前，通过UG寄存器做一次update，并且在计数过程中不要改写计数器。

21.4.10 单脉冲输出

单脉冲输出是比较输出模式的特殊情况，允许用户在某个事件发生后，经过可编程的延迟，输出一个可编程宽度的脉冲信号。

与其他输出模式不同的是，在下次update event到来时，计数器会自动停止。只有当CCR和计数器初值不同时，脉冲才有可能正确输出。在向上计数时，要求 $CNT < CCR \leq ARR$ ，在向下计数时，要求 $CNT > CCR$

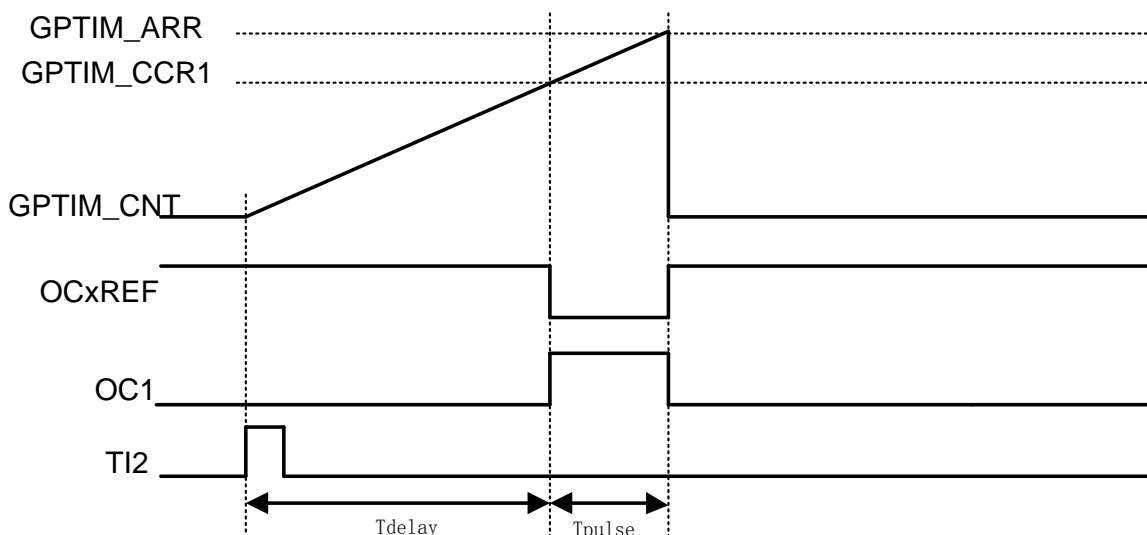


图 21-30 单脉冲模式的例子

上图是以TI2输入为计数器触发信号，计数值等于CCR后OCxREF输出低电平，计数到ARR后OCxREF回到高电平，并且计数器回滚到0，停止计数。

实现上述功能TI2作为输入触发的配置如下：

- 在GPIO模块中，配置相应管脚为GPTIM_CH2功能
- 关闭通道使能，配置GPTIM_CCER.CC2E=0，确保之后通道配置成功
- 选择输入通道，配置GPTIM_CCMR1.CC2S=01
- 选择计数有效沿，配置GPTIM_CCER.CC2P=0
- 选择触发输入信号，配置GPTIM_SMCR.TS[2:0]=110，TI2FP2作为TRGI
- 设定从模式控制器为触发模式，配置GPTIM_SMCR.SMS[2:0]=110，TI2FP2用来启动计数器
- 打开通道使能，配置GPTIM_CCER.CC2E=1

实现上述功能OC1作为输出的配置如下：

- 在GPIO模块中，配置相应管脚为GPTIM_CH1功能
- 关闭通道使能，配置GPTIM_CCER.CC1E=0，确保之后通道配置成功
- 输出通道，配置GPTIM_CCMR1.CC1S=00
- 选择计数有效沿，配置GPTIM_CCMR1.OC1M=111，PWM模式2
- 打开通道使能，配置GPTIM_CCER.CC1E=1

OPM波形产生时基的特殊设置：

- GPTIM_CCR1的值决定了Tdelay
- GPTIM_ARR和GPTIM_CCR1的差值决定了Tpulse（GPTIM_ARR-GPTIM_CCR1）

- 设置为单脉冲模式，配置GPTIM_CR1.OPM=1

21.4.11 外部事件清除 OCxREF

OCxREF的有效状态未高电平，通过对外部ETR引脚施加高电平，可以直接拉低OCxREF，直到下一次update event。此功能仅在输出比较和PWM模式下有效，无法在软件force模式下起作用。使能此功能需要将OCxCE置1。

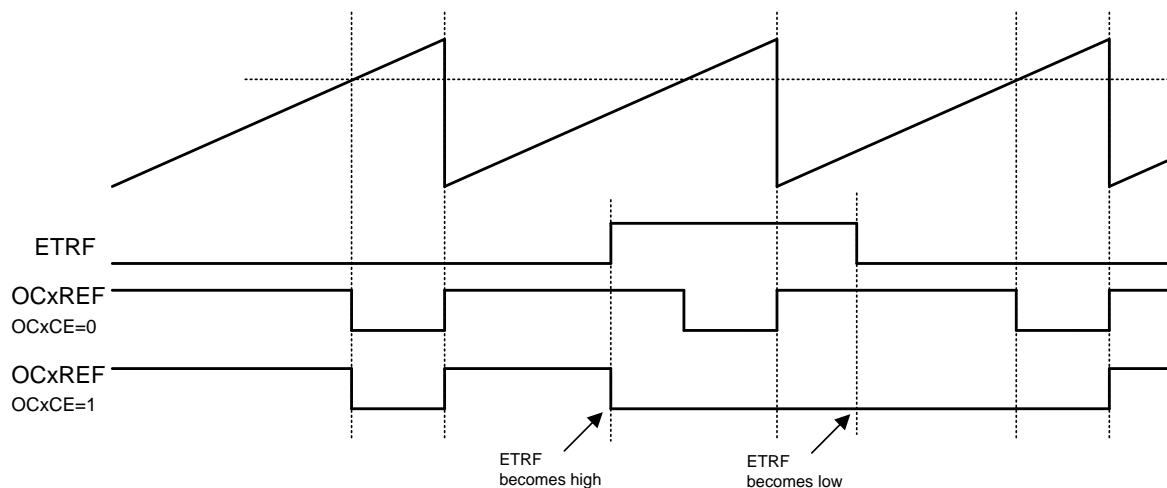


图 21-31 ETR 信号清除 GPTIM 的 OCxREF

21.4.12 编码器接口模式（encoder interface）

编码器接口模式涉及到两个外部输入信号，GPTIM根据其中一个信号的边沿相对于另一个信号的电平来决定递增还是递减计数值。下表是计数方式与两路输入信号之间的关系：

有效沿	对应信号的电平 (TI1 对应TI2, TI2 对应TI1)	TI1信号		TI2信号	
		上升	下降	上升	下降
仅在TI1 处计数	高	递减	递增	不计数	不计数
	低	递增	递减	不计数	不计数
仅在TI2处计数	高	不计数	不计数	递增	递减
	低	不计数	不计数	递减	递增
在TI1 和TI2 处均计数	高	递减	递增	递增	递减
	低	递增	递减	递减	递增

表 21-1 Encoder Interface 计数方式

比如在计数器以TI1信号为时钟计数时，如果TI1上升沿采样到TI2为高电平，则计数器递减；如果TI1下降沿采样到TI2为高电平，则计数器递增。

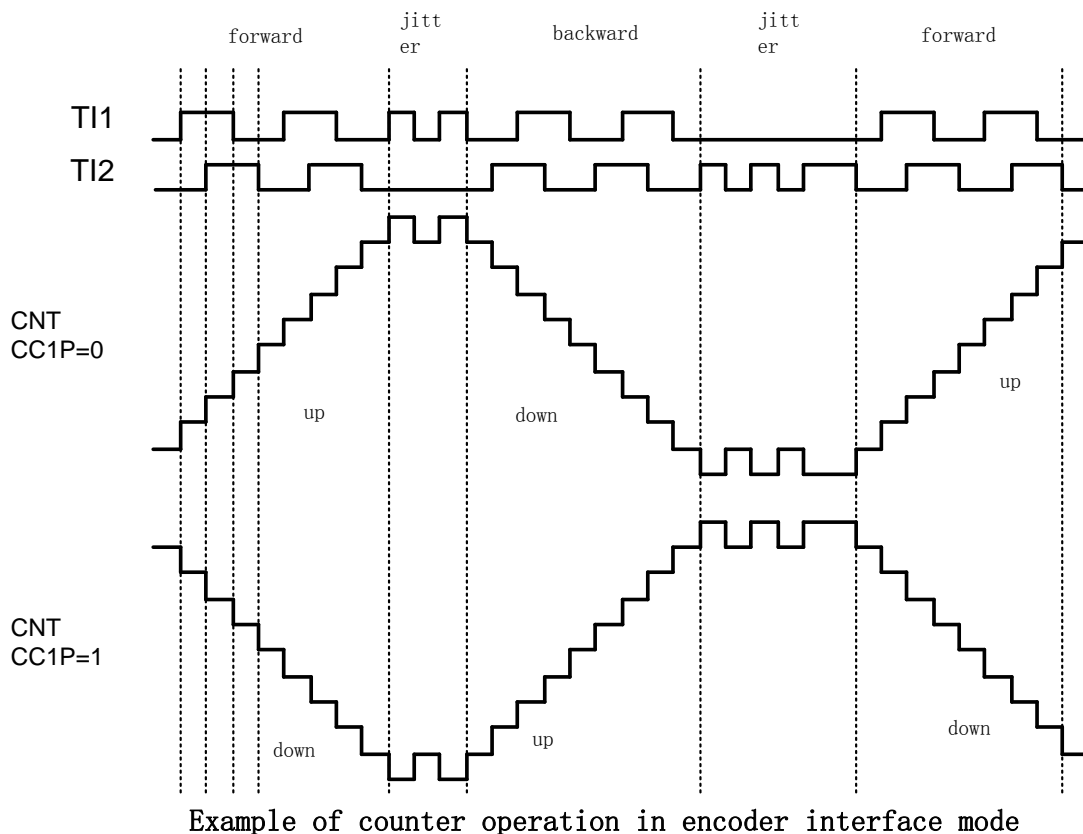


图 21-32 编码器模式下的计数器操作实例

编码模式输入通道需进行如下设置：

- 在GPIO模块中，配置相应管脚为GPTIM_CH1，GPTIM_CH2功能
- 关闭通道使能，配置GPTIM_CCER.CC1E=0，GPTIM_CCER.CC2E=0，确保之后通道配置成功
- 选择输入通道，配置GPTIM_CCMR1.CC1S=01，GPTIM_CCMR1.CC2S=01
- 选择计数有效沿，配置GPTIM_CCER.CC1P=0，GPTIM_CCER.CC2P=0
- 设定从模式控制器为编码模式3，配置GPTIM_SMCR.SMS[2:0]=011
- 打开通道使能，配置GPTIM_CCER.CC1E=1，GPTIM_CCER.CC2E=1

21.4.13 GPTIM 从机模式

GPTIM作为slave时（外部事件触发），可配置为三种工作模式：复位模式、门控模式、触发模式。

复位模式

此模式下，外部输入的事件将导致TIM内部所有preload寄存器重新初始化，CNT回到0开始计数。以下图为例，计数器正常计数，外部TI1输入上升沿时，触发计数器清零，重新开始计数。

下图例中的配置如下：

- 在GPIO模块中，配置相应管脚为GPTIM_CH1功能
- 关闭通道使能，配置GPTIM_CCER.CC1E=0确保之后通道配置成功
- 选择输入通道，配置GPTIM_CCMR1.CC1S=01
- 选择计数有效沿，配置GPTIM_CCER.CC1P=0
- 选择触发输入信号，配置GPTIM_SMCR.TS[2:0]=101，TI1FP1作为TRGI
- 设定从模式控制器为复位模式，配置GPTIM_SMCR.SMS[2:0]=100
- 打开通道使能，配置GPTIM_CCER.CC1E=1
- 使能计数器，配置GPTIM_CR1.CEN=1

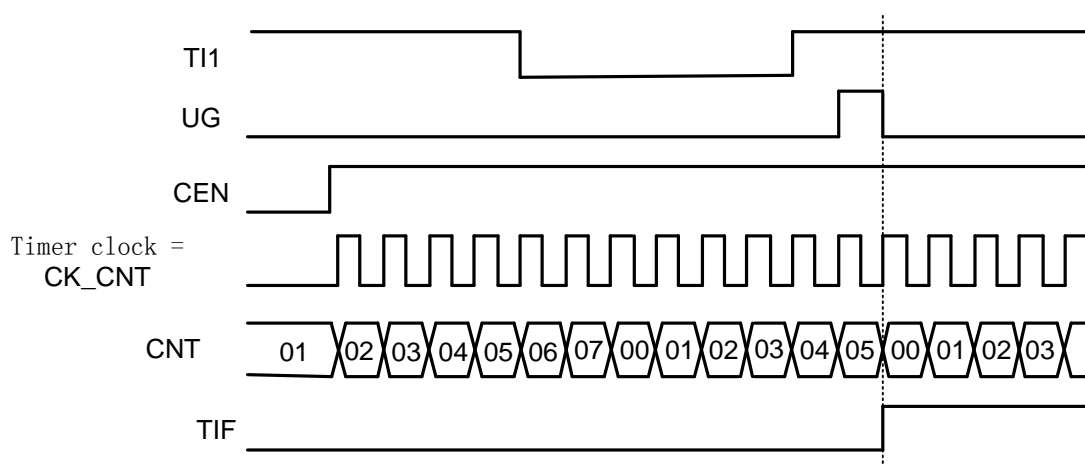


图 21-33 复位模式下的时序

门控模式

此模式下，计数器仅在输入信号为特定电平时工作。电平变换导致计数器开始或停止计数时，都会触发中断标志。

下图例中的配置如下：

- 在GPIO模块中，配置相应管脚为GPTIM_CH1功能
- 关闭通道使能，配置GPTIM_CCER.CC1E=0确保之后通道配置成功
- 选择输入通道，配置GPTIM_CCMR1.CC1S=01
- 选择计数有效沿，配置GPTIM_CCER.CC1P=0
- 选择触发输入信号，配置GPTIM_SMCR.TS[2:0]=101，TI1FP1作为TRGI
- 设定从模式控制器为门控模式，配置GPTIM_SMCR.SMS[2:0]=101
- 打开通道使能，配置GPTIM_CCER.CC1E=1
- 使能计数器，配置GPTIM_CR1.CEN=1

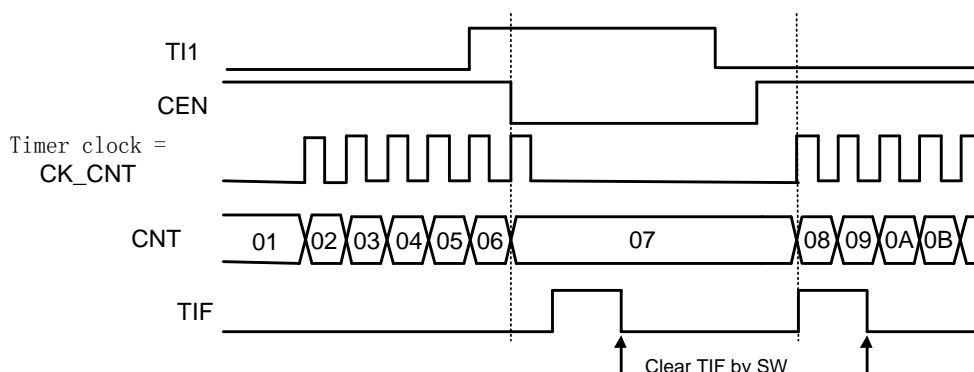


图 21-34 门控模式下的时序

触发模式

计数器在外部输入的某个事件到来后才开始计数。

下图例中的配置如下：

- 在GPIO模块中，配置相应管脚为GPTIM_CH1功能
- 关闭通道使能，配置GPTIM_CCER.CC1E=0确保之后通道配置成功
- 选择输入通道，配置GPTIM_CCMR1.CC1S=01
- 选择计数有效沿，配置GPTIM_CCER.CC1P=0
- 选择触发输入信号，配置GPTIM_SMCR.TS[2:0]=101，TI1FP1作为TRGI
- 设定从模式控制器为触发模式，配置GPTIM_SMCR.SMS[2:0]=110
- 打开通道使能，配置GPTIM_CCER.CC1E=1

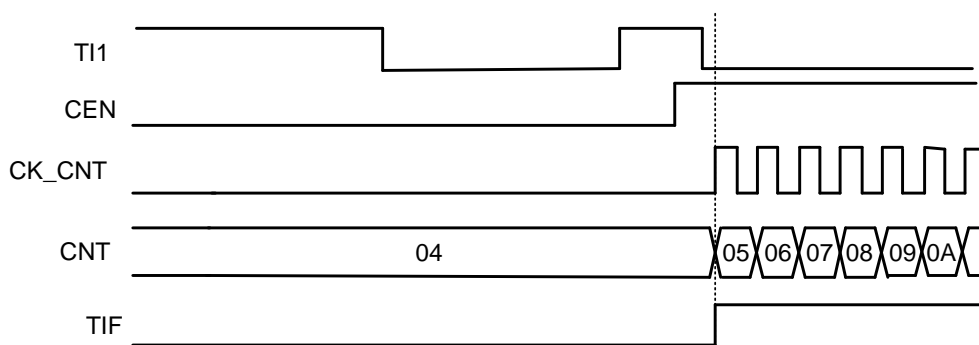


图 21-35 触发器模式下的时序

外部事件触发的外部时钟计数模式

可以将ETR设置为计数时钟，同时使用另一个外部输入作为计数器启动触发信号。比如在检测到TI1的上升沿之后，计数器开始以ETR输入的上升沿计数。

下图例中的配置如下：

- 在GPIO模块中，配置相应管脚为GPTIM_CH1，GPTIM_ETR功能
- 设置ETP进行沿选择，GPTIM_SMCR.ETP=0
- 设置ETR分频比，配置GPTIM_SMCR.ETPS[1:0]=01
- 配置输入滤波时间，GPTIM_SMCR.ETF[3:0]=0000
- 置位ECE寄存器，使能外部时钟模式2，GPTIM_SMCR.ECE=1
- 关闭通道使能，配置GPTIM_CCER.CC1E=0确保之后通道配置成功
- 选择输入通道，配置GPTIM_CCMR1.CC1S=01
- 选择计数有效沿，配置GPTIM_CCER.CC1P=0
- 选择触发输入信号，配置GPTIM_SMCR.TS[2:0]=101，TI1FP1作为TRGI
- 设定从模式控制器为触发模式，配置GPTIM_SMCR.SMS[2:0]=110
- 打开通道使能，配置GPTIM_CCER.CC1E=1

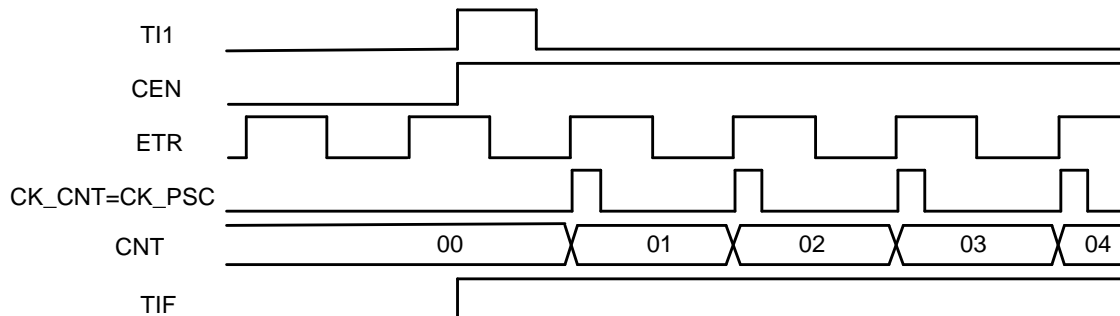


图 21-36 外部时钟模式 2+触发模式下的时序

21.4.14 输入异或功能

通道1~3的输入信号可以被异或起来之后，接入到通道1的滤波和边沿电路输入，用于通道1的输入捕捉或者触发。

GPTIM_CR2寄存器的TI1S位用于选择通道1的输入是否来自于三个通道输入的异或。

21.4.15 Debug 模式

当Cortex-M0进入debug模式后，定时器可以停止或继续工作，其行为由DCU模块的DBG_TIMx_STOP寄存器定义。

21.5 寄存器

地址	名称	符号
0x40014400	GPTIM0 控制寄存器 1	GPTIM0_CR1
0x40014404	GPTIM0 控制寄存器 2	GPTIM0_CR2
0x40014408	GPTIM0 从机模式控制寄存器	GPTIM0_SMCR
0x4001440C	GPTIM0 中断使能寄存器	GPTIM0_DIER
0x40014410	GPTIM0 状态寄存器	GPTIM0_SR
0x40014414	GPTIM0 事件产生寄存器	GPTIM0_EGR
0x40014418	GPTIM0 捕捉/比较模式寄存器 1	GPTIM0_CCMR1
0x4001441C	GPTIM0 捕捉/比较模式寄存器 2	GPTIM0_CCMR2
0x40014420	GPTIM0 捕捉/比较使能寄存器	GPTIM0_CCER
0x40014424	GPTIM0 计数器寄存器	GPTIM0_CNT
0x40014428	GPTIM0 预分频寄存器	GPTIM0_PSC
0x4001442C	GPTIM0 自动重载寄存器	GPTIM0_ARR
0x40014434	GPTIM0 捕捉/比较寄存器 1	GPTIM0_CCR1
0x40014438	GPTIM0 捕捉/比较寄存器 2	GPTIM0_CCR2
0x4001443C	GPTIM0 捕捉/比较寄存器 3	GPTIM0_CCR3
0x40014440	GPTIM0 捕捉/比较寄存器 4	GPTIM0_CCR4
0x40014448	-	-
0x4001444C	-	-
0x40014460	GPTIM0 ITR 选择寄存器	GPTIM0_ITRSEL
0x40014800	GPTIM1 控制寄存器 1	GPTIM1_CR1
0x40014804	GPTIM1 控制寄存器 2	GPTIM1_CR2
0x40014808	GPTIM1 从机模式控制寄存器	GPTIM1_SMCR
0x4001480C	GPTIM1 中断使能寄存器	GPTIM1_DIER
0x40014810	GPTIM1 状态寄存器	GPTIM1_SR
0x40014814	GPTIM1 事件产生寄存器	GPTIM1_EGR
0x40014818	GPTIM1 捕捉/比较模式寄存器 1	GPTIM1_CCMR1
0x4001481C	GPTIM1 捕捉/比较模式寄存器 2	GPTIM1_CCMR2
0x40014820	GPTIM1 捕捉/比较使能寄存器	GPTIM1_CCER
0x40014824	GPTIM1 计数器寄存器	GPTIM1_CNT
0x40014828	GPTIM1 预分频寄存器	GPTIM1_PSC
0x4001482C	GPTIM1 自动重载寄存器	GPTIM1_ARR
0x40014834	GPTIM1 捕捉/比较寄存器 1	GPTIM1_CCR1
0x40014838	GPTIM1 捕捉/比较寄存器 2	GPTIM1_CCR2
0x4001483C	GPTIM1 捕捉/比较寄存器 3	GPTIM1_CCR3
0x40014840	GPTIM1 捕捉/比较寄存器 4	GPTIM1_CCR4
0x40014848	-	-
0x4001484C	-	-
0x40014860	GPTIM1 ITR 选择寄存器	GPTIM1_ITRSEL

21.5.1 GPTIMx 控制寄存器 1

名称	GPTIMx_CR1(x=0,1)
----	-------------------

地址	0x40014400 + x*0x400							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-						CKD	
位权限	U-0						R/W-00	
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	ARPE	CMS		DIR	OPM	URS	UDIS	CEN
位权限	R/W-0	R/W-00		R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

位号	助记符	功能描述
31:10	-	RFU, 未实现, 读为 0
9:8	CKD	Dead time 和数字滤波时钟频率分频寄存器 (相对 CK_INT 的分频比) 00: tDTS=tCK_INT 01: tDTS=2*tCK_INT 10: tDTS=4*tCK_INT 11: RFU, 禁止使用
7	ARPE	Auto-reload 预装载使能 0: ARR 寄存器不使能 preload 1: ARR 寄存器使能 preload
6:5	CMS	计数器对齐模式选择 00: 边沿对齐模式 01: 中央对齐模式 1, 输出比较中断标志仅在计数器向下计数的过程中置位 10: 中央对齐模式 2, 输出比较中断标志仅在计数器向上计数的过程中置位 11: 中央对齐模式 3, 输出比较中断标志在计数器向上向下计数的过程中都会置位
4	DIR	计数方向寄存器 0: 向上计数 1: 向下计数 注意: 当定时器配置为中央计数模式或编码器模式时, 此寄存器只读
3	OPM	单脉冲输出模式 0: Update Event 发生时计数器不停止 1: Update Event 发生时计数器停止 (自动清零 CEN)
2	URS	更新请求选择 0: 以下事件能够产生 update 中断 - 计数器上溢出或下溢出 - 软件置位 UG 寄存器 - 从机控制器产生 update 1: 仅计数器上溢出或下溢出会产生 update 中断
1	UDIS	禁止 update 0: 使能 update 事件; 以下事件发生时产生 update 事件

位号	助记符	功能描述
		<ul style="list-style-type: none"> - 计数器上溢出或下溢出 - 软件置位 UG 寄存器 - 从机控制器产生 update 1: 禁止 update 事件, 不更新 shadow 寄存器。当 UG 置位或从机控制器收到硬件 reset 时重新初始化计数器和预分频器。
0	CEN	计数器使能 0: 计数器关闭 1: 计数器使能 注意: 外部触发模式可以自动置位 CEN

21.5.2 GPTIMx 控制寄存器 2

名称	GPTIMx_CR2(x=0,1)							
地址	0x40014404 + x*0x400							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	TI1S	MMS			CCDS	-		
位权限	R/W-0	R/W-000			R/W-0	U-0		

位号	助记符	功能描述
31:8	-	RFU, 未实现, 读为 0
7	TI1S	通道 1 输入源选择 0: GPTIMx_CH1 输入通道 1 1: GPTIMx_CH1, CH2, CH3 异或后输入通道 1
6:4	MMS	主机模式选择, 用于配置主机模式下向从机发送的同步触发信号 (TRGO) 源 000: GPTIM_EGR 的 UG 寄存器被用作 TRGO 001: 计数器使能信号 CNT_EN 被用作 TRGO, 可用于同时启动多个定时器 010: UE (update event) 信号被用作 TRGO 011: 比较脉冲, 如果 CC1IF 标志将要置位, TRGO 输出一个正脉冲 100: OC1REF 用作 TRGO 101: OC2REF 用作 TRGO 110: OC3REF 用作 TRGO 111: OC4REF 用作 TRGO 注意: 从机定时器或 ADC 必须事先使能工作时钟, 才能接收主机定时器发送的 TRGO
3	CCDS	捕捉/比较 DMA 选择

位号	助记符	功能描述
		0: 捕捉/比较事件发生时发送 DMA 请求 1: Update Event 发生时发送 DMA 请求
2:0	-	RFU, 未实现, 读为 0

21.5.3 GPTIMx 从机模式控制寄存器

名称	GPTIMx_SMCR(x=0,1)							
地址	0x40014408 + x*0x400							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	ETP	ECE	ETPS		ETF			
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-00		R/W-0000			
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	MSM	TS			-	SMS		
位权限	R/W-0	R/W-000			U-0	R/W-000		

位号	助记符	功能描述
31:16	-	RFU: 未实现, 读为 0
15	ETP	外部触发信号极性配置 0: 高电平或上升沿有效 1: 低电平或下降沿有效
14	ECE	外部时钟使能 0: 关闭外部时钟模式 2 1: 使能外部时钟模式 2, 计数器时钟为 ETRF 有效沿
13:12	ETPS	外部触发信号预分频寄存器 外部触发信号 ETRP 的频率最多只能是 GPTIM 工作时钟的 1/4, 当输入信号频率较高时, 可以使用预分频。 00: 不分频 01: 2 分频 10: 4 分频 11: 8 分频
11:8	ETF	外部触发信号滤波时钟和长度选择 0000: 无滤波 0001: $f_{\text{SAMPLING}} = f_{\text{CK_INT}}, N=2$ 0010: $f_{\text{SAMPLING}} = f_{\text{CK_INT}}, N=4$ 0011: $f_{\text{SAMPLING}} = f_{\text{CK_INT}}, N=8$ 0100: $f_{\text{SAMPLING}} = f_{\text{DTS}/2}, N=6$ 0101: $f_{\text{SAMPLING}} = f_{\text{DTS}/2}, N=8$ 0110: $f_{\text{SAMPLING}} = f_{\text{DTS}/4}, N=6$ 0111: $f_{\text{SAMPLING}} = f_{\text{DTS}/4}, N=8$ 1000: $f_{\text{SAMPLING}} = f_{\text{DTS}/8}, N=6$ 1001: $f_{\text{SAMPLING}} = f_{\text{DTS}/8}, N=8$ 1010: $f_{\text{SAMPLING}} = f_{\text{DTS}/16}, N=5$

位号	助记符	功能描述
		1011: $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}/16}$, $N=6$ 1100: $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}/16}$, $N=8$ 1101: $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}/32}$, $N=5$ 1110: $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}/32}$, $N=6$ 1111: $f_{\text{SAMPLING}}=f_{\text{DTS}/32}$, $N=8$
7	MSM	主/从模式 0: 无动作 1: TRGI 触发的动作被延迟, 以使当前定时器与其从定时器实现完美同步 (通过 TRGO)。此设置适用于单个外部事件对多个定时器进行同步的情况。
6:4	TS	触发选择, 用于选择同步计数器的触发源 000: 内部触发信号 (ITR0) 001: 内部触发信号 (ITR1) 010: 内部触发信号 (ITR2) 011: 内部触发信号 (ITR3) 100: TI1 边沿检测 (TI1F_ED) 101: 滤波后 TI1 (TI1FP1) 110: 滤波后 TI2 (TI2FP2) 111: 外部触发输入 (ETRF) 注意: 仅当 SMS=000 即禁止从机模式的情况下, 可以改写 TS 寄存器
3	-	RFU: 未实现, 读为 0
2:0	SMS	从机模式选择 000: 从机模式禁止; CEN 使能后预分频电路时钟源来自内部时钟 001: Encoder 模式 1; 计数器使用 TI2FP1 边沿, 根据 TI1FP2 电平高低来计数 010: Encoder 模式 2; 计数器使用 TI1FP2 边沿, 根据 TI2FP1 电平高低来计数 011: Encoder 模式 3; 计数器同时使用 TI1FP1 和 TI2FP2 边沿, 根据其他输入信号电平来计数 100: 复位模式; TRGI 上升沿初始化计数器, 并触发寄存器 update 101: 闸门模式; TRGI 为高电平时, 计数时钟使能, TRGI 为低电平时, 计数时钟停止 110: 触发模式; TRGI 上升沿触发计数器开始计数 (不会复位计数器) 111: 外部时钟模式 1; TRGI 上升沿直接驱动计数器

21.5.4 GPTIMx 中断使能寄存器

名称	GPTIMx_DIER(x=0,1)							
地址	0x4001440C + x*0x400							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							



位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-	-	-					
位权限	U-0	U-0	U-0					
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	TIE	-	CC4IE	CC3IE	CC2IE	CC1IE	UIE
位权限	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

位号	助记符	功能描述
31:20	-	RFU: 未实现, 读为 0
19	-	RFU: 未实现, 读为 0
18	-	RFU: 未实现, 读为 0
17	-	RFU: 未实现, 读为 0
16	-	RFU: 未实现, 读为 0
15	-	RFU: 未实现, 读为 0
14	-	RFU: 未实现, 读为 0
13	-	RFU: 未实现, 读为 0
12	-	RFU: 未实现, 读为 0
11	-	RFU: 未实现, 读为 0
10	-	RFU: 未实现, 读为 0
9	-	RFU: 未实现, 读为 0
8	-	RFU: 未实现, 读为 0
7	-	RFU: 未实现, 读为 0
6	TIE	触发事件中断使能 0: 禁止触发事件中断 1: 允许触发事件中断
5	-	RFU: 未实现, 读为 0
4	CC4IE	捕捉/比较通道 4 中断使能 0: 禁止捕捉/比较 4 中断 1: 允许捕捉/比较 4 中断
3	CC3IE	捕捉/比较通道 3 中断使能 0: 禁止捕捉/比较 3 中断 1: 允许捕捉/比较 3 中断
2	CC2IE	捕捉/比较通道 2 中断使能 0: 禁止捕捉/比较 2 中断 1: 允许捕捉/比较 2 中断
1	CC1IE	捕捉/比较通道 1 中断使能 0: 禁止捕捉/比较 1 中断 1: 允许捕捉/比较 1 中断
0	UIE	Update 事件中断使能 0: 禁止 Update 事件中断 1: 允许 Update 事件中断

21.5.5 GPTIMx 状态寄存器

名称	GPTIMx_SR(x=0,1)							
地址	0x40014410 + x*0x400							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							

位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-			CC4OF	CC3OF	CC2OF	CC1OF	-
位权限	U-0			R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	TIF	-	CC4IF	CC3IF	CC2IF	CC1IF	UIF
位权限	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

位号	助记符	功能描述
31:13	-	RFU: 未实现, 读为 0
12	CC4OF	捕捉/比较通道 4 的 Overcapture 中断 参考 CC1OF
11	CC3OF	捕捉/比较通道 3 的 Overcapture 中断 参考 CC1OF
10	CC2OF	捕捉/比较通道 2 的 Overcapture 中断 参考 CC1OF
9	CC1OF	捕捉/比较通道 1 的 Overcapture 中断 此寄存器仅在对对应通道设置为输入捕捉模式的情况下有效。硬件置位, 软件写 1 清零。 0: 无 overcapture 事件 1: 在 CC1IF 标志为 1 的情况下发生新的捕捉
8:7	-	RFU: 未实现, 读为 0
6	TIF	触发事件中断标志, 硬件置位, 软件写 1 清零
5	-	RFU: 未实现, 读为 0
4	CC4IF	捕捉/比较通道 4 中断标志 参考 CC1IF
3	CC3IF	捕捉/比较通道 3 中断标志 参考 CC3IF
2	CC2IF	捕捉/比较通道 2 中断标志 参考 CC2IF
1	CC1IF	捕捉/比较通道 1 中断标志 如果 CC1 通道配置为输出: CC1IF 在计数值等于比较值时置位, 软件写 1 清零。 如果 CC1 通道配置为输入: 发生捕捉事件时置位, 软件写 1 清零, 或者软件读 GPTIM_CCR1 自动清零。
0	UIF	Update 事件中断标志, 硬件置位, 软件写 1 清零。 当以下事件发生时, UIF 置位, 并更新 shadow 寄存器 -重复计数器=0, 并且 UDIS=0 的情况下, 计数器发生溢出 -URS=0 且 UDIS=0 的情况下, 软件置位 UG 寄存器初始化计数器 -URS=0 且 UDIS=0 的情况下, 触发事件初始化计数器

21.5.6 GPTIMx 事件产生寄存器

名称	GPTIMx_EGR(x=0,1)							
地址	0x40014414 + x*0x400							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24

位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	TG	-	CC4G	CC3G	CC2G	CC1G	UG
位权限	U-0	W-0	U-0	W-0	W-0	W-0	W-0	W-0

位号	助记符	功能描述
31:7	-	RFU: 未实现, 读为 0
6	TG	软件触发, 软件置位此寄存器产生触发事件, 硬件自动清零
5	-	RFU: 未实现, 读为 0
4	CC4G	捕捉/比较通道 4 软件触发, 参考 CC1G
3	CC3G	捕捉/比较通道 3 软件触发, 参考 CC1G
2	CC2G	捕捉/比较通道 2 软件触发, 参考 CC1G
1	CC1G	捕捉/比较通道 1 软件触发 如果 CC1 通道配置为输出: CC1IF 置位 如果 CC1 通道配置为输入: 当前计数值被捕捉到 GPTIM_CCR1 寄存器, CC1IF 置位
0	UG	软件 Update 事件, 软件置位此寄存器产生 Update 事件, 硬件自动清零 软件置位 UG 时会重新初始化计数器并更新 shadow 寄存器, 预分频计数器被清零。

21.5.7 GPTIMx 捕捉/比较模式寄存器 1

此寄存器在输出比较和输入捕捉配置下复用为两组不同功能

名称	GPTIMx_CCMR1							
地址	0x40014418 + x*0x400							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	OC2CE	OC2M			OC2PE	OC2FE	CC2S	
	IC2F				IC2PSC			
位权限	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	OC1CE	OC1M			OC1PE	OC1FE	CC1S	
	IC1F				IC1PSC			
位权限	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0

输出比较模式

位号	助记符	功能描述
31:16	-	RFU: 未实现, 读为 0
15	OC2CE	输出比较 2 清零使能, 参考 OC1CE
14:12	OC2M	输出比较 2 模式配置, 参考 OC1M
11	OC2PE	输出比较 2 预装载使能, 参考 OC1PE
10	OC2FE	输出比较 2 快速使能, 参考 OC1FE
9:8	CC2S	捕捉/比较 2 通道选择 00: CC2 通道配置为输出 01: CC2 通道配置为输入, IC2 映射到 TI2 10: CC2 通道配置为输入, IC2 映射到 TI1 11: CC2 通道配置为输入, IC2 映射到 TRC 注意: CC2S 仅在通道关闭时 (CC2E=0) 可以写
7	OC1CE	输出比较 1 清零使能 0: OC1REF 不受 ETRF 影响 1: 检测到 ETRF 高电平时, 自动清零 OC1REF
6:4	OC1M	输出比较 1 模式配置, 此寄存器定义 OC1REF 信号的行为 000: 输出比较寄存器 CCR1 和计数器 CNT 的比较结果不会影响输出 001: CCR1=CNT 时, 将 OC1REF 置高 010: CCR1=CNT 时, 将 OC1REF 置低 011: CCR1=CNT 时, 翻转 OC1REF 100: OC1REF 固定为低 (inactive) 101: OC1REF 固定为高 (active) 110: PWM 模式 1 –在向上计数时, OC1REF 在 CNT<CCR1 时置高, 否则置低; 在向下计数时, OC1REF 在 CNT>CCR1 时置低, 否则置高 111: PWM 模式 2 –在向上计数时, OC1REF 在 CNT<CCR1 时置低, 否则置高; 在向下计数时, OC1REF 在 CNT>CCR1 时置高, 否则置低
3	OC1PE	输出比较 1 预装载使能 0: CCR1 preload 寄存器无效, CCR1 可以直接写入 1: CCR1 preload 寄存器有效, 针对 CCR1 的读写操作都是访问 preload 寄存器, 当 update event 发生时才将 preload 寄存器的内容转移到 shadow 寄存器中
2	OC1FE	输出比较 1 快速使能 0: 关闭快速使能, trigger 输入不会影响比较输出 1: 打开快速使能, trigger 输入会立即将 OC1REF 改变为比较值匹配时的输出, 而不管当前实际比较情况 此功能仅在当前通道配置为 PWM1 或 PWM2 模式时有效
1:0	CC1S	捕捉/比较 1 通道选择 00: CC1 通道配置为输出 01: CC1 通道配置为输入, IC1 映射到 TI1 10: CC1 通道配置为输入, IC1 映射到 TI2 11: CC1 通道配置为输入, IC1 映射到 TRC 注意: CC1S 仅在通道关闭时 (CC1E=0) 可以写

输入捕捉模式

位号	助记符	功能描述
31:16	-	RFU: 未实现, 读为 0

位号	助记符	功能描述
15:12	IC2F	输入捕捉 2 滤波
11:10	IC2PSC	输入捕捉 2 预分频
9:8	CC2S	捕捉/比较 2 通道选择 00: CC2 通道配置为输出 01: CC2 通道配置为输入, IC3 映射到 TI2 10: CC2 通道配置为输入, IC3 映射到 TI1 11: CC2 通道配置为输入, IC3 映射到 TRC 注意: CC2S 仅在通道关闭时 (CC2E=0) 可以写
7:4	IC1F	输入捕捉 1 滤波 此寄存器定义 TI1 的采样频率和滤波长度 0000: 无滤波, 使用 f_{DTS} 采样 0001: $f_{SAMPLING}=f_{CK_INT}$, $N=2$ 0010: $f_{SAMPLING}=f_{CK_INT}$, $N=4$ 0011: $f_{SAMPLING}=f_{CK_INT}$, $N=8$ 0100: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/2}$, $N=6$ 0101: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/2}$, $N=8$ 0110: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/4}$, $N=6$ 0111: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/4}$, $N=8$ 1000: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/8}$, $N=6$ 1001: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/8}$, $N=8$ 1010: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/16}$, $N=5$ 1011: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/16}$, $N=6$ 1100: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/16}$, $N=8$ 1101: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/32}$, $N=5$ 1110: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/32}$, $N=6$ 1111: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/32}$, $N=8$
3:2	IC1PSC	输入捕捉 1 预分频 00: 无分频 01: 每 2 个事件输入产生一次捕捉 10: 每 4 个事件输入产生一次捕捉 11: 每 8 个事件输入产生一次捕捉 IC1PSC 寄存器在 CC1E=0 时复位
1:0	CC1S	捕捉/比较 1 通道选择 00: CC1 通道配置为输出 01: CC1 通道配置为输入, IC1 映射到 TI1 10: CC1 通道配置为输入, IC1 映射到 TI2 11: CC1 通道配置为输入, IC1 映射到 TRC 注意: CC1S 仅在通道关闭时 (CC1E=0) 可以写

21.5.8 GPTIMx 捕捉/比较模式寄存器 2

此寄存器在输出比较和输入捕捉配置下复用为两组不同功能

名称	GPTIMx_CCMR2							
地址	0x4001441C + x*0x400							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							

位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	OC4CE	OC4M			OC4PE	OC4FE	CC4S	
	IC4F			IC4PSC				
位权限	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	OC3CE	OC3M			OC3PE	OC3FE	CC3S	
	IC3F			IC3PSC				
位权限	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0

输出比较模式

位号	助记符	功能描述
31:16	-	RFU: 未实现, 读为 0
15	OC4CE	输出比较 4 清零使能, 参考 OC1CE
14:12	OC4M	输出比较 4 模式配置, 参考 OC1M
11	OC4PE	输出比较 4 预装载使能, 参考 OC1PE
10	OC4FE	输出比较 4 快速使能, 参考 OC1FE
9:8	CC4S	捕捉/比较 4 通道选择 00: CC4 通道配置为输出 01: CC4 通道配置为输入, IC4 映射到 TI4 10: CC4 通道配置为输入, IC4 映射到 TI3 11: CC4 通道配置为输入, IC4 映射到 TRC 注意: CC4S 仅在通道关闭时 (CC4E=0) 可以写
7	OC3CE	输出比较 1 清零使能 0: OC1REF 不受 ETRF 影响 1: 检测到 ETRF 高电平时, 自动清零 OC1REF
6:4	OC3M	输出比较 3 模式配置, 此寄存器定义 OC3REF 信号的行为 000: 输出比较寄存器 CCR3 和计数器 CNT 的比较结果不会影响输出 001: CCR3=CNT 时, 将 OC1REF 置高 010: CCR3=CNT 时, 将 OC1REF 置低 011: CCR3=CNT 时, 翻转 OC1REF 100: OC3REF 固定为低 (inactive) 101: OC3REF 固定为高 (active) 110: PWM 模式 1 –在向上计数时, OC3REF 在 CNT<CCR3 时置高, 否则置低; 在向下计数时, OC3REF 在 CNT>CCR3 时置低, 否则置高 111: PWM 模式 2 –在向上计数时, OC3REF 在 CNT<CCR3 时置低, 否则置高; 在向下计数时, OC3REF 在 CNT>CCR3 时置高, 否则置低
3	OC3PE	输出比较 3 预装载使能 0: CCR3 preload 寄存器无效, CCR3 可以直接写入 1: CCR3 preload 寄存器有效, 针对 CCR3 的读写操作都是访问 preload 寄存器, 当 update event 发生时才将 preload 寄存器的内容转移到 shadow 寄存器中
2	OC3FE	输出比较 3 快速使能 0: 关闭快速使能, trigger 输入不会影响比较输出 1: 打开快速使能, trigger 输入会立即将 OC3REF 改变为比较值匹配时的输出, 而不管当前实际比较情况

位号	助记符	功能描述
		此功能仅在当前通道配置为 PWM1 或 PWM2 模式时有效
1:0	CC3S	捕捉/比较 3 通道选择 00: CC3 通道配置为输出 01: CC3 通道配置为输入, IC1 映射到 TI3 10: CC3 通道配置为输入, IC1 映射到 TI4 11: CC3 通道配置为输入, IC1 映射到 TRC 注意: CC3S 仅在通道关闭时 (CC3E=0) 可以写

输入捕捉模式

位号	助记符	功能描述
31:16	-	RFU: 未实现, 读为 0
15:12	IC4F	输入捕捉 4 滤波
11:10	IC4PSC	输入捕捉 4 预分频
9:8	CC4S	捕捉/比较 4 通道选择 00: CC4 通道配置为输出 01: CC4 通道配置为输入, IC4 映射到 TI4 10: CC4 通道配置为输入, IC4 映射到 TI3 11: CC4 通道配置为输入, IC4 映射到 TRC 注意: CC4S 仅在通道关闭时 (CC4E=0) 可以写
7:4	IC3F	输入捕捉 1 滤波 此寄存器定义 TI3 的采样频率和滤波长度 0000: 无滤波, 使用 f_{DTS} 采样 0001: $f_{SAMPLING}=f_{CK_INT}$, $N=2$ 0010: $f_{SAMPLING}=f_{CK_INT}$, $N=4$ 0011: $f_{SAMPLING}=f_{CK_INT}$, $N=8$ 0100: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/2}$, $N=6$ 0101: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/2}$, $N=8$ 0110: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/4}$, $N=6$ 0111: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/4}$, $N=8$ 1000: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/8}$, $N=6$ 1001: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/8}$, $N=8$ 1010: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/16}$, $N=5$ 1011: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/16}$, $N=6$ 1100: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/16}$, $N=8$ 1101: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/32}$, $N=5$ 1110: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/32}$, $N=6$ 1111: $f_{SAMPLING}=f_{DTS/32}$, $N=8$
3:2	IC3PSC	输入捕捉 3 预分频 00: 无分频 01: 每 2 个事件输入产生一次捕捉 10: 每 4 个事件输入产生一次捕捉 11: 每 8 个事件输入产生一次捕捉 IC1PSC 寄存器在 CC1E=0 时复位
1:0	CC3S	捕捉/比较 3 通道选择 00: CC3 通道配置为输出 01: CC3 通道配置为输入, IC1 映射到 TI3 10: CC3 通道配置为输入, IC1 映射到 TI4 11: CC3 通道配置为输入, IC1 映射到 TRC 注意: CC1S 仅在通道关闭时 (CC1E=0) 可以写

21.5.9 GPTIMx 捕捉/比较使能寄存器

名称	GPTIMx_CCER(x=0,1)							
地址	0x40014420 + x*0x400							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-		CC4P	CC4E	-		CC3P	CC3E
位权限	U-0		R/W-0	R/W-0	U-0		R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-		CC2P	CC2E	-		CC1P	CC1E
位权限	U-0		R/W-0	R/W-0	U-0		R/W-0	R/W-0

位号	助记符	功能描述
31:14	-	RFU: 未实现, 读为 0
13	CC4P	捕捉/比较 4 输出极性, 参考 CC1P
12	CC4E	捕捉/比较 4 输出使能, 参考 CC1E
11:10	-	RFU: 未实现, 读为 0
9	CC3P	捕捉/比较 3 输出极性, 参考 CC1P
8	CC3E	捕捉/比较 3 输出使能, 参考 CC1E
7:6	-	RFU: 未实现, 读为 0
5	CC2P	捕捉/比较 2 输出极性, 参考 CC1P
4	CC2E	捕捉/比较 2 输出使能, 参考 CC1E
3:2	-	RFU: 未实现, 读为 0
1	CC1P	捕捉/比较 1 输出极性 CC1 通道配置为输出时: 0: OC1 高有效 1: OC1 低有效 CC1 通道配置为输入时: CC1NP/CC1P 用于选择 TI1FP1 和 TI2FP1 的极性 00: 非取反/上升沿 01: 取反/下降沿 10: 保留, 不要使用 11: 非取反, 上下沿都有效
0	CC1E	捕捉/比较 1 输出使能 CC1 通道配置为输出时 0: OC1 输出关闭, OCx=0, OCx_EN=0 1: OCx=OCxREF+极性选择, OCx_EN=1 CC1 通道配置为输入时 0: 关闭捕捉功能 1: 使能捕捉功能

标准 OCx 通道的输出控制位

CCxE 位	OCx 输出状态
--------	----------

0	禁止输出 (OCx=0, OCx_EN=0)
1	OCx=OCxREF + 极性, OCx_EN=1

21.5.10 GPTIMx 计数器寄存器

名称	GPTIMx_CNT(x=0,1)							
地址	0x40014424 + x*0x400							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	CNT[15:8]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CNT[7:0]							
位权限	R/W-0000 0000							

位号	助记符	功能描述
31:16	-	RFU: 未实现, 读为 0
15:0	CNT	计数器值

21.5.11 GPTIMx 预分频寄存器

名称	GPTIMx_PSC(x=0,1)							
地址	0x40014428 + x*0x400							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	PSC[15:8]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	PSC[7:0]							
位权限	R/W-0000 0000							

位号	助记符	功能描述
31:16	-	RFU: 未实现, 读为 0
15:0	PSC	计数器时钟 (CK_CNT) 预分频值 $f_{CK_CNT} = f_{CK_PSC} / (PSC[15:0] + 1)$ 这是一个 preload 寄存器, 在 update 事件发生时其内容被载入 shadow 寄存器

21.5.12 GPTIMx 自动重载寄存器

名称	GPTIMx_ARR(x=0,1)							
地址	0x4001442C + x*0x400							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	ARR[15:8]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	ARR[7:0]							
位权限	R/W-0000 0000							

位号	助记符	功能描述
31:16	-	RFU: 未实现, 读为 0
15:0	ARR	计数溢出时的自动重载值 这是一个 preload 寄存器, 在 update 事件发生时其内容被载入 shadow 寄存器

21.5.13 GPTIMx 捕捉/比较寄存器 1

名称	GPTIMx_CCR1(x=0,1)							
地址	0x40014434 + x*0x400							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	CCR1[15:8]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CCR1[7:0]							
位权限	R/W-0000 0000							

位号	助记符	功能描述
31:16	-	RFU: 未实现, 读为 0
15:0	CCR1	捕捉/比较通道 1 寄存器 如果通道 1 配置为输出: 这是一个 preload 寄存器, 其内容被载入 shadow 寄存器后用于与计数器比较产生 OC1 输出 如果通道 1 配置为输入:

位号	助记符	功能描述
		CCR1 保存最近一次输入捕捉事件发生时的计数器值，此时 CCR1 为只读

21.5.14 GPTIMx 捕捉/比较寄存器 2

名称	GPTIMx_CCR2(x=0,1)							
地址	0x40014438 + x*0x400							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	CCR2[15:8]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CCR2[7:0]							
位权限	R/W-0000 0000							

位号	助记符	功能描述
31:16	-	RFU: 未实现，读为 0
15:0	CCR2	捕捉/比较通道 2 寄存器 如果通道 2 配置为输出： 这是一个 preload 寄存器，其内容被载入 shadow 寄存器后用于与计数器比较产生 OC2 输出 如果通道 2 配置为输入： CCR2 保存最近一次输入捕捉事件发生时的计数器值，此时 CCR2 为只读

21.5.15 GPTIMx 捕捉/比较寄存器 3

名称	GPTIMx_CCR3(x=0,1)							
地址	0x4001443C + x*0x400							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	CCR3[15:8]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CCR3[7:0]							
位权限	R/W-0000 0000							

位号	助记符	功能描述
31:16	-	RFU: 未实现, 读为 0
15:0	CCR3	捕捉/比较通道 3 寄存器 如果通道 3 配置为输出: 这是一个 preload 寄存器, 其内容被载入 shadow 寄存器后用于与计数器比较产生 OC3 输出 如果通道 3 配置为输入: CCR3 保存最近一次输入捕捉事件发生时的计数器值, 此时 CCR3 为只读

21.5.16 GPTIMx 捕捉/比较寄存器 4

名称	GPTIMx_CCR4(x=0,1)							
地址	0x40014440 + x*0x400							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	CCR4[15:8]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CCR4[7:0]							
位权限	R/W-0000 0000							

位号	助记符	功能描述
31:16	-	RFU: 未实现, 读为 0
15:0	CCR4	捕捉/比较通道 4 寄存器 如果通道 4 配置为输出: 这是一个 preload 寄存器, 其内容被载入 shadow 寄存器后用于与计数器比较产生 OC4 输出 如果通道 4 配置为输入: CCR4 保存最近一次输入捕捉事件发生时的计数器值, 此时 CCR4 为只读

21.5.17 GPTIMx ITR 选择寄存器

名称	GPTIMx_ITRSEL(x=0,1)							
地址	0x40014460 + x*0x400							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							

位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	ITR3SEL		ITR2SEL		ITR1SEL		ITR0SEL	
位权限	R/W-00		R/W-00		R/W-00		R/W-00	

位号	助记符	功能描述
31:8	-	RFU, 未实现, 读为 0
7:6	ITR3SEL	ITR 输入信号选择, 详情参见 21.4.4 内部触发信号 (ITRx) 的捕捉
5:4	ITR2SEL	
3:2	ITR1SEL	
1:0	ITR0SEL	

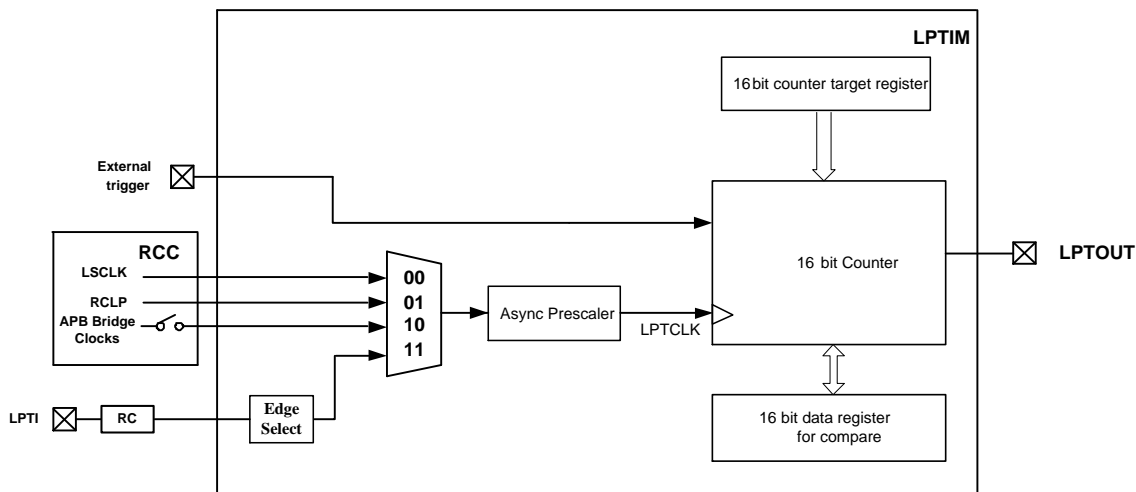
22 低功耗定时器（LPTIMER）

22.1 概述

LPTIM 是运行在 Always-On 电源域下的 16bits 低功耗定时/计数器模块。通过选择合适的工作时钟，LPTIM 在各种低功耗模式下保持运行，并且只消耗很低的功耗。LPTIM 甚至可以在没有内部时钟的条件下工作，因此可实现休眠模式下的外部脉冲计数功能。此外，与外部输入的触发信号结合，可以实现低功耗超时唤醒功能。LPTIM 的主要特性有：

- 16bit upcounter
- 3bit 异步时钟预分频器，8 种分频系数（1、2、4、8、16、32、64、128）
- 可选工作时钟：
 - 内部时钟源：LSCLK、RCLP、系统时钟
 - 外部时钟源：LPTI（带有模拟滤波）
- 16bit 比较寄存器
- 16bit 目标值寄存器
- 软件/硬件触发
- 输入极性选择
- 无时钟外部脉冲计数
- 外部触发的休眠超时唤醒
- 支持 16bit PWM

22.2 结构框图



22.3 工作模式

22.3.1 普通定时器

- 使用内部时钟或外部时钟输入工作
- 使能后有两个计数时钟的同步过程
- 使能后即开始工作，不需要 trigger 触发

22.3.2 Trigger 脉冲触发计数

- 使用内部时钟工作
- 内部时钟采样外部输入的异步 trigger 信号
- 可以对 trigger 的上升、下降、双边沿计数
- 使能后有两个计数时钟的同步过程

22.3.3 外部异步脉冲计数

- 直接使用外部输入脉冲作为计数工作时钟
- 输入极性可配置，实现上升沿计数或下降沿计数
- 不需要 trigger 触发
- 使能后无同步过程

22.3.4 Timeout 模式

- 使用内部时钟或外部输入时钟工作
- 采样外部输入的异步 trigger 信号
- 首次 trigger 启动计数器，启动后采样到 trigger 则清零并重启计数器
- 计数器溢出前没有出现新的 trigger，则产生溢出中断并停止计数，清除使能
- 使能后有两个计数时钟的同步过程

22.3.5 计数模式

LPTIM有两种计数模式。

连续计数模式：计数器被触发后保持运行，直到被关闭为止。计数器达到目标值后回到0重新开始计数，并产生溢出中断。

单次计数模式：计数器被触发后计数到目标值后回到0，并自动停止，产生溢出中断。

单次计数模式自动停止并关闭使能信号的波形如下，由于溢出信号和lpten使能信号位于不同的时钟域，关闭使能信号采用异步复位同步释放的方式实现。

22.3.6 外部触发的超时唤醒

LPTIM可以由外部输入的trigger信号触发使能。在Timeout模式下，第一个外部触发输入的有效沿将启动计数器，而后续触发信号将清零计数器。如果在计数器达到比较值之前没有有效触发信号到来，则产生超时中断，唤醒MCU。

外部输入trigger信号的有效沿可以由寄存器配置，外部trigger信号被认为是一个异步输入，因此有效沿的采样和判决有至少2个计数时钟的latency。

22.3.7 16bit PWM

使能PWM模式后LPTIM从0x0000开始计数，计数值等于比较值时输出置高，计数值等于终值寄存器时输出变低；PWM周期由终值寄存器决定，占空比由比较值寄存器决定。

22.4 软件工作流程

- 1: 选择时钟源，设置分频值，设置工作模式和计数模式。
- 2: 设置高低位比较寄存器的值。
- 3: 设置高低位目标寄存器的值
- 4: 打开中断标志使能。
- 5: 打开LPTEN使能位，启动计数器。

22.5 寄存器

地址	名称	符号
0x40013400	LPTIM 配置寄存器	LPTCFG
0x40013404	LPTIM 计数寄存器	LPTCNT
0x40013408	LPTIM 比较值寄存器	LPTCMP
0x4001340C	LPTIM 目标值寄存器	LPTTARGET
0x40013410	LPTIM 中断使能寄存器	LPTIE
0x40013414	LPTIM 中断标志寄存器	LPTIF
0x40013418	LPTIM 控制寄存器	LPTCTRL

22.5.1 配置寄存器

名称	LPTCFG							
地址	0x40013400							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	FLTEN	-		DIVSEL			CLKSEL	
位权限	R/W-0	U-0		R/W-0			R/W-10	
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	EDGES EL	TRIGCFG		POLARI TY	PWM	MODE	TMOD	
位权限	R/W-0	R/W-0		R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	

位号	位名	说明
31:16	--	未实现：读为0
15	FLTEN	外部 trigger 滤波使能 0：有滤波功能 1：无滤波功能
14:13	--	未实现：读为0
12:10	DIVSEL	计数时钟分频选择 000：1 分频 001：2 分频 010：4 分频 011：8 分频 100：16 分频 101：32 分频 110：64 分频 111：128 分频

位号	位名	说明
9:8	CLKSEL	时钟源选择 00: LSCLK 作为计数时钟 01: RCLP 作为计数时钟 10: PCLK 的门控时钟作为计数时钟 11: LPTI 作为计数时钟
7	EDGESEL	LPTI 输入边沿选择 0: LPTI 的上升沿计数 1: LPTI 的下降沿计数
6:5	TRIGCFG	外部触发边沿选择 00: 外部输入信号上升沿 trigger 01: 外部输入信号下降沿 trigger 10/11: 外部输入信号上升下降沿 trigger
4	POLARITY	计数时钟分频选择 0: 正极性波形, 即第一次计数值=比较值时产生输出波形上升沿 1: 负极性波形, 即第一次计数值=比较值时产生输出波形下降沿
3	PWM	脉宽调制模式 0: 周期方波输出模式 1: PWM 输出模式
2	MODE	计数模式 0: 连续计数模式: 计数器被触发后保持运行, 直到被关闭为止。计数器达到目标值后回到 0 重新开始计数, 并产生溢出中断。 1: 单次计数模式: 计数器被触发后计数到目标值后回到 0, 并自动停止, 产生溢出中断。
1:0	TMODE	工作模式选择 00: 带波形输出的普通定时器模式 01: Trigger 脉冲触发计数模式 10: 外部异步脉冲计数模式 11: Timeout 模式

22.5.2 计数值寄存器

名称	LPTCNT							
地址	0x40013404							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	CNT16[15:8]							
位权限	R-00000000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	CNT16[7:0]							
位权限	R-00000000							

位号	位名	说明
31:16	--	未实现：读为0
15:0	CNT16	计数器数值

22.5.3 比较值寄存器

名称	LPTCMP							
地址	0x40013408							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	COMPARE_REG[15:8]							
位权限	R/W-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	COMPARE_REG[7:0]							
位权限	R/W-0							

位号	位名	说明
31:16	--	未实现：读为0
15:0	COMPARE_REG	比较值寄存器

22.5.4 目标值寄存器

名称	LPTTARGET							
地址	0x4001340C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	TARGET_REG[15:8]							
位权限	RW-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	TARGET_REG[7:0]							
位权限	RW-0							

位号	位名	说明
31:16	--	未实现：读为0
15:0	TARGET_REG	目标值寄存器

22.5.5 中断使能寄存器

名称	LPTIE							
地址	0x40013410							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名						TRIGIE	OVIE	COMPIE
位权限						RW-0	RW-0	RW-0

位号	位名	说明
31:3	--	未实现：读为0
2	TRIGIE	外部触发到来中断使能位 1：外部触发到来中断使能 0：外部触发到来中断禁止
1	OVIE	计数器溢出中断使能位 1：计数器溢出中断使能 0：计数器溢出中断禁止
0	COMPIE	比较匹配中断使能位 1：计数器值和比较值匹配中断使能 0：计数器值和比较值匹配中断禁止

22.5.6 中断标志寄存器

名称	LPTIF							
地址	0x40013414							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-					TRIGIF	OVIF	COMPIF
位权限	U-0					R/W1C-0	R/W1C-0	R/W1C-0

位号	位名	说明
----	----	----

位号	位名	说明
31:3	--	未实现：读为0
2	TRIGIF	外部触发到来中断标志位，写 1 清零 1：外部触发到来中断产生 0：无中断产生
1	OVIF	计数器溢出中断使能位，写 1 清零 1：计数器溢出中断产生 0：无中断产生
0	COMPIF	比较匹配中断使能位，写 1 清零 1：计数器值和比较值匹配中断产生 0：无中断产生

22.5.7 控制寄存器

名称	LPTCTRL							
地址	0x40013418							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-							LPTEN
位权限	U-0							R/W-0

位号	位名	说明
31:1	--	未实现：读为0
0	LPTEN	LPTIM 使能位 1：使能计数器计数 0：禁止计数器计数

23 实时时钟（RTC）

23.1 概述

实时时钟(RTC)模块可长时间维持精确计时，为系统提供实时时钟和日历。该模块功耗极低，最大程度延长电池寿命。

RTC 的主要特点：

- BCD 时间格式，完整万年历
- 支持数字调校，最高精度可达 $\pm 0.03\text{ppm}$
- 可输出周期唤醒中断
- 闹钟功能
- RTC 计时部分寄存器不受系统复位影响
- 支持无需 CPU 介入的自动温度补偿

23.2 实时时钟工作原理

RTC 上电后不复位，因此正常工作前需要软件置入当前时间。走时时钟使用 32.768KHz 晶体振荡器。由于晶体振荡器有可能停振，为了保证可靠性，停振检测电路使能后不断检测 32.768KHz 振荡器输出，一旦发现停振，则产生报警中断，同时将 RTC 时钟切换到 RCLP，此时 RTC 走时有一定误差，但是并不会停止。

23.2.1 时基计数器（LTBC）

低功耗时基计数器(LTBC)模块用于产生系统所需的低速工作时钟，功能包括：

- 可通过调整计数周期实现 RTC 时钟的数字调校，调校后理论精度 $\pm 0.03\text{ppm}$
- 通过使用 PLL 虚拟调校可得到精确秒时标（无法在低功耗模式下使用）
- 可产生 1KHz、256Hz、64Hz、16Hz、4Hz、1Hz 周期中断
- 最高 1/256 秒授时精度

23.2.2 RTC 数字调校

数字调校的目的是使RTC能够在较长周期内获得平均准确的计时。

数字调校符号寄存器控制LTBC分频计数值调整的增减方向，数字调校数值寄存器则控制每个调整周期内分频计数值增减的幅度。

当CALSTEP=0，RTC最小调校步长是0.238ppm，数字调校值可用如下方式表示：

ADSIGN	ADJUST[10:7]	ADJUST[6:0]
符号位	Common Value (C)	Differential Value (D)

数字调校公式可表示为：

$$\text{Correction(ppm)} = (C \times 128 + D) \times 30.517 / 128000000$$

假设使时钟增加0.238ppm，即相当于128s周期内只增加30.5us，调校值写为0_0000_0000001，；
假设使时钟增加488ppm，即相当于128s周期内增加2047个30.5us，调校值写为0_1111_1111111。

调校值举例：

ppm	{ADSIGN,ADJUST}	C	D	Expression
0.238	0_0000_00000001	0	1	$1 \times 30.517 / 128000000$
-123.02	1_0100_0000100	4	4	$(4 \times 128 + 4) \times 30.517 / 128000000$
30.99	0_0001_0000010	1	2	$(1 \times 128 + 2) \times 30.517 / 128000000$
488.04	0_1111_1111111	15	127	$(15 \times 128 + 127) \times 30.517 / 128000000$

当CALSTEP=1, RTC最小调校步长是0.119ppm, 数字调校值用如下方式表示:

ADSIGN	ADJUST[11:8]	ADJUST[7:0]
符号位	Common Value (C)	Differential Value (D)

数字调校公式可表示为:

$$\text{Correction(ppm)} = (C \times 256 + D) \times 30.517 / 256000000$$

假设使时钟增加0.119ppm, 即相当于256s周期内只增加30.5us, 调校值写为0_0000_00000001, ;
假设使时钟增加488ppm, 即相当于256s周期内增加4095个30.5us, 调校值写为0_1111_11111111。

调校值举例:

ppm	{ADSIGN,ADJUST}	C	D	Expression
0.238	0_0000_00000010	0	2	$2 \times 30.517 / 256000000$
-123.02	1_0100_00001000	4	8	$(4 \times 256 + 8) \times 30.517 / 256000000$
30.99	0_0001_00000100	1	4	$(1 \times 256 + 4) \times 30.517 / 256000000$
488.15	0_1111_11111111	15	255	$(15 \times 256 + 255) \times 30.517 / 256000000$

当CALSTEP=2, RTC最小调校步长是0.03ppm, 数字调校值用如下方式表示:

ADSIGN	ADJUST[12:9]	ADJUST[8:0]
符号位	Common Value (C)	Differential Value (D)

数字调校公式可表示为:

$$\text{Correction(ppm)} = (C \times 512 + D) \times 30.517 / 512000000$$

假设使时钟增加0.119ppm, 即相当于512s周期内只增加2*30.5us, 调校值写为0_0000_000000010;
假设使时钟增加488ppm, 即相当于512s周期内增加8191个30.5us, 调校值写为0_1111_111111111。

调校值举例:

ppm	{ADSIGN,ADJUST}	C	D	Expression
0.238	0_0000_000000010	0	4	$4 \times 30.517 / 512000000$
-123.02	1_0100_00001000	4	16	$(4 \times 512 + 16) \times 30.517 / 512000000$
30.99	0_0001_00000100	1	8	$(1 \times 512 + 8) \times 30.517 / 512000000$
488.15	0_1111_11111111	15	511	$(15 \times 512 + 511) \times 30.517 / 512000000$

23.2.3 BCD 时间

秒计时

秒计时仅需7bit，从0计数到59，其中bit[3:0]为1秒单位，计数范围0-9；bit[6:4]为10秒单位，计数范围0-5。当计数满60s后触发秒进位信号使分钟计数器加1。

Bit6-4	Bit3-0
0-5	0-9

分钟计时

分计时也仅需7bit，计数范围与秒相同，因此实现方法也相同。

Bit6-4	Bit3-0
0-5	0-9

小时计时

小时计数范围为 0-24，仅需 6bit：

Bit5-4	Bit3-0
0-2	0-9

天计时

天计数范围为 1-31，仅需 6bit，从 1 开始计数，根据月份以及闰年计数到 28/29/30/31，计满后触发天进位信号使月计数器加 1。

Bit5-4	Bit3-0
0-3	0-9

星期计时

星期计数范围为 0-6，仅需 3bit，从 0 到 6 循环计数。

Bit2-0
0-6

月计时

月计数范围为 1-12，仅需 5bit，从 1 开始计数到 12，计满后触发月进位信号使年计数器加 1。

Bit4	Bit3-0
0-1	0-9

年计时

年计数范围为 0-99，需 8bit，从 0 到 99 循环计数。

Bit7-4	Bit3-0
0-9	0-9

23.2.4 RTC 使能与停止

RTC 上电后立即启动，不可关闭，软件应在 32K 晶体振荡器完全起振后再设置当前时间；在晶体振荡器起振之前芯片使用内部环振计时，偏差较大。

23.2.5 RTC 时间设置

软件可以在任意时刻直接设置 RTC 时间寄存器；由于设置时间寄存器的操作与 RTC 走时为异步操作关系，建议软件在秒中断事件之后进行时间设置，并且在置时后读出时间值校验。

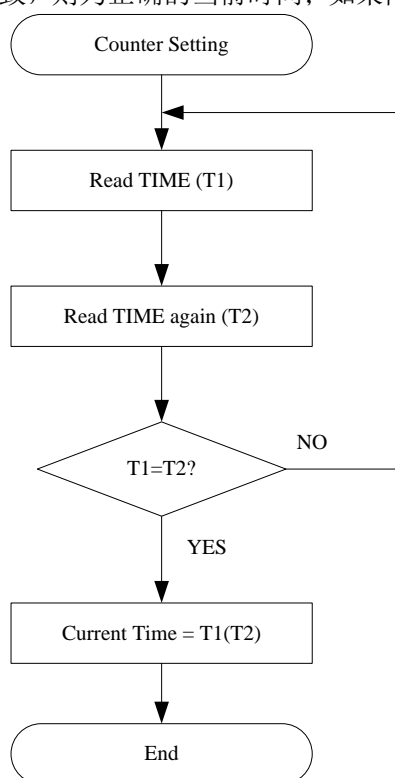
同时 FM33A048D 支持 ms 级授时，即可以设置时间到 3.9ms 级别精度 (1/256s)。此外，当软件写入秒时间时，硬件自动清零 64Hz->1Hz 的秒内计数器，以便实现秒对齐。

为了提高抗干扰能力，FM33A048D 提供时间写保护功能，必须先对写保护寄存器写入 0xACACACAC，才能改写时间寄存器，置时完成后软件可以通过写入任意其他值来禁止时间寄存器的写入，恢复写保护。

23.2.6 RTC 时间读取

时间读取方式 1:

- 读当前时间寄存器值
- 再次读当前时间寄存器值
- 如果 2 次读取内容一致，则为正确的当前时间；如果两次读取内容不一致，则重复前两个步骤。



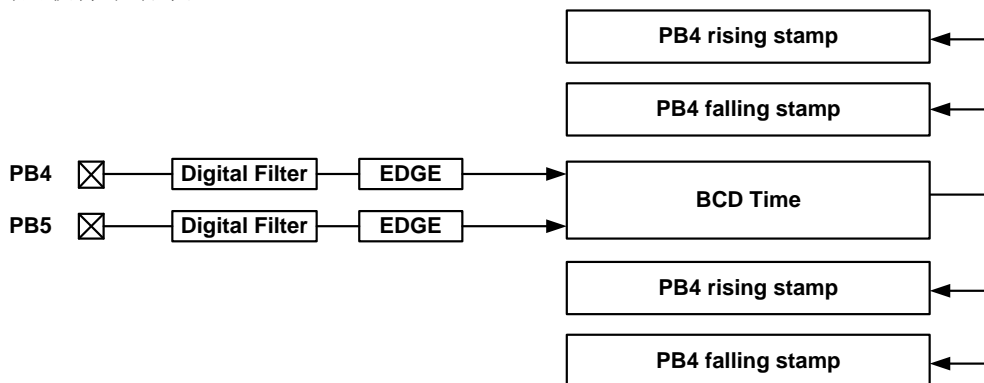
时间读取方式 2:

软件在 1s 中断发生后立即读取时间寄存器，能保证读到正确的当前时间值。

23.2.7 RTC 时间戳

为了支持 Tamper Detection, RTC 支持外部 IO 事件触发的时间戳功能。外部 IO 触发源为 PB4 和 PB5 的输入电平变化, 为了确保输入检测的可靠性, 建议使能 PB4 和 PB5 的 IO 输入数字滤波。使用此功能时, 将 PB4 和 PB5 配置为 GPIO 输入, 打开 RTCSTAMPEN 寄存器, 当 PB4 和 PB5 上出现任何滤波后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, 同时产生相应的标志, 可用于产生中断或者供软件查询。

注意时间戳功能仅在休眠模式下有效, ACTIVE 和 LPRUN 模式下时间戳功能不起作用, IO 边沿检测由软件中断来处理。



时间戳仅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。

23.3 寄存器

地址	名称	符号
0x40011000	RTC 写使能寄存器	RTCWE
0x40011004	RTC 中断使能寄存器	RTCIE
0x40011008	RTC 中断标志寄存器	RTCIF
0x4001100C	BCD 时间秒寄存器	BCDSEC
0x40011010	BCD 时间分钟寄存器	BCDMIN
0x40011014	BCD 时间小时寄存器	BCD HOUR
0x40011018	BCD 时间天寄存器	BCDDATE
0x4001101C	BCD 时间星期寄存器	BCD WEEK
0x40011020	BCD 时间月寄存器	BCD MONTH
0x40011024	BCD 时间年寄存器	BCD YEAR
0x40011028	闹钟设置寄存器	ALARM
0x4001102C	时钟信号输出控制寄存器	FSEL
0x40011030	LTBC 数值调整寄存器	ADJUST
0x40011034	LTBC 数值调整方向寄存器	ADSIGN
0x40011038	LTBC 虚拟调校使能寄存器	PR1SEN
0x4001103C	毫秒计数寄存器	MSECCNT
0x40011040	RTC 时间戳使能寄存器	STAMPEN
0x40011044	RTC 上升沿时间戳 0	CLKSTAMP0R
0x40011048	RTC 上升沿日历戳 0	CALSTAMP0R
0x4001104C	RTC 下降沿时间戳 0	CLKSTAMP0F
0x40011050	RTC 下降沿日历戳 0	CALSTAMP0F
0x40011054	RTC 上升沿时间戳 1	CLKSTAMP1R

0x40011058	RTC 上升沿日历戳 1	CALSTAMP1R
0x4001105C	RTC 下降沿时间戳 1	CLKSTAMP1F
0x40011060	RTC 下降沿日历戳 1	CALSTAMP1F
0x40011064	RTC 自动温补控制寄存器	AUTOCAL
0x40011068	自动温补零点修正值寄存器	ADOFFSET
0x4001106C	RTC 调校步长选择寄存器	CALSTEP
0x40011070	RTC 自动温补状态寄存器	CALBUSY
0x40011074	RTC 补偿周期计数器	ADJCNT

23.3.1 RTC 写使能寄存器

名称	RTCWE							
地址	0x40011000							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-							RTCWE
位权限	U-0							R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:1	--	RFU: 未实现, 读为 0
0	RTCWE	RTC 写使能寄存器, 当 CPU 向 RTCWE 写入 0xACACACAC 时, 允许 CPU 向 RTC 的 BCD 时间寄存器写入初值, 这时 RTCWE 置 1; 当 CPU 向 RTCWE 写入不为 0xACACACAC 的任意值时恢复写保护, 这时 RTCWE 清 0。

23.3.2 RTC 中断使能寄存器

名称	RTCIE							
地址	0x40011004							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							PB5R_I E
位权限	U-0							R/W-0
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	PB5F_IE	PB4R_I E	PB4F_IE	ADJ_IE	ALARM_ IE	1KHZ_I E	256HZ_I E	64_IE
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0



位名	16HZ_IE	8HZ_IE	4HZ_IE	2HZ_IE	SEC_IE	MIN_IE	HOUR_I E	DATE_I E
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:17	--	RFU: 未实现, 读为 0
16	PB5R_IE	PB5 上升沿中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
15	PB5F_IE	PB5 下降沿中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
14	PB4R_IE	PB4 上升沿中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
13	PB4F_IE	PB4 下降沿中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
12	ADJ_IE	调校周期中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
11	ALARM_IE	闹钟中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
10	1KHZ_IE	1khz 中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
9	256HZ_IE	256hz 中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
8	64HZ_IE	64hz 中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
7	16HZ_IE	16hz 中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
6	8HZ_IE	8hz 中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
5	4HZ_IE	4hz 中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
4	2HZ_IE	2hz 中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
3	SEC_IE	秒中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
2	MIN_IE	分中断使能。 1: 中断使能打开

Bit	助记符	功能描述
		0: 中断使能禁止
1	HOUR_IE	小时中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止
0	DATE_IE	天中断使能。 1: 中断使能打开 0: 中断使能禁止

23.3.3 RTC 中断标志寄存器

名称	RTCIF							
地址	0x40011008							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							PB5R_IF
位权限	U-0							R/W-0
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	PB5F_IF	PB4R_IF	PB4F_IF	ADJ_IF	ALARM_IF	1KHZ_IF	256HZ_IF	64_IF
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
位名	16HZ_IF	8HZ_IF	4HZ_IF	2HZ_IF	SEC_IF	MIN_IF	HOUR_IF	DATE_IF
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:17	--	RFU: 未实现, 读为 0
16	PB5R_IF	PB5 上升沿中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产
15	PB5F_IF	PB5 下降沿中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产
14	PB4R_IF	PB4 上升沿中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产
13	PB4F_IF	PB4 下降沿中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产
12	ADJ_IF	128 秒中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
11	ALARM_IF	闹钟中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
10	1KHZ_IF	1khz 中断标志。写 1 清零

Bit	助记符	功能描述
		1: 中断置位 0: 无中断产生
9	256HZ_IF	256hz 中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
8	64HZ_IF	64hz 中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
7	16HZ_IF	16hz 中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
6	8HZ_IF	8hz 中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
5	4HZ_IF	4hz 中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
4	2HZ_IF	2hz 中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
3	SEC_IF	秒中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
2	MIN_IF	分中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
1	HOUR_IF	小时中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生
0	DATE_IF	天中断标志。写 1 清零 1: 中断置位 0: 无中断产生

23.3.4 BCD 时间秒寄存器

名称	BCDSEC							
地址	0x4001100C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	BCDSEC						

位权限	U-0	R/W-X
-----	-----	-------

Bit	助记符	功能描述
31:7	--	RFU: 未实现, 读为 0
6:0	BCDSEC	秒时间数值, BCD 格式。

23.3.5 BCD 时间分钟寄存器

名称	BCDMIN							
地址	0x40011010							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	BCDMIN						
位权限	U-0	R/W-X						

Bit	助记符	功能描述
31:7	--	RFU: 未实现, 读为 0
6:0	BCDMIN	分钟时间数值, BCD 格式。

23.3.6 BCD 时间小时寄存器

名称	BCD HOUR							
地址	0x40011014							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	BCD HOUR						
位权限	U-0	R/W-X						

Bit	助记符	功能描述
31:6	--	RFU: 未实现, 读为 0
5:0	BCD HOUR	小时数值, BCD 格式。

23.3.7 BCD 时间天寄存器

名称	BCDDATE							
地址	0x40011018							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-				BCDDATE			
位权限	U-0				R/W-X			

Bit	助记符	功能描述
31:6	--	RFU: 未实现, 读为 0
5:0	BCDDATE	天数数值, BCD 格式。

23.3.8 BCD 时间星期寄存器

名称	BCDWEEK							
地址	0x4001101C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-				BCDWEEK			
位权限	U-0				R/W-X			

Bit	助记符	功能描述
31:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2:0	BCDWEEK	周数值, BCD 格式。

23.3.9 BCD 时间月寄存器

名称	BCDMONTH							
地址	0x40011020							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-			BCDMONTH				
位权限	U-0			R/W-X				

Bit	助记符	功能描述
31:5	--	RFU: 未实现, 读为 0
4:0	BCDMONTH	月数值, BCD 格式。

23.3.10 BCD 时间年寄存器

名称	BCDYEAR							
地址	0x40011024							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	BCDYEAR							
位权限	R/W-X							

Bit	助记符	功能描述
31:8	--	RFU: 未实现, 读为 0
7:0	BCDYEAR	年数值, BCD 格式。

23.3.11 闹钟设置寄存器

名称	ALARM							
地址	0x40011028							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							

位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-		ALARMHOUR					
位权限	U-0		R/W-00					
位	Bit15	Bit14	BIT13	BIT12	BIT11	BIT10	Bit9	Bit8
位名	-		ALARMMIN					
位权限	U-0		R/W-00					
位	Bit7	Bit6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	Bit1	Bit0
位名	-		ALARMSEC					
位权限	U-0		R/W-00					

Bit	助记符	功能描述
31:8	--	RFU: 未实现, 读为 0
21:16	ALARMHOUR	闹钟的小时数值。
15	--	RFU: 未实现, 读为 0
14:8	ALARMMIN	闹钟的分数值。
7	--	RFU: 未实现, 读为 0
6:0	ALARMSEC	闹钟的秒数值。

23.3.12 时钟信号输出控制寄存器

名称	FSEL							
地址	0x4001102C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-				FSEL			
位权限	U-0				R/W-00			

Bit	助记符	功能描述
31:4	--	RFU: 未实现, 读为 0
3:0	FSEL	频率输出选择信号: 4'b0000: 输出 PLL 分频得到的精确 1 秒方波 4'b0001: 输出 PLL 分频的高电平宽度 80ms 的秒时标 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

Bit	助记符	功能描述
		4'b0110: 输出闹钟匹配信号
		4'b0111: 输出 128 秒方波信号
		4'b1000: 反向输出 PLL 分频的高电平宽度 80ms 的秒时标
		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: 反向输出 PLL 分频的精确 1s 方波信号
		4'b1111: 输出 RTC 内部秒时标方波

23.3.13 LTBC 数值调整寄存器

名称	RTC_ADJUST							
offset	0x30							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-			ADJUST[12:8]				
位权限	U-0			R/W-xxxx				
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	ADJUST[7:0]							
位权限	R/W-xxxxxxxx							

Bit	助记符	功能描述
31:13	--	RFU: 未实现, 读为 0
12:0	ADJUST	LTBC 补偿调整数值 (原码格式)

23.3.14 LTBC 数值调整方向寄存器

名称	ADSIGN							
地址	0x40011034							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							

位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-							ADSIGN
位权限	U-0							R/W-x

Bit	助记符	功能描述
31:1	--	RFU: 未实现, 读为 0
0	ADSIGN	LTBC 补偿方向 0: 表示增加计数初值 1: 表示减少计数初值

23.3.15 LTBC 虚拟调校使能寄存器

名称	PR1SEN							
地址	0x40011038							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-							PR1SEN
位权限	U-0							R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:1	--	RFU: 未实现, 读为 0
0	PR1SEN	虚拟调校使能信号 0: 表示禁止虚拟调校功能 1: 表示使能虚拟调校功能

23.3.16 毫秒计数寄存器

名称	MSECCNT							
地址	0x4001103C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							

位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	MSCNT							
位权限	R/W-xxxxxxx							

Bit	助记符	功能描述
31:8	--	RFU: 未实现, 读为 0
7:0	MSCNT	毫秒计数值。 CALSTEP=00/11: 有效位 8bit, 精度 3.9ms CALSTEP=01: 有效值 7bit, 精度 7.8ms CALSTEP=10: 有效值 6bit, 精度 15.625ms

23.3.17 RTC 时间戳使能寄存器

名称	STAMPEN							
地址	0x40011040							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-						STAMP1EN	STAMP0EN
位权限	U-0						RW-X	RW-X

Bit	助记符	功能描述
31:2	--	RFU: 未实现, 读为 0
1	STAMP1EN	PB5 触发的时间戳功能使能位。无复位值, 建议软件上电后进行初始化。 1: 打开时间戳 0: 关闭时间戳
0	STAMP0EN	PB4 触发的时间戳功能使能位。无复位值, 建议软件上电后进行初始化。 1: 打开时间戳 0: 关闭时间戳

23.3.18 RTC 上升沿时间戳 0

名称	CLKSTAMP0R							
地址	0x40011044							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							

位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-		HRSTP0R					
位权限	U-0		RW-X					
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-		MINSTP0R					
位权限	U-0		RW-X					
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-		SECSTP0R					
位权限	U-0		RW-X					

Bit	助记符	功能描述
31:22	--	RFU: 未实现, 读为 0
21:16	HRSTP0R	检测到 PB4 上升沿后存储 BCD 小时寄存器的值。
15	--	RFU: 未实现, 读为 0
14:8	MINSTP0R	检测到 PB4 上升沿后存储 BCD 分寄存器的值。
7	--	RFU: 未实现, 读为 0
6:0	SECSTP0R	检测到 PB4 上升沿后存储 BCD 秒寄存器的值。

23.3.19 RTC 上升沿日历戳 0

名称	CALSTAMP0R							
地址	0x40011048							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	YRSTP0R							
位权限	RW-X							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名					MONSTP0R			
位权限					RW-X			
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-					WKSTP0R		
位权限	U-0					RW-X		
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-		DAYSTP0R					
位权限	U-0		RW-X					

Bit	助记符	功能描述
31:24	YRSTP0R	检测到 PB4 上升沿后存储 BCD 年寄存器的值。
23:21	--	RFU: 未实现, 读为 0
20:16	MONSTP0R	检测到 PB4 上升沿后存储 BCD 月寄存器的值。
15:11	--	RFU: 未实现, 读为 0
10:8	WKSTP0R	检测到 PB4 上升沿后存储 BCD 周寄存器的值。
7:6	--	RFU: 未实现, 读为 0
5:0	DAYSTP0R	检测到 PB4 上升沿后存储 BCD 天寄存器的值。

23.3.20 RTC 下降沿时间戳 0

名称	CLKSTAMP0F
----	------------



地址	0x4001104C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-			HRSTP0F				
位权限	U-0			RW-X				
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-		MINSTP0F					
位权限	U-0		RW-X					
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-		SECSTP0F					
位权限	U-0		RW-X					

Bit	助记符	功能描述
31:22	--	RFU: 未实现, 读为 0
21:16	HRSTP0F	检测到 PB4 下降沿后存储 BCD 小时寄存器的值。
15	--	RFU: 未实现, 读为 0
14:8	MINSTP0F	检测到 PB4 下降沿后存储 BCD 分寄存器的值。
7	--	RFU: 未实现, 读为 0
6:0	SECSTP0F	检测到 PB4 下降沿后存储 BCD 秒寄存器的值。

23.3.21 RTC 下降沿日历戳 0

名称	CALSTAMP0F							
地址	0x40011050							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	YRSTP0F							
位权限	RW-X							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名				MONSTP0F				
位权限				RW-X				
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-					WKSTP0F		
位权限	U-0					RW-X		
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-		DAYSTP0F					
位权限	U-0		RW-X					

Bit	助记符	功能描述
31:24	YRSTP0F	检测到 PB4 下降沿后存储 BCD 年寄存器的值。
23:21	--	RFU: 未实现, 读为 0
20:16	MONSTP0F	检测到 PB4 下降沿后存储 BCD 月寄存器的值。
15:11	--	RFU: 未实现, 读为 0
10:8	WKSTP0F	检测到 PB4 下降沿后存储 BCD 周寄存器的值。
7:6	--	RFU: 未实现, 读为 0

Bit	助记符	功能描述
5:0	DAYSTP0F	检测到 PB4 下降沿后存储 BCD 天寄存器的值。

23.3.22 RTC 上升沿时间戳 1

名称	CLKSTAMP1R							
地址	0x40011054							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-			HRSTP1R				
位权限	U-0			RW-X				
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-			MINSTP1R				
位权限	U-0			RW-X				
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-			SECSTP1R				
位权限	U-0			RW-X				

Bit	助记符	功能描述
31:22	--	RFU: 未实现, 读为 0
21:16	HRSTP1R	检测到 PB5 上升沿后存储 BCD 小时寄存器的值。
15	--	RFU: 未实现, 读为 0
14:8	MINSTP1R	检测到 PB5 上升沿后存储 BCD 分寄存器的值。
7	--	RFU: 未实现, 读为 0
6:0	SECSTP1R	检测到 PB5 上升沿后存储 BCD 秒寄存器的值。

23.3.23 RTC 上升沿日历戳 1

名称	CALSTAMP1R							
地址	0x40011058							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	YRSTP1R							
位权限	RW-X							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名				MONSTP1R				
位权限				RW-X				
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-			WKSTP1R				
位权限	U-0			RW-X				
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-			DAYSTP1R				
位权限	U-0			RW-X				

Bit	助记符	功能描述
31:24	YRSTP0R	检测到 PB5 上升沿后存储 BCD 年寄存器的值。

Bit	助记符	功能描述
23:21	--	RFU: 未实现, 读为 0
20:16	MONSTP0R	检测到 PB5 上升沿后存储 BCD 月寄存器的值。
15:11	--	RFU: 未实现, 读为 0
10:8	WKSTP0R	检测到 PB5 上升沿后存储 BCD 周寄存器的值。
7:6	--	RFU: 未实现, 读为 0
5:0	DAYSTP0R	检测到 PB5 上升沿后存储 BCD 天寄存器的值。

23.3.24 RTC 下降沿时间戳 1

名称	CLKSTAMP1F							
地址	0x4001105C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-			HRSTP1F				
位权限	U-0			RW-X				
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-			MINSTP1F				
位权限	U-0			RW-X				
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-			SECSTP1F				
位权限	U-0			RW-X				

Bit	助记符	功能描述
31:22	--	RFU: 未实现, 读为 0
21:16	HRSTP1F	检测到 PB5 下降沿后存储 BCD 小时寄存器的值。
15	--	RFU: 未实现, 读为 0
14:8	MINSTP1F	检测到 PB5 下降沿后存储 BCD 分寄存器的值。
7	--	RFU: 未实现, 读为 0
6:0	SECSTP1F	检测到 PB5 下降沿后存储 BCD 秒寄存器的值。

23.3.25 RTC 下降沿日历戳 1

名称	CALSTAMP1F							
地址	0x40011060							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	YRSTP1F							
位权限	RW-X							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名				MONSTP1F				
位权限				RW-X				
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-			WKSTP1F				
位权限	U-0			RW-X				

位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-		DAYSTP1F					
位权限	U-0		RW-X					

Bit	助记符	功能描述
31:24	YRSTP1F	检测到 PB5 下降沿后存储 BCD 年寄存器的值。
23:21	--	RFU: 未实现, 读为 0
20:16	MONSTP1F	检测到 PB5 下降沿后存储 BCD 月寄存器的值。
15:11	--	RFU: 未实现, 读为 0
10:8	WKSTP1F	检测到 PB5 下降沿后存储 BCD 周寄存器的值。
7:6	--	RFU: 未实现, 读为 0
5:0	DAYSTP1F	检测到 PB5 下降沿后存储 BCD 天寄存器的值。

23.3.26 RTC 自动温补控制寄存器

名称	AUTOCAL							
地址	0x40011064							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-							ACALEN
位权限	U-0							R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:1	--	RFU: 未实现, 读为 0
0	ACALEN	DUMMY 寄存器

23.3.27 自动温补零点修正值寄存器

名称	ADOFFSET							
地址	0x40011068							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-					ADOFFSET[10:8]		
位权限	U-0					R/W-000		
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0

位名	ADOFFSET[7:0]
位权限	R/W-00000000

Bit	助记符	功能描述
31:11	--	RFU: 未实现, 读为 0
10:0	ADOFFSET	DUMMY 寄存器

23.3.28 RTC 调校步长选择寄存器

名称	CALSTEP							
地址	0x6C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-						CALSTEP	
位权限	U-0						R/W-0	

Bit	助记符	功能描述
31:1	--	RFU: 未实现, 读为 0
0	CALSTEP	LTBC 最小调校步长选择 10: 0.06ppm (精度+/-0.03ppm) 01: 0.119ppm (精度+/-0.06ppm) 00/11: 0.238ppm (精度+/-0.119ppm)

23.3.29 RTC 自动温补状态寄存器

名称	CALBUSY							
地址	0x40011070							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0

位名	-	AUCALBUSY
位权限	U-0	R-0

位	位名	功能描述
31:1	--	RFU: 未实现, 读为 0
0	AUCALBUSY	DUMMY 寄存器

23.3.30 RTC 补偿周期计数器

名称	Name: ADJCNT							
地址	0x74							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							ADJCNT[8]
位权限	U-0							R-X
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	ADJCNT							
位权限	R-X							

位	位名	功能描述
31:9	--	RFU: 未实现, 读为 0
8:0	ADJCNT	RTC 补偿周期计数器值 计数范围 0~511, 当 BCD 秒寄存器有写入行为时, 此计数器被清零。

24 LCD 显示

24.1 概述

LCD 显示控制模块接收 MCU 送过来的数据，按一定规律储存在显示 RAM 中，并根据显示 RAM 中的数据驱动 LCD 显示屏来实现期望的字符显示功能。

主要特点：

- 最大支持 8×40、6×42、4×44 的显示段数
- 1/3bias、1/4bias
- 16 级灰度可调
- LCD 驱动支持片内电阻型模式
- 支持闪烁功能，且闪烁频率可调
- 支持间歇式点亮功能，点亮、熄灭时间可配置
- 支持全亮、全灭功能
- 支持 Type A 和 Type B 两种 LCD 驱动波形（可配置）
- 典型帧刷新频率 64Hz

24.2 工作原理

24.2.1 LCD Type A 扫描波形

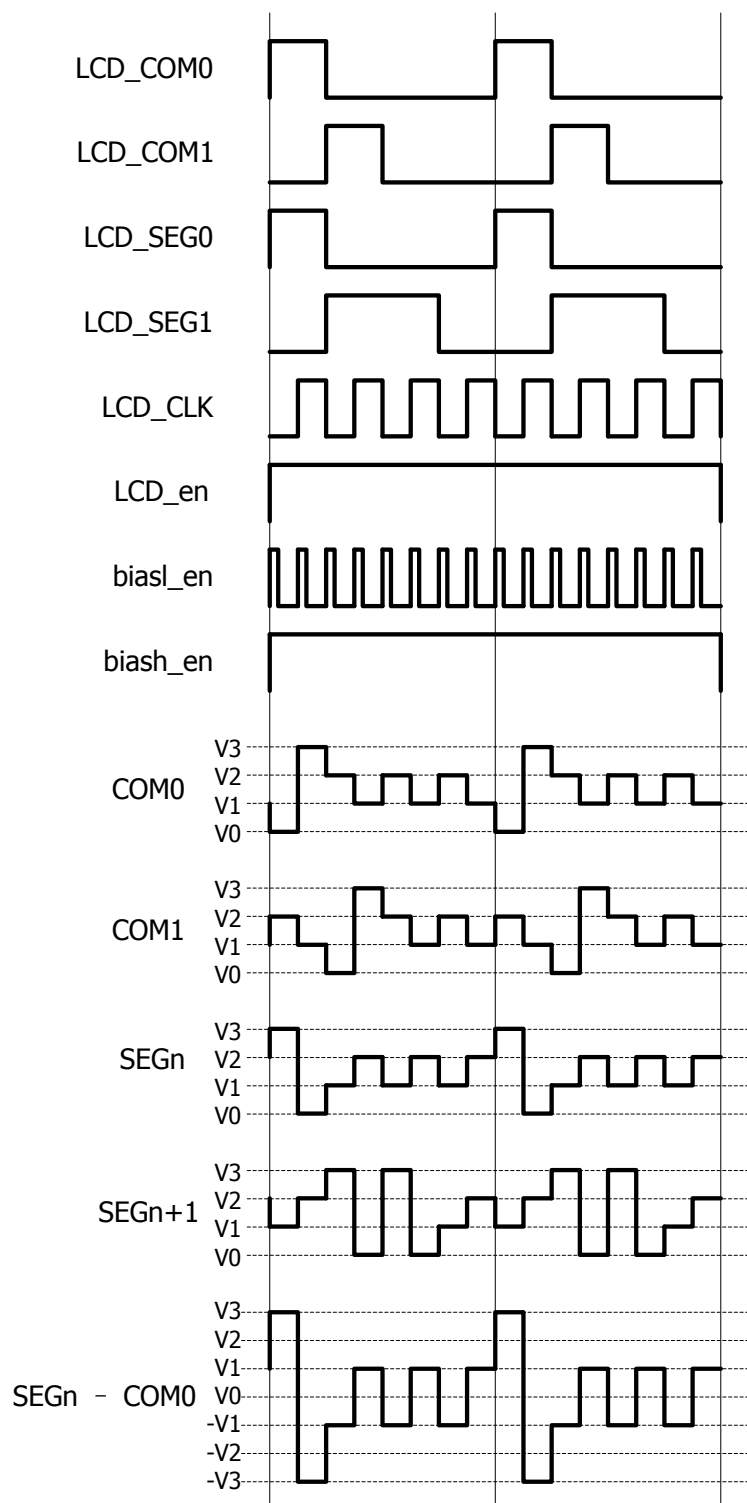


图 24-1 LCD 驱动波形(1/4 duty, 1/3 bias, type A)

24.2.2 LCD Type B 扫描波形

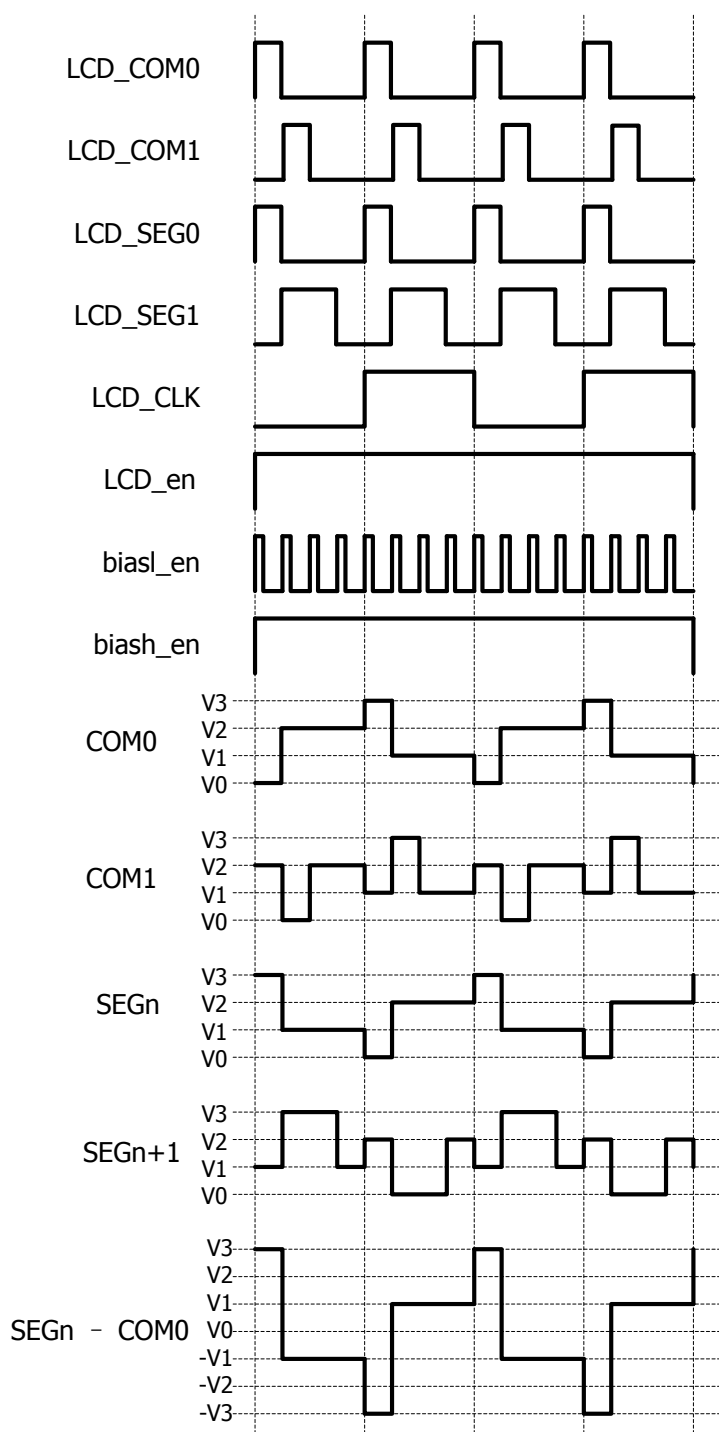


图 24-2 LCD 驱动波形(1/4 duty, 1/3 bias, type B)

24.2.3 片内 buffer 驱动模式

片内buffer驱动模式的驱动电路如图 24-3所示，由电源电压通过分压电阻产生等分电压，分压输入到低功耗buffer以增强驱动能力，buffer输出连接至波形产生模块后产生COM和SEG信号，此模式无需片外电路，功耗较低。

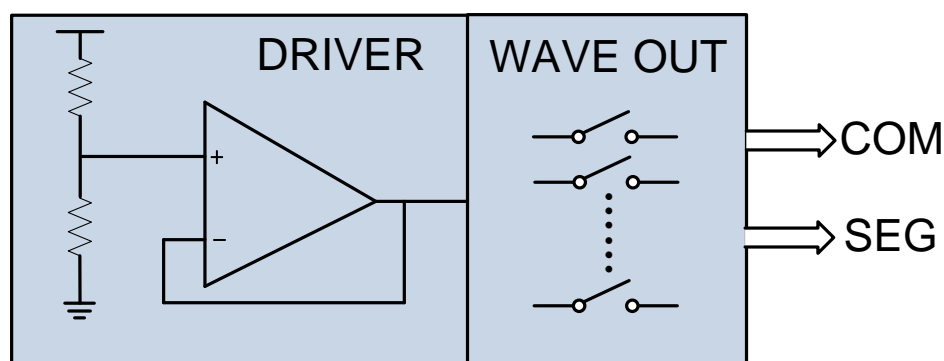


图 24-3 LCD 片内电阻 buffer 型驱动电路

24.2.4 显示闪烁功能

软件可以设置显示控制寄存器 DISPCTRL 中的 FLICKER 位为 1，来使能显示闪烁。FLICKER 使能后，根据 TON 和 TOFF 寄存器值确定闪烁频率。在使能 FLICKER 功能之前应先设置 TON/TOFF 并设置 MD 打开显示，若不设置 TON/TOFF，则其复位值为 0，显示会以 64Hz 闪烁。若不先打开显示，FLICKER 设置无效，不会有显示。

TON/TOFF 最小步长为 0.25 秒，实际 ON/OFF 时间为 $\text{TON/TOFF} \times 0.25\text{s}$ 。显示和熄灭与帧扫描同步，即在一帧扫描完后熄灭，或在一帧开始时点亮。由于帧结束信号是 64Hz 的，因此 TON/TOFF 的计数值应为寄存器设置值 $\times 16$ 。

24.3 推荐工作流程

- 1: 配置显示频率控制寄存器。
- 2: 配置点亮和熄灭时间寄存器（如果使用闪烁功能）。
- 3: 配置 LCD 显示设置寄存器。
- 4: 配置 LCD 驱动模式控制寄存器。
- 5: 配置显示数据寄存器。
- 6: 配置 LCD 显示灰度寄存器。
- 7: 打开 LCDCOM 和 LCDSEG 使能控制寄存器。
- 8: 配置显示控制寄存器，启动 LCD 显示。

24.4 寄存器

地址	名称	符号
0x40010C00	显示控制寄存器	DISPCTRL
0x40010C04	显示测试控制寄存器	LCDTEST
0x40010C08	显示频率控制寄存器	DF
0x40010C0C	显示点亮时间寄存器	TON
0x40010C10	显示熄灭时间寄存器	TOFF
0x40010C14	显示中断使能寄存器	DISPIE
0x40010C18	显示中断标志寄存器	DISPIF
0x40010C1C	LCD 显示设置寄存器	LCDSET
0x40010C20	LCD 显示驱动模式寄存器	LCDDRV
0x40010C24	显示数据缓存寄存器	DISPDAT0
0x40010C28		DISPDAT1
0x40010C2C		DISPDAT2
0x40010C30		DISPDAT3

0x40010C34		DISPDAT4
0x40010C38		DISPDAT5
0x40010C3C		DISPDAT6
0x40010C40		DISPDAT7
0x40010C44		DISPDAT8
0x40010C48		DISPDAT9
0x40010C4C	LCD 显示灰度设置寄存器	LCDBIAS
0x40010C50	LCD COM 使能控制寄存器	COM_EN
0x40010C54	LCD SEG 使能控制寄存器 0	SEG_EN0
0x40010C58	LCD SEG 使能控制寄存器 1	SEG_EN1

24.4.1 显示控制寄存器

名称	DISPCTRL							
地址	0x40010C00							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	ANTIPO LAR	LCDEN	-			FLICK	TEST	DISPMD
位权限	R/W-0	R/W-0	U-0			R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
30:8	--	RFU: 未实现, 读为 0
7	ANTIPOLAR	防极化使能 1: COM 和 SEG 在 LCD 关闭情况下接地 0: COM 和 SEG 在 LCD 关闭情况下浮空
6	LCDEN	LCD 显示使能位 1: 启动 LCD 显示 0: 关闭 LCD 显示
5:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
2	FLICK	显示闪烁使能位 1: 显示闪烁, 闪烁频率由 TON 和 TOFF 寄存器设置 0: 关闭闪烁
1	TEST	测试模式使能, 仅在 DISPMD=1 的情况下有效 1: 显示全亮 0: 显示全灭
0	DISPMD	测试模式选择 1: 显示测试模式, TEST 位有效 0: 正常模式, TEST 位无效

24.4.2 显示测试控制寄存器

名称	LCDTEST							
地址	0x40010C04							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	LCCTRL	---	---	---	---	---	---	TESTEN
位权限	R/W-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0

位号	位名	说明
31:8	---	未实现，读为0
7	LCCTRL	LCD测试控制位，仅在测试模式下有效 COM、SEG 输出电平由测试模式下的引脚输出数据寄存器决定。不同设置下 SEG 或 COM 输出的结果参见后文表格。
6:0	---	未实现，读为0
0	TESTEN	测试模式使能位 1 = LCD 测试模式使能。在 LCD 测试模式下，LCD 引脚静态输出模拟直流电平，所有与动态扫描时间以及扫描波形相关寄存器设置无效 0 = 正常工作模式，测试模式无效，相关测试寄存器控制无效

测试模式下引脚输出电平：

LCCTRL	DISPDATA	COM 引脚输出电平	SEG 引脚输出电平
		1/3bias	1/3bias
0	0	V3	V2
0	1	V1	V4
1	0	V2	V3
1	1	V4	V1

24.4.3 测试模式下引脚输出数据寄存器

这组寄存器只在测试模式下有效，与相关显示寄存器共享存储空间。

名称	LCD 测试模式下引脚输出数据寄存器 TDISPDATA							
地址								
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
TDISPDATA0	SEG7	SEG6	SEG5	SEG4	SEG3	SEG2	SEG1	SEG0
TDISPDATA1	SEG15	SEG14	SEG13	SEG12	SEG11	SEG10	SEG9	SEG8

名称	LCD 测试模式下引脚输出数据寄存器 TDISPDATA							
地址								
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
TDISPDATA2	SEG23	SEG22	SEG21	SEG20	SEG19	SEG18	SEG17	SEG16
TDISPDATA3	SEG31	SEG30	SEG29	SEG28	SEG27	SEG26	SEG25	SEG24
TDISPDATA4	SEG39	SEG38	SEG37	SEG36	SEG35	SEG34	SEG33	SEG32
TDISPDATA5					SEG43	SEG42	SEG41	SEG40
TDISPDATA6	COM7	COM6	COM5	COM4	COM3	COM2	COM1	COM0
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

24.4.4 显示频率控制寄存器

名称	DF							
地址	0x40010C08							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	DF[7:0]							
位权限	R/W-00000000							

位号	位名	说明
31:8	---	未实现，读为0
7:0	DF	显示预分频寄存器

显示扫描频率计算公式（DF不等于0）：

COM 数量	帧频率 Hz	
	A 类波形	B 类波形
4	显示电路工作频率 / (4 × DF[7:0] × 2)	显示电路工作频率 / (4 × DF[7:0] × 4)
6	显示电路工作频率 / (6 × DF[7:0] × 2)	显示电路工作频率 / (6 × DF[7:0] × 4)
8	显示电路工作频率 / (8 × DF[7:0] × 2)	显示电路工作频率 / (8 × DF[7:0] × 4)

当DF=0时：

COM 数量	帧频率 Hz	
	A 类波形	B 类波形
4	显示电路工作频率 / 4	显示电路工作频率 / (4 × 2)
6	显示电路工作频率 / 6	显示电路工作频率 / (6 × 2)
8	显示电路工作频率 / 8	显示电路工作频率 / (8 × 2)

显示电路工作频率为32KHz，以TPYE A为例，当DF=0，1，2时，扫描频率分别为32K，16K，8K。

几个典型扫描频率下，显示频率控制寄存器的取值情况

显示扫描频率 (Hz)	工作时钟 (Hz)	4 公共端		6 公共端		8 公共端	
		A 类	B 类	A 类	B 类	A 类	B 类
50	32768	82	41	54	27	41	20
58	32768	70	35	47	24	35	17
64	32768	64	32	42	21	32	16
70	32768	58	29	39	20	29	14
75	32768	54	27	36	18	27	13

24.4.5 显示点亮时间寄存器

名称	TON							
地址	0x40010C0C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	TON[7:0]							
位权限	R/W-00000000							

位号	位名	说明
31:8	---	未实现，读为0
7:0	TON	闪烁显示点亮时间寄存器 闪烁显示时的点亮时间=TON×0.25秒，最小步长为0.25秒，最大点亮时间可到64秒

24.4.6 显示熄灭时间寄存器

名称	TOFF							
地址	0x40010C10							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0

位名	TOFF[7:0]
位权限	R/W-00000000

位号	位名	说明
31:8	---	未实现，读为0
7:0	TOFF	闪烁显示熄灭时间寄存器 闪烁显示时的熄灭时间=TOFF×0.25秒，最小步长为0.25秒，最大点亮时间可到64秒

24.4.7 显示中断使能寄存器

名称	DISPIE							
地址	0x40010C14							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	---	---	---	---	---	---	DONIE	DOFFIE
位权限	R/W-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0

位号	位名	说明
31:2	---	未实现，读为0
Bit1	DONIE	显示点亮中断使能位 1 = 显示点亮中断使能 0 = 显示点亮中断禁止
Bit0	DOFFIE	显示熄灭中断使能位 1 = 显示熄灭中断使能 0 = 显示熄灭中断禁止

24.4.8 显示中断标志寄存器

名称	DISPIF							
地址	0x40010C18							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8

位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	---	---	---	---	---	---	DONF	DOFFIF
位权限	R/W-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0

位号	位名	说明
31:2	---	未实现，读为0
1	DONIF	显示点亮中断标志 显示由灭变亮时硬件产生中断标志，硬件置位，软件清零
0	DOFFIF	显示熄灭中断标志 显示由亮变灭时硬件产生中断标志，硬件置位，软件清零

24.4.9 LCD 显示设置寄存器

名称	LCDSET							
地址	0x40010C1C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	---	---	---	BIASMD	---	WFT	LMUX	
位权限	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	

位号	位名	说明
31:5	---	未实现，读为0
4	BIASMD	偏置类型控制 1: 1/3 Bias 0: 1/4 Bias
3	---	未实现，读为0
2	WFT	驱动波形选择 1: B类波形 0: A类波形
1:0	LMUX	COM 数量选择 00: 4COM 01: 6COM 10/11: 8COM

24.4.10 LCD 驱动模式控制寄存器

名称	LCDDRV
地址	0x40010C20



位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	SCFSEL[2:0]			RFU		IC_CTRL[1:0]		ENMODE
位权限	R/W-000			R/W-00		R/W-01		R/W-0

位号	位名	说明
31:8	---	未实现，读为0
7:5	SCFSEL	SC频率选择 000 = 频率为帧频*COM 数 001 = 频率为 disp_clk/8 (若 disp_clk=32KHz, 则为 4KHz) 010 = 频率为 disp_clk/16 (若 disp_clk=32KHz, 则为 2KHz) 011 = 频率为 disp_clk/32 (若 disp_clk=32KHz, 则为 1KHz) 100 = 频率为 disp_clk/64 (若 disp_clk=32KHz, 则为 500Hz) 101 = 频率为 disp_clk/128 (若 disp_clk=32KHz, 则为 250Hz) 110 = 频率为 disp_clk/256 (若 disp_clk=32KHz, 则为 125Hz) 111 = 频率为 disp_clk/512 (若 disp_clk=32KHz, 则为 62.5Hz) 注意: 当选择 110 或 111 档位时, 如果频率低于帧频*2*COM, 则输出结果与 000 档位相同
4:3	RFU	保留位, 可读写
2:1	IC_CTRL	偏置电路输入电流源大小控制 00 = 电流最大 01 = 电流次大 10 = 电流次小 11 = 电流最小
0	ENMODE	驱动模式选择 0 = 关闭电阻型驱动 1 = 使能片内电阻型驱动

24.4.11 显示数据寄存器

LCD 显示模块内有 10 个 32 bit 的显示数据寄存器。均为可读可写，复位值为 0。

名称	DISPDATAx(x=0~9)							
地址	0x40010C24~0x40010C48							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	DSDA31	DSDA30	DSDA29	DSDA28	DSDA27	DSDA26	DSDA25	DSDA24
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	DSDA23	DSDA22	DSDA21	DSDA20	DSDA19	DSDA18	DSDA17	DSDA16

位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	DSDA15	DSDA14	DSDA13	DSDA12	DSDA11	DSDA10	DSDA9	DSDA8
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	DSDA7	DSDA6	DSDA5	DSDA4	DSDA3	DSDA2	DSDA1	DSDA0
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:0	DSDAx	LCD 显示数据

24.4.11.1 4COM 显示数据寄存器

名称	4com 显示数据寄存器							
地址	0x40010C24 ~ 0x40010C38							
DISPDATA0	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG7 COM0	SEG6 COM0	SEG5 COM0	SEG4 COM0	SEG3 COM0	SEG2 COM0	SEG1 COM0	SEG0 COM0
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG15 COM0	SEG14 COM0	SEG13 COM0	SEG12 COM0	SEG11 COM0	SEG10 COM0	SEG9 COM0	SEG8 COM0
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	SEG23 COM0	SEG22 COM0	SEG21 COM0	SEG20 COM0	SEG19 COM0	SEG18 COM0	SEG17 COM0	SEG16 COM0
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
	SEG31 COM0	SEG30 COM0	SEG29 COM0	SEG28 COM0	SEG27 COM0	SEG26 COM0	SEG25 COM0	SEG24 COM0
DISPDATA1	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG7 COM1	SEG6 COM1	SEG5 COM1	SEG4 COM1	SEG3 COM1	SEG2 COM1	SEG1 COM1	SEG0 COM1
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG15 COM1	SEG14 COM1	SEG13 COM1	SEG12 COM1	SEG11 COM1	SEG10 COM1	SEG9 COM1	SEG8 COM1
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	SEG23 COM1	SEG22 COM1	SEG21 COM1	SEG20 COM1	SEG19 COM1	SEG18 COM1	SEG17 COM1	SEG16 COM1
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
	SEG31 COM1	SEG30 COM1	SEG29 COM1	SEG28 COM1	SEG27 COM1	SEG26 COM1	SEG25 COM1	SEG24 COM1
DISPDATA2	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG7 COM2	SEG6 COM2	SEG5 COM2	SEG4 COM2	SEG3 COM2	SEG2 COM2	SEG1 COM2	SEG0 COM2
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG15 COM2	SEG14 COM2	SEG13 COM2	SEG12 COM2	SEG11 COM2	SEG10 COM2	SEG9 COM2	SEG8 COM2
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	SEG23 COM2	SEG22 COM2	SEG21 COM2	SEG20 COM2	SEG19 COM2	SEG18 COM2	SEG17 COM2	SEG16 COM2

名称	4com 显示数据寄存器							
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
	SEG31 COM2	SEG30 COM2	SEG29 COM2	SEG28 COM2	SEG27 COM2	SEG26 COM2	SEG25 COM2	SEG24 COM2
DISPDATA3	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG7 COM3	SEG6 COM3	SEG5 COM3	SEG4 COM3	SEG3 COM3	SEG2 COM3	SEG1 COM3	SEG0 COM3
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG15 COM3	SEG14 COM3	SEG13 COM3	SEG12 COM3	SEG11 COM3	SEG10 COM3	SEG9 COM3	SEG8 COM3
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	SEG23 COM3	SEG22 COM3	SEG21 COM3	SEG20 COM3	SEG19 COM3	SEG18 COM3	SEG17 COM3	SEG16 COM3
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
	SEG31 COM3	SEG30 COM3	SEG29 COM3	SEG28 COM3	SEG27 COM3	SEG26 COM3	SEG25 COM3	SEG24 COM3
DISPDATA4	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG39 COM0	SEG38 COM0	SEG37 COM0	SEG36 COM0	SEG35 COM0	SEG34 COM0	SEG33 COM0	SEG32 COM0
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG35 COM1	SEG34 COM1	SEG33 COM1	SEG32 COM1	SEG43 COM0	SEG42 COM0	SEG41 COM0	SEG40 COM0
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	SEG43 COM1	SEG42 COM1	SEG41 COM1	SEG40 COM1	SEG39 COM1	SEG38 COM1	SEG37 COM1	SEG36 COM1
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
	SEG39 COM2	SEG38 COM2	SEG37 COM2	SEG36 COM2	SEG35 COM2	SEG34 COM2	SEG33 COM2	SEG32 COM2
DISPDATA5	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG35 COM3	SEG34 COM3	SEG33 COM3	SEG32 COM3	SEG43 COM2	SEG42 COM2	SEG41 COM2	SEG40 COM2
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG43 COM3	SEG42 COM3	SEG41 COM3	SEG40 COM3	SEG39 COM3	SEG38 COM3	SEG37 COM3	SEG36 COM3
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24

24.4.11.2 6COM 显示数据寄存器

名称	6com 显示数据寄存器							
地址	0x40010C24 ~ 0x40010C40							
DISPDATA0	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG7 COM0	SEG6 COM0	SEG5 COM0	SEG4 COM0	SEG3 COM0	SEG2 COM0	SEG1 COM0	SEG0 COM0
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG15 COM0	SEG14 COM0	SEG13 COM0	SEG12 COM0	SEG11 COM0	SEG10 COM0	SEG9 COM0	SEG8 COM0
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16



名称	6com 显示数据寄存器							
	SEG23 COM0	SEG22 COM0	SEG21 COM0	SEG20 COM0	SEG19 COM0	SEG18 COM0	SEG17 COM0	SEG16 COM0
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
	SEG31 COM0	SEG30 COM0	SEG29 COM0	SEG28 COM0	SEG27 COM0	SEG26 COM0	SEG25 COM0	SEG24 COM0
DISPDATA1	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG7 COM1	SEG6 COM1	SEG5 COM1	SEG4 COM1	SEG3 COM1	SEG2 COM1	SEG1 COM1	SEG0 COM1
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG15 COM1	SEG14 COM1	SEG13 COM1	SEG12 COM1	SEG11 COM1	SEG10 COM1	SEG9 COM1	SEG8 COM1
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	SEG23 COM1	SEG22 COM1	SEG21 COM1	SEG20 COM1	SEG19 COM1	SEG18 COM1	SEG17 COM1	SEG16 COM1
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
	SEG31 COM1	SEG30 COM1	SEG29 COM1	SEG28 COM1	SEG27 COM1	SEG26 COM1	SEG25 COM1	SEG24 COM1
DISPDATA2	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG7 COM2	SEG6 COM2	SEG5 COM2	SEG4 COM2	SEG3 COM2	SEG2 COM2	SEG1 COM2	SEG0 COM2
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG15 COM2	SEG14 COM2	SEG13 COM2	SEG12 COM2	SEG11 COM2	SEG10 COM2	SEG9 COM2	SEG8 COM2
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	SEG23 COM2	SEG22 COM2	SEG21 COM2	SEG20 COM2	SEG19 COM2	SEG18 COM2	SEG17 COM2	SEG16 COM2
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
	SEG31 COM2	SEG30 COM2	SEG29 COM2	SEG28 COM2	SEG27 COM2	SEG26 COM2	SEG25 COM2	SEG24 COM2
DISPDATA3	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG7 COM3	SEG6 COM3	SEG5 COM3	SEG4 COM3	SEG3 COM3	SEG2 COM3	SEG1 COM3	SEG0 COM3
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG15 COM3	SEG14 COM3	SEG13 COM3	SEG12 COM3	SEG11 COM3	SEG10 COM3	SEG9 COM3	SEG8 COM3
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	SEG23 COM3	SEG22 COM3	SEG21 COM3	SEG20 COM3	SEG19 COM3	SEG18 COM3	SEG17 COM3	SEG16 COM3
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
	SEG31 COM3	SEG30 COM3	SEG29 COM3	SEG28 COM3	SEG27 COM3	SEG26 COM3	SEG25 COM3	SEG24 COM3
DISPDATA4	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG7 COM4	SEG6 COM4	SEG5 COM4	SEG4 COM4	SEG3 COM4	SEG2 COM4	SEG1 COM4	SEG0 COM4
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG15 COM4	SEG14 COM4	SEG13 COM4	SEG12 COM4	SEG11 COM4	SEG10 COM4	SEG9 COM4	SEG8 COM4
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	SEG23 COM4	SEG22 COM4	SEG21 COM4	SEG20 COM4	SEG19 COM4	SEG18 COM4	SEG17 COM4	SEG16 COM4
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24

名称	6com 显示数据寄存器							
	SEG31 COM4	SEG30 COM4	SEG29 COM4	SEG28 COM4	SEG27 COM4	SEG26 COM4	SEG25 COM4	SEG24 COM4
DISPDATA5	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG7 COM5	SEG6 COM5	SEG5 COM5	SEG4 COM5	SEG3 COM5	SEG2 COM5	SEG1 COM5	SEG0 COM5
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG15 COM5	SEG14 COM5	SEG13 COM5	SEG12 COM5	SEG11 COM5	SEG10 COM5	SEG9 COM5	SEG8 COM5
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	SEG23 COM5	SEG22 COM5	SEG21 COM5	SEG20 COM5	SEG19 COM5	SEG18 COM5	SEG17 COM5	SEG16 COM5
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
	SEG31 COM5	SEG30 COM5	SEG29 COM5	SEG28 COM5	SEG27 COM5	SEG26 COM5	SEG25 COM5	SEG24 COM5
DISPDATA6	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG39 COM0	SEG38 COM0	SEG37 COM0	SEG36 COM0	SEG35 COM0	SEG34 COM0	SEG33 COM0	SEG32 COM0
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG37 COM1	SEG36 COM1	SEG35 COM1	SEG34 COM1	SEG33 COM1	SEG32 COM1	SEG41 COM0	SEG40 COM0
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	SEG35 COM2	SEG34 COM2	SEG33 COM2	SEG32 COM2	SEG41 COM1	SEG40 COM1	SEG39 COM1	SEG38 COM1
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
	SEG33 COM3	SEG32 COM3	SEG41 COM2	SEG40 COM2	SEG39 COM2	SEG38 COM2	SEG37 COM2	SEG36 COM2
DISPDATA7	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG41 COM3	SEG40 COM3	SEG39 COM3	SEG38 COM3	SEG37 COM3	SEG36 COM3	SEG35 COM3	SEG34 COM3
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG39 COM4	SEG38 COM4	SEG37 COM4	SEG36 COM4	SEG35 COM4	SEG34 COM4	SEG33 COM4	SEG32 COM4
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	SEG37 COM5	SEG36 COM5	SEG35 COM5	SEG34 COM5	SEG33 COM5	SEG32 COM5	SEG41 COM4	SEG40 COM4
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
					SEG41 COM5	SEG40 COM5	SEG39 COM5	SEG38 COM5

24.4.11.3 8COM 显示数据寄存器

名称	8com 显示数据寄存器							
地址	0x40010C24 ~ 0x40010C48							
DISPDATA0	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG7 COM0	SEG6 COM0	SEG5 COM0	SEG4 COM0	SEG3 COM0	SEG2 COM0	SEG1 COM0	SEG0 COM0
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG15 COM0	SEG14 COM0	SEG13 COM0	SEG12 COM0	SEG11 COM0	SEG10 COM0	SEG9 COM0	SEG8 COM0
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16



名称	8com 显示数据寄存器							
	SEG23 COM0	SEG22 COM0	SEG21 COM0	SEG20 COM0	SEG19 COM0	SEG18 COM0	SEG17 COM0	SEG16 COM0
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
	SEG31 COM0	SEG30 COM0	SEG29 COM0	SEG28 COM0	SEG27 COM0	SEG26 COM0	SEG25 COM0	SEG24 COM0
DISPDATA1	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG7 COM1	SEG6 COM1	SEG5 COM1	SEG4 COM1	SEG3 COM1	SEG2 COM1	SEG1 COM1	SEG0 COM1
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG15 COM1	SEG14 COM1	SEG13 COM1	SEG12 COM1	SEG11 COM1	SEG10 COM1	SEG9 COM1	SEG8 COM1
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	SEG23 COM1	SEG22 COM1	SEG21 COM1	SEG20 COM1	SEG19 COM1	SEG18 COM1	SEG17 COM1	SEG16 COM1
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
	SEG31 COM1	SEG30 COM1	SEG29 COM1	SEG28 COM1	SEG27 COM1	SEG26 COM1	SEG25 COM1	SEG24 COM1
DISPDATA2	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG7 COM2	SEG6 COM2	SEG5 COM2	SEG4 COM2	SEG3 COM2	SEG2 COM2	SEG1 COM2	SEG0 COM2
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG15 COM2	SEG14 COM2	SEG13 COM2	SEG12 COM2	SEG11 COM2	SEG10 COM2	SEG9 COM2	SEG8 COM2
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	SEG23 COM2	SEG22 COM2	SEG21 COM2	SEG20 COM2	SEG19 COM2	SEG18 COM2	SEG17 COM2	SEG16 COM2
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
	SEG31 COM2	SEG30 COM2	SEG29 COM2	SEG28 COM2	SEG27 COM2	SEG26 COM2	SEG25 COM2	SEG24 COM2
DISPDATA3	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG7 COM3	SEG6 COM3	SEG5 COM3	SEG4 COM3	SEG3 COM3	SEG2 COM3	SEG1 COM3	SEG0 COM3
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG15 COM3	SEG14 COM3	SEG13 COM3	SEG12 COM3	SEG11 COM3	SEG10 COM3	SEG9 COM3	SEG8 COM3
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	SEG23 COM3	SEG22 COM3	SEG21 COM3	SEG20 COM3	SEG19 COM3	SEG18 COM3	SEG17 COM3	SEG16 COM3
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
	SEG31 COM3	SEG30 COM3	SEG29 COM3	SEG28 COM3	SEG27 COM3	SEG26 COM3	SEG25 COM3	SEG24 COM3
DISPDATA4	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG7 COM4	SEG6 COM4	SEG5 COM4	SEG4 COM4	SEG3 COM4	SEG2 COM4	SEG1 COM4	SEG0 COM4
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG15 COM4	SEG14 COM4	SEG13 COM4	SEG12 COM4	SEG11 COM4	SEG10 COM4	SEG9 COM4	SEG8 COM4
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	SEG23 COM4	SEG22 COM4	SEG21 COM4	SEG20 COM4	SEG19 COM4	SEG18 COM4	SEG17 COM4	SEG16 COM4
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24



名称	8com 显示数据寄存器							
	SEG31 COM4	SEG30 COM4	SEG29 COM4	SEG28 COM4	SEG27 COM4	SEG26 COM4	SEG25 COM4	SEG24 COM4
DISPDATA5	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG7 COM5	SEG6 COM5	SEG5 COM5	SEG4 COM5	SEG3 COM5	SEG2 COM5	SEG1 COM5	SEG0 COM5
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG15 COM5	SEG14 COM5	SEG13 COM5	SEG12 COM5	SEG11 COM5	SEG10 COM5	SEG9 COM5	SEG8 COM5
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	SEG23 COM5	SEG22 COM5	SEG21 COM5	SEG20 COM5	SEG19 COM5	SEG18 COM5	SEG17 COM5	SEG16 COM5
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
	SEG31 COM5	SEG30 COM5	SEG29 COM5	SEG28 COM5	SEG27 COM5	SEG26 COM5	SEG25 COM5	SEG24 COM5
DISPDATA6	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG7 COM6	SEG6 COM6	SEG5 COM6	SEG4 COM6	SEG3 COM6	SEG2 COM6	SEG1 COM6	SEG0 COM6
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG15 COM6	SEG14 COM6	SEG13 COM6	SEG12 COM6	SEG11 COM6	SEG10 COM6	SEG9 COM6	SEG8 COM6
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	SEG23 COM6	SEG22 COM6	SEG21 COM6	SEG20 COM6	SEG19 COM6	SEG18 COM6	SEG17 COM6	SEG16 COM6
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
	SEG31 COM6	SEG30 COM6	SEG29 COM6	SEG28 COM6	SEG27 COM6	SEG26 COM6	SEG25 COM6	SEG24 COM6
DISPDATA7	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG7 COM7	SEG6 COM7	SEG5 COM7	SEG4 COM7	SEG3 COM7	SEG2 COM7	SEG1 COM7	SEG0 COM7
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG15 COM7	SEG14 COM7	SEG13 COM7	SEG12 COM7	SEG11 COM7	SEG10 COM7	SEG9 COM7	SEG8 COM7
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	SEG23 COM7	SEG22 COM7	SEG21 COM7	SEG20 COM7	SEG19 COM7	SEG18 COM7	SEG17 COM7	SEG16 COM7
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
	SEG31 COM7	SEG30 COM7	SEG29 COM7	SEG28 COM7	SEG27 COM7	SEG26 COM7	SEG25 COM7	SEG24 COM7
DISPDATA8	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
	SEG39 COM0	SEG38 COM0	SEG37 COM0	SEG36 COM0	SEG35 COM0	SEG34 COM0	SEG33 COM0	SEG32 COM0
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG39 COM1	SEG38 COM1	SEG37 COM1	SEG36 COM1	SEG35 COM1	SEG34 COM1	SEG33 COM1	SEG32 COM1
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	SEG39 COM2	SEG38 COM2	SEG37 COM2	SEG36 COM2	SEG35 COM2	SEG34 COM2	SEG33 COM2	SEG32 COM2
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
	SEG39 COM3	SEG38 COM3	SEG37 COM3	SEG36 COM3	SEG35 COM3	SEG34 COM3	SEG33 COM3	SEG32 COM3
DISPDATA9	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0

名称	8com 显示数据寄存器							
	SEG39 COM4	SEG38 COM4	SEG37 COM4	SEG36 COM4	SEG35 COM4	SEG34 COM4	SEG33 COM4	SEG32 COM4
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
	SEG39 COM5	SEG38 COM5	SEG37 COM5	SEG36 COM5	SEG35 COM5	SEG34 COM5	SEG33 COM5	SEG32 COM5
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
	SEG39 COM6	SEG38 COM6	SEG37 COM6	SEG36 COM6	SEG35 COM6	SEG34 COM6	SEG33 COM6	SEG32 COM6
	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
	SEG39 COM7	SEG38 COM7	SEG37 COM7	SEG36 COM7	SEG35 COM7	SEG34 COM7	SEG33 COM7	SEG32 COM7

24.4.12 LCD 显示灰度设置寄存器

名称	LCDBIAS							
地址	0x40010C4C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	-	-	-	LCDBIAS			
位权限	R-0	R-0	R-0	R-0	R/W-1110			

Bit	助记符	功能描述
31:4	--	RFU: 未实现, 读为 0
3:0	LCDBIAS	LCD 偏置电平选择位, 用于显示灰度控制

BIAS[3:0]	不同 VDD 下内部偏置电压 V			
	5	4.5	3.6	3.1
0000	2.74	2.47	1.97	1.64
0001	2.83	2.54	2.03	1.69
0010	2.92	2.62	2.10	1.75
0011	3.01	2.71	2.17	1.81
0100	3.12	2.80	2.24	1.87
0101	3.23	2.90	2.32	1.94
0110	3.35	3.01	2.41	2.01
0111	3.47	3.13	2.50	2.08
1000	3.61	3.25	2.60	2.17
1001	3.76	3.39	2.71	2.26
1010	3.93	3.53	2.83	2.35
1011	4.10	3.69	2.95	2.46
1100	4.30	3.87	3.09	2.58

BIAS[3:0]	不同 VDD 下内部偏置电压 V			
	5	4.5	3.6	3.1
1101	4.51	4.06	3.25	2.71
1110	4.75	4.27	3.42	2.85
1111	5.00	4.50	3.60	3.00

24.4.13 LCD COM 使能控制寄存器

名称	COM_EN							
地址	0x40010C50							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	-	-	-	COMEN ₃	COMEN ₂	COMEN ₁	COMEN ₀
位权限	R-0	R-0	R-0	R-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:4	--	RFU: 未实现, 读为 0
3:0	COMEN	LCD COM 输出使能控制, 1: COM 输出使能 0: COM 输出禁止

24.4.14 LCD SEG 使能控制寄存器 0

名称	SEG_EN0							
地址	0x40010C54							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	SEGEN ₃₁	SEGEN ₃₀	SEGEN ₂₉	SEGEN ₂₈	SEGEN ₂₇	SEGEN ₂₆	SEGEN ₂₅	SEGEN ₂₄
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	SEGEN ₂₃	SEGEN ₂₂	SEGEN ₂₁	SEGEN ₂₀	SEGEN ₁₉	SEGEN ₁₈	SEGEN ₁₇	SEGEN ₁₆
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	SEGEN ₁₅	SEGEN ₁₄	SEGEN ₁₃	SEGEN ₁₂	SEGEN ₁₁	SEGEN ₁₀	SEGEN ₉	SEGEN ₈
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	SEGEN ₇	SEGEN ₆	SEGEN ₅	SEGEN ₄	SEGEN ₃	SEGEN ₂	SEGEN ₁	SEGEN ₀

位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Bit	助记符	功能描述
31:0	SEGENx	LCD SEG 输出使能控制, 1: SEG 输出使能 0: SEG 输出禁止

24.4.15 LCD SEG 使能控制寄存器 1

名称	SEG_EN1							
地址	0x40010C58							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-	-	-	-	SEGEN 43	SEGEN 42	SEGEN 41	SEGEN 40
位权限	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	SEGEN39	SEGEN 38	SEGEN 37	SEGEN 36	SEGEN 35	SEGEN 34	SEGEN 33	SEGEN 32
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:12	--	RFU: 未实现, 读为 0
11:0	SEGENx	LCD SEG 输出使能控制, 1: SEG 输出使能 0: SEG 输出禁止

25 ADC 与温度传感器

25.1 概述

FM33A048D 带有 11bit Σ - Δ ADC, 可实现温度、电池电压或其他直流信号的测量功能。主要特点为:

- 工作电压 2.2~5.5V
- 分辨率 11bits
- 低功耗
- 温度传感器
- 8 个外部输入通道
- 单次转换时间典型值 4ms (工作时钟 512KHz)

25.2 电压测量

25.2.1 测量电源电压

用户可以使用 ADC 测量电源电压, 操作方法如下:

- 1、配置 ADCINSEL BIT6 置 0, ADCINSEL.BUFFSELBIT3-0 为 4'b0110
- 2、将 ADCINSEL.BUFBYP 和 ADCINSEL.BUFEN 寄存器置 1
- 3、将 ADCCTL.ADC_VANA_EN 寄存器置 1
- 4、将 ADCTRIM 配置为 0x3FF
- 5、启动 ADC 采样 VDD
- 6、等待 ADC 转换完成标志
- 7、读取 ADC 转换值输出
- 8、芯片 Flash 的 NVR 区域内保存了 ADC 电压测量的拟合参数, 用户代码可以根据这些参数计算当前转换值对应的输入电压

25.2.2 测量外部通道输入

用户使用 ADC 测量外部引脚输入信号 (ADC_IN1~8), 需按如下方法操作:

- 1、配置相应引脚为模拟功能
- 2、配置 ADCINSEL BIT6 置 0, ADCINSEL.BUFFSELBIT3-0 选择待测引脚
- 3、将 ADCINSEL.BUFBYP 寄存器置 0, 将 ADCINSEL.BUFEN
- 4、将 ADCCTL.ADC_VANA_EN 寄存器置 1
- 5、将 ADCTRIM 配置为 0x3FF
- 6、启动 ADC
- 7、等待 ADC 转换完成中断
- 8、读取 ADC 转换值输出
- 9、芯片 Flash 的 NVR 区域内保存了 ADC 电压测量的拟合参数, 用户代码可以根据这些参数计算当前转换值对应的输入电压

25.3 温度传感器

芯片内置高精度温度传感器, 可精确测量芯片工作时的环境温度。可利用温度传感器测量的温度值, 对 RTC 的走时进行补偿。

温度传感器特性:

- 温度测量范围: -40°C~85°C
- 温度测量精度/分辨率: $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$

- 典型条件下全温区线性度不低于 $\pm 2^{\circ}\text{C}$
- 与芯片内的 sigma-delta ADC 配合，实现温度到数字输出的转换

温度传感器的输出为随温度而变化的电压量。可以使用 ADC 来测量温度传感器的输出，需要先将 ADC 的输入通道选择为温度传感器输入（ADC_VANA_EN=0）。

25.3.1 温度调校

温度传感器输出电压随温度的变化关系是线性的，在未经校准的情况下可以用来测量相对温度的变化。如果需要测量绝对温度，需要进行offset调校和/slope调校。

FM33A048D芯片出厂前进行单温度点offset调校，调校的环境温度为 $30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，转换结果存储在Flash的NVR区。

25.3.2 使用方式

用户程序使用温度传感器，参考步骤如下：

- 1、无需配置 ADCINSEL 寄存器
- 2、将 ADCCTL.ADC_VANA_EN 寄存器置 0
- 3、将 ADCTRIM 配置为 0x640
- 4、启动 ADC
- 6、等待 ADC 转换完成标志
- 7、读取 ADC 转换值输出

当前温度计算公式：

$$T = \frac{ADC - ADC_{30C}}{K} + 30$$

其中K=5.0875，ADC为NVR1中保存的温度定标数据，位于地址0x1FFF_FC92和0x1FFF_FC93两个字节。

地址	参数	说明
0x1FFF_FC92	TS_30C[7:0]	30℃下温度传感器 ADC 输出值
0x1FFF_FC93	TS_30C[15:8]	

建议用户调用复旦微电子提供的库函数进行温度测量。

25.4 寄存器

地址	名称	符号
0x40012828	ADC 输入通道选择寄存器	ADCINSEL
0x4001282C	ADC 控制寄存器	ADCCTL
0x40012830	ADC 调校寄存器	ADCTRIM
0x40012834	ADC 输出数据寄存器	ADCDATA
0x40012838	ADC 中断标志寄存器	ADCIF

25.4.1 ADC 输入通道选择寄存器

名称	ADCINSEL							
地址	0x40012828							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							

位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	BUFSELH	BUFEN	BUFBYP	BUFSEL			
位权限	U-0	R/W-1	R/W-0	R/W-0	R/W-1111			

Bit	助记符	功能描述
31:7	--	RFU: 未实现, 读为 0
6	BUFSELH	BUFSELH 该位必须置 0
5	BUFEN	ADC 输入通道 Buffer 使能
4	BUFBYP	ADC 输入 Buffer Bypass 使用 ADC 测量外部信号输入时, 不要 Bypass Buffer 使用 ADC 测量电源电压时, 必须将此位置 1
3:0	BUFSEL	ADC 输入通道选择 0000-0101: 保留, 禁止使用 0110: VDD 主电源 0111: 保留 1000: ADC_IN1 (PC12) 1001: ADC_IN2 (PC13) 1010: ADC_IN3 (PD0) 1011: ADC_IN4 (PD1) 1100: ADC_IN5 (PF6) 1101: ADC_IN6 (PC15) 1110: ADC_IN7 (PB2) 1111: ADC_IN8 (PB3)

25.4.2 ADC 控制寄存器

名称	ADCCTL							
地址	0x4001282C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	ADC_IE	-					ADC_VANA_EN	ADC_EN
位权限	R/W-0	U-0					R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
-----	-----	------

Bit	助记符	功能描述
31:8	--	RFU: 未实现, 读为 0
7	ADC_IE	ADC 中断使能
6:2	--	RFU: 未实现, 读为 0
1	ADC_VANA_EN	外部电压通道使能 0: ADC 用作温度传感器 1: ADC 用于测量外部电压
0	ADC_EN	ADC 使能信号 0: ADC 不使能 1: ADC 使能

25.4.3 ADC 调校寄存器

名称	ADCTRIM							
地址	0x40012830							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-					adc_trim[10:8]		
位权限	U-0					RW-000		
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	ADC_TRIM[7:0]							
位权限	RW-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31:11	--	RFU: 未实现, 读为 0
10:0	ADC_TRIM	ADC TRIM 值

25.4.4 ADC 输出数据寄存器

名称	ADCDATA							
地址	0x40012834							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-					ADC_DATA[10:8]		
位权限	U-0					R/Dy-00		
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	ADC_DATA[7:0]							

位权限	R/Dy-00000000
-----	---------------

Bit	助记符	功能描述
31:11	--	RFU: 未实现, 读为 0
10:0	ADC_DATA	ADC 输出数据

25.4.5 ADC 中断标志寄存器

名称	ADCIF							
地址	0x40012838							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-						ADC_D ONE	ADC_IF
位权限	U-0						R/Dy-0	R/W1C-0

Bit	助记符	功能描述
31:2	--	RFU: 未实现, 读为 0
1	ADC_DONE	ADC 转换完成输出, 软件只读 转换完成后此信号保持为高电平, 只有关闭 ADC 才会清 0
0	ADC_IF	ADC 转换完成中断标志, 硬件置位, 软件写 1 清零, 写 0 无效

26 SAR-ADC

26.1 概述

FM33A048D 带有 12bit 1Msps SAR-ADC。主要特点为：

- 工作电压 1.8~5.5V
- 输入信号幅度 0~VDDA
- 最高采样率 1Msps (ADCCLK=16MHz)
- 15 个输入通道，包含内部基准电压、14 个外部通道
- 可配置的采样保持时间
- 支持单次转换和连续转换
- 支持 DMA
- 支持过采样硬件平均，最高 16bit 输出（256 次硬件平均）

26.2 结构框图

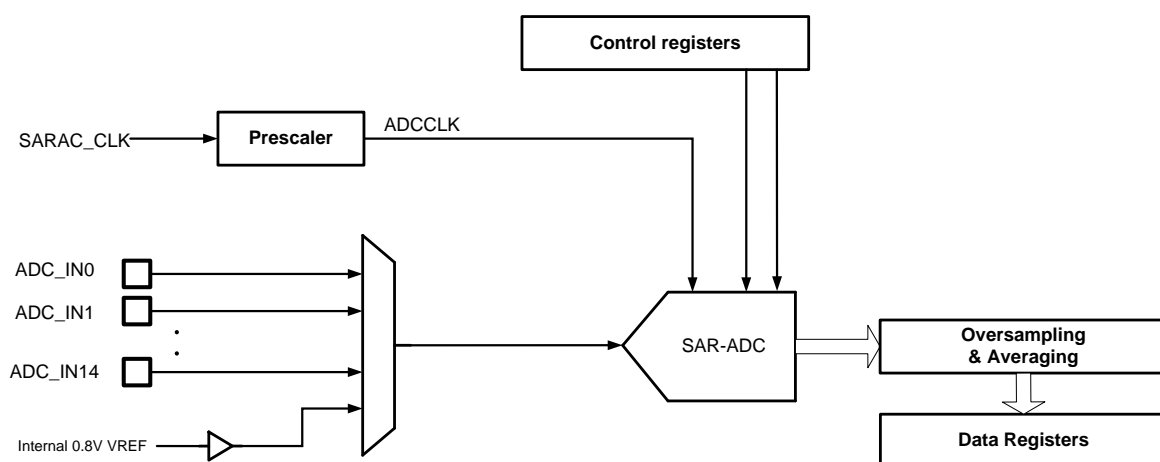
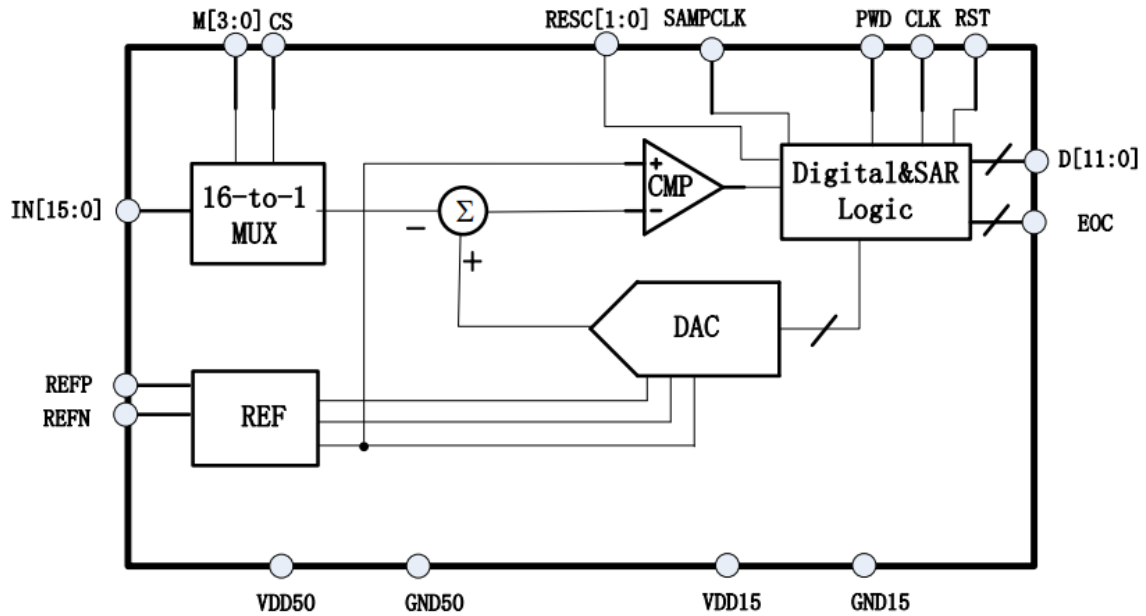


图 26-1SARADC 结构框图

模块内部框图如下：

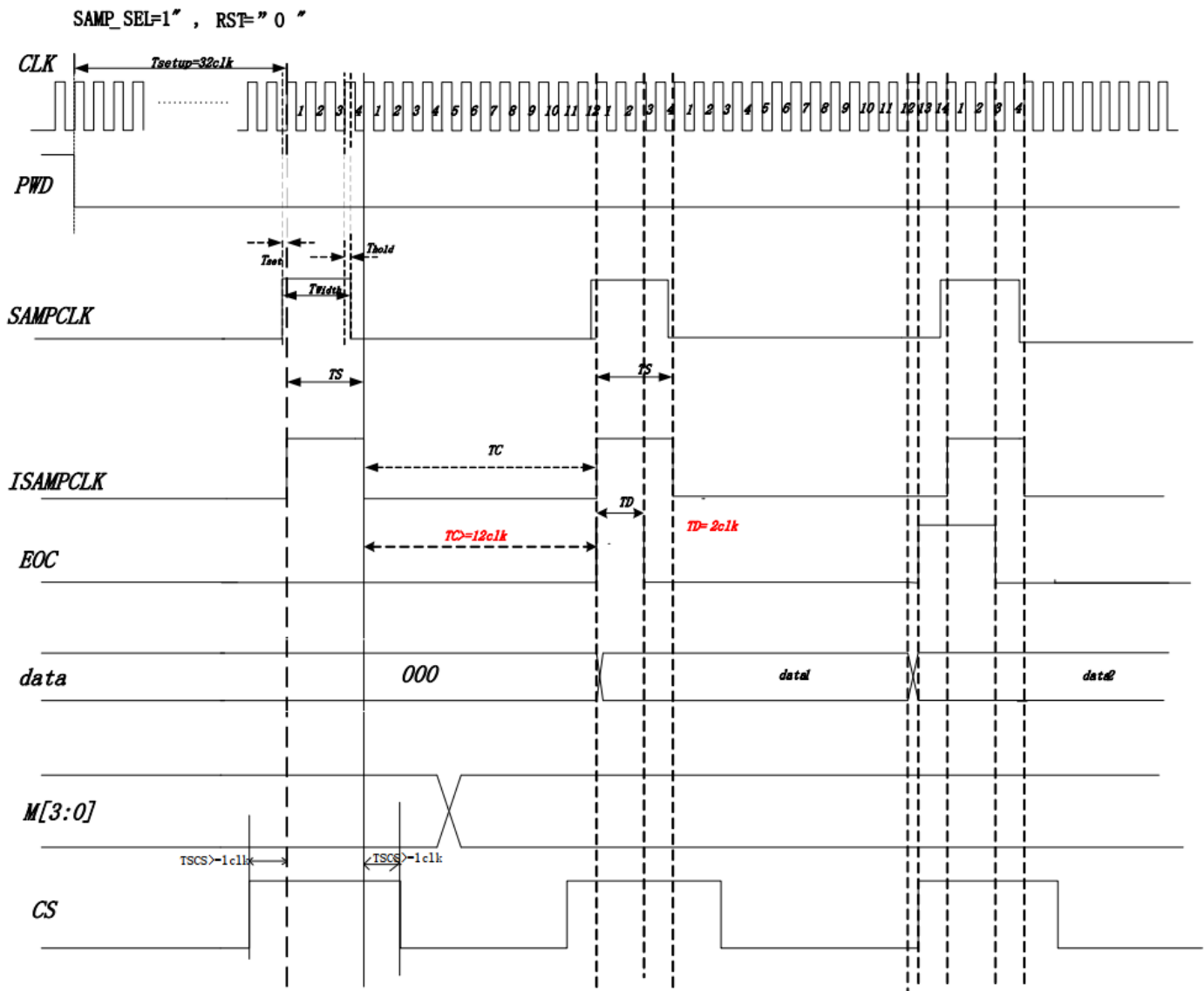


IP 管脚定义:

Pin Name	Attribute	Description
VDD50	P	Analog power supply of 1.8~5.5V
GND50	G	Analog ground
VDD15	P	Digital power supply of 1.5V
GND15	G	Digital ground
IN[15:0]	AI	Analog signal input range from REFP to REFN
REFP	AI	Top reference voltage
REFN	AI	Bottom reference voltage
CLK	DI	Master Clock input
SAMPCLK	DI	External sampling clock
RST	DI	Reset Control, Logic high valid
PWD	DI	Power down control, Logic high valid
CS	DI	Input Mux enable signal, Logic high valid
M[3:0]	DI	Input selection signal, Please reference table 7-1

D[11:0]	DO	Data output pins of ADC
EOC	DO	Data acquisition signal, rise edge valid
RESC[1:0]	DI	Resolution configuration pin 00 12bit 固定为00

26.3 工作时序

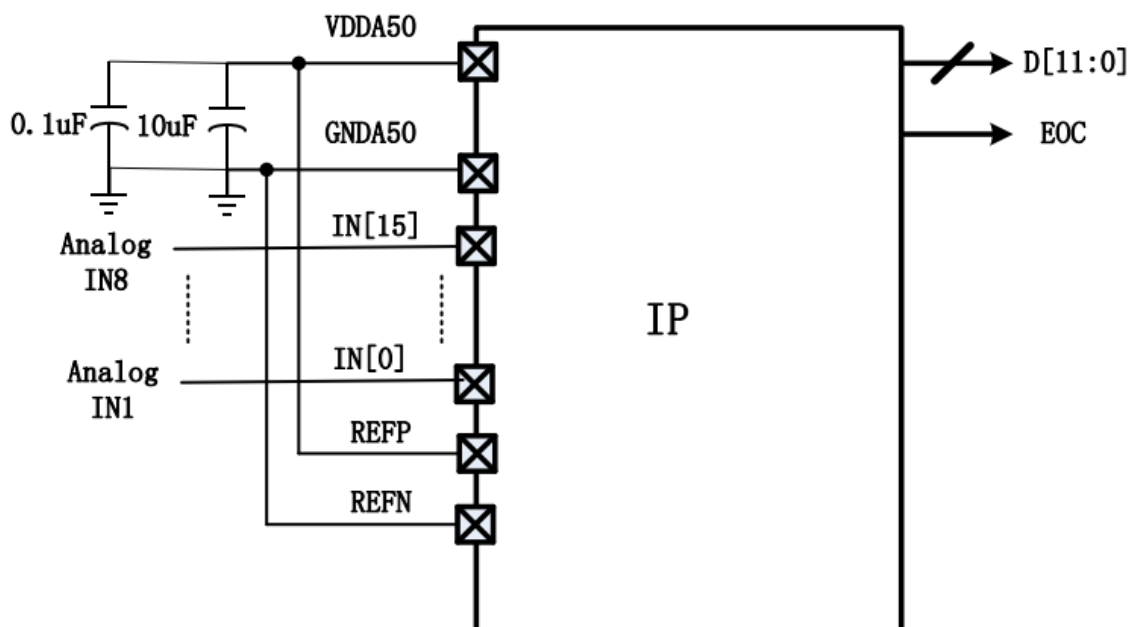


注意:

- 1、模块使能后（PWD=0），等待至少 32 个 ADCCLK 周期，使 ADC 内部电路建立
- 2、SAMPCLK 为采样控制信号，SAMPCLK=1 为采样窗口，采样窗口宽度大于等于 4 个 ADCCLK
- 3、转换时间大于等于 12 个 ADCCLK
- 4、SAMPCLK 在 ADC 内部被 ADCCLK 上升沿采样，得到 ISAMPCLK
- 5、CS 为输入通道使能信号，在采样窗口内必须为高，相对 SAMPCLK 有 1 个 ADCCLK 的建立和保持时间；因此连续转换时要注意提前发送 CS
- 6、EOC 信号在 ADCCLK 上升沿产生，宽度 2 个 ADCCLK；EOC 上升沿的同时输出有效数据

26.4 电源和基准

推荐的供电方案如下:



26.5 输入通道

ADC 支持 1 个内部通道和 15 个外部通道。

通道	IO	说明
SAR_IN0	PC8	
SAR_IN1	PC9	
SAR_IN2	PG6	
SAR_IN3	PD0	
SAR_IN4	PD1	
SAR_IN5	PD2	

通道	IO	说明
SAR_IN6	PF3	
SAR_IN8	PC6	
SAR_IN9	PC7	
SAR_IN10	PF11	
SAR_IN11	PE5	
SAR_IN12	PC15	
SAR_IN13	PC14	
SAR_IN14	PC13	
VREFINT	NA	内部基准源采样通道

外部输入信号通过 GPIO 的电阻通道连接到 ADC 输入上。电阻通道电阻值 100 Ohm。

ADC 采样 VREF08 时需要使能 BUFFERCTRL BIT0。

26.6 SAR-ADC 使能和配置

ADC 工作前必须先使能模块工作时钟，释放复位，并清零 PWD。

ADC 模块的复位由 RMU 寄存器控制，PWD 寄存器位于 ADC 模块控制寄存器。

软件清零 PWD 寄存器后，一个内部定时器开始工作，等待 32 个时钟周期后，RDY 标志置位，表示 ADC 内部建立完成，可以开始工作。定时器使用 ADCCLK 计时。

26.7 SAR-ADC 时钟和复位

ADC 使用 SARCLK 工作，内部寄存器由 APBCLK 访问，工作时钟 ADCCLK 则由 SARCLK 经过分频后产生。注意分频后的 ADCCLK 最高频率不能超过 16MHz。

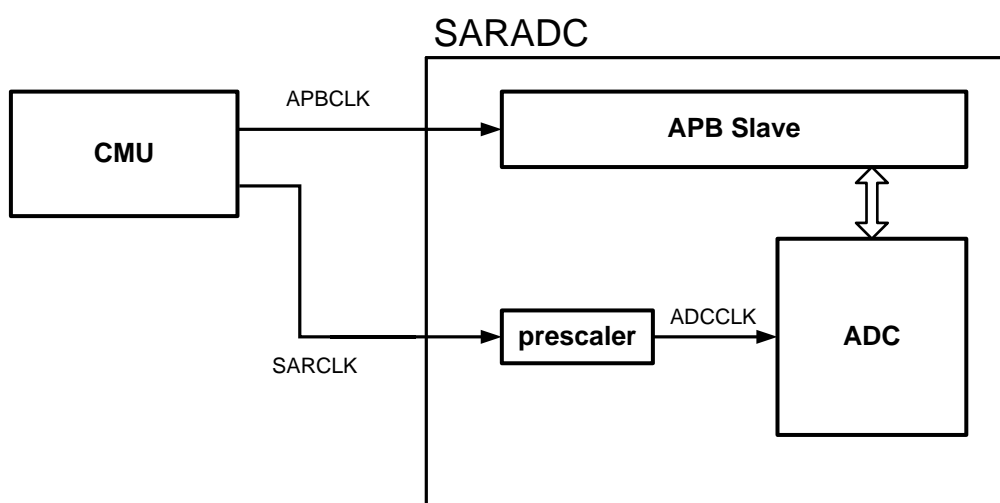
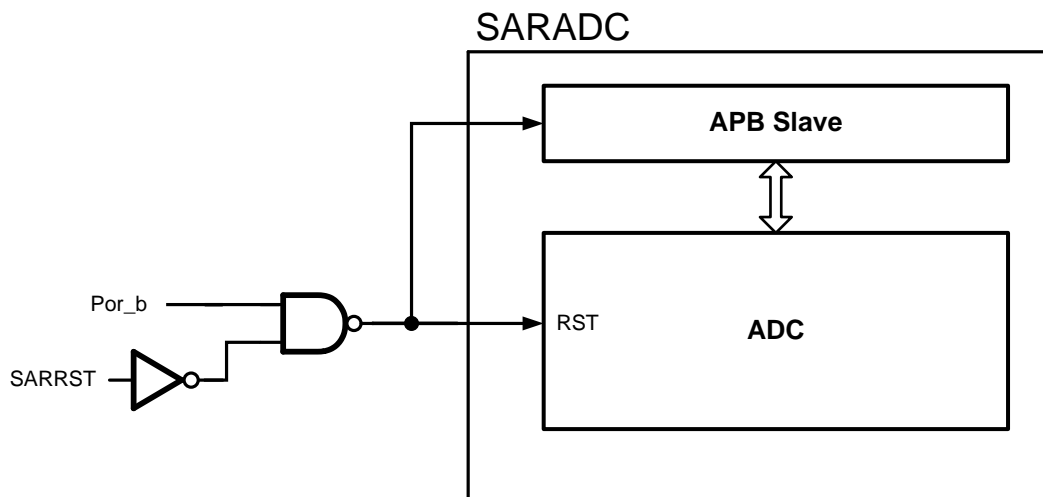


图 26-2SARADC 时钟结构图

SARADC 复位包含上下电复位和寄存器控制的模块复位，如下图：



26.8 功能描述

26.8.1 采样值与实际电压转换

ADC 一般使用电源电压作为基准电压，在电源电压发生变化时，特定输入信号电平对应的转换值也会发生变化。为了能够得到准确的绝对电压，解决方案如下：

- 首先芯片在 CP 时需要定温到 30C，VDDA 精确的保持 3V，测量 VREFINT（0.8V）的电压并保存在芯片 Flash 中
- 在以上条件下，使用 ADC 转换 VREFINT 输出，得到转换值 VREFINT_CAL 并保存在芯片中
- 芯片实际应用中，由于不知道当前 VDDA 电压，ADC 先测量 VREFINT 得到转换值 VREFINT_DATA；通过以下公式可以得到当前实际的 VDDA：

$$VDDA = \frac{VREFINT_CAL}{VREFINT_DATA} \times 3V$$

- 假设 ADC 对某个输入通道的采样值为 ADC_DATA，通过以下公式可以得到当前某个输入通道的实际电压（12bit 输出）

$$V_{CHANNEL} = \frac{VREFINT_CAL \times ADC_DATA}{VREFINT_DATA \times 4095} \times 3V$$

- 采用这个方式，不需要知道每颗芯片 VREFINT 的实际电压值，仅需计算当前 VREFINT 采样值和出厂测试值的比例；但是需要保证测试时 VDDA 的电压精度和温度精度，以尽可能减小误差

注意 VREFIN_CAL 是 3V 参考电压下 0.8V 的转换值，那么这个值应该在 1092 附近。

测试环境要求：

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
$V_{REFINT\ out}^{(2)}$	Internal reference voltage	$-40\ ^\circ\text{C} < T_J < +125\ ^\circ\text{C}$	1.202	1.224	1.242	V
$T_{VREFINT}$	Internal reference startup time	-	-	2	3	ms
V_{VREF_MEAS}	V_{DDA} voltage during V_{REFINT} factory measure	-	2.99	3	3.01	V
A_{VREF_MEAS}	Accuracy of factory-measured V_{REF} value ⁽³⁾	Including uncertainties due to ADC and V_{DDA} values	-	-	± 5	mV

VREF 采样的软件配置方法

软件使用 ADC 采样 VREF 时，需要按照以下步骤：

- 置位 BUFFERCTRL.VREFBUFFER_EN，使能 VREF 输出 BUFFER，见 BUFFERCTRL 寄存器。
- 使能 ADC 的 REFCH 通道，配置采样时间不小于 10us
- 使能 ADC 开始转换

26.8.2 可编程采样时间

通过调整采样时间，可以适应不同输入信号源的内阻。通过 SMTS 寄存器可以选择采样时间：

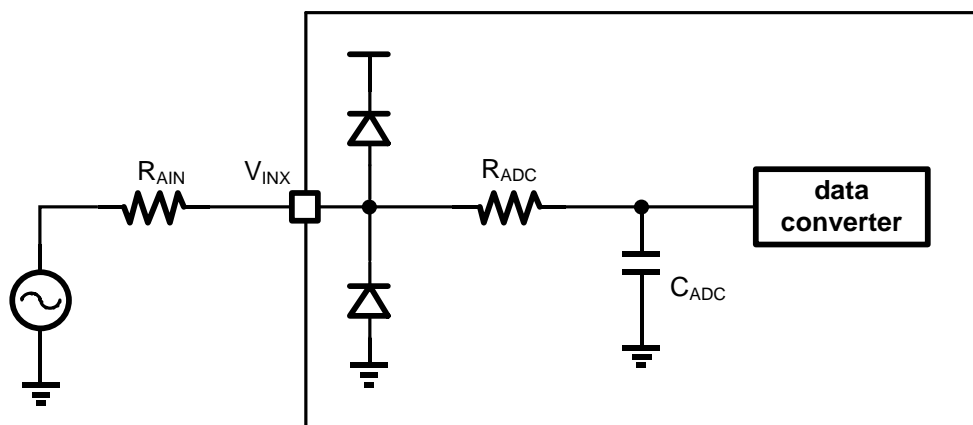
SMTS	Sampling cycles
0000	4
0001	6
0010	8
0011	12
0100	16
0101	24
0110	32
0111	48
1000	96
1001	128
1010	160
1011	192
1100	256
1101	320
1110	384
1111	512

实际 ADC 的采样转换时间： $t_{CONV} = (\text{Sampling Cycles} + 12) * T_{CLK}$

当 SMTS=0000 时，整个采样转换需要 16 个 ADCCLK 周期，当 ADCCLK 为 16MHz 时对应 1Msps

ADC 采样时间主要由采样电容、被采样信号的输出阻抗、芯片内部输入通道阻抗和所需达到的采样精度共同决定。

下图是单端和差分输入通道的电路结构示意图：



要求的采样时间可以根据下式估算：

$$T_{\text{samp}} = \ln\left(\frac{2^n}{SA}\right) \times (R_{\text{AIN}} + R_{\text{ADC}}) \times C_{\text{ADC}}$$

其中， $n=12$ ，SA 表示容许的采样误差，比如 0.25 代表 1/4 LSB

应用中应根据芯片手册中的相关参数、以及系统参数，计算并确定可以接受的采样时间，并根据这个结果来配置 ADC 的工作时钟、采样周期等。

26.8.3 转换模式

ADC 支持以下转换模式：

- 单次转换
 - 半自动触发（SEMI-AUTOMATIC）
 - 全自动触发（AUTOMATIC）
- 连续转换

转换启动可以由软件或事件触发，通过寄存器选择多个事件触发源。

单次转换模式下，有半自动触发和全自动触发两种模式。

全自动触发模式：软件或硬件触发事件启动 ADC 转换后，ADC 会顺序采样所有被使能的通道，单个通道采样完成后，EOC（End of Conversion）标志置位，所有通道采样完成后，EOS（End of Sequence）标志置位，本次转换结束。假设通道 0、3、5 被使能

- 1st 触发事件：通道 0、3、5 被顺序采样，过程中产生三次 EOC，最终产生 EOS
- 2nd 触发事件：重复上述过程

半自动触发模式：软件或硬件触发事件只会让 ADC 启动一次，转换一个使能通道。比如通道 0、3、

5 被使能

- 1st 触发事件：通道 0 被采样，产生 EOC
- 2nd 触发事件：通道 3 被采样，产生 EOC
- 3rd 触发事件：通道 5 被采样，产生 EOC 和 EOS
- 4th 触发事件：通道 0 被采样，产生 EOC
- 5th 触发事件：通道 3 被采样，产生 EOC
-

连续转换模式：

触发事件到来后，所有使能通道被采样，并且 ADC 不会自动停止，而是循环采样，直到软件停止 ADC。

每个通道被采样后，数据保存在 ADC_DATA 寄存器中，软件要在下次转换前及时读走数据，或者通过 DMA 进行数据搬移。如果不能及时取走数据，将引起 Overrun，置位 overrun 标志，并可以发出中断。

26.8.4 转换触发

ADC 使能后，转换触发支持软件或硬件事件触发。

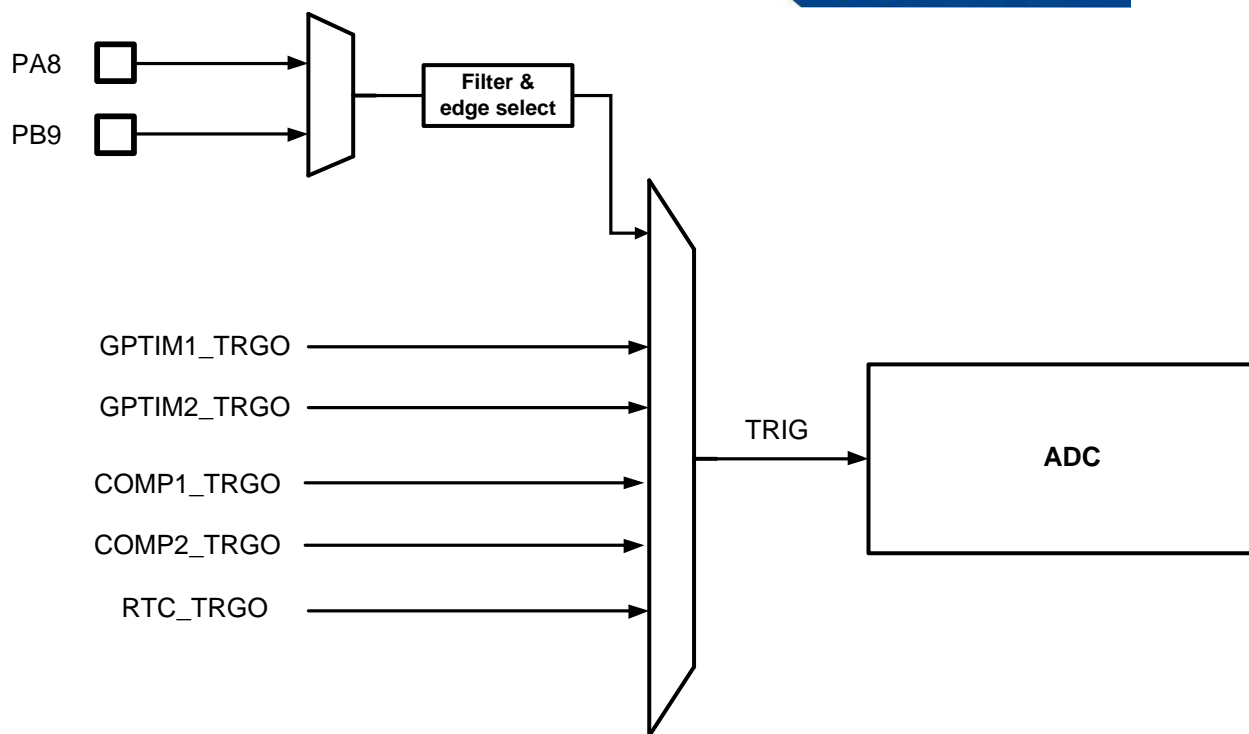
软件触发

软件通过置位 START 寄存器启动转换。

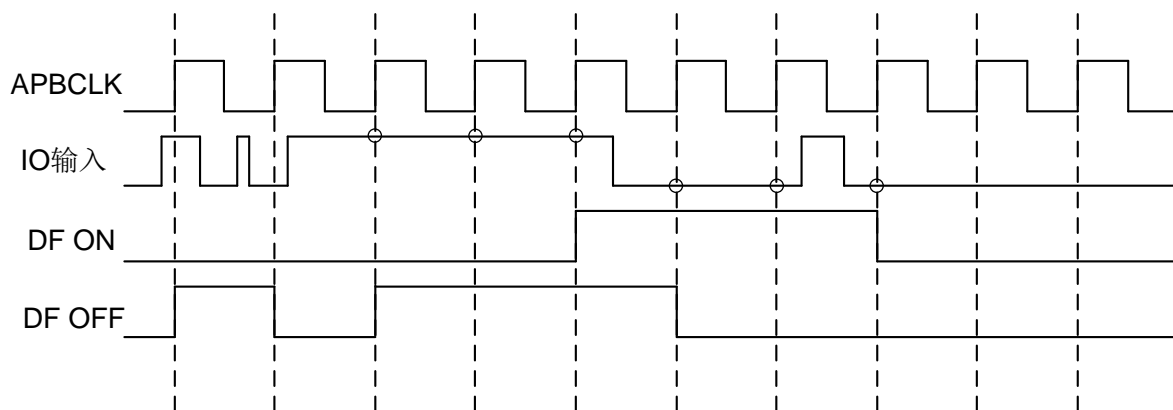
硬件触发

ADC 共有如下硬件触发源：RTC_TRGO、GPTIM1_TRGO、GPTIM2_TRGO、比较器输出、及 2 个 GPIO 输入信号（PA8 和 PB9）；通过 IOTREN 寄存器，可以选择 IO 输入信号的上升沿、下降沿或上升下降沿触发转换。如果 ADC 正处于转换过程中，此时到来的触发信号会被忽略。

注意：采用硬件触发时，必须使能 ADC 模块的总线时钟。



引脚输入的触发信号经过选择后输入到数字滤波和边沿检测模块。数字滤波实现原理与 IO 中断的数字滤波相同，即使用 APBCLK 连续采样三次输入信号，电平相同时才认为是合法信号。经过滤波的信号再经由边沿选择电路产生上升沿、下降沿或者双沿触发信号。



使用引脚输入信号触发 ADC 转换时，需进行如下配置：

- 将 PA8 或 PB9 配置为输入
- 设置 IOTRFEN 和 IOTREN 寄存器，配置滤波、触发边沿
- 配置 EXTS 寄存器，将触发源选为外部引脚输入
- 配置 ADC 工作时钟、采样时间、采样通道等
- 使能 ADC
- 指定 IO 上输入的特定电平变化将触发 ADC 转换

26.8.5 过采样和硬件平均

ADC 支持硬件过采样平均，可以在一定程度上提高分辨率。原理是对于低速输入信号，可以通过连续多次采样后求平均的方法提高 ENOB，过采样公式如下：

$$result = \frac{\sum_{n=1}^N CONVERSION_n}{M}$$

其中 N 是过采样倍数，可配置为 2/4/8/16/32/64/128/256，M 为结果右移位数，最大右移 8bit；由于每次转换结果为 12bit，最大 256 次累加得到的结果为 20bit，经过移位后可以得到 12~16bit 最终结果。ADC 输出结果最多只有 16bit，如果右移后结果超过 16bit，高位也会被丢弃。

在使能过采样的情况下，EOC 信号在 N 次连续采样后才置位，对于应用程序和 DMA 来说，感觉就好像只经过一次采样转换。

注意：当使能过采样时（OVSEN=1），必须使能自动等待模式（WAIT=1）。

26.8.6 数据冲突和自动等待

每次转换完成后 EOC 标志会置位，软件或 DMA 读取 ADC_DATA 寄存器后会自动清除 EOC，也可以由软件写 1 清除。当 EOC 标志没有被清除的情况下，新的转换数据到来，就会导致 data overrun；有两种 overrun 模式：

OVRMOD=0：保持旧的数据，新数据丢弃

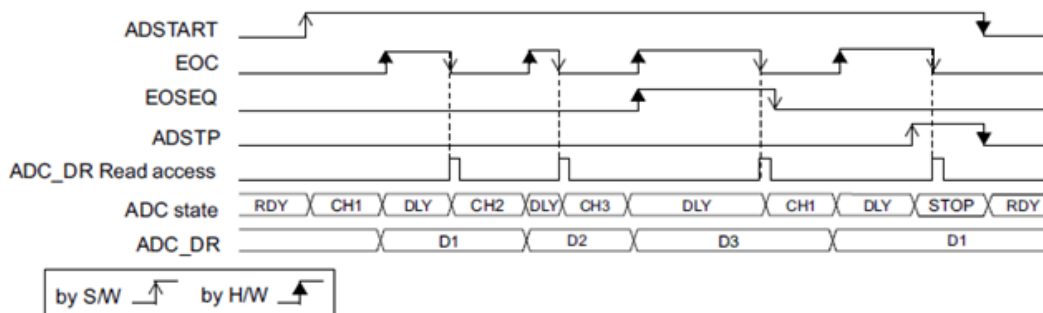
OVRMOD=1：写数据写入覆盖旧数据

注意：当使能过采样时（OVSEN=1），OVRMOD 寄存器无效，新的数据总是会覆盖旧数据。

注意：当使能过采样时（OVSEN=1），必须使能自动等待模式（WAIT=1）。

ADC 控制器支持自动等待，如果 WAIT 寄存器被软件置位，那么在 ADC_DATA 寄存器被读取之前，ADC 控制器不会发起新的转换；在等待状态中到来的硬件触发事件也会被忽略。WAIT 寄存器在 DMA 模式下也同样有效，即 DMA 没有读取上一次转换结果的情况下，ADC 控制器不会启动新的转换。

下图是软件触发连续模式的情况下，使能了自动等待的示意图：



26.8.7 DMA

在多通道转换或连续转换时，使用 DMA 进行转换结果搬运是高效的解决方案。在使能了 DMAEN 的情况下，当每次转换完成后（EOC），ADC controller 模块会产生一个 DMA 请求，通知 DMA 将数据寄存器中的结果搬运到指定的 SRAM 地址。ADC 的 DMA 接口支持单次模式和循环模式：

单次模式

转换完成后发起数据搬运，此过程会一直重复，直到软件配置的 DMA 传输长度完成，然后 ADC 控制器会自动停止转换（通过接收 DMA 的传输完成中断标志信号），关闭 ADC，不再向 DMA 发起请求。此模式主要用于对特定模拟信号进行一定长度的采样。

循环模式

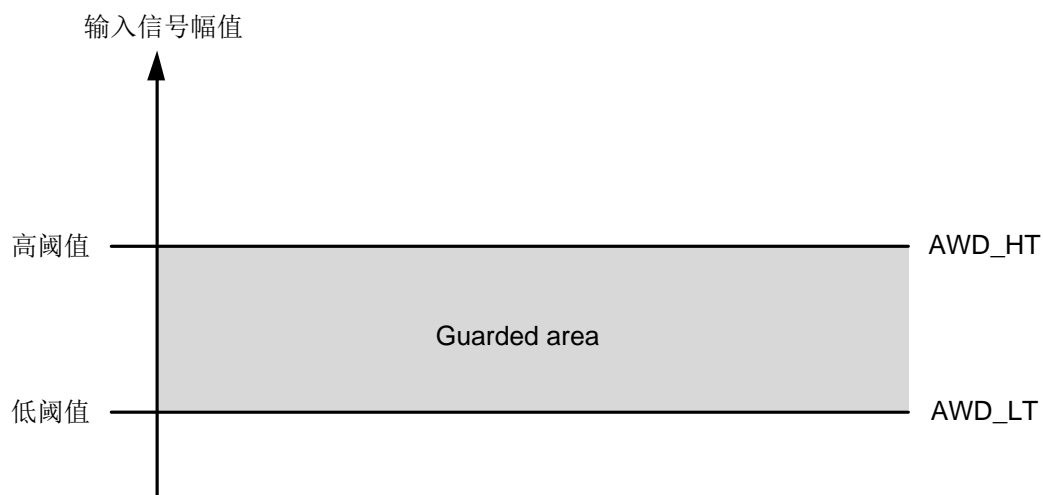
与 DMA 的循环模式相配合，ADC 不断循环转换并发起 DMA 请求，直到软件停止转换。此模式可以用于处理连续不断模拟信号采样。ADC 转换完成信号可以被发送到 LPTIM 作为计数时钟，用于在循环模式下记录实际发生的转换次数。

在 DMA 使能情况下，如果发生 overrun，则 ADC 控制器不再发送 DMA 请求，直到 OVR 标志被清除。

注意，在单次和连续转换模式下，都可以支持 DMA 传输；DMA 传输长度以 EOC 的次数定义，而不是 EOS，即 DMA 只关心搬运多少次 ADC_DATA。

26.8.8 模拟窗口看门狗（AWD）

AWD 功能用于监视某个模拟输入通道或所有输入通道的输入信号电平是否处于寄存器设置的幅值范围之内。当 ADC 转换值高于 AWD_HT 或者低于 AWD_LT 时，都会置位中断标志寄存器。标志寄存器由软件写 1 清零。



通过 AWDEN 寄存器使能模拟窗口看门狗功能，通过 AWDSC 寄存器配置单通道监视或全部通道监视。

26.9 寄存器

模块基地址：0x40015000

offset 地址	名称	符号
0x00	ADC 中断和状态寄存器	ADC_ISR
0x04	ADC 中断使能寄存器	ADC_IER
0x08	ADC 控制寄存器	ADC_CR
0x0C	ADC 配置寄存器	ADC_CFG
0x10	ADC 采样时间控制寄存器	ADC_SMTR
0x14	ADC 通道控制寄存器	ADC_CHER
0x18	ADC 数据寄存器	ADC_DR
0x20	模拟看门狗阈值寄存器	ADC_HLTR
0x40012864	BUFFERCTRL 寄存器	BUFFCTRL

26.9.1 SARADC 中断和状态寄存器

名称	SARADC_ISR							
地址	0x00							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	RDY	AWD_A H	AWD_U L	-	BUSY	OVR	EOS	EOC

位权限	R-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
-----	-----	-------	-------	-----	-----	-------	-------	-------

位号	助记符	功能描述
31:8	-	RFU: 未实现, 读为 0
7	RDY	ADC ready 标志 软件清零 PWD 寄存器后, 等待 32 个 ADCCLK 后 RDY 自动置位, 软件写 1 清零 当软件置位 PWD 后 RDY 自动清零 此标志仅用于查询, 不会产生中断
6	AWD_AH	模拟看门狗超出上限中断标志, 当采样值高于 AWD_HT 时, 硬件置位, 软件写 1 清零
5	AWD_UL	模拟看门狗低于下限中断标志, 当采样值低于 AWD_LT 时, 硬件置位, 软件写 1 清零
4	-	RFU: 未实现, 读为 0
3	BUSY	ADC 忙标志 1: ADC 正在校准、采样或转换过程中 0: ADC 空闲
2	OVR	数据冲突标志, 硬件置位, 软件写 1 清零。 当 ADC_DATA 寄存器中的上一次转换结果还未被读取, 新的转换结果又到来时, 硬件置位 OVR 标志。 0: 没有数据冲突 1: 出现数据冲突
1	EOS	转换序列结束 (End Of Sequence) 所有使能通道都转换完成后, 置位 EOS, 软件写 1 清零。
0	EOC	单次转换结束 (End Of Conversion) 每个通道转换完成后, 置位 EOC, 软件写 1 清零; 软件或 DMA 读取 ADC 数据寄存器将自动清零;

26.9.2 SARADC 中断使能寄存器

名称	SARADC_IER							
地址	0x04							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-	AWD_AHIE	AWD_ULIE	-	-	OVRIE	EOSIE	EOCIE
位权限	U-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

位号	助记符	功能描述
31:7	-	RFU: 未实现, 读为 0
6	AWD_AHIE	模拟看门狗采样值高于上限中断使能, 1 有效

位号	助记符	功能描述
5	AWD_ULIE	模拟看门狗采样值低于上限中断使能，1 有效
4	-	RFU：未实现，读为 0
3	-	RFU：未实现，读为 0
2	OVRIE	数据冲突中断使能寄存器 0：禁止数据冲突中断 1：允许数据冲突中断
1	EOSIE	转换序列结束（End Of Sequence）中断使能寄存器 0：禁止 EOS 中断 1：允许 EOS 中断
0	EOCIE	单次转换结束（End Of Conversion）中断使能寄存器 0：禁止 EOC 中断 1：允许 EOC 中断

26.9.3 SARADC 控制寄存器

名称	SARADC_CR							
地址	0x08							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-						START	PWD
位权限	U-0						R/W-0	R/W-1

位号	助记符	功能描述
31:2	-	RFU：未实现，读为 0
1	START	ADC 启动转换寄存器（软件触发），软件写 1 启动，硬件自动清零。
0	PWD	ADC 使能寄存器。在启动转换前先要清零 PWD，查询 RDY 标志置位后再启动转换。 0：使能 ADC 1：关闭 ADC（power down）

26.9.4 SARADC 配置寄存器

名称	SARADC_CFG							
地址	0x0C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-						AWDCH	AWDSC
位权限	U-0						R/W-0000	R/W-0
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	OVSS				OVSR			OVSEN



位权限	R/W-0000				R/W-000			R/W-0
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-	IOTRFE N	TRGCFG		SEMI	WAIT	CONT	OVRM
位权限	U-0	R/W-0	R/W-00		R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	EXTS				-	SCANDI R	DMACF G	DMAEN
位权限	R/W-0000				U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

位号	助记符	功能描述
31:30	-	RFU: 未实现, 读为 0
29:26	AWDCH	模拟窗口看门狗监视通道选择, 仅在 AWDSC=1 时有效 0000: AWD 监视 SAR_IN0 0001: AWD 监视 SAR_IN1 0010: AWD 监视 SAR_IN2 0011: AWD 监视 SAR_IN3 0100: AWD 监视 SAR_IN4 0101: AWD 监视 SAR_IN5 0110: AWD 监视 SAR_IN6 0111: - 1000: AWD 监视 SAR_IN8 1001: AWD 监视 SAR_IN9 1010: AWD 监视 SAR_IN10 1011: AWD 监视 SAR_IN11 1100: AWD 监视 SAR_IN12 1101: AWD 监视 SAR_IN13 1110: AWD 监视 SAR_IN14 1111: RFU
25	AWDSC	模拟窗口看门狗单通道或全通道选择 0: AWD 监视所有被使能的外部输入通道 1: AWD 监视 AWDCH 指定的单个通道
24	AWDEN	模拟窗口看门狗使能寄存器 0: 关闭 AWD 1: 使能 AWD 仅能在 START=0 的情况下使能 AWD
23:20	OVSS	过采样移位控制寄存器 0000: 不移位 0001: 右移 1bit 0010: 右移 2bit 0011: 右移 3bit 0100: 右移 4bit 0101: 右移 5bit 0110: 右移 6bit 0111: 右移 7bit 1000: 右移 8bit Others: RFU
19:17	OVSR	过采样率控制 000: 2x 001: 4x

位号	助记符	功能描述
		010: 8x 011: 16x 100: 32x 101: 64x 110: 128x 111: 256x
16	OVSEN	过采样使能 0: 禁止过采样 1: 使能过采样
15	-	RFU: 未实现, 读为 0
14	IOTRFEN	引脚触发信号数字滤波使能 0: 禁止数字滤波 1: 使能数字滤波
13:12	TRGCFG	触发信号使能和极性选择 00: 禁止触发 01: 上升沿触发 10: 下降沿触发 11: 上升、下降沿都触发
11	SEMI	单次转换半自动模式, 仅在单次转换 (CONT=0) 时有效, 参见“转换模式”章节 0: 自动模式 1: 半自动模式
10	WAIT	等待模式控制, 配置为 0 无等待, 如果上次转换数据没有及时读取, 则可能出现 Overrun
9	CONT	连续转换模式使能 0: 单次转换 1: 连续转换
8	OVRM	Overrun 模式控制 0: 当 overrun 发生时, 保持上次数据, 丢弃本次转换值 1: 当 overrun 发生时, 覆盖上次数据 注: 当 OVSEN=1 的情况下, OVRM 配置不起作用, 过采样平均后的新数据总是会覆盖上次数据, 软件应注意响应时间, 避免 overrun
7:4	EXTS	硬件触发源选择 0000: PA8 0001: PB9 0010: RFU 0011: RFU 0100: GPTIM1_TRGO 0101: GPTIM2_TRGO 0110: RFU 0111: RTC_TRGO 1000: RFU 1001: RFU 1010: COMP1_TRGO 1011: COMP2_TRGO Others: RFU

位号	助记符	功能描述
3	-	RFU: 未实现, 读为 0
2	SCANDIR	通道扫描顺序控制 (共 15 个通道, 实际只会采样被使能的通道) 0: 前向扫描, ADC_IN0->ADC_IN14->REFCH 1: 反向扫描, REFCH->ADC_IN14->ADC_IN0
1	DMACFG	DMA 模式控制 0: 单次模式 1: 循环模式
0	DMAEN	DMA 使能 0: 禁止 DMA 1: 使能 DMA

26.9.5 SARADC 采样时间控制寄存器

名称	SARADC_SMTR							
地址	0x10							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-				-			
位权限	U-0				U-0			
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-				SMTS			
位权限	U-0				R/W-0000			

位号	助记符	功能描述																										
31:12	-	RFU：未实现，读为 0																										
11:8	-	RFU：未实现，读为 0																										
7:6	-	RFU：未实现，读为 0																										
5:4	-	RFU：未实现，读为 0																										
3:0	SMTS	采样时间控制（*ADCCLK 时钟周期）																										
		<table><tr><th>SMTS</th><th>Sampling cycles</th></tr><tr><td>0000</td><td>4</td></tr><tr><td>0001</td><td>6</td></tr><tr><td>0010</td><td>8</td></tr><tr><td>0011</td><td>12</td></tr><tr><td>0100</td><td>16</td></tr><tr><td>0101</td><td>24</td></tr><tr><td>0110</td><td>32</td></tr><tr><td>0111</td><td>48</td></tr><tr><td>1000</td><td>96</td></tr><tr><td>1001</td><td>128</td></tr><tr><td>1010</td><td>160</td></tr><tr><td>1011</td><td>192</td></tr></table>	SMTS	Sampling cycles	0000	4	0001	6	0010	8	0011	12	0100	16	0101	24	0110	32	0111	48	1000	96	1001	128	1010	160	1011	192
		SMTS	Sampling cycles																									
		0000	4																									
		0001	6																									
		0010	8																									
		0011	12																									
		0100	16																									
		0101	24																									
		0110	32																									
		0111	48																									
		1000	96																									
		1001	128																									
		1010	160																									
		1011	192																									

位号	助记符	功能描述	
		1100	256
		1101	320
		1110	384
		1111	512

26.9.6 SARADC 通道控制寄存器

名称	SARADC_CHER							
地址	0x14							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-	-	-	-	-	-	-	-
位权限	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-	-	-	-	-	-	-	REFCH
位权限	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-	ECH14	ECH13	ECH12	ECH11	ECH10	ECH9	ECH8
位权限	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	ECH7	ECH6	ECH5	ECH4	ECH3	ECH2	ECH1	ECH0
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

位号	助记符	功能描述
31	-	RFU: 未实现, 读为 0
30:28	-	RFU: 未实现, 读为 0
27:24	-	RFU: 未实现, 读为 0
23:20	-	RFU: 未实现, 读为 0
19	-	RFU: 未实现, 读为 0
18	-	RFU: 未实现, 读为 0
17	-	RFU: 未实现, 读为 0
16	REFCH	内部基准电压测量通道, 写 1 使能
15	-	RFU: 未实现, 读为 0
14	ECH14	SAR_IN0~6, SAR_IN8~14 测量通道, 写 1 使能
13	ECH13	
12	ECH12	
11	ECH11	
10	ECH10	
9	ECH9	
8	ECH8	
7	-	
6	ECH6	
5	ECH5	
4	ECH4	
3	ECH3	
2	ECH2	

位号	助记符	功能描述
1	ECH1	
0	ECH0	

26.9.7 SARADC 数据寄存器

名称	SARADC_DR							
地址	0x18							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	DATA[15:8]							
位权限	R-0000 0000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	DATA[7:0]							
位权限	R-0000 0000							

位号	助记符	功能描述
31:16	-	RFU: 未实现, 读为 0
15:0	DATA	ADC 转换结果 在没有使用过采样平均的情况下, 结果为低 12bit; 在使用过采样平均的情况下, 结果为 12~16bit

26.9.8 SARADC 模拟看门狗阈值寄存器

名称	SARADC_HLTR							
地址	0x20							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-				AWD_HT[11:8]			
位权限	U-0				R/W-0000			
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	AWD_HT[7:0]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-				AWD_LT[11:8]			
位权限	U0				R/W-0000			
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	AWD_LT[7:0]							
位权限	R/W-0000 0000							

位号	助记符	功能描述
31:28	-	RFU: 未实现, 读为 0
27:16	AWD_HT	AWD 监视高阈值, 与 ADC_DATA 寄存器比较

位号	助记符	功能描述
15:12	-	RFU: 未实现, 读为 0
11:0	AWD_LT	AWD 监视低阈值, 与 ADC_DATA 寄存器比较

26.9.9 BUFFERCTRL 寄存器

名称	BUFFCTRL							
地址	0x40012864							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit0	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-						VREFB UFFER_ OUTEN	VREFB UFFER_ EN
位权限	U-0						R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:3	--	RFU: 未实现, 读为 0
1	VREFBUFFER _OUTEN	VREFBUFFER 输出使能信号 1: 使能 BUF 输出 0: 关闭 BUF 输出
0	VREFBUFFER _EN	VREFBUFFER 使能信号 1: BUF 使能 0: 关闭 BUF 使能

27 I/O 端口

27.1 概述

I/O 端口的的主要功能特性:

- GPIO 引脚最高耐 5.5V 电压
- GPIO 数字输入具有施密特特性
- 部分 GPIO 输入支持模拟滤波
- 部分 GPIO 输入支持数字滤波
- GPIO 可配置为上拉、开漏输出
- 低功耗模式下保持状态

27.2 PAD 结构

27.2.1 GPIO, 输入输出使能, 可控上拉电阻, 可控开漏输出

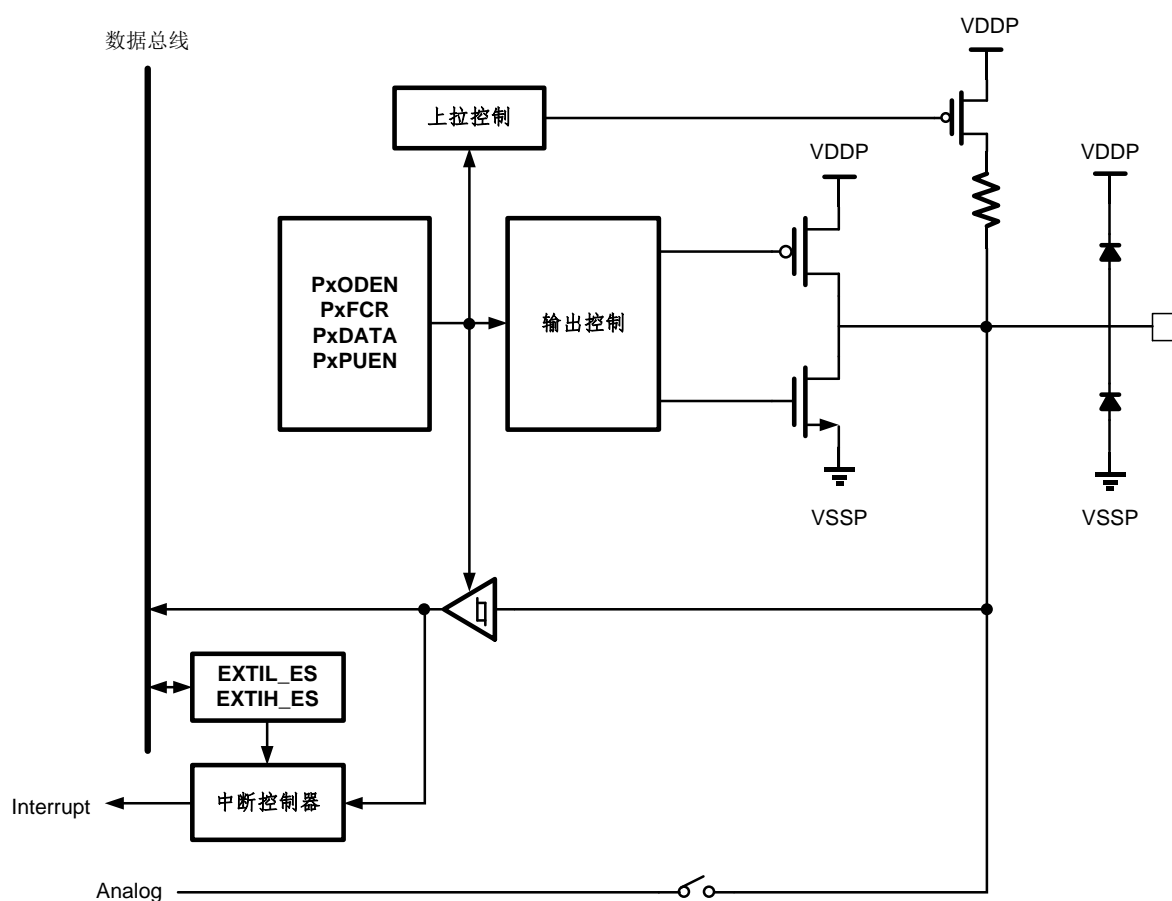


图 24-1 典型 I/O 端口原理图

上述 GPIO 的控制逻辑定义如下:

Registers				Other Control Source	PAD Interface		
FCR	INEN	ODEN	PUEN		INPUT_EN	OUTPUT_EN	PUEN
00	0	x	0/1	x	0	0	0/1
	1				1		
01	x	0	0/1	x	0	1	0/1
	x	1		DATA 寄存器=0	0	1	
				DATA 寄存器=1	0	0	
10	x	x	0/1	AF 功能为输入	1	0	0/1
	x	0		AF 功能为输出 0/1	0	1	
	x	1		AF 功能为输出 0	0	1	
				AF 功能为输出 1	0	0	
11	x	x	0/1	x	0	0	0/1

FCR=00 时 如果寄存器的 PUEN=0/1, 则 PAD 上拉使能控制线为对应的 0/1;
如果寄存器 INEN=0/1, 则 PAD 输入使能控制线为对应的 0/1;
PAD 的输出使能控制线始终为 0;
寄存器 DATA/ODEN 功能无关;

FCR=01 时 如果寄存器 PUEN=0/1, 则 PAD 上拉使能控制线为对应的 0/1;
如果寄存器 ODEN=0, 无论寄存器 DATA 是什么, PAD 输出使能控制线为 1;
如果寄存器 ODEN=1 并且寄存器 DATA=0, 则 PAD 输出使能控制线为 1;
如果寄存器 ODEN=1 并且寄存器 DATA=1, 则 PAD 输出使能控制线为 0;
PAD 输入使能控制线始终为 0;
寄存器 INEN 功能无关;

FCR=10 时 如果寄存器 PUEN=0/1, 则 PAD 上拉使能控制线为对应的 0/1;
如果 AF 功能为输入, 则 PAD 输入使能控制线为 1, 输出使能控制线为 0;
如果寄存器 ODEN=0, 并且 AF 功能为输出 0/1, 则 PAD 输入使能控制线为 0, 输出使能控制线为 1;
如果寄存器 ODEN=1, 并且 AF 功能为输出 0, 则 PAD 输入使能控制线为 0, 输出使能控制线为 1;
如果寄存器 ODEN=1, 并且 AF 功能为输出 1, 则 PAD 输入使能控制线为 1, 输出使能控制线为 0;

FCR=11 时 如果寄存器 PUEN=0/1, 则 PAD 上拉使能控制线为对应的 0/1;
PAD 为模拟功能, 其它控制寄存器功能无关;

27.2.2 GPIO，输入输出使能，真开漏输出(PA14/PA15)

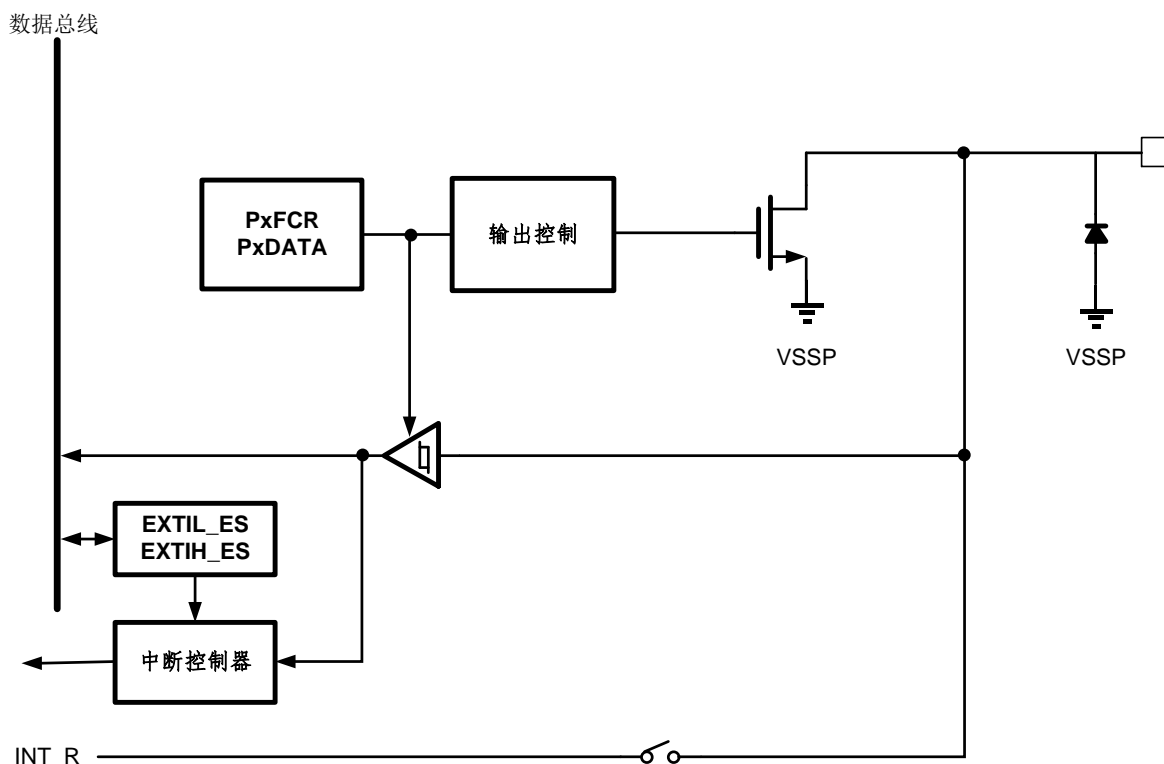


图 24-2 True-OD 端口原理图

上述IO的控制逻辑定义如下：

Registers				Other Control Source	PAD Interface		
FCR	INEN	ODEN	PUEN	DATA	INPUT_EN	OUTPUT_EN	PUEN
00	0	x	0/1	x	0	0	0/1
	1				1		
01	x	x	0/1	DATA 寄存器=0	0	1	0/1
				DATA 寄存器=1	0	0	
10	x	x	0/1	AF 功能为输入	1	0	0/1
	x	0		AF 功能为输出 0/1	0	1	
	x	1		AF 功能为输出 0	0	1	
	x	1		AF 功能为输出 1	0	0	
11	x	x	0/1	x	0	0	0/1

上表意义请参照前述章节。

27.3 IO 端口功能定义

芯片大部分引脚为数模混合IO，每个通用GPIO都有4bit控制寄存器：FCR[1:0]、PUEN、ODEN，其中FCR用于选择IO引脚功能，定义如下：

FCR: Function Control Register	PAD function
00	GPIO input
01	GPIO output

10	Alternate function (AF)
11	Analog

27.4 引脚开漏

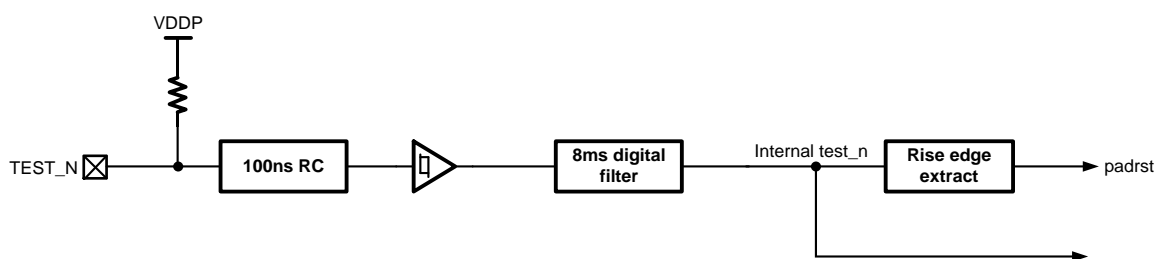
芯片所有引脚均可开漏。使用开漏功能，需满足如下条件：

- 配置 PortX 功能选择寄存器，使能引脚的数字功能
- 数字功能的方向必须是输出
- 配置 PortX 开漏使能寄存器

但对于 PG8/PG9 引脚，如果使用其 SWD 功能，则不应当使能引脚的开漏功能。

27.5 测试引脚

测试模式引脚 TEST_N 有大约 8ms 的低电平数字滤波，以及很短的高电平数字滤波。在所有模式下，当 TEST_N 经过滤波有效后拉高，将触发全芯片复位。



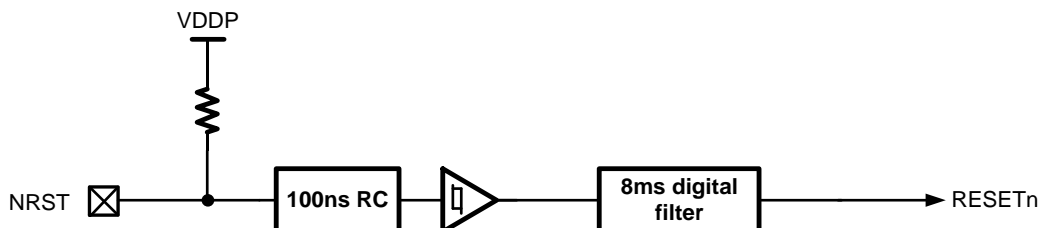
PG8/9 可用于 SWD 引脚或 GPIO，其功能可以由 TEST_N 引脚状态或软件配置寄存器来决定。

Pin	TEST_N	Function	IWDT&WWDT
PG8	0	SWCLK	OFF
PG9		SWIO	
PG8	1	SWCLK/GPIO 软件配置，默认 SWCLK	可配置
PG9		SWIO/GPIO 软件配置，默认 SWIO	

注意当软件将 SWD 引脚配置为 GPIO 功能时，仿真器将无法再与芯片调试接口连接。

27.6 NRST 引脚

NRST 是芯片专用复位引脚，NRST 保持低电平超过 8ms 后，芯片将进入系统复位，但是并不会复位 DEBUG 逻辑。如果芯片处于低功耗模式，NRST 有效也会使芯片退出低功耗模式。



27.7 WKUPx 引脚

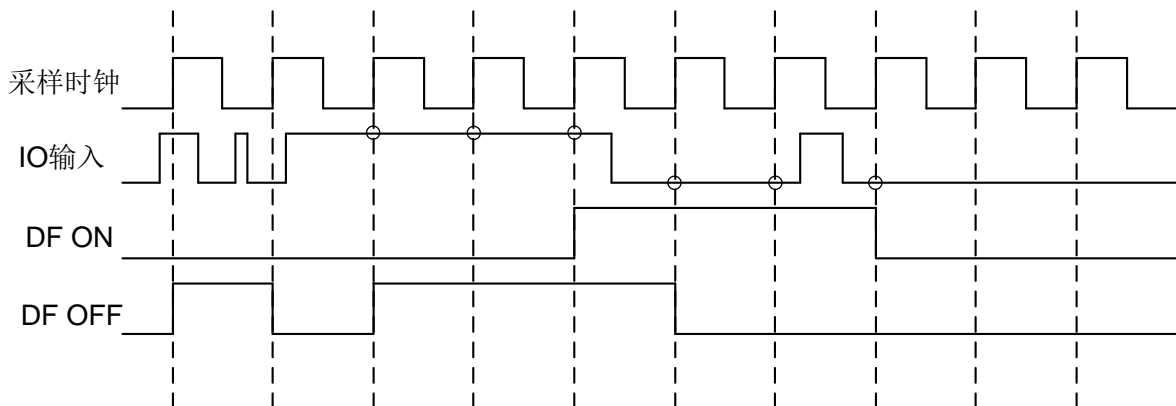
FM33A048D 共有 8 个 WKUP 引脚，能够将芯片从 Sleep/DeepSleep 模式下唤醒，即使片上振荡器都停止工作，WKUP 仍能唤醒芯片。

WKUPx 引脚输入上升沿或者下降沿（软件配置）能够将芯片从休眠模式下唤醒。为了使能此功能，需将对应引脚配置为 GPIO 输入功能，并且相应的 PINWKEN 置位，注意 PAD 内部带有上拉电阻，如果配置为上升沿唤醒，则必须关闭上拉电阻。

Sleep/DeepSleep 模式下，使能了的 WKUPx 引脚上任何大于 100ns 的脉冲都会触发芯片唤醒。

27.8 GPIO 输入数字滤波

芯片所有 GPIO 中有 19 个支持输入数字滤波功能，数字滤波可以由软件使能或禁止，默认关闭。数字滤波的实现方法是由 IO 采样时钟连续采样到 3 次相同电平才认为是合法电平输入，如下图所示。



当芯片处于 ACTIVE 模式时，IO 采样时钟为 AHBCLK，当芯片处于低功耗休眠模式时，IO 采样时钟为 LSCLK。

注意当具有 WKUP 功能的引脚被设置为 WKUP 功能时，数字滤波不起作用。

用户应根据引脚功能需要使能或禁止数字滤波功能，使能数字滤波后，将根据 AHBCLK 频率不同，对 IO 输入信号引入不同的采样延迟。

支持数字输入滤波的管脚分别为：PA8/9/10/11，PB4/5/6/7，PD0/1/2/3，PC12/13/14/15，PE2/5，PF3。

27.9 外部引脚中断

FM33A048D 的 7 组 GPIO（A~G）最多可以产生 24 个外部引脚中断。7 组 GPIO 被分为 3 部分，

分别为 PA/PB、PC/PD/PG 和 PE/PF，每部分分别可以选择 8 个引脚产生独立的外部中断，由 4 组控制寄存器 EXTI_SELx(x=0~3)进行配置，具体参见寄存器说明。其中 PA/PB 选出的 8bit 用于产生 EXTI0[7:0]，PC/PD/PG 选出的 8bit 用于产生 EXTI1[7:0]，PE/PF 选出的 8bit 用于产生 EXTI2[7:0]，最终汇总后接入 NVIC 中断输入。

使用引脚中断前必须将对应引脚的功能设为 GPIO 输入。各路中断使能与触发边沿选择功能整合在一起，可以选择上升沿、下降沿、双沿触发中断，或禁止中断触发。下表为 GPIO 对应的中断编号，其中(DF)表示支持引脚输入数字滤波。

GPIO	外部引脚中断编号	NVIC
PA0	EXTI0[0]	#45
PA8(DF)		
PB0		
PB8		
PA1	EXTI0[1]	
PA9(DF)		
PB1		
PB9		
PA2	EXTI0[2]	
PA10(DF)		
PB2		
PB10		
PA3	EXTI0[3]	
PA11(DF)		
PB3		
PB11		
PA4	EXTI0[4]	
PA12		
PB4(DF)		
PB12		
PA5	EXTI0[5]	
PA13		
PB5(DF)		
PB13		
PA6	EXTI0[6]	
PA14		
PB6(DF)		
PB14		
PA7	EXTI0[7]	
PA15		
PB7(DF)		
PB15		
PC8	EXTI1[0]	
PD0(DF)		
PC9	EXTI1[1]	
PD1(DF)		
PC2	EXTI1[2]	
PC10		

GPIO	外部引脚中断编号	NVIC
PD2(DF)	EXTI1[3]	
PC3		
PC11		
PD3(DF)		
PG2		
PC4	EXTI1[4]	
PC12(DF)		
PD4		
PC5	EXTI1[5]	
PC13(DF)		
PD5		
PG6		
PC6	EXTI1[6]	
PC14(DF)		
PD6		
PG7		
PC7	EXTI1[7]	
PC15(DF)		
PD7		
PG8		
PE2(DF)	EXTI2[0]	#47
PE3	EXTI2[1]	
PE4	EXTI2[2]	
PE5	EXTI2[3]	
PF3(DF)		
PF4	EXTI2[4]	
PF5	EXTI2[5]	
PF9		
PF6	EXTI2[6]	
PF11	EXTI2[7]	

27.9.1 应用指南

如需在 Sleep/DeepSleep 模式下启动 EXTI 中断唤醒功能，推荐按照如下步骤进行操作：

- 关闭所有 EXTI 使能
- 配置 SYSCLKSEL 寄存器（0x0x4000020C）的 EXTICKSEL 位为 1，选择 LSCLK 进行 EXTI 采样
- 根据需要打开或关闭 GPIO 数字滤波使能
- 配置相应 GPIO 为输入
- 打开 EXTI 采样时钟使能
- 等待至少 4 个 LSCLK 周期
- 配置 EXTI 触发边沿选择
- 正常进入 Sleep 模式

芯片上电后默认关闭所有 EXTI，同时默认的引脚中断采样时钟是系统时钟 AHBCLK。如果用户使用系统时钟产生 EXTI，推荐流程如下：

- 打开数字滤波使能（如果需要）
- 配置 GPIO 为输入
- 打开 EXTI 采样时钟使能
- 等待至少 4 个系统时钟周期
- 配置 EXTI 触发边沿

如果用户希望使用低速的 LSCLK 来产生 EXTI，推荐流程如下：

- 将 EXTI 采样时钟配置为 LSCLK
- 打开数字滤波使能（如果需要）
- 配置 GPIO 为输入
- 打开 EXTI 采样时钟使能
- 等待至少 4 个 LSCLK 时钟周期
- 配置 EXTI 触发边沿

27.10 快速 GPIO 输出

FM33A048D 可以通过 set-reset 功能快速改变每个 GPIO 的输出数据（bitwise operation），从而提高 IO 输出效率，特别是可以提高 read-modify-write 操作的效率和可靠性（atomic）。方法是每个 GPIO 组的输出数据寄存器都有 2 组 set-reset 映射虚拟地址，对 set 寄存器特定 bit 写 1 可以置位对应的数据寄存器的 bit 位，对 reset 寄存器特定地址写 1 可以清除对应的数据寄存器的 bit 位。

27.11 寄存器

地址	名称	符号
0x40000C00	PortA 输入使能寄存器	PAINEN
0x40000C04	PortA 上拉使能寄存器	PAPUEN
0x40000C08	PortA 开漏使能寄存器	PAODEN
0x40000C0C	PortA 功能选择寄存器	PAFCR
0x40000C10	PortA 输出数据寄存器	PADO
0x40000C14	PortA 输出数据置位寄存器	PADSET
0x40000C18	PortA 输出数据复位寄存器	PADRESET
0x40000C1C	PortA 输入数据寄存器	PADIN
0x40000C20	PortB 输入使能寄存器	PBINEN
0x40000C24	PortB 上拉使能寄存器	PBPUEEN
0x40000C28	PortB 开漏使能寄存器	PBODEN
0x40000C2C	PortB 功能选择寄存器	PBFCCR
0x40000C30	PortB 输出数据寄存器	PBDO
0x40000C34	PortB 输出数据置位寄存器	PBDSET
0x40000C38	PortB 输出数据复位寄存器	PBDRESET
0x40000C3C	PortB 输入数据寄存器	PBDIN
0x40000C40	PortC 输入使能寄存器	PCINEN
0x40000C44	PortC 上拉使能寄存器	PCPUEN
0x40000C48	PortC 开漏使能寄存器	PCODEN
0x40000C4C	PortC 功能选择寄存器	PCFCR
0x40000C50	PortC 输出数据寄存器	PCDO
0x40000C54	PortC 输出数据置位寄存器	PCDSET
0x40000C58	PortC 输出数据复位寄存器	PCDRESET



地址	名称	符号
0x40000C5C	PortC 输入数据寄存器	PCDIN
0x40000C60	PortD 输入使能寄存器	PDINEN
0x40000C64	PortD 上拉使能寄存器	PDPUEN
0x40000C68	PortD 开漏使能寄存器	PDODEN
0x40000C6C	PortD 功能选择寄存器	PDFCR
0x40000C70	PortD 输出数据寄存器	PDDO
0x40000C74	PortD 输出数据置位寄存器	PDDSET
0x40000C78	PortD 输出数据复位寄存器	PDDRESET
0x40000C7C	PortD 输入数据寄存器	PDDIN
0x40000C80	PortE 输入使能寄存器	PEINEN
0x40000C84	PortE 上拉使能寄存器	PEPUEN
0x40000C88	PortE 开漏使能寄存器	PEODEN
0x40000C8C	PortE 功能选择寄存器	PEFCR
0x40000C90	PortE 输出数据寄存器	PEDO
0x40000C94	PortE 输出数据置位寄存器	PEDSET
0x40000C98	PortE 输出数据复位寄存器	PEDRESET
0x40000C9C	PortE 输入数据寄存器	PEDIN
0x40000CA0	PortF 输入使能寄存器	PFINEN
0x40000CA4	PortF 上拉使能寄存器	PFPUEN
0x40000CA8	PortF 开漏使能寄存器	PFODEN
0x40000CAC	PortF 功能选择寄存器	PFFCR
0x40000CB0	PortF 输出数据寄存器	PFDO
0x40000CB4	PortF 输出数据置位寄存器	PFDSET
0x40000CB8	PortF 输出数据复位寄存器	PFDRESET
0x40000CBC	PortF 输入数据寄存器	PFDIN
0x40000CC0	PortG 输入使能寄存器	PGINEN
0x40000CC4	PortG 上拉使能寄存器	PGPUEN
0x40000CC8	PortG 开漏使能寄存器	PGODEN
0x40000CCC	PortG 功能选择寄存器	PGFCR
0x40000CD0	PortG 输出数据寄存器	PGDO
0x40000CD4	PortG 输出数据置位寄存器	PGDSET
0x40000CD8	PortG 输出数据复位寄存器	PGDRESET
0x40000CDC	PortG 输入数据寄存器	PGDIN
0x40000CE0	外部引脚中断选择寄存器 0	EXTI_SEL0
0x40000CE4	外部引脚中断选择寄存器 1	EXTI_SEL1
0x40000CE8	外部引脚中断选择寄存器 2	EXTI_SEL2
0x40000CEC	外部引脚中断标志寄存器 0	EXTI0IF
0x40000CF0	外部引脚中断标志寄存器 1	EXTI1IF
0x40000CF4	外部引脚中断标志寄存器 2	EXTI2IF
0x40000CF8	FOUT 配置寄存器	FOUT_SEL
0x40000CFC	强驱动引脚配置寄存器	HDSEL
0x40000D00	模拟功能选择寄存器	ANASELECT
0x40000D04	GPIO 输入数字滤波寄存器	IODF
0x40000D08	WKUP 使能寄存器	PINWKEN
0x40000D0C	PF4 功能选择寄存器	PF4AFSEL
0x40000F00	PA 驱动强度和速度配置寄存器	PADSCFG
0x40000F04	PA 额外数字功能选择寄存器	PADFS



地址	名称	符号
0x40000F08	PA 下拉使能寄存器	PAPUEN
0x40000F10	PB 驱动强度和速度配置寄存器	PBDSCFG
0x40000F14	PB 额外数字功能选择寄存器	PBDFS
0x40000F18	PB 下拉使能寄存器	PBPUEN
0x40000F20	PC 驱动强度和速度配置寄存器	PCDSCFG
0x40000F24	PC 额外数字功能选择寄存器	PCDFS
0x40000F28	PC 下拉使能寄存器	PCPUEN
0x40000F30	PD 驱动强度和速度配置寄存器	PDDSCFG
0x40000F34	PD 额外数字功能选择寄存器	PDDFS
0x40000F38	PC 下拉使能寄存器	PDPHEN
0x40000F40	PE 驱动强度和速度配置寄存器	PEDSCFG
0x40000F44	PE 额外数字功能选择寄存器	PEDFS
0x40000F48	PE 下拉使能寄存器	PEPUEN
0x40000F50	PF 驱动强度和速度配置寄存器	PFDSCFG
0x40000F54	PF 额外数字功能选择寄存器	PFDfs
0x40000F58	PF 下拉使能寄存器	PFPHEN
0x40000F60	PG 驱动强度和速度配置寄存器	PGDSCFG
0x40000F64	PG 额外数字功能选择寄存器	PGDFS
0x40000F68	PG 下拉使能寄存器	PGPUEN

27.11.1 PortX 输入使能寄存器

名称	Name: PxINEN (x=A~G)							
地址	0x40000C00 ~ 0x40000C18							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	PxINEN15	PxINEN14	PxINEN13	PxINEN12	PxINEN11	PxINEN10	PxINEN9	PxINEN8
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	PxINEN7	PxINEN6	PxINEN5	PxINEN4	PxINEN3	PxINEN2	PxINEN1	PxINEN0
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:16	--	RFU: 未实现, 读为 0
15:0	PxINEN	IO 输入使能开关 0: IO 输入使能关闭 1: IO 输入使能打开

27.11.2 PortX 上拉使能寄存器

名称	Name: PxPUEN (x=A~G)							
地址	0x40000C1C ~ 0x40000C34							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	PxPUE N15	PxPUEN 14	PxPUEN 13	PxPUEN 12	PxPUEN 11	PxPUEN 10	PxPUEN 9	PxPUE N8
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0 R/W-1(PG 9)	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	PxPUE N7	PxPUEN 6	PxPUEN 5	PxPUEN 4	PxPUEN 3	PxPUEN 2	PxPUEN 1	PxPUE N0
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:16	--	RFU: 未实现, 读为 0
15:0	PxPUEN	IO 上拉使能开关 0: IO 上拉使能关闭 1: IO 上拉使能打开

27.11.3 PortX 开漏使能寄存器

名称	Name: PxODEN(x=A~G)							
地址	0x40000C38 ~ 0x40000C50							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	PAODE N15	PAODEN 14	PAODEN 13	PAODEN 12	PAODEN 11	PAODEN 10	PAODEN 9	PAODE N8
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	PAODE N7	PAODEN 6	PAODEN 5	PAODEN 4	PAODEN 3	PAODEN 2	PAODEN 1	PAODE N0
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0



Bit	助记符	功能描述
31:16	--	RFU: 未实现, 读为 0
15:0	PxODEN	IO 开漏使能开关 0: IO 开漏使能关闭 1: IO 开漏使能打开

27.11.4 PortX 功能选择寄存器

名称	Name: PxFCR (x=A~G)							
地址	0x40000C54 ~ 0x40000C6C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	Px15FCR		Px14FCR		Px13FCR		Px12FCR	
位权限	R/W-00		R/W-00		R/W-00		R/W-00	
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	Px11FCR		Px10FCR		Px9FCR		Px8FCR	
位权限	R/W-00		R/W-00		R/W-00 R/W-10(PG9)		R/W-00 R/W-10(GP8)	
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	Px7FCR		Px6FCR		Px5FCR		Px4FCR	
位权限	R/W-00		R/W-00		R/W-0		R/W-00	
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	Px3FCR		Px2FCR		Px1FCR		Px0FCR	
位权限	R/W-00		R/W-00		R/W-00		R/W-00	

Bit	助记符	功能描述
31:30	Px15FCR	Px[15]引脚功能选择 00: GPIO 输入 01: GPIO 输出 10: 数字功能 11: 模拟功能
29:28	Px14FCR	Px[14]引脚功能选择 00: GPIO 输入 01: GPIO 输出 10: 数字功能 11: 模拟功能
27:26	Px13FCR	Px[13]引脚功能选择 00: GPIO 输入 01: GPIO 输出 10: 数字功能 11: 模拟功能
25:24	Px12FCR	Px[12]引脚功能选择 00: GPIO 输入 01: GPIO 输出 10: 数字功能 11: 模拟功能
23:22	Px11FCR	Px[11]引脚功能选择 00: GPIO 输入

Bit	助记符	功能描述
		01: GPIO 输出 10: 数字功能 11: 模拟功能
21:20	Px10FCR	Px[10]引脚功能选择 00: GPIO 输入 01: GPIO 输出 10: 数字功能 11: 模拟功能
19:18	Px9FCR	Px[9]引脚功能选择 00: GPIO 输入 01: GPIO 输出 10: 数字功能 11: 模拟功能
17:16	Px8FCR	Px[8]引脚功能选择 00: GPIO 输入 01: GPIO 输出 10: 数字功能 11: 模拟功能
15:14	Px7FCR	Px[7]引脚功能选择 00: GPIO 输入 01: GPIO 输出 10: 数字功能 11: 模拟功能
13:12	Px6FCR	Px[6]引脚功能选择 00: GPIO 输入 01: GPIO 输出 10: 数字功能 11: 模拟功能
11:10	Px5FCR	Px[5]引脚功能选择 00: GPIO 输入 01: GPIO 输出 10: 数字功能 11: 模拟功能
9:8	Px4FCR	Px[4]引脚功能选择 00: GPIO 输入 01: GPIO 输出 10: 数字功能 11: 模拟功能
7:6	Px3FCR	Px[3]引脚功能选择 00: GPIO 输入 01: GPIO 输出 10: 数字功能 11: 模拟功能
5:4	Px2FCR	Px[2]引脚功能选择 00: GPIO 输入 01: GPIO 输出 10: 数字功能 11: 模拟功能
3:2	Px1FCR	Px[1]引脚功能选择

Bit	助记符	功能描述
		00: GPIO 输入 01: GPIO 输出 10: 数字功能 11: 模拟功能
1:0	Px0FCR	Px[0]引脚功能选择 00: GPIO 输入 01: GPIO 输出 10: 数字功能 11: 模拟功能

27.11.5 PortX 输出数据寄存器

名称	Name: PxDO (x=A~G)							
地址	0x40000C70 ~ 0x40000C88							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	PxDO15	PxDO14	PxDO13	PxDO12	PxDO11	PxDO10	PxDO9	PxDO8
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	PxDO7	PxDO6	PxDO5	PxDO4	PxDO3	PxDO2	PxDO1	PxDO0
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:16	--	RFU: 未实现, 读为 0
15:0	PxDO	GPIO 输出数据寄存器

27.11.6 PortX 输出数据置位寄存器

名称	Name: PxDSET (x=A~G)							
地址	0x40000C8C ~ 0x40000CA4							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	PxSET15	PxSET14	PxSET13	PxSET12	PxSET11	PxSET10	PxSET9	PxSET8
位权限	W	W	W	W	W	W	W	W
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	PxSET7	PxSET6	PxSET5	PxSET4	PxSET3	PxSET2	PxSET1	PxSET0

位权限	W	W	W	W	W	W	W	W
-----	---	---	---	---	---	---	---	---

Bit	助记符	功能描述
31:16	--	RFU: 未实现, 读为 0
15:0	PxSET	GPIO 输出数据置位寄存器 举例: 向 PADSET 写 0x0000_8000, 则 PADO[15]置位, 其余位保持不变。

27.11.7 PortX 输出数据复位寄存器

名称	Name: PxDRESET (x=A~G)							
地址	0x40000CA8 ~ 0x40000CC0							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	PxRESE T15	PxRESE T14	PxRESE T13	PxRESE T12	PxRESE T11	PxRESE T10	PxRESE T9	PxRESE T8
位权限	W	W	W	W	W	W	W	W
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	PxRESE T7	PxRESE T6	PxRESE T5	PxRESE T4	PxRESE T3	PxRESE T2	PxRESE T1	PxRESE T0
位权限	W	W	W	W	W	W	W	W

Bit	助记符	功能描述
31:16	--	RFU: 未实现, 读为 0
15:0	PxRESET	GPIO 输出数据复位寄存器 举例: 向 PADRST 写 0x0000_8000, 则 PADO[15]清零, 其余位保持不变

27.11.8 PortX 输入数据寄存器

名称	Name: PxDIN (x=A~G)							
地址	0x40000CC4 ~ 0x40000CDC							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	PxDIN15	PxDIN14	PxDIN13	PxDIN12	PxDIN11	PxDIN10	PxDIN9	PxDIN8
位权限	R	R	R	R	R	R	R	R
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0



位名	PxDIN7	PxDIN6	PxDIN5	PxDIN4	PxDIN3	PxDIN2	PxDIN1	PxDIN0
位权限	R	R	R	R	R	R	R	R

Bit	助记符	功能描述
31:16	--	RFU: 未实现, 读为 0
15:0	PxDIN	PortX 输入数据寄存器 软件读此寄存器直接返回引脚输入信号

27.11.9 GPIO EXTI Select 0

名称	Name: EXTI0_SEL							
地址	0x40000CE0							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	EXTI0_EDS7		EXTI0_EDS6		EXTI0_EDS5		EXTI0_EDS4	
位权限	R/W-11		R/W-11		R/W-11		R/W-11	
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	EXTI0_EDS3		EXTI0_EDS2		EXTI0_EDS1		EXTI0_EDS0	
位权限	R/W-11		R/W-11		R/W-11		R/W-11	
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	EXTI0_SEL7		EXTI0_SEL6		EXTI0_SEL5		EXTI0_SEL4	
位权限	R/W-00		R/W-00		R/W-00		R/W-00	
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	EXTI0_SEL3		EXTI0_SEL2		EXTI0_SEL1		EXTI0_SEL0	
位权限	R/W-00		R/W-00		R/W-00		R/W-00	

Bit	助记符	功能描述
31:30	EXTI0_EDS7	EXTI0[7]边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
29:28	EXTI0_EDS6	EXTI0[6]边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
27:26	EXTI0_EDS5	EXTI0[5]边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
25:24	EXTI0_EDS4	EXTI0[4]边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
23:22	EXTI0_EDS3	EXTI0[3]边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿

Bit	助记符	功能描述
		10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
21:20	EXTI0_EDS2	EXTI0[2]边缘触发选择 00: rising 01: falling 10: both 11: disable
19:18	EXTI0_EDS1	EXTI0[1]边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
17:16	EXTI0_EDS0	EXTI0[0] 边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
15:14	EXTI0_SEL7	EXTI0[7]输入管脚选择 00 – PA7 01 – PA15 10 – PB7 11 – PB15
13:12	EXTI0_SEL6	EXTI0[6]输入管脚选择 00 – PA6 01 – PA14 10 – PB6 11 – PB14
11:10	EXTI0_SEL5	EXTI0[5]输入管脚选择 00 – PA5 01 – PA13 10 – PB5 11 – PB13
9:8	EXTI0_SEL4	EXTI0[4]输入管脚选择 00 – PA4 01 – PA12 10 – PB4 11 – PB12
7:6	EXTI0_SEL3	EXTI0[3]输入管脚选择 00 – PA3 01 – PA11 10 – PB3 11 – PB11
5:4	EXTI0_SEL2	EXTI0[2]输入管脚选择 00 – PA2 01 – PA10 10 – PB2 11 – PB10
3:2	EXTI0_SEL1	EXTI0[1]输入管脚选择 00 – PA1 01 – PA9 10 – PB1 11 – PB9
1:0	EXTI0_SEL0	EXTI0[0]输入管脚选择

Bit	助记符	功能描述
		00 - PA0 01 - PA8 10 - PB0 11 - PB8

27.11.10 GPIO EXTI Select 1

名称	Name: EXTI1_SEL							
地址	0x40000CE4							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	EXTI1_EDS7		EXTI1_EDS6		EXTI1_EDS5		EXTI1_EDS4	
位权限	R/W-11		R/W-11		R/W-11		R/W-11	
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	EXTI1_EDS3		EXTI1_EDS2		EXTI1_EDS1		EXTI1_EDS0	
位权限	R/W-11		R/W-11		R/W-11		R/W-11	
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	EXTI1_SEL7		EXTI1_SEL6		EXTI1_SEL5		EXTI1_SEL4	
位权限	R/W-00		R/W-00		R/W-00		R/W-00	
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	EXTI1_SEL3		EXTI1_SEL2		EXTI1_SEL1		EXTI1_SEL0	
位权限	R/W-00		R/W-00		R/W-00		R/W-00	

Bit	助记符	功能描述
31:30	EXTI1_EDS7	EXTI1[7]边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
29:28	EXTI1_EDS6	EXTI1[6]边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
27:26	EXTI1_EDS5	EXTI1[5]边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
25:24	EXTI1_EDS4	EXTI1[4]边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
23:22	EXTI1_EDS3	EXTI1[3]边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发

Bit	助记符	功能描述
21:20	EXTI1_EDS2	EXTI1[2]边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
19:18	EXTI1_EDS1	EXTI1[1]边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
17:16	EXTI1_EDS0	EXTI1[0] 边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
15:14	EXTI1_SEL7	EXTI1[7]输入管脚选择 00 – PC7 01 – PC15 10 – PD7 11 – PG8
13:12	EXTI1_SEL6	EXTI1[6]输入管脚选择 00 – PC6 01 – PC14 10 – PD6 11 – PG7
11:10	EXTI1_SEL5	EXTI1[5]输入管脚选择 00 – PC5 01 – PC13 10 – PD5 11 – PG6
9:8	EXTI1_SEL4	EXTI1[4]输入管脚选择 00 – PC4 01 – PC12 10 – PD4 11 – RFU
7:6	EXTI1_SEL3	EXTI1[3]输入管脚选择 00 – PC3 01 – PC11 10 – PD3 11 – PG2
5:4	EXTI1_SEL2	EXTI1[2]输入管脚选择 00 – PC2 01 – PC10 10 – PD2 11 – RFU
3:2	EXTI1_SEL1	EXTI1[1]输入管脚选择 00 – RFU 01 – PC9 10 – PD1 11 – RFU
1:0	EXTI1_SEL0	EXTI1[0]输入管脚选择 00 – RFU 01 – PC8

Bit	助记符	功能描述
		10 – PD0 11 – RFU

27.11.11 GPIO EXTI Select 2

名称	Name: EXTI2_SEL							
地址	0x40000CE8							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	EXTI2_EDS7		EXTI2_EDS6		EXTI2_EDS5		EXTI2_EDS4	
位权限	R/W-11		R/W-11		R/W-11		R/W-11	
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	EXTI2_EDS3		EXTI2_EDS2		EXTI2_EDS1		EXTI2_EDS0	
位权限	R/W-11		R/W-11		R/W-11		R/W-11	
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-				EXTI2_SEL7		EXTI2_SEL6	
位权限	U-0				R/W-00		R/W-00	
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	EXTI2_SEL5		EXTI2_SEL4		EXTI2_SEL3	EXTI2_SEL2	EXTI2_SEL1	EXTI2_SEL0
位权限	R/W-00		R/W-00		R/W-00		R/W-00	

Bit	助记符	功能描述
31:30	EXTI2_EDS7	EXTI2[7]边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
29:28	EXTI2_EDS6	EXTI2[6]边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
27:26	EXTI2_EDS5	EXTI2[5]边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
25:24	EXTI2_EDS4	EXTI2[4]边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
23:22	EXTI2_EDS3	EXTI2[3]边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
21:20	EXTI2_EDS2	EXTI2[2]边缘触发选择

Bit	助记符	功能描述
		00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
19:18	EXTI2_EDS1	EXTI2[1]边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
17:16	EXTI2_EDS0	EXTI2[0] 边缘触发选择 00:上升沿 01:下降沿 10:上升沿或下降沿 11:禁止触发
15:12	--	RFU
11:10	EXTI2_SEL7	EXTI2[7]输入管脚选择 00 – RFU 01 – RFU 10/11 – PF11
9:8	EXTI2_SEL6	EXTI2[6]输入管脚选择 00 – RFU 01 – PF6 10/11 – RFU
7:6	EXTI2_SEL5	EXTI2[5]输入管脚选择 00 – RFU 01 – PF5 10/11 – RFU
5:4	EXTI2_SEL4	EXTI2[4]输入管脚选择 00 – RFU 01 – PF4 10/11 – RFU
3	EXTI2_SEL3	EXTI2[3]输入管脚选择 0 – PE5 1 – PF3
2	EXTI2_SEL2	EXTI2[2]输入管脚选择 0 – PE4 1 – RFU
1	EXTI2_SEL1	EXTI2[1]输入管脚选择 0 – PE3 1 – RFU
0	EXTI2_SEL0	EXTI2[0]输入管脚选择 0 – PE2 1 – RFU

27.11.12 GPIO 外部中断标志 0

名称	Name: EXTI0IF							
地址	0x40000CEC							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							



位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	EXTIOIF 7	EXTIOIF 6	EXTIOIF5	EXTIOIF4	EXTIOIF 3	EXTIOIF 2	EXTIOIF1	EXTIOIF 0
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:8	--	RFU: 未实现, 读为 0
7	EXTIOIF[7]	EXTIOIF[7] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位
6	EXTIOIF[6]	EXTIOIF[6] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位
5	EXTIOIF[5]	EXTIOIF[5] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位
4	EXTIOIF[4]	EXTIOIF[4] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位
3	EXTIOIF[3]	EXTIOIF[3] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位
2	EXTIOIF[2]	EXTIOIF[2] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位
1	EXTIOIF[1]	EXTIOIF[1] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位
0	EXTIOIF[0]	EXTIOIF[0] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位

27.11.13 GPIO 外部中断标志 1

名称	Name: EXTIOIF							
地址	0x40000CF0							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8



位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	EXTI1IF7	EXTI1IF6	EXTI1IF5	EXTI1IF4	EXTI1IF3	EXTI1IF2	EXTI1IF1	EXTI1IF0
位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:8	--	RFU: 未实现, 读为 0
7	EXTI1IF[7]	EXTI1IF[7] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位
6	EXTI1IF[6]	EXTI1IF[6] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位
5	EXTI1IF[5]	EXTI1IF[5] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位
4	EXTI1IF[4]	EXTI1IF[4] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位
3	EXTI1IF[3]	EXTI1IF[3] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位
2	EXTI1IF[2]	EXTI1IF[2] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位
1	EXTI1IF[1]	EXTI1IF[1] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位
0	EXTI1IF[0]	EXTI1IF[0] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位

27.11.14 GPIO 外部中断标志 2

名称	Name: EXTI2IF							
地址	0x4000CF4							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	EXTI2IF7	EXTI2IF6	EXTI2IF5	EXTI2IF4	EXTI2IF3	EXTI2IF2	EXTI2IF1	EXTI2IF0

位权限	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Bit	助记符	功能描述
31:8	--	RFU: 未实现, 读为 0
7	EXTI2IF[7]	EXTI2IF[7] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位
6	EXTI2IF[6]	EXTI2IF[6] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位
5	EXTI2IF[5]	EXTI2IF[5] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位
4	EXTI2IF[4]	EXTI2IF[4] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位
3	EXTI2IF[3]	EXTI2IF[3] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位
2	EXTI2IF[2]	EXTI2IF[2] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位
1	EXTI2IF[1]	EXTI2IF[1] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位
0	EXTI2IF[0]	EXTI2IF[0] 中断标志, 写 1 清零 0: 无中断事件 1: 中断标志置位

27.11.15 FOUT 配置寄存器

名称	Name: FOUTSEL							
地址	0x40000CF8							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-				FOUTSEL			
位权限	U-0				R/W-0000			

Bit	助记符	功能描述
31:4	--	RFU: 未实现, 读为 0
3:0	FOUTSEL	输出频率选择信号

Bit	助记符	功能描述
		0000: XTLF 0001: RCLP 0010: RCHF/64 0011: LSCLK 0100: AHBCLK/64 0101: RTCTM 0110: PLL0/64 0111: RTCCLK64Hz 1000: APBCLK/64 1001: RFU 1010: TDOSC/64 1011~1111: RFU

27.11.16 强驱动引脚配置寄存器

名称	Name: HDSEL							
地址	0x40000CFC							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-						PG6HD EN	PE2HDE N
位权限	U-0						R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:2	--	RFU: 未实现, 读为 0
1	PG6HDEN	PG6 强驱动使能 1: 使能强驱动模式 0: 关闭强驱动模式
0	PE2HDEN	PE2 强驱动使能 1: 使能强驱动模式 0: 关闭强驱动模式

27.11.17 模拟功能选择寄存器

名称	Name: ANASEL							
地址	0x40000D00							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							

位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-		PE4ANS	PE3ANS	PC15ANS	PC14ANS	PC13ANS	PC12ANS
位权限	U-0		R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

Bit	助记符	功能描述
31:6	--	RFU: 未实现, 读为 0
5	PE4ANS	PE4 模拟功能选择 1: 选择作为 SEG19 0: 选择作为 ACMP2_INP1
4	PE3ANS	PE3 模拟功能选择 1: 选择作为 SEG18 0: 选择作为 ACMP2_INN1
3	PC15ANS	PC15 模拟功能选择 1: 选择作为 SEG39 0: 选择作为 ACMP2_INP0/ADC_IN6
2	PC14ANS	PC14 模拟功能选择 1: 选择作为 SEG38 0: 选择作为 ACMP2_INN0
1	PC13ANS	PC13 模拟功能选择 1: 选择作为 SEG37 0: 选择作为 ADC_IN2
0	PC12ANS	PC12 模拟功能选择 1: 选择作为 SEG36 0: 选择作为 ADC_IN1

27.11.18 GPIO 输入数字滤波寄存器

名称	Name: IODF							
地址	0x40000D04							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	IOFINF[2:0]				IOEINF[4:0]			
位权限	R/W-000				R/W-00000			
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	IODINF[3:0]				IOCINF[3:0]			
位权限	R/W-0000				R/W-0000			
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	IOBINF[3:0]				IOAINF[3:0]			
位权限	R/W-0000				R/W-0000			

Bit	助记符	功能描述
31:24	--	RFU: 未实现, 读为 0
23	IOFINF[2]	PF3 滤波使能信号 1: 滤波使能打开 0: 滤波使能关闭
22:18	--	RFU: 未实现, 读为 0
17	IOEINF[1]	PE5 滤波使能信号 1: 滤波使能打开 0: 滤波使能关闭
16	IOEINF[0]	PE2 滤波使能信号 1: 滤波使能打开 0: 滤波使能关闭
15	IODINF[3]	PD3 滤波使能信号 1: 滤波使能打开 0: 滤波使能关闭
14	IODINF[2]	PD2 滤波使能信号 1: 滤波使能打开 0: 滤波使能关闭
13	IODINF[1]	PD1 滤波使能信号 1: 滤波使能打开 0: 滤波使能关闭
12	IODINF[0]	PD0 滤波使能信号 1: 滤波使能打开 0: 滤波使能关闭
11	IOCINF[3]	PC15 滤波使能信号 1: 滤波使能打开 0: 滤波使能关闭
10	IOCINF[2]	PC14 滤波使能信号 1: 滤波使能打开 0: 滤波使能关闭
9	IOCINF[1]	PC13 滤波使能信号 1: 滤波使能打开 0: 滤波使能关闭
8	IOCINF[0]	PC12 滤波使能信号 1: 滤波使能打开 0: 滤波使能关闭
7	IOBINF[3]	PB7 滤波使能信号 1: 滤波使能打开 0: 滤波使能关闭
6	IOBINF[2]	PB6 滤波使能信号 1: 滤波使能打开 0: 滤波使能关闭
5	IOBINF[1]	PB5 滤波使能信号 1: 滤波使能打开 0: 滤波使能关闭

Bit	助记符	功能描述
4	IOBINF[0]	PB4 滤波使能信号 1: 滤波使能打开 0: 滤波使能关闭
3	IOAINF[3]	PA11 滤波使能信号 1: 滤波使能打开 0: 滤波使能关闭
2	IOAINF[2]	PA10 滤波使能信号 1: 滤波使能打开 0: 滤波使能关闭
1	IOAINF[1]	PA9 滤波使能信号 1: 滤波使能打开 0: 滤波使能关闭
0	IOAINF[0]	PA8 滤波使能信号 1: 滤波使能打开 0: 滤波使能关闭

27.11.19 WKUP 使能寄存器

名称	Name: PINWKEN							
地址	0x40000D08							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	WKISEL	-						
位权限	R/W-0	U-0						
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	PINWKSEL[7:0]							
位权限	R/W-00000000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	PINWKEN[7:0]							
位权限	R/W-00000000							

Bit	助记符	功能描述
31	WKISEL	WKUPx 中断入口选择 0: NMI 中断 1: #38 中断
30:16	--	RFU: 未实现, 读为 0
15:8	PINWKSEL	WKUP 边沿选择 1: 对应的 WKUP 引脚为上升沿唤醒 0: 对应的 WKUP 引脚为下降沿唤醒
7:0	PINWKEN	WKUP 引脚使能信号 1: 对应的 WKUP 引脚功能有效 0: 对应的 WKUP 引脚功能无效 PINWKEN[x]控制 WKUPx 引脚的使能

27.11.20 PF4 功能选择寄存器

名称	Name: PF4AFSEL							
地址	0x40000D0C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	-			PF4AFS		TFOSEL		
位权限	U-0			R/W-00		R/W-000		

Bit	助记符	功能描述
31:5	--	RFU: 未实现, 读为 0
4:3	PF4AFS	PF4 复用功能选择寄存器 00: UART0_TX 01: LPUART_TX 10/11: TFO
2:0	TFOSEL	PF4 测试频率输出选择信号 000: RCHF 001: RCHF/4 010: RCHF/16 011: PLL 100: PLL/4 101: PLL/16 110: RCLF 111: RCLP

27.11.21 PortX 驱动和速度配置寄存器

名称	Name: PxDSCFG							
地址	0x40000F00+x*0x10							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	SR[15:8]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	SR[7:0]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	DR[15:8]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	DR[7:0]							
位权限	R/W-0000 0000							

Bit	助记符	功能描述
31:16	SR	slew rate control 0: fast slew 1: slow slew
15:0	DR	driving strength 0: high driving strength 1: low driving strength

27.11.22 PortX 额外数字功能选择寄存器

名称	Name: PxDFS							
地址	0x40000F04+x*0x14							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	DFS[15:8]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	DFS[7:0]							
位权限	R/W-0000 0000							

Bit	助记符	功能描述
31:16	--	RFU: 未实现, 读为 0
15:0	DFS	数字外设功能选择 (除 PF4 以外) 0: 功能 1 1: 功能 2 详细功能分配参见 1.4 章节

27.11.23 PortX 下拉使能寄存器

名称	Name: PxPDEN							
地址	0x40000F04+x*0x18							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	PxPDEN[15:8]							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	PxPDEN[7:0]							



位权限

R/W-0000 0000

Bit	助记符	功能描述
31:16	--	RFU: 未实现, 读为 0
15:0	PxPDEN	GPIO 下拉控制 0: 关闭上拉 1: 使能上拉 注意: 同一个 IO 的 PDEN 不能与 PUEN 同时置位

28 专用编程接口

28.1 概述

FM33A048D芯片可使用复旦微电子所提供的专用编程器，或者通过Bootloader下载用户程序。编程器通过专用编程接口(SWD)与芯片通信，完成程序下载，并可对Flash全空间内容进行Checksum校验。

28.2 编程器使用

编程器的使用方法请参考应用手册，或联系复旦微电子公司。

28.3 器件签名信息芯片 UID

FM33A048D系列每颗MCU的器件UID都是全球唯一的，由原厂写入，出厂后不可改写。

UID共128bits，保存在Flash特殊扇区，软件运行时可以读取此UID，用于实现代码保护或安全启动类应用。

UID访问地址是0x1FFF_FC10~0x1FFF_FC1F。

上海复旦微电子集团股份有限公司销售及服务网点

上海复旦微电子集团股份有限公司

地址：上海市国泰路 127 号 4 号楼

邮编：200433

电话：(86-021) 6565 5050

传真：(86-021) 6565 9115

上海复旦微电子（香港）股份有限公司

地址：香港九龙尖沙咀东嘉连威老道 98 号东海商业中心 5 楼 506 室

电话：(852) 2116 3288 2116 3338

传真：(852) 2116 0882

北京办事处

地址：北京市东城区东直门北小街青龙胡同 1 号歌华大厦 B 座 423 室

邮编：100007

电话：(86-10) 8418 6608

传真：(86-10) 8418 6211

深圳办事处

地址：深圳市华强北路 4002 号圣廷苑酒店世纪楼 1301 室

邮编：518028

电话：(86-0755) 8335 0911 8335 1011 8335 2011 8335 0611

传真：(86-0755) 8335 9011

台湾办事处

地址：台北市 114 内湖区内湖路一段 252 号 12 楼 1225 室

电话：(886-2) 7721 1889

传真：(886-2) 7722 3888

新加坡办事处

地址：237, Alexandra Road, #07-01, The Alexcior, Singapore 159929

电话：(65) 6472 3688

传真：(65) 6472 3669

北美办事处

地址：2490 W. Ray Road Suite#2 Chandler, AZ 85224 USA

电话：(480) 857-6500 ext 18

公司网址：<http://www.fmsh.com/>