

零死角玩转STM32—M4系列



高级定时器

淘宝：firestm32.taobao.com

野火论坛：www.firebbs.cn

主讲内容



01

定时器简介

02

高级定时器功能框图讲解

参考资料: 《零死角玩转STM32》

“TIM—高级定时器” 章节

定时器简介



定时器功能：定时、输出比较、输入捕获、断路输入

定时器分类：基本定时器、通用定时器、高级定时器

定时器资源：407有2个高级定时器、10个通用定时器、2个基本定时器

定时器简介



各个定时器特性

表 31-1 各个定时器特性

定时器类型	Timer	计数器分辨率	计数器类型	预分频系数	DMA 请求生成	捕获/比较通道	互补输出	最大接口时钟(MHz)	最大定时器时钟(MHz)
高级控制	TIM1 和 TIM8	16 位	递增、递减、递增/递减	1~65536(整数)	有	4	有	90 (APB2)	180
通用	TIM2, TIM5	32 位	递增、递减、递增/递减	1~65536(整数)	有	4	无	45 (APB1)	90/180
	TIM3, TIM4	16 位	递增、递减、递增/递减	1~65536(整数)	有	4	无	45 (APB1)	90/180
	TIM9	16 位	递增	1~65536(整数)	无	2	无	90 (APB2)	180
	TIM10, TIM11	16 位	递增	1~65536(整数)	无	1	无	90 (APB2)	180
	TIM12	16 位	递增	1~65536(整数)	无	2	无	45 (APB1)	90/180
	TIM13, TIM14	16 位	递增	1~65536(整数)	无	1	无	45 (APB1)	90/180
基本	TIM6 和 TIM7	16 位	递增	1~65536(整数)	有	0	无	45 (APB1)	90/180

高级定时器简介



高级定时器功能简介

1-计数器16bit，上/下/两边计数，TIM1和TIM8，还有一个重复计数器RCR，独有。

2-有4个GPIO，其中通道1~3还有互补输出GPIO

3-时钟来自PCLK2，可实现1~65536分频

高级定时器GPIO说明



表 33-1 高级控制和通用定时器通道引脚分布

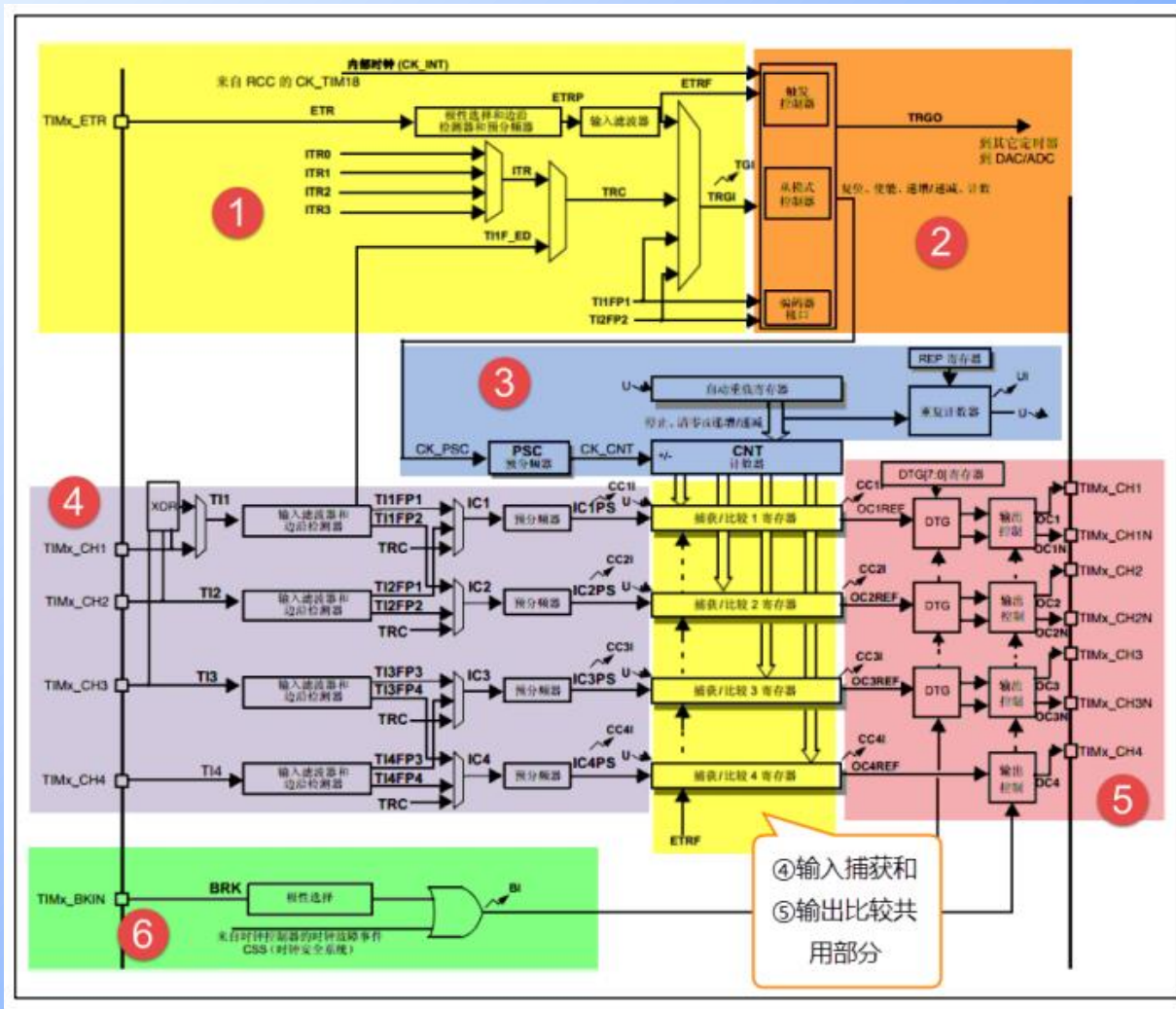
	高级控制		通用定时器									
	TIM1	TIM8	TIM2	TIM5	TIM3	TIM4	TIM9	TIM10	TIM11	TIM12	TIM13	TIM14
CH1	PA8/PE9	PC6	PA0/PA5	PA0	PA6/P C6/PB 4	PD12/ PB6	PE5/ PA2	PF6/ PB8	PF7/ PB9	PB14	PF8/ PA6	PF9/ PA7
CH1N	PA7/PE8/ PB13	PA5/P A7										
CH2	PE11/PA 9	PC7	PA1/PB3	PA1	PA7/P C7/PB 5	PD13/ PB7	PE6/ PA3			PB15		
CH2N	PB0/PE10 /PB14	PB0/P B14										
CH3	PE13/PA 10	PC8	PA2/PB1 0	PA2	PB0/P C8	PD14/ PB8						
CH3N	PB1/PE12 /PB15	PB1/P B15										
CH4	PE14/PA 11	PC9	PA3/PB1 1	PA3	PB1/P C9	PD15/ PB9						
ETR	PE7/PA1 2	PA0/P I3	PA0/PA5 /PA15		PD2	PE0						
BKIN	PA6/PE1 5/PB12	PA6/P I4										

其他型号STM32可参考数据手册的引脚说明章节

高级定时器功能框图讲解



- 1-时钟源
- 2-控制器
- 3-时基
- 4-输入捕获
- 5-输出比较
- 6-断路功能





一、时钟源

1-内部时钟源CK_INT

2-外部时钟模式1—外部的GPIO Tix (x=1 2 3 4)

3-外部时钟模式2—外部的GPIO ETR

4-内部触发输入—I TRx (x=1 2 3 4)



内部时钟源

1-内部时钟源来自RCC的TIMx_CLK

2-TIMx_CLK等于多少呢？如何确定？

具体的查看：**RCC 专用时钟配置寄存器 (RCC_DCKCFGR)**

高级定时器功能框图讲解



外部时钟1（有点像编码器模式）

外部时钟模式 1

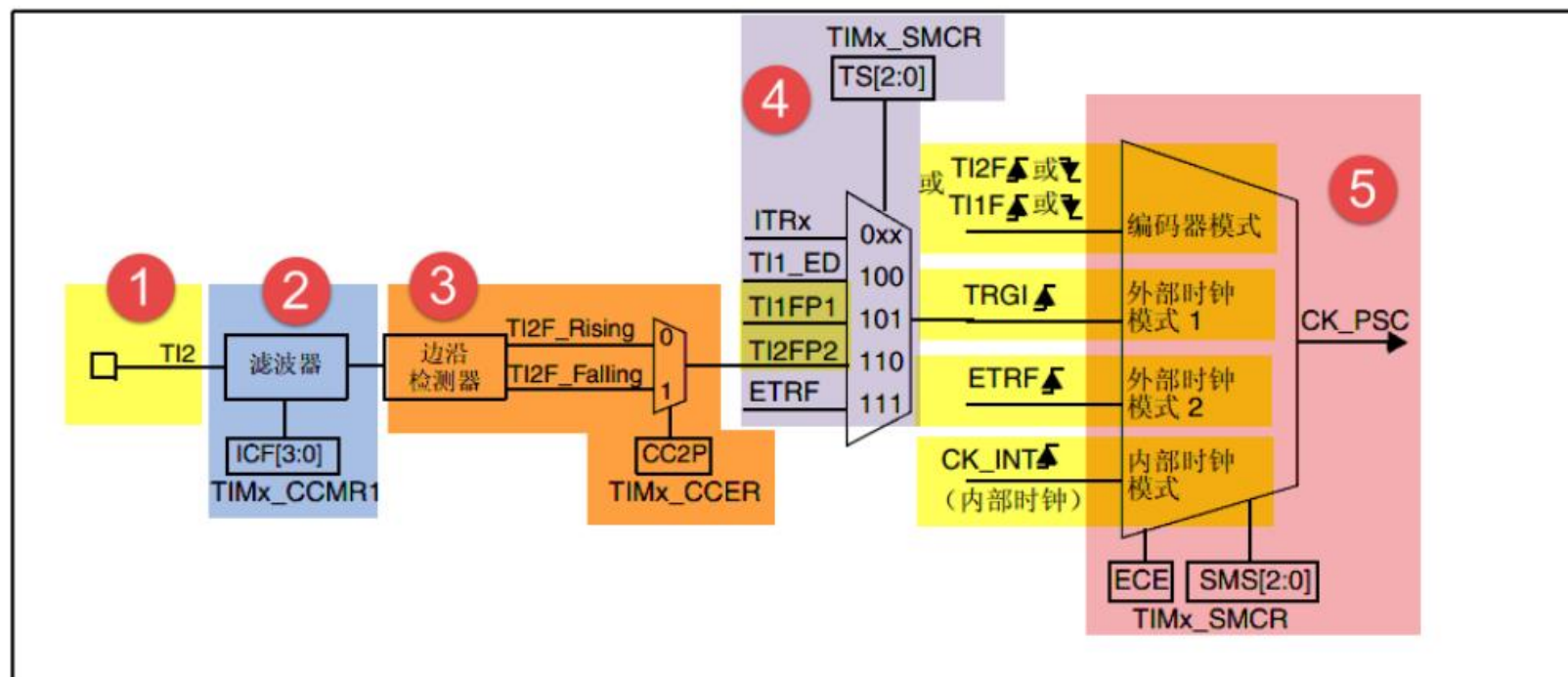


图 32-2 外部时钟模式 1 框图



①时钟信号输入引脚

1-外部的GPIO T_{Ix}，对应：TIM_x_CH1/2/3/4

2-TIM_CCMR_x 的位 CC_xS[1:0]配置，其中 CCMR1 控制 TI1/2，CCMR2 控制 TI3/4



②滤波器

- 1-如果来自外部的时钟信号的频率过高或者混杂有高频干扰信号的话，我们就需要使用滤波器对 ETRP 信号重新采样，来达到降频或者去除高频干扰的目的，
- 2-由TIMx_CCMx 的位 ICxF[3:0]配置。



③边沿检测

1-边沿检测的信号来自于滤波器的输出，在成为触发信号之前，需要进行边沿检测，决定是上升沿有效还是下降沿有效。

2-由 TIMx_CCER 的位 CCxP 和 CCxNP 配置。



④触发选择

1-当使用外部时钟模式 1 时，触发源有两个，一个是滤波后的定时器输入 1 (TI1FP1) 和滤波后的定时器输入 2 (TI2FP2)。

2-由 TIMx_SMCR 的位 TS[2:0]配置。



⑤从模式选择

1-选定了触发源信号后，最后我们需把信号连接到 TRGI 引脚，让触发信号成为外部时钟模式 1 的输入，最终等于 CK_PSC，然后驱动计数器 CNT 计数。

2-具体的配置TIMx_SMCR 的位 SMS[2:0]为 000 即可选择外部时钟模式 1。



⑥使能计数器

1-经过上面的 5 个步骤之后，最后我们只需使能计数器开始计数，外部时钟模式 1 的配置就算完成。

2-使能计数器由 TIMx_CR1 的位 CEN 配置。

高级定时器功能框图讲解



外部时钟2

外部时钟模式 2

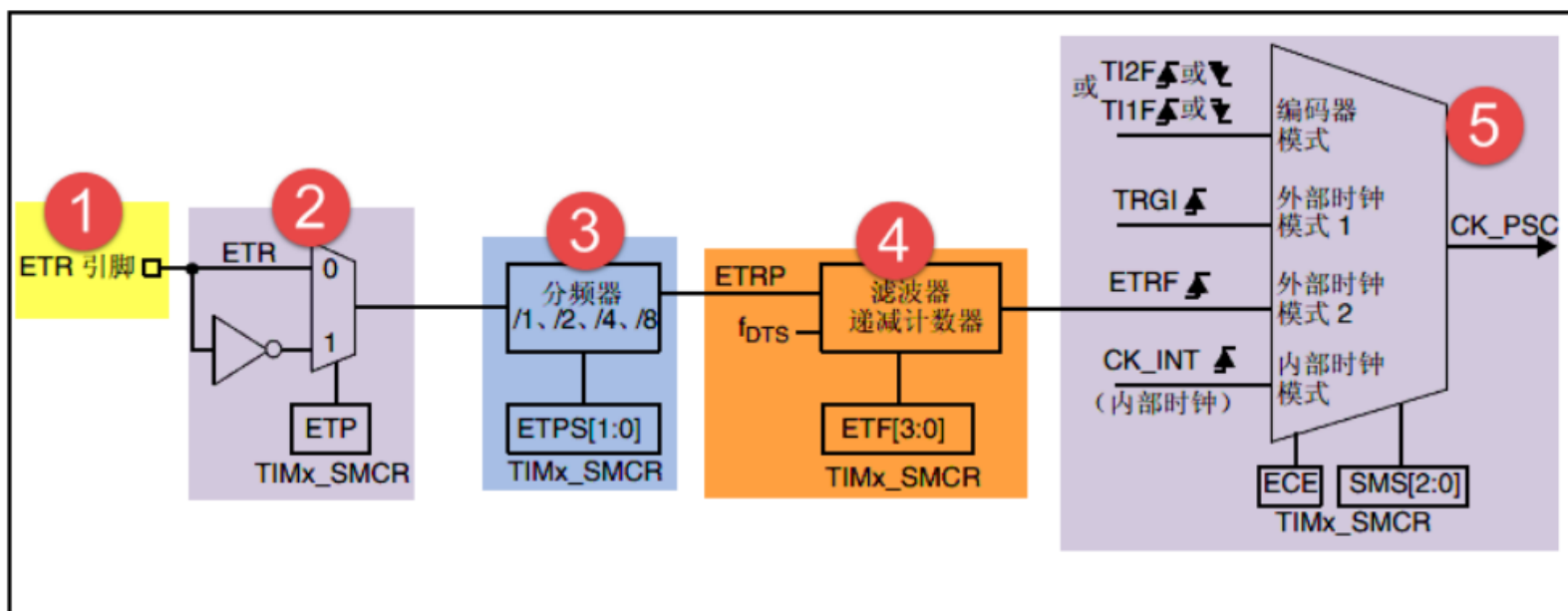


图 32-3 外部时钟模式 2 框图



①时钟信号输入引脚

当使用外部时钟模式 2 的时候，时钟信号来自于定时器的特定输入通道 TIMx_ETR，只有 1 个。



②外部触发极性

1-来自 ETR 引脚输入的信号可以选择为上升沿或者下降沿有效。

2-具体的由 TIMx_SMCR的位 ETP 配置。



③外部触发预分频器

1-由于 ETRP 的信号频率不能超过 TIMx_CLK (180M) 的 1/4 , 当触发信号的频率很高的情况下 , 就必须使用分频器来降频。

2-具体的由 TIMx_SMCR 的位 ETPS[1:0]配置。



④滤波器

1-如果 ETRP 的信号频率过高或者混杂有高频干扰信号的，需要使用滤波器对 ETRP 信号重新采样，来达到降频或者去除高频干扰的目的。

2-具体的由 TIMx_SMCR 的位 ETF[3:0]配置，其中的 fDTS 是由内部时钟 CK_INT 分频得到，具体的由 TIMx_CR1 的位 CKD[1:0]配置。



⑤从模式选择

1-经过滤波器滤波的信号连接到 ETRF 引脚后，触发信号成为外部时钟模式 2 的输入，最终等于 CK_PSC，然后驱动计数器 CNT 计数。

2-具体的配置 TIMx_SMCR 的位 ECE 为 1即可选择外部时钟模式 2。



⑥使能计数器

1-经过上面的 5 个步骤之后，最后我们只需使能计数器开始计数，外部时钟模式 2 的配置就算完成。

2-使能计数器由 TIMx_CR1 的位 CEN 配置。



内部触发输入

- 1-内部触发输入是使用一个定时器作为另一个定时器的预分频器。硬件上高级控制定时器和通用定时器在内部连接在一起，可以实现定时器同步或级联。
- 2- 由TIMx_SMCR 的位 TS[2:0]配置。

高级定时器功能框图讲解



内部触发连接

表 72. TIMx 内部触发连接

从 TIM	ITR0 (TS = 000)	ITR1 (TS = 001)	ITR2 (TS = 010)	ITR3 (TS = 011)
TIM1	TIM5	TIM2	TIM3	TIM4
TIM8	TIM1	TIM2	TIM4	TIM5

高级定时器功能框图讲解



TIM1为TIM2提供时钟

图 32-4 为主模式定时器(TIM1)为从模式定时器(TIM2)提供时钟, 即 TIM1 用作 TIM2 的预分频器。

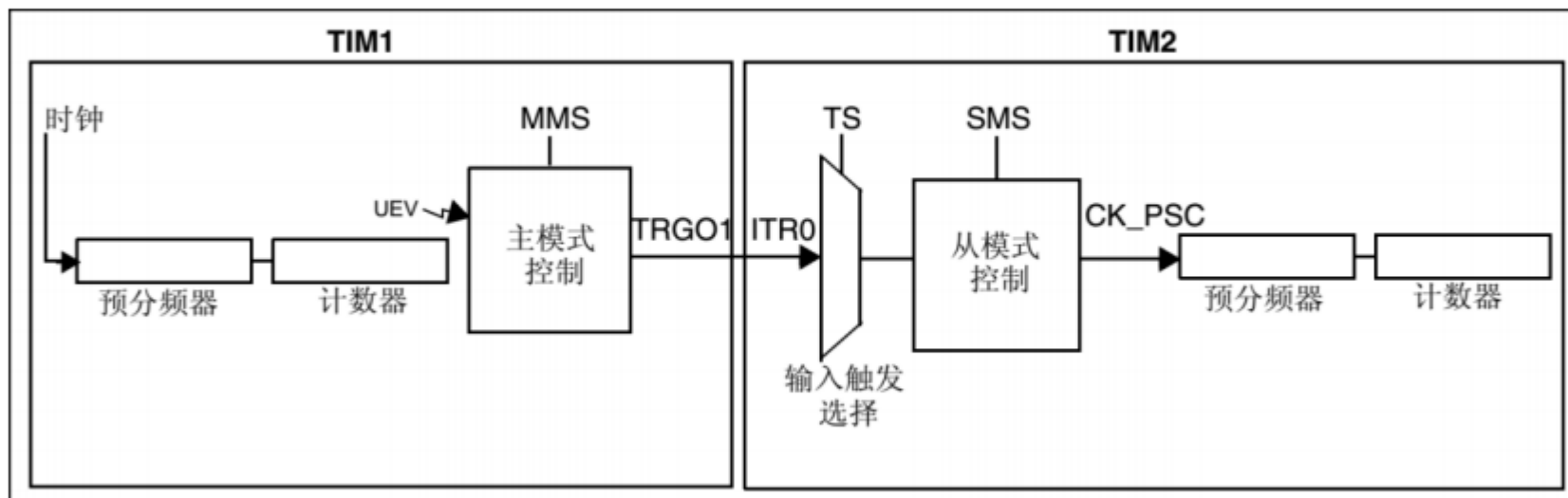


图 32-4 TIM1 用作 TIM2 的预分频器



二、控制器

1-控制器就是用来控制的，发送命令的

2-CR1、CR2、SMCR、CCER，主要学习这几个寄存器即可。

高级定时器功能框图讲解



三、时基单元

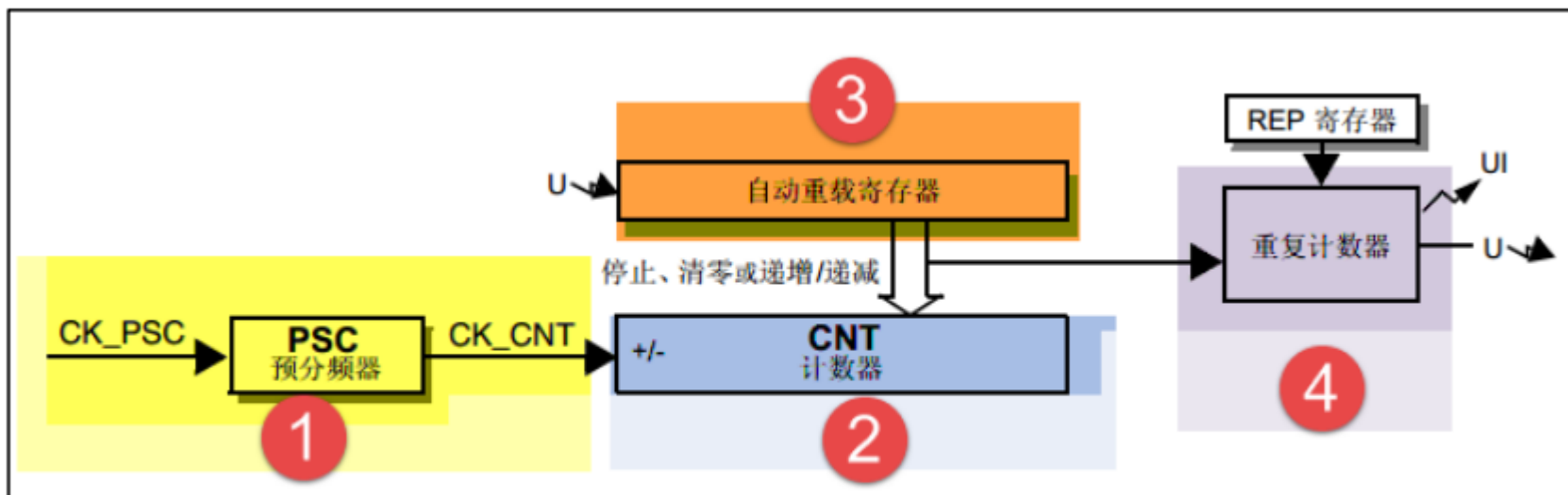


图 32-5 高级定时器时基单元



时基单元的组成

1-16位的预分频器 PSC , TIMx_PSC

2-16位的计数器CNT , TIMx_CNT

3-8位的重复计数器RCR , TIMx_RCR (高级定时器独有)

3-16位的自动重装载寄存器ARR , TIMx_ARR



预分频器

预分频器 PSC

预分频器 PSC，有一个输入时钟 CK_PSC 和一个输出时钟 CK_CNT。输入时钟 CK_PSC 就是上面时钟源的输出，输出 CK_CNT 则用来驱动计数器 CNT 计数。通过设置预分频器 PSC 的值可以得到不同的 CK_CNT，实际计算为： f_{CK_CNT} 等于 $f_{CK_PSC}/(PSC[15:0]+1)$ ，可以实现 1 至 65536 分频。

高级定时器功能框图讲解



计数器（上/下/两边）

- (1) 递增计数模式下，计数器从 0 开始计数，每来一个 CK_CNT 脉冲计数器就增加 1，直到计数器的值与自动重载寄存器 ARR 值相等，然后计数器又从 0 开始计数并生成计数器上溢事件，计数器总是如此循环计数。如果禁用重复计数器，在计数器生成上溢事件就马上生成更新事件(UEV)；如果使能重复计数器，每生成一次上溢事件重复计数器内容就减 1，直到重复计数器内容为 0 时才会生成更新事件。
- (2) 递减计数模式下，计数器从自动重载寄存器 ARR 值开始计数，每来一个 CK_CNT 脉冲计数器就减 1，直到计数器值为 0，然后计数器又从自动重载寄存器 ARR 值开始递减计数并生成计数器下溢事件，计数器总是如此循环计数。如果禁用重复计数器，在计数器生成下溢事件就马上生成更新事件；如果使能重复计数器，每生成一次下溢事件重复计数器内容就减 1，直到重复计数器内容为 0 时才会生成更新事件。
- (3) 中心对齐模式下，计数器从 0 开始递增计数，直到计数值等于(ARR-1)值生成计数器上溢事件，然后从 ARR 值开始递减计数直到 1 生成计数器下溢事件。然后又从 0 开始计数，如此循环。每次发生计数器上溢和下溢事件都会生成更新事件。



自动重载寄存器

自动重载寄存器 ARR

自动重载寄存器 ARR 用来存放与计数器 CNT 比较的值，如果两个值相等就递减重复计数器。可以通过 TIMx_CR1 寄存器的 ARPE 位控制自动重载影子寄存器功能，如果 ARPE 位置 1，自动重载影子寄存器有效，只有在事件更新时才把 TIMx_ARR 值赋给影子寄存器。如果 ARPE 位为 0，则修改 TIMx_ARR 值马上有效。



重复计数器

自动重载寄存器 ARR

自动重载寄存器 ARR 用来存放与计数器 CNT 比较的值，如果两个值相等就递减重复计数器。可以通过 TIMx_CR1 寄存器的 ARPE 位控制自动重载影子寄存器功能，如果 ARPE 位置 1，自动重载影子寄存器有效，只有在事件更新时才把 TIMx_ARR 值赋给影子寄存器。如果 ARPE 位为 0，则修改 TIMx_ARR 值马上有效。

高级定时器功能框图讲解



四、输入捕获

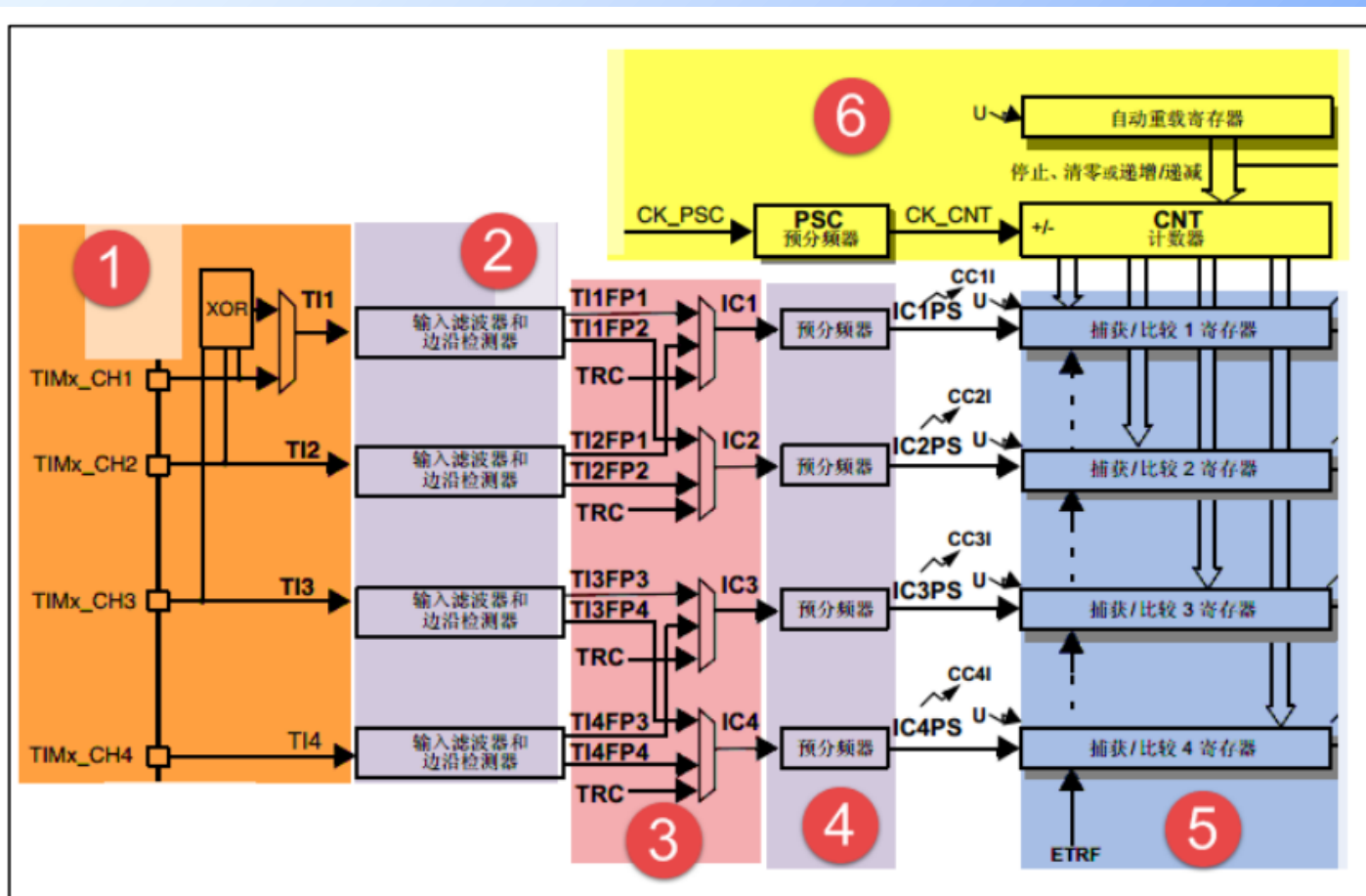


图 32-6 输入捕获功能框图



输入捕获的作用和原理

输入捕获可以对输入的信号的上升沿，下降沿或者双边沿进行捕获，常用的有测量输入信号的脉宽和测量 PWM 输入信号的频率和占空比这两种。

输入捕获的大概的原理就是，当捕获到信号的跳变沿的时候，把计数器 CNT 的值锁存到捕获寄存器 CCR 中，把前后两次捕获到的 CCR 寄存器中的值相减，就可以算出脉宽或者频率。如果捕获的脉宽的时间长度超过你的捕获定时器的周期，就会发生溢出，这个我们需要做额外的处理。



①输入通道

当使用需要被测量的信号从定时器的外部引脚 TIMx_CH1/2/3/4 进入，通常叫 TI1/2/3/4，在后面的捕获讲解中对于要被测量的信号我们都以 TIx 为标准叫法。

高级定时器功能框图讲解



②输入滤波和边沿检测

当输入的信号存在高频干扰的时候，我们需要对输入信号进行滤波，即进行重新采样，根据采样定律，采样的频率必须大于等于两倍的输入信号。比如输入的信号为 1M，又存在高频的信号干扰，那么此时就很有必要进行滤波，我们可以设置采样频率为 2M，这样可以在保证采样到有效信号的基础上把高于 2M 的高频干扰信号过滤掉。

滤波器的配置由 CR1 寄存器的位 CKD[1:0]和 CCMR1/2 的位 ICxF[3:0]控制。从 ICxF 位的描述可知，采样频率 f_{SAMPLE} 可以由 $f_{\text{CK_INT}}$ 和 f_{DTS} 分频后的时钟提供，其中是 $f_{\text{CK_INT}}$ 内部时钟， f_{DTS} 是 $f_{\text{CK_INT}}$ 经过分频后得到的频率，分频因子由 CKD[1:0]决定，可以是不分频，2 分频或者是 4 分频。

边沿检测器用来设置信号在捕获的时候是什么边沿有效，可以是上升沿，下降沿，或者是双边沿，具体的由 CCER 寄存器的位 CCxP 和 CCxNP 决定。

高级定时器功能框图讲解



③捕获通道

捕获通道就是图中的 IC1/2/3/4，每个捕获通道都有相对应的捕获寄存器 CCR1/2/3/4，当发生捕获的时候，计数器 CNT 的值就会被锁存到捕获寄存器中。

这里我们要搞清楚输入通道和捕获通道的区别，输入通道是用来输入信号的，捕获通道是用来捕获输入信号的通道，一个输入通道的信号可以同时输入给两个捕获通道。比如输入通道 TI1 的信号经过滤波边沿检测器之后的 TI1FP1 和 TI1FP2 可以进入到捕获通道 IC1 和 IC2，其实这就是我们后面要讲的 PWM 输入捕获，只有一路输入信号（TI1）却占用了两个捕获通道（IC1 和 IC2）。当只需要测量输入信号的脉宽时候，用一个捕获通道即可。输入通道和捕获通道的映射关系具体由寄存器 CCMRx 的位 CCxS[1:0]配置。



④预分频器

1-ICx 的输出信号会经过一个预分频器，用于决定发生多少个事件时进行一次捕获。

2-具体的由寄存器 CCMRx 的位 ICxPSC 配置，如果希望捕获信号的每一个边沿，则不分频。

高级定时器功能框图讲解



⑤捕获寄存器

经过预分频器的信号 ICxPS 是最终被捕获的信号，当发生捕获时（第一次），计数器 CNT 的值会被锁存到捕获寄存器 CCR 中，还会产生 CCxI 中断，相应的中断位 CCxIF（在 SR 寄存器中）会被置位，通过软件或者读取 CCR 中的值可以将 CCxIF 清 0。如果发生第二次捕获（即重复捕获：CCR 寄存器中已捕获到计数器值且 CCxIF 标志已置 1），则捕获溢出标志位 CCxOF（在 SR 寄存器中）会被置位，CCxOF 只能通过软件清零。

输入捕获的应用



1、测量脉宽和频率

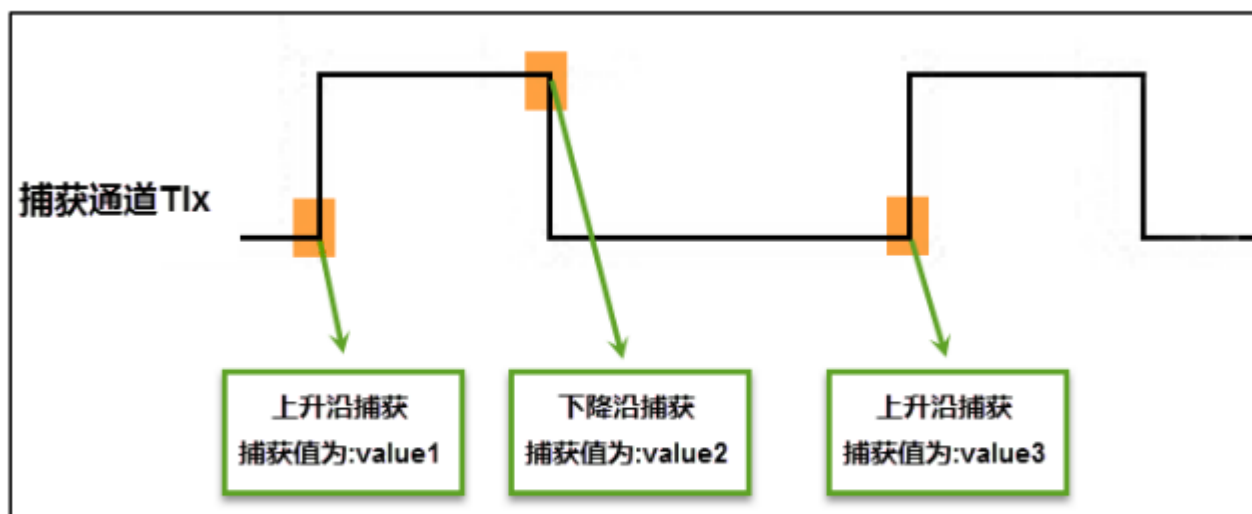


图 32-11 脉宽/频率测量示意图

2、PWM输入模式

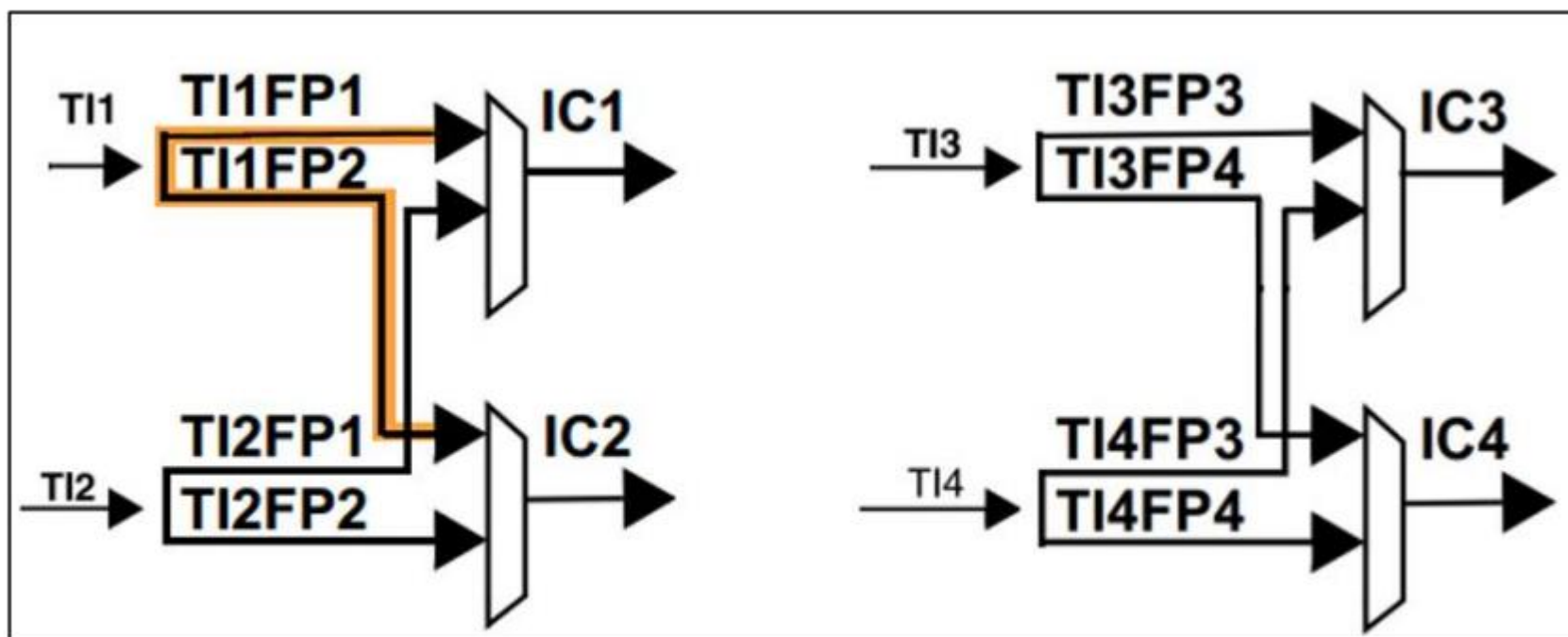
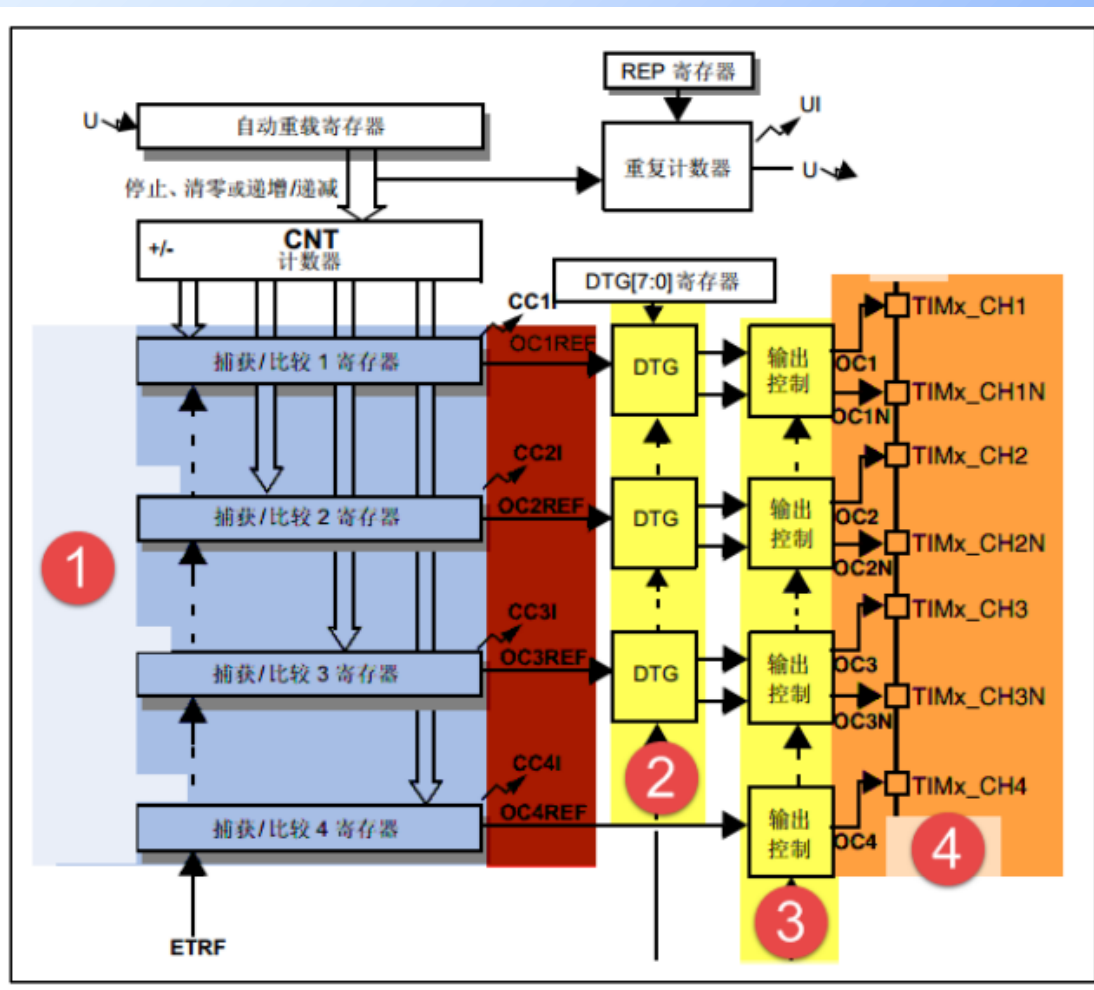


图 32-12 输入通道和捕获通道的关系映射图

高级定时器功能框图讲解



五、输出比较





输出比较的作用

输出比较就是通过定时器的外部引脚对外输出控制信号，有冻结、将通道 X ($x=1,2,3,4$) 设置为匹配时输出有效电平、将通道 X 设置为匹配时输出无效电平、翻转、强制变为无效电平、强制变为有效电平、PWM1 和 PWM2 这八种模式，具体使用哪种模式由寄存器 CCMRx 的位 OCxM[2:0]配置。其中 PWM 模式是输出比较中的特例，使用的也最多。

高级定时器功能框图讲解



①输出比较寄存器

①比较寄存器

当计数器 CNT 的值跟比较寄存器 CCR 的值相等的时候，输出参考信号 OCxREF 的信号极性就会改变，其中 OCxREF=1（高电平）称之为有效电平，OCxREF=0（低电平）称之为无效电平，并且会产生比较中断 CCxI，相应的标志位 CCxIF（SR 寄存器中）会置位。然后 OCxREF 再经过一系列的控制之后就成为真正的输出信号 OCx/OCxN。



②死区发生器

在生成的参考波形 OCxREF 的基础上，可以插入死区时间，用于生成两路互补的输出信号 OCx 和 OCxN，死区时间的大小具体由 BDTR 寄存器的位 DTG[7:0]配置。死区时间的大小必须根据与输出信号相连接的器件及其特性来调整。下面我们简单举例说明下带死区的 PWM 信号的应用，我们以一个板桥驱动电路为例。

高级定时器功能框图讲解



带死区插入的半桥驱动电路

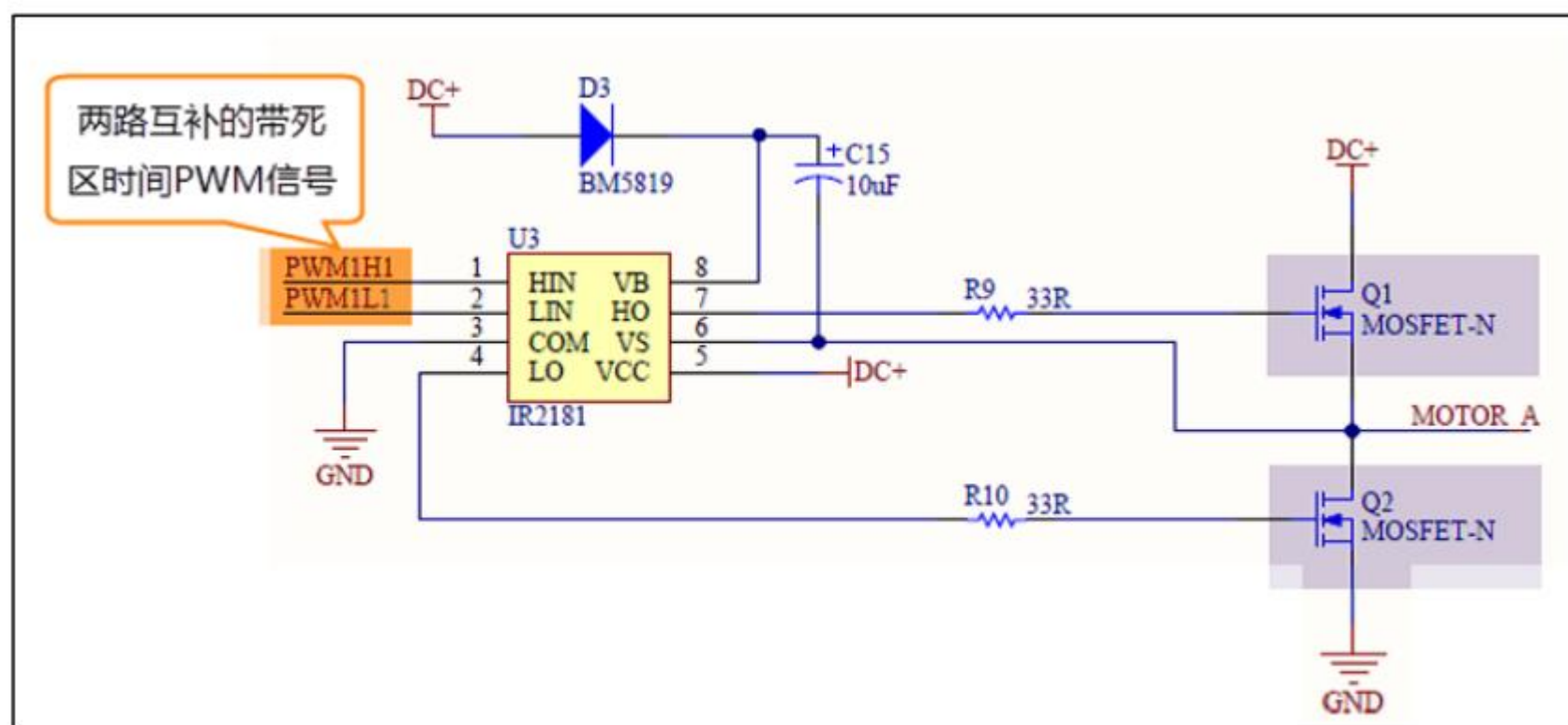


图 32-8 半桥驱动电路

带死区插入的互补输出波形图

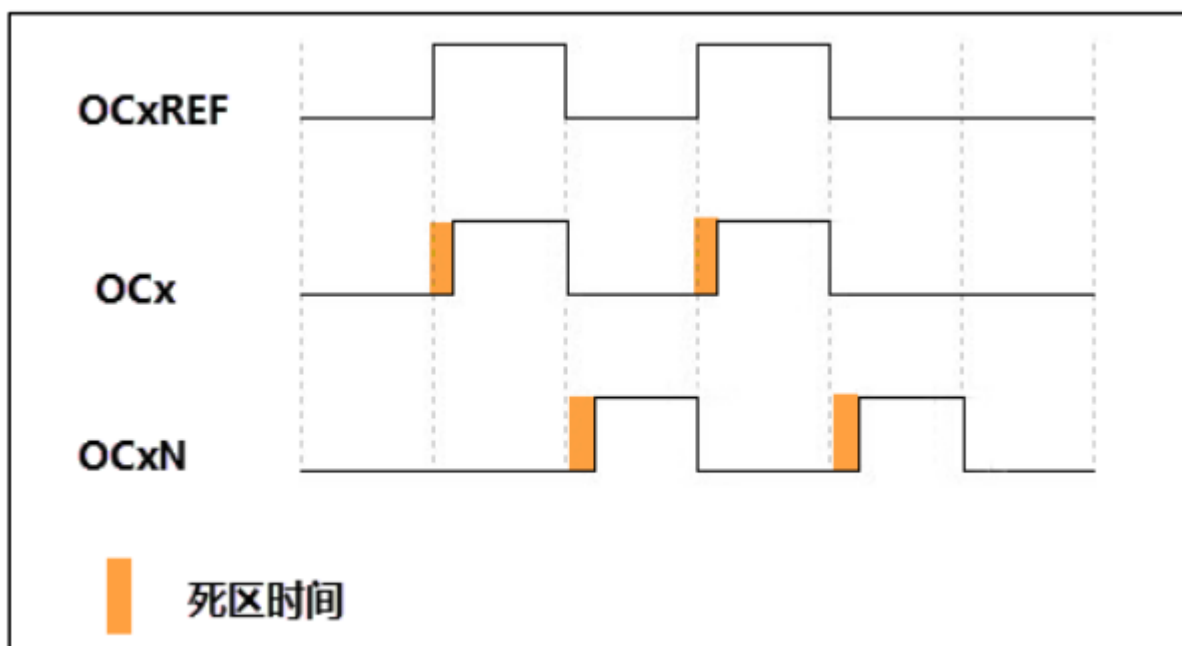
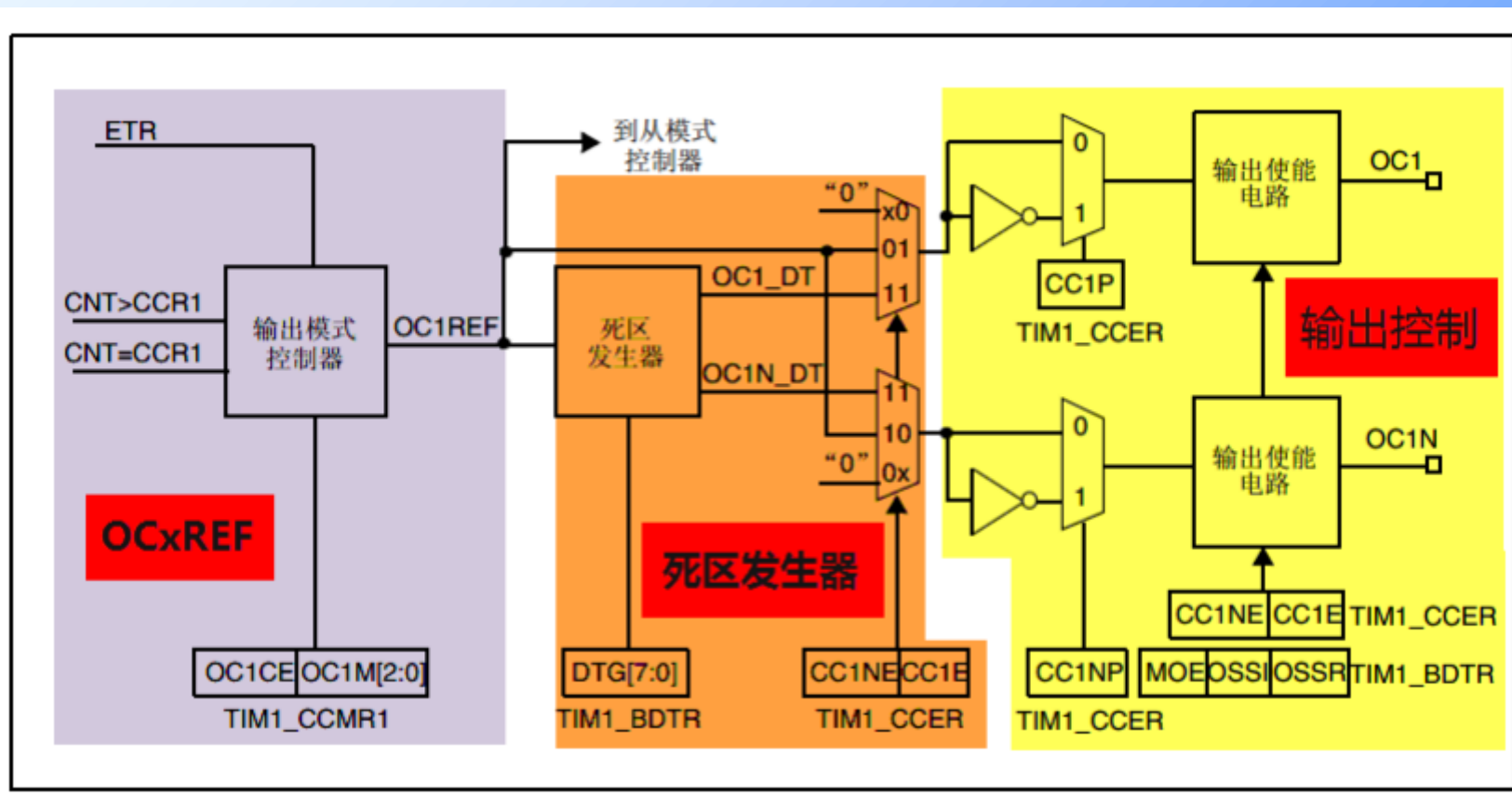


图 32-9 带死区插入的互补输出

高级定时器功能框图讲解



③输出控制



高级定时器功能框图讲解



③输出控制—讲解

在输出比较的输出控制中，参考信号 OCxREF 在经过死区发生器之后会产生两路带死区的互补信号 OCx_DT 和 OCxN_DT（通道 1~3 才有互补信号，通道 4 没有，其余跟通道 1~3 一样），这两路带死区的互补信号然后就进入输出控制电路，如果没有加入死区控制，那么进入输出控制电路的信号就直接是 OCxREF。

进入输出控制电路的信号会被分成两路，一路是原始信号，一路是被反向的信号，具体的由寄存器 CCER 的位 CCxP 和 CCxNP 控制。经过极性选择的信号是否由 OCx 引脚输出到外部引脚 CHx/CHxN 则由寄存器 CCER 的位 CxE/CxNE 配置。

如果加入了断路（刹车）功能，则断路和死区寄存器 BDTR 的 MOE、OSSI 和 OSSR 这三个位会共同影响输出的信号。



④输出引脚

输出比较的输出信号最终是通过定时器的外部 IO 来输出的，分别为 CH1/2/3/4，其中前面三个通道还有互补的输出通道 CH1/2/3N。更加详细的 IO 说明还请查阅相关的数据手册。



输出比较的应用

- 1-输出比较模式总共有 8 种，常用的是PWM模式。
- 2-由寄存器 CCMRx 的位 OCxM[2:0]配置。



PWM输出模式

PWM 输出就是对外输出脉宽（即占空比）可调的方波信号，信号频率由自动重装寄存器 ARR 的值决定，占空比由比较寄存器 CCR 的值决定。

PWM输出模式一分类

表格 32-1 PWM1 与 PWM2 模式的区别

模式	计数器 CNT 计算方式	说明
PWM1	递增	$CNT < CCR$, 通道 CH 为有效, 否则为无效
	递减	$CNT > CCR$, 通道 CH 为无效, 否则为有效
PWM2	递增	$CNT < CCR$, 通道 CH 为无效, 否则为有效
	递减	$CNT > CCR$, 通道 CH 为有效, 否则为无效

有效：高电平；无效：低电平



边沿对齐 VS 中心对齐

- 1-根据CNT的计数方向，PWM波形分成边沿对齐和中心对齐两种。边沿对齐主要用于直流电机，中心对齐主要用于交流电机。
- 2-边沿对齐时，CNT只工作在递增或者递减。
- 3-中心对齐时，CNT工作在递增和递减。

PWM1边沿对齐模式的波形

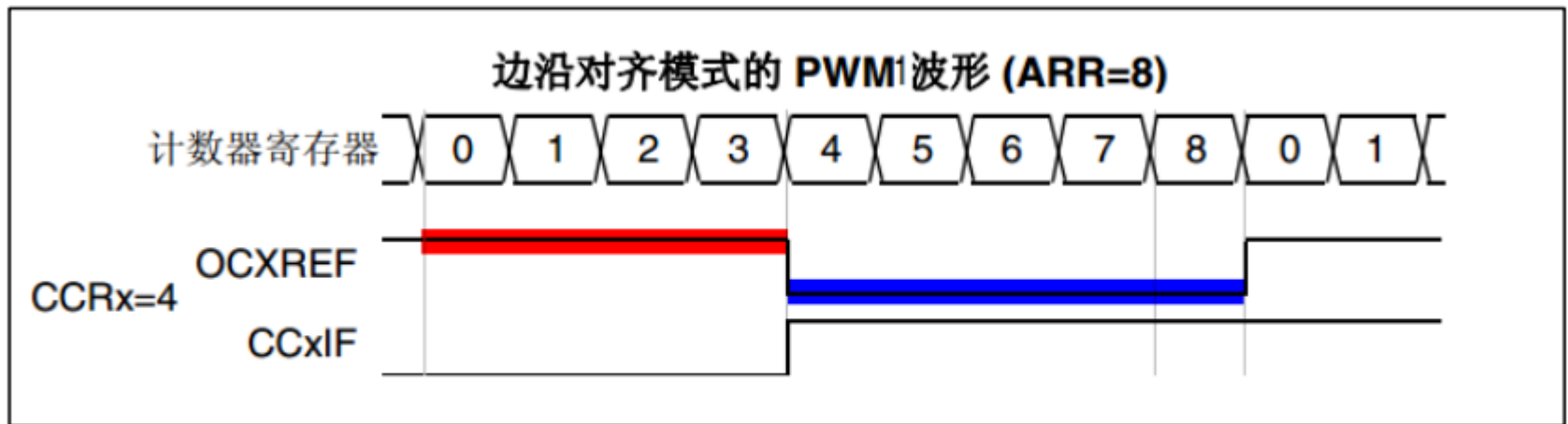


图 32-14 PWM1 模式的边沿对齐波形

PWM1中心对齐模式的波形

2. PWM 中心对齐模式

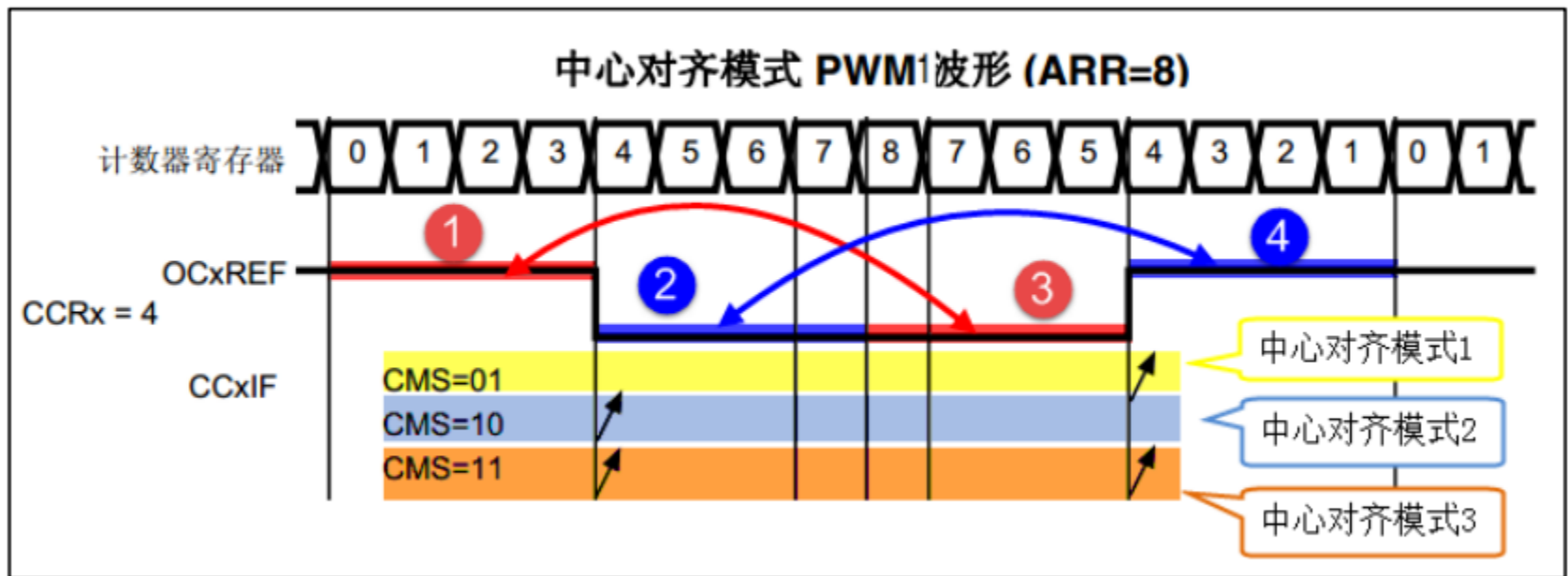


图 32-15 PWM1 模式的中心对齐波形

零死角玩转STM32—M4系列



THANKS

野火论坛 : www.firebbs.cn

淘宝 : firestm32.taobao.com