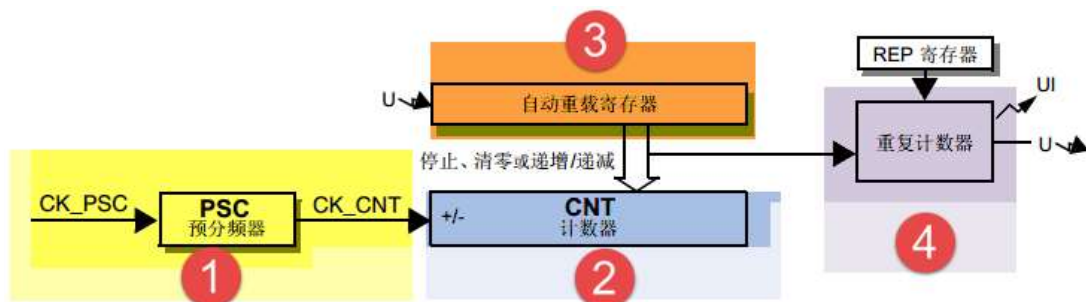


高级定时器 TIM 工作原理及 SVPWM 生成

高级定时器（TIM1 和 TIM8）和通用定时器在基本定时器的基础上引入了外部引脚，可以实现输入捕获和输出比较的功能。高级定时器比通用定时器增加了可编程死区互补输出、重复计数器、带刹车（断路，BKIN）功能，这些功能都是针对工业电机控制方面。

1、时基单元及寄存器

高级定时器实际单元如下图所示



高级定时器实际单元包含一个 16 位自动重载寄存器 ARR；一个 16 位的计数器 CNT，可向上/向下计数；一个 16 位的可编程预分频器 PSC，有内部、外部时钟可选；还有一个 8 位的重复计数器 RCR（高级 TIM 独有）。这样最高可实现 40 位（16+8+16，ARR+RCR+CNT）的可编程定时。

1.1 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 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 $f_{CK_PSC} / (PSC[15:0] + 1)$ ，可实现 1 至 65536 分频。

1.2 计数器 CNT

高级定时器的计数器有三种计数模式，分别为递增计数模式、递减计数模式和递增/递减（中心对齐）计数模式。

（1）递增计数模式：计数器从 0 开始计数，每来一个 CK_CNT 脉冲计数器加 1，直至计数器的值与自动重载寄存器 ARR 相等，然后计数器又从 0 开始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（RCR），在计数器生成上溢事件就马上生成更新事件；如果使能重复计数器，每生成一次上溢事件重复计数器数值减 1，知道重复计数器值为 0，才会生成更新事件。

（2）递减计数模式：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：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（0~ARR-1），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（ARR~1）。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。

1.3 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。如果 ARPE 位置 1，自动重载影子寄存器有效，只有在事件更新时间才把 TIMx_ARR 值赋给影子寄存器。如果 ARPE 位为 0，则修改 TIMx_ARR 的值后立马有效。

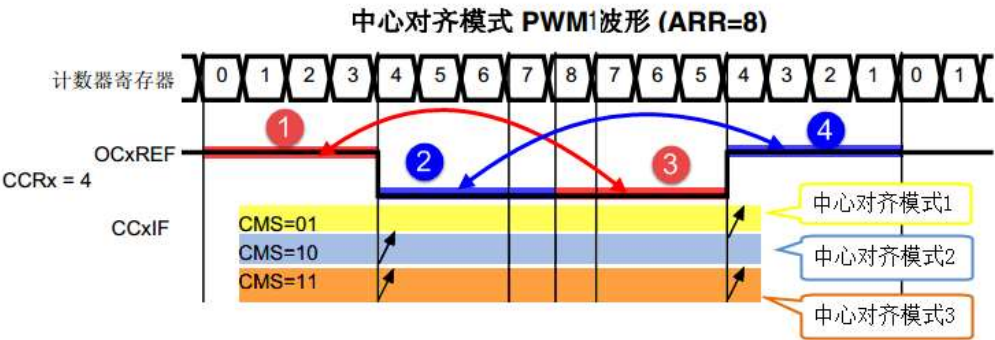
1.4 重复计数器 RCR

在基本/通用定时器发生上/下溢事件时直接就生成更新事件，但对于高级控制定时器却不是这样，高级控制定时器在硬件结构上多出了重复计数器。在定时器发生上溢或下溢事件时，递减重复计数器的值，只有当重复计数器为 0 时才会发生更新事件。在发生 N+1 个上溢或下溢事件（N 为 RCR 的值）时产生更新事件。

2、SVPWM 产生

在 SVPWM 调制中，为保证 PWM 波的中心和 ARR 对应的位置对齐，一般使用中心对齐模式。中心对齐模式又分为中心对齐模式 1/2/3 三种，具体由寄存器 CR1 位 CMS[1:0]配置。具体的区别就是比较中断中断标志位 CCxIF 在何时置 1：中心模式 1 在 CNT 递减计数的时候置 1，中心对齐模式 2 在 CNT 递增计数时置 1，中心模式 3 在 CNT 递增和递减计数时都置 1。

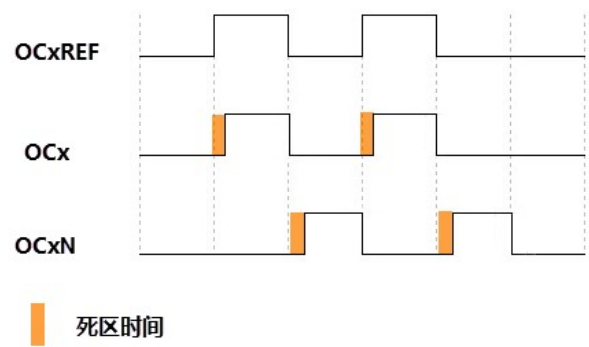
在比较中断发生时，中断服务程序（ISP）将会执行。在 ISR 中，通常需要清除相应的比较中断标志位（CCxIF），以便下一次比较中断能够正确触发。



2.1 设置 PWM 通道

由于三相逆变器有三个桥臂，为防止逆变器上下桥臂直通，在生成 6 路 PWM 信号时

需要注意死区时间。并且应添加断路功能。以 ST 系列为例，下面给出两种方案。



方案一：定时器 TIM1 互补输出

使用 TIM1 的通道 1（PA8）及其互补通道（PB13）作为输出通道，为增加断路功能，需要用到 TIM1_BKIN 引脚（PB12）。系统复位启动默认关闭断路功能，将断路和死区寄存器 TIMx_BDTR 的 BKE 位置 1，使能断路功能；通过 TIMx_BDTR 寄存器的 BKP 位设置断路输入引脚的有效电平，置 1 时输入 BKP 高电平有效，否则低电平有效。当程序上设置断路引脚为高电平有效，当 BKIN 引脚被置高电平时，两路互补的 PWM 输出停止，电机停止动作。

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。

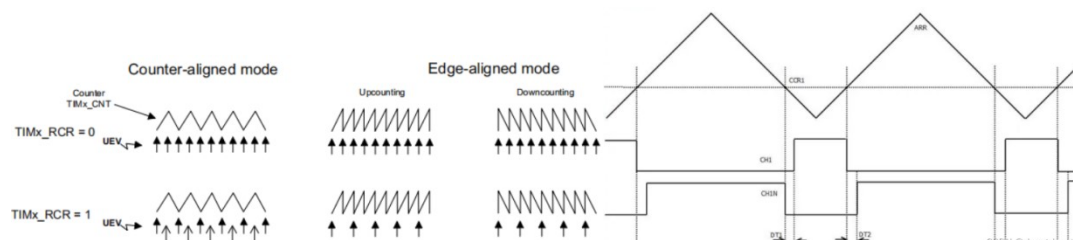
TIM1 其余的两个通道的共四路输出和通道 1 类似。

方案二：定时器 TIM1 普通输出（非互补）

MCU 的 TIM1 三个通道 1/2/3 的主输出输出 PWM 信号，有电机的驱动芯片（例如 STSPIN810）在该三路 PWM 信号上生成对应的互补 PWM 输出共六路，三对带死区和断路的互补 PWM。

PWM 通道模式：根据需求自行设置，这里设置 mode=1，即模式 1，向下计数时产生比较中断。

RCR：在 SVPWM 调制中，使用中心对齐模式，mode=1，向下计数时产生比较中断。为保证相邻两个更新事件的触发时间和 PWM 波周期相等，寄存器 RCR=1，因此当计数器发生 RCR+1=2 次溢出动作（一次上溢，一次下溢）后，触发更新事件。此时计数器的计数过程是周期为 Ts 的三角波。



ARR: 在中心对齐模式下，有计算公式：

$$T_s = \frac{1}{T_{CNT}} * ARR * 2 = \frac{2 * ARR * (PSC + 1)}{T_p}$$

$$\Rightarrow f_{pwm} = \frac{1}{T_s} = \frac{T_p}{2 * ARR * (PSC + 1)}$$

式中， T_s 是 PWM 周期， T_p 是分频器输入的内部时钟（单位 MHz）， T_{CNT} 是分频后的时钟（MHz）， T_{CNT} 作为计数器的计数频率。ARR 是自动重载寄存器的值，PSC 是分频值。

CCR: 比较寄存器 CCR 设置由用户根据实际运行情况计算得到。



影子寄存器:

ARR: 禁止使用预装载寄存器，ARR 值更新后得直接加载到影子寄存器（运行的实时性要求）；

CCR: 使能预装载寄存器，CCR 值更新后存放在预装载寄存器 OCR 中，在下一个更新事件到来时再将 OCR 数据加载到影子寄存器（保证周期内 PWM 波形的对称性和完整性）。

PWM 有效极性:

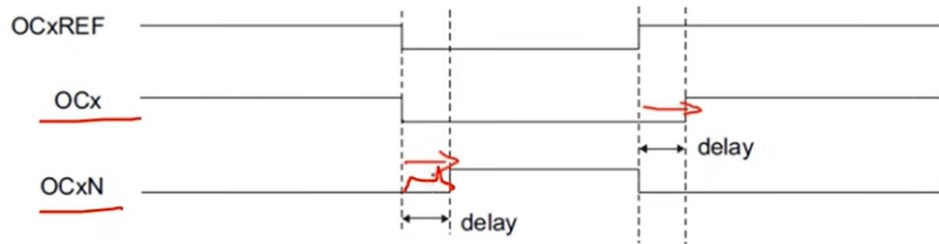
设置为 PWM1，设置极性为高电平，即高电平有效。向上计数时， $TIMx_CNT < TIMx_CCR1$ 时通道 1 为有效电平，否则为无效电平；向下计数时， $TIMx_CNT > TIMx_CCR1$ 时通道 1 为无效电平，否则为有效电平。

设置为 PWM2，设置极性为高电平，即高电平有效。向上计数时， $TIMx_CNT < TIMx_CCR1$ 时通道 1 为无效电平，否则为有效电平；向下计数时， $TIMx_CNT > TIMx_CCR1$ 时通道 1 为有效电平，否则为无效电平。

注: PWM 电平极性反转由硬件完成。

死区时间：

$T_{DTS} = (1,2,4)T_{CK_INT}$ ， T_{DTS} 为死区单位时间， T_{CK_CNT} 为计数器加 1 或减 1 的间隔时间；



DTG[7:0]：死区时间设置寄存器。

当 DTG[7:5]=0xx， $\Rightarrow DT = DTG[7:0] * T_{DTG}$ ； $T_{DTG} = T_{DTS}$

当 DTG[7:5]=10x， $\Rightarrow DT = (64 + DTG[5:0]) * T_{DTG}$ ； $T_{DTG} = 2T_{DTS}$

当 DTG[7:5]=110， $\Rightarrow DT = (32 + DTG[4:0]) * T_{DTG}$ ； $T_{DTG} = 8T_{DTS}$

当 DTG[7:5]=111， $\Rightarrow DT = (32 + DTG[4:0]) * T_{DTG}$ ； $T_{DTG} = 16T_{DTS}$

如果 $T_{DTS} = 125 \text{ ns}$ (8Mhz)，

0 to 15875 ns by 125 ns steps;

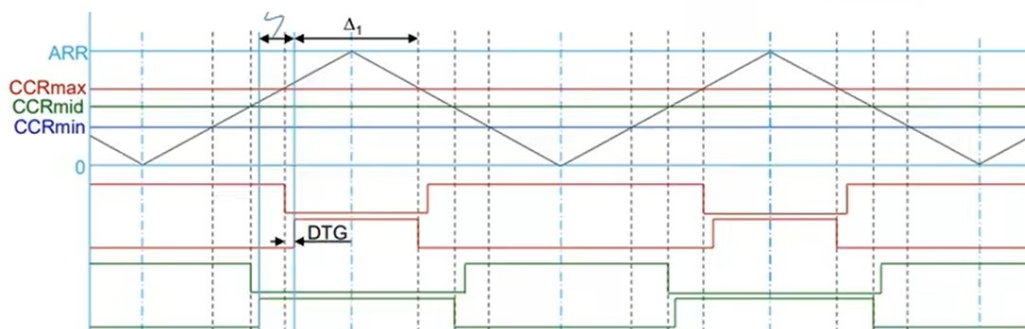
16 us to 31750 ns by 250 ns steps;

32 us to 63 us by 1 us steps;

64 us to 126 us by 2us steps;

逆变器上桥臂 PWM：先高电平，后低电平，再高电平；

逆变器下桥臂 PWM：先低电平，后高电平，再低电平；



ADC 采样通道：

三电阻采样或者两电阻采样，采样点在 PWM 波的中心位置。TIM1 通道 4 设置为 mode2，向上计数比较器中断，设置为 ADC 采样通道，将该通道的 CCR 值设置为 (ARR-1)。因为 ARR-1 处对应三角波的中心，也是通道 1/2/3 生成的 PWM 波的中心。计数器计数到 CNT=ARR-1 时，通道 4 产生高电平，触发 ADC 采样。

定时器触发 ADC 采样，是属于外部触发转换的一种方式。当外部触发信号被选为 ADC 规则或注入转换时，只有它的上升沿可以启动转换。

