Application Note

SPC1068 PWM 使用指南

Revision 1 – September 2017

目录

表格列表

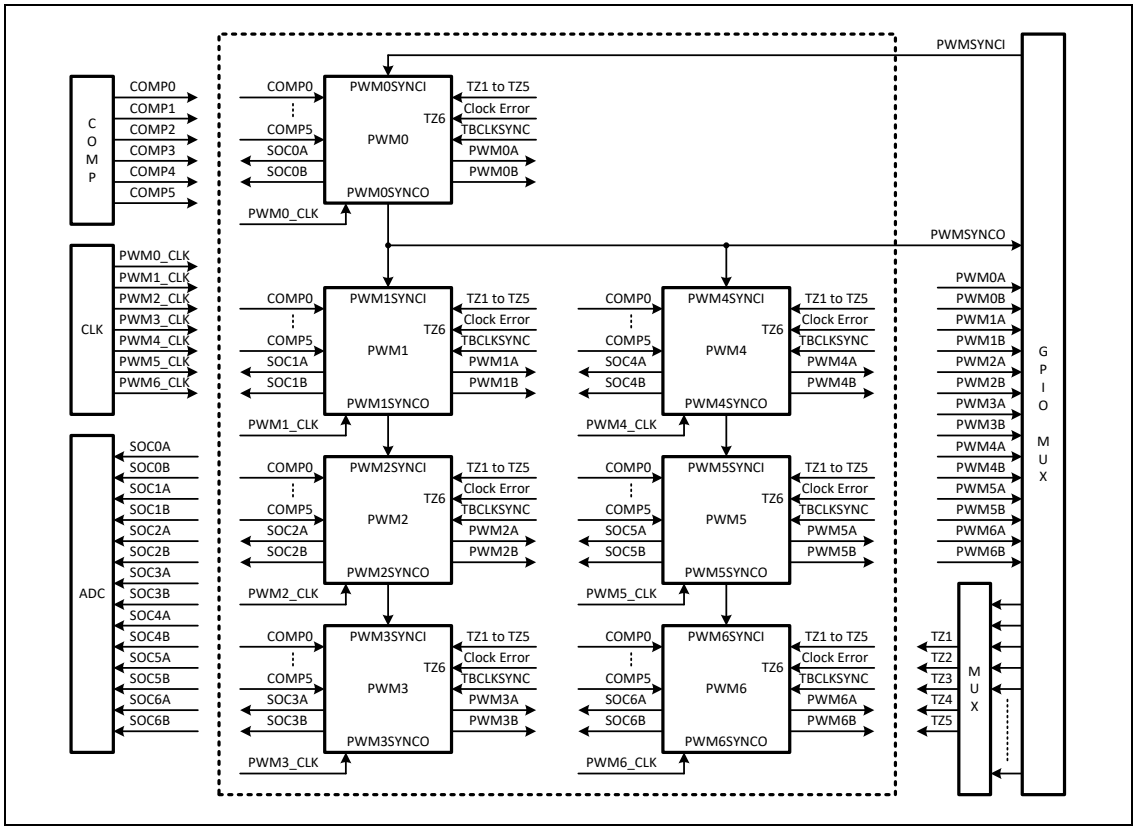
图片列表

1 PWM 单元

1.1 概述

PWM 在电力电子系统中有着至关重要的作用，广泛的应用在电机控制、开关电源及 UPS 中。SPC1068 中带有 7 个独立的 PWM 单元，每个 PWM 单元有两路输出。同时各个 PWM 单元可以连接在一起，产生同步的 PWM 组。

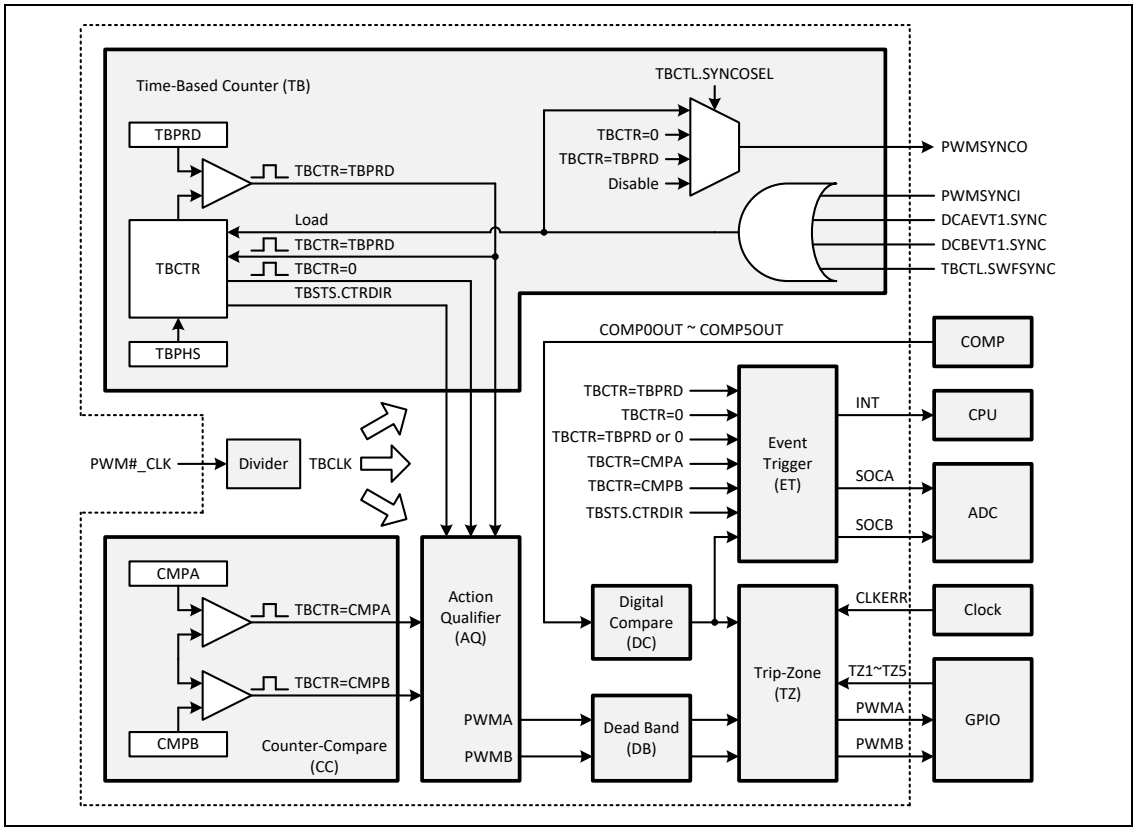
图 1-1. PWM 单元总览



1.2 PWM 单元特性

- 七组 PWM 单元，每组提供两个互补 PWM 输出，亦可编程为双独立输出，提供共 14 组 PWM 输出管脚；
- PWM 的 Clock 频率最高可达 150MHz，可提供高精度 PWM 控制；
- 功能强大的 PWM 触发 ADC 功能，所有的 PWM 事件都可以触发 CPU 中断或者触发 ADC 转换（SOC）；
- 可用软件强制 PWM 输出为特定电平；
- 支持 Cycle-by-cycle 关断 PWM，支持 One-shot 连续关断 PWM；
- 内部比较器 Comparator 可关断任意 PWM，只需简单配置。

图 1-2. PWM 单元功能框图



2 快速 PWM 波形配置

Spintrol 提供了简易的 PWM 设定函数，可快速协助用户设定 PWM 波形。主要的两个 API 函数如表 2-1 所示。

表 2-1. PWM 单元驱动函数

API Name	Description
void PWM_SingleChannelInit(PWM_REGS* PWMx, PWM_ChannelEnum ePWM_CH, uint32_t u32PWMFreqHz)	单个 PWM 信道初始化配置
void PWM_ComplementaryPairChannelInit(PWM_REGS* PWMx, uint32_t u32PWMFreqHz, uint32_t u32DeadTimeNs)	互补 PWM 输出初始化配置
PWM_SetCMPA(PWMx,u16Val)	设定 PWMxA 的比较值
PWM_SetCMPB(PWMx,u16Val)	设定 PWMxB 的比较值

2.1 设定单通道独立 PWM

利用 PWM_SingleChannelInit()，用户可以配置独立单信道 PWM 波形，有关 PWM_SingleChannelInit()的三个输入自变量配置如下表所介绍。

表 2-2. PWM_SingleChannelInit()函数介绍

PWM_SingleChannelInit(PWMx, ePWM_CH, u32PWMFreqHz)	
Parameter	**Description**
PWMx	PWM 单元：PWM0~PWM6
ePWM_CH	指定初始化的是 PWMxA 或是 PWMxB：PWM_CHA 与 PWM_CHB
u32PWMFreqHz	PWM 载波频率(Hz)

一个 PWM 通道设定建议步骤如下：

（1） 务必确认在 main 函数一开始已经调用 Sys_Init 与 Clock_Init

（2） 调用 PWM_SingleChannelInit ()，初始化基本波形

（3） 启动 PWM clock，注意 SPC1068 的 PWM counter 分为四种模式

- Counter Stop
- Count Up and Down
- Count Up
- Count Down

（4） 设定 PWM 的 Duty，在默认的配置中，CMPA 越高，则 Duty 越小

（5） 将管脚配置由 GPIO 改为 PWM 输出，真正将 PWM 波形输出于管脚上。

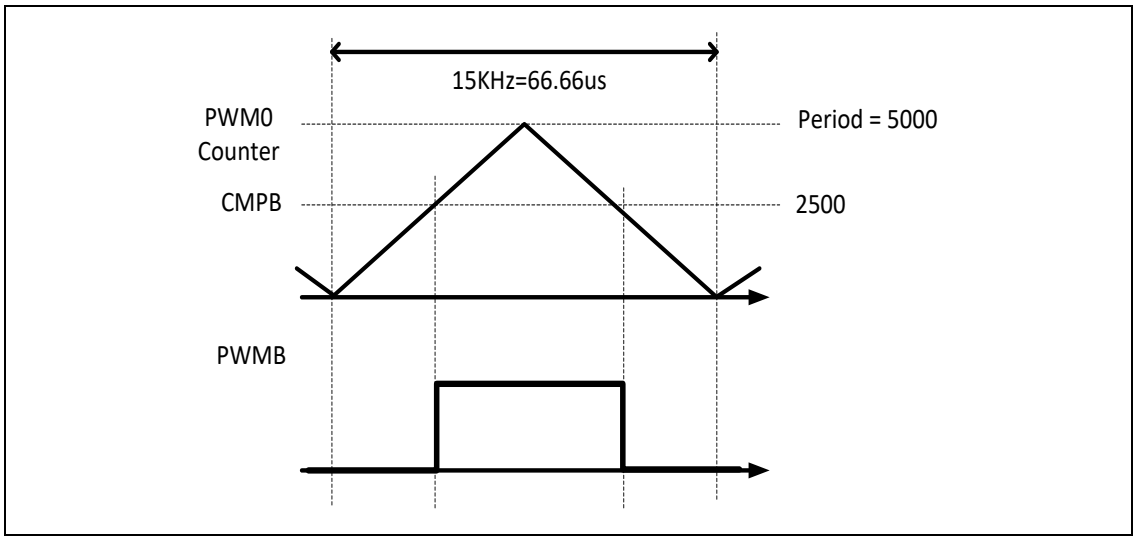
以下代码初始化了 PWM0B，可发送任意 DUTY 的 PWM 波形。

Example Code

```
void main()
{
  /***Step 1: System initial***/
  Sys_Init();
  /*** Step 2: Clock initial***/
  CLOCK_InitWithRCO(CLOCK_HCLK_150MHZ);
  /***Step 3: PWM initial***/
  PWM_SingleChannelInit(PWM0,PWM_CHB,15000);
  /***Start PWM clock with counting up and down***/
  PWM_CounterRunControl(PWM0,COUNT_UP_DOWN_AND_RUN);
  /***Select GPIO23 as PWM0B***/
  GPIO_SetPinChannel(GPIO_23,GPIO23_PWM0B);
  /***Drive PWM0B output 50% Duty***/
  PWM_SetCMPB(PWM0,2500);/* Now period=150000000/15000/2 = 5000 */
}
```

依照以上 Example，波形如下所得：

图 2-1. Example of PWM Single Independent Channel



PWM_SingleChannelInit()配置重点如下：

（1） PWM 波形预设为中央对称型，中央对称型 PWM counter 之周期计算如下：

Period = PWM_Clock_Freq / PWM_Freq/2

以上述为例，PWM 的 Clock 与 HCLK 同频，因此为 150MHz，设定的 PWM 载波率为 15KHz，因此周期为 66.67us。故此时 Period = 5000。

请调用函数 PWM_CounterRunControl(PWM0,COUNT_UP_DOWN_AND_RUN);

此 API 让 PWM 的 counter 上下计数。

（2） 预设当 counter 在往上数遇到 CMP 时，将波形拉低，往下数遇到 CMP 时，将波形拉高。注意：当以此种波形配置时，CMP 越高，代表最终输出的 PWM 波形 Duty 越低，反之亦然。

（3） 务必先执行 Sys_Init()与 CLOCK_InitWithRCO()或是 CLOCK_Init()，否则 PWM clock 可能会有错误。

（4） 本函数不配置 PWM 波形的 dead time，用户若有控制需求，请参阅函数 PWM_ComplementaryPairChannelInit()。

（5） 若使用者需要 PWM clock 跑得比 HCLK 慢，可配置 PWM 内部除频器。

2.2 设定互补 PWM 对

利用 PWM_ComplementaryPairChannelInit()可配置独立单信道 PWM 波形，三个输入自变量配置如下表所介绍。

表 2-3. PWM_ComplementaryPairChannelInit()函数介绍

PWM_ComplementaryPairChannelInit (PWMx, u32PWMFreqHz, u32DeadTimeNs)	
Parameter	**Description**
PWMx	PWM 单元：PWM0~PWM6
u32PWMFreqHz	PWM 载波频率(Hz)
u32DeadTimeNs	PWM 上下臂死区时间，单位为纳秒(ns)

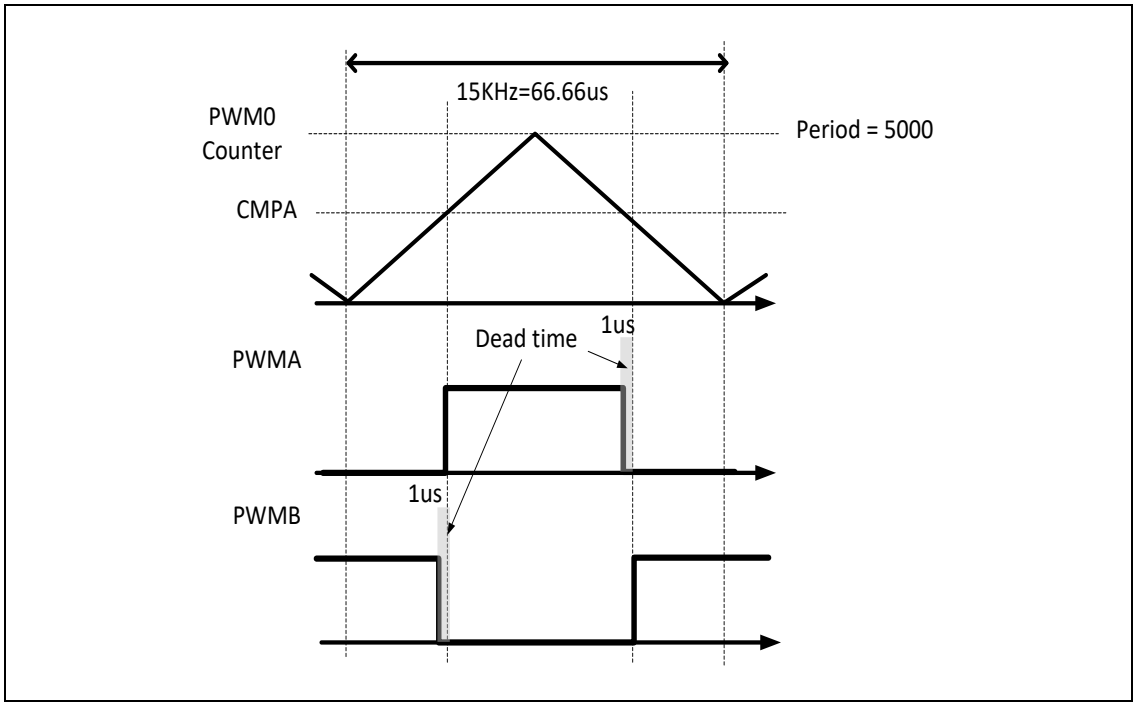
利用 PWM_ComplementaryPairChannelInit ()可配置独立单信道 PWM 波形，以下代码初始化了 PWM0A 与 PWM0B。

Example Code

```
void main()
{
  /*** Step 1: System initial***/
  Sys_Init();

  /*** Step 2: Clock initial***/
  CLOCK_InitWithRCO(CLOCK_HCLK_150MHZ);

  /*** Step 3: PWM initial***/
  PWM_ComplementaryPairChannelInit(PWM0 , 15000, 1000*/);

  /***Start PWM clock with counting up and down***/
  PWM_CounterRunControl(PWM0,COUNT_UP_DOWN_AND_RUN);
  /***Select GPIO23 as PWM0B***/
  GPIO_SetPinChannel(GPIO_23,GPIO23_PWM0B);
  /* Drive PWM0B output 50% Duty */
  PWM_SetCMPA(PWM0,2500); /* Now period = 150000000/15000/2 = 5000 */
}
```

以上配置如下图

图 2-2. Example of PWM Complementary Pair Channel



PWM_ComplementaryPairChannelInit()配置重点如下：

（1） PWM 波形预设为中央对称型，中央对称型 PWM counter 之周期计算如下：

Period = PWM_Clock_Freq / PWM_Freq/2

以上述为例，PWM 的 Clock 与 HCLK 同频，因此为 150MHz，设定的 PWM 载波频率为 15KHz，因此周期为 66.67us。故此时 Period = 5000。

请调用函数 PWM_CounterRunControl(PWM0,COUNT_UP_DOWN_AND_RUN);

此 API 让 PWM 的 counter 上下计数。

（2） 预设当 counter 在往上数遇到 CMPA 时，将波形拉低，往下数遇到 CMPA 时，将波形拉高。注意：当以此种波形配置时，CMPA 越高，代表最终输出的 PWM 波形 Duty 越低，反之亦然。

（3） CMPB 的配置在本配置中不影响波形输出。

（4） 务必先执行 Sys_Init()与 CLOCK_InitWithRCO()或是 CLOCK_Init()，否则 PWM clock 可能会有错误。

（5） 本函数配置 dead time，时间为 1000ns = 1us。

（6） 若使用者需要 PWM clock 跑得比 HCLK 慢，可配置 PWM 内部除频器。

2.3 PWM Trip Zone 功能介绍

PWM trip 功能泛指 PWM 因为特殊状况，可在第一时间将 PWM 关闭，而等待适当的时间重新启动 PWM 波形。SPC1068 支持 Cycle by cycle 与 one-shot(continuous)的 PWM 停止功能。Cycle by cycle 启动时，PWM 波形停止后，会在下一个 PWM 周期重新启动，适合用于恒流斩波，如电源控制中的定电流控制，或是步进电机中的恒流细分控制。One-shot 则是会直接停止 PWM 输出，直到使用者介入，清除 one-shot flag 之后才重新输出波形。

2.4 外部管脚触发停止 PWM

外部管脚触发功能为 Active Low，亦即当外部管脚由高电位转为低电位后，可触发 PWM 波形停止功能。SPC1068 提供的 SDK 只需输入 GPIO 的编号与欲停止的 PWM 模块编号，即可设定完成，注意执行以下代码之后，该 Pin 将自动被初始化为 GPIO 功能。

Example Code

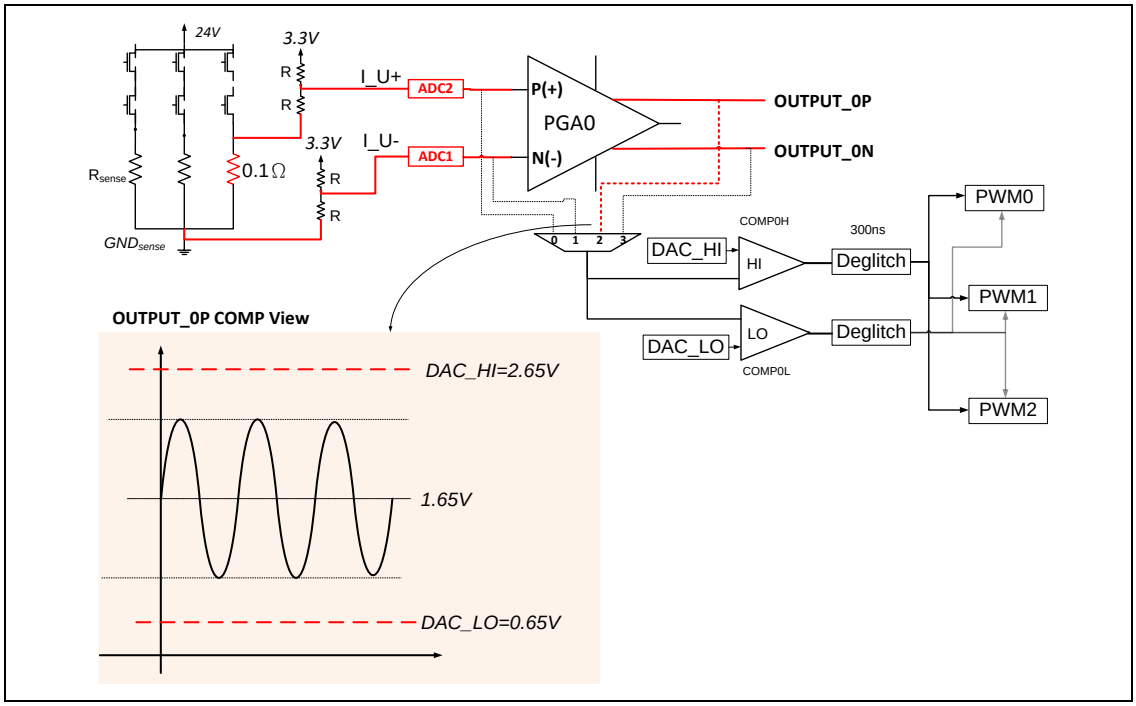
```
/*  Trip zone from TZn */
PWM_SetOneshotTripFromExtPin(PWM0,GPIO_9);
PWM_SetOneshotTripFromExtPin(PWM1,GPIO_9);
PWM_SetOneshotTripFromExtPin(PWM2,GPIO_9);
```

2.5 COMP 停止（Trip）PWM 波形功能介绍

SPC1068 的 COMP 专为相电流防护做特殊设计。当 PGA 作为三相电流采集的时候，SPC1068 的 COMP 提供了每一相独立的电流防护，较一般的总电流防护更加安全，以下代码以 U 相电流为例，当 PGA0 输出超过 3V 时，COMP0H 触动 PWM 输出停止，当 PGA0 的电流小于 1V，由 COMPL 触发 PWM 停止。Spintrol 的 COMP 触发 PWM 停止可达成任一个 COMP 同时停止所有 PWM 输出波形功能，详见 PWM trip zone 章节。

举例来说，COMP0H 与 COMP0L，只要任一种状况发生，均可以同时将三相 PWM 停止，同理其他四个 COMP 亦具有同样功能，三相电流一共有六个 COMP，只要其中一个发生触发，均可同时将 PWM 停止，对于相电流防护来说是很重要的一个功能。

图 2-3. Comparator 提供相电流防护示意图



相比于大部分 IC 需要复杂的设定，Spintrol 亦提供了简单的 API 设定 COMP 触发 PWM trip 功能。当 eCOMP 代表的比较器发生输出由 L 转 H 的瞬间，关闭 PWMx 的 CHA 与 CHB 输出。可重复呼叫设定多种组合，请见范例码。

表 2-4. PWM_EnableOneShotTripFromComp()函数介绍

PWM_EnableOneShotTripFromComp (PWMx, eCOMP)	
Parameter	**Description**
PWMx	PWM 单元：PWM0~PWM6
eCOMP	Comparator 单元： COMP_0_LO COMP_1_LO COMP_2_LO COMP_0_HI

	COMP_1_HI COMP_2_HI

以下为范例码：

Example Code

```
void MotorPWM_InitTripZoneAction(void)
{
  /* Note: Please initial PGA pin before comparator initial */
  COMP_Init(COMP_0_HI,
            FROM_PGAxP_IN,  /* From PGA0P output        */
                2650        /* DAC HI compare viltage mV */,
                300         /* Output deglitch time(ns)  */);

  COMP_Init(COMP_0_LO,
            FROM_PGAxP_IN,  /* From PGA0P output        */
                650         /* DAC LO compare viltage mV */,
                300         /* Output deglitch time(ns)  */);

  /* Step 3: PWM U,V,W will be triped when comparator0 output high.
   This code is prepared for total current protection */
  PWM_EnableOneShotTripFromComp(PWM_U,COMP_0_HI);

  PWM_EnableOneShotTripFromComp(PWM_U,COMP_0_LO);

  PWM_EnableOneShotTripFromComp(PWM_V,COMP_0_HI);

  PWM_EnableOneShotTripFromComp(PWM_V,COMP_0_LO);

  PWM_EnableOneShotTripFromComp(PWM_W,COMP_0_HI);

  PWM_EnableOneShotTripFromComp(PWM_W,COMP_0_LO);

  /* Step 5: Set PWM reaction after one shot or cycle by cycle event */
  PWM_SetCHAOutputWhenTrip(PWM_U,TRIP_AT_LOW);
  PWM_SetCHBOutputWhenTrip(PWM_U,TRIP_AT_LOW);

  PWM_SetCHAOutputWhenTrip(PWM_V,TRIP_AT_LOW);
  PWM_SetCHBOutputWhenTrip(PWM_V,TRIP_AT_LOW);

  PWM_SetCHAOutputWhenTrip(PWM_W,TRIP_AT_LOW);
  PWM_SetCHBOutputWhenTrip(PWM_W,TRIP_AT_LOW);

  /* Step 6: Enable one shot interrupt in this application */
  PWM_U->TZIE.bit.OST=TZIE_BIT_OST_ENABLE;
```

```
  PWM_V->TZIE.bit.OST=TZIE_BIT_OST_ENABLE;
  PWM_W->TZIE.bit.OST=TZIE_BIT_OST_ENABLE;
}
```

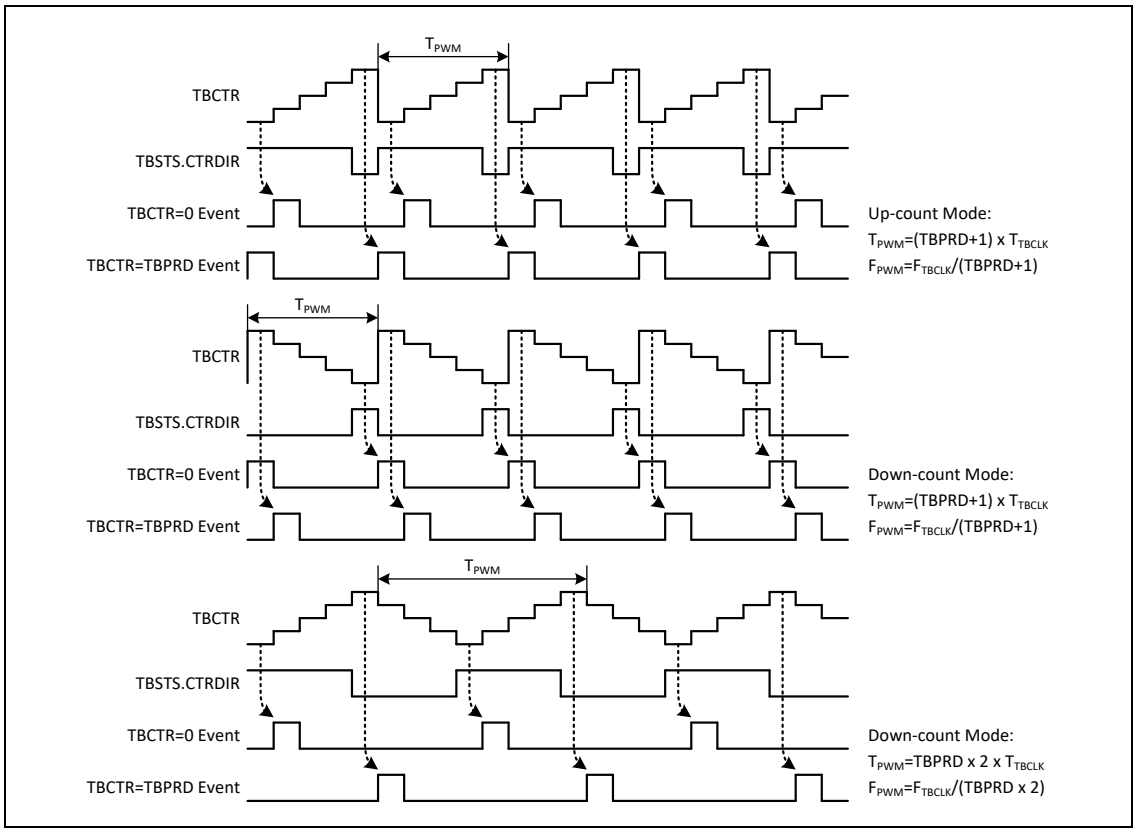
3 PWM 产生原理及范例

当 PWM 单元的时钟工作以后，PWM 单元内部的计数器 TBCTR 就会按照以下三种计数方式进行计数：

- 向上计数
- 向下计数
- 先向上再向下

在计数过程中，TBCTR 的最大值是周期寄存器 TBPRD 中保存的值，而最小值为 0。同时在计数器为 0 或者等于 TBPRD 时，均可产生事件，触发中断。三种计数模式如下图，其中 TBSTS.CTRDIR 表征计数器工作的方向

图 3-1. PWM 单元的功能框图



同时，在 TBCTR 计数过程中，它的值会与 0，TBPRD，CMPA 以及 CMPB 寄存器的值相比较，比较的结果可以控制 PWM 的输出结果。这些行为可以通过配置 Action-Qualifier (AQ)寄存器来完成。总结起来，共有以下几种事件可以控制 PWM 的输出：

- TBCTR=TBPRD
- TBCTR=0
- TBCTR=0
- TBCTR=CMPA
- TBCTR=CMPB
- 软件强制控制

其中每件事件都可以被配置为：

- PWM 输出置高（Set）
- PWM 输出置低（Reset）
- 翻转 PWM 输出（Toggle）
- 无影响

这些事件又根据计数器的计数方向，且根据他们的优先级，可以总结为下表。

表 3-1. 向上计数时各事件优先级

优先级	事件
1(最高)	软件强制控制
2	TBCTR=TBPRD (PRD)
3	TBCTR=CMPB on up-count (CBU)
4	TBCTR=CMPA on up-count (CAU)
5(最低)	TBCTR=0 (ZRO)

表 3-2. 向下计数时各事件优先级

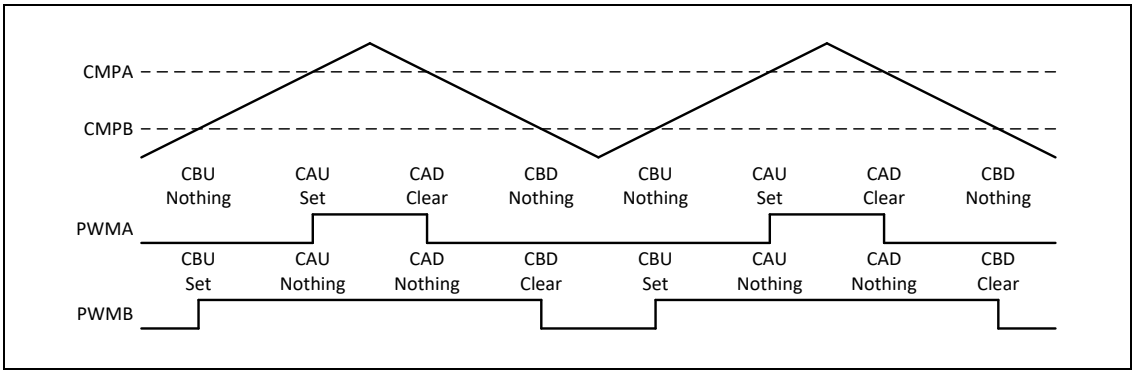
优先级	事件
1(最高)	软件强制控制
2	TBCTR=0 (ZRO)
3	TBCTR=CMPB on down-count (CBD)
4	TBCTR=CMPA on down-count (CAD)
5(最低)	TBCTR=TBPRD (PRD)

下图展示了 PWM 输出在各个事件产生点受到的影响。

在图 3-2 的例子里，当计数器向上计数时，若 CMPA=TBCRT，则 PWMA 置高；当计数器向下计数时，若 CMPA=TBCTR，则 PWMA 置低；

对于 PWMB 的输出，当计数器向上计数时，若 CMPB=TBCRT，则 PWMB 置高；当计数器向下计数时，若 CMPB=TBCTR，则 PWMB 置低。

图 3-2. 先上后下计数，对称 PWM 输出

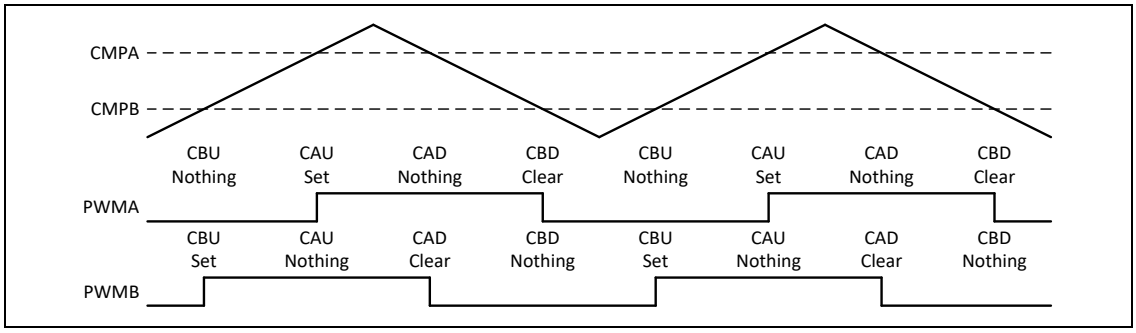


在图 3-3 的例子中，PWMA 和 PWMB 的波形受到更复杂的控制，PWMA 和 PWMB 同时受到 CMPA 和 CMPB 配置的影响，这样可以生成非对称的 PWM 波。

当计数器向上计数时，若 CMPA=TBCRT，则 PWMA 置高；当计数器向下计数时，若 CMPB=TBCTR，则 PWMA 置低；

对于 PWMB 的输出，当计数器向上计数时，若 CMPB=TBCRT，则 PWMB 置高；当计数器向下计数时，若 CMPA=TBCTR，则 PWMB 置低。

图 3-3. 先上后下计数，非对称 PWM 输出



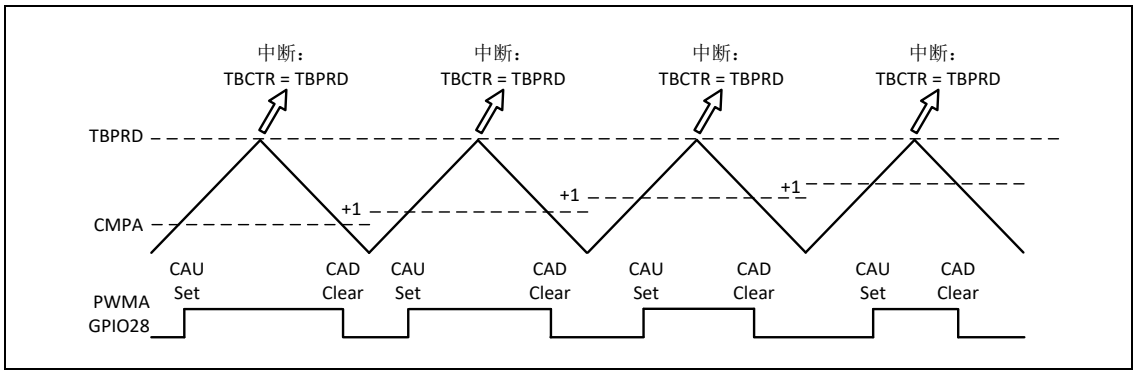
在 SP1068 的库函数中，已经包含了一些供 PWM 使用的库函数，抽象化的描述了 PWM 的行为，可供用户更加方便的配置 PWM 单元。

其他需要注意的：

- PWM CLK 不能设置得比 PCLK 慢，PCLK 必须是最慢的时钟；
- PWM 的 software force 和 Continuous force 触发的点位不是一致的，continuous 在输出管脚，而 one time 在 deadband 之前触发。

3.1 例 1：产生占空比周期性变化的 PWM 波

图 3-4. PWM 波生成示意图



具体代码如下：

Example Code

```
#define PWM_Frequency       10000       /* 10kHz PWM  */

{
  uint16_t u16PrdVal = 0;

  /* Enable PWM1 clock */
  CLOCK_EnableModule(PWM1_MODULE);

  /* Set GPIO pin as PWM output pin */
  GPIO_SetPinChannel(GPIO_28, GPIO28_PWM1A);

  /* Set frequecny of PWM */
  u16PrdVal = CLOCK_GetPWMModuleClk(PWM1) / PWM_Frequency / 2;
  PWM_SetPeriodValue(PWM1, u16PrdVal);
  PWM_SetCMPA(PWM1, u16PrdVal / 2);       /* PWM Duty = 50% */

  /* Following 3 configurations are by default */
  PWM1->TBCTL.bit.PRDLD = TBCTL_BIT_PRDLD_TBPRD_FROM_SHADOW;
  PWM1->CMPCTL.bit.SHDWAMODE = CMPCTL_BIT_SHDWAMODE_SHADOW_MODE;
  PWM1->CMPCTL.bit.LOADAMODE = CMPCTL_BIT_LOADAMODE_LOAD_ON_ZERO;

  /* Configure output action */
  PWM1->AQCTLA.bit.CAU = AQCTLA_BIT_CAU_SET_HIGH;
  PWM1->AQCTLA.bit.CAD = AQCTLA_BIT_CAD_SET_LOW;

  /* Start PWM */
  PWM_CounterRunControl(PWM1,COUNT_UP_DOWN_AND_RUN);

  /* Enable PWM1 TBCTR = TBPRD event */
```

```
  PWM_SetTimeEvtTiming(PWM1,EQU_PERIOD);
  PWM_SetTimeEvtPeriod(PWM1,ON_1ST_EVENT);
  PWM_EnableTimeEvtINT(PWM1);

  /* Enable PWM1 Interrupt in CPU side */
  NVIC_EnableIRQ(PWM1_IRQn);


  while(1)
  {
  }
}


void PWM1_IRQHandler(void)
{
  uint16_t u16CMPAVal = 0;

  u16CMPAVal = PWM1->CMPA.all;

  /* Change PWM duty */
  if((u16CMPAVal +1) >= PWM_GetPeriodValue(PWM1))
  {
    PWM_SetCMPA(PWM1,0);
  }
  else
  {
    PWM_SetCMPA(PWM1, u16CMPAVal + 1);
  }

  /* Clear interrupt flag */
  PWM_ClearTimeEvtInt(PWM1);
}
```

3.2 例 2：产生两路互补、带死区 PWM 波

在电力电子、开关电源以及电机控制中，往往要应对半桥电路、全桥电路；这种电路的一个基本控制方法，就是用互补的 PWM 波去分别驱动半桥、全桥的上下桥臂开关管，同时互补的 PWM 波还需要带有一定的死区时间。

SPC1068 的 PWM 单元非常灵活，可以覆盖到半桥、全桥中的各种应用，这里先讲解一个简单的半桥带有死区的 PWM 波。下图是 PWM 波单元中的死区控制部分，可以看出它本身是具有复杂灵活的死区配置方式。对于半桥控制中的死区应用，一般是通过一个 PWM 波，增加死区时间后，取反得到带死区的互补的 PWM 波。

下面的两幅图，展示了从一路 PWM 波，如何

（1） 一分为二

（2） 分别增加上升沿、下降沿死区

（3） 不翻转、翻转

最终成为一对带死区互补 PWM 波的过程。

图 3-5. 死区控制单元框图

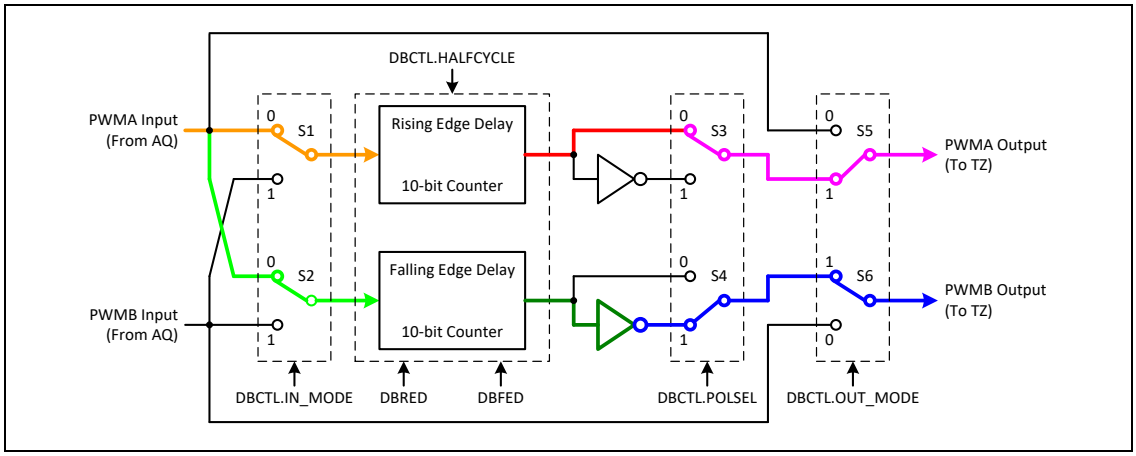
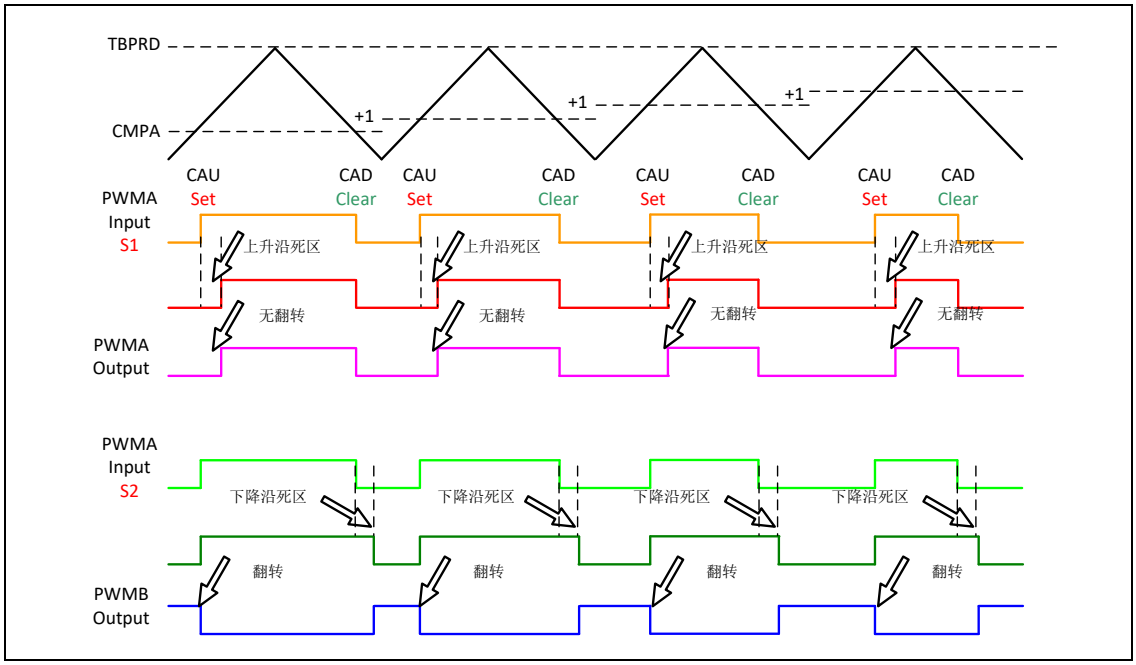


图 3-6. 生成带死区互补 PWM 示意图



实际配置过程包括：

（1） 单路 PWM 波配置和中断配置与例 1 相同，这里就不重复了

（2） 死区时间配置

其中，死区的配置代码如下：

Example Code

```
#define PWM_Frequency       10000       /* 10kHz PWM  */
#define PWM_Deadband_NS     2000        /* unit is ns */

{
  uint16_t u16PrdVal = 0;
  uint16_t u16DeadbandDelay = 0;

  /* Configure Deadband */
  PWM1->DBCTL.all |=   DBCTL_ALL_INMODE_0
                    | DBCTL_ALL_POLSEL_MODE_AHL      /* Active High
complementary */
                    | DBCTL_ALL_OUTMODE_3           /* PWMxA and PWMxB are
all from dead band generator */
                    | DBCTL_ALL_HALFCYCLE_DISABLE;

  u16DeadbandDelay = (PWM_Deadband_NS *
(CLOCK_GetPWMModuleClk(PWM1)/100000)) / 10000 ;
  /* Deadband falling edge delay */
  PWM_DeadBandFallingDelay(PWM1, u16DeadbandDelay);
  /* Deadband rising edge delay */
```

```
  PWM_DeadBandRisingDelay(PWM1, u16DeadbandDelay);
}
```

其中关键参数有三个：

（1） PWM_DBCTL_ALL_IN_MODE_0

这个参数把 PWMA 分别输入到死区控制单元的两个通道，完成了信号一分为二的动作，实际是控制开关 S1（选择 0）和 S2（选择 0）

（2） PWM_DBCTL_ALL_POLSEL_MODE_AHL

这个参数是控制死区控制单元中两路信号是否翻转，实际是控制开关 S3（选择 0）和 S4（选择 1）

（3） PWM_DBCTL_ALL_OUT_MODE_3

这个参数是控制最终输出信号是否经过死区控制单元，实际是控制 S5（选择 1）和 S6（选择 1）

3.3 例 3：产生两对同步 PWM 波（互补、带死区）

1. PWM 同步原理

SPC1068 的 PWM 单元可以通过外部信号进行同步，当同步信号到来时，PWM 单元会把 TBPHS 中的数值载入到计数器（TBCTR）中，而计数器的计数方向则取决于 TBCTL. PHSDIR 的配置。当配置为同步后计数方向向下时（默认状态），其行为如图 3-7 所示；图 3-8 是向上计数时的行为。

图 3-7. PWM 同步（向下计数）

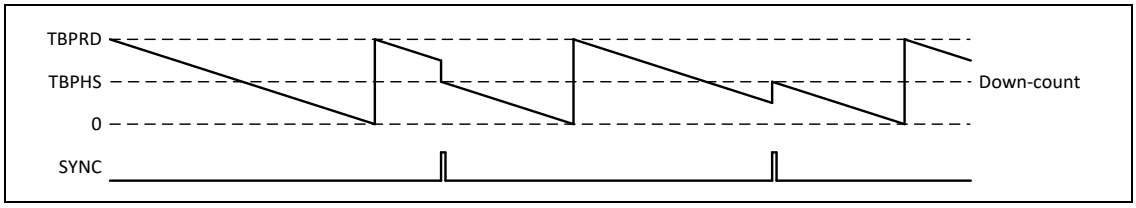
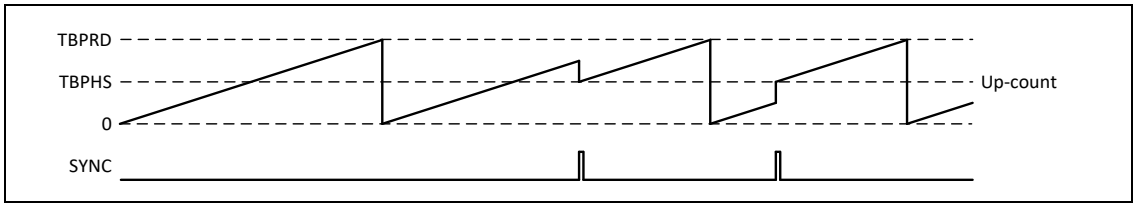


图 3-8. PWM 同步（向上计数）

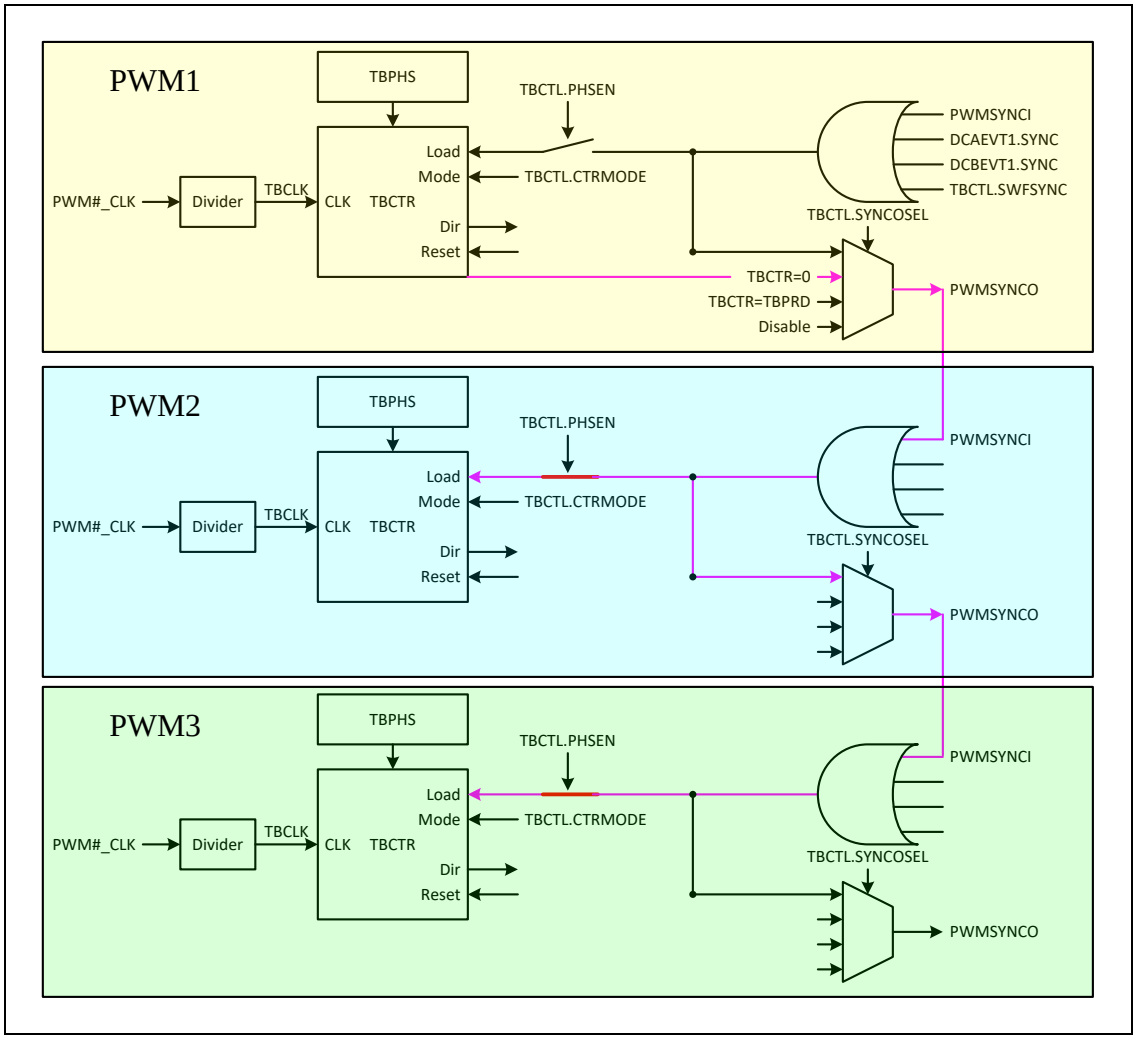


同步信号可以在以下选项中选择：

- 软件触发
- PWM 同步信号
- 比较器信号

如果选择为 PWM 同步信号，则可以实现多个 PWM 单元间的同步，这对于多相 PWM 控制（比如三相电机控制）非常有帮助。例如，在图 3-9 中，PWM1 在 TBCTR=0 时候发出同步信号，该信号传送到 PWM2 中，而 PWM2 又把该同步信号转发给 PWM3；同时在 PWM2 和 PWM3 中都打开了 PWM 同步的使能。

图 3-9. 多个 PWM 同步信号流



2. 配置过程

这个例子是基于之前的 PWM 例 2，所以关于 PWM 生成部分这里不多解释，主要介绍 PWM 的同步配置。

1）两组互补 PWM 配置

Example Code

```
/* Set GPIO pin as PWM2 output pin */
GPIO_SetPinChannel(GPIO_30, GPIO30_PWM2A);
GPIO_SetPinChannel(GPIO_31, GPIO31_PWM2B);
```

2）配置 PWM2 同步 PWM1

Example Code

```
/* Enalbe PWM1 send out SYNC signal when TBCNT == 0 */
PWM1->TBCTL.bit.SYNCOSEL = TBCTL_BIT_SYNCOSEL_TBCNT_EQU_ZERO;
/* PWM2 phase delay */
PWM2->TBPHS.all = 0;
/* PWM2 count up after SYNC */
```

```
PWM2->TBCTL.bit.PHSDIR = TBCTL_BIT_PHSDIR_COUNT_UP_AFTER_SYNC;
/* Enalbe PWM2 SYNC function */
PWM2->TBCTL.bit.PHSEN = ENABLE;
```

3.4 例 4：外部信号封锁 PWM 输出（Trip Zone）

1. 封锁 PWM 原理

在很多应用场景里头，存在类似紧急停车信号，当这个信号来到时候，需要立即或者安全的停止一切动作。如果把 PWM 的输出看成这种动作或者动作的驱动信号，同样有着立即或者安全停止的需求。

SPC1068 同样提供了这项功能，可以让用户把 PWM 配置成为当外部紧急信号到来时候，马上停止或者在下一个周期停止。

SPC1068 的 Trip Zone 可以实现以下功能：

- 按周期(Cycle-by-Cycle, CBC)封锁 PWM 输出
- 一次性封锁(One Shot, OST)PWM 输出

图 3-10. 按周期封锁 PWM 信号逻辑

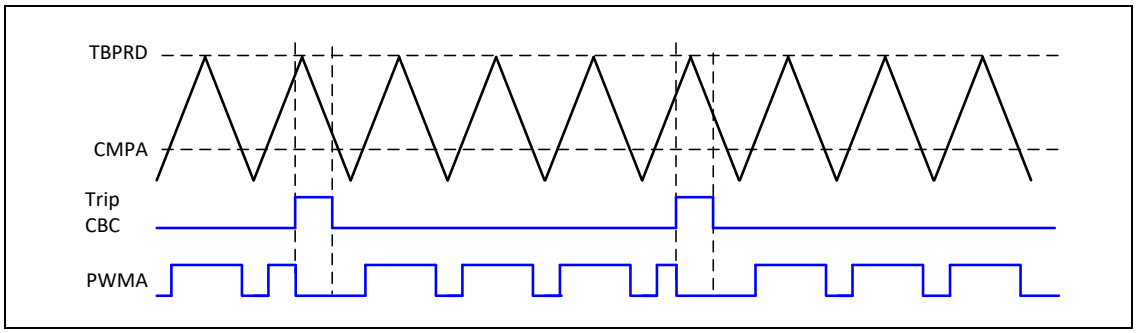


图 3-11. 一次性封锁 PWM 信号逻辑

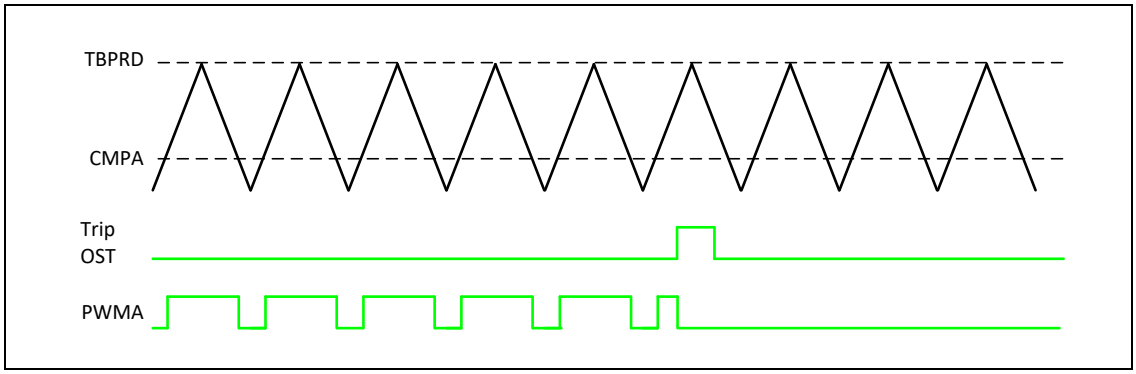
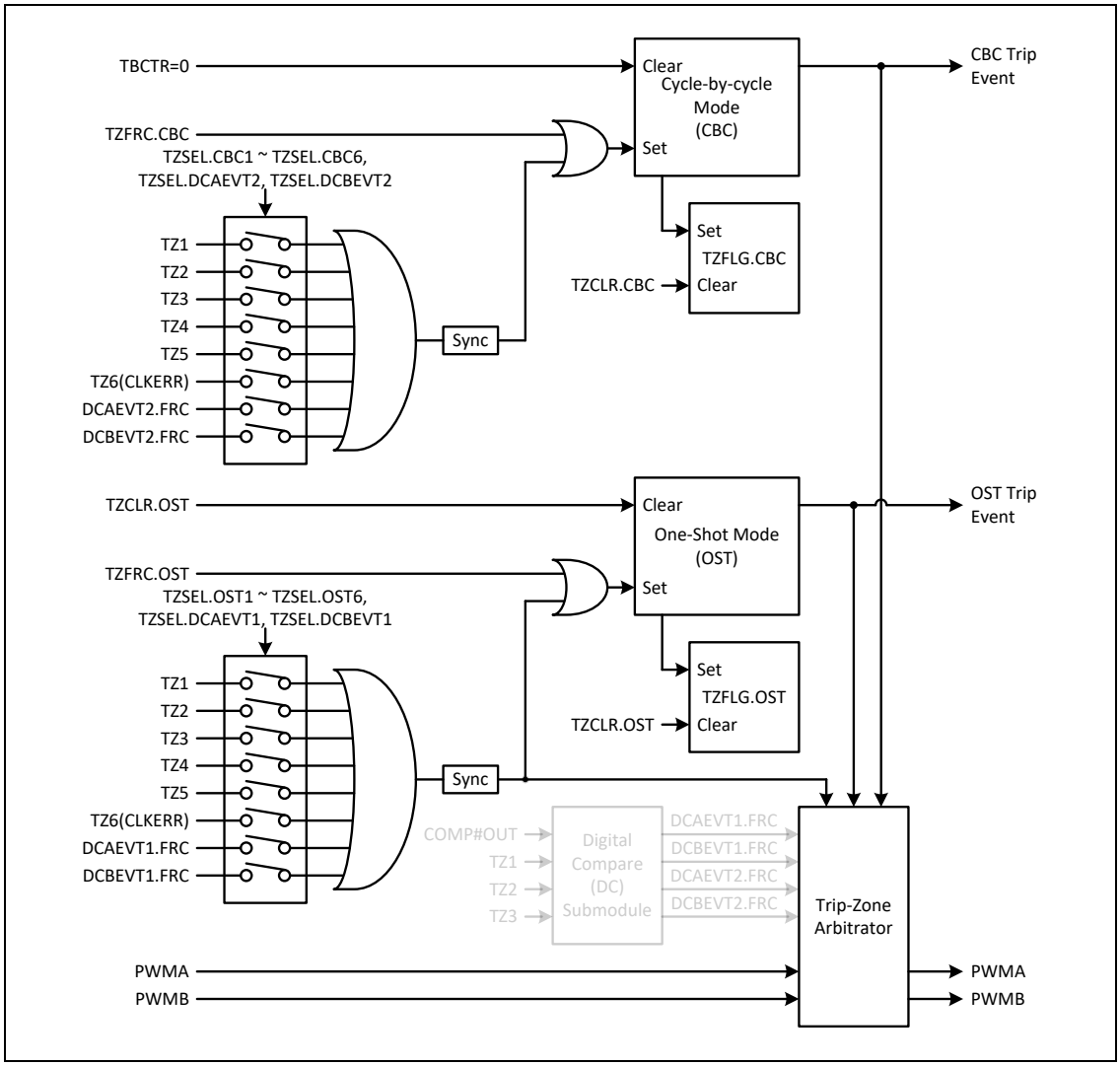


图 3-12 是 Trip Zone 的功能框图，从图中可以看出，可以引起 PWM 封锁的信号有 8 个不同的信号，可以针对每个信号分别使能。使能的信号，任意一个都能触发封锁功能。而且，封锁信号还可以通过软件触发。

Trip Zone 的按周期和一次性可以同时配置，如果两个信号同时产生，则一次性封锁的信号将覆盖按周期的信号，即一次性封锁优先级高于按周期封锁。

图 3-12. Trip Zone 功能框图



2. 配置过程

配置过程分为 PWM 配置过程和 Trip Zone 配置过程。

（1）PWM 配置过程，配置两对同步的互补 PWM，这部分采用例 3 中的配置，这里不再描述

（2）Trip Zone 配置

Example Code

```
/* Trip Configuration */
GPIO_SetPinChannel(GPIO_5,GPIO5_GPIO5);
GPIO_SetPinDir(GPIO_5,GPIO_INPUT);
/* Select GPIO5 as TZ1 input */
GLOBAL->GPIOMISC.bit.TZ1SEL = GPIOMISC_BIT_TZ1SEL_GPIO5;


/* Enable TZ1 for PWM1 */
PWM1->TZSEL.all |= TZSEL_ALL_CBC1_ENABLE;
/* Config Trip Zone action on PWM1A */
```

```
PWM1->TZCTL.bit.TZA = TZCTL_BIT_TZA_SET_LOW;
/* Config Trip Zone action on PWM1B */
PWM1->TZCTL.bit.TZB = TZCTL_BIT_TZB_SET_HIGH;

/* Enable TZ1 for PWM2 */
PWM2->TZSEL.all |= TZSEL_ALL_CBC1_ENABLE;
/* Config Trip Zone action on PWM2A */
PWM2->TZCTL.bit.TZA = TZCTL_BIT_TZA_SET_LOW;
/* Config Trip Zone action on PWM2B */
PWM2->TZCTL.bit.TZB = TZCTL_BIT_TZB_SET_HIGH;
```

由上面的步骤可以看出，Trip Zone 的配置可以分为以下几个关键步骤：

- 选择 TZx 的输入引脚；
- 针对每个 PWMx，使能 TZx CBC 或 TZx OST 的输入；
- 针对每个 PWMx 的两路输出 PWMA 和 PWMB，配置 Trip Zone 信号来时，每个输入对应的动作。

4 PWM 在电机上的应用

4.1 设置电机三相 PWM 代码

下例为初始化三相电机所需的 PWM，建议的初始化流程如下：

（1） 务必确认在 main 函数一开始已经调用 Sys_Init 与 Clock_Init

（2） 调用 PWM_ComplementaryPairChannelInit()，初始化基本互补波形

（3） 启动 PWM clock，注意 SPC1068 的 PWM counter 分为四种模式

- Counter Stop
- Count Up and Down
- Count Up
- Count Down

（4） 设定 PWM 的 Duty，在默认的配置中，CMPA 越高，则 Duty 越小

（5） 将管脚配置由 GPIO 改为 PWM 输出。

Example Code

```
#define PWM_U              PWM1
#define PWM_V              PWM2
#define PWM_W              PWM3

/* PWM IO define */
#define GPIO_PWM_U_H       GPIO_28
#define GPIO_PWM_V_H       GPIO_30
#define GPIO_PWM_W_H       GPIO_32

#define GPIO_PWM_U_H_SEL    GPIO28_PWM1A
#define GPIO_PWM_V_H_SEL    GPIO30_PWM2A
#define GPIO_PWM_W_H_SEL    GPIO32_PWM3A

#define GPIO_PWM_U_L       GPIO_29
#define GPIO_PWM_V_L       GPIO_31
#define GPIO_PWM_W_L       GPIO_33

#define GPIO_PWM_U_L_SEL    GPIO29_PWM1B
#define GPIO_PWM_V_L_SEL    GPIO31_PWM2B
#define GPIO_PWM_W_L_SEL    GPIO33_PWM3B

void MotorPWM_ExampleInit()
{
  Sys_Init();
  CLOCK_InitWithRCO(CLOCK_HCLK_150MHZ);
  /* Step 1: Initial Basic Complementary PWM-*/
```

```
  PWM_ComplementaryPairChannelInit(PWM_U , 15000, 1000);
  PWM_ComplementaryPairChannelInit(PWM_V , 15000, 1000);
  PWM_ComplementaryPairChannelInit(PWM_W , 15000, 1000);
/* Step 2: PWM Start Run Up and Down*/
  PWM_CounterRunControl(PWM_U,COUNT_UP_DOWN_AND_RUN);
  PWM_CounterRunControl(PWM_V,COUNT_UP_DOWN_AND_RUN);
  PWM_CounterRunControl(PWM_W,COUNT_UP_DOWN_AND_RUN);
/* Step 3: PWM Set CMPA*/
  PWM_SetCMPA(PWM_U,2500);
  PWM_SetCMPA(PWM_V,2500)
  PWM_SetCMPA(PWM_W,2500)
/*Step 3: PWM Start Run Up and Down*/
  GPIO_SetPinChannel(GPIO_PWM_U_H,GPIO_PWM_U_H_SEL);
  GPIO_SetPinChannel(GPIO_PWM_V_H,GPIO_PWM_V_H_SEL);
  GPIO_SetPinChannel(GPIO_PWM_W_H,GPIO_PWM_W_H_SEL);

  GPIO_SetPinChannel(GPIO_PWM_U_L,GPIO_PWM_U_L_SEL);
  GPIO_SetPinChannel(GPIO_PWM_V_L,GPIO_PWM_V_L_SEL);
  GPIO_SetPinChannel(GPIO_PWM_W_L,GPIO_PWM_W_L_SEL);
}
```

以上的 PWM 配置为简单的波形输出，实际上为了驱动电机，产生 ADC 触发，PWM 尚有寄存器需要配置，请参见下一个章节。

4.2 驱动电机 PWM 范例：PWM Trigger ADC 功能

以下以一个驱动 U 相开关的 PWM 触发三相电流采样为例。

Example Code

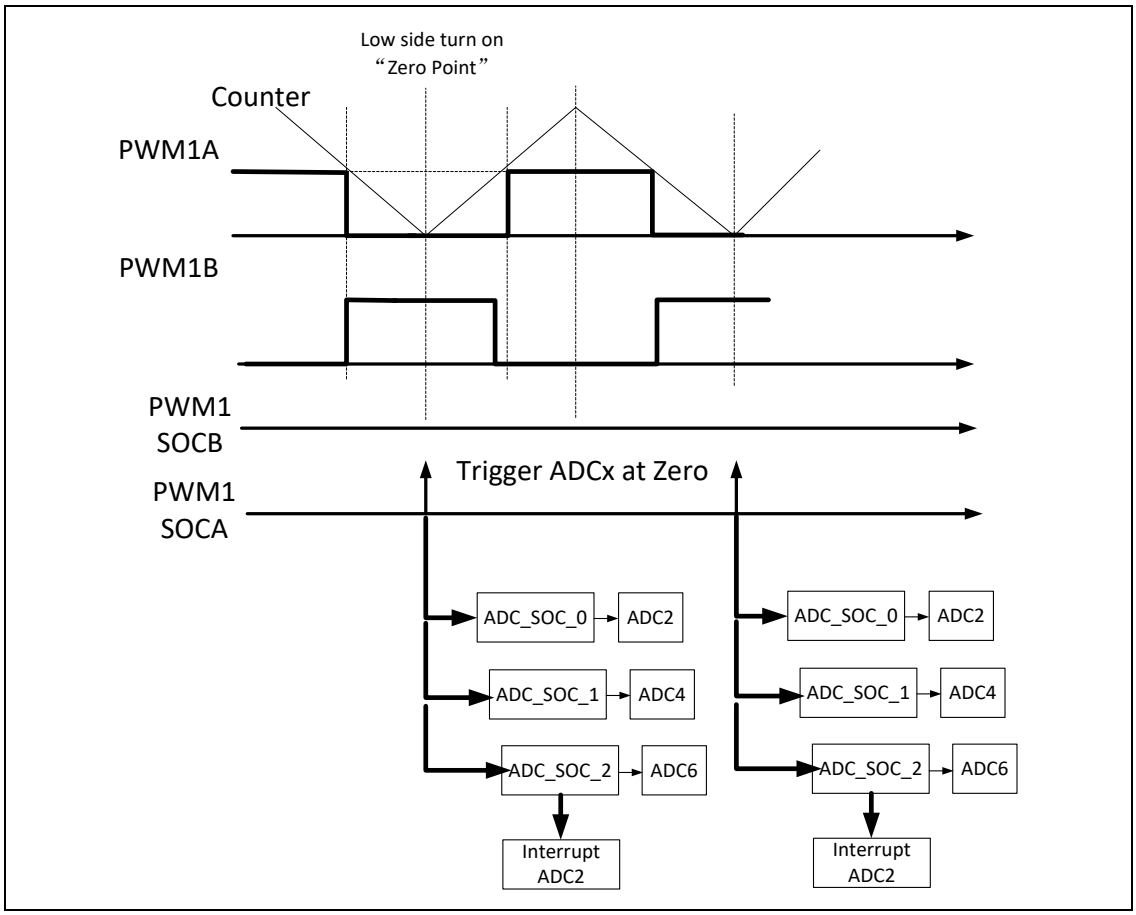
```
void MotorPWM_ExampleTrigADC()
{
  Sys_Init();
  CLOCK_InitWithRCO(CLOCK_HCLK_150MHZ);
  /*Step 1: Initial Basic Complementary PWM*/
  PWM_ComplementaryPairChannelInit(PWM1 , 15000, 1000);
  PWM_ComplementaryPairChannelInit(PWM2 , 15000, 1000);
  PWM_ComplementaryPairChannelInit(PWM3 , 15000, 1000);
  /*Step 2: PWM Trig Select*/
  PWM1 ->ETSEL.all  |= ETSEL_ALL_SOCAEN_ENABLE
|ETSEL_ALL_SOCASEL_TBCTR_EQU_ZERO ;
  PWM1 ->ETPS.bit.SOCAPRD = ETPS_BIT_SOCAPRD_GEN_SOCA_ON_1ST_EVENT;
  /*Step 3: ADC initial*/
  ADC_EasyInit1(ADC_SOC_0,GPIO_3,ADCTRIG_PWM1A);
```

```
  ADC_EasyInit1(ADC_SOC_1,GPIO_5,ADCTRIG_PWM1A);
  ADC_EasyInit1(ADC_SOC_2,GPIO_7,ADCTRIG_PWM1A);
  /*Step 4. Interrupt service routine configuration*/
  NVIC_SetPriority(ADC2_IRQn,1);
  NVIC_EnableIRQ(ADC2_IRQn);
}
```

以上先使用基本的初始化互补对，PWM1～PWM3 依次控制 UVW 三相，设定 PWM1 之 Counter 过零时触发 ADC，一次同时触发 SOC0～SOC2 分别负责转换三相电流，当 SOC2 转换完之后，进入中断服务程序(SOC2 对应的中断服务程序为 ADC2_IRQ)，进行电流采值。
其中设定 PWM1 由 SOCA 送出触发讯号，ADC 相对的设定为被 PWM1A 所触发。

以上的配置如下图所绘。

图 4-1. Example of PWM Complementary Pair Channel



当 SOC0～SOC2 同时被触发时，根据优先层级，SOC0 会优先被转换，最后是 SOC2，上图设定为每一个 PWM 周期均送出 SOC 触发讯号。

5 修订记录

表 5-1. 文档修订记录

日期	版本	修改内容
2017-09-15	1	初始版本