

概要

S3F84A5三星SAM8单片机基于E-bike应用开发, 其中PWM模块有一个8-位计数器和两个PWM波形发生电路.通过巧妙地设计以达到适应于三相直流无刷电机(BLDC)控制应用.

这个PWM模块有以下一些特性:

- 两种工作模式: 边沿对齐模式和中心对齐模式
- 高达六通道的PWM输出, 由内部分成两个组(A组和B组).
- 两种组输出模式: 正向模式和反向模式.
每个组的输出可同时设置为正向或者反向, 因此可实现3对互补波形的输出.
- 通过对两个寄存器(PWMADATA和PWMBDATA)设置合适的值实现死区时间控制.
- P2PWMOUT寄存器用于PWM输出和普通I/O口输出之间的快速切换.

PWM计数器是一个8-位双向计数器. 如果计数器停止, 将保持当前计数值; 重新开始后, 将从保持的当前值处开始计数. 如果需要清除计数器, 则需往PWMCON.1位写“1”.

通过设置PWMCON.6-.7可选择PWM计数器时钟. 可供选择的时钟为 $f_{osc}/256$, $f_{osc}/64$, $f_{osc}/8$ 和 $f_{osc}/1$.

功能描述

PWM

这个8-位PWM电路有以下部分:

- 一个8-位双向计数器
- 两个8-位比较器电路
- 两个PWM波形发生电路: 每组独立使用一个波形发生器
- 两个独立8-位PWM组带缓冲的比较值寄存器(PWMADATA, PWMBDATA)
- 六个PWM输出(P2.7/PWM3A, P2.6/PWM3B, P2.4/PWM2A, P2.3/PWM2B, P2.1/PWM1A, P2.0/PWM1B)
- 一个溢出中断. 在两种PWM模式中, 溢出中断发生时刻不一样
- 两个比较匹配中断:A组匹配中断和B组匹配中断. 在中心对齐模式下, 向上计数或向下计数周期, 均可产生比较匹配中断. 通过设置PWMINT.6-.3位来使能或禁止这两个或一个中断.

PWM计数器

这个8-位计数器是个双向计数器. 根据PWM模式, 计数器或递增计数或递减计数. 在边沿对齐模式下, 计数器从00H向上计数至FFH, 然后自动从00H开始重新计数. 在中心对齐模式下, 计数器开始从00H向上计数至FFH, 之后, 从FFH向下计数至00H, 依次往返重复这个过程.

PWM比较器

有两个8-位比较器电路. 无论何时, 只要计数器的值达到两个事先设置的比较值寄存器(PWMADATA 和 PWMBDATA)的值, 对应的匹配中断未决位将被置起. 如果此时对应的中断使能, 这个比较匹配信号将向CPU提交中断申请(PWMAMATCH or PWMBMATCH).

这个匹配未决位可通过往PWMINT.1或PWMINT.0写"0"清除.

PWM寄存器

PWM控制寄存器(PWMCON)

PWM模块中控制寄存器PWMCON, 位于寄存器地址F1H, Set 1, Bank 0. PWMCON寄存器中控制以下功能:

- PWM 计数器时钟选择
- PWM 波形模式选择
- PWM 组输出模式选择
- PWM 计数器清零
- PWM 计数器停止/开始(或重新开始) 工作

系统复位将PWMCON所有位清零, 禁止整个PWM模块, 以及将六路PWM输出设置为边沿对齐模式和正向输出模式.

端口2PWM输出控制寄存器 (P2PWMOUT)

PWM模块中的端口2PWM输出控制寄存器P2PWMOUT位于寄存器地址F2H, Set 1, Bank 1. P2PWMOUT寄存器控制以下功能:

- 普通I/O输出或PWM输出选择

系统复位将P2PWMOUT所有的位清零, 选择所有PWM输出I/O管脚作为普通输出管脚.

注: 在电机控制应用中, 为了安全性的考虑, 使用PWM模块前, 根据外部电路的要求, 在P2寄存器中预先设置安全值.

PWM中断使能和未决控制寄存器(PWMINT)

PWM中断使能和未决控制寄存器PWMINT位于寄存器地址F4H, SET1 BANK 0.

当任何一个PWM中断使能位为"1"时, 任何一组的计数器溢出或者比较匹配都将设置对应的PWM中断未决位, 并产生中断申请. 当CPU回复此中断申请, 对比较匹配中断来说, 必须通过软件中写"0"来清除相应的PWM中断未决位, 而对PWM溢出中断来说, 可通过硬件或者软件的方式清除.

PWM比较值寄存器 (PWMADATA & PWMBDATA)

S3F84A5的PWM模块中有两个组的比较值寄存器, 也就是说, 一个组(最多三个输出) 只有一个比较寄存器. 因为有了这么强大的8-位PWM电路, 也就决定了输出的波形.

- A组比较值寄存器PWMADATA, 位于E4H, Set1, Bank0.
- B组比较值寄存器PWMBDATA, 位于E5H, Set1, Bank0.

为了获得所需组的占空比, 需要往比较值寄存器中写合适的初始值.

PWMADATA和PWMBDATA的值只有在计数器溢出或者用户清除计数器时才会被更新, 这样做的目的是为了产生奇怪长度或者非均匀的PWM波形, 从而使得输出波形无毛刺.

模块方框图

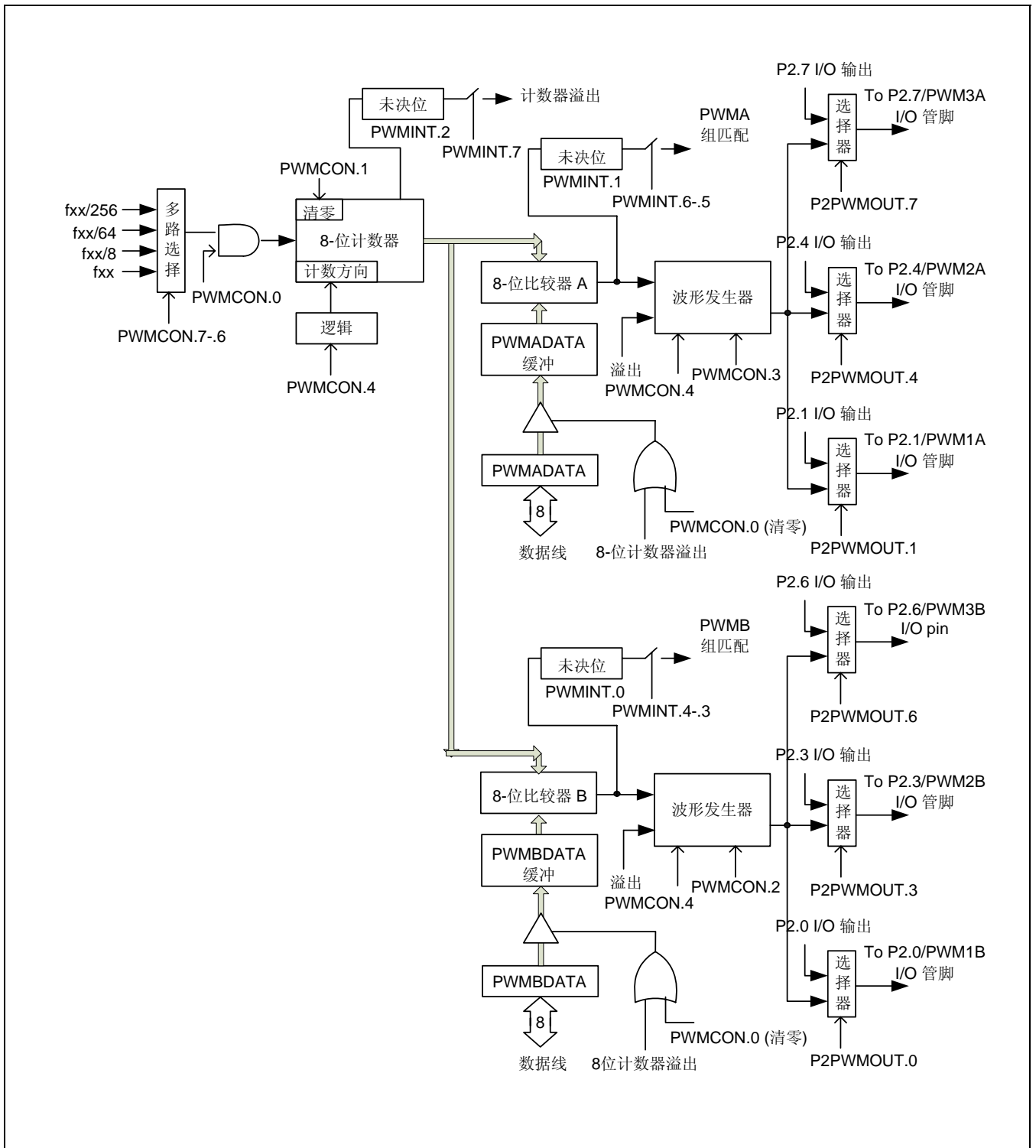


图 1. PWM功能方框图

PWM模式

这个PWM模块有两种工作模式. 通过往PWMCON.4写值来选择边沿对齐PWM模式 或 中心对齐PWM模式.

边沿对齐PWM模式

在边沿对齐PWM模式下, 计数器从00H开始往FFH计数, 之后从00H重新开始. 在正向输出模式下, 对应的PWM输出在比较匹配时清零, 在FFH值时被置起. 在反向输出模式下, 在匹配时被置起, 在FFH时被清零.

由于这个单斜率的过程, 边沿对齐PWM模式的工作频率是以双斜率运行的中心对齐PWM模式的两倍. 高速频率使得边沿对齐PWM模式更加适合功率调节, 整流 以及DAC应用.

图2为边沿对齐的PWM模式的时序图.

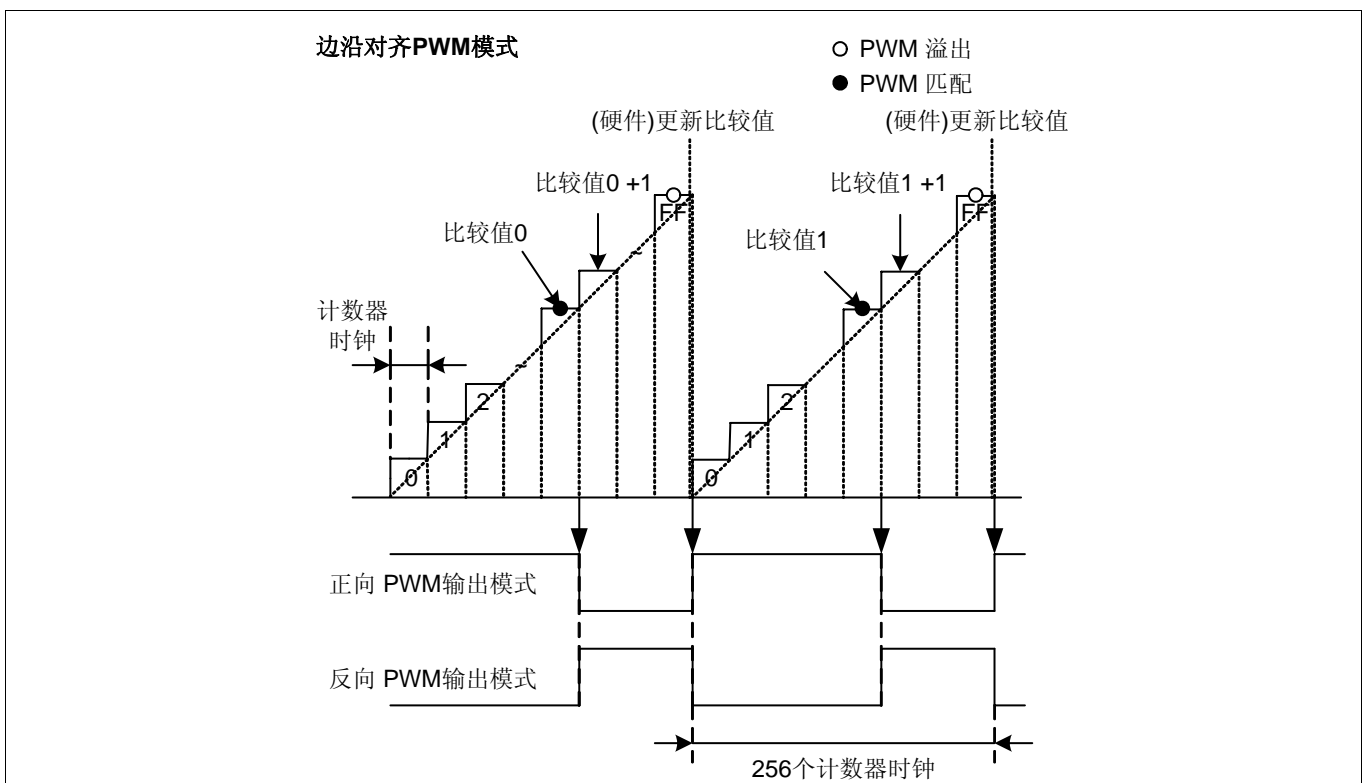


图 2. 边沿对齐PWM基本波形

在边沿对齐模式下, 溢出在每次计数器达到FFH时发生. 如果此时中断使能, 将执行中断服务程序, 在此过程中, 用户也可更新比较值.

输出波形可通过配置PWMCON.3-2位来设置为正向或反向模式.

值得注意的是, 仅在对应的I/O口控制位(位于P2CONH/P2CONL寄存器里) 设置为PWM 输出 以及PWM输出选择位(位于P2PWMOUT寄存器)设置为"1" 时, PWM波形才能输出.

设置边沿对齐的PWM

图3为设置边沿对齐的PWM程序流程图.

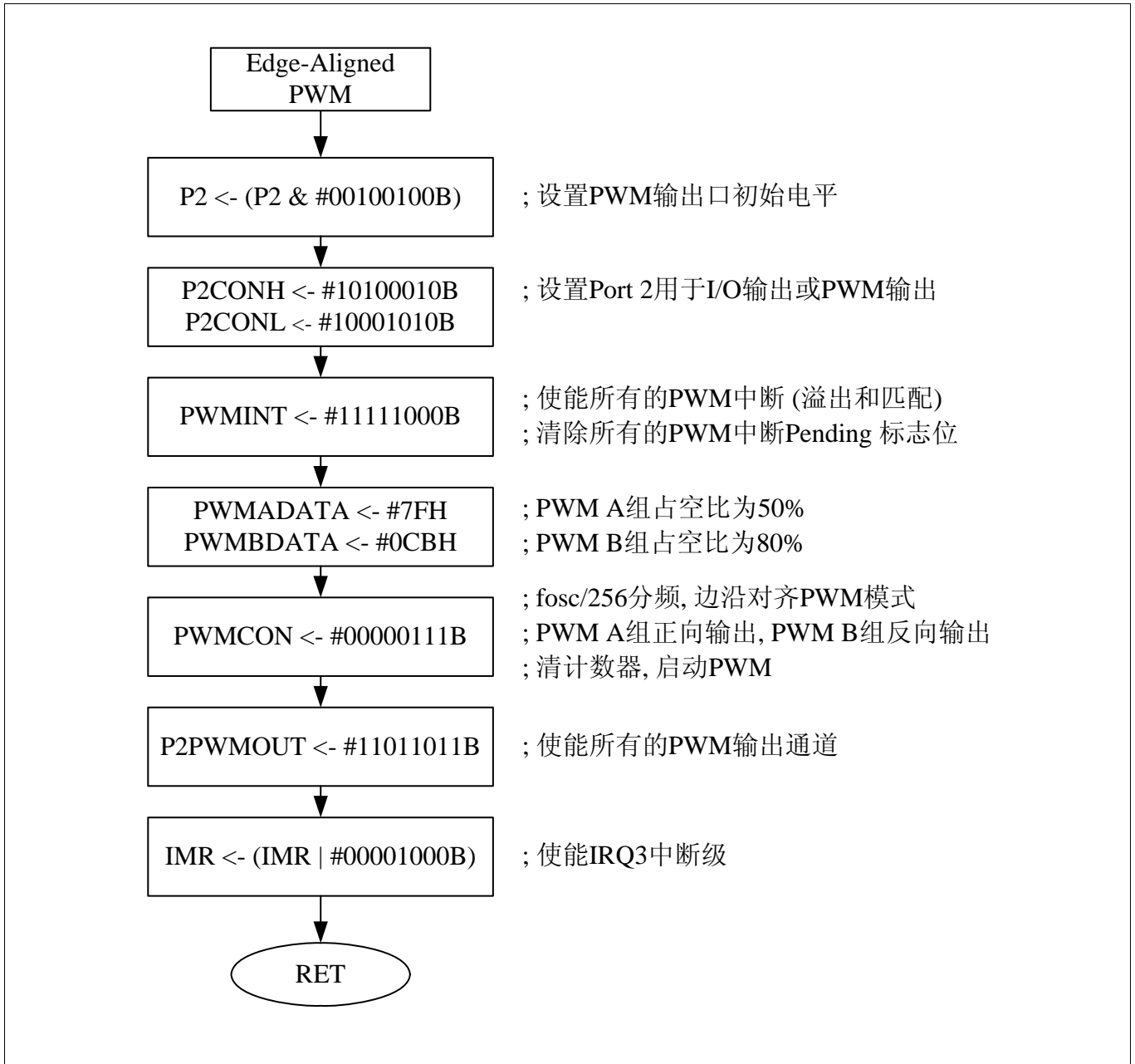


图 3. 边沿对齐的PWM程序流程图

设置边沿对齐的PWM源代码

```

;=====
;=====      Edge-aligned PWM      =====
;=====
SR_EA_PWM:
    AND    P2, #00100100B           ; 设置PWM输出口的初始电平
    LD     P2CONH, #10100010B       ; 设置P2.7, P2.6, P2.4用于I/O输出或者PWM输出
    LD     P2CONL, #10001010B       ; 设置P2.3, P2.1, P2.0用于I/O输出或者PWM输出
    LD     PWMINT, #11111000B       ; 使能所有PWM中断
                                           ; 清除所有的PWM中断Pending标志位
    LD     PWMADATA, #7FH           ; PWMA 组占空比为50%
    LD     PWMBDATA, #0CBH         ; PWMB 组占空比为80%
    LD     PWMCON, #00000111B      ; fosc/256
                                           ; 边沿对齐PWM模式
                                           ; PWMA 组正向输出模式
                                           ; PWMB 组反向输出模式
                                           ; 清计数器, 开始计数,
    LD     P2PWMOUT, #11011011B     ; 使能所有PWM输出通道
    OR     IMR, #00001000B         ; 使能IRQ3中断级
    RET
    
```

中断服务程序源代码

```

;=====
;=====      PWM Overflow ISR      =====
;=====
ISR_PWMOVF:
    AND    PWMINT, #11111011B       ; 清除PWM 8-位计数器溢出中断Pending标志位
    IRET
    
```

```

;=====
;=====      PWM Group A Match ISR  =====
;=====
ISR_PWMAMATCH:
    AND    PWMINT, #11111101B       ; 清除PWMA 组比较匹配中断Pending标志位
    IRET
    
```

```

;=====
;=====      PWM Group B Match ISR  =====
;=====
ISR_PWMBMATCH:
    AND    PWMINT, #11111110B       ; 清除PWMB 组比较匹配中断Pending标志位
    IRET
    
```

中心对齐PWM模式

在中心对齐模式下，计数器从00H开始到FFH向上计数，之后，又从FFH开始往00H向下计数。在正向输出模式下，当向上计数发生匹配时，PWM输出被清零，当向下计数时发生匹配时，PWM输出被置起。在反向输出模式下，当向上计数时发生匹配时，PWM输出被置起，当向下计数时发生匹配时，PWM输出被清零。

相比边沿对齐模式，中心对齐模式的最大工作频率更低些。无论如何，由于这个对称的特性，中心对齐模式更加合适电机控制应用。

图4为中心对齐PWM模式的时序图。

在中心对齐模式下，溢出在每次计数器达到00H时发生。如果此时中断使能，将执行中断服务程序，在此过程中，用户也可更新比较值。

输出波形可通过配置PWMCON.3-2位来设置为正向输出或反向输出模式。

同样，仅在对应的I/O口控制位(位于P2CONH/P2CONL寄存器里) 设置为PWM输出 以及PWM输出选择位(位于P2PWMOUT寄存器)设置为“1”时，PWM才能输出。

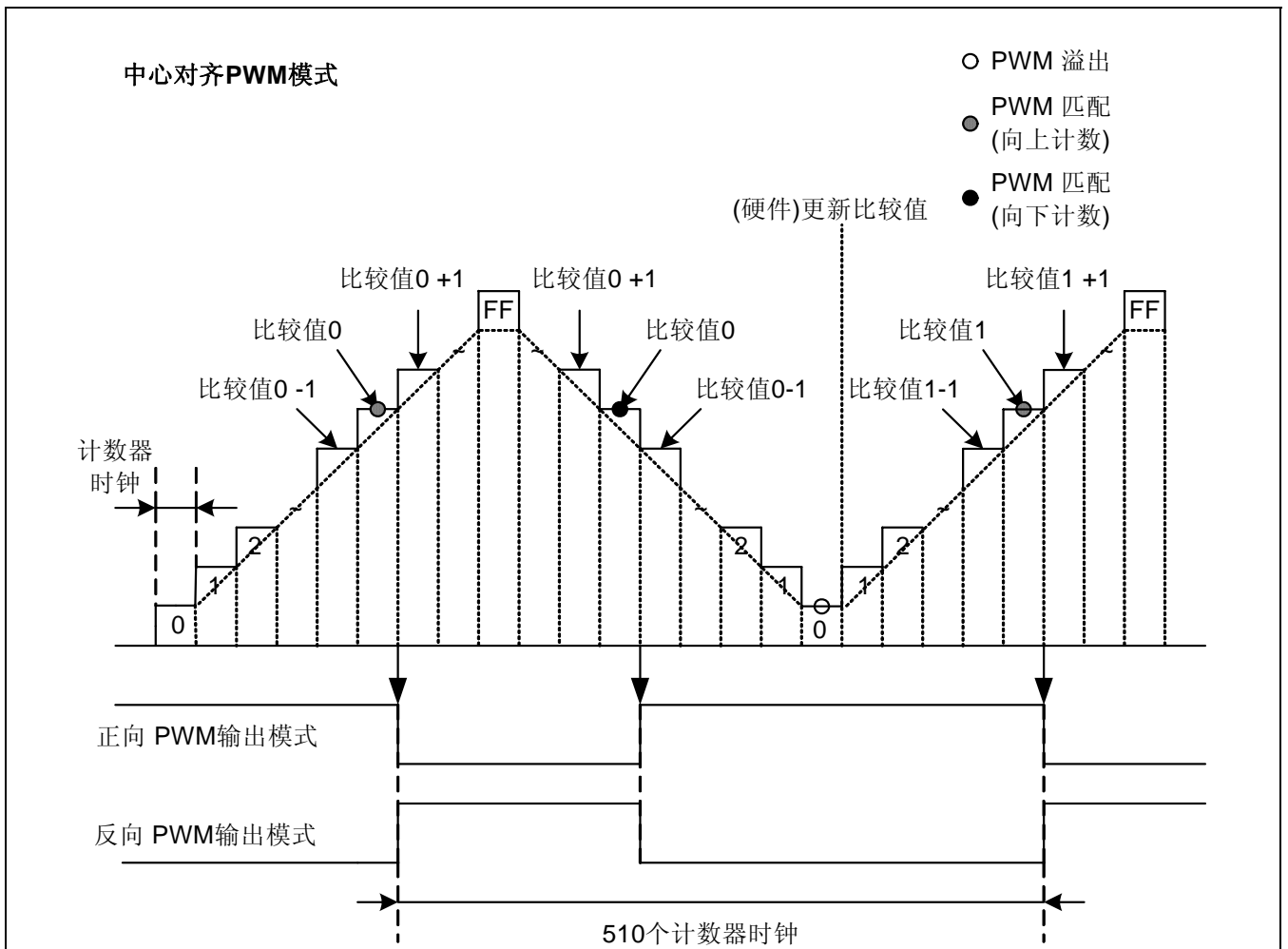


图 4. 中心对齐PWM基本波形

可编程的死区时间发生器

在电机控制应用中, 功率输出器件(例如MOSFET) 不能同时开关, 必须在一个晶体管关闭以及互补的晶体管打开之间插入足够的间隙. 该时间称为“死区时间”.

在边沿对齐模式下, 通过以下步骤, 用户最多可获得三对带死区时间的互补PWM输出.

1. 将PWM A组设置为正向输出模式, PWM B组设置为反向输出模式. 相反的设置也可以的. 但为了表述简单, 仅讨论前一种情况.
2. 将死区时间折算成等效的Ndt个PWM计数器时钟. 例如, 当PWM频率为f_{xx} (f_{xx} = 8MHz), 1个时钟等效于125ns, 因此, 如果需要得到2us的死区时间, 相当于16个PWM计数器时钟.
3. 将占空比折算成等效的PWM计数器时钟值. 该值决定了PWM A组(正向模式)的比较值寄存器. 假设这个结果为“比较值”. 例如, 要获得50%占空比的PWM, 往PWM A组的比较寄存器中写“7FH”.
4. 之后, PWM B组的比较值寄存器中的值为“比较值+Ndt” (确保该值小于FFH), 以便在PWM A组和PWM B组之间产生特定的死区时间.

图5为死区时间控制时序图.

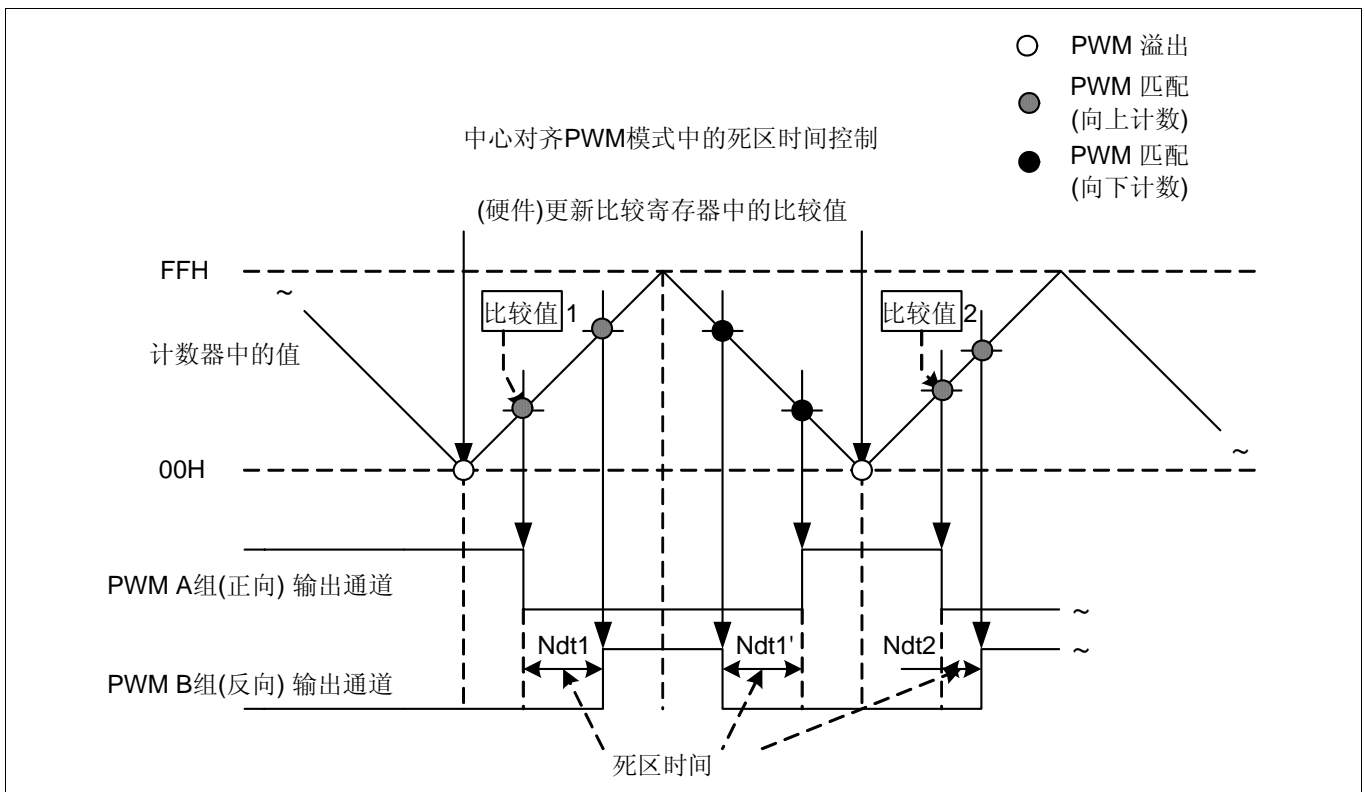


图 5. 死区时间控制时序图

Ndt1是上端晶体管关闭和下端晶体管打开之间的死区时间. Ndt1' 是上端晶体管打开和下端晶体管关闭之间的死区时间.

设置中心对齐的PWM(带死区时间控制)

图6为设置中心对齐的PWM程序流程图.

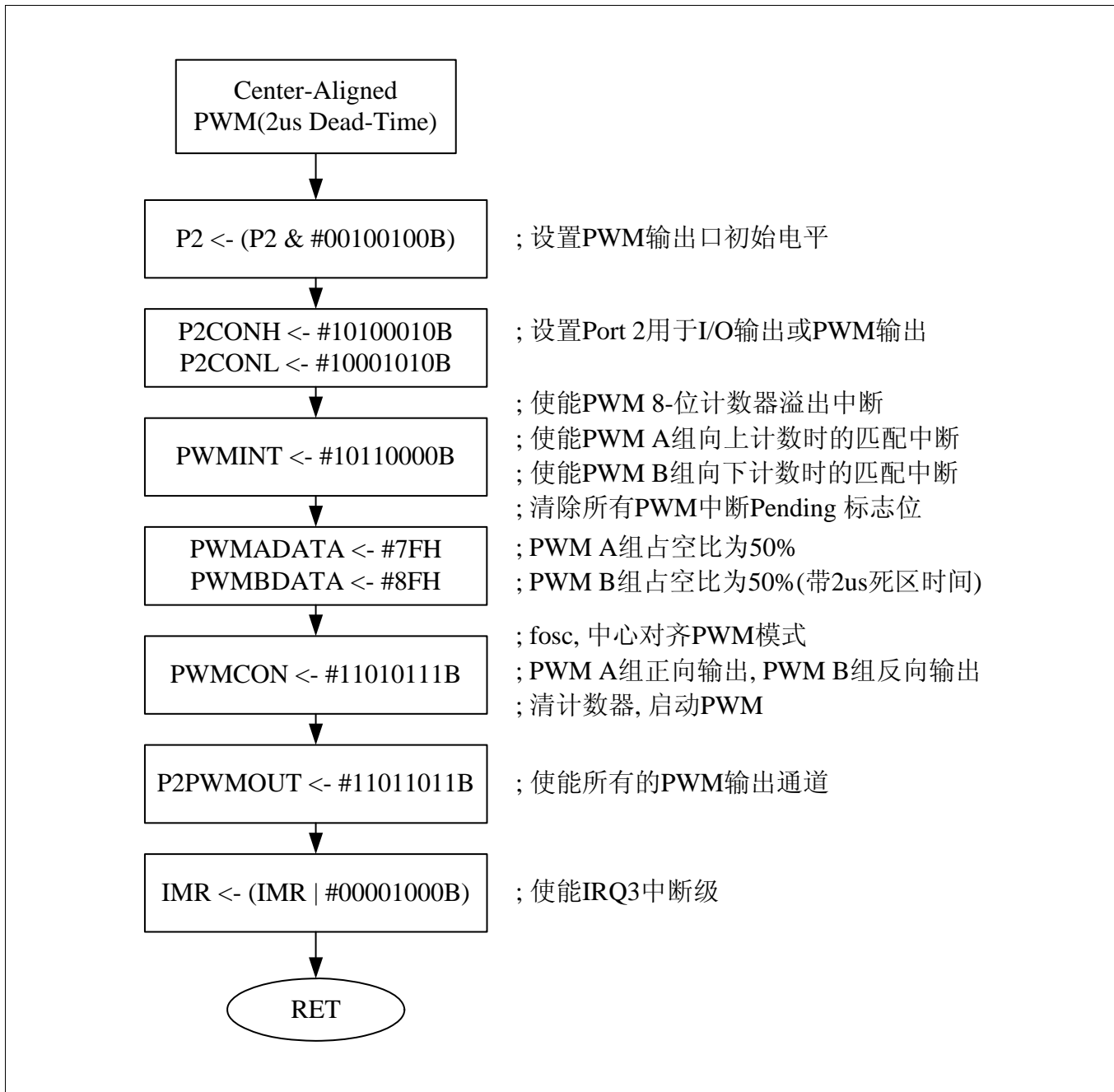


图 6. 中心对齐带2us死区时间的PWM程序流程图

设置中心对齐带2us死区时间的PWM源代码

```

;=====
;=====  Center-aligned PWM (2us dead-time)  =====
;=====
SR_CA_PWM_2USDT:
    AND    P2, #00100100B           ; 设置PWM输出口的初始电平
    LD     P2CONH, #10100010B      ; 设置P2.7, P2.6, P2.4用于I/O输出或者PWM输出
    LD     P2CONL, #10001010B      ; 设置P2.3, P2.1, P2.0用于I/O输出或者PWM输出
    LD     PWMINT, #10110000B      ; 使能PWM 8-位计数器溢出中断
                                           ; 使能PWMA 组向上计数时的匹配中断
                                           ; 使能PWMB 组向下计数时的匹配中断
                                           ; 清除所有的PWM中断Pending标志位
    LD     PWMADATA, #7FH           ; PWMA 组占空比为50%
    LD     PWMBDATA, #8FH           ; PWMB 组占空比为50%(带2us死区时间)
    LD     PWMCON, #11010111B      ; fosc
                                           ; 中心对齐PWM模式
                                           ; PWMA 组正向输出模式
                                           ; PWMB 组反向输出模式
                                           ; 清计数器, 开始计数,
    LD     P2PWMOUT, #11011011B    ; 使能所有PWM输出通道
    OR     IMR, #00001000B         ; 使能IRQ3中断级
    RET
    
```

中断服务程序源代码

```

;=====
;=====  PWM Overflow ISR  =====
;=====
ISR_PWMOVF:
    AND    PWMINT, #11111011B      ; 清除PWM 8-位计数器溢出中断Pending标志位
    IRET
    
```

```

;=====
;=====  PWM Group A Match ISR  =====
;=====
ISR_PWMAMATCH:
    AND    PWMINT, #11111101B      ; 清除PWMA 组比较匹配中断Pending标志位
    IRET
    
```

```

;=====
;=====  PWM Group B Match ISR  =====
;=====
ISR_PWMBMATCH:
    AND    PWMINT, #11111110B      ; 清除PWMB 组比较匹配中断Pending标志位
    IRET
    
```

PWM的其他设置

图7为PWM其他设置的程序流程图,包括更改PWM占空比, PWM通道切换, 以及PWM停止等子程序.

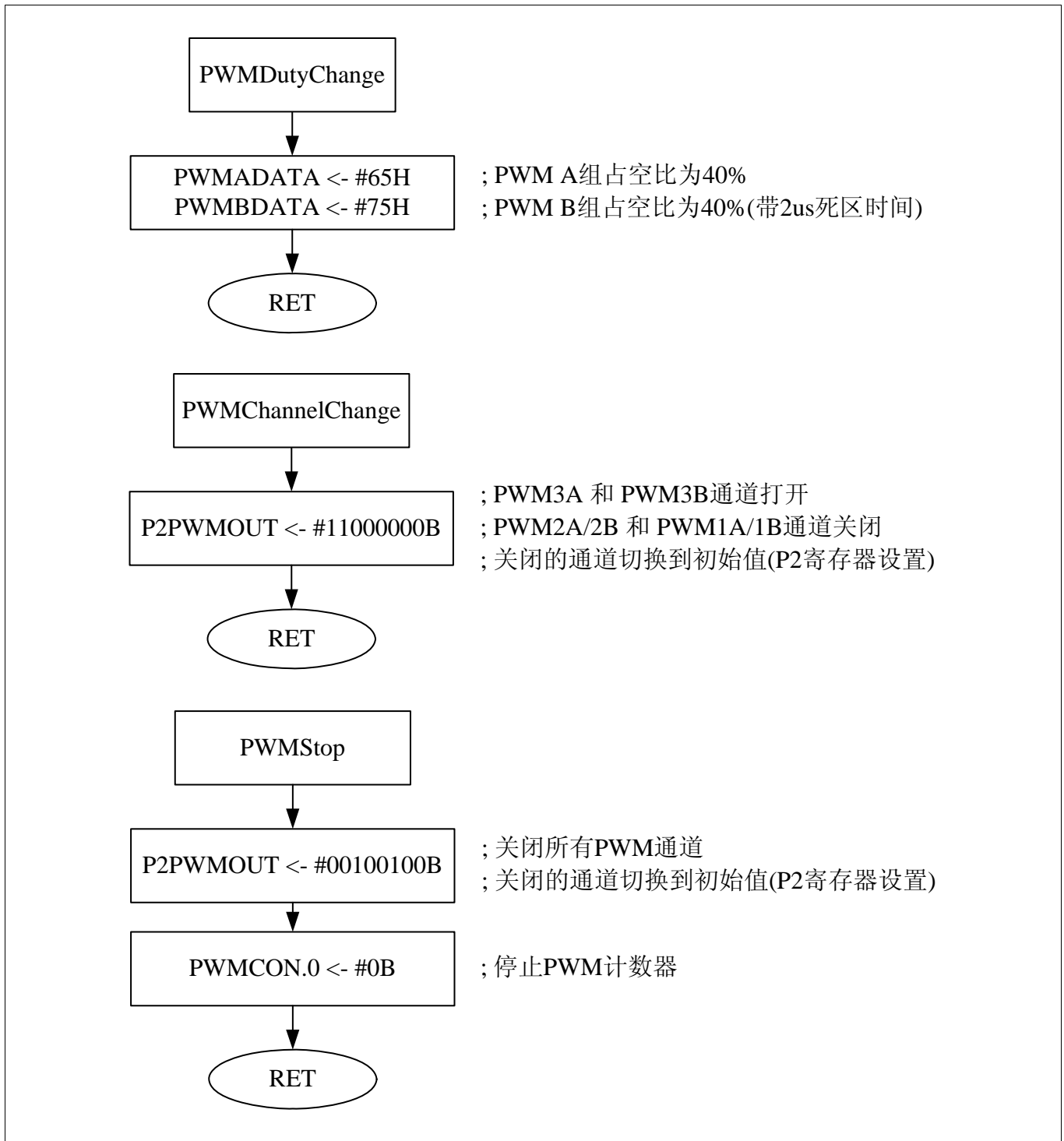


图 7. 更改PWM占空比, 切换PWM通道以及关闭PWM程序流程图

更改PWM占空比源代码

```

;=====
;===== PWM Duty Cycle Change =====
;=====
SR_PWMDDUTY:
    LD    PWMADATA, #65H           ; PWMA组占空比改为40%
    LD    PWMBDATA, #75H         ; PWMB组占空比改为40%(带2us死区时间)
    RET

```

切换PWM通道源代码

```

;=====
;===== PWM Channel Change =====
;=====
SR_PWMCHANNEL:
    AND   P2, #11100100B         ; 预设PWM输出初始值
                                           ; (注:若之前已设置,且未改动,则此处可省略)
    LD    P2PWMOUT, #11000000B   ; PWM3A和PWM3B通道打开
    LD    PWMBDATA, #75H         ; PWM2A/2B和PWM1A/1B通道关闭
                                           ; 关闭的通道切换到初始值(P2寄存器设置)
    RET

```

关闭PWM源代码

```

;=====
;===== PWM Stop =====
;=====
SR_PWMSTOP:
    AND   P2, #11100100B         ; 预设PWM输出初始值
                                           ; (注:若之前已设置,且未改动,则此处可省略)
    LD    P2PWMOUT, #11000000B   ; 关闭所有的PWM通道
                                           ; 关闭的通道切换到初始值(P2寄存器设置)
    LD    PWMBDATA, #75H         ; 停止PWM计数器
    RET

```

表 1. PWM控制寄存器的PWM波形模式和组比较输出模式选择

PWM 波形模式位 (PWMCON.4)	PWM 组输出模式位 (PWMCON.3/.2)	PWM模块波形发生器的描述
0	0	<ul style="list-style-type: none"> •比较匹配时, 将PWM输出管脚清零. •计数值为FFH时, 将PWM输出管脚置起.
0	1	<ul style="list-style-type: none"> •比较匹配时, 将PWM输出管脚置起. •计数值为FFH时, 将PWM输出管脚清零.
1	0	<ul style="list-style-type: none"> •向上计数时发生比较匹配, 将PWM输出管脚清零. •向下计数时发生比较匹配, 将PWM输出管脚置起.
1	1	<ul style="list-style-type: none"> •向上计数时发生比较匹配, 将PWM输出管脚置起. •向下计数时发生比较匹配, 将PWM输出管脚清零.

备注: 在任何波形模式下, 当比较值寄存器的值为00H时, 正向模式输出固定为低电平, 反向模式输出固定为高电平. 这种情况下, 计数器开始计数后的第一个匹配中断将被忽略. 当比较值寄存器的值为FFH时, 正向模式输出固定为高电平, 反向模式输出固定为低电平. 在种情况下, 同一时刻只允许一个中断(溢出或匹配)使能.

备注