

MSP430 定时器模块设计

MSP430系列单片机的定时器相当丰富，有定时器TIMER_A、定时器TIMER_B、看门狗定时器WDT等。其中看门狗主要用于程序的完善性控制等方面；TIMER_A和TIMER_B基本相同，而且功能复杂，这里将详细讲解。

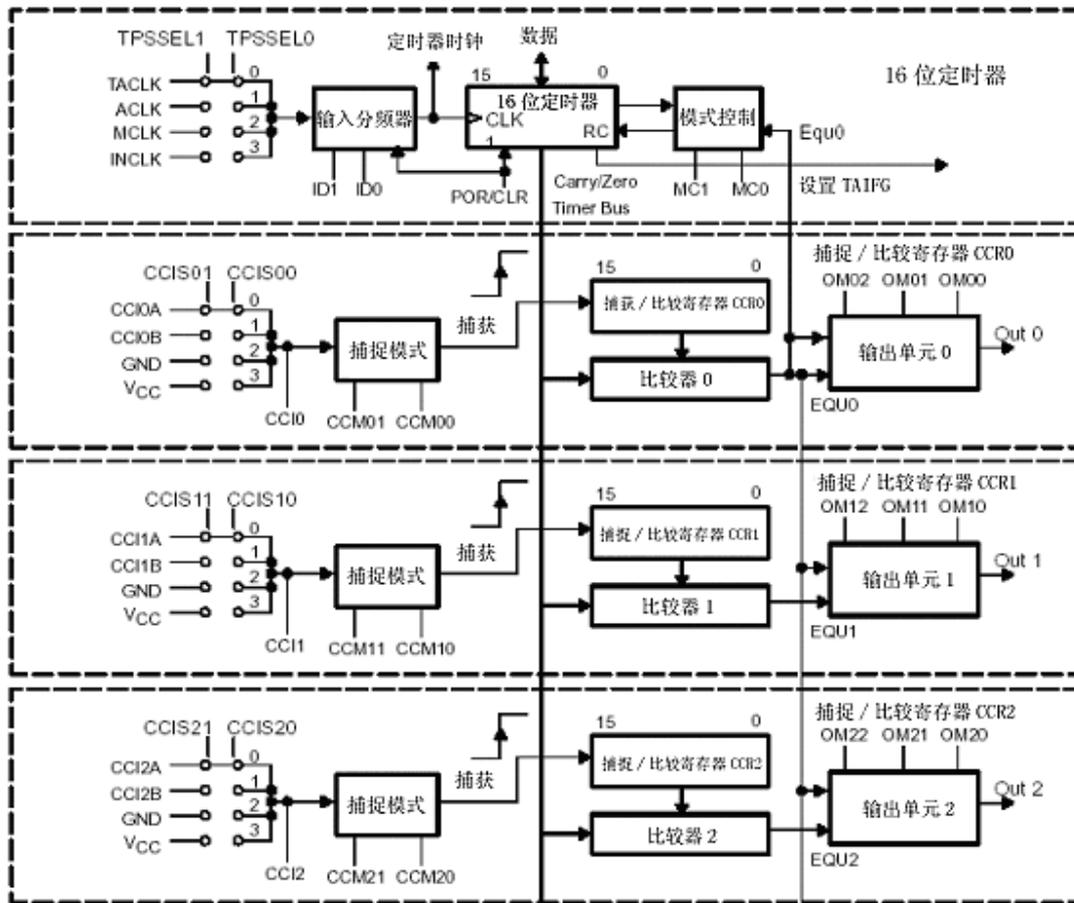
TI推出的所有MSP430系列单片机都有定时器A(TIMER_A)，它是程序设计的核心，它有一个十六位定时器和多路比较/捕获通道组成。每一个比较/捕获通道都以十六位定时器的定时功能为核心进行单独的控制。MSP430系列单片机的TIMER_A有以下特性：

- 输入时钟可以有多种选择，可以是慢时钟，快时钟以及外部时钟
- 虽然没有自动重装功能，但产生的定时脉冲或PWM（脉宽调制）信号没有软件带来的误差
- 不仅能捕获外部事件发生的时间还可锁定其发生时的高低电平
- 可实现串口通信
- 完善的中断服务功能
- 4种计数功能选择
- 8路输出方式选择
- 支持多时序控制
- DMA使能

MSP430系列单片机的TIMER_A结构复杂，功能强大，适合应用于工业控制，如数字化电机控制，电表和手持式仪表的理想配置。它给开发人员提供了较多灵活的选择余地。例如，虽然在采用廉价的单片机进行产品设计时，用RC 充放电原理测量已经是很平常的事。但是，由于单片机比较廉价，往往分辨率很低。MSP430 系列单片机采用16 位的TIMER_A 定时器，再加上内部的比较器，至少能达到10 位的A/D 测量精度；利用TIMER_A 生成的PWM 能用软件任意改变占空比和周期，配合滤波器件可方便地实现D/A 转换；当PWM 不需要修改占空比和时间时，TIMER_A 能自动输出PWM，而不需利用中断维持PWM输出。

1. 定时器 A 功能及结构

定时器 A 基本结构是一个十六位计数器，由时钟信号驱动工作，结构框图如下图所示。



定时器 A 结构图

定时器 A 具有多种功能，其特性如下：

(1) 输入时钟可以有三种选择，可以是慢时钟（ACLK）、快时钟（SMCLK 与单片机主时钟同频）和外部时钟。

(2) 能产生的定时中断、定时脉冲和 PWM（脉宽调制）信号，没有软件带来的误差。

(3) 不仅能捕获外部事件发生的时间，还可选择触发脉冲沿（由上升沿或下降沿触发）。

定时器 A 功能模块主要包括：

(1) 计数器部分：输入的时钟源具有 4 种选择，所选定的时钟源又可以 1、2、4 或 8 分频作为计数频率，Timer_A 可以通过选择 4 种工作模式灵活的完成定时/计数功能。

(2) 捕获/比较器：用于捕获事件发生的时间或产生时间间隔，捕获比较功能的引入主要是为了提高 I/O 端口处理事务的能力和速度。不同的 MSP430 单片机，Timer_A 模块中所含有的捕获/比较器的数量不一样，每个捕获/比较器的结构完全相同，输入和输出都取决于各自所带控制寄存器的控制字，捕获/比较器相互之间完全独立工作。

(3) 输出单元：具有可选的 8 种输出模式，用于产生用户需要的输出信号，支持 PWM 输出。

2. 定时器工作模式

(1) 停止模式：停止模式用于定时器暂停，并不发生复位，所有寄存器现行的内容在停止模式结束后都可用。当定时器暂停后重新计数时，计数器将从暂停时的值开始以暂停前的计数方向计数。例如，停止模式前，Timer_A 工作于增/减计数模式并且处于下降计数方向，停止模式后，Timer_ 仍然工作于增/减计数模式，从暂停前的状态开始继续沿着下降方向开始计数。如果不需这样，则可通过 TACTL 中的 CLR 控制位来清除定时器的方向记忆特性。

(2) 增计数模式：捕获/比较寄存器 CCR0 用作 Timer_A 增计数模式的周期寄存器，因为 CCR0 为 16 位寄存器，所以该模式适用于定时周期小于 65536 的连续计数情况。计数器 TAR 可以增计数到 CCR0 的值，当计数值与 CCR0 的值相等(或定时器值大于 CCR0 的值)时，定时器复位并从 0 开始重新计数。增计数模式的计数过程如图 4-2 所示。通过改变 CCR0 值，可重置计数周期。

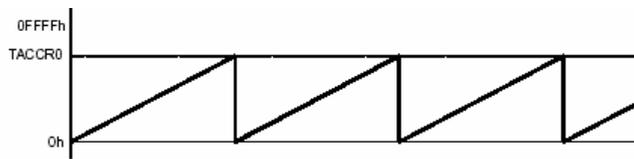


图 4-2 增计数模式示意图

(3) 连续计数模式：在需要 65536 个时钟周期的定时应用场合常用连续计数模式。定时器从当前值计数到单增到 0FFFFH 后，又从 0 开始重新计数如图 4-3 所示。

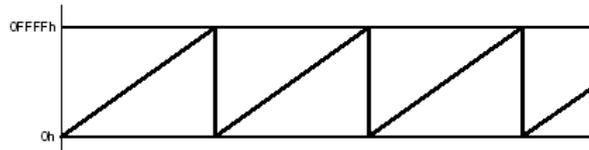


图 4-3 连续计数模式

(4) 增/减计数模式

需要对称波形的情况经常可以使用增/减计数模式，该模式下，定时器先增计数到 CCR0 的值，然后反向减计数到 0。计数周期仍由 CCR0 定义，它是 CCR0 计数器数值的 2 倍。计数器的计数过程如图 4-4 所示。

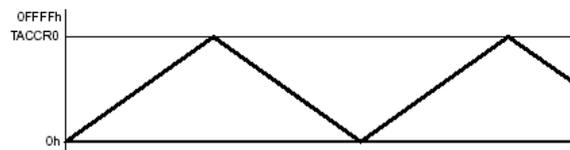


图 4-4 增/减计数模式

3. 输出单元

定时器 A 的输出单元输出模式有 8 种，增计数模式下输出模式如图 4-5 所示。

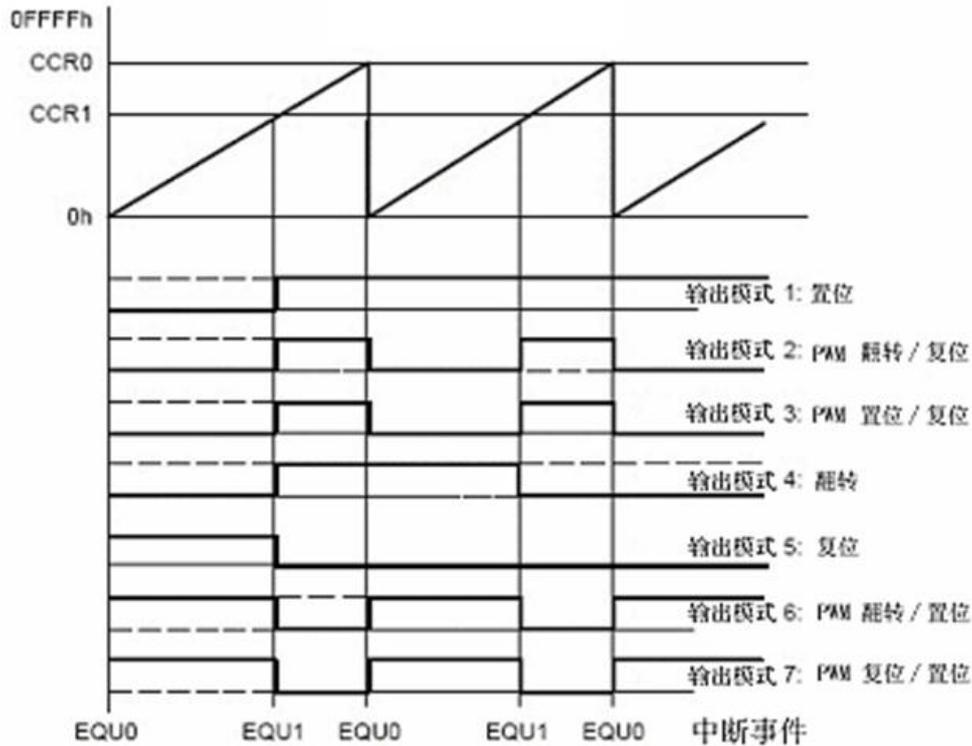


图 4-5 输出模式示意图

各模式说明如下：

(1) 输出模式 0—输出模式：输出信号 OUT_x 由每个捕获/比较模块的控制寄存器 $CCTL_x$ 中的 OUT_x 位定义，并在写入该寄存器后立即更新。最终位 OUT_x 直通。

(2) 输出模式 1—置位模式：输出信号在 TAR 等于 CCR_x 时置位，并保持置位到定时器复位或选择另一种输出模式为止。

(3) 输出模式 2—PWM 翻转/复位模式：输出在 TAR 的值等于 CCR_x 时翻转，当 TAR 的值等于 CCR_0 时复位。

(4) 输出模式 3—PWM 置位/复位模式：输出在 TAR 的值等于 CCR_x 时置位，当 TAR 的值等于 CCR_0 时复位。

(5) 输出模式 4—翻转模式：输出电平在 TAR 的值等于 CCR_x 时翻转，输出周期是定时器周期的 2 倍。

(6) 输出模式 5—复位模式：输出在 TAR 的值等于 CCR_x 时复位，并保持低电平直到选择另一种输出模式。

(7) 输出模式 6—PWM 翻转/置位模式：输出电平在 TAR 的值等于 CCR_x 时翻转，当 TAR 值等于 CCR_0 时置位。

(8) 输出模式 7—PWM 复位/置位模式：输出电平在 TAR 的值等于 CCR_x 时复位，当 TAR 的值等于 CCR_0 时置位。

选用增计数模式、输出模式 7 产生的 PWM 输出波形如图 4-6 所示。

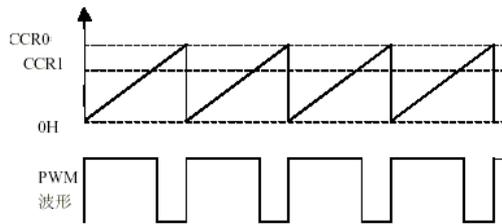


图 4-6 输出模式 7 产生 PWM 输出波形

4. 定时器 A 模块寄存器

16 位定时器 A 模块寄存器有下列：

寄存器名称	寄存器缩写
TimerA 控制寄存器	TACTL
TimerA 计数器	TAR
TimerA 中断向量寄存器	TAIV
捕获/比较寄存器 0	TACCR0
捕获/比较寄存器 1	TACCR1
捕获/比较寄存器 2	TACCR2
捕获/比较控制寄存器 0	TACCTL0
捕获/比较控制寄存器 1	TACCTL1
捕获/比较控制寄存器 2	TACCTL2

[1] TACTL TIMER_A 控制寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
Unused						TASSELx	
7	6	5	4	3	2	1	0
IDx	MCx	Unused	TACLx	TAIE	TAIFG		

全部关于定时器及其操作的控制位都包含在定时器控制寄存器 TACTL 中。POR 信号后 TACTL 的所有位

都自动复位，但在 PUC 信号后不受影响。TACTL 各位的定义如下：

TASSELx：选择定时器进入输入分频器的时钟源

0：TACLK 特定的外部引脚时钟

1：ACLK 辅助时钟

2：MCLK 系统时钟

3：INCLK 器件特有时钟

IDx: 输入分频选择

0: 不分频

1: 2分频

2: 4分频

3: 8分频

MCx: 计数模式控制位

0: 停止模式

1: 增计数模式

2: 连续计数模式

3: 增/减计数模式

TACLR: 定时器清除位

POR 或 CLR 置位时定时器和输入分频器复位。CLR 由硬件自动复位，其读出始终为 0。

定时器再下

一个有效输入沿开始工作。如果不是被清除模式控制位暂停，则定时器以增计数模式开始工作。

0: 无操作

1: 清除 TAR，时钟分频，计数模式的设置。清除设置后自动清零

54

TAIE: 定时器中断允许位

0: 禁止定时器溢出中断

1: 允许定时器溢出中断

TAIFG: 定时器溢出标志位

增计数模式时: 当定时器由 CCR0 计数到 0, TAIFG 置位;

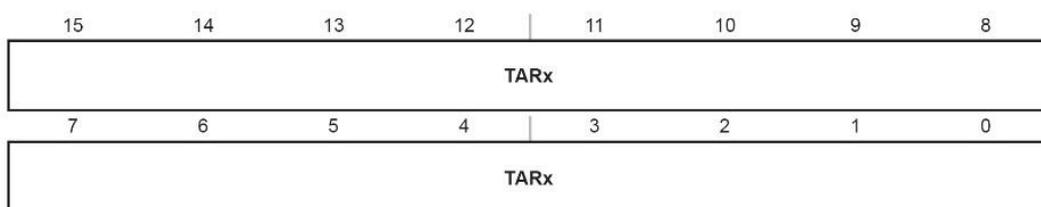
连续计数模式时: 当定时器由 0FFFFH 计数到 0 时, TAIFG 置位

增/减计数模式时: 当定时器由 CCR0 减计数到 0 时, TAIFG 置位。

0: 没有 TA 中断请求

1: 有 TA 中断请求

[2] TAR TIMER_A 计数器



该单元就是执行计数的单元，是计数器的主体，其内容可读可写。

[3] TACCTLx TIMER_A 捕获/比较控制寄存器x

15	14	13	12	11	10	9	8
CMx		CCISx		SCS	SCCI	Unused	CAP
7	6	5	4	3	2	1	0
OUTMODx			CCIE	CCI	OUT	COV	CCIFG

TIMER_A 有多个捕获/比较模块，每个模块都有自己的控制字 TACCTLx，这里 x 为捕获/比较模块序号。该寄存器再 POR 信号后全部复位，但在 PUC 信号后不受影响。该寄存器中各位的定义如下：

CMx：选择捕获模式

0：禁止捕获模式

1：上升沿捕获

2：下降沿捕获

3：上升沿和下降沿都捕获

CCISx：在捕获模式中用来定义提供捕获事件的输入源

0：选择 CCIxA

1：选择 CCIxB

2：选择 GND

3：选择 Vcc

SCS：选择捕获信号与定时时钟同步/异步关系

异步捕获模式允许在请求时立即将 CCIFG 置位和捕获定时器值，适用于捕获信号的周期远大于定时器周期的情况。但是，如果定时器时钟和捕获信号发生时间竞争，则捕获寄存器的值可能出错。

0：异步捕获

1：同步捕获

55

SCCI：同步比较/捕获输入

比较相等信号 EQU 信号将选中的捕获/比较输入信号 CCI 进行锁存，然后可由 SCCI 读出。

CAP：选择捕获模式/比较模式

如果通过捕获/比较寄存器 TACCTLx 中的 CAP 使工作模式从比较模式变为捕获模式，那么不应同时进行捕获，否则，在捕获/比较寄存器中的值使不可预料的。

推荐的指令顺序如下：（1）修改控制寄存器，由比较模式切换到捕获模式。（2）捕获

0：比较模式

1：捕获模式

OUTMODx: 选择输出模式

0: 输出

1: 置位

2: PWM 翻转/复位

3: 置位/复位

4: 翻转

5: 复位

6: PWM 翻转/置位

7: PWM 复位/置位

CCIE: 捕获/比较模块中断允许位

0: 禁止中断 (TACCRx)

1: 允许中断 (TACCRx)

CCI: 捕获/比较模块的输入信号

捕获模式: 由 CCIS0 和 CCIS1 选择的输入信号可通过该位读出

比较模式: CCI 复位

OUT: 输出信号

如果 OUTMODx 选择输出模式 0(输出), 则该位对应于输入状态。

0: 输出低电平

1: 输出高电平

COV: 捕获溢出标志

当 CAP=0 时, 选择比较模式.捕获信号发生复位。没有使 COV 置位的捕获事件。

当 CAP=1 时, 选择捕获模式。如果捕获寄存器的值被读出前在此发生捕获事件, 则 COV 置位。程序可检测 COV 来判断原值读出前是否又发生捕获事件。读捕获寄存器时不会使溢出标志复位, 须用软件复位。

0: 没有捕获溢出

1: 发生捕获溢出

CCIFG: 捕获比较中断标志

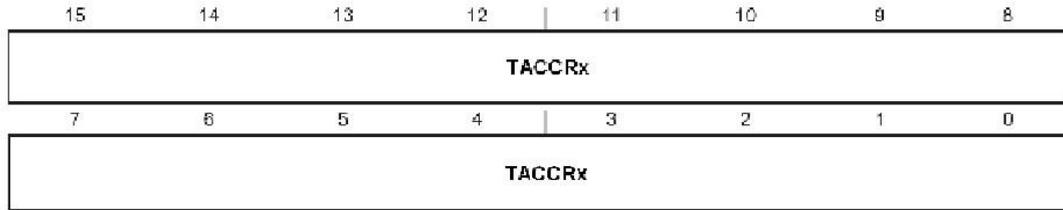
捕获模式: 寄存器 CCRx 捕获了定时器 TAR 值时置位。

比较模式: 定时器 TAR 值等于寄存器 CCRx 值时置位。

0: 没有中断请求 (TACCRx)

1: 有中断请求 (TACCRx)

[4] TACCRx TIMER_A 捕获/比较寄存器0



在捕获/比较模块中，可读可写。

在捕获方式，当满足捕获条件，硬件自动将计数器TAR 数据写入该寄存器。如果测量某窄脉冲(高电平)

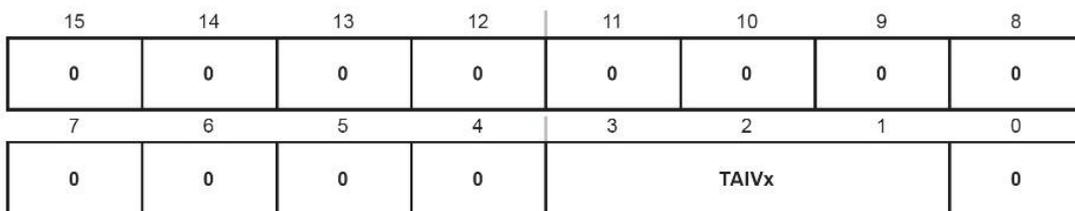
脉冲长度，可定义上升沿和下降沿都捕获。在上升沿时，捕获一个定时器数据，这个数据在捕获寄存器中

读出；再等待下降沿到了，在下降沿时又捕获一个定时器数据；那么两次捕获的定时器数据就时窄脉冲的

高电平宽度。

其中CCR0经常用作周期寄存器，其他CCRx相同。

[5] TAIV TIMER_A 中断向量寄存器



TIMER_A中断可由计数器溢出引起，也可以来自捕获/比较寄存器。每个捕获/比较模块可独立编程，由捕获/比较外部信号以产生中断。外部信号可以是上升沿，也可以是下降沿，也可以两者都有。

Timer_A模块使用两个中断向量，一个单独分配给捕获/比较寄存器CCR0，另一个作为共用中断向量用于定时器和其他的捕获/比较寄存器。

TAIV Contents	Interrupt Source	Interrupt Flag	Interrupt Priority
00h	No interrupt pending	—	
02h	Capture/compare 1	TACCR1 CCIFG	Highest
04h	Capture/compare 2	TACCR2 CCIFG	
06h	Reserved	—	
08h	Reserved	—	
0Ah	Timer overflow	TAIFG	
0Ch	Reserved	—	
0Eh	Reserved	—	Lowest

捕获/比较寄存器CCR0中断向量具有最高的优先级,因为CCR0能用于定义增计数和增/减计数模式的周期,因此,它需要最高的服务。CCIFG0在被中断服务时能自动复位。

CCR1~CCR_x 和定时器共用另一个中断向量,属于多源中断,对应的中断标志

CCIFG1~CCIFG_x 和TAIFG1在读中断向量字TAIV后,自动复位。如果不访问TAIV寄存器,则不能自动复位,须用软件清除;如果对应的中断允许位复位(不允许中断),则将不会产生中断请求,但中断标志仍然存在,这时须用软件清除。

5.总结

定时器模块是单片机中很重要的一个模块,通过定时器的设计,我们可以获取定时信息,并根据定时信息作出我们所需要的控制操作。灵活地使用定时器,使相当多需要人控制时间的工作变得简单了许多,并且使系统结构更加简洁。