

第5章

CPU的特殊功能

本章学习目标

PIC16F87X 单片机与其他单片机相比具有一些独特的优点,采用这些芯片构成的应用开发系统,不仅可以提供最高的系统可靠性,而且还能最大限度地减少外围器件,以降低系统成本和功耗。掌握 PIC16F87X 单片机多功能的配置方式,对于从事单片机应用开发工程师人员来说,是非常必要的,同时也为其提供了广阔的选择空间。

PIC16F87X 单片机的配置方式包括以下内容:

- (1) 振荡器选择。
- (2) 复位。复位又包括上电复位(Power-On Reset, POR)、上电延时定时器(Power-up Timer, PWRT)、振荡器起振定时器(Oscillator Start-up Timer, OST)及欠压复位(Brown-Out Reset, BOR)。
- (3) 中断。
- (4) 看门狗定时器(WatchDog Timer, WDT)。
- (5) 睡眠。
- (6) 代码保护。
- (7) ID 存储单元。
- (8) 在线电路串行编程
- (9) 低电压在线串行编程。
- (10) 在线调试。

PIC16F87X 单片机具有一个看门狗定时器,且只能通过配置位 WDTE 来关闭。它可以在自带的 RC 振荡器下运行,以增加可靠性。

PIC16F87X 单片机具有两个定时器,用来提供上电所必需的延时。一个是振荡器起振定时器,旨在保证从复位开始,直到晶体振荡器起振的时间段内芯片稳定。另一个是上电延时定时器,仅在上电时,它提供一个固定的 72ms(标称值)延时。它的目的是保证在复位时电源稳定。有了这两个片上定时器,大多数应用不再需要外部复位电路。

休眠模式被设计成低电流省电模式。用户可以通过外部复位、看门狗定时器或中断将单片机从休眠状态唤醒。

有几种振荡器选项以适应不同的应用需要,RC 振荡器可节约系统成本,而选择 LP 晶振可以省电。通过配置位的设置来选择不同的选项。

关于 CPU 特殊功能的其他信息,请读者参阅 PIC16F87X 数据手册。

5.1 系统配置寄存器

在 PIC 系列单片机中,其芯片内部大都设置有一个特殊的程序存储器单元,即系统配置寄存器,用来由用户自行配置或定义,以便完成一些特殊的功能。这也是单片机制造厂家将部分单片机的硬件功能软化设计的一种手法,目的是使单片机的应用开发具有更大的灵活性。

系统配置寄存器中的配置位规定了单片机的部分工作模式,其宽度和程序存储器宽度相同,对于 PIC16F87X 单片机来说,系统配置寄存器 14 位宽,地址为 2007H。由于 13 位宽的程序计数器 PC 只能寻址 0000H~1FFFH 的 8K 地址范围,因此,系统配置寄存器不能被用户程序访问到,只能通过程序烧写器对其进行编程。系统配置寄存器各位的含义如图 5-1 所示。

bit13	bit12	bit11	bit10	bit9	bit8	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
CP1	CP0	DEBUG	—	WRT	CPD	LVP	BODEN	CP1	CP0	PWRTE	WDTE	F0SC1	F0SC0

图 5-1 系统配置字单元

bit13、bit12 (bit5、bit4) CP1;CP0: 用于 Flash 程序存储器中的代码(即用户程序)保护。对于不同型号的单片机,其定义也不同。

11=禁止代码保护功能。

10=代码保护范围 1F00h~1FFFh (PIC16F877/ 876)。

10=代码保护范围 0F00h~0FFFh (PIC16F874/ 873)。

01=代码保护范围 1000h~1FFFh (PIC16F877/ 876)。

01=代码保护范围 0800h~0FFFh (PIC16F874/ 873)。

00=代码保护范围 0000h~1FFFh (PIC16F877/ 876)。

00=代码保护范围 0000h~0FFFh (PIC16F874/ 873)。

bit11 DEBUG: 在线调试模式。

1=在线调试功能被禁止, RB6 和 RB7 为普通 I/O 引脚。

0=在线调试功能被启用, RB6 和 RB7 专门用于调试器。

bit10 未定义: 读取时将返回 1。

bit9 WRT: Flash 程序存储器写操作使能位。

1=没有设置保护的程序存储器的部分,可以通过 EECON 寄存器控制被烧写。

0=没有设置保护的程序存储器的部分,不能通过 EECON 寄存器控制被烧写。

bit8 CPD: 用于 EEPROM 数据存储器中的代码保护。

1=禁止 EEPROM 数据存储器代码保护功能。

0=使能 EEPROM 数据存储器代码保护功能。

bit7 LVP: 低电压在线串行编程使能位。

1=使能 RB3/PGM 引脚低电压编程功能。

- 0=禁止 RB3/PGM 引脚低电压编程功能, RB3 定义为数字 I/O 端口, $\overline{\text{MCLR}}$ 应接高电压才能编程。
- bit6 BODEN: 掉电复位锁定 BOR 使能位。
1=BOR 功能被使能。
0=BOR 功能被禁止。
- bit3 $\overline{\text{PWRTE}}$: 上电延时定时器 PWRT 使能位。
1=禁止 PWRT 功能。
0=使能 PWRT 功能。
- bit2 WDTE: 看门狗定时器 WDT 使能位。
1=使能 WDT 功能。
0=禁止 WDT 功能。
- bit1、bit0 FOSC1、FOSC0: 单片机系统振荡器类型选择位。
11=选择 RC 型, 阻容振荡方式。
10=选择 HS 型, 高频振荡方式。
01=选择 XT 型, 标准振荡方式。
00=选择 LP 型, 低频振荡方式。

说明: bit13、bit12 与 bit5、bit4 设置相同, 注意在编程时必须同时被赋予相同的值, 以确保对应的程序代码保护有效。

5.2 振荡器配置

5.2.1 振荡器分类

单片机是数字电路的典型应用。众所周知, 数字电路的工作过程尤其是时序逻辑电路的工作过程, 都是在时钟信号的控制下完成的。时钟振荡电路是时钟信号发生器, 它一方面为单片机芯片内部各部分电路的正常工作提供系统时钟信号, 同时也为单片机与其他外接芯片之间的通信, 以及与其他数字系统或者计算机系统之间的通信, 提供可靠的同步时钟信号。可以说, 时钟系统是维持单片机正常运转的一种必不可少的功能部件, 而振荡器是构成时钟系统的主要部件。

PIC16F87X 单片机有 4 种不同的振荡器模式, 用户可通过编程设置 FOSC1、FOSC0 两位配置位来选择以下 4 种模式中的一种:

- LP 方式, 低功耗晶体振荡器模式。
- XT 方式, 晶体振荡器/陶瓷谐振器模式。
- HS 方式, 高速晶体振荡器/陶瓷谐振器模式。
- RC 方式, 阻容振荡器模式。

5.2.2 晶体振荡器/陶瓷谐振器

在 XT、LP 或 HS 模式下, OSC1/CLKIN 和 OSC2/CLKOUT 引脚连接一个晶体或陶

瓷谐振器以产生振荡,如图 5-2 所示。其中只有 HS 和 XT 振荡方式才有可能需要另外接入一只电阻 R_s (满足 $100\Omega < R_s < 1000\Omega$), 一般情况下较少使用 R_s 。PIC16F87X 单片机振荡器的设计要求使用一个平行切割的晶体。而使用顺序切割的晶体,可能使振荡器产生的频率超出晶体制造厂商所给的参数范围。

在如图 5-2 所示的时钟振荡器电路中,片内由一只反相器 G1 和一只偏置电阻 RF 构成放大器,RF 的值取决于所用的晶体,与外接的一只石英晶体 XTAL 和电容 C1、C2 共同构成了一个电容三点式多谐振荡器。

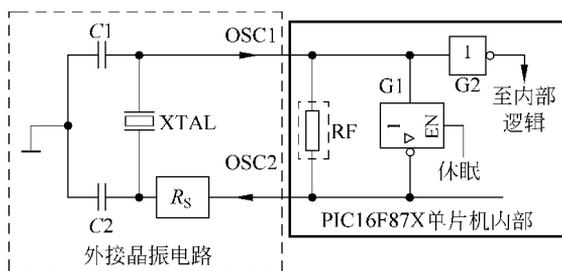


图 5-2 晶体或陶瓷谐振器电路

G1 是一只受休眠指令 SLEEP 控制的三态门,当执行休眠指令 SLEEP 时,G1 输出端呈现高阻状态,此刻时钟电路停振,导致单片机内部的绝大部分电路停止工作,从而进入低功耗模式,达到节电的目的。时钟信号经过反相器 G2 进行隔离和缓冲后,被输送到单片机内部各功能电路。

外接晶振电路中的两只电容器 C1、C2 的参数如表 5-1 和表 5-2 所示。此表中的电容值是建议值,供读者在选择器件时参考。电容值越大越有利于振荡器的工作稳定,但也会加大振荡器起振的时间。

表 5-1 外接陶瓷谐振器时 C_1 和 C_2 的参考值

方式	频率	C_1	C_2
XT	455kHz	68~100pF	68~100pF
	2.0MHz	10~68pF	15~68pF
	4.0MHz	15~68pF	15~68pF
HS	8.0MHz	10~68pF	10~68pF
	16.0MHz	10~22pF	10~22pF

表 5-2 外接晶体振荡器时 C_1 和 C_2 的参考值

方式	频率	C_1	C_2
LP	32kHz	33pF	33pF
	200kHz	15pF	15pF
	200kHz	47~68pF	47~68pF
XT	1.0MHz	15pF	15pF
	4.0MHz	15pF	15pF
	4.0MHz	15pF	15pF
HS	8.0MHz	15~33pF	15~33pF
	20.0MHz	15~33pF	15~33pF

在 XT、LP 或 HS 模式下,可用一个外部时钟源来驱动 OSC1/CLKIN 引脚,如图 5-3 所示。

5.2.3 RC 振荡器

在对定时要求不高的应用场合,采用 RC 振荡器可降低成本。RC 振荡器频率是电阻 R_{EXT} 、电容 C_{EXT} 、电源电压及环境温度的函数,而电阻器件和电容器件的参数存在着误差率大、分散性大和温度稳定性差等问题,且电源电压和环境温度也随时波动,这些因素导致了 RC 振荡器时钟频率的精确度和稳定性都较差。另外,由于制造工艺参数的差异,不同的单片机芯片其振荡频率也有所不同。而不同封装的引线电容不同,也会影响振荡频率,特别是 C_{EXT} 值较小时,其影响尤为明显。此外,用户还需要考虑由于外接电阻和电容的公差所带来的影响。

RC 时钟振荡器接线如图 5-4 所示,RC 振荡器电路主要由片内的一只同相施密特触发器 G1、一只 NMOS 管以及片外的电阻 R_{EXT} 和电容 C_{EXT} 构成。RC 时钟振荡器的工作原理如下:

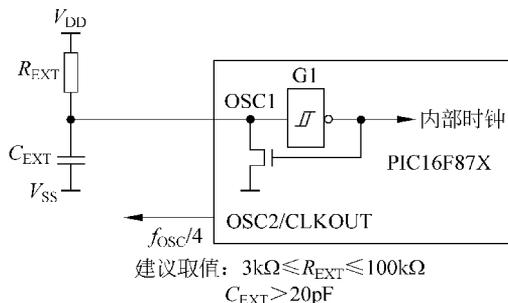


图 5-4 外接的 RC 振荡模式

初始加电的瞬间,电容 C_{EXT} 两极板上没有电荷,故其端电压为 0,触发器 G1 输出低电平,NMOS 管因栅极电压为 0 而截止(源极和漏极之间不导通);随着加电时间的延长,电容 C_{EXT} 经过电阻 R_{EXT} 进行充电,电容 C_{EXT} 端电压逐渐上升,当该电压上升到足以使施密特触发器 G1 状态反转时,G1 输出状态变为高电平;此时 NMOS 管因栅极得到偏压而导通,NMOS 管的导通给电容 C_{EXT} 提供迅速放电的回路,当电容 C_{EXT} 放电电压下降到使施密特触发器再次发生状态反转时,G1 的输出状态变为低电平;此时 NMOS 管又变为截止状态,电容 C_{EXT} 重新开始充电,如此循环往复,在施密特触发器的输出端便得到一系列的方波信号,为单片机内部提供时钟信号。

RC 振荡方式是单片机通过 OSC1 引脚连接外部阻容器件,此时 OSC2 引脚用作指令周期信号(时钟频率的 4 分频)的输出端,可用作测试或同步其他逻辑单元。

RC 振荡方式所需外接的阻容器件参数选择需注意,当 R_{EXT} 的阻值低于 $2.2\text{k}\Omega$ 时,振荡器工作可能变得不稳定,或完全停止振荡。 R_{EXT} 值过高时(如超过 $1\text{M}\Omega$)振荡器则易受噪声、湿度和漏电流的干扰。因此,建议将 R_{EXT} 保持在 $3\sim 100\text{k}\Omega$ 之间。尽管在没有外部电容($C_{EXT} = 0\text{pF}$)的情况下,振荡器仍可工作,但考虑到噪声和稳定性等因素,仍建议使用一个

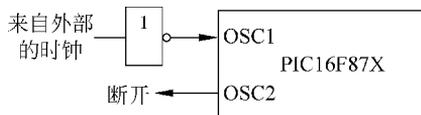


图 5-3 外部时钟输入

大于 20pF 的电容。RC 振荡方式下,外接阻容参数与频率的关系如表 5-3 所示。

表 5-3 阻容参数与频率参考值

C_{EXT}/pF	$R_{EXT}/k\Omega$	频率/kHz	误差率
20	3.3	4973	±27%
	5	3820	±21%
	10	2220	±21%
	100	262.15	±31%
100	3.3	1630	±13%
	5	1190	±13%
	10	684.64	±18%
	100	71.56	±25%
300	3.3	660	±10%
	5	481.1	±14%
	10	267.63	±15%
	100	29.44	±19%

5.3 复位

复位是单片机的一项重要操作内容,其目标是确保单片机运行过程有一个良好的开端。PIC16F87X 单片机有以下几种类型的复位:

- (1) 上电复位(POR)。
- (2) 正常工作状态下的 \overline{MCLR} 复位。
- (3) 休眠状态下的 \overline{MCLR} 复位。
- (4) 正常工作状态下 WDT 复位。
- (5) 休眠状态下的 WDT 唤醒。
- (6) 欠压复位(BOR)。

一些寄存器不受复位的影响,在上电复位(POR)时,它们的状态未知,且不会被其他任何复位所改变。而大多数寄存器在上电复位(POR)、 \overline{MCLR} 复位、WDT 复位、休眠状态下的 \overline{MCLR} 复位及掉电复位(BOR)时,被强行置成“复位状态”。这些寄存器不受 WDT 唤醒复位的影响,这是因为 WDT 唤醒复位被看做是恢复正常运行。状态位 \overline{TO} 和 \overline{PD} 在不同的复位方式下有着不同的置“1”和清“0”状态,如表 5-4 所示,这些状态位在软件中用于判断复位的类型。表 5-5 列出了特殊寄存器的复位条件。表 5-6 列出了所有寄存器的复位状态。图 5-5 给出了一个单片机复位电路的简化框图。

单片机在 \overline{MCLR} 复位通道上设有一个 \overline{MCLR} 噪声过滤器,该过滤器将检测或忽略小的脉冲信号。

应该注意,一个 WDT 复位不会将 \overline{MCLR} 引脚驱动为低电平。

表 5-4 不同复位方式下状态位的定义

$\overline{\text{POR}}$	$\overline{\text{BOR}}$	$\overline{\text{TO}}$	$\overline{\text{PD}}$	复位方式
0	x	1	1	上电复位
0	x	0	x	非法,在上电复位时 $\overline{\text{TO}}$ 置为 1
0	x	x	0	非法,在上电复位时 $\overline{\text{PD}}$ 置为 1
1	0	1	1	欠压复位
1	1	0	1	WDT 复位
1	1	0	0	WDT 唤醒复位
1	1	u	u	在正常运行时 $\overline{\text{MCLR}}$ 复位
1	1	1	0	休眠时 $\overline{\text{MCLR}}$ 复位

注: x=无关; u=未改变。

表 5-5 特殊寄存器的复位条件

条 件	程序计数器	状态寄存器	PCON 寄存器
上电复位	000h	0001 1xxx	---- --0x
正常运行时的 $\overline{\text{MCLR}}$ 复位	000h	000u uuuu	---- --uu
休眠时的 $\overline{\text{MCLR}}$ 复位	000h	0001 0uuu	---- --uu
WDT 复位	000h	0000 1uuu	---- --uu
WDT 唤醒	PC+1	uuu0 0uuu	---- --uu
欠压复位	000h	0001 1uuu	---- --u0
休眠时的中断唤醒	PC+1 ^①	uuu1 0uuu	---- --uu

注: u=不变; x=未知; --=未用,读为'0'。

当器件被中断唤醒且全局使能位 GIE 置 1 时,PC 指针将指向中断矢量 0004h。

表 5-6 所有寄存器的复位状态

寄存器名称	单片机型号				上电复位 欠压复位	MCLR 复位 WDT 复位	唤醒、中断 WDT 溢出
	873	874	876	877			
W	873	874	876	877	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu
INDF	873	874	876	877	N/A	N/A	N/A
TMR0	873	874	876	877	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu
PCL	873	874	876	877	0000h	0000h	RC+1 ^②
STATUS	873	874	876	877	0001 1xxx	000q quuu ^③	uuuq quuu ^③
FSR	873	874	876	877	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu
PORTA	873	874	876	877	--0x 0000	--0u 0000	--uu uuuu
PORTB	873	874	876	877	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu
PORTC	873	874	876	877	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu
PORTD	873	874	876	877	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu
PORTE	873	874	876	877	---- -xxx	---- -uuu	---- -uuu
PCLATH	873	874	876	877	--0 0000	---0 0000	---u -uuu
INTCON	873	874	876	877	0000 000x	0000 000u	uuuu uuuu ^①
P1R1	873	874	876	877	r000 0000	r000 0000	ruuu uuuu ^①
	873	874	876	877	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu ^①
P1R2	873	874	876	877	-r-0 0--0	-r-0 0--0	-r-u u--u ^①

续表

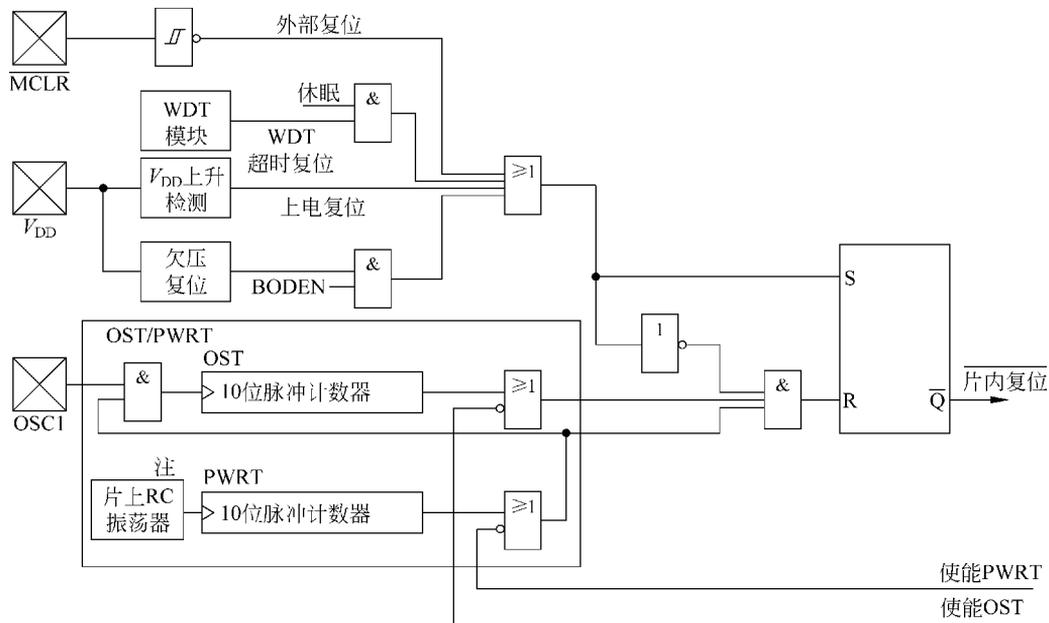
寄存器名称	单片机型号				上电复位		MCLR 复位		唤醒、中断	
					欠压复位		WDT 复位		WDT 溢出	
TMR1L	873	874	876	877	xxxx	xxxx	uuuu	uuuu	uuuu	uuuu
TMR1H	873	874	876	877	xxxx	xxxx	uuuu	uuuu	uuuu	uuuu
T1CON	873	874	876	877	--00	0000	--uu	uuuu	--uu	uuuu
TMR2	873	874	876	877	0000	0000	0000	0000	uuuu	uuuu
T2CON	873	874	876	877	-000	0000	-000	0000	-uuu	uuuu
SSPBUF	873	874	876	877	xxxx	xxxx	uuuu	uuuu	uuuu	uuuu
SSPCON	873	874	876	877	0000	0000	0000	0000	uuuu	uuuu
CCPR1L	873	874	876	877	xxxx	xxxx	uuuu	uuuu	uuuu	uuuu
CCPR1H	873	874	876	877	xxxx	xxxx	uuuu	uuuu	uuuu	uuuu
CCP1CON	873	874	876	877	--00	0000	--00	0000	--uu	uuuu
RCSTA	873	874	876	877	0000	000x	0000	000x	uuuu	uuuu
TXREG	873	874	876	877	0000	0000	0000	0000	uuuu	uuuu
RCREG	873	874	876	877	0000	0000	0000	0000	uuuu	uuuu
CCPR2L	873	874	876	877	xxxx	xxxx	uuuu	uuuu	uuuu	uuuu
CCPR2H	873	874	876	877	xxxx	xxxx	uuuu	uuuu	uuuu	uuuu
CCP2CON	873	874	876	877	0000	0000	0000	0000	uuuu	uuuu
ADRESH	873	874	876	877	xxxx	xxxx	uuuu	uuuu	uuuu	uuuu
ADCON0	873	874	876	877	0000	00-0	0000	00-0	uuuu	uu-u
OPTION_REG	873	874	876	877	1111	1111	1111	1111	uuuu	uuuu
TRISA	873	874	876	877	--11	1111	--11	1111	--uu	uuuu
TRISB	873	874	876	877	1111	1111	1111	1111	uuuu	uuuu
TRISC	873	874	876	877	1111	1111	1111	1111	uuuu	uuuu
TRISD	873	874	876	877	1111	1111	1111	1111	uuuu	uuuu
TRISE	873	874	876	877	0000	-111	0000	-111	uuuu	-uuu
PIE1	873	874	876	877	r000	0000	r000	0000	ruuu	uuuu
	873	874	876	877	0000	0000	0000	0000	uuuu	uuuu
PIE2	873	874	876	877	-r-0	0--0	-r-0	0--0	-r-u	u--u
PCON	873	874	876	877	----	--qq	----	--uu	----	--uu
PR2	873	874	876	877	1111	1111	1111	1111	1111	1111
SSPADD	873	874	876	877	0000	0000	0000	0000	uuuu	uuuu
SSPSTAT	873	874	876	877	--00	0000	--00	0000	--uu	uuuu
TXSTA	873	874	876	877	0000	-010	0000	-010	uuuu	-uuu
SPBRG	873	874	876	877	0000	0000	0000	0000	uuuu	uuuu
ADRESL	873	874	876	877	xxxx	xxxx	uuuu	uuuu	uuuu	uuuu
ADCON1	873	874	876	877	0--	0000	0--	0000	u--	uuuu
EEDATA	873	874	876	877	0--	0000	0--	0000	u--	uuuu
EEADR	873	874	876	877	xxxx	xxxx	uuuu	uuuu	uuuu	uuuu
EEDATH	873	874	876	877	xxxx	xxxx	uuuu	uuuu	uuuu	uuuu
EEADRH	873	874	876	877	xxxx	xxxx	uuuu	uuuu	uuuu	uuuu
EECON1	873	874	876	877	x--	u000	u--	u000	u--	uuuu
EECON2	873	874	876	877	----	----	----	----	----	----

注：u=未改变；x=未知；- =未用，读为‘0’；q=根据条件而变化；r=默认，保持明确。

① INTCON、PIR1、PIR2 寄存器中的若干位将受到影响(产生唤醒)。

② 当器件被中断唤醒且全局使能位 GIE 置 1 时，PC 指针将指向中断矢量 0004h。

③ 表 5-5 给出了具体条件下的复位值。



注：该振荡器与 CLKIN 引脚上的 RC 振荡器不相关。

图 5-5 复位系统的简化框图

5.3.1 上电复位 POR

当单片机检测到 V_{DD} 电压上升时(在 1.2~1.7V 之间),会产生一个上电复位脉冲。要使用上电复位功能,可直接(也可通过一个电阻)将 \overline{MCLR} 引脚与电源 V_{DD} 相连。这样可以节省一般上电复位电路用于产生一个上电复位所需的外接 RC 元件。 V_{DD} 电压的上升速率应大于最小上升速率,详见电气规范。

当单片机开始正常工作(即退出复位状态)时,其工作参数(电压、频率、温度等)都应在相应的范围之内,否则单片机将一直保持复位状态,直到所有参数都达到要求。降压复位可用来满足启动条件。

5.3.2 上电延时定时器 PWRT

上电复位(POR)时,上电延时定时器 PWRT 提供一个固定的 72ms 延时。PWRT 工作在专用的内部 RC 振荡器上。只要 PWRT 有效,单片机就一直保持在复位状态。PWRT 的延时使 V_{DD} 上升到一个合适的电压值。系统配置寄存器的 \overline{PWRTE} 位可用来使能(或禁止)上电延时定时器, $\overline{PWRTE}=0$ 表示使能, $\overline{PWRTE}=1$ 表示禁止。

受电源电压 V_{DD} 、环境温度及制造工艺的影响,不同单片机的上电延时时间也会有所不同,详细情况请参看 DC 参数。

5.3.3 起振定时器 OST

当 PWRT 延时结束后,起振定时器(OST)提供一个 1024 个振荡器周期的延时(从 OSC1

引脚输入),这是为了保证晶体或陶瓷谐振器起振并建立稳定的振荡。只有在 XT、LP 和 HS 振荡方式下,并且只有在单片机上电复位或从休眠状态中被唤醒时,OST 定时器才启动工作。

5.3.4 欠压复位 BOR

在单片机应用系统中,如果电源电压不稳定,将会造成程序运行发生混乱,严重时会导致死机。如果采用干电池或者充电电池供电,难免出现电池电压不断下降的现象,如果采用市电供电,也存在着电压波动和电源干扰的问题。为此,许多著名半导体制造公司研制了种类繁多的专用集成电路,以便检测电源电压。在 PIC 系列中,有许多型号的单片机(比如 PIC16F87X)内部集成了欠压复位(BOR)电路。

利用欠压复位(BOR)功能,可以为单片机提供电源电压下降的预警信号。一旦发现 V_{DD} 下降到确保单片机能够正常工作的电压下限值时,就使单片机及时复位以免系统失控。而且这个复位状态一直保持到 V_{DD} 重新上升到下限值以上之后,因此在 PIC 单片机中,把实现该功能的电路称作欠压复位锁定电路。

系统配置字的 BODEN 位可用来使能(或禁止)欠压复位功能,当 BODEN=1 时使能,当 BODEN=0 时禁止。如果 V_{DD} 电压下降到 V_{BOR} (典型值为 4.0V)以下,且持续时间超过 T_{BOR} (典型值为 $100\mu\text{s}$)时,这种欠压状况将使单片机复位。如果 V_{DD} 电压下降到 V_{BOR} 以下,但持续时间小于 T_{BOR} 时,复位就可能不发生。

一旦发生降压,单片机将一直保持复位状态,直到 V_{DD} 上升到高于 V_{BOR} 时为止。此时,上电定时器将被激活,并使单片机继续保持 72ms 的复位状态。如果在上电定时器运行期间, V_{DD} 电压又降到 V_{BOR} 以下,单片机将重新回到欠压复位状态,且上电定时器将被重新初始化。当 V_{DD} 电压再次上升到 V_{BOR} 以上时,上电定时器将重新启动一个 72ms 的延时。

只要使能欠压复位功能,不论系统配置寄存器中 PWRTE 位如何设置,上电延时定时器将总是被使能。

5.3.5 上电复位延时时序

在上电时,延时顺序为:首先检测到上电复位 POR,此时如果上电延时定时器 PWRT 被使能,则进入 PWRT 延时。PWRT 延时时间到之后,起振定时器 OST 被激活,OST 开始计数 1024 个振荡周期。当 OST 计数结束后,单片机脱离复位。

如果 $\overline{\text{MCLR}}$ 保持较长时间的低电平,延时将被中止。当 $\overline{\text{MCLR}}$ 恢复高电平后,延时立即进行。这一点在测试或同步时比并行运行的 PIC16CX 单片机更加有效。

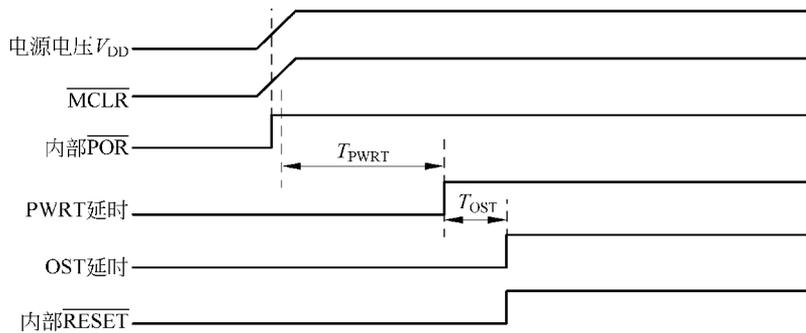
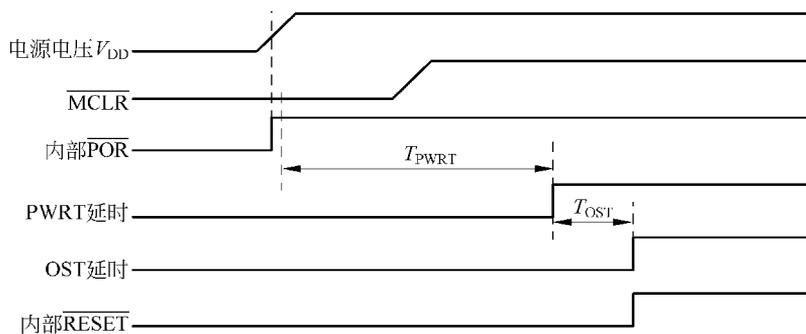
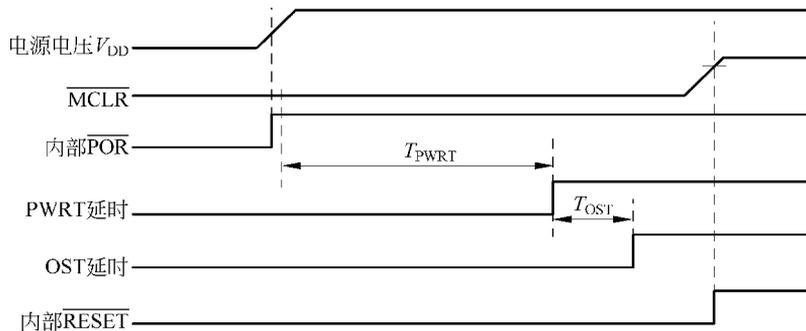
表 5-5 给出了程序计数器、状态寄存器 STATUS 及 PCON 寄存器的复位条件。表 5-7 给出了不同情况下的延时时间。图 5-6 至图 5-9 给出了不同情况下的延时时序。

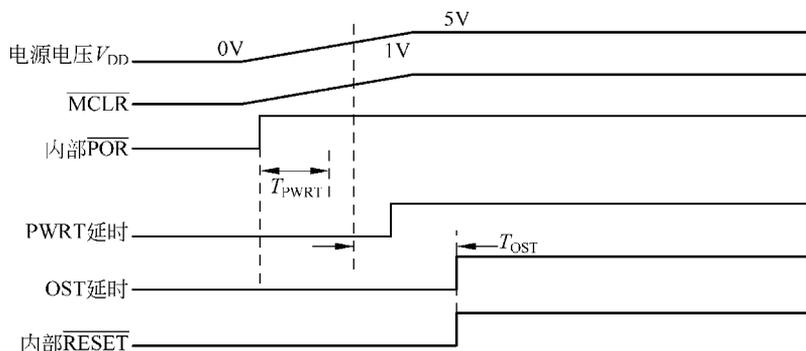
5.3.6 电源控制/状态寄存器 PCON

电源控制/状态寄存器 PCON 中的 bit0($\overline{\text{BOR}}$)是欠压复位状态位,在上电复位时 $\overline{\text{BOR}}$ 位状态未知。用户必须先将该位置 1,之后如果 $\overline{\text{BOR}}$ 位状态变为 0,则表明发生了一次欠压复位。如果欠压复位功能被禁止,则 $\overline{\text{BOR}}$ 位状态不能确定,该位也就成为一个无关位。

表 5-7 不同振荡方式下的延时时间

振荡方式	上电复位		欠压复位	从休眠状态唤醒
	$\overline{\text{PWRT}}=0$	$\overline{\text{PWRT}}=1$		
XT, HS, LP	$72\text{ms} + 1024T_{\text{osc}}$	$1024T_{\text{osc}}$	$72\text{ms} + 1024T_{\text{osc}}$	$1024T_{\text{osc}}$
RC	72ms	—	72ms	—

图 5-6 上电时的延时序列($\overline{\text{MCLR}}$ 引脚与电源 V_{DD} 相连)图 5-7 上电时的延时序列($\overline{\text{MCLR}}$ 引脚未连接 V_{DD})情况 1图 5-8 上电时的延时序列($\overline{\text{MCLR}}$ 引脚未连接 V_{DD})情况 2

图 5-9 缓慢上升时间(MCLR引脚与电源 V_{DD} 相连)

$\overline{\text{bit1}}(\overline{\text{POR}})$ 是上电复位状态位,在上电复位时,该位被清0,而其他复位不影响该位的状态。上电复位后,用户应将该位置1。此后,若POR位状态变为0,则表明发生了一次上电复位。

5.3.7 看门狗定时器 WDT

在许多单片机应用系统中,诸如汽车防撞系统、刹车防抱死系统、飞行器、制导武器、探险机器人、工业控制系统等,由于单片机的工作常常会受到来自外界电磁场的干扰,造成程序的跑飞,从而陷入死循环,程序的正常运行被打断,由单片机控制的系统无法继续工作,会造成整个系统陷入停滞状态,并发生不可预料的后果。出于对单片机运行状态进行实时监测的考虑,便产生了一种专门用于监测单片机程序运行状态的电路,俗称“看门狗”(Watchdog)。

看门狗,又称 Watch Dog Timer(WDT),实际上是一个定时器电路。一般给看门狗定时器 WDT 一个大数,程序开始运行后 WDT 开始倒数。如果程序运行正常,过一段时间 CPU 应发出指令让 WDT 复位,重新开始倒数。如果 WDT 减到 0 就认为程序没有正常工作,强制整个系统复位。

在 PIC16F87X 单片机中,WDT 是一个运行在片内的 RC 振荡器,它不需要任何的外接元件。图 5-10 所示为看门狗定时器的结构框图。该 RC 振荡器独立于 OSC1/CLKIN 引脚上的 RC 振荡器。这样,即使 OSC1 和 OSC2 引脚上的时钟停振(如执行了 SLEEP 指令),WDT 仍将正常工作。

在正常运行期间,一个 WDT 溢出将使单片机复位,并将 STATUS 寄存器中的 $\overline{\text{TO}}$ 位清 0。如果单片机处于休眠状态,一个 WDT 溢出会唤醒单片机,并恢复正常运行。通过编程将系统配置寄存器中的 WDTE 位清 0,可以禁止 WDT 功能。

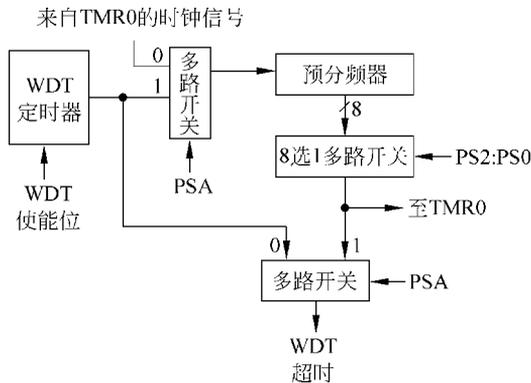
WDT 的超时溢出周期在不使用后分频器时的典型值为 18ms。这个周期值随着温度不同、 V_{DD} 变化和制造工艺偏差而不尽相同(详情请参考 DC 规范)。如果需要更长的超时溢出周期,可以编程设置 OPTION_REG 寄存器,把后分频器分配给 WDT,这时最大分频率可达 1:128,可以实现 2.3s 左右的超时溢出周期。与 WDT 相关的寄存器有系统配置寄存器和 OPTION_REG 寄存器,如图 5-11 所示,其各位的定义前面已介绍,此处不再赘述。

提示:

(1) CLRWDT 和 SLEEP 指令将对 WDT 和后分频器(如果分配给 WDT)清零,防止其

超时而引起器件复位。

(2) 当执行一条 CLRWDT 指令,且预分频器分配给 WDT 时,预分频器计数器将被清零,但预分频器的分配不会改变。



注：PSA 和 PS2:PS0 是 OPTION 寄存器中的位。

图 5-10 看门狗定时器结构框图

地址	寄存器名称	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
2007h	系统配置寄存器	LVP	BODEN	CP1	CP0	PWRTE	WDTE	FOSC1	FOSC0
81h, 181h	OPTION_REG	RBP _U	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0

图注：阴影部分与 WDT 无关。

图 5-11 与 WDT 相关的寄存器

下面是看门狗定时器应用的实例,本例主要目的是为了抗干扰,程序跑飞的时候 WDT 溢出使程序自动从开始执行。

```
#include <pic.h> //包含的头文件
#define uchar unsigned char
#define uint unsigned int //宏定义
__CONFIG(0xE73E); //配置字

uchar i, j;
void delays(uint x);
void init(); //子函数声明
void main() //主函数
{
    init();
    while(1) //大循环
    {
        TRISB = 0x00;
        OPTION = 0x0e;
        for(i = 0; i < 3; i++)
        {
            PORTB = PORTB << 1; //左移
            delays(200);
        }
        for(j = 0; j < 3; j++)
```

```
        {  
            PORTB = PORTB >> 1;           //右移  
            delays(200);  
        }  
        asm("clrwdt");                   //清看门狗  
        delays(195);  
    }  
  
}  
void init()                               //子函数定义  
{  
    //定义 PORTB 为输出  
    PORTB = 0x01;                         //设置 PORTB 初值为 0x00  
}
```

5.4 休眠省电模式

执行一条 SLEEP 指令,单片机便进入休眠模式。在这种模式下,电流消耗降到最低。而且振荡器停振,因此没有系统时钟。

在执行 SLEEP 指令时,如果看门狗定时器 WDT 是使能的,则将把 WDT 的当前计数值清 0,使其由零开始重新计数,同时状态寄存器 STATUS 的 \overline{PD} 位将被清 0, \overline{TO} 位将被置 1,振荡器停振。I/O 端口保持执行 SLEEP 指令之前的状态(高电平、低电平或高阻状态)。

在休眠模式下,为了使电流消耗降至最低,所有 I/O 引脚应保持为 V_{DD} 或 V_{SS} 电平,不要有拉电流输出,同时应关闭休眠模式下可能消耗电流的功能模块,如 A/D 转换模块、看门狗定时器 WDT 和欠压复位 BOR 电路模块等。为了避免悬浮输入引起的开关电流,应拉高或拉低高阻输入的 I/O 引脚。将 \overline{TOCKI} 引脚的输入设置为 V_{DD} 或 V_{SS} 电平也可降低电流消耗。还要考虑到 PORTB 内部上拉的影响。 \overline{MCLR} 引脚必须处于逻辑高电平(V_{IHMC})。

5.4.1 休眠唤醒

通过下列事件之一可唤醒单片机:

- (1) 从 \overline{MCLR} 引脚上输入的外部复位信号。
- (2) 看门狗定时器唤醒(如果 WDT 被使能)。
- (3) INT 引脚中断、RB 端口引脚上的电平变化和外部中断。

外部从 \overline{MCLR} 引脚输入的复位信号会在唤醒单片机的同时使其复位,而后两种事件仅是唤醒单片机,然后让程序继续正常运行。状态寄存器 STATUS 中的 \overline{TO} 位和 \overline{PD} 位可用来确定单片机复位的原因。在上电复位时, \overline{PD} 位被置 1; 执行 SLEEP 指令时, \overline{PD} 位被清零; 如果发生 WDT 唤醒,则 \overline{TO} 位被清零。

以下一些外部中断能够将单片机从休眠状态唤醒:

- (1) PSP 读或写(仅限于 PIC16F874/877)。
- (2) TMR1 中断,Timer1 必须作为一个异步计数器运行。
- (3) CCP 捕捉方式中断。

- (4) 特殊事件触发(Timer1 使用外部时钟异步模式)。
- (5) SSP(START/STOP)位检测中断。
- (6) SSP 用从模式(SPI/I²C)发送和接收。
- (7) USART 接收或发送(同步从模式)。
- (8) A/D 转换(当 A/D 转换时钟源是 RC 时)。
- (9) E²PROM 写操作完成。

由于在休眠期间无片内时钟,因此其余外部模块不能产生中断。

在执行 SLEEP 指令时,下一条指令(PC+1)被预先取出。当通过中断事件唤醒单片机时,相应的中断使能位必须置 1(使能)。唤醒与 GIE 位的状态无关,如果 GIE 位被清 0(禁止中断响应),单片机将连续执行 SLEEP 指令后面的指令。如果 GIE 位被置 1(使能),则单片机在执行完 SLEEP 指令之后的一条指令后,将跳转到中断地址(0004h)处。如果不希望执行紧跟在 SLEEP 指令后面的指令,应该在 SLEEP 指令之后增加一条 NOP 指令。

5.4.2 中断唤醒

当全局中断被禁止(GIE 位被清零),对于任何中断源,只要其中断使能位和中断标志位都置 1,就会发生下列事件之一:

(1) 如果在执行 SLEEP 指令之前发生了中断,SLEEP 指令将作为一个 NOP 指令来执行。因此,WDT 和 WDT 后分频器将不会被清 0, \overline{TO} 位将不会被置 1, \overline{PD} 位也不会被清 0。

(2) 如果在 SLEEP 指令执行时或执行后发生了中断,单片机将立即被唤醒。SLEEP 指令将在唤醒之前完成执行。因此,WDT 和 WDT 后分频器将被清 0, \overline{TO} 位将被置 1, \overline{PD} 位将被清 0。

即使在执行 SLEEP 指令之前检验了标志位,该标志位也可能在 SLEEP 指令完成之前被置 1。要确定是否执行了 SLEEP 指令,可以检测 \overline{PD} 位。如果 \overline{PD} 位为 1,说明 SLEEP 指令仅仅是被作为一个 NOP 指令来执行,而并没有真正执行休眠操作。

为了确保在进入休眠模式时 WDT 已被清零,在 SLEEP 指令之前,应先执行一条 CLRWDT 指令。当单片机工作在 XT、HS 或 LP 振荡器模式下时,中断唤醒的时序如图 5-12 所示。

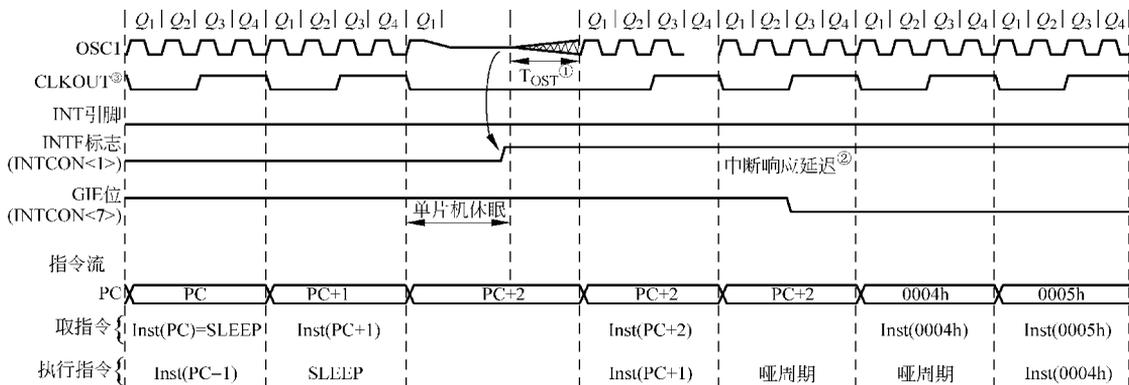


图 5-12 中断唤醒时序

图注: ① $T_{OST} = 1024 T_{OSC}$ (图中未按比例画出);若为 RC 振荡模式,该延时将不在此时段。

② 假设 GIE=1,在这种情况下,单片机被唤醒后,将跳至中断程序。如果 GIE=0,将在这一行继续执行。

③ 在这些振荡器模式下,CLKOUT 信号无效,在这里仅作为时间基准显示出来。

5.5 在线调试与串行编程

5.5.1 在线调试

当通过编程将系统配置字寄存器中的 DEBUG 位清零时,单片机的内部在线调试功能就被使能。在使用 MPLAB ICD 时,这种功能允许进行简单的调试。当微处理器具有该功能时,单片机上的一些资源在普通情况下是不可用的。表 5-8 给出了后台调试器消耗的资源。

表 5-8 调试器资源

I/O 引脚	RB6, RB7
堆栈	1 级
程序存储器	0000h 地址处必须是 NOP 指令 最后 100h 字
数据存储器	$0 \times 70(0 \times 0F0, 0 \times 170, 0 \times 1F0)0 \times 1EB-0 \times 1EF$

为了使用单片机的在线调试功能,必须设计实现将在线串行调试连接到 \overline{MCLR}/V_{PP} 、 V_{DD} 、GND、RB7 及 RB6 等引脚,这是连接 Microchip 公司在线调试器或第三方公司开发工具的接口。

5.5.2 在线串行编程

PIC16F87X 微控制器在最终应用电路中能够被在线串行编程(In-Circuit Serial Programming, ICSP), ICSP 只需使用 5 条线,其中时钟和数据线各 1 根,另外 3 根线分别作为电源、地和编程电压线。

通过保持 RB6 和 RB7 引脚为低电平, V_{DD} 引脚为编程电压,并将 \overline{MCLR}/V_{PP} 引脚电压从 U_{IL} 增加到 U_{IH} 特定值,单片机便进入编程/校验模式。此时, RB6 引脚为编程时钟线, RB7 引脚为编程数据线。

在线串行编程有利于降低库存开销和加快产品上市。在产品中嵌入空白的 PIC16F87X 单片机,作为一个备用设计。当接到订单后,便可以在很短的时间内用最新版本的固件对这些产品进行编程、测试,然后交货。这种方法也减少了旧固件版本引起的报废库存。这种生产方法有利于快速根据用户要求定制产品。

在使用 ICSP 时,如果执行一个大量的擦除,单片机的供电电压必须在 4.5~5.5V 之间,这包括从打开状态到关闭状态两个代码保护的重新编程。在 ICSP 的其他所有情况,对单片机的编程可在正常工作电压下进行。

5.5.3 低电压在线串行编程

将系统配置字中的 LVP 位设置为 1,即可使能低电压在线串行编程。这种模式允许微处理器在工作电压范围内使用 V_{DD} 电源通过 ICSP 编程。这意味着 V_{PP} 不必增加到 U_{IH} ,在

正常工作电压时就能够进行低电压 ICSP。在这种模式下, RB3/PGM 引脚被制定为编程功能, 而不再是一个普通的 I/O 引脚。在编程期间, V_{DD} 用作 \overline{MCLR}/V_{PP} 引脚。为了进入低电压 ICSP 模式, 必须将系统配置字中的 LVP 位设置为 1, 以使能 RB3/PGM 引脚的低电压编程功能, LVP 位的默认是 1。

提示:

(1) 若将 \overline{MCLR}/V_{PP} 引脚电压增加到 U_{IHH} , 不管 LVP 位的状态如何, 都用高电压编程模式。

(2) 在低电压 ICSP 模式下, RB3/PCM 引脚不再是一个普通的 I/O 引脚。

(3) 在低电压 ICSP 模式下, 当 PORTB 口上拉使能时, TRISB<3>位必须被清 0, 以禁止 RB3 引脚上拉。确保单片机正常操作。

(4) 如果 LVP 位使能, 则 RB3 引脚电平将不允许变动。

(5) Microchip 公司出厂的单片机 LVP 位的默认值为 1(使能), 通过将系统配置寄存器中的 LVP 位清 0 来禁止低电压 ICSP 功能。

如果不使用低电压编程模式, LVP 位可以编程为 0, 此时 RB3/PGM 引脚变为数字 I/O 引脚。然而, LVP 位只可被编程, 编程时输入 U_{IHH} 是 \overline{MCLR} 。使用时, 只能收取 LVP 位 \overline{MCLR} 上的高电压。当 \overline{MCLR}/V_{PP} 引脚为高电平时, LVP 位必须使能。

应当注意, 一旦 LVP 位被编程为 0, 单片机编程只能运用高电压编程模式。

当使用低电压 ICSP 时, 如果执行一个大批量的擦除, 必须给单片机提供 4.5~5.5V 的供电电压, 这包括从一个打开状态到关闭状态的代码保护的重新编程。对于低电压 ICSP 的所有其他情况, 可在正常操作电压下编程。这意味着可重新编程的校准值, 唯一的用户 ID 或用户代码或添加。

如果代码保护位不被编程, 片内程序存储器可以被读出以便验证。

4 个存储单元(2000h~2003h)被设定为 ID 存储单元, 用户可以在其中存放校验码或其他代码标识号。这些存储单元在正常执行过程中是不可被访问的, 但在编程/校验期间是可读写的。推荐使用 ID 存储单元的低 4 位。

习题 5

1. 简述 PIC16F87X 单片机系统配置字各位的含义。
2. PIC16F87X 单片机内部时钟振荡电路的有几种振荡方式? 通过什么方式进行控制?
3. 简述 RC 振荡器电路工作原理。
4. 逻辑器件的复位方式有哪些? 欠压复位的定义是什么?
5. 什么叫系统跑飞? 简述看门狗定时器的的工作原理。
6. PIC16F87X 单片机有哪几种类型的复位?
7. PIC16F87X 单片机是如何进行在线串行编程的?
8. 如何从休眠状态下唤醒 PIC16F87X 单片机?