

玩转
单片机

PIC单片机

C语言 非常入门 与视频演练

刘建清 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

玩转单片机

PIC 单片机 C 语言非常 入门与视频演练

刘建清 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书简要介绍了 PIC 单片机 C 语言的基本知识、实验器材和实验方法,并演练了大量适宜初学者入门的典型实例,为方便读者实验,本书的所有实例开发了 PIC 核心板和 DD-900mini 实验板,并以视频的方式记录了书中主要实验的演示过程和现象。需要说明的是,DD-900mini 实验板是针对 51 单片机的,但是,通过外接一个“PIC 核心板”,就可以让 DD-900mini 摇身一变,成为 PIC 开发板。当然,如果读者有其他 51 实验板,也同样可以让自己的 51 实验板变成 PIC 开发板,这会为用户节约不少开支。

本书语言通俗、实例丰富、图文结合、简单明了,适合 PIC 单片机初学者和爱好者学习,也可作为中等专业学校、中等职业学校等教学用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

PIC 单片机 C 语言非常入门与视频演练 / 刘建清编著. —北京:电子工业出版社, 2011.9

(玩转单片机)

ISBN 978-7-121-14617-6

I. ①P… II. ①刘… III. ①单片微型计算机—C 语言—程序设计 IV. ①TP368.1②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 189181 号

策划编辑:康 霞(kangxia@phei.com.cn)

责任编辑:康 霞 特约编辑:钟永刚

印 刷:北京丰源印刷厂

装 订:三河市鹏成印业有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:14.5 字数:371 千字

印 次:2011 年 10 月第 1 次印刷

定 价:39.00 元(含 DVD 光盘 1 张)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

单片机就是把一个计算机系统集成到一个芯片上,简单地讲,一块芯片就成了一台计算机。目前市场上比较流行的单片机,其价格出奇的便宜。对于广大爱好者来说,真是上帝的礼物。只要你玩起了单片机,就会有一种成就感,我怎么这样聪明!单片机再结合适当的硬件接口电路,有什么事情做不到呢?我对它的评价是八个字:软硬兼施,老少皆宜。

单片机虽然好玩,但很多人经过一番探索之后却深感学好单片机并非易事,甚至连入门都感到困难。作者也是从电子爱好者成长为电子工程师的,此过程自然少不了学习、探索、实践、再学习、再实践这样一条规律。因此,深切地知道学单片机难,主要是不得要领,难以入门。一旦找到学习的捷径,入了门,掌握简单程序的编写方法并观察到实际演示效果,那么,必然信心大增。接下来,再向深度、广度进军时,心里就比较坦然了,最终能够一步一个脚印地去扩展自己的知识面,成为单片机的编程高手。

在与众多的单片机爱好者交流中得知,单纯讲单片机内部结构、指令太枯燥,且不易理解。他们感兴趣的是单片机编程的应用实例,而且主要喜欢简单、实用、有趣的初级实例。因此,本书的编写思路是,以实战演练为主线贯穿全书,且多数实例采用视频的方式进行演示。这样,初学者能够看得清、听得到、学得快,从而达到很好的立体学习效果。

在内容安排上,本书通过 PIC 单片机内部资源(中断系统、定时/计数器、CCP 模块、串口通信)、键盘接口、LED 数码管显示、LCD 液晶显示、DS1302 时钟芯片、I²C 总线接口芯片 AT24C04、DS18B20 温度传感器、红外遥控、音乐发声等大量具体的实例,系统演练了 PIC 单片机中最常用、最典型的接口应用。另外,本书也包括了一些作者在学习和实际设计过程中总结的经验及方法,希望能够帮助大家更好地学习 PIC 单片机。

本书安排的例子大部分是由作者编写的,有一些是参考相关资料改写的,全部程序都由作者调试并通过。对于例子的使用说明也尽量详细,力争让读者“看则能用,用则能成”,保证读者在动手的过程中常常体会到成功的乐趣。另外,书中的所有实例,都是基于作者设计的 PIC 核心板+DD-900mini 实验板之上的。本书附带的光盘中包含所有实验的完整源程序及视频演示。

本书主要面向的是具有一定 C 语言基础及刚接触 PIC 单片机的电子爱好者,对于已经熟悉 PIC 单片机 C 语言开发的工程师则意义不大。

在本书编写过程中,参阅了《无线电》、《单片机与嵌入式系统应用》等书刊,并从互联网上搜索了一些有价值的资料,由于其中的很多资料经过多次转载,已经很难查到原始出处,在此谨向资料提供者表示感谢。

本书主要由刘建清编著,贾绪岩、李凤伟、陈素侠、孙保书、刘为国等参与了编写。由于编著者水平有限,加之时间仓促,书中难免会有疏漏和不足之处,恳请专家和读者不吝赐教。

如果您在使用本书的过程中有任何问题、意见或建议,请登录顶顶电子网站: ddmcu.taobao.com 或通过 E-mail: ddmcu@163.com 提出,我们将为您提供超值延伸服务。

编著者

2011 年 8 月

目 录

第 1 章 PIC 单片机非常入门	(1)
1.1 PIC 单片机介绍	(1)
1.1.1 PIC 单片机的特色	(1)
1.1.2 PIC16F87X 单片机的结构	(2)
1.1.3 PIC16F877A 单片机的外部引脚	(3)
1.1.4 PIC16F877A 的内部存储器	(4)
1.1.5 PIC16F877A 单片机的 I/O 口	(6)
1.1.6 复位电路和系统时钟	(7)
1.2 PIC 单片机 C 语言入门	(10)
1.2.1 为什么采用 C 语言编程	(10)
1.2.2 简单的 C 语言程序	(11)
第 2 章 PIC 单片机实验器材介绍及实验过程演示	(16)
2.1 PIC 单片机实验器材介绍	(16)
2.1.1 PIC 核心板介绍	(16)
2.1.2 DD-900mini 实验板介绍	(17)
2.1.3 PICKIT2 介绍	(22)
2.2 PIC 单片机开发软件的安装	(23)
2.3 PIC 单片机实验过程演示	(24)
2.3.1 硬件电路	(24)
2.3.2 编写和编译程序	(25)
2.3.3 程序的仿真	(31)
2.3.4 程序的下载	(36)
第 3 章 PIC 单片机 C 语言学习与演练	(38)
3.1 标识符和关键字	(38)
3.1.1 标识符	(38)
3.1.2 关键字	(38)
3.2 数据类型介绍与演练	(40)
3.2.1 数据类型介绍	(40)
3.2.2 数据类型演练	(41)
3.3 常量、变量介绍与演练	(45)
3.3.1 常量	(45)
3.3.2 变量	(46)
3.3.3 常量与变量演练	(48)
3.4 运算符、表达式介绍与演练	(49)
3.4.1 运算符、表达式介绍	(49)
3.4.2 运算符、表达式演练	(53)
3.5 PICC 基本语句介绍与演练	(55)

3.5.1	表达式和复合语句	(55)
3.5.2	条件选择语句	(56)
3.5.3	循环语句	(58)
3.5.4	PICC 基本语句演练	(62)
3.6	PICC 函数介绍与演练	(67)
3.6.1	函数概述	(67)
3.6.2	函数的参数和返回值	(68)
3.6.3	函数的调用	(69)
3.6.4	局部变量和全局变量	(70)
3.6.5	变量的存储种类	(71)
3.6.6	中断函数的实现	(72)
3.6.7	函数演练	(73)
3.7	PICC 数组和指针介绍与演练	(76)
3.7.1	数组介绍	(76)
3.7.2	指针介绍	(80)
3.7.3	数组与指针演练	(84)
第 4 章	PIC 单片机内部资源视频演练	(87)
4.1	中断系统视频演练	(87)
4.1.1	中断系统介绍	(87)
4.1.2	视频演练 1——外中断练习	(91)
4.2	定时/计数器视频演练	(94)
4.2.1	PIC 定时/计数器介绍	(94)
4.2.2	视频演练 2——TMR0 定时实验	(98)
4.2.3	视频演练 3——TMR1 定时实验	(99)
4.2.4	视频演练 4——TMR2 定时实验	(101)
4.3	CCP 模块视频演练	(102)
4.3.1	CCP 模块介绍	(102)
4.3.2	视频演练 5——CCP1 模块比较输出模式实验	(106)
4.4	串行通信实例解析	(108)
4.4.1	串行通信介绍	(108)
4.4.2	视频演练 6——PC 控制单片机工作	(113)
第 5 章	键盘接口电路视频演练	(117)
5.1	键盘接口电路基本知识	(117)
5.1.1	键盘的工作原理	(117)
5.1.2	键盘与单片机的连接形式	(118)
5.2	键盘接口电路视频演练	(118)
5.2.1	视频演练 1——数码管显示独立按键值	(118)
5.2.2	视频演练 2——可控流水灯	(121)
第 6 章	LED 数码管视频演练	(125)
6.1	LED 数码管介绍	(125)
6.1.1	LED 数码管的结构	(125)

6.1.2	LED 数码管的显示码	(126)
6.1.3	LED 数码管的显示方式	(127)
6.2	LED 数码管视频演练	(129)
6.2.1	视频演练 1——数码管动态扫描演示	(129)
6.2.2	视频演练 2——数码管电子钟	(131)
第 7 章	LCD 显示视频演练	(140)
7.1	字符型 LCD 基本知识	(140)
7.1.1	字符型 LCD 引脚功能	(140)
7.1.2	字符型 LCD 内部结构	(141)
7.1.3	字符型 LCD 控制指令	(143)
7.1.4	字符型 LCD 驱动程序软件包的制作	(146)
7.2	字符型 LCD 视频演练	(149)
7.2.1	实例解析 1——1602 LCD 显示字符串	(149)
7.2.2	实例解析 2——1602 LCD 移动显示字符串	(152)
7.2.3	视频演练 3——1602 LCD 电子钟	(153)
第 8 章	时钟芯片 DS1302 视频演练	(160)
8.1	时钟芯片 DS1302 基本知识	(160)
8.1.1	DS1302 介绍	(160)
8.1.2	DS1302 的控制命令字	(161)
8.1.3	DS1302 的寄存器	(161)
8.1.4	DS1302 的数据传送方式	(163)
8.1.5	DS1302 驱动程序软件包的制作	(163)
8.2	DS1302 数码管电子钟视频演练	(166)
第 9 章	PIC 单片机读/写 I ² C 总线视频演练	(173)
9.1	I ² C 总线介绍	(173)
9.1.1	I ² C 总线工作原理	(173)
9.1.2	I ² C 总线的电气结构	(174)
9.1.3	I ² C 总线器件的寻址方式	(174)
9.1.4	I ² C 总线数据的传输规则	(174)
9.1.5	I ² C 总线数据的读写格式	(175)
9.1.6	I ² C 总线接口芯片 24C04 介绍	(176)
9.1.7	I ² C 总线驱动程序软件包的制作	(177)
9.2	I ² C 总线接口芯片 24C04 视频演练	(180)
第 10 章	温度传感器 DS18B20 视频演练	(185)
10.1	温度传感器 DS18B20 基本知识	(185)
10.2	DS18B20 数字温度计视频演练	(190)
第 11 章	红外遥控视频演练	(195)
11.1	红外遥控基本知识	(195)
11.1.1	红外遥控系统	(195)
11.1.2	红外遥控的编码与解码	(195)
11.1.3	DD-900mini 实验板遥控电路介绍	(197)

11.2 红外遥控视频演练	(197)
11.2.1 实例演练 1——LED 数码管显示遥控器键值	(197)
11.2.2 视频演练 2——LCD 显示遥控器键值	(203)
第 12 章 PIC 单片机音乐发声视频演练	(209)
12.1 单片机音乐发声简介	(209)
12.2 PIC 单片机音乐发声视频演练	(209)
12.2.1 视频演练 1——单片机发出警报声	(209)
12.2.2 视频演练 2——单片机发出模拟救护车声	(211)
12.2.3 视频演练 3——单片机发出模拟消防车声	(215)
12.2.4 视频演练 4——单片机唱歌	(217)
参考文献	(222)

第 1 章 PIC 单片机非常入门

PIC 是美国 Microchip 公司所生产的单片机系列产品型号的前缀。PIC 系列单片机的硬件系统设计简洁,指令系统设计精练。在所有的单片机品种中,它是最容易学习、最容易应用的单片机品种之一。对于已学习过 51 单片机或者未学习过 51 单片机的初学者来说,选择 PIC 单片机进行学习,都将是一件十分轻松、有趣的事情。

1.1 PIC 单片机介绍

1.1.1 PIC 单片机的特色

世界上有一些著名计算机芯片制造公司,其单片机产品是在其原有的微型计算机 CPU 基础上改造而来的,在某种程度上自然存在一定的局限性。而 Microchip 公司是一家专门致力于单片机开发、研制和生产的制造商,其产品设计起点高,技术领先,性能优越,独树一帜。目前,已有多家著名半导体公司仿照 PIC 系列单片机,开发出与之引脚兼容的系列单片机。例如,美国 SCENIX 公司的 SX 系列、中国台湾 EMC 公司的 EM78P 系列、中国台湾 MDT 公司的 MDT 系列等。可以说, PIC 单片机代表着单片机发展的新动向。以下分几个方面介绍它的优越之处。

1. 采用了哈佛总线结构

51 单片机的总线结构是冯·诺依曼型,如图 1-1 (a) 所示,计算机在同一个存储空间取指令和数据,两者不能同时进行;而 PIC 单片机的总线结构是哈佛结构,如图 1-1 (b) 所示,指令和数据空间是完全分开的,一个用于指令,一个用于数据,由于可以对程序和数据同时进行访问,所以,提高了数据吞吐率。正因为在 PIC 单片机中采用了哈佛双总线结构,所以,与常见的微控制器不同的一点是,程序和数据总线可以采用不同的宽度。数据总线都是 8 位的,但指令总线位数分别为 12 位、14 位、16 位。

2. 驱动能力强

PIC 单片机的 I/O 端口驱动负载强,每个 I/O 引脚吸入和输出电流的最大值可分别达到 25mA 和 20mA,能够直接驱动发光二极管(LED)、光电耦合器或者微型继电器等。

3. 外接电路简洁

PIC 单片机片内集成了上电复位电路、I/O 引脚上拉电路、看门狗定时器等,可以最大程度地少用或不用外接器件,以便实现“纯单片”应用。

4. 功耗低

PIC 单片机是世界上功耗最低的单片机品种之一,在 4MHz 时钟下工作时耗电不超过 2mA,在睡眠模式下耗电可以低到 1 μ A 以下。

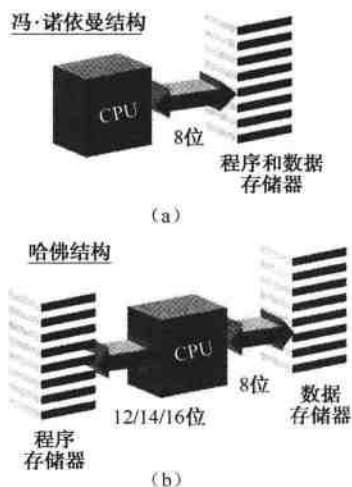


图 1-1 冯·诺依曼和哈佛结构

1.1.3 PIC16F877A 单片机的外部引脚

PIC16F877A 单片机主要有 3 种封装形式，本书介绍使用最普遍的 DIP40 封装形式。其外围引脚分布如图 1-4 所示。

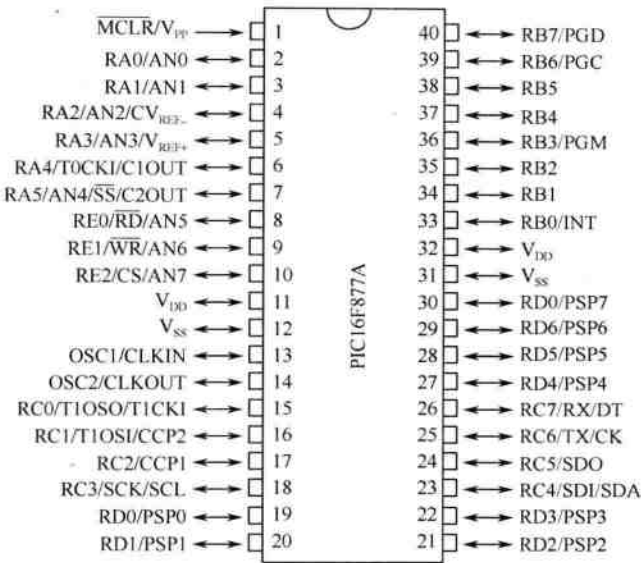


图 1-4 PIC16F877A 单片机的外部引脚分布

PIC16F877A 单片机和 51 系列单片机一样，其引脚除电源 V_{DD}、V_{SS} 为单一功能外，其余的信号引脚一般有多个功能，即引脚的复用功能，PIC16F877A 引脚符号和功能如表 1-1 所示。

表 1-1 PIC16F877A 引脚符号和功能

引脚名称	引脚号	功 能
MCLR / V _{PP}	1	复位输入（低电平有效）/编程电压输入
OSC1/CLKIN	13	振荡器晶体/外部时钟输入端
OSC2/CLKOUT	14	振荡器晶体输出端，在晶体振荡方式接晶体，在 RC 方式输出 OSC1 频率的 1/4 信号
RA0/AN0	2	RA0/第 0 路模拟信号输入
RA1/AN1	3	RA1/第 1 路模拟信号输入
RA2/AN2/CV _{REF-}	4	RA2/第 2 路模拟信号输入/负参考电压
RA3/AN3/V _{REF+}	5	RA3/第 3 路模拟信号输入/正参考电压
RA4/T0CKI/C1OUT	6	RA4/定时器 0 的时钟计数脉冲输入/比较器 1 输出
RA5/AN4/SS /C2OUT	7	RA5 口/第 5 路模拟信号输入/同步串口选择/比较器 2 输出
RB0/INT	33	RB0/外中断输入
RB1	34	RB1 脚
RB2	35	RB2 脚
RB3/PGM	36	RB3/低电压编程电压输入

续表

引脚名称	引脚号	功 能
RB4	37	RB4 脚, 具有电平变化中断功能
RB5	38	RB5 脚, 具有电平变化中断功能
RB6/PGC	39	RB6/编程时钟输入, 具有电平变化中断功能
RB7/PGD	40	RB7/编程数据输入, 具有电平变化中断功能
RC0/T1OSO/T1CK1	15	RC0/定时器 1 的时钟输出或计数输入
RC1/T1OSI/CCP2	16	RC1/定时器 1 的振荡输入/捕捉器 2 输入或比较器 2 输出或 PWM2 输出
RC2/CCP1	17	RC2/捕捉器 1 输入或比较器 1 输出或 PWM1 输出
RC3/SCK/SCL	18	RC3/SPI 的时钟/I ² C 的时钟输入或输出端
RC4/SDI/SDA	23	RC4/ SPI 的数据输入/I ² C 的数据输入和输出端
RC5/SDO	24	RC5/SPI 的数据输出端
RC6/TX/CK	25	RC6/全双工串口发送端/半双工同步传输的时钟端
RC7/RX/DT	26	RC7/全双工串口接收端/半双工同步传输的数据端
RD0~RD7/PSP0~PSP7	19~22, 27~30	RD 口, 也可作为从动并行端口
RE0/ $\overline{\text{RD}}$ /AN5	8	RE0/并口读出控制/第 5 路模拟信号输入
RE1/ $\overline{\text{WR}}$ /AN6	9	RE1/并口写入控制/第 6 路模拟信号输入
RE2/ $\overline{\text{CS}}$ /AN7	10	RE2/并口片选控制/第 7 路模拟信号输入
V _{SS}	12	接地
V _{DD}	11	正电源端

1.1.4 PIC16F877A 的内部存储器

1. 程序存储器

程序存储器是专门用来存放程序和常数的, PIC16F877A 单片机内部配置了 8KB×14 位的闪存 (Flash) 程序存储器, 可以很方便地进行在线擦除和烧写, 寿命可达 1000 次以上。PIC16F877A 程序存储器具有 13 位宽的程序计数器 (PC)。PC 指针所产生的 13 位地址最大可寻址的程序存储器空间为 8KB, 相应的地址编码范围为 0000H~1FFFH。

PIC16F877A 单片机的复位向量为 0, 复位向量指的是当由于各种原因产生单片机复位时, 程序是从复位向量, 即 0x0000 开始执行的。

PIC16F877A 单片机的中断向量为 0x0004。中断向量指的是当单片机产生中断时, 硬件将 PC 指针强制指向该中断向量, 即程序自动跳转到 0x0004。

如图 1-5 所示是程序存储器结构图。

2. 数据存储器

数据存储器是单片机中一个非常重要的部件, 专门用于存储程序运行时的中间数据、结果数据等。PIC16F877A 的数据存储器结构如图 1-6 所示。

复位向量入口地址	0000H
	0001H
	0002H
	0003H
中断服务程序入口地址	0004H
页面0 (含0000H~0004H)	0005H
	07FFH
页面1	0800H
	0FFFH
页面2	1000H
	17FFH
页面3	1800H
	1FFFH

图 1-5 程序存储器结构图

INDF	00H	INDF	80H	INDF	100H	INDF	180H
TMR0	01H	OPTION_REG	81H	TMR0	101H	OPTION_REG	181H
PCL	02H	PCL	82H	PCL	102H	PCL	182H
STATUS	03H	STATUS	83H	STATUS	103H	STATUS	183H
FSR	04H	FSR	84H	FSR	104H	FSR	184H
PORTA	05H	TRISA	85H		105H		185H
PORTB	06H	TRISB	86H	PORTB	106H	PORTB	186H
PORTC	07H	TRISC	87H		107H		187H
PORTD	08H	TRISD	88H		108H		188H
PORTE	09H	TRISE	89H		109H		189H
PCLATH	0AH	PCLATH	8AH	PCLATH	10AH	PCLATH	18AH
INTCON	0BH	INTCON	8BH	INTCON	10BH	INTCON	18BH
PIR1	0CH	PIE1	8CH	EEDATA	10CH	EECON1	18CH
PIR2	0DH	PIE2	8DH	EEADR	10DH	EECON2	18DH
TMR1L	0EH	PCON	8EH	EEDATH	10EH		18EH
TMR1H	0FH		8FH	EEADRH	10FH		18FH
T1CON	10H		90H		110H		190H
TMR2	11H	SSPCON2	91H		111H		191H
T2CON	12H	PR2	92H		112H		192H
SSPBUF	13H	SSPADDD	93H		113H		193H
SSPCON	14H	SSPSTAT	94H		114H		194H
CCPR1L	15H		95H		115H		195H
CCPR1H	16H		96H		116H		196H
CCP1CON	17H		97H		117H		197H
RCSTA	18H	TXSTA	98H		118H		198H
TXREG	19H	SPBRG	99H		119H		199H
RCREG	1AH		9AH		11AH		19AH
CCPR2L	1BH		9BH	通用寄存器 96B	11BH	通用寄存器 96B	19BH
CCPR2H	1CH	CMCON	9CH		11CH		19CH
CCP2CON	1DH	CVRCON	9DH		11DH		19DH
ADRESH	1EH	ADRESL	9EH		11EH		19EH
ADCON0	1FH	ADCON1	9FH		11FH		19FH
	20H		A0H		120H		1A0H
通用寄存器 96B		通用寄存器 80B					
	70H	映射到 70H~7FH	EFH		16FH		1EFH
	7FH		E0H	映射到 70H~7FH	170H	映射到 70H~7FH	1F0H
bank 0		bank 1	FFH	bank 2	17FH	bank 3	1FFH

图 1-6 PIC16F877A 的数据存储器结构

PIC16F877A 单片机的数据存储器分为 4 个体 (bank), 即 bank0~bank3, 也称为体 0~体 3。图中已命名的寄存器为特殊功能寄存器, 未命名的为通用寄存器, 通用寄存器可供用户自由使用。图中体 1~体 3 中“映射到 70H~7FH”单元的寄存器, 实际上就是 70H~7FH 单元中的寄存器, 只是可以在不同的体中直接存取, 便于编程。图中灰色单元不能使用, 图中的特殊功能寄存器名称是在汇编程序中定义的, PIC 单片机 C 语言编译软件 PICC 中定义的特殊功能寄存器绝大部分与之相同, 但也有特殊情况, 在用 PICC 的 C 语言编程时要引起注意。

在 PIC16F877A 单片机汇编编程中, 数据存储器的分体及程序存储器的分页是学习 PIC 单片机中遇到的主要难点, 不过, 如果使用 PICC 编程, 这个问题将由 PICC 自动完成, 大大提高了编程效率, 这也正是 C 语言的魅力所在。

1.1.5 PIC16F877A 单片机的 I/O 口

PIC16F877A 有 33 个 I/O 引脚, 这 33 个 I/O 引脚均可以作为普通的 I/O 引脚使用, 大部分 I/O 引脚还有两个以上的功能。有 A、B、C、D、E 共 5 个端口。其中, A 端口有 6 个引脚, B、C、D 端口各有 8 个引脚, E 端口有 3 个引脚。

当作为普通引脚时, 到底是作为输入还是输出, 是由各自的方向控制寄存器控制的, A、B、C、D、E 端口的方向控制寄存器分别为 TRISA、TRISB、TRISC、TRISD、TRISE, 相应的控制寄存器的位为 0, 则该 I/O 引脚作为输出; 相应地, 位 1 作为输入。

例如, 语句 `TRISA=0b00000001`, 就设置了 A 端口的高 7 位为输出, 最低位为输入。每个 I/O 引脚的最大输出电流 (拉电流) 为 20 mA, 最大输入电流 (灌电流) 为 25mA。

1. 端口 A

端口 A 有 6 个引脚, 除了 RA4 外, 其余 5 个口均可作为 A/D 转换的模拟电压输入口, 还有部分引脚与比较器、SPI 有关, RA4 还与 TMR0 有关。因此, 在使用 RA 口时, 除了要设置 TRISA 外, 有时相关寄存器也要设置。

在上电复位时, RA 口的默认设置是作为模拟输入的, ADCON1 寄存器中默认值为 0b00xx0000, 这个值的设置结果是除 RA4 以外的所有 RA 口都作为模拟输入口。在使用时要特别注意。

ADCON1 寄存器定义如下:

位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
ADFM	-	-	-	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0

ADCON1 寄存器是可读写的, 和 I/O 口相关的是低 4 位, 用于定义 ADC 模块输入引脚的功能分配。复位时低 4 位状态全为 0, 定义 RA 和 RE 端口中的 8 个引脚 RE2~RE0、RA5 和 RA3~RA0 全部为 ADC 的模拟信号输入通道。只有当定义 PCFG3~PCFG0=011x 时, 才会使 RE2~RE0、RA5 和 RA3~RA0 全部定义为普通数字 I/O 口。

注意: RA4 是一个集电极开路结构, 和 A 口的其他引脚有点不同, RA4 作为普通数字 I/O 时, 输入和其他端口一样是高阻抗, 但没有上钳位二极管做限压保护; RA4 作为输出时, 须接一个上拉电阻才能输出高电平。

2. 端口 B

端口 B 有 8 个引脚, 8 个引脚具有内部弱上拉使能控制, 由 OPTION 寄存器的第 7 位 RBPU 控制, 如果弱上拉使能作为输入的 RB 口在端口悬空时, 将被上拉到高电平。

OPTION 寄存器定义如下:

位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
RBPU	INTEDG	TOCS	TOSE	PSA	PS2	PS1	PS0

当第 7 位 RBPU=1 时, RB 的弱上拉电路全部禁止; RBPU=0 时, RB 的弱上拉电路全部使能。

B 口的 RB0/INT 具有外部中断功能。RB 的高 4 位还具有电平变化中断功能, 当此 4 个引脚作为输入时, 只要有一个引脚的电平发生变化, 就会使 RB 电平中断标志位置 1。这里所说的电平变化指的是逻辑电平变化, 即从高变低或从低变高。

另外, 需说明的是, 如果使用 ICD2 作为调试工具, RB6、RB7 引脚将被调试系统占用, 因此, 在调试时, 此两个引脚暂不能使用。

3. 端口 C

端口 C 有 8 个引脚, 是功能最多的一个端口, 其功能详见表 1-1。

4. 端口 D

端口 D 有 8 个引脚, 除了作为普通 I/O 口外, 还能作为并行从动口使用。

5. 端口 E

端口 E 是一个只有 3 个引脚的 I/O 口, 它们都可以作为 A/D 转换的模拟电压输入口。

1.1.6 复位电路和系统时钟

1. 复位电路

PIC16F877A 的复位功能设计得比较完善, 实现复位或引起复位的条件和原因可以归纳为以下 4 类。

① 人工复位: 无论单片机处在正常运行程序, 还是处在睡眠状态或出现死机状态, 只要在人工复位端 $\overline{\text{MCLR}}$ 加入低电平信号, 就会令其复位。

② 上电复位: 每次单片机加电时, 上电复位电路都要对电源电压 V_{DD} 的上升过程进行检测, 当 V_{DD} 上升到规定值 1.6~1.8V 时, 就产生一个有效的复位信号, 经 “72 ms+1024 个时钟周期” 的延时, 会使单片机复位。

③ 看门狗复位: 如果打开看门狗, 只要没有对看门狗定时器 WDT 进行及时清零, WDT 就会出现超时溢出, 也就会引发单片机复位。

④ 欠压复位: 为了确保程序可靠运行, 当电源电压 V_{DD} 出现跌落并下降到 4V 以下时, 内部欠压复位电路产生一个复位信号, 使 CPU 进入并保持在复位状态, 直到 V_{DD} 恢复到正常范围, 之后再延长 72ms, CPU 才能从复位状态回到正常状态。

外部复位电路的几种接法如图 1-7 所示。

最简单的接法是将 $\overline{\text{MCLR}}$ 直接接 V_{DD} 脚, 如图 1-7 (a) 所示。

接一个按钮开关和一个电阻则便于手工复位操作，如图 1-7 (b) 所示。

针对电压 V_{DD} 上升缓慢的应用场合，图 1-7 (c) 可以延长复位时间，确保单片机可靠运行。

在另一些应用中可能需要对 V_{DD} 严密监视，一旦发现 V_{DD} 跌落到某一门限值 ($V_{DD} < V_z + 0.7V$, V_z 是稳压管的稳定电压) 时，就令芯片复位，以免系统失控，这时可按图 1-7(d) 设计复位电路。

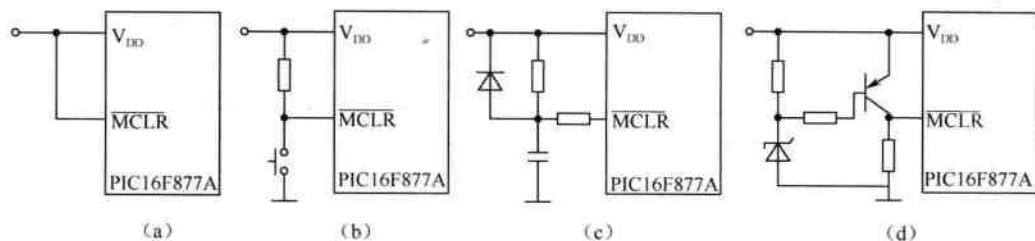


图 1-7 外部复位电路的几种接法

2. 系统时钟

单片机内部的各种功能电路几乎全部是由数字电路构成的。数字电路的工作离不开时钟信号，每一步细微动作都是在一个共同的时间基准信号协调之下完成的。作为时基发生器的时钟振荡电路，为整个单片机芯片的工作提供系统时钟信号，也为单片机与其他外接芯片之间的通信提供可靠的同步时钟信号。

PIC16F877A 芯片可以在以下 4 种不同类型的振荡方式下工作（具体工作在何种方式，可通过配置字进行设置）：

- LP 方式：低功耗晶体振荡器方式。
- XT 方式：晶体/陶瓷谐振器方式。
- HS 方式：高速晶体（等于或大于 4MHz）/陶瓷谐振器方式。
- RC 方式：阻容振荡器方式。

把以上 4 种振荡方式，按外接元件及其接线方法的不同，分为外接晶体/陶瓷、外接 RC、外接时钟 3 种情况进行讲解。

(1) 外接晶体振荡器/陶瓷谐振器 (LP/XT/HS)

这种情况对应 LP、XT 和 HS 三种振荡方式，采用基本相同的接线方法，如图 1-8 所示。

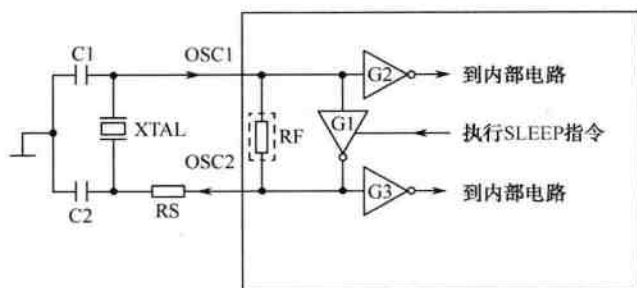


图 1-8 外接阻容振荡器接线图

其中，只有 HS 和 XT 振荡方式才有可能需要另外接入一个电阻 RS（其 RS 值满足 $100\Omega < RS < 1000\Omega$ ），一般情况下较少使用 RS。

在如图 1-8 所示的 PIC 系列单片机的时钟振荡器电路中，由片内的一个反相器 G1（借助

于一个偏置电阻 R_F 使其工作于放大器模式)，与外接的一个石英晶体和两个电容共同构成一个电容三点式自激多谐振荡器。

构成振荡器的反相器 $G1$ 是一个具有受控端的三态门，当执行睡眠指令 $SLEEP$ 时，该三态门输出端呈现高阻状态，令时钟电路停振，从而迫使单片机的大部分片内电路停止工作，进入低功耗模式，达到节电的目的。时钟信号经过反相器 $G2$ 或 $G3$ 进行隔离和缓冲后，被输送到内部各功能电路。

外接电路中所需的两个电容器 $C1, C2$ 的参数如表 1-2 所示。

表 1-2 外接电路中所需的两个电容器 $C1, C2$ 的参数

外接类型	振荡方式	频率	$C1, C2$ (pF)
外接陶瓷	XT	455kHz	68~100
		2.0 MHz	15~68
		4.0 MHz	15~68
		8.0 MHz	15~68
	HS	8.0 MHz	15~68
		16.0 MHz	10~22
外接晶体	LP	32kHz	33
		200kHz	15
	XT	200kHz	47~68
		1.0 MHz	15
		2.0 MHz	15
		4.0 MHz	15
	HS	4.0 MHz	15
		8.0 MHz	15~33
		20.0 MHz	15~33

注：表中电容值越大越有利于振荡器稳定工作，但是会加大振荡器延时起振的时间。

(2) 外接阻容器件 (RC)

这种情况对应着 RC 振荡方式。其最大的优点是成本低廉；缺点是时基频率的精确度和稳定性都较差，原因是电阻 R 和电容 C 的参数存在着误差率大、分散性大和温度稳定性差的问题。 RC 振荡方式下的时基频率原则上由电阻 R 和电容 C 的大小决定（图 1-9 中的 R 和 C ），但还是会随着电源电压及环境温度的变化而变化，并且单片机芯片不同该频率也可能不同。 RC 阻容振荡接线图如图 1-9 所示。

从中可以看出， RC 振荡器电路主要由片内的一个相同施密特触发器 $G1$ 和一个 N 沟道场效应管，以及片外的阻容器件构成。

RC 振荡方式所需外接的阻容器件参数必须注意：电阻 R_{ext} 的阻值如果低于 $2.2k\Omega$ ，会使振荡器工作不稳定，甚至不能起振。但是，如果该阻值大于 $1 M\Omega$ 时，又会使振荡器容易受到干扰。所以，该电阻值最好在 $3\sim100k\Omega$ 范围内选取。理论上，电容 C_{ext} 的电容量为 0，振荡器是不能工作的，但是实际上却相反，振荡器也能够起振，只是不稳定，并且容易受到干扰。所以，该电容值应选取 $20pF$ 以上为好。