

高 等 学 校 教 材

PIC 单片机 原理、开发方法及实践

何乐生 主 编

周 燕 池宗琳 王威廉 编写



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高 等 学 校 教 材

PIC 单片机 原理、开发方法及实践

PIC Danpianji Yuanli Kaifa Fangfa Ji Shijian

何乐生 主 编

周 燕 池宗琳 王威廉 编写



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是一本介绍 PIC 单片机原理及实验的教程。本书从电类专业基础知识出发，讲解 PIC 中档单片机系统的基本原理、硬件制作及软件编程，实用性是贯穿全书的主线。在教学过程中，本书与配套实验套件配合使用，将会取得理想的教学效果。

本书第一章介绍单片机的基本知识以及单片机系统常用电子元器件的外观、识别方法和焊接方法等内容，然后以配套实验电路板为例讲解电路原理图和印制板图的读图方法。第二章介绍 PIC 中档单片机的结构特点以及开发工具的使用方法。第三章介绍 PIC 中档单片机的指令集和汇编语言程序的开发方法。第四章至第十一章分别介绍各片上外设的使用方法。第十二章用本书介绍的开发方法和实验套件完成一道全国大学生电子设计竞赛题并给出了 PIC 单片机的一个设计实例。

本书是入门级的单片机教程，适合作为电气信息类专业本科生、专科生和研究生的教材或参考书，也可以作为参加全国大学生电子设计竞赛的培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

PIC 单片机原理、开发方法及实践/何乐生主编；周燕，池宗琳，王威廉编写. —北京：高等教育出版社，2011.1

ISBN 978 - 7 - 04 - 030979 - 9

I. ①P… II. ①何…②周…③池…④王… III. ①单片机
微型计算机—高等学校—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 232970 号

策划编辑 高云峰 责任编辑 高云峰 封面设计 张楠
版式设计 余杨 责任校对 殷然 责任印制 尤静

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

购书热线 010 - 58581118
咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京铭成印刷有限公司

网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 27
字 数 650 000
插 页 1

版 次 2011 年 1 月第 1 版
印 次 2011 年 1 月第 1 次印刷
定 价 42.20 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 30979 - 00

前 言

单片机由于具有功能全面、使用方便和价格低廉等特点,得到了广大电子工程师的肯定,并在各行各业取得了广泛的应用,目前,全球单片机市场年产值约 120 亿美元。随着我国进一步巩固“全球制造中心”的地位,我国单片机市场规模也达到了 20 亿美元。而近十年来一直稳居八位单片机销量第一名的 Microchip 公司,更是在 PIC 单片机上做足了功夫,相对于第二名的优势越来越明显。

PIC 单片机曾经被称为单片机中的“怪胎”,虽然这种说法不尽正确,但也足以表明 PIC 单片机在总体结构、寻址方式和片上外设等方面的标新立异和与众不同。尽管上世纪八十年代以来,一大批教育工作者编著了大量介绍单片机的优秀书籍和教材,但这些书籍大都以 MSC-51 系列单片机为主,无法满足广大工科学生和工程师学习和掌握 PIC 这种不同寻常的单片机的要求。面对 PIC 单片机越来越广泛地应用所带来的市场契机和就业机会,作为一名高等工科教育工作者不可能无动于衷,这就是我们编写这本教程的初衷。

不可否认,近年来国内也出版了一些关于 PIC 单片机设计和应用的书籍,其中不乏佳作,但既适合在校大学生阅读又具有实用性的教程并不多见。本书是作者多年教学及产品开发经验的总结,致力于将“讲理论”和“提高解决实际问题的能力”两个目标结合起来。本书在进行原理分析的同时也将单片机系统的周边器件选型、焊接、调试和可靠性分析等工程问题介绍给学生,有助于学生就业或参加电子设计竞赛。为了达到上述目的,作者力图在本书中体现以下写作思路:

1. 增加实验比例,提高实验内容的可操作性。

动手能力的培养是单片机课程的生命,本书用大约一半的篇幅介绍了大量的实验,还在每章之后为读者准备了实践题。如果读者能够按每章实验的顺序完成所有实验和练习,相信一定会有所收获。本书每个实验的内容包括详细的软硬件设计思路的分析、介绍以及详尽的实验步骤,前者有助于帮助读者建立系统的概念,引导其发挥创造力,为自行设计系统打下基础,后者则是笔者多年的教学经验的总结,即实验步骤上的轻微失误常常是导致实验失败的主要原因,而几次失败就会使初学者失去学习兴趣。

为了使本书的实验更具可操作性,笔者专门为本书设计了配套的低价实验套件(价格在 100 元左右)。该套件包括 PCB 空板、PIC16F877A 单片机(也可以选用 Microchip 公司 40 脚双列直插封装的其他 8 位单片机)及其他全部所需的电子元器件。全书内容都可以在该实验套件上进行验证,读者可以从厂家购买,也可以直接在淘宝网上购买(实验套件名称为“Innovator 实验板”,读者在淘宝网上直接以该名称作为关键词搜索即可)。读者可根据第一章中所介绍的识别和焊接电子元器件的基本知识来完成实验套件的组装工作,这样不但锻炼了动手能力、提高了成就感,而且与购买成品实验板相比又节省了不少钱,特别适合在校大学生使用。

由于每个人都能买得起属于自己的实验平台,读者在完成课内实验之余,还能利用课余时间实验套件上完成自创的实验。此外,读者还能以本实验套件作为“单片机最小系统”,参加全国大学生电子设计竞赛。

2. 注重知识的延续性,不做数据手册的“翻译版本”。

尽管近年来工科教育改革得到不断的深化,但仍然有一个不可否认的事实就是,大学低年级的“模拟电路”、“数字电路”和“微机原理”等课程和现代实用电子技术之间存在一定的差距。不少读者虽然学习成绩优异,但在工作中或电子设计竞赛中接触到实际问题时,常常感觉大学学到的知识没有用处,无从下手解决实际问题。造成这种现象的原因一方面是基础课程的内容没有跟上电子技术革新的步伐,另一个很重要原因是实用课程的教材和资料与我国电气信息类基础课程的内容没有延续性,让大学生朋友们难以理解,更谈不上合理应用。

在单片机的教学工作中,这种现象体现为照搬英文原版的数据手册(Data Sheet),不假思索地将其翻译后直接放在教材中。单片机的数据手册虽然是最权威的学习参考资料,但不适于作为教材使用。不适合作为教材使用的原因在于数据手册往往省略了知识的来龙去脉,作为产品介绍,仅仅强调事实本身,而且数据手册往往过分强调某些在实战中不容易遇到的特殊情况,使初学者“一叶蔽目”,无法把握知识的总体脉络。

因此,本书编写的第二个重要思路就是根据单片机软硬件知识点的前因后果,重新组织讲解的顺序,从电气信息类专业大学基础课程的知识出发,尽量使用基础课程中用过的分析方法,帮助读者理解PIC单片机系统中经常出现的软硬件现象,使读者在理解的基础上提高灵活应用PIC单片机解决实际问题的能力。

3. 不局限于单片机本身,着眼于系统的构建

高等工程教育的核心是培养学生解决实际问题的能力,单片机课程理应为这一目的服务。虽然课程本身从讲授单片机知识入手,但应进一步着眼于教给读者怎样去构建能够解决实际问题的系统。因此,本书的第三个编写思路是尽量将单片机系统中常用的外围器件及其涉及的相关知识介绍给读者,并帮助读者建立系统的观念。本书第五章中关于字符液晶和数码管的介绍,以及第七章中关于PWM信号的理论分析和乐理知识的介绍都是这方面的典型例子。

本书按照普通高等学校一个学期的教学内容编写,可以根据实际情况在大学二年级或三年级,讲授完“电路分析”、“电子技术基础”和“微机原理”等课程之后开设。本书教学时数建议为:课堂讲授36学时,实验18~36学时。教学时数较少的学校可以适当减少每章后实验的个数,而将这些实验留给学生在课下自行完成。对于有其他单片机编程经验的工程师朋友,可以跳过第一章,直接阅读本书的第二、三、四章,而且其后介绍外围模块的各章节则可以根据需要阅读,不一定按顺序学习。

为了方便高校教师在课程中使用,并鼓励读者发挥自己的创造力和能动性,本书所有实验的源程序都没有在正文中给出。请读者首先根据给出的软、硬件设计思路,自己开动脑筋编程。使用本教程的教师和工程师可以在高等教育出版社的网站(<http://ee.cncourse.com>)下载或联系本书作者(helesheng@263.net)索取所有实验的源程序。这些程序全部经过了实际验证,可供教师参考。

本书第六、八、九、十一、十二章和附录部分由云南大学何乐生编写,第十章由王威廉编写,第一章由何乐生和王威廉编写,第二章由何乐生和池宗琳编写,第三章由池宗琳和何乐生编写,第四章由周燕和何乐生编写,第五章由王威廉和周燕编写,第七章由王威廉和何乐生编写,全书由何乐生统稿。本书大部分插图是由邓晓光和王青绘制的,所有的实验源程序都是由邹进编写和实际验证的,胡耀航、杨敏、沙建齐、李学敏和赵举国等几位同学也参与了本书的编写工作。

本书在编写过程中得到了高等教育出版社编辑的大力支持，天津大学的李刚教授审阅了本书的全部书稿并提出了许多宝贵的修改意见。另外，本书还得到了教育部高等学校特色专业“计算机科学与技术”建设项目(编号:TS11135)的资助，在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

2010年7月于云南大学科学馆

目 录

第一章 单片机系统设计基础知识 1

1.1 单片机概述 1

1.1.1 何为单片机 1

1.1.2 单片机有何应用 2

1.1.3 单片机的发展简史 3

1.1.4 单片机的优势 3

1.1.5 PIC 单片机的特点和主要优势 4

1.1.6 如何学习和掌握单片机技术 5

1.2 常见电子元器件的识别和使用方法 5

1.2.1 电阻器 5

1.2.2 电容器 8

1.2.3 集成电路 11

1.2.4 其他常见电子元器件的识别和使用方法 13

1.2.5 元器件焊接基础知识 15

1.3 电子电路图的读图方法 17

1.3.1 电路图的绘制过程 17

1.3.2 电路原理图的解读方法 18

1.3.3 本书实验套件电路图的解读 19

1.3.4 印制电路板图的解读方法 27

1.4 本书配套实验套件基本部分的焊接 30

思考题 31

第二章 PIC 中档单片机的结构及开发工具 33

2.1 PIC 中档单片机的结构 33

2.1.1 PIC 中档单片机的总线结构 33

2.1.2 PIC 中档单片机指令

的执行 35

2.1.3 PIC 中档单片机的文档寄存器 38

2.1.4 PIC 中档单片机的程序存储器和硬件堆栈 42

2.1.5 PIC 中档单片机的 ALU 和工作寄存器 43

2.1.6 PIC 中档单片机外设的特点 43

2.1.7 典型 PIC 中档单片机 PIC16F87X 系列的结构 46

2.1.8 PIC 中档单片机的典型封装形式 49

2.1.9 PIC 单片机的开发工具和技术支持 50

2.2 集成开发环境 MPLAB 50

2.2.1 MPLAB 综述 51

2.2.2 MPLAB 的安装 51

2.2.3 MPLAB 的基本使用方法 52

2.3 仿真、编程工具 ICD2 61

2.3.1 ICD2 功能概述 61

2.3.2 ICD2 驱动程序的安装 62

2.3.3 用 ICD2 “小试牛刀” 64

2.3.4 PIC 中档单片机的其他开发工具 66

2.4 本章小结 66

思考题 67

第三章 PIC 中档单片机指令系统和程序设计基础 68

3.1 PIC 中档单片机指令系统和寻址方式 68

3.1.1 指令系统综述 69

3.1.2 指令系统 71

3.1.3 文档寄存器(数据空间)的

寻址	85	4.3.1 实验要求	124
3.1.4 程序空间的寻址	88	4.3.2 硬件设计	124
3.2 汇编语言程序开发的基本方法		4.3.3 软件设计思路	125
和结构	91	4.3.4 实验步骤及结果	125
3.2.1 MPASM 汇编语言程序设计		4.4 按键中断实验	128
基础	92	4.4.1 实验要求	128
3.2.2 汇编语言程序的基本流程 ..	96	4.4.2 软件设计思路	128
3.3 单片机延时程序实验	102	4.4.3 实验步骤及结果	128
3.3.1 实验要求	102	4.5 本章方法及技巧总结	130
3.3.2 软件设计	102	思考题	131
3.3.3 实验步骤及结果	105	实验题	132
3.4 双字节加法实验	106		
3.4.1 实验要求	106	第五章 PIC 中档单片机基本输入/	
3.4.2 软件设计	106	输出端口	133
3.4.3 实验步骤及结果	108	5.1 I/O 端口的基本使用方法	133
3.5 本章方法及技巧总结	109	5.1.1 与 I/O 端口相关的	
思考题	110	寄存器	133
实验题	111	5.1.2 I/O 端口的设置	133
		5.2 I/O 端口的工作原理	135
第四章 PIC 中档单片机的中断		5.2.1 设置端口的输入/输出	
系统	112	方向	136
4.1 PIC 中档单片机中断系统		5.2.2 经端口引脚输出数据	136
综述	112	5.2.3 经端口引脚输入数据	136
4.1.1 中断的基本概念	113	5.2.4 读取端口引脚方向锁存器的	
4.1.2 PIC 中档单片机的中断控制		状态	137
逻辑	113	5.2.5 端口引脚的输入保护	
4.1.3 PIC 中档单片机的中断		电路	137
过程	114	5.3 I/O 端口在应用中的问题	137
4.1.4 与中断相关的寄存器	115	5.3.1 PORTA 应用中的问题	137
4.2 PIC 中档单片机中断系统的		5.3.2 PORTB 应用中的问题	138
特点	119	5.3.3 PORTC 应用中的问题	142
4.2.1 中断入口地址和中断源的		5.3.4 PORTD 和 PORTE 应用中的	
识别	119	问题	143
4.2.2 中断优先级控制	120	5.3.5 I/O 端口的驱动能力	143
4.2.3 中断嵌套	120	5.3.6 I/O 端口的“读—修改—写”	
4.2.4 中断响应时序分析	121	问题	144
4.2.5 中断现场保护和恢复	122	5.4 基本输入/输出实验	146
4.3 外部中断实验	124	5.4.1 实验要求	146

5.4.2	硬件电路设计	146
5.4.3	软件设计思路	146
5.4.4	实验步骤及结果	147
5.5	数码管显示实验	148
5.5.1	实验要求	148
5.5.2	数码管显示原理	148
5.5.3	软件设计思路	150
5.5.4	实验步骤及结果	151
5.6	字符液晶显示实验	153
5.6.1	实验要求	153
5.6.2	字符液晶显示原理	153
5.6.3	硬件和软件的设计	156
5.6.4	实验步骤及结果	156
5.7	本章方法及技巧总结	158
	思考题	159
	实验题	160

第六章 PIC 中档单片机的定时/计数器 161

6.1	PIC 中档单片机定时/计数器综述	161
6.1.1	异步二进制加法计数器	161
6.1.2	定时/计数原理	163
6.1.3	分频器原理和电路	164
6.1.4	PIC 中档单片机中常见的三个定时/计数器的异同点	164
6.2	定时/计数器 TMR0	165
6.2.1	TMR0 的基本特性	165
6.2.2	TMR0 的工作原理	165
6.2.3	TMR0 的相关寄存器	167
6.2.4	TMR0 使用中的注意事项	168
6.3	定时/计数器 TMR1	170
6.3.1	TMR1 的基本特性	170
6.3.2	TMR1 的工作原理	171
6.3.3	TMR1 的相关寄存器	172
6.3.4	TMR1 的工作方式	174
6.3.5	TMR1 使用中的注意	

	事项	175
6.4	定时/计数器 TMR2	176
6.4.1	TMR2 的基本特性	176
6.4.2	TMR2 的工作原理	177
6.4.3	TMR2 的相关寄存器	178
6.4.4	TMR2 的工作方式	179
6.4.5	TMR2 使用中的注意事项	180
6.5	闪烁式跑马灯实验(TMR0 定时 器实验)	181
6.5.1	实验要求	181
6.5.2	硬件电路设计	181
6.5.3	软件设计思路	181
6.5.4	实验步骤及结果	182
6.6	航标灯实验(TMR1 外接低频 晶体实验)	184
6.6.1	实验要求	184
6.6.2	硬件电路设计	184
6.6.3	软件设计思路	185
6.6.4	实验步骤及结果	185
6.7	按键持续时间测量实验(TMR2 定时自动重装实验)	187
6.7.1	实验要求	188
6.7.2	硬件电路设计	188
6.7.3	软件设计思路	188
6.7.4	实验步骤及结果	189
6.8	本章方法及技巧总结	191
	思考题	192
	实验题	193

第七章 输入捕捉/输出比较/脉宽调制模块 194

7.1	CCP 模块综述	194
7.2	输入捕捉工作模式	195
7.2.1	相关寄存器	195
7.2.2	输入捕捉模式的电路 结构	197
7.2.3	输入捕捉模式的工作	

机制	197
7.2.4 使用输入捕捉模式的注意 事项	197
7.3 输出比较工作模式	198
7.3.1 相关寄存器	198
7.3.2 输出比较模式的电路 结构	198
7.3.3 输出比较模式的工作 机制	199
7.3.4 使用输出比较模式的注意 事项	199
7.4 脉宽调制(PWM)工作模式	199
7.4.1 相关寄存器	199
7.4.2 脉宽调制模式的电路结构	200
7.4.3 脉宽调制模式的工作 机制	201
7.4.4 使用脉宽调制模式的注意 事项	203
7.5 PWM 产生低频正弦信号实验	203
7.5.1 实验要求	203
7.5.2 理论基础	203
7.5.3 硬件电路设计	205
7.5.4 软件设计思路	206
7.5.5 实验步骤及结果	208
7.6 用捕捉功能测量信号周期 实验	209
7.6.1 实验要求	209
7.6.2 软件设计思路	209
7.6.3 实验步骤及结果	211
7.7 单片机演奏乐曲实验	213
7.7.1 实验要求	213
7.7.2 理论基础	213
7.7.3 硬件电路设计	214
7.7.4 软件设计思路	215
7.7.5 实验步骤及结果	217
7.8 本章方法及技巧总结	218
思考题	219
实验题	219

第八章 模拟/数字转换模块

8.1 模拟/数字转换器综述	221
8.1.1 A/D 转换器的基本概念	221
8.1.2 常见的 A/D 转换器的种类 及其特点	223
8.1.3 逐次逼近式 A/D 转换器的 原理	224
8.1.4 多路数据采集系统的 结构	224
8.2 PIC 单片机内嵌 ADC 模块的 使用方法和编程技术	225
8.2.1 PIC16F877A 的 ADC 模块的 工作原理	225
8.2.2 ADC 模块的相关寄存器	226
8.2.3 ADC 模块的工作过程	229
8.2.4 参考电压的选择	233
8.2.5 A/D 转换过程和编程 方法	234
8.3 ADC 模块基本功能实验	235
8.3.1 实验要求	235
8.3.2 硬件电路设计	236
8.3.3 软件设计思路	237
8.3.4 实验步骤及结果	239
8.4 简易数字显示温度计实验	241
8.4.1 实验要求	241
8.4.2 硬件电路设计	241
8.4.3 软件设计思路	243
8.4.4 实验步骤及结果	245
8.5 本章方法及技巧总结	248
思考题	249
实验题	250

第九章 PIC 中档单片机片内非易 失性存储器

9.1 PIC 中档单片机片内非易失性 存储器综述	251
9.1.1 常见非易失性存储器的种类	

及特点	251	模块	285
9.1.2 PIC 中档单片机片内两种 非易失性存储器的用途及 其异同点	252	10.2.1 与 USART 模块相关的 寄存器	285
9.2 PIC 中档单片机片内非易失性存 储器的使用方法和编程技术	255	10.2.2 USART 模块的波特率 发生器 BRG	288
9.2.1 与 EEPROM、Flash 存储器 相关的寄存器	255	10.2.3 USART 模块的异步工作 方式	291
9.2.2 片内 EEPROM 的结构和操作 原理	256	10.2.4 USART 模块的同步主控 工作方式	299
9.2.3 从 EEPROM 中读取数据 ..	258	10.2.5 USART 模块的同步被控 工作方式	303
9.2.4 向 EEPROM 中写入数据 ..	259	10.3 USART 模块的使用方法和 编程技术	305
9.2.5 片内 Flash 的结构和操作 原理	261	10.3.1 USART 模块异步工作方式 编程	305
9.2.6 从 Flash 中读取数据	262	10.3.2 USART 模块同步工作方式 编程	306
9.2.7 向 Flash 中写入数据	263	10.4 单片机和 PC 机构成温度数据 采集系统实验	308
9.3 片内 EEPROM 的读写实验	266	10.4.1 实验要求	308
9.3.1 实验要求	266	10.4.2 硬件电路设计	308
9.3.2 硬件和软件设计	266	10.4.3 软件设计思路	309
9.3.3 实验步骤及结果	266	10.4.4 实验步骤及结果	310
9.4 片内 Flash 的读写实验	269	10.5 单片机之间异步串口通信 实验	312
9.4.1 实验要求	270	10.5.1 实验要求	312
9.4.2 硬件和软件设计	270	10.5.2 硬件电路设计	312
9.4.3 实验步骤及结果	270	10.5.3 软件设计思路	312
9.5 本章方法及技巧总结	273	10.5.4 实验步骤及结果	313
思考题	273	10.6 本章方法及技巧总结	315
实验题	274	思考题	315
第十章 通用同步/异步收发器	275	实验题	316
10.1 串行通信的基本概念	275	第十一章 通用同步串行端口	317
10.1.1 串行通信的基本类型	275	11.1 同步串行端口的 SPI 模式	318
10.1.2 串行通信的方式	276	11.1.1 SPI 接口的基础知识	318
10.1.3 串行通信的标准	277	11.1.2 PIC 中档单片机的 SPI 接口 引脚	321
10.1.4 串行通信的帧结构	284		
10.1.5 串行通信的校验与纠错 方式	284		
10.1.6 串行通信的组网方式	285		
10.2 PIC 中档单片机的 USART			

11.1.3 PIC 中档单片机 SPI 接口 相关寄存器	322	配置字	376
11.1.4 SPI 主模式	325	12.2 PIC 中档单片机系统设计 实例	378
11.1.5 SPI 从模式	326	12.2.1 第六届全国大学生电子 设计竞赛 F 题参考设计 ...	378
11.2 同步串行端口的 I ² C 模式	329	12.2.2 聚合物锂离子电池测试 平台的设计	383
11.2.1 I ² C 接口的基础知识	329		
11.2.2 PIC 中档单片机的 I ² C 接口 引脚	334	附录 A 配套实验套件的电路原理图 和印制电路板图	394
11.2.3 PIC 中档单片机 I ² C 接口 相关的寄存器	334		
11.2.4 I ² C 从模式	339	附录 B PIC 中档单片机典型封装 引脚图	395
11.2.5 I ² C 主模式	342	B.1 PIC16F87X 系列的封装和 引脚信息	395
11.3 单片机之间 SPI 总线通信 实验	346	B.2 PIC16F88X 系列的封装和 引脚信息	400
11.3.1 实验要求	346		
11.3.2 硬件电路设计	346	附录 C PIC 中档单片机 C 语言 基础	405
11.3.3 软件设计思路	347	C.1 PIC 中档单片机高级语言 编译器	405
11.3.4 实验步骤及结果	349	C.2 Hitech-PICC 的配置和使用	406
11.4 单片机之间 I ² C 总线通信 实验	351	C.3 PICC 中的变量	407
11.4.1 实验要求	351	C.4 PICC 中的函数	409
11.4.2 硬件电路设计	352	C.5 PICC 中的头文件和配置字	410
11.4.3 软件设计思路	352	C.6 使用 PICC 和 MPLAB 开发的 简单例子	410
11.4.4 实验步骤及结果	357		
11.5 本章方法及技巧总结	359	附录 D ICD2 的制作	414
思考题	361	D.1 硬件电路的制作	414
实验题	361	D.2 固件的下载和使用 MPLAB 的配置	416
第十二章 PIC 单片机系统综合 设计	362	参考文献	418
12.1 PIC 中档单片机片上集成的 系统功能	362		
12.1.1 系统时钟	362		
12.1.2 复位系统	369		
12.1.3 休眠与唤醒	374		
12.1.4 PIC 中档单片机的系统			

第一章

单片机系统设计基础知识



欢迎大家来到单片机的世界!

作为开篇第一章,本章将引导读者掌握设计单片机系统所需的基础知识,为后续学习和实验打下良好的基础。本章的主要内容包括:

- 单片机简介:介绍单片机的来龙去脉。
- 电子元器件基础知识:常见元器件的功能、特点和使用方法等知识是设计单片机系统所必备的。
- 电路图的读图方法:以本书配套的实验套件电路图为例,介绍常见电路原理图和 PCB 图的读图方法。



1.1 单片机概述

1.1.1 何为单片机

单片机(Microcontroller)又称为微控制器(Micro Control Unit,MCU),是芯片级的计算机系统,它因把计算机的主要功能部件集成在单一集成电路芯片上而得名。这些主要功能部件包括中央处理器(CPU)、存储器(如 RAM、ROM 等)、常用外围器件(外部设备)及接口,包括定时器、并行接口、串行接口、A/D 转换器、D/A 转换器、PWM(脉冲捕获、比较、脉宽调制)以及连接以上功能部件的内部总线。单片机可以嵌入到任何对象系统中去,实现智能化控制,其应用范围小到电子手表、助听器、家用电器,大到汽车、航天飞机、洲际导弹等,都可以发现单片机的身影。现代电子系统的基本核心是嵌入式计算机应用系统(Embedded System),而单片机就是最典型、最广泛、最普及的嵌入式计算机应用系统。随着半导体技术的发展,单片机性能越来越高而价位却越来越低,其应用领域日益广泛,特别是在电信、家用电器、工业控制、仪器仪表、汽车电子、医用设备、航空航天、军工等领域,可以说单片机是当今最活跃的电子技术领域,单片机已成为现代计算机技术中一个独特而又重要的分支,是理工科电子类专业的学生应该学习和掌握的技术。

1.1.2 单片机有何应用

1. 在智能仪器仪表上的应用

单片机具有体积小、功耗低、控制功能强、扩展灵活、微型化和使用方便等优点,广泛应用于仪器仪表中,结合不同类型的传感器,可实现诸如电压、电流、功率、频率、温度、湿度、流量、速度、位移、压力、厚度、角度、长度等物理量的测量。采用单片机控制使得仪器仪表更加数字化、智能化、微型化,比如数字万用表、电参数测量表、精密电子天平以及各种分析测量仪器等就是典型的例子。

2. 在工业控制中的应用

用单片机可以构成形式多样的工业控制系统、数据采集系统、各种报警系统、数控机床、机器人、可编程控制设备(PLC)、电机控制等,例如工业锅炉控制中的温度、压力、液位、流量、烟道残氧等参数的采集,以及阀门、流量、风门、燃料等的控制。

3. 在家用电器中的应用

当今的家用电器基本上都采用了单片机控制,从电饭煲、洗衣机、电冰箱、空调机、彩电、音响、视频设备到电子称量设备,五花八门,无所不在,只要是“智能化”的家电,无一不带有单片机。

4. 在计算机网络和通信领域中的应用

现代的单片机普遍具备通信接口,可以很方便地与计算机进行数据通信,为在计算机网络和通信设备间的应用提供了极好的物质条件。现代的通信设备基本上都实现了单片机智能控制,从手机、电话机、小型程控交换机、楼宇自动通信呼叫系统、列车无线通信,再到日常工作中随处可见的移动电话、集群移动通信和无线电对讲机等,无一不是这方面应用的体现。

5. 在医用设备领域中的应用

单片机在医用设备中的用途也相当广泛,例如电子血压计、电子体温计、临床监护仪、超声诊断设备及各种医用检测仪器和设备等。

6. 在汽车中的应用

单片机已广泛用于汽车的各个功能部件中,包括汽车电控单元、各种智能仪表(实时显示车速、发动机转速、水温、油位、总里程、子里程等车况参数)、变速控制、点火控制、最佳燃烧控制、汽车防滑控制、汽车防撞控制、汽车空调和音响等,包括出租车的计价器也都在使用单片机。据统计,一般汽车中使用的单片机数量在几十个,高档车甚至用到了近百个。单片机已在汽车电子中占据了十分重要的位置。

7. 在办公自动化中的应用

各种办公自动化设备,例如复印机、打印机、传真设备、扫描仪、个人数字助理 PDA 等,都与单片机的应用有关。

8. 在商业领域中的应用

各种自动售货机、电子收银机、电子取款机(ATM 机)、电子秤、IC 卡读卡机等,均与单片机的应用有关。

9. 在电子玩具中的应用

各种电子玩具,例如手持游戏机、遥控模型、智能玩具、电子宠物等,均采用了单片机。

10. 在国防领域中的应用

单片机可用于导弹、鱼雷等武器的精确制导，以及应用于雷达系统控制和新型智能武器装备中。

总之，单片机在涉及我们生活、工作、学习的各个领域都有着十分广泛的用途。

1.1.3 单片机的发展简史

单片机诞生于 20 世纪 70 年代初，至今已有 40 年的历史，其发展历程大致可分为三个阶段。

1. SCM(Single Chip Microcomputer)阶段，即单片微型计算机阶段。20 世纪 70 年代，微电子技术正处于发展阶段，集成电路属于中规模发展时期，各种新材料和新工艺尚未成熟，单片机仍处在初级发展阶段。这个阶段元件集成规模还比较小，功能比较简单，一般都只把 CPU、RAM 和 I/O 端口集成到芯片上，比如美国仙童(Fairchild)公司研制的 F8 单片微型计算机就属于这一类型，它还需配上外围的其他处理电路，才能构成完整的计算机系统，类似的单片机还有 Zilog 公司的 Z80 微处理器等。

2. MCU(Micro Controller Unit)阶段，即微控制器阶段。1976 年 Intel 公司推出了 MCS-48 单片机，首次将 CPU、RAM、ROM、外设部件、I/O 口等计算机的主要部件集成在一个芯片上，实现了真正意义上的单片微型计算机，由于其已具有的控制功能，因此被称为微控制器。这个时期的单片机才是真正的单片微型计算机，其典型代表是 MCS-48。它以体积小，功能全，价格低，得到了广泛的应用并迅速并推向市场，为单片机的发展奠定了基础，成为单片机发展史上重要的里程碑。在 MCS-48 的带领下，各大半导体公司相继研制和发展了自己的单片机。到了 80 年代初，单片机已发展到了高性能阶段，例如 Intel 公司推出的 MCS-51 系列、Motorola 公司的 6801 和 6802 系列、Rockwell 公司的 6501 及 6502 系列以及日本的 NEC 和 HITACHI 也都相继开发了具有自己特色的专用单片机，而美国的 Microchip(微芯)公司则推出了很有特色的 PIC 系列单片机，并迅速得到了广泛应用，销售量逐年上升，目前 PIC 系列 8 位单片机的年销售量已上升到了全球第一。

3. SoC(System on Chip)即片上系统阶段。单片机的发展历程也就是嵌入式系统的发展历程。MCU 阶段的深入发展，旨在寻求应用系统在芯片上的最大化解决方案。因此，专用单片机的发展自然形成了 SoC 化趋势。这一时期的典型代表是以 ARM 嵌入式技术为特征的各类专用单片机系统。随着微电子技术、IC 设计、EDA 工具的发展，基于 SoC 的单片机应用系统设计会有较大的发展。因此，对单片机的理解可以从单片微型计算机、单片微控制器延伸到单片机应用系统

1.1.4 单片机的优势

单片机由于将计算机的主要功能部件(CPU、存储器、外设器件、I/O 端口等)集成在单一芯片上，它既具有计算机的功能，又特别适于控制，再加上体积小、功耗低、功能强、价格低、扩展灵活、程序控制、使用方便等优点，因此非常适于嵌入到目标应用系统中，完成预定的微控制功能。

1.1.5 PIC 单片机的特点和主要优势

由美国 Microchip 公司推出的 PIC 系列单片机产品是首先采用了哈佛 (Harvard) 结构的微控制器, 其高速度、低电压、低功耗、大电流驱动能力和低价位的程序存储器技术等都体现出单片机产业的新趋势。目前, 在全球都可以看到 PIC 单片机在电脑的外设、家电控制、电讯通信、智能仪器、汽车电子以及金融电子各个领域都有广泛的应用。现今的 PIC 单片机已经是世界上最有影响力的嵌入式微控制器之一。PIC 8 位单片机产品共有三个系列, 即基本级、中级和高级。

1. 基本级系列。该级产品的特点是低价位, 如 PIC16C5X 单片机, 适用于各种对成本要求严格的家电产品选用。又如 PIC12C5XX 单片机是世界第一个 8 脚的低价位单片机, 其体积很小, 完全可以应用在以前不能使用单片机的家电产品的空间。

2. 中级系列。该级产品是 PIC 单片机最丰富的品种系列, 它在基本级产品上进行了改进, 并保持了很高的兼容性, 其外部结构也是多种多样的, 从 8 引脚到 64 引脚的各种封装, 如 PIC16F87X 系列。该级产品性能较高, 如内部带有 A/D 转换器、EEPROM 数据存储器、比较器、PWM、I²C 和 SPI 等接口。PIC 中级系列产品适用于各种高、中和低档的电子产品的设计中。

3. 高级系列。该系列产品的代表是 PIC18F 单片机, 它的特点是速度快, 适用于高速数字运算的应用场合中, 加之它具备一个指令周期内 (100 ns) 可以完成 8×8 (位) 二进制乘法运算能力, 所以可取代某些 DSP 产品。再比如 PIC17CXX 单片机具有丰富的 I/O 控制功能, 并可外接扩展 EPROM 和 RAM, 使它成为目前 8 位单片机中性能最高的机种之一, 很适合于高、中档的电子设备中使用。

PIC 单片机的主要优势:

1. PIC 单片机最大的特点是不做单纯的功能堆积, 而是从实际出发, 重视产品的性能与价格比, 靠发展多种型号来满足不同层次的应用要求。因此, 在 PIC 系列众多的单片机中, 用户总能找到一款最适宜其用途、性价比最高、价格便宜的单片机, 这样既节省了资源和投资, 又方便了使用, 正所谓物尽其用, 毫无浪费。

2. 精简指令使其执行效率大为提高。PIC 系列 8 位 CMOS 单片机具有独特的 RISC 结构以及数据总线和指令总线分离的哈佛总线结构, 这使指令具有单字长的特性, 且允许指令码的位数可多于 8 位的数据位数, 这与传统的采用 CISC 结构的 8 位单片机相比, 可以达到 2:1 的代码压缩, 速度提高 4 倍。

3. PIC 单片机有优越的开发环境。单片机开发系统的实时性是一个重要的指标, 传统单片机的开发系统大都采用高档型号仿真低档型号, 实时性并不理想。新推出的 PIC 单片机都具有片上调试功能, 可以进行实时性很强的在线调试。

4. 引脚具有很强的驱动能力, 单个引脚的驱动电流可达 25 mA, 大大超过传统单片机的驱动能力, 可直接驱动 LED 发光二极管、继电器等, 而无须再增加驱动电路, 给应用带来极大方便。

5. 彻底的保密性。PIC 单片机以保密熔丝来保护代码, 用户在烧入代码后熔断熔丝, 别人再也无法读出, 除非恢复熔丝。目前, PIC 采用熔丝深埋工艺, 恢复熔丝的可能性极小, 极大地保护了开发者的知识产权。

6. 自带看门狗定时器，可以用来提高程序运行的可靠性。

7. 睡眠和低功耗模式。在睡眠或低功耗模式下，PIC 单片机的功耗可降到微安级，非常适合用于电池供电的便携式设备。

1.1.6 如何学习和掌握单片机技术

学习单片机与学习“模拟电路”、“数字电路”、“计算机语言”等有不同之处，它既不是单纯的电路学习，也不是单纯的编程学习，而是二者有机的结合，即要“软硬结合”。可以说，上述三门课是学习单片机的基础。学习单片机既要弄清楚单片机的硬件结构、内部各模块的功能，又要掌握好其指令系统，学会用汇编语言控制单片机完成预定的算法、实现对内部模块的控制和 I/O 操作等。要学好用好单片机，还要学好“模拟电路”，因为单片机仅仅是一个数字处理或控制部件，它要处理的对象或控制的对象大多是“模拟环境”中的事物，诸如温度、压力、位移、电机控制等。很多对象是非电量的物理量，需要通过传感器将其变换为电量，还需要调理电路，如放大器、滤波器、电平变换电路等处理后，再经 A/D 转换器将其变换为数字量，才能进入单片机进行处理。单片机的处理结果也常常需要经 D/A 转换器转换为模拟量，再经驱动或功放电路后，由伺服机构去控制对象。因而，通过学习单片机，也可将上述有关的课程联系在一起，加深理解。最后，也是最重要的，是要学习掌握好单片机技术，就要注重实践，只读书是学不好的，一定要多实践，理论联系实际才是最好的学习方法。

1.2 常见电子元器件的识别和使用方法

电子元器件是包括单片机系统在内的所有电子系统的基础。本节将详细地介绍电阻、电容、二极管、三极管、晶振和集成电路的特性和使用方法，继而还将讲解手工焊接的知识，为读者参加电子设计竞赛，走向工作岗位打下良好的基础。

另外，由于在单片机开发过程中，手工焊接是每个开发人员必备的基本技能。为了让读者通过本书的学习，全面地掌握单片机系统的开发过程和方法，本书配套的实验套件没有经过焊接，读者可以在阅读本书的过程中，同步完成相应硬件电路的焊接。锻炼识别和焊接常用元器件的能力。

1.2.1 电阻器

电阻器简称电阻，在电路图中用 R 表示，单位为欧姆(Ω)，是电子系统中最常用的元器件之一。电阻所起到的主要作用是阻碍电流的流动，电阻、电流和电压之间的关系遵循欧姆定律。电阻、电容以及电感最大的不同在于交流和直流信号都可以通过，并且会将流过它的电能以热能的形式消耗掉。图 1.1 为常见电阻器的电路符号。

1. 电阻的分类、特点及其用途

根据用途不同，常见的电阻器可以分为普通电阻、可变电阻、功率电阻、网络电阻和特种电

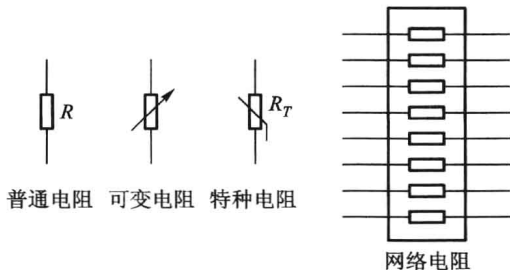


图 1.1 常见电阻器的电路符号