

Microchip大学计划用书



PIC[®]单片机实用教程

——基础篇（第2版）

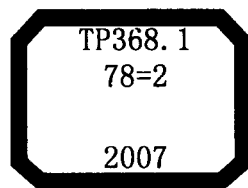
李学海 著

PIC



北京航空航天大学出版社

Microchip 大学计划用书



PIC[®] 单片机实用教程 ——基础篇

(第 2 版)

李学海 著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书以介绍 PIC16F87X 型号单片机为主,并适当兼顾 PIC 全系列,共分 9 章,内容包括:基本概念、PIC16F877 硬件概况、指令系统、汇编程序设计、集成开发环境、在线调试工具、定时器、中断逻辑以及应用系统性能优化。突出特点:通俗易懂、可读性强、系统全面、学练结合、学用并重、实例丰富、习题齐全、教者轻松、学者有趣。

本书是作者在“2000 年微芯技术精英年会”上应 Microchip(微芯)公司和北京航空航天大学出版社之邀,为该公司在我国开展的“大学计划”撰写的教学用书、培训教材和自学读本。同时,它也广泛地适用于初步具备电子技术和计算机基础知识的电子、电信、计算机、电气、电力、电器、机电等涉电专业的在校学生、教师、单片机爱好者、电子爱好者、电子产品开发者、电器维修人员、工程技术人员阅读。

全套教程共分 2 篇,即基础篇和提高篇,分 2 册出版,以适应不同课时和不同专业的需要,也为读者增加了一种可选方案。

图书在版编目(CIP)数据

PIC 单片机实用教程. 基础篇/李学海著. —2 版.

北京:北京航空航天大学出版社,2007. 2

ISBN 978-7-81077-929-6

I. P… II. 李… III. 单片微型计算机—高等学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 004049 号

© 2007, 北京航空航天大学出版社, 版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制或传播本书内容。
侵权必究。

PIC® 单片机实用教程——基础篇(第 2 版)

李学海 著

责任编辑 张冀青

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhpresse@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:24.25 字数:543 千字

2007 年 2 月第 2 版 2007 年 2 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-81077-929-6 定价:29.50 元

第2版前言

作者曾经先后应几家国际著名微电子公司之邀,配合在我国推行的“中国大学计划”,为其生产的几种不同流派的新型单片机系列撰写了9本科普图书、大学教程及技术专著:《PIC 单片机实用教程——基础篇》、《PIC 单片机实用教程——提高篇》、《EM78 单片机实用教程——基础篇》、《EM78 单片机实用教程——扩展篇》、《PIC 单片机原理》、《PIC 单片机实践》、《凌阳 8 位单片机——基础篇》、《凌阳 8 位单片机——提高篇》、《标准 80C51 单片机基础教程——原理篇》。其中,有的在短短的两年里被重印了 5 次;有的被多家教学和研发单位选定为教学用书和培训教材;《PIC 单片机原理》和《PIC 单片机实践》被评为第 7 届全国高校出版社优秀畅销书一等奖;有 1 本被某高校指定为考研参考书;还有 4 本被重点大学选定为研究生教学用书。

作者在“2000 年微芯技术精英年会”上应 Microchip(微芯)公司之邀,为该公司在中国开展的“大学计划”撰写了教学用书、培训教材和自学读本——《PIC 单片机实用教程——基础篇》和《PIC 单片机实用教程——提高篇》。同时,该教程也广泛地适用于初步具备电子技术和计算机基础知识的电子、电信、计算机、电气、电力、电器机电等涉电专业的在校学生、教师、单片机爱好者、电子爱好者、电子产品开发者、电器维修人员、工程技术人员阅读。该教程发行之后果然反响强烈,获得了极大地成功,得到了多家高校和科研单位的认同和推崇。据悉,曾先后被山东建工学院、北京邮电大学、河北工业大学、西北师范大学、四川师范大学、辽宁工学院、北京计科能源新技术公司等多家教学和研发单位选定为教学用书和培训教材,受到了许多师生和技术人员的肯定和好评。山东建工学院的于老师来函说:对于《PIC 单片机实用教程——基础篇》,大家反映很好,都说老师选了一本好教材,下半年的“单片机综合技术”课选用的是《PIC 单片机实用教程——提高篇》。一位资深的科普期刊编辑来函说:“从近一段时间我的了解看,作为高校的教材,讲究语言的严谨与准确是必须的,我想您的书籍被选入高校教材肯定有这样的优势。”

为了不断更新、充实和完善教学内容,应北京航空航天大学出版社之邀,作者对于初版《PIC 单片机实用教程——基础篇》和《PIC 单片机实用教程——提高篇》进行了全面修订。内容上作了比较大的调整,新增了帮助读者树立和掌握“三链条”完整概念的内容(即全程知识链、硬件工具链、软件工具链),裁减了一些不十分必要的内容。

本套教程的特点是:① 内容叙述循序渐进、通俗易懂、系统完整;② 难点分散,适合于自学和方便于教学之需;③ 注重激发读者兴趣,知识与技能并举;④ 容易上手,开发手段经济实用,甚至借助于免费软件模拟器,仍然可以体验到开发单片机的乐趣;⑤ 强调学用结合、边学边练、理论与实践无缝连接,改变了单片机学习的传统模式;⑥ 突出实用性和资料性;⑦ 以读者的求知需要、认识规律和市场需求为写作主线;⑧ 专门为本书设计了丰富多彩的实验范例,均被调试通过;⑨ 思考题和练习题齐全,便于教学和读者自测;⑩ 虽然大幅降低了单片机入门的门槛,但是又适当地兼顾了学习内容的深度和宽度;⑪ 将理论教科书和实验指导书两者的功能有机地融合在一起;⑫ 兼顾了技能实训、电子制作、课程设计、毕业设计和项目开发的实际需求。

第2版前言

本套教程在写作手法上,力求循序渐进、通俗易懂、趣味性强,将枯燥乏味的学习过程变得更加轻松有趣,力图引导读者享受到学习的乐趣。尽可能使读者在通过阅读本套教程来学习PIC单片机的过程中,以花费尽可能少的时间和精力,掌握和了解尽可能全面的单片机理论知识和开发技术。采用以读者为中心的写作手法,来努力克服以往以产品手册为中心,或以作者知识结构为中心的传统写作模式给读者所带来的种种不便和困惑。

本套教程的编写思路是,充分发挥作者在为《电子世界》、《电子制作》和《无线电》等科技期刊撰写单片机技术连载讲座中,以及在面授教学过程中积累的现成经验,再通过精心编排讲述顺序和精心筛选教学内容,来尽量减少对读者背景知识的要求,以便尽可能降低初学者通过了解PIC单片机而进入单片机世界的门槛。书中以讲解PIC16F877单片机为主,并且酌情兼顾PIC单片机大家族中的其他成员的个性以及全体成员的共性简介以便使读者达到举一反三、触类旁通之功效。

本套教程的编写目标是,努力追求“一读就懂,读了能用,一用就灵”的学习效果;不仅能“给人以鱼”,而且更注重“授人以渔”;不仅传授单片机知识,而且更注重教会开发方法和应用技巧;不仅可以提高理论水平,而且更侧重强化将所学知识转化为实际工作的能力;力图实现将每一位有志于迈进单片机王国的外行人,培养成既懂单片机知识,又能掌握以单片机为核心的智能电子产品开发技能的内行人。为了达到这一目标,除了恰当的引导和正确的学习方法之外,当然也离不开读者的自身努力。“兴趣是最好的老师!”,本人深信这个哲理。培养读者的学习兴趣比传授知识更重要。一旦帮助读者树立起浓厚的学习兴趣和强烈的求知欲望,就很可能达到令人受益终生的特殊效果,这也是每一位教育工作者追求的最高目标。

本套教程在内容安排上充分注意了层次性、可读性、实践性、系统性和完整性,力求覆盖从单片机理论学习到开发应用的各个阶段,所有必不可少的硬件和软件知识、开发环境和开发工具的使用方法和技巧等内容。尽可能不需要翻阅其他书籍就可以学习到从单片机入门到单片机开发制作各个环节的全程知识。书中讲出了其他同类书籍中没有讲出或者没有讲透的一些技术细节和背景知识。作者对于原文数据手册中的文字错误、图表错误进行了多处考证,还对多处欠缺的示意图进行了补充,以便于教学和自学。对于具有电子技术和微机应用基础知识的初学者,要成长为一位单片机应用工程师,所需要学习的核心知识主要有:单片机硬件系统、单片机指令系统、汇编程序设计基础以及(宏)汇编器的用法、集成开发环境及其交互方法、单片机仿真器及其用法、程序烧录器及其用法。这些内容书中都有介绍。此外,为了突出实践性,在每个需要演练的章节后面都精心设计了1~3个针对性很强的实验范例,并且调试成功,每个范例大致包括项目实现功能、硬件电路规划、软件设计思路、汇编程序流程、汇编程序清单、几点补充说明、程序调试方法等内容。

近20年来,8位单片机因其价格低廉、功耗极低、指令简练、易于开发,加上近几年嵌入式C语言的推广普及,执行指令的速度也不断得到提升,片载Flash程序存储器及其在系统内编程ISP和在应用中编程IAP技术的广泛采纳,片内配置外设模块的不断增多,以及新型外围接口的不断扩充,广泛受到电子工程师的欢迎。目前,各家厂商竞相为单片机增加符合潮流的新功能和为设计者提供C语言编译器、软件模拟器和廉价硬件仿真器等开发工具套件。1999年,8位单片机的年产值增长率为8.6%,价格已经由顶峰趋于回落,按销售量而论,8位单片机仍居榜首。占据着世界8位单片机年产量第一位的供应商已经变成了Microchip公司。

总体上讲,论本领或性能,在众多的PIC单片机家族成员中,PIC16F877占据着中上等水平。有的初学者可能要问,既然PIC系列中还有更简单易学的品种,为什么先给大家引见

PIC16F877 呢? 理由就是该型号具备让人接近的良好途径——在线调试功能和在线编程功能及其廉价的配套学习和开发工具套件(名称叫 MPLAB-ICD)。借助于这项独特的性能和优势,学习者可以边学边练、学用结合,既学习理论知识又掌握开发技能,而且经济上还不需要付出太大的投入。MPLAB-ICD 是由美国微芯公司原创的,在美国售价 159 美元,在笔者的积极建议下进行了本土化,目前,已经授权国内多家代理商生产和销售,其售价仅仅为 400 元左右。例如,福州贝能(www.mcusolution.com)、南京伟福(www.wave-cn.com)、北京集万讯(www.jetson.com.cn)等。

国家积极倡导的素质教育和创新工程,旨在提高受教育者的素质和培养将所学知识转化为生产力、创造力和经济效益的能力。为了更好地适应发展潮流和就业需要,作者认为,单片机的学习和应用,可以为电子、电信、计算机、电器、机电以及相关领域的爱好者、从业者和在校生,提供一个容易激发学习热情和创作欲望的、可操作性很强的学习途径和实践平台。至今,许多老一辈的工程师、专家、教授当年都是无线电爱好者。如果说 20 世纪 50 年代起,无线电世界造就了几代电子英才,那么,当今的单片机世界也必将会培育出更多的电子精英。

1985 年,本人在北京邮电学院学习通信系统专业研究生课程的时候,导师蹇锡君教授(时任多路通信教研室主任)曾经预言,单片机在我国未来必定要有大发展,并且一定会形成庞大的产业。从那时起,本人就对单片机建立起了浓厚的兴趣,时刻在关注世界各个著名公司的单片机发展动向,以及在我国市场上的推展进程。凭着一种对单片机的强烈求知欲望,经过多年的探索和磨砺,本人曾先后涉猎和研究了许多世界顶级公司研制的各具特色的单片机,及其性能特点、硬件架构、指令系统和开发环境。例如,Intel 公司的 MCS-48 和 MCS-51 系列,AT-MEL 公司的 AT89C 和 AVR 系列,ZILOG 公司的 Z8、Z8+ 和 eZ8 系列,TI 公司的 MSP430F 系列,ST 公司的 ST62 系列,SCENIX 公司的 SX 系列,Microchip 公司的 PIC 系列,Freescale 公司(原 Motorola 公司半导体部)的 MC68HC908 系列,Philips 公司的 P87LPC 和 P89LPC900 系列,NS 公司的 COP8 系列,Holtek 公司的 HT48 系列,ELAN 公司的 EM78 系列,LG 公司的 GM97C 和 GM87C 系列,SST 公司的 SST89 系列,STC 公司的 STC89 系列,华邦公司的 W79、W78 及 W77 系列,凌阳公司的 SPCE061、SPMC65 和 SPMC75 系列,P&S 公司的 PS1008 等。博采众家之长,全面掌握单片机世界的发展趋势。不仅如此,还先后参加了多项全国性的单片机开发设计赛事,并且均从中获得了奖项。例如,在 1997 年,由国家教育电视台、《无线电》杂志社和力源单片机技术研究所联合举办的,共有 2300 余人参加的“第二届力源杯单片机开发制作大奖赛”中获奖;在 1999 年,由 Motorola 公司、中国计算机学会微机专业委员会、《电子产品世界》杂志社联合主办的,由清华大学、复旦大学、深圳大学承办的,有 1500 余名电子工程师报名参加的“第三届 Motorola 杯单片机应用设计大奖赛”中获奖。另外,还曾获得过 4 项国家专利和发明成果展览会金奖。

作为一名教育工作者,不仅留意观察单片机领域的新动向,而且还注意搜寻更适合认识规律和教育规律、容易诱发学习者兴趣和容易上手的单片机品种。在 1997 年一次翻阅杂志时,偶然被 Microchip 公司的 PIC16C5X 单片机所吸引,其别具特色的哈佛总线和 RISC 结构、精练的指令系统、易学好用的突出优点,顿时给人一种强烈的冲击和震撼。更令人惊喜的是,1999 年该公司又推出了非常适合单片机教育市场需求和单片机初学者学习和演练的 PIC 单片机子系列 PIC16F87X,以及同时配套供应的物美价廉型开发套件。这给那些经济拮据但成才迫切的求知者,提供了一条行之有效且投入产出比很高的便捷途径。于是,在 2000—2001 年应邀为《电子世界》撰写的单片机技术连载讲座中,就选定了 PIC16F87X 作为讲解的样板,

第2版前言

结果取得了极大的成功,在广大读者中引起强烈反响和共鸣。本人收到全国各地读者的大量来函、来电和 E-mail,其中,既有初学者也有大学教师,字里行间流露着对讲座的充分肯定和热情鼓励,而且,有些读者还积极建议和期待编成专著和光盘发行。这些都会在成书过程中给予作者强大的精神动力,从众多读者的反馈信息中积累了大量的有益经验和素材,也为本套教程的成功推出奠定了坚实的基础。

自从 1983 年以来,作者先后曾在 30 余种电子和通信类科技期刊、新技术研讨会论文集等刊物上发表专业论文、译文、科普文章和科研成果数百篇(项),内容涉及电子、电信、计算机等领域,受到了广大读者的普遍欢迎和热情鼓励,以及多位责任编辑的称赞。另外,在 1999 年应《家用电器》资深编辑王远美老师举荐,为天津科学技术出版社出版的系列丛书撰写了内容关于通信终端设备的一部书,发行后得到了广大读者的认可,在不到一年的时间内就进行了二次重印。从近 20 年的技术研究和文字创作过程中,摸索出了一套通过文字向读者传达知识和技术的高效快捷的写作模式,并且经历了时空的检验。再者,本人 20 余年的教学经历,也必定会在讲解内容的组织与锤炼、讲解顺序的安排与优化方面,更增添一份得天独厚的优势。

本套教程分基础篇和提高篇两册,内容上既相互独立又相互配合,既可同时使用又可单独选用,以便适应不同课时数、不同教学目标和不同专业设置的需要,也为教师和读者增加了一种可选方案。

★基础篇:通过本篇的学习和实践,读者可以掌握 PIC 单片机的基础硬件结构、指令系统、汇编程序设计基础、开发工具及开发技术;可以利用中档 PIC 单片机内部的常规资源(包含输入/输出端口、中断逻辑、定时器和看门狗等,这也是仅仅被 PIC 单片机低档型号所配置的几种经典资源),或者利用低档 PIC 单片机内部的所有资源(该档单片机具有很高的性能价格比,据公司介绍在我国的销售量中仍然占据较大比例),来设计和研制一些小型电子产品。

★提高篇:通过本篇的学习和实践,读者可以掌握 PIC 系列单片机的中、高档型号内部配置的功能比较复杂的各种硬件资源,及其应用开发技术;利用这些资源可以设计和研制智能性更强、功能更复杂的电子产品系统甚至网络产品。

在本套教程的编写过程中,得到了原微芯科技咨询(上海)有限公司的执行总监邱庚源先生、著名单片机教育专家北京航空航天大学教授何立民先生、北京航空航天大学出版社马广云博士、机械科学研究院刘治山高级工程师、原微芯科技咨询有限公司应用工程师张明峰先生、王作峰先生和卢园女士等专家学者们的大力支持和热情鼓励。另外,为本书撰写工作尽力的还有李聪聪、王友才、张拥军、王国联、孙群中、杨金祥、朱永芳、贡雪梅、任志刚、任胜利、赵鹏、池俭、王树生、李学英、范俊海、李学峰、王友发、蔡永泽、蔡永岗、李学凤、范淑玲、李伟、李青石、李建良、宋庆国、蒙洋、高笑飞、董丹、杨阳、马秀丽、张建春、王孝丽、李治存、曹艳、芦小菊、董宁、王雪、柳艳明、何富、王培、霍兴、马士学、宋峰、赵志伟、赵飞、杜太琢、杨瑞琢、杜雪梅、杨琳、李晗羽、李子杨等等。在此一并深表诚挚的谢意!

由于微芯公司不断推出新品,可查阅的中文新资料尚不十分丰富,需要撰写的内容不仅量大而且新颖,加之作者的水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请广大读友不吝赐教。

作者(E-mail: Lixuehai@tom.com 或 yanglin...@163.com)

2006 年 10 月 1 日

目 录

第 1 章 基本概念和背景知识

1.1 鸟瞰单片机	1
1.1.1 学用单片的必要性	1
1.1.2 单片机为什么令人入迷	3
1.1.3 学用单片的现实意义	5
1.2 审视单片机	8
1.2.1 单片机究竟是什么	8
1.2.2 单片机的用途	10
1.2.3 单片机的特点	11
1.2.4 8 位单片的突出地位	12
1.3 锁定 PIC 系列 8 位单片机	13
1.3.1 Microchip 公司简介	13
1.3.2 PIC 系列单片的优越之处	14
1.3.3 PIC 单片的庞大阵容	18
1.3.4 PIC16F87X 的主要功能特点	22
1.3.5 为什么选 PIC16F877 作样板	23
1.4 写作思路和目标	25
1.5 常用的专业名词和技术术语	27
1.5.1 硬件方面	27
1.5.2 软件方面	30
思考题与练习题	32

第 2 章 PIC16F877 硬件系统概况

2.1 PIC16F877 内部结构概览	33
2.1.1 PIC16F877 的核心区域	35
2.1.2 PIC16F877 的外围模块区域	38
2.1.3 PIC16F87X 系列型号性能对比	39

目 录

2.2 PIC16F87X 封装形式和引脚功能	40
2.3 程序存储器和堆栈	45
2.4 RAM 数据存储器(文件寄存器)	47
2.4.1 通用寄存器	52
2.4.2 特殊功能寄存器	53
2.5 电源、复位和时钟电路简介	55
2.5.1 电源外接电路	55
2.5.2 复位外接电路	55
2.5.3 时钟外接电路	56
2.6 输入/输出端口的基本功能	56
2.6.1 输入/输出端口相关的两个寄存器	57
2.6.2 输入/输出端口的基本结构	58
2.6.3 基本输入/输出端口的工作原理	60
思考题与练习题	62

第3章 指令系统分类解析

3.1 指令系统概览	64
3.1.1 指令的描述方法	64
3.1.2 指令的时空属性	65
3.1.3 指令的执行时序	66
3.1.4 指令的编码格式	66
3.2 指令的分类方法	67
3.2.1 按实现功能分类	67
3.2.2 按编码格式分类	69
3.2.3 按指令周期分类	69
3.2.4 按寻址方式分类	70
3.2.5 按携带操作数分类	70
3.2.6 按影响标志分类	70
3.2.7 按操作对象分类	70
3.2.8 按使用频度分类	71
3.3 寻址方式	71
3.3.1 立即寻址	72
3.3.2 直接寻址	72
3.3.3 间接寻址	73

目 录

3.3.4 位寻址·····	73
3.3.5 隐含寻址·····	74
3.4 指令系统分类解析·····	74
3.4.1 面向字节数据的操作类指令·····	74
3.4.2 面向位数据的操作类指令·····	77
3.4.3 面向常数操作和控制操作类指令·····	78
3.5 数据传递关系·····	79
3.6 指令系统的内在规律·····	80
3.7 “内核—寄存器—外围模块”相互关系·····	81
思考题与练习题·····	82

第4章 汇编程序设计基础和汇编语言工具链

4.1 概 述·····	84
4.1.1 背景知识·····	84
4.1.2 汇编语言的语句格式·····	86
4.1.3 程序流程和整体结构·····	90
4.1.4 源程序文件的书写格式·····	90
4.2 常用伪指令·····	93
4.3 四种基本程序结构·····	95
4.3.1 顺序程序结构·····	95
【实验范例 4.1】字节拆分·····	95
4.3.2 分支程序结构·····	96
【实验范例 4.2】数值比较·····	96
4.3.3 循环程序结构·····	97
【实验范例 4.3】空间填充·····	98
4.3.4 子程序结构·····	99
【实验范例 4.4】极值挑选·····	100
4.4 两个 PIC 编程的特殊问题·····	101
4.4.1 数据存储器的体选寻址问题·····	101
【实验范例 4.5】RAM 体选寻址·····	104
4.4.2 程序跨页跳转和跨页调用问题·····	104
【实验范例 4.6】ROM 跨页跳转·····	106
4.5 四种个性化实用程序的设计方法·····	107
4.5.1 初始化程序段设计·····	107

目 录

4.5.2 延时程序设计	108
【实验范例 4.7】软件延时	109
4.5.3 查表程序设计	110
【实验范例 4.8】LED 数码管驱动	112
4.5.4 散转程序设计	114
【实验范例 4.9】散转程序	114
4.6 汇编器 MPASM 及其应用	115
4.6.1 汇编器 MPASM 简介	116
4.6.2 汇编器 MPASM 应用	118
【实验范例 4.10】8 位二进制计数器	119
4.6.3 汇编器“界面—命令行—LIST”选项对应关系	123
4.7 汇编语言工具链	124
4.7.1 工具链的构成和启动顺序	124
4.7.2 工具链的处理流程	126
4.8 输入文件的解读	128
4.8.1 解读包含文件(P16f877.inc)	128
4.8.2 解读源程序模板文件(f877temp.asm)	129
4.9 输出文件的解读	131
4.9.1 解读列表文件(.lst)	131
4.9.2 解读最终目标文件(.hex)	133
4.9.3 解读错误报告文件(.err)	134
思考题与练习题	134

第 5 章 软件集成开发环境 MPLAB 和软件模拟开发技术

5.1 MPLAB 的组成	137
5.2 如何获取 MPLAB	138
5.3 如何安装与拆除 MPLAB	140
5.3.1 MPLAB 的安装要求	140
5.3.2 MPLAB 的安装方法	140
5.3.3 MPLAB 的拆除方法	142
5.4 如何启动和退出 MPLAB	142
5.4.1 MPLAB 的快速上手	142
5.4.2 MPLAB 工作环境简介	143
5.4.3 如何开启工作窗口	145

5.4.4 如何布局工作窗口	146
5.4.5 MPLAB 的退出	148
5.5 如何设置开发模式	148
5.6 如何创建、保存和打开源文件	149
【实验范例 5.1】循环递减实验程序	150
5.6.1 利用记事本创建源文件	150
5.6.2 利用 MPLAB 编辑器创建源文件	151
5.6.3 利用 MPLAB 编辑器查看、打开和关闭源文件	153
5.7 如何在 MPLAB 环境下创建和编辑第一个项目	154
5.8 如何在 MPLAB 环境下制作和保存目标文件	156
5.9 如何在 MPLAB 环境下关闭、打开和查看项目	158
5.9.1 关闭一个项目	158
5.9.2 打开一个项目	158
5.9.3 查看一个项目	159
5.10 如何调试目标程序	160
5.10.1 连续运行方式	160
5.10.2 设置观察窗口	161
5.10.3 单步运行方式	164
5.10.4 自动单步运行方式	164
5.10.5 设置断点运行方式	164
思考题与练习题	165

第 6 章 硬件综合开发工具 MPLAB-ICD 和硬件仿真开发技术

6.1 硬件工具链及其重要性	166
6.1.1 实时在线仿真器	167
6.1.2 程序烧写器	167
6.1.3 单片机目标板	168
6.1.4 单片机综合学习实验应用开发工具套件	169
6.2 MPLAB-ICD 的特点和局限	170
6.2.1 MPLAB-ICD 的功能特点	170
6.2.2 MPLAB-ICD 的局限性	171
6.3 MPLAB-ICD 工具套件的构成	172
6.3.1 MPLAB-ICD 模块	173
6.3.2 MPLAB-ICD 仿真头	173

目 录

6.3.3	MPLAB-ICD 演示板	173
6.3.4	六芯电缆	174
6.3.5	连接插针	175
6.3.6	MPLAB 集成开发环境软件包	175
6.3.7	直流电源适配器	175
6.4	MPLAB-ICD 的安装	175
6.4.1	硬件安装方法之一	176
6.4.2	硬件安装方法之二	177
6.4.3	软件安装	177
6.5	MPLAB-ICD 的启用	178
6.5.1	建立 MPLAB-ICD 与微机的通信	178
6.5.2	MPLAB-ICD 的设置	179
6.6	用 MPLAB-ICD 统调用户程序和用户电路	185
6.6.1	单片机应用项目开发流程	185
6.6.2	项目原型机开发示范	187
	【实验范例 6.1】8 珠式霹雳灯控制器	188
	【实验范例 6.2】单键触发 8 位二进制累加计数器	191
6.7	MPLAB-ICD 用作下载编程器	197
6.7.1	空白检查(查空)	198
6.7.2	内容读回(上传)	198
6.7.3	导出 HEX 文件	199
6.7.4	导入 HEX 文件	199
6.7.5	烧写编程	200
6.7.6	读取核对	200
6.7.7	芯片擦除	201
	思考题与练习题	201

第 7 章 定时器/计数器 TMR0

7.1	定时器/计数器模块的基本用途	203
7.2	PIC 单片机定时器/计数器 TMR0 的特性	204
7.3	与 TMR0 模块相关的寄存器	205
7.4	TMR0 模块的电路结构和工作原理	207
7.4.1	分频器	209
7.4.2	累加计数寄存器	210

7.5 TMR0 模块的应用举例	211
7.5.1 TMR0 用作硬件定时器	211
【实验范例 7.1】队列灯	211
7.5.2 TMR0 多次被引用	215
【实验范例 7.2】单键循环切换方波信号发生器	215
7.5.3 TMR0 用作硬件计数器	220
【实验范例 7.3】简易车辆里程表	220
思考题与练习题	227

第 8 章 中断概念和中断逻辑

8.1 中断的基本概念	228
8.2 PIC16F87X 的中断源	230
8.3 PIC16F87X 中断的硬件逻辑	231
8.4 与中断相关的寄存器	234
8.5 中断的处理	240
8.5.1 中断的延时响应和延时处理问题	240
8.5.2 中断的现场保护问题	242
8.5.3 需要注意的问题	245
8.6 中断功能的应用举例	247
8.6.1 TMR0 溢出中断	247
【实验范例 8.1】闪烁式跑马灯	247
8.6.2 INT 外部中断	255
【实验范例 8.2】带电源故障报警和备用电池的流水式灯箱控制器	255
8.6.3 端口 RB 电平变化中断	262
【实验范例 8.3】简易四路抢答器	268
8.7 外部中断的扩充方法	280
8.7.1 用 TMR0 外部时钟源扩展法	280
8.7.2 用 RB 端口扩展法	281
思考题与练习题	283

第 9 章 应用系统性能的优化设计

9.1 系统配置字以及特殊存储器单元	284
9.1.1 系统配置字	286
9.1.2 用户识别码 ID	288

目 录

9.1.3 器件识别码	290
9.2 时钟系统	290
9.2.1 外接晶体振荡器/陶瓷谐振器(LP/XT/HS)	291
9.2.2 外接阻容器件(RC)	292
9.2.3 引入外来时钟源(LP/XT/HS)	293
9.3 复位系统	293
9.3.1 几种不同的复位方式	294
9.3.2 单片机内部的复位操作处理	294
9.3.3 复位系统硬件逻辑	298
9.3.4 内部上电延时复位(POR)功能	301
9.3.5 外部上电延时复位电路	303
9.3.6 外部人工复位开关电路	305
9.3.7 内部掉电锁定复位(BOR)功能	306
9.4 监视定时器 WDT	308
9.4.1 程序失控的回复	309
9.4.2 WDT 的电路结构	311
9.4.3 WDT 的工作原理	312
9.4.4 WDT 相关寄存器	313
9.4.5 使用 WDT 的注意事项	313
9.4.6 WDT 的应用举例	314
【实验范例 9.1】带看门狗的霹雳灯	314
9.5 睡眠与唤醒	317
9.5.1 睡眠状态的进入	317
9.5.2 睡眠状态的唤醒	318
9.5.3 睡眠功能应用实例	321
【实验范例 9.2】利用按键来唤醒 CPU	321
思考题与练习题	324
附录 A ASCII 码表	326
附录 B 特殊功能寄存器及其复位值一览表	328
附录 C 英文指令系统概览	332
附录 D 特殊指令助记符(宏指令)	336
附录 E 宏汇编器 MPASM 伪指令一览表	338
附录 F 包含文件 P16F877.INC	341
附录 G MPASM 出错、警告、提示信息列表	349

目 录

G.1	出错性显示信息	349
G.2	警告性显示信息	353
G.3	提示性显示信息	355
附录 H	Mplink 分析、连接信息列表	357
H.1	分析性显示信息	357
H.2	连接性显示信息	358
H.3	连接警告性显示信息	361
H.4	库文件错误信息	362
H.5	COFF 文件错误信息	362
H.6	COFF 到 COD 文件转换错误信息	364
H.7	COFF 到 COD 文件转换警告信息	365
附录 I	MPLAB-ICD 演示板电路原理图	366
参考文献		368

第 1 章

基本概念和背景知识

近几年,国际市场上的单片机性能不断增强,价格却日益下降。随着我国对外开放的力度不断加大,世界上一些著名的微电子公司都在积极开拓我国市场,这使得国内上市的单片机品种型号越来越多,价格也越来越低廉。这给电子爱好者或初学者学习和利用单片机提供了丰富廉价的物质基础,因此,有越来越多的电子爱好者对单片机产生了浓厚的兴趣。

单片机与常用的 TTL、CMOS 数字集成电路相比掌握起来不太容易,问题在于单片机具有智能化功能,不光要学习其硬件还要学习其软件,甚至还要学习其软件/硬件开发工具,而且软件设计需要有一定的创造性。这虽然给学习它的人带来一定的难度,但这也正是它的迷人之处。初学者到底能否在没有太多专业基础知识的情况下,通过自学在短暂的时间内掌握单片机技术?事实表明是做得到的!如果再经过反复实践将自己培养成单片机开发应用工程师也是完全可能的!

1.1 鸟瞰单片机

1.1.1 学用单片机的必要性

在综观单片机技术和单片机产品的基础上和背景下,作者在此试图仅仅从以下几个侧面来帮助读者认识、感受和判断在面临当今技术飞速发展的紧迫形势下,学习单片机的理论知识、掌握单片机的应用开发技术有多么的重要和必要。

(1) 单片机控制产品和应用技术的广泛普及,正以我们始料未及的速度迅猛膨胀和加速,这必将对人们的工作、学习、生活等各个方面产生越来越重要的影响,也必将渗透到工业、农业、商业、医疗、国防、科研等各个领域。

(2) Motorola 公司曾经估测,到 2010 年平均每人每天接触到多达 351 片甚至更多的单片机。例如,一台微机系统中嵌入了 10 余片单片机;一辆 RMW-7 系列宝马轿车中嵌入了 63 片单片机。