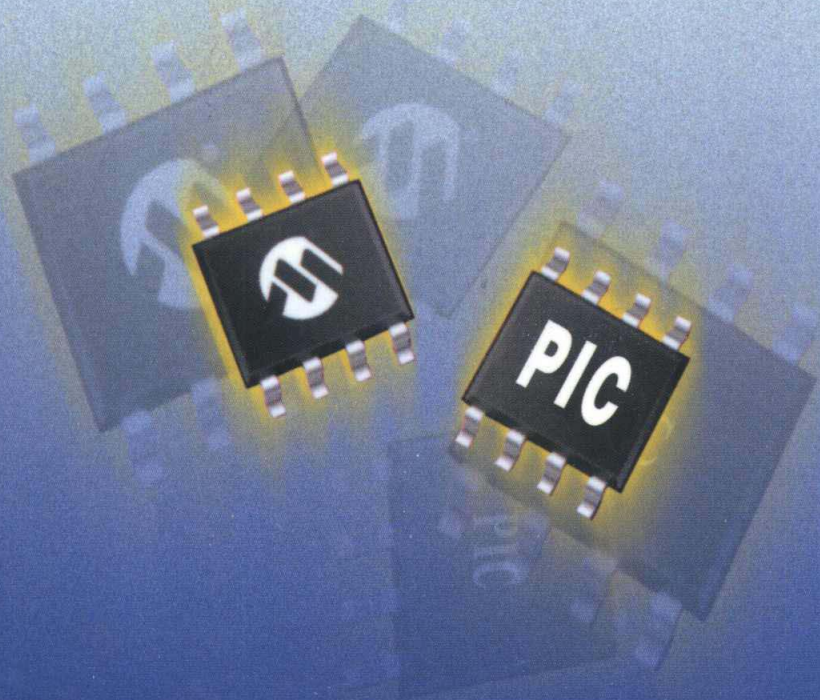


Microchip 公司中国大学计划用书



# PIC 单片机实用教程

## —— 基础篇



李学海 编著

1-43

北京航空航天大学出版社  
<http://www.buaapress.com.cn>

63

TP318.143  
C35

Microchip 公司中国大学计划用书

# PIC 单片机实用教程

## ——基础篇

李学海 编著

北京航空航天大学出版社

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

## 内容简介

本书以介绍 PIC16F877 型号单片机为主,并适当兼顾 PIC 全系列,共分 10 章,内容包括:基本概念;PIC16F87X 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;I/O 端口;定时器;中断;安全措施和降耗设计。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。

本书作为 Microchip 公司“大学计划”选择用书,可广泛适用于初步具备电子技术基础和计算机知识基础的学生、教师、单片机爱好者、电子制作爱好者、电器维修人员、电子产品开发设计者、工程技术人员阅读。

本教程全书共分 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,也为教师和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/李学海编著. —北京:  
北京航空航天大学出版社,2002. 2

ISBN 7-81077-156-6

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(2002)第 005333 号

## PIC 单片机实用教程

### ——基础篇

李学海 编著

责任编辑 胡晓柏

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市学院路 37 号(100083) 发行部电话(010)82317024 传真:(010)82328026

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

E-mail: [pressell@publica.bj.cninfo.net](mailto:pressell@publica.bj.cninfo.net)

北京密云华都印刷厂印装 各地书店经销

开本:787×960 1/16 印张:24.75 字数:554 千字

2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7-81077-156-6/TP·085 定价:29.50 元

---

## 序

---

时值寒冬,首先借本书出版之际,我谨代表 Microchip 公司对作者和出版社的各位同仁,为本书出版而付出的辛勤劳动表示感谢,同时,也向广大用户多年来对 Microchip 公司产品的厚爱表示诚挚的谢意。

单片机在中国的发展起源于 20 世纪 80 年代。目前,中国各大学及院校普遍采用 MCS-51 系列作为单片机教学的教材。随着单片机技术的不断发展,MCS-51 系列的应用领域已逐渐被其他单片机所替代。Microchip 公司推出的 PIC 系列单片机,由于采用精简指令集、哈佛总线结构、流水线取指的方式,抗干扰能力强,性能价格比高,深受中国客户的普遍欢迎。在工业控制、消费电子产品、办公自动化设备、智能仪器仪表、汽车电子等不同的领域得到了广泛的应用。本着支持中国教育的原则, Microchip 公司早在几年前就推出了“大学计划”,与中国各大学及院校建立单片机联合实验室,旨在改进学校现有的教学条件和试验环境,使教学和技术同步发展,同时,使学生能够有机会接触到最新的技术和器件,踏入社会之后,能够学以致用。到目前为止, Microchip 公司已与中国 60 多个大学及院校建立了单片机联合实验室,同时,欢迎更多的大专院校加入 Microchip 公司的“大学计划”行列,共同为单片机在中国市场的繁荣和发展而努力!

除生产和销售 PIC 系列单片机之外, Microchip 公司还生产串行 EEPROM、KEELOQ 跳码器件、周边器件、RFID 射频身份识别和模拟器件。到目前为止,已有 200 多种模拟产品,2002 年还将推出 100 多种模拟器件。此外, Microchip 公司还将于 2002 年推出 20 多款数字信号控制器(简称 dsPIC),这是目前业界性能最高的 16 位单片机,在其内部嵌入了 DSP 引擎,具有 DSP 的高速运算功能。我坚信,随着 dsPIC 数字信号控制器的问世,将使单片机在中国的应用跃上一个新的台阶! 并与中国科技人员一起面对中国加入 WTO 后所接受的挑战!

微芯科技咨询(上海)有限公司 执行总监  
邱庚源

2002 年 1 月 14 日于上海

**美国微芯科技股份有限公司网站:**

www.microchip.com(英文);www.microchip.com.cn(中文)

**中国大陆免费热线咨询电话:**

800-820-6247

**中国大陆各地联络处:**

**微芯科技咨询(上海)有限公司**

地址:上海市仙霞路317号远东国际广场B栋701室 (邮政编码:200051)

电话:021-62755700 传真:021-62755060 联系人:王小姐

**微芯科技咨询(上海)有限公司北京办事处**

地址:北京市朝阳区门北大街6号北海万泰大厦915室 (邮政编码:100027)

电话:010-85282100 传真:010-85282104 联系人:卢小姐

**微芯科技咨询(上海)有限公司深圳办事处**

地址:深圳市人民南路深圳嘉里中心13号15-16室 (邮政编码:518001)

电话:0755-2350361 传真:0755-2366086 联系人:牟小姐

**微芯科技咨询(上海)有限公司福州办事处**

地址:福州市五四路73号福州外贸中心酒店北楼531室(邮政编码:350001)

电话:0591-7557562 传真:0591-7557572 联系人:李小姐

**微芯科技咨询(上海)有限公司成都办事处**

地址:成都市提督街88号民兴金融大厦2401-2402室 (邮政编码:610016)

电话:028-6766200 传真:028-6766599 联系人:郭小姐

---

## 前 言

---

本教程是作者在“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”撰写的教学用书、培训教材和自学读本。同时,也广泛地适用于初步具备电子技术和计算机知识基础的学生、教师、单片机爱好者、电子制作爱好者、电器维修人员、电子产品开发设计者、工程技术人员阅读。

本教程的特点是:① 内容叙述循序渐进、通俗易懂、系统完整;② 适合于自学和方便教学需要;③ 注重激发学习者的兴趣,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、理论密切联系实际,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 实验范例丰富多彩,均被调试通过;⑨ 思考题和练习题齐全,方便教学和读者自测;⑩ 虽然入门的门槛一再降低,但又兼顾深度和宽度。

本教程在写作手法上,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所带来的种种弊病。

本教程的编写思路是,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成功经验,再通过精心编排讲述顺序和精选教学内容,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 PIC16F87X 系列单片机为主,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、触类旁通的功效。

本教程的编写目标是,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”,而且也能“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,培养成既懂得单片机知识,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。

本教程在内容安排上充分注意了层次性、可读性、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修正,还对多处欠缺的示意图进行了补充,以方便教学和自学。对于一名初步具备电子技术和微机应用基础知识的初学者,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;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,为了提高资料性,还将近几年作者在科研实践中研究过的多种新颖器件、实用技术等相关内容,以附录的形式列入书中以供读者深入学习时参考。

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,片载闪速 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,和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 位单片机年产量最高的前两位分别是 MOTOROLA 和 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,PIC16F87X 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 PIC16F87X 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,而且还不需要经济上付出太大的投入。MPLAB-ICD 是由美国微芯公司原创的,在美国售价 159 美元,在作者的积极建议下进行了本土化,目前已经授权国内 3 家代理商(福州贝能 [www.mcusolution.com](http://www.mcusolution.com)、南京伟福 [www.wave-cn.com](http://www.wave-cn.com)、北京集万讯 [www.jetson.com.cn](http://www.jetson.com.cn))生产和销售,其售价仅仅为 400 元左右。

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、电脑、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。打那时起,就对单片机建立起了浓厚的兴趣,就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的MCS-48和MCS-51系列、ATMEL公司的AT89C和AVR系列、ZILOG公司的Z8和Z8+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、MOTOROLA公司的MC68HC908系列、PHILIPS公司的P87LPC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、P&S公司PS1008,等等。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,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,在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工具套件。这给那些经济拮据但成才迫切的众多求知者,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,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,并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,也为本教程的成功推出奠定了坚实的基础。

自从1983年以来,本人先后曾在31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260余篇,内容涉及电子、电信、电脑和电器等领域,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涉



及四种通信终端设备中的一种,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,探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。

教程全书共分 2 篇,即基础篇和提高篇,分 2 册出版,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、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,及其开发应用技术;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。

在本教程的编著过程中,得到了微芯科技咨询(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、石家庄铁道学院计算机科学系主任李夏青教授、北京航空航天大学出版社马广云博士、《电子产品世界》副总编王莹女士、《电子世界》主编戴茗女士、《数字世界》主编薛同莉女士、微芯科技咨询有限公司应用工程师张明峰先生、廖珍爱先生、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。除了实验装备和技术资料方面的支持之外,还将他们在长期实践中积累的经验体会和应用技巧无私地奉献出来供广大读者分享。另外,为本书的编著工作尽力的还有李学英、范俊海、石玉林、丁永再、杨金祥、池俭、胡素英、孙桂良、李学峰、王树生、王有才、王友发、莱永泽、王友起、范淑玲、李青松、王有勇、易向军、张秀芳、王国联、王成堂、鞠文慧、张自宾、李青石、朱永芳、贡雪梅、任志刚、韩家民、徐福成、周鹏、任胜利、赵鹏、张波、解帅、裴新华、杨琳、李子杨、李晗羽等等。在此一并深表由衷的谢意!

由于微芯公司不断推出新品,可查阅的中文新资料尚不够丰富,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。

李学海 于石家庄

2002 年 1 月 1 日

《电子世界》杂志社通讯处:北京 165 信箱 邮政编码:100083  
电话:(010)68234266 传真:(010)68278572  
E-mail:dzsj@public.bta.net.cn 网址:www.eleworld.com

---

# 目 录

---

## 第 1 章 单片机的基本概念

1.1 学习单片机有什么必要性 .....	1
1.2 单片机究竟是什么 .....	6
1.3 单片机有哪些应用 .....	7
1.4 单片机有哪些特点 .....	9
1.5 单片机的发展状况 .....	9
1.6 PIC 系列单片机有哪些优越之处 .....	12
1.7 可在线调试和在线编程的 PIC16F87X .....	17

## 第 2 章 PIC16F87X 硬件系统概况

2.1 PIC16F87X 封装形式和引脚功能 .....	19
2.2 PIC16F87X 内部结构方框图简介 .....	27
2.2.1 PIC16F87X 的核心区域 .....	33
2.2.2 PIC16F87X 的外围模块区域 .....	35
2.3 程序存储器和堆栈 .....	38
2.4 RAM 数据存储器(文件寄存器) .....	40
2.4.1 通用寄存器 .....	46
2.4.2 特殊功能寄存器 .....	47
2.5 复位功能简介 .....	50
2.6 系统时钟简介 .....	51

## 第 3 章 指令系统

3.1 指令时序 .....	54
3.2 指令系统概览 .....	55
3.3 面向字节操作类指令 .....	56
3.4 面向位操作类指令 .....	59
3.5 面向常数操作和控制操作类指令 .....	60
3.6 寻址方式 .....	62

3.6.1	立即寻址	62
3.6.2	直接寻址	62
3.6.3	间接寻址	63
3.6.4	位寻址	64
3.7	数据传递关系	65
3.8	“内核-寄存器-外围模块”相互关系	65

## 第4章 PIC 汇编语言程序设计基础

4.1	MPASM 汇编器简介	69
4.2	汇编语言的语句格式	71
4.3	常用伪指令	73
4.4	程序格式和程序流程图	74
4.5	RAM 数据存储器的体选寻址问题	76
4.6	顺序程序结构	80
4.7	分支程序结构	81
4.8	循环程序结构	82
4.9	子程序结构	84
4.10	程序跨页跳转和跨页调用问题	86
4.11	延时程序设计	89
4.12	查表程序设计	91

## 第5章 MPLAB 集成开发环境软件包

5.1	MPLAB 的组成	96
5.2	MPLAB 的安装	97
5.3	MPLAB 的简单应用	101
5.3.1	启动 MPLAB	101
5.3.2	MPLAB 的设置	103
5.3.3	创建简单的项目	103
5.3.4	新建和汇编一个简单的源文件	107
5.3.5	程序调试	110

## 第6章 MPLAB - ICD 在线调试工具套件及其应用

6.1	概述	116
6.1.1	MPLAB - ICD 的功能特点	116
6.1.2	MPLAB - ICD 的局限性	117

6.2	MPLAB-ICD 工具套件的构成	118
6.2.1	MPLAB-ICD 仿真头	119
6.2.2	MPLAB-ICD 模块	119
6.2.3	MPLAB-ICD 演示板	120
6.2.4	六芯电缆	121
6.2.5	连接插针	121
6.2.6	MPLAB 集成开发环境软件包	121
6.2.7	直流电源适配器	121
6.3	MPLAB-ICD 在线调试工具的安装	122
6.3.1	硬件安装方法之一	122
6.3.2	硬件安装方法之二	123
6.3.3	软件安装	124
6.4	MPLAB-ICD 在线调试工具的启用	124
6.4.1	微机与 MPLAB-ICD 建立通信	124
6.4.2	MPLAB-ICD 的设置	125
6.5	用 MPLAB-ICD 统调用户程序和用户电路	130

## 第 7 章 输入/输出端口的基本功能

7.1	与输入/输出端口相关的寄存器	137
7.2	基本输入/输出端口的内部结构和工作原理	139
7.2.1	输入/输出端口的基本结构	139
7.2.2	基本输入/输出端口的工作原理	141
7.3	输入/输出端口基本功能的应用举例	143
7.3.1	硬件电路规划	143
7.3.2	程序设计思路	144
7.3.3	程序调试方法	147

## 第 8 章 定时器/计数器 TMR0

8.1	定时器/计数器模块的基本用途	151
8.2	PIC 系列单片机中定时器/计数器 TMR0 模块的特性	152
8.3	与定时器/计数器 TMR0 模块相关的寄存器	153
8.4	定时器/计数器 TMR0 模块的电路结构和工作原理	155
8.4.1	分频器	157
8.4.2	TMR0 累加计数寄存器	158
8.5	定时器/计数器 TMR0 模块的应用举例	159

8.5.1	TMR0 用作硬件定时器 .....	159
8.5.2	TMR0 多次被引用 .....	164
8.5.3	TMR0 用作硬件计数器 .....	169

## 第 9 章 中断系统

9.1	中断的基本概念 .....	179
9.2	PIC16F87X 的中断源 .....	181
9.3	PIC16F87X 的中断硬件逻辑 .....	182
9.4	中断相关的寄存器 .....	185
9.5	中断的处理 .....	190
9.5.1	中断的延时响应和延时处理问题 .....	191
9.5.2	中断的现场保护问题 .....	192
9.5.3	需要注意的一些问题 .....	196
9.6	中断功能的应用举例 .....	198
9.6.1	TMR0 溢出中断 .....	198
9.6.2	INT 外部中断 .....	206
9.6.3	端口 RB 电平变化中断 .....	213
9.7	外部中断的扩充方法 .....	233
9.7.1	用 TMR0 外部时钟源扩展法 .....	233
9.7.2	用 RB 端口扩展法 .....	234

## 第 10 章 安全生产、可靠运行措施和降耗设计

10.1	系统配置字以及特殊存储器单元 .....	237
10.1.1	系统配置字 .....	239
10.1.2	用户识别码 ID .....	241
10.1.3	器件识别码 .....	242
10.2	时钟系统 .....	243
10.2.1	外接晶体振荡器/陶瓷谐振器(LP/XT/HS) .....	244
10.2.2	外接阻容器件(RC) .....	245
10.2.3	引入外来时钟源(LP/XT/HS) .....	247
10.3	复位系统 .....	248
10.3.1	几种不同的复位方式 .....	248
10.3.2	单片机内部的复位操作处理 .....	249
10.3.3	复位系统硬件逻辑 .....	255
10.3.4	内部上电延时复位(POR)功能 .....	258

10.3.5	外部上电延时复位电路	260
10.3.6	外部人工复位开关电路	262
10.3.7	内部掉电锁定复位(BOR)功能	264
10.3.8	外接电压检测复位电路举例	265
10.4	监视定时器 WDT	270
10.4.1	程序失控的回复	271
10.4.2	WDT 的电路结构	273
10.4.3	WDT 的工作原理	275
10.4.4	WDT 相关寄存器	276
10.4.5	使用 WDT 的注意事项	278
10.4.6	WDT 的应用举例	278
10.5	睡眠(sleep)与唤醒(wake-up)	283
10.5.1	睡眠状态的进入	283
10.5.2	睡眠状态的唤醒	284

## 附 录

附录 A	英文指令系统概览	288
附录 B	特殊指令助记符	292
附录 C	宏汇编器 MPASM	294
附录 D	MPLAB-ICD 套件电路原理图	304
附录 E	电压检测器 HT70XX 系列专用芯片	315
附录 F	带延时复位功能的电源监控器 IMP809/810	322
附录 G	带延时和人工复位的电源监控器 IMP811/812	327
附录 H	带延时、人工复位及电源故障检测的电压监测器 MAX707/708	333
附录 I	ASCII 码表	339
附录 J	特殊功能寄存器及其复位值一览表	341
附录 K	6 种普及型 8 位单片机性能对比	345
附录 L	PIC 全系列单片机	356
附录 M	PIC 单片机软件模拟仿真时输入信号的激励方式	360
附录 N	巧用 MPLAB-ICD 调试 PIC 全系列单片机	366

# 第 1 章 单片机的基本概念

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繁多,价格也越来越低廉。这为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,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 学习单片机有什么必要性

今天,我们的生活环境和工作中有越来越多称之为单片机的小电脑在为我们服务,可我们意识不到这些“小精灵”的存在。譬如,每天当我们用遥控器操纵电视机或 VCD 享受其丰富功能的时候,可我们意识不到这是单片机在接收我们的遥控命令;单片机在 BP 机和大哥大中亦发挥着极其重要的作用;就连曾经一度令许多青少年着迷的电子宠物,也是单片机在大显神威。那么,为什么我们当中的许多人竟然对它的存在熟视无睹呢? 原因是,我们对这些“忠心耿耿”地在为我们服务的“小精灵”了解甚少。

时下,家用电器和办公设备的智能化、遥控化、模糊控制化已成为世界潮流,而这些高性能无一不是靠单片机来实现的。如果我们不具备单片机方面的知识,对这些电器设备的日常保养和故障维修会形成很大的障碍。

从前的电子爱好者用简陋的器件制作出只能用耳机收听的矿石收音机,后来的电子爱好者用半导体分立件制作晶体管收音机,而今天的电子爱好者不仅可以用芯片制作集成电路收音机,还可以用单片机制作许多带智能和遥控等功能的小电器。对一个电子制作的爱好者来说,一旦掌握了单片机技术,就像进入一个神奇而又广阔的新天地,大有相见恨晚之感。

一只装有专用软件的单片机,配上一只液晶显示屏和几只小按钮,再装入一只小塑料壳,便可构成一只妙趣无穷的电子宠物。其造价只不过 10 元,但市场售价竟可高达 120~180 元。

理由何在? 原因在于它是高科技产品, 技术含量高, 其中的软件凝聚着开发者的聪明和智慧。

近年来, 随着微电子技术的迅猛发展, 单片机技术的发展速度十分惊人。时至今日, 单片机技术已经发展得相当完善, 它已成为计算机技术的一个独特而又重要的分支。单片机的应用领域也日益广泛, 特别是在电信、家用电器、工业控制、仪器仪表、汽车电子等领域的智能化方面, 扮演着极其重要的角色。

专家指出: 在 2000 年, 一般美国家用系统中应用单片机的数量就增加到了 226 个; 自动化办公室内有 42 个; 典型的汽车电子系统中装有 35 个。所有使用的这些单片机中主要的是 8 位单片机。

目前, 单片机的产量正以每年 27% 的速度递增。据 2001 年的资料公布, 世界单片机产量已经高达 70 亿片。中国大陆的单片机年需求量约为 6 亿片。一台微机系统中约嵌入了 10 片单片机; 一辆 BMW-7 系列宝马轿车中嵌入了 63 片单片机。由此可见, 单片机技术无疑是 20 世纪 90 年代, 乃至 21 世纪最为活跃的新一代电子应用技术。因此, 很多院校为研究生、本科生、大专生、中专生、职高生等不同层次的学生开设了单片机课程。原机械电子工业部 1991 年就已经将单片机列为工科电子类专业学生的必修课程。在职技术人员由于工作需要, 也迫切希望掌握单片机的开发应用技术。为了满足广大读者业余自学这项“热门技术”的欲望, 一些电子和电脑类期刊, 纷纷开辟专栏, 举办单片机知识讲座。

随着微控制技术(以软件代替硬件的高性能控制技术)的日臻完善和发展, 单片机的应用必将导致传统控制技术发生巨大变革。换言之, 单片机的应用是对传统控制技术的一场革命。因此, 学习单片机的原理, 掌握单片机的应用技术, 具有划时代的意义。

自从 1946 年世界出现了第一台数字电子计算机, 至今电子计算机技术的发展大致经历了四代。以超乎寻常的速度在突飞猛进的现代电子计算机技术, 不仅自身形成的产业规模不断膨胀, 而且还在带动其他各行各业发展的过程中起着发动机的作用。它将世界经济从资本经济带入到知识经济时代, 它也将从农业社会走过来的工业社会又带进了信息社会。

在电子世界的领域中, 从 20 世纪中的无线电时代也进入到 21 世纪以计算机技术为中心的智能化现代电子系统时代。现代电子系统的基本核心是嵌入式计算机应用系统(简称嵌入式系统, 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。早在 20 世纪五六十年代, 先进的最具代表性的电子技术就是无线电技术, 包括无线电广播、收音、无线通信(电报)、业余无线电台、无线电定位、导航等遥测、遥控、遥信技术。早期就是这些电子技术带领着许多青少年步入了奇妙的电子世界, 无线电技术展示了当时科技生活美妙的前景。

电子科学开始形成了一门新兴学科。无线电电子学、无线通信开始了电子世界的历程。无线电技术不仅成为了当时先进科学技术的代表, 而且从普及到专业的科学领域, 吸引了广大青少年, 并使他们从中找到了无穷的乐趣。从床头的矿石收音机到超外差收音机; 从无线电发报到业余无线电台; 从电话、电铃到无线电操纵模型。无线电技术成为当时青少年科普、科技



教育最普及、最广泛的内容。

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。无线电技术的无穷乐趣、无线电技术的全面训练,从电子学基本原理、电子元器件基础到无线电遥控、遥测、遥信电子系统制作,培养出了几代科技英才。早期的无线电技术推动了电子技术的发展,其中最主要的是真空管电子技术向半导体电子技术的发展。半导体电子技术使有源器件实现了微型化和低成本,使无线电技术有了更大普及和创新,并大大地开阔了许多非无线电的控制领域。

半导体技术发展导致集成电路器件的产生,形成了近代电子技术的飞跃,电子技术从分立器件时代走进了电路集成时代。电子设计工程师不再用分立的电子元器件设计电路单元,而直接选择集成化的电路单元器件构成系统。他们从电路单元设计中解放出来,致力于电路系统设计,大大地解放了科技生产力,促进了电子系统更大范围的普及。半导体集成电路首先在基本数字逻辑电路上取得突破。大量数字逻辑电路,如门电路、触发器、锁存器、计数器、定时器、移位寄存器以及多路数据选择器、模拟开关、比较器等,为数字电子控制提供了极佳的条件,使传统的机械控制转向电子控制。功率电子器件以及传感技术的发展使原先以无线电为中心的电子技术开始转向工程领域中的机械系统的数字控制、检测领域中的信息采集、运动机械对象的电气伺服驱动控制。半导体及其集成电路技术将我们带入了一个电子技术普及的时代,无线电技术成为电子技术应用领域的一个部分。

在进入20世纪70年代以后,大规模集成电路出现,促进了常规的电子电路单元的专用电子系统发展。许多专用电子系统单元变成了集成化器件,如收音机、电子钟、计算器、电视机、电子手表等。在这些领域的电子工程师,从电路、系统的精心设计和调试转变为器件选择及外围器件适配工作。电子技术发展了,电子产品丰富了,电子工程师的难度减少了,但与此同时,无线电技术、电子技术的魅力却削弱了。半导体集成电路的发展使经典电子系统日趋完善,留在大规模集成电路以外的电子技术日益减少,随即电子技术也就逐渐失去了往日无线电时代的无穷乐趣和全面的工程训练。

在进入20世纪80年代以后,世界经济中最重要的变革是计算机的产业革命。而计算机产业革命的最重要标志则是,微型个人计算机PC的出现和迅速普及,以及计算机嵌入式应用的诞生及其在控制领域的迅速推广。近代电子计算机是为了满足大量的科学计算和数值处理的需求而诞生的。在很长的时间内,电子计算机都是以发展海量数值计算为主要目标。但是电子计算机表现出的逻辑运算、处理、控制能力,吸引了电子控制领域的专家,他们要求发展能满足控制对象要求的、实现嵌入到非计算机产品中应用的计算机系统。如果将满足海量数据处理的计算机系统称为通用计算机系统,那么则可把嵌入到对象体系(如电视机、照相机、VCD、DVD、寻呼机、移动电话、舰船、飞机、机车等非计算机产品)中的计算机系统称作嵌入式计算机。显而易见,两者的技术发展方向是不同的。前者要求海量数据存储、吞吐、高速数据处理分析及传输;而后者要求在被控对象环境中可靠运行,对外部物理参量的高速采集、逻辑