

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

21世纪普通高校计算机公共课程规划教材

# 单片机原理 与应用基础

陈骏莲 倪云峰 主编

郭迅 惠燕 副主编

尹德臣 主审

清华大学出版社



21世纪普通高校计算机公共课程规划教材

# 单片机原理与应用基础

陈骏莲 倪云峰 主编

郭迅 惠燕 副主编

尹德臣 主审

清华大学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是一本介绍 MCS-51 单片机基本原理和应用技术的教材,本教材是按照教育部关于应用型本科计算机专业多媒体课程基本要求,并结合当前的发展状况而编写的。内容包括 MCS-51 单片机的结构和原理、汇编指令、中断、定时器及串口系统、单片机系统扩展、并行 I/O 接口技术的应用和仿真调试等。

本书内容翔实、浅显易懂、图文并茂。将理论教学与实例讲解相结合,将重点放在基础知识的学习和基本应用技能的培养上,在每章的后面都有思考题。

本书可以作为高等学校、高等学院、各类技术院校在校学生的教材,也适合作为自学单片机的教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

## 图书在版编目(CIP)数据

单片机原理与应用基础/陈骏莲,倪云峰主编. —北京:清华大学出版社,2009.8

(21世纪普通高校计算机公共课程规划教材)

ISBN 978-7-302-20127-4

I. 单… II. ①陈… ②倪… 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(2009)第 073207 号

责任编辑:梁颖 薛阳

责任校对:梁毅

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市清华园胶印厂

装 订 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:15.75 字 数:390千字

版 次:2009年8月第1版 印 次:2009年8月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:23.00元

---

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:028751-01

# 前 言

21 世纪是科技更新、追求卓越发展的时代。各专业领域分工越来越细致的同时,又要求从业人员的眼光和技术知识不能只局限于单一领域,跨行业的应用已司空见惯,尤其是电子技术应用领域,各种新老器件层出不穷,应用的时候做出正确的选择对于技术人员是很重要的。因而掌握一些应用面广的器件成为必不可少的学习环节。

单片机以其极高的可靠性、微型性和智能性,早已成为工业控制领域中普遍采用的智能化控制工具,同时随着技术人员的不断探索与研究,已经将其深深地应用到了我们的日常生活当中——小到玩具、家电行业,大到车载、舰船电子系统,遍及计量测试、工业过程控制、机械电子、金融电子、商用电子、办公自动化、工业机器人、军事、航空航天等领域都可见到单片机的身影。

随着微控制技术的进一步发展,单片机必将在更广泛的领域里获得应用。单片机本身也在不断地发展,有更多的新产品供我们选用。掌握单片机应用技术已经成为当代电子类专业学生必备的知识技能,为此我们组织多名讲授单片机技术与应用的老师,编写了这本适合在校学生使用的《单片机原理与应用基础》教程。

本教材以培养能力、突出实用为基本出发点,在介绍单片机基本原理的基础上,重点讲解基本概念、基本知识点和如何正确使用,以够用、必需为宗旨,结合不同的实例,以实用技术为主线,详细介绍单片机的原理和应用。

本教材包括 6 章,从三个方面来介绍单片机的应用。首先介绍单片机的基本结构和操作指令;其次介绍单片机的基本用法;最后介绍单片机开发时常用的仿真软件。

本书是在清华大学出版社《应用型本科计算机系列教材》编委会的统一部署下,并在出版社计算机事业部的指导下完成的。第 1 章和第 2 章由郭迅老师编写,郭迅老师还负责起草编写大纲和编写规范;第 3 章和第 5 章的 5.4、5.5 节由陈骏莲老师编写,陈骏莲老师还负责对全书统稿;第 4 章及第 5 章的其余部分由倪云峰老师编写,倪云峰老师还对教材实验进行了验证;第 6 章由惠燕老师编写,惠燕老师还制作了相应章节的电子课件;全书由尹德臣老师审核。

本教材在编写过程中,得到了西安工业大学计算机学院王中生、刘白林教授的指导和审核,得到了许多大学基础课部、高职院校老师的指导和审阅,他们提出了许多宝贵意见,对于他们的关心、帮助和支持,作者表示十分感谢!

由于计算机技术发展迅速,多媒体应用软件日益更新,加上作者水平有限、时间仓促,错误和疏漏之处在所难免,恳请各位专家和广大读者批评指正。欢迎索取电子课件,联系邮箱 wzshsl681@163.com。

# 出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程(简称‘质量工程’)”,通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

本系列教材立足于计算机公共课程领域,以公共基础课为主、专业基础课为辅,横向满足高校多层次教学的需要。在规划过程中体现了如下一些基本原则和特点。

(1) 面向多层次、多学科专业,强调计算机在各专业中的应用。教材内容坚持基本理论适度,反映各层次对基本理论和原理的需求,同时加强实践和应用环节。

(2) 反映教学需要,促进教学发展。教材要适应多样化的教学需要,正确把握教学内容和课程体系的改革方向,在选择教材内容和编写体系时注意体现素质教育、创新能力与实践能力的培养,为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。

(3) 实施精品战略,突出重点,保证质量。规划教材把重点放在公共基础课和专业基础课的教材建设上;特别注意选择并安排一部分原来基础比较好的优秀教材或讲义修订再版,逐步形成精品教材;提倡并鼓励编写体现教学质量和教学改革成果的教材。

(4) 主张一纲多本,合理配套。基础课和专业基础课教材配套,同一门课程有针对不同层次、面向不同专业的多本具有各自内容特点的教材。处理好教材统一性与多样化,基本教材与辅助教材、教学参考书,文字教材与软件教材的关系,实现教材系列资源配套。

(5) 依靠专家,择优选用。在制定教材规划时要依靠各课程专家在调查研究本课程教材建设现状的基础上提出规划选题。在落实主编人选时,要引入竞争机制,通过申报、评审确定主题。书稿完成后要认真实行审稿程序,确保出书质量。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平教材编写梯队才能保证教材的编写质量和建设力度,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

21 世纪普通高校计算机公共课程规划教材编委会

联系人: 梁颖 liangying@tup.tsinghua.edu.cn

# 目 录

<b>第 1 章 MCS-51 单片机的结构和原理</b> .....	1
1.1 典型单片机概述 .....	1
1.1.1 单片机的基本概念 .....	1
1.1.2 单片机发展历史 .....	1
1.2 51 单片机的结构及引脚功能 .....	4
1.2.1 AT89S51 单片机结构 .....	5
1.2.2 单片机内部模块功能 .....	6
1.2.3 单片机外部引脚功能 .....	10
1.3 存储器 .....	11
1.3.1 存储器原理 .....	11
1.3.2 存储器的分类 .....	14
1.3.3 51 单片机存储器结构 .....	14
1.3.4 MCS-51 的堆栈操作 .....	16
1.4 51 单片机的工作方式 .....	18
1.4.1 振荡器和时钟电路 .....	18
1.4.2 复位工作方式 .....	18
1.4.3 程序执行方式 .....	19
1.4.4 单步执行方式 .....	20
1.4.5 掉电和节电方式 .....	20
1.4.6 Flash 闪速存储器的编程 .....	21
1.5 CPU 时序 .....	22
1.5.1 基本概念介绍 .....	22
1.5.2 CPU 的时序 .....	23
1.6 并行输入/输出端口 .....	24
1.6.1 P0 口 .....	24
1.6.2 P1 口 .....	25
1.6.3 P2 口 .....	26
1.6.4 P3 口 .....	26
思考题 .....	27

<b>第 2 章 MCS-51 指令系统</b> .....	28
2.1 概述 .....	28
2.1.1 MCS-51 汇编语言指令的格式 .....	28
2.1.2 寻址方式 .....	30
2.2 数据传送类指令 .....	34
2.2.1 一般数据传送指令 .....	34
2.2.2 栈操作指令 .....	36
2.2.3 数据交换指令 .....	37
2.2.4 外部数据传送指令 .....	37
2.3 算术运算类指令 .....	39
2.3.1 加法类指令 .....	39
2.3.2 减法类指令 .....	42
2.3.3 乘法指令 .....	43
2.3.4 除法指令 .....	44
2.4 逻辑运算类指令 .....	44
2.4.1 逻辑移位指令 .....	44
2.4.2 逻辑运算指令 .....	45
2.5 控制转移类指令 .....	48
2.5.1 无条件转移指令 .....	48
2.5.2 条件转移指令 .....	51
2.5.3 子程序调用和返回指令 .....	53
2.5.4 空操作指令 .....	56
2.6 位操作指令 .....	56
2.6.1 位传送指令 .....	56
2.6.2 位置 1 和清零指令 .....	57
2.6.3 位逻辑运算指令 .....	57
2.6.4 位条件转移指令 .....	58
2.7 MCS-51 的汇编程序设计基本方法 .....	59
2.7.1 伪指令 .....	59
2.7.2 汇编语言程序设计基础 .....	63
思考题 .....	67
<b>第 3 章 中断、定时器及串行接口系统</b> .....	70
3.1 中断系统 .....	70
3.1.1 中断的概念 .....	70
3.1.2 单片机的中断系统 .....	71
3.1.3 中断响应 .....	75
3.1.4 中断应用 .....	77



3.2	定时器/计数器 .....	78
3.2.1	概述 .....	78
3.2.2	定时器/计数器结构 .....	79
3.2.3	定时器/计数器的控制寄存器 .....	80
3.2.4	定时器/计数器的工作模式 .....	81
3.2.5	定时器/计数器初始化 .....	83
3.2.6	定时器/计数器应用举例 .....	84
3.3	串行接口 .....	85
3.3.1	串行数据通信概述 .....	85
3.3.2	MCS-51 串行口及控制 .....	87
3.3.3	串行口的工作方式 .....	90
3.3.4	多处理机通信方式 .....	92
3.3.5	串行口的应用 .....	93
	思考题 .....	97
<b>第4章</b>	<b>MCS-51 单片机系统扩展 .....</b>	<b>98</b>
4.1	系统扩展方法 .....	98
4.1.1	常用外部并行扩展结构 .....	98
4.1.2	串行扩展原理 .....	101
4.2	存储器扩展 .....	105
4.2.1	程序存储器扩展 .....	105
4.2.2	数据存储器扩展 .....	107
4.3	I/O 的扩展及应用 .....	110
4.3.1	I/O 扩展概述 .....	110
4.3.2	用 TTL 芯片扩展 I/O 口 .....	112
4.3.3	用可编程芯片扩展 I/O 口 .....	116
	习题 .....	117
<b>第5章</b>	<b>并行 I/O 接口技术的应用 .....</b>	<b>119</b>
5.1	单片机对键盘的接口 .....	119
5.1.1	键盘接口的工作原理 .....	119
5.1.2	键盘接口举例 .....	122
5.2	单片机对 LED 显示器的接口 .....	126
5.2.1	LED 数码管概述 .....	126
5.2.2	数码管显示电路 .....	128
5.3	A/D 转换器与单片机接口技术 .....	132
5.4	D/A 转换器与单片机接口技术 .....	138
5.4.1	DAC0832 的工作原理 .....	138
5.4.2	51 单片机与 DAC0832 的连接 .....	139

5.5 单片机应用举例 .....	141
5.5.1 模拟电压测试电路的设计 .....	141
5.5.2 应用单片机实现简易电子琴电路 .....	147
5.5.3 应用单片机实现多模式驱动 LED 工作电路 .....	155
5.5.4 应用单片机实现模拟电子密码锁 .....	165
思考题 .....	184
<b>第 6 章 集成开发调试环境 .....</b>	<b>186</b>
6.1 WAVE E6000 仿真器 .....	186
6.1.1 新建程序 .....	187
6.1.2 程序的编译 .....	188
6.1.3 程序的仿真执行及调试 .....	189
6.2 集成开发环境 $\mu$ Vision3 .....	192
6.2.1 创建项目 .....	193
6.2.2 编译项目及调试 .....	194
6.3 Proteus 单片机仿真程序 .....	200
6.3.1 绘制电路原理图 .....	202
6.3.2 仿真测试工具 .....	208
6.3.3 仿真执行 .....	208
6.4 实验指导 .....	210
6.4.1 实验一：集成开发调试环境的使用 .....	211
6.4.2 实验二：算术运算类程序设计 .....	211
6.4.3 实验三：控制转移类及查表程序设计 .....	211
6.4.4 实验四：外部中断及定时程序设计 .....	212
6.4.5 实验五：RAM 扩展 .....	212
6.4.6 实验六：显示器和单片机的接口 .....	214
6.4.7 实验七：键盘与单片机的接口 .....	216
6.4.8 实验八：A/D 转换器接口 .....	216
6.4.9 实验九：D/A 转换器接口 .....	216
6.4.10 实验十：定时器/计数器综合实验 .....	219
<b>附录 A 汇编指令全表 .....</b>	<b>220</b>
A.1 数据传送类 .....	220
A.2 算术运算类 .....	221
A.3 逻辑运算类 .....	221
A.4 控制转移类 .....	222
A.5 位操作类 .....	223

附录B 部分思考题参考答案 .....	224
B.1 第1章参考答案 .....	224
B.2 第2章参考答案 .....	225
B.3 第3章参考答案 .....	227
B.4 第4章参考答案 .....	229
B.5 第5章参考答案 .....	231
附录C ISP下载线制作参考电路图 .....	234
参考文献 .....	237

## 1.1 典型单片机概述

### 1.1.1 单片机的基本概念

单片微型控制器(Single-Chip Microcontroller),俗称单片机,是一种集成了微处理器(CPU)、数据存储器(RAM)、程序存储器(ROM)、定时器/计数器、输入输出接口(I/O口)等多功能部件的超大规模集成电路。

单片机在发展之初主要应用于工业控制领域,后来由于其具有体积小、功能全、易开发的特点以及更多类型的单片机的出现,使得人们将其广泛用于如玩具、家用电器、智能仪表、汽车电子系统、个人信息终端等电子产品中,实现控制功能,所以单片机也被称为微控制器(Microcontroller Unit,MCU)。单片机与我们生活已经融为一体。

单片机由芯片内仅有CPU的专用处理器发展而来。最早的设计理念是通过将大量外围设备和CPU集成在一个芯片中,使计算机系统更小,更容易集成到复杂的而对体积要求严格的控制设备当中。INTEL的Z80是最早按照这种思想设计出的处理器,从此以后,单片机和专用处理器的发展便分道扬镳,同时也标志着计算机正式形成了通用计算机系统和嵌入式计算机系统两大分支。单片机比专用处理器更适合应用于嵌入式系统,因此它得到了最多的应用。从数字闹钟到电动牙刷和电动剃须刀;从车内应用门锁、停车传感器、ABS,到行车途中的交通控制、雷达测速以及交通流量监视器,以及手机、火灾控制系统、烟雾报警器等应用,单片机发挥着越来越重要的作用。

根据In-Stat和Microchip的联合调查报告,2006年每辆汽车中使用的单片机数量约为30个,到2010年,这个数量预计会增加到45个;2010年,全球消费类应用中使用的单片机数量预计将达到41.56亿片,PC和外设中使用的单片机达到约25.66亿片,销售的手机中使用的单片机将达16.4亿片,工业应用中使用的单片机预计达到10.85亿片。

### 1.1.2 单片机发展历史

1970年微型计算机被研制成功之后,随着大规模集成电路的发展又出现了单片机,一开始是4位的,不具有实用价值。直到1976年Intel公司推出MCS-48系列单片机(8位),它包括计算机的三个基本单元,已成为真正意义的单片微机,为单片机的发展奠定了基础,成为单片机发展进程中的一个重要阶段。

而最成功的是Intel公司的8031,因为简单可靠且性能不错获得了很大的好评。此后,Intel公司于1980年推出8位的高性能8051单片机,在工业控制领域引起不小的轰动,并

迅速确立了其不可动摇的地位。并在此基础上发展出了 MCS-51 系列单片机系统,是被应用得最为广泛的一系列单片机。它具有 8 位的数据总线,典型芯片有早期的 8031/32(无 ROM 型,已被市场淘汰)、8051/52(ROM 型)和 8751/52(EPROM 型)。

在那之后不久,Intel 公司彻底开放了 8051 单片机的技术,引来世界上很多半导体厂商加入了开发和改造 8051 单片机的行列中,这其中有几家贡献最大的公司,下面分别做简要介绍。

(1) Philips 公司,该公司着力发展了单片机的控制功能和外围单元,其 80C51 系列作为高性能兼容性单片机是最具有代表性的,品种齐全,采用 CHMOS 工艺制造技术,高密度、高速度、低功耗。比如其典型产品 80C552,与 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机完全兼容,同时又增加了 1 个定时器/计数器和 WDT(Watchdog Timer),串口增加了 I<sup>2</sup>C 接口,带 A/D 转换器及 2 路 PWM(Pulse Width Modulator)等新功能。

(2) Atmel 公司,该公司在单片机内部植入了 Flash ROM,使得单片机应用变得更灵活,在我国拥有大量的用户。其单片机分为 AT89、AT90、AT91 和智能 IC 卡 4 个系列。其中 AT89 系列是与 Intel 公司的 MCS-51 系列兼容的,是 8 位机,有 AT89C51/52、AT89LV51/52 和 AT89S51/52(带 ISP 功能)。另外,它的 AT90 系列是增强型 RISC(精简指令集)内载 Flash 8 位单片机,通称 AVR 单片机,与 MCS-51 不兼容,也是增加了许多外围设备的机型,属于高性能的单片机。

(3) ADI 公司,该公司推出的 AduC8 xx 系列单片机,在单片机向 SOC 发展的模/数混合集成电路发展过程中扮演了很重要的角色。

(4) Cygnai 公司,该公司采用一种全新的流水线设计思路,使单片机的运算速度得到了极大的提高,在向 SOC 发展的过程中迈出了一大步。

由于 MCS-51 单片机的影响极其深远,许多公司都推出了兼容系列单片机,就是说 MCS-51 内核实际上已经成为一个 8 位单片机的标准。其他公司的 51 单片机产品都是和 MCS-51 内核兼容的产品,而以同样的一段程序,在各个单片机厂家的硬件上运行的结果都是一样的。目前 MCS-51 系列单片机各生产厂商的主流产品有几十个系列、几百个品种。尽管其各具特色、名称各异,但作为集 CPU、RAM、ROM(或 EPROM)、I/O 接口、定时器/计数器、中断系统为一体的单片机,其原理大同小异。

随着工业控制领域要求的提高,开始出现了 16 位单片机。1983 年 Intel 公司推出了 MCS-96 系列单片机。与 MCS-51 相比,MCS-96 不但字长增加一倍,而且还具有 4 路或 8 路的 10 位 A/D 转换功能,此外,其他性能也有一定的提高。但因为性价比不理想所以并未得到很广泛的应用。20 世纪 90 年代后随着消费电子产品大发展,单片机技术得到了巨大的提高。随着 INTEL i960 系列(特别是后来的 ARM 系列)的广泛应用,32 位单片机迅速取代了 16 位单片机的高端地位,并且进入了主流市场。而传统的 8 位单片机的性能也得到了飞速提高,处理能力比起 20 世纪 80 年代提高了数百倍。目前,高端的 32 位单片机主频已经超过 300MHz,性能直追 20 世纪 90 年代中期的专用处理器。当代单片机系统已经不仅限于在裸机环境下开发和使用的,大量专用的嵌入式操作系统被广泛应用在全系列的单片机上。而在作为掌上电脑和手机核心处理的高端单片机甚至可以直接使用专用的 Windows 和 Linux 操作系统。

单片机按应用范围又可分为通用型和专用型。专用型是针对某种特定产品而设计的,

例如用于体温计的单片机、用于洗衣机的单片机等。在通用型的单片机中,又可按字长分为4位、8位、16/32位,虽然计算机的微处理器几乎是32/64位的天下,8位、16位的微处理器已趋于萎缩。但单片机情况却不同,8位单片机成本低、便于开发,其性能可满足大部分的需要,只有在航天、汽车、机器人等高新技术领域,需要高速处理大量数据时,才需要选用16/32位,而在一般工业领域,8位通用型单片机仍然是目前应用最广的单片机。

单片机正朝多功能、多选择、高速度、低功耗、低价格、扩大存储容量和加强I/O功能及结构兼容方向发展。

单片机的主要发展趋势如下所示。

#### (1) 多功能

在单片机中尽可能多地把应用系统中所需要的存储器、各种功能的I/O口都集成在一块芯片内,即外围器件内装化,如把LED、LCD或VFD显示驱动器集成在8位单片机中,如把A/D、D/A,乃至多路模拟开关和采样/保持器也集成在单片机芯片中,从而成为名副其实的单片微机。

#### (2) 高性能

为了提高速度和执行效率,在单片机中开始使用RISC体系结构、并行流水线操作和DSP等的设计技术,使单片机的指令运行速度得到了大大提高,其电磁兼容等性能明显地优于同类型的微处理器。

#### (3) 低电压和低功耗

单片机的应用场合多为便携式设备、嵌入式设备等小型系统,对体积要求尽可能小,而且这些设备大多采用电池供电或系统本身有功耗限制,使得单片机也要有低电压工作性能和极小的功耗,因而目前单片机普遍采用的是CHMOS工艺,即互补金属氧化物的HMOS工艺(具有高速度、高密度的特点)。除具有HMOS的优点外,还具有CMOS工艺的低功耗特点。如采用HMOS工艺的8051的功耗为630mW(相对较高的功耗使得该产品已被市场淘汰),而Philips公司的80C51、Atmel公司的AT89C51/S51采用CHMOS工艺的功耗仅120mW。

#### (4) 推行串行扩展总线

推行串行扩展总线可以显著减少引脚数量,简化系统结构。随着外围器件串行接口的发展,单片机的串行接口的普遍化、高速化,使得并行扩展接口技术日渐衰退。推出了删去并行总线的非总线单片微机,当需要外扩器件(存储器、I/O等)时,可采用串行扩展总线,甚至用软件虚拟串行总线来实现。

由于集成度的进一步提高,有的单片机的寻址能力已突破64KB的限制,8位、16位的单片机有的寻址能力已达到1MB和16MB。片内ROM的容量可达62KB,RAM的容量可达2KB。

综上所述,51系列单片机及其兼容机发展的历史长、产品成熟、功能性较强、市场供应量充足、价格低廉,而且有了带ISP编程的芯片,初学者完全可以通过自己制作简单的电路和微机系统相连来进行调试和学习。并且51指令系统容易掌握,目前的编译系统还支持C语言作为开发语言,而且参考资料非常丰富,作为单片机的学习,是非常适合的。在掌握51单片机的基础上,去学习其他种类的单片机也会比较容易。

## 1.2 51 单片机的结构及引脚功能

由于 MCS-51 系列单片机的兼容单片机的产品型号不断增加,功能不断增强,品种不断丰富,人们可以根据自己的实际需要及经济能力在其中选择适合的芯片。从系统结构上,所有的 51 系列单片机都是以 Intel 公司最早的典型产品 8051 为核心不断增强的,指令系统、地址空间和寻址方式都是一样的。因而学习了基本的 MCS-51 指令,就可以对所有的 51 系列 8 位机进行编程操作。在芯片方面,Atmel 公司的 AT89C 和 AT89S 系列 51 单片机在目前的市场占有率比较高,而且价格优势突出,获得了广泛的应用。该系列不但和 8051 指令、管脚完全兼容,其片内的程序存储器是 FLASH 工艺的,用户可以用电的方式瞬间擦除、改写采用这种工艺制作的存储器,一般专为 ATMEL AT89xx 做的编程器均带有这些功能。显而易见,这种单片机对开发设备的要求很低,开发时间也大大缩短。其中 AT89S 系列是 2003 年 ATMEL 公司推出的新型品种,有 AT89S51 和 AT89S52 两个主要代表品种,除了完全兼容 8051 的指令系统、外部特性外,还多了 ISP 编程和看门狗功能。ISP 在线编程功能的优势在于改写单片机存储器内的程序不需要把芯片从工作环境中剥离,是一个强大易用的功能。其他优点如下所示。

(1) 最高工作频率为 33MHz,而 89C 系列单片机的极限工作频率是 24MHz,就是说 89S 系列单片机具有更高工作频率,从而具有了更快的计算速度。

(2) 具有双工 UART 串行通道。

(3) 内部集成看门狗计时器,不再需要像 89C 系列单片机那样外接看门狗计时器单元电路。

(4) 电源关闭标识。

(5) 全新的加密算法,这使得对于 89S 系列单片机的解密变为不可能,程序的保密性大大加强,这样就可以有效地保护知识产权不被侵犯。

在兼容性方面,采用向下完全兼容的方式。比如 8051、89C51 等早期 MCS-51 兼容产品。也就是说,所有的程序(不论采用的单片机是 8051,还是 AT89C51,还是其他 MCS-51 兼容机等),在 AT89S51 上一样可以正常运行。

此外,AT89S51 设计和配置了振荡频率可为 0Hz 并可通过软件设置为省电模式。空闲模式下,CPU 暂停工作,而 RAM、定时器/计数器、串行口、外中断系统可继续工作,掉电模式下将冻结振荡器而保存 RAM 的数据,停止芯片其他功能直至外中断激活或硬件复位。同时该芯片还具有 PDIP、TQFP 和 PLCC 等三种封装形式,以适应不同产品的需求。目前,Atmel 公司的 AT89C51 已经停产,市场出售的是库存产品,S51 成为 Atmel 公司主要销售的 51 系列单片机。

本章以 AT89S51 为主介绍 MCS-51 单片机的结构和特点。鉴于 MCS-51 已经是约定俗成的 51 单片机及其兼容机的称呼,本教材中所有针对具体芯片或电路的地方,用 AT89S51,其他的作为 MCS-51 单片机通用的特性、指令系统、片内外围电路等知识,仍然采用 MCS-51 的称呼。

### 1.2.1 AT89S51 单片机结构

单片机的结构有两种类型：一种是程序存储器和数据存储器分开形式，也是所谓的哈佛结构；另一种是通用计算机广泛使用的程序和数据共同使用同一存储器的形式，即为普林斯顿结构。51 系列的单片机采用的是哈佛结构，了解了一种就了解了其他所有同一系列的单片机结构，高级的单片机只是在此基础上添加了一些外围器件而已。

AT89S51 具有如下标准功能：4KB FLASH 片内程序存储器 (ROM)，128Byte 的随机存取数据存储器 (RAM)，32 条外部双向输入/输出 (I/O) 口线，5 向量两级中断结构，两个 16 位可编程定时计数器，1 个全双工串行通信口，看门狗 (WDT) 电路，片内时钟振荡器。其内部结构框图如图 1.1 所示。

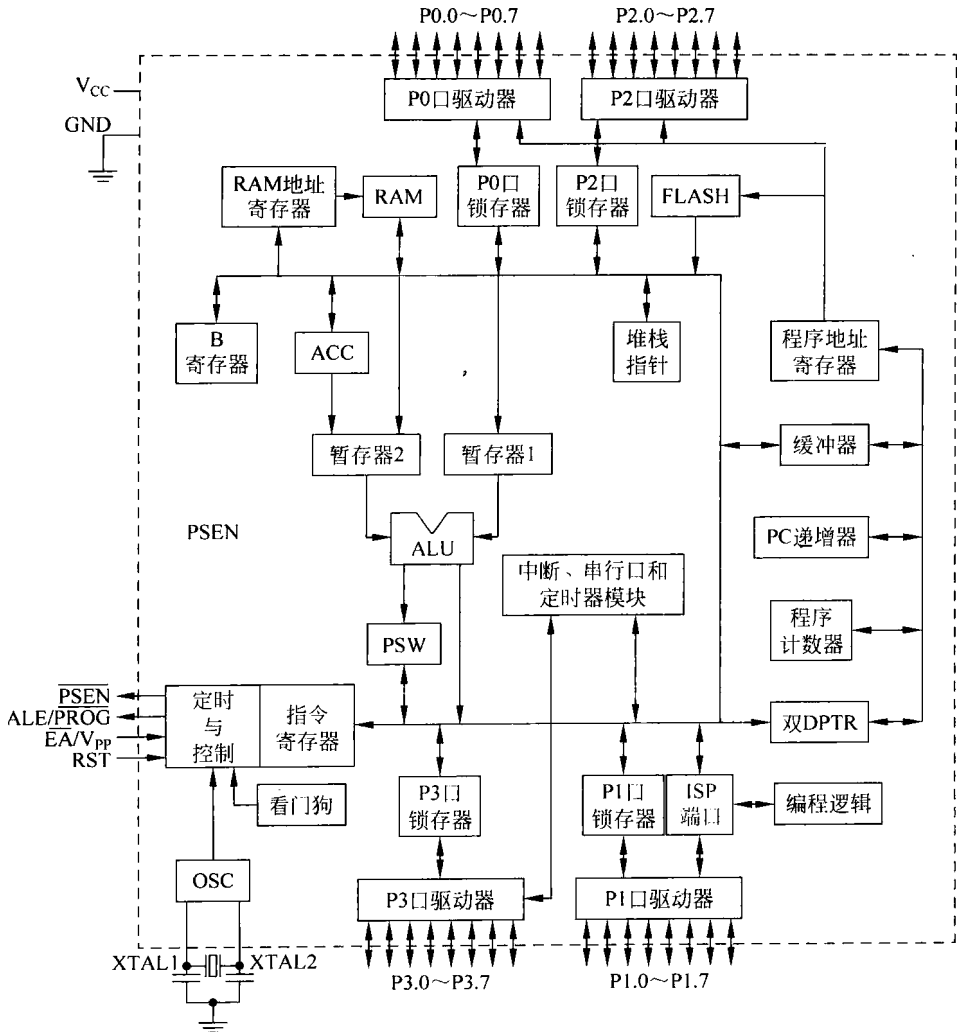


图 1.1 单片机的内部结构图

在具体使用中，大家会发现还有一种 Atmel 公司的 51 系列芯片 AT89S52。它同样是 MCS-51 兼容机，比 S51 增加了一点功能，它的内部 RAM 为 256B，可 ISP 编程 Flash ROM



是 8KB,有 3 个 16 位定时器,1 个 6 向量 2 级中断结构,其余功能和 S51 相同,使用方法也相同。

## 1.2.2 单片机内部模块功能

AT89S51 单片机内部按功能可划分为 CPU、存储器、I/O 端口、定时器/计数器、中断系统和看门狗等模块。各功能简要说明如下。

### 1. 中央处理器(CPU)

CPU 是单片机的核心部件,作为中央处理单元控制整个单片机的运行,主要由以下各功能部件组成。

(1) ALU: 算术逻辑单元。可以进行加、减、乘、除四则运算以及与或非、异或等逻辑运算;还可执行增量、减量、左移位、右移位、半定节更换、位处理等操作。

(2) ACC: 累加器,8 位。51 单片机大多数指令都必须使用 ACC,它是使用最频繁的寄存器。它与 ALU 直接相连,加、减、乘、除、移位以及其他逻辑运算都要使用 ACC 作为数据的存放地。特别地,外部数据的读写也都必须使用 ACC。ACC 有两个名字:A 和 ACC。A 表示寄存器,ACC 表示用地址表达的寄存器(存储器)。除入栈出栈指令使用 ACC 这个名字外,其他指令中都用 A。

(3) PSW(Program State Word): 程序状态字,8 位。其中存放着当前 ALU 的一些操作状态特征,如表 1.1 所示,其字节地址是 D0H。

表 1.1 程序状态字内部定义

PSW 位	PSW.7	PSW.6	PSW.5	PSW.4	PSW.3	PSW.2	PSW.1	PSW.0
位地址	D7H	D6H	D5H	D4H	D3H	D2H	D1H	D0H
位符号	Cy	AC	F0	RS1	RS0	OV	F1	P

① Cy: 进位标志位。当加法运算过程中,存放结果的字节单元的最高位产生进位时,Cy=1,否则 Cy=0;或减法运算过程,被减数最高位产生借位,Cy=1,否则 Cy=0。Cy 位还有一个特殊意义:它是 CPU 的布尔处理器的“累加器”,CPU 作逻辑运算时,需要 Cy 作为数据的暂存、传送等。

② AC: 半字节进位位。当 AC=1 时,表明加减运算中低 4 位向高 4 位产生了进位或有借位。AC=0,则表示没有发生上述情况。

③ F0: 用户标志位。由用户使用的一个标志位,可以用于存放 1 位数据。用户在编程时可以通过程序向该位写入 1 位数据,设定为某种情况发生的标志,然后根据程序执行情况,改变标志位的数值,从而可以改变程序的流向。

④ RS1 和 RS0: 寄存器选择位(Registers Selection)。用于选择工作寄存器组。

⑤ OV: 溢出标志位。对符号数的运算,当结果超出  $-128 \sim +127$  时,产生溢出,此时 OV=1。

⑥ F1: 用户标志位。用户可以将其用于存 1 位数据(有些品种不支持)。

⑦ P: 奇偶标志位,反映 ACC 中数据的奇偶性。若 ACC 中有奇数个 1,则 P=1。

(4) PC: 程序计数器(Program Counter),16 位。PC 中存放着 CPU 要执行的下一条指令的地址,CPU 通过它产生 ROM 地址从而读取指令。每执行一条指令,它都会自动增加。