

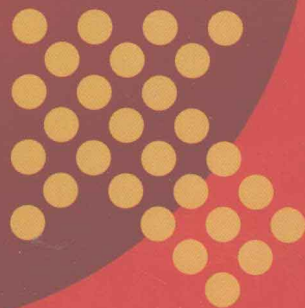
21世纪高等学校规划教材



DANPIANJI YUANLI JI YINGYONG

单片机原理及应用

张虹 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

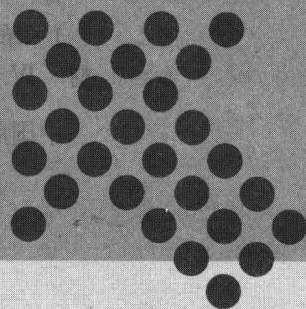
21世纪高等学校规划教材



DANPIANJI YUANLI JI YINGYONG

单片机原理及应用

主编 张虹



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书是为 21 世纪高等学校规划教材。本书以国内应用非常广泛的 AT89S51/52 为例,系统介绍了 80C51 系列单片机的硬件结构与原理、指令系统与汇编语言程序设计、单片机并行系统扩展技术、串行系统扩展技术、应用系统接口及应用、单片机应用系统设计开发过程等内容。

本书可作为应用型本科院校及高职高专相关专业的教材,也可作为广大科技人员学习开发单片机的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及应用 / 张虹主编. —北京: 中国电力出版社, 2009

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5083-7513-7

I. 单… II. 张… 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 (2008) 第 195527 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 2 月第一版 2009 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19 印张 464 千字

定价 30.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

为了适应高等院校对应用型专业教材的迫切需求,使学生学到有实用价值的专业知识,为社会培养具有一定理论知识,实践动手能力强的应用型科技人才,作者根据多年的教学实践、产品开发经验,编写了这本适用于高等院校应用型本科专业的《单片机原理及应用》教材。

“单片机原理及应用”是一门实践性强,与生产、生活密切相关的课程。近几年来,单片机技术发展非常迅速,出现了很多各具特点的单片机产品,但是从使用数量、技术资料及开发工具等各方面综合考虑,80C51 系列单片机仍具有很大优势,因此本书以国内广泛使用的 AT89S51/52 为例介绍 80C51 系列单片机的原理与应用开发技术。教材内容以实用为主,注重理论与实际的有机结合,阐述问题重点突出,循序渐进,遵循高等教育教学规律,使学生通过理论学习与实验实训,能尽快掌握单片机技术,为以后应用开发打好基础。

本教材参考学时为 68~96 学时,不同专业可根据实际情况适当增删教学内容。全书共分 11 章,各章主要内容如下。

第 1 章 单片机概述:介绍单片机的概念、特点及应用,常用单片机简介。

第 2 章 单片机硬件结构:以 AT89S51/52 为例介绍 80C51 系列单片机的内部结构,引脚功能,并行端口结构,存储器配置,典型时序及运行方式。

第 3 章 指令系统:介绍操作数的 7 种寻址方式,80C51 指令系统数据传送、算术运算、逻辑操作、控制转移和位操作五大类指令的功能使用。

第 4 章 汇编语言程序设计:介绍汇编语言程序设计步骤,常用伪指令用法,三种基本程序结构与编程,典型汇编程序设计。

第 5 章 中断系统:介绍 80C51 系列单片机中断系统结构,中断处理过程,外部中断源的扩展,中断源的应用编程。

第 6 章 定时/计数器:介绍定时、计数方式,80C51 系列单片机定时/计数器 T0, T1 和 T2 的结构原理与编程应用,AT89S51/52 单片机看门狗定时器的使用。

第 7 章 串行接口:介绍 RS-232C, RS-485 串行通信标准接口,80C51 单片机串行口结构与 4 种工作方式,串行口的应用与编程。

第 8 章 单片机并行系统扩展:介绍 80C51 单片机三总线结构及并行扩展能力,常用并行扩展芯片,各种类型半导体存储器的扩展,简单并行 I/O 接口扩展,可编程并行接口 8155, 8255A 的扩展及应用。

第 9 章 单片机串行系统扩展:介绍 I^2C 总线及 AT24C 系列串行存储器应用, SPI 串行接口及 X5045, FM25040 芯片的应用, 1-Wire 总线及 DS18B20 的应用, Microwire 串行接口及 AT93C 系列存储器应用。

第 10 章 应用系统接口技术:介绍键盘、LED 显示器、点阵液晶显示器、微型打印机、ADC、DAC、开关型功率器件及实时时钟的接口与应用。

第 11 章 单片机应用系统设计与开发:介绍单片机应用系统设计过程,单片机开发工具

及应用系统的调试，应用系统软、硬件可靠性设计技术。

本书由张虹编著，栾学德老师担任主审。此外，在大纲的制定及内容的选取方面，王丰、张星慧、李耀明等老师参与并提出了宝贵意见，刘磊、魏宪民、王宇晓、杜德老师参与了电路图的绘画，在实践应用方面，李秋潭、王立梅、杨洁、高寒、于钦庆等老师协助完成了对项目问题的可行性分析。在此，对以上老师表示诚挚的感谢。

编写过程中，由于时间仓促，加之水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，敬请读者予以批评指正，以便今后不断改进。

编 者

2008 年 10 月

目 录

前 言

第 1 章 单片机概述	1
1.1 单片机的发展与应用	1
1.2 常用单片机简介	5
1.3 单片机的信息表示	9
第 2 章 单片机硬件结构	16
2.1 单片机硬件结构与原理	16
2.2 单片机引脚功能	19
2.3 单片机存储器	22
2.4 单片机并行 I/O 端口	30
2.5 单片机时序	34
2.6 单片机运行方式	37
第 3 章 指令系统	41
3.1 指令格式及符号约定	41
3.2 寻址方式	44
3.3 数据传送类指令	47
3.4 算术运算类指令	53
3.5 逻辑操作类指令	57
3.6 控制转移类指令	59
3.7 位操作类指令	64
第 4 章 汇编语言程序设计	69
4.1 概述	69
4.2 汇编语言程序结构	74
4.3 典型汇编程序设计	80
第 5 章 中断系统	97
5.1 概述	97
5.2 中断系统	98
5.3 中断处理过程	103
5.4 外部中断源的扩展	105
5.5 外部中断应用举例	107
第 6 章 定时/计数器	109
6.1 T0 和 T1 的结构与原理	109
6.2 T0 和 T1 的控制寄存器	110
6.3 T0 和 T1 的工作方式	112

6.4	T0 和 T1 的应用	115
6.5	定时/计数器 T2	118
6.6	WDT 看门狗定时器	123
第 7 章	串行接口	126
7.1	串行通信概述	126
7.2	串行通信标准接口	129
7.3	单片机串行口结构	134
7.4	串行口工作方式	137
7.5	串行口应用	142
第 8 章	单片机并行系统扩展	156
8.1	概述	156
8.2	存储器扩展	160
8.3	并行 I/O 接口扩展	167
第 9 章	单片机串行系统扩展	183
9.1	I ² C 总线及应用	183
9.2	SPI 串行接口及应用	191
9.3	1-Wire 总线及应用	199
9.4	Microwire 串行接口及应用	204
第 10 章	应用系统接口技术	210
10.1	键盘接口	210
10.2	LED 显示器接口	217
10.3	点阵液晶显示器接口	226
10.4	微型打印机接口	234
10.5	模/数转换器及接口	243
10.6	数模转换器及接口	253
10.7	开关型功率器件接口	257
10.8	实时时钟及接口	262
第 11 章	单片机应用系统设计与开发	276
11.1	应用系统设计过程	276
11.2	应用系统的调试	281
11.3	应用系统可靠性设计	282
附录	80C51 指令系统表	290
参考文献		296

第1章 单片机概述

学习目标

学习单片机的概念、发展及应用,单片机中常用信息的表示方法,使读者对单片机具有初步的总体印象。

学习要求

- 了解:单片机的概念,发展概况及发展方向,单片机的主要应用和应用系统的开发方法。
- 掌握:二、十及十六进制数及不同数制之间的相互转换,机器数的表示方法与转换,BCD 码和 ASCII 码的编码规则及特点。

单片机是微型计算机的一个重要分支,具有体积小,重量轻,价格低,抗干扰能力强,便于实现嵌入式应用等特点。单片机自 20 世纪 70 年代问世以来,发展极为迅速,现已广泛应用于工业控制、智能仪表、通信、机器人、家用电器等领域,成为人们工作、生活不可缺少的重要工具和得力助手。

1.1 单片机的发展与应用

1.1.1 单片机的概念

单片微型计算机 (Single Chip Microcomputer), 简称单片机, 是将中央处理器 CPU、存储器、中断系统、定时/计数器、I/O 接口、串行口和时钟电路等集成到一个大规模集成电路芯片上制成的微型计算机。单片机具有微型计算机除外设之外的主要功能部件, 只要接上晶振, 复位电路, 就构成了单片机最小应用系统, 通电后即能工作。MCS-51 单片机的内部结构如图 1-1 所示。

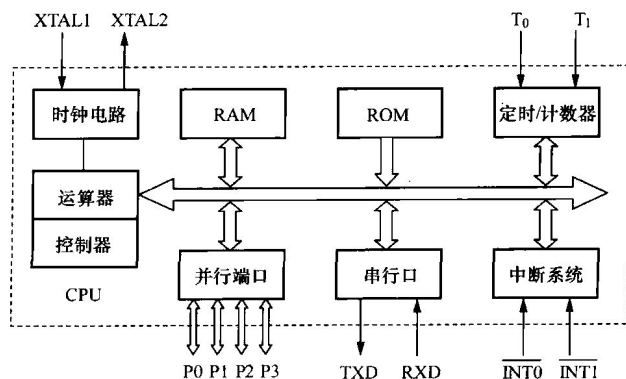


图 1-1 MCS-51 单片机的内部结构框图

与普通微机相比，单片机的特点是控制功能比较强，主要用于仪器设备的自动检测与控制，又称为微控制器 MCU (Micro Controller Unit)。微控制器也是国际上的通用名称。单片机体积非常小，通常嵌入到被控对象内部，作为其控制核心，也称为嵌入式微控制器 (Embedded Microcontroller)。

单片机种类和型号众多，不同角度有不同的分类方法。按用途不同可分为通用型和专用型，例如，MCS-51 是通用型单片机，在很多领域都有应用。而在电表、通信、玩具等大量应用中经常采用专用型单片机，可以降低成本，简化系统结构。按是否有并行总线引脚可分为总线型和非总线型，总线型单片机可以扩展并行存储器及接口，非总线型单片机省去了三总线，减少了引脚，缩小了体积，只能通过串行方式进行系统扩展。按照 CPU 运算的位数可以分为 4 位、8 位、16 位和 32 位单片机，其中，8 位机应用范围最广，市场份额占单片机总销量的一半以上，32 位单片机在一些高端应用中发挥着重要的作用。

1.1.2 单片机发展概况

自 1974 年美国仙童公司推出第一款 8 位单片机 F8 以来，众多世界知名半导体公司也投入到单片机的研发和推广上来，使单片机技术有了巨大的发展。从总体上看，单片机技术 30 多年的发展可分为以下四个阶段。

1. 单片机的初期阶段

单片机的初期阶段的主要目的是探索单片形态的微机体系结构，以满足工控领域对嵌入式控制的需求。Intel 公司于 1976 年推出的 MCS-48 系列 8 位单片机是典型代表，它在一个芯片内部集成了 8 位 CPU，64B 的 RAM，1KB 的 ROM，27 条并行 I/O 口和一个 8 位定时/计数器。MCS-48 系列单片机软、硬件功能较弱，但相对于当时的单板机及普通微机，控制功能、嵌入式应用等方面仍有较大优势，在工控领域得到了广泛的应用。

2. 单片机的完善阶段

1980 年 Intel 公司推出了 MCS-51 系列高性能 8 位单片机。内部集成了 8 位 CPU，128B 的 RAM，4KB 的 ROM，32 条并行 I/O 口，2 个 16 位定时/计数器，1 个全双工的串行口，程序和数据的寻址范围均达到 64KB。

MCS-51 的软、硬件功能较以前的产品有了显著提高，形成了完善的通用总线型单片机体系结构，是单片机产品的经典机型，成为事实上的单片机标准结构。以后有很多半导体公司采用 MCS-51 的 8051 内核，增加其他功能电路，开发出了各具特色的 80C51 系列单片机，并在单片机市场上占有很大的市场份额。

另外，Intel 公司还于 1983 年推出了功能更强大的 MCS-96 系列 16 位单片机，同期产品还有 Motorola 公司的 6801 和 Zilog 公司的 Z8 等。

3. 向微控制器发展阶段

早期的单片机仅集成微机的基本功能部件，在设计测控系统时，需要根据测控对象具体要求增加对应的外围接口电路，系统总体结构仍然比较复杂。为了更好地满足测控系统的要求，进一步缩小体积。该阶段单片机发展的特点是在原有计算体系结构的基础上，增加测控专用的外围电路，如模/数转换器 ADC、数/模转换器 DAC、脉宽调制器 PWM、高速 I/O 口、LCD 驱动电路、RTC 实时时钟、看门狗定时器 WDT 以及 SPI、I²C 串行总线接口等。

单片机通过增加外围接口电路强化了其控制功能，在嵌入式应用中，一片单片机本身就

能完成大多数测控任务，其结构组成和功能与微型计算机已有了很大的不同，国际上逐步采用微控制器作为单片机的标准名称，而国内仍然沿用已经习惯的称呼——单片机。

这一时期的典型代表是 AT80C51 系列，是很多半导体公司以 80C51 内核为基础，增加了自己擅长的技术和接口电路，并采用 CHMOS 工艺生产的与 MCS-51 兼容的单片机。这些单片机性能比 MCS-51 系列有了很大增强，统称为 80C51 系列。

4. 单片机高速发展阶段

近几年世界很多半导体公司相继开发出了各具特色的 8 位、16 位及 32 位单片机产品，例如，Motorola 公司的 68HC05，68HC08，68HC16，683XX 系列，Microchip 公司的 PIC 系列，TI 公司的 MSP430 系列，Atmel 公司的 AVR 系列和 AT89 系列，Philips 公司的 80C51 系列，TOSHIBA 公司的 TLCS 系列等。不同公司和不同型号的单片机各具特点，能够满足用户不同领域高、中、低端的需求，用户可以根据实际需要选择合适的型号。

由于单片机主要擅长于控制功能，高速数据运算处理能力只是小部分应用的需要，其发展过程并不像微处理器新型号推出后老型号迅速淘汰，而一直保持 8 位、16 位和 32 位单片机共存的发展格局，其中，8 位单片机占据着最大的市场份额，并继续在工业控制、智能产品中得到广泛应用，32 位单片机主要用在机器人、航空航天等高端应用中。

1.1.3 单片机的发展趋势

随着半导体集成技术和微电子技术的发展，单片机也向高性能和多品种方向发展，主要表现在以下几个方面。

1. CMOS 化

早期的单片机采用 HMOS 工艺，即高密度短沟道 MOS 工艺制造，而现在所有单片机已全部采用 CHMOS 工艺。CHMOS 工艺即互补金属氧化物的 HMOS 工艺，是 CMOS（互补金属氧化物半导体）和 HMOS 的结合，CHMOS 既有 CMOS 低功耗的特点，又有 HMOS 高速度和高密度的特点。例如，8051 芯片的功耗为 630mW，而 80C51 的功耗只有 120mW。

2. 高性能化

早期的单片机采用复杂指令集 CISC 结构，指令数量多，功能复杂，指令周期不固定，指令运行不易实现流水线操作，运行速度慢。例如，MCS-51 单片机采用 12MHz 的时钟时，单周期指令的运行速度为 1MIPS（Million Instructions Per Second，每秒百万条指令）。

为了提高性能，现在很多单片机采用精简指令集 RISC 结构和流水线技术，一个时钟周期就能执行一条指令，使指令运行速度达到 100MIPS 以上。在相同速度下，通过降低时钟频率，还可以获得良好的电磁兼容，提高系统的可靠性。

3. 大容量化

以前，单片机仅集成 4KB 的 ROM，128B 的 RAM，应用系统设计时，要扩展多片程序和数据存储器，造成系统体积过大，成本高等问题。随着半导体存储技术的发展和存储器价格的降低，很多单片机产品已集成了容量更大的存储器，用户只需选择合适的型号，就能满足对各类存储器的要求，外围存储器扩展已趋于淘汰。例如，Philips 公司的 P89C668 集成了 64KB 的 Flash 存储器和 8KB 的 RAM。宏晶公司的 STC89C58 RD+集成了 32KB 的 Flash 存储器，1280B 的 RAM，以及 16KB 的 E²PROM。

4. 低功耗，低电压

CMOS 制造工艺，以及待机、掉电等低功耗运行方式，使单片机功耗从 mA 级降到了 μ A

级。例如，TI 公司的 MSP430F20 系列整体功耗仅有 $0.5\mu\text{A}$ 。

单片机工作电压范围越来越宽，一般能在 $3\sim 6\text{V}$ 范围内正常工作，有的低电压单片机电源电压甚至可降到 1V 以下。低功耗、低电压单片机产品在便携式应用、无交流供电场合具有很大的市场需求。

5. 小体积，低价格

嵌入式应用要求单片机价格低，体积小。体积较大的 PDIP 等封装芯片逐步被 QFP 等超小封装取代，还可以通过减少芯片引脚数进一步减小体积。另外，有的单片机已将复位电路、时钟和外围接口电路全部集成到芯片内部，不需任何外部扩展，通电后即能工作，成为真正意义上的单片机应用系统。

6. 串行扩展技术

采用地址总线、数据总线和控制总线三总线的并行扩展技术是传统单片机存储器及接口电路普遍采用的扩展方式，但并行扩展占用口线多，系统体积大，在空间狭小的嵌入式应用中不太方便。近几年来，仅采用 $1\sim 3$ 条端口线的串行扩展技术逐步取代并行扩展，成为主流单片机外围器件扩展方式，常用的串行总线接口有 1-Wire， I^2C ，SPI，Microwire 等，目前市场上也有丰富的串行总线接口芯片可供用户选择。并行扩展技术应用越来越少，三总线在很多场合已没有存在的价值。为此，有的电子公司推出了没有并行总线的单片机产品，减少了单片机的引脚，使其体积更小。例如，Atmel 公司的 AT89C1051，AT89C2051 等。

7. Flash 型单片机成为主流

早期单片机内部程序存储器主要有掩膜 ROM、EPROM 和无 ROM 型。随着存储器技术的发展，EPROM 等存储器逐步被淘汰，一些新型高性能存储器开始用到单片机中。当前单片机中的程序存储器多采用 Flash Memory（闪存），Flash 存储器具有 1000 次以上的擦写周期，程序修改、升级非常方便。为了降低成本，还有很多公司的单片机采用 OTP ROM 作为程序存储器。

8. ISP 及基于 ISP 的开发环境

Flash 存储器在单片机中的广泛应用，推动了在系统可编程技术的发展。在系统可编程 ISP（In System Programmable）是指在微机中编程调试好的目标程序通过 SPI 接口下载线在线下载到单片机中。还可实现目标程序远程调试、升级。利用 ISP 技术，单片机的开发调试无须编程器、仿真器，降低了开发成本，提高了工作效率。现在已有很多单片机具有 ISP 功能，例如，Atmel 公司的 AT89S51，AT80S52，Philips 公司的 P89LPC920 等。

1.1.4 单片机的应用

单片机价格低，功耗小，抗干扰能力强，广泛应用于人们的工作和生活中，可以说无处不在。由于单片机体积非常小，使用时主要是嵌入到测控对象内部，作为其控制中心，所以平时很少见到单片机，但单片机在我们的工作和生活中发挥着越来越重要的作用。

日常生活中，很多家用电器都用单片机作为主控单元，例如，游戏机、电视机、空调、微波炉、电冰箱、洗衣机、计算器、数码相机等。汽车更是大量应用单片机来提高其性能，例如，汽车防盗器、ABS 防抱死装置、电喷系统、倒车雷达等。

温度仪、流量仪、数字电表、水分测试仪、测距仪等智能仪表的核心也是单片机。智能仪表工作时，各类传感器将温度、压力、电压、频率等物理量送到单片机进行处理，然后显示，并根据设定的参数实现自动控制，还可通过总线联网，实现统一控制，这些都是普通

仪表无法比拟的。

工厂中使用的机电一体化设备，如数控机床、纺织机械等，也利用单片机自动控制与生产。另外，单片机在机器人、航空航天、通信、军事中都有着广泛的应用。

1.1.5 单片机应用系统设计

单片机应用系统的硬件只有在程序的控制下才能工作，软件和硬件是单片机应用系统中不可分割的重要组成部分。单片机应用系统的设计也包括软件设计和硬件设计。单片机应用系统设计的一般步骤如下。

1. 总体设计

根据任务要求进行产品方案的论证和总体规划，明确需要解决的问题，选定合适的单片机型号，外围电路的类型及主要元器件的型号，使选择的方案合理，易于实现，产品具有先进性、实用性，能够被市场接受和认可。

2. 硬件系统设计

设计硬件系统的功能模块，例如，电源电路、复位电路、片外存储器、键盘接口、显示器接口、传感器接口等，用 Protel 等辅助设计软件绘制 PCB 电路板。硬件电路要全部或部分连线测试，确保没有问题后，再交付 PCB 生产厂家制作，防止做出后存在问题，造成损失。电路板制出后，还要用测试软件对硬件进行测试，测试合格后，硬件系统设计完毕。

3. 应用程序设计

根据任务要求划分功能模块，编写各模块的源程序，并在汇编软件的支持下，检查源程序中存在的语法错误并改正。只有通过汇编检查，源程序没有语法错误，才能进行仿真调试。

4. 源程序仿真调试

仿真调试是通过仿真器在线仿真环境下对源程序进行调试。汇编后的程序生成可执行目标文件，并下载到仿真器上。系统借助仿真器测试应用程序完成预期的功能，通过调试过程不断修改完善程序。

5. 系统脱机运行

系统软、硬件调试完成后，利用编程器将程序固化到单片机内部或扩展的程序存储器中，应用系统脱离仿真器运行，进一步测试软、硬件能否正常运行。测试无误后写入程序，焊接电路板，组装，并写出产品说明书等相关技术资料，产品开发完成。

目前，随着带 ISP 功能单片机的广泛应用，系统的调试及程序的写入完全可以不用仿真器、编程器等专用工具，只需一台微机和必要的软件即可，降低了开发成本，提高了生产效率。

1.2 常用单片机简介

由于单片机的市场需求量巨大，因此世界很多著名半导体公司相继投入到对单片机产品的开发上，到目前为止，单片机已有几百个系列近万种型号，为用户提供了广泛的选择。下面仅对常用的几个系列做简要介绍，为用户选择提供参考。

1.2.1 MCS-51 及兼容单片机

1. MCS-51 系列单片机

Intel 公司的 MCS-51 系列单片机包括 51 和 52 两个子系列。51 子系列是基本型，片内集成 4KB 的 ROM，128B 的 RAM，5 个中断源，2 个 16 位的定时/计数器和 1 个全双工串行口。

52 子系列是增强型, ROM 和 RAM 容量比 51 子系列增加一倍, 还增加了一个定时/计数器和一个中断源。主要型号参数见表 1-1。

表 1-1 MCS-51 系列单片机的主要型号参数

系 列	制造工艺	片内 ROM 类型			ROM 容量	RAM 容量	中断源	定时/计数器	串行口
		无	Mask ROM	EPROM					
51 子系列	HMOS	8031	8051	8751	4KB	128B	5	2×16b	1
	CHMOS	80C31	80C51	87C51	4KB	128B	5	2×16b	1
52 子系列	HMOS	8032	8052	8752	8KB	256B	6	3×16b	1
	CHMOS	80C32	80C52	87C52	8KB	256B	6	3×16b	1

MCS-51 系列单片机不同型号的主要区别是片内 ROM 类型不同, 分为三类: 803×和 80C3×片内没有 ROM; 805×和 80C5×片内集成掩膜 ROM; 875×和 87C5×片内集成可紫外线擦除可编程的 EPROM。

MCS-51 系列单片机采用 HMOS 和 CHMOS 两种半导体工艺生产, 为区别于 HMOS 芯片, CHMOS 芯片型号中标有字母 C 以示区别, 如 80C51, 87C52 等。

推出 MCS-51 系列单片机后, Intel 公司并没有继续对 51 单片机进行技术改进和发布新型号, 而是将精力投入到 80X86 微处理器开发上。Intel 公司把 MCS-51 单片机内核技术以出售或互换专利的方式授权给了 Philips、Atmel、NEC、SST、Siemens、华邦等半导体公司, 这些公司利用 8051 内核, 同时加入了自己擅长的技术和功能单元, 并全部采用 CHMOS 工艺生产出了性能更加完善的 MCS-51 兼容单片机, 这些单片机统称为 80C51 系列。

51 单片机并没有因 Intel 退出单片机市场而终止, 而是随着多家有实力半导体公司的介入, 重新焕发了强大的生命力, 80C51 系列单片机的软、硬件与 MCS-51 兼容, 有非常多的接口芯片和技术资料, 使用户的开发成本降到最低。正是因为这些优势, 在众多单片机品牌中, 80C51 单片机仍然占据单片机市场的很大比例, 而且其主流系列的地位会不断巩固。本书即通过 80C51 系列单片机来讲解单片机技术, 不同类型单片机的原理及应用都是相通的, 通过 51 单片机入门后, 读者可以很容易地学习并掌握其他类型单片机。

2. AT89 系列单片机

美国 Atmel 公司是世界上著名的高性能, 低功耗, 非易失性存储器和数字集成电路半导体制造公司, Atmel 的 E²PROM 和 Flash 存储技术一直在世界上位于领先地位。Atmel 推出的与 MCS-51 兼容的 AT89 系列单片机, 最突出的特点是将可多次电擦写的闪存集成到单片机内部, 作为程序存储器, 使系统开发过程中修改程序和软件升级都非常方便, 缩短了开发周期。AT89 系列单片机推出后取得了极大成功, 并引导了单片机存储技术的发展方向。

AT89 系列常用型号见表 1-2。AT89C 系列是 Atmel 最初推出的型号, 现在仍然有大量应用。为了充分发挥 Flash 存储器的优越性, Atmel 公司又推出了具有在系统可编程 ISP、看门狗定时器 WDT 和双数据指针的 AT89S 系列, 使程序开发、升级更加方便。

AT89 系列是 80C51 单片机的主力军, 在国内应用十分普遍, 资料及开发工具也很多, 本书后面将采用比较典型的 AT89C51 和 AT89S52 型号举例, 实际应用时完全可以用其他 80C51 系列单片机代换。

表 1-2 Atmel 公司 AT89 系列单片机的常用型号

型 号	Flash	RAM	I/O 口线	中 断 源	定时/计数器	串 行 口	WDT	ISP	比 较 器
AT89C1051	1KB	64B	15	3	1×16b	—	—	—	Y
AT89C2051	2KB	128B	15	5	2×16b	1	—	—	Y
AT89C51	4KB	128B	32	5	2×16b	1	—	—	—
AT89C52	8KB	256B	32	6	3×16b	1	—	—	—
AT89C55	20KB	256B	32	6	3×16b	1	—	—	—
AT89S51	4KB	128B	32	5	2×16b	1	Y	Y	—
AT89S52	8KB	256B	32	6	3×16b	1	Y	Y	—

3. Philips 单片机

Philips 公司基于 8051 内核的 8 位单片机有 LPC900 系列、LPC76×系列、P8×C5×系列和增强型 80C51 四大系列，共几十种型号。LPC900 系列部分单片机的参数见表 1-3。

表 1-3 Philips 公司 LPC900 系列部分单片机的参数

型 号	RAM	Flash	UART	I2C	SPI	Timer	WDT	ISP	IAP	Clock	I/O
P89LPC901	128B	1KB	—	—	—	2	Y	—	—	2	6
P89LPC903	128B	1KB	Y	—	—	2	Y	—	—	2	6
P89LPC908	128B	1KB	Y	—	—	2	Y	—	—	2	6
P89LPC912	128B	1KB	—	—	Y	2	Y	Y	Y	2	12
P89LPC913	128B	1KB	Y	—	Y	2	Y	Y	Y	2	12
P89LPC920	256B	2KB	Y	Y	—	2	Y	Y	Y	2	18
P89LPC921	256B	4KB	Y	Y	—	2	Y	Y	Y	2	18
P89LPC931	256B	8KB	Y	Y	Y	2	Y	Y	Y	2	26

Philips 单片机片内集成了 ISP/IAP、ADC、PWM、WDT、SPI、I²C、CAN 总线接口等部件。主要特点有：除基本中断功能外增加了一个四级中断优先级；能关闭 ALE，改善单片机的 EMI 电磁兼容性能；有些型号具有 6/12 时钟频率切换功能；部分型号指令执行时间只需 2~4 个时钟周期，在相同时钟下，速度可达到标准 80C51 的 6 倍。

1.2.2 其他系列单片机

1. Motorola 单片机

Motorola 是世界上最大的单片机厂商，推出的 68HC05，68HC08 和 68HC11 等系列是国际上应用最广泛的 8 位机型之一。Motorola 单片机在同样的速度下，时钟频率比其他类型单片机低得多，高频噪声低，抗干扰能力强，适合在工控领域等恶劣环境中使用。Motorola 8 位单片机过去以掩膜为主，在教学中选用不多。

2004 年 Motorola 半导体产品部从 Motorola 公司分离出来，更名为飞思卡尔 (Freescale) 半导体公司，其单片机也改称飞思卡尔单片机。Freescale 系列单片机采用哈佛结构和流水线指令结构，提供多种集成模块和总线接口，产品功能多，种类全，从 8 位到 32 位低、中、高端产品应有尽有，另外，还推出了 8 位/32 位引脚兼容的 QE128，可以从 8 位直接移植到 32 位，产品升级非常方便。近几年来，为了便于程序修改和升级，飞思卡尔也推出了 Flash 型

单片机,例如,HCS08系列采用第三代0.25 μ m Flash技术,集成了2~60KB闪存,可在线编程和数据存储。

2. PIC系列单片机

美国Microchip公司的PIC系列单片机采用RISC结构,哈佛双总线使程序和数据分开传送,两级指令流水线允许CPU在执行一条指令的同时读取下条指令,速度比一般单片机提高4~5倍。产品分基本型、中级和高级三个系列,基本型有12位指令总线,33条指令;中级系列有14位指令总线,35条指令;高级系列有16位指令总线,58条指令,并且指令向上兼容。

中级产品比基本型增加了ADC、温度传感器、EEPROM、PWM输出、比较输出、捕捉输入、I²C、SPI、电压比较器和LCD驱动电路等外围接口电路。

高级产品具有很高的运算速度,可以满足用户高速运算和控制的要求。例如,PIC17C系列和PIC18C系列可以在一个指令周期内完成8位 $\times$ 8位的二进制乘法运算。

PIC系列单片机主要有OTP型和Flash型两种,用户可根据需要选择不同的类型。

3. MSP430系列单片机

MSP430系列是由TI(美国德州仪器)公司推出的16位单片机,其最大的特点是超低功耗,用电池供电可长期工作,适合于水表、流量计、医疗设备等应用。主要特点有:

采用RISC精简指令集结构,具有多种寻址方式,简捷的27条内核指令,以及大量的模拟指令,大量的寄存器及片内数据存储单元都可参加多种运算,处理能力强。

当时钟频率为8MHz时,指令周期仅有125ns,运算速度快。16位数据宽度,125ns指令周期及多功能硬件乘法器相配合,能实现数字信号处理的FFT等算法。

中断源较多,可以任意嵌套,使用时非常灵活方便。当系统处于省电的备用状态时,中断请求唤醒只需6 μ s,响应速度快。

片内集成了看门狗、模拟比较器、定时器、串口、硬件乘法器、液晶驱动器、ADC、I²C、直接数据存取DMA、基本定时器等丰富的外设模块,这些外围模块的不同组合,加上不同的存储器,构成了众多型号,为系统单片解决方案提供了方便。

MSP430系列有OTP型、Flash型和掩膜ROM型。OTP型和掩膜ROM型需要使用仿真器开发,调试成功后烧写或掩膜芯片。Flash型片内有可电擦写的Flash存储器和JTAG调试接口,开发不需仿真器和编程器,只需要一台微机和一台JTAG调试器。调试时,先将程序下载到Flash,再通过软件控制程序的运行,由JTAG接口读取片内信息,供设计者调试开发。

4. AVR系列单片机

AVR系列单片机是Atmel公司推出的8位精简指令集(RISC)单片机,各方面性能比AT89系统有了增强。AVR单片机分为ATtiny、AT90和ATmega低、中、高档三个系列,适用于不同应用领域。主要特点有:内部32个通用工作寄存器都可作为累加器使用,避免了单累加器数据传输时的瓶颈现象;具有10~20mA或40mA大电流输出,可直接驱动继电器或LED显示器;内部集成模拟比较器、PWM、EEPROM、SPI、ADC、ISP等模块;采用Flash存储器,16位指令,指令周期可达50ns。

5. 凌阳单片机

中国台湾凌阳科技股份有限公司主要有SPMC65系列8位单片机和SPMC75系列16位单片机。SPMC65系列单片机是凌阳公司主推产品,采用8位SPMC65 CPU内核,抗干扰能

力强, 广泛应用于工业控制、智能仪表、安防报警及家用电器等领域。SPMC75 系列单片机集成了多种功能模块, 有多功能 I/O 口、串行口、ADC、定时/计数器等硬件模块, 以及能产生电机驱动波形的 PWM 发生器, 多功能捕获比较模块, BLDC 电机驱动专用位置检测接口, 两相增量编码器接口等特殊硬件, 主要用于变频电机驱动控制。SPMC75 系列单片机具有很强的抗干扰能力, 广泛应用于变频家电、变频器、工业控制等领域。

1.3 单片机的信息表示

与其他计算机一样, 单片机 CPU 也只能识别高电平和低电平两种信号, 即只能处理二进制数 0 和 1, 数字、字符等都要通过某种规则转换为二进制数表示形式, 才能被单片机识别和处理。本节介绍数字、字符等在计算机中的表示方法和转换规则。

1.3.1 数制及转换

用几个数码表示数据, 按进位的方法计数称为进位计数制, 简称数制。表示数据的数码个数称为该数制的基数。每个数码在数据的不同位置表示的数值不同, 其数值大小等于该数码乘以一个与数码所在位置有关的系数, 这个系数称为位权, 简称权。权是以基数为底, 数码所在位置的序号为指数的指数函数。

常用数制有十进制 (Decimal)、二进制 (Binary)、八进制 (Octal) 和十六进制 (Hexadecimal), 各进制数之间的对应关系见表 1-4。为了便于区分, 书写时可在数字后面用数字的基数作为下缀, 例如: -100.82_{10} , 10111000_2 , 1630_8 , $3F.82_{16}$ 。更常用的办法是在数字后用数制英文名称的首字母作为后缀, 十进制数加 D (十进制为默认数制, 一般省略), 二进制数加 B, 八进制数加 O (为了避免与数字 0 混淆, 也可用字母 Q 作为后缀), 十六进制数加 H。例如, 1234、500D、11001011B、36O、260Q、12FAH。

表 1-4 数制之间的对应关系

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数	十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
0	0000	0	0	8	1000	10	8
1	0001	1	1	9	1001	11	9
2	0010	2	2	10	1010	12	A
3	0011	3	3	11	1011	13	B
4	0100	4	4	12	1100	14	C
5	0101	5	5	13	1101	15	D
6	0110	6	6	14	1110	16	E
7	0111	7	7	15	1111	17	F

1. 十进制数

十进制数是人们工作生活中常用的数制, 其特点如下:

- (1) 用 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 共十个数码表示数据;
- (2) 基数是 10, 位置 i 处数码的权为 10^i ;
- (3) 运算规则是“逢 10 进 1, 借 1 当 10”;

(4) 任意一个十进制数 N 可表示为

$$\begin{aligned} N &= a_n a_{n-1} \cdots a_1 a_0 a_{-1} \cdots a_{-m} \\ &= a_n \times 10^n + a_{n-1} \times 10^{n-1} + \cdots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 + a_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^n a_i \times 10^i \end{aligned}$$

$$\text{例如: } 698.205 = 6 \times 10^2 + 9 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 0 \times 10^{-2} + 5 \times 10^{-3}$$

2. 二进制数

二进制数仅用 0 和 1 两个数码表示, 运算规则简单, 便于电路实现, 是各类计算机内部运算处理采用的数制, 二进制数是唯一能被计算机识别的数据。其特点如下:

- (1) 用 0, 1 两个数码表示数据;
- (2) 基数为 2, 位置 i 处数码的权为 2^i ;
- (3) 运算规则是“逢 2 进 1, 借 1 当 2”;
- (4) 任意一个二进制数 N 可表示为

$$N = \pm a_n a_{n-1} \cdots a_1 a_0 a_{-1} \cdots a_{-m} = \pm \sum_{i=-m}^n a_i \times 2^i$$

$$\begin{aligned} \text{例如: } 1101.011\text{B} &= 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} - 1011.1\text{B} \\ &= -(1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1}) \end{aligned}$$

3. 十六进制数

编程时若二进制数的数位较多, 书写阅读都不太方便, 通常采用与二进制数相互转换非常方便的十六进制数表示。例如, 32 位二进制数 1000 0101 1101 0011 1010 1111 1010 0010B 对应的十六进制数是 85D3AFA2H, 比二进制数要直观得多, 而且程序中十六进制数能被汇编程序直接处理, 并不需要人工转为二进制数。十六进制数的特点如下:

- (1) 用数字 0~9 和大写字母 A, B, C, D, E, F (对应十进制数 10~15) 共 16 个数码表示数据;
- (2) 基数是 16, 位置 i 处数码的权为 16^i ;
- (3) 运算规则是“逢 16 进 1, 借 1 当 16”;
- (4) 任意一个十六进制 N 可表示为

$$N = \pm a_n a_{n-1} \cdots a_1 a_0 a_{-1} \cdots a_{-m} = \pm \sum_{i=-m}^n a_i \times 16^i$$

$$\text{例如: } 2\text{C8.A1H} = 2 \times 16^2 + 12 \times 16^1 + 8 \times 16^0 + 10 \times 16^{-1} + 1 \times 16^{-2}$$

八进制数的运算及转换方法与十六进制数相似, 且使用较少, 此处不再赘述。

4. 二、十六进制数与十进制数的相互转换

(1) 二、十六进制数转换为十进制数。根据前面的公式, 将二、十六进制数按权展开并相加, 即得到对应的十进制数。

【例 1-1】 将 11010.11B, 8FA.6H 转换为十进制数。

$$11010.11\text{B} = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 26.75$$

$$8\text{FA.6H} = 8 \times 16^2 + 15 \times 16^1 + 10 \times 16^0 + 6 \times 16^{-1} = 2298.375$$

(2) 十进制数转换为二、十六进制数。十进制数转换为二、十六进制数时, 整数部分和小数部分要按不同的方法分别转换, 然后将转换结果相加。