

高职高专电气自动化技术专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN DIANQI ZIDONGHUA JISHU ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



单片机原理及应用技术

王 燕 贾莉娜 主编 丁英丽 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

高职高专电气自动化技术专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN

DIYANJIYUANLIJIYUJINGYUANYE GUIHUA JIAOCAI



单片机原理及应用技术

主 编 王 燕 贾莉娜
副主编 丁英丽
编 写 高长伟 王 伟 方景林
主 审 丁 辉



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为高职高专电气自动化技术专业规划教材。

本书以 MCS-51 单片机为核心,系统介绍了其结构原理和应用技术,主要内容包括单片机的内部硬件结构、指令系统、汇编语言程序设计、中断系统和定时器/计数器、串行通信技术、单片机的并行及串行扩展技术、人机接口技术及常用的测控接口技术。由于单片机原理是一门实践性很强的课程,本书介绍了目前常用的一款仿真软件 Proteus,从实践、实用角度出发,结合具体教学内容,针对中断、定时器等教学重点安排了仿真实验,讲解了单片机仿真的方法。通过这些仿真实验可以使学生在不花费硬件成本的前提下拥有一个优秀的实践平台。

本书可作为高职高专院校有关专业教学用书,也可作为从事单片机应用的广大工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理及应用技术 / 王燕, 贾莉娜主编. —北京: 中国电力出版社, 2011.5

高职高专电气自动化技术专业规划教材

ISBN 978-7-5123-1650-8

I. ①单… II. ①王… ②贾… III. ①单片微型计算机—高等职业教育—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 081404 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 8 月第一版 2011 年 8 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.625 印张 281 千字
定价 20.00 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

高职高专电气自动化技术专业规划教材

编 委 会

主 任 吕景泉

副主任 狄建雄 凌艺春 谭有广 周乐挺 郝汉琪

秘书长 李兆春

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁学恭 马伯华 王 燕 王 薇 王永红

刘玉娟 刘玉梅 刘保录 孙成普 孙忠献

何 颖 何首贤 张 池 张永飞 张学亮

张跃东 李方园 陆锦军 陈 赵 姚永刚

姚庆文 郭 健 钱金法 常文平 韩 莉

前言

随着电子技术和自动控制技术的发展，单片机作为微型计算机一个很重要的分支得到了突飞猛进的发展，单片机的应用已经渗透到国民经济的各个行业。广大工程技术人员都迫切希望了解和掌握单片机的应用技术，高等院校的相关专业也都开设了这门课程，为适应这种需要，我们编写了此书。本书遵循重点突出、简明易懂、循序渐进的原则。

本书在编写过程中突出以下特点：

(1) 本书从实用的角度出发，结合高职高专教育的特点，以“必须、够用”为原则，言简意赅地介绍了 MCS-51 单片机的硬件结构、指令系统和常用接口技术，使读者能很快掌握 MCS-51 单片机的内部和外部特性，为应用设计打下基础，有利于初学者的学习使用。

(2) 根据编者多年的教学经验和教学中遇到的难点，本书对学习者的难理解的部分进行了有针对性的阐述并配以例题。

(3) 注重以学生为本，激发学生的学习热情。Keil 和 Proteus 是目前从事单片机的工程人员必须熟练掌握的平台，本书介绍了 Proteus 与 Keil 联合平台的使用方法，为学生建立了学习单片机的虚拟实践平台。学生可以在平台上直接将自己的设计思想付诸实践，从工程的角度直接观看程序运行和电路工作的过程和结果，极大地激发了学生的学习兴趣。

本书由王燕和贾莉娜担任主编，丁英丽担任副主编。方景林编写了第 1、10 章及附录，王燕编写了第 2、5、6 章，贾莉娜编写了第 7、9、11 章，丁英丽编写了第 3、4、8 章。高长伟参与了第 3 章和第 8 章的编写，并承担了本书部分图的绘制和内容的校对工作。在本书的编写过程中，参考了兄弟院校的资料和相关教材，并得到许多同仁的帮助；本书承蒙常州轻工职业技术学院丁辉主审，提出了宝贵的修改意见，在此一并致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请同行和读者批评指正。

编者

2011 年 4 月

目 录

前言

第 1 章 单片机基础知识	1
1.1 单片机概述	1
1.2 单片机中数的表示方法	3
习题与思考题	8
第 2 章 MCS-51 单片机的硬件结构	9
2.1 MCS-51 单片机的内部结构及引脚	9
2.2 MCS-51 单片机的中央处理器 (CPU)	12
2.3 MCS-51 存储器的结构	14
2.4 I/O 接口	20
2.5 复位电路	22
2.6 时钟电路与 CPU 时序	24
习题与思考题	26
第 3 章 MCS-51 单片机的指令系统	27
3.1 指令系统的寻址方式	27
3.2 MCS-51 单片机指令系统介绍	29
习题与思考题	42
第 4 章 MCS-51 单片机汇编语言程序设计	44
4.1 汇编语言程序设计概述	44
4.2 程序设计举例	46
习题与思考题	53
第 5 章 MCS-51 单片机中断系统	54
5.1 中断概念	54
5.2 MCS-51 单片机中断系统及相关的特殊功能寄存器	54
5.3 中断处理过程	58
5.4 中断请求的撤销	60
5.5 中断系统的程序设计	61
5.6 多外部中断源系统设计	62
习题与思考题	63
第 6 章 MCS-51 单片机的定时器/计数器	64
6.1 定时器/计数器的结构原理	64
6.2 与定时器/计数器相关的特殊功能寄存器	65
6.3 定时器/计数器的四种工作方式	66
6.4 定时器/计数器的应用	67
习题与思考题	70

第 7 章 单片机的串行通信技术	72
7.1 串行通信的有关概念.....	72
7.2 MCS-51 单片机的串行接口.....	74
7.3 串行接口的应用.....	79
7.4 RS-232C 接口及其应用.....	83
习题与思考题.....	86
第 8 章 MCS-51 单片机并行扩展技术	87
8.1 系统扩展概述.....	87
8.2 地址锁存器与译码器.....	89
8.3 存储器的扩展.....	90
8.4 I/O 扩展.....	96
习题与思考题.....	106
第 9 章 串行扩展技术	108
9.1 串行扩展方式.....	108
9.2 I ² C 总线扩展.....	109
9.3 SPI 串行接口扩展.....	117
习题与思考题.....	121
第 10 章 常用接口技术	123
10.1 键盘及其接口.....	123
10.2 七段 LED 显示器及其接口.....	128
10.3 D/A 转换器.....	134
10.4 A/D 转换器.....	139
10.5 报警电路接口.....	144
习题与思考题.....	146
第 11 章 单片机仿真软件 Proteus ISIS 及其应用	147
11.1 Proteus ISIS 简介.....	147
11.2 Proteus 与 Keil 的联合仿真.....	155
11.3 仿真实验.....	162
附录 1 ASCII 码表	173
附录 2 MCS-51 指令系统指令表	174
参考文献	179

单片机基础知识

1.1 单片机概述

一个完整的计算机由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五大部分组成。把运算器和控制器集成在一块芯片上，就构成了中央处理器（CPU）；把中央处理器、存储器、输入和输出接口电路用总线结构连接起来，就构成了微型计算机；而将这些部分都集成在一块芯片上，就构成了单片微型计算机（Single Chip Microcomputer），简称单片机。由于单片机的硬件结构与指令系统的功能都是按工业控制要求设计的，常用在工业检测、控制装置中，因而也称为微控制器（Micro-Controller）或嵌入式控制器（Embedded-Controller）。

单片机按照其用途可分为通用型和专用型两大类。

通用型单片机内部功能及资源丰富，可覆盖多种用途，用户可根据需要设计成不同的计算机控制系统，即有一个再设计的过程。通常所说的和本书所介绍的单片机是指通用型单片机。

专用型单片机往往是针对某一特定的产品而设计的，在设计时已对系统结构进行了简化，对软、硬件进行了优化，功能单一，其可靠性高、成本低。

单片机的产生、发展与微处理器的产生、发展大体一致，美国的 Intel 公司是最早推出单片机的大公司之一。以美国的 Intel 公司为例，单片机的发展大致经历了五个阶段。

第一阶段（1971~1974年）：单片机探索阶段。美国 Intel 公司在 1971 年 11 月推出了 4 位微处理器 Intel4004，内含随机存储器 RAM 和只读存储器 ROM，构成了第一台 MCS-4 微型计算机。1972 年 4 月 Intel 公司又推出了功能较强的 8 位微处理器 Intel8008，从此拉开了研制单片机的序幕。

第二阶段（1974~1978年）：低性能单片机阶段。以美国 Intel 公司制造的 MCS-48 单片机为代表，这种单片机片内集成有 8 位 CPU、并行 I/O 口、8 位定时器/计数器、RAM 和 ROM 等，无串行口，中断处理比较简单，片内 RAM 和 ROM 容量较小且寻址范围不大于 4KB。

第三阶段（1978~1983年）：高性能单片机阶段。这个阶段推出的单片机有串行 I/O 口，多级中断系统，16 位定时器/计数器，片内 ROM、RAM 容量加大，且寻址范围可达 64KB，有的片内还带有 A/D 转换器。典型代表产品是美国 Intel 公司的 MCS-51 系列、Motorola 公司的 MC6801 系列等。

第四阶段（1983~1990年）：8 位单片机巩固发展及 16、32 位单片机的推出阶段。16 位单片机的典型产品，如美国 Intel 公司生产的 MCS-96 系列单片机，片内 RAM 为 232B，ROM 为 8KB，中断处理为 8 级，而且片内带有多通道 10 位 A/D 转换器和高速输入/输出部件（HSI/HSO），实时处理能力很强。

第五阶段（1990 年至今）：控制器的全面发展阶段。随着单片机在各个领域全面、深入的发展和应，出现了高速、大寻址范围、强运算能力的 8、16、32 位通用型单片机，以及小型廉价的专用型单片机。

20 世纪 80 年代以来, 单片机的发展非常迅速。就通用单片机而言, 世界上一些著名的计算机厂家已投放市场的产品就有 50 多个系列, 400 多个品种。单片机的产品已占整个微机(包括一般的微处理器)产品的 80% 以上。纵观近几十年的发展, 单片机正朝着微型化、多功能、高速度、低功耗、低价格和加强 I/O 功能及结构兼容的方向发展。预计今后的发展趋势主要集中在以下几个方面。

(1) 微型化。芯片集成度的提高为微型化提供了可能。早期单片机大量使用双列直插式封装, 现在的封装水平已大大提高。随着贴片工艺的出现, 单片机也大量采用了各种符合贴片工艺的封装, 大大减小了芯片的体积, 为嵌入式系统提供了可能。

(2) 低功耗。现阶段单片机的功耗越来越小, 特别是很多单片机都设置了多种工作方式, 包括等待、暂停、睡眠、空闲、节电等工作方式。扩大电源电压范围以及在较低电压下仍然能工作是当今单片机发展的目标之一。目前, 一般单片机都可在 3.3~5.5V 的条件下工作, 一些厂家甚至生产出可以在 2.2~6V 条件下工作的单片机。

(3) 集成资源更多。单片机内部已集成了越来越多的部件, 例如, A/D 转换器、D/A 转换器、DMA 控制器、中断控制器、串行通信接口、Watchdog 电路、LCD 控制器、频率合成器等。

(4) 性能更加优异。进一步改进 CPU 的性能, 加快了指令运算的速度和提高了系统控制的可靠性; 采用精简指令集结构和流水线技术, 大幅度提高了运行速度。

(5) 串行扩展技术。随着单片机性能的提高, 内部包含的功能部件越来越多, RAM 和 ROM 的容量越来越大, 由于 Flash ROM 的推广, 很多情况下不再需要通过外部并行总线来扩展存储器或 I/O 接口芯片。另外采用串行扩展技术可大大减少引脚数量, 简化系统结构, 使得单片机应用系统中的串行扩展技术有了较大发展。

单片机的应用很广泛, 使用不同的接口电路以及编制不同的应用程序就可完成不同的功能。小到家用电器、仪器仪表, 大到机器设备和整套生产线都可用单片机来实现自动化控制。

(1) 智能仪表中的应用。这是单片机应用最多最活跃的领域之一。在各类仪器仪表中引入单片机, 使仪器仪表智能化, 提高测试的自动化程度和精度, 简化仪器仪表的硬件结构, 提高其性能价格比。

(2) 机电一体化产品中的应用。机电一体化产品是指集机械技术、微电子技术、计算机技术于一体, 使其产品具有智能化特征的电子产品, 它是机械工业发展的方向。

(3) 实时控制系统中的应用。单片机广泛应用于各种实时过程控制系统中。例如, 工业过程控制、过程监测、航空航天、尖端武器、机器人系统等各种实时控制系统。用单片机进行实时系统数据处理和控制, 保证系统工作在最佳状态, 有利于提高系统的工作效率和产品的质量。

(4) 人们日常生活中的应用。目前国内外各种家电已经普遍用单片机代替传统的控制电路。例如, 洗衣机、电冰箱、空调机、微波炉、电饭煲、收音机、音响、电风扇及许多高级电子玩具等都采用单片机技术。

(5) 智能化通信产品中的应用。智能化通信产品最突出的是手机, 当然手机内的芯片属专用型单片机。

(6) 汽车电子产品中的应用。现代汽车的集中显示系统、动力监测控制系统、自动驾驶系统、通信系统和运行监视器(黑匣子)等都离不开单片机。

(7) 航空航天系统和国防军事中的应用。尖端武器等领域,单片机的应用更是不言而喻。

单片机应用的意义不仅在于它的广阔范围及所带来的经济效益,更重要的意义在于:单片机的应用从根本上改变了控制系统传统的设计思想和设计方法。以前采用硬件电路实现的大部分控制功能,正在利用单片机通过软件方法来实现。以前自动控制中的PID控制,现在可以用单片机实现具有智能化的数字计算控制、模糊控制和自适应控制。这种以软件取代硬件并能提高系统性能的控制技术称为微控制技术。随着单片机应用的进一步推广,微控制技术将不断发展完善。

1.2 单片机中数的表示方法

1.2.1 位、字节、字的概念

单片机作为微型计算机的一个分支,其基本功能就是对数据进行大量的算术运算和逻辑操作,但它只能识别二进制数。对于本书讲解的8位单片机,数的存在方式主要有位、字节和字。所谓“位”就是1位二进制数,即“1”或“0”,用来表示信息的两种不同状态。例如,开关的“通”和“断”、电平的“高”和“低”等。8位二进制数组成一字节,既可以表示实际的数,也可以表示多个状态的组合信息,8位单片机处理的数据绝大部分都是8位的二进制数,也就是以字节为单位,单片机执行的程序也以字节形式存放在存储器中。两个字节组成一个字,即16位的二进制数。

1.2.2 数制与数制转换

计算机中都是采用二进制形式进行算术运算和逻辑操作,这是因为数在计算机中是以电子元件的两种稳定物理状态来表示的。但二进制数数位较多,书写和识读不便,因而又常用到十六进制数。了解十进制数、二进制数、十六进制数之间的关系和运算方法,是学习单片机的重要基础。

1. 十进制数、二进制数、十六进制数

(1) 十进制数。十进制数有两个主要特点:它有十个不同的数字符号,即0, 1, 2, ..., 9;低位向高位的进位是逢十进一。因此,同一个数字在不同的位置所代表的数值是不同的。如6566.6,其中四个6分别代表不同的数值6000, 60, 6和0.6,这个数展开成幂级数形式,可写为

$$6566.6=6\times 10^3+5\times 10^2+6\times 10^1+6\times 10^0+6\times 10^{-1}$$

通常称上式中的10为十进制基数,而称 10^2 , 10^1 , 10^0 , 10^{-1} 等为各数位的位值(或权)。十进制数一般在数的后面加符号D表示,D可以省略。

(2) 二进制数。二进制数与十进制数类似,它也有两个主要特点:它有且只有两个不同的数字符号,即0和1;低位向高位的进位是逢二进一。因此,同一个数字在不同的位置所代表的数值也是不同的。如1101.1B展开成幂级数形式,可写为

$$1101.1B=1\times 2^3+1\times 2^2+0\times 2^1+1\times 2^0+1\times 2^{-1}=13.5D$$

即二进制就是基数为2的进位计数法,其各数位上的位值(权)分别为 2^n , 2^{n-1} , ..., 2^1 , 2^0 , 2^{-1} , ..., 2^{-m} 。二进制数一般在数的后面加符号B表示,B不可以省略。

(3) 十六进制数。基数为16,由0, 1, 2, ..., 9, A, B, C, D, E, F十六个数码构成,其中A, B, C, D, E, F分别代表十进制数的10, 11, 12, 13, 14, 15。低位向高位

的进位是逢十六进一。十六进制数一般在数的后面加符号 H 表示, H 不可以省略。十六进制数也可以展开成幂级数形式, 例如

$$123.45\text{H}=1\times 16^2+2\times 16^1+3\times 16^0+4\times 16^{-1}+5\times 16^{-2}=291.26953125\text{D}$$

其中 16^2 , 16^1 , 16^0 , 16^{-1} , 16^{-2} 称为十六进制各数位上的位值(权)。十六进制数与二进制数相比, 大大缩短了数的位数, 一个 4 位二进制数只需 1 位十六进制数表示。表 1.1 为十进制数、二进制数、十六进制数的对应关系。

表 1.1 十进制数、二进制数、十六进制数的对应关系

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

2. 不同进位计数制之间的转换

不同进位计数制之间的转换是根据两个有理数如相等, 则两数的整数部分和分数部分一定分别相等的原则进行的。

(1) 二进制数与十六进制数之间的转换。因为 4 位二进制数相当于 1 位十六进制数。因此, 只要把 1 位十六进制数转换成 4 位二进制数, 或者反之, 把 4 位二进制数转换成 1 位十六进制数, 即可实现十六进制到二进制, 或者二进制到十六进制的转换。

【例 1.1】 将十六进制数 32.B8H 转换成二进制数。

$$\begin{array}{ccccccccc} & 3 & & 2 & & . & & \text{B} & & 8 \\ & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ & 0011 & & 0010 & & . & & 1011 & & 1000 \end{array}$$

即 $32.\text{B8H}=110010.1011\text{B}$ 。

【例 1.2】 将二进制数 1100000.10101B 转换成十六进制数。

$$\begin{array}{ccccccccc} & 0110 & & 0000 & & . & & 1010 & & 1000 \\ & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ & 6 & & 0 & & . & & \text{A} & & 8 \end{array}$$

即 $1100000.10101\text{B}=60.\text{A8H}$ 。

(2) 二进制数、十六进制数转换成十进制数。根据它们各自的定义, 按权展开相加即可将二进制数、十六进制数转换成十进制数。

【例 1.3】 十六进制数到十进制数的转换。

$$\begin{aligned} 3\text{D}.\text{CH} &= 3\times 16^1 + \text{D}\times 16^0 + \text{C}\times 16^{-1} \\ &= 3\times 16^1 + 13\times 16^0 + 12\times 16^{-1} \\ &= 61.75 \end{aligned}$$

(3) 十进制数转换成二进制数、十六进制数。整数部分转换分别用基数 2、16 不断去除待转换的十进制整数，直到商为 0 为止，每次除所得的余数相应为二进制数、十六进制数码，最初得到的为最低有效数字，最后得到的为最高有效数字。

【例 1.4】 十进制数 112 转换成二进制数。

2	112	余数
2	56	0
2	28	0
2	14	0
2	7	0
2	3	1
2	1	1
	0	1

即 $112=1110000B$ 。

【例 1.5】 十进制数 112 转换成十六进制数。

16	112	余数
16	7	0
	0	7

即 $112=70H$ 。

小数部分分别用基数 2、16 不断地去乘待转换的十进制小数，直到积的小数部分为 0 (或直到要求的位数为止)，每次乘所得的整数即相应为二进制数、十六进制数，最初得到的为最高有效数字，最后得到的为最低有效数字。

【例 1.6】 十进制数 0.84375 转换成二进制数。

		0.84375
整数	×	2
1		1.6875
		0.6875
	×	2
1		1.375
		0.375
	×	2
0		0.75
		0.75
	×	2
1		1.5
		0.5
	×	2
1		1.0

即 $0.84375=0.11011B$ 。

【例 1.7】 十进制数 0.84375 转换成十六进制数。

$$\begin{array}{r}
 \text{整数} \\
 \times \\
 \hline
 0.84375 \\
 \times \\
 16 \\
 \hline
 D \quad 13.5 \\
 \quad 0.5 \\
 \times \\
 \hline
 8 \quad 16 \\
 \quad 8
 \end{array}$$

即 $0.84375=0.D8H$ 。

因此，对于一个同时具有整数和小数部分的十进制数，在转换为二进制数、十六进制数时，应将它的整数部分和小数部分分别转换，然后用小数点将这两部分连接起来即可。如上例十进制整数与小数相连之和为 112.84375 转换成十六进制数为 $70.D8H$ ，即 $112.84375=70.D8H$ 。

1.2.3 数的表示方法

1. 机器数与真值

在进行数的运算中，不可避免地会遇到正数和负数。那么，在计算机中，通常是将一个二进制数的最高位作为符号位，来表示这个数的正负，规定符号位用 0 表示正，用 1 表示负。这样，一个二进制数，连同符号位在内作为一个数，称为机器数；而不包括符号位的数值，称为该机器数的真值。例如

$$\begin{array}{l}
 \text{机器数 } 01011111B = +95 \\
 \quad \quad 11011111B = -95 \\
 \text{它们的真值均为 } 1011111B = 95
 \end{array}$$

2. 带符号数与无符号数

上面机器数的表示方法，最高位用 0 表示正数，1 表示负数的方法，称为带符号数的表示方法。如果最高位也用来表示数值，即机器数的全部有效值均用来表示数的大小，这种表示方法称为无符号数的表示方法。如 $11011111B$ 是带符号数的 -95 ，却是无符号数的 223 。

3. 数的码制

在计算机中机器数有原码、反码、补码等多种形式。

(1) 原码。当正数的符号位用 0 表示，负数的符号位用 1 表示时，这种表示法称为原码表示法。例如

$$\begin{array}{l}
 (+39)_{\text{原}} = 00100111B \\
 (-39)_{\text{原}} = 10100111B
 \end{array}$$

注意：

- 1) 8 位二进制原码能表示数的范围为 $-127 \sim +127$ ；
- 2) 在原码中， $+0$ 与 -0 的表示方法不同。

(2) 反码。在反码表示法中，正数的反码与正数的原码相同，负数的反码由它的正数的原码按位取反形成。例如

$$\begin{array}{l}
 (+119)_{\text{反}} = (+119)_{\text{原}} = 01110111B \\
 (-119)_{\text{反}} = \overline{(+119)_{\text{原}}} = \overline{01110111} = 10001000B
 \end{array}$$

注意：

- 1) 8 位二进制反码能表示数的范围为 $-127 \sim +127$ ；

2) 在反码中, +0 与 -0 的表示方法不同;

3) 当符号位为 0 时, 其余位为数的真值; 当符号位为 1 时, 其余位按位取反后才是数的真值。

(3) 补码。在补码表示法中, 正数的补码与正数的原码相同, 负数的补码用它的反码加 1 形成。例如

$$\begin{aligned} (+62)_{\text{补}} &= (+62)_{\text{原}} = 00111110\text{B} \\ (-62)_{\text{补}} &= (-62)_{\text{反}} + 1 = \overline{(+62)_{\text{原}}} + 1 \\ &= 11000001\text{B} + 1 = 11000010\text{B} \end{aligned}$$

注意:

1) 8 位二进制补码能表示数的范围为 -128 ~ +127;

2) 在补码中, +0 与 -0 的表示方法相同;

3) 当符号位为 0 时, 其余位为数的真值; 当符号位为 1 时, 其余位按位取反再加 1 后才是数的真值;

4) 若已知一个数的补码, 将其连同符号位一起逐位取反, 然后加 1, 就可以得到该数的负数补码。

1.2.4 常用编码

1. BCD 码

计算机内部使用的是二进制数, 但在日常生活和工作中我们习惯的却是十进制数。怎样来解决这一矛盾呢? 一种最简单的方法就是采用“二—十”进制, 即 BCD 码, 也即用二进制代码表示十进制数。顾名思义, 它既是逢十进一, 又是一组二进制代码。用 4 位二进制代码表示 1 位十进制数, 一个字节可以表示两个十进制数, 称为压缩的 BCD 码, 如 10001111B 表示 87; 也可以用一个字节表示 1 位十进制数, 这种 BCD 码称为非压缩的 BCD 码, 如 00000111B 表示十进制的 7。采用 BCD 码输出数据十分方便, 被计算机广泛采用, 如 MCS-51 系列单片机有一条指令 DA 就是用来调整十进制加法运算的。

2. ASCII 码

在微型计算机中, 机器只处理二进制数, 因此, 字母和各种符号也必须按照某种特定的规则用二进制代码来表示。目前最普遍采用的是 ASCII 码 (美国标准信息交换码)。它用 7 位二进制代码来表示, 故可以表示 128 个不同的字符, 其中包括:

- (1) 26 个大写英文字母;
- (2) 26 个小写英文字母;
- (3) 10 个十进制的数字;
- (4) 7 个标点符号;
- (5) 9 个运算符号;
- (6) 50 个其他符号 (例如打印格式符号、控制符号等)。

如果要确定一个数字、字母或符号的 ASCII 码, 可以先在 ASCII 码表中找到这个字符, 然后将字符所在的列与行所对应的 3 位、4 位二进制数连起来 (列对应的 3 位在前, 行对应的 4 位在后), 所得到的 7 位二进制代码, 即为该字符对应的 ASCII 码。例如, 大写英文字母 A 对应的 ASCII 码为 1000001; 小写英文字母 z 对应的 ASCII 码为 1111010。

在计算机中传送 ASCII 码时，通常采用 8 位二进制数码，因此，最高有效位用作奇偶校验位，以便于检测代码在传送过程中是否发生差错。

习题与思考题

- 1.1 什么是单片机？
- 1.2 单片机由哪些基本硬件构成？
- 1.3 为什么 51 系列单片机能成为 8 位单片机的主流？
- 1.4 举例说明单片机的应用领域。
- 1.5 如何理解位、字节、字的含义？
- 1.6 二进制数、十进制数、十六进制数各用什么字母后缀作为标识符？无标识符表示什么进制数？
- 1.7 写出 0~15 的二进制数和十六进制数。
- 1.8 将下面十进制数转换成二进制数。
(1) 56; (2) 74; (3) 76.87; (4) 89; (5) 0.375。
- 1.9 将下面二进制数转换成十进制数和十六进制数。
(1) 10110011; (2) 10101010; (3) 11101001; (4) 10000101; (5) 11011.11。

MCS-51 单片机的硬件结构

MCS-51 系列单片机是美国 Intel 公司生产的高档 8 位单片机系列，是在 MCS-48 系列的基础上发展起来的，也是目前我国应用最为广泛的一种单片机。本章主要介绍 MCS-51 单片机的内部结构、引脚功能、工作方式和时序。熟悉并掌握单片机的硬件结构对于应用设计者是十分重要的，它是单片机应用系统设计的基础，通过本章的学习，可以使读者对 MCS-51 单片机的硬件结构有较为全面的了解。

2.1 MCS-51 单片机的内部结构及引脚

2.1.1 MCS-51 单片机的内部结构

在 MCS-51 系列中，基本型典型产品主要有 8031、8051、8751 三种单片机机型，它们的指令系统及芯片引脚完全兼容，仅片内程序存储器（ROM）的容量大小有所不同。除此之外，它们的内部结构及引脚完全相同。这里以 8051 为例介绍其基本组成及内部结构。MCS-51 单片机的基本组成如图 2.1 所示。图 2.2 所示为 MCS-51 系列的 8051 单片机内部结构框图。

MCS-51 单片机如果按照功能划分，主要由以下几个部件组成，即微处理器（CPU）、数据存储器（RAM）、程序存储器（ROM）、并行 I/O 口（P0 口、P1 口、P2 口、P3 口）、串行口、定时器/计数器、中断系统及特殊功能寄存器（SFR）。它们都是通过片内单一总线连接而成，其基本结构依然是采用 CPU 加上外围芯片的传统结构模式。但对各种功能部件的控制是采用特殊功能寄存器（SFR）的集中控制方式。下面对各组成部分作进一步说明。

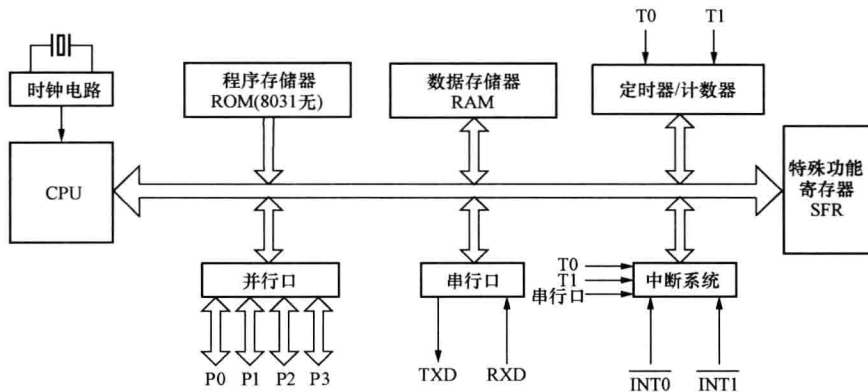


图 2.1 MCS-51 单片机的基本组成

1. 中央处理器（CPU）

中央处理器包括运算器和控制器两大部分。运算器用于算术和逻辑运算，包括图 2.2 中的 ALU（算术逻辑单元）、ACC（累加器）、PSW（程序状态寄存器）、寄存器 B 及暂存器 1 和暂存器 2 等。控制器是单片机的指挥中心，用于协调控制单片机各部分正常工作，包括图

2.2 中的 PC (程序计数器)、PC 增 1、指令寄存器、指令译码器及定时控制等。

2. 数据存储器

数据存储器片内容量为 128B, 片外最多可扩 64KB, 用来存储单片机运行期间的工作变量、运算的中间结果、数据暂存和缓冲、标志位等。内部数据存储器在图 2.2 中包括 128B 的 RAM 和 RAM 地址寄存器等。

3. 程序存储器

程序存储器用于存放程序和原始数据。8031 单片机片内无程序存储器, 8051 单片机的片内有 4KB ROM, 8751 单片机片内有 4KB EPROM, MCS-51 单片机片外最多可外扩 64KB 的程序存储器。

4. 特殊功能寄存器 (SFR)

特殊功能寄存器共有 21 个, 用于对片内各功能模块进行管理、控制、监视, 实际上是一些控制寄存器和状态寄存器。

5. 并行 I/O 口

MCS-51 单片机有 4 个并行 8 位 I/O 口, 分别为 P0、P1、P2 和 P3, 用于实现数据的输入、输出。在系统并行扩展时, P2 和 P0 口作为地址总线, 最大寻址空间达 64KB, P0 作为数据总线。

6. 定时器/计数器

定时器/计数器用于实现单片机的定时和计数功能。MCS-51 单片机片内有两个 16 位的定时器/计数器, 具有四种工作方式。

7. 串行口

MCS-51 单片机有一个全双工的串行口, 具有四种工作方式, 用于实现数据的串行通信。

8. 中断系统

中断系统具有 5 个中断源, 可分为两个优先级别处理。

9. 时钟电路

图 2.2 中的 OSC 为 MCS-51 单片机的内部时钟电路, 外接石英晶体和微调电容, 可产生时钟脉冲序列。

MCS-51 单片机的硬件结构具有功能部件种类全, 功能强等优点。特别值得一提的是 MCS-51CPU 中的位处理器, 图中没有具体画出, 它实际上是一个完整的 1 位微型 (1 位机) 计算机, 这个 (1 位机) 有自己的 CPU、位寄存器、I/O 口和指令集。1 位机在开关决策、逻辑电路仿真、实时测控方面非常有效; 而 (8 位的微型计算机) 8 位机在数据采集、运算处理方面有明显的长处。MCS-51 单片机将 8 位机和 1 位机的硬件资源复合在一起, 二者相辅相成, 它是单片机技术上的一个突破。

2.1.2 MCS-51 单片机的引脚

MCS-51 系列单片机是相互兼容的。该系列通常有两种封装形式: 方形封装与双列直插式封装。方形封装大多为 CHMOS 工艺制造, 而双列直插式封装多采用 HMOS 工艺制造。双列直插式封装的 MCS-51 系列单片机引脚分配如图 2.3 所示, 40 只引脚按其功能分为三部分。电源及时钟引脚: V_{CC} 、 V_{SS} 、XTAL1、XTAL2; 控制引脚: \overline{PSEN} 、ALE、 \overline{EA} 、RESET (即 RST); I/O 口引脚: P0、P1、P2、P3 为 4 个 8 位 I/O 口的外部引脚。

下面结合图 2.3 介绍各引脚功能。