

省级精品课程配套教材
示范性建设院校电子信息类优质核心及精品课程规划教材

单片机应用 与实践教程

姜 源 陈卫兵 严 飞
束 惠 宋玉锋 编著

省级精品课程配套教材

示范性建设院校电子信息类优质核心及精品课程规划教材

单片机应用与实践教程

姜 源 陈卫兵 严 飞
束 慧 宋玉锋

编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍了 AT89C51 的基本结构、工作原理、指令系统、中断系统、定时器/计数器、串行口等基本知识。书中从实际单片机控制系统出发,按照单片机的不同控制功能,将整个系统划分为“键盘/显示系统”、“时钟系统”、“通信系统”、“测控系统”和“存储系统”,从而形成全书的五大项目。每个项目中细分为若干由浅入深的任务,以任务为驱动,按照任务内容、相关知识、任务实施、任务扩展的思路展开,便于学生“做中学、学中做”,切实将职业能力和职业素质的训练融入实际的教学实施过程。此外,每个项目后面都配有习题与思考题,结合任务扩展实训,便于读者巩固所学知识,提高分析问题和解决问题的能力。

本书可作为高职高专院校单片机相关课程的教材,也可作为自学者和相关领域技术人员的参考用书。

★本书配有电子教案,需要者可登录出版社网站,免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

单片机应用与实践教程/姜源等编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2010.8

示范性建设院校电子信息类优质核心及精品课程规划教材

ISBN 978-7-5606-2456-3

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 130488 号

策 划 杨 璠

责任编辑 雷鸿俊 杨 璠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 14.75

字 数 344 千字

印 数 1~3000 册

定 价 21.00 元

ISBN 978-7-5606-2456-3/TP·1225

XDUP 2748001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

单片机已广泛应用于家电、汽车、仪器仪表、工业控制、办公自动化以及各种通信产品中,成为现代电子系统中最重要的人工化工具。单片机应用技术也成为高等院校、高等职业院校电子信息工程、自动控制、计算机应用、机械等专业学生的重要专业课程之一。对学生而言,掌握单片机应用技术无论是在增强职业技能还是增强就业竞争力方面,都具有非常重要的意义。

在本书的编写过程中,我们本着培养学生实际职业技能、缩小课堂学习和实际工作需求距离,以及提高学生对工作岗位适应能力的原则,尝试突破传统教材的框架,由企业专家提供实际产品控制模块,形成教学项目,由专业教师团队结合理论知识体系,将教学项目细分为教学任务,进而组织全书的理论知识体系。在内容的选择和编排中,注重基础性、系统性和可扩展性,力求“通用、适用、实用、够用、易用”,充分体现高职高专教育的特色。本书与其他同类教材相比,具有以下特点:

(1) 基于项目的体系结构。编写团队打破传统的教材模式,由企业专家从实际控制系统出发,按照单片机的不同控制功能,将整个系统划分为“键盘/显示系统”、“时钟系统”、“通信系统”、“测控系统”和“存储系统”,从而形成全书的五大项目。

➤ 键盘/显示系统:通过学习训练,掌握单片机控制系统中键盘、显示系统的设计以及单片机的所有指令、内部资源、编程调试等。

➤ 时钟系统:通过学习训练,掌握单片机的定时器、中断以及与时钟芯片的连接,从而掌握单片机控制系统中时钟系统的设计。

➤ 通信系统:通过学习训练,掌握单片机控制系统的通信功能。

➤ 测控系统:通过学习训练,掌握单片机与 A/D、D/A 等的接口以及单片机在测量控制系统中的具体应用。

➤ 存储系统:通过学习训练,掌握单片机的外部存储器的扩展方法,包括数据的保护等,为需要存储大量数据的系统打下基础。

在每个项目中,按照由浅入深的原则又细分出不同的教学任务,各任务训练目的明确、针对性强、教学重点突出,各任务之间又具有一定的连贯性,符合认知规律。

(2) 基于任务的学习模式。在每个任务的内容编写中,以“任务”为驱动,按照“任务要求”→“相关知识”→“任务实施”→“任务扩展”的思路编排。

(3) 每个项目都精选典型习题,配合任务扩展中的具体要求,将理论课堂和实践课堂延伸至课后,方便学生的自我训练。

本书由南通职业大学姜源、陈卫兵、严飞、束慧和江苏现代电力科技有限公司宋玉锋共同编写。全书由姜源统稿,陈卫兵审校。

由于编者水平有限,书中难免存在不足与疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

编 者
2010 年 4 月

目 录

项目 1 键盘/显示系统的设计	1
任务一 单片机最小系统	1
任务要求	1
相关知识	1
知识 1 单片机概述	1
知识 2 计算机中的数	3
知识 3 AT89C51 单片机的结构	7
知识 4 AT89C51 单片机的引脚及其功能	12
知识 5 AT89C51 单片机最小系统	15
任务实施	18
任务扩展	19
知识 6 AT89C51 单片机 I/O 口内部结构	19
知识 7 AT89C51 单片机的工作方式	22
知识 8 STC89C52 单片机串口下载电路及流程	26
任务二 LED 显示器的设计	28
任务要求	28
相关知识	28
知识 1 AT89C51 单片机的存储器	28
知识 2 汇编语言与指令系统概述	34
知识 3 寻址方式	36
知识 4 片内 RAM 传送指令	39
知识 5 移位指令	44
知识 6 加 1 与减 1 指令	45
知识 7 计数循环指令	47
知识 8 无条件跳转指令	48
知识 9 单片机中的时钟与时序	49
知识 10 顺序程序设计	51
知识 11 循环程序设计	51
知识 12 ORG 与 END 伪指令	53
任务实施	53
任务扩展	56
知识 13 程序设计步骤	56
知识 14 源程序的汇编	57
知识 15 其他常用伪指令	57

任务三 按钮开关的使用.....	59
任务要求.....	59
相关知识.....	59
知识 1 布尔操作指令.....	59
知识 2 子程序设计及相关指令.....	63
知识 3 堆栈指令.....	65
知识 4 按键的特性及处理.....	66
任务实施.....	67
任务扩展.....	68
知识 5 布尔操作指令的应用.....	68
知识 6 独立式按键接口.....	69
知识 7 按键的识别.....	71
知识 8 键编码及键值.....	71
任务四 数码管显示器的设计.....	72
任务要求.....	72
相关知识.....	72
知识 1 单片机程序设计中的常见码字.....	72
知识 2 查表指令及其应用.....	76
知识 3 数据交换指令.....	77
知识 4 逻辑运算指令.....	78
知识 5 算术运算指令.....	84
知识 6 码字转换程序设计.....	87
知识 7 分支程序设计.....	89
任务实施.....	93
任务扩展.....	94
知识 8 常见数据处理程序设计.....	94
知识 9 常见算术运算程序设计.....	96
知识 10 子程序设计及技巧.....	98
任务五 点阵显示器的设计.....	99
任务要求.....	99
相关知识.....	100
知识 1 点阵显示器的结构.....	100
知识 2 点阵显示原理及码字设计.....	100
任务实施.....	101
任务六 专用键盘显示接口.....	106
任务要求.....	106
相关知识.....	106
知识 1 HD7279A 的引脚说明及硬件连接.....	106
知识 2 HD7279A 的控制指令.....	107

知识 3 HD7279A 的时序.....	111
任务实施.....	112
习题与思考题.....	115
项目 2 时钟系统的设计	119
任务一 电子时钟的设计.....	119
任务要求.....	119
相关知识.....	119
知识 1 定时器/计数器的结构及工作原理.....	119
知识 2 定时器/计数器的控制寄存器.....	120
知识 3 定时器/计数器的工作方式.....	122
知识 4 中断的相关概念.....	124
知识 5 中断源及中断向量地址.....	125
知识 6 中断标志与控制.....	126
知识 7 中断系统结构.....	129
知识 8 中断请求的响应、撤除及返回.....	129
知识 9 定时器/计数器的应用.....	132
任务实施.....	133
任务扩展.....	141
知识 10 定时器/计数器其他工作方式的应用.....	141
知识 11 外部中断的应用.....	144
知识 12 中断源的扩展.....	145
任务二 专用时钟芯片的使用.....	146
任务要求.....	146
相关知识.....	146
知识 1 DS1302 概述.....	146
知识 2 DS1302 的控制字.....	147
知识 3 DS1302 的寄存器.....	148
知识 4 DS1302 的应用.....	148
任务实施.....	149
习题与思考题.....	154
项目 3 通信系统的设计	156
任务一 双机通信.....	156
任务要求.....	156
相关知识.....	156
知识 1 串行通信基础知识.....	156
知识 2 AT89C51 的串行接口.....	160
知识 3 串行通信的工作方式.....	162

任务实施.....	166
任务扩展.....	171
知识 4 串行接口工作方式 0 的应用	171
知识 5 工作方式 2 和方式 3 的应用	174
知识 6 多机通信.....	176
任务二 单片机与 PC 机通信.....	177
任务要求.....	177
相关知识.....	177
知识 1 RS-232C 总线标准.....	177
知识 2 RS-232C 接口电路.....	179
任务实施.....	180
任务扩展.....	183
知识 3 PC 机与多个单片机间的串行通信.....	183
习题与思考题.....	183
项目 4 测控系统的设计	185
任务一 数字电压表.....	185
任务要求.....	185
相关知识.....	185
知识 1 A/D 转换器.....	185
知识 2 ADC0809 与单片机的接口	187
任务实施.....	188
任务扩展.....	190
知识 3 逐次比较式 A/D 转换原理.....	190
任务二 锯齿波发生器.....	191
任务要求.....	191
相关知识.....	191
知识 1 D/A 转换器.....	191
知识 2 DAC0832 的双缓冲结构.....	193
知识 3 DAC0832 与单片机的接口	193
任务实施.....	194
习题与思考题.....	195
项目 5 存储系统的设计	196
任务一 并行存储器的扩展.....	196
任务要求.....	196
相关知识.....	196
知识 1 三总线接口及其扩展性能	196
知识 2 EPROM 程序存储器概述.....	197

知识 3 单片 EPROM 程序存储器的扩充.....	198
知识 4 并行 RAM 的扩展	199
知识 5 外部 RAM 读写指令	200
知识 6 外部 RAM 数据的常见处理	202
任务实施.....	204
任务扩展.....	205
知识 7 多片 EPROM 程序存储器的扩展.....	205
知识 8 并行 E ² PROM 的扩展方法	207
知识 9 利用三总线接口扩展 I/O 口	208
任务二 串行 E ² PROM 的扩展	209
任务要求.....	209
相关知识.....	209
知识 1 E ² PROM AT24C01 的一般特性	210
知识 2 E ² PROM AT24C01 的操作	211
知识 3 AT24C01 与单片机的接口	212
任务实施.....	214
习题与思考题.....	220
附录 AT89C51 单片机指令系统	222
参考文献.....	226

项目 1 键盘/显示系统的设计

输入和输出系统是控制系统必须具备的最基本的功能模块，本项目将在练习单片机控制系统中键盘/显示模块设计的同时，逐步学习和了解单片机的应用。

任务一 单片机最小系统



任务要求

【任务内容】

组装一个 AT89C51 单片机的最小系统，外接 8 个发光二极管，要求最小系统一上电，8 个发光二极管即分成两组，一组点亮，一组熄灭。

【知识要求】

了解 AT89C51 单片机的结构与引脚；掌握单片机最小系统电路的设计。



相关知识

知识 1 单片机概述

电子计算机发展到今天，通常可分为巨型机、大型机、中型机、小型机和微型机五类。它们在系统结构和基本工作原理方面并无本质的区别，只是在体积、性能和应用领域方面有所不同。其中微型计算机以其体积小、重量轻、功耗低、功能强、价格低、可靠性高等优点而得到了广泛应用。本书重点介绍的单片机就是微型计算机的一种。为了更好地学习和掌握单片机，下面介绍几个相关基本概念、单片机的发展和 ATMEL89 系列单片机。

1. 基本概念

(1) 微处理器 MP(Micro Processor)。微处理器就是传统计算机的 CPU，是集成在一块芯片上的具有运算和逻辑控制功能的中央处理器，简称 MP，它是构成微型计算机系统的核心部件。

(2) 微型计算机 MC(Micro Computer)。以微处理器为核心，再配上存储器、I/O(Input/Output)接口和中断系统等构成的整体，称为微型计算机。它们可集中装在同一块或数块印刷电路板上，一般不包括外设和软件。

(3) 微型计算机系统 MCS(Micro Computer System)。这是指以微型计算机为核心, 配上外围设备、电源和软件等, 构成能独立工作的完整计算机系统。

(4) 单片机(Single Chip Microcomputer)。单片机是将微处理器、存储器、I/O 接口和中断系统集成在同一块芯片上, 具有完整功能的微型计算机。

2. 单片机的发展

自从 1974 年美国仙童(Fairchild)公司研制出世界上第一台微型计算机 F8 开始, 单片机就以其集成度高、功能强、可靠性高、功耗低、体积小、价格廉、使用灵活方便等一系列优点得到迅速的发展, 其应用也十分广泛, 特别是在过程控制、智能化仪器、变频电源、集散控制系统等方面得到了充分的应用。单片机的发展很快, 每隔两三年就要更新换代一次, 其发展过程大致可分为以下几个阶段。

(1) 第一代单片机(1974~1976 年): 这是单片机发展的起步阶段。这个时期生产的单片机的特点是制造工艺落后, 集成度较低, 而且采用双片形式。典型的代表产品有仙童公司的 F8 系列机和 Intel 公司的 3870 系列机。

(2) 第二代单片机(1976~1978 年): 这一阶段生产的单片机已是单块芯片, 但其性能低、品种少、寻址范围有限、应用范围不广。典型的代表产品是 Intel 公司的 MCS-48 系列机。

(3) 第三代单片机(1979~1982 年): 这是 8 位单片机的成熟阶段。这一代单片机和前两代相比, 不仅存储容量大、寻址范围广, 而且中断源、并行 I/O 口、定时器/计数器的个数都有了不同程度的增加, 同时它还新集成了全双工串行通信接口电路。在指令系统方面普遍增设了乘除指令和比较指令。这一时期生产的单片机品种齐全, 可以满足各方面的需要。代表产品有 Intel 公司的 MCS-51 系列机、Motorola 公司的 MC6801 系列机等。

(4) 第四代单片机(1983 年以后): 这一阶段 8 位单片机向更高性能发展, 同时出现了工艺先进、集成度高、内部功能更强和运算速度更快的 16 位单片机, 它允许用户采用面向工业控制的专用语言, 如 C 语言等。代表产品有 Intel 公司的 MCS-96 系列机和 NC 公司的 HPC16040 系列机等。

最近几年的单片机发展处于 8 位机和 16 位机并行发展的状态, 它们都在向高性能、高运算速度、增加自身程序存储能力的方向发展。虽然出现了 32 位单片机, 但在应用方面仍然是 8 位机和 16 位机占主导地位。

3. ATMEL89 系列单片机简介

ATMEL89 系列(以下简称 AT89)单片机是美国 ATMEL 公司生产的 8 位高性能单片机, 其主要技术优势是内部含有可编程 Flash 存储器, 用户可以很方便地进行程序的擦除和写入操作。AT89 系列单片机在嵌入式控制领域中被广泛地应用。

AT89 系列单片机与工业标准 MCS-51 系列单片机的指令系统和引脚是兼容的, 因而可替代 MCS-51 系列单片机使用。AT89 系列单片机可分为标准型、低档型和高档型三种类型。表 1-1 列举了 AT89 系列单片机的概况。

低档型是功能最弱的型号, 只能应用于要求不高的场合。高档型(如 AT89S8252)是功能较强的型号, 它的主要特点在于多了一个 2 KB 的 E²PROM, 可应用于较复杂的控制场合。而标准型是功能较强的型号, 性价比较高, 其应用也最为广泛。因此, 本书将以标准型 AT89C51 为主介绍 AT89 系列单片机。

表 1-1 AT89 系列单片机概况

型号	AT89C51	AT89C52	AT89C1051	AT89C2051	AT89S8252
档次	标准型		低档型		高档型
Flash/KB	4	8	1	2	8
片内 RAM/KB	128	256	64	128	256
I/O/条	32	32	15	15	32
定时器/个	2	3	1	2	3
中断源/个	6	8	3	6	9
串行接口/个	1	1	1	1	1
M 加密/级	3	3	2	2	3
片内振荡器	有	有	有	有	有
E ² PROM/KB	无	无	无	无	2

知识 2 计算机中的数

计算机中的处理对象都是数，因此在学习单片机之前，首先应对单片机中数的表示及运算规则有所了解。

1. 常用进制

人类在计算过程中习惯于十进制计数，但在计算机中，最常用的却是二进制数。二进制计数的特点如下：

(1) 状态简单，凡是具有两个状态的元件都可用来表示二进制数的 0 和 1，容易实现。

(2) 运算规则简单，大大地简化了计算机中的运算线路。

(3) 可用布尔代数这一数学工具对计算机电路进行设计和分析，便于对计算机结构的优化。

由于二进制数具有上述特点，使得它特别适用于计算机。但由于二进制数书写冗长，阅读不便，为此人们常用十六进制数来书写。

十进制数、十六进制数、二进制数之间的对应关系如表 1-2 所示。

表 1-2 十进制数、十六进制数、二进制数对照表

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

一般可用两种方法来区别所表示数的数制。一种是在数的括号右下角用数字注明该数的数制，如二进制数 1010 可写成 $(1010)_2$ ，十六进制数 C8 可写成 $(C8)_{16}$ 。另一种是在数字后

面跟一个英文字母。通常用 B(Binary)表示二进制数, H(Hexadecimal)表示十六进制数, D(Decimal)表示十进制数。所以上面两个数也可写成 1010B 和 C8H。十进制数后跟的字母“D”一般可省略不写。

2. 常用进制之间的转换

1) 二进制数与十进制数之间的转换

(1) 二进制数转换成十进制数。要将二进制数转换成十进制数, 需将二进制数按权展开相加即可。例如:

$$\begin{aligned}(1010.101)_2 &= 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 8 + 0 + 2 + 0 + 0.5 + 0 + 0.125 \\ &= (10.625)_{10}\end{aligned}$$

(2) 十进制数转换成二进制数。在将十进制数转换成二进制数时, 要将整数和小数分开转换。

十进制整数的转换有以下两种方法。

方法一: 可用“除 2 取余”法, 即将十进制整数反复除以 2, 直至商等于 0 为止。然后将所得的一系列余数按逆序排列即为所求的二进制整数。

[例 1.1] $(38)_{10} = (100110)_2$

2 38	……余数为 0	$K_0 = 0$	最低位
2 19	……余数为 1	$K_1 = 1$	
2 9	……余数为 1	$K_2 = 1$	
2 4	……余数为 0	$K_3 = 0$	
2 2	……余数为 0	$K_4 = 0$	
2 1	……余数为 1	$K_5 = 1$	最高位
0			

方法二: 可用“减幂”法, 即将十进制整数不断减去 2 的最高次幂, 直至差值等于 0 为止。若该十进制数中包含一个 2^N , 则该位为 1, 否则为 0。然后将每次减得的 2 的最高次幂排列起来即为所求的二进制整数。

[例 1.2] $(38)_{10} = (100110)_2$

$$\begin{array}{rcl} & 38 & \\ - & 32 & \cdots \cdots 2^5 \\ \hline & 6 & \\ - & 4 & \cdots \cdots 2^2 \\ \hline & 2 & \\ - & 2 & \cdots \cdots 2^1 \\ \hline & 0 & \end{array}$$

十进制小数的转换可用“乘 2 取整”法, 即将十进制小数反复乘以 2, 直至所剩小数部分等于 0 为止, 然后将每次所得整数按顺序排列即为所求的二进制小数。如果所求的结果永不 0, 可根据精度要求用“0 舍 1 入”的方法进行取舍。

[例 1.3] $(0.625)_{10} = (0.101)_2$

$$\begin{array}{rcl}
 0.625 & & \\
 \times 2 & & \\
 \hline
 1.250 & \cdots \cdots \text{整数部分 } 1 & K_{-1}=1 \text{ 最高位} \\
 \times 2 & & \\
 \hline
 0.500 & \cdots \cdots \text{整数部分 } 0 & K_{-2}=0 \\
 \times 2 & & \\
 \hline
 1.000 & \cdots \cdots \text{整数部分 } 1 & K_{-3}=1 \text{ 最低位}
 \end{array}$$

(乘2取整法)

对于既有整数部分又有小数部分的十进制数，只要按上述方法分别转换，然后合并起来即可。例如，十进制数 38.75 的转换结果为： $(38.75)_{10} = (100110.11)_2$ 。

2) 二进制数与十六进制数之间的转换

(1) 二进制数转换为十六进制数。由于数 16 与数 2 之间的关系为 $2^4=16$ ，因此 4 位二进制数对应一位十六进制数。根据这个关系，对于二进制数的整数部分的转换，只要从小数点开始依次向左每 4 位为一节，最后不足 4 位的前面补 0；小数部分由小数点向右，每 4 位为一节，最后不足 4 位的后面补 0。然后把每 4 位二进制数用相应的一位十六进制数代替，即转换成十六进制数。

[例 1.4] $(10001111011011.111010)_2 = (23DB.E8)_{16}$

$$\begin{array}{cccccc}
 \underline{0010} & \underline{0011} & \underline{1101} & \underline{1011} & \underline{1110} & \underline{1000} \\
 \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
 2 & 3 & D & B & E & 8
 \end{array}$$

(2) 十六进制数转换为二进制数。不论是十六进制的整数或小数，只要把每一位十六进制的数用相应的 4 位二进制数代替，就可以转换成二进制数。

[例 1.5] $(5BD.6A)_{16} = (10110111101.0110101)_2$

$$\begin{array}{ccccc}
 5 & B & D & 6 & A \\
 \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
 0101 & 1011 & 1101 & 0110 & 1010
 \end{array}$$

3. 二进制运算规则

1) 算术运算规则

加法规则：

- (1) $0+0=0$
- (2) $1+0=0+1=1$
- (3) $1+1=10$ (向高位进位 1)

减法规则：

- (1) $0-0=0$
- (2) $1-1=0$
- (3) $1-0=1$
- (4) $0-1=1$ (向高位有借位)

乘法规则:

- (1) $0 \times 0 = 0$
- (2) $0 \times 1 = 0$
- (3) $1 \times 0 = 0$
- (4) $1 \times 1 = 1$

二进制的乘法运算是十分简单的, 只有当两个 1 相乘时积才为 1, 否则积为 0。

2) 逻辑运算法则

“或”运算(逻辑加), 运算符为 “+” 或 “ $\vee$ ”:

- (1) $0 \vee 0 = 0$
- (2) $1 \vee 0 = 1$
- (3) $0 \vee 1 = 1$
- (4) $1 \vee 1 = 1$

按位加是不考虑进位的加法运算。

“与”运算(逻辑乘), 运算符为 “ $\cdot$ ” 或 “ $\wedge$ ”:

- (1) $0 \wedge 0 = 0$
- (2) $0 \wedge 1 = 0$
- (3) $1 \wedge 0 = 0$
- (4) $1 \wedge 1 = 1$

“非”运算(逻辑否定):

$$\bar{0} = 1, \bar{1} = 0$$

异或运算(按位加), 运算符为 “ $\oplus$ ”:

- (1) $0 \oplus 0 = 0$
- (2) $0 \oplus 1 = 1$
- (3) $1 \oplus 0 = 1$
- (4) $1 \oplus 1 = 0$

4. 计算机中数的表示

1) 位(bit)和字节(Byte)

“位”是计算机能够表示的最小的数据单位。位用 b 表示。字节由 8 个二进制位组成, 通常一个存储单元中存放着 1 个字节的数据。字节用 B 表示。

2) 字(Word)和字长

“字”是微处理器内部进行数据处理的基本单位, 通常它也是微处理器与存储器之间和输入/输出电路之间传送数据的基本单位。字用 W 表示。

“字长”是指一个字所包含的二进制数的位数, 它是微处理器的重要指标之一, 通常用数据总线的位数来决定微处理器的字长。

8 位微处理器的字长是 8 位, 每一个字由一个字节组成, 如图 1-1(a)所示, 在字节中, 最左边的位(D_7)为最高位(MSB), 最右边的位(D_0)为最低位(LSB)。16 位微处理器的字长是 16 位, 每一个字由两个字节组成, 如图 1-1(b)所示, 左边的字节是高位字节, 最左边的位为最高位; 右边的字节是低位字节, 最右边的位为最低位。

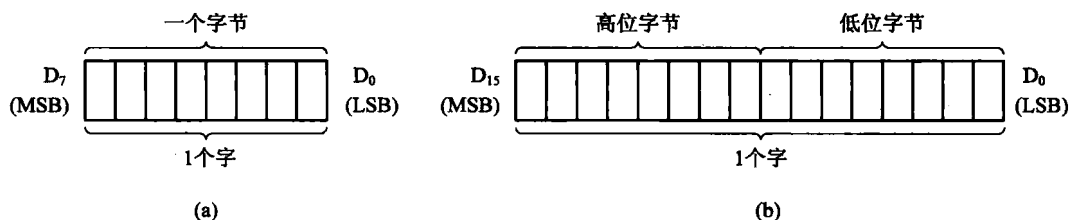


图 1-1 字和字节

3) 机器数与真值

在计算机中，不带正、负号的数称为无符号数。它将字长的所有位均用于表示数值位。一个 n 位字长的数据可用来表示 2^n 个正整数。例如，一个 8 位数据可表示的数值范围为 00000000B~11111111B，即 0~255，共 $256(2^8)$ 个数。

通常，数还有正、负之分，并用符号“+”、“-”来表示，称为带符号数。

在计算机中，数的正、负号与数一起存放在寄存器或内存单元中，因此数的符号在机器中已“数码化”了，通常规定在数的前面增设一位符号位，并规定正号用“0”表示，负号用“1”表示。

若以 8 位字长的存数单元为例，设有数： $N_1 = +1010101$ ， $N_2 = -1010101$ 。 N_1 和 N_2 在计算机中的表示形式为： $N_1 = 01010101$ ，十进制数为 +85； $N_2 = 11010101$ ，十进制数为 -85，而不是 213。

在计算机中，把存放在寄存器、存储器或数据端口中的数称为机器数。机器数所对应的值称为真值。机器数的真值到底是多少，取决于机器数所对应的是无符号数还是有符号数以及所对应的是什么码制表示的数。

知识 3 AT89C51 单片机的结构

AT89C51 单片机的内部结构框图如图 1-2 所示。

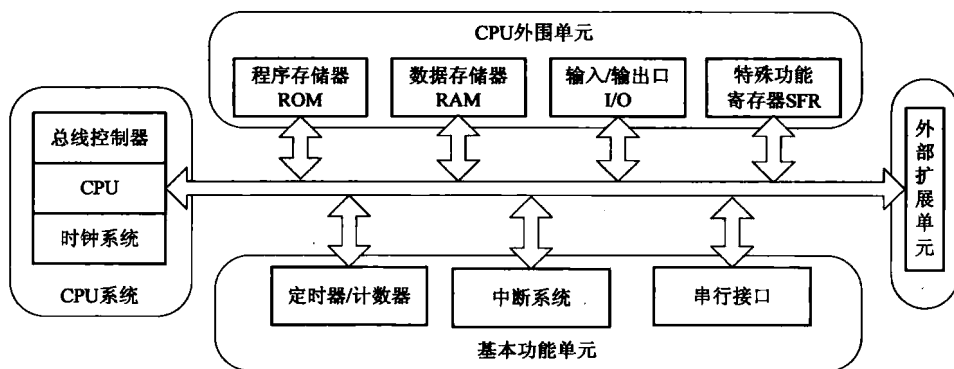


图 1-2 AT89C51 内部结构框图

AT89C51 内部包含了作为微型计算机所必需的功能部件，各功能部件通过片内单一总线连成一个整体，集成在一块芯片上。其中 CPU 系统与 CPU 外围单元组成单片机最小系统，最小系统与各功能单元构成单片机的基本结构，在基本结构的基础上还可进行外部功能的扩展，形成各种不同的单片机应用系统。

为了更详细地了解 AT89C51 的内部结构和工作原理,下面将其分成中央处理器(CPU)、存储器、I/O 端口、定时器/计数器、中断系统和内部总线六部分加以介绍。

1. 中央处理器

中央处理器(简称 CPU)是单片机内部的核心部件,是一个 8 位二进制数的中央处理单元,可完成运算和控制操作,主要由运算器和控制器构成。

1) 运算器

运算器用来完成算术运算、逻辑运算和位运算功能,它是 AT89C51 内部处理各种信息的主要部件。运算器的组成框图如图 1-3 所示,主要由算术逻辑单元(ALU)、累加器(ACC)、暂存寄存器(TEMP1、TEMP2)、寄存器 B 和状态寄存器(PSW)组成。

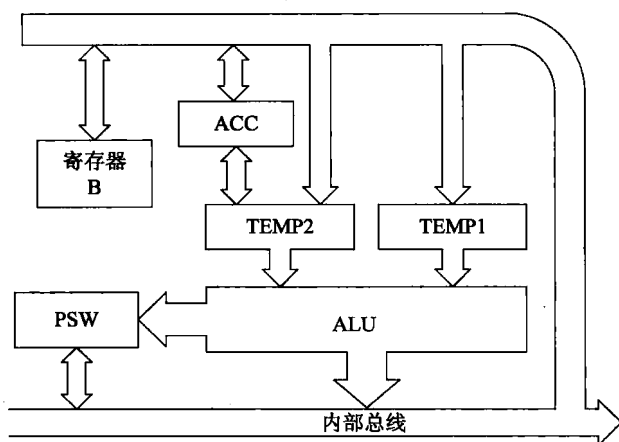


图 1-3 运算器组成框图

(1) 算术逻辑单元(ALU)。AT89C51 中的 ALU 是运算器的核心部件,由加法器和一个布尔处理器组成。它不仅可以对 8 位二进制变量进行与、或、非、异或等逻辑运算以及加、减、乘、除等四则运算,还具有运算结果判断、数据传送、程序转移等功能。

从图 1-3 中可以看出,加法器有两个输入:暂存器 TEMP1 和 TEMP2。加法器有两个输出:一个是累加器 ACC,经过运算,结果又通过内部总线送回到累加器中;另一个是状态寄存器 PSW。

布尔处理器是运算器的重要组成部分,由独立的逻辑电路来处理位操作。它有自己的累加器 C、自己的位寻址 RAM 和 I/O 空间,还有相应的指令系统,给用户丰富的位操作功能。

布尔处理器以进位位 C 作为累加器,可以对可寻址位执行置位、复位、取反、转移以及位传送等位操作。进位标志位与其他可寻址位之间完成逻辑与、或操作后,结果送回 C 中。

(2) 暂存寄存器(TEMP1、TEMP2)。TEMP1 和 TEMP2 是 ALU 的两个输入端口,用来存放参与算术运算和逻辑运算的操作数,它对用户不开放。

(3) 累加器(ACC)。ACC 是 CPU 使用最频繁的一个寄存器,在指令系统中用助记符 A 表示。

从图 1-3 中可看出,ACC 既作为 ALU 处理数据的来源,存放的参与算术运算和逻辑运