



高职高专电子信息类“十一五”规划教材

单片机原理及 实验/实训

主 编 赵振德 张建新



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高职高专电子信息类“十一五”规划教材

单片机原理及实验/实训

主 编 赵振德 张建新

副主编 黄智强

西安电子科技大学出版社

2009

内 容 简 介

本书包括单片机概述、单片机快速入门、单片机的内部结构及芯片引脚功能、单片机的指令系统、单片机程序设计、单片机的中断系统、单片机的定时器/计数器、单片机串行通信、单片机系统扩展、常用外围设备接口和单片机实训等内容。

本书采用了符合高职高专学生认知能力的内容结构体系,强化实践环节,设计了四个梯次的实践性课题,力求探索“深入浅出、通俗易懂、图文并茂”的教学方法。本书采用教、学、做相结合的教学模式及目标检验教学法,可对每阶段的教学成果进行目标检验和验收。

本书可作为高职高专院校相关专业的教材,特别适合于自学者学习使用。

★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

单片机原理及实验/实训 / 赵振德, 张建新主编.

—西安: 西安电子科技大学出版社, 2009. 8

高职高专电子信息类“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2288-0

I. 单… II. ① 赵… ② 张… III. 单片微型计算机—高等学校: 技术学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 097056 号

策 划 毛红兵

责任编辑 张 梁 毛红兵

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 xdupfb001@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 2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 17.5

字 数 409 千字

印 数 1~4000 册

定 价 25.00 元

ISBN 978-7-5606-2288-0/TP·1160

XDUP 2580001-1

*** 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。

西安电子科技大学出版社
高职高专电子信息类“十一五”规划教材
编审专家委员会名单

主任：杨 勇

副主任：张小虹

成 员：（按姓氏笔画排列）

马 琳	王 平	王宏军	丛迎九
卢庆林	李常峰	李德家	李文森
刘 勇	张玉莲	张 伟	郭亚红
战德刚	段智毅	祝瑞花	栾春光
曾照香	彭丽英	雷少刚	黎 伟

项目策划：毛红兵

策 划：曹 昉 寇向宏

电子教案：马武装

前 言

单片机以其工具性、基础性及应用的广泛性,使得其相关技术成为我国中等技术人员应掌握的重要技术知识之一。无论是有关专业的在校生还是尚未掌握单片机的电子工程师,都希望有一本合适的单片机教材。本书编者在单片机教学内容体系、教学方式方法以及强化教学实践环节等方面进行了十余年的改革与实践,在此基础上编写了本书,试图以图文并茂、易于理解的方法介绍相关的知识。

本书力求做到以下三点:

1. 改革内容结构,建立符合高职高专学生认知能力的内容结构体系。

学生的认知能力,一般与学生掌握基础知识的多少和学习能力的强弱有关。教学内容结构体系应与学生的认知能力相适应,否则会给教学双方带来困难。

大多数介绍 8051、80C51 单片机的教材,用较多时间介绍单片机概述、单片机芯片引脚功能、复杂的内部结构和 111 条指令后,才进入编程和实验;有的教材,在讲完中断系统、定时器/计数器和串行口的基本理论后,才进入编程和实验。这样的内容结构,其优点是理论比较系统,适用于认知能力较强的本科生;其缺点是在开始学习单片机后的一段时间内,由于接触不到程序设计和仿真实验,易使认知能力不强的学习者感到抽象、难学。针对以上问题,本书在单片机概述后,从第 2 章就开始介绍单片机的开发系统及程序设计初步。这样能带来两大好处:一是理论与实践紧密结合,使学习者“看得见,摸得着”,能快速入门,学习兴趣大增;二是在快速入门的基础上,再逐步、系统地学习单片机的硬件知识、指令系统,为程序设计及仿真实验打下良好基础。这种将过于集中的理论内容分散成几块,拉近“先理论、后实践”之间跨度的内容结构模式,在本书各章中都有不同程度的体现。这种内容结构模式有利于高职高专学生学习单片机。

2. 改革教学方式,强化实践环节,设计四个梯次的实践性课题。

教学方式与教学方法的关系,类似于战略与战术的关系。教学方式研究在不同的教学发展阶段如何提高学生知识水平、培养学生能力的问题,而教学方法则侧重于研究一个概念、原理、具体问题如何讲解的问题。改革教学方式、教材的编写、教学的组织实施,应体现“完全依靠教师、基本依靠教师、学生相对独立和完全独立”的发展阶段。为实现这一目标,本书设计了四个梯次的实践性课题,通过仿真实验,锻炼、培养学生以下四种不同层次的能力:

(1) 验证性课题及实验:除第 1、3 章外,各章都有一定数量的、基本的验证性课题及实验,以培养学生阅读、编写基本程序的能力。

(2) 设计性课题及实验:在学生完成各章验证性课题及实验的基础上适时提出设计性课题,并在各章练习题中给出设计性的编程练习题,以培养学生自行设计基本程序的能力。

(3) 综合性课题及实验:在学生完成各章验证性课题的基础上,在大部分章节的最后给

出了综合性课题及实验,以培养学生编写较长程序的能力。

(4) 实训课题:本书最后一章给出了3个实训课题。实训课题与验证性、设计性和综合性编程课题不尽相同,它着眼于锻炼、培养学生的动手能力和创新意识。

强化教学实践环节,还要针对实践性教学中的薄弱环节,强化以下三个方面的内容:

第一,在课堂教学中,加强理论课的课堂演示性实验,把抽象的理论和枯燥的程序分析转化为生动的实例,激发、调动学生的学习兴趣。

第二,适当加大实训课的学时,以提高学生的动手能力和操作技能。

第三,教学实践证明,在实验室实验,因时间有限,学生往往只能完成一定数量的课题练习,所以只在实验室进行程序设计练习是远远不够的。引导学生选购市售的、廉价的、操作简便快速的简易型单片机仿真器,可在有PC的任意场合使用。简易型单片机仿真器不仅适合于在校生完成课外作业,开展科技制作活动,而且是自学者学习单片机的必备工具。

3. 改革教学方法,探求“深入浅出、通俗易懂、图文并茂”的教学方法。

用图解法或比喻法介绍各章的基本概念、硬件结构及大部分指令,使形象思维与抽象思维有机结合,加深学生对上述内容的理解与记忆;编写程序时,将程序模块化、思路化,以培养学生的逻辑思维能力;每章有内容提要、学习指导和本章总结,以培养学生学习、总结、概括所学知识的能力。将以上方法融入教材内容中,使学生既学知识,又学方法,教师既教学生学会,又教学生会学,有利于提高教学效果。

此外,本书以80C51系列单片机为背景,介绍单片机的共性理论。介绍具体实例时,以具有ISP编程接口的增强型单片机AT89S51/S52为对象。

本书在编写时充分考虑了不同院校的教学要求,各校在教学中可以根据实际情况对教学内容及课时进行合理分配及取舍。推荐以下两种教学时数参考方案:

参考教学时数方案1:72~90学时。具体安排如下:第1章6学时,第2章6~8学时,第3章6~8学时,第4章6~8学时,第5章8~10学时,第6章6~8学时,第7章6~8学时,第8章6~8学时,第9章6~8学时,第10章6~8学时,第11章10学时。

参考教学时数方案2:54学时。具体安排如下:第1章2学时(常用数制作为已有知识,不计学时),第2章8学时,第3章6学时,第4章6学时,第5章8学时,第6章6学时,第7章6学时,第8章6学时,第9章0学时,第10章6学时,第11章0学时(可酌情利用课外时间安排实训内容)。

赵振德和张建新对本书的编写思路及大纲进行了总体策划。其中赵振德编写第2、4、6、8、10章和附录,张建新编写第1、3、5、7、9章,黄智强编写第11章。最后由赵振德对全书进行统稿。

由于编者水平所限,书中不足之处在所难免,欢迎广大读者提出宝贵意见。

编者
2009年3月

目 录

第 1 章 单片机概述	1	2.2.3 单片机仿真器的选用	27
1.1 单片机常用数制	1	2.3 单片机程序设计初步	28
1.1.1 十进制数(Decimal)	2	2.3.1 单片机程序设计的一般方法步骤	28
1.1.2 二进制数(Binary)	2	2.3.2 单片机程序设计初步举例	29
1.1.3 十六进制数(Hexadecimal)	3	2.4 综合编程练习与实验	40
1.1.4 BCD 码(Binary Coded Decimal)	3	本章总结	42
1.1.5 ASCII 码	4	练习题	42
1.2 单片机常用数制及其相互转换	5	第 3 章 单片机的内部结构及	
1.2.1 十进制数与二进制数的相互转换	5	芯片引脚功能	43
1.2.2 十进制数与十六进制数的相互转换	6	3.1 单片机的内部结构	43
1.2.3 二进制数与十六进制数的相互转换	6	3.1.1 片内程序存储器 EEPROM	43
1.3 二进制数的运算	7	3.1.2 片内数据存储器 RAM	44
1.3.1 二进制数的算术运算	7	3.1.3 片内专用寄存器 SFR	46
1.3.2 二进制数的逻辑运算	9	3.1.4 存储器的空间分布	48
1.4 单片机的基本特点及应用	9	3.1.5 CPU 结构	49
1.5 位、字节、字、字长和电平	10	3.2 单片机的芯片引脚功能及图解	50
1.6 常用 8 位单片机系列	11	3.2.1 芯片引脚第一功能及图解	50
1.6.1 MCS-51 系列单片机	11	3.2.2 芯片引脚第二功能及图解	51
1.6.2 AT89C 系列单片机	12	3.3 单片机的时钟电路、时序及复位	52
1.6.3 AT89S 系列单片机	14	3.3.1 时钟电路及时钟信号的产生	52
1.7 单片机的发展趋势	15	3.3.2 时序的定时单位及图解	52
本章总结	16	3.3.3 单片机的复位	54
练习题	17	3.4 单片机并行口的结构及其使用	55
第 2 章 单片机快速入门	19	3.4.1 P1 口的结构及其使用	55
2.1 单片机软/硬件知识简介	19	3.4.2 P0 口的结构及其使用	57
2.1.1 单片机的基本电路	19	3.4.3 P2 口的结构及其使用	58
2.1.2 单片机的片内存储器和寄存器	21	3.4.4 P3 口的结构及其使用	59
2.1.3 单片机的汇编语言和机器语言	22	3.4.5 端口带负载的能力及接口要求	60
2.1.4 单片机指令系统部分指令及图解	24	本章总结	61
2.2 单片机的开发系统	26	练习题	61
2.2.1 单片机开发系统的基本知识	26	第 4 章 单片机的指令系统	63
2.2.2 单片机开发系统的功能	27	4.1 指令系统概述	63

4.2 寻址方式及图解	64	5.5 LED 动态显示器及其程序设计	114
4.2.1 直接寻址方式及图解	64	5.5.1 LED 动态显示器的结构、 原理及编码	114
4.2.2 立即寻址方式及图解	65	5.5.2 LED 动态显示器的程序设计	115
4.2.3 寄存器寻址方式及图解	66	5.6 代码转换、算术运算及数据排序 的程序设计	117
4.2.4 寄存器间接寻址方式及图解	67	5.6.1 二进制数转换为 BCD 码 的程序设计	118
4.2.5 变址寻址方式及图解	68	5.6.2 BCD 码转换为二进制数 的程序设计	119
4.2.6 相对寻址方式及图解	69	5.6.3 数字和字母转换为二进制数的 程序设计	120
4.2.7 位寻址方式	70	5.6.4 算术运算的程序设计	121
4.3 数据传送指令	71	5.6.5 数据排序的程序设计	123
4.3.1 数据传送指令一览表	71	本章总结	125
4.3.2 数据传送指令及图解	72	练习题	125
4.4 算术运算指令	74	第 6 章 单片机的中断系统	128
4.4.1 算术运算指令一览表	74	6.1 中断的概念与外部中断实验电路	129
4.4.2 算术运算指令举例	75	6.1.1 中断的概念	129
4.5 逻辑运算指令	80	6.1.2 外部中断实验电路	131
4.6 控制转移指令	82	6.2 中断系统的逻辑结构图及寄存器	131
4.7 位操作指令	84	6.2.1 中断系统逻辑结构图	131
本章总结	85	6.2.2 中断系统寄存器	132
练习题	86	6.3 中断处理过程	133
第 5 章 单片机程序设计	89	6.3.1 中断采样	133
5.1 伪指令	89	6.3.2 中断查询	133
5.1.1 伪指令的概念	89	6.3.3 中断响应	133
5.1.2 常用伪指令	89	6.3.4 中断撤除	134
5.2 5 种典型程序设计及实验	91	6.3.5 中断返回	135
5.2.1 顺序程序设计及实验	92	6.4 外部中断程序设计及实验	135
5.2.2 循环程序设计及实验	92	6.4.1 外部中断 0 程序设计及实验	135
5.2.3 变址寻址程序设计及实验	95	6.4.2 外部中断 1 程序设计及实验	137
5.2.4 分支程序设计及实验	96	6.5 保护现场数据的程序设计及实验	139
5.2.5 子程序设计及实验	99	6.6 两个外部中断的程序设计及实验	143
5.3 单片机程序设计 5 例	101	本章总结	145
5.3.1 交通信号灯的程序设计及实验	101	练习题	149
5.3.2 注塑机的程序设计及实验	103	第 7 章 单片机的定时器/计数器	150
5.3.3 步进电机的程序设计及实验	105	7.1 定时器/计数器的基本知识	151
5.3.4 直流电机的程序设计及实验	109	7.1.1 时钟频率 12 分频后的输出脉冲	151
5.3.5 继电器控制	111		
5.4 LED 静态显示器及其程序设计	111		
5.4.1 LED 静态显示器的结构、 原理及编码	111		
5.4.2 LED 静态显示器的程序设计	113		

7.1.2 计满和计满溢出的概念	151	练习题	190
7.1.3 定时器/计数器的工作方式	152	第 9 章 单片机系统扩展	192
7.2 定时器/计数器常用寄存器	154	9.1 存储器的扩展	193
7.2.1 工作方式寄存器 TMOD	154	9.1.1 单片机外部三总线的扩展	193
7.2.2 控制寄存器 TCON	155	9.1.2 用线选法扩展外部 ROM 和 RAM	195
7.2.3 中断允许控制寄存器 IE	155	9.1.3 用译码法扩展外部 ROM 和 RAM	197
7.3 定时器/计数器应用举例	156	9.2 8155 可编程接口的扩展	199
7.3.1 工作方式 0 应用举例	156	9.2.1 8155 的内部结构及引脚功能	199
7.3.2 工作方式 1 应用举例	159	9.2.2 8155 的 I/O 端口和 RAM 单元 的编址	200
7.3.3 工作方式 2 应用举例	160	9.2.3 8155 的命令/状态寄存器	201
7.3.4 工作方式 3 应用举例	161	9.2.4 8155 的定时器/计数器	203
7.3.5 脉冲宽度的测量	163	9.2.5 8155 与单片机的连接及 应用举例	203
7.4 用 T0 和 T1 扩展外部中断	164	本章总结	206
7.5 单片机演奏歌曲	166	练习题	206
7.5.1 单片机演奏歌曲的有关知识	166	第 10 章 常用外围设备接口	208
7.5.2 单片机演奏歌曲的程序	166	10.1 D/A 转换接口技术	209
7.6 综合程序设计及实验	168	10.1.1 D/A 转换器主要技术性能指标	209
本章总结	170	10.1.2 DAC 0832 转换器及其 基本工作原理	209
练习题	170	10.1.3 DAC 0832 转换器与单片机单缓冲 方式连接的接口与应用	211
第 8 章 单片机串行通信	172	10.1.4 DAC 0832 转换器与单片机 双缓冲方式连接的接口与应用	213
8.1 数据通信的基础知识	172	10.2 A/D 转换接口技术	216
8.1.1 并行通信与串行通信	172	10.2.1 A/D 转换器主要技术性能指标	216
8.1.2 串行异步通信	173	10.2.2 ADC 0809 转换器及其 基本工作原理	216
8.2 串行口的构成、主要寄存器及 波特率设定	174	10.2.3 ADC 0809 转换器的数据传送	218
8.2.1 串行口的构成	174	10.2.4 ADC 0809 转换器与单片机的 连接及应用	218
8.2.2 串行口的主要寄存器	175	10.3 矩阵键盘接口	221
8.2.3 波特率的设定	176	10.3.1 矩阵键盘接线图及键扫描原理	221
8.3 串行口的工作方式	178	10.3.2 矩阵键盘键扫描程序	223
8.3.1 工作方式 0	178	10.4 功率驱动器件及其接口	225
8.3.2 工作方式 1	178	10.4.1 驱动小功率负载的接口电路	226
8.3.3 工作方式 2 和方式 3	179		
8.4 串行口应用举例	179		
8.4.1 用方式 0 扩展串行输出口	179		
8.4.2 用方式 0 扩展串行输入口	182		
8.4.3 单片机串行口单工方式双机通信 ...	184		
8.4.4 单片机串行口全双工方式 双机通信	186		
8.4.5 单片机与 PC 通信	188		
本章总结	190		

10.4.2 驱动小功率直流电机的 接口电路	226	11.2.4 16 × 16 点阵显示器字码 转换软件	244
10.4.3 光电隔离接口电路	227	11.3 用单片机仿真器编写 4 按键程序	245
10.4.4 固态继电器接口电路	227	11.3.1 编写 4 按键程序所用的电路	245
本章总结	228	11.3.2 用查询法编写 4 按键程序	247
练习题	228	本章总结	253
第 11 章 单片机实训	230	练习题	253
11.1 多功能遥控小车的设计	230	附录 积木式单片机仿真器	254
11.1.1 多功能遥控小车的基本组成	230	附录 A 积木式单片机仿真器电路板的 基本组成及功能接口	254
11.1.2 多功能遥控小车的控制电路	231	附录 B 积木式单片机仿真器的 模块电路清单	256
11.1.3 遥控任务及工作原理	232	附录 C 积木式单片机仿真器的模块电路	256
11.1.4 程序流程图及程序清单	233	附录 D Medwin 编译软件	262
11.2 16 × 16 点阵显示器的设计	238	附录 E Ispdown 下载/仿真软件	266
11.2.1 16 × 16 共阳极点阵显示器的 组成	239	参考文献	269
11.2.2 16 × 16 点阵显示器的控制电路	239		
11.2.3 16 × 16 点阵显示器的程序设计	241		

第1章 单片机概述

— 内容提要 —

1. 十进制数、二进制数、十六进制数、BCD 码、ASCII 码及其相互转换。
2. 二进制数的加、减、乘、除算术运算。
3. 二进制数的“与”、“或”、“异或”逻辑运算。
4. 单片机的概念、特点及应用。
5. 常用三种系列的 8 位单片机——MCS-51 系列、AT89C 系列、AT89S 系列的基本组成及特点。重点了解增强型 AT89S 系列单片机的典型产品及特点。

— 学习指导 —

1. 借助常用数制相互转换一览表，熟练掌握常用数制之间相互转换的方法与技巧。
2. 掌握二进制数加法运算“逢二进一”和减法运算“借一当二”的方法。会用“常规的乘除法运算算法”进行二进制数的乘法和除法运算。
3. 用比喻法理解、记忆二进制数的“与”、“或”、“异或”逻辑运算。
4. 掌握 MCS-51 系列、AT89C 系列、AT89S 系列单片机的以下特点：
 - (1) MCS-51 系列中的 8031 单片机片内无 ROM，8051 单片机片内有 ROM 且程序写入后不能擦除；
 - (2) AT89C 系列中的 AT89C51/C52 单片机片内有闪存程序存储器 Flash ROM；
 - (3) AT89S 系列中的 AT89S51/S52 单片机片内有闪存程序存储器 Flash ROM、ISP 可编程接口、双数据指针及看门狗。

本章先介绍单片机常用数制及数制之间的相互转换，然后介绍单片机的基础知识。

1.1 单片机常用数制

在单片机的程序设计中，常用到十进制数、二进制数、十六进制数、BCD 码和 ASCII 码，下面逐一进行介绍。

1.1.1 十进制数(Decimal)

人们熟悉的十进制数有以下特点:

- (1) 用 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 十个数码表示数的大小。
- (2) 基数为 10, 逢十进一。在十进制数中, 每一位用 0~9 十个数码中的某个数表示, 所以计数的基数为 10。超过 9 的数必须用多位数表示, 其中低位和相邻高位的关系是“逢十进一”。
- (3) 可以结尾 D 标识, 一般可省略, 例如 173D 可写成 173。
- (4) 其大小可按位权展开式展开。

为了导出按位权展开的普遍表达式以及位权的含义, 先看一个实例: 十进制数 1024.56 可展开为

$$1024.56 = 1 \times 10^3 + 0 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 4 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1} + 6 \times 10^{-2}$$

所以任意一个十进制数 N 都可以展开为多项式

$$N = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times 10^i$$

$$= K_{n-1} \times 10^{n-1} + K_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + K_0 \times 10^0 + K_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + K_{-m} \times 10^{-m}$$

式中, 10 为十进制数的基数, 10^i 称为展开式第 i 位的权, K_i 为展开式第 i 位的系数, K 从 0~9 共 10 个数字中选用, n 是小数点左边的位数, m 是小数点右边的位数,

对于用 R 进制表示的数 N, 其按位权的展开式为

$$N = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times R^i$$

$$= K_{n-1} \times R^{n-1} + K_{n-2} \times R^{n-2} + \cdots + K_0 \times R^0 + K_{-1} \times R^{-1} + \cdots + K_{-m} \times R^{-m}$$

式中, R 是 R 进制数的基数, R^i 称为展开式第 i 位的权, K_i 是展开式中第 i 位的系数, m、n 是正整数。

在 R 进制按位权的展开式中, 每一项所表示的值是该项系数与该项位权 R^i 的乘积, 计数原则是“逢 R 进一”。

1.1.2 二进制数(Binary)

单片机只能识别二进制数, 二进制数有以下特点:

- (1) 用 0 和 1 两个数码表示数的大小。
- (2) 基数为 2, 逢二进一。表 1.1 列出了两个二进制数相加结果及其对应的十进制数。

表 1.1 两个二进制数逢二进一相加举例

	例 1	例 2	例 3	例 4
两个二进制数的相加结果	$\begin{array}{r} 0 \\ + 1 \\ \hline 1 \end{array}$	$\begin{array}{r} 1 \\ + 1 \\ \hline 10 \end{array}$	$\begin{array}{r} 10 \\ + 10 \\ \hline 100 \end{array}$	$\begin{array}{r} 100 \\ + 100 \\ \hline 1000 \end{array}$
对应的十进制数	1	2	4	8

(3) 可以结尾 B 标识, 例如 10B、1010B、11110000B 等。

(4) 其大小可按位权展开式展开, 求得对应的十进制数。二进制数的位权展开式为

$$B = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times 2^i$$

$$= K_{n-1} \times 2^{n-1} + K_{n-2} \times 2^{n-2} + \dots + K_0 \times 2^0 + K_{-1} \times 2^{-1} + \dots + K_{-m} \times 2^{-m}$$

式中, 基数为 2, 2^i 称为第 i 位的权, K_i 为展开式第 i 位的系数, K 从 0、1 两个数字中选用。例如二进制数 1101.11B 的位权展开式为

$$1101.11B = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

1.1.3 十六进制数(Hexadecimal)

十六进制数的特点如下:

(1) 用 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F 十六个数码表示数的大小。

(2) 基数为 16, 逢十六进一。

(3) 可以结尾 H 标识。

(4) 其大小可按位权展开式展开, 求得对应的十进制数。十六进制数的位权展开式为

$$H = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times 16^i$$

$$= K_{n-1} \times 16^{n-1} + K_{n-2} \times 16^{n-2} + \dots + K_0 \times 16^0 + K_{-1} \times 16^{-1} + \dots + K_{-m} \times 16^{-m}$$

式中, 基数为 16, 16^i 称为第 i 位的权, K_i 为展开式第 i 位的系数, K 从 0~F 十六个数字中选用。例如, 十六进制数 3FF.24 的位权展开式为

$$3FF.24 = 3 \times 16^2 + F \times 16^1 + F \times 16^0 + 2 \times 16^{-1} + 4 \times 16^{-2}$$

1.1.4 BCD 码(Binary Coded Decimal)

计算机中使用的是二进制数, 但人们却习惯使用十进制数, 为此需要建立一个二进制数与十进制数联系的桥梁, 这个桥梁就是二—十进制编码。

二—十进制编码简称 BCD 码, 它是用 4 位二进制数来表示 0~9 这 10 个数字的编码, 最常用的是 8421 BCD 码。其中的 8、4、2、1 分别表示 4 位二进制数的位权值, 故得此名。为了书写简便, 在程序中的 BCD 码常写成十六进制形式。BCD 码与十进制数、二进制数、十六进制数的对应关系见表 1.2。

BCD 码既考虑到了计算机的特点, 又照顾了人们使用十进制数的习惯, 广泛地使用于单片机的输入、输出操作中。

学习 BCD 码要注意 BCD 码与二进制数的区别。从表 1.2 中可以看出, 小于和等于 9 的十进制数(例如 8), 对应的 BCD 码和二进制数编码没有区别, 但对于大于 9 的十进制数(例如 15), 对应的 BCD 码和二进制数就不一样了。

表 1.2 单片机常用数制对照表

十进制数(D) (逢十进一)	十六进制(H) (逢十六进一)	二进制数(B) (逢二进一)	8421 BCD 码 (二—十进制码)
0	0	0000	0000
1	1	0001	0001
2	2	0010	0010
3	3	0011	0011
4	4	0100	0100
5	5	0101	0101
6	6	0110	0110
7	7	0111	0111
8	8	1000	1000
9	9	1001	1001
10	A	1010	0001 0000
11	B	1011	0001 0001
12	C	1100	0001 0010
13	D	1101	0001 0011
14	E	1110	0001 0100
15	F	1111	0001 0101
16	10	0001 0000	0001 0110
17	11	0001 0001	0001 0111
18	12	0001 0010	0001 1000
19	13	0001 0011	0001 1001
20	14	0001 0100	0010 0000
21	15	0001 0101	0010 0001
⋮	⋮	⋮	⋮
255	FF	1111 1111	0010 0101 0101

1.1.5 ASCII 码

常用的各种计算机语言都是用字母、数字及各种符号来表示的，而计算机只能识别二进制数，故要用二进制数来表示上述字母、数字及符号。

用 7 位二进制数编码表示 26 个大写英文字母、26 个小写英文字母、10 个整数 0~9、32 个通用控制符号、34 个专用符号，这种共 128 个字符的编码，叫 ASCII 码。

ASCII 码是 1963 年美国标准学会(ANSI)制定的美国国家信息交换标准字符码(American Standard Code for Information Interchange, 简称 ASCII 码)，它是目前国际上比较通用的编码。ASCII 码字符表如表 1.3 所示。

表 1.3 ASCII 码字符表

高位 低位		0	1	2	3	4	5	6	7
		000	001	010	011	100	101	110	111
0	0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	'	p
1	0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
2	0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
3	0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
4	0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
5	0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
6	0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
7	0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
8	1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
9	1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
A	1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
B	1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
C	1100	FF	FS	,	<	L	\	l	
D	1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
E	1110	SO	RS	.	>	N	^	n	~
F	1111	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

【例 1.1】 在表 1.3 中查找大写字母“W”的 ASCII 码。

【解】 第一步：在 ASCII 表中找到大写字母 W。

第二步：将字符 W 的高位与低位所对应的二进制数连接起来(高位对应的 3 位 101 在前，低位对应的 4 位 0111 在后)，得 7 位二进制编码 1010111B = 57H。

【例 1.2】 在表 1.3 中查找数字“5”的 ASCII 码。

【解】 第一步：在 ASCII 表中找到 5。

第二步：将 5 的高位与低位所对应的二进制数连接起来(高位对应的 3 位 011 在前，低位对应的 4 位 0101 在后)，得 7 位二进制编码 0110101B = 35H。

1.2 单片机常用数制及其相互转换

下面重点介绍使用较多的十进制数与二进制数之间、十进制数与十六进制数之间、二进制数与十六进制数之间的相互转换。数字、字母转换为 ASCII 码已在前面说明，8421BCD 码与二进制数的相互转换及其应用将在第 5 章详述。

1.2.1 十进制数与二进制数的相互转换

(1) 十进制数转换为二进制数，用“除 2 取余，商 0 为止，余数倒排”法。

【例 1.3】将十进制数 173D 转换为二进制数。

【解】将 173D “除 2 取余，商 0 为止，余数倒排”，得 $173D = 10101101B$ ，如图 1.1 所示。

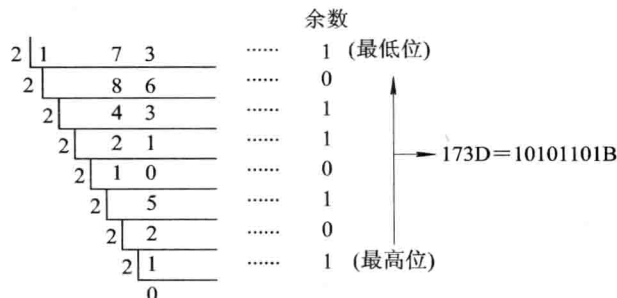


图 1.1 十进制数转换为二进制数的运算

(2) 二进制数转换为十进制数，用“按权展开求和”法。

【例 1.4】将 $10101101B$ 转换为十进制数。

【解】 $10101101B = 1 \times 2^7 + 0 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$
 $= 128 + 0 + 32 + 0 + 8 + 4 + 0 + 1 = 173$

1.2.2 十进制数与十六进制数的相互转换

(1) 十进制数转换为十六进制数，用“除 16 取余，商 0 为止，余数倒排”法。

【例 1.5】将十进制数 173D 转换为十六进制数。

【解】将 173D “除 16 取余，商 0 为止，余数倒排”，得 $173D = ADH$ ，如图 1.2 所示。

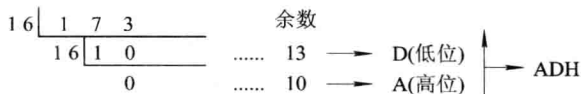


图 1.2 十进制数转换为十六进制数的运算

(2) 十六进制数转换为十进制数，用“按权展开求和”法。

【例 1.6】将十六进制数 ADH 转换为十进制数。

【解】用“按权展开求和”法，得

$$ADH = A \times 16^1 + D \times 16^0 = 10 \times 16 + 13 \times 1 = 160 + 13 = 173$$

1.2.3 二进制数与十六进制数的相互转换

(1) 二进制数转换为十六进制数，用“四位一组，求 8421 码之和”法。

【例 1.7】将二进制数 $1010\ 1101B$ 转换为十六进制数。

【解】将 $1010\ 1101B$ 四位一组，分为左右两组

8	4	2	1	8	4	2	1
1	0	1	0	1	1	0	1

对左组，按位求 8421 码之和，得

$1 \times 8 + 0 \times 4 + 1 \times 2 + 0 \times 1 = 10 = A(H)$

对右组，按位求 8421 码之和，得

$1 \times 8 + 1 \times 4 + 0 \times 2 + 1 \times 1 = 13 = D(H)$

所以，1010 1101B = AD(H)。

(2) 十六进制数转换为二进制数，用“按位拼 8421”法。

【例 1.8】将十六进制数 ADH 转换为二进制数。

【解】十六进制数 AD(H)，用“按位拼 8421”法得四位二进制数，即 AH=1010B；十六进制数 D(H)，用“按位拼 8421”法，得四位二进制数，即 DH = 1101B；所以，AD(H) = 10101101(B)。

【例 1.9】对于以下十六进制数 0FH、0FFH、0FFFH、1FFFH 等，用如下方法可快速求出对应的二进制数和十进制数：

- (1) 把十六进制数写成对应的二进制数和十进制数。
- (2) 根据二进制数 1 的个数 x，用公式 $2^x - 1$ 可迅速求出对应的二进制数和十进制数，见表 1.4。

表 1.4 根据二进制数 1 的个数，快速求出对应的二进制数和十进制数举例

十六进制数	对应的二进制数	对应的十进制数
0FH	1111B(4 个 1)	$2^4 - 1 = 16 - 1 = 15$
FFH	1111 1111B(8 个 1)	$2^8 - 1 = 256 - 1 = 255$
0FFFH	1111 1111 1111B(12 个 1)	$2^{12} - 1 = 4096 - 1 = 4095$
1FFFH	0001 1111 1111 1111(13 个 1)	$2^{13} - 1 = 8192 - 1 = 8191$

1.3 二进制数的运算

1.3.1 二进制数的算术运算

1. 加法运算

运算规则：0 + 0 = 0，0 + 1 = 1，1 + 0 = 1，1 + 1 = 10(有进位)。

【例 1.10】已知 1001B = 9，1011B = 11。求 1001B + 1011B。

【解】二进制数加法运算为逢二进一，而十进制数加法运算为逢十进一，见图 1.3。

二进制数加法运算：逢二进一

被加数：1 0 0 1

加 数：+ 1 0 1 1

进 位：_____

和：1 0 1 0 0(=20)

对应的十进制数加法运算：逢十进一

被加数：9

加 数：+ 1 1

进 位：_____

和：2 0

图 1.3 加法运算举例

结果得 1001B + 1011B = 10100B = 20D。