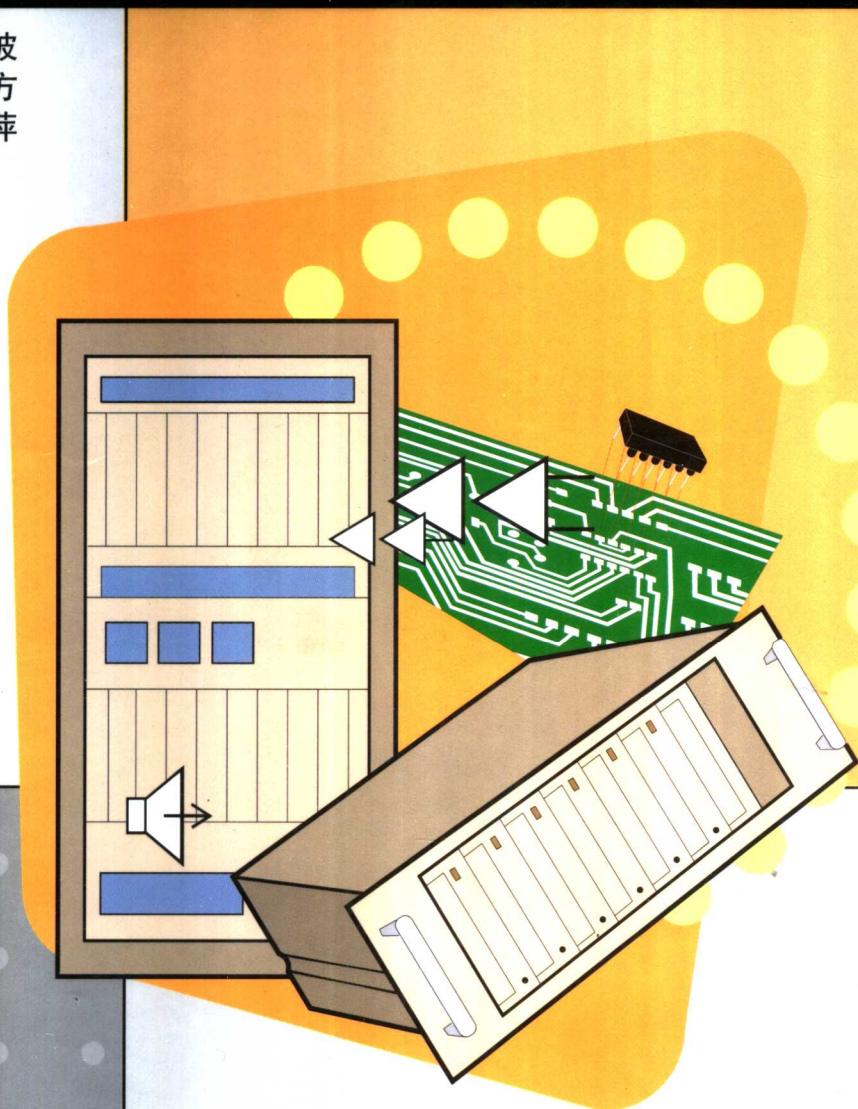


21 世纪课程
十五规划教材

高职高专计算机与信息技术系列规划教材 李大友 主编

数字电子技术

主 编 张明波
副主编 台 方
张子萍



79
0



中国电力出版社

www.infopower.com.cn

华北水利水电学院图书馆



2010421309

TN79
Z140

21 世纪课程
十五规划教材

高职高专计算机与信息技术系列规划教材 李大友 主编

数字电子技术

主 编 张明波
副主编 台 方
张子萍



00502/06



中国电力出版社
www.infopower.com.cn

1042130

内容提要

本书为高职高专计算机与信息技术系列规划教材之一,丛书由李大友教授主编。本书由具有丰富教学经验的一线教师编写,内容精练、突出实用特色,通过各种半导体器件及其电路阐述了数字电子技术中的基本概念、基本原理和基本分析方法,并通过大量的实例介绍了数字电路的分析和设计方法。本书还突出仿真软件在电路分析中的作用,增加了利用 Protel 进行数字电路仿真的内容。主要内容包括数字逻辑基础、逻辑门电路、组合逻辑电路的分析和设计、时序逻辑电路的分析、常用组合逻辑和时序逻辑功能器件、触发器、脉冲波形的产生和变换等。在每一章中,配备了多种类型的例题和习题,附录中还给出了部分习题的参考答案。

本书实用性强,可作为高职高专院校各相关专业数字电子技术课程的教材,也可供自学者和广大工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术 / 张明波 主编. —北京: 中国电力出版社, 2004

(高职高专计算机与信息技术系列规划教材)

ISBN 7-5083-1543-X

I. 数... II. 张... III. 数字电路—电子技术—高等学校: 技术学校—教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 055290 号

责任编辑: 郭丽然

丛 书 名: 高职高专计算机与信息技术系列规划教材

书 名: 数字电子技术

出版发行: 中国电力出版社

地址: 北京市三里河路6号 邮政编码: 100044

电话: (010) 88515918 传 真: (010) 88518169

本书如有印装质量问题, 我社负责退换

印 刷: 汇鑫印务有限公司

开 本: 787×1092 1/16 **印 张:** 11 **字 数:** 240 千字

书 号: ISBN 7-5083-1543-X

版 次: 2004年8月北京第一版

印 次: 2004年8月第一次印刷

印 数: 0001—4000册

定 价: 17.00 元

版权所有, 翻印必究

高职高专计算机与信息技术系列规划教材

编 委 会

主 任:

李大友 刘广峰

副主任: (以姓氏笔画为序)

丁 雁 闫宏印 张克善 李 可 徐炳亭

徐新华 鲍 泓

委 员: (以姓氏笔画为序)

王 彤 吕 丽 孙秀钰 孙 燕 安 容

张永飞 张 妍 张明波 时瑞鹏 李建国

李海凤 李 勤 杨伟国 杨丽华 杨国兴

孟祥双 果晓来 胡顺增 徐 亮 徐 艳

崔亚平 崔雁松 蒙 虎 谢永超

序 言

这套教材为 21 世纪高职高专计算机与信息技术系列规划教材。为满足高职高专计算机与信息技术各专业的教学和学习要求,使这套教材做到有的放矢,我们研究了高职、高专教育的特点和需求,当前高职、高专课程设置与教材建设存在的问题,确定了这套教材应具有的特点和应涵盖的内容以及这套教材的特色。

高职、高专教育具有什么样的特点和需求呢?从教育部公布的数据表明:我国高职、高专教育的在校生人数和毕业生人数,都占据了普通高等教育和成人高等教育人数总和的半壁江山,学校的总数占据了普通和成人高校总和的 70%,可见高职、高专教育的发展速度是非常迅猛的。

随着我国国民经济的快速发展,经济增长方式的转变、经济结构的调整 and 高等教育大众化的需求,为高职、高专教育的发展提供了广阔的空间。

经济增长方式的转变,要求社会提供大量生产第一线高素质的劳动者;经济结构的调整对第一线的生产者和管理者,提出了更高的技术和技能要求;高等教育大众化的需求,要求设计教育的类型和结构必须适应经济发展的需要,为社会培养出多层次、多类型和多规格的社会建设人才。

在这种形势下,要求高职、高专教育为社会培养出更多的第一线的实用型人才。为适应这种要求,高职、高专的课程设置与教材建设,必须满足高职、高专教育的需要。

那么当前高职、高专课程设置与教材建设存在哪些问题呢?我们认为主要是:课程设置和教材建设与社会需求脱节;理论与实践教学内容体系不能按职业岗位和技术领域的要求设置课程和组织教学。

当前部分高职、高专的专业结构与社会的产业结构、行业结构不相符合,专业人才培养模式与实际职业岗位、技术领域要求有较大距离,没有将生产一线的需要摸清楚。因此造成课程设置和教材建设与社会需求产生某种程度的脱节。现在,很多高职、高专院校还是按学科型体系组织教学,因此课程与教材建设也沿用了这种体系的需求,我们认为理论与实践教学内容体系应按职业和技术的要求设置课程和组织教学。

那么我们这套高职高专计算机与信息技术系列规划教材具有哪些特点呢?它是根据计算机与信息技术行业需要和技术岗位的需求组织编写的;在理论与实践的关系上,在保证理论够用的基础上,按照职业技术岗位和技术领域的要求设计课程和组织教学。充分考虑了教学内容和教学模式的改革要求,根据计算机与信息技术产业结构、技术岗位体系的要求和职业岗位能力的要求组织技术理论课程和实训教材,将职业教育的教学模式和方法融入这套教材之中。

为了搞好这套教材,我们深入研究了美国 ACM 和 IEEE/CS 最新发表的计算学科 2001 教学计划。该计划系统总结了计算机和信息技术近十年来的发展和变化,认为计算学科应包括计算机科学、计算机工程、软件工程和信息系统四大分支。该教学计划所涵盖的内容不仅适合本科教学的需要,而且也适合专科教学的需要。其中最关键的问题是如何进行取舍。

结合计算机和信息技术产业结构与技术岗位体系的要求及职业能力的要求,我们认为高职、高专教育应涵盖计算机工程、软件工程和信息技术三个方面的内容。其中包括:离散数学的基本知识和基本理论、算法的基础知识、程序设计基础、程序设计语言、数字逻辑、计算机组织与结构、计算机网络、网络管理与网络安全、操作系统基本原理、多媒体技术及其应用、计算机图形制作与动画制作、软件工程概论、数据库原理与应用、信息系统原理与信息系统设计方法、计算机故障检测与系统维护等方面的内容。

本套教材本着基础理论够用,理论密切联系实际,课堂教学用教材与实训教材并重的原则进行组织。聘请的作者都是多年从事高职、高专计算机与信息技术教育的专家、教授。他们在多年的教学实践中,积累了丰富的、高职、高专教学实践经验。这套教材是他们实践的总结。我们有充分的理由相信,它一定会受到社会的广泛欢迎。

全国高等学校计算机教育研究会 李大友
课程与教材建设委员会主任

前 言

数字电子技术是一门技术基础课程,主要研究各种逻辑门电路、集成器件的功能及其应用。

本书适用于高职高专学校各专业电子技术课程,同时也可以作为渴望掌握电子技术基础的自学者的指导教材。本书通过各种半导体器件及其电路阐述了数字电子技术中的基本概念、基本原理和基本分析方法,并通过大量的实例介绍了数字电路的分析和设计方法。

在教材的编写过程中,特别注意了以下几点:

本书特别引入了相关的半导体基础知识,根据数字电路的要求,全面扼要地介绍了相关的二极管和三极管的基础知识。

倡导学生通过功能表和管脚图了解集成芯片的功能和使用方法,重点突出集成芯片的应用,略去了对集成芯片内部电路的分析。

根据需要,增加了利用 Protel 进行数字电路仿真的内容,对数字电路的仿真作了引导性的介绍,为以后利用软件进行电路分析和设计打下良好的基础。书中绝大部分的例题都给出了仿真电路和仿真波形图,培养学生根据电路仿真对所学知识进行验证的能力。

在每一章中,配备了多种类型的例题和习题,以巩固基本概念和基础知识,加深对所学知识的理解和掌握。

本书的第1章由张子萍编写,第2章~第8章由张明波编写,附录由台方编写。在编写过程中,得到了北京科技大学姜维斌老师的大力支持,在此一并表示感谢。

在本书的编写过程中,参考了大量的文献,在此向各位作者致以真诚的谢意。

限于水平,疏漏难免,恳请批评指正。

编 者

2004年5月

目 录

序 言

前 言

第 1 章 数字逻辑基础	1
1.1 数字逻辑的基本概念	1
1.2 数字电路的发展和分类	3
1.3 数制及数制转换	4
1.4 二进制码	7
本章小结	9
习题	10
第 2 章 逻辑门电路	11
2.1 半导体基础知识	11
2.2 基本逻辑门电路	19
2.3 TTL 逻辑门电路	23
2.4 CMOS 逻辑门电路	30
2.5 正负逻辑问题	33
本章小结	34
习题	35
第 3 章 组合逻辑电路的分析和设计	39
3.1 数字电路分析和设计的数学工具	39
3.2 组合逻辑电路的分析	51
3.3 组合逻辑电路的设计	54
3.4 组合逻辑电路中的竞争冒险	58
本章小结	60
习题	60
第 4 章 常用组合逻辑功能器件	63
4.1 编码器	63
4.2 译码器	65
4.3 数据选择器	70
4.4 数值比较器	74
4.5 加法器	76
本章小结	79
习题	79
第 5 章 触发器	81
5.1 RS 触发器	81

5.2 JK 触发器.....	87
5.3 T 触发器.....	91
5.4 D 触发器.....	91
本章小结.....	93
习题.....	93
第 6 章 时序逻辑电路	97
6.1 时序逻辑电路的基本概念.....	97
6.2 时序逻辑电路的分析.....	99
本章小结.....	105
习题.....	106
第 7 章 常用时序逻辑器件	110
7.1 计数器.....	110
7.2 寄存器.....	122
本章小结.....	127
习题.....	128
第 8 章 脉冲波形的产生和变换	130
8.1 555 定时器简介.....	130
8.2 多谐振荡器.....	132
8.3 单稳触发器.....	135
8.4 施密特触发器.....	142
本章小结.....	147
习题.....	147
附录 1 Protel 仿真简介	150
附录 1.1 Protel 仿真特点简介.....	150
附录 1.2 Protel 仿真实例.....	151
附录 2 数/模转换器和模/数转换器	156
附录 2.1 数/模转换器.....	156
附录 2.2 模/数转换器.....	158
附录 3 部分习题答案	161
第 1 章习题答案.....	161
第 2 章习题答案.....	162
第 3 章习题答案.....	162
第 4 章习题答案.....	163
第 5 章习题答案.....	163
第 6 章习题答案.....	164
第 7 章习题答案.....	164
第 8 章习题答案.....	164
参考文献	165

第 1 章 数字逻辑基础

1.1 数字逻辑的基本概念

自 19 世纪 60 年代第一块小规模集成电路生产以来,电子技术有了极大的发展。随着大规模集成电路和超大规模集成电路的出现,使计算机和数字设备以前所未有的规模和速度迅速发展。今天,电子技术几乎已渗透到社会生产和生活的各个领域,它在工业、农业、国防、科研、经济管理、办公自动化、现代通信及日常生活等各个领域中都有着广泛的应用。可以说没有先进的电子技术就没有现代社会生产,就没有国防、工业与生活的现代化。

1.1.1 模拟信号和数字信号

在电子技术领域里,存在着两类信号:一类是模拟信号,即电流或电压的幅值随时间连续变化的信号,如图 1-1 所示;另一类是数字信号,即电流或电压在幅值上和时间上都是离散的信号,如图 1-2 所示。用于传送、加工和处理模拟信号的电路称为模拟电路,而用于传送、加工和处理数字信号的电路称为数字电路。

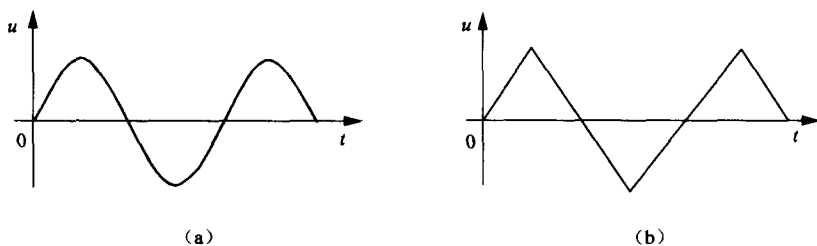


图 1-1 模拟信号

(a) 正弦波; (b) 三角波

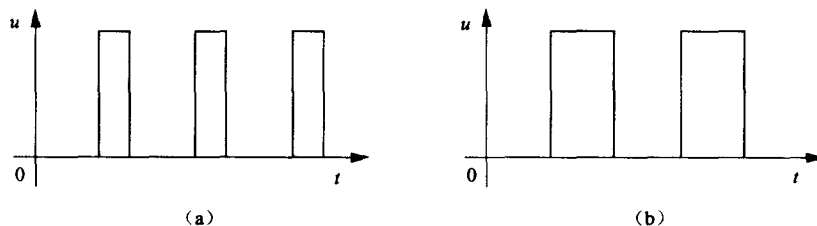


图 1-2 数字信号

(a) 矩形波; (b) 方波

1.1.2 数字逻辑和逻辑体系

数字信号在时间和数值上均是离散的,常用数字 0 和 1 来表示。这里的 0 和 1 是两种逻辑状态,即逻辑 0 和逻辑 1,我们称之为二值数字逻辑。

在客观世界中存在着大量相互联系又相互对立的状态，如真和假、赞成和反对、亮和灭等等。所有这些对立的状态，均可以抽象地表达为 1 或 0，称为逻辑 0 状态和逻辑 1 状态。注意，此处的 0 和 1 仅表示事物的两个对立状态，因此没有大小之分。在电路上，可以利用电子器件的开关特性形成离散信号电压或数字电压。这些数字电压常用逻辑电平来表示。逻辑电平并不是物理量，而是物理量的相对表示。表 1-1 表示了逻辑电平与电压之间的关系。

表 1-1 逻辑电平与电压之间的关系

电 压 (V)	电 平	二值逻辑
+5	H (高电平)	1
0	L (低电平)	0

1.1.3 数字波形

数字波形是逻辑电平对时间的图形表示。图 1-3 所示为利用逻辑电平表示的数字波形。

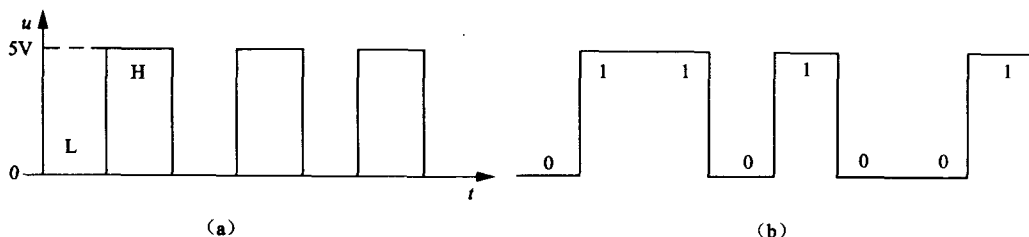


图 1-3 数字波形

(a) 以逻辑电平表示的数字波形；(b) 8 位数据的数字波形

图 1-3 所示的数字波形是理想的，即信号状态的变化是不需要时间的。但在实际的数字系统中，数字波形并不能够立即上升或下降，而是必须经历一段时间，如图 1-4 所示。

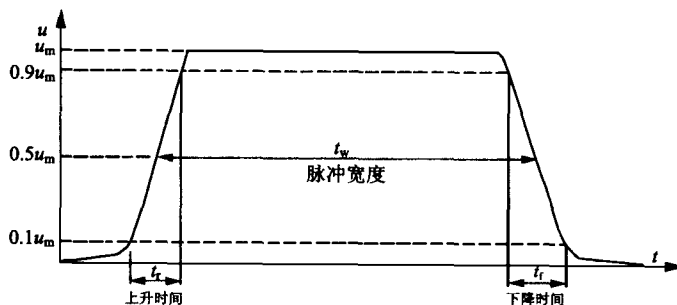


图 1-4 非理想脉冲波形

在非理想脉冲波形中，定义从脉冲幅值的 10% 上升到 90% 经历的时间为脉冲波形的上升时间；定义从脉冲幅值的 90% 下降到 10% 经历的时间为脉冲波形的下降时间；定义脉冲幅值的 50% 的两个时间点所跨越的时间为脉冲宽度。数字信号的上升时间和下降时间的典型值一般为几个纳秒 (ns)。

1.2 数字电路的发展和分类

近 20 年来,随着数字电子技术的发展,传统的模拟系统已被或逐渐被性能优越的数字系统所代替。和模拟电路相比,数字电路主要有以下特点:

- 数字电路的基本单元电路结构简单,对元器件精度的要求不高,允许电路参数有较大的离散性,有利于电路的集成。
- 数字电路的通用性强。数字系统的设计通常采用各种标准数字集成组件,因此系统工作可靠性高、稳定性好、精度高,便于维护。
- 数字电路的抗干扰能力强。由于数字信号是用 0 或 1 两个状态来表示的,可以很容易地解决外界信号干扰的问题。
- 数字电路的保密性好。数字信号比较容易进行加密处理,信息资源不易被窃取。

1.2.1 数字电路发展

现代数字电路是由半导体工艺制成的若干数字集成器件构造而成的,其基本单元是逻辑门,数字电路的发展经历了电子管、半导体分立元件和集成电路几个阶段。自 19 世纪 70 年代美国 TI 公司首次推出 54/74 系列 TTL 逻辑门电路以来,随着集成电路的工艺不断改进,先后出现了 54/74LS、54/74ALS、54/74H、54/74S、54/74AS 等产品,54/74 系列产品的发展过程反映了集成电路向高速化和低功耗化的改进过程。

在 19 世纪 70 年代初出现了标准 CMOS (CMOS4000 系列) 电路,但由于当时工艺所限,无法实现高集成度,并且其工作速度也无法和 TTL 系列相比,因此其发展速度较 TTL 电路要慢。在经历了 19 世纪 80 年代的能源危机后,由于电子产品市场对集成电路的品种、性能和节能等方面提出新的要求,加之人们掌握了新的工艺技术,在 1981 年秋,由美国的 Motorola 和 National Semiconductor 公司联合推出了 54/74HC 高速 CMOS 逻辑电路系列。随着制造工艺(特别是 CMOS 工艺)的不断改进,现在 CMOS 电路的性能已经超过了 TTL 而成为占主导地位的逻辑器件。

1.2.2 数字电路的分类

数字电路按集成度可以分为小规模 (SSI)、中规模 (MSI)、大规模 (LSI)、超大规模 (VLSI) 和甚大规模 (ULSI) 五类。所谓的集成度是指芯片中集成的三极管 (包括 BJT 和 FET) 的个数。集成电路的分类见表 1-2。

表 1-2 集成电路分类表

分 类	集 成 度	典 型 电 路
小规模 (SSI)	最多 10 个	逻辑门电路
中规模 (MSI)	10~100	计数器、加法器
大规模 (LSI)	100~1000	小型存储器、门阵列
超大规模 (VLSI)	1000~10 ⁶	大型存储器、微处理器
甚大规模 (ULSI)	10 ⁶ 以上	可编程逻辑器件、多功能集成电路

1.3 数制及数制转换

数制与我们的生活有着密不可分的关系,所谓数制就是计数体制。在不同的时间和场合下,我们使用不同的数制。比如在我国古代盛行十六进制,因此才有了“半斤八两”的成语;而现在的日常生活中,我们习惯于十进制;在数字系统中(如数字计算机中),使用的则是二进制或十六进制。

1.3.1 十进制

十进制是日常生活中最常用的计数体制,它采用 0~9 十个数码和一个小数点符号来表示任意十进制数。其计数规律是“逢十进一”,因此十进制就是以 10 为基数的计数体制。

在十进制数中,处于不同的位置的数码所代表的数值等于数码乘以该位置所对应的因子,不同位置所对应的因子是不相同的,我们称这一因子为“权”。在十进制中,个位、十位、百位的“权”分别为 1、10 和 10^2 ,而十分位的“权”为 10^{-1} 。因此,任意十进制数可按“权”展开为 10 的幂多项式,如 264.7 的展开式为

$$(264.7)_{10} = 2 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 4 \times 10^0 + 7 \times 10^{-1}$$

任意一个十进制数都可以按照式 (1-1) 展开

$$(N)_{10} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} D_i \times 10^i \quad (1-1)$$

式中 i ——数位,即数码所在的位置;

10^i ——数码 D_i 的位权。

1.3.2 二进制

在二进制数中,每一位数码仅有 0 和 1 两种取值可能。低位和相邻高位的进位关系是“逢二进一”,因此二进制是以 2 为基数的计数体制。

一般地,二进制数可以采用式 (1-2) 表示

$$(N)_2 = \sum_{i=-\infty}^{\infty} D_i \times 2^i \quad (1-2)$$

例如 $(1011.11)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$

二进制具有以下特点:

- 二进制只允许取 0 和 1 两个数码,因此它的每一位都可以用具有两个稳定状态的元件来表示,而这样的元件在电子电路中是很容易找到的,这样数码的存储、分析和传输,就可以用简单而可靠的方式进行。
- 二进制数的运算规则简单,运算操作方便,因此相应的运算电路也就比较简单。

1.3.3 十六进制数和八进制

虽然二进制数有其优点,但也有着书写冗长、不直观的缺点。因此在数字计算机有关资料中常用十六进制数或八进制数来表示二进制数。十六进制和十进制同样紧凑,同时又具有与二进制间转换关系特别简单的优点。

十六进数采用 0~9、A (对应十进制数中的 10)、B (11)、C (12)、D (13)、E (14)

和 F (15) 等 16 个数码组成, 其计数规律为“逢十六进一”。十六进制数可以按照式 (1-3) 展开

$$(N)_{16} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} D_i \times 16^i \quad (1-3)$$

如 $(789)_{16} = 7 \times 16^2 + 8 \times 16 + 7$

八进制数由 0~7 等 8 个数码组成, 其计数规律为“逢八进一”。八进制数的展开式如式(1-4)

$$(N)_8 = \sum_{i=-\infty}^{\infty} D_i \times 8^i \quad (1-4)$$

如 $(789.32)_8 = 7 \times 8^2 + 8 \times 8 + 7 + 3 \times 8^{-1} + 2 \times 8^{-2}$

1.3.4 数制转换

既然同一个数可以采用不同的进制加以表示, 那么不同的进制之间必定存在一定的转换关系。

1. 非十进制数转换为十进制数

非十进制数到十进制数之间的转换比较简单: 先将该数按位权展开, 再将系数及权均用十进制表示后按十进制进行乘法与加法运算, 所得的多项式的值即为该数对应的十进制数。

【例 1-1】将非十进制数 $(1011.11)_2$ 、 $(87.9)_{16}$ 、 $(45)_8$ 、 $(32)_7$ 转换为十进制数。

解: (1) $(1011.11)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (11.75)_{10}$

(2) $(87.9)_{16} = 8 \times 16^1 + 7 \times 16^0 + 9 \times 16^{-1} = (135.5625)_{10}$

(3) $(45)_8 = 4 \times 8^1 + 5 \times 8^0 = (37)_{10}$

(4) $(32)_7 = 3 \times 7^1 + 2 \times 7^0 = (23)_{10}$

2. 十进制数转换为二进制数

将十进制整数转换为二进制数的方法是“连除取余法”。所谓的“连除取余法”就是将十进制数连续除 2 直至商为 0 为止, 根据所得所有余数就可以确定出所对应的二进制数。

【例 1-2】将十进制数 $(34)_{10}$ 转换为二进制数。

解:

2	34			
2	17		0	↑
2	8		1	b ₁
2	4		0	b ₂
2	2		0	b ₃
2	1		0	b ₄
	0		1	b ₅

由上可得 $(34)_{10} = (100010)_2$

将十进制小数转换为二进制数的方法是“连乘取整法”, 即将十进制小数连续乘 2, 根据每次所得乘积的整数部分确定出所对应的二进制数。

【例 1-3】将十进制数 $(0.76)_{10}$ 转换为二进制数。

解:

$$\begin{array}{rcl}
 0.76 \times 2 = 1.52 & \cdots \cdots 1 & b_{-1} \\
 0.52 \times 2 = 1.04 & \cdots \cdots 1 & b_{-2} \\
 0.04 \times 2 = 0.08 & \cdots \cdots 0 & b_{-3} \\
 0.08 \times 2 = 0.16 & \cdots \cdots 0 & b_{-4} \\
 0.16 \times 2 = 0.32 & \cdots \cdots 0 \downarrow & b_{-5}
 \end{array}$$

因此 $(0.76)_{10} = (0.11000)_2$

3. 十进制转换为任意进制

如果将十进制数转换为任意进制数 (K 进制), 可以按照以下法则进行:

- 整数部分: 连续除 K , 反向取余。
- 小数部分: 连续乘 K , 正向取整。

【例 1-4】将十进制数 $(5679)_{10}$ 转换为十六进制数。

解:

$$\begin{array}{rcl}
 16 \overline{) 5679} & & \\
 16 \overline{) 354} & \cdots \cdots 15 & \uparrow \\
 16 \overline{) 22} & \cdots \cdots 2 & \\
 16 \overline{) 1} & \cdots \cdots 6 & \\
 0 & \cdots \cdots 1 &
 \end{array}$$

$(5679)_{10} = (162F)_{16}$

4. 二进制和十六进制及八进制之间的转换

二进制和十六进制之间的转换可以直接进行。将二进制数以小数点为界向左 (向右) 每 4 位为一组, 找出对应的十六进制数。二进制数转换为八进制只要将 4 位一组改为 3 位一组即可。

【例 1-5】将二进制数 1101100111.101 转换成: (1) 十六进制数; (2) 八进制数。

解: (1) $0011, 0110, 0111.1010$ 二进制
 3 6 7.A 十六进制

$(1101100111.101)_2 = (367.A)_{16}$

(2) $001, 101, 100, 111.101$ 二进制
 1 5 4 7.5 八进制

$(1101100111.101)_2 = (1547.5)_8$

反过来, 由八进制 (十六进制) 到二进制的转换只需将原数按位用 3 位 (4 位) 二进制数码替代即可。

【例 1-6】将 $(367.A)_{16}$ 、 $(367)_8$ 分别转换为二进制数。

解: (1) 3 6 7.A 十六进制
 0011 0110 0111.1010 二进制

$$(367.A)_{16}=(11011000111.101)_2$$

(2) 3 6 7 八进制

001, 101, 111 二进制

$$(367)_8=(1101111)_2$$

【例 1-7】将十进制数 $(5679)_{10}$ 转换为二进制数。

当需要转换的数值比较大时，也可以通过十六进制完成十进制数到二进制数的转换。

解：根据例 1-4 有 $(5679)_{10}=(162F)_{16}$

直接写出 $(5679)_{10}=(1011000101111)_2$

0~15 的十进制数和十六进制数及二进制数之间的对应关系见表 1-3。

表 1-3 0~15 的十进制数与十六进制、二进制数对照表

十进制数	十六进制数	二进制数	十进制数	十六进制数	二进制数
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

1.4 二进制码

在数字系统中往往需要采用一定位数的二进制数码表示需要处理的信息，我们称这些含有特定信息的二进制数码为代码。而建立代码和特定信息之间一一对应的关系称为编码。如果要对 N 种状态进行编码，则采用的二进制代码的位数 n 必须满足以下关系

$$2^n \geq N \quad (1-5)$$

下面介绍几种常用的二进制编码。

1.4.1 BCD 码

所谓的 BCD 码就是将十进制数的 0~9 这 10 个数码分别用 4 位二进制数码的组合来表示，即 BCD 码是用二进制码表示的十进制数。

BCD 码可以分为有权码和无权码两种，所谓的有权码是指十进制数码和二进制编码之间的关系可以用式 (1-6) 来表示

$$N = \sum_{i=0}^3 W_i b_i \quad (1-6)$$

式中 W_i ——二进制编码中各位数码 (b_i) 的权。

8421BCD 码是一种应用比较普遍的有权 BCD 码, 在 8421 码中, b_0 的权为 1, b_1 的权为 2, b_2 的权为 4, b_3 的权为 8。这样在 8421 码中, 0101 代表的十进制数码就是

$$0 \times 8 + 1 \times 4 + 0 \times 2 + 1 \times 1 = 5$$

由于 4 位二进制数可以表示 16 种状态, 而十进制数码只有 10 个, 因此 8421BCD 码中只选取了从 0000 (0) ~ 1111 (15) 16 中组合的前 10 种, 其余六种组合是无效的, 如表 1-4 所示。从 16 种组合中选取 10 种有效组合有许多不同的方式, 因此就存在着多种形式的 BCD 编码, 如 2421 码、5421 码等。

表 1-4 几种常见的码

自然二进制数 2 ³ 2 ² 2 ¹ 2 ⁰	代码对应的十进制数		
	8421 码	2421 码	余 3 码
0000	0	0	无效组合
0001	1	1	
0010	2	2	
0011	3	3	0
0100	4	4	1
0101	5	无效组合	2
0110	6		3
0111	7		4
1000	8		5
1001	9		6
1010	无效组合		7
1011		5	8
1100		6	9
1101		7	无效组合
1110		8	
1111		9	

余 3 码是在 8421 码上加 3 (0011) 得到的, 无法用式 (1-6) 表示其编码关系, 因此它是一种无权码。

BCD 码和二进制数在形式上与没有差别, 但却是两个不同的概念。例如, 十进制数 32 对应的二进制数是 00100000, 而它的 BCD 码则是 00110010。十进制数到二进制数是通过前面讲的连除取余法的转换方法转换过来的; 而十进制数到 BCD 码的转换是将十进制的每一位直接用 4 位二进制来表示形成的。

1.4.2 格雷码

在实用上, 还有一种常见的无权码叫格雷码, 其编码如表 1-5 所示。格雷码相邻的两个