

WUTP

面向21世纪  
高职高专计算机类  
专业新编系列教材

Digital Logic

# 数字逻辑

主编 宋锦河 张树臣

武汉理工大学出版社

Wuhan University of Technology Press

## 【内容简介】

本书是依据教育部制定的《高职高专教育数字电子技术基础课程教学基本要求》编写的。全书共分8章。主要内容包括:数字电路基础,门电路,逻辑代数基础,基本组合逻辑电路,触发器,时序逻辑电路,脉冲产生与变换电路,数/模和模/数转换器。

本书内容广博,语言浅显,结构清晰,实例丰富,注重“讲、学、做”统一协调,便于学生自学。本书除可供高职高专及成人教育计算机、电力、电子、通信及自动化等专业作为教材外,还可供有关技术人员阅读参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

数字逻辑/宋锦河,李树臣主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2004.8

面向21世纪高职高专计算机类专业新编系列教材

ISBN 7-5629-2127-X

I. 数… II. ①宋… ②张… III. 数字逻辑-高等学校,技术学校-教材  
IV. TP302.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第051486号

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市洪山区珞狮路122号 邮政编码430070)

HTTP://www.techbook.com.cn

E-mail:tiandq@mail.whut.edu.cn duanchao@mail.whut.edu.cn

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:武汉理工大印刷厂

开 本:787×960 1/16

印 张:14

字 数:275千字

版 次:2004年8月第1版

印 次:2004年8月第1次印刷

印 数:1~5000册

定 价:20.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。本社购书热线电话:(027)87397097 87394412

凡使用本教材的教师,可拨打(027)87385610 免费索取电子教案光盘。

# 出版说明

面向新世纪,我国高等职业技术教育进入蓬勃发展的新时期。根据 IT 行业技术新、发展快的特点,高等专科学校、高等职业技术学院计算机类专业教育,按照社会主义市场经济规律的原则定位人才培养目标和调整教学方法,尽量按照新技术或新版本更新课程内容,加速各种新产品和新技术的推广应用,努力提升高等职业技术教育对国民经济发展的促进作用。

根据高等职业技术教育快速发展与教学改革对教材建设的需求,武汉理工大学出版社经过广泛调研,与国内近 30 所高等专科学校、高等职业技术学院的计算机教育专家进行探讨,决定组织编写一套适合于高等职业技术教育计算机类专业(涵盖计算机应用与维护、计算机网络技术、计算机软件技术等专业方向)人才培养和教学需要的具有特色的高质量教材——面向 21 世纪高职高专计算机类专业新编系列教材。

本套新编系列教材的编写具有以下特色:

## 1. 与时俱进,教材内容体现人才培养目标

本套教材的编写反映教育部制订的《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》的文件精神,贯彻高等职业技术教育“要服务于社会主义现代化建设,要与生产劳动和社会实践相结合”的宗旨,以培养一大批满足生产第一线需要的高等技术应用型人才为目标,坚持以技术应用型为主线的原则来编写教材内容,加强应用能力的培养。

## 2. 紧跟教学改革步伐,体现教学改革阶段性成果

本套教材的编写反映高职高专学校教学改革的阶段性成果,在处理“基础理论”与“实践能力”之间的关系上,遵循“基础理论以够用、必需为度,突出应用”的原则。教材编写坚持“少而精”的原则,以培养从

事计算机应用与维护、网络建设与维护及软件开发与测试等方面的能力,并能够快速跟踪计算机新技术发展的高等技术应用型人才为目标。坚持理论与实际相结合,采用“提出问题—分析问题—设计任务—解决任务—总结规律”的编写方法,努力创造出高职高专教材新体系。

### 3. 实现立体化出版,适应教育方式的变革

本套教材努力使用和推广现代化的教学手段,凡有条件的课程都准备组织编写、制作和出版与教材配套使用的实验、习题、课件、电子教案及相应的程序设计素材库。

本套教材首批 26 种预计在 2004 年秋季至 2005 年春季全部出齐。我们的编审者、出版者决不敢稍有懈怠,一定高度重视,兢兢业业,按最高的质量标准工作。教材建设是我们共同的事业和追求,也是我们的共同的责任和义务,我们诚恳地希望大家积极选用本套教材,并在使用过程中给我们多提意见和建议,以便我们不断修订、完善全套教材。

武汉理工大学出版社

2004 年 1 月

# 面向 21 世纪高职高专计算机类专业 新编系列教材编审委员会

顾问:

钟 珞 危道军

主任委员:

舒云星 雷绍锋

副主任委员:(以姓氏笔画为序)

刘德清 李庆亮 张树臣 张浩军 周松林

郭长庚 徐卓峰 崔轩辉 常荆燕 黄春喜

委员:(以姓氏笔画为序)

丁文华 王一兵 王学军 王海芳 刘自强

孙清伟 宋锦河 李京秀 李晓桓 何月顺

陈 年 陈松才 陈桂生 陈 鑫 张有谊

张晓云 张新成 苏 玉 周 舸 金 平

武 新 欧晓鸥 赵丽梅 赵 静 姜华斌

徐立新 徐善荣 秦振吉 郭荣冰 黄亚平

崔晓军 戴春霞

秘书长:田道全

总责任编辑:段 超 徐秋林

# 前 言

“数字逻辑”是计算机、电力、电子、通信及自动化等专业的主要技术基础课,是学习专业课及从事计算机、通信、信息技术及电气工程技术等专业的一门必修课。

本书是依据教育部制定的《高职高专教育数字电子技术基础课程教学基本要求》,结合电子信息类及相关专业教学大纲要求,以及多年从事教学实践,并参考国内外数字逻辑相关教材编写而成的。全书共8章,主要内容包括:第1章为数字电路基础,主要讲述了几种常用数制及转换,二进制数的算术运算,晶体管的开关特性以及反相器。第2章为门电路,讲述了分立元件门电路,集成TTL门电路及MOS门电路。第3章为逻辑代数基础,讲述了逻辑变量和逻辑函数,逻辑函数的表示方法及化简。第4章为基本组合逻辑电路,介绍了组合逻辑电路的分析和设计方法,以及常用中规模组合逻辑电路及其应用。第5章为触发器,讲述了基本RS触发器,同步触发器,主从触发器,边沿触发器以及不同类型触发器间的相互转换。第6章为时序逻辑电路,介绍了寄存器,集成芯片74194的应用,计数器及74163的应用。第7章为脉冲产生与变换电路,介绍了555定时器,施密特触发器,单稳态触发器以及多谐振荡器。第8章为数/模和模/数转换器,介绍数模转换和模数转换的基本原理与几种常用的典型电路。

本书在内容的选取、概念的引入、文字的叙述、例题习题的选择方面力求通俗易懂,书中列出的一些有代表性的实例,有助于学生提高实际动手能力。

全书浅显明晰、循序渐进、结构清晰、实例丰富,既适合课堂教学,又适合读者自学。

本书由宋锦河、张树臣担任主编,马文耀、邹红文担任副主编,其中,宋锦河负责全书的总体规划 and 统稿工作,并编写了第5、7、8章,张树臣编写了第1、2、3章,马文耀编写了第6章,邹红文编写了第4章,另外李传锋参与了大纲的讨论和部分内容编写。

由于作者水平有限,书中的错误和缺点在所难免,欢迎读者批评指正。

编 者

2004年5月

# 目 录

|                            |      |
|----------------------------|------|
| 1 数字电路基础 .....             | (1)  |
| 1.1 几种常用数制及转换 .....        | (1)  |
| 1.1.1 几种常用数制 .....         | (1)  |
| 1.1.2 不同数制间的转换 .....       | (3)  |
| 1.2 二进制数的算术运算 .....        | (6)  |
| 1.2.1 二进制加法 .....          | (6)  |
| 1.2.2 二进制减法 .....          | (6)  |
| 1.2.3 二进制乘法 .....          | (7)  |
| 1.2.4 二进制除法 .....          | (7)  |
| 1.3 晶体管的开关特性 .....         | (8)  |
| 1.3.1 二极管的开关特性 .....       | (8)  |
| 1.3.2 三极管的开关特性 .....       | (11) |
| 1.4 反相器 .....              | (14) |
| 1.4.1 电路组成 .....           | (14) |
| 1.4.2 工作原理 .....           | (15) |
| 1.4.3 带负载能力 .....          | (15) |
| 1.4.4 抗干扰能力 .....          | (17) |
| 1.4.5 动态特性 .....           | (18) |
| 本章小结 .....                 | (19) |
| 习题 1 .....                 | (19) |
| 2 门电路 .....                | (21) |
| 2.1 分立元件门电路 .....          | (21) |
| 2.1.1 与门 .....             | (21) |
| 2.1.2 或门 .....             | (23) |
| 2.1.3 非门 .....             | (25) |
| 2.1.4 与非门和或非门 .....        | (26) |
| 2.2 集成 TTL 门电路 .....       | (28) |
| 2.2.1 TTL 与非门电路及工作原理 ..... | (28) |
| 2.2.2 TTL 与非门的电气特性 .....   | (30) |
| 2.2.3 TTL 与非门的改进型电路 .....  | (35) |

|       |                               |      |
|-------|-------------------------------|------|
| 2.2.4 | 常用 TTL 与非门的器件类型和主要技术指标 .....  | (40) |
| 2.2.5 | 其他类型的 TTL 门电路 .....           | (42) |
| 2.3   | 其他双极型门电路 .....                | (47) |
| 2.3.1 | 高阈值集成电路(HTL 电路) .....         | (47) |
| 2.3.2 | 射极耦合逻辑电路(ECL 电路) .....        | (47) |
| 2.4   | MOS 门电路 .....                 | (47) |
| 2.4.1 | MOS 反相器电路及工作原理 .....          | (48) |
| 2.4.2 | CMOS 反相器的电气特性 .....           | (51) |
| 2.4.3 | 常用 CMOS 反相器的型号和主要技术指标 .....   | (54) |
| 2.4.4 | CMOS 传输门和模拟开关 .....           | (56) |
| 2.4.5 | CMOS 与非门、或非门和三态门 .....        | (57) |
|       | 本章小结 .....                    | (59) |
|       | 习题 2 .....                    | (60) |
| 3     | 逻辑代数基础 .....                  | (63) |
| 3.1   | 逻辑变量和逻辑函数 .....               | (63) |
| 3.2   | 常用的公式和定理 .....                | (64) |
| 3.2.1 | 与运算 .....                     | (64) |
| 3.2.2 | 或运算 .....                     | (64) |
| 3.2.3 | 非运算 .....                     | (65) |
| 3.2.4 | 摩根定理 .....                    | (66) |
| 3.3   | 逻辑函数的表示方法 .....               | (67) |
| 3.3.1 | 真值表 .....                     | (67) |
| 3.3.2 | 逻辑表达式 .....                   | (67) |
| 3.3.3 | 逻辑图 .....                     | (72) |
| 3.4   | 逻辑函数的化简 .....                 | (73) |
| 3.4.1 | 最简的概念 .....                   | (73) |
| 3.4.2 | 公式化简法 .....                   | (74) |
| 3.4.3 | 卡诺图化简法 .....                  | (75) |
| 3.4.4 | 最简与或式转换为最简与非与非式和最简或非或非式 ..... | (82) |
| 3.4.5 | 具有约束的逻辑函数的化简 .....            | (83) |
|       | 本章小结 .....                    | (85) |
|       | 习题 3 .....                    | (86) |
| 4     | 基本组合逻辑电路 .....                | (89) |
| 4.1   | 组合逻辑电路分析方法 .....              | (89) |
| 4.2   | 组合逻辑电路的设计 .....               | (92) |

---

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 4.3 常用中规模组合逻辑电路及其应用     | (95)  |
| 4.3.1 译码器               | (95)  |
| 4.3.2 码制变换译码器           | (106) |
| 4.3.3 数据选择器             | (110) |
| 4.3.4 编码器               | (114) |
| 4.3.5 数字比较器             | (119) |
| 4.3.6 加法器               | (123) |
| 本章小结                    | (128) |
| 习题4                     | (129) |
| <b>5 触发器</b>            | (130) |
| 5.1 概述                  | (130) |
| 5.2 基本RS触发器             | (131) |
| 5.2.1 电路组成              | (132) |
| 5.2.2 工作原理              | (132) |
| 5.2.3 功能描述              | (133) |
| 5.3 同步触发器               | (134) |
| 5.3.1 同步RS触发器           | (134) |
| 5.3.2 同步D触发器            | (136) |
| 5.3.3 同步JK触发器           | (139) |
| 5.3.4 同步触发器的空翻和振荡现象     | (141) |
| 5.4 主从触发器               | (142) |
| 5.4.1 主从RS触发器           | (142) |
| 5.4.2 主从JK触发器           | (144) |
| 5.4.3 主从T触发器            | (145) |
| 5.4.4 主从触发器的一次翻转现象      | (147) |
| 5.5 边沿触发器               | (148) |
| 5.5.1 负边沿JK触发器          | (148) |
| 5.5.2 维持阻塞D触发器          | (149) |
| 5.6 不同类型触发器间的相互转换       | (151) |
| 5.6.1 JK触发器转换为RS、D和T触发器 | (151) |
| 5.6.2 D触发器转换为JK、T和RS触发器 | (152) |
| 本章小结                    | (153) |
| 习题5                     | (153) |
| <b>6 时序逻辑电路</b>         | (157) |
| 6.1 概述                  | (157) |

|                                        |       |
|----------------------------------------|-------|
| 6.2 寄存器 .....                          | (158) |
| 6.2.1 数码寄存器 .....                      | (158) |
| 6.2.2 移位寄存器 .....                      | (159) |
| 6.3 集成芯片 74194 的应用 .....               | (162) |
| 6.3.1 74194 的逻辑功能 .....                | (163) |
| 6.3.2 数字式彩灯控制器 .....                   | (163) |
| 6.4 计数器 .....                          | (167) |
| 6.4.1 异步计数器 .....                      | (167) |
| 6.4.2 同步计数器 .....                      | (170) |
| 6.5 74163 的应用 .....                    | (172) |
| 6.5.1 74163 的逻辑功能 .....                | (172) |
| 6.5.2 用 74163 构成 2~16 进制加法计数器 .....    | (173) |
| 6.5.3 用 74163 构成 10 进制余 3 码加法计数器 ..... | (176) |
| 6.5.4 用 74163 构成 17~256 进制加法计数器 .....  | (176) |
| 本章小结 .....                             | (179) |
| 习题 6 .....                             | (180) |
| 7 脉冲产生与变换电路 .....                      | (186) |
| 7.1 555 定时器 .....                      | (186) |
| 7.1.1 电路组成 .....                       | (186) |
| 7.1.2 工作原理 .....                       | (187) |
| 7.1.3 基本功能 .....                       | (188) |
| 7.2 施密特触发器 .....                       | (189) |
| 7.2.1 电路组成 .....                       | (189) |
| 7.2.2 工作原理 .....                       | (189) |
| 7.2.3 应用举例 .....                       | (191) |
| 7.3 单稳态触发器 .....                       | (192) |
| 7.3.1 电路组成 .....                       | (192) |
| 7.3.2 工作原理 .....                       | (192) |
| 7.3.3 暂稳状态时间(输出脉冲宽度) .....             | (193) |
| 7.3.4 应用举例 .....                       | (194) |
| 7.4 多谐振荡器 .....                        | (194) |
| 7.4.1 电路组成 .....                       | (195) |
| 7.4.2 工作原理 .....                       | (195) |
| 7.4.3 振荡周期 .....                       | (195) |
| 7.4.4 应用举例 .....                       | (196) |

---

|                            |              |
|----------------------------|--------------|
| 本章小结.....                  | (197)        |
| 习题 7 .....                 | (197)        |
| <b>8 数/模和模/数转换器 .....</b>  | <b>(200)</b> |
| 8.1 D/A 转换器 .....          | (200)        |
| 8.1.1 T 型电阻 D/A 转换器 .....  | (200)        |
| 8.1.2 D/A 转换器的主要技术参数 ..... | (202)        |
| 8.1.3 D/A 转换器应用电路 .....    | (203)        |
| 8.2 A/D 转换器 .....          | (204)        |
| 8.2.1 A/D 转换的过程 .....      | (204)        |
| 8.2.2 逐次逼近型 A/D 转换器 .....  | (205)        |
| 8.2.3 A/D 转换的主要技术参数 .....  | (207)        |
| 8.2.4 A/D 转换器应用电路 .....    | (208)        |
| 本章小结.....                  | (209)        |
| 习题 8 .....                 | (210)        |
| <b>参考文献.....</b>           | <b>(211)</b> |

# 1 数字电路基础

## 本章提要

在数字电路中常用二进制数,在日常生活中常用十进制数。因此,在学习数字电路以前,首先介绍一些常用数制及它们之间的相互转换,讨论二进制数的算术运算,然后分析晶体管的开关特性和数字电路中广泛应用的反相器。

## 1.1 几种常用数制及转换

### 1.1.1 几种常用数制

#### 1.1.1.1 十进制

十进制数是人们十分熟悉的计数方式。它用 0~9 十个数字符号按照一定的规律排列起来,表示数值的大小。例如,2563 这个数可以写成

$$2563 = 2 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 3 \times 10^0$$

由该表达式可以看出,十进制数具有以下特点:

(1) 每一个数位只能出现十个数字符号中的某一个。通常把这些符号的数目称为基数。十进制数的基数为 10。

(2) 从右向左逢十进位。

(3) 同一数字符号在不同的数位代表的数值不同。

上例中四位十进制数的右边第一位为个位,记作  $10^0$ ;第二位为十位,记作  $10^1$ ;第三位为百位,第四位为千位,分别记作  $10^2$  和  $10^3$ 。通常把  $10^0$ 、 $10^1$ 、 $10^2$ 、

$10^3$  称为对应数位的权。每个数位对应的数字符号称为系数。某数位的数值等于该位的系数与权的乘积,即

$$\begin{aligned}[N]_{10} &= a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 \\ &= \sum_{i=0}^{n-1} a_i \times 10^i\end{aligned}\quad (1.1)$$

式中  $a_i$ ——第  $i$  位的系数,它可以取 0~9 十个数字符号中的任意一个;

$10^i$ ——第  $i$  位数的权;

$[N]_{10}$  中下标 10—— $N$  是十进制数。

### 1.1.1.2 二进制

二进制数中只有 0 和 1 两个数字符号,即它的基数为 2。它是逢二进位,各位的权为 2 的幂。

一般说来, $n$  位二进制正整数  $[N]_2$  的表达式可以写成

$$\begin{aligned}[N]_2 &= a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0 \\ &= \sum_{i=0}^{n-1} a_i \times 2^i\end{aligned}\quad (1.2)$$

式中  $a_i$ ——第  $i$  位的系数,它只能取 0 或 1 中任意一个;

$2^i$ ——第  $i$  位数的权。

**【例 1.1】** 有一个二进制数  $[N]_2 = 101000$ ,试求出对应的十进制数。

**【解】** 由式(1.2)有

$$\begin{aligned}[101000]_2 &= [1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0]_{10} \\ &= [1 \times 32 + 1 \times 8]_{10} = [40]_{10}\end{aligned}$$

即

$$[101000]_2 = [40]_{10}$$

二进制数只有两个数字符号,不仅进行算术运算简单,而且在电路上实现起来比较容易。所以数字系统广泛采用二进制。同时由上述例题也可看出,二位十进制数  $[40]_{10}$ ,用了六位二进制数  $[101000]_2$  表示,如果数值再大些,位数就更多。这既不便于书写,也容易出错,因此,在数字系统中,也经常使用八进制和十六进制。

### 1.1.1.3 八进制和十六进制

#### (1) 八进制

在八进制中,有 0、1、2、3、4、5、6、7 八个数字符号,基数为 8。它是逢八进位,各数位的权是 8 的幂。 $N$  位八进制正整数的表达式可以写成

$$\begin{aligned}[N]_8 &= a_{n-1} \times 8^{n-1} + \cdots + a_0 \times 8^0 \\ &= \sum_{i=0}^{n-1} a_i \times 8^i\end{aligned}\quad (1.3)$$

**【例 1.2】** 求八进制数 $[N]_8 = [221]_8$ 所对应的十进制数。

**【解】** 由式(1.3)有

$$\begin{aligned}[221]_8 &= [2 \times 8^2 + 2 \times 8^1 + 1 \times 8^0]_{10} \\ &= [2 \times 64 + 2 \times 8 + 1 \times 1]_{10} \\ &= [145]_{10}\end{aligned}$$

## (2) 十六进制

十六进制有 0~9、A、B、C、D、E、F 十六个数字符号。它是逢十六进位,各数位的权是 16 的幂。 $n$  位十六进制正整数的一般表达式为

$$[N]_{16} = \sum_{i=0}^{n-1} a_i \times 16^i \quad (1.4)$$

**【例 1.3】** 求十六进制数 $[3BF]_{16}$ 所对应的十进制数。

$$[3BF]_{16} = [3 \times 16^2 + 11 \times 16^1 + 15 \times 16^0]_{10} = [959]_{10}$$

为了表示以上各种进制数之间的数值关系,列出表 1.1 所示的常用计数进制。

表 1.1 常用计数进制表

| 十 进 制 | 二 进 制 | 八 进 制 | 十 六 进 制 |
|-------|-------|-------|---------|
| 0     | 0     | 0     | 0       |
| 1     | 1     | 1     | 1       |
| 2     | 10    | 2     | 2       |
| 3     | 11    | 3     | 3       |
| 4     | 100   | 4     | 4       |
| 5     | 101   | 5     | 5       |
| 6     | 110   | 6     | 6       |
| 7     | 111   | 7     | 7       |
| 8     | 1000  | 10    | 8       |
| 9     | 1001  | 11    | 9       |
| 10    | 1010  | 12    | A       |
| 11    | 1011  | 13    | B       |
| 12    | 1100  | 14    | C       |
| 13    | 1101  | 15    | D       |
| 14    | 1110  | 16    | E       |
| 15    | 1111  | 17    | F       |
| 16    | 10000 | 20    | 10      |

## 1.1.2 不同数制间的转换

### 1.1.2.1 二进制及其他进制数转换成十进制数

二进制数、八进制数和十六进制数转换为十进制数的方法和例题,在介绍这些数制时已经讨论过了,不再重述。

## 1.1.2.2 十进制数转换成二进制数

要将十进制数转换成二进制数,用下列等式:

$$\begin{aligned}[N]_{10} &= [a_{n-1}2^{n-1} + a_{n-2}2^{n-2} + \cdots + a_12^1 + a_02^0]_2 \\ &= [2(a_{n-1}2^{n-2} + a_{n-2}2^{n-3} + \cdots + a_12^0) + a_0]_2\end{aligned}$$

将等式两边同除以 2,两边的商和余数必然相等。所得的商为  $[a_{n-1}2^{n-2} + a_{n-2}2^{n-3} + \cdots + a_1]_2$ ,所得的余数为  $a_0$ ,  $a_0$  的取值只能是 1 或 0。同理,可将所得的商写成

$$\frac{[N]_{10} - a_0}{2} = [2(a_{n-1}2^{n-3} + a_{n-2}2^{n-4} + \cdots + a_2) + a_1]_2$$

上式两边也同除以 2,所得的余数即为  $a_1$ 。依次类推,不断地用 2 去除所得十进制数的商,直到商为 0 时止,每次所得的余数从后向前排列就是转换后的二进制数。

**【例 1.4】** 将  $[204]_{10}$  转换成二进制数。

**【解】**

|                      |               |
|----------------------|---------------|
| $2 \overline{) 204}$ | 余0, 即 $a_0=0$ |
| $2 \overline{) 102}$ | 余0, 即 $a_1=0$ |
| $2 \overline{) 51}$  | 余1, 即 $a_2=1$ |
| $2 \overline{) 25}$  | 余1, 即 $a_3=1$ |
| $2 \overline{) 12}$  | 余0, 即 $a_4=0$ |
| $2 \overline{) 6}$   | 余0, 即 $a_5=0$ |
| $2 \overline{) 3}$   | 余1, 即 $a_6=1$ |
| $2 \overline{) 1}$   | 余1, 即 $a_7=1$ |
| 0                    |               |

即  $(204)_{10} = [11001100]_2$

值得注意的是,最先除得的余数是最低位,而最后除得的余数为最高位。

## 1.1.2.3 二进制与八进制、十六进制的相互转换

因为 8 和 16 都是 2 的整次幂,所以二进制正整数与八进制、十六进制正整数之间的相互转换比较容易。

(1) 二进制与八进制之间的相互转换。因为三位二进制数正好表示 0~7 八个数字,所以二进制正整数要转换成八进制数时,可以从最低位开始,每三位一组,一组一组地转换成对应的八进制数。若最后不足三位,也看成一组,然后按原来的顺序排列就得到转换后的八进制数。

**【例 1.5】** 将  $[11110100010]_2$  转换为八进制数。

**【解】**

|    |     |     |     |
|----|-----|-----|-----|
| 11 | 110 | 100 | 010 |
| ↓  | ↓   | ↓   | ↓   |
| 3  | 6   | 4   | 2   |

即  $[11110100010]_2 = [3642]_8$

反之,如果要将八进制正整数转换成二进制数,只需将每位八进制数写成对应的三位二进制数,再按原来的顺序排列就行了。

**【例 1.6】** 将  $[473]_8$  转换为二进制数。

**【解】** 可用三组二进制数表示

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 4   | 7   | 3   |
| ↓   | ↓   | ↓   |
| 100 | 111 | 011 |

即  $[473]_8 = [100111011]_2$

(2) 二进制与十六进制之间相互转换。因为四位二进制正整数正好可以表示 0~F 十六个数字,所以转换时可从最低位开始,每四位二进制数一组,对应进行转换。具体方法与前面介绍的八进制的转换相同。

**【例 1.7】** 将  $[1111010011000]_2$  转换成十六进制数。

**【解】**

|   |      |      |      |
|---|------|------|------|
| 1 | 1110 | 1001 | 1000 |
| ↓ | ↓    | ↓    | ↓    |
| 1 | E    | 9    | 8    |

即  $[1111010011000]_2 = [1E98]_{16}$

**【例 1.8】** 将  $[3FDA]_{16}$  转换为二进制数。

**【解】**

|    |      |      |      |
|----|------|------|------|
| 3  | F    | D    | A    |
| ↓  | ↓    | ↓    | ↓    |
| 11 | 1111 | 1101 | 1010 |

即  $[3FDA]_{16} = [1111111011010]_2$

如果要将十进制数转换为八进制或十六进制数,可先将十进制数转换为二进制数,然后每三位或每四位一组再转换成对应的八进制或十六进制数。

## 1.2 二进制数的算术运算

### 1.2.1 二进制加法

二进制加法和十进制加法一样,从最低位开始对应位相加。因为二进制数的基数为2,在本位和等于2时向高位进1。其规则为

$$0+0=0, \quad 0+1=1, \quad 1+1=10$$

例如,两个二进制数1101和111相加,其计算过程为

$$\begin{array}{r} \text{被加数} \quad 1101 \\ \text{加数} \quad \quad 111 \\ \hline \text{进位数) } 111 \\ \hline \text{和} \quad 10100 \end{array}$$

其计算方法与十进制数加法方法基本相同,不同之处在于二进制加法是逢二进位。

### 1.2.2 二进制减法

二进制减法可以按十进制减法的方法进行,但是在数字系统中,总是把减法转换成加法,从而使电路简单。

下面我们通过一个实际例子,将减法运算转换成加法运算。

假如你在早晨六点发现手表停在十一点上。要把手表拨到六点,有两种拨法:一种是往回拨五个小时,即 $11-5=6$ ;另一种是往前拨七个小时,虽然 $11+7=18$ ,但是表盘刻度的最大数是12,超过12后又从0开始计数,所以表针的位置为 $18-12=6$ ,同样拨回到了六点。这就表明,在所表示的最大值为12的条件下, $11-5$ 和 $11+7$ 所得结果是一样的。即减法运算转换成了加法运算。

同时还可以看到: $5+7=12$ ,恰好等于表盘刻度的最大值。我们把12称为模,并说7是5的以12为模的补数。因此,在一定模数的条件下,减去某数等于加上该数的补数。而求某数的补数只要从模数中减去该数便可得到。例如,9以12为模的补数是

$$[9]_{12} = 12 - 9 = 3$$

同样,利用求补的方法可以将二进制减法转换为加法。

为了求出二进制数的补数,首先要确定它的模。一般说来, $n$ 位二进制数的模就是 $2^n$ 。如四位二进制数的模为 $2^4=[10000]_2$ 。对四位二进制数来说,最高位1已经溢出,在四位二进制数中不会出现,因此可以认为 $2^4$ 和0是一样的。在知道模数以后,就可以利用前面介绍的方法求二进制数的补数,从而将减法转