

21世纪高职、高专计算机类教材系列

# 数字电子技术 与逻辑设计教程

华容茂 主编

徐煜明 易顺明 副主编

曹丰文 主审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

URL: <http://www.phei.com.cn>

21 世纪高职、高专计算机类教材系列

# 数字电子技术与逻辑设计教程

华容茂 主编

徐煜明 易顺明 副主编

曹丰文 主审

J583/28

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书共九章,内容包括:数字电路基础;逻辑代数;逻辑门电路;组合逻辑电路;触发器;时序逻辑电路;脉冲信号的产生与变换;A/D和D/A转换及大规模集成电路ROM、RAM、PLD等。

本书叙述简明扼要,通俗易懂,可作为高职、高专计算机类、电气类、电子类、自动化类专业的教材,也可供有关工程技术人员自学参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术与逻辑设计教程/华容茂主编. - 北京:电子工业出版社,2000.4

21世纪高职、高专计算机类教材系列

ISBN 7-5053-5548-1

I. 数… II. 华… III. 电子数字计算机-电子电路-逻辑设计-高等学校-教材 IV. TP331

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第01050号

丛 书 名: 21世纪高职、高专计算机类教材系列

书 名: 数字电子技术与逻辑设计教程

主 编: 华容茂

副 主 编: 徐煜明 易顺明

主 审: 曹丰文

责任编辑: 詹善琼

特约编辑: 陈天智

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京天宇星印刷厂

装 订 者: 河北省涿州桃园装订厂

出版发行: 电子工业出版社 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 16 字数: 410千字

版 次: 2000年4月第1版 2000年4月第1次印刷

书 号: ISBN 7-5053-5548-1  
TN·1318

印 数: 7000册 定价: 22.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换;  
若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

## 21 世纪高职、高专计算机类教材系列

### 编委会名单

**主 编：**张强华

**副主编：**常明华 华容茂 周维武 邵晓根 庄燕滨

**委 员：**(以姓氏笔画为序)

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 于永春 | 朱宇光 | 刘红玲 | 李志球 | 刘胤杰 |
| 华容茂 | 庄燕滨 | 杨文安 | 陈天授 | 张永常 |
| 陈志荣 | 张奉武 | 邵晓根 | 杨萃南 | 陈 雁 |
| 张强华 | 陆锦军 | 林全新 | 郑国平 | 林美华 |
| 周维武 | 顾元刚 | 高 波 | 秦敬辉 | 曹旭光 |
| 常明华 | 谢志荣 |     |     |     |

## 数字电子技术与逻辑设计教程

### 编委会名单

**主 编：**华容茂

**副主编：**徐煜明 易顺明

**委 员：**华容茂 李 冬 林美华 易顺明

杨碧石 徐煜明

**主 审：**曹丰文

# 序 言

## 1. 缘起与背景

20多年来,我国应用型高等教育、高等职业教育得到了长足的发展。在这一领域从事计算机教育的师生在教学改革和教学建设方面取得了很多成绩,有的还列为国家重点教学改革项目进行试点。1998年12月24日教育部发布了“面向21世纪教育振兴行动计划”,提出“积极发展高等职业教育”。我国的高等职业教育进入了高速发展阶段,这一新形势向我们提出了新的更高要求。认真总结应用型高职、高专的教学教改经验,制订一套适合当前改革、发展要求的应用型高等教育(含高等职业教育)的计划、大纲和教材就成了当务之急,基于这样一个认识,我们组织了十余所学校的教师进行了研讨、并组织编写这套21世纪高职、高专计算机类教材。

## 2. 编写原则

高职、高专有自身特色,正如“振兴计划”中指出的:“高等职业教育必须面向地区经济建设和社会发展,适应就业市场的实际需要,培养生产、服务、管理第一线需要的实用人才,真正办出特色。”培养出符合国家建设需要的高素质应用型人才是高职、高专发展的根本目的。因此,在这套教材的编写中,我们遵循“适用、实用、会用、通用”的原则,避免低水平重复。

“适用”就是要讲述符合目前行业要求的新知识、新技术、新方法。由于计算机技术始终处于高速发展中,因此,如果只讲那些已经“十分成熟”的技术,那么,学生毕业后,这些技术可能已经过时了。这样培养出来的学生,不能适应职业岗位的需要。因此,本套教材在选材上,既注意讲透基本理论,也注意讲解新技能,具有一定的前瞻性。

“实用”就是要重点讲述计算机行业最广泛应用的知识、方法和技能。使学生能胜任岗位工作,切实符合社会需要。

“会用”是培养学生在具备一定理论基础的前提下,能够用自己所学的知识,解决在工作中遇到的具体问题。注重动手能力和操作技能的培养。

“通用”是指本套教材不仅限于高等职业教育,对于应用型高等院校:如技术学院、技术师范学院、职业大学等也是对口的教材。

## 3. 编写情况

本套教材的作者都是多年从事应用型高等教育和高等职业教育的教师,他们对应用型高等教育的实际、学生的学习情况、学生就业后面临的岗位要求等有深入了解。在本套教材编写中,我们反复研讨,得到了许多学校领导和教师的大力支持,许多章节都是在优秀教案、讲义的基础上推敲而成,吸收了计算机试点专业的教改经验,并由主编全文统稿。在此基础上,我们组织专家审阅、把关,以确保质量。今后还将根据我们这十余所学校的使用情况,认真听取读者的意见,不断修订、补充、完善,以跟上计算机行业发展的步伐。

## 4. 适用学校和专业

本套教材除特别适合高等职业学校计算机类专业(包括“计算机应用”、“计算机网络”、“信息管理”、“计算机科学教育”、“会计电算化”等)使用外,也可供其他应用型高等专科学校使用。对那些迫切需要提高自己应用技能的读者,本套教材作为自学读物,亦颇为得当。

21世纪高职、高专计算机类教材编委会

· I ·

## 前 言

《数字电子技术与逻辑设计教程》是根据国家教委组织制定的电路与电子技术课程教学的基本要求,在总结高职、高专二十余年教学经验与教改实践的基础上,由十余所从事计算机类、电气类、电子类该课程教学的老师编写。在编写过程中,我们注意了以下几点:

一、本书以计算机专业的教学要求为主,适当涵盖相近电类专业——电子类、电气类、自动化类的教学要求。

二、总结汲取该课程讲授的经验及教改实践的成果。

三、该课程的性质是技术基础课,域此保证基础,突出集成,以中小规模集成电路为主。基本理论、基本知识以必须够用为度。专业性较强的内容由后续课程讲授。

四、讲清概念,立足应用。

论述上强调基本概念、基本原理,不搞繁琐的推导,只给出处理问题的方法与思路。从应用角度,尽量简化定量分析,讲清有什么用?怎么用?对于新知识、新器件我们也给以应有的注意。

电路与电子课程实践性很强,除了课程内安排实验以外,一般课堂上都内置一定量的习题与思考题。高职、高专的培养目标强调技能与能力。该课程是电类专业学生接触“电”的入门课,因此在教学计划中均安排了电工、电子实习与课程设计。为了较科学、合理地组织教学,在技能、能力的培养上又达到目标要求,我们编写了《电工、电子技术实习与课程设计》、《电子电路复习题解与指南》作为配套教材和参考资料。

本书由华容茂主编,徐煜明、易顺明为副主编。第1、8章由杨碧石编写,第2、3章由林美华编写,第4、9章由徐煜明编写,第5、6章由易顺明编写,第7章由李冬编写。全书由华容茂统稿,在统稿过程中作出了很多重要修改与补充。曹丰文审阅了全部书稿,并提出了不少宝贵意见。常明华、邵英为本书的出版做了大量的工作,在此表示感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中定有不少缺点和错误,恳切希望读者指正。

编 者

1999年10月

# 目 录

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| 第 1 章 数字电路基础 .....                  | ( 1 ) |
| 第 1 节 数字电路概述 .....                  | ( 2 ) |
| 1. 数字信号和数字电路 .....                  | ( 2 ) |
| 2. 数字电路的特点 .....                    | ( 2 ) |
| 3. 数字电路的分类 .....                    | ( 2 ) |
| 4. 脉冲与脉冲参数 .....                    | ( 3 ) |
| 第 2 节 计数体制 .....                    | ( 3 ) |
| 1. 进位计数制 .....                      | ( 3 ) |
| 2. 二进制数 .....                       | ( 4 ) |
| 3. 八进制数和十六进制数 .....                 | ( 4 ) |
| 4. 数制转换 .....                       | ( 6 ) |
| 5. BCD 码 .....                      | ( 8 ) |
| 6. 格雷码 .....                        | ( 9 ) |
| 习题 .....                            | ( 9 ) |
| 第 2 章 逻辑代数 .....                    | (10)  |
| 第 1 节 逻辑代数中的三种基本运算 .....            | (11)  |
| 1. “或”运算(Logic Addition).....       | (11)  |
| 2. “与”运算(Logic Multiplication)..... | (12)  |
| 3. “非”(Logic Negation) .....        | (12)  |
| 第 2 节 逻辑函数及其表示方法 .....              | (13)  |
| 1. 逻辑函数 .....                       | (13)  |
| 2. 逻辑函数的表示方法 .....                  | (13)  |
| 第 3 节 逻辑代数基本定律及常用公式 .....           | (16)  |
| 1. 逻辑代数基本定律 .....                   | (16)  |
| 2. 逻辑代数的常用公式 .....                  | (17)  |
| 3. 逻辑代数的重要规则 .....                  | (19)  |
| 4. 逻辑代数的相等 .....                    | (20)  |
| 第 4 节 逻辑函数的化简 .....                 | (20)  |
| 1. 逻辑函数表达式的基本形式 .....               | (20)  |
| 2. 逻辑函数表达式的标准形式 .....               | (20)  |
| 3. 逻辑函数的化简 .....                    | (24)  |
| 习题 .....                            | (36)  |
| 第 3 章 逻辑门电路 .....                   | (38)  |
| 第 1 节 分立元件门电路 .....                 | (39)  |
| 1. 二极管开关特性 .....                    | (39)  |

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 2. 晶体三极管开关特性 .....       | (40)  |
| 3. 简单门电路 .....           | (42)  |
| 4. 复合门电路 .....           | (46)  |
| 第2节 TTL集成与非门电路 .....     | (47)  |
| 1. TTL电路的结构 .....        | (47)  |
| 2. TTL电路的工作原理 .....      | (48)  |
| 3. TTL与非门的传输特性 .....     | (49)  |
| 4. TTL与非门的性能指标 .....     | (50)  |
| 5. TTL与非门的改进 .....       | (53)  |
| 6. TTL电路的其他类型 .....      | (55)  |
| 第3节 其他双极型门电路 .....       | (60)  |
| 1. 射极耦合逻辑电路(ECL电路) ..... | (61)  |
| 2. 注入逻辑电路 .....          | (61)  |
| 第4节 MOS门电路 .....         | (61)  |
| 1. MOS反相器 .....          | (62)  |
| 2. MOS与非门 .....          | (64)  |
| 3. NMOS或非门 .....         | (65)  |
| 4. CMOS传输门 .....         | (65)  |
| 习题 .....                 | (66)  |
| 第4章 组合逻辑电路 .....         | (72)  |
| 第1节 概述 .....             | (73)  |
| 第2节 组合逻辑电路的分析 .....      | (73)  |
| 1. 分析步骤 .....            | (73)  |
| 2. 分析举例 .....            | (74)  |
| 第3节 组合逻辑电路的设计 .....      | (74)  |
| 1. 设计步骤 .....            | (74)  |
| 2. 设计举例 .....            | (75)  |
| 第4节 常用组合逻辑部件 .....       | (79)  |
| 1. 编码器 .....             | (79)  |
| 2. 译码器 .....             | (84)  |
| 3. 数据选择器 .....           | (92)  |
| 4. 加法器 .....             | (94)  |
| 5. 数码比较器 .....           | (96)  |
| 第5节 用中规模集成电路设计组合电路 ..... | (100) |
| 1. 用数据选择器实现组合逻辑函数 .....  | (100) |
| 2. 用译码器实现组合逻辑函数 .....    | (102) |
| 第6节 组合逻辑电路中的竞争冒险现象 ..... | (103) |
| 1. 竞争冒险 .....            | (103) |
| 2. 判断竞争冒险的方法 .....       | (104) |
| 3. 消除竞争冒险的方法 .....       | (106) |



|                    |       |
|--------------------|-------|
| 习题                 | (107) |
| <b>第5章 集成触发器</b>   | (110) |
| 第1节 基本RS触发器        | (111) |
| 1. 电路结构            | (111) |
| 2. 基本工作原理          | (111) |
| 3. 逻辑功能的表示方法       | (112) |
| 第2节 同步RS触发器        | (113) |
| 1. 同步RS触发器的电路结构    | (114) |
| 2. 同步RS触发器的基本工作原理  | (114) |
| 3. 触发器外部逻辑特性的描述方法  | (115) |
| 4. 同步RS触发器的空翻问题    | (115) |
| 第3节 主从式触发器         | (116) |
| 1. 主从式RS触发器        | (116) |
| 2. 主从JK触发器         | (117) |
| 3. 主从CMOS型D触发器     | (118) |
| 4. 其他类型的触发器        | (120) |
| 第4节 边沿触发器          | (122) |
| 1. 维持阻塞触发器         | (122) |
| 2. 负边沿JK触发器        | (123) |
| 第5节 集成触发器的使用及参数测试  | (125) |
| 1. 应用集成触发器应注意的问题   | (125) |
| 2. 集成触发器的参数及测试     | (125) |
| 3. 触发器电路小结         | (126) |
| 习题                 | (127) |
| <b>第6章 时序逻辑电路</b>  | (132) |
| 第1节 时序逻辑电路模型       | (133) |
| 1. 时序电路框图          | (133) |
| 2. 状态转换表、状态转换图和时序图 | (134) |
| 3. Mealy模型与Moore模型 | (134) |
| 第2节 时序逻辑电路的分析方法    | (135) |
| 1. 同步时序电路的分析方法     | (135) |
| 2. 异步时序电路的分析方法     | (137) |
| 第3节 时序逻辑电路的设计方法    | (140) |
| 1. 设计时序逻辑电路的原则和步骤  | (140) |
| 2. 状态化简            | (141) |
| 3. 时序逻辑电路设计举例      | (145) |
| 第4节 时序逻辑电路功能部件     | (149) |
| 1. 寄存器和移位寄存器       | (149) |
| 2. 计数器             | (154) |
| 3. 节拍脉冲发生器         | (170) |

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 习题                       | (171) |
| <b>第7章 脉冲信号的产生及波形变换</b>  | (177) |
| 第1节 集成多谐振荡器              | (178) |
| 1. 多谐振荡器                 | (178) |
| 2. 由 TTL 门电路组成的多谐振荡器     | (178) |
| 3. 石英晶体多谐振荡器             | (180) |
| 4. CMOS 门电路组成的多谐振荡器      | (181) |
| 第2节 单稳态触发电路              | (181) |
| 1. TTL 门电路组成的单稳态触发电路     | (181) |
| 2. 集成单稳态触发电路             | (183) |
| 第3节 施密特触发器               | (186) |
| 1. 逻辑门电路组成的施密特触发器        | (186) |
| 2. 集成施密特触发器 CT7413 介绍    | (188) |
| 3. 施密特触发器的应用             | (188) |
| 第4节 集成定时器                | (190) |
| 1. CC7555 定时器的电路结构       | (190) |
| 2. CC7555 的管脚和逻辑功能介绍     | (191) |
| 3. 典型应用举例                | (191) |
| 习题                       | (194) |
| <b>第8章 数/模转换器和模/数转换器</b> | (199) |
| 第1节 概述                   | (200) |
| 第2节 数/模转换器               | (200) |
| 1. 数/模转换原理               | (200) |
| 2. 权电阻 D/A 转换器           | (201) |
| 3. T 型电阻网络 D/A 转换器       | (202) |
| 4. 集成 D/A 转换器            | (204) |
| 第3节 模/数转换器               | (206) |
| 1. A/D 转换的一般过程           | (206) |
| 2. 逐次渐近型(逼近型)A/D 转换器     | (208) |
| 3. 并联比较型 A/D 转换器         | (209) |
| 4. A/D 转换器的主要参数          | (211) |
| 5. 集成 A/D 转换器            | (211) |
| 习题                       | (212) |
| <b>第9章 大规模集成电路介绍</b>     | (214) |
| 第1节 概述                   | (215) |
| 1. 集成电路发展的历程             | (215) |
| 2. 大规模和超大规模集成电路的特点       | (215) |
| 3. 大规模集成电路分类             | (216) |
| 第2节 只读存储器 ROM 及其应用       | (217) |
| 1. 固定只读存储器               | (217) |

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 2. 可编程只读存储器.....            | (219) |
| 3. 可改写只读存储器.....            | (220) |
| 4. 只读存储器应用举例.....           | (221) |
| 第3节 随机存取存储器(RAM) .....      | (223) |
| 1. RAM 的结构 .....            | (223) |
| 2. 存储单元.....                | (224) |
| 第4节 专用逻辑集成电路 .....          | (227) |
| 1. 可编程逻辑器件 PLD .....        | (228) |
| 2. 门阵列逻辑电路 GAL .....        | (231) |
| 3. 现场可编程门阵列逻辑电路(FPGA) ..... | (232) |
| 4. 标准单元逻辑电路(SCL) .....      | (233) |
| 习题 .....                    | (233) |
| 部分习题答案 .....                | (235) |
| 参考文献 .....                  | (243) |

# 第 1 章 数字电路基础

本  
章  
要  
点

- ◆ 数字电路概述
- ◆ 计数体制

## 第 1 节 数字电路概述

### 1. 数字信号和数字电路

电子技术中的工作信号可以分为模拟信号和数字信号两大类。模拟信号是指时间上和数值上都是连续变化的信号,如电视的图像和伴音信号、生产过程中由传感器检测的由某种物理量(如温度、压力)转化成的电信号等。传输、处理模拟信号的电路称为模拟电路。数字信号是指时间和数值上都是断续变化的离散信号。如电子表的秒信号、生产中自动记录零件个数的计数信号、由计算机键盘输入到计算机的信号等,它们的变化发生在一系列离散的瞬间,数值大小的增减总是最小数量单位的整数倍。传输、处理数字信号的电路称为数字电路。

### 2. 数字电路的特点

数字电路的工作信号一般都是数字信号。在电路中,它往往表现为突变的电压或电流,并且只有两个可能的状态。所以,数字电路中的半导体管应工作在开关状态。利用管子导通和截止两种不同的工作状态,代表不同的数字信息,完成信号的传递和处理任务。

通常用 0 和 1 组成的二值量表示数字信号最为简单,故常用的数字信号是用电压的高、低,脉冲的有、无,分别代表两个离散数值 1 和 0。所以,数字电路在结构、工作状态、研究内容和分析方法等方面都与模拟电路不同,它具有如下特点。

1) 数字电路在稳态时,电子器件(如三极管)处于开关状态,即工作在饱和区和截止区。这和二进制信号的要求是相对应的。因为饱和和截止两种状态的外部表现为电流的有、无,电压的高、低,这种有和无、高和低相对应的两种状态,分别用 1 和 0 两个数码来表示。

2) 数字电路的基本单元电路比较简单,对元件的精度要求不高,允许有较大的误差。因为数字信号的 1 和 0 没有任何数量的含义,而只是状态的含义,所以电路工作时只要能可靠地区分 1 和 0 两种状态就可以了。因此,数字电路便于集成化、系列化生产。它具有使用方便,可靠性高,价格低廉等优点。

3) 在数字电路中,重点研究的总是输入信号和输出信号之间的逻辑关系,以反映电路的逻辑功能。数字电路的研究可以分为两种:一种是对已有电路分析其逻辑功能,叫做逻辑分析;另一种是按逻辑功能要求设计出满足逻辑功能的电路称为逻辑设计。

4) 数字电路的工作状态、研究内容与模拟电路不同,所以分析方法也不相同。在数字电路中,表示电路功能的方法常常是用真值表、逻辑表达式、卡诺图、特性方程以及状态转换图等。

5) 数字电路能够对数字信号进行各种逻辑运算和算术运算,所以在各种数控装置、智能仪表以及计算机中得到广泛应用。

### 3. 数字电路的分类

数字电路按其组成的结构不同可分为分立元件电路和集成电路两大类。其中,集成电路按集成度大小分为小规模集成电路(SSI 集成度为 1~10 门/片)、中规模集成电路(MSI 集成度为 10~100 门/片)、大规模集成电路(LSI 集成度为 100~1000 门/片)和超大规模集成电

路(VLSI 集成度为大于 1000 门/片)。

按电路所用器件的不同,数字电路可分为双极型和单极型电路。其中,双极型电路又有 DTL、TTL、ECL、IIL、HTL 等多种;单极型电路有 JFET、NMOS、PMOS、CMOS 等四种。

按电路逻辑功能的不同特点,数字电路又可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两大类。

#### 4. 脉冲与脉冲参数

什么是脉冲?所谓脉冲,是短时间内出现的电压或电流。或者说间断性的电压或电流叫做脉冲电压或脉冲电流。很明显,前面提及的模拟信号——直流和正弦交流信号不是脉冲信号。广义地讲,按非正弦规律变化的电压或电流称为脉冲电压或脉冲电流。数字信号是脉冲信号。正因为如此,有时侯把数字电路也叫做脉冲电路。但一般情况下,脉冲电路着重研究脉冲信号的产生、变换、放大、测量等。数字电路着重研究构成数字电路各单元之间的逻辑关系。

**脉冲参数** 为了表征脉冲信号的特性,常用一些参数来描述。现在以矩形脉冲电压为例介绍脉冲参数。在图 1.1.1 所示的矩形脉冲电压中:脉冲幅度  $U_m$ ——脉冲电压变化的最大值。脉冲宽度  $t_p$ ——脉冲前沿  $0.5U_m$  至脉冲后沿  $0.5U_m$  的一段时间,又称脉冲持续时间。脉冲周期  $T$ ——周期性脉冲信号前后两次出现的时间间隔。重复频率  $f(1/T)$ ——单位时间内脉冲重复的次数。上升时间  $t_r$ ——由  $0.1U_m$  上升到  $0.9U_m$  所需要的时间。下降时间  $t_f$ ——由  $0.9U_m$  下降到  $0.1U_m$  所需要的时间。

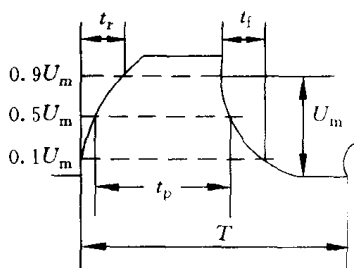


图 1.1.1 矩形脉冲电压参数

## 第2节 计数体制

### 1. 进位计数制

十进制计数是人们最为熟悉的进位计数制。它用 0、1、2、3、4、5、6、7、8、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:

$$1886 = 1 \times 10^3 + 8 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 6 \times 10^0$$

从上面这个 4 位十进制数不难发现十进制数的特点。

- 1) 每一位数必然是十个数字符号中的一个,所以其计数的基数为 10。
- 2) 同一个数字符号在不同的数位代表的数值不同,1886 这个 4 位数的位值依次分别为 1000、100、10、1,位值又称为权值或位权,它是 10 的幂。
- 3) 低位数和相邻的高位数之间的进位关系是“逢十进一”。

有了基数和位权的概念,任何一个十进制数  $N$  按其位权值展开均可表示为

$$\begin{aligned} (N)_{10} &= a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + a_1 \times 10 + a_0 \times 10^0 + a_{-1} \times 10^{-1} \\ &\quad + a_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=n-1}^{-m} a_i \times 10^i \end{aligned} \quad (1.2.1)$$

式中,  $a_i$  为 0~9 中任一数码,  $n$  和  $m$  为正整数,  $n$  为整数部分的位数,  $m$  为小数部分的位

数。因此,任意进制数可以写成

$$(N)_R = \sum_{i=n-1}^{-m} r_i \times R^i \quad (1.2.2)$$

式中, $r_i$  为任意进制数中第  $i$  位的数码,数码可以是  $0, 1, \dots, R-1$  中任一个, $n$  和  $m$  为正整数, $n$  为整数部分的位数, $m$  为小数部分的位数, $R$  为进位基数, $R^i$  为第  $i$  位的权值。

本书中常用的进位计数制是十进制(Decimal)、二进制(Binary)、八进制(Octadic)、十六进制(Hexadecimal)。因此,当基数  $R$  为 10 时,表示十进制数可用  $(N)_{10}$  表示。同样,二进制数、八进制数、十六进制数可分别用  $(N)_2$ 、 $(N)_8$ 、 $(N)_{16}$  表示。

## 2. 二进制数

二进制是在数字电路中应用最广的计数体制。它只有 0 和 1 两个数字符号,所以计数的基数为 2。各位数的权值是 2 的幂,低位数和相邻高位数之间的进位关系是“逢二进一”。因此,任意一个二进制数  $(N)_2$  可以表示为

$$\begin{aligned} (N)_2 &= b_{n-1} \times 2^{n-1} + b_{n-2} \times 2^{n-2} + \dots + b_1 \times 2^1 \\ &\quad + b_0 \times 2^0 + b_{-1} \times 2^{-1} + \dots + b_{-m} \times 2^{-m} \\ &= \sum_{i=n-1}^{-m} b_i \times 2^i \end{aligned} \quad (1.2.3)$$

式中, $b_i$  只能取 0 或者 1 两个数码, $2^i$  为第  $i$  位的权值。如:

$$(1101.101)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$

二进制数的运算规则

加法:  $0+0=0$   $0+1=1+0=1$   $1+1=10$

乘法:  $0 \times 0=0$   $0 \times 1=1 \times 0=0$   $1 \times 1=1$

**【例 1.1】** 一个 8 位二进制整数为  $(N)_2 = (10011110)_2$ ,求其对应的十进制数。

解:将二进制数按位权展开,求各位数值之和,可得

$$\begin{aligned} (N)_2 &= (10011110)_2 = (1 \times 2^7 + 0 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^4 \\ &\quad + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0)_{10} \\ &= (128 + 16 + 8 + 4 + 2)_{10} = (158)_{10} \end{aligned}$$

## 3. 八进制数和十六进制数

二进制数虽在计算机中易于实现,然而它最大的缺点是不便读写,与十进制数相比,表示同一个数时二进制用的位数较多。为此,在数字系统中,又常使用八进制数和十六进制数。

进位基数  $R=8$  时,称为八进制。它有  $0 \sim 7$  八个数字符号,各位数的权值是 8 的幂,低位数和相邻高位数之间的进位关系是“逢八进一”。因此,任意一个八进制数  $(N)_8$  可以表示为

$$\begin{aligned} (N)_8 &= q_{n-1} \times 8^{n-1} + q_{n-2} \times 8^{n-2} + \dots + q_1 \times 8^1 + q_0 \times 8^0 + q_{-1} \times 8^{-1} + \dots + q_{-m} \times 8^{-m} \\ &= \sum_{i=n-1}^{-m} q_i \times 8^i \end{aligned} \quad (1.2.4)$$

式中, $q_i$  只能取  $0 \sim 7$  中的某一数码。如:

$$(325.7)_8 = 3 \times 8^2 + 2 \times 8^1 + 5 \times 8^0 + 7 \times 8^{-1}$$

**【例 1.2】** 求 3 位八进制数  $(N)_8 = (236)_8$  所对应的十进制数的值。

**解:** 按位权展开, 求各位数值之和。可得

$$(236)_8 = (2 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 6 \times 8^0)_{10} = (128 + 24 + 6)_{10} = (158)_{10}$$

同理, 进位基数  $R=16$  时称为十六进制。十六进制数中的 16 个数字符号为 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F。这里, 十进制数的 10~15 分别用 A~F 六个英文字母表示。各位数的权值是 16 的幂, 低位数与相邻高位数之间的进位关系是“逢十六进一”。因此, 任意一个十六进制数  $(N)_{16}$  可表示为

$$\begin{aligned} (N)_{16} &= h_{n-1} \times 16^{n-1} + h_{n-2} \times 16^{n-2} + \cdots + h_1 \times 16^1 \\ &\quad + h_0 \times 16^0 + h_{-1} \times 16^{-1} + \cdots + h_{-m} \times 16^{-m} \\ &= \sum_{i=n-1}^{-m} h_i \times 16^i \end{aligned} \quad (1.2.5)$$

式中,  $h_i$  只能取 0~F 中的某一个数码。如:

$$(3A.9E) = 3 \times 16^1 + A \times 16^0 + 9 \times 16^{-1} + E \times 16^{-2}$$

**【例 1.3】** 求 2 位十六进制数  $(9E)_{16}$  所对应的十进制数的值。

**解:** 按位权展开, 求各位数值之和。可得:

$$(9E)_{16} = (9 \times 16^1 + 14 \times 16^0)_{10} = (158)_{10}$$

同一个十进制数, 当分别用二进制、八进制、十六进制数来表示时, 八进制、十六进制要比二进制简单得多, 而二进制转换成八进制和十六进制却十分方便, 因此, 书写计算机程序时, 广泛使用八进制和十六进制。

表 1.2.1 为几种常用计数进制对照表。表中几种数制各有其优缺点, 应用场合也不相同。十进制数虽然是生活中最常用、最习惯的一种进位制数, 但其十个数码在数字电路中难于找到十个状态与之对应。而二进制数只有 0、1 两个数码, 可用来表示电路的两种工作状态, 所以在数字电路中采用二进制。二进制数中的数位较多时, 不易读写, 因而常采用八进制和十六进制。

表 1.2.1 几种常用计数进制对照表

| 十进制 | 二进制  | 八进制 | 十六进制 |
|-----|------|-----|------|
| 0   | 0000 | 0   | 0    |
| 1   | 0001 | 1   | 1    |
| 2   | 0010 | 2   | 2    |
| 3   | 0011 | 3   | 3    |
| 4   | 0100 | 4   | 4    |
| 5   | 0101 | 5   | 5    |
| 6   | 0110 | 6   | 6    |
| 7   | 0111 | 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    |



#### 4. 数制转换

数制之间的转换,可归为两类:十进制数和非十进制数之间的转换; $2^n$ 进制数之间的转换。

##### 4.1 十进制数和非十进制数之间的转换

###### (1) 非十进制数转换成十进制数

由二进制、八进制、十六进制数的一般表达式可知,只要将它们按位权展开,求各位数值之和,即可得到对应的十进制数。

$$\begin{aligned}
 \text{【例 1.4】} \quad (1011.011)_2 &= (1 \times 2^3 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3})_{10} \\
 &= (8 + 2 + 1 + 0.25 + 0.125)_{10} \\
 &= (11.375)_{10} \\
 (27.46)_8 &= (2 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 4 \times 8^{-1} + 6 \times 8^{-2})_{10} = (16 + 7 + 0.5 \\
 &\quad + 0.09375)_{10} \\
 &= (23.59375)_{10} \\
 (C2)_{16} &= (12 \times 16^1 + 2 \times 16^0)_{10} = (194)_{10}
 \end{aligned}$$

###### (2) 十进制数转换成非十进制数

十进制数转换成非十进制数时,要将其整数部分和小数部分分别转换,结果合并为目的数制形式。

1) 整数部分的转换 整数部分的转换采用基数除法。所谓基数除法即用目的数制的基数去除十进制整数,第一次除所得的余数为目的数的最低位,把得到的商再除以该基数,所得余数为目的数的次低位,依次类推,直至商为0时,所得余数为目的数的最高位。此法也叫除基取余法。

【例 1.5】 把 $(26)_{10}$ 转换成二进制数、八进制数、十六进制数。

|   |    |      |   |    |   |    |    |    |
|---|----|------|---|----|---|----|----|----|
| 2 | 26 | 0 低位 | 8 | 26 | 2 | 16 | 26 | 10 |
| 2 | 13 | 1    | 8 | 3  | 3 |    |    | 1  |
| 2 | 6  | 0    |   | 0  |   |    |    | 1  |
| 2 | 3  | 1 ↑  |   |    |   |    |    |    |
| 2 | 1  | 1    |   |    |   |    |    |    |
|   | 0  | 0 高位 |   |    |   |    |    |    |

$$(26)_{10} = (11010)_2 \qquad (26)_{10} = (32)_8 \qquad (26)_{10} = (1A)_{16}$$

2) 小数部分的转换 小数部分的转换是采用基数乘法进行的。所谓基数乘法即用该小数去乘目的数制的基数,第一次乘得结果的整数部分为目的数的最高位(当然是小数部分的最高位),将乘得结果的小数部分再乘基数,所得结果的整数部分作为目的数的第二位,依次类推,直至小数部分为0或达到要求精度为止。此法也叫乘基取整法。

【例 1.6】 把 $(0.875)_{10}$ 转换成二进制数、八进制数、十六进制数。

$$\begin{aligned}
 0.875 \times 2 &= 1.750 & 1 & \quad 0.875 \times 8 &= 7.0 & \quad 0.875 \times 16 &= 14.0 \\
 0.75 \times 2 &= 1.500 & 1 & & & &
 \end{aligned}$$