



普通高等教育“十二五”规划教材  
信息与电子技术类系列教材

# 数字电子技术

Digital Electronic Technology

刘 琨 主编



科学出版社

014014586

普通高等教育“十二五”规划教材

信息与电子技术类系列教材

# 数字电子技术

刘 琨 主编

李克勤 乔瑞芳 副主编



TN79-43  
159

科学出版社

北京



北航 C1701406

382310310

林彦俊 主编 第二十二卷 普通高等教育

## 内 容 简 介

本书根据近年来数字电子技术的新发展和作者多年的教学实践积累，针对数字电子技术课程教学基本要求和学习特点编写而成。全书内容包括数制与码制、逻辑代数、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲产生和整形电路、半导体存储器、可编程逻辑器件、A/D 与 D/A 转换和数字电路综合案例等。本书适用于学时较少情况下的教学（50~65 学时）。为了方便教学和自学，本书配有实用的电子课件、思考题与习题参考答案。

本书可作为理工院校大学生和其他层次高等学院计算机、电子、电气等相关专业教学用书，也可供相关专业工程技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

数字电子技术/刘琨主编. —北京: 科学出版社, 2013

ISBN 978-7-03-037540-7

I. ①数… II. ①刘… III. ①数字电路-电子技术-高等学校-教材

IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 106934 号

责任编辑: 赵丽欣 / 责任校对: 王万红

责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 东方人华平面设计部

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2013 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2013 年 8 月第一次印刷 印张: 16

字数: 365 000

定价: 34.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换<新科>)

销售部电话 010-62142126 编辑部电话 010-62134021

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

## 前 言

为了适应电子技术的高速发展和社会需求,高等教育对计算机、电子、电气等信息类专业人才的培养提出了更高要求,教材内容的更新和定位面临新的挑战。“数字电子技术”是计算机、电子、电气信息类学生的专业基础课,也是实践性很强的技术基础课程。

按照教育部对“电子技术基础课程教学的基本要求”,学校要把学生培养成为有一定理论基础、有较强实战能力、有足够创新意识的应用型人才。编者根据从事数字电子技术基础教学工作多年和教学改革实践积累的丰富的经验,依照目前高等教育对数字电子技术课程教材更新的需要,纵观国内外相关课程教材,分析应用型专业人才特点,编写了本书。

本书具有以下几个特点。

### 1. 以应用为主, 筛选教学内容

本书定位在大众化高等教育背景下应用型、创新型人才培养目标,根据学生可能具备的认知状况、学生素质及能力要求,本着“保基础,重实践,少而精”的原则,对相关进行选择,剪裁了一部分纯学术研究内容。本书适合较少学时教学,建议学时为50~65。

因此,编者大幅度削减了对器件内部电路的结构分析和工作原理的介绍,如译码器、编码器、数据选择器、计数器等中规模集成器件内部电路分析的相关内容,通过逻辑功能表、逻辑函数、引脚功能介绍等描述方法,讲述器件的逻辑功能及器件的外部特性,以便学生能够正确地使用器件。

### 2. 案例驱动, 构筑知识应用架构

以案例为驱动,每章安排例题,前10章每章最后安排一个实践案例,将每章知识重点以应用实例的形式加以总结。最后一章将本书主要的知识点整合到一个综合案例中,引导学生学有所用,增强了本书的应用性和实践性。

### 3. 更新理念, 紧跟课程发展趋势

本书更新了目前数字电子技术教学领域的一些理念,如第5章触发器中用锁存器代替了基本触发器,用门控触发器代替了电平触发触发器,并精心编排了触发器分类和编写顺序。在第9章可编程逻辑器件中,重点介绍目前主流使用的可编程逻辑器件——CPLD和FPGA的结构,而将较早发明的PAL和GAL等内容简化。

### 4. 结构充实, 增加可读性

增大图、表比例,强化知识对比和总结,并注重对“难点”内容进行细致推理解析和附图说明。每章设有“内容提要”和“小结”,并给出“基本教学要求”。本书附带思考题与习题参考答案以及附录,利于学生阅读和自学。

本书统一使用国家标准的图形逻辑符号,附录A是逻辑符号对照表,方便学生查找对应的国际惯用图形逻辑符号。

本书分11章、2个附录,由北京师范大学珠海分校刘琨任主编,北京理工大学珠海学



院李克勤和吉林大学珠海学院乔瑞芳任副主编。第 1 章和第 4 章由北京理工大学珠海学院喻武龙编写，第 2 章、第 5 章、第 8 章和第 11 章由吉林大学珠海学院乔瑞芳编写，第 3 章、附录 A 和附录 B 由北京师范大学珠海分校彭宇帆编写，第 6 章和第 9 章由北京师范大学珠海分校刘琨编写，第 7 章和第 10 章由北京理工大学珠海学院宫鑫编写，第 11 章部分内容由吉林大学珠海学院孙永坚编写。全书由李克勤审稿，刘琨负责统编定稿。

编者参考了许多相关书籍，在此对本书选用参考文献的作者致以真诚的感谢。

限于编者水平，加之时间仓促，书中难免有不妥之处，敬请业界同仁和读者批评指正。

# 目 录

第 1 章 数制与码制 .....	1
1.1 模拟信号与数字信号 .....	1
1.1.1 模拟信号 .....	1
1.1.2 数字信号 .....	2
1.2 进位计数制 .....	2
1.2.1 数制的概念 .....	2
1.2.2 十进制数 .....	3
1.2.3 二进制数 .....	3
1.2.4 八进制数 .....	4
1.2.5 十六进制数 .....	4
1.3 数制的转换 .....	5
1.3.1 非十进制转换成十进制 .....	5
1.3.2 十进制转换成非十进制 .....	5
1.3.3 非十进制之间的转换 .....	6
1.4 原码、反码和补码 .....	8
1.5 码制 .....	10
1.5.1 BCD 码 .....	10
1.5.2 可靠性编码 .....	12
1.5.3 字符代码 .....	13
1.6 实践案例——ASCII 码的应用 .....	14
小结 .....	14
思考题与习题 .....	15
第 2 章 逻辑代数 .....	16
2.1 逻辑代数基础知识 .....	16
2.1.1 逻辑代数的运算 .....	16
2.1.2 逻辑代数的基本公式和定律 .....	20
2.1.3 逻辑代数的 3 个基本定理 .....	21
2.2 逻辑函数及其表示方法 .....	22
2.2.1 逻辑函数 .....	22
2.2.2 逻辑函数的表示方法 .....	22
2.2.3 逻辑函数的两种标准形式 .....	23
2.3 逻辑函数的公式化简法 .....	26
2.3.1 逻辑函数的最简形式 .....	26
2.3.2 公式化简法 .....	27

2.4	逻辑函数的卡诺图化简法	28
2.4.1	逻辑函数的卡诺图表示法	28
2.4.2	利用卡诺图化简逻辑函数	29
2.4.3	具有无关项的逻辑函数化简	32
2.5	实践案例——原料传输系统	33
	小结	34
	思考题与习题	34
<b>第3章</b>	<b>逻辑门电路</b>	<b>37</b>
3.1	半导体器件的开关特性	37
3.1.1	二极管的开关特性	37
3.1.2	晶体管的开关特性	39
3.1.3	MOS管的开关特性	41
3.2	分立元器件门电路	42
3.2.1	二极管与门	42
3.2.2	二极管或门	43
3.2.3	晶体管非门	43
3.3	TTL集成逻辑门	44
3.3.1	TTL与非门的结构和工作原理	44
3.3.2	TTL与非门的电气特性与主要参数	45
3.3.3	其他逻辑功能的TTL门电路	49
3.3.4	TTL集电极开路门和三态逻辑门	51
3.3.5	TTL门电路的使用规则	53
3.4	CMOS集成逻辑门	54
3.4.1	CMOS逻辑电路特点	55
3.4.2	CMOS传输门	57
3.4.3	CMOS漏极开路门与CMOS三态逻辑门	58
3.4.4	CMOS门电路的使用规则	59
3.5	实践案例——水位告警器	59
	小结	60
	思考题与习题	60
<b>第4章</b>	<b>组合逻辑电路</b>	<b>63</b>
4.1	组合逻辑电路概述	63
4.2	组合逻辑电路的分析	64
4.3	组合逻辑电路的设计	67
4.4	常用中规模组合逻辑电路	70
4.4.1	编码器	70
4.4.2	译码器	74
4.4.3	数据选择器	79
4.4.4	数据分配器	83

4.4.5	加法器	84
4.4.6	数值比较器	91
4.4.7	74、CD 系列芯片性能比较	93
4.5	竞争与冒险	94
4.5.1	基本概念	94
4.5.2	冒险的判别方法	96
4.5.3	竞争冒险的消除方法	96
4.6	实践案例——血型匹配功能电路	98
	小结	100
	思考题与习题	101
<b>第 5 章</b>	<b>触发器</b>	<b>105</b>
5.1	概述	105
5.2	基本 SR 触发器	106
5.3	电平触发的触发器	107
5.3.1	电平触发的 SR 触发器	107
5.3.2	电平触发的 D 触发器	108
5.4	脉冲触发的触发器	110
5.4.1	主从 SR 触发器	110
5.4.2	主从 JK 触发器	111
5.5	边沿触发的触发器	113
5.5.1	边沿 D 触发器	113
5.5.2	维持阻塞触发器	114
5.6	触发器的逻辑功能	115
5.6.1	SR 触发器的逻辑功能	115
5.6.2	JK 触发器的逻辑功能	116
5.6.3	D 触发器的逻辑功能	117
5.6.4	T 触发器的逻辑功能	118
5.6.5	T' 触发器的逻辑功能	118
5.7	触发器逻辑功能的转换	119
5.8	触发器的电气特性	120
5.8.1	静态特性	120
5.8.2	动态特性	121
5.9	实践案例——并行数据存储电路	122
	小结	123
	思考题与习题	123
<b>第 6 章</b>	<b>时序逻辑电路</b>	<b>125</b>
6.1	时序逻辑电路的基本概念	125
6.1.1	时序逻辑电路的分类	125
6.1.2	时序逻辑电路的基本结构和描述方法	126



6.2	时序逻辑电路的分析方法	127
6.2.1	同步时序逻辑电路的分析方法	127
6.2.2	异步时序逻辑电路的分析方法	131
6.3	寄存器	133
6.3.1	寄存器和移位寄存器的结构组成及原理	133
6.3.2	移位寄存器及其应用	136
6.4	计数器	140
6.4.1	概述	140
6.4.2	同步计数器结构组成及原理	141
6.4.3	异步计数器结构组成及原理	146
6.4.4	集成计数器及其应用	148
6.5	同步时序逻辑电路的设计方法	156
6.5.1	时序逻辑电路设计的基本任务	157
6.5.2	时序逻辑电路的设计步骤	157
6.6	用中规模集成电路设计时序逻辑电路	162
6.6.1	用移位寄存器设计	162
6.6.2	用计数器设计	164
6.7	实践案例——病房呼叫系统	165
	小结	166
	思考题与习题	167
<b>第7章</b>	<b>脉冲产生和整形电路</b>	<b>170</b>
7.1	多谐振荡器	170
7.1.1	门电路构成的多谐振荡器	170
7.1.2	石英晶体多谐振荡器	171
7.2	单稳态电路	172
7.2.1	门电路构成的微分型单稳态电路	172
7.2.2	集成单稳态触发器	173
7.2.3	单稳态电路的应用	174
7.3	施密特电路	175
7.3.1	门电路构成的施密特电路	175
7.3.2	施密特电路的应用	176
7.4	555 定时器及其应用	178
7.4.1	电路组成及工作原理	178
7.4.2	555 定时器构成的多谐振荡器	179
7.4.3	555 定时器构成单稳态电路	180
7.4.4	555 定时器构成的施密特电路	181
7.5	实践案例——简易电子琴	182
	小结	183
	思考题与习题	183

第 8 章 半导体存储器	186
8.1 概述	186
8.2 ROM	187
8.2.1 掩模 ROM	187
8.2.2 可编程 ROM	188
8.3 RAM	189
8.3.1 SRAM	189
8.3.2 DRAM	191
8.4 存储器容量的扩展	192
8.5 实践案例——存储器在计算机系统中的应用	194
小结	195
思考题与习题	195
第 9 章 可编程逻辑器件	197
9.1 可编程逻辑器件	197
9.1.1 PLD 分类	197
9.1.2 PLD 基本结构	198
9.1.3 PLD 基本原理	198
9.2 高密度可编程逻辑器件	199
9.2.1 复杂可编程逻辑器件 CPLD	200
9.2.2 现场可编程门阵列	202
9.2.3 基于芯片的设计方法	203
9.3 硬件描述语言	204
9.4 实践案例——采用 VHDL 设计的触发器	206
小结	207
思考题与习题	207
第 10 章 A/D 与 D/A 转换	208
10.1 ADC	208
10.1.1 ADC 的组成	208
10.1.2 常见的 ADC 电路	209
10.1.3 ADC 的主要技术参数	214
10.2 DAC	214
10.2.1 DAC 的转换特性	214
10.2.2 常见的 DAC 电路	215
10.2.3 DAC 的主要技术参数	218
10.3 实践案例——数控直流稳压电源	218
小结	219
思考题与习题	219
第 11 章 数字电路综合案例	221
11.1 概述	221

11.2	设计任务和要求	221
11.3	系统总体方案	222
11.4	设计可选元器件	222
11.5	设计方案分析	223
	小结	228
	思考题与习题	228
附录 A	逻辑符号对照表	229
附录 B	常见数字电路芯片引脚	230
	思考题与习题参考答案	237
	参考文献	245

# 第 1 章 数制与码制

## 内容提要

本章首先介绍了模拟信号和数字信号的相关概念，然后详细介绍了各种数制的概念，如原码、反码和补码的概念，常见的 BCD 编码、可靠性编码和 ASCII 码等相关内容，并以二进制为重点，讨论了各种进制数相互转换的方法以及有符号二进制数的运算方法。

## 基本教学要求

1. 掌握进制数的概念和不同进制数之间相互转换的方法。
2. 掌握原码、反码、补码的概念及相互转换的方法。
3. 掌握有符号数的二进制补码运算方法。
4. 了解常用的 BCD 码、可靠性码和 ASCII 码。

## 1.1 模拟信号与数字信号

信号是消息的表现形式，是运载消息的工具，通常表现为随时间变化的某些物理量。从广义上讲，它包含光信号、声音信号和电信号等。例如，古代人利用点燃烽火而产生的滚滚狼烟属于光信号，人与人之间交谈的话音属于声音信号，太空中的各种无线电波和电话网中的电流则属于电信号等。

按照在幅度上变化的连续性来分，信号可分为模拟信号和数字信号。

### 1.1.1 模拟信号

模拟信号是指用连续变化的物理量表示的信息，其信号的幅度随时间连续变化。在自然环境下，大多数物理信号都是模拟信号，如温度的变化不会在一瞬间从 25℃ 跳变到 26℃，而是经历了 25~26℃ 之间的所有值。图 1.1.1 是气象台记录某一天的温度 24 小时的变化情况，这是一条光滑、连续的曲线，所记录到的温度随时间变化而连续变化。

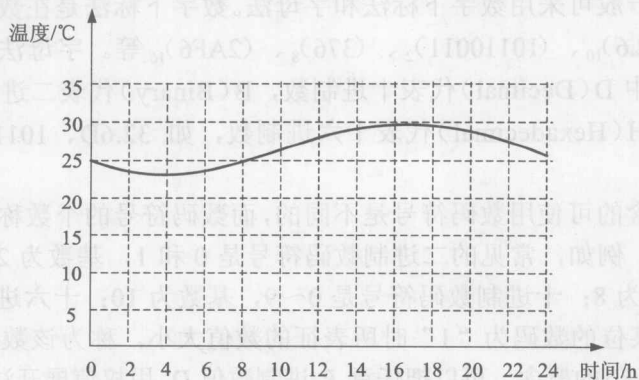


图 1.1.1 典型的模拟信号波形



其他常见的如广播中的声音信号、大气中的电磁波信号、汽车连续加速等，都是在值域范围内随时间连续变化。

### 1.1.2 数字信号

数字信号是指幅度的取值是离散的，幅值表示被限制在有限个数值之内且在时间上不连续的信号。尽管自然界中大多数物理量是模拟的，但有些物理量仍可以用数字形式来表示，如电子表的秒信号、生产流水线上记录零件个数的计数信号等。这些信号的变化发生在一系列离散的瞬间，其幅度取值也是离散的，如图 1.1.2 所示。

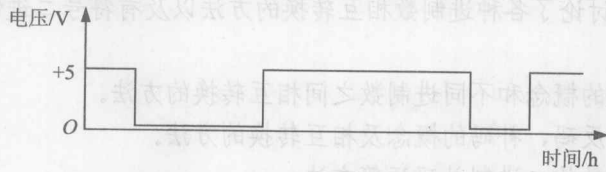


图 1.1.2 典型的数字信号波形

在各种数字信号中，二进制数字信号是常见的一种数字信号，只有两个离散值：0 和 1。

在数字电路中，经常采用 0 和 1 表示两种不同状态的逻辑关系，因此也称为二值数字逻辑。在二值数字逻辑关系中，0 和 1 不代表大小关系，而代表两种不同的状态，如 1 通常代表高电平，称为逻辑 1 或逻辑高电平；0 通常代表低电平，称为逻辑 0 或逻辑低电平。

## 1.2 进位计数制

### 1.2.1 数制的概念

在日常生活和工作中，人们经常使用各种进制的计数方式，如广泛使用的十进制数，钟表计时采用的六十进制数，数字系统中采用的二进制数、八进制数和十六进制数等。

进位计数制简称数制，其计数方法是把数划分为不同的数位，由低位到高位逐位累加，当某一数位累计到一定数量之后，产生向高位的进位，同时本位清零。

数制的标识一般可采用数字下标法和字母法。数字下标法是在数据结尾加上基数作为下标，如  $(32.6)_{10}$ 、 $(10110011)_2$ 、 $(376)_8$ 、 $(2AF6)_{16}$  等。字母法是在数据结尾采用字母表示，其中 D (Decimal) 代表十进制数，B (Binary) 代表二进制数，O (Octal) 代表八进制数，H (Hexadecimal) 代表十六进制数，如 32.6D、10110011B、376O、2AF6H 等。

不同数制包含的可使用数码符号是不同的，而数码符号的个数称为该进位计数制的基数，记作  $R$ 。例如，常见的二进制数码符号是 0 和 1，基数为 2；八进制数码符号是 0~7，基数为 8；十进制数码符号是 0~9，基数为 10；十六进制是 0~9，A~F，基数为 16。某位的数码为“1”时所表征的数值大小，称为该数位的权值。

利用基数和权值的概念，可以把任意  $R$  进制数值  $D_R$  用权值展开法公式展开，即将每位权值与该位的数码相乘后进行叠加，如式 (1.2.1) 所示。

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

在式(1.2.1)中,  $n$  是整数部分的位数,  $m$  是小数部分的位数,  $R$  是基数,  $R^i$  是第  $i$  位的权,  $a_i$  是第  $i$  位的数码, 因此某个数位上的数码  $a_i$  所表示的数值等于数码  $a_i$  与该位的权值  $R^i$  的乘积。

### 1.2.2 十进制数

十进制 (Decimal) 数共有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个数码符号, 每位数累计不能超过 10, 计满 10 就要向高位进 1, 同时本位清 0; 而从高位借来的 1 相当于低位的数 10, 遵循“满十进一, 借一当十”的运算规则。

对照权值展开法式(1.2.1), 任意一个十进制数值可展开如下:

$$\begin{aligned}
 D_{10} &= a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + a_0 \times 10^0 + a_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m} \\
 &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i
 \end{aligned} \quad (1.2.2)$$

在式(1.2.2)中,  $a_i$  是第  $i$  位的数码, 可以是 0~9 中的任何一个; 10 为基数, 10 的正次幂对应整数部分, 10 的负次幂对应小数部分。

十进制数默认不做任何标记, 或者可以用下标 10 或 D 表示十进制数, 如十进制数 68.36 可以表示为 68.36、 $(68.36)_{10}$  或 68.36D, 并可展开为

$$(68.36)_{10} = 6 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1} + 6 \times 10^{-2}$$

### 1.2.3 二进制数

十进制数虽然在日常生活工作中应用很方便, 但在数字系统中经常采用二进制 (Binary) 数。数字系统中存在两种不同工作状态的元器件很多, 如开关的接通和断开, 晶体管的导通和截止, 电位的高电平和低电平等。用二进制数 0 和 1 来表示两种不同工作状态不仅可行, 还容易实现, 因此二进制数在数字电路系统中得到广泛应用。

二进制数的数码符号只有 0 和 1, 进位基数为 2, 遵循“满二进一, 借一当二”的运算规则。

对照权值展开法式(1.2.1), 任意一个二进制数可展开为

$$\begin{aligned}
 D_2 &= a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + a_0 \times 2^0 + a_{-1} \times 2^{-1} + \cdots + a_{-m} \times 2^{-m} \\
 &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 2^i
 \end{aligned} \quad (1.2.3)$$

在式(1.2.3)中,  $a_i$  是第  $i$  位的数码, 可以是 0 和 1 中的任何一个; 2 为基数, 2 的正次幂对应整数部分, 2 的负次幂对应小数部分。

二进制数一般用下标 2 或 B 表示, 如  $(1011.011)_2$  或 1011.011B, 并可展开为

$$(1011.011)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$

在二进制数中, 二进制的数位经常称为“位”, 因此在二进制数  $(1011.011)_2$  中, 整数有 4 位, 小数有 3 位, 并称最左边位为最高有效位 (MSB), 最右边位为最低有效位 (LSB)。

**【例 1.2.1】** 进行二进制数  $(1010.011)_2 + (111.001)_2$  的运算。

解：列出二进制加法算式，即

$$\begin{array}{r} 1010.011 \\ + 111.001 \\ \hline 10001.100 \end{array}$$

所以， $(1010.011)_2 + (111.001)_2 = (10001.100)_2$ 。

### 1.2.4 八进制数

八进制 (Octal) 数共有 0、1、2、3、4、5、6、7 共 8 个数码符号，进位基数为 8，每计满 8 就要向高位进 1，同时本位清 0；而从高位借来的 1，就相当于低位的数 8，遵循“满八进一，借一当八”的运算规则。

对照权值展开法式 (1.2.1)，任意一个八进制数可展开如下：

$$\begin{aligned} D_8 &= a_{n-1} \times 8^{n-1} + a_{n-2} \times 8^{n-2} + \dots + a_0 \times 8^0 + a_{-1} \times 8^{-1} + \dots + a_{-m} \times 8^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 8^i \end{aligned} \quad (1.2.4)$$

在式 (1.2.4) 中， $a_i$  是第  $i$  位的数码，可以是 0~7 中的任何一个；8 为基数，8 的正次幂对应整数部分，8 的负次幂对应小数部分。

八进制数一般用下标 8 或者 O 表示，如  $(76.12)_8$  或  $76.12O$ ，并可展开为

$$(76.12)_8 = 7 \times 8^1 + 6 \times 8^0 + 1 \times 8^{-1} + 2 \times 8^{-2}$$

### 1.2.5 十六进制数

为了简化对二进制数的书写、记忆和交流，经常将 4 位二进制数用一个十六进制 (Hexadecimal) 数码表示。十六进制数有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 共 16 个数码符号，进位基数为 16，每计满 16 就要向高位进 1，同时本位清 0；而从高位借来的 1，就相当于低位的数 16，遵循“满十六进一，借一当十六”的运算规则。

对照权值展开公式 (1.2.1)，任意一个十六进制数可展开如下：

$$\begin{aligned} D_{16} &= a_{n-1} \times 16^{n-1} + a_{n-2} \times 16^{n-2} + \dots + a_0 \times 16^0 + a_{-1} \times 16^{-1} + \dots + a_{-m} \times 16^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 16^i \end{aligned} \quad (1.2.5)$$

在式 (1.2.5) 中， $a_i$  是第  $i$  位的数码，可以是 0~F 中的任何一个；16 为基数，16 的正次幂对应整数部分，16 的负次幂对应小数部分。

十六进制数一般用下标 16 或者 H 表示，如  $(3A.24)_{16}$  或  $3A.24H$ ，并可展开为

$$(3A.24)_{16} = 3 \times 16^1 + 10 \times 16^0 + 2 \times 16^{-1} + 4 \times 16^{-2}$$

**【例 1.2.2】** 完成十六进制数  $(1234)_{16} + (5678)_{16}$  的运算。

解：列出十六进制加法算式：

$$\begin{array}{r} 0001\ 0010\ 0011\ 0100 \quad 1234H \\ + 0101\ 0110\ 0111\ 1000 \quad = +5678H \\ \hline 0110\ 1000\ 1010\ 1100 \quad 68ACH \end{array}$$

所以， $(1234)_{16} + (5678)_{16} = (68AC)_{16}$ 。

## 1.3 数制的转换

### 1.3.1 非十进制转换成十进制

非十进制数转换成十进制数可按照式(1.2.1)展开,即首先把非十进制数写成按权展开的多项式,然后按十进制数的计数规则对各项相加求和。

**【例 1.3.1】** 将二进制数  $(11010.011)_2$  转换成十进制数。

解: 将要转换的二进制数按照式(1.2.1)按权展开相加。

$$\begin{aligned}(11010.011)_2 &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 16 + 8 + 2 + 0.25 + 0.125 \\ &= 26.375\end{aligned}$$

**【例 1.3.2】** 将十六进制数  $(1AF.6)_{16}$  转换成十进制数。

解: 将要转换的十六进制数按照式(1.2.1)按权展开相加。

$$\begin{aligned}(1AF.6)_{16} &= 1 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 15 \times 16^0 + 6 \times 16^{-1} \\ &= 256 + 160 + 15 + 0.375 \\ &= 431.375\end{aligned}$$

### 1.3.2 十进制转换成非十进制

十进制数转换成非十进制数时,要对十进制数的整数部分和小数部分分别进行转换,然后将两个转换结果进行合并即可。

#### 1. 整数部分转换

十进制整数  $D$  转换成  $R$  进制数可采取基数连除法,具体步骤如下:

- 1) 将整数  $D$  除以基数  $R$ ,记下所除结果的商和余数。
- 2) 将上一步所得的商再继续除以基数  $R$ ,记下所除结果的商和余数。
- 3) 重复步骤 2),直至商为 0 结束,并且每进行一次除法都要保留相应的余数。
- 4) 把保留下来的余数转换成相应的  $R$  进制数码,并按照跟运算过程相反的顺序把各个余数排列起来,得到整数  $D$  所对应的  $R$  进制数。

**【例 1.3.3】** 将  $(367)_{10}$  转换成十六进制数。

解: 按照十进制整数转换成十六进制数的方法,对基数 16 进行连除并取余数。

16	367	.....	余 15(F)	$b_0$	↑	低
16	22	.....	余 6	$b_1$		
16	1	.....	余 1	$b_2$		高
	0					

对于十六进制数,当所表示数值大于 9 时需要用字母 A~F 来表示,因此对连除后得到的余数按照从高到低的顺序进行排序,可得:  $(367)_{10} = (16F)_{16}$ 。



### 2. 小数部分转换

十进制小数  $M$  转换成  $R$  进制数可采用基数连乘法，具体步骤如下：

- 1) 将十进制小数  $M$  乘以基数  $R$ ，记下所乘结果的整数部分，保留小数部分。
- 2) 将上一步乘积所得结果中的小数部分再乘以基数  $R$ ，记下所乘结果的整数部分，保留小数部分。
- 3) 重复步骤 2)，直至小数部分为 0 或者满足预定精度要求为止，并且每进行一次乘法都要保留相应的整数部分。
- 4) 将保留下来的整数部分转换成  $R$  进制的数码，并按照和运算过程相同的顺序排列起来，得到小数  $M$  所对应的  $R$  进制数。

**【例 1.3.4】** 将十进制小数  $(0.5625)_{10}$  转换成二进制数小数。

解：按照十进制小数转换成二进制小数的方法，对基数 2 进行连乘并取整数。

$$\begin{array}{rcl}
 0.5625 \times 2 = 1.125 & \cdots \cdots & \text{整数 } 1 \quad \text{高} \\
 0.125 \times 2 = 0.250 & \cdots \cdots & \text{整数 } 0 \\
 0.250 \times 2 = 0.50 & \cdots \cdots & \text{整数 } 0 \\
 0.50 \times 2 = 1.00 & \cdots \cdots & \text{整数 } 1 \quad \text{低}
 \end{array}$$

对连乘所得的整数按照从高到低的顺序排列，可得： $(0.5625)_{10} = (0.1001)_2$ 。

**【例 1.3.5】** 将十进制数  $(18.48)_{10}$  转换成二进制数小数(要求精确到小数点后 3 位)。

解：该十进制数既有整数部分又有小数部分，因此对于整数部分采取连除取余数法进行转换，对小数部分采取连乘取整数法进行转换，然后合并起来即可得到所求的结果。

$$\begin{array}{rcl}
 2 \overline{) 18} & \cdots \cdots & \text{余 } 0 \quad b_0 \quad \text{低} \\
 2 \overline{) 9} & \cdots \cdots & \text{余 } 1 \quad b_1 \\
 2 \overline{) 4} & \cdots \cdots & \text{余 } 0 \quad b_2 \\
 2 \overline{) 2} & \cdots \cdots & \text{余 } 0 \quad b_3 \\
 2 \overline{) 1} & \cdots \cdots & \text{余 } 1 \quad b_4 \quad \text{高} \\
 & & 0
 \end{array}$$

$$(18)_{10} = (10010)_2$$

$$\begin{array}{rcl}
 0.48 \times 2 = 0.96 & \cdots \cdots & \text{整数 } 0 \quad \text{高} \\
 0.96 \times 2 = 1.92 & \cdots \cdots & \text{整数 } 1 \\
 0.92 \times 2 = 1.84 & \cdots \cdots & \text{整数 } 1 \quad \text{低}
 \end{array}$$

$$(0.48)_{10} = (0.011)_2$$

将转换后的整数部分和小数部分合并，可得： $(18.48)_{10} = (10010.011)_2$ 。

### 1.3.3 非十进制之间的转换

进制数的转换不仅仅指进行十进制数与非十进制的相互转换，在二进制、八进制和十六进制这些非十进制数之间也经常要相互转换，不同进制数之间的关系如表 1.3.1 所示。