

■ 高 等 学 校 教 材

数字电子技术

SHUZI DIANZI JISHU

王建珍 主编

相万让 主审



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高等学校教材

数 字 电 子 技 术

王建珍 主编

相万让 主审

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/王建珍主编. —北京:人民邮电出版社,2005.4

(高等学校教材)

ISBN 7-115-13246-1

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 015906 号

内 容 提 要

本书内容分为五篇,共 12 章。第一篇为基础知识,包括逻辑代数基础、逻辑门电路基础两章,主要介绍数字电子技术的基础知识和基本功能电路,为实际使用这些代数方法和器件打下必要的基础;第二篇为数字电路的分析和设计,包括组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路 3 章,主要介绍简单逻辑电路的分析和设计方法;第三篇为中规模通用集成电路设计,包括常用中规模组合逻辑电路、常用中规模时序逻辑电路、数/模和模/数转换器 3 章,主要介绍中规模集成电路的功能和扩展应用;第四篇为大规模集成电路设计,包括半导体存储器、可编程逻辑器件两章,介绍大规模集成电路功能和扩展应用;第五篇为数字系统设计部分,介绍小型数字系统的设计,以培养学生解决较复杂问题的能力。全书覆盖数字电子技术的基本理论和基本方法,共安排 12 个设计实例和 5 个课程设计,插于不同的章节或独立成章,使能力培养贯穿于教学的全过程。

本书可作为高等院校电子、电气、计算机及信息类本科专业“数字电子技术”课程的教材,也可供其他各相关专业的学生和从事电子技术工作的工程技术人员参考。

高等学校教材 数字电子技术

◆ 主 编 王建珍
主 审 相万让
责任编辑 邹文波
执行编辑 王亚娜

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
读者热线 010-67170985
北京艺辉印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本:787×1092 1/16
印张:20.75
字数:499 千字 2005 年 4 月第 1 版
印数:1—5 000 册 2005 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-13246-1/TN · 2448

定价:27.00 元

本书如有印装质量问题,请与本社联系 电话:(010)67129223

高等学校教材编委会

主 任：韩 炎

编 委：毕满清 陈俊杰 段 富 管 群

韩应征 梁吉业 宋文爱 王建珍

相万让 向 伟 谢红薇 谢克明

杨兆选 袁 涛 张 刚 张雪英

张永奎 周易来

前 言

为了适应电子技术的飞速发展和新世纪人材培养的要求,“数字电子技术”课程体系和内容的改革势在必行。作者在多年从事“数字电子技术”课程教学改革和实践探索的基础上,总结经验,针对学生在学习经常遇到的困难问题,尝试采用教、学、做相结合的教学模式,以理论够用、着眼应用的观点,编写了这本以应用为主线,体现学科新技术发展的教材。本书的编写特色如下。

(1) 本书以强调技术理论与工程实践相融合、技术理论与计算机方法相融合以及基础技术理论与现代电子技术相融合为编写的出发点。理论与实践融于一体,实践部分有理论分析,理论部分有实践作为依托,互相补充。这是本书的最大特点。

(2) 本书十分注重数字电子技术在实际中的应用。与现行同类教材的重要区别是只关注各种数字电路器件的外部特点,让学生通过各种设计实例熟悉器件在数字电子系统中的具体应用,而对器件的内部结构与电路原理不做太多阐述。对诸如触发器、编码器、译码器、计数器和寄存器等常用数字电路,在阐述实现电路功能的基本原理以后,一律用一个黑箱代替内部电路,着重阐述黑箱的外部特性。

(3) 本书精选常规内容,合理地控制教材的深度和广度,在讲授基本理论的同时,加强对中、大规模集成电路知识的介绍和应用,以体现学科新技术发展方向,力图把握好教材的“度”。

(4) 数字电子技术基本理论与实践能力是许多后续课程的基础。本书充分考虑了与后续课程“微机组成原理”、“接口技术”、“汇编语言”等的衔接,合理统筹,融会贯通。

(5) 本书每一章都明确地给出了基本要求、知识结构。各章的主要内容均在例题分析中有具体体现,每个重要知识点同时配有相当数量的习题,使读者可以举一反三,逐步提高分析问题和解决问题的能力。

(6) 为提高《数字电子技术》课程的教学效果和教学效率,方便教师备课,本教材提供电子课件,供各位教师索取(E-mail: wangjz@sxu.edu.cn),也可以到人民邮电出版社的网站上(www.ptpress.com.cn)下载。

本书可作为高等院校电子、电气、计算机及信息类本科专业“数字电子技术”课程的教材,也可供其他各相关专业的学生和从事电子技术工作的工程技术人员参考。

本书主编王建珍,副主编樊东燕、柳欣。其中第1章由王建珍编写,第2章、第3章和第6章由柳欣编写,第4章、第5章、第7章、第11章和第12章由樊东燕编写,第9章和第10章由史健芳编写,第8章由柳欣、史健芳共同编写。全书由王建珍统稿和定稿,相万让负责主审。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编者

目 录

第一篇 基础知识

第 1 章 逻辑代数基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 数字信号和模拟信号	1
1.1.2 数制及其转换	2
1.1.3 编码	8
1.2 逻辑代数中的基本运算	12
1.2.1 逻辑代数的基本概念	12
1.2.2 逻辑代数中的基本运算	13
1.2.3 复合逻辑	14
1.3 逻辑函数及其表示方法	16
1.3.1 逻辑函数的概念	16
1.3.2 逻辑函数的表示方法	17
1.3.3 逻辑函数的两种标准形式	19
1.4 逻辑代数的公式、定理及规则	21
1.4.1 基本公式	21
1.4.2 基本定理	22
1.4.3 逻辑代数的 3 个重要规则	23
1.5 逻辑函数的化简	25
1.5.1 逻辑函数的最简形式	25
1.5.2 逻辑函数的代数化简法	25
1.5.3 逻辑函数的卡诺图化简法	28
1.6 具有无关项的逻辑函数及其化简	33
1.6.1 约束项、任意项和逻辑函数中的无关项	33
1.6.2 无关项在逻辑函数中的应用	34
习题	35
第 2 章 逻辑门电路基础	38
2.1 基本概念	38
2.2 晶体二极管的开关特性	39
2.2.1 半导体基本知识	39
2.2.2 PN 结及其导电特性	40
2.2.3 晶体二极管的开关特性	41
2.3 双极型晶体三极管的开关特性	44

2.3.1 双极型三极管的结构	44
2.3.2 双极型晶体三极管的开关特性	44
2.4 MOS 晶体管的开关特性	46
2.5 单极型 MOS 管和双极型三极管的比较	50
2.6 最简单的与、或、非门电路	50
2.6.1 二极管与门	50
2.6.2 二极管或门	51
2.6.3 三极管非门	52
2.7 TTL 门电路	54
2.7.1 TTL 与非门的电路结构和工作原理	54
2.7.2 TTL 与非门的主要外部特性	55
2.7.3 其他功能的 TTL 门电路	59
2.7.4 TTL 门电路的改进系列	63
2.7.5 TTL 集成逻辑门电路的使用注意事项	67
2.8 CMOS 集成逻辑门电路	68
2.8.1 CMOS 反相器	68
2.8.2 其他功能的 CMOS 门电路	69
2.8.3 CMOS 集成门电路的特点	73
2.8.4 CMOS 集成逻辑门电路的正确使用	73
2.8.5 TTL 门电路与 CMOS 门电路的接口	74
2.9 小结	77
习题	77

第二篇 数字电路的分析和设计

第3章 组合逻辑电路	79
3.1 概述	79
3.2 组合逻辑电路的分析方法	80
3.2.1 基本分析方法	80
3.2.2 分析举例	80
3.3 组合逻辑电路的设计	81
3.3.1 组合逻辑电路的设计方法	81
3.3.2 设计举例	82
3.4 组合逻辑电路中的竞争—冒险现象	86
3.4.1 竞争—冒险现象及其成因	86
3.4.2 如何判断是否存在逻辑冒险	87
3.4.3 消除竞争—冒险现象的方法	88
3.5 设计实例	89
3.5.1 实例1 路灯控制电路	89
3.5.2 实例2 发电机的自启动	90

3.6 小结	90
习题	91
第4章 触发器	93
4.1 概述	93
4.2 基本RS触发器	94
4.2.1 电路结构与工作原理	94
4.2.2 逻辑功能及其描述方法	95
4.3 同步触发器	97
4.3.1 电路结构与工作原理	98
4.3.2 逻辑功能及其描述方法	100
4.4 主从触发器	103
4.4.1 电路结构与工作原理	103
4.4.2 逻辑功能及其描述方法	105
4.5 边沿触发器	108
4.5.1 电路结构与工作原理	108
4.5.2 逻辑功能及其描述方法	111
4.6 各种触发器之间的转换	112
4.6.1 不同类型触发器之间转换的方法和步骤	112
4.6.2 JK触发器转换成其他类型的触发器	113
4.6.3 D触发器转换成其他类型的触发器	114
4.7 设计实例	115
4.7.1 实例1 秒信号电路的设计	115
4.7.2 实例2 数字抢答器的设计	116
习题	117
第5章 时序逻辑电路	123
5.1 时序逻辑电路的分析方法	123
5.1.1 概述	123
5.1.2 同步时序逻辑电路的分析方法	124
5.1.3 异步时序逻辑电路的分析方法	127
5.2 时序逻辑电路的设计方法	130
5.2.1 同步时序逻辑电路的设计方法	130
5.2.2 异步时序逻辑电路的设计方法	135
5.3 设计实例	140
5.3.1 实例1 序列信号发生器电路的设计	140
5.3.2 实例2 自动投币售货机电路的设计	142
习题	145

第三篇 中规模通用集成电路设计

第6章 常用中规模组合逻辑电路	150
------------------------	------------

6.1 概述	150
6.2 编码器	150
6.2.1 二进制编码器	150
6.2.2 二—十进制编码器	152
6.2.3 优先编码器	153
6.3 译码器	153
6.3.1 二进制译码器	154
6.3.2 二—十进制译码器	156
6.3.3 显示译码器	158
6.3.4 用译码器实现组合逻辑函数	160
6.4 数据选择器和分配器	161
6.4.1 数据选择器	161
6.4.2 用数据选择器设计组合逻辑电路	164
6.4.3 数据分配器	165
6.5 加法器	166
6.5.1 1 位加法器	166
6.5.2 多位加法器	167
6.6 数值比较器	168
6.6.1 1 位数值比较器	168
6.6.2 多位数值比较器	169
6.7 用 MSI 实现组合逻辑电路设计	171
6.8 设计实例	175
6.8.1 实例 1 密码锁	175
6.8.2 实例 2 代码转换电路	176
6.9 小结	177
习题	178
第 7 章 常用中规模时序逻辑电路	180
7.1 计数器	180
7.1.1 计数器的概念及分类	180
7.1.2 常用中规模集成计数器的电路结构和功能	181
7.1.3 利用中规模集成计数器构成任意进制计数器	192
7.2 寄存器和移位寄存器	196
7.2.1 寄存器	196
7.2.2 移位寄存器	198
7.2.3 移位寄存器型计数器	201
7.3 顺序脉冲发生器	203
7.4 设计实例	205
7.4.1 实例 1 计数器及其应用	205
7.4.2 实例 2 移位寄存器的应用	207

习题	208
第 8 章 数—模和模—数转换	211
8.1 概述	211
8.2 转换系统	211
8.3 数—模转换器 (DAC)	212
8.3.1 数—模转换原理及一般组成	213
8.3.2 权电阻网络 DAC	214
8.3.3 $R-2R$ 倒 T 形电阻网络 DAC	215
8.3.4 权电流型 DAC	217
8.3.5 具有双极性输出的 DAC	217
8.3.6 DAC 的转换精度与转换速度	219
8.4 模数转换器	220
8.4.1 模数转换基本原理	220
8.4.2 并联比较型 ADC	223
8.4.3 反馈比较型 ADC	225
8.4.4 间接 ADC	227
8.4.5 ADC 的转换精度与转换速度	230
8.5 设计实例	230
8.5.1 实例 1 高速并行 A/D 转换系统	230
8.5.2 实例 2 数字温度计	231
8.6 小结	232
习题	233

第四篇 大规模集成电路设计

第 9 章 半导体存储器	235
9.1 概述	235
9.2 只读存储器 (ROM)	236
9.2.1 掩模只读存储器	236
9.2.2 可编程只读存储器 (PROM)	238
9.2.3 可擦除的可编程只读存储器 (EPROM)	238
9.3 随机存取存储器 (RAM)	241
9.3.1 RAM 的基本结构和工作原理	241
9.3.2 RAM 的存储单元	241
9.3.3 集成随机存储器	242
9.3.4 存储容量的扩展	243
9.4 小结	246
习题	247
第 10 章 可编程逻辑器件	248
10.1 概述	248

10.1.1	可编程逻辑器件分类	248
10.1.2	可编程逻辑器件结构	249
10.1.3	可编程逻辑器件连接方式	249
10.2	现场可编程逻辑阵列 (FPLA)	250
10.3	可编程阵列逻辑 (PAL)	251
10.3.1	PAL 的基本电路结构	251
10.3.2	PAL 的输出电路结构和反馈形式	252
10.4	通用阵列逻辑 (GAL)	254
10.4.1	GAL 器件的基本电路结构	254
10.4.2	GAL16V8 基本结构	254
10.4.3	GAL16V8 结构控制字	255
10.4.4	GAL16V8 输出逻辑宏单元 (OLMC)	256
10.5	复杂可编程逻辑器件 (CPLD)	259
10.5.1	CPLD 的结构	259
10.5.2	CPLD 的性能特点	259
10.6	在系统可编程逻辑器件 (ISP-PLD)	260
10.6.1	高密度 ISP-PLD	260
10.6.2	ispLSI1016 内部结构与工作原理	261
10.6.3	LSI1016 器件的编程原理及方法	264
10.7	现场可编程门阵列 (FPGA)	267
10.7.1	FPGA 的基本结构	267
10.7.2	可配置逻辑模块 (CLB)	268
10.7.3	FPGA 的可编程 I/O 模块 (IOB)	269
10.7.4	可编程互连资源 (ICR)	269
10.7.5	编程数据的装载	270
10.7.6	现场可编程门阵列的特点	271
10.8	小结	271
	习题	271

第五篇 数字系统设计

第 11 章	数字系统的设计	273
11.1	概述	273
11.1.1	数字系统的基本模型	273
11.1.2	数字系统的设计过程	274
11.2	数字系统的描述方法	276
11.2.1	算法状态机图 (ASM)	276
11.2.2	寄存器传送语言 (RTL)	280
11.2.3	硬件描述语言 (VHDL)	283
11.3	简易数字计算机设计	293

11.3.1 简易数字计算机的功能分析与框图设计.....	293
11.3.2 简易计算机控制器设计.....	295
11.3.3 简易计算机部件逻辑图设计.....	296
11.3.4 简易计算机的实现.....	300
习题.....	300
第 12 章 课程设计	304
12.1 数字时钟的设计.....	304
12.2 出租车里程计价表.....	306
12.3 加减法运算电路.....	308
12.4 可预置的定时显示报警系统.....	312
12.5 交通灯控制电路.....	314
参考文献.....	319

第 1 章 逻辑代数基础

随着科学技术的飞速发展,人类社会进入了一个前所未有的数字化、信息化的时代,数字技术与国民经济和社会生活的关系日益密切。计算机、计算机网络、通信、电视及音像传媒、自动控制、医疗和测量等无一不纳入数字技术并获得了巨大的技术进步。数字技术的发展取决于数字逻辑电路的分析和设计,而逻辑代数就是用来分析和设计数字逻辑电路或数字系统的有力工具。

1.1 概 述

1.1.1 数字信号和模拟信号

观察客观世界存在的各种物理信号,尽管其性质各异,但按其变化规律基本可以分为两种类型,一种是连续信号,另一种是离散信号。

连续信号是指在时间上和数值上都连续变化的物理信号,我们从自然界感知的大部分物理信号都是连续信号,如速度、压力、温度、声音、图像以及重量等。为了传送和处理的方便,在工程应用中,通常用某一种连续信号去模拟另一种连续信号。例如,用电压的变化代替声音的变化等,因此连续信号又称为模拟信号,而传送和处理模拟信号的电子电路则称为模拟电路。模拟信号是一种不仅在时间上连续,而且在数值上也连续的物理量,具有无穷多的数值,其数学表达式是比较复杂的,如正弦函数、指数函数等。

离散信号是指在时间上和数值上都断续变化的物理信号,例如,电路的开关状态和工厂的产品统计等。这类信号的特点是只在某些特定的时间内出现,而且其数值的变化都是某一最小数值单位的整数倍,因此离散信号的变化可以用不同的数字反映,所以离散信号又称为数字信号,传送和处理数字信号的电子电路则称为数字电路。

由于数字信号在时间上和数值上均是离散的,而离散信号的值只有“真”或“假”,“是”与“不是”,因此可以使用数字中的“0”和“1”来表示。需要注意的是:这里的“0”和“1”并非通常意义上的“0”和“1”,也就是说并不像在十进制中的“0”和“1”有大小之分,这里的“0”和“1”指的是逻辑 0 和逻辑 1。因此可以将其称为二值数字逻辑或简称为数字逻辑。二值数字逻辑的产生,是基于客观世界中存在许多可以用彼此相关又互相对立

的两种状态来描述的事物, 比如人的性别, 不是男的就是女的, 开关的开与关等, 很显然, 这些都具有明显的二值特性, 因此完全可以用电子器件的开关特性来表示。由于数字电路的各种功能是通过逻辑运算和逻辑判断来实现的, 所以数字电路又称为数字逻辑电路。

1.1.2 数制及其转换

在日常生活和工作中, 人们经常碰到计数的问题, 随着科学技术的发展, 人类开始借助数字系统帮助处理日常信息, 因此数字系统中同样会经常涉及到计数的问题。

1. 数制

数制是人们对数量计数的一种统计规律, 它是进位计数制的简称。通常每一种进位计数制都包含 3 个基本的要素: 数码、基数和位权。

数码是组成一种数制的基本成分, 是数制中所采用的数字符号。

基数是指数制中所用到的数字符号的个数, 在基数为 N 的数制中, 包含 $0、1、2\cdots、N-1$ 共 N 个数字符号, 进位规律是“逢 N 进一”、“借一当 N ”, 称为 N 进制。

位权是用来表明不同数位上数值大小的一个固定常数。不同数位有不同的位权, 某一数位的数值等于这一位的数字符号乘以与该位对应的位权。 N 进制数的位权是 N 的整数次幂。

通常一个 N 进制数有以下两种表示方法。

- 并列表示法, 又称位置计数法, 其表达式为

$$(D)_N = (K_{n-1}K_{n-2}\cdots K_1K_0K_{-1}K_{-2}\cdots K_{-m})_N$$

- 多项式表示法, 又称为按权展开法, 其表达式为

$$\begin{aligned}(D)_N &= K_{n-1} \times N^{n-1} + K_{n-2} \times N^{n-2} + \cdots + K_1 \times N^1 + K_0 \times N^0 \\ &\quad + K_{-1} \times N^{-1} + K_{-2} \times N^{-2} + \cdots + K_{-m} \times N^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} K_i N^i\end{aligned}$$

其中, N 表示基数; n 为整数部分的位数; m 为小数部分的位数; K_i 为 N 进制数中的一个数字符号, 其取值范围为 $0 \leq K_i \leq N-1$ 。

采用何种计数方法要根据实际需要而定。在数字电路中常用的数制有十进制、二进制、八进制和十六进制。

(1) 十进制 (Decimal)

十进制是日常生活中使用最广泛的计数制。组成十进制数的数码有 $0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ 共 10 个, 因此计数的基数为 10, 超过 9 就必须用多位数来表示, 所以十进制数按“逢十进一”、“借一当十”的进位规则进行计数, 十进制数的位权为 10 的整数次幂。在十进制数中, 数码的位置不同, 所表示的值就不相同, 任意一个十进制数都可以表示为

$$\begin{aligned}(D)_{10} &= (k_{n-1}k_{n-2}\cdots k_1k_0k_{-1}k_{-2}\cdots k_{-m})_{10} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times 10^i\end{aligned}$$

其中: i 代表位数, k_i 是第 i 位的数码, 它可以是 $0\sim 9$ 这 10 个数码中的任意一个; n 是整数部分的位数; m 是小数部分的位数; i 为从 $n-1$ 到 0 的所有正整数和从 -1 到 $-m$ 的所有负整数。例如, 十进制数 369.168 可以表示为

(369.168)₁₀ (并列表示法)

$$= 3 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 9 \times 10^0 + 1 \times 10^{-1} + 6 \times 10^{-2} + 8 \times 10^{-3} \text{ (多项式表示法)}$$

式中: 3、6、9、1、6、8 为各位位置的数码; 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} 、 10^{-3} 为各位位置的位权。

虽然十进制数是人们使用最多和最熟悉的一种数制, 但是在计算机中无法采用, 因为要找到表达 10 个状态的物理元件比较困难, 要完成十进制加、减、乘、除运算也比较复杂。所以, 数字电路中常用二进制数及相应变形的八进制数和十六进制数。

(2) 二进制 (Binary)

在数字电路中应用最广泛的是二进制。二进制数的基数为 2, 数码只有“0”和“1”两个数, 计数规则为“逢二进一”、“借一当二”, 位权是 2 的整数次幂。任意一个二进制数可以表示为

$$(D)_2 = (k_{n-1}k_{n-2}\cdots k_1k_0k_{-1}k_{-2}\cdots k_{-m})_2$$

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

其中: i 代表位数, k_i 是第 i 位的数码, 它可以是 0 或者 1; n 是整数部分的位数; m 是小数部分的位数; i 为从 $n-1$ 到 0 的所有正整数和从 -1 到 $-m$ 的所有负整数。例如, 二进制数 1011.01 可以表示为

(1011.01)₂ (并列表示法)

$$= 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \text{ (多项式表示法)}$$

二进制数的特点如下。

① 易于实现。二进制数只有两个数码 0 和 1, 因此它的每一位数都可用任何具有两个不同稳定状态的元件来表示, 例如: 三极管的截止与饱和、电路电压的高低、电流的有无及开关的通断等。对于更大的数值则可以用多位二进制数来表示, 这样数码的存储和传输就可以很容易地实现。

② 运算简单。由于只有两个数码 0 和 1, 因此二进制的运算十分简便, 其运算规则如下。

加法规则: $0+0=0$ $0+1=1$ $1+0=1$ $1+1=0$ (进位为 1)

减法规则: $0-0=0$ $0-1=1$ (借位为 1) $1-0=1$ $1-1=0$

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

除法规则: $0 \div 1=0$ $1 \div 1=1$

例如, 二进制数 11001 与 101 的和、差、积、商运算分别如下。

● 和运算:

$$\begin{array}{r} 11001 \\ + \quad 101 \\ \hline 11110 \end{array}$$

● 差运算:

$$\begin{array}{r} 11001 \\ - \quad 101 \\ \hline 10100 \end{array}$$

● 积运算:

$$\begin{array}{r}
 11001 \\
 - \quad 101 \\
 \hline
 11001 \\
 00000 \\
 \times 11001 \\
 \hline
 1111101
 \end{array}$$

● 商运算:

$$\begin{array}{r}
 101 \\
 101 \overline{) 11001} \\
 \underline{- 101} \\
 101 \\
 \underline{- 101} \\
 0
 \end{array}$$

③ 位数多, 书写和记忆不太方便。因此人们在进行指令书写、程序输入和输出等工作时, 通常采用八进制和十六进制作为二进制数的缩写。

(3) 八进制 (Octonary)

为了克服二进制位数多的缺陷, 在数字电路中引入了八进制。八进制数的基数为 8, 数码为 0~7 七个数字, 计数规则为“逢八进一”、“借一当八”, 位权是 8 的整数次幂。任意一个八进制数可以表示为

$$\begin{aligned}
 (D)_8 &= (k_{n-1}k_{n-2}\cdots k_1k_0k_{-1}k_{-2}\cdots k_{-m})_8 \\
 &= \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times 8^i
 \end{aligned}$$

其中: i 代表位数, k_i 是第 i 位的数码, 它可以是从 0 到 7 的任意一位数; n 是整数部分的位数; m 是小数部分的位数; i 为从 $n-1$ 到 0 的所有正整数和从 -1 到 $-m$ 的所有负整数。例如, 八进制数 6247.36 可以表示为

$$(6247.36)_8 \text{ (并列表示法)}$$

$$= 6 \times 8^3 + 2 \times 8^2 + 4 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 3 \times 8^{-1} + 6 \times 8^{-2} \text{ (多项式表示法)}$$

(4) 十六进制 (Hexadecimal)

同样是为了克服二进制位数多的缺陷, 在数字电路中也引入了十六进制。十六进制数的基数为 16, 数码为 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 共 16 个数字, 计数规则为“逢十六进一”、“借一当十六”, 位权是 16 的整数次幂。任意一个十六进制数可以表示为

$$\begin{aligned}
 (D)_{16} &= (k_{n-1}k_{n-2}\cdots k_1k_0k_{-1}k_{-2}\cdots k_{-m})_{16} \\
 &= \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times 16^i
 \end{aligned}$$

其中: i 代表位数, k_i 是第 i 位的数码, 它可以是从 0 到 F 的任意一位数; n 是整数部分的位数; m 是小数部分的位数; i 为从 $n-1$ 到 0 的所有正整数和从 -1 到 $-m$ 的所有负整数。例如, 十六进制数 A3B.4E 可以表示为

$$(A3B.4E)_{16} \text{ (并列表示法)}$$

$$= 10 \times 16^2 + 3 \times 16^1 + 11 \times 16^0 + 4 \times 16^{-1} + 14 \times 16^{-2} \text{ (多项式表示法)}$$

2. 不同数制之间的转换

人们习惯使用的是十进制数, 数字系统中普遍采用的是二进制数, 为了书写和记忆的方

便,又常常使用八进制和十六进制数,因此产生了不同进制之间的转换问题。

(1) 各种数制转换成十进制

二进制、八进制和十六进制数转换成十进制数时,只要把它们写成多项式表示法,即按权展开,求出各项之和便可得到对应的十进制数。例如:

$$\begin{aligned}(1101.011)_2 &= 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= (8 + 4 + 0 + 1 + 0 + 0.25 + 0.125)_{10} \\ &= (13.375)_{10}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(137.01)_8 &= 1 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 0 \times 8^{-1} + 1 \times 8^{-2} \\ &= (64 + 24 + 7 + 0 + 0.015625)_{10} \\ &= (95.015625)_{10}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(4C2.B4)_{16} &= 4 \times 16^2 + 12 \times 16^1 + 2 \times 16^0 + 11 \times 16^{-1} + 4 \times 16^{-2} \\ &= (1218.7031248)_{10}\end{aligned}$$

(2) 十进制数转换成 N 进制数

将十进制数转换为 N 进制数,需将十进制数的整数部分和小数部分分别进行转换,然后将他们合起来。其方法如下。

① 整数部分。逐次除以基数 N , 逆序取余数进行排列。其具体步骤为:

- 将给定的十进制数的整数部分除以 N , 余数作为 N 进制数整数的最低位;
- 把前一步的商再除以 N , 余数作为次低位;
- 重复上一步骤, 记下余数, 直至最后商为 0, 最后的余数即为 N 进制的最高位。

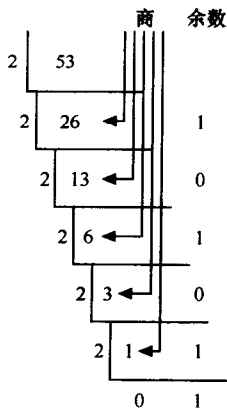
② 小数部分。逐次乘以基数 N , 顺序取积的整数部分进行排列。其具体步骤为:

● 将给定的十进制数的小数部分乘以 N , 取乘积的整数部分作为 N 进制数小数部分的最高位;

- 把前一步的乘积的小数部分继续乘以 N , 乘积的整数部分作为小数部分的次高位;
- 重复上述步骤, 直至最后乘积为 0 或达到一定精度。

例 1 将十进制数 $(53.375)_{10}$ 转换为二进制数。

解: ① 整数部分:



所以: $(53)_{10} = (110101)_2$

② 小数部分: