

21 世纪信息科学与电子工程系列精品教材
浙江省高校重点建设教材

SHUZI DIANZI JISHU JI SHIXUN

数字电子技术及实训

◆ 唐 颖 陈新民 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

21 世纪信息科学与工程系列精品教材
浙江省高校重点建设教材

数字电子技术及实训

唐 颖 陈新民 编著

浙江大學出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术及实训 / 唐颖, 陈新民编著. — 杭州: 浙江大学出版社, 2007. 10

(21 世纪信息科学与电子工程系列精品教材)

ISBN 978-7-308-05603-8

I. 数… II. ①唐…②陈… 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 (2007) 第 161427 号

数字电子技术及实训

唐 颖 陈新民 编著

责任编辑 王元新 孙秀丽

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310028)

(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>

<http://www.press.zju.edu.cn>)

排 版 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷 杭州杭新印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 17

字 数 435 千

版 次 2007 年 10 月第 1 版 2007 年 10 月第 1 次印刷

印 数 0001—3000

书 号 ISBN 978-7-308-05603-8

定 价 27.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话(0571)88072522

内 容 简 介

本书从学以致用角度出发,将理论知识与实践紧密结合,侧重于方法和能力的培养。全书共分9章,主要包括绪论、数字逻辑基础、门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲信号的产生与整形、A/D与D/A转换器、半导体存储器及可编程逻辑器件简介等。各章后均配有习题。除第1章、第2章为数字电路的理论基础,不含实践内容外,其余各章都含有结合本章内容的一般实验和综合实训。本书概念清楚,内容先进实用,深入浅出,力求实现理论与实践的一体化。

本书可作为高等学校理工科各专业应用型本科或专科学生的教材,也可作为教师理论和实践教学的参考书,亦可供有关工程技术人员自学和参考。

前 言

为了适应应用型人才培养的要求和电子技术的飞速发展,作者在多年从事“数字电子技术”课程的教学改革和实践的基础上,总结理论和实践教学的经验,结合新技术的发展,针对学生在学习经常遇到的困难问题,采用教学与实践相结合的教学模式,本着理论够用、着眼应用的原则,编写了这本以应用为主线,结合学科新技术发展的教材。

本书编写的主要特色有:

(1)本书以技术理论与工程实践及计算机辅助设计相融合为编写的出发点,将理论与实践融于一体,理论部分有实践为依托,实践部分有理论作分析,互为补充。

(2)本书十分注重数字电子技术在实际中的应用。在阐述实现电路功能的基本原理后,只关注各种数字电路器件的外部特点和使用方法,淡化集成电路内部结构及内部工作原理的论述。通过每章给出的各种设计实例、实验,使学生熟悉器件在数字电子系统中的具体应用,并通过每章后面的综合实训提高读者的应用和设计能力。

(3)数字电子技术的基本理论和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如“单片机原理及应用”、“微机组原理”等的衔接,精选常规内容,控制教材的知识深度及范围,合理统筹,融会贯通。

(4)本书每一章都给出了主要知识点和基本要求,每个知识点同时配有例题和相当数量的习题,使读者可以举一反三,从而提高读者分析和解决问题的能力。

随着中、大规模集成电路的快速发展和广泛应用,数字电路的设计方法在概念上发生了根本性的变化。本书以介绍逻辑分析方法为主,逻辑电路的设计主要考虑中、大规模集成电路的选用和运用。编写时力求简明扼要,通俗易懂,便于读者自学。

本书可作为高等学校理工科各专业应用型本科或专科“数字电子技术”及相关课程的教材,也可供有关工程技术人员自学和参考。

限于编者水平,疏漏欠妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2007年8月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数字电路概述	1
1.1.1 模拟与数字电路	1
1.1.2 数字电路的分类和学习方法	2
1.2 数制与编码	3
1.2.1 进位计数制	3
1.2.2 数制之间的相互转换	5
1.2.3 编码	8
本章小结	10
习题 1	10
第 2 章 数字逻辑基础	12
2.1 逻辑代数基础	12
2.1.1 逻辑代数的基本运算	12
2.1.2 复合逻辑运算	14
2.1.3 逻辑代数的公式和运算规则	17
2.2 逻辑函数的表示方法	19
2.3 逻辑函数的代数化简法	21
2.3.1 化简的意义与标准	21
2.3.2 具体的代数化简法	22
2.4 逻辑函数的卡诺图化简法	23
2.4.1 逻辑函数的最小项及其性质	24
2.4.2 逻辑函数的最小项表达式	25
2.4.3 用卡诺图表示逻辑函数	25
2.4.4 用卡诺图化简逻辑函数	27
2.4.5 含随意项的逻辑函数化简	29
2.5 逻辑函数几种表示方法之间的转换	30
本章小结	31
习题 2	32
第 3 章 门电路	34
3.1 分立元件门电路	34

3.1.1 二极管与门和或门电路	34
3.1.2 三极管非门电路	36
3.2 TTL 集成门电路	36
3.2.1 TTL 与非门的基本结构及工作原理	36
3.2.2 TTL 与非门的主要特性和参数	38
3.3 TTL 门电路的其他类型	41
3.4 MOS 门电路	46
3.4.1 CMOS 反相器	46
3.4.2 其他的 CMOS 门电路	47
3.4.3 CMOS 数字集成电路的特点与系列	49
3.5 集成门电路使用中的一些问题	50
3.5.1 TTL 与 CMOS 器件之间的接口问题	50
3.5.2 集成门电路使用中的一些问题	52
本章小结	53
习题 3	54
本章实验	56
第 4 章 组合逻辑电路	60
4.1 组合逻辑电路的分析和设计方法	60
4.1.1 组合逻辑电路的分析方法	60
4.1.2 组合逻辑电路的设计方法	62
4.2 常用组合逻辑电路	65
4.2.1 加法器	65
4.2.2 编码器	67
4.2.3 译码器	69
4.2.4 数据选择器	75
4.2.5 数值比较器	80
4.3 组合电路中的冒险	81
4.3.1 冒险现象	81
4.3.2 冒险的检查和处理	82
本章小结	83
习题 4	84
本章实验 1	86
本章实验 2	86
综合实训 双色自动滚环灯电路制作	88
第 5 章 触发器	91
5.1 触发器概述	91
5.1.1 对触发器的基本要求	91
5.1.2 触发器的现态和次态	92

5.1.3 触发器的分类	92
5.2 基本 RS 触发器	92
5.2.1 电路构成及逻辑符号	92
5.2.2 工作原理	93
5.2.3 逻辑功能描述	94
5.2.4 基本 RS 触发器的应用举例	95
5.3 同步触发器	96
5.3.1 同步 RS 触发器	97
5.3.2 D 锁存器	98
5.3.3 同步触发器的空翻	99
5.4 主从触发器	100
5.4.1 电路构成与逻辑符号	100
5.4.2 工作原理	101
5.4.3 异步输入端	102
5.4.4 主从 JK 触发器存在的问题	102
5.5 边沿触发器	102
5.5.1 边沿 JK 触发器	102
5.5.2 维持阻塞 D 触发器	103
5.6 触发器逻辑功能的转换	105
5.6.1 T 触发器和 T' 触发器	105
5.6.2 触发器逻辑功能的转换	106
本章小结	106
习题 5	107
本章实验	110
综合实训 数字抢答器设计	113
第 6 章 时序逻辑电路	115
6.1 时序逻辑电路简述	115
6.1.1 时序逻辑电路的结构特点	115
6.1.2 时序逻辑功能的描述方法	116
6.1.3 时序逻辑电路的分类	119
6.2 时序逻辑电路的分析	119
6.2.1 时序逻辑电路的分析步骤	120
6.2.2 时序逻辑电路的分析举例	120
6.3 常用的时序逻辑电路	125
6.3.1 寄存器	125
6.3.2 计数器	129
6.4 时序逻辑电路的设计	148
6.4.1 同步计数器的设计	149
6.4.2 一般同步时序逻辑电路的设计	153

本章小结	159
习题 6	160
本章实验 1	166
本章实验 2	167
综合实训 数字密码控制器的制作	168
第 7 章 脉冲信号的产生和整形电路	171
7.1 集成 555 定时器	171
7.2 施密特触发器	173
7.2.1 用 555 定时器构成的施密特触发器	174
7.2.2 集成施密特触发器	175
7.2.3 施密特触发器的应用	175
7.3 单稳态触发器	176
7.3.1 用 555 定时器构成的单稳态触发器	176
7.3.2 由与非门组成的单稳态触发器	177
7.3.3 集成单稳态触发器	178
7.3.4 单稳态触发器的应用	180
7.4 多谐振荡器	181
7.4.1 用 555 定时器构成的多谐振荡器	181
7.4.2 由 TTL 与非门组成的多谐振荡器	182
7.4.3 石英晶体振荡器	183
本章小结	184
习题 7	185
本章实验 1	186
本章实验 2	187
综合实训 数字式频率计的制作	188
第 8 章 数模与模数转换器	191
8.1 D/A、A/D 转换概述	191
8.2 D/A 转换器	192
8.2.1 D/A 转换器的基本原理	192
8.2.2 常见的 D/A 转换器	193
8.2.3 集成 D/A 转换器	194
8.2.4 D/A 转换器的主要参数	200
8.3 A/D 转换器	200
8.3.1 A/D 转换器的基本原理	200
8.3.2 逐次逼近型 A/D 转换器	202
8.3.3 双积分型 A/D 转换器	204
8.3.4 集成 A/D 转换器	206
8.3.5 A/D 转换器的主要参数	209

本章小结.....	209
习题 8	210
本章实验.....	210
第 9 章 半导体存储器和可编程逻辑器件简介.....	213
9.1 随机存取存储器(RAM).....	213
9.1.1 随机存取存储器的结构和读写原理	213
9.1.2 静态 RAM 集成电路 6264 简介.....	214
9.2 只读存储器(ROM).....	215
9.2.1 固定 ROM 的结构原理	215
9.2.2 可编程只读存储器(PROM)	216
9.2.3 可擦除可编程只读存储器	217
9.2.4 EPROM 存储器的应用举例	218
9.3 存储器容量的扩展	220
9.3.1 ROM 的信号线	220
9.3.2 存储器的位扩展	220
9.3.3 存储器的字扩展	221
9.3.4 存储器的字与位的同时扩展	221
9.4 可编程逻辑器件简介	222
9.4.1 可编程阵列逻辑(PAL)	223
9.4.2 通用可编程逻辑器件	224
9.4.3 CPLD/FPGA 简介	225
本章小结.....	229
习题 9	230
综合实训 多种波形发生器电路设计.....	231
附 录	
附录 1 集成芯片认读的有关知识	233
附录 2 集成电路命名方法	235
附录 3 常用逻辑基本单元符号对照表	238
附录 4 MULTISIM 7 仿真软件的使用	239
附录 5 常用集成芯片管脚图	245
参考文献.....	259



图 1-1 数字信号

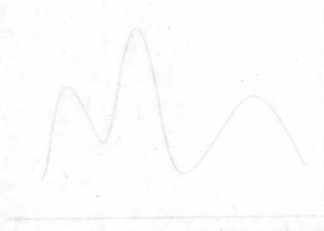


图 1-2 模拟信号

第 1 章

绪 论

本章要点 本章主要介绍数字电路的定义、特点和分类;介绍各种不同数制的表示方法以及各种数制之间的转换方法,进而讨论几种常用的编码。

通过本章的学习,要求:理解“基数”、“权”的概念,以及各种代码的特点;掌握各种数制的计数规则,以及数制间、各数制与各代码间的相互转换。

1.1 数字电路概述

1.1.1 模拟与数字电路

电子电路中的电信号可分为两类:一类是时间、数值上都连续变化的信号,任意时刻有一个相对的值,称为模拟信号。例如,模拟声音的音频信号和模拟图像的视频信号,温度、速度、压力、电磁场等物理量转变成的电信号等,如图 1-1 所示。而对模拟信号进行发送、传输、接收和处理的电子线路称为模拟电路,如交流放大器、直流放大器、滤波器、信号发生器等。另一类是时间和幅度都离散(不连续)的信号,只在某些时刻有定义,称为数字信号,如图 1-2 所示。平时使用的数字信号是二值信号,用二进制数 0 和 1 表示两种状态,例如开关通断、电压高低、电流有无等。

模拟电路是处理和传输模拟信号的电路,三极管工作在线性放大区。模拟电路的缺点:很难度量、容易受噪声的干扰、难以保存。模拟电路的优点:能用精确的值表示事物。

数字电路是处理和传输数字信号的电路。主要研究的是输出信号的状态(0 或 1)与输入信号的状态之间的逻辑关系,因而不能采用模拟电路的分析方法,如微变等效电路法等就不适用了。数字电路的主要分析工具是逻辑代数,而数字电路功能的主要表达形式有真值表、逻辑表达式、卡诺图、逻辑电路图以及波形图等五种。

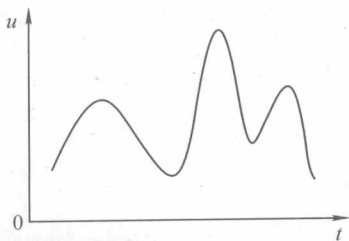


图 1-1 模拟信号

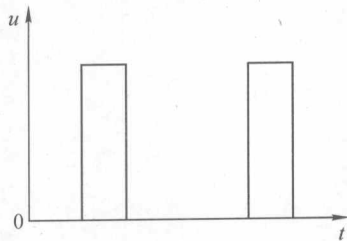


图 1-2 数字信号

数字电路与模拟电路相比其特点为:

(1) 数字电路的基本工作信号是用 1 和 0 表示的进制数字信号,反映在电路上就是高电平和低电平。若用 1 表示高电平,0 表示低电平称为正逻辑。反之,用 0 代表高电平,1 代表低电平称为负逻辑。本书一般采用正逻辑关系(注意:这里的 1 和 0 只代表状态,不表示数字的大小关系)。

(2) 晶体管处于开关工作状态,即饱和区或截止区,而放大区只是其过渡状态,抗干扰能力强、精度高。

(3) 通用性强、结构简单、容易制造,便于集成及系列化生产。

(4) 具有“逻辑思维”能力。数字电路能对输入的数字信号进行各种算术运算和逻辑运算、逻辑判断,故又称为数字逻辑电路。

1.1.2 数字电路的分类和学习方法

1. 数字电路的分类

(1) 按电路结构分类

组合逻辑电路:电路的输出信号只与当时的输入信号有关,而与电路原来的状态无关。

时序逻辑电路:电路的输出信号不仅与当时的输入信号有关,而且还与电路原来的状态有关。

(2) 按集成电路规模分类

即每块集成电路芯片中包含的元器件数目可分为:

小规模集成电路(Small Scale IC,SSI)

中规模集成电路(Medium Scale IC,MSI)

大规模集成电路(Large Scale IC,LSI)

超大规模集成电路(Very Large Scale IC,VLSI)

特大规模集成电路(Ultra Large Scale IC,ULSI)

巨大规模集成电路(Gigantic Scale IC,GSI)

2. 数字电路的学习方法

(1) 逻辑代数是分析和设计数字电路的重要工具,应熟练掌握。

(2) 重点掌握各种常用数字逻辑电路的逻辑功能、外部特性及典型应用。对其内部电路结构和工作原理不必过于深究。

(3)掌握基本的分析方法。

(4)本课程实践性很强,应重视习题、基础实验和综合实训等实践性环节。

(5)注意培养和提高查阅有关技术资料 and 数字集成电路产品手册的能力。

1.2 数制与编码

1.2.1 进位计数制

在数字电路中经常会遇到计数问题。按进位的原则进行计数,称为进位计数制。每一种进位计数制都有一组特定的数码,例如十进制有 10 个数码,二进制只有两个数码,而十六进制数却有 16 个数码。每一种进位计数制中允许使用的数码总数称为基数或底数,对应地,十进制数的基数为 10,二进制数的基数为 2,十六进制数的基数则为 16。在任何一种进位计数制中,任何一个数都由整数和小数两部分组成,并且具有两种表示方式:位置记数法和多项式表示法。

例如,十进制数 100(位置计数法) $=1 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 0 \times 10^0$ (多项式表示法)

在日常生活中,我们习惯用十进制来计数,而在数字系统中则多采用二进制计数,有时也采用八进制和十六进制数。

1. 十进制数(decimal)

所谓十进制,就是以 10 为基数的计数体制。它是采用十个不同的数码 0,1,2,3,...,9 以及小数点(.)来表示的数。任何一个数都可以用这十个数码按一定的排列规律来表示,其进位规律为“逢十进一”,即 $9+1=10$,右边的“0”为个位数,左边的“1”为十位数,也就是 $10=1 \times 10^1 + 0 \times 10^0$ 。这样,每一个数码处在不同的位置时,它代表的位值也就不相同。

如: $666=6 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 6 \times 10^0$

从右至左这三位十进制数每位的数码都是 6,但位值依次分别是 $10^2, 10^1, 10^0$,我们称之为“权”或“位权”。

有了基数和位权的概念,我们可将任一个十进制数按权展开。

例如,将十进制数 425.713 写成按权展开的形式为

$$425.713 = 4 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 7 \times 10^{-1} + 1 \times 10^{-2} + 3 \times 10^{-3}$$

一般来说,任意十进制数可表示为

$$(N)_{10} = \sum_{i=n-1}^{-m} K_i \times 10^i \quad (1-1)$$

式中: $(N)_{10}$ 表示该数为一个 N 位的十进制数,以后的数均采用这种表示方式。 K_i 为基数“10”的第 i 位的数码。 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, 10^i 为第 i 位的权值。

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。因为十进制有 10 个数码,在电路中找到能表达 10 个严格区别的状态的物理元件比较困难,完成十进制加、减、乘、除运算也比较复杂。因而,在数字电路中一般不直接采用十进制数,而多采用二进

制数。

2. 二进制数(binary)

和十进制类似,二进制就是以 2 为基数的计数体制。它仅有两个数码 0 和 1,其计数规律为“逢二进一”,即 $1+1=10$ (读为“壹零”),左边的“1”代表 1×2^1 ,右边的“0”代表 0×2^0 。当每个数码处于不同的位置时,它代表的位值是不同的,这与十进制相同,只是基数由“10”换成了“2”。

例如,二进制数的 1010.01 可表示为

$$\begin{aligned}(1010.01)_2 &= 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 8 + 0 + 2 + 0 + 0 + 0.25 = (10.25)_{10}\end{aligned}$$

同样地,任意二进制数可表示为

$$(N)_2 = \sum_{i=n-1}^{-m} K_i \times 2^i \quad (1-2)$$

式中: $(N)_2$ 表示该数为一个 N 位的二进制数; K_i 为基数“2”的第 i 位的数码。这样,我们就可以用该公式将任何二进制数转换成十进制数。

在数字电路中,与十进制相比,二进制具有一定的优点:

(1) 用二进制设计的数字电路简单可靠,所用的元件少。

二进制只有两个数码 0 和 1,因此它的每一个位数都可以用任何具有两个不同稳定状态的元件来表示,而这类元件是非常普通的,例如,二极管的导通与断开,三极管的饱和与截止,开关的闭合与断开等。我们只需规定其中一种状态为 1,则另一种状态就可以用 0 来表示。由于只有两种状态,所以数码的传输与存储都非常简单。

(2) 二进制的基本运算非常简单。

这一点大家将在随后的学习中体会到。

二进制数最大的缺点是表述一个数时位数太多,书写和记忆都不方便。十进制数虽然可以表示二进制数,但十进制数与二进制数之间的转换却较为复杂,一般不被人们所采用,因而在数字电路中引进了十六进制数和八进制数来表示二进制数。

3. 十六进制(hexadecimal)和八进制(octal)

同十进制数和二进制数一样,十六进制数就是以 16 为基数的计数体制。它有 16 个不同的数码: 0, 1, 2, 3, ..., 9, A(与十进制的 10 相对应), B(11), C(12), D(13), E(14), F(15), 其进位规律为“逢十六进一”,即 $F+1=10$, 左边的“1”表示 1×16^1 , 右边的“0”表示 0×16^0 。

例如,将十六进制数 15E 转换成十进制数为

$$(15E)_{16} = 1 \times 16^2 + 5 \times 16^1 + 14 \times 16^0 = (350)_{10}$$

任意十六进制数可用公式表示为

$$(N)_{16} = \sum_{i=n-1}^{-m} K_i \times 16^i \quad (1-3)$$

同理,八进制就是以 8 为基数的计数体制;它有 8 个数码: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 进位规律为“逢八进一”,即 $7+1=10$, 左边的“1”表示 1×8^1 , 右边的“0”表示 0×8^0 。

例如,将八进制数 624 转换成十进制数为

$$(624)_8 = 6 \times 8^2 + 2 \times 8^1 + 4 \times 8^0 = (404)_{10}$$

任意八进制数可用公式表示为

$$(N)_8 = \sum_{i=n-1}^{-m} K_i \times 8^i \quad (1-4)$$

十进制、二进制、八进制、十六进制之间的关系如表 1-1 所示。

表 1-1 几种进制之间的关系对照表

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

1.2.2 数制之间的相互转换

既然同一个数可以用上述的几种数制来表示,那么这几种数制之间就必然有一定的转换关系,下面我们就详细介绍这几种数制之间的转换方法。

1. 二进制与十进制之间的转换

(1) 二进制数转换成十进制数:方法为“按权展开”。只要将二进制数按式(1-2)展开,然后将各项数值按十进制数相加便可以得到等值的十进制数。

例 1-1 将 $(10110.11)_2$ 转换成十进制数。

$$\begin{aligned}
 (10110.11)_2 &= 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\
 &= 16 + 0 + 4 + 2 + 0 + 0.5 + 0.25 \\
 &= (22.75)_{10}
 \end{aligned}$$

(2) 十进制数转换成二进制数

十进制数转换成二进制数时,要将其整数部分和小数部分分别转换,结果合并为二进制形式。

① 整数部分的转换——除 2 取余法。

将待转换的十进制数的整数除以 2,第 1 次除所得余数为二进制数的最低位,把得到的商

再除以 2, 所得余数为次低位, 依此类推, 直到商为 0, 此时所得余数为二进制数的最高位。根据所得的余数按 $b_{n-1} \cdots b_1 b_0$ 的顺序组合成对应的二进制数。

例 1-2 将 $(42)_{10}$ 转换成二进制数。

商	余数	位置	
$2 \overline{) 42} \cdots \cdots 21$	$\cdots \cdots 0$	$\cdots \cdots b_0$	低位
$2 \overline{) 21} \cdots \cdots 10$	$\cdots \cdots 1$	$\cdots \cdots b_1$	
$2 \overline{) 10} \cdots \cdots 5$	$\cdots \cdots 0$	$\cdots \cdots b_2$	
$2 \overline{) 5} \cdots \cdots 2$	$\cdots \cdots 1$	$\cdots \cdots b_3$	
$2 \overline{) 2} \cdots \cdots 1$	$\cdots \cdots 0$	$\cdots \cdots b_4$	
$2 \overline{) 1} \cdots \cdots 0$	$\cdots \cdots 1$	$\cdots \cdots b_5$	高位

所以 $(42)_{10} = (b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0)_2 = (101010)_2$

② 小数部分的转换——乘 2 取整法。用待转换的十进制小数部分乘以 2, 第 1 次乘得结果的整数部分为二进制小数部分的最高位, 去掉乘以 2 后的整数部分, 用剩下的小数部分再乘以 2, 就又可以得到一位二进制数, 依此连续乘以 2, 直到满足误差要求进行“四舍五入”为止, 然后按照 $b_{-1} b_{-2} \cdots b_{-n}$ 的顺序排列后在高位添上 0 和小数点(.) 就完成了十进制小数向二进制小数的转换。

例 1-3 可按如下步骤将 $(0.73)_{10}$ 转换成误差 ϵ 不大于 2^{-6} 的二进制数。

小数	整数	位置	
$0.73 \times 2 = 1.46 \cdots \cdots 0.46$	$\cdots \cdots 1$	$\cdots \cdots b_{-1}$	低位
$0.46 \times 2 = 0.92 \cdots \cdots 0.92$	$\cdots \cdots 0$	$\cdots \cdots b_{-2}$	
$0.92 \times 2 = 1.84 \cdots \cdots 0.84$	$\cdots \cdots 1$	$\cdots \cdots b_{-3}$	
$0.84 \times 2 = 1.68 \cdots \cdots 0.68$	$\cdots \cdots 1$	$\cdots \cdots b_{-4}$	
$0.68 \times 2 = 1.36 \cdots \cdots 0.36$	$\cdots \cdots 1$	$\cdots \cdots b_{-5}$	高位

最后的小数为 0.36, 小于 0.5, 根据“四舍五入”的原则, b_{-6} 应该为 0。所以, $(0.73)_{10} = (0.10111)_2$, 其误差 ϵ 小于 2^{-6} 。

综上所述, 如果要将既有小数又有整数的十进制数转换成二进制数, 则只需将小数与整数分别转换成二进制后, 再求和即可。

例 1-4 将 $(10.25)_{10}$ 转换成二进制数。

解 因 $(10.25)_{10} = (10)_{10} + (0.25)_{10}$

又因 $(10)_{10} = (1010)_2$, $(0.25)_{10} = (0.01)_2$

故 $(10.25)_{10} = (1010)_2 + (0.01)_2 = (1010.01)_2$

同理, 十进制转换成八进制、十六进制时, 整数部分分别采用除 8 取余与除 16 取余法, 小数部分则分别采用乘 8 取整与乘 16 取整法。

2. 二进制与八进制、十六进制之间的转换

(1) 二进制与八进制之间的转换

八进制数的基数恰好是 $8 = 2^3$, 所以三位二进制数恰好对应一位八进制数, 它们之间的转换很方便。

二进制转换成八进制: ① 对于二进制的整数部分, 由低位向高位, 每三位为一组, 若高位不

足三位,则在高位添“0”补足三位,这样每三位二进制就对应一位八进制。②对于二进制小数部分,则由高位向低位,每三位为一组,低位不足三位,在低位添“0”补足三位,这样每三位二进制就对应一位八进制。

例 1-5 求 $(10010101.1011)_2$ 等值的八进制数。

二进制	<u>010</u>	<u>010</u>	<u>101.</u>	<u>101</u>	<u>100</u>
八进制	2	2	5.	5	4

所以 $(10010101.1011)_2 = (225.54)_8$

八进制转换成二进制:每一位八进制对应三位二进制,将转换后的二进制数去掉整数部分高位的“0”和小数部分低位的“0”就是最终结果。

例 1-6 求 $(326.74)_8$ 等值的二进制数。

八进制	3	2	6.	7	4
二进制	011	010	110.	111	100

去掉整数部分高位的“0”和小数部分低位的“0”后得 11010110.1111

即 $(326.74)_8 = (11010110.1111)_2$

(2) 二进制与十六进制之间的转换

同理,十六进制数的基数恰好是 $16=2^4$,所以四位二进制数恰好对应一位十六进制数,它们之间的转换规则同二进制与八进制之间的转换类似。只需在转换中将三位二进制为一组换成四位二进制为一组即可。

例 1-7 将 $(11110010001.11011)_2$ 转换成等值的十六进制。

二进制	<u>0111</u>	<u>1001</u>	<u>0001.</u>	<u>1101</u>	<u>1000</u>
十六进制	7	9	1.	D	8

所以 $(11110010001.11011)_2 = (791.D8)_{16}$

例 1-8 将 $(A2.D6)_{16}$ 转换成等值的二进制数。

十六进制	A	2.	D	6
二进制	1010	0010.	1101	0110

即 $(A2.D6)_{16} = (10100010.1101011)_2$

另外,十进制数转换成八进制或十六进制数,可以先将其转换成二进制数,然后由二进制转换成八进制或十六进制数。

例 1-9 将 $(60.75)_{10}$ 转换成二进制、八进制和十六进制数。

解 (1) 转换成二进制

$$(60.75)_{10} = (60)_{10} + (0.75)_{10} = (111100)_2 + (0.11)_2 = (111100.11)_2$$

(2) 转换成八进制

二进制	<u>111</u>	<u>100.</u>	<u>110</u>
八进制	7	4.	6

(3) 转换成十六进制

二进制	<u>0011</u>	<u>1100.</u>	<u>1100</u>
十六进制	3	C.	C

所以 $(60.75)_{10} = (111100.11)_2 = (74.6)_8 = (3C.C)_{16}$