



新世纪

育电气工程及其自动化类课程规划教材

数字电子技术

SHUZI DIANZI JISHU

主 编 路永华 李海燕 王瑞兰

$Q_2^*Q_1^*$	00	01	11	10
$Q_0^*Q_1^*$	1	0	0	×
01	×	×	0	×
11	0	×	0	0
10	0	×	×	×

$Q_2^*Q_1^*$	00	01	11	10
$Q_0^*Q_1^*$	0	0	0	×
01	×	×	0	×
11	0	×	0	0
10	1	×	×	×



大连理工大学出版社

等教育电气工程及其自动化类课程规划教材

新世纪

数字电子技术

SHUZI DIANZI JISHU

主 编 路永华 李海燕 王瑞兰

副主编 郭 华 邱 月 常褚杰

$Q_2^*Q_1^*$	$Q_2^*Q_1^*$	00	01	11	10
$Q_0^*Q_1^*$	00	1	0	0	×
	01	×	×	0	×
	11	0	×	0	0
	10	0	×	×	×

$Q_2^*Q_1^*$	$Q_2^*Q_1^*$	00	01	11	10
$Q_0^*Q_1^*$	00	0	0	0	×
	01	×	×	0	×
	11	0	×	0	0
	10	1	×	×	×



大连理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术 / 路永华, 李海燕, 王瑞兰主编. —
大连: 大连理工大学出版社, 2018. 7
新世纪普通高等教育电气工程及其自动化类课程规划
教材

ISBN 978-7-5685-1491-0

I. ①数… II. ①路… ②李… ③王… 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(2018)第 113333 号

大连理工大学出版社出版

地址: 大连市软件园路 80 号 邮政编码: 116023

发行: 0411-84708842 邮购: 0411-84708943 传真: 0411-84701466

E-mail: dutp@dutp.cn URL: <http://dutp.dlut.edu.cn>

大连雪莲彩印有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 185mm×260mm	印张: 20.5	字数: 499 千字
2018 年 7 月第 1 版	2018 年 7 月第 1 次印刷	

责任编辑: 王晓历

责任校对: 王晓伟

封面设计: 张莹

ISBN 978-7-5685-1491-0

定 价: 48.80 元

本书如有印装质量问题, 请与我社发行部联系更换。

《数字电子技术》是新世纪普通高等教育教材编审委员会组编的电气工程及其自动化类课程规划教材之一。

数字电子技术课程是电子信息工程、电子科学与技术、通信工程、计算机科学与技术、电气自动化、自动控制、仪器仪表等电子信息类专业和其他相关专业的专业基础课。

随着电子科学技术的发展,数字电子技术在自动控制、信号处理、显示、测量、仪器仪表等领域的应用越来越广泛,从而使得数字电子技术课程的教学内容也随之发生较大变化,为此,本教材对数字逻辑基础、门电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与整形等基本概念、分析方法、设计方法等做了详细的介绍,增加了 Quartus II、可编程逻辑器件和典型数字系统设计的内容以及集成器件的介绍和应用实例。

本教材共 10 章:逻辑代数基础;门电路;组合逻辑电路;触发器;时序逻辑电路;脉冲波形的产生与整形;存储器;复杂可编程器件和现场可编程门阵列;数/模和模/数转换;EDA 技术及应用;典型数字系统设计。

本教材由兰州财经大学路永华、李海燕,潍坊学院王瑞兰任主编;兰州财经大学郭华、邱月,沈阳航空航天大学常褚杰任副主编。具体编写分工如下:路永华编写第 1 章和第 2 章,王瑞兰编写第 3 章,李海燕编写第 4 章、第 5 章和第 6 章,邱月编写第 7 章、第 8 章和制作电子课件,郭华编写第 9 章和第 10 章,常褚杰制作部分电路图。全书由路永

华老师负责拟定大纲和统稿。

在编写本教材的过程中,我们参考、借鉴了许多专家、学者的相关著作,对于引用的段落、文字尽可能一一列出,谨向各位专家、学者一并表示感谢。

限于水平,书中仍有疏漏和不妥之处,敬请专家和读者批评指正,以使教材日臻完善。

编 者

2018 年 7 月

所有意见和建议请发往:dutpbk@163.com

欢迎访问教材服务网站:<http://www.dutpbook.com>

联系电话:0411-84708462 84708445



第 1 章 逻辑代数基础	1
1.1 数字逻辑电路概述	1
1.1.1 数字信号	1
1.1.2 数字电路的特点	2
1.1.3 数字电路的分类与应用	2
1.2 数制与码制	3
1.2.1 常用数制及其相互转换	3
1.2.2 二进制正、负数的表示法	6
1.2.3 常用的编码	8
1.3 逻辑代数基础	11
1.3.1 逻辑代数中的三种基本运算	11
1.3.2 逻辑代数的基本公式	14
1.3.3 逻辑代数的基本定理	15
1.4 逻辑函数及其表示方法	17
1.4.1 逻辑函数的定义	17
1.4.2 逻辑函数的两种标准形式	17
1.4.3 逻辑函数的表示方法	19
1.4.4 逻辑函数形式间的相互变换	23
1.5 逻辑函数的化简方法	26
1.5.1 公式化简法	26
1.5.2 卡诺图化简法	28
1.6 具有无关项的逻辑函数的化简	31
1.6.1 无关项	31
1.6.2 无关项在逻辑函数化简中的应用	32
本章小结	33
习 题	34
第 2 章 门电路	37
2.1 概 述	37
2.2 基本门电路	38
2.2.1 半导体二极管的开关特性	38
2.2.2 二极管与门、或门	40
2.2.3 半导体三极管的开关特性	43

2.2.4 三极管非门	45
2.3 TTL 门电路	46
2.3.1 TTL 反相器的电路结构和工作原理	46
2.3.2 TTL 反相器的特性	47
2.3.3 其他类型的 TTL 门电路	52
2.4 CMOS 门电路	58
2.4.1 MOS 管的开关特性	58
2.4.2 CMOS 反相器的电路结构和工作原理	62
2.4.3 CMOS 反相器的特性	62
2.4.4 其他类型的 CMOS 门电路	66
2.5 集成门电路的使用注意事项	69
2.5.1 TTL 门电路的使用注意事项	69
2.5.2 CMOS 门电路的使用注意事项	70
2.5.3 数字集成电路的接口	71
本章小结	72
习 题	73
第 3 章 组合逻辑电路	78
3.1 组合逻辑电路的特点	78
3.2 组合逻辑电路的分析方法和设计方法	79
3.2.1 组合逻辑电路的分析方法	79
3.2.2 组合逻辑电路的设计方法	81
3.3 常用的组合逻辑电路	86
3.3.1 编码器	86
3.3.2 译码器	89
3.3.3 数据选择器和数据分配器	97
3.3.4 加法器	100
3.3.5 数值比较器	103
3.4 用中规模集成电路(MSI)设计组合逻辑电路	106
3.4.1 用编码器设计组合逻辑电路	106
3.4.2 用译码器设计组合逻辑电路	107
3.4.3 用数据选择器设计组合逻辑电路	110
3.4.4 用加法器设计组合逻辑电路	112
3.5 组合逻辑电路中的竞争-冒险现象	115
3.5.1 竞争-冒险现象及其成因	115
3.5.2 消除竞争-冒险现象的方法	117
本章小结	118
习 题	119

第 4 章 触发器	123
4.1 概 述	123
4.2 基本 RS 触发器	124
4.2.1 与非门组成的基本 RS 触发器	124
4.2.2 用或非门组成的基本 RS 触发器	125
4.3 同步触发器	126
4.3.1 同步 RS 触发器	126
4.3.2 同步 D 触发器	127
4.3.3 同步触发器的动作特点	128
4.4 主从触发器	128
4.4.1 主从 RS 触发器	129
4.4.2 主从 JK 触发器	130
4.4.3 主从触发器的动作特点	131
4.5 边沿触发器	132
4.5.1 维持-阻塞边沿 D 触发器	132
4.5.2 CMOS 主从结构的边沿触发器	133
4.5.3 边沿触发器的动作特点	134
4.6 触发器的逻辑功能及相互转换	135
4.6.1 触发器逻辑功能的分类	135
4.6.2 不同类型的触发器之间的转换	138
4.7 集成触发器	139
4.7.1 集成触发器举例	139
4.7.2 集成触发器的脉冲工作特性和主要指标	141
本章小结	143
习 题	143
第 5 章 时序逻辑电路	150
5.1 概 述	150
5.1.1 时序逻辑电路的结构及特点	150
5.1.2 时序逻辑电路的分类	151
5.2 时序逻辑电路的分析方法	151
5.2.1 时序逻辑电路的一般分析方法	151
5.2.2 同步时序逻辑电路的分析举例	152
5.2.3 异步时序逻辑电路的分析举例	154
5.3 计数器	155
5.3.1 计数器的特点和分类	155
5.3.2 二进制计数器	156
5.3.3 十进制计数器	162
5.3.4 N 进制计数器	167

5.4 寄存器	175
5.4.1 寄存器的主要特点和分类	175
5.4.2 基本寄存器	176
5.4.3 移位寄存器	178
5.4.4 移位寄存器型计数器	182
5.5 顺序脉冲发生器	183
5.5.1 计数型顺序脉冲发生器	183
5.5.2 移位型顺序脉冲发生器	184
5.5.3 用 MSI 构成顺序脉冲发生器	188
5.6 时序逻辑电路的设计方法	189
5.6.1 同步时序逻辑电路的设计方法	189
5.6.2 异步时序逻辑电路的设计方法	193
5.7 时序逻辑电路中的竞争-冒险现象	195
5.7.1 竞争-冒险现象的成因	195
5.7.2 防止移位寄存器错移位的方法	198
本章小结	198
习 题	199
第 6 章 脉冲波形的产生与整形	204
6.1 555 定时器	204
6.1.1 555 定时器的电路结构	205
6.1.2 555 定时器的工作原理	205
6.2 施密特触发器	206
6.2.1 用 555 定时器构成的施密特触发器	207
6.2.2 用 CMOS 门电路构成的施密特触发器	208
6.2.3 集成施密特触发器	210
6.2.4 施密特触发器应用示例	211
6.3 多谐振荡器	212
6.3.1 用 555 定时器构成的多谐振荡器	213
6.3.2 用门电路构成的多谐振荡器电路	215
6.3.3 石英晶体多谐振荡器	216
6.3.4 多谐振荡器应用示例	217
6.4 单稳态触发器	218
6.4.1 用 555 定时器构成的单稳态触发器	219
6.4.2 用门电路构成的单稳态触发器	220
6.4.3 集成单稳态触发器	221
6.4.4 单稳态触发器应用	224
本章小结	226
习 题	226

第 7 章 存储器、复杂可编程器件和现场可编程门阵列	232
7.1 概 述	232
7.1.1 半导体存储器的特点及分类	232
7.1.2 半导体存储器的技术指标	233
7.2 只读存储器	233
7.2.1 固定只读存储器(ROM)	233
7.2.2 可编程只读存储器(PROM)	235
7.2.3 可擦除可编程只读存储器	236
7.2.4 ROM 应用示例	236
7.3 随机存取 RAM	239
7.3.1 静态 RAM	240
7.3.2 动态 RAM	241
7.3.3 集成 RAM 简介	242
7.3.4 RAM 的扩展	242
7.4 复杂可编程逻辑器件	244
7.4.1 CPLD 的结构	244
7.4.2 CPLD 编程简介	247
7.5 现场可编程门阵列	248
7.5.1 FPGA 中编程实现逻辑功能的基本原理	248
7.5.2 FPGA 的结构	250
7.5.3 FPGA 编程简介	256
本章小结	258
习 题	259
第 8 章 数/模和模/数转换	262
8.1 D/A 转换器	263
8.1.1 D/A 转换器的基本原理	263
8.1.2 二进制权电阻 DAC	263
8.1.3 R-2R 倒 T 型电阻网络 DAC	264
8.1.4 权电流型 D/A 转换器	265
8.1.5 集成 DAC 及其应用	266
8.1.6 D/A 转换器的主要技术指标	269
8.2 A/D 转换器	270
8.2.1 A/D 转换的一般步骤和取样定理	270
8.2.2 取样-保持电路	272
8.2.3 并行比较 ADC	273
8.2.4 反馈比较式 ADC	275
8.2.5 双积分 ADC	278
8.2.6 集成 ADC 应用示例	279

8.2.7 ADC 的主要技术指标	281
本章小结	282
习 题	283
第9章 EDA 技术及应用	284
9.1 概 述	284
9.1.1 EDA 技术的含义	284
9.1.2 EDA 技术的发展历程	285
9.1.3 EDA 的工程设计流程	286
9.2 大规模可编程逻辑器件	287
9.2.1 可编程逻辑器件的发展及分类	288
9.2.2 CPLD/FPGA 结构及工作原理	289
9.3 EDA 工具软件	291
9.3.1 常见的 EDA 工具软件	291
9.3.2 Quartus II 操作指南	292
本章小结	302
习 题	303
第10章 典型数字系统设计	304
10.1 数字系统概述	304
10.1.1 数字系统的组成	304
10.1.2 数字系统的设计方法	305
10.2 跑马灯设计	310
10.2.1 设计要求	310
10.2.2 电路状态转换	310
10.2.3 Verilog HDL 程序实现	310
10.2.4 仿真结果	313
10.3 数字频率计	314
10.3.1 设计要求	314
10.3.2 设计原理	314
10.3.3 设计方法	314
10.3.4 仿真结果	317
本章小结	317
习 题	317
参考文献	318

第 1 章

DIYIZHANG

逻辑代数基础

学习目标

本章首先介绍数字信号和数字电路的特点以及数制和编码;然后介绍逻辑代数的基本运算(与、或、非)及基本定理;最后重点介绍逻辑函数的公式法化简和卡诺图法化简。

能力目标

了解数字信号和数字电路的概念、特点,掌握数制和编码;掌握逻辑代数的基本运算(与、或、非)及基本定理;重点掌握逻辑函数的化简方法。

1.1 数字逻辑电路概述

1.1.1 数字信号

电路中的工作信号可以分为两大类:模拟信号和数字信号。模拟信号是指时间上连续的信号。例如正弦函数、指数函数等。自然界中的许多物理量均属于模拟量,如汽车的速度、麦克风所记录的语音信号、大气温度与气压变化、图像各点的亮度变化等。在工程上常用传感器将模拟量转换为电流、电压或电阻等电学量,以使用电路进行分析和处理。传输、处理模拟信号的电路称为模拟电子线路,简称模拟电路。

数字信号是指时间上和数值上都离散的信号。如计算机键盘输入电路中的信号、交通灯控制电路中的信号等都是数字信号。对数字信号进行传输、处理的电子线路称为数字电路。

对模拟信号进行取样,就得到了时间上离散的取样信号,再对此取样信号进行量化、编码即可得到对应的数字信号。在现代电子工程中,随着数字计算机等数字技术的发展,越来越多的模拟信号均通过模拟/数字(A/D)转换后以数字信号的形式由计算机及数字电路来

处理,处理后的数字信号可以通过数字/模拟(D/A)转换变为模拟信号。

1.1.2 数字电路的特点

1. 稳定性高,抗干扰能力强

数字电路对元件的精度要求不高,允许有较大的误差,只要工作时能够可靠地区分 0 和 1 两种状态就可以了,故抗干扰能力强。

2. 易于设计

数字电路又称数字逻辑电路,它主要是对用 0 和 1 表示的数字信号进行逻辑运算和处理,不需要复杂的数学知识,广泛使用的数学工具是逻辑代数,数字电路能够可靠区分 0 和 1 这两种状态就可以正常工作,因此,数字电路的分析与设计相对比较容易。

3. 大批量生产,成本低廉

数字电路结构简单,体积小,通用性强,容易制造,便于集成化生产,因而成本低廉。

4. 可编程性能好

现代数字系统的设计大多采用可编程逻辑器件,即厂家生产的一种半成品芯片。用户根据需要用硬件描述语言在计算机上完成电路设计和仿真,并写入芯片,产品的研制和开发更加灵活和方便。

5. 高速度,低功耗

随着集成电路工艺的发展,数字器件的工作速度越来越高,而功耗越来越低。集成电路中单管的开关速度可以低于 $1 \times 10^{-11} \text{s}$ 。整体器件中,信号从输入到输出的传输时间短于 $2 \times 10^{-9} \text{s}$ 。百万门以上超大规模集成芯片的功耗可以抵达毫瓦级。

1.1.3 数字电路的分类与应用

1. 数字电路的分类

数字电路的发展经历了电子管、半导体分立器件到集成电路的过程。数字电路的主流形式是数字集成电路。从 20 世纪 60 年代开始,数字集成器件以双极性工艺制成了小规模逻辑器件,随后发展到中规模集成器件;70 年代末,微处理器的出现,使数字集成电路的性能发生了质的飞跃;从 80 年代中期开始,专用集成电路制作技术已趋成熟,标志着数字集成电路发展到了新的阶段。

专用集成电路是将一个复杂的数字系统制作在一块半导体芯片上,构成体积小、重量轻、功耗低、速度快、成本低且具有保密性的系统级芯片。专用集成电路芯片的制作可以采用全定制或半定制两种方法,全定制适用于生产批量的成熟产品,由半导体生产厂家制造。对于生产批量小或研究试制阶段的产品,可以采用半定制方法,它是用户通过软件编程,将自己设计的数字系统制作在厂家生产的可编程逻辑器件(PLD)半成品芯片上,便得到所需的系统级芯片。

数字电路根据电路结构特点及其对输入信号响应规则的不同,可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路;从集成度(每一芯片包含的门电路个数)来分,数字集成电路可分为小规模集成电路(SSI)、中规模集成电路(MSI)、大规模集成电路(LSI)、超大规模集成电路(VLSI)和甚大规模集成电路(ULSI)。表 1-1 所示为数字集成电路的分类。

表 1-1

数字集成电路的分类

分类	门的个数	典型集成电路
小规模	<12 个	逻辑门、触发器
中规模	12~99	计数器、加法器
大规模	100~9999	小型存储器、门阵列
超大规模	10000~99999	大型存储器、微处理器
甚大规模	1000000 以上	可编程逻辑器件、多功能专用集成电路

按所用元器件的不同,数字电路可分为双极性和单极性电路。其中双极性电路有 TTL、DTL、ECL、IIL、HTL 等多种;单极性电路有 JEFT、NMOS、PMOS、CMOS 四种。

2. 数字电路的应用

数字电路由于稳定性好、抗干扰能力强、精确度高、电路简单、便于制造和集成、具有算术运算和逻辑运算能力等特点,使数字电路的应用领域越来越广泛。

利用数字电路的逻辑推理和判断功能,可以设计出各式各样的数控装置,用来实现对生产和过程进行自动控制。其工作过程是:首先用传感器在现场采集受控对象的数据,接着用数字电路进行计算、判断;然后产生相应的控制信号,驱动伺服装置对受控对象进行控制或调整。这样不仅能通过连续监控提高生产的安全性和自动化水平,同时也提高了产品的质量,降低了成本,减轻了劳动强度。

以数字电路为基础发展起来的数字电子计算机,是当代科学技术最杰出的成就之一。现在,计算机不仅是自动控制系统不可缺少的组成部分,而且已经成为人们工作、生活、学习不可或缺的重要组成部分,尤其是数字电路应用于通信领域后,使通信技术的发展突飞猛进,使人们获取信息、享受网络服务更为便捷。

1.2 数制与码制

数制即计数进位的规则。它是按照一定的规则表示数值大小的计数方法。日常生活中最常用的计数方法是十进制;数字电路中常用的是二进制,有时也用八进制和十六进制。对于任何一个数,可以用不同的进制来表示。

1.2.1 常用数制及其相互转换

1. 常用数制

(1) 十进制

十进制有 0~9 共 10 个数码,它的运算规则是“逢十进一,借一当十”。设十进制数 $(N)_{10}$ 有 n 位整数, m 位小数,则可表示为

$$(N)_{10} = (k_{n-1}k_{n-2} \cdots k_1k_0 \cdot k_{-1}k_{-2} \cdots k_{-m})_{10}$$

按权展开为

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

式中 k_i 为第 i 位的系数,可取 0~9 十个数码; 10^i 为第 i 位的权;10 为基数。基数和权

是数制的两个要素,利用基数和权,可以将任何一个数按权展开为多项式的形式。例如十进制数 2569.58 可表示为

$$(2569.58)_{10} = 2 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 9 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2}$$

通常,对十进制数的表示,可以在数字的右下角标注 10 或 D,也可以省略标注。

(2) 二进制

二进制计数进位的规则为“逢二进一,借一当二”。二进制中只有 0 和 1 两个数码,基数为 2,各位的位权为 2^i 。设二进制数 $(N)_2$ 有 n 位整数, m 位小数,则可表示为

$$(N)_2 = (k_{n-1}k_{n-2} \cdots k_1k_0 \cdot k_{-1}k_{-2} \cdots k_{-m})_2$$

按权展开为

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

式中 k_i 为第 i 位的系数,可取 0 和 1 两个数码; 2^i 为第 i 位的权。通常对二进制数的表示可以在数字的右下角标注 2 或 B。

(3) 八进制

八进制计数进位的规则为“逢八进一,借一当八”。八进制中有 0~7 八个数码,基数为 8,各位的位权为 8^i 。设八进制数 $(N)_8$ 有 n 位整数, m 位小数,则可表示为

$$(N)_8 = (k_{n-1}k_{n-2} \cdots k_1k_0 \cdot k_{-1}k_{-2} \cdots k_{-m})_8$$

按权展开为

$$(N)_8 = \sum_{i=-m}^{n-1} (k_i 8^i)$$

式中 k_i 为第 i 位的系数,可取 0~7 八个数码; 8^i 为第 i 位的权。通常对八进制数的表示可以在数字的右下角标注 8 或 O。

(4) 十六进制

十六进制计数进位的规则为“逢十六进一,借一当十六”。十六进制中有 0~9、A、B、C、D、E、F 十六个数码,基数为 16,各位的位权为 16^i 。设十六进制数 $(N)_{16}$ 有 n 位整数, m 位小数,则可表示为

$$(N)_{16} = (k_{n-1}k_{n-2} \cdots k_1k_0 \cdot k_{-1}k_{-2} \cdots k_{-m})_{16}$$

按权展开为

$$(N)_{16} = \sum_{i=-m}^{n-1} (k_i 16^i)$$

式中 k_i 为第 i 位的系数,可取 0~9、A、B、C、D、E、F 十六个数码; 16^i 为第 i 位的权。通常对十六进制数的表示,可以在数字的右下角标注 16 或 H。

2. 各种数制之间的转换

在实际应用中,常常需要进行各种进制数制之间的相互转换。数制之间的转换可归为两类:十进制和非十进制之间的转换; 2^n 进制之间的转换。

(1) 十进制和非十进制之间的转换

① 非十进制数转换成十进制数

由二进制、八进制、十六进制数的表示式可知,只要将它们直接按权展开即得对应的十进制数。

【例 1-1】 将二进制数 $(1001011.101)_2$ 转换为十进制数。

解:将 $(1001011.101)_2$ 按权展开

$$(1001011.101)_2 = 1 \times 2^6 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-3} = 75.625$$

所以

$$(1001011.101)_2 = (75.625)_{10}$$

【例 1-2】 将八进制数 $(113.5)_8$ 转换为十进制数。

解:将 $(113.5)_8$ 按权展开

$$(113.5)_8 = 1 \times 8^2 + 1 \times 8^1 + 3 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1} = 75.625$$

所以

$$(113.5)_8 = (75.625)_{10}$$

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,再把结果合并成目的数制。

(a)整数部分的转换——除基取余法

整数部分的转换采用除基取余法。用目的数制的基数去除十进制数取其余数,并将余数倒序排列,即得所转换的目的数制。

【例 1-3】 将十进制数 $(75)_{10}$ 转换为二进制数、八进制数和十六进制数。

解:按照除基取余法,转换为二进制数应逐次除以 2 取余数,转换过程如下:

2	75	取余	
2	37	1	倒序排列
2	18	0	
2	9	1	
2	4	0	
2	2	1	
2	1	0	
2	0	1	

同样的方法可将十进制数 $(75)_{10}$ 转换为八进制数和十六进制数:

8	75	取余	
8	9	3	倒序排列
8	1	1	
8	0	1	

16	75	取余	
16	4	B	倒序排列
16	0	4	

所以 $(75)_{10} = (1001011)_2$ $(75)_{10} = (113)_8$ $(75)_{10} = (4B)_{16}$

(b)小数部分的转换——乘基取整法

小数部分的转换采用乘基取整法。用目的数制的基数乘以十进制数取其整数部分,并将取得的整数顺序排列,即得所转换的目的数制。

【例 1-4】 将十进制数 $(0.625)_{10}$ 转换为二进制数、八进制数和十六进制数。

解:按照乘基取整法,转换为二进制数应逐次乘以 2 取整数部分,转换过程如下:

0.625		
× 2	取整	
1.250	1	顺序排列
0.25		
× 2	0	
0.50		
× 2	1	
1.00		

同样的方法可将十进制数 $(0.625)_{10}$ 转换为八进制数和十六进制数:

$$\begin{array}{r} 0.625 \\ \times 8 \quad \text{取整} \\ \hline 5.000 \quad 5 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 0.625 \\ \times 16 \quad \text{取整} \\ \hline 10.000 \quad A \end{array}$$

所以 $(0.625)_{10} = (0.101)_2$ $(0.625)_{10} = (0.5)_8$ $(0.625)_{10} = (0.A)_{16}$

(2) 2^n 进制之间的转换

① 二进制与八进制之间的转换

由于八进制的基数 $8 = 2^3$, 所以 3 位二进制数构成 1 位八进制数。若要将二进制数转换成八进制数, 只要将二进制数的整数部分自右向左每 3 位一组, 最后一组不足 3 位时用 0 补足; 小数部分自左向右每 3 位一组, 最后一组不足 3 位时用 0 补齐; 再将每组对应的八进制数写出即可。反之, 若要将八进制数转换成二进制数, 只要将每 1 位八进制数写成 3 位二进制数, 按顺序排列起来即可。

【例 1-5】 将二进制数 $(1100110.0101)_2$ 转换为八进制数。

解: 按以上方法有

$$\begin{array}{ccc} 001 & 100 & 110.010 \\ \hline 1 & 4 & 6.2 \\ & & 4 \end{array}$$

所以 $(1100110.0101)_2 = (146.24)_8$

【例 1-6】 将八进制数 $(45.36)_8$ 转换为二进制数。

解: 按以上方法有

$$\begin{array}{cccc} 4 & 5 & 3 & 6 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 100 & 101 & 011 & 110 \end{array}$$

所以 $(45.36)_8 = (100101.01111)_2$

② 二进制与十六进制之间的转换

由于十六进制的基数 $16 = 2^4$, 所以 4 位二进制数构成 1 位十六进制数。若要将二进制数转换成十六进制数, 只要将二进制数的整数部分自右向左每 4 位一组, 最后一组不足 4 位时用 0 补足; 小数部分自左向右每 4 位一组, 最后一组不足 4 位时用 0 补齐; 再将每组对应的十六进制数写出即可。反之, 若要将十六进制数转换成二进制数, 只要将每 1 位十六进制数写成 4 位二进制数, 按顺序排列起来即可。

【例 1-7】 将二进制数 $(01001011.1010)_2$ 转换为十六进制数。

解: $(01001011.1010)_2 = (4B.A)_{16}$

③ 八进制数和十六进制数之间的转换

八进制数和十六进制数之间的转换通常采用间接转换法: 先将八进制数或十六进制数转换为二进制数, 再将二进制数转换为目的进制数。

【例 1-8】 将八进制数 $(36.47)_8$ 转换为十六进制数。

解: $(36.47)_8 = (011110.100111)_2 = (1E.9C)_{16}$

1.2.2 二进制正、负数的表示法

十进制数中, 可以在数字前面加上“+”或“-”号来表示正数和负数, 但数字电路不能识别“+”, “-”号, 因此, 在数字电路中把一个数的最高位作为符号位, 并用 0 表示“+”号, 用