

数字电子技术

SHUZI DIANZI JISHU

张豫滇 主编



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

数 字 电 子 技 术

张豫滇 主编

北京邮电大学出版社

• 北 京 •

内 容 简 介

本书由六所院校联合编写,编写时认真总结了各参编院校的教改经验,在编写体系上注重数字电路理论的系统性、工程性和技术性,突出电子器件、电路方面的实际应用,在阐述上力求做到概念准确、语言简明,由浅入深,循序渐进,在例题及习题的遴选上充分考虑其针对性、启发性和实用性。

本书共十一章,主要包括数字电路基础知识、组合逻辑、时序逻辑、存储器、脉冲电路、数模变换等基本内容。为了提高读者的电气制图和读图能力并帮助读者今后的进一步学习,还编写有关电气制图和电子设计自动化(EDA)方面的内容。

本书是高职及成人教育专业基础教材,适用于通信、计算机、信息、电子技术应用和自动化等电类各专业使用。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/张豫滇主编. —北京:北京邮电大学出版社,2004

ISBN 7-5635-0977-1

I. 数… II. 张… 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(2004)第 129564 号

出 版 者: 北京邮电大学出版社(北京市海淀区西土城路 10 号)

邮 编: 100876 电 话: 62282185 传 真: 62283578

电子信箱: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京通州皇家印刷厂印刷

印 数: 1—5000 册

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

印 张: 15

字 数: 364 千字

版 次: 2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-0977-1/TN · 353

定 价: 24.00 元

如有印装质量问题请与北京邮电大学出版社发行部联系

编 委 会

主 任：肖传统

副主任：张孝强 张干生 严潮斌

委 员：（以姓氏笔画为序）

王立平	王巧明	王晓军	王 颖	宁 帆
刘翠霞	李 飞	李文海	苏开荣	吴正书
李转年	迟学芬	吴瑞萍	张一鸣	张敏华
张献居	张新瑛	杨 泉	顾生华	孟祥真
徐淳宁	曹晓川	蒋青泉	傅德月	

秘 书：王琴秋

前 言

《数字电子技术》一书是高职及成人教育专业基础教材,适用于通信、计算机、信息、电子技术应用和自动化等电类各专业使用。

本书是由南京邮电学院、四川邮电职业技术学院、长沙通信职业技术学院、安徽邮电职业技术学院、河北邮电职业技术学院及黑龙江信息职业技术学院等六所院校的相关教师联合编写的配套教材。

随着高等教育教学改革的深入,现代电子技术的迅速发展,同时应对通信行业各高职及成人教育院校教材建设的需要,我们依据其教学要求,结合通信行业高职及成人教育的教学特点,认真总结各参编院校的教改经验,参考国内外诸多文献与著作,编写了本书。本书内容的选取在注重系统理论体系的完整性的同时,对其适当调整,立足基础,突出电子器件、电路方面的实际应用。基础理论的阐述力求做到概念准确、语言简明,特别结合当前高职及成人教育的教学层次,注重由浅入深,循序渐进。

本书在例题及习题的遴选上充分考虑其针对性、启发性和实用性,并充分体现本书的教学要求。

在编排上,对拓宽或加深的内容,均注有*号。各专业可根据实际需要,依据教学大纲对本教材的章节内容进行适当的选择。

本书共分十一章,其中第2、4章由张桂芬编写;第3、10章由殷春燕编写;第5章由卢亚楠编写,第6、8、11章由甘忠平编写,张豫滇编写了第1、7、9章并负责全书的统稿和定稿工作。

在本书编写过程中,南京邮电学院的李飞博士、叶大振副教授提出了很多宝贵的指导性意见;四川邮电职业技术学院的傅德月,河北通信职业技术学院的张献居,黑龙江信息技术职业学院张一鸣、赵寒梅等相关领导和教师对本书的编写工作给予了许多支持和帮助;还有曹火枝、奚国新、余鹏飞等同志为本书的录入、整理作了不少工作,在此,一并表示衷心的感谢。

作 者

2004年12月

目 录

第 1 章 数字电路基础知识

1.1 数字信号与模拟信号	1
1.1.1 模拟信号与模拟电路	1
1.1.2 数字信号与数字电路	2
1.2 数制	3
1.2.1 常用的数制	3
1.2.2 数制之间的转换	5
1.3 码制	7
1.3.1 8421BCD 码	7
1.3.2 余 3 码	8
1.4 算术运算与逻辑运算	8
1.4.1 二进制数的原码、无符号数与补码	8
1.4.2 二进制的算术运算	9
1.5 数字电路的学习指导	10
1.5.1 数字电路的特点	10
1.5.2 数字电路学习指导	12
习题	12

第 2 章 逻辑函数及其简化

2.1 逻辑代数	14
2.1.1 基本逻辑关系	14
2.1.2 真值表与逻辑函数	15
2.1.3 三个规则	20
2.1.4 基本公式和常用公式	21
2.1.5 逻辑函数的标准形式	23
2.2 逻辑函数的简化	25
2.2.1 公式化简法(代数法)	26
2.2.2 图解法(用卡诺图化简逻辑函数)	27
习题	31

第3章 集成逻辑门

3.1 晶体管的开关特性	34
3.1.1 理想开关的开关特性	34
3.1.2 半导体二极管的开关特性	34
3.1.3 半导体三极管的开关特性	37
3.1.4 MOS管的开关特性	39
3.1.5 分立元器件门电路	40
3.2 TTL集成逻辑门	45
3.2.1 TTL与非门、或非门	45
3.2.2 TTL三态输出门和OC门	48
3.3 CMOS集成逻辑门电路	50
3.3.1 CMOS门电路工作原理	51
3.3.2 CMOS器件的主要特性	53
3.3.3 CMOS电路的正确使用方法	54
习题	55

第4章 组合逻辑电路

4.1 组合逻辑电路的分析	57
4.1.1 加法器	59
4.1.2 编码器	61
4.1.3 译码器	65
4.1.4 数值比较器	72
4.1.5 数据选择器和数据分配器	74
4.2 组合逻辑电路的设计	76
4.2.1 采用小规模集成器件的组合逻辑电路的设计	77
4.2.2 采用中规模集成器件的组合逻辑电路的设计	79
4.3 组合逻辑电路的竞争-冒险现象	80
习题	82

第5章 触发器

5.1 基本RS触发器	87
5.1.1 与非门基本RS触发器	87
5.1.2 或非门基本RS触发器	89
5.2 RS触发器	89
5.2.1 同步RS触发器	89
5.2.2 主从RS触发器	90
5.3 JK触发器	92
5.3.1 主从JK触发器	92

5.3.2 负边沿 JK 触发器	93
5.4 D 触发器	94
5.4.1 同步 D 触发器	94
5.4.2 维持阻塞正边沿 D 触发器	95
5.4.3 CMOS 主从正边沿 D 触发器	96
5.5 T 触发器和 T' 触发器	97
5.6 各种触发器功能的比较与转换	98
5.6.1 触发器的逻辑功能和电路结构	98
5.6.2 触发器功能的转换	99
5.7 触发器的应用	100
习题	102

第 6 章 时序逻辑电路

6.1 时序逻辑电路分析	105
6.1.1 计数器	107
6.1.2 分频器	110
6.1.3 寄存器	110
6.1.4 移位寄存器	111
6.1.5 序列信号发生器	115
* 6.1.6 异步时序电路	116
6.2 时序逻辑电路设计	119
6.2.1 时序逻辑电路设计的一般步骤	119
6.2.2 采用中规模集成器件的计数与分频电路设计	122
6.2.3 采用中规模集成器件的寄存与移位寄存电路的设计	130
6.2.4 采用中规模集成器件的序列信号的产生电路设计	133
6.3 时序逻辑电路应用举例	136
习题	139

第 7 章 数字电路的制图与读图

7.1 数字电路的制图	142
7.1.1 图纸的尺寸与分区	142
7.1.2 常用数字电路符号	143
7.1.3 地线、导线、总线与信号名	147
7.1.4 数字电路的制图	150
7.1.5 数字电路的制图举例	152
7.2 数字电路的读图	153
7.2.1 整体方框图的读图	153
7.2.2 数字电路逻辑关系的读取	154
习题	155

第 8 章 半导体存储器

8.1 概述	156
8.1.1 半导体存储器的特点与应用	156
8.1.2 半导体存储器的分类	156
8.1.3 半导体存储器的主要技术指标	157
8.2 顺序存取存储器	157
8.3 随机存取存储器	158
8.4 只读存储器	160
8.5 存储器的应用举例	162
习题	164

第 9 章 可编程器件及电子设计自动化(EDA)软件

9.1 可编程器件	165
9.1.1 可编程器件及其开发软件概况	165
9.1.2 现场可编程器	168
9.1.3 可编程器件的编程工具及编程模式	174
9.2 可编程器件的开发及软件应用	177
9.2.1 开发软件的基本功能、基本术语和常用文件	177
9.2.2 可编程器件的开发流程	181
习题	188

第 10 章 脉冲单元电路

10.1 脉冲信号	190
10.2 标准集成电路构成的脉冲单元电路	191
10.2.1 施密特触发器及其应用	191
10.2.2 单稳态触发器及其应用	195
10.2.3 多谐振荡器及其应用	198
10.3 555 定时器及其应用	200
10.3.1 555 定时器的电路结构	200
10.3.2 555 定时器的基本功能	201
10.3.3 555 定时器的应用电路及工作原理	202
习题	208

第 11 章 数/模转换器和模/数转换器

11.1 数/模与模/数转换器概述	211
11.2 数/模转换器	211
11.2.1 权电阻网络 DAC	212
11.2.2 R-2R 倒 T 型电阻网络 DAC	213

11.3 模/数转换器	214
11.3.1 模/数转换基本原理	214
11.3.2 并联比较型 ADC	216
11.3.3 逐次逼近型 ADC	217
11.3.4 双积分型 ADC	218
11.4 集成数/模和模/数转换器件及其应用	219
11.4.1 集成数/模和模/数转换器件的主要技术指标	219
11.4.2 集成 ADC 及其应用	221
11.4.3 集成 DAC 及其应用	222
习题	224
参考文献	225

本章将介绍数字信号、数制、码制、二进制算术运算等数字电路的基本知识。通过本章学习,要求读者了解数字信号的特点,初步掌握数制、码制等概念,掌握常用数制之间的转换以及二进制的算术运算等方面的知识。

1.1 数字信号与模拟信号

目前,电子技术在通信、仪表、工业控制、医学、农业、广播电视、家用电器等几乎所有的领域中都得到了应用。在应用过程中,大都需要将各领域中相关的物理参数通过传感器转化为电气的各种参数。例如,当需处理声音信号时,首先利用压电传感器将声音传播时空气压力变化转换为电气参数——电压变化,再应用电子技术对这些电气参数进行识别、处理和控制在。当电气参数蕴含了有用的信息后,我们称之为电信号。

在实践中需要对电信号进行放大、滤波、传输、调制和解调等各种处理,处理技术方式基本可以分为两大类:模拟技术和数字技术。模拟技术的特点是采用模拟电路对模拟信号进行处理,数字技术则是采用数字电路对数字信号进行处理。下面将分别介绍它们各自的特点以及相互之间的区别。

1.1.1 模拟信号与模拟电路

在实践中,为了应用电子技术对某种物理量进行处理,必须将所要处理的该物理参量通过传感器转换为某种电气参数,该电气参数的变化规律与原物理量有着相仿的特性,换言之,电气参数变化特征模拟了所替代的物理量。此外,像温度、湿度、声音、速度等信号的变化在时间上都是连续的。因此,人们将这种模拟了某种物理量变化特征的并且在时间上也是连续的电信号称为模拟信号,这是一种最为原始的定义。

在电子技术的应用中,人们的需求不只是对某些物理量进行处理,还需要产生某种特定性能的电信号。例如,将交流信号变化为稳定的直流信号,或者产生波形、电压幅度、输出功率均可以控制的周期或非周期信号。如果这些信号在时间上也是连续的,人们习惯上也称之为模拟信号,这样,便将模拟信号的含义进行了扩展。目前,一般将基本参数在时间上是连续变化的电信号称为模拟信号。

具有对模拟信号进行放大、滤波、调制、解调、传输等处理能力的电路称为模拟电路。在

对电信号处理过程中被处理的电信号以模拟信号形式存在,处理过程中采用的电路以模拟电路为主的电子系统称为模拟系统。自1904年因发明了电子管而开始了电子时代以来,曾在相当长的一段时期内,模拟系统在电子领域占据主导地位,直至今日,模拟系统还有着广泛的应用。

图1.1显示了一种典型的模拟电子系统——调幅广播(AM),图1.1(a)为发送系统示意图,其中的话筒将声音(空气振动)转换为电信号,电信号的电压值模拟了声音的振动变化,转换后的电信号经过音频放大、调幅、功率放大,最终通过发射天线将无线电波发射出去。图1.1(b)的接收系统(收音机)通过混频将信号由高频变为低频,再经过选频放大选出某一个调幅波信号,经检波将其还原成音频信号,再经音频放大送至喇叭,最后由喇叭将电信号转换为声音信号,完成了广播接收的整个过程。

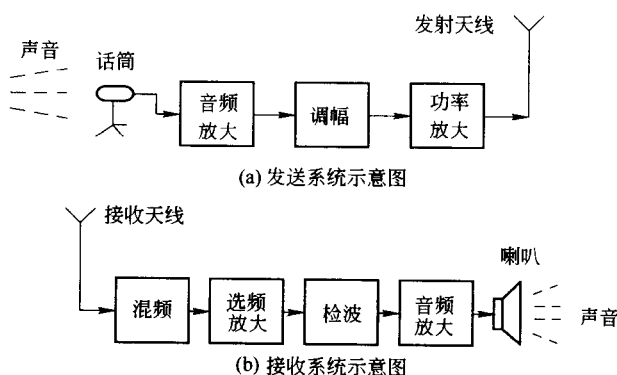


图 1.1 模拟式调幅广播系统示意图

1.1.2 数字信号与数字电路

如果将在时间上连续的模拟信号经过抽样处理使其成为离散的信号,如图1.2所示,根据

抽样定理,只要满足抽样频率是模拟信号2倍的关系,那么,模拟信号中所蕴含的所有信息都仍然存在,图1.2(b)信号称为脉冲调制信号(PAM),图中保留的不同高度的电压值称为样值。如果采用模数转换技术将脉冲调制信号进行量化,将脉冲调制信号中每一个样值进行编码,用“1”和“0”这两种状态值的不同组合来表示样值的大小,信号就变成了如图1.2(c)所示的形式,我们称具有这种在时间上是离散的并且用“1”和“0”这两种状态值形式的信号为数字信号。数字信号与模拟信号的形式有了明显的区别,但是,如果该数字信号是由模拟信号转换的,那么,它仍旧蕴含了模拟信号的主要信息。

在对数字信号进行处理时有多种方式,例如,算术运算、逻辑运算、计数、分频、编码、译码、移位等等,具有对数字信号处理功能的电路称为数字电路。数

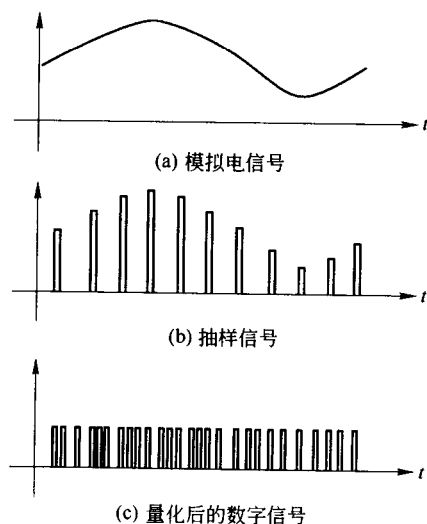


图 1.2 数字信号的形成过程示意图

字电路与模拟电路处理的信号的形式有着明显的区别。数字电路处理的信号在时间上是离散的,在电压幅度上只有“高电平”和“低电平”两种,为了分析方便,可以进一步将高、低电平抽象为两个数值:“1”和“0”。

由于数字电路处理的信号只有两个状态值“1”和“0”,用晶体管构成数字电路时电路工作状态只有“开”和“关”,这使得电路的设计较模拟电路要方便得多。此外,尽管数字电路的单元电路种类较多,但是,可以用一种最基本的门电路数字电路(如2输入与非门)为基本单元构成各种各样的数字电路,这一特点为数字电路的集成化创造了有利的条件。由于数字电路的上述特点,数字元器件和数字电路设计技术得到了飞速的发展。

目前,数字集成电路的集成度已经达到每个芯片上含上亿个晶体管的水平,具有强大计算和控制能力的智能型数字器件(如中央处理器、单片机、数字信号处理器)得到了广泛的应用。由于数字信号与智能型器件的连接十分方便,智能型器件的应用已经深入各种以数字系统构成的电子设备。因此,在电子领域中,用数字系统逐步替代模拟系统已经成为一种必然的趋势,在通信领域已经基本上实现了数字化。

1.2 数 制

人们把多位数码中每一位的构成方法以及从低位向高位的进位规则称为计数进位制,简称数制。到目前为止,我们接触到的最为熟悉的数制是十进制。例如,365这个三位数,其个、十和百位上的数字均由0,1,2,3,4,5,6,7,8,9这个字符集中的某一个字符组成,而由个位向十位,十位向百位的进位规则是逢十进一。

一个多位数其各个位上对应的数值是不同的。例如,666这个数,尽管个、十和百位上的字符均为6,但是,各位表示的数值大小是不同的,它们分别表示 6×1 , 6×10 和 6×100 。其中1,10和100称为十进位数各个数位上的位权值。

1.2.1 常用的数制

在日常生活中,人们使用最多的是十进制数,而在数字电路中最常用的是二进制和十六进制。

1. 十进制数

十进制数各位的字符由0~9字符集中的某一个构成,在计数过程中,进位时是按“逢十进一”,退位时是按“借一当十”。为了便于今后的分析,我们可以将十进制写成更为一般的方式。例如,5 236.71可写成

$$\begin{aligned} 5\,236.71 &= 5 \times 1\,000 + 2 \times 100 + 3 \times 10 + 6 \times 1 + 7 \times 0.1 + 1 \times 0.01 \\ &= 5 \times 10^3 + 2 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 6 \times 10^0 + 7 \times 10^{-1} + 1 \times 10^{-2} \end{aligned} \quad (1.1)$$

若将十进位数抽象为代数的形式则可写成

$$\begin{aligned} N &= a_3 \cdot a_2 \cdot a_1 \cdot a_0 \cdot a_{-1} \cdot a_{-2} \\ &= a_3 \times 10^3 + a_2 \times 10^2 + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 + a_{-1} \times 10^{-1} + a_{-2} \times 10^{-2} \end{aligned} \quad (1.2)$$

式中 $N=5\,236.71$, $a_3, a_2, \dots, a_{-2}$ 分别代表各个数位上的数值。如果将一个十进制数写成更为一般的形式,则为

$$\begin{aligned}
 N &= a_{n-1} \cdot a_{n-2} \cdots a_1 \cdot a_0 \cdot a_{-1} \cdot a_{-2} \cdots a_{-m} \\
 &= a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 + \\
 &\quad a_{-1} \times 10^{-1} + a_{-2} \times 10^{-2} \cdots + a_{-m} \times 10^{-m} \\
 &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i
 \end{aligned} \tag{1.3}$$

式(1.3)中“10”称为十进制的基数,而十进制位各个数的位权值是10的幂。

当已知一个多位数为 N (例如, $N=5\,236.71$)及其数制后,则可根据相关数值的基数和各个数位上的权值,确定其数值的大小。有时会出现多种数制,为了便于区别,可以在数的右下角加一个下标,表示这个数采用的数制,例如, 246_{10} 表示其为十进制数, $(101101)_2$ 表示其为二进制数, $35B_{16}$ 表示其为十六进制数。

2. 二进制

用电子电路完成算术运算功能时,若数值为十进制,则电子电路必须能够产生并识别代表 $0 \sim 9$ 这10种字符的电信号,由于需要产生和识别的信号较多,相应的信号产生和识别电路势必比较繁杂。如果采用二进制,由于二进制的字符集只有“1”和“0”两种,代表它们的电信号也只有两种,当用电路来产生或识别它们时将十分方便。因此,目前不管是日常使用的便携式计算器,还是具有更广泛用途的计算机,都采用二进制数。

二进制数各位上的字符只有“1”和“0”两种,其计数规则为进位时“逢二进一”,退位时“借一当二”。二进制数的一般形式为

$$\begin{aligned}
 (N)_2 &= a_{n-1} \cdot a_{n-2} \cdots a_1 \cdot a_0 \cdot a_{-1} \cdot a_{-2} \cdots a_{-m} \\
 &= a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0 + a_{-1} \times 2^{-1} + a_{-2} \times 2^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 2^{-m} \\
 &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 2^i
 \end{aligned} \tag{1.4}$$

式中 n 和 m 为正整数, a_i 为字符集 $(0,1)$ 中的一个,2为基数, 2^i 为第 i 位的权值。例如,二进制数 10101.10 可展开为

$$(10101.10)_2 = 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2}$$

二进制与十进制、十六进制的对比可参见表1.1。

表 1.1 十进制数、二进制数、十六进制数对比表

十进制	二进制	十六进制	十进制	二进制	十六进制
0	0000	0	8	1000	8
1	0001	1	9	1001	9
2	0010	2	10	1010	A
3	0011	3	11	1011	B
4	0100	4	12	1100	C
5	0101	5	13	1101	D
6	0110	6	14	1110	E
7	0111	7	15	1111	F

3. 十六进制

在数字电路中除二进制外,比较常用的还有十六进制。十六进制采用的字符集共有16种,除了 $0,1,\dots,9$ 外,还有 A、B、C、D、E、F 共6种字符,分别代表 $10 \sim 15$,如表1.1所列。

十六进制数的一般表达式为

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

例如,十六进制数 2A3F.D6 可表示为

$$2A3F.D6 = 2 \times 16^3 + A \times 16^2 + 3 \times 16^1 + F \times 16^0 + D \times 16^{-1} + 6 \times 16^{-2}$$

在数字电路中,十六进制数在多数场合是用来替代二进制数据,替代后可使数值的表现形式简短、易记。例如,二进制数 01101101 转换为十六进制形式后为 6D,转换方法将在下面介绍。

1.2.2 数制之间的转换

1. 十进制数转换为二进制数

(1) 整数部分的转换

十进制数的整数部分转换为二进制数时,采用逐次除以基数 2 取其余数的方法,每次除法的余数成为二进制的数符,第一次除法的余数为二进制数的最低位(LSB, Least Significant Bit),最后一次除法的余数为二进制的最高位(MSB, Most Significant Bit)。

例 1.1 试将十进制数 59_{10} 转换为二进制数。

解	商	余数
2 59		
2 29	←	1 ----- (LSB)
2 14		----- 1
2 7		----- 0
2 3		----- 1
2 1		----- 1
0		----- 1 ----- (MSB)

$$59_{10} = (111011)_2$$

(2) 小数部分的转换

将十进制的小数部分转换为二进制数时,可通过逐步乘以 2 的方法,每次乘以 2 以后乘积的整数部分成为二进制数的一个权位上的数值,第一次乘积中的整数位作为二进制小数部分的最高位。而乘积中的小数部分再次乘以 2,产生一个新的乘积,再取新乘积的整数部分作为二进制数第二个权位上的数值。如此持续下去,直至乘积的小数部分为 0。如果小数部分逐次乘以 2 始终不能为 0,则可在达到要求的位数后截位,截位将产生误差,在实践中,只要误差在设定范围内,则是允许的。

例 1.2 试将十进制小数 0.625_{10} 转换成二进制数。

解	0.625	
	× 2	
整数部分→	1.250	$a_{-1} = 1$
	× 2	
整数部分→	0.500	$a_{-2} = 0$
	× 2	
整数部分→	1.000	$a_{-3} = 1$
则	$0.625_{10} = 0.101$	

例 1.3 试将十进制小数 0.79 转换为二进制小数,要求转换后误差小于 0.1%。

解 经分析可知二进制的小数部分第 10 位数对应的十进制数为

$$2^{-10} = \frac{1}{2^{10}} = \frac{1}{1024} = 0.00098$$

故二进制截去小数部分第 10 位以后的数,保留 10 位时误差可达到小于 0.1%的精度。

$0.79 \times 2 = 1.58$	$a_{-1} = 1$ (MSB)	$0.28 \times 2 = 0.56$	$a_{-6} = 0$
$0.58 \times 2 = 1.16$	$a_{-2} = 1$	$0.56 \times 2 = 1.12$	$a_{-7} = 1$
$0.16 \times 2 = 0.32$	$a_{-3} = 0$	$0.12 \times 2 = 0.24$	$a_{-8} = 0$
$0.32 \times 2 = 0.64$	$a_{-4} = 0$	$0.24 \times 2 = 0.48$	$a_{-9} = 0$
$0.64 \times 2 = 1.28$	$a_{-5} = 1$	$0.48 \times 2 = 0.96$	$a_{-10} = 0$ (LSB)

结果为 $0.79_{10} = (0.1100101000)_2$

(3) 将带有整数和小数的十进制数转换成二进制数

将同时带有整数和小数的十进制数转换成二进制数时应分为 3 个步骤:第一步先将整数部分转换成二进制;第二步将小数部分转换成二进制;第三步将转换后的二进制的整数与小数部分合并起来。

例 1.4 试将十进制数 59.625_{10} 转换成二进制数。

解 先按例 1.1 将整数部分 59 转换成二进制数 $59_{10} = (111011)_2$

再按例 1.2 将小数部分 0.625 转换成二进制数 $0.625_{10} = (0.101)_2$

最后将两者合并: $59.625_{10} = (111011.101)_2$

2. 二进制数转换为十进制数

将二进制数转换为十进制数时,只要将二进制数按式(1.4)展开,然后将所有项的数值按十进制数相加,就可得到相对应的十进制数了。

例 1.5 将二进制数 $(111011.101)_2$ 转换为十进制数。

$$\begin{aligned} \text{解 } (111011.101)_2 &= 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + \\ &\quad 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 59.625_{10} \end{aligned}$$

3. 二进制转换为十六进制

二进制数转换为十六进制数时分为 3 步进行:

(1) 先将整数部分从右向左每 4 位加一个逗号,如果整数部分最高一组不满 4 位,应在其前面加“0”,使其成为 4 位;

(2) 再将小数部分从左向右每 4 位加一个逗号,如果小数部分最低位一组不满 4 位,则在最低位加“0”,使最低位一组满 4 位;

(3) 根据表 1.1 所列的二进制与十六进制之间的转换关系,将每一组 4 位二进制数转换为十六进制数,所有组转换后即成为十六进制数。

例 1.6 试将二进制数 $(1001110.101101)_2$ 转换成十六进制数。

$$\begin{array}{ccccccc} \text{解} & & \text{添加} & & & & \text{添加} \\ & & \downarrow & & & & \downarrow \downarrow \\ & & 0100,1110.1011,0100 & & & & \\ & & 4 \quad \quad \quad E \quad \quad B \quad \quad 4 & & & & \end{array}$$

由此可得 $(1001110.101101)_2 = (4E.B4)_{16}$ 。

1.3 码 制

当我们去邮电局发电报时,可以看到工作人员在汉字下方写入4位阿拉伯数字,这些阿拉伯数字就是代码。例如,“我”字用“1231”代替,“们”字用“2367”代替。这样,报务员在拍发电报时只需要拍发0~9十种数字字符,用4个阿拉伯数字代表一个汉字,在接收端收到4位一组的阿拉伯数字码后再将其转换为汉字,从而完成了汉字信息的传输。这种处理汉字信息的方法称为编码,这里所说的码(Code),是代表某事物的一个或者一组符号。

编码的方法和规则称为码制。编码时,一般采用简单的字符集,例如,用0~9阿拉伯数字编码,用A~Z 26个字母编码,也可以用二进制数(0,1)编码。应注意的是,当采用阿拉伯数字或者二进制数编码时,只能将它们看作字符的组合,而不是具体的数值。例如,“我”字的编码为“1231”,只能看作由4个字符组成的一个字符串代表了“我”字,“1231”与数值的大小无关。人们为某些事物编码为的是在处理某些技术问题时会带来一些方便。

由于二进制只有两个符号“1”和“0”,其对应的编码电路最简单,故人们常采用二进制符号编码。采用二进制编码时可以有多种编码规则——多种码制。其中,二-十进制(BCD, Binary Coded Decimal)是用的较多的一种码制。BCD编码的大致思路是用4位二进制符号对十进制0~9十个数字进行编码。由于编码的用途不同,BCD码有多种编码形式,编码的规则也各不相同。下面对BCD码制中常用的8421A码和余3码作一简单的说明。

1.3.1 8421BCD码

8421BCD码的编码规则十分简单,用4个二进制字符代表一个十进制数字,如表1.2所列。表1.2中的十进制数1用二进制码“0001”代表。由于编码后的4位二进制码最高位

表 1.2 几种常用的BCD代码

十进制数 \ 编码名称	8421码	余3码	2421码
0	0000	0011	0000
1	0001	0100	0001
2	0010	0101	0010
3	0011	0110	0011
4	0100	0111	0100
5	0101	1000	1011
6	0110	1001	1100
7	0111	1010	1101
8	1000	1011	1110
9	1001	1100	1111
权	8421	无权	2421

(最左边的一位)的权值为8,其次为4、2、1,故称之为8421BCD码。这种码最突出的优点是编码字符“1”和“0”的组合恰好对应着二进制与十进制的转换关系。在数字电路中将二进制