



“十三五”普通高等教育本科规划教材

SHUZI DIANZI JISHU

数字电子技术

赵莹 张海一 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材

数字电子技术

主 编 赵 莹 张海一
副主编 于 雷 宋 勇
编 写 陈双燕 安玲玲 杨智博
主 审 黄福林



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是“十三五”普通高等教育本科规划教材。

全书共 10 章,分别是数字电路基础、逻辑代数基础、集成逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形发生器与整形电路、半导体存储器和可编程逻辑器件、数模和模数转换器、数字系统设计基础。每节有练习与思考,每章有小结和习题,书后有部分习题参考答案和附录。内容丰富实用,有利于培养学生的技术应用能力。

本书有配套的电子教案,便于组织教学和帮助读者掌握本课程的主要内容。

本书可作为高等学校电子信息类、电气信息类、计算机类、自动化类和机电类等专业的数字电子技术基础、数字逻辑电路等课程的教材,也可供从事电子技术的相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/赵莹,张海一主编. —北京:中国电力出版社,2016.4

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5123-8878-9

I. ①数… II. ①赵…②张… 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 (2016) 第 024663 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 4 月第一版 2016 年 4 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.75 印张 478 千字

定价 40.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

随着科学技术的飞速发展,电子技术在各行各业的应用越来越广泛,已经成为人们生产生活中不可或缺的一项重要技术。自 20 世纪 80 年代以来,由于数字集成电路和计算机技术突飞猛进地发展,数字电子技术正扮演着越来越重要的角色。为了适应科学技术的发展和满足生产实际的需求,数字电子技术已成为高等学校人才培养课程中一门重要的技术基础课,是后续电力电子技术、单片机原理及应用、嵌入式系统设计等专业课必备的基础课。为了适应应用型本科高等学校培养面向应用的实用型高级人才的目标,为了使数字电子技术课程的教学内容和教学体系不断完善,并能及时反映日新月异的电子新技术,新器件、新应用,结合编者多年的实践教学经验,特编写了本教材。

本教材教学时数在 60~80,实验教学在 20 学时左右,各专业可根据专业需求合理安排讲授内容,书中打“*”号的章节为选学内容。

本书在编写过程中注意了以下几点:

(1) 侧重基本概念、基本理论、基本分析方法的论述,内容安排尽可能由浅入深,循序渐进,通俗易懂,便于自学。

(2) 尽可能做到概念准确、深入浅出、行文流畅。

(3) 在理论阐述的基础上,编排了一定数量的应用实例,把课程与工程实际联系起来,以便提高学生的学习兴趣和电路识图能力。

(4) 内容取舍上兼顾了经典数字电子技术理论与最新现代电子技术的结合,增加了电路 VHDL 语言描述和可编程逻辑器件 PLD 等的介绍,利用 PLD 和 EDA 技术可以实现多种数字逻辑电路,使读者了解现代数字系统的设计方法。对集成电路器件则重点讲述了其外部特性,目的重在应用。

本书由北华大学、闽南理工学院合作编写,北华大学赵莹编写第 1~3 章,张海一编写第 4 章,宋勇编写第 5 章、7 章第 1~3 节,杨智博编写第 7 章第 4~6 节、8 章,闽南理工学院于雷编写第 6 章,陈双燕编写第 9 章,安玲玲编写第 10 章和附录,最后由赵莹统稿。本书由合肥工业大学黄福林教授主审。

限于经验和水平,书中疏漏之处在所难免,恳请广大读者提出宝贵意见。

编者

目 录

前言

第1章 数字电路基础	1
1.1 数字信号与数字电路	1
练习与思考	2
1.2 数制和码制	2
练习与思考	9
1.3 二进制的算术运算	9
练习与思考	11
本章小结	11
习题1	11
第2章 逻辑代数基础	13
2.1 概述	13
2.2 逻辑代数的基本运算	13
练习与思考	16
2.3 逻辑代数的基本定律和常用公式	16
练习与思考	17
2.4 逻辑代数的三个基本规则	17
练习与思考	18
2.5 逻辑函数及其表示方法	19
练习与思考	23
2.6 逻辑函数的化简	24
练习与思考	29
本章小结	30
习题2	30
第3章 集成逻辑门电路	33
3.1 概述	33
3.2 基本逻辑门	33
练习与思考	37
3.3 TTL集成逻辑门电路	38
练习与思考	53
3.4 CMOS集成逻辑门电路	53
练习与思考	57
3.5 类NMOS和BiCMOS逻辑门电路	57

练习与思考	60
3.6 TTL 电路与 CMOS 电路的接口	60
3.7 正负逻辑规定及基本逻辑门电路的等效符号	61
练习与思考	62
3.8 用 VHDL 语言描述逻辑门电路	62
本章小结	64
习题 3	65
第 4 章 组合逻辑电路	70
4.1 概述	70
4.2 组合逻辑电路的分析和设计	70
练习与思考	76
4.3 加法器	76
练习与思考	79
4.4 编码器	79
练习与思考	83
4.5 译码器和数据分配器	83
练习与思考	92
4.6 数据选择器 (multiplexer)	92
练习与思考	96
4.7 数值比较器	97
练习与思考	99
4.8 组合逻辑电路中的竞争冒险	99
练习与思考	101
4.9 组合电路应用举例	101
4.10 用 VHDL 语言组合逻辑电路	104
本章小结	107
习题 4	107
第 5 章 触发器	113
5.1 概述	113
5.2 基本 RS 触发器	113
练习与思考	117
5.3 同步触发器	117
练习与思考	119
5.4 边沿触发器 (edge-triggered flip-flop)	119
练习与思考	125
5.5 触发器的逻辑功能	125
练习与思考	126
5.6 触发器逻辑功能的转换	126
练习与思考	128

5.7 触发器的应用举例	128
5.8 四种基本触发器 (RS、D、JK、T) 的 VHDL 语言描述	130
练习与思考	133
本章小结	133
习题 5	133
第 6 章 时序逻辑电路	138
6.1 概述	138
6.2 时序逻辑电路的分析	138
练习与思考	141
6.3 同步时序逻辑电路的设计	141
练习与思考	152
6.4 寄存器 (register)	152
练习与思考	155
6.5 计数器	155
练习与思考	172
6.6 时序逻辑电路应用举例	172
6.7 用 VHDL 语言描述时序逻辑电路	175
本章小结	178
习题 6	179
第 7 章 脉冲波形发生器与整形电路	183
7.1 概述	183
7.2 555 定时器及其应用	184
练习与思考	190
7.3 集成和其他单稳态触发器	190
练习与思考	195
7.4 集成施密特触发器	195
练习与思考	197
7.5 其他多谐振荡器电路	197
练习与思考	199
7.6 脉冲产生与整形电路的应用	200
本章小结	204
习题 7	204
第 8 章 半导体存储器和可编程逻辑器件	207
8.1 概述	207
8.2 只读存储器 (ROM)	207
练习与思考	212
8.3 随机存取存储器 (RAM)	213
练习与思考	215
8.4 可编程逻辑器件 (PLD)	216

练习与思考	226
8.5 用存储器实现组合逻辑函数	226
本章小结	228
习题 8	230
第 9 章 数模和模数转换器	233
9.1 概述	233
9.2 D/A 转换器	233
练习与思考	241
9.3 A/D 转换器	241
练习与思考	253
本章小结	253
习题 9	254
第 10 章 数字系统设计基础	255
10.1 概述	255
10.2 设计举例	257
10.3 数字系统设计参考题目	267
部分习题参考答案	270
附录 A 常用电子元器件型号命名法	298
附录 B TTL、CMOS 和 ECL 集成电路主要性能参数	301
附录 C 常用逻辑符号对照表	302
附录 D 国产半导体集成电路型号命名法	304
参考文献	306

第1章 数字电路基础

本章首先介绍了数字电子技术的发展及其应用、数字信号和模拟信号、数字电路的特点和分类,然后介绍了数字系统中常用的数制和码制及不同数制之间的转换,最后还介绍了无符号和带符号的二进制算术运算。

1.1 数字信号与数字电路

1.1.1 数字电子技术的发展及其应用

电子技术是20世纪发展最迅速、应用最广泛的技术,已使工业、农业、科研、教育、金融、医疗、文化娱乐以及人们的日常生活发生了翻天覆地的变化。特别是数字电子技术发展最为迅速,已成为当今电子技术的发展潮流。电子技术的发展是以电子器件的发展为基础的,从20世纪初的电子管,20世纪50年代的晶体管,到20世纪60年代的集成电路以及20世纪70年代的微处理器,电子技术发生了飞速的变化,其发展趋势是向系统集成、大规模、低功耗、高速度、可编程、可测试、多值化等方面发展。

数字电子技术的典型应用是电子计算机,计算机现在已成为各行各业离不开的应用工具,它是伴随着电子技术的发展而发展的。由于数字系统具有可靠性高、保密性强、信息易于存储、处理和传输等特点,使得数字电子技术在很多方面取代了传统的模拟电子技术,如数字相机、数字电视等。但是无论数字电子技术如何发展,终将不能完全取代模拟电子技术。因为自然界中大多数的物理量是模拟的,数字电子技术不能直接接受模拟信号进行处理,也无法将处理后的信号直接送到外部物理世界。实际电子系统一般是模拟电路和数字电路的结合,它们之间是相辅相成的,发展数字电子技术的同时,也要重视模拟电子技术的发展。

1.1.2 数字信号和模拟信号

电子电路中的信号可分为两类。一类是时间和幅值都是连续的信号,称为模拟信号(analog signal),如温度、速度、压力、磁场、电场等物理量通过传感器变成的电信号,模拟语音的音频信号和模拟图像的视频信号等。对模拟信号进行传输、处理的电子线路称为模拟电路(analog circuit),如放大电路、滤波器、信号发生器等。另一类是时间和幅值都是离散的(即不连续的)信号,称为数字信号(digital signal)。对数字信号进行传输、处理的电子线路称为数字电路(digital circuit),如数字电子钟、数字万用表、数字电子计算机等都是由数字电路组成的。在数字电路中所关注的是输出与输入之间的逻辑关系,而不像模拟电路中要研究输出与输入之间信号的大小、相位变化等。

在数字电路中采用只有0、1组成的数字信号,这里的0和1主要表示两个对立的逻辑状态,例如相当于电流的有和无、电压的高和低、开关的连接和断开等。

1.1.3 数字电路的特点和分类

1. 数字电路的特点

与模拟电路相比,数字电路具有以下特点。

(1) 稳定性高。由于数字系统只有 0 和 1 两种状态, 对元件精度要求不高, 允许有较大的误差, 通常对于一个给定的输入信号, 数字电路的输出总是相同的。而模拟电路的输出随着输入信号、外界温度、电源电压以及器件老化等因素而变化。

(2) 可靠性强。因为传递、记录、加工的信息只有 0 和 1, 不是连续变化的, 所以数字系统抗干扰能力强, 可靠性高。

(3) 保密性好。在进行数字量的传递时可进行加密处理, 常用于军事、情报等方面。

(4) 经济性。数字电路结构简单, 易于设计, 制造容易, 便于集成化生产, 成本低廉。

(5) 通用性强。数字集成电路产品系列全, 通用性强。

(6) 可编程性。现代数字系统设计, 多采用可编程逻辑器件, 用户可根据需要在计算机上完成电路设计和仿真, 然后写入芯片, 具有较大的方便性和灵活性。

(7) 高速度、低功耗。集成电路中单管的开关速度可以做到小于 10^{-11} s, 整体器件中, 信号从输入到输出的传输时间小于 2×10^{-9} s。百万门以上的超大规模集成芯片的功耗可达毫瓦级。

2. 数字集成电路 (digital integrated circuit) 的分类

数字电路可分为分立元件电路和数字集成电路两大类。目前, 分立元件电路基本上已被数字集成电路取代, 按照集成度的不同, 数字集成电路可分为以下几类:

(1) 小规模集成电路 (SSI)。其集成度为 1~12 门/片, 主要是逻辑单元电路, 如各种逻辑门电路、集成触发器等。

(2) 中规模集成电路 (MSI)。其集成度为 12~99 门/片, 主要是逻辑功能器件, 如译码器、编码器、加法器、寄存器、计数器等。

(3) 大规模集成电路 (LSI)。其集成度为 100~9999 门/片, 主要是数字逻辑系统, 如中央处理器、存储器等。

(4) 超大规模集成电路 (VLSI)。其集成度为 10000~99999 门/片, 主要是高集成度的数字逻辑系统, 如大型存储器、单片计算机等。

(5) 甚大规模集成电路 (ULSI)。其集成度为大于 10^6 门/片, 主要是可编程逻辑器件、多功能专用集成电路等。



练习与思考

1. 什么是数字信号? 什么是模拟信号? 两者的区别是什么?
2. 与模拟电路相比, 数字电路具有哪些特点?
3. 数字电路中的 0 和 1 表示有何意义?
4. 简述数字集成电路的分类。
5. 数字电子技术能否完全取代模拟电子技术? 为什么?

1.2 数制和码制

1.2.1 数制

数制是计数进制的简称, 人们最熟悉的是十进制, 数字系统中用的是二进制, 另外还有

八进制、十六进制等。

1. 十进制

十进制是以 10 为基数的计数体制。十进制有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 共 10 个基本数码，计数规则为“逢十进一，借一当十”。

如用 K 表示数码，对于一个具有 n 位整数和 m 位小数的十进制数，可用下式表示十进制数 N 。

$$\begin{aligned}(N)_{10} &= K_{n-1}10^{n-1} + K_{n-2}10^{n-2} + \cdots + K_010^0 + K_{-1}10^{-1} + \cdots + K_{-m}10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} K_i 10^i\end{aligned}\quad (1-1)$$

式中 K_i 为第 i 位数码，可取 0~9， 10^i 为十进制数第 i 位权值。

如十进制数 453.67 按权展开式为

$$(453.67)_{10} = 4 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1} + 7 \times 10^{-2}$$

如用 R 表示 R 进制的基数，则式 (1-1) 可写成下面的通式

$$(N)_R = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i R^i$$

2. 二进制

二进制是以 2 为基数的计数体制，二进制只有 0 和 1 两个数字，进位规则是逢二进一。其按权展开式为

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

对于二进制数 $(1001.11)_2$ 可表示为

$$(1001.11)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}, \text{ 式中 } 2^3、2^2、2^1、2^0、2^{-1}、2^{-2} \text{ 为二进制数各位的权值。}$$

3. 八进制

八进制是以 8 为基数的计数体制，在八进制中，有 0、1、2、3、4、5、6、7 八个数字，进位规则是逢八进一。其按权展开式为

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

对于八进制数 $(257.14)_8$ 可表示为

$$(257.14)_8 = 2 \times 8^2 + 5 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 1 \times 8^{-1} + 4 \times 8^{-2}$$

式中 $8^2、8^1、8^0、8^{-1}、8^{-2}$ 为八进制数各位的权值。

4. 十六进制

十六进制是以 16 为基数的计数体制，在十六进制中，有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 十六个数字，进位规则是逢十六进一。其按权展开式为

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

对于十六进制数 $(2A7.1E)_{16}$ 可表示为

$$(2A7.1E)_{16} = 2 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 7 \times 16^0 + 1 \times 16^{-1} + 14 \times 16^{-2}$$

式中 $16^2、16^1、16^0、16^{-1}、16^{-2}$ 为十六进制数各位的权值。

1.2.2 不同数制间的转换

1. 二进制、八进制和十六进制转换为十进制

把二进制、八进制和十六进制按权展开并相加得到的数就是其对应的十进制数。

【例 1-1】 将 $(101.01)_2$ 、 $(245.1)_8$ 、 $(4DE.2A)_{16}$ 转换为十进制数。

解： $(101.01)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (5.25)_{10}$

$$(245.1)_8 = 2 \times 8^2 + 4 \times 8^1 + 5 \times 8^0 + 1 \times 8^{-1} = (165.125)_{10}$$

$$(4DE.2A)_{16} = 4 \times 16^2 + 13 \times 16^1 + 14 \times 16^0 + 2 \times 16^{-1} + 10 \times 16^{-2} = (1246.1640625)_{10}$$

2. 十进制转换为二进制、八进制和十六进制

十进制整数转换为二进制、八进制和十六进制的方法是“除基取余法”，将十进制整数部分逐次用基数 R 除，每次除完所得余数便是要转换的数码，直到商为 0。第一个余数是最低位，最后一个余数为最高位。十进制小数转换采用“乘基取整法”，将小数部分连续乘以基数 R ，乘积的整数部分作为 R 进制的小数部分，第一个整数为最高位，最后一个整数为最低位。

【例 1-2】 将十进制数 $(126.125)_{10}$ 转换为二进制数。

解：(1) 整数部分转换，采用除基取余法，基数为 2。

2	126	-----	余数 $0=K_0$	最低位 (LSB)
2	63	-----	$1=K_1$	
2	31	-----	$1=K_2$	
2	15	-----	$1=K_3$	
2	7	-----	$1=K_4$	
2	3	-----	$1=K_5$	
2	1	-----	$1=K_6$	最高位 (MSB)
	0			

所以 $(126)_{10} = (1111110)_2$

(2) 小数部分，转换采用乘基取整法。

$0.125 \times 2 = 0.25$ 整数部分 $= 0 = K_{-1}$ 最高位 (MSB)

$0.25 \times 2 = 0.5$ 整数部分 $= 0 = K_{-2}$

$0.5 \times 2 = 1$ 整数部分 $= 1 = K_{-3}$ 最低位 (LSB)

所以 $(126.125)_{10} = (1111110.001)_2$

【例 1-3】 将十进制数 $(28.25)_{10}$ 转换为八进制数。

解：(1) 整数部分转换，采用除基取余法，基数为 8。

8	28	-----	余数 $4=K_0$	最低位 (LSB)
8	3	-----	$3=K_1$	最高位 (MSB)
	0			

所以 $(28)_{10} = (34)_8$

(2) 小数部分，转换采用乘基取整法。

$0.25 \times 8 = 2$ 整数部分 $= 2 = K_{-1}$

所以 $(28.25)_{10} = (34.2)_8$ 。

【例 1-4】 将十进制数 $(246.125)_{10}$ 转换为十六进制数。

解: (1) 整数部分转换, 采用除基取余法, 基数为 16。

16	246	-----	余数 $6=K_0$	最低位 (LSB)
16	15	-----	$F=K_1$	最高位 (MSB)
	0			

所以 $(246)_{10} = (F6)_{16}$

(2) 小数部分, 转换采用乘基取整法。

$0.125 \times 16 = 2$ 整数部分 $= 2 = K_{-1}$

所以 $(246.125)_{10} = (F6.2)_{16}$

3. 二进制和八进制、十六进制之间的转换

(1) 二进制和八进制的转换。3 位二进制数共有 8 种状态, 正好与 0~7 这 8 个数相对应。二进制转换为八进制时, 整数部分从低位开始, 每 3 个二进制数为一组, 最后一组不足 3 个时, 加 0 补足 3 个; 小数部分从高位开始, 每 3 个二进制数为一组, 最后一组不足 3 个时, 加 0 补足 3 个, 然后用对应的八进制数代替即可。八进制转换为二进制时, 用对应的二进制数代替八进制数即可。

【例 1-5】 将二进制数 $(11011001.10111)_2$ 转换为八进制数。

解:

011	011	001.	101	110
↓	↓	↓	↓	↓
3	3	1.	5	6

所以 $(11011001.10111)_2 = (331.56)_8$

(2) 二进制和十六进制的转换。4 位二进制数共有 16 种状态, 正好与 0~F 这 16 个数相对应。二进制转换为十六进制时, 整数部分从低位开始, 每 4 个二进制数为一组, 最后一组不足 4 个时, 加 0 补足 4 个; 小数部分从高位开始, 每 4 个二进制数为一组, 最后一组不足 4 个时, 加 0 补足 4 个, 然后用对应的十六进制数代替即可。十六进制转换为二进制时, 用对应的二进制数代替十六进制数即可。

【例 1-6】 将二进制数 $(111011001.10111)_2$ 转换为十六进制数。

解:

0001	1101	1001.	1011	1000
↓	↓	↓	↓	↓
1	D	9.	B	8

所以 $(111011001.10111)_2 = (1D9.B8)_{16}$

1.2.3 二进制代码

数字电路中处理的信息除了数值信息外, 还有文字、符号以及一些特定的操作 (如表示确认的回行操作) 等。为了处理这些信息, 必须将这些信息也用二进制数码来表示。这些特定的二进制数码称为这些信息的代码。这些代码的编制过程称为编码 (coding)。

1. 二一十进制编码 (BCD 码)

在数字电路中, 十进制数除了可转换为二进制数参加运算外, 还可以直接用十进制数

进行输入和运算。其方法是将十进制的 10 个数码分别用 4 位二进制代码表示，这种编码称为二—十进制编码（binary coded decimal coding），简称 BCD 码。BCD 码有很多种形式，常用的有 8421 码、2421 码、5421 码、余 3 码和余 3 循环码等，见表 1-1。

表 1-1 常用的 BCD 码

十进制数	8421 码	2421 码	5421 码	余 3 码	余 3 循环码
0	0000	0000	0000	0011	0010
1	0001	0001	0001	0100	0110
2	0010	0010	0010	0101	0111
3	0011	0011	0011	0110	0101
4	0100	0100	0100	0111	0100
5	0101	1011	1000	1000	1100
6	0110	1100	1001	1001	1101
7	0111	1101	1010	1010	1111
8	1000	1110	1011	1011	1110
9	1001	1111	1100	1100	1010
权	8421	2421	5421	无权码	无权码

在 8421 码中，10 个十进制数码与二进制数一一对应，即用二进制数的 0000~1001 分别表示十进制数的 0~9。8421 码是一种有权码，各位的权从左到右分别为 8、4、2、1，所以根据代码的组成就可知道代码所代表的十进制数的值。设 8421 码的各位分别为 a_3 、 a_2 、 a_1 、 a_0 ，则它所代表的十进制数的值为

$$N = 8a_3 + 4a_2 + 2a_1 + 1a_0$$

8421 码与十进制数之间的转换只要直接按位转换即可。例如：

$$(753)_{10} = (0111\ 0101\ 0011)_{8421\text{ BCD}}$$

4 位二进制数共有 16 种组合，即 0000~1111。8421BCD 码只利用了这 16 种组合中的前 10 种组合 0000~1001，其余 6 种组合 1010~1111 是无效的。从 16 种组合中选取 10 种组合方式的不同，可以得到其他二—十进制码，如 2421 码、5421 码等，2421 码、5421 码也是有权码。余 3 码由 8421BCD 码加 3（0011）得到，这是一种无权码。余 3 循环码也是无权码。

【例 1-7】 将十进制数 $(683)_{10}$ 分别转换成 8421BCD 码、2421BCD 码、5421BCD 码、余 3 码和余 3 循环码。

解： $(683)_{10} = (011010000011)_{8421\text{ BCD 码}}$
 $(683)_{10} = (110011100011)_{2421\text{ BCD 码}}$
 $(683)_{10} = (100110110011)_{5421\text{ BCD 码}}$
 $(683)_{10} = (100110110110)_{\text{余 3 码}}$
 $(683)_{10} = (110111100101)_{\text{余 3 循环码}}$

2. 可靠性代码

代码在形成和传输过程中有可能产生错误，为了使代码形成时不易出差错，或在出现差错时容易发现并能及时校正，需要采用可靠性代码。常用的可靠性代码有格雷码、奇偶校验码等。

(1) 格雷码。格雷码也是一种常见的无权码，其编码方式见表 1-2。格雷码的特点是从

一个代码变为相邻的另一个代码时只有一位发生变化，这种特点称为逻辑上相邻。这是考虑到信息在传输过程中可能出错，为了减少错误而研究的一种编码形式。格雷码的缺点是与十进制数之间不存在规律性的对应关系，不够直观。

表 1-2 格 雷 码

二进制码	格雷码	二进制码	格雷码
0000	0000	1000	1100
0001	0001	1001	1101
0010	0011	1010	1111
0011	0010	1011	1110
0100	0110	1100	1010
0101	0111	1101	1011
0110	0101	1110	1001
0111	0100	1111	1000

(2) 奇偶校验码。

为了发现和校正错误，提高设备的抗干扰能力，常采用奇偶校验码。奇偶校验码由两部分组成，一部分是需要传送的信息本身，另一部分是位数为 1 位的奇偶检验位，其数值（0 或 1）应使整个代码中 1 的个数为奇数或偶数。1 的个数为奇数的称为奇校验，1 的个数为偶数的称为偶校验。表 1-3 为 8421BCD 码的奇偶校验码。如果奇校验码在传输过程中本来应该出 0，表示传输的数据应该有奇数个 1，但输出却是 1，说明传输的数据有偶数个 1，出现了错误，需要及时校正。

表 1-3 8421BCD 码的奇偶校验码

十进制数	8421BCD 码奇校验码		8421BCD 码偶校验码	
	信息码	校验位	信息码	校验位
0	0000	1	0000	0
1	0001	0	0001	1
2	0010	0	0010	1
3	0011	1	0011	0
4	0100	0	0100	1
5	0101	1	0101	0
6	0110	1	0110	0
7	0111	0	0111	1
8	1000	0	1000	1
9	1001	1	1001	0

3. ASCII 码

计算机除了处理数字外，还经常需要处理字母、符号和文字等信息。人们通过键盘上的字母、符号和数值向计算机发送数据和指令，每一个键符可用一个二进制码来表示，美国标准信息交换码（American Standard Code for Information Interchange, ASCII）是目前国际上最通用的一种字符码。它是用 7 位二进制码来表示 128 个十进制数、英文大小写字母、控制符、运算符以及特殊符号，见表 1-4，其中字符的含义见表 1-5。

表 1-4 ASCII 码编码表

$b_3b_2b_1b_0$	$b_6b_5b_4$							
	000	001	010	011	100	101	110	111
0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	`	p
0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1100	FF	FS	,	<	L	\	l	
1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1110	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1111	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

表 1-5 ASCII 码表中字符的含义

字符	含义	字符	含义
NUL	Null 空白	DC1	Device control 1 设备控制 1
SOH	Start of heading 标题开始	DC2	Device control 2 设备控制 2
STX	Start of text 文本开始	DC3	Device control 3 设备控制 3
ETX	End of text 文本结束	DC4	Device control 4 设备控制 4
EOT	End of transmission 传输结束	NAK	Negative acknowledge 否认
ENQ	Enquiry 询问	SYN	Synchronous idle 同步空转
ACK	Acknowledge 确认	ETB	End of transmission block 块传输结束
BEL	Bell 报警	CAN	Cancel 取消
BS	Backspace 退一格	EM	End of medium 纸尽
HT	Horizontal 水平列表	SUB	Substitute 替换
LF	Line feed 换行	ESC	Escape 脱离
VT	Vertical tab 垂直列表	FS	File separator 文件分隔符
FF	Form feed 走纸	GS	Group separator 组分分隔符
CR	Carriage return 回行	RS	Record separator 记录分隔符
SO	Shift out 移出	US	Unit separator 单元分隔符
SI	Shift in 移入	SP	Space 空格
DLE	Data link escape 数据链路换码	DEL	Delete 删除



练习与思考

1. 十进制数如何转换成为二进制数、八进制数和十六进制数?
2. 二进制数、八进制数和十六进制数如何转换成为十进制数?
3. 二进制数、八进制数和十六进制数之间如何转换?
4. 什么是二进制代码? 什么是编码? 常用的二进制码都有哪些?
5. 什么是有权码? 什么是无权码?
6. 什么是可靠性代码? 格雷码的特点是什么?
7. 什么是奇偶校验码? 奇偶校验码有何优点?
8. 8421 码和 8421BCD 码有何区别?

1.3 二进制的算术运算

1.3.1 原码、反码和补码

在一般情况下,数的正、负是在数的最高位前面加上“+”或“-”来表示,如+78、-32等。而在计算机中,数的正和负是用数码表示的,通常采用的方法是在二进制数最高位的前面加一个符号位来表示,符号位后面的数码表示数。正数的符号位用“0”表示,负数的符号位用“1”表示。如

$$(+14)_{10} = (\boxed{0} 1110)_2 \quad (-14)_{10} = (\boxed{1} 1110)_2$$

方框中的数为符号位。

在数字系统中,常将负数用补码表示,其目的是为了将减法运算变为加法运算。

带符号的二进制数有原码、反码和补码三种表示方法。

1. 原码表示

原码由二进制数的原数值部分和符号位组成。

表示如下:

$$(N)_{\text{原}} = \begin{cases} [0] \text{ 原数值} & (\text{原数值为正数}) \\ [1] \text{ 原数值} & (\text{原数值为负数}) \end{cases}$$

如二进制数+1010111的原码为01010111;-1010111的原码为11010111。

2. 反码表示

二进制数反码是这样规定的:对于正数,反码和原码相同;对于负数,反码为符号位加上原数值按位取反。表示如下:

$$(N)_{\text{反}} = \begin{cases} [0] \text{ 原数值} & (\text{原数值为正数}) \\ [1] \text{ 原数值取反} & (\text{原数值为负数}) \end{cases}$$

如二进制数+10011101的反码为010011101,-10011101的反码为101100010。

3. 补码表示

二进制数补码是这样规定的:对于正数,补码和原码、反码相同;对于负数,补码为符号位加上原数值按位取反后再在最低位加1,即为反码加1。表示如下: