



高等院校网络教育精品教材

—— 电气电子类

SHUZI DIANZI JISHU

数字电子技术

李春茂 主编



西南交通大学出版社

[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

高等院校网络教育精品教材——电气电子类

数字电子技术

李春茂 主编

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

数字电子技术 / 李春茂主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2012.6
高等院校网络教育精品教材. 电气电子类
ISBN 978-7-5643-1732-4

I. ①数… II. ①李… 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 (2012) 第 079782 号

高等院校网络教育精品教材——电气电子类

数字电子技术

李春茂 主编

责任编辑	黄淑文
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮 编	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都勤德印务有限公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	18.625
字 数	464 千字
版 次	2012 年 6 月第 1 版
印 次	2012 年 6 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-1732-4
定 价	35.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

现代化教学手段的应用和远程网络教育的广泛开展,对教材建设提出了新的要求。本书作者在充分考虑了远程网络教学的特殊性和网络学院学生知识层次的差异性的基础上,参照教育部 2005 年颁发的《高等学校“数字电子技术基础”课程教学基本要求》,同时结合网络教育的特点,编写了本教材。

本教材编写的原则是:“保证基础、精选内容;面向实际应用”。在编写过程中,作者结合多年从事网络教学的经验和“数字电子技术”网络精品课程建设内容,根据“数字电子技术”课程的特点,在保证打好基础的前提下,精选了内容。在精简了数字逻辑器件内部结构和内部特性的同时,强化了外特性和实际应用电路的介绍;力求做到深入浅出、通俗易懂,便于学生阅读和自学。

在内容的编排上,遵循人们的认识规律,引导读者循序渐进、由浅入深、由易到难,在确保对基础知识牢固掌握的基础上,注意将理论与实际应用紧密结合,吸收了国内外在电子技术领域及相关学科的最新科研成果,使得本书更加精练、涵盖面广、可读性强。

本教材在每一章的开头都给出了明确的学习指导,包括学习目标、学习方法和学习时间的建议、学习重点与难点等;在每一章节的教学内容中,精心编写了形式多样的例题与常见问题和解答,在注重基本知识的同时,通过例题的形式拓展教学内容,由浅入深,以加强学生对知识点的掌握;在每一章的结尾对本章的知识点、重点、难点做了较为详细的小结,并编写了较为丰富的典型例题,有助自学;针对学习中部分重点、难点,设置了与之相配合的基本习题和综合型习题,力求做到点面结合,培养学生独立思考的能力。其内容以注重基础知识为主线,其例题以注重掌握与提高理论知识为目的,其习题以注重综合能力培养为目标,其文笔以通俗易懂为根本,整部教材利于学生阅读和自学。

本教材共分 9 章,主要内容有:数字逻辑概论、逻辑代数基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生和整形、数模与模数转换器、半导体存储器和可编程逻辑器件等。在数字电子技术课程的讲授过程中,由于各学科专业的要求不同,各院校可根据具体的授课学时和专业要求对教材中的内容作适当的调整 and 选择。

本教材由西南交通大学李春茂主编,负责全书的组织、统稿和定稿;李冀昆、何圣仲和王莉参与编写。其中,李春茂编写了第 1 章、第 2 章、第 3 章和第 4 章;李冀昆编写了第 5 章、第 6 章和各章的习题;何圣仲编写了第 7 章和第 8 章;王莉编写了第 9 章及全书的习题解答。另有陈玲、戚德娟、褚召伟等在书稿录入、排版及图稿绘制等方面做了很多工作。

在教材编写过程中,参考了众多国内外的优秀教材,受益匪浅;同时,很多前辈和同行也给予了大量的支持。在此,谨表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2012 年 5 月

目 录

第 1 章 数字逻辑概论	1
1.1 数字电路概述	2
1.2 数 制	4
1.3 码制和常用代码	10
小 结	14
习 题	15
本章术语	15
参考资料	15
第 2 章 逻辑代数基础	16
2.1 逻辑代数	17
2.2 逻辑函数及其化简	23
2.3 VHDL 语言基础	38
小 结	45
习 题	45
本章术语	48
参考资料	49
第 3 章 逻辑门电路	50
3.1 半导体器件的开关特性	51
3.2 分立元件门电路	57
3.3 集成 TTL 门电路	60
3.4 CMOS 逻辑门电路	64
小 结	70
习 题	70
本章术语	73
参考资料	73
第 4 章 组合逻辑电路	74
4.1 组合逻辑电路的特点	75
4.2 组合逻辑电路的分析和设计	76

4.3 常用组合逻辑电路	80
小 结	107
习 题	108
第 5 章 触发器	111
5.1 触发器概述	112
5.2 基本触发器	113
5.3 不同类型时钟触发器间的转换	132
5.4 触发器的 VHDL 语言描述	136
小 结	142
习 题	142
本章术语	144
参考资料	144
第 6 章 时序逻辑电路	145
6.1 时序逻辑电路分析	146
6.2 常用时序逻辑电路组件	149
6.3 时序逻辑电路设计	161
小 结	171
习 题	172
本章术语	177
参考资料	177
第 7 章 脉冲波形的产生和整形	178
7.1 施密特触发器	179
7.2 单稳态触发器	182
7.3 多谐振荡器	188
7.4 555 定时器	190
小 结	201
习 题	201
本章术语	203
参考资料	203
第 8 章 数/模与模/数转换器	204
8.1 数/模 (D/A) 转换器	205
8.2 模/数 (A/D) 转换器	211
小 结	218
习 题	219
本章术语	221
参考资料	221

第 9 章 半导体存储器和可编程逻辑器件	222
9.1 半导体存储器	223
9.2 可编程逻辑器件	240
9.3 PAL 和 GAL	244
9.4 CPLD 和 FPGA	254
9.5 ISP 技术与 ISP 器件	259
9.6 硬件描述语言	263
9.7 PLD 综合应用设计	264
小 结	268
习 题	269
本章术语	270
参考资料	270
习题答案	271
参考文献	290

第 1 章 数字逻辑概论

【学习指导】

1. 学习目标

(1) 了解数字技术的发展及应用、数字集成电路的分类及特点、数字电路与数字信号及其描述方法。

(2) 掌握常用数制的表示方法及相互转换。

(3) 掌握 8421BCD 码等常用编码的意义及表示方法。

2. 学习建议

(1) 学习时间：6 小时。

1.1 节建议学习时间：1 小时；

1.2 节建议学习时间：3 小时；

1.3 节建议学习时间：2 小时。

(2) 学习方法：

A. 阅读参考资料中列出的至少两项资料；

B. 1.1 节学习完成后提交第 1 次作业，1.2 节学习完成后提交第 2 次作业，1.3 节学习完成后提交第 3 次作业。

3. 学习重难点

A. 数制（即常用数制）之间转换的简便方法与码制的表示方法；

B. 8421BCD 码等常用编码的意义及表示方法。

1.1 数字电路概述

目前, 数字电路及系统已经广泛地应用于我们的生产与生活中。如计算机、网络交换机和路由器、电视机、数码摄录设备、数码音响系统、智能化楼宇的中央空调控制系统、智能监控系统、电梯的数字变频调速系统和信息通信系统等都大量地应用数字电子技术。

1.1.1 模拟信号和数字信号

在自然界中有形形色色的物理量, 尽管它们的性质各异, 但就其变化规律而言, 不外乎有两大类: 模拟信号和数字信号。

1. 模拟信号

模拟信号是指时间和数值上都是连续变化的信号, 它具有无穷多的数值, 其数学表达式也较复杂, 如正弦函数、指数函数等。图 1.1 (a) 所示为典型的模拟信号。

人们从自然界感知的许多物理量均属于模拟性质的, 如速度、压力、声音、温度等。在工程技术上, 为了便于分析, 常用传感器将模拟量转换为电流、电压或电阻等电量, 以便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电路, 简称模拟电路。在模拟电路中主要关心输入、输出信号间的大小、相位、失真等。

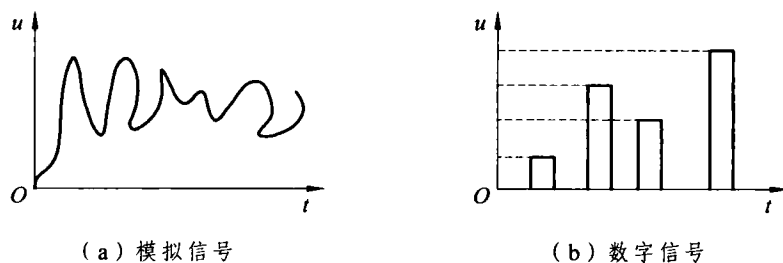


图 1.1 模拟信号与数字信号

2. 数字信号

电子系统中一般均含有模拟和数字两种器件。模拟电路是系统中必需的组成部分, 但是, 为了便于存储、分析或传输信号, 数字电路更具优越性。

数字信号是指时间和数值上都是不连续变化的信号, 即数字信号具有离散性, 如图 1.1 (b) 所示。交通信号灯控制电路、智力竞赛抢答电路以及计算机键盘输入电路中的信号, 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子线路, 简称数字电路。在数字电路中主要关心输入、输出之间的逻辑关系。

1.1.2 数字电路的特点

与模拟电路不同,数字电路主要是处理离散的数字信号,其主要特点是:

(1) 它的基本工作信号是二进制的数字信号,数字信号在数值上是不连续的,它不随时间连续变化,即为离散的电信号。如电梯的楼层显示数、自动化生产线上的产品计数显示等。

(2) 二进制数只有0和1两个基本数字,对应于数字电路中的低电平(电位)和高电平(电位)两种状态。

(3) 数字电子技术研究的重点是电路的输入信号状态(0或1)和输出信号状态(0或1)之间的关系,即所谓逻辑关系(取决于电路的逻辑功能)。

(4) 其主要分析工具是逻辑代数(即布尔代数)。

1.1.3 数字电路的分类

数字电路按其组成的结构不同,可分为分立元件电路和集成电路两类。分立元件电路是基本电路,它是由二极管、三极管、电阻、电容等元器件组成的,并且所有元件都裸露在外,没有封装。随着集成电路的飞速发展,分立元件电路已逐步被取代,集成电路按集成度的大小分为小规模集成电路(SSI,集成度为1门/片~10门/片)、中规模集成电路(MSI,集成度为10门/片~100门/片)、大规模集成电路(LSI,集成度为100门/片~1000门/片)、超大规模集成电路(VLSI,集成度大于1000门/片)。集成电路从应用的角度可分为通用型和专用型两大类,通用型是已被定型的标准化、系列化的产品,适用于不同的数字设备;专用型是指为某种特殊用途专门设计,具有特定的复杂而完整的功能块型产品,只适用于专用的数字设备。

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

按数字电路功能的不同特点,又分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两大类。

1.1.4 数字电路的应用

数字电路较模拟电路具有更多的优点,如有较强的稳定性、可靠性和抗干扰能力,精确度较高,具有算术运算和逻辑运算能力,可进行逻辑推理和逻辑判断,电路结构简单,便于制造和集成等。因此,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能力,可以设计出各式各样的数控装置,用来实现对生产和过程的自动控制。其工作过程是:首先用传感器在现场采集受控对象的数据,求出它们与设定数据的偏差,接着由数字电路进行计算、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。

在数字技术基础上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。今天,电子计算机不仅成为近代自动控制系统中不可缺少的一个重要组成部分,而且已经渗透

到了国民经济和人们生活的各个领域,成为人们工作、生活、学习不可或缺的重要组成部分,并在许多方面产生了根本性的变革。尤其是计算机网络技术的飞速发展,使人们获取信息、享受网络服务更为便捷。

然而,数字电路的应用也具有它的局限性。前面已提到,在自动控制和测量系统中,被控制和被测量的对象往往是一些连续变化的物理量,即模拟信号,而模拟信号不能直接为数字电路所接收,这就为数字电路的使用带来很大的不便。为了用数字电路处理这些模拟信号,必须用专门的电路将它们转换为数字信号;而经数字电路分析、处理出的数字量往往还要通过专门的电路转换成相应的模拟信号才能为执行机构所接收。这样一来,不但导致了整个设备的复杂化,而且也使信号的精度受到影响,数字电路本身可以达到的精度也因此失去了意义。因此,在使用数字电路时,应具体情况具体分析,以便于操作、提高生产效率为目的。



常见问题

1. 数字电路与模拟电路有什么区别?

解答:模拟电路是传输、处理模拟信号的电路,在模拟电路中主要关心输入、输出信号间的大小、相位、失真等方面的问题;数字电路是对数字信号进行传输、处理,在数字电路中主要关心输入、输出之间的逻辑关系。

2. 数字信号和模拟信号有什么区别?

解答:数字信号是指时间和数值上都是不连续变化的信号,即数字信号都是离散的,如交通信号灯控制电路、智力竞赛强选电路等;模拟信号是时间和数值上都是连续的信号,它具有无穷多的数值,其数学表达式也较复杂,如正弦函数、指数函数等。

1.2 数 制

数制即计数体制,它是按照一定规则表示数值大小的计数方法。日常生活中最常用的计数体制是十进制,数字电路中常用的是二进制,有时也采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 各种数制

1. 十进制 (Decimal)

十进制是最常用的数制。在十进制中,共有0~9十个数码,所以它的运算规则是“逢十进一,借一当十”,故为十进制;同一数字符号在不同的数位代表的数值不同。设某十进制数 N_{10} 有 n 位整数, m 位小数,则可表示为

$$N_{10} = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i 10^i \quad (1.1)$$

式中, k_i 为第 i 位的系数, 可取 0, 1, 2, $\dots$, 9; 10^i 为第 i 位的权; 10 为进位基数, 基数和权是进位制的两个要素, 利用基数和权, 可以将任何一个数表示成多项式的形式。例如, 十进制数 505.6 可表示成

$$(505.6)_{10} = 5 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1}$$

这种表示方法称为多项式表示法或按权展开式。

2. 二进制 (Binary)

在数字电路中, 应用最广的是二进制。二进制中只有 0、1 两个数字符号, 所以运算规则是“逢二进一, 借一当二”, 各位的权为 2^i , k_i 为第 i 位的系数, 设某二进制数 N_2 有 n 位整数, m 位小数, 则可表示为

$$N_2 = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i 2^i \quad (1.2)$$

利用式 (1.2) 可以将任何一个二进制数转换为十进制数。

例 1.1 将二进制数 101.11 转换为十进制数。

解 $(101.11)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (5.75)_{10}$

3. 八进制 (Octal)

八进制有 0~7 八个数码, 基数为 8, 它的运算规则是“逢八进一, 借一当八”。任意一个八进制数 N_8 可表示成

$$N_8 = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i 8^i \quad (1.3)$$

利用式 (1.3) 可将任意一个八进制数转换为十进制数。

例 1.2 将八进制数转换 372.5 转换为十进制数。

解 $(372.5)_8 = 3 \times 8^2 + 7 \times 8^1 + 2 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1} = (250.625)_{10}$

4. 十六进制 (Hexadecimal)

十六进制采用 16 个数码, 而且“逢十六进一, 借一当十六”。这 16 个数码是 0~9, A (对应于十进制中的 10), B (11), C (12), D (13), E (14), F (15)。十六进制数的基数是 16。

仿照式 (1.1), 任一十六进制数 N_{16} 可表示为

$$N_{16} = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i 16^i \quad (1.4)$$

利用式 (1.4) 可将任意一个十六进制数转换为十进制数。

例 1.3 将十六进制数 4E6 转换为十进制数。

解 $(4E6)_{16} = 4 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 6 \times 16^0 = (1254)_{10}$

今后十进制数、二进制数、八进制数、十六进制数常采用字母 D、B、O、H 作为其标志，加在数的后面。

例如， $(F58.B2H)_{16}$ ，还可以写成 $(F58.B2)_H$ 。

二进制数与八进制数、十进制数、十六进制数之间的对应关系见表 1.1。

表 1.1 二进制数与八进制数、十进制数、十六进制数之间的对应关系

十进制	二进制	八进制	十六进制	十进制	二进制	八进制	十六进制
00	0000	00	0	09	1001	11	9
01	0001	01	1	10	1010	12	A
02	0010	02	2	11	1011	13	B
03	0011	03	3	12	1100	14	C
04	0100	04	4	13	1101	15	D
05	0101	05	5	14	1110	16	E
06	0110	06	6	15	1111	17	F
07	0111	07	7	16	10000	20	10
08	1000	10	8				

1.2.2 数制转换

1. 十进制转换成非十进制

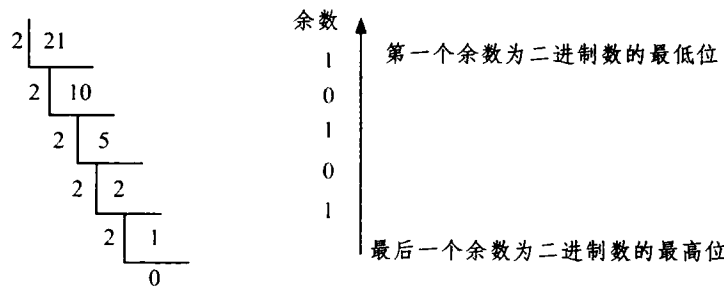
1) 十进制数转换成二进制数

整数部分：用除 2 取余的方法进行转换，转换结果为“先余为低，后余为高”；

小数部分：用乘 2 取整的方法进行转换，转换结果为“先整为高，后整为低”。

例 1.4 将 $(21.125)_{10}$ 转换成二进制数。

解 整数部分



小数部分

0.125×2=0.250

0.250×2=0.50

0.50×2=1.00

取出整数 0

取出整数 0

取出整数 1

第一个整数为二进制数的最高位

最后一个整数为二进制数的最低位

所以有: $(21.125)_{10} = (10101.001)_2$ 。

2) 十进制数转换为八进制数

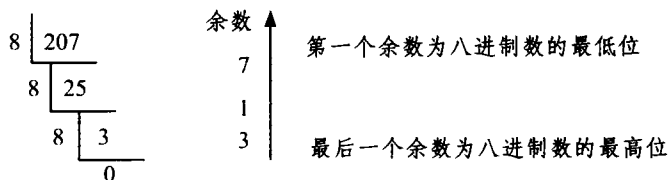
十进制数转换为八进制数与十进制转换为二进制数的方法类似。

整数部分: 用除 8 取余的方法进行转换, 转换结果为“先余为低, 后余为高”;

小数部分: 用乘 8 取整的方法进行转换, 转换结果为“先整为高, 后整为低”。

例 1.5 将 $(207.5)_{10}$ 转换成八进制数。

解 整数部分



小数部分

$0.5 \times 8 = 4.0$ 取出整数 4, 余数为 0, 转换结束。

综上可得: $(207.5)_{10} = (317.4)_8$ 。

3) 十进制数转换为十六进制数

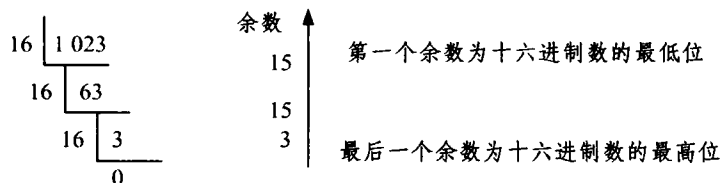
十进制数转换为十六进制数与十进制数转换为二进制数的方法类似。

整数部分: 用除 16 取余的方法进行转换, 转换结果为“先余为低, 后余为高”;

小数部分: 用乘 16 取整的方法进行转换, 转换结果为“先整为高, 后整为低”。

例 1.6 将 $(1023)_{10}$ 转换成十六进制数。

解



得到: $(1023)_{10} = (3FF)_{16}$ 。

2. 二进制数与八进制数之间的转换

由于 1 位八进制数有 0~7 八个数码, 3 位二进制数正好有 000~111 八种组合, 它们之间有以下简单的对应关系:

八进制数	0	1	2	3	4	5	6	7
二进制数	000	001	010	011	100	101	110	111

利用这种对应关系, 可以很方便地在八进制数与二进制数之间进行转换。

将二进制数转换为八进制数的方法是: 以小数点为界, 将二进制数的整数部分从低位开始, 小数部分从高位开始, 每 3 位分成一组, 头尾不足 3 位的补 0, 然后将每组 3 位二进制数转换为 1 位八进制数。

例 1.7 将 $(10111010011.01011)_2$ 转换成八进制数。

解 010 111 010 011 . 010 110
 2 7 2 3 . 2 4

所以, $(10111010011.01011)_2 = (2723.24)_8$ 。

将八进制数转换为二进制数, 只要将每 1 位八进制数用 3 位二进制数表示即可。

将八进制数转换为二进制数取相反过程。

3. 二进制数与十六进制数之间的转换

由于 1 位十六进制数有 16 个代码, 而 4 位二进制数正好有 0000 ~ 1111 十六种组合, 它们之间也存在简单的对应关系。利用这种对应关系, 可以很方便地在十六进制数与二进制数之间进行转换。转换方法与二、八进制数的转换类似, 只是将二进制数中 3 位一组改为 4 位一组。

例 1.8 将二进制数 $(11010111010.011101)_2$ 转换为十六进制数。

解 0110 1011 1010 . 0111 0100
 6 B A . 7 4

所以, $(11010111010.011101)_2 = (6BA.74)_{16}$ 。

将十六进制数转换为二进制数取相反过程。

4. 其他进制数转换成十进制数

将其他进制数转换成十进制数时, 只要将该数写成按权展开式, 然后将各项相加求出最终结果即可, 此处不再赘述。

1.2.3 二进制正、负数的表示法

在十进制数中, 可以在数字面前加上“+”、“-”号来表示正、负数, 显然数字电路不能直接识别“+”、“-”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 1 表示“-”号, 像这样符号也数码化的二进制数称为机器数。原来带有“+”、“-”号的数称为真值。例如:

十进制数	+ 67	- 67
二进制数 (真值)	+ 1000011	- 1000011
计算机内 (机器数)	01000011	11000011

通常, 二进制正、负数 (机器数) 有三种表示方法: 原码、反码和补码。

1. 原 码

用首位表示数的符号, 0 表示正, 1 表示负, 其他位则为数的真值的绝对值, 这样表示的数就是数的原码。

例 1.9 求 $(+105)_{10}$ 和 $(-105)_{10}$ 的原码。

解 $[(+105)_{10}]_{\text{原}} = [(+1101001)_2]_{\text{原}} = (01101001)_2$

$$[(-105)_{10}]_{\text{原}} = [(-1101001)_2]_{\text{原}} = (11101001)_2$$

0 的原码有两种, 即

$$[+0]_{\text{原}} = (00000000)_2$$

$$[-0]_{\text{原}} = (10000000)_2$$

原码简单易懂, 与真值转换起来很方便。但是两个异号的数相加或两个同号的数相减就要做减法, 做减法就必须知道这两个数哪一个绝对值大, 用绝对值大的数减去绝对值小的数, 运算结果的符号就是绝对值大的那个数的符号, 这样操作比较麻烦, 运算的逻辑电路也较难实现。于是, 为了将加法和减法运算统一成只做加法运算, 就引入了反码和补码表示。

2. 反 码

反码用得较少, 它只是求补码的一种过渡。

正数的反码与其原码相同。负数的反码是这样求的: 先求该负数的原码, 然后原码的符号位不变, 其余各位按位取反, 即 0 变 1, 1 变 0。

例 1.10 求 $(+65)_{10}$ 和 $(-65)_{10}$ 的反码。

$$\text{解 } [(+65)_{10}]_{\text{原}} = (01000001)_2 \quad [(-65)_{10}]_{\text{原}} = (11000001)_2$$

$$\text{则 } [(+65)_{10}]_{\text{反}} = (01000001)_2 \quad [(-65)_{10}]_{\text{反}} = (10111110)_2$$

很容易验证: 一个数的反码的反码就是这个数本身。

3. 补 码

正数的补码与其原码相同, 负数的补码是它的反码加 1。

例 1.11 求 $(+63)_{10}$ 和 $(-63)_{10}$ 的补码。

$$\text{解 } [(+63)_{10}]_{\text{原}} = (00111111)_2 \quad [(+63)_{10}]_{\text{反}} = (00111111)_2$$

$$\text{则 } [(+63)_{10}]_{\text{补}} = (00111111)_2$$

$$[(-63)_{10}]_{\text{原}} = (10111111)_2 \quad [(-63)_{10}]_{\text{反}} = (11000000)_2$$

$$\text{则 } [(-63)_{10}]_{\text{补}} = (11000001)_2$$

同样可以验证: 一个数的补码的补码就是其原码。

引入了补码以后, 两个数的加减法运算就可以统一用加法来实现, 此时两数的符号位也当成数值直接参加运算, 并且有这样一个结论: 两数和的补码等于两数补码的和。所以在数字系统中一般用补码来表示带符号的数。

例 1.12 用二进制补码运算求出 $14 + 10$ 、 $14 - 10$ 、 $-14 + 10$ 和 $-14 - 10$ 。

解 由于 $14 + 10$ 和 $-14 - 10$ 的绝对值为 24, 所以必须用有效数字为 5 位的二进制数才能表示, 再加上一位符号位, 就得到 6 位的二进制补码。

根据前述计算补码的方法可知, $+14$ 的二进制补码应为 001110 (最高位为符号位), -14 的二进制补码为 110010, $+10$ 的二进制补码为 001010, -10 的二进制补码为 110110。计算结果分别为

$$\begin{array}{rcl}
 +14 & 0\ 01110 & \\
 +10 & \underline{0\ 01010} & \\
 +24 & 0\ 11000 & \\
 \\
 -14 & 1\ 10010 & \\
 +10 & \underline{0\ 01010} & \\
 -4 & 1\ 11100 &
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{rcl}
 +14 & 0\ 01110 & \\
 -10 & \underline{1\ 10110} & \\
 +4 & (1)\ 0\ 00100 & \\
 \\
 -14 & 1\ 10010 & \\
 -10 & \underline{1\ 10110} & \\
 -24 & (1)\ 1\ 01000 &
 \end{array}$$

从例 1.12 可以看出, 若将两个加数的符号位和来自最高有效数字位的进位相加, 得到的结果 (舍弃产生的进位) 就是和的符号。

需要指出的是, 在两个符号数相加时, 它们的绝对值之和不可超过有效数字位所能表示的最大值, 否则会得出错误的计算结果。



常见问题

1. 将负的十进制数转换为二进制数的原码时怎样处理?

解答: 首先, 将这个数的绝对值按照常规方法转换为二进制数; 然后, 在二进制数的最高位加 1 即可。

2. 如何将十进制数、二进制数、八进制数和十六进制数相加?

解答: 首先将非二进制数都转化为二进制数, 按位相加, 然后再转换为要求的进制数即可。

1.3 码制和常用代码

在数字设备中, 任何数据和信息都要用二进制代码表示。二进制中只有两个符号: 0 和 1。如有 n 位二进制数, 它有 2^n 种不同的组合, 即可以代表 2^n 种不同的信息。指定用某一二进制代码组合去代表某一信息的过程称为编码。由于这种指定是任意的, 所以存在多种多样的编码方案。本节介绍几种常用的编码。

1.3.1 二-十进制编码 (BCD 码)

十进制数的 0、1、2、…、9 十个数码, 电路是不能识别的, 必须先用二进制数码将其表示出来, 再用电路实现并行传输和处理。这种用四位二进制数码表示一位十进制数码的方法称为二-十进制编码, 即 BCD 码。

四位二进制码有十六个不同的状态, 只需从中选出十个状态, 就可以分别表示一位十进制的十个数码。选取方法有多种, 对应有多种 BCD 码, 其中最常用的是 8421BCD 码和循环码 (格雷码)。常用的还有余 3 码、5421 码、2421 码等。几种常用的 BCD 码如表 1.2 所示。