



高职高专“十一五”规划教材

数字电子技术

# 数字电子技术

王平主编



化学工业出版社

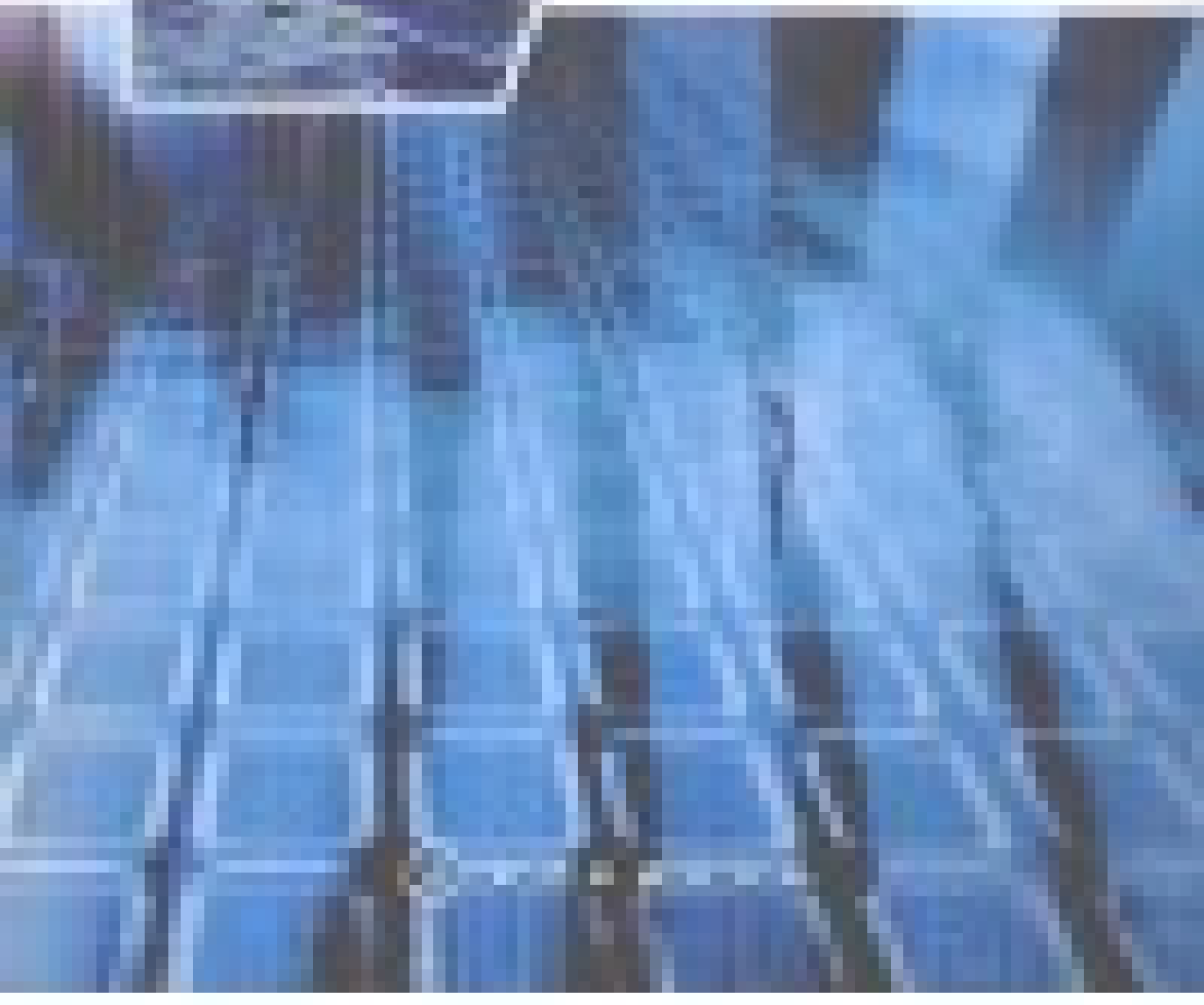
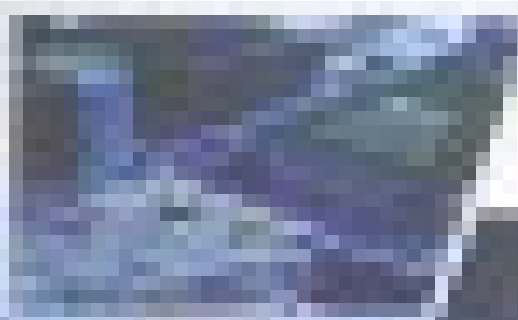


国家出版“十一五”规划教材

第 2 版

# 数字电子技术

· 第 2 版 ·



高职高专“十一五”规划教材

# 数字电子技术

王 平 主编

于晓平 刘晓阳 李长峰 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书由数字电路基础知识、逻辑门电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲信号的产生与整形、数/模转换和模/数转换、半导体存储器、数字电路综合应用案例和 Multisim 8 简介等 9 章组成。

本书根据高职高专教学内容的基本要求，在保持知识体系完整的基础上，引用了大量数字电子技术工程案例，注重学生应用能力的培养。本书在编写过程中，本着理论够用、注重实践、理论与工程应用案例相结合的教学思想，采用案例式教学是其最大特点。

本书可作为高职高专、成人高校及本科院校的二级职业技术学院和民办高校的电子、电气、计算机、通信、自动化、机电一体化等专业的教材，也可供从事电子技术的工程技术人员参考。

#### 图书在版编目 (CIP) 数据

数字电子技术/王平主编. —北京: 化学工业出版社,  
2007. 7

高职高专“十一五”规划教材  
ISBN 978-7-122-00458-1

I. 数… II. 王… III. 数字电路-电子技术-高等学校:  
技术学院-教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 076439 号

---

责任编辑: 张建茹 廉 静  
责任校对: 宋 夏

装帧设计: 张 辉

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)  
印 刷: 北京云浩印刷有限责任公司  
装 订: 三河市前程装订厂  
787mm×1092mm 1/16 印张 12½ 字数 309 千字 2007 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899  
网 址: <http://www.cip.com.cn>  
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 20.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

目前高职高专院校中案例式《数字电子技术》教材尚属空白。本书是2005年山东省高等学校教学改革立项项目“《数字电子技术》案例式教学研究”的成果之一。在编写过程中参照了原国家教委颁布的《高等学校工程专科电子技术基础教学基本要求》，结合多年案例教学的经验和山东省高等学校教学改革立项项目“《数字电子技术》案例式教学研究”的成果而编写的。

根据高等学校工程专科和高职高专培养目标的要求，本着“理论够用，强化应用”的原则，突出高职高专教学特色。本书在保证必要的基本理论、基本知识、基本分析方法和技能的基础上，力求简明扼要、通俗易懂，删除了繁杂的数学公式推导，将不同的知识点灵活运用于数字电子技术工程应用案例中，注重理论与工程实践相结合。

本书编写的指导思想：

一、遵循高职高专的教学规律，由浅入深，由易到难，由简到繁，循序渐进。

二、由于数字电子技术的飞速发展，集成化程度越来越高，应用越来越广，书中相应加强了常用数字集成电路内容的介绍。

三、在保持《数字电子技术》知识体系的基础上，加强数字电路应用案例的介绍，根据不同的知识点灵活运用案例：可以在案例中引入知识点，然后讲解知识点并分析案例；也可以先讲解知识点，然后引入相应案例进行分析。在学习中应用知识，在应用知识的过程中提高能力，达到理论与实践相结合的目的。

四、注重反映数字电子技术在工程应用中的新知识、新技术、新器件、新发展。

五、本书用专门的章节介绍了数字电路综合应用案例，对数字电路综合应用案例的设计、器件的参数、组装做了比较详细的介绍。以求达到学用结合，培养学生的电子产品的安装技能、电子产品的故障检测及维修技能。

六、介绍了电子电路仿真软件 Multisim 8。用户可以利用该软件提供的虚拟器件和仪器，灵活方便地进行电路仿真实验和设计。

七、每一章都有教学基本要求，指出本章的知识点、能力点、需要掌握的知识、需要了解的知识；并且给出了大量的例题、习题和主要习题的参考答案，便于学生自学。

本书按照50~70学时编写，全书共分9章。第1章为数字电路基础知识，主要包括数字电路的特点、数制与编码、基本逻辑关系、逻辑函数的表示与化简方法以及应用案例；第2章为逻辑门电路，主要包括半导体二极管、三极管和MOS管的开关特性，常用TTL门电路与CMOS门电路工作原理、逻辑符号、逻辑功能，TTL与CMOS系列集成电路简介以及应用案例；第3章为组合逻辑电路，主要包括组合逻辑电路的分析与设计，全加器、数值比较器、译码器等电路的逻辑功能，用集成电路设计一般组合电路以及应用案例；第4章为时序逻辑电路，主要包括触发器的结构、原理及功能，触发器的分类及其相互转化，时序逻辑电路的分析与设计，计数器的概念、分类与分析，寄存器的概念、分类与分析，应用案例；第5章为脉冲信号的产生与整形，主要包括多谐振荡器的结构、原理及功能，施密特触发器的结构、原理及功能，单稳态触发器的结构、原理及功能，555集成电路，应用案例；第6

章为模/数和数/模转换电路，主要包括 A/D 转换的基本原理，并联比较型、逐次逼近型和双积分型转换电路的工作原理，D/A 转换的基本原理，电阻网络 D/A 转换电路工作原理，应用案例；第 7 章为半导体存储器，主要包括 ROM、RAM 的结构、分类、工作原理及应用案例；第 8 章为数字电路综合应用案例，主要包括带门铃的编码电子锁、3 位计数译码显示、红外线自控水龙头、数字频率计、数字电子钟、红外线遥控器等电路的工作原理、组装、器件参数；第 9 章为 Multisim 8 简介，主要包括软件的安装、电路的创建、元件及导线的放置、仪器仪表的使用。

本书由王平担任主编，于晓平、刘晓阳、李长峰担任副主编。具体分工如下，李翠编写 1、3 章，李长峰、王平编写第 2 章，刘晓阳编写第 4、5 章，于晓平、滕丽丽编写第 6 章，滕丽丽编写第 7、9 章，王平编写第 8 章。全书由王平副教授统稿。

由于时间仓促，教材内容尚有待改进之处，恳请广大读者和专家多提宝贵意见。对于选用本教材的教师，我们免费提供电子版教案，如需要请发邮件至 Lianjing\_2003@126.com。

编者

2007 年 6 月

# 目 录

<b>1 数字电路基础知识</b> .....	1
1.1 概述 .....	1
1.2 数制和编码 .....	2
1.3 逻辑代数基础 .....	6
1.4 逻辑函数及其表示方法 .....	11
1.5 逻辑代数的基本公式、定律和运算规则 .....	13
1.6 逻辑函数的公式化简法 .....	15
1.7 逻辑函数的卡诺图化简法 .....	17
习题 .....	25
<b>2 逻辑门电路</b> .....	27
2.1 半导体二极管、三极管和 MOS 管的开关特性 .....	27
2.2 TTL 集成门电路 .....	33
2.3 CMOS 集成门电路 .....	42
习题 .....	48
<b>3 组合逻辑电路</b> .....	50
3.1 概述 .....	50
3.2 组合逻辑电路的分析与设计 .....	51
3.3 加法器 .....	55
3.4 数值比较器 .....	58
3.5 编码器 .....	60
3.6 译码器 .....	63
3.7 数据选择器 .....	68
3.8 数据分配器 .....	71
3.9 奇偶检测电路 .....	72
3.10 用集成电路设计一般组合电路案例举例 .....	74
3.11 组合电路中的竞争冒险 .....	77
习题 .....	79
<b>4 时序逻辑电路</b> .....	82
4.1 触发器 .....	82
4.2 时序逻辑电路概述 .....	91
4.3 时序逻辑电路的分析 .....	92
4.4 时序逻辑电路的设计 .....	97
4.5 N 进制计数器 .....	100
4.6 寄存器 .....	106
习题 .....	111

<b>5 脉冲信号的产生与整形</b> .....	114
5.1 多谐振荡器 .....	114
5.2 施密特触发器 .....	119
5.3 单稳态触发器 .....	123
习题 .....	126
<b>6 模/数和数/模转换电路</b> .....	127
6.1 模/数转换电路 .....	127
6.2 数/模转换电路 .....	135
习题 .....	140
<b>7 半导体存储器</b> .....	141
7.1 只读存储器 .....	141
7.2 随机存取存储器 .....	147
习题 .....	151
<b>8 数字电路综合应用案例</b> .....	152
8.1 概述 .....	152
8.2 带门铃的编码电子锁电路 .....	152
8.3 3位计数、译码和显示电路 .....	154
8.4 红外线自控水龙头电路 .....	156
8.5 数字频率计 .....	159
8.6 数字电子钟 .....	163
8.7 红外线遥控器 .....	166
习题 .....	169
<b>9 Multisim 8 简介</b> .....	170
9.1 Multisim 8 概述及安装 .....	170
9.2 Multisim 8 窗口界面 .....	172
9.3 Multisim 8 操作使用方法 .....	185
习题 .....	188
习题答案 .....	189
参考文献 .....	193



# 1 数字电路基础知识

## 本章教学基本要求

**知识点：**数字电路的特点、数制与编码、基本逻辑关系、常用门电路，逻辑函数的表示方法及化简。

**能力点：**基本逻辑关系、常用门电路、逻辑函数的表示方法及化简。

**掌握：**常用数制和编码，逻辑代数的基本运算、基本逻辑关系、基本门电路，逻辑函数表示形式及其之间的相互转换，以及逻辑函数的化简。

**了解：**数字电路的特点和分类，逻辑代数的三大规则，逻辑代数的基本概念、公式和定理。

## 1.1 概述

### 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，它们性质各异，就其变化规律的特点而言，可分为两大类：数字量和模拟量。

模拟信号是指物理量的变化在时间和数量上都是连续的，这种物理量一般是指模拟真实世界的物理量，如连续发出的声音、持续的光照、周围的温度等都在时间和空间上是连续的，处理模拟信号的电路称为模拟电路。用波形表示时，模拟信号是一条连续的曲线，处理这类信号时，考虑的是放大倍数、频率失真、非线性失真、相位失真等，着重分析波形的形状、幅度和频率如何变化。

数字信号是指物理量的变化在时间和数量上是离散的，也就是说它们的变化在时间上是不连续的，同时它们的数值每次变化都是某一最小数量单位的整数倍。处理数字信号的电路称为数字电路。用波形表示时，数字信号是一系列高、低电平组成的脉冲波，即信号总是在高电平和低电平之间来回变化。在这里，重要的是能正确区分出信号的高、低电平，并正确反映电路的输出、输入之间关系，至于高、低电平值精确为多少则无关紧要。

数字电路主要研究电路输入、输出状态之间的相互关系，即逻辑关系。分析和设计数字电路的数学工具是逻辑代数，它是英国数学家布尔于1849年提出的，因此也称布尔代数。

### 1.1.2 数字电路的特点和分类

#### (1) 数字电路的特点

① 电路结构简单，稳定可靠。数字电路只要能区分高电平和低电平即可，对元件的精度要求不高，因此有利于实现数字电路集成化。

② 数字电路抗干扰能力强，不易受外界干扰影响。因为数字信号是采用高、低电平二值信号进行传递的。

③ 数字电路可以完成数值和逻辑两种运算，因此数字电路又称为数字逻辑电路或数字电路与逻辑设计。

④ 数字电路中的元件处于开关状态，功耗较小。

⑤ 数字电路具有体积小、重量轻、可靠性高、便于集成化、价格便宜等特点。

由于数字电路具有上述特点，故发展十分迅速，在计算机、数字通信、自动控制、数字仪器及家用电器等技术领域中得到广泛的应用。

## (2) 数字电路的分类

① 按电路组成结构分为分立元件和集成电路两大类。其中集成电路按集成度（在一块硅片上包含的逻辑门电路或元件的数量）可分为小规模（SSI）、中规模（MSI）、大规模（LSI）和超大规模（VLSI）集成电路。如表 1-1 所示。

表 1-1 集成电路分类

集成电路分类	集成度	电路规模与范围
小规模集成电路 SSI	1~10 个门/片或 10~100 个元件/片	逻辑单元电路 包括：逻辑门电路、集成触发器
中规模集成电路 MSI	10~100 个门/片或 100~1000 个元件/片	逻辑功能部件 包括：译码器、编码器、选择器、计数器、寄存器、比较器等
大规模集成电路 LSI	100~1000 个门/片或 1000~10 万个元件/片	数字逻辑系统 包括：中央处理器、存储器、串并行接口电路等
超大规模集成电路 VLSI	大于 1000 个门/片或大于 10 万个元件/片	高集成度的数字逻辑系统 例如：在一个硅片上集成一个完整的微型计算机

② 按电路所用器件分为双极型（如 TTL、ECL、 $I^2L$ 、HTL）和单极型（如 NMOS、PMOS、CMOS）电路。

③ 按电路逻辑功能分为组合逻辑电路和时序逻辑电路。

## 1.2 数制和编码

### 1.2.1 数制

用数字量表示物理量的大小时，仅用一位数码往往不够，因此经常需要用进位技术的方法组成多位数码使用，把多位数码中每一位的构成方法以及从低位到高位进位的规则称为数制。日常生活中习惯用的数制是十进制，而在数字信号处理系统中进行数字的运算和处理，采用的是二进制数、八进制数、十六进制数。

#### (1) 十进制数

十进制数是人们日常生活中最常使用的计数进位制。在这种计数进位制中，每一位由 0~9 十个数码中的一个组成，计数基数为 10，按照“逢十进一”的规律排列起来，表示数的大小。

例如： $152.25 = 1 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 2 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$

因此，对任一个十进制的正整数  $[N]_{10}$  可以表示为

$$[N]_{10} = K_{n-1} \times 10^{n-1} + K_{n-2} \times 10^{n-2} + \dots + K_1 \times 10^1 + K_0 \times 10^0 = \sum_{i=0}^{n-1} K_i \times 10^i \quad (1-1)$$

式中， $K_i$  为第  $i$  位的系数，它是 0~9 十个数码中任意一个； $10^i$  为第  $i$  位的权，这个表

达式也就是数字的加权系数之和的形式。

### (2) 二进制数

在数字电路中应用最广的则是二进制，因为构成计数电路的基本想法是把电路的状态与数码对应起来，十进制数需要十个数码，要找到区分十种状态的器件与之对应，是十分困难的，但要找到能够区分两种状态的器件就很多。例如开关的灯泡的亮与灭；接通与断开；晶体管的饱和与截止等。二进制中每位由 0 和 1 两个数码组成，计数的基数是 2，计数规律是“逢二进一”，即  $1+1=10$ （读作“壹零”）。二进制数各位的权为 2 的幂。

所以，一个  $n$  位二进制数  $[N]_2$  的按权展开式为

$$[N]_2 = K_{n-1} \times 2^{n-1} + K_{n-2} \times 2^{n-2} + \dots + K_1 \times 2^1 + K_0 \times 2^0 = \sum_{i=0}^{n-1} K_i \times 2^i \quad (1-2)$$

式中， $K_i$  为第  $i$  位的系数，它是 0 或 1 两个数码中任意一个； $2^i$  为第  $i$  位的权。

用这个方法也就计算出它表示的十进制数的大小。

$$\begin{aligned} \text{例如：} [10111.1]_2 &= [1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1}]_{10} \\ &= (16 + 0 + 4 + 2 + 1 + 0.5)_{10} = (23.5)_{10} \end{aligned}$$

从上例可以看出，采用二进制数便于机器识别和运算，但位数太长，人们既难记忆，又不便于读写。所以在数字系统中为了便于读写，有时用八进制或十六进制数表示二进制数。

### (3) 八进制数

八进制数的基数是 8，每位采用 0~7 八个数码。计数规律是“逢八进一”。八进制数各位的权为 8 的幂。

所以，一个  $n$  位八进制数  $[N]_8$  的按权展开式为

$$[N]_8 = K_{n-1} \times 8^{n-1} + K_{n-2} \times 8^{n-2} + \dots + K_1 \times 8^1 + K_0 \times 8^0 = \sum_{i=0}^{n-1} K_i \times 8^i \quad (1-3)$$

$$\text{例如：} [234]_8 = [2 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 4 \times 8^0]_{10} = [128 + 24 + 4]_{10} = [156]_{10}$$

### (4) 十六进制数

十六进制数的基数是 16，采用 0~9 和 A~F 十六个数码。其中，A~F 表示 10~15。计数规律是“逢十六进一”。十六进制数各位的权为 16 的幂。

所以，一个  $n$  位十六进制数  $[N]_{16}$  的按权展开式为

$$[N]_{16} = K_{n-1} \times 16^{n-1} + K_{n-2} \times 16^{n-2} + \dots + K_1 \times 16^1 + K_0 \times 16^0 = \sum_{i=0}^{n-1} K_i \times 16^i \quad (1-4)$$

$$\text{例如：} [9C.3]_{16} = [9 \times 16^1 + 12 \times 16^0 + 3 \times 16^{-1}]_{10} = [156.1875]_{10}$$

## 1.2.2 不同数制间的相互转换

### (1) 二进制数、八进制数、十六进制数转换为十进制数

在进行转换时只要将二进制数、八进制数、十六进制数按权展开形式展开，然后把各项的数值按十进制数进行相加，就可以得到等值的十进制数。

例如二-十进制转换

$$[101.01]_2 = [1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}]_{10} = (4 + 0 + 1 + 0 + 0.25)_{10} = (5.25)_{10}$$

### (2) 十-二进制数的转换

#### ① 整数的转换（除二取余法）。

方法：把十进制数逐次地用 2 除，取余数，一直除到商数为零。然后将每次所得到的余

数从后向前排列倒序读出，即为所求的二进制整数。

**【例 1-1】** 将十进制整数  $[75]_{10}$  转换为二进制数。

解	2	75		余数
	2	37	.....	1
	2	18	.....	1
	2	9	.....	0
	2	4	.....	1
	2	2	.....	0
	2	1	.....	0
		0	.....	1

↑最低位

↓最高位

所以  $[75]_{10} = [1001011]_2$

② 小数的转换（乘二取整法）。

方法：用 2 逐次乘以十进制数小数，取其整数，直到小数为 0 或达到转换所要求的精度为止。然后将所得的整数从高到低正序读出。

**【例 1-2】** 将十进制小数  $[0.875]_{10}$  转换为二进制数。

解	0.875		
	× 2	1.750	..... 1
	× 2	1.500	..... 1
	× 2	1.000	..... 1

↑最高位

↓最低位

所以， $[0.875]_{10} = [0.111]_2$

十进制数转换为八进制数、十六进制数过程比较繁琐，一般先将十进制数转换为二进制数，再转换为八进制数、十六进制数。

(3) 二-八进制数之间的转换

由于 3 位二进制数恰好有 8 个状态，因此把 3 位二进制数看作一个整体，恰好是逢八进一，即可以看作一位八进制数。转换时将二进制数从小数点开始，分别向两侧每三位一组，若整数最高位不足一组，在左边加 0 补足一组，小数最低位不足一组，在右边加 0 补足一组，然后将每组二进制数转换为八进制数，组成的数既是该数的八进制数。反之可以把一位八进制数视为三位二进制数。

**【例 1-3】** 将二进制数  $[1101101010.0110101]_2$  转换为八进制数。

解  $[1101101010.0110101]_2 = [001/101/101/010.011/010/100]_2 = [1552.324]_8$

**【例 1-4】** 将八进制数  $[236.74]_8$  转换为二进制数。

解  $[236.74]_8 = [010011110.111100]_2 = [10011110.1111]_2$

(4) 二-十六进制转换

由于 4 位二进制数恰好有 16 个状态，因此把 4 位二进制数看作一个整体，恰好是逢十六进一，即可以看作一位十六进制数。转换时将二进制数从小数点开始，分别向两侧每四位一组，若整数最高位不足一组，在左边加 0 补足一组，小数最低位不足一组，在右边加 0 补足一组，然后将每组二进制数转换为十六进制数，组成的数既是该数的十六进制数。反之可以把一位十六进制数视为 4 位二进制数。

**【例 1-5】** 将二进制数  $[1101101010.0110101]_2$  转换为十六进制数。

解  $[1101101010.0110101]_2 = [0011/0110/1010.0110/1010]_2 = [36A.6A]_{16}$

**【例 1-6】** 将十六进制数  $[A6C.63]_{16}$  转换为二进制数。

解  $[A6C.63]_{16} = [101001101100.01100011]_2$

### 1.2.3 常用编码

不同的数码不仅可以表示数量的不同大小，而且还能用来表示不同的事物。在后一种情况下，这些数码已没有表示数量大小的含意，只是表示不同事物的代号而已，这些数码称之为代码。

例如，在举行长跑比赛时，为便于识别运动员，通常给每个运动员编一个号码。显然这些号码仅仅表示不同的运动员，已失去了数量大小的含意。

在数字电路中，常用二进制数表示各种文字、符号等信息，这样的过程叫做编码，用来进行编码之后的二进制数码称为二进制代码。编制代码要遵循一定的规则，规则不同，编码的形式也就很多，这里只介绍常见的二进制（BCD）码和格雷码。

#### (1) 二进制（BCD）码

二进制（BCD）码，是用四位二进制数表示一位十进制数的编码方式。因为四位二进制代码有  $2^4 = 16$  种状态组合，若从中取出十种组合表示  $0 \sim 9$  可以有多种方式。因此 BCD 码有多种。表 1.2 列出几种常用的二进制（BCD）码。

① 8421 码 8421 码是一种有权代码，是使用最多的一种编码，在用四位二进制数码表示一位十进制数时，每一位二进制数的权从高位到低位依次为 8、4、2、1。

**【例 1-7】** 将十进制数  $[168]_{10}$  用 8421BCD 码表示。

解  $[168]_{10} = [000101101000]_{8421BCD} = [101101000]_{8421BCD}$

**【例 1-8】** 将 8421BCD 码  $[10000111.0110]$  用十进制数表示。

解  $[10000111.0110]_{8421BCD} = [87.6]_{10}$

② 5421 码 5421 码也是一种有权代码，在用四位二进制数码表示一位十进制数时，每一位二进制数的权从高位到低位依次为 5、4、2、1。这种编码有两种形式 5421(A) 码和 5421(B) 码，见表 1-2。

表 1-2 几种常用的二进制（BCD）码

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

**【例 1-9】** 将十进制数 168 用 5421(B)BCD 码表示。

解  $[168]_{10} = [000110011011]_{5421(B)BCD}$

③ 2421 码 2421 码也是一种有权代码，在用四位二进制数码表示一位十进制数时，每一位二进制的权从高位到低位依次为 2、4、2、1。因此它也有两种编码方式，分为 2421 码 (A) 和 2421 码 (B)，见表 1-2。

④ 余 3 码 余 3 码是一种无权代码，也是四位二进制数码表示，与 8421 码相比，对应同样的十进制数，但多出  $[0011]_2$ ，即  $[3]_{10}$ ，因此称余 3 码。

**【例 1-10】** 将十进制数 168 用余 3 码表示。

解  $[168]_{10} = [010010011011]_{\text{余3码}}$

(2) 格雷码

格雷码是一种无权码，即各位表示的 0 和 1 已经没有固定的权值。任意两个相邻的码只有一位不同，其余的各位数码均相同，故又称反射循环码。

一位格雷码与一位二进制数码相同，是 0 和 1。由一位格雷码得到两位格雷码的方法是将一位格雷码的 0 和 1 以虚

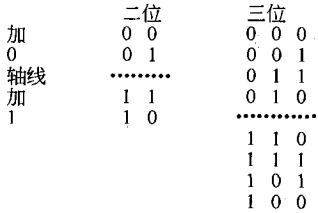


图 1-1 格雷码

为轴折叠，反射出 1、0，然后在虚线上方的数字前面加 0，虚线下方数字前面加 1，便得到了两位格雷码 00、01、11、10，分别表示十进制数 0~3。同样的方法可以得到三位、四位格雷码，如图 1-1 所示。

### 1.3 逻辑代数基础

逻辑代数是分析和设计数字电路的一个数学工具，是学习数字电路的基础。因为在数字电路中，1 位二进制数码的 0 和 1 不仅可以表示数量的大小，而且可以表示两种不同的逻辑状态。当两个二进制数码表示两个数量大小时，它们之间可以进行数值运算，这种运算称为算术运算；当两个二进制数码表示不同的逻辑状态时，它们之间可以按照指定的某种因果关系进行所谓的逻辑运算。

1894 年，英国数学家乔·布尔 (George Boole) 首先提出了描述客观事物逻辑关系的数学方法——布尔代数。后来由于布尔代数被广泛地应用于解决开关电路和数字逻辑电路的分析和设计中，所以又把布尔代数叫做开关代数或逻辑代数，和普通代数有一个共同的特点，就是都用英文字母 A、B、C、…、X、Y、Z 等表示变量，如： $Y = F(A、B、\dots)$ ；不同之处在于在逻辑代数中，变量的取值范围仅为“0”和“1”两个值，没有第三种可能，这种变量称为“逻辑变量”。但是在逻辑代数中，0 和 1 不再表示具体的数量大小，而只是表示两种不同的逻辑状态，如灯的亮或灭，开关的开或关，电压的高或低，晶体管的饱和或截止，事件的是或非等。除此以外逻辑代数和普通代数的运算规则也不完全相同。

#### 1.3.1 逻辑代数的基本运算

逻辑代数的基本逻辑关系有与、或、非三种，为便于理解它们的含意，就以图 1-2 中三个指示灯的控制电路为例来说明。在图 (a) 中只有当两个开关同时闭合时，指示灯才会亮；在图 (b) 电路中，只要有任意一个开关闭合，指示灯就亮；而在图 (c) 中，开关断开时灯亮，开关闭合时反而不亮。

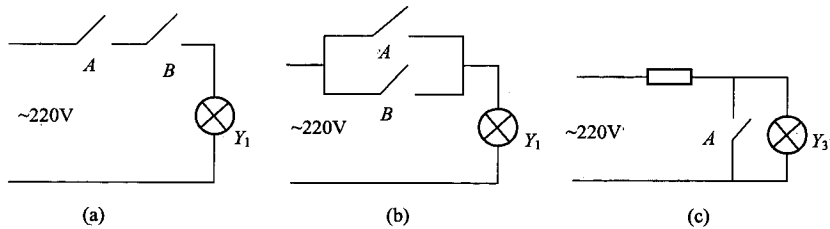


图 1-2 逻辑代数的基本运算举例

如果把开关闭合作为条件（或导致事物结果的原因），把灯亮作为结果，那么图 1-2 中的三个电路就代表了三种不同的因果关系。

图（a）表明，只有决定事物结果的全部条件同时具备时，结果才发生。这种因果关系叫做逻辑与，或者叫逻辑相乘。

图（b）表明，只要决定事物结果的诸多条件中有任何一个满足时，结果就会发生。这种因果关系叫做逻辑或，或者叫逻辑相加。

图（c）表明，只要条件具备了，结果便不会发生，而条件不具备时，结果一定发生。这种因果关系叫做逻辑非，或者叫逻辑求反。

图 1-2 对应的功能表如表 1-3 所示。

表 1-3 图 1-2 电路的功能表

开关 A	开关 B	灯 Y <sub>1</sub>	灯 Y <sub>2</sub>	灯 Y <sub>3</sub>
断开	断开	灭	灭	亮
断开	闭合	灭	亮	
闭合	断开	灭	亮	灭
闭合	闭合	亮	亮	

若以 A、B 表示开关的状态，1 表示开关闭合，0 表示开关断开；以 Y 表示指示灯的状态，并以 1 表示灯亮，以 0 表示不亮，则可以列出以 0、1 表示的与或非逻辑关系的图表，如表 1-4 所示，这种图表叫做逻辑真值表，简称为真值表。

表 1-4 图 1-2 电路的真值表

开关 A	开关 B	灯 Y <sub>1</sub>	灯 Y <sub>2</sub>	灯 Y <sub>3</sub>
0	0	0	0	1
0	1	0	1	
1	0	0	1	0
1	1	1	1	

### (1) 与逻辑、与运算、与门

与运算也称“逻辑乘”。与运算的逻辑表达式为

$$Y = A \cdot B \quad (1-5)$$

或  $Y = AB$ （“·”号可省略）。

与逻辑的运算规律为：输入有 0 得 0，全 1 得 1。

在数字电路中，用来完成“与”逻辑运算的电路叫与门。逻辑符号如图 1-3 所示。一个与门电路有两个或两个以上的输入端，只有一个输出端。符号“&”表示与逻辑运算。

### (2) 或逻辑、或运算、或门

或运算也称“逻辑加”。或运算的逻辑表达式为

$$Y=A+B \quad (1-6)$$

或逻辑运算的规律为：有1得1，全0得0。

在数字电路中，用来完成“或”逻辑运算的电路叫或门。逻辑符号如图1-4所示。一个或门电路有两个或两个以上的输入端，只有一个输出端。符号“ $\geq 1$ ”表示或逻辑运算。

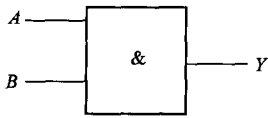


图 1-3 与逻辑符号

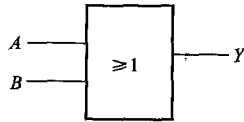


图 1-4 或逻辑符号

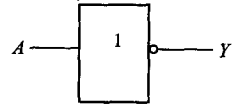


图 1-5 非逻辑符号

### (3) 非逻辑、非运算、非门

非运算也称“反运算”。非运算的逻辑表达式为

$$Y=\bar{A} \quad (1-7)$$

非逻辑运算的规律为：0变1，1变0，即“始终相反”。

实现非逻辑运算的电路叫非门，逻辑符号如图1-5所示。逻辑符号中用小圆圈代表“非”，“1”表示缓冲。

### 1.3.2 几种常用逻辑的运算

在数字系统中的逻辑电路除了应用与门、或门、非门三种基本电路外，还广泛应用“与非逻辑”、“或非逻辑”、“与或非逻辑”、“异或逻辑”、“同或逻辑”等多种逻辑运算。它们的逻辑关系是由“与”、“或”、“非”三种基本运算组合而成的复合逻辑运算。

#### (1) “与非”逻辑

“与非”逻辑运算是由“与”和“非”两种逻辑运算复合而成的一种复合逻辑运算，其真值表如表1-5所示，逻辑表达式为

$$Y=\overline{AB} \quad (1-8)$$

实现“与非”逻辑运算的电路叫“与非”门，逻辑符号如图1-6所示。

表 1-5 与非逻辑真值表

A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

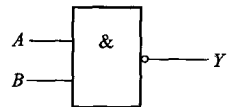


图 1-6 与非门逻辑符号

由表1-5可见，只要输入变量A、B中有一个为0，函数Y就为1，只有输入A、B全为1，输出Y才为0。

#### (2) “或非”逻辑

“或非”逻辑运算是“或”和“非”两种逻辑运算复合而成的一种复合逻辑运算。其逻辑函数为

$$Y=\overline{A+B} \quad (1-9)$$

它的真值表如表1-6所示。由真值表可见，只要变量A、B有一个为1，函数Y就为0，只有A、B全部为0时，输出Y才为1。

实现“或非”逻辑运算的电路叫“或非”门，逻辑符号如图1-7所示。



表 1-6 或非门逻辑真值表

A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

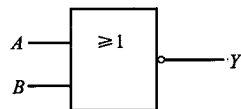


图 1-7 或非门逻辑符号

### (3) “与或非”逻辑

“与或非”逻辑运算是“与”、“或”和“非”三种逻辑运算复合而成的一种复合逻辑运算，实现与或非逻辑运算的门电路称为与或非门。逻辑符号如图 1-8 所示。

其逻辑函数为

$$Y = \overline{AB + CD} \quad (1-10)$$

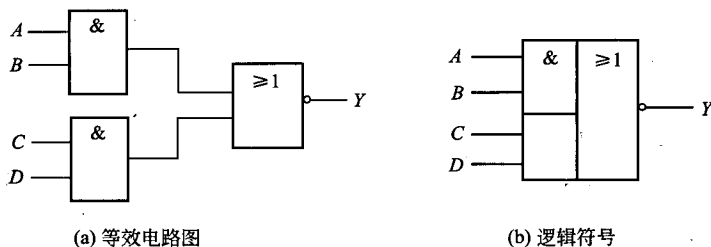


图 1-8 与或非门逻辑符号

与或非逻辑的真值表根据式(1-10)得出，如表 1-7 所示。由真值表得出与或非逻辑的逻辑功能是：当输入端的任何一组全为 1 时，输出为 0；只有任何一组输入有 0 时，输出端才为 1。

表 1-7 与或非门逻辑真值表

A	B	C	D	Y
0	0	0	0	1
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0

### (4) 异或和同或逻辑

在决定事件发生的各种条件中，有奇数个条件具备时事件就会发生，这种因果关系叫异或逻辑运算；有偶数个条件具备时事件就会发生，这种因果关系叫同或逻辑运算。异或运算和同或运算是互为反函数。所以同或逻辑运算又称为异或非逻辑运算。它们的逻辑符号如图 1-9 所示。其真值表如表 1-8 所示。