普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI

SHUZI DIANZI JISHU JICHU

数字电子技术基础

（第二版）

王树昆　赵晓巍　主　编
李艳萍　张志恒　副主编

中国电力出版社
http://jc.cepp.com.cn

普通高等教育"十一五"规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI

SHUZI DIANZI JISHU JICHU

数字电子技术基础

(第二版)

主　编　王树昆　赵晓巍
副主编　李艳萍　张志恒
编　写　屈庆春　庄华伟　焦营营
　　　　耿淑娟　程晓辉　霍春岭
主　审　王祖强

中国电力出版社
http://jc.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

全书共分9章，内容包括数字逻辑基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与整形、半导体存储器、可编程逻辑器件、数/模和模/数转换器。每章均附有内容提要、复习思考题、本章小结和习题，便于组织教学与自学。

本书第一版荣获2008年首届山东省高等学校优秀教材奖。

本书主要作为普通高等学校电气信息类等专业的本科教材，也可作为高职高专及函授教材，同时还可供相关专业工程技术人员的参考。

图书在版编目（CIP）数据

数字电子技术基础/王树昆，赵晓巍主编. —2版. 北京：中国电力出版社，2010.12
普通高等教育“十一五”规划教材
ISBN 978-7-5083-9995-9

Ⅰ.①数… Ⅱ.①王…②赵… 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（2010）第004505号

中国电力出版社出版、发行
（北京三里河路6号 100044 http://jc.cepp.com.cn）
北京市同江印刷厂印刷
各地新华书店经售
*
2005年3月第一版
2010年12月第二版 2010年12月北京第四次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 14.5印张 351千字
定价 **24.00** 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
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

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神，加强教材建设，确保教材质量，中国电力教育协会组织制订了普通高等教育"十一五"教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校，满足学科发展和人才培养的需求，坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为修订教材。

本书第一版自 2005 年在中国电力出版社出版以来，受到广大读者的关注。本书是在《数字电子技术基础》（第一版）的基础上，通过总结教学实践经验和课程改革体会，并参照教育部"数字电子技术基础"课程教学基本要求，修订而成。

为了反映 21 世纪数字电子技术的新发展，本书在第一版的基础上，经过教学改革与实践，对其内容作了较大的修改和更新，使之更符合培养面向 21 世纪电子技术人才的要求。

本书精选了常规内容，增加了新器件、新技术方面的内容和大中规模集成电路的内容。对于集成电路，重点强调其外部电气特性，简化集成电路内部结构和工作原理的讲述，以使学生能正确选择和使用数字集成电路。

为了保证学生对基本理论的理解，培养他们分析问题和解决问题的能力，同时为了解决当前课时压缩带来的习题课课时少的问题，本书增加了较多的例题，以便学生理解、复习、巩固和提高所学知识。每章均附有内容提要和本章小结，并重新编写了具有启发意义的复习思考题和习题。这些内容旨在强调重点内容和各个知识点之间的联系，以使读者系统地运用所学的理论知识。

本书由王树昆、赵晓巍任主编，负责全书的组织、统稿和定稿，李艳萍、张志恒任副主编。本书第 1、2 章由王树昆和张志恒编写，第 3 章由王树昆、赵晓巍编写，第 4、5 章由王树昆编写，第 6 章由王树昆、李艳萍编写，第 7、9 章由张志恒编写，第 8 章由耿淑娟编写。参加本书修订工作的还有屈庆春、庄华伟、焦营营、程晓辉、霍春岭。

山东大学王祖强教授审阅了本书的全部书稿，并提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。借此机会也向所有关心、支持和帮助过本书编写、出版、发行工作的同志们致以诚挚的谢意。

由于作者水平有限，教材中可能仍有许多不完善之处，殷切希望使用本教材读者给予批评指正。

编　者

2010 年 10 月

目　录

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

第1章 数字逻辑基础

内 容 提 要

数字逻辑基础亦称逻辑代数基础。本章主要介绍描述数字电路逻辑功能的数学方法。首先介绍了数字电路中常用的计数体制及其相互转换方法和几种常用的编码，然后介绍了逻辑代数的基本运算、复合运算、基本公式、定律、定理、规则和逻辑函数的表示方法及其相互转换方法，最后着重讲述了逻辑函数的代数化简法和卡诺图化简法。

1.1 概 述

1.1.1 信号的分类

在自然界存在的许多物理量中，有一类物理量，如温度、湿度、压力、速度等，在时间和数值上都具有连续变化的特点，这一类物理量称为模拟量。表示模拟量的信号叫做**模拟信号**。用以产生、传递和处理模拟信号的电路称为**模拟电路**。

另一类物理量，如自动生产线上输出的零件数目等，在时间和数量上都是离散变化的，即变化在时间上是不连续的，总是发生在一系列离散的瞬间，且数量大小和每次的增减变化都是某一个最小数量单位的整数倍，而小于这个最小数量单位的数值是没有任何物理意义的，这一类物理量称为数字量。表示数字量的信号叫做**数字信号**。用以产生、传递和处理数字信号的电路称为**数字电路**。

1.1.2 计数体制

"数"有多种多样的表示方法，最常用的是进位计数制，进位计数制只用几个"数码"就能将任意大小的数表示出来。在日常生活中有各种各样的进位制，但在数字系统中最常用的是二进制、八进制、十六进制和十进制。

一、十进位计数制

十进位计数制用十个数码0、1、2、3、4、5、6、7、8、9便能将任意大小的数表示出来，其计数规律是"逢十进一"，简称十进制。例如：3658.47，它可以表示为

$$3658.47=3\times10^3+6\times10^2+5\times10^1+8\times10^0+4\times10^{-1}+7\times10^{-2}$$

上式右边3、6、5、8、4、7分别是等号右边的千位、百位、十位、个位、十分位、百分位的系数。由此可见，处于不同位置上的数字符号具有不同的意义，或者说有着不同权，即乘数10^3、10^2、10^1、10^0、10^{-1}、10^{-2}是十进制数3658.47各位的"权"。乘上了权的系数叫加权系数，十进制数的数值就是各加权系数之和。因此，称上式等号右边形式为按权展开式。

十进制数中有一个基本特征数"10"，它表征了该进位计数制所具有的数码个数及进位规则，称之为十进位计数制的"基数"。

基数和权是进位制的两个要素，正确理解其含义，便可掌握进位计数制的全部内容。对

于一个任意大小的十进制数，可以表示为

$$(D)_{10} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i \tag{1-1}$$

式中：a_i 为基数“10”的第 i 次幂的系数，它可以是 0～9 这十个数码中的任何一个；10^i 为第 i 位的权；m、n 为正整数，m 表示小数部分的位数，n 表示整数部分的位数；下角标 10 表示括号里的数是十进制数。式（1-1）称为任意十进制数的按“权”展开式。

若以 N 代替式（1-1）中的 10，就可得到任意进制（N 进制）数的按权展开式

$$(D)_N = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times N^i \tag{1-2}$$

二、二进制数

二进制计数制是以“2”为基数，“逢二进一”的进位计数制。二进制数中每一位仅有 **0** 或 **1** 两个可能的数码。任何一个二进制数均可展开为

$$(D)_2 = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 2^i \tag{1-3}$$

式中：a_i 为基数“2”的第 i 次幂的系数，它可以是 **0** 和 **1** 这两个数码中的任何一个。例如

$$(\mathbf{1101.101})_2 = \mathbf{1} \times 2^3 + \mathbf{1} \times 2^2 + \mathbf{0} \times 2^1 + \mathbf{1} \times 2^0 + \mathbf{1} \times 2^{-1} + \mathbf{0} \times 2^{-2} + \mathbf{1} \times 2^{-3}$$

三、八进制数

八进制数是以“8”为基数，“逢八进一”的进位计数制。在八进制数中，每一位可以用 0～7 八个数码中的任何一个表示。任何一个八进制数均可展开为

$$(D)_8 = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 8^i \tag{1-4}$$

式中：a_i 为基数“8”的第 i 次幂的系数，它可以是 0～7 八个数码中的任何一个。

例如

$$(3507.461)_8 = 3 \times 8^3 + 5 \times 8^2 + 0 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 4 \times 8^{-1} + 6 \times 8^{-2} + 1 \times 8^{-3}$$

四、十六进制数

十六进制数是以“16”为基数，“逢十六进一”的进位计数制。在十六进制数中，每一位可以用 0～9、A(10)、B(11)、C(12)、D(13)、E(14)、F(15)十六个数码中的任何一个表示。任何一个十六进制数均可展开为

$$(D)_{16} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 16^i \tag{1-5}$$

式中：a_i 为基数“16”的第 i 次幂的系数，它可以是 0～9、A(10)、B(11)、C(12)、D(13)、E(14)、F(15)十六个数码中的任何一个。

例如

$$(8A6E.4B1)_{16} = 8 \times 16^3 + A \times 16^2 + 6 \times 16^1 + E \times 16^0 + 4 \times 16^{-1} + B \times 16^{-2} + 1 \times 16^{-3}$$

1.1.3 各种进制数之间的互相转换

一、二、八、十六进制数转换为十进制数

由以上讨论可知，不同进位计数制只是描述数值的方式不同。因而，它们是可以互相转

换的，转换的前提是保证转换前后数值相等。

要将一个任意进制数（N 进制）数转换为一个十进制数，只要将该 N 进制数按式(1-2)展开，然后把各项数值按十进制数相加，就可以得到等值的十进制数。例如

$$\begin{aligned}(\mathbf{1101.1011})_2 &= \mathbf{1}\times 2^3+\mathbf{1}\times 2^2+\mathbf{0}\times 2^1+\mathbf{1}\times 2^0+\mathbf{1}\times 2^{-1}+\mathbf{0}\times 2^{-2}+\mathbf{1}\times 2^{-3}+\mathbf{1}\times 2^{-4}\\ &=8+4+1+0.5+0.125+0.062\,5=(13.687\,5)_{10}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(243.17)_8 &= 2\times 8^2+4\times 8^1+3\times 8^0+1\times 8^{-1}+7\times 8^{-2}\\ &=128+32+3+0.125+0.109\,375=(163.234\,375)_{10}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(6\mathrm{E}.41)_{16} &= 6\times 16^1+\mathrm{E}\times 16^0+4\times 16^{-1}+1\times 16^{-2}\\ &=96+14+0.25+0.003\,906\,25=(110.253\,906\,25)_{10}\end{aligned}$$

二、十进制数转换为二、八、十六进制数

十进制数转换为任意进制（N 进制）数，需对整数和小数部分分别进行转换。

1. 整数部分的转换

假设十进制整数为 $(D)_{10}$，它所对应的任意 N 进制数为 $(a_n a_{n-1}\cdots a_1 a_0)_N$，则有

$$(D)_{10}=a_nN^n+a_{n-1}N^{n-1}+\cdots+a_1N^1+a_0=N(a_nN^{n-1}+a_{n-1}N^{n-2}+\cdots+a_1)+a_0 \tag{1-6}$$

将式（1-6）两边同除以 N，那么两边的商和余数必然对应相等，所得的商为 $(a_nN^{n-1}+a_{n-1}N^{n-2}+\cdots+a_1)$，所得的余数就是 a_0。

同理，这个商又可以写为

$$\frac{(D)_{10}-a_0}{N}=N(a_nN^{n-2}+a_{n-1}N^{n-3}+\cdots+a_2)+a_1 \tag{1-7}$$

将式（1-7）两边再除以 N，则所得之余数即为 a_1。

依此类推，反复将每次得到的商再除以 N，直至最后商为 0，便可以求出对应于任意 N 进制数的每一位系数。

例 1-1　将 $(241)_{10}$ 转换为二进制数和八进制数。

解　(1) 转换为二进制数

2	241	…… 1	a_0	低位
2	120	…… 0	a_1	
2	60	…… 0	a_2	
2	30	…… 0	a_3	
2	15	…… 1	a_4	
2	7	…… 1	a_5	
2	3	…… 1	a_6	
	1	…… 1	a_7	高位

于是得到 $(241)_{10}=(\mathbf{11110001})_2$。

(2) 转换为八进制数

8	241	…… 1	a_0	低位
8	30	…… 6	a_1	
	3	…… 3	a_2	高位

于是得到 $(241)_{10}=(361)_8$。

例 1-2 将 $(2803)_{10}$ 转换为十六进制数。

解

$$
\begin{array}{r|l l l l}
16 & 2803 & \cdots\cdots\ 余数(3)_{10}=(3)_{16} & a_0 & 低位 \\
16 & 175 & \cdots\cdots\ 余数(15)_{10}=(F)_{16} & a_1 & \\
16 & 10 & \cdots\cdots\ 余数(10)_{10}=(A)_{16} & a_2 & 高位 \\
 & 0 & & &
\end{array}
$$

于是得到 $(2803)_{10}=(AF3)_{16}$。

2. 小数部分的转换

假设十进制小数为 $(D)_{10}$，对应的任意 N 进制数为 $(0.a_{-1}a_{-2}\cdots a_{-m+1}a_{-m})_N$，则有

$$(D)_{10}=a_{-1}N^{-1}+a_{-2}N^{-2}+a_{-3}N^{-3}+\cdots+a_{-m}N^{-m} \tag{1-8}$$

将式（1-8）两边同乘以 N 得

$$N(D)_{10}=a_{-1}+(a_{-2}N^{-1}+a_{-3}N^{-2}+\cdots+a_{-m}N^{-m+1}) \tag{1-9}$$

可以看出用 N 乘 $(D)_{10}$ 所得乘积的整数部分就是 a_{-1}。乘积的小数部分又可写为

$$N(D)_{10}-a_{-1}=a_{-2}N^{-1}+a_{-3}N^{-2}+\cdots+a_{-m}N^{-m+1} \tag{1-10}$$

将式（1-10）两边再乘以 N 得

$$N[N(D)_{10}-a_{-1}]=a_{-2}+a_{-3}N^{-1}+a_{-4}N^{-2}+\cdots+a_{-m}N^{-m+2} \tag{1-11}$$

所得乘积的整数部分就是 a_{-2}。

依此类推，将每次乘 N 后所得乘积的小数部分再乘以 N，直至最后乘积的小数部分为 0 或达到一定的精度为止，便可求得任意 N 进制小数的每一位系数。

例 1-3 将 $(0.1285)_{10}$ 转换为二进制数、八进制数和十六进制数，要求精确到小数 4 位。

解 (1)转换为二进制数

$$
\begin{array}{l l}
\quad 0.1285 & \\
\underline{\times \qquad 2} & \\
\quad 0.2570 & \cdots\cdots\ 整数为\mathbf{0}，a_{-1}=\mathbf{0} \\
\underline{\times \qquad 2} & \\
\quad 0.5140 & \cdots\cdots\ 整数为\mathbf{0}，a_{-2}=\mathbf{0} \\
\underline{\times \qquad 2} & \\
\quad 1.0280 & \cdots\cdots\ 整数为\mathbf{1}，a_{-3}=\mathbf{1} \\
\underline{-1 \qquad\ \ } & \\
\quad 0.0280 & \\
\underline{\times \qquad 2} & \\
\quad 0.0560 & \cdots\cdots\ 整数为\mathbf{0}，a_{-4}=\mathbf{0}
\end{array}
$$

于是得到 $(0.1285)_{10}\approx(\mathbf{0.0010})_2$。

（2）转换为八进制数

$$
\begin{array}{rl}
0.1285 & \\
\times\quad 8 & \\
\hline
1.0280 & \cdots\cdots \text{整数为 } 1，a_{-1}=1 \\
-1\quad & \\
\hline
0.0280 & \\
\times\quad 8 & \\
\hline
0.2240 & \cdots\cdots \text{整数为 } 0，a_{-2}=0 \\
\times\quad 8 & \\
\hline
1.7920 & \cdots\cdots \text{整数为 } 1，a_{-3}=1 \\
-1\quad & \\
\hline
0.7920 & \\
\times\quad 8 & \\
\hline
6.3360 & \cdots\cdots \text{整数为 } 6，a_{-4}=6
\end{array}
$$

于是得到 $(0.1285)_{10}\approx(0.1016)_8$。

（3）转换为十六进制数

$$
\begin{array}{rl}
0.1285 & \\
\times\quad 16 & \\
\hline
2.0560 & \cdots\cdots \text{整数为 } 2，a_{-1}=2 \\
-2\quad & \\
\hline
0.0560 & \\
\times\quad 16 & \\
\hline
0.8960 & \cdots\cdots \text{整数为 } 0，a_{-2}=0 \\
\times\quad 16 & \\
\hline
14.3360 & \cdots\cdots \text{整数为 } 14，a_{-3}=\mathrm{E}
\end{array}
$$

于是得到 $(0.1285)_{10}\approx(0.20\mathrm{E})_{16}$。

由以上例题可以发现，在实现小数转换时，不一定能正好转换为有限位小数，因而必须考虑转换精度问题，即根据需要来确定转换位数。

三、二进制与八进制的相互转换

因为 3 位二进制数从 **000～111** 共有八个不同的状态，如果 **111** 再加 **1** 就成为4位二进制数**1000**，且前三位回到 **000**，满足逢八进一的计数规律，所以 3 位二进制数恰好相当于 1 位八进制数。这样将二进制数转换为八进制数时，对整数部分，只需从最低位到高位每 3 位二进制数分为一组，高位不足 3 位时补 **0** 凑足 3 位，然后将每一组二进制数用一个等值的八进制数代替即可。小数部分从小数点后一位开始向后每 3 位二进制数分为一组，低位不足 3 位时补 **0** 凑足3位，然后将每一组二进制数用一个等值的八进制数代替即可。同理，八进制转换为二进制时，每一位八进制数只需用等值的 3 位二进制数代替即可。

例 1-4 将 $(\mathbf{1010011.11001})_2$ 转换为八进制数，$(273.34)_8$ 转换为二进制数。

解 （1）

$$
\begin{array}{ccccccc}
(\mathbf{001}, & \mathbf{010}, & \mathbf{011}. & \mathbf{110}, & \mathbf{010})_2 \\
\downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
=(1 & 2 & 3. & 6 & 2)_8
\end{array}
$$

（2）

$$
\begin{array}{ccccc}
(2 & 7 & 3. & 3 & 4)_8 \\
\downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow
\end{array}
$$

$$=(\mathbf{010111011.011100})_2$$

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

四、二进制与十六进制之间的转换

因为 4 位二进制数从 **0000～1111** 共有 16 个不同的状态，如果 **1111** 再加 **1** 就成为 5 位二进制数**10000**，且前 4 位回到 0000，满足逢十六进一的计数规律，所以 4 位二进制数恰好相当于 1 位十六进制数。这样将二进制数转换为十六进制数时，对整数部分，只需从最低位到高位每 4 位二进制数分为一组，高位不足 4 位时补 **0** 凑足4位，然后将每一组二进制数用一个等值的十六进制数代替即可。小数部分从小数点后一位开始向后每 4 位二进制数分为一组，低位不足 4 位时补 **0** 凑足4位，然后将每一组二进制数用一个等值的十六进制数代替即可。同理，十六进制变为二进制时，每一位十六进制数只需用等值的 4 位二进制数代替即可。

例 1-5 将（**1010011.11001**）$_2$ 转换为十六进制数，（2A9.3C）$_{16}$转换为二进制数。

解 (1)

$$
\begin{array}{lcccc}
(& \mathbf{0101,} & \mathbf{0011.} & \mathbf{1100,} & \mathbf{1000})_2 \\
 & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
=(& 5 & 3. & C & 8)_{16}
\end{array}
$$

(2)

$$
\begin{array}{lccccc}
(& 2 & A & 9. & 3 & C)_{16} \\
 & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow
\end{array}
$$

$= (\mathbf{0010\ 1010\ 1001.00111100})_2$

1.1.4 二进制码

数字系统中的信息包括数字、文字、符号等，它们都可以用多位二进制数码来表示。用二进制数码表示数字、文字、符号等信息的过程叫**编码**，用来进行编码的二进制数码称为**二进制代码**。如果需要编码的信息量为 N，则用以编码的一组二进制代码所需位数 n 应满足 $2^n \geqslant N$。例如，若信息量为 $N=8$，则编码所需的二进制代码位数 $n=3$。

一、二一十进制码

凡是利用若干位二进制数码来表示 1 位十进制数码的方法称为二一十进制编码，简称为二一十进制码，即 **BCD**（Binary-Coded Decimal）**码**。

1 位十进制数有 0～9 十个不同数码，需要用 4 位二进制数才能表示。4 位二进制数码有 $2^4=16$ 种不同的组合。因而，从 16 种组合状态中选用其中 10 种组合状态来表示 1 位十进制数 0～9 的编码方法很多，常用的二一十进制编码有以下两种。

1. 8421BCD 码（简称 8421 码）

这种编码的 4 位二进制数码从高位至低位每位的权分别为 8、4、2、1，故称为 8421 码，见表 1-1，它是一种有权码。就 **0000～1001** 这十个二进制数而言，8421 码和通常的 4 位二进制数没有区别；但需注意，8421 码中没有 **1010～1111** 这几个组合，这和通常的 4 位二进制数不同。8421 码容易识别，转换也很方便，是广泛应用的一种编码。

对于有权码，应满足下列关系式

$$(D)_{10} = \sum_{i=0}^{3} a_i W_i \tag{1-12}$$

式中：a_i 是 i 位的二进制数码（**0** 或 **1**）；W_i 是 i 位的权。

例如，8421 码中的 **0110** 所代表的十进制数为

$$(\mathbf{0110})_{8421} = \mathbf{0}\times 8 + \mathbf{1}\times 4 + \mathbf{1}\times 2 + \mathbf{0}\times 1 = (6)_{10}$$

十进制数和 8421 码之间可直接按位转换，例如

$$(94.12)_{10} = (\mathbf{10010100.00010010})_{8421}$$

2. 余 3 码

每个 1 位十进制数码用余 3 码表示时，比 8421 码多 3（即多 **0011**），故称为余 3 码。例如，1 位十进制数码 $(5)_{10}$，用余 3 码表示为 **1000**，而用 8421 码为 **0101**，**1000－0101＝0011**。余 3 码是一种无权码。

常用的几种二-十进制编码表见表 1-1。

表 1-1　　常用的几种二-十进制编码

十进制数 \ 编码种类	8421 码	2421A 码	2421B 码	5421 码	余 3 码
0	**0000**	**0000**	**0000**	**0000**	**0011**
1	**0001**	**0001**	**0001**	**0001**	**0100**
2	**0010**	**0010**	**0010**	**0010**	**0101**
3	**0011**	**0011**	**0011**	**0011**	**0110**
4	**0100**	**0100**	**0100**	**0100**	**0111**
5	**0101**	**0101**	**1011**	**1000**	**1000**
6	**0110**	**0110**	**1100**	**1001**	**1001**
7	**0111**	**0111**	**1101**	**1010**	**1010**
8	**1000**	**1110**	**1110**	**1011**	**1011**
9	**1001**	**1111**	**1111**	**1100**	**1100**
权	8421	2421	2421	5421	无

表 1-1 中还列出了 2421 码和 5421 码，它们都是有权码，2421 码和 5421 码的编码方案不是唯一的。例如，5421 码的 $(7)_{10}$，既可以用 **1010** 表示，也可以用 **0111** 表示；2421 码的 $(5)_{10}$，既可以用 **0101** 表示，也可以用 **1011** 表示。

从表 1-1 中可以看出，同一代码用不同的编码方法时，其表示的意义不同。如表中 **0100** 代码，在 8421 码、2421A 码、2421B 码和 5421 码中代表 $(4)_{10}$，而在余 3 码中代表 $(1)_{10}$。

二、格雷码（Gray 码）

格雷码的基本特点是：任何两个代码之间仅有一位不同，因而又叫单位距离码。

格雷码属于无权码，它有多种编码形式，其中最常用的一种是循环码。表 1-2 给出了 4 位代码的循环码编码表。

表 1-2　　4 位代码的循环码编码表

十进制数	$G_3\ G_2\ G_1\ G_0$	十进制数	$G_3\ G_2\ G_1\ G_0$	十进制数	$G_3\ G_2\ G_1\ G_0$
0	**0 0 0 0**				
1	**0 0 0 1**	6	**0 1 0 1**	11	**1 1 1 0**
2	**0 0 1 1**	7	**0 1 0 0**	12	**1 0 1 0**
3	**0 0 1 0**	8	**1 1 0 0**	13	**1 0 1 1**
4	**0 1 1 0**	9	**1 1 0 1**	14	**1 0 0 1**
5	**0 1 1 1**	10	**1 1 1 1**	15	**1 0 0 0**

由表 1-2 可见，格雷码从一个代码变为相邻的另一个代码时，其中只有 1 位二进制数码变化，例如从 7 变到 8，即由 **0100** 变到 **1100**，只有最左边 1 位发生变化；而 8421 码则由 **0111** 变为 **1000**，4 位都发生了变化。显然，采用格雷码可减少代码在进行变化时产生错误的概率。

格雷码广泛用于输入、输出设备和模拟－数字转换器等。

复习思考题

1.1.1　数字信号和模拟信号各有什么特点?

1.1.2　数字系统中有哪几种计数体制？它们之间如何相互转换?

1.1.3　什么是 BCD 码？常用的 BCD 码有哪几种?

1.1.4　格雷码有什么特点，用于什么场合?

1.2　逻辑代数

在客观世界中，许多事物之间都具有因果关系。例如，照明线路中开关与灯的关系，灯亮与灯灭取决于开关的闭合与断开。开关闭合与否是因，灯亮不亮是果，这种因果关系称为逻辑关系。所谓逻辑，就是指“条件”与“结果”之间的因果关系。用以分析研究这种逻辑关系的数学工具就是逻辑代数，也称为布尔代数。

在日常生活中，许多事物都只有相互对立的两种不同状态。例如，开关的闭合与断开、灯的亮与灭、一件事情的真与假、电压的高与低、电流的有与无等。如果用 **0** 来代表其中的一种状态，就用 **1** 来代表对立的另一种状态。这样，在逻辑代数中，不论是代表“因”的自变量，还是代表“果”的因变量，都只有两种不同的取值可能，其值不是 **1**，就是 **0**，不可能有第三种取值。注意，这里 **0** 和 **1** 并不表示数值的大小，而是表示事物的两种对立状态，称为逻辑 **0** 状态和逻辑 **1** 状态。

1.2.1　逻辑代数中的三种基本运算

在逻辑代数中，最基本的运算是**与**、**或**、**非**三种运算。

一、与运算

图 1-1 所示是一个简单的与逻辑电路。图中用逻辑变量 A 和 B 分别表示两个开关，并用 **1** 和 **0** 分别表示开关处于“闭合”和“断开”状态。用逻辑变量 Y 表示灯，并用 **1** 和 **0** 分别表示灯“亮”和“灭”。如果将 A、B 逻辑变量的所有取值和与其一一对应的逻辑值 Y 之间的关系以表格的形式表示出来，见表 1-3，则称为逻辑真值表，或简称为**真值表**。由表1-3 不难看出，要想使灯“亮”这个结果发生，必须使它的两个条件“A”和“B”开关都闭合，

表 1-3　与逻辑真值表

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

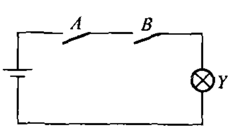

图 1-1　**与逻辑电路图**

或者说只有变量 A 和 B 都是 **1** 时，输出 Y 才为 **1**。因此，从这个电路可总结出这样的逻辑关系：当决定一件事情发生（灯亮）的各个条件（开关 A、B 闭合）全部具备时，这件事情才会发生。这种逻辑关系称为**与**逻辑，表示**与**逻辑的逻辑表达式为

$$Y = A \cdot B \tag{1-13}$$

式中："·"为**与**运算符号，也表示逻辑"乘"，可省略不写。式（1-13）读作 Y 等于 A **与** B。实现**与**运算的逻辑电路称为**与**门，其逻辑图形符号如图 1-2 所示。

与运算可以推广到多个逻辑变量，即

$$Y = A \cdot B \cdot C \cdot \cdots \tag{1-14}$$

二、或运算

图 1-3 所示是一个简单的**或**逻辑电路，其真值表见表 1-4。由表 1-4 不难看出，要想使灯"亮"这个结果发生，只要它的两个条件"A"和"B"中的一个开关闭合就可以，或者说只要变量 A 和 B 有一个是 **1**，输出 Y 就为 **1**。因此，从这个电路可总结出这样的逻辑关系：当决定一件事情发生（灯亮）的各个条件（开关 A、B 闭合）中只要有一个条件具备，这件事情就会发生。这种逻辑关系称为**或**逻辑。表示**或**逻辑的逻辑表达式为

$$Y = A + B \tag{1-15}$$

式中："+"为**或**运算符号，也表示逻辑"加"。式（1-15）读作 Y 等于 A **或** B。实现**或**运算的逻辑电路称为**或**门，其逻辑图形符号如图 1-4 所示。

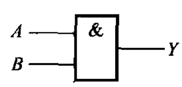

图 1-2　**与**运算的逻辑图形符号

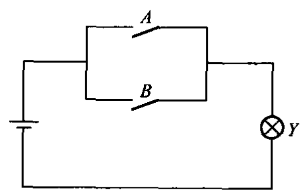

图 1-3　**或**逻辑电路图

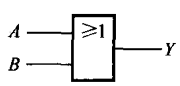

图 1-4　**或**运算的逻辑图形符号

表 1-4　或逻辑真值表

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

或运算也可推广到多个逻辑变量，即

$$Y = A + B + C + \cdots \tag{1-16}$$

三、非运算

图 1-5 所示是一个简单的**非**逻辑电路，其真值表见表 1-5。由表 1-5 可以看出，要想使灯"亮"这个结果发生，必须使它的条件"A"开关不闭合，或者说只要变量 A 是 **0**，输出 Y 就为 **1**；若变量 A 是 **1**，则输出 Y 为 **0**。因此，从这个电路可总结出这样的逻辑关系：当决定一件事情发生（灯亮）的条件（开关 A 闭合）具备时，这件事情不会发生；而条件不具备时，事情发生。这种逻辑关系称为**非**逻辑。表示**非**逻辑的逻辑表达式为

$$Y = \overline{A} \tag{1-17}$$

式中：A 上的“—”为非运算符号。

式（1-17）读作 Y 等于 A 非。一般将 A 叫做原变量，$\overline{A}$ 叫做反变量。实现非运算的逻辑电路称为非门，非门的逻辑图形符号如图 1-6 所示。

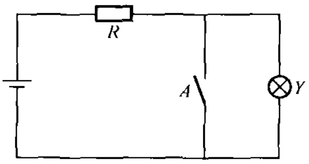

图 1-5 非逻辑电路图

表 1-5 非逻辑真值表

A	Y
0	1
1	0

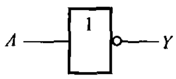

图 1-6 非运算的逻辑图形符号

1.2.2 逻辑代数中几种常用的复合运算

由与、或、非三种基本逻辑运算可以组合成若干常用的复合逻辑运算。

一、与非运算

与非逻辑表达式为

$$Y = \overline{A \cdot B} \tag{1-18}$$

真值表见表 1-6，实现其逻辑功能的门电路逻辑图形符号如图 1-7 所示。

表 1-6 与非真值表

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

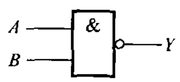

图 1-7 与非运算的逻辑图形符号

二、或非运算

或非逻辑表达式为

$$Y = \overline{A + B} \tag{1-19}$$

其真值表见表 1-7，实现其逻辑功能的门电路逻辑图形符号如图 1-8 所示。

表 1-7 或非真值表

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

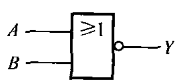

图 1-8 或非运算的逻辑图形符号

三、异或运算

异或逻辑表达式为

$$Y = \overline{A}B + A\overline{B} = A \oplus B \tag{1-20}$$

式中：$\oplus$为异或运算符号。

式（1-20）读做 Y 等于 A **异或** B。当 A、B 逻辑状态相同时，$Y=\mathbf{0}$；当 A、B 的状态不同时，$Y=\mathbf{1}$。其真值表见表 1-8，实现其逻辑功能的门电路逻辑图形符号如图 1-9 所示。

表 1-8　异或真值表

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

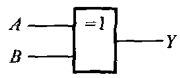

图 1-9　**异或运算的逻辑图形符号**

异或可推广到多输入变量的情况为

$$Y = A \oplus B \oplus C \oplus D \oplus \cdots \qquad (1\text{-}21)$$

其运算规则为：当输入 **1** 的个数为偶数时，$Y=\mathbf{0}$；当输入 **1** 的个数为奇数时，$Y=\mathbf{1}$。

四、同或运算

同或逻辑表达式为

$$Y = AB + \overline{A}\,\overline{B} = A \odot B \qquad (1\text{-}22)$$

式中：$\odot$为同或运算符号。

式（1-22）读做Y等于A同或B。同或逻辑也常称为**异或非**逻辑。当A、B逻辑状态相同时，$Y=\mathbf{1}$；当A、B的状态不同时，$Y=\mathbf{0}$。其真值表见表 1-9，实现其逻辑功能的门电路逻辑图形符号如图 1-10 所示。由表 1-8 和表 1-9 可知，**异或**和**同或**互为非运算，即 $A\odot B=\overline{A\oplus B}$。

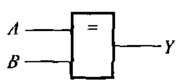

图 1-10　**同或运算的逻辑图形符号**

表 1-9　同或真值表

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

同或可推广到多输入变量的情况为

$$Y = A \odot B \odot C \odot D \odot \cdots \qquad (1\text{-}23)$$

其运算规则为：当输入 **0** 的个数为偶数时，$Y=\mathbf{1}$；当输入 **0** 的个数为奇数时，$Y=\mathbf{1}$。

五、与或非运算

与或非逻辑表达式为

$$Y = \overline{AB + CD} \qquad (1\text{-}24)$$

实现其逻辑功能的门电路逻辑图形符号如图 1-11 所示。

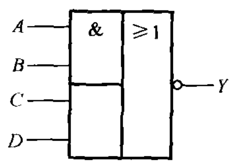

图 1-11　**与或非运算的逻辑图形符号**

1.2.3　逻辑代数的基本公式、定律、定理和规则

逻辑代数也称二值逻辑。根据**与**、**或**、**非**三种基本运算规则，以及逻辑变量的值只可能是 **0** 或 **1** 的特点，可以推导出逻辑代数的基本公式、定律、定理和规则，其正确性可用真值表进行检验。

一、基本公式

关于**与**	关于**或**	关于**非**
$\mathbf{0 \cdot 0 = 0}$	$\mathbf{1+1 = 1}$	$\mathbf{\overline{0} = 1}$

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com