高职高专教育“十二五”规划教材

数字电路基础

主 编 邵有为 杨竹君

中国建材工业出版社

高职高专教育"十二五"规划教材

数字电路基础

主　编　邵有为　杨竹君

副主编　余战波　孙　蓓　陈　卉

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字电路基础 / 邵有为，杨竹君 主编. —北京：中国建材工业出版社，2011.8

ISBN 978-7-80227-956-8

Ⅰ.①数… Ⅱ.①邵…②杨… Ⅲ.①数字电路-高等职业教育-教材 Ⅳ.①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 129147 号

内容简介

本书根据高职高专教育的特点和人才培养目标，将理论教学和实践教学融为一体，以强化学生实践能力的培养为最终目的。本书共分十章，分别讲述了数字电路基础知识、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与变换、数/模(D/A)和模/数(A/D)转换、大规模专用集成电路、基础技能训练、创新技能实训、工程训练等内容。

本书可作为高职高专机电、建筑类专业师生的专业教材，也可作为相关行业技术人员的参考用书。

数字电路基础

主　　编：邵有为　杨竹君
封面设计：华盛英才
出版发行：中国建材工业出版社
地　　址：北京市西城区车公庄大街 6 号
邮　　编：100044
经　　销：全国各地新华书店
印　　刷：北京市燕山印刷厂
开　　本：787 mm×1 092 mm　1/16
印　　张：11.25
字　　数：243 千字
版　　次：2012 年 1 月第 1 版
印　　次：2012 年 1 月第 1 次印刷
书　　号：978-7-80227-956-8
定　　价：28.00 元

本社网址：www.jccbs.com.cn

本书如出现印装质量问题，由我社发行部负责调换。联系电话：(010)88386906

前　言

本教材是依据教育部组织制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》及《高职高专教育专业人才培养目标及规格》，结合作者多年的教学改革和实践经验，以培养高素质、具备综合工作能力的人才为出发点编写而成的。

本书从工程应用的实际出发，突出实用性及基本能力的培养，重点讲述数字电路的基本理论和电路分析及设计的基本方法。

作为教材或教学参考书，既要符合科学技术发展的需要，又要培养学生分析问题和解决问题的能力。为满足上述要求，本书主要有如下创新：

1. 内容组织：重点讲述“方法”，而不是各种各样的逻辑线路，更没有繁琐的数学推导，力求为学生提供独立分析和设计逻辑线路的“工具”。

2. 讲述方法：对问题的解答，重在思路的分析，使学生明白其来龙去脉，培养学生独立解决问题的能力。

3. 文字叙述：力求言简意赅，便于读者自学。

当然，上述这些考虑是否能够真正实现，还有待于教学实践的检验。

本教材建议学时100～120学时，其中理论教学为60～70学时，实践教学为40～50学时。

在本书编写与整理过程中，得到了兄弟院校许多教授、专家及同事的大力支持和帮助，并提出了一些宝贵意见。在此，向他们表示衷心的感谢。

由于笔者水平所限，书中难免会有错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编　者

目 录

第一章 数字电路基础知识

1.1 概　述

一、数字信号

在实际应用中，我们所接触的信号可分为模拟信号和数字信号两大类。模拟信号是指在时间和数值上都是连续变化的信号，如传统调频、调幅方式传送的广播电视信号等；数字信号是指信号的变化在时间上是不连续的，即它在时间和幅度上是离散的。数字信号常用二值量信息表示，它既可以用两个有一定数值范围的高、低电平来表示，也可以用两个状态的逻辑符号 0 和 1 来表示。例如，我们可以用 1 表示灯的亮，0 表示灯的灭等。

二、数字电路

能够对模拟信号进行传送、加工及处理的电子电路称为模拟电路，如在模拟电路中介绍的交、直流放大器等；类似地，能够对数字信号进行传送、加工及处理的电子电路称为数字电路，如本教材中即将介绍的门电路、触发器、计数器等。

数字电路分为两种，分立元件电路和集成电路。

分立元件电路是由二极管、三极管、电阻等元器件组成的具有一定逻辑功能的电路。将分立元件电路集中制作在一块很小的半导体材料基片上，这种电路就叫做“集成电路”。

按照集成度的高低，集成电路可分为：小规模集成电路（SSI）（每个芯片含有 10～100 个元件）、中规模集成电路（MSI）（每个芯片含 100～1000 个元件）、大规模集成电路（LSI）（每个芯片含 1000～10000 个元件）、超大规模集成电路（VLSI）（每个芯片含 10000～1000000 个元件）、超超大规模集成电路（VVLSI）（每个芯片可含 1000000 个以上元件）。

三、数字电路的优点

与模拟电路相比，数字电路主要有如下优点：

(1)工作可靠性高、抗干扰能力强。数字电路的信号是用高(1)、低(0)电平来描述的，这就大大提高了电路工作的可靠性及抗干扰能力。

(2)集成度高。数字电路采用二进制，基本单元电路的结构简单，对电路元件的精度要求不高，有利于高度集成。

(3)数字集成电路功耗低、通用性强、成本低。

(4)保密性好。对数字信息进行编码加密处理简单，且难于被破解。

四、数字电路的研究方法

数字电路的传统研究方法是经典法，即先对设计任务进行逻辑分析，求出函数与变量之间的逻辑关系(一般称它为逻辑函数)，然后利用布尔代数法或卡诺图等方法对逻辑函数进行简化，最后用集成器件实现逻辑函数。这样设计出来的逻辑电路具有使用器件和连线最少等优点，经典法特别适宜于用中、小规模集成数字电路的设计。

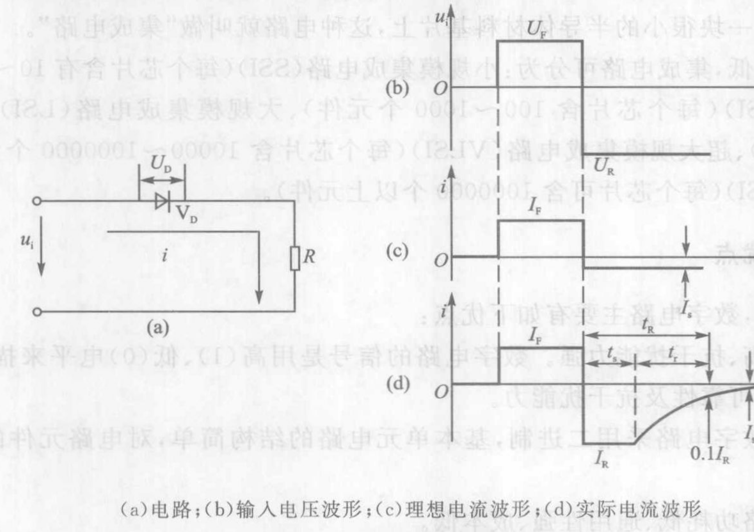
1.2 晶体管的开关特性

由模拟电路知识可知，在理想状态下，晶体二极管正偏导通时其正向压降为0，相当于短路状态，而反偏截止时其反向电流为0，相当于开路状态；晶体三极管工作在饱和区时，其 $b-e$、$c-e$ 之间呈现的电阻很小，相当于短路状态，而工作于截止区时，其 $b-e$、$c-e$ 之间均呈现很高的电阻，相当于开路状态。它们的这种特性与理想开关的特性十分相似。所谓理想开关就是指开关接通时其接触电阻为0，相当于短路状态；开关断开时其绝缘电阻为无穷大，电流等于0，处于开路状态，且开关状态的转换能在瞬间完成。因此，在数字电路中，晶体二极管、晶体三极管常被作为开关器件来使用。

1.2.1 晶体二极管的开关特性

由于实际中使用的晶体二极管不可能是理想的，因此，晶体二极管从截止到饱和或是从饱和到截止都需要一定的时间。在低速开关电路中，二极管导通与截止两种状态之间的转换过程可以看作是无惰性的，转换时间可以不考虑，但在高速开关电路中就必须加以考虑了。又由于二极管从截止转换到导通所需要的时间很短，因此它对开关速度的影响可忽略不计。这里我们只分析二极管由导通到截止的过程，即：反向恢复过程。

图1.1(a)是一简单的二极管开关电路，其输入电压波形如图1.1(b)所示。



(a)电路；(b)输入电压波形；(c)理想电流波形；(d)实际电流波形

图1.1 二极管的开关特性

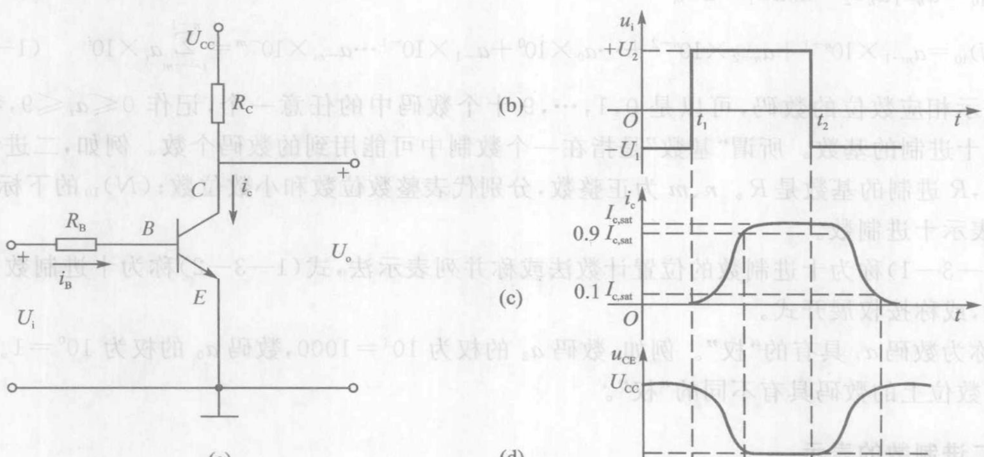
当输入电压由正向 U_F 突然变到反向 U_R 时，理想情况下，二极管应立即由导通变为截止，流过二极管的电流为反向漏电流 I_s，如图 1.1(c)所示。但由于二极管并非是理想的，实际电流如图 1.1(d)所示。反向电流 $I_R \approx \frac{U_R}{R}$ 持续一段时间 t_s 后，按指数规律减小，经过一段时间 t_r，电流下降到0.1I_R，然后电流逐渐减少到反向电流 I_s，二极管才截止。其中，反向恢复时间 $t_R = t_s + t_r$。

二极管产生反向恢复过程的根本原因是由于正向工作时，PN 结两边存储了多余的少数载流子，消散该存储电荷是需要时间的。除了少数载流子的存储效应会引起开关的惰性外，二极管的结电容也有影响。当正向工作时 P 区的空穴和 N 区的电子进入空间电荷区，使阻挡层变窄，空间电荷量减少，而当 PN 结由正偏变为反偏时，阻挡层变宽，空间电荷量增加。PN 结的这个作用如同一个电容器一样，故称为结电容。因此，产生反向恢复过程的原因可归结为存储电荷效应和结电容效应。

反向恢复时间 t_R 的大小除了与管子本身的性能有关外，与正向导通电流和反向电流的大小也有关。正向电流越小，则存储的少数载流子电荷少，t_R 就短；反向电流越大，则对存储电荷的驱散速度越快，t_R 短。因此，为了减少反向恢复时间，应该尽量减小正向电流与反向电流的比值。

1.2.2　晶体三极管的开关特性

由于晶体三极管发射结、集电结同晶体二极管的 PN 结一样，都存在存储电荷效应和结电容效应，因此，晶体三极管在截止状态与饱和状态之间转换时也具有过渡特性，即状态的转换不可能在瞬间完成，也有时间的延时。



(a)电路；(b)输入电压波形；(c)实际电流波形；(d)实际电压波形

图 1.2　三极管的开关特性

在图 1.2(a)所示电路中，若三极管基极输入电压为一理想的矩形波，理想条件下其集电极电流 i_c 和集电极电压 u_{CE} 的波形也应是理想的矩形波，但实际的波形却是如图 1.2(d)所示，它们的上升沿和下降沿都变化缓慢，而且上升部分和下降部分与输入波形相比都有时延。产生这种情况的原因同样是因为存储电荷效应和结电容效应。

在图 1.2(a)中，我们规定 u_i 正跳变开始到 i_C 上升至 0.9$I_{c,sat}$ 所需要的时间称为开通时间，用

t_{on}表示；而从 u_i 负跳变开始到 i_C 下降至 $0.1I_{c,sat)}$ 所需要的时间称为关断时间，用 t_{off} 表示；开通时间 t_{on} 与关断时间 t_{off} 总称为三极管的开关时间，它随管子不同而有很大差别，其大小影响三极管的开关速度。

1.3 数制和二—十进制码

所谓数制是进位计数制度的简称。我们日常生活中有许多不同的数制。例如，十进制是“逢十进一”；钟表计时采用六十进制，即六十秒为一分，六十分为一小时；十二英寸为一英尺，则采用的是十二进制等。

1.3.1 数制表示

一、十进制数的表示

十进制是使用最早的一种主要的进位制。例如，一个十进制数 286.75，我们可以立刻读出这个数，数码“2”代表二百，数码“8”代表八十等，显然这是由某个数码在数字中处在不同的位置（数位）所决定的。此数也可用一个多项式来表示，即：

$$(286.75)_{10}=2\times10^2+8\times10^1+6\times10^0+7\times10^{-1}+5\times10^{-2}$$

一般地，对于一个任意 n 位整数，m 位小数的十进制数$(N)_{10}$可以表示为：

$$(N)_{10}=a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_0a_{-1}\cdots a_{-m} \qquad (1—3—1)$$

$$\text{或}(N)_{10}=a_{n-1}\times10^{n-1}+a_{n-2}\times10^{n-2}+\cdots a_0\times10^0+a_{-1}\times10^{-1}\cdots a_{-m}\times10^{-m}=\sum_{i=-m}^{n-1}a_i\times10^i \qquad (1—3—2)$$

a_i 表示相应数位的数码，可以是 $0,1,\cdots,9$ 十个数码中的任意一个，记作 $0\leqslant a_i\leqslant9$，我们把“十”称为十进制的基数。所谓“基数”是指在一个数制中可能用到的数码个数。例如，二进制的基数是“二”，R 进制的基数是 R。n、m 为正整数，分别代表整数位数和小数位数；$(N)_{10}$ 的下标 10（也可用 D）表示十进制数。

式（1—3—1）称为十进制数的位置计数法或称并列表示法，式（1—3—2）称为十进制数的多项式表示法，或称按权展开式。

10^i 称为数码 a_i 具有的“权”。例如，数码 a_3 的权为 $10^3=1000$，数码 a_0 的权为 $10^0=1$。可见，处在不同数位上的数码具有不同的“权”。

二、二进制数的表示

1. 二进制数的表示方法

与十进制数一样，二进制数的表示也有两种方法：位置计数法和多项式表示法。如：

$$1011.01_2=1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+1\times2^0+0\times2^{-1}+1\times2^{-2}$$

等式左边是位置计数法，等式右边是多项式表示法。

一般地，对于一个任意 n 位整数和 m 位小数的二进制数$(N)_2$ 可以表示为：

$$(N)_2=b_{n-1}b_{n-2}\cdots b_0b_{-1}\cdots b_{-m} \qquad (1—3—3)$$

$$\text{或}(N)_2=b_{n-1}\times2^{n-1}+b_{n-2}\times2^{n-2}+\cdots b_0\times2^0+b_{-1}\times2^{-1}\cdots b_{-m}\times2^{-m}=\sum_{i=-m}^{n-1}b_i\times2^i \qquad (1—3—4)$$

式中，$(N)_2$ 下标 2 表示二进制；b_i 表示相应数位的数码；n、m 为正整数，n 代表整数位数，m 代表小数位数；2^i 称为数码 b_i 的权。

2.二进制数的运算

二进制数的运算规则与十进制数相类似，其运算规则如下：

(1)加法运算规则。其算式如下：

0＋0＝0　0＋1＝1　1＋0＝1　1＋1＝0（同时向邻近高位进一）

(2)减法运算规则。其算式如下：

0－0＝0　0－1＝1（同时向邻近高位借一）1－0＝1　1－1＝0

(3)乘法规则。其算式如下：

0×0＝0　0×1＝0　1×0＝0　1×1＝1

(4)除法规则。其算式如下：

0÷1＝0　1÷1＝1

【例 1—1】 求 1001 与 1010 之和。

解：将末位对齐逐位相加。则：

$$
\begin{array}{r}
1\,0\,0\,1 \\
(+)\ 1\,0\,1\,0 \\
\hline
1\,0\,0\,1\,1
\end{array}
$$

即：1001＋1010＝10011

二进制数加法运算将末位对齐逐位相加，但采用"逢二进一"的法则。

【例 1—2】 求 1101 与 1011 之差。

解：将末位对齐逐位相减。则：

$$
\begin{array}{r}
1\,1\,0\,1 \\
-)\ 1\,0\,1\,1 \\
\hline
0\,0\,1\,0
\end{array}
$$

即：1101－1011＝10

二进制数减法运算亦是将末位对齐逐位相减，当某数位减数大于被减数时，需向高位借位，并且是借一当二。

【例 1—3】 求 1001 与 1011 的积。

解：

$$
\begin{array}{r}
1\,0\,0\,1 \\
\times)\ 1\,0\,1\,1 \\
\hline
1\,0\,0\,1 \\
1\,0\,0\,1\ \ \, \\
0\,0\,0\,0\ \ \ \ \ \\
1\,0\,0\,1\ \ \ \ \ \ \ \ \\
\hline
1\,1\,0\,0\,0\,1\,1
\end{array}
$$

即：$1001\times1011=1100011$

【例 1—4】 求 10010001 与 1011 之商。

解：

$$\begin{array}{r@{}l} & 1101\cdots \\ 1011 & \overline{\big)10010001} \\ & \underline{1011} \\ & 1110 \\ & \underline{1011} \\ & 1101 \\ & \underline{1011} \\ & 10\cdots \text{ 余数} \end{array}$$

二进制数的乘法和除法运算与十进制数的运算类似，只是要采用二进制数的运算规则。

三、任意进制数的表示

对于一个 n 位整数，m 位小数的任意进制数$(N)_R$ 可以表示为：

$$(N)_R=c_{n-1}c_{n-2}\cdots c_0c_{-1}\cdots c_{-m} \tag{1—3—5}$$

或$$(N)_R=c_{n-1}\times R^{n-1}+c_{n-2}\times R^{n-2}+\cdots c_0\times R^0+c_{-1}\times R^{-1}\cdots c_{-m}\times R^{-m}=\sum_{i=-m}^{n-1}c_i\times R^i \tag{1—3—6}$$

式中，$(N)_R$ 的下标 R 表示 R 进制，c_i 可以是 $0,1,\cdots,(R-1)$中任意一个数码；n、m 为正整数；R^i 称为 c_i 具有的权。

四、八进制和十六进制数的表示

八进制数用 0,1,2,3,4,5,6,7 八个数码表示，基数为 8。计数规则是“逢八进一”，即 $7+1=10$（表示八进制数的 8），各数位的权为 $8^{n-1},\cdots,8^2,8^1,8^0,8^{-1},\cdots,8^{-m}$。则按权展开可写成：

$$(N)_8=p_{n-1}\times8^{n-1}+p_{n-2}\times8^{n-2}+\cdots p_0\times8^0+p_{-1}\times8^{-1}\cdots p_{-m}\times8^{-m}=\sum_{i=-m}^{n-1}p_i\times8^i \tag{1—3—7}$$

如：$(368.25)_8=3\times8^2+6\times8^1+8\times8^0+2\times8^{-1}+5\times8^{-2}$

同理十六进制数是用 $0,1,2,3,\cdots,9,A,B,C,D,E,F$ 这十六个数码来表示，基数为 16。其中 A，B，C，D，E，F 分别表示 10,11,12,13,14,15 这六个数码。其计数规则是“逢十六进一”，即 $F+1=10$（表示十六进制数的 16）。按权展开可写成：

$$(N)_{16}=q_{n-1}\times16^{n-1}+q_{n-2}\times16^{n-2}+\cdots q_0\times16^0+q_{-1}\times16^{-1}\cdots q_{-m}\times16^{-m}=\sum_{i=-m}^{n-1}q_i\times16^i \tag{1—3—8}$$

如：$(257.36)_{16}=2\times16^2+5\times16^1+7\times16^0+3\times16^{-1}+6\times16^{-2}$

1.3.2 数制转换

我们习惯于采用十进制数，但在计算机和数字电路中却是按二进制工作的，因此，在数字系统中，首先必须把十进制数转换成计算机和数字电路能加工、处理的二进制数，而作为数字系统的输出又要转换成人们熟悉的十进制数等。这就要求我们必须掌握各种不同数制之间的相互转换。

一、二进制数转换为十进制数

由二进制数转换为十进制数只要采用式(1—3—4)，将被转换的二进制数按权相加即可得到

与该二进制数相对应的十进制数。

【例 1—5】 将$(11001.101)_2$转换成十进制数。

解：根据式(1—3—4)有：

$$\begin{aligned}(11001.101)_2 &= 1\times2^4+1\times2^3+0\times2^2+0\times2^1+1\times2^0+1\times2^{-1}+0\times2^{-2}+1\times2^{-3}\\ &= 16+8+0+0+1+0.5+0+0.125\\ &= (25.625)_{10}\end{aligned}$$

即：$(11001.101)_2=(25.625)_{10}$

二、十进制数转换为二进制数

十进制数转换为二进制数的方法很多，下面仅介绍基数乘除法。基数乘除法包含两个内容，即基数除法和基数乘法。前者用于整数转换，后者用于小数转换。如果某数包含整数和小数两部分，则须将它们分别转换，然后合并起来。

1. 整数转换

整数转换采用基数除法，即“除 2 取余”的方法。也就是把十进制整数除以 2，取出余数 1 或 0 作为相应二进制数的最低位，把得到的商再除以 2，再取余数 1 或 0 作为二进制数的次低位，依次类推，直至商为 0，所得余数为最高位。

【例 1—6】 将十进制数$(76)_{10}$转换为二进制数。

解：

$$\begin{array}{r|l l}
2 & \underline{76} & \text{余数} \\
2 & \underline{38} & 0\text{——最低位} \\
2 & \underline{19} & 0 \\
2 & \underline{9} & 1 \\
2 & \underline{4} & 1 \\
2 & \underline{2} & 0 \\
2 & \underline{1} & 0 \\
 & 0 & 1\text{——最高位}
\end{array}$$

即：$(76)_{10}=(1001100)_2$

2. 小数转换

小数转换采用基数乘法，即“乘 2 取整”的方法。先将十进制小数乘以 2，取其整数 1 或 0 作为二进制小数的最高位，然后将乘积的小数部分再乘以 2，再取整数作为次高位。依次类推，直至小数部分为 0 或达到所要求的精度。

【例 1—7】 试将$(0.75)_{10}$转换为二进制数。

解：

$$\begin{array}{lr l}
 & 0.75 & \\
\times) & 2 & b_{-1}=1\text{——小数最高位} \\ \hline
 & \boxed{1}.50 & \\
\times) & 2 & b_{-2}=1\text{——小数最低位} \\ \hline
 & \boxed{1}.00 &
\end{array}$$

即：$(0.75)_{10}=(0.11)_2$

【例 1—8】 试将$(26.45)_{10}$转换为二进制数，取小数五位。

解：这是一个既有整数又有小数的十进制数，可将其两部分分别转换，然后相加。

整数部分

2	26	余数	
2	13	0	最低位
2	6	1	
2	3	0	
2	1	1	
	0	1	最高位

小数部分

0.45	
×) 2	
$\boxed{0}$.90	$b_{-1}=0$——最高位
×) 2	
$\boxed{1}$.80	$b_{-2}=1$
×) 2	
$\boxed{1}$.62	$b_{-3}=1$
×) 2	
$\boxed{1}$.20	$b_{-4}=1$
×) 2	
0.40	$b_{-5}=0$——最低位

则：$(26.45)_{10}=(11010.01110)_2$

三、八进制数、十六进制数与二进制数的转换

将二进制数转换成八进制数或十六进制数的方法是：从小数点开始，分别向左、向右按 3 位（转换成八进制数）或 4 位（转换成十六进制数）分组，最后不满 3 位或 4 位时，则填 0 补充。再将每组以对应的八进制数或十六进制数代替，即可得相应的八进制数或十六进制数。

【例 1—9】 将二进制数$(10011101)_2$分别转换为八进制数和十六进制数。

解：二进制数	10，	011，	101	每 3 位一组
	010，	011，	101	最高位补 0
八进制数	2	3	5	结果

即：$(10011101)_2=(235)_8$

二进制数	1001，	1101	每 4 位一组
十六进制数	9	D	

即：$(10011101)_2=(9D)_{16}$

将八进制数或十六进制数转换成二进制数的方法是：将八进制数或十六进制数的每一位，用对应的 3 位或 4 位二进制数来表示即可。

【例 1—10】 将八进制数$(327)_8$和十六进制数$(7A)_{16}$分别转换成二进制数。

解：八进制数	(3	2	7)
二进制数	011	010	111

即：$(327)_8=(011010111)_2$

十六进制数	(7	A)
二进制数	0111	1010

即：$(7A)_{16}=(01111010)_2$

1.3.3 二—十进制码

计算机一般是采用二进制码运算的。但有时需要用二进制码来表示十进制数字，这种编码方法称之为十进制数的代码表示法，它是用4位二进制数来表示十进制数码0～9中的任意一个，即所谓二—十进制码，简称为BCD码。由于4位二进制数码可以表示16种不同的组合状态，用以表示1位十进制数(只有0～9十个数码)，只需选择其中的10个状态的组合，其余6种的组合是多余的。因此，按组合状态选取方式的不同，可以得到不同的二—十进制编码。如表1.1所列是常见的几种BCD编码。

表1.1 常见的几种BCD编码

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

在二—十进制编码中，一般分为有权码和无权码两大类。例如8421BCD码是一种最基本的，应用十分普遍的BCD码。它是一种有权码，8421就是指这种编码中各位的权分别为8、4、2、1。属于有权码的还有2421BCD码、5421BCD码等，而余3码、格雷码则是无权码。对于有权码来说，由于各位均有固定的权，因此二进制数码所表示的十进制数值就容易识别。

二—十进制数的表示方法也很简单，就是将十进制数的各位数字分别用4位二进制数码表示出来。例如，要将十进制数$(82)_{10}$用8421编码的二—十进制数来表示，则分别用$(1000)_2$表示“8”，

$(0010)_2$ 表示“2”，然后将两组二进制数按原来十进制数的顺序排列起来，所构成的就是二一十进制数，即：$(82)_{10}=(1000\ 0010)_{BCD}$（下标 BCD 表示二一十进制数）。在二一十进制数中，每组 4 位数是二进制，而组与组之间却是十进制的关系。

1.4 逻辑函数

逻辑代数首先是由英国数学家乔治·布尔(George Boole，1815～1864 年)奠定的，因此又称为布尔代数。布尔代数的二值性质应用于两态元件组成的数字电路(开关电路)尤为适合，自从布尔代数用于开关数字电路之后，又被称为开关代数。所以逻辑代数、布尔代数、开关代数都是指同一概念。

目前，逻辑代数已成为研究数字系统逻辑设计的基础理论。无论何种形式的数字系统，都是由一些基本的逻辑电路所组成的。为了解决数字系统分析和设计中的各种具体问题，必须掌握逻辑代数这一重要数学工具。

1.4.1 逻辑函数的基本概念与基本运算

一、基本概念

1. 逻辑变量

在数字系统中，用于描述开关的接通与断开、电平的高与低、信号的有和无、晶体管的导通与截止等两种取值状态的二值变量称之为逻辑变量。逻辑代数中的逻辑变量也和普通代数一样，都是用字母 $A,B,C,\cdots,X,Y,Z$ 来表示，但逻辑代数中的变量 $A,B,C,\cdots,X,Y,Z$ 的取值只有两种可能性，即 0 和 1，而且，这里的 0 和 1 并不表示具体的数量大小，而是表示两种相互对立的逻辑状态。例如，可以用 1 来表示开关接通，用 0 表示开关的关断；用 1 表示灯亮，用 0 表示灯暗；用 1 表示高电平，用 0 表示低电平等。这是与普通代数明显的区别之一。

2. 逻辑函数的定义

设某一逻辑电路的输入逻辑变量为 $A_1,A_2,\cdots,A_n$，输出逻辑变量为 F，如图 1.3 所示。当 $A_1,A_2,\cdots,A_n$ 的值确定后，F 的值就唯一地被确定下来，则 F 被称为 $A_1,A_2,\cdots,A_n$ 的逻辑函数，记为：

$$F=f(A_1,A_2,\cdots,A_n) \tag{1-4-1}$$

上式便是逻辑函数表达式，它与真值表、卡诺图都是表示逻辑函数的重要工具。

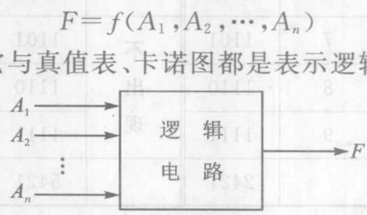


图 1.3 逻辑电路

3. 逻辑函数的相等

设有两个逻辑函数

$$F_1=f_1(A_1,A_2,\cdots,A_n)$$

$$F_2=f_2(A_1,A_2,\cdots,A_n)$$

若对应于逻辑变量 $A_1,A_2,\cdots,A_n$ 的任意一组取值组合，F_1 和 F_2 值都相同，则称函数 F_1 和

F_2 相等，记为 $F_1=F_2$。

4. 正、负逻辑

用 0 和 1 来表示相互对立的逻辑状态时，可以有两种不同的表示方法：用 1 表示高电平，用 0 表示低电平，称为正逻辑体制（简称正逻辑）；用 1 表示低电平，用 0 表示高电平，称为负逻辑体制（简称负逻辑）。

对于同一个电路，可以采用正逻辑，也可以采用负逻辑，但应事先规定。因为即使同一种电路，由于选择的正、负逻辑体制不同，功能也不相同。本书若无特殊说明，均采用正逻辑。

二、基本逻辑运算

在逻辑代数中，最基本的运算有："与"、"或"、"非"三种逻辑运算。

1. 与逻辑运算

在逻辑问题中，只有当决定某一事件发生的所有条件同时都具备时，该事件才能发生，则该因果关系称之为"与"逻辑，与其对应的运算即为"与"运算。"与"运算又称为逻辑乘，运算符号是"·"，读作"与"。通常其符号"·"可省略。

我们用如图 1.4 所示开关电路来说明与运算的含义。开关 A、B 是与灯泡相串联的。用 F 来描述灯的亮与灭，设定 $F=1$ 代表灯亮；$F=0$ 代表灯灭。又规定用 1 代表开关闭合（即 $A=1$，$B=1$），0 代表开关断开（$A=0$，$B=0$），显然灯亮的条件是开关 A 与 B 都闭合，否则灯灭。

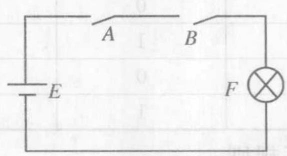


图 1.4　与逻辑关系

上述逻辑关系如用一个表达式来描述，即可写作：

$$F=A\cdot B=AB \tag{1-4-2}$$

式(1－4－2)是与运算的定义式。对于 n 个变量 $A_1,A_2,\cdots,A_n$ 的与运算，其定义式为：

$$F=A_1\cdot A_2\cdot\cdots\cdot A_n$$

式(1－4－2)的逻辑关系亦可用真值表来表示，如表 1.2 所列。由表可见只有变量 A、B 均为 1 时，函数 F 才为 1。这是与逻辑运算的显著特点。

表 1.2　与逻辑关系真值表

A	B	F
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

由真值表可得与逻辑运算的运算规则：

0·0=0　0·1=0　1·0=0　1·1=1

2. 或逻辑运算

在逻辑问题中，当决定某一事件发生的所有条件中有一个或一个以上的条件具备时，该事件就能发生，则该因果关系称之为"或"逻辑，与其对应的运算即为"或"运算。"或"运算又称为逻辑加，运算符号是"+"，读作"或"。或运算的含义可用图 1.5 所示并联开关电路来表述。