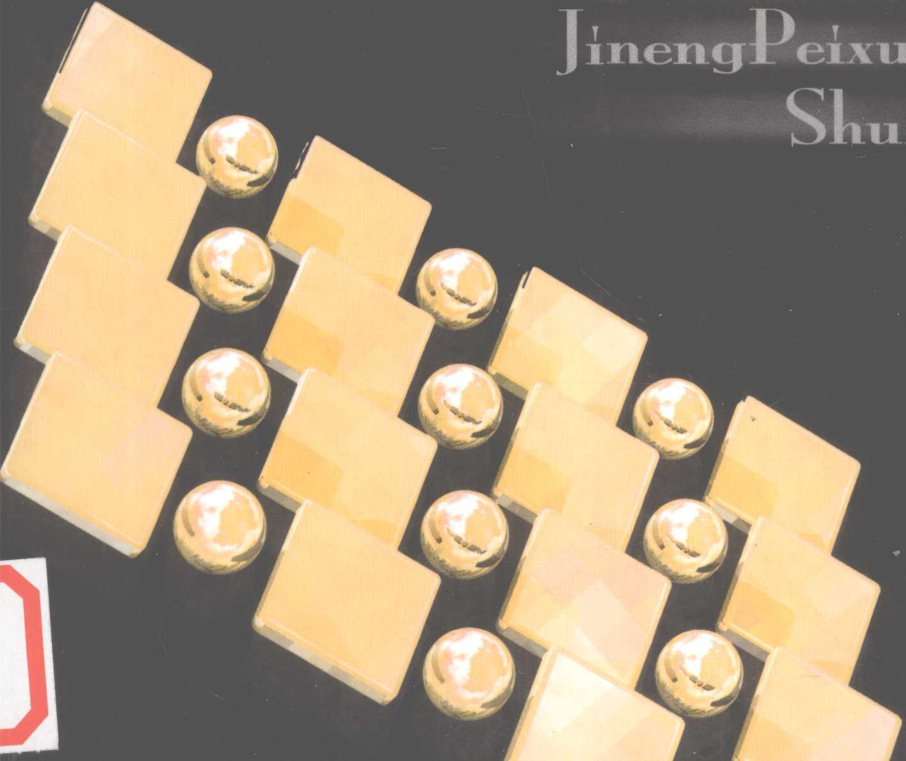
技能培训书系

浙江科学技术出版社

数字电路识读

黄瑞祥 毕 净
徐娅梅 徐月华 编著

JinengPeixun
Shuxi



技能培训书系

数字电路识读

黄瑞祥 毕 净
徐妊梅 徐月华 编著

图书在版编目(CIP)数据

数字电路识读/黄瑞祥等编著. —杭州:浙江科学技术出版社,2005.8

(技能培训书系)

ISBN 7-5341-2663-0

Ⅰ.数… Ⅱ.黄… Ⅲ.数字电路-技术培训-教材 Ⅳ.TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 059532 号

技能培训书系

数字电路识读

黄瑞祥 毕净 徐娙梅 徐月华编著

出版发行 浙江科学技术出版社
(杭州体育场路 347 号)
责任编辑 莫沈茗
激光照排 杭州兴邦电子印务有限公司
印 刷 杭州杭新印务有限公司
读者热线 0571-85103059
开 本 880×1230 1/32
印 张 8.25
字 数 215 000
版 次 2005 年 8 月第 1 版
2005年 8 月第 1 次印刷
书 号 **ISBN 7-5341-2663-0**
定 价 18.00 元

如发现印装质量问题,请与我们联系。

前 言 *Qianyan*

21世纪是信息数字化的时代，数字化是人类进入信息时代的必要条件，能够识读数字电路和数字系统则是掌握数字化技术的入门条件。因此，学习和了解数字电路识读的基础知识，看懂一般的数字电路，学会分析和理解一些常用数字电路的应用实例，显得非常有意义。

本书作为数字电路识读的入门读物，主要介绍数字电路识读基础知识、基本逻辑门电路和组合逻辑门电路的识读、触发器电路和时序逻辑电路的识读、数模转换（D/A）和模—数—转换（A/D）等，并分别介绍了每种单元电路的应用实例分析。本书编写时力求由浅入深、通俗易懂，可作为具有高中或以上文化程度的初学者阅读，也可供电子爱好者和维修人员参考。

由于作者水平有限，书中难免存在错漏之处，希望广大读者予以批评指正。

编　者

2005年1月

目 录

第一章　数字电路识读基础知识

数字与脉冲电路已经广泛地应用于通信、雷达、电视、计算机、家用电器、自动控制、电子测量仪表、核物理、航天等各个领域。例如，在通信系统中，应用数字技术的数字通信系统，不仅比模拟通信系统抗干扰能力强，保密性好，而且还能应用计算机进行信息处理和控制，形成以计算机为中心的自动交换通信网；在测量仪表中，数字测量仪表不仅比模拟测量仪表精度高，功能强，而且还容易实现测量的自动化和智能化。随着集成电路技术的发展，尤其是大规模和超大规模集成器件的发展，使得各种电子系统的可靠性大大提高，设备的体积大大缩小，尤其是各种功能的自动化和智能化程度大大提高。全世界正在经历一场数字化信息革命——即用 0 和 1 数字编码来表述和传输信息的一场革命。21 世纪是信息数字化的时代，数字化是人类进入信息时代的必要条件，而能够识读数字电路和数字系统，则是数字电路入门的条件。

第一节　数字电路概述

一、数字信号和数字化

1. 数字信号与数字电路

(1) 数字信号。物理量的变化在时间上和数量上都是离散的，我们把这一类物理量叫做数字量，把表示数字量的信号称为数字信号。

例如，工厂生产的产品只能在一些离散的瞬间完成，而且产品的个数也只能一个单位一个单位地增加，这一类物理量就是数字量。与数字量不同的是模拟量。例如，时间、温度、压力、速度等，它们在

时间上都具有连续变化的特点，这种连续变化的物理量习惯上称为模拟量，把表示模拟量的信号叫做模拟信号。

(2) 数字信号的普遍性。

①信号型：表示某一事物的是与非、真与伪、有和无、好和坏，表示电路的通和断，电灯的亮和暗等，投票选举中的赞成、反对、弃权等。

②数值型：用数字量表示物理量的大小。

(3) 数字信号的优点。

①易传输、保存、处理。

②抗干扰能力强。

③可靠性高。

(4) 数字电路。我们把处理数字信号的电路称为数字电路。与此相对应的，把处理模拟信号的电路称为模拟电路。它们的方框图分别如图 1-1 和图 1-2 所示。

图 1-1　模拟信号和模拟电路

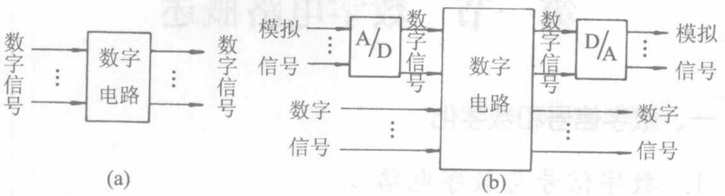
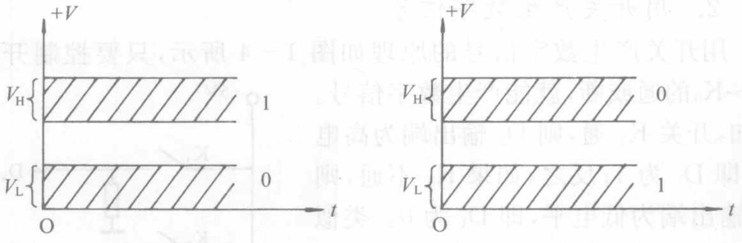


图 1-2　数字信号和数字电路

(5) 数字信号的物理表示。数字电路中的电压或电流通常只有 2 个状态，即高电平或低电平、有电流或无电流，这样 2 个状态可用逻辑"1"状态和逻辑"0"状态表示。如果用"1"表示高电平(V_H)，用"0"表示低电平(V_L)，这样的表示方法我们称为正逻辑。反之，如果用"1"表示低电平(V_L)，用"0"表示高电平(V_H)，这样的表示方法我

们称为负逻辑，如图 1－3 所示。一般情况下我们都采用正逻辑。以后除特别声明外，本书中均采用正逻辑。



(a) 正逻辑　　(b) 负逻辑

图 1－3　正逻辑和负逻辑

（6）数字电路的优点。数字电路有许多模拟电路无法比拟的优点。

①性能可靠，抗干扰能力强。因为数字电路中处理的信号大多是二值信号，人们可以很容易地将干扰从数字信号中分离出来并去掉，还可以用纠错技术纠正数字信号在传输及处理中出现的错误。而模拟电路则容易接收干扰，而且很难从模拟信号中将干扰分离出来并去掉。

②运算精度高。用数字电路进行数值分析与处理时，为了提高运算精度，可以很方便地通过加长变量位数来实现。而在模拟电路中要提高运算精度，则必须提高关键元器件的精度，这往往比较困难。

③适用性强。数字电路不但可以用于信号的数值分析与处理，而且也可以很方便地用于非数值信息的处理中，如对文字的分析与处理等。而模拟电路则只能用于信号的数值分析与处理。

④容易与计算机配合使用。数字电路与计算机所处理的信号都是数字信号，因此它们之间的沟通连接比模拟电路与计算机之间的沟通连接要方便得多。

⑤价格便宜，体积小，发展快。由于数字电路结构简单、通用性强，而且电路中不存在大电阻和大电容，所以容易集成化。随着微电

子技术的不断发展，在一块集成电路中集成一台计算机已成为现实，而模拟电路的集成则要困难得多。

2. 用开关产生数字信号

用开关产生数字信号的原理如图 1－4 所示，只要控制开关 K_3～K_0 的通或断，就能产生数字信号。例如，开关 K_3 通，则 D_3 输出端为高电平，即 D_3 为 1；反之，如果 K_3 不通，则 D_3 输出端为低电平，即 D_3 为 0。类似地，D_2、D_1 和 D_0 输出端不是 1 便是 0。这样，在输出端就能得到一个四位二进制数 D_3～D_0。

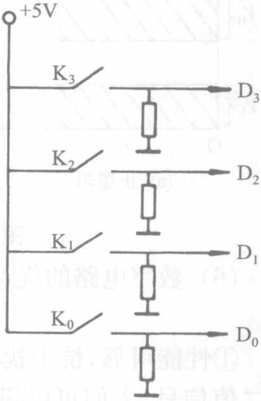


图 1－4　用开关产生数字信号

二、二进制数和编码

1. 二进制数

在数字电路中应用最广的是二进制。在二进制数中，每一位仅有 0 和 1 共 2 个可能的数码，所以计数基数为 2。低位数和相邻高位数之间的关系为“逢二进一”，故得名为二进制。

任何一个二进制数 D 均可展开为：

$$D=\sum_{i=-m}^{n-1}k_i\times 2^i$$

例如，二进制数 1101.01 可展开为：

$$(1101.01)_2=1\times 2^3+1\times 2^2+0\times 2^1+1\times 2^0+0\times 2^{-1}+1\times 2^{-2}$$

2. 十进制

在日常生活中最常用的是十进制。在十进制数中，每位有 0、1、2、…、9 共 10 个可能的数码，低位数和相邻高位数之间的关系是“逢十进一”和“借一当十”，故称为十进制。

任意一个正的十进制数 D 均可展开为：

$$D=\sum_{i=-m}^{n-1}k_i\times10^i$$

或者写为：

$D=k_{n-1}\times10^{n-1}+k_{n-2}\times10^{n-2}+\cdots+k_0\times10^0+k_{-1}\times10^{-1}+\cdots+k_{-m}\times10^{-m}$

如果以 N 取代上式中的 10，即可推广到任意进制（N 进制），N 进制数展开式的普遍形式为：

$$D=\sum_{i=-m}^{n-1}k_i\times N^i$$

其中 N 为计算的基数，k_i 为第 i 位的系数，N^i 为第 i 位的权，m 为小数点后的位数，n 为小数点前的位数。

3. 二进制数与十进制数之间的转换

（1）二进制数⟶十进制数：按权相加。

例：$(110101.011)_2=1\times2^5+1\times2^4+0\times2^3+1\times2^2+0\times2^1+1\times2^0+0\times2^{-1}+1\times2^{-2}+1\times2^{-3}$

$=(53.375)_{10}$

（2）十进制数⟶二进制数：整数、小数分别转换，然后把整数＋小数。

例：把十进制数 $(53.375)_{10}$ 转换成二进制数。

①整数部分——连除法（÷2）。

商		余数		
2⌊53				
2⌊26	………………	1	………………	LSB（最低位）
2⌊13	………………	0		
2⌊6	………………	1		
2⌊3	………………	0		
2⌊1	………………	1		
0	………………	1	………………	MSB（最高位）

所以 $(53)_{10}=(110101)_2$

②小数部分——连乘法（×2）。

$$
\begin{array}{rl}
0.375 & \\
\times\quad 2 & \\
\hline
[0.]750 & \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\ b_{-1}=0 \\
\times\quad 2 & \\
\hline
[1.]500 & \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\ b_{-2}=1 \\
\times\quad 2 & \\
\hline
[1.]000 & \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\ b_{-3}=1
\end{array}
$$

所以$(0.375)_{10}=(0.011)_2$

③整数部分＋小数部分：$(53.375)_{10}=(110101.011)_2$

4. 八进制数

八进制数有0、1、2、3、4、5、6、7共8个数码，基数为8，低位数与相邻高位数之间的关系为“逢八进一”，因此八进制数D可以表示为：

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

(1) 八进制数$\longrightarrow$二进制数：按位展开。

例：$(752.1)_8=(\underline{111}\ \ \underline{101}\ \ \underline{010}.\ \underline{001})_2$

(2) 二进制数$\longrightarrow$八进制数：小数点向左，每3位分组，位数不足时，高位添0；小数点向右，每3位分组，位数不足时，低位添0。

例：$(\underline{10}\ \ \underline{111}.\ \underline{1})_2=(27.4)_8$

5. 十六进制

十六进制数有0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F共16个数码符号，其中A、B、C、D、E、F 6个符号依次表示10～15。低位数与相邻高位数之间的关系为“逢十六进一”，因此十六进制数D可表示为：

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

(1) 十六进制数$\longrightarrow$二进制数：按位展开。

例：$(1F)_{16}=(\underline{1}\ \underline{1111})_2$

(2) 二进制数$\longrightarrow$十六进制数：小数点向左，每4位分组，位数不足时，高位添0；小数点向右，每4位分组，位数不足时，低位添0。

6．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，这些数码将不再表示数量大小的差别，而只是不同事物的代号而已，我们将这些数码称为代码。

例如，在举行长跑比赛时，为便于识别运动员，给每个运动员编一个数码并写在号码布上。显然，这些不同的号码代表不同的运动员，而失去了数量大小的含义。为了便于记忆和查找，在编制代码时总要遵循一定的规则，这就是编码规则。

在数字电路系统中，常用与二进制数码对应的 0、1 作为代码的符号，叫二进制码。必须指出的是，这里的二进制码不一定表示二进制数，它的含义由人们预先约定而赋予。这里介绍采用二进制码表示十进制数的代码，称为二—十进制代码，即 BCD 码（Binary Coded Decimal 的缩写）。

由于十进制数有 0、1、2、…、9 共 10 个数码，因此至少需要 4 位二进制码表示 1 位十进制数。四位二进制码共有 $2^4=16$ 种码组，见表 1－1（又称为自然二进制码）。在这 16 种代码中，可以任选 10 种来表示 10 个十进制数。常用的 BCD 代码列于表 1－2 中。

表 1－1　四位二进制码

序号	二进制编码
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000

续表

序号	二进制编码
9	1001
10	1010
11	1011
12	1100
13	1101
14	1110
15	1111

表 1-2　常用 BCD 代码

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

三、基本逻辑门电路及基本运算定律

数字电路的特点是电路中的大多数元器件都是工作于开关状态，因此各种开关电路就成为数字电路的基本电路。这些基本电路就像门一样按一定的条件开或者关，即当逻辑条件满足时信号可以通过，否则信号就不能通过，所以又称它们为逻辑门电路，简称门电路。

1. 与逻辑运算和与门(逻辑乘)

与逻辑运算是这样一种因果关系:当决定某一事件的各个条件全部具备时,这一事件才会发生。如图 1-5 所示,与运算可用 2 个(或 2 个以上)串联开关电路来描述,即用"只有在开关 A 与开关 B 都接通时,小灯泡 F 才亮。"这句话来描述这个串联开关电路的功能。这句话可由 3 个逻辑命题组成,其中"开关 A 接通"是一个简单的逻辑命题,用逻辑变量 A 表示;"开关 B 接通"也是一个简单的逻辑命题,用逻辑变量 B 表示;"小灯泡 F 亮"是第三个逻辑命题,用逻辑变量 F 表示。但小灯泡 F 亮是一个复杂逻辑命题,它是逻辑变量 A、B 通过与运算后得到的结果。这个复杂逻辑命题可用逻辑表达式来描述:

$$F=A\cdot B$$

或者 (1-1)

$$F=B\cdot A$$

式(1-1)中与运算用"·"表示。有时为了方便,也可省去"·"号,将 $A\cdot B$ 写成 AB。此外,也有用"∧、∩、&"等符号来表示与运算的。

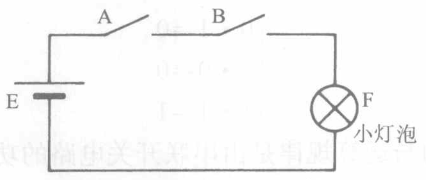


图 1-5 用串联开关电路来描述与运算

图 1-5 所示串联开关电路中有 2 个开关,因此可能有 4 种组合状态以及相应的结果,可用表 1-3 来描述。

表 1-3 与运算(串联)电路状态表

开关 A 的状态	开关 B 的状态	小灯泡 F 的状态
断开	断开	暗
断开	接通	暗
接通	断开	暗
接通	接通	亮

如果把与命题一致的状态用1表示，与命题不一致的状态用0表示，则可将表1-3改写成表1-4形式。

表1-4　与运算电路真值表

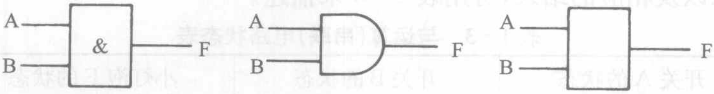
A	B	F
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

表1-4中用逻辑值0、1表示逻辑变量A、B各种可能的取值及其与函数值F之间的关系，所以将表1-4形式的表格称为真值表。真值表和逻辑表达式表达的是同一个事件，只不过真值表用逻辑变量的取值，而逻辑表达式将逻辑变量用符号表示而已。因此真值表完完全全地表明了与运算规律，即：

$$\begin{cases} 0 \cdot 0 = 0 \\ 0 \cdot 1 = 0 \\ 1 \cdot 0 = 0 \\ 1 \cdot 1 = 1 \end{cases} \qquad (1-2)$$

由于式(1-2)的与运算规律是由串联开关电路的功能推导出来的，因此称为公理，是逻辑运算（逻辑代数）的基础。

在数字电路中，与运算用与门来实现。图1-6所示为与门的图形符号，图中“&”为“与”功能的限定符号。



(a) 国家标准符号　(b) 国外流行符号　(c) 曾用符号

图1-6　与门图形符号

2. 或逻辑运算和或门（逻辑加）

或逻辑运算如图1-7所示，用2个（或2个以上）并联开关电路

来描述。显然开关A或开关B只要有一个闭合，小灯泡F就亮，可用逻辑表达式来描述：

$$F=A+B \tag{1-3}$$

式(1-3)中或运算用"+"表示，也有用"∨、∪"表示的。

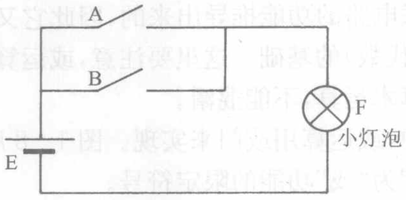


图1-7　并联开关电路来描述或运算

表1-5及表1-6为或运算(并联)电路的状态表及或电路的真值表。

表1-5　或运算(并联)电路状态表

开关A的状态	开关B的状态	小灯泡F的状态
断开	断开	暗
断开	接通	亮
接通	断开	亮
接通	接通	亮

表1-6　或运算电路真值表

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

由或运算电路的真值表可以确定或运算的规律，即：

$$\begin{cases}0+0=0\\0+1=1\\1+0=1\\1+1=1\end{cases}\qquad(1-4)$$

式(1-4)是由并联电路的功能推导出来的，因此它又是一组公理，也是逻辑运算(逻辑代数)的基础。这里要注意，或运算是逻辑运算，不同于二进制数的算术运算，不能混淆。

在数字电路中，或运算用或门来实现。图1-8所示为或门的图形符号，图中“≥1”为“或”功能的限定符号。

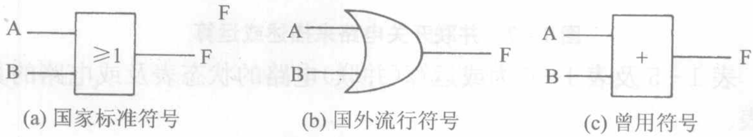


图1-8　或门图形符号

3. 非逻辑运算和非门(逻辑非)

非逻辑运算指的是逻辑的否定，它表示同原逻辑命题相矛盾。逻辑变量A的否定用符号$\overline{A}$来表示。非逻辑运算可用图1-9所示开关电路来描述。显然，开关A闭合时小灯泡不亮，而开关A打开时小灯泡亮。可用逻辑表达式来描述：

$$F=\overline{A}\qquad(1-5)$$

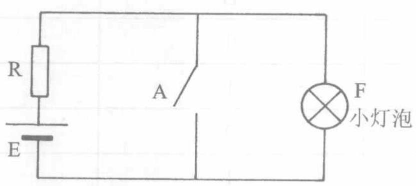


图1-9　用开关电路来描述非运算

表1-7及表1-8为非运算(开关)电路的状态表及非运算电路的真值表。