SHUZI DIANZIXUE JI QI GONGCHENG YINGYONG

数字电子学及其工程应用

[美] T. P. 西费林 V. 华顿尼安著 · 北京邮电学院数字通信专业译 · 人民邮电出版社出版

数字电子学及其工程应用

[美] T. P. 西费林
V. 华顿尼安 著
北京邮电学院数字通信专业译

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书分九章，讲开关电路设计、数字电子电路、时序电路、数字体制的算术运算、定时电路、计数电路、通信和数据转换电路、纠错码和移位寄存器的应用及数字信息的存储和控制。以一半篇幅讨论数字电子电路的基本理论，一半篇幅讲述设计实例。对于数字电子系统的技术设计、元件及应用，作了简明的论述。

数字电子学及其工程应用

［美］T. P. 西费林 著
V. 华顿尼安

北京邮电学院数字通信专业译

*

人民邮电出版社出版
北京东长安街27号
北京印刷一厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
限国内发行

*

开本：850×1168 1/32　1978年 1月第一版
印张：9 28/32 页数：158　1978年 1月北京第一次印刷
字数：260 千字　印数：1—18,000册

统一书号：15045·总2181-无637
定价：1.10元

出 版 前 言

无产阶级文化大革命以来，我国的通信事业蓬勃发展。为了配合我国数字通信的发展，我们遵照伟大领袖毛主席关于**洋为中用**的教导，请北京邮电学院数字通信专业 7431 班师生翻译了《数字电子学及其工程应用》这本书。数字通信中的一个重要问题是如何使用大量数字电子器件组成各种数字电路，来完成对设备所提出的各种技术要求。讲述各种数字电子器件及其组合的逻辑功能，介绍运用这种功能来设计符合一定要求的数字电子系统的技术，正是本书讨论的主要内容。

本书对数字电子系统的理论、设计技术、元件及其应用作简明论述。所举设计实例不限于用特殊类型的元件，对用分立元件、集成电路、半导体大规模集成电路能够实现的逻辑功能，均采用模块的（又称积木式）设计方法。随着集成电路技术的继续发展，在数字通信设备的设计中，将会更多地采用这种方法。

本书的读者对象，并不以通信专业的设计人员为限。书中对理论和实际电路的论述，几乎各占一半的篇幅，可供有关院校的教师及学员参考；也可为工业方面的电子工程技术人员提供一些联系实际的基础理论知识。

“对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。”希望读者以辩证唯物主义的观点，有分析、有批判地吸取书中有用的内容，为发展我国的数字电子技术服务。

人民邮电出版社

1977 年 2 月

目　　录

第一章　开关电路设计

开关电路是数字计算机和电子数据处理设备的基本构成单元。这些电路在由两个不相重迭的数值范围所代表的两种状态中的任一状态下工作。开关电路可以设计成具有较高的抗干扰性和可靠性。许多电器件都有两个稳定工作状态。例如：开关和继电器是断开或闭合的，不导通或导通的。像晶体管这样的有源器件，也有两个稳定工作状态，即：或者截止，或者全通。

数字处理系统的复杂性能，完全可以通过其各基本单元的动作和它们的两个稳定状态之间的相互关系来描述。为了描述这些开关电路的逻辑功能，要用到称为布尔代数的数学知识。

布尔代数是数学家乔治布尔[1]*（1815—1864）在研究逻辑问题时提出的。他认为可将代数形式表示的逻辑关系用于实际。克劳得E·山农[2]进而把布尔代数应用于电话开关电路的设计。

1-1　布尔代数

布尔代数最初是为了提供一种表示和解决逻辑问题的工具而发展起来的。布尔代数中的变量只能取两个数值：真和伪，即一个变量代表一个逻辑描述或者是真或者是伪。例如，图 1-1 所示的开关，可以是闭合的，也可以是断开的。对于这个开关的一个逻辑描述开关闭合，我们将用符号 A 表示。那么描述开关的这个符号 A，就是可以取真或伪两个数值之一的变量。当开关闭合时，变量 A 为真；相反，当开关断开时，变量 A 为伪。

由于布尔变量是二值的（也称二进的），所以，当用它来表示开

* 文献编号，参考文献在本书后面

关或继电器的状态时，两个值所代表的是闭合和断开，或者通和断。实际上，可选用许多合适的词，包括高-低、真-伪、1-0等，来描述一个二进或二-值器件的状态。但是布尔变量通常用符号1和0来表示。这两个符号也画在图1-1中。即$A=1$，否则$A=0$。1和0在这里没有数值的含义，只有逻辑意义。

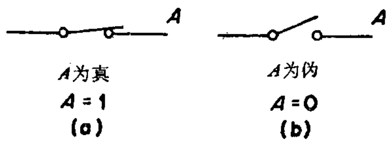


图 1-1　两个逻辑的开关位置

因为二进变量只取两个值，所以布尔代数的运算规则与普通代数的运算规则大不相同。布尔代数的主要目的在于确定某些命题或代数函数的真值；当涉及一组命题时，则确定该组合的真值。布尔代数，按其最初的定义，采用三个基本连接符或所谓命题运算：非、与和或。非运算是一个否定或补函数。与和或运算分别是布尔代数的乘法和加法形式，但其运算规则与普通代数的不同。由乘和加从字面上也容易想到与和或运算。布尔与和或运算常用的符号分别是点号（·）和加号（+）。

布尔把叙述的真和伪分别定义为1和0。这个定义仍在使用，并已扩展应用到二进制的数字电路中。上面已经提到：断开的继电器接点或开关可定义为0状态，闭合的接点定义为1状态。同样，饱和晶体管可定义为代表0；截止晶体管则代表1。而且，0和1可用电压（或电压范围）定义。即在一确定的系统中，0可以定义为-3V或0V，或者为+4.5V到+5.0V。状态的定义通常由设备的设计者来确定。在同一个设备的各个部分，它们甚至可以是不同的。

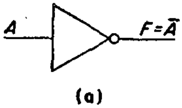
有两类逻辑电路：组合的和时序的。当一组输入确定时，组合电路有一定的输出；而时序电路的输出，则取决于输入的时序。本章讨论组合电路，第三章介绍时序电路。

基本运算

非连接符　非连接符是一个否定或反相的命题运算。按照定义，布尔变量 A 有两个可能的逻辑数值，**0** 和 **1**。如果 A 不等于 **0**，它必定等于 **1**；如果 A 不等于 **1**，那么它必定等于 **0**。A 的否定或补，读作 A 非，通常写作 $\bar{A}$ 或 A'。

一个电压电平的否定或反相容易用电子放大器（如共发射极晶体管放大器来实现。放大器的输出波形与输入波形反相。否定的电路（常称非门）符号见图 1-2(a)。它是一个运算放大器，在输出处用一个小圆圈表示反相。放大器的输入是一个二-值的电压，用布尔变量 A 表示。A 的两个数值是 **0** 和 **1**，其中，例如 **0** 可以代表一个 0 V 的电压，**1** 代表一个 5 V 的电压。如果反相放大器的输入是 5 V(**1**)，则输出将是 0 V(**0**)。如果反相放大器的输入是 **0**，则输出将是 **1**。把一个电路所有可能的状态列出，以表示输入和输出变量之间关系的表，叫做真值表。图 1.2(b)是一个非连接符的真值表。在数字电路中用放大器来作否定其他电路的驱动器和恢复电压电平。数字放大器与模拟放大器大不相同，它们不作线性的信号放大之用。数字放大电路的详细设计将在第二章讲述。

与连接符　与连接符读作 A 与 B，写成 $A \cdot B$，或简单地写为 AB。一个布尔函数 $F = A \cdot B$ 的意思是：为了使 F 为真，变量 A 和 B 必须均为真，即仅当 $A = B = \mathbf{1}$ 时，$F = \mathbf{1}$。图 1-3(a) 与连接符的真值表中列出了二变量情况下输入变量全部可能的组合。与电路



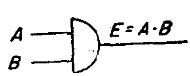
(a)

A	$\bar{A}$
0	1
1	0

(b)

A	B	$A \cdot B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

(a)



(b)

图 1-2　(a) 非电路的符号
　　　　(b) 非连接符的真值表

图 1-3　(a) 与连接符的真值表
　　　　(b) 与电路的符号

（常称与门）的符号画在图 1-3(b)中。与函数一般能包含两个以上的变量。具有 n 个输入的与门，只有当所有输入都是 1 时，输出方为真或 1。

用继电器或开关接点构成的电路，可以更清楚地说明与连接符的物理意义。用开关接点构成的与电路画在图 1-4 中。注意，在开关电路中，如图 1-4 所示，我们假定输入维持在逻辑电平 1。当开关按图中所写的布尔函数接通时，输出将为 1。因此，容易看到，当所有开关即 A 与 B 与 C 是在 1 状态（闭合）时，输出是 1。

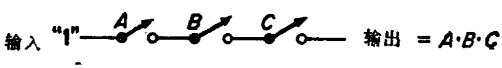


图 1-4 具有三个输入变数的与电路的开关接点表示法

或连接符 或连接符读作 A或B，并写作 $A+B$。布尔函数 $F=A+B$ 的意思是：为了使 F 为真，A 或 B 或二者必须为真，即当 A 或 B 或二者都等于 1 时，$F=1$。图 1-5(a)是两个变量的或连接符的真值表。或电路（常称或门）的符号画在图 1-5(b)中。

三变量或电路的开关接点表示法见图 1-6。我们看到，当开关 A 或 B 或 C 或它们的任何组合处在闭合或 1 位置时，输出是 1。当然，或电路也能扩展到包含 n 个输入变量。

A	B	A+B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(a)

(b)

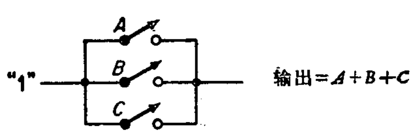


图 1-5 (a)或连接符的真值表
(b)或电路的符号

图 1-6 三输入变量或门电路的开关接点表示法

运算规则

下列规则适用于非、与和或三个基本运算。

非	与	或
$\overline{0}=1$	$0\cdot0=0$	$0+0=0$
$\overline{1}=0$	$0\cdot1=0$	$0+1=1$
	$1\cdot0=0$	$1+0=1$
	$1\cdot1=1$	$1+1=1$

上述非的关系是基本关系，它和布尔变量是二值-变量的定义是一致的。即如果变量 A 不是 1，则它必须是 0，反之亦然。与和或函数与开关接点表示法一致，其中与连接符用串联接点表示，或连接符用并联接点表示（1 和 0 分别代表闭合和断开的开关）。所有的布尔关系都能由这些运算规则推出（实际上，我们以后将会看到，在以上的运算中，仅有两种是基本的，即非和与或者非和或）。

对于布尔表示式常需加以处理，使之简化，以便容易用标准组件加以实现。处理布尔代数式时常需用到下列各种规律。这些规律，容易由上面给出的基本运算规则推得，并能用开关接点表示法验证。

1. 一、零规则　$0+A=A$，$0\cdot A=0$

　　$1+A=1$　$1\cdot A=A$

2. 交换律　$A+B=B+A$，$AB=BA$

3. 结合律　$A+(B+C)=(A+B)+C$

　　$A(BC)=(AB)C$

4. 分配律　$A+BC=(A+B)(A+C)$

　　$A(B+C)=AB+AC$

5. 重迭律　$A+A=A$

　　$A\cdot A=A$

6. 互补律　$A+\bar{A}=1$

　　$A\cdot\bar{A}=0$

7. 吸收律　$A+AB=A$

　　$A(A+B)=A$

　　$A+\bar{A}B=A+B$

8. 对合律　$(\bar{\bar{A}})=A$

9. 反演律（狄摩根定理）　$(\overline{A+B})=\bar{A}\cdot\bar{B}$

　　$\overline{A\cdot B}=\bar{A}+\bar{B}$

人们往往很自然地会把布尔代数和普通代数相对比。即把与运算和普通的乘法相对比，把或运算和普通的加法相对比。当然，由于布尔变量被定义为仅有两个值，与和乘法的对比还比较合适。但如分配律，即定律 4，在把或运算和普通加法对比时，要极其细心。

这个关系的开关接点表示法见图 1-7，它说明了布尔等式的正确性。

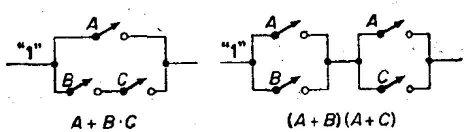


图 1-7 说明$A+BC=(A+B)(A+C)$的开关接点表示法

狄摩根定理

当需要求布尔函数的补函数时，可使用狄摩根定理，即规律9。这个规律将在 1-3 节用维恩图证明。求一个函数的补函数的步骤如下：

1．否定整个布尔函数。

2．把所有的与变成或，把所有的或变成与。

3．否定每个变量。

我们用下例说明这些规则。求 $F=\bar{A}+B+\bar{C}$ 的等效形式，首先写出

$$\bar{F}=\overline{\bar{A}+B+\bar{C}} \qquad \text{（第一步）}$$

然后，把或都变成与，

$$\bar{A}\cdot B\cdot\bar{C} \qquad \text{（第二步）}$$

最后，否定每个变量

$$\bar{F}=A\cdot\bar{B}\cdot C \qquad \text{（第三步）}$$

否定整个等式，得出

$$F=\overline{A\cdot\bar{B}\cdot C}$$

这就是等效表示式。

狄摩根定理能把积的和的表示式变成和的积的形式，反之亦然。现用下例说明。

$$F=A\bar{B}C+\bar{A}B+A\bar{B}\bar{C} \tag{1-1 a}$$

那么，

$$\bar{F}=(\bar{A}+B+\bar{C})\cdot(A+\bar{B})\cdot(\bar{A}+B+C) \tag{1-1 b}$$

用狄摩根定理可以处理复杂的布尔表示式。通常，连续使用这个定理有利于简化这种表示式，而且处理后的布尔函数的形式比较容易用给定型式的集成电路元件来实现。

狄摩根定理通过使用非运算指出了与和或运算间的关系。与非得或，反之，或非得与。由于有这个特性，整个开关代数仅需用两个基本连接符，即与和非连接符或者或和非连接符。这就形成了与非和或非逻辑元件，它们分别是非和与及非和或电路的组合元件。

与非和或非逻辑

非、与和或连接符在布尔代数中被规定为基本运算。然而，任何逻辑函数仅仅需要非和与或者非和或来合成。采用与非或者或非逻辑的一个优点是把需用的不同电路减到最少，而使这些电路容易用集成电路组件构成。

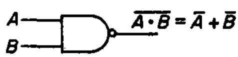
与非运算 与非运算可用后面接有反相放大器的与门实现，反相放大器组成输出驱动电路。图 1-8(a) 是两个输入的与非函数的真值表。图 1-8 (b) 是这个函数的符号。它是在一个与门符号之后加一个圆圈，以表示反相。

如果与非门的任一输入变量是 0，输出将是 1 状态。同样，如果所有输入都是 1 状态，则输出将是 0 状态。有可接多达 8 个输入的与非门，但三、四个输入变量的门比较普通。这些门能被扩展以容纳更多数量的输入。

或非运算 把或门的输出反相，就是或非运算。或非函数的真值表和二输入或非门的符号见图 1-9。或非门的所有输入必须是 0 状态，输出才是 1，否则输出将在 0 状态。

A	B	$\overline{A\cdot B}$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

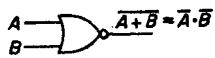
(a)



(b)

A	B	$\overline{A+B}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

(a)



(b)

图 1-8 (a) 与非运算的真值表
(b) 与非门的符号

图 1-9 (a) 或非运算的真值表
(b) 或非门符号

异或运算 异或是数字电路往往要具有的一种功能。为了方便，给它规定了一个专门符号。然而它不是一个独立的运算，并能用基本运算表示出来。A“异或”B 写作 $A\oplus B$。当 A 或 B 为真，并且二者不同时为真时，这个函数才为真。用符号表示，即

$$A\oplus B=(A+B)\cdot\overline{AB}$$

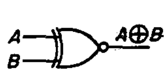
运用狄摩根定理，

$$A\oplus B=(A+B)(\bar{A}+\bar{B})=A\bar{A}+A\bar{B}+\bar{A}B+B\bar{B}=A\bar{B}+\bar{A}B$$

异或函数的真值表见图 1-10(a)。其标准电路符号见图 1-10(b)。许多作者使用图 1-10(c)所示的另一种符号。

A	B	$A\oplus B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

(a)



(b)

(c)

图 1-10 (a) 异或运算的真值表
(b) MIL标准异或符号
(c) 另一种符号

1-2 组合的真值表

分析

一个列有布尔函数所有可能数值的表叫做真值表。因为一个布尔变量能取两个数值中的任何一个值，所以，一个具有 n 个变量的函数， 在表中将有 2^n 项以包括所有可能的组合。 表中最后一列是每行变量取某个特定值时的函数值。在前节中，曾用这种表来帮助深入理解基本的布尔运算。对于复杂的布尔函数，还可增加一些行，以确定完整表示式的数值。布尔等式和恒等式可以用真值表来验证。如果两个函数当它们的变量取所有可能的数值时是相等的，则两个函数相等。这就是归纳法的数学证明。例如，$A+BC=(A+B)(A+C)$，即或运算的分配律，可用图 1-11 中的表验证。

A	B	C	BC	$A+BC$	$A+B$	$A+C$	$(A+B)(A+C)$
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	1	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	1	1
1	0	1	0	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1

图 1-11 $A+BC=(A+B)(A+C)$ 的真值表

另一个例子，吸收律，$A+\bar{A}B=A+B$， 可用图 1-12 的表验证。

二进变量的两个可能数值，**0** 和 **1**，代表一种状态或状况（如伪或真，断开或闭合，等等），并不表示一个数量。在一个二进变量的可能状态的组合表中，宜于把各组合按与二进数系相对应的序列来

A	B	$A+B$	$\bar{A}$	$\bar{A}B$	$A+\bar{A}B$
0	0	0	1	0	0
0	1	1	1	1	1
1	0	1	0	0	1
1	1	1	0	0	1

图 1-12 $A+\bar{A}B=A+B$ 的真值表

排列。这可认为是一种"簿记"法。在逻辑电路的设计和分析中，常把二进变量的组合与二进数系相联系。一个二进数当然也能表示一个量。例如，测量出的电压值可以用二进数表示。当把代表二进数的电压加到逻辑电路上时，将这个二进数的每位数字作为独立的二进变量来处理。二进数与二进变量的联系是很自然的。然而，有些作者使用另一不同字型把二进数和二进变量区别开。

用真值表可以证明任何布尔表示式。然而用 1-1 节的布尔规律来处理表示式，往往更容易求证。特别是在表示式包括许多变量，需要写很长的真值表时，更是如此。

吸收律 $A+AB=A$，用真值表很容易验证。但对与运算的分配律作简单处理，也容易加以验证。公式的左边是

$$\begin{aligned}A+AB&=A(1+B)\text{（用分配律）}\\&=A(1)\quad\text{（用一和零规则）}\\&=A\end{aligned}$$

所有的布尔关系对于处理布尔表示式都有用。或运算的吸收律和分配律与普通代数的大不相同，应熟记以便善于运用它们来处理布尔表示式。例如：

$$\begin{aligned}A+B&=A+ABC+BC\bar{A}+\bar{A}B+DA+\bar{D}A\\&=A+BC(A+\bar{A})+\bar{A}B+A(D+\bar{D})\text{（用分配律）}\\&=A+BC+\bar{A}B+A\quad\text{（用互补律）}\\&=A+BC+\bar{A}B\quad\text{（用重迭律）}\end{aligned}$$