

第1章 数字逻辑基础

在实际生活中，存在着两类物理量：一类称为数字量，它具有时间上离散变化、值域内只能取某些特定值的特点；另一类称为模拟量，它具有时间上连续变化、值域内任意取值的特点。在电子设备中，无论是数字量还是模拟量都是以电信号形式出现的。人们常常将表示模拟量的电信号叫作模拟信号，将表示数字量的电信号叫作数字信号。数字信号是一种脉冲信号，脉冲信号具有边沿陡峭、持续时间短的特点。广义讲，凡是非正弦信号都称为脉冲信号。

无论数字信号还是模拟信号都有传输通路。在电子电路中，人们将产生、变换、传送、处理模拟信号的电子电路叫做模拟电路，将产生、存储、变换、处理、传送数字信号的电子电路叫做数字电路。数字电路不仅能够完成算术运算，而且能够完成逻辑运算，具有逻辑推理和逻辑判断的能力，因此被称为数字逻辑电路或逻辑电路。

数字电路经历了由电子管和半导体分立元件组成的分立器件电路，发展成在微小的芯片上集成半导体器件及无源器件的集成电路。当前数字电路正向着大规模、低功耗、高速度、可编程、可测试和多值化方向发展，因而提高了数字逻辑的可靠性，缩小了系统的尺寸体积，更有利于大批量生产，达到提高产品的技术经济指标的目的。

分析和设计逻辑电路的基本数学工具是逻辑代数，逻辑代数是研究二进制运算的学科

数是数字系统的主要处理对象，在数字系统中，数是用开关元件的不同状态来表示的。由于数字系统本身的这个特性，要求对数的结构形式和特征有所了解。

数制

常用数制——二, 十, 十六进制

- 目前在计算机中, 数几乎全部用二进制表示
- 为书写方便, 微机中的二进制数用十六进制数缩写
- 人们最熟悉、最常用的是十进制数

为了区别3种不同数制, 约定

- 数后加B表示二进制数
- 带D或不带字母符号表示十进制数
- 带H表示十六进制数

数制间转换

(1) 二 \leftrightarrow 十六

二进制整数 \rightarrow 十六：从右（最低位）向左将二进制数4位1组划分，最后一组若不足4位则在其左边补0，每组用1位十六进制数表示

如：
1111111000111B
 \rightarrow 1 1111 1100 0111B
 \rightarrow 0001 1111 1100 0111B = 1FC7H

(2) 十六 \leftrightarrow 十

十六 \rightarrow 十：将十六进制数按权展开相加

$$\begin{aligned}\text{如： } 1F3DH &= 16^3 \times 1 + 16^2 \times 15 + 16^1 \times 3 + 16^0 \times 13 \\ &= 4096 \times 1 + 256 \times 15 + 16 \times 3 + 1 \times 13 \\ &= 4096 + 3840 + 48 + 13 = 7997\end{aligned}$$

十进制整数 \rightarrow 十六：除16取余法

如： 38947=9823H

16	38947	3	↑ 余数倒序排列
16	2434	2	
16	152	8	
16	9	9	
	0		

符号数的表示方法

- 用数的符号和数值部分一起编码的方法表示符号数
- 只有8位(字节)、16位(字)或32位(双字)机器数的最高位才是符号位。最高位为0→正数, 为 1→负数
- 区分: 机器数、真值、无符号数
- 掌握符号数的三种常用表示法: 原码, 反码, 补码

二进制编码

计算机里，字母、各种符号以及指挥计算机执行操作的指令，均用二进制数的组合表示，称为二进制编码。

1 二进制编码的十进制数

即用二进制表示的十进制数，简称BCD数，常用的是8421 BCD码

2 循环码

又称为反射码，格雷码。循环码中的每一位代码从上到下的排列顺序都是以固定的周期进行循环。

特点：任意相邻两个代码，只有一个码元不同。

(2) ASCII码


——字符在机内的表示

用7位二进制数码表示数字、字母或符号的代码。

逻辑运算

- ❧ 在客观世界中，事物的发展变化通常都是有一定因果关系的。例如，电灯的亮、灭决定于电源是否接通，如果接通了，电灯就会亮，否则就灭。电源接通与否是因，电灯不亮是果。这种因果关系，一般称为逻辑代数关系，反映和处理这种关系的数学工具，就是逻辑代数。
- ❧ 逻辑代数，是英国数学家George Boole 在19世纪中叶创立的，所以也叫布尔代数。直到20世纪30年代，美国人Claude E. Shannon 在开关电路中才找到了它的用途，并且很快就成为分析和综合开关电路的重要工具，因此，又常常称之为开关代数。

逻辑运算

 和普通代数比较起来，在逻辑代数中，虽然也用英文字母表示变量，但情况要简单得多。在二值逻辑中，变量取值不是1就是0，没有第三种可能。而且这里的1和0并不是表示数值的大小，它们所代表的是两种不同的逻辑状态。例如，用1和0分别表示一件事的是与非、真与假，电压的高与低，电流的有与无，一个开关的开通与关断，一盏电灯的亮与灭等等。在逻辑代数中，有些公式和定理与普通代数并无区别，有些则完全不同。

基本逻辑运算

在逻辑代数中，基本逻辑运算有与、或、非三种，常用的复合逻辑运算是与非、或非、与或非、异或等。

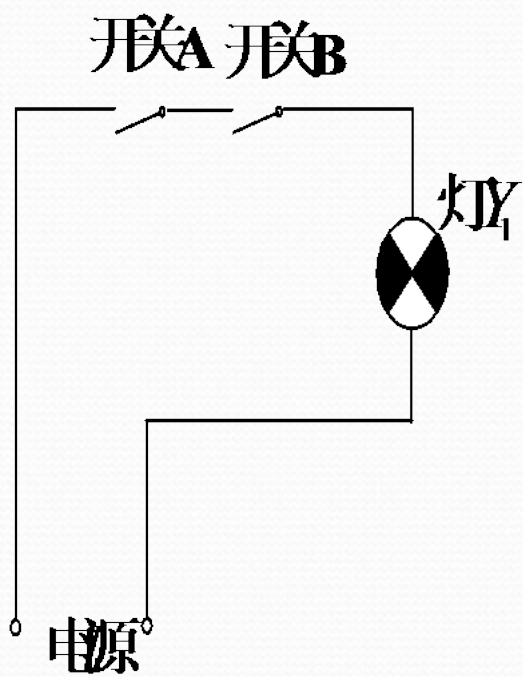
1. 三种基本逻辑运算

(1) 基本逻辑关系

如图1-1中所示电路，是反映与、或、非三种基本逻辑关系最简单的例子。

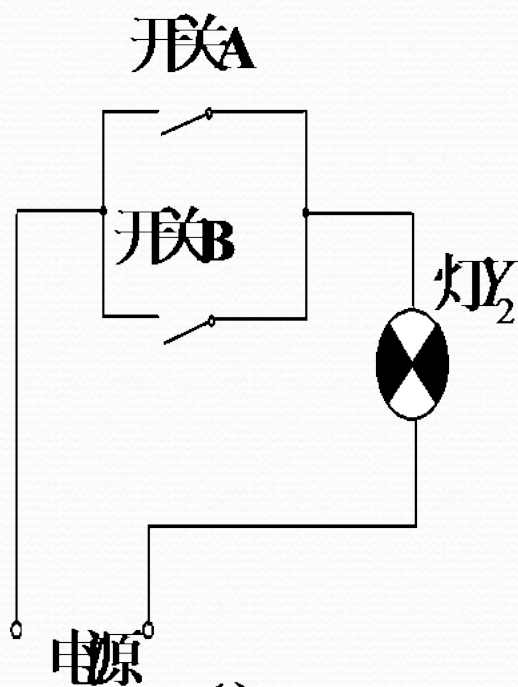
当决定一件事情的各个条件全部具备时，这件事情才会发生，这样的因果关系，称之为与逻辑关系。在图（a）中，只有开关A与开关B都合上时，灯Y1才会亮，所以对灯Y1亮这件事情来说，开关A、开关B闭合是与的逻辑关系。

当决定一件事情的各个条件中，只要有一个具备，这件事情就会发生，这样的因果关系，叫做与逻辑关系。在图（b）中，只要开关A或者开关B闭合，灯Y2就会亮。所以对灯Y2这件事情来说，开关A、开关B闭合是或的逻辑关系。非就是反，就是否定。在图（c）中，当开关A断开时，灯Y3亮，闭合时反而会灭，所以对灯Y3亮来说，开关闭合是一种非逻辑关系。



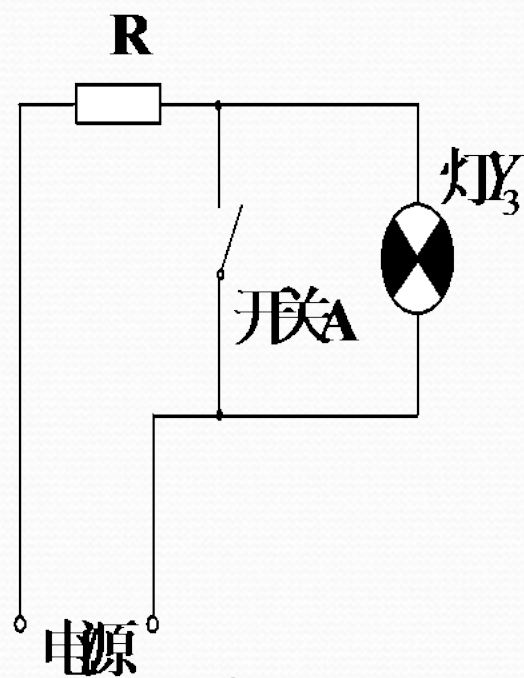
(a)

(a) 与逻辑关系



(b)

(b) 或逻辑关系



(c)

(c) 非逻辑关系

根据电路中有关定理，可以很容易地列出表1—1所示功能表。

表1—1 反映图1-1电路的功能表

开关A	开关B	灯Y ₁	灯Y ₂	灯Y ₃
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	

经过设定变量和状态赋值之后，便可以得到反映开关状态与电灯亮灭之间因果关系的数学表达形式——逻辑真值表，简称为真值表。

用英文字母表示开关和电灯的过程，叫做设定变量。现用A、B、Y1、Y2、Y3分别表示开关A、B和灯Y1、Y2、Y3。

用0和1分别表示开关和电灯有关状态的过程，称为状态赋值。现用0表示开关断开和灯灭，用1表示开关闭合和灯亮。这也叫做变量取值。

根据设定变量和状态赋值情况，由表1-1所示功能表，可以很容易地列出如表1-2所示的表格，这种表一般地称之为真值表。

表1-2 反映基本逻辑关系的真值表

A	B	Y_1	Y_2	Y_3
0	0	0	0	1
0	1	0	1	
1	0	0	1	0
1	1	1	1	

(2) 基本逻辑运算

在表1-2中，对Y1来说，只有当A与B均为1时，其值才会为1，这显然是一种与的逻辑关系，并记作：

$$Y_1 = A \bullet B$$

读作Y1等于A与B，相应地把这种运算叫做逻辑与运算，简称为与运算。与运算和算术中的乘法运算是一样的，所以又叫做逻辑乘法运算，相应地，上式又可读作Y1等于A乘B。书写时表示与或者乘的符号“ \bullet ”常省略。

在表1-2中，对Y2来说，只要A或B为1时，其值就会为1，显然是一种或的逻辑关系，并记作：

$$Y_2 = A + B$$

上式读作Y2等于A或B，相应地，把这种运算叫做逻辑或运算，简称为或运算。或运算和算术中的加法运算很相似，所以又叫做逻辑加法运算，相应地，又常读作Y2等于A加B。

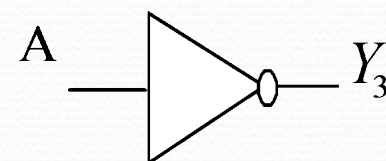
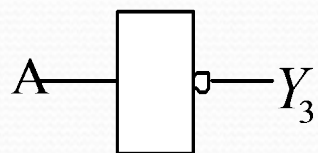
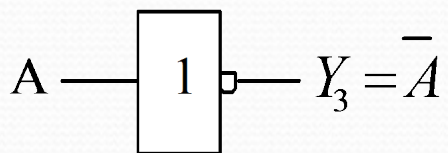
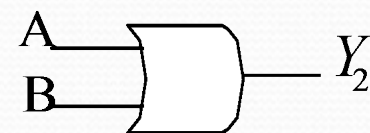
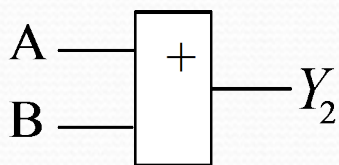
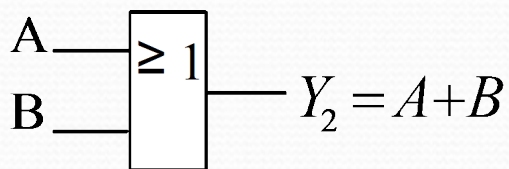
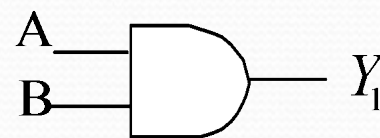
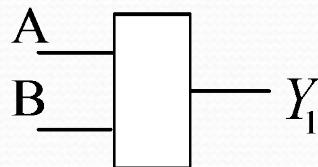
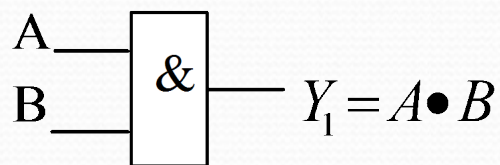
在表1-2中，当A取值为0时Y3为1，A取值为1时Y3反而为0，这显然是一种逻辑非关系，并记作：

$$Y_3 = \overline{A}$$

读作Y3等于A非，或者Y3等于A反。A上面的一横就表示非或者反。相应地，把这种运算叫做逻辑非运算或者逻辑反运算，简称为非或者反运算。

2. 复合逻辑运算

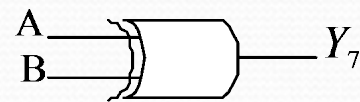
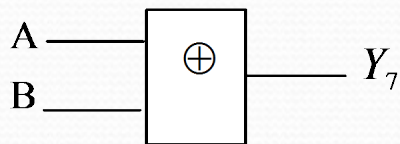
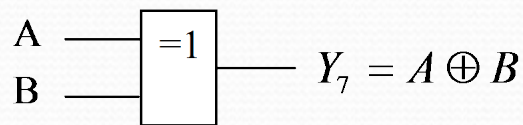
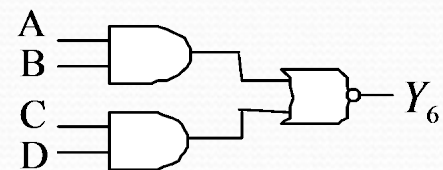
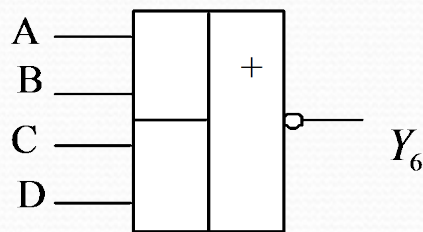
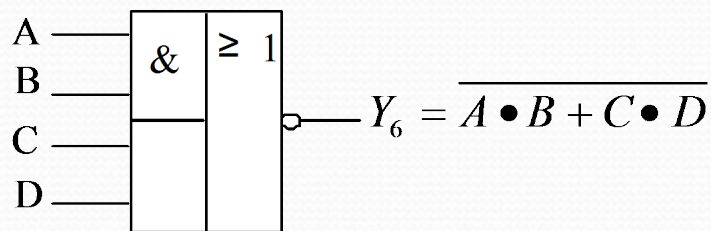
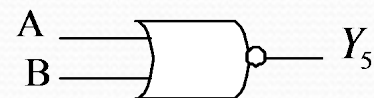
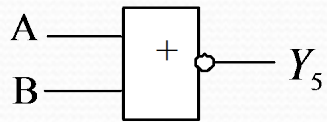
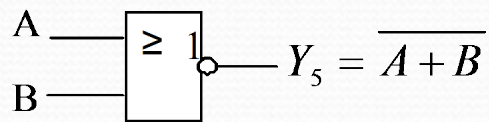
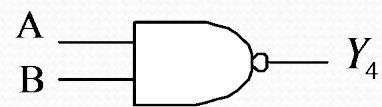
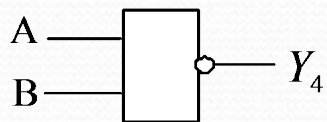
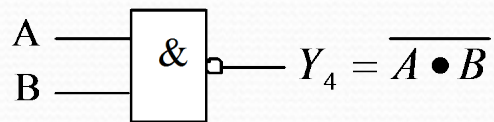
在逻辑代数中，由基本的与、或、非逻辑运算可以实现多种复合逻辑运算。



(a) 国际符号

(b) 曾用符号

(c) 美国符号



(a)

(b)

(c)

(a) 国际符号

(b) 曾用符号

(c) 美国符号

七种运算和逻辑符号

在图1-2中，用英文字母表示变量，这里叫做逻辑变量。整个式子叫做逻辑表达式，式中A、B称为输入逻辑变量。Y叫做输出逻辑变量，字母上面无反号的称为原变量，有反号的叫做反变量。

正负逻辑问题

在数字电路中，通常用电路的高电平和低电平来分别代表逻辑1和逻辑0，在这种规定下的逻辑关系称为正逻辑。反之，用低电平表示逻辑1，用高电平表示逻辑0，在这种规定下的逻辑关系称为负逻辑。我们将电平和逻辑取值之间对应关系给以规定称为逻辑规定。

对于一个数字电路，既可以采用正逻辑，也可采用负逻辑。同一电路，如果采用不同的逻辑规定，那么电路所实现的逻辑运算是不同的。

由定义可知，正逻辑与运算和负逻辑或运算互相对应；正逻辑或运算和负逻辑与运算互相对应。表1-3和表1-4分别给出了几种逻辑运算的正逻辑和负逻辑电平关系。在本书中，除在特殊情况下注明为负逻辑外，一律采用正逻辑。

表1-3逻辑运算正逻辑电平关系

输 入		输 出			
X	Y	与门	或门	与非门	或非门
L	L	L	L	H	H
L	H	L	H	H	L
H	L	L	H	H	L
H	H	H	H	L	L

表1-4逻辑运算负逻辑电平关系

输 入		输 出			
X	Y	与门	或门	与非门	或非门
L	L	L	L	H	H
L	H	H	L	L	H
H	L	H	L	L	H
H	H	H	H	L	L

逻辑门电路

在数字电路中，输入与输出量之间能满足某种逻辑关系的逻辑运算电路被称为逻辑电路。

1. 基本逻辑电路

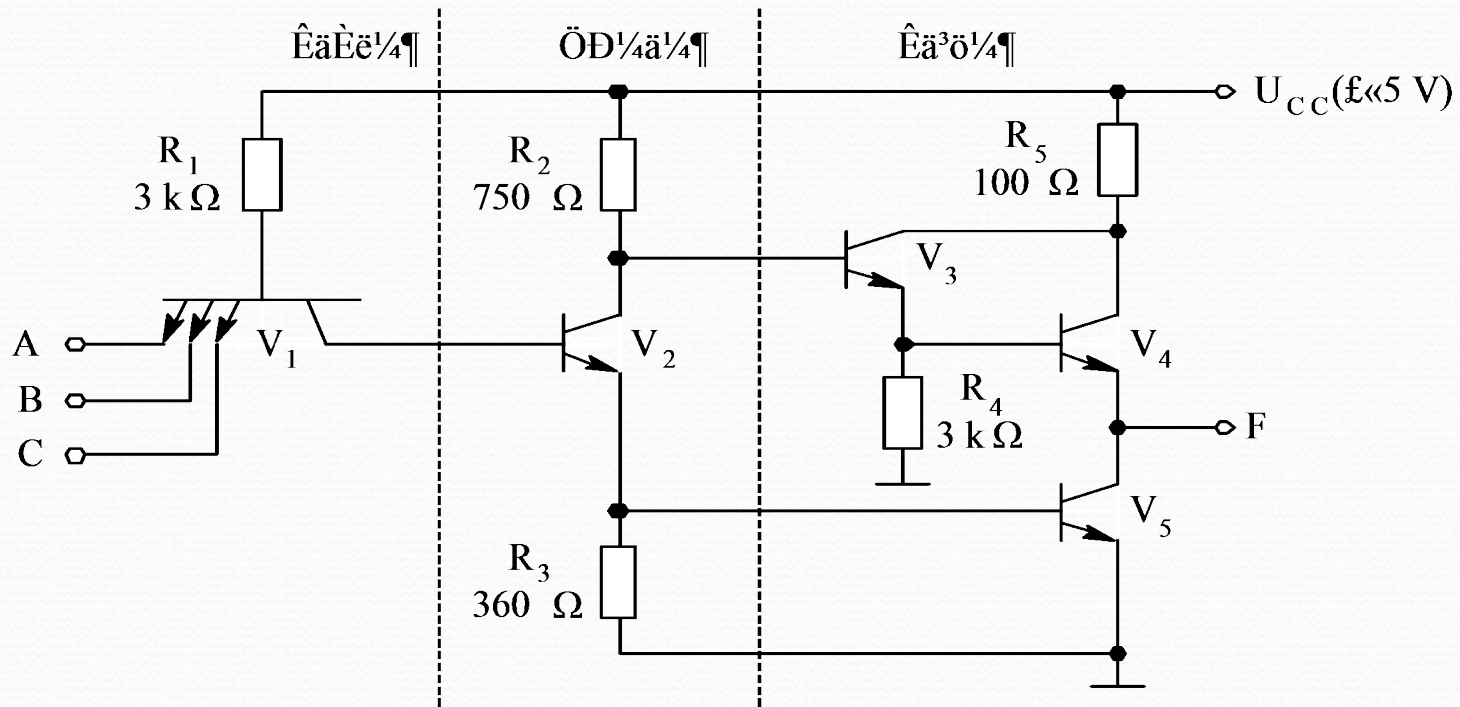
实现与、或、非三种逻辑运算的电子电路分别称为与逻辑电路、或逻辑电路、非逻辑电路，简称为与电路、或电路、非电路。它们具体实现的电路和工作原理可参考有关资料。

2. TTL逻辑电路

TTL是晶体管——晶体管逻辑(Transistor—Transistor Logic)电路的简称。在TTL电路中，输入和输出部分的开关元件均采用晶体管(也称双极型晶体管)，因此也得名TTL数字集成电路。

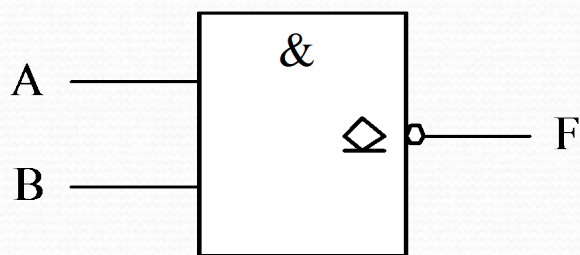
(1) 基本TTL逻辑电路

基本TTL逻辑电路的形式是与非逻辑关系，其典型电路如图1-3所示，它在结构上可分为输入级、中间级和输出级三个部分。

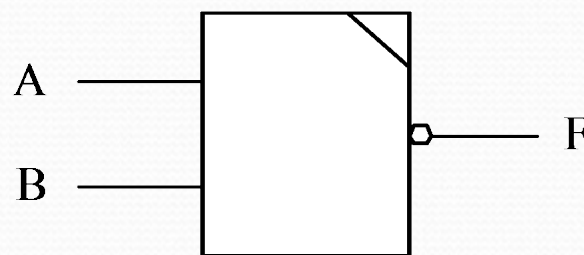


(2) 集电极开路门

集电极开路门简称OC门，它是将TTL与非逻辑电路输出级的倒相器V5管的集电极有源负载V3、V4及电阻R4、R5去掉，保持V5管集电极开路而得到的。由于V5管集电极开路，因此使用时必须通过外部上拉电阻 R_L 接至电源 E_C 。 E_C 可以是不同于 U_{CC} 的另一个电源。OC门的逻辑符号如图所示。



(a)



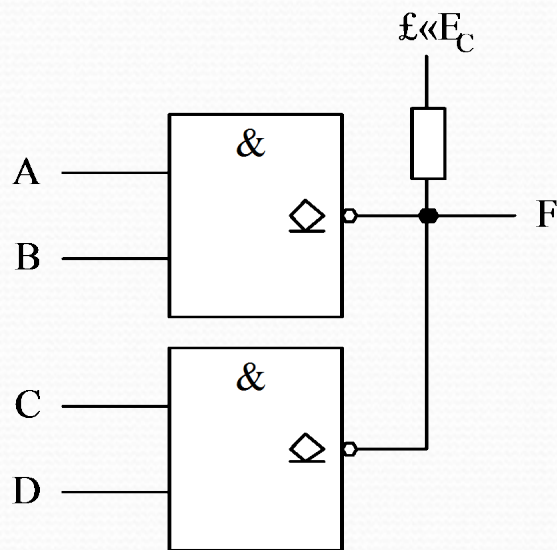
(b)

OC门逻辑符号

(a) 国际符号；

(b) 惯用符号

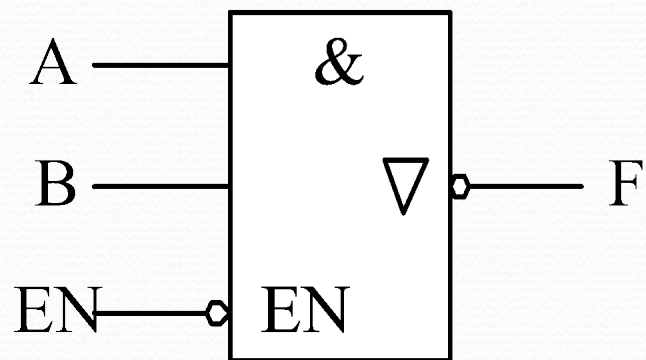
OC门除了可以“线与”连接外，还可以用来驱动感性负载或实现电平转换。例如，在图的电路中， $E_C=10V$ 时，F的输出高电平就从3.6V变成了10V。



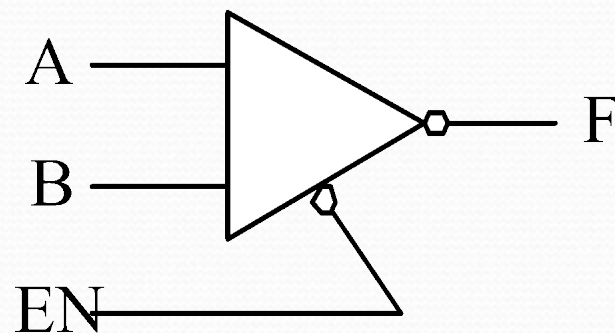
OC门的线与电路

(3) 三态门

三态门也称TS门(Three State Gate)，是在TTL逻辑电路的基础上增加一个使能端EN而得到的。当EN=0时，TTL与非门不受影响，仍然实现与非门功能；当EN=1时，TTL与非门的V4、V5将同时截止，使逻辑门输出处于高阻状态。因此，三态门除了具有普通逻辑门的高电平（逻辑1）和低电平（逻辑0）两种状态之外，还有第三种状态——高阻抗状态，也称开路状态或Z状态。三态门的逻辑符号和真值表分别如图1—6和表1—5所示。国际符号中的倒三角形“ ∇ ”表示逻辑门是三态输出，EN为“使能”限定符，输入端的小圆圈表示低电平有效(有的三态门也可能没有小圆圈，说明EN是高电平有效)。



(a)



(b)

三态门的符号 Φ

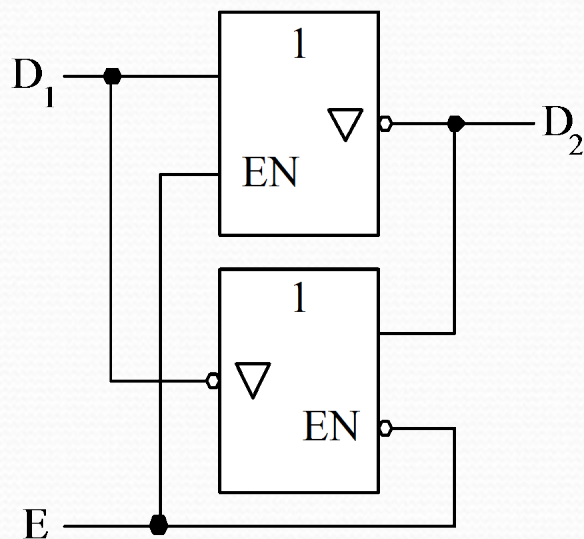
(a) 国际符号;

(b) 惯用符号

表1—5 三态门的真值表

EN	A	B	F
1	Φ	ϕ	高阻
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0

三态门在计算机的总线结构中有着广泛的应用。例如，双向数据总线可以按照图1-7来构成。当控制端 $E=0$ 时，下端三态门工作，上端三态门处于高阻状态， D_2 线上的数据反相后传至 D_1 线上；当控制端 $E=1$ 时，上端三态门工作，下端三态门处于高阻状态， D_1 线上的数据反相后传至 D_2 线上，从而实现了数据的双向传输。

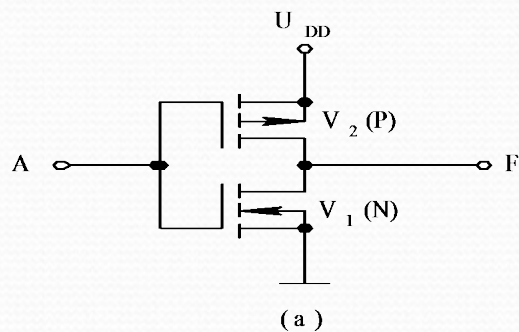


双向数据总线

2. CMOS逻辑电路

(1) CMOS非逻辑电路

图 (a) 是CMOS非逻辑运算，是CMOS电路的基本单元。它由一个P沟道增强型MOS管V2和一个N沟道增强型MOS管V1构成，两管漏极相连作为输出端F，两管栅极相连作为输入端A。由图 (b) 工作状态可知，该电路实现非运算 $F = \overline{A}$



A	F	V ₁	V ₂
0	1	$\frac{1}{2}I_{D1}$	$\mu\frac{1}{4}I^*$
1	0	$\mu\frac{1}{4}I^*$	$\frac{1}{2}I_{D1}$

(b)

CMOS非逻辑电路及工作状态

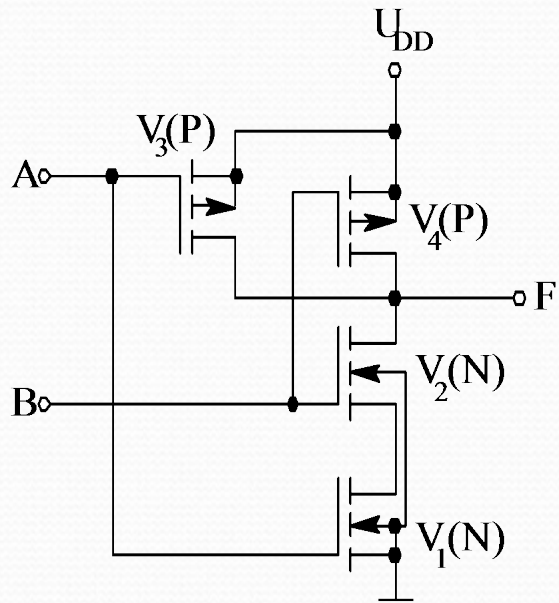
(a) 电路

(b) 工作状态

(2) CMOS与非逻辑电路和或非逻辑电路

在CMOS非逻辑运算的基础上，可以构成各种CMOS逻辑电路。CMOS逻辑电路的基本形式是与非电路和或非电路。

CMOS与非逻辑电路及工作状态如图1—9所示。电路由四个MOS管组成，V1和V2两个NMOS驱动管串联，V3和V4两个PMOS负载管并联。当输入A、B至少有一个为低电平时，V1、V2中就至少有一管截止，V3、V4中就至少有一管导通，输出为高电平， $F = 1$ ；当输入A、B均为高电平时，V1和V2都导通，V3和V4都截止，输出为低电平， $F = 0$ 。所以，该电路实现了与非逻辑功能，输出F和输入A、B的逻辑关系为 $F = \overline{AB}$



(a)

A	B	V_1	V_2	V_3	V_4	F
0	0	$\frac{1}{2}0\dot{0}$	$\frac{1}{2}0\dot{0}^1$	$\mu^{1/4}\dot{1}$	$\mu^{1/4}\dot{1}$	1
0	1	$\frac{1}{2}0\dot{0}$	$\mu^{1/4}\dot{1}$	$\mu^{1/4}\dot{1}$	$\frac{1}{2}0\dot{0}^1$	1
1	0	$\mu^{1/4}\dot{1}$	$\frac{1}{2}0\dot{0}$	$\frac{1}{2}0\dot{0}$	$\mu^{1/4}\dot{1}$	1
1	1	$\mu^{1/4}\dot{1}$	$\mu^{1/4}\dot{1}$	$\frac{1}{2}0\dot{0}$	$\frac{1}{2}0\dot{0}^1$	0

(b)

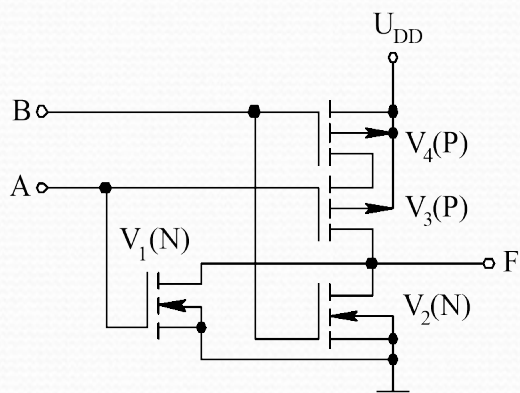
CMOS与非逻辑电路及工作状态

(a) 电路

(b) 工作状态

CMOS或非逻辑电路及工作状态如图所示，其电路形式刚好和与非逻辑电路相反，V1和V2两个NMOS驱动管并联，V3和V4两个PMOS负载管串联。当输入A、B均为低电平时，V1和V2都截止，V3和V4都导通，输出为高电平，因此 $F = 1$ ；当输入A、B中至少有1个为高电平时，V1、V2中至少有1个导通，V3、V4中至少有1个截止，输出为低电平，因此 $F = 0$ 。可见，该电路实现了或非逻辑功能，输出F和输入A、B的逻辑关系为

$$F = \overline{A + B}$$



(a)

A	B	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	F
0	0	$\frac{1}{2}\text{ÖÖ}^1$	$\frac{1}{2}\text{ÖÖ}^1$	$\mu^1\text{Á}^{\cdot}$	$\mu^1\text{Á}^{\cdot}$	1
0	1	$\frac{1}{2}\text{ÖÖ}^1$	$\mu^1\text{Á}^{\cdot}$	$\mu^1\text{Á}^{\cdot}$	$\frac{1}{2}\text{ÖÖ}^1$	0
1	0	$\mu^1\text{Á}^{\cdot}$	$\frac{1}{2}\text{ÖÖ}^1$	$\frac{1}{2}\text{ÖÖ}^1$	$\mu^1\text{Á}^{\cdot}$	0
1	1	$\mu^1\text{Á}^{\cdot}$	$\mu^1\text{Á}^{\cdot}$	$\frac{1}{2}\text{ÖÖ}^1$	$\frac{1}{2}\text{ÖÖ}^1$	0

(b)

CMOS或非逻辑电路及工作状态

(a) 电路

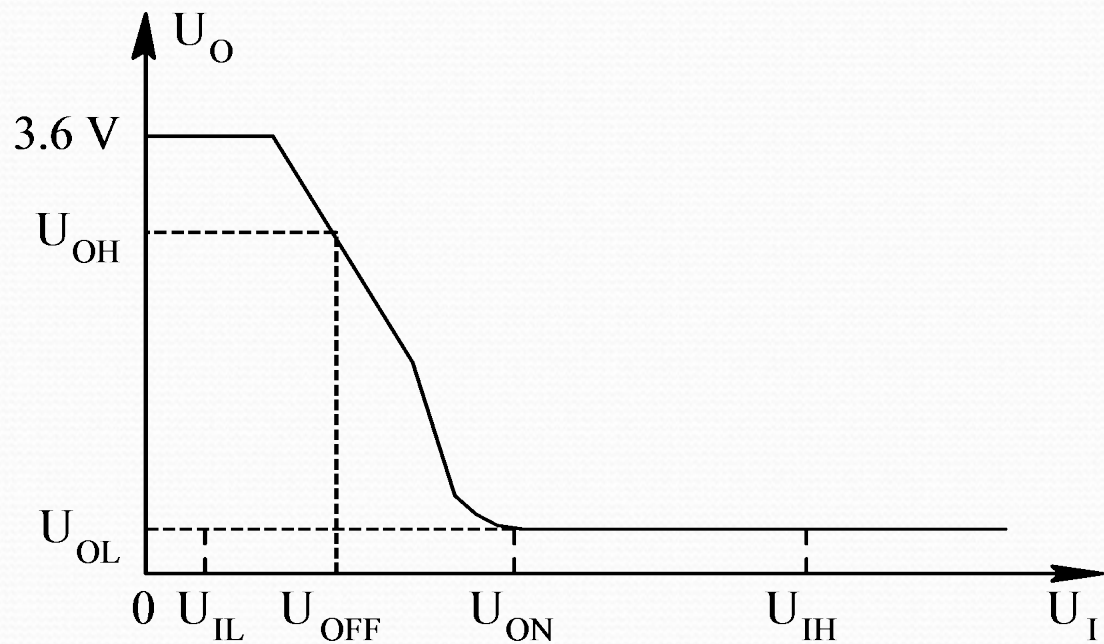
(b) 工作状态

4. 逻辑电路的主要技术参数

各类逻辑电路有大致相近的特性参数。下面以TTL与非逻辑电路为例来介绍逻辑电路的主要技术参数。

(1) 电压传输特性

电压传输特性是指输出电压 U_O 随输入电压 U_I 变化的特性。如果将TTL与非逻辑电路的某输入端电压由0V逐渐增加到5V，其它输入端接5V，测量输出端电压，可以得到一条电压变化的曲线，这就是电压传输特性曲线，如图所示。



电压传输特性曲线

(2) 扇入与扇出系数

扇入系数 N_i 由TTL与非逻辑电路输入端的个数确定，例如一个3输入端的与非逻辑电路，其扇入系数 $N_i = 3$ 。逻辑电路在正常工作条件下，输出端最多能驱动同类电路的数量 N_0 称为扇出系数，它是衡量逻辑电路输出端带负载能力的一个重要参数。扇出系数越大，带负载能力越强。逻辑电路输出低电平时的扇出系数一般小于输出高电平时的扇出系数。因此，逻辑电路的负载能力应以输出低电平时的扇出系数为准。

(3) 功耗

功耗是指逻辑电路消耗的电源功率，常用空载功耗来表征。当输出端空载，逻辑电路输出低电平时的功耗 P_{ON} 称为空载导通功耗。当输出端空载，逻辑电路输出高电平时的功耗 P_{OFF} 称为空载截止功耗。

(4) 平均传输延迟时间 t_{pd}

逻辑电路的工作速度常用平均传输延迟时间 t_{pd} 来衡量。逻辑电路输入端信号变化引起输出端信号变化(均以变化至幅度 U_m 的50%处时起算)所需的平均时间称为逻辑电路的平均传输延迟时间 t_{pd} 。典型TTL与非电路的 t_{pd} 约为10 ns。 t_{pd} 越小，逻辑门的工作速度越高。

逻辑函数的代数化简

逻辑函数用来描述输入逻辑变量和输出逻辑变量之间的因果关系。

逻辑函数有各种不同的表示形式，即使同一类型的表达式也有可能繁有简。在数字系统中，实现某一逻辑功能的逻辑电路的复杂性与描述该功能的逻辑表达式的复杂性直接相关。一般来说，逻辑函数表达式越简单，设计出来的相应的逻辑电路越简单。然而，从逻辑问题概括出来的逻辑函数通常都不是最简的，为了降低系统成本，必须将它们化简。

逻辑代数的公式和定律

1. 常量之间的关系

因为二值逻辑中只有0、1两个常量，逻辑变量的取值不是0就是1，而最基本的逻辑运算又只有与、或、非三种，所以常量之间的关系也只有下列几种：

$$\text{公式1} \quad 0 \bullet 0 = 0$$

$$\text{公式1}' \quad 1 + 1 = 1$$

$$\text{公式2} \quad 0 \bullet 1 = 0$$

$$\text{公式2}' \quad 1 + 0 = 1$$

$$\text{公式3} \quad 1 \bullet 1 = 1$$

$$\text{公式3}' \quad 0 + 0 = 0$$

$$\text{公式4} \quad \bar{0} = 1$$

$$\text{公式4}' \quad \bar{1} = 0$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/618136123067007001>