

基本集成电路逻辑设计

北京市半导体器件二厂情报室



内 容 简 介

本书是根据1972年美国出版的“Handbook of Logic Circuits”一书译出。全书共分六章：第一章逻辑设计概论，第二章组合网络和复合功能，第三章触发器与多谐振荡器电路，第四章计数器电路，第五章寄存器、移位器件和其它电路，第六章附录。书中介绍了译码器、编码器、函数发生器、奇偶校验电路、比较器、数据分配器和选择器、加法器、减法器以及触发器、计数器、寄存器、移位元件等 200 种实用电路，内容由浅入深，比较系统、全面，可供从事逻辑电路设计的工人、技术人员参考，亦可作为掌握基本逻辑电路的入门参考书。

基本集成电路逻辑设计

北京市半导体器件二厂情报室译

北京印刷二厂印刷

内部发行

每本收成本费 1.70 元

毛 主 席 语 录

列宁为什么说对资产阶级专政，这个问题要搞清楚。这个问题不搞清楚，就会变修正主义。要使全国知道。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

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。

目 录

第一章 逻辑设计概论	1
1-1 逻辑代数的定义.....	1
1-2 逻辑代数的状态和量.....	2
1-3 逻辑代数的标志法.....	2
1-4 逻辑代数运算.....	4
1-5 逻辑代数符号.....	4
1-6 真值表.....	5
1-7 正逻辑和负逻辑.....	5
1-8 “与”功能.....	7
1-9 “或”功能.....	9
1-10 “与—或”功能.....	11
1-11 “非”功能.....	12
1-12 “与非”功能.....	13
1-13 “或非”功能.....	15
1-14 “异或”和“异或非”功能.....	16
1-15 基本的逻辑元件和符号.....	18
1-16 逻辑符号的补充和识别.....	21
1-17 基本功能的补充.....	25
1-18 组合网络和时序网络.....	27
1-19 组合网络的基本设计步骤.....	27
1-20 时序网络设计基本方法.....	36
1-21 逻辑电路的类型.....	38
1-22 场效应晶体管逻辑电路.....	46
第二章 组合网络和复合功能	49
2-1 译码器网络.....	49
2-2 编码器网络.....	71
2-3 多功能发生器.....	74
2-4 奇偶检测和比较网络.....	75
2-5 数据分配器和选择器.....	85
2-6 加法器电路.....	92

2-7	减法器电路	100
第三章	触发器与多谐振荡器电路	103
3-1	逻辑触发器的形式	103
3-2	双路触发器	110
3-3	D型触发器	111
3-4	反转触发器	113
3-5	双列触发器	114
3-6	J K 主—从触发器 (带预置位)	116
3-7	混合 RS 和 JK 触发器	118
3-8	具有第二个时钟输入的 JK 触发器	122
3-9	高速 JK 触发器	126
3-10	“或非”门主—从触发器	127
3-11	用时钟下降边触发的 JK 触发器	129
3-12	用时钟上升边触发的 JK 触发器	132
3-13	用时钟上升边触发的 D 型触发器	134
3-14	“与”输入 $\overline{J}\overline{J}$ — $\overline{K}\overline{K}$ 触发器	135
3-15	整形多谐振荡器	135
3-16	自激多谐振荡器	135
3-17	单稳态多谐振荡器	137
3-18	射极耦合逻辑门单稳态多谐振荡电路	139
3-19	由 RC 时间常数控制的冲息多谐振荡器	145
第四章	计数器电路	148
4-1	串行计数器的基本设计	148
4-2	串行计数器	159
4-3	同步计数器	173
4-4	移位计数器	188
4-5	通用计数器方程	192
4-6	通用计数器电路	194
第五章	寄存器、移位器件和其它电路	202
5-1	存贮寄存器	202
5-2	基本移位寄存器	205
5-3	多功能移位寄存器	206
5-4	十六位移位寄存器	214
5-5	四位移位寄存器及典型应用	219

5-6	用移位寄存器作脉冲延时网络.....	231
5-7	时钟波形电路.....	235
5-8	逻辑电路的晶体振荡器.....	237
5-9	周期选择器.....	238
5-10	接触弹跳消除器.....	239
5-11	门闩电路.....	240
第六章	附录	242
6-1	二进制系统.....	242
6-2	二一十进制和其它特殊的逻辑代码.....	247
6-3	布尔代数符号和方程.....	249
6-4	维恩 (Venn)图.....	251
6-5	维奇 (Veitch)图	251
6-6	卡诺图.....	254
6-7	正、负逻辑的逻辑符号.....	262
6-8	真值表.....	263
6-9	逻辑电路的一般设计考虑.....	265
6-10	逻辑电路的测试方法.....	265

第一章 逻辑设计概论

设计逻辑电路时要涉及到电路和逻辑方程两个方面。设计人员先列出逻辑方程，再给出满足方程要求的电路，这样，设计中的许多问题就可得到解决。这里，最好的例子就是要将给定电路功能最小化（即把逻辑元件减到最少）的那种情况。设计人员可先在纸上将方程化成最简形式，然后把简化了的方程转换成实际电路。

有些情况，方程是不能简化的，但是列方程要比直接联成符合给定设计条件的实际电路来得容易。比如说，一个逻辑模件有六个输入端和一个输出端，只有三个输入有“真”值时，输出才有“真”值。在此例中，设计人员可先列出表示六个输入和一个输出之间的关系式，然后转换成相应的电路。

显然，设计人员必须熟悉逻辑方程（即逻辑代数，布尔代数，计算机代数及计算机逻辑），也就是说，设计人员必须能够列出逻辑方程（通常是简化逻辑方程），然后再将方程转换成实际电路。当需要将一个电路改进时，设计人员能够写出它的方程，也是很便于进行的。例如，为了满足外部的电路功能，需将一个电路由正逻辑转换成负逻辑的情况。

设计人员除了掌握逻辑代数的实际使用知识外，还应该熟悉逻辑电路符号，二进制数（大多数逻辑系统都用到它），基本逻辑电路以及所有逻辑电路设计中共同的一些问题。在本章和附录中，将对这些问题一作概述。

1-1 逻辑代数的定义

普通代数是使用符号表示数字变量之间的相互关系，而逻辑代数是使用符号表示逻辑变量之间的相互关系。逻辑代数与普通代数有两点不同：

1. 逻辑代数不能进行算术运算。
2. 因此，逻辑代数符号（通常是字母）并不表示数字的量。

逻辑代数很适用于具有两种相反状态（例如“开”和“关”）的信息系统中，因而，逻辑代数特别适合表示以下这些情况：电键的“开”和“关”，电脉冲的“有”和“无”，以及脉冲的极性和幅度等关系。当然，逻辑代数和二进制系统（只有两种状态系统）也是一致的，这点将在附

录中加以讨论。

1-2 逻辑代数的状态和量

逻辑代数中只存在两个独立状态,任何两种相反的情况都可选用。不过,逻辑设计中,通常用“真”和“假”,“上”和“下”,“高”和“低”表示脉冲的有无或极性。设计人员可以选用任一量表示“真”,用另一量表示“假”,设计的结果也必定只出现这两个被选定的量。

每个逻辑量都是单值的,不可能同时出现“真”和“假”,只能在两个值中选择一个,不能出现其它的值。

每一个逻辑量都有一个对立的量。一个量定为“真”时,它的反量或补量就是“假”,反之亦然。

逻辑量可以是变量,也可以是常量。为变量时,逻辑量可以经常地在“真”值和“假”值之间跳变,但只能在这两个极值之间变化;为常量时,逻辑量必须连续保持“真”值或“假”值。

逻辑量可以用许多方法表示,但为了有助于理解逻辑电路的工作原理,常常用扳键开关的“通”和“断”,或用指示灯的“亮”和“灭”来表示。在实际电路中,通常用脉冲的有无、极性和幅度表示。例如,在某一系统中,用有脉冲出现表示“真”的状态或量,用脉冲消失表示“假”的状态或量。而在另一系统,可能用正好相反表示方法(有脉冲表示“假”,没有脉冲表示“真”)。

1-3 逻辑代数的标志法

拉丁字母可以用来表示逻辑代数变量的状态。例如,用字母A表示一个逻辑变量的状态,但这个逻辑变量A只能代表“真”值或“假”值(普通代数中字母A可以是从负无穷大到正无穷大之间的任意值)。

A值的反值或补值可以用 $\overline{A}$ 、 A' 、 A^* 等符号表示。

不管采用什么符号表示反值或补值,A和 A^* 不能同时是同一值。因此,在某一时间A代表“假”,则 A^* 必须代表“真”,反之亦然。

若同时出现两个以上的逻辑变量,一个变量可用字母A表示,另一个变量可用字母B表示;以此类推。此时B若取“真”值,A也取“真”值,则 $A = B$,因为“真”值总是相等的。同时,B的补值(或 B^*)和A的补值(或 A^*)也相等,都是“假”值。过时候,A表示的变量可能改变状态,然后A量变成“假”值, A^* 变成“真”值,则有下列关系:

$$A^* (\text{已转为真}) = B (\text{仍为真})$$

以及

$$A \text{ (现为假)} = B^* \text{ (仍为假)}$$

必须记住, A 、 A^* 、 B ……只是表示逻辑变量的符号, 任一时刻某一符号可以是“真”, 过些时候, 同一符号可以是“假”。一般用字母 T 代表“真”值, 字母 F 代表“假”值。也常用“1”代表“真”, “0”代表“假”, 因为1和0既是二进制数又便于书写。

除了特殊情况外, 逻辑符号中的1和0只表示“真”和“假”这两种逻辑变量的状态, 不等于数字的1和0。例如, 用1表示: 是、肯定、上、高、许可、真等, 相应地0就表示: 非、否定、下、低、禁止、假等。这里真与假或上与下并不意味着一个状态比另一状态更重要或更正常。在两状态的系统中, 这两种状态是同等重要的。

实际应用时, 设计人员可先确定它们的起始条件:

T 或 1 表示的“真”值等于 -5 伏

F 或 0 表示的“假”值等于 0 伏

在这种情况下, 出现在逻辑网络输出端的二进制数10011(十进制数是19, 参看附录) 可用五根线上不同的电平表示(见图1-1)。

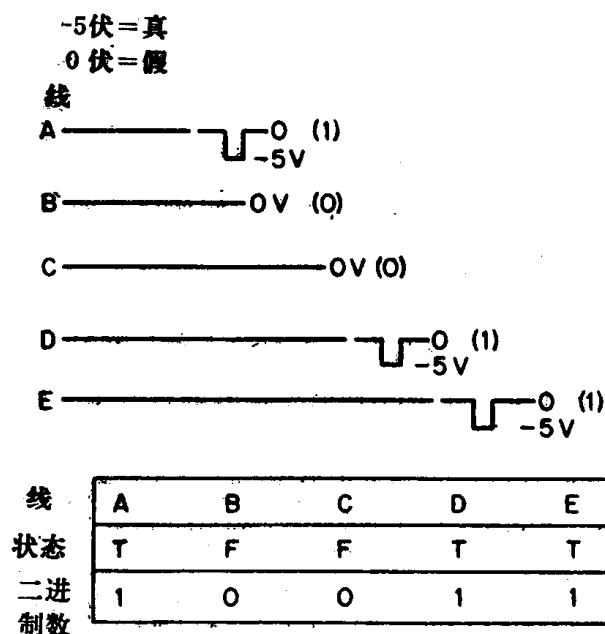


图1-1 逻辑代数符号、实际电路的电平和二进制数三者之间的关系

A 线表示逻辑符号 A , B 线表示逻辑符号 B , 以此类推。

若每一输出端用两根线表示, 则每一对线代表了 A 和 A^* , B 和 B^*

等等。

当A线出现“真”值电平(-5伏),则 $A = T = 1$, 而 $A^* = F = 0$ 。

当A线电平变为0伏,则 $A = F = 0$, 而 $A^* = T = 1$ 。

1-4 逻辑代数运算

基本的逻辑代数运算有下列三种:

“与”运算

“或”运算

“非”(或反相)运算

另外,这三种基本运算组合起来,可产生五种常用的运算:

“或非”运算

“与非”运算

“与/或”运算

“异或”运算

“异或非”运算

1-5 逻辑代数符号

逻辑代数和普通代数一样,用符号(联接符)表示各种不同的运算。这些联接符号在工业部门中还未得到统一,不过下列符号还是通用的:

在两个变量之间用点号表示“与”运算,如 $A \cdot B$ 。在许多地方都将点号省略,但意义不变。因此, $A B C$ 应读作A与B与C(本书中表示“与”运算的点号一律省去)。

在两个变量之间用加号表示“或”运算,如 $A + B$,读作A或B。

“非”运算的表示方法是在逻辑变量上加一横线(即这个变量的补值或反相),这和1-3节中表示补值和反值的符号是一样的,即 $\overline{A} = A^*$ 。当变量的补值进行“非”运算时则应等于其原值,即 $\overline{\overline{A}} = A$ 。若包含有“与”和“或”的项进行“非”运算,除了变量要改为它们的补值外,“与”和“非”也要互换,也就是说,原来变量是“与”联接的要改用“或”联接。例如:

$$\overline{A^* + B} = AB^*; \quad \overline{A^* B} = A + B^*$$

因此,“与”运算的补是“或”运算,“或”运算的补是“与”运算。

逻辑代数中也采用了普通代数中的等号(=),其意义完全相同,表示相等或后者是前者运算的结果。但必须指出,两条横道的等号(=)是有条件的相等,例如: $A = B$ 是A为“真”值, B亦为“真”值时

两者相等。三条横道的等号 ($\equiv$) 是无条件的相等, 例如: $A \equiv B$ 是指 A 与 B 在任何条件下都相等。

1-6 真值表

真值表是分析逻辑代数问题的一种简单而有用的工具, 图1-2就是一个真值表。真值表中, 竖列表示每一逻辑变量, 横排是变量“真”“假”值所有可能的组合。

列			变量		
A	B	输出	A	B	输出
F	F	F	0	0	0
F	T	F	0	1	0
T	F	F	1	0	0
T	T	T	1	1	1

真—假表 排

“1”—“0”表

电压电平表
0 伏 = 假
+ 5 伏 = 真

图1-2 典型的二变量真值表 (对正逻辑“与”门而言)

对于两变量的问题, 不管怎么排只有四种不同的组合, 这就是: 两个同时是“真”值, 两个同时是“假”值; 一“真”一“假”和一“假”一“真”, 再没有其它可能的组合; 另外一列则是由函数 (f) 所确定的各种变量组合的结果。这个函数可能是“与”关系, “或”关系以及在给定问题中所指定的特定结果。

真值表中可采用字母、数字或符号的组合, 但通常在解释基本逻辑电路工作原理时用字母 T 和 F, 而在实际应用的逻辑图 (或逻辑数据表) 中常常用数字 1 和 0 代表“真”和“假”。

1-7 正逻辑和负逻辑

虽然逻辑方程中用字母和数字表示“真”值和“假”值, 但实际电路中却用电压或电流的高低或大小来表示。例如, +12 伏代表“真”,

-12伏代表“假”。通常电压电平比电流电平用得更多些。

由于逻辑电路用正、负电源电压都能一样有效地工作，因此，确定该逻辑是正的还是负的是十分必要的。有些逻辑图（但不是所有的）是在逻辑元件符号中加上正、负号，进一步说明该元件的“真”值状态。所有逻辑元件都应加正、负号，这样，“真”值和“假”值才有具体意义。也有在逻辑图上加注说明，所有逻辑是正的“真”值还是负的“真”值。可惜不是所有厂家和设计人员都是这样做的。

逻辑元件符号中带有正号，意味着电路的两个逻辑电压中以相对为正的电平就是该电路的“真”状态，这也就是正逻辑的定义。应该指出的是，“真”值电平对地或对0伏来说，并不一定是正的。逻辑电路的电平可能是-24伏和-12伏。若该电路的逻辑元件符号中加有正号，即表示-12伏是它的“真”值，-24伏是它的“假”值，这是因为-12伏比-24伏更接近正。

逻辑元件符号中若加负号，-24伏就是“真”值而-12伏则是“假”值，这就是负逻辑的定义。这里可以指出图1-1是采用负逻辑，因为它的“真”值是-5伏而“假”值是0伏。

还应注意图1-1所示的电平实际上是电脉冲，这对于理解正、负逻辑的脉冲关系是很重要的。

逻辑设计人员以及开关功能系统的工作人员，将发现用脉冲来描述逻辑电路工作原理是有好处的，因为通常逻辑电路是在脉冲工作状态，当然也不是全部都这样。

这里对电脉冲有些地方需要加以定义，这些定义是较简单的，更完整的脉冲定义可参看附录。

图1-3所示为正脉冲，因为该脉冲是由低电平上升至高电平然后又回到低电平。图1-4所示为负脉冲，此脉冲由高电平降至低电平再回到高电平。脉冲的上下部分代表电平的高低，上部表示高电平，下部表示低电平，高低电平之差表示脉冲的幅度，例如，图1-3中脉冲高电平为+5伏，低电平为0伏，其幅度等于 $+5 - 0 = +5$ 伏。图1-4高电平为0伏，低电平为-7伏，其幅度为 $0 - 7 = -7$ 伏。

在正逻辑情况下，图1-3和1-4中脉冲的上部表示“真”值，下部表示“假”值。

在负逻辑情况下，下部表示“真”值，上部表示“假”值。

无论哪一种情况，正脉冲在上部和负脉冲在下部所停留的时间都称为脉冲宽度。

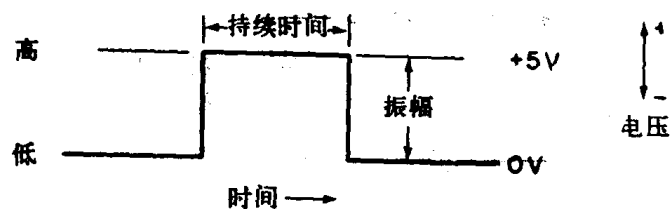


图1-3 简单的正脉冲定义

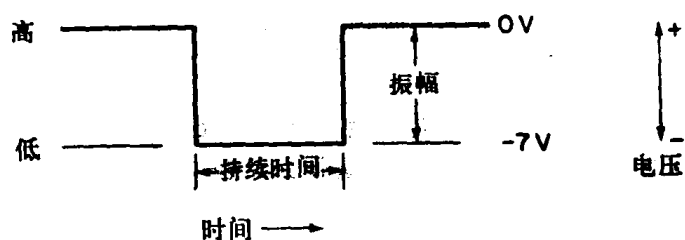


图1-4 简单的负脉冲定义

1-8 “与”功能

“与”功能（或称运算）的定义：

当所有“与”输入端的逻辑量全部为“真”值时，输出端的功能（或状态）为“真”值。

只要“与”输入端逻辑量有一个或一个以上为“假”值时，其输出功能为“假”值。

“与”功能可以用方程式来表示：输出 = $A \cdot B \cdot C$ ，读作A与B非与C，既然它是一个“与”运算，只有A、B、C全部都是“真”值时，输出才是“真”值；变量中任意一个或全部为“假”值时，输出变成“假”值。

“与”输入端变量的任意组合都必须服从“与”运算的法则。因此，只有当所有变量全部为“真”值时 $A \cdot B \cdot C$ （A非与B非与C非）输出才是“真”值，也就是说A，B，C全部都必须是“假”值。

“与”功能的运算可以用图1-5来说明，这是一个两变量（A和B）的问题，并用开关A和B表示，输出端结果用指示灯L表示。

当两个开关都打开（“假”值）时，灯不亮。开关A接通，灯仍然不亮。只有当A和B都接通时，线路才闭合，电流通过指示灯L，灯才亮（输出为“真”值）。再将B打开（假值）电流又被截断，灯灭（输出为

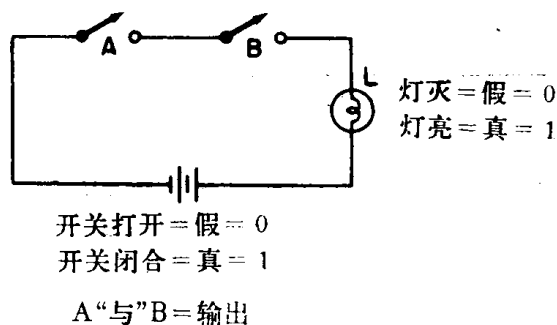


图1-5 简单的“与”功能

“假”值)。

所以只有A、B两个开关同时接通，灯才亮（输出为“真”值）。

图1-6示出典型逻辑“与”门的真值表，逻辑符号和电路图，电路图画出了正负两种逻辑。

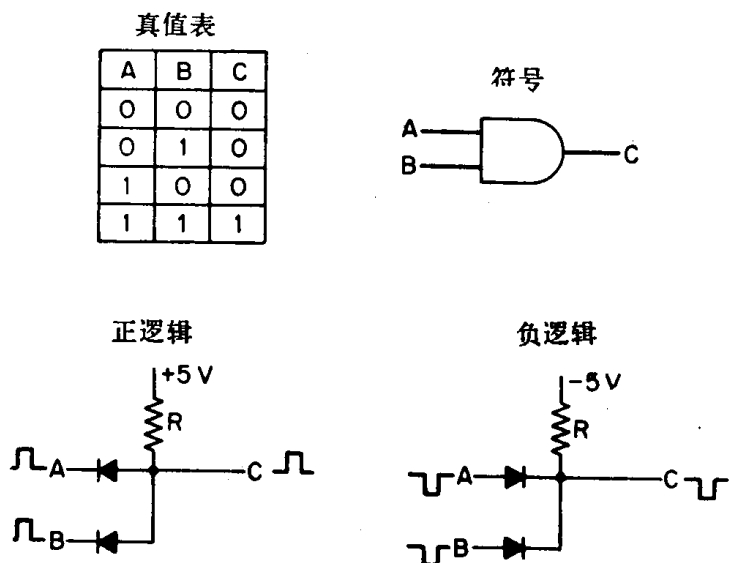


图1-6 “与”门真值表，逻辑符号和电路图

图中只有开关二极管（没有三极管），所以是一个二极管逻辑电路。

在正逻辑情况中，电路完成“与”运算。因为，只有在输入A、B都在上部，输出才上升至上部。（此时，两个二极管都反向偏置，没有电流通过电阻R，输出上升至接近于电源电压+5V。）其中任意一个或两个输入都降至下部，则“与”功能不能满足，输出也降至下部。（其中有一个或两个二极管为正向偏置，电流流过电阻R，输出电压降低。）

许多门电路厂家在参数表中称R为“上拉”电阻。

实际电路中“与”门可能有多个输入端，但不管有多少个输入端，都必须是“真”值时，输出才是“真”值。

虽然实现“与”功能必须是所有输入端全是“真”值，但不一定都是同一极性的，这是由于门电路可以设计成输入端能接受高低不同的电平。

在输入端加一圆点或圆圈表示此输入端为反相的输入端。

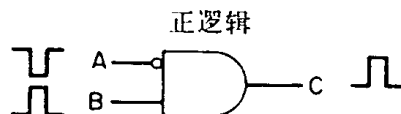


图1-7 混合输入“与”门

此时，对于正逻辑来说，要产生一“真”值输出，其反相输入必须是负的。以图1-7逻辑电路为例，A端为低B端为高时，输出端为“真”值。

1-9 “或”功能

“或”功能（或称运算）的定义：

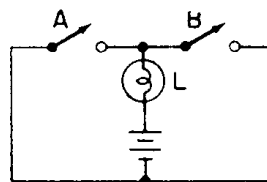
当一个或一个以上输入端的逻辑量为“真”值时，输出端的功能（或状态）为“真”值。

只有在“或”输入端变量全部为“假”值时，输出功能才为“假”值。

“或”功能也可以用方程式表示：输出 = $A^* + B^* + C$ ，读作A非或B非或C，即A*或B*或C为“真”值时“或”运算输出为“真”值。只有所有变量同时都为“假”值，输出才是“假”值。

“或”功能的运算可以用图1-8来说明。这里用开关A和B代表两个变量，指示灯L代表输出。

两个开关都打开（“假”值）灯不亮。若开关A接通（“真”值），电路接通，电流通过灯泡，指示灯亮（“真”



灯灭 = 假 = 0
灯亮 = 真 = 1

开关打开 = 假 = 0
开关闭合 = 真 = 1

A“或”B = 输出

图1-8 简单的“或”功能

值)。开关B接通时也有同样情况。若两个开关都接通，灯泡仍然亮(“真”值)。只有一个开关打开灯泡也仍然是亮的(“真”值)，若两个开关都打开(“假”值)，灯熄灭(“假”值)。

因此，为了使灯亮(“真”值)，开关A和B有一个(或两个同时)必须接通。

图1-9示出一典型“或”门电路的真值表，逻辑符号和电路图。该电路图示出了正负两种逻辑。

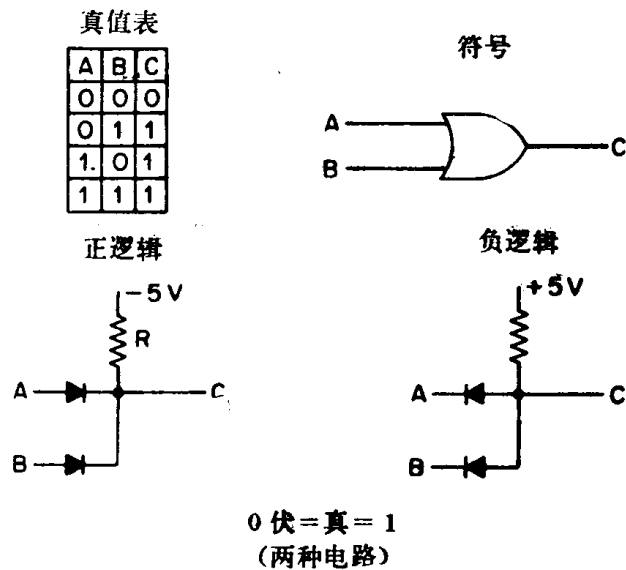


图1-9 “或”门电路真值表，逻辑符号和电路图

注意：此图中的正逻辑“或”门和图1-6中的负逻辑“与”门是相同的，反之亦然。

在正逻辑“或”门中，输入A和B中有一个(或同时)升至上部时，输出升到上部。假定0伏为“真”值，-5伏为“假”值。当两个输入都是-5伏，二极管都被反向偏置，没有电流通过电阻R，输出接近于电源电压-5伏。若输入A为0伏(“真”值)，其相应的二极管为正向偏置(接近短路)，输出升至0伏(“真”值)。若输入B为0伏(“真”值)或A和B两者都是0伏，输出电压也都为0伏。

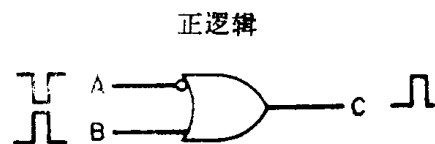


图1-10 混合输入“或”门

输入不一定都为同一极性的。“或”门可以设计成输入端接受高低不同的电平，而输出仍为“真”值。图1-10示出

此种情况。图中用圆点或圆圈表示区别于正常的逻辑，该输入端为反相输入。例如：正逻辑情况，在有圆点的输入端必须加负的输入，才有“真”值输出。因此，图1-10符号采用正逻辑时，为了产生“真”值输出，输入A需低电平或输入B需高电平。

1-10 “与—或”功能

虽然“与—或”功能不象“与”和“或”功能那样具有基本逻辑的意义，但是在逻辑设计中经常作为一种基本的运算（特别是在“或”输出被反相的情况下）。

“与—或”功能可以用方程式表示：输出 = $AB + CD$ ，读作A与B或C与D。当A与B为“真”值或C与D为“真”值时，输出功能为“真”值。

“与—或”功能可用图1-11电路图来说明。其中有四个变量（A、B、C和D），分别用开关A、B、C和D代表，指示灯L代表输出。

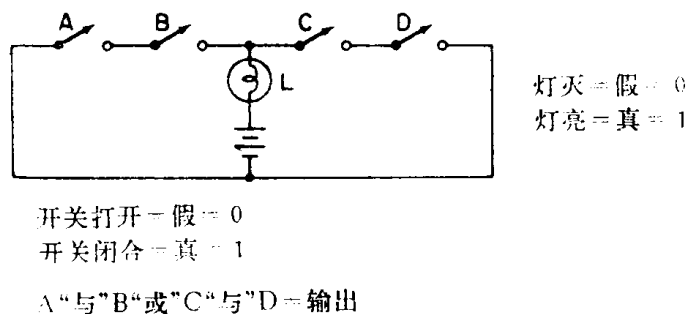


图1-11 简单的“与—或”功能

所有开关都打开，灯不亮。若开关A与B都接通，电路闭合，灯亮。当开关C和D都接通情况也一样。四个开关都接通或其中任意三个接通时，灯也亮。

图1-12是典型“与—或”门电路的真值表，逻辑符号和电路图。其中只给出正逻辑的电路。若将二极管反向并改变电源电压极性就可以得到负逻辑电路。

“与—或”功能是由两个“与”门和一个“或”门组成的；两个“与”门作输入，一个“或”门作输出。每个门的工作原理同前面讲的一样。