



北京工业学院电视教育小组 编

半导体电路基础

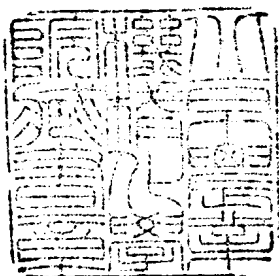
(第四册)

科学出版社

半导体电路基础

(第四册)

北京工业学院电视教育小组 编



科学出版社

1982

2531/27

内 容 简 介

本书是为教育部和中央广播事业局共同举办的电视教育讲座编写的电子技术教材。

本书共分四册。第一、二册为半导体低频放大电路,第三、四册为脉冲与数字电路。

第四册内容包括逻辑门电路,逻辑代数,集成电路触发器,计数器和寄存器,数码显示,数字-模拟和模拟-数字变换,最后列出脉冲与数字电路的七个实验项目。书末附有第三、四册的习题答案。

本书可供具有中等文化程度的工人、知识青年阅读,也可供大专院校、中等专业学校有关专业的师生参考。

半 导 体 电 路 基 础

(第四册)

北京工业学院电视教育小组 编

责任编辑 张建荣

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

— *

1982 年 2 月 第 一 版 开本:787×1092 1/32

1982 年 2 月 第一次印刷 印张:9 1/8

印数:0001—101,000 字数:208,000

统一书号:15031·389

本社书号:2495·15-7

定 价: 0.80 元

目 录

第十九章 逻辑门电路	351
第一节 二进制数的基本概念	351
第二节 逻辑变量、函数、真值表	353
第三节 分立元件逻辑门电路	355
第四节 集成逻辑门电路	363
第五节 MOS、CMOS 与非和或非门电路	392
第六节 用逻辑门构成的脉冲波形产生电路	403
第七节 实用电路举例	409
小 结	410
思考题	411
练习题	412
第二十章 布尔代数和卡诺图	416
第一节 关于逻辑变量、常量和真值表的回顾	416
第二节 逻辑代数简介	417
第三节 用逻辑代数对逻辑函数进行化简	433
第四节 用图解法化简逻辑函数	435
第五节 组合逻辑设计举例	455
第六节 关于逻辑函数化简尚需解决的问题	460
第七节 用组合逻辑电路构成加法器	462
小 结	465
思考题	466
练习题	467
第二十一章 集成电路触发器	469
第一节 R-S 触发器(复位-置位触发器)	469
第二节 时钟脉冲驱动的 R-S 触发器	476

第三节	$J-K$ 触发器	480
第四节	主-从 $J-K$ 触发器	487
第五节	D 触发器	491
第六节	T 触发器	497
第七节	触发器激励表	499
第八节	触发器的应用举例	503
小 结		508
思考题		509
练习题		509
第二十二章	计数器和寄存器	512
第一节	二进制非同步计数器——加、减和双向计数器 ..	513
第二节	二进制同步计数器	520
第三节	任意进制计数器	524
第四节	同步十进制计数器	528
第五节	存贮寄存器	537
第六节	移位寄存器	538
第七节	双向移位寄存器	541
小 结		543
思考题		544
练习题		545
第二十三章	数码显示	546
第一节	二-十进制译码器	546
第二节	七字段显示译码器	551
第三节	显示器件	556
小 结		561
思考题		562
练习题		562
第二十四章	数字-模拟和模拟-数字变换	563
第一节	数字-模拟变换器	563
第二节	模拟-数字变换器	572

小 结	579
思考题和练习题	580
脉冲与数字电路实验	581
实验一 自激多谐振荡器的安装与调试	582
实验二 波形变换电路	584
实验三 双稳态、单稳态和施密特电路	588
实验四 锯齿电压产生电路	592
实验五 基本逻辑门电路	595
实验六 逻辑运算电路	601
实验七 计数器的研究	606
习题答案	614

第十九章 逻辑门电路

在任何一个数字设备中,如计算机、数据处理、数字通讯和数字测量等,都需要反复完成各种逻辑运算,实现这些运算需要各种逻辑电路。其中很重要的一类就是逻辑门,门是开关的意思,逻辑门就是逻辑开关。它们按照一定的逻辑关系动作,完成一定的逻辑功能。最基本的逻辑门有与门、或门、非门、与非门、或非门和与或非门等,本章将详细讨论这些门电路的原理和逻辑功能。

第一节 二进制数的基本概念

我们最常用最熟习的是十进制数,它是用 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 十个数码表示的。用这十个数码可以表示任何数字,例如

$$1264 = 1 \times 10^3 + 2 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 4 \times 10^0$$

可见个位的系数乘十的零次方,十位的系数乘十的一次方,百位的系数乘十的二次方等等,数码在不同位置代表的数值是不同的。十进制数个位最大值为 9,以十为基数,每位计满十向高位进一,即逢十进一,这就是十进制制。除十进制外,在生产和生活中还遇到其它进位制。如时间以 60 分钟为 1 小时,古秤以 16 两为 1 斤等等。

在数字设备中,广泛采用二进制。二进制只有两个数码 0 和 1,二进制数运算简单且方便,比较易于实现。如用晶体管的截止与导通,脉冲的有、无,电位的高、低来表示 1 和 0。

二进制数只有 0 和 1, 以 2 为基数。当计数计满二就向高位进一, 即逢二进一, 所以二进制数不会出现数码 2。表 19-1 给出十进制数制与二进制数制间数的对应关系, 例如十进制

表 19-1 十进制与二进制数的对应关系

十进制数制	二进制数制	十进制数制	二进制数制
0	0 0 0 0 0	11	0 1 0 1 1
1	0 0 0 0 1	12	0 1 1 0 0
2	0 0 0 1 0	13	0 1 1 0 1
3	0 0 0 1 1	14	0 1 1 1 0
4	0 0 1 0 0	15	0 1 1 1 1
5	0 0 1 0 1	16	1 0 0 0 0
6	0 0 1 1 0	17	1 0 0 0 1
7	0 0 1 1 1	18	1 0 0 1 0
8	0 1 0 0 0	19	1 0 0 1 1
9	0 1 0 0 1	20	1 0 1 0 0
10	0 1 0 1 0	21	1 0 1 0 1

数 19 写成二进制数为 10011, 即

$$\begin{aligned}
 10011 &= 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \\
 &= 16 + 0 + 0 + 2 + 1 = 19
 \end{aligned}$$

这同十进制表示法类似, 个位系数乘 2 的零次方, 高一位系数乘 2 的 1 次方, 再高一位的系数乘 2 的 2 次方等等。

十进制数变成二进制数的一般方法如表 19-2 所示。将十进制数例如 19 放在表的最右上端, 将 19 被 2 除, 商 9 写

表 19-2 十进制数变换成二进制数

被 2 除商数	0	1	2	4	9	十进制数 19
余数	1	0	0	1	1	二进制数

在表的上行, 余 1 写在对应下行。9 再被 2 除, 商 4 写在表的上行, 余 1 写在对应下行。4 再被 2 除商 2 余 0 填入相应行, 重复上述运算, 直到商数为 0 余数为 1 时止, 并填入表中相应位置。表中得到的余数即是用二进制表示的十进制数字, 即 $10011 = 19$ 。

第二节 逻辑变量、函数、真值表

同数学中的变量取值范围不同, 逻辑变量取值只有两种可能即 0 或 1, 而且它并不具有一般数学中 0 或 1 所表示的数值意义, 它只是代表两个符号或两种状态。如代表电平的高、低, 晶体管的截止与导通, 脉冲的有、无, 真与假等等。例如用高、低电平表示逻辑变量的两种状态如图 19-1 所示。高电平

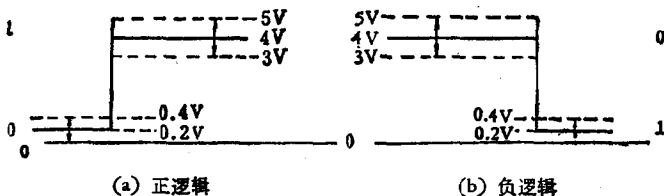


图 19-1 逻辑变量两种表示方法

视不同门电路取值范围为 3—5V 或其它高电平, 低电平取值范围为 0—0.4V 或其它低电平。上述两种电平相应两个逻辑值, 因为两个逻辑值 0、1 只是两个符号, 它可以表示两种状态。在这里这两种状态是指高、低电平, 但并未指明 0 或 1 具体代表哪个电平, 这就产生了两种逻辑规定: 一种是以 1 表示高电平, 以 0 表示低电平, 遵守这种规定的逻辑关系称为正逻辑; 另一种是以 0 表示高电平, 以 1 表示低电平, 遵守这种规定的逻辑关系称为负逻辑。以后我们讲的都是正逻辑。

负逻辑与正逻辑的原理是相同的，在用到负逻辑时我们将特别说明。

逻辑关系在日常生活中经常碰到，例如我们每天用的电灯，其电路如图 19-2 所示。该电路可以实现一定的逻辑功

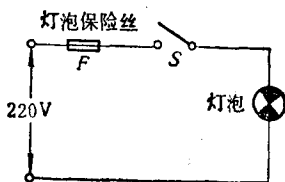


图 19-2 模拟与门电路

能，所以也是一种逻辑电路。以 1 表示 S, F 通，0 表示 S, F 断，1 表示灯泡亮，0 表示灯泡不亮。将 S, F 的各种可能组合同灯泡亮与不亮的对应关系列表 19-3 所示。 S, F 为逻辑变量，它们共有四种组合，这些组合对应的灯泡亮与不亮称

表 19-3 逻辑关系真值表

逻辑变量		逻辑函数
S	F	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

为逻辑函数，以 Y 表示。很明显，只有最后一种组合灯泡才亮，即两个输入逻辑变量 S, F 同时为 1 时，输出逻辑函数 Y 才等于 1。这种逻辑关系称为逻辑与，可表示为 $Y = S \cdot F$ 的形式。

在图 19-2 的逻辑关系中，把全部输入逻辑变量所有可能的组合与相应输出逻辑函数归纳成表 19-3 所示的形式，称为该逻辑关系的真值表。

第三节 分立元件逻辑门电路

一、二极管与门电路

1. 与门工作原理

二极管与门电路如图 19-3 所示, 其中 A 、 B 、 C 为输入逻辑变量, 其高、低电位为 3V 或 0V, Y 为输出逻辑函数。

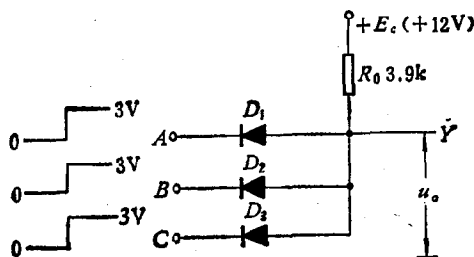


图 19-3 二极管与门电路

当 A 、 B 、 C 皆为高电位 3V 时, 二极管 D_1 、 D_2 、 D_3 将输出端 Y 点箝在 3V (略去二极管内阻), 使输出 U_o 为高电位 3V。这时流过 R_0 的电流小, 并流向信号源输入端, 我们称流向信号源的电流为灌电流。

A 、 B 、 C 中只要有一个输入端为低位 0V, 则与该端连接的二极管导通, 输出 Y 被箝在 0V (略去二极管内阻)。其它二极管截止, 这时流过 R_0 的电流大, 流向输入端的灌电流也大。

与门工作时, 前级信号源应该考虑到负载灌电流的影响。

2. 与门逻辑表达式及真值表

以 1 表示高电位 (3V), 0 表示低电位 (0V), 列出上述与门逻辑关系真值表如表 19-4 所示。由以上分析及与门真值表可以看出, 只要一个或几个输入端为低电位, 则输出即

表 19-4 二极管与门真值表

输 入			输 出
A	B	C	Y
1	1	1	1
1	1	0	0
1	0	0	0
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0

为低电位。只有三个输入端全部为高电位时输出才为高电位。所以对高电位而言, 输出 Y 与输入 A、B、C 之间的逻辑关系称为“与”的关系, 并可以表示为如下逻辑表达式:

$$Y = A \cdot B \cdot C$$

若有 N 个输入端, 则有

$$Y = A \cdot B \cdot C \cdots N$$

这种逻辑表达式称为逻辑乘, 表示符号如图 19-4 所示。

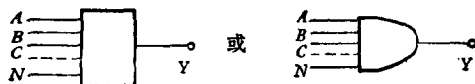


图 19-4 与门符号

二、二极管或门电路

1. 工作原理

二极管或门电路如图 19-5 所示,输入高、低电位亦为 3V 和 0V, 输出取自 Y 端。

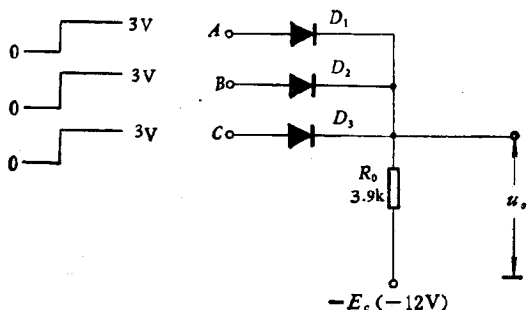


图 19-5 二极管或门电路

当 A 、 B 、 C 输入皆为低电位时,二极管 D_1 、 D_2 、 D_3 皆导通。由于二极管的箝位作用,将 Y 点箝在 0 电平(以后不特别说明时,都认为二极管压降等于 0)。这时流过负载电阻 R_0 的电流小,该电流取自信号源,我们称取自信号源的负载电流为拉电流。

只要有一个输入端为高电位 3V,则与之相连的二极管首先导通,并将 Y 点箝在 3V,其它二极管截止。这时流过 R_0 的电流大,取自信号源的拉电流也大。

或门工作时,应考虑到负载拉电流对信号源的影响。

2. 或门逻辑表达式及真值表

以 1 代表高电位,0 代表低电位。由以上分析可见,或门

工作时, 只要一个或一个以上输入为高电位, 则输出为高电位。只有全部输入端皆为低电位时, 输出才是低电位, 这种逻辑关系由或门真值表 19-5 可以看得更清楚。可见对高电位

表 19-5 二极管或门真值表

输 入			输 出
A	B	C	Y
0	0	0	0
1	0	0	1
1	1	0	1
1	1	1	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	1	1

而言, 输出 Y 同输入 A、B、C 之间的逻辑关系称为“或”的关系, 并可以表示为如下逻辑表达式:

$$Y = A + B + C$$

若有 N 个输入端, 则有

$$Y = A + B + C + \cdots + N$$

这种逻辑表达式称为逻辑和, 表示符号如图 19-6 所示。

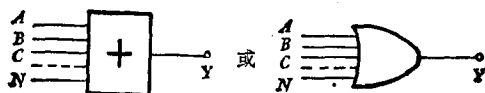


图 19-6 或门符号

三、与或关系的相对性

在与的关系中, 只有全部输入端皆为高电位时, 输出才为

高电位。只要有一个或几个输入端为低电位时，则输出即为低电位。这是对输出高电位而言，以输出高电位为基准，是以 1 表示高电位，0 表示低电位，称为正逻辑。相反，对输出低电位而言，以输出低电位为基准，并以 1 表示低电位，0 表示高电位，称为负逻辑。对上述同一与门电路(图 19-3)而言，只要有一个或一个以上输入端为低电位时(以 1 表示)，则输出为低电位。只是所有输入端皆为高电位时(以 0 表示)，输出才为高电位。按负逻辑关系相应于图 19-3 的真值表如表 19-6 所示。很明显，该真值表与表 19-5 或门电路真值表相同。可见正逻辑与门电路同负逻辑或门电路一样。同理可以想像正逻辑或门电路同负逻辑与门电路一样。所以“与”“或”关系是相对的，是可以互相转化的，关键是以高电位还是以低电位为基准，即采用正逻辑还是采用负逻辑。我们以后主要讲正逻辑，但应了解负逻辑概念。

表 19-6 负逻辑或门真值表

输 入			输 出
A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

四、非 门 电 路

二极管门电路的优点是电路简单，但其负载能力比较低，

多级电路级联时产生电位偏离,致使工作可靠性差。由于分布电容影响,使波形边缘拖长,工作速度降低。

为了解决二极管门电路存在的问题,引进三极管放大作用,即三极管非门电路。

1. 非门逻辑功能

二极管只能构成与门、或门。非门的逻辑功能是输出与输入反相,其逻辑关系是:输入为高电位(以 1 表示)时,输出为低电位(以 0 表示);输入为低电位时,输出为高电位。其逻辑关系如真值表 19-7 所示。非门的逻辑表达式为

$$Y = \bar{A} \text{ (读作 } A \text{ 非)}$$

其表示符号如图 19-7 所示。

表 19-7 非门真值表

输入	输出
A	Y
1	0
0	1

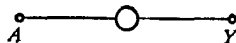


图 19-7 非门符号

2. 非门电路原理

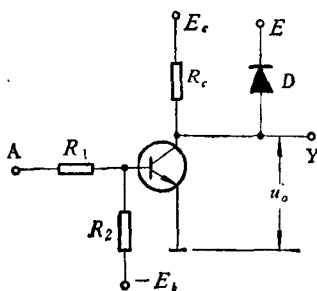


图 19-8 非门电路

非门实际上就是一级三极管倒相器,电路如图 19-8 所示。当输入 A 端加高电位时,三极管饱和,输出 Y 端为低电位。当 A 端为低电位时,三极管截止,输出 Y 端为高电位。

3. 非门性能

我们已经知道三极管倒相器的性能,用它做非门时,负载能力强,输出高低电平稳定,不会产生电位偏离,可靠性好。采用高速开关管后,工作速度快。

五、与非门电路

与非门是应用最广泛的一种门电路。虽然它是组合门,但由于与非门能组成其它逻辑门,加之它性能优良,所以在实际应用中,常常将与非门作为基本逻辑门来看待。

1. 电路工作原理

晶体管非门电路只能完成逻辑非作用,只有将两极管与门同三极管非门结合起来,才能构成与非门,三个输入端的与非门如图 19-9 所示。当输入信号中有一个或几个为零时,则 P 点为 0。负电源 E , 经 R_1 , R_2 分压将三极管截止, 输出

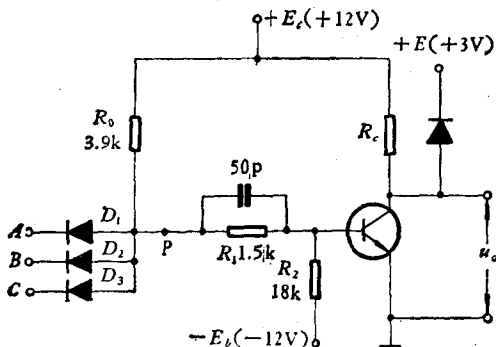


图 19-9 与非门电路图