

集成门电路及其应用

潘宗福 刘小光 编著

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 简 介

集成门电路是数字电路中应用最为广泛的产品，也是模拟电路中用途日益扩大的电子器件。

本书详细介绍了各种集成门电路的工作原理、基本特性、使用规则、应用范围和检修方法。并以大量实用电子装置为例，帮助读者加深对集成门电路应用理论的认识。

本书通俗易懂、图文并茂，适合广大电子爱好者、青少年和电子工程技术人员阅读。

集成门电路及其应用

潘宗福 刘小光 编著

责任编辑 沈成衡

人民邮电出版社出版发行

北京东长安街27号

北京顺义兴华印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

开本：787×1092 1/32 1990年12月 第一版

印张：10 页数：160 1990年12月北京第1次印刷

字数：227 千字 印数：1-6 000册

ISBN7-115-04384-1/TN·409

定价：4.10元

前 言

集成电路是现代电子工业的基石，是国际上最富于竞争力和最活跃的一种电子产品。

集成门电路是集成电路的重要组成部分，是构成组合逻辑电路的基本部件和构成时序逻辑电路的重要组件。它不仅在数字电路中得到广泛应用，而且也在某些模拟电路中发挥着日益重要的作用。

集成门电路与分立元件组成的门电路相比，具有体积小、重量轻、功耗低、可靠性高等优点，尤其是CMOS集成门电路，更显示了封装密度高、逻辑摆幅大、输入阻抗高、扇出能力强、工作电源电压范围宽和功耗低等独特优点，发展速度远远超过了以往任何一种集成门电路。本书在简单介绍了分立元件门电路后，详细介绍了各种集成门电路（主要是TTL和CMOS集成门电路）的工作原理和它们的实际应用。

本书没有繁琐的公式推导，也不侧重介绍集成门电路的制造工艺和设计理论，重点放在介绍集成门电路的应用范围及其如何使用等方面。从某种意义上看，学好这些知识是用好集成电路，尤其是数字集成电路的必不可少的条件。

鉴于我们的理论水平和实践经验有限，因而书中难免会有缺点和错误，敬请广大读者批评指正。

作者

1989.2.

目 录

第一章 门电路的基础知识

第一节 半导体分立元件的开关特性及开关参数.....	(2)
一、半导体二极管的开关特性及开关参数.....	(2)
二、半导体三极管的开关特性及开关参数.....	(4)
第二节 分立元件门电路.....	(8)
一、有关逻辑门电路的几个问题.....	(8)
二、与门电路.....	(10)
三、或门电路.....	(12)
四、非门电路.....	(14)
五、组合门电路.....	(15)

第二章 集成门电路..... (19)

第一节 概述.....	(19)
一、集成电路的分类.....	(19)
二、集成电路的封装及引线排列.....	(21)
第二节 TTL集成门电路.....	(23)
一、TTL与非门.....	(24)
二、TTL门电路的其它类型.....	(29)

三、TTL门电路的一般使用规则和要求.....	(45)
四、TTL门电路的输入端和输出端使用规则.....	(49)
五、TTL门电路与其它元器件的接口方法.....	(55)
六、TTL门电路的典型应用.....	(71)
七、TTL门电路的故障检修.....	(107)
第三节 双极型其它类型的门电路.....	(122)
一、高阈值逻辑(HTL)门电路.....	(123)
二、发射极耦合逻辑(ECL)门电路.....	(124)
三、集成注入逻辑(IIL)门电路.....	(129)
四、二极管—晶体管逻辑(DTL)门电路和电阻—晶体管逻辑(RTL)门电路.....	(133)
第四节 CMOS集成门电路.....	(134)
一、CMOS集成电路的特点.....	(135)
二、MOS管的开关原理及特性.....	(138)
三、CMOS逻辑门.....	(142)
四、CMOS门电路的典型参数.....	(159)
五、CMOS门电路的一般使用规则和要求.....	(164)
六、CMOS门电路的输入端和输出端使用规则.....	(168)
七、CMOS门电路与其它元器件的接口方法.....	(174)
八、CMOS门电路的典型应用.....	(183)
九、CMOS门电路在模拟电路中的	

应用	(215)
十、CMOS门电路的故障检修	(230)
十一、CMOS 门电路产品	(241)
第五节 门电路的分析工具和分析方法	(244)
一、门电路的分析工具	(244)
二、门电路的分析方法	(245)

第三章 用集成门电路制作的

实用装置

一、袖珍收音机	(251)
二、电冰箱自动保护器	(252)
三、温控报讯器	(255)
四、金属探测器	(256)
五、多用报警器	(258)
六、红外线遥控开关	(261)
七、声控开关	(264)
八、定时开关	(265)
九、交直流供电自动切换电路	(268)
十、双画面电视节目显示的制作	(270)
十一、高保密电子锁	(273)
十二、电子门铃	(276)
十三、盒式录音机带速测试器	(278)
十四、导线断路点探测器	(281)
十五、晶体管速测器	(284)
十六、逻辑电平测试器	(286)
十七、多波形低频信号发生器	(288)
十八、棋盘格电视信号发生器	(291)

十九、电焊机空载自停装置	(293)
二十、电动机轻载自动节电装置	(297)
附录1 半导体集成电路型号命名方 法GB3430-82	(300)
附录2 各种集成门电路性能比较	(302)
附录3 主要TTL门电路检索表	(303)
附录4 主要CMOS门电路检索表	(307)
附录5 常用TTL及CMOS门电路引出脚 排列	(309)

第一章 门电路的基础知识

电子电路分为模拟电子电路与数字电子电路两大类。模拟电路处理的是模拟信号，主要研究信号的产生、放大和波形转换；数字电路处理的是数字信号，主要研究信号的状态（“0”或“1”）转换关系，即通常所说的逻辑关系。为此，有时也把数字电路叫做逻辑电路。

数字电路的独到之处，除了可以对信号进行算术运算以外，还能够对信号进行逻辑推演、判断和存储，即它具有一定的逻辑“思维”能力。另外，数字电路的基本单元比较简单，因而允许电路元件和电源的参数有较大的误差。

目前，数字电路在过程控制、信号传输、数据信息处理等领域发挥着举足轻重的作用，并逐渐渗透到模拟电路的应用领域之中。随着科学技术的发展，数字电路的优势将日益显著。

在数字电路中，实现逻辑运算功能的电路称为门电路。门电路是一种具有多个输入端和一个输出端的开关电路。只有当输入信号满足某一特定关系时，门电路才有信号输出，否则就没有信号输出。它象是在满足一定条件时自动打开的门一样，能有效地控制信号的通过与否，故被称为门电路。由于在门电路的输入和输出之间存在着一定的因果关系即逻辑关系，所以门电路是一种逻辑电路。

由“与”、“或”、“非”门构成的基本门电路是数字电路的基本构成单元。各种职能的数字电路都可由基本门电路组

合而成。有了门电路的基础知识，就不难掌握数字电路的另一种重要的电路，即触发器电路。因为各种触发器实际上不过是门电路的不同组合而已，并且它也完全服从于门电路的逻辑规律。从这个意义上讲，门电路是数字电路的基础。掌握门电路的知识是学好、用好数字电路的关键。

第一节 半导体分立元件的开关特性及开关参数

一、半导体二极管的开关特性及开关参数

二极管的主要特点是单向导电性。二极管在正向电压作用下，处于导通状态，有正向电流通过，且阻抗很小，相当于一个具有一定压降的闭合开关，其等效电路如图1-1(a)所示。图中的 V_D 称为二极管的正向（导通）压降，硅管的 V_D 约为0.7V，锗管的 V_D 约为0.3V。在反向电压作用下，二极管中仅有极少量的反向漏电流通过，处于截止状态，且阻抗非常大，相当

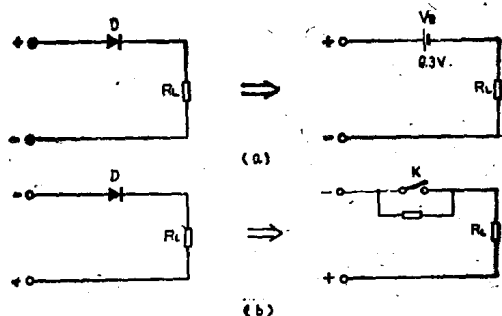


图1-1 二极管的等效电路

(a) 正向电压作用下 (b) 反向电压作用下

于一个有少量漏电流的断开的开关。这时二极管的等效电路如图1-1(b)所示。硅管与锗管的反向漏电流分别约为纳安和微安数量级。

数字电路中的二极管经常处于高速开关状态，开关频率有时可达每秒一百万次以上。因此，仅仅了解二极管的静态特性是不够的，还应进一步研究它在高速开关状态下的动态工作特性。

由图1-2可以看出：当输入电压 V_I 是一个从 $+V_1$ 到 $-V_2$ 的跃变信号（图b）时，流过负载 R_L 的电流并没有按理想情况从正向电流 $\frac{V_1}{R_L}$ （略去二极管正向压降 V_D ）跃变为反向漏电流（ ≈ 0 ），而是如图1-2(c)所示的那样，在输入信号发生跃变的一瞬间，产生了反向电流 $i_2 \approx -\frac{V_1}{R_L}$ 。此电流维持了一段时间后，才按指数律减小到正常反向漏电流的数值。换句话说

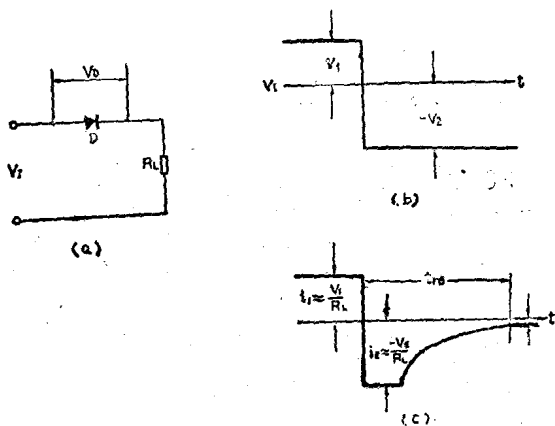


图1-2 二极管开关的过渡过程

(a) 电路图 (b) 输入波形图 (c) 输出波形图

说，在这个刚转至反向偏置的最初一瞬间二极管仍然是导通的，只有经过一段反向恢复时间 t_{rr} 之后，它才转入截止状态。这种过渡过程的产生，是由于载流子的漂移运动、结电容和扩散电容的充放电作用引起的。一般开关二极管的反向恢复时间小到几个纳秒，大到数百纳秒。因此，如果输入电压的变化频率非常高时，二极管将失去单向导电的作用。

二极管的开关参数主要有四个，其中的极限参数是最大正向电流 I_M 和最高反向峰值电压 V_{RM} 。另外两个是动态参数，分别是反向恢复时间 t_{rr} 和零偏压电容 C_0 。显然，二极管的动态参数的数值越小，它的动态特性也就越好。

二、半导体三极管的开关特性及开关参数

在数字电路中，三极管常常工作于大信号开关工作状态，即饱和导通（相当于开关闭合）或截止（相当于开关断开）状态。例如在图1-3的电路中，当输入电压 $V_i = 0V$ 时，发射结和集电结都处于反向偏置。这种工作状态就是三极管的截止状态，其等效电路如图1-4(a)。在工作温度不高时，等效电路可简化为图1-4(b)，即将晶体管的三个极视为相互断开的三个节点。

当 $V_i = +6V$ 时，发射结处于导通状态， I_B 将随 R_B 的减小而增加， I_C 也随 I_B 的增加而成比例地增大，而比例系数 $\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ 就是电流放大系数 β 。此时三极管工作在放大状态。若继续减小 R_B ，虽然 I_B 仍继续增加，但 I_C 却不能按 β 的比例增加，三极管便进入了饱和状态，其饱和等效电路如图1-4(c)。为了便于理解，当 V_i 和 E_C 分别远比 V_{BEs} 和 V_{CES} 大时，等效电路可简化成图1-4(d)，即将三极管的B、E极视为短接到一点。

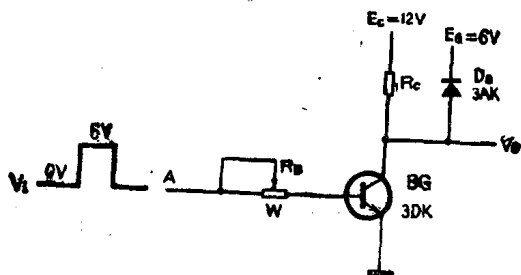


图1-3 三极管反相器

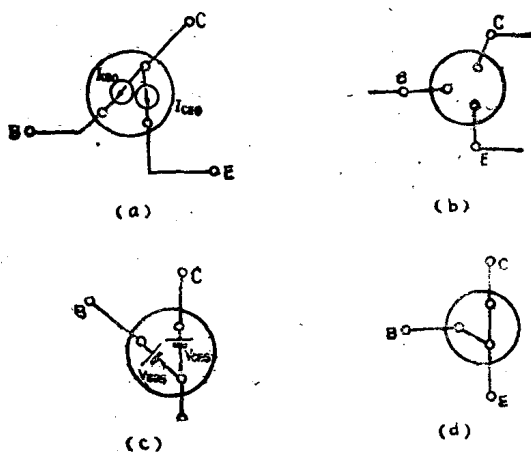


图1-4 三极管开关等效电路

- (a) 截止状态 (b) 简化截止状态
(c) 饱和状态 (d) 简化饱和状态

综上所述，通过控制三极管基极电路的电压而控制基流，可使三极管分别工作在饱和、放大和截止状态。掌握三极管的三种工作状态及其相互转化是分析数字电路的基础。为此，在表1-1中列出了三极管在不同工作状态下的特点及典型电压值，以供参考。

表1-1

三极管的三种工作状态

	饱和状态		放大状态		截止状态	
	$ V_{BE} (V)$	$ V_{CE} (V)$	$ V_{BE} (V)$	$ V_{CE} (V)$	$ V_{BE} (V)$	$ V_{CE} (V)$
硅NPN管	0.7~0.8	0.1~0.3	0.6~0.7	$0.3 < V_{CE} < E_C$	< 0.5	E_C
锗PNP管	0.2~0.4	0.05~0.1	0.2~0.3	$0.1 < V_{CE} < E_C$	< 0.1	E_C
特点	发射结、集电结都处于正向偏置; I_B 上升而 I_C 不变, I_C 由 R_C 和 E_C 决定, $I_B = \frac{I_{CS}}{\beta}$		发射结处于正向偏置, 集电结处于反向偏置; $\Delta I_C = \beta \cdot \Delta I_B$, $I_B = \frac{I_C}{R_C \cdot \beta}$		发射结、集电结都处于反向偏置; $I_C \approx 0$ $I_E \approx 0$	

三极管的有关参数，如电流放大系数 β 、极间反向电流 I_{CEO} 及极间反向击穿电压 BV_{CEO} 等，都已为熟悉放大电路的读者所了解故不赘述。下面再介绍一些与开关特性有关的开关参数。

1. 饱和压降 V_{BES} 、 V_{CES}

当三极管工作在饱和状态时，发射结正向压降 $|V_{BES}|$ 一般变化很小，硅管约为 $0.7 \sim 0.8V$ ，锗管约为 $0.2 \sim 0.4V$ ，集电极—发射极之间的管压降为 V_{CES} ，硅管的 V_{CES} 约为 $0.1 \sim 0.3V$ ，锗管的 V_{CES} 约为 $0.05 \sim 0.1V$ 。通常总是希望 $|V_{CES}|$ 越小越好。

2. 开启时间 t_{on} 和关闭时间 t_{off}

三极管由截止到饱和导通所需要的时间称为开启时间 t_{on} ，由饱和导通到截止所需的时间称为关闭时间 t_{off} 。不同类型管子的 t_{on} 和 t_{off} 会有所不同。当输入信号是快速跳变的信号时，可以用开启时间 t_{on} 来衡量波形的上升沿，用关闭时间 t_{off} 来衡量波形的下降沿。

高频三极管的结电容较小，基区薄，开关时间短；低频三极管的结电容较大，基区也较厚，开关特性也较差；开关管由于掺金形成复合中心，开关时间最短，开关特性最好。所以，低频三极管只能用在每秒几十千赫以下的低速开关电路中，而高速开关电路则应选用开关管。开关管不仅开关时间短，而且当通过较大的集电极电流时，饱和压降也比其它类型的晶体管要小。

提高晶体管开关的开关速度，除了改进管子的制作工艺外，还可以从外电路着手。例如在基极回路中引入加速电容。一般只要在基极电阻上并联一个几十皮法到几百皮法的电容就能够大大改善晶体管的开关特性。特别是明显地减小管子从饱和向

截止转化时需要的存储时间，加速开关的转换过程。另外，在电路上还可以采用抗饱和开关电路（开关管工作在临界饱和及截止两种状态）和电流型开关电路（开关管工作在导通但并不饱和及截止两种状态，并且是以共基模式工作）。不过，开关速度与稳定性是互相矛盾的，并且提高速度往往要以付出较大的功耗为代价。

第二节 分立元件门电路

门电路是一种“条件开关”。只有当输入信号满足一定的条件时，门才能开闭。晶体二极管和三极管都具有截止和导通两种工作状态，所以都可以作为开关元件来组成分立元件的门电路。不过，目前分立元件门电路已经很少使用，介绍它们只不过是学习集成门电路打好基础。

一、有关逻辑门电路的几个问题

1. 逻辑状态的表示方法

在生产实践和日常生活中常常遇到互相对立的两种状态，如电位的高和低；开关的合与开；脉冲的有和无；事物的真与假；数量的多与少……等。用数学推理方法来处理这些相互对立状态的事件时，常常是把对立双方各用逻辑符号来表示。例如某一方面用“1”表示，另一方面就用“0”表示。在这里，“1”和“0”并不表示数量的大小，而是作为一种符号以表示两种对立的逻辑状态。因此，通常将它们称之为逻辑0和逻辑1。以区别于数字符号的0和1。

按一定逻辑关系组成的电路称为逻辑电路。逻辑电路只有两种状态，即逻辑0和逻辑1。具有两个状态的逻辑电路器件很

多，如晶体管的饱和与截止；继电器触点的接通与关断；集成门电路输出的高电平与低电平等。

2. 正逻辑与负逻辑

在逻辑电路中，通常用逻辑1表示高电位，用逻辑0表示低电位。这是一种人为的规定。当然，也可以用逻辑0表示高电位，用逻辑1表示低电位。为了以示区别，一般都把前一种规定称为正逻辑，而把后一种规定称为负逻辑。逻辑电路也由此形成正、负两种逻辑体制。

同一电路可以采用正逻辑体制也可以采用负逻辑体制。不管采用那一种，都不涉及逻辑电路的好坏问题，但如对同一电路选择不同的逻辑体制，则其逻辑功能可能不同。

逻辑上的正负并不影响电路的工作状态，以完成一定的逻辑功能看，用哪一种规定都可以。实际电路中，有时既用正逻辑又用负逻辑，即用混合逻辑。

一个系统一旦选定了一种逻辑，系统内的所有电路都应该服从这个规定，不能随意改变，否则会引起逻辑功能上的混乱。如果一个正逻辑体制中必须有部分电路按负逻辑工作，那么必须加以说明。国家标准规定按负逻辑工作的门电路要用半个空心箭头标出来。

本书一般都用正逻辑体制，如用负逻辑体制时将加以说明。

3. 高电平与低电平

在逻辑电路中，电位的高低常用高低电平来表示，单位是V。

由于温度变化、电源电压的波动、电路元器件特性的改变及外界干扰等原因，再加上即使同一型号的门电路，其参数也不可能完全一致，因而实际的高低电平都不是一个固定的数

值。但只要电平的高低在一定的变化范围之内，就可以判定为逻辑1或逻辑0。图1-5示出了一种正逻辑的电平变化范围。由于

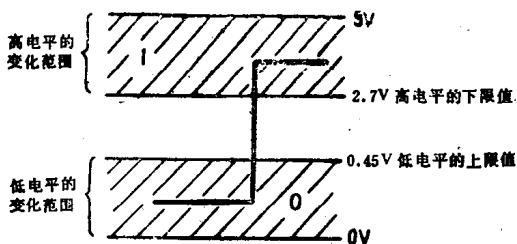


图1-5 高低电平的变化范围

高电平过低或低电平过高都会破坏逻辑功能，因此高电平不能低于其下限值，而低电平不能高于其上限值。

二、与门电路

1. 与逻辑关系

当几个条件同时具备才能出现某一结果时，这些条件与结果之间的关系称为“与逻辑关系”。图1-6中开关A、B与灯Z之间存在与逻辑关系。因为只有当两个开关都合上后灯才会亮。换句话说，A合上与B合上这两个条件都具备时，灯Z亮才会发生。A、B中只要有一个不合上，灯Z就不亮。

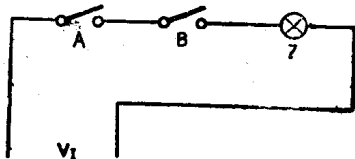


图1-6 与逻辑电路举例

2. 二极管与门电路

用电子电路来实现逻辑关系时，常把输入变量作为条件。