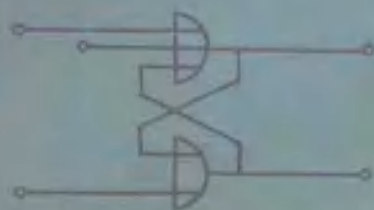


半导体逻辑元件和数字脉冲元件



第一机械工业部
电气传动设计研究所

1969

半导体邏輯元件和数字脉冲元件

第一机械工业部电气传动设计研究所

1969

半导体逻辑元件和数字脉冲元件

编者	一机部电气传动设计研究所
出版	一机部电气传动设计研究所 (天津,津塘公路二号桥)
印装	天津红心制本厂
日期	1969年11月出版1970年11月第二次印刷
印数	1—11000 定价 0.95元

内部资料·注意保存

最 高 指 示

备战、备荒、为人民。

政治工作是一切经济工作的生命线。

工人阶级必须领导一切。

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。

我们的方针要放在什么基点上？放在自己力量的基点上，叫做自力更生。

前 言

伟大领袖毛主席深刻地指出：“无产阶级文化大革命是使我国社会生产力发展的一个强大的推动力”。经过三年多的无产阶级文化大革命，我国的电子工业和整个工农业一样，有了飞速的发展。工人阶级登上了上层建筑斗、批、改的政治舞台，使电子技术领域也出现了崭新的面貌。

半导体逻辑元件和数字脉冲元件，是工业生产自动化中不可缺少的电子器件。为了普及推广电子技术，现把电气传动设计研究所所做的一些工作，铅印出版，供有关的工人同志和技术人员参考。刊印的材料中，有些没有经过工业试验，错误一定不少，望读者多提宝贵意见，帮我们把这项工作做好。

编 者

1969年11月

内部材料 • 注意保存

目 录

一、开关电路中常用的半导体器件	(1)
1. 半导体二极管	(1)
2. 稳压二极管	(4)
3. 晶体管	(6)
4. 单结晶体管	(27)
5. 可控硅整流器	(30)
6. RC 电路	(34)
7. 电路计算常用的基本定理	(38)
二、半导体逻辑元件和数字脉冲元件	(42)
1. 或门 H_M	(44)
2. 与门 Y_M	(45)
3. 或—与复合门 $H-Y_M$	(48)
4. 与—或复合门 $Y-H_M$	(49)
5. 否元件 F	(50)
6. 或—否元件 $H-F$	(53)
7. 与—否元件 $Y-F$	(58)
8. 射极跟随器 SG	(61)
9. 或元件 H	(63)
10. 或/或—否元件 $H/H-F$	(64)
11. 与/与—否元件 $Y/Y-F$	(77)
12. 记忆元件 J	(80)
13. 延时元件 $D-S_H$	(83)
14. 微分门 WF	(84)

15. 单稳态触发器 DC	(86)
16. 双稳态触发器 SC	(96)
17. 多谐振荡器 DZ	(112)
18. 脉冲整形电路 MZ	(120)
19. 舒密特触发器 SM	(121)
20. 电平检测器 DJ	(125)
21. 半加法器 BJ	(127)
22. 光电开关 GK	(128)
23. DJ-G 型过压监视装置	(129)
24. DJ-D 型低压监视装置	(131)
三、开关放大器	(133)
1. 带灯放大器 KF _D	(133)
2. 带“是”输出及继电器的放大器 KF _{A_H}	(133)
3. 开关放大器 KF _q -3W	(134)
4. 开关放大器 KF _v -3W	(135)
5. 开关放大器 KF _H -24W	(136)
6. 开关放大器 KF _v -24W	(136)
7. 开关放大器 KF _H -50W	(137)
8. 开关放大器 KF _v -50W	(137)
9. 直流可控硅开关 KG-Z	(138)
10. 交流可控硅开关 KG-J	(144)
四、无接点逻辑元件使用中应注意的问题	(146)
附录: 布尔代数	(148)

一、开关电路中常用的半导体器件

目前，半导体器件被广泛地应用于开关电路，以构成各种逻辑电路及数字电路。开关电路中用得最多的是电阻、电容、电感及各种半导体器件。前者为最简单的无线电元件，这里不再赘述；仅将用于大信号开关电路中的各种半导体器件作一简单介绍。

1. 半导体二极管

一般电阻元件都具有线性的电压电流特性(即伏安特性)，而半导体二极管则为非线性元件。在二极管上加正向电压时，其正向电阻很小，并有很大的正向电流流过。而在二极管上加反向电压时，反向电阻很大，仅有微小的反向饱和电流流过。因此，在一般情况下，可将二极管看作正向电阻很小且恒定而反向电阻很大也恒定的元件，理想化以后，就象一简单的短路/开路元件。

实际上，二极管在有电流流过时并不等于电路中的短路，正向电阻的存在使正向电流流过时产生损耗而发热。正向电阻随电压的增高而稍有减小。一般锗管在 90°C 以上，硅管在 150°C 以上时有可能导致损坏。因而在使用时应注意使其不超过最大正向电流及最大损耗功率。同时应注意的是锗管与硅管的正向伏安特性稍有差别。锗管当正向电压由零增大时二极管具有较小的起始电压 V_r ，一般为0.2伏以下，而硅管则一般具有0.6伏左右的起始电压(又称阈电压)。在正向电压小于起始电压以

前，二极管仅流过小于1%整流电流的微小电流，即当 $V < V_r$ 时二极管实际上处于截止状态。如图1.1所示。因此，当信号

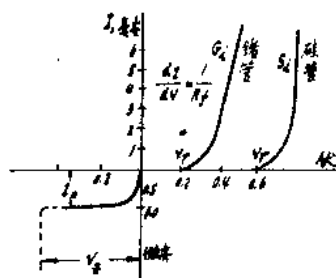


图1.1 二极管伏安特性

电压很小时，必须使用锗管。由伏安特性可以看出，硅管在转折点以后，其正向电阻比锗管小。例如锗管 $V_r = 0.2$ 伏，其伏安特性的斜率 $\frac{dI}{dV} = \frac{1}{R_f}$ ，正向电阻 $R_f = 20$ 欧。硅管 $V_r = 0.6$ 伏， $R_f = 15$ 欧。正因为硅管具有较小的正向电阻，当外加电压稍有增大时，正向电流就可能有较大的

增加，亦即很容易超过其最大极限值。从二极管的反向伏安特性来看，硅管具有较高的反向电阻及较大的转折电压 V_z ，其反向饱和电流 I_0 随电压增大变化很小，且一般硅管反向饱和电流 I_0 比锗管小百倍至千倍。点接触锗管的反向饱和电流，随反向电压增大而有较大的增长，如图1.2所示。锗二极管及硅二极管对温度都较灵敏，反向饱和电流约按温度每增加 1°C ，反向饱和电流增加7%，亦即可看作每增加 10°C ，反向饱和和电流 I_0 增加一倍。使用时所加反向电压应不使其超过转折电压 V_z 。

半导体二极管由两个电极（阳极与阴极）组成，其导电状态由所加电压极性及其幅值决定。加正向电压时，阻挡层出现低电阻；加反向电压时，阻挡层出现高电阻。这与电容器的情况很相似，如图1.3所示。当二极管加反向电压时，存在着结间电容；这一电容在高频及脉冲前后沿陡度较大的外加电压作用下，往往会产生一些不利影响，如图1.4所示。使用时应注意

到这一点。

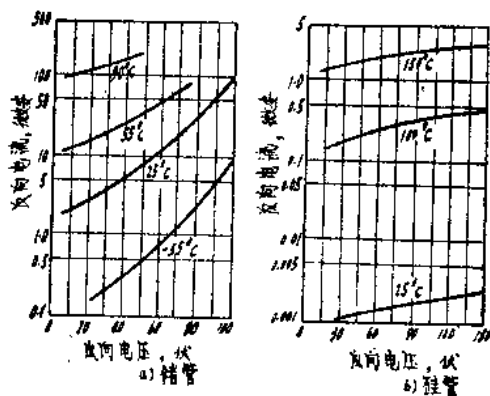


图 1.2 温度特性

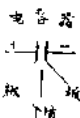


图 1.3 加反向电压的二极管
与电容器的比较

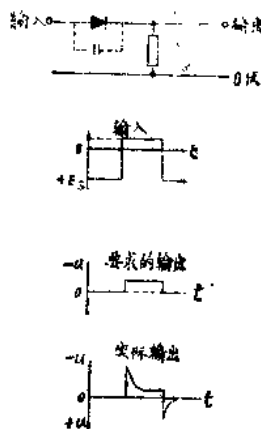


图 1.4 结间电容对瞬变过程的影响

2. 稳压二极管

稳压二极管又称雪崩二极管或齐纳二极管。一般二极管，当反向电压超过击穿电压时就被击穿而损坏；而稳压二极管则设计得使其在击穿区内能承受一定的耗散功率能力，而被用作参考电压或恒压电源，如图1.5所示。

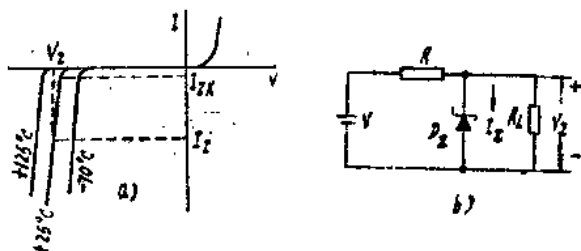


图 1.5 a) 稳压二极管伏安特性

b) 当负载电流及电源电压变化时稳压二极管作为电压调整元件

如图1.5b)所示，当 V 及 R 选定后，可使 D_Z 工作于击穿区。在该区内二极管电流变化很大时，其电压却改变甚小；负载电流及电源电压变化时，稳压管的电流将适应其改变而使输出电压保持恒定。当稳压管工作电流低于 I_{ZK} （亦即在特性曲线的拐点）时，稳压管就不再起电压调节作用了，而稳压管电流的上限值由其额定耗散功率决定。

稳压管是半导体器件中的一种，对温度变化也较敏感，其稳定电压随温度而变化。如图1.6所示。图1.6a)为具有各种稳定电压的稳压管，在不同的稳定电流时，稳定电压的温度系数。温度系数是指温度每改变 1°C 时，稳定电压变化的百分比。图1.6b)为在固定的稳定电流 $I_Z = 5$ 毫安时，稳定电压的

温度系数。曲线是对具有不同稳定电压的稳压管（但具有相同耗散功率）测得的。曲线中的温度系数有正有负。若稳定电压大于6伏，由于其物理特性中包含着雪崩倍增效应，所以温度系数为正；当稳定电压低于6伏时，为齐纳击穿区，温度系数为负。为了减小稳压管稳定电压的温度系数，可将稳压管与正向硅二极管（包括硅稳压管在内）串联使用，也可与特殊的补偿管串联使用。

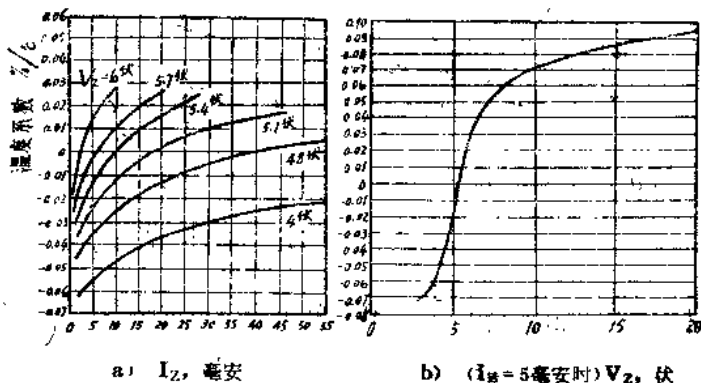


图1.6 稳压管的温度系数

稳压管的另一重要参数，是在工作范围内伏安特性曲线的斜率 $\Delta V_z / \Delta I_z$ ，即动态电阻 r 。理想情况下，应该是 $r = 0$ 。图 1.7 为在 25°C 时，稳压管在不同工作电压时的动态电阻值。在 6~10 伏范围内，稳压管具有最小的动态电阻值。在大的 V_z 及小的 I_z 值时，动态电阻很大。在最小值左侧，稳定电压 V_z 很小时，动态电阻也急剧增大。所以，一般制造厂均规定最小 I_{zk} 值，因为低于此值时动态电阻很大，将不能起到电压调整作用。图 1.8 示 2CW1~5 动态电阻与环境温度的关系。

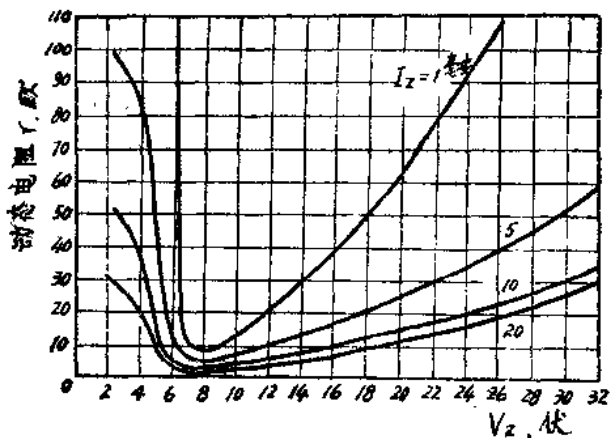


图1.7 25°C时稳压管在不同电流及不同工作电压时的动态电阻

3. 晶体管

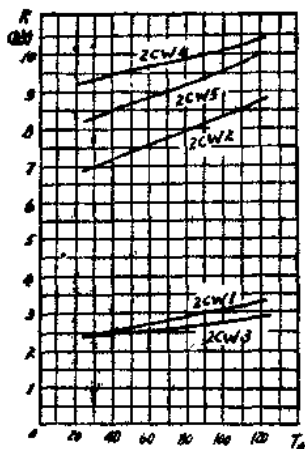


图1.8 2CW1~2CW6动态电阻与温度的关系

在逻辑电路中常常使用着大量的晶体管，而且大部分工作在大信号的开关状态，即其工作点可从截止区很快地经过线性放大区而到达饱和区，或反之。因此，这里仅将与开关状态有关的一些晶体管特性、参数及受其他条件影响等情况作一简单介绍。

首先看一下机械开关的情况，如图1.9所示。a) 为一理想开关，亦即当开关闭合时，A、B 两点间电阻为零。当开关打开

时, A、B 两点间电阻为无限大, S 开关两端 A、B 的电压为 V_B , 没有电流流过 S, 相当于图 1.9 f) 伏安特性水平轴上的 V_B 点。当 S 闭合, A、B 间无压降, 电流 $I_S = \frac{V_B}{R_L}$ 流过开关。这一工作状态相当于图 f) 垂直轴上的 I_{S1} , 负载线由 $R_L = \text{ctg} \alpha$ 决定。

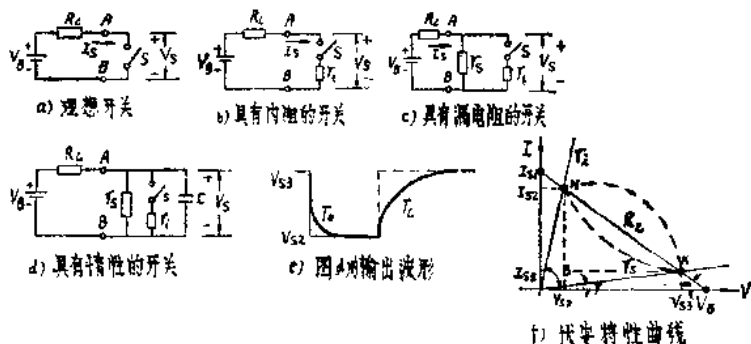


图 1.9

实际上, 开关总有一定内阻的, 比如开关内阻为 r_i (图 b)。开关闭合时, 在 r_i 上产生一定的压降。 $r_i = \text{ctg} \beta$ 。负载线 R_L 与内阻 r_i 的交点 H, 即为开关在闭合状态的实际工作点。这时回路中的电流, 将由 I_{S1} 减小到 $I_{S2} = \frac{V_B}{R_L + r_i}$ 。开关闭合时, 在 r_i 上产生功率损耗 $P_s = I_{S2} \cdot V_{S2} = V_B^2 \frac{r_i}{(r_i + R_L)^2}$ 。

实际开关中, 在 A、B 两点开断时, 也存在着一定的漏电流。这一情况可用一漏电阻 r_s 代表, 如图 c) 所示。 r_s 的存在, 使开关在开断状态下, 流过一极小的漏电流。即实际工作

点为 R_L 与 r_s 的交点 K 。 $r_s = \text{ctg } \gamma$ 。漏电阻的存在也使开关在闭合时的斜率改变，即 $\text{ctg } \beta = \frac{r_i r_s}{r_i + r_s}$ 。但因 $r_i \ll r_s$ ，仍可看作与原来 r_i 的交点 H 。 r_s 的存在，进一步降低了有效输出电压及电流的跃变：

$$V_{s3} - V_{s2} = \left(\frac{r_s}{r_s + R_L} - \frac{r_i}{R_L + r_i} \right) V_B$$

$$I_{s2} - I_{s3} = \left(\frac{1}{r_i + R_L} - \frac{1}{r_s + R_L} \right) V_B$$

这时开关在两个状态时的损耗各为：

在开断状态： $I_{s3} \cdot V_{s3} = V_B^2 \frac{r_i}{(r_i + R_L)^2} \approx V_B^2 \frac{1}{r_i}$ (因 $R_L \ll r_s$)

在闭合状态： $I_{s2} \cdot V_{s2} = V_B^2 \frac{r_i}{(r_i + R_L)^2}$

实际的开关一般具有惰性，它影响电流及电压波形的前后沿。惰性的存在常常是由于与开关并联的杂散电容 C 所致 (图 d)， C 的存在使开关开断时进行充电，开关闭合时进行放电。断开时： $T_L = R_1 C$ ， R_1 为 R_L 与 r_s 的并联电阻。开关闭合时： $T_O = C R_2$ ， R_2 为 R_L 、 r_s 及 r_i 的并联电阻。实际上 $T_O < T_L$ (图 e)。

晶体管在大信号工作时，很类似于一个实际开关：在截止状态时，集电极电阻可达几兆欧，仅流过几个微安的漏电流；而在导通饱和状态时，集电极流过很大电流，相当于只有几个欧姆内阻的开关闭合。由此可见，晶体管在开关状态下工作时，在截止区，饱和区及线性放大区 (因为在几微秒内迅速通过该区) 都具有非常低的功率损耗，因而使晶体管能够控制几倍于额定耗散功率的负载。同时，由于晶体管工作于深度饱和

区，各参数比较稳定，要使晶体管由饱和到截止所需的电荷量较大，故能抵抗一定的外来干扰。从而对使用条件的要求（如温度变化，电源电压波动等）就不需太严格，扩大了晶体管的使用范围。当然，开关电路也有它的缺点，因为晶体管工作于深度饱和，使基区在集电结处的少数载流子密度大于平衡值，亦即基区内有过多的少数载流子积存，要使晶体管截止，输入信号首先必须把这部分多余的少数载流子中和（或逸散）后，晶体管才能截止，因而使开关的速度受到了一定的限制。

在开关电路中大量使用共发射极线路，所以这里仅介绍共发射极开关线路的有关问题。

图1.10为最简单的开关电路及其特性曲线。在图1.10 a)

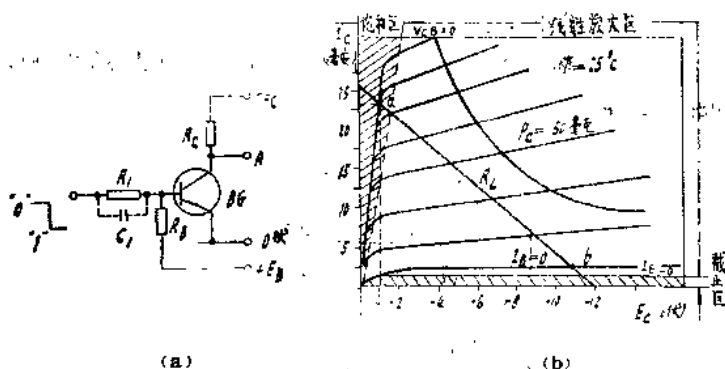


图1.10 最简单的开关电路(a)和开关状态各工作区(b)

中，当输入信号为“0”，晶体管截止，工作点对应于特性曲线上的“b”点， $I_B = 0$ 线对应于图1.9开关的 r_0 线；当加“1”态控制信号时，晶体管由截止区很快地通过线性放大区而进入饱和区，工作于“a”点，这时饱和压降 V_{CE} 很小，对

应于图1.9中实际开关内阻 r_i 上的压降。图1.11为PNP低频小功率管的共基极特性曲线。由图中可以很清楚地看出饱和及状态下工作的晶体管在各工作区内的情况。在截止区内，发射结及集电结均处于反向偏置，即 V_{CB} ， V_{EB} 均为负，晶体管工作在 $I_E = 0$ 曲线以下，集电极流过反向饱和电流 I_{CO} 。当发射结及集电结均为正向偏置时（即 V_{EB} ， V_{CB} 均为正），晶体管进入饱和区，在 $V_{CB} = 0$ 的原点以左及 $I_E = 0$ 曲线以上为饱和区，这时各结上的压降均很小（毫伏级）。因为集电结压降较小，所以实际上集电极到发射极的压降 V_{CE} 仍为负。

一般确定晶体管饱和与否有两种方法：

(1) 分别测出 I_C 及 I_B ，如 $I_B \geq \frac{I_C}{h_{FE}}$ 则晶体管饱和， I_B 越大说明饱和深度越深。

(2) 晶体管 V_{CB} 及 V_{EB} 均为正向偏置，则晶体管饱和。如图1.12所示。

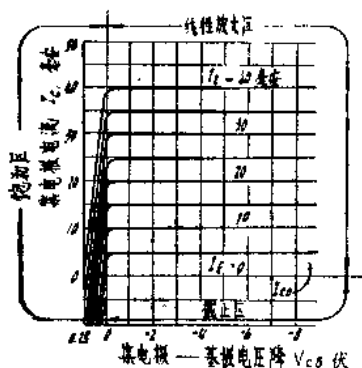


图1.11 PNP晶体管共基极特性