

DJS-100-30 计标机

集成电路说明

DJS-100系列计标机联合设计组
北京无线电三厂印

1975.5

目 录

DJS-100-30 计算机集成电路说明

集成电路原理介绍：

- ① 与非门
- ② 集电极开路与非门
- ③ 异或门/异或非门
- ④ D触发器
- ⑤ 集成电路测试原理、上机标准及说明
- ⑥ 集成电路筛选条件及说明

与非门电路

在 DJS-130 机中使用了以下几种与非门电路：

- 一、八输入单与非门；
- 二、五输入双与非门；
- 三、五输入双功率与非门；
- 四、二输入四与非门。

与非门电路的工作原理很多书上都已作了详细的介绍，因此不再赘述。在这里，我们只介绍 DJS-130 机所用与非门与其他与非门的差别。

§1. T_6 网络的作用，DJS-130 机中所用与非门都采用 TTL 浅饱和型与非门电路。浅饱和型与非门和常见的饱和型与非门（图 1a 与 b）的区别在于为输出管 T_5 提供反向基极驱动回路的电阻 R_5 用一个三极管网络（ T_6, R_5, R_6 ）来代替。现在，我们着重介绍 T_6 网络的作用。

1. 改善与非门的转移特性的矩形性，提高电路的抗干扰能力。

在饱和型与非门中，由于 T_2 管的射极经电阻 R_5 接地，因此只要 T_1 管集电极电压 $V_{C(T_1)}$ 到达 T_2 管射结开启电压（0.5V 左右）（图 2）， T_2 管射结开始导通，出现了集流， T_2 集电极电压开始下降，使与非门的输出电压随之下降（图 3a 的 A 点）。由于 $V_{C(T_1)}$ 与输入电压只差一个 T_1 管的 c-e 饱和压降，一般为 0.1V 左右，所以图 3a 的转移特性开始下降时的输入电压约为 0.6~0.7V。但是此时输

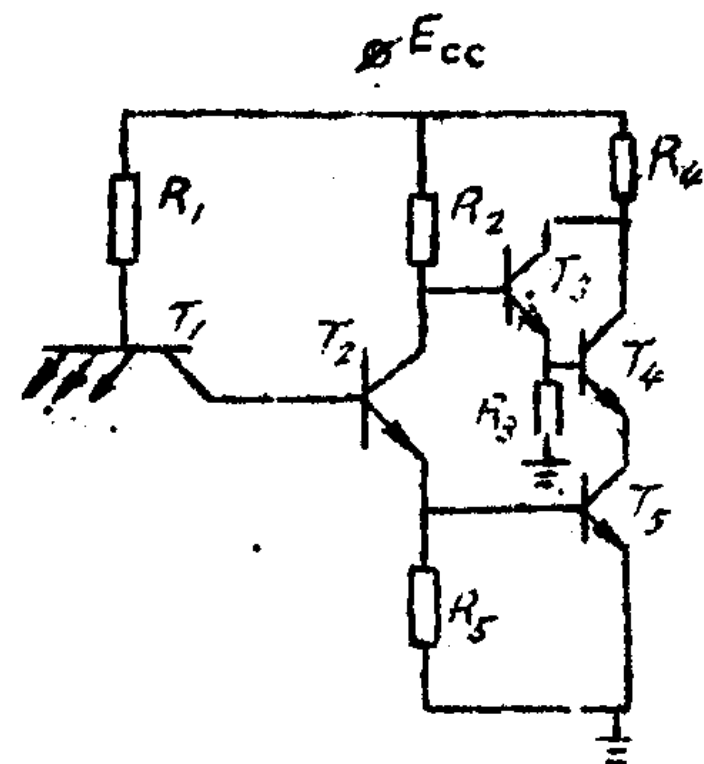


图 1a 饱和型与非门

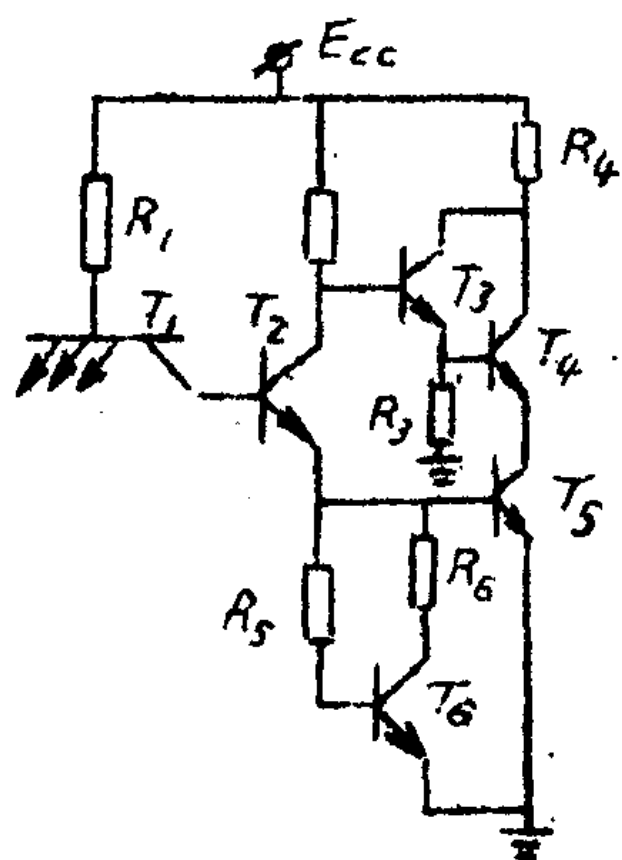


图 1b 浅饱和型与非门

出管 T_5 并未导通，因为要使 T_5 管通导的 $V_{c(T_5)}$ 必须大于 T_2 和 T_5 射结开启电压之和，约 $1V$ 左右，即输入电压大于 $1.1V$ 转移特性才开始很陡地下跌（图3a的B点）。这就是饱和与非门电路转移特性矩形性不好，低电平抗干扰能力较弱的原因。

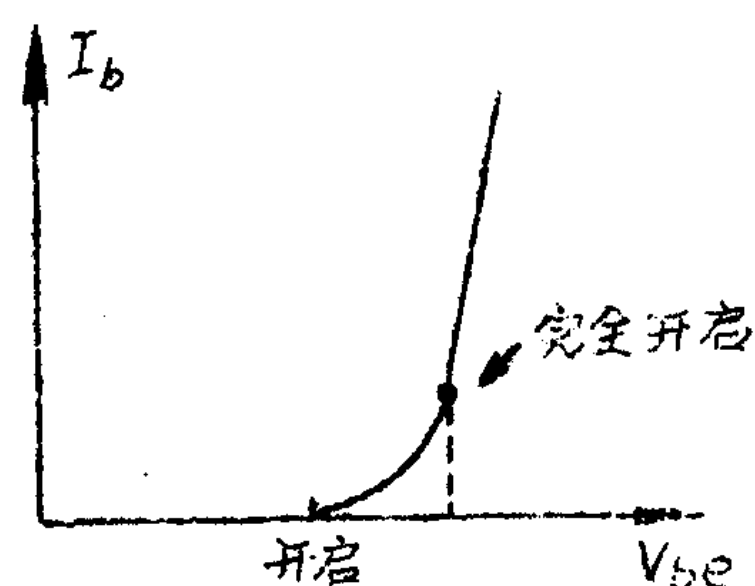


图2

对浅饱和电路来说，由于 T_2 射极接的是 T_6 网络和 T_5 射结，要使 T_2 管开始通导的基极电压必须等于 T_2 和 T_6 （或 T_5 ）射结开启电压之和（约 $1.0V$ 左右），因此其转移特性开始下降的A点的输入电压约为 $1.1V$ 。此时继续增加输入电压， T_2 射结比较好地开启， T_2 集流以及 T_5 的基流明显地增加，输出电压也随之明显地下降，转移特性过渡区变化十分迅速（图3b），这就是浅饱和型与非门转移特性矩形性较好的原因。由以上分析可知，浅饱和型电路的低电平抗干扰能力较饱和型电路提高了约 $0.4 \sim 0.5V$ 。

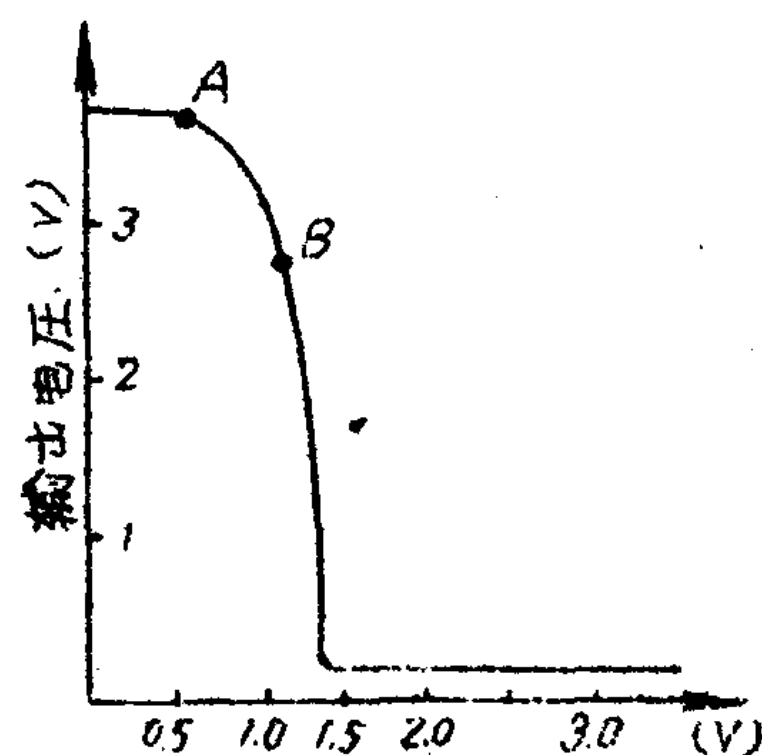


图3a

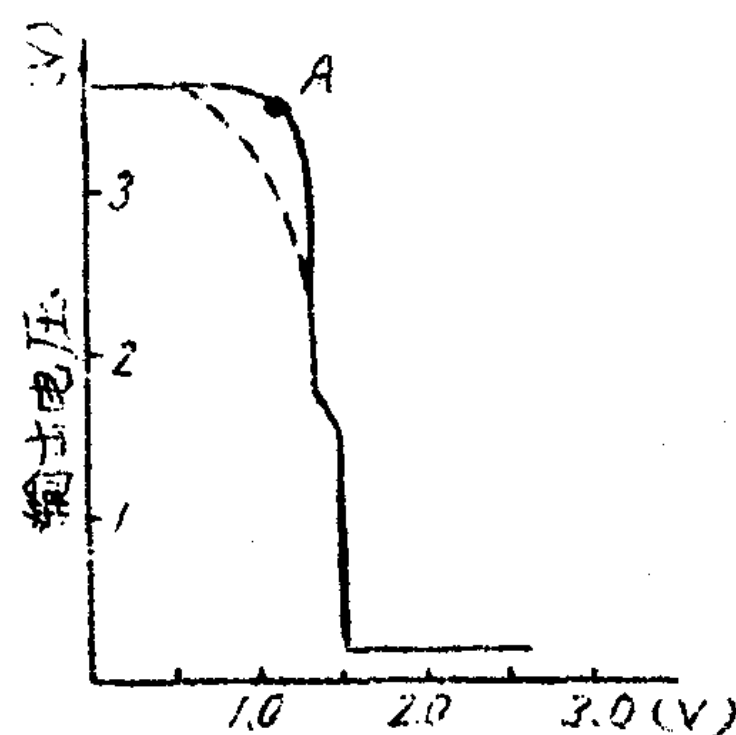


图3b

2. 减少环境温度对 T_5 管饱和深度的影响，改善平均延迟时间和扇出系数的温度特性。

我们知道，在饱和型与非门中， R_5 对 T_5 基流是起分流作用的：
$$I_{R_5} = \frac{V_{be}(T_5)}{R_5}$$
。当环境温度升高时，由于 V_{be} 减小，扩散电阻 R_5 增加，使 R_5 的分流作用减弱， T_5 饱和深度就增加。所以在饱和型与非门中，温度对动态特性和扇出系数的影响是较大的。

在浅饱和型电路中，流过 T_6 网络的分流电流不仅与 R_5 、 R_6 和 $V_{be}(T_5)$ 有关，而且还与 $V_{be}(T_6)$ 有关。由于 T_5 、 T_6 在同一硅片内，具有相同的工艺条件，它们的 V_{be} 的温度系数是相同的，因此 T_6 网络的分流作用随温度的变化比饱和电路中扩散电阻 R_5 的分流作用随温度的影响要小。我们可以用 T_6 网络的等效电阻 R 的表示式来说明。

一般情况下，为了使 T_6 网络能在5非门由导通变为截止时，为 T_5 存储电荷的逸散提供低阻通路， T_6 应工作在饱和区，即 R_5 不应比 R_6 大很多倍；当 T_6 饱和时， T_6 网络的等效电阻 R 可由图4求得：

$$R = \frac{U_{be}(T_5)}{\frac{U_{be}(T_5) - U_{be}(T_6)}{R_5} - \frac{U_{be}(T_5) - U_{ces}(T_6)}{R_6}}$$

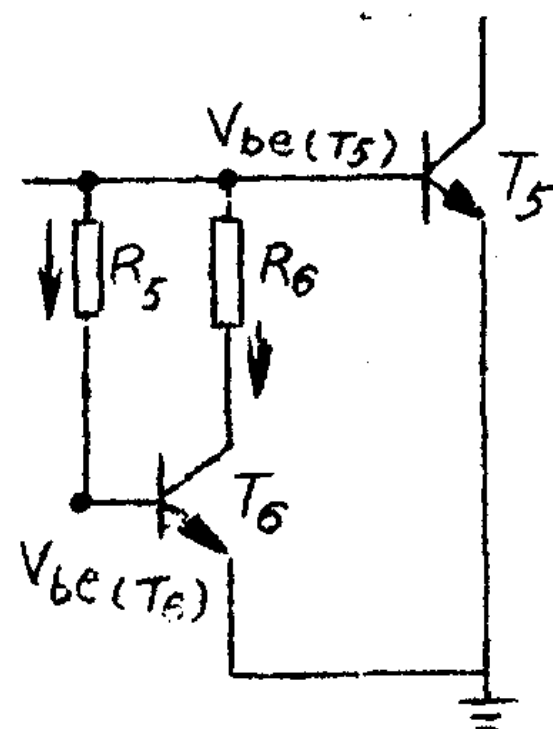


图4

由式可看出，虽然 R_5 、 R_6 与温度有关，但是 $U_{be}(T_5) - U_{be}(T_6)$ 是不随温度变化的，因此 R 随温度的变化主要取决于上式的分子项 $V_{be}(T_5)$ ，而 $V_{be}(T_5)$ 是随温度升高而减小的，因此，温度对网络等效电阻的影响比对扩散电阻 R_5 的影响要小，特别当 R_6 比 R_5 大的情况下，效果更好些，图5是 T_6 网络的等效电阻和扩散电阻随温度变化的曲线，从图5可以很清楚地看到， T_6 网络的阻抗随温度的变化要比扩散电阻随温度的变化要小得多。

R_5 和 R_6 阻值的大小关系目前有两种不同的选取法，一种是 R_6 小于 R_5 ，另一种是 R_6 大于 R_5 ，两者各有特点。前者的优点是逸散 T_5 存储电荷的通路电阻低5非门截止

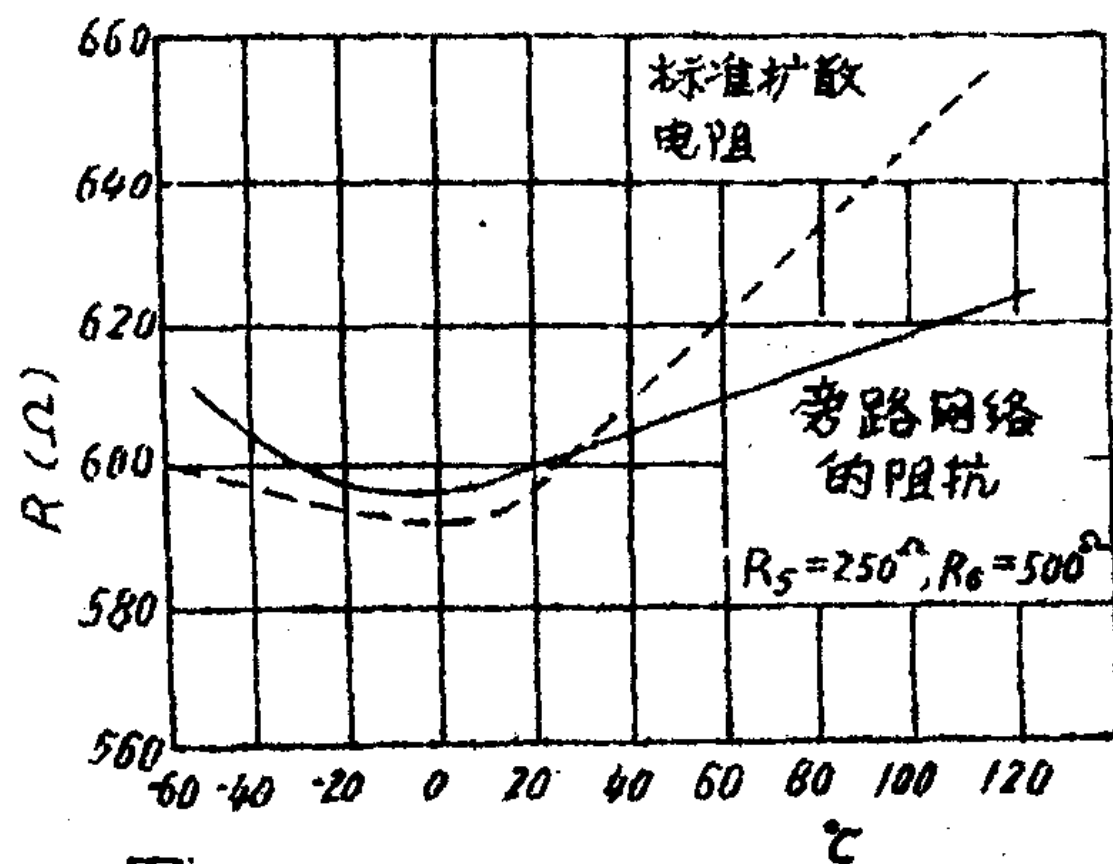


图5 (摩托罗拉公司)

较快，后者的优点是温度对网络分流作用的影响小于前者，以及由于 T_6 网络等效电阻大，-5非门扇出能力较强。

3. 加速-5非门的导通过程

在-5非门由截止变导通的过程中，由于 T_6 网络有电阻， T_6 导通要比 T_5 慢，这就使 T_2 的射流在 T_5 导通的瞬间全部流入 T_5 的基极回路，从而产生 T_5 的过驱动基流，加快-5非门的通导。而在饱和型-5非门中，在 T_5 导通前 R_5 已有电流流过，显然-5非门的导通不如浅饱和型的快。

§2 减小输入反向漏电流的措施

-5非门电路的另一个特点是在多发射管 T_1 的设计上采用了“细长脖子”的结构，从而达到减小输入反向漏电流的目的。

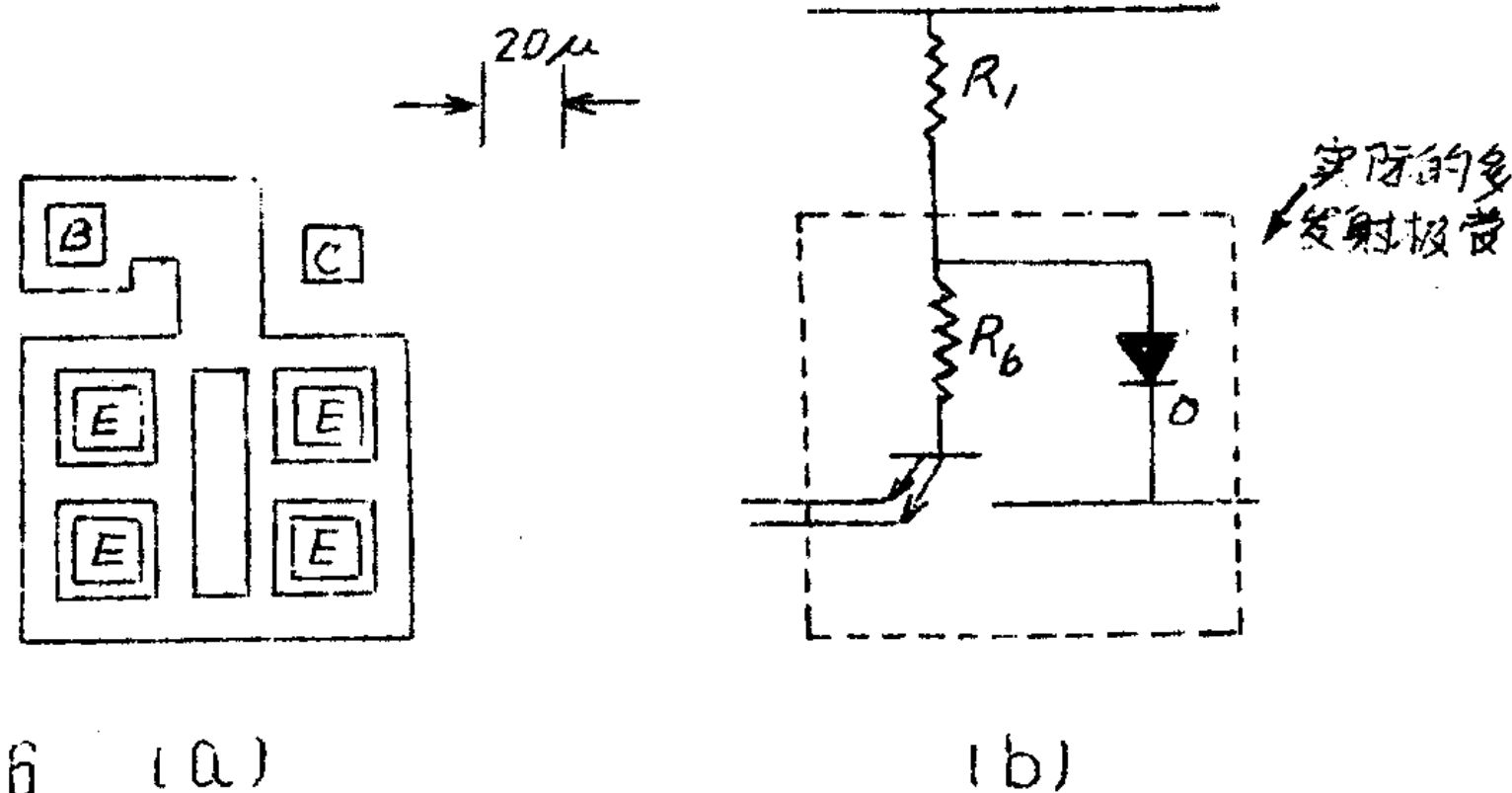
所用的多发射极管的结构如图6a

所示。由于B极“细长地”向外引伸，因此在B极到射结之间存在一个串联体电阻 R_b ；此外，

除了集结外，在B极到C极之间还存

在一个寄生二极管D，多发射极管的等效电路如图6b所示。

当射极输入为“1”电平时，寄生二极管D将对流向 T_1 基极的电流起分流作用。如果 R_1 为 $3K\Omega$ ，D的正向压降以及 T_2 、 T_5 的 V_{be} 均为 $0.8V$ ，那儿流过 R_1 的电流 I_{R_1} 为 $0.87mA$ 。假如 R_b 较大，D的分流作用就会很强，使流向 T_1 基极的电流仅为 I_{R_1} 的 $\frac{1}{10}$ 。我们知道输入反向漏电流为 T_1 管的反向 β 和 T_1 管基流之乘积。现在由于 T_1 的基流只有 $87\mu A$ ，因此输入反向漏电流将大大减小，以反向 β 为 $0.01 \sim 0.05$ 为例，输入反向漏电流仅为 $0.9\mu A \sim 4\mu A$ ，它和-5非门输出高



电平的负载能力相比是完全可以忽略的了。为了使D的分流作用十分显著， R_b 不宜过小，一般情况下为 $R_b = 400 \Omega$ ，流过 R_b 的电流只有 I_R 的 $1/10$ 是完全有可能的。

当然，由于 R_b 的存在，在分析与非门的输入短路电流时应把 R_b 考虑在内，但是在分析 T_2 管基流时 R_b 却又不应考虑在内。

集电极开路与非门 NAND Gate (Open Collector Output Transistor)

集电极开路与非门电路(简称O.C 电路)是与非门电路的一种。它和普通与非门的差别在于缺少了 T_3 、 T_4 网络(图1b), 若将O.C 电路的 T_5 管集电极经负载接至电源(图1b虚线), 那么在输出端就可获得“与非”逻辑功能。

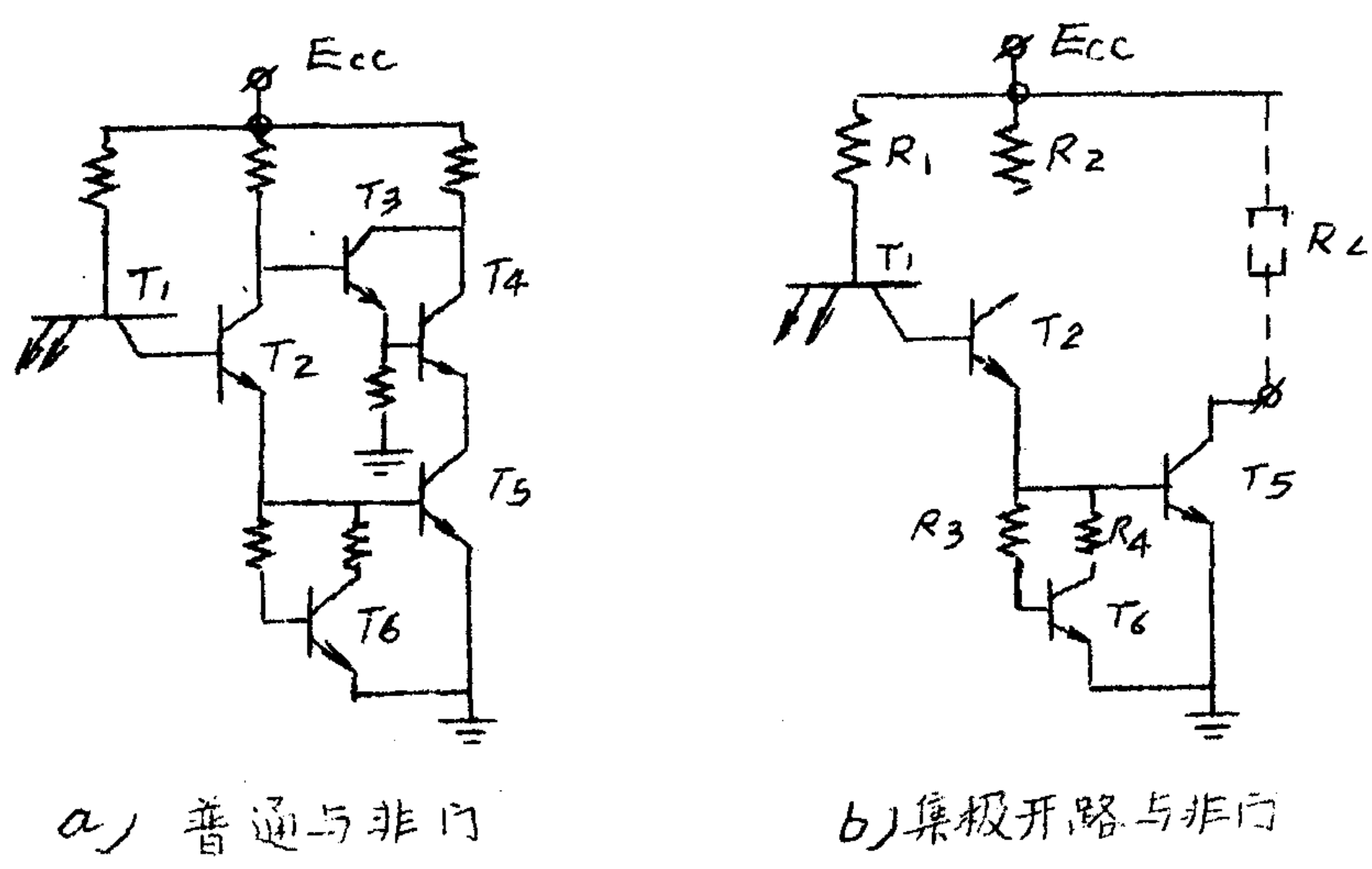


图 1

§1. 用途

1. 实现“与或非”逻辑

(一)、将若干个“O.C 与非门”的输出端并联在一起(接公有负载 R_L), 即可获得“与或非”逻辑功能(图2):

$$Z = \overline{x_1 y_1 + x_2 y_2 + \dots + x_n y_n}$$

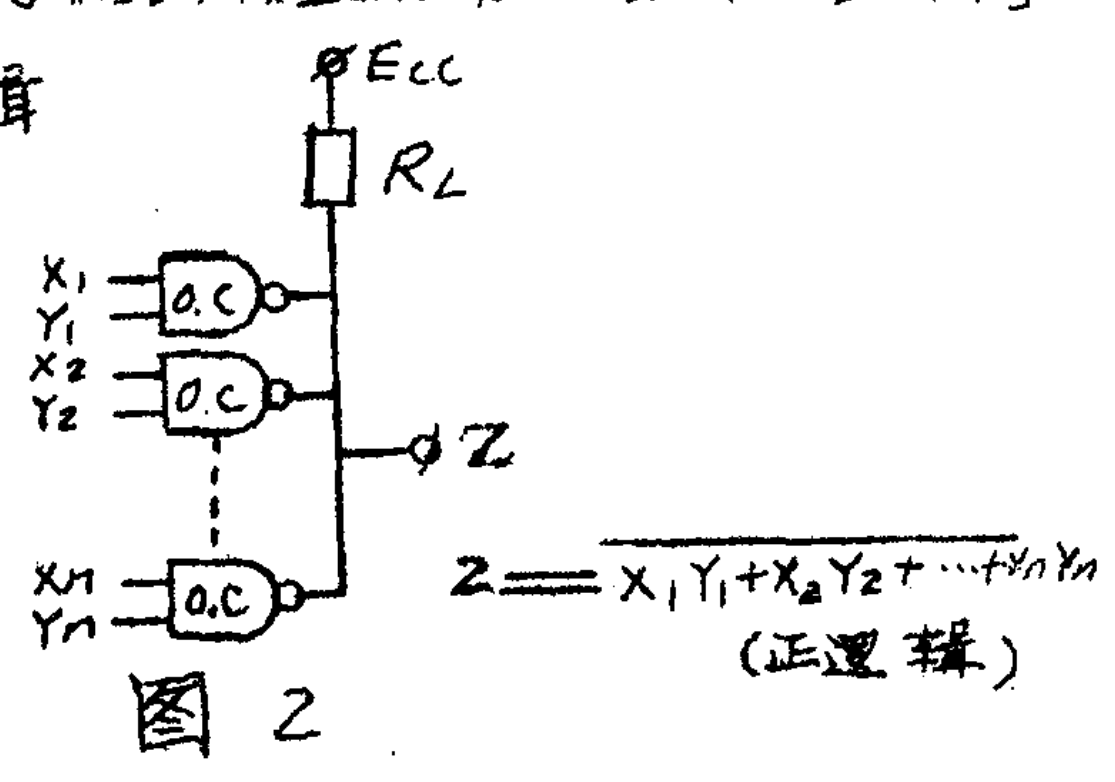


图 2

$$Z = \overline{x_1 y_1 + x_2 y_2 + \dots + x_n y_n} \quad (\text{正逻辑})$$

(二)、将普通与非门的输出端并联接至公有负载是不能实现“与或非”逻辑的，因为这时并联的输出端的电平既非“0”又不是“1”，“0”，“1”电平不明确，逻辑关系将混乱。我们可以用图3来说明。

在图3中两个与非门 G_1 、 G_2 是并联在一起的，并有公共负载 R_L 。我们知道，在普通的与非门电路中， T_4 、 T_5 必然有一个是被接通的。如

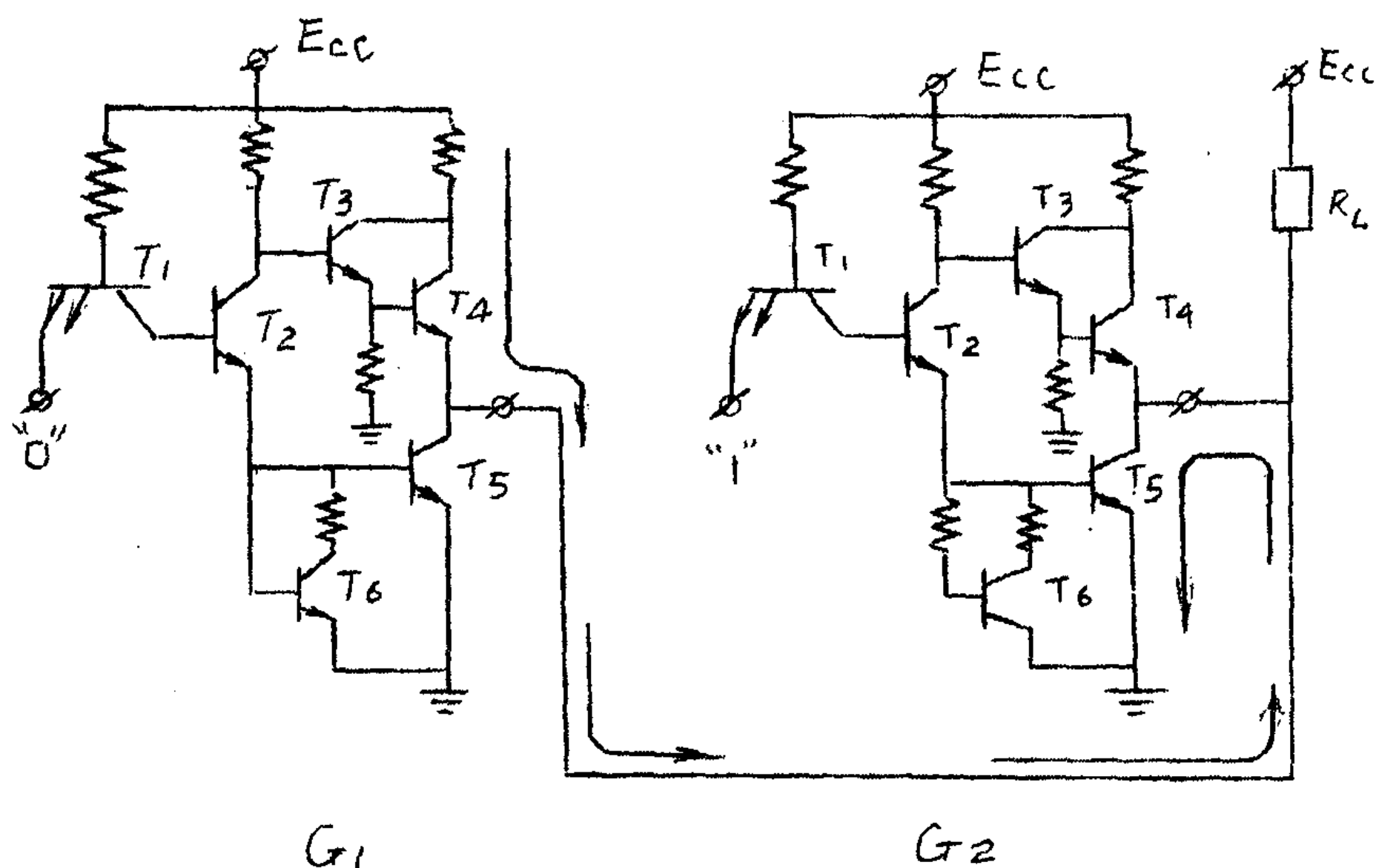


图3

果 G_1 输入为“0”，则 T_{4G1} 是导通的，而 T_{5G1} 是截止的；如果 G_2 输入为“1”，则 T_{4G2} 是截止的，而 T_{5G2} 是被接通的。将 G_1 、 G_2 输出并联后，在电源到地之间就有了低阻通路，有一个很大的电流从 E_{cc} 经 T_{4G1} 和 T_{5G2} 流入地端，一般可达几十毫安（图3）。也就是说将有几十毫安电流从 G_1 输出端流出，除了负载电流 I_{RL} 外还有一个很大的电流从 G_2 输出端流入。从与非门“1”输出伏安特性

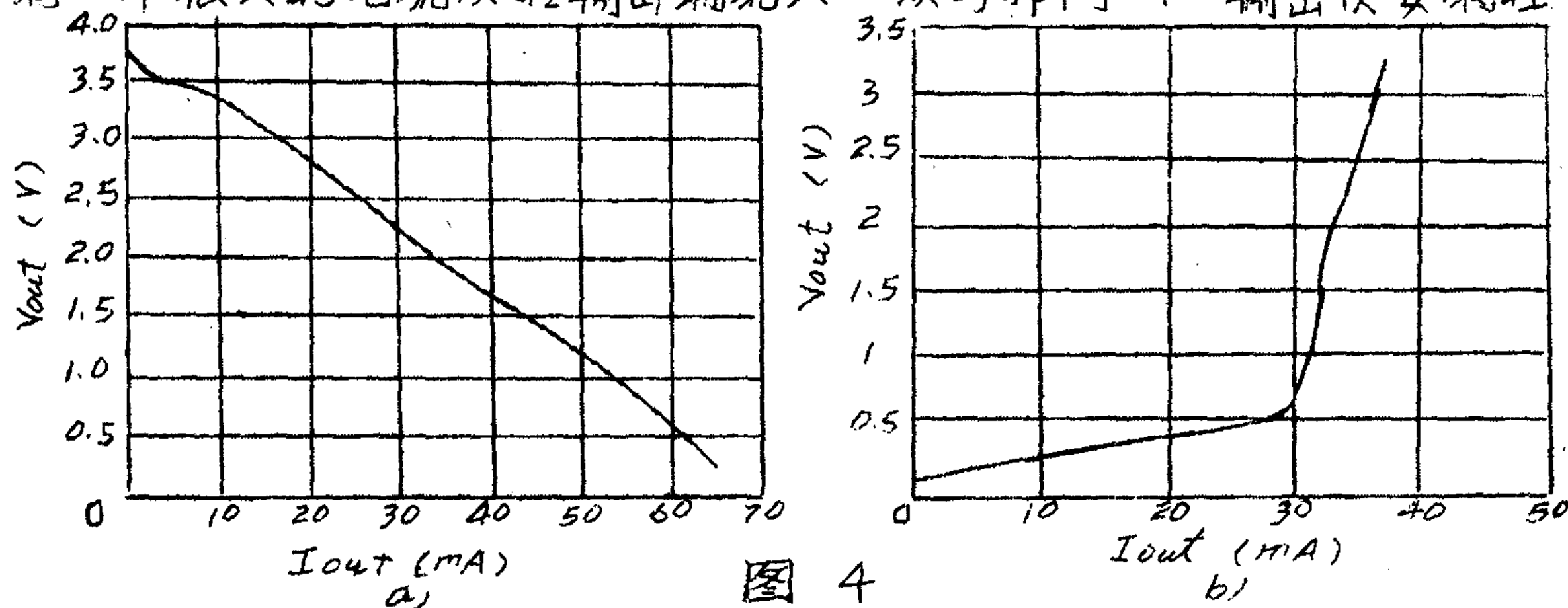


图4

性(图4a)可知,如有一个不太大的电流从与非门的输出端(例如20mA),那么输出电压将远低于高电平的下限值。从与非门“0”输出伏安特性(图4b)可知,有过大的电流流入与非门输出端时,输出电平将高于低电平的上限值。如果我们暂不考虑负载电阻 R_L 的电流,那么流过由 T_4G_1 和 T_5G_2 所组成的低阻通路的电流将是“0”和“1”输出伏安特性的交点(图5),电路的输出电压值将为1.8V左右,输出电平介于“0”“1”之间,很明显,与非电路并联运用是不能获得“与或非”逻辑功能的。

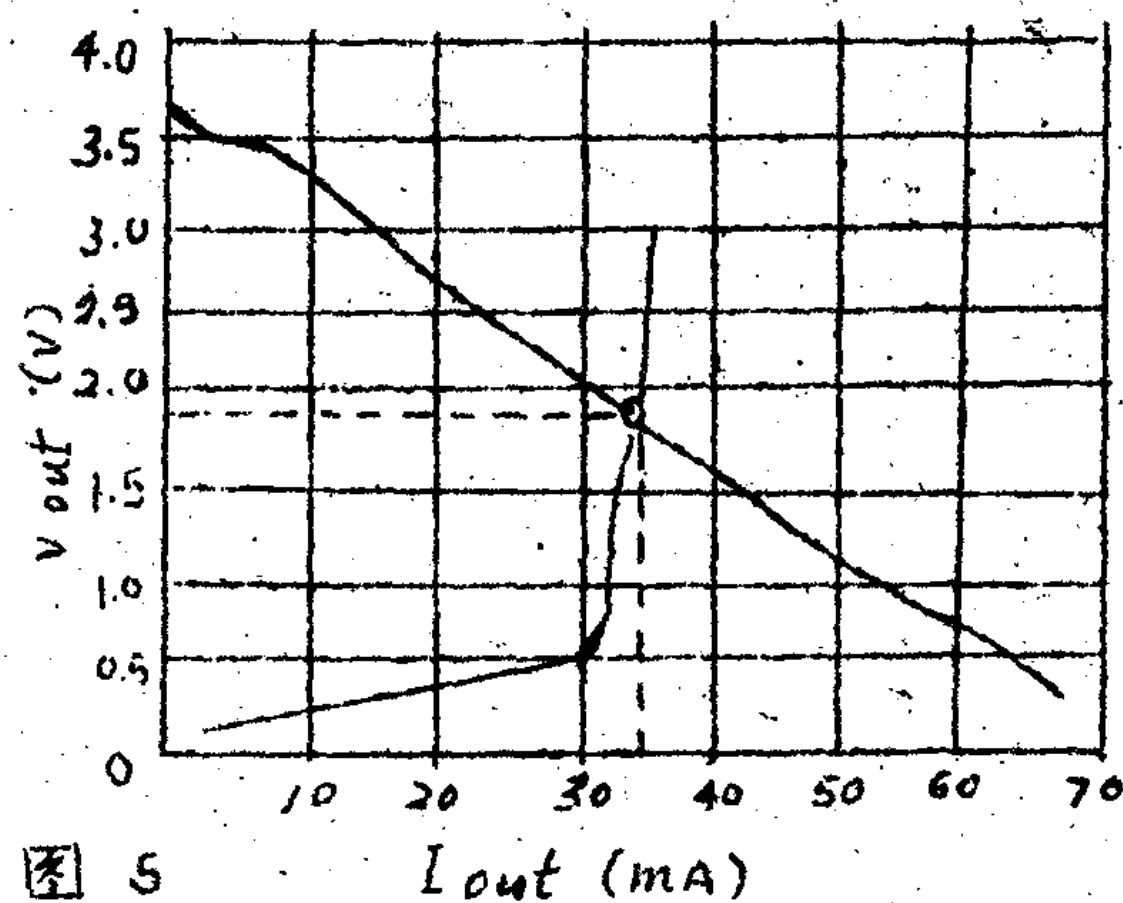


图5

由于集电极开路与非门没有 T_3, T_4 网络,所以在 E_{cc} 和地之间根本就不存在上述这种低阻通路,当 G_1 输入为“0”, G_2 输入为“1”,则 T_5G_1 截止, T_5G_2 被接通,负载电流仅流向 T_5G_2 ;并联输出端有明确的输出电平——“0”电平

(三) 当然,用带或扩展端的“与非门”或“与或非门”联以“或扩展器”也能得到与或非功能的,但是当或扩”器的位置相距较远,而且“与”(乘积)项又很多时,例如有32组“与”项:

$$Z = X_1 Y_1 + X_2 Y_2 + \dots + X_{32} Y_{32}$$
那么除了与非门的线扩展端的线间电容很大,影响工作速度外,很多长的扩展端引线也极易引入干扰信号,使与非门工作不可靠,因此,这种情况下使用OC电路来实现“与或非”功能是很有利的。

(四) 我们知道,在与非门电路中, T_3, T_4 网络在过渡状态能迅速地电容负载充电,以获得较高的运行速度。而在OC电路中由于没有 T_3, T_4 网络,因此电路驱动容性负载能力不如普通与非门,平均延迟时间要大得多。

2. 用作高电平线路的转接器。

~4~

将O.C.电路输出管 T_5 的负载电阻接向高压电源 E_{cc2} , 那么当电路输入为"0"时, T_5 管截止, 输出电平为 E_{cc2} (图6), 例如TTL电路和MOS电路连接时, 为了实现低的电平向高的电平转换, 采用O.C.电路是很方便。

3. 用作驱动器

集电极开路功率门电路可用作驱动指示灯、继电器以及分充元件。

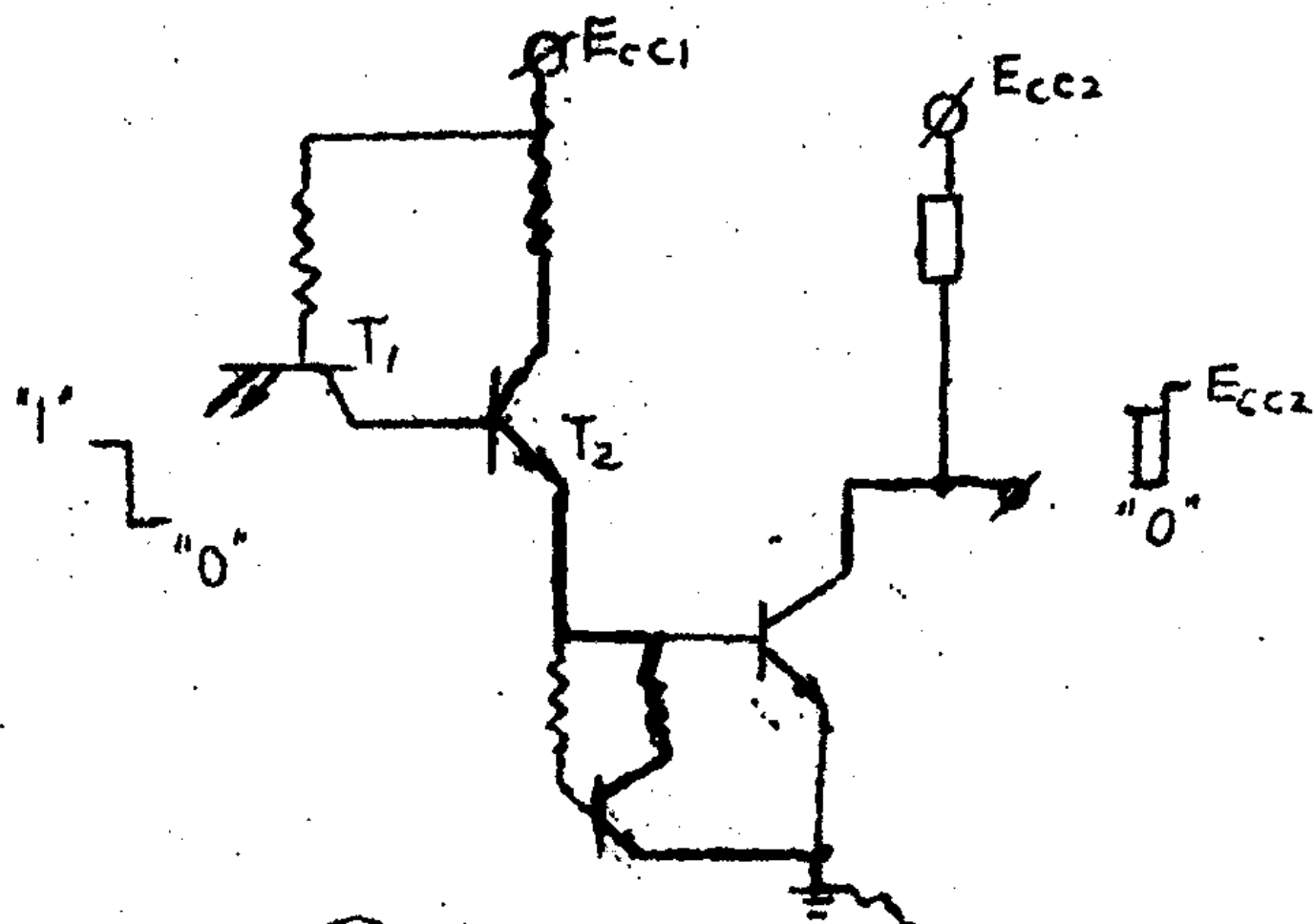


图 6.

§ 2 负载电阻 R_L 的计标

假定并联在一起的O.C.电路数为 n , 其输出与 N 个普通与非门相连 (图7), 现在介绍公共负载 R_L 的计标方法。

1. R_{Lmax} 的计标 (图7)

当 n 个O.C.电路都截止, 其输出为"1"电平。此时流过 R_L 的电流 I_{RL} 为

$$I_{RL} = nI_{cex} + NI_R$$

这里 I_{cex} 为O.C.电路输出管 T_5 的漏电流, I_R 为与非门电路的输入漏电流。

O.C.电路的输出高电平 V_{OH} 为

$$V_{OH} = E_{cc} - I_{RL} \cdot R_L = E_{cc} - (nI_{cex} + NI_R) \cdot R_L$$

R_L 愈大, V_{OH} 就愈低, 因此 R_{Lmax} 应保证在足够的 I_{RL} 下, V_{OH} 不低于规定的高电平下限值, 故有

$$R_{Lmax} = \frac{E_{cc} - V_{OH}}{nI_{cex} + NI_R}$$

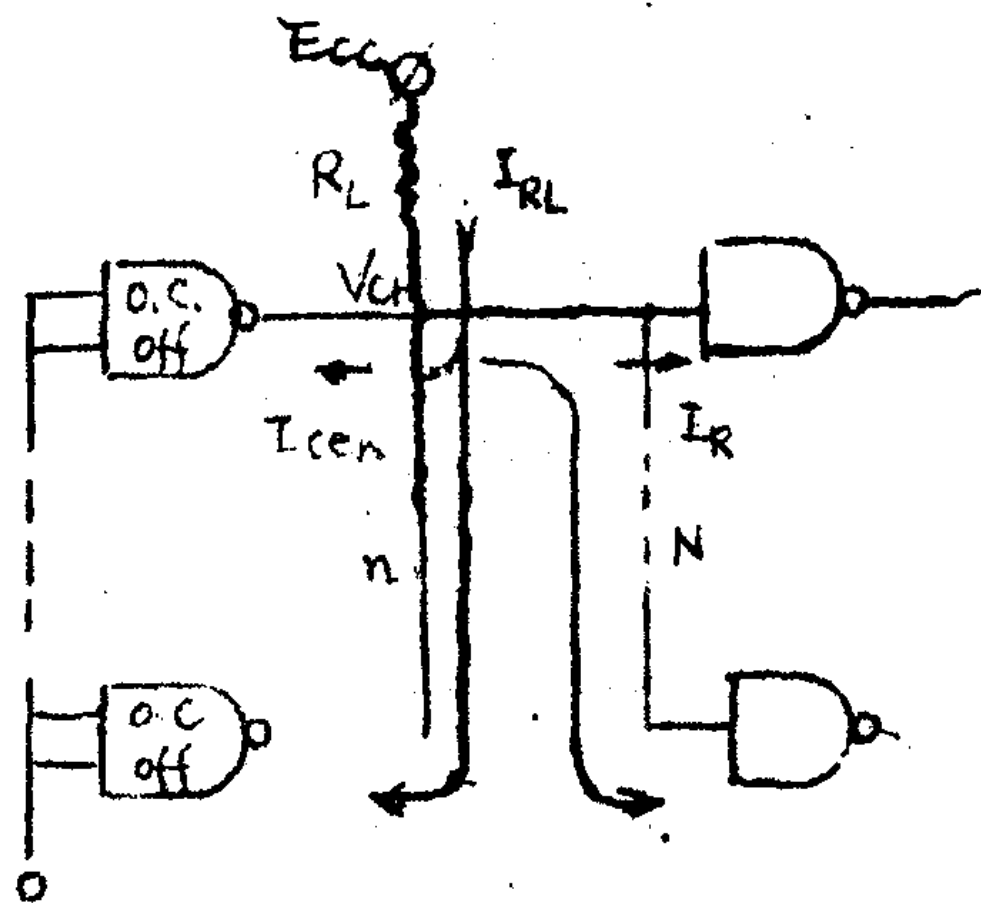


图 7.

由 R_{Lmax} 计标式可知, 如果 n 和 N 都比较大, 那么在给定 R_L 的情况下, 应限制 o.c. 电路的 I_{cex} 和与非门的 I_R 或者说, 在 R_{Lmax} 给定的情况下, 减少 o.c. 电路的 I_{cex} 和与非门的 I_R , 就可增加 n 和 N , 这对扩大 o.c. 电路应用灵活性是十分有利的。

2. R_{Lmin} 的计标 (图 8)

当 n 个 o.c. 电路中有一个导通, 其余均截止, 其输出为低电平, 此时流过 R_L 的电流 I_{RL} 为

$$I_{RL} = I_{OL} - N I_F$$

这里 I_{OL} 为 o.c. 电流允许流入的最大电流, I_F 为与非门电路的输入短路电流。o.c. 电路的输出低电平 V_{OL} 为

$$V_{OL} = E_{CC} - I_{RL} R_L = E_{CC} - (I_{OL} - N I_F) R_L \quad \text{图 8}$$

R_L 愈小, 则 V_{OL} 就愈高。因此 R_{Lmin} 应保证在足够的 I_{RL} 下, V_{OL} 不高于规定的低电平上限值, 故有

$$R_{Lmin} = \frac{E_{CC} - V_{OL}}{I_{OL} - N I_F}$$

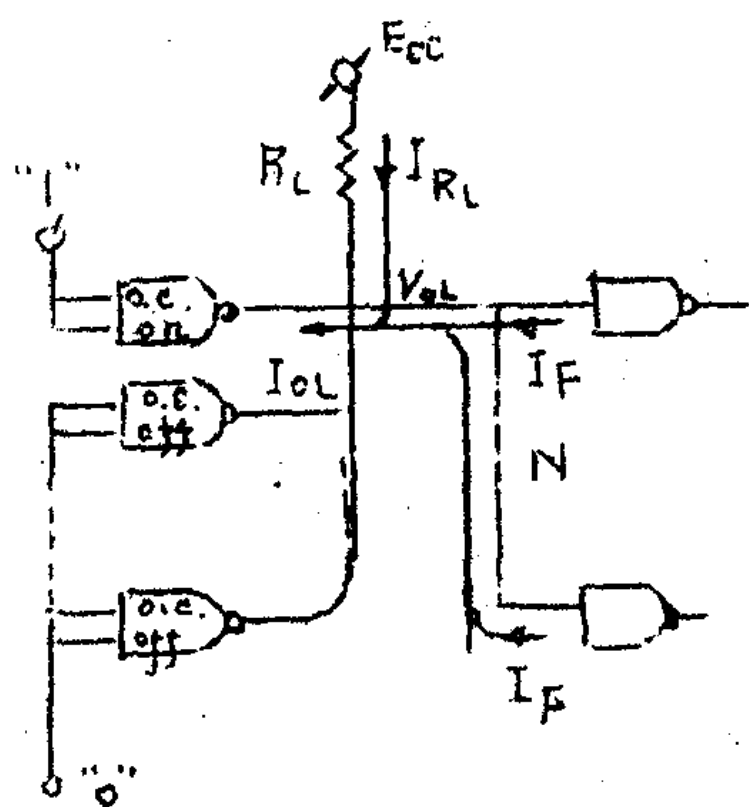
由 R_{Lmin} 计标式可知, 若 N 较大, 那么在给定 R_L 的情况下, 应限制与非门的 I_F 值; 或者在 R_L 和 I_F 给定情况下, 为了保证 V_{OL} 值不高于低电平的上限值, 应限制 N 数。

由于 o.c. 电路没有 T_3, T_4 网络, 输出电压的上升时间由时常数 $R_L C$ 来决定, 这里 C 为输出端的总电容。因此除 R_L 对进行上述直流计标外, R_L 值还不应该使 o.c. 输出波形的开关时间过长, 如果上升时间过长, 可通过限制 N 来减少 R_L 值。

§3 介绍几种集极开路门电路

1. 国产 SM3402 型小功率集极开路与非门

这是一种二输入端四门电路, 线路图如图 1.6 所示。它的主



要参数除了电流电流，输入正向电流和输入反向电流与普通与非门 SM3401 相同外，低电平下最大输出电流 I_{OL} 以及输出高电平下输出漏电流 I_{ceX} 是很重要的直流参数。SM3402 的 I_{OL} 在 V_{OL} 不高于 0.35V 下为 20mA，在 $E_{CC}=4.5V$ ，输出端加 5.5V 时， I_{ceX} 不大于 250 μ A。图 9 为输出“0”电平下的输出伏安特性，图 10 为 V_{OL} 随 E_{CC} 及温度变化的曲线。这种电路不给出输出管的击穿电压，此时输出管的电源电压不应超过电路供电电压 E_{CC} (5V)，如有特殊需要，应对输出管的击穿电压进行专门挑选，电路的输入情况和普通与非门相同，因此它的“0”“1”输入特性就不在此重复了。

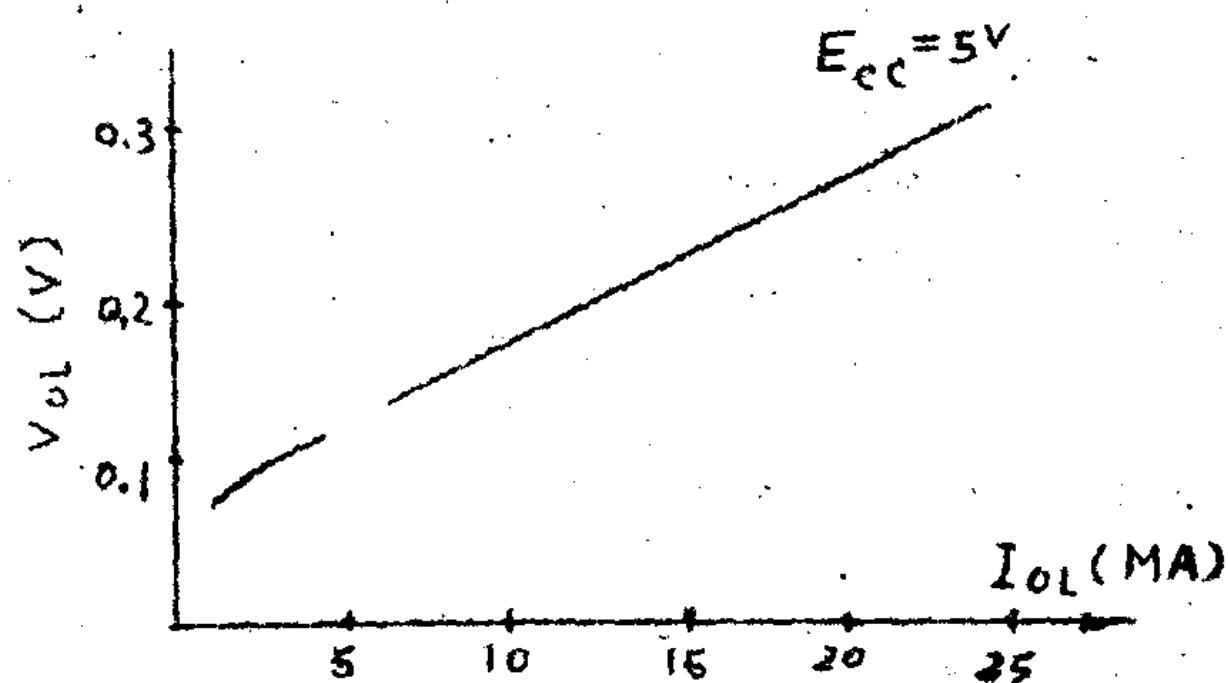


图 9

电路的开关参数一般给出平均延迟时间 t_{pd} 或分别给出导通延迟时间 t_{pd+} 和截止延迟时间 t_{pd-} 。SM3402 在 $R_L=400\Omega$, $C_L=15pF$ 时， t_{pd+} 不大于 80ns。图 11 为基电路 t_{pd+} 随 $R_L C_L$ 变化的曲线。

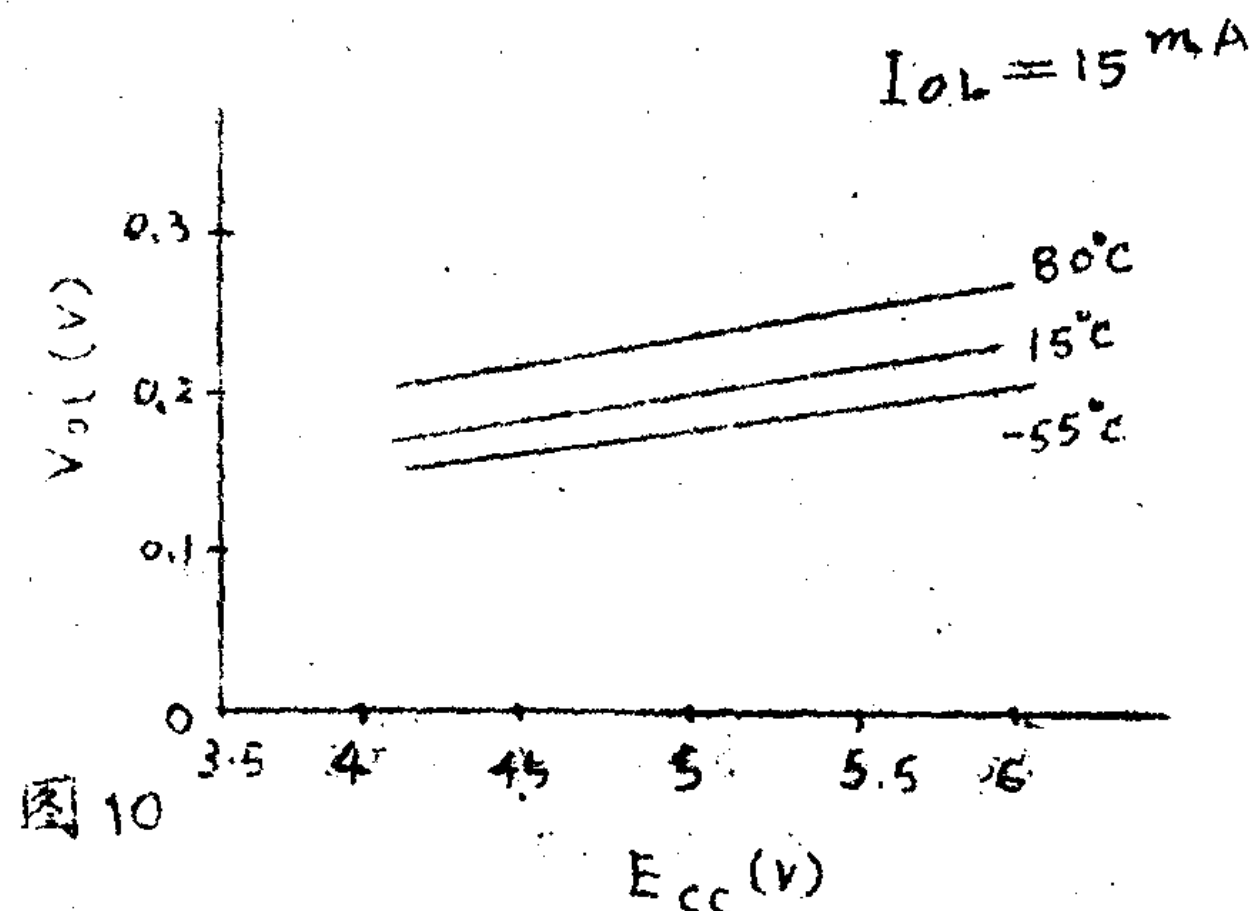


图 10

2. 集极开路功率与非门

图 12 是 MB431 (日·富士通) 功率门的线路图，在输出低电平时最大输出电流 I_{OL} 大于 72mA，由于 I_{OL} 较大，输出管存储电荷很多，为了减少输出管由饱和转为截止时的延迟时间，放大管 T_2 的射极

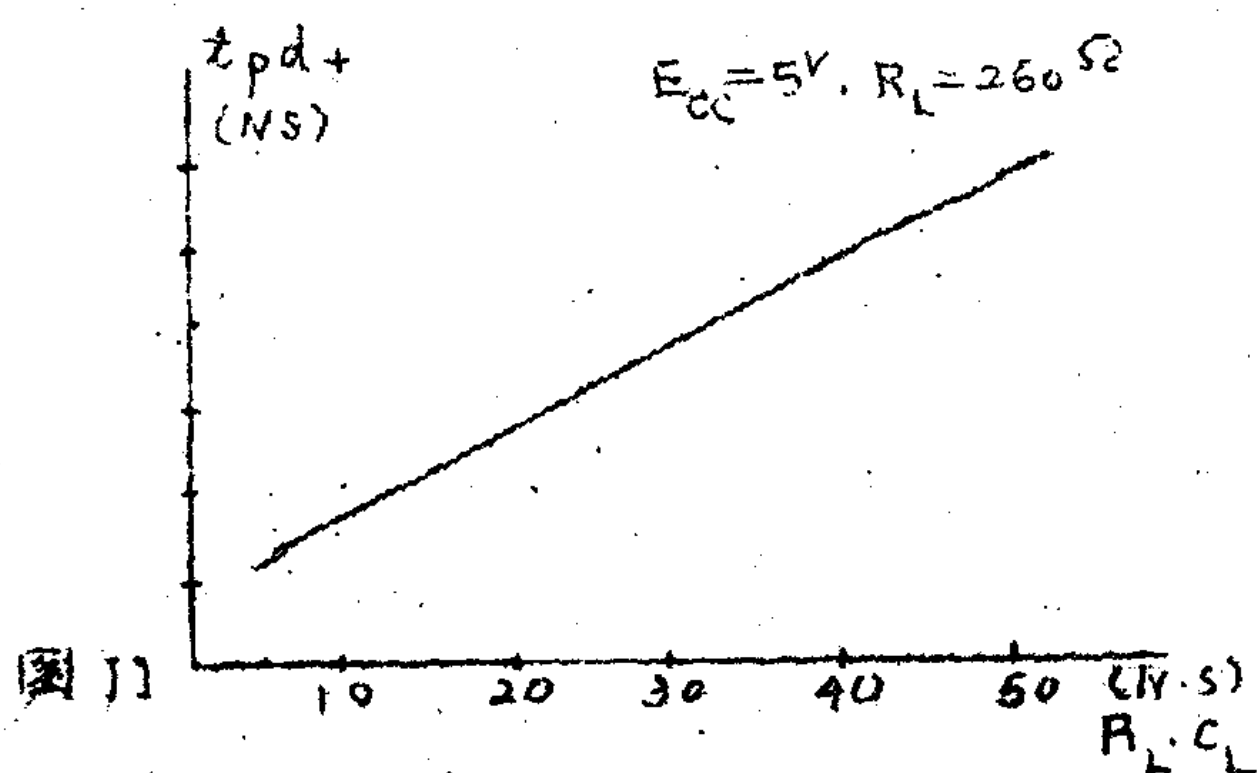


图 11

电阻不接地而接向负电源 $E_{EE}(-6V)$ ，这样 OC 电路的输入位号由“1”跳变至“0”时，在 E_{EE} 作用下，形成输出管反向基流，输出管存储电荷就能很快消失，电路的平均延迟时间能显著减少。

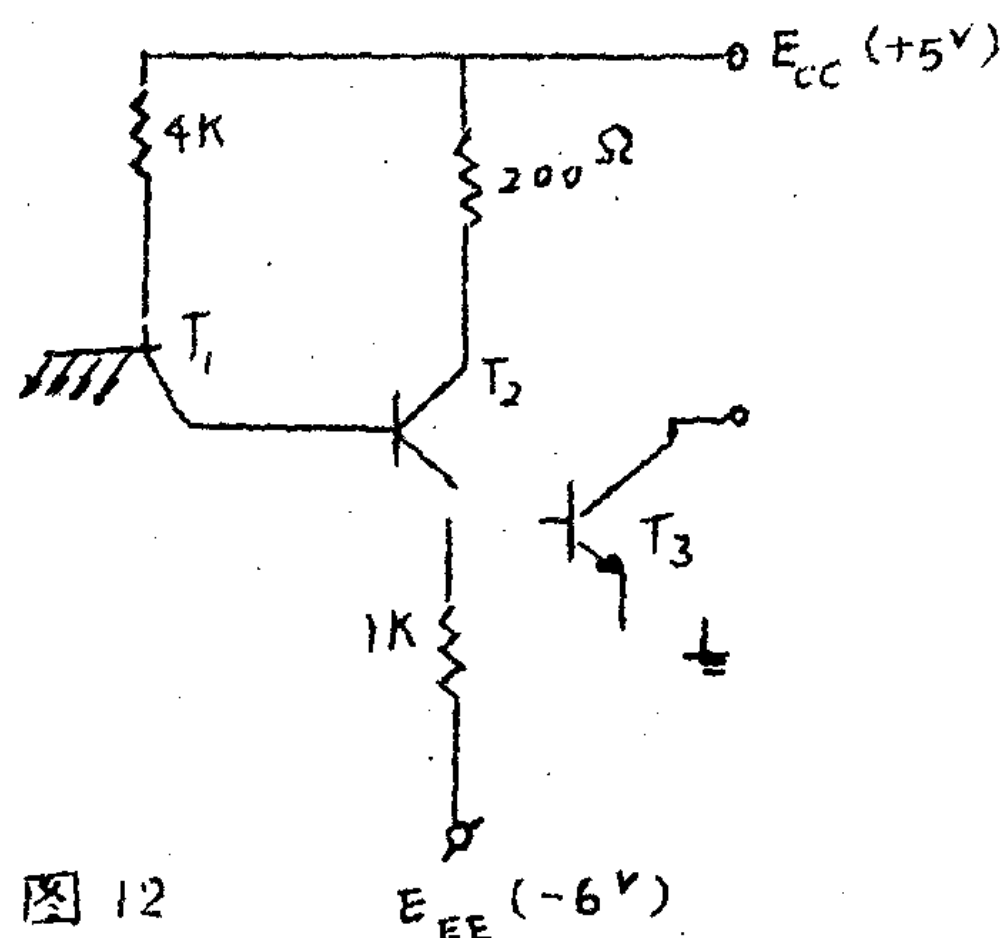


图 12

MB431 的 t_{pd-} , t_{pd+} 的测试图示于图 13, t_{pd-max} 为 $16ns$, t_{pd+max} 为 $30ns$

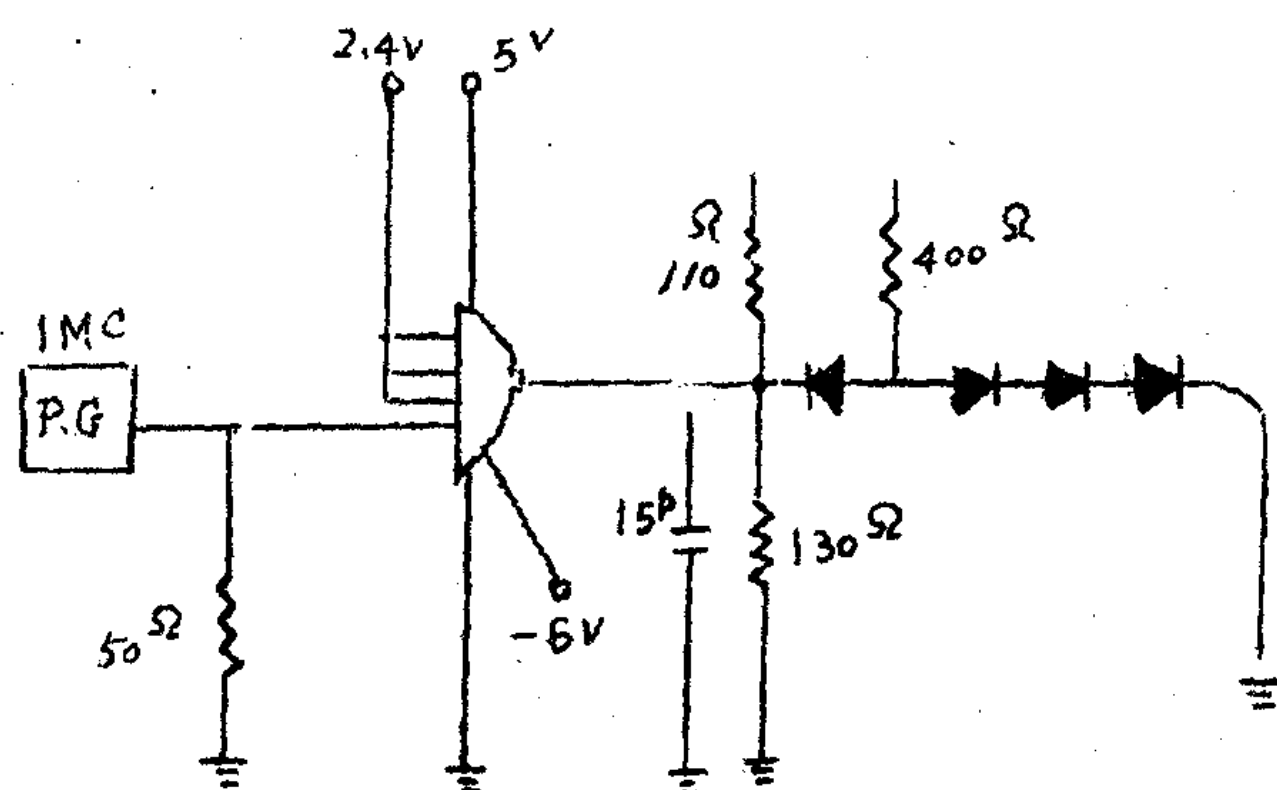


图 13

3. 集极开路高压输出的缓冲驱动器

SN7407 型电路 (美. 得克萨斯) 示于图 14, 它比普通 O.C. 与非电路多了一级放大级 T_3 , 因此它不反相输入信号。

电路的 I_{OL} 为 $40mA$, 输出管 T_4 最低击穿电压 $30V$, 所以它的主要用途是作缓冲驱动器, 用以驱动灯, 继电器以及实现高电平转换。有六个驱动器集成在一个单片上, 总功耗为 $145mW$, $t_{pd}=14ns$ 。

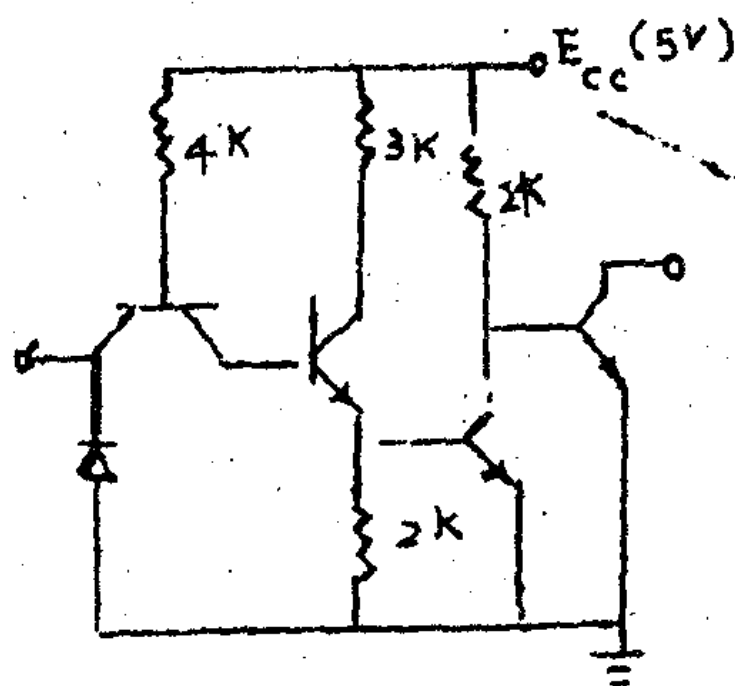


图 14

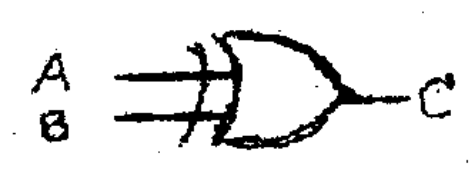
异或门/异或非门 (Exclusive OR/NOR Gate)

异或门是实现“异或”逻辑功能的电路，它有两个输入，一个输出，其真值表示于表 1a，只有当输入 A 和 B 状态相反时（A = “0”，B = “1” 或 A = “1”，B = “0”）输出 C 为 “1”；而当 A 和 B 状态相同时（A = B = “0” 或 A = B = “1”）输出 C 为 “0”，即具有“异或”性。逻辑方程为

$$C = A \cdot \bar{B} + \bar{A} \cdot B$$

异或非门的真值表示于表 1.b，当输入 A = B，则输出 C = 1，当 A ≠ B，则输出 C = 0，此句说不要。其逻辑方程为：

$$C = \overline{A \cdot \bar{B} + \bar{A} \cdot B}$$

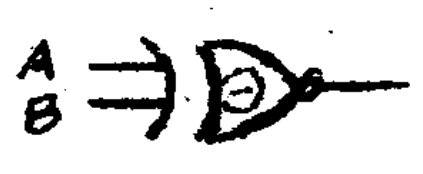


异或门真值表

A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$$C = A \cdot \bar{B} + \bar{A} \cdot B$$

表 1a



异或非门真值表

A	B	C
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$$C = \overline{A \cdot \bar{B} + \bar{A} \cdot B}$$

表 1.b

§1. 应用

异或门异或非门的应用是很广的，在电子计算机中可用它组成半加器，全加器以及奇偶检验部件比较器等基本部件。

1. 半加器和全加器