

73.67
SYT_J

晶体管应用

(汇编)

特性应用组编



上海元件五厂情报资料室

1971.10.

编 印 说 明

这份资料，是我们在特性应用组编写的“晶体管应用”1—7辑中整理汇集而成的，并由特性应用组同志进行部分修改和补充。由于我们水平很低，工作又做得很粗糙，错误一定不少，敬请同志们批评指正。

上海元件五厂情报资料室

1971.10.

毛主席语录

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。

抓革命，促生产，促工作，促战备。

提高警惕，保卫祖国。
要准备打仗。

目 录

一、	3DK2、3DK3、3DG8、3DG11 3DK5、3DK6、3DG13、3DG14 应用电路	1
二、	3AD35(2Z730) PNP 型锗低频大功率晶体管 的特性和应用	18
三、	5G922 特性和应用	42
四、	双基极二极管的应用	73
五、	晶体管的雪崩特性及其应用	89
六、	晶体管斩波器	106
七、	晶体管石英振荡器	116
八、	直读式晶体管开关时间测试仪	124
九、	“UJ-1 电位差计”用精密稳压电源的设计与 实验	136
十、	晶体管开关电压调整器	142
十一、	晶体管串接应用实验	150
十二、	恒流电源在晶体管测试中的一些应用	159
十三、	晶体管“D”类放大器的初试与展望	175
十四、	晶体管热阻简易测试	186

3DK2、3DK3、3DG8、3DG11
 一、3DK5、3DK6、3DG13、3DG14 应用电路

开关电路：

(一) RC 耦合自激多谐振荡器

图1示出最简单的RC耦合自激多谐振荡的电原理图。

图中，两个晶体管 T_{r1} 和 T_{r2} 通过电阻 R_B 和电容 C_B 来实现从集电极至基极的交叉耦合。电阻 R_C 和 R_B 决定晶体管的偏置。其电路参数由下式给出：

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}(\text{sat})}{R_B}$$

..... (1)

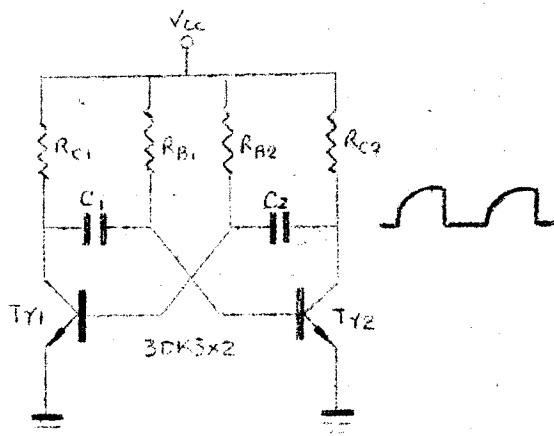


图1

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}(\text{sat})}{R_B} \quad \text{..... (2)}$$

$$I_C = I_B \cdot h_{FE\text{min}} \quad \text{..... (3)}$$

式中 $V_{CE}(\text{sat})$ 为晶体管集电极饱和压降， $V_{BE}(\text{sat})$ 为前向压降，这些参数在器件厂的参数表上给出。

电路必须满足：

$$R_B \leq h_{FE\text{min}} \cdot R_C \quad \text{..... (4)}$$

晶体管在开关运用时 $V_{CC} \gg V_{CES}$, $V_{CC} \gg V_{BES}$, $I_{CO} \rightarrow 0$

振荡周期为： $T = 2\tau = 1.38 (R_{B1}C_{B1} + R_{B2}C_{B2})$

对于对称的多谐振荡器其周期为

$$T = 2\tau = 1.38 R_B C_B \quad \dots\dots\dots (5)$$

我们试验中 $V_{CC} = 6V$, $T_{r1}, T_{r2} : \begin{cases} 3DK3 \\ 3DK2 \end{cases} \quad I_C = 6mA$

$R_{B1} = R_{B2} = R_B$, $C_{B1} = C_{B2} = C_B$, $\beta_{FE} > 30$ 。

表1 给出了电路数据和测试结果：

R_C	R_B	C_B	T	f
1K	10K	47P	0.67 μ S	1.5 μ C/S
1K	10K	100P	1.5 μ S	670KC/S
1K	10K	300P	4.2 μ S	250KC/S
1K	10K	0.015 μ f	0.2mS	5KC/S
1K	10K	0.47 μ f	6mS	160C/S
1K	10K	1 μ f	15mS	60C/S
1K	20K	1 μ f	28mS	35C/S
1K	30K	1 μ f	42mS	20C/S
1K	30K	5 μ f	210mS	5C/S
1K	30K	10 μ f	420mS	1.5C/S
1K	30K	20 μ f	840mS	1.2C/S

变形的自激多谐振荡器：

图1的振荡器的编制较差，上升时间不快，实用上不太理想，因此有必要加以改善，图2是一种改进的电路，利用发射极输出器作阻抗转换，同时起整形作用以改善输出波形，此发射极输出器同样地工作在大讯号开关状态，在相同的工作状态下，其输出波形的比较示于图4，图3是不加改善的多谐振荡器。

图2中，电位器 $V_R(10K\Omega)$ 用来调节输出波形的对称性，所用管子为3DK3或3DK2。

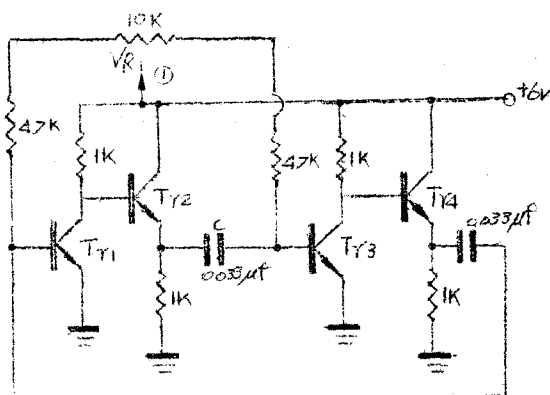


图 2

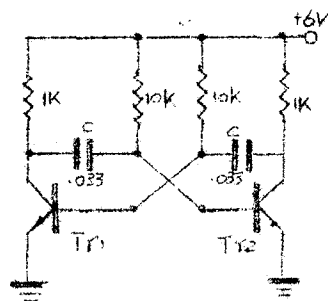


图 3

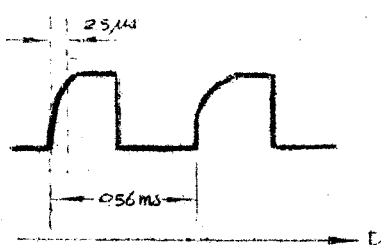


图 4(a) 改善的波形

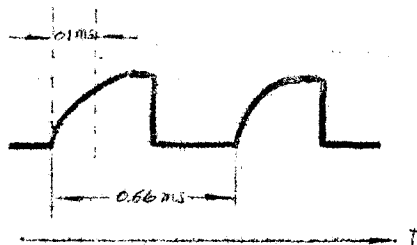


图 4(b) 没有改善的波形

振荡周期连续可变的自激多谐振荡器：

图 5 是振荡周期在一个范围内连续可变的自激多谐振荡器。实际上，这也是一种多谐振荡器的变形电路。

我们知道振荡周期只与基极电阻 R_B 、耦合电容 C_B 的乘积有关（即 $T = 1.38 R_B C_B$ ，对称的情况）若 R_B 能作连续变化，则其振荡周期也连续变化，改变电容 C_B 也可达到这一目的。图 5 是类似于改变 R_B 的一个电路。这里用了两只 h_{FE} 相同的晶体三极管起可变电阻的作用以达到类似 R_B 的变化。

图 5(a) 的电路还可用作锯齿波发生器，输出波形如图 6 所示。只要使 Tr_3 和 Tr_4 的发射极电流 I_E 满足下列条件。

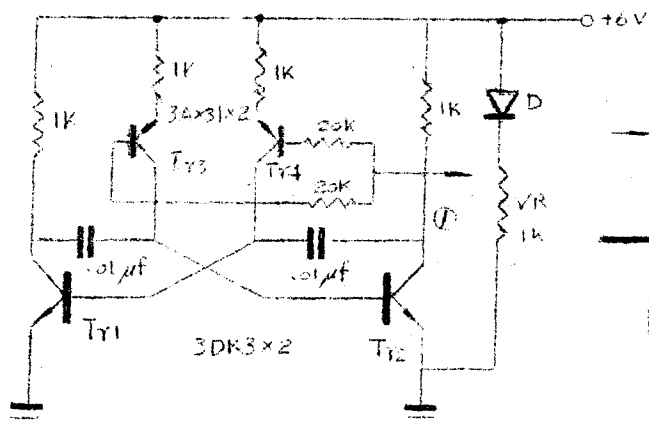


图 5(a)

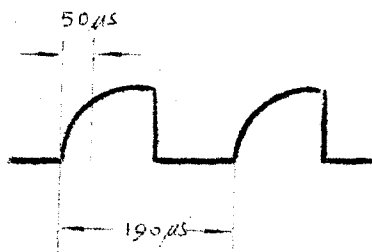


图 5(b)

即可：

$$I_{E2} \cdot h_{FE2} \min \leq \frac{V_{CC} - V_{CES2}}{R_{C2}}$$

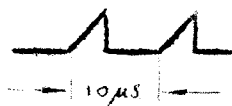


图 6

式中 h_{FE2} 是 Tr_2 管的直流放大系数 (脚注数字相应于管子的脚注)，当 V_R

电位器固定时， Tr_3 和 Tr_4 的电流恒定，此时输出讯号周期取决于此恒定电流和耦合电容的值。

适当选取 Tr_1 和 Tr_2 管的 h_{FE} 的值，可以获在相当宽的范围内得到连续变化的讯号，因此将它作为一个连续讯号发生器 (在电位器 V_R 上定度) 是十分方便的。

若要求输出波形前沿较快时，则可采用图 2 的射极跟随器 的方法。

图 7 是调节范围极宽的频率连续可调的方波发生器。电路中 R_6 作频率的连续调节，采用复合管提高放大倍数， D_1 、 D_2 是隔离二极管，作波形整形用。 T_6 、 T_7 采用 3AG2，其余都采用 3DK₂，图示的电路数据， $C_1 = C_2 = 0.033 \mu F$ ，频率可在 100C/S~50KC/S

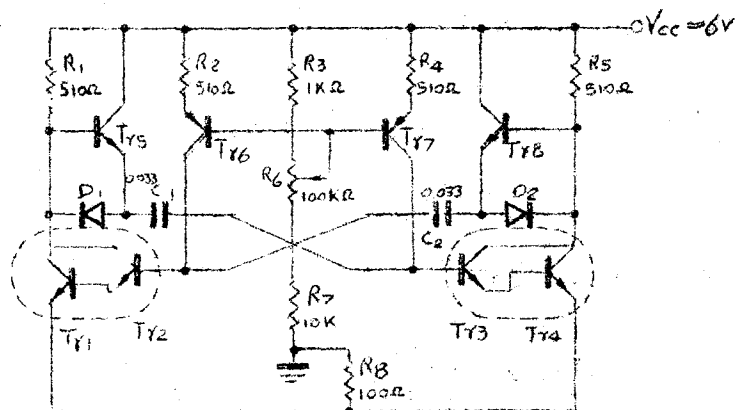


图 7

之间连续调节，欲提高振荡频率 T_6 、 T_7 需用 PNP 型高频小功率开关管。利用开关对 C_1 进行变换，则可以方便地制作 $5\text{C/S} \sim 1\text{MC/S}$ 连续可变的方波发生器。

(二) 单粘态触发电路

图 8 是一种典型的单粘态触发器，它被一个输入脉冲所触发，并产生一个一定幅度的输出脉冲。在触发脉冲来到前，电路要求稳定在 T_{r1} 管截止， T_{r2} 管导电的状态，因此必须满足。

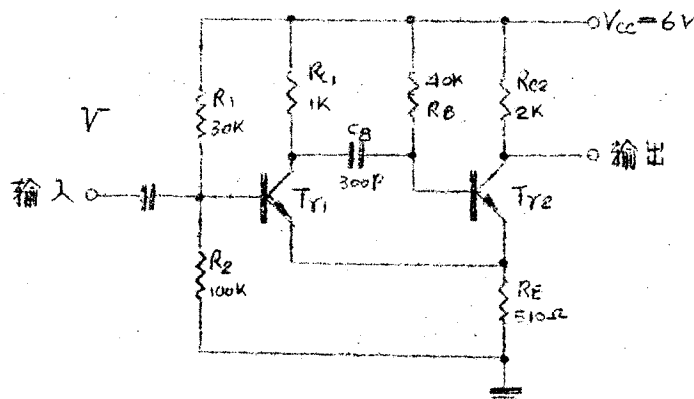


图 8

$$V_{E1} \geq \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{CC} + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} I_{CO}$$

式中 V_{E1} 为 T_{r1} 管发射极电压：

$$V_{E1} = I_{C2} R_E$$

即 T_{r1} 管截止条件时：

$$I_{C2} R_E \geq \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} I_{CO}$$

对于硅管而言， I_{CO} 近于零，故上式可简化为：

$$I_{C2} R_E \geq \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad \dots\dots\dots (6)$$

T_{r2} 管饱和的条件为：

$$I_{C2} = \frac{V_{CC} - V_{CES}}{R_{C2} + R_E} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$I_{B2} = \frac{V_{CC} - V_E}{R_B} \geq \frac{I_{C2}}{h_{FE2 \min}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

即： $R_B \leq h_{FE2 \min} \frac{V_{CC} - R_E I_{C2}}{I_{C2}} \quad \dots\dots\dots (9)$

当触发脉冲来到时，状态又翻转到 T_{r1} 导通， T_{r2} 截止，此时要求：

$$I_{C1} = \frac{V_{CC} - V_{CES}}{R_{C1} + R_E} \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$I_{B1} = \frac{V_B - R_E I_{C1}}{R_{B1}} \geq \frac{I_{C1}}{h_{FE1 \min}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$(11) \text{ 式中 } V_B = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} \quad R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\text{亦即: } R_2 \geq \frac{h_{FE1} \min R_1 R_E}{h_{FE1} \min R_{C1} - R_1} \dots\dots\dots (12)$$

由式(6)和(12)可得:

$$R_1 \leq \frac{h_{FE1} \min I_{C2} (R_{C1} + R_E) - h_{FE1} \min V_{CC}}{I_{C2}} \dots\dots (13)$$

输出脉冲的宽度可以这样确定:

电路在稳定状态 (Tr_1 截止, Tr_2 导通时) C_B 上的充电电压为:

$$V_{Cmax} = V_{CC} - I_{E2} R_E \doteq V_{CC} - I_{C2} R_E = I_{C2} R_{C2}$$

$$\therefore V_{Cmax} = \frac{R_{C2}}{R_{C2} + R_E} V_{CC} \dots\dots\dots (14)$$

当触发脉冲来到时, 电路反转, 电容放电, 此时则有:

$$V_C = -V_{Cmin} + (V_{Cmax} + V_{Cmin}) e^{-t/\tau_P} \dots\dots\dots (15)$$

$$\text{式中 } \tau_P = C_B \left(R_B + \frac{R_E R_{C1}}{R_E + R_{C1}} \right) = C_B R_B$$

当 $V_C = 0$ 时, Tr_1 管重复截止, 此时从(15)式可得输出脉冲宽度为:

$$t = \tau_P \ln \frac{R_{C1} (R_E + R_{C2}) + R_{C2} (R_E + R_{C1})}{R_{C1} (R_E + R_{C2})} \dots\dots\dots (16)$$

电路的恢复时间 t_0 为:

$$t_0 = (4 \sim 5) C_B (R_{C1} + R_E) \dots\dots\dots (17)$$

翻转条件为: $R_{C1} > 3R_E \sim 10R_E$ 即可。

图9是另一种单稳态触发电路, 其工作原理与图8一样, 所用晶体管3DK3、3DK2、3DK5、3DK6均可。

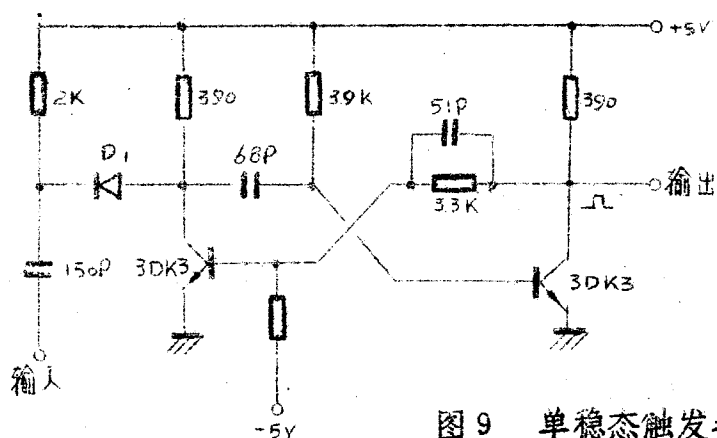


图9 单稳态触发器

用 3DK5、3DK6 电路可以达到下列指标：

功 耗： $P_{cd} \leq 50 \text{ mw}$ 。

灵 敏 度： $\leq 2.5 \text{ V}$ 。

抗 干 扰： $\geq 1.3 \text{ V}$ 。

开关时间： $t_d \leq 160 \text{ ns}$ 。

$t_r \leq 200 \text{ ns}$ 。

$t_f \leq 100 \text{ ns}$ 。

单稳态分频电路：

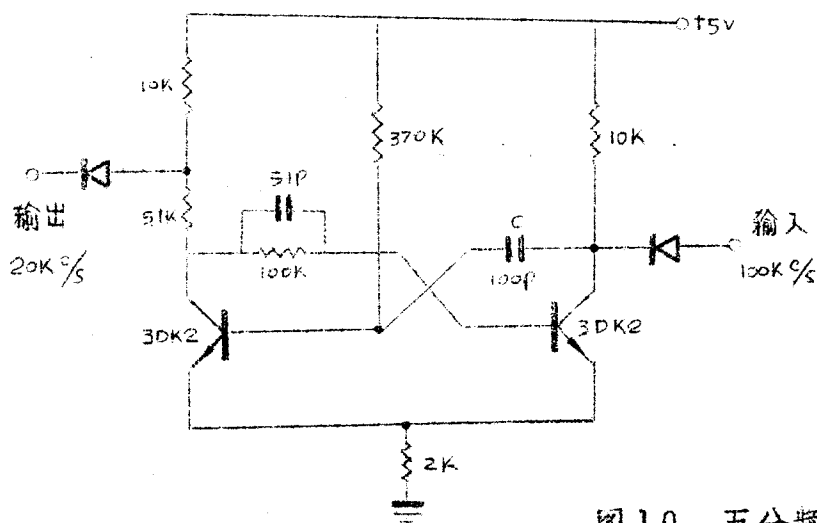


图10 五分频电路

图10 是用单稳态触发器作的五分频单元，输入为100KC/S方波，输出为20 KC/S方波。

这种分频器的优点在于不改变其他电路参数，适当选择不同电容C，可得到不同的分频比。

施密特触发器：

图11 是重复频率为1 MC/S的触发电路。电位器调节触发灵敏度。

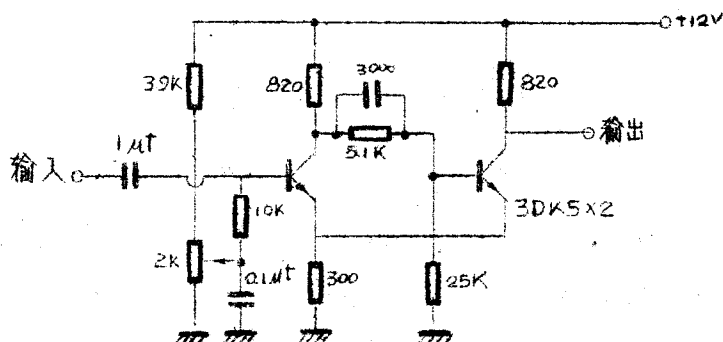


图11 施密特触发器

可变延时电路：

单稳态触发器可以变化为可变延时电路如图12所示，这是利用电位器来调节所产生脉冲的延时时间的单稳态电路。

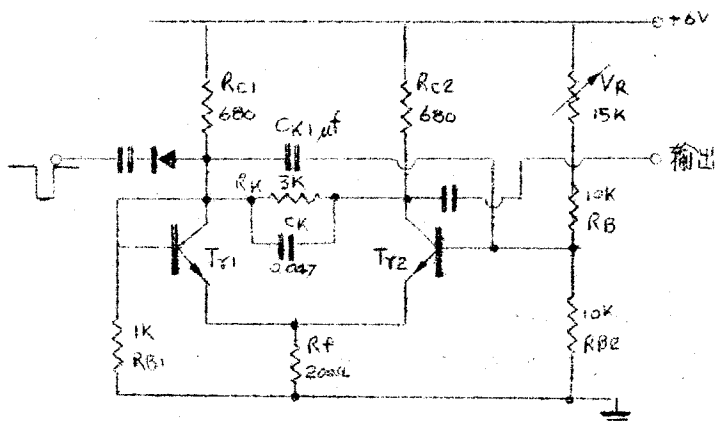


图12

在稳定状态的情况下，即没有触发脉冲加上时， T_{r2} 导电而 T_{r1} 截止，当加上负触发时， T_{r2} 截止， T_{r1} 导电，这时， T_{r1} 集电极上所产生的负脉冲波传送到 T_{r2} 的基极，并将 T_{r2} 保持在截止状态，直到跨于 C_K' 的电位得以衰减为止， T_{r2} 重新变为导电， T_{r1} 截止，电路又回到起始稳定状态，直到第二个触发脉冲来到。因为 C_K' 上所贮存的电荷必须通过 R_C 和 R_B 及电位器 V_R 来放电，因此可以利用改变电位器 V_R 的值来控制 C_K' 的放电时间从而得到脉冲的延时时间的控制。

对于图 12 所示的可变延时电路参数如下：

$$T_r \begin{cases} 3DK3 \\ 3DK2 \end{cases} \quad V_{CC} = +6V$$

$R_{B1} = 1K\Omega$ ， $R_{B2} = 10K\Omega$ ， $R_F = 200\Omega$ ， $R_C = 680\Omega$ ， $R_B = 10K\Omega$ ， $R_K = 3K\Omega$ ， $V_R = 15K\Omega$ ， $C_K = 0.047\mu f$ ， $C_K = 1\mu f$ ，延时时间可在： $50\mu s \sim 400\mu s$ 范围内变化。

图 13 示出了输入和输出脉冲的变化波形。

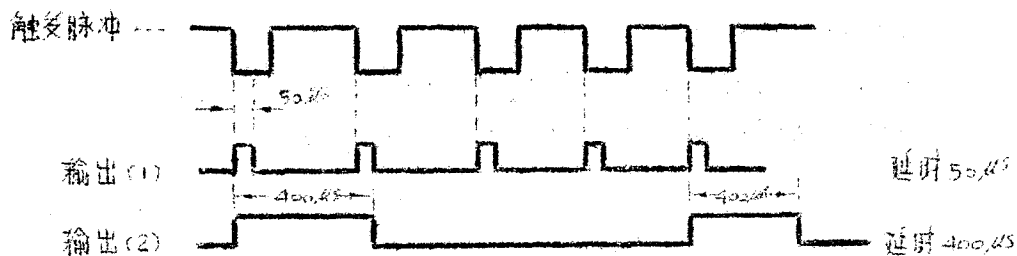


图 13 波形比较图

(三) 双稳态触发器

许多常用的开关电路中，经常要用到一种双稳态触发电路，这个电路具有以下特点：

1. 有两个稳定的工作状态；

2 当外加触发脉冲时，通过电路的再生反馈元件使电路从一个状态转换到另一个状态，且本质上与触发脉冲的幅度无关；

3 当没有触发信号时电路将保持在一个稳态上可到任意长的时间，且这一状态取决于前一触发脉冲，即具有“记忆”的性质。

利用双稳态电路，可以方便地制成计数电路，分频电路等各种电路，因此它是开关电路中一种用途极广的电路。

图 14 是一种最基本的双稳态触发器的原理图。

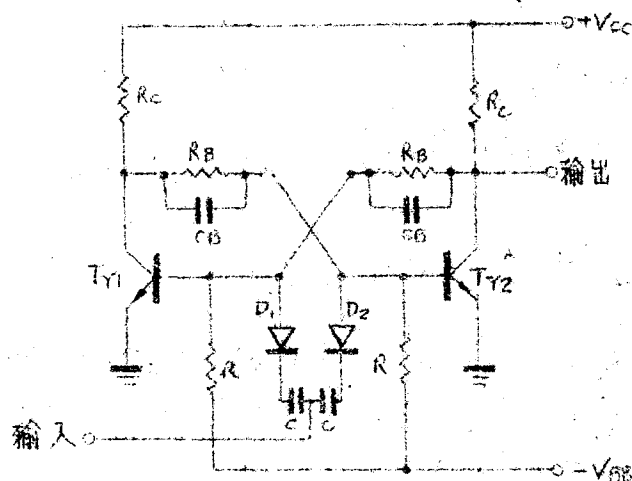


图 14

双稳态电路的设计方法如下所述：导通管的条件是：

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CEs}}{R_C} \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_{FEmin}} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_B} \quad \dots\dots\dots (19)$$

从 R 上流出的电流为：

$$I_R = \left(I_{C0} + \frac{V_{CEs} + V_{BEs}}{R_B} \right) \quad \dots\dots\dots (20)$$

当加上负压 V_{BB} 时，式(20)应加到式(19)中去，因此对导通晶体管的条件应为：

$$I_c = \frac{V_{cc} - V_{cEs}}{R_c} \dots\dots\dots (21)$$

$$I_B = (I_{co} + \frac{V_{cEs} + V_{BEs}}{R_B}) + \frac{I_c}{h_{FEmin}} \dots\dots\dots (22)$$

对于截止管的条件：

在截止管的基极处：

$$I_R = I_{co} + \frac{V_{cEs} + V_{BE}}{R_B} \dots\dots\dots (23)$$

式中： V_{cEs} 为导通管的集电极的压降，因此 V_{BB} 和 R 可以这样决定：

$$I_R = \frac{V_{BB}}{R} = I_{co} + \frac{V_{cEs} + V_{BE}}{R_B} \dots\dots\dots (24)$$

对于硅管其 $I_{co} < 1 \mu A$ 以下，故可忽略不计，对我们所用的 3DK3 和 3DK2 管 $V_{cE(sat)} \leq 0.3 V$ ， $V_{BEs} \leq 0.9 V$ 。

以我们试验举例如下：

设 $V_{cc} = 6 V$ $V_{BB} = -3 V$ $h_{FEmin} = 10$

使用电路如图 14 所示 取 $I_c = 3 mA$

则：
$$R_c = \frac{6V - 0.3}{3 mA} = 2 K\Omega$$

由式(22)可以求出 R_B ：

$$\frac{V_{cc} - V_{cEs}}{R_c + R_B} = \frac{I_c}{h_{FEmin}} + (I_{co} + \frac{V_{cEs} + V_{BE}}{R_B})$$

即：
$$\frac{6 - 0.23}{2K + R_B} = 0.3 + \frac{0.3 + 0.7}{R_B}$$

$$R_B = \frac{3 + 36}{2} = 20 K$$

由式(24)

$$R = \frac{(V_{BB}) \cdot R_B}{(V_{CEs} + V_{BE})} = \frac{3V \cdot 20K}{0.3 + 0.7} = 60 K$$

C_B 一般由实验决定，我们取 $C_B \approx 100 P \sim 1200 P$ 之间，二极管 D_1 和 D_2 用来指引负向触发脉冲，从而使导通管截止，状态反转。

图 15 为我们试验的电路，图 16 为工作的波形图。

$D_1 D_2$ 为：2CK3 或 2CP10

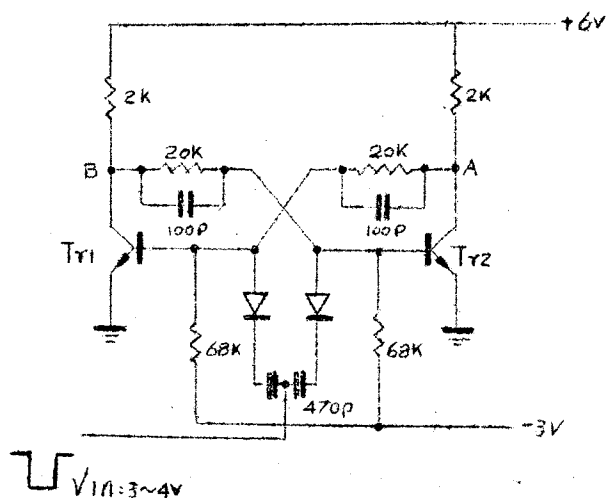


图 15

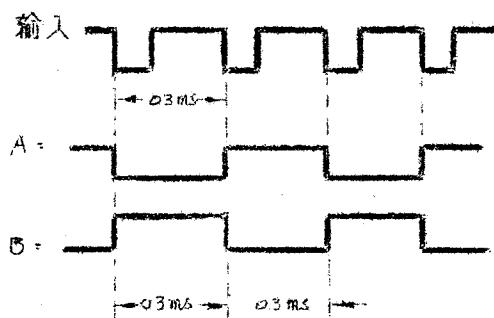


图 16