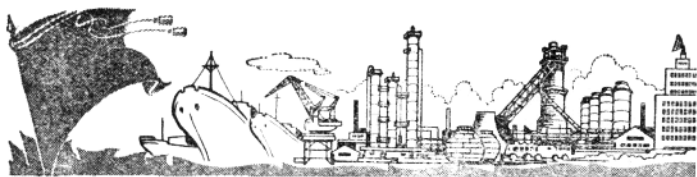


毛主席语录

马克思主义的哲学认为十分重要的问题，不在于懂得了客观世界的规律性，因而能够解释世界，而在于拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界。



双基极二极管的应用



工业技术资料

第54号

上海人民出版社

出版说明

在伟大领袖毛主席的无产阶级革命路线的光辉指引下，工农业生产出现了新的跃进高潮，形势一派大好！

电子工业战线的广大革命工人、革命干部和革命技术人员，遵循伟大领袖毛主席关于“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”的教导，深入开展革命大批判，彻底肃清叛徒、内奸、工贼刘少奇所推行的“洋奴哲学”、“爬行主义”反革命修正主义的流毒，一场大破电子工业“神秘论”、“特殊论”，坚决走我国自己发展电子工业道路的群众运动正在轰轰烈烈地展开。广大革命工人坚持“自力更生”、“艰苦奋斗”，克服一切困难，为巩固无产阶级专政，建设社会主义，为打击帝、修、反，支援世界革命，作出了巨大的贡献。

随着半导体工业中各种新材料、新器件的大量涌现，也相继出现了各种形式的新颖电子线路。遵循伟大领袖毛主席关于“无产阶级认识世界的目的，只是为了改造世界，此外再无别的目的”的教导，为了适应电子工业发展的需要，我们组织编写了电子技术方面的有关技术资料，以供广大革命工人、革命干部和革命技术人员参考。

顺此，我们也请广大工农兵读者对我们编辑出版工作中存在的问题提出宝贵的意见，并希望大家踊跃投稿或提供线索。

双基极二极管的应用

上海元件五厂

一、概 述

双基极二极管又称单结晶体管,它是具有一个 $P-N$ 结的三端半导体器件。它的基本结构和等效电路如图 1a、b 所示。

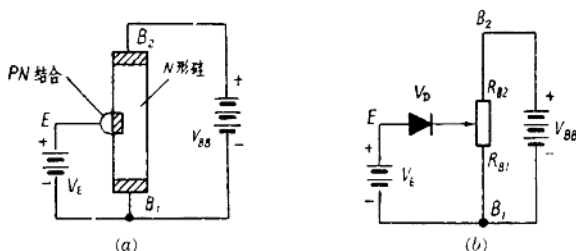


图 1 双基极二极管的基本结构和等效电路

图中电压 V_{BB} 加在 B_1 和 B_2 之间, B_1 接负电压, B_2 接正电压。 B_1 、 B_2 之间的阻抗为 R_{BB} , 发射极 E 和 B_1 间的阻抗为 R_{B1} , E 和 B_2 间的阻抗为 R_{B2} , R_{B1} 与 R_{BB} 之比 R_{B1}/R_{BB} 为 η , 称为分压系数, 它由发射极的位置与两个基极的间隔而决定。

当发射极 E 加上正电压 V_E 时, 如果所加的正电压 V_E 小于 ηV_{BB} , 则发射结处于负偏压, R_{B1} 值不变, 此时只有极小的反向电流 I_{E0} 流过发射极; 而当正电压 V_E 大于 ηV_{BB} 与 V_D 之和时 (V_D 系发射结二极管的正向压降, 在 25°C 时一般为 0.67 伏左右), 则发射结处于正偏压, 基片中的电场是由 E 指向 B_1 , 发射极的电流是由多数载流子(空穴)从发射极注入的, 并且它们

在半导体基片中指向 B_1 的电场的作用下, 使发射极 E 和基极 B_1 之间的区域电导率迅速增加, 结果使发射极电流增加, 而发射极电压却减少, 这就出现了所谓负阻特性, 如图 2 所示。此时 B_1 与 B_2 之间的电阻减少, 而流过 B_1 、 B_2 的电流却相应地增加。

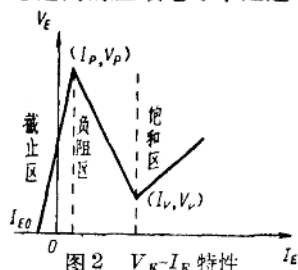


图 2 V_E-I_E 特性

利用双基极二极管的负阻特性可以组成各种简单而新颖的电路。

二、应 用

1. 张弛振荡器

双基极二极管最基本的应用就是用作张弛振荡, 产生锯齿波。图 3a、b 是最典型的张弛振荡电路。

张弛振荡电路的工作原理可用图 3a、图 4 来说明。当电源接通后, V_{BB} 通过 R_T 向 C_T 充电, C_T 两端的电压

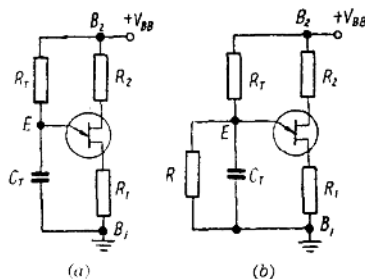


图 3 张弛振荡电路

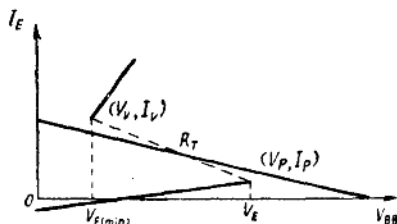


图 4 张弛振荡器的负载线

就逐渐上升,当 C_T 的电压上升到 $V_E = V_P = \eta V_{BB} + V_D$ 时,双基极二极管的发射极电流就突然增大,二极管被导通,于是 C_T 又迅速地通过 E 、 B_1 放电, C_T 的电压迅速下降到 $V_{E(\min)}$,二极管处于负偏状态,电源 V_{BB} 又向 C_T 充电,如此重复上述过程。 E 、 B_1 、 B_2 各点的波形如图 5 所示。

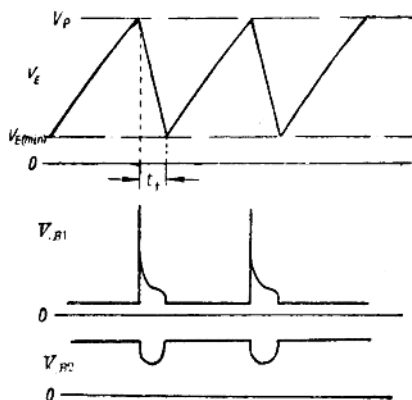


图 5 张弛振荡电路各点波形图

对于图 3a 的张弛电路,其振荡周期为:

$$T = C_T R_T \ln \frac{1}{1 - \frac{V_P - V_{E(\min)}}{V_{BB} - V_{E(\min)}}}$$

$$\doteq C_T R_T \ln \frac{1}{1 - \eta} \text{ (秒)}$$

式中:

$$V_P = \frac{(\eta R_{BB} + R_1) V_{BB} + V_D}{R_1 + R_2 + R_{BB}} \doteq \eta V_{BB} + V_D$$

$$V_{E(\min)} \doteq V_V + I_V R_1$$

对于图 3b 的张弛电路,其振荡周期为:

$$T = C_T \frac{R_T \cdot R}{R_T + R} \ln \frac{1}{1 - \frac{R_T + R}{R} \cdot \frac{V_P - V_{E(\min)}}{V_{BB} - V_{E(\min)}}}$$

$$\approx C_T \frac{R_T \cdot R}{R_T + R} \ln \frac{1}{1 - \eta \cdot \frac{R_T + R}{R}} \text{ (秒)}$$

电路的振荡条件可以这样决定:

由图 4 可知, 负载线必须在负阻区, R_T 太大负载线在截止区, 不能振荡; R_T 太小, 负载线在饱和区, 亦不能振荡。故要求:

$$\frac{V_{BB} - V_V}{I_V} < R_T < \frac{V_{BB} - V_P}{I_P}$$

发射极峰点电流 $I_{E\text{峰}}$

$$I_{E\text{峰}} = \frac{V_{E(\max)} - V_{E(\min)}}{t_f} \cdot C_T \approx \frac{V_P \cdot C_T}{t_f}$$

式中 t_f 为下降时间可由经验公式计算:

$$t_f \approx (2 + 5C_T)V_{ES} \text{ (微秒)}$$

如果考虑 R_1 , 那么:

$$t_f \approx (2 + 5C_T)V_{ES} + C_T R_1 \text{ (微秒)}$$

因此 R_1 为:

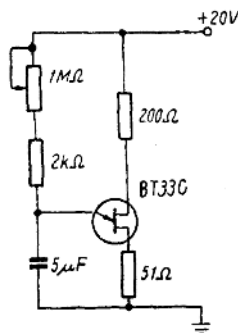
$$R_1 = \frac{1}{C_T} [t_f - (2 + 5C_T)V_{ES}]$$

V_D 和 R_{BB} 随温度的变化会引起 V_P 的变化 (V_D 的温度特性为 $-2.4\text{mV}/^\circ\text{C}$), 加接 R_2 是为了温度补偿, 它能补偿 R_{BB} 随温度的变化。

R_2 由下式决定:

$$R_2 \approx \frac{3R_{BB}}{10\eta V_{BB}} + \left(\frac{1 - \eta}{\eta} \right) R_1$$

图 6 为实验电路。



$R_{BB} = 4.5\text{K}\Omega$, $\eta = 0.6$

图 6 张弛振荡器实验电路

2. 方波发生器

图 7a、b 是用一个双基极二极管产生方波的电路及波形图。方波产生的原理简述如下：

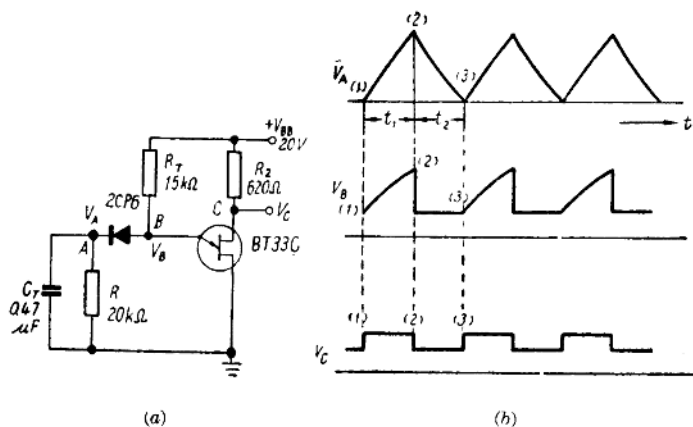


图 7 方波发生器电路及波形图

接通电源， V_{BB} 通过电阻 R_T 、二极管 2CP6 向电容 C_T 充电，同时 B 点的电压 V_B 逐渐上升， C 点由于双基极二极管处于截止状态，故保持在一高电平。此电平接近于电源电压。当电容 C_T 两端的电压被充到 $V_A \geq \eta V_{BB}$ 时（即 $V_B \geq V_D + \eta V_{BB}$ 时），双基极二极管由截止变为导通， V_B 的电压就迅速下降，从而二极管 2CP6 被反偏，使 B 点的电位保持不变，由于 C 点的电位由高电平变为低电平，而且这一变化的时间又很短，故在 C 点就出现了方波，于此同时，电容 C_T 就通过 R 放电，直到 $V_B = V_T$ 时，双基极二极管截止， V_{BB} 又重新通过 R_T 向 C_T 充电，如此重复上述过程。

电容充放电时间（即方波周期）及空度比由下式决定：

充电时间 t_1 :

$$t_1 \doteq C_T \frac{R \cdot R_T}{R + R_T} \ln \frac{1}{1 - \eta \frac{R + R_T}{R_T}}$$

放电时间 t_2 :

$$t_2 \doteq C_T R \ln \frac{1}{1 - \frac{V_V - V_D}{\eta V_{BB}}}$$

空度比:

$$\Delta = \frac{t_1}{t_2} = \frac{R_T}{R + R_T} \cdot \frac{\ln \frac{1}{1 - \eta \frac{R + R_T}{R_T}}}{\ln \frac{1}{1 - \frac{V_V - V_D}{\eta V_{BB}}}}$$

由此可见, 方波发生器的频率是由 R 、 R_T 、 C_T 决定的, 而空度比与 C_T 是无关的。

3. 同步脉冲发生器

图 8 是实现张弛振荡器的几种同步方法。

图 8a 是在双基极二极管的发射极加以高于 V_P 的正同步讯号, 以促使其点火而取得同步的。图中的二极管是为了防止反向漏电流的倒灌而加的。

图 8b 是在双基极二极管和电阻 R_1 上并联一个晶体管 T_r , 当外加同步脉冲时, 使两个基极瞬间短路而获得同步。

图 8c 的同步原理与图 8b 是相同的, 它使用在负同步信号の場合。

图 8d 是将晶体管 T_r 并联在电容器 C_T 两端, 当基极加入同步信号时, 因晶体管导通使电容器短路而达到同步。

图 8e 为不外加同步脉冲, 而是使电源电压为零, 以取得同步的一种方法。

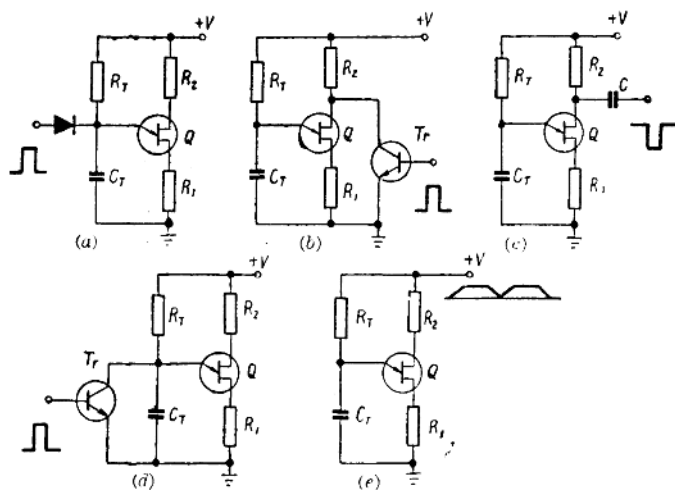


图 8 张弛振荡器的各种同步方法

图 9 是外加同步脉冲的实验电路及波形图。图 10 是交流电源同步电路及波形图。

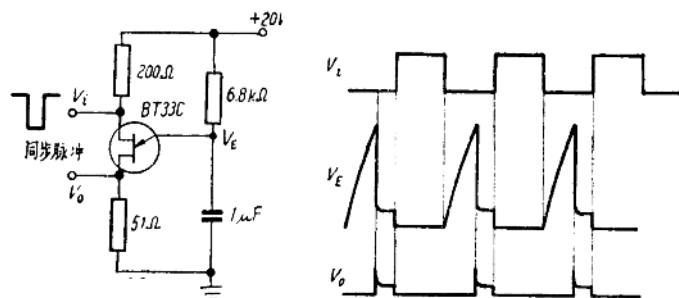


图 9 张弛振荡电路的同步

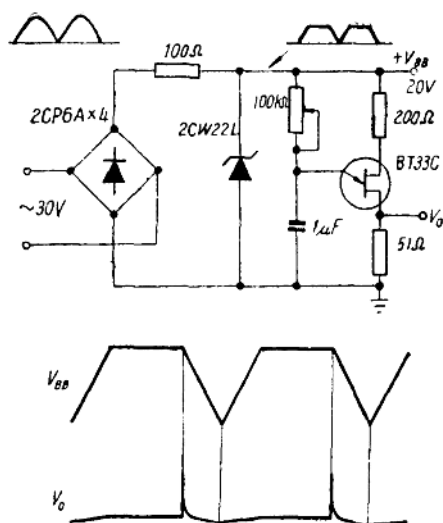


图 10 交流电源同步电路

4. 分频器

当外加同步脉冲的频率大于张弛振荡器的自身振荡频率时, 由于外加脉冲的触发作用, 致使 V_E 提前达到 V_P 值, 于是

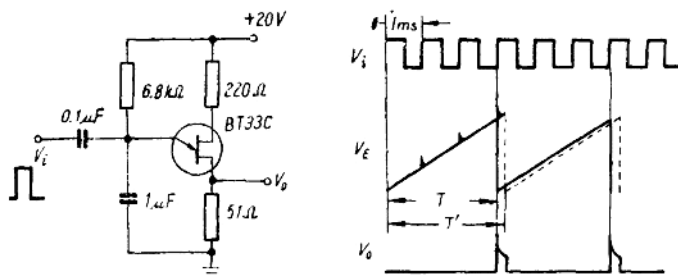


图 11 分频器原理及其波形图

V_E 的周期就相应发生变化。因此, 通过调节 R_T 及 C_T 可以改变分频系数。其原理及电路图如图 11 所示。

图 12 是由三个张弛振荡器组成的分频电路。图 13 是分频电路的各点波形图。

Q_1 、 Q_2 、 Q_3 的振荡周期应须满足下列条件:

$$T_1 = C_1 R_1 \ln \left(\frac{1}{1 - \eta_1} \right)$$

$$T_1 > n_1 T_i$$

$$T_2 = C_2 R_2 \ln \left(\frac{1}{1 - \eta_2} \right)$$

$$T_2 > n_1 \cdot n_2 T_i$$

$$T_3 = C_3 R_3 \ln \left(\frac{1}{1 - \eta_3} \right)$$

$$T_i = \frac{1}{f_i}$$

式中: f_i 为输入脉冲频率;

n_1 、 n_2 为 Q_1 、 Q_2 管的分频比。

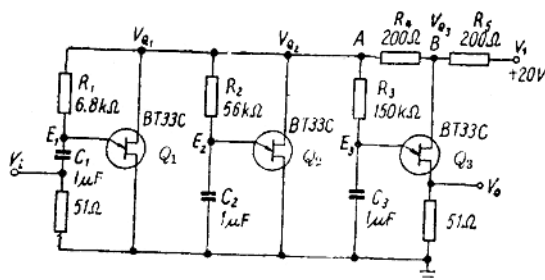


图 12 12 分频电路

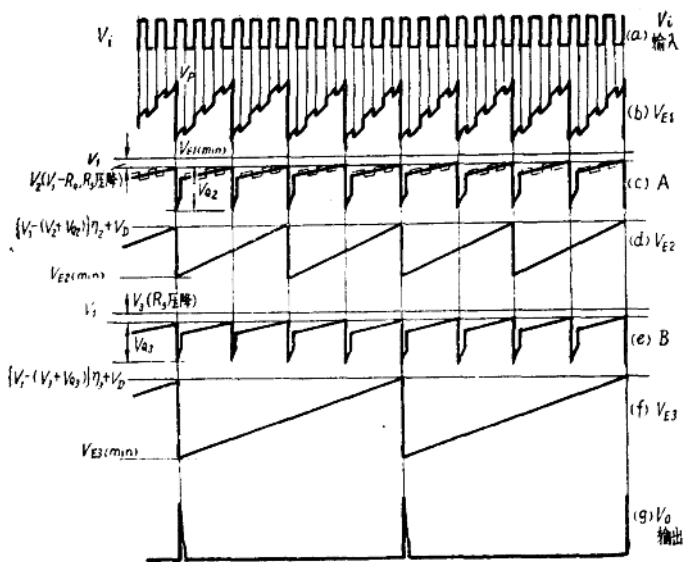


图 13 12 分频电路波形图

5. 锯齿波发生器

图 14 是锯齿波发生器电路及波形图。

双基极二极管组成张弛振荡器产生锯齿波，由于锯齿波的线性很差，所以加用晶体三极管作为缓冲放大器，它并能改善其线性。图中 R_3 、 C_3 的作用是改善锯齿波的线性， C_2 、 R_4 的作用是改善当有负载时锯齿波的线性。

锯齿波的频率即张弛振荡器的频率：

$$f = (R_2 + R_3)(C_1 + C_2) \ln \frac{1}{1 - \eta}$$

这种锯齿波发生器的同步方法同图 8c 一样，用负脉冲同步。

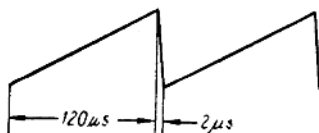
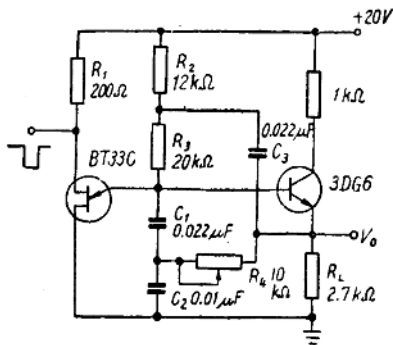


图 14 锯齿波发生器

6. 阶梯波发生器

在所有的阶梯波发生器中，利用双基极二极管来产生阶梯波是最为方便的，而且亦最容易调节。

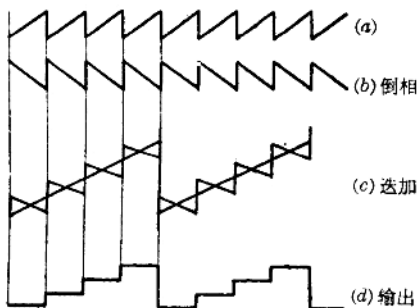


图 15 阶梯波的形成

阶梯波的获得可以用图 15 来说明。将一快速锯齿波经过反相后迭加到一个慢速锯齿波上，就可以得到阶梯波。

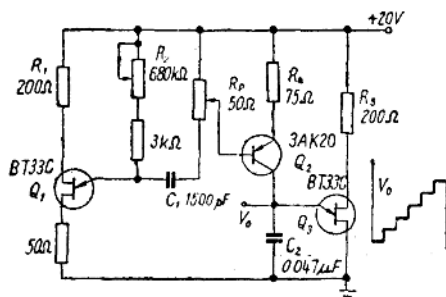


图 16 阶梯波发生器电原理图

导通， V_E 在这每一导通瞬间都阶梯式上升，当 Q_3 的发射极电压等于 V_{P2} 时，双基极二极管即点火，这时 V_E 急速下降而接近于零，从而完成一周。

双基极二极管 Q_1 、 Q_3 都是一个张弛振荡器，其区别仅在于 Q_1 的振荡频率比 Q_3 高。图中 R_P 是用来调节每周阶数， R_2 则调节阶梯波周期。

图 16 的电路可以工作在：500 C/s~5000 C/s，每周阶数为 1~100。此电路稳定性较好，是一个比较简便可用的电路。

7. 定时电路

双基极二极管在设备控制单元中已被广泛应用，它可以作成各种延时、定时电路。图 17 是一个实际应用的定时电

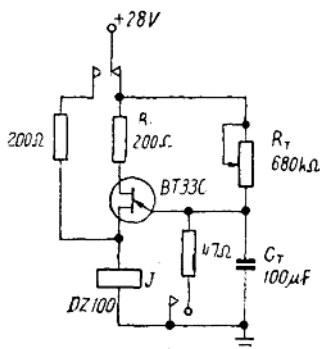


图 17 定时电路

路,图中 J 为继电器线圈,电源通过继电器常闭触点及电阻 R_T 向 C_T 充电。其时间常数由 R_T 、 C_T 决定,当 V_E 达到 V_P 值时,双基极二极管被点火, C_T 就通过 E 、 B_1 放电,此时继电器动作,并且自锁,直至解除继电器电源,电路又重复上述过程。如继电器不自锁,则能定时工作。由于双基极二极管有较宽的负阻区,因此此电路可在很宽范围内控制延迟时间。但由于电容 C_T 太小时积累电荷不足使继电器打开,故延迟时间一般可在 0.1 秒到无限长时间的范围内。

8. 双基极二极管节拍器

图 18 是一种电子节拍器,它是利用双基极二极管的负阻特性而组成的张弛振荡器。电容 C_T 放电时的放电电流脉冲通过一个 $8\Omega/0.25W$ 的动圈喇叭而产生可闻的“号声”。改变电阻 R_T 和电容 C_T ,就可改变其频率。

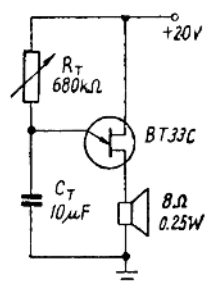


图 18 电子节拍器

9. 可控硅控制电路

双基极二极管在可控硅控制电路中早已得到广泛的应用,图 19 的灯光调光电路就是它的应用之一。利用双基极二极管作张弛振荡器,改变振荡频率去控制硅可控管 3CT5D 的导通

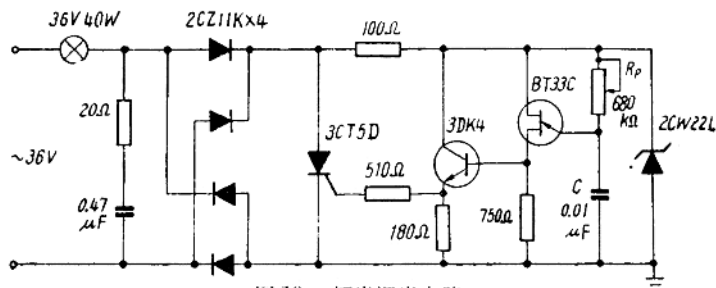


图 19 灯光调光电路

角, 从而获得电流平均值的改变, 改变电阻器 R_p 即可调节其灯光明暗。此电路如用大功率可控管和大功率整流元件, 则可以控制大型舞台和电影摄影场内的灯光设备。

三、测 试

1. 双基极二极管的几个主要直流参数的测试原理

(1) 基极间电阻 R_{BB}

测试条件: E 开路, V_{BB} 给定, 如图 20 所示。 R_{BB} 由下式决定:

$$R_{BB} = \frac{V_{BB}}{I_{BB}}$$

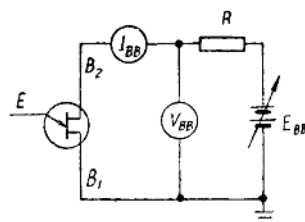


图 20

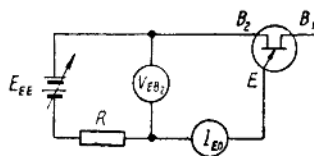


图 21

(2) 发射极反向电流 I_{E0}

测试条件: B_1 开路, V_{EB1} 给定, 如图 21 所示。

(3) 分压比 η , 峰电压 V_P , 峰电流 I_P , 谷电压 V_V , 谷电流 I_V , 如图 22 所示。

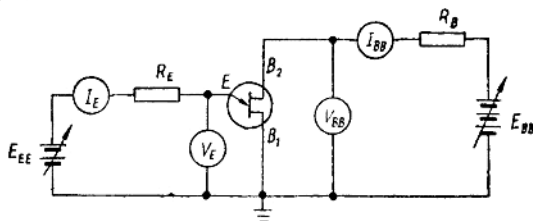


图 22

慢慢增加 E_{EE} 使 I_E 刚好突然增加之前(或 V_E 刚好突然减小之前)这一电流 I_E 就是 I_P , 这一电压 V_E 就是 V_P , 从公式 $V_E = \eta V_{BB} + V_D$ 可计算出分压比 $\eta = \frac{V_E - V_D}{V_{BB}}$ 。当 I_E 突然变大时, 此时的 I_E 即为谷电流 I_V , 所对应的 V_E 为谷电压 V_V 。

2. 双基极二极管的测试方法举例

用 JT-1 检测双基极二极管的直流参数, 由于缺乏经验, 下面提出的方法仅供参考。

用 JT-1 可以测量双基极二极管的 R_{BB} , 基极特性曲线, 配合一组外接直流电源可测其发射极特性曲线, 根据发射极特性曲线可读出 I_P 、 V_V 、 I_V 和求出 η 。

集电极扫描极性为正(+), 基极阶梯极性为正(+), X 、 Y 轴坐标零点调至左下角, 基极阶梯信号调零。

1. 基极特性曲线, R_{BB} 的测量

如图 23、24 所示。

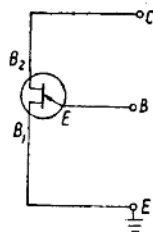


图 23

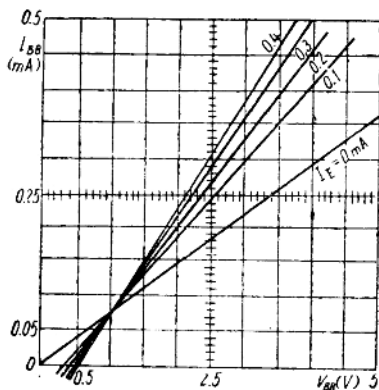


图 24