

毛主席语录

抓着了世界的规律性的认识，必须把它再回到改造世界的实践中去，再用到生产的实践、革命的阶级斗争和民族斗争的实践以及科学实验的实践中去。

★

晶体管直流稳压电源



工业技术资料

第84号

机械工业出版社

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，以供广大工人、革命干部和革命技术人员参考。

愿此，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。

晶体管直流稳压电源

上海市仪表电讯工业局《7.27》工人电子训练班
上海科学技术大学

本资料介绍的是各种电子仪器设备中经常采用的定压式直流稳压电源和作为科学实验用的调压式直流稳压电源。

一、定压式直流稳压电源的工作原理

通常只有整流电路的直流电源和考虑其电源内阻 R_i 的电路如图 1a、b 所示：

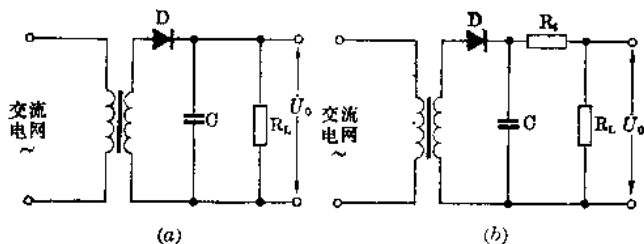


图 1 只有整流电路的直流电源

从图 1a、b 可以看出：交流电网电压的变化和电源负载 R_L 的变化都会引起直流输出电压 U_0 的变化。因此，为了使输出电压 U_0 稳定，可在电路中加入可变电阻 R 来调节输出，具体的方法有两种，分别如图 2a、b 所示：

图 2a 中，可变电阻 R 与负载 R_L 串联，所以称为串联式。加入可变电阻 R 后，电路的输出电压 U_0 为：

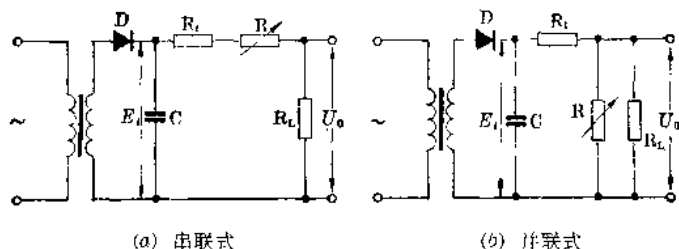


图2 加入可变电阻 R 维持输出电压 U_0 稳定的方法

$$U_0 = E_i \frac{R_L}{R_L + R_i + R}$$

由式中可知：当电网电压变低 (E_i 亦将变小) 或负载电流加大 (即负载 R_L 减小) 时，输出电压 U_0 则变小。这时，为使输出电压 U_0 维持原值，可以减小可变电阻 R 的数值。而当 E_i 、 R_L 增大时，会造成 U_0 的增大，此时则可增大 R 而使 U_0 下降，从而维持输出电压 U_0 不变。

图 2b 中，可变电阻 R 并联在负载 R_L 上，所以称为并联式。当电网电压变高时， E_i 变大， U_0 也将变大。如此时 R 适当变小，则 R 和 R_L 并联后的阻值也将减小，分得的电压 (即 U_0) 就减小，这便维持了 U_0 不变。同样，当负载 R_L 变小时， U_0 将变小，这时 R 如适当变大，使和 R_L 并联后的阻值维持原值，亦能维持 U_0 不变。

通常，在电路中，可变电阻 R 系由晶体管来代替，在稳压电源设备中，这个晶体管通常称为调整管。采用晶体管来代替可变电阻将便于在电源中应用负反馈的方法来实现自动调节。这是由于晶体管基极电流 I_b 的改变，经放大后将使集电极电流 I_c 变化，从而便改变了集电极 (c) 和发射极 (e) 之间的电阻 R_{ce} 。因此，只要把输出电压 U_0 的变化，通过适当的方式，转换成为调整

管基极电流 I_b 的变化,便可实现自动调节。图3所示的方框图即为稳压电源的基本组成部分。图中虚线框内即为控制电路部分。

当输出电压 U_o 因某种原因发生变动时,取样电路便取出其变化电压 ΔU_o 加到比较电路,经与不变的参考(基准)电压 U_r 相比较,将比较后的差值加到放大电路,经放大后即可控制调整

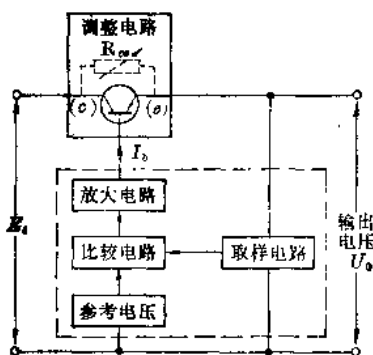


图3 稳压电源的基本组成部分

电路中调整管的基极电流 I_b ,这就改变了电阻 R_{ce} 的大小,使输出电压 U_o 调整到原来的数值,从而便维持了稳定的输出。为清楚起见,稳压原理可由图4a、b来说明:

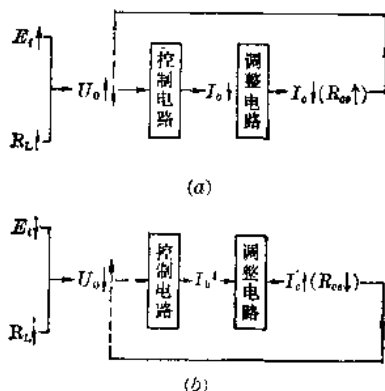


图4 稳压原理的说明

下面我们逐一对照稳压电源的各方框,介绍图5所示的最简单的稳压电源电路。并由此扩展到其他复杂电路的形式:

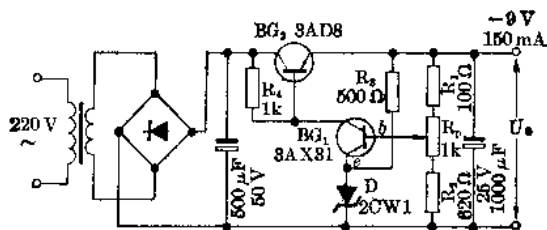


图5 最简单的稳压电源电路

(一) 取样电路

电路见图6。其作用是取出一部分输出电压 U_o ，加到比较电路，和参考电压进行比较，以检出输出电压 U_o 的变化值。

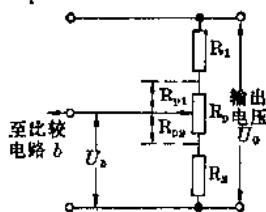


图6 分压取样电路

取样电路形式较多，常用的是简单的分压电路，它将输出电压 U_o 进行分压取样，图6的分压系数为：

$$A = \frac{R_2 + R_{p2}}{R_1 + R_2 + R_p}$$

若将图5中 R_1 , R_p , R_2 的数值代入，并取 R_{p2} 为 240Ω ，则分压系数为：

$$A = \frac{620 + 240}{100 + 1000 + 620} = \frac{1}{2}$$

分压系数 A 在可能的范围内应尽可能地大，这将有利于提高稳定度，这是由于取样值增大后，经比较放大，控制调整管的能力也将增强，从而稳定度得到了提高。

取样输出电压为：

$$U_b = U_o \frac{R_2 + R_{p2}}{R_1 + R_2 + R_p} = A \cdot U_o$$

将图5中的数值代入，则：

$$U_b = 9 \times \frac{1}{2} = 4.5V$$

R_1 、 R_2 通常用锰铜丝(直径约 0.06 mm)绕制, 以使当温度变化时阻值变化小些。

(二) 参考电压电路

晶体管稳压电源中的参考电压通常由稳压管来提供, 其线路如图 7 所示。图中, R_s 是限流电阻, D 是稳压管, 由于稳压管 D 的作用, U_D 很稳定。所以, 取 U_D 为参考电压, 加到比较电路中去。由于稳压管有一定的电压稳定系数, 因此为要获得高稳定度的参考电压, 必须适当选择动态电阻小, 温度系数小的管子。

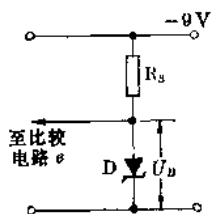


图 7 参考电压电路

一般说来, 击穿电压 U_z 在 5 伏以下的温度系数是负温度系数, 而 5 伏以上的是正温度系数。因此, 当要求较高的参考电压时, 可用几只 U_z 低的管子串联起来, 以获得较小的温度系数; 另一种办法是根据一般二极管正向电压降温度系数是负的这一特性, 而利用一般二极管正向地和稳压管串联来进行温度补偿。

从动态电阻方面考虑, 通常 7 伏的稳压管动态电阻最小。如果结合温度系数来考虑, 一般选择 6V 左右的稳压管较好, 如 1G401 稳压管。

图 5 的线路, 选取 2CW1, 其稳定电压为 7V。 R_s 是稳压管 D 的限流电阻, 取 500 Ω , 其选择方法见比较电路部分。

(三) 比较电路

电路见图 8。其作用是将取样电压 U_o 和参考电压 U_D (即 U_z) 进行比较, 当输出电压 U_o 变化时, 取样电压 U_o 也将变化, 比较电路就检出其变化值, 并用此变化值去控制调整管。这部分线路

的形式较多,常用的是简单的单级共发射极电路和差动放大器。

图8是简单的单级共发射极电路,发射极上串接了一稳压管。

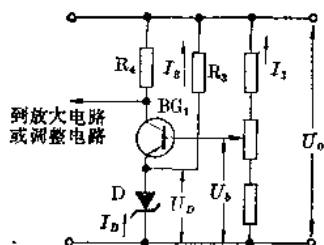


图8 单管比较电路

从图中可以看出:当 U_o 变大时,取样电压 U_b 也变大,由于 U_D 不变,故 $U_{be} = U_b - U_D$ 也变大(即起了比较作用)。于是, BG_1 管的集电极电流也变大。反之,当 U_o 变小时,最终也会引起 BG_1 管的集电极电流减小。这一集电

极电流的变化,就可用来控制调整管。

R_3 是稳压管 D 的限流电阻,它应满足 $I_D \gg I_e$ (I_e 是流过发射极的电流)。由于流过稳压管的电流 $I_D = I_3 + I_e$,而 I_e 在工作过程中是变化的(通常为 $1 \sim 2 \text{ mA}$),因此从稳压管稳定性方面考虑,却要求 I_D 近于恒定,故应使 $I_3 \gg I_e$ 。 $2CW1$ 的工作电流 I_D 选 5 mA ,则

$$R_3 = \frac{U_o - U_z}{I_{D1} - I_e} = \frac{9 - 7}{(5 - 1) \times 10^{-3}} = 500 \Omega$$

流过分压器的电流 I_1 ,也应大于 BG_1 管的 I_b 以保证分压准确。

至于 R_4 及 BG_1 的决定,后而再介绍。

另外一种形式的比较电路,如图9所示。它是一种差动放大器。图中 BG_2 的接法可看作是共集电极接法(即射极跟随器),因此 e 点的电压很接近于 b 点的电压,由于 b 点的电压由稳压管 D 所稳定,因此 e 点的电压也跟着稳定。这样,图9就和图8完全相

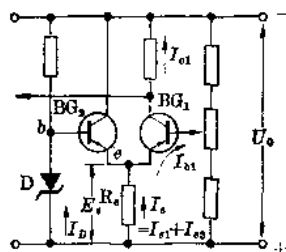


图9 差动放大器作比较电路

当, 可起比较作用。

当 U_0 稍有上升趋势时, BG_1 管的基极电位将变负, 基极电流 I_{b1} 将增加, 则集电极电流 I_{c1} 及发射极电流 I_{e1} 也将增加, 致使在 R_e 上的压降 E_e 也增加, 即 e 点电位变负。这样, BG_2 的基极-发射极间电压 U_{be} 就减小了。而由于 BG_2 的 b 点电位是固定不变的, 于是 BG_2 的基极电流将减小, 发射极电流 I_{e2} 也减少, 这样 I_{e1} 的增加和 I_{e2} 的减少相互抵消, 结果流过 R_e 的总电流几乎不变, E_e 就不变, 这就相当于接了一只稳压管。而 BG_1 管 I_{e1} 的变化, 将耦合出去控制调整管。

这种比较电路的稳定性较好, 这是由于流过稳压管的电流变化较小, 仅仅是 I_{e2} 的变化, 这样, 稳压管工作得较好, 参考电压就较稳定。至于单管放大线路, 由于其稳压管是接在发射极电路中的, 流过稳压管的电流变化就是发射极电流 I_e 的变化, 其数值较大, 这当然影响了参考电压的稳定。

其次, 这种比较电路的温度稳定性也好, 这是由于 I_{e0} 及 U_{be} 随温度的变化可以得到补偿的缘故。

采用差动放大器作比较电路的稳压电源如图 10 所示。

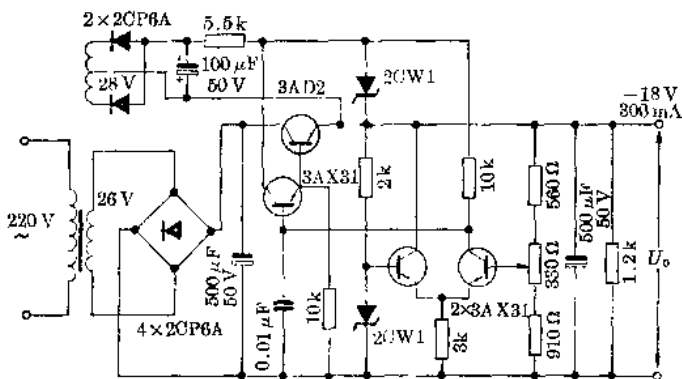


图 10 采用差动放大器作比较电路的稳压电源

(四) 放大电路

上述比较电路兼有放大能力，有时为了提高输出电压的稳定性常在比较电路与调整电路之间加接放大器，其线路形式类似于比较电路，如图 35 所示的 24 V、1 A 高稳定度定压式稳压电源中，具有两级差动放大，其第二级差动放大器就是放大电路，其作用是增加控制调整管的能力，从而使稳定度进一步提高。

(五) 调整电路

串联式的调整电路如图 11 所示。如前所述，晶体管的作用是起可变电阻的作用，从图中可以看出：输出电流 I_o 将全部流过调整管即 $I_o = I_c$ ，调整管上的电压 $U_{ce} = U_i - U_o$ ，调整管的损耗功率 $P_o = U_{ce} I_{co}$ 。在选择调整管时，极限参数 I_{CM} 、 BV_{ceo} 、 P_{CM} 应大于上述计算值，并须留有一定的余量。

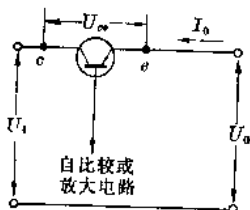


图 11 单管调整电路

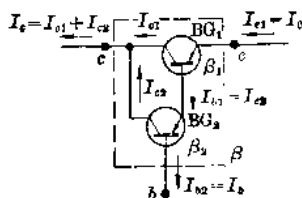


图 12 组合晶体管调整电路

为了维持一定的输出电流 I_o ，则要求足够大的电流来供给调整管的基极。通常，低频大功率晶体管的电流放大系数 β 不很大，因此，为了减小放大电路（或比较电路）的推动电流值，以及提高调整灵敏度，有时可以采用组合晶体管调整电路，如图 12 所示。组合晶体管的放大系数 β 可以由图 12 求得

$$I_c = I_{c1} + I_{c2} = \beta_1 I_{b1} + \beta_2 I_{b2}$$

因

$$I_{b1} = I_{c2} = (1 + \beta_2) I_{b2}$$

故

$$I_e = \beta_1(1 + \beta_2)I_{b2} + \beta_2 I_{b2}$$

$$= (\beta_1 + \beta_2 + \beta_1 \cdot \beta_2) I_{b2}$$

$$\beta = \frac{I_e}{I_{b2}} = \frac{(\beta_1 + \beta_2 + \beta_1 \cdot \beta_2) I_{b2}}{I_{b2}}$$

当 $\beta_1 \gg 1, \beta_2 \gg 1$ 时, $\beta \approx \beta_1 \cdot \beta_2$

由上式可知, 组合管的电流放大系数很大。

同样可得: 若三个晶体管组合, 则

$$\beta = \beta_1 \beta_2 \beta_3$$

其次采用组合管后, 输入阻抗也可增加。

当输出电流要求较大, 以致超过了单个调整管所允许的最大电流和集电极耗散功率时, 可以用几个调整管并联来解决, 如图 13 所示。这时各个调整管必须流过相同的电流, 因此分别串接电阻 R , 以便电流平均分配。 R 一般为 $0.1 \sim 1\Omega$ 。

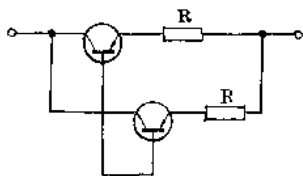


图 13 晶体管并联运用

当输出电压较高 ($U_0 > BU_{ce}$) 以致单个调整管的耐压承受不了

时, 可用几个调整管串联来解决, 如图 14 所示。从图 15 中可知: 由于外电路电流、电压的变化, 使 BG_3 的 I_{b3} 减少时, $U_{ce}(BG_3)$ 就会增大, 它使 I_{b2} 减小; 同时也使 BG_2 管的 $U_{ce}(BG_2)$ 增大、 $U_{ce}(BG_1)$ 增大; 反之, 则都下降, 以使输出电压基本上都分配在

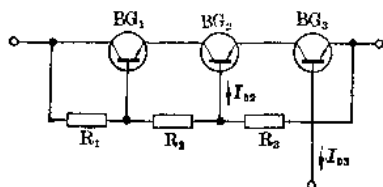


图 14 晶体管串联运用

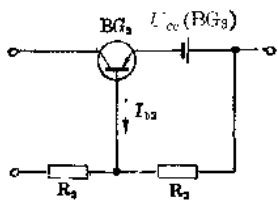


图 15 串联运用时的说明

各个管子上。

必须注意的是：调整管要有富裕量，以防止一管击穿后，全部击穿。特别是在高温时，由于管子的击穿电压将迅速下降，因此，应特别注意。

(六) 辅助电源

辅助电源一般都是供给差动放大器或单级放大器（比较电路）的集电极电压用的。图 16 所示的线路，直接把负载接到直流电压输入端（即 U_i ），电路性能就不太好，这是由于一方面当 U_i 变化较大时会影响放大器的工作，另一方面当 U_i 有一跳变时，这种跳变会通过 R_4 直接向调整管 BG_2 的基极注入电流，致使 U_o 也跳变。

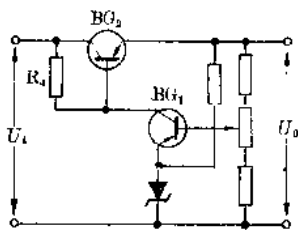


图 16 没有辅助电源的电路

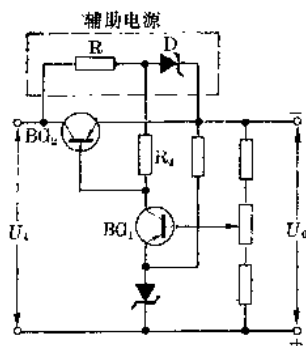


图 17 具有简单辅助电源的电路

图 17 是最简单的辅助电源。它是利用调整管两端的压降通过电阻 R 和稳压管 D ，在 D 两端得到较稳定的辅助电压。采用这种形式的稳压电源如图 18 所示。这种电路的优点是：简单、成本低、安装方便。缺点是： U_o 必须大于 D_1 的稳定电压，这就提高了调整管两端的电压和功耗，另外由于 U_o 在工作过程中变化仍较大，稳压性能还是比较差的。比较好的是另外用一套整流-滤波设备，并单独绕一次级线圈，如图 19 所示。图中放大

电路的电源 $-E_0$ 是十分稳定的，它等于输出电压 U_0 。加上稳压管 D 上的电压 U_{σ} 。

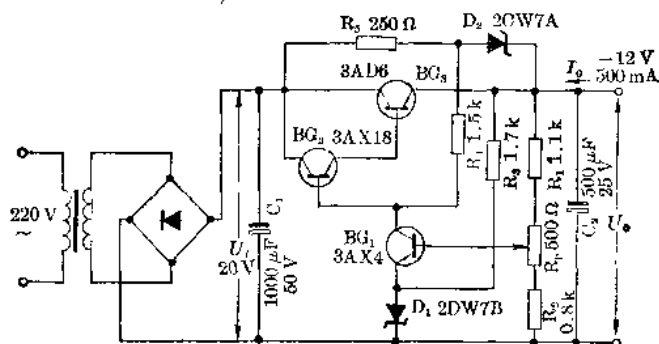


图 18 具有简单辅助电源的稳压电源

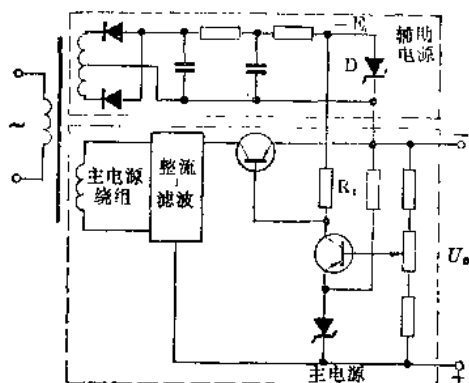


图 19 具有单独绕组和整流设备的辅助电源

这种电路虽然比较复杂些，但由于其输出电压十分稳定，所以采用得十分广泛。以后介绍的许多稳压电源中，都采用了这种辅助电源的形式。

二、稳压电源的计算

稳压电源一般无需进行特殊设计，通常只须将某些参考线路，稍作修改即可应用。图 22~24 及表 1~3 列出了定压式直流稳压电源的系列，供选用。在修改时，必须熟悉线路中每一元件的作用及其参数的选择，因此，本资料通过对典型电源如图 20 所示的线路的计算介绍最简单的计算方法。

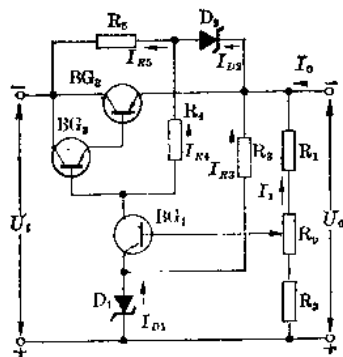


图 20 计算的电路

- 要求： 输入电压： $U_i = 18 \sim 22 \text{ V}$
 输出电压： $U_o = 12 \text{ V}$
 负载电流： $I_o < 0.5 \text{ A}$
 工作温度： $T = -10 \sim +55^\circ \text{C}$

(一) 确定调整管 BG_3

线路对 BG_3 的要求是： $BU_{ce0} \geq U_{ce3\max}$

因输入电压的最大值 $U_{i\max} = 22 \text{ V}$

$$U_{ce3\max} = U_{i\max} - U_o = 22 \text{ V} - 12 \text{ V} = 10 \text{ V}$$

$$I_{e3\max} \approx I_{c3} = I_o = 0.5 \text{ A}$$

$$P_{c3\max} = U_{ce3\max} \cdot I_{e3\max} = 10 \text{ V} \cdot 0.5 \text{ A} = 5 \text{ W}$$

所以应该选择满足上述要求的管子,查晶体管手册:

3AD2: $P_{CM}=10\text{ W}$, $I_{CM}=1.5\text{ A}$, $BU_{ceR}=30\text{ V}$, 可以满足要求。 β 值选取 35。

$$\text{故: } I_{b3} = \frac{I_{e3\max}}{1+\beta_3} = \frac{0.5\text{ A}}{1+35} = 14\text{ mA}$$

此电流值较大,由比较管来直接推动是困难的,所以要加一调整管 BG_2 (又称推动管)组成组合电路。

(二)确定推动管 BG_2

线路对 BG_2 管的要求是:

$$U_{ce2\max} = U_{ce3\max} - U_{be3\max} \approx 10\text{ V}$$

$$I_{e2\max} = I_{b3\max} = 14\text{ mA}$$

$$\begin{aligned} P_{c2\max} &= I_{c2\max} \cdot U_{ce2\max} \\ &\approx I_{e2\max} \cdot U_{ce2\max} = 14\text{ mA} \cdot 10\text{ V} = 140\text{ mW} \end{aligned}$$

根据以上要求,查晶体管手册:

3AX18: $P_{CM}=150\text{ mW}$, $I_{CM}=100\text{ mA}$, $BU_{ceo}=30\text{ V}$, 可以满足要求。 β 值选取 30。

$$I_{b2} = \frac{I_{e2}}{1+\beta_2} = \frac{14\text{ mA}}{1+30} = 0.45\text{ mA}$$

(三)确定稳压管 D_2

$$\text{因 } U_{ce3\min} = U_{\min} - U_0 = 18\text{ V} - 12\text{ V} = 6\text{ V}$$

故应取 U_{D2} 为 4V 的稳压管,可选 2CW7A。

(四)确定电阻 R_4

线路要求流过 R_4 的电流大于 I_{b2} ,以使 BG_1 可以稳定地工作。一般取 I_{R4} 为 2mA。所以 R_4 为:

$$\begin{aligned} R_4 &= \frac{U_{R4}}{I_{R4}} = \frac{U_{D2} - U_{be2} - U_{be3}}{I_{R4}} \\ &= \frac{4\text{ V} - 0.5\text{ V} - 0.5\text{ V}}{2 \times 10^{-3}\text{ A}} = 1.5\text{ k} \end{aligned}$$

(五) 确定电阻 R_5

流过 R_5 的电流: $I_{R5} = I_{D2} + I_{R4}$

式中: $I_{R4} = 2 \text{ mA}$;

I_{D2} 为流过稳压管 D_2 的电流, 其值随 U_{ce3} 的变化而变化,

当 U_i 最大时, U_{ce3} 也最大, 从而 I_{D2} 也最大; 反之则

反。一般选择 $I_{D2\min}$ 为 6 mA ,

$$\text{则: } R_5 = \frac{U_{i\min} - U_0 - U_{D2}}{I_{D2\min} + I_{R4}} = \frac{18 \text{ V} - 12 \text{ V} - 4 \text{ V}}{6 \text{ mA} + 2 \text{ mA}} = 250 \Omega$$

核算: 当 $U_{i\max}$ 时, $I_{D2\max}$ 是否超过稳压管所允许的最大电流。

$$I_{D2\max} = \frac{U_{i\max} - U_0 - U_{D2}}{R_5} = \frac{22 \text{ V} - 12 \text{ V} - 4 \text{ V}}{250 \Omega} = 24 \text{ mA}$$

查晶体管手册可知: $2\text{CW}7$ 所允许的最大电流 $> 24 \text{ mA}$, 因此, R_5 选取 250Ω 是可以的。

(六) 确定比较电路晶体管 BG_1 和稳压管 D_1

BG_1 管应具有较高的放大能力以提高稳定度, 其集电极电流通常选在 $1 \sim 2 \text{ mA}$, BG_1 管集电极电流

$$I_{c1} = I_{R4} - I_{D2} = 2 \text{ mA} - 0.45 \text{ mA} = 1.55 \text{ mA}$$

BG_1 管所承受的电压

$$U_{ce1} = U_0 - U_{D1} = 12 \text{ V} - 6 \text{ V} = 6 \text{ V}$$

U_{D1} 是参考电压, 要求比较严格。考虑到稳压管的内阻和温度系数, 选取在 6 V 左右为好。因为, 这一档电压的管子, 内阻较小, 温度系数亦较小。与此同时, 还应结合取样电阻及比较电路一起考虑。显然, U_{D1} 的值应小于取样值, 这样比较管才能正常地工作。

查晶体管手册: 选取 $2\text{DW}7\text{B}$

$$BG_1 \text{ 管的 } P_{c1} = I_{c1} \times U_{ce1} = 1.55 \text{ mA} \times 6 \times 10^{-3} \text{ V} = 93 \text{ mW}$$

根据这些要求,我们查晶体管手册选取 3AX4。

(七)确定电阻 R_3

稳压管 D_1 上流过的电流 $I_{D1} = I_{R3} + I_{e1}$

$$I_{e1} \approx I_{c1} = 1.55 \text{ mA}$$

取 I_{D1} 的电流为 5 mA, 所以

$$R_3 = \frac{U_0 - U_{D1}}{I_{D1} - I_{e1}} = \frac{12 \text{ V} - 6 \text{ V}}{(5 - 1.55) \times 10^{-3} \text{ A}} = 1.7 \text{ k}$$

(八)取样电阻 R_1 、 R_2 、 R_p 的确定

取样电路应尽可能多地把输出电压的变化值取出来, 加到比较管的基极, 而不希望将由于其他原因而引起的变化反应到比较管的基极。从图 21 可以看出: 通过 $R_2 + R_{p2}$ 的电流为 I_1 , 而流过 $R_1 + R_{p1}$ 的电流则是 $I_1 + I_{b1}$, I_{b1} 是随负载和电网电压的变化而变化的, 因而它将影响取样电路分压比的稳定性。造成输出电压的不稳定。为了减小 I_{b1} 的影响, 我们通常取 I_1 比 I_{b1} 大得多。

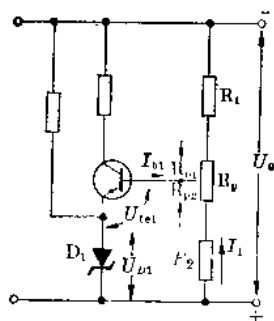


图 21 I_{b1} 对分压比的影响

$$I_{b1} = \frac{I_{c1}}{\beta} = \frac{1.55 \text{ mA}}{35} = 0.04 \text{ mA}$$

故取 $I_1 = 5 \text{ mA}$ 。

$$R_2 + R_p = \frac{U_{be1} + U_{D1}}{I_1} = \frac{0.5 \text{ V} + 6 \text{ V}}{5 \times 10^{-3} \text{ A}} = 1.3 \text{ k}$$

取 R_p 为 500 Ω 的电位器, 则:

$$R_2 = 1.3 \text{ k} - 0.5 \text{ k} = 0.8 \text{ k}$$

$$R_1 = \frac{U_0 - (U_{be1} + U_{D1})}{I_1} = \frac{12 \text{ V} - (0.5 \text{ V} + 6 \text{ V})}{5 \times 10^{-3} \text{ A}} = 1.1 \text{ k}$$