

$$I_{Z(\min)} + I_{L(\max)} \leq \frac{V_{i(\max)} - V_{Z(\max)}}{R_s}$$

因此， R_s 的最大极限值由下式确定，

$$R_{s(\max)} \leq \frac{V_{i(\max)} - V_{Z(\max)}}{I_{Z(\min)} + I_{L(\max)}} \quad (1-14)$$

当然，计算 R_s 的最大极限值时，必须采用最不利的条件，即 $V_{Z(\max)}$ 应为稳压管流过最大电流时的最高基准电压值。稳压管的最大电流 $I_{Z(\max)}$ 由下式给出：

$$I_{Z(\max)} = I_{Z(\min)} + I_{L(\max)} - I_{L(\min)}$$

为了使稳压管的功耗不超过最大允许功耗，串联限流电阻 R_s 还必须限制稳压管的电流，因而阻值也不能太小。 R_s 的最小值应由稳压管的最大允许耗散功率决定。

稳压管的耗散功率由下式给出：

$$P_z = I_z V_z$$

将公式(1-5)代入上式，可得出：

$$\begin{aligned} P_z &= \left(\frac{V_i - V_o}{R} - I_L \right) V_z \\ &= \left(\frac{V_i - V_z}{R_s} - I_L \right) V_z \end{aligned}$$

式中， V_z 等于 V_o 。

当负载电流最小时，稳压管的耗散功率最大，因此，稳压管的最大耗散功率 $P_{Z(\max)}$ 可由下式给出：

$$P_{Z(\max)} = \left(\frac{V_i - V_z}{R_s} - I_{L(\min)} \right) V_z \quad (1-15)$$

该式没有考虑输入电压与输出电压的变化量。如果考虑到输入电压与输出电压的变化量，稳压管的最大耗散功率应由下式给出：

$$P_{z(max)} = \left(\frac{V_{i(max)} - V_{z(max)}}{R_s} - I_{L(min)} \right) V_{z(max)} \quad (1-16)$$

或者,
$$P_{z(max)} = \left(\frac{V_{i(max)} - V_{z(min)}}{R} - I_{L(min)} \right) V_{z(min)} \quad (1-17)$$

计算稳压管的最大耗散功率时, 可根据电路的工作状态, 将各参数的实际数值代入到公式(1-16)和(1-17)分别算出 $P_{z(max)}$, 然后取其中较大的一个作为稳压管的最大耗散功率。

稳压管的最大耗散功率必须低于稳压管的最大允许耗散功率。因此, 如果用 $P'_{z(max)}$ 表示最大允许耗散功率的话, 那么

$$P'_{z(max)} > \left(\frac{V_{i(max)} - V_{z(max)}}{R_s} - I_{L(min)} \right) V_{z(max)} \quad (1-18)$$

并且,
$$P'_{z(max)} > \left(\frac{V_{i(max)} - V_{z(min)}}{R_s} - I_{L(min)} \right) V_{z(min)} \quad (1-19)$$

上述两个条件必须同时满足。

根据公式(1-18)和(1-19), 串联电阻 R_s 的最小值为:

$$R_{s(min)} \geq \frac{V_{i(max)} - V_{z(max)}}{\frac{P'_{z(max)}}{V_{z(max)}} + I_{L(min)}} \quad (1-20)$$

或者,
$$R_{s(min)} \geq \frac{V_{i(max)} - V_{z(min)}}{\frac{P'_{z(max)}}{V_{z(min)}} + I_{L(min)}} \quad (1-21)$$

对于实际电路来说, 必须把各参数的实际数值代入到公式(1-20)和(1-21)中, 分别算出 $R_{s(min)}$, 然后, 取其中较大的一个作为串联电阻 R_s 的最小值。

公式(1-18)和(1-19)内带括号的部分表示稳压管的最大电流, 因此, 公式(1-18)、(1-19)、(1-20)和(1-21)

内的 $V_{Z(max)}$ 和 $V_{Z(min)}$ 分别表示在流过最大电流时稳压管两端的最高电压和最低电压。

如果稳压管工作于额定值以内，并且不可能产生过载时， R_s 的阻值可根据公式(1-13)和(1-14)计算。不过，为了保证稳压管不过载，应当用公式(1-18)和(1-19)进行验证。

当稳压管的负载状态不能完全确定时，要根据公式(1-20)和(1-21)计算 R_s 的最小值，并且，实际电路所用的 R_s 值必须大于这个最小值。

二、设计步骤

1. 选择输入电压

设计最简单的稳压管并联稳压器时，输出电压和负载电流通常都是确定的。虽然输入电压有时也是确定的，但通常需要作适当选择。一般来说，为了提高稳压性能，串联限流电阻 R_s 的阻值应尽可能取得大一些。为了选用阻值较大的 R_s ，必须选择较高的输入电压。在这种情况下，由于串联限流电阻 R_s 的阻值较大，公式(1-9)中 r_{zs}/R_s 与 r_{zs}/R_L 之和将远远小于

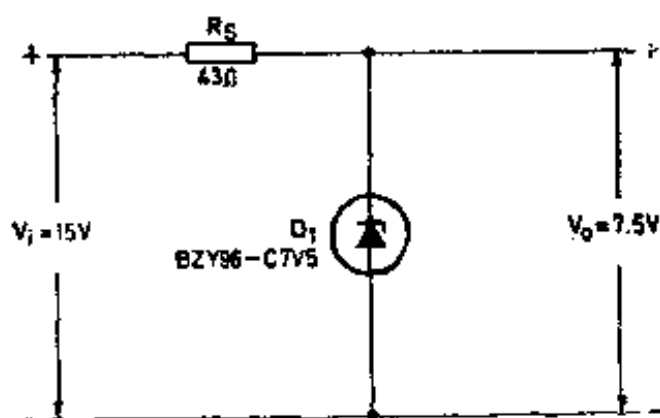


图 1-7 7.5伏100毫安的稳压管并联稳压器

1，因此，稳压器的稳压系数 S 可由下式给出：

$$S \approx \frac{r_{zs}}{R_s}$$

由此可见，当输入电压较高、串联限流电阻较大时，稳压器的稳压系数大大降低。

在图1-7所示的电路中，当输出电压为7.5伏，负载电流为

100毫安时，输入电压选择15伏比较适当。

2. 确定稳压管工作电流 I_z

当负载电流增加时，流过稳压管的电流减小。并且，当负载电流最大时，流过稳压管的电流最小。为了保证稳压器具有较高的电压稳定度，流过稳压管的电流不能过小。同时，为了避免因耗散功率过大而损坏稳压管，流过稳压管的电流也不能过大。对于图1-7所示的电路来说，稳压管的最小电流选择20毫安较为适当。

3. 计算串联限流电阻 R_s

图1-7中，已知输出电压为7.5伏，负载电流为100毫安，输入电压为15伏，稳压管的工作电流为20毫安。因此，串联限流电阻 R_s 的额定值可由下式求出：

$$R_s = \frac{V_i - V_o}{I_z + I_L} = \frac{15 - 7.5}{20 \times 10^{-3} + 100 \times 10^{-3}} = 62.5(\Omega)$$

如果最小负载电流为20毫安，稳压管的最大耗散功率可根据公式(1-15)求出：

$$P_{z(max)} = \left(\frac{15 - 7.5}{62.5} - 20 \times 10^{-3} \right) \times 7.5 = 0.75(W)$$

从晶体管手册中可查出，BZY96-C7V5型稳压管具有足够的额定功率和额定工作电流，并且也具有所需要的基准电压。由此可见，稳压管的最小电流值选择为20毫安是适当的。

如果稳压电路只补偿因负载电流变化而引起的输出电压变化，上面计算出来的 R_s 值是适当的。但是，如果稳压电路还必须补偿因输入电压变化而引起的输出电压变化，那么，为了保证在输入电压和稳压管的工作电流均为最不利的数值时，稳

压电路也能可靠地工作，就必须算出 R_s 的极限值。此外，为了保证不因过负载而损坏稳压管，还必须对算出的 R_s 极限值进一步验证。

图1-7所示的电路中，稳压管的最大电流为100毫安。晶体管手册中给出BZY96-C7V5型稳压管的电流为100毫安时，基准电压的最小值为7.3伏，最大值为8.2伏。因此，如果输入电压的偏差为 $\pm 10\%$ 的话，也就是说输入电压的最小值为13.5伏，最大值为16.5伏时，串联限流电阻 R_s 的最大值可根据公式(1-14)算出：

$$R_{s(max)} \leq \frac{13.5 - 8.2}{20 \times 10^{-3} + 100 \times 10^{-3}} = 44.16(\Omega)$$

BZY96-C7V5型稳压管的最大允许耗散功率为1.5瓦。因此，根据公式(1-20)算出串联限流电阻 R_s 的最小值为：

$$R_{s(min)} \geq \frac{16.5 - 8.2}{1.5/8.2 + 20 \times 10^{-3}} = 40.8(\Omega)$$

根据公式(1-21)算出串联限流电阻 R_s 的最小值为：

$$R_{s(min)} \geq \frac{16.5 - 7.4}{1.5/7.4 + 20 \times 10^{-3}} = 40.8(\Omega)$$

因此，为了保证稳压管不过载，而且在给定的输入电压范围内，能保证输出电压基本上保持不变， R_s 的阻值应在40.8欧到44.16欧之间选择。图1-7所示的实际电路中，串联限流电阻 R_s 的阻值取定为43欧 $\pm 1\%$ 。

4. 稳压系数S的计算

图1-7所示的电路中，BZY96-C7V5型稳压管典型的动态电阻值为3欧，负载电阻 $R_L = V_o / I_L = 75$ 欧。因此，根据公式(1-10)可算出稳压器的稳压系数S为：

$$S = \frac{1}{1 + 43/3 + 43/75} = 0.063$$

根据公式(1-11)可算出稳压器的电压调整率 S_v 为:

$$S_v = \frac{1}{1 + \{(7.5 \times 43)/(15 \times 3)\} - \{(50 \times 10^{-8} \times 43)/15\}} = 0.124$$

三、设计实例

1. 27伏500毫安稳压电源

27伏500毫安稳压电源的实际电路如图1-8所示。在该电路中稳压器输入电压选择为50伏，稳压管的最小电流选择为100

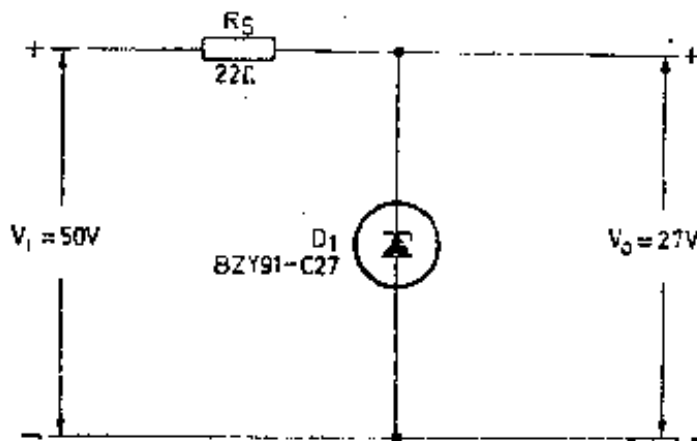


图 1-8 27伏500毫安稳压电源

毫安，是比较适当的。

串联限流电阻 R_s 的额定值可根据下式求出:

$$R_s = \frac{V_i - V_o}{I_s + I_L} = \frac{50 - 27}{100 \times 10^{-3} + 500 \times 10^{-3}} = 38.3(\Omega)$$

如果最小负载电流为零，根据公式(1-15)可算出稳压管的最大耗散功率为:

$$P_{z,max} = \left(\frac{50-27}{38.3} - 0 \right) \times 27 = 16.2(W)$$

从晶体管手册中可查出，BZY91-C27型稳压管具有足够的额定功率和额定电流，并且也具有所需要的基准电压。因此，稳压管的最小电流取定为100毫安是适当的。

BZY93-C27型稳压管也能满足上述要求。但是，为了适应输入电压 $\pm 10\%$ 的偏差，稳压管需要有较大的额定功率，所以在实际电路中选用额定功率较大的BZY91-C27型稳压管。

BZY91-C27型稳压管的基准电压最小值为25.1伏，最大值为28.9伏。因此，当输入电压具有 $\pm 10\%$ 的偏差（即输入电压的最小值为45伏，最大值为55伏）时，根据公式（1-14）可算出串联限流电阻 R_s 的最大值为：

$$R_{s(max)} \leq \frac{45-28.9}{100 \times 10^{-3} + 500 \times 10^{-3}} = 26.8(\Omega)$$

BZY91-C27型稳压管的最大允许耗散功率为75瓦。因此，根据公式（1-20）可算出串联限流电阻 R_s 的最小值为：

$$R_{s(min)} \geq \frac{55-28.9}{75/28.9-0} = 10.08(\Omega)$$

根据公式（1-21）也可算出串联限流电阻 R_s 的最小值为：

$$R_{s(min)} \geq \frac{55-25.1}{75/25.1-0} = 10.4(\Omega)$$

因此，串联限流电阻 R_s 的阻值应在10.4欧到26.8欧之间选择。图1-8所示的实际电路中， R_s 的阻值取定为22欧 $\pm 10\%$ 。

BZY91-C27型稳压管的最大动态电阻值为1欧，负载电阻 $R_L = V_o / I_L = 54$ 欧。因此，根据公式（1-10）可算出稳压器的稳压系数 S 为：

$$S = \frac{1}{1 + 22/1 + 22/54} = 0.037$$

根据公式 (1-11) 可算出稳压器的电压调整率 S_F 为:

$$S_F = \frac{1}{1 + (27 \times 22)/(50 \times 1) - (0.1 \times 22)/50} = 0.078$$

稳压管的最大耗散功率可根据公式 (1-16) 算出:

$$P_{s(max)} = \left(\frac{55 - 28.9}{22} - 0 \right) \times 28.9 = 34.3 (W)$$

也可根据公式 (1-17) 算出:

$$P_{s(max)} = \left(\frac{55 - 25.1}{22} - 0 \right) \times 25.1 = 34.1 (W)$$

如果最高环境温度为 $65^\circ C$, 那么, 为了更好地散热, 稳压管必须安装散热器。根据公式 (1-2) 和 (1-3), 散热器的热阻可由下式求出:

$$R_{th(h)} = \frac{T_{j(max)} - T_{amb}}{P_{s(max)}} - (R_{th(j-mb)} + R_{th(h)})$$

从晶体管手册中可查出, BZY91-C27 型稳压管 $p-n$ 结到管壳之间的热阻 $R_{th(j-mb)}$ 为 $1.47^\circ C/W$, 管壳到散热器之间的热阻 $R_{th(h)}$ 为 $0.2^\circ C/W$, 最高允许结温 $T_{j(max)}$ 为 $175^\circ C/W$ 。因此, 散热器的热阻应为:

$$R_{th(h)} = \frac{175 - 65}{34.3} - (1.47 + 0.2) = 1.54^\circ C/W$$

该热阻值为最大值。为了保证稳压管安全工作, 散热器的热阻应低于 $1.54^\circ C/W$ 。此外, 这个热阻是根据稳压管的稳态耗散功率算出来的, 没有考虑稳压管的瞬态耗散功率。为了更精确地设计散热器, 还应当考虑稳压管的瞬态耗散功率, 比如浪涌电流所产生的耗散功率等。假设最大瞬态耗散功率是

8瓦，那么，稳压管的最大耗散功率为43瓦。因此，为了保证稳压管更安全地工作，散热器的热阻应为 $0.93^{\circ}\text{C}/\text{瓦}$ 。采用长10厘米的50D型散热器，可以满足要求。

2. 6.5伏100微安基准电源

(1) 电路设计

6.5伏100微安基准电源的实际电路如图1-9所示。为了选

用较大的串联限流电阻 R_s 以提高输出电压的稳定度，所以，输入电压选择为22伏 $\pm 10\%$ 。为了减小温度变化对输出电压的影响，选用BZX48型低温度系数稳压管。在 $I_{zs} = 2$ 毫安时，这种稳压管的温度系数

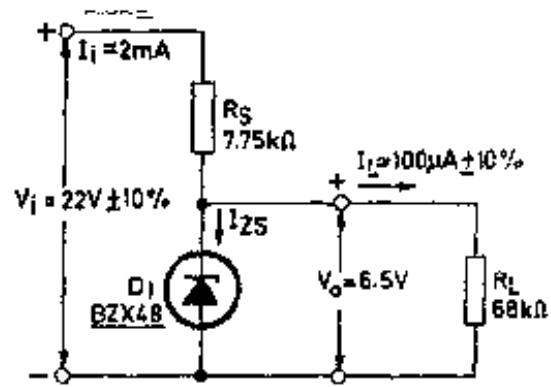


图 1-9 6.5伏100微安基准电源

为65微伏/ $^{\circ}\text{C}$ （也可以用百分率表示为 $0.001\%/^{\circ}\text{C}$ ，或用百万分率表示为 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ）。当环境温度从 0°C 变到 70°C 时，稳压管基准电压的最大变化为4.6毫伏。BZX48型稳压管的额定工作电流 I_{zs} 为2毫安，这时的最大动态电阻 r_{zs} 为50欧。稳压管的额定工作电流 I_{zs} 远远大于负载电流 I_L ，所以，可以认为流过稳压管的电流基本上保持不变。由于 $I_L \ll I_z$ ，串联限流电阻 R_s 的阻值可由下式算出：

$$R_s = \frac{V_i - V_z}{I_z} = \frac{22 - 6.5}{2 \times 10^{-3}} = 7.75(\text{K}\Omega)$$

输出电压为6.5伏，为了获得100微安的负载电流，负载电阻应为68千欧。

(2) 输出电压总变化量的计算

如前所述，稳压器输出电压的总变化量 dV_o 为：

$$dV_o = SdV_i - R_o dI_L + S_T dT$$

根据公式(1-10),可算出稳压系数 $S = 0.00641$ 。根据公式(1-12),可算出输出电阻 $R_o = 49.6$ 欧。如果电阻 R_s 和 R_L 的温度系数忽略不计,那么上式中的 S_T 应为稳压管的温度系数,即 $S_T = S_z = 65$ 微伏/ $^{\circ}\text{C}$ 。温度范围为 $0^{\circ} \sim 70^{\circ}\text{C}$,所以, $dT = 70$ 。输入电压为 22 伏 $\pm 10\%$,所以,输入电压变化量 $dV_i = 4.4$ 伏。假设负载电流的变化为 $\pm 10\%$,那么,负载电流变化量 $dI_L = 20$ 微安 $= 20 \times 10^{-6}$ 安。根据上面所取得的各项数据,可以算出稳压器的输出电压总变化量 dV_o 为:

$$\begin{aligned} dV_o &= 0.00641 \times 4.4 - 49.6 \times 20 \times 10^{-6} + 65 \times 10^{-6} \times 70 \\ &= (0.0282 - 0.000992 + 0.0046)(V) = 31.8(mV) \end{aligned}$$

(3) 输出电压和输入电流的实测数据

图1-9所示的稳压器,当输入电压的变化为 $\pm 10\%$ (即从 19.80 伏变化到 24.20 伏),环境温度从 0°C 变化到 70°C 时,输出电压和输入电流的变化如表1-1所示。根据表中所列数据,可以绘出如图1-10所示的各条曲线。图1-9中, 7.75 千欧的串联限流电阻 R_s 可采用 22 千欧和 12 千欧的两只电阻并联。

表1-1 6.5伏100微安基准电源的输出电压和输入电流

T_{amb} ($^{\circ}\text{C}$)	I_i (mA) ($V_i = 19.80\text{V}$)	V_o (V)	I_i (mA) ($V_i = 22.00\text{V}$)	V_o (V)	I_i (mA) ($V_i = 24.20\text{V}$)	V_o (V)
0	1.720	6.5010	2.006	6.5076	2.292	6.5134
15	1.724	6.5029	2.008	6.5092	2.292	6.5144
25	1.721	6.5035	2.005	6.5097	2.290	6.5150
35	1.722	6.5043	2.007	6.5107	2.292	6.5161
45	1.720	6.5046	2.004	6.5111	2.290	6.5167
55	1.721	6.5047	2.006	6.5113	2.291	6.5169
70	1.721	6.5046	2.005	6.5113	2.290	6.5172

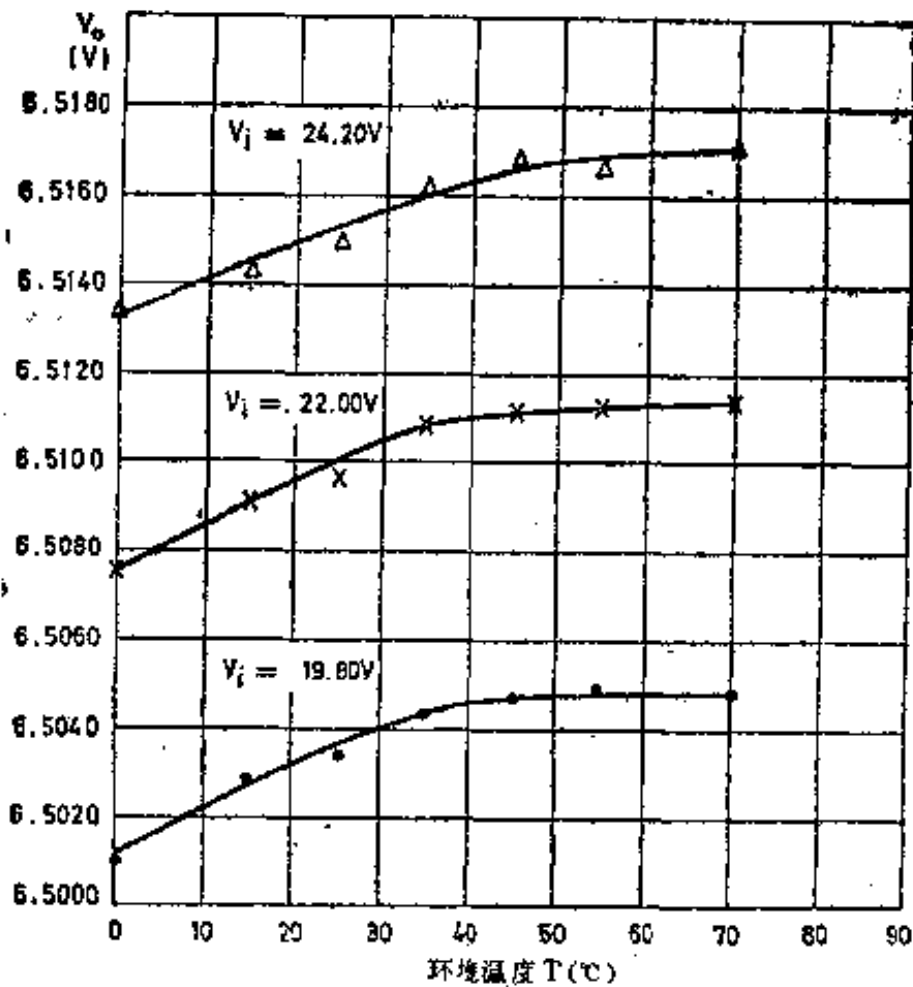


图 1-10 6.5伏100微安基准电源在三种输入电压的情况下，输出电压随温度变化的曲线

四、改进的稳压管并联稳压器

1. 两只稳压管串联的单级并联稳压器

两只稳压管串联的单级并联稳压器如图1-11所示。两只稳压管串联可以获得更高的输出电压或更接近于所需要的输出电压。同时，如果稳压管选择得当，还能够大大降低温度对输出电压的影响。

稳压管温度系数特性如图1-12所示。外加正向电压时，所

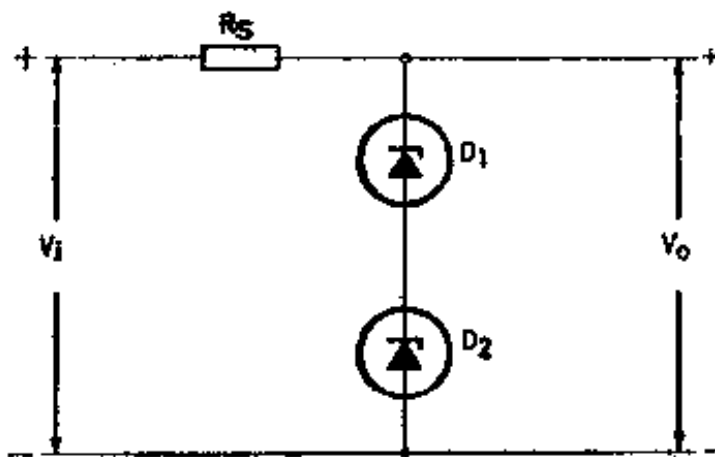


图 1-11 两只稳压管串联的单级并联稳压器

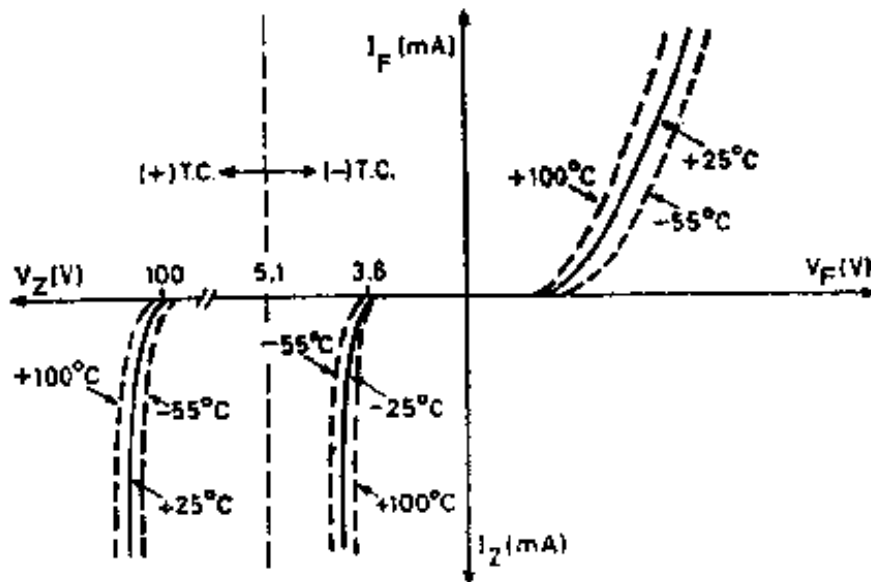


图 1-12 稳压管的温度系数特性

有的硅二极管（包括稳压管和普通硅二极管）的温度系数都接近于 -2 毫伏/ $^{\circ}\text{C}$ 。外加反向电压时，基准电压高于 7 伏的稳压管具有正温度系数，而基准电压低于 5 伏的稳压管则具有负温度系数。因此，为了得到较小的温度系数，可以把正温度系数稳压管与负温度系数稳压管串联起来。同时，由于稳压管和普通硅二极管正向偏置时，温度系数均为负值，因此，当采用基准电压高于 7 伏的稳压管时，也可以采用两只稳压管反向串联

(背靠背连接)，由于两只管子的温度系数互相抵消，所以总的温度系数很小。有时，也可以把稳压管与正向偏置的普通硅二极管串联，甚至把它们一道装在同一个外壳内，构成温度补偿稳压管。如图1-13所示。从图上可以看出，假设流过温度补偿稳压管的电流为7.5毫安，当温度从25°C增加到100°C时，普通硅二极管的正向压降减小 ΔV ，而稳压管反向压降却增加 ΔV ，如果两个数值相等，那么，温度补偿稳压管两端的电压将不受温度的影响。

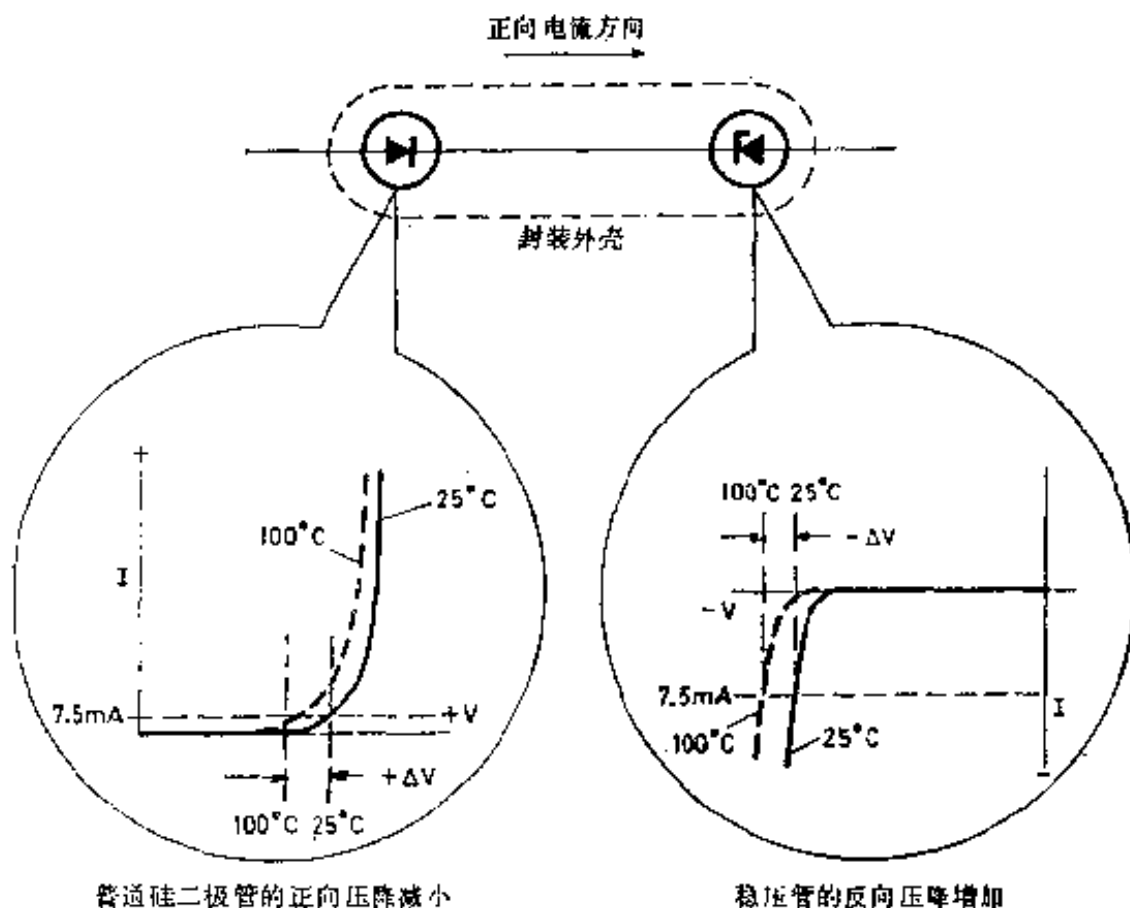


图 1-13 温度补偿稳压管的结构及其特性

如图1-14所示，把许多只稳压管串联起来，可以组成稳压管分压器。这个电路用五只稳压管串联，可以输出五种不同的稳定电压。值得注意的是，在串联稳压管中流过的电流必须大

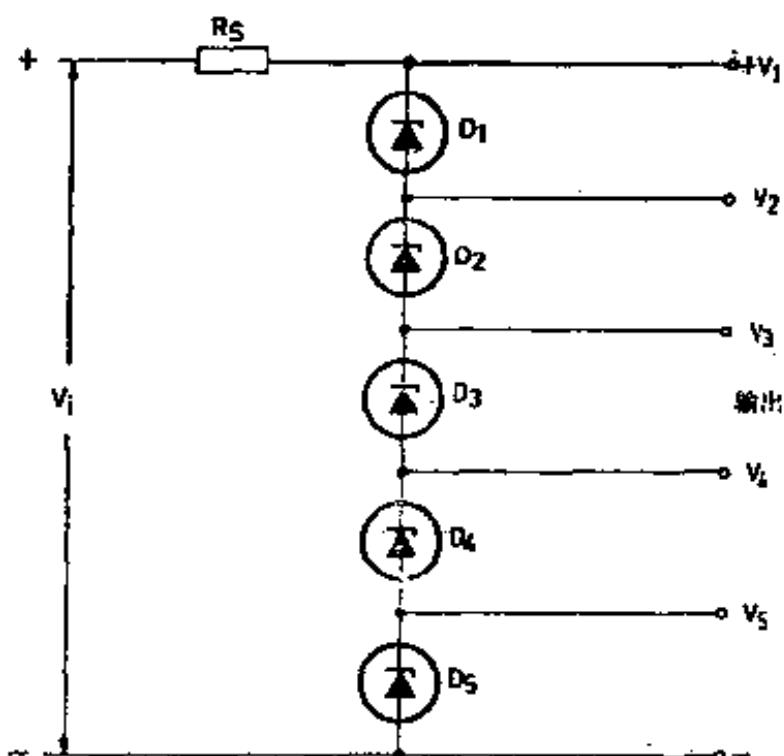


图 1-14 稳压管分压器

于其中任何一个稳压管的击穿电流，最高输出电压应等于各个稳压管的基准电压之和。总的温度系数 S_z 可由下式算出：

$$S_z = \frac{V_{z1}S_{z1} + V_{z2}S_{z2} + V_{z3}S_{z3} + V_{z4}S_{z4} + V_{z5}S_{z5}}{V_{z1} + V_{z2} + V_{z3} + V_{z4} + V_{z5}}$$

式中， $V_{z1} \sim V_{z5}$ 分别为稳压管 $D_1 \sim D_5$ 的基准电压； $S_{z1} \sim S_{z5}$ 分别为稳压管 $D_1 \sim D_5$ 的温度系数。

2. 两级稳压管并联稳压器

(1) 电路分析

当稳压管并联稳压器用作基准电源时，要求稳压器的输出电压必须非常稳定。为此，通常可采用如图1-15所示的两级稳压器。这种稳压器的稳压系数等于各级稳压系数的乘积。下面推导两级稳压器稳压系数的表示式。

如前所述，稳压器的稳压系数等于输出电压变化量与相应

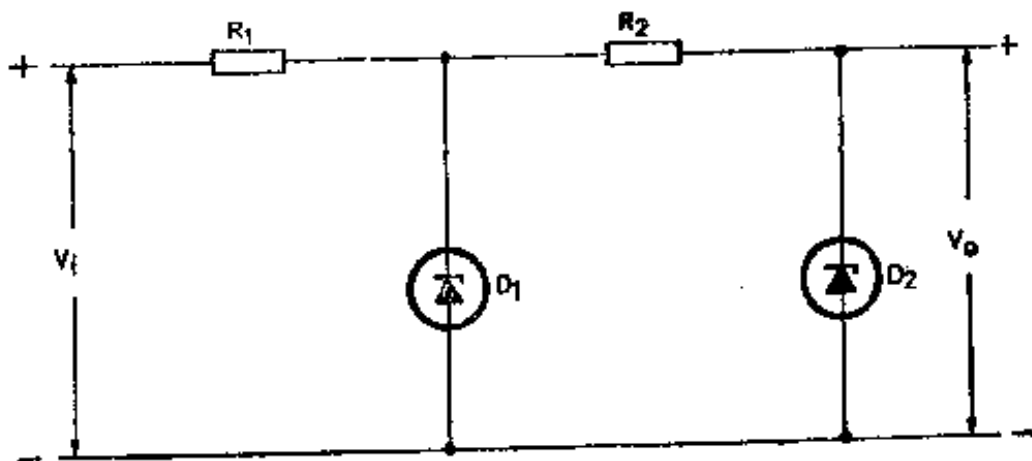


图 1-15 两级稳压管并联稳压器

的输入电压变化量之比，即 $S = \frac{\partial V_o}{\partial V_i}$ 。两级稳压器的稳压系数可根据图1-16所示的等效电路求出。

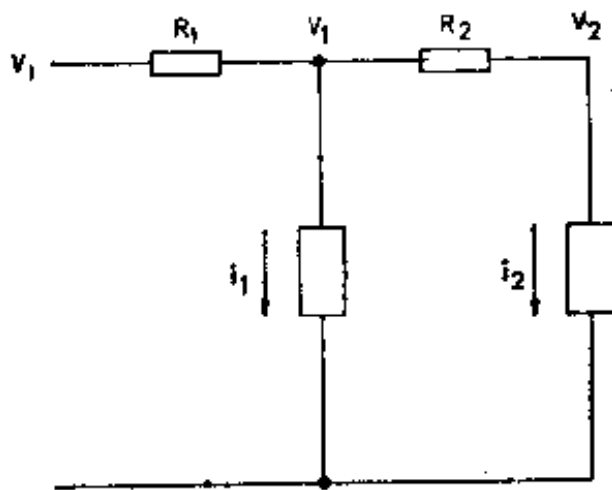


图 1-16 两级稳压管并联稳压器的等效电路

从图1-16可列出下列方程：

$$V_i - V_1 = R_1(i_1 + i_2) \quad (1-22)$$

$$V_1 - V_2 = i_2 R_2 \quad (1-23)$$

从公式(1-23)求出 i_2 ，并代入公式(1-22)，可以得出：

$$V_i = V_1 + i_1 R_1 + (V_1 - V_2) \frac{R_1}{R_2}$$

将此式适当整理后，可以得出：

$$V_1 \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) = V_i - i_1 R_1 + V_2 \frac{R_1}{R_2}$$

将此式对输入电压 V_i 求微商，可以得出：

$$\frac{dV_1}{dV_i} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) = 1 - R_1 \frac{di_1}{dV_i} + \frac{R_1}{R_2} \frac{dV_2}{dV_i} \quad (1-24)$$

$$\frac{di_1}{dV_i} = \frac{di_1}{dV_1} \cdot \frac{dV_1}{dV_i} = \frac{1}{r_1} \frac{dV_1}{dV_i} \quad (1-25)$$

式中， r_1 为第一只稳压管在电流为 i_1 时的动态电阻。

另外，从公式 (1-23) 可以得出：

$$V_2 = V_1 - i_2 R_2$$

将此式对输入电压 V_i 求微商，可以得出：

$$\begin{aligned} \frac{dV_2}{dV_i} &= \frac{dV_1}{dV_i} - R_2 \frac{di_2}{dV_i} \\ &= \frac{dV_1}{dV_i} - R_2 \frac{di_2}{dV_2} \cdot \frac{dV_2}{dV_i} \end{aligned}$$

如果第二只稳压管在电流为 i_2 时的动态电阻用 r_2 表示，那么，上式可以写为：

$$\frac{dV_2}{dV_i} = \frac{dV_1}{dV_i} - \frac{R_2}{r_2} \frac{dV_2}{dV_i}$$

经过适当整理后，上式变为：

$$\frac{dV_2}{dV_i} = \frac{1}{1 + R_2/r_2} \frac{dV_1}{dV_i}$$

$$= \frac{r_2}{r_2 + R_2} \frac{dV_1}{dV_i} \quad (1-26)$$

根据公式(1-24)、(1-25)和(1-26), 可以得出:

$$\frac{dV_1}{dV_i} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) = 1 - \frac{R_1}{r_1} \frac{dV_1}{dV_i} + \frac{R_1}{R_2} \frac{r_2}{r_2 + R_2} \frac{dV_1}{dV_i}$$

$$\text{或者, } \frac{dV_1}{dV_i} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{r_1} - \frac{R_1}{R_2} \frac{r_2}{r_2 + R_2} \right) = 1$$

此式可简化为:

$$\frac{dV_1}{dV_i} = \frac{1}{1 + R_1/r_1 + R_1/(r_2 + R_2)} \quad (1-27)$$

用 R_2 代替 R_1 , r_2 代替 r_1 , 并且使 R_2 等于无穷大, 第二级的稳压系数 $\frac{dV_2}{dV_1}$ 也可由上式求出:

$$\frac{dV_2}{dV_1} = \frac{1}{1 + R_2/r_2} \quad (1-28)$$

两级稳压器的稳压系数应为:

$$\begin{aligned} \frac{dV_2}{dV_i} &= \frac{dV_1}{dV_i} \times \frac{dV_2}{dV_1} \\ &= \frac{1}{1 + R_1/r_1 + R_1/(r_2 + R_2)} \cdot \frac{1}{1 + R_2/r_2} \end{aligned} \quad (1-29)$$

(2) 实际电路设计

两级稳压器的实际电路如图1-17所示。该稳压器的输出电压为5.3伏。当温度从0°C变化到50°C, 并且输入电源的电压变化为±10%时, 稳压器的输出电压能够稳定在±3%以内。

稳压器总的输出电压为5.3伏。所以, 第一级稳压器的输出电压要远高于5.3伏, 并且, 应当具有较低的温度系数和稳压系数。第一级稳压器采用两只基准电压约为5伏的稳压管串

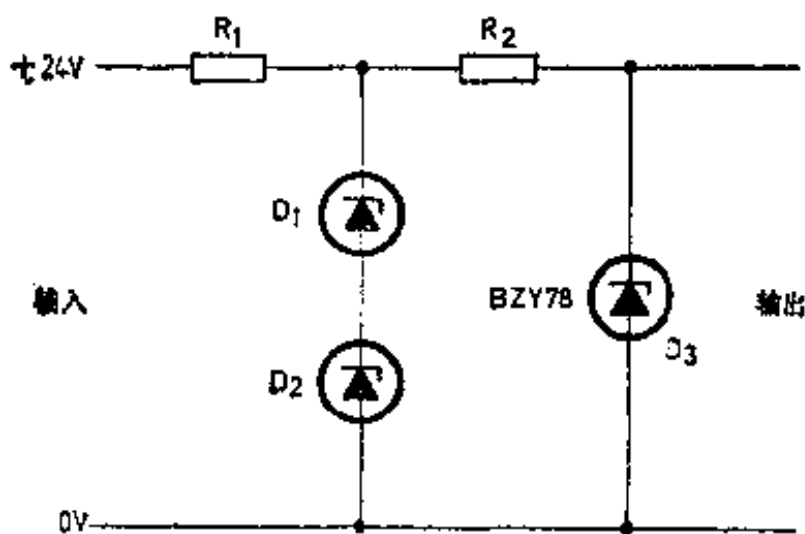


图 1-17 两级稳压器的实际电路

联，输出电压能够远高于5.3伏，并且，也能得到很低的温度系数。如果稳压管的动态电阻很低，串联限流电阻很大，那么，就能得到较低的稳压系数，为此，稳压管的工作电流应选得大一些，输入电压也必须选得高一些。实际电路中，输入电压选为24伏 $\pm 10\%$ ，稳压管的工作电流选为20毫安。第一级稳压器选用两只BZY88-C5V1型稳压管串联。该管基准电压为5.1伏，并且具有很低的温度系数。当工作电流为20毫安时，两只稳压管串联后典型的基准电压应为 $2 \times 5.35 = 10.7$ (伏)，每只稳压管最高的温度系数为0.9毫伏/ $^{\circ}\text{C}$ 。每只稳压管的动态电阻为10.5欧，两只稳压管串联后的动态电阻为21欧。第二级稳压器采用BZY78型稳压管。当工作电流为11.5毫安 $\pm 10\%$ 时，这种稳压管的基准电压为5.3伏，最高电压为5.6伏，最低电压为5.1伏。动态电阻为20欧。当温度为 $25^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ 时，基准电压的最大变化为 ± 7.5 毫伏。根据上述数据，实际电路内 R_1 和 R_2 的阻值应分别为430欧和470欧。

(3) 电路性能计算

(a) 稳压系数

在实际电路中， $R_1=430$ 欧， $R_2=470$ 欧， $r_1=21$ 欧， $r_2=20$ 欧。因此，根据公式(1-27)，可算出第一级稳压器的稳压系数为：

$$\frac{dV_1}{dV_i} = \frac{1}{1 + 430/21 + 430/470 + 20} = 0.045$$

根据公式(1-28)，可算出第二级稳压器的稳压系数为：

$$\frac{dV_2}{dV_1} = \frac{1}{1 + 470/20} = 0.041$$

两级稳压器的总稳压系数应为：

$$\frac{dV_2}{dV_i} = \frac{dV_1}{dV_i} \times \frac{dV_2}{dV_1} = 0.045 \times 0.041 = 0.001845$$

由此可见，两级稳压器的稳压系数大大下降。

稳压器输出电压的稳定性也受电阻值变化的影响。电阻值变化的主要因素是电阻的温度系数。在稳压器的实际工作中， R_1 阻值的总变化约为0.63%， R_2 阻值的总变化约为0.60%。

(b) 输出电压总变化量

根据各级稳压系数，可以算出稳压器输出电压的总变化量。

第一级：

电源电压变化量：

$$\pm 10\% \times (24 \times 10^3) \times 0.045 = \pm 108(mV)$$

电阻 R_1 压降变化量：

$$\pm 63\% \times (430 \times 31.5 \times 10^{-3}) \times 0.045 = \pm 3.8(mV)$$

稳压管 D_1 和 D_2 电压变化量：

$$\pm 25 \times (2 \times 0.9) = \pm 45(mV)$$

第一级输出电压总变化量： $\pm 156.8(mV)$

第二级:

第一级电压变化量:

$$\pm 156.8 \times 0.041 = \pm 6.43(mV)$$

电阻 R_2 压降变化量:

$$\pm 0.60\% \times (470 \times 11.5 \times 10^8) \times 0.0041 = \pm 1.33(mV)$$

BZY78型稳压管电压变化量:

$$\pm 7.5(mV)$$

稳压器输出电压总变化量:

$$\pm 15.26(mV)$$

在实际应用中，第二级稳压器的串联限流电阻 R_2 如果用电位器代替，如图1-18所示，就可以得到可调的输出电压。但

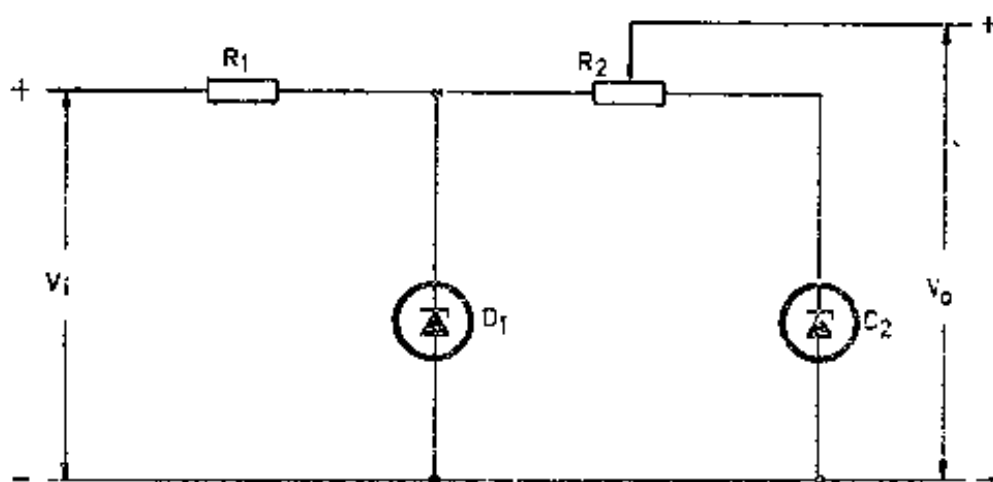


图 1-18 输出电压可调的两级稳压器

是，这种稳压器的输出电阻要大一些。输出电阻的数值决定于电位器中间抽头的位置。同时，改变电位器的阻值能够调整第二级稳压管的工作电流。只要工作电流调整适当，就可以使稳压管的温度系数变得非常低。