

可以认为晶体管集电极电流等于发射极电流。如果使晶体管发射极电流保持不变,那么,当集电极电阻在设计范围内变化时,由于集电极电流等于发射极电流,所以,集电极电流也保持不变。图3-4中, R_1 确定晶体管 TR_1 的发射极电流,而 R_2 和 R_3 则确定 TR_1 的基极电压。 R_3 两端的压降 V_3 可以由下式给出:

$$V_3 = \frac{V_i R_3}{R_2 + R_3} \quad (3-2)$$

从图3-4中可以看出:

$$V_3 = V_1 + V_{BE} \quad (3-3)$$

式中, V_1 为 TR_1 发射极电流在电阻 R_1 两端产生的压降。 V_{BE} 为 TR_1 的基-射极电压。适当选择 R_2 和 R_3 的阻值,可以使 V_3 远远大于 V_{BE} , 这样, V_3 就接近等于 V_1 。因为:

$$I_E = \frac{V_1}{R_1}$$

$$I_E = I_L$$

所以,

$$I_L = \frac{V_3}{R_1} \quad (3-4)$$

从公式(3-2)可以看出,只有输入电压 V_i 保持不变, R_3 两端的压降 V_3 才能保持不变。从公式(3-4)可以看出,只有 V_3 保持不变,输出电流 I_L 才能保持不变。但是,通常稳流电源的输入电压都是在一定范围内变化的,因此,这种最基本的稳流电源必须作适当的改进,才能保证 R_3 两端的压降在输入电压变化的条件下保持不变。

二、利用稳压管稳压的晶体管四端稳流电源

如上所述,在晶体管稳流电源的基本电路中,基极偏压电

阻 R_3 两端的压降将随输入电压而变化，因此，稳流电源的稳定性较差。为了克服这个缺点，图3-4所示的稳流电路中的 R_3 可以用稳压管 D_1 来代替，如图3-5所示。

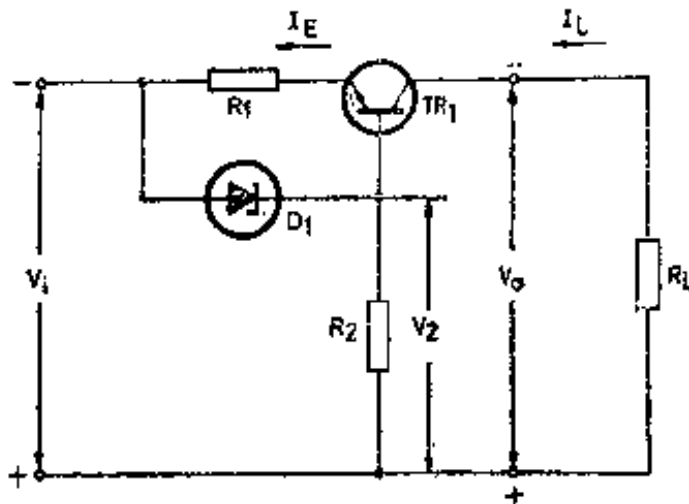


图 3-5 利用稳压管稳压的晶体管稳流电源

稳压管 D_1 两端的压降 V_z 为：

$$V_z = V_1 + V_{BE} \quad (3-5)$$

如果 V_z 远远大于 V_{BE} ，那么 $V_1 \approx V_z$ ，因此，

$$I_E \approx \frac{V_z}{R_1} \quad (3-6)$$

只有在 TR_1 的基极电流 I_B 小于稳压管 D_1 的电流 I_z ，并且 R_2 两端的压降 V_2 大于 V_o 时，公式(3-6)才是正确的。

从图3-5可以看出：

$$V_2 = V_i - V_z \quad (3-7)$$

$$R_2 = \frac{V_2}{I_2} \quad (3-8)$$

式中， I_2 是流过 R_2 的电流。 I_2 可以由下式给出：

$$I_2 = I_z + I_B \quad (3-9)$$

该电路中，如果 R_1 用一个固定电阻（确定最大电流）和

一个可变电阻（可以调到电流的最低值）串联来代替，就可以得到可调的输出电流。

在这种电路中， TR_1 的耗散功率正比于它的集-射极电压 V_{CE} 。当 $R_L = 0$ 时， TR_1 的耗散功率最大，其数值为：

$$P_{c \max} = (V_i - V_s) I_L \quad (3-10)$$

由于晶体管的耗散功率过大，这种稳流电源实际应用受到一定限制。

三、利用稳压管稳压的四端稳流电源的改进电路

如图3-6所示，在 TR_1 的集-射极之间接入一个分流电阻 R_3 ， TR_1 的耗散功率就能大大减小。这样，对于具有给定允许耗散功率的晶体管来说，稳流电源的负载电流 I_L 可以更大一些。并且，负载电流 I_L 的大小与分流电阻 R_3 无关。

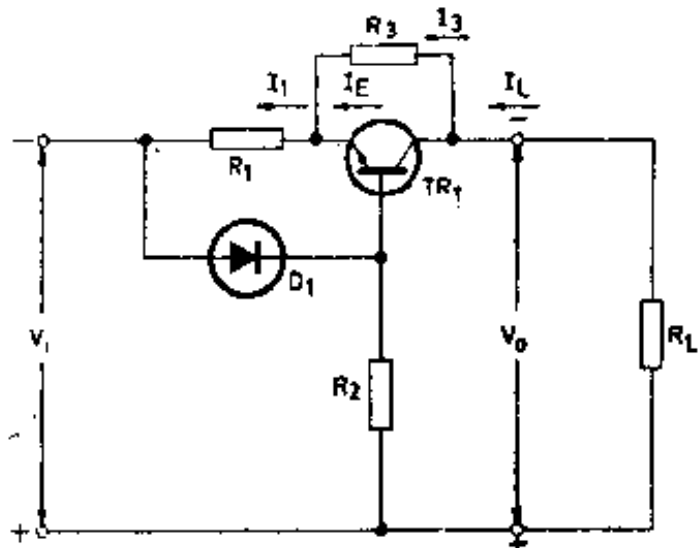


图 3-6 利用稳压管稳压的稳流电源的改进电路

如果流过分流电阻 R_3 的电流为 I_3 ，那么，

$$I_L = I_c + I_3 \quad (3-11)$$

对于高增益晶体管来说，存在下列近似关系式：

$$I_c \approx I_B$$

由于流过 R_1 的电流 I_1 为：

$$I_1 = I_B + I_3 \quad (3-12)$$

因此，根据公式(3-11)和(3-12)可以得出：

$$I_L = I_1 = \frac{V_1}{R_1} \approx \frac{V_z}{R_1} \quad (3-13)$$

由于 R_1 两端的压降 V_1 远远大于 TR_1 的基-射极电压 V_{BE} ，所以， V_1 接近于稳压管的基准电压 V_z 。从公式(3-13)可以看出，稳流电源的负载电流 I_L 只取决于稳压管的基准电压 V_z 和 R_1 ，而与分流电阻 R_3 无关。

如果分流电阻 R_3 的阻值由下式给出：

$$R_3 = \frac{V_i - V_z}{I_L} \quad (3-14)$$

那么， TR_1 的耗散功率 P_c 可以由下式算出：

$$P_c = V_c I_L - \frac{V_c^2}{R_3} \quad (3-15)$$

将公式(3-14)代入公式(3-15)可以得出：

$$P_c = V_c I_L \left(1 - \frac{V_c}{V_i - V_z} \right) \quad (3-16)$$

假设，当 $R_L = 0$ 时， TR_1 刚好截止，如果漏电流忽略不计，那么， TR_1 的耗散功率 $P_c = 0$ 。由此可见， $R_L = 0$ 时，分流电阻 R_3 的耗散功率最大。这个最大耗散功率 $P_{R_3(max)}$ 可由下式给出：

$$P_{R_3(max)} = (V_i - V_z) I_L \quad (3-17)$$

当 TR_1 的集-射极电压为 $\frac{1}{2}(V_i - V_z)$ ，并且， TR_1 的集电极电流为负载电流 I_L 的一半时， TR_1 的耗散功率最大。其数值可以由下式给出：

$$P_{c(max)} = \frac{(V_i - V_z) I_L}{4} \quad (3-18)$$

由于 TR_1 的耗散功率减小到原耗散功率的四分之一，因此，对于同样的晶体管来说，增加分流电阻 R_3 后，稳流电源

的允许负载电流增加四倍。

四、四端稳流电源的实际电路

四端稳流电源的实际电路如图 3-7 所示。这种稳流电源的输出电流为 10 毫安到 30 毫安，在负载电压变化时，输出电流的变化不大于 ± 0.1 毫安。该电路与图 3-5 所示的电路类似。不同的地方是 TR_1 用互补晶体管对 (TR_1 和 TR_2) 代替， R_2 和 R_3 采用可变电阻，并且，为了补偿环境温度变化对 TR_1 (或者互补晶体管的 TR_2) 基-射极电压的影响，另外加入一个晶体管 TR_3 。

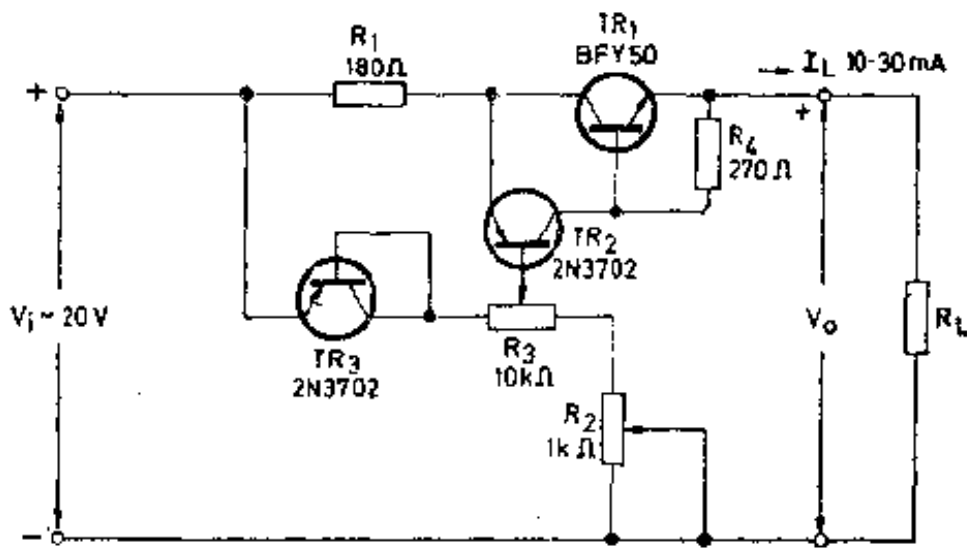


图 3-7 四端稳流电源的实际电路

在图 3-7 中， R_3 采用带游标刻度盘的螺旋电位器。它能够指示出负载电流的大小。负载电流精确度为满刻度的 0.3%。由于 TR_2 和 TR_3 采用同一型号的晶体管，并且， TR_3 的集电极和基极接在一起，所以， TR_3 两端的电压（即基-射极电压）应等于 TR_2 的基-射极电压。这样， R_1 两端的压降就等于 R_3 左边一部分的压降。调整 R_3 ，可以改变 TR_2 的基极电位，从而可以改变流过 R_1 的电流，这样，就能确定稳流电源的负载电流。

由于互补晶体管对 (TR_1 和 TR_2) 都采用高增益晶体管, 因此, 其等效电流放大倍数很高, 晶体管 TR_2 的基极电流很小, 这样, 等效晶体管的集电极电流 (实际上就是负载电流) 就非常接近于流过 R_1 的发射极电流。

该电路可按下述方法校准: 首先确定 R_2 的大小, 然后用数字电压表或者电位差计测出 R_2 两端的压降。如果 R_2 两端的压降为18伏, 而且, 假设 R_2 中心抽头左边部分的阻值为 R'_2 , $R'_2/R_2 = x$, 那么, 由于 R_1 两端的压降等于 R'_2 两端的压降, R_1 两端的压降就应当是 $18x$ 伏。已知 $R_1 = 180$ 欧, 流过 R_1 的电流应为 $(18x/180)$ 安 $=100x$ 毫安。由于高增益晶体管对 (TR_1 和 TR_2) 采用互补接法, 等效电流放大倍数为 $(1+h_{FE1})h_{FE2} \approx h_{FE1}h_{FE2}$, 而且, TR_2 的基极电流很小, 可以忽略不计, 所以, 等效晶体管的集电极电流 (实际上就是负载电流) 和流过 R_1 的发射极电流相差甚微。因为 x 的大小可直接由游标尺刻度盘上的分度来决定, 而且刻度盘有100个大分格, 所以, 每个大分格相当于电流增加 (或减小) 1毫安。刻度盘还有更细的小分格, 每个小分格相当于电流增加 (或减小) 0.1毫安。

负载电流的稳定性取决于 TR_2 基极电压的稳定性。如果 TR_2 和 TR_3 的环境温度不同, TR_2 的基-射极电压将不等于 TR_3 的基-射极电压, 并且, TR_2 总基极电压将发生变化, 因此, 负载电流也将发生变化。如果象图3-5那样, 在该电路中加入一只稳压管如图3-8所示, 稳流电源的特性就能得到改善。如果所用稳压管的基准电压 $V_z \geq 6$ 伏, V_{BE2} 的变化远远小于 V_z , 这样, 就可以得到较高的负载电流稳定度。为了调整负载电流, R_1 要采用可变电阻。当 R_1 调整到500欧时, 稳流电源的最小输出电流为10毫安。

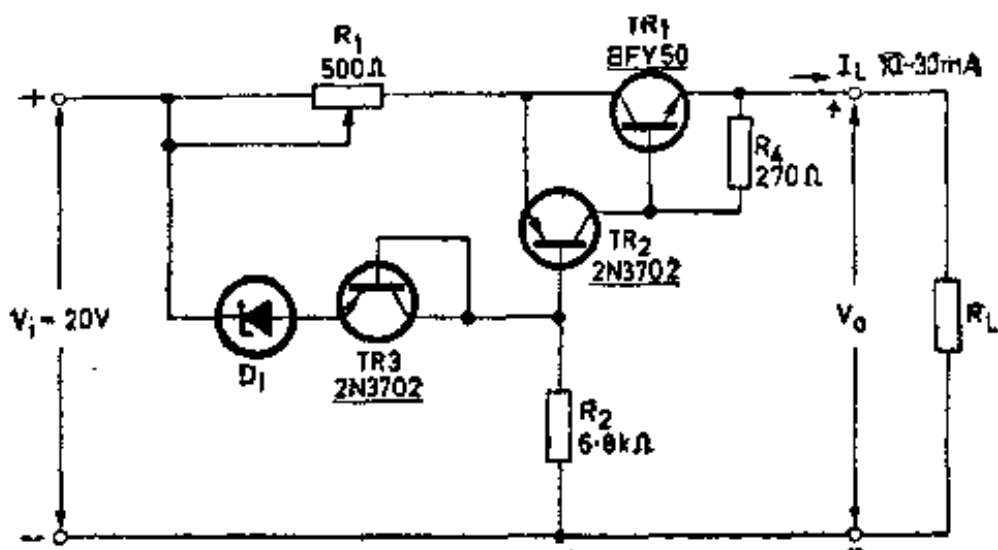


图 3-8 实用的四端稳流电源改进电路

第二节 两端稳流电源

象稳压管作为一个具有稳压特性的电路元件一样，两端稳流电源也可以封装入同一个外壳作为一个具有稳流特性的电路元件。

两端稳流电路有多种多样。下面只介绍几种常用的电路。

一、最基本的两端稳流电路

1. 基本工作原理

象图 3-3 所示的理想四端稳流电路一样，理想的两端稳流电路对任意频率也应具有无穷大的输出阻抗。实际上，这个要求是不可能达到的。通常只能使稳流电源的内阻 R_s 远远大于最大负载电阻值 $R_{L(max)}$ 。

尽管图 3-4 所示的最基本的四端稳流电路也能变换成两端电路，但是，在这种变换电路中，当输入电压和温度变化时，

稳流性能较差，并且，当负载电阻 R_L 变化时，电路工作不稳定，所以，这种电路不值得研究。

由图 3-5 所示的四端稳流电源变换而成的两端稳流电源的基本电路如图 3-9 的虚线方框所示。图中标出了稳流电源的极性，两端稳流电源可以接到输入电源负端（如图 3-9 所示），也可以接到输入电源正端。

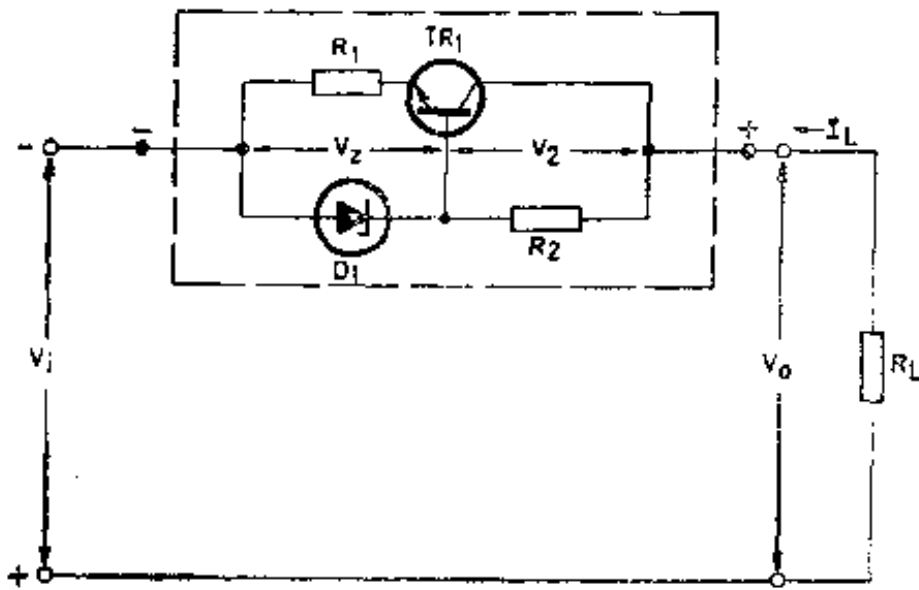


图 3-9 最基本的两端稳流电路

如果图 3-5 所示的四端稳流电源的负载电阻 R_L 等于零，那么，就可以得到上述的两端稳流电路。因此，两种电路的设计方法基本相同。所不同的是，两端稳流电源输入电压的最小值 $V_{i(\min)}$ 和最大值 $V_{i(\max)}$ 要用下列各式确定：

$$V_{i(\min)} = V_z + V_{2(\min)} + I_L R_{L(\max)} \quad (3-19)$$

从图 3-9 可以看出：

$$\frac{V_{2(\min)}}{R_2} > I_{z(\min)} \quad (3-20)$$

式中， $I_{z(\min)}$ 是稳压管 D_1 所需的最小工作电流。根据公式 (3-19) 和 (3-20)，可以确定输入电压最小值 $V_{i(\min)}$ 为：

$$V_{i(\min)} = V_z + R_2 I_{z(\min)} + I_L R_{L(\max)}$$

当 $R_L = 0$ 时，输入电压最大值 $V_{i(\max)}$ 应由下式给出：

$$V_{i(\max)} = V_z + V_{z(\max)} \quad (3-21)$$

输入电压最大值 $V_{i(\max)}$ 也可由下式给出：

$$V_{i(\max)} = V_z - V_{BE} + V_{CE(\max)} \quad (3-22)$$

式中， $V_{CE(\max)}$ 是晶体管 TR_1 的最高允许电压。稳流电源在工作中决不能超过这个电压。因此，为了安全工作，输入电压必须满足下式：

$$V_{i(\max)} < V_z - V_{BE} + V_{CE(\max)} \quad (3-23)$$

如果 $V_{CE(\max)}$ 是已知的，就可根据公式 (2-23) 确定输入电压最大值 $V_{i(\max)}$ 。

2. 应用实例

在稳压管并联稳压器中，当稳压管的电流变化时，稳压器的输出电压将会发生变化。为此，通常采用多级稳压器以得到更小的稳压系数。如前所述，多级稳压电源往往需要很高的输入电压，因此，有时应用比较困难。为了克服这一缺点，可以采用两端稳流电源来稳定稳压管的工作电流。带有两端稳流电源的稳压管并联稳压器如图3-10所示。图中，稳压管 D_2 、晶体管 TR_1 和电阻 R_1 、 R_2 构成两端稳流电源。 D_2 的基准电压 V_{z2} 远远大于 TR_1 的基-射极电压，因此，流过 R_2 的电流约等于 V_{z2}/R_2 ，并且，这个电流与输入电压无关。 R_1 是稳压管 D_2 的串联限流电阻，它保证 D_2 所需的工作电流。稳流电源供给 D_1 的稳定电流为 2 毫安，供给负载 R_L 的电流为 100 微安。

当输入电压 V_i 的变化在 $\pm 10\%$ 以内，环境温度在 0°C 到 70°C 之间时，稳压电源的性能如表3-1和图3-11所示。这种电源的温度系数很小，但是稳压系数稍高。稳压系数稍高的主要

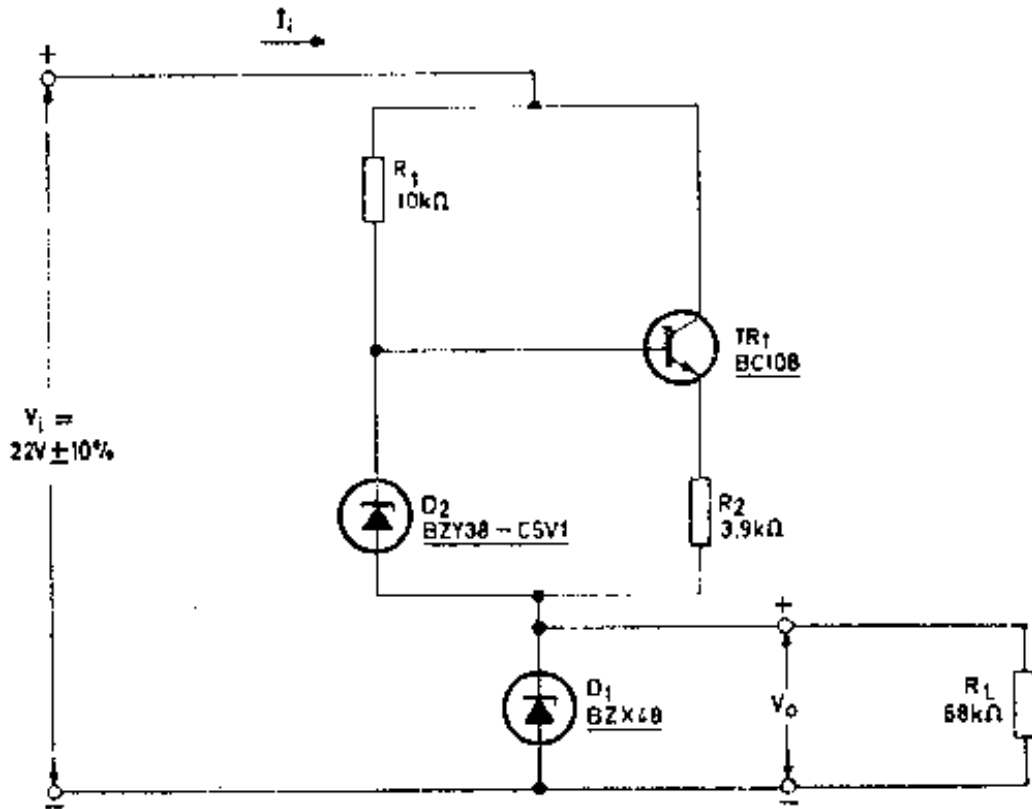


图 3-10 带有两端稳流电源的稳压管并联稳压器

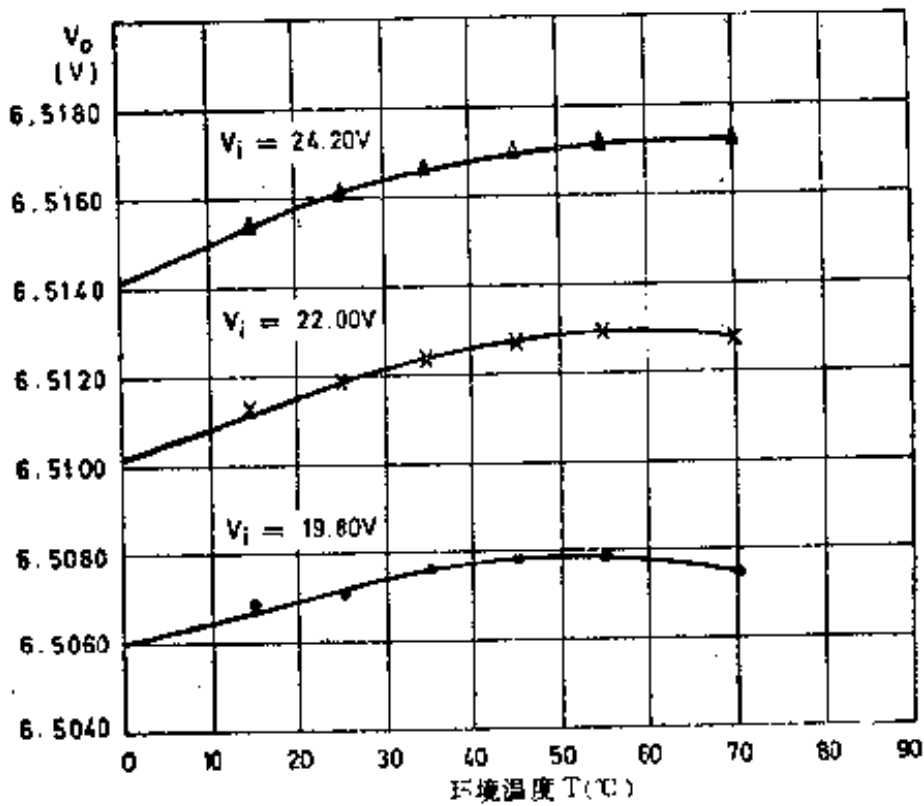


图 3-11 稳压器在三种不同的输入电压时输出电压与环境温度的关系

表3-1 带有两端稳流电源的并联稳压器中输出电压与输入电流的关系

环境温度 T ($^{\circ}\text{C}$)	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	1.888	6.5058	2.123	6.5102	2.358	6.5142
15	1.894	6.5068	2.128	6.5114	2.361	6.5154
25	1.888	6.5070	2.124	6.5119	2.358	6.5160
35	1.884	6.5074	2.118	6.5123	2.353	6.5165
45	1.880	6.5077	2.113	6.5127	2.345	6.5170
55	1.876	6.5078	2.108	6.5129	2.338	6.5172
70	1.874	6.5075	2.104	6.5128	2.334	6.5173

原因如下所述。图3-11中， R_1 的作用是保持稳压管 D_2 两端的电压不变。为此，通过 R_1 流入 D_2 的电流不应当随输入电压而变化。但是，实际上，当输入电压 V_i 变化 $\pm 10\%$ 时， R_1 不能保证流入 D_2 的电流不变，因此， D_2 的基准电压将随输入电压的变化而变化。这样，两端稳流电源的输出电流也将随输入电压的变化而变化，从而使稳压管 D_1 两端的输出电压发生变化。为了保证流过 D_1 的电流不变，与 D_2 串联的电阻 R_1 也可以由稳流电源代替。

二、互补型稳流电路

1. 基本工作原理

如果图3-9中电阻 R_2 用稳流电源代替，如图3-12所示，那么，稳流电源输出电流的稳定性就能大大提高。这种电路称为互补型稳流电路。

图3-12中，晶体管 TR_1 、稳压管 D_1 和电阻 R_1 供给稳压管 D_2 稳定的电流，而晶体管 TR_2 、稳压管 D_2 和电阻 R_2 则供给稳压管 D_1 稳定的电流。由于晶体管的基极电流远远小于它的集

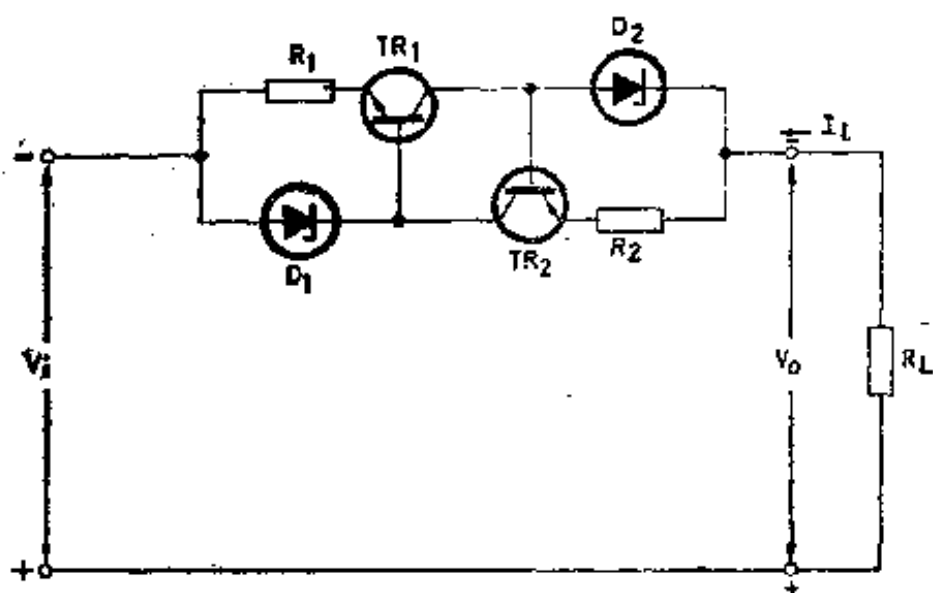


图 3-12 互补型稳流电路

电极电流，因此，晶体管的基极电流对稳压管两端的电压没有明显的影响。实际上，稳压管两端电压的任何变化都会使晶体管的基-射极电压发生变化，晶体管的集电极电流也将发生变化。如果电路设计得当的话，晶体管集电极电流的变化就能够很好地补偿稳压管电压的变化。因此，互补型稳流电源具有很高的输出电流稳定性。与上述最基本的两端稳流电源一样，互补型稳流电源也应当与负载串联。这种互补型稳流电源所需的最小输入电压应等于稳压管 D_1 、 D_2 的基准电压与晶体管的集-射极电压之和，晶体管的集-射极电压应能保证晶体管工作，并且具有足够的增益。

稳流电源的总负载电流为两只晶体管的发射极电流之和。因此，在对称的条件下，即 $R_1 = R_2 = R_E$ ， $V_{z1} = V_{z2} = V_z$ 时，可以得出下式：

$$I_L = \frac{2(V_z - V_{BE})}{R_E} \quad (3-24)$$

2. 应用实例

带有互补型稳流电源的并联稳压器如图3-13所示。对于图3-13给定的元件型号和参数来说，互补型稳流电源两端的最低电压接近于12伏。如果 D_1 采用6.5伏的稳压管，那么，最低输入电压 V_i 应为18.5伏。

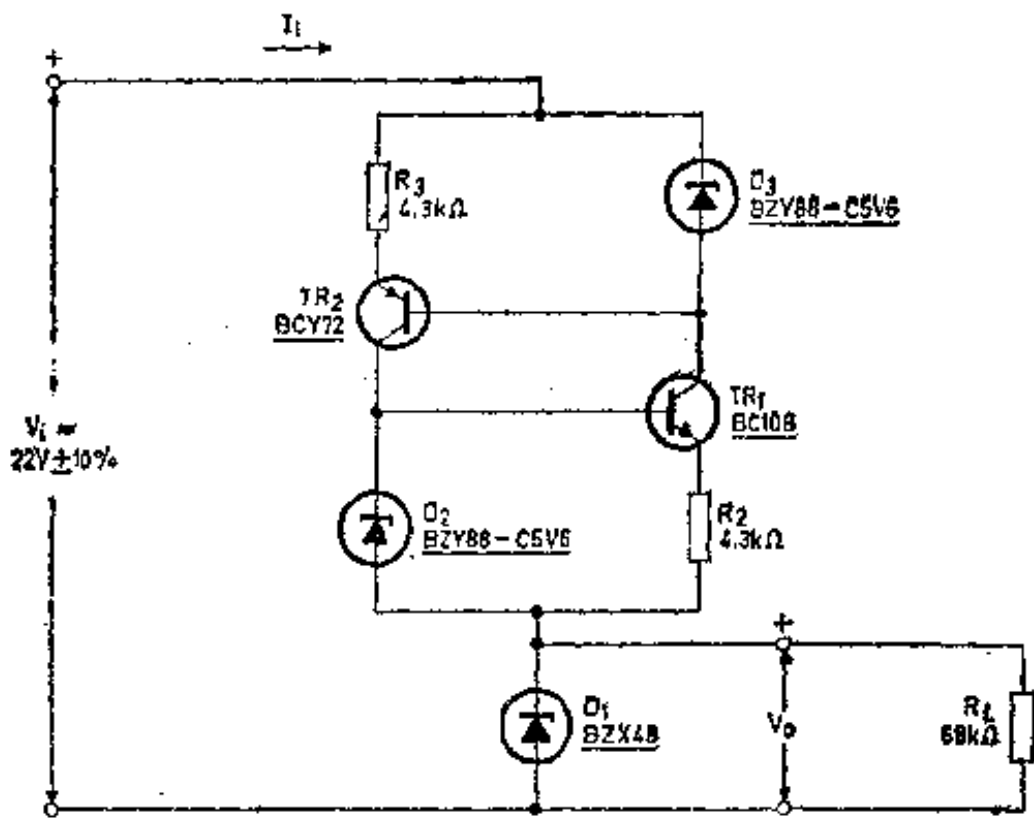


图 3-13 带有互补型稳流电源的并联稳压器

稳压器的最高输入电压取决于晶体管的集-射极电压额定值。 TR_1 和 TR_2 分别采用BC108型和BCY72型晶体管。其中，BC108型晶体管集-射极电压额定值较低（20伏）。如果允许负载短路，那么，稳压器的最高允许输入电压应是稳流电源两端的最高允许电压。由于BZY88-C5V6型稳压管的基准电压为5.6伏，因此稳压器的最高允许输入电压约为30伏。如果所用晶体管的额定集-射极电压较高，稳流电源两端的最高允许

电压可以升高，从而稳压器的最高允许输入电压也可相应升高。例如，若 TR_1 采用BCY71型晶体管， TR_2 采用BC107型晶体管，那么，稳压器的最高输入电压可以达到55伏。

当输入电压变化 $\pm 10\%$ ，环境温度为 0°C 到 70°C 时，图3-13所示稳压器的性能如表3-2和图3-14所示。输入电压变化 $\pm 10\%$ 时，稳流电源输出电流的变化接近于5微安。如果环境

表 3-2 带有互补型稳流电源的稳压器中输出电压与输入电流的关系

环境温度 T ($^\circ\text{C}$)	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	2.113	6.5100	2.115	6.5100	2.117	6.5100
15	2.125	6.5133	2.126	6.5113	2.127	6.5113
25	2.132	6.5120	2.132	6.5120	2.132	6.5120
35	2.139	6.5125	2.140	6.5125	2.141	6.5125
45	2.143	6.5130	2.145	6.5130	2.147	6.5130
55	2.150	6.5134	2.151	6.5134	2.153	6.5134
70	2.158	6.5147	2.160	6.5147	2.162	6.5147

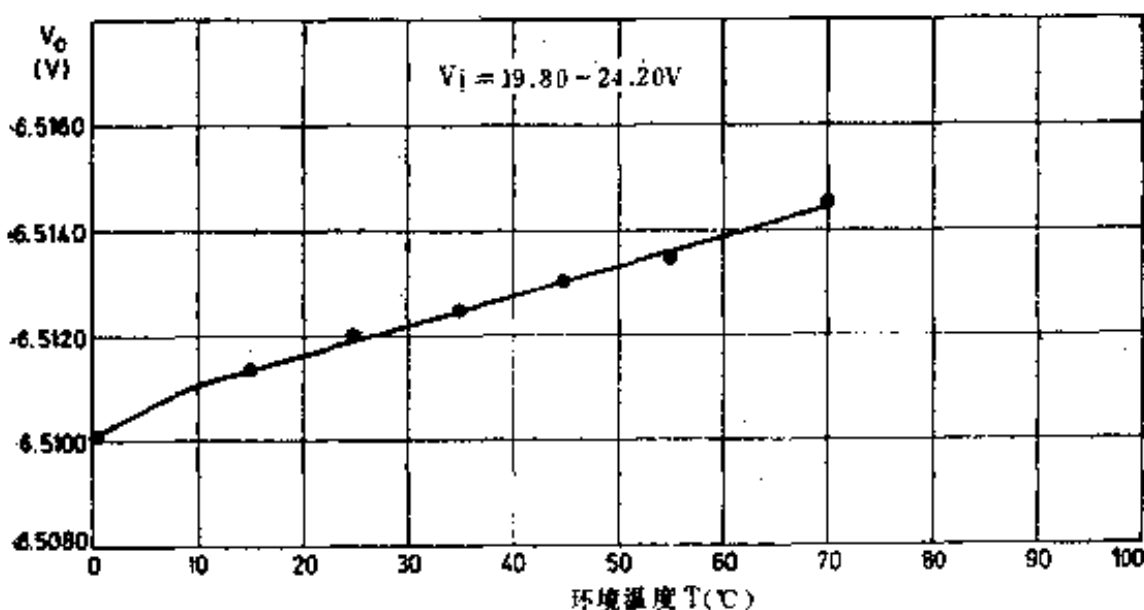


图 3-14 当输入电压为三个不同数值时，带有互补型稳流电源的稳压器输出电压与环境温度的关系

温度和输入电压同时在规定范围内变化，稳流电源输出电流的总变化低于50微安。

因负载电流 I_L 变化而引起的稳压管并联稳压器输出电压 V_o 的变化如表3-3和图3-15所示。当输入电压 V_i 为22伏，环境温度 T_{amb} 为 25°C 时，输入电流 I_i 为2.132毫安。负载电流 I_L 从10微安变化到200微安时，输出电压 V_o 的总变化只有3.6毫伏。然而，在实际应用中，稳压器负载电流 I_L 的变化不高于 ± 10 微安，这样，稳压器输出电压 V_o 的变化将小于500微伏。如果负

表 3-3 带有互补型稳流电源的稳压器中负载电流与输出电压的关系

I_L (μA)	10	25	50	75	95	100	125	150	175	200
R_L ($\text{k}\Omega$)	647	260	130	86.5	68	65.3	51.8	43.2	37	23.23
V_o (V)	6.5134	6.5132	6.5128	6.5123	6.5120	6.5118	6.5114	6.5108	6.5104	6.5098

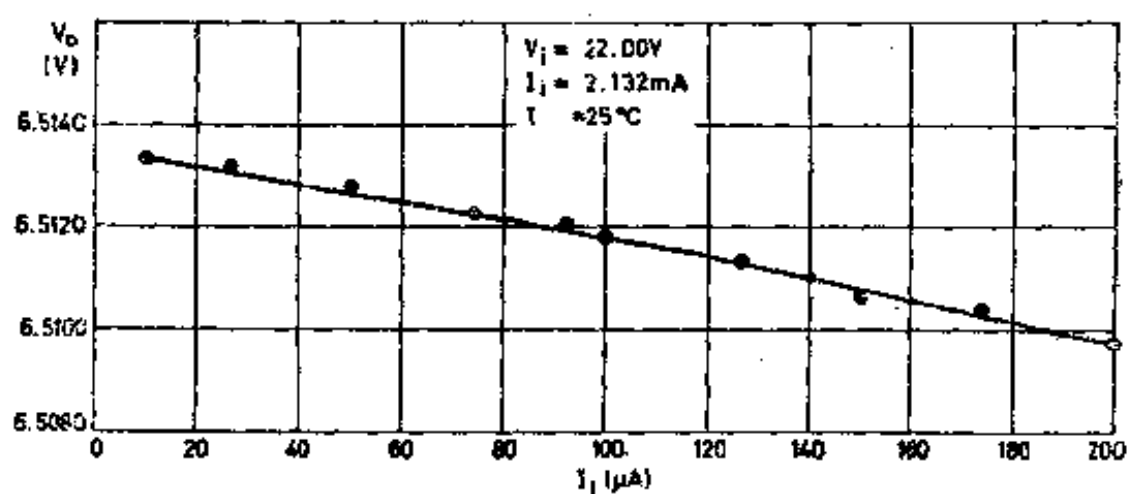


图 3-15 带有互补型稳流电源的稳压器输出电压与负载电流的关系曲线

载电流 I_L 的变化低于 ± 1 微安，那么，稳压器输出电压 V_o 的变化将低于50微伏。

三、双互补型稳流电路

在上述互补型稳流电路（图3-12）中，用晶体管 TR_3 和

TR_4 分别代替稳压管 D_1 和 D_2 ，就构成双互补型稳流电路，如图3-16所示。

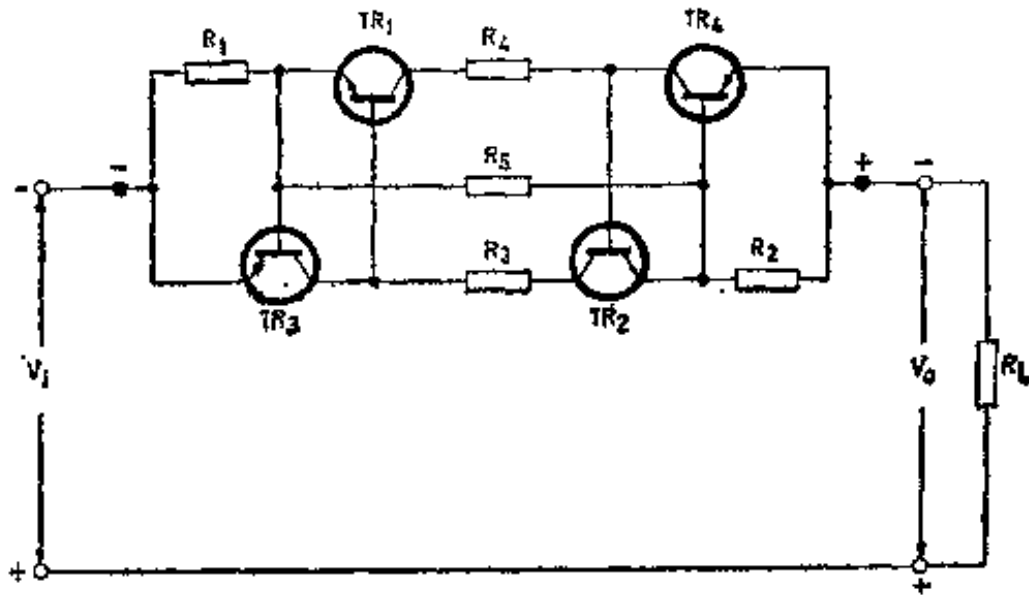


图 3-16 双互补型稳流电路

晶体管 TR_1 、 TR_3 、定流电阻 R_1 和偏置电阻 R_3 组成双互补型稳流电路的一半，晶体管 TR_2 、 TR_4 、定流电阻 R_2 和偏置电阻 R_4 组成双互补型稳流电路的另一半。每一半都可作为一个稳流电路。这种稳流电源的启动电流是由非常小的晶体管漏电流供给的。 R_5 用来旁路 TR_1 和 TR_2 ，使流过晶体管的电流只是负载电流的一部分。

第三节 反馈式稳流电源与 反馈式稳流/稳压电源

一、反馈式稳流电源

反馈式稳流电源如图3-17所示。基本原理是通过反馈作用，使加到比较放大器的两个输入电压保持相等，从而保持输

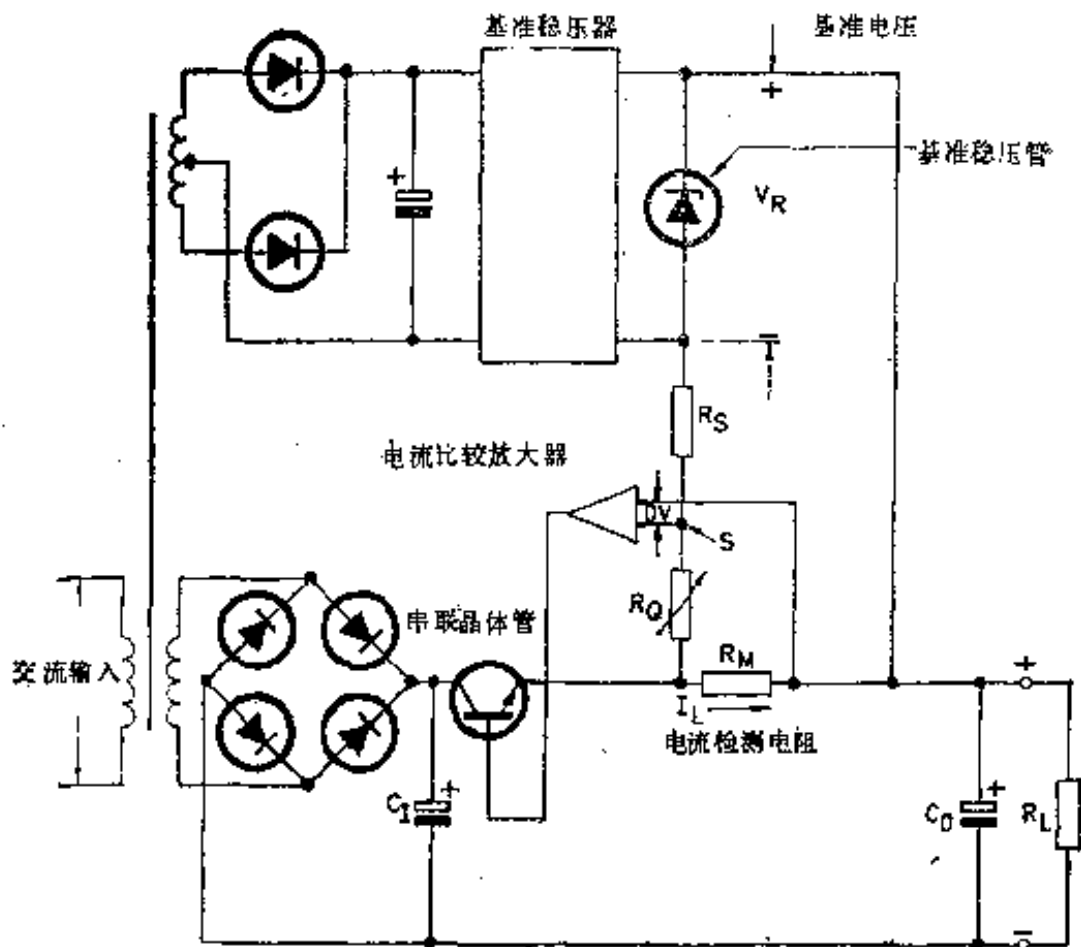


图 3-17 反馈式稳流电源

出电流不变。从图中可以看出，比较放大器的一个输入电压是电阻 R_0 两端的压降，另一个是负载电流 I_L 在电流检测电阻 R_M 上产生的压降 $I_L R_M$ 。如果比较放大器的两个输入电压暂时不等，其差值被比较放大器放大后，加到串联晶体管的基-射极之间，改变串联晶体管的集-射极电压，从而改变 I_L 和 R_M 两端的压降，一直到比较放大器的两个输入电压之差为零。

人工调整 R_0 的阻值，或者由于外部干扰引起输出电流瞬时变化时，比较放大器的两个输入电压可能产生暂时的不相等。但是，无论是什么原因引起的不相等，都能通过反馈作用增加或减小负载电流而得到补偿，使负载电流基本上保持不变。

二、反馈式稳流/稳压电源

反馈式稳流电源与反馈式稳压电源的基本原理是类似的，并且都是由串联调整元件、比较放大器、取样电路和基准电源组成的，因此，可以将稳流电源和稳压电源组合在一起成为稳流/稳压电源，如图 3-18 所示。在这种组合电源中，绝大多数价格较贵的大功率元件，对于稳流电源和稳压电源来说都是公用的，因此，只要在图 3-17 所示的稳流电源中增加一些小功率元件，就可以制成稳流/稳压电源。通常，实验室电源都采用

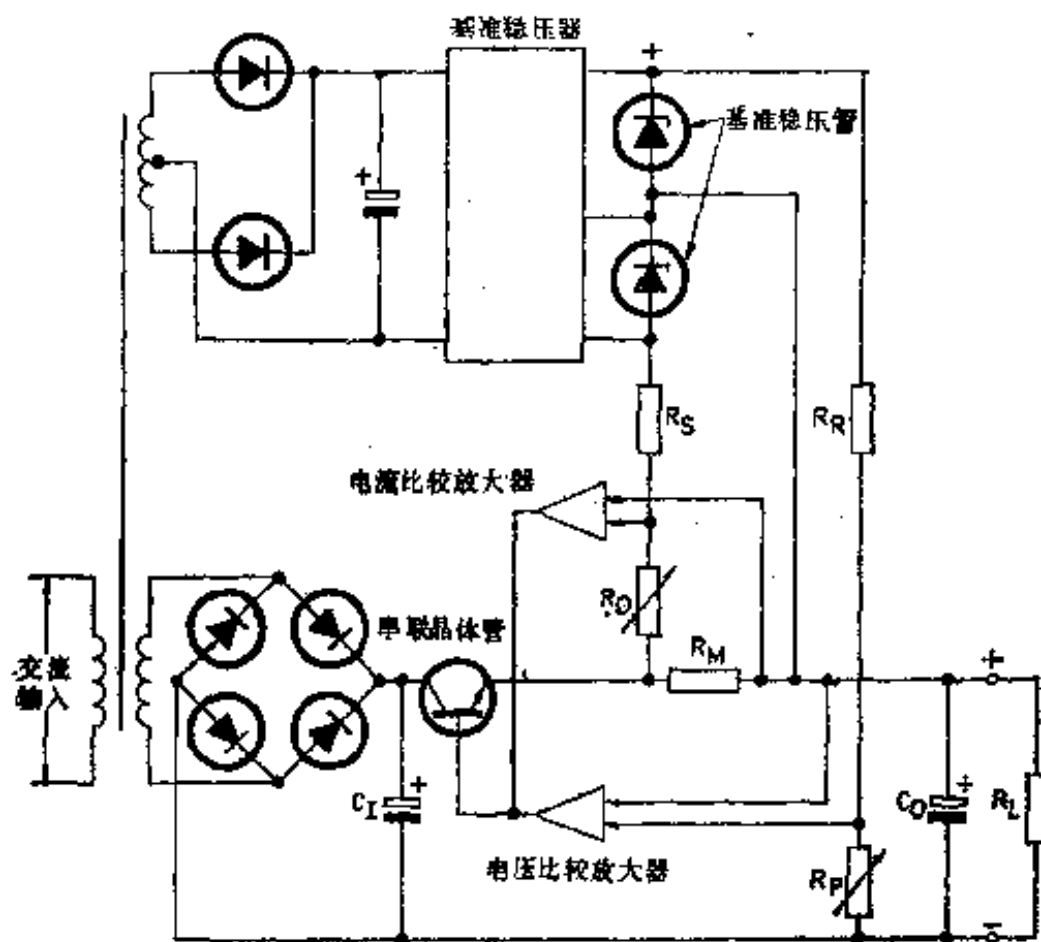


图 3-18 稳流/稳压电源

这种稳流/稳压电源。

稳流/稳压电源中，有两个比较放大器。一个用来控制输

出电压，称为电压比较放大器。另一个用来控制输出电流，称为电流比较放大器。由于电压比较放大器将使输出阻抗接近于零，这样，当负载电阻变化时，输出电流将发生变化。由于电流比较放大器将使输出阻抗接近于无穷大，这样，当负载电阻变化时，输出电压将发生变化。非常明显，这两个比较放大器是不能同时工作的。因此，对于任意给定的负载电阻来说，组合电源或者作稳流电源，或者作稳压电源，不可能同时既稳压又稳流。在工作过程中，当负载电阻等于由 R_F 调定的输出电压与由 R_O 调定的输出电流之比时，通过适当的去耦电路，稳流与稳压的工作状态能够自动转换。

稳流/稳压电源的输出特性曲线如图 3-19 所示。当输出端

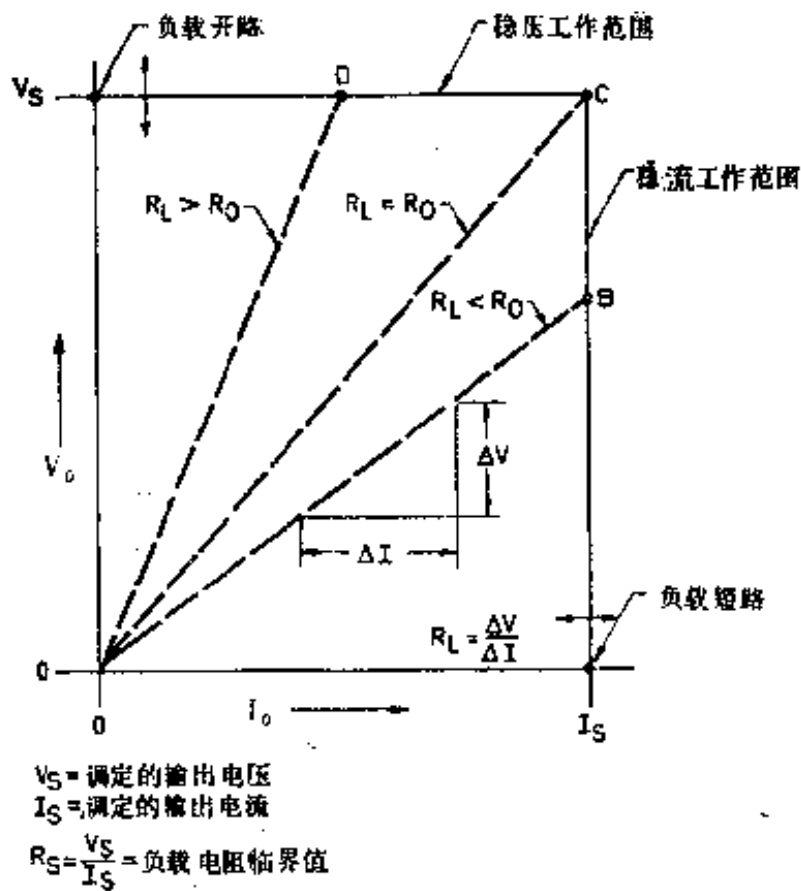


图 3-19 稳流/稳压电源的输出特性曲线

未接负载 ($R_L = \infty$) 时, 输出电流 I_o 等于零, 输出电压 V_o 等于由 R_P 调定的输出电压 V_s 。当负载电阻接入到输出端时, 输出电流 I_o 增加, 输出电压 V_o 保持不变。图中, D 点为典型的稳压工作点。负载电阻逐步减小时, 输出电压 V_o 基本上保持不变, 而负载电流 I_o 则逐步增加, 一直增加到由 R_o 调定的输出电流 I_s 。在这一点 (图中的 C 点), 电源自动转换工作状态, 由稳压电源变为稳流电源。负载电阻值继续减小, 输出电流 I_o 基本上保持不变, 而输出电压 V_o 则不断降低。因此, 图中的 B 点为典型的稳流工作点。最后, 当电源输出端短路时, 输出电流 I_o 仍等于 I_s , 输出电压 V_o 下降到零。

当电源的负载由短路逐步变化到开路时, 电源工作点的变化与上述方向恰好相反。

在图3-19中, 从坐标原点到任意工作点都可以连成一条直线。这条直线的斜率即表示负载电阻。其中, 直线 OC 的斜率用 R_o 表示。从图3-19可以看出, $R_o = \frac{V_s}{I_s}$ 。 R_o 的阻值通常称为负载电阻的临界值。当负载电阻 R_L 大于 R_o 时, 电源工作于稳压状态。当负载电阻 R_L 小于 R_o 时, 电源工作于稳流状态。