



模拟电路基础（下）

直流稳压电源

8.4 串联型直流稳压电源



► 基准源电路

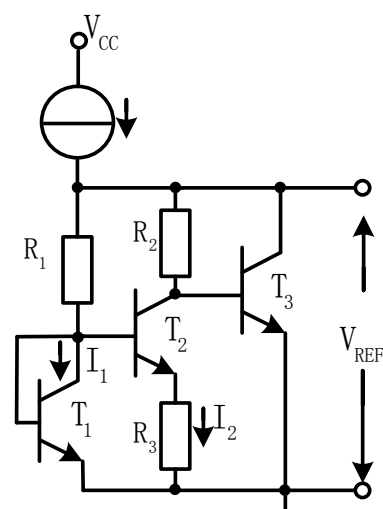
T_1 、 T_2 和 R_3 构成微电流源电路

$$I_2 = \frac{V_T}{R_3} \ln\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$$

忽略T3管基极电流，则输出基准电压为

$$V_{REF} \approx I_2 R_2 + V_{BE(on)3} = V_T \frac{R_2}{R_3} \ln\left(\frac{I_1}{I_2}\right) + V_{BE(on)3}$$

$V_T = kT/q$ 为发射结热电压，具有正温度系数，而 $V_{BE(on)}$ 具有负温度系数，因而，选择合适的电阻比值 R_2/R_3 ，就可使 V_{REF} 的温系数几乎为零。



带隙基准电压源电路

8.4 串联型直流稳压电源

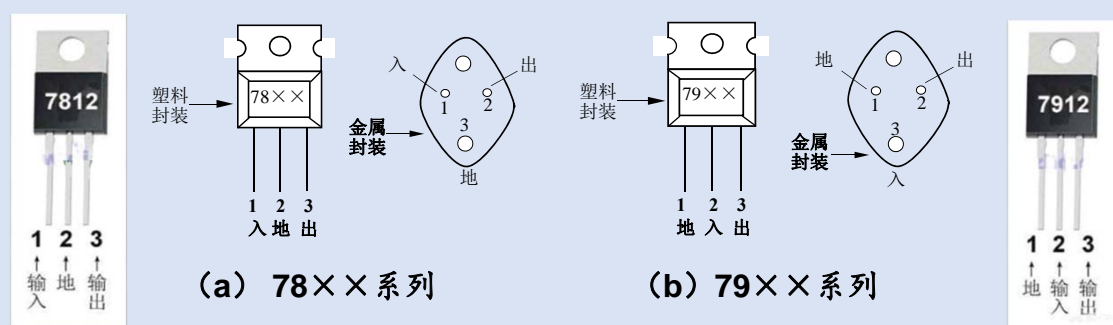
3



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

集成稳压源与应用

集成稳压器电路是利用半导体集成技术把基准电压、反馈网络（或取样网络）、比较放大电路、调整环节以及其它辅助电路集成在一小块硅片上而构成的。典型是固定输出的7800系列和7900系列和可调整的LM317。



8.4 串联型直流稳压电源

4

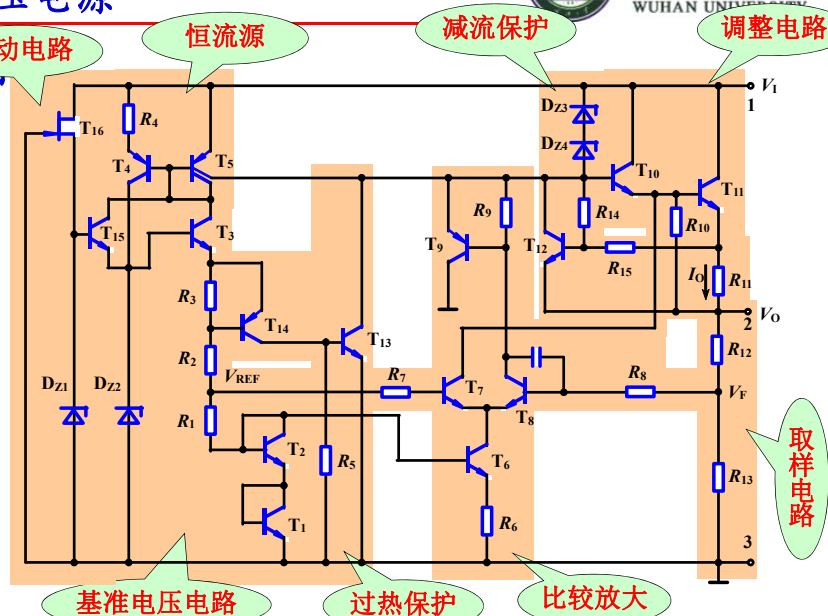


武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

集成稳压源与应用

输入电压 V_I 接通后，一些电流源难以自行导通，以致使输出电压 V_O 较难建立。须用启动电路给构成电流源的 T_4 、 T_5 管提供基极电流。

$V_I > V_{Z1} \rightarrow T_{16} \sqrt{T_{15}} \rightarrow V_{B3} \uparrow \rightarrow T_3 \sqrt{T_2}, T_1 \sqrt{T_1} \rightarrow V_{Z2} \uparrow \rightarrow V_{Z2} = V_{Z1} \rightarrow T_{15} \times$



8.4 串联型直流稳压电源

5



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

集成稳压源与应用

$$V_{REF} = \frac{V_{Z2} - 3V_{BE}}{R_1 + R_2 + R_3} R_1 + 2V_{BE}$$

D_{Z2} 正温度系数, T_3 、 T_2

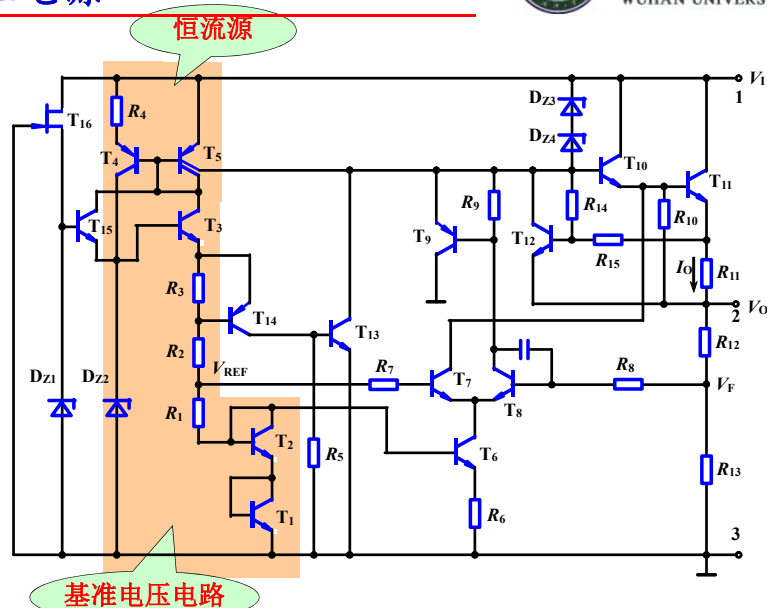
、 T_1 负温度系数, V_{REF}

基本不随温度而变化

D_{Z2} 采用电流源供电



V_{REF} 不受 V_i 波动的影响



8.4 串联型直流稳压电源

6



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

集成稳压源与应用

T_9 、 R_9 组成缓冲电路, 减小 I_{C8} 波动, 以保证差分管 T_8 工作在线性区域。

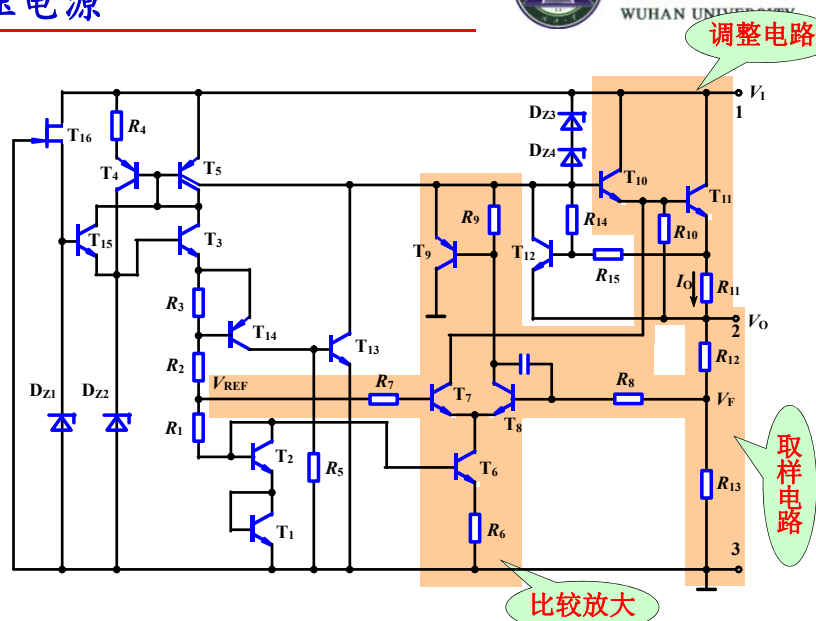
不接 T_9 、 R_9 , $I_{C5} = I_{C8} + I_{B10}$

$$I_{C8} = I_{C5} - I_{B10}$$

接入 T_9 、 R_9 , $> 0.6V$

$I_O \downarrow \rightarrow I_{B10} \downarrow \rightarrow I_{C8} \uparrow \rightarrow V_{R9} \uparrow$

$\rightarrow T_9 \downarrow$



8.4 串联型直流稳压电源

7



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

集成稳压源与应用

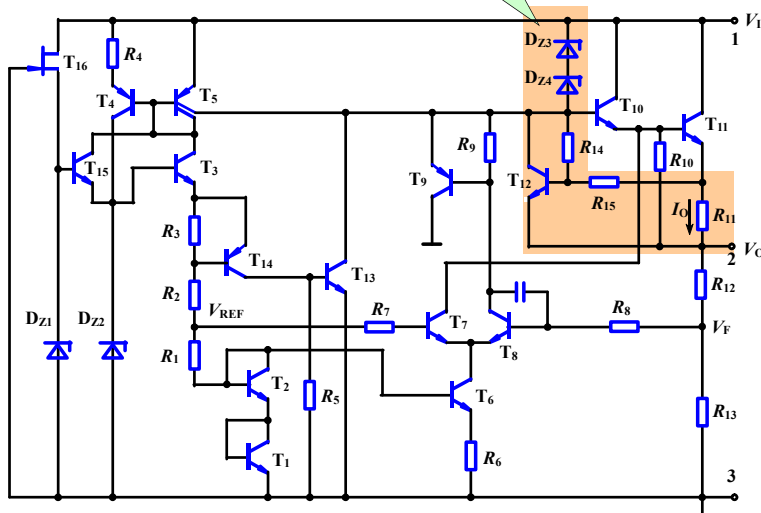
R_{11} : 检流电阻, 保证调整管 T_{11} 的功耗不超过 P_{CM} 。

$$(V_I - I_O R_{11} - V_O) > (V_{Z3} + V_{Z4})$$

→ D_{Z3} 、 D_{Z4} 管击穿。

$$V_{BE12} = I_O R_{11} + \frac{V_I - V_{Z3} - V_{Z4} - I_O R_{11} - V_O}{R_{14} + R_{15}} R_{15}$$

电流增大导致 T_{12} 导通, 分流 I_{B10} , 保护调整管



8.4 串联型直流稳压电源

8



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

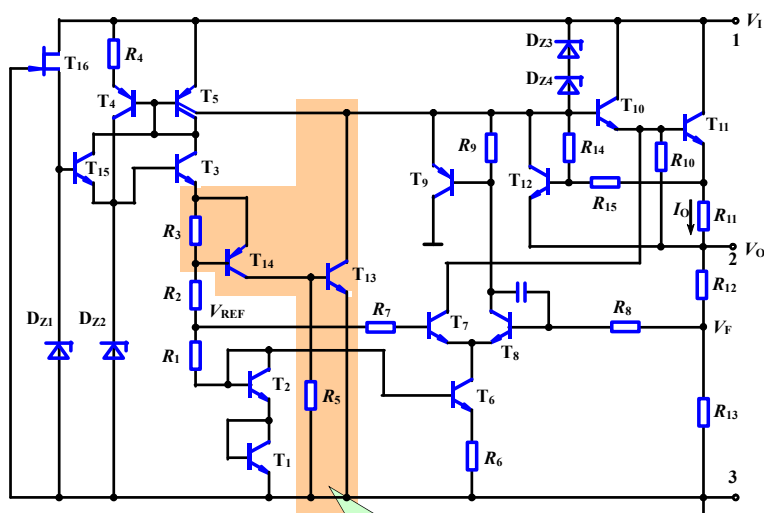
集成稳压源与应用

常温下: $V_{R3} \approx 0.4V \rightarrow T_{14} \times, T_{13} \times$

$$T \uparrow \rightarrow \begin{cases} V_{Z2} \uparrow \rightarrow V_{R3} \uparrow \\ V_{BE14} \downarrow \end{cases}$$

→ $T_{14} \downarrow, T_{13} \downarrow$

→ $I_{B10} \downarrow \rightarrow I_O \downarrow$



8.4 串联型直流稳压电源

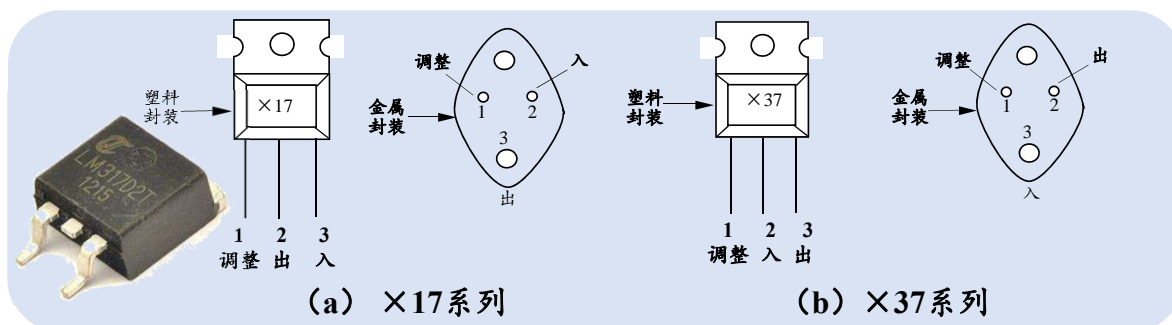
9



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

► 集成稳压源与应用

三端可调式稳压器是在三端固定式稳压器基础上发展起来的一种性能更为优异的集成稳压组件。除具备固定式稳压器的优点外，它可用少量的外接元件，实现大范围的输出电压连续可调（1.2~37V），应用更为灵活。



8.4 串联型直流稳压电源

10



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

► 集成稳压源与应用

输出电压

$$V_O = V_{REF} + I_2 R_2$$

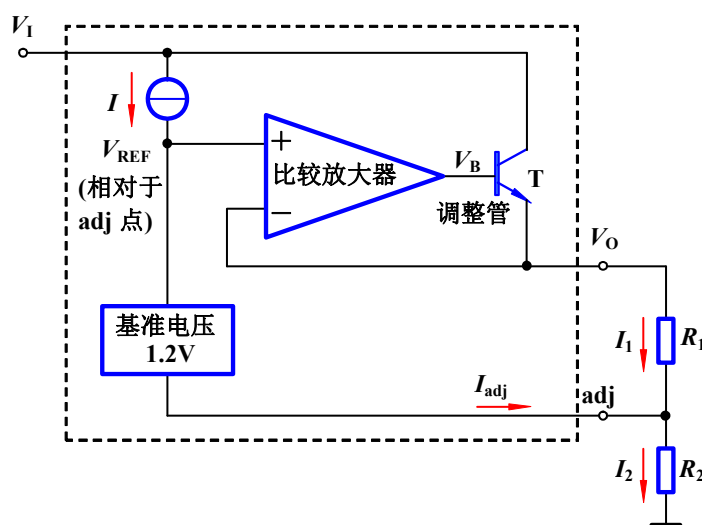
$$= V_{REF} + (I_1 + I_{adj}) R_2$$

由于 $I_{adj} \ll I_1$ 所以

$$V_O \approx V_{REF} + I_1 R_2$$

$$= V_{REF} + \frac{V_{REF}}{R_1} \cdot R_2$$

$$= V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$



三端可调式稳压器的组成原理框图

8.4 串联型直流稳压电源

11



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 集成稳压源与应用

类 型			三端固定	三端可调
参 数	符 号	单 位	正压78×× 负压79××	正压LM317 负压LM337
输入电压	V_I	V	$\pm(8\sim40)$	$\pm(3\sim40)$
输出电压	V_O	V	$\pm(5\sim24)$	$\pm(1.2\sim37)$
最小（输入—输出） 电压差	$(V_I - V_O) \min$	V	$\pm(2.0\sim2.5)$	1.2~22

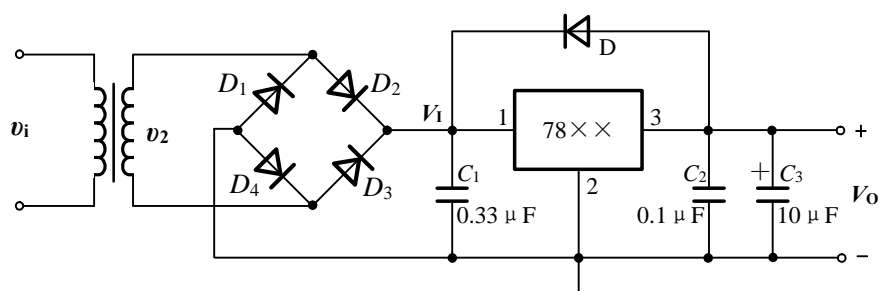
8.4 串联型直流稳压电源

12



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 集成稳压源与应用



C_1 ：抵消因输入端接线较长时的电感效应，防止自激振荡，并抑制高频干扰。

C_2 ：减小因负载电流瞬变引起的高频干扰。

C_3 ：进一步减小输出脉动和低频干扰。

D：保护调整管， C_2C_3 电压不通过调整管放电

8.4 串联型直流稳压电源

13



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

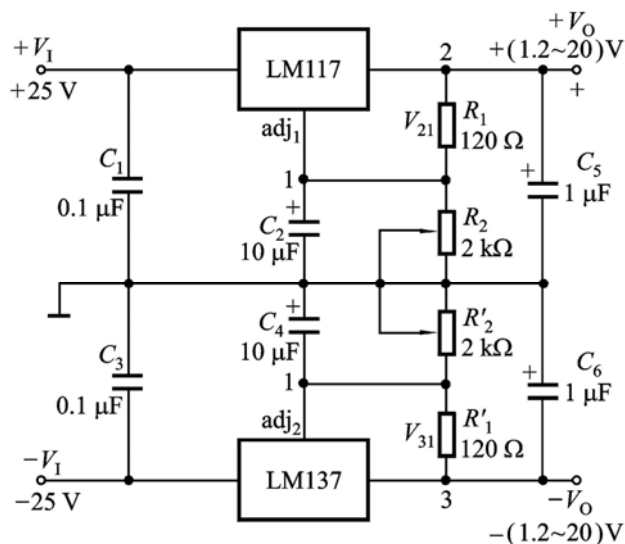
集成稳压源与应用

$$V_{\text{REF}} = V_{21} (\text{或 } V_{31}) = 1.2\text{V}$$

$$R_1 = R'_1 = 120\Omega \quad R_2 = R'_2 = 2\text{k}\Omega$$

$$V_1: \pm 25\text{V} \rightarrow V_O: \pm (1.2 \sim 20)\text{V}$$

改变 R_2 、 R'_2 的大小，可以
改变输出电压的可调范围。



8.4 串联型直流稳压电源

14



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

集成稳压源与应用（扩流）

为使负载电流大于三端稳压器的输出电流，可采用射极输出器进行电流放大。

$$I_L = (1 + \beta)(I_O - I_R)$$

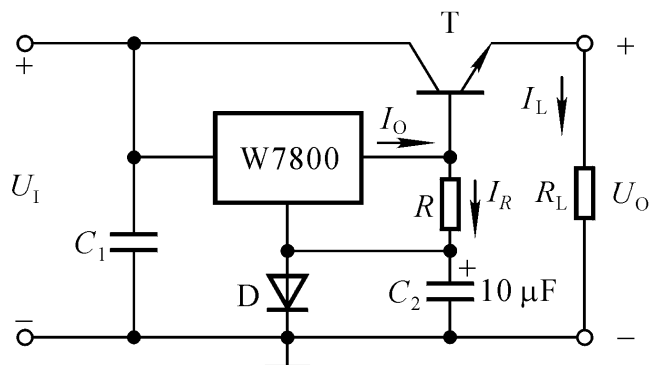
很小

$$U_O = U'_O + U_D - U_{\text{BE}}$$

三端稳压器的输出电压

二极管的作用：消除 U_{BE} 对 U_O 的影响。

$$\text{若 } U_{\text{BE}} = U_D, \text{ 则 } U_O = U'_O$$



8.4 串联型直流稳压电源

15



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

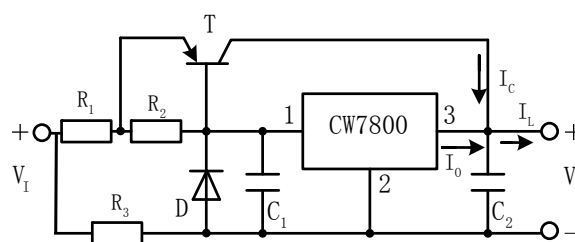
➤ 集成稳压源与应用（扩流）

为使负载电流大于三端稳压器的输出电流，可采用射极输出器进行电流放大。

I_o 较小时，T管不工作；

I_o 增大后， R_2 压降增大使T管导通

I_o 进一步增大，二极管D导通，限制T管电流



8.4 串联型直流稳压电源

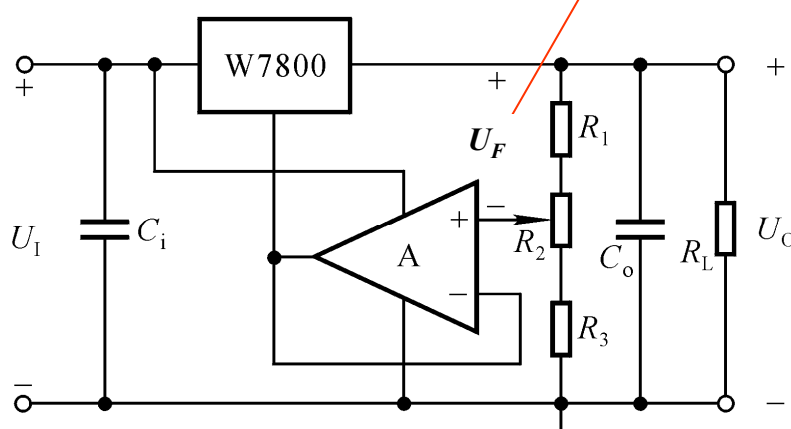
16



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 集成稳压源与应用（扩压）

基准电压



以7805为例，A为电压跟随器，同相端电压即为输出电压，与输出正极电压差为5V。

$$U_o - U_F = 5V$$

$$U_F = \frac{R_3 + R_x}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot U_o$$

$$U_o \leq \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1 + R_2 - R_x} \cdot 5$$

8.4 串联型直流稳压电源

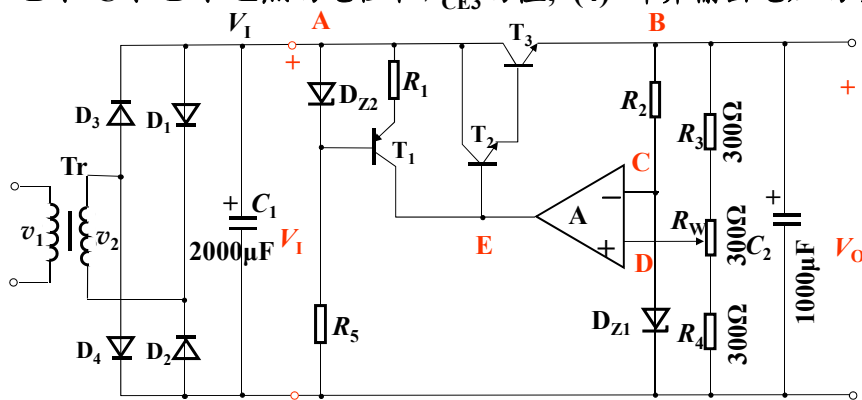
17



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

► 集成稳压源与应用

(1) 设 T_2 、 T_3 的连接是正确的，改正图中的错误；(2) 设变压器副边电压的有效值 $V_2=20V$ ，求 $V_I=?$ 说明电路中 T_1 、 R_1 、 D_{Z2} 的作用；(3) 当 $V_{Z1}=6V$ ， $V_{BE}=0.7V$ ，电位器 R_W 在中间位置，试计算A、B、C、D、E点的电位和 V_{CE3} 的值；(4) 计算输出电压的调节范围。



8.4 串联型直流稳压电源

18

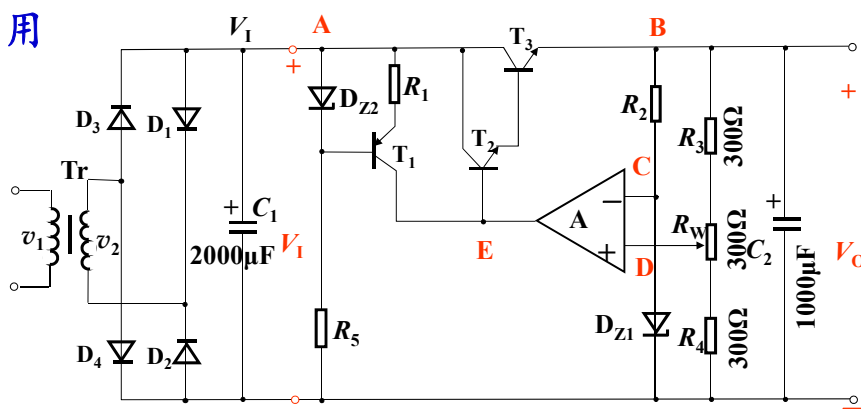


武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

► 集成稳压源与应用

【解】

(1) 二极管 D_1 、 D_4 的极性接反；稳压管 D_{Z1} 、 D_{Z2} 的极性接反；运放A的同相与反相端接反，不能构成负反馈。



(2) V_I 为桥式整流+电容滤波输出电压，故 $V_I=1.2V_2=1.2 \times 20=24V$

D_{Z2} 、 R_1 、 T_1 为启动电路。当该电路启动后， T_2 、 T_3 有直流偏置，才能稳定输出。

(3) $V_A=V_I=1.2V_2=1.2 \times 20=24V$ 。

8.4 串联型直流稳压电源

19



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

► 集成稳压源与应用

$$V_{Z1} = \frac{R_4 + \frac{1}{2}R_W}{R_3 + R_4 + R_W} V_B$$

$$\longrightarrow V_B = 12V$$

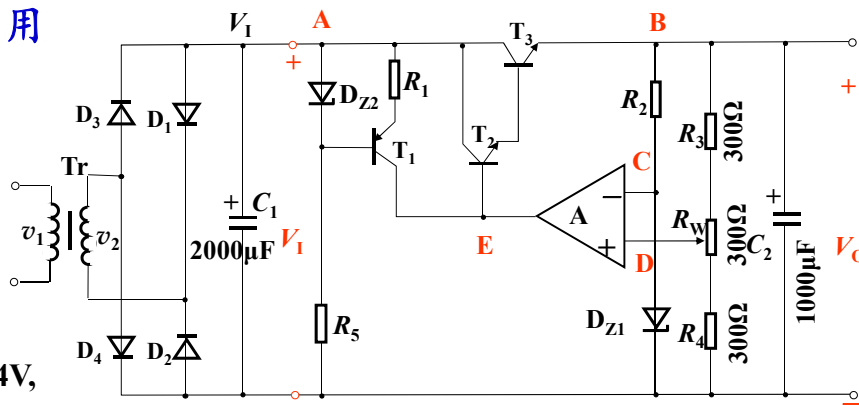
$$V_C = V_D = V_{Z1} = 6V$$

$$V_E = V_B + 2V_{BE} = 12 + 1.4 = 13.4V,$$

$$V_{CE3} = V_A - V_B = 24 - 12 = 6V$$

$$(4) \quad V_{Omax} = \frac{R_3 + R_4 + R_W}{R_4} V_{Z1} = 3V_{Z1} = 18V$$

$$V_{Omin} = \frac{R_3 + R_4 + R_W}{R_4 + R_W} V_{Z1} = 1.5V_{Z1} = 9V$$



8.5 开关型稳压电源

20



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

► 概述

线性稳压电源的缺点：调整管工作在线性放大区， V_{CE} 较大，大电流时功耗大，效率低（20%~49%）；需加散热器，因而设备体积大，笨重，成本高。

如何改进？

改变调整管的工作区，截止区（ V_{CE} 大， $I_C=0$ ）、饱和区（ V_{CE} 小， I_C 大），即工作在“开”“关”状态，开关型稳压电源因此得名。

8.5 开关型稳压电源

21



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 工作原理与结构

将交流电经变压器、整流滤波得到直流电压



控制调整管按一定频率开关，得到矩形波



滤波，得到直流电压

引入负反馈，控制占空比，使输出电压稳定。

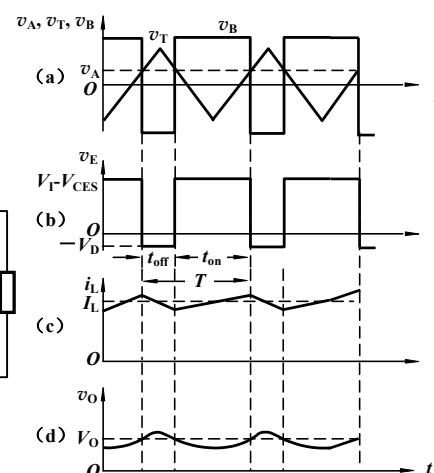
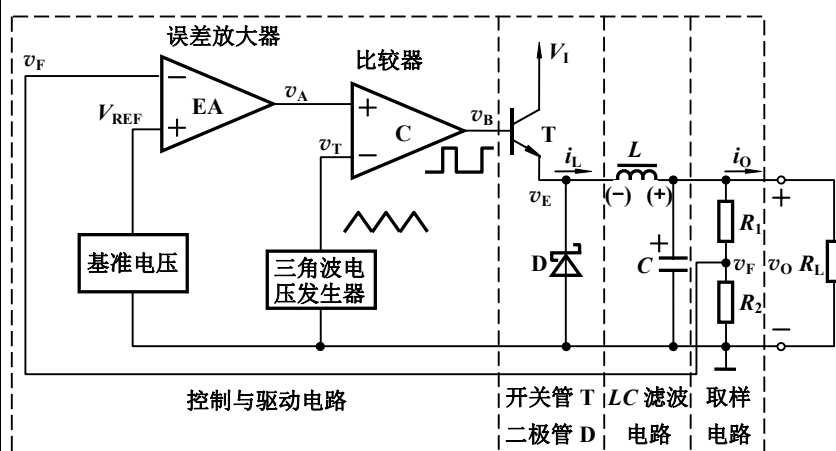
8.5 开关型稳压电源

22



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 工作原理与结构



8.5 开关型稳压电源

23

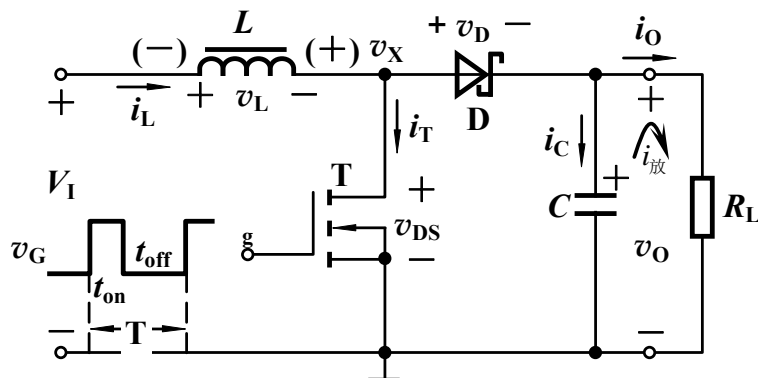


武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

► 工作原理与结构

当控制电压 v_G 为高电平 (t_{on} 期间) 时, T饱和导通, 输入电压 V_I 直接加到 L 两端, 电感储存能量。

二极管D截止, 电容 C 向负载提供电流 $i_{放}$



当 v_G 为低电平 (t_{off} 期间) 时, T截止, i_L 不能突变。 L 产生反电势 v_L 为左负 (一) 右正 (+)

若 $V_I + v_L > V_O$, 则D导通, $V_I + v_L$ 给负载提供电流 i_O 。显然 $V_O > V_I$, 所以电路称为升压型开关稳压电路

第8章 直流稳压电源

24



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

知识点掌握要求

- 了解直流稳压源的基本组成与主要技术指标
- 熟练掌握桥式整流、电容滤波电路的工作原理及整流滤波元件的选取
- 了解C型滤波、倒L型滤波的特点及应用场合
- 熟练掌握串联型稳压电路的组成、工作原理及分析方法
- 掌握三端集成稳压器电路的组成及应用
- 了解开关型稳压电路的工作原理

课后作业

25



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

8. 1

8. 2

8. 6

8. 10

8. 11

8. 12

8. 13

8. 17*