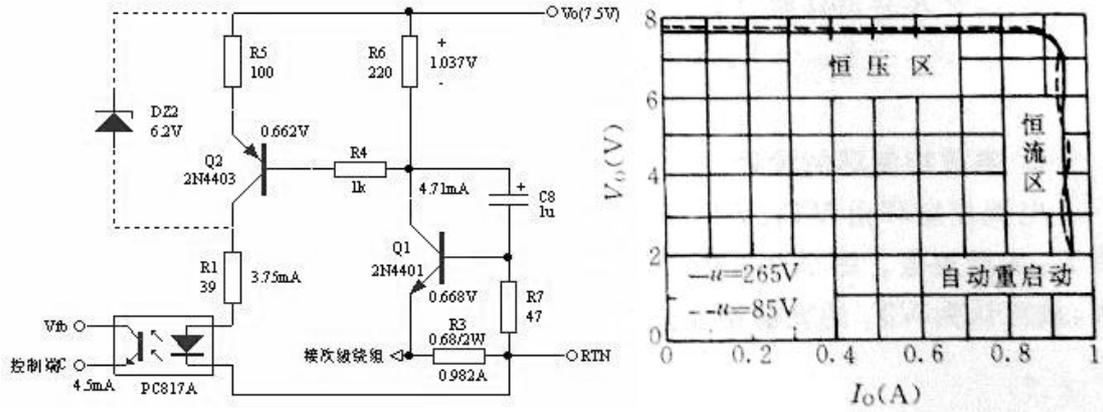


## 开关电源的特殊输出方式

开关电源一般为恒压输出方式，是通过输出电压取样，经过反馈控制，达到保持输出电压稳定的目的。但在一些特殊应用场合，还需要其他一些输出方式。

一、恒压/恒流输出式：适用于电池充电器和特种电机驱动器，有电压控制和电流控制两个控制环路。当输出电流较小时电压环路起作用，相当于恒压源；当输出电流接近或达到额定值时电流环路起作用，相当于恒流源。

### 1. 恒压/恒流输出式开关电源的控制电路设计：



如图控制电路，即可工作于 7.5V 稳压状态，又能在 1A 的受控电流下工作，当环境温度范围是 0~50℃ 时恒流准确度约为 8%，输出特性如图。

恒压源的输出电压： $V_O = V_{Z2} + V_F + V_{R1} = V_{Z2} + V_F + I_{R1} \cdot R_1$

$$\text{求得： } I_{R1} = \frac{I_C}{CTR}$$

$$\text{恒流源的电流值： } I_{OH} = \frac{V_{BE1}}{R_3}$$

$$\text{估算三极管压降： } V_{BE1} = \frac{kT}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_{C1}}{I_S}\right) \quad V_{BE2} = \frac{kT}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_{C2}}{I_S}\right)$$

其中：k 为玻尔兹曼常数，T 为环境温度（绝对温度），q 为电子电量，25℃（298K）时  $kT/q=0.0262V$

$I_{C1}$  和  $I_{C2}$  分别为三极管的集电极电流， $I_S$  为晶体管的反向饱和电流，对小功率管  $I_S=0.04\mu A$   
三极管的发射结电压的温度系数为  $a_t=-2.1mV/^\circ C$ ，当环境温度升高 25℃ 时：

$$I'_{OH} = \frac{V_{BE1} - a_t \cdot \Delta T}{R_3}$$

$$\text{恒流准确度： } \gamma = \frac{I'_{OH} - I_{OH}}{I_{OH}}$$

反馈电源的特殊设计：因为恒流模式下  $V_O$  和  $V_{fb}$  都迅速降低，为使恒流源能正常工作， $V_{fb}$  要适当提高，

$$V_{fb} = (V_O + V_{f2} + I_O R_3) \cdot \frac{N_f}{N_s} - V_{f3}$$

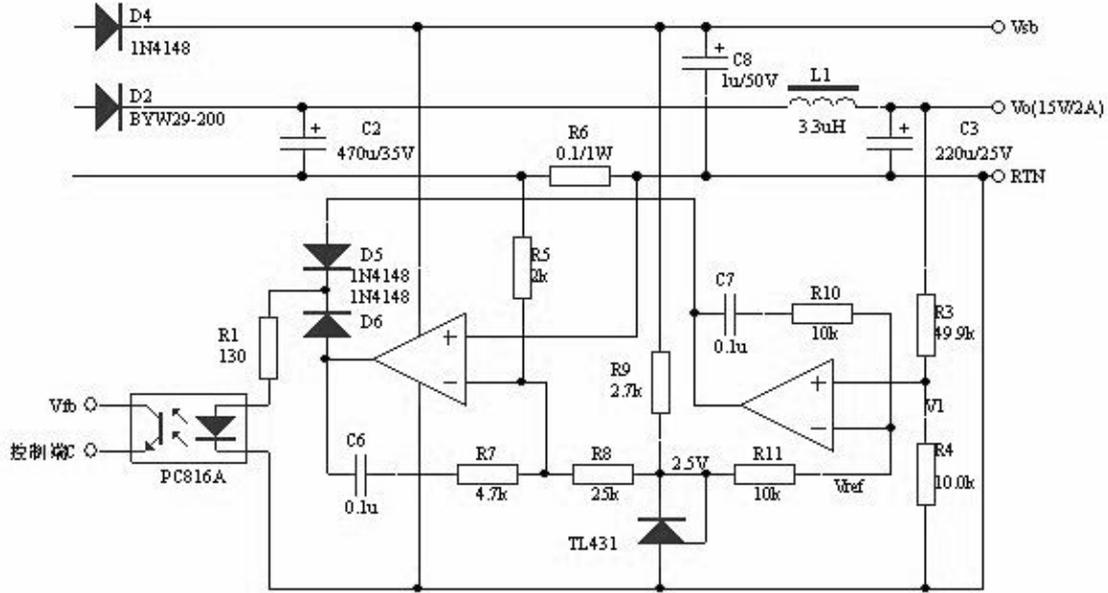
$$\text{解出： } N_f = \frac{V_{fb} + V_{f3}}{V_O + V_{f2} + I_O R_3} \cdot N_s$$

恒压模式下  $V_o=7.5V$ ，最大输出电流  $I_o=0.95A$ ，可求出  $V_{fb}=26V$ ，注意光耦耐压是否符合要求。

$$I'_{OH} = \frac{V_{BE1} - a_t \cdot \Delta T}{R_3}$$

但这种电路中电流检测电阻的阻值较大，功耗较高，恒流准确度也较低。为降低功耗并提高恒流输出准确度，需要采用运算放大器的精密恒压/恒流输出式开关电源。

## 2. 使用运算放大器的精密恒压/恒流输出式开关电源：适宜作为笔记本电脑中的电池快速充电器



$$\text{恒压区内的输出电压: } V_o = V_{ref} \cdot \left( \frac{R_3 + R_4}{R_4} \right) = 2.50V \times \left( 1 + \frac{R_3}{R_4} \right)$$

一般取  $R_4=10.0k$ ，阻值过大易产生噪声干扰，阻值过小会增加电路损耗

$$\text{电源恒流输出: } I_{OH} = \frac{V_{ref} \cdot R_5}{R_6 \cdot R_8}$$

一般取  $R_5=2k$ ，当  $R_6=0.1$ ， $I_{oh}=2A$  时， $R_6$  上电压为  $0.2V$ ， $V_{ref}=2.5V$ ，得到  $R_8=25k$

要增加偏压绕组  $N_{sb}$ ，且此绕组与初级绕组的电压极性相同，即  $V_{sb}$  随  $V_i$  变化，而与输出电压  $V_o$  无关。这样在  $V_o$  非常低时也能确保电流控制环正常工作。 $V_{sb}$  最小值为  $5V$ ，其表达式：

$$V_{sb} = V_i \cdot \frac{N_{sb}}{N_p} - V_{f4} \quad \text{而计算 } V_{i\min} \text{ 用: } V_{i\min} = \sqrt{2u_{\min}^2 - \frac{2P_o \left( \frac{1}{2F_a} - t_c \right)}{kC_{in}}}$$

得  $V_{i\min}=82V$ ， $V_{sb}=5V$ ， $N_p=64$  匝，得  $N_{sb}=5$  匝， $V_{sb}$  的最大电压为  $28.3V$

$$\text{反馈绕组 } N_f \text{ 的极性也要与初级相同，要求 } V_{fb}>9V: N_f = \frac{N_p \cdot (V_{fb} + V_{f3})}{V_{i\min}}$$

求得  $N_f=8$  匝，这样  $V_{fb}$  的最大电压为  $45.9V$ ，所以光耦工作电压为  $40.4V$

$$\text{光耦串联电阻决定控制环路的增益: } R_1 = \frac{(V_{sat} - V_{f6} - V_f) \cdot CTR_{\min}}{I_{c\max}}$$

$V_{sat}$  为运放的正向饱和电压，一般  $V_{sat}=3.5V$ ， $I_{c\max}$  为控制端电流最大值 ( $10mA$ )，得  $R_1=132$  欧姆。

$R_1$  值过大会使控制灵敏度降低，阻值过小易导致控制环工作不稳定，甚至自迹振荡。

将 TL431 的工作电流限定为 4.75mA，为 1~10mA 的一半，R9 是其限流电阻。

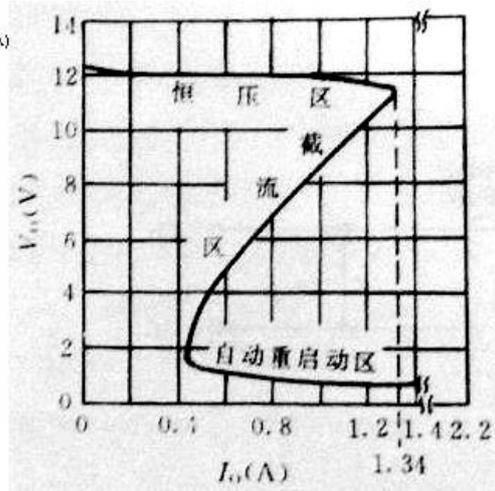
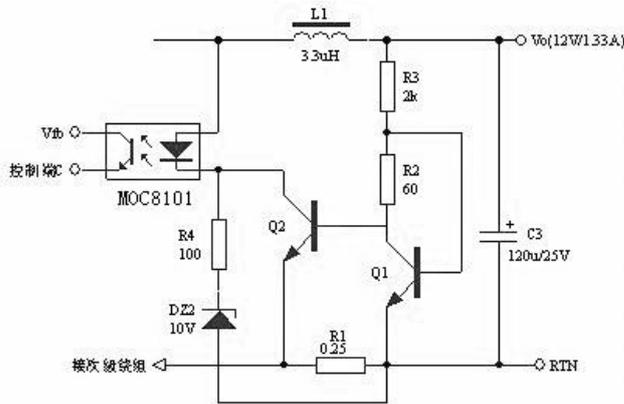
**二、截流输出式：**当发生过载时，输出电流  $I_o$  能随着输出电压  $V_o$  的降低而迅速减小，可对电机等负载起到保护作用。而恒流式在  $V_o$  降低时  $I_o$  却维持恒定。

1. **截流输出式开关电源的控制电路设计：**输出极限电流为  $I_{lm}$

当  $I_o < I_{lm}$  时：Q2 截至，Q1 饱和， $V_o$  处于恒压区， $V_o$  基本不变

当  $I_o \approx I_{lm}$  时：截流控制环开始工作，这时 R1 上电压约 0.3V，Q1 的 ce 压降约 0.57V，Q2 的 be 结约 0.7V，使 Q2 导通，稳压管 DZ2 则因  $V_o$  的降低退出稳压区而变为截止，光耦的 LED 通过 Q2 分流，使开关电源进入截流区，R3 上的电流与  $V_o$  成正比，就形成电流正反馈，使  $I_o$  进一步减小，对负载起到保护作用。

当  $V_o \leq 1.5V$ ，Q2 饱和，截流控制作用失效，改由 LED 的正向压降  $V_f$  进行限流，负载短路时， $I_{ss} \approx 2.2A$ 。



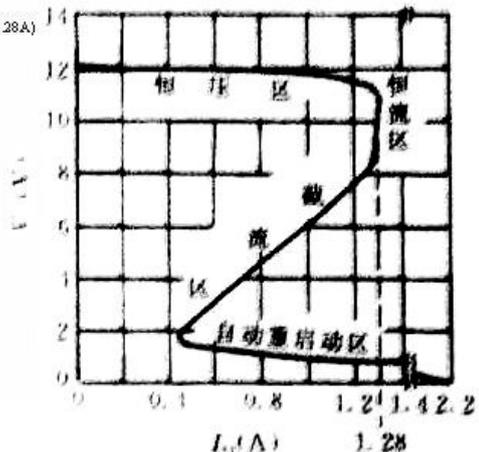
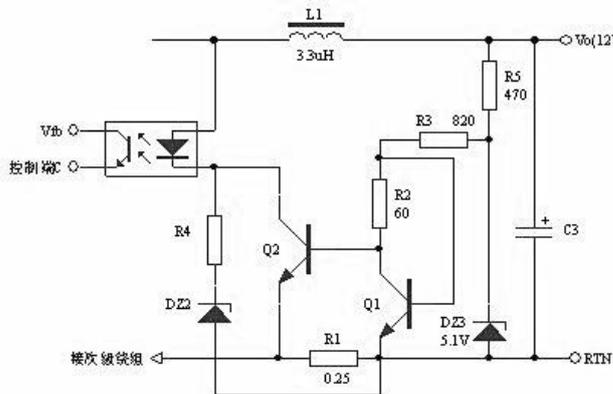
$$\text{电流检测电阻 } R_1: R_1 = \frac{V_{R1}}{I_{lm}} \quad R_3 = \frac{V_o - V_{BE1}}{I_{C1}} \quad R_2 = \frac{V_{R1} + 0.007}{\frac{V_o - V_{BE1}}{R_3}}$$

$$\text{核算 } I_{lm} \text{ 值: } I_{lm} = \frac{R_2 \left( \frac{V_o - V_{BE1}}{R_3} \right) - 0.007}{R_1}$$

$$\text{计算短路电流 } I_{ss}: I_{ss} = \frac{V_F}{R_1 + R_{L1} + R_{SS}}$$

其中：R11 为滤波电感 L1 的内阻与引线电阻之和，R<sub>ss</sub> 为短路时输出导线上的电阻

2. **恒流/截流输出式开关电源：**增加一个 5.1V 稳压管 DZ3 和一只 470Ω 电阻 R5，可增加恒流区。



R5 和 DZ3 的作用就是使 Q1 的参考电流保持恒定，直到  $V_o$  降低且 DZ3 截止为止，然后即进入截流区， $I_o$

随  $V_o$  的降低而减小。

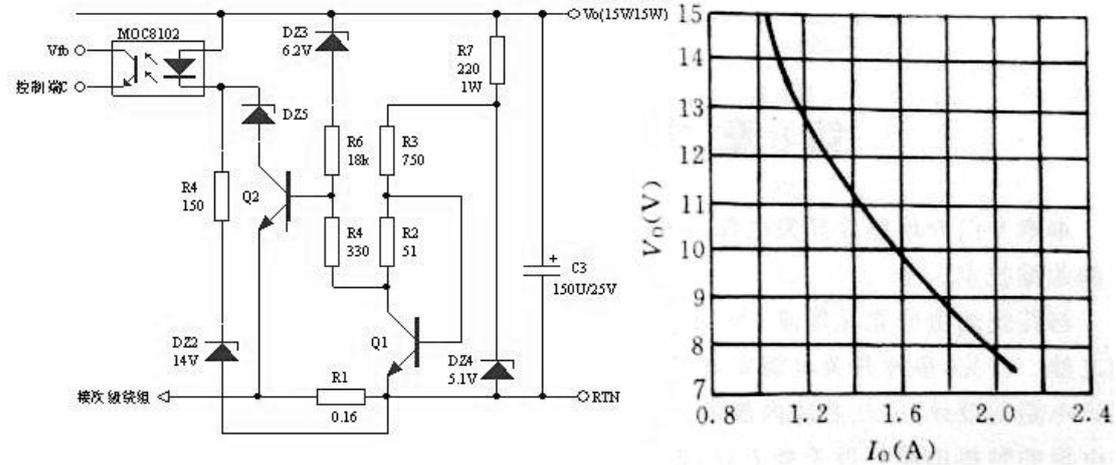
$$I_{lm} = \frac{R_2 \left( \frac{V_{Z3} - V_{BE1}}{R_3} \right) - 0.007}{R_1} \quad \text{其中 } V_{Z3} \text{ 为 } DZ3 \text{ 的稳定电压}$$

**三、恒功率输出式：**当输出电压  $V_o$  降低时，输出电流  $I_o$  会增大，使二者乘积  $I_o V_o$  不变。这种开关电源可作为高效、快速、安全的电池充电器，如对笔记本电脑中的电池进行充电。

恒功率控制电路中，Q1 工作在饱和区，Q1 和 Q2 一致性要好，R1 为电流检测电阻，DZ4、R7、R3 组成恒流源并给 Q1 提供恒定的集电极电流  $I_{c1}$ ，Q1、R2 又组成带温度补偿的偏压电路给 Q2 提供偏压  $V_{b1}$ ，DZ3、R6、R4 组成温度系数补偿电路，利用 DZ3 反向击穿电压的正温度系数（ $3.5\text{mV}/^\circ\text{C}$ ）对 Q2 的发射结电压  $V_{be2}$  的负温度系数（ $-2.1\text{mV}/^\circ\text{C}$ ）进行补偿。

$I_o$  较小时，Q2 截止，DZ2 工作于稳压区，开关电源工作于恒压输出方式，输出电压  $V_o$  值由光耦中的 LED 的正向压降  $V_f$  与稳压管 DZ2 的稳压值  $V_{z2}$  来设定，R5 起限流作用并能决定控制环路增益。

当  $I_o \geq 1\text{A}$  时，R1 上电压显著升高，使 Q2 导通，DZ2 则截止，转入恒功率模式，使  $P_o$  保持不变，实际有  $\pm 10\%$  的偏差。



$$I_{c1} = \frac{V_{Z4} - V_{BE1}}{R_3}$$

两个三极管的参数应尽量相同，位置也尽量靠近，以处于相同温度环境中。图中  $I_{c1}$  为  $5.9\text{mA}$ ， $I_{c2} = I_{c1}$ 。

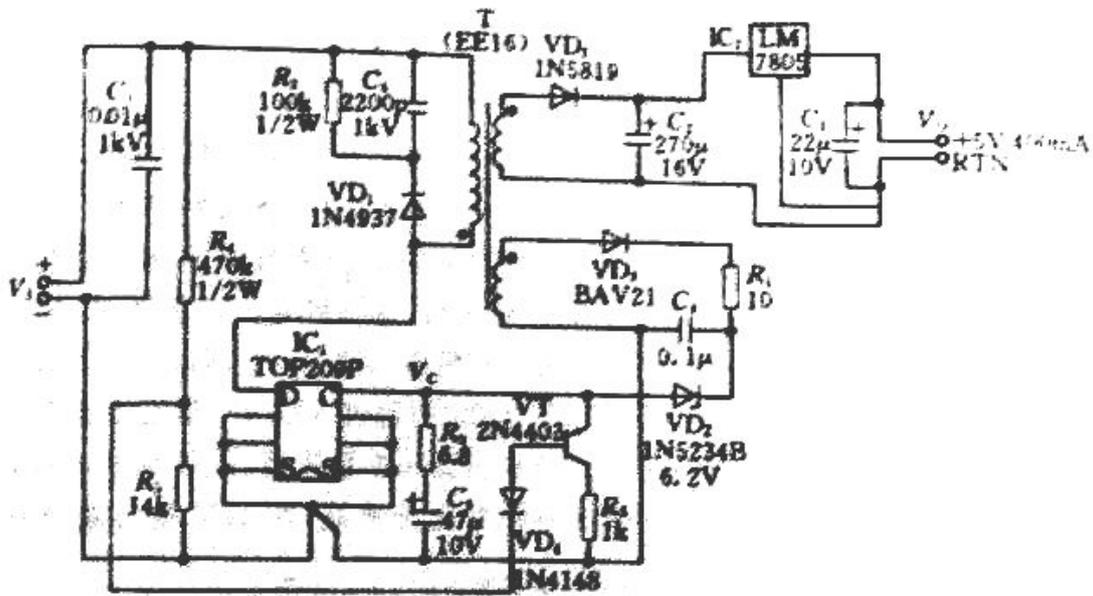
$$V_s = V_{BE1} - I_{c1} \cdot R_2$$

图中  $V_s = 0.36\text{V}$

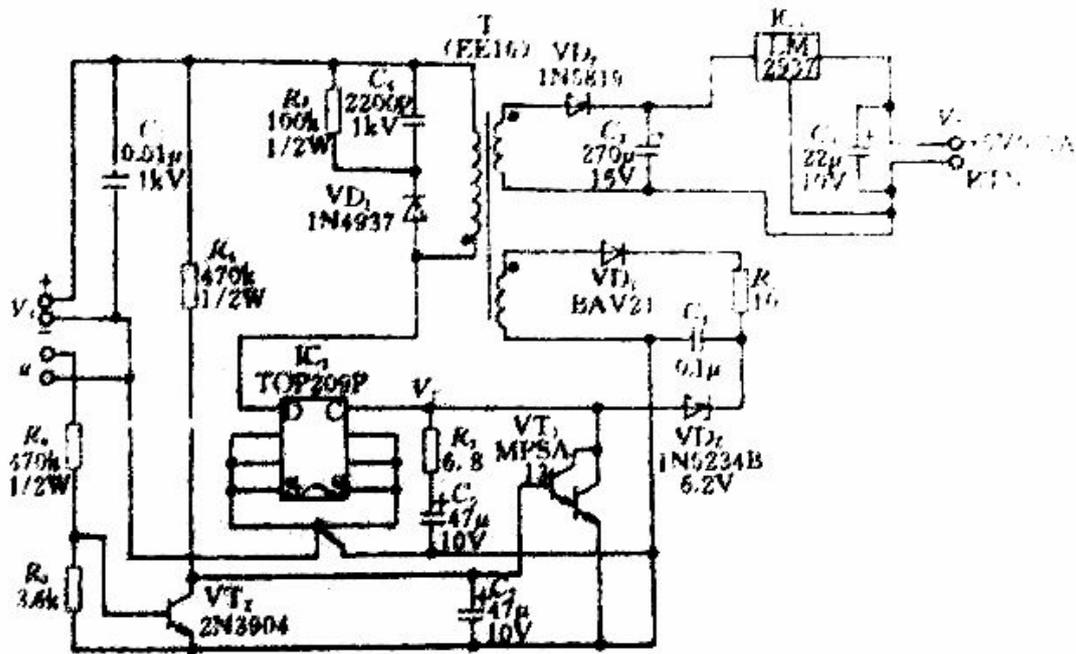
$$P_o = V_o \cdot \left[ \frac{V_{BE2} - V_s - \frac{R_4}{R_4 + R_6} \cdot (V_o - V_{Z3} - V_s)}{R_1} \right]$$

图中  $P_o = 15.2\text{W}$

**四、直流欠压保护功能：**欠压保护电路由反馈绕组和元件 R4~R6、VD4、VT 组成。将欠压门限设为  $70\text{V}$ ，当  $V_i < 70\text{V}$  时，VD4 导通，而使 VT 导通，令控制端电压  $V_c$  呈低电平，将控制芯片关断。



**五、交流掉电保护功能：**适合作为节能计算机的辅助电源，设定阈值要低于 85V，一旦低于门限，VT2 立即截止，直流高压就通过 R4 给 C7 充电，当 C7 两端的电压高于达林顿管 VT1 的发射结总压降时，VT1 就导通，同时 C5 放电，控制芯片被关闭。当输入电压大于门限，VT2 导通，C7 两端电压为 0V，控制电路不起作用。可见，掉电后辅助电源的供电时间与时间常数 R4C7 成正比，改变时间常数即可设定供电时间。



(本文主要摘自《新型单片开关电源的设计与应用》沙占友等编著 电子工业出版社 2001 年版 dwenzhao 整理)