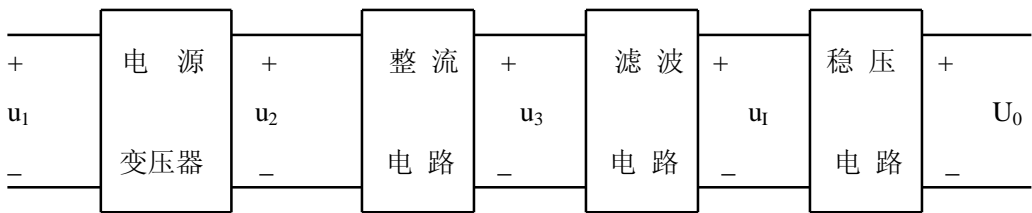


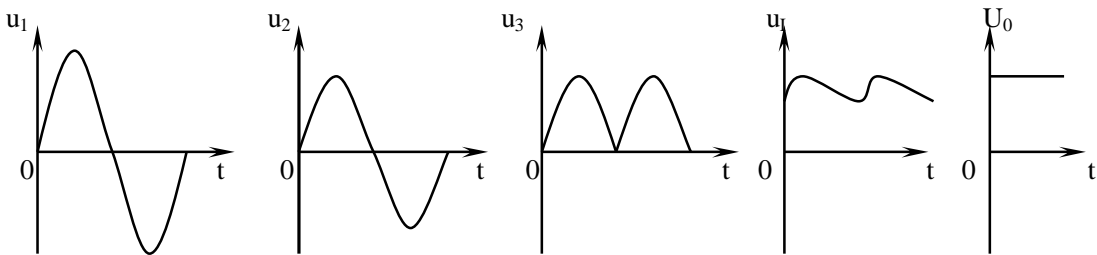
# 直流稳压电源的设计

## 一. 原理

小功率稳压电源由电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路四个部分组成，如图 1 所示。



(a) 稳压电源的组成框图



(b) 整流与稳压过程

图 1 稳压电源的组成框图及整流与稳压过程

### 1. 电源变压器

电源变压器的作用是将来自电网的 220V 交流电压  $u_1$  变换为整流电路所需要的交流电压  $u_2$ 。电源变压器的效率为：

$$h = \frac{P_2}{P_1}$$

其中：  $P_2$  是变压器副边的功率，  $P_1$  是变压器原边的功率。一般小型变压器的效率如表 1 所示：

表 1 小型变压器的效率

副边功率 $P_2$	< 10VA	10 ~ 30VA	30 ~ 80VA	80 ~ 200VA
效率 $h$	0.6	0.7	0.8	0.85

因此，当算出了副边功率  $P_2$  后，就可以根据上表算出原边功率  $P_1$ 。

## 2. 整流和滤波电路

在稳压电源中一般用四个二极管组成桥式整流电路，整流电路的作用是将交流电压  $u_2$  变换成脉动的直流电压  $u_3$ 。滤波电路一般由电容组成，其作用是把脉动直流电压  $u_3$  中的大部分纹波加以滤除，以得到较平滑的直流电压  $U_1$ 。 $U_1$  与交流电压  $u_2$  的有效值  $U_2$  的关系为：

$$U_1 = (1.1 \sim 1.2)U_2$$

在整流电路中，每只二极管所承受的最大反向电压为：

$$U_{RM} = \sqrt{2}U_2$$

流过每只二极管的平均电流为：

$$I_D = \frac{I_R}{2} = \frac{0.45U_2}{R}$$

其中： $R$  为整流滤波电路的负载电阻，它为电容  $C$  提供放电通路，放电时间常数  $RC$  应满足：

$$RC > \frac{(3 \sim 5)T}{2}$$

其中： $T = 20\text{ms}$  是  $50\text{Hz}$  交流电压的周期。

## 3. 稳压电路

由于输入电压  $u_1$  发生波动、负载和温度发生变化时，滤波电路输出的直流电压  $U_1$  会随着变化。因此，为了维持输出电压  $U_1$  稳定不变，还需加一级稳压电路。稳压电路的作用是当外界因素（电网电压、负载、环境温度）发生变化时，能使输出直流电压不受影响，而维持稳定的输出。稳压电路一般采用集成稳压器和一些外围元件所组成。采用集成稳压器设计的稳压电源具有性能稳定、结构简单等优点。

集成稳压器的类型很多，在小功率稳压电源中，普遍使用的是三端稳压器。按输出电压类型可分为固定式和可调式，此外又可分为正电压输出或负电压输出两种类型。

### （1）固定电压输出稳压器

常见的有  $CW78\times\times$  ( $LM78\times\times$ ) 系列三端固定式正电压输出集成稳压器； $CW79\times\times$  ( $LM79\times\times$ ) 系列三端固定式负电压输出集成稳压器。三端是指稳压电路只有输入、输出和接地三个接地端子。型号中最后两位数字表示输出电压的稳定值，有  $5\text{V}$ 、 $6\text{V}$ 、 $9\text{V}$ 、 $15\text{V}$ 、 $18\text{V}$  和  $24\text{V}$ 。稳压器使用时，要求输入电压  $U_1$  与输出电压  $U_o$  的电压差  $U_1 - U_o \geq 2\text{V}$ 。稳压器的静态电流  $I_o = 8\text{mA}$ 。当  $U_o = 5 \sim 18\text{V}$  时， $U_1$  的最大值  $U_{1\text{max}} = 35\text{V}$ ；当  $U_o = 18 \sim 24\text{V}$  时， $U_1$  的最大值  $U_{1\text{max}} = 40\text{V}$ 。它们的引脚功能及组成的典型稳压电路见附录图 A 所示。

### （2）可调式三端集成稳压器

可调式三端集成稳压器是指输出电压可以连续调节的稳压器，有输出正电压的  $CW317$

系列 (LM317) 三端稳压器; 有输出负电压的 CW337 系列 (LM337) 三端稳压器。在可调式三端集成稳压器中, 稳压器的三个端是指输入端、输出端和调节端。稳压器输出电压的可调范围为  $U_o=1.2 \sim 37V$ , 最大输出电流  $I_{o\max}=1.5A$ 。输入电压与输出电压差的允许范围为:  $U_i - U_o = 3 \sim 40V$ 。三端可调式集成稳压器的引脚及其应用电路见附录图 B。

## 二. 稳压电源的设计方法:

稳压电源的设计, 是根据稳压电源的输出电压  $U_o$ 、输出电流  $I_o$ 、输出纹波电压  $\Delta U_{op-p}$  等性能指标要求, 正确地确定出变压器、集成稳压器、整流二极管和滤波电路中所用元器件的性能参数, 从而合理的选择这些器件。

稳压电源的设计可以分为以下三个步骤:

1) 根据稳压电源的输出电压  $U_o$ 、最大输出电流  $I_{o\max}$ , 确定稳压器的型号及电路形式。  
2) 根据稳压器的输入电压  $U_i$ , 确定电源变压器副边电压  $u_2$  的有效值  $U_2$ ; 根据稳压电源的最大输出电流  $I_{o\max}$ , 确定流过电源变压器副边的电流  $I_2$  和电源变压器副边的功率  $P_2$ ; 根据  $P_2$ , 从表 1 查出变压器的效率  $\eta$ , 从而确定电源变压器原边的功率  $P_1$ 。然后根据所确定的参数, 选择电源变压器。

3) 确定整流二极管的正向平均电流  $I_D$ 、整流二极管的最大反向电压  $U_{RM}$  和滤波电容的电容值和耐压值。根据所确定的参数, 选择整流二极管和滤波电容。

设计举例: 设计一个直流稳压电源, 性能指标要求为:

$$U_o = +3V \sim +9V, \quad I_{o\max} = 800mA,$$

$$\text{纹波电压的有效值 } \Delta U_o \leq 5mV, \text{ 稳压系数 } S_v \leq 3 \times 10^{-3}$$

设计步骤:

1) 选择集成稳压器, 确定电路形式

集成稳压器选用 CW317, 其输出电压范围为:  $U_o = 1.2 \sim 37V$ , 最大输出电流  $I_{o\max}$  为 1.5A。所确定的稳压电源电路如图 2 所示。

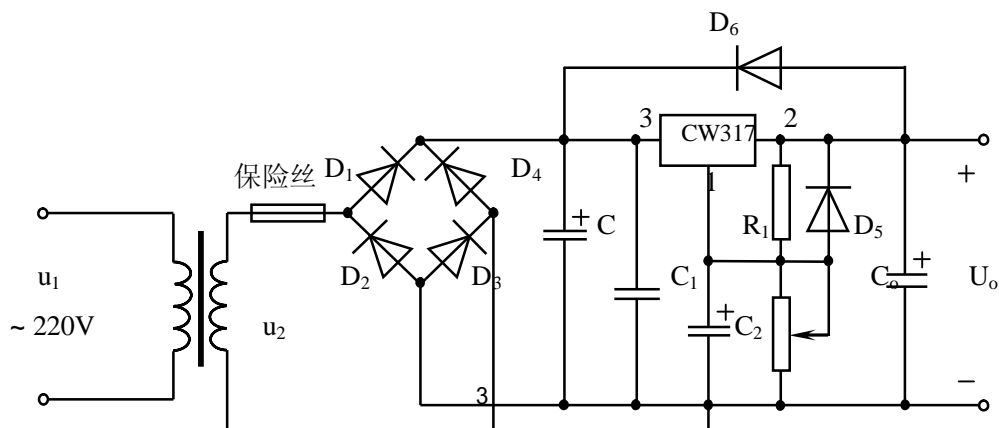


图 2 输出电压可调的稳压电源

图 2 中, 取  $C_1 = 0.01\mu\text{F}$ ,  $C_2 = 10\mu\text{F}$ ,  $C_0 = 1\mu\text{F}$ ,  $R_1 = 200\Omega$ ,  $R_w = 2k\Omega$ , 二极管用 IN4001

在图 2 电路中,  $R_1$  和  $R_w$  组成输出电压调节电路, 输出电压  $U_o \approx 1.25(1 + R_w/R_1)$ ,  $R_1$  取  $120 \sim 240\Omega$ , 流过  $R_1$  的电流为  $5 \sim 10\text{mA}$ 。取  $R_1 = 240\Omega$ , 则由  $U_o = 1.25(1 + R_w/R_1)$ , 可求得:  $R_{w\min} = 210\Omega$ ,  $R_{w\max} = 930\Omega$ , 故取  $R_w$  为  $2k\Omega$  的精密线绕电位器。

## 2) 选择电源变压器

由于 CW317 的输入电压与输出电压差的最小值  $(U_I - U_o)_{\min} = 3V$ , 输入电压与输出电压差的最大值  $(U_I - U_o)_{\max} = 40V$ , 故 CW317 的输入电压范围为:

$$U_{o\max} + (U_I - U_o)_{\min} \leq U_I \leq U_{o\min} + (U_I - U_o)_{\max}$$

$$\text{即 } 9V + 3V \leq U_I \leq 3V + 40V$$

$$12V \leq U_I \leq 43V$$

$$U_2 \geq \frac{U_{I\min}}{1.1} = \frac{12}{1.1} = 11V, \text{ 取 } U_2 = 12V$$

变压器副边电流:  $I_2 > I_{o\max} = 0.8A$ , 取  $I_2 = 1A$ ,

因此, 变压器副边输出功率:  $P_2 \geq I_2 U_2 = 12W$

由于变压器的效率  $\eta = 0.7$ , 所以变压器原边输入功率  $P_1 \geq \frac{P_2}{\eta} = 17.1W$ , 为留有余地, 选用功率为  $20W$  的变压器。

## 3) 选用整流二极管和滤波电容

由于:  $U_{RM} > \sqrt{2}U_2 = \sqrt{2} \times 12 = 17V$ ,  $I_{0\max} = 0.8A$ 。

IN4001 的反向击穿电压  $U_{RM} \geq 50V$ , 额定工作电流  $I_D = 1A > I_{0\max}$ , 故整流二极管选用 IN4001。

根据  $U_0 = 9V, U_I = 12V, \Delta U_{0p-p} = 5mV, S_v = 3 \times 10^{-3}$ ,

和公式

$$S_v = \frac{\Delta U_0}{U_0} \bigg/ \frac{\Delta U_I}{U_I} \bigg|_{\substack{I_o=\text{常数} \\ T=\text{常数}}}$$

$$\text{可求得: } \Delta U_I = \frac{\Delta U_{op-p} U_I}{U_0 S_v} = \frac{0.005 \times 12}{9 \times 3 \times 10^{-3}} = 2.2V$$

所以，滤波电容：

$$C = \frac{I_c t}{\Delta U_I} = \frac{I_{0\max} \cdot \frac{T}{2}}{\Delta U_I} = \frac{0.8 \times \frac{1}{50} \times \frac{1}{2}}{2.2} = 0.003636F = 3636\mu F$$

电容的耐压要大于  $\sqrt{2}U_2 = \sqrt{2} \times 12 = 17V$ ，故滤波电容  $C$  取容量为  $4700mF$ ，耐压为  $25V$  的电解电容。

### 三．稳压电源的安装与调试

按图 3 所示安装集成稳压电路，然后从稳压器的输入端加入直流电压  $U_I \leq 12V$ ，调节  $R_W$ ，若输出电压也跟着发生变化，说明稳压电路工作正常。

用万用表测量整流二极管的正、反向电阻，正确判断出二极管的极性后，按图 4 所示先在变压器的副边接上额定电流为  $1A$  的保险丝，然后安装整流滤波电路。安装时要注意，二极管和电解电容的极性不要接反。经检查无误后，才将电源变压器与整流滤波电路连接，通电后，用示波器或万用表

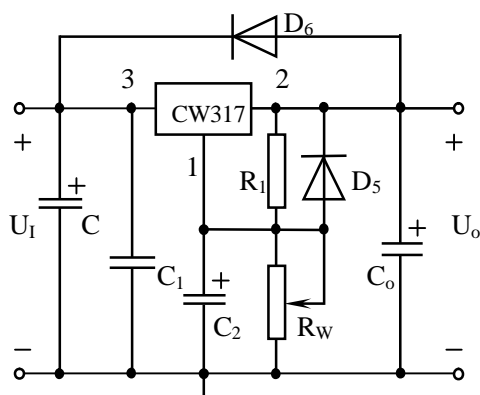


图 3 稳压电路

检查整流后输出电压  $U_I$  的极性，若  $U_I$  的极性为负，（其中： $D_5$ 、 $D_6$  为 IN4001 型二极管， $C_1 = 0.1\mu F$ ， $C_2 = 10\mu F$ ， $C_0 = 1\mu F$ ）

则说明整流电路没有接对，此时若接入稳压电路，

就会损坏集成稳压器。因此确定  $U_I$  的极性为正后，断开电源，按图 2 所示将整流滤波电路与稳压电路连接起来。

然后接通电源，调节  $R_W$  的值，若输出电压满足设计指标，说明稳压电源中各级电路都能正常工作，此时就可以进行各项指标的测试。

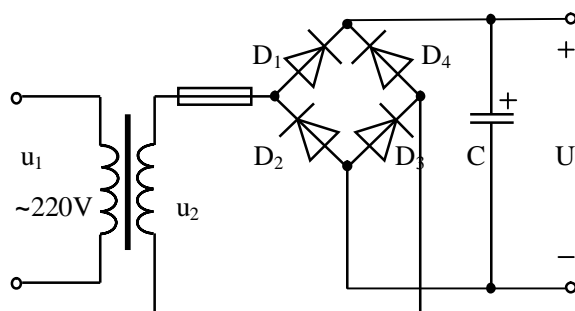


图 4 整流滤波电路

### 四．稳压电源各项性能指标的测试

### 1. 输出电压与最大输出电流的测试

测试电路如图 5 所示。一般情况下，稳压器正常工作时，其输出电流  $I_o$  要小于最大输出电流  $I_{o\max}$ ，取  $I_o = 0.5A$ ，可算出  $R_L = 18\Omega$ ，工作时  $R_L$  上消耗的功率为：

$$P_L = U_o I_o = 9 \times 0.5 = 4.5W$$

故  $R_L$  取额定功率为 5W，阻值为 18Ω 的电位器。

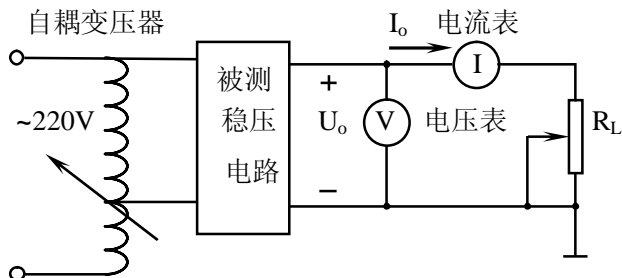


图 5 稳压电源性能指标的测试电路

测试时，先使  $R_L = 18\Omega$ ，交流输入电压为 220V，用数字电压表测量的电压值就是  $U_o$ 。然后慢慢调小  $R_L$ ，直到  $U_o$  的值下降 5%，此时流经  $R_L$  的电流就是  $I_{o\max}$ ，记下  $I_{o\max}$  后，要马上调大  $R_L$  的值，以减小稳压器的功耗。

### 2. 稳压系数的测量

按图 5 所示连接电路，在  $U_1 = 220V$  时，测出稳压电源的输出电压  $U_o$ 。然后调节自耦变压器使输入电压  $U_1 = 242V$ ，测出稳压电源对应的输出电压  $U_{o1}$ ；再调节自耦变压器使输入电压  $U_1 = 198V$ ，测出稳压电源的输出电压  $U_{o2}$ 。则稳压系数为：

$$S_v = \frac{\frac{\Delta U_o}{U_o}}{\frac{\Delta U_1}{U_1}} = \frac{220}{242 - 198} \cdot \frac{U_{o1} - U_{o2}}{U_o}$$

### 3. 输出电阻的测量

按图 5 所示连接电路，保持稳压电源的输入电压  $U_1 = 220V$ ，在不接负载  $R_L$  时测出开路电压  $U_{o1}$ ，此时  $I_{o1} = 0$ ，然后接上负载  $R_L$ ，测出输出电压  $U_{o2}$  和输出电流  $I_{o2}$ ，则输出电阻为：

$$R_o = -\frac{U_{o1} - U_{o2}}{I_{o1} - I_{o2}} = \frac{U_{o1} - U_{o2}}{I_{o2}}$$

### 4. 纹波电压的测试

用示波器观察  $U_o$  的峰峰值，（此时 Y 通道输入信号采用交流耦合 AC），测量  $\Delta U_{op-p}$  的值（约几 mV）。

### 5. 纹波因数的测量

用交流毫伏表测出稳压电源输出电压交流分量的有效值，用万用表（或数字万用表）

的直流电压档测量稳压电源输出电压的直流分量。则纹波因数为：

$$g = \frac{\text{输出电压交流分量的有效值}}{\text{输出电压的直流分量}}$$