

实验目的

1. 了解直流稳压电源的组成及各个组成部分的作用。
2. 了解稳压二极管的稳压作用及并联稳压电路的工作原理。
3. 了解采用集成稳压器构成固定式及电压可调式稳压电路的方法。

实验原理

各种电子设备都需要由电压稳定的直流电源供电,直流稳压电源分为线性电源和开关电源两种,本实验的研究对象为线性稳压电源。

线性稳压电源的组成如图 3.10a.1 所示,图中由 220V 工频交流电通过变压器变压为所需的交流电压,然后通过整流及滤波,变换成为有电压波动的直流电,再通过稳压电路的调节,得到稳定的输出,这样构成的直流稳压电源在额定输出范围内,其性能基本上相当于电压源。即电源的输出电压恒定,电源内阻接近于零。

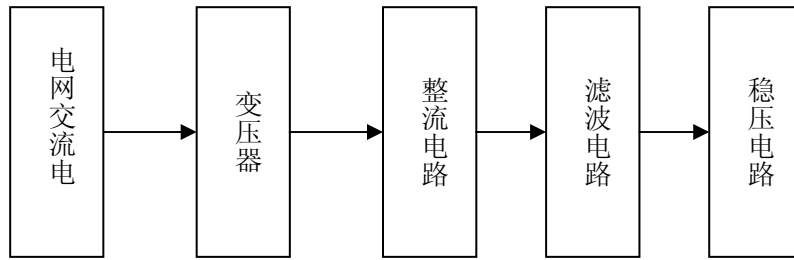
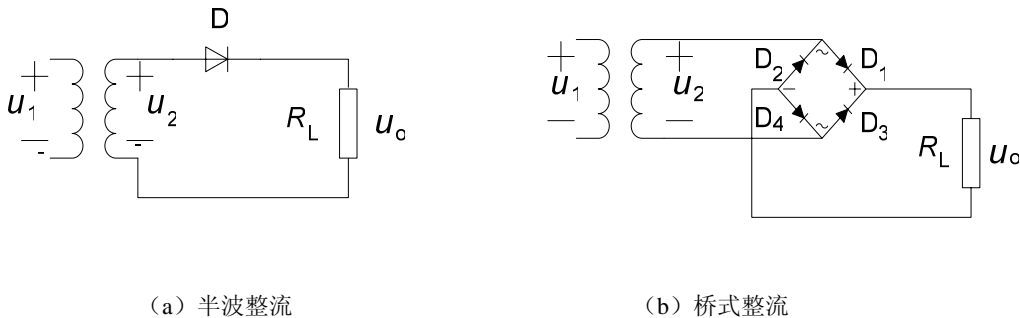


图 3.10a.1 线性稳压电源的组成

1. 整流电路

整流电路由整流二极管构成,通常分为半波整流和桥式整流两种,基本电路如图 3.10a.2 所示。根据二极管的单向导电性质,只有阳极电位高于阴极电位时才能通电。在交流电压的一个周期中,只有半个周期是通电的,所以半波整流电路中,二极管只有正半周导电,输出电压 U_o 的波形如图 3.10a.3 (a) 所示,负载电阻上有一半时间是没有电压的,其输出直流平均电压 U_o 为

$$U_{o\text{半}} = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} \sqrt{2}U_2 \sin \omega t dt = \frac{1}{T} \sqrt{2}U_2 \frac{1}{\omega} \cos \omega t \Big|_0^{\frac{T}{2}} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0.45U_2$$



(a) 半波整流

(b) 桥式整流

图 3.10a.2 基本整流电路

在桥式整流电路中,当 u_2 为正半周时, D_1 、 D_4 导通,负载电阻上得到上正下负的电压,而在 u_2 负半周时,则 D_2 、 D_3 导通,同样在负载电阻上得到上正下负的电压,形成如图 3.10a.3 (b) 所示的脉动直流电压,其输出直流平均电压为半波整流输出的二倍,为

$U_{O全} = 2U_{O半} = 2 \times 0.45U_2 = 0.9U_2$ 。在图 3.10a.2 (b) 中 D_1 、 D_3 为共阴极接法，形成直流输出的正端，而 D_2 、 D_4 为共阳极接法，形成直流输出的负端。 D_1 与 D_2 串联， D_3 与 D_4 串联，在它们的串联连接点接交流电源端。

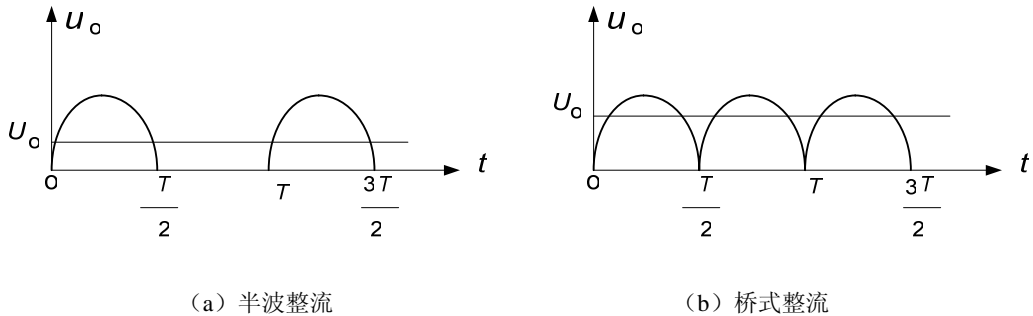


图 3.10a.3 整流电路输出电压波形

桥式整流电路除了可以得到全波输出外，如果变压器二次绕组具有中心抽头，只要把中心抽头接地，就可以很方便地获得正负输出电压，接线如图 3.10a.4 所示，其输出平均电压 $U_{O1} = -U_{O2} = \frac{1}{2}U_o$ ，为总输出电压的一半。

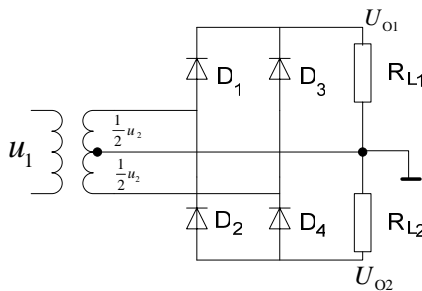


图 3.10a. 具有正负输出电压的桥式整流电路

2. 滤波电路

为了改善输出电压的脉动，可以用电容器与负载电阻并联，在二极管导电时电容器充电，二极管截止时电容器对负载电阻放电，使负载电阻二端的电压波动减小，电容滤波电路如图 3.10a.5 所示，其输出电压波形如图 3.10a.6 所示。

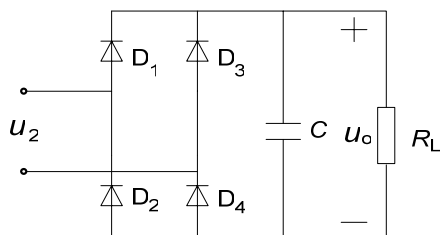


图 3.10a.5 电容滤波电路

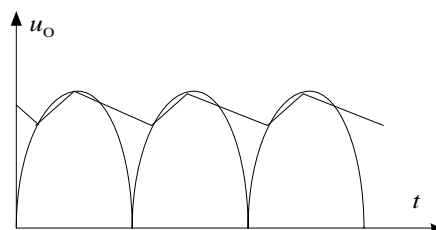


图 3.10a.6 电容滤波输出波形

从波形图中可见电容滤波除了使输出电压波动减小外,还因电容器的放电使输出电压平均值升高,根据电路分析,在满足 $R_L C = (3 \sim 5) \frac{T}{2} = 0.03 \sim 0.05s$ 的条件下,输出直流平均电压为 $U_o = 1.2U_2$ 另外,电容滤波还使二极管只有在电源电压高于电容器端电压时导通,而在电源电压低于电容器端电压时,二极管截止,这样大大缩短了二极管的导通时间,使得导通电流成为幅值很大的脉冲电流,这对二极管是不利的。为了进一步改善直流输出电压的波动,可以在滤波电容与负载电阻之间加接 RC 滤波电路,构成 π 形滤波电路,以滤除其中的谐波成分,电路如图 3.10a.7 所示。经过滤波后,负载电阻二端电压已基本消除了波动,但由于滤波电阻上具有直流压降,使输出直流平均电压降低。

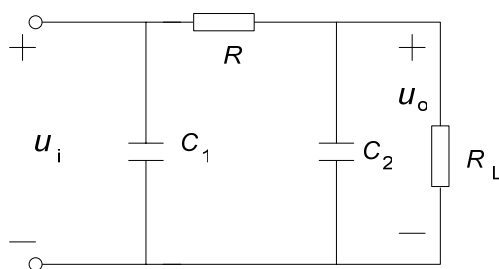


图 3.10a.7 π 形滤波电路

3. 稳压电路

利用稳压二极管的稳压特性,可以接成简单的并联稳压电路如图 3.10a.8 所示。图中稳压管 D_Z 与负载电阻 R_L 并联,稳压管电流 I_D 在一定范围内变动时,稳压管能够维持二端电压的稳定 ($I_{Dmin} = 5 \sim 10mA$, $I_{Dmax} = P_{ZN}/U_Z$ P_{ZN} 为稳压管额定功率, U_Z 为稳定电压)。

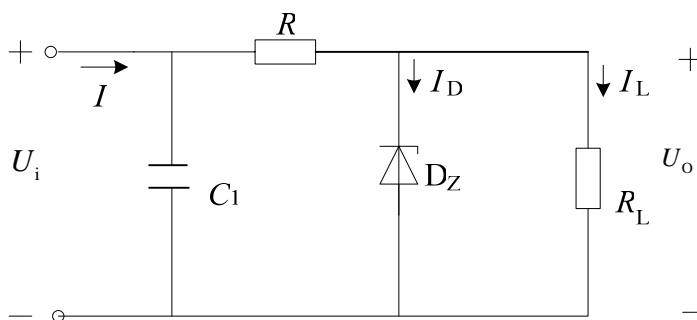


图 3.10a.8 并联稳压电路

当输入电压 U_i 升高或降低时,必然会使电流 I_D 发生变化,由于稳压管具有很小的动态内阻,使 I_D 的变化对其端电压的影响极小,能够维持负载电压不变,因 $U_i = RI + U_o$ 。此时 U_i 的变化值基本上由限流电阻的电压降的变化来平衡,即 $\Delta U_i = R\Delta I = R\Delta I_D$ 。

当负载电阻增大或减小时,因 U_i 不变,通过 I_D 作相应的调节,维持 $I_D + I_L = I$ 不变,保持 U_o 不变。

并联稳压电路只能输出几十毫安的电流,要输出大电流则可采用图 3.10a.9 的方式构成串联型线性稳压电路。

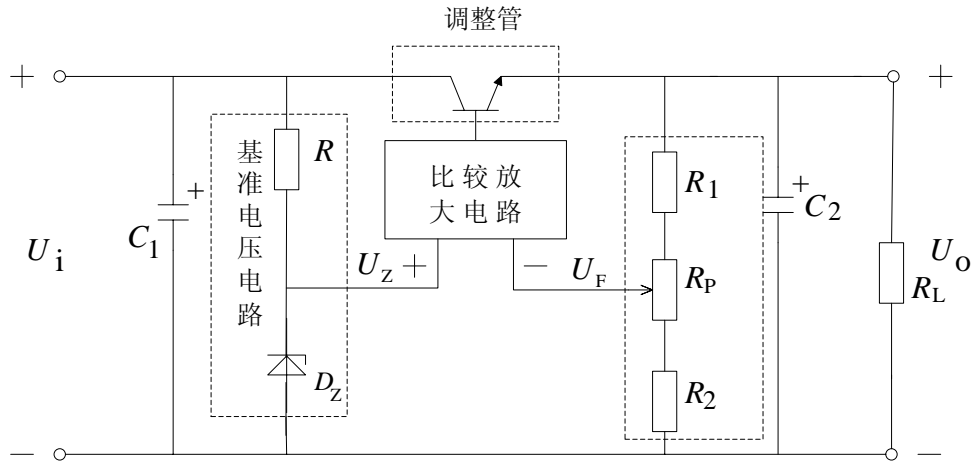


图3.10a.9 串联型线性稳压原理

该电路中用调整管与负载电阻 R_L 串联，构成射极输出器电路，输出电压 U_o 跟随调整管基极电压即比较放大电路的输出电压变化。输出电压 U_o 通过取样电路的分压得到反馈电压 U_F ，接到比较放大电路的反相输入端；由限流电阻 R 和稳压管 D_Z 组成的并联稳压电路得到基准电压 U_Z ，接到同相输入端。构成了具有电压串联负反馈的同相比例放大电路，其输出电压 U_o 为

$$U_o = \left(1 + \frac{R_1 + R_w'}{R_2 + R_w''}\right) U_Z = \left(\frac{R_1 + R_w + R_2}{R_2 + R_w''}\right) U_Z$$

显见，利用电位器调节 R_p 的数值，即能调节 U_o 的数值，且能维持 U_o 的稳定。

4. 集成稳压器

根据上述串联型线性稳压电路的原理并增加一些保护电路，可以制成各种类型的集成稳压器，其引出端只有输入端、输出端和公共端三个，又称为三端稳压器。其中最典型的为具有固定正电压输出的W7800系列，负电压输出的W7900系列以及具有可调电压输出的W317、W337，接线和使用极为方便。W7800及W7900系列的输出电压有5V、6V、9V、12V、15V、18V、24V等七种，其型号分别用7805、7905……7824、7924表示，其基本应用电路见图3.10a.10。图中电容器 C_1 用于防止电路发生自激振荡，其容量为 $0.1 \sim 1\mu\text{F}$ ， C_o 用于滤除输出电压的噪声电压及改善其暂态响应，其容量为 $0.1 \sim 1\mu\text{F}$ 。W317为比较精密的稳压器，其输出电压为1.25V，可作为基准电压源使用。若需要可调电压输出时，可按图3.10a.10(d)的接法，在W317公共端与泄放电阻 R 的并接端和地之间串联可变电阻 R_p ，由于W317公共端流出的电流 I_p 极小（ $\approx 50\mu\text{A}$ ）与电阻中的电流 I_R （ $\approx 10\text{mA}$ ）相比可以忽略，此时可看作 R 与 R_p 串联，输出电压 U_o 为

$$U_o = I_R (R + R_p) = \frac{1.25}{120} (120 + R_p) = 1.25 \left(1 + \frac{R_p}{120}\right)$$

输出电压最大调节范围为1.25~37V。

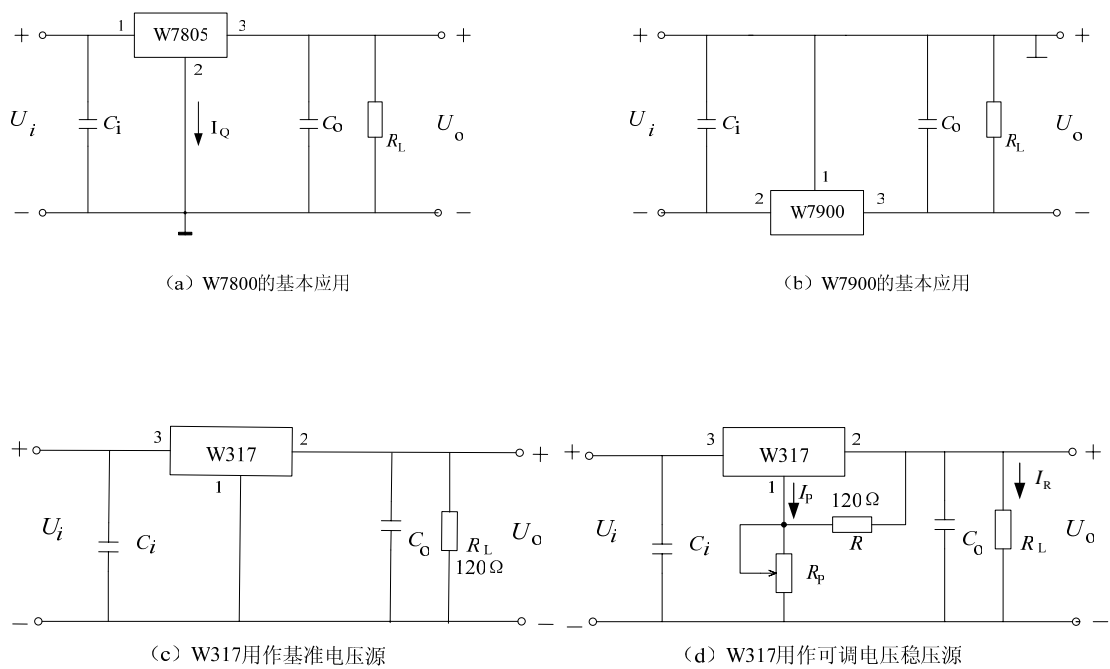


图 3.10a.10 典型集成稳压器的基本应用电路

上述各类型的三端稳压器的最大输出电流为 1.5A（加装散热器），最小输出电流为 5~10mA，最高输入电压为 40 V，输入端与输出端之间的最小电压差为 3V。其塑料封装的外引线排列见图 3.10a.11。图中 W337 为输入、输出为负电压的可调电压稳压器，其应用电路可参考 W317 及 W7900 自行拟出。

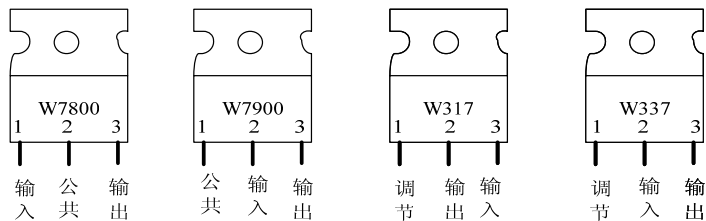


图 3.10a.11 集成稳压器的外引线排列

实验仪器设备

| | | | | |
|----|--------|---------|----|----|
| 1. | 通用示波器 | 20MHz | 双踪 | 一台 |
| 2. | 直流稳压电源 | 30V | 1A | 一台 |
| 3. | 数字万用表 | | | 一只 |
| 4. | 直流毫安表 | 0~100mA | | 三只 |
| 5. | 实验板 | | | 一块 |

实验步骤

A 基本内容

1. 观察单相整流、滤波电路的输出波形

按图 3.10a.12 接线，在以下情况下用示波器观察输出电压的 U_o 的波形，并读出直流输出电压 U_o 的数值，记录在表 3.10a.1 中。

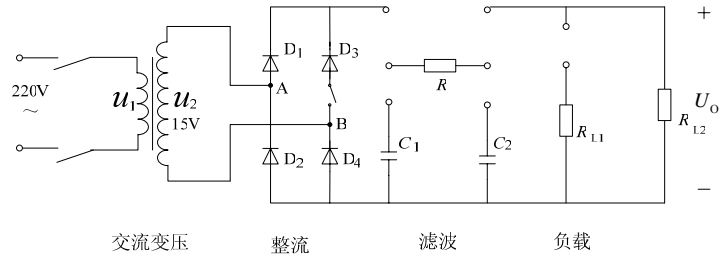


图 3.10a.12 整流滤波实验电路

表 3.10a.1 整流滤波电路的输出波形

| 半波整流 | 无滤波 | 接入 R_{L1} | $U_o =$ V | 桥式整流 | 无滤波 | 接入 R_{L1} | $U_o =$ V |
|------|------------------------|----------------------|-----------|------|------------------------|----------------------|-----------|
| | | | | | | | |
| 半波整流 | 接入 C_1 | 接入 | $U_o =$ V | 桥式整流 | 接入 C_1 | 接入 R_{L1} | $U_o =$ V |
| | | | | | | | |
| 半波整流 | 接入 C_1 | 接入 R_{L1} R_{L2} | $U_o =$ V | 桥式整流 | 接入 C_1 | 接入 R_{L1} R_{L2} | $U_o =$ V |
| | | | | | | | |
| 半波整流 | 接入 C_1 、 C_2 、 R | 接入 R_{L1} | $U_o =$ V | 桥式整流 | 接入 C_1 、 C_2 、 R | 接入 R_{L1} | $U_o =$ V |
| | | | | | | | |
| 半波整流 | 接入 C_2 、 R | 接入 R_{L1} | $U_o =$ V | 桥式整流 | 接入 C_2 、 R | 接入 R_{L1} | $U_o =$ V |
| | | | | | | | |

2. 观察桥式整流电路二极管端电压波形

在无滤波及接入 C_1 二种情况下, 同时观察二极管 D_2 、 D_4 二端波形, 并从波形中读出反向峰值电压值。记录在表 3.10a.2 中。

表 3.10a.2 整流二极管端电压波形

| 无滤波 | $U_R \max =$ V | 接入 C_1 | $U_R \max =$ V |
|-----|----------------|----------|----------------|
| | | | |
| | | | |

3. 了解并联稳压电路的稳压过程

按图 3.10a.13 接线, 在以下二种情况下, 读取直流电流表及电压表读数, 记录在表 3.10a.3 中, 并分析其稳压原理。

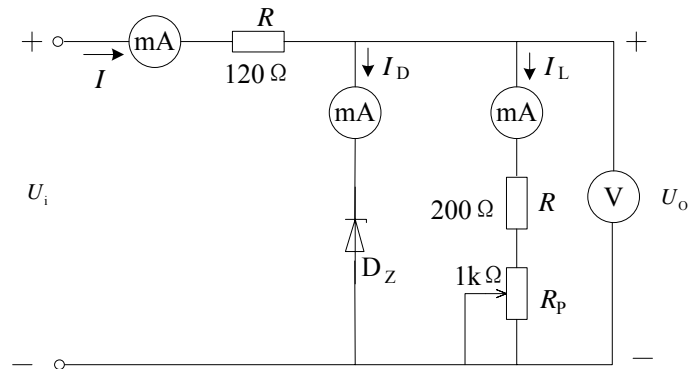


图 3.10a.13 并联稳压实验电路

- (1) 维持输入电压为 15V, 调节可变电阻 R_w , 使 I_L 为最小及最大。
- (2) 维持负载电阻为最大 (I_L 为最小), 改变输入电压为 18 V 及 12 V。

表 3.10a.3 并联稳压电路的稳压过程

| 测试条件 | | U_i / V | U_o / V | U_R / V | I_L / mA | I_D / mA | I / mA |
|------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|----------|
| 输入电压不变 负载电阻改变 | I_L 最小 | | | | | | |
| | I_L 最大 | | | | | | |
| 输入电压改变 负载电阻不变 | U_i 最小 | | | | | | |
| | U_i 最大 | | | | | | |

4. 集成稳压器 W7805 性能测试

按图 3.10a.14 接线, 在以下二种情况下测量输出电压 U_o 记录表 3.10a.4 中, 并计算电流调整率及电压调整率。

(1) 电流调整率测定

维持输入电压为 15 V, 在空载、可变电阻为最大及最小。

(2) 电压调整率测定

维持负载电阻为最小 (I_L 为最大), 改变输入电压为 18 V 及 12 V。

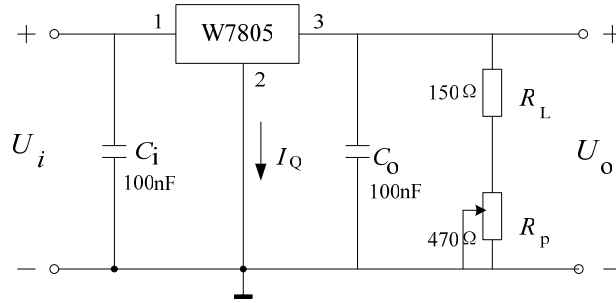


图 3.10a.14 W7805 的测试电路

表 3.10a.4 集成稳压器电流调整率及电压调整率

| 电流调整率测定 | | | 电压调整率测定 | | | |
|------------------|------------------------|------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|--|
| 空载 U_{O0}/V | R_p 最大 U_{O1}/V | R_p 最小 U_{O2}/V | $S_I = \left(\frac{U_{O0} - U_{O2}}{U_{ON}} 100\% \right)$ | $U_i = 18V$ U_{Omax}/V | $U_i = 12V$ U_{Omin}/V | $S_V = \left(\frac{\frac{\Delta U_o}{U_{ON}}}{\frac{\Delta U_i}{U_{IN}}} \right) 100\%$ |
| | | | | | | |

5. 集成可调稳压器 W317 的使用

按图 3.10a.15 (b) 接线, 维持输入电压为 30V, 取电位器 R_p 为 2.2k Ω , 调节 R_p , 观察输出电压 U_o 的变化情况, 在表 3.10a.5 中记录 U_o 的变化范围, 并与计算值比较。

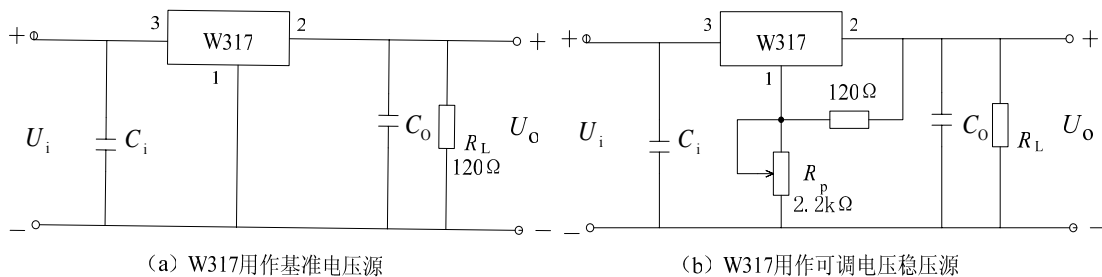


图 3.10a.15 集成可调稳压器的基本应用电路

表 3.10a.5 集成可调稳压器输出电压调节范围

| U_{Oomax}/V (计算值) | U_{Oomin}/V (计算值) | U_{Oomax}/V (实测值) | U_{Oomin}/V (实测值) |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | | |

B 设计性内容

设计一个能输出 $\pm 12\text{V}$ 的直流稳压电源（包括变压、整流、滤波环节），直流负载电流为 100mA ，所提供的电源变压器为 $220\text{V}/15\text{V}-0-15\text{V}$ （二次绕组带中心抽头），稳压器件为集成稳压器。要求画出电路图，选择整流二极管、电容器、集成稳压器规格，并通过实验测试。

实验报告要求

1. 根据所记录的滤波电路波形及测量数据,通过对波形的分析和比较说明整流方式(半波、桥式)、滤波方式(电容、 RC 、 π 形)、负载大小对输出波形及平均电压 U_o 大小的影响。
2. 根据并联稳压电路的测量数据说明其稳压原理。
3. 列出实验步骤 2、4、5 的测量结果。
4. 自行设计的 $\pm 12V$ 直流稳压电源电路图及测试结果。

实验现象

1. 交流电经过变压后（220V~14V），若在示波器上显示的输出波形是严重失真的正弦波。原因是电网提供的交流电波形本身就是严重失真的正弦波。
2. 用集成稳压器构成固定式（W7805）及电压可调式（W317）稳压电路，当用小数点后三位的数字电压表测量时看不出变化，稳压效果很好。

实验结果分析

1. 半波和全波整流出来的波形相比较，全波输出电压平均值是半波整流输出的二倍。
2. 半波和全波电容滤波后输出的波形相比较，全波输出电压平均值高，纹波较小。
3. π 形滤波和单个电容滤波相比较， π 形滤波纹波很小。

实验相关知识

预习要求

1. 单相不可控整流电路、平滑滤波电路、稳压管并联稳压电路的工作原理。
2. 了解集成稳压器的应用。
3. 计算用 W317 构成的可调稳压电路输出电压调节范围。

相关知识点

| | |
|-----------|------------|
| 整流电路 | E5060501 |
| 单相半波整流 | E506050101 |
| 单相全波整流 | E506050102 |
| 滤波电路 | E5060502 |
| 电容滤波 | E506050201 |
| π 形滤波 | E506050203 |
| 稳压电路 | E5060503 |
| 稳压管稳压 | E506050301 |
| 串联型稳压 | E506050302 |
| 集成稳压器 | E506050303 |

注意事项

1. 电源输入部分使用 220V 交流电接线及操作时要注意安全。
2. 测量电压要分清交流和直流,选用不同的仪表。
3. 连接集成稳压电路时,输入端、接地端和输出端要分清,正负极性不能接反。
4. 输出端对地绝对不能短路。