

一、设计背景

随着电子技术的快速发展，高性能的电子电路对于电源供电质量的要求越来越高，如何设计出能满足高性能电路要求的高精度电源便成为一大课题。直流稳压电源为电路提供直流电压和能量，其输出电压的品质直接决定的电源性能的好坏。

本实验旨在利用交流变压器、整流环节、滤波环节和集成原件稳压电路将交流电压转化为直流电压输出，并且对衡量稳压电路的性能的几种主要参数进行了测试和分析。直流稳压电源按照不同标准可以分为线性稳压电源、开关稳压电源，参数稳压器、反馈型稳压器等。本实验中我们设计了+5V、-5V 双路不可调稳压电源。

二、设计目的

- (1) 了解整流、滤波及稳压电源的原理和实现方法，加深对直流稳压电源的理解。
- (2) 掌握直流稳压电源的主要技术指标和测试方法。
- (3) 掌握三端集成稳压电源的基本应用电路。
- (4) 设计一个直流稳压电源并搭建电路进行试验，完成对其性能指标的测量。

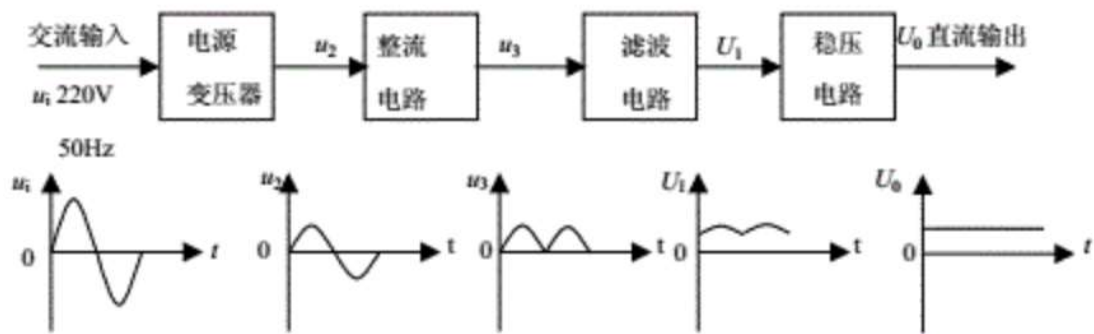
三、设计任务

设计一个双端输出 $\pm 5V$ 的直流稳压电源，要求 220V 交流电供电，在输入电压有 10%的波动的情况下能保证输出电压不变，且输出电压在一定范围（输出电流小于 0.6A）内不受负载大小的影响，暂时不考虑温度对电路性能的影响。

四、实验流程

- 1、理论知识学习
- 2、直流稳压电源原理图设计和参数计算
- 3、器件选择、电路搭建与性能指标的测量
- 4、结果分析与总结

五、设计原理



1、**电源变压器**：将市电(220V，上下波动 10%)交流电压变压至所需电压值，供后续电路使用。使各元件不至击穿或烧毁。

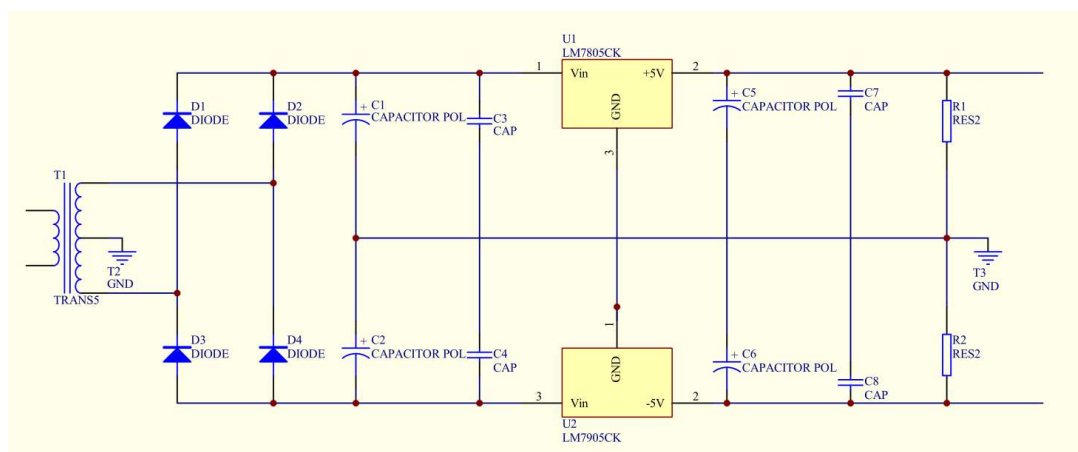
2、**整流电路**：将交流电压转换为脉动直流电压，在半波整流、全波整流、桥式整流，本实验中采用了桥式整流电路。

3、**滤波电路**：过滤整流后的电压中的交流成分，从而得到较为平滑的直流电压。本实验中使用电容滤波。

4、**稳压电路**：使输出电压保持在一定值，使其不受输入电压变化和负载变化而变化，常用的稳压器件有 LM78XX 系列。

其基本工作原理如下：首先，从电网接入 220V、50Hz 的交流电压作为输入电压，经过 220V 变压器降低至较小的符合电路需要的交流电压，将这个电压输入至整流电路，得到方向不变、大小随时间周期性变化的脉动电压；再经过滤波电路，利用电容的通交隔直属性，滤去交流成分，得到较为平直的直流电压，将其通过稳压电路，防止输入电压或负载变化对其影响，得到基本满足需求的直流电压。此外，在电路中，为了防止电路断电时储能元件给设备或操作人员带来损伤，还应在电容两端接入泄放电阻保证安全，为了防止电压倒灌，还应在稳压器输入输出端接一个二极管。在本实验中，可以省略此二极管。

六、设计电路图及参数、器件选择：



因给定了输出要求，所以从稳压电路向输入端逆向依次分析。

6.1 稳压电路：

实验要求设计稳压为 $\pm 5V$ 的直流稳压电源，因此选择器件 LM7805 和 LM7905。此外，还应在输出端并联泄放电阻与电容，以达到更好的稳压效果。此处电阻阻值应选较大且电容容值应选大电容和小电容并联，以拓宽工作带宽。因此取

$$R_1=R_2=51k\Omega,$$

$$C_7=C_8=0.1\mu F,$$

$$C_5=C_6=330\mu F.$$

输出最大压差为 10V，再取一定余量，故电容耐压值需大于 15V。

6.2 滤波电路：

首先计算电容容值，电容容值应选过滤低频输入的大电容和过滤高频输入的小电容串联，以拓宽工作带宽。由公式

$$RC = (3\sim 5)T/2$$

结合经验可以得出电容分别取

$$C_1=C_2=1000\mu F,$$

$$C_3=C_4=0.1\mu F.$$

再计算电容耐压值。由于 LM7805 和 LM7905 要求输入与输出电压差 ΔU 大于 2V，此处取

$$\Delta U_{\min}=3V.$$

故 7805 和 7905 输入最低电压大小分别为

$$U_{i,\min}=U_o+\Delta U_{\min}=8V.$$

加之电容不完全对称和电网波动的等因素，取耐压值大于 $2\times 8\times 1.1\times \sqrt{2}\approx 25V$ 。

6.3 整流电路

首先计算二极管电流参数，LM7805 和 LM7905 接地管脚电流远小于输入输出电流，故取

$$I_i=I_o=0.6A.$$

二极管电流又满足

$$I_i = 2I_{DO(\text{直流})},$$

$$I_{D(\text{有效值})} = (2.5 \sim 3)I_{DO(\text{直流})}.$$

计算可得

$$I_{DO(\text{直流})} = (1/2)I_i = 0.3A,$$

$$I_{D(\text{有效值})} = (2.5 \sim 3)I_{DO(\text{直流})} = (0.75 \sim 0.9)A.$$

而在二极管手册上，又有如下对应关系

$$I_{D(\text{有效值})} = 1.57I_{DO(\text{手册})}.$$

计算可得，

$$I_{DO(\text{手册})} = I_{D(\text{有效值})} / 1.57 = 0.9 / 1.57 = 0.573A.$$

再计算二极管耐压参数，

$$U_2 = 2 \times \frac{U_{i,\min}}{0.9 \times 0.9} \approx 20$$

故要求耐压值

$$U_{DR} > U_2 \times 1.1 \times 2\sqrt{2} \approx 61V$$

而 1N4007 反向耐压已达 1000V。

6.4 变压器

由以上计算可得，变压器将 220V 市电变压至 $U_2 \approx 20V$ ，故取 220V: 2X10V 变压器即可。

七、性能指标

7.1 稳压系数：

$$S = \frac{\frac{\Delta U_o}{U_o}}{\frac{\Delta U_i}{U_i}}$$

式中 U_o 指输出电压， U_i 指输入电压。稳压系数指的是输入电压相对变化引起输出电压相对变化程度，稳压系数越小，表明电源性能越好。

7.2 输出电阻：

$$r = \frac{\Delta U_o}{\Delta U_i}$$

输出电阻指的是在输入电压一定的情况下，输出电压变化量与输出电流变化量之比，输出电阻越小，表明电源性能越好。

7.3 纹波电压：

纹波电压指叠加在输出电压 U_o 上的交流分量，可以用示波器测量得到的输出电压的峰峰值 V_{pp} 或示波器测量交流档下的均方根值 $\sqrt{v^2}$ 来表征。峰峰值或者均方根值越小，表示直流稳压电源的直流性越好。

由以上器件参数的计算和所需测量的性能指标，可得实验所需元件与仪器如下：

220V 变压器	1 个
1N4007 二极管	4 个
1000uF 电解电容	2 个
330uF 电解电容	2 个
0.1uF 独石电容	4 个
LM7805 稳压器	1 个
LM7905 稳压器	1 个
51K 电阻	2 个
0~100Ω 滑动变阻器	1 个
导线	若干
万用表	2 个
示波器	1 台
面包板	1 块

八、测量过程与实验结果

8.1 稳压系数

测量方法：使输出电流保持在额定值 0.6A 左右，保持负载不变，改变输入电压为 220V 上下波动 10%，用万用表直流电压档测输出电压。

8.1.1 +5V 输出

输入电压/V	输出电压/V	稳压系数 S
220.5	4.998	
198.4	4.998	0
242.2	4.998	0

$$S_{+5}=0$$

8.1.2 -5V 输出：

输入电压/V	输出电压/V	稳压系数 S
219.6	-4.870	
198.1	-4.849	4.31%
242.0	-4.852	3.70%

$$S_{-5} = \frac{4.31\% + 3.70\%}{2} = 4.01\%$$

8.1.3 ±5V 输出：

输入电压/V	输出电压/V	稳压系数 S
220.2	9.917	
198.3	9.905	1.21%
242.0	9.899	1.82%

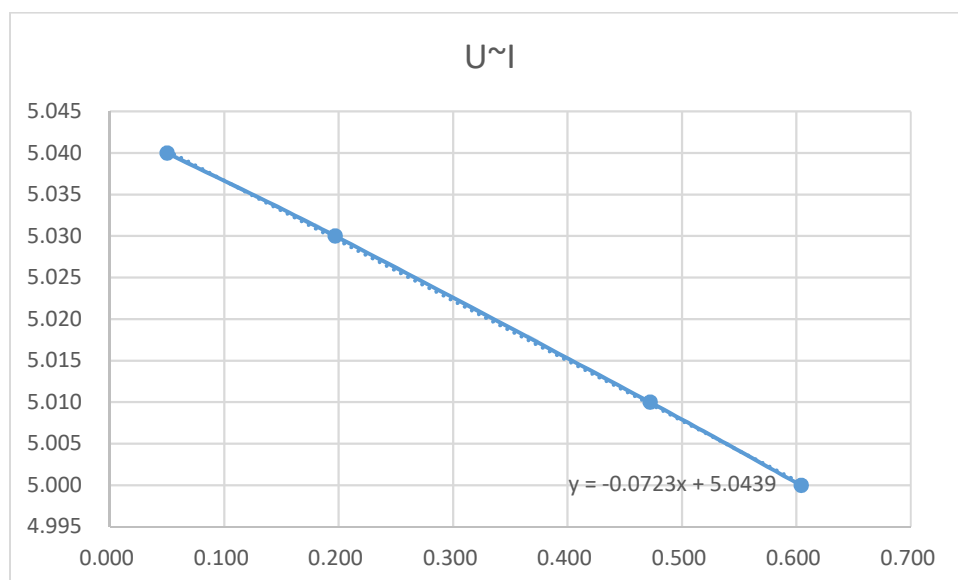
$$S_{\pm 5} = \frac{1.21\% + 1.82\%}{2} = 1.52\%$$

8.2 输出电阻

测量方法：保持输入电压不变，大范围改变负载阻值，测量负载电压和负载电流的变化值，由戴维宁定理可知，两者的比值即稳压源的输出电阻。测量电压和电流分别用万用表直流电压档和电流档，应注意电压表要并联在电流表和负载电阻两端。

8.2.1 +5V 输出

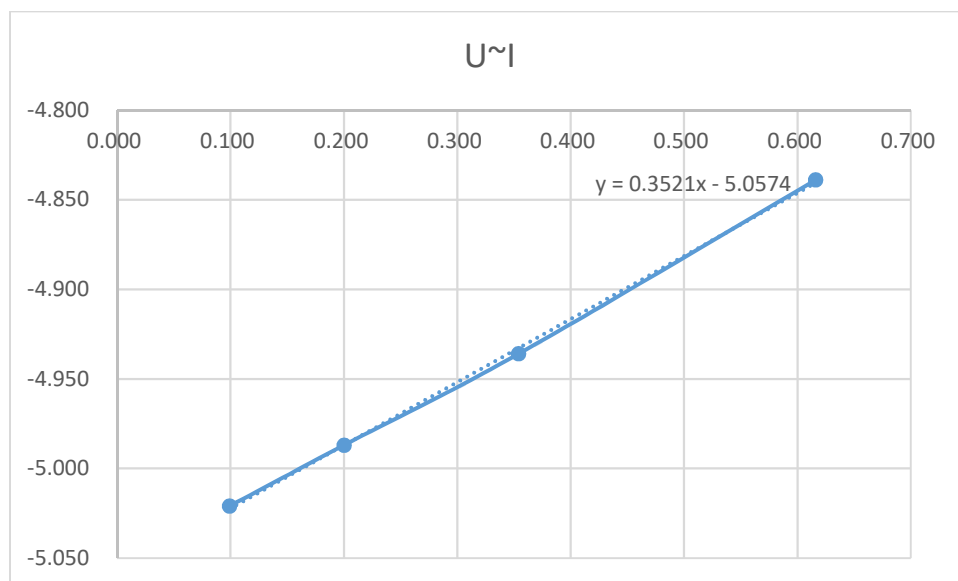
I_o/A	U_o/V
0.050	5.040
0.197	5.030
0.472	5.010
0.604	5.000



$$R_o = 0.0723\Omega$$

8.2.2 -5V 输出：

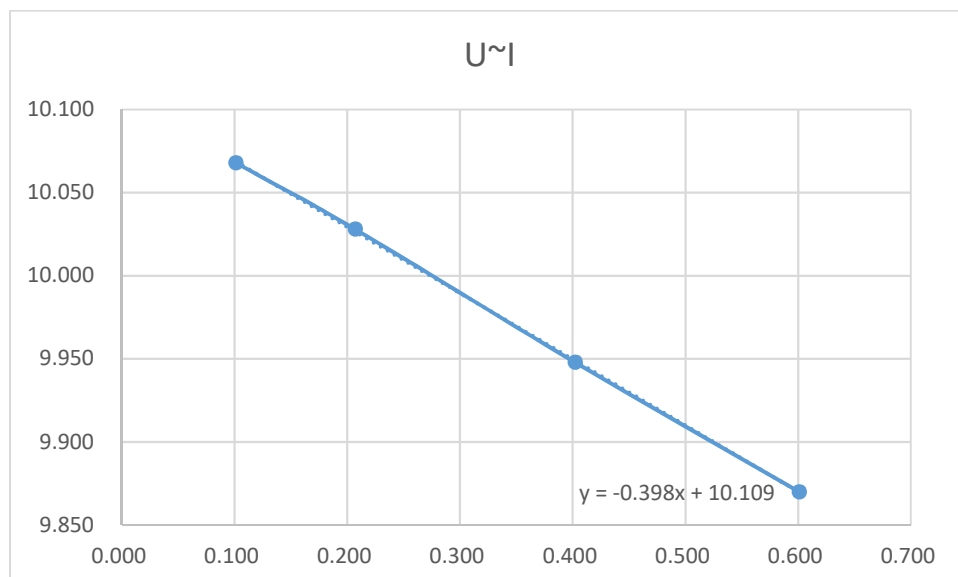
I_o/A	U_o/V
0.616	-4.839
0.354	-4.936
0.200	-4.987
0.099	-5.021



$R_o = 0.3521\Omega$

8.2.3 $\pm 5V$ 输出

I_o/A	U_o/V
0.101	10.068
0.207	10.028
0.402	9.948
0.601	9.870



$R_o = 0.3980\Omega$

8.3 纹波电压

测量方法：220V 电压输入下，使电路工作在额定电流下，用示波器观察输出电压，并使用交流耦合档观察纹波电压，用 Measure 档测量其均方根值和峰峰值，做记录。

输出模式	峰峰值/mV	均方根值/mV
+5V	23.8	4.47
-5V	88	19.7
±5V	156	43.4

8.4 由以上测量结果，可以总结如下表：

输出模式	稳压系数 S	输出电阻 R_o/Ω	峰峰值 V_{pp}/mV	交流均方值 $\sqrt{v^2}/mv$
+5V	0	0.0723	23.8	4.47
-5V	0.09%	0.3521	88	19.7
±5V	0.07%	0.3980	156	43.4

九、结果分析与心得总结

本次实验中我们得到了较为稳定的输出电压，当输出电流 I_o 在额定电流 0.6A 以下时，随着负载电阻的变化，输出电压的变化极小，电路的稳压性能较好，同时，根据实验时所记录的数据，最终计算出的稳压系数、输出电阻和纹波电压也都很小，电路的性能较好。比较不同输出电压范围下测得的性能指标，可知，本实验中设计的直流稳压电源负端输出性能比正端输出性能差。此外，所测的性能指标值与理论值虽然较小，但仍然存在一定的误差，主要原因有：

- 1、元件实际参数与标定值有一定误差，使得电路正负端不完全对称，导致最终的正负端性能差异；
- 2、实验时，因为实验时间较长，电路元件工作发热等因素导致温度不稳定，使得测量结果并不是在同一个温度下得到的，不满足单因子变量原则，导致最终的测量结果有误差；
- 3、二极管与电容并非理想器件，其本身存在非线性电阻，在整流与滤波过程中存在一定的误差，导致最终输出电压仍然存在一定的交流分量。

本次实验中，我们组员多次讨论，共同完成了直流稳压电源的原理图设计与参数选择。并合作完成电路搭建和性能参数测量工作。在这个过程中，我们复习并深入理解了整流电路、滤波电路和三端稳压器的功能和应用，对直流稳压电源的工作原理也有了更深刻的理解。

在实验中，我们借助互联网查阅了较多资料，在此过程我们充分认识到互联网知识的碎片化，也充分意识到有些时候深入思考要比广泛涉猎重要很多，我们可以从互联网上搜集到电路图，但若不深入思考也无法理解各个成分的工作原理，更妄提选择参数。我们也求助了上一学期用到的模电教材，复习了整流、滤波的相关知识，最终理解了稳压电源的工作原理并算出了各个元件能承受的极限参数。

在电路搭建环节，细心耐心和良好的学术作风是很重要的。在我们组实验前，已有耳闻一些组几个小时未完成，甚至还有有的组爆了电容，便向其他组“借”了数据完成实验。我们组对此嗤之以鼻，而且因为我们组在实验前便十分细致的讨论了各个组件的工作原理，因此也有一定的自信不会发生大的失误。实验中，我们谨慎耐心，爱护原件和器件。当出现问题，我们分析电路，断开无关电路一步步用示波器和万用电表跟踪信号流向，查找出错原因。最终，我们较为顺利的完成了电路搭建和数据测量与记录。