



模拟电子技术实验

主编：李天华



山东农业大学

机械与电子工程学院

目 录

实验一	单管共射极放大电路-----	2
实验二	射极输出器-----	6
实验三	集成运算放大器应用-----	8
实验四	整流滤波稳压电路-----	14

实验一 单管共射极放大电路

一、实验目的

- 1、掌握放大电路的静态工作点的测量。
- 2、掌握放大电路电压放大倍数的测量。
- 3、掌握放大电路的输入输出电阻的测量。
- 4、掌握基极偏置电阻的改变对 Q 点的影响。

二、实验仪器

- 1、XST-8 电子技术综合实验装置
- 2、万用表
- 3、示波器

三、实验原理

- 1、实验原理如图 1.1。

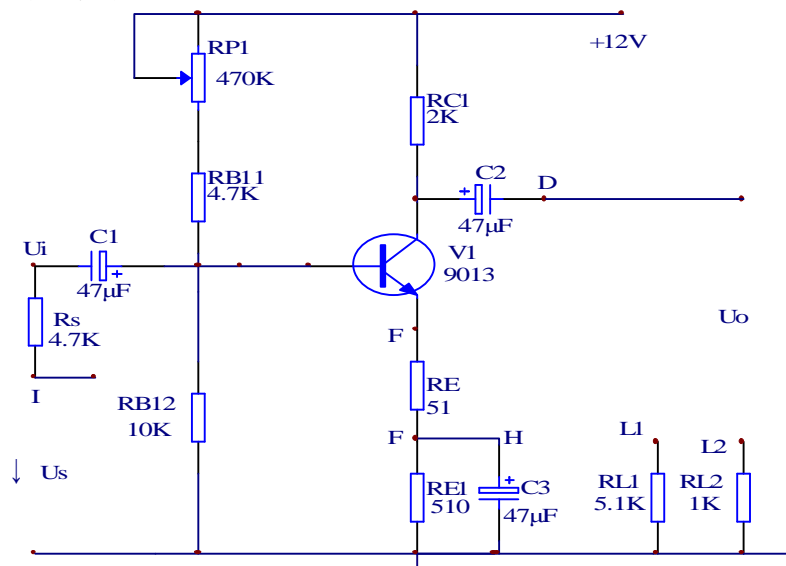


图 1.1 单管共射极放大电路

图 1.1 为分压式电流负反馈偏置电路。

V1 (9013) --NPN 型硅三极管，其作用是放大交流信号；

Rb1 (RB11+RP1)、RB12--放大器基极偏置电阻，改变 Rb1 可改变基极电流，即可调节 Q 点的位置。

RC1--放大器集电极电阻；

RE1、RE--射极负反馈电阻，其中 RE 为交、直流负反馈电阻；

C3--RE1 的交流旁路电容；

C1、C2--隔直流通交流的耦合电容；

RL1、RL2--负载电阻；

RS--输入信号衰减电阻，以防信号过大而失真。

2、工作原理

(1)放大器静态工作点即 Q 点的求法：先画出放大器的直流通路，将电路中所有电容视为开路，如图 1.2。

求 Q 点：

$$U_{BQ} \rightarrow U_{EQ} \rightarrow I_{EQ} \rightarrow I_{BQ} \rightarrow U_{CEQ}$$

$$U_{BQ} = V_{CC} \times \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

$$U_{EQ} = U_{BQ} - U_{BEQ} (=0.7V)$$

$$I_{EQ} = \frac{U_{EQ}}{R_E + R_{E1}}$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{EQ}}{\beta + 1}$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{EQ}}{1 + \beta}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} (R_{C1} + R_E + R_{E1})$$

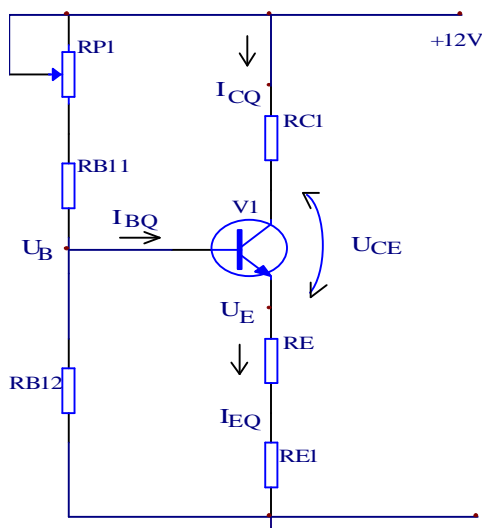


图 1.2 放大器的直流通路

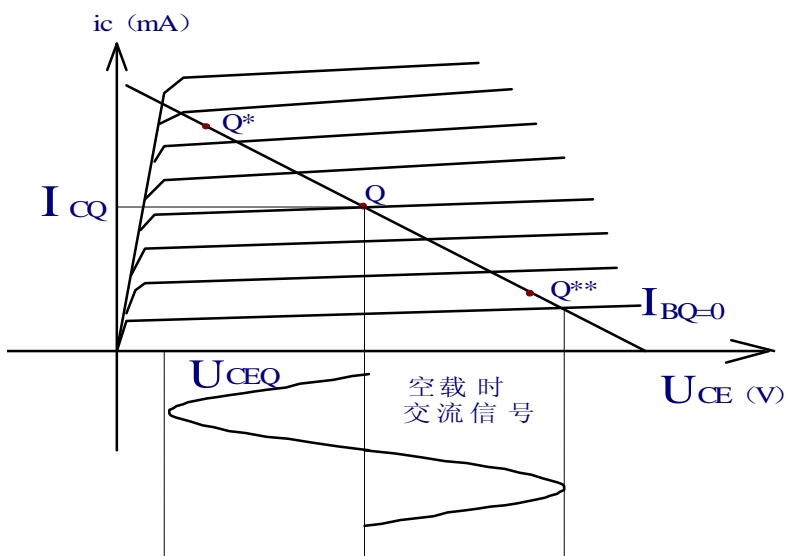


图 1.3 Q 点位置不失真示意图

求出 I_{BQ} 、 I_{EQ} 、 U_{CEQ} 以后，可以从三极管输出特性曲线的直流负载线上找到 Q 点的位置，如图 1.3 所示，由图可见，Q 点的位置基本上位于直流负载线的中点是比较合适的。改变基极偏置电阻中的 (470K) 电位器，就会改变 Q 点的位置。Q 点的位置升高，易使信号饱和失真；Q 点的位置降低，易使信号截止失真。所以调节基极上偏置电位器，可以调节 Q 点到合适的位置。当然改变 V_{CC} 、 R_C 也能改变 Q 点的位置，通常 V_{CC} 、 R_C 相对固定，改变 R_{B1} 最为方便。

(2)画出交流通路，求出放大器的电压放大倍数 (AV)、输入电阻 (R_i)、输出电阻 (R_o)。

画交流通路的方法：①将放大器中所有的耦合电容、旁路电容视为短路。②将 V_{CC} 视为接地。图 1.1 的交流通路如图 1.4，放大器的微变等效电路如图 1.5。

则放大器的输入电阻 $R_i = R_{b1} // R_{b2} // [r_{be} + (1 + \beta) R_e] = r_{be} + (1 + \beta) R_e$

电压增益 $AV = U_o / U_i = \frac{-I_c R_L^*}{I_b [r_{be} + (1 + \beta) R_e]} = -\beta \frac{R_L}{r_{be} + (1 + \beta) R_e}$

放大器输出电阻 $R_o = R_c$ 其中 $R_L^* = R_c // R_L$

四、实验内容及步骤

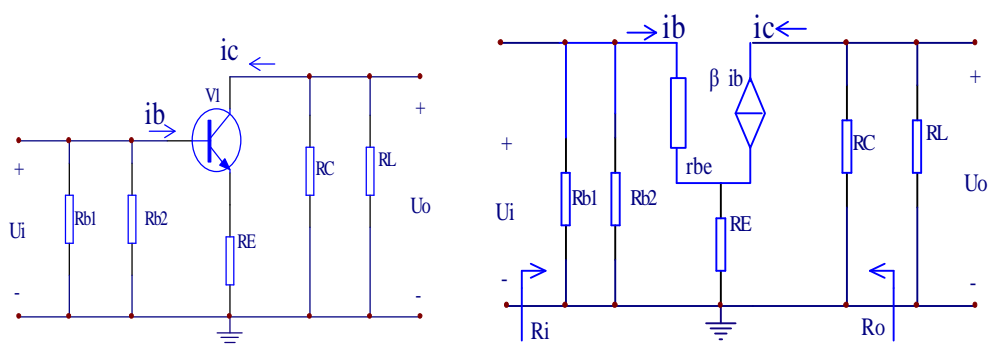
1、连接电路

图 1.4 放大器的交流通路 图 1.5 放大器微变等效电路

(1) 在实验板上按照图 1.1 所示，正确组合连接电路，将 $RP1$ 调节到电阻最大位置。

(2) 接线后，仔细检查，确认无误后接通 +12V 电源。

2、静态调整



将输入端短路，调节 $RP1$ ，使① $U_{CE} = 11V$ ，② $U_{CE} = 0.4V$ ，③ $U_{CE} = 6V$ ，分别测量静态工作点 Q 直流参量： U_B 、 U_E 、 U_C 、 U_{CE} 、 I_C ，将测量数据记入表 1.1。

表 1.1 静态工作点的测量

Rb1	UCE	UB	UE	UC	三极管工作状态

3、交流参数的测量

(1)电压放大倍数的测量

①在电路输入端 I 处输入 $f=1\text{kHz}$ ，幅度 $V_{p-p}=0.2\text{V}$ 正弦波信号，用示波器探头接 I 处，观测输入信号的波形及幅度。

②用示波器探头接 D 处，观测输出信号的波形及幅度。

③观测示波器上 U_i 、 U_o 波形及幅度，将测量结果记入表 1.2。

表 1.2 波形比较

项 目	实测数据	比较 U_i 、 U_o 波形相位及幅度
三极管基极电压 U_i		
三极管集电极电压 U_o		
电压放大倍数 A_v		

(2)观察 R_{b1} 的改变对工作点 Q 及对输出波形的影响。

①首先调节基极偏置电阻，使输出波形最大而不失真（此时为放大状态），用万用表测出 U_B 、 U_E 、 U_C 、 U_{CE} 值，填入表 1.4，并记录此时输出的波形图。

②然后调节基极偏置电阻，使 $U_{CE}=11\text{V}$ ，增大 U_i ，使输出波形顶部失真，同理测出 U_B 、 U_E 、 U_C 、 U_{CE} 值，填入表 1.4，并记录此时输出的波形图。指出是什么失真。

③再调节基极偏置电阻，使 $U_{CE}=0.3\text{V}$ ，增大 U_i ，使输出波形底部失真，同理测出 U_B 、 U_E 、 U_C 、 U_{CE} 值，填入表 1.4，并记录此时输出的波形图。指出是什么失真。

表 1.4 基极偏置与波形

条件: RL 开路	静态工作点 Q 点值				输出波形	放大器工 作状态
	UB (V)	UE (V)	UC (V)	UCE (V)		
Rb1 适中						
Rb1 大						
Rb1 小						

五、实验报告要求

- 1、用方格纸作图。
- 2、为什么调节 RP1 可改变 Q 点位置。Q 点太低、太高为何不行？
- 3、如果 Rb1 开路，电路还能正常工作吗？为什么？

实验二 射极输出器（共集电极电路）

一、实验目的

- 1、掌握放大器共集电极电路的特点；
- 2、掌握放大器静态工作点的测量方法；
- 3、掌握电压放大倍数的测量方法；
- 4、掌握放大器输入电阻、输出电阻的测量方法。

二、实验仪器

- 1、XST-8 型电子技术综合实验装置
- 2、万用表
- 3、示波器

三、实验原理

- 1、实验电路图如图 3.1

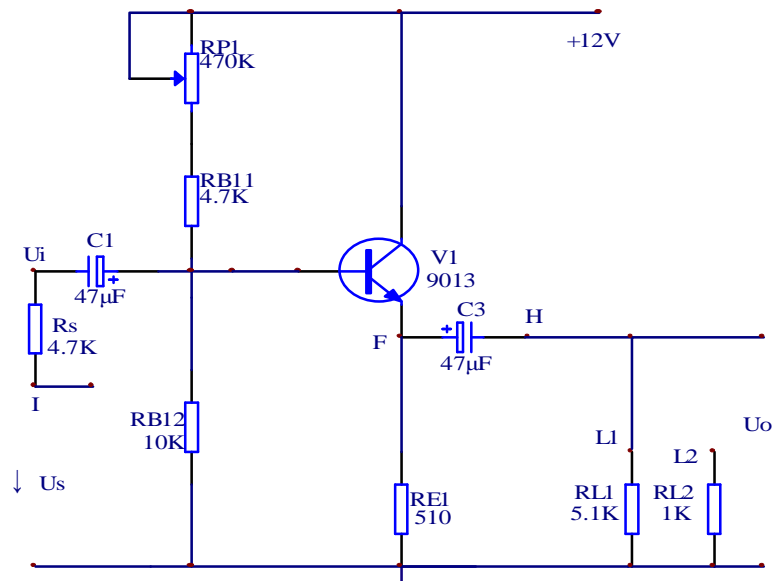


图 3.1 射随器

图中各元件的作用：

V1--NPN 三极管，其作用是放大交流信号（电流放大）；

RS--衰减输入信号，使放大器工作在动态范围内；

C1、C3--耦合电容，隔直流通交流；

RB11、RB12、RP1--基极偏置电阻，决定放大器 Q 点；

RE1--射极交、直流负反馈作用；

RL1、RL2--负载电阻

2、工作原理

射极输出器实际上是以集电极为公共端的共集电极放大器，又是一种反馈很深的串联电压负反馈放大器，具有输入电阻高，输出电阻低，电压放大倍数接近 1，以及输出信号与输入信号同相位的特点。由于射极输出器的输出信号电压能够在较大范围内跟随输入信号电压作线性变化，具有良好的跟随性，故将共集电极电路射极输出器称作电压跟随器，在电路中起电流放大、阻抗变换及级间隔离作用。

(1)、静态工作点的求法：

画出直流通路。

设定 $U_E = 2V, I_{EQ} = 4mA$

$I_{BQ} = I_{EQ}/(1 + \beta)$; $V_{CC} = U_E + U_{CEQ}$

$$\begin{aligned}
 AV &= \frac{U_o}{U_i} = \frac{I_e R_{e1} // R_L}{I_b [r_{be} + (1 + \beta) R_{e1} // R_L]} \\
 &= \frac{(1 + \beta) R_{e1} // R_L}{r_{be} + (1 + \beta) R_{e1} // R_L}
 \end{aligned}$$

$$R_i = R_{b1} // R_{B12} // [r_{be} + (1 + \beta) R_{e1} // R_L]; R_{b1} = R_{B11} + R_{P1};$$

$$R_o = R_{e1} // [(R_{b1} // R_{B12} + r_{be}) / (1 + \beta)].$$

四、实验内容及步骤

1、电路连接

- (1)、在实验板上按照图 3.1 连接电路。
- (2)、接线后，仔细检查，确认无误后接通+12V 电源。

2、静态工作点的测试

调节电位器 R_{P1} ，使 $U_e = 2V$ ，然后测量 U_B 、 U_E 、 U_C 、 U_{CE} ，填入表 3.1 中。

表 3.1 Q 点测量

R_{B1}	U_E	U_B	U_C	U_{CE}

3、交流参数的测量

(1)、交流放大倍数的测量：

①将频率为 1kHz 的正弦波信号接入 I 处，调节输入信号幅度使输出信号为 1Vp-p。

②用示波器 CH1 探头测量 V1 基极，CH2 探头测量发射极。

③观察两波形的幅度及相位，填入表 3.2 中。

表 3.2 相位比较

	V_i 幅度及相位	U_o 幅度及相位
放大器处于放大状态		

(2)、输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 的测量：

①输入电阻 R_i 的测量：方法同实验一， $R_i = U_i / [(U_s - U_i) / R_s]$ 。

②输出电阻 R_o 的测量：方法同实验一， $R_o = (U_o / U_L - 1) R_L$ 。

五、实验报告要求

- 1、整理记录各测量数据及作图。
- 2、若将输出点接到 V1 的集电极，会有输出波形吗？为什么？
- 3、记录基极、射极交流信号相位波形。

实验三 集成运算放大器应用

一、实验目的

- 1、了解集成运算放大器的基本运算关系和应用。

2、掌握各种功能电路的测试和分析方法。

二、实验仪器

- 1、电子技术综合实验装置
- 2、万用表
- 3、示波器

三、实验原理

集成运放放大器是一种高放大倍数的直流放大器。若在它的输出端和输入端加入反馈网络，则可实现各种不同的电路功能。

1、电压跟随器

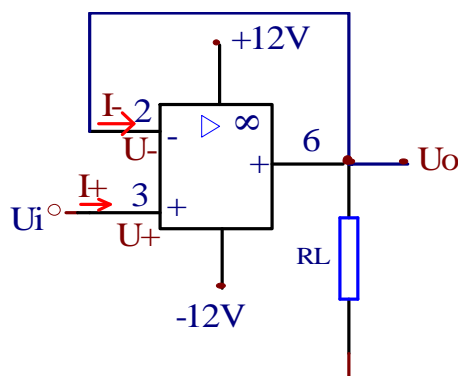


图 10.1 电压跟随器

(1) 如图 10.1 所示进行连接电路。运放采 LM741，内部引脚功能，2 脚是反相输入端，3 脚是同相输入端，6 脚是输出端，7 脚是正电源端 (+12V)，4 脚是负电源端 (-12V)，在 3 脚输入一个信号 U_i ，6 脚将输出一个与 U_i 相位相同，大小相等的交流信号 U_o ，若输入一个直流信号，输出也一定等于输入信号。

根据运放工作在线性区有两个特点：

$$U_- = U_+ = U_i; I_- = I_+ = 0, \text{ 由图 10.1 可知 } U_o = U_i$$

2、反相比例放大器

实验原理如图 10.2 所示。6 脚与 2 脚接入负反馈电路，信号从反相端 2 脚输入，从 6 脚输出一个相位相反的并经过放大的信号。由于 R_F 的负反馈作用，该运放工作在线性区，即 $I_- = I_+ = 0$ ；则 $I_1 = I_f$ 。

$$\because U_- = U_+ = 0 \text{ (虚地)} \therefore I_1 = U_i / R_1 = -U_o / R_f, \text{ 则 } A_{vf} = -R_f / R_1。$$

A_{vf} 与 R_f 、 R_1 的比值有关，故称作比例运算。

当 $R_1 = R_f$ 时， $A_{vf} = -1$ 此时称反相器，即 $U_o = -U_i$ 。 U_o 、 U_i 幅度相等。在理想条件下，运算关系为：
$$U_o = -\frac{R_f}{R_1} U_i。$$

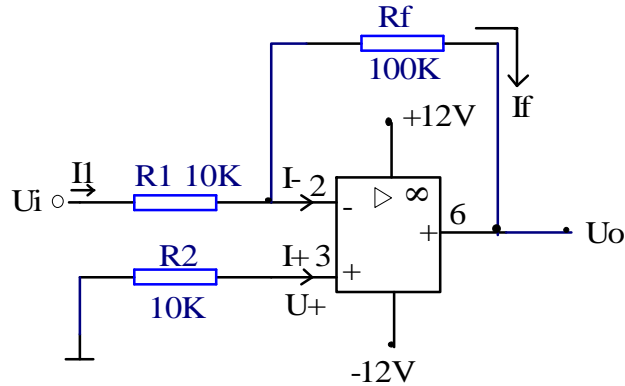


图 10.2 反相比例放大电路

3、同相比例放大器

实验原理电路如图 10.3 所示。

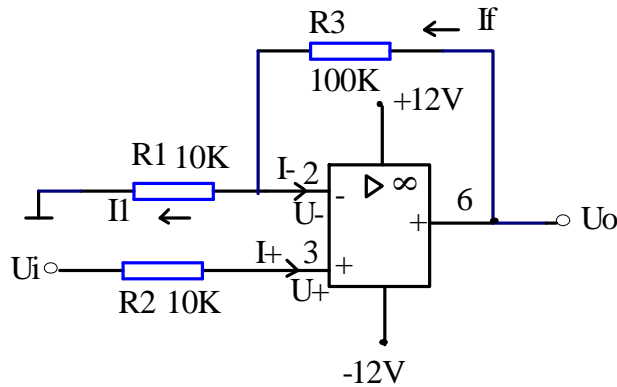


图 10.3 同相比例放大器

根据运放工作在线性区有两个特点：

$$U_- = U_+ = U_i; \quad I_- = I_+ = 0$$

$$\text{则 } I_1 = I_f \quad I_1 = U_i / R_1 = (U_o - U_i) / R_f$$

$$U_i (1/R_1 + 1/R_f) = U_o / R_f \quad U_o / U_i = 1 + R_f / R_1$$

A_{vf} 与 R_f 、 R_1 的比值有关，故称作比例运算。在理想化条件下，运算关系为：

$$U_o = (1 + \frac{R_f}{R_1}) U_i。$$

4、加法电路

实验原理电路如图 10.4 所示。此图为反相比例加法器。在理想化条件下，运算关系为： $U_o = -\frac{R_f}{R_1} (U_{i1} + U_{i2})$ 。

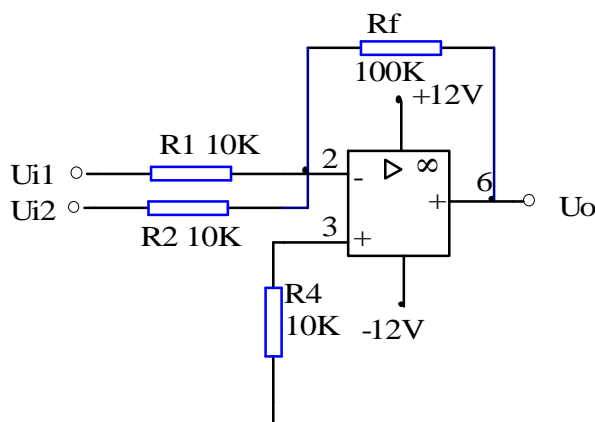


图 10.4 加法器

5、减法电路

实验原理电路如图 10.5 所示。

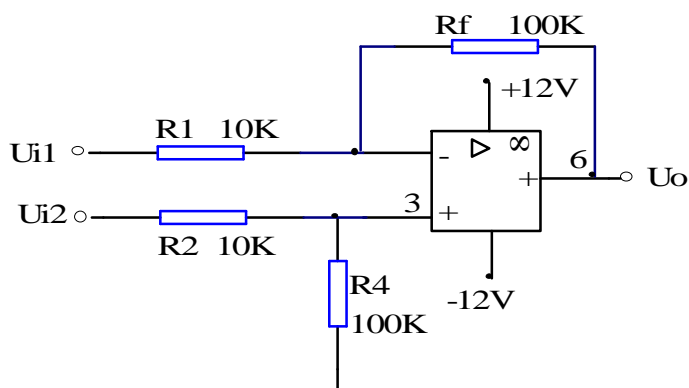


图 10.5 减法器

此电路为差分输入减法器。当 $R_1 = R_2$ 、 $R_f = R_4$ 时，在理想化条件下运算关系为：

$$U_o = \frac{R_f}{R_1} (U_{i2} - U_{i1})$$

四、实验内容与步骤

1、电压跟随器

- (1)按照图 10.1 连接电路。
- (2)检查无误后，接通电源±12V。
- (3)在 U_i 处输入直流信号，按表 10.1 内容实验并测量记录。
- (4)在 U_i 处输入频率为 1kHz，幅值为 0~1V 的正弦波信号，用示波器观察 U_o 的波形，并与输入信号进行比较。

表 10.1 电压跟随器

U_i (v)		-2	-0.5	0	+0.5	1
U_o (v)	$R_L = \infty$ 测试					

	RL=10K 测试					
	误差					
	误差					

2、反相比例放大电路

- (1)按照图 10.2 连接电路。
- (2)检查无误后，接通电源±12V。
- (3)在 U_i 处输入直流信号，表 10.2 内容实验并测量记录。
- (4)在 U_i 处输入频率为 1kHz、幅值为 0.2V~0.8V 的正弦波信号，用示波器观察输出 U_o 的波形，并与输入信号进行比较。

表 10.2 反相比例放大电路

直流输入电压 U_i (V)		0.2	0.4	0.6	0.8
输出电压	理论估计(V)				
	实测值(V)				
	误差				

3、同相比例放大器

- (1)按照图 10.3 连接电路。
- (2)检查无误后，接通电源±12V。
- (3)在 U_i 处输入直流信号，按表 10.3 进行测量并记录。
- (4)在 U_i 处输入频率为 1kHz、幅值为 0.1V~ 0.8V 的正弦波信号，用示波器观察输出 U_o 的波形，并与输入信号进行比较。

表 10.3 同相比例放大器

直流输入电压 U_i (V)		0.2	0.4	0.6	0.8
输出电压	理论估计(V)				
	实测值(V)				
	误差				

4、加法电路

- (1)按照图 10.4 连接电路。
- (2)检查无误后，接通电源±12V。
- (3)在 U_{i1} 、 U_{i2} 处输入直流电压，用万用表测量输出 U_o 的输出电压，按表 10.4

的要求进行实验测试并记录。

表 10.4 加法电路

U _{i1} (v)	0.3	0	-0.3
U _{i2} (v)	0.2	0	-0.2
U _o (v)			

5、减法电路

(1)按照图 10.5 连接电路。

(2)检查无误后，接通电源±12V。

(3)在 U_{i1}、U_{i2} 处输入直流电压，用万用表测量输出 U_o 的输

表 10.5 减法电路

出电压，按表 10.5 的要求进行实验测试并记录。

U _{i1} (v)	0.3	0	-0.3
U _{i2} (v)	0.2	0	0.2
U _o (v)			

五、实验报告要求

- 1、整理实验数据，画出实验电路。
- 2、分析实验结果，画出输入信号、输出信号的波形，并进行比较。
- 3、对比各实验电路，总结各自的特点。

实验四 整流滤波稳压电路

一、实验目的

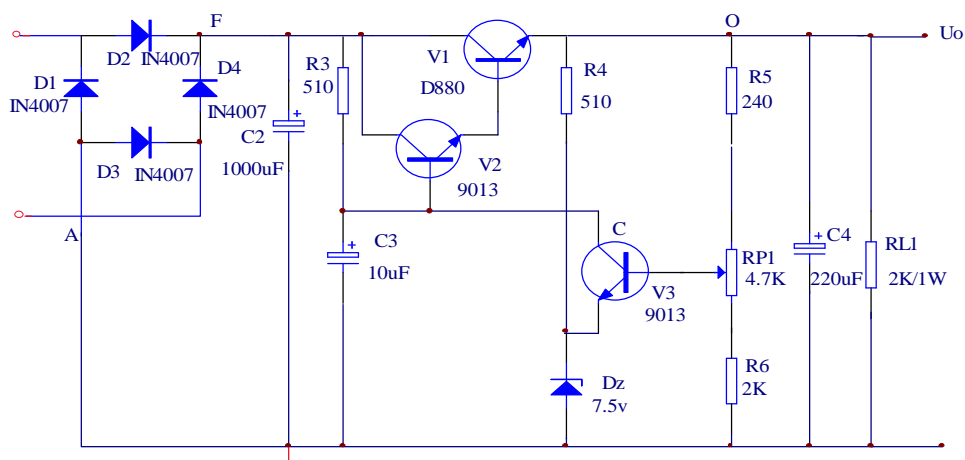
- 1、熟悉整流，滤波，稳压电路的工作原理。
- 2、掌握主要性能指标的调整和测试方法。

二、实验仪器

- 1、XST-8 电子技术综合实验装置
- 2、万用表
- 3、示波器

三、实验原理

直流稳压电源由电源变压器、整流、滤波和稳压电路四部分组成，其原理图如图所示。电网供给的交流电压 U_1 (220V, 50Hz) 经电源变压器降压后，得到符合电路需要的交流电压 U_2 ，然后由整流电路转换成方向不变、大小随时间变化的脉动电压 U_3 ，再用滤波器去其交流分量，就可得到比较平直的直流电压 U_I 。但这样的直流输出电压，还会随交流电网电压的波动或负载的变化而变化。在对直流供电要求较高的场合，还需要使用稳压电路，以保证输出直流电压更加稳定。



串联稳压电源

上是由分立元件组成的串联型稳压电源的电路图。其整流部分为单相桥式整流、电容滤波电路，它由调整元件（三极管 V_1 、 V_2 ）；比较放大器 R_3 、 V_3 ；取样电路 R_5 、 R_6 、 RP_1 ，基准电压 R_4 、 Dz 组成。整个稳压电路是一个具有电压串联负反馈的闭环系统，其稳压过程为：当电网电压变动或负载变动引起输出直流电压发生变化时，取样电路取出输出电压的一部分送入比较放大器，并与基准电压进行比较，产生的误差信号经 V_3 放大后送至调整管 V_1 的基极，使调整管改变其管

压降，以补偿输出电压的变化，从而达到稳定输出电压的目的。

稳压电源的主要性能指标：

1、输出电压 U_o 和输出电压调节范围

$$U_o = \frac{R_5 + R_{p1} + R_6}{R_6 + R_{p1}} (U_z + U_{ce})$$

调节 R_{p1} 可以改变输出电压 U_o 。

2、最大负载电流 I_{om}

3、输出电阻 R_o

输出电阻 R_o 定义为：当输入电压 U_i （指稳压电路输入电压）保持不变，由于负载变化而引起的输出电压变化量与输出电流变化量之比，即

$$R_o = \left. \frac{\Delta U_o}{\Delta I_o} \right|_{U_i = \text{常数}}$$

4、稳压系数 S （电压调整率）

稳压系数定义为：当负载保持不变，输出电压相对变化量与输入电压相对变化量之比，即

$$S = \left. \frac{\Delta U_o / U_o}{\Delta U_i / U_i} \right|_{R_L = \text{常数}}$$

由于工程上常把电网电压波动 $\pm 10\%$ 作为极限条件，因此也有将此时输出电压的相对变化 $\Delta U_o / U_o$ 作为衡量指标，称为电压调整率。

5、纹波电压

输出纹波电压是指在额定负载条件下，输出电压中所含交流分量的有效值（峰值）。

6、半波整流的输出电压 U 为

$$U = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_i = 0.45 U_i$$

7、桥式整流（全波）的输出电压 U 为

$$U = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_i = 0.9 U_i$$

四、实验内容及步骤

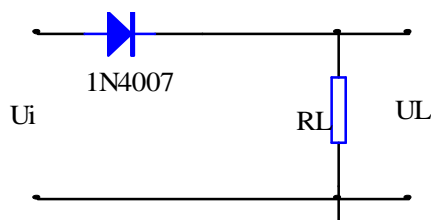


图 18.2 半波整流

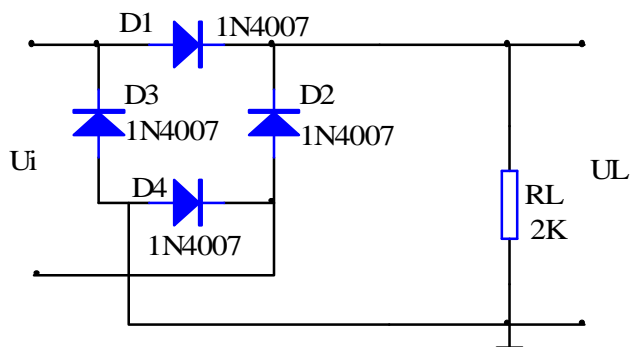


图 18.3 桥式整流

1、整流电路的研究

- (1)在电路板上按照图 18.2、图 18.3 连接成半波整流、桥式整流电路。
- (2)分别测试 U_i 、 U 电压值，观察记录波形，并将 U 测试值与理论值进行比较。
- (3)分别记录半波整流和桥式整流的波形，并进行比较。

2、滤波电路研究

- (1)在电路板上按照图 18.4 连接电路，接成电容滤波电路。
- (2)分别用不同电容接入电路，测试 U_i 、 U ，观察记录波形，并将 U 测试值与经验值进行比较。电容滤波器输出电压 U 经验值为： $U = 1.2U_i$ 。

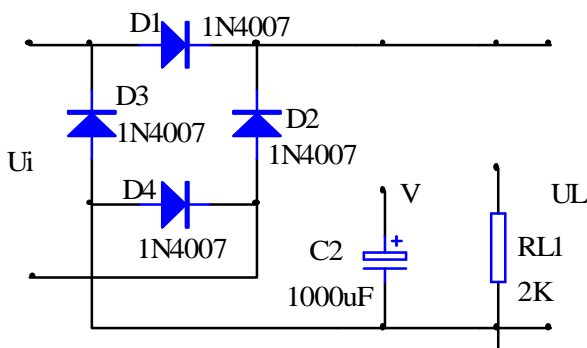


图 18.4 电容滤波电路

3、稳压电路的研究

- (1)在电路板上按照图 18.1 连接电路。
- (2)检查无误后，输入低压交流电源。
- (3)调节 $RP1$ ，使稳压器输出电压为 12V，测量 $V1$ 、 $V2$ 、 $V3$ 管的电压参数。
- (4)调试输出电压的调节范围。即调节 $RP1$ ，观察测量输出电压 U 的变化情况，记录最大值和最小值。

五、实验报告要求

- 1、整理实验数据，画出电路图，计算测量结果。
- 2、总结桥式整流、电容滤波电路的特点。
- 3、分析实验中出现的故障及排除方法。