

目 录

实验一 单级交流放大器	2
实验二 两级阻容耦合放大电路	7
实验三 负反馈放大电路	10
实验四 射极跟随器	14
实验五 差动放大电路	17
实验六 比例求和运算电路	20
实验七 积分与微分电路	25
实验八 波形发生电路	28
实验九 有源滤波器	32
实验十 电压比较器	36
实验十一 集成功率放大器	39
实验十二 互补对称功率放大器	42
实验十三 整流滤波与并联稳压电路	45
实验十四 集成稳压器	48
*实验十五 串联稳压电路	51
实验十六 集成电路 RC 正弦波振荡器	54
实验十七 电流/电压转换电路	56
实验十八 电压/频率转换电路	58
实验十九 波形变换电路	60
附录 I 电阻器的标称值及精度色环标志法	62
附录 II 用万用电表对常用电子元件检测	64
附录 III 实验箱简易信号源的使用	68

实验一 单级交流放大器

一、实验目的

1、掌握放大电路静态工作点的测试方法，进一步理解电路元件参数对静态工作点的影响，以及调整静态工作点的方法。

2、掌握测量电压放大倍数、输入电阻、输出电阻及最大不失真输出电压幅值的方法。

3、观察电路参数对失真的影响。

二、原理简介

放大电路的用途非常广泛，单管放大电路是最基本的放大电路。共射极单管放大电路是电流负反馈工作点稳定电路，它的放大能力可达到几十到几百倍，频率响应在几十赫兹到上千赫兹范围。不论是单级或多级放大器它的基本任务是相同的，就是对信号给予不失真的、稳定的放大。

1、放大电路静态工作点的选择

当对放大电路仅提供直流电源，不提供输入信号时，称为静态工作情况，这时三极管的各电极的直流电压和电流的数值，将和三极管特性曲线上的一点对应，这点常称为Q点。静态工作点的选取十分重要，它影响放大器的放大倍数、波形失真及工作稳定性等。

静态工作点如果选择不当会产生饱和失真或截止失真。一般情况下，调整静态工作点，就是调整电路有关电阻，使 I_{CQ} 和 U_{CEQ} 达到合适的值。

由于放大电路中晶体管特性的非线性或不均匀性，会造成非线性失真，在单管放大电路中不可避免，为了降低这种非线性失真，必须使输入信号的幅值较小。

2、放大电路的基本性能

当放大电路静态工作点调好后，输入交流小信号 u_i ，这时电路处于动态工作情况，放大电路的基本性能主要由动态参数描述，包括电压放大倍数、频率响应、输入电阻、输出电阻。这些参数必须在输出信号不失真的情况下才有意义。基本性能测量的原理电路如图 1-1 所示。

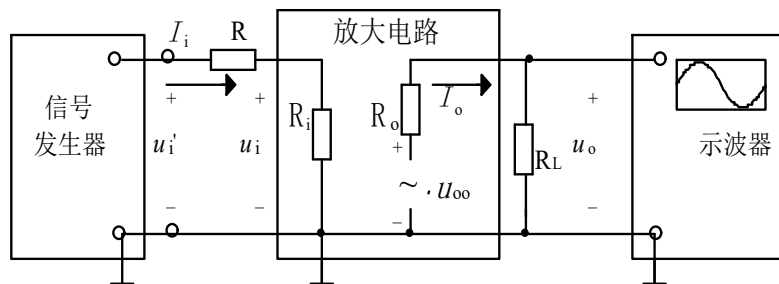


图 1-1 交流放大电路实验原理图

(1) 电压放大倍数 A_u 的测量

用晶体管毫伏表测量图 1-1 中 U_i 和 U_o 的值。即：

$$Au = U_o / U_i$$

(2) 输入电阻 R_i 的测量

如图 1-1 所示，放大器的输入电阻 R_i 就是从放大器输入端看进去的等效电阻。即：

$$R_i = U_i / I_i$$

通常测量 R_i 的方法是：在放大器的输入回路串一个已知电阻 R ，选用 $R \approx R_i$ （这里的 R_i 为理论估算值）。在放大器输入端加正弦信号电压，用示波器观察放大器输出电压 u_o ，在 u_o 不失真的情况下，用晶体管毫伏表测电阻 R 两端对地的电压和 U_i （见图 1-1），则有：

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{U_i' - U_i} R$$

(3) 输出电阻 R_o 的测量

如图 1-1 所示，放大电路的输出电阻是从输出端向放大电路方向看进去的等效电阻用 R_o 表示。

测量 R_o 的方法是在放大器的输入端加信号电压，在输出电压 u_o 不失真的情况下，用晶体管毫伏表分别测量空载时放大器的输出电压 U_∞ 和带负载时放大器的输出电压 U_{OL} 值，则输出电阻：

$$R_o = \frac{U_\infty - U_{OL}}{I_o} = \frac{U_\infty - U_{OL}}{U_{OL}} R_L$$

三、实验内容和步骤

1、调节静态工作点

按图 1-2 连好电路（ V_{CC} 为 6V 也可以为 12V，原理图以 6V 为电源），将输入端对地短路，调节电位器 W_1 ，使 $U_c = V_{CC} / 2$ ，测静态工作点 U_c 、 U_e 、 U_b 的数值，记入表 1-1 中，并计算 I_b 、 I_c 。为了计算 I_b 、 I_c ，应测量 R_{W1} 阻值，测量时应切断电源，并且将它与电路的连接断开，按下式计算静态工作点：

$$I_c = \frac{V_{CC} - U_c}{R_c}$$

$$I_b = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_B}$$

$$(R_B = R_{1R5} + R_{W1})$$

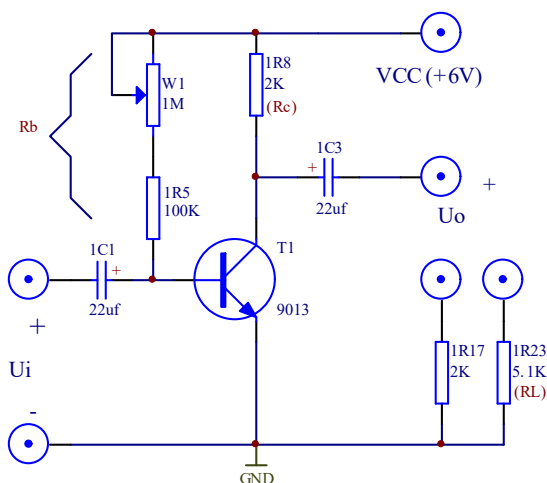


图 1-2

也可以用数字万用表测量 R_{1R5} 两端电压 U_{1R5} 及 R_c 两端电压 U_{Rc} ，则

$$I_B = \frac{U_{R_{1R5}}}{R_{1R5}} \quad I_C = \frac{U_{R_c}}{R_c}$$

表 1-1

$U_C(V)$	$U_E(V)$	$U_B(V)$	$I_B(\mu A)$	$I_C(mA)$	$R_{w1}(\Omega)$
6	0	0.6	15	3	750

2、测量电压放大倍数及观察负载电阻对放大倍数的影响

在实验步骤 1 的基础上，把输入对地断开，接入 $f=1Kz$ 、 $U_i=5mV$ 的正弦波信号，负载电阻分别为 $R_L=2K\Omega$ 、 $R_L=5.1K\Omega$ 和 $R_L=\infty$ ，用毫伏表测量输出电压的值，用示波器观察输入电压和输出电压波形，把数据填写入表 1-2 中。

表 1-2

$R_L(\Omega)$	$U_i(mV)$	$U_o(mV)$	A_u
2K	5	500	100
5.1K	5	600	120
∞	5	750	150

3、测量输入电阻和输出电阻

按图 1-3 连好电路，输入端接入 $f=1KHz$ 、 $U_i=20mV$ 的正弦信号，分别测出电阻 $1R1$ 两端对地信号电压 U_i 及 U'_i ，将测量数据及实验结果填入表 1-3 中。

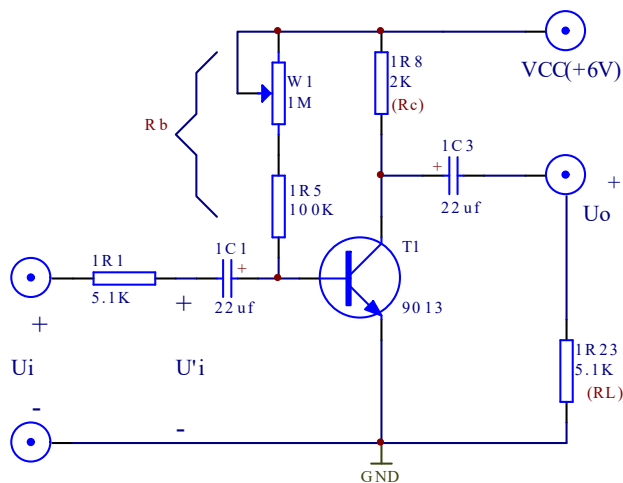


图 1-3

测出负载电阻 R_L 开路时的输出电压 U_∞ ，和接入 R_L 时的输出电压 U_o ，将测量数据及实验结果填入表 1-3 中。

表 1-3

U_i (mV)	U'_i (mV)	R_i (Ω)	U_{∞} (V)	U_o (V)	R_o (Ω)
275	110		1.5	1	

4、观察静态工作点对放大器输出波形的影响

按图 1-2 连好电路，负载电阻 $R_L=5.1K\Omega$ ，将观察结果分别填入表 1-4，表 1-5 中。

(1) 输入端接入 $f=1KHz$ 、 $U_i=5mV$ 的正弦信号，用示波器观察正常工作时输出电压的波形并描绘下来。

(2) 逐渐减小 $W1$ 的阻值，观察输出之压的变化，在输出电压波形出现明显削波失真时，把失真的波形描绘下来，并说明是哪种失真，如果 $W1=0\Omega$ 后仍不出现失真，可以加大输入信号 u_i 或将 R_{b1} 由 $100K\Omega$ 改为 $10K\Omega$ ，直到出现明显失真波形。

(3) 逐渐增大 $W1$ 的阻值，观察输出电压的变化，在输出电压波形出现明显削波失真时，把失真波形描绘下来，并说明是哪种失真，如果 $R_{b1}=1M\Omega$ 后仍不出现失真，可以加大输入信号 u_i ，直到出现明显失真波形。

(4) 调节 $W1$ 使输出电压波形不失真且幅值为最大，测量此时的静态工作点 U_C ， U_B ， R_w 和输出电压的数值。并估算此时的动态范围（用有效值表示）。

表 1-4

阻值	波形	何种失真
正常		
R_B 减少		
R_B 增大		

表 1-5

R_B (Ω)	U_C (V)	U_B (V)	U_{Om} (V)
530K	1	0.6	

四、实验器材

- 1、实验箱
- 2、数字万用表
- 3、函数信号发生器
- 4、交流毫伏表
- 5、双踪示波器

五、实验预习要求

- 1、三极管及单管放大器工作原理。
- 2、放大器动态及静态测量方法。
- 3、阅读相关教材。

六、实验报告要求

- 1、整理实验数据，填入表中，并按要求进行计算。
- 2、总结电路参数变化对静态工作点和电压放大倍数的影响。
- 3、分析输入电阻和输出电阻的测试方法。
- 4、讨论静态工作点对放大器输出波形的影响。

七、思考题

- 1、实验电路的参数 R_L 及 V_{CC} 变化，对输出信号的动态范围有何影响?如果输入信号加大，输出信号的波形将产生什么失真?
- 2、本实验在测量放大器放大倍数时，使用交流毫伏表，而不用万用表，为什么?
- 3、测一个放大器的输入电阻时，若选取的串入电阻过大或过小，则会出现测试误差，请分析测试误差。

实验二 两级阻容耦合放大电路

一、实验目的

- 1、掌握两级阻容耦合放大电路静态工作点的调整方法。
- 2、掌握两级阻容耦合放大电路电压放大倍数的测量方法。
- 3、掌握放大电路频率特性的测定方法。

二、原理简介

阻容耦合放大器是多级放大器中常见的一种，其各级直流工作点互不影响，可分别单独调整，电路图 2-1 是一个两级阻容耦合放大器。

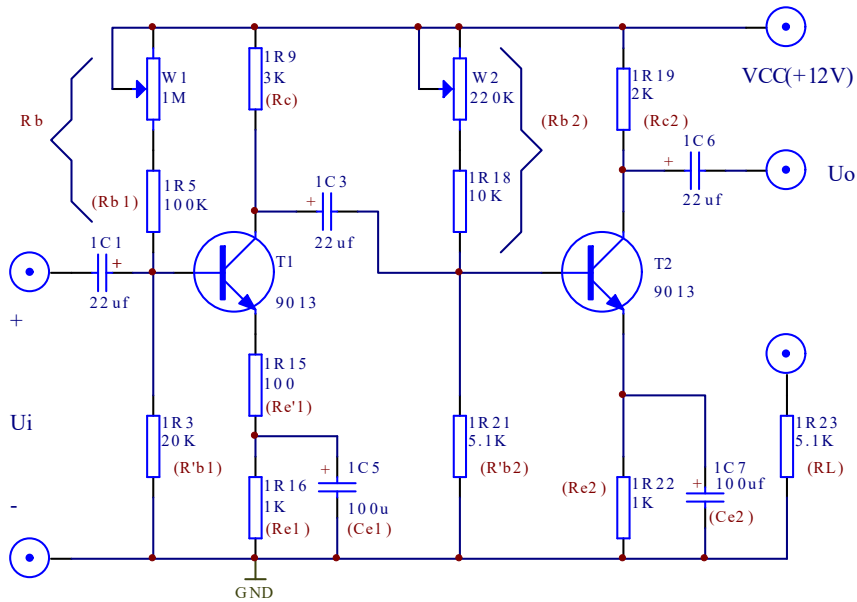


图 2-1

多级放大器是逐级连续放大的，前级输出电压就是后级的输入电压，因此多级放大器的总电压放大倍数为

$$\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \cdot \dot{A}_{u2} \cdots \dot{A}_{un}$$

即多级放大器的总电压放大倍数等于各级放大倍数的乘积。

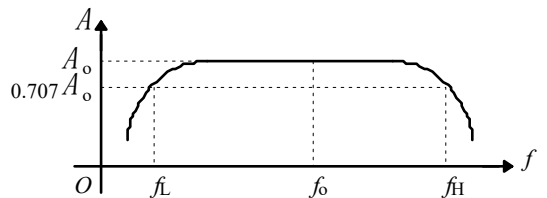


图 2-2

阻容耦合放大器电路中有电抗性元件存在，放大倍数随信号频率而变，高、低频段的放大倍数均会降低，其频率响应曲线如图 2-2 所示。

多级放大电路的上限频率与其各级上限频率之间，

存在以下近似关系：

$$\frac{1}{f_H} \approx 1.1 \sqrt{\frac{1}{f_{H1}^2} + \frac{1}{f_{H2}^2} + \dots + \frac{1}{f_{Hn}^2}}$$

多级放大电路的下限频率与其各级下限频率之间也存在以下近似关系：

$$f_L \approx 1.1 \sqrt{f_{L1}^2 + f_{L2}^2 + \dots + f_{Ln}^2}$$

在实际的多级放大电路中，当各放大级的时间常数相差悬殊时，可取起主要作用的那一级作为估算的依据。例如，若其中第 k 级的上限频率 f_{Hk} 比其他各级小得多时，可近似认为总的 $f_H=f_{Hk}$ 。同理，若其中第 m 级的下限频率 f_{Lm} 比其他各级大得多时，可以近似认为总的 $f_L=f_{Lm}$ 。

三、实验内容和步骤

1、调整静态工作点

按图 2-1 连好电路,首先将电源电压调到 $V_{CC}=12V$ ，调节电位器 R_{w1} ，使 $U_{C1}=(9\sim 10)V$ ，调节电位器 R_{w2} ，使 $U_{C2}=(6\sim 7)V$ 。给放大器输入一个频率为 $1KHz$ ，大小为 $2mV$ 的信号。用示波器分别观察第一级和第二级放大器输出波形。若波形有失真，则可微调 $W1$ 、 $W2$ ，直到使两级放大器输出信号波形都不失真为止。测量晶体管 T_1 与 T_2 的各极电位，将数据记入表 2-1 中。

表 2-1

T ₁ 管			T ₂ 管		
U _{C1} (V)	U _{B1} (V)	U _{E1} (V)	U _{C2} (V)	U _{B2} (V)	U _{E2} (V)
9.4	1.5	1	7	3	2.5

2、测量电压放大倍数

输入信号仍为 $f=1KHz$ 、 $2mV$ 交流信号，在不失真的情况下，按表 2-2 中给定的条件，分别测量放大器的第一级和第二级的输出电压 U_{O1} ， U_O 把数据记入表 2-2 中。

表 2-2

数据条件	测试输入与输出电压			计算电压放大倍数		
	U _i (V)	U _{o1} (V)	U _o (V)	$A_{u1} = \frac{U_{o1}}{U_i}$	$A_{u2} = \frac{U_o}{U_{o1}}$	$A_u = \frac{U_o}{U_i}$
放大器空载 $R_L = \infty$	2mv	20mv	3.5			
接入 $R_L = 5.1K$	2mv	20mv	2.5			

3、测试放大器幅频特性

测量放大器的幅频特性可采用逐点法。

(1)保持输入信号 $U_i=2\text{mV}$ 不变, 接入负载 $R_L=5.1\text{K}$, 改变频率测出相应的输出电压 U_o , 将数据记入表 2-3 中。

(2) 找出上下限截止频率 f_H , f_L (增益下降到中频增益的 0.707 倍时所对应的频率点, 即 3 分贝点), 并求出放大器的带宽, $BW=f_H-f_L$ 。

表 2-3

f(Hz)	
$U_o(\text{V})$	
Au	

4、用扫频仪测试放大器幅频特性

用扫频仪测出放大器的幅频特性曲线, 读出通频带的上下限截止频率 f_H , f_L 。

四、实验器材

- 1、实验箱 2、数字万用表 3、函数信号发生器 4、交流毫伏表
5、双踪示波器 6、扫频仪

五、实验预习要求

- 1、阅读相关教材。
- 2、了解扫频仪的使用方法。

六、实验报告要求

- 1、根据实验数据计算两级放大器的电压放大倍数, 说明总的电压放大倍数与各级放大倍数的关系以及负载电阻对放大倍数的影响。
- 2、用计算机画出实验电路的幅频特性曲线, 标出 f_H 和 f_L 。
- 3、求出放大器的带宽, $BW=f_H-f_L$ 。

七、思考题

如何增加阻容耦合放大器的频率范围?

实验三 负反馈放大电路

一、 实验目的

- 1、熟悉负反馈放大电路性能指标的测试方法。
- 2、通过实验深入理解负反馈对放大电路性能的影响。

二、 原理简介

1、 电路原理

电压串联负反馈放大电路如图 3-1 所示。电路通过电阻 R_f 和第一级射极电阻 R_{e1} 引入交流电压串联负反馈。电压负反馈的重要特点是电路的输出电压趋于稳定，因为无论反馈信号以何种方式引回到输入端，实际上都是利用输出电压 U_o 本身通过反馈网络对放大电路起自动调整作用。若当 U_i 一定时，若负载电阻 R_L 减小而使输出电压 U_o 下降，则电路将进行如下的自动调整过程：

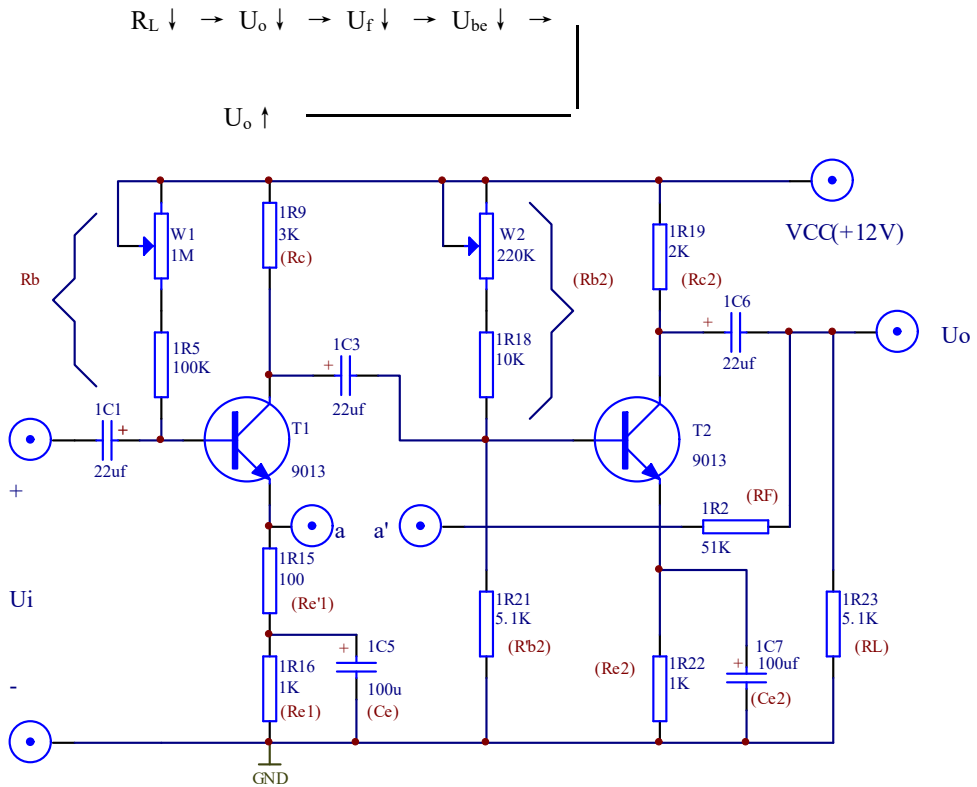


图 3-1

可见，反馈的作用牵制了 U_o 的下降，从而使 U_o 基本稳定，即电压串联负反馈能够稳定电压放大倍数。

(1) 负反馈降低了放大器的电压放大倍数

$$U_f = F U_o \quad F \text{ 称为反馈系数}$$

$$F = \frac{R_{e1}}{R_{e1} + R_f}$$

若原放大器的电压放大倍数为 $A_u = U_o / U_i$ ，加入负反馈后的电压放大倍数 A_{uf} ，则

$$A_{uf} = \frac{A_u}{1 + A_u F} \quad (3-1)$$

$1 + A_u F$ 为衡量反馈强弱的物理量，称为反馈深度。

通过上面的分析可知，引入负反馈会使放大器放大倍数降低，但负反馈虽然使放大倍数下降，却改善了放大器的很多其他性能，因此负反馈在放大器中仍获得广泛的应用。

(2) 负反馈提高了放大器放大倍数的稳定性

电源电压、负载电阻及晶体管参数的变化都会使放大器的增益发生变化，加入负反馈后可使这种变化相对变小，即负反馈可以提高放大倍数的稳定性。如果 $AF \gg 1$ ，则 $A_f \approx 1/F$ ，由此可知，深度负反馈的放大器的放大倍数是由反馈网络确定的，而与原放大器的放大倍数无关。

为了说明放大器放大倍数随着外界变化的情况，通常用放大倍数的相对变化量来评价其稳定性。

$$\frac{\Delta A_{uf}}{A_{uf}} = \frac{\Delta A_u}{A_u} \cdot \frac{1}{1 + A_u F} \quad (3-2)$$

这表示有负反馈使放大倍数的相对变化减小为无反馈时的 $\frac{1}{1 + A_u F}$

(3) 负反馈展宽了放大器的频带

阻容耦合放大器的幅频特性是中频范围放大倍数较高，在高低频率两端放大倍数较低，开环通频带为 BW ，引入负反馈后，放大倍数要降低，但是高、低频各种频段的放大倍数降低的程度不同。

如图 3-2 所示，对于中频段由于开环放大倍数较大，则反馈到输入端的反馈电压也较大，所以闭环放大倍数减小很多。对于高、低频段，由于开环放大倍数较小，则反馈到输入端的反馈电压也较小，所以闭环放大倍数减小很少。因此，负反馈的放大器整体幅频特性曲线都下降。但中频段降低较多，高、低频段降低较少，相当于通频带加宽了。

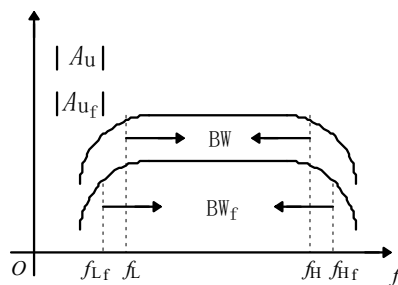


图 3-2

此外，负反馈还可以减小放大器非线性失真、抑制干扰、改变放大器的输入、输出电阻等。

三、实验内容和步骤

1、调整静态工作点

电路如图 3-1 所示，连接 a，a' 点使放大器处于闭环工作状态。输入端对地短路 ($U_i=0$)，经检查无误后，方可接通电源，调整 W1、W2 使 $I_{C1}=I_{C2}=2\text{mA}$ 时，测量各级静态工作点，填入表 3-1 中。

表 3-1

待测参数	U_{C1} (V)	U_{B1} (V)	U_{E1} (V)	U_{C2} (V)	U_{B2} (V)	U_{E2} (V)
测量值	5.7	2.8	2.3	8	2.6	2

2、观察负反馈对放大倍数的影响

在输入端加入 $U_i=2\text{mV}$ ， $f=1\text{KHz}$ 的正弦波信号，分别测量电路在开环 (a 与 a' 断开且将 a' 接地) 与闭环工作时 (a 与 a' 点连接) 的输出电压 U_o ，同时用示波器观察输出波形，注意波形是否失真，并计算电路在开环与闭环工作时的电压放大倍数，记入表 3-2 中，并验证式 3-1 的正确性。

表 3-2

待测参数 工作方式	U_o (V)	A_u 或 A_{uf}
开环	2.25	
闭环	0.7	

3、观察负反馈对放大倍数稳定性的影响

改变电源电压将 V_{CC} 从 12V 变到 10V，在输入端加入 $U_i=2\text{mV}$ ， $f=1\text{KHz}$ 的正弦波信号，分别测量电路在开环与闭环工作状态时的输出电压，注意波形是否失真，并计算电压放大倍数相对变化量，记入表 3-3 中，并验证式 3-2 的正确性。

表 3-3

待测参数 工作方式	$V_{CC}=12\text{V}$		$V_{CC}=10\text{V}$	
	U_o (V)	A_u 或 A_{uf}	U_o (V)	A_u 或 A_{uf}
开环	2.25		0.7	
闭环	0.7		0.4	

4、幅频特性测量

$V_{CC}=12\text{V}$ (不接负载)，在输入端加入 $U_i=2\text{mV}$ ， $f=1\text{KHz}$ 的正弦波信号，然后调节信号源频率使 f 下降 (保持 U_i 不变) 测量 U_o ，且在电压放大倍数下降到中频电压放大倍数的 0.707 倍时对应的频率点附近时，多测几点，找出下限频率，同理使 f 上升，找出上限频率，求出放大器的

带宽 $BW=f_H-f_L$ ，并对开环、闭环状态进行比较。

5、用示波器观察负反馈对放大器非线性失真的改善

在上述实验基础上，信号频率取 1KHz，当放大器开环时，适当加大输入信号，使输出电压波形出现轻度非线性失真，观察并绘出输出电压波形。

在放大器闭环的情况下，再适当加大输入信号，使输出信号幅值应接近开环时的输出信号失真波形幅度，观察并绘出输出电压波形，开环、闭环状态进行比较。

四、实验器材

1、实验箱 2、数字万用表 3、函数信号发生器 4、交流毫伏表

5、双踪示波器

五、实验预习要求

1、阅读相关教材。

六、实验报告要求

1、整理实验数据，填入表中并按要求进行计算。

2、总结负反馈对放大器性能的影响。

七、思考题

1、负反馈放大电路的开环等效电路的画法规则是什么？画出本实验电路的开环等效电路。

2、负反馈对输入输出电阻的影响如何？根据本实验电路，给出测量其开环、闭环输入、输出电阻的实验步骤。

3、本实验电路中引入了哪些反馈？分析它们的组态和对放大器性能的影响。

实验四 射极跟随器

一、实验目的

- 1、掌握射极跟随器的特性及测量方法。
- 2、进一步学习放大器各项参数测量方法。

二、原理简介

射极跟随器的原理图如图 4-1 所示。它是一个电压串联负反馈放大电路，它具有输入电阻高，输出电阻低，电压放大倍数接近于 1，输出电压能够在较大范围内跟随输入电压作线性变化以及输入、输出信号同相等特点。

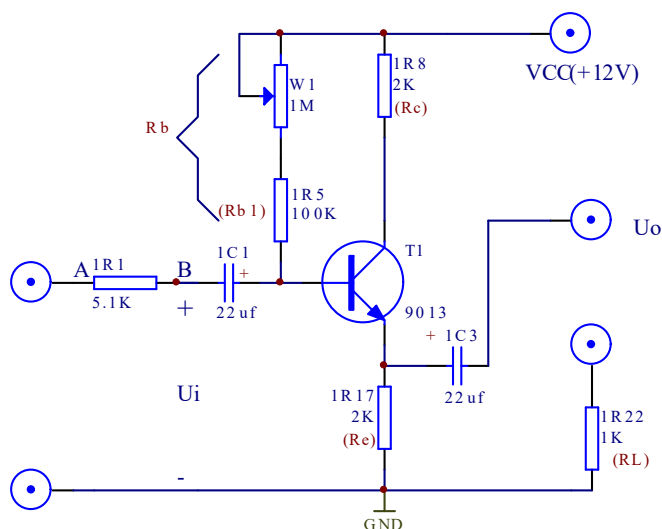


图 4-1 射极跟随器电路图

三、实验内容与步骤

- 1、按图 4-1 电路接线。
- 2、直流工作点的调整。

将电源 VCC(+12V)和地 (GND)接上，在 B 点加 $f = 1 \text{ kHz}$ 正弦波信号，输出端用示波器监视，反复调整 W1 及信号源输出幅度，使输出幅度在示波器屏幕上得到一个最大不失真波形，然后断开输入信号，用万用表测量晶体管各极对地的电位，即为该放大器静态工作点，将所测数据填入表 4.1。

表 4.1

V_e (V)	V_b (V)	V_c (V)	$I_c = V_e / R_e$
4.31	4.76	7.73	4.73/2

3、测量电压放大倍数 A_v

接入负载 R_L ($1R22= 1K\Omega$)，在 B 点 $f=1kHz$ 信号，调输入信号幅度(此时偏置电位器 W1 不能再旋动)，用示波器观察，在输出最大不失真情况下测 U_i 、 U_o 值，将所测数据填入表 4.2 中。

表 4.2

$U_i(V)$	$U_o(V)$	$AV =U_o/U_i$
0.2	0.2	1

4、测量输出电阻 R_o

在 B 点加 $f=1KHZ$ 正弦波信号， $U_i=500mV$ 左右，接上负载 $R_L=1K\Omega$ 时，用示波器观察输出波形，测空载输出电压 U_o ($R_L=\infty$)，有负载输出电压 U_L ($R_L=1K\Omega$) 的值。将所测数据填入表 4-3 中。

$$R_o=(U_o/U_L -1)\times R_L$$

表 4.3

$U_o(mV)$	$U_L(mV)$	$R_o=(U_o/U_L -1)\times R_L$
500	500	0

5、测量放大器输入电阻 R_i (采用换算法) ，

在输入端串入 $5.1K$ 电阻，A 点加入 $f=1KHZ$ 的正弦波信号，用示波器观察输出波形，并分别测 A, B 点对地电位 V_A 、 V_B 。将测量数据填入表 4-4。

$$R_i=V_B/(V_A - V_B)\times R$$

表 4.4

$V_A (V)$	$V_B (V)$	$R_i=V_B/(V_A - V_B)\times R$
24.5mv	24.5mv	0

6、测射极跟随器的跟随特性并测量输出电压峰值 V_{opp} 。

接入负载 $R_L=1K\Omega$ ，在 B 点加入 $f=1kHz$ 的正弦信号，逐点增大输入信号幅度 U_i ，用示波器监视输出端，在波形不失真时，测所对应的输出 U_L 值，计算出 A_v ，并用示波器测量输出电压的峰值 U_{opp} 。与毫伏表读测的对应输出电压有效值比较。将所测数据填入表 4.5。

表 4.5

	1	2	3	4
U_i	100mv	200mv	500mv	800mv
U_L	100mv	200mv	500mv	800mv
U_{OPP}	1	200	500	800
A_V	1	1	1	1

四、实验器材

- 1、实验箱
- 2、数字万用表
- 3、函数信号发生器
- 4、交流毫伏表
- 5、双踪示波器

五、实验预习要求

- 1、参照教材有关章节内容，熟悉射极跟随器原理及特点。
- 2、根据图 4-1 元器件参数，估算静态工作点，画交直流负载线。

六、实验报告要求

- 1、整理实验数据，填入表中并按要求进行计算。
- 2、总结射极跟随器性能。

七、思考题

- 1、绘出实验原理电路图，标明实验的元件参数值。
- 2、整理实验数据及说明实验中出现的各种现象，得出有关的结论，画出必要的波形及曲线。
- 3、将实验结果与理论计算比较，分析产生误差的原因。

实验五 差动放大电路

一、实验目的

- 1、熟悉差动放大器工作原理。
- 2、掌握差动放大器的基本测试方法。

二、原理简介

图 5-1 是差动放大器的基本结构。它由两个元件参数相同的基本共射放大电路组成。它用晶体管恒流源代替发射极电阻 R_E ，可以进一步提高差动放大器抑制共模信号的能力。构成具有恒流源的差动放大器。

调零电位器 R_{P3} 用来调节 $2V_1$ 、 $2V_2$ 管的静态工作点，使得输入信号 $V_i=0$ 时，双端输出电压 $V_o=0$ 。晶体管恒流源为两管共用的发射极电阻，它对差模信号无负反馈作用，因而不影响差模电压放大倍数，但对共模信号有较强的负反馈作用，故可以有效地抑制零漂，稳定静态工作点。

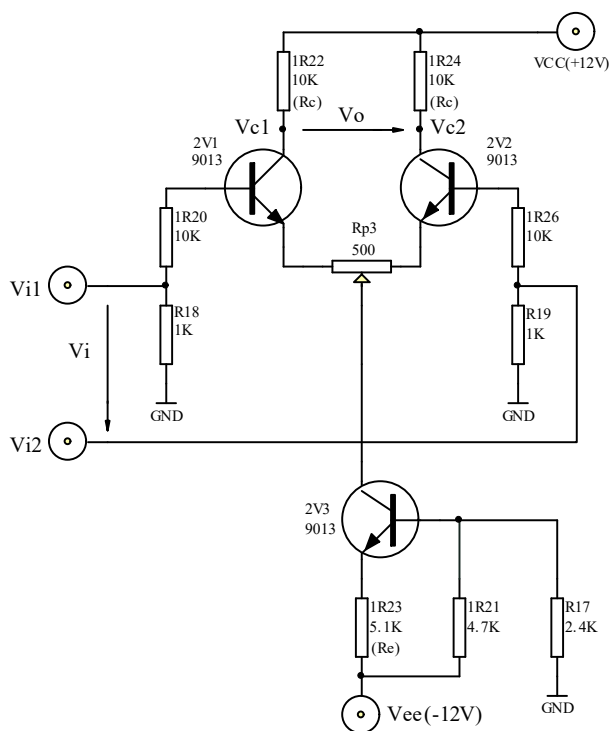


图 5-1

三、实验内容及步骤

- 1、测量静态工作点。
 - (1) 调零

将 Vi1 和 Vi2 输入端短路并接地, 接通直流电源, 调节电位器 Rp3, 使双端(Vc1, Vc2) 输出电压 Vo=0。

(2) 测量静态工作点

测量 2V1、2V2、2V3 各极对地电压, 填入表 5.1 中。

表 5.1

对地电压	V _{C1}	V _{C2}	V _{C3}	V _{b1}	V _{b2}	V _{b3}	V _{e1}	V _{e2}	V _{e3}
测量值 (V)	5	5	-0.8	0	0	-4	-0.6	-0.6	-4.7

2、测量差模电压放大倍数。

在输入端分别加入直流电压信号 $V_{id}=\pm 0.1V$, 按表 5.2 要求测量并记录, 由测量数据算出单端和双端输出的电压放大倍数。注意先调好直流信号源的 OUT1 和 OUT2, 使其输出分别为正 0.1V 和负 0.1V, 再接入 Vi1 和 Vi2。

3、测量共模电压放大倍数。

将输入端 Vi1、Vi2 短接, 再接到直流信号源的输入端, 信号源另一端接地。

直流信号源分别接 OUT1 和 OUT2, 分别测量并填入表 5.2。由测量数据算出单端和双端输出的电压放大倍数。进一步算出共模抑制比:

$$CMRR = \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$$

表 5.2

输入信号 Vi 测量及计算 值	差模输入 Vi1=+0.1V, Vi2=-0.1V						共模输入						共模抑制
	测量值			计算值			测量值			计算值			计算值
	V _{C1}	V _{C2}	V _{o, 双}	A _{d1}	A _{d2}	A _{d, 双}	V _{C1}	V _{C2}	V _{o, 双}	A _{C1}	A _{C2}	A _{C, 双}	CMRR
+0.1V	0	10	10				5	5	0				
-0.1V							5	5	0				

$$A_d = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i}, A_c = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i}$$

4、在实验板上组成单端输入的差放电路进行下列实验。

(1) 在图 5-1 中将 Vi2 接地, 组成单端输入差动放大器; 从 Vi1 端接入信号源, 测量单端及双端输出, 填表 5.3 记录电压值。计算单端输入时的单端及双端输出的电压放大倍数, 并与双端输入时的单端及双端差模电压放大倍数进行比较。

(2) Vi2 接地, 从 Vi1 端加入正弦交流信号 $V_i=100mV$, $f=1KZ$ 分别测量、记录单端及双端输出电压, 填入表 5-3 计算单端及双端的差模放大倍数。

注意: 输入交流信号时, 用示波器监视 Vc1、Vc2 波形, 若有失真现象时, 可减小输入电压值, 使 Vc1、Vc2 都不失真为止。

表 5.3

输入信号 测量计数值	电压值			放大倍数
	Vc1	Vc2	Vo	
直流+0.1V	2.2	7.9	5.7	57
直流-0.1V	7.8	2.2	-5.5	55
正弦信号 (100mV、1KHZ)	4.6	5.4	0.8	8

四、实验器材

- 1、 实验箱
- 2、 数字万用表
- 3、 函数信号发生器
- 4、 交流毫伏表
- 5、 双踪示波器

五、实验预习要求

- 1、 计算图 5-1 的静态工作点(设 $r_{bc}=3K$, $\beta=100$)及电压放大倍数。
- 2、 在图 5-1 基础上画出单端输入和共模输入的电路。

六、实验报告要求

- 1、 根据实测数据计算图 1 电路的静态工作点，与预计计算结果相比较。
- 2、 整理实验数据，计算各种接法的 A_d ，并与理论计算值相比较。
- 3、 计算实验步骤 3 中 A_c 和 $CMRR$ 值。
- 4、 总结差放电路的性能和特点。

实验六 比例求和运算电路

一、 实验目的

- 1、了解运算放大器的基本使用方法。
- 2、应用集成运放构成基本运算电路，并测定它们输出信号与输入信号间运算关系。
- 3、学会使用线性组件 741。

二、 原理简介

1、反相比例放大器

电路如图 6-1 所示，当运算放大器开环放大倍数足够大时(大于 10^4 以上)，反相比例放大器的闭环电压放大倍数为：

$$A_{uf} = \frac{u_o}{u_I} = -\frac{R_F}{R_1}$$

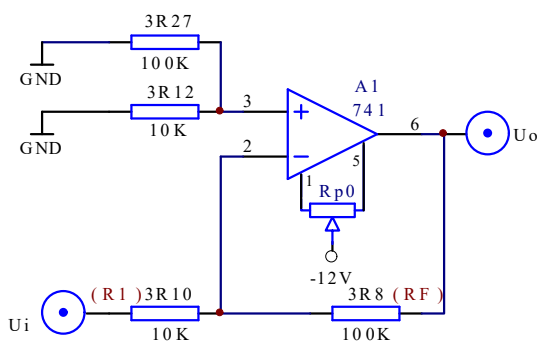


图 6-1

由上式可知，选用不同的电阻比值， A_{uf} 可以大于 1，也可以小于 1，若取 $R_F=R_1$ ，则放大器的输出电压等于输入电压的负值，也称为反相跟随器。

2、同相比例放大器

电路如图 6-2 所示，当运算放大器开环放大倍数足够大时(大于 10^4 以上)，同相比例放大器的闭环电压放大倍数为：

$$A_{uf} = \frac{u_o}{u_I} = \frac{R_F}{R_1}$$

由上式可知，选用不同的电阻比值， A_{uf} 可以大于 1，也可以小于 1，若取 $R_F=R_1$ ，则放大器的输出电压等于输入电压，也称为跟随器。

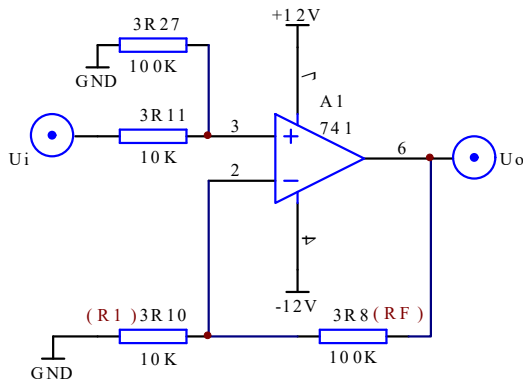


图 6-2

3、减法器（差分比例运算）

电路如图 6-3 所示，当运算放大器开环增益足够大时(大于 10^4 以上)，，输出电压 U_o 为：

$$u_o = -\frac{R_F}{R_1}(u_{i1} - u_{i2})$$

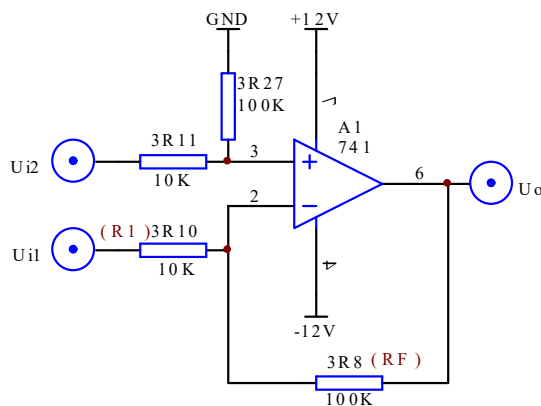


图 6-3

4、反相加法器

电路如图 6-4 所示，当运算放大器开环增益足够大时(大于 10^4 以上)，，输出电压 U_o 为：

$$u_o = -\frac{R_F}{R_1}(u_{i1} + u_{i2})$$

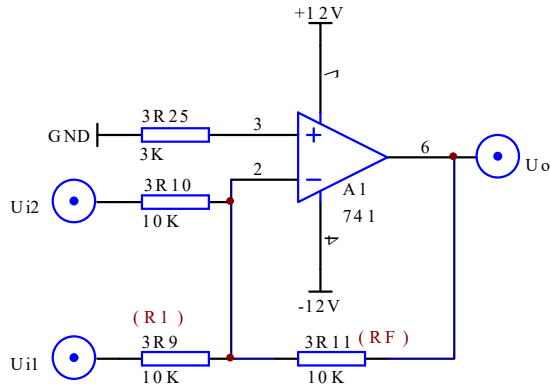


图 6-4

5、加减法器

电路如图 6-5 所示，当运算放大器开环增益足够大时(大于 10^4 以上)，，输出电压 U_o 为:

$$u_o = R_{F2} \left(\frac{u_{i1}}{R_1} + \frac{u_{i2}}{R_2} - \frac{u_{i3}}{R_3} \right)$$

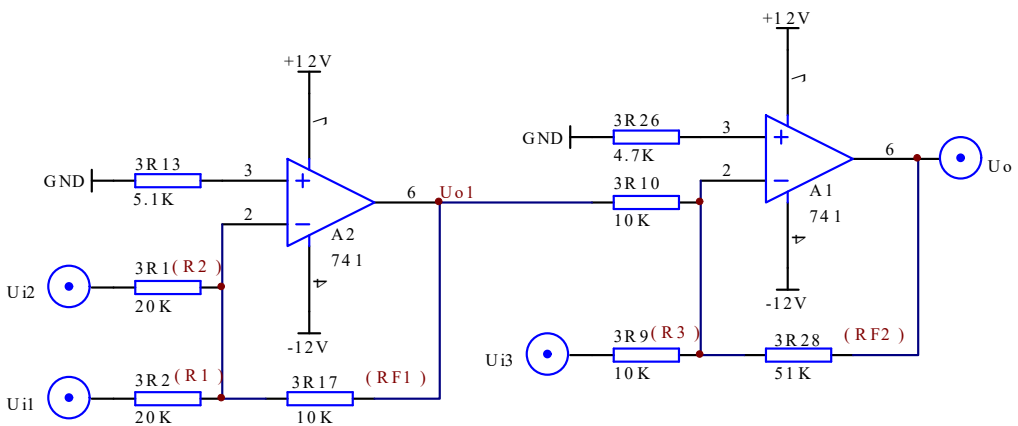


图 6-5

三、 实验内容和步骤

1、 调零

按图 6-1 连接电路，直流电源供电为 $\pm 12V$ 。将 U_i 对地短路，接通电源后，调节调零电位器 R_{p0} (10K)，使输出 $U_o=0$ ，然后将短路线去掉。

2、反相比例放大器

(1) 在步骤 1 的基础上，按给定直流输入信号，测量对应的输出电压，把结果记入表 6-1 中。

表 6-1

$U_i(V)$		0.3	0.5	0.7	1.0	1.1	1.2
理论计算值	$U_o(V)$	3	5	7	10	11	12
实际测量值	$U_o(V)$	-3.07	-5.1	-7.1	-10.2	-10	-10
实际放大倍数	A_{uf}						

(2) 在该比例放大器的输入端加入 1KHz，有效值为 0.5V 的交流信号，用示波器观察输出波形，并与输入波形相比较。

3、同相比例放大器

按图 6-2 连接电路。

(1) 按给定直流输入信号，测量对应的输出电压，把结果记入表 6-2 中。

表 6-2

$U_i(V)$		0.3	0.5	0.7	1.0	1.1	1.2
理论计算值	$U_o(V)$	3	6	7	10	11	12
实际测量值	$U_o(V)$	3.07	5.1	7.1	10.2	11.3	11.3
实际放大倍数	A_{uf}						

(2) 在该比例放大器的输入端加入 1KHz，有效值为 0.5V 的交流信号，用示波器观察输出波形，并与输入波形相比较。

4、减法器（差分比例运算）

按图 6-3 连接电路。按给定直流输入信号，测量对应的输出电压，把结果记入表 6-3 中。

表 6-3

输入信号 $U_{i1}(V)$	0.2	0.2	-0.2
输入信号 $U_{i2}(V)$	-0.3	0.3	-0.3
计算值 $U_o(V)$	-5	1	-1
实际测量值 $U_o(V)$	-5.1	0.96	-1

5、反相加法器

按图 6-4 连接电路。同时将 U_{i1} 与 U_{i2} 对地短路，接通电源后，调节调零电位器 R_{p0} (10K)，使输出 $U_o=0$ 。然后将短路线去掉，按给定直流输入信号，测量对应的输出电压，把结果记入表 6-4 中。

表 6-4

输入信号 $U_{i1}(V)$	1.0	1.5	-0.2
输入信号 $U_{i2}(V)$	0.4	-0.4	1.2
计算值 $U_o(V)$	-1.4	-1.1	-1
实际测量值 $U_o(V)$	-1.4	-1.1	-1

6、加减法器

按图 6-5 连接电路。将 3R10 与第一级运放的联接断开，按前述方法对两级分别进行调零。然后将短路线去掉，接好电路，按给定直流输入信号（ U_{i1} 和 U_{i2} 由同一信号源提供），测量对应的输出电压，把结果记入表 6-5 中。

表 6-5

$U_{i1}(V)$	$U_{i2}(V)$	$U_{i3}(V)$	计算值 $U_o(V)$	实际测量值 $U_o(V)$
0.4	0.8	0.4	1	1

四、实验器材

- 1、实验箱
- 2、数字万用表
- 3、函数信号发生器
- 4、交流毫伏表
- 5、双踪示波器

五、实验预习要求

- 1、写出本实验中同相比例放大器的闭环电压增益公式的推导过程。
- 2、写出本实验中加减法器输出电压公式的推导过程。
- 3、计算出各部分的理论值填入相应的表中。
- 4、阅读相关教材。

六、实验报告要求

- 1、整理实验数据，填入表中。
- 2、描述用示波器观察波形的情况。
- 3、将实验结果与理论计算值比较，并分析误差产生的原因。

七、思考题

- 1、运算放大器作比例放大时， R_1 与 R_f 的阻值误差为 $\pm 10\%$ ，试问如何分析和计算电压增益的误差？
- 2、运算放大器作精密放大时，同相输入端对地的直流电阻要与反相输入端对地的直流电阻相等，如果不相等，会引起什么现象？

实验七 积分与微分电路

一、实验目的

- 1、学会用运算放大器组成积分微分电路。
- 2、学会积分微分电路的特点及性能。

二、原理简介

1、积分电路

实验电路如图 7-1 所示

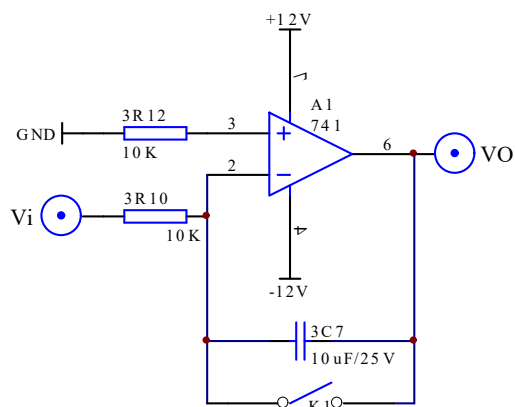


图 7-1 积分电路

$$\text{反相积分电路: } U_o = -\frac{1}{R_1 C} \int_{t_0}^t U_i(t) dt + U_o(t_0)$$

积分电路输出电压是输入电压的积分，随着不同的输入电压，输出电压也表现为不同的形式。电路除了进行积分运算外，很多情况下应用在波形变换电路中。

2、微分电路

实验电路如图 7-2 所示。

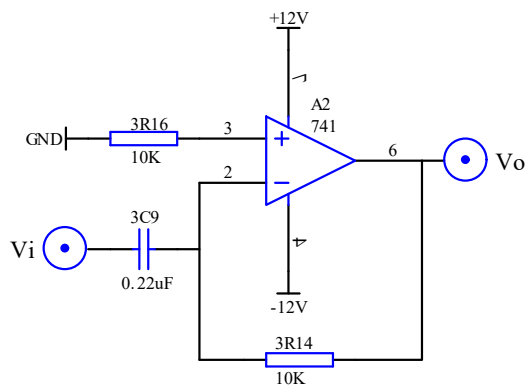


图 7-2 微分电路

微分电路电路理想分析得到公式：
$$U_o(t) = -RC \frac{dU_i(t)}{dt}$$

输出电压是输入电压的微分。

3、积分—微分电路

实验电路如图 7-3 所示。

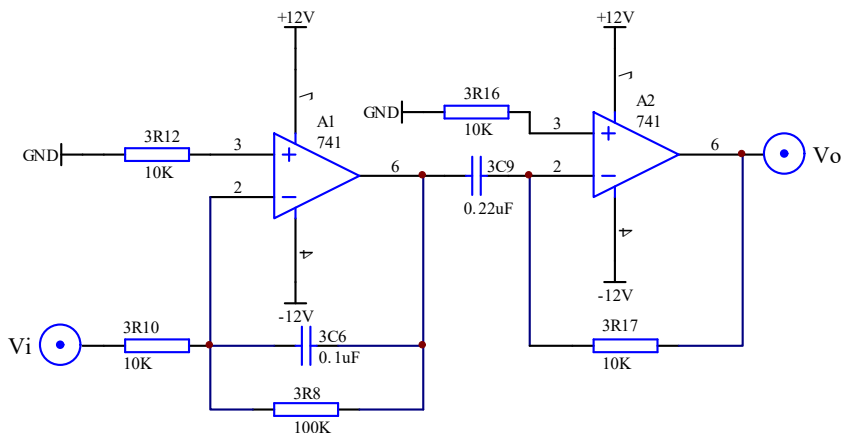


图 7-3 积分—微分电路

先积分后微分可以对输入信号一个大致的还原。

三、实验内容和步骤

1、积分电路

按图 7-1 连接电路。

(1) 取 $V_i = -1V$ ，K1 断开或合上（可以用导线连接或断开替代开关 K1），用示波器观察 V_o 变化。

(2) 用示波器测量饱和输出电压及有效积分时间。

(3) 使图 7-1 中积分电容改为 0.1μ ，断开 K1， V_i 分别输入 100Hz 幅值为 2V 方波正弦波信号，观察 V_i 和 V_o 大小及相位关系，并记录波形。

(4) 改变输入的频率，观察 V_i 与 V_o 的相位、幅值关系。

2、微分电路

按图 7-2 连接电路。

(1) 输入有效值为 1V， $f = 160Hz$ 三角波（正弦波）信号，用示波器观察 V_i 与 V_o 波形并测量输出电压。

(2) 改变三角波（正弦波）频率 (20Hz~400Hz)，观察 V_i 与 V_o 的相位、幅值变化情况并记录。

(3) 输入 $V = \pm 5V$ ， $f = 200Hz$ 的方波信号，用示波器观察 V_o 波形，按上述步骤重复实验。

3、积分—微分电路

按图 7-3 连接电路。

(1) 在 V_i 输入 $f = 200\text{Hz}$, $V = \pm 6\text{V}$ 的方波信号, 用示波器观察 V_i 和 V_o 的波形并记录。

(2) 将 f 改为 500Hz 重复上述实验。

四、实验器材

- 1、实验箱
- 2、数字万用表
- 3、函数信号发生器
- 4、交流毫伏表
- 5、双踪示波器

五、实验预习要求

- 1、分析图 7-1 电路, 若输入正弦波, V_o 与 V_i 相位差是多少? 当输入信号为 100Hz 有效值为 2V 时, $V_o = ?$
- 2、图 7-2 电路, 若输入方波, V_o 与 V_i 相位差多少? 当输入信号为 160Hz 幅值为 1V 时, 输出 $V_o = ?$
- 3、拟定实验步骤、做好记录表格。

六、实验报告

- 1、整理实验中的数据及波形, 总结积分、微分电路特点。
- 2、分析实验结果与理论计算的误差原因。

实验八 波形发生电路

一、实验目的

- 1、掌握波形发生电路的特点和分析方法。
- 2、熟悉波形发生器设计方法。

二、原理简介

1、方波发生电路

实验电路如图 8-1 所示。

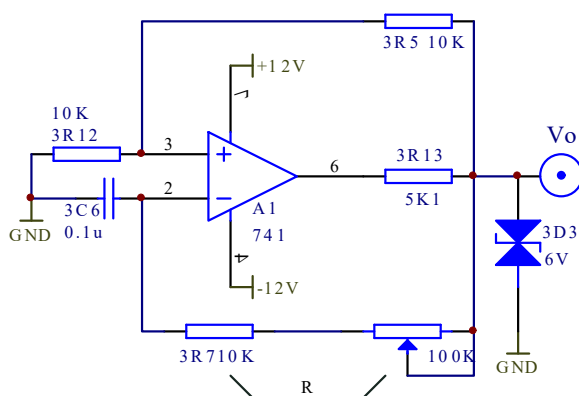


图 8-1 方波发生电路

图 8.1 所示的方波发生电路由反向输入的滞回比较器（即施密特触发器）和 RC 回路组成，滞回比较器引入正反馈，RC 回路既作为延迟环节，又作为负反馈网络，电路通过 RC 充放电来实现输出状态的自动转换。

分析电路，可知道滞回比较器的门限电压 $\pm U_T = \pm \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_Z$ 。

当 U_O 输出为 U_Z 时， U_O 通过 R 对 C 充电，直到 C 上的电压 U_C 上升到门限电压 U_T ，此时输出 U_O 反转为 $-U_Z$ ，电容 C 通过 R 放电，当 C 上的电压 U_C 下降到门限电压 $-U_T$ ，输出 U_O 再次反转为 U_Z ，此过程周而复始，因而输出方波。根据分析充放电过程可得公如下：

$$T = 2RC \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right), \quad f = \frac{1}{T}。 \quad (R_1=3R_{12}, R_2=3R_5, R_1=R_2=10K, C=0.1\mu)$$

2、占空比可调的矩形波发生电路

实验电路如图 8-2 所示。

图 8.2 原理与图 8.1 相同，但由于两个单向导通二极管的存在，其充电回路和放电回路的电阻不同，设电位器 R_{p1} 中属于充电回路部分（即 R_{p1} 上半）的电阻为 R' ，电位器 R_{p1} 中属于放电回路部分（即 R_{p1} 下半）的电阻为 R'' ，，如不考虑二极管单向导通电压可

得公式：

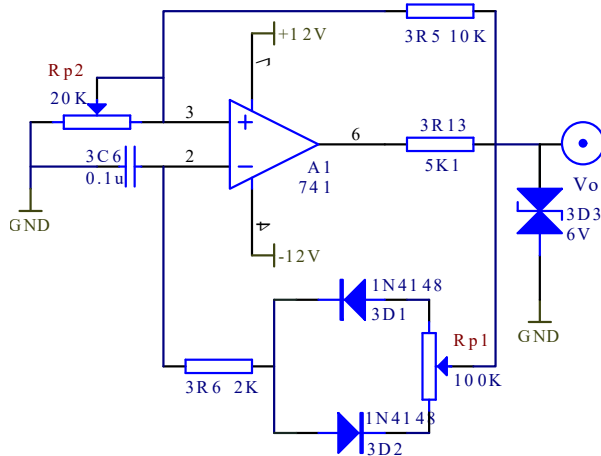


图 8-2 占空比可调的矩形波发生电路

$$T = t_1 + t_2 = (2R + R' + R'')C \ln\left(1 + \frac{2R_{p2}}{R_2}\right), f = \frac{1}{T},$$

$$\text{占空比} \quad q = \frac{R + R'}{2R + R' + R''},$$

调节 $R_{p2} = 10K\Omega$ ，由各条件可计算出 $f \approx 87.54Hz$ 。之所以与理论计算值有相当大的差异，是因为理论计算时忽略了二极管正向导通电压 0.7 伏的关系，实际充放电电流比理论小，所以频率要比理论低。

3、三角波发生电路

实验电路如图 8-3 所示。

三角波发生电路是用正相输入滞回比较器与积分电路组成，与前面电路相比较，积分电路代替了一阶 RC 电路用作恒流充放电电路，从而形成线性三角波，同时易于带负载。

$$\text{分析滞回比较器，可得 } \pm U_T = \pm \frac{R_p}{R_1} U_Z,$$

$$\text{分析积分电路有 } U_{O2} = -\frac{1}{R_3 C} \int U_{O1} dt,$$

$$\text{所以有 } \frac{U_Z}{R_3 C} \cdot \frac{T}{2} = U_T - (-U_T) = 2 \frac{R_p}{R_1} U_Z,$$

$$\text{所以 } T = 4 \frac{R_p}{R_1} R_3 C, f = \frac{1}{T}, U_{O2m} = U_T.$$

选 $R_1 = 3R_5 = 10K$ ， $R_3 = 3R_{14} = 10K$ ， $R_p = 10K\Omega$ ，计算得 $f = 113.6Hz$ 。

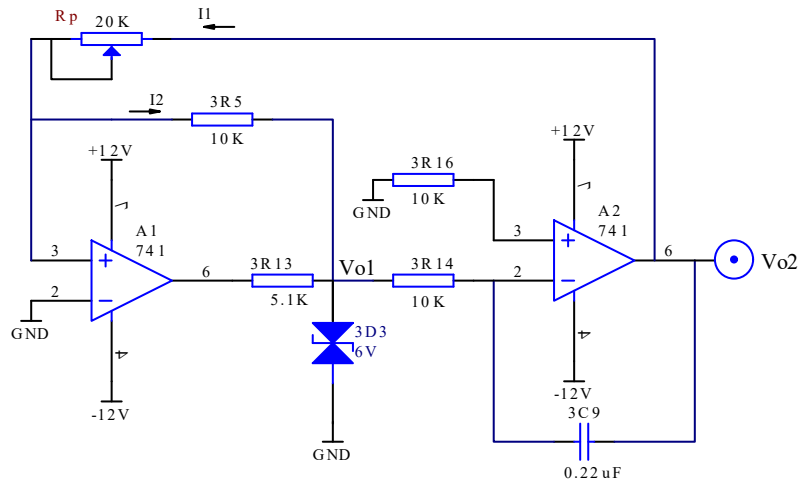


图 8-3 三角波发生电路

4、锯齿波发生电路

实验电路如图 8-4 所示。

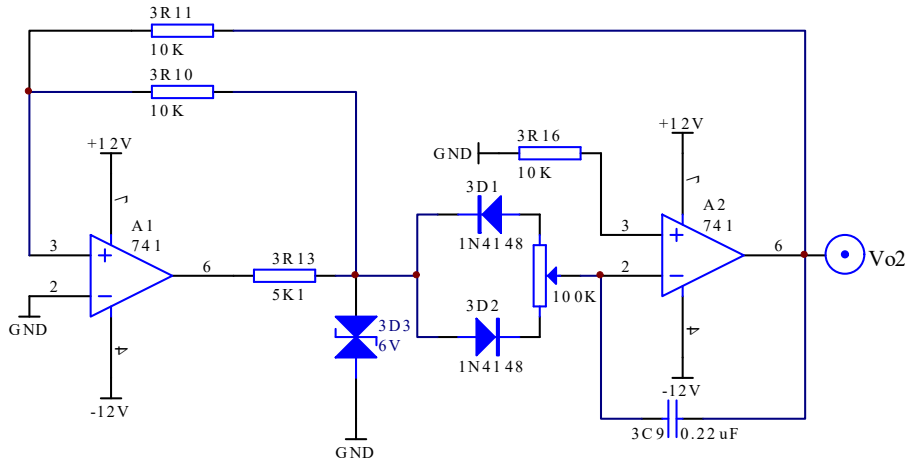


图 8-4 锯齿波发生电路

电路分析与前面一样， $\pm U_T = \pm \frac{R_1}{R_2} U_Z$ ，设当 $U_{O2} = U_Z$ 时，积分回路电阻（电位器上半部分）为 R' ，当 $U_{O2} = -U_Z$ 时，积分回路电阻（电位器下半部分）为 R'' 。考虑到二极管的导通压降可得：

$$t_1 = \frac{2 \frac{R_1}{R_2} U_Z}{U_Z - 0.7} R' C, \quad t_2 = \frac{2 \frac{R_1}{R_2} U_Z}{U_Z - 0.7} R'' C, \quad T = t_1 + t_2, \quad f = 1/T,$$

占空比 $q = t_1 / t_2 = R' / (R' + R'')$ 。

三、实验内容和步骤

1、方波发生电路

- (1)按电路图 8-1 接线, 观察 V_o 波形及频率, 与预习比较。
- (2)分别测出 $R=10K, 110K$ 时的频率, 输出幅值, 与预习比较。
- (3)要想获得更低的频率应如何选择电路参数?试利用实验箱上给出的元器件进行条件实验并观测之。

2、占空比可调的矩形波发生电路

- (1)按图 8-2 接线, 观察并测量 V_o 电路的振荡频率、幅值及占空比。
- (2)若要使占空比更大, 应如何选择电路参数并用实验验证。

3、三角波发生电路

- (1)按图 8-3 接线, 分别观测 V_{o1} 及 V_{o2} 的波形并记录。
- (2)如何改变输出波形的频率?按预习方案分别实验并记录。

4、锯齿波发生电路

- (1)按图 8-4 接线, 观测 V_{o2} 电路输出波形和频率。
- (2)按预习时的方案改变锯齿波频率并测量变化范围。

四、实验器材

- 1、实验箱 2、数字万用表 3、交流毫伏表 4、双踪示波器

五、实验预习要求

- 1、分析图 8-1 电路的工作原理, 定性画出 V_o 波形。
- 2、若图 8-1 电路 $R=10K$, 计算 V_o 的频率。
- 3、图 8-2 电路如何使输出波形占空比变大?利用实验箱上所标元器件画原理图。
- 4、在图 8-3 电路中, 如何改变输出频率?设计 2 种方案并画图表示。
- 5、图 8-4 电路中如何连续改变振荡频率?画出电路图。(利用实验箱上的元器件)

六、实验报告

- 1、画出各实验的波形图。
- 2、画出各实验预习要求的设计方案、电路图, 写出实验步骤及结果。
- 3、总结波形发生电路的特点, 并回答:
 - (1)波形产生电路需调零吗?
 - (2)波形产生电路有没有输入端。

实验九 有源滤波器

一、实验目的

- 1、了解由集成运放组成的有源滤波电路。
- 2、掌握测量有源滤波器幅频特性的方法。
- 3、学习设计滤波电路。

二、原理简介

1、滤波器的传输函数

由 RC 元件与运算放大器组成的滤波器称为 RC 有源滤波器，其功能是让一定频率范围内的信号通过，抑制或急剧衰减此频率范围以外的信号。滤波器可用在信息处理、数据传输、抑制干扰等方面，但因受运算放大器频带限制，这类滤波器主要用于低频范围。根据对频率范围的选择不同，可分为低通、高通、带通与带阻等四种滤波器，它们的幅频特性如图 4-1-7-1 所示。

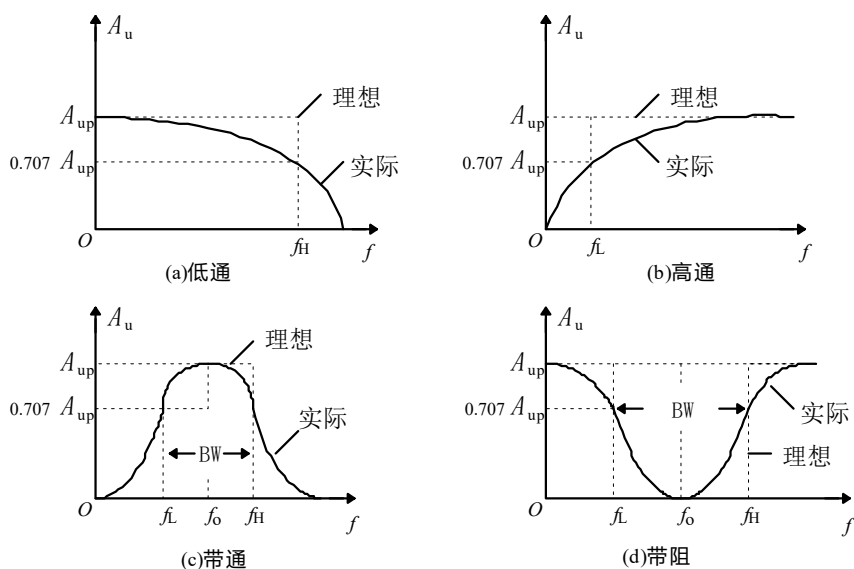


图 9-1

2、有源滤波电路

(1)低通滤波器

低通滤波电路如图 9-2 所示，其性能参数为

$$A_{up} = 1 + \frac{R_F}{R_1} \quad \text{通带电压放大倍数}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

通带截止频率

$$Q = \frac{1}{3 - A_{up}}$$

等效品质因数

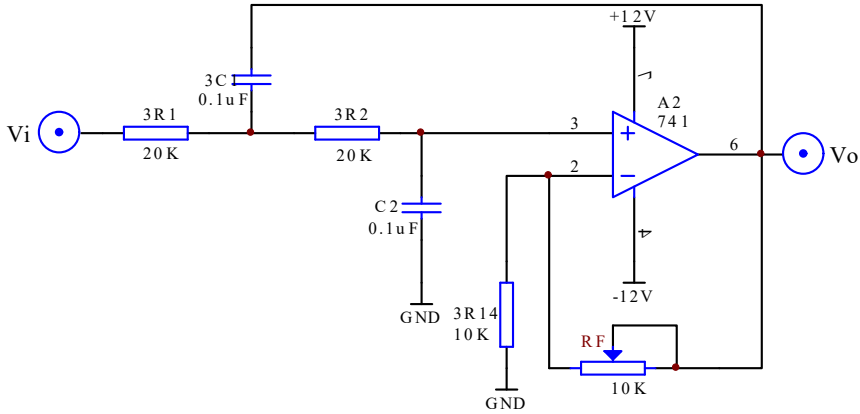


图 9-2

(2) 高通滤波器

高通滤波电路如图 4-1-7-3 所示，其性能参数表达式同低通滤波器。

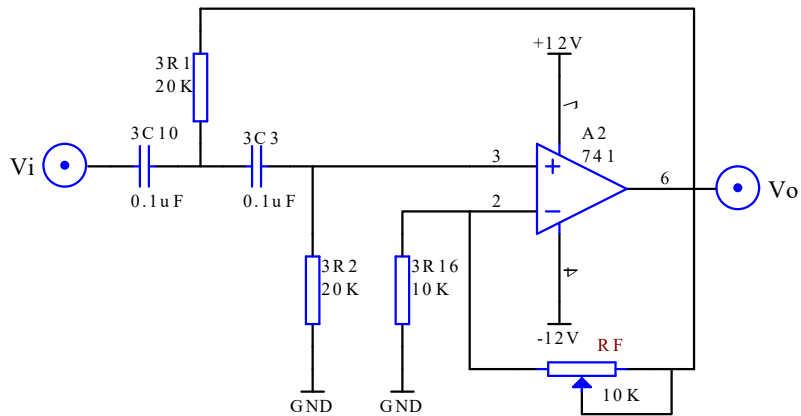


图 9-3

(3) 带通滤波器

带通滤波电路如图 4-1-7-4 所示，其性能参数为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

中心频率

$$A_{uo} = 1 + \frac{R_F}{R_1} \quad Q = \frac{1}{3 - A_{uo}} \quad A_{up} = QA_{uo}$$

$$B = \left(2 - \frac{R_F}{R_1}\right) f_0 \quad \text{通带宽度}$$

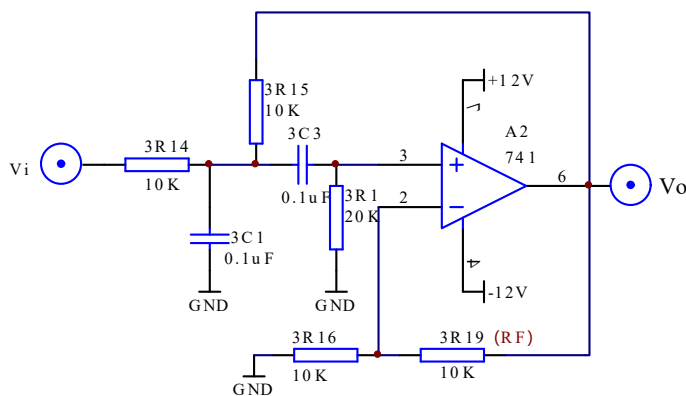


图 9-4

三、实验内容和步骤

1、低通滤波器

实验电路如图 9-2 所示， R_F 分别取 2K、10K，测出测量输入信号 $U_i=1V$ 、频率 f 在 4Hz ~ 800Hz 范围变化时的 V_o 值，表格自拟。

2、高通滤波器

实验电路如图 9-3 所示，测出测量输入信号 $V_i=1V$ 、频率 f 在 400Hz ~ 10Hz 范围变化时的 V_o 值，表格自拟。

3、带通滤波器

(1) 实验电路如图 9-4 所示，测出测量输入信号 $V_i=1V$ 、频率 f 在 10Hz ~ 400Hz 范围变化时的 V_o 值，表格自拟。

(2) 参考此电路设计中心频率为 300Hz 带宽为 200Hz 的带通滤波器。

四、实验器材

- 1、实验箱
- 2、数字万用表
- 3、函数信号发生器
- 4、交流毫伏表
- 5、双踪示波器

五、实验预习要求

- 1、阅读相关教材。
- 2、有关频率曲线的内容如两级阻容耦合放大电路实验。

六、实验报告要求

- 1、计算有关参数。
- 2、根据测量的数据，画出滤波器的幅频曲线。
- 3、总结设计电路的体会，并将实验值与理论值进行比较。

七、思考题

- 1、某同学在调试图 9-2 时，输入频率为 1kHz 的信号，发现输出电压远低于输入电压，他认为电路存在故障，此结论是否正确？
- 2、高通滤波器的幅频特性，为什么在频率很高时，其电压放大倍数会随频率升高而下降？

实验十 电压比较器

一、实验目的

- 1、掌握比较器的电路构成及特点。
- 2、学会测试比较器的方法。

二、原理简介

1、过零比较器

实验电路如图 10-1 所示

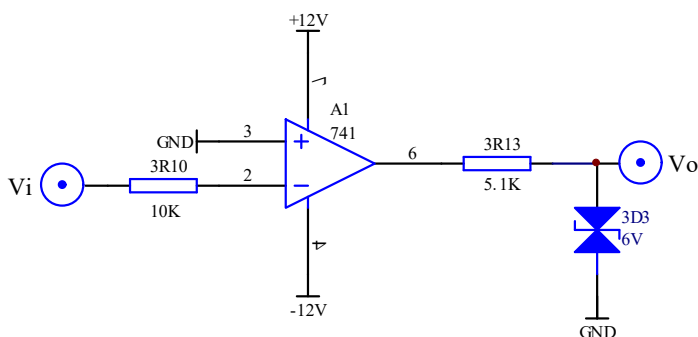


图 10-1 过零比较器

由于 $V_+ = 0V$ ，当输入电压 V_i 大于 $0V$ 时， V_o 输出 $-U_Z$ ，反之输出 U_Z 。

2、反相滞回比较器

实验电路如图 10-2 所示。

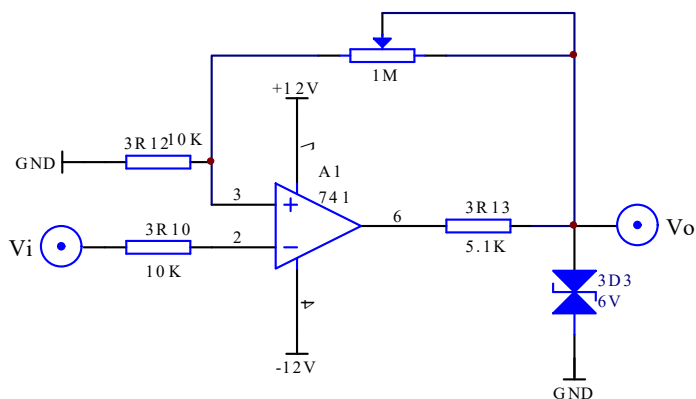


图 10-2 反相滞回比较器

分析可得： $U_{TH} = \frac{R_2}{R_F + R_2} U_Z$ ， $U_{TL} = -\frac{R_2}{R_F + R_2} U_Z$ ，($R_2=3R12=10K$ ， $R_F=1M$ (电位器))

3、同相滞回比较器

实验电路为图 10-3 所示

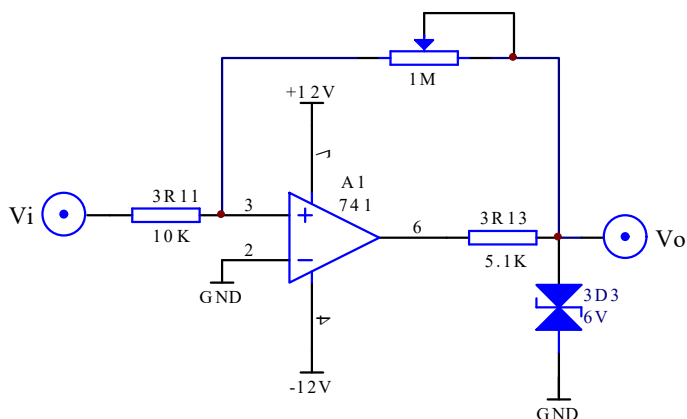


图 10-3 同相滞回比较器

分析电路可得： $U_{TH} = \frac{R_1}{R_F} U_Z$ ， $U_{TL} = -\frac{R_1}{R_F} U_Z$ 。（ $R_1=10K$ ， $R_F=1M$ （电位器））

三、实验内容和步骤

1、过零比较器

- (1) 按图 10-1 接线 V_i 悬空时测 V_o 电压。
- (2) V_i 输入 500Hz 有效值为 1V 的正弦波，观察 V_i 和 V_o 波形并记录。
- (3) 改变 V_i 幅值，观察 V_o 变化。

2、反相滞回比较器

- (1) 按图 10-2 接线，并将 $1M\Omega$ 电位器调到 100K， V_i 接 DC 电压源，测出 V_o 由 $+V_{om}$ \rightarrow $-V_{om}$ 时 V_i 的临界值。
- (2) 同上， V_o 由 $-V_{om} \rightarrow +V_{om}$ 时 V_i 的临界值。
- (3) V_i 接 500Hz 有效值 1V 的正弦信号，观察并记录 V_i 和 V_o 波形。
- (4) 将电路中 $1M\Omega$ 电位器调到 200K，重复上述实验。

3、同相滞回比较器

- (1) 按图 10-3 接线，并将 $1M\Omega$ 电位器调到 100K， V_i 接 DC 电压源，测出 V_o 由 $+V_{om}$ \rightarrow $-V_{om}$ 时 V_i 的临界值。
- (2) 同上， V_o 由 $-V_{om} \rightarrow +V_{om}$ 时 V_i 的临界值。
- (3) V_i 接 500Hz 有效值 1V 的正弦信号，观察并记录 V_i 和 V_o 波形。
- (4) 将电路中 $1M\Omega$ 电位器调到 200K，重复上述实验。
- (5) 将结果与反相滞回比较器相比较。

四、实验器材

- 1、实验箱
- 2、数字万用表
- 3、函数信号发生器
- 4、交流毫伏表
- 5、双踪示波器

五、实验预习要求

- 1、分析图 10-1 电路，弄清以下问题：

- (1) 比较器是否要调零?原因何在?
- (2) 比较器两个输入端电阻是否要求对称?为什么?
- (3) 运放两个输入端电位差如何估计?

2、分析图 10-2 电路, 计算:

- (1) 使 V_o 由 $+V_{om}$ 变为 $-V_{om}$ 的 V_i 临界值。
- (2) 使 V_o 由 $-V_{om}$ 变为 $+V_{om}$ 的 V_i 临界值。
- (3) 若由 V_i 输入有效值为 1V 正弦波, 试画出 V_i-V_o 波形图。

3、分析图 10-3 电路。

4、按实习内容准备记录表格及记录波形的座标纸。

六、实验报告要求

- 1、整理实验数据及波形图。并与预习计算值比较。
- 2、总结几种比较器特点。

七、思考题

实验十一 集成功率放大器

一、实验目的

- 1、熟悉集成功率放大器的特点。
- 2、掌握集成功率放大器的主要性能指标及测量方法。

二、原理简介

集成功率放大器是一种音频集成功放，具有自身功耗低、电压增益可调整、电压电源范围大、外接元件少和总谐波失真少的优点。分析其内部电路，可得到一般集成功放的结构特点。

LM386 是一个三级放大电路，第一级为直流差动放大电路，它可以减少温飘、加大共模抑制比的特点，由于不存在大电容，所以具有良好低频特性可以放大各类非正弦信号也便于集成。它以两路复合管作为放大管增大放大倍数，以两个三极管组成镜象电路源作差分放大电路的有源负载，使这个双端输入单端输出差分放大电路的放大倍数接近双端输出的放大倍数。第二级为共射放大电路，以恒流源为负载，增大放大倍数减小输出电阻。第三级为双向跟随的准互补放大电路，可以减小输出电阻，使输出信号峰峰值尽量大（接近于电源电压），两个二极管给电路提供合适的偏置电压，可消除交越失真。可用瞬间极性法判断出，引脚 2 为反相输入端，引脚 3 为同相输入端，电路是单电源供电，故为 OTL（无输出变压器的功放电路），所以输出端应接大电容隔直再带负载。

$A_u = A_f = \frac{A}{1 + AF} \approx \frac{1}{F}$ ，理论分析当引脚 1 引脚 8 之间开路时，有：

$$A_u \approx 2\left(1 + \frac{15K}{1.35K + 0.15K}\right) = 22,$$

当引脚 1 引脚 8 之间外部串联一个大电容和一个电阻 R 时，

$$A_u \approx 2\left(1 + \frac{15K}{1.35K \parallel R + 0.15K}\right), \text{ 因此当 } R=0 \text{ 时, } A_u \approx 202.$$

(1) 静态功耗 P_c

将信号源关闭，使放大器输入端接地，测出电源供给整个放大器的直流静态电流 I，并以此计算出电路的静态功耗

$$P_c = 2V_{CC} \cdot I$$

(2) 最大输出功率 P_{om}

给放大器输入 1KHz 正弦电压信号，逐渐加大输入电压幅值，并使失真度仪的读数小于或等于 10%，读出此时毫伏表的读数 U_o ，最大输出功率为

$$P_{Om} = \frac{U_o^2}{R_L}$$

如果不用失真度仪, 则用示波器观察到输出波形为临界削波时, 读出毫伏表的读数 U_0 。

(3) 电源供给的功率 P_V

电路保持(2)中之状态, 用直流毫安表测出此时电源供给的电流 I_m 就是电源输出的平均电流, 电源供给的功率为

$$P_V = 2V_{CC} \cdot I_m$$

(4) 最大效率 η

$$\eta = \frac{P_{Om}}{P_V}$$

集成功率放大器如图 11-1 所示

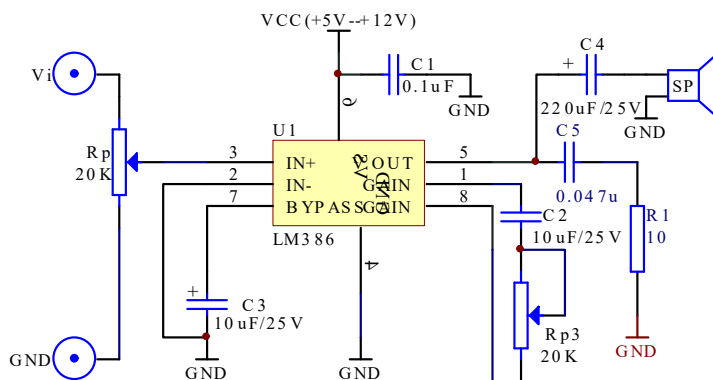


图 11-1 集成功率放大器

四、实验内容

- 1、按图 11-1 连接线路。不加信号时测静态工作电流（在电源接入时串入电流表），并记录到表 11-1。
- 2、在输入端接 50mv 的 1KHZ 正弦波信号, 用示波器观察输出波形; 逐渐增加输入电压幅度, 直至出现失真为止, 记录此时输入电压, 输出电压幅值, 并记录波形。改变 R_p 电位器的值, 重复上述操作并记录到表 11-1。
- 3、断开 1、8 之间的电路（即去掉 C2 电容和 R_{p3} 电位器的串联电路），重复上述实验并记录到表 11-1。
- 4、1、8 之间只接入 C2, 重复上述实验并记录到表 11-1。
- 5、改变电源电压 (选 5V, 9V 两档) 重复上述实验并记录到表 11-1。

表 11-1

状态 \ 测量与计算	VCC	静态 I_m	P_C	I_m	$V_o (R_L=8\Omega)$	P_V	P_{om}	η
1, 8 接入电阻电容 R=10K	12V	50mA		5mA	1.5V			
	9V	36mA		3.4mA	1.6V			
	5V	15.8mA		4.5mA	2V			
1, 8 接入电阻电容 R=自选	12V	24~53		4.1~5				
	9V	17.8~38		3.5~4.8				
	5V	7.8~16.4		2.6~4.5				
1, 8 断开	12V	54		5.1	9			
	9V	40		4.85	7.5			
	5V	17.3		4.53	2.5			
1, 8 接入电容	12V	24.1		4.13	5			
	9V	17.7		3.52	7.5			
	5V	7.92		2.63	10			

四、实验器材

- 1、实验箱
- 2、数字万用表
- 3、函数信号发生器
- 4、交流毫伏表
- 5、双踪示波器

五、实验预习要求

- 1、复习集成功率放大器工作原理。
- 2、图 11-1 电路中，若 $V_{CC}=12V$ ， $R_L=8\Omega$ （喇叭）估算该电路的 P_{om} 、 P_V 值。
- 3、阅读实验内容，准备记录表格。

六、实验报告要求

- 1、根据实验测量值、计算各种情况下 P_{om} 、 P_V 及 η 。
- 2、作出电源电压与输出电压、输出功率的关系曲线。

七、思考题

实验十二 互补对称功率放大器

一、实验目的

- 1、理解互补对称功率放大器的工作原理。
- 2、加深理解电路静态工作点的调整方法。
- 3、学会互补对称功率放大电路调试及主要性能指标的测试方法。

二、原理简介

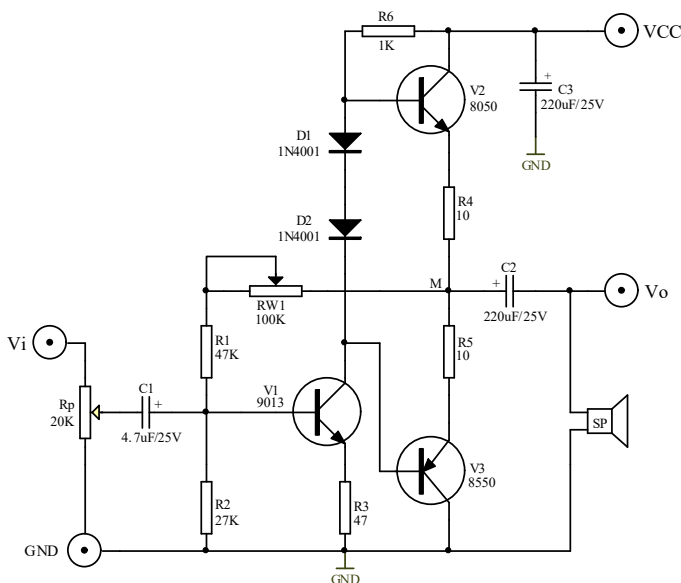


图 12-1 互补对称功率放大器

图 12-1 所示为互补对称功率放大器。其中由晶体三极管 V1 组成推动级(也称前置放大级), V2、V3 是一对参数对称的 NPN 和 PNP 型晶体三极管, 它们组成互补对称功放电路。由于每一个管子都接成射极输出器形式, 因此具有输出电阻低, 负载能力强等优点, 适合于作功率输出级。V1 管工作于甲类状态, 它的集电极电流 I_{C1} 由电位器 RW1 进行调节。二极管 D1、D2, 给 V2、V3 提供偏压, 可以使 V2、V3 得到合适的静态电流而工作于甲、乙类状态, 以克服交越失真。由于 RW1 的一端接 V1、V2 的输出端, 因此在电路中引入交、直流电压并联负反馈, 一方面能够稳定放大器的静态工作点, 同时也改善了非线性失真。

当输入正弦交流信号 U_i 时, 经 V1 放大、倒相后同时作用于 V2、V3 的基极, U_i 的负半周使 V2 管导通 (V3 管截止), 有电流通过负载 R_L (可用喇叭作为负载), 在 U_i 的正半周, V3 导通 (V2 截止), 则已充好电的电容器 C2 起着电源的作用, 通过负载 R_L 放电, 这样在 R_L 上就得到完整的正弦波。

(1) 静态功耗 P_c

将信号源关闭，使放大器输入端接地，测出电源供给整个放大器的直流静态电流 I ，并以此计算出电路的静态功耗

$$P_C = 2V_{CC} \cdot I$$

(2) 最大输出功率 P_{Om}

给放大器输入 1KHz 正弦电压信号，逐渐加大输入电压幅值，并使失真度仪的读数小于或等于 10%，读出此时毫伏表的读数 U_o ，最大输出功率为

$$P_{Om} = \frac{U_o^2}{R_L}$$

如果不用失真度仪，则用示波器观察到输出波形为临界削波时，读出毫伏表的读数 U_o 。

(3) 电源供给的功率 P_V

电路保持(2)中之状态，用直流毫安表测出此时电源供给的电流 I_m 就是电源输出的平均电流，电源供给的功率为

$$P_V = 2V_{CC} \cdot I_m$$

(4) 最大效率 η

$$\eta = \frac{P_{Om}}{P_V}$$

三、实验内容和步骤

按 12-1 接线，负载接上喇叭

1、VCC 接+12V，调整 RW1 直流工作点，使 M 点电压为 0.5Vcc。

2、不加信号时测静态工作电流（在电源接入时串入电流表），并记录到表 12-1。

3、输入端接 50mv 的 1KHZ 正弦波信号，用示波器观察输出波形；逐渐增加输入电压幅度，直至出现失真为止，记录此时输入电压，输出电压幅值，并记录波形。并记录到表 12-1。

3、改变电源电压（例如由+12V 变为+6V），测量并比较输出功率和效率并记录到表 12-1。

4、改变放大器在带 5.1K(R7) 负载 时的功耗和效率并记录到表 12-1。

表 12-1

状态 \ 测量与计算	VCC	静态 I_m	P_C	I_m	V_o	P_V	P_{om}	η
(RL=8Ω)	12V	7.6mA		68	3.5V			
	6V	2.1		2.2	1.5			
(RL=5.1KΩ)	12V	7.7		7.7	1.5			
	9V	4.74		4.7	2.5			

四、实验器材

- 1、实验箱
- 2、数字万用表
- 3、函数信号发生器
- 4、交流毫伏表
- 5、双踪示波器

五、实验预习要求

- 1、分析图 12-1 电路中各三极管工作状态及交越失真情况。
- 2、电路中若不加输入信号，V2、V3 管的功耗是多少。
- 3、电阻 R4、R5 的作用是什么？

六、实验报告要求

- 1、根据实验测量值、计算各种情况下 P_{om} 、 P_V 及 η 。
- 2、总结功率放大电路特点及测量方法。

七、思考题

- 1、在什么状态下产生交越失真，试操作观察，并记录画图。

实验十三 整流滤波与并联稳压电路

一、 实验目的

- 1、 比较半波整流与桥式整流的特点。
- 2、 了解稳压电路的组成和稳压作用。
- 3、 熟悉集成三端可调稳压器的使用。

二、 原理简介

参见教材。

三、 实验内容和步骤

- 1、 比较半波整流与桥式整流的特点

(1) 分别按图 13-1 和图 13-2 连线，耦合方式选择 DC。当输入接入交流 16V 电压后，调节 Rf1 ($R_i = R_{f1} + 100 \Omega$) 使 $I_o = 50\text{mA}$ 时，测出 U_o ，同时用示波器观察并绘出输出波形，将测量值记入表 9-1 中。

- (2) 比较两种整流电路的特点。

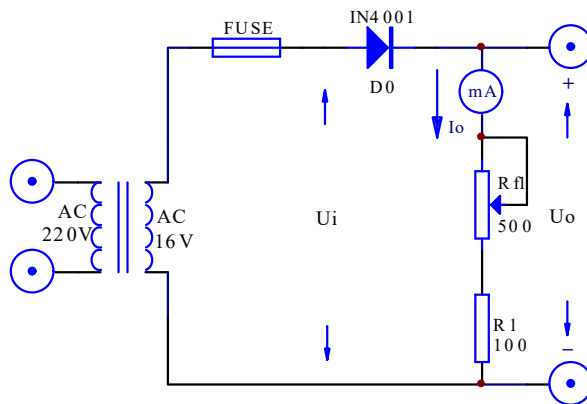


图 13-1

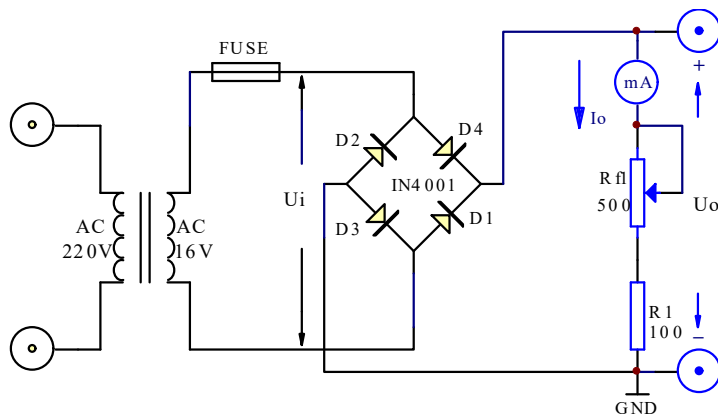


图 13-2

表 13-1

	$U_i(V)$	$U_o(V)$	$I_o(mA)$
半波	17.8(AC)	7.5	50
桥式	17.6(AC)	14.3	50

2、C 型滤波器的作用

按图 13-3 连线。当 R_{f1} 不变时，测出 $I_o=50mA$ 时的输出电压 U_o ，同时用示波器观察并绘出输出波形，将测量值记入表 13-2 中。

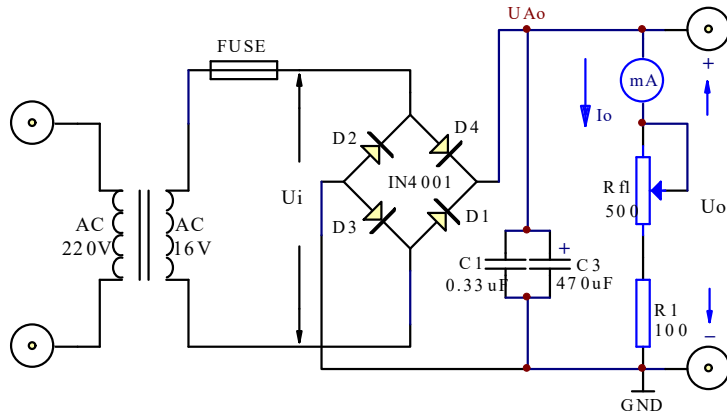


图 13-3

表 13-2

	$U_i(V)$	$U_o(V)$	$I_o(mA)$
有 C	17.9	22.4	50
无 C	18	14.77	50

3、观察稳压二极管的稳压作用

按图 13-4 连线。当输入接入交流 16V 电压后，调节 R_{f1} 使 $I_o=14mA$ 、 $18mA$ 、 $22mA$ 、时，测出 U_{Ao} ， U_o 同时用示波器观察并绘出输出波形，将测量值记入表 13-3 中。

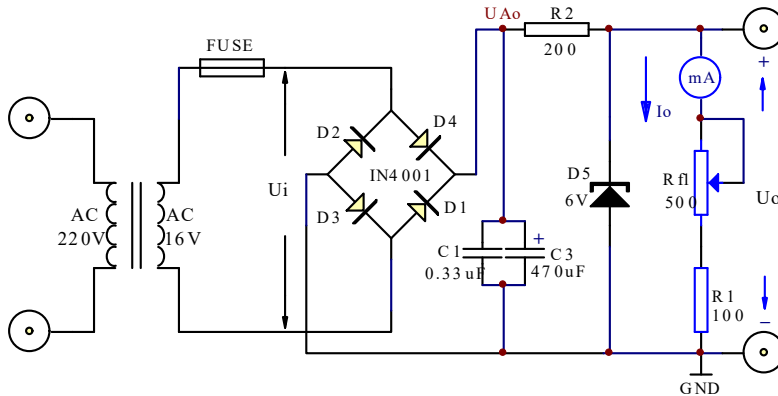


图 13-4

表 13-3

I_0 (mA)	U_i (V)	U_{Ao} (V)	U_o (V)
14	17.9	22.2	6.4
18	17.9	22.2	6.4
22	17.9	22.2	6.4

四、实验器材

- 1、实验箱 2、数字万用表 3、双踪示波器

五、实验预习要求

- 1、阅读相关教材。

六、实验报告要求

- 1、比较半波整流与桥式整流的特点。
- 2、说明滤波电容 C 的作用。
- 3、说明稳压二极管稳压作用。

实验十四 集成稳压器

一、实验目的

- 1、了解集成稳压器特性和使用方法。
- 2、掌握直流稳压电源主要参数测试方法。

二、原理简介

参见教材。

三、实验内容和步骤

1、三端稳压器的测试

实验电路如图 14-1 所示

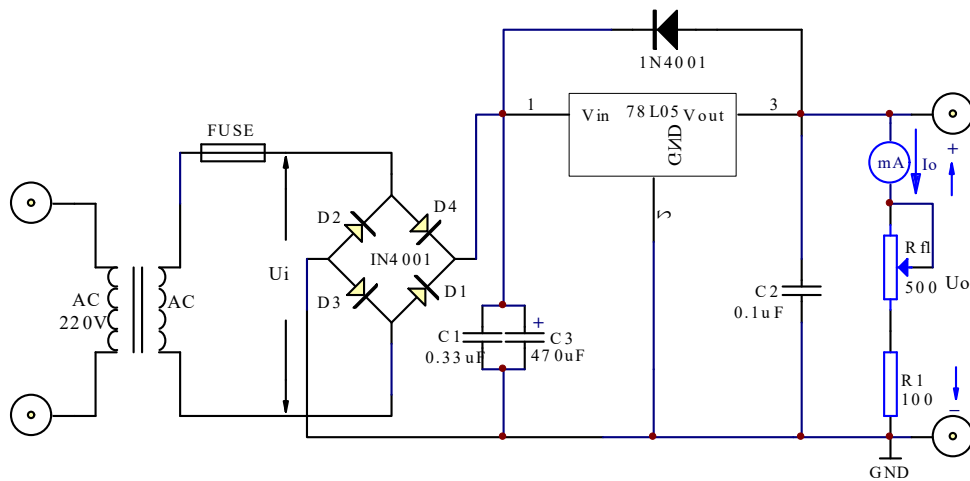


图 14-1 三端稳压器参数测试

(1) 当输入接入交流 16V 电压后，调节 Rfl 改变负载，使 I_o 分别为 0mA、10mA、20mA、50mA 时，测出 U_o 记入表 14-1 中。

表 14-1

I_o (mA)	0(空载)	10	20	50
U_o (V)	5	5	5	5

(2) 调节 Rfl 改变负载，使 I_o 为 50mA，然后仅改变输入交流电压为 14V 及 18V 时，测出 U_o 记入表 14-2 中。

表 14-2

U_i (V)	14	16	18
U_o (V)	5	5	5

(3) 纹波电压(有效值或峰值)。

测量纹波电压是指，用示波器测量叠加在直流电压信号上的交流纹波电压信号，7805的纹波电压小于 1mv, 用示波器测量难于观察。

2、可调稳压器

实验电路如图 14-2 所示。

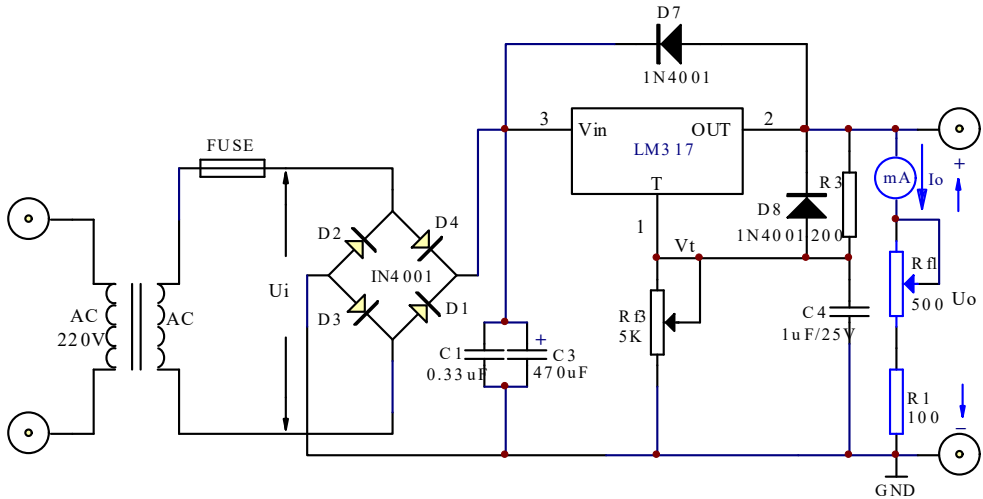


图 14-2 可调集成稳压器

(1) 按图 14-2 连线。

(2) 当输入接入交流 16V 电压后，调节 Rf3 测试可调三端稳压器的稳压范围，将测量值记入表 14-3 中。

表 14-3

	Rf3 _{max}	Rf3 _{min}
U _o (V)	18	1.25

(3) 当输入接入交流 16V 电压后，调节 Rf3 使 U_o=10V，调节 Rfl 改变负载，使 I_o 分别为 0mA、90mA 时，测出 U_o 记入表 14-4 中。

表 14-4

I _o (mA)	0	90
U _o (V)	10	10

(4) 当输入接入交流 16V 电压后，调节 Rf3 使 U_o=10V，调节 Rfl 改变负载，使 I_o 为 90mA，然后仅改变输入交流电压为 14V 及 18V 时，测出 U_o 记入表 14-5 中。

表 14-5

U _i (V)	14	16	18
U _o (V)	10	10	10

四、实验器材

- 1、实验箱
- 2、数字万用表
- 3、双踪示波器

五、实验预习要求

- 1、阅读相关教材。

六、实验报告要求

- 1、整理实验报告，计算内容的各项参数。
- 2、总结本实验所用两种三端稳压器的应用方法。

*实验十五 串联稳压电路

一、实验目的

- 1、研究稳压电源的主要特性，掌握串联稳压电路的工作原理。
- 2、学会稳压电源的调试及测量方法。

二、原理简介

图 15-1 是由分立元件组成的串联型稳压电路。它由调整元件 (V1, V2 复合管和 R2); 比较放大器 V3、R1; 取样电路 R4、R5、R_p, 基准电压 V_z、R3 等组成。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: 当电网电压波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 V3 放大后送至调整管 (复合管) 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。

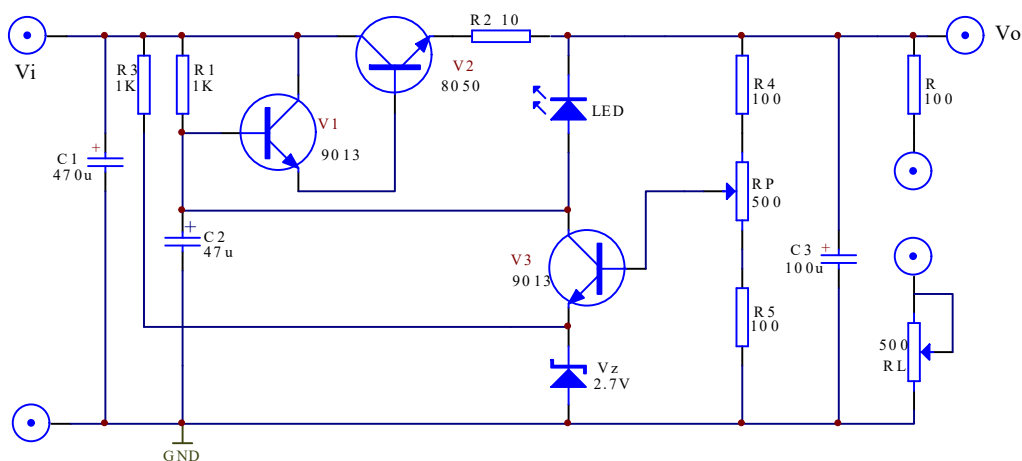


图 15-1 串联稳压电路

三、实验内容和步骤

1、静态调试

- (1) 按图 15-1 接线, 负载 R_L 开路, 即稳压电源空载。
- (2) 将可调直流电源输出端 1.2V~+15V 电源调到 9V, 接到 Vi 端, 再调电位器 R_p, 使 V_o=6V, 量测各三极管的 Q 点, 填入表 15-1。
- (3) 调试输出电压的调节范围。

调节 R_p 观察输出电压 V_o 的变化情况。记录 V_o 的最大和最小值, 填入表 15-2。

表 15-1

B(复合管)	C(复合管)	E(复合管)	B(V3)	C(V3)	E(V3)
7.2	8.96	6.03	3.52	7.2	2.9

表 15-2 $V_i=9V$

	R _p 下端	R _p 上端
$V_o(V)$	4.2	7.7

2、动态测量

(1) 测量电源稳压特性。调节 R_p, 使输出 $V_o = 6V$, 稳压电源处于空载状态, 调可电源 1.2~15V, 模拟电网电压波动 $\pm 10\%$; 即 V_i 由 8V 变到 10V。且测相应的 ΔV 。根据

$$S = \frac{\Delta V_o / V_o}{\Delta V_i / V_i} \quad \text{计算稳压系数。数据填入表 15-3。}$$

表 15-3

$V_i(V)$	$V_o(V)$	S (计算)
8	5.8	
10	6.2	

(2) 测量稳压电源内阻。稳压电源的负载电流 I_L 由空载变化到额定值 $I_L=50mA$ (接入负载调节 R_{f1}) , 测量输出电压 V_o 的变化量即可求出电源内阻

$$r_o = \left| \frac{\Delta V_o}{\Delta I_L} \times 100\% \right|$$

测量过程, 使 $V_i=9V$ 保持不变, 测量结果填入表 15-4。

表 15-4 $V_i=9V$

$I_L(mA)$	$V_o(V)$	r_o (计算)
0	6	
50	5.7	

(3) 测试输出的纹波电压。将图 15-1 的电压输入端 V_i 接到图 15-2 的整流滤波电路输出端(要共地), 在负载电流 $I_L=50mA$ 条件下, 用示波器观察稳压电源输入输出中的交流分量 μ_0 , 描绘其波形。用晶体管毫伏表, 量测交流分量的大小。**示波器测量方法:** 用示波器设置交流耦合, 电压调在 10mv 档, 能测到频率在 100HZ 左右的正弦波信号, 幅度大小就是纹波电压。

3、输出保护

(1) 在电源输出端接上负载 R_L 同时串接电流表。并用电压表监视输出电压, 逐渐减小 R_L 值, 直到短路, 注意 LED 发光二极管逐渐变亮, 记录此时的电压、电流值。

注意: 此实验内容过流短路时间应尽量短(不超过 5 秒) 以防元器件过热。

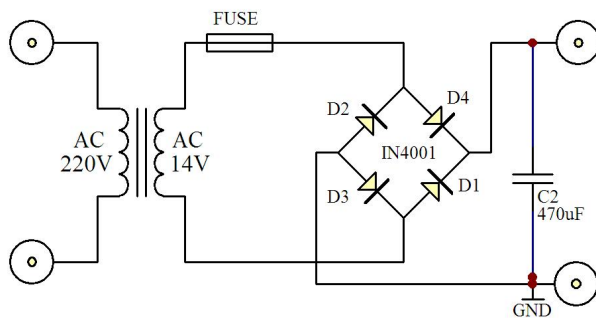


图 15-2

四、实验器材

- 1、实验箱 2、数字万用表 3、双踪示波器 4、交流毫伏表

五、实验预习要求

- 1、估算图 15-1 电路中各三极管的 Q 点(设: 各管的 $\beta=100$, 电位器 RP 滑动端处于中间位置)。
- 2、分析图 15-1 电路, 电阻 R_2 和发光二极管 LED 的作用是什么?

六、实验报告要求

- 1、对静态调试及动态测试进行总结。
- 2、计算稳压电源内阻及稳压系数。
- 3、对部分思考题进行讨论。

七、思考题

- 1、如果把图 15-1 电路中电位器的滑动端往上(或是往下)调, 各三极管的 Q 点将如何变化?可以试一下。
- 2、调节 R_L 时, V_3 的发射极电位如何变化?电阻 R_L 两端电压如何变化?可以试一下。
- 3、这个稳压电源哪个三极管消耗的功率大?
- 4、如何改变电源保护值。

附图 15-3, 实测纹波电压 VPP 在 30mV 左右, 毛刺是高频噪声。

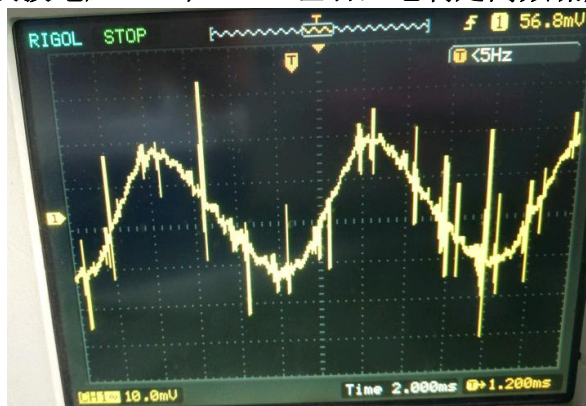


图 15-3

实验十六 集成电路 RC 正弦波振荡器

一、实验目的

- 1、掌握桥式 RC 正弦波振荡器的电路构成及工作原理。
- 2、熟悉正弦波振荡器的调整、测试方法。
- 3、观察 RC 参数对振荡频率的影响，学习振荡频率的测定方法。

二、原理简介

正弦波震荡电路必须具备两个条件：一必须引入反馈，而且反馈信号要能代替输入信号，这样才能在不输入信号的情况下自发产生正弦波震荡。二是要有外加的选频网络，用于确定震荡频率。因此震荡电路由四部分电路组成：1、放大电路，2、选频网络，3、反馈网络，4、稳幅环节。实际电路中多用 LC 谐振电路或是 RC 串并联电路（两者均起到带通滤波选频作用）用作正反馈来组成震荡电路。

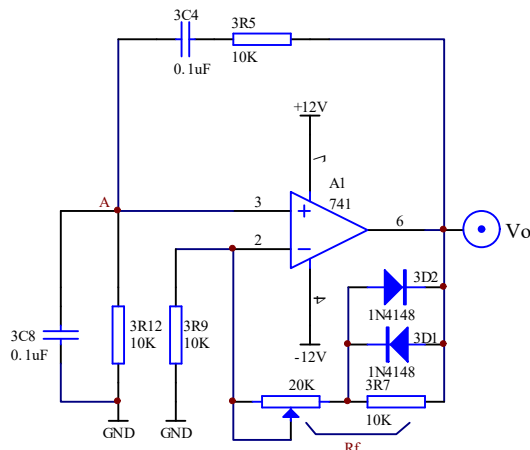


图 16-1 RC 正弦波振荡器基本电路

1、实验电路

本实验电路常称为文氏电桥震荡电路如图 16-1 所示，由 3R6（2K）和 Rf（20K）组成电压串联负反馈，使集成运放工作于线性放大区，形成同相比例运算电路，Rf 用以调节负反馈的大小，使电路满足自激振荡条件，并使输出幅度符合设计要求。由 RC 串并网络作为正反馈回路兼选频网络。

2、振荡频率

该电路的振荡频率由 RC 串并网络的参数决定，通常取 $3R12=3R5=R$ ， $3C8=3C4=C$ ，则

$$\text{振荡频率} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

为了调节振荡频率，可其中改变 R 或者 C。

3、起振条件

如图 16-1 所示的 RC 正弦波振荡器，起振条件是 $AF > 1$ 。其中 A 是包含负反馈在内的放大器的放大倍数，F 为 RC 串并联正反馈网络的反馈系数 F_+ ，由于 $F_+ = 1/3$ ，故 $A > 3$ 。在深度负反馈条件下， $A \approx F_-$ ，而

$$F_- = \frac{R}{R + R_F}$$

$$R = 3R_F = 10K$$

其中所以可推出此电路起振的振幅条件为 $R_F > 2R$ 。即 R_F 要大于 20K。

三、实验内容和步骤

- 1、按图 16-1 接线
- 2、用示波器观察输出波形，并测出频率值。
- 3、试改变 R 或者 C 再测量波形和频率。（提示：串并联电容或者电阻可改变 RC）

四、实验器材

- 1、实验箱
- 2、双踪示波器
- 3、万用表
- 4、频率计

五、实验预习要求

- 1、仔细阅读参考资料。
- 2、根据设计要求，写出实验准备报告。

六、实验报告要求

- 1、电路中哪些参数与振荡频率有关？将振荡频率的实测值与理论估算值比较，分析产生误差的原因。
- 2、总结改变负反馈深度对振荡器起振的幅值条件及输出波形的影响。

七、思考题

- (1) 若电路设计无误，安装也没有问题，但通电后电路不起振，该调哪些元件？为什么？
- (2) 虽有输出但出现明显失真，应如何解决？

实验十七 电流/电压转换电路

一、实验目的

掌握工业控制中标准电流信号转换成电压信号的设计与调试

二、原理简介

在工业控制中需要将 4mA 或 20mA 的电流信号转换成 ±10V 的电压信号，以便送到计算机进行处理。这种转换电路以 4mA 为满量程的 0% 对应 -10V；12mA 为 50% 对应 0V；20mA 为 100% 对应 +10V。实际电路中因无 500 标称电阻，所以采样电阻用 1K，这样对应输入电流改为 4~10mA，这样采样电压不大于 10V。如要 4~20mA，则并联 1K 电阻或者电位器调 500 替代 1K 电阻。

实验以 1K 电阻为例，4mA 对应 -10V，7mA 对应 0V，10mA 对应 10V。

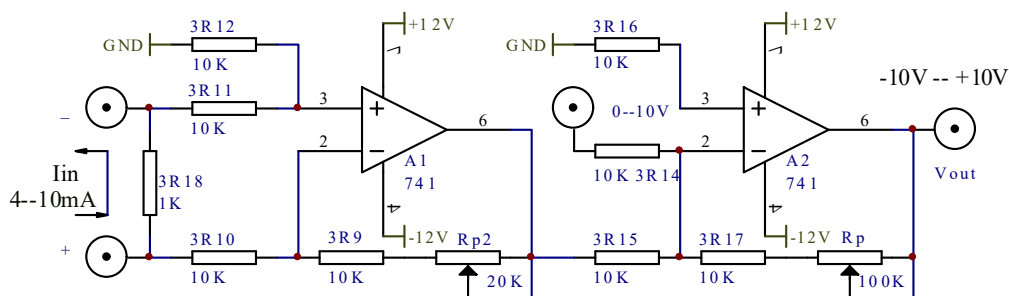


图 17-1 电流/电压转换电路

图中 A₁ 运放采用差动输入，其转换电压用电阻 1K 两端接电流环两端，这样输入电流 4mA 对应电压 4V，输入电流 10mA 对应电压 10V。A₁ 设计增益为 1，对应输出电压为 -4V~10V。Rp₂(20K) 是用于调整由于电阻元件不对称造成的误差，使 A₁ 输出电压对应应在 -4V~10V。又输入电流为 7mA 时，A₁ 输出电压为 -7mA×1K=-7V。此时要求 A₂ 输出为 0V。故在 A₂ 反相输入端(0~10V 处)加入一个 +7V 的直流电压（用可调 1.5~12V，要共地），使 A₂ 输出为 0。A₂ 运放采用反相加法器，通过调整 Rp(100K) 使变换电路输出满足设计要求。

三、实验内容和步骤

- 1、按图 17-1 接线。
- 2、直流电流源要外接，或者自行通过稳压电路设计电源流如图 17-2 所示。
- 3、输入 4mA 电流，调节 Rp₂，使 A₁ 的输出为 -4V。
- 4、调整输入电流为 7mA，用可调电压源输出 7V 接入 A₂ 的反相输入端。
- 5、调节电位器 Rp，使 Vout 为 0V。
- 6、改变电流输入验证，电流/电压转换电路的正确性。

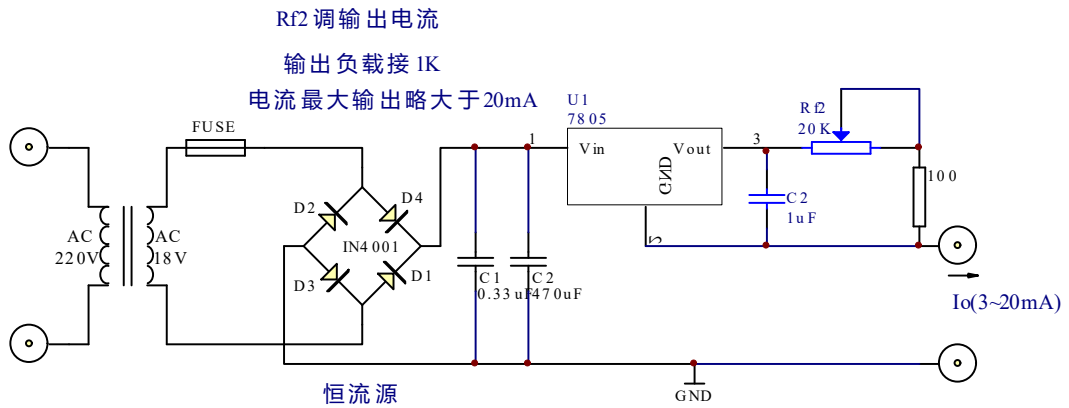


图 17-2 恒流源设计图

四、实验器材

- 1、实验箱
- 2、数字万用表

五、实验预习要求

- 1、分析图 17-1 电路，了解电流/电压转换的工作原理？

六、实验报告要求

- (1) 整理原始数据及图表，分析与处理数据。
- (2) 写出调试步骤。
- (3) 画出关系曲线。
- (4) 总结调试过程写出总结报告

七、选做与思考

- 1、本实验电路可改为电压/电流转换电路吗？试分析并画出电路图。
- 2、按本实验思路设计一个电压/电流转换电路，将 ±10V 电压转换成 4mA~20mA 电流信号。

实验十八 电压/频率转换电路

一、实验目的

1、学习掌握电压/频率转换电路的原理

二、原理简介

实验电路如图 18-1 所示。该图实际上就是锯齿波发生电路，只不过这里是通过改变输入电压 V_i 的大小来改变波形频率，从而将电压参量转换成频率参量。

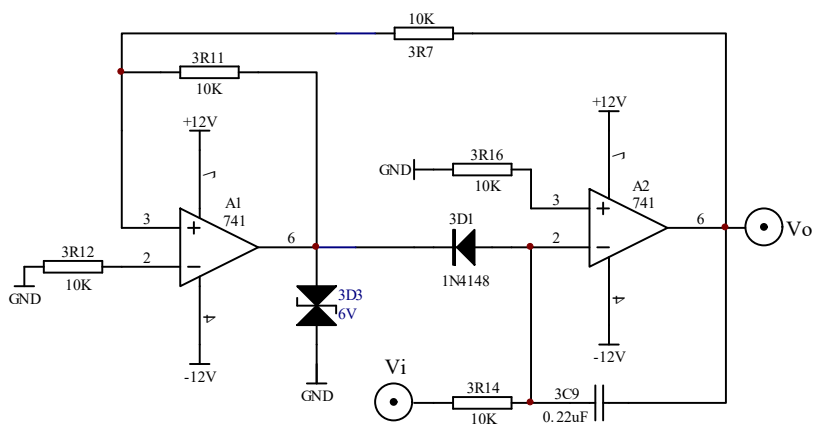


图 18-1 电压频率转换电路

分析电路可知，电路左边部分为一上行迟滞比较器，右端为一积分电路，中间由二极管连接。当运放 A1 输出正向饱和电压时，二极管截止， $V_{01} = +6V$ ，右端电路工作在积分状态，电容匀速充电，若输入电压 $V_i > 0$ ，则 V_0 均匀下降直至迟滞比较器的下门限电压 $V_{TL} = -\frac{3R17}{3R11}V_{01} = -6V$ 时，比较器反转。反转后运放 A1 输出端输出反向饱和电压约为 $-10V$ 左右，由于二极管 D 的存在， $V_{01} = V_{A2-} - V_D \approx -0.7V$ ，因此电容 C 急速放电， V_0 电压迅速上升直到迟滞比较器的上门限电压 $V_{TH} = -\frac{3R17}{3R11}V_{01} \approx 0.7V$ 时，比较器再次反转，又进入充电状态。于是 V_0 产生锯齿波， V_{01} 产生矩形波。

计算周期 $T = t_1 + t_2$ ，电容处于充电周期（即 V_0 处于匀速下降部分）时：

$$t_1 = \frac{Q}{I} = \frac{(V_{TH} - V_{TL})C}{V_i/R} = \frac{V_{TH} - V_{TL}}{V_i} RC;$$

电容处于急速放电（即 V_0 处于急速上升部分）时，所以 $t_2 \ll t_1$ ， t_2 可忽略不计。

$$f = \frac{1}{T} \approx \frac{1}{t_1} = \frac{V_i}{(V_{TH} - V_{TL})RC}。$$

三、实验内容和步骤

1、按图 18-1 接线，用示波器监视 V_o 波形。

2、按表 18-1 内容，测量直流电压—频率转换关系。可先用示波器测量周期，然后再换算成频率。

表 18-1

V_i (V)	0	2	4	6	8	10
T(ms)	0					
f(Hz)	0	114	226	334	437	541

四、实验器材

1、实验箱 2、数字万用表 3、示波器

五、实验预习要求

1、指出图 18-1 中电容 3C9 的充电和放电回路。

2、定性分析用可调电压 V_i 改变 V_o 频率的工作原理。

3、电阻 3R7 和 3R14 的阻值如何确定？当要求输出信号幅值为 $12V_{p-p}$ ，输入直流电压值为 3V 时，输出频率为 3000Hz，计算 3R7、3R14 的值。

六、实验报告要求

做出频率电压关系曲线。

七、思考题

分析输出频率与理论值频率偏差的原因。

实验十九 波形变换电路

一、实验目的

- 1、熟悉波形变换电路的工作原理及特性。
- 2、掌握电路的参数选择和调试方法。

二、原理简介

图 19-1 方波变三角波为反向积分电路。

(1) 调整 R_p ，输入频率 500Hz 峰峰值 4 伏的方波，当方波处于 $-U_z$ 时，三角波处于上升沿；当方波处于 U_z 时，三角波处于下降沿。

(2) 改变输入频率，输出频率仍等于输入频率，输出三角波峰峰值随输入频率变化而改变，输入频率上升，输出峰峰值下降；输入频率下降，输出峰峰值上升。当输入频率很小时，输出峰峰值很大加上直流偏移也增大，容易出现波形失真。这种情况下可减小 R_p 来解决，但会使输出波形出现指数波形失真，也可以加大 R_1 或 C_1 来减小输出幅值解决失真问题。

(3) 三角波的幅值随着输入方波幅值变化而变化，方波幅值变大，三角波幅值也相应变大；方波幅值变小，三角波幅值也相应变小。

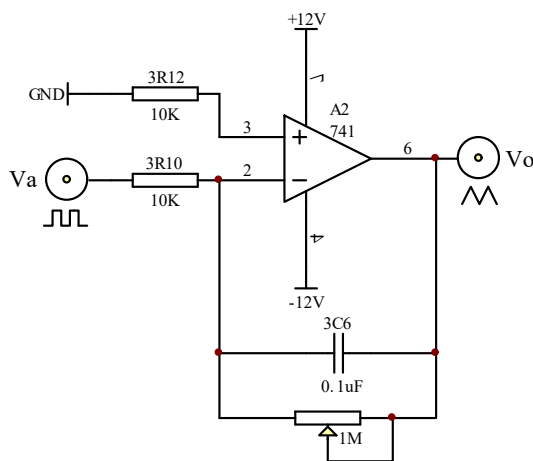


图 19-1 方波变三角波

三、实验内容和步骤

1、方波变三角波

按图 19-1 接线，输入 $f=500\text{Hz}$ 、幅值为 $\pm 4\text{V}$ 的方波信号，用示波器观察并纪录 V_o 的波形。

(1) 改变方波频率，观察波形变化。如波形失真应如何调整电路参数？试在实验箱元件参数允许范围内调整，并验证分析。

(2) 改变输入方波的幅度，观察输出三角波的变化。

四、实验器材

1、实验箱 2、数字万用表 3、示波器

五、实验预习要求

- 1、分析图 19-1 电路的工作原理，这种变换电路对工作频率要求如何？
- 2、定性画出图 19-1 电路的 V_a 和 V_o 的波形图。

六、实验报告要求

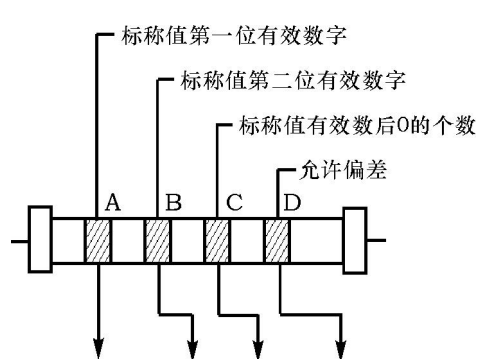
- 1、整理全部预习要求的计算及实验步骤、电路图、表格等。
- 2、总结波形变换电路的特点。

附录 I 电阻器的标称值及精度色环标志法

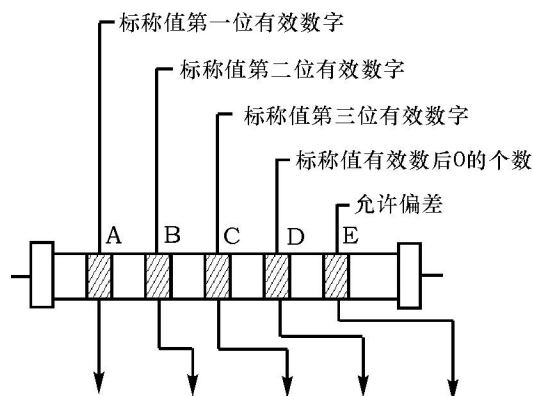
色环标志法是用不同颜色的色环在电阻器表面标称阻值和允许偏差。

1、两位有效数字的色环标志法。

普通电阻器用四条色环表示标称阻值和允许偏差，其中三条表示阻值，一条表示偏差，如附图III-1所示。



颜色	第一有效数	第二有效数	倍率	允许偏差
黑	0	0	10^0	
棕	1	1	10^1	
红	2	2	10^2	
橙	3	3	10^3	
黄	4	4	10^4	
绿	5	5	10^5	
蓝	6	6	10^6	
紫	7	7	10^7	
灰	8	8	10^8	
白	9	9	10^9	+50% -20%
金			10^{-1}	±5%
银			10^{-2}	±10%
无色				±20%

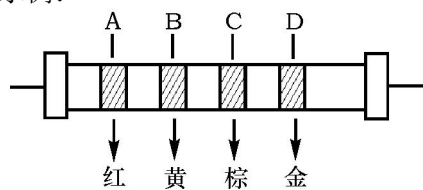


颜色	第一有效数	第二有效数	第三有效数	倍率	允许偏差
黑	0	0	0	10^0	
棕	1	1	1	10^1	±1%
红	2	2	2	10^2	±2%
橙	3	3	3	10^3	
黄	4	4	4	10^4	
绿	5	5	5	10^5	±0.5%
蓝	6	6	6	10^6	±0.25%
紫	7	7	7	10^7	±0.1%
灰	8	8	8	10^8	
白	9	9	9	10^9	
金				10^{-1}	
银				10^{-2}	

图 I-1 两位有效数字的阻值色环标志法 附图 I-2 三位有效数字的阻值色环标志法

2、三位有效数字的色环标志法。精密电阻器用五条色环表示标称阻值和允许偏差，如附图 I-2 所示。

示例:

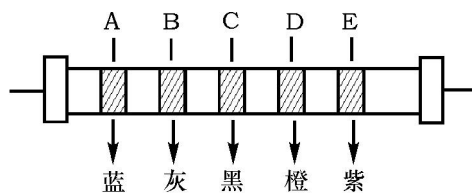


如: 色环 A—红色; B—黄色

C—棕色; D—金色

则该电阻标称值及精度为:

$24 \times 10^1 = 240 \Omega$ 精度: $\pm 5\%$



如: 色环 A—蓝色; B—灰色; C—黑色

D—橙色; E—紫色

则该电阻标称值及精度为:

$680 \times 10^3 = 680K \Omega$ 精度: $\pm 0.1\%$

附录 II 用万用电表对常用电子元器件检测

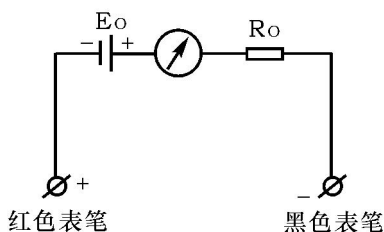
用万用表可以对晶体二极管、三极管、电阻、电容等进行粗测。万用表电阻档等值电路如附图(II)-1所示, 其中的 R_0 为等效电阻, E_0 为表内电池, 当万用表处于 $R \times 1$ 、 $R \times 100$ 、 $R \times 1K$ 档时, 一般, $E_0 = 1.5V$, 而处于 $R \times 10K$ 档时, $E_0 = 15V$ 。测试电阻时要记住, 红表笔接在表内电池负端(表笔插孔标“+”号), 而黑表笔接在正端(表笔插孔标以“-”号)。

1、晶体二极管脚极性、质量的判别

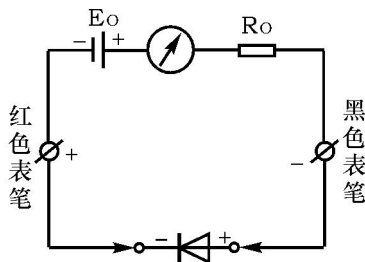
晶体二极管由一个PN结组成, 具有单向导电性, 其正向电阻小(一般为几百欧)而反向电阻大(一般为几十千欧至几百千欧), 利用此点可进行判别。

(1) 管脚极性判别

将万用表拨到 $R \times 100$ (或 $R \times 1K$) 的欧姆档, 把二极管的两只管脚分别接到万用表的两根测试笔上, 如附图 II-2 所示。如果测出的电阻较小(约几百欧), 则与万用表黑表笔相接的一端是正极, 另一端就是负极。相反, 如果测出的电阻较大(约百千欧), 那么与万用表黑表笔相连接的一端是负极, 另一端就是正极。



附图 II-1 万用表电阻档等值电路



附图 II-2 判断二极管极性

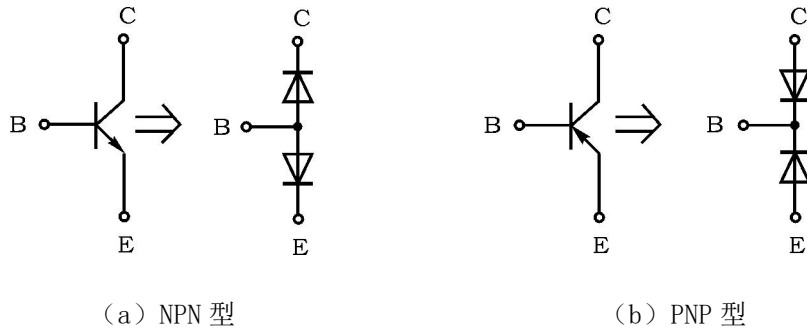
(2) 判别二极管质量的好坏

一个二极管的正、反向电阻差别越大, 其性能就越好。如果双向电值都较小, 说明二极管质量差, 不能使用; 如果双向阻值都为无穷大, 则说明该二极管已经断路。如双向阻值均为零, 说明二极管已被击穿。

利用数字万用表的二极管档也可判别正、负极, 此时红表笔(插在“V·Ω”插孔)带正电, 黑表笔(插在“COM”插孔)带负电。用两支表笔分别接触二极管两个电极, 若显示值在 1V 以下, 说明管子处于正向导通状态, 红表笔接的是正极, 黑表笔接的是负极。若显示溢出符号“1”, 表明管子处于反向截止状态, 黑表笔接的是正极, 红表笔接的是负极。

2、晶体三极管管脚、质量判别

可以把晶体三极管的结构看作是两个背靠背的 PN 结，对 NPN 型来说基极是两个 PN 结的公共阳极，对 PNP 型管来说基极是两个 PN 结的公共阴极，分别如附图 II-3 所示。



附图 II-3 晶体三极管结构示意图

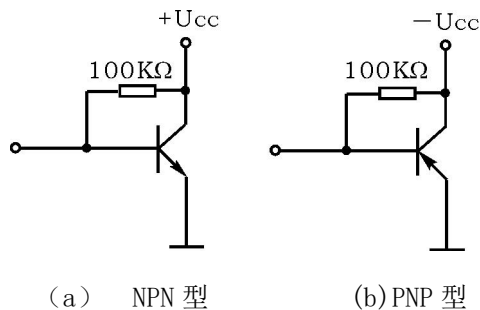
(1) 管型与基极的判别

万用表置电阻档，量程选 1K 档（或 $R \times 100$ ），将万用表任一表笔先接触某一个电极—假定的公共极，另一表笔分别接触其他两个电极，当两次测得的电阻均很小（或均很大），则前者所接电极就是基极，如两次测得的阻值一大、一小，相差很多，则前者假定的基极有错，应更换其他电极重测。

根据上述方法，可以找出公共极，该公共极就是基极 B，若公共极是阳极，该管属 NPN 型管，反之则是 PNP 型管。

(2) 发射极与集电极的判别

为使三极管具有电流放大作用，发射结需加正偏置，集电结加反偏置。如附图 II-4 所示。

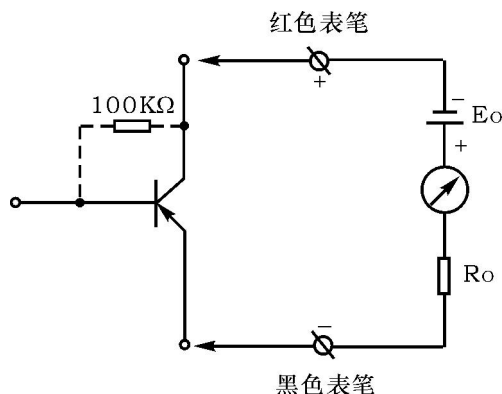


图附 II-4 晶体三极管的偏置情况

当三极管基极 B 确定后，便可判别集电极 C 和发射极 E，同时还可以大致了解穿透电流 I_{CE0} 和电流放大系数 β 的大小。

以 PNP 型管为例，若用红表笔（对应表内电池的负极）接集电极 C，黑表笔接 E 极，

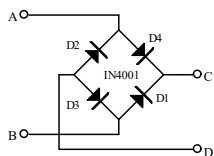
（相当 C、E 极间电源正确接法），如附图 II—5 所示，这时万用表指针摆动很小，它所指示的电阻值反映管子穿透电流 I_{CE0} 的大小（电阻值大，表示 I_{CE0} 小）。如果在 C、B 间跨接一只 $R_B=100K\Omega$ 电阻，此时万用表指针将有较大摆动，它指示的电阻值较小，反映了集电极电流 $I_C=I_{CE0}+\beta I_B$ 的大小。且电阻值减小愈多表示 β 愈大。如果 C、E 极接反（相当于 C-E 间电源极性反接）则三极管处于倒置工作状态，此时电流放大系数很小（一般 <1 ）于是万用表指针摆动很小。因此，比较 C-E 极两种不同电源极性接法，便可判断 C 极和 E 极了。同时还可大致了解穿透电流 I_{CE0} 和电流放大系数 β 的大小，如万用表上有 h_{FE} 插孔，可利用 h_{FE} 来测量电流放大系数 β 。



附图 II—5 晶体三极管集电极 C、发射极 E 的判别

3、检查整流桥堆的质量

整流桥堆是把四只硅整流二极管接成桥式电路，再用环氧树脂（或绝缘塑料）封装而成的半导体器件。桥堆有交流输入端（A、B）和直流输出端（C、D），如附图 II—6 所示。采用判定二极管的方法可以检查桥堆的质量。从图中可看出，交流输入端 A-B 之间总会有一只二极管处于截止状态使 A-B 间总电阻趋向于无穷大。直流输出端 D-C 间的正向压降则等于两只硅二极管的压降之和。因此，用数字万用表的二极管档测 A-B 的正、反向电压时均显示溢出，而测 D-C 时显示大约 1V，即可证明桥堆内部无短路现象。如果有一只二极管已经击穿短路，那么测 A-B 的正、反向电压时，必定有一次显示 0.5V 左右。

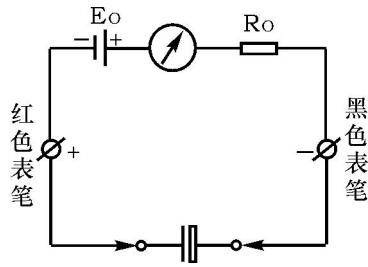


附图 II—6 整流桥堆管脚及质量判别

4、电容的测量

电容的测量，一般应借助于专门的测试仪器。通常用电桥。而用万用表仅能粗略地检查一下电解电容是否失效或漏电情况。

测量电路如附图 II-7 所示



附图 II-7 电容的测量

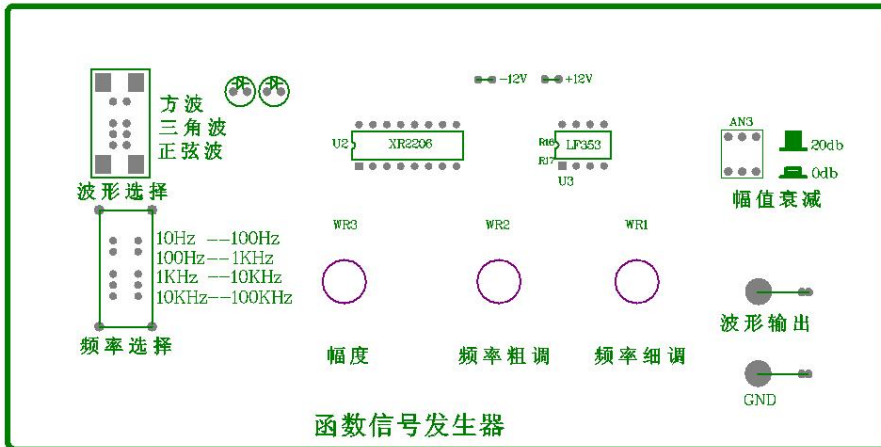
测量前应先先将电解电容的两个引出线短接一下，使其上所充的电荷释放。然后将万用表置于 1K 档，并将电解电容的正、负极分别与万用表的黑表笔、红表笔接触。在正常情况下，可以看到表头指针先是产生较大偏转（向零欧姆处），以后逐渐向起始零位（高阻值处）返回。这反映了电容器的充电过程，指针的偏转反映电容器充电电流的变化情况。

一般说来，表头指针偏转愈大，返回速度愈慢，则说明电容器的容量愈大，若指针返回到接近零位（高阻值），说明电容器漏电阻很大，指针所指示电阻值，即为该电容器的漏电阻。对于合格的电解电容器而言，该阻值通常在 $500\text{K}\Omega$ 以上。电解电容在失效时（电解液干涸，容量大幅度下降）表头指针就偏转很小，甚至不偏转。已被击穿的电容器，其阻值接近于零。

对于容量较小的电容器（云母、瓷质电容等），原则上也可以用上述方法进行检查，但由于电容量较小，表头指针偏转也很小，返回速度又很快，实际上难以对它们的电容量和性能进行鉴别，仅能检查它们是否短路或断路。这时应选用 $R \times 10\text{K}$ 档测量。

附录III 实验箱简易信号源的使用

信号源的组成，由 XR2206 和运放 LM353 组成，XR2206 产生方波，三角波，正弦波信号，LM353 对产生的信号进行不同的调节。



波形选择：可选择方波、三角波、正弦波

频率选择：分四档 10Hz--100Hz

100Hz--1KHz

1KHz--10KHz

10KHz--100KHz

WR3：为幅度调节

WR2：为频率粗调

WR1：为频率细调

AN3：为信号衰减按下为误差 10 倍

因受器件本身影响，信号最小 VPP 最好控制在 50mv 以上，小于时信号质量较差。如要小信号，则可以用电阻分压衰减方式得到。如下图所示得 100 倍的衰减。如 U_s 输入 500mV 则 U_s' 为 5mV。

