

【成绩】

【教师签名】

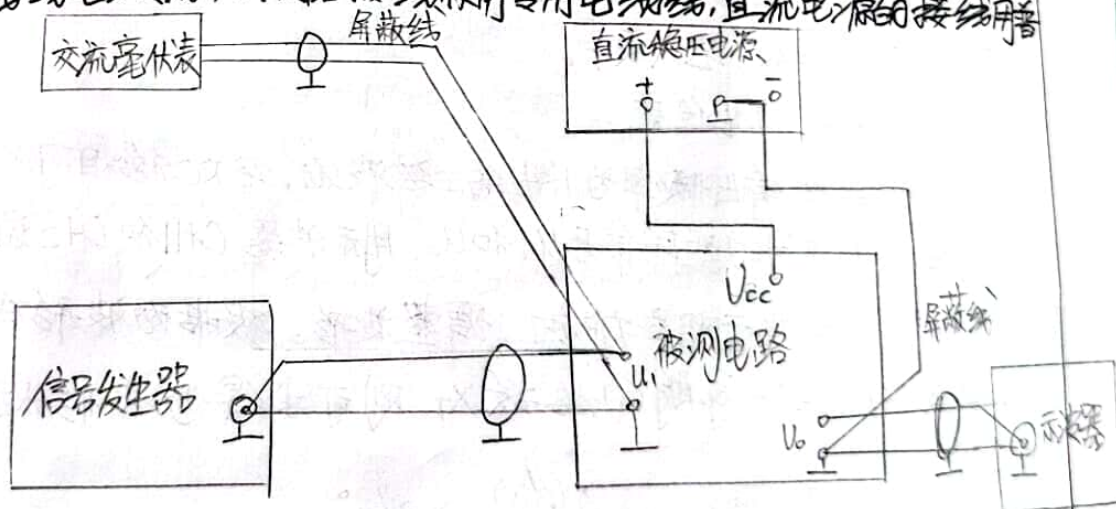
【实验目的】

1. 学习常用电子元件的识别及测试方法。
2. 学习并掌握常用电子仪器的正确使用方法。
3. 掌握用示波器观察波形和读取波形参数的方法。

【实验原理及内容】

在模拟电子电路中，经常使用的电子仪器有示波器、信号发生器、直流稳压电源、交流毫伏表、频率计等。它们和万用表一起，可以完成对模拟电路的静态和动态工作情况的测试。

实验中要对各种电子仪器进行综合使用，可按照信号流向，以连线简洁、调节顺手、观察与读数方便等原则进行合理布局，各仪器与被测实验装置之间的布局与连线如图所示。接线时应注意，为防止外界干扰，各仪器的接地端应连接在一起，称共地。信号源和交流毫伏表的引线通常用屏蔽线或电缆线，示波器接线使用专用电缆线，直流电源的接线用普通导线。



$$u_o = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} u_i = \frac{1}{1 - j\omega RC} u_i = \frac{1}{1 - j2\pi f RC} u_i$$

$$\text{移相角 } \theta = \arctan \frac{1}{2\pi f RC}$$

内容：①色环电阻的识别与测试。②二极管的识别与测试。

③三极管的识别与测试

④信号发生器、示波器、交流毫伏表的使用

⑤测量两波形间相位差

【实验设备】
可调直流稳压电源、信号发生器、双踪示波器、数字万用表、
模拟电路实验箱、元器件。

【实验方案及步骤】

(1)色环电阻的识别与测试。
任意给出几只色环电阻,要求识别其阻值、误差,并用万用表测试有效数字,倍乘,标称值,测量值,计算误差。

(2)电容的识别与测试
任意给出几只电容,要求识别其容量值,并用万用表测试相关参数,计算误差。

(3)二极管的识别与测试
任意给出几只二极管,要求用万用表测试相关参数,并进行正确判断。

(4)三极管的识别与测试
任意给出几只三极管,要求用万用表测试相关参数,并进行正确判断。

(5)信号发生器、示波器、交流毫伏表的使用
调节信号发生器有关旋钮,以输出不同参数的正弦信号,并用示波器测量其参数,记入表中。

(6)测量两波形间相位差。

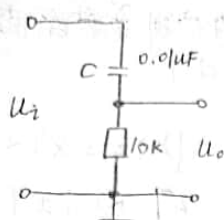
从信号发生器输出频率为1kHz的正弦波 U_i ,经RC移相网络获得频率相同但相位不同的两路信号 U_i 和 U_o ,用示波器CH1和CH2通道分别观察 U_i 和 U_o 。调节示波器相应旋钮,调整波形。根据两波形在水平方向差距格数 X 及信号一周期的格数 X_T ,则可求得两波形相位差 θ 测量值。

$$\theta_{\text{测量值}} = \frac{X(\text{div})}{X_T(\text{div})} \times 360^\circ$$

其中 X_T — 信号一周期的格数

X — 两波形在 X 轴方向差距格数

【实验电路图】



$$U_o = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} U_i = \frac{1}{1 - j\frac{1}{\omega RC}} U_i$$

$$= \frac{1}{1 - j\frac{1}{2\pi f RC}} U_i$$

$$\therefore \theta = \arctan \frac{1}{2\pi f RC}$$

【实验数据处理及分析】

(1) 0.3~0.5V 锗管 0.5~0.8V 硅管

③ = 极管正向测试为 0.597V, 为硅管

④ = 极管正向为 0.722V, 反向为 0.72V, 为硅管

(2) 周期 = SEC × D

$$\therefore T_1 = 10 \times 200 \mu s = 2000 \mu s$$

$$T_2 = 10 \times 20 \mu s = 200 \mu s$$

$$T_3 = 10 \times 2 = 20 \mu s$$

(3)

$$\theta_{\text{测量值}} = \frac{X(\text{div})}{X_T(\text{div})} \times 360^\circ = \frac{0.82}{5} \times 360^\circ = 59.04^\circ$$

$$\theta_{\text{理论值}} = \arctan \frac{1}{2\pi f RC} = \arctan \frac{1}{2 \times 3.14 \times \frac{1}{1000} \times 10000 \times 0.01 \times 10^{-6}}$$

$$= \arctan \frac{1}{2 \times 3.14 \times \frac{1}{1000} \times 10000 \times 0.01 \times 10^{-6}}$$

$$= 57.85^\circ$$

(4) 相对误差

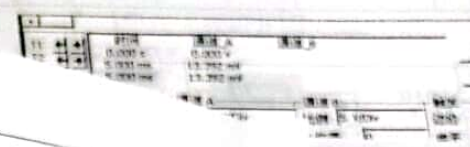
$$\textcircled{1} \frac{|9.90 - 10|}{10} \times 100\% = 1\%$$

$$\textcircled{2} \frac{|0.011 - 0.01|}{0.01} \times 100\% = 10\%$$

$$\textcircled{3} \frac{|59.04 - 57.85|}{57.85} \times 100\% = 2.05\%$$

进行分析、讨论。
 ②总结二极管、三极管的输出波形？
 ③信号发生器有哪几种输出波形？还是非正弦波？
 ④交流毫伏表是用来测量正弦波电压还是非正弦波电压？它的表头指示值是被测信号的什么数值？

(1) 用动态调试法测静态工作点
 如图 3-2-3 接入示波器，点击工具栏上的按钮开始仿真，调 2-2 所示。



【实验结论】

1. 学习了万用表的使用方法，学习了色环电阻的识别、电容的识别、二极管的测试，学习了信号发生器、示波器的使用。

2. 电阻：(误差)

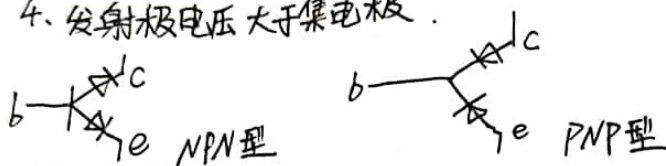
B	C	D	F	G	J	K	M
±0.1	0.25	0.5	1	2	5	10	20

表示： $\boxed{XYZ} = XY \times 10^Z \Omega$
 $470 \times 0.1 \pm 1\% \Omega$

3. 电容的识别，表示：

$202 \Rightarrow 20 \times 10^2 \text{ pF}$ 但第3位为9时： $209 \Rightarrow 20 \times 10^{-1} \text{ pF}$

4. 发射极电压大于集电极。



【思考题】

①整理实验数据，计算实测值与标称值的相对误差，并对实验数据和实验中出现的现象进行分析、讨论。

答：相对误差为1%、10%和2%。实验中出现的问题有：示波器的使用不熟练，万用表应注意量程、旋钮的设置。

②总结二极管、三极管的正确判别及测量方法？

答：用红表笔接二极管的a端，黑表笔接b端记下电压 $U_{\text{红黑}}$ ，把万用表对调，记下 $U_{\text{黑红}}$ 。若 $U_{\text{红黑}} = U_{\text{黑红}} = 0$ 为坏管，内部短路； $U_{\text{红黑}} \rightarrow 1$ ， $U_{\text{黑红}} \rightarrow 1$ ，坏管，内部断路； $U_{\text{红黑}}$ 与 $U_{\text{黑红}}$ 较接近，二极管性能差，失效； $U_{\text{红黑}} = 0$ ， $U_{\text{黑红}} = 1$ 为二极管且a为正极； $U_{\text{红黑}} = 1$ ， $U_{\text{黑红}} = 0$ 为二极管且b为正极。

三极管： $U_{12} = U_{13} = 1$ ，对换表笔 $U_{12} = U_{13} = \text{低阻}$ ，红笔表所接b极，该管为PNP管；

$U_{12} \sim U_{13} = \text{低阻}$ ，对换表笔 $U_{12} = U_{13} = 1$ ，黑表笔所接为b极，该管为NPN管。

若三组数据均没有相等低阻值则为坏管。

③信号发生器有哪几种输出波形？它的输出端能否短接？

答：三角波、矩形波、正弦波、锯齿波、脉冲波等具有一些特定周期性的时间函数波形。可以短接。

④交流毫伏表是用来测量正弦波电压还是非正弦波电压？它的表头指示值是被测信号的什么数值？

答：正弦波电压，电表指针指示为正弦电压有效值。

⑤用示波器测量直流信号和交流信号，在操作方法上有什么不同？

答：选择不同的信号耦合方式，直流用直流耦合，交流用交流耦合。

⑥万用表能否测量频率1kHz以上的交流信号？

答：不能，万用表不适合测量较高频率的交流，通常是几Hz到十几Hz。

【原始记录】

(1) 色环电阻的识别与测试记录表:

色环	有效数字	倍乘	标称值	测量值
棕黑黑红棕 棕黑黑红棕	100	10^2	$100 \times 10^2 \pm 1\% \Omega$ $100 \times 10^2 \pm 1\% k\Omega$	9900k Ω

(2) 电容:

标称	有效数字	倍乘	标称值	测量值
103	10	10^3	$10 \times 10^3 pF$	11000 pF

(3) 二极管:

型号	正向测试	反向测试	好坏判断	材料
1N4148	0.597	1	好	硅管

(4) 三极管:

型号	b.e正向	b.e反向	b.c正向	b.c反向	好坏	类型	材料
S9012 S9012 H331	1	0.722	1	0.72	好	PNP	硅管

(5):

信号频率	信号幅度	V/div	H	峰值	有效值	SEC/div	D/us	周期
1KHz	1VRMS	0.5	5.8	2.88	0.99	10	200	2000 us
10KHz	1VRMS	0.5	5.8	2.88	0.989	10	20	200 us
100KHz	1VRMS	0.5	5.8	2.88	1.01	10	2	20us

(6)

一周期格数 X_T	两波形 X 轴差距格数 X	实测	理论值
5	0.82	59.04°	57.85°

20.9.22

【实验电路图】

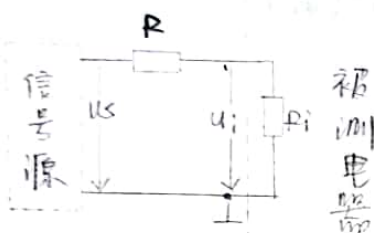
(1) 共射极单管放大器实验电路



(3) 输入电阻测量示意图



(2) 输入电阻测量示意图



【实验数据处理及分析】

1. 静态工作点

$$① U_{BE} = U_B - U_E = 2.18 - 2.3 = 0.18V$$

$$② U_{CE} = U_C - U_E = 7.25 - 2.3 = 4.95V$$

$$③ I_C \approx I_E = \frac{U_B - U_{BE}}{R_E} = \frac{2.18 - 0.18}{1k\Omega + 100\Omega} \approx 2.0mA$$

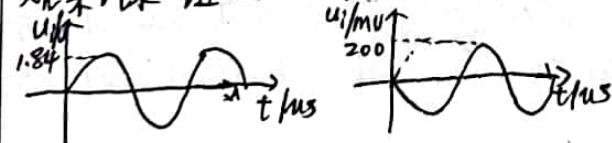
2. 动态参数

$$R_C = 2.4k\Omega, R_E = \infty, A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{4.08}{0.2} = 20.4$$

$$R_C = 2.4k\Omega, R_L = 2.4k\Omega, A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{3.26}{0.2} = 16.3$$

$$R_C = 1.2k\Omega, R_L = 2.4k\Omega, A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{1.84}{0.2} = 9.2$$

观察记录一组 U_i, U_o 波形



3. 测量输入电阻

$$\text{测量值: } R_i = \frac{U_i}{U_s - U_i} R_s = \frac{0.82}{0.82 - 0.44} \times 10 = 12.06k\Omega$$

$$\text{理论值: } R_i = R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel [r_{be} + (1 + \beta) R_E] = 13k\Omega$$

4. 输出电阻

$$\text{测量值: } R_o = \frac{U_o - U_L}{U_L} R_L = \frac{2.04 - 1.02}{1.02} \times 2.4 = 2.4k\Omega$$

$$\text{理论值: } R_o \approx R_C = 2.4k\Omega$$

5. 测量幅频特性曲线 $U_i = 200mV$

$$\text{当 } f_L = 16Hz, U_o = 2.76V \text{ 时:}$$

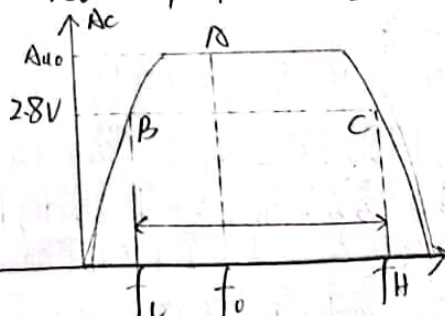
$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{2.76}{0.2} = 13.8$$

$$\text{当 } f_0 = 1kHz, U_o = 4.0V \text{ 时:}$$

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{4}{0.2} = 20$$

$$\text{当 } f_H = 10kHz, U_o = 2.84V \text{ 时:}$$

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{2.84}{0.2} = 14.2$$



幅频—频率特性曲线

【实验设备】

- ① 信号发生器 1台
- ② 双踪示波器 1台
- ③ 数字万用表 1块
- ④ 模拟电路实验箱 1台

- ⑤ 三极管 3DC6 1只
- ⑥ 电阻、电容元件 若干

【实验方案及步骤】

1. 静态工作点调整及测试

采用动态调

按电路图连接实验电路，为防止干扰，各仪器的公共端必须连在一起（共地）。

1.1 静态工作点调整及测试

① 采用动态调试法调整静态工作点，通过调节 R_W 的阻值使得示波器上饱和失真程度与截止失真程度相当，若在600V电压下已使得饱和失真程度与截止失真程度相当且将电压变回300V时，示波器上图像无失真，则静态工作点调整完毕。

② 保持 R_W 不变，测量晶体管各电极电压 U_B 、 U_E 、 U_C 和 R_{B2} 值并记录数据。

2. 动态参数的测试

1) 测量最大不失真输出电压

① 将输入电压调至300V，置 $R_C=2.4k\Omega$ ， $R_L=\infty$ ；

② 不断调大输入电压直至图像失真前一刻记录下此时最大不失真输出电压 U_{oppmax} 。

2) 测量电压放大倍数

在 U_i 端加上 $f=1kHz$ 正弦信号，调节输入信号幅度，分别测量 $R_C=2.4k\Omega$ 、 $R_L=\infty$ 和 $R_C=2.4k\Omega$ 、 $R_L=2.4k\Omega$ 及 $R_C=1.2k\Omega$ 、 $R_L=2.4k\Omega$ 三组不同阻值时，在示波器波形不失真的条件下测量各自的 U_i 、 U_o 值并记入表中，并观察 U_i 、 U_o 的相位关系，绘出 U_i 、 U_o 波形。

3) 测量输入电阻

在信号源输出端 U_s 与实验电路输入端 U_i 之间串联一已知电阻 R ，测出 U_s 、 U_i 记入表中。

4) 测量输出电阻

置 $R_L=\infty$ ，在 U_i 端输入 $f=1kHz$ 正弦信号，输出电压在不失真的情况下，测出 U_o ；保持 U_i 不变，置 $R_L=2.4k\Omega$ ，测量输出电压 U_L ，记入表中。

5) 测量幅频特性曲线

保持输入信号的幅度不变，改变信号源频率，用三点法测绘电路的幅频特性曲线。

① 将 U_o 调至4V，测得此时 f 的频率；② 通过改变频率使得 U_o 接近2.5V，记录下此时的频率记为 f_L 、 f_H 。

【实验结论】

- ① 学会了放大器静态工作点的调整和测试方法。
- ② 观察了并测定了静态工作点变化对放大电路的电压放大倍数、波形失真的影响。
- ③ 掌握了放大器电压放大倍数、输入电阻、输出电阻及幅频特性曲线的测试方法。
- ④ 了解了放大电路直流工作点主要参数包括 U_{BEQ} 、 U_{CEQ} 、 I_{CQ} 。
- ⑤ R_c 越大, 电压放大倍数越大, 输入电阻不受影响, 输出电阻越大。
 R_b 越大, 电压放大倍数越小, 输入电阻越小, 输出电阻不受影响。
静态工作点中电流越大, 电压放大倍数越大, 输入电阻越小, 输出电阻不受影响。
但静态工作点太大或太小容易导致三极管进入饱和或截止。

【思考题】

- (1) 怎样测量 R_{B2} 的阻值?
将电路断开, 将数字万用表调到电阻欧姆档, 将红黑表笔接至 R_{B2} 两端, 测量出其阻值。
- (2) 当调节偏置电阻 R_{B2} , 使放大器输出波形出现饱和失真或截止失真时, 晶体管管压降 U_{CE} 怎样变化?
① 出现饱和失真时, U_{CE} 变得很小 (小于 $1V$)。② 出现截止失真时, U_{CE} 变大接近 V_{CC} 。
- (3) 改变静态工作点对放大器的输入电阻 R_i 有何影响? 改变外接电阻 R_L 对输出电阻 R_o 有何影响。
① 对输入电阻 R_i 有影响; ② 对输出电阻 R_o 无影响。
- (4) 在测试 A_u 、 R_i 和 R_o 时怎样选择输入信号的大小和频率? 为什么信号频率一般选 $1kHz$, 而不选 $100kHz$ 或更高?
① 选择小信号, 避免放大器进入非线性区, 频率选在放大器频率响应区中段;
② 由于放大电路含有电容元件 (耦合电容和 PN 结的结电容), 当频率太高时, 微变等效电路不再是电阻性电路, 输出电压与输入电压的相位发生变化, 电压放大倍数也将降低。
- (5) 测试中, 如果将信号发生器、交流毫伏表、示波器中任一仪器的 2 个测试端子接线换位 (即各仪器的接地端不再在一起), 将会出现什么问题?
① 对于函数信号发生器: 如果有波形输出, 则在示波器端的显示是反相。
② 对于交流毫伏表: 正电流显示为负电流, 负电流显示为正电流, 容易造成仪器损坏。
③ 对于示波器: 显示降显示的通道不同之外, 无其它的影响。

【成绩】

【教师签名】

阿 19/10

【实验目的】

1. 掌握集成运算放大器的正确使用方法。
2. 熟悉由运算放大器组成的负反馈放大电路的特性和设计方法。
3. 进一步掌握电压增益、输入电阻、输出电阻及频率特性的测试方法。

【实验原理及内容】

集成运算放大器是一种具有高压放大倍数的直接耦合多级放大电路。当外部接入不同的线性或非线性元器件组成输入和负反馈电路时，可以灵活地实现各种特定的函数关系。在线性应用方面，可以组成比例、加法、减法、积分、微分等模拟运算电路。

(1) 理想运放在线性应用时的两个重要特性。

① 输出电压 U_o 与输入电压 U_i 之间满足关系式 $U_o = A_{ud}(U_+ - U_-)$

因为 $A_{ud} = \infty$ ，而 U_o 为有限值，因此 $U_+ - U_- \approx 0$ ，即 $U_+ \approx U_-$ ，称为“虚短”。

② 由于 $R_i = \infty$ ，故流进运放两个输入端的电流可视为零，即 $I_{IB} = 0$ ，称为“虚断”。即运放对其前级吸取电流极小。

(2) 基本运算电路的形式。

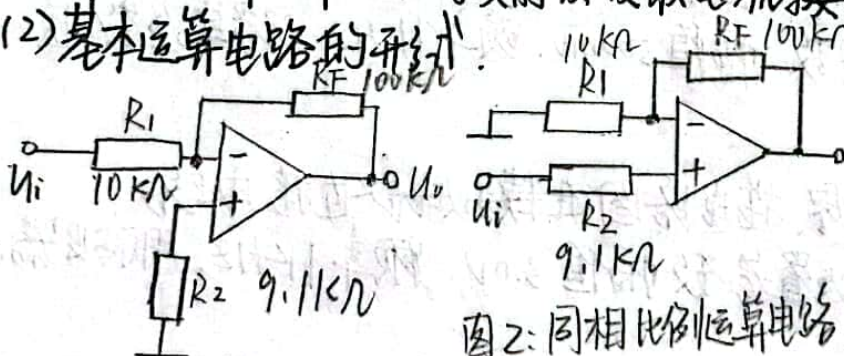


图1: 反相比例运算电路

图2: 同相比例运算电路

图3: 电压跟随器

① 反相比例运算电路如图1所示: $U_o = -\frac{R_F}{R_i} U_i$

② 同相比例运算电路如图2所示: $U_o = (1 + \frac{R_F}{R_i}) U_i$, $R_2 = R_1 \parallel R_F$

③ 电压跟随器: 当图2中 $R_i \rightarrow \infty$ 时, $U_o = U_i$ ，即得到如图3所示的电压跟随器。图中 $R_2 = R_F$ ，用以减小漂移和起保护作用。一般 R_F 取 $10k\Omega$ ， R_F 太小起不到保护作用，太大则影响跟随性。

输出电压

电路

及性接

接通

的相

录表

拟录

果

电路

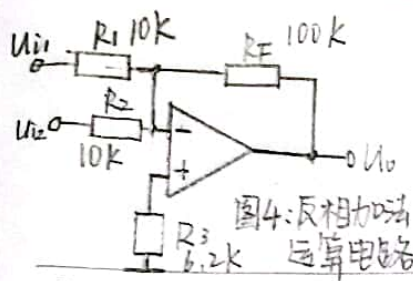


图4:反相加法运算电路

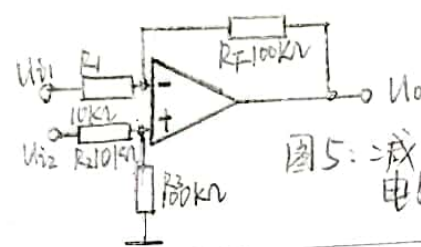


图5:减法运算电路

④反相加法运算电路如图4所示. 输出电压与输入电压的关系为

$$U_o = -\left(\frac{R_F}{R_1} U_{i1} + \frac{R_F}{R_2} U_{i2}\right) \quad R_3 = R_1 \parallel R_2 \parallel R_4$$

⑤差动放大电路(减法器) 对于图5所示的减法运算电路. 当 $R_1 = R_2$, $R_3 = R_F$ 时, 有如下关系式 $U_o = \frac{R_F}{R_1} (U_{i2} - U_{i1})$

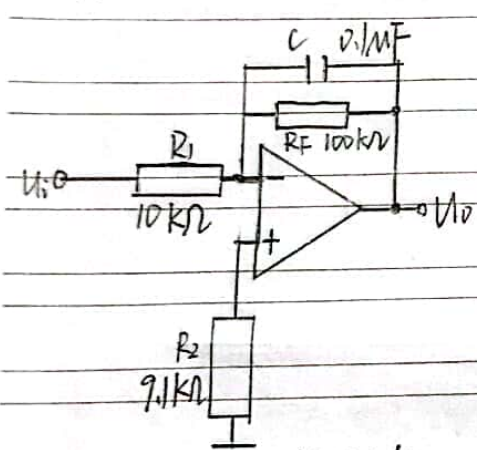


图6:积分运算电路

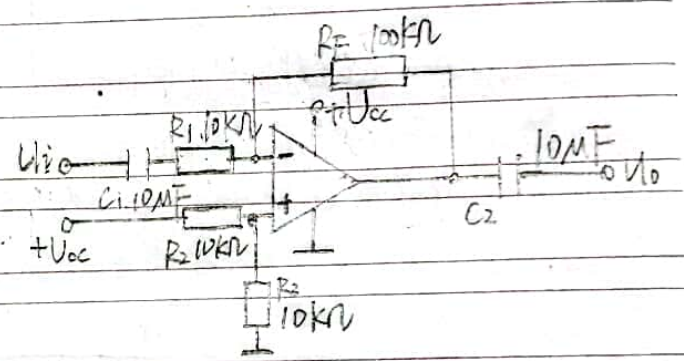


图7:单电源供电的交流放大电路

⑥积分运算电路如图6所示. 积分器可以对周期性连续变化的电压波形进行积分, 从而起到波形变换作用. 本次实验是将方波转换成三角波. R_f 起放电作用, 防止积分器永远保持在某一饱和状态. 在理想条件下, 输出电压与输入电压的关系为 $U_o = -\frac{1}{R_1 C} \int U_i dt$

⑦单电源供电的交流放大电路如图7所示. 运算放大器的两个输入端必须加直流偏压. 为使电路输出电压的动态范围最大, 一般要求放大器的输出端和输入端的直流偏压等于电源电压的一半, 即为 $\frac{1}{2} U_{cc}$. 由于运算放大器的输出端和输入端的直流电压不为零, 所以需要采用电容耦合方式.

6. 电阻、电容元件 若干

【实验设备】

1. 信号发生器 1台
2. 双踪示波器 1台
3. 数字万用表 1块
4. 模拟电路实验箱 1台
5. uA741 1块

【实验方案及步骤】

一. 反相比例放大电路:

1. 按照电路图连接电路, 并连接信号发生器及双踪示波器。
设置输入正弦信号, 幅值 500mV , 频率 1000Hz 。

1. 按照电路图连接电路, 实现 $U_0 = -10U_i$, 接通 $\pm 12\text{V}$ 电源。

调零。

2. 输入正弦信号, 设置参数: 幅值 500mV , 频率 1kHz , 用示波器测量 U_i 和 U_0 , 并比较它们的关系, 记入表中。

二. 同相放大电路:

1. 按照电路图连接电路, 实现 $U_0 = 11U_i$, 接通 $\pm 12\text{V}$ 电源, 调零。

2. 输入正弦信号, 设置参数: 幅值 500mV , 频率 1kHz , 记录实验数据。

三. 电压跟随器:

1. 接通 $\pm 12\text{V}$ 电源, 调零, 按电路图在模拟电路实验箱连接电路。

2. 输入正弦信号, 设置参数: 幅值 500mV , 频率 1kHz , 记录实验数据。

四. 积分运算电路:

1. 接通 $\pm 12\text{V}$ 电源, 调零, 按电路图在模拟电路实验箱连接电路。

2. 输入方波信号 U_i , 设置参数: 幅值 3.0V , 频率 1kHz , 用示波器观察波形并记录。

五. 反相加法运算电路:

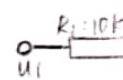
1. 按电路图测试模拟电路实验箱上电源, 直流电源是否可用, 若可用则按电路图连接电路, 实现 $U_0 = -(10U_{i1} + 10U_{i2})$ 。2. 加入直流输入信号 U_{i1} , U_{i2} , 通过滑动变阻器及数字万用表自定, 使得 $-1.2\text{V} < U_{i1} + U_{i2} < 1.2\text{V}$, 测量得 U_{i1} , U_{i2} 及输出电压 U_0 并记录实验数据。

六. 减法运算电路:

1. 按电路图连接电路, 使 $U_0 = 10(U_{i2} - U_{i1})$ 。2. 加入直流信号 U_{i1} , U_{i2} , 使 $-1.2\text{V} < U_{i1} + U_{i2} < 1.2\text{V}$, 测量方法同五, 测出 U_{i1} , U_{i2} 及 U_0 并记录实验数据。

【实验】

反相比例



$R_f = 10k\Omega$

同相比例

U_i

电压

U_i

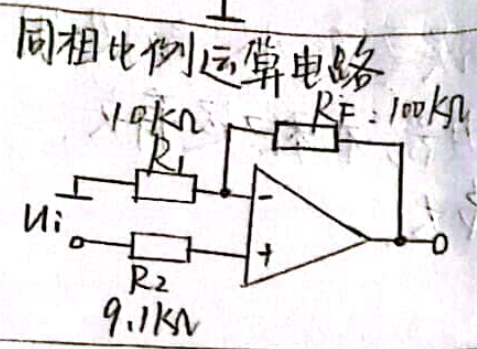
4. 积分

U_i

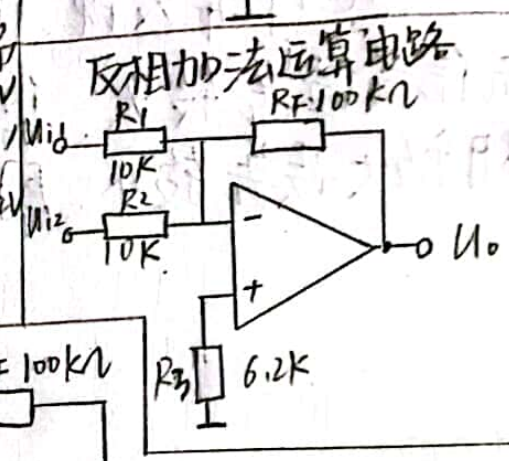
U_0

1. 反

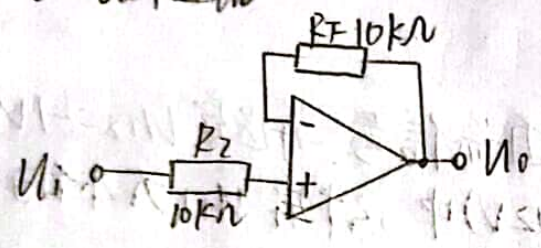
管脚1和5: 调零
管脚2: 反相输入端
管脚3: 同相输入端
管脚4: 直流电源+12V
管脚6: 输出端
管脚7: 直流电源-12V
管脚8: 悬空



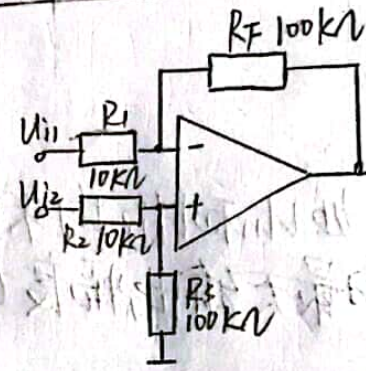
同相比例运算电路



反相加法运算电路



电压跟随器



减法运算电路

【实验数据处理及分析】

1. 反相放大电路记录

电压值/V	波形	A_u 实测值	$U_o = -10U_i$ A_u 计算值	误差:
U_i 0.5		5.04V	5.0V	0.79%
U_o 0.5		5.04V	5.0V	0.79%

2. 同相放大电路

电压值/V	波形	A_u 实测值	$U_o = 11U_i$ A_u 计算值	误差:
U_i 0.5		5.04V	5.5V	9.13%
U_o 0.5		4.96V	5.5V	10.89%

3. 电压跟随器

电压值/V	波形	A_u 实测值	A_u 计算值	误差:
U_i 0.5		5.04V	5.0V	0.79%
U_o 0.5		5.04V	5.0V	0.79%

若干

电源

示波

惠

及据

路

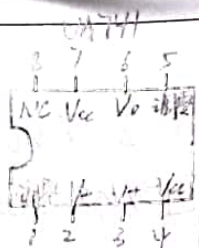
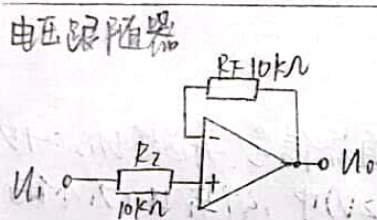
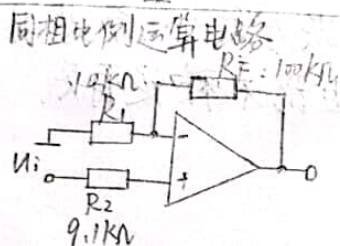
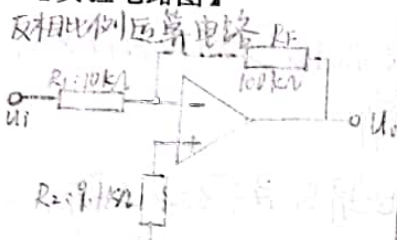
观

2V

U_{i2}

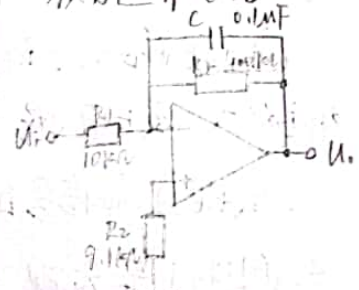
实验数据

【实验电路图】

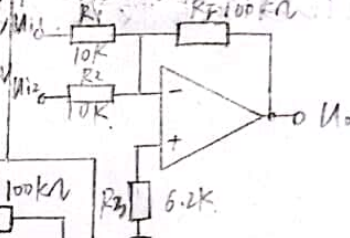


管脚1和5: 调零
管脚2: 反相输入端
管脚3: 同相输入端
管脚4: 直流电源+12V
管脚6: 输出端
管脚7: 直流电源+12V
管脚8: 悬空

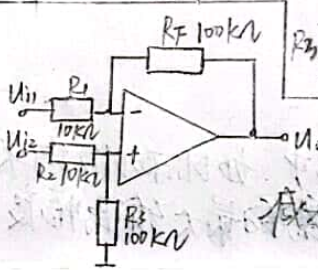
积分运算电路



反相加法运算电路



减法运算电路



4. 积分运算电路

电压值/V	波形	A _u 实测值	误差
U _i 3.0V		3.24V	7.9%
U _o 3.0V		0.8V	7.9%

5. 反相加法运算电路

U _{i1} /V	U _{i2} /V	U _o	计算值	误差	误差
-0.73	1.13	-3.98	-4.0	0.50%	7.9%
-1.09	0.55	5.02	5.4	7.57%	7.9%

6. 反相减法运算电路

U _{i1} /V	U _{i2} /V	U _o	计算值	误差	误差
0.4	0.54	1.47	1.40	4.76%	7.9%
-0.4	-0.21	2.21	1.90	14.03%	7.9%

【实验结论】

1. 通过电路的正确连接, 实现交流信号的反相放大、同相放大、及电压跟随与积分运算。
2. 实现直流信号的反相加法运算与有减法运算。
3. 通过计算发现, 使用交流信号的误差较小, 而使用直流信号误差较大, 但也跟滑动变阻器不稳定有关。

【思考题】

1. 在反相加法器中, 如 U_{i1} 和 U_{i2} 均采用直流信号, 并选定 $U_{i2} = -1V$, 当考虑到运算放大器的大器最大输出幅度 ($\pm 12V$) 中, 计算 U_{i1} 大小的范围是多少?

解: $|U_{i1} + U_{i2}| < \frac{12}{10} V = 1.2V$ $\because U_{i2} = -1V$ 则 $|U_{i1}| \leq 0.2V$

2. 在积分电路中, 如 $R = 100k\Omega$, $C = 4.7\mu F$, $U_i = 0.5V$, 要使输出电压 U_o 达到 $5V$, 需多长时间 [设 $U_c(0) = 0$]?

解: 时间常数 $\tau = RC = 100k\Omega \times 4.7\mu F = 0.47s$

$$V_c = U_i e^{\frac{t}{\tau}} \quad \text{即 } 5 = 0.5 e^{\frac{t}{\tau}}$$

$$\ln 10 = \frac{t}{\tau} \quad \text{即 } t \approx 1.082s$$

3. 为了不损坏集成块, 实验中应注意什么问题?

答: 1. 不能接错电源的极性;
2. 输入信号的幅值要在运算放大器大器允许的范围之内, 不能输入大于其限定的信号

【原始记录】

1. 反向放大 (1KHz)

U_i 0.5V A_{u1}
 实测 5.04V
 U_o 0.5V. 5.04V

2. 同相放大 (1KHz)

U_i 500mV A_{u1}
 504mV
 U_o 500mV 496mV.

3. 电压跟随器 (1KHz)

U_i 500mV 504mV
 U_o 500mV. 504mV

4. 反相加法

U_{i1}/V	U_{i2}/V	U_o/V
-0.73	1.13	-3.98
-1.09	0.55	5.02

5. 减法运算

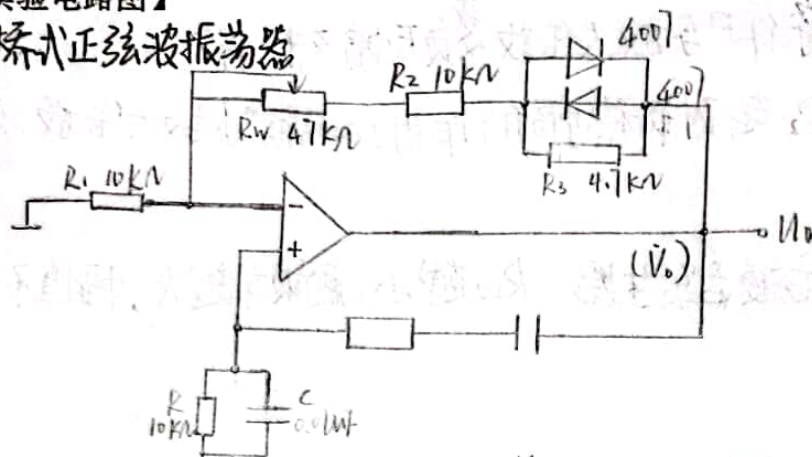
U_{i1}/V	U_{i2}/V	U_o/V
0.4	0.54	1.47
-0.4	0.21	2.21

6. 积分运算 (1KHz)

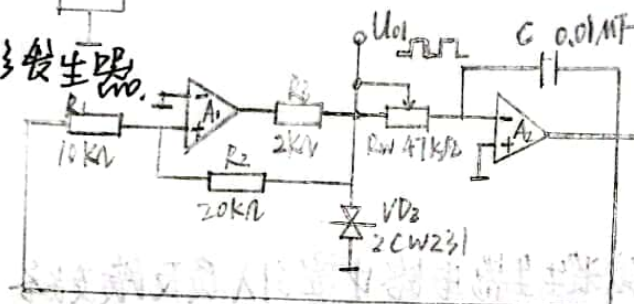
U_i 3.0V 3.04V
 U_o 3.0V 800mV



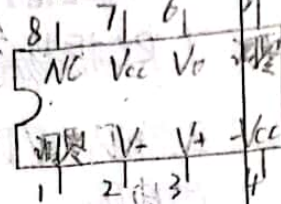
【实验电路图】 RC桥式正弦波振荡器



三角波和方波发生器



UA741引脚图



- 1: 同相输入端
- 2: 反相输入端
- 3: 同相输入端
- 4: 直流电源 -12V
- 5: 直流电源 +12V
- 6: 输出端
- 7: 直流电源 +12V
- 8: 悬空

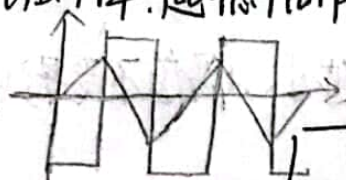
【实验数据处理及分析】

1. RC正弦波发生器

- ① 起振时 $R_w = 4.61 k\Omega$ $f_0(\text{实测}) = 1.667 kHz$ 相对误差: $\frac{1.667 - 1.592}{1.592} \times 100\% = 4.71\%$
- 理论值 $f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 10 \times 10^{-5}} = 1.592 kHz$
- 出现正弦波时 $R_w = 5.37 k\Omega$ 失真时 $R_w = 7.94 k\Omega$

- ② 振幅条件: 是否起振与放大倍数有关, 当调节负反馈放大电路的反馈系数使 A_{uf} 略大于 3, 即可起振。
- ③ VD_1 、 VD_2 稳幅作用: 运放超过一定幅值时, 负半周 VD_1 导通, 正半周 VD_2 导通, 运放倍数 A_{uf} 减小, 输出电压下降, 起稳幅作用。

2. 三角波和方波发生器



$$\text{理论值 } f_0 = \frac{R_2}{4R_1 R_w C}$$

$$= \frac{50}{R_w}$$

R_w	24.1	25.6	26.1	27.0	27.6
$f_0(\text{理论})$	2.075	1.953	1.915	1.852	1.812
$f_0(\text{实测})$	1.613	1.645	1.577	1.567	1.497
$f_{02}(\text{实测})$	1.634	1.650	1.577	1.567	1.497

【实验结论】

1. RC振荡条件与放大倍数或负反馈系数有关。
2. VD_1 、 VD_2 起到稳幅的作用：当缩小放大倍数，减小输出电压。
3. 三角波和方波发生器， R_w 越小，频率越大，幅值不变。

【思考题】

1. 为什么在RC正弦波发生器电路要引入负反馈支路？为什么要增加二极管 VD_1 和 VD_2 ？它们是怎样进行稳幅的？

答：① 将振幅稳定下来。振荡电路本身有正反馈，如果没有输出振幅稳定电路，波形振幅就会不断增大，直到接近电源电压，产生波形失真。② 加入二极管 VD_1 和 VD_2 是通过改变运放的放大倍数实现稳幅。③ 当输出电压超过一定幅值时，负半周 D_1 导通，正半周 D_2 导通，此时用比例运放倍数 A_d 会减小，输出电压下降，达到稳幅的目的。

2. 怎样测量非正弦波电压的幅值。

答： $V_{pp} = 2V_p$ ，有效值 $= \frac{V_p}{\sqrt{2}}$ ， $V_p = \sqrt{2}$ 有效值

3. 电路参数变化对图②中产生的三角波和方波频率和幅值有什么影响。

答： R_w 增大，频率越小，幅值不受影响。

【原始记录】

有二极管

起振 $R_w = 4.61 k\Omega$

正常 $R_w = 5.37 k\Omega$

失真 $R_w = 7.94 k\Omega$

$U_o (V_{pp}) = 21.2 V$

$U_+ = 6.08 V$

$U_- = 7.6 V$

$f_0 = 1.667 kHz$

无二极管

起振 $R_w = 4.7 k\Omega$

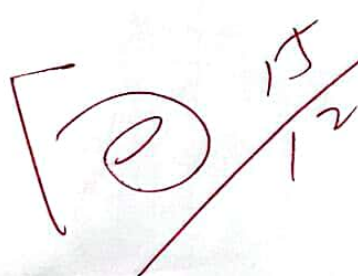
正常 $R_w = 4.83 k\Omega$

失真 $R_w = 4.87 k\Omega$

$U_o (V_{pp}) = 20.8 V$

$U_+ = 6.42 V$

$U_- = 7.04 V$



$R_w / k\Omega$	24.1	25.6	26.1	27.0	27.6
$U_{o1} (\text{方波}) / V$	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
$U_{o2} (\text{三角波}) / V$	7.120	7.120	7.120	7.200	7.120
频率 f_1 / kHz	1.613	1.645	1.577	1.567	1.497
频率 f_2 / kHz	1.634	1.650	1.577	1.567	1.497

R_w 减小, 频率增大, 幅值不变.