

电工学实验目录

1. 叠加定理的验证·····	1
2. 常用电子仪器的使用·····	3
3. 功率因数的提高·····	8
4. 三相电路中电压电流的关系·····	11
5. 单管电压放大器·····	14
6. 基本运算电路·····	17

实验一 叠加定理的验证

一、实验目的

1. 验证线性电路叠加定理的正确性，加深对线性电路的叠加性和齐次性的认识和理解。
2. 进一步掌握示波器和信号发生器的使用。

二、预习要求

根据图 1 的电路参数，计算各电阻上的电压值，并在表 1 中画出波形。

三、实验原理

在线性电路中，当有两个或两个以上独立电源作用时，任一支路中的电流或电压，等于电路中各独立源单独作用时在该支路产生的电流或电压的代数和。

一个独立源单独作用，意味着其它独立源不作用，不作用的电压源的电压为零，可用短路代替；不作用的电流源的电流为零，可用开路代替。

在图 1 所示电路中，各电阻上的电压 U 等于稳压电源 U_{S1} 单独作用时产生的电压 U' 和信号源 U_{S2} 单独作用时产生的电压 U'' ，即

$$U = U' + U''$$

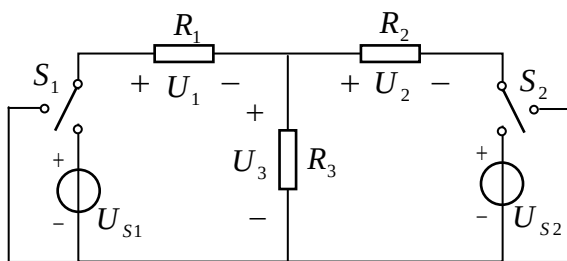


图 1

线性电路的齐次性是指当激励信号（某独立源的值）增加或减小 k 倍时，电路的响应（即在电路中各电阻元件上所建立的电流和电压值）也将增加或减小 k 倍。

四、实验内容和步骤

1. 实验线路如图1所示。 U_{S1} 为12V电压源， U_{S2} 为可调直流稳压电源，调至+6V，各电阻值自己选定。

2. U_{S1} 电源单独作用（将开关 S_1 投向 U_{S1} 侧，开关 S_2 投向短路侧）。用直流数字电压表测量各电阻元件两端的电压，同时计算 R_3 的功率 P_{R3} ，数据记入表 1。

表 1 $R_1=$ $R_2=$ $R_3=$

测量项目 实验内容	$U_{S1}(V)$	$U_{S2}(V)$	$U_1(V)$	$U_2(V)$	$U_3(V)$	P_{R3}
U_{S1} 单独作用						
U_{S2} 单独作用						
U_{S1} 、 U_{S2} 共同作用						
$2U_{S2}$ 单独作用						

3. U_{S2} 电源单独作用（将开关 S_1 投向短路侧，开关 S_2 投向 U_{S2} 侧），重复实验步骤 2 的测量和记录，数据记入表 1。

4. U_{S1} 和 U_{S2} 共同作用（开关 S_1 和 S_2 分别投向 U_{S1} 和 U_{S2} 侧），重复上述的测量和记录，数据记入表 1。

5. 将 U_{S2} 的数值调至 +12V，重复上述第 3 项的测量并记录，数据记入表 1。

五、注意事项

1. 电压源不能短路。
2. 测量电压时要注意电压的参考方向。

六、实验报告要求

1. 根据实验数据表格，总结实验结论，验证线性电路的叠加性与齐次性。
2. 回答问题：各电阻器所消耗的功率能否用叠加原理计算得出？试用上述实验数据进行计算并得出结论。

七、实验元器件

电 阻 2k Ω 3 只

实验二 常用电子仪器的使用

一、实验目的

1. 了解电子实验常用电子仪器的性能和用途，掌握其基本的使用方法。
2. 掌握交流信号的有效值、峰值、平均值的测量方法。

二、预习要求

1. 认真阅读附录中示波器、函数发生器、晶体管毫伏表面板旋钮的功能及使用方法，回答问题：（1）示波器有哪些主要用途？（2）函数发生器可以输出哪些信号？它的哪些参量可变？

2. 列出拟测数据的记录表格。

三、实验原理

在电子电路实验中，经常使用的电子仪器有示波器、函数信号发生器、直流稳压电源、交流毫伏表及频率计等，它们与万用电表一起，可以完成对电子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。按照信号流向，以连线简捷、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接如图2所示。为防止外界干扰，接线时应注意各仪器的共公接地端要连接在一起，即共地。信号源和交流毫伏表的引线通常用屏蔽线或专用电缆线，示波器接线使用专用电缆线，直流电源的接线用普通导线。

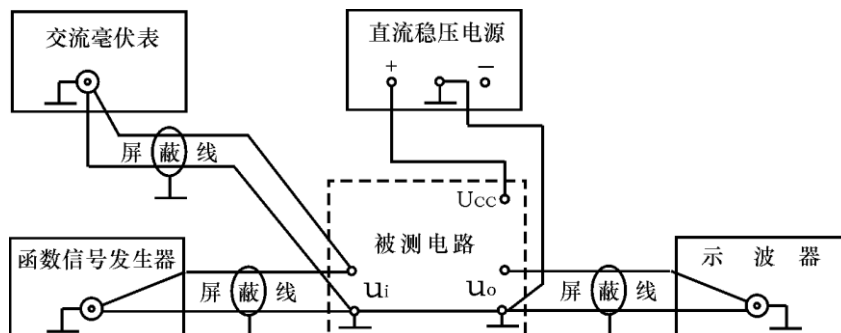


图2 模拟电子电路中常用电子仪器布局图

1. 模拟示波器

示波器是一种用途很广的电子测量仪器，它既能直接显示电信号的波形，又能对电信号进行各种参数的测量。主要操作步骤如下：

(1) 寻找扫描光迹

将示波器 Y 轴显示方式置“Y₁”或“Y₂”，输入耦合方式置“GND”，开机预热，按下列操作找到扫描线：①适当调节亮度旋钮。②触发方式开关置“自动”。③适当调节垂直（↑）、水平（↔）“位移”旋钮，使扫描光迹位于屏幕中央。（若示波器设有“寻迹”按键，可按下“寻迹”按键，判断光迹偏移基线的方向。）

(2) 双踪示波器一般有五种显示方式，即“Y₁”、“Y₂”、“Y₁+Y₂”三种单踪显示方式和“交替”“断续”两种双踪显示方式，根据信号输入通道和所需观察的信号，选择合适的显示方式。“交替”显示一般适宜于输入信号频率较高时使用，“断续”显示一般适宜于输入信号频率较低时使用。

(3) 为了显示稳定的被测信号波形，“触发源选择”开关一般选为“内”触发，使扫描触发信号取自示波器内部的 Y 通道。

(4) 触发方式开关通常先置于“自动”调出波形后，若被显示的波形不稳定，可置触发方式开关于“常态”，通过调节“触发电平”旋钮找到合适的触发电压，使被测试的波形稳定地显示在示波器屏幕上。

(5) 适当调节“扫描速率”开关及“Y 轴灵敏度”开关，使屏幕上显示 2~3 个周期的被测信号波形。在测量幅值时，应注意将“Y 轴灵敏度微调”旋钮置于“校准”位置，即顺时针旋到底，且听到关的声音。在测量周期时，应注意将“X 轴扫速微调”旋钮置于“校准”位置，即顺时针旋到底，且听到关的声音。还要注意“扩展”旋钮的位置。

根据被测波形在屏幕坐标刻度上垂直方向所占的格数（div 或 cm）和“Y 轴灵敏度”开关指示值（v/div），即可算得信号幅值 U_{p-p} 的测量值：

$$U_{p-p} = \text{波形高度} \times V/\text{div 读数（微调旋钮处于校正位置）}$$

根据被测信号波形一个周期在屏幕坐标刻度水平方向所占的格数（div 或 cm）和“扫描速率”开关指示值（t/div），即可算得信号周期 T 的测量值：

$$T = \text{两个波峰（或波谷）之间的距离} \times t/\text{div 读数（微调旋钮处于校正位置）}$$

2. 函数信号发生器

函数信号发生器按需要输出正弦波、方波、三角波三种信号波形。输出电压最大可达 $20V_{P-P}$ 。通过输出衰减开关和输出幅度调节旋钮，可使输出电压在几毫伏到十几伏范围内连续调节，输出电压的调节范围与衰减按键之间的关系为：

衰 减	输出电压调节范围（峰-峰值）
0dB（两衰减键均不按下）	1~20V
20dB（按下-20dB 键）	0.1~2V
40dB（按下-40dB 键）	10mV~0.2V
60dB（两衰减键均按下）	0~20mV

函数发生器一般含有内测频率计，因此输出信号的频率可直接由显示器读出（外测频率键不按下），频率按键选择与频率调节范围的关系为：

频率按键	1	10	100	1k	10k	100k	1M
频率范围(Hz)	0~2.2	0~22	1~200	15~2.2k	150~22k	1.5k~220k	15k~2.2M

函数信号发生器作为信号源，它的输出端不允许短路。

3. 毫伏表

交流毫伏表能在其工作频率范围之内测量正弦交流电压的有效值。为了防止过载而损坏，测量前一般先把量程开关置于量程较大位置上，然后逐档减小量程。确定合适的量程后，在读数前，要对毫伏表进行调零。

四、实验内容和步骤

1. 用机内校正信号对示波器进行自检

在调出扫描基线的基础上，将示波器的校正信号接入 Y_1 通道，输入耦合置“AC”，将“Y轴灵敏度微调”旋钮置“校准”位置，“Y轴灵敏度”开关置适当位置，读取校正信号幅度；将“扫描速率微调”旋钮置“校准”位置，“扫描速率”开关置适当位置，读取校正信号周期，数据填入自拟的表格中。

2. 用示波器和交流毫伏表测量信号参数

实验电路如图 3 所示，该电路输出电压平均值 U_{oa} 与输入电压有效值 U_i 之间的关系是（不计二极管上的压降）：

$$U_{oa}=0.45U_i$$

输出电压有效值 U_0 与输入电压有效值之间的关系是：

$$U_0=0.5U_i$$

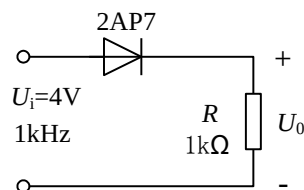


图3 半波整流电路

（1）用函数发生器调出 $U_{p-p}=4V$ 、 $f=1kHz$ 的正弦电压（用示波器 Y1 通道测量）。

（2）将此信号作为整流电路的输入信号 U_i 接入半波整流电路，仍用示波器 Y1 通道观察， U_0 接入示波器的 Y2 通道，分别用示波器的 DC 和 AC 输入耦合方式观察并画出输入和输出电压的波形，标出时间和电压值。

（3）测量输出电压的平均值 U_{oa}

Y2 通道输入耦合置 AC，将扫描基线调至 X 轴，则波形的直流段与 X 轴偏离的距离对应的电压值即为输出电压的平均值。

（4）用晶体管毫伏表测出 U_i 和 U_0 的有效值。

五、注意事项

1. 扭动示波器各旋钮时，要用力适当，以免造成机械损坏。
2. 组装电路时，输入端在左边，输出端在右边，地线在下边，元件要插紧。
3. 用示波器测电压时，微调旋钮要处于校正位置，夹头不要直接夹在元件的引脚上，应另用短导线引出。

六、实验报告要求

1. 记录和整理实验数据，并用坐标纸描绘波形。
2. 计入二极管的正向压降，将所测的实验结果与理论值进行比较，分析误差原因。
3. 回答下列问题：

（1）有一正弦信号， $f=1kHz$ ，其峰 - 峰值 $U_{p-p}=20mV$ ，输入示波器的 Y1 通道，若要显示五个完整周期的波形，高度为 4 格，试问示波器扫描速度旋钮、Y 轴灵敏度旋钮应置何档？若此正弦信号经放大电路反相放大 200 倍，为能方便地观测放大后的波形和原波形

及其相位关系，放大信号应如何接入示波器？通道选择按钮如何选择？

(2) 若要从函数发生器输出 50mV（峰 - 峰值）的正弦信号，衰减按钮如何选择？若要输出 5V（峰 - 峰值）的信号，衰减按钮又该如何选择？

七、实验元器件

二极管 2AP7 1 只

电 阻 1k Ω 1 只

实验三 功率因数的提高

一、实验目的

1. 研究正弦稳态交流电路中电压、电流相量之间的关系。
2. 掌握日光灯电路的结构和工作原理。
3. 理解改善电路功率因数的意义并掌握其方法。

二、预习要求

1. 查阅资料，掌握日光灯的工作原理。
2. 复习正弦交流电路的有关内容，掌握提高感性负载功率因数的方法。

三、实验原理

图 4 (a) 所示的 RC 串联电路中，在正弦稳态信号 $\dot{U}$ 的激励下， $\dot{U}_R$ 与 $\dot{U}_C$ 保持 90° 的相位差， $\dot{U}$ 、 $\dot{U}_R$ 与 $\dot{U}_C$ 构成一个直角三角形，如图 4(b) 所示。

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}$$

R 或 C 的值改变时，角 φ 的大小随之改变。

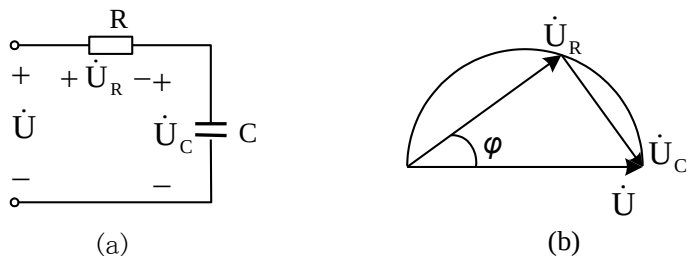


图4 RC串联电路中的电压关系

日光灯电路如图5所示，接通电源后，日光灯点亮前，启辉器闭合，随即又断开，镇流器两端产生很高的感应电压，这个电压和电源电压一起加在灯管的两端，使灯管内的水

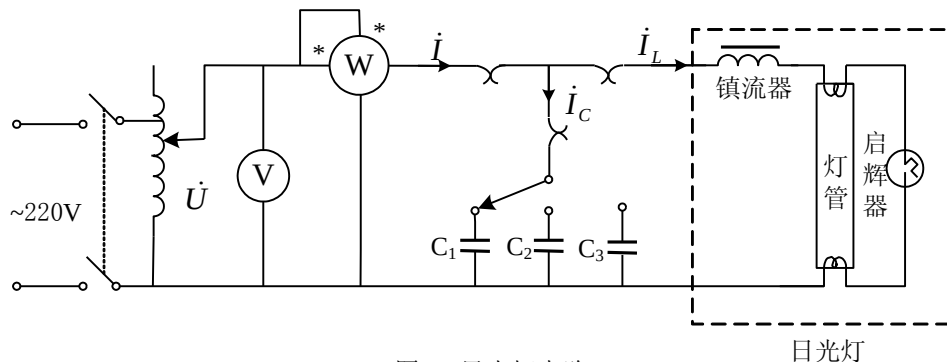


图5 日光灯电路

银蒸汽放电，从而激发荧光粉发出可见光。日光灯点亮后，灯管两端的电压较低，（40W灯管约为110V），此电压不足以使启辉器闭合，启辉器处于断开状态。

图5所示电路中的电容器是补偿电容器，用以改善电路的功率因数。设日光灯（灯管和镇流器，为感性负载）的功率因数角为 φ_0 ，若要将电路的功率因数角提高到 φ ，则需并联的电容为

$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\text{tg}\phi_0 - \text{tg}\phi)$$

其中： P 为日光灯的功率， U 为日光灯的工作电压， ω 为市电的角频率。

实验所用功率表的电流端子和电压端子，标有符号 * 者是同名端（或称对应端），接线时应联接在电源的同一端，其正确接法见图25。使用时，为减小测量误差，对于高阻抗负载，由于电压线圈支路分流影响较大，电压线圈应前接，如图6（a）所示；对于低阻抗负载，电流线圈上压降影响较大，电压线圈应后接，如图6（b）所示。

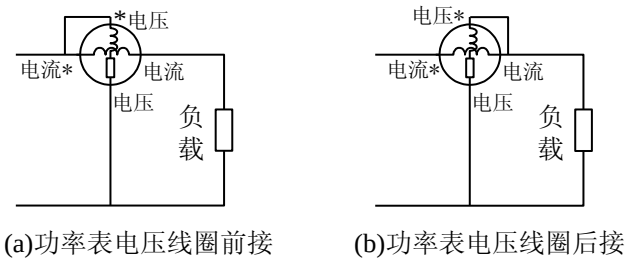


图6 功率表电压电流线圈同名端的接线方法

四、实验内容和步骤

1. 研究正弦稳态交流电路中电压之间的关系

按图 5 (a)接线， R 为 220V、15W 的白炽灯，电容器为 $4.7\mu\text{ F}/450\text{V}$ 。经指导教师检查后，接通实验台电源，将自耦调压器输出(即 U)调至 220V。记录 U 、 U_R 、 U_C 的值，数据填入表 2 中。断开电源，将电容器换为 $2.2\mu\text{ F}/450\text{V}$ 的电容器，重新测量并记录 U 、 U_R 、 U_C 的值，数据填入表 2 中。

表 2

C ($\mu\text{ F}$)	测 量 值			计 算 值		
	$U_{\text{测}}$	U_R	U_C	$U_{\text{计}} = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}$	$\Delta U = U_{\text{计}} - U_{\text{测}}$	$\Delta U/U_{\text{测}}(\%)$

2. 日光灯电路功率因数的测量。

按图 5 (a)接线。经指导教师检查后接通实验箱电源，将自耦调压器的输出调至 220V，记下电压表和功率表的读数，用电流表测出三条支路的电流。改变电容值，重新测量，数据记入表 3 中。

表 3

电容值	测 量 数 值						计 算 值	
(μ F)	P(W)	$\cos\varphi$	U(V)	I (A)	I_L (A)	I_C (A)	I(A)	$\cos\varphi$
0								
1								
2.2								
4.7								

五、注意事项

1. 本实验用交流市电 220V，务必注意用电和人身安全。
2. 功率表要正确接入电路。

六、实验报告要求

1. 完成数据表格中的计算，进行必要的误差分析。
2. 根据实验数据，分别绘出电压、电流相量图，验证相量形式的基尔霍夫定律。
3. 说明提高功率因数的原理和方法。

七、实验元器件

电容器 1 μ F/450V 2.2 μ F/450V 4.7 μ F/450V 各 1 只

实验四 三相电路中电压电流的关系

一、实验目的

1. 掌握三相负载作星形联接、三角形联接的方法，验证这两种接法下线电压、相电压及线电流、相电流之间的关系。
2. 充分理解三相四线供电系统中中线的作用。

二、预习要求

复习三相交流电路的有关内容，分析三相星形联接不对称负载在无中线情况下，当某相负载开路或短路时会出现什么情况？如果接上中线，情况又如何？

三、实验原理

三相负载可接成星形（又称“Y”接）和三角形（又称“ Δ ”接）。

三相对称负载作 Y 形联接时，线电压 U_L 是相电压 U_p 的 $\sqrt{3}$ 倍。线电流 I_L 等于相电流 I_p ，即

$$U_L = \sqrt{3}U_p, \quad I_L = I_p$$

在这种情况下，流过中线的电流 $I_0=0$ ，所以可以省去中线。

当三相对称负载作 Δ 形联接时，有 $I_L = \sqrt{3}I_p$ ， $U_L = U_p$ 。

不对称三相负载作 Y 联接时，必须采用三相四线制接法，即 Y_0 接法。而且中线必须牢固联接，以保证三相不对称负载的每相电压维持对称不变。倘若中线断开，会导致三相负载电压的不对称，致使负载轻的那一相的相电压过高，使负载遭受损坏；负载重的一相相电压又过低，使负载不能正常工作。尤其是对于三相照明负载，无条件地一律采用 Y_0 接法。

不对称负载作 Δ 接时， $I_L \neq \sqrt{3}I_p$ ，但只要电源的线电压 U_L 对称，加在三相负载上的电压仍是对称的，对各相负载工作没有影响。

四、实验内容和步骤

1. 三相负载星形联接（三相四线制供电）

按图 7 连接实验电路。三相灯组负载经三相自耦调压器接通三相对称电源，将三相调压器的旋柄置于输出为 0V 的位置（即逆时针旋到底）。经指导教师检查合格后，方可开启实验台电源，然后调节调压器的输出，使输出的三相线电压为 220V。

按表 4 分别测量三相负载的线电压、相电压、线电流、相电流、中线电流及电源与负载中点间的电压，并观察各相灯组亮暗的变化程度。

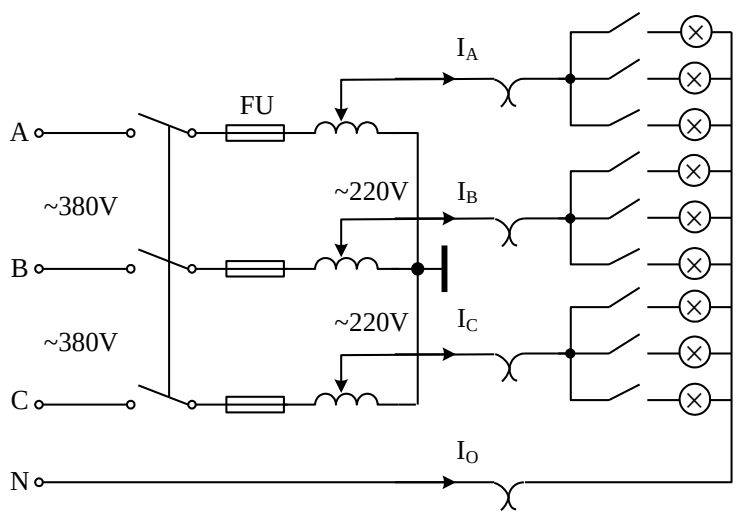


图7 三相负载星形联接

表4

测量数据 实验内容 (负载情况)	开灯盏数			线电流 (A)			线电压 (V)			相电压 (V)			中线 电流	中点 电压
	A 相	B 相	C 相	I _A	I _B	I _C	U _{AB}	U _{BC}	U _{CA}	U _{A0}	U _{B0}	U _{C0}	I ₀ (A)	U _{N0} (V)
Y ₀ 接平衡负载	3	3	3											
Y接平衡负载	3	3	3											
Y ₀ 接不平衡负载	1	2	3											
Y接不平衡负载	1	2	3											
Y ₀ 接B相断开	1		3											
Y接B相断开	1		3											
Y接B相短路	1		3											

2. 负载三角形联接（三相三线制供电）

按图 8 改接线路，经指导教师检查合格后接通三相电源，调节调压器，使其输出线电压为 220V，按表 5 的内容进行测试。

表 5

测量数据 负载情况	开 灯 盏 数			线电压=相电压 (V)			线电流 (A)			相电流 (A)		
	A-B 相	B-C 相	C-A 相	U _{AB}	U _{BC}	U _{CA}	I _A	I _B	I _C	I _{AB}	I _{BC}	I _{CA}
三相平衡	3	3	3									
三相不平衡	1	2	3									

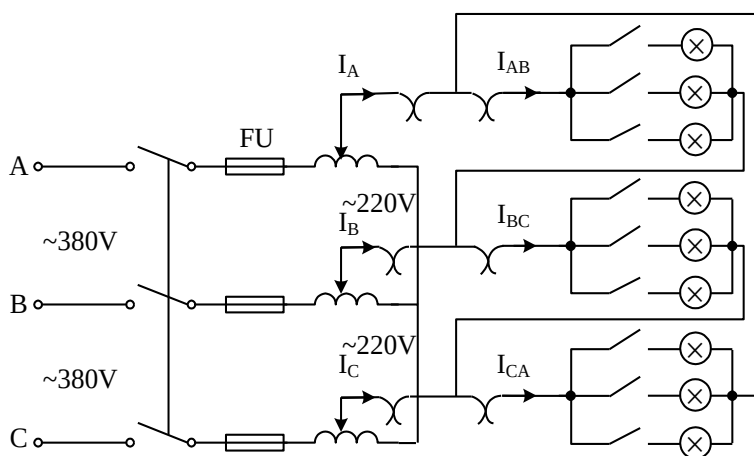


图8 三相负载三角形联接

五、注意事项

1. 本实验采用三相交流市电，线电压为 380V，应穿绝缘鞋进实验室。实验时要注意人身安全，不可触及导电部件，防止意外事故发生。
2. 每次接线完毕，同组同学应自查一遍，然后由指导教师检查后，方可接通电源，必须严格遵守先断电、再接线、后通电；先断电、后拆线的实验操作原则。

六、实验报告要求

1. 用实验测得的数据验证对称三相电路中的 $\sqrt{3}$ 关系。
2. 用实验数据和观察到的现象，总结三相四线供电系统中中线的作用。
3. 不对称三角形联接的负载，能否正常工作？实验是否能证明这一点？
4. 根据不对称负载三角形联接时的相电流值作相量图，并求出线电流值，然后与实验测得的线电流作比较，分析之。
5. 回答问题：本次实验中为什么要通过三相调压器将线电压为 380V 的市电降为线电压为 220V 的电源使用？

实验五 单管电压放大器

一、实验目的

1. 学习调试、测试放大器的静态工作点。
2. 掌握放大器的电压放大倍数和输入、输出电阻的测量方法。
3. 培养查找、排除电路故障的初步能力。

二、预习要求

1. 设三极管 $\beta=220$ ，在工作点 $U_{CE}=6.0V$ ， $I_C=2mA$ ，计算 $R_L=\infty$ 和 $R_L=2k\Omega$ 时放大电路的电压放大倍数和输入、输出电阻，估算放大电路空载时的最大不失真输出电压。

2. 描述当 $U_{ip-p}=0.1V$ ， R_w 分别为 $100k\Omega$ 和 0 时 u_o 的波形，计算对应的 U_{CE} ，指出饱和失真和截止失真。

3. 阅读第一章1~2节，掌握常用电子元件的识别和简单测试。

三、实验原理

1. 实验参考电路

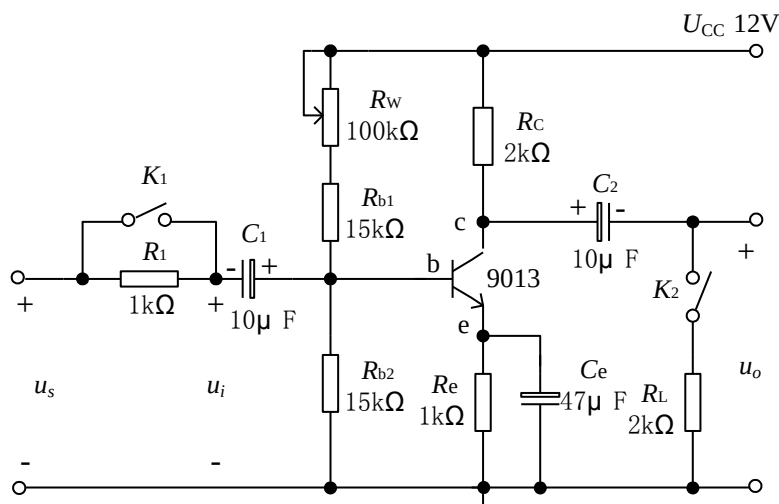


图9 单管电压放大电路

接入 R_{b1} 是为了防止当 R_w 的值过小时，由于 I_B 太大而使 I_C 过大烧坏三极管。

2. 工作原理

静态工作点：

$$U_B = \frac{R_{b2}}{R_w + R_{b1} + R_{b2}} U_{CC}$$

$$I_B = \frac{1}{\beta} \frac{U_B - U_{BE}}{R_e}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - R_C I_C - R_e I_E = U_{CC} - (R_C + R_e) \frac{U_B - U_{BE}}{R_e}$$

由此可见，调节 R_W 即可改变 I_B 和 U_{CE} ，从而取得合适的静态工作点。

动态参数：

电压放大倍数：
$$A_u = \frac{U_0}{U_i} = \beta \frac{R_c \parallel R_L}{r_{be}}$$

输入电阻：
$$R_i = R_b \parallel r_{be} = (R_W + R_{b1}) \parallel R_{b2} \parallel r_{be}$$

输出电阻：
$$R_0 = R_c$$

电压放大倍数测量：

$$A_u = \frac{U_0}{U_i}$$

输出电阻的测量：

按图 10 所示测量原理有

$$R_0 = \left(\frac{U_{0\infty}}{U_{0L}} - 1 \right) R_L$$

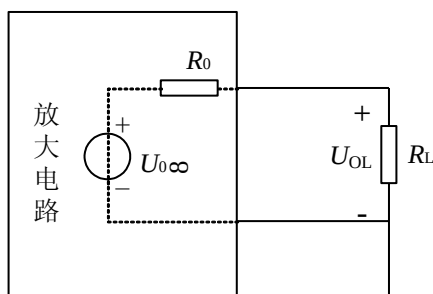


图10 输出电阻测量原理

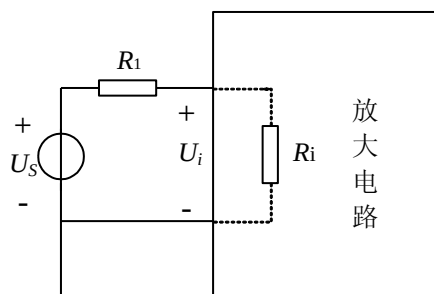


图11 输入电阻测量原理

输入电阻的测量：

按图 11 所示测量原理有

$$R_i = \frac{U_i}{U_s - U_i} R_1$$

为提高测量精度， R_L 与 R_1 的取值应与 R_0 与 R_i 的值在同一数量级。

四、实验内容和步骤

1. 工作点调测试

接通电源，使 $U_{CC}=12.0V$ （以万用表测量值为准），调节 R_W ，使 $U_{CEQ}=6.0V$ ，测量 U_{BEQ} 、 U_{RC} ，并断线后测量 R_W （电位器不取出），数据记录于表 6 中。

表 6

β	U_{CC}/V	U_{CEQ}/V	U_{BEQ}/V	$I_C (U_{RC}/R_C) /mA$	$R_W/k\Omega$

2. 放大倍数和输出电阻测试

放大器输入 $U_{pp}=10mV$, $f=1kHz$ 的正弦信号, 用示波器观察 u_0 和 u_i 波形的幅值和相位, 在 u_0 不失真的前提下, 用示波器测出 $R_L=\infty$ 和 $R_L=2k\Omega$ 时的输出电压峰 - 峰值, 算出电压放大倍数和输出电阻。

由于信号发生器存在内阻, 同时放大器的输入电阻并不是无穷大, 因此, 输入信号电压的测量应在放大器正常工作时进行, 否则会增大测量误差。

3. 输入电阻测试

接入 R_1 , 适当增大信号发生器的输出电压, 在 u_0 不失真时, 用示波器测出 u_s 和 u_i 的峰 - 峰值, 算出输入电阻。

4. 最大不失真输出电压 (空载) 的测量

增加放大器的输入电压, 直到 u_0 波形的正或负峰出现一定的削波失真, 调节工作点, 使失真消失, 再增大输入电压, 使失真重新出现, 再调工作点, 如此反复, 直到饱和失真和截止失真同时出现, 此时的不失真输出电压即为放大电路的最大不失真输出电压。

五、注意事项

1. 组装电路时, 注意三极管的三个电极及电容器的正负极不能接错, 否则会损坏元件, 三极管的三个电极要垂直插入面包板孔中。
2. 元件及连线在面包板上一定要插紧, 否则会因接触不良造成电路故障。
3. 测静态工作点时, 要关闭信号源。

六、实验报告要求

1. 认真记录实验数据和波形, 对结果与理论值进行比较, 找出产生误差的原因。
2. 分析在实验内容 4 中的波形变化的原因及性质。
3. 记录在组装和调试电路过程中发生的故障, 说明排除故障的过程和方法。

七、实验元器件

三极管 9013 1 只
电 阻 $1k\Omega$ 、 $2k\Omega$ 、 $15k\Omega$ 各 2 只
电 容 $10\mu F$ 2 只 ; $47\mu F$ 1 只
电位器 $100k\Omega$ 1 只

实验六 基本运算电路

一、实验目的

1. 熟悉用运算放大器构成基本运算电路的方法。
2. 掌握非正弦信号电压有效值的测量和计算方法。

二、预习要求

1. 复习由运算放大器组成的反相比例、反相加法、比例减法、比例积分等运算电路的工作原理。
2. 按各实验电路图中的参数，计算实验数据表格中 U_0 的理论值，并根据方波的幅值和频率，计算积分器输出信号的幅值。

三、实验原理

1. 反相比例器

如图 12 所示，输入输出之间的关系为

$$u_0 = -\frac{R_f}{R_1} u_i$$

2. 反相加法器

如图 13 所示，输入、输出之间的关系为

$$u_0 = -\left(\frac{R_f}{R_1} u_{i1} + \frac{R_f}{R_2} u_{i2}\right)$$

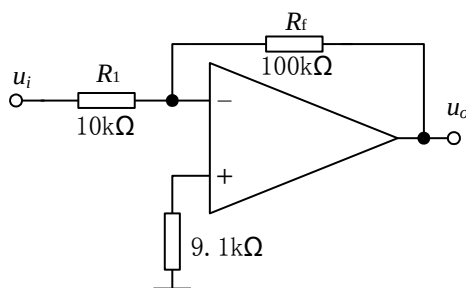


图12 反相比例器

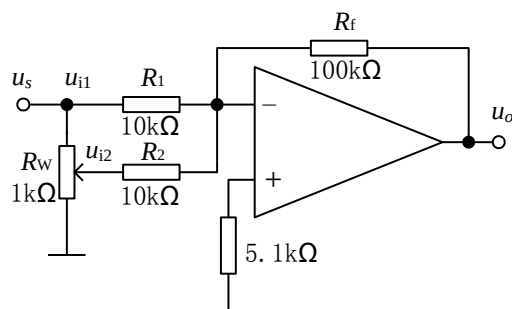


图13 反相加法器

3. 比例减法器

如图 14 所示，当 $R_1=R_2$ 时，输入输出之间的关系为：

$$u_0 = -\frac{R_f}{R_1} (u_{i1} - u_{i2})$$

4. 比例积分器

如图 15 所示，输入信号为方波。 R_f 的作用是通过直流负反馈，减小运放输出端的直流漂移，防止对失调电流的积分而使输出饱和。 R_f 的加入将对电容 C 产生分流作用，从而导致积分误差。为尽量减小误差，一般须满足 $R_f C \gg R_1 C$ ，通常取 $R_f \geq 10R_1$ ， $C < 1\mu F$ 。由 $i_R = i_C$ 可得， $\frac{u_i}{R_1} = -C \frac{du_o}{dt}$ ，设电容的初始电压为零，输入信号是幅值为 U 的阶跃信号，则有

$$u_o = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t u_i dt = -\frac{U}{R_1 C} t$$

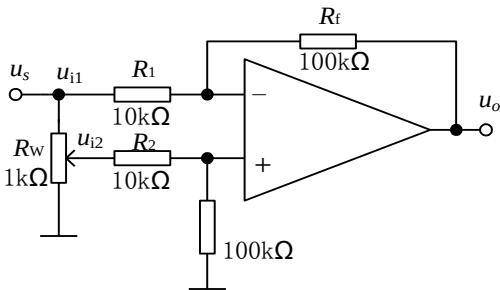


图14 比例减法器

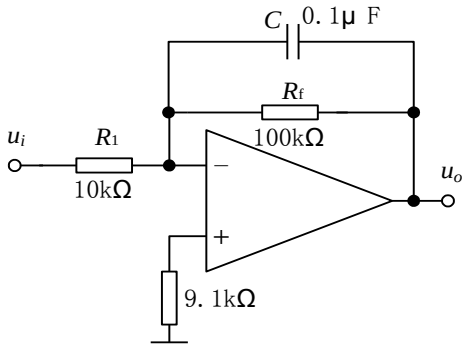


图15 反比例积分器

U 为正值时，输出电压随时间线性下降； U 为负值时，输出电压随时间线性上升。考虑到电容电压不能突变，因此，与输入信号为方波对应的输出电压是三角波，高电平对应下降段，低电平对应上升段。

四、实验内容和步骤

电源电压调至 12V 后关闭电源，给集成运算放大器接上正负电源线和地线，确认无误后，再接通电源，按如下步骤进行实验。

1. 反比例比例运算

按图 12 连线，从信号发生器输入 1kHz 的正弦电压 u_i ，其峰-峰值按表 7 要求，用示波器测量输出电压 u_o 并观察 u_o 与 u_i 的相位关系，数据记录在表 7 中。

表 7

$\begin{matrix} U_{opp} \\ U_{ipp} \end{matrix}$	计算值	测量值	$A_f = \frac{U_o}{U_i}$	积分器输入、输出波形 (画在同一坐标中，注明幅值)
100mV				u t
200mV				
300mV				

2. 积分运算

在图 12 所示电路的基础上，在 R_f 两端并联一个 $0.1\mu F$ 的电容，输入信号改为频率

1kHz，幅值为 1V 的方波。用示波器观察 u_i 和 u_0 的幅值与相位关系，并用毫伏表测量其电压值。用万用表测量 R_1 的值和 C 的容量。

3. 加法运算

按图 13 连线，输入 1kHz 的正弦波，按表 8 要求调节输入信号的大小，用示波器观察 u_0 与 u_{i1} 的相位关系并测出 u_0 的峰-峰值，数据填入表 8 中。

4. 减法运算

按图 14 连线，实验步骤同内容 3，数据填入表 8 中。

表 8

U_{opp} U_{ipp}	加法器		减法器	
	计算值	测量值	计算值	测量值
$U_{i1pp}=100\text{mV}$ $U_{i2pp}=50\text{mV}$				
$U_{i1pp}=200\text{mV}$ $U_{i2pp}=100\text{mV}$				

五、注意事项

1. 集成运算放大器的各个管脚不能接错，特别是正负电源不能接反，否则将烧坏集成块。
2. 积分器的输入输出波形画在同一坐标中。

六、实验报告要求

1. 记录和整理实验所得数据和波形，并与理论值比较，分析产生误差的原因。

七、实验元器件

集成运算放大器 $\mu A741$ 1 片

电 阻 10k Ω 、100 k Ω 各 2 只，5.1 k Ω 、9.1 k Ω 各 1 只

电 容 0.1 μF 1 只

电位器 1 k Ω 1 只