

实验四 单相交流电路

一、实验目的

- (1) 熟悉交流电路的主要特点，交流串联电路中总电压与分电压的关系、并联电路中总电流与各支路电流的关系。
- (2) 了解日光灯电路的工作原理及日光灯的接线，学会使用交流电压表、电流表、功率表。
- (3) 加深理解功率因数的概念及提高功率因数的方法。

二、实验原理说明

日光灯电路的组成及其工作原理如下。

(1) 组成

日光灯又称荧光灯，由灯管、镇流器和起辉器三部分组成，电路如图 1-4-1 所示。

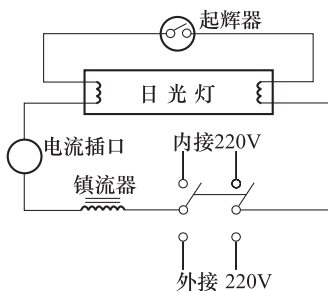


图 1-4-1 单相交流电实验电路图

灯管由玻璃管组成，内壁涂有荧光粉，管内充有氙、氩、氖等惰性气体和水银蒸气，两端有灯丝，灯丝上涂有一种或多种耐热的碳酸盐电子粉成为氧化物阴极，以供热电子发射。

镇流器是一个具有铁心的电感线圈。在日光灯启动时，由它产生很大的感应电动势使管灯点燃，在灯管正常工作后起限制电流的作用。

起辉器是一个充有氙气的玻璃泡，并装有两个电极，一个是静触片，另一个是用



双金属片做成的 n 形动触片。在电路中使日光灯自动点亮，起自动开关作用。

(2) 日光灯的工作过程。

接通电源后，起辉器内发生辉光放电，双金属片受热弯曲，触点接通，将灯丝预热使它发射电子，起辉器接通后辉光放电停止，双金属片冷却，又把触点断开，这时镇流器感应出高电压加在灯管两端使日光管放电，产生大量紫外线，反射灯管内壁的荧光粉后辐射出可见的光，日光灯就开始正常工作。电流从电源一端经镇流器→灯丝→起辉器→灯丝→电源的另一端。

(3) 提高功率因数的方法。

负载功率因数过低，一方面没有充分利用电源容量，另一方面又在输电线路中增加损耗。为了提高功率因数，一般最常用的方法是在负载两端并联一个补偿电容器，抵消负载电流的一部分无功分量。在日光灯接电源两端并联几个不同容量值的电容器，当电容器的容量逐渐增加时，电容支路电流 I_C 也随之增大，因 $\dot{I}_C$ 超前电压 $\dot{U}$ 角度为 90° ，结果总电流 I 逐渐减小，但如果电容器 C 增加过多（过补偿）， $I_C > I_{RL}$ 总电流又将增大。

三、实验设备与器材

- (1) 功率表；
- (2) 交流电流表；
- (3) 交流电压表；
- (4) 单相交流实验板。

四、实验内容与步骤

(1) 按实验图 1-4-2 所示连接电路，并检查无误后，接通电源，电压调至 220V。

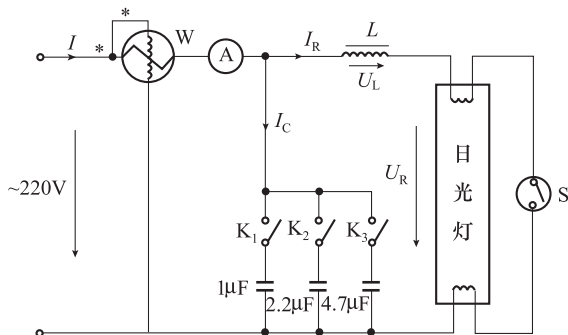


图 1-4-2 日光灯实验电路图

(2) 先断开电容 C ，即使 $C=0$ ，测日光灯、镇流器两端电压、电源电压及电流，通过功率因数表测量功率 P 及功率因数 $\cos\varphi$ ，数据填入表 1-4-1 中。

(3) 闭合开关，逐渐加大电容 C 的值，测量各支路的电流 I_C 、 I_R 和总电流 I 。

表 1-4-1

电容 C (μF)	总电压 U/V	U_L/V	U_R/V	总电流 I/mA	I_C/mA	I_R/mA	$\cos\varphi$	功率 P/W
0								
$1\ \mu\text{F}$								
$2.2\ \mu\text{F}$								
$3.2\ \mu\text{F}$								
$4.7\ \mu\text{F}$								
$7.9\ \mu\text{F}$								

五、实验注意事项

- (1) 功率表要正确接入电路，经指导老师检查无误后方可通电。
- (2) 在实验过程中，输入总电压 $U = 220\text{V}$ ，不能随便改变，以便实验数据进行比较。

六、预习与思考题

- (1) 一般的负载为什么功率因数较低？负载较低的功率因数对供电系统有何影响？为什么？
- (2) 为了提高电路的功率因数，常在感性负载上并联电容器，此时增加了一条电流支路，试问电路的总电流是增大还是减小？此时感性负载上的电流和功率是否改变？
- (3) 提高线路功率因数为什么只采用电容器并联法，为何不用串联法？所并联的电容器是否越大越好？

七、实验报告要求

- (1) 根据表 1-4-1 中的电流数据能说明 $I = I_C + I_R$ 吗？为什么？
- (2) 画出所有电流和电压的相量图，说明改变并联电容的大小时，相量图有何变化？
- (3) 回答思考题 (1)，(2)，(3)。



实验五 三相交流电路

一、实验目的

- (1) 学会三相负载的星形连接、三角形连接方法。
- (2) 熟悉并掌握三相对称负载在星形连接和三角形连接时的特点，即负载的相电压和线电压、相电流与线电流的关系。
- (3) 负载不对称时，星形连接时中线的作用；三角形连接时的工作情况。

二、实验原理说明

(1) 三个大小相等、频率相同、相位互差 120° 电角度的电动势、电压、电流称为对称三相交流电，三相交流电动势是由三相交流发电机产生的，三相正弦交流电压为：

$$u_A = \sqrt{2}U \sin \omega t$$

$$u_B = \sqrt{2}U \sin (\omega t - 120^\circ)$$

$$u_C = \sqrt{2}U \sin (\omega t + 120^\circ)$$

(2) 三相四线星形连接的三相对称电源，可为负载提供两种电源电压，即线电压 U_L 和相电压 U_P ，其关系为 $U_L = \sqrt{3}U_P$ ，有效值分别为 $U_L = 380\text{V}$ 和 $U_P = 220\text{V}$ 。

(3) 三相负载连接有星形接法 (Y) 和三角形接法 (Δ)：当每相负载额定电压等于电源线电压的 $1/\sqrt{3}$ 时，应采用星形连接；当每相负载额定电压等于电源线电压时，应采用三角形连接。

(4) 对称三相负载星形连接时，不论有无中线，其 $\dot{U}_{AB} = \sqrt{3}\dot{U}_A \angle 30^\circ$ ， $I_L = I_P$ ，中线电流 $\dot{I}_N = 0$ ，负载中性点 N' 与电源中性点之间 N 的节点电压 $U_{N'N} = 0$ 。对称三相负载三角形连接时，其 $U_L = U_P$ ， $\dot{I}_A = \sqrt{3}\dot{I}_{AB} \angle -30^\circ$ 。

不对称三相负载星形连接时，必须接有中线，中线的作用在于强制三相相电

压对称，确保负载正常工作。此时有 $\dot{U}_L = \sqrt{3}\dot{U}_p \angle 30^\circ$ ， $U_{N'N}=0$ ； $I_L = I_p$ 但三个相电流 $\dot{I}_p$ 和三个线电流 I_L 不再对称。

三、实验设备与器材

- (1) 三相实验灯箱；
- (2) 交流电流表；
- (3) 交流电压表。

四、实验内容与步骤

1. 三相负载星形连接

(1) 将三相负载按图 1-5-1 所示星形接法连接，经指导教师检查无误后连上三相电源。

(2) 测量有中线而负载对称时，各线电压、相电压、电流和中线电流的数值。将数值记入表 1-5-1 中。

(3) 测量有中线而负载不对称时，各线电压、相电压、电流和中线电流的数值。将数值记入表 1-5-1 中。

(4) 拆除中线后，测量负载对称与不对称时，各线电压、相电压、电流的数值，注意观察各相灯泡的明暗，将数值记入表 1-5-1 中。

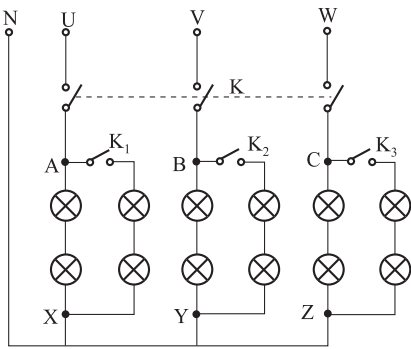


图 1-5-1 负载星形连接实验电路图

表 1-5-1

实验内容 测量数值		有 中 线		无 中 线	
		对 称	不 对 称	对 称	不 对 称
线电压/V	U_{AB}				
	U_{BC}				
	U_{CA}				
相电压/V	U_A				
	U_B				
	U_C				
电 流/A	I_A				
	I_B				
	I_C				
	I_N				



2. 三相负载三角形连接

(1) 将三相负载按图 1-5-2 所示三角形接法连接, 经指导教师检查无误后连上三相电源。

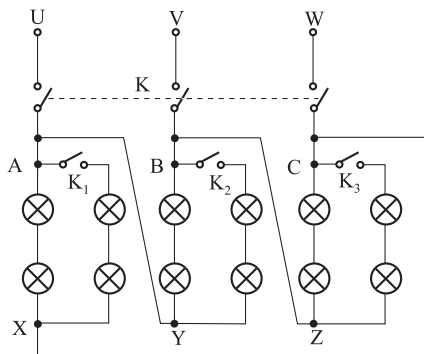


图 1-5-2 负载三角形连接实验电路图

(2) 负载对称时, 测量线电压、线电流、相电流的数值。将数值记入表 1-5-2 中。

(3) 负载不对称时, 测量同上, 将数值记入表 1-5-2 中。

表 1-5-2

测量数值 实验内容	电压			线电流			相电流		
	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	I_A	I_B	I_C	I_{AB}	I_{BC}	I_{CA}
对称									
不对称									

五、实验注意事项

(1) 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, 必须严格遵守先接线、后通电, 先断电、后拆线的实验操作原则。

(2) 实验时要注意人身安全, 不可触及导电部件, 以免意外事故发生。

(3) 每次实验完毕, 均需将三相调压器旋钮调回零位, 如改接线, 均需断开三相电源, 以确保人身安全。

(4) 在做三角形连接时, 由于三相负载是灯泡组 (额定电压为 220V), 因此线电压必须调至 220V, 以免损坏灯泡。

六、预习与思考题

(1) 有一台三相交流电动机, 额定相电压为 220V, 今用在线电压为 220V 的电源上, 则电动机应作什么连接? 如果用在线电压为 380V 的电源上, 电动机

又应该怎么连接？

(2) 你所知道的，采用三相交流电的优点有哪些？

七、实验报告要求

(1) 总结对称和不对称负载作为星形和三角形连接时，电流、电压的线值与相值之间的关系。

(2) 当负载作星形连接时，有一相断路，有中线会出现什么现象？无中线又会出现什么现象？

(3) 当负载作星形连接的三相三线时，有一相负载短路，会出现什么现象？

(4) 不对称三角形连接的负载，能否正常工作？为什么？



实验六 三相异步电动机继电—接触器控制

一、实验目的

- (1) 了解有关按钮、继电器、接触器等电器设备的基本结构及使用方法。
- (2) 学会异步电动机点动控制电路、单相起-停控制电路、有联锁保护的正反转控制电路及具有联锁保护的时间控制电路的接线和查线方法。
- (3) 掌握点动、自锁、联锁典型控制环节的接法与工作原理，以及失（或零）压保护、过载保护的工作过程。

二、实验原理说明

(1) 继电—接触器控制电路主要由按钮、接触器及各种用途的继电器等部分组成。它们皆以国标规定的图形符号和文字符号画出，而且所有触头都是按电器“常态”标出。掌握电器元件的图形、文字符号及工作原理是组成和分析继电—接触器控制电路的基础。

(2) 原理图由主电路和控制电路组成。

主电路以接触器的动合主触头为核心，主要包括电源开关，接触器主触头、受控对象（如电动机）。通过控制电路接触器线圈的得电、失电，来控制主电路中主触头的闭合或断开，使受控对象按控制要求工作。

控制电路以接触器、各种继电器的线圈为核心，辅以各种电器的触头，依据控制动作顺序自上而下排列组成控制回路。其控制机理实质归结为各种控制、保护电器触头开关量，对接触器及各种继电器线圈得、失电的组成逻辑控制。

(3) 对三相鼠笼式异步电动机的启动，通常电动机 $P < 10 \text{ kW}$ 用直接启动方式； $P > 10 \text{ kW}$ 用降压启动方式，降压启动方式则根据电动机正常运行时定子绕组的连接方式而定。

三、实验设备与器材

- (1) 异步电动机控制板；

- (2) 异步三相电动机；
- (3) 三相电源（三相四线制 380V/220V 电压）。

四、实验内容

1. 异步电动机点动与连续运转控制

(1) 熟悉按钮、接触器实物结构及其动作原理。实验板外接线柱作用、符号。

(2) 点动与连续运转控制电路。按图 1-6-1、图 1-6-2 接线与查线，由于其节点和回路数较少，接线和查线皆采用回路法。

在断开电源条件下，先接主电路，后接点动控制电路。然后根据电气图检查接线是否正确。无误后方可通电。

其控制过程如下：

按下 SB^+ → KM^+ 线圈 → KM^+ 主触头 → M^+ （启动）；

松开 SB^- → KM^- 线圈 → KM^- 主触头 → M^- （停转）。

电动机的工作时间则由操作人员手按启动按钮 SB 的时间决定。

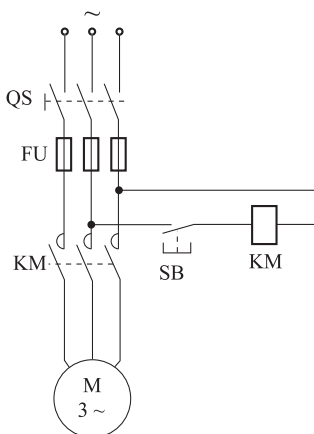


图 1-6-1 点动控制电路

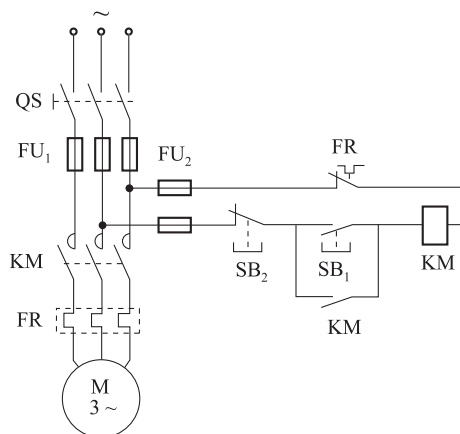


图 1-6-2 连续运转控制电路

(3) 连续运转控制电路，在点动控制电路的基础上将 KM 的一对动合辅助触头并联在 SB_1 两端以实现自锁，再接入停止按钮 SB_2 。检查方法与上述相同。

其控制过程如下：先启动电源开关；

按下 SB_1^+ → KM^+ 线圈（且自锁） → KM^+ 主触头 → M^+ 启动并连续运转；

KM 动合辅助触头闭合，实现自锁，即使 SB_1 断开， KM 线圈持续得电，电机 M 仍连续运转。按下停止按钮 SB_2 则停转，其过程读者自述。

2. 异步电动机联锁正、反转控制

异步电动机有联锁正、反转控制电路如图 1-6-3 所示。用正反转接触器 KM_F 和 KM_R 及其控制电路，分别实现电动机的正、反转控制。

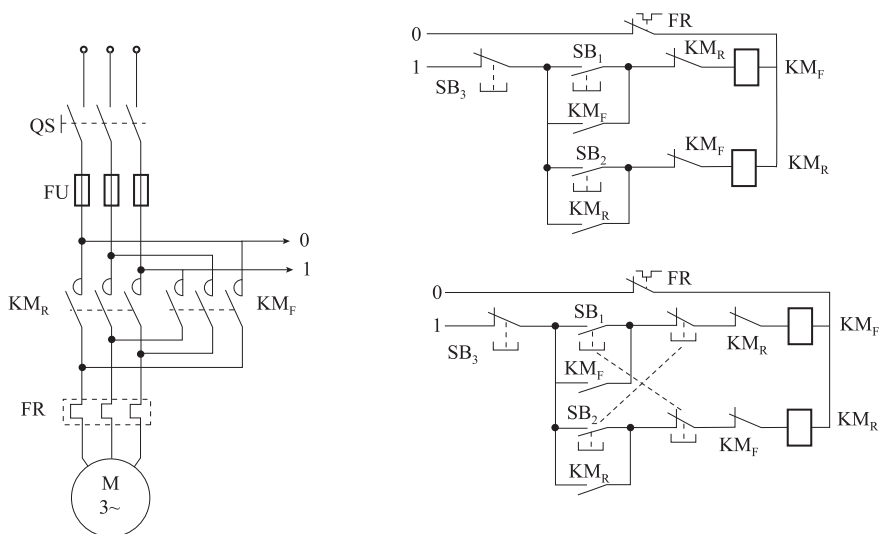


图 1-6-3 电动机正反转控制电路

正转控制过程如下：

$SB_1^+ \rightarrow KM_F^+$ 线圈(且自锁) $\rightarrow KM_F^+$ 主触头 $\rightarrow M^+$ (正转)；
 $\rightarrow KM_F^-$ 动断辅助触头, 实现联锁保护；

要停止 M 正转，只要按下 SB_3 即可。其控制过程如下：

$SB_3^+ \rightarrow KM_F^-$ 线圈 $\rightarrow KM_F^-$ 主触头 $\rightarrow M^-$ (停转)。

反转控制过程与正转相似，则由读者自述。

3. 电动机的 Y- Δ 换接启动

如图 1-6-4 所示，就是利用时间继电器进行延时控制，实现电动机从 Y- Δ 自动换接启动的控制电路。

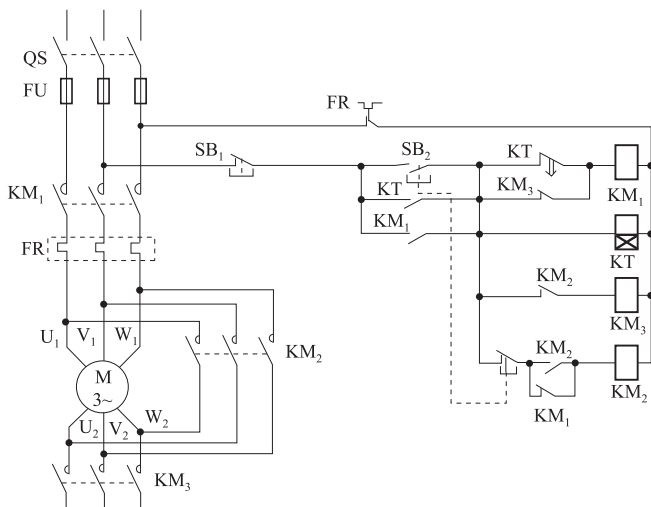
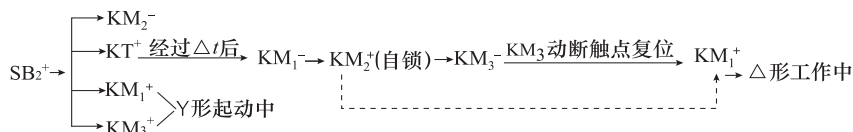


图 1-6-4 Y- Δ 启动控制电路图

启动按钮 SB_2 采用复合按钮，起连锁保护作用，用来防止电动机 Y 接法接触器 KM_3 得电时，电动机 Δ 接法接触器 KM_2 同时得电，避免造成电源短路事故。 KM_1 为主回路通断控制接触器。

按线圈得电或失电的顺序自上往下和自左往右排列，且只标出使线圈得电或失电的关键触头及状态，其电路的控制过程工作原理如下：



五、实验注意事项

- (1) 为减小电动机的启动电流，点动、连续运转与电动机正反控制电路接成星形连接。
- (2) 连接线路时使用的导线较多，要注意哪个是接触器 KM_F ，哪个是接触器 KM_R 。
- (3) 正常操作时，如果电动机不转动，应立即断开电源，请指导教师检查。

六、预习与思考题

- (1) 总结“自锁”触点、“联锁”触点的作用。
- (2) 简述时间继电器在 Y— Δ 换接电路中所起的作用。

七、实验报告要求

- (1) 总结电路接线、查线方法。
- (2) 分析电动机正、反转控制的工作原理，说明“联锁”触头的作用。
- (3) 分析 Y— Δ 换接启动电路的工作原理。



实验七 常用电子仪器仪表的使用

一、实验目的

- (1) 熟悉实验台上各种仪表的使用。
- (2) 熟悉实验台上信号发生器的作用及其使用方法。
- (3) 掌握用示波器观察信号波形，通过示波器测量波形的参数。

二、实验原理说明

在模拟电子实验中，经常要使用万用表、信号发生器、电子示波器和交流毫伏表等电子仪器来完成电路的测试工作。实验中要综合使用各种电子仪器，各仪器与被测实验装置之间的连接如图 1-7-1 所示。接线时应注意，各仪器的公共接地端应连接在一起，也就是要“共地”。信号源、交流毫伏表、示波器的引线要使用屏蔽线，以避免外界干扰。

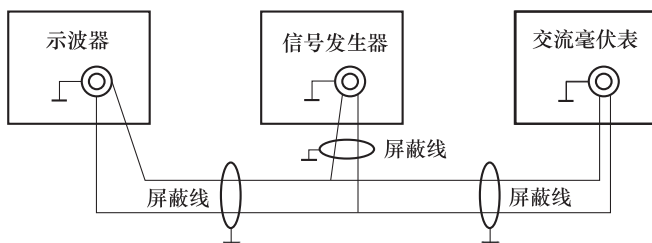


图 1-7-1 仪器连接图

(1) 电子示波器是一种图形测量仪器，可定量测出电信号的波形参数，从荧光屏的 Y 轴刻度尺并结合其量程分档选择开关（Y 轴输入电压灵敏度 V/div 分档选择开关）读得电信号的幅值。若 V/div 开关的挡位指示值用 P (V/div) 表示，Y 轴方向的高度（波峰与波谷垂直距离）格数用 H (div) 表示，则

$$U_{\text{PP}} = H (\text{div}) \times P (V/\text{div})$$

从荧光屏的 X 轴刻度尺并结合其量程分档选择开关（时间扫描速度 t/div 分

档选择开关)，读得电信号的周期、脉宽、相位差等参数。若 t/div 开关的挡位指示值用 $D(t/\text{div})$ 表示， X 轴方向一个周期的格数用 $X(\text{div})$ 表示，周期用 t 表示，则

$$t = X(\text{div}) \times D(t/\text{div})$$

本实验所用的是一台双踪示波器，可以同时观察和测量两组信号波形。版面操作图见附录 II。

(2) 信号发生器可以用来产生不同频率、不同幅值的正弦信号、方波信号、三角波信号等。本实验台提供频率范围为 $0.2\text{Hz} \sim 2\text{MHz}$ 、幅值可在 $0 \sim 20\text{V}$ 连续可调的正弦信号、方波信号、三角波信号。版面操作图见附录 II。

(3) 交流毫伏表能在其工作频率范围内，测量正弦交流电压的有效值。为了防止过量程而损坏，测量前应先把量程开关置于量程较大的挡位，然后在测量中逐渐减小量程挡。

三、实验设备与器材

- (1) 信号发生器；
- (2) 示波器；
- (3) 交流毫伏表；
- (4) 万用表。

四、实验内容与步骤

1. 熟悉示波器和信号发生器的各主要开关和旋钮的作用。

(1) 示波器置于自动工作方式，接通电源并经预热以后，在示波器的荧光屏上调出一条水平扫描亮线来。分别旋动“聚焦”、“辅助聚焦”、“辉度”、“光迹旋转”、“垂直位移”、“水平位移”等旋钮，体会这些旋钮的作用和对水平扫描线的影响。完成表 1-7-1 内容。

(2) 双踪示波器的自检：将示波器面板部分的“校准信号”接口，通过信号电缆接至示波器的 Y 轴输入接口 CH1 或 CH2 ，同时调节对应的开关旋钮应与 CH1 或 CH2 保持一致，使在荧光屏上显示出线条细而清晰、亮度适中的方波波形，将时间扫描旋钮及幅值扫描旋钮调到“校准”位置，从荧光屏上读出该信号的频率和幅值，并与标准称值作比较。

2. 信号发生器的调节。

调节信号发生器，使输出端得到表 1-7-2 给定的正弦信号，用示波器测量其幅值和频率，用交流毫伏表测量其有效值，完成表 1-7-2 测量要求。注：表 1-7-1 和表 1-7-2 可以统一起来一并操作完成。



表 1-7-1

f/Hz	测量 值/V	示波器												
		垂直轴向					水平轴向		触发		探头 衰减	计算电压值		计算 周期 T 值
		工作	输入	耦合	V/div	峰-峰距	t/div	每周期	触发	耦合		峰-峰	有效	
		方式	通道	方式	校准	离格数	校准	的格数	源	方式		值计算	值计算	
100	5													
500	5													
1500	1													
2500	0.01													

表 1-7-2

信号源					交流毫伏表		
f/Hz	屏显	频率范围	波形	输出衰减	测量值/V	量程	指针刻度数
100				0dB	5		
500					5		
1500					1		
2500					0.010		
信号源地线与毫伏表的地线共接吗? (_____)							

3. 用示波器测量直流电压

首先显示出“水平时基线”，选定基线位置（使用哪些功能键），根据所测量电压值选取合适的垂直偏向灵敏度（校准否）及符合直流测量的示波器输入耦合方式。测量结果填入表 1-7-3 中。

表 1-7-3

直流电压/V	示波器		计算
	V/div	div (格数)	
20			
12			
5			
2			

五、实验注意事项

(1) 在大致了解示波器、信号发生器的使用方法以及各旋钮和开关的作用之后，再动手操作。使用这些仪器时，旋动各旋钮和开关不要用力过猛。

(2) 用示波器观察信号发生器的波形时，两台仪器的公共地线要接在一起，以免引进干扰信号。

六、预习与思考题

- (1) 怎样用示波器测量信号的峰-峰值？
- (2) 用示波器所测的周期、有效值与信号源输出值进行比较。

七、实验报告要求

- (1) 记录用示波器测得的各个波形，标明被测信号的幅值和频率等。
- (2) 总结用示波器测量信号电压的幅值、频率的步骤和方法。
- (3) 回答思考题。



实验八 单管交流电压放大电路

一、实验目的

- (1) 学习晶体管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，深入理解放大器的工作原理。
- (2) 观察偏置电阻的变化对静态工作点及输出波形的影响。
- (3) 学习测量放大器的电压放大倍数，并了解负载电阻的变化对放大倍数的影响。

二、实验原理说明

图 1-8-1 所示是单管交流放大电路原理图。其主要任务是不失真地对输入信号进行放大，为了使放大电路能够正常工作，必须设置合适的静态工作点 Q 。

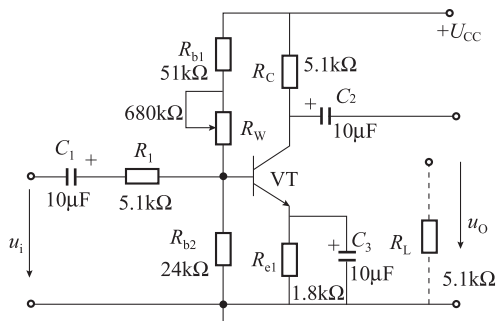


图 1-8-1 单管交流放大电路图

所谓静态工作点是指放大器在静态（无输入信号）时，晶体管各极的直流量，即 I_B 、 I_C 、 I_E 、 U_B 、 U_C ，它们可以用万用表的直流挡进行测量。这些量是互相关联的，在已确定的电路中，可以只测量电压 U_C 和 U_B ，再根据有关参数 (R_C 、 β) 求得 I_C 、 I_B 。

如果设置的静态工作点不合适（如图 1-8-2 中的 Q_2 和 Q_3 点），则在输入信号稍大时，会使输出信号产生非线性失真。当工作点过高时，易产生饱和失

真；工作点过低时，易产生截止失真。

放大电路的静态工作点通常利用偏置电路来建立。当电路中的 R_C 和 U_{CC} 确定之后，工作点的调整主要通过调节偏置电路的电阻值来实现。在图 1-8-1 所示的固定偏置放大电路中，工作点的调整通过调节 R_W 值实现。一般要求是：信号幅度较小时，在保证输出信号不失真的条件下，选择较低的静态工作点，以降低放大器的噪声和减少电源的能量损耗。输入信号较大时，工作点适当提高，直至负载线的中点。

放大器的放大倍数 A_U 为输出电压 u_o 与输入电压的比值 u_i ，即

$$A_U = \left| \frac{u_o}{u_i} \right|$$

测量输出电压 u_o 与输入电压 u_i 时需要用晶体管毫伏表，需要特别注意的是：测量 u_o 时要用示波器监视输出电压 u_o 的波形，只有在保证输出信号不失真的条件下测得的 u_o 才有意义。

三、实验设备与器材

- (1) 信号发生器；
- (2) 示波器；
- (3) 毫伏表；
- (4) 数字万用表；
- (5) 模拟实验台。

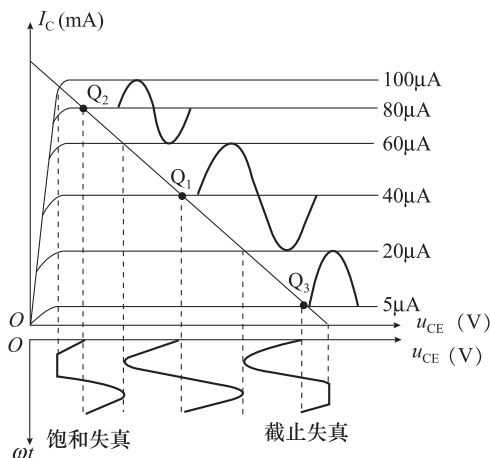


图 1-8-2 输出特性及输出波形图

四、实验内容与步骤

- (1) 测量并计算静态工作点、输入电阻和输出电阻。
- ①按图 1-8-1 接线。



② U_{CC} 接+12V电源,调节电位器 R_W ,使 U_C 的变化范围为6~7V,用数字万用表直流挡分别测量静态工作点 U_B , U_E , U_C 的数值,然后按下式计算静态工作点 I_B , I_C 的数值。数据记录在表1-8-1中。

$$I_C = \frac{U_{CC} - U_C}{R_C} \quad I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

表 1-8-1

调整 R_W	测量			计算	
U_C/V	U_B/V	U_E/V	U_{BE}/V	$I_B/\mu A$	I_C/mA

(2) 测量放大倍数,并观察 R_W 的改变对放大倍数 A_U 及输出波形的影响。

①由函数信号发生器输入 $U_i=20mV$,频率 $f=1kHz$ 的正弦交流信号,用示波器观察输出波形,并用毫伏表测量 U_o 电压,并计算 A_U 的数值。记入表1-8-2中。

②增大 R_W 的阻值,用示波器观察输出电压的变化,在输出电压波形出现明显失真时,测量 U_C , U_E , U_B 及输出电压 u_o ,并计算 A_U 的数值。记入表1-8-2中。

③减小 R_W 的阻值,用示波器观察输出电压的变化,在输出电压波形出现明显失真时,测量 U_C , U_E , U_B 及输出电压 u_o ,并计算 A_U 的数值。记入表1-8-2中。

(3) 观察 R_L 对电压放大倍数的影响。

接入负载 $R_L=5.1k\Omega$,用示波器观察输出波形,并与不接 R_L 时的输出波形进行比较,测量 U_C , U_E , U_B 及输出电压 u_o ,并计算 A_U 的数值。记入表1-8-2中。

表 1-8-2

电路参数		测量数据					计算值	输出 波形	何种 失真
$R_L/k\Omega$	R_W	U_i/mV	U_B/V	U_E/V	U_C/V	U_o/V	A_U		
不接	正常							图一	
不接	R_W 增大							图二	
不接	R_W 减小							图三	
5.1	正常							图四	
图一		图二			图三		图四		

五、实验注意事项

- (1) 测量 u_o 时要用示波器监视输出电压 u_o 的波形，只有在保证输出电压不失真的条件下测得的 u_o 才有意义。
- (2) 测量仪器保证共地线连接。

六、预习与思考题

- (1) 熟悉单管放大电路，掌握不失真放大的条件，了解饱和失真、截止失真和双向失真的形成与波形。
- (2) 了解负载变化对放大倍数的影响，掌握消除失真的方法。

七、实验报告要求

- (1) 整理实验数据，将测量数据填入表中，并按要求进行计算。
- (2) 分析输入电压和输出电压的测试方法。
- (3) 总结电路参数变化对静态工作点和电压放大倍数的影响，以及静态工作点对放大器输出波形的影响。



实验九 集成运算放大器的线性应用

一、实验目的

- (1) 掌握运算放大器的调零及实验实物连接方法。
- (2) 进一步加深理解运算放大电路的基本运算性能。

二、实验原理说明

(1) 运算放大器的开环放大倍数 A_{UO} ，差模输入电阻 r_{id} ，共模抑制比 K_{CMR} 均很大，线性应用的运放器应工作于引入深度负反馈的闭环状态，且有如下特点：

- ① 运放同相输入端与反相输入端的电位相等（“虚短”）。
- ② 运放的输入电流等于零（“虚断”）。

(2) 常用的运放的运算方式有比例运算（反比例、同比例和差动比例），积分、微分运算，对数、反对数运算，乘法和除法运算等。

- ① 反比例运算电路如图 1-9-1 所示，其运算关系为：

$$U_o = -\frac{R_f}{R_1} U_i$$

- ② 同比例运算电路如图 1-9-2 所示。其运算关系为：

$$U_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) U_i$$

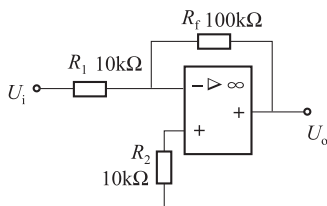


图 1-9-1 反比例运算电路

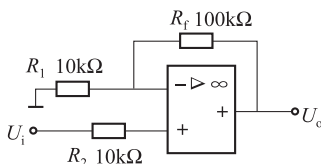


图 1-9-2 同比例运算电路

- ③ 反相加法运算电路如图 1-9-3 所示。其运算关系为：

$$U_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}U_{i_1} + \frac{R_f}{R_2}U_{i_2}\right)$$

当 $R_f = R_1 = R_2$ 时, $U_o = -(U_{i_1} + U_{i_2})$ 。

④减法运算电路如图 1-9-4 所示。其运算关系为:

$$U_o = \left(\frac{R_3}{R_3 + R_2}\right)\left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)U_{i_2} - \frac{R_f}{R_1}U_{i_1}$$

当 $R_f = R_1 = R_2 = R_3$ 时, $U_o = U_{i_2} - U_{i_1}$ 。

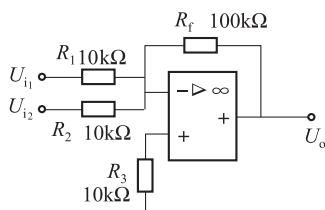


图 1-9-3 反相加法运算电路

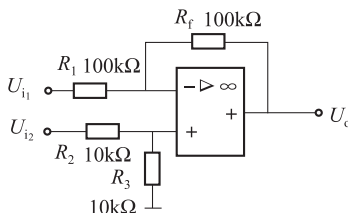


图 1-9-4 减法运算电路

⑤积分运算电路如图 1-9-5 所示。其运算关系为:

$$U_o = -\frac{1}{R_1 C_f} \int U_i dt$$

⑥微分运算电路如图 1-9-6 所示。其运算关系为:

$$U_o = -R_f C_1 \frac{dU_i}{dt}$$

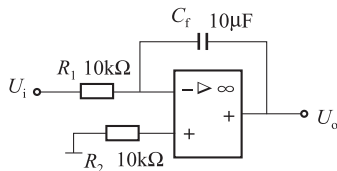


图 1-9-5 积分运算电路

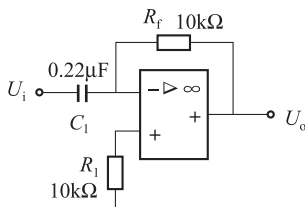


图 1-9-6 微分运算电路

三、实验设备与器材

- (1) 示波器;
- (2) 数字万用表;
- (3) 信号发生器;
- (4) 模拟实验箱。

四、实验内容与步骤

1. 调零

按图 1-9-7 接线, 接通 ±12V 电源后, 调节调零电位器 R_w , 使输出 $U_o = 0$



(小于 $\pm 10\text{mV}$) (注：电源正负极性不能接反)。

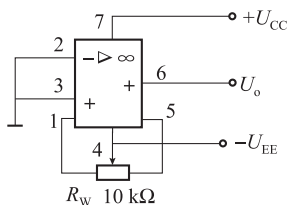


图 1-9-7 调零电路图

2. 反比例运算

电路如图 1-9-1 所示，从输入端输入表 1-9-1 给定的直流电压 U_i 值，分别计算和测量对应的 U_o 值，并计算出 A_U ，将计算结果和测量数据填入表中。

表 1-9-1

输入直流电压 U_i/V	0. 2	0. 3	0. 4	0. 5
理论计算值 U_o/V				
实验测量值 U_o/V				
实际放大倍数 A_U				

3. 同比例运算

电路如图 1-9-2 所示，从输入端输入表 1-9-2 给定的直流电压 U_i 值，分别计算和测量对应的 U_o 值，并计算出 A_U ，将计算结果和测量数据填入表中。

表 1-9-2

输入直流电压 U_i/V	0. 2	0. 3	0. 4	0. 5
理论计算值 U_o/V				
实验测量值 U_o/V				
实际放大倍数 A_U				

4. 加法运算

如图 1-9-3 所示，从反相输入端输入两个表 1-9-3 给定的直流电压 U_{i_1} ， U_{i_2} 值，分别计算和测量对应的 U_o 值，并将计算结果和测量数据填入表 1-9-3。

5. 减法运算

如图 1-9-4 所示，从反相输入端、同相输入端同时输入表 1-9-3 给定的直流电压 U_{i_1} ， U_{i_2} 值，分别计算和测量对应的 U_o 值，并将计算结果和测量数据填入表 1-9-3 中。

表 1-9-3

加法器运算					减法器运算		
输入	反相输入	U_{i_1} (V)	-0.4	+0.2	反相输入 U_{i_1} (V)	+0.3	-0.2
		U_{i_2} (V)	-0.5	+0.3	同相输入 U_{i_2} (V)	+0.4	-0.5
输出	实验测量值 U_o (V)				实验测量值 U_o (V)		
	理论计算值 U_o (V)				理论计算值 U_o (V)		

6. 积分电路

如图 1-9-5 所示，从输入端输入 $f=1\text{kHz}$ ， $U_{\text{im}}=0.5\text{V}$ 的方波信号，用示波器观察 u_i 与 u_o 的波形，将测量的波形和数据记入表 1-9-4 中。

7. 微分电路

如图 1-9-6 所示，从输入端输入 $f=1\text{kHz}$ ， $U_{\text{im}}=0.5\text{V}$ 的方波信号，用示波器观察 u_i 与 u_o 的波形，将测量的波形和数据记入表 1-9-4 中。

表 1-9-4

电路类型	输入	u_i 波形	u_o 波形
积分电路	方波 $U_{\text{im}}=0.5\text{V}$ $f=1\text{kHz}$		
微分电路	方波 $U_{\text{im}}=0.5\text{V}$ $f=1\text{kHz}$		

五、注意事项

- (1) 注意地线的连接。
- (2) 注意 $\mu\text{A}741$ 的调零。

六、预习与思考题

- (1) 了解运算放大器 $\mu\text{A}741$ 的外部接线。
- (2) 实验中若正负电源接反后出现什么现象？
- (3) 若输出端短路是否会损坏运算放大器？为什么？

七、实验报告要求

- (1) 整理并计算数据，并与理论值进行比较。
- (2) 分析各运算关系。



实验十 二极管整流及并联稳压电路

一、实验目的

- (1) 掌握单相桥式整流、电容滤波及硅稳压管并联稳压电路的接线。
- (2) 了解桥式全波整流器整流及电容滤波的基本特性。
- (3) 研究稳压管稳压电路的稳压原理。

二、实验原理说明

1. 变压器电路

将电网 220V (或 380V) 交流电源通过变压器变换为符合整流需要的电压, u_1 波形如图 1-10-1 (a) 所示。

2. 桥式整流电路

利用二极管的单向导电性, 将正弦交流电压整流为单方向脉动电压, u_2 波形如图 1-10-1 (b) 所示。

单相全波和单相桥式整流电路在不接滤波电容时, 整流后电压平均值为: $U_2 = 0.9U_1$ 。

3. 滤波电路

实验中利用电容器两端电压不能突变的特性, 采用一个电解电容器将 u_2 波形变成一个类似锯齿波的直流信号, 波形如图 1-10-1 (c) 所示的波形, 其脉动成分大大减小。

采用电容滤波时, 输出电压的脉动程度与电容器的放电时间常数 $R_L C$ 有关系。 $R_L C$ 大一些, 脉动就小一些。为了得到比较平直的输出电压, 一般要求 $R_L C \geq (3 \sim 5)T/2$ 。对于单相桥式整流电路, 当 $R_L C = (3 \sim 5)T/2$ 时, $U'_2 = (1.1 \sim 1.2)U_1$ 。

4. 电压电路

稳压电路由一个稳压二极管 D_Z 和限流电阻 R 组成。稳压管工作在反向击穿区, 在允许的电流范围内, 稳压管两端电压将基本保持稳定, 使 $U_o = U_Z$ 。接入滤波电容后波形如图 1-10-1 (d) 所示, 断开滤波电容后波形如图 1-10-1 (e) 所示。

① R_L 不变而交流电网电压 U_1 增加时, 其稳压原理如下:

$$U_1 \uparrow \rightarrow U_o \uparrow \rightarrow I_Z \uparrow \rightarrow I_R \uparrow \quad (I_R = I_Z + I_L) \rightarrow U_R \uparrow \rightarrow U_o \downarrow \quad (U_o = U_1 - U_R)$$

②当电网电压 U 不变而负载电阻 R_L 减小 (即 I_L 增加) 时, 其稳压原理如下:

$$R_L \downarrow \quad (I_L \uparrow) \rightarrow U_o \downarrow \rightarrow I_Z \downarrow \rightarrow I_R \downarrow \rightarrow U_R \downarrow \rightarrow U_o \uparrow \quad (U_o = U_1 - U_R)$$

当 R_L 继续减小时, 由于流入 R_L 的电流 I_L 增大而使 I_Z 减小, 如果当 I_L 增大到使 $I_Z \leq I_{zmin}$ 时稳压管将失去稳压作用。

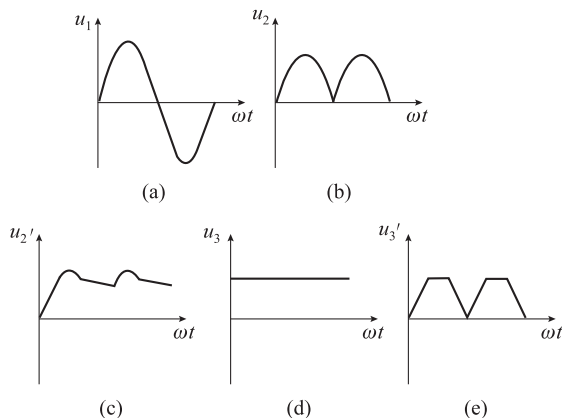


图 1-10-1 整流滤波稳压波形图

三、实验设备与器材

- (1) 示波器;
- (2) 毫伏表;
- (3) 万用表;
- (4) 稳压电路板。

四、实验内容与步骤

- (1) 按图 1-10-2 连接电路。

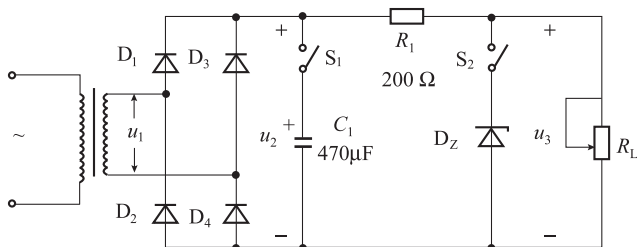


图 1-10-2 二极管整流电路原理图



(2) 断开 S_1 、 S_2 ，即将电容、稳压二极管断开，用示波器观察输入与整流后的各个波形，并记录。测量 U_1 的有效值和 U_2 、 U_3 、 I_L 的平均值。将数据填入表 1-10-1（验证 $U_2=0.9 U_1$ ）。

表 1-10-1

	U_1 (V)	U_2 (V)	U_3 (V)	I_L (mA)	u_1 波形	u_2 波形	u_3 波形
断开 S_1 、断开 S_2							
闭合 S_1 、断开 S_2							
闭合 S_1 S_2							

(3) 闭合 S_1 、断开 S_2 ，即闭合电容、断开稳压二极管，用示波器观察输入与整流后的各个波形，并记录。测量 U_1 的有效值和 U_2 、 U_3 、 I_L 的平均值。将数据填入表 1-10-1（验证 $U_2=1.1 U_1$ ）。

(4) 闭合 S_1 、 S_2 ，即将电容、稳压二极管闭合，用示波器观察输入与整流后的各个波形，并记录。测量 U_1 的有效值和 U_2 、 U_3 、 I_L 的平均值。将数据填入表 1-10-1 中。

(5) 上述电路不动，闭合 S_1 、 S_2 ，调节 R_L 同时观察 u_3 波形和毫安表读数变化情况，直至使波形刚好出现锯齿波，此时稳压管已失去稳压效果，记下此时毫安表读数 $I_{L\max} = \underline{\hspace{2cm}}$ mA，则可计算出该电路的最大带负载能力， $R_{L\min} = \underline{\hspace{2cm}}$ k Ω 。

五、实验注意事项

- (1) 观察直流信号时必须将示波器输入选择开关置于 DC 位置上。
- (2) 在连接桥式整流电路时，注意二极管的方向。

六、预习与思考题

- (1) 简述桥式整流器的工作原理及整流输出波形。
- (2) 简述稳压二极管的工作特性。
- (3) 试分析稳压二极管在断路或击穿时会出现什么故障？

七、实验报告要求

- (1) 整理实验数据，画出图形及相应表格。
- (2) 说明滤波电容 C 的作用。

实验十一 集成功放电路及其应用

一、实验目的

- (1) 进一步了解功率放大器的特点和应用。
- (2) 了解集成功放的工作原理及特性和使用方法。
- (3) 掌握功率放大器的性能参数及主要指标的测量方法。

二、实验原理说明

集成功放与分立晶体管功放比较，不仅体积小、重量轻、成本低、外接元件少、调试简单、使用方便，且稳定性好、功耗低、电源利用率高、失真小，其中的过流保护、过压保护、消噪电路等可靠性高。

目前国内外的集成功率放大器有许多，常见的有 LM386、LM1875、SL36 等。LM386 的管脚排列如图 1-11-1 所示。其额定工作电压范围为 4~16V，最大允许功耗为 660mW (25℃)，使用时不需散热片。电路的频响范围较宽，可达数百千赫。LM386 有两个信号输入端，当信号从 2 脚输入时，构成反相放大器，从 3 脚输入时，构成正相放大器。每个输入端的输入阻抗都为 50kΩ。1 脚和 8 脚之间电容元件以调整电路的电压增益，6 脚接电源，4 脚接地，5 脚为输出端。

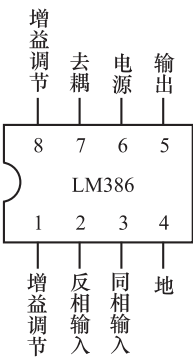


图 1-11-1 管脚排列图



三、实验设备与器材

- (1) 示波器；
- (2) 信号发生器；
- (3) 万用表；
- (4) 晶体管毫伏表；
- (5) 实验电路板。

四、实验内容与步骤

- (1) 按图 1-11-2 所示连接电路并仔细检查，经老师检查后方可通电。

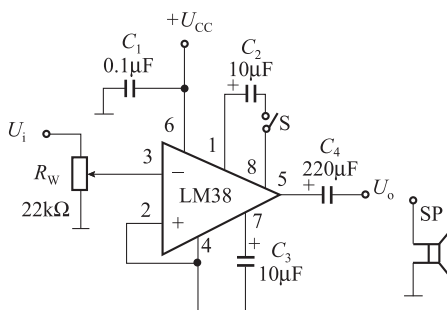


图 1-11-2 集成功放电路原理图

- (2) 测量输出功率参数，并将数据填入表 1-11-1 中。

①接 $R_L = 4\Omega$, $U_{CC} = 9V$, 在输入端输入 $f = 1kHz$, $U_i = 50mV$ 左右的正弦波。调节输入信号幅度，并用示波器观察输出波形直到最大不失真为止，用示波器读出此时输出电压 U_{omax} ，则

$$P_{omax} = U_{omax}^2 / R_L$$

- ②用万用表测出此时电源的工作电流 I_{Emax} ，则电源功率为

$$P_E = U_{CC} \cdot I_{Emax}$$

- ③计算出集成功放的效率： $\eta = P_{omax} / P_E$ 。

- (3) 将负载换成 $R_L = 8\Omega$ ，再测试 P_{omax} 、 P_E 、 η ，将数据填入表 1-11-1 中。

(4) 保持负载 $R_L = 8\Omega$ ，改变电源电压 U_{CC} 的大小，使其分别为 6V、4V，再测试 P_{omax} 、 P_E 、 η ，将数据填入表 1-11-1 中。

表 1-11-1

U_{CC} (V)	R_L (Ω)	P_{omax}	P_E	η
9	4			
9	8			
6	8			
4	8			

五、实验注意事项

- (1) 电源电压不能超过额定电压。
- (2) 输出电容极性不能接错。

六、预习与思考题

- (1) 当电容 C_4 损坏后，试分析会产生什么现象？
- (2) 分析负载和电源电压改变时对输出功率和效率的影响。

七、实验报告要求

- (1) 根据实验测量值，计算各种情况下 P_{omax} 、 P_E 、 η 。
- (2) 大致画出电源电压与输出电压、输出功率的关系曲线。