



安徽信息工程学院  
Anhui Institute of Information Technology

# 《电路分析实验》 自编讲义

电气与电子工程学院实验中心编

2023年02月

# 前 言

《电路分析实验》讲义是在电路理论课程的基础上进行编写的，紧紧围绕电路基础知识，由浅入深的进行实践验证，加深学生对理论知识的理解。

如今我们祖国正在向第二个百年征程迈进，更加注重培养应用型人才，因此实践课程至关重要，可以进一步启发学生的创造性，强化学生的实践能力。将理论与实践相结合，才能培养出更强、更突出、更为社会需要的人才。

本实验讲义包含八个基础实验，实验一介绍常用电子仪器的使用；实验二~实验四为验证性实验，注重培养学生对基础理论的理解；实验五~实验八主要是对一些电路特性等的测量，加深学生对电路元件性能的理解，同时加强学生对仪器的使用。

对讲义内容若有不同观点可提出探讨，如有不足之处，恳请批评指正。

# 目 录

绪论.....	II
实验一 常用电子仪器的使用.....	1
实验二 电位、电压的测定及基尔霍夫定律的验证.....	7
实验三 叠加原理的验证.....	10
实验四 戴维南定理和诺顿定理的验证.....	13
实验五 RC 一阶电路的响应测试.....	19
实验六 R、L、C 元件阻抗特性的测定.....	23
实验七 RLC 串联谐振电路的测试.....	26
实验八 三相电路电压、电流、功率的测试.....	30

# 绪论

## 一、实验课的学习要求

实验课的学习有别于理论。因此，掌握一个好的学习方法，养成良好的习惯是很有必要的。实验课和其他理论课相比，有着自己的特殊性。实验课除了面对课堂和书本外，还要面对各种各样的仪器。要想完成实验任务，需要了解这些仪器的功能、特点，熟悉其操作规程，掌握正确的使用方法。因此，学生要多接触仪器，通过实际操作，掌握各种仪器的实验方法和技巧。我们的实验都是1人1组，且可提供基本的电子元器件、材料和焊接工具，给学生的训练带来了很多的方便。在学习过程中要求做到以下几个方面：

- 1.不要缺勤、迟到；
- 2.要做到手勤、脑勤，既动手又动脑，避免盲目操作；
- 3.实验中要胆大心细，认真操作，积累经验；
- 4.认真对待实验课的各个教学环节，养成良好的实验习惯；
- 5.遵守实验室的一切规章制度，自觉维护实验秩序，形成一个良好的实验环境。

## 二、本课程与理论课的联系与区别

“电路分析实验”与“电路”有着密切的联系。后者是前者的理论基础，一般是先修的。两者的逻辑思维方式、处理问题的方法和解决问题的手段有很大的区别。一般情况下理论课采用的思维方式、研究对象，是探讨问题在理论上的可行性及解决问题的方法，往往是把一个复杂的问题理想化、抽象化，突出主要矛盾，忽略次要矛盾，解决问题多以数学为工具。实验课采用的思维方式、研究对象，则是如何把一个成熟的理论、一个设计方案付诸实施，注重

的是系统的实用性、可靠性等。解决问题的工具是各种仪器设备，目前更关注的是利用实验手段来分析问题和解决问题的过程和方法。

### 三、实验课的学习方法

实验课的学习一般分为三个环节：课前预习、课上操作、课后总结，每一个环节都有明确的任务和目的。

#### 1. 课前预习

预习就是要清楚实验内容、实验方法、实验目的和实验要求等，从而进一步制定出实验方案、实验步骤、记录数据的表格，还要通过理论分析、仿真，对实验结果做到心中有数，以便在实验中能及时发现问题，保证实验结果的正确性及理论与实际之间的“一致性”。预习的充分与否直接影响实验的成功与否以及实验结果的正确性。除要课前仿真外，提倡学生在课余时间到实验室提前预做实验。

#### 2. 课堂操作

课上操作是把预定的实验方案付诸实施的过程。在实验过程中，要做到脑勤、手勤，善于发现问题、思考问题并解决问题，对实验的各种测量数据都要详细记录。学生要认识到：课上完成某一实验内容只是一种手段，提高动手能力，增强工程能力，培养善于发现问题及思考问题的习惯，锻炼应变能力才是目的。

#### 3. 课后总结

课后总结主要是以实验报告的形式给出。要做的具体工作是：明确实验目的，掌握实验方法原理，对原始测量数据进行整理，对实验结果进行分析，对实验方法进行归纳改进，找出实验成功的、失败的原因。因此，课后总结，写好实验报告，是一个非常重要的环节。

# 实验一 常用电子仪器的使用

## 一、实验目的

1、学习电子电路实验中常用的电子仪器——示波器、函数信号发生器、直流稳压电源、交流毫伏表、等的主要技术指标、性能及正确使用方法。

2、初步掌握用双踪示波器观察正弦信号波形和读取波形参数的方法。

## 二、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、交流毫伏表等。它们和万用表一起，可以完成对电子电路工作情况的测试。

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 1-1 所示。接线时应注意，为防止外界干扰，各仪器的公共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。

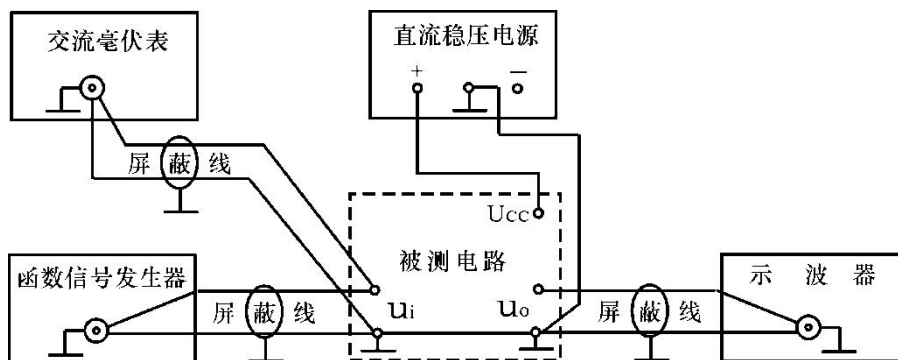


图1-1 电子电路中常用电子仪器布局图

## 1、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。现着重指出下列几点：

### 1) 寻找扫描光迹

将示波器Y轴显示方式置“Y<sub>1</sub>”或“Y<sub>2</sub>”，输入耦合方式置“GND”，开机预热后，若在显示屏上不出现光点和扫描基线，可按下列操作去找到扫描线：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“Y<sub>1</sub>”、“Y<sub>2</sub>”、“Y<sub>1</sub>+Y<sub>2</sub>”三种单踪显示方式和“交替”和“断续”二种双踪显示方式。“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。

有时，由于选择了较慢的扫描速率，显示屏上将会出现闪烁的光迹，但被测信号的波形不在X轴方向左右移动，这样的现象仍属于稳定显示。

5) 适当调节“扫描速率”开关及“Y轴灵敏度”开关使屏幕上

显示一~二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）与“Y轴灵敏度”开关指示值（v/div）的乘积，即可算得信号幅值的实测值。

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）与“扫速”开关指示值（t/div）的乘积，即可算得信号频率的实测值。

## 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，可使输出电压在毫伏级到伏级范围内连续调节。函数信号发生器的输出信号频率可以通过频率分档开关进行调节。

函数信号发生器作为信号源，它的输出端不允许短路。

## 3、交流毫伏表

交流毫伏表只能在其工作频率范围之内，用来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，然后在测量中逐档减小量程。

## 三、实验仪器

- |           |          |
|-----------|----------|
| 1、函数信号发生器 | 2、双踪示波器  |
| 3、交流毫伏表   | 4、程控直流电源 |
| 5、数字万用表   |          |



## 四、实验内容

1、用机内校正信号对示波器进行自检，熟悉光标测量方法。

### 1) 扫描基线调节

将示波器的显示方式开关置于“单踪”显示 ( $Y_1$ 或 $Y_2$ )，输入耦合方式开关置“GND”，触发方式开关置于“自动”。开启电源开关后，调节“辉度”、“聚焦”、“辅助聚焦”等旋钮，使荧光屏上显示一条细而且亮度适中的扫描基线。然后调节“X轴位移” ( ) 和“Y轴位移” ( ) 旋钮，使扫描线位于屏幕中央，并且能上下左右移动自如。

### 2) 测试“校正信号”波形的幅度、频率

将示波器的“校正信号”通过专用电缆线引入选定的Y通道 ( $Y_1$ 或 $Y_2$ )，将Y轴输入耦合方式开关置于“AC”或“DC”，触发源选择开关置“内”，内触发源选择开关置“ $Y_1$ ”或“ $Y_2$ ”。调节X轴“扫描速率”开关 ( $t/div$ ) 和Y轴“输入灵敏度”开关 ( $V/div$ )，使示波器显示屏上显示出一个或数个周期稳定的方波波形。

#### a.校准“校正信号”幅度

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，记入表1-1。

表1-1

	标准值	实测值
幅度 $U_{p-p}(V)$	3	
频率 $f(KHz)$	1	

注：不同型号示波器标准值有所不同，请按所使用示波器将标准值填入表格中。

b.校准“校正信号”频率

将“扫速微调”旋钮置“校准”位置，“扫速”开关置适当位置，读取校正信号频率，记入表1-1。

2、用示波器和交流毫伏表测量信号参数

调节函数信号发生器有关旋钮，使输出频率分别为100Hz、1KHz、10KHz、100KHz。测量峰峰值的同时，并计算相对误差（相对误差 =  $\frac{\text{测量值}-\text{真值}}{\text{真值}} \times 100\%$ ），填入表1-2中。

改变示波器“扫速”开关及“Y轴灵敏度”开关等位置，测量信号源输出电压频率及峰峰值，记入表1-2。

表1-2

信号源输出电压有效值 (V) 注：真值	信号电压频率	示波器测量值				信号电压毫伏表读数 (V) 注：测量值	相对误差
		周期 (us)	频率 (KHz)	峰峰值 (V)	有效值 (V)		
1V	100Hz						
2V	1KHz						
3V	10KHz						
4V	100KHz						

3、直流电压的输出与测量

a.程控直流电源第一路输出 2v 电压，第二路输出 4v 电压，用万用表测量；

b.改变万用表（VC97）的直流电压档的量程（按 RANGE 键），测量 2v、4v 直流电压，使其小数点后的显示位数分别为 3 位，2 位和 1 位，并记录在表 1-3 中。学会根据测量精度要求，选择合适的测量量程。

表1-3

	程控直流电源 输出标准值	万用表实测值		
		小数点 3 位	小数点 2 位	小数点 1 位
一路输出	2V			
二路输出	4V			

## 五、思考题

- 1、整理实验数据，并进行分析。
- 2、如何操纵示波器有关旋钮，以便从示波器显示屏上观察到稳定、清晰的波形？
- 3、函数信号发生器有哪几种输出波形？它的输出端能否短接，如用屏蔽线作为输出引线，则屏蔽层一端应该接在哪个接线柱上？
- 4、交流毫伏表是用来测量正弦波电压还是非正弦波电压？它是否可以用来测量直流电压的大小？

# 实验二 电位、电压的测定及基尔霍夫定律的验证

## 一、实验目的

- (1) 验证电路中电位的相对性、电压的绝对性。
- (2) 加深对参考方向的理解。
- (3) 验证基尔霍夫定律，加深对基尔霍夫定律的理解。

## 二、实验原理

(1) 由于电流和电压的实际方向可能是未知的，因此在计算某个元件或部分电路的电流或电压时，有必要指定电流或电压的参考方向。若参考方向与实际方向一致记为正；则参考方向与实际方向相反记为负。

(2) 在一个闭合回路中，各点的电位会因参考点的不同发生变化，而任意两点间的电压则是绝对的，不会因参考点的不同发生变化。

(3) 基尔霍夫定律包括基尔霍夫电流定律（KCL）和基尔霍夫电压定律（KVL）。即对电路中的任一节点而言 $\sum I = 0$ ；对任一闭合回路而言 $\sum U = 0$ 。

## 三、实验仪器

序号	名称	型号与规格	数量
1	程控直流电源	两路 30V/3A、一路 5V/3A 可调	1
2	数字万用表		1
3	基尔霍夫定律实验电路板		1

## 四、实验内容

实验电路如图 2-1 所示。

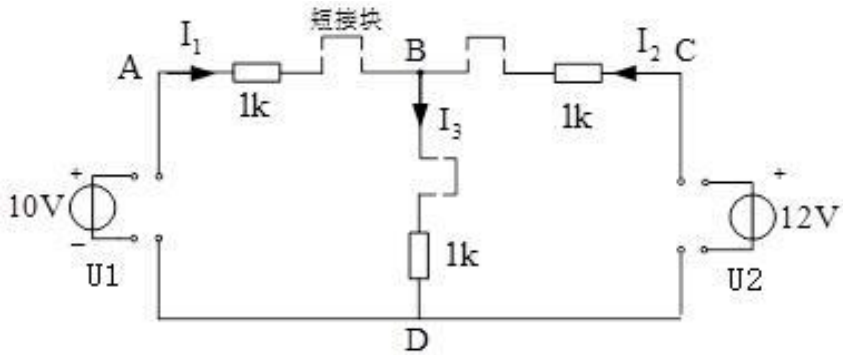


图2-1 原理图

- 1、分别将两路直流稳压电源接入电路，令  $U_1=10V$ ， $U_2=12V$ 。  
(先调准输出电压值，再接入实验线路中。)
- 2、以图中的 B 点作为电位的参考点，分别测量 A、B、C、D 各点的电位值  $\varphi$  及相邻两点之间的电压值  $U_{AB}$ 、 $U_{BC}$ 、 $U_{BD}$ ，数据列于表 2-1 中。
- 3、以 D 点作为参考点，重复实验内容 2 的测量，测得数据列于表 2-1 中。

表2-1

电位参考点	$\varphi$ 与 U	$\varphi_A$	$\varphi_B$	$\varphi_C$	$\varphi_D$	$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{BD}$
B	仿真值							
	测量值							
D	仿真值							
	测量值							

#### 4、基尔霍夫定律的验证

根据图 2-1 的电路参数，计算并测量电流  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  及相邻两点之间的电压值，并记入表 2-2 中。

表2-2

被测量	$I_1$ (mA)	$I_2$ (mA)	$I_3$ (mA)	$U_1$ (V)	$U_2$ (V)	$U_{AB}$ (V)	$U_{BC}$ (V)	$U_{BD}$ (V)
仿真值								
测量值								

### 五、实验注意事项

1、测量电位时，用数字式万用表的直流电压档，用负表棒（黑色）接参考电位点，用正表棒（红色）接被测各点。若数显表显示正值，则表明该点电位为正（即高于参考点电位）；若数显表显示负值，则表明该点电位为负（表明该点电位低于参考点电位）。

2、所有需要测量的电压值，均以万用表的直流电压档测量的读数为准。 $U_1$ 、 $U_2$  也需测量，不应取电源本身的显示值。

3、当数字万用表做直流毫安表测电流时禁止并联在电路中，若并联在电路中，由于此时万用表的内阻很小，普通保险丝将会熔断，本实验万用表采用自恢复保险丝，当电流过大保险丝阻值增大，电流瞬间下降，起到保护作用。

### 六、思考题

(1) 分别以 A、C 点作为参考点，重复实验内容 2 的测量，并比较参考点不同，电压和电位有何变化？

电位参考点	$\varphi$ 与 U	$\varphi_A$	$\varphi_B$	$\varphi_C$	$\varphi_D$	$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{BD}$
A	测量值							
C	测量值							

(2) 根据实验数据，选定节点 B，验证 KCL 的正确性。

(3) 根据实验数据，选定实验电路中的 ABDA 闭合回路，验证 KVL 的正确性。

# 实验三 叠加原理的验证

## 一、实验目的

- (1) 验证叠加原理。
- (2) 加深对线性电路的叠加性和齐次性的认识和理解。

## 二、实验原理

叠加原理指出：在有多个独立源共同作用下的线性电路中，通过每一个元件的电流或其两端的电压，可以看成是由每一个独立源单独作用时在该元件上所产生的电流或电压的代数和。

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。叠加性和齐次性都只适用于求解线性电路中的电流、电压。对于非线性电路，叠加性和齐次性都不适用。

## 三、实验仪器

序号	名称	型号与规格	数量
1	程控直流电源	两路 30V/3A、一路 5V/3A 可调	1
2	数字万用表		1
3	叠加原理实验电路板		1

## 四、实验内容

实验线路如图 3-1 所示。

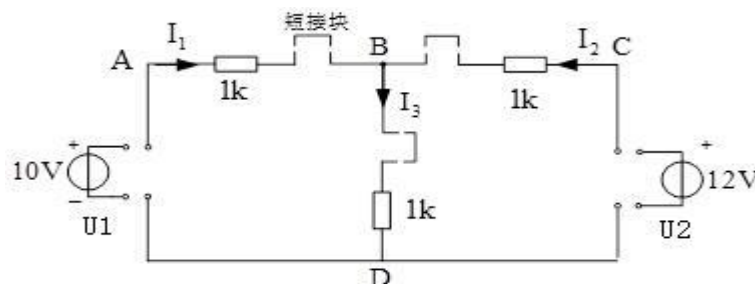


图3-1

- 1、分别将两路直流稳压电源接入电路，（先调准输出电压值，再接入实验线路中。）
- 2、令 U1 电源单独作用，测量各支路电流及各电阻元件两端的电压，数据记入表 3-1 中。
- 3、令 U2 电源单独作用，重复实验步骤 2 的测量，数据记入表 3-1 中。
- 4、令 U1 和 U2 共同作用，重复实验步骤 2 的测量，数据记入表 3-1 中。
- 5、令 2U2 电源单独作用，重复实验步骤 2 的测量，数据记入表 3-1 中。

表3-1

测量项目 实验内容	I <sub>1</sub> (mA)	I <sub>2</sub> (mA)	I <sub>3</sub> (mA)	U <sub>1</sub> (V)	U <sub>2</sub> (V)	U <sub>AB</sub> (V)	U <sub>BC</sub> (V)	U <sub>BD</sub> (V)
U1 单独作用 (仿真值)								
U1 单独作用 (测量值)								
U2 单独作用 (仿真值)								
U2 单独作用 (测量值)								
U1、U2 共同作用 (仿真值)								
U1、U2 共同作用 (测量值)								
2U2 单独作用 (仿真值)								
2U2 单独作用 (测量值)								



## 五、思考题

1.在叠加原理实验中，要令  $U_1$ 、 $U_2$  分别单独作用，应如何操作？可否直接将不作用的电源（ $U_1$  或  $U_2$ ）短接置零？

2.实验电路中，若有一个电阻器改为二极管，试问叠加原理的叠加性与齐次性还成立吗？为什么？

测量项目 实验内容	$I_3$ (mA)	$U_{BD}$ (V)
U1 单独作用 (测量值)		
U2 单独作用 (测量值)		
U1、U2 共同作用 (测量值)		
2U2 单独作用 (测量值)		

# 实验四 戴维南定理和诺顿定理的验证

## 一、实验目的

- (1) 验证戴维南定理的正确性，加深对该定理的理解。
- (2) 验证诺顿定理的正确性，加深对该定理的理解。
- (3) 掌握测量有源二端网络等效参数的一般方法。

## 二、实验原理

1、任何一个线性含源网络，如果仅研究其中一条支路的电压和电流，则可将电路的其余部分看作是一个有源二端网络（或称为含源一端口网络）。

戴维南定理指出：任何一个线性有源网络，对外电路来说，总可以用一个电压源与一个电阻的串联来等效代替，此电压源的电压等于这个有源二端网络的开路电压，其等效内阻等于该网络中所有独立源均置零（理想电压源视为短接，理想电流源视为开路）时的等效电阻。

诺顿定理：含独立源的线性电阻单口网络  $N$ ，就端口特性而言，可以等效为一个电流源和电阻的并联。电流源的电流等于单口网络从外部短路时的端口电流  $I_S$ ；电阻  $R_0$  是单口网络内全部独立源为零值时所得网络  $N_0$  的等效电阻。

$U_{oc}$  ( $U_S$ ) 和  $R_0$  或者  $I_{sc}$  ( $I_S$ ) 和  $R_0$  称为有源二端网络的等效参数。

### 2、有源二端网络等效参数的测量方法

#### (1) 开路电压、短路电流法

在有源二端网络输出端开路时，用电压表直接测其输出端的开路电压  $U_{oc}$ ，然后再将其输出端短路，用电流表测其短路电流  $I_{sc}$ ，则等效内阻为  $R_0 = U_{oc} / I_{sc}$

如果二端网络的内阻很小，若将其输出端口短路则易损坏其内部元件，因此不宜用此法。

### (2) 伏安法

用电压表、电流表测出有源二端网络的外特性曲线，如图 4-1 所示。根据外特性曲线求出斜率  $\operatorname{tg}\varphi$ ，则内阻

$$R_0 = \operatorname{tg}\varphi = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_{OC}}{I_{SC}}$$

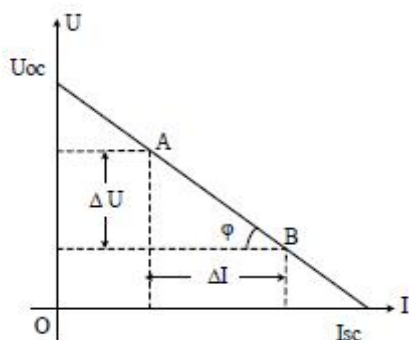


图4-1

也可以先测量开路电压  $U_{OC}$ ，再测量电流为额定值  $I_N$  时的输出端电压值  $U_N$ ，则内阻为  $R_0 = \frac{U_{OC} - U_N}{I_N}$

### (3) 半电压法

如图 4-2 所示，当负载电压为被测网络开路电压的一半时，负载电阻  $R_L$ （由电阻箱的读数确定）即为被测有源二端网络的等效内阻值  $R_0$ 。

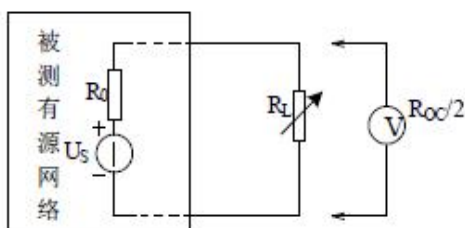


图 4-2

#### (4) 零示法

在测量具有高内阻有源二端网络的开路电压时，用电压表直接测量会造成较大的误差。为了消除电压表内阻的影响，往往采用零示测量法，如图 4-3 所示。

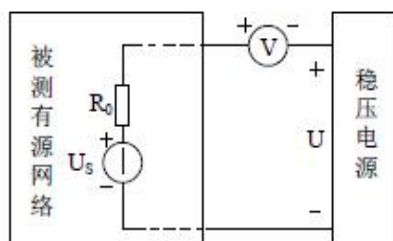


图 4-3

零示法测量原理是用一低内阻的电源与被测有源二端网络进行比较，当稳压电源的输出电压与有源二端网络的开路电压相等时，电压表的读数将为“0”。然后将电路断开，测量此时稳压电源的输出电压，即为被测有源二端网络的开路电压。

### 三、实验仪器

序号	名称	型号与规格	数量
1	程控直流电源	两路 30V/3A、一路 5V/3A 可调	1
2	数字万用表		2
3	可调电阻箱	0~99999.9Ω	1
4	电位器	1K 或 500Ω/2W	1
5	戴维南定理实验电路板		1

### 四、实验内容

被测有源二端网络如图 4-4

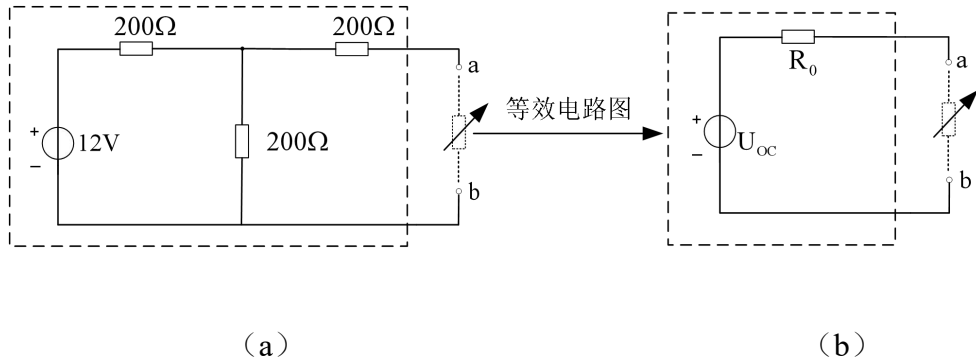


图4-4

### 1、用开路电压、短路电流法测量有源二端网络的等效参数

按图 4-4 (a) 接入稳压电源  $U_S=12V$ 、可变电阻  $R_L$ ，先断开  $R_L$  测出开路电压  $U_{oc}$ ；再短接  $R_L$ ，测短路电流  $I_{sc}$ ，将数据记录于表 4-1，并计算出  $R_0$ 。

表4-1

	$U_{oc}(v)$	$I_{sc}(mA)$	$R_0=U_{oc}/I_{sc}(\Omega)$
仿真值			
测量值			

### 2、负载实验

在图 4-4 (a) 中，改变（电阻箱）负载电阻  $R_L$  ( $0\sim\infty$ ) 的阻值，测量有源二端网络的外特性。将数据记录于表 4-2。

表4-2

$R_L(\Omega)$		0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	$\infty$
U (v)	仿真值												
	测量值												
I (mA)	仿真值												
	测量值												

### 3、验证戴维南定理：从可调电位器上取得按步骤“1”所得的等

效电阻  $R_0$  之值，然后令其与直流稳压电源（调到步骤“1”时所测得的开路电压  $U_{oc}$  之值）相串联，如图 4-4(b)所示，仿照步骤“2”测其外特性，将数据记录于表 4-3，对戴维南定理进行验证。

表4-3

$R_L(\Omega)$		0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	$\infty$
U (v)	仿真值												
	测量值												
I (mA)	仿真值												
	测量值												

4、验证诺顿定理：从可调电位器上取得按步骤“1”所得的等效电阻  $R_0$  之值，然后令其与直流恒流源（调到步骤“1”时所测得的短路电流  $I_{sc}$  之值）相并联，如图 4-5 所示，仿照步骤“2”测其外特性，将数据记录于表 4-4，对诺顿定理进行验证。

表 4-4

$R_L(\Omega)$		0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	$\infty$
U (v)	仿真值												
	测量值												
I (mA)	仿真值												
	测量值												

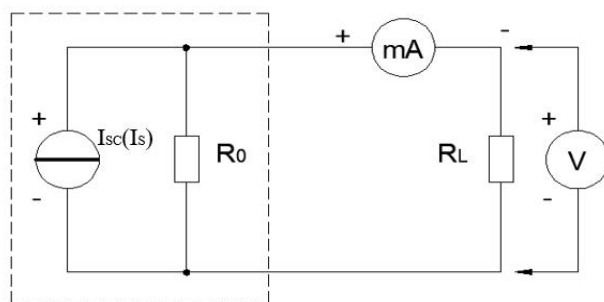


图 4-5

## 五、实验注意事项

- 1、测量时应注意电流表量程的更换。
- 2、用万表直接测  $R_0$  时，网络内的独立源必须先置零，以免损坏万用表。
- 3、改接线路时，要关掉电源。

## 六、思考题

- 1.在求戴维南等效电路时，作短路试验，测  $I_{sc}$  的条件是什么？在本实验中可否直接作负载短路实验？请实验前对线路预先作好计算，以便调整实验线路及测量时可准确地选取电表的量程。
- 2.说明测有源二端网络开路电压及等效内阻的几种方法，并比较其优缺点。

# 实验五 RC 一阶电路的响应测试

## 一、实验目的

- (1) 测定 RC 一阶电路的零输入响应、零状态响应及完全响应。
- (2) 学习一阶电路时间常数的测量方法，了解电路参数对时间常数的影响。
- (3) 掌握有关微分电路和积分电路的概念。
- (4) 学会用示波器观测波形。

## 二、实验原理

1、含有 L、C 储能元件（动态元件）的电路，其响应可由微分方程求解。凡是可用一阶微分方程描述的电路称为一阶电路。一阶电路通常由一个储能元件和若干个电阻元件组成，所有储能元件初始值为零的电路对激励的响应称为零状态响应。电路在无激励情况下，由储能元件初始状态引起的响应称为零输入响应。

对于 R、C 组成的一阶电路，利用信号发生器输出的方波来模拟阶跃激励信号，即利用方波输出的上升沿作为零状态响应的正阶跃激励信号；利用方波的下降沿作为零输入响应的负阶跃激励信号。只要选择方波的重复周期远大于电路的时间常数 $\tau$ ，那么电路在这样的方波序列脉冲信号的激励下，可用示波器观测到稳定的波形（如图 5-1）。

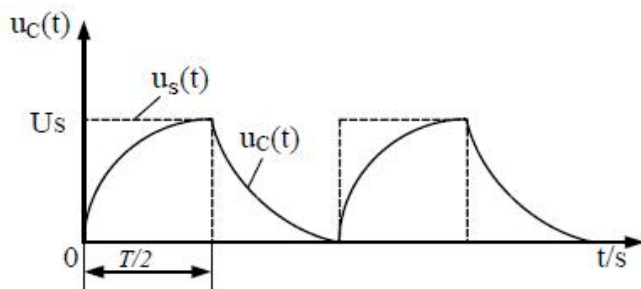


图5-1



2、图 5-2 (b) 所示的 RC 一阶电路的零输入响应和零状态响应分别按指数规律衰减和增长，其变化的快慢决定于电路的时间常数 $\tau$ 。

时间常数 $\tau$ 的测定方法：

用示波器测量零输入响应的波形如图 5-2(a)所示。

根据一阶微分方程的求解得知  $u_c = U_m e^{-t/RC} = U_m e^{-t/\tau}$ 。当  $t = \tau$  时， $U_c(\tau) = 0.368U_m$ 。此时所对应的时间就等于 $\tau$ 。亦可用零状态响应波形增加到  $0.632U_m$ 所对应的时间测得，如图 5-2(c)所示。

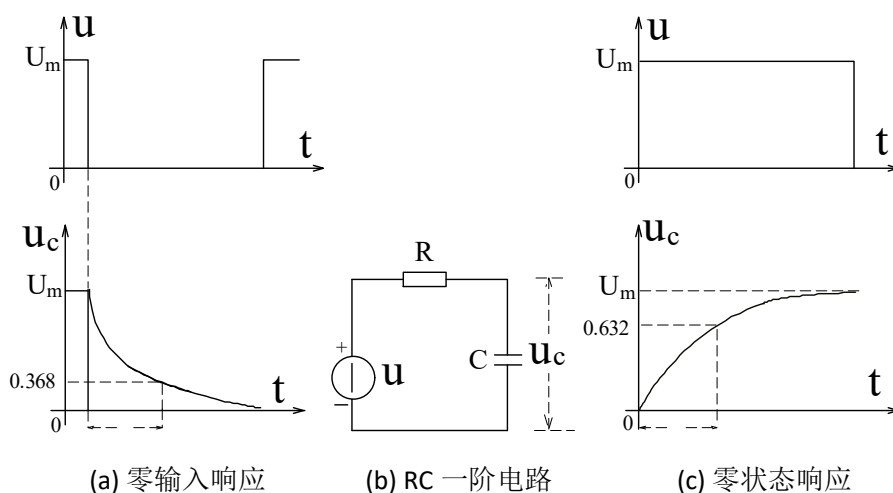


图5-2

3、微分电路和积分电路是 RC 一阶电路中较典型的电路，它对电路元件参数和输入信号的周期有着特定的要求。一个简单的 RC 串联电路，在方波序列脉冲的重复激励下，当满足 $\tau = RC \ll \frac{T}{2}$ 时（方波脉冲的重复周期），且由 R 两端的电压作为响应输出，则该电路就是一个微分电路。因为此时电路的输出信号电压与输入信号电压的微分成正比。如图 5-3(a)所示。利用微分电路可以将方波转变成尖脉冲。

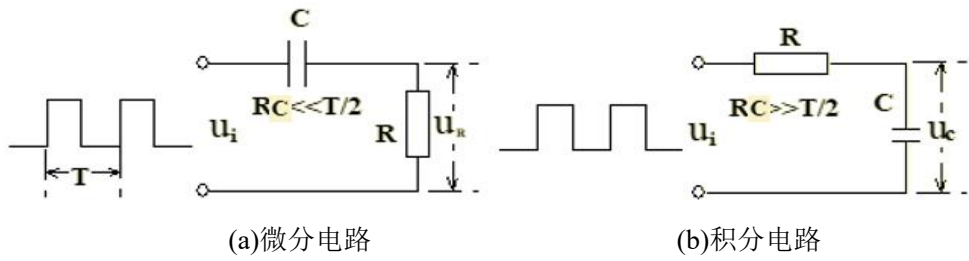


图5-3

若将图 5-3(a)中的 R 与 C 位置调换一下，如图 5-3(b)所示，由 C 两端的电压作为响应输出，且电路的参数满足  $\tau = RC \gg \frac{T}{2}$ ，则该 RC 电路称为积分电路。因为此时电路的输出信号电压与输入信号电压的积分成正比。利用积分电路可以将方波转变成三角波。

从输入输出波形来看，上述两个电路均起着波形变换的作用，请在实验过程仔细观察与记录。

### 三、实验仪器

序号	名称	型号与规格	数量
1	函数信号发生器		1
2	双踪示波器		1
3	RC 一阶电路实验电路板		1

### 四、实验内容

实验电路如图 5-4 所示。

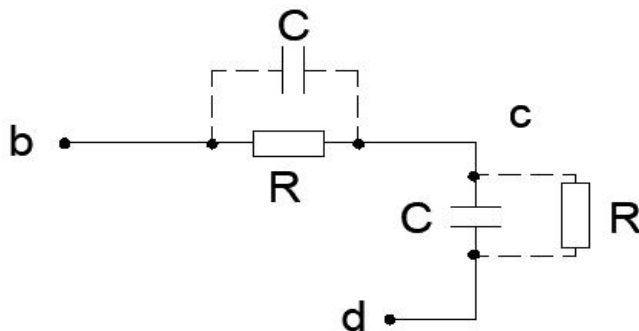


图5-4

1、选取  $R = 10\text{K}\Omega$ ， $C = 6800\text{pF}$  组成如图 5-2(b)所示的 RC 充放

电电路。 $U_i$ （注： $U_i$ 接在bd之间，红夹子接在b点，黑夹子接在d点）为脉冲信号发生器输出的 $U_{p-p}=3V$ 、 $f=1KHz$ 的方波电压信号，通过两根同轴电缆线，将激励源 $U_i$ 和响应 $U_c$ 的信号分别连至示波器的两个输入口CH1和CH2。这时可在示波器的屏幕上观察到激励与响应的变化规律，请测算出时间常数 $\tau$ ，并用方格纸按1:1的比例描绘波形。（注：用光标法测算出时间常数 $\tau$ ）

少量地改变电容值或电阻值，定性地观察对响应的影响，记录观察到的现象。

2、令 $R=10K\Omega$ ， $C=0.1\mu F$ ，观察并描绘响应的波形，继续增大 $C$ 之值，定性地观察对响应的影响。

3、令 $C=0.1\mu F$ ， $R=1K\Omega$ ，组成如图5-3(a)所示的微分电路。在同样的方波激励信号（ $U_{p-p}=3V$ ， $f=1KHz$ ）作用下，观测并描绘激励与响应的波形。增减 $R$ 之值，定性地观察对响应的影响，并作记录。

## 五、实验注意事项

1、调节电子仪器各旋钮时，动作不要过快、过猛。实验前，需熟读双踪示波器的使用说明书。观察双踪时，要特别注意相应开关、旋钮的操作与调节。

2、信号源的接地端与示波器的接地端要连在一起（称共地），以防外界干扰而影响测量的准确性。

## 六、思考题

1、什么样的电信号可作为RC一阶电路零输入响应、零状态响应和完全响应的激励源？

2、已知RC一阶电路 $R=10K\Omega$ ， $C=0.01\mu F$ ，试计算时间常数 $\tau$ ，并根据 $\tau$ 值的物理意义，拟定测量 $\tau$ 的方案。

# 实验六 R、L、C 元件阻抗特性的测定

## 一、实验目的

(1) 验证电阻、感抗、容抗与频率的关系，测定  $R \sim f$ 、 $X_L \sim f$  及  $X_C \sim f$  特性曲线。

(2) 加深理解 R、L、C 元件端电压与电流间的相位关系。

## 二、实验原理

1、在正弦交变信号作用下，R、L、C 电路元件在电路中的抗流作用与信号的频率有关，它们的阻抗频率特性  $R \sim f$ 、 $X_L \sim f$ 、 $X_C \sim f$  曲线如图 6-1 所示。

2、元件阻抗频率特性的测量电路如图 6-2 所示。

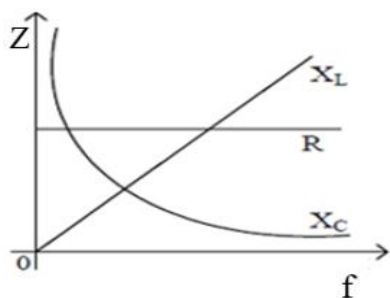


图 6-1

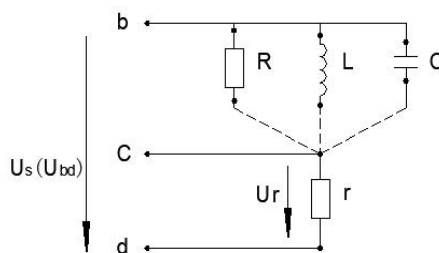


图 6-2

图中的  $r$  是提供测量回路电流用的标准小电阻，由于  $r$  的阻值远小于被测元件的阻抗值，因此可以认为  $bd$  之间的电压  $U_{bd}$  就是被测元件 R、L 或 C 两端的电压，流过被测元件的电流则可由  $r$  两端的电压除以  $r$  所得。

若用双踪示波器同时观察  $r$  与被测元件两端的电压，亦就展现出被测元件两端的电压和流过该元件电流的波形，从而可在荧光屏上测出电压与电流的幅值及它们之间的相位差。

1、将元件 R、L、C 串联或并联相接，亦可用同样的方法测得

$Z_{串}$ 与 $Z_{并}$ 的阻抗频率特性 $Z \sim f$ ，根据电压、电流的相位差可判断 $Z_{串}$ 或 $Z_{并}$ 是感性还是容性负载。

2、元件的阻抗角（即相位差 $\varphi$ ）随输入信号的频率变化而改变，将各个不同频率下的相位差画在以频率 $f$ 为横坐标、阻抗角 $\varphi$ 为纵坐标的坐标纸上，并用光滑的曲线连接这些点，即得到阻抗角的频率特性曲线。

用双踪示波器测量阻抗角的方法如图 6-3 所示。从荧光屏上数得一个周期占  $n$  格，相位差占  $m$  格，则实际的相位差 $\varphi$ （阻抗角）为

$$\varphi = m \times \frac{360^\circ}{n} \text{ (度)}$$

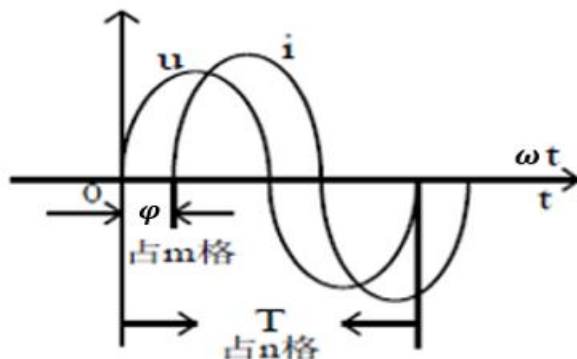


图6-3

### 三、实验仪器

序号	名称	型号与规格	数量
1	函数信号发生器		1
2	交流毫伏表	0~300V	1
3	双踪示波器		1
4	R、L、C 元件阻抗特性的测定实验电路板		1
5	实验元件	R=1KΩ, r=51Ω, C=1μF, L=10mH	1

### 四、实验内容

### 1、测量 R、L、C 元件的阻抗频率特性

通过电缆线将函数信号发生器输出的正弦信号接至如图 6-2 电路的 bd 之间（注：红夹子接 b，黑夹子接 d），作为激励源  $U_s$ ，并用交流毫伏表测量，使激励电压的有效值  $U_{rms}=3V$ ，并保持不变。

使信号源的输出频率从 200Hz 逐渐增至 5KHz（用频率计测量），并使开关 S 分别接通 R、L、C 三个元件，用交流毫伏表测量  $U_r$ ，并计算各频率点时的  $I_R$ 、 $I_L$  和  $I_C$ （即  $U_r/r$ ）以及  $R=U/I_R$ 、 $X_L=U/I_L$  及  $X_C = U / I_C$  之值。

注意：在接通 C 测试时，信号源的频率应控制在 200~2500Hz 之间。

表6-1实验数据

频率 f(kHz)		200Hz	1k	2k	2.5k	3k	4k	5k
R= (kΩ)	$U_r(v)$							
	$I_R(mA)= U_r / r$							
	$R= U / I_R$							
$X_L=$ (kΩ)	$U_r(v)$							
	$I_L(mA)= U_r / r$							
	$X_L= U / I_L$							
$X_C=$ (kΩ)	$U_r(v)$							
	$I_C(mA)= U_r / r$							
	$X_C= U / I_C$							

### 五、实验注意事项

1、交流毫伏表属于高阻抗电表，测量前必须先调零。

### 六、思考题

1、测量 R、L、C 各个元件阻抗角时，为什么要与他们串联一个小电阻，可否用小电感或者小电容代替？为什么？

# 实验七 RLC 串联谐振电路的测试

## 一、实验目的

- (1) 学习用实验方法绘制 R、L、C 串联电路的幅频特性曲线。
- (2) 观察谐振现象，加深对串联谐振的条件和特点的理解。
- (3) 掌握电路品质因数测定方法及品质因数 Q 值对谐振曲线的影响。
- (4) 熟练使用交流毫伏表。

## 二、实验原理

1、在图 7-1 所示的 R、L、C 串联电路中，当正弦交流信号源的频率  $f$  改变时，电路中的感抗、容抗随之而变，电路中的电流也随  $f$  而变。取电阻 R 上的电压  $U_o$  作为响应，当输入电压  $U_i$  的幅值维持不变时，在不同频率的信号激励下，测出  $U_o$  之值，然后以  $f$  为横坐标，以  $U_o/U_i$  为纵坐标（因  $U_i$  不变，故也可直接以  $U_o$  为纵坐标），绘出光滑的曲线，此即为幅频特性曲线，亦称谐振曲线，如图 7-2 所示。

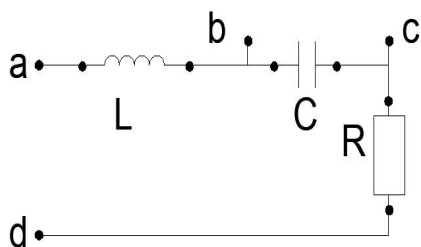


图 7-1

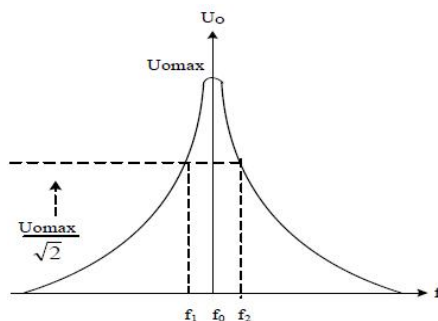


图 7-2

2、在  $f = f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  处，即幅频特性曲线尖峰所在的频率点称为谐振频率。此时  $X_L = X_C$ ，电路呈纯阻性，电路阻抗的模为最小  $Z_0 = R$ ， $|Z_0| = R$ 。在输入电压  $U_i$  为定值时，电路中的电流达到最大

值  $I = \frac{U}{R}$ ，且  $U_o$  与输入电压  $U_i$  同相位。从理论上讲,此时  $U_i = U_R = U_o$ ,  $U_L = U_C = QU_i$ ，式中的  $Q$  称为电路的品质因数。

### 1、电路品质因数 $Q$ 值的两种测量方法

一是根据公式  $Q = \frac{U_L}{U_0} = \frac{U_C}{U_0}$  测定， $U_C$  与  $U_L$  分别为谐振时电容器  $C$  和电感线圈  $L$  上的电压；另一方法是通过测量谐振曲线的通频带宽度  $\Delta f = f_2 - f_1$ ，再根据  $Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$  求  $Q$ 。

式中  $f_0$  为谐振频率， $f_2$  和  $f_1$  是失谐时，亦即输出电压幅度下降到最大值的  $1/\sqrt{2}$  ( $=0.707$ ) 倍时的上、下频率点。 $Q$  值越大，曲线越尖锐，通频带越窄，电路的选择性越好。在恒压源供电时，电路的品质因数、选择性与通频带只决定于电路本身的参数，而与信号源无关。

## 三、实验仪器

序号	名称	型号与规格	数量
1	函数信号发生器		1
2	交流毫伏表	0~300V	1
3	双踪示波器		1
4	R、L、C 串联谐振电路的研究实验电路板		1

## 四、实验内容

1、按下图 7-3 组成监视、测量电路。先选用  $C_1$ 、 $R_2$ 。用交流毫伏表测电压，用示波器监视信号源输出。令信号源输出电压  $U_i = 4V_{P-P}$  并保持不变。



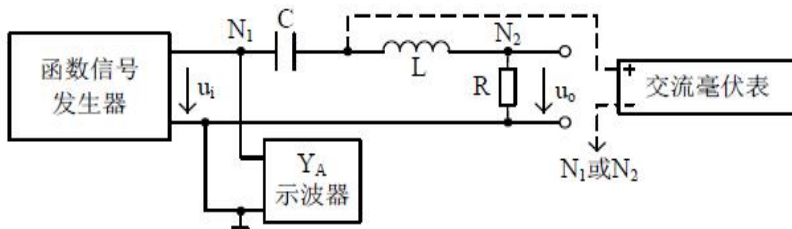


图7-3

2、找出电路的谐振频率  $f_0$  的方法是，将毫伏表接在电阻  $R$  两端，令信号源的频率由小逐渐变大（注意要维持信号源的输出幅度不变），当  $U_o$  的读数为最大时，读得频率计上的频率值即为电路的谐振频率  $f_0$ ，并测量  $U_C$  与  $U_L$  之值（注意及时更换毫伏表的量限）。

3、在谐振点两侧，按频率递增或递减 1KHz，依次多取几个测量点，逐点测出  $U_o$ ， $U_L$ ， $U_C$  之值，记录数据。

表 7-1 实验数据

f(KHz)				$f_1$	$f_0$	$f_2$			
	$U_o(V)$								
$U_L(V)$									
$U_C(V)$									
$U_i=4V_{P-P}$ , $C=0.01\mu f$ , $L=33mH$ , $R=1K\Omega$ $f_0=$ ____, $f_2-f_1=$ ____, $Q=$ ____									

### 五、实验注意事项

1、测试频率点的选择，应在靠近谐振频率附近多取几个点。在变换频率测试前，用示波器监视输出幅度，使输出幅度不变，保持定值。

2、毫伏表在使用前要先通电调零，测量  $U_C$  和  $U_L$  数值前，应将毫伏表的量限改大，大约 10 倍。而且在测量  $U_L$  与  $U_C$  时，毫伏表的“+”端应接  $C$  与  $L$  的公共点。

3、在测量时，交流毫伏表需要浮地。

## 六、思考题

1.根据实验线路板给出的元件参数值，估算电路的谐振频率。

2.改变电路的哪些参数可以使电路发生谐振，电路中  $R$  的数值是否影响谐振频率值？

3.如何判别电路是否发生谐振?测试谐振点的方案有哪些？

4.电路发生串联谐振时，为什么输入电压不能太大，如果信号源给出  $3V_{rms}$  的电压，电路谐振时，用交流毫伏表测  $U_L$  与  $U_C$ ，应该选择用多大的量限？

5.要提高  $R$ 、 $L$ 、 $C$  串联电路的品质因数，电路参数应如何改变？

6.本实验在谐振时，对应的  $U_L$  与  $U_C$  是否相等？如有差异，原因何在？

# 实验八 三相电路电压、电流、功率的测试

## 一、实验目的

(1) 掌握三相负载作星形连接的方法，验证这种接法下线电压、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。

(3) 掌握用三瓦特表法测量三相电路有功功率的方法。

## 二、实验原理

1. 三相负载可接成星形（即“Y”形接法）或三角形（即“ $\Delta$ ”形接法）。当三相对称负载作“Y”形连接时，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 $I_p$ ；

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

在这种情况下，流过中线的电流 $I_0 = 0$ ，所以可以省去中线。

当对称三相负载作“ $\Delta$ ”形连接时，有 $I_L = \sqrt{3}I_p$ ， $U_L = U_p$ 。

（本实验以三相负载接成星形为例）

2. 不对称负载作“Y”形连接时，必须采用三相四线制接法，即 $Y_0$ 接法。而且中线必须牢固连接，以保证三相不对称负载的每相电压维持对称不变。

当负载不对称时，倘若中线断开，则负载中点与电源中点之间将有电位差，导致三相负载电压的不对称。负载轻的那一相的相电压过高，使负载遭受损坏；而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。

3. 对于三相四线制供电的三相星形连接的负载（即 $Y_0$ 接法），可

用一只功率表测量各相的有功功率 $P_A$ 、 $P_B$ 、 $P_C$ ，则三相负载的总有功功率 $\Sigma P = P_A + P_B + P_C$ 。这就是一瓦特表法，如图 8-1 所示。若三相负载是对称的，则只需测量一相的功率，再乘以 3 即得三相总的有功功率。

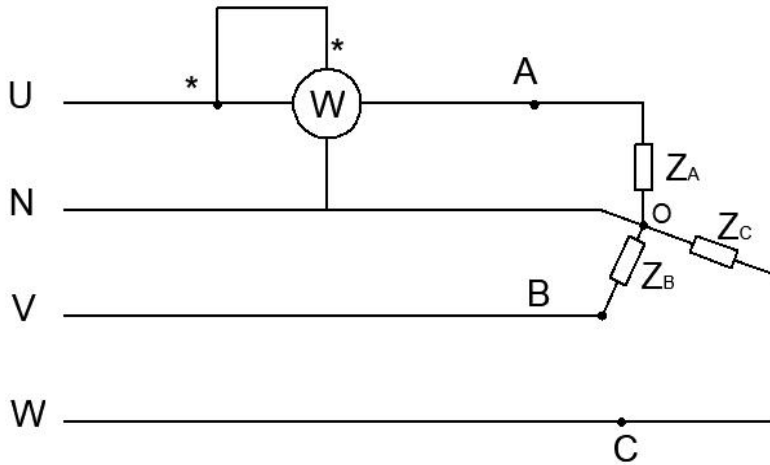


图8-1

4.三相三线制供电系统中，不论三相负载是否对称，也不论负载是“Y”接还是“ $\Delta$ ”接，都可用二瓦特表法测量三相负载的总有功功率。测量线路如图 8-2 所示。若负载为感性或容性，且当相位差 $\varphi > 60^\circ$ 时，线路中的一只功率表指针将反偏（数字式功率表将出现负读数），这时应将功率表电流线圈的两个端子调换（不能调换电压线圈端子），其读数应记为负值。而三相总功率 $\Sigma P = P_1 + P_2$ （ $P_1$ 、 $P_2$ 本身不含任何意义）。除图 8-2 的 $I_A$ 、 $U_{AC}$ 与 $I_B$ 、 $U_{BC}$ 接法外，还有 $I_B$ 、 $U_{AB}$ 与 $I_C$ 、 $U_{AC}$ 以及 $I_A$ 、 $U_{AB}$ 与 $I_C$ 、 $U_{BC}$ 两种接法。

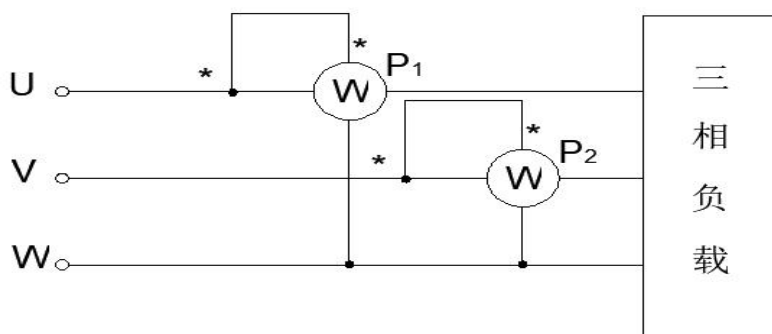


图8-2

5、对于三相四线制电路，无论负载是否对称，均可用三瓦特表法测量有功功率。如图 8-3 所示，用三只功率表分别测出各相负载的有功功率，然后相加，即可得到三相负载的总有功功率  $\Sigma P = P_A + P_B + P_C$ 。

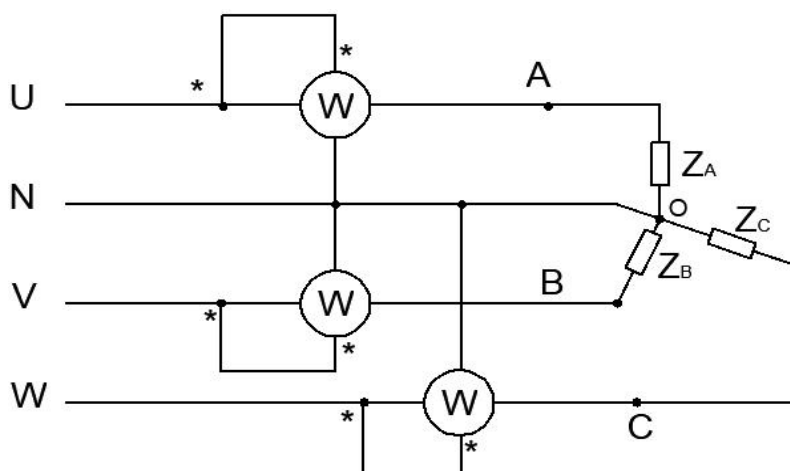


图8-3

6、电路功率用功率表测量，功率表（又称为瓦特表）是一种电动式仪表，其中电流线圈（具有两个电流线圈，可串联或并联，以便得到两个电流量程）与负载串联，而电压线圈与电源并联，电流线圈和电压线圈的同名端（标有\*号端）必须连在一起，如图 8-4 所示。实验中使用数字式功率表时，其连接方法与电动式功率表相同。

注意电压、电流量程的选择。

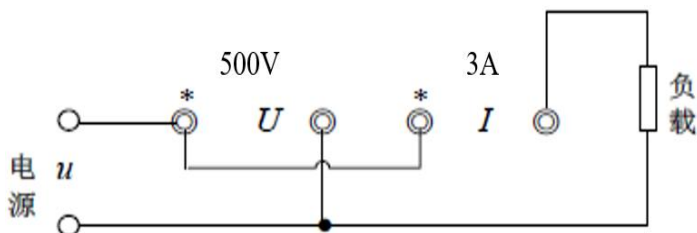


图8-4 功率表接线图

### 三、实验仪器

序号	名称	型号与规格	数量
1	交流电压表	0~500V	1
2	交流电流表	0~5A	1
3	智能交流仪表		1
4	三相自耦调压器		1
5	三相灯组负载	25W/230V 白炽灯	9

### 四、实验内容

#### 1、三相负载星形连接（三相四线制供电）

按图 8-5 线路组接实验电路。即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。分别测量三相负载的线电流、线电压、相电压、中线电流、中点电压。将测量数据记入表 8-1 中。

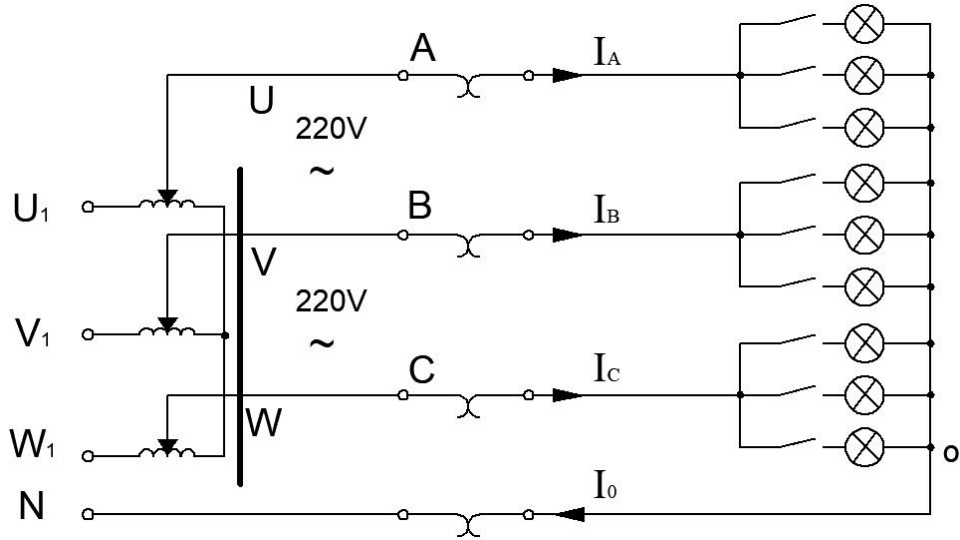


图8-5 三相负载星形连接电路图

表8-1

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 $I_0$ (A)	中点 电压 $U_{N0}$ (V)
	A 相	B 相	C 相	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$	$U_{A0}$	$U_{B0}$	$U_{C0}$		
$Y_0$ 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											

2.用三瓦特表法测定三相对称负载 ( $Y_0$ )、不对称负载 ( $Y_0$ ) 的总功率 $\Sigma P$ 。按照图 8-6 所示线路接线。调节调压器输出,使输出线电压为 220V,按表 8-2 的要求进行测量和计算。

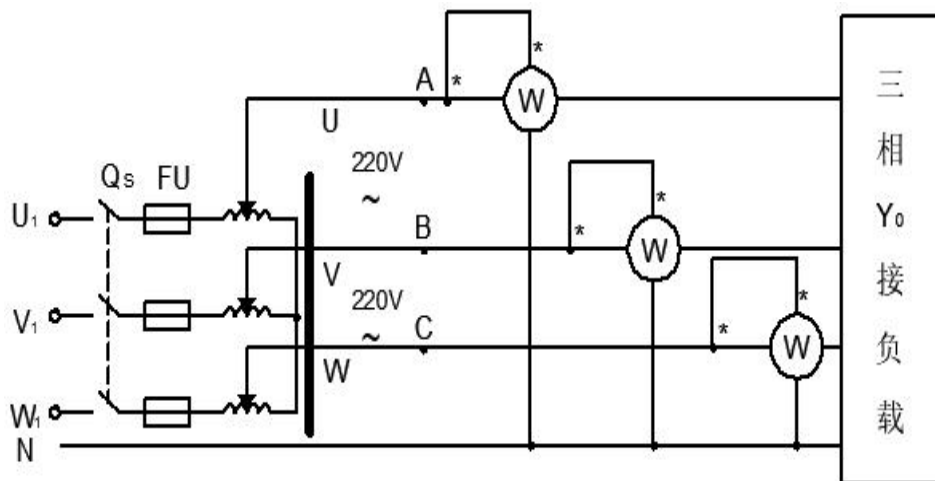


图8-6 三瓦特表法电路图

表8-2

负载情况	开灯盏数			测量数据 (W)			计算值
	A 相	B 相	C 相	$P_A$	$P_B$	$P_C$	$\Sigma P$
$Y_0$ 接对称负载	3	3	3				
$Y_0$ 接不对称负载	1	2	3				

### 五、实验注意事项

1. 本实验采用三相交流电，线电压为 380V。因此，实验前应先检查三相调压器旋柄是否在零位。确认断电后方可进行接线、拆线。
2. 每次接线完毕，自查无误，并经指导老师检查后，方可通电。
3. 星形负载作短路实验时，为避免发生短路事故，务必先断开中线。

### 六、思考题

1. 试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？
2. 本次实验中为什么要通过三相调压器将 380V 的线电压降为 220V 的线电压？