

# 电工实验指导书

上海电力大学

2020 年 3 月

# 目 录

一、基尔霍夫定律的验证·····	6
二、叠加原理的验证·····	8
三、戴维南定理和诺顿定理的验证·····	10
四、R、L、C 元件阻抗特性的测定·····	14
五、用三表法测量交流电路等效参数·····	17
六、正弦稳态交流电路相量的研究·····	20
七、RLC 串联谐振电路的研究·····	23
八、三相交流电路电压、电流的测量·····	26
九、RC 一阶电路的响应测试·····	29
十、双口网络测试·····	32

# 电路综合实验箱使用说明书

电路综合实验箱是专为电路原理课程而配套设计的。它集实验模块、直流毫安表、稳压源、恒流源于一体，结构紧凑，性能稳定可靠，实验灵活方便，有利于培养学生的动手能力。

本实验箱主要是由一整块单面敷铜印刷线路板构成，其正面（非敷铜面）印有清晰的图形线条、字符，使其功能一目了然。板上提供实验必需的直流稳压电源、恒流源、直流毫安表等。所以，本实验箱具有实验功能强、资源丰富、使用灵活、接线可靠、操作快捷、维护简单等优点。实验箱上所有的元器件均经精心挑选，属于优质产品，可放心让学生进行实验。

## 一、 组成和使用

### 1. 实验箱的供电

实验箱的后方设有带保险丝管（1A）的 220V 单相交流电源三芯插座，另配有三芯插头电源线一根。箱内设有多个降压整流电路，供三路直流稳压电源及用为实验提供多组低压交流电源。

2. 一块大型（单面敷铜印刷线路板，正面印有清晰的各部件及元器件的图形、线条和字符，并焊有实验所需的元器件。

该实验板包含着以下各部分内容：

（1）正面左下方装有电源总开关一只，控制总电源。

（2）具有高可靠的自锁紧式、防转、叠插式插座。它们与固定器件、线路的连接已设计在印刷线路板上。

这类锁紧式插件，其插头与插座之间的导电接触面很大，接触电阻极其微小，在插头插入时略加旋转后，即可获得极大的轴向锁紧力，拔出时，只要沿反方向略加旋转即可轻松地拔出，无需任何工具便可快捷插拔，同时插头与插头之间可以叠插，从而可形成一个立体布线空间，使用起来极为方便。

（3）2 根镀银长紫铜管（15mm）插座，用于磁滞回线的观测实验。

#### （4）直流稳压电源

提供 $\pm 12\text{V}$ 和 $0\sim 30\text{V}$ 可调直流稳压电源一路,有相应的电源输出插座及相应的LED指示。在电源总开关打开的前提下,开启各部分的电源开关,就会有相应的电压输出。

#### （5）直流恒流源

提供 $2\text{mA}$ 、 $20\text{mA}$ 、 $200\text{mA}$ 三档,每档均连续可调。

#### （6）直流数字毫安表

测量范围 $0\sim 200\text{mA}$ ,量程分 $2\text{mA}$ 、 $20\text{mA}$ 、 $200\text{mA}$ 三档,精度1.0级,直键开关切换。

（7）本实验箱附有充足的长短不一的实验专用连接导线一套。

## 二、 使用注意事项

1. 使用前应先检查各电源是否正常,检查步骤为:

（1）先关闭实验箱的所有电源开关,然后用随箱的三芯电源线接通实验箱的 $220\text{V}$ 交流电源。

（2）开启实验箱上的电源总开关,则指示总电源的LED被点亮。

（3）开启直流电源和恒流源的四组开关,则与 $\pm 12\text{V}$ 及恒流源相对应的四只LED应被点亮, $0\sim 30\text{V}$ 可调电源的LED则随输出电压的增高而逐渐被点亮。

（4）磁滞回线部分的开关单独控制,不受电源总开关影响。

2. 接线前务必熟悉实验线路的原理及实验方法。

3. 实验接线前必须先断开总电源与各分电源开关,严禁带电接线。接线完毕,检查无误后,才可进行实验。

4. 实验始终,实验板上要保持整洁,不可随意放置杂物,特别是导电的工具和多余的导线等,以免发生短路等故障。

5. 实验完毕,应及时关闭各电源开关,并及时清理实验板面,整理好连接导线并放置到规定的位置。

6. 实验时需用到外部交流供电的仪器,如示波器等,这些仪器的外壳应妥为接地。

7. 实验箱上的仪表均已经调试完整，请勿触及 SET 键。
8. 实验器材注意爱护，不要暴力插拔。
9. 实验线路的连接代课老师检查后方可上电，以免烧毁。

# 实验一 基尔霍夫定律的验证

## 一、实验目的

1. 验证基尔霍夫定律的正确性，加深对基尔霍夫定律的理解。
2. 学会用电流插头、插座测量各支路电流。

## 二、原理说明

基尔霍夫定律是电路的基本定律。测量某电路的各支路电流及每个元件两端的电压，应能分别满足基尔霍夫电流定律（KCL）和电压定律（KVL）。即对电路中的任一个节点而言，应有 $\sum I=0$ ；对任何一个闭合回路而言，应有 $\sum U=0$ 。

运用上述定律时必须注意各支路或闭合回路中电流的正方向，此方向可预先任意设定。

## 三、实验设备

序号	名 称	型号与规格	数量	备 注
1	直流稳压电源	0~30V 可调	一路	
2	直流稳压电源	12V	一路	
3	万用表（直流电压档）	0~200V	1	自备：直流电压测量
4	直流数字毫安表	0~200mV	1	
5	基尔霍夫定律/叠加原理		1	

### 注意事项：

- （1）实验中严格按照指导教师的要求进行线路连接，请勿乱接线，以免烧坏设备；
- （2）实验中未用到的模块、开关及电阻、电容、电感旋钮请勿操作，以免造成设备损坏；
- （3）实验中尽量采用连接紧实的连接线，老旧连接线会造成测试数据不稳，若出现类似情况，请更换连接线尝试；
- （4）实验中实线表示已经连接，虚线表示未连接，需要在测试中接入电流表或导线连接。

## 四、实验内容

如图 1-1 所示，实验线路电路原理综合实验箱上的“基尔霍夫定律/叠加原理”线路。

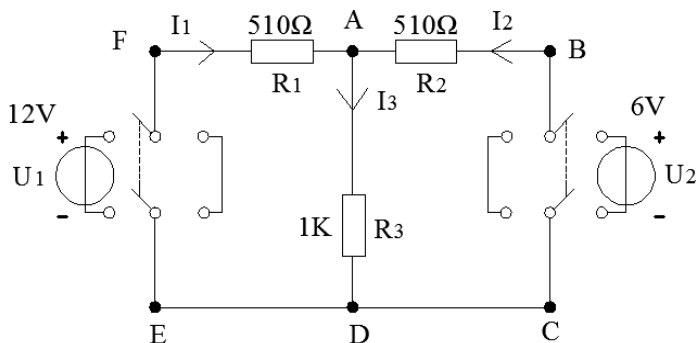


图 1-1 基尔夫定律/叠加原理

1. 实验前先任意设定三条支路和三个闭合回路的电流正方向。图 1-1 中的  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  的方向已设定。三个闭合回路的电流正方向可设为 ADEFA、BADCB 和 FBCEF。
2. 分别将两路直流稳压源接入电路，令  $U_1=12V$ ， $U_2=6V$ ，并保持电源不动。
3. 熟悉电流插头的结构，将电流插头的两端接至数字毫安表的“+、-”两端。
4. 将电流插头分别插入三条支路的三个电流插座中（ $I_1$ 、 $I_2$  或  $I_3$  虚线的两端，注意数字毫安表插头的+、-按照图 1-1 电流方向连接，未接入电流表插头的虚线用导线直接连接），读出并记录电流值。
5. 用万用表（调到适当的直流电压档位，测量时将表笔插入测量点的香蕉头端子内，放开手，等示数稳定后读数）分别测量两路电源及电阻元件上的电压值，记录之。

被测量	$I_1(mA)$	$I_2(mA)$	$I_3(mA)$	$U_1(V)$	$U_2(V)$	$U_{FA}(V)$	$U_{AB}(V)$	$U_{AD}(V)$
计算值								
测量值								
相对误差								

## 五、实验注意事项

1. 本模块是多个实验通用，但需用到电流插座。
2. 所有需要测量的电压值，均以电压表测量的读数为准。 $U_1$ 、 $U_2$  也需测量，不应取电源本身的显示值。
3. 防止稳压电源两个输出端碰线短路。
4. 用指针式电压表或电流表测量电压或电流时，如果仪表指针反偏，则必须调换仪表极性，重新测量。此时指针正偏，可读得电压或电流值。若用数显电压表或电流表测量，则可直接读出电压或电流值。但应注意：所读得的电压或电流值的正、负号应根据设定的电流参考方向来判断。

## 六、预习思考题

1. 根据图 1-1 的电路参数，计算出待测的电流  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  和各电阻上的电压值，记入表中，以便实验测量时，可正确地选定毫安表和电压表的量程。
2. 实验中，若用指针式万用表直流毫安档测各支路电流，在什么情况下可能出现指针反偏，应如何处理？在记录数据时应注意什么？若用直流数字毫安表进行测量时，则会有什么显示呢？

## 七、实验报告

1. 根据实验数据，选定节点 A，验证 KCL 的正确性。
2. 根据实验数据，选定实验电路中的任一个闭合回路，验证 KVL 的正确性。
3. 将支路和闭合回路的电流方向重新设定，重复 1、2 两项验证。
4. 误差原因分析。
5. 心得体会及其他。

## 实验二 叠加原理的验证

### 一、实验目的

验证线性电路叠加原理的正确性，加深对线性电路的叠加性和齐次性的认识和理解。

### 二、原理说明

叠加原理指出：在有多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。

### 三、实验设备

序号	名 称	型号与规格	数量	备 注
1	直流稳压电源	0~30V 可调	一路	
2	直流稳压电源	12V	一路	
3	万用表（直流电压档）	0~200V	1	自备：直流电压测量
4	直流数字毫安表	0~200mV	1	
5	基尔霍夫定律/叠加原理		1	

#### 注意事项：

- （1）实验中严格按照指导教师的要求进行线路连接，请勿乱接线，以免烧坏设备；
- （2）实验中未用到的模块、开关及电阻、电容、电感旋钮请勿操作，以免造成设备损坏；
- （3）实验中尽量采用连接紧实的连接线，老旧连接线会造成测试数据不稳，若出现类似情况，请更换连接线尝试；
- （4）实验中实线表示已经连接，虚线表示未连接，需要在测试中接入电流表或导线连接。

### 四、实验内容

如图 2-1 所示，实验线路电路原理综合实验箱上的“基尔霍夫定律/叠加原理”线路。

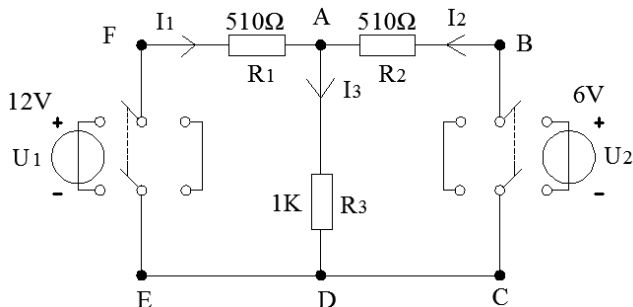


图 2-1 基尔霍夫定律/叠加原理



1. 将两路稳压源的输出分别调节为 12V 和 6V，接入  $U_1$  和  $U_2$  处。
2. 令  $U_1$  电源单独作用（将开关  $K_1$  投向  $U_1$  侧，开关  $K_2$  投向短路侧）。用万用表（调到适当的直流电压档位，测量时将表笔插入测量点的香蕉头端子内，放开手，等示数稳定后读数）和毫安表测量各电阻元件两端的电压及各支路电流（注意数字毫安表插头的+、—按照图 2-1 电流方向连接，未接入电流表插头的虚线用导线直接连接），数据记入表 2-1。

表 2-1 实验数据

测量项目 实验内容	$U_1$ (V)	$U_2$ (V)	$I_1$ (mA)	$I_2$ (mA)	$I_3$ (mA)	$U_{AB}$ (V)	$U_{AF}$ (V)	$U_{AD}$ (V)
$U_1$ 单独作用								
$U_2$ 单独作用								
$U_1$ 、 $U_2$ 共同作用								
$2U_2$ 单独作用								

3. 令  $U_2$  电源单独作用（将开关  $K_1$  投向短路侧，开关  $K_2$  投向  $U_2$  侧），重复实验步骤 2 的测量和记录，数据记入表 2-1。
4. 令  $U_1$  和  $U_2$  共同作用（开关  $K_1$  和  $K_2$  分别投向  $U_1$  和  $U_2$  侧），重复上述的测量和记录，数据记入表 2-1。
5. 将  $U_2$  的数值调至 +12V，重复上述第 3 项的测量并记录，数据记入表 2-1。

## 五、实验注意事项

1. 用电流插头测量各支路电流时，或者用电压表测量电压降时，应注意仪表的极性，正确判断测得值的+、—号后，记入数据表格。
2. 注意仪表量程的及时更换。

## 六、预习思考题

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？

## 七、实验报告

1. 根据实验数据表格，进行分析、比较，归纳、总结实验结论，即验证线性电路的叠加性与齐次性。
2. 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，进行计算并作结论。
3. 心得体会及其他。

# 实验三 戴维南定理和诺顿定理的验证

## ——有源二端网络等效参数的测定

### 一、实验目的

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

### 二、原理说明

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，总可以用一个电压源与一个电阻的串联来等效代替，此电压源的电动势  $U_s$  等于这个有源二端网络的开路电压  $U_{oc}$ ，其等效内阻  $R_0$  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。

诺顿定理指出：任何一个线性有源网络，总可以用一个电流源与一个电阻的并联组合来等效代替，此电流源的电流  $I_s$  等于这个有源二端网络的短路电流  $I_{sc}$ ，其等效内阻  $R_0$  定义同戴维南定理。

$U_{oc}$  ( $U_s$ ) 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、短路电流法测 $R_0$

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

$$R_0 = \frac{U_{oc}}{I_{sc}}$$

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) 伏安法测 $R_0$

用电压表、电流表测出有源二端网络的外特性曲线，如图 3-1 所示。根据外特性曲线求出斜率  $\tan\phi$ ，则内阻

$$R_0 = \tan\phi = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_{oc}}{I_{sc}}$$

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

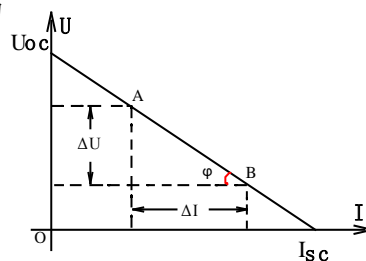


图 3-1

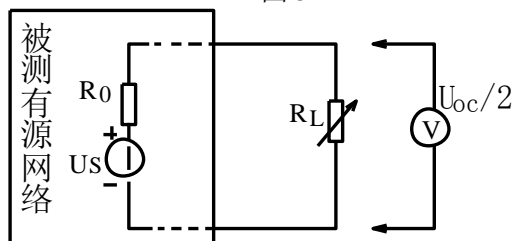


图 3-2

端电压值  $U_N$ ，则内阻为  $R_0 = \frac{U_{oc} - U_N}{I_N}$ 。

(3) 半电压法测  $R_0$

如图 3-2 所示，当负载电压为被测网络开路电压的一半时，负载电阻（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。

(4) 零示法测  $U_{oc}$

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 3-3 所示。

零示法测量原理是用一低内阻的稳压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、实验设备

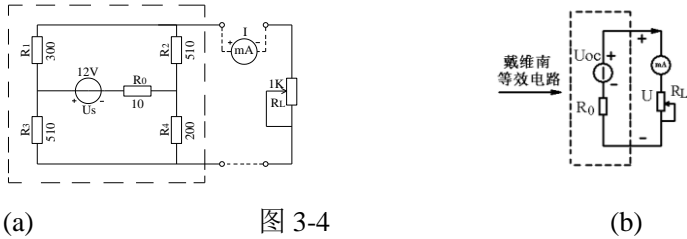
序号	名 称	型号与规格	数量	备注
1	可调直流稳压电源	0~30V	1	
2	可调直流恒流源	0~200mA	1	
3	直流数字毫安表	0~200mA	1	
4	万用表(直流电压档和欧姆档)		1	自备：直流电压和电阻测量
5	可调变阻器	10kΩ	1	
6	电位器	1K/2W	1	
7	戴维南定理实验电路模块		1	

注意事项：

- （1）实验中严格按照指导教师的要求进行线路连接，请勿乱接线，以免烧坏设备；
- （2）实验中未用到的模块、开关及电阻、电容、电感旋钮请勿操作，以免造成设备损坏；
- （3）实验中尽量采用连接紧实的连接线，老旧连接线会造成测试数据不稳，若出现类似情况，请更换连接线尝试；
- （4）实验中实线表示已经连接，虚线表示未连接，需要在测试中接入电流表或导线连接。

四、实验内容

被测有源二端网络如图 3-4(a)。



1. 用开路电压、短路电流法测定戴维南等效电路的  $U_{oc}$ 、 $R_0$  和诺顿等效电路的  $I_{sc}$ 、 $R_0$ 。按图 3-4(a)接入稳压电源  $U_S=12V$ ，不接入  $R_L$ 。测出  $U_{oc}$  和  $I_{sc}$ ，并计算出  $R_0$ 。（测  $U_{oc}$  时，不接入 mA 表，万用表的直流电压档测直流电压。）

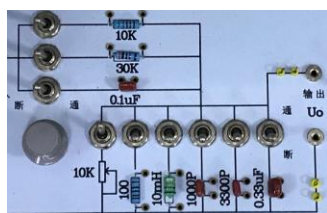
$U_{oc}$ (v)	$I_{sc}$ (mA)	$R_0=U_{oc}/I_{sc}$ ( $\Omega$ )

## 2. 负载实验

按图 3-4(a)接入  $R_L$ 。改变  $R_L$  阻值，测量有源二端网络的外特性曲线， $U$  为  $R_L$  端电压。

$R(\Omega)$	200	400	600	800	1000
$U$ (v)					
$I$ (mA)					

3. 验证戴维南定理：从  $10k\Omega$  可调电阻器上取得按步骤“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 3-4(b)所示，仿照步骤“2”测其外特性，对戴氏定理进行验证。选用可调变阻器时，可调变阻器的开关调到“通”侧，其余开关均调到“断”侧，此时输出端的电阻即为可调变阻器的阻值。



$R(\Omega)$	200	400	600	800	1000
$U$ (v)					
$I$ (mA)					

4. 验证诺顿定理从  $10k\Omega$  可调电阻器上取得按步骤“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 3-5 所示，仿照步骤“2”测其外特性，对诺顿定理进行验证，可调变阻器的选择如上所述。

$R(\Omega)$	200	400	600	800	1000
$U$ (v)					
$I$ (mA)					

5. 有源二端网络等效电阻（又称入端电阻）的直接测量法。见图 3-4（a）。将被测有源网络内的所有独立源置零（去掉电压源  $U_S$ ，并在原电压源所接的两点用一根短路导线相连），然后用伏安法或者直接用万用表的欧姆档去测定负载  $R_L$  开路时 A、B 两点间的电阻，此即为被测网络的等效内阻  $R_0$ ，或称网络的入端电阻  $R_i$ 。

6. 用半电压法和零示法测量被测网络的等效内阻  $R_0$  及其开路电压  $U_{oc}$ 。线路及数据表格自拟。

## 五、实验注意事项

1. 测量时应注意电流表量程的更换。
2. 步骤“5”中，电压源置零时不可将稳压源短接。
3. 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。其次，欧姆档必须经调零后再进行测量。

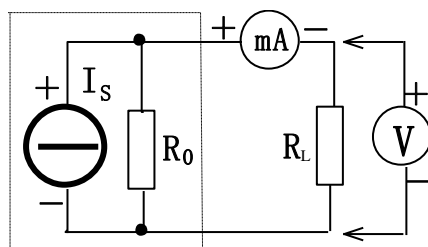


图 3-5

4. 用零示法测量  $U_{OC}$  时，应先将稳压电源的输出调至接近于  $U_{OC}$ ，再按图 3-3 测量。
5. 改接线路时，要关掉电源。

## 六、预习思考题

1. 在求戴维南或诺顿等效电路时，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 3-4(a)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。

## 七、实验报告

1. 根据步骤 2、3、4，分别绘出曲线，验证戴维南定理和诺顿定理的正确性，并分析产生误差的原因。
2. 根据步骤 1、5、6 的几种方法测得的  $U_{oc}$  与  $R_0$  与预习时电路计算的结果作比较，你能得出什么结论。
3. 归纳、总结实验结果。
4. 心得体会及其他。

## 实验四 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、原理说明

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 4-1 所示。

2. 元件阻抗频率特性的测量电路如图 4-2 所示。

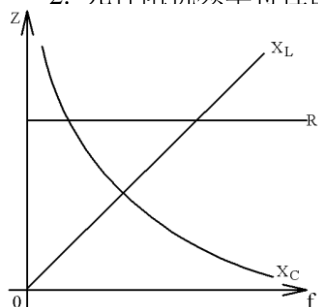


图 4-1

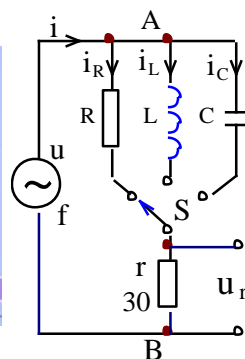
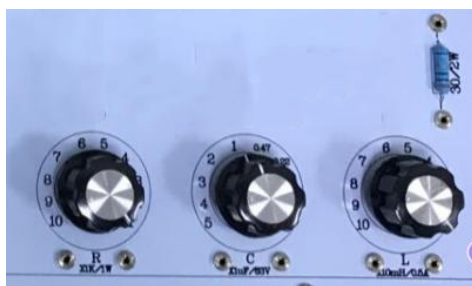


图 4-2

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 AB 之间的电压就是被测元件 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  $Z_{\text{串}}$  与  $Z_{\text{并}}$  的阻抗频率特性  $Z \sim f$ ，根据电压、电流的相位差可判断  $Z_{\text{串}}$  或  $Z_{\text{并}}$  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。

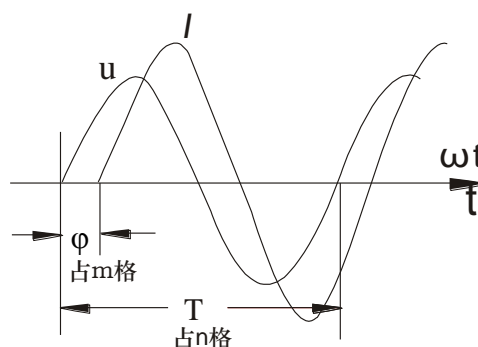


图 4-3

用双踪示波器测量阻抗角的方法如图 4-3 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

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

### 三、实验设备

序号	名 称	型号与规格	数量	备注
1	函数信号发生器		1	自备
2	万用表	交流毫伏档 (0-10V) 和交流毫安档 (0-200mA)	1	自备
3	双踪示波器		1	自备
4	实验线路元件	$R=1K\Omega$ , $r=30\Omega$ , $C=1\mu F$ , $L$ 约 10mH	1	

#### 注意事项:

- (1) 实验中严格按照指导教师的要求进行线路连接, 请勿乱接线, 以免烧坏设备;
- (2) 实验中未用到的模块、开关及电阻、电容、电感旋钮请勿操作, 以免造成设备损坏;
- (3) 实验中尽量采用连接紧实的连接线, 老旧连接线会造成测试数据不稳, 若出现类似情况, 请更换连接线尝试;
- (4) 实验中实线表示已经连接, 虚线表示未连接, 需要在测试中接入电流表或导线连接。

### 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 4-2 的电路, 作为激励源  $u$ , 并用交流毫伏表测量, 使激励电压的有效值为  $U=3V$ , 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 200~5000Hz 之间。

频率 F (Hz )		200	1000	3000	5000
R	$U_R$ (V)				
	$U_r$ (V)				
	$I_R=U_r / r$ (mA)				
	$R=U_R / I_R$ (K $\Omega$ )				
L	$U_L$ (V)				
	$U_r$ (V)				
	$I_L=U_r / r$ (mA)				
	$X_L=U_L / I_L$ (K $\Omega$ )				

C	$U_C$ (V)				
	$U_r$ (V)				
	$I_C=U_r/r$ (mA)				
	$X_C=U_C/I_C$ (K $\Omega$ )				

2. 用双踪示波器观察在不同频率下各元件阻抗角的变化情况，按图 4-3 记录 n 和 m，算出  $\varphi$ 。

rL 串联

频率 F (KHz)	1	5	10	50
n (格)				
m (格)				
$\varphi$ (度)				

rC 串联

频率 F (KHz)	1	5	10	50
n (格)				
m (格)				
$\varphi$ (度)				

3. 测量 R、L、C 元件串联的阻抗角频率特性。

## 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。
2. 测  $\varphi$  时，示波器的“V/div”和“t/div”的微调旋钮应旋置“校准位置”。

## 六、预习思考题

测量 R、L、C 各个元件的阻抗角时，为什么要与它们串联一个小电阻？可否用一个小电感或大电容代替？为什么？

## 七、实验报告

1. 根据实验数据，在方格纸上绘制 R、L、C 三个元件的阻抗频率特性曲线，从中可得出什么结论？
2. 根据实验数据,在方格纸上绘制 R、L、C 三个元件串联的阻抗角频率特性曲线，并总结、归纳出结论。
3. 心得体会及其他。



## 实验五 用三表法测量电路等效参数

### 一、实验目的

1. 学会用交流电压表、交流电流表和功率表测量元件的交流等效参数的方法。
2. 学会功率表的接法和使用。

### 二、原理说明

1. 正弦交流信号激励下的元件值或阻抗值，可以用交流电压表、交流电流表及功率表分别测量出元件两端的电压  $U$ 、流过该元件的电流  $I$  和它所消耗的功率  $P$ ，然后通过计算得到所求的各值，这种方法称为三表法，是用以测量 50Hz 交流电路参数的基本方法。

计算的基本公式为：

$$\text{阻抗的模 } |Z| = \frac{U}{I}, \quad \text{电路的功率因数 } \cos\varphi = \frac{P}{UI}$$

$$\text{等效电阻 } R = \frac{P}{I^2} = |Z| \cos\varphi, \quad \text{等效电抗 } X = |Z| \sin\varphi$$

$$\text{或 } X = X_L = 2\pi fL, \quad X = X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

1. 阻抗性质的判别方法：可用在被测元件两端并联电容或将被测元件与电容串联的方法来判别。其原理如下：

(1) 在被测元件两端并联一只适当容量的试验电容，若串接在电路中电流表的读数增大，则被测阻抗为容性，电流减小则为感性。

图 5-1(a)中， $Z$  为待测定的元件， $C'$  为试验电容器。(b)图是(a)的等效电路，图中  $G$ 、 $B$  为待测阻抗  $Z$  的电导和电纳， $B'$  为并联电容  $C'$  的电纳。在端电压有效值不变的条件下，按下面两种情况进行分析：

① 设  $B+B'=B''$ ，若  $B'$  增大， $B''$  也增大，则电路中电流  $I$  将单调地上升，故可判断  $B$  为容性元件。

② 设  $B+B'=B''$ ，若  $B'$  增大，而  $B''$  先减小而后再增大，电流  $I$  也是先减小后上升，如图 5-2 所示，则可判断  $B$  为感性元件。

由以上分析可见，当  $B$  为容性元件时，对并联电容  $C'$  值无特殊要求；而当  $B$  为感性元件时， $B' < |2B|$  才有判定为感性的意义。 $B' > |2B|$  时，电流单调上升，与  $B$  为容性时相同，并不能说明电路是感性的。因此  $B' < |2B|$  是判断电路性质的可靠条件，

$$\text{由此得判定条件为 } C' < \left| \frac{2B}{\omega} \right|。$$

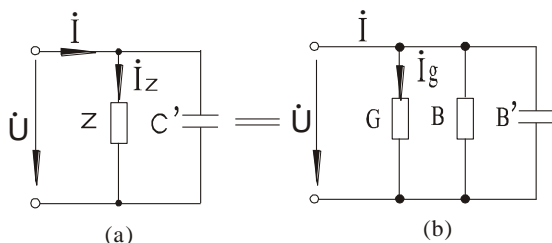


图 5-1 并联电容测量法

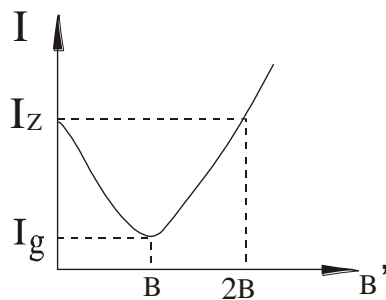


图 5-2

(2) 与被测元件串联一个适当容量的试验电容，若被测阻抗的端电压下降，则判为容性，端压上升则为感性，判定条件为  $\frac{1}{\omega C'} < |2X|$  式中  $X$  为被测阻抗的电抗值， $C'$  为串联试验电容值，此关系式可自行证明。

判断待测元件的性质，除上述借助于试验电容  $C'$  测定法外，还可以利用该元件的电流  $i$  与电压  $u$  之间的相位关系来判断。若  $i$  超前于  $u$ ，为容性； $i$  滞后于  $u$ ，则为感性。

3. 本实验所用的功率表为智能交流功率表，其电压接线端应与负载并联，电流接线端应与负载串联。

### 三、实验设备

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	交流电压表	0~500V	1	
2	交流电流表	0~5A	1	
3	功率表		1	
4	自耦调压器		1	自备
5	镇流器(电感线圈)	与日光灯配用	1	
7	电容器	1μF ,4.7μF/500V	1	
8	白炽灯	15(或 25)W /220V	3	

#### 注意事项：

- (1) 实验中严格按照指导教师的要求进行线路连接，请勿乱接线，以免烧坏设备；
- (2) 实验中未经指导教师检查线路及允许上电许可，不得上电，以免造成设备损坏；
- (3) 实验中尽量采用连接紧实的连接线，老旧连接线会造成测试数据不稳，若出现类似情况，请更换连接线尝试。

### 四、实验内容

测试线路如图 5-3 所示。

1. 按图 5-3 接线，并经指导教师检查后，方可接通市电电源。
2. 分别测量 15W 白炽灯(R)、15W 日光灯镇流器(L) 和 4.7μ F 电容器(C)的等效参数。
3. 测量 L、C 串联与并联后的等效参数。

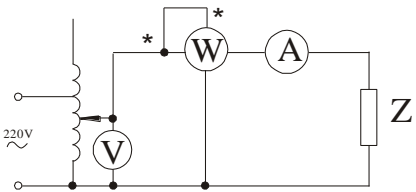


图 5-3

被测阻抗	测量值				计算值		电路等效参数		
	U (V)	I (A)	P (W)	cosφ	Z (Ω)	cosφ	R (Ω)	L (mH)	C (μ F)
15W 白炽灯 R									
电感线圈 L									

电容器 C									
L 与 C 串联									
L 与 C 并联									

4. 验证用串、并试验电容法判别负载性质的正确性。

实验线路同图 5-3，但不必接功率表，按下表内容进行测量和记录。

被测元件	串 4.7 $\mu$ F 电容		并 4.7 $\mu$ F 电容	
	串前端电压 (V)	串后端电压 (V)	并前电流 (A)	并后电流 (A)
R(二只 15W 白炽灯)				
C(4.7 $\mu$ F)				
L(1H)				

## 五、实验注意事项

1. 本实验直接用市电 220V 交流电源供电，实验中要特别注意人身安全，不可用手直接触摸通电路路的裸露部分，以免触电，进实验室应穿绝缘鞋。

2. 自耦调压器在接通电源前，应将其手柄置在零位上，调节时，使其输出电压从零开始逐渐升高。每次改接实验线路、换拨黑匣子上的开关及实验完毕，都必须先将其旋柄慢慢调回零位，再断电源。必须严格遵守这一安全操作规程。

3. 实验前应详细阅读智能交流功率表的使用说明书，熟悉其使用方法。

## 六、预习思考题

1. 在 50Hz 的交流电路中，测得一只铁心线圈的 P、I 和 U，如何算得它的阻值及电感量？

2. 如何用串联电容的方法来判别阻抗的性质？试用 I 随  $X'_C$ （串联容抗）的变化关系

作定性分析，证明串联试验时，C'满足  $\frac{1}{\omega C'} < |2X|$ 。

## 七、实验报告

1. 根据实验数据，完成各项计算。

2. 完成预习思考题 1、2 的任务。

3. 心得体会及其他。

## 实验六 正弦稳态交流电路相量的研究

### 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. 掌握日光灯线路的接线。
3. 理解改善电路功率因数的意义并掌握其方法。

### 二、原理说明

1. 在单相正弦交流电路中，用交流电流表测得各支路的电流值，用交流电压表测得回路各元件两端的电压值，它们之间的关系满足相量形式的基尔霍夫定律，即  $\sum I=0$  和  $\sum U=0$ 。

2. 图 6-1 所示的 RC 串联电路，在正弦稳态信号  $U$  的激励下， $U_R$  与  $U_C$  保持有  $90^\circ$  的相位差，即当  $R$  阻值改变时， $U_R$  的相量轨迹是一个半圆。 $U$ 、 $U_C$  与  $U_R$  三者形成一个直角形的电压三角形，如图 6-2 所示。 $R$  值改变时，可改变  $\varphi$  角的大小，从而达到移相的目的。

3. 日光灯线路如图 6-3 所示，图中  $A$  是日光灯管， $L$  是镇流器， $S$  是启辉器，

$C$  是补偿电容器，用以改善电路的功率因数 ( $\cos\varphi$  值)。有关日光灯的工作原理请自行翻阅有关资料。

### 三、实验设备

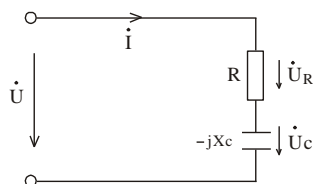


图 6-1

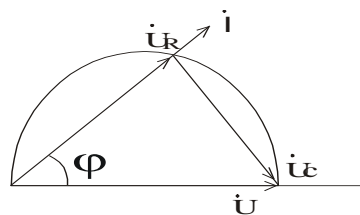


图 6-2

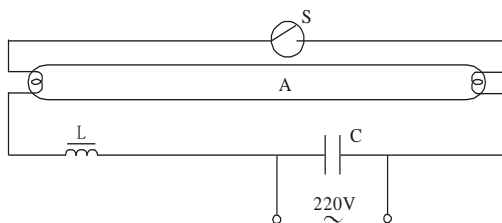


图 6-3

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	交流电压表	0~500V	1	
2	交流电流表	0~5A	1	
3	功率表		1	
4	自耦调压器		1	自备
5	镇流器、启辉器	与 15W 灯管配用	各 1	
6	日光灯灯管	15W	1	
7	电容器	1μF, 2.2μF, 4.7μF/500V	各 1	
8	白炽灯及灯座	220V, 15W	1~3	
9	电流插座		3	

注意事项：

- (1) 实验中严格按照指导教师的要求进行线路连接，请勿乱接线，以免烧坏设备；
- (2) 实验中未经指导教师检查线路及允许上电许可，不得上电，以免造成设备损坏；
- (3) 实验中尽量采用连接紧实的连接线，老旧连接线会造成测试数据不稳，若出现类似情况，请更换连接线尝试。

四、实验内容

1. 按图 6-1 接线。 $R$  为 220V、15W 的白炽灯泡，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  $U$ 、 $U_R$ 、 $U_C$  值，验证电压三角形关系。

测 量 值			计 算 值		
$U\text{ (V)}$	$U_R\text{ (V)}$	$U_C\text{ (V)}$	$U'$ (与 $U_R, U_C$ 组成 $Rt\Delta$ ) ( $U'=\sqrt{U_R^2+U_C^2}$ )	$\Delta U=U'-U$ (V)	$\Delta U/U$ (%)

2. 日光灯线路接线与测量。

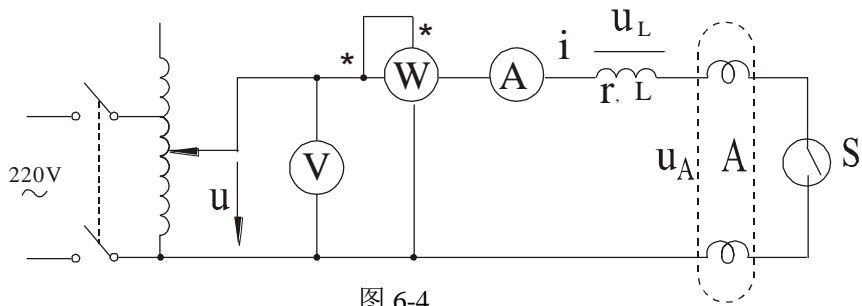


图 6-4

按图 6-4 接线。经指导教师检查后接通实验台电源，调节自耦调压器的输出，使其输出电压缓慢增大，直到日光灯刚启辉点亮为止，记下三表的指示值。然后将电压调至 220V，测量功率  $P$ ，电流  $I$ ，电压  $U$ ， $U_L$ ， $U_A$  等值，验证电压、电流相量关系。

测 量 数 值							计算值	
	$P(W)$	$\text{Cos}\varphi$	$I(A)$	$U(V)$	$U_L(V)$	$U_A(V)$	$r(\Omega)$	$\text{Cos}\varphi$
启辉值								
正常工作值								

3. 并联电路——电路功率因数的改善。按图 6-5 组成实验线路。

经指导老师检查后，接通实验台电源，将自耦调压器的输出调至 220V，记录功率表、电压表读数。通过一只电流表和三个电流插座分别测得三条支路的电流，改变电容值，进行三次重复测量。数据记入下页表中。

五、实验注意事项

- 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。
- 3. 线路接线正确，日光灯不能启辉时， 应检查启辉器及其接触是否良好。

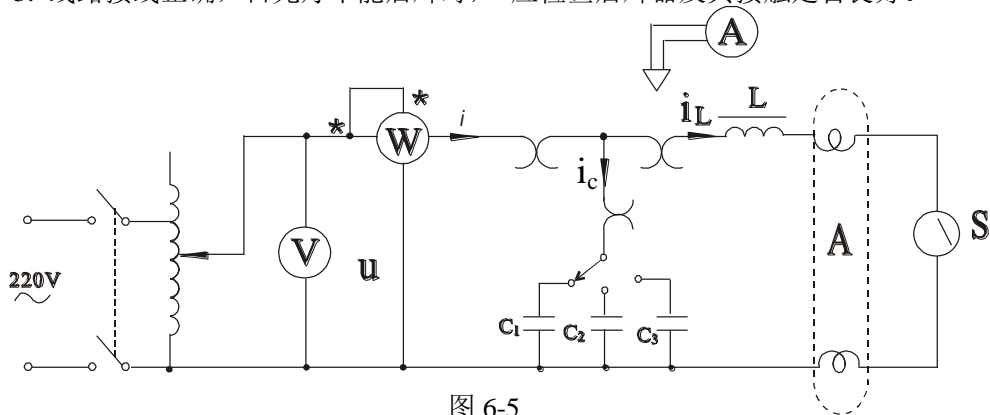


图 6-5

电容值	测 量 数 值						计 算 值	
( $\mu\text{F}$ )	P(W)	COS $\phi$	U(V)	I (A)	$I_L$ (A)	$I_C$ (A)	$I'$ (A)	Cos $\phi$
0								
1								
2.2								
4.7								

六、预习思考题

- 1. 参阅课外资料，了解日光灯的启辉原理。
- 2. 在日常生活中，当日光灯上缺少了启辉器时， 人们常用一根导线将启辉器的两端短接一下，然后迅速断开，使日光灯点亮；或用一只启辉器去点亮多只同类型的日光灯，这是为什么？
- 3. 为了改善电路的功率因数，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，此时感性元件上的电流和功率是否改变？
- 4. 提高线路功率因数为什么只采用并联电容器法， 而不用串联法？所并的电容器是否越大越好？

七、实验报告

- 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. 讨论改善电路功率因数的意义和方法。
- 4. 装接日光灯线路的心得体会及其他。

## 实验七 R、L、C 串联谐振电路的研究

### 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. 加深理解电路发生谐振的条件、特点，掌握电路品质因数（电路 Q 值）的物理意义及其测定方法。

### 二、原理说明

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。

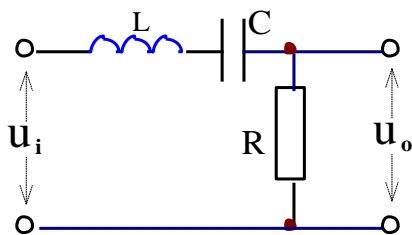


图 7-1

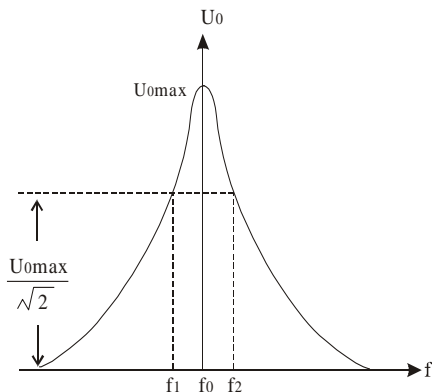


图 7-2

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。在输入电压  $U_i$  为定值时，电路中的电流达到最大值，且与输入电压  $u_i$  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。

3. 电路品质因数  $Q$  值的两种测量方法

一是根据公式  $Q = \frac{U_L}{U_o} = \frac{U_C}{U_o}$  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

出  $Q$  值。式中  $f_0$  为谐振频率， $f_2$  和  $f_1$  是失谐时，亦即输出电压的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、实验设备

序号	名 称	型号与规格	数量	备注
1	函数信号发生器		1	自备
2	万用表 (交流毫伏档)	$0\sim 500\text{mV}$	1	自备
3	双踪示波器		1	自备
4	谐振电路实验电路板	$R=200\Omega$ , $1\text{K}\Omega$ $C=0.01\mu\text{F}$ , $0.1\mu\text{F}$ , $L=\text{约 } 30\text{mH}$		

#### 注意事项:

- (1) 实验中严格按照指导教师的要求进行线路连接, 请勿乱接线, 以免烧坏设备;
- (2) 实验中未用到的模块、开关及电阻、电容、电感旋钮请勿操作, 以免造成设备损坏;
- (3) 实验中尽量采用连接紧实的连接线, 老旧连接线会造成测试数据不稳, 若出现类似情况, 请更换连接线尝试;
- (4) 实验中实线表示已经连接, 虚线表示未连接, 需要在测试中接入电流表或导线连接。

### 四、实验内容

1、按图 7-3 组成监视、测量电路。先选用  $C1$ 、 $R1$ 。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。

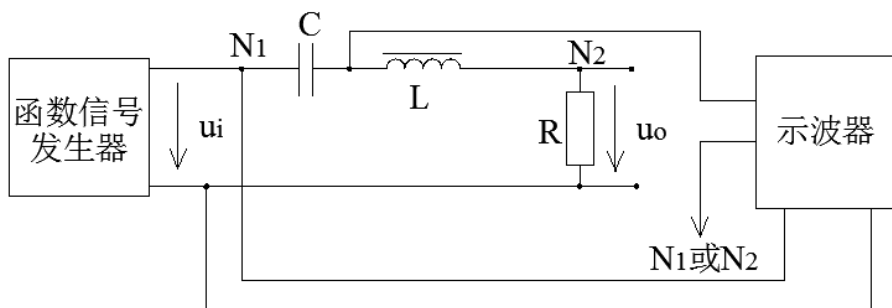


图 7-3

2. 找出电路的谐振频率  $f_0$ , 其方法是, 将毫伏表接在  $R(200\Omega)$  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, 读得示波器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  $300\text{Hz}$ , 依次各取 8 个测量点, 逐点测出  $U_o$ ,  $U_L$ ,  $U_C$  之值, 记入数据表格, 建议先确定大约的谐振频率再进行测量验证。



f(KHz)	6.5	6.8	7.1	7.4	7.7	8.0	8.3	8.6	8.9	9.2	9.5	9.8	10.1	10.4	10.7	11.0	11.3
U <sub>O</sub> (V)																	
U <sub>L</sub> (V)																	
U <sub>C</sub> (V)																	
U <sub>i</sub> =4VP-P, C=0.01μF, R=200Ω, f <sub>0</sub> =, f <sub>2</sub> -f <sub>1</sub> =, Q=																	

4.将电阻改为 R<sub>2</sub>, 重复步骤 2, 3 的测量过程, 建议先确定大约的谐振频率再进行测量验证 (自制表格)。

5.选 C<sub>2</sub>, 建议先确定大约的谐振频率再进行测量验证, 重复 2~4。(自制表格)。

## 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点。在变换频率测试前, 应调整信号输出幅度 (用示波器监视输出幅度), 使其维持在 4V<sub>p.p</sub>。

2. 测量 U<sub>C</sub> 和 U<sub>L</sub> 数值前, 应将毫伏表的量限改大, 而且在测量 U<sub>L</sub> 与 U<sub>C</sub> 时毫伏表的“+”端应接 C 与 L 的公共点, 其接地端应分别触及 L 和 C 的近地端 N<sub>2</sub> 和 N<sub>1</sub>。

3. 实验中, 信号源的外壳应与毫伏表的外壳绝缘 (不共地)。如能用浮地式交流毫伏表测量, 则效果更佳。

## 六、预习思考题

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 的电压, 电路谐振时, 用交流毫伏表测 U<sub>L</sub> 和 U<sub>C</sub>, 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<sub>L</sub> 与 U<sub>C</sub> 是否相等? 如有差异, 原因何在?

## 七、实验报告

1. 根据测量数据, 绘出不同 Q 值时三条幅频特性曲线, 即:

$$U_O=f(f), U_L=f(f), U_C=f(f)$$

2. 计算出通频带与 Q 值, 说明不同 R 值时对电路通频带与品质因数的影响。
3. 对两种不同的测 Q 值的方法进行比较, 分析误差原因。
4. 谐振时, 比较输出电压 U<sub>O</sub> 与输入电压 U<sub>i</sub> 是否相等? 试分析原因。
5. 通过本次实验, 总结、归纳串联谐振电路的特性。
6. 心得体会及其他。

## 实验八 三相交流电路电压、电流的测量

### 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、相电压及线、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、原理说明

1. 三相负载可接成星形（又称“Y”接）或三角形（又称“ $\Delta$ ”接）。当三相对称负载作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。

当对称三相负载作 $\Delta$ 形联接时，有  $I_L = \sqrt{3}I_p$ ， $U_L = U_p$ 。

2. 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。

3. 当不对称负载作 $\Delta$ 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。

### 三、实验设备

序号	名 称	型号与规格	数量	备注
1	交流电压表	0~500V	1	
2	交流电流表	0~5A	1	
3	万用表		1	自备
4	三相自耦调压器		1	自备
5	三相灯组负载	220V, 15W 白炽灯	6	
6	电门插座		3	

#### 注意事项：

- (1) 实验中严格按照指导教师的要求进行线路连接，请勿乱接线，以免烧坏设备；
- (2) 实验中未经指导教师检查线路及允许上电许可，不得上电，以免造成设备损坏；
- (3) 实验中尽量采用连接紧实的连接线，老旧连接线会造成测试数据不稳，若出现类似

情况，请更换连接线尝试。

四、实验内容

1. 三相负载星形联接（三相四线制供电）

按图 8-1 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，并按下述内容完成各项实验，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、电源与负载中点间的电压。将所测得的数据记入表 8-1 中，并观察各相灯组亮暗的变化程度，特别要注意观察中线的作用。

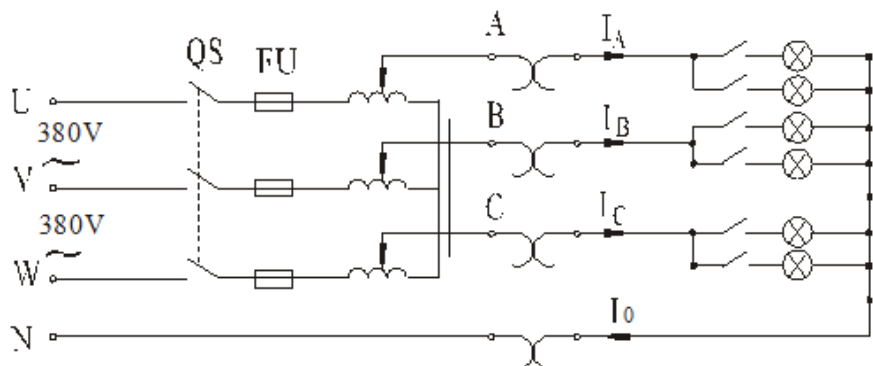


图 8-1

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	2	2	2											
Y 接平衡负载	2	2	2											
$Y_0$ 接不平衡负载	1	1	2											
Y 接不平衡负载	1	1	2											
$Y_0$ 接 B 相断开	1		2											
Y 接 B 相断开	1		2											
Y 接 B 相短路	1		2											

2. 负载三角形联接（三相三线制供电）

按图 8-2 改接线路，经指导教师检查合格后接通三相电源，并调节调压器，使其输出线电压为 220V，并按表 8-2 的内容进行测试。

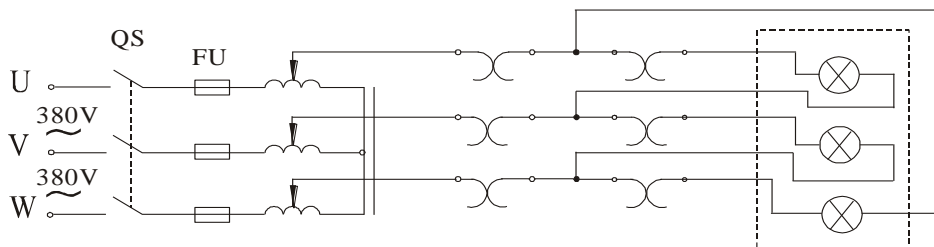


图 8-2

表 8-2

测量数据	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	2	2	2									
三相不平衡	1	1	2									

## 五、实验注意事项

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。
3. 星形负载作短路实验时，必须首先断开中线，以免发生短路事故。
4. 为避免烧坏灯泡，在做 Y 接不平衡负载或缺相实验时，所加线电压应以最高相电压  $< 240V$  为宜。

## 六、预习思考题

1. 三相负载根据什么条件作星形或三角形连接？
2. 复习三相交流电路有关内容，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？
3. 本次实验中为什么要通过三相调压器将 380V 的市电线电压降为 220V 的线电压使用？

## 七、实验报告

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. 心得体会及其他。

## 实验九 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. 学习电路时间常数的测量方法。
3. 掌握有关微分电路和积分电路的概念。
4. 进一步学会用示波器观测波形。

### 二、原理说明

1. 动态网络的过渡过程是十分短暂的单次变化过程。要用普通示波器观察过渡过程和测量有关的参数,就必须使这种单次变化的过程重复出现。为此,我们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;利用方波的下落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,它的响应就和直流电接通与断开的过渡过程是基本相同的。

2. 图 9-1 (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 $\tau$ 。

3. 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 9-1(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,  $U_c(\tau) = 0.368 U_m$ 。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  $0.632 U_m$  所对应的时间测得,如图 9-1(c)所示。

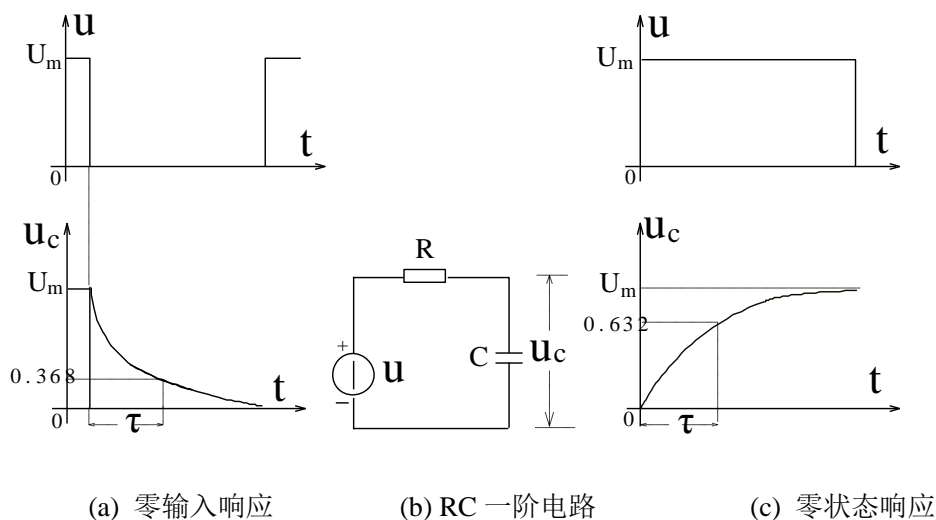


图 9-1

4. 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（ $T$  为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 9-2(a)所示。利用微分电路可以将方波转变成尖脉冲。

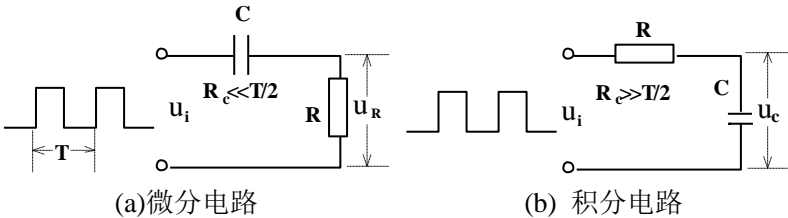


图 9-2

若将图 9-2(a)中的  $R$  与  $C$  位置调换一下，如图 9-2(b)所示，由  $C$  两端的电压作为响应输出，且当电路的参数满足 $\tau =RC\gg\frac{T}{2}$ ，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、实验设备

序号	名 称	型号与规格	数量	备注
1	函数信号发生器		1	自备
2	双踪示波器		1	自备
3	万用表（欧姆档）		1	自备：测量电阻
4	动态电路实验板		1	

#### 注意事项：

- （1）实验中严格按照指导教师的要求进行线路连接，请勿乱接线，以免烧坏设备；
- （2）实验中未用到的模块、开关及电阻、电容、电感旋钮请勿操作，以免造成设备损坏；
- （3）实验中尽量采用连接紧实的连接线，老旧连接线会造成测试数据不稳，若出现类似情况，请更换连接线尝试；
- （4）实验中实线表示已经连接，虚线表示未连接，需要在测试中接入电流表或导线连接。

### 四、实验内容

实验线路板的器件组件，如图 9-3 所示，请认清  $R$ 、 $C$  元件的布局及其标称值，各开关的通断位置等。

1. 从电路板上选  $R=10K\Omega$ ， $C=1000pF$  组成如图 9-1(b)所示的  $RC$  充放电电路。 $u_i$  为脉冲信号发生器输出的  $U_m=3V$ 、 $f=1KHz$  的方波电压信号，并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  $Y_A$  和  $Y_B$ 。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。

2. 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。令  $R=10K\Omega$ ， $C=3300pF$ ，观察并描绘响应的波形，继续增大  $C$  之值， $C=0.33\mu F$ ，定性地观察对响应的影响。

3. 令  $C=0.1\mu F$ ， $R=100\Omega$ （电阻器或 100 欧电阻），组成如图 9-2(a)所示的微分电路。在同样的方波激励信号（ $U_m=3V$ ， $f=1KHz$ ）作用下，观测并描绘激励与响应的波形。

将变阻器替代  $R$ ，增减  $R$  之值（例如 1K，3K，5K,10K），定性地观察对响应的影响，并作记录。当  $R$  增至  $10K\Omega$  时，输入输出波形有何本质上的区别？

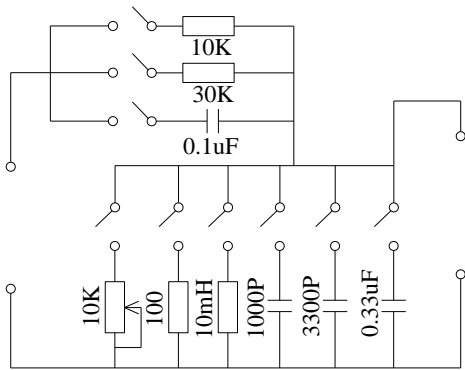


图 9-3 动态电路、选频电路实验板

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。
- 3. 示波器的辉度不应过亮，尤其是光点长期停留在荧光屏上不动时，应将辉度调暗，以延长示波管的使用寿命。

六、预习思考题

- 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  $R=10K\Omega$ ， $C=0.1\mu F$ ，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。
- 3. 何谓积分电路和微分电路，它们必须具备什么条件？它们在方波序列脉冲的激励下，其输出信号波形的变化规律如何？这两种电路有何功用？
- 4. 预习要求：熟读仪器使用说明，回答上述问题，准备方格纸。

七、实验报告

- 1. 根据实验观测结果，在方格纸上绘出 RC 一阶电路充放电时  $u_C$  的变化曲线，由曲线测得 $\tau$  值，并与参数值的计算结果作比较，分析误差原因。
- 2. 根据实验观测结果，归纳、总结积分电路和微分电路的形成条件，阐明波形变换的特征。
- 3. 心得体会及其他。

## 实验十 双口网络测试

### 一、实验目的

1. 加深理解双口网络的基本理论。
2. 掌握直流双口网络传输参数的测量技术。

### 二、原理说明

对于任何一个线性网络，我们所关心的往往只是输入端口和输出端口的电压和电流之间的相互关系，并通过实验测定方法求取一个极其简单的等值双口电路来替代原网络，此即为“黑盒理论”的基本内容。

1. 一个双口网络两端口的电压和电流四个变量之间的关系，可以用多种形式的参数方程来表示。本实验采用输出口的电压  $U_2$  和电流  $I_2$  作为自变量，以输入口的电压  $U_1$  和电流  $I_1$  作为应变量，所得的方程称为双口网络的传输方程，如图 10-1 所示的无源性双口网络（又称为四端网络）的传输方程为： $U_1 = AU_2 + BI_2$ ； $I_1 = CU_2 + DI_2$ 。式中的 A、B、C、D 为双口网络的传输参数，其值完全决定于网络的拓扑结构及各支路元件的参数值。这四个参数表征了该双口网络的基本特性，它们的含义是：

$$A = \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad (\text{令 } I_2 = 0, \text{ 即输出口开路时})$$

$$B = \frac{U_{2s}}{U_{1s}} \quad (\text{令 } U_2 = 0, \text{ 即输出口短路时})$$

$$C = \frac{I_{2s}}{I_{10}} \quad (\text{令 } I_2 = 0, \text{ 即输出口开路时})$$

$$D = \frac{U_{20}}{I_{1s}} \quad (\text{令 } U_2 = 0, \text{ 即输出口短路时})$$

$$D = \frac{I_{1s}}{I_{2s}} \quad (\text{令 } U_2 = 0, \text{ 即输出口短路时})$$

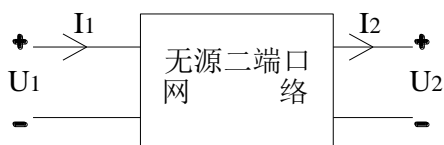


图 10-1

由上可知，只要在网络的输入口加上电压，在两个端口同时测量其电压和电流，即可求出 A、B、C、D 四个参数，此即为双端口同时测量法。

2. 若要测量一条远距离输电线构成的双口网络，采用同时测量法就很不方便。这时可采用分别测量法，即先在输入口加电压，而将输出口开路和短路，在输入口测量电压和电流，由传输方程可得：

$$R_{10} = \frac{U_{10}}{I_{10}} = \frac{A}{C} \quad (\text{令 } I_2 = 0, \text{ 即输出口开路时})$$

$$R_{1s} = \frac{U_{1s}}{I_{1s}} = \frac{B}{D} \quad (\text{令 } U_2 = 0, \text{ 即输出口短路时})$$

然后在输出口加电压，而将输入口开路和短路，测量输出口的电压和电流。此时可得

$$R_{20} = \frac{U_{20}}{I_{20}} = \frac{D}{C} \quad (\text{令 } I_1 = 0, \text{ 即输入口开路时})$$

$$R_{2s} = \frac{U_{2s}}{I_{2s}} = \frac{B}{A} \quad (\text{令 } U_1 = 0, \text{ 即输入口短路时})$$



$R_{10}$ ,  $R_{1s}$ ,  $R_{20}$ ,  $R_{2s}$  分别表示一个端口开路 and 短路时另一端口的等效输入电阻, 这四个参数中只有三个是独立的 ( $\because AD-BC=1$ )。至此, 可求出四个传输参数:

$$A=\sqrt{R_{10} / \left(R_{20}-R_{2 s}\right)}, \quad B=R_{2 s} A, \quad C=A / R_{10}, \quad D=R_{20} C$$

3. 双口网络级联后的等效双口网络的传输参数亦可采用前述的方法之一求得。 从理论推得两个双口网络级联后的传输参数与每一个参加级联的双口网络的传输参数之间有如下关系:

$$\begin{aligned} A &=A_1 A_2+B_1 C_2 & B &=A_1 B_2+B_1 D_2 \\ C &=C_1 A_2+D_1 C_2 & D &=C_1 B_2+D_1 D_2 \end{aligned}$$

## 2. 实验设备

序号	名 称	型号与规格	数量	备注
1	可调直流稳压电源	0~30V	1	
2	万用表（直流电压档）	0~200V	1	自备：测直流电压
3	数字直流毫安表	0~200mA	1	
4	双口网络实验电路板		1	

### 注意事项:

- (1) 实验中严格按照指导教师的要求进行线路连接, 请勿乱接线, 以免烧坏设备;
- (2) 实验中未用到的模块、开关及电阻、电容、电感旋钮请勿操作, 以免造成设备损坏;
- (3) 实验中尽量采用连接紧实的连接线, 老旧连接线会造成测试数据不稳, 若出现类似情况, 请更换连接线尝试;
- (4) 实验中实线表示已经连接, 虚线表示未连接, 需要在测试中接入电流表或导线连接。

## 四、实验内容

双口网络实验线路如图 10-2 所示。将直流稳压电源的输出电压调到 10V, 作为双口网络的输入。

- 按同时测量法分别测定两个双口网络的传输参数  $A_1$ 、 $B_1$ 、 $C_1$ 、 $D_1$  和  $A_2$ 、 $B_2$ 、 $C_2$ 、 $D_2$ , 并列 出它们的传输方程。

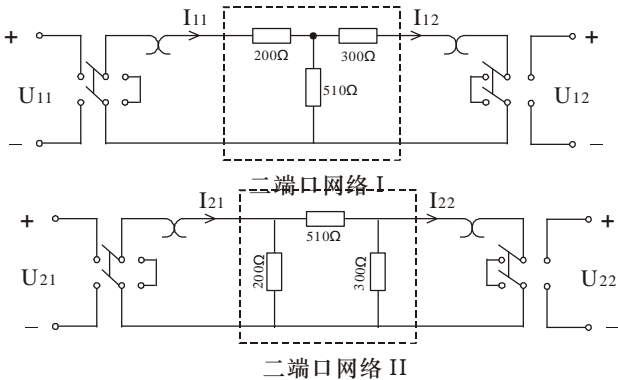


图 10-2

双 口 网 络 I	输出端开路 I <sub>12</sub> =0	测 量 值			计 算 值	
		U <sub>11O</sub> （V）	U <sub>12O</sub> （V）	I <sub>11O</sub> （mA）	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>
	输出端短路 U <sub>12</sub> =0	U <sub>11S</sub> （V）	I <sub>11S</sub> （mA）	I <sub>12S</sub> （mA）	C <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>
双 口 网 络 II	输出端开路 I <sub>22</sub> =0	测 量 值			计 算 值	
		U <sub>21O</sub> （V）	U <sub>22O</sub> （V）	I <sub>21O</sub> （mA）	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>
	输出端短路 U <sub>22</sub> =0	U <sub>21S</sub> （V）	I <sub>21S</sub> （mA）	I <sub>22S</sub> （mA）	C <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>

2. 将两个双口网络级联，即将网络 I 的输出接至网络 II 的输入。用两端口分别测量法测量级联后等效双口网络的传输参数 A、B、C、D，并验证等效双口网络传输参数与级联的两个双口网络传输参数之间的关系。

输出端开路 $I_2=0$			输出端短路 $U_2=0$			计 算 传 输 参 数
$U_{10}$ (V)	$I_{10}$ (mA)	$R_{10}$ (K $\Omega$ )	$U_{1S}$ (V)	$I_{1S}$ (mA)	$R_{1S}$ (K $\Omega$ )	
输入端开路 $I_1=0$			输入端短路 $U_1=0$			A= B= C= D=
$U_{20}$ (V)	$I_{20}$ (mA)	$R_{20}$ (K $\Omega$ )	$U_{2S}$ (V)	$I_{2S}$ (mA)	$R_{2S}$ (K $\Omega$ )	

## 五、实验注意事项

1. 用电流插头插座测量电流时，要注意判别电流表的极性 & 选取适合的量程（根据所给的电路参数，估算电流表量程）。
2. 计算传输参数时，I、U 均取其正值。

## 六、预习思考题

1. 试述双口网络同时测量法与分别测量法的测量步骤，优缺点及其适用情况。
2. 本实验方法可否用于交流双口网络的测定？

## 七、实验报告

1. 完成对数据表格的测量和计算任务。
2. 列写参数方程。
3. 验证级联后等效双口网络的传输参数与级联的两个双口网络传输参数之间的关系。

4. 总结、归纳双口网络的测试技术。
5. 心得体会及其他。

## 5. 面板说明与测量信息显示

如果在显示切换时没有相关信息(或相关显示信息不起作用)则表示该型号不具有这部分功能。

### 5.1 三排显示组合表

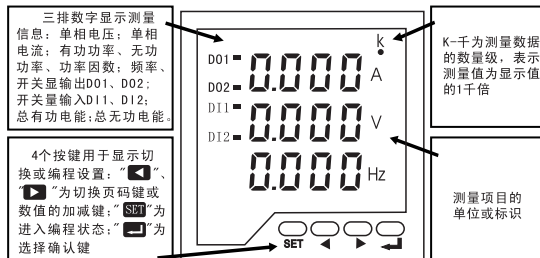


图4

### 5.2 单排显示

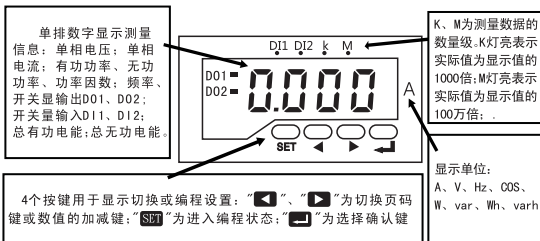


图5

## 6. 编程操作

在编程状态下，数显界面采用分层结构的菜单方式，仪表提供单排或三排数字显示：（见图6）

第1级为第一层菜单信息；

第2级为第二层菜单信息；

第3级为第三层菜单信息。

例如：下图4所示：第1级：INPT信号输入、第2级：CT电流变比  
第3级：5电流CT值，即设置为电流规格CT值=25/5A=5。



图6

数显界面菜单的组织结构如下，用户可根据实际情况选择适当的设置参数。（见表5）

表5

第1层	第2层	第3层	描述
系统设置 SET	显示DISP	0000-0010	0000表示自动循环显示方式
	DISL	0001-0003 或 0000-0120	0001-0003为LED数码管亮度调节； 0000-0120为LCD液晶背光显示保持时间(0000为背光常亮)
	电能清零 CLr.E	1111	1111表示电能清零、其它值无效