

# 电学基础实验—电路部分

## >> 实验指导书

范长胜 主 编

东 北 林 业 大 学

# 目 录

验证性实验.....	2
实验一 电路元件伏安特性的测绘.....	2
实验二 电压源与电流源的等效变换.....	5
实验三 RC 一阶电路的响应测试 .....	8
综合性实验.....	11
实验四 直流电路综合实验.....	11
实验五 直流电路仿真综合实验.....	15
实验六 正弦稳态交流电路的等效参数测量及功率因数提高.....	20
实验七 三相交流电路综合实验.....	25

# 验证性实验

## 实验一 电路元件伏安特性的测绘

### 一、实验目的

1. 学会识别常用电路元件的方法。
2. 掌握线性电阻、非线性电阻元件伏安特性的逐点测试法。
3. 掌握实验台上直流电工仪表和设备的使用方法。

### 二、原理说明

任何一个电器二端元件的特性可用该元件上的端电压  $U$  与通过该元件的电流  $I$  之间的函数关系  $I=f(U)$  来表示，即用  $I$ - $U$  平面上的一条曲线来表征，这条曲线称为该元件的伏安特性曲线。

1. 线性电阻器的伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线，如图 1-1 中 a 所示，该直线的斜率等于该电阻器的电阻值。

2. 一般的白炽灯在工作时灯丝处于高温状态，其灯丝电阻随着温度的升高而增大，通过白炽灯的电流越大，其温度越高，阻值也越大，一般灯泡的“冷电阻”与“热电阻”的阻值可相差几倍至十几倍，所以它的伏安特性如图 1-1 中 b 曲线所示。

3. 一般的半导体二极管是一个非线性电阻元件，其伏安特性如图 1-1 中 c 所示。正向压降很小（一般的锗管约为  $0.2\sim 0.3V$ ，

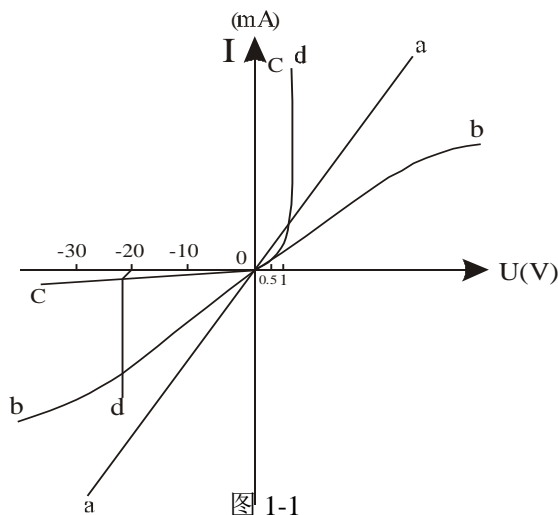
硅管约为  $0.5\sim 0.7V$ ），正向电流随正向压降的升高而急骤上升，而反向电压从零一直增加到十多至几十伏时，其反向电流增加很小，粗略地可视为零。可见，二极管具有单向导电性，但反向电压加得过高，超过管子的极限值，则会导致管子击穿损坏。

4. 稳压二极管是一种特殊的半导体二极管，其正向特性与普通二极管类似，但其反向特性较特别，如图 1-1 中 d 所示。在反向电压开始增加时，其反向电流几乎为零，但当电压增加到某一数值时（称为管子的稳压值，有各种不同稳压值的稳压管）电流将突然增加，以后它的端电压将基本维持恒定，当外加的反向电压继续升高时其端电压仅有少量增加。

注意：流过二极管或稳压二极管的电流不能超过管子的极限值，否则管子就会烧坏。

### 三、实验设备

序号	名 称	型号与规格	数量
1	可调直流稳压电源	0~30V	1
2	直流数字毫安表	0~500mA	1



3	直流数字电压表	0~300V	1
4	二 极 管	1N4007	1
5	稳 压 管	3V	1
6	白 炽 灯	12V	1
7	线性电阻器	200Ω, 510Ω/2W	1

#### 四、实验内容

##### 1. 测定线性电阻器的伏安特性

按图 1-2 接线，调节稳压电源的输出电压  $U$ ，从 0 伏开始缓慢地增加，一直到 10V，记下相应的电压表和电流表的读数  $U_R$ 、 $I$ ， $U_R$  为电阻端电压。

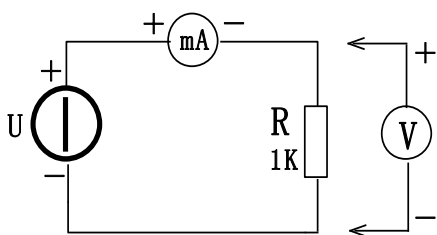


图 1-2

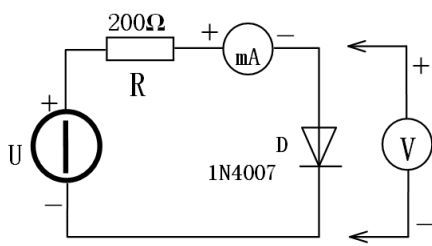


图 1-3

$U$ (V)	0	2	4	6	8	10
$U_R$ (V)						
$I$ (mA)						

##### 2. 测定非线性白炽灯泡的伏安特性

将图 1-2 中的  $R$  换成一个白炽灯，重复 1 的测量。 $U_L$  为灯泡的端电压。

$U$ (V)	6	7	8	9	10	11	12
$U_L$ (V)							
$I$ (mA)							

##### 3. 测定半导体二极管的伏安特性

按图 1-3 接线， $R$  为限流电阻器。测二极管的正向特性时，二极管  $D$  正向连接。测反向特性时，二极管  $D$  需要反向连接（二极管正负极调换位置），同时电压表与电流表也需要反向连接。

正向特性实验数据

$U$ (V)	0.10	0.30	0.50	0.60	0.70	0.8
$U_{D+}$ (V)						
$I$ (mA)						

反向特性实验数据

$U$ (V)	0	5	10	15	20	25	30
$U_{D-}$ (V)							
$I$ (mA)							

##### 4. 测定稳压二极管的伏安特性

(1) 正向特性实验：将图 1-3 中的二极管换成 3V 稳压二极管，重复实验内容 3 中的正向测量。 $U_{Z+}$  为 2CW51 的正向压降。

U(V)	0.10	0.30	0.50	0.6	0.7	0.8
$U_{Z+}$ (V)						
I (mA)						

(2) 反向特性实验：将图 1-3 中的 R 换成  $510\Omega$ ，3V 稳压二极管反接，测量 3V 稳压二极管的反向特性。稳压电源的输出电压 U 从 0~12V，测量 3V 稳压二极管二端的电压  $U_{Z-}$  及电流 I，由  $U_{Z-}$  可看出其稳压特性。

U(V)	0	2	4	6	8	10	12
$U_{Z-}$ (V)							
I (mA)							

## 五、实验注意事项

1. 测二极管正向特性时，稳压电源输出应由小至大逐渐增加，应时刻注意电流表读数不得超过 50mA。稳压源输出端切勿碰线短路。

2. 进行不同实验时，应先估算电压和电流值，合理选择仪表的量程，勿使仪表超量程，仪表的极性亦不可接错。

## 六、思考题

1. 线性电阻与非线性电阻的概念是什么？电阻器与二极管的伏安特性有何区别？
2. 设某器件伏安特性曲线的函数式为  $I=f(U)$ ，试问在逐点绘制曲线时，其坐标变量应如何放置？
3. 稳压二极管与普通二极管有何区别，其用途如何？
4. 在图 1-3 中，设  $U=2V$ ， $U_{D+}=0.7V$ ，则 mA 表读数为多少？

## 七、实验报告

1. 根据各实验结果数据，各元件分别绘制出光滑的伏安特性曲线。（其中二极管和稳压管的正、反向特性均要求画在同一张图中，正、反向电压可取为不同的比例尺）。

2. 根据实验结果，总结、归纳被测各元件的特性。
3. 必要的误差分析。
4. 心得体会及其他。

## 实验二 电压源与电流源的等效变换

### 一、实验目的

1. 掌握电源外特性的测试方法。
2. 验证电压源与电流源等效变换的条件。

### 二、原理说明

1. 一个直流稳压电源在一定的电流范围内，具有很小的内阻，常将它视为一个理想的电压源，即其输出电压不随负载电流而变。其外特性曲线，即其伏安特性曲线  $U=f(I)$  是一条平行于  $I$  轴的直线。

一个恒流源在实用中，在一定的电压范围内，可视为一个理想的电流源，即其输出电流不随负载两端的电压（亦即负载的电阻值）而变。

2. 一个实际的电压源（或电流源），其端电压（或输出电流）不可能不随负载而变，因它具有一定的内阻值。故在实验中，用一个小阻值的电阻（或大电阻）与稳压源（或恒流源）相串联（或并联）来模拟一个实际的电压源（或电流源）。

3. 一个实际的电源，就其外部特性而言，既可以看成是一个电压源，又可以看成是一个电流源。若视为电压源，则可用一个理想的电压源  $U_s$  与一个电阻  $R_o$  相串联的组合来表示；若视为电流源，则可用一个理想电流源  $I_s$  与一电导  $g_o$  相并联的给合来表示。如果有两个电源，他们能向同样大小的电阻供出同样大小的电流和端电压，则称这两个电源是等效的，即具有相同的外特性。

一个电压源与一个电流源等效变换的条件为：

电压源变换为电流源： $I_s=U_s/R_o$ ， $g_o=1/R_o$

电流源变换为电压源： $U_s=I_s R_o$ ， $R_o=1/g_o$

如图 1-3-1 所示。

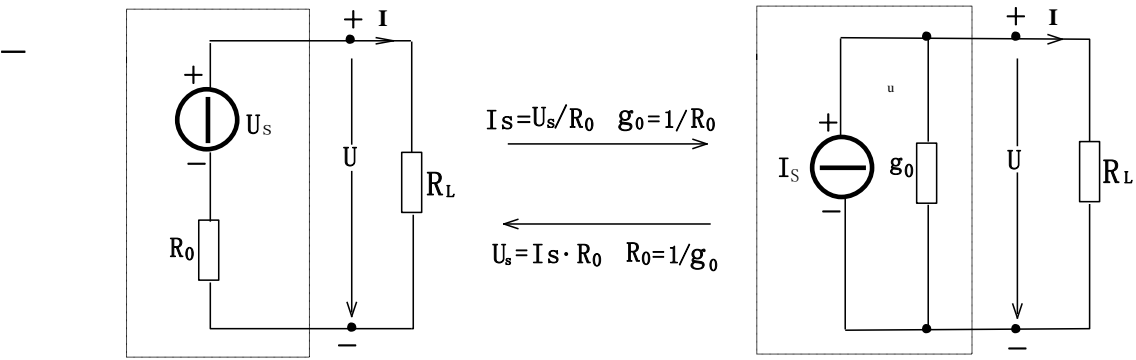


图 2-1

### 三、实验设备

序号	名 称	型号与规格	数量
1	可调直流稳压电源	0~30V	1
2	可调直流恒流源	0~500mA	1
3	直流数字电压表	0~300V	1
4	直流数字毫安表	0~500mA	1
5	电阻器	100Ω, 120Ω, 200Ω, 300Ω, 510Ω, 1kΩ	若干

#### 四、实验内容

##### 1. 测定直流稳压电源（理想电压源）与实际电压源的外特性

(1) 利用 HE-11 上的元件和屏上的电流插座，按图 2-2 接线。 $U_s$  为 +12V 直流稳压电源。调节电阻  $R_2$ ，令其阻值变化，记录电压表及电流表两表的读数，并填写在表 2-1 中。

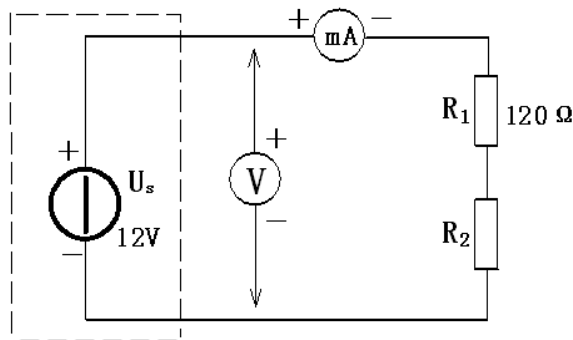


图 2-2

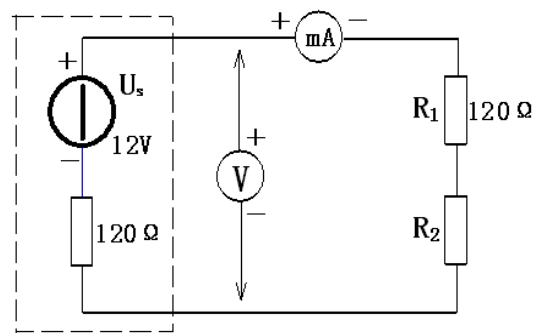


图 2-3

表 2-1 理想电压源

$R_2$	100	200	300	390	510	620	680	820	910	1k
$I$ (mA)										
$U$ (V)										

(2) 按图 2-3 接线，虚线框可模拟为一个实际的电压源。调节电阻  $R_2$ ，令其阻值变化，记录电压表及电流表两表的读数，并填写在表 2-2 中。

表 2-2 实际电压源

$R_2$	100	200	300	390	510	620	680	820	910	1k
$U$ (V)										
$I$ (mA)										

##### 2. 测定电流源的外特性

按图 2-4 接线， $I_s$  为直流恒流源，调节其输出为 10mA，令  $R_0$  分别为 1k $\Omega$  和  $\infty$ （即接入和断开），调节电阻  $R_2$ ，令其阻值变化，测出这两种情况下的电压表和电流表的读数，并把测量数据分别添入表格 2-3 及表格 2-4 中。

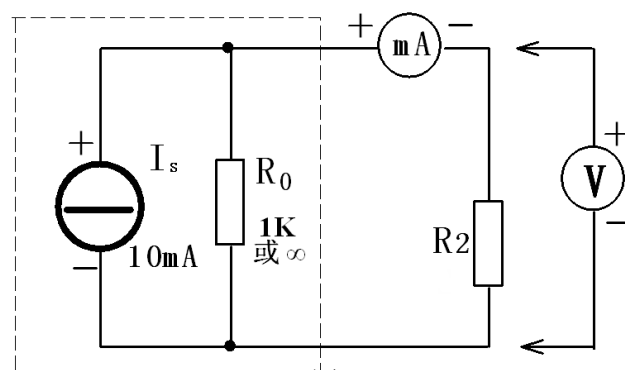


图 2-4

表 2-3 理想电流源  $R_0$  为  $\infty$

$R_2$	100	200	300	390	510	620	680	820	910	1k
$I$ (mA)										
$U$ (V)										

表 2-4 实际电流源  $R_0$  为  $1k\Omega$

$R_2$	100	200	300	390	510	620	680	820	910	1k
I (mA)										
U (V)										

### 3. 测定电源等效变换的条件

将图 2-5 (a) 两表读数及图 2-5 (b)  $I_s$  值填入表 2-5 中，具体操作过程如下：

(1). 按图 2-5 (a) 线路接线，并记录线路中两表（直流电压表和直流电流表）的读数。

(2). 按图 2-5(b)连接电路。并通过实验台，调节恒流源  $I_s$  输出（增大或减小电流输出值），同时观察实验台上的直流电压表与直流电流表数值的变化，当电压表与电流表的数值与图 2-5(a)所测量的电压表与电流表的数值对应近似相等时，记录实验台上恒流源  $I_s$  之值，填入下表格 2-5 中。**(注意：此时记录的是  $I_s$  值，不是电流表的值)**

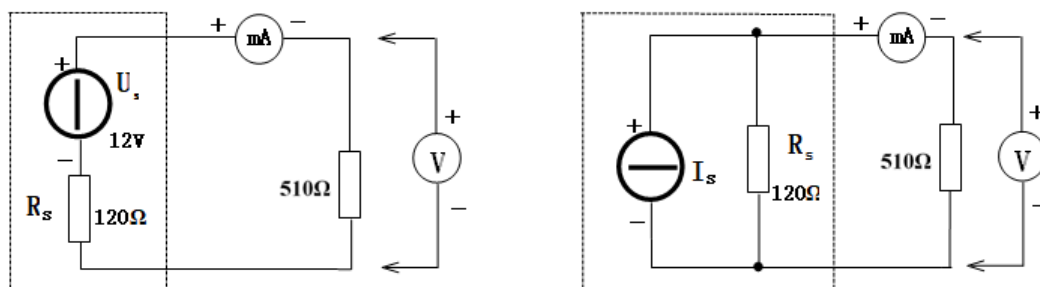


图 2-5

表 2-5

U (V)	I (mA)	$I_s$ (mA)

## 五、实验注意事项

1. 在测电压源外特性时，不要忘记测空载时的电压值，测电流源外特性时，不要忘记测短路时的电流值，注意恒流源负载电压不可超过 20V。
2. 换接线路时，必须关闭电源开关。
3. 直流仪表的接入应注意极性与量程。

## 六、预习思考题

1. 直流稳压电源的输出端为什么不允许短路？
2. 电压源与电流源的外特性为什么呈下降变化趋势，稳压源和恒流源的输出在任何负载下是否保持恒值？

## 七、实验报告

1. 根据实验数据绘出电源的四条外特性曲线，并总结、归纳各类电源的特性。
2. 从实验结果，验证电源等效变换的条件。
3. 心得体会及其他。



## 实验三 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, 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 3-1(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 3-1(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 3-1 (c)所示。

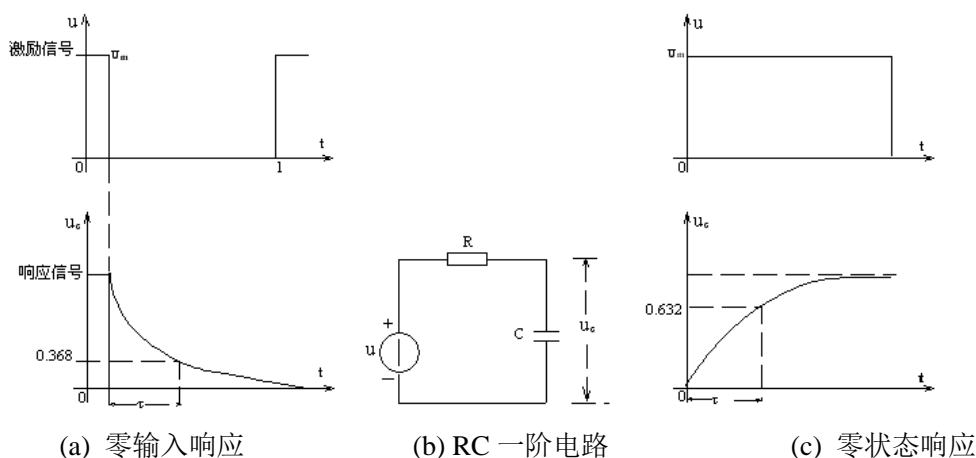


图 3-1

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, 这就是一个微分电路。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 3-2(a)所示。利用微分电路可以将方波转变成尖脉冲。

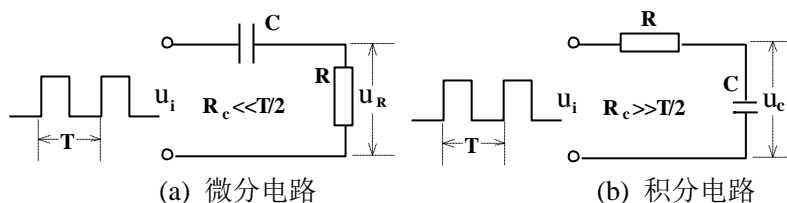


图 3-2

若将图 3-2(a)中的 R 与 C 位置调换一下,如图 3-2(b)所示,由 C 两端的电压作为响应输出。当电路的参数满足  $\tau=RC \gg \frac{T}{2}$  条件时,即称为积分电路。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
1	脉冲信号发生器		1
2	示波器	数字	1
3	电阻	100Ω、1K、10K	各 1
4	电容	6800pF、0.01μF、100Ω	各 1
5	电容	0.1μF	2

### 四、实验内容

#### 1. (测量 $U_c$ )

(1) 取  $R=10K\Omega$ ,  $C=6800pF$ , 组成如图 3-1(b)所示的 RC 充放电电路。U 为脉冲信号发生器输出的峰峰值  $U_{pp}=3V$ 、频率  $f=1kHz$  的方波电压信号,并通过两根同轴电缆线,将响应  $U_c$  的信号连至示波器的输入口  $Y_A$  或  $Y_B$ 。根据示波器的采样曲线,利用光标线实测曲线数据(坐标点)并进行记录,填入表 3-1 中。

表 3-1

坐标点 参数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
时间 t (ms)										
电压 u (V)										

通过示波器,利用光标线测量出时间常数  $\tau$ ,填入表 3-2 中。(注:零输入响应和零状态响应都需要测量时间常数,理论值:  $\tau=R \cdot C$ )

表 3-2

状态 参数	零输入响应	零状态响应
时间常数 $\tau$ (μs)		

(2 取  $R=10K\Omega$ ,  $C=0.01\mu F$ , 组成如图 3-1(b)所示的 RC 充放电电路。观察示波器中采样曲线波形的变化,并根据的采样曲线,利用光标线实测曲线数据(坐标点)并进行记录,填入表 3-3 中。

表 3-3

坐标点 参数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
时间 t (ms)										
电压 u (V)										

#### 3. (测量 $U_c$ )

(1) 取  $R=10K\Omega$ ,  $C=0.1\mu F$ , 组成如图 3-2(a)所示的积分电路,观察示波器中采样曲线波形的变化,并根据的采样曲线,利用光标线实测曲线数据(坐标点)并进行记录,填入表 3-4 中。

表 3-4

坐标点 参数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
时间 t (ms)										
电压 u (V)										

(2) 取  $R=10K\Omega$ , 电容为 2 个并联的  $0.1\mu F$  电容,组成如图 3-2(a)所示的积分电路,观察示波器中采样曲线波形的变化,并根据的采样曲线,利用光标线实测曲线数据(坐标点)并进行记录,填入表 3-5 中。

表 3-5

坐标点 参数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
时间 $t$ (ms)										
电压 $u$ (V)										

2. (测量  $U_R$ )

(1) 取  $R=100\Omega$ ,  $C=0.1\mu F$ , 组成如图 3-2(b)所示的微分电路, 观察示波器中采样曲线波形的变化, 并根据的采样曲线, 利用光标线实测曲线数据 (坐标点) 并进行记录, 填入表 3-6 中。

表 3-6

坐标点 参数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
时间 $t$ (ms)										
电压 $u$ (V)										

(2) 取  $R=1K\Omega$ ,  $C=0.1\mu F$ , 组成如图 3-2(b)所示的微分电路, 观察示波器中采样曲线波形的变化, 并根据的采样曲线, 利用光标线实测曲线数据 (坐标点) 并进行记录, 填入表 3-7 中。

表 3-7

坐标点 参数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
时间 $t$ (ms)										
电压 $u$ (V)										

## 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, 需熟读示波器的使用说明书。观察时, 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信号?

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。

## 七、实验报告

1. 根据实验测量数据, 绘出 RC 一阶电路变化曲线。

2. 根据各表格的  $R$ 、 $C$  值, 计算每个表格所对应的时间常数  $\tau$  ( $\tau=R \cdot C$ )。

2. 根据实验绘制的 RC 一阶电路变化曲线, 归纳、总结时间常数对 RC 一阶电路的影响, 并阐明波形变换的特征。

3. 心得体会及其他

# 综合性实验

## 实验四 直流电路综合实验

### 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的方法。
3. 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。
4. 掌握测量有源二端网络等效参数的一般方法。

### 二、原理说明

(一). 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。

(二). 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）。

1. 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  $R_0=U_{oc}/I_{sc}$ 。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。

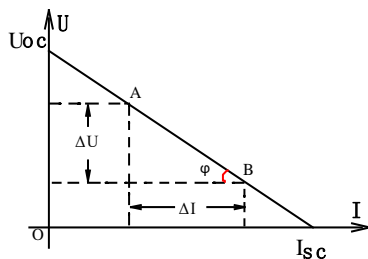


图 4-1

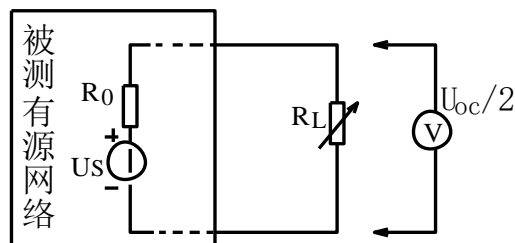


图 4-2

##### (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 4-1 所示。根据外特性曲线求出斜率  $\tan \phi$ ，则内阻  $R_0=\tan \phi=\Delta U/\Delta I=U_{oc}/I_{sc}$ 。也可以先测量开路电压  $U_{oc}$ ，再测量电流为额定值  $I_N$  时的输出端电压值  $U_N$ ，则内阻为  $R_0=(U_{oc}-U_N)/I_N$ 。

##### (3) 半电压法测 $R_0$

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（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 4-3 所示。

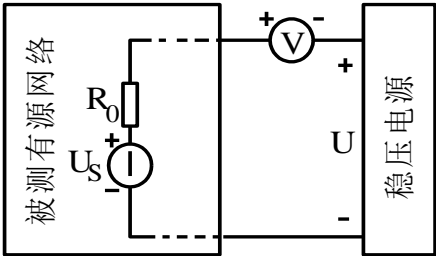


图 4-3

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。

二、 实验设备

序号	名 称	型号与规格	数量
1	可调直流稳压电源	0~30V	1
2	可调直流恒流源	0~500mA	1
3	直流数字电压表	0~300V	1
4	直流数字毫安表	0~500mA	1
5	电位器	1K/2W	1
6	电阻	10Ω, 100Ω, 330Ω, 510Ω, 1kΩ	若干

四、实验内容

(一). 基尔霍夫定律

实验线路如图 4-4 所示。

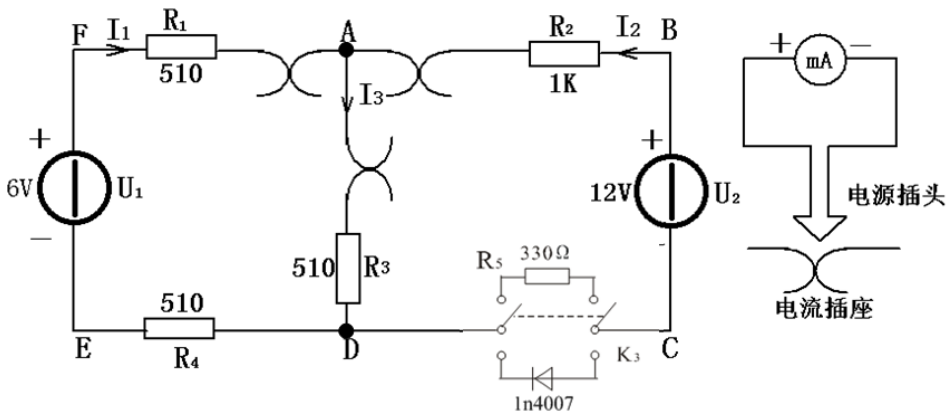


图 4-4

1. 将开关  $K_3$  指向  $R_5$  电阻。
2. 实验前任意设定三条支路和三个闭合回路的电流正方向。图 4-4 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。
3. 分别将两路直流稳压源接入电路，令  $U_1=6V$ ， $U_2=12V$ 。

- 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。
- 将电流插头分别插入三条支路的三个电流插座中，读出并记录电流值。
- 用直流数字电压表分别测量两路电源及电阻元件上的电压值，记录在表 4-1 中。

表 4-1

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

- 将开关  $K_3$  指向二极管，重新测量两路电源及电阻元件上的电压值，并记录在表 4-2 中。

表 4-2

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

注：相对误差 =  $|\text{测量值} - \text{计算值}| / \text{计算值} \times 100\%$

## (二). 戴维南定理和诺顿定理

被测有源二端网络如图 4-5(a)。

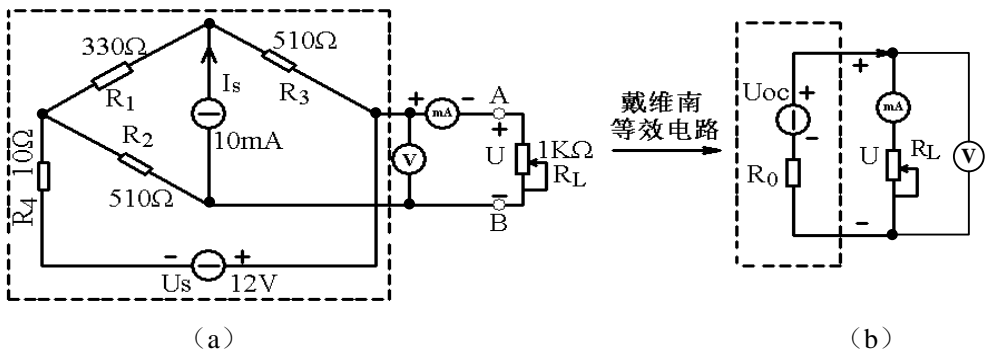


图 4-5

- 用开路电压、短路电流法测定戴维南等效电路的  $U_{oc}$  和  $R_0$ 。在 4-5(a)中，接入稳压电源  $U_s=12\text{V}$  和恒流源  $I_s=10\text{mA}$ ，不接入  $R_L$ 。分别测定  $U_{oc}$  和  $I_{sc}$ ，并计算出  $R_0$ ，记于表 4-3 中。（测  $U_{oc}$  时，不接入 mA 表。）

表 4-3

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

## 2. 负载实验

按图 4-5(a)接入电位器  $R_L$ 。改变电位器  $R_L$  阻值，测量不同端电压下的电流值，记于表 4-4 中。

表 4-4

$U(\text{V})$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I(\text{mA})$										

## 3. 验证戴维南定理

- 首先需要找到电路元器件  $R_0$ （等效电阻）。利用原电路得到  $R_0$ ，具体操作如下：

如图 4-5(a)，电路去除负载  $R_L$ ，然后再去除电源，把  $U_s(-)$  和  $U_s(+)$  两端用一根导线短接（注意，此时电路中无电源），这时电路从 A、B 二端看过去，A、B 二端的阻值即为等效电阻  $R_0$  的值，因此也就找到了实际的元器件  $R_0$ 。

注：（即除源，电压源短路，电流源开路，此时一端口（A、B 二端）的阻值即为等效电阻  $R_0$  的值）。

(2)、然后将得到的等效电阻  $R_0$  与直流稳压电源相串联，如图 4-5(b)所示，测其外特性，将实验数据填入表 4-5 中。（注意：此时电压源的电压为  $U_{oc}$  之值，不再是 12V， $U_{oc}$  值参考表 4-3）

表 4-5

U (V)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I (mA)										

#### 4. 诺顿定理

按图 4-6 接线，调节负载  $R_L$ ，测出电压对应电流值，将实验数据填入表 4-6 中。（注意：此时电流源的输出电流为  $I_{sc}$  之值，不再是 10mA， $I_{sc}$  值参考表 4-3）

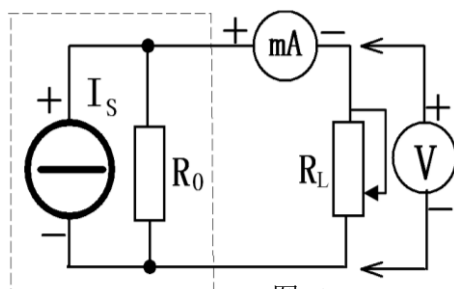


图 4-6

表 4-6

U (V)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I (mA)										

### 五、实验注意事项

1. 图 4-4 中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。
2. 防止稳压电源两个输出端碰线短路。
3. 测量时应注意电流表量程的更换。
4. 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。
5. 改接线路时，要关掉电源。

### 六、预习思考题

1. 根据图 4-4 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. 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. 根据实验数据，选定节点 A，分析讨论 KCL 的正确性。
2. 根据实验数据，选定实验电路中的闭合回路，分析讨论 KVL 的正确性。
3. 根据表 4-4、4-5、4-6，分别绘出曲线，分析讨论戴维南定理和诺顿定理的正确性。
4. 实验误差分析。
5. 心得体会及其他。

## 实验五 直流电路仿真综合实验

### 一. 实验目的

1. 熟悉掌握 Multisim 软件的使用方法，提高电路分析的能力，加深对理论知识的理解。
2. 应用 Multisim 仿真软件建立电路，测量电压、电流数据，建立数据对应关系。
3. 提高电路综合仿真分析能力。

### 二. 实验设备

台式计算机，Multisim 软件。虚拟设备及器材：万用表、电阻、直流电源、开关。

### 三、实验内容

#### 1. 基尔霍夫定律

- 1). 按照图 5-1 选择元件，连接电路。

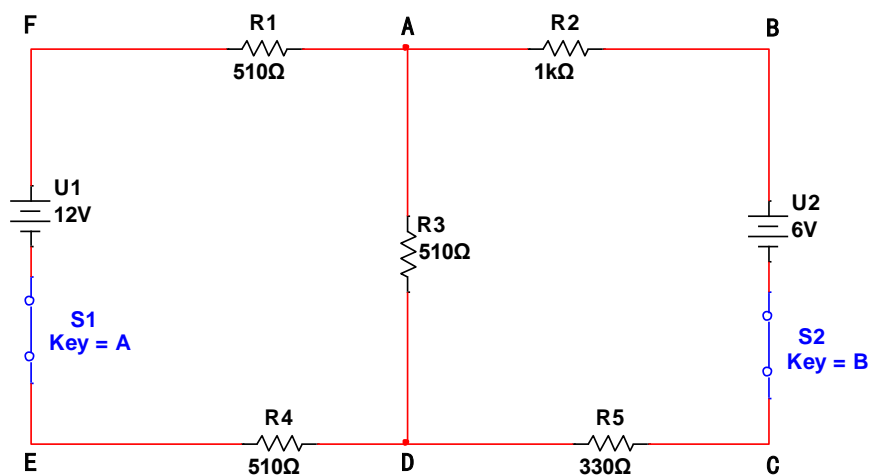


图 5-1

- 2). 按图 5-2 接入万用表，万用表选择直流电流档，并要注意三个万用表的极性，合上开关  $S_1$  和  $S_2$ ，开启仿真开关，对电路进行仿真，记录万用表显示的数值，填入表 5-1 中，然后对节点 A 验证基尔霍夫电流定律。

表 5-1

参数	XMM1 (mA)	XMM2 (mA)	XMM3 (mA)
$S_1$ 和 $S_2$ 闭合, $R_1=510\ \Omega$			
$S_1$ 和 $S_2$ 闭合, $R_1=680\ \Omega$			
$S_1$ 和 $S_2$ 闭合, $R_1=1\text{k}\ \Omega$			
$S_1$ 和 $S_2$ 闭合, $R_1=2\text{k}\ \Omega$			



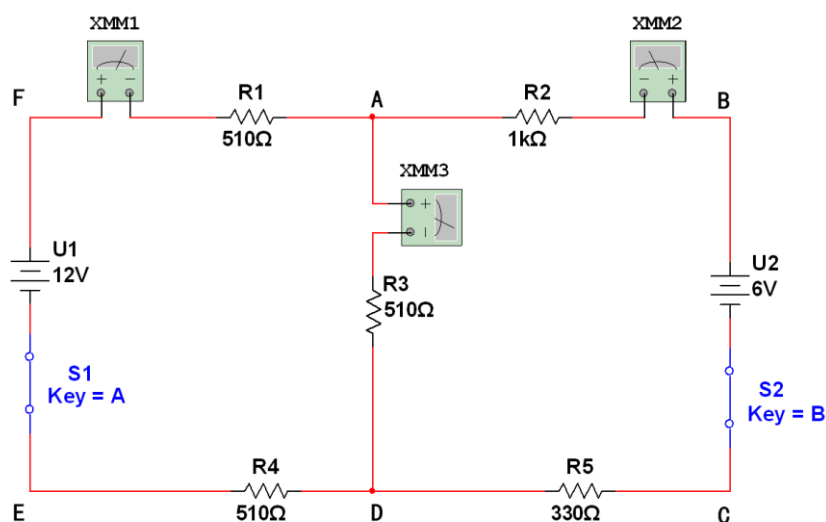


图 5-2

3) . 按图 5-3 接入万用表，万用表选择直流电压档，并注意三个万用表的极性，合上开关  $S_1$  和  $S_2$ ，开启仿真开关，对电路进行仿真，记录万用表显示的数值，填入表 5-2 中，然后根据对应回路验证基尔霍夫电压定律。

表 5-2

参数	XMM1 (V)	XMM2 (V)	XMM3 (V)	XMM4 (V)	XMM5 (V)
$S_1$ 和 $S_2$ 闭合					
$S_1$ 闭合， $S_2$ 打开					
$S_1$ 打开， $S_2$ 闭合					

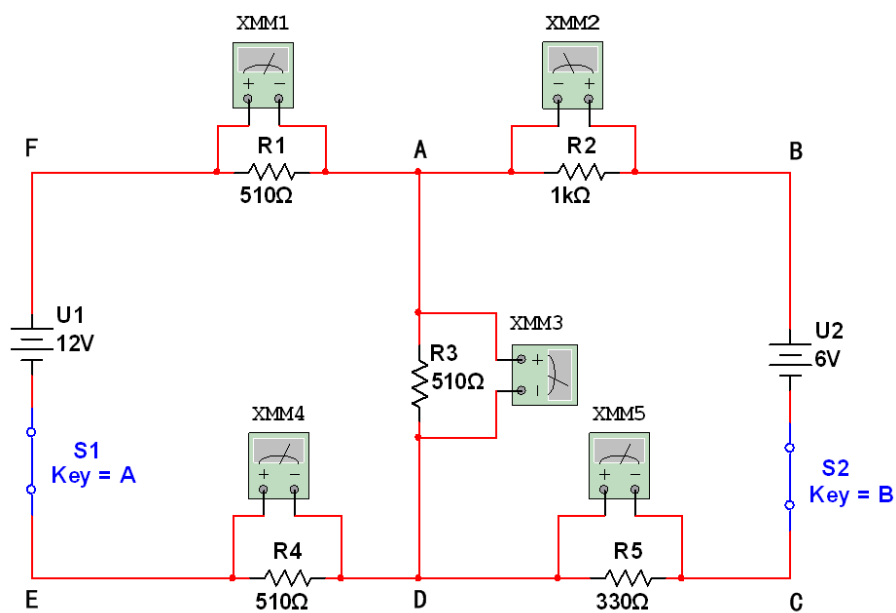


图 5-3

2.叠加原理

1) 按图 5-4 选取元件，连接电路。

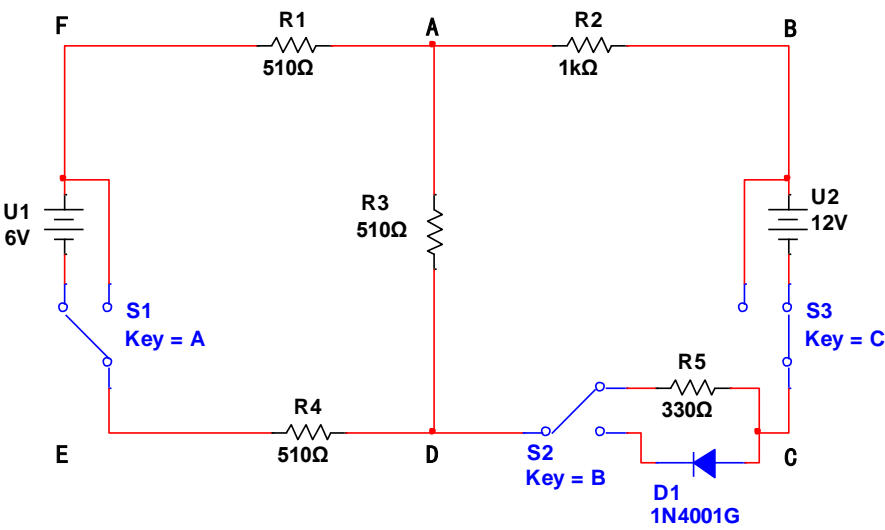


图 5-4

2) 开关 S2 在电阻一侧，S1、S3 根据表 5-3 内容切换到对应位置，按图 5-5 连接万用表，进行数据测量，数据填入表 5-3 中。

表 5-3

测量项目 实验内容	XMM1 (mA)	XMM2 (mA)	XMM3 (mA)	XMM4 (V)	XMM5 (V)	XMM6 (V)	XMM7 (V)	XMM8 (V)
U <sub>1</sub> 单独作用								
U <sub>2</sub> 单独作用								
U <sub>1</sub> 、U <sub>2</sub> 共同作用								
2U <sub>2</sub> 单独作用								

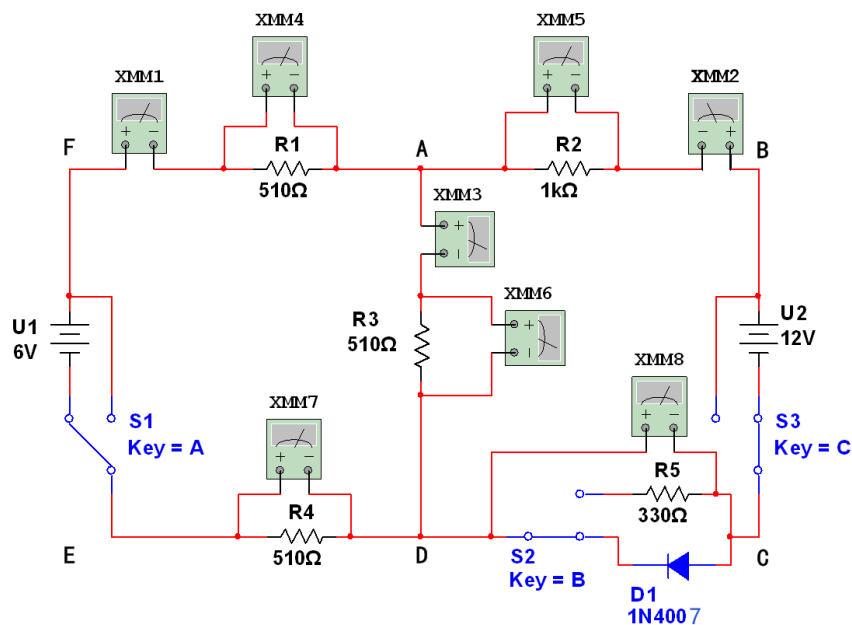


图 5-5

2) 开关 S2 在二极管一侧, S1、S3 根据表 4 内容切换到对应位置, 按图 5-5 连接万用表, 进行数据测量, 数据填入表 5-4 中。

表 5-4

测量项目 实验内容	XMM1 (mA)	XMM2 (mA)	XMM3 (mA)	XMM4 (V)	XMM5 (V)	XMM6 (V)	XMM7 (V)	XMM8 (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. 戴维南（宁）定理

1) 按图 5-6 选取元件, 连接电路。

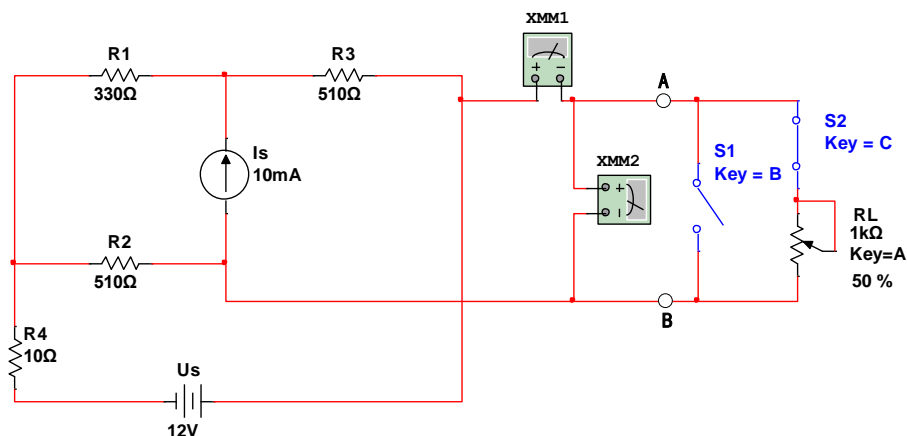


图 5-6

2) 用开路电压、短路电流法测定戴维南等效电路的  $U_{oc}$  和  $R_0$ 。在图 5-6 中, 接入稳压电源  $U_s=12V$  和恒流源  $I_s=10mA$ , 不接入  $R_L$ 。利用开关 S1、S2, 分别测定  $U_{oc}$ 、 $I_{sc}$ 、 $R_0$ , 记于表 5-5 中。

表 5-5

Uoc(V)	Isc(mA)	R <sub>0</sub> (Ω)

## 3) 负载实验

按图 5-6 接入电位器  $R_L$ 。改变电位器  $R_L$  阻值，测量不同端电压下的电流值（电压范围 1~10V），记于表 5-6 中。

表 5-6

U (V)										
I (mA)										

## 4) 验证戴维南定理

如图 5-7 所示，连接电路，对戴维南定理进行验证，将实验数据填入表 5-7 中。

表 5-7

U (V)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I (mA)										

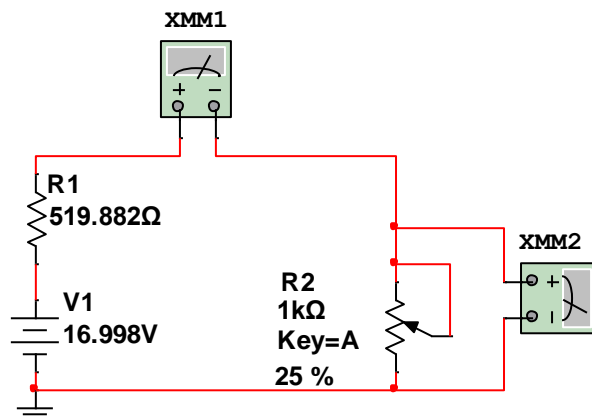


图 5-7

## 四. 实验注意事项

1. 万用表需要根据测量量设置对应的电压档或电流档，同时注意极性。
2. 各元件参数值要根据实验内容进行设置。

## 五. 实验预习

熟悉仿真软件 Multisim 的使用方法。

## 六. 实验报告要求

1. 根据实验数据验证节点 A 基尔霍夫电源定律。
2. 根据实验数据验证各回路基尔霍夫电压定律。
3. 根据实验数据验证叠加原理和线性电路齐次性。
4. 根据实验数据验证戴维南定理。

## 实验六 正弦稳态交流电路的等效参数测量及功率因数提高

### 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。
3. 研究正弦稳态交流电路中电压、电流相量之间的关系。
4. 掌握日光灯线路的接线。
5. 理解改善电路功率因数的意义并掌握其方法。

### 二、原理说明

#### (一) . 交流电路等效参数的测量

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：

电阻元件的电阻： $R=U_R/I$  或  $R=P/I^2$

电感元件的感抗： $X_L=2\pi fL=U_L/I$

电容元件的容抗： $X_C=1/(2\pi fC)=U_C/I$

串联电路复阻抗的模： $|Z|=U/I$ ，阻抗角： $\varphi = \arctg \frac{X}{R}$

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

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

#### (二) . 日光灯工作原理及交流电路的功率因数提高

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。

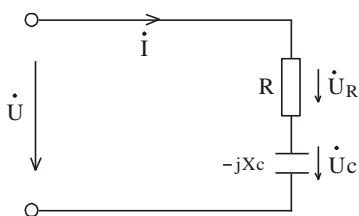


图 6-1

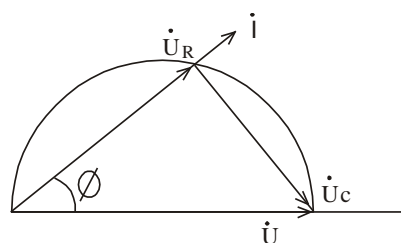


图 6-2

3. 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)。

其工作原理是：当开关接通的时候，电源电压立即通过镇流器和灯管灯丝加到启辉器的两极。220 伏的电压立即使启辉器的惰性气体电离，产生辉光放电。辉光放电的热量使双金属片受热膨胀，两极接触。

电流通过镇流器、启辉器触极和两端灯丝构成通路。灯丝很快被电流加热，发射出大量电子。这时，由于启辉器两极闭合，两极间电压为零，辉光放电消失，管内温度降低；双金属片自动复位，两极断开。在两极断开的瞬间，电路电流突然切断，镇流器产生很大的自感电动势，与电源电压叠加后作用于管两端。灯丝受热时发射出来的大量电子，在灯管两端高电压作用下，以极大的速度由低电势端向高电势端运动。在加速运动的过程中，碰撞管内氩气分子，使之迅速电离。氩气电离生热，热量使水银产生蒸气，随之水银蒸气也被电离，并发出强烈的紫外线。在紫外线的激发下，管壁内的荧光粉发出近乎白色的可见光。

日光灯正常发光后。由于交流电不断通过镇流器的线圈，线圈中产生自感电动势，自感电动势阻碍线圈中的电流变化，这时镇流器起降压限流的作用，使电流稳定在灯管的额定电流范围内，灯管两端电压也稳定在额定工作电压范围内。由于这个电压低于启辉器的电离电压，所以并联在两端的启辉器也就不再起作用了。

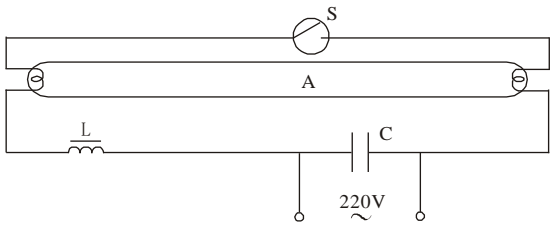


图 6-3

### 三、实验设备

序号	名称	型号与规格	数量
1	交流电压表	0~450V	1
2	交流电流表	0 ~5A	1
3	功率表		1
4	自耦调压器		1
5	镇流器、启辉器	与 30W 灯管配用	各 1
6	日光灯灯管	30W	1
7	电容器	1 μ F, 2 μ F, 4 μ F/450V	各 1
8	白炽灯及灯座	220V, 25W	1~3
9	电流插座		3

### 四、实验内容

#### (一) . 交流电路等效参数的测量

##### 1. 定值电阻器的测量（测量一盏并联 25W 白炽灯(R)）

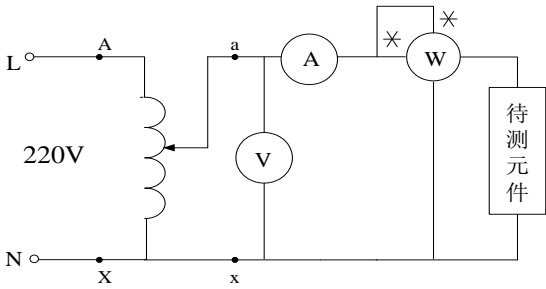


图 6-4

用图 6-4 所示电路，测定三盏并联 25W 白炽灯的电阻值。调节自耦调压变压器的输出电压，使电流表的读数为 0.15A、0.25A、0.30A 时，测出 U、P 后，分别由  $R=U/I$  及  $R=U^2/P$  计算出电阻的阻值，并加以比

较，将实验数据填入表 6-1 中。

表 6-1

电流值	测量值		计算值	
I(A)	U (V)	P (W)	$R=U / I(\Omega)$	$R=U^2/P(\Omega)$
0.15				
0.25				
0.30				

2. 测定电容器（一个 4μF 电容器（C））的电容值，并观察功率表有无读数

调节自耦调压变压器的输出电压，使电压表的读数分别 180V、200V、220V，测量 I 和 P，计算电容器的电容值，将实验数据填入表 6-2 中。

表 6-2

电压值	测量值		计算值	
U (V)	I (A)	P (W)	$X_C(\Omega)$	C (μF)
180				
200				
220				

3. 测定电感器（一个镇流器）的电感量

调节调压器的输出电压，使电流表的读数分别为 0.15A、0.25A、0.30A 时。测量 U 和 P，计算电感器的阻抗值，将实验数据填入表 6-3 中。

表 6-3

电流值	测量值		计算值		
I(A)	U (V)	P (W)	$R_L(\Omega)$	$X_L(\Omega)$	L(H)
0.15					
0.25					
0.30					

4. 复阻抗的测定

将负载电阻器（三盏并联 25W 白炽灯）、电容器（一个 4.0μF 电容器）和电感器（一个镇流器）串联后作为复阻抗。调节调压器的输出电压，使电流表的读数分别为 0.15A、0.25A、0.30A，测量复阻抗的总功率、总电压、电阻器电压、电容器电压和电感器电压，将实验数据填入表 6-4 中。

表 6-4

电流值	测量值					计算值			
I(A)	P (W)	U (V)	$U_R(V)$	$U_C(V)$	$U_L(V)$	$ Z $	$R(\Omega)$	$\varphi$	U
0.15									
0.25									
0.30									

（二）. 验证电压三角形、日光灯工作原理及功率因数的提高

1. 按图 6-1 接线。R 为 25W/220V 的白炽灯泡，电容器为 4.0μF/450V。经检查无误后，接通实验台电源，将自耦调压器输出(即 U)调至 220V。记录 U、 $U_R$ 、 $U_C$  值于表 6-5 中，

验证电压三角形关系。

表 6-5

灯 (盏数)	测 量 值			计 算 值		
	U (V)	U <sub>R</sub> (V)	U <sub>C</sub> (V)	U' (与 U <sub>R</sub> , U <sub>C</sub> 组成 Rt△) ( U' = $\sqrt{U_R^2 + U_C^2}$ )	$\Delta U = U' - U$ (V)	$\Delta U/U$ (%)
1						
2						
3						

2. 日光灯线路接线与测量。

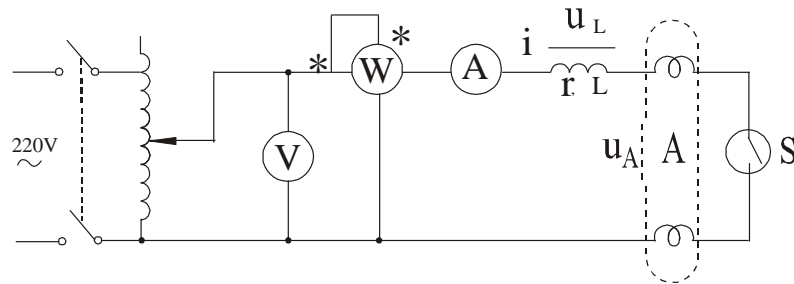


图 6-5

调节自耦调压器的输出，将电压调至 220V。切断电源，利用相关器件，按图 6-5 接线。经检查无误后，接通实验台电源，测量功率 P， 电流 I， 电压 U、U<sub>L</sub>、U<sub>A</sub> 等值并记录于表 6-5 中。（注：U<sub>A</sub> 等于启辉器两端电压）。

表 6-5

测 量 数 值						
	P(W)	Cosφ	I(A)	U(V)	U <sub>L</sub> (V)	U <sub>A</sub> (V)
正常工作值						

3. 并联电容——电路功率因数的改善。

将自耦调压器的输出调至 220V，并切断电源进行连线。连接交流电流表时，可利用电流插座(也可以不用电流插座，直接用导线串联交流电流表)。接线图如图 6-6 所示。

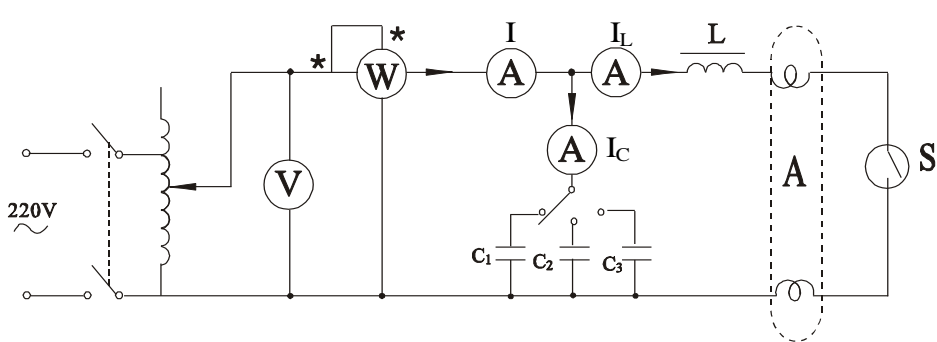


图 6-6

经检查无误后，接通实验台电源，记录功率表，电压表读数，改变电容值，进行重复测量，将数据填入表 6-6 中。（注：电容值为“0”时，并联电容位置为开路）。



表 6-6

电容值	测 量 数 值					
( $\mu\text{F}$ )	P(W)	COS $\phi$	U(V)	I (A)	I <sub>L</sub> (A)	I <sub>C</sub> (A)
0						
1						
2.2						
4.7						
2.2//4.7						

## 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。
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。
4. 功率表要正确接入电路。
6. 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。

## 六、预习思考题

1. 掌握阻抗、阻抗角及相位差的概念
2. 预习交流电流表、交流电压表、功率表及三相调压器的使用方法
3. 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？
4. 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，此时感性元件上的电流和功率是否改变？
5. 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. 根据实验数据 1，计算白炽灯在不同电压下的电阻值。
2. 根据实验数据 2，计算电容器的容抗和电容值。
3. 根据实验数据 3，计算镇流器的参数（电阻 R、电感 L）。
4. 根据实验数据 4，计算各值。计算总电压时要求画相量图，验证向量形式的基尔霍夫（克希荷夫）电压定律。注：要求实验报告中书写各计算过程！
5. 完成数据表格中的计算，进行必要的误差分析。
6. 讨论改善电路功率因数的意义和方法。
7. 装接日光灯线路的心得体会及其他。

## 实验七 三相交流电路综合实验

### 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。
3. 掌握用一瓦特表法、二瓦特表法测量三相电路有功功率的方法
4. 进一步熟练掌握功率表的接线和使用方法。

### 二、原理说明

#### (一) 三相电路负载星形连接与三角形连接

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。

#### (二) 三相电路功率

1. 对于三相四线制供电的三相星形联接的负载(即  $Y_0$  接法)，可用一只功率表测量各相的有功功率  $P_A$ 、 $P_B$ 、 $P_C$ ，则三相功率之和

( $\Sigma P = P_A + P_B + P_C$ ) 即为三相负载的总有功率值。这就是一瓦特表法，如图 7-1 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。

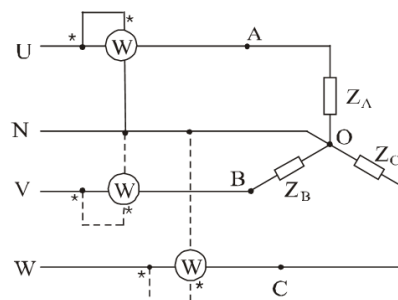
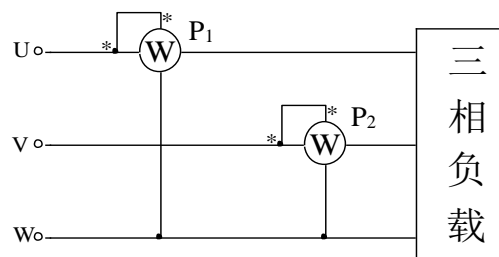


图 7-1

2. 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率。测量线路如图 7-2 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)。

图 7-2

三、实验设备

序号	名 称	型号与规格	数量
1	交流电压表	0~450V	1
2	交流电流表	0~5A	1
3	交流电流表		2
4	三相自耦调压器		1
5	三相灯组负载	220V，25W 白炽灯	9
6	电流插座		3

四、实验内容

(一)、三相电路电压、电流测量

1. 三相负载星形联接（三相四线制供电）

调节调压器的输出，使输出的三相线电压为 220V。切断电源，按图 7-3 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。经检查无误后，方可开启实验台电源，然后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 7-1 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。

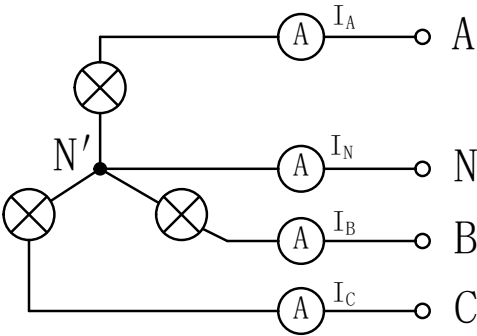


图 7-3

表 7-1

测量参数 实验内容 (负载情况)	开灯盏数			线电流 (mA)			线电压 (V)			相电压 (V)			中线电 流 $I_0$ (mA)	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											
Y 接 B 相短路	1		3											

2. 负载三角形联接（三相三线制供电）

调节调压器，使其输出线电压为 220V 后，切断电源，按图 7-4 进行连接线路，经检查无误后，方可接通三相电源，并按表 7-2 的内容进行测试。

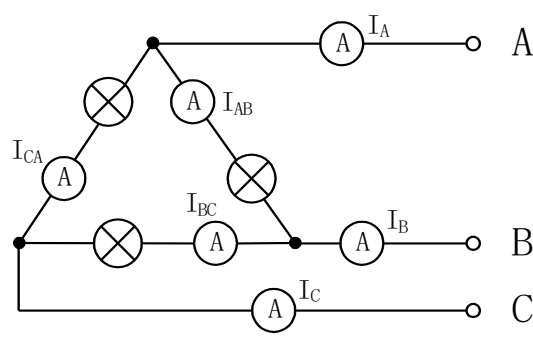


图 7-4

表 7-2

测量数据	开 灯 盏 数			线电压=相电压 (V)			线电流 (mA)			相电流 (mA)		
	A-B 相	B-C 相	C-A 相	U <sub>AB</sub>	U <sub>BC</sub>	U <sub>CA</sub>	I <sub>A</sub>	I <sub>B</sub>	I <sub>C</sub>	I <sub>AB</sub>	I <sub>BC</sub>	I <sub>CA</sub>
三相平衡	3	3	3									
三相不平衡	1	2	3									

(二)、三相电路功率测量

1. 用一瓦特表法测定三相对称  $Y_0$  接负载以及不对称  $Y_0$  接负载的总功率  $\Sigma P$ 。实验按图 7-5 进行线路接线。线路中的电流表和电压表用以监测该相的电流和电压（可直接通过智能功率表读出），不要超过功率表电压和电流的量程。

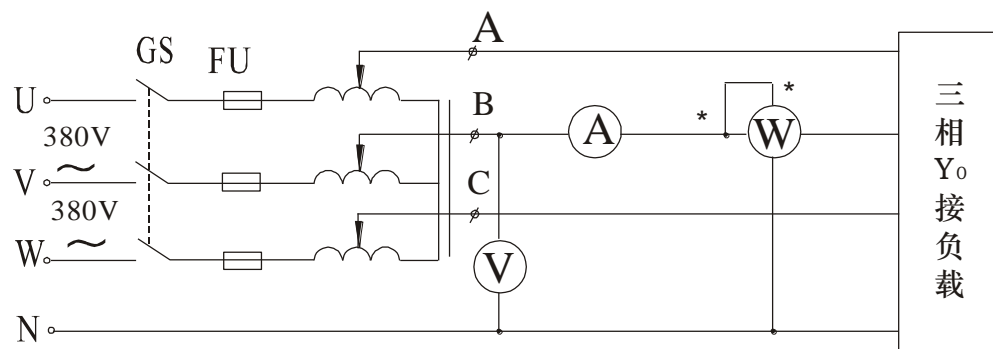


图 7-5

经检查无误后，接通三相电源， 调节调压器输出， 使输出线电压为 220V，按表 7-3 的要求进行测量及计算。首先将功率表按图 7-5 接入 B 相进行测量，然后分别将功率表换接到 A 相和 C 相，再进行测量。

表 7-3

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

## 2. 用二瓦特表法测定三相负载的总功率

(1) 按图 7-6 接线，将三相灯组负载接成 Y 形接法。

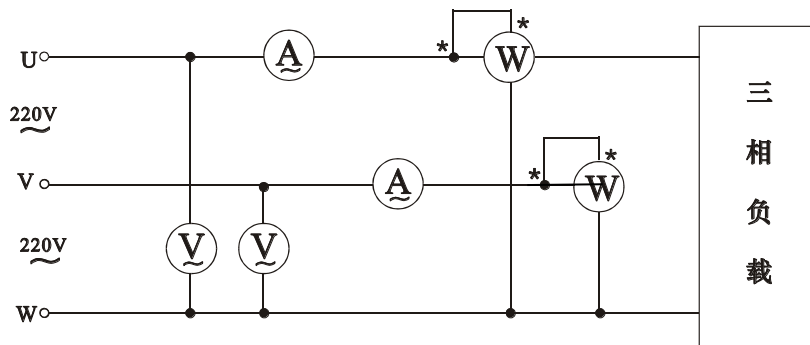


图 7-6

接通三相电源，调节调压器的输出线电压为 220V，按表 7-4 的内容进行测量。

(2) 将三相灯组负载改成△形接法，采用二瓦特表法（二瓦计法）进行测量，数据记入表 7-4 中。

表 7-4

负载情况	开灯盏数			测量数据		计算值
	A 相	B 相	C 相	P <sub>1</sub> (W)	P <sub>2</sub> (W)	ΣP (W)
Y 接平衡负载	3	3	3			
Y 接不平衡负载	1	2	3			
△接不平衡负载	1	2	3			
△接平衡负载	3	3	3			

## 五、实验注意事项

1. 本实验采用三相交流市电，线电压为 220V，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，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. 每次实验完毕，均需将三相调压器旋柄调回零位。每次改变接线，均需断开三相电源，以确保人身安全。

## 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？
4. 复习二瓦特表法测量三相电路有功功率的原理。
5. 复习一瓦特表法测量三相对称负载无功功率的原理。
6. 测量功率时为什么在线路中通常都接有电流表和电压表？

## 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. 星形联接中，“Y<sub>0</sub>接 B 相断开”与“Y 接 B 相断开”的实验现象有什么不同，为什么？
4. 不对称三角形联接的负载，能否正常工作，为什么？

5. 完成数据表格中的各项测量和计算任务。 总结比较分析一瓦特表和二瓦特表法的测量结果。
7. 心得体会及其他。