



# 电工技术 电工学及电气设备

实验指导

主编：赵法起

山东农业大学

机械与电子工程学院

# 目 录

一、基本电工仪表的使用及测量误差的计算·····	1
二、叠加原理的验证·····	5
三、戴维南定理及实验电路的设计·····	8
四、日光灯电路及功率因数的提高·····	12
五、三相负载星形连接·····	16
六、三相负载三角形连接·····	19
七、变压器空载、短路实验·····	22
八、三相异步电动机的起动实验·····	26

# 实验一 基本电工仪表的使用及测量误差的计算

## 一、实验目的

- (1) 熟悉常用基本电工仪表的使用与注意事项。
- (2) 熟悉电压源、电流源的使用与注意事项。
- (3) 掌握电压表、电流内电阻的测量方法。
- (4) 熟悉电工仪表测量误差的计算方法。

## 二、原理说明

1. 为了准确地测量电路中实际的电压和电流,必须保证仪表接入电路后不会改变被测电路的工作状态。这就要求电压表的内阻为无穷大;电流表的内阻为零。而实际使用的指针式电工仪表都不能满足上述要求。因此,当测量仪表一旦接入电路,就会改变电路原有的工作状态,这就导致仪表的读数与电路原有的实际值之间出现误差。误差的大小与仪表本身内阻的大小密切相关。只要测出仪表的内阻,即可计算出由其产生的测量误差。以下介绍几种测量指针式仪表内阻的方法。

### 2. 用“分流法”测量电流表的内阻

如图 1-1 所示。A 为被测内阻( $R_A$ )的直流电流表。测量时先断开开关 S, 调节电流源的输出电流 I 使 A 表指针满偏转。然后合上开关 S, 并保持 I 值不变, 调节电阻箱  $R_B$  的阻值, 使电流表的指针指在 1/2 满偏转位置, 此时有

$$I_A = I_S = I/2$$

$$\therefore R_A = R_B // R_1$$

$R_1$  为固定电阻器之值,  $R_B$  可由电阻箱的刻度盘上读得。

### 3. 用分压法测量电压表的内阻。

如图 1-2 所示。V 为被测内阻( $R_V$ )的电压表。测量时先将开关 S 闭合, 调节直流稳压电源的输出电压, 使电压表 V 的指针为满偏转。然后断开开关 S, 调节  $R_B$  使电压表 V 的指示值减半。此时有:  $R_V = R_B + R_1$

电压表的灵敏度为:  $S = R_V / U$  ( $\Omega / V$ )。式中 U 为电压表满偏时的电压值。

4. 仪表内阻引起的测量误差(通常称之为方法误差, 而仪表本身结构引起的误差称为仪表基本误差)的计算。

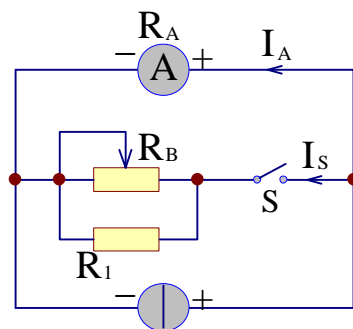


图 1-1 可调电流源

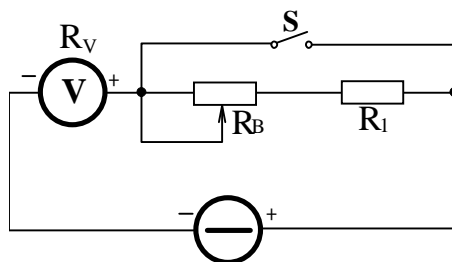


图 1-2 可调稳压源

(1) 以图 1-3 所示电路为例,  $R_1$  上的电压为  $U_{R1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U$ , 若  $R_1 = R_2$ , 则  $U_{R1} = \frac{1}{2} U$ 。

现用一内阻为  $R_V$  的电压表来测量  $U_{R1}$  值, 当  $R_V$  与  $R_1$  并联后,  $R_{AB} = \frac{R_V R_1}{R_V + R_1}$ , 以此来替代

$$\text{上式中的 } R_1, \text{ 则得 } U'_{R1} = \frac{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1}}{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1} + R_2} U$$

$$\text{绝对误差为 } \Delta U = U'_{R1} - U_{R1} = U \left( \frac{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1}}{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1} + R_2} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

$$\text{化简后得 } \Delta U = \frac{-R_1^2 R_2 U}{R_V (R_1^2 + 2R_1 R_2 + R_2^2) + R_1 R_2 (R_1 + R_2)}$$

$$\text{若 } R_1 = R_2 = R_V, \text{ 则得 } \Delta U = -\frac{U}{6}$$

$$\text{相对误差 } \Delta U\% = \frac{U'_{R1} - U_{R1}}{U_{R1}} \times 100\% = \frac{-U/6}{U/2} \times 100\% = -33.3\%$$

由此可见, 当电压表的内阻与被测电路的电阻相近时, 测量的误差是非常大的。

(2) 伏安法测量电阻的原理为: 测出流过被测电阻  $R_X$  的电流  $I_R$  及其两端的电压降  $U_R$ , 则其阻值  $R_X = U_R / I_R$ 。实际测量时, 有两种测量线路, 即: 相对于电源而言, ①电流表 A (内阻为  $R_A$ ) 接在电压表 V (内阻为  $R_V$ ) 的内侧; ②A 接在 V 的外侧。两种线路见图 1-4 (a)、(b)。

由线路 (a) 可知, 只有当  $R_X \ll R_V$  时,  $R_V$  的分流作用才可忽略不计, A 的读数接近于实际流过  $R_X$  的电流值。图 (a) 的接法称为电流表的内接法。

由线路 (b) 可知, 只有当  $R_X \gg R_A$  时,  $R_A$  的分压作用才可忽略不计, V 的读数接近于  $R_X$  两端的电压值。图 (b) 的接法称为电流表的外接法。

实际应用时, 应根据不同情况选用合适的测量线路, 才能获得较准确的测量结果。以下举一实例。

在图 1-4 中, 设:  $U = 20V$ ,  $R_A = 100 \Omega$ ,  $R_V = 20K \Omega$ 。假定  $R_X$  的实际值为  $10K \Omega$ 。

如果采用线路 (a) 测量, 经计算, A、V 的读数分别为  $2.96mA$  和  $19.73V$ , 故

$$R_X = 19.73 \div 2.96 = 6.667(K \Omega), \quad \text{相对误差为: } (6.667 - 10) \div 10 \times 100 = -33.3(\%)$$

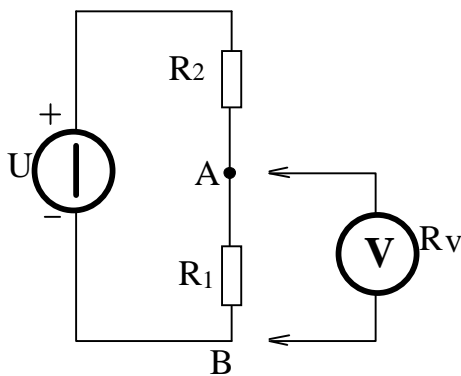


图 1-3 测试电路

如果采用线路(b)测量, 经计算, A、V 的读数分别为 1.98mA 和 20V, 故  $R_x=20 \div 1.98=10.1(K\Omega)$ , 相对误差为:  $(10.1-10) \div 10 \times 100=1(\%)$

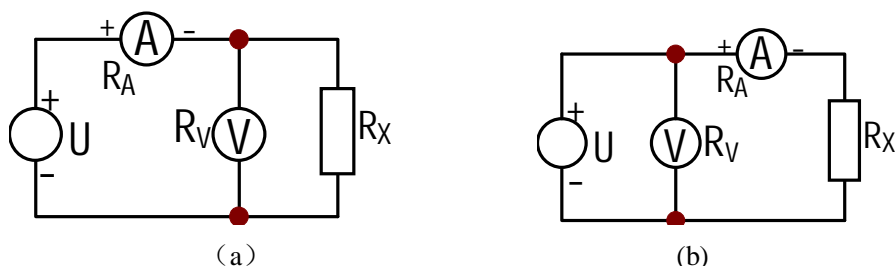


图 1-4 伏安法测量电阻

### 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	二路	
2	可调恒流源	0~200mA	1	
3	指针式万用表	MF-47 或其他	1	自备
4	可调电阻箱	0~9999.9 $\Omega$	1	DGJ-05
5	电阻器	按需选择		DGJ-05

### 四、实验内容

1. 根据“分流法”原理测定指针式万用表 (MF-47 型或其他型号) 直流电流 0.5mA 和 5mA 档量限的内阻。线路如图 1-1 所示。R<sub>B</sub> 可选用 DGJ-05 中的电阻箱 (下同)。

被测电流表量限	S 断开时的表读数 (mA)	S 闭合时的表读数 (mA)	R <sub>B</sub> ( $\Omega$ )	R <sub>1</sub> ( $\Omega$ )	计算内阻 R <sub>A</sub> ( $\Omega$ )
0.5 mA					
5 mA					

2. 根据“分压法”原理按图 1-2 接线, 测定指针式万用表直流电压 2.5V 和 10V 档量限的内阻。

被测电压表量限	S 闭合时表读数 (V)	S 断开时表读数 (V)	R <sub>B</sub> (K $\Omega$ )	R <sub>1</sub> (K $\Omega$ )	计算内阻 R <sub>V</sub> (K $\Omega$ )	S ( $\Omega/V$ )
2.5V						
10V						

3. 用指针式万用表直流电压 10V 档量程测量图 1-3 电路中  $R_1$  上的电压  $U'_{R1}$  之值，并计算测量的绝对误差与相对误差。

U	$R_2$	$R_1$	$R_{10V}$ (k $\Omega$ )	计算值 $U_{R1}$ (V)	实测值 $U'_{R1}$ (V)	绝对误差 $\Delta U$	相对误差 ( $\Delta U/U$ ) $\times 100\%$
12V	10K $\Omega$	50K $\Omega$					

## 五、实验注意事项

1. 在开启 DG04 挂箱的电源开关前，应将两路电压源的输出调节旋钮调至最小（逆时针旋到底），并将恒流源的输出粗调旋钮拨到 2mA 档，输出细调旋钮应调至最小。接通电源后，再根据需要缓慢调节。

2. 当恒流源输出端接有负载时，如果需要将其粗调旋钮由低档位向高档位切换时，必须先将其细调旋钮调至最小。否则输出电流会突增，可能会损坏外接器件。

3. 电压表应与被测电路并联，电流表应与被测电路串联，并且都要注意正、负极性与量程的合理选择。

4. 实验内容 1、2 中， $R_1$  的取值应与  $R_B$  相近。

5. 本实验仅测试指针式仪表的内阻。由于所选指针表的型号不同，本实验中所列的电流、电压量程及选用的  $R_B$ 、 $R_1$  等均会不同。实验时应按选定的表型自行确定。

## 六、思考题

1. 根据实验内容 1 和 2，若已求出 0.5mA 档和 2.5V 档的内阻，可否直接计算得出 5mA 档和 10V 档的内阻？

2. 用量程为 10A 的电流表测实际值为 8A 的电流时，实际读数为 8.1A，求测量的绝对误差和相对误差。

## 七、实验报告

1. 列表记录实验数据，并计算各被测仪表的内阻值。

2. 分析实验结果，总结应用场合。

3. 对思考题的计算。

4. 其他（包括实验的心得、体会及意见等）。

## 实验二 叠加原理的验证

### 一、实验目的

1. 验证叠加定理；
2. 正确使用直流稳压电源和万用表；
3. 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。

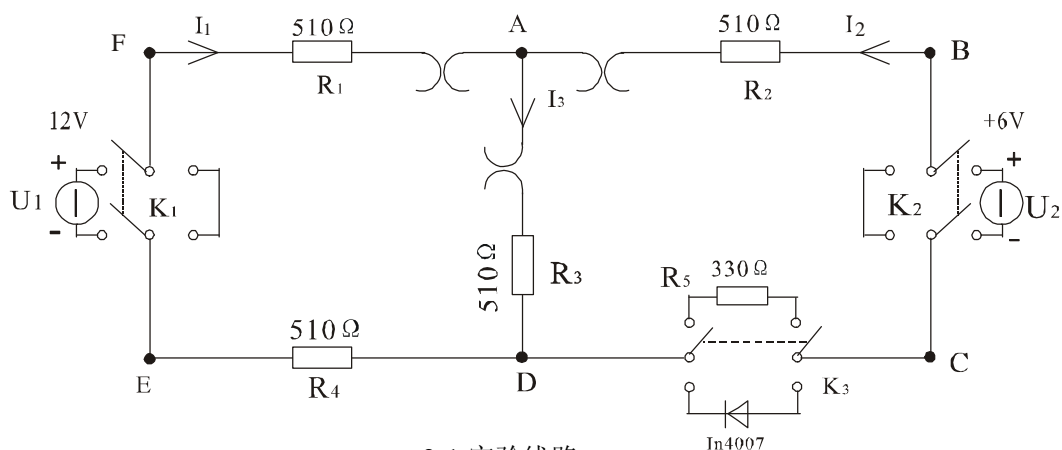
线性电路的齐次性是指当激励信号（某独立源的值）增加或减小  $K$  倍时，电路的响应（即在电路中各电阻元件上所建立的电流和电压值）也将增加或减小  $K$  倍。

### 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	二路	
2	万用表		1	自备
3	直流数字电压表	0~200V	1	
4	直流数字毫安表	0~200mV	1	
5	迭加原理实验电路板		1	DGJ-03

### 四、实验内容

实验线路如图 2-1 所示，用 DGJ-03 挂箱的“基尔夫定律/叠加原理”线路。



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）。用直流数字电压表和毫安表（接电流插头）测量各支路电流及各电阻元件两端的电压，数据记入表 2-1。

表 2-1 数据记入表

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)	$U_{CD}$ (V)	$U_{AD}$ (V)	$U_{DE}$ (V)	$U_{FA}$ (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。

6. 将  $R_5$  ( $330\Omega$ ) 换成二极管 1N4007（即将开关  $K_3$  投向二极管 1N4007 侧），重复 1~5 的测量过程，数据记入表 2-2。

7. 任意按下某个故障设置按键，重复实验内容 4 的测量和记录，再根据测量结果判断出故障的性质。

表 2-2 数据记入表

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)	$U_{CD}$ (V)	$U_{AD}$ (V)	$U_{DE}$ (V)	$U_{FA}$ (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										

## 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？



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

## 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. 通过实验步骤 6 及分析表格 2-2 的数据, 你能得出什么样的结论?

4. 心得体会及其他。

# 实验三 戴维南定理及实验电路的设计

## 一、实验目的

1. 加深对戴维南定理的理解；
2. 加深对“等效”电路概念的理解；
3. 熟练掌握正确使用万用表和直流稳压电源；
4. 掌握用实验方法证明定理的操作技能；
5. 学会合理运用仪表测量参数并减小测量误差；
6. 学习实验电路的设计方法。

## 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

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

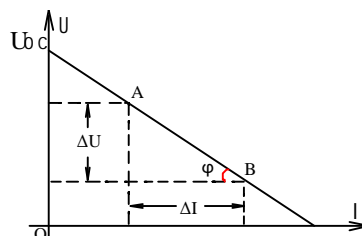


图 3-1 有源二端网络的外特性曲线

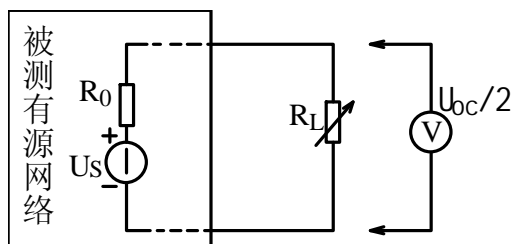


图 3-2 半电压法测  $R_0$

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。

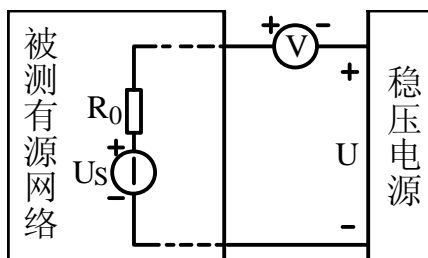


图 3-3 零示测量法

## 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	0~500mA	1	
3	直流数字电压表	0~200V	1	
4	直流数字毫安表	0~200mA	1	
5	万用表		1	自备
6	可调电阻箱	0~99999.9Ω	1	DGJ-05
7	电位器	1K/2W	1	DGJ-05
8	戴维南定理实验电路板		1	DGJ-05

## 四、实验内容

被测有源二端网络如图 3-4。

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 接入稳压电源  $U_s=12V$  和恒流源  $I_s=10mA$ ，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。）

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

2. 负载实验

按图 3-4 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 (v)									
I (mA)									

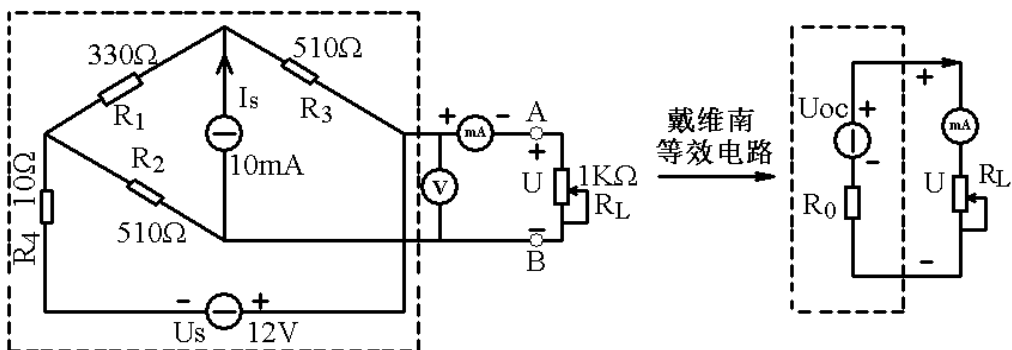


图 3-4 有源二端网络测试电路

3. 验证戴维南定理：从电阻箱上取得按步骤“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 所示，仿照步骤“2”测其外特性，对戴氏定理进行验证。

U (v)									
I (mA)									

4. 验证诺顿定理：从电阻箱上取得按步骤“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。

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。将被测有源网络内的所有独立源置零（去掉电流源  $I_s$  和电压源  $U_s$ ，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  $R_i$ 。

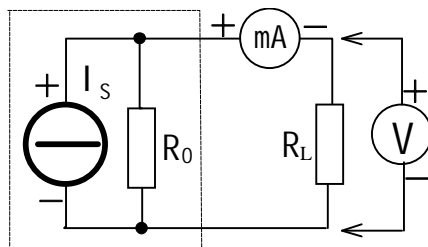


图 3-5 诺顿定理的测试

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。
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 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 日光灯电路及功率因数的提高

### 一、实验目的

1. 了解日光灯的工作原理，熟悉日光灯线路的接线；
2. 了解提高功率因数的意义；
3. 掌握提高感性负载功率因数的方法。

### 二、原理说明

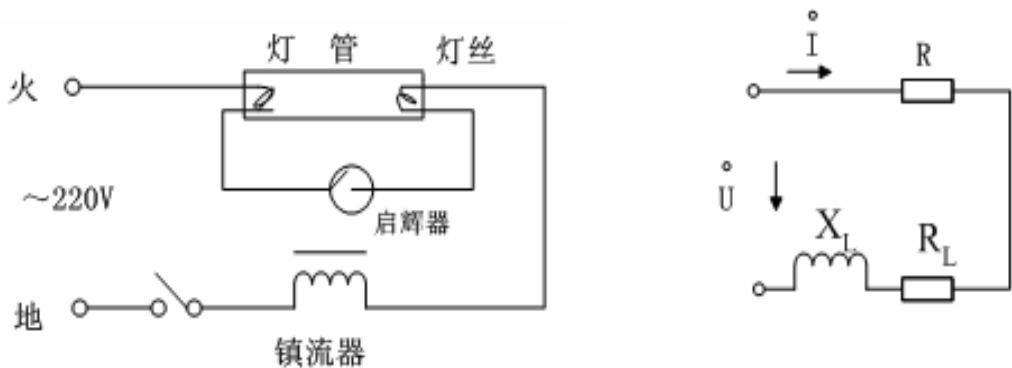


图4-1 日光灯电路

#### 1. 日光灯各元件的联接及其工作过程

日光灯结构如图 4-1 所示，K 闭合时，日光灯管不导电，全部电压加在启辉器两触片之间，使启辉器中氖气击穿，产生气体放电，此放电产生的一定热量使双金属片受热膨胀与固定片接通，于是有电流通过日光灯管的灯丝和镇流器。短一段时间后双金属片冷却收缩与固定片断开，电路中的电流突然减小；根据电磁感应定律，这时镇流器两端产生一定的感应电动势，使日光灯管两端电压产生 400 至 500V 高压，灯管气体电离，产生放电，日光灯点燃发亮。日光灯点燃后，灯管两端的电压降为 100V 左右，这时由于镇流器的限流作用，灯管中电流不会过大。同时并联在灯管两端的启辉器，也因电压降低而不能放电，其触片保持断开状态。

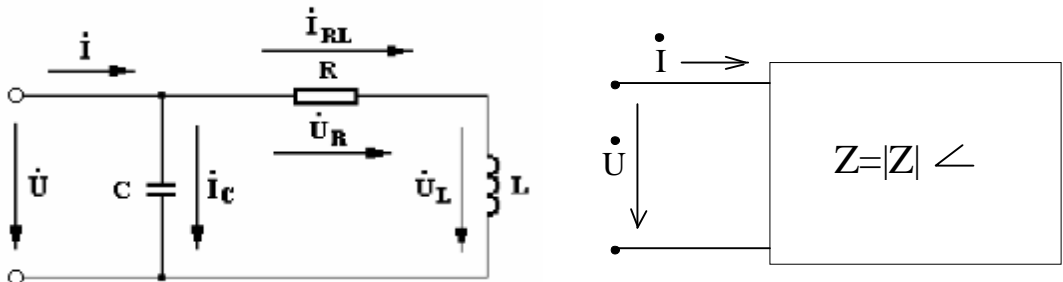


图 4-2 感性负载并联电容器

#### 2. 功率因数提高的意义和方法

对于一个无源一端口网络，如图 4-2 所示，其所吸收的有功功率  $P=UI\cos\Phi$  其中  $\cos\Phi$  称为功率因数。要提高感性负载的功率因数，可以用并联电容器的办法，使流过电容器中的无功电流分量与感性负载中的无功电流分量互相补偿，以减小电压和电流之间的相位差，从而提高了功率因数。提高负载的功率因数有很大的经济意义，一方面它可以充分发挥电源设备的利用率，另一方面又可以减少输电线路上的功率损失，提高电能的传输效率。

### 三、实验设备

表 4-1 实验仪器和设备

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	(DGJ-07)
4	自耦调压器		1	
5	镇流器、启辉器	与 40W 灯管配用	各 1	DGJ-04
6	日光灯灯管	40W	1	屏内
7	电容器	2.5 $\mu$ F,4.7 $\mu$ F/500V	3	DGJ-05
8	白炽灯及灯座	220V, 15W	1~3	DGJ-04
9	电流插座		3	DGJ-04

### 四、实验内容

1. 实验接线如图所示。测量交流参数及提高功率因数。

按表 4-2 并联电容 C，令  $U=220V$  不变，将测试结果填入表 4-2 中。

表 4-2 测试结果

电容值 ( $\mu$ F)	测 量 数 值						计 算 值	
	P(W)	COS $\phi$	U(V)	I (A)	I <sub>L</sub> (A)	I <sub>C</sub> (A)	I'(A)	Cos $\phi$
0								
2.5								
4.75								
2.5+4.75								
4.75+4.75								

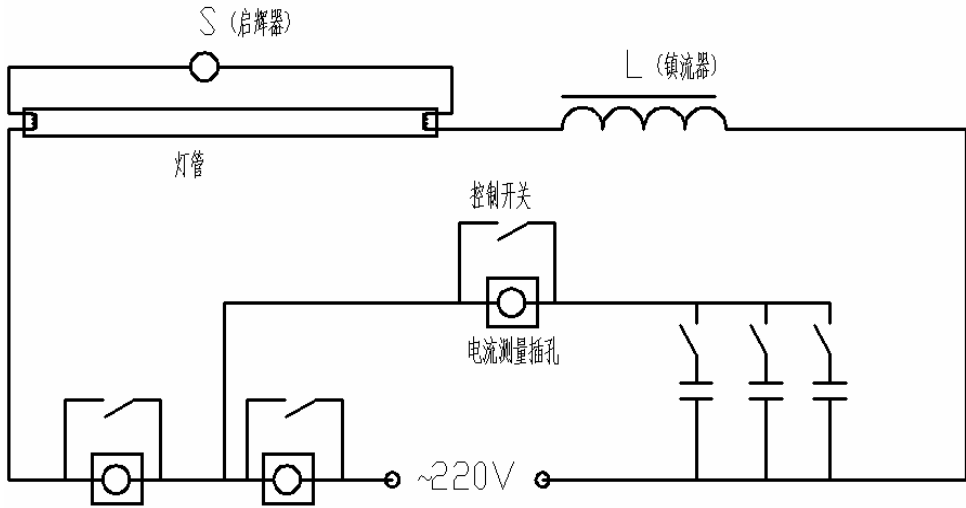


图 4-3 实验接线图

## 2. 日光灯线路接线与测量。

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，进行重复测量（注意日光灯支路的电流和电路总电流的变化情况）。数据记入表 4-2 中。

3. 对所测数据进行技术分析。分别计算出各电容值下的功率因数  $\cos\varphi$ ，并进行对比，判断电路在各  $\cos\varphi$  下的性质（感性或容性？）。

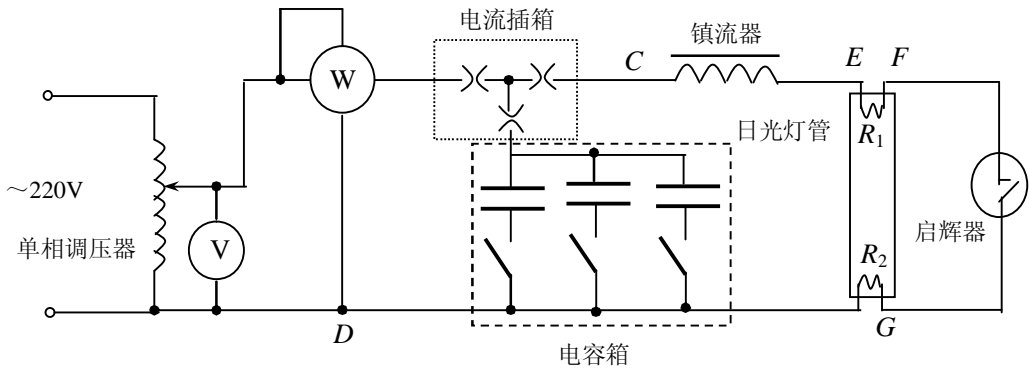


图 4-4 日光灯电路及功率因数的提高实验电路

## 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。



## 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。

## 实验五 三相负载星形连接

### 一、实验目的

1. 熟悉三相负载作星形连接的方法。
2. 学习和验证三相负载对称与不对称电路中，相电压，线电压之间的关系。
3. 了解三相四线制中中线的作用。

### 二、实验原理

三相负载作星形连接时，如图 5-1 所示。

当三相负载对称或不对称的星形连接有中线时，线电压与相电压均对称，且

$$U_l = \sqrt{3}U_p。$$

而且  $U_l$  超前与  $U_p$   $30^\circ$ 。

当三相负载不对称又无中线连接时，此时将出现三相电压不平衡、不对称的现象，导致三相不能正常工作，为此必须有中线连接，才能保证三相负载正常工作。

从上述理论中，考虑到三相负载对称与不对称连接又无中线时某相电压升高，影响负载的使用时间，同时

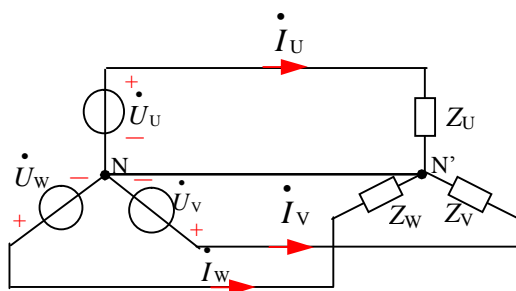


图 5-1 星形连接的三相四线制电路

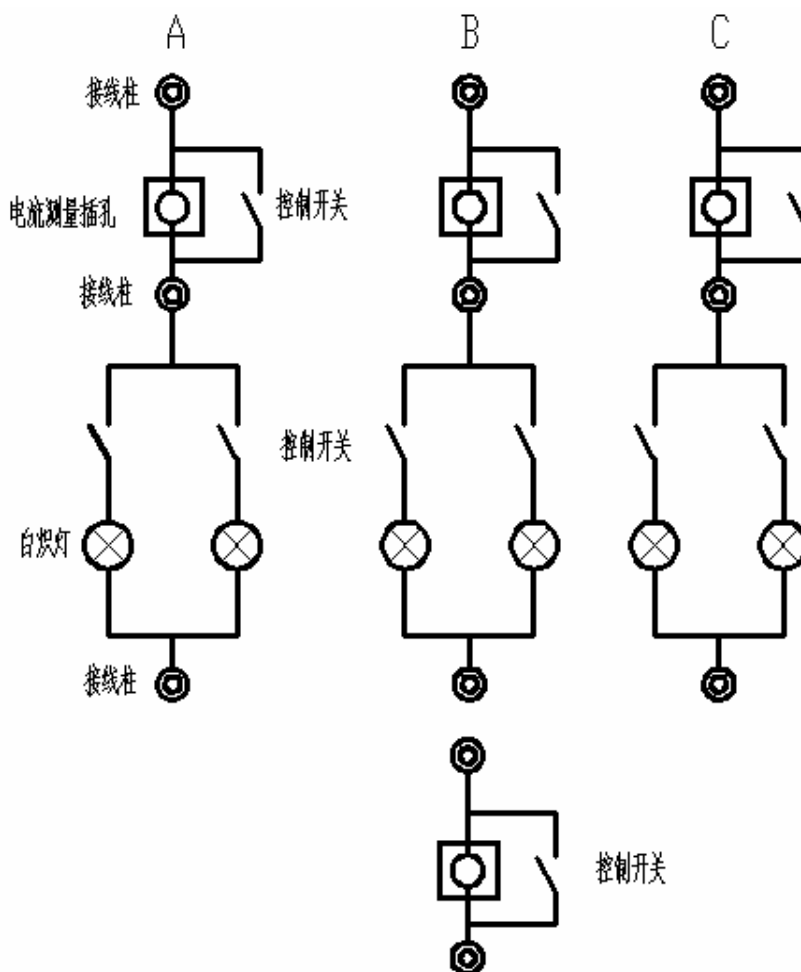


图 5-2 实验板布置图

考虑到实验的安全，故将三相电压降低到 220V 的相电压作实验。

### 三、实验仪器设备

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	
5	三相灯组负载	220V, 15W 白炽灯	9	DGJ-04
6	电门插座		3	DGJ-04

### 四、实验内容及步骤

实验板布置图如图所示。将实验台供电箱的三相电源 A、B、C、0 对应接到负载箱上。

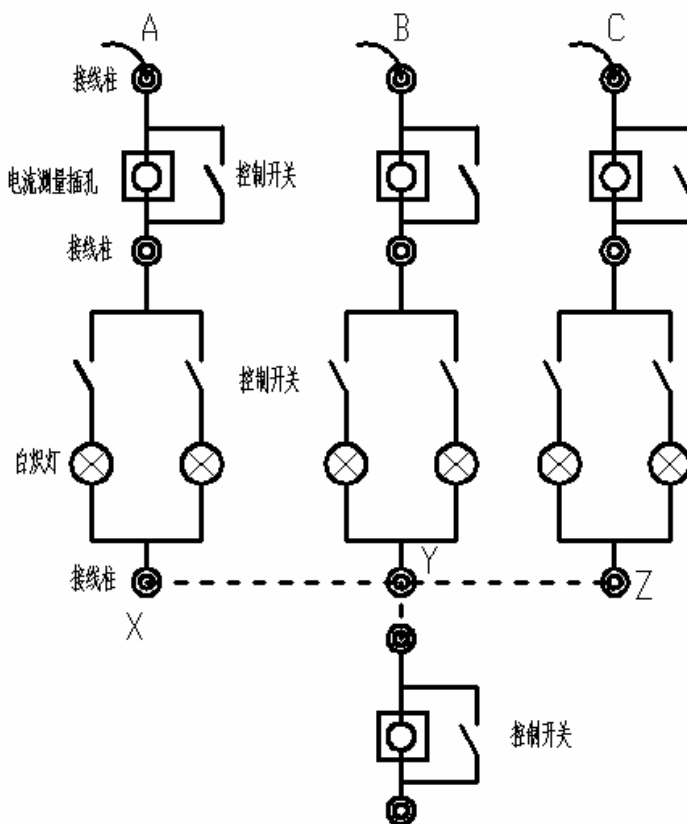


图 5-3 三相负载作星形连接

再接成星形连接，即 X、Y、Z、0 连接。

1、上供电箱上三相开关，用电流表插头及电压表进行下列情况的测量。并将数据记入表内。

- 2、负载对称有中线，将三相负载箱上的开关全部打到接通位置。
- 3、负载对称无中线，即断开中线。
- 4、负载不对称有中线，将 A 相的 KAI 开关断开。
- 5、负载不对称无中线。

上述数据作完，请老师检查数据后，方可整理好实验台。

### 五、填写实验报告

- 1、分析负载不对称又无中线连接时的数据。
- 2、中线有何作用？

### 六、注意事项

- 1、电压电流表测量时，一定要注意表的量程。
- 2、每测一次，改变负载连接方式都要断开电源开关。
- 3、如何接线才能利用电流测量插孔测得中性线电流？

测量数据 \ 负载接法		对称负载		不对称负载	
		有中线	无中线	有中线	无中线
相电压	$U_A$				
	$U_B$				
	$U_C$				
线电压	$U_{AB}$				
	$U_{BC}$				
	$U_{CA}$				
相电流	$I_A$				
	$I_B$				
	$I_C$				
中线电流	$I_0$				

## 实验六 三相负载三角形连接

### 一、实验目的

1. 熟悉三相负载作三角形连接的方法。
2. 验证负载作三角形连接时，对称与不对称的线电流与相电流之间的关系。

### 二、实验原理

三相负载三角形连接时如图 6-1 所示。

1. 当三相负载对称连接时，其线电流、相电流之间的关系为  $I_l = \sqrt{3}I_p$ ，且相电流超前线电流  $30^\circ$ 。

2. 当三相负载不对称作三角形连接时，将导致两相的线电流、一相的相电流发生变化。

3. 当三角形连接时，一相负载断路时，如下图 6-2 所示。此时只影响故障相不能正常工作，其余两相仍能正常工作。

4. 当三角形连接时，一条火线断线时如下图 6-2 所示。此时故障两相负载电压小于正常电压，而 BC 相仍能正常工作。

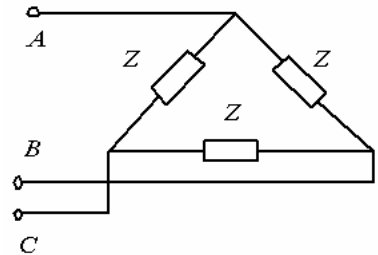


图 6-1 三相负载三角形连接

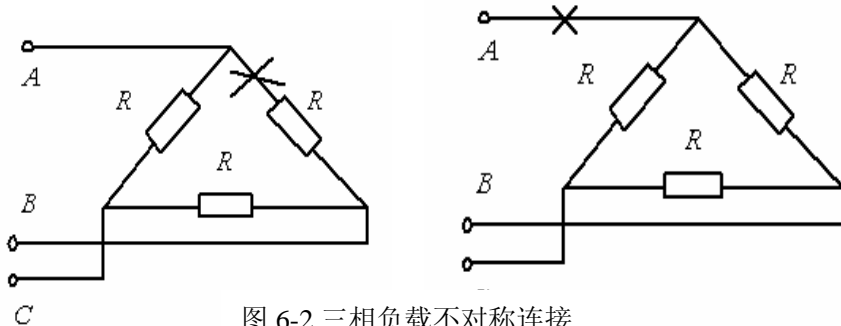


图 6-2 三相负载不对称连接

### 三、实验仪表设备

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	
5	三相灯组负载	220V, 15W 白炽灯	9	DGJ-04
6	电门插座		3	DGJ-04

#### 四、预习要点

实验板上一相负载，电流插孔只有一个，如何通过适当接线使其可测线电流，又如何接线使其可测相电流？测相电流时，电流插孔又是对应那一相的电流？

#### 五、实验步骤及内容

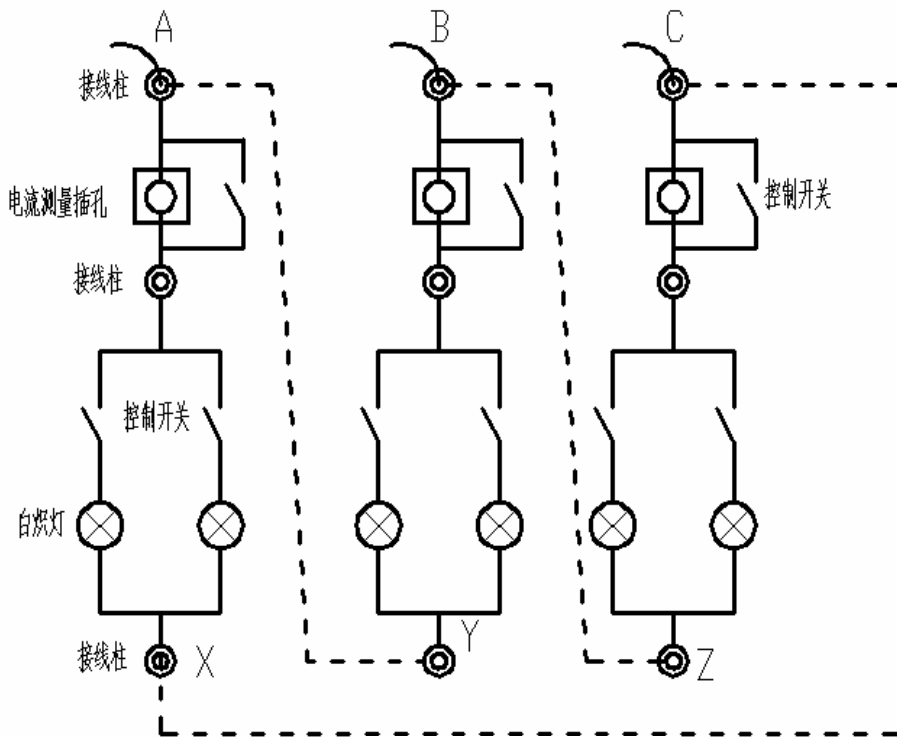


图 6-3 实验接线图

实验板布置图见实验五。接线参照图 6-3。

- 1、参照下图将负载箱接成三角形的负载。
- 2、合上供电箱的开关，进行下列负载接法的测量并将数据记入表内。

表 6-1 数据记入表

测量数据	线电流			相电流			线电压		
	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$I_{AB}$	$I_{BC}$	$I_{CA}$	$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$
负载对称									
负载不对称									
一相负载断路									
一相火线断路									

- (1) 对称负载的测量，所有开关全部接通。
- (2) 不对称负载的测量，短开 KA1 开关。
- (3) 一相负载短路，短开 KA1、KA2 开关。

(4) 一相火线断线，开关全部接通，取掉 A 相火线。

上述内容作完后，数据经老师检查后方可整理实验台，离开实验室。

## 六、填写实验报告

1. 负载作三角形连接时，从实验的数据作  $I_{\text{相}}$  与  $I_{\text{线}}$  之间关系的计算。二者之间的关系是什么？
2. 对各种情况负载下用实验的数据进行分析。说明了什么？

## 实验七 变压器空载、短路实验

### 一、实验目的

- 1、学习单相变压器的空载、短路的实验方法。
- 2、掌握利用单相变压器的空载、短路实验测定单相变压器的参数。
- 3、掌握变压器同极性端的测试方法。

### 二、实验主要仪器设备

- |                        |    |
|------------------------|----|
| 1、单相小功率变压器             | 一台 |
| 2、交流 380/220V 电源及单相调压器 | 一台 |
| 3、交流电流表                | 一块 |
| 4、交流电压表、直流电压表各         | 一块 |
| 5、单相功率表和数字万用表各         | 一块 |
| 6、电流插箱及导线              |    |

### 三、实验原理图及实验步骤

#### 1、单相变压器空载实验原理图

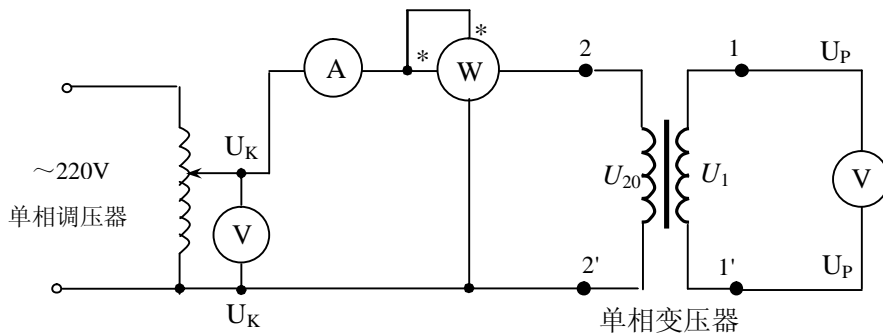


图 7-1 单相变压器空载实验原理图

利用空载实验可以测试出变压器的变压比： $\frac{U_1}{U_{20}} = k_U$ 。空载实验应在低压侧进行，

即低压端接电源，高压端开路。

#### 2、空载实验步骤

- (1) 按上图连线，注意单相调压器打在零位上，经检查无误后才能闭合电源开关。
- (2) 用电压表观察  $U_K$  读数，调节单相调压器使  $U_K$  读数逐渐升高到变压器额定电压的 50 %。
- (3) 读取变压器  $U_{20}$  和  $U_1$  ( $U_P$ ) 电压值，记录在附表一，算出变压器的变比。
- (4) 继续升高电压至额定值的 1.2 倍，然后逐渐降低电压，把空载电压（电压表读数）、空载电流（电流表读数）及空载损耗（功率表的读数）记录下来，要求在 0.3~1.2 额定电压的范围内读取 6~7 组数据，记录在附表 7-1 中。注意： $U_N$  点最好测出。

#### 3、单相变压器短路实验原理图

短路实验一般在高压侧进行，即高压端经调压器接电源，低压端直接短路。

#### 4、短路实验步骤



(1) 为避免出现过大的短路电流，在接通电源之前，必须先将调压器调至输出电压为零的位置，然后才能合上电源开关。

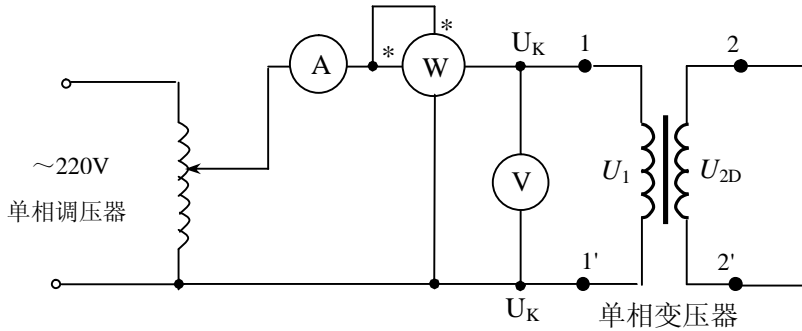


图 7-2 单相变压器短路实验原理图

(2) 电压从零值开始增加，调节过程要非常缓慢，开始时稍加一个较低的小电压，检查各仪表是否正常。

(3) 各仪表正常后，逐渐缓慢地增加电压数值，并监视电流表的读数，使短路电流升高至额定值的 1.1 倍，把各表读数记录在附表二中。

(4) 缓慢逐次降低电压，直至电流减小至额定值的 0.5 倍。在从  $1.1I_N$  往  $0.5I_N$  调节的过程中 5~6 组数据，包括额定电流  $I_N$  点对应的各电表数值，记录在附表二中。

电流表（一次侧电流  $I_D$ 、电压表（一次侧电压  $U_D$ ）及功率表的读数（ $P_0=P_{Fe}+P_{cu}$ ）。

注意：①在空载实验在升压过程中，要单方向调节，避免磁滞现象带来得影响；②不要带电作业，有问题要首先切断电源，再进行操作；③短路实验应尽快进行，否则绕组过热，绕组电阻增大，会带来测量误差。

#### 5、变压器绕组同极性端判别实验原理图

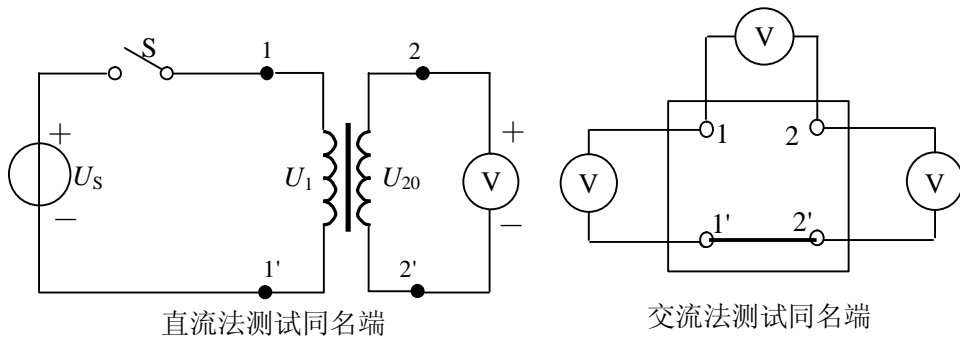


图 7-3 绕组同极性端判别实验原理

#### 6、变压器绕组同极性端判别实验原理及步骤：

变压器的同极性端（同名端）是指通过各绕组的磁通发生变化时，在某一瞬间，各绕

组上感应电动势或感应电压极性相同的端钮。根据同极性端钮，可以正确连接变压器绕组。变压器同极性端的测定原理及步骤如下。

表 7-1 数据记入表

序号	空载实验数据				计算数据
	$U_0(\text{V})$	$I_0(\text{A})$	$P_0(\text{W})$	$U_{AX}(\text{V})$	$\cos \phi_0$
1					
2					
3					
	短路实验数据				
	$U_K(\text{V})$	$I_K(\text{A})$	$P_K(\text{W})$		$\cos \phi_K$
1					
2					
3					

### (1) 直流法测试同名端

①按照所示电路原理图接线。直流电压的数值根据实验变压器的不同而选择合适的值，一般可选择 6V 以下数值。直流电压表先把 20V 量程，注意其极性。

②电路连接无误后，闭合电源开关，在 S 闭合瞬间，一次侧电流由无到有，必然在一次侧绕组中引起感应电动势  $e_{L1}$ ，根据楞次定律判断  $e_{L1}$  的方向应与一次侧电压参考方向相反，即下“-”上“+”；S 闭合瞬间，变化的一次侧电流的交变磁通不但穿过一次侧，由于磁耦合同时穿过二次侧，因此在二次侧也会引起一个互感电动势  $e_{M2}$ ， $e_{M2}$  的极性可由接在二次侧的直流电压表的偏转方向而定：当电压表正偏时，极性为上“+”下“-”，即与电压表极性一致；如指针反偏，则表示  $e_{M2}$  的极性为上“-”下“+”。

③把测试结果填写在自制的表格中。

### (2) 交流法测试同名端

①按照所示电路原理图接线。可在一次侧接交流电压源，电压的数值根据实验变压器的不同而选择合适的值。

②电路原理图中 1' 和 2' 之间的黑色实线表示将变压器两侧的一对端子进行串联，可串联在两侧任意一对端子上。

③连接无误后接通电源。用电压表分别测量两绕组的一次侧电压、二次侧电压和总电压。如果测量结果为  $U_{12} = U_{11'} + U_{22'}$  时，则导线相连的一对端子为异名端；若测量结果为  $U_{12} = U_{11'} - U_{22'}$  时，则导线相连的一对端子为同名端。

④把测试结果填写在自制的表格中。

#### 四、思考题

- 1、变压器进行空载试验时，连接原则有哪些？短路实验呢？
- 2、用直流法和交流法测得变压器绕组的同名端是否一致？为什么要研究变压器的同极性端？其意义如何？
- 3、你能从变压器绕组引出线的粗细区分原副绕组吗？

#### 五、填写实验报告

# 实验八 三相异步电动机的降压起动实验

## 一、实验目的

- 1、熟悉实际电动机控制线路的连接，初步掌握三相异步电动机绕组的首、尾端判别方法及外引线连接方法。
- 2、掌握三相异步电动机起动瞬间电流的测量方法；
- 3、通过实验熟悉异步电动机的起动设备和起动方法。

## 二、实验内容

- 1、笼型异步电动机的起动。
- 2、绕线转子异步电动机的起动。
- 3、异步电动机的调速。

## 三、预习要点

- 1、为什么笼型异步电动机降压起动不适用于重载起动？
- 2、绕线转子异步电动机所串电阻的大小对起动转矩有什么影响？
- 3、异步电动机的调速原理。

## 四、实验器材

## 五、实验步骤和方法

(1)直接起动 按图 8-2 接线。先将开关 Q2 向上闭合，然后闭合电源开关 Q，读取瞬时起动电流数值，记录于表 8-1 中。

表 8—1 各种起动方法时的数据

启动方式	Ust/V	Ist/A	起动电流倍数 (Ist/In)	备注
直接启动				
星—三角启动				
自耦变压器减压启				

### (2)星—三角形启动

按图 8-2 接线。先将开关 Q2 向下闭合，定子绕组为星形联结，然后电源开关 Q1，读取起动电流数值，记录于表 8-1 中。待电机转速稳定后，将开关 Q2 拉开，并迅速向上闭合，定子绕组换接三角形联结，电动机转入正常运行。

### (3)自耦变压器启动

选用起动补偿器，按图 8-3 接线。抽头电压选 60%电源电压。先合上电源开关 Q1，然后将起动补偿器的手柄扳至“起动”位置，此时电动机由自耦变压器供给低电压起动。

读取起动电流数值，记录于表 8-1 中。待电动机转速稳定后，将手柄从“起动”位置拉开，并迅速合至“运行”位置，电动机起动过程结束。

#### (4)绕线转子异步电动机起动

按如图 8-4 接线，先将起动变阻器手柄置于阻值最大位置，然后合上电源开关 Q1 起动电动机，读取起动电流数值，记录于表 8-1 中。缓慢转动起动变阻器手柄，逐渐减小起动电阻，直至起动变阻器被切除，电动机进入稳定运行。

(5)绕线转子异步电动机转子回路串电阻调速 仍按图 8-4 接线，将电动机带一定负载起动后，改变转子电阻，观察转速变化，然后改变变阻器手柄位置，分别测量各电阻值所对应的电动机转速，并做记录。

(6)鼠笼转子电机变极调速 按图 8-5 的两种方式接线分别测出转速并记录。

## 六、实验报告

- 1、比较异步电动机不同起动方法的特点和优、缺点。
- 2、从调速性能方面，对绕线转子异步电动机串电阻调速进行分析。

# 实验八 三相异步电动机的起动实验

## 一、实验目的

1. 熟悉三相鼠笼式异步电动机的结构和额定值。
2. 学习检验异步电动机绝缘情况的方法。
3. 学习三相异步电动机定子绕组首、末端的判别方法。
4. 掌握三相鼠笼式异步电动机的起动和反转方法。

## 二、原理说明

### 1. 三相鼠笼式异步电动机的结构

异步电动机是基于电磁原理把交流电能转换为机械能的一种旋转电机。

三相鼠笼式异步电动机的基本结构有定子和转子两大部分。

定子主要由定子铁心、三相对称定子绕组和机座等组成，是电动机的静止部分。三相定子绕组一般有六根引出线，出线端装在机座外面的接线盒内，根据三相电源电压的不同，三相定子绕组可以接成星形(Y)或三角形( $\Delta$ )，然后与三相交流电源相连。

转子主要由转子铁心、转轴、鼠笼式转子绕组、风扇等组成，是电动机的旋转部分。小容量鼠笼式异步电动机的转子绕组大都采用铝浇铸而成，冷却方式一般都采用扇冷式。

### 2. 三相鼠笼式异步电动机的铭牌

三相鼠笼式异步电动机的额定值标记在电动机的铭牌上，如下表所示为本实验装置三相鼠笼式异步电动机铭牌。

型号	DJ24	电压	380V/220V	接法	Y/ $\Delta$
功率	180W	电流	1.13A/0.65A	转速	1400转/分
定额	连续				

其中：

- (1) 功率 额定运行情况下，电动机轴上输出的机械功率。
- (2) 电压 额定运行情况下，定子三相绕组应加的电源线电压值。
- (3) 接法 定子三相绕组接法，当额定电压为380V/220V时，应为Y/ $\Delta$ 接法。
- (4) 电流 额定运行情况下，当电动机输出额定功率时，定子电路的线电流值。

### 3. 三相鼠笼式异步电动机的检查

电动机使用前应作必要的检查

#### (1) 机械检查

检查引出线是否齐全、牢靠；转子转动是否灵活、匀称、有否异常声响等。

#### (2) 定子绕组首、末端的判别

异步电动机三相定子绕组的六个出线端有三个首端和三相末端。一般，首端标以A、B、C，末端标以X、Y、Z，在接线时如果没有按照首、末端的标记来接，则当电动机起动时磁势和电流就会不平衡，因而引起绕组发热、振动、有噪音，甚至电动机不能起动因过热而

烧毁。由于某种原因定子绕组六个出线端标记无法辨认，可以通过实验方法来判别其首、末端（即同名端）。方法如下：

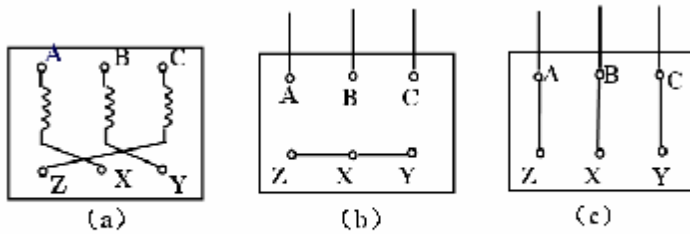


图8-1 绕组判别及首、尾端的确定

用万用电表欧姆挡从六个出线端确定哪一对引出线是属于同一相的，分别找出三相绕组，并标以符号，如A、X；B、Y；C、Z。将其中的任意两相绕组串联，如图8-1所示。

将控制屏三相自耦调压器手柄置零位，开启电源总开关，按下启动按钮，接通三相交流电源。调节调压器输出，使在相串联两相绕组出线端施以单相低电压 $U=80\sim 100V$ ，测出第三相绕组的电压，如测得的电压值有一定读数，表示两相绕组的末端与首端相联。反之，如测得的电压近似为零，则两相绕组的末端与末端(或首端与首端)相联。用同样方法可测出第三相绕组的首末端。

#### 4. 三相鼠笼式异步电动机的起动

鼠笼式异步电动机的直接起动电流可达额定电流的4~7倍，但持续时间很短，不致引起电机过热而烧坏。但对容量较大的电机，过大的起动电流会导致电网电压的下降而影响其他的负载正常运行，通常采用降压起动，最常用的是Y- $\Delta$ 换接起动，它可使起动电流减小到直接起动的1/3。其使用的条件是正常运行必须作 $\Delta$ 接法。

#### 5. 三相鼠笼式异步电动机的反转

异步电动机的旋转方向取决于三相电源接入定子绕组时的相序，故只要改变三相电源与定子绕组连接的相序即可使电动机改变旋转方向。

### 三、实验设备

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	三相交流电源	380V、220V	1	
2	三相鼠笼式异步电动机	DJ24	1	
3	兆欧表	500V	1	自备
4	交流电压表	0~500V	1	
5	交流电流表	0~5A	1	
6	万用电表		1	自备

### 四、实验内容

1. 抄录三相鼠笼式异步电动机的铭牌数据，并观察其结构。
2. 用万用电表判别定子绕组的首、末端。
3. 鼠笼式异步电动机的直接起动

(1)直接起动 按图8-2接线。先将开关Q2向上闭合，然后闭合电源开关Q，读取瞬时起动电流数值，记录于表8-1中。

表 8—1 各种起动方法时的数据

启动方式	Ust/V	Ist/A	起动电流倍数 (Ist/I <sub>N</sub> )	备注
直接启动				
星—三角启动				
自耦变压器减				

(2)星—三角形起动

按图 8-2 接线。先将开关 Q2 向下闭合，定子绕组为星形联结，然后电源开关 Q1，读取起动电流数值，记录于表 8-1 中。待电机转速稳定后，将开关 Q2 拉开，并迅速向上闭合，定子绕组换接三角形联结，电动机转入正常运行。

(3)自耦变压器起动

选用起动补偿器，按图 8-3 接线。抽头电压选 60%电源电压。先合上电源开关 Q1，然后将起动补偿器的手柄扳至“起动”位置，此时电动机由自耦变压器供给低电压起动。读取起动电流数值，记录于表 8-1 中。待电动机转速稳定后，将手柄从“起动”位置拉开，并迅速合至“运行”位置，电动机起动过程结束。

(4)绕线转子异步电动机起动

按如图 8-4 接线，先将起动变阻器手柄置于阻值最大位置，然后合上电源开关 Q1 起动电动机，读取起动电流数值，记录于表 8-1 中。缓慢转动起动变阻器手柄，逐渐减小起动电阻，直至起动变阻器被切除，电动机进入稳定运行。

(5)绕线转子异步电动机转子回路串电阻调速 仍按图 8-4 接线，将电动机带一定负载起动后，改变转子电阻，观察转速变化，然后改变变阻器手柄位置，分别测量各电阻值所对应的电动机转速，并做记录。

(6)鼠笼转子电机变极调速 按图 8-5 的两种方式接线分别测出转速并记录。

## 五、实验注意事项

1. 本实验系强电实验，接线前(包括改接线路)、实验后都必须断开实验线路的电源，特别改接线路和拆线时必须遵守“先断电，后拆线”的原则。电机在运转时，电压和转速均很高，切勿触碰导电和转动部分，以免发生人身和设备事故。为了确保安全，学生应穿绝缘鞋进入实验室。接线或改接线路必须经指导教师检查后方可进行实验。



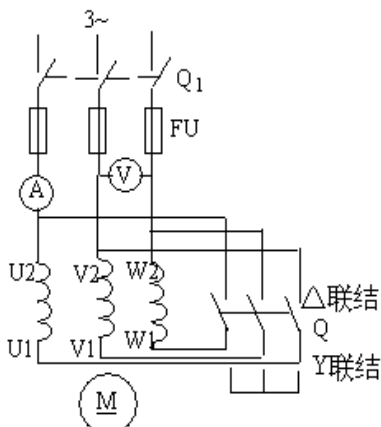


图 8-2 直接起动及星—三角起动图

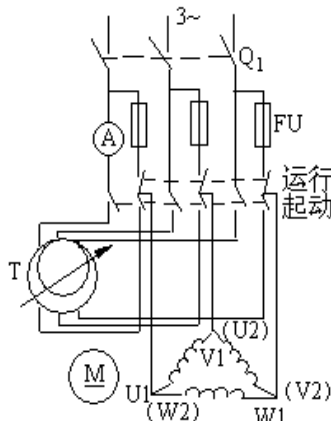


图 8-3 自耦变压器起动

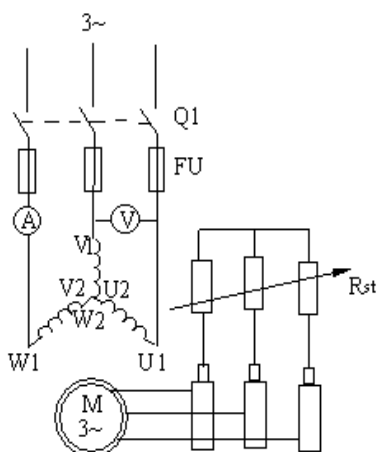


图 8-4 绕线转子异步电动机转子串电阻起动

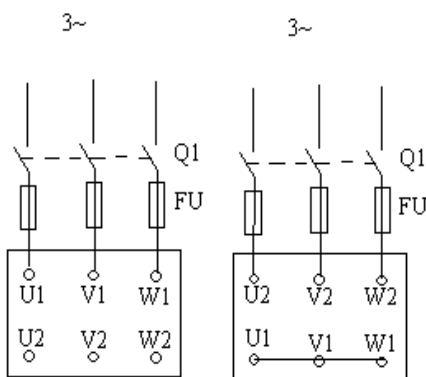


图 8-5 鼠笼转子电机变极调速

2. 起动电流持续时间很短，且只能在接通电源的瞬间读取电流表指针偏转的最大读数，(因指针偏转的惯性，此读数与实际的起动电流数据略有误差)，如错过这一瞬间，须将电机停车，待停稳后，重新起动读取数据。

3. 单相(即缺相)运行时间不能太长，以免过大的电流导致电机的损坏。

## 六、预习思考题

1. 如何判断异步电动机的六个引出线，如何连接成Y形或Δ形，又根据什么来确定该电动机作Y接或Δ接？

2. 缺相是三相电动机运行中的一大故障，在起动或运转时发生缺相，会出现什么现象？有何后果？

3. 电动机转子被卡住不能转动，如果定子绕组接通三相电源将会发生什么后果？

## 七、实验报告

1. 总结对三相鼠笼机绝缘性能检查的结果，判断该电机是否完好可用？
2. 对三相鼠笼机的起动、反转及各种故障情况进行分析。



五、实验过程原始记录(数据、图表、计算等)

六、实验结果及分析

教师签名

年 月 日