

《电工学—电工技术》

# 实 验 指 导 书

刘万强 张丹 主编

电工电子实验中心

2021年3月

# 实验前必读

为保证实验教学的质量与水平，维护实验室仪器设备的完好，保证同学人身安全，希望同学认真阅读下列内容：

- 一、凡进入实验室进行实验的学生必须严格遵守实验室的各项规章制度；
- 二、每次实验前，必须认真阅读实验指导书和实验教材，听从指导教师的指导，在了解仪器设备的性能之后，严格按照规程进行操作；
- 三、严格遵守实验室纪律，爱护仪器设备和实验设施；
- 四、珍惜实验时间，重视实验技能训练；
- 五、实验结束后，做好仪器设备和实验器材的整理，经教师验收仪器设备和实验数据后方可离开实验室；
- 六、提倡严谨科学的实验作风，如实做好实验记录，认真完成实验报告，注意培养分析问题和解决问题的能力；
- 七、注意人身安全，爱护仪器设备，因不按规定程序操作而造成人身伤害或造成仪器设备损坏者按规定做出严肃处理或赔偿经济损失；
- 八、实验过程中应保持安静，遵守秩序，维护实验室的清洁整齐。

# 目 录

实验一	受控源 VCCS、CCVS 的研究 .....	3
实验二	叠加原理与齐次性定理 .....	7
实验三	戴维南定理与诺顿定理 .....	11
实验四	日光灯电路及功率因数提高方法的研究 .....	14
实验五	三相交流电路测量 .....	18
实验六	三相异步电动机正反转控制 .....	22
附 录	演示视频 .....	25

# 实验一 受控源 VCCS、CCVS 的研究

## 一、实验目的

通过测试受控源的外特性及其转移参数，进一步理解受控源的物理概念，加深对受控源的认识和理解。

## 二、原理说明

1. 电源有独立电源（如电池、发电机等）与非独立电源（或称为受控源）之分。

受控源与独立电源的不同点是：独立电压源的电势  $E_s$  或独立电流源的电流  $I_s$  是某一固定的数值或是时间的某一函数，它不随电路其余部分的状态而变。而受控源的电势或电流则是随电路中另一支路的电压或电流而改变的一种电源。

受控源又与无源元件不同，无源元件两端的电压和它自身的电流有一定的函数关系，而受控源的输出电压或电流则和另一支路（或元件）的电流或电压有某种函数关系。

2. 独立源与无源元件是二端器件，受控源则是四端器件，或称为双口元件。

受控源有一对输入端（ $U_1$ 、 $I_1$ ）和一对输出端（ $U_2$ 、 $I_2$ ）。输入端可以控制输出端电压或电流的大小。施加于输入端的控制量可以是电压或电流，因而有两种受控电压源（即电压控制电压源 VCVS 和电流控制电压源 CCVS）和两种受控电流源（即电压控制电流源 VCCS 和电流控制电流源 CCCS）。它们的示意图如图 1 所示。

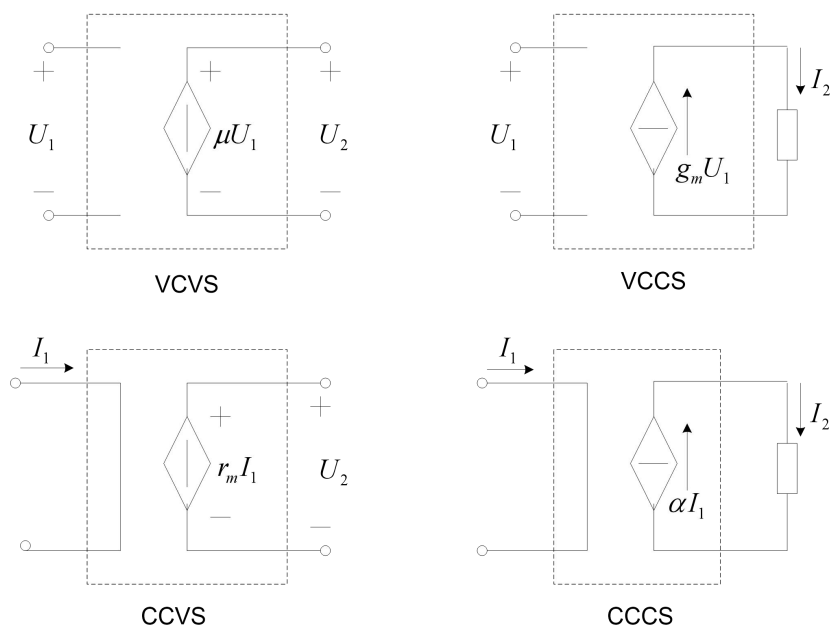


图 1 四种受控源

3. 当受控源的输出电压（或电流）与控制支路的电压（或电流）成正比变化时，则称该

受控源是线性的。

理想受控源的控制支路中只有一个独立变量(电压或电流),另一个独立变量等于零,即从输入端口看,理想受控源或者是短路(即输入电阻  $R_1 = 0$ , 因而  $U_1 = 0$ )或者是开路(即输入电导  $G_1 = 0$ , 因而输入电流  $I_1 = 0$ );从输出端口看,理想受控源或是一个理想电压源或者是一个理想电流源。

4. 受控源的控制端与受控端的关系式称为转移函数。

四种受控源的转移函数参量的定义如下:

(1) 压控电压源(VCVS):  $U_2 = f(U_1)$ ;  $\mu = U_2 / U_1$  称为转移电压比(或电压增益)。(2)

压控电流源(VCCS):  $I_2 = f(U_1)$ ;  $g_m = I_2 / U_1$  称为转移电导。

(3) 流控电压源(CCVS):  $U_2 = f(I_1)$ ;  $r_m = U_2 / I_1$  称为转移电阻。

(4) 流控电流源(CCCS):  $I_2 = f(I_1)$ ;  $\alpha = I_2 / I_1$  称为转移电流比(或电流增益)。

### 三、实验设备

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	可调直流稳压源	0~30 V	1	
2	可调直流恒流源	0~500 mA	1	
3	直流数字电压表	0~750 V	1	
4	直流数字毫安表	0~3 A	1	
5	固定电阻		若干	
6	受控源实验电路板	VCCS、CCVS	1	

### 四、实验内容

1. 测量受控源 VCCS 的转移特性  $I_2 = f(U_1)$  及负载特性  $I_2 = f(U_2)$ , 实验线路如图 2。

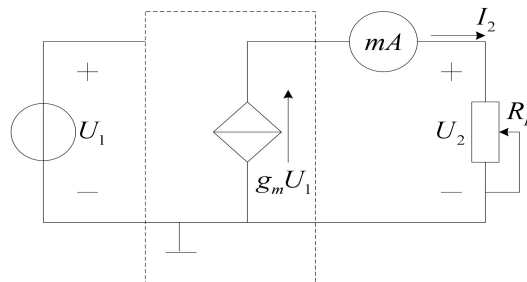


图 2 VCCS 实验线路图

(1) 固定  $R_L = 2\text{ k}\Omega$  不变, 调节电压源的电压  $U_1$ , 测量对应的输出电流  $I_2$ , 填入表 1, 绘制  $I_2 = f(U_1)$  曲线, 并由其线性部分求出转移电导  $g_m$ 。

表 1 VCCS 的转移特性测量

$U_1$ (V)	0	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
$I_2$ (mA)										

(2) 保持  $U_1 = 5\text{ V}$  不变, 令  $R_L$  从小到大变化, 测出相应的  $U_2$  及  $I_2$ , 填入表 2, 绘制  $I_2 = f(U_2)$  曲线。

表 2 VCCS 的负载特性测量

$R_L$ ( $\Omega$ )	100	200	300	510	680	1000	2000	3000
$U_2$ (V)								
$I_2$ (mA)								

2. 测量受控源 CCVS 的转移特性  $U_2 = f(I_1)$  与负载特性  $U_2 = f(I_2)$ , 实验线路如图 3。

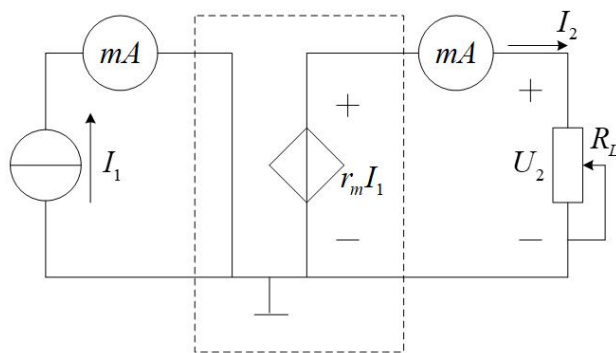


图 3 CCVS 实验线路图

(1) 固定  $R_L = 2\text{ k}\Omega$ , 调节恒流源的输出电流  $I_1$ , 按下表所列  $I_1$  值, 测出  $U_2$ , 填入表 3, 绘制  $U_2 = f(I_1)$  曲线, 并由其线性部分求出转移电阻  $r_m$ 。

表 3 CCVS 的转移特性测量

$I_1$ (mA)	0	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4
$U_2$ (V)								

(2) 保持  $I_1 = 0.4 \text{ mA}$  不变, 令  $R_L$  从小到大变化, 测出相应的  $U_2$  及  $I_2$ , 填入表 4, 绘制  $U_2 = f(I_2)$  曲线。

表 4 CCVS 的负载特性测量

$R_L$ (k $\Omega$ )	1	2	3	5.1	10	20	30
$U_2$ (V)							
$I_2$ (mA)							

## 五、实验注意事项

1. 每次组装线路, 必须事先断开供电电源, 但不必关闭电源总开关。
2. 用恒流源供电的实验中, 不要使恒流源的负载开路。

## 六、实验报告

1. 根据实验数据, 在方格纸上分别绘出受控源的转移特性和负载特性曲线, 并求出相应的转移参量。
2. 对实验的结果做出合理的分析和结论, 总结对受控源的认识和理解。
3. 心得体会及其它。

## 实验二 叠加原理与齐次性定理

### 一、实验目的

- (1) 验证叠加原理；
- (2) 了解叠加原理的应用场合；
- (3) 理解线性电路的叠加性。

### 二、内容说明

叠加原理指出：在有几个电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电源单独作用时在该元件上所产生的电流或电压的代数和。具体方法是：一个电源单独作用时，其它的电源必须为零（即电压源短路、电流源开路）；在求电流或电压的代数和时，当电源单独作用时电流或电压的参考方向与共同作用时的参考方向一致时，符号取正、否则取负。在图 1 中，有：

$$I_1 = I'_1 - I''_1, \quad I_2 = -I'_2 + I''_2, \quad I_3 = I'_3 + I''_3, \quad U = U' + U''$$

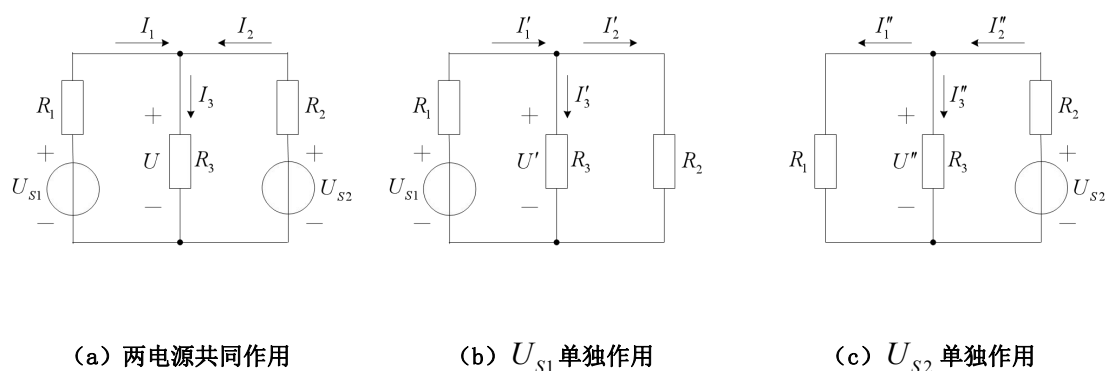


图 1 叠加原理图例

叠加原理反映了线性电路的叠加性。线性电路的齐次性是指：当激励信号（如电源作用）增加或减小  $K$  倍时，电路的响应（即在电路其它各电阻元件上所产生的电流和电压值）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和电压。对于非线性电路，叠加性和齐次性都不适用。

### 三、实验任务

实验电路如图 2 所示，其中： $R_1 = R_3 = R_4 = 510 \Omega$ ， $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ ， $U_{S1} = 12 \text{ V}$ ， $U_{S2} = 6 \text{ V}$ 。



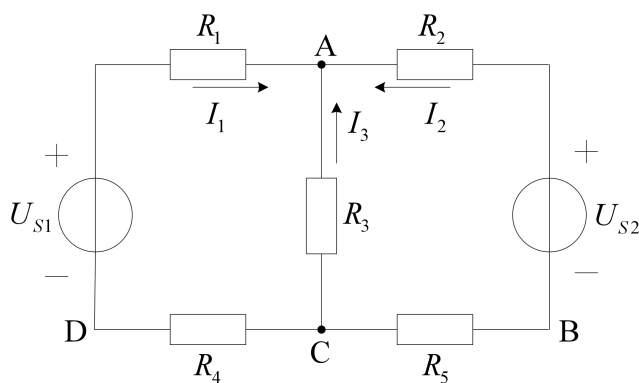


图2 叠加原理实验电路图1

用直流电流表接电流插头测量各支路电流的方法如下：将电流插头的红线端插入数字电流表的红（正）接线端；电流插头的黑线端插入数字电流表的黑（负）接线端。规定：在结点A，电流表读数为“+”，表示电流流入结点（与参考方向一致）；电流表读数为“-”，表示电流流出结点（与参考方向相反）。

用直流电压表测量各电阻元件两端电压的方法如下：将电压表的红（正）接线端插入被测电阻元件电压参考方向的正端；电压表的黑（负）接线端插入被测电阻元件电压参考方向的负端。

1. 两电源共同作用

按图2所示电路接线，在 $U_{S1}$ 和 $U_{S2}$ 共同作用下，测量各电流和电压，填入表1中。

表1 实验数据1

	$U_{S1}$ (V)	$U_{S2}$ (V)	$I_1$ (mA)	$I_2$ (mA)	$I_3$ (mA)	$U_{BC}$ (V)	$U_{AC}$ (V)	$U_{CD}$ (V)
两电源共同作用	12	6						
$U_{S1}$ 单独作用	12	0						
$U_{S2}$ 单独作用	0	6						
$U_{S2}$ 单独作用	0	12						

2.  $U_{S1}$  电源单独作用

去除  $U_{S2}$  (将图 2 中原  $U_{S2}$  两端位置处用导线短接, 不要直接短路电压源), 再测量各电流和电压, 填入表 1 中。

3.  $U_{S2}$  电源单独作用

去除  $U_{S1}$  (将图 2 中原  $U_{S1}$  两端位置处用导线短接, 不要直接短路电压源), 再测量各电流和电压, 填入表 1 中。

4. 将图 2 中的  $R_3$  换成一只二极管 IN4007

电路如图 3 所示。重复步骤 1~3 的测量过程, 并将测量数据记入表 2 中。

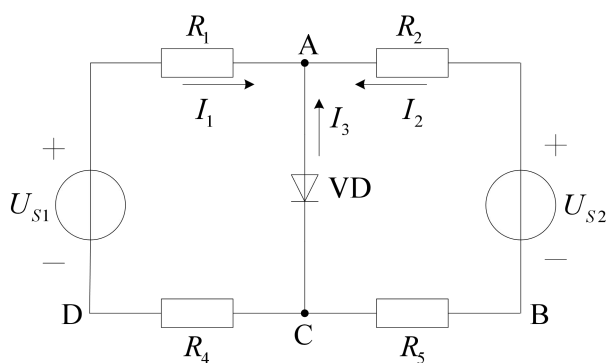


图 3 叠加原理实验电路图 2

表 2 实验数据 2

	$U_{S1}$ (V)	$U_{S2}$ (V)	$I_1$ (mA)	$I_2$ (mA)	$I_3$ (mA)	$U_{BC}$ (V)	$U_{AC}$ (V)	$U_{CD}$ (V)
两电源共同作用	12	6						
$U_{S1}$ 单独作用	12	0						
$U_{S2}$ 单独作用	0	6						
$U_{S2}$ 单独作用	0	12						

#### 四、实验报告

1. 根据表 1 实验数据，通过求各支路电流和端点电压，验证线性电路的叠加性与齐次性。
2. 各电阻元件所消耗的功率能否用叠加原理计算得出？试用上述实验数据计算并说明。
3. 根据表 2 实验数据，说明非线性电路中是否适用叠加性与齐次性。

## 实验三 戴维南定理与诺顿定理

### 一、实验目的

- (1) 用实验来验证戴维南定理和诺顿定理；
- (2) 学习常用直流仪器仪表的使用方法。

### 二、内容说明

(1) 任何一个线性网络，如果只研究其中一个支路的电压和电流，则可将电路的其余部分看作一个含源一端口网络，而任何一个线性含源一端口网络对外部电路的作用，可用一个等效电压源来代替。该电压源的电动势等于这个含源一端口网络的开路电压  $U_{oc}$ ；其等效内阻等于这个含源一端口网络中各电源均为零时（电压源短路、电流源开路），无源一端口网络的入端电阻  $R_o$ 。这个结论就是戴维南定理。

(2) 如果任何一个线性网络用等效电流源来代替，其等效电流等于这个含源一端口网络的短路电流  $I_{sc}$ ；其等效内阻等于这个含源一端口网络各电源均为零时（电压源短路、电流源开路）无源一端口网络的入端电阻  $R_o$ 。这个结论就是诺顿定理。

本实验用图 1 所示线性网络来验证以上两个定理。

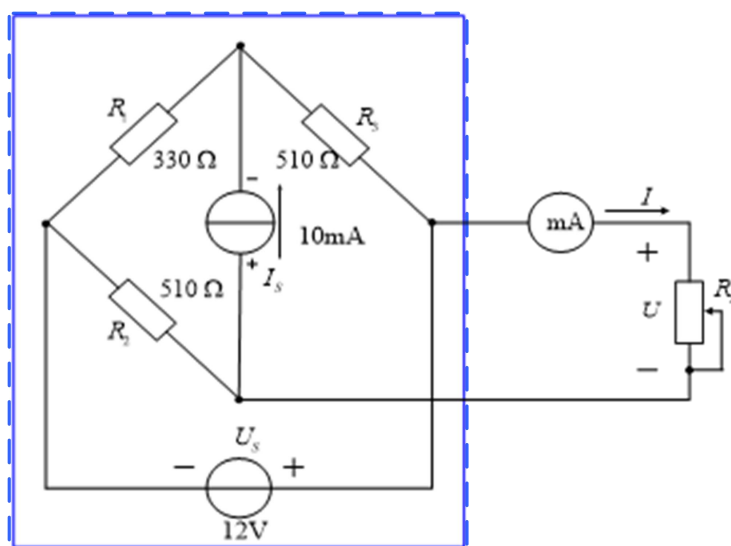


图 1 原实验电路图

### 三、实验任务

- (1) 测量原实验电路负载的伏安特性

按图 1 接线，改变负载电阻  $R_L$ ，分别测量其两端电压  $U$  和电流  $I$  的数值，记于表 1 中。

其中  $R_L = 0$  时的电流即为短路电流  $I_{SC}$ ， $R_L = \infty$  时的电压即为开路电压  $U_{OC}$ 。

表 1 原电路测量数据

$R_L (\Omega)$	0	100	200	330	510	1000	2000	3000	$\infty$
$U (V)$									
$I (mA)$									

(2) 计算无源一端口网络的入端电阻  $R_O$

利用伏安法计算无源一端口网络的入端电阻  $R_O$ ，即戴维南和诺顿定理等效电源的内阻。

将步骤 (1) 中测量的开路电压  $U_{OC}$  与短路电流  $I_{SC}$  之比，即得等效电阻  $R_O = U_{OC} / I_{SC}$ 。

(3) 验证戴维南定理

将直流电压源输出电压调整为  $U_{OC}$ ，串联电阻为  $R_O$ ，按图 2 连接电路。改变负载电阻

$R_L$ ，分别测量其两端电压  $U$  和电流  $I$  的数值，记于表 2 中。

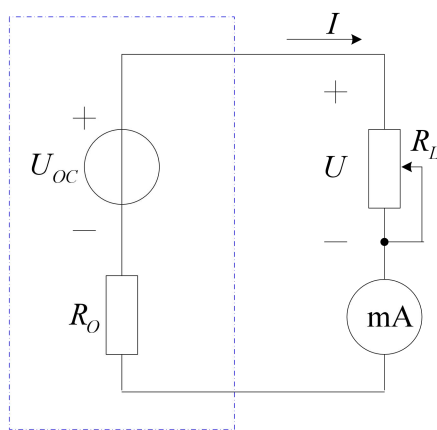


图 2 戴维南等效电路图

表 2 戴维南等效电路测量数据

$R_L (\Omega)$	0	100	200	330	510	1000	2000	3000	$\infty$
$U (V)$									
$I (mA)$									

(4) 验证诺顿定理

将直流电流源输出电流调整为  $I_{SC}$ ，并联电阻为  $R_O$ ，按图 3 连接电路。改变负载电阻  $R_L$ ，分别测量其两端电压  $U$  和电流  $I$  的数值，记于表 3 中。

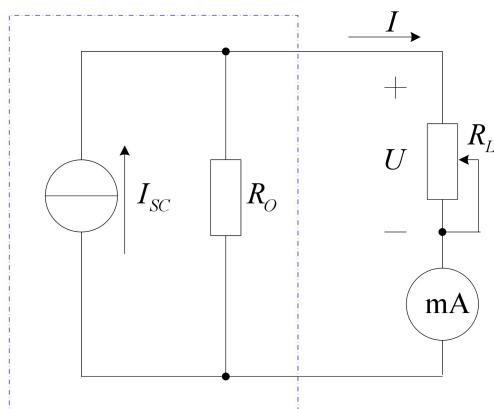


图 3 诺顿等效电路图

表 3 诺顿等效电路测量数据

$R_L$ ( $\Omega$ )	0	100	200	330	510	1000	2000	3000	$\infty$
$U$ (V)									
$I$ (mA)									

#### 四、实验报告

(1) 根据以上三种电路测得的  $U$  和  $I$  数据，分别绘出其伏安曲线，验证它们的等效性，并分析误差产生的原因。

(2) 讨论计算有源二端网络的等效内阻  $R_O$  的其他方法，并进行比较。

(3) 归纳实验结果，写出心得体会。

## 实验四 日光灯电路及功率因数提高方法的研究

### 一、实验目的

- (1) 熟悉日光灯的接线，做到能正确迅速的连接电路；
- (2) 通过实验了解功率因数提高的意义；
- (3) 学习功率表的使用。

### 二、内容说明

日光灯由灯管 A、镇流器 L（带铁芯电感线圈）、启动器 S 等组成。当接通电源后，启动器内发生辉光放电，双金属片受热弯曲，触点接通，将灯丝预热使它发射电子。启动器接通后辉光放电停止，双金属片冷却，又把触点断开，这时镇流器感应出高电压，与电源电压一起叠加在灯管两端，使日光灯管内部的惰性气体被击穿放电，并产生大量紫外线，灯管内壁的荧光粉吸收后辐射出可见光，日光灯就开始正常工作。启动器相当一只自动开关，能自动接通电路（加热灯丝）和开断电路（使镇流器产生高压，将灯管击穿放电）。镇流器的作用除了感应高压使灯管放电外，在日光灯正常工作时，起限制电流的作用，镇流器的名称也由此而来。由于电路中串联着镇流器，它可看作一个电感量较大的线圈；日光灯管可看作一个电阻；因而整个日光灯电路的功率因数不高。

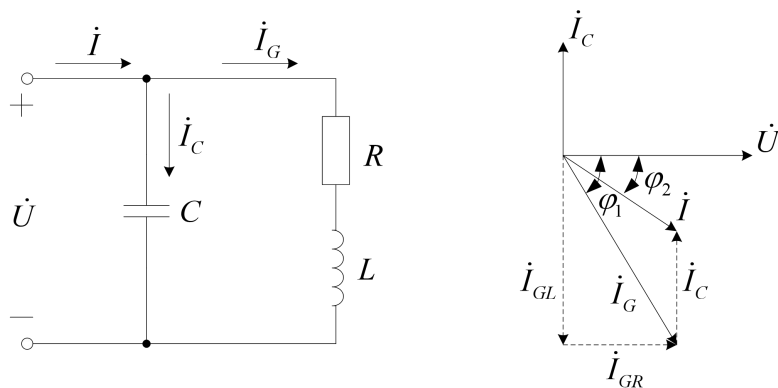


图 1 日光灯电路并联电容器电路图和相量图

负载功率因数过低，一方面没有充分利用电源容量，另一方面又在输电电路中增加损耗。为了提高功率因数，一般最常用的方法是在负载两端并联一个补偿电容器，抵消负载电流的一部分无功分量，电路图和相量图如图 1 所示。在日光灯电源两端并联一个可变电容器，当电容器的容量逐渐增加时，电容支路电流  $\dot{I}_C$  也随之增大，因  $\dot{I}_C$  超前电压  $\dot{U}$   $90^\circ$ ，可以抵消日光灯支路电流  $\dot{I}_G$  的一部分无功分量  $\dot{I}_{GL}$ ，结果使总电流的有效值  $I$  逐渐减小，直至达到最小值  $I = I_{GR}$ 。但如果电容器 C 增加过多（过补偿），使  $I_C > I_{GL}$ ，则总电流的有效值  $I$  又将

逐渐增大。因此，补偿电容并非是越大越好。

电路功率用功率表测量，本实验使用的功率表（又称为瓦特表）是一种数字式仪表，其中电流线圈与负载串联，电压线圈与负载并联，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 2 所示。电压、电流量程分别选择 500V 和 3A。

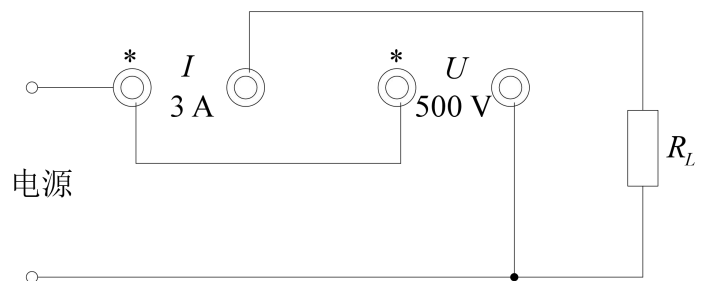


图 2 功率表接线图

### 三、实验任务

#### 1. 日光灯电路接线与测量

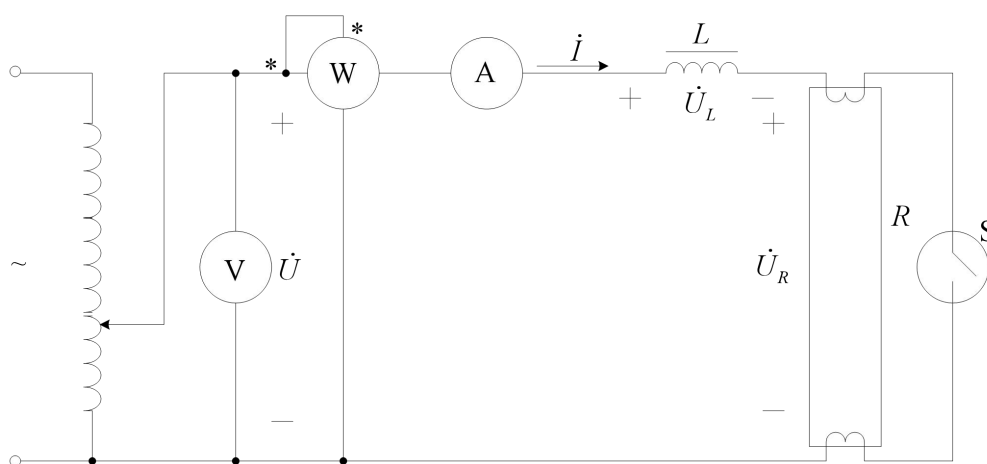


图 3 日光灯电路接线图

日光灯电路接线如图 3 所示。上电前确定交流调压器输出电压为零（即调压器逆时针旋转到底）。闭合电源开关，按下绿色启动按钮。顺时针旋转调压器，使输入电压缓慢增加，直到日光灯刚启辉点亮为止。测量  $U$ 、 $U_L$ 、 $U_R$ 、 $I$ 、 $P$  的值，记入表 1 并计算功率因数。

表 1 日光灯电路测量值

	$U(\text{V})$	$U_L(\text{V})$	$U_R(\text{V})$	$I(\text{A})$	$P(\text{W})$	$\cos \varphi$
启辉值						
正常工作						



然后再将输入电压调至正常电压（220V），再次测量 $U$ 、 $U_L$ 、 $U_R$ 、 $I$ 、 $P$ 的值，记入表1并计算功率因数。

## 2. 电路功率因数的改善

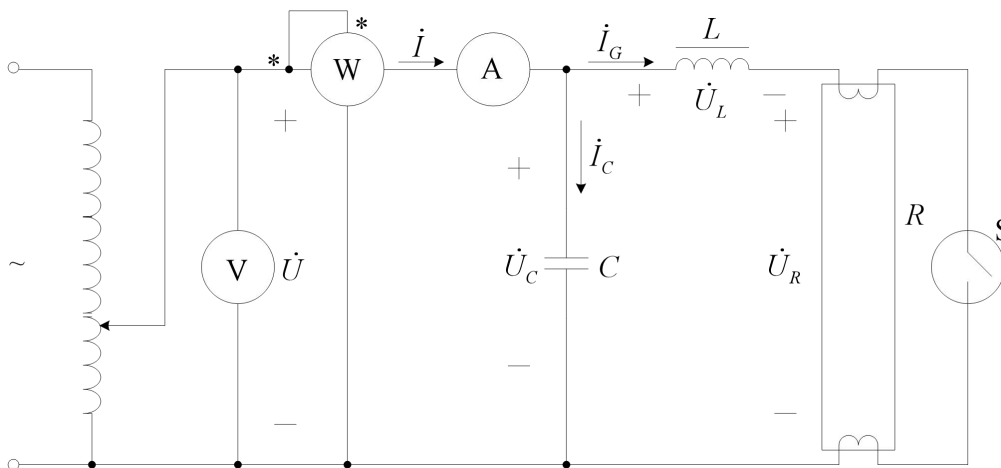


图4 日光灯并联电容器的接线图

按图4连接线路。上电前确定交流调压器输出电压为零（即调压器逆时针旋转到底）。闭合电源开关，按下绿色启动按钮。顺时针旋转调压器，将输入电压调至正常电压（220V）。改变并联电容器的数值，测量 $U$ 、 $U_C$ 、 $U_L$ 、 $U_R$ 、 $I$ 、 $I_G$ 、 $I_C$ 、 $P$ 的值，记入表2并计算功率因数。

表2 日光灯并联电容器的测量值

$C(\mu\text{F})$	$U(\text{V})$	$U_C(\text{V})$	$U_L(\text{V})$	$U_R(\text{V})$	$I(\text{A})$	$I_G(\text{A})$	$I_C(\text{A})$	$P(\text{W})$	$\cos\varphi$
0.47									
1									
2.2									
4.3									

## 四、实验报告

1. 根据实验数据，分别绘出电压和电流的相量图，并验证相量形式的基尔霍夫定律。
2. 绘出总电流和电容值的关系曲线 $I = f(C)$ ，以及功率因数和电容值的关系曲线

$\cos\varphi = f(C)$ ，并分析讨论提高日光灯电路功率因数的意义和方法。

3. 提高日光灯电路功率因数为什么只采用并联电容器法，而不采用串联法？所并联的电容器是否越大越好？

4. 归纳实验结果，写出心得体会。

## 五、注意事项

1. 日光灯电路是一个复杂的非线性电路，原因是灯管在交流电压接近零时熄灭，使电流间隙中断，另外镇流器为非线性电感。

2. 日光灯管功率（本实验中日光灯标称功率 30W）及镇流器所消耗功率都随温度而变，在不同环境温度及接通电路后不同时间中功率会有所变化。

3. 电容器在交流电路中有一定的介质损耗。

4. 日光灯启动电压随环境温度有所改变，一般在 180V 左右可启动，日光灯启动时电流较大，工作时电流较小，注意仪表量限选择。

5. 功率表的同名端联结在一起，否则功率表的读数为负。

6. 本实验如数据不符理论规律首先检查供电电源波形是否过份畸变，因目前电网波形高次谐波份量相当高，如能装电源进线滤波器是有效措施。

## 实验五 三相交流电路测量

### 一、实验目的

(1) 学会三相负载星形和三角形的连接方法，掌握这两种接法的线电压和相电压、线电流和相电流的测量方法。

(2) 观察分析三相四线制中，当负载不对称时中线的作用。

### 二、原理说明

三相负载可以接成星形（又称“Y”接），也可以接成三角形（又称“ $\Delta$ ”接）。

(1) 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  $I_N = 0$ ，所以可以省去中线。

(2) 当对称三相负载作  $\Delta$  形联接时，线电压  $U_L$  等于相电压  $U_P$ ，线电流  $I_L$  是相电流  $I_P$  的  $\sqrt{3}$  倍，即：

$$U_L = U_P, \quad I_L = \sqrt{3}I_P$$

(3) 当不对称三相负载作 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。

(4) 当不对称负载作  $\Delta$  联接时， $I_L \neq \sqrt{3}I_P$ 。但只要电源的线电压  $U_L$  对称，加在三相负载上的相电压仍是对称的，对各相负载工作没有影响。

### 三、实验内容

#### 1. 三相负载三角形联接

由于负载（白炽灯）的额定电压为 220 伏，实验前请务必将电源线电压调整为 220 伏！实验线路如图 1 所示。负载对称时，每相开 3 灯；负载不对称时，A 相开 1 灯、B 相开 2 灯、

C相开3灯。

三相线路的标识符：老国标为A、B、C；新国标为U、V、W。对应关系：A—U、B—V、C—W。

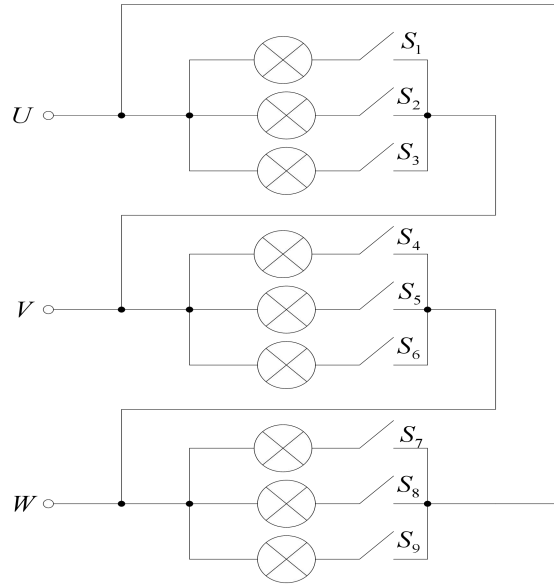


图1 三相负载三角形联接图

(1) 三相对称负载三角形联接

测量线电压（相电压）、相电流、线电流，填入表1。并计算线电流与相电流之比。

(2) 三相不对称负载三角形联接

测量线电压（相电压）、相电流、线电流，填入表1。并计算线电流与相电流之比。

表1 三相负载三角形联接数据测量

测量值	线电压=相电压 (V)			相电流 (A)			线电流 (A)			线电流/相电流		
	$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$	$I_{AB}$	$I_{BC}$	$I_{CA}$	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$\frac{I_A}{I_{AB}}$	$\frac{I_B}{I_{BC}}$	$\frac{I_C}{I_{CA}}$
负载 对称												
负载 不对称												

## 2. 三相负载星形联接

由于负载（白炽灯）的额定电压为220伏，实验前请务必将电源线电压调整为380伏！实验线路如图2所示。负载对称时，每相开3灯；负载不对称时，A相开1灯、B相开2灯、

C 相开 3 灯。

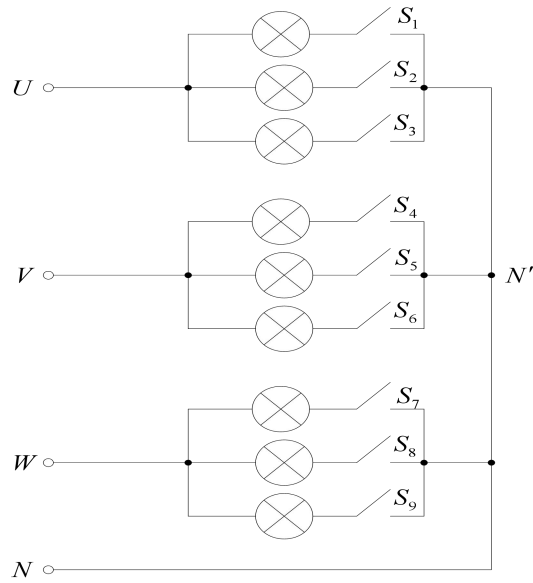


图 2 三相负载星形联接图

(1) 三相对称负载星形联接有中线

按图 2 连线，此线路又称为三相四线制。测量线电压、相电压、线电流（相电流）、中线电流，填入表 2。

表 2 三相负载星形联接数据测量

测量值		线电压 (V)			相电压 (V)			线电流=相电流 (A)			中线 电流 (A)	中点 电压 (V)
		$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$	$U_A$	$U_B$	$U_C$	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$I_N$	$U_{NN'}$
负载 对称	有中线											
	无中线											
负载 不对称	有中线											
	无中线											

(2) 三相对称负载星形联接无中线

将图 2 中的中线去除，此线路又称为三相三线制。测量线电压、相电压、线电流（相电流）、中点电压，填入表 2。

观察对称负载有、无中线时，各灯泡的亮暗情况，分析对称负载时中线的作用。

(3) 三相不对称负载星形连接有中线

按图 2 连线（三相四线制），并使 A 相开 1 灯、B 相开 2 灯、C 相开 3 灯。测量线电压、相电压、线电流（相电流）、中线电流，填入表 2。

(4) 三相不对称负载星形连接无中线

将图 2 中的中线去除（三相三线制），并使 A 相开 1 灯、B 相开 2 灯、C 相开 3 灯。测量线电压、相电压、线电流（相电流）、中点电压，填入表 2。

观察不对称负载有、无中线时，各灯泡的亮暗情况，分析不对称负载时中线的作用。

#### 四、注意事项

(1) 本实验采用三相交流市电，线电压为 380V。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。

(2) 由于电灯泡灯丝是非线性电阻，且各灯泡的电阻略有差异，故在对称负载星形连接有中线时，仍然会有微小的中线电流。

#### 五、实验报告

(1) 用实验测得的数据，验证对称负载三相电路中的 $\sqrt{3}$ 倍关系。

(2) 由实验测得的数据，分析星形连接在不对称负载时中线的作用。

(3) 由实验测得的数据，分析三角形连接在负载对称及不对称时，线电流与相电流之间的关系。

(4) 心得体会及其他。

## 实验六 三相异步电动机正反转控制

### 一、实验目的

1. 熟悉按钮、交流接触器和热继电器的构造和各部件的作用。
2. 学习异步电动机正反转启动的继电器、接触器控制电路的接线及操作。

### 二、实验原理

继电器接触器控制大量应用于对电动机的起动、停转、正反转、调速、制动等控制，从而使生产机械按既定的要求动作；同时也能对电动机和生产机械进行保护。

交流接触器有一个线圈，还有三个主触点和四个辅助触点。主触点接在主电路中，对电动机起接通或断开电源的作用；线圈和辅助触点接在控制电路中，可起接通或断开控制电路某分支的作用；接触器还可起欠压保护作用。

热继电器主要由热元件和辅助触点组成。热元件接在主电路中，辅助触点接在控制电路中。当电动机过载一定时间，主电路中的热元件动作，使接在控制电路中的动断（常闭）辅助触点断开，使交流接触器线圈断电，交流接触器主触点断开，电动机主电路断开，起到过载保护作用。

熔断器 FU 起短路保护作用。当线路中发生短路故障时，短路电流将熔断器的熔丝烧断，切断主电路电源，保护电动机以免烧毁。

图 1 是三相异步电动机正反转的控制电路。先接通电源开关 Q1，为电动机起动作好准备。按下起动按钮 SB1 时，交流接触器线圈 KM1 通电，其主触点闭合，使电动机 M 正向起动。同时 KM1 动合（常开）辅助触点闭合，起自锁作用，以保证松开按钮 SB1 时，交流接触器线圈 KM1 继续得电，电动机仍能继续运转。

若需电动机停转，可按停止按钮 SB3，此时交流接触器线圈 KM1 断电，其主触点断开，使电动机 M 停转。

按下起动按钮 SB2 时，交流接触器线圈 KM2 通电，其主触点闭合，使电动机 M 反向起动。同时 KM2 动合（常开）辅助触点闭合，起自锁作用，以保证松开按钮 SB2 时，交流接触器线圈 KM2 继续得电，电动机仍能继续运转。

为了避免接触器 KM1（正转）、KM2（反转）线圈同时得电、它们的主触点同时闭合、造成三相电源短路，在 KM1（KM2）线圈支路中串联有 KM2（KM1）动断（常闭）触头，它们保

证线路工作时 KM1、KM2 不会同时得电，以达到电气互锁目的。

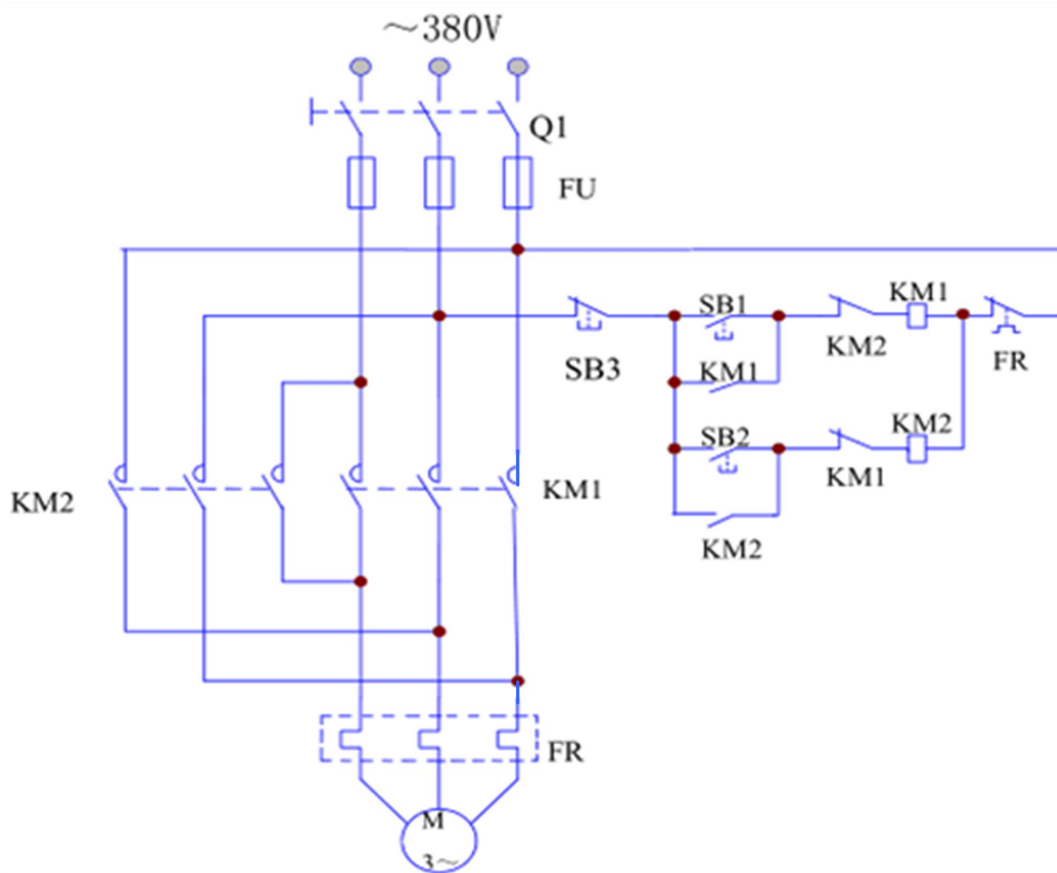
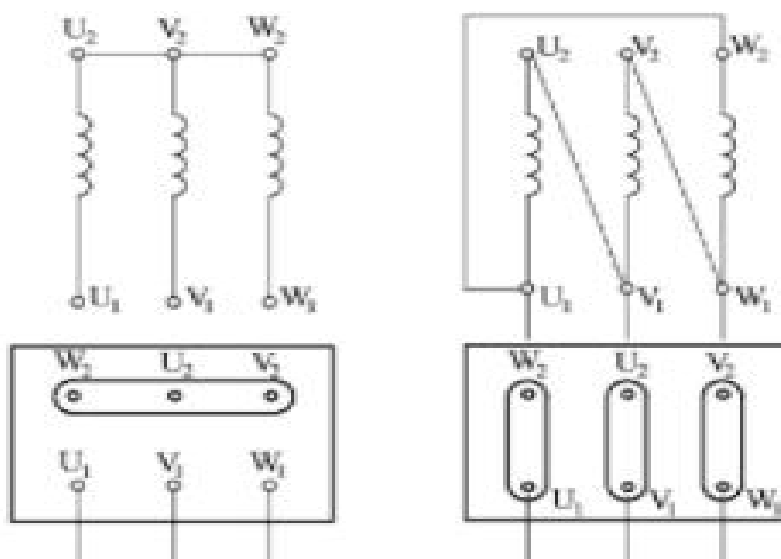


图 1 三相异步电动机正反转的控制电路

三相异步电动机定子绕组连接方式如图 2 所示，定子三相绕组的六个出线端都引至接线盒上，首端分别标为 U<sub>1</sub>、V<sub>1</sub>、W<sub>1</sub>，末端分别标为 U<sub>2</sub>、V<sub>2</sub>、W<sub>2</sub>。本实验按电动机铭牌要求接成三角形联接。





(a) 星形联接

(b) 三角形联接

图 2 三相异步电动机定子绕组连接方式

### 三、实验内容

实验前请将电源线电压调整为 380 伏！按图 1 接线，经指导教师检查后，方可进行通电操作。

1. 闭合控制电源总开关，按控制屏启动按钮；
2. 按正向启动按钮 SB1，观察并记录电动机的转向和接触器的通断情况；
3. 直接按反向启动按钮 SB2，观察并记录电动机和接触器的状态；
4. 按停止按钮 SB3，观察并记录电动机的转向和接触器的通断情况；
5. 此时再按 SB2，观察并记录电动机的转向和接触器的通断情况；
6. 直接按正向启动按钮 SB1，观察并记录电动机和接触器的状态；
7. 最后再按 SB3，停止电动机运转。按控制屏停止按钮，断开控制电源总开关。

### 四、实验报告

1. 读懂异步电动机正反转控制电路的工作原理，说明哪些辅助触点起自锁或联锁作用。
2. 如何用万用表判断交流接触器的线圈、动合（常开）触点及动断（常闭）触点？
3. 交流接触器线圈的额定电压为 380V，若将两个接触器的线圈串联后接到交流 380V 电源上，会产生什么后果，为什么？
4. 在电动机正、反转控制线路中，为什么必须保证两个接触器不能同时工作？采用什么措施可解决此问题？
5. 在控制线路中，短路、过载、失/欠压保护等功能是如何实现的？在实际运行过程中，这几种保护有何意义？
6. 描述实验过程中交流接触器的通断情况以及电动机运转情况。
7. 如何不经过停止按钮、直接由正反向启动按钮实现电动机的正反转控制？

## 附录 演示视频

### 一、受控源 VCCS、CCVS 的研究演示视频



### 二、戴维南定理与诺顿定理演示视频



### 三、三相交流电路测量演示视频



### 四、三相异步电动机正反转控制演示视频

