

# 第一章 电路实验

## 1.1 基尔霍夫定律和叠加定理的验证

### 1.1.1 实验目的

1. 验证基尔霍夫定律，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. 验证叠加定理，理解线性电路的叠加性和齐次性。

### 1.1.2 原理说明

#### 1. 基尔霍夫定律

基尔霍夫电流定律和电压定律是电路的基本定律，它们分别用来描述结点电流和回路电压，即对电路中的任一结点而言，应有  $\sum I = 0$ ，若流出结点的电流取正号，则流入结点的电流取负号；对任何一个闭合回路而言，应有  $\sum U = 0$ ，若电压的参考方向与绕行方向一致，则电压取正，反之，电压取负。

实验前，须设定电路中各支路电流的参考方向和各闭合回路的绕行方向。

#### 2. 叠加定理

叠加定理：在有多多个独立电源共同作用的线性电路中，通过任何一个元件的电流或其两端的电压，都可以看成是由每一个独立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。叠加定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（独立电源）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产生的电流和电压值）也将增加或减小  $K$  倍。

### 1.1.3 实验设备

1. 直流稳压电源两路（0 ~ 30V 可调）
2. 直流数字电压表（0 ~ 200V）
3. 直流数字毫安表（0 ~ 200mA）
4. 万用表
5. 基尔霍夫定律/叠加定理实验电路板

### 1.1.4 实验内容

实验线路如图 1.1.1 所示。

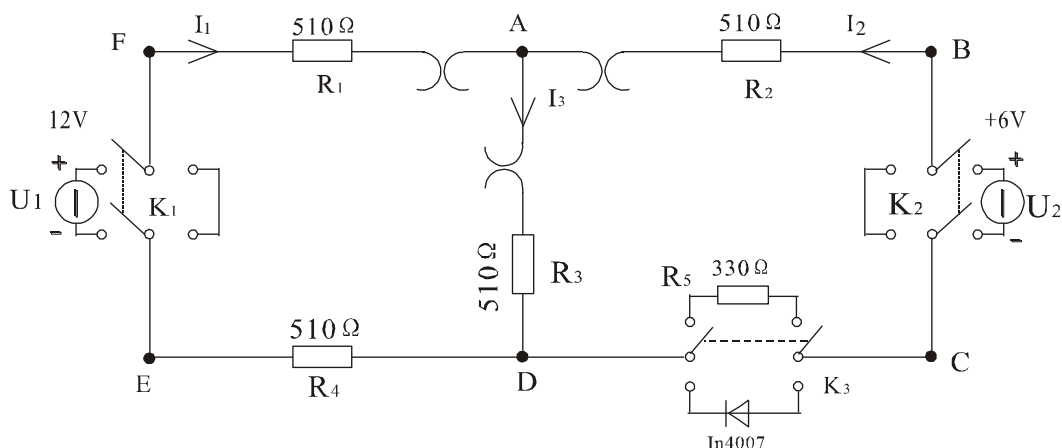


图 1.1.1 基尔霍夫定律/叠加定理实验电路

### 1. 基尔霍夫定律的验证

- (1) 实验前假定三条支路电流  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  的参考方向如图 1.1.1 所示，三个闭合回路的绕行方向分别设为 ADEFA、BADCB 和 FBCEF。
- (2) 分别将两路直流稳压源（令  $U_1 = 6V$ ， $U_2 = 12V$ ）接入电路。
- (3) 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，读出电流值，数据记入表 1.1.1。
- (5) 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，数据记入表 1.1.1。

表 1.1.1 基尔霍夫定律的验证数据

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)	$U_{CD}$ (V)	$U_{DE}$ (V)
计算值										
测量值										
相对误差										

### 2. 叠加定理的验证

- (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 1.1.2。

表 1.1.2 叠加定理的验证数据 ( $R_5=330\Omega$ )

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），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 1.1.2。

(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），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 1.1.2。

(5) 将  $U_2$  的数值调至 +12V，重复上述第(3)项的测量，数据记入表 1.1.2。

(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 1.1.3。

表 1.1.3 叠加定理的验证数据（二极管 1N4007）

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										

### 1.1.5 实验注意事项

1. 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. 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确正、负号应根据设定的电流参考方向来判断。

4. 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，正确判断测得值的十、一号后，记入数据表格。

5. 注意仪表量程的及时更换。

### 1.1.6 预习思考题

1. 根据图 1.1.1 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. 在叠加定理实验中，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？

3. 实验电路中，若有一个电阻器改为二极管，试问叠加定理的叠加性与齐次性还成立

吗？为什么？

### 1.1.7 实验报告

1. 根据实验数据，选定结点 **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. 根据实验数据验证线性电路的叠加性与齐次性。
4. 各电阻所消耗的功率能否用叠加定理计算得出？试用上述实验数据，进行计算并作结论。
5. 通过实验步骤(6)及分析表格 1.1.3 的数据，你能得出什么样的结论？
6. 误差原因分析。

## 1.2 戴维宁定理和诺顿定理

### 1.2.1 实验目的

1. 验证戴维宁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。

### 1.2.2 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）。

戴维宁定理：任何一个有源二端线性网络都可以用一个电动势为  $E$  的理想电压源和内阻  $R_O$  串联的电源来等效代替。等效电源的电动势  $E$  就是有源二端网络的开路电压  $U_{OC}$ ，等效电源的内阻  $R_O$  等于有源二端网络中所有独立源均置零（理想电压源视为短路，理想电流源视为开路）后所得到的无源网络的等效电阻。

诺顿定理指出：任何一个有源二端线性网络都可以用一个电流为  $I_S$  的理想电流源和内阻  $R_O$  并联的电源来等效代替。等效电源的电流  $I_S$  就是有源二端网络的短路电流  $I_{SC}$ ，等效电源的内阻  $R_O$  定义同戴维宁定理。

$U_{OC}$ （ $E$ ）和  $R_O$  或者  $I_{SC}$ （ $I_S$ ）和  $R_O$  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（开路电压、短路电流法）

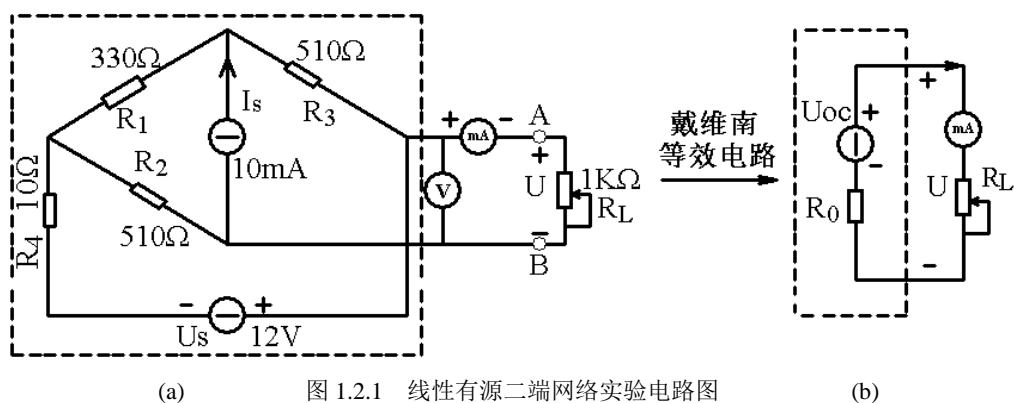
在有源二端网络输出端开路时，用电压表直接测其输出端的开路电压  $U_{OC}$ ，然后再将其输出端短路，用电流表测其短路电流  $I_{SC}$ ，则等效内阻为  $R_O = U_{OC} / I_{SC}$ 。

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。

### 1.2.3 实验设备

1. 可调直流稳压电源(0 ~ 30V)
2. 可调直流恒流源(0 ~ 500mA)
3. 直流数字电压表(0 ~ 200V)
4. 直流数字毫安表(0 ~ 200mA)
5. 万用表
6. 可调电阻箱(0 ~ 99999.9Ω)
7. 电位器(1k/2W)
8. 戴维宁定理实验电路板

### 1.2.4 实验内容



1. 被测有源二端网络如图 1.2.1(a)。用开路电压、短路电流法测定戴维宁等效电路的  $U_{OC}$ 、 $R_O$  和诺顿等效电路的  $I_{SC}$ 、 $R_O$ 。

按图 1.2.1(a)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  $R_O$ ，数据记入表 1.2.1。（测  $U_{OC}$  时，不接入 mA 表）

表 1.2.1 有源二端网络的等效参数

$U_{OC}$ (V)	$I_{SC}$ (mA)	$R_O = U_{OC}/I_{SC}$ (Ω)

#### 2. 负载实验

按图 1.2.1 (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。

表 1.2.2 有源二端网络的外特性曲线实验数据

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

3. 验证戴维宁定理：从电阻箱上取得按步骤“1”所得的等效电阻  $R_O$  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 1.2.1 (b) 所示，仿照步骤“2”测其外特性，对戴维宁定理进行验证。

表 1.2.3 有源二端网络的外特性曲线实验数据

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

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 $R_O$ 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 1.2.2 所示，仿照步骤“2”测其外特性，对诺顿定理进行验证。

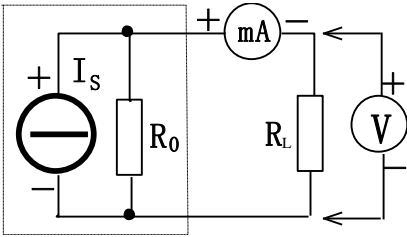
表 1.2.4 有源二端网络的外特性曲线实验数据

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

### 1.2.5 实验注意事项

1. 测量时应注意电流表量程的更换。
2. 改接线路时，要关掉电源。

### 1.2.6 预习思考题



在求戴维宁或诺顿等效电路时，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 1.2.1(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。

图 1.2.2 诺顿等效电路图

### 1.2.7 实验报告

1. 根据步骤 2、3、4，分别绘出曲线，验证戴维宁定理和诺顿定理的正确性，并分析产生误差的原因。
2. 归纳、总结实验结果。

## 1.3 RC 一阶电路的响应测试

### 1.3.1 实验目的

1. 研究 RC 一阶电路的零输入响应、零状态响应及全响应的规律和特点。
2. 学习电路时间常数的测量方法，了解电路参数对时间常数的影响。

3. 掌握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。

### 1.3.2 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 1.3.1 (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，其变化的快慢取决于电路的时间常数 $\tau$ 。

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 1.3.1 (a)所示。

根据一阶微分方程的求解有 $u_c = U_m e^{-t/\tau} = U_m e^{-t/RC}$ 。当 $t = \tau$ 时， $u_c(\tau) = 0.368U_m$ ，此时所对应的时间就等于 $\tau$ 。亦可用零状态响应波形增加到 $0.632U_m$ 所对应的时间测得，如图 1.3.1 (c)所示。

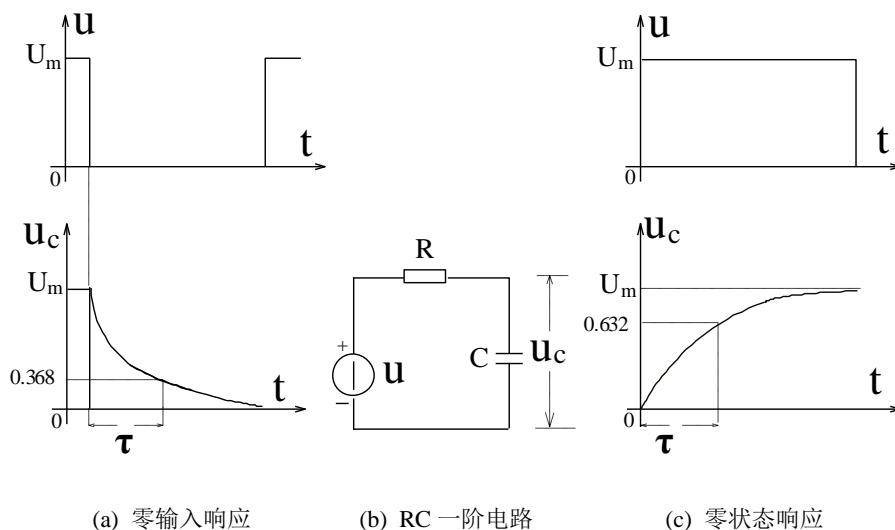
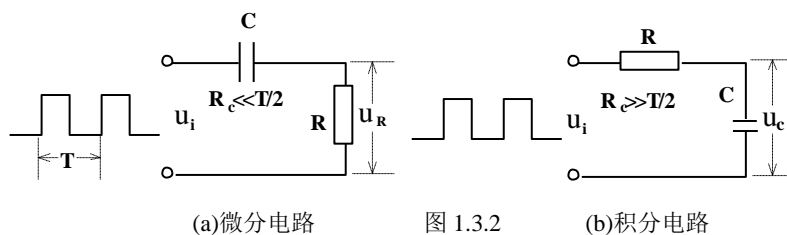


图 1.3.1

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 $\tau = RC \ll T/2$ 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 1.3.2 (a)所示。利用微分电路可以将方波转变成尖脉冲。



若将图 1.3.2 (a)中的  $R$  与  $C$  位置调换一下, 如图 1.3.2 (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  $\tau = RC \gg T/2$ , 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。

### 1.3.3 实验设备

1. 函数信号发生器
2. 双踪示波器
3. 动态电路实验板

### 1.3.4 实验内容

实验线路板的器件组件, 如图 1.3.3 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  $R = 10k\Omega$ ,  $C = 6800pF$  组成如图 1.3.1 (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

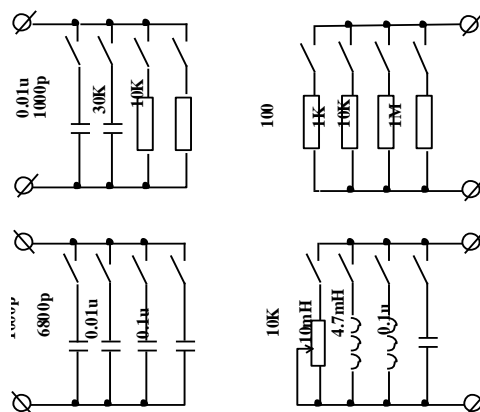


图 1.3.3 动态电路、选频电路实验板

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。

少量地改变电容值或电阻值, 定性地观察对响应的影响, 记录观察到的现象。

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

3. 令  $C = 0.01\mu F$ ,  $R = 100\Omega$  组成如图 1.3.2 (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。

增减  $R$  的值, 定性地观察对响应的影响, 并作记录。当  $R$  增至  $1M\Omega$  时, 输入输出波



形有何本质上的区别？

### 1.3.5 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。

### 1.3.6 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？

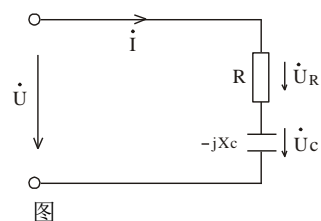
### 1.3.7 实验报告

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。

## 1.4 正弦稳态交流电路相量的研究

### 1.4.1 实验目的

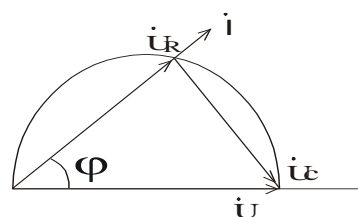
1. 研究正弦稳态交流电路中电压、电流相量之间的关系。
2. 掌握日光灯线路的接线。
3. 理解改善电路功率因数的意义并掌握其方法。



1.4.1  $RC$  串联电路

## 1.4.2 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  $\sum \dot{I} = 0$  和  $\sum \dot{U} = 0$ 。



2. 图 1.4.1 所示 RC 串联电路，在正弦稳态信号  $\dot{U}$  的激励下， $\dot{U}_R$  与  $\dot{U}_C$  保持有  $90^\circ$  的相位差，即当  $R$  阻值改变时， $\dot{U}_R$  的相量轨迹是一个半圆。 $\dot{U}$ 、 $\dot{U}_C$  与  $\dot{U}_R$  三者形成一个直角形的电压三角形，如图 1.4.2 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 1.4.3 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)。

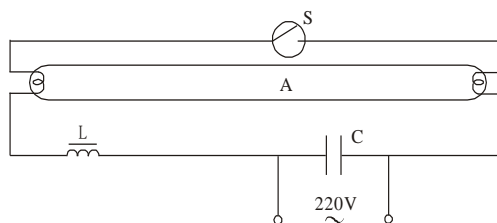


图 1.4.3 日光灯线路图

## 1.4.3 实验设备

1. 交流电压表 (0 ~ 500V)
2. 交流电流表 (0 ~ 5A)
3. 功率表
4. 自耦调压器
5. 日光灯灯管 (40W)、镇流器、启辉器、 $1\mu\text{F}$ 、 $2.2\mu\text{F}$ 、 $4.7\mu\text{F}/450\text{V}$  各一个、白炽灯 (220V/15W) 一~三个及灯座、电流插座

## 1.4.4 实验内容

1. 按图 1.4.1 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，数据记入表 1.4.1，验证电压三角形关系。

表 1.4.1 RC 串联电路实验数据

测量值			计算值		
$U(\text{V})$	$U_R(\text{V})$	$U_C(\text{V})$	$U'$ 与 $U_R$ 、 $U_C$ 组成直角 $\Delta$ ( $U' = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}$ )	$\Delta U = U' - U$ (V)	$\Delta U/U$ (%)

## 2. 日光灯线路接线与测量。

按图 1.4.4 接线。

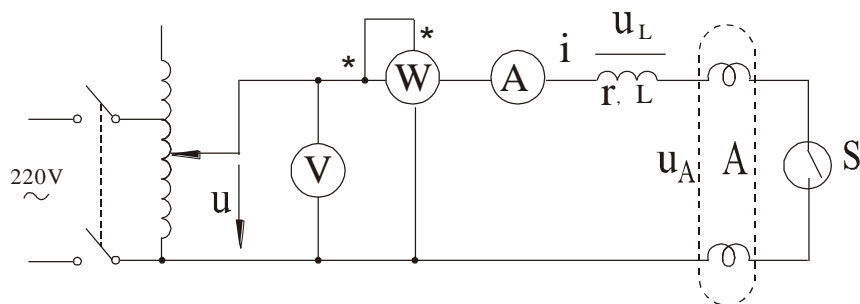


图 1.4.4 日光灯线路接线与测量图

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，数据记入表 1.4.2，验证电压、电流相量关系。

表 1.4.2 日光灯线路图测量实验数据

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

## 3. 并联电路——电路功率因数的改善。

按图 1.4.5 组成实验线路。

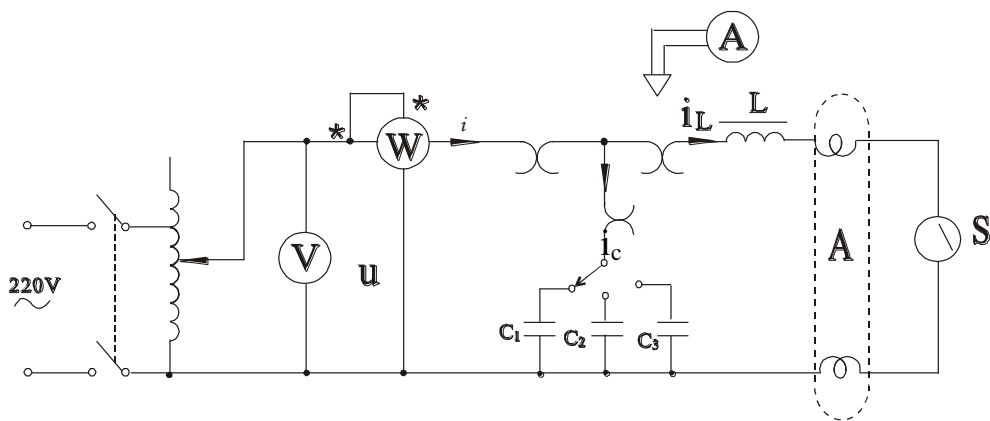


图 1.4.5 提高功率因数的电路

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。数据记入表 1.4.3。

表 1.4.3

功率因数提高实验数据

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

### 1.4.5 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。

### 1.4.6 预习思考题

1. 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（DGJ-04 实验挂箱上有短接按钮，可用它代替启辉器做一下试验。）或用一只启辉器去点亮多只同类型的日光灯，这是为什么？
2. 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？
3. 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？

### 1.4.7 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。

## 1.5 三相交流电路电压、电流的测量

### 1.5.1 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。

### 1.5.2 原理说明

1. 三相负载可接成星形（又称“Y”接）或三角形（又称“△”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 $U_L = \sqrt{3}U_P$ ， $I_L = I_P$ 。在这种情况下，流过中线的电流 $I_O = 0$ ，所以可以省去中线。当对称三相负载作△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 $Y_O$ 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 $Y_O$ 接法。

3. 当不对称负载作△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。

### 1.5.3 实验设备

1. 交流电压表(0 ~ 500V)
2. 交流电流表(0 ~ 5A)
3. 万用表
4. 三相自耦调压器
5. 三相灯组负载（220V/15W 白炽灯9个）、电门插座3个

### 1.5.4 实验内容

1. 三相负载星形联接（三相四线制供电）

按图 1.5.1 线路组接实验电路。

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，使输出的三相相电压为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 1.5.1，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。

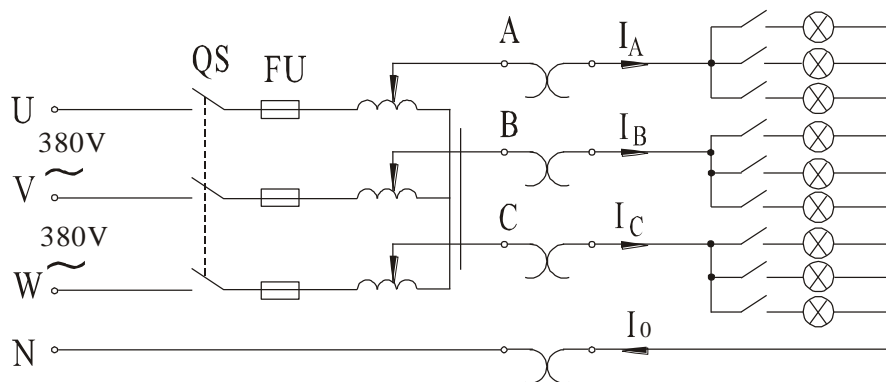


图 1.5.1 三相负载星形联接

表 1.5.1 三相负载星形联接实验数据

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 $I_O$ (A)	中点 电压 $U_{NO}$ (V)
	A 相	B 相	C 相	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$	$U_{AO}$	$U_{BO}$	$U_{CO}$		
Y <sub>0</sub> 接平衡负载	3	3	3											
Y接平衡负载	3	3	3											
Y <sub>0</sub> 接不平衡负载	1	2	3											
Y接不平衡负载	1	2	3											
Y <sub>0</sub> 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）

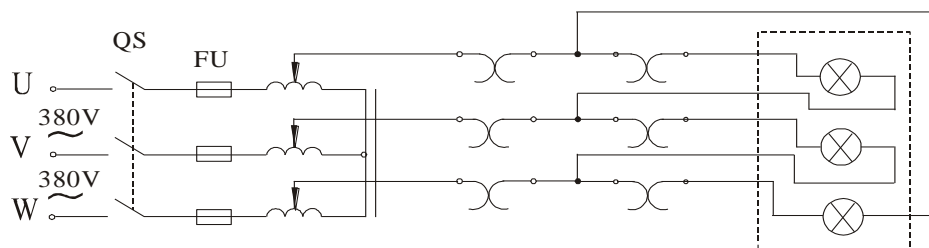


图 1.5.2 负载三角形联接

按图 1.5.2 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 1.5.2 的内容进行测试。

表 1.5.2 负载三角形联接实验数据

测量数据 负载情况	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	3	3	3									
三相不平衡	1	2	3									

### 1.5.5 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，DGJ-04 实验挂箱内设有过压保护装置。当任一相电压  $> 245 \sim 250V$  时，即声光报警并跳闸。因此，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。

### 1.5.6 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？

### 1.5.7 实验报告

1. 根据实验数据验证对称三相电路中的  $\sqrt{3}$  关系，即线电压（电流）与相电压（电流）。
2. 根据实验数据和观察到的现象，总结三相四线制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实验数据，画出相量图，并验证实验数据的正确性。

## 第二章 电机及控制实验

### 2.1 单相铁心变压器特性的测试

#### 2.1.1 实验目的

1. 通过测量，计算变压器的各项参数。
2. 学会测绘变压器的空载特性与外特性。

#### 2.1.2 原理说明

1. 图 2.1.1 为测试变压器参数的电路。由各仪表读得变压器原边（AX，低压侧）的  $U_1$ 、 $I_1$ 、 $P_1$  及付边（ax，高压侧）的  $U_2$ 、 $I_2$ ，并用万用表  $R \times 1$  档测出原、副绕组的电阻  $R_1$  和  $R_2$ ，即可算得变压器的以下各项参数值：

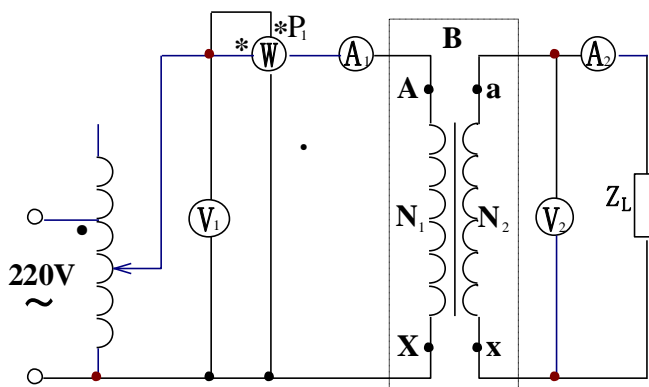


图 2.1.1 测试变压器参数的电路

$$\text{电压比: } K_u = \frac{U_1}{U_2}$$

$$\text{电流比: } K_i = \frac{I_2}{I_1}$$

$$\text{原边阻抗: } Z_1 = \frac{U_1}{I_1}$$

$$\text{副边阻抗: } Z_2 = \frac{U_2}{I_2}$$

$$\text{阻抗比} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

$$\text{负载功率: } P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2$$

$$\text{损耗功率: } P_O = P_1 - P_2$$

$$\text{功率因数: } K_u = \frac{U_1}{U_2}$$

$$\text{原边线圈铜耗: } P_{cu1} = I_1^2 R_1$$

$$\text{副边铜耗: } P_{cu2} = I_2^2 R_2$$

$$\text{铁耗: } P_{Fe} = P_O - (P_{cu1} + P_{cu2})$$

2. 铁芯变压器是一个非线性元件，铁心中的磁感应强度  $B$  决定于外加电压的有效值  $U$ ，当副边开路（即空载）时，原边的励磁电流  $I_{10}$  与磁场强度  $H$  成正比。在变压器中，副边空载时，原边电压与电流的关系称为变压器的空载特性，这与铁芯的磁化曲线（ $B-H$  曲线）是一致的。

空载实验通常是将高压侧开路，由低压侧通电进行测量，又因空载时功率因数很低，故测量功率时应采用低功率因数瓦特表。此外因变压器空载时阻抗很大，故电压表应接在电流



表外侧。

### 3. 变压器外特性测试。

为了满足三组灯泡负载额定电压为 220V 的要求,故以变压器的低压(36V)绕组作为原边, 220V 的高压绕组作为副边,即当作一台升压变压器使用。

在保持原边电压  $U_1 (= 36V)$  不变时,逐次增加灯泡负载(每只灯为 15W),测定  $U_1$ 、 $U_2$ 、 $I_1$  和  $I_2$ ,即可绘出变压器的外特性,即负载特性曲线  $U_2 = f(I_2)$ 。

## 2.1.3 实验设备

1. 交流电压表(0 ~ 450V)两个
2. 交流电流表(0 ~ 5A)两个
3. 单相功率表
4. 试验变压器(220V/36V,50VA)
5. 自耦调压器
6. 白炽灯(220V/15W)五个

## 2.1.4 实验内容

1. 用交流法判别变压器绕组的同名端。

2. 按图 2.1.1 线路接线。其中 A、X 为变压器的低压绕组, a、x 为变压器的高压绕组。即电源经屏内调压器接至低压绕组,高压绕组 220V 接  $Z_L$  即 15W 的灯组负载(3 只灯泡并联),经指导教师检查后方可进行实验。

3. 将调压器手柄置于输出电压为零的位置(逆时针旋到底),合上电源开关,并调节调压器,使其输出电压为 36V。令负载开路及逐次增加负载(最多亮 5 个灯泡),分别记下五个仪表的读数,记入自拟的数据表格,绘制变压器外特性曲线。实验完毕将调压器调回零位,断开电源。

当负载为 4 个及 5 个灯泡时,变压器已处于超载运行状态,很容易烧坏。因此,测试和记录应尽量快,总共不应超过 3 分钟。实验时,可先将 5 只灯泡并联安装好,断开控制每个灯泡的相应开关,通电且电压调至规定值后,再逐一打开各个灯的开关,并记录仪表读数。待开 5 灯的数据记录完毕后,立即用相应的开关断开各灯。

4. 将高压侧(副边)开路,确认调压器处在零位后,合上电源,调节调压器输出电压,使  $U_1$  从零逐次上升到 1.2 倍的额定电压( $1.2 \times 36V$ ),分别记下各次测得的  $U_1$ 、 $U_{20}$  和  $I_{10}$  数据,记入自拟的数据表格,用  $U_1$  和  $I_{10}$  绘制变压器的空载特性曲线。

## 2.1.5 实验注意事项

1. 本实验是将变压器作为升压变压器使用，并用调节调压器提供原边电压  $U_1$ ，故使用调压器时应首先调至零位，然后才可合上电源。此外，必须用电压表监视调压器的输出电压，防止被测变压器输出过高电压而损坏实验设备，且要注意安全，以防高压触电。

2. 由负载实验转到空载实验时，要注意及时变更仪表量程。

3. 遇异常情况，应立即断开电源，待处理好故障后，再继续实验。

### 2.1.6 预习思考题

1. 为什么本实验将低压绕组作为原边进行通电实验？此时在实验过程中应注意什么问题？

2. 为什么变压器的励磁参数一定是在空载实验加额定电压的情况下求出？

### 2.1.7 实验报告

1. 根据实验内容，自拟数据表格，绘出变压器的外特性和空载特性曲线。

2. 根据额定负载时测得的数据，计算变压器的各项参数。

3. 计算变压器的电压调整率：
$$\Delta U\% = \frac{U_{20} - U_{2N}}{U_{20}} \times 100\%$$

## 2.2 三相鼠笼式异步电动机

### 2.2.1 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。

### 2.2.2 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

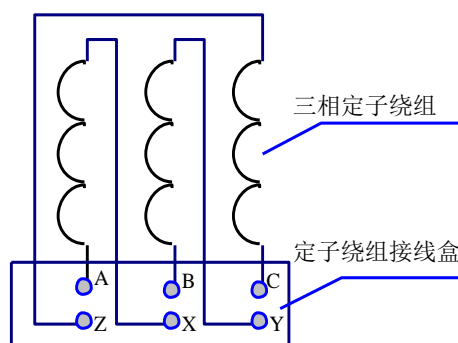


图2.2.1

般有六根引出线，出线端装在机座外面的接线盒内，如图2.2.1所示，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) 电气检查

① 用兆欧表检查电机绕组间及绕组

与机壳之间的绝缘性能。

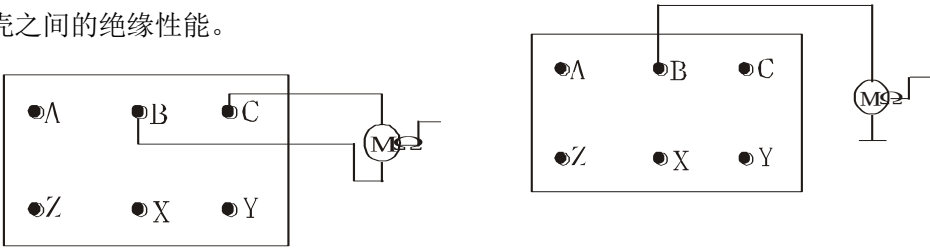


图 2.2.2 电动机绝缘电阻的测量

电动机的绝缘电阻可以用兆欧表进行测量。对额定电压1kV以下的电动机，其绝缘电阻值最低不得小于1000 $\Omega$ /V，测量方法如图2.2.2所示。一般500V以下的中小型电动机最低应具有2M $\Omega$ 的绝缘电阻。

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，则当电动机启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，甚至电动机不能启动因过热

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：

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2.2.3所示。

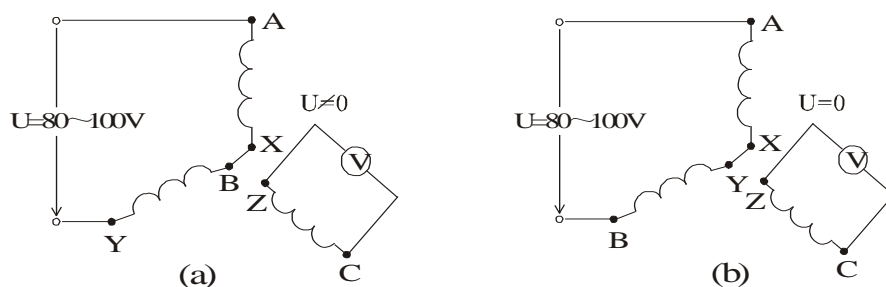


图2.2.3 用万用电表欧姆挡确定三相绕组

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，如图2.2.3(a)所示。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，如图2.2.3(b)所示。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  $4 \sim 7$  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。

### 2.2.3 实验设备

1. 三相交流电源(380V/220V)
2. 三相鼠笼式异步电动机
3. 兆欧表(500V)
4. 交流电压表(0 ~ 500V)
5. 交流电流表(0 ~ 5A)
6. 万用电表

## 2.2.4 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. 用兆欧表测量电动机的绝缘电阻。

各相绕组之间的绝缘电阻

绕组对地（机座）之间的绝缘电阻

A 相与 B 相 (MΩ)

A 相与地（机座） (MΩ)

A 相与 C 相 (MΩ)

B 相与地（机座） (MΩ)

B 相与 C 相 (MΩ)

C 相与地（机座） (MΩ)

4. 鼠笼式异步电动机的直接起动

(1) 采用 380V 三相交流电源

将三相自耦调压器手柄置于输出电压为零位置；控制屏上三相电压表切换开关置“调压输出”侧；根据电动机的容量选择交流电流表合适的量程。

开启控制屏上三相电源总开关，按启动按钮，此时自耦调压器原绕组端  $U_1$ 、 $V_1$ 、 $W_1$  得电，调节调压器输出使  $U$ 、 $V$ 、 $W$  端输出线电压为 380V，三只电压表指示应基本平衡。保持自耦调压器手柄位置不变，按停止按钮，自耦调压器断电。

① 按图2.2.4接线，电动机三相定子绕组接成Y接法；供电线电压为 380V；实验线路中  $Q_1$  及 FU 由控制屏上的接触器 KM 和熔断器 FU 代替，学生可由  $U$ 、 $V$ 、 $W$  端子开始接线，

以后各控制实验均同此。

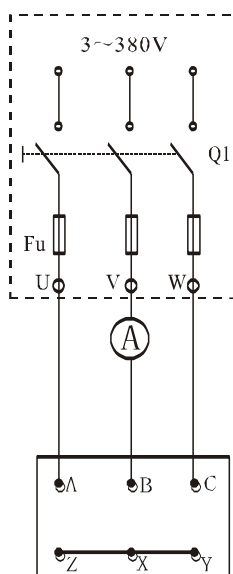


图2.2.4 Y接

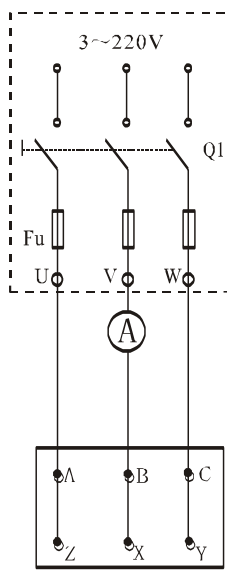


图2.2.5 Δ接

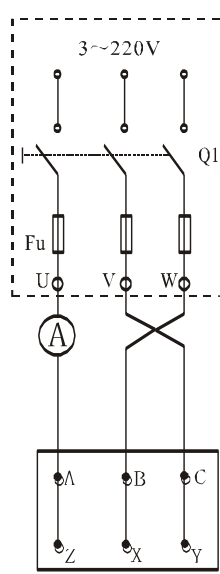


图2.2.6 反转

② 按控制屏上启动按钮，电动机直接起动，观察起动瞬间电流冲击情况及电动机旋转方向，记录起动电流。当起动运行稳定后，将电流表量程切换至较小量程档位上，记录空载

电流。

③ 电动机稳定运行后，突然拆出  $U$ 、 $V$ 、 $W$  中的任一相电源（注意小心操作，以免触电），观测电动机作单相运行时电流表的读数并记录之。再仔细倾听电机的运行声音有何变化。（可由指导教师作示范操作）

④ 电动机起动之前先断开  $U$ 、 $V$ 、 $W$  中的任一相，作缺相起动，观测电流表读数，记录之，观察电动机有否起动，再仔细倾听电动机有否发出异常的声响。

⑤ 实验完毕，按控制屏停止按钮，切断实验线路三相电源。

(2) 采用 220V 三相交流电源

调节调压器输出使输出线电压为 220V，电动机定子绕组接成  $\Delta$  接法。按图 2.2.5 接线，重复(1)中各项内容，记录之。

### 5. 异步电动机的反转

电路如图 2.2.6 所示，按控制屏启动按钮，起动电动机，观察起动电流及电动机旋转方向是否反转？

实验完毕，将自耦调压器调回零位，按控制屏停止按钮，切断实验线路三相电源。

## 2.2.5 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。

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。

## 2.2.6 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  $\Delta$  形，又根据什么来确定该电动机作 Y 接或  $\Delta$  接？

2. 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？

## 2.2.7 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。



3. 线路具有短路、过载、失、欠压保护等功能。

### 2.3.3 实验设备

1. 三相交流电源(220V)
2. 三相鼠笼式异步电动机
3. 交流接触器两个
4. 按钮三个
5. 热继电器
6. 交流电压表(0 ~ 500V)
7. 万用电表

### 2.3.4 实验内容

认识各电器的结构、图形符号、接线方法；抄录电动机及各电器铭牌数据；并用万用电表 $\Omega$ 档检查各电器线圈、触头是否完好。

鼠笼机接成 $\Delta$ 接法；实验线路电源端接三相自耦调压器输出端 $U$ 、 $V$ 、 $W$ ，供电线电压为220V。

#### 1. 接触器联锁的正反转控制线路

按图 2.3.1 接线，经指导教师检查后，方可进行通电操作。

- (1) 开启控制屏电源总开关，按启动按钮，调节调压器输出，使输出线电压为220V。
- (2) 按正向起动按钮 $SB_1$ ，观察并记录电动机的转向和接触器的运行情况。
- (3) 按反向起动按钮 $SB_2$ ，观察并记录电动机和接触器的运行情况。
- (4) 按停止按钮 $SB_3$ ，观察并记录电动机的转向和接触器的运行情况。
- (5) 再按 $SB_2$ ，观察并记录电动机的转向和接触器的运行情况。
- (6) 实验完毕，按控制屏停止按钮，切断三相交流电源。

#### 2. 接触器和按钮双重联锁的正反转控制线路

按图 2.3.2 接线，经指导教师检查后，方可进行通电操作。

- (1) 按控制屏启动按钮，接通220V三相交流电源。
- (2) 按正向起动按钮 $SB_1$ ，电动机正向起动，观察电动机的转向及接触器的动作情况。

按停止按钮 $SB_3$ ，使电动机停转。

- (3) 按反向起动按钮 $SB_2$ ，电动机反向起动，观察电动机的转向及接触器的动作情况。

按停止按钮 $SB_3$ ，使电动机停转。

(4) 按正向(或反向)起动按钮，电动机起动后，再去按反向(或正向)起动按钮，观察有何情况发生？

- (5) 电动机停稳后，同时按正、反向两只起动按钮，观察有何情况发生？



#### (6) 失压与欠压保护

① 按起动按钮  $SB_1$  (或  $SB_2$ ) 电动机起动后, 按控制屏停止按钮, 断开实验线路三相电源, 模拟电动机失压(或零压)状态, 观察电动机与接触器的动作情况, 随后, 再按控制屏上启动按钮, 接通三相电源, 但不按  $SB_1$  (或  $SB_2$ ), 观察电动机能否自行起动?

② 重新起动电动机后, 逐渐减小三相自耦调压器的输出电压, 直至接触器释放, 观察电动机是否自行停转。

#### (7) 过载保护

打开热继电器的后盖, 当电动机起动后, 人为地拨动双金属片模拟电动机过载情况, 观察电机、电器动作情况。

注意: 此项内容, 较难操作且危险, 有条件可由指导教师作示范操作。

实验完毕, 将自耦调压器调回零位, 按控制屏停止按钮, 切断实验线路电源。

### 2.3.4 故障分析

1. 接通电源后, 按起动按钮 ( $SB_1$  或  $SB_2$ ), 接触器吸合, 但电动机不转且发出“嗡嗡”声响; 或者虽能起动, 但转速很慢。这种故障大多是主回路一相断线或电源缺相。

2. 接通电源后, 按起动按钮 ( $SB_1$  或  $SB_2$ ), 若接触器通断频繁, 且发出连续的劈啪声或吸合不牢, 发出颤动声, 此类故障原因可能是:

- (1) 线路接错, 将接触器线圈与自身的动断触头串在一条回路上了。
- (2) 自锁触头接触不良, 时通时断。
- (3) 接触器铁心上的短路环脱落或断裂。
- (4) 电源电压过低或与接触器线圈电压等级不匹配。

### 2.3.5 预习思考题

1. 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? 采用哪些措施可解决此问题, 这些方法有何利弊, 最佳方案是什么?

2. 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?

## 2.4 三相异步电动机顺序控制

### 2.4.1 实验目的

1. 通过各种不同顺序控制的接线, 加深对一些特殊要求机床控制线路的了解。

2. 进一步加深学生的动手能力和理解能力，使理论知识和实际经验进行有效的结合。

### 2.4.2 实验设备

1. 三相鼠笼异步电动机( $\Delta/220V$ )两个
2. 继电接触控制挂箱(一)两个
3. 继电接触控制挂箱(二)两个
4. 灯组负载
5. 白炽灯( $220V/100W$ )三个

### 2.4.3 实验方法

1. 三相异步电动机起动顺序控制(一)按图 2.4.1 接线。

本实验需用  $M_1$ 、 $M_2$  两只电机，如果只有一只电机，则可用灯组负载来模拟  $M_2$ 。图中  $U$ 、 $V$ 、 $W$  为实验台上三相调压器的输出插孔。

(1) 将调压器手柄逆时针旋转到底，启动实验台电源，调节调压器使输出电压为  $220V$ 。

(2) 按下  $SB_1$ ，观察电机运行情况及接触器吸合情况。

(3) 保持  $M_1$  运转时按下  $SB_2$ ，观察电机运转及接触器吸合情况。

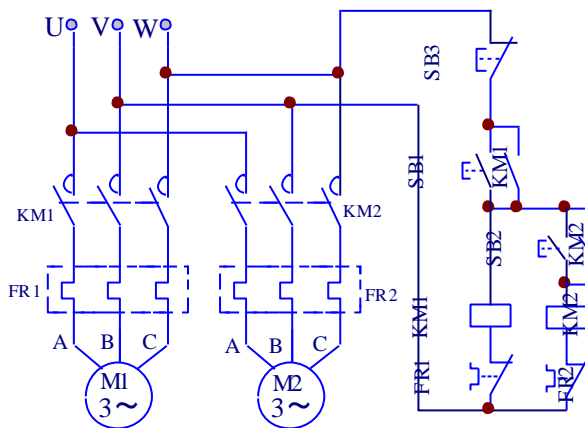


图 2.4.1 起动顺序控制(一)

- (4)  $M_1$  与  $M_2$  都运转时，能不能单独停止  $M_2$ ?

- (5) 按下  $SB_3$  使电机停转后，按  $SB_2$ ，电机  $M_2$  是否起动? 为什么?

2. 三相异步电动机起动顺序控制(二)按图 2.4.2 接线。

图中  $U$ 、 $V$ 、 $W$  为实验台上三相调压器的输出插孔。

(1) 将调压器手柄逆时针旋转到底，启动实验台电源，调节调压器使输出线电为  $220V$ 。

(2) 按下  $SB_2$ ，观察并记录电机及各接触器运行状态。

- (3) 再按下  $SB_4$ ，观察并记

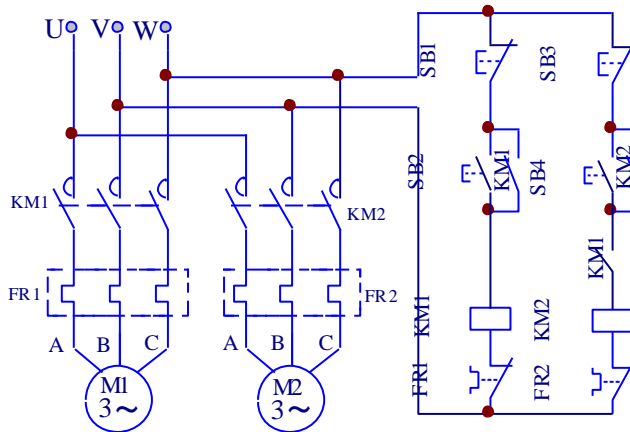


图 2.4.2 起动顺序控制(二)

录电机及各接触器运行状态。

- (4) 单独按下  $SB_3$ ，观察并记录电机及各接触器运行状态。
- (5) 在  $M_1$  与  $M_2$  都运行时，按下  $SB_1$ ，观察电机及各接触器运行状态。
3. 三相异步电动机停止顺序控制实验线路同图 2.4.2。
  - (1) 接通 220V 三相交流电源。
  - (2) 按下  $SB_2$ ，观察并记录电机及接触器运行状态。
  - (3) 同时按下  $SB_4$ ，观察并记录电机及接触器运行状态。
  - (4) 在  $M_1$  与  $M_2$  都运行时，单独按下  $SB_1$ ，观察并记录电机及接触器运行状态。
  - (5) 在  $M_1$  与  $M_2$  都运行时，单独按下  $SB_3$ ，观察并记录电机及接触器运行状态。
  - (6) 按下  $SB_3$  使  $M_2$  停止后再按  $SB_1$ ，观察并记录电机及接触器运行状态。

#### 2.4.4 讨论题

1. 画出图 2.4.1、2.4.2 的运行原理流程图。
2. 比较图 2.4.1、2.4.2 二种线路的不同点和各自的特点。
3. 例举几个顺序控制的机床控制实例，并说明其用途。