

# 实验报告

课程名称: 电路 IA 实验 实验五: 三相电路

实验日期: 2023 年 5 月 10 日 地 点: K408 实验台号: 27

姓名: psp

评分: \_\_\_\_\_

---

教师评语:

教师签字: \_\_\_\_\_

日 期: \_\_\_\_\_

## 一、实验目的

- (1) 掌握三相负载的两种连接方式。
- (2) 掌握三相电源相序和功率的测量方法。
- (3) 了解三相电路中电压、电流的线值和相值的关系。

## 二、实验设备及元器件

序号	名称	数量	型号
1	三相熔断器	1 组	30121002
2	数字万用表	1 只	Fluke17B +
3	三相电源	1 个	—
4	三相空气开关	1 块	30121001
5	白炽灯	8 只	—
6	安全导线与短接桥	若干	—
7	三相电能质量分析仪	1 台	Fluke 434 II
8	电流探头	3 只	ISS(和 Fluke 434 II 配套)
9	电容器	若干	1 $\mu\text{F}$ , 2 $\mu\text{F}$ , 4.7 $\mu\text{F}$ (500 V <sub>ac</sub> , 日光灯板上)

## 三、实验原理（重点简述实验原理，画出原理图）

### 1、三相电源相序的测量方法

三相电源从超前到滞后的次序称为相序。实验室测定三相电源的相序常使用相序指示灯，如图 2.30 所示。它由电容器和两个功率相同的白炽灯构成星形连接，接至三相对称电源。根据两个白炽灯亮度差异可确定对称三相电源的相序。

假设三相电源的相序如图 2.30 所示，即把接电容器的作为 A 相，则白炽灯较亮的那一相是 B 相，较暗的是 C 相。

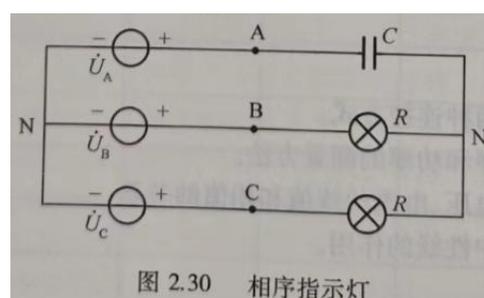
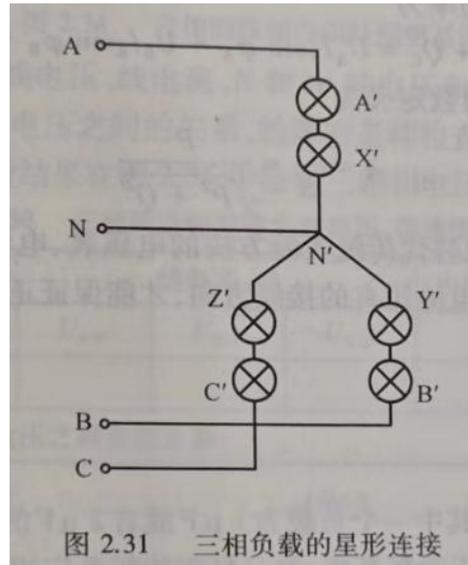


图 2.30 相序指示灯

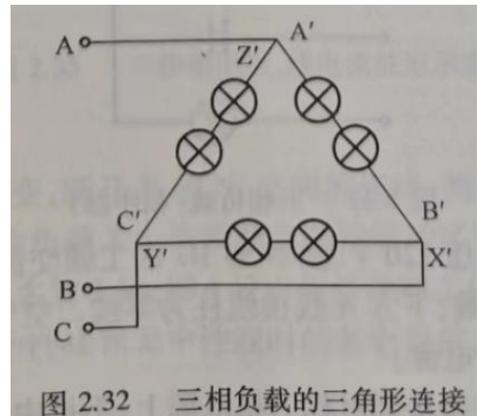
## 2、负载星形连接和负载三角形连接对称的测量

(1) 三相负载的星形连接方式。三相负载星形（或称 Y 形）连接方式如图 2.31 所示，即将三相负载的末端 X'、Y'、Z' 连接在一起（图中的 N' 点称中性点）。另一端分别接至三相电源 A、B、C 端。若将 N 点和 N' 点相连，电源和负载用了 4 根导线，故称三相四线制。从电源 A、B、C 端引出的 3 根导线称为相线（俗称火线），中性点之间的连线称中性线（也称零线）。在负载星形连接的三相正弦电流电路中，线电流等于相电流，若相电压对称，则线电压有效值为相电压有效值的  $\sqrt{3}$  倍。



(2) 三相负载的三角形连接方式。

三相负载的三角形连接如图 2.32 所示，将三相负载按始端和末端依次相连，再将每相的始端或末端与电源相连。在三角形连接的三相正弦电路中，线电压等于相电压，若相电流对称，则线电流的有效值为相电流有效值的  $\sqrt{3}$  倍。



## 3、三相电路功率的测量

(1) 对称三相正弦电路。对称三相正弦电路中，负载不论接成星形还是三角形，其有功功率均为

$$P = \sqrt{3}U_L I_L \cos\varphi$$

式中， $\varphi$  是相电流滞后相电压的相位差； $\cos\varphi$  是负载各相的功率因数，也是对称三相负载的功率因数。对称三相电路的有功功率等于其中一相有功功率的 3 倍。对称三相电路的无功功率为

$$Q = \sqrt{3}U_L I_L \sin\varphi$$

对称三相电路的视在功率为

$$S = \sqrt{3}U_L I_L$$

(2) 不对称三相电路。不对称三相电路中，各相电压之间和各相电流之间均无特定关系，只能分别测量各相的功率。负载的有功功率应等于其中各相有功功率之和，即

$$P = P_A + P_B + P_C = U_A I_A \cos\varphi_A + U_B I_B \cos\varphi_B + U_C I_C \cos\varphi_C$$

不对称三相电路的无功功率为

$Q = Q_A + Q_B + Q_C = U_A I_A \sin\varphi_A + U_B I_B \sin\varphi_B + U_C I_C \sin\varphi_C$   
 不对称三相负载的功率因数定义为

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

三相电能质量分析仪可以替代传统实验方法的电压表、电流表和功率表。测量时应先确定三相电源的相序，并注意电流钳夹的接线方向，才能保证正确测量功率值。

## 实验预习和实验过程原始数据记录

预习结果审核：\_\_\_\_\_ 原始数据审核：\_\_\_\_\_  
 （包括预习时，计算的理论数据）

相序测量：

L1：接电容，A相；L2：灯亮情况：暗，C相；L3：灯亮情况：亮，B相

（小提示：注意观察正确的实验现象哦，科学严谨的做实验）

表 5-1 三相四线制对称负载电压、电流测量结果

相电压/V			线电压/V			中线电流/mA	中线电压/V
$U_{A'N'}$	$U_{B'N'}$	$U_{C'N'}$	$U_{A'B'}$	$U_{B'C'}$	$U_{C'A'}$	$I_N$	$U_{NN}$
230.1	229.0	229.0	396.8	396.5	397.2	2	2.7

负载星形联结时，相电压与线电压之间数值关系： $U_L = \sqrt{3}U_P$

表 5-2 测量数据记录表

		对称负载		不对称负载	
		有中线	无中线	有中线	无中线
相电压 (V)	$U_{A'N'}$	229.3	229.2	228.7	229.0
	$U_{B'N'}$	229.1	229.2	228.6	228.7
	$U_{C'N'}$	228.9	228.9	228.4	228.6
电流 (A)	$I_A$	0.124	0.124	0.125	0.121
	$I_B$	0.124	0.124	0.126	0.122
	$I_C$	0.123	0.124	0.089	0.094
	$I_N$	0.002	0	0.036	0

表 5-3 负载三角形联结电压、电流测量结果

相电流/A			线电流/A			相电压/V		
$I_{A'B'}$	$I_{B'C'}$	$I_{C'A'}$	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$U_{A'B'}$	$U_{B'C'}$	$U_{C'A'}$
0.165	0.163	0.165	0.285	0.283	0.283	396.4	395.8	396.0

负载三角形联结时，相电流与线电流之间数值关系： $I_L = \sqrt{3}I_P$

表 5-4 测量数据记录表

		对称负载	不对称负载
相电压 (V)	$U_{AB'}$	396.4	396.3
	$U_{BC'}$	395.8	395.3
	$U_{CA'}$	396.0	396.2
电流 (A)	$I_A$	0.285	0.247
	$I_B$	0.283	0.287
	$I_C$	0.283	0.243

表 5-5 三相四线制功率测量

实验内容	有功功率/W			视在功率/V·A			无功功率/var		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
对称负载	28.4	28.4	28.1	28.4	28.4	28.1	0.2	0.3	0.2
不对称负载 (两相接白炽灯, C 相接 4.7 $\mu$ F 电容)	28.4	28.5	0.2	28.3	28.4	78.7	0.2	0.2	77.4
C 相线断线	28.5	28.4	0.0	28.5	28.4	0.5	0.2	0.3	0.1

表 5-6 三相三线制功率测量

实验内容	有功功率/W			视在功率/V·A			无功功率/var		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
对称负载	28.4	28.3	28.1	28.4	28.3	28.2	0.3	0.2	0.3
不对称负载 (两相接白炽灯, C 相接 4.7 $\mu$ F 电容)	76.4	35.2	0.1	76.4	35.2	46.4	1.0	0.3	46.4
C 相线断线	22.9	23.0	0.0	22.9	23.0	0.8	0.1	0.2	0.2
C 相负载短路	65.0	65.0	0.0	65.0	65.0	0.0	0.8	0.8	0.0

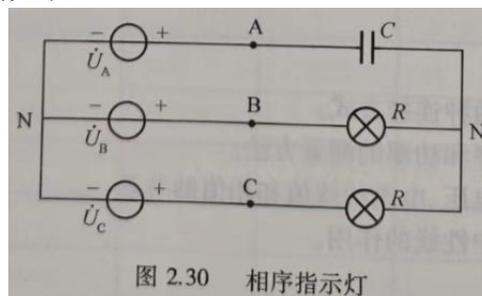
## 5.5.4 设计实验 (选做)

自主设计单相电源裂相为对称三相交流电源的电路图并分析其原理。

## 四、实验过程

(叙述具体实验过程的步骤和方法,记录实验数据在原始数据表格,如需要引用原始数据表格,请标注出表头,如“实验数据见表 1-1”)

1, 电源相序的测量三相负载如图所示, 其中一个负载为  $1\mu F$  或者  $2\mu F$  的电容 (日光灯的表板处), 另两个负载为单只灯泡, 为便于观察亮度, 两只灯泡的颜色应相同。当接电容器的一相为 A 相时, 灯泡较亮的一相为 B 相, 较暗的一相为 C 相



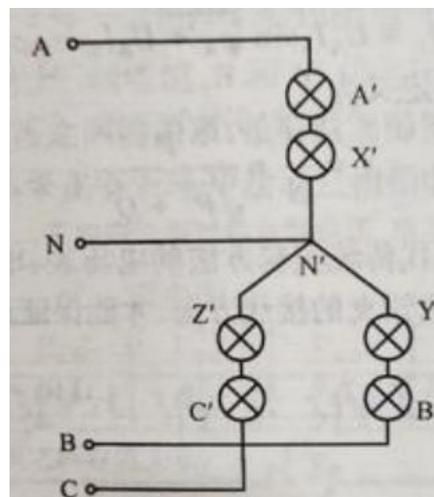
2, 负载星形连接: 三相四线制电路如图, 其中 A、B、C 分别为三相电源的输出端, N 和 N' 分别为电源中性点和负载中性点。

① 测量各相负载电压、线电压、线电流、N 和 N' 的电压和电流, 将结果填入表中, 总结负载对称时线电压和相电压之间的关系。

② 结合电源相序的测量结果绘制三相相电压、线电流波形示意图。

③ 保持电路其他部分不变, 断开 N 和 N' 之间的连线, 测量以上的电压、电流, 测量数据填入表中, 分析比较对称负载无中性线和有中性线的区别。

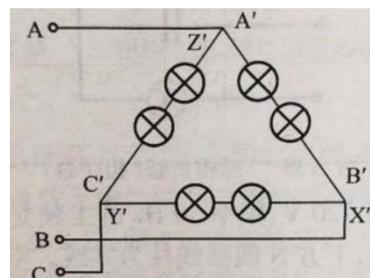
④ 将 C 相负载的白炽灯多加 2 只, 即 4 只白炽灯串联工作, 其他两相仍为 2 只串联工作 (不对称负载), 分别测量有中性线和无中性线时的各电量值, 测量数据填入表中



3, 负载三角形连接: 电路如图所示。其中, A、B、C 分别为三相电源的输出端, 三相电压之间各接两盏内阻相同的白炽灯。

① 测量线电流和相电流, 线电流和相电流之间的关系填入表中。

② 测量不对称负载 (将 C 相负载的白炽灯多加 2



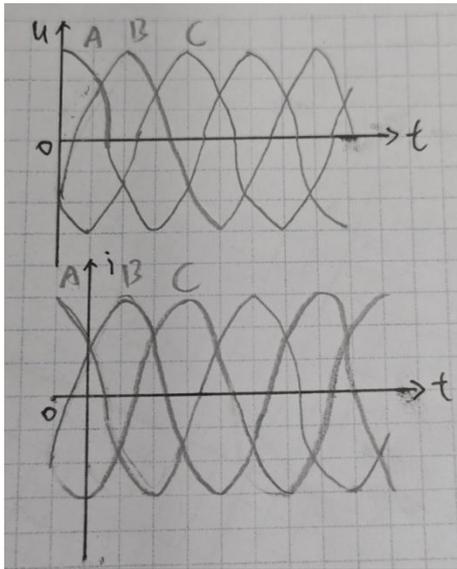
只，即 4 只串联工作，其它两相仍为 2 只串联工作）时的各电量。

4、各项负载的功率测量，设置三相电能质量分析仪中的电压、频率、电流的测量范围，选择合适的接线方式

## 五、实验数据分析

（按指导书中实验报告的要求用图表或曲线对实验数据进行分析和处理，并对实验结果做出判断，如需绘制曲线请在坐标纸中进行）

1、结合 5.5.1 的相序结果在坐标纸中，绘制三相相电压、线电流波形图。



2、试分析若三相电源某根相线断路时，三相负载工作是否正常；当某相负载出现断路或短路故障时，其他相负载能否正常工作。

答：

1、若三相电源的相线出现断路，则三相负载不能正常工作，体现在该相上的负载无法工作，而另外两相基本不受影响。

2、如果某相负载出现断路，则该相不能工作，另外两相仍能工作；若某相负载短路，三相四线制的电源会发生短路，而三相三线制除了该相负载不工作外，其余两相的相电压还会升高，使功率增大

3、三相四线制，星形连接的电路中，保持电路其它部分不变，断开 N 和 N' 之间的连线，根据表 5-2 中测量数据，分析比较对称负载无中线和有中线的区别。

答：由表 5-2 中测得数据可知，当负载为对称负载的时候，有中线与无中线对于相电压和线电流的影响不大。因为如果电路本身呈现对称特性，理论上中线上的电势差为零，故其电流应该也为 0。

4、实验电路参考图 5-2，负载星形联结，当负载为表 5-5 中各种情况时，根据功率测量结果计算电路的总功率，并对实验结果进行分析总结。

答：

三相四线制	总功率/W
对称负载	$28.4+28.4+28.1=84.9$
不对称负载	$28.4+28.5+0.2=57.1$
C 相线断路	$28.5+28.4+0.0=56.9$

从结果可以看出，在三相四线制下，若负载对称，则各相负载功率相等。总功率总是等于各相功率之和。若某相断路，则该相功率变为零，而另外两相功率不受影响

5、断开中性线，测量表 5-6 中负载各种情况下的功率，测量数据填入表中。根据功率测量结果计算电路的总功率，并对实验结果进行分析总结。

答：

三相三线制	总功率/W
对称负载	$28.4+28.3+28.1=84.8$
不对称负载	$76.4+35.2+0.1=111.7$
C 相线断路	$22.9+23.0+0.0=45.9$
C 相负载短路	$65.0+65.0+0.0=130.0$

从结果可以看出，在三相三线制下，若负载对称，则各相负载功率相等，总功率总是等于各相功率之和。若某相断路，则该相功率变为零，而另外两相功率不受影响；若某相负载短路，则该相功率变为零，并且另外两相由于电压变化，功率也会受到影响

## 六、问题思考

（回答指导书中的思考题）

1. 当相序器的电容值改变时，两只灯泡的亮度会有怎样的变化？

答：当相序指示器电容值变大时，两只灯泡的亮度均会变大

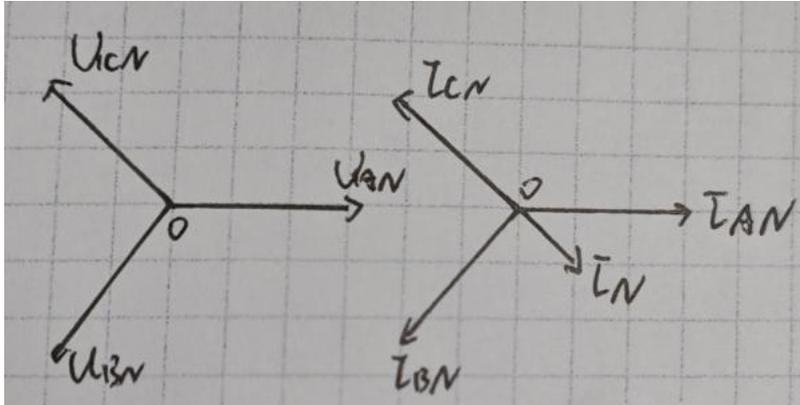
2. 星形联结时，分析比较对称负载无中线和有中线的区别。每相负载都开两只灯泡时，N 和 N' 之间的存在是否对电路有影响？

答：每相负载都是两只灯泡时，星形负载是对称负载，此时中性线上的电势差和

电流为零，故 N 和 N' 之间的中心线存在与否对电路并没有影响

3. 根据表 5-2 数据，计算负载星形连接有中线时的相、线电压的数值关系。并按比例画出不对称负载有中线时各电量的相量图。

$$U_L = \sqrt{3}U_p$$



4. 三相电能及功率质量分析仪测量功率时，有功功率或功率因数出现负值应该如何处理？  
答：

- 1、检查接线是否正确。首先应该检查设备的接线是否正确、紧固和接触可靠。可能的故障原因包括测量仪器接线错误、电缆连接不良等。
- 2、由于三相电能及功率质量分析仪测量电流时需要手动规定电流钳钳住导线的方向，故测量时，有可能出现电流钳钳反了导致功率为负值的情况。

## 七、实验体会（本次实验和日常学习生活之间的联系）

电路实验提高了我们的动手能力