

# 实验四:

## 交流参数与互感的测量——三表法

实验台编号: 8

### 一、注意事项

1. 实验开始前, 调压器的调压手柄应处于零位。每项实验完成后, 先将调压手柄调至零位, 再断开电源。
2. 实验中调节单相变压器电压时, 要注意电流表和电压表的示数, 互感器的电流不能超过250mA。实验台交流模块上的电阻额定功率是10W。

### 二、实验任务与方法

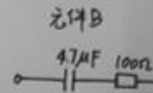
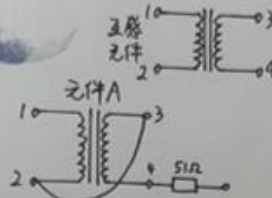
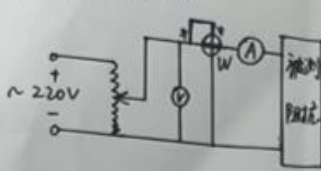


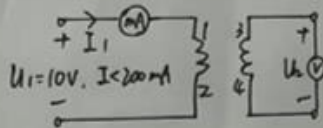
表1 互感元件同名端测量记录表

互感连接	电源电压(V)	负载电流(mA)	连接方式	同名端
1-2-3-4	20.0	63.5	正串	1和3
1-2-4-3	20.1	285.8	反串	

表2 互感元件参数测量记录表

测量对象	测量值						计算值
	U(V)	I(mA)	P(W)	Z(Ω)	R(Ω)	L(H)	M
正串	20.1	63.7	0.52	314.9	128.3	0.915	0.204
反串	20.1	285.8	5.18	70.4	63.4	0.0775	

### 互感电动势法:



测量值	1	2	3	4	平均值
U <sub>2</sub> /V	9.52	8.04	5.87	11.46	0.204
I <sub>1</sub> /mA	149.9	123.8	87.6	186.0	
M	0.302	0.207	0.213	0.196	

	U(V)	I(mA)		P(mW)	Q(mVar)	S(mVA)	cosφ	Z(Ω)	元件性质
		未并C	并C						
A	10.05	29.5	19.5	153.5	249.7	294.2	0.522	341.4	感性
B	10.05	13.6		20.6	135.5	137.1	0.150	741.5	容性
AB串	9.91	18.4	19.5	95.5	154.7	181.4	0.526	518.7	容性
AB并	10.05	20.9		171.1	117.7	211.9	0.821	479.5	感性
	10.55	22.0	21.2	192.2	130.0	231.4	0.831	480.9	

## 实验四:

交流参数与互感的测量——三表法

实验成绩:

## 一. 实验目的

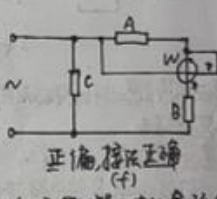
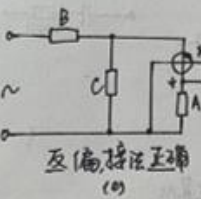
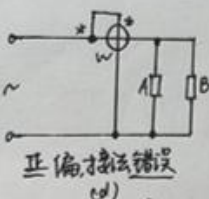
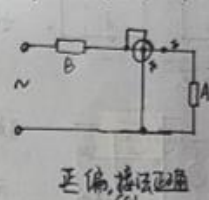
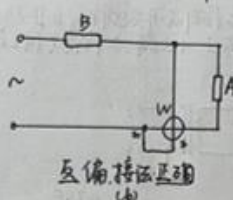
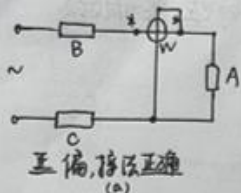
1. 学习用交流电表、交流电压表和功率表测量无源网络交流等效参数的方法;
2. 掌握测量两个耦合线圈同名端、互感系数的方法。

## 二. 实验原理

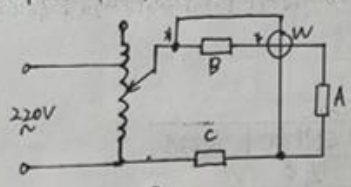
1. 测量交流电路参数的三表法 用交流电压表、电流表和功率表分别测量元件或二端无源网络的端电压 $U$ 、通过的电流 $I$ 及消耗的有功功率 $P$ 后,再通过计算的方法可得到元件或无源网络的交流参数。这种方法习惯上称为三表法。  
 所用的计算式为  $|Z| = \frac{U}{I}$   $\cos\varphi = \frac{P}{UI}$   $R = \frac{P}{I^2} = |Z| \cos\varphi$   $X = \sqrt{|Z|^2 - R^2} = |Z| \sin\varphi$   
 上述各式中,  $|Z|$  为阻抗的模,  $\cos\varphi$  为功率因数,  $R$  为等效电阻,  $X$  为等效电抗。  
 对交流参数的测量,除采用三表法之外,还可用交流电桥及数字多用表直接测出。目前也较多地采用数字式仪器仪表来方便地测出元件参数。

## 三. 预习思考题

1. 实验时,若将单相调压器的原方和副方接反,会发生什么情况?为什么?  
 解: ① 输出电压方向相反 因为接反原副方时,原方规定的电压方向就颠倒了。  
 ② 输出电压降低 因为单相调压器属于自耦变压器,原方是输入 220V 电压,输出 0~250V,接反后输出电压会大幅度降低。
2. 欲测元件 A 所消耗的有功功率,试判断下图中功率表的接法是正确还是错误?



3. 在上图(e)中,若功率表所处的位置不变,欲测量元件 B 的功率,试正确画出包含调压器在内的实验线路图并予以必要说明。



解: 将 W 电表正向接至电阻 B 左端  
 得到功率表 W 读数  $P_2$   
 原功率表 W 读数  $P_1$   
 $P_2 - P_1$  即为元件 B 的有功功率。

4. 现有电表、电压表和滑线电阻器各一个,如何用实验的方法测量电感线圈的等效参数  $r$  和  $L$ 。

解: ① 测量  $r$ : 将电感线圈和滑动变阻器接入直流电压源中,利用伏安法测得其电阻  $r$ 。  
 ② 测量  $L$ : 将电感线圈和滑动变阻器接入交流电路中,缓慢调节滑动变阻器,使交流电流达某一稳定的值。  
 $V = I \cdot \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ , 逐次改变数据计算得平均值。

# 实验报告

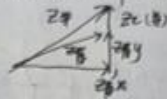
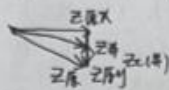
5. 用三表法测参数时为什么被测元件两端并联试验电容可以判断元件的性质? 请用相量图加以说明。

解: 设被测元件阻抗为  $(X+jY)\Omega$ , 电容阻抗为  $-jC\Omega$  (C>0)

二者并联, 等效阻抗 
$$\frac{(X+jY)(-jC)}{X+jY-jC} = \frac{CY-jCX}{X+jY-jC} = \frac{C^2X-jC(X^2+Y^2+CY)}{X^2+Y^2+C^2}$$

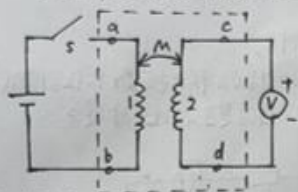
若  $Y < 0$ , 由数学知识有  $\frac{C^2X-jC(X^2+Y^2+CY)}{X^2+Y^2+C^2} < |X+jY|$  即等效阻抗减小, 电流增大;

反之若  $Y > 0$ , 等效阻抗增大, 电流减小。



故可判断元件性质

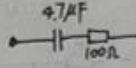
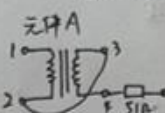
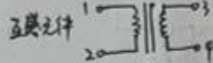
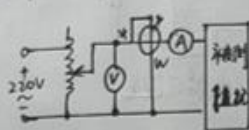
6. 若开关S是合上的, 在S断开的瞬间如何根据电压表的摆动情况判断同名端? 为什么?



解: 由互感电动势 
$$\begin{cases} e_{11} = -M \frac{di_1}{dt} - i_1 \frac{dM}{dt} & (\text{同名端连接}) \\ e_{21} = -M \frac{di_1}{dt} - i_1 \frac{dM}{dt} \\ e_{12} = -M \frac{di_2}{dt} + i_2 \frac{dM}{dt} & (\text{异名端连接}) \\ e_{22} = -M \frac{di_2}{dt} + i_2 \frac{dM}{dt} \end{cases}$$

如果电压表指针在开关断开时向正方向摆动, 则1, 2上端为同名端  
反之, 1上端, 2下端为同名端

## 四. 实验任务与方法



1. 用等效电容法测量互感元件的同名端, 完成表1

2. 测量互感器的变比

(1) 等效电容法, 完成表2, 并计算M

(2) 互感电动势法: 设计实验电路进行测量, 并计算M

3. 按上图线路接线, 用三表法测量被测阻抗的参量, 并用实验的方法判断阻抗的性质, 将测量数据记录实验数据表中。

## 五. 数据处理与分析

测量互感元件参数测量记录得1) 数据如表1所示

表1 互感元件同名端测量记录

互感连接	电源电压(V)	负载电流(mA)	连接方式	同名端
1-2-3-4	20.0	63.5	正串	1和3
1-2-4-3	20.1	285.8	反串	

初步实验发现互感连接方式为1-2-3-4时, 负载电流明显偏小, (在电源电压相同的情况下), 说明连接方式: 正串, 1和3为同名端。下应用功率表对互感元件参数测量作定量的分析, 得实验数据如表2



# 实验报告

表2 互感元件参数测量记录表

测量对象	测量值						计算值
	U(V)	I(mA)	P(W)	Z( $\Omega$ )	R( $\Omega$ )	L(H)	
正串	20.1	63.7	0.52	314.9	128.3	0.915	0.204
反串	20.1	285.8	5.18	70.4	63.4	0.0975	

由表2数据计算得  $M = \frac{L_1 - L_2}{4} = 0.204$

利用互感电动势法可设计电路利用公式  $M = \frac{U_2}{(I_1 \omega)}$  得到 M 的计算值, 数据如下

表3 互感电动势法测量 M 值

测量值	次数	1	2	3	4	平均值
$U_2$ (V)		9.52	8.04	5.87	11.46	
$I_1$ (mA)		149.9	123.8	87.6	186.0	
M		0.202	0.207	0.213	0.196	0.204

需要说明的是: 在不同的  $L$  下,  $M$  呈现出不同值, 且随  $L$  增大,  $M$  逐渐减小, 这表明电感元件之间的互感系数并不是一个常量, 它存在饱和现象, 与施加电压  $U$  呈现出负相关关系。因此, 虽然这里测出平均值 0.204 与表2计算数据相同, 但实际上这是缺乏实际物理意义的, 是一个无意义的量。

用三表法测量感性元件 A 与容性元件 B 的交流参数, A、B 串联和并联时的参数, 数据如表4所示。

表4 元件特性测量记录表

	U(V)	I(mA)		P(mW)	Q(mVar)	S(mVA)	$\cos\varphi$	Z( $\Omega$ )	元件性质
		串	并						
A	10.05	29.5		153.5	249.7	294.2	0.522	341.4	感性
B	10.05	13.6		20.6	135.5	137.1	0.150	744.5	容性
AB串	9.91	18.4	19.5	95.5	154.7	181.4	0.526	538.7	容性
AB并	10.55	22.0	21.2	192.2	130.0	231.4	0.831	480.9	感性

由于并 C 时, AB 串的电流量增大, 可断言 AB 串联后等效阻抗是容性的; 同理, AB 并联后是感性的。这两点结论也可以功率表中  $X$  的正负加以判断。

① 下用表4 A、B 交流参数验证 AB 串、AB 并的结果。

$$A \text{ 的等效参数为 } Z_A = (178.21 + j291.20) \Omega = \frac{178.21 - j291.20}{116556.24} = (0.0015 - j0.0025) S$$

$$B \text{ 的等效参数为 } Z_B = (111.23 + j733.11) \Omega = \frac{111.23 + j733.11}{559822.39} = (0.0002 + j0.0013) S$$

$$\text{则 A、B 串参数应为 } Z_{AB串ideal} = (289.44 - j441.91) \Omega$$

$$A、B \text{ 并参数应为 } Z_{AB并ideal} = \frac{233303.93 - j98257.36}{289.44 - j441.91} = \frac{11098392.96 + j74659728.23}{279059.96} = (397.58 + j267.54) \Omega$$

$$\text{而实验测得 } Z_{AB串virtual} = (283.36 - j458.16) \Omega$$

$$Z_{AB并virtual} = (399.63 + j267.51) \Omega = \frac{399.63 - j267.51}{21265.74} = (0.0017 - j0.0012) S = (0.0017 - j0.0012) S$$

$$\text{可见二者十分接近, 误差 } \delta(Z_{AB串Re}) = \frac{289.44 - 283.36}{289.44} \times 100\% = 2.1\%$$

$$\delta(Z_{AB串Im}) = \frac{441.91 - 458.16}{441.91} \times 100\% = 3.6\%$$

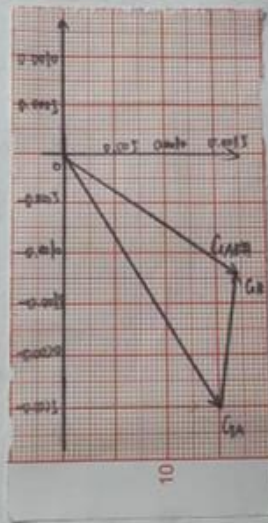
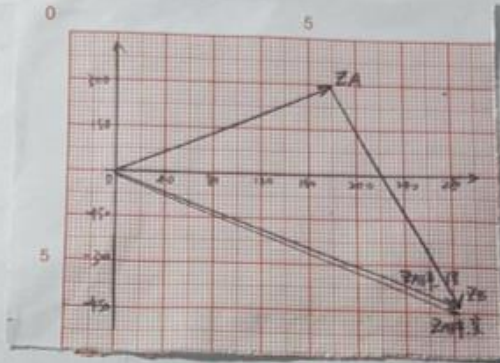
$$\delta(Z_{AB并Re}) = \frac{397.58 - 399.63}{397.58} \times 100\% = 1.9\%$$

$$\delta(Z_{AB并Im}) = \frac{267.54 - 267.51}{267.54} \times 100\% = 0.01\%$$

# 实验报告

四者误差都很小,可见A、B结果能验证它们并联的结果

⑤ A、B参数得到A、B串联时阻抗三角形与实际阻抗三角形对比



## 六、实验小结

本次实验中,我学习了用交流电流表、交流电压表和功率表测量无源网络交流等效参数的方法,掌握了测量两个耦合线圈同名端互感系数的方法。实验大体进行比较顺利,主要得益于对线路的熟悉和仪器的便利。在测试互感电动势法时,我们发现从值会随电压变化而变化,联想到电路理论中学习的线圈实际特性,加深了对理论与实际实验的理解与联系。