

实验报告

课程名称: 电路 IA 实验 _____ 实验 三 : _____ 元件参数测量和阻抗的串并联 _____

实验日期: 2023 年 4 月 18 日 地 点: K408 实验台号: 40

姓名: psp

评分: _____

教师评语:

教师签字: _____

日 期: _____

一、实验目的

- (1) 正确掌握电量仪的使用方法
- (2) 学会用相位法和功率法测量电阻器、电感器、电容器的参数，学会根据测量数据计算出串联参数 R 、 L 、 C 和并联参数 G 、 B_L 、 B_C
- (3) 通过对电阻器、电感器、电容器，串联、并联和混联后阻抗值的测量，研究阻抗串并联、混联的特点
- (4) 通过测量阻抗，加深对复阻抗、阻抗角、相位差等概念的理解
- (5) 学习用电压表、电流表结合画相量图法测量复阻抗

二、实验设备及元器件

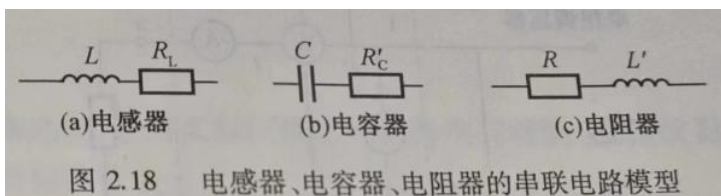
三相空气开关	30121001
单相调压器	30121058
单相电量仪	30121098
测电流插座	-----
电阻器	$15\Omega/10W$
电感器	500 匝+铁芯
电容器	$220 \mu F/70 V$
小电容器	$2.2 \mu F$
手持万用表	Fluke17B+
短接桥和连接导线	P8-1 和 50148
实验用 9 孔插件方板	300 mm x 298 mm

三、实验原理（重点简述实验原理，画出原理图）

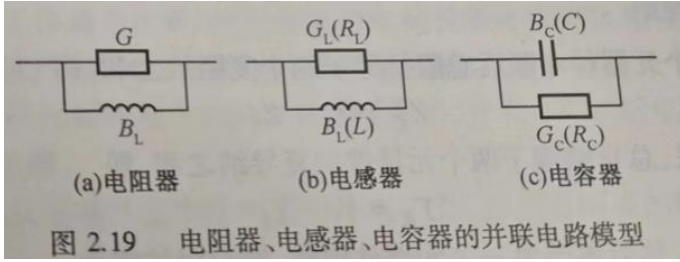
1. 阻抗与导纳

电感器、电阻器、电容器是常用的元件。

①电感器是由导线绕制而成的，必然存在一定的电阻 R_L ，因此，电感器的模型可用电感 L 和电阻 R_L 来表示；②电容器则因其介质在交变电场作用下有能量损耗或有漏电，可用电容 C 和电阻 R_C 作为电容器的电路模型；③线绕电阻器是用导线绕制而成的，存在一定的电感 L' ，可用电阻 R 和电感 L' 作为电阻器的电路模型。下图是它们的串联电路模型：



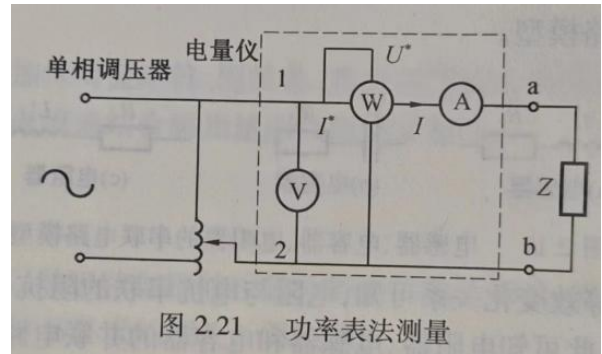
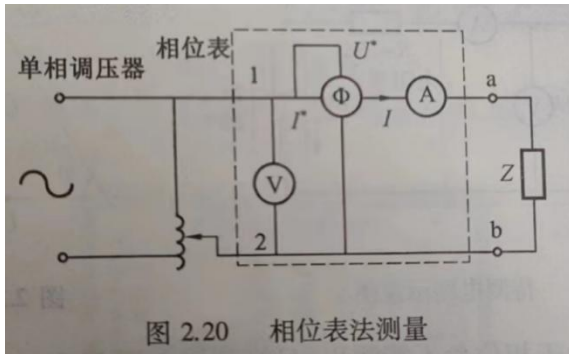
根据阻抗与导纳的等效变化关系可知，电阻与电抗串联的阻抗，可以用电导 G 和电纳 B 并联的等效电路代替，由此可知电阻器、电感器和电容器的并联电路模型如下图所示：



2. 元件参数的测量

(1) 相位表法

在图 2.20 中，可直接从各电表读得阻抗 Z 的端电压 U 、电流 I 及其相位角 φ 。当阻抗 Z 的模由公式 $|Z| = U/I$ 求得后，再利用相位角便不难将 Z 的实部和虚部求出。如当测出电感器两端电压 U 、流过电感器电流 I 及其相位角 φ 时，显然 $R_L = \frac{U \cos \varphi}{I}$ ， $L = \frac{U \sin \varphi}{I \omega}$



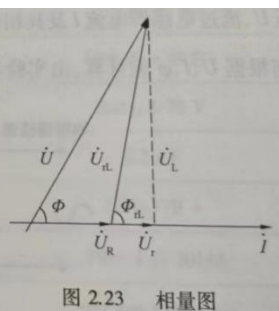
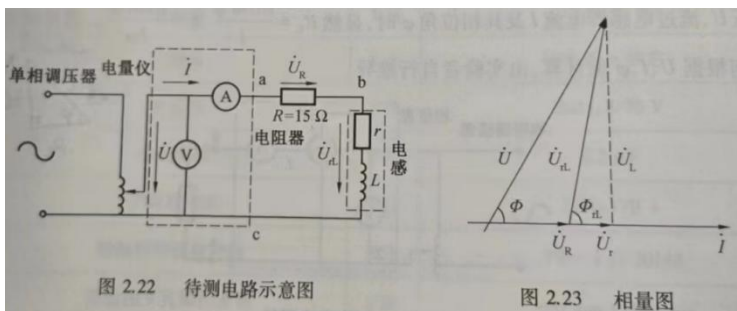
(2) 功率表法

将图 2.20 中的相位表换为电量仪，如图 2.21 所示。由图 2.21 可直接测得阻抗的端电压、流过的电流及其功率，根据公式 $P = UI \cos \varphi$ 即可求得相位角 φ ，其余与相位表法相同，从而求得 Z 的实部与虚部。

功率表法不能判断被测阻抗是容性还是感性，本实验采用如下方法加以判断；在被测网络输入端并联接入一只适当容量的小电容器，如电流表的读数增大，则被测阻抗为容性（即虚部为负），若电流表读数减小，则被测阻抗为感性（即虚部为正）

(3) 电流表电压表法

如果没有相位表和功率表，仅有电压表和电流表，在测复阻抗时，则可以用下面所述的画相量图法来确定相位角。如图 2.22 所示，要测得图中电阻器和电感器的复阻抗，可以用电压表分别测出有效值 U 、 U_R 、 U_{rL} ，用电流表测出电流有效值 I （电阻 R 的感性分量可忽略不计，阻性分量计算根据实际值代入），绘制相量图如图 2.23 所示



3. 总阻抗与总导纳

交流电路中两个元器件串联后总阻抗等于两个复阻抗之和，即 $Z_{总} = Z_1 + Z_2$

两个元器件并联，总导纳等于两个元器件的复导纳之和，即 $Y_{总} = Y_1 + Y_2$

两个元器件并联，然后再与另一个元器件串联，则总阻抗应为 $Z_{总} = Z_3 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}$

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)

表 3-1 相位法测量元件参数和相位法计算值

	电流 I (A)	电压 U (V)	相位角 φ	电阻值 (实部)	感抗/容抗 (虚部)	电感值/电容值
电感线圈	0.5042	4.2	62	3.9107Ω	7.3549Ω	23.412mH
电阻器	0.5022	7.6	2	15.1242Ω	0.528Ω	1.681mH
电容器	0.5033	7.6	271	0.2635Ω	-15.098Ω	$210.829\mu F$

表 3-2 功率法测试元件参数和功率法计算值

	电流 I (A)	电压 U (V)	P (W)	正负	电阻值 (实部)	感抗/容抗 (虚部)	电感值/电 容值
电感线圈	0.5066	4.3	1.0	+	3.8239Ω	7.4005Ω	23.556mH
电阻器	0.5022	7.6	3.8	+	15.067Ω	1.4150Ω	4.504mH
电容器	0.5033	7.6	0.2	-	0.7903Ω	-15.0796Ω	$211.086\mu F$

表 3-3 电阻器和电感线圈串联的复阻抗测试

	电流 I (A)	电压 U (V)	相位角 φ or 功率 P (W)
$Z_{总}$	0.5013	10.2	$\varphi = 23^\circ$
	电阻值 (实部)	感抗/容抗 (虚部)	电感值/电容值
	18.7296Ω	7.9502Ω	24.810mH

表 3-4 电阻器和电感线圈并联的负阻抗测试

	电流 I (A)	电压 U (V)	相位角 φ or 功率 P (W)
$Y_{总}$	0.5007	3.4	$\varphi = 51^\circ$
	电导值 (实部)	电纳值 (虚部)	电感值/电容值
	$0.0925S$	$-0.1143S$	27.849mH

表 3-5 电阻器与电感线圈并联，再与电容器串联后的总阻抗 $Z_{总}$

	电流 I (A)	电压 U (V)	相位角 φ or 功率 P (W)
$Z_{总}$	0.5007	6.2	$\varphi = 298^\circ$
	电阻值 (实部)	感抗/容抗 (虚部)	电感值/电容值
	5.8133Ω	-10.933Ω	$291.14\mu F$

表 3-6 使用伏特表-安培表法测元件参数

	电流 I (A)	电压 U (V)	电压 U_R (V)	电压 U_{rL} (V)
$Z_{总}$	0.4986	10.2	7.28	4.44
	电阻值 (实部)	感抗/容抗 (虚部)	电感值/电容值	
	19Ω	8.0224Ω	25.536mH	

表 3-7 使用伏特表-安培表法测元件参数

	电压 U (V)	电流 I (A)	电流 I_1 (A)	电流 I_2 (A)
$Y_{总}$	9.1	1.372	0.6117	1.004
	电导值 (实部)	电纳值 (虚部)	电感值/电容值	
	$0.1099S$	$-0.1011S$	31.4846mH	

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、元器件参数测量实验线路(相位法)

按图接线,打开三相空气开关,打开电量仪的开关,将单相调压器旋钮逆时针归零。阻抗 Z 分别取: $R=15\Omega$ 、电感线圈 $L=28\text{mH}$ (500 圈+磁芯)和电容器 $C=220\mu\text{F}$ 。调节调压器使电流表(电量仪的电流表)的读数为 0.5A,测量电压、电流及相位角值,记录于表中

2、元器件参数测量实验线路(功率法)

接线不变,将电量仪的测试功能档用上下按键调到功率档,调节调压器使电流表(电量仪的电流表)的读数为 0.5A 左右,测量电压、电流及功率值,记录于表中。实验完毕后,将单相调压器逆时针调到 0,断开三相空开

3、阻抗的串并联实验

使用前面的元器件,测量电阻器与电感线圈串联的阻抗 $Z_{总}$,利用前面测试的单个元器件的参数数据计算出 Z_1 、 Z_2 ,并验证串联时 $Z_{总} = Z_1 + Z_2$

4、阻抗的串并联实验

使用前面的元器件,测量电阻器与电感线圈并联的总导纳 $Y_{总}$,并利用前面测得的单个元件参数数据计算出 Y_1 、 Y_2 ,验证并联时 $Y_{总} = Y_1 + Y_2$

5、阻抗的串并联实验

测量电阻器与电感线圈并联,再与电容器串联后的总阻抗 $Z_{总}$,再利用前面测试的单个元件

参数数据计算出 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 ，验证 $Z_{总} = Z_3 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}$

6、用伏特表-安培表法测元件参数

按图接线，打开三相空气开关，打开电量仪的开关，单相调压器旋钮逆时针归零，使用电量仪的电流档测试交流电流，使用电量仪的电压档测试调压器输出电压有效值。调节调压器使 $I=0.5A$ ，使用电表交流电压档测量 U 、 U_R 、 U_{rL} 之值。根据测试数据，在坐标纸上，画出各电压向量图，求出复阻抗 Z_1 （电阻器）、 Z_2 （电感线圈）及 $Z_{总}$ ，求出电感线圈的电阻 r 和电感量 L

7. 阻抗测量电路

将测电流插孔接入电路中需要测量电流的支路，调节调压器使流过电感线圈的电流为 $1A$ ，使用电量仪测出电流 I 、 I_1 、 I_2 及交流电压 U 的有效值，测量电流时，需要串入电路中，使用导线接到电量仪中进行测量。根据测试数据，画出各电流向量图，求出复导纳 Y_1 （电阻器）、 Y_2 （电感线圈）和 $Y_{总}$

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、测量电阻器与电感线圈串联的阻抗 $Z_{总}$ ，画出设计电路图，根据表 3-3 计算出 $Z_{总}$ 。根据测试数据，求出 $Z_{总}$ ，利用表 3-1 数据计算出电阻 Z_1 、电感线圈 Z_2 ，验证串联时 $Z_{总} = Z_1 + Z_2$

计算：

$$Z_{总} = (18.7296 + j7.9502)\Omega$$

$$Z_1 + Z_2 = (15.1242 + j0.528)\Omega + (3.9107 + j7.3549)\Omega = (19.0349 + j7.8829)\Omega$$

因此，在误差允许范围内，有 $Z_{总} = Z_1 + Z_2$

2、测量电阻器与电感线圈并联的总导纳 $Y_{总}$ ，画出设计电路图。根据表 3-4 求出 $Y_{总}$ ，利用表 3-2 数据计算出电阻器 Y_1 、电感线圈 Y_2 ，验证并联时 $Y_{总} = Y_1 + Y_2$

计算：

$$Y_{总} = (0.0925 - j0.1143)S$$

$$Y_1 + Y_2 = \frac{1}{15.067 + j1.4150}S + \frac{1}{0.7903 - j15.0796}S = (0.069 + j0.05995)S$$

因此，在误差允许范围内，有 $Y_{总} = Y_1 + Y_2$

3、测量电阻器与电感线圈并联，再与电容器串联后的总阻抗 $Z_{\text{总}}$ ，设计电路图如下。根据表 3-5 数据求出 $Z_{\text{总}}$ ，计算出 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 ，验证 $Z_3 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}$

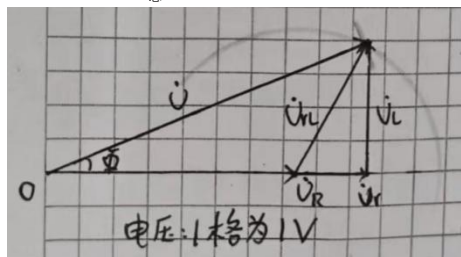
计算：

$$Z_{\text{总}} = (5.8133 - j10.933)\Omega$$

$$Z_3 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} = (0.2635 - j15.098) + \frac{(15.1242 + j0.528)(3.9107 + j7.3549)}{(15.1242 + j0.528) + (3.9107 + j7.3549)}\Omega = (4.8455 - j11.043)\Omega$$

在误差允许范围内，有 $Z_{\text{总}} = Z_3 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}$

4、伏特-安培法测试元件参数，根据表 3-6 数据，画出各电压相量图，求出复阻抗 Z_1 （电阻器）、 Z_2 （电感线圈）及 $Z_{\text{总}}$ ，求出电感线圈的电阻 r 和电感量 L 。



$$Z_1 = \frac{U_R}{I} = 14.60 \angle 0^\circ \Omega$$

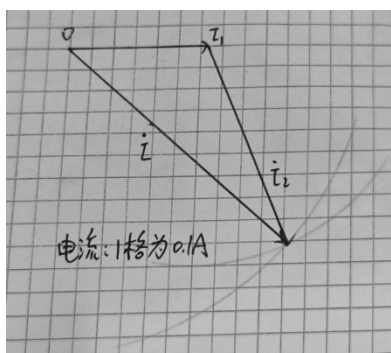
$$Z_2 = \frac{U_{rL}}{I} = 8.9 \angle 63.4^\circ \Omega = (3.99 + j7.96)\Omega$$

$$Z_{\text{总}} = \frac{U}{I} = 20.46 \angle 22.83^\circ \Omega$$

$$r = \text{Re}[Z_2] = 3.99\Omega$$

$$L = \frac{\text{Im}[Z_2]}{\omega} = 25.337\text{mH}$$

5、伏特-安培法测试元件参数，根据表 3-7 数据，画出各电流相量图，求出复导纳 Y_1 （电阻器）、 Y_2 （电感线圈）和 $Y_{\text{总}}$ 。



$$Y_1 = \frac{I_1}{U} = 67.22 \angle 0^\circ \text{mS}$$

$$Y_2 = \frac{I_2}{U} = 110.3 \angle -68.7^\circ \text{mS} = (40.07 - j102.77)\text{mS}$$

$$Y_{\text{总}} = \frac{I}{U} = 150.77 \angle -41.99^\circ \text{mS} = (112.06 - j100.9)\text{mS}$$

六、问题思考

(回答指导书中的思考题)

1. 相位法和功率法测得的电阻值, 电感值, 电容值是否一致? 如果存在少许差异, 请进行可能的原因分析。

答: 基本一致, 我认为相位法的精确度比功率法高, 因为功率法计算相位角时功率与相位的关系 $\varphi = \arccos\left(\frac{P}{UI}\right)$ 不是线性的, 在相位接近的时候精确度不高

2. 比较相位法与电压表、电流表向量图法测出的阻抗与导纳是否一致。如果存在少许差异, 请进行可能的原因分析。

答: 基本一致, 可能由于导纳是阻抗的倒数, 求倒数计算时的精确度会影响结果的精确度

七、实验体会与建议

电路实验提高了我们的动手能力

