

电子学基础实验报告

交流电路参数的测定



封面照：本次实验所用到的电感线圈、调压器、滑线电阻、电容箱

班级：计 86

学号：2018011438

姓名：周恩贤

实验班次：J84

实验桌号：11

实验日期：2019.10.18

预习报告拍照

清华大学实验报告 预习报告

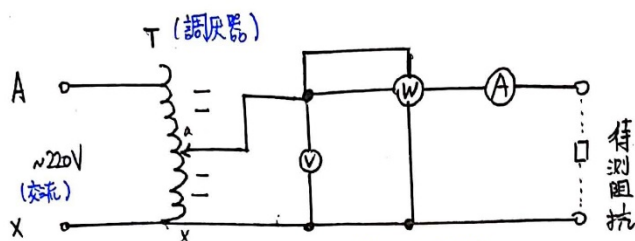
系别 计算机系 班号 计 86 姓名 周恩贤 (同组姓名 董博文)

作实验日期 2019 年 10 月 18 日

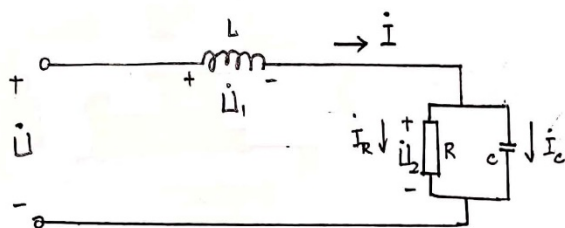
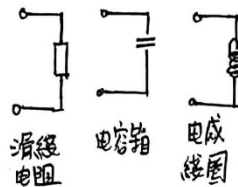
教师评定 _____

实验二. 交流电路参数的测定

※实验电路图



▲ 图 2-1. 实验时用的测量电路图



▲ 图 2-2. RLC 串联实验电路

※实验结果估算: 由于无预习计算的部分, 在此将需用到的公式再做预习

• 交流电路阻抗: $Z = |Z| \angle \phi = R + jX$, $|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$, $\phi = \arctan \frac{X}{R}$

• 欧姆定律 $|Z| = \frac{U}{I}$,

• 功率 $P = I^2 R$

$$(*) \left\{ \begin{aligned} X &= \pm \sqrt{|Z|^2 - R^2} = \pm \sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - \left(\frac{P}{I^2}\right)^2} \\ \phi &= \pm \cos^{-1} \frac{P}{UI} \end{aligned} \right.$$

“+”代表感性情况, $X = \omega L$
“-”代表容性情况, $X = \frac{1}{\omega C}$

由图 2-2 的电路关系, 可得出阻抗: $|Z| \angle \phi = R_L + jX_L + (R_C \angle \phi_C)$

⇒ 本次实验先由图 2-1 的电路分别测得电阻, 电感, 电容在电流为 0.8A, 1.0A 的 U, P , 依照 (*) 公式计算出对应的 R_L, L, R_C, C, R 等测量值, 再和实验 2-2 的结果比较, 并计算其误差

终结报告

一、实验结果

1.1 滑线电阻的参数测量

($R \approx 160 \Omega$)

I (A)	U (V)	P (W)	R (Ω)	R 平均值 (Ω)
0.8	133.60	107.00	167.00	166.75
1	166.50	166.50	166.50	

1.2 电感线圈的参数测量

($L \approx 500\text{mH}$)

I (A)	U (V)	P (W)	R _L (Ω)	X _L (Ω)	L (mH)	$\overline{X_L}$ (Ω)	\overline{L} (mH)	Z (Ω)	$ \overline{Z} $ (Ω)
0.8	127.80	10.20	15.90	158.95	505.96	159.18	506.69	159.75	159.98
1	160.20	15.90	15.90	159.40	507.41			160.20	

1.3 电容器的参数测量

($C \approx 16 \mu\text{F}$)

I (A)	U (V)	P (W)	Z (Ω)	X _C (Ω)	C (μF)	$\overline{X_C}$ (Ω)	\overline{C} (μF)
0.8	155.10	-0.40	193.87	-193.87	16.41	-194.93	16.32
1	196.00	-0.80	196.00	-195.99	16.24		

2. R、L、C 串并联实验电路

I (A)	U (V)	U ₂ (V)	P (W)	Z (Ω)	φ ($^\circ$)	\overline{Z} (Ω)	$\overline{\varphi}$ ($^\circ$)
0.8	109.00	100.0	71.7	136.25	34.68957	136.325	34.74653
1	136.40	125.1	112	136.4	34.8035		

二、实验报告要求

1. 计算 R: $R = \frac{U}{I}$, 平均值 $\bar{R} = 166.75\Omega$
- 计算 R_L 和 L: $R_L = \frac{P}{I^2}$, 平均值 $\bar{R}_L = 15.90\Omega$
- 计算 L: $\frac{X_L}{\omega} = \frac{\sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - \left(\frac{P}{I^2}\right)^2}}{\omega} = L$, 平均值 $\bar{L} = 505.69\text{mH}$

计算 R_c : $R_c = \frac{P}{I^2}$, 平均值 $\overline{R_c} = -0.7125\Omega$

计算 C : $X_c = -\sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - \left(\frac{P}{I^2}\right)^2} = -\frac{1}{\omega C}$, 平均值 $\bar{C} = 16.32\mu F$.

※ 电容为无源元件，为何会出现负阻呢？详见“创新”部份。

2. 计算 $|Z|$: $|Z| = \frac{U}{I}$, 平均值 $\overline{|Z|} = 136.33\Omega$

计算 φ : $\varphi = \arccos\left(\frac{P}{UI}\right)$, 平均值 $\bar{\varphi} = 34.75^\circ$

3. 由任务 1 中的参数计算：

$$Z = R_L + jX_L + \frac{R(jX_c)}{R + jX_c} = 135.96 \angle 34.39^\circ \Omega$$

$$|Z| \text{ 的相对误差} = \frac{|Z|_{\text{实测}} - |Z|_{\text{计算}}}{|Z|_{\text{实测}}} \times 100\%$$

$$= \frac{136.33 - 135.96}{136.33} \times 100\% = 0.29\%$$

$$\varphi \text{ 的绝对误差} = \varphi_{\text{实测}} - \varphi_{\text{计算}} = 0.36^\circ$$

4. 相量法验证计算与实测相符：

$$\dot{U}_2 = 125.1 \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$\dot{I}_R = \frac{\dot{U}_2}{R} = 0.750 \angle 0^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_2}{Z_c} = 0.643 \angle 90^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_{\text{算}} = \dot{I}_R + \dot{I}_C = 0.987 \angle 40.5^\circ \text{ A}$$

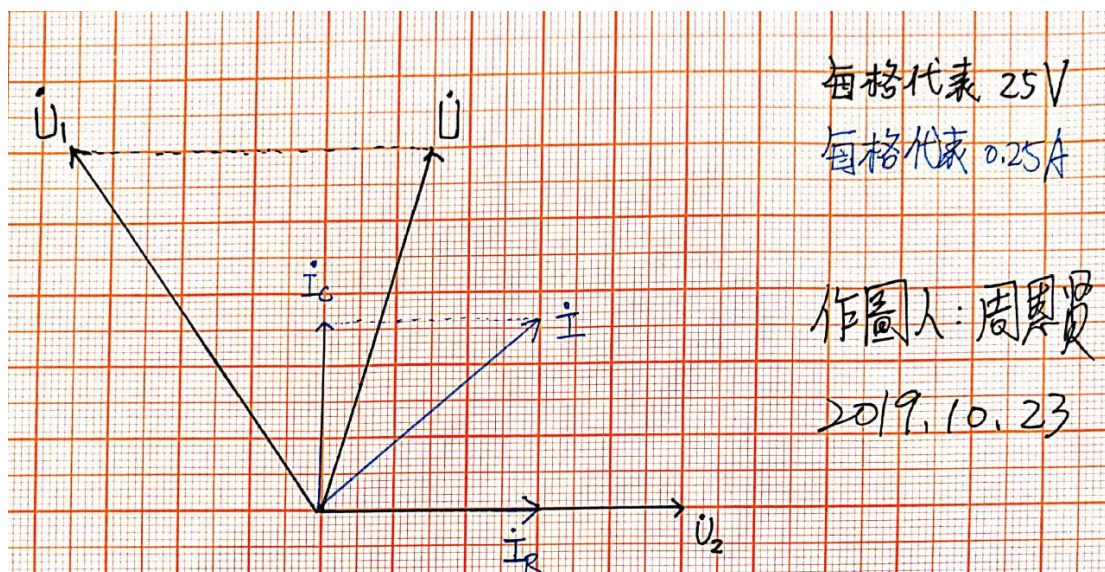
$$0.99 = |\dot{I}_{\text{算}}| \approx I = 1.00 \text{ A}$$

$$\dot{U}_1 = \dot{i}_{\text{算}} \times Z_L = 157.89 \angle 124.8^\circ \text{ V}$$

$$\dot{U}_{\text{算}} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 = 134.30 \angle 74.89^\circ \text{ V}$$

$$134.30 = |\dot{U}_{\text{算}}| \approx U = 136.40 \text{ A}$$

5. 在坐标纸上画出相量图



三、思考题

1. 如果调压器的输入端、输出端接反了, 会发生什么情况?

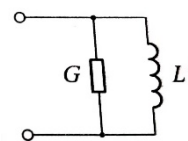
答: 接反了会导致调压器升压, 有可能导致电源短路(当把调压器归零时)或烧毁调压器(接在电路上的电压过大)。

2. 如何根据实验结果计算电感线圈的并联等值电路参数?

答: 并联电路导纳 $Y = \frac{i}{U} = G + j \frac{-1}{\omega L'}$

$$\text{又 } Y = \frac{1}{Z} \text{ 且 } G = \frac{1}{R_G} = \frac{P}{U^2}$$

$$\text{整理得 } \frac{1}{|Y|} = |Z| = \frac{R_G \omega L \sqrt{R_G^2 + \omega^2 L^2}}{R_G^2 + \omega^2 L^2}$$

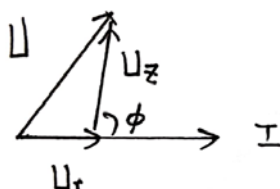
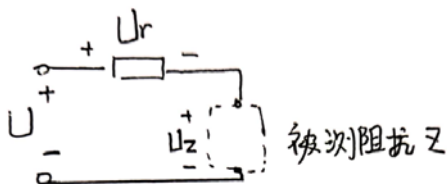


3. 如何判断被测阻抗是容性还是感性?

答: $Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}}$, $|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$, $X_L = \omega L$, $X_C = \frac{-1}{\omega C}$

(1) **三压法**: 如下图, 在原端口Z处串联电阻R, 则由余弦定

理, $\cos\varphi = \frac{U^2 - U_r^2 - U_z^2}{2U_r U_z}$, 即可求出阻抗角 φ



- (2) 变频法: 固定被测阻抗两端电压, 增大角频率 ω , 若电流有效值增加, 说明阻抗变小为容性, 反之为感性。
- (3) 绘图法: 依照量测值绘相量图, 判断U、I 哪个领先。

4. 对于纯电阻、电感和电容元件, 如何简化测量方式?

答:

(1) 纯电阻元件直接测量两端的电压和通过的电流, 由欧姆定律 $R = \frac{U}{I}$ 即可得到电阻值。

(2) 纯电感元件直接测量两端的电压和通过的电流, 由 $L = \frac{U}{2\pi f I}$ 即可得到电感值。

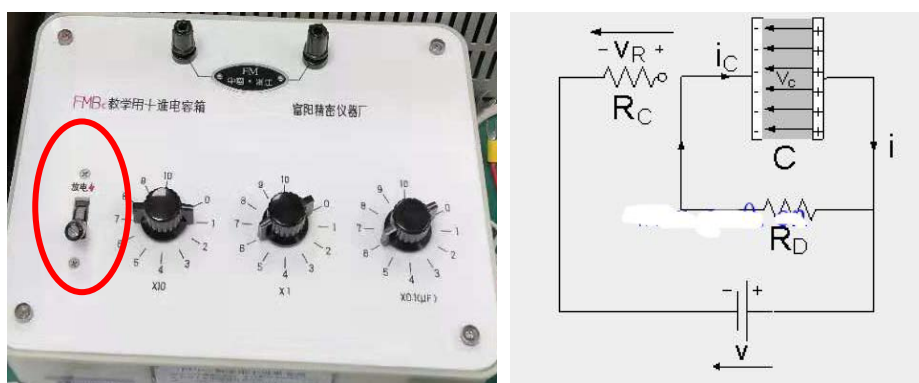
(3) 纯电容元件直接测量两端的电压和通过的电流, 由 $C = \frac{I}{2\pi f U}$ 即可得到电容值。

四、创新

1. 试证明电容是无源元件。既然电容是无源元件, 为什么会测出负功率呢 ?

答
$$W_{\text{吸}} = \int_0^t C u \frac{du}{d\tau} d\tau = \frac{1}{2} C (u(t)^2 - u(0)^2) \geq 0$$

注意到电容箱上面的“放电”旋钮。为了实现电容的充放电, 电容箱内部其实联接了一个电阻与开关:



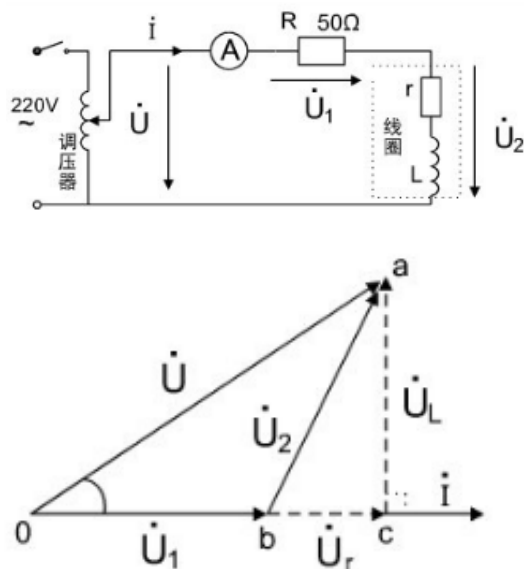
如上右图, 目前为放电电路, 切换开关时为充电电路。电容放电过程是需要时间的, 其时间函数 $\tau = \frac{1}{RC}$ 。当放电还没完成时, 有可能测到负功率; 而即使放电完成后, 也有可能因为放电不完全、旋钮操作多次失灵、电容箱内部结构等问题导致测出负功率。

2. 本次实验用”三表法”, 那有没有二表法、一表法呢?

答 有的。

二表法为使用电压表、电流表, 一表法为仅使用电压表。

二表法: 以测电感参数为例, 可接以下电路, 并画出相量图:



R 为辅助电阻(可以是未知电阻)。由于 U 、 U_1 、 U_2 都可测，故 $\triangle aob$ 边长已知，依照相量图可求出 bc 边和 ac 边的长度，由比例关系可得电压 U_r 和 U_L 有效值。由 $r = \frac{U_r}{I}$ ， $L = \frac{U_L}{\omega I}$ 可求得电感的参数。

一表法：如果没有电流表时，我们则需仰赖二表法的辅助电阻

R 。若 R 的电阻已知，则我们不需测定电路中的电流，可以用 $I = \frac{U_1}{R}$ 带

入求解：即 $r = \frac{U_r R}{U_1}$ ， $L = \frac{U_L R}{\omega U_1}$

3. 三表法相对于一表法、二表法有没有什么优点呢？

答 在一表法、二表法中，需借助一个辅助电阻，但若电阻并非理想元件，可能会造成更大的误差。因此，要尽量“减少不确定性”。纵使量测也可能造成误差，但整体而言仪器的精度还是比元件的精度好的。（多数情况下，元件并非理想）

五. 实验结论与收获

- 验证理论：电流、电压满足相量法合成关系
- 实操学习：了解如何正确的连接 R、L、C 串并联电路
- 进阶思考：在三表法的基础上，学习三压法、二表法、一表法
- 反思理论与实际中的差距：当一开始量测出电容箱的负功率时，我和同桌伙伴都有点愣住，还以为是不是电路哪里皆错、接反了？后来经助教姐姐的提示，才开始去思考电容箱的内部结构：**是什么原因可能造成 ” 电容箱 ” 放出能量？即使电容箱在放电，理论上经过 $3\sim 5\tau$ 就应该完成过度过程，为何还是测出负功率？** 这些问题都是值得思考探究且没有正确答案的。以后遇到类似情形时，除了怀疑 ” 是不是做错了 ” 之外，也可以想想如果操作正确，会有什么原因会造成与理论推导不符合的。要带着一颗好奇与思考的心去面对问题、解决问题！

原始数据表格拍照

原始数据表格

$R \approx 160 \Omega$

$C \approx 16 \mu F$

$L \approx 500 mH$

I(A)	U(V)	P(W)	U(V)	P(W)	U(V)	P(W)
0.8	133.6	107.0	155.1	-0.4	127.8	10.2
1.0	166.5	166.5	196.0	-6.8	160.2	15.9

算 R, R_{avg}

算 $R, X_L, |Z|, L$
 R_{avg}, X_{Lavg}

算 $|Z|, X_C, C, X_{Cavg}, C_{avg}$

任务 2

I(A)	U(V)	$U_2(V)$	P(W)
0.8	109.0	100.0	71.7
1.0	136.4	125.1	112.0

算 $|Z|, \phi, |Z|_{avg}, \phi_{avg}$

仪器:

十进电容箱 03005945

数字电参数测量仪 12007710

滑线式变阻器 BX8/11

调压器 T-11

空心电感器: 15022899

签名: 周恩贤
董博文

桌号: 11

