

浙江大学 实验报告

课程名称：电路与电子技术实验 I 指导老师：姚纓英 成绩：_____

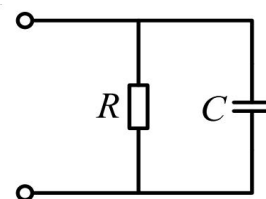
实验名称：交流电路测量_____

一、实验原理

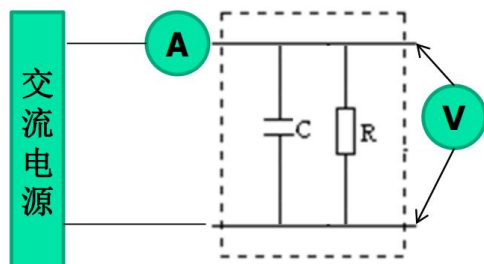
- 1.通过交流电源供电，利用交流电压表、交流电流表、功率表测量计算阻抗；
- 2.利用示波器观察信号波形，获知谐振频率、幅值与相位差等。

二、实验内容

测量右图所示一端口电路的等效阻抗（ $R=100\ \Omega/5W$ ， $C=47\mu F/50V$ ）。

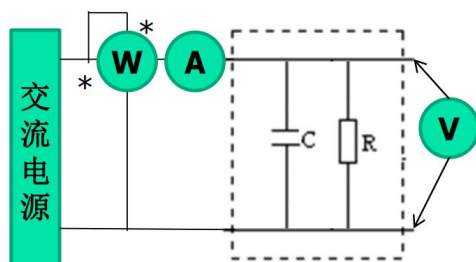


1.伏安测量法



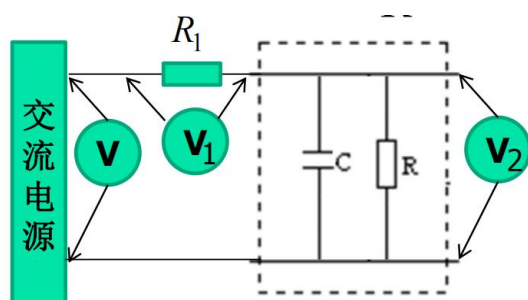
- 1) 用直流伏安法（万用表 $600\ \Omega$ 欧姆挡）测量电阻 R ；
- 2) 用交流伏安法测量导纳的模 $|Z| = U/I$ ；
- 3) 由 Y 的模和实部算出虚部或导纳角。

2.三表法



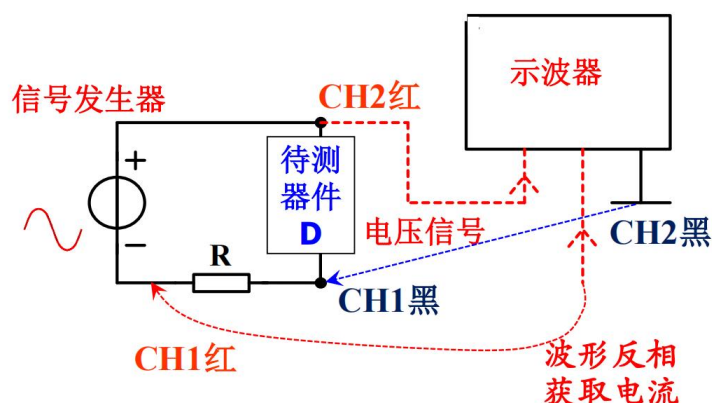
- 1) 用功率表和电压表计算电阻 R ；
- 2) 用电压和电流表计算导纳 Y 的模；
- 3) 由 Y 的模和实部算出虚部或导纳角。

3.电压三角形法



- 1) 以单相变压器实验组件的 16 伏作为输出，接入测试电路；
- 2) 保证 U_2 不变，即保持 I 不变，调节 R_1 （精密可调电阻）和 U ，使得 $U_1=U_2$ ，并记录 U_1 、 U_2 与 U 的数值；
- 3) 电源电压改用 220V/36V，将 R_1 调为 $330\ \Omega$ ，使得 U_1 不等于 U_2 ，并记录 U_1 、 U_2 与 U 的数值；
- 4) 利用三个电压表的读数计算待测负载的阻抗角，再用 V_1 和 V_2 表计算待测导纳的模。

4.示波器观测——相量伏安法



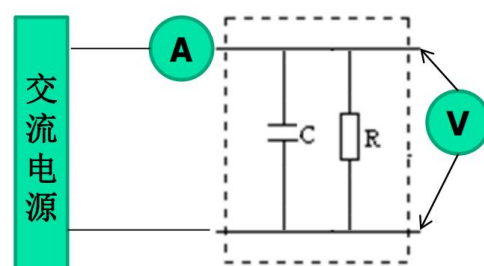
- 1) 如图搭建电路，并使用隔离通道使得示波器可以浮地测量；
- 2) CH2 获取电压 U_D ，CH1 获取电流；
- 3) 直接读取 CH2 超前 CH1 的相位差，得到所求阻抗。

三、测试结果

1.伏安测量法

万用表 $600\ \Omega$ 欧姆挡测得电阻 $R = 99.8\ \Omega$ 。

交流电压表与交流电流表测得以下三组数据：



U/V	1.230	2.86	3.14
I/A	0.0218	0.0504	0.0555
$ Y /\Omega^{-1}$	1.77E-02	1.76E-02	1.77E-02

计算得导纳的模平均值为 $|Y| = 0.0177\Omega^{-1}$, $\omega C = \sqrt{|Y|^2 - \frac{1}{R^2}} = 0.0146\Omega^{-1}$,

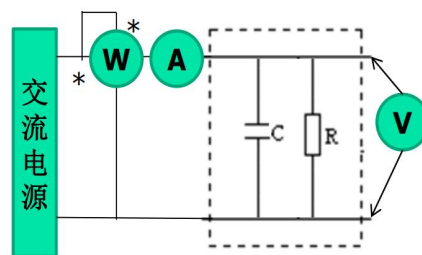
$\varphi = \arccos \frac{\frac{1}{R}}{|Y|} = 55.52^\circ$, 所以 $Y = 0.0177 \angle 55.52^\circ \Omega^{-1} = 0.0100 - 0.0146j \Omega^{-1}$, $Z = 56.50 \angle -55.52^\circ$ 。

计算传递误差: $u_R = u_{RB} = \frac{0.8\% \times R + 3 \times 0.1\Omega}{\sqrt{3}} = 0.6\Omega$, $u_{\frac{1}{R}} = \frac{1}{R} \sqrt{\left(\frac{u_R}{R}\right)^2} = 6 \times 10^{-5} \Omega^{-1}$,

$u_{|Y|} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (|Y| - \bar{|Y|})^2} = 7.1 \times 10^{-5} \Omega^{-1}$, $u_{\omega C} = \omega C \times \sqrt{\left(\frac{u_{|Y|}}{|Y|}\right)^2 + \left(\frac{u_R}{R}\right)^2} = 1.1 \times 10^{-4} \Omega^{-1}$, $Y = 0.0100 \pm 0.00006 + (0.0146 \pm 0.00011)j \Omega^{-1}$ 。

2.三表法

U/V	4.75	6.61	11.41	14.48
I/A	0.0889	0.1238	0.214	0.272
P/W	0.2	0.4	1.3	2.2
R/ Ω	112.8	109.2	100.1	95.3
$ Y /\Omega^{-1}$	0.0187	0.0187	0.0188	0.0188



计算得导纳的模平均值 $|Y| = 0.0187\Omega^{-1}$, 电阻平均值 $R = 104.4\Omega$,

$\omega C = \sqrt{|Y|^2 - \frac{1}{R^2}} = 0.0161\Omega^{-1}$, $\varphi = -\arccos \frac{\frac{1}{R}}{|Y|} = -59.19^\circ$, 所以 $Y = 0.0187 \angle 59.19^\circ$

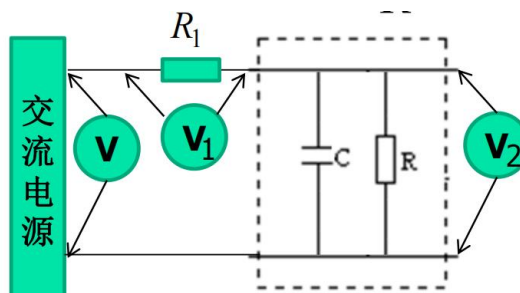
$\Omega^{-1} = 0.0096 + 0.0161j \Omega^{-1}$, $Z = 53.48 \angle -59.19^\circ$ 。

计算传递误差: $u_R = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (R - \bar{R})^2} = 8.1\Omega$, $u_{\frac{1}{R}} = \frac{1}{R} \sqrt{\left(\frac{u_R}{R}\right)^2} = 7 \times 10^{-4} \Omega^{-1}$,

$u_{|Y|} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (|Y| - \bar{|Y|})^2} = 8.2 \times 10^{-5} \Omega^{-1}$, $u_{\omega C} = \omega C \times \sqrt{\left(\frac{u_{|Y|}}{|Y|}\right)^2 + \left(\frac{u_R}{R}\right)^2} = 1.3 \times 10^{-3} \Omega^{-1}$, $Y = 0.0096 \pm 0.0007 + (0.0161 \pm 0.0013)j \Omega^{-1}$ 。

3.电压三角形法

$U_1 = U_2$ 时, $R_1 = 62\Omega$, 此时 $U_1 = 6.72V$,



$$U_2 = 6.77\text{V}, U = 12.11\text{V}, \varphi = \arccos \frac{U^2 - U_1^2 - U_2^2}{2U_1U_2} = 52.29^\circ, |Z| = U_2 \cdot R_1 / U_1 = 62.46$$

$\Omega, Z = 62.46 \angle -52.29^\circ$ 。

计算传递误差：

$$\Delta_1 = 0.5\% \times U_1, \Delta_2 = 0.5\% \times U_2, \Delta_R = 0.5\% \times R_1, u_{|Z|} = |Z| \sqrt{\left(\frac{\Delta_1 / \sqrt{3}}{U_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_2 / \sqrt{3}}{U_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_R / \sqrt{3}}{R_1}\right)^2} = 0.31\Omega$$

$$k = U_1 / U_2 = 0.99, d \cos \varphi = \frac{dU}{2} \left(\frac{2U}{kU_2^2} - \frac{U^2}{kU_2^3} - \frac{1}{U_2} - \frac{U^2}{k^2U_2^3} - \frac{1}{kU_2} + \frac{k}{U_2} + \frac{1}{k^2U_2} \right),$$

$$u_{\cos \varphi} = \left| \frac{d \cos \varphi}{dU} \right| \times u_V = 7.4 \times 10^{-3}。$$

电源电压改用 220V/36V，将 R_1 调为 330Ω ，使得 U_1 不等于 U_2 ，数据记录如下：

U_1/V	14.59	23.5	29.2
U_2/V	2.49	4.04	4.99
U/V	16.24	26.2	32.5
$\phi/^\circ$	52.09	51.66	52.20
$ Z /\Omega$	56.32	56.73	56.39

计算得角度的平均值 $\phi = 51.98^\circ$ ，阻抗的平均值 $|Z| = 56.48\Omega$ ， $Z = 56.48 \angle -51.98^\circ$ 。

计算传递误差：以第一组实验数据为例，

$$\Delta_1 = 0.5\% \times U_1, \Delta_2 = 0.5\% \times U_2, \Delta_R = 0.5\% \times R_1, u_{|Z|} = |Z| \sqrt{\left(\frac{\Delta_1 / \sqrt{3}}{U_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_2 / \sqrt{3}}{U_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_R / \sqrt{3}}{R_1}\right)^2} = 0.28\Omega$$

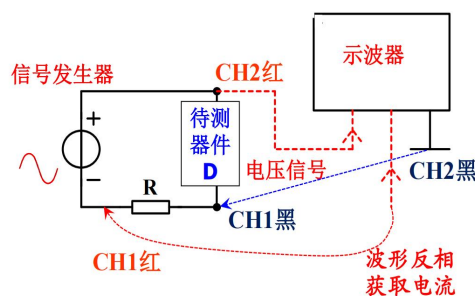
$$k = U_1 / U_2 = 5.86, d \cos \varphi = \frac{dU}{2} \left(\frac{2U}{kU_2^2} - \frac{U^2}{kU_2^3} - \frac{1}{U_2} - \frac{U^2}{k^2U_2^3} - \frac{1}{kU_2} + \frac{k}{U_2} + \frac{1}{k^2U_2} \right),$$

$$u_{\cos \varphi} = \left| \frac{d \cos \varphi}{dU} \right| \times u_V = 1.5 \times 10^{-2}。$$

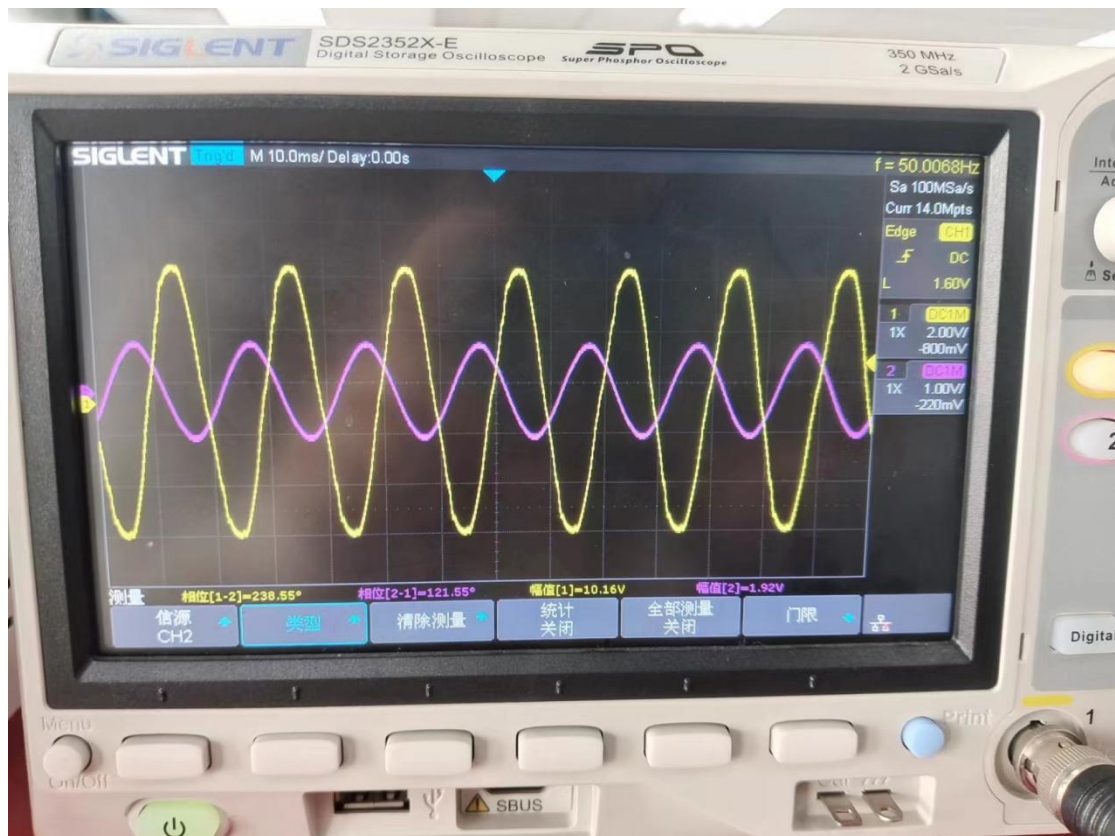
理论上的 ϕ 应该为 55.89° ，在 U_1 基本等于 U_2 的情况下的测量值为 52.29° ，相对误差为 6.44%，在 U_1 不等于 U_2 的情况下测量值为 51.98° ，相对误差为 7.00%，可以看出，在 $U_1 = U_2$ 的情况下测出的 ϕ 相对误差较小，更为准确。

4. 示波器观测——相量伏安法

示波器显示 $U_D = 1.92\text{V}$ ， $U_R = 10.16\text{V}$ ，CH2 超前 CH1 的相位差为 121.55° ，则 $|Z| = U_D / U_R \cdot R = 62.36\Omega$ ， $\phi = 121.55^\circ - 180^\circ = -58.45^\circ$ ，所以 $Z = 62.36 \angle -58.45^\circ$ 。



示波器的波形如下：



5. 直接测量法

读出 $C = 41.7 \mu\text{F}$, $D = 0.135$, 由于 $f = 1\text{kHz}$, $D = 1/Q = 1/\omega CR$, 所以 $C = 41.7 \mu\text{F}$, 相对误差为 11.2%, $R = 28.3 \Omega$, 相对误差为 71.6%, 电阻相对误差极大, 可见该条件下 LCR 直接测量法不适合通过换算得到电阻阻值。

