

# 浙江大学实验报告

专业：材料科学与工程  
 姓名：\_\_\_\_\_  
 学号：\_\_\_\_\_  
 日期：2024.10.15  
 地点：东 3-201

课程名称：电路与电子技术实验 I 指导老师：王旂 实验类型：基础规范性实验  
 实验名称：交流阻抗参数测定 成绩：\_\_\_\_ 签名：无

## 一、实验目的

- (1) 学习无源一端口网络等效参数的电压三角形测定法；
- (2) 学习间接测量过程中的误差分析方法；
- (3) 理解电路参数的合理选择在提高实验准确度中的作用。

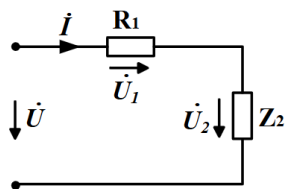
## 二、实验原理

### 1. 等效阻抗

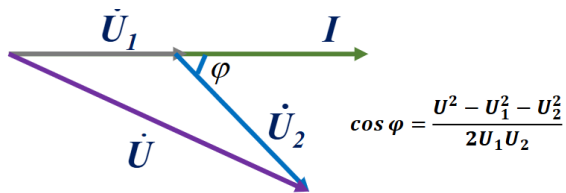
任意一个交流无源一端口网络，不管其内部结构如何复杂，其等效参数都可以用一个等效阻抗（入端阻抗）来表示，当端口电压和端口电流的参考方向一致时，其复数阻抗可以写作： $Z = \frac{\dot{U}}{I} = z\angle\varphi = R_0 + jX_0$

### 2. 电压三角形法

如图所示，将一已知的合适阻值的电阻与待测交流无源网络串联，测量电压  $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}, \dot{I}$ ，由相量图和数学关系可求得无源交流网络的实部和虚部



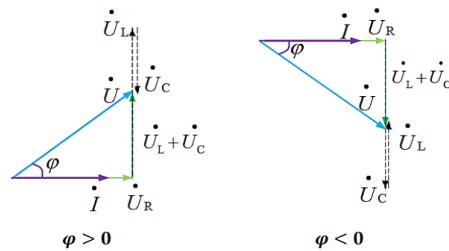
电压三角形法测量原理图



电压三角形法相量图

$$R_0 = \frac{U_2 \cos \varphi}{I} = \frac{U^2 - U_1^2 - U_2^2}{2U_1 I}$$

$$X_0 = \frac{U_2 \sin \varphi}{I} = \frac{U_2 \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{I} = \frac{U_2}{I} \sqrt{1 - \left( \frac{U^2 - U_1^2 - U_2^2}{2U_1 U_2} \right)^2}$$



$\varphi > 0$

$\varphi < 0$

装订线

## 3. 电压三角形法误差传递

间接测量中的**误差传递**：

$$\frac{dR_0}{R_0} = \frac{1}{U^2 - U_1^2 - U_2^2} \left[ \left| 2U^2 \frac{dU}{U} \right| + \left| (U_2^2 - U^2 - U_1^2) \frac{dU_1}{U_1} \right| + \left| 2U_2^2 \frac{dU_2}{U_2} \right| \right] - \left| \frac{dI}{I} \right|$$

$$\frac{dX_0}{X_0} = -\frac{dI}{I} - \frac{U^2 \cos \varphi}{U_1 U_2 \sin^2 \varphi} \frac{dU}{U} + \frac{U_1 + U_2 \cos \varphi}{U_2 \sin \varphi \tan \varphi} \frac{dU_1}{U_1} + \frac{U_1 + U_2 \cos \varphi}{U_1 \sin^2 \varphi} \frac{dU_2}{U_2}$$

采用**绝对值相加法**进行**误差合成**。

(其中  $dU = a \times U$ ,  $dI = a \times I$ ,  $a$  为仪表的准确度等级)

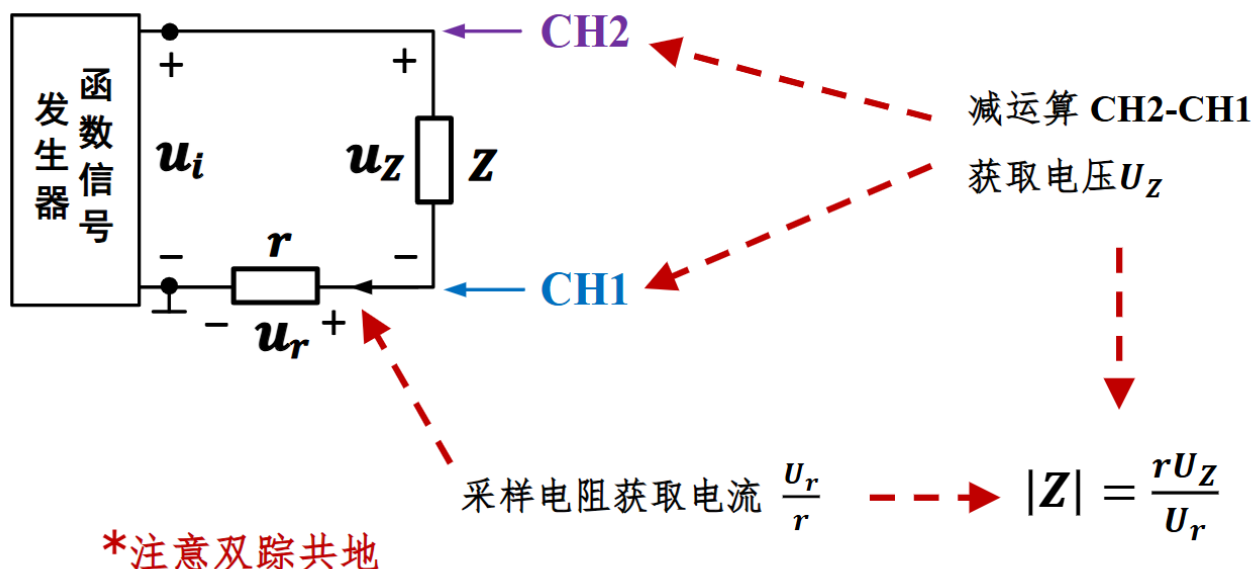
为了判定选取的  $R_1$  值对所测  $Z$  的影响，我们继续将

$$\frac{d}{dR_1} \left( \frac{dR_0}{R_0} \right) = \frac{4IU_2 \cos \varphi}{(U^2 - U_1^2 - U_2^2)^2} \left[ (U_1^2 - U_2^2) \frac{dU}{U} - U_1^2 \frac{dU_1}{U_1} + U_2^2 \frac{dU_2}{U_2} \right]$$

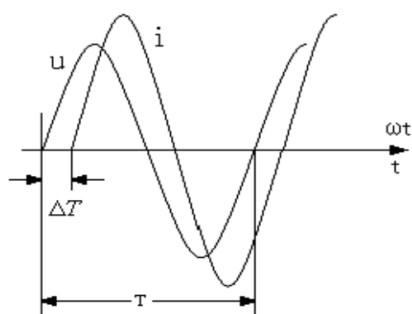
$$\frac{d}{dR_1} \left( \frac{dX_0}{X_0} \right) = \frac{I \cos \varphi}{U_1^2 U_2 \sin^2 \varphi} \left[ (U_2^2 - U_1^2) \frac{dU}{U} + U_1^2 \frac{dU_1}{U_1} - U_2^2 \frac{dU_2}{U_2} \right]$$

由上式可看到，当调节  $R_1$ ，满足  $U_1 = U_2$  时，上式有最小值。也即  $R_1 = |Z|$  时， $Z$  的测量相对误差最小。

#### 4. 示波器测量法

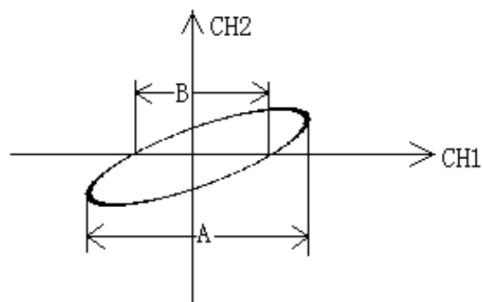


用函数信号发生器如图连接电路，示波器的 CH1 和 CH2 端如图连接，用示波器观察波形图。利用示波器数学函数计算 CH2-CH1 值得到  $U_z$  的值，计算  $U_z$  电压电流相位差，可计算辐角  $\varphi$ ，并通过  $|Z| = \frac{rU_z}{U_r}$  计算阻抗模



相位差的时域观测法

$$\varphi = \frac{\Delta T}{T} \times 360^\circ$$



相位差的李沙育图形法

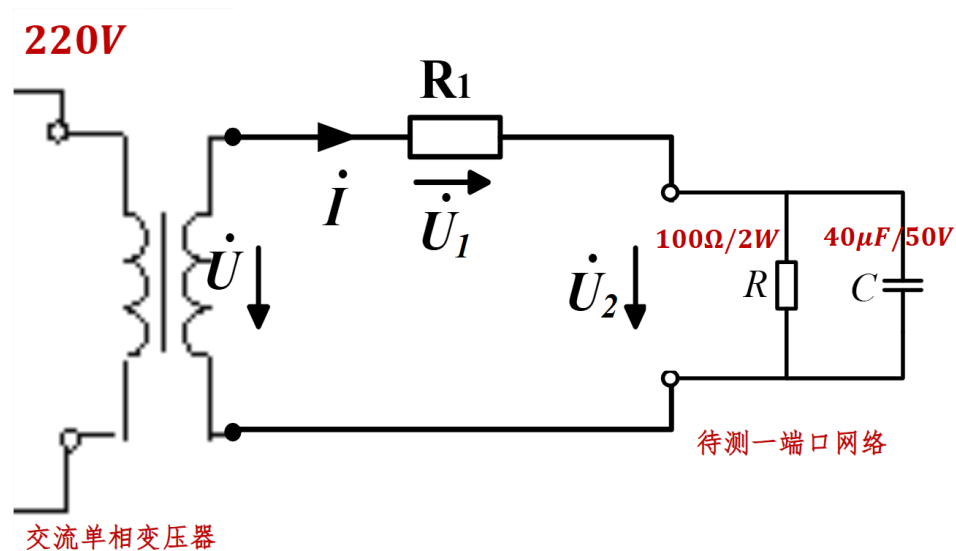
$$\varphi = \sin^{-1} \frac{B}{A}$$

### 三、 主要仪器设备

1. 数字万用表
2. 电工综合实验台
3. DG08 动态元件实验组件
4. DG11 单相变压器实验组件
5. 示波器

## 四、操作方法与实验步骤

### 1. 电压三角形法



先开启三相交流电源开关，用电压表测量单相的相电压，调节旋钮使相电压为 220V，再接入变压器使得，并测量变压器副边电压，确保变压器输出电压在 16V 左右按如图搭建电路，先用万用表分别测量  $R, C$  的值，计算该一端口网络的等效阻抗。然后再采用电压三角形法，再次测量该一端口网络的等效阻抗，最后计算误差传递。

### 2. 示波器测量法

用函数信号发生器按照实验原理部分的电路图连接电路，示波器的 CH1 和 CH2 端如图连接，用示波器观察波形图。利用示波器数学函数计算 CH2-CH1 值得到  $U_z$  的值，计算  $U_z$  电压电流相位差，可计算辐角  $\varphi$ ，并通过  $|Z| = \frac{rU_z}{U_r}$  计算阻抗模

## 五、 实验数据记录与处理

### 1. 单独测量电阻和电容值

用万用表测得  $R = 101.3\Omega$ ,  $C = 48.96\mu F$ , 计算得阻抗为  $30.6 - j46.5 = 55.7\angle - 56.7$

### 2. 电压三角形法

测量数据如图：此时  $U_1$  与  $U_2$  较为接近，相对误差较小

U/V	U1/V	U2/V	I/A
15.86	8.84	8.87	0.167

代入公式计算得  $\cos\varphi = 0.607$

$$R_0 = 32.26\Omega$$

$$X_0 = 42.21\Omega$$

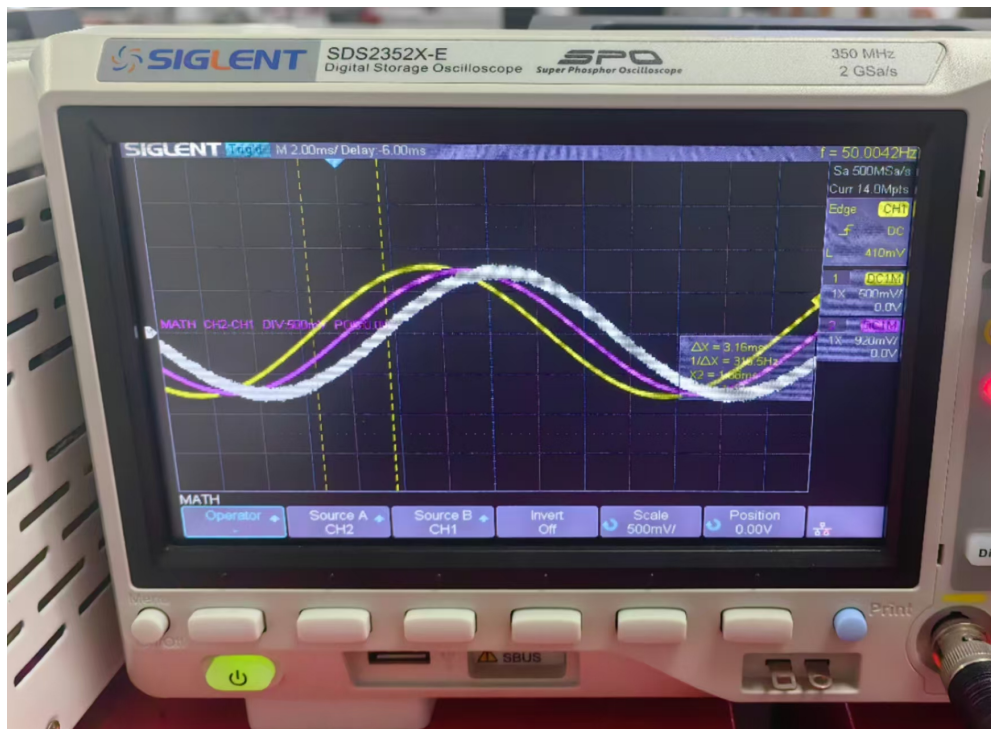
$$Z = 32.26 - j42.21 = 53.1\angle - 52.6^\circ\Omega$$

代入误差传递得公式计算得：

$$\frac{dR_0}{R_0} = \frac{1}{U^2 - U_1^2 - U_2^2} [ |2U^2 \frac{dU}{U}| + |(U_2^2 - U^2 - U_1^2) \frac{dU_1}{U_1}| + |2U_2^2 \frac{dU_2}{U_2}| ] + |\frac{dI}{I}| = 2.16\%$$

$$\frac{dX_0}{X_0} = |\frac{dI}{I}| + |\frac{U^2 \cos\varphi}{U_1 U_2 \sin^2\varphi} \frac{dU}{U}| + |\frac{U_1 + U_2 \cos\varphi}{U_2 \sin\varphi \tan\varphi} \frac{dU_1}{U_1}| + |\frac{U_1 + U_2 \cos\varphi}{U_1 \sin^2\varphi} \frac{dU_2}{U_2}| = 4.32\%$$

### 3. 示波器观测法



示波器波形图如图所示， $r = 50\Omega$ 。用测量功能测得  $U_r = 551.10mV$ ,  $U_z = 533.55mV$ ,  $\Delta x = 3.16ms$  计算得  $\varphi = \frac{\Delta x}{T} \times 360 = 56.68^\circ$ ,  $|Z| = \frac{rU_r}{U_z} = 51.64$ ,  $Z = 51.64\angle - 56.68^\circ\Omega$

## 六、 实验结果与分析

1. 间接测量中的误差较大, 分析原因有以下几点:

- (1) 误差是按照最保守的情况, 绝对值相加进行合成计算。
- (2) 受到仪表量程和内阻的影响。交流电压表和交流电流表精度均为 0.5, 且并非理想电表, 其存在的内阻对电路有影响。
- (3) 元件本身不过灵敏或者老化, 电阻箱输出的电阻与实际不符, 导致测量不够精确。
- (4) 可调电阻在通电与否的情况下也是有区别的, 存在一定误差。

2. 示波器测量法在误差允许的范围内测得的阻抗与实际值比较相符, 可见示波器测量法的准确性和便捷性

## 七、 心得与讨论

1. 当采用电压三角形法进行测量时, 尽量使  $U_1 = U_2$ 。无法完全相等时也应尽量相近, 以减小测量的误差。与示波器测量法相比, 电压三角形法测量虽然线路简单, 但计算量大, 且无法判断无源网络辐角的正负; 而示波器测量法虽然更简单便捷, 但由于我示波器操作不熟练, 所以仍然很费时间。

2. 本次实验过程中示波器的测量有两种方案, 我虽然在实验中两种方案都完成了, 但是使用多通道信号放大器来测量时发现所得结果与理论值相差较大, 可能是示波器接线没有连接对或者示波器使用的相关操作不对。这体现我示波器的使用还非常不熟练, 还需要花功夫多加练习。我的电路连接和搭建也比同学慢一些, 且很容易出现问题, 有时候是元器件的问题, 有时候是自己电路搭建的问题, 一出现问题我的心态就会比较急躁, 这其实是不利于实验的。希望在后续实验过程中能慢慢调整好自己的心态, 保持耐心, 已确保实验顺利进行。