

# 浙江大学实验报告

专业：\_自动化(控制)\_

姓名：\_李丰克\_

学号：\_3230105182\_

日期：\_2024.10.17\_

地点：\_东三 206\_

课程名称：\_电路与模电实验\_ 指导老师：\_于于\_

实验名称：\_交流无源一端口网络等效参数的测定\_

## 一、实验目的和要求

- 1、学习无源一端口网络等效参数的测定方法；
- 2、学习间接测量过程中的误差传递分析；
- 3、恰当选择电路变量和参数，提高实验准确度。

## 二、实验内容和原理

1)电压三角形法原理：任意无源交流一端口网络，其等效参数都可以用一个等效阻抗  $Z$ （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：

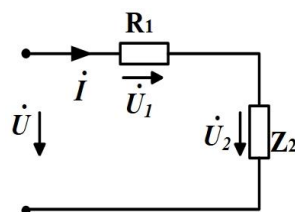
$$Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = R_0 + jX_0$$

2)求等效参数：电压三角形法测量线路如右图所示，外加一电阻  $R_1$ ， $Z_2$  为端口的等效阻抗，画出电压相量图，根据相量图关系计算  $Z_2$  的等效参数  $R_0$ ， $X_0$ 。

$$\cos\varphi = \frac{U^2 - U_1^2 - U_2^2}{2U_1U_2}$$

$$R_0 = \frac{U_2 \cos\varphi}{I} = \frac{U^2 - U_1^2 - U_2^2}{2U_1I}$$

$$X_0 = \frac{U_2 \sin\varphi}{I} = \frac{U_2 \sqrt{1 - \cos^2\varphi}}{I} = \frac{U_2}{I} \sqrt{1 - \left( \frac{U^2 - U_1^2 - U_2^2}{2U_1U_2} \right)^2}$$



3)计算测量误差： $R_0$  与  $X_0$  的测量误差来自于  $U_1, U_2, U_3, I$ ，得到误差传递公式：

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

$$\frac{dX_0}{X_0} = -\frac{dI}{I} - \frac{U^2 \cos\varphi}{U_1U_2 \sin^2\varphi} \frac{dU}{U} + \frac{U_1 + U_2 \cos\varphi}{U_2 \sin\varphi \tan\varphi} \frac{dU_1}{U_1} + \frac{U_1 + U_2 \cos\varphi}{U_1 \sin^2\varphi} \frac{dU_2}{U_2}$$

按最保守的情况来看，计算误差时可以将每一项都取绝对值再加起来。

4) $R_1$  取值对误差影响

将  $I=U_1/R_1$  代入，再对  $R_1$  求偏导

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

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

可以看出当  $U_1=U_2$  时，式子有最小值，即当  $R=|Z|$  时，传递误差最小。

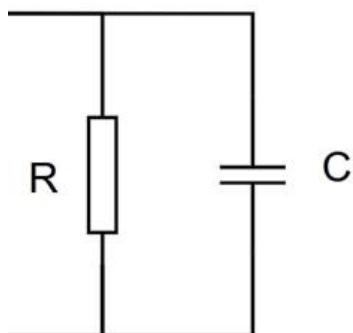
## 三、主要仪器设备

单相 0-250V 可调电源，单相变压器 220V/36V/16V/，交流电流表，交流电压表，100  $\Omega$  电阻，1k  $\Omega$  电阻，47 $\mu$ F 电容，电阻箱，示波器，信号源，万用表，导线

#### 四、实验任务，线路图

##### 实验任务一：

1, D 搭建如图端口电路,  $R=100\ \Omega$  ,  $C=47\ \mu\text{F}$ 。



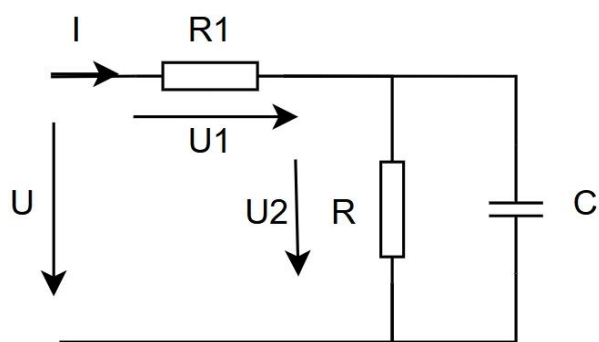
用电压三角形法测等效阻抗

调节  $R_1$  取值，分别使

①  $U_1 \approx U_2$

②  $U_1 \approx 3U_2$

测得两组数据，分别计算阻抗，比较结果



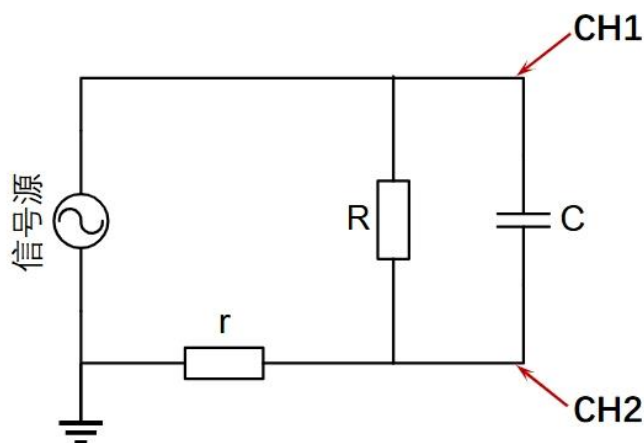
##### 2, 直接测量法

直接测量图中电路中电容  $C$  与电阻  $R$  的参数，计算其等效阻抗。

具体操作可以测  $R$  与  $C$  的电流，通过  $U/I$  分别求出参数，再整合。也可以用万用表测其电阻与电容，但是误差会比较大。

##### 实验任务二：

用示波器观测端口网络的电压和电流波形，观测相位关系，记录观测波形。其中  $r$  的取值为  $1\text{k}\Omega$



## 五、实验数据记录处理与实验结果分析

### 实验任务一：

1, ①调整 R1 至 54Ω 时，有  $U_1 \approx U_2$ ，此时测得

U	U1	U2	I
16.13V	8.92V	8.94V	166.2mA

此时所用电压表量程 20V，电流表量程 200mA。

代入公式得

$$R_0 = \frac{16.13^2 - 8.92^2 - 8.94^2}{2 \times 0.1662 \times 8.92} = 33.96$$

$$X_0 = \frac{8.94}{0.1662} \sqrt{1 - \left( \frac{16.13^2 - 8.92^2 - 8.94^2}{2 \times 8.92 \times 8.94} \right)^2} = 41.72$$

由于所用的电流表电压表精度都是 0.5 级，

对电压表量程 20V，绝对误差  $20 \times 0.5\% = 0.1V$ ，得出：

$$\frac{dU}{U} = \frac{0.1}{16.13} \quad \frac{dU_1}{U_1} = \frac{0.1}{8.92} \quad \frac{dU_2}{U_2} = \frac{0.1}{8.94}$$

对电流表量程 200mA，绝对误差  $200 \times 0.5\% = 1mA$  得出：

$$\frac{dI}{I} = \frac{1}{166.2}$$

再代入原方程中，此时将**所有项取绝对值**再相加求得最保守误差（真实情况小于这个值）：

$$\frac{dR_0}{R_0} = 8.48\% \quad \frac{dX_0}{X_0} = 7.66\%$$

如果不取绝对值，直接代入，那么求得：

$$\frac{dR_0}{R_0} = -2.07\% \quad \frac{dX_0}{X_0} = 2.22\%$$

②调整 R1 为 162Ω，此时 U1≈3U2，测得

U	U1	U2	I
16.03V	4.36V	13.05V	80.7mA

此时所用电压表量程 20V，电流表量程 200mA。

代入公式得：

$$R_0 = \frac{16.03^2 - 4.36^2 - 13.05^2}{2 \times 0.0807 \times 13.05} = 32.12$$

$$X_0 = \frac{4.36}{0.0807} \sqrt{1 - \left( \frac{16.03^2 - 4.36^2 - 13.05^2}{2 \times 4.36 \times 13.05} \right)^2} = 43.44$$

所用的电流表电压表精度都是 0.5 级，同理有：

$$\frac{dI}{I} = \frac{1}{80.7} \quad \frac{dU}{U} = \frac{0.1}{16.03} \quad \frac{dU_1}{U_1} = \frac{0.1}{4.36} \quad \frac{dU_2}{U_2} = \frac{0.1}{13.05}$$

再代入原方程中，此时将**所有项取绝对值**再相加求得最保守误差：

$$\frac{dR_0}{R_0} = 11.89\% \quad \frac{dX_0}{X_0} = 12.70\%$$

如果不取绝对值，直接代入，那么求得：

$$\frac{dR_0}{R_0} = -2.41\% \quad \frac{dX_0}{X_0} = 2.95\%$$

由于端口由电阻和电容串联而成，端口呈容性，X0 应该取负数

①中得到的等效阻抗 Z=33.96-41.72j Ω

②中得到的等效阻抗 Z=32.12-43.44j Ω

同时得到的传递误差

R1	dR0/R0（保守）	dR0/R0	dX0/X0（保守）	dX0/X0
54 Ω	8.48%	-2.07%	7.66%	2.22%
162 Ω	11.89%	-2.41%	12.70%	2.95%

比较得到当 U1=U2 时的传递误差明显小于 U1=3U2 时的传递误差，结论成立。

2，直接测量法

用万用电表分别测电阻和电容，得出  $R=99.8\,\Omega$ ， $C=51.85\,\mu\text{F}$ ，偏差过大，又考虑到电容在交流电中的特性，选择在电路中测。

测得  $U_2=8.99\,\text{V}$ ， $I_r=90.1\,\text{mA}$ ， $I_c=134.9\,\text{mA}$ 。

$R=U_2/I_r=99.8\,\Omega$

$X_c=U_2/I_c=66.7\,\Omega$

$X_c=1/\omega C=1/2\pi fC$  其中  $f=50\text{HZ}$  得到  $C=47.76\,\mu\text{F}$  与标称值接近，可以使用。

计算阻抗；

$$Z = R / (-jX_c) = \frac{1}{\frac{1}{99.8} + \frac{j}{66.7}} = 30.77 - 46.15j$$

与 1 中得到的阻抗对比

	R1=54 Ω	R1=162 Ω	直接测量法
R0	33.69	32.12	30.77
-X0	-41.72	-43.44	-46.15

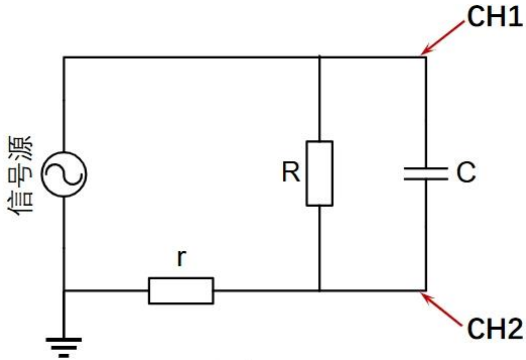
按照标准的  $R=100\,\Omega$ ， $C=47\,\mu\text{F}$  计算出的  $Z=31.63-46.51j\,\Omega$

与直接测量法得到的值最接近，因为其引入的变量较少，传递的误差也少。

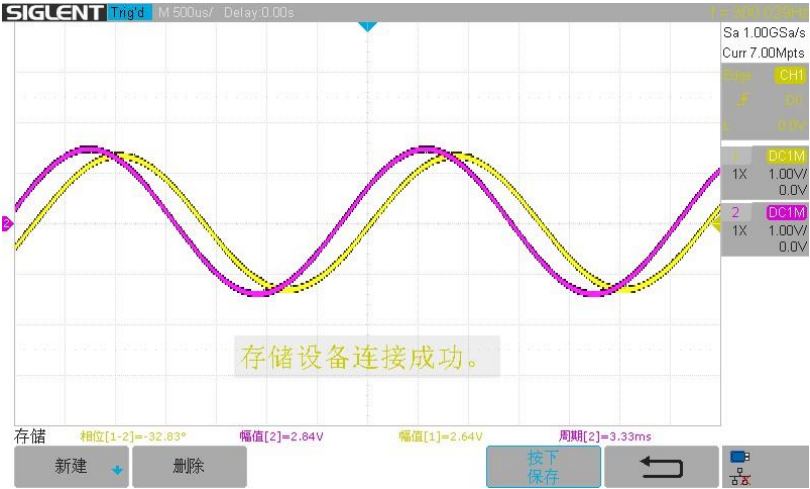
相量三角形测量法，可能有电表内阻，电流源输出不稳定，元件工作时发热使参数改变等原因产生较大误差。

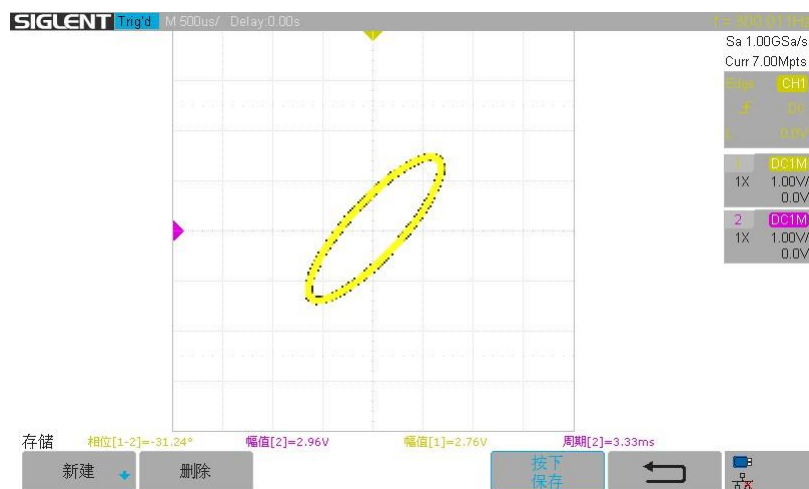
实验任务二：

用示波器观测波形相位差和李萨如图形。



使信号源输出  $V_{pp}=10\text{V}$ ， $f=300\text{HZ}$  观察到：





## 六，实验心得与体会

仪表的精度表示引入误差，例如精度为 0.5 级，量程 20V 下引入误差为  $20 \times 0.5\% V$ 。间接测量时用到的变量越多，结果误差越大。