

浙江大学实验报告

专业：
姓名：
学号：
日期：
地点：

课程名称： 电路与模拟电子技术实验 指导老师： 张治沁 成绩： _____
实验名称： 电压三角形法测参数的误差分析 实验类型： 电路实验

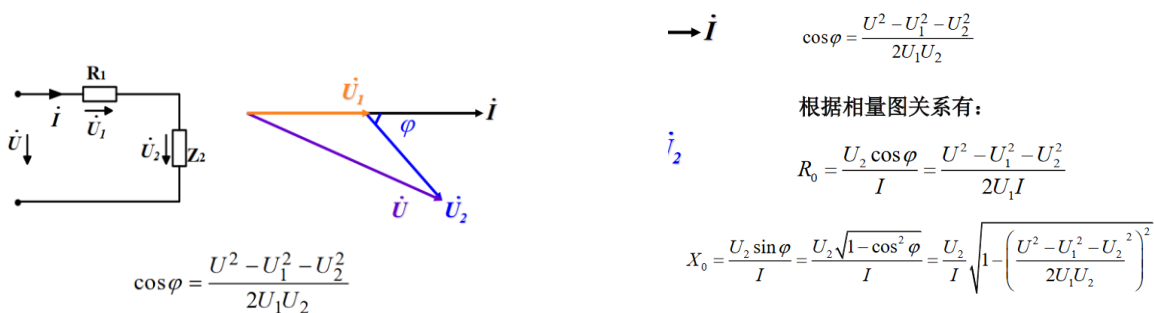
一、实验目的和要求

1. 学习无源一端口网络等效参数的电压三角形测定方法。
2. 掌握判定待测无源一端口网络性质的方法。
3. 学习间接测量过程中的误差传递分析。
4. 了解实验条件与电路参数的合理选择在提高实验准确度中的作用。

二、实验内容和原理

1 实验原理

(1) 电压三角形法测量线路如下图所示，外加一电阻 R_1 ， Z_2 为等效阻抗，用电压表分别测量电压 U ， U_1 ， U_2 的值，画出电压相量图（假设 Z_2 是容性的）



(2) 电压三角形法的误差传递和误差分析

由电路图和相量图推出的电阻与容性阻抗的表达式可得出误差的传递公式如下：

$$\frac{dR_0}{R_0} = \frac{1}{U^2 - U_1^2 - U_2^2} \left[2U^2 \frac{dU}{U} + (U_2^2 - U^2 - U_1^2) \frac{dU_1}{U_1} - 2U_2^2 \frac{dU_2}{U_2} \right] - \frac{dI}{I}$$
$$\frac{dX_0}{X_0} = -\frac{dI}{I} - \frac{U^2 \cos \varphi}{U_1U_2 \sin^2 \varphi} \frac{dU}{U} + \frac{U_1 + U_2 \cos \varphi}{U_2 \sin \varphi \tan \varphi} \frac{dU_1}{U_1} + \frac{U_1 + U_2 \cos \varphi}{U_1 \sin^2 \varphi} \frac{dU_2}{U_2}$$

（其中 $du = \alpha \times U$ $dI = \alpha \times I$ ， α 为仪表的精确度等级）

当一端口电路给定时， Z_2 ， U_2 ， dI/I ， dU/U ， dU_1/U_1 ， dU_2/U_2 为定值，此时电路中只有 R_1 为变量，为了探究 R_1 对 R_0 与 X_0 相对误差的影响，将上述误差的传递公式关于 R_1 求导，可以得到：

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

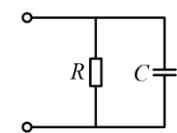
$$\frac{d}{dR_1} \left(\frac{dX_0}{X_0} \right) = \frac{I \cos \varphi}{U_1^2 U_2 \sin^2 \varphi} \left[(U_2^2 - U_1^2) \frac{dU}{U} + U_1^2 \frac{dU_1}{U_1} - U_2^2 \frac{dU_2}{U_2} \right]$$

从中可以看出，当 $U_1 = U_2$ 时，上式有最小值，也即 R_1 在 $|Z|$ 附近时， R_1 的改变对 Z 的相对误差影响较小。

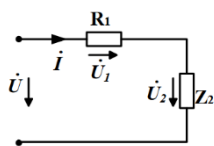
三、主要仪器设备（必填）

单向交流电（220V）、变压器 220V/36V/16V、交流电压表、交流电流表、47 μ F 的电容、实验板、100 Ω 电阻，十进制可调电阻箱。

四、操作方法和实验步骤



1. 按左图所示将电阻和电容并联接入电路，组成一端口网络，测量电阻 R 和电容 C ，并计算一端口电路的等效阻抗。



2. 按左图所示，调节 R_1 和电源电压，使得 $U_1 = U_2$ ，记录实验数据，计算一端口网络的等效阻抗。

3. 取 $R_1 = 6|Z|$ ，在 $U_1 \neq U_2$ 的情况下，再次测量等效阻抗。

4. 分析比较 1、2、3 的测量结果。

五、实验数据记录和处理

1. 一端口电路 R 与 C 的测量

| R/Ω | $C/\mu F$ |
|------------|-----------|
| 100.4 | 48.74 |

2. $U_1 = U_2$ 时的数据

| U/V | U_1/V | U_2/V | R/Ω |
|-------|---------|---------|------------|
| 15.05 | 8.42 | 8.41 | 56 |

3. $U_1 \neq U_2$ 时的数据

| U/V | U_1/V | U_2/V | R/Ω |
|-------|---------|---------|------------|
| 15.63 | 14.09 | 2.37 | 336 |

1. 理论等效阻抗.

$$Z_1 = \frac{R \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = 54.74 \angle -56.96^\circ$$

2. $U_1 = U_2$ 时计算测量出的等效阻抗.

$$\cos \theta = \frac{U_3^2 - U_1^2 - U_2^2}{2U_1U_2} = \frac{(13.05)^2 - 8.42^2 - 8.41^2}{2 \times 8.42 \times 8.41} = 0.599$$

$$I = \frac{U_1}{R_1} = \frac{8.42}{57} = 0.150 \text{ A}$$

$$Z_2 = \frac{U_3}{I} = 55.93 \angle -53.18^\circ$$

3. $U_1 \approx 6U_2$ 时计算出的等效阻抗.

$$\cos \theta = \frac{U_3^2 - U_1^2 - U_2^2}{2U_1U_2} = \frac{15.62^2 - 14.09^2 - 2.37^2}{2 \times 14.09 \times 2.37} = 0.601$$

$$I = \frac{U_1}{R_1} = 0.042 \text{ A}$$

$$Z_3 = \frac{U_3}{I} = 56.51 \angle -56.96^\circ - 53.04^\circ$$

六、实验结果与分析

1. 根据 $R = 100.4 \Omega$, $C = 48.74 \mu\text{F}$, 计算出一端口电路的等效阻抗 $Z = 54.74 \angle -56.96^\circ$
2. 根据 $U_1 = U_2$ 时的实验数据以及实验原理部分的公式, 可以计算出此时测量出的等效阻抗:
 $Z = 55.93 \angle -53.18^\circ$ 可得出 Z 的模的相对误差 $\Delta = |Z' - Z| / Z \times 100\% = 2.17\%$
 Z 的幅角的相对误差 $\Delta = |A' - A| / A \times 100\% = 6.64\%$
3. 根据 $U_1 \neq U_2$ 时的实验数据以及实验原理部分的公式, 可以计算出此时测量出的等效阻抗:
 $Z = 56.51 \angle -56.96^\circ - 53.04^\circ$ 可得出 Z 的模的相对误差 $\Delta = |Z' - Z| / Z \times 100\% = 3.23\%$
 Z 的幅角的相对误差 $\Delta = |A' - A| / A \times 100\% = 6.88\%$

4. 从上述实验数据可以看出， $U_1 = U_2$ 时阻抗模和幅角的相对误差均比 $U_1 \neq U_2$ 时小，验证了 $U_1 = U_2$ 时阻抗测量相对误差较小的结论。

七、讨论、心得

通过本次实验，我明白了电压三角形测量的基本方法，知道了电压三角形法的误差传递公式，了解了电阻 R 对于等效阻抗相对误差的影响，也明白了当 $U_1 = U_2$ 时阻抗的相对误差最小。在实验过程中，起初我用 220V/16V 的变压器得到的电压只有零点几伏，后来发现是保险丝烧坏，换用 220V/36V 的变压器后可得到 16V 的输出电压。

仿真：

