

# 浙江大学实验报告

专业： 电子信息工程

姓名： 邢毅诚

学号： 3190105197

日期： 2020-11-30

地点： 东三-206

课程名称： 电路与电子技术实验 指导老师： 姚纓英 成绩：

实验名称： 交流电路测量 实验类型： 验证实验 同组学生姓名： 无

## 一、 实验目的

- (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、 实验基本内容

### 1. 实验内容

- (1) 用电压三角形法测量图 1 所示一端口电路的等效阻抗；(R =100Ω/2W, 4 只电容并联 C =10μF/100V)

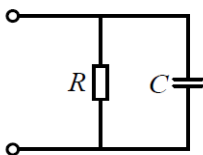


图 1: 待测电路

- (2) 直接测量图 1 所示电阻和电容值，计算其一端口等效阻抗
- (3) 分析比较 1、2 的测量结果
- (4) 使用其他方法进行测量

### 2. 实验原理

- (1) 用电压三角形法测量图 1s 所示一端口电路的等效阻抗

使用电压三角形法测量阻抗的电路图如下图所示，其中  $V$ ,  $V_1$ ,  $V_2$  为电压表，分别测量总电压，电阻电压，以及待测元件电压，根据理论计算，我们可以得出，待测元件的阻抗角  $\varphi$ ，具体公式为：

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

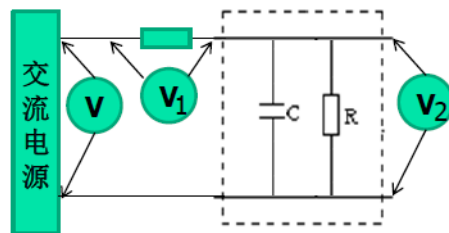


图 2: 电压三角形法测量电阻

再测得其阻抗之后，我们可以通过  $V_1$  电路所连接的电阻的阻值得通过待测元件的电阻，进而根据  $V_2$  的数值测得待测元件的电压，即：

$$Z_0 = \frac{U_2}{U_1} R_1$$

另外，再选取电阻时，为保证实验误差最小，我们对  $\cos\varphi$  以及  $Z_0$  进行求导，得：

$$dZ_0 = \frac{U_1 dU_2 - U_2 dU_1}{U_1} R_1$$

$$d\cos\varphi = \frac{2UU_1U_2dU - 2U_1^2U_2dU_1 - 2U_2^2U_1dU_2 - U^2U_2dU_1 + U_1^2U_2dU_1 + U_2^3dU_1 - U^2U_1dU_2 + U_2 + U_2^2U_1dU_2 + U_1^3dU_2}{2U_1U_2}$$

因此，我们可以计算出：当  $U_1 = U_2$  时， $d\cos\varphi = 0$ ， $dZ_0$  取最小值，因此我们在进行实验时，选取与待测原件阻抗大致相等的电阻以减小误差，并根据选取的电阻以及电路的相关参数，选取合适的输出电压以及输出电流。

最后，我们还可以再 multisim 中进行仿真模拟，以进行验证，连接电路图如下图所示：

(2) 直接测量图 1 所示的电阻和电容值，计算其一端口的等效阻抗

如图，待测元件由一电容与一电阻并联而成，假设电路频率为  $\omega$ ，电容为  $C$ ，电阻为  $R$ ，因此我们可以获得电阻和电容的容抗

$$Z_R = R$$

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C}$$

二者并联得：

$$Z = \frac{\frac{R}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}}$$

化简得：

$$Z = \frac{\frac{R}{\omega^2 C^2} - j \frac{R^2}{\omega C}}{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}$$

带入 C, R,  $\omega$  即可求解

(3) 分析比较 1、2 测量结果

(4) 是用其他方法进行测量

除去上述几种方法外，我们还可以如下方法进行测量：

- 伏安测量法

三表法测量电路元件阻抗的电路图如下图所示：

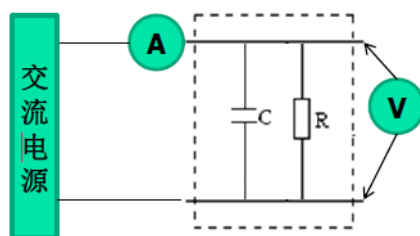


图 3: 电压三角形法测量电阻

首先，我们先测量在直流情况下的阻抗以测量电阻 R，再使用交流伏安法测量导纳的模，最后再根据数据计算出其虚部以及导纳角。

- 三表法

三表法测量电路元件阻抗的电路图如下图所示：

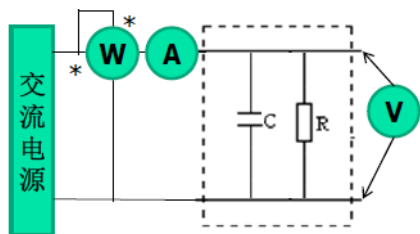


图 4: 电压三角形法测量电阻

按照电路图连接电路之后进行测量，读取功率表，电压表以及电流表的示数，并根据功率表以及电压表计算出电阻  $R(R = \frac{U^2}{P})$ ，再根据电压表和电流表计算出导纳的模  $Y(|Y| = \frac{I}{U})$

- 相量伏安法

相量伏安法测量电路元件阻抗的电路图如下图所示：

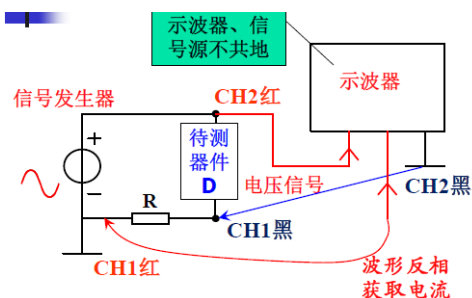


图 5: 伏安测量法测量电阻

按照电路图连接电路后，我们通过 CH2 获取电压  $U_D$ ，并通过 CH1 采样获得电流，并使用 YT 模式直接读取 CH2 与 CH1 的相位差，其中  $|Z| = \frac{RU_D}{U_R}$ ，阻抗角即为相位差。在使用此方法时，我们要求信号源的地与示波器的地可以分离，否则不能使用此方法，另外，示波器两个通道内部要求双踪共地。

- 谐振法

谐振法测量电路元件阻抗的电路图如下图所示：

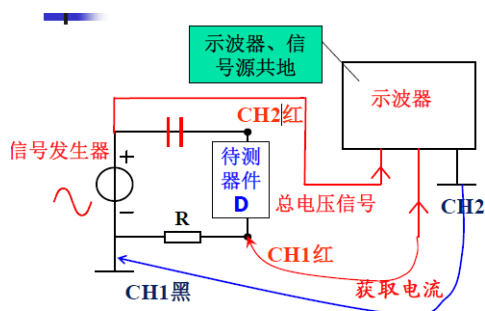


图 6: 电压三角形法测量电阻

按照要求连接电路，我们可以使用 CH2 获取总电压，并使用 CH1 获取采样电压，调节信号源输出频率直至谐振，并记录谐振时的频率，并根据谐振频率测量电容： $C = \frac{1}{\omega^2 L}$

但是要注意的是，此时的容抗并非为频率为 50Hz 时的阻抗，而仅仅是在发生谐振时的容抗，由于原来的电路元件是并联的，而我们知道，并联转化为串联的阻抗为：

$$Z = \frac{\frac{R}{\omega^2 C^2} - j \frac{R^2}{\omega C}}{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}$$

即串联之后的电容，不仅与原先的电容电阻相关，也与测量时的频率有关，因此，要想获得在 50Hz 时的电容，我们还需要另外进行计算。

- 直接测量法

我们可以使用 LCR 测量仪进行直接测量，将电阻与 LCR 测量仪相连之后，LCR 测量仪便可以直接显示。

### 三、 主要仪器设备

- (1) 待测阻抗  $Z$ ，由电阻  $100\Omega/2W$ ，电容  $C=40\text{ F}/100V$  并联得到
- (2) DG08 动态原件实验电路板
- (3) DG11 单相变压器电路板
- (4) MY61 数字万用表
- (5) MES1 电工综合实验台

### 四、 实验数据记录和处理

#### 1. 实验（1）

按照原理图连接电路，分别设置电阻为  $62\Omega$  以及  $320\Omega$ ，分别调节变压器输出值  $16V$  和  $32V$ ，并记录此时电压表  $V_1$   $V_2$ ,  $V_3$  的读数，如下图所示：

$R/\Omega$	$62\Omega$	$320\Omega$
$V/V$	15.30	33.72
$V_1/V$	8.52	29.81
$V_2/V$	8.22	5.54
$\varphi/^\circ$	-47.88	-48.77
$Z/\Omega$	59.82	59.47

表 1: 实验 1 数据记录

#### 2. 实验（2）

对公式进行理论计算：

$$Z = \frac{\frac{R}{\omega^2 C^2} - j \frac{R^2}{\omega C}}{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}} = 38.77 - 48.72j$$

即阻抗为：

$$Z = 62.28\Omega$$

阻抗角为：

$$\varphi = -51.49^\circ$$

#### 3. 实验（3）

在进行理论计算时，我们计算得待测元件的阻抗为： $62.28\Omega$ ，阻抗角为： $-51.49^\circ$ ，而在进行实际测量时，我们测得的两组数据分别为：阻抗为  $59.82\Omega$ ，阻抗角为： $-47.88^\circ$  以及阻抗为： $62.28\Omega$ ，阻抗角为： $-48.77^\circ$

经观察发现，无论是测得阻抗抑或是测得阻抗角，均与理论值有一定偏差，经分析，实验偏差如下：

- (1) 电路元件本身就存在误差，在使用数字万用表测量待测元件中的电阻以及电容的值，我们可以测得电阻大小为  $98.31\Omega$ ，而测得的电容值也略大于  $40\text{ F}$ 。

- (2) 电压表测量的数据有较大的误差。在使用数字万用表进行测量后，我们将数值与电压表进行比较，发现即使测量的是同一电压，电压表以及数字万用表的误差仍有 0.5V 左右，而测量电压在 5V 以下时，电压表甚至不会显示任何示数。

#### 4. 实验（4）

- 伏安测量法为防止待测元件损坏，我们选择在 multisim 中测量其等效阻抗，连接电路如下图所示：

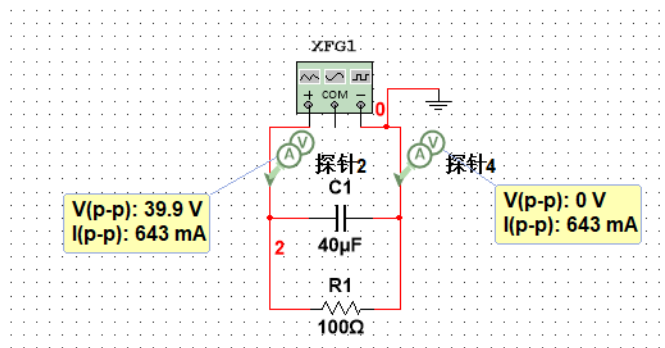


图 7: 伏安测量法测量电路

设定信号发生器输出电压为 10V，输出频率为 50HZ，进而测得相关数据：U = 9.98V, I = 0.161A  
再按照下图所示连接电路

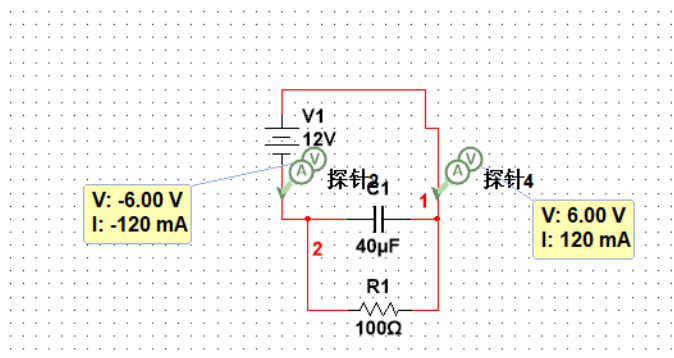


图 8: 伏安测量法测量电路

设定直流电源输出电压为 12V，进而测得相关数据为：U = 12V, I = 0.120A，故待测元件的电阻为 100Ω，待测元件的阻抗的模为：61.99Ω，因此我们可以解得待测元件的阻抗为：Z = 40.3 F，因此我们可以计算得：Z = 38.43-48.64j(Ω)

- 三表法按照原理图连接电路，测得相关数据如下所示：

P/W	2.77
U/V	15.11
I/A	0.252

表 2: 伏安测量法实验数据

按照原理图连接电路，测得实验数据如下表所示。根据实验数据，计算得  $Z=59.96\Omega$ ，电阻  $R=82.42\Omega$ ，进而解得容抗为： $Z_C=87.39\Omega$ ，进而计算得阻抗角为  $\varphi=-46.68^\circ$

- 相量伏安法

按照原理图连接电路，选取电流频率为 50Hz 进行测量，测得实验数据如下表所示。根据实验数据，计算得：

$R/\Omega$	$U_1/V$	$U_2/V$	$\Delta T/S$	$T/S$	$\varphi/^\circ$	$Z/\Omega$
10	0.726	4.494	6.875	20	-56.55	61.90
20	1.312	4.071	6.875	20	-56.55	62.06
47	2.38	3.151	6.875	20	-56.55	62.23

表 3: 相量伏安法实验数据

取三者平均值，得  $Z=34.21-51.78j$

- 谐振法

按照要求连接电路，选取 20mH 的电感已测量谐振频率。调节信号输出频率，直至谐振状态 (使用 XY 时基模式进行观察，当形成的李萨如图形恰好为一条直线时，即为谐振状态)，测得此时信号发生器的输出频率为 253Hz，计算得此时得容抗为  $0.198\Omega$ 。

- 直接测量法

使用 LCR 测量仪器进行直接测量，测量得待测元件相关数据为： $Z_R=36.78\Omega$ ,  $Z_C=47.56\Omega$

## 五、 实验报告要求

(1) 实验方案：外加电压为什么小于 20V( $U_1=U_2$ )

为了降低实验误差，经计算，我们选取与待测元件总阻抗大致相同的电阻 ( $62\Omega$ )。此方法可以使得实验误差最小。待测原件由电阻与电容并联而成，其中  $100\Omega$  的电阻额定功率为 2W，即加在电阻上的电压不能超过 14.14V，通过二者的电流不能大于 0.228A，即在电路中的总电压不能超过  $(R+Z) \cdot I$ ，为保险器件，我们设定外加电压不得大于 20V

(2) 直接测量，计算传递误差大小

(3) 电压三角形法测量，计算传递误差大小

- 选择  $R_1=|Z|$ ;
- 选择  $R_1=6|Z|=360\Omega$ (在本实验中选择  $320\Omega$  电阻)

电阻的传递误差公式如下所示：

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

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

其中，由于我们使用数字万用表进行测量，测量所得误差均在书中有所标识，同时，由于计算误差时，我们应该取最保守的情况，因此我们将每一项按照绝对值相加。

当  $R = 62\Omega$  时，计算得误差为： $\Delta R_0 = 0.108\Omega$ ,  $\Delta X_0 = -0.385 - 0.023 + 0.013 + 0.019 = -0.675\Omega$

因此，我们可以测量得总阻抗为：

$$Z = (40.12 - 44.37j) \pm (0.108 - 0.675j)\Omega$$

当  $R = 320\Omega$  时，计算得误差为： $\Delta R_0 = -1.18\Omega$ ,  $\Delta Z_0 = 1.67\Omega$

因此，我们可以测量得总阻抗为：

$$Z = (39.20 - 44.73j) \pm (1.18 + 1.67j)\Omega$$

#### (4) 三表法测量

详见实验数据记录与处理

#### (5) 示波器测量 (两种)

- 谐振法

详见实验数据记录与处理

- 直接测量法

详见实验数据记录与处理

## 六、 实验思考

### (1) 电压三角形法中， $R_1$ 电阻值应根据什么来选取

- 通过计算误差，计算得当  $R_1$  与待测元件阻抗大致相同时，误差最小，因此在选择电阻时，我们应该尽量选取与待测元件阻抗相同的电阻进行测量 ( $62\Omega$ )
- 在测量电路元件阻抗时，我们同样应该考虑电阻的使用条件，以及此电阻是否适用于此电路设置的相关参数
- 选取的电阻应该在一定程度上可以起到保护作用，防止待测元件因为通过的电流过大而损坏。
- 在选取电阻时，应该考虑多组数据，防止因只测量一组数据而造成的随机误差过大

### (2) $R_1$ 的调节，最终目标是达到什么要求？为什么？

- 调节  $R_1$  至特定阻值，使得测量待测原件时的误差最小。
- 调节  $R_R$  至电路的适用条件。
- 通过将  $R_1$  调节为不同的阻值，增大测量样本，消除随机误差，使得测量数据更为准确。

### (3) 实验中，电源电压的选取应该考虑那些因素？

- 电路中通过单一元件的最大电流抑或是电压
- 电路中输出的总电流以及总电压



- 信号发生器的负载，是否会超出量程
- 电路中其他信号源的相关特性 (如：最好不要让电压源输出的电流过小或是反向，否则可能会造成电压突变)
- 如何选取电源电压使得测量出的数据精度最高

(4) 注意用电安全，确定交流电源的电压可调范围

电路中的变压器可以将电压为 220V 的交流电转化为电压为 16V 或是 32V 的交流电，对于选取  $62\Omega$  的电阻进行测量时，电源电压不宜超过 20V，因此输出电压不应大于 275V，同时，若输出电流过小，则测量精度也会收到一定程度上的影响。

(5) 如果取  $R_1 = 6 * |Z|$ ，需要注意哪些问题？

- 电路的输出电压应该改至 32V，以增大测量精度
- 应确保测量仪器的精度足够，可以测量待测元件的相关数据

(6) 其他测量方法的测量原理，适用条件？

见实验原理

## 七、心得与体会

### 1. 实验心得

(1) 测量电路中某一元件的方法往往有很多种，就本次实验而言，便有谐振法，三角形电压法，相量伏安法，直接测量法等一系列方法。这些方法各有优劣，在实际应用中，我们要视情况进行选择最合适的测量方法进行测量。另外，在测量电路中，选取的电路元件以及输出电压也有一定的考究，比如：我们要考虑输出电流并不能超过电路元件的额定电流；选取电阻等电路元件时，也要考虑到如何选取电路元件才能使得测量时的误差最小；另外，我们也不能设置输出电压过小，这样对测量仪器的精度要求更大，所获得的误差更大。

(2) 在进行示波器的相关实验中，我发现，将信号发生器的输出电压设定为固定值后，调节连接在电路中电阻的阻值，我们发现电路的总电压在不断变化，也给测量过程造成了很多的麻烦。究其原因，我认为是信号发生器的输出电压不稳定，可能是由于输出电流过大或是过小，导致信号发生器不能稳定的输出电压。在出现这种情况时，我们要通过并联或者串联电阻以消除这种情况。

### (3) 有关谐振法的思考

在实验中，我们采取串联一个电感并调节电源输出频率以测定电路的谐振频率，进而测得串联的电容和电阻，但在使用这种方法进行测量时，我们发现其测量较为繁琐——首先，我们只能测量出位于谐振频率时，待测元件的电容，但随着频率的变化，电路元件的阻抗以及容抗都是会发生变化的，这也就导致了我们要测量特定频率下的阻抗以及感抗时，我们还要进行繁琐的化简计算，这也会带来较大的误差，因此，我认为谐振法并不适合于本题进行测量。

(4) 就像上一点所提到的，对于有些待测元件，我们并不知道其内部结构，也不知道其由哪些元件构成。而这也导致了只能测量特定频率下的电阻，电容以及电感，要想获得其他频率下的电阻，电容以及电感，我们还需要重新测量，而不能用之前测量得出的电容以及电感，电阻

进行简单的代换，因为我们不知道电路的内部结构，频率的变化也会造成电阻，电容以及电感的变化。

## 2. 实验心得

在本次实验中，我们进行了测量电路待测元件的相关特性的实验，在本次实验中，我掌握了测量待测元件的几个基础方法，同时，进一步加深了我对误差分析的了解。在实验过程中，我也出现了很多问题——首先就是我的示波器，接连换了四个示波器，都无法使用，好不容易找到一个可以使用的示波器，却发现信号发生器的输出却会随着电路中电阻的改变而改变，而在之后处理数据时，也发现这些数据并不能使用，最后还是使用 Multisim 进行仿真，才成功测得相关实验数据。通过这次实验，我学到了——在做完实验之后，一定要验证一下自己的数据是否符合预期。否则，一旦结束实验，或者离开教师，或者将电路图已经替换为其他的电路图，重新进行测量便会变得及其麻烦。