

浙江大学实验报告

专业：电气工程及其自动化

姓名：严旭铎

学号：3220101731

日期：2023 年 11 月 20 日

地点：东三 206 教室

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：交流无源一端口网络等效参数的测定 实验类型：电学实验

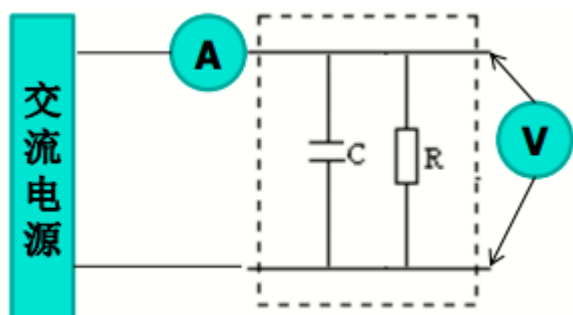
实验 2 交流无源一端口网络等效参数的测定

实验任务

- 伏安法测量 RC 并联电路阻抗
- 三表法测量 RC 并联电路阻抗
- 电压三角形法测量 RC 并联电路阻抗
- 示波器观测-向量伏安法测量 RC 并联电路阻抗
- 直接测量法

任务一：伏安法测量 RC 并联电路阻抗

1. 实验原理



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

如图，先用万用表测量电阻 R ，再用交流伏安法测量导纳的模，由 Y 的模和实部算出虚部或导纳角，可以得到该 RC 并联电路的导纳，可以算出阻抗。

在 $R=100\Omega/5W$ ， $C=47\mu F/100V$ ，交流电源为 220V，50Hz 的情况下，理论阻抗为

$$Z=56.07 \angle -55.89^\circ$$

经计算得，电路中允许通过最大电流为 $I_{\max}(R)=223mA$ ，交流电源最大有效值 $U_{R\max}=22.3V$ 。

2. 实验方案

- 按如图所示原理图连接电路，取 $R=100\Omega/5W$ ， $C=47\mu F/100V$ 。交流电源由电工实验台提供，从变压器 16V 侧引出。为了避免损坏器件，将电源设定为 15V。
- 用万用表电阻档位测量该电阻的实际测量值并记录
- 接通电路，用电工台交流电流表和交流电压表测量电流和电压值并记录
- 计算导纳的模，再由导纳的模和实部算出虚部和导纳角度，从而算出阻抗值。

3. 数据记录

表 1 伏安法测量 RC 并联阻抗

物理量/单位	U_R/V	I/A	R/Ω
--------	---------	-------	------------

设备	交流电压表	交流电流表	万用表 600Ω 档
测量值	15.08	0.28	98.4

4. 数据处理与分析

计算得虚部 $\omega C = 1.554 \times 10^{-2} \text{ s}$

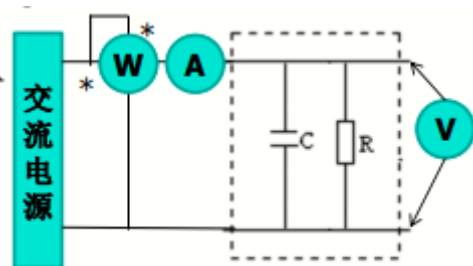
$Y = 1/98.4 + j1.554 \times 10^{-2} \text{ S}$

$Z = 1/Y = 53.85 \angle -56.82^\circ \Omega$

传递误差: $dR/R = 0.01$, $dX/X = -0$

任务二：三表法测量 RC 并联电路阻抗

1. 实验原理



如图，先由功率表和电压表读数计算电阻 R 的值，再用电压和电流表计算导纳 Y 的模，由 Y 的模和实部算出虚部或导纳角，从而可以算出阻抗。

在 $R=100\Omega/5W$, $C=47\mu\text{F}/100\text{V}$, 交流电源为 220V , 50Hz 的情况下, 理论阻抗为 $Z=56.07 \angle -55.89^\circ$ 。经计算得，电路中允许通过最大电流为 $I_{\max}(R)=223\text{mA}$ ，交流电源最大有效值 $U_{R\max}=22.3\text{V}$ 。

2. 实验方案

- 1) 按如图所示原理图连接电路，取 $R=100\Omega/5W$, $C=47\mu\text{F}/100\text{V}$ 。交流电源由电工实验台提供，从变压器 16V 侧引出。为了避免损坏器件，将电源设定为 15V 。
- 2) 用万用表电阻档位测量该电阻的实际测量值并记录
- 3) 接通电路，用电工台交流电流表和交流电压表测量电流和电压值并记录
- 4) 计算导纳的模，再由导纳的模和实部算出虚部和导纳角度，从而算出阻抗值。

3. 数据记录

表 2 三表法

物理量/单位	设备	测量值
U_R/V	交流电压表	15.08
I/A	功率表	0.279
U_R/V		15.14
视在功率/ VA		4.1
有功功率/ W		2.4
无功功率/ var		-3.2
功率因数		0.592
功率因数角 ϕ		306.3°

4. 数据分析与处理

$R = 15.08^2 / 2.4 = 94.75\Omega$

$|Y| = 0.279 / 15.08 = 0.0185\text{S}$

$$\omega C = 1.519 \times 10^{-2}$$

$$Z = 1/Y = 54.06 \angle -55.21^\circ$$

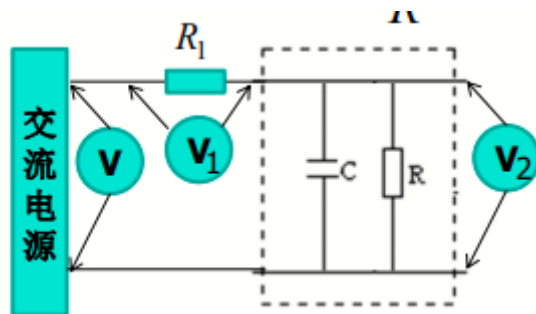
$$dR = 0.462, dX = 0.551,$$

$$\therefore \text{传递误差 } dR/R = 0.015, dX/X = 0.012$$

与理论值较为接近，实际计算并没有用 I ，计算上误差可能会小一点

任务三：电压三角形法测量 RC 并联电路阻抗

1. 实验原理



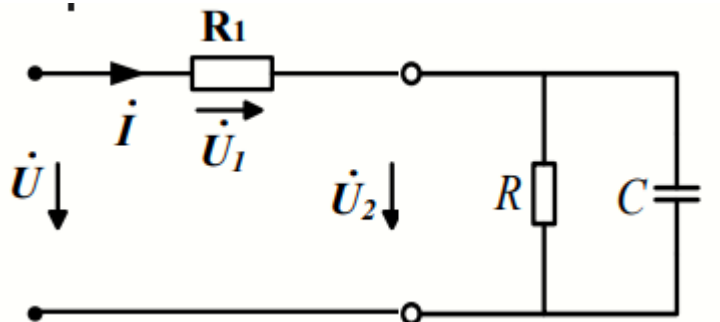
如图，由三个电压表读数结合相量法可以计算阻抗角的值，再用电压、功率因数角和电阻值计算出阻抗。

方案一（ $R_1 \approx 6R$ ）的原理：

方案二（ $U_1 = U_2$ ）的原理：根据书本证明， $U_1 = U_2$ 的时候阻抗测量的传递误差最小

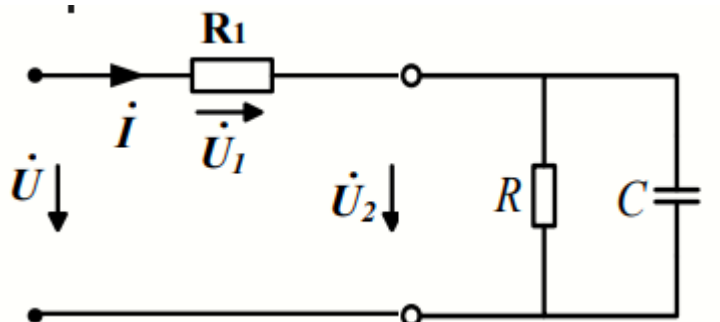
2. 实验方案

- 方案一：使 $R_1 \approx 6R$



- 1) 按如图所示原理图连接电路，取 $R = 100\Omega/5W$ ， $C = 47\mu F/100V$ ， $R_1 = 330\Omega/5W$ 。交流电源由电工实验台提供，从变压器 36V 侧引出，使电源设定不高于 36V。
- 2) 接通电路，用电工台交流电流表和交流电压表测量电流和电压值并记录，此时 $U_1 \neq U_2$
- 3) 算出阻抗值和功率因数角

- 方案二：使 $U_1 = U_2$



- 1) 按如图所示原理图连接电路，取 $R=100\Omega/5W$ ， $C=47\mu F/100V$ ， R_1 用电阻箱，调整至 56Ω 。交流电源由电工实验台提供，从变压器 16V 侧引出，使其不超过 16V。
- 2) 接通电路，微调节 U_2 ，使得 $U_1=U_2$ 。用电工台交流电流表和交流电压表测量电流和电压值并记录。
- 4) 算出阻抗值和功率因数角

3. 数据记录

表 3

$U_1 = U_2$				
物理量/单位	U_1	U_2	U	I/A
设备	交流电压表			交流电流表
测量值	8.41	8.43	15.1	0.152
$R_1 \approx 6R$				
物理量/单位	U_1	U_2	U	I/A
设备	交流电压表			
测量值	30.62	5.25	33.5	0.091

4. 数据处理与分析

方案一： $R_1 \approx 6R$

$$\cos\varphi = 0.618, \varphi = 51.82^\circ$$

$$Z = 57.69 \angle -51.82^\circ$$

$$R = 28.19\Omega, X = 50.34\Omega, dR = 4.03, dX = 2.76,$$

$$dR/R = 0.1429, dX/X = 0.0548$$

$$dz_0 = \frac{U_1 dU_2 - U_2 dU_1}{U_1^2} R_1 = 0.0960\Omega$$

$$dZ/Z = 0.00166$$

分析：误差稍大，最终得到的阻抗模值稍大

方案二： $U_1 = U_2$

$$\cos\varphi = 0.608, \varphi = 52.55^\circ$$

$$Z = 55.39 \angle -52.55^\circ$$

$$R = 33.68\Omega, X = 43.98\Omega, dR = 1.78, dX = 1.80, dR/R = 0.0529, dX/X = 0.0410$$

$$dz_0 = \frac{U_1 dU_2 - U_2 dU_1}{U_1^2} R_1 = 0.56\Omega$$

$$\therefore dZ/Z = 0.0104$$

分析：比较接近理论值。由于 $U_1 = U_2$ 并没有那么容易完全一致，这里出现一定误差比较正常。

任务四：示波器观测-向量伏安法测量 RC 并联电路阻抗

1. 实验原理

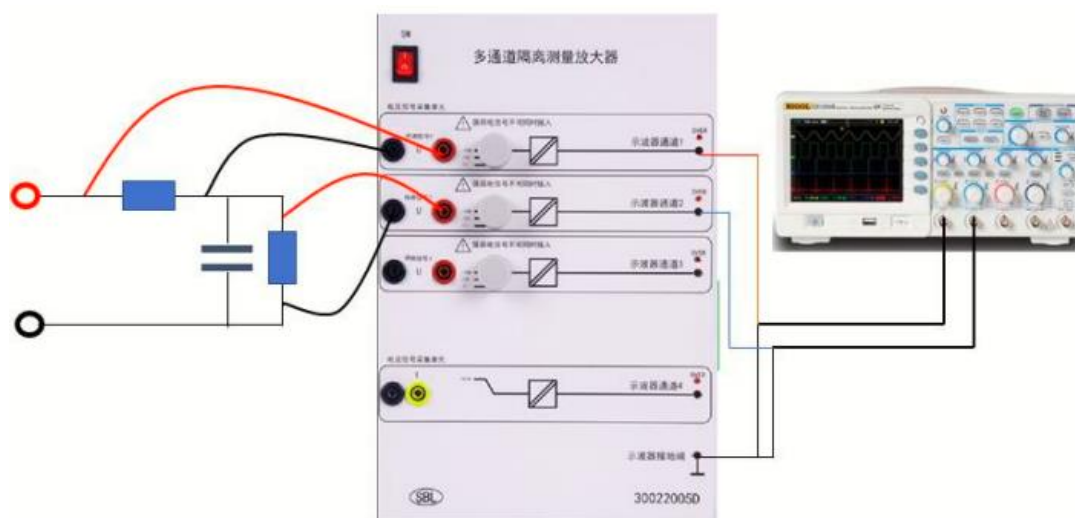
如图，由三个电压表读数结合相量法可以计算阻抗角的值，再用电压、功率因数角和电阻值计算出阻抗。

方案一（ $R_1 \approx 6R$ ）的原理：

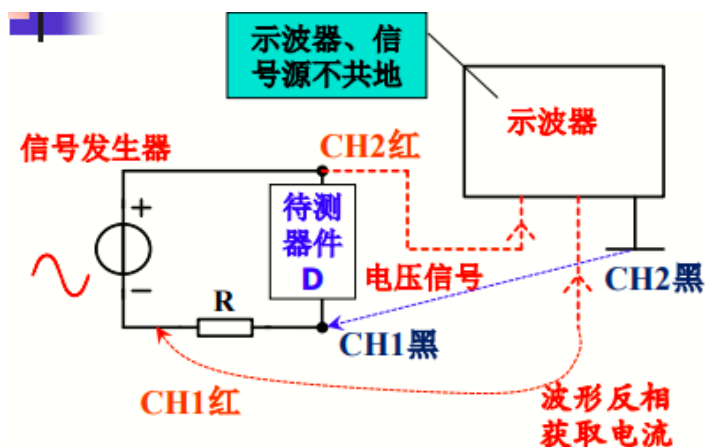
方案二（ $U_1=U_2$ ）的原理：根据书本证明， $U_1=U_2$ 的时候阻抗测量的传递误差最小

2. 实验方案

- 方案一：利用多通道隔离测量放大器和示波器进行测量



- 1) 按如图所示原理图连接电路，其中倍率为 10:1，CH1 测量 R_1 的电压，CH2 测量 R 的电压，同时可以计算出电流，可以计算阻抗模值
 - 2) 将 CH1 和 CH2 的信号一起显示在示波器上时，可以直接读出相位差，由此可以算出阻抗角
 - 3) 结合 1) 2) 数据可以计算得到阻抗
- 方案二：使用信号发生器+示波器联合测量



- 1) 按如图所示原理图连接电路，其中待测器件就是 RC 并联的回路。由信号发生器作为电源
- 2) CH1 测量干路电阻 R_1 两端电压，可以计算出干路电流；CH2 测量 D 也就是电阻 R 和电容 C

两端的电压。

- 3) 利用 Math 功能，可以显示 CH2-CH1 的波形。测量出 CH2-CH1 和 CH1 的相位差，就能计算出阻抗角。从而可以计算得到阻抗。

3. 数据记录

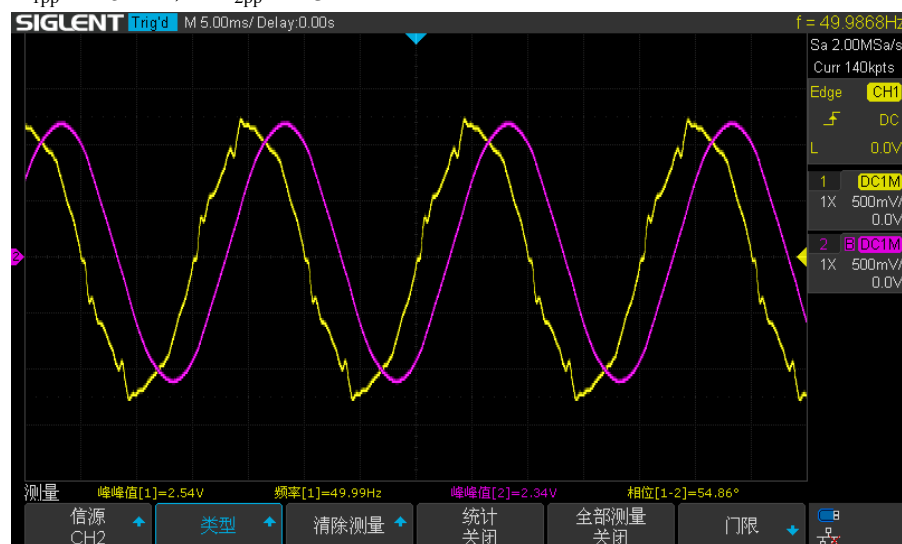
方案一：

从示波器面板上可以读得：

相位差 $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 54.86^\circ$ ，因此阻抗角 $\varphi = -54.86^\circ$

$f = 49.99\text{Hz}$

$U_{1pp} = 2.54\text{V}$ ， $U_{2pp} = 2.34\text{V}$

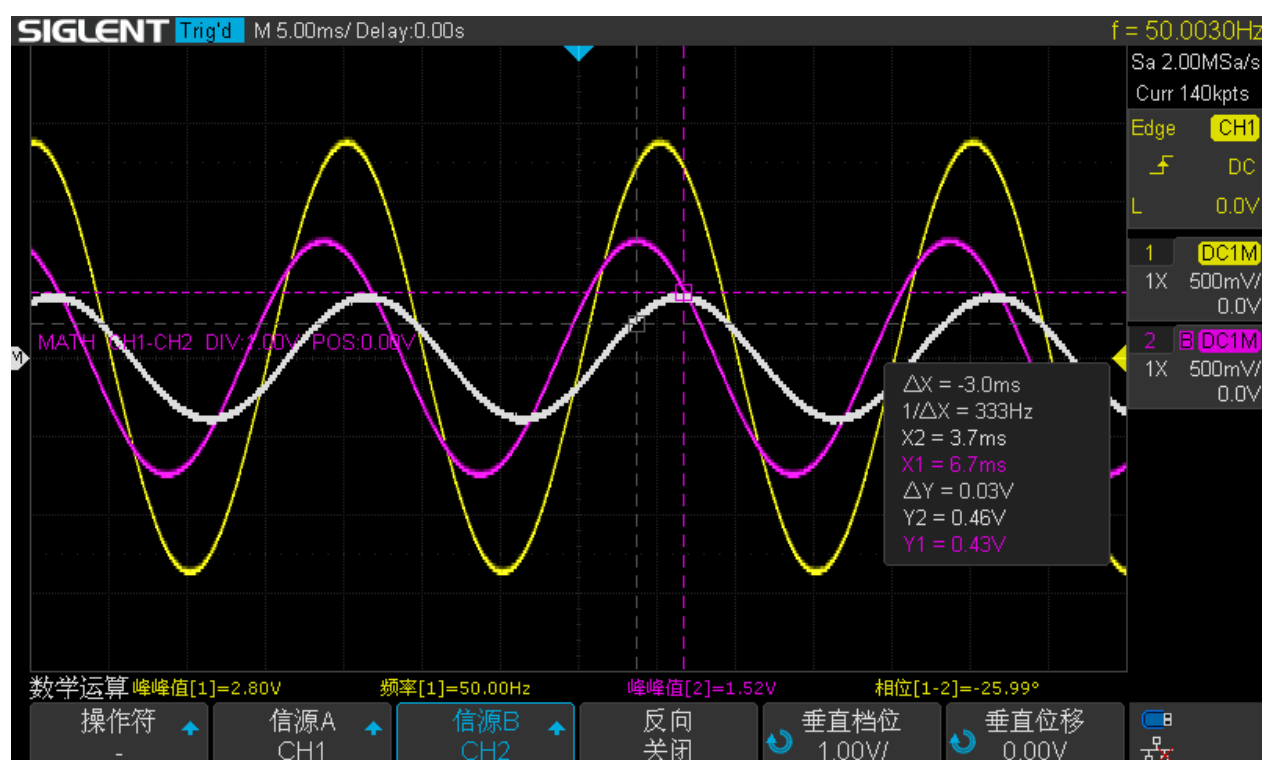


方案二：

从示波器面板上可以读出

$U_{1pp} = 2.80\text{V}$ ， $U_{2pp} = 1.52\text{V}$

$\Delta X = -3.0\text{ms}$ ， $f = 50.00\text{Hz}$



4. 数据处理与分析

方案一：

相位差 $\Delta \varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 54.86^\circ$ ，因此阻抗角 $\varphi = -54.86^\circ$

$|Z| = 56 \times 2.54 / 2.34 = 60.79 \Omega \quad \therefore Z = 60.79 \angle -54.86^\circ$

分析：模值偏大

方案二：

相位差 $\Delta \varphi = -3/20 \times 360^\circ = -54.00^\circ$ ，因此阻抗角 $\varphi = -54.00^\circ$

$|Z| = 56 \times 1.52 / (2.8 - 1.52) = 66.5 \Omega \quad \therefore Z = 66.5 \angle -54.00^\circ$

分析：模值偏大

任务五：直接测量 RC 并联电路阻抗

1. 实验原理

利用 LCR 测量仪可以直接测量出 RC 并联阻抗。

2. 实验方案

用 LCR 测量仪直接测出 RC 的并联阻抗并记录

3. 数据记录

$C_s = 42.0 \mu F$, $D = 0.125$, $\omega = 1 \text{ kHz}$

4. 数据处理与分析

$Q = 1/D = 8 = 1/R\omega C$

$Z = 1/Y = 1/(5.25 \times 10^{-3} + j4.2 \times 10^{-2}) = 23.62 \angle -82.87^\circ$

但这个数据明显不对，不是很清楚 LCR 测量仪的使用。

实验思考和拓展

1. 比较来看，这几种方法中，三表法且使 $U_1 = U_2$ 的方法测量误差最小，更接近理论值。
2. 电压三角形法中， R_1 电阻值应根据什么来选取？
根据 R 和 C 能允许的最大电压/电流来选取，不能使器件损坏。
3. R_1 的调节，最终目标是达到什么要求？为什么？
最终是为了使 $U_1 = U_2$ ，因为此时测量的相对误差最小
4. 实验中，电源电压的选取应考虑哪些因素？
不能过大，不能使电阻电容电表等烧坏。不能过小，太小的话，受仪表量程和精度影响，可能会使测量精度降低。

实验心得

本次实验中我非常印象深刻的一个点是，在用示波器进行测量，要读取 CH1 信号波形和 CH2 信号波形的相位差时，我率先找到了示波器上实现这一功能的方法并给全班同学分享：在 Measure 菜单中，选择“类型”，sourceA 选 CH1，sourceB 选 CH2，此时下方原本不可选中的图表可以选中。选中相位差，就可以直接在下方显示 CH1 相位-CH2 相位。我在上一次实验中其实不太能够跟上大家的节奏，在连接

电路时也出现了很多问题，这让我的信心和积极性其实受到了一些打击，但这个发现让我很受鼓舞。

老师和大家也分享了一个针对本次实验的误差计算器程序，有很多同学在安装和使用的过程中遇到了一些问题。有同学来向我求助，我就花了一个下午专门研究这个，一开始也总是报错，但是通过自己查找网络资料和自己的经验，最后我顺利地在自己电脑上运行了这个计算器，也将经验以图文的形式给大家分享，帮助很多同学解决了这一困难，而我自己的能力感觉也得到了提高。这个时候我突然回想起爱班选拔面试的时候，面试官问我，我的“创新”体现在哪里。当时的我回答，我喜欢优化方法，优化程序，但说的很笼统，也没有底气。但是这次实验课上以及课后发生的一些事情，让我感到“创新”的似乎已经在我身边有了一点影子。这些软件的安装和使用，环境的配置，我感兴趣，有一定基础和经验，也愿意放下手头的事情来把这个问题解决，何乐而不为呢。

回到实验本身，我明白了在实际测量中，通过合理的理论分析，选择恰当的测量方法可以提高测量精度，但这种方法可能会比较复杂。当对精度要求没有那么多高时，也可以选择更简便的方法（如这次的三表法，误差稍大，但比三角形法简单多了）。