

浙江大学实验报告

专业：机器人工程

姓名：

学号：

日期：

地点：紫金港东 3-202

课程名称：电路与模拟电子技术实验 指导老师：周晶 成绩：_____
实验名称：交流无源一端口等效及示波器观测 实验类型：电路实验 同组学生姓名：_____

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、了解交流电路中 R、L、C 元件频率与阻抗关系；
- 5、了解交流电路中 R、L、C 元件端电压电流相位关系；
- 6、掌握利用示波器测量交流参数的方法。

二、实验内容和原理

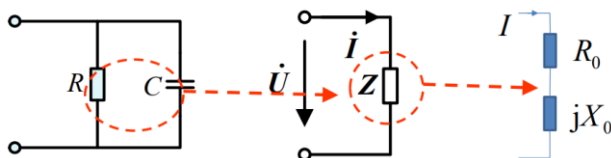
• 实验原理

1、电压三角形法原理：

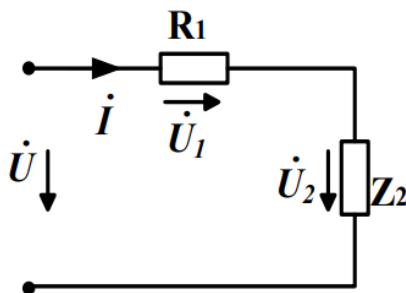
任意无源交流一端口网络，其等效参数都可以用一个等效阻抗（入端阻抗）来表示，当端口电压和端口电流的参考方向一致时，其复数阻抗可以写作：

$$Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = R_0 + jX_0 \quad X_0 < 0$$

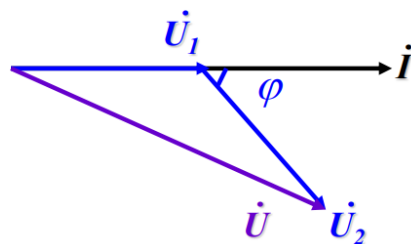
即：



电压三角形法测量线路如下图所示，外加一电阻 R1，Z2 为等效阻抗，用电压表分别测量电压 U，U1，U2 的值，画出电压相量图：



测量线路



相量图

根据向量关系有：

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

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

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

由此得到误差传递公式：

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

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

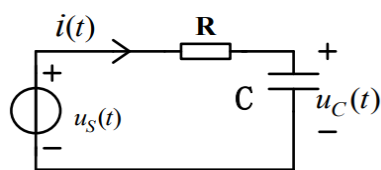
当 Z_2 , U_2 , $\frac{dI}{I}$, $\frac{dU}{U}$, $\frac{dU_1}{U_1}$, $\frac{dU_2}{U_2}$ 不变时, 为了判定选取的 R_1 值对 所测 Z 的影响, 亦即对 R_0 和 X_0 的相对误差有什么影响, 我们继续将

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

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

由上式可看到, 当 $U_1=U_2$ 时, 上式有最小值, 也即 $R_1 = |Z|$ 时, R_1 值的改变对测量 Z 的相对误差最小。

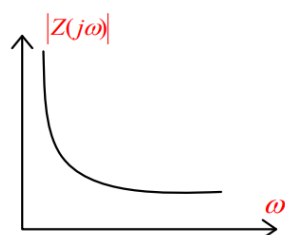
2、描绘交流 R、C 元件电路端电压电流一幅值关系一幅频、相频特性曲线



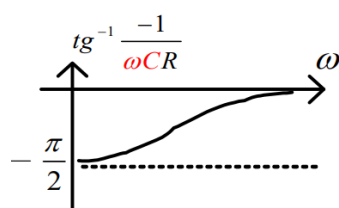
实验电路图

由此推出曲线的函数表达式：

$$Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = R + \frac{1}{j\omega C} \longrightarrow |Z| = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

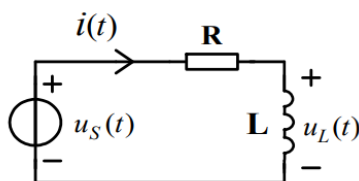


理论幅频特性曲线



理论相频特性曲线

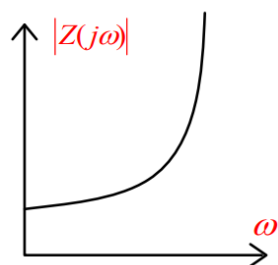
3、描绘交流 R、L 元件电路端电压电流一幅值关系一幅频、相频特性曲线



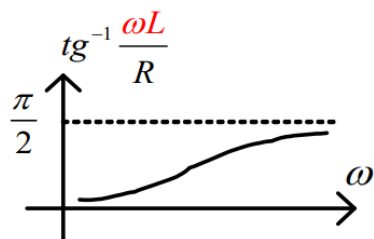
实验电路图

由此推出幅频特性曲线的表达式：

$$Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = R + j\omega L \longrightarrow |Z| = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$



理论幅频特性曲线



理论相频特性曲线

• 实验内容

1. 测量无源一端口网络的等效阻抗 Z 。
2. 交流 R 、 C 串联电路频率与阻抗关系示波器测量。
3. 交流 R 、 L 串联电路频率与阻抗关系示波器测量。

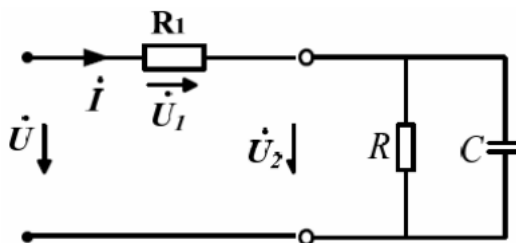
三、主要仪器设备

- 1、信号发生器
- 2、元件箱实验板
- 3、示波器
- 4、交流毫伏表
- 5、电阻箱

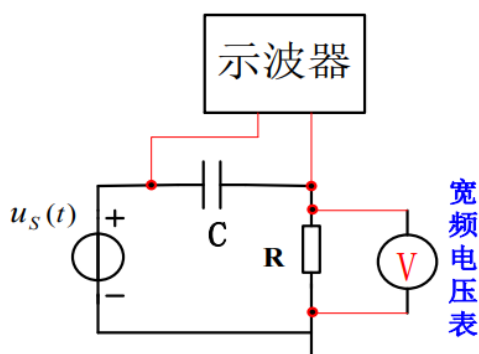
四、操作方法和实验步骤

1. 测量无源一端口网络的等效阻抗 Z 。

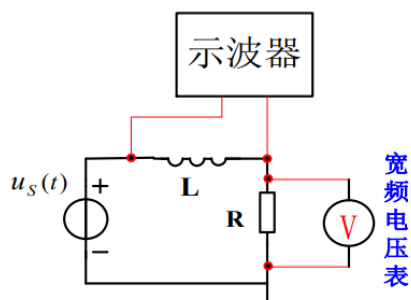
(1) 测量如图所示电路中的 R 、 C 值, 计算该一端口网络的等效阻抗 Z 。($R=100\ \Omega/2W$, 电容 $C=47\mu F/50V$)



- (2) 采用电压三角形法测量时, 画出实验接线图, 确定电源电压调节范围。
 - (3) 选定 R_1 的型号和数值。
 - (4) 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 (RC 并联) 网络的等效阻抗。
 - (5) 取 $R_1=6|Z|$, 在 的情况下, 再次测量等效阻抗。
 - (6) 分析比较 1、4、5 的测量结果。
2. 交流 R 、 C 串联电路频率与阻抗关系示波器测量:
操作: 调节输出信号源频率, 观测示波器波形数据, 记录电压源、 电阻电压的幅值, 两波形时间差。



3. 交流 R 、 L 串联电路频率与阻抗关系示波器测量：
调节输出信号源频率，观测示波器波形数据，记录电压源、电阻电压的幅值，两波形时间差。



五、实验数据记录和处理

1. 测量无源一端口网络的等效阻抗 Z 。

- 1.1 测量 R 、 C 的值，计算等效阻抗 Z ：

使用万用表测量得到： $R = 99.9\ \Omega$ 、 $C = 48.38\ \mu\text{F}$

计算得到并联等效阻抗 $Z = 54.9\angle -56.63$

- 1.2 调节 R_1 的阻值，使 $U_1 = U_2$ ：

此时， $R_1 = 54\ \Omega$ ， $U_1 = U_2 = 22.1\text{V}$

- 1.3 调节 R_1 的阻值，使 $U_1 = 6U_2$

此时， $R_1 = 332\ \Omega$ ， $U_1 = 6U_2 = 35.3\text{V}$

2. 交流 R 、 C 串联电路频率与阻抗关系示波器测量：

选取 $R = 1\text{k}\ \Omega$ ， $C = 0.1\ \mu\text{F}$ ，在信号源 $U_s = 3\text{V}$ ， $f = 500\sim 10\text{kHz}$ 的条件下观察示波器，得到下表

频率	$f\ (\text{Hz})$	500	1k	3k	5k	7k	10k
输入电压	$u_s(t)(\text{v})$	2.94	2.90	2.84	2.82	2.82	2.82
电阻电压	$u_R(t)(\text{v})$	0.329	0.560	0.709	0.480	0.235	0.036
时间差	$t\ (\mu\text{s})$	390.0	160.0	23.6	9.0	4.5	3.16
幅值	$ Z /\ \Omega$	3336	1878	1128	1044	1027	1013
相位差	$\phi / ^\circ$	-70.20	-57.60	-25.49	-16.20	-11.34	-11.38

3. 交流 R 、 L 串联电路频率与阻抗关系示波器测量：

选取 $R = 510\ \Omega$ ， $L = 40\text{mH}$ ，在信号源 $U_s = 3\text{V}$ ， $f = 500\sim 10\text{kHz}$ 的条件下观察示波器，得到下表

频率	$f\ (\text{Hz})$	500	1k	3k	5k	7k	10k
输入电压	$u_s(t)(\text{v})$	0.68	1.20	2.16	2.88	2.92	2.96
电阻电压	$u_R(t)(\text{v})$	0.825	0.760	0.412	0.182	0.067	0.014
时间差	$t\ (\mu\text{s})$	90.0	72.4	50.0	36.8	28.8	21.6
幅值	$ Z /\ \Omega$	525	569	910	1356	1832	2564
相位差	$\phi / ^\circ$	16.20	26.06	50.00	66.24	72.58	77.76

六、实验结果与分析

1. 测量无源一端口网络的等效阻抗 Z。

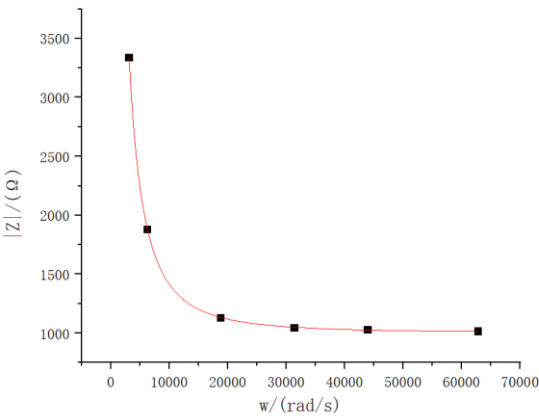
1.1 测量、计算结果

测量 R、C，直接计算 Z	利用相量图，解三角形求 Z	$R=6 Z $,解三角形求出 Z
$54.9\angle-56.63$	$54.2\angle-51.56$	$56.3\angle-42.40$

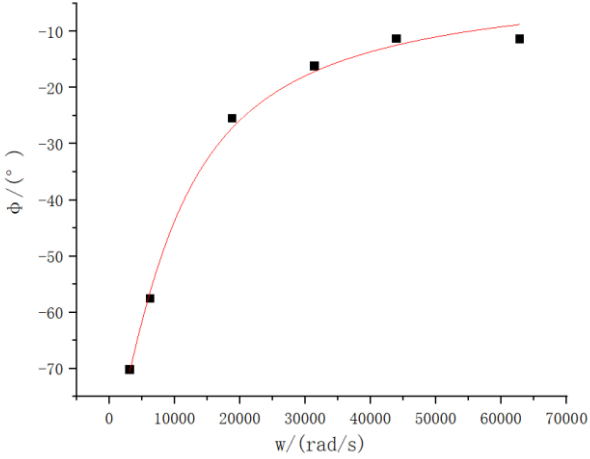
1.2 结果分析：由万用表直接测量电阻和电容并合成应该是最直接、最准确的办法。若使用 $R=|Z|$ 时的电路解三角形的话，所得到的阻抗的模非常接近真实值，相对误差只有 1.2%，阻抗角的误差较大，为 9.0% 若使用 $R=6|Z|$ 的电路进行计算的话，误差将会非常大。模的相对误差为 2.6%，尚在接受范围内。但是阻抗角的误差高达 25%！这表明，使用 $R=6|Z|$ 的电路进行计算的误差非常大，这印证了我们之前推导的——当取 $R=|Z|$ 时误差最小的结论。

2 交流 R、C 串联电路频率与阻抗关系示波器测量：

2.1 R、C 串联电路的幅频、相频曲线：

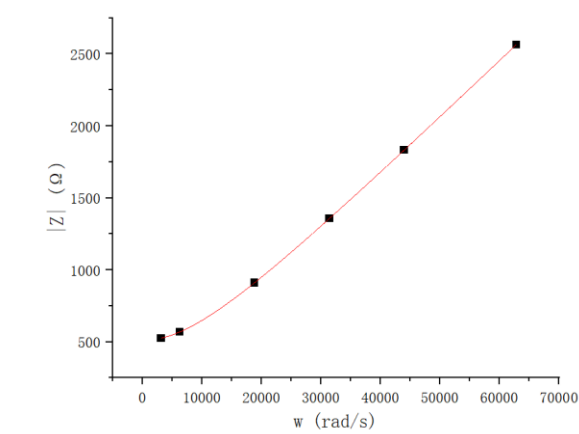


使用 $|Z| = \sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega C})^2}$ 进行拟合

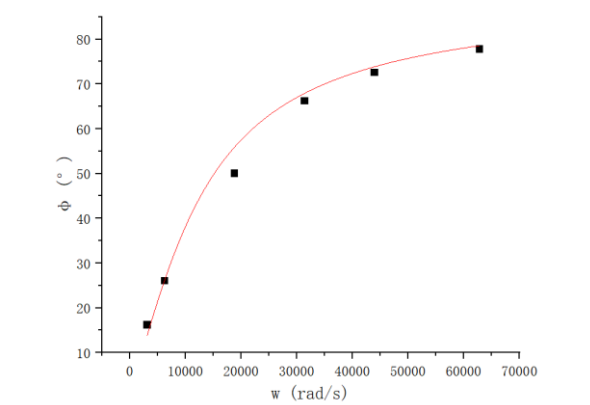


使用 $\phi = \tan^{-1} \frac{-1}{\omega CR}$ 进行拟合（单位转换为°）

2.2 R、L 串联电路的幅频曲线、相频曲线



使用公式 $|Z| = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ 进行拟合



使用公式 $\phi = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}$ 进行拟合（单位转换为°）

七、讨论、心得

心得：

这应该是写得最痛苦的一次实验报告了吧。。。很多计算的部分周老师没有细讲，课下看课件看书了很久才发现到底要怎么做。很多东西实验做起来很快，课下要琢磨，画相量图，解三角形。比较离谱的例子就是， R 、 C 串联和 R 、 L 串联那里要解 12 次三角形，涉及到向量、辐角的计算。实在是太复杂了。。。于是就按照公式进行计算，因为实际上还有 C 、 L 阻抗的实部影响结果，所以也不会和理论曲线完全重合，感觉通过测量 U_R 再进一步计算阻抗这样的设计不是很合理……。另一个难点就是函数图像的拟合，在 origin 上摸索了很久，弄出来很多意想不到的 bug，花了很长时间才画出来这么四幅图，体验非常折磨。

但总归还是有收获的，复习、实践、验证了在模电课堂上学习的理论知识、使用 origin 画图的能力也得到了提升。但是下次真的，可以的话，不想花七个小时来写一篇报告了。

思考题：

通过幅-频曲线可以确定电感线圈的阻值。具体方法如下：在同一频率下， $\Delta(|Z|^2)$ 就是 $(R+R_L)^2 - R^2$ ，由此便可以通过纵坐标的差值计算出电感线圈的阻值。