

# 浙江大学实验报告

专业：材料科学与工程  
姓名：  
学号：  
日期：2024.10.22  
地点：东 3-201

课程名称：电路与电子技术实验 I 指导老师：王旂 实验类型：基础规范性实验  
实验名称：RLC 串联谐振 成绩： 签名：无

## 一、实验目的

1. 掌握谐振频率及品质因数的测量方法；
2. 掌握频率特性曲线的测量与作图技巧；
3. 了解谐振电路的选频特性、通频带及其应用；
4. 研究电感器以及信号源的非理想状态对谐振特性测量的影响。

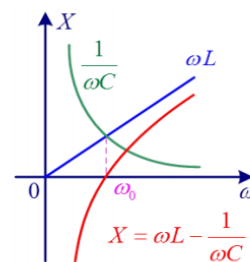
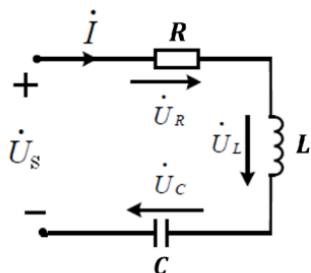
## 二、实验原理

### 1. 交流电路特性

由理想电阻、电感和电容串联组成的无源一端口网络，其等效复阻抗可写为： $Z = R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})$

当外加正弦激励  $U_s$  的大小不变而频率改变时，电路的阻抗或电流将随之改变。

当  $\omega < \omega_0$  时，电路呈容性； $\omega > \omega_0$  时，电路呈感性； $\omega = \omega_0$  时，电路呈阻性，发生串联谐振。



### 2. 谐振中的相关参数

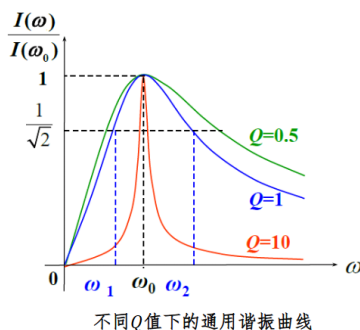
谐振频率： $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

特征阻抗： $\rho = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$

品质因数： $Q = \frac{\rho}{R} = \frac{\omega_0}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$

当信号频率和电路的谐振频率一致时，称电路发生谐振或处于谐振状态。

电路的幅频特性曲线在 $\omega_0$ 处出现峰值；当 $\omega < \omega_0$ 或 $\omega > \omega_0$ 时，曲线急剧下降。称 $\omega_0$ 为中心频率， $\omega_2$ 、 $\omega_1$ 为上、下限截止频率，电路的通频带宽为 $BW = \omega_2 - \omega_1 = \omega_0/Q$



带通电路只允许通频带内的信号通过。 $Q$ 越大， $BW$ 越窄，谐振曲线越尖锐，电路的选择性越好。这种特性在无线电接收机中得到广泛的应用。

同时，谐振时的电容电压和电感电压都是电源电压的  $Q$  倍，在电力系统中，往往导致电感器的绝缘层和电容器的电介质被击穿，造成损失。

RLC 串联谐振电路的核心问题是研究谐振频率、选择性（或通频带）以及电路的电流与输入信号频率变化之间的规律现象。

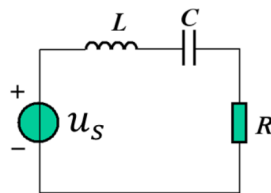
### 三、 主要仪器设备

1. 数字万用表
2. 电工综合实验台
3. DG08 动态元件实验组件
4. 示波器

### 四、 操作方法与实验步骤

#### 1. 搭建电路

由电阻器、电感器和电容器组成 RLC 串联电路，其中  $L=40\text{mH}$ ， $C=0.1\mu\text{F}$ ， $R=100\Omega$ ，输入端接函数信号发生器，使其输出正弦信号。使用元件标称值估算谐振频率和谐振电流的值，确定信号源输出幅值和  $U_R$ 、 $U_L$ 、 $U_C$  的极值范围。



## 2. 实验步骤

(1) 连接电路和示波器, 示波器分别测输出电压和电阻  $R$  上的电压, 改变函数信号发生器的频率, 观察示波器的波形, 当示波器输出的两个波形相位大致相同, 即电压和电流的相位相同时, 此时 LC 发生串联谐振。此时的频率值即为谐振频率, 记为  $f_0$ 。

(2) 保持端口电压幅值不变, 以  $f_0$  为中心, 分别向左、右扩展, 依次改变信号源输出频率 (1kHz-4kHz), 分别测量  $U_R$ 、 $U_L$ 、 $U_C$ 。同时要测量  $U_s$ , 保证函数信号发生器输出的电压值不变, 若电压值改变, 需要输出调整电压的幅值。

(3) 改变  $R=1k\Omega$ , 再次完成上述测量。

(4) 根据得到的数据, 在同一坐标系下  $U_R$ 、 $U_L$ 、 $U_C$  幅频特性曲线和通用谐振曲线, 标注截止频率, 计算通频带宽和品质因数。

(5) (选做) 设计实验方案, 测量并推算实际电感器的等效参数和信号源内阻, 研究电感器和信号源的非理想性对谐振频率、选频能力的影响。

## 五、实验数据记录与处理

### 1. 实验原始数据

调节输出的电压频率, 观察到当  $f = 2.38kHz$  时, 示波器中  $U_R$  和  $U_s$  的相位大致相同, 即谐振频率  $f_0 = 2.38kHz$ ,  $R = 100\Omega$  时, 改变函数信号发生器输出电压的频率, 在保持  $U_s = 0.98V$  不变的情况下测得不同的电压数据如下表。

<b>f/kHz</b>	<b>1.28</b>	<b>1.48</b>	<b>1.68</b>	<b>1.88</b>	<b>2.08</b>	<b>2.18</b>	<b>2.28</b>	<b>2.38</b>	<b>2.48</b>	<b>2.58</b>
$U_R/V$	0.13	0.16	0.21	0.30	0.40	0.45	0.50	0.51	0.50	0.44
$U_L/V$	0.40	0.60	0.91	1.39	2.13	2.60	3.02	3.27	3.27	3.08
$U_C/V$	1.33	1.50	1.78	2.20	2.75	3.06	3.24	3.22	2.97	2.59
<b>f/kHz</b>	<b>2.68</b>	<b>2.78</b>	<b>2.88</b>	<b>2.98</b>	<b>3.08</b>	<b>3.28</b>	<b>3.48</b>	<b>3.68</b>	<b>3.88</b>	<b>4.08</b>
$U_R/V$	0.41	0.38	0.33	0.29	0.29	0.24	0.22	0.17	0.16	0.13
$U_L/V$	2.91	2.65	2.46	2.27	2.12	1.89	1.74	1.56	1.50	1.43
$U_C/V$	2.28	1.93	1.68	1.44	1.26	1.00	0.83	0.66	0.59	0.50

改变  $R = 1000\Omega$ , 在保持  $U_s = 1.158V$  不变的情况下测得不同的电压数据如下表。

<b>f/kHz</b>	<b>1.08</b>	<b>1.28</b>	<b>1.48</b>	<b>1.68</b>	<b>1.88</b>	<b>1.98</b>	<b>2.08</b>	<b>2.18</b>	<b>2.28</b>	<b>2.38</b>
$U_R/V$	0.739	0.858	0.918	0.980	1.002	1.039	1.049	1.057	1.060	1.081
$U_L/V$	0.221	0.295	0.372	0.449	0.521	0.559	0.590	0.623	0.655	0.700
$U_C/V$	1.048	1.003	0.895	0.834	0.834	0.806	0.773	0.743	0.716	0.700
<b>f/kHz</b>	<b>2.48</b>	<b>2.58</b>	<b>2.68</b>	<b>2.78</b>	<b>2.98</b>	<b>3.18</b>	<b>3.38</b>	<b>3.58</b>	<b>3.78</b>	<b>3.98</b>
$U_R/V$	1.083	1.071	1.054	1.047	1.027	1.007	0.981	0.955	0.926	0.901
$U_L/V$	0.721	0.739	0.760	0.785	0.823	0.862	0.981	0.955	0.926	0.901
$U_C/V$	0.672	0.633	0.603	0.580	0.529	0.489	0.449	0.409	0.380	0.347

## 2. 绘制幅频特性曲线

用计算机作图软件绘制幅频特性曲线如下图,

$R = 100\Omega$  时

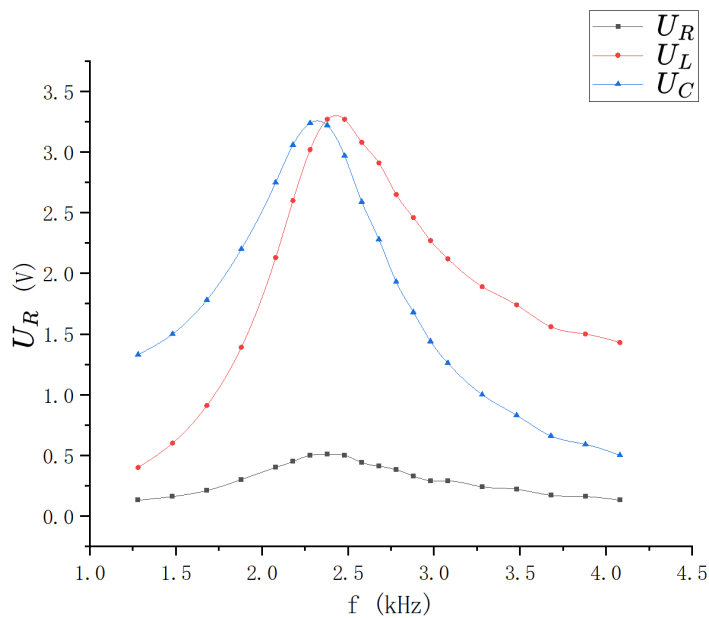


Figure 1: 幅频特性曲线 1

$R = 1000\Omega$  时

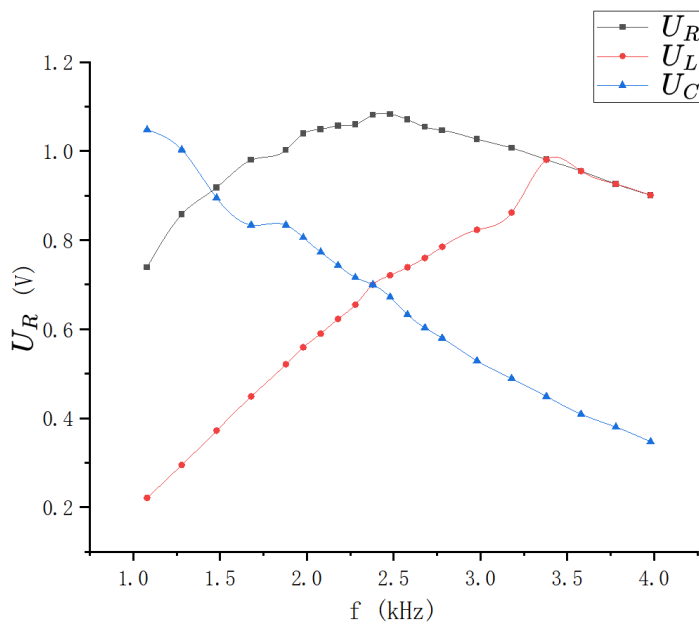


Figure 2: 幅频特性曲线 2

### 3. 绘制通用谐振曲线

用计算机作图软件绘制频幅特性曲线如下图,

$R = 100\Omega$  时

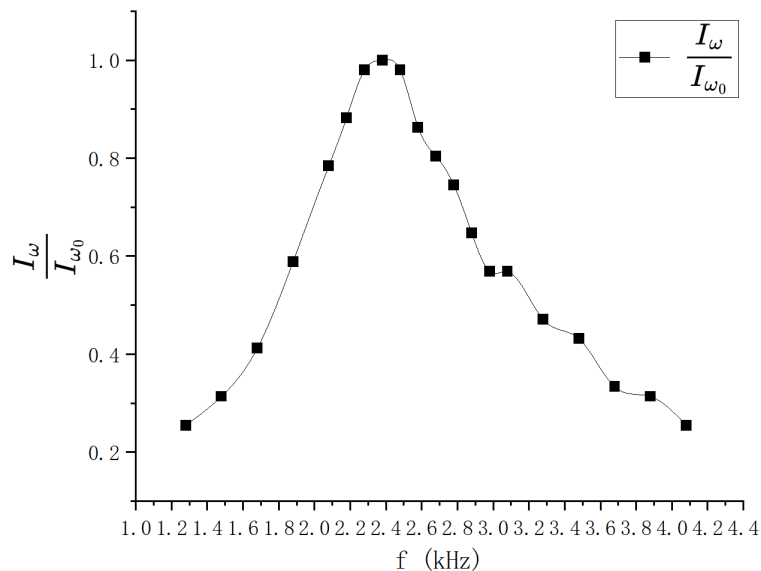


Figure 3: 通用谐振曲线 1

作水平线  $y = 0.707 = \frac{1}{\sqrt{2}}$ , 得到两交点坐标。得截止频率  $\omega_1 = 12600\text{rad/s}$ ,  $\omega_2 = 17700\text{rad/s}$ , 通频带宽  $BW = \omega_1 - \omega_2 = 5100\text{rad/s}$ , 计算得品质因数  $Q=2.90$

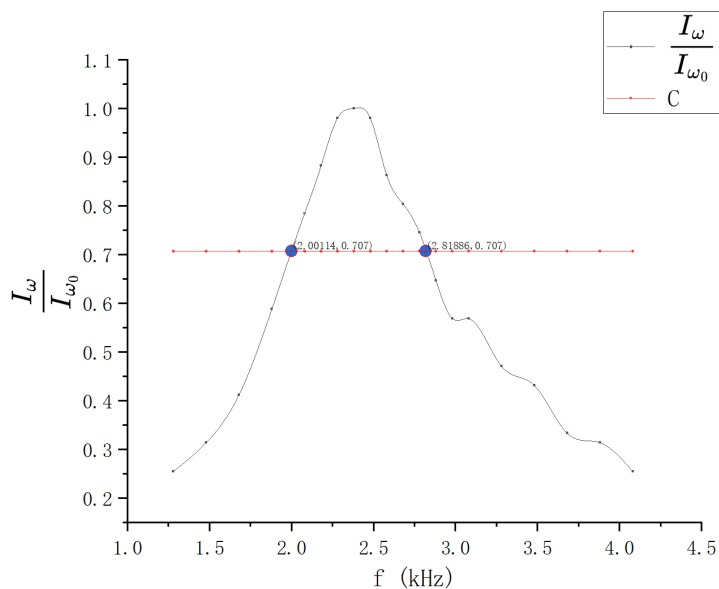


Figure 4: 通用谐振曲线 1-加水平线

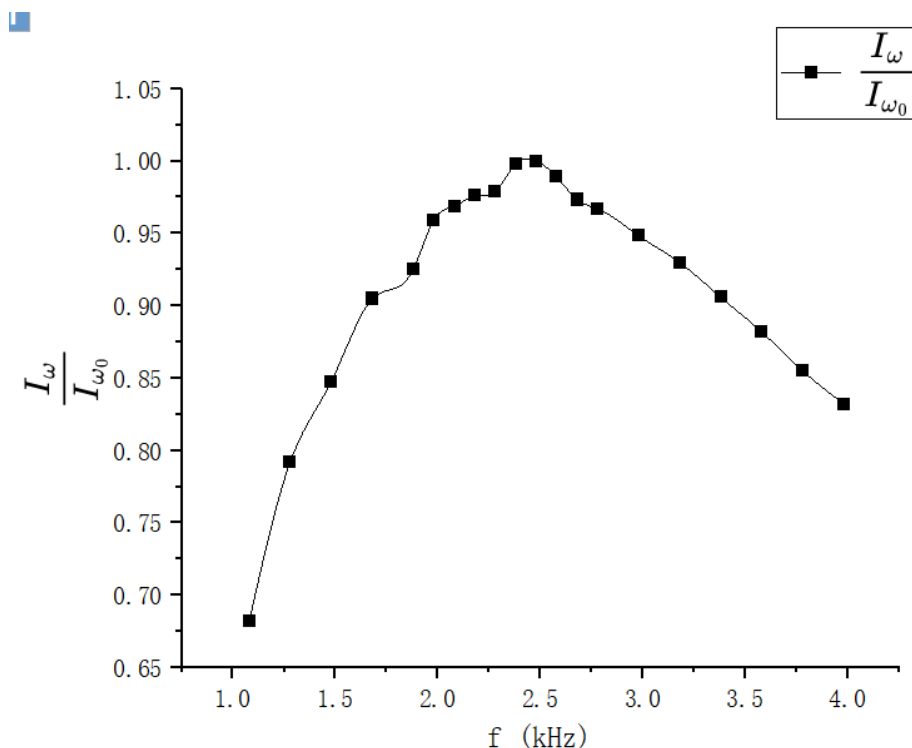
$R = 1000\Omega$  时

Figure 5: 通用谐振曲线 2

由于所作图象右半边未与水平线  $y = 0.707 = \frac{1}{\sqrt{2}}$  相交, 通过求解多项式方程获得截止频率  $\omega_1 = 7040\text{rad/s}$ ,  $\omega_2 = 35700\text{rad/s}$ , 通频带宽  $BW = \omega_1 - \omega_2 = 28700\text{rad/s}$ , 计算得品质因数  $Q=0.52$

## 六、实验结果与分析

1、实验中,  $R = 100\Omega$  时, 品质因数  $Q_0$  理论值为 6.32, 此时的相对误差  $E_1 = \frac{|Q-Q_0|}{Q_0} = 54.1\%$ 。  $R = 1000\Omega$  时, 品质因数  $Q_0$  理论值为 0.632, 此时的相对误差  $E_2 = \frac{|Q-Q_0|}{Q_0} = 17.7\%$ 。误差都很大, 这是因为实验中所使用的电感的电阻值不可忽略, 下面对这一事实进行分析。

2、实验过程中, 我用万用表分别测了四个电感的电阻, 分别为 19.2 欧姆, 19.4 欧姆, 19.7 欧姆, 19.1 欧姆。  $R = 100\Omega$  时, 可估算实际  $Q_0$  的值近似为 3.56, 此时相对误差  $E'_1 = \frac{|Q-Q_0|}{Q_0} = 18.5\%$ 。  $R = 1000\Omega$  时, 可估算实际  $Q_0$  的值近似为 0.587, 此时相对误差  $E'_2 = \frac{|Q-Q_0|}{Q_0} = 11.4\%$ 。

3、通过了理想电感电阻的估算, 此时品质因数的相对误差有所减小但仍然相对误差较大, 且  $R$  为 100 欧姆时误差更大。这是因为  $R$  为 100 欧姆时, 电感电阻的分压更明显, 对  $U_R$  的影响更大, 导致电流值有较大偏差。

4、通过另一种方式计算品质因数  $Q$ , 即  $Q = \frac{U_C}{U_S}$ ,  $U_C$  和  $U_S$  为谐振时的值, 由于电容的电阻可以忽略, 所以  $U_C$  值更准确。可得  $R = 100\Omega$  时,  $Q' = 3.28$ ,  $E''_1 = \frac{|Q'-Q_0|}{Q_0} = 7.97\%$ 。  $R = 1000\Omega$  时,  $Q'' = 0.604$ ,  $E''_2 = \frac{|Q''-Q_0|}{Q_0} = 2.90\%$ 。相对误差均较小。

5、可用上述方法同样分析通频带宽, 不考虑电感电阻情况下。  $R = 100\Omega$ , 通频带宽  $BW$  理论值为  $2500\text{rad/s}$ , 实验测得通频带宽为  $5100\text{rad/s}$ , 相对误差为 50.1%。  $R = 1000\Omega$ , 通频带宽理论值为  $25000\text{rad/s}$ , 实验测得通频带宽为  $28700\text{rad/s}$ , 相对误差为 12.9%。再考虑电感电阻,  $R = 100\Omega$ , 通频带宽  $BW$  近似理论值为  $4440\text{rad/s}$ , 实验测得通频带宽为  $5100\text{rad/s}$ , 相对误差为 14.9%。  $R = 1000\Omega$ , 通频带宽理论近似值为  $26900\text{rad/s}$ , 实验测得通频带宽为  $28700\text{rad/s}$ , 相对误差为 6.69%。

实验名称：RLC 串联谐振

姓名：

学号：

6. 通频带宽电阻误差产生的原因还可能是由于示波器输出的偏差和我个人观测的偏差无法判断是否完全同相位，使得谐振频率出现误差

## 七、 心得与讨论

1、这次实验对示波器和函数发生器的操作要比较熟练，经过之前的实验，本次实验我在用这两个仪器有了比较大的进步，没有遇到较大的困难，实验过程较为顺利。

2、这次实验要取的数据比较多，频率的改变量何时取小何时取大也比较重要。我选择在峰值附近改变 0.1kHz，远离峰值处改变 0.2kHz。

3、本次实验对计算机的绘图能力也较高，我约耗时了 6 小时才完整完成了此份实验报告