



# 基础物理实验报告

## RLC 电路的谐振现象

姓 名:	赵启渊
学 院:	工学院
学 号:	2000011153
分 组:	第 1 组 7 号
日 期:	2022 年 3 月 30 日
指导教师:	刘春玲 张艳席



## 实验十七 RLC 电路的谐振现象

赵启渊 2000011153

### 1 数据及处理

#### 1.1 测量谐振下的电压值

按下面电路图连接电路，取  $L=0.1\text{H}$ 、 $C=0.05\mu\text{F}$ 、 $R=100\Omega$ ，示波器 CH1 连接 C 上方导线，示波器 CH2 连接 R 上方导线，注意 CH1 和 CH2 必须共地，调谐振，用数字万用表测量  $u$ ,  $u_L$ ,  $u_C$ ,  $u_R$ 。

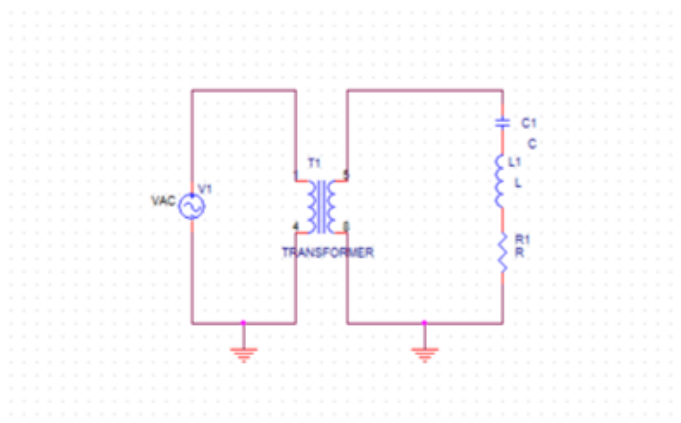


图 1: RLC 串联电路图

测量得

$$f_0 = 2.249\text{kHz}$$

表 1: 测量谐振条件下的电压值

项目	$u/\text{V}$	$u_L/\text{V}$	$u_C/\text{V}$	$u_R/\text{V}$
读数	0.6705	7.194	7.172	0.5151



因为在共振时，电阻、电容两端电压会相互抵消，相当于整个电压都加到了  $R$  上，由此可以算出整个电路总电阻

$$R' = \frac{u}{u_R} * R$$

$$R' = 131.04\Omega$$

由此得品质因子

$$\begin{aligned} Q_1 &= \frac{1}{R' * C * \omega_0} \\ &= \frac{1}{2 * \pi * R' * C * f_0} \\ &= 10.8 \end{aligned}$$

$$Q_2 = \frac{u_C}{u}$$

$$Q_2 = 10.70$$

## 1.2 绘制电路的相频特征曲线

通过调节信号源，发生一定频率梯度的脉冲电压，用示波器测量 CH1、CH2 过零点之间的时间差  $\Delta t$ ，计算得到相位差  $\Delta\phi$ ，最后绘图。

表 2: 测量不同频率下时间差的数据表

输出频率 / kHz	$\Delta t/\text{ms}$	$\Delta\phi/^\circ$
1.741	0.128	-80.2
1.955	0.100	-70.4
2.078	$80.0 * 10^{-3}$	-59.8
2.148	$56.0 * 10^{-3}$	-43.3
2.190	$37.0 * 10^{-3}$	-29.2
2.221	$17.0 * 10^{-3}$	-13.6
2.249	$1.00 * 10^{-3}$	0.80
2.276	$23.0 * 10^{-3}$	18.8
2.309	$39.0 * 10^{-3}$	32.4
2.354	$57.0 * 10^{-3}$	48.3
2.434	$71.0 * 10^{-3}$	62.2
2.587	$78.0 * 10^{-3}$	72.6
2.905	$75.0 * 10^{-3}$	78.4



其中  $\Delta\phi$  计算使用

$$\Delta\phi = \Delta t * f * 360^\circ$$

以频率  $f$  为横坐标, 相位差  $\Delta\phi$  为纵坐标绘图得

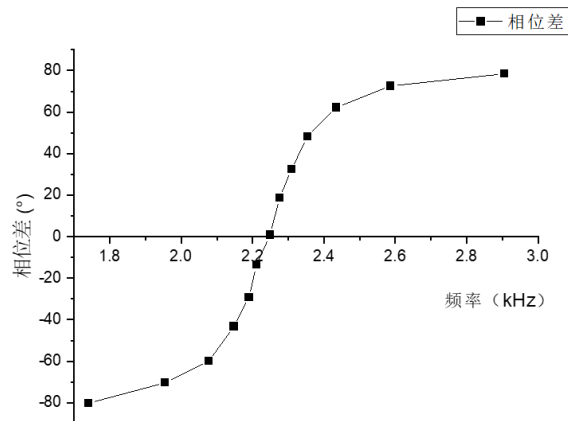


图 2: RLC 串联电路相频特征曲线

### 1.3 绘制电路的幅频特征曲线

通过调节信号源, 在总电压  $u = 1.0000 \pm 0.001V$  的条件下, 发生上面的频率梯度的脉冲电压, 并在每个频率梯度之间再取一点, 共取 25 个点, 每点用数字万用表测量  $u_R$ , 计算得到  $i$  值, 最后绘图, 并用带宽法计算品质因子  $Q$  的值。



表 3: 测量不同频率下  $u_R$  值的数据表

输出频率 / kHz	$u_R/\text{mV}$	输出频率 / kHz	$u_R/\text{mV}$
1.741	134.73	2.262	$0.7616 * 10^3$
1.848	174.64	2.276	$0.7465 * 10^3$
1.955	239.70	2.292	$0.6975 * 10^3$
2.016	306.36	2.309	$0.6627 * 10^3$
2.078	$0.3878 * 10^3$	2.331	$0.5818 * 10^3$
2.113	$0.4480 * 10^3$	2.354	$0.5431 * 10^3$
2.148	$0.5468 * 10^3$	2.394	$0.4483 * 10^3$
2.170	$0.6110 * 10^3$	2.434	$0.3845 * 10^3$
2.190	$0.6682 * 10^3$	2.510	281.08
2.205	$0.7102 * 10^3$	2.587	238.24
2.221	$0.7395 * 10^3$	2.746	165.53
2.235	$0.7632 * 10^3$	2.905	134.19
2.249	$0.7752 * 10^3$		

其中  $i$  计算使用

$$i = \frac{u_R}{R}$$

以频率  $f$  为横坐标, 电流值  $i$  为纵坐标绘图得

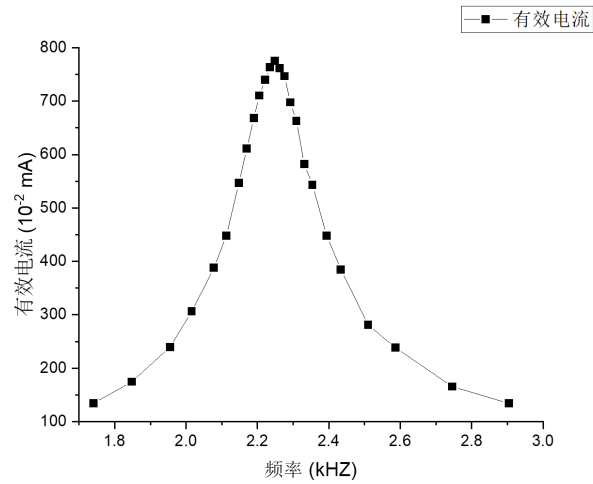


图 3: RLC 串联电路幅频特征曲线

又因为

$$\frac{i_{max}}{\sqrt{2}} = 548.1 * 10^{-2} mV$$

使用 Origin 在曲线上取  $A(2.14825, 548.0)$ ,  $B(2.35034, 548.0)$  两点, 计算得

$$\begin{aligned} Q_3 &= \frac{f_0}{\Delta f} \\ &= \frac{f_0}{2.35034 - 2.14825} \\ &= 11.00 \end{aligned}$$

## 2 思考题:

2.

(1) 当谐振时, 电路中会有关系

$$Q = \frac{u_C}{u} \quad (1)$$



$$\begin{cases} L = \frac{1}{\omega_0^2 * C} \\ \omega_0 = 2 * \pi * f_0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} R_r = \frac{1}{Q * \omega_0 * C} \\ \omega_0 = 2 * \pi * f_0 \end{cases} \quad (3)$$

其中  $C$ 、 $f_0$ 、 $u_C$ 、 $u$  都是可以从 Q 表中测量得到的, 通过上面的方程就可以得到想要的参数。

(2)

1. 按照 Q 表原理图连接电路, 调节输出频率, 使整个电路处于谐振状态。
2. 读出谐振频率  $f_0$ 、 $u_C$ 、 $u$ , 再根据仪器给出的参数  $C$ , 就可以得到电抗元件的  $R_r$ 、 $L$ 、 $Q$  的值。

(3) 因为

$$Q = \frac{u_C}{u}$$

得到

$$Q = 1.0 * 10^2$$

因为

$$\begin{cases} L = \frac{1}{\omega_0^2 * C} \\ \omega_0 = 2 * \pi * f_0 \end{cases}$$

得到

$$L = 0.21mH$$

因为

$$\begin{cases} R_r = \frac{1}{Q * \omega_0 * C} \\ \omega_0 = 2 * \pi * f_0 \end{cases}$$

得到

$$R_r = 8.0\Omega$$



### 3 分析与讨论

#### 3.1 实验测得各种曲线的主要特征与理解

1. 对于 RLC 串联电路的相频特征曲线, 有方程

$$\phi = \arctan \frac{2 * \pi * f * L - \frac{1}{2 * \pi * f * C}}{R} \quad (4)$$

当电流与电压相位相同时, 这时的频率就是谐振频率; 当  $f < f_0$  时, 这时候频率较低, 电流的相位超前于电压的相位, 整个电路呈现电容性, 并且随着  $f$  的减小, 相位差趋近于  $\frac{\pi}{2}$ ; 当  $f > f_0$  时, 这时候频率较高, 电流的相位落后于电压的相位, 整个电路呈现电感性, 并且随着  $f$  的增大, 相位差趋近于  $\frac{\pi}{2}$ 。

2. 对于 RLC 串联电路的幅频特征曲线, 有方程

$$i = \frac{u}{\sqrt{R^2 + (2 * \pi * f * L - \frac{1}{2 * \pi * f * C})^2}} \quad (5)$$

从方程和测得的曲线得到, 该曲线是对称的, 在谐振时, 总阻抗  $|Z|$  最小, 因此此时有  $i_{max}$ 。随着  $|f - f_0|$  越来越大, 总阻抗  $|Z|$  值增大,  $i$  减小, 并且  $i$  衰减的速度先加快后减慢。并且直观上, 从图像的形狀上可以反应  $Q$  值的大小, 高而瘦的  $Q$  值大, 矮而胖的  $Q$  值小。

#### 3.2 比较三种方法测得的 $Q$ 值

$$Q_1 = 10.8$$

$$Q_2 = 10.70$$

$$Q_3 = 11.0$$

三种方法测得的  $Q$  值是大致一样的。下面对三种方法测得的  $Q$  值进行不确定度分析。

1.

$$Q_1 = \frac{1}{2 * \pi * R' * C * f_0}$$

$$\frac{dQ}{Q} = -\frac{du}{u} + \frac{du_R}{u_R} - \frac{dR}{R} - \frac{df_0}{f_0} - \frac{dC}{C}$$

$$\frac{\sigma Q}{Q} = \sqrt{(\frac{\sigma u}{u})^2 + (\frac{\sigma u_R}{u_R})^2 + (\frac{\sigma R}{R})^2 + (\frac{\sigma f_0}{f_0})^2 + (\frac{\sigma C}{C})^2}$$

$$\sigma Q_1 = 5.16 * 10^{-3}$$





2.

$$Q_2 = \frac{u_C}{u}$$

$$\frac{dQ}{Q} = -\frac{du}{u} + \frac{du_C}{u_C}$$

$$\frac{\sigma Q}{Q} = \sqrt{\left(\frac{\sigma u}{u}\right)^2 + \left(\frac{\sigma u_C}{u_C}\right)^2}$$

$$\sigma Q_2 = 2.36 * 10^{-3}$$

3.

$$Q_3 = \frac{f_0}{\Delta f}$$

$$\frac{dQ}{Q} = \frac{df_0}{f_0} - \frac{d\Delta f}{\Delta f}$$

$$\frac{\sigma Q}{Q} = \sqrt{\left(\frac{\sigma f_0}{f_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma \Delta f}{\Delta f}\right)^2}$$

$(\frac{\sigma \Delta f}{\Delta f})^2$  来自图形拟合的误差和测量电压的误差, 其中图形拟合的误差是非常大的, 可能造成  $\sigma Q$  很大。

4. 由于图形拟合的误差,  $\sigma Q_3$  是三种测量方法中最大的; 其次由于第一种方法测量的变量很多,  $\sigma Q_1$  是居中的;  $\sigma Q_2$  是最小的, 第二种方法应该是最精确的。但总体来说, 三种方法测量的  $Q$  值都比较集中, 说明测量比较精准。

## 4 收获与感想

1. 在做电学实验时, 一定要预先检查电路, 避免短路。在本实验中要注意避免地的选择不共点, 导致短路。

2. 选择测量方案时, 要尽量选择测量数量少的, 避免因为实验仪器的误差造成很大的误差。

3. RLC 电路在实际应用中,  $Q$  越大, 对电路电压的放大作用越大, 这可以在现实中用作放大器。



## A 对未知电路盒的元件参数测定

### A.1 实验原理:

1. 该未知电路盒是电阻、电容、电感三种元件中两种的组合，电容、电感需要考虑损耗电阻。在同时具有电容、电感的电路中有一定几率出现谐振现象。电容在电路中会通高频，阻低频；电感在电路中会通低频，阻高频。按下面的电路图搭建电路，这里  $R = 100\Omega$ 。

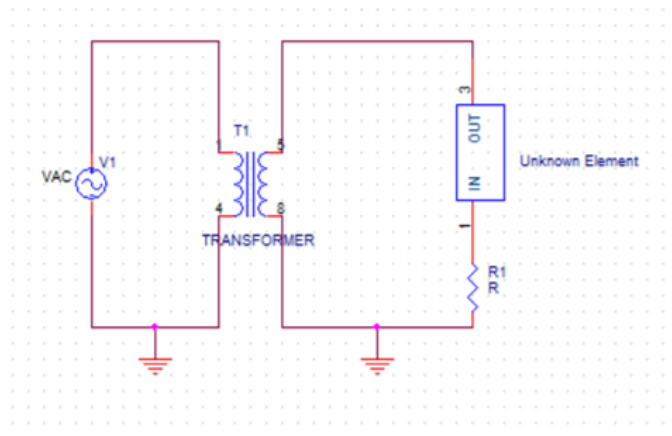


图 4: 未知电路盒的元件参数测定的电路图

示波器 CH1 连接未知电路盒的上方导线，示波器 CH2 连接 R 上方导线，注意 CH1 和 CH2 必须共地，用数字万用表测量  $u_R$ 。首先调谐振，若存在谐振现象，则一定存在电容与电感；若不存在谐振现象，则有两种可能：电容与电阻、电感与电阻。之后根据电容、电感的特性，用高频电流与低频电流分别检验  $u_R$ ，再判断未知电路盒的类型。

2. 对于元件参数的测量，要使用谐振电路的特性，对于不存在谐振现象的有两种可能，要构造谐振电路，用带宽法测量未知电路盒的参数。

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f}$$

$$R' = \frac{u}{u_R} * R$$

$$Q = \frac{1}{R' * 2 * \pi * f_0 * C}$$

$$Q = \frac{2 * \pi * f_0 * L}{R'}$$



## A.2 实验步骤:

1. 按实验原理中的电路图连接电路 (使用 (7) 号器件盒), 不断调节输出频率, 发现在  $f_0 = 3.100kHz$  时, 示波器中的李萨如图形基本为一直线, 电路发生谐振现象。说明该器件盒存在电容和电感。

2. 笔者又采用定性实验的方法, 测量在输出电压为 1.768 V, 输出频率为 200Hz 时,  $u_R$  的量级为 50mV; 测量在输出电压为 1.768 V, 输出频率为 1MHz 时,  $u_R$  的量级为 10mV。可以发现  $u_R$  在高低频时负载的电压极小, 可以进一步说明该器件盒存在电容和电感。

3. 再次调谐振, 测量  $u$ 、 $u_R$  的值, 从而计算  $R'$ 。

4. 再次调谐振, 保持实验电路的总电压为  $u = 1.0000 \pm 0.001V$ , 测量  $u_R$ 。不断调节输出频率, 并保持实验电路的总电压为  $u = 1.0000 \pm 0.001V$ , 测量此时的  $u_R$ , 使其不断接近  $\frac{u_{max}}{\sqrt{2}}$ 。

5. 计算数据, 得到位置元件的参数。

## A.3 实验数据处理:

1. 测量得到

$$f_0 = 3.100kHz$$

2. 测量得到

$$u_R = 0.9051V$$

$$u = 1.1330V$$

计算得

$$\begin{aligned} R' &= \frac{u}{u_R} * R \\ &= 125.18\Omega \end{aligned}$$

损耗电阻

$$\begin{aligned} \Delta R &= R' - R \\ &= 25.18\Omega \end{aligned}$$



3. 测量得到

表 4: 测量不同频率下  $u_R$  值的数据表

输出频率 / kHz	$u_R/\text{mV}$
3.100	$0.7990 * 10^3$
2.120	$0.5125 * 10^3$
2.148	$0.5286 * 10^3$
2.170	$0.5324 * 10^3$
2.175	$0.5343 * 10^3$
2.235	$0.5596 * 10^3$
2.240	$0.5612 * 10^3$

4.

$$\frac{u_{max}}{\sqrt{2}} = 0.5650V$$

观察到输出频率为 2.240kHz 时,  $u_R$  较为接近, 粗略计算有

$$\begin{aligned} Q &= \frac{f_0}{\Delta f} \\ &= \frac{f_0}{2 * (f_0 - f)} \\ &= 1.802 \end{aligned}$$

因此有

$$\begin{aligned} C &= \frac{1}{2 * \pi * f_0 * R' * Q} \\ &= 0.2276\mu F \\ L &= \frac{Q * R'}{2 * \pi * f_0} \\ &= 0.01158H \end{aligned}$$