

实验报告四：RLC 串联谐振电路的研究

一、实验原理

含有电感 L 和电容 C 的一端口正弦稳态电路，在特定条件下会出现端口电压与电流同相的现象，称为电路谐振。RLC 串联电路的总阻抗为

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

当感抗与容抗相等，即

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$$

时，电路发生串联谐振。此时谐振角频率和谐振频率为

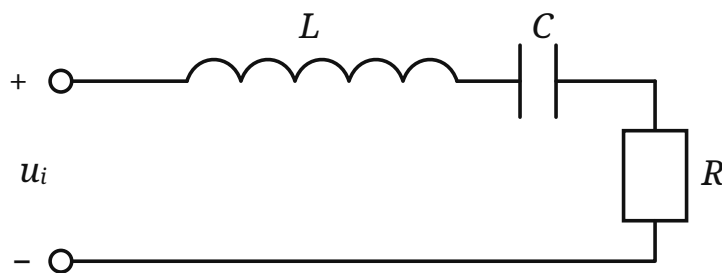
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

串联谐振时电路总阻抗最小，且近似等于电阻 R ，因此回路电流达到最大，输入电压与电流同相。谐振时电感电压与电容电压大小接近、相位相反，二者在回路中相互抵消；若品质因数较大，电感或电容两端可能出现明显的电压放大现象。

品质因数可用谐振时电感或电容两端电压与输入电压的比值估算：

$$Q \approx \frac{U_L}{U_i} \approx \frac{U_C}{U_i}$$

品质因数越大，电流-频率曲线越尖锐，电路选择性越好；品质因数越小，曲线越平缓，通频带越宽。



RLC 串联谐振电路

图 1 RLC 串联电路图

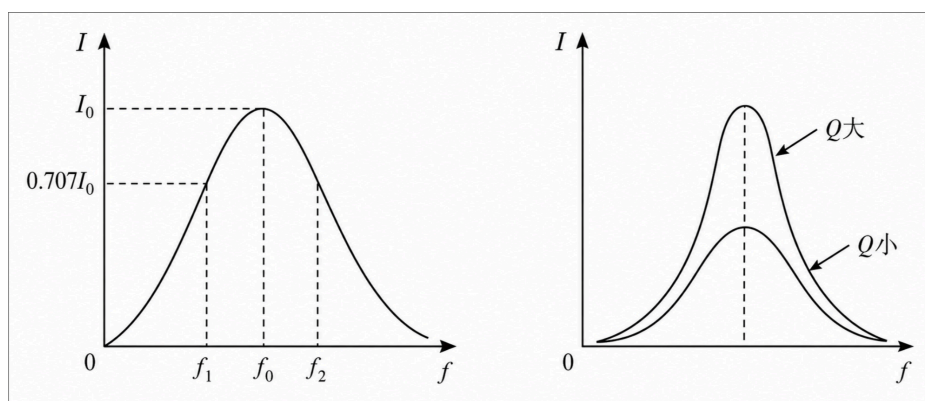


图 2 RLC 串联电路谐振特性示意图

二、实验设备与器材

实验使用电工综合实验平台、数字信号发生器、数字示波器以及实验平台上的电阻、电感、电容模块。

三、实验一：RLC 串联谐振电路设计与实现

1. 实验任务

选取合适的电阻、电感和电容设计 RLC 串联电路，输入相应频率的正弦信号，观察电路谐振现象，测量谐振时 R 、 L 、 C 元件的电压有效值，并分析品质因数 Q 。

2. 实验方案与具体步骤

1. 按 RLC 串联电路连接实验线路，取 $L = 30 \text{ mH}$ 、 $C = 0.01 \mu\text{F}$ 。
2. 先接入 $R = 510 \Omega$ ，信号源输出正弦信号，输入电压取 $U_i = 3 \text{ V}$ 。
3. 用示波器观察输入电压和电阻两端电压，缓慢调节信号源频率。
4. 当输入电压与电阻电压同相，并且电阻电压达到较大值时，认为电路达到串联谐振。
5. 记录谐振频率，并分别测量 U_R 、 U_L 、 U_C 。
6. 将电阻更换为 $R = 1 \text{ k}\Omega$ ，重复上述测量。
7. 根据 $\frac{U_L}{U_i}$ 与 $\frac{U_C}{U_i}$ 计算品质因数，并与理论估算值比较。

3. 实验电路连接与实测数据

实验电路由信号源、RLC 串联支路和双通道示波器组成。电阻电压 u_R 与回路电流同相，因此可通过观察 u_i 与 u_R 的相位关系判断是否达到谐振。

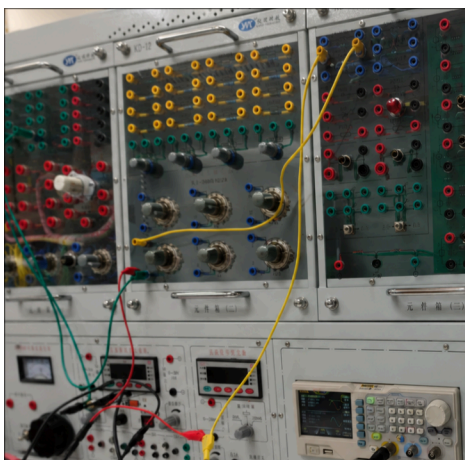


图 3 实验一 RLC 串联电路连接实物图

本实验参数为 $U_i = 3\text{ V}$, $L = 30\text{ mH}$, $C = 0.01\text{ }\mu\text{F}$ 。理论谐振频率为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \approx 9189\text{ Hz} \approx 9.19\text{ kHz}$$

示波器在谐振频率附近的读数如下。两次读数得到的频率分别为 9.20 kHz 和 9.15 kHz ，均接近理论谐振频率。

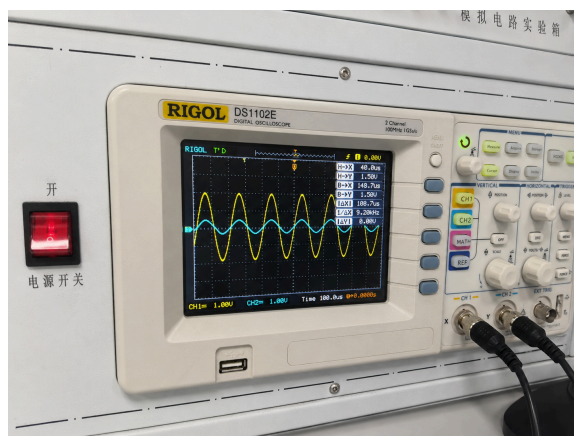
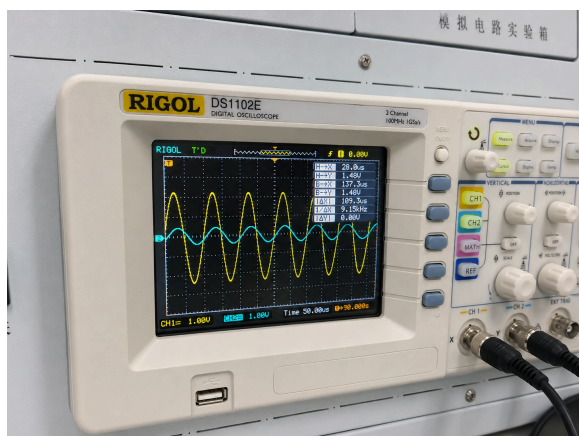


图 4 谐振频率附近输入电压与电阻电压波形

4. 实验数据与结果

电阻	f_0 估算 / Hz	f_0 测量 / Hz	U_R 估算 / V	U_R 测量 / V	U_L 估算 / V	U_L 测量 / V	U_C 估算 / V	U_C 测量 / V	Q 估算	Q 测量
$R = 510 \Omega$	9189	9200	3.00	2.96	10.20	9.93	10.20	9.87	3.40	3.30
$R = 1 \text{ k}\Omega$	9189	9150	3.00	2.94	5.20	5.08	5.20	5.00	1.73	1.68

表 1 不同电阻下 RLC 串联谐振电路特征参数

对 $R = 510 \Omega$:

$$Q_L = \frac{U_L}{U_i} = \frac{9.93}{3} \approx 3.31$$

$$Q_C = \frac{U_C}{U_i} = \frac{9.87}{3} \approx 3.29$$

取平均得 $Q \approx 3.30$ 。

对 $R = 1 \text{ k}\Omega$:

$$Q_L = \frac{U_L}{U_i} = \frac{5.08}{3} \approx 1.69$$

$$Q_C = \frac{U_C}{U_i} = \frac{5.00}{3} \approx 1.67$$

取平均得 $Q \approx 1.68$ 。

5. 分析和结论

实验一中, $R = 510 \Omega$ 时测得谐振频率约为 9200 Hz, $R = 1 \text{ k}\Omega$ 时测得谐振频率约为 9150 Hz, 均与理论值 9189 Hz 接近, 说明所选 L 、 C 参数能够形成预期的串联谐振。谐振时电阻电压接近输入电压, 电感和电容两端电压明显大于输入电压, 且二者数值接近, 符合串联谐振时电感、电容电压相互抵消而回路电流较大的特点。

从品质因数看, 电阻由 510Ω 增大到 $1 \text{ k}\Omega$ 后, Q 由约 3.30 降为约 1.68, 电感和电容上的谐振电压也随之降低。这说明串联电阻增大会削弱电压谐振现象, 并降低电路的选择性。

四、实验二：测量电路的谐振特性曲线

1. 实验任务

保持实验电路不变，改变信号源频率，记录电路电流随频率变化的数据，并绘制 $I - f$ 谐振特性曲线。

2. 实验方案与具体步骤

1. 保持 $R = 510 \Omega$ 、 $L = 30 \text{ mH}$ 、 $C = 0.01 \mu\text{F}$ 的 RLC 串联电路不变。
2. 保持输入电压幅值 $U_i = 3 \text{ V}$ 不变，逐步改变信号源频率。
3. 对每个频率点，根据串联阻抗计算电流估算值：
4. 在谐振频率 9.19 kHz 附近加密取点，绘制电流随频率变化的曲线。

3. 数据与曲线

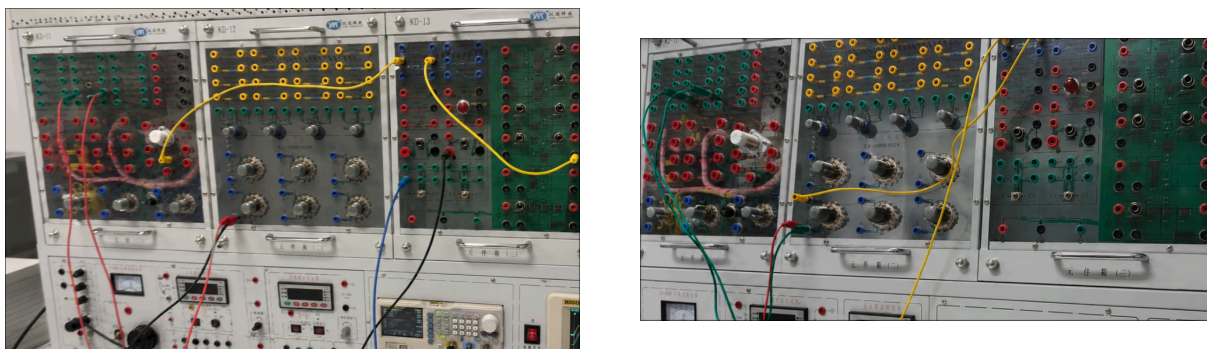


图 5 实验二谐振特性曲线测量电路连接实物图

频率 / Hz	3200	5200	7200	9200	11200
电流 / mA	0.682	1.400	3.018	5.882	3.496
频率 / Hz	4200	6200	8200	10200	13200
电流 / mA	0.987	2.016	4.649	4.795	2.174

表 2 按本实验参数计算得到的电流-频率估算数据

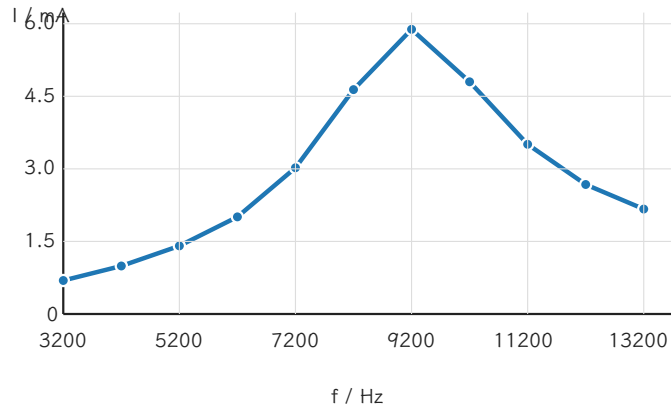


图 6 按本实验参数绘制的 RLC 串联谐振特性曲线

4. 分析和结论

由曲线可见，电流在谐振频率附近达到最大值。低于谐振频率时，电容容抗较大，回路阻抗较大，电流较小；高于谐振频率时，电感性抗逐渐增大，回路阻抗也增大，电流重新减小。因此 RLC 串联电路呈现典型的带通特性。实验一中实测谐振频率约为 9.20 kHz，与曲线峰值所在频率一致。

五、思考题

PDF 中思考题电路为 $L = 10 \text{ mH}$ 、 $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$ 、 $R = 100 \text{ }\Omega$ 的串联 RLC 电路，其中 u_2 的频率为约 1590 Hz，接近

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \approx 1592 \text{ Hz}$$

因此 u_2 对电阻电压 u_R 的贡献较大。若改变 u_1 的频率为 10 kHz、50 kHz、100 kHz、200 kHz，这些频率均远高于谐振频率，频率越高时电感性抗 $X_L = 2\pi fL$ 越大，串联总阻抗越大， u_1 在电阻 R 上形成的电压分量越小。因此随着 f_1 从 10 kHz 增大到 200 kHz，由 u_1 引起的 u_R 分量逐渐减小，电阻电压主要由接近谐振频率的 u_2 分量决定。

六、误差分析与总结

实验误差主要可能来自元件标称值与实际值的偏差、电感线圈内阻、电容等效串联电阻、信号源内阻分压、示波器光标读数误差以及调节谐振频率时的人工判断误差。总体来看，谐振频率、谐振电压和品质因数的测量结果能够支持 RLC 串联谐振理论。