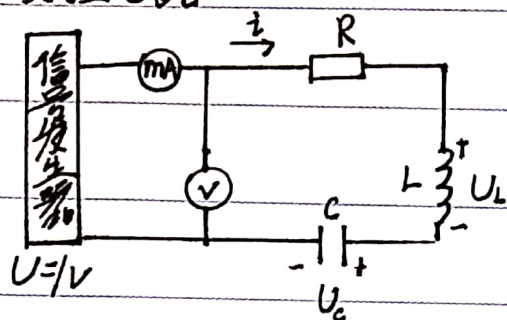




清华大学

电子学实验三 预习报告 2018011365 张鹤潇

实验电路



用左图电路测RLC串联电路幅频特性 $|f|$ 。

测出谐振频率 f_0 ，谐振时电流 I_0 。

电容电压 U_{C0} ，电感电压 U_{L0} 。

任务1: $R=10\Omega$, $C=0.5\mu F$, $L=100mH$

$$\text{估计 } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 711.8 \text{ Hz}, \quad I_0 = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega C} + \omega L)^2}} = \frac{U}{R} = 100 \text{ mA}$$

任务2: $R=90\Omega$, 其它同1。

$$\text{估计 } f_0 = 711.8 \text{ Hz}, \quad I_0 = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} = 11.11 \text{ mA}$$

任务3: $L=400mH$, 其它同1。

$$\text{估计 } f_0 = 355.9 \text{ Hz}, \quad I_0 = 100 \text{ mA}$$

RLC 串联电路的幅频特性和谐振现象

2018011365 计 84 张鹤潇

一、 数据处理与分析

任务 1.

测得 $f_0 = 713.5 \text{ Hz}$, $I_0 = 39.79 \text{ mA}$, $U_{C0} = 17.95 \text{ V}$, $U_{L0} = 17.88 \text{ V}$.

表 1 任务 1 电路的幅频特性测定

组别	1	2	3	4	5	6	7	8
f(Hz)	542.5	632.9	664.9	677.9	688.9	695.9	704.9	713.5
I(mA)	3.99	9.12	14.84	19.86	24.81	30.10	36.94	39.79
$\frac{I}{I_0}$	0.10	0.23	0.37	0.50	0.62	0.76	0.93	1.00

组别	9	10	11	12	13	14	15
f(Hz)	722.9	729.9	740.9	752.9	761.9	804.9	944.9
I(mA)	35.95	31.10	23.90	18.25	15.42	8.99	3.98
$\frac{I}{I_0}$	0.90	0.78	0.60	0.46	0.39	0.23	0.10

任务 2.

测得 $f_0 = 713.5 \text{ Hz}$, $I_0 = 9.46 \text{ mA}$, $U_{C0} = 4.28 \text{ V}$, $U_{L0} = 4.28 \text{ V}$.

表 2 任务 2 电路的幅频特性测定

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
f(Hz)	253.5	483.5	563.5	623.5	663.5	713.5	767.5	817.5	867.5	1063.5	1863.5
I(mA)	0.90	2.67	4.34	6.28	8.07	9.46	8.01	6.16	4.93	2.59	0.99
$\frac{I}{I_0}$	0.10	0.28	0.46	0.66	0.85	1.00	0.85	0.65	0.52	0.27	0.10

任务 3.

测得 $f_0 = 357.1 \text{ Hz}$, $I_0 = 24.20 \text{ mA}$, $U_{C0} = 21.43 \text{ V}$, $U_{L0} = 21.43 \text{ V}$.

表 3 任务 3 电路的幅频特性测定

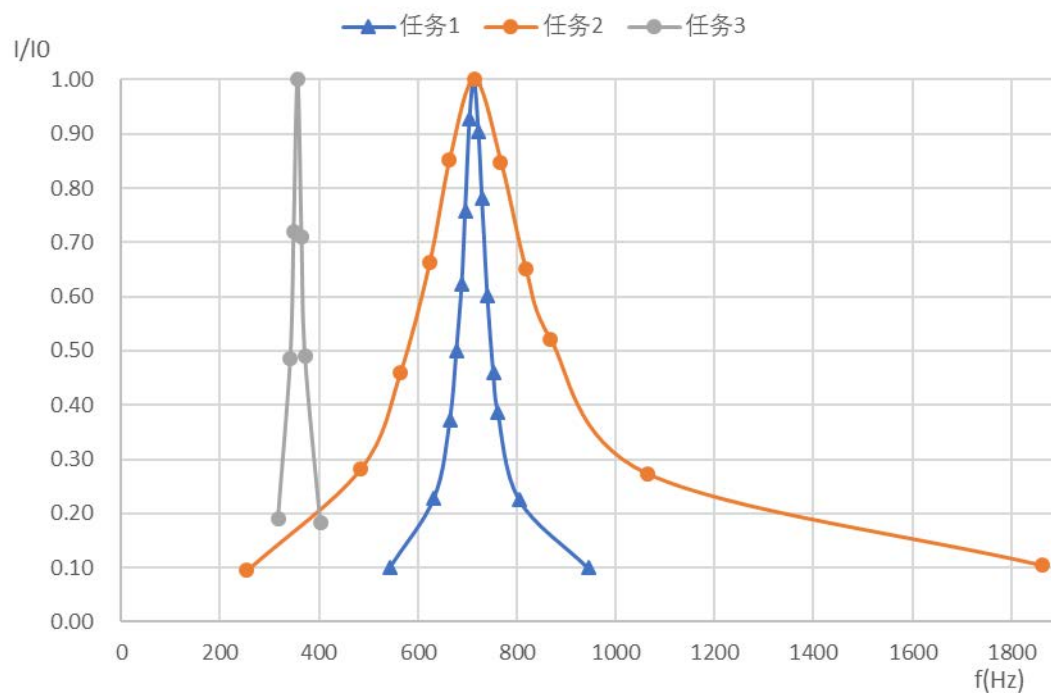
组别	1	2	3	4	5	6	7
f(Hz)	317.1	342.1	349.1	357.1	365.1	372.1	403.1
I(mA)	4.59	11.75	17.43	24.20	17.18	11.87	4.46
$\frac{I}{I_0}$	0.19	0.49	0.72	1.00	0.71	0.49	0.18

根据 $Q = \frac{U_{C0}}{U_i}$ 和 $Q = \frac{\sqrt{L/C}}{R_{eq}}$, 计算 Q 值如下:

任务一: $Q = \frac{U_{C0}}{U_i} = 4.28$, $Q = \frac{\sqrt{L/C}}{R_{eq}} = 4.23$

任务二: $Q = \frac{U_{C0}}{U_i} = 17.95$, $Q = \frac{\sqrt{L/C}}{R_{eq}} = 17.79$

任务三: $Q = \frac{U_{C0}}{U_i} = 21.43$, $Q = \frac{\sqrt{L/C}}{R_{eq}} = 21.65$

图 1 任务 1、2、3 的电流谐振曲线 $\frac{I}{I_0} \sim f$

证明 $Q = \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1}$ 如下。

$$I(\omega) = \frac{U_i}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

$$I(\omega_0) = \frac{U_i}{R}$$

又有：

$$I(\omega_1) = \frac{U_i}{\sqrt{R^2 + \left(\omega_1 L - \frac{1}{\omega_1 C}\right)^2}} = \frac{I(\omega_0)}{\sqrt{2}} = \frac{U_i}{\sqrt{2}R}$$

$$I(\omega_2) = \frac{U_i}{\sqrt{R^2 + \left(\omega_2 L - \frac{1}{\omega_2 C}\right)^2}} = \frac{I(\omega_0)}{\sqrt{2}} = \frac{U_i}{\sqrt{2}R}$$

$$\text{整理得} \left(\omega_1 L - \frac{1}{\omega_1 C}\right)^2 = R^2, \left(\omega_2 L - \frac{1}{\omega_2 C}\right)^2 = R^2.$$

$$\text{考虑到} \omega_1 < \omega_0 < \omega_2, \text{有} \frac{1}{\omega_1 C} - \omega_1 L = R, \omega_2 L - \frac{1}{\omega_2 C} = R.$$

$$\text{解得} \omega_1 = \frac{-R + \sqrt{R^2 + \frac{4}{LC}}}{2L}, \omega_2 = \frac{R + \sqrt{R^2 + \frac{4}{LC}}}{2L}. \quad (\text{负根舍去})$$

$$\text{故} \omega_1 - \omega_2 = \frac{R}{L}, \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1} = \sqrt{\frac{1}{LC}} \cdot \frac{L}{R} = \frac{L/C}{R} = Q.$$

二、 误差分析

实验中可能的误差来源如下：

- 电表、电感线圈、电容箱的精度，导线电阻造成的系统误差。
- 电表示数不稳定造成的偶然误差。
- 导线与接线柱接触不良，或接触到位置不同造成的偶然误差。

三、 思考题

1. 在 RLC 串联电路中，谐振时电流最大，这时 U_L , U_C 是否最大？若不是， ω_C 为多少时

U_C 最大？ ω_L 为多少时 U_L 最大？ ω_C , ω_L 和 ω_0 有什么关系？

不是，理由如下：

对于电容：

$$\dot{U}_C = \dot{U}_i \frac{\frac{-j}{\omega C}}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}$$

两边取模，整理得

$$U_C = U_i \frac{1}{C \sqrt{\omega^2 R^2 + \left(\omega^2 L - \frac{1}{C}\right)^2}}$$

$$\text{令} x = \omega^2, f(x) = xR^2 + \left(xL - \frac{1}{C}\right)^2 = L^2 x^2 + \left(R^2 - \frac{2L}{C}\right)x + \frac{1}{C^2}$$

$x = \frac{\frac{2L}{C} - R^2}{2L^2}$ 时, $f(x)$ 取到最小值, 此时 U_C 取到最大值,

$$\omega_C = \sqrt{\frac{\frac{2L}{C} - R^2}{2L^2}}$$

对于电感:

$$\dot{U}_C = \dot{U}_i \frac{j\omega L}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}$$

两边取模, 整理得

$$U_L = U_i \frac{L}{\sqrt{\frac{R^2}{\omega^2} + \left(L - \frac{1}{\omega^2 C}\right)^2}}$$

令 $x = \frac{1}{\omega^2}$, $f(x) = xR^2 + \left(L - \frac{x}{C}\right)^2 = \frac{1}{C^2}x^2 + \left(R^2 - \frac{2L}{C}\right)x + L^2$.

$x = \frac{\frac{2L}{C} - R^2}{\frac{2}{C^2}}$, $f(x)$ 取到最小值, 此时 U_L 取到最大值,

$$\omega_L = \sqrt{\frac{2}{\left(\frac{2L}{C} - R^2\right)C^2}}$$

于是 $\omega_C \omega_L = \frac{1}{LC} = \omega_0^2$.

(课后总结和思考提出的问题)

2. 为什么任务 1, 3 测得的 I_0 与理论估计值的偏差较大, 而任务 2 测得的 I_0 偏差较小?

电感线圈的电阻不可忽略, $I_{\text{实际}} = \frac{U_i}{R + R_L}$, $\Delta I = I_{\text{理论}} - I_{\text{实际}} = \frac{1}{1 + \frac{R}{R_L}}$

在任务 1, 3 中, R 较小, ΔI 较大, 测量值与理论估计值的偏差较大; 而在实验二中, R 较大, ΔI 较小, 测量值与理论估计值的偏差较小。

3. 为了保证绘制出的电流谐振曲线的完整性, 该如何选取频率进行测量?

有如下三种方案:

- 确定 f_0 后, 在 f_0 两边等距选取频率值进行测量。
- 测定电流为 $0.1I_0$ (或 $0.2I_0$) 时的频率 f , 在 $f \sim f_0$ 间等距选取频率值进行测量。
- 在 $0.1I_0$ (或 $0.2I_0$) $\sim I_0$ 间等距选取电流值, 调节频率, 使测得的电流与选取的电流值大致相等。

综合考虑上述三种方案的通用性和易行性，在本次实验中，我们选择的是第三种方案。

4. 电感线圈的电阻不可忽略，为什么谐振时仍大致有 $U_L = U_C$?

定性说明如下。考虑到 $R_L \gg R_C$ ，只考虑电感线圈的电阻。由于 LC 串联， $U_L = U_C$ 等价于 $|Z_L| = |Z_C|$ 。对于电感线圈而言， $Z_L = R_L + jX_L$ ，而 $X_L \gg R_L$ ，故 $|Z_L| = X_L$ 。而发生谐振时， $X_L = -X_C$ ，于是 $|Z_L| = |Z_C|$ ， $U_L = U_C$ 。

5. 除了不断测量取I的最大值，还有什么实验方法能确定电路的谐振频率?

改变电源频率，不断测量 U_L 与 U_C ，直至 $U_L = U_C$ 。此时，电路处于谐振状态。

四、 实验结论

1. 在谐振频率 f_0 下，RLC 串联电路电流达到最大值。 f 由 f_0 向两侧变化，电流不断减小。
2. 电感线圈的电阻不可忽略，导致测得的谐振电流明显小于理论估算值。
3. 在 RLC 串联电路中，其它条件一定， L 越大，品质因数 Q 就越大； R 越大， Q 就越小。品质因数 Q 越大，谐振曲线越陡峭，电路选择性越好。

五、 实验总结

经过本次实验，我熟悉了信号发生器的使用方法，对 RLC 串联电路的特性，谐振和品质因数的含义有了更深的理解。

通过归一化将实验数据去量纲，转化为 $[0,1]$ 之间小数的方法已经多次出现。这种方法对于数据处理、分析大有帮助。

课上讲到的，为了保证电流谐振曲线的完整性而采取的实验方法给我留下了深刻的印象。对不同的方案进行取舍时，要综合考虑方案的易操作性与可推广性。

任务1.

张鹤潇

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
f(Hz)	542.5	632.9	664.9	677.9	688.9	695.9	704.9	713.5	72.9	727.9	740.9	752.9	761.9	804.9	944.9
I(mA)	3.9	9.12	14.84	19.86	24.81	30.19	36.24	39.79	35.7	31.01	23.70	18.25	15.42	8.99	3.98

$$f_0 = 713.5 \text{ Hz}$$

$$U_{C0} = 17.95 \text{ V}$$

$$I_0 = 39.79 \text{ mA}$$

$$U_{L0} = 17.88 \text{ V}$$

任务2.

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
f(Hz)	253.5	483.5	563.5	623.5	663.5	713.5	767.5	817.5	867.5	1063.5	1863.5
I(mA)	0.90	2.67	4.34	6.28	8.07	9.46	8.01	0.16	4.93	2.59	0.99

$$f_0 = 713.5 \text{ Hz}$$

$$U_{C0} = 4.28 \text{ V}$$

$$I_0 = 9.46 \text{ mA}$$

$$U_{L0} = 4.28 \text{ V}$$

任务3. $f_0 = 357.1 \text{ Hz}$

$$I_0 = 24.20 \text{ mA}$$

$$U_{C0} = 21.43 \text{ V}$$

$$U_{L0} = 21.43 \text{ V}$$

组别	1	2	3	4	5	6	7
f(Hz)	317.1	342.1	349.1	357.1	361.1	372.1	403.1
I(mA)	4.5	8.1	17.43	24.20	17.18	11.87	4.46

桌号. A13. 组员 2018011365 张鹤潇 2018011359 乐阳

实验仪器

电阻箱 DZ-1505.

台式万用表 15021561

电容箱 DC-1606

十进电感箱 03006995.

交流毫伏表 12005583

功率信号源 15030414

开始时间 16:40

结束时间 17:36.