

RLC 谐振实验报告

* *

2022 年 10 月 16 日

1 实验简介

在本实验中，我们测量 RLC 串联电路的谐振特性以及 RLC 串联电路的相频特性与幅频特性。实验电路图连接如图一，通过隔离变压器解决示波器与信号发生器共地问题，利用双频道示波器以及万用表的电压位测量电路以及标准电阻上的电流。

在本实验中：

$$R_0 = 100 \, \Omega \quad (1)$$

$$L_0 = 0.1 \, \text{H} \quad (2)$$

$$r_L = 18.114 \, \Omega \quad (3)$$

$$C_0 = 0.5 \, \mu\text{F} \quad (4)$$

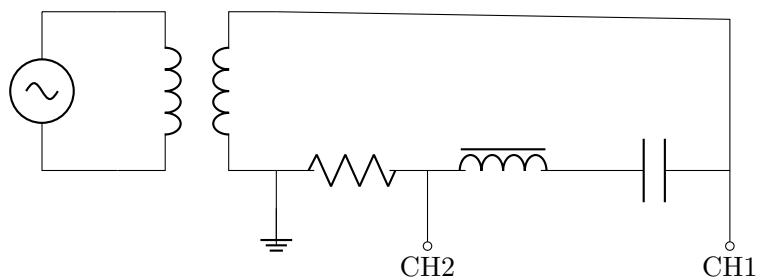


图 1: 实验电路图

2 测定谐振参数

调整信号发生器频率，使得两频道的李萨如图形为一条直线时，即为 RLC 系统的谐振频率。在测量谐振频率时，应合理调整示波器电压档位，并估计谐振频率的不确定度。在实验中，测得谐振频率与极限不确定度：

$$f_0 = 2245.8 \text{ Hz} \quad (5)$$

$$e_f = 0.6 \text{ Hz} \quad (6)$$

因此有：

$$f_0 = 2245.8 \pm 0.35 \text{ Hz} \quad (7)$$

在谐振时，测得电路上总电压以及电感、电容上电压为：

$$U = 214.33 \pm 0.01 \text{ mV} \quad (8)$$

$$U_L = 2.3288 \pm 0.0003 \text{ V} \quad (9)$$

$$U_C = 2.3195 \pm 0.0004 \text{ V} \quad (10)$$

考虑到电容上耗散电阻远小于电感上耗散电阻，利用电容上电压计算得到：

$$Q_2 = \frac{U_C}{U} = 10.822 \pm 0.002 \quad (11)$$

电路中总直流电阻为：

$$R_D = R_0 + r_L = 118.114 \text{ } \Omega \quad (12)$$

利用储能法计算品质因数：

$$Q_1 = \frac{\omega_0 L}{R_D} = 11.945 \pm 0.002 \quad (13)$$

两种方法计算出的品质因数远远超出可接受的误差范围内，因此我们可以得到结论：电路中的交流耗散不可忽略。电路中的交流耗散主要分为两部分，电感中磁铁芯的磁滞现象带来一项铁组，高频时导线内的趋肤效应带来一项铜阻，两项相加即为总的交流电阻。计算可得回路中的交流电阻约为：

$$r_A = 12 \text{ } \Omega \quad (14)$$

3 测量 RLC 系统的特性曲线

在测量相频特性曲线时，利用示波器获得标准电阻以及总电压上的波形曲线，合理调整量程后利用等相位点处时间差计算相位偏移。在具体计算中，利用波形与 x 轴交点作为等相位点。

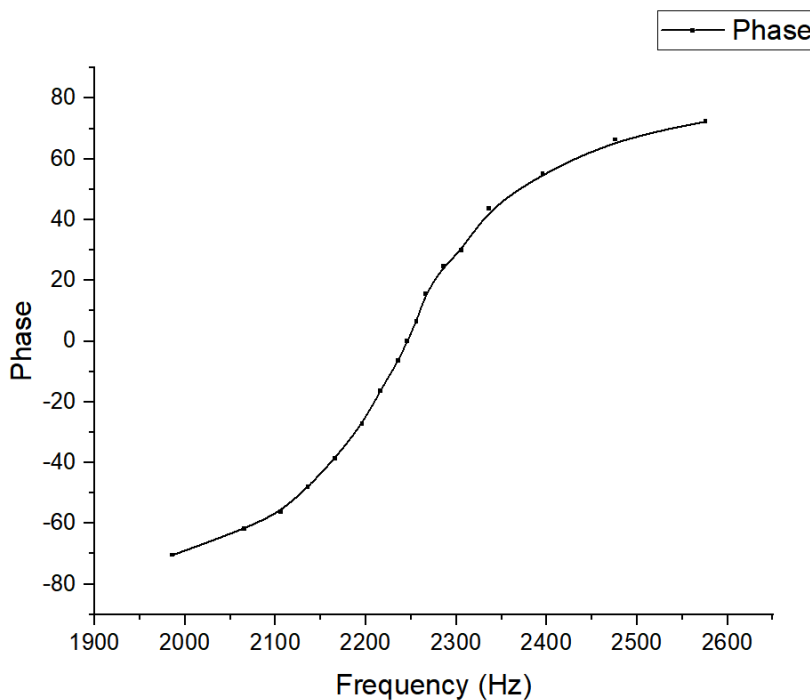


图 2: 相频数据

在测量幅频特性曲线时，假定电路对电压线性响应，保持信号源电压不变，用万用表交流电压档测量总电压以及标准电阻上电压，归一后得到电流 I_{norm} 。

归一化后测量峰值为：

$$i_p = 77.823 \text{ mA} \quad (15)$$

$$i' = \frac{i_p}{\sqrt{2}} = 55.029 \text{ mA} \quad (16)$$

拟合后获得的两交点分别位于：

$$f_1 = 2145.6 \text{ Hz} \quad (17)$$

$$f_2 = 2350.5 \text{ Hz} \quad (18)$$

$$\Delta f = f_2 - f_1 = 204.9 \text{ Hz} \quad (19)$$

因而利用通频特性计算得到的品质因数为：

$$Q_3 = \frac{f_0}{\Delta f} = 10.96 \quad (20)$$

该数值与 Q_2 的结果相当接近。

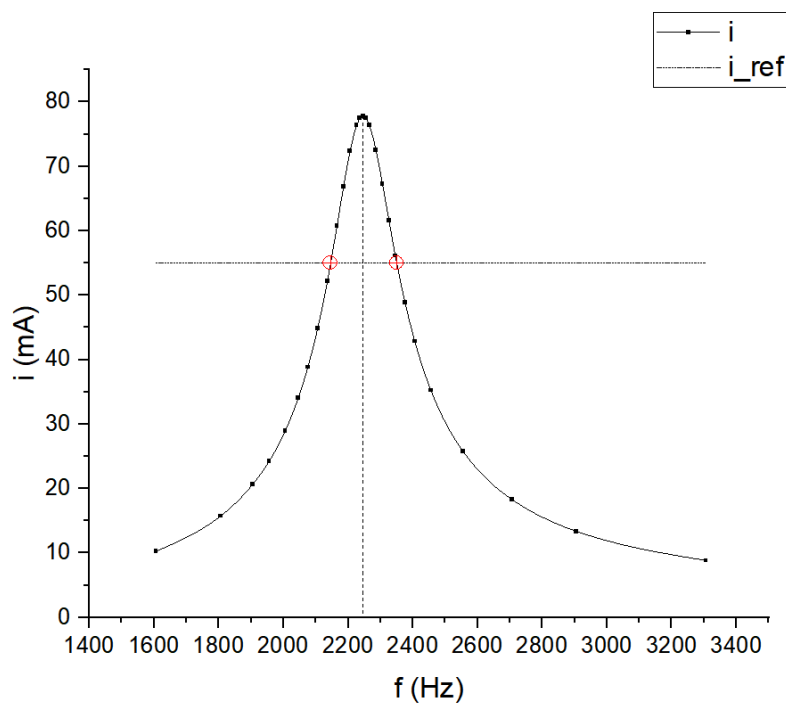


图 3: 幅频数据

$f(\text{Hz})$	$1/\Delta T(\text{kHz})$	ϕ
1985.8	-10.15	-70.43
2065.8	-12.04	-61.77
2105.8	-13.51	-56.11
2135.8	-16.00	-48.06
2165.8	-20.20	-38.60
2195.8	-28.98	-27.28
2215.8	-48.78	-16.35
2235.8	-125.0	-6.44
2245.8	∞	0.00
2255.8	125.0	6.50
2265.8	52.63	15.50
2285.8	33.33	24.69
2305.8	27.77	29.89
2335.8	19.23	43.73
2395.8	15.62	55.22
2475.8	13.42	66.41
2575.8	12.82	72.33
3045.8	12.82	85.53

表 1: 相频数据

f 为信号发生器生成频率, ΔT 为等相位点时间间隔, 相位计算公式为 $\phi = f/(1/\Delta T)$.

f (Hz)	U (mV)	U_R (mV)	I_{norm} (mA)
1605.8	407.8	41.86	10.265
1805.8	427.4	67.36	15.760
1905.8	441.5	91.29	20.677
1955.8	448.3	108.61	24.227
2005.8	451.5	130.84	28.979
2045.8	446.6	152.05	34.046
2075.8	433.9	168.66	38.871
2105.8	409.2	183.57	44.861
2135.8	370.5	193.43	52.208
2165.8	321.2	195.32	60.809
2185.8	286.97	191.87	66.861
2205.8	256.01	185.31	72.384
2225.8	231.28	176.63	76.371
2235.8	221.78	171.81	77.469
2245.8	214.32	166.79	77.823
2255.8	208.73	161.71	77.473
2265.8	204.99	156.62	76.404
2285.8	202.11	146.65	72.559
2305.8	203.80	137.22	67.331
2325.8	208.34	128.45	61.654
2345.8	214.43	120.45	56.172
2375.8	224.63	109.80	48.880
2405.8	234.79	100.63	42.860
2455.8	250.04	88.08	35.226
2555.8	272.93	70.24	25.736
2705.8	294.14	53.92	18.331
2905.8	309.98	41.44	13.369
3305.8	325.32	28.82	8.859

表 2: 幅频数据

f 为信号发生器生成频率, U 为电路上总电压, U_R 为标准电阻上电压。 I_{norm} 为总电压为 1V 时电流, 计算公式为 $I_{\text{norm}} = 100 \times \frac{U}{U_R}$.

4 思考与收获

4.1 Q 表

Q 表测量原理为 $Q = U_c/U$ ，利用谐振时电容上的电压测得品质因数。测量时，调整可调电容使得 U_c/U 最大，该最大值即为谐振时的品质因数。用题中所给数据计算得到：

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C} = 0.213 \text{ mH} \quad (21)$$

$$Q = \frac{u_c}{u} = 100 \quad (22)$$

$$R_r = \frac{2\pi f L}{Q} = 8.038 \text{ } \Omega \quad (23)$$

$$(24)$$