

# 浙江大学实验报告

专业:

姓名:

学号:

日期:

地点:

课程名称: 电路与模拟电子技术实验 指导老师: 张治沁 成绩: \_\_\_\_\_

实验名称: 调谐电路功效的研究 实验类型: 电路实验

## 一、实验目的和要求

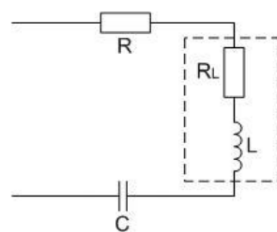
1. 掌握谐振频率及品质因数的测量方法。
2. 掌握频率特性曲线的测量与作图技巧。
3. 了解谐振电路的选频特性、通频带及其应用。
4. 研究电感线圈以及信号源的非理想状态对谐振特性测量的影响和修正方法。
5. 熟悉示波器、信号源的基本操作。

## 二、实验内容和原理

1. 由理想电阻  $R$ 、电感  $L$  和电容  $C$  串联组成的一端口网络如左图所示，

其等效负阻抗为:  $Z = (R + R_L) + j(\omega L - 1/\omega C)$

当外加正弦激励稳压电源的大小不变，频率改变时，电路的等效阻抗和电流将随之改变，当电路中电流最大或电感和电容上的电压  $R_{LC} = 0$  时，电路发生谐振，此时电阻  $R$  的功率达到最大。



2. 判断电路是否发生谐振有以下几种方法:

- (1) 在示波器中观察电压和电流是否同相位，可在 X-Y 工作模式下观察李萨如图形。如果李萨如图形为一条直线，则说明电路发生谐振。
- (2) 当电路发生谐振时，LC 相当于短路，端口电流最大，电阻电压最大，因此可用交流电压表测量电阻  $R$  两端的电压，改变电源频率，使  $R$  两端电压达到最大值时电路发生谐振。（注：当  $R$  两端电压最大时， $U_R \neq U_S$ ，因为电感线圈上的电阻会分压）

3. 一端口网络的品质因数和各元件的频率特性曲线

- (1) 品质因数：当电路发生谐振时，激励源对应的角频率  $\omega_0$  叫做谐振角频率， $\omega_0 L$  或  $1/\omega_0 C$  称为电路的特性阻抗，记作  $\rho$ ，特性阻抗与电阻  $R$  的比值称作该一端口网络的品质因数，记作  $Q$ 。

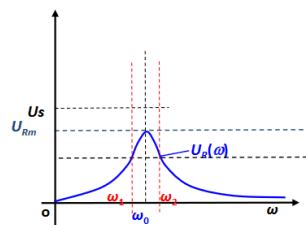
$$Q = \frac{U_{C0}}{U_S} = \frac{U_{L0}}{U_S} = \frac{\omega_0 L I_0}{R I_0} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 C R} = \frac{\rho}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

- (2) 各元件的频率特性曲线

- ①：电阻：当  $\omega = 0$  时，电阻两端电压  $U_R = 0$

当  $\omega =$  谐振角频率  $\omega_0$  时， $U_R$  最大，但  $U_R$  并不等于  $U_S$ ，这是因为此时电感的电阻会分压。

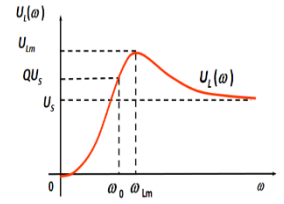
当  $\omega \rightarrow \infty$  时， $U_R \rightarrow 0$



②：电感：当  $\omega=0$  时， $U_L=0$

当  $\omega > \text{谐振角频率 } \omega_0$  时，且  $Q > 0.707$  时， $U_L$  才会出现最大值，当  $Q < 0.707$  时，频率特性曲线无极值

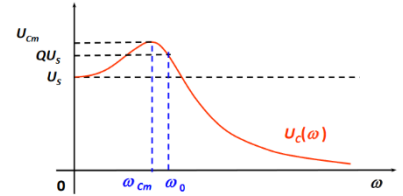
当  $\omega \rightarrow \infty$  时， $U_L \rightarrow U_S$



③：电容：当  $\omega=0$  时， $U_C = U_S$

当  $\omega < \text{谐振角频率 } \omega_0$  时，且  $Q > 0.707$  时， $U_C$  才会出现最大值，当  $Q < 0.707$  时，频率特性曲线无极值

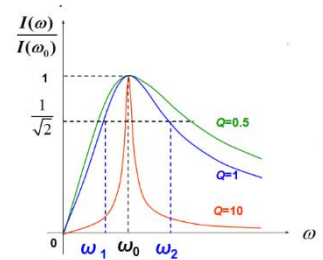
$\omega \rightarrow \infty$  时， $U_C \rightarrow 0$



#### 4. RLC 串联谐振电路的选频特性

RLC 电路谐振时，电路的电流最大，同时电感和电容上的电压有效值相等，相位相反，电抗压降等于 0，如果一端口网络电阻值很小，即  $Q \gg 1$ ，则电感或电容上的电压将远远大于外施电压。谐振电路的这一特性常被用于选频滤波或测量，而在另一些工程场合需要防止谐振产生的高压击穿电气绝缘，造成人身伤害或损坏仪器。

若保持一端口网络的  $L$ 、 $C$  值不变，只改变电路的等效电阻，即改变电路  $Q$  值，电路的幅频特性曲线随着电阻  $R$  的增加（ $Q$  下降）而下移。从通用谐振曲线中可以看出， $Q$  值越大，曲线就越尖，通频带就越窄，选择性越好； $Q$  值越小，曲线就越平坦，通频带就越宽，选择性就越差。

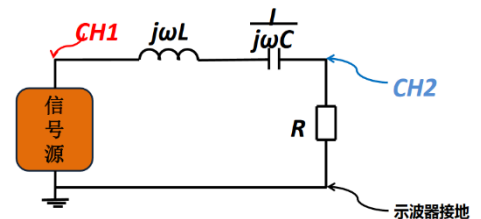


### 三、主要仪器设备（必填）

SDS2352X-E 数字示波器、SDG 2122X 信号源、实验板、 $0.1 \mu F$  的电容、 $100 \Omega$  的电阻、4 个  $10mH$  的电感

### 四、操作方法和实验步骤

1. 按照右图所示接线，信号源采用  $2V_{rms}$  正弦波输出，示波器通道一始终监测电源信号，通道二先接至电阻两端。调整信号发生器的频率，将示波器调至 X-Y 工作模式，当显示的李萨如图形为一条一三象限的直线时，记录此时的频率  $f_0$ 。



2. 打开示波器的自动测量功能，使其显示通道 1 及通道 2 的周期均方根电压值，即电压的有效值，分别测量电阻、电容、电感、电容和电感两端的电压有效值并记录，此时电阻两端的电压为  $U_{max}$ 。

3. 先降低信号发生器的频率，保持电源两端电压有效值为  $2V$ ，使电阻两端的电压有效值为  $0.707U_{max}$  时，记录此时的频率值，重复步骤二。再降低信号发生器的频率，保持电源两端电压有效值为  $2V$ ，使电阻两端的电压有效值等于  $0.1U_{max}$  时，记录此时的频率值，重复步骤二。

4. 从谐振角频率  $f_0$  开始增加信号发生器的频率，保持电源两端电压有效值为  $2V$ ，使电阻两端的电压有效值为  $0.707U_{max}$  时，记录此时的频率值，重复步骤二。接着降低信号发生器的频率，保持电源两端电压有效值为  $2V$ ，使电阻两端的电压有效值等于  $0.1U_{max}$  时，记录此时的频率值，重复步骤二。

5. 在频率大于  $f_0$  的情况下改变频率，使电感两端的电压有效值达到极大值，记录此时的频率；在频率小于  $f_0$  的情况下改变频率，使电容两端的电压有效值达到极大值，记录此时的频率。

6. 在步骤 3、步骤 4 测得的 4 个频率间各插入 3-4 个频率点，保持电源两端电压有效值为  $2V$ ，记录对应的频率值，重复步骤二。

7. 根据记录的数据分别作出电阻、电容、电感的幅频特性曲线，计算一端口网络的品质因数  $Q$ 。

## 五、实验数据记录与处理

电阻为  $100\Omega$  时实验数据记录表

f/Hz	$U_S/V$	$U_L/V$	$U_C/V$	$U_{LC}/V$	$U_R/mV$	W
668.6	2	193.3m	2.15	1.98	99.6	4200.94
848	2	316.43m	2.26	1.97	133.46	5328.14
1.248K	2	801.07m	2.71	1.95	232.35	7841.42
1.648K	2	1.87	3.66	1.86	415.06	10354.69
1.948K	2	3.65	5.09	1.63	705.84	12239.64
1.978K	2	3.88	5.24	1.57	718.57	12428.14
2.011K	2	4.17	5.42	1.52	751.19	12635.48
2.111K	2	5.09	6.01	1.37	918.11	13263.80
2.211K	2	5.90	6.41	1.15	957.58	13892.12
2.316K	2	6.37	6.27	1.01	996.01	14551.86
2.416K	2	6.40	5.81	1.09	983.56	15180.18
2.516K	2	6.09	5.11	1.28	911.04	15808.49
2.616K	2	5.67	4.42	1.45	819.85	16436.81
2.716K	2	5.23	3.79	1.57	736.72	17065.13
2.758K	2	5.07	3.57	1.62	704.75	17329.02
4K	2	2.92	1.03	1.94	307.45	25132.74
5.5K	2	2.40	465.57m	2.42	203.44	34557.52
7K	2	2.22	284.42m	2.23	162.97	43892.30
8.351K	2	2.14	174.13m	1.97	99.6	52470.88

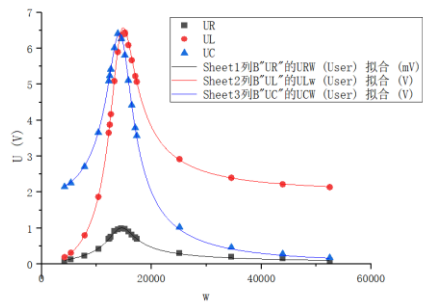
用 multisim 做的仿真测得的数据（电阻为  $1000\Omega$ ）

电阻为  $1000\Omega$  时实验数据记录表

f/Hz	$U_S/V$	$U_L/V$	$U_C/V$	$U_{LC}/V$	$U_R/V$	W
157	2	7.98m	1.998	1.990	0.200	986.46
348	2	0.039	1.99	1.951	0.441	2186.55
520	2	0.087	1.976	1.890	0.654	3267.26
803	2	0.203	1.939	1.737	0.991	5045.40
1.203K	2	0.433	1.847	1.414	1.414	7558.67
1.351K	2	0.532	1.799	1.267	1.547	8488.58
1.511K	2	0.644	1.739	1.096	1.673	9493.89
1.811K	2	0.854	1.607	0.753	1.852	11378.85
2.111K	2	1.053	1.457	0.405	1.958	13263.80
2.484K	2	1.265	1.265	0	2.000	15607.43
2.984K	2	1.480	1.025	0.454	1.947	18749.02
3.484K	2	1.626	0.827	0.799	1.833	21890.62
3.984K	2	1.724	0.670	1.45	1.699	25032.21
4.484K	2	1.79	0.549	1.241	1.568	28173.80

5.13K	2	1.847	0.433	1.414	1.414	32232.74
15K	2	1.985	0.054	1.931	0.520	94247.78
20K	2	1.992	0.031	1.961	0.391	125663.70
25K	2	1.995	0.020	1.975	0.313	157079.63
39.31K	2	1.998	7.977m	1.97	0.200	246992.01

六、实验结果与分析



1. 电阻为 100Ω 时，用 origin 做出的电阻、电感、电容的电压和频率特性曲线如下图所示，可见，曲线拟合的效果很好地符合了理论的频率特性曲线。

当  $w \rightarrow 0$  时， $U_R, U_L \rightarrow 0, U_C \rightarrow$  输入电压 2V  
当  $w \rightarrow$  无穷时， $U_R, U_C \rightarrow 0, U_L \rightarrow$  输入电压 2V  
且  $U_L$  的最大值点大于 RLC 串联电路的谐振角频率，  
 $U_C$  的最大值点小于 RLC 串联电路的谐振角频率。  
而当电路发生谐振时，电阻电压的最大值只有电源输出电压的 1/2 左右，说明电感的电阻值与 100Ω 接近。

下给出一端口电路品质因数的分析：

模型	URW (User)
方程	$A * (4 * 10000 * D / (10000 * D + (0.04 * B * w - 10^7 * C / w)^2))^0.5$
绘图	UR
A	$0.504 \pm 0.01566$
B	$1.5846 \pm 1.32471$
C	$1.3507 \pm 1.129$
D	$9.78695 \pm 15.0749$
Reduced Chi-Sqr	$4.04282E-4$
R平方 (COD)	0.99706
调整后R平方	0.99647

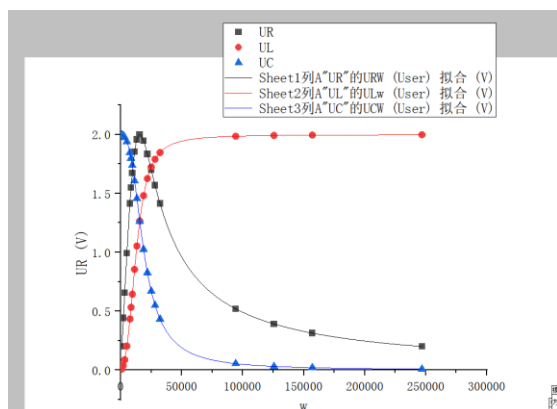
由拟合曲线得出的方程和各参数可知：

电路中电感的实际值为  $63.38\text{mH}$ ，

电容的实际值为  $0.07\text{ }\mu\text{F}$ ，由此得出的谐振角频率为  $14597.87$ ，换算成信号源输出频率为  $2.32\text{KHz}$ ，与实验测得的  $2.316\text{KHz}$  接近，

若采用  $100\text{ }\Omega$  电阻计算，品质因数  $Q = 9.25$

若采用  $100\text{ }\Omega$  电阻和电感的等效电阻计算，品质因数  $Q = 4.63$



2.电阻为  $1000\text{ }\Omega$  时，origin 做出的电阻、电容、电感的频率特性曲线如右图所示，可见，电阻两端的电压随角频率的变化关系与  $100\text{ }\Omega$  相同，但电感和电容曲线的变化较大。可以看出，电感和电容电压随角频率变化的曲线已无极值，为单调函数，角频率为 0 时，电容两端电压为输入电压，随  $w$  的增加单调递减，最终趋于 0；角频率为 0 时，电感两端电压为 0，随  $w$  的增加单调递增，最终趋于输入电压。产生变化的原因是此时的品质因数  $Q < 0.707$

下给出该一端口电路品质因数的分析：

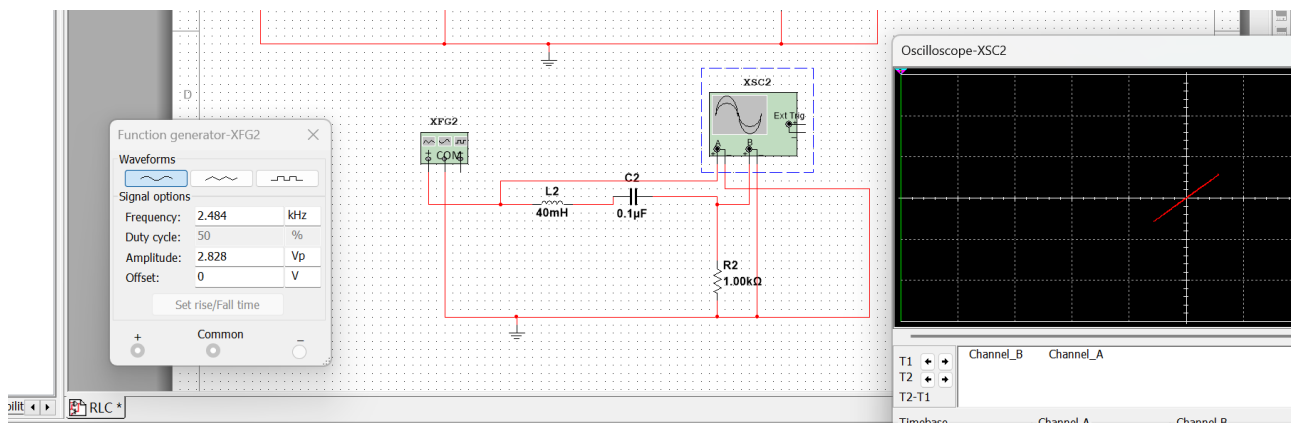
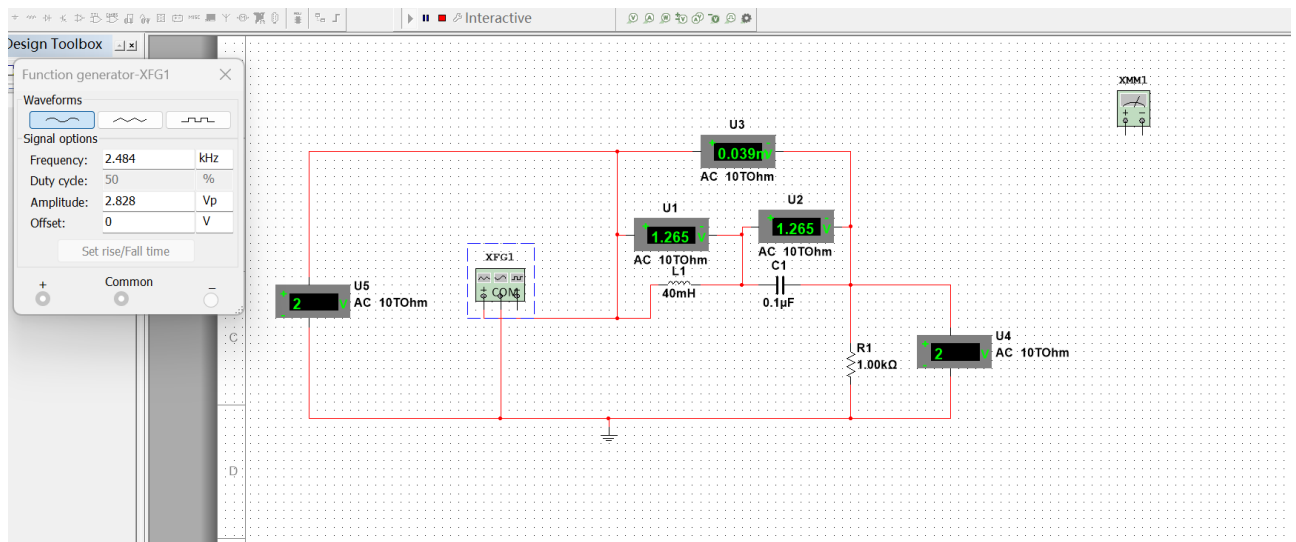
由于  $1000\text{ }\Omega$  的实验数据是在仿真软件中完成的，因此此时电路中电阻  $R = 1000\text{ }\Omega$ ，电容  $C = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ ，电感  $L = 40\text{mH}$ ，所以此时电路的品质因数  $Q = 0.632 < 0.707$ ，与图像相符。

## 七、讨论、心得

通过本次实验，我明白了 RLC 电路谐振的特性，知道了电路谐振可用示波器观察李萨如图形和使电阻上电压最大两种方法来判断，验证了电阻、电感、电容的频率特性曲线，也对示波器和信号发生器的使用更加熟悉。

在实验中，最开始测量的时候，不知道示波器的接地端应固定接地，而将示波器的通道二和接地端逐一接到待测元件两端，测出来的数据与理论偏差很大。后得知在未经隔离通道器处理时，示波器的接地端应该固定，测量对应元件的电压值时应改变元件的位置。此外，当示波器的自动测量显示超出测量范围时可以调整示波器上显示的电压范围，当待测电压值较小时也可调整示波器扫描的频率，使显示值更加稳定。

仿真：



(注：仿真中得出的谐振频率为 2.484KHz，与理论值 2.516KHz 仍有一定偏差，这可能是仿真中某些元件仍是实际元件导致的)