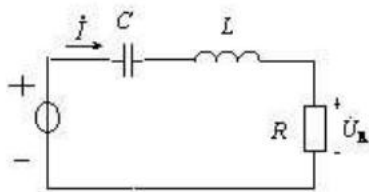


实验三：串联谐振电路

一、实验目的：

1. 加深对串联谐振电路条件及特性的理解。
2. 掌握谐振频率的测量方法。
3. 理解电路品质因数及通频带的物理意义和其测定方法。
4. 测定 RLC 串联谐振电路的频率特性曲线。
5. 深刻理解和掌握串联谐振的意义及作用。
6. 掌握电路板的焊接技术以及信号发生器、交流毫伏表等仪器的使用。
7. 掌握 Multisim 软件中的 Function Generator、Voltmeter、Bode Plotter 等仪表的使用以及 AC Analysis 等 SPICE 仿真分析方法。
8. 用 Origin 绘图软件绘图。

二、实验原理：



RLC 串联电路如图所示，改变电路参数 L 、 C 或电源频率时，都可能使电路发生谐振。

该电路的阻抗是电源角频率 ω 的函数：

$$Z = R + j(\omega L - 1/\omega C)$$

当 $\omega L - 1/\omega C = 0$ 时，电路中的电流与激励电压同相，电路处于谐振状态。

谐振角频率 $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ ，谐振频率 $f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$ 。

谐振频率仅与原件 L 、 C 的数值有关，而与电阻 R 和激励电源的角频率 ω 无关，当 $\omega < \omega_0$ 时，电路呈容性，阻抗角 $\phi < 0$ ；当 $\omega > \omega_0$ 时，电路呈感性，阻抗角 $\phi > 0$ 。

1、电路处于谐振状态时的特性。

- (1)、回路阻抗 $Z_0 = R$ ， $|Z_0|$ 为最小值，整个回路相当于一个纯电阻电路。
- (2)、回路电流 I_0 的数值最大， $I_0 = U_S/R$ 。
- (3)、电阻上的电压 U_R 的数值最大， $U_R = U_S$ 。
- (4)、电感上的电压 U_L 与电容上的电压 U_C 数值相等，相位相差 180° ， $U_L = U_C = QU_S$ 。

2、电路的品质因数 Q 和通频带 B 。

电路发生谐振时，电感上的电压（或电容上的电压）与激励电压之比称为电路的品质因数 Q ，即： $Q = U_L(\omega_0) / U_S = U_C(\omega_0) / U_S = \omega_0 L / R = 1/R * \sqrt{L/C}$

回路电流下降到峰值的 0.707 时所对应的频率为截止频率，介于两截止频率间的频率范围为通频带，即： $B = f_0/Q$

3、谐振曲线。

电路中电压与电流随频率变化的特性称频率特性，它们随频率变化的曲线称频率特性曲线，也称谐振曲线。

在 U_S 、 R 、 L 、 C 固定的条件下，有

$$I = U / \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$$

$$U_R = RI = RU / \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$$

$$U_C = I / \omega C = U / \omega C \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$$

$$U_L = \omega LI = \omega LU / \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$$

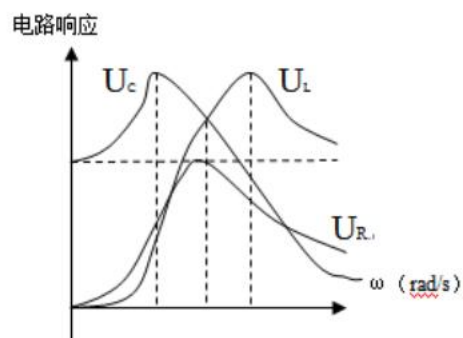


图 2.6.2 不同电源角频率 ω 时电路相应的谐振曲线

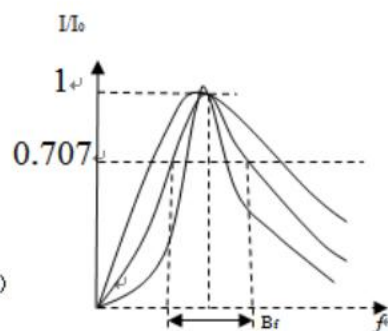


图 2.6.3 不同 Q 值时电流的频率特性曲线

改变电源角频率 ω ，可得到响应电压随电源角频率 ω 变化的谐振曲线，回路电流与电阻电压成正比。从图中可以看到， U_R 的最大值在谐振角频率 ω_0 处，此时， $U_L=U_C=QU$ 。 U_C 的最大值在 $\omega<\omega_0$ 处， U_L 的最大值在 $\omega>\omega_0$ 处。

图表示经过归一化处理后不同 Q 值时的电流频率特性曲线。从图中($Q_1<Q_2<Q_3$)可以看出： Q 值越大，曲线尖锐度越强，其选择性就越好，但电路通过的信号频带越窄，即通频带越窄。

注意，只有当 $Q>1/\sqrt{2}$ 时， U_C 和 U_L 曲线才出现最大值，否则 U_C 将单调下降趋于0， U_L 将单调上升趋于 U_S 。

三、实验方法

1. 测量电路谐振频率 f_0 的方法。

方法1 维持信号源的输出幅度不变，令信号源的频率由小逐渐变大，测量 R 两端的电压 U_R ，当 U_R 的读数为最大时，读得的频率值即为电路的谐振频率 f_0 。

方法2 根据电路发生谐振时，输入信号和电阻电压相位一致的特性，将这两路信号分别接入示波器的两个通道，并把示波器设定在 $X-Y$ 模式。调节输入信号发生器的信号频率，可以在示波器上看到一个极距变化的椭圆，当椭圆变成一条直线时，此时的电路发生了谐振，输入信号的频率就是谐振频率。

2. 频率特性曲线的测量

按图 7.1 组成监视，测量电路，用交流毫伏表测电压，用示波器监视信号源输出，令其输出电压 $U_S \leq 3V$ ，并保持不变。在谐振点两侧，按频率递增或递减 500Hz 到 1kHz，依次各取 8 个测量点，逐点测出 I, U_R, U_L, U_C 的值，根据数据绘制曲线。

3. 电路回路的品质因数 Q 的测量

测量电路发生谐振时的信号源输出电压 U_S 与电感电压 U_L 值，根据式 7.2 计算回路的品质因数 Q 。

4. 电流谐振曲线的测量

令电路中的 L 、 C 和信号源电压不变，改变 R 的值将得到不同的 Q 值，测量不同 Q 值下的电流谐振曲线。

四、实验仪器与器件

1. 计算机一台
2. 通用电路板一块
3. 低频信号发生器一台
4. 交流毫伏表一台
5. 双踪示波器 一台
6. 万用表一只
7. 可变电阻

8. 电阻、电感、电容若干（电阻 100Ω，电感 10mH、4.7mH，电容 100nF）

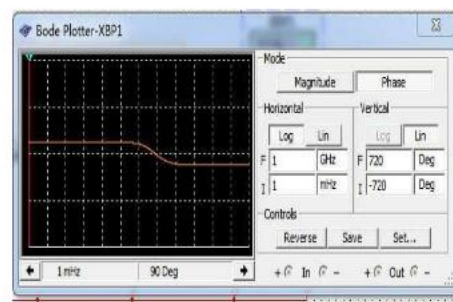
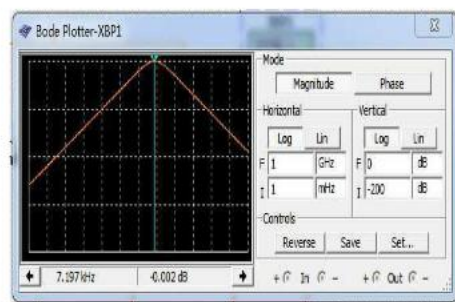
五、实验注意事项

1. 频率点的选择应在靠近谐振频率附近多取几点，频率特性上最大值点不能遗漏。
2. 在变换频率测试前，应调整信号输出幅度（用示波器监视输出幅度），使其保持不变。在测量 U_C 和 U_L 数值前，应将毫伏表的量限改大约 10 倍，而在测量 U_C 与 U_L 时，毫伏表的“+”端接 C 与 L 的公共点，其接地端分别取 L 和 C 的近地端。

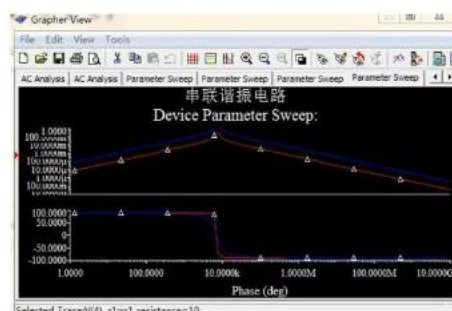
六、实验内容

1. Multisim 仿真

- (1) 创建电路：从元器件库中选择可变电阻、电容、电感创建如图 2.6.4 电路。
- (2) 分别用 Multisim 软件(AC 仿真、波特表、交流电压表均可)测量串联谐振电路的谐振曲线、谐振频率、-3dB 带宽。



- (3) 当电阻 $R=1K$ 时，用 Multisim 软件仿真串联谐振电路的谐振曲线，观测 R 对 Q 的影响。



- (4) 利用谐振的特点设计选频网络，在串联谐振电路 ($R=100\Omega$ $L=4.7mH$ $C=100nF$) 上输入频率为 3.5kHz、占空比 30%、脉冲幅度为 5V 的方波电压信号，用 Multisim 软件测试谐振电路输入信号和输出信号（电阻上电压）的频谱，绘图并观察频谱的变化。

2. 测量元件值，计算电路谐振频率和品质因数 Q

的理论值

$$Q=U_L(\omega_0)/U_S=U_C(\omega_0)/U_S=\omega_0 L/R=\sqrt{L/C}/R=2.17。$$

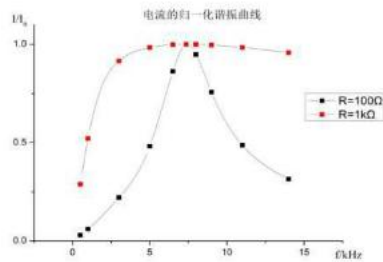
3. 在电路板上根据图 2.6.1 焊接电路，信号电压有效值设置为 1V。
4. 用两种不用方法测量电路的 f_0 值。
 $f_{01}=7.23kHz$ $f_{02}=7.26kHz$
5. 测试电路板（交流电压表）上串联谐振电路的谐振曲线、谐振频率、-3dB 带宽。
6. 随频率变化，测量电阻电压、电感电压、电容电压、电流的值。记录如下表：

测量方法：按图组成监视、测量电压、用交流毫伏表测电压，用示波器监视信号源输出，输出电压为 3V，保持不变。按一定频率值测量 U_R 、 U_L 、 U_C 的值，根据数据绘制曲线。

表 1：实测 RLC 电路响应的谐振曲线的测量

1000Ω 电阻

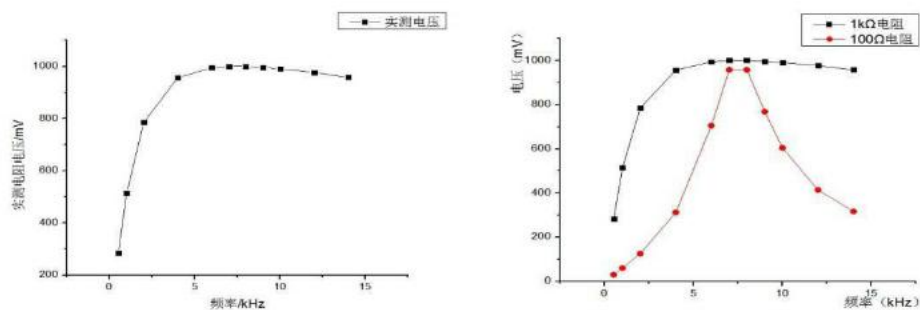
频率 f/kHz	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0	14
电阻 U_R /mV	283	514	785	957	995	1000	1000	996	991	977	958



100 Ω 电阻

频率 f/kHz	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0	14
电阻 UR/mV	30	60	125	312	705	958	958	768	605	414	316

实测 RLC 电路响应的谐振曲线



7. 改变电阻阻值，重复 6.

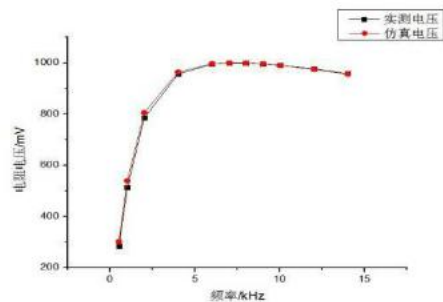
8. 电路仿真

1000 Ω 电阻

频率 f/kHz	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0	14
电阻 UR/mV	301.009	539.3	805.534	963.69	996.557	999.858	999.038	995.497	990.056	974.942	956.04
电感 UL/mV	4.45	15.931	47.639	114.437	178.696	209.385	239.101	268.036	296.19	350.002	400.419
电容 UC/mV	958.062	858.041	640.178	381.422	261.21	224.403	196.192	173.775	155.542	127.64	107.284

100 Ω 电阻

频率 f/kHz	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0	14
电阻 UR/mV	31.549	63.91	134.706	339.509	770.245	988.863	918.821	726.126	575.596	401.544	310.0
电感 UL/mV	4.659	18.88	79.665	403.168	1381	2071	2199	1955	1772	1442	1299
电容 UC/mV	1004	1017	1071	1344	2091	2219	1804	1268	904.286	525.703	347.1



七、实验数据总结

1、串联谐振电路是电流谐振，一般起电流放大作用。通过串联谐振把微弱的电流信号放大。

2、思考题：

1、测试过程中，为什么必须保持信号源的输出电压恒定？

保持信号源输出电压（即 RCL 网络输入电压）恒

定，改变频率，用交流毫伏表测量对应的输出电压

2、谐振时，是否有 $U_S=U_R$ 及 $U_L=U_C$ 成立？试分析原因。

处于谐振时容抗感抗相等，容抗的电压和感抗的电压等于此电流乘以容抗和感抗，所以处于谐振状态它们一定相等。