

浙江大学

实验报告

课程名称：电路与电子技术实验 I 指导老师：姚纓英 成绩：_____

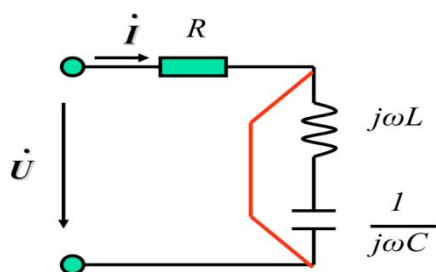
实验名称：频率特性测量

一、实验任务

1. 测量 RLC 串联电路幅频特性；
2. 谐振法测量电路参数；
3. 频率特性的应用。

二、实验内容

1) 谐振点电路等效参数



1. $L=40\text{mH}$, $C=0.1\text{ }\mu\text{F}$, $R=100\text{ }\Omega$ ，在电路两端加上幅值为 4V、频率可调的正弦波，将电压源两端电压信号 U 输入示波器 CH1 通道，将电阻 R 两端电压信号 U_R 输入示波器 CH2 通道，观察示波器波形，利用相位判定法确定谐振频率 f_0 。
2. 测量电压源的开路电阻 U_s ，计算信号源内阻。
3. 测量谐振时 LC 两端电压 U_{LC} ，计算电感的附加电阻。

2) 频率特性曲线的测量

1. 以上一实验测得的谐振频率为中心，分别在 ω_0 两侧（包含 ω_0 ）设置测试点，每个测试点处记录频率 f ，并测量 U_R 、 U_L 、 U_C 、 U_{LC} 、 U ，根据实验数据绘制 U_R 、 U_L 、 U_C 、 U_{LC} 、 U 的频率特性曲线。
2. 测量通频带宽度：记 ω_0 处电阻两端的电压为 U_{R0} ，分别记录 $U_R = 0.707U_{R0}$ 处的频率 f_1 、 f_2 ，则通频带宽度 $BW = 2\pi |f_1 - f_2|$ 。

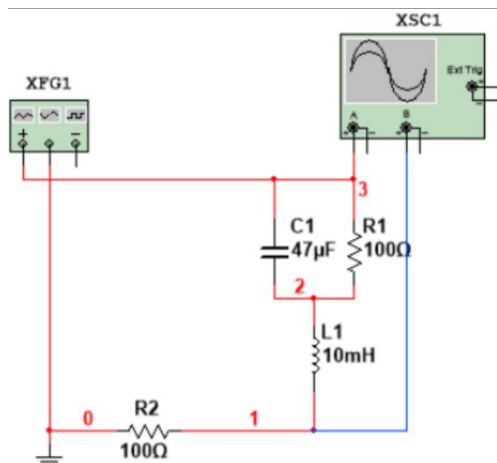
3) 频率特性曲线的应用

FFT 看方波的频率成分：

1. 电阻、电感、电容串联，选用 $L=20\text{mH}$, $C=0.1\text{ }\mu\text{F}$, $R=300\text{ }\Omega$ ，在电路两端加上幅值为 4V、频率为 3560Hz 的方波。

2. 将电压源两端（输入端）电压信号 U 输入示波器 CH1 通道，将电阻 R 两端（输出端）电压信号 U_R 输入示波器 CH2 通道，观察示波器波形，FFT 提取方波的频率成分。

4) 谐振法测量交流等效参数



已知电阻 $R_2 = 100\ \Omega$ ，电感 $L_1 = 10\text{mH}$ ，测量 CR 的阻抗：

1. 在电路两端加上幅值为 4V、频率可调的正弦波，将电压源两端电压信号 U 输入示波器 CH1 通道，将电阻 R_2 两端电压信号 U_{R2} 输入示波器 CH2 通道，观察示波器波形，调整频率，利用相位判定法确定谐振频率 f_0 。
2. 读出 U 、 U_{R2} 幅值，计算电流 I 与 CR 两端的电压 U_{CR} 。
3. 计算 CR 的阻抗 Z 。

三、测试结果

1) 谐振点电路等效参数

当调至 $f = 2460\text{Hz}$ 时，示波器波形如下：



$\phi_1 - \phi_2 = -0.49^\circ$ ，则 $f_0 = 2460\text{Hz}$ 。理论上 $L=40\text{mH}$, $C=0.1\text{ }\mu\text{F}$, $f_0' = 1/(2\pi\sqrt{LC}) = 2516\text{Hz}$ ，相对误差 $E = 2.28\%$ 。

$U_s = 4.24\text{V}$, $U = 3.44\text{V}$, $U_R = 1.62\text{V}$, $I = U_R/R = 16.2\text{mA}$ ，信号源内阻 $r = (U_s - U)/I = 49.4\text{ }\Omega$ 。

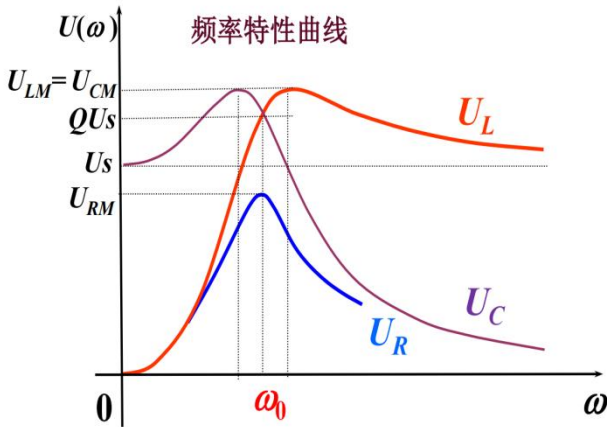
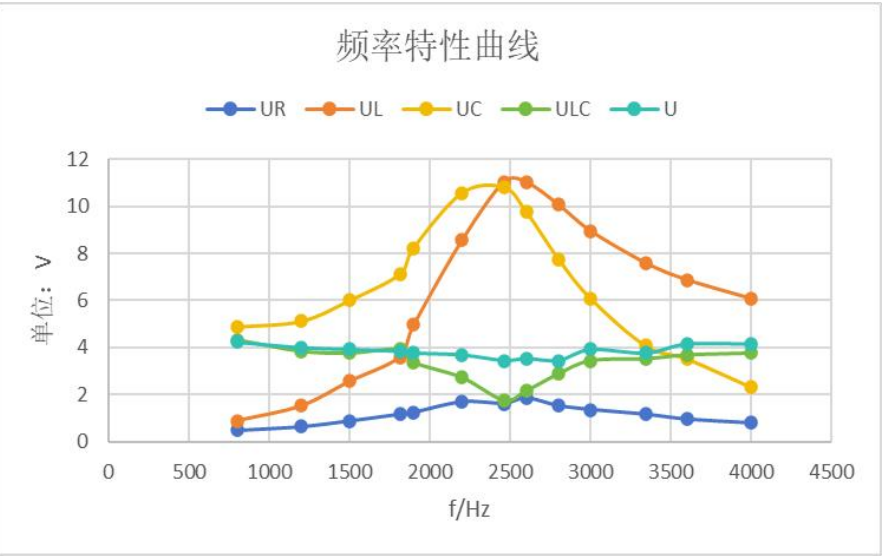
$U_{LC} = 1.54\text{V}$ ，电感的附加电阻 $R_L = U_{LC}/I = 95.1\text{ }\Omega$ 。

2) 频率特性曲线的测量

数据记录如下：

f/Hz	2460	2200	1900	1813	1500	1200	800	2600	2800	3000	3342	3600	4000	2800
U_R/V	1.62	1.68	1.24	1.16	0.88	0.64	0.48	1.84	1.52	1.36	1.16	0.96	0.8	1.52
U_L/V	11.04	8.56	4.96	3.6	2.56	1.52	0.88	11.04	10.08	8.96	7.6	6.88	6.08	10.08
U_C/V	10.8	10.56	8.24	7.12	6.00	5.12	4.88	9.76	7.76	6.08	4.08	3.52	2.32	7.76
U_{LC}/V	1.76	2.72	3.36	3.92	3.76	3.84	4.32	2.16	2.88	3.44	3.52	3.68	3.76	2.88
U/V	3.44	3.68	3.76	3.84	3.92	4.00	4.24	3.52	3.44	3.92	3.76	4.16	4.16	3.44

U_R 、 U_L 、 U_C 、 U_{LC} 、 U 的频率特性曲线如左图所示， U_R 、 U_L 、 U_C 的理想频率特性曲线应符合右图所示关系：



以上使用逐点测量法测出的频率特性曲线，可以看出在谐振点 $f_0 = 2460\text{Hz}$ 附近 U_R 最大， U_{LC} 最小，电流有效值最大故信号源内阻两端电压最大， U 最小；而 U_L 最大值出现在谐振点之后， U_C 最大值出现在谐振点之前，与理论分析符合。

$U_{R0} = 1.62\text{V}$ ，则 $U_{R0} = 1.15\text{V}$ ，当 $f_1 = 1813\text{Hz}$, $f_2 = 3342\text{Hz}$ 时均有 $U_{R0} = 1.16\text{V}$ ，

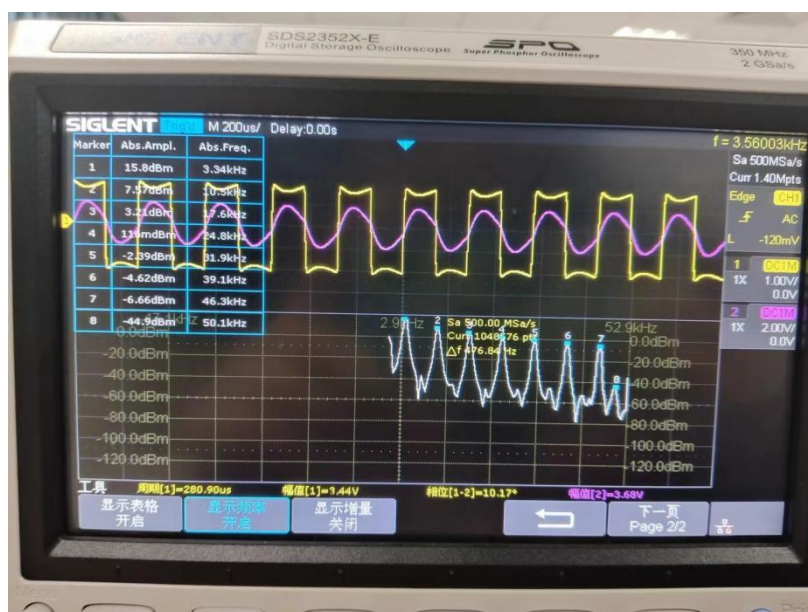
则通频带宽度 $BW = 2\pi |f_1 - f_2| = 9607\text{Hz}$, $Q = 2\pi f_0/BW = 1.609$ 。

理论上 $f_0 = 2516\text{Hz}$, 实际 $f = 2460\text{Hz}$, 相对误差 $E = 2.28\%$, 在允许测量误差范围内, 可能由于电容与电感标称值与实际值有误差。

理论上 $BW = R/L = 2500\text{Hz}$, $Q = 2\pi f_0/BW = 6.323$, 实际上 $BW = 9607\text{Hz}$, $Q = 1.609$, 与理论值差距较大, 可能由于电感附带的电阻过大, 使得通频段增大。

3) 频率特性曲线的应用

输入端 U 与输出端 UR 的波形与 FFT 频谱显示如下:



FFT 频谱作为幅度以 dBm-f 绘制在示波器显示屏上, 由图中可见 8 个谐波分量。

4) 谐振法测量交流等效参数

调节至 $\phi_1 - \phi_2 = 0.04^\circ$ 时, 示波器波形显示如下:



此时 $f = 204\text{Hz}$ ，测得 $U_{R2} = 2.48\text{V}$ ， $U = 2.86\text{V}$ ，则 $I = U_{R2}/R_2 = 24.8\text{mA}$ ， $U_{LR} = I(R_2 + j\omega L) = (2.48 + 0.32j)\text{V}$ ， $U_{CR} = U - U_{LR} = (0.38 - 0.32j)\text{V}$ ， $Z = U_{CR}/I = 20.03 \angle -40.10^\circ \Omega$ ， $Y = 1/Z = 0.0499 \angle 40.10^\circ = (0.0384 + 0.0321j) \Omega^{-1}$ ， $R = 1/0.0384 = 26.0 \Omega$ ， $C = 0.0321/2\pi f = 25.1 \mu\text{F}$ 。测量值与理论值相差较大，可见谐振法精度不高，推测与电感带的电阻较大有关。

四、思考和拓展

要从方波输入得到较理想的正弦波输出，电容和电感的串联电路可以作为低通滤波器使用，它的截止频率应该设置在接近或略高于方波信号的最高谐波频率，使得高次谐波有效衰减。同时，需要选择较大的品质因数 Q ，使得滤波器的带宽较窄，提高特定频率的筛选效果。

输入频谱的 8 个频率成分强度差别不大。输出频谱中只有单一正弦波频率成分显著，而其他的高次谐波都有衰减。

心得：本次实验进行了 RLC 串联电路的测量，让我了解了逐点测量法求频幅特性曲线的方法，更是让我了解了示波器 fft 的运用，让我对示波器和信号源的使用更加了解熟悉。本次实验也让我意识到要加快做实验的速度，不然的话会没有时间纠错和进行拓展。