

浙江大学实验报告

专业：_自动化(控制)_

姓名：___李丰克___

学号：___3230105182___

日期：___2024.10.24___

地点：___东三 206___

课程名称：___电路与模电实验___ 指导老师：___于于___

实验名称：___RLC 串联谐振实验___

一、实验目的和要求

- 1.掌握谐振频率及品质因素的测量方法；
- 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。

二、实验内容和原理

1, 实验内容:

- ①测量出电路的谐振频率点，以 f_0 为中心向左右扩展测量，测量出通频带宽，计算出品质因数 Q 。
- ②利用波特图直接观测幅频、相频曲线。

2, 实验原理

1)由电阻、电感器和电容器串联组成的一端口网络，其等效复阻抗为：

$$Z = (R + R_L) + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})$$

串联谐振条件 $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

RLC 电路谐振时，电路阻抗最小，电路电流值达到最大值。

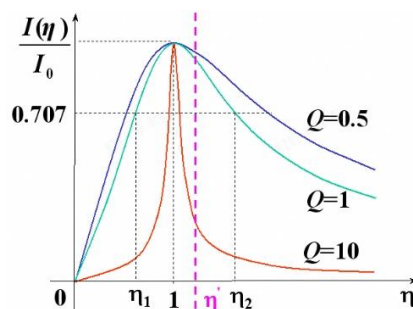
2)品质因数和通频带

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

令 I_0 为谐振时电路电流， I/I_0 - f 曲线趋势与 Q 有关

当 $\frac{I}{I_0} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$ 时，与曲线相交得到的两个频率之间的区域称为通频带。

$$\text{通频带的宽度 } \Delta f = f_2 - f_1 = \frac{f_0}{Q}$$



三、主要仪器设备

示波器，信号源，4 个 10mH 电感，1 个 0.1 μ F 电容，100 Ω 电阻，1k Ω 电阻，万用表。

四、实验任务与线路图

仿真任务：

通过 MWORKS 软件得到 U_r, U_L, U_C 的幅频，相频曲线，

通过仿真中的 $y(x)$ 曲线功能，观察电阻电压 U_r 与电源电压 U_s 形成的李萨如图形

实验任务一：

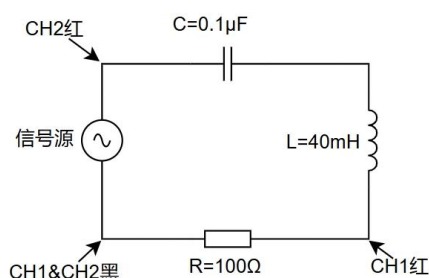
1) 先用万用表测量实验用的各个元器件

2) 连接串联谐振电路，设定信号源输出正弦波，有效值为 $2V_{rms}$ 。通过以下两种方法测得谐振频率点 f_0 。

① 谐振时电流达到最大，即测得电阻两端电压最大时的频率即是谐振频率。

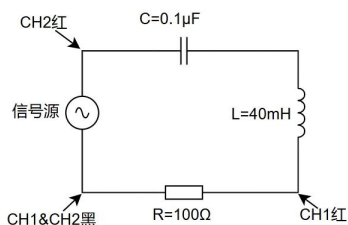
② 谐振时电压与电流同相位，即 U_s 与 U_r 同相位，可以观测 U_s 与 U_r 的李萨如图形，当图形为一条直线时同相，此时的频率即为谐振频率点。

观测李萨如图形所用的电路：

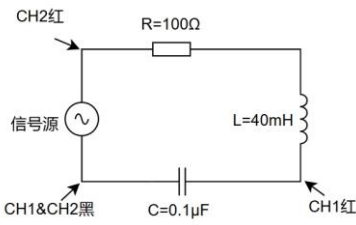


3) 以 f_0 为中心向左右扩展测量，即通过测量不同频率下的 U_r, U_C, U_L 和 U_s 数值，来测定传递函数的幅频特性，要求测量的值应包括通频带，计算通频带宽。

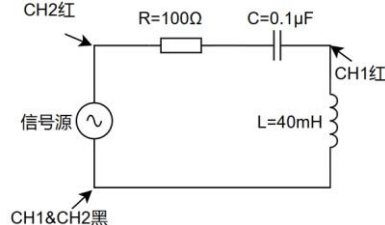
测 U_r



测 U_C



测 U_L

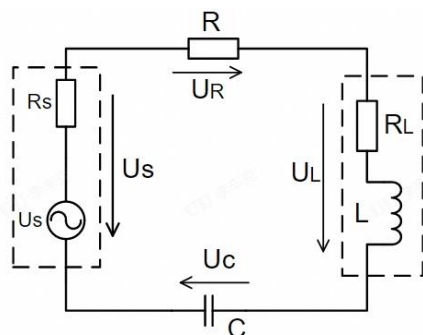


4) 数据分析

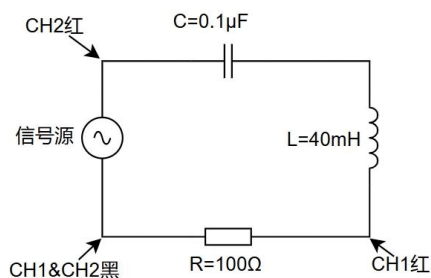
① 画出电阻、电感、电容元件的幅频特性曲线；

② 采用两种方法计算电路的品质因数 Q ，分析与估算值 (≈ 6.32) 不等的原因，哪个 Q 值更准确。

③ 根据等效电路，计算电感器在谐振频率点下的直流阻抗 R_L 和电感 L



实验任务二：
如图连接线路

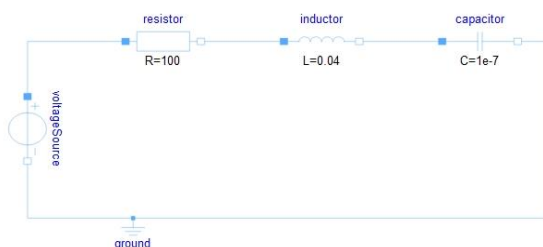


示波器开启波特图模式，调节参数得到幅频和相频曲线
将电阻换为 $1k\Omega$ ，再测波特图。

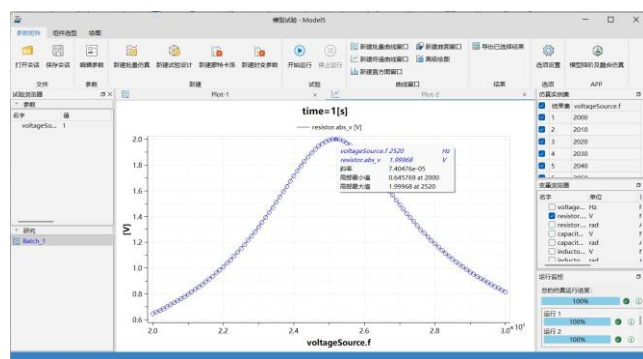
五、实验数据记录处理与实验结果分析

仿真任务：

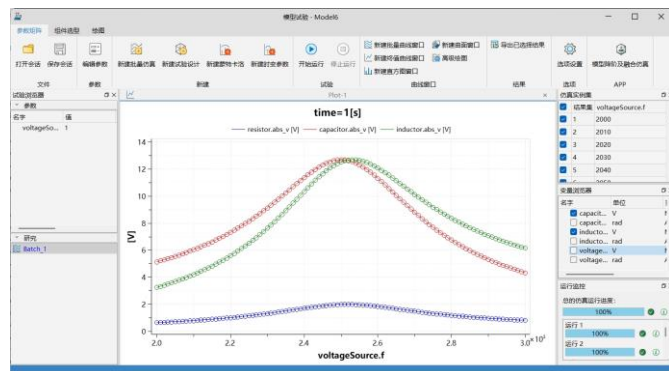
所搭建的电路：



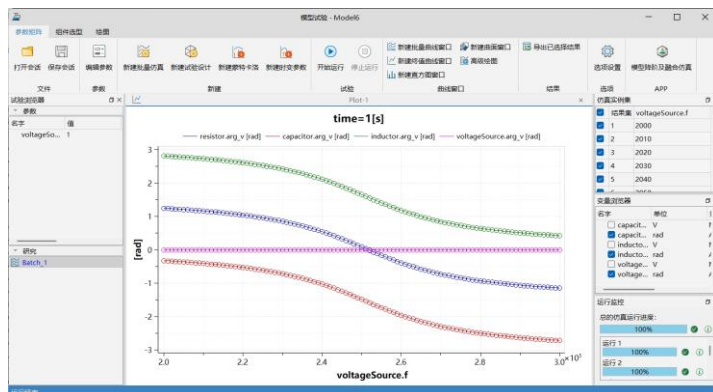
U_r 的幅频图像



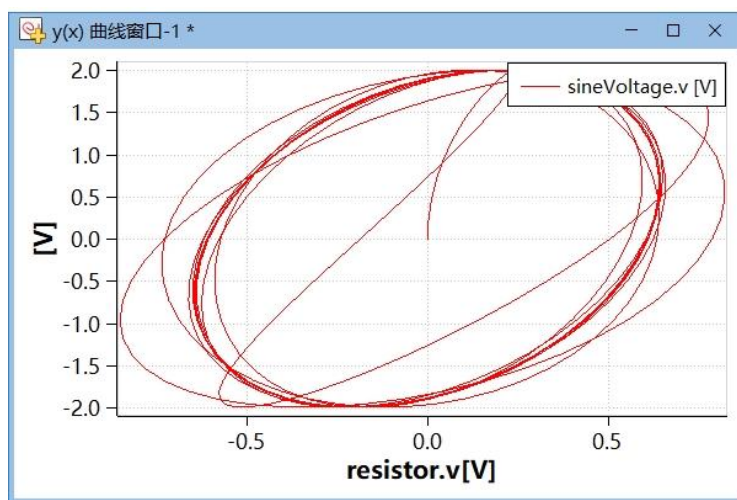
U_c , U_L 的幅频图像



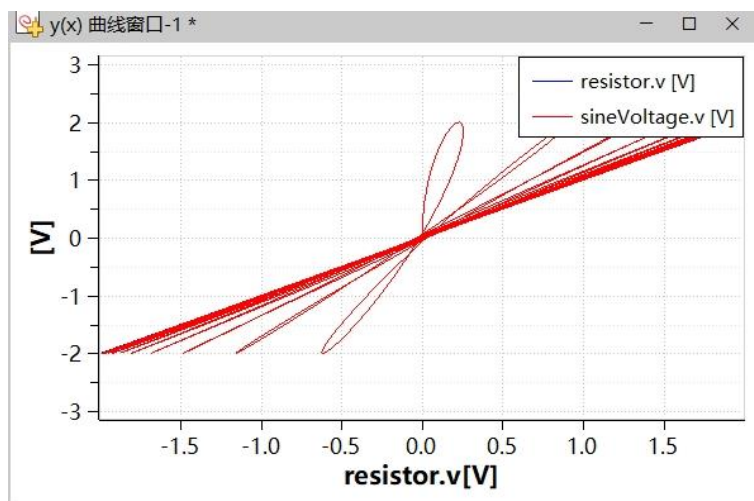
Ur, Uc, UL 的相频图像



2000HZ 下的 Ur 与 Us 的李萨如图形



2516HZ 下的 Ur 与 Us 的李萨如图形



实验任务一：

1, 用万用表测得各个器件的值

| | | |
|----------------|-------------------------|---------------|
| 电阻 R/ Ω | 40mH 电感的阻值 RL/ Ω | 电容 C/ μF |
|----------------|-------------------------|---------------|

| | | |
|-------|------|--------|
| 100.0 | 74.8 | 0.1023 |
|-------|------|--------|

2，测量谐振频率点 f_0

①利用找使得电阻两端电压达到最大值的频率的方法：

第一轮粗测

| | | | | | |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| f/HZ | 2200 | 2300 | 2400 | 2500 | 2600 |
| Ur/mV | 727.98 | 775.23 | 797.22 | 784.43 | 754.02 |

得出谐振频率点应该处于 2300~2500HZ 之间

第二轮测量

| | | |
|-------|--------|--------|
| f/HZ | 2350 | 2450 |
| Ur/mV | 788.46 | 792.12 |

得出谐振频率点应该位于 2350~2450 之间

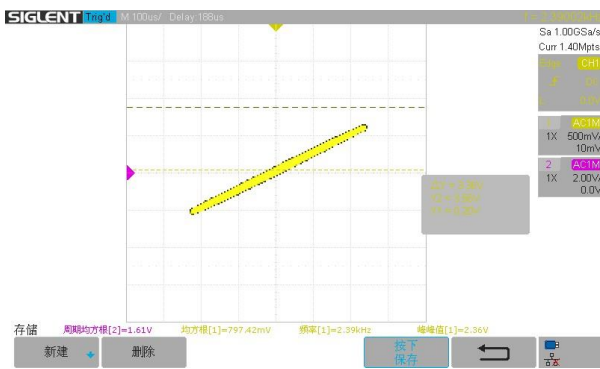
第三轮测量

| | | | | | | | | | |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| f/HZ | 2360 | 2370 | 2380 | 2390 | 2400 | 2410 | 2420 | 2430 | 2440 |
| Ur/mV | 790.25 | 792.31 | 793.67 | 795.30 | 797.22 | 799.51 | 798.25 | 796.95 | 794.56 |

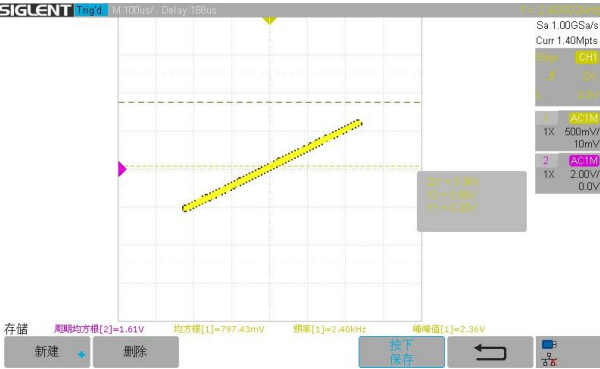
故得出谐振频率点位于 2400~2420 之间，可近似认为谐振点频率为 2410HZ

②通过 U_r 与 U_s 的李萨如图形来求谐振点频率：

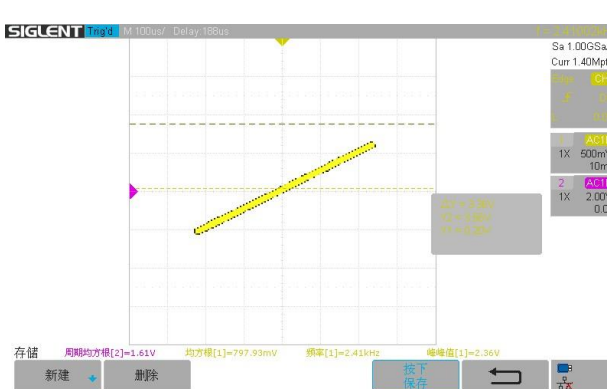
2390HZ 时



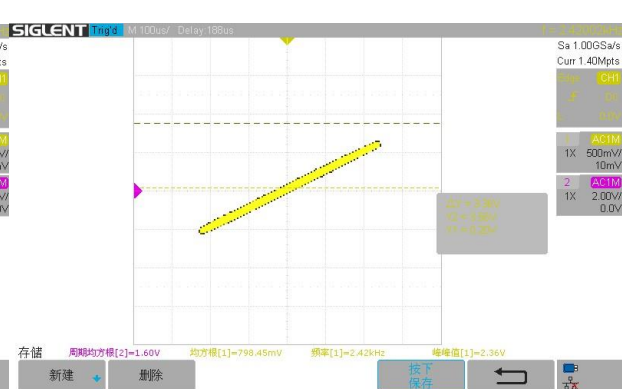
2400HZ 时



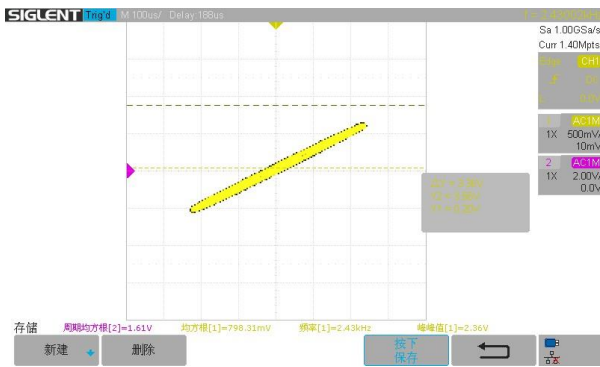
2410HZ 时



2420HZ 时



2430HZ 时



通过对比 2390、2400、2410、2420、2430HZ 时的李萨如图形，发现所成直线由粗变细再变粗，直线最细时 U_r 与 U_s 相位最接近。由图得出 2410HZ 时直线最细，可以得出谐振频率点应在 2400~2420 范围内，可近似认为谐振频率点为 2410HZ。

综上所述认为谐振频率为 2410HZ。

3, 以 f_0 为中心向两侧扩展, 测量不同频率下的 U_s , U_r , U_c , U_L 。测出通频带的上下限, 计算尺通频带宽度, 求出质因数。求出等效电路图中的 R_L 和 L 。

由 2 计算出 $I_{0R}=799.51\text{mA}$, 当 U_r 下降到 $0.707 \times I_{0R}=565.25\text{mA}$ 时对应的频率分别为通频带的上下限频率。

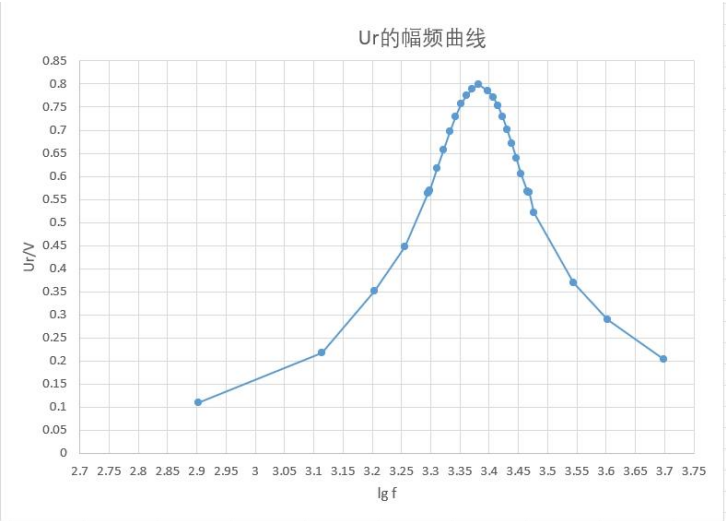
| f/HZ | U_s/V | U_r/mV | U_c/V | U_L/V | U_r/U_s |
|------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|
| 800 | 2.03 | 109.43 | 2.24 | 0.24432 | 0.053906404 |
| 1300 | 1.93 | 217.46 | 2.59 | 0.76028 | 0.112673575 |
| 1600 | 2.01 | 351.71 | 3.38 | 1.50 | 0.1749801 |
| 1800 | 1.92 | 446.71 | 3.83 | 2.16 | 0.232661458 |
| 1970 | 1.80 | 563.92 | 4.52 | 3.09 | 0.313288889 |
| 1980 | 1.80 | 565.43 | 4.53 | 3.10 | 0.314127778 |
| 1990 (通频带 下限) | 1.80 | 568.91 | 4.53 | 3.10 | 0.316061111 |
| 2050 | 1.76 | 616.91 | 4.72 | 3.47 | 0.350517045 |
| 2100 | 1.74 | 656.48 | 4.90 | 3.75 | 0.377287356 |
| 2150 | 1.72 | 696.16 | 5.06 | 4.10 | 0.404744186 |
| 2200 | 1.70 | 728.14 | 5.18 | 4.40 | 0.428317647 |
| 2250 | 1.66 | 756.92 | 5.19 | 4.65 | 0.455975904 |
| 2300 | 1.63 | 775.12 | 5.27 | 4.88 | 0.475533742 |
| 2350 | 1.60 | 788.14 | 5.24 | 5.05 | 0.4925875 |
| 2410 (谐振频 率点) | 1.58 | 799.51 | 5.15 | 5.22 | 0.506018987 |
| 2500 | 1.62 | 784.72 | 4.91 | 5.35 | 0.484395062 |
| 2550 | 1.66 | 771.80 | 4.74 | 5.36 | 0.464939759 |
| 2600 | 1.69 | 753.60 | 4.54 | 5.34 | 0.44591716 |
| 2650 | 1.73 | 728.38 | 4.32 | 5.26 | 0.421028902 |
| 2700 | 1.75 | 700.77 | 4.07 | 5.15 | 0.40044 |
| 2750 | 1.74 | 670.14 | 3.82 | 5.00 | 0.385137931 |
| 2800 | 1.78 | 638.19 | 3.57 | 4.83 | 0.358533708 |
| 2850 | 1.79 | 605.25 | 3.32 | 4.65 | 0.338128492 |
| 2920 | 1.81 | 568.15 | 3.01 | 4.43 | 0.313895028 |
| 2930 (通频带 上限) | 1.81 | 566.12 | 3.00 | 4.42 | 0.312773481 |
| 2940 | 1.82 | 564.23 | 2.98 | 4.42 | 0.310016484 |
| 3000 | 1.85 | 521.42 | 2.72 | 4.21 | 0.281848649 |
| 3500 | 1.91 | 369.71 | 1.63 | 3.41 | 0.193565445 |
| 4000 | 1.98 | 289.15 | 1.10 | 2.96 | 0.146035354 |
| 5000 | 1.99 | 204.21 | 0.63379 | 2.54 | 0.10261809 |

由数据可以得出使得 $U_r \approx 565.25V$ 的两个频率分别为 $f_1=1990HZ$, $f_2=2930HZ$, 通频带宽度 $\Delta f=f_2-f_1=940HZ$

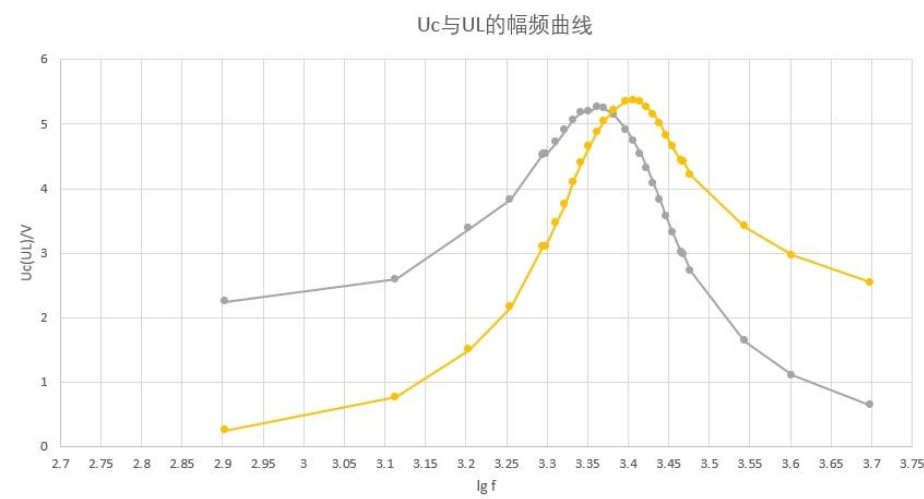
数据分析:

1) 绘制图像

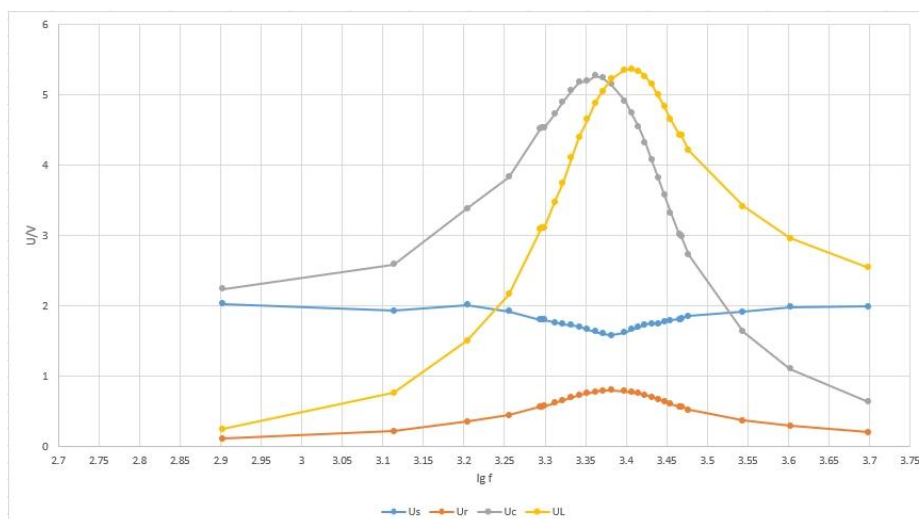
以频率以 10 的对数为 x 轴, U_r 为 y 轴绘制 $U_r-\lg f$ 曲线



以 U_c 和 U_L 为 y 轴绘制曲线



全部曲线



通过曲线我们可以得出， U_r 最大的点、 U_s 最小的点对应同一个频率，即谐振频率，即 2410HZ。而 U_r 与 U_c 并没有满足在峰值的同时两者值相等，是因为电感含有内阻 R_L ，测得的 U_L 是 L 电压与 R_L 电压矢量相加后的模，当谐振时 U_c 与 L 两端电压相等，但是 U_L 还包含 R_L 电压，故谐振时 U_L 大于 U_c 。

但是从图中我们发现， U_s 也在随着 f 增大而规律变化，说明信号源也含有内阻分压，其中测得的 U_s 并不为信号源两端电压，而是 R 、 R_L 、 C 、 L 四者两端电压和，没有包括了 R_s 两端电压。

2) 求品质因数 Q :

①用通频带定义 $\Delta f = f_0/Q$ ，得出

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} = \frac{2410 \text{ Hz}}{940 \text{ Hz}} = 2.56$$

②用品质因数 Q 定义

由谐振时电压关系， R_s 两端电压 $= 2V - U_s = 0.42V$ ，得出信号源内阻 $R_s = 0.42V/I_0 = 52.53 \Omega$

由于求的是 RLC 电路的品质因数，应该排除 R_s 的影响。

假设电容 C 是准确值

谐振时的电流

$$I_0 = \frac{U_r}{R} = 7.9951 \text{ mA}$$

$$R_{\text{总}} = R_s + R_L + R = \frac{2V}{I_0} = 250.15 \Omega$$

$$Q = \frac{1}{R_{\text{总}} - R_s} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{2\pi f C (R_{\text{总}} - R_s)} = 3.34$$

如果假设 L 是准确值

$$Q = \frac{1}{R_{\text{总}} - R_s} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{2\pi f L}{R_{\text{总}} - R_s} = 3.06$$

由②方法得到的 Q 值更准确，虽然②方法需要假设 C 或者 L 为标称值，但是其排除了 R_s 的影响，经计算 R_s 约为 50Ω 影响较大，相较于 L 或 C 真实值的误差，未排除 R_s 的误差更大。①方法中虽然不必假

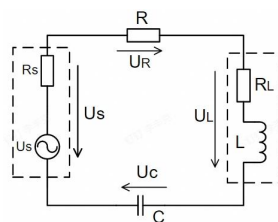
设 C 或者 L 是否为标称值，但是他是由其实际情况表现出来的可直接测得的频率相关的值求得，是将电路中所有内阻作为分母计算的，没有排除掉信号源内阻的影响，偏差较大。

Q 不与估算值 6.32 相等的原因有：

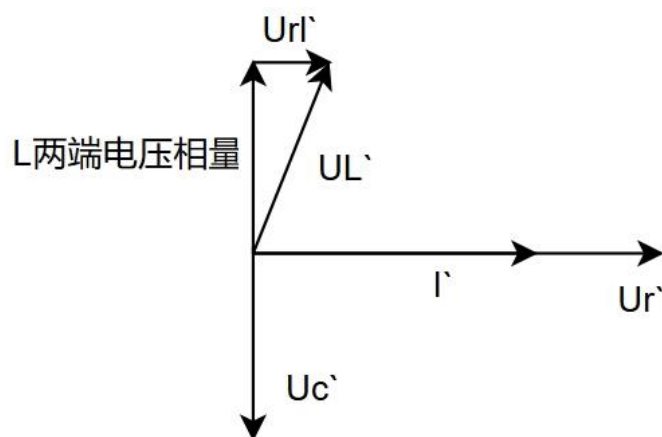
电感含有内阻 R_L ，信号源含有内阻 R_s ，均较大不可忽略。

C 与 L 的实际值可能不与标称值相同，在交流电路中工作时其值也可能发生改变，且由于两者值均较小，一点小小的偏差就会造成 f_0 与 Q 的较大变化。

3) 计算等效电路中电感器在谐振频率点的 R_L 与 L



画相量图，以 I_0 (相量)为参考向量



当恰好谐振时，测得 $U_L=5.22V$ ， $U_C=5.15V$

U_C (相量)与 L 两端电压相量大反向，在关于电感的相量三角形中

$$U_{R_L} = \sqrt{U_L^2 - (L\text{两端电压值})^2} = \sqrt{U_L^2 - U_C^2} = \sqrt{5.22^2 - 5.15^2} = 0.852V$$

由于是串联结构， R_L 的电流即为 I_0 。可以得出：

$$I_0 = \frac{U_r}{R} = 7.9951mA$$

$$R_L = \frac{U_{R_L}}{I_0} = 106.57\Omega$$

与一开始测量的 74.8Ω 比较偏大，说明电感内阻在交流电路中会变大。

求电感：

$$\omega L I_0 = L_{\text{两端电压}} = U_c$$

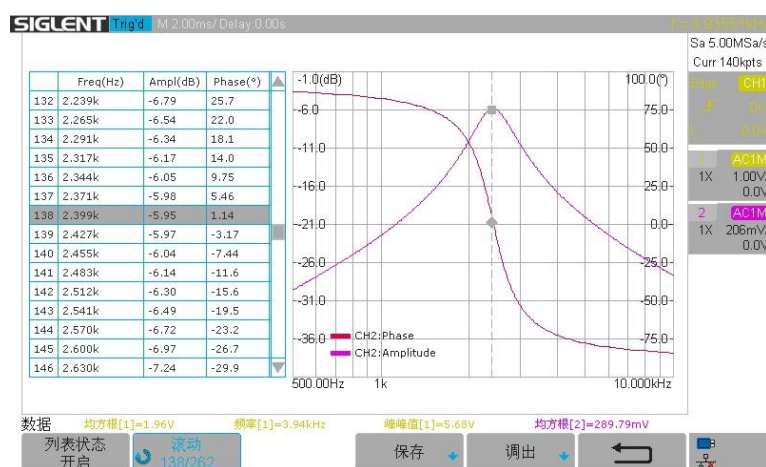
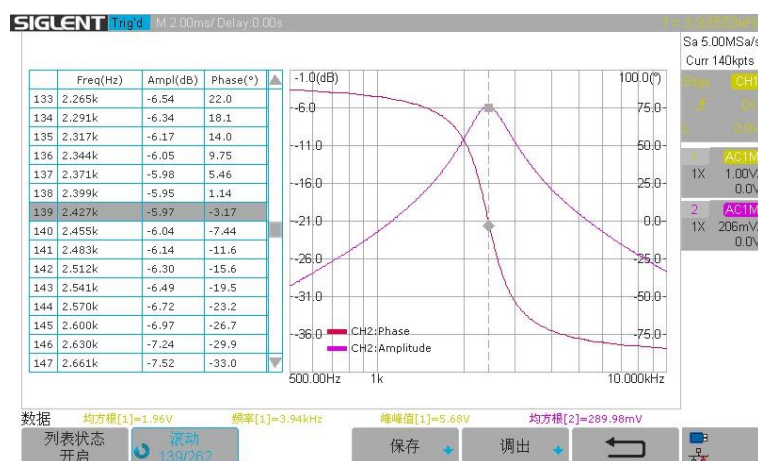
$$L = \frac{U_c}{2\pi f_0 I_0} = \frac{5.15}{2\pi \times 2410 \times 7.9951 \times 10^{-3}} = 42.53mH$$

与理论值 40mH 略偏大

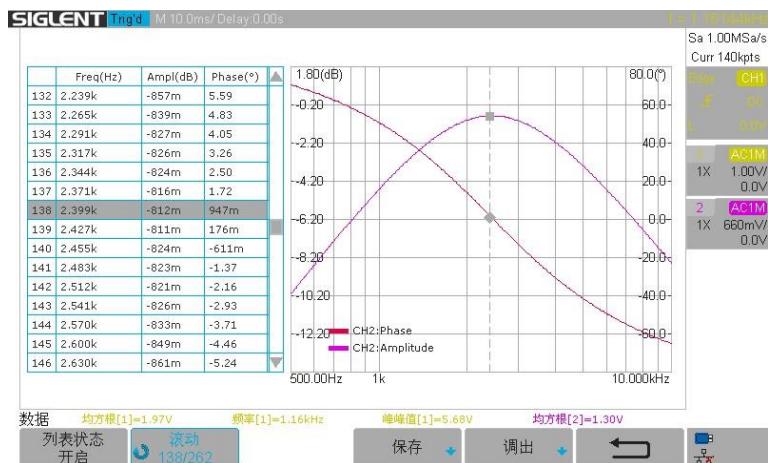
故求出电感在谐振点处 $RL=106.57\Omega$, $L=42.35mH$ 。

实验任务二：用波特图观察幅频和相频图像

分别在 $R=100\Omega$ 和 $1k\Omega$ 下观察，同时查看 U_r 峰值时对应的频率。



$R=100\Omega$ 时的波特图，通过查询数据得出 U_r 峰值时对应的频率处在 2.399kHz~2.427kHz 内，与实验任务一中测得的 $f_0=2410\text{Hz}$ 符合。



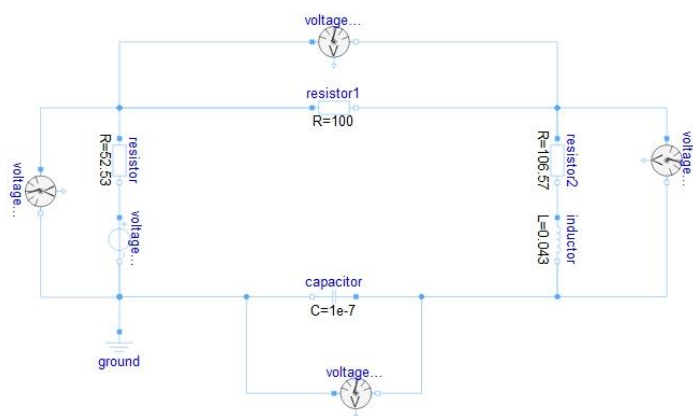
R=1kΩ时的波特图，也满足 U_r 峰值时对应的频率在 2.399kHz~2.427kHz 中，与 $f_0=2410\text{Hz}$ 符合。

修正后的仿真：

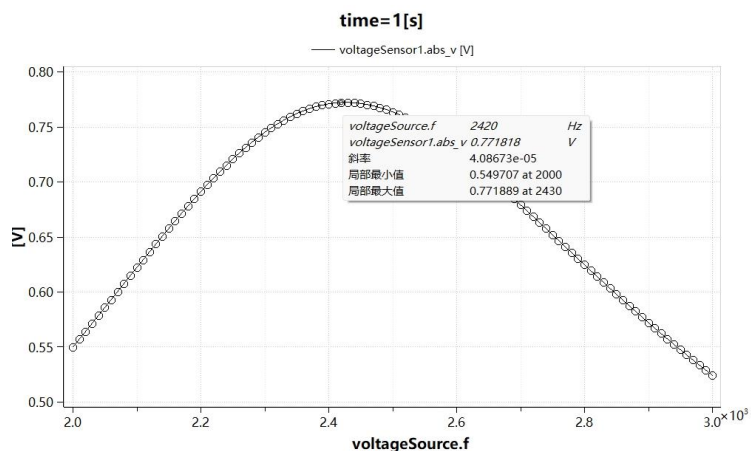
由谐振时电压关系， R_s 两端电压= $2V-U_s=0.42V$ ，得出信号源内阻 $R_s=0.42V/I_0=52.53\Omega$

在 MWORKS 软件中，我们将所用内阻都加进去，重新仿真，得出 U_s 、 U_r 、 U_L 、 U_C 与 f 的关系

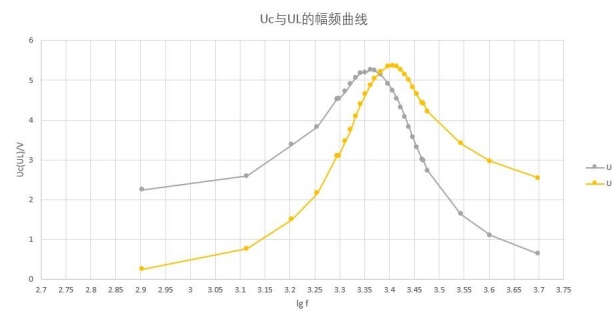
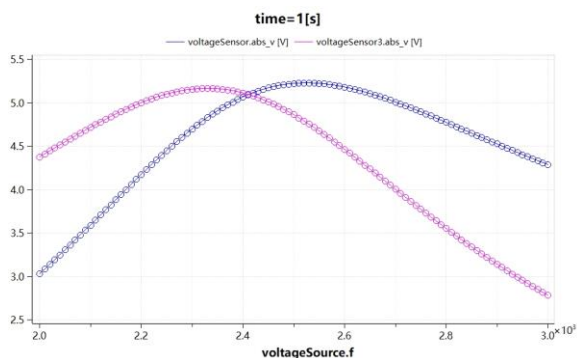
如图设计电路及参数：



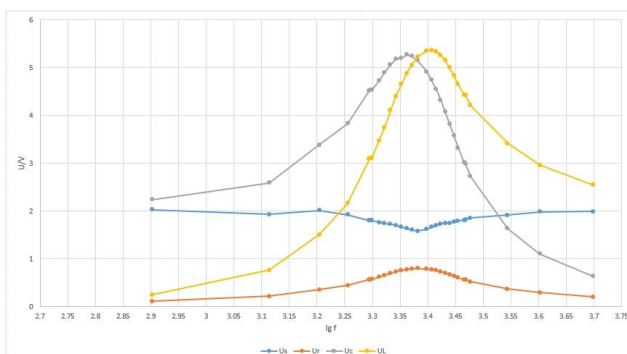
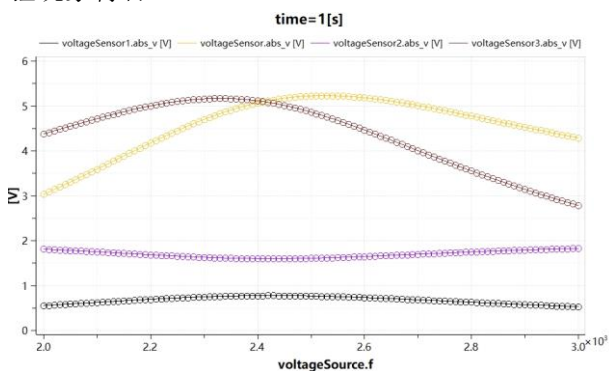
得出 U_r 的幅频曲线，近似读出峰值频率 2420Hz，与任务一测得的 2410Hz 近似相等。



得出 U_L 与 U_C 的幅频曲线（紫色 U_C ，蓝色 U_L ），与实验一得到的曲线趋势差不多(x 轴选取不同)。



全部曲线，与实验二得到曲线趋势差不多，发现仿真中也存在 U_s 随频率增大而变化的现象，且 U_r 最大、 U_s 最小时的频率值相等，即谐振频率，且此时 U_L 略大于 U_c ，由于电感存在内阻的缘故。均与实验现象符合。



六、实验心得与体会

本次实验中了解了谐振频率、品质因数、通频带等概念。本实验先从模拟仿真得到理想结果，但是实验中发现实际结果并不等于仿真结果，并且发现测得的 U_s 发生变化等问题。通过分析后猜测是由于信号源存在内阻，电感存在内阻，电感实际值不等于标称值。通过计算求得内阻值与实际电感值后重新设计电路并进行仿真，发现仿真结果与实际实验结果大致一致，猜测成立。