

基于虚拟仪器技术的电路综合实验实验报告

2200011477 李昊润 六组 7 号

2024 年 4 月 19 日

1 第一部分：虚拟仪器在物理实验中的应用

1.1 测量电阻的伏安特性

1.1.1 $R \approx 1\text{ k}\Omega$

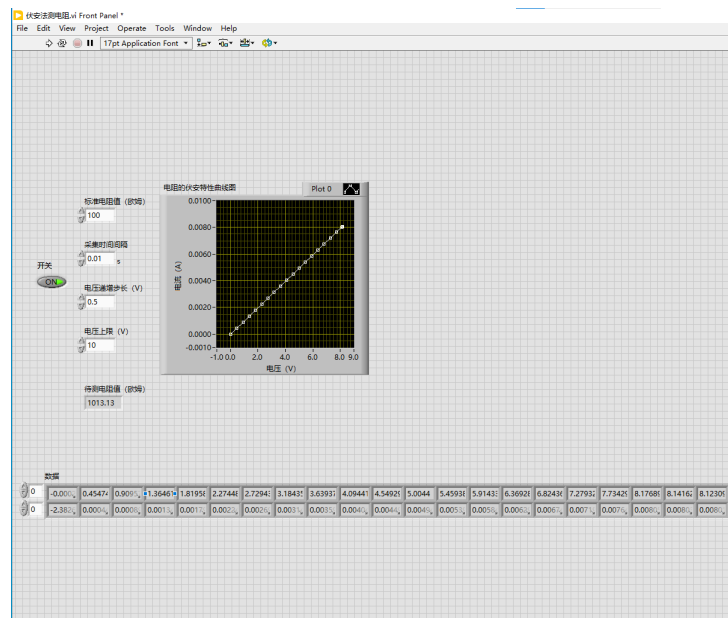


图 1: $R \approx 1\text{ k}\Omega$ 电阻的伏安特性曲线 1

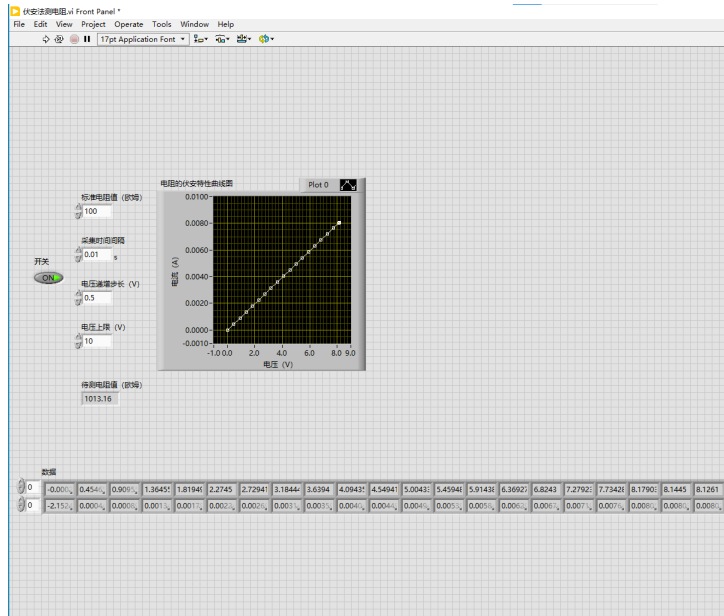


图 2: $R \approx 1\text{ k}\Omega$ 电阻的伏安特性曲线 2

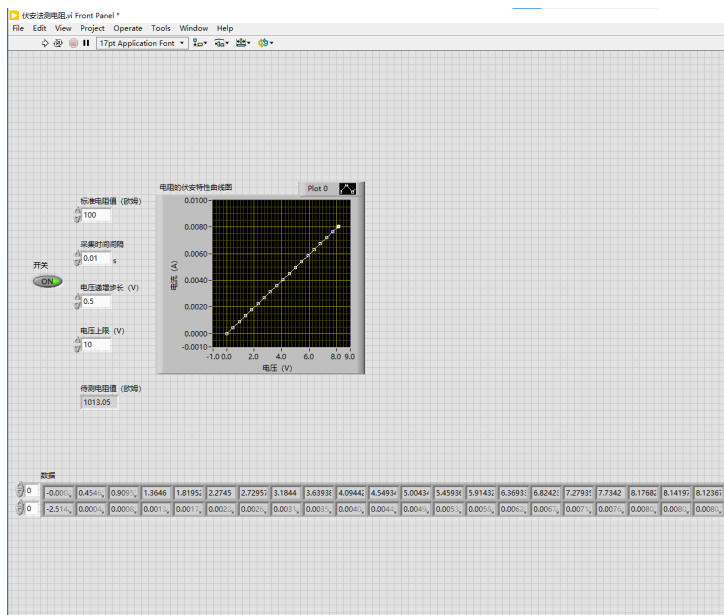


图 3: $R \approx 1\text{ k}\Omega$ 电阻的伏安特性曲线 3

测量得到的待测电阻值:

$$R = \frac{1013.13 + 1013.16 + 1013.05}{3} \Omega = 1013.11 \Omega$$

1.1.2 $R \approx 50\Omega$

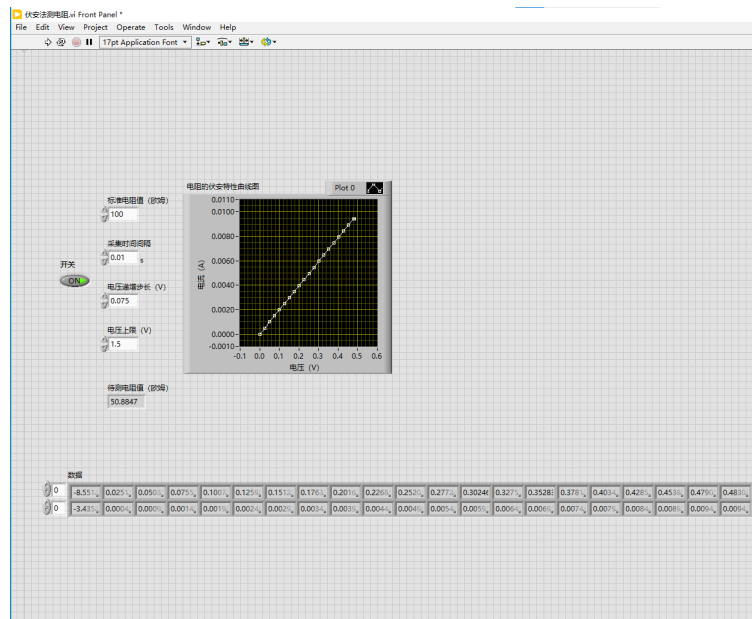


图 4: $R \approx 50\Omega$ 电阻的伏安特性曲线 1

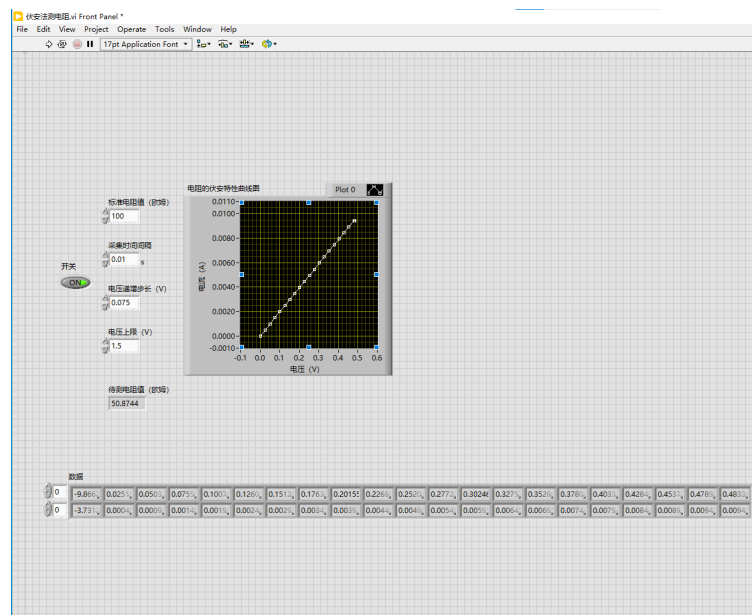


图 5: $R \approx 50\Omega$ 电阻的伏安特性曲线 2

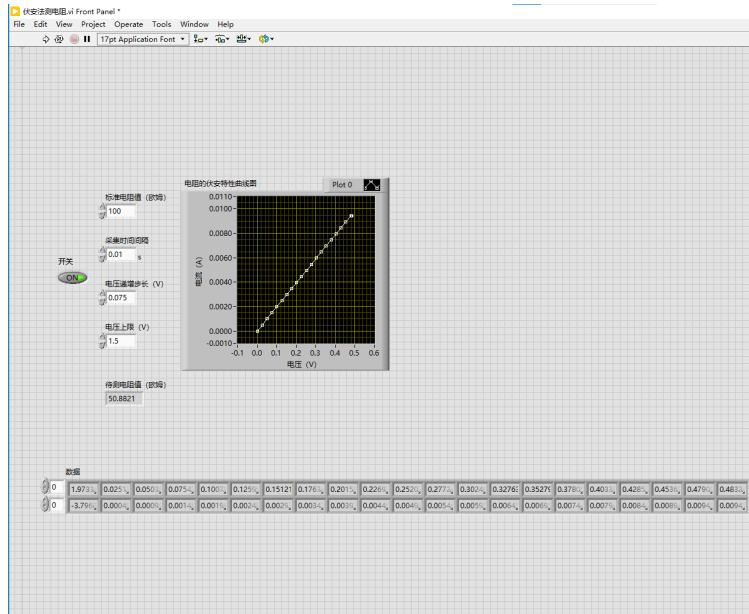


图 6: $R \approx 50 \Omega$ 电阻的伏安特性曲线 3

测量得到的待测电阻值:

$$R = \frac{50.8847 + 50.8744 + 50.8821}{3} \Omega = 50.8804 \Omega$$

1.2 二极管正反向伏安曲线

1.2.1 测量程序框图

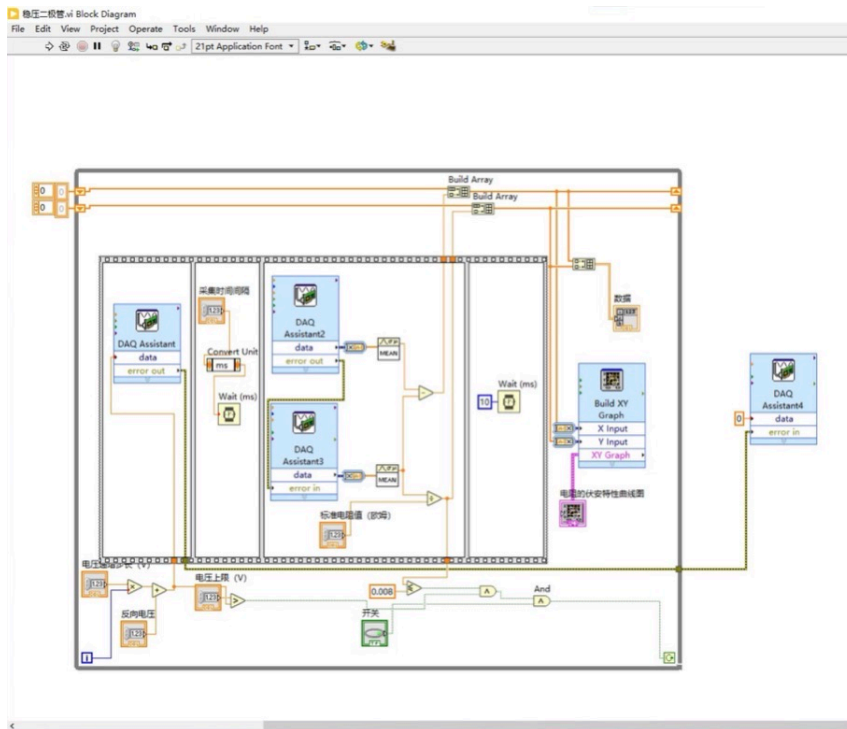


图 7: 稳压二极管的测量程序框图

1.2.2 测量结果

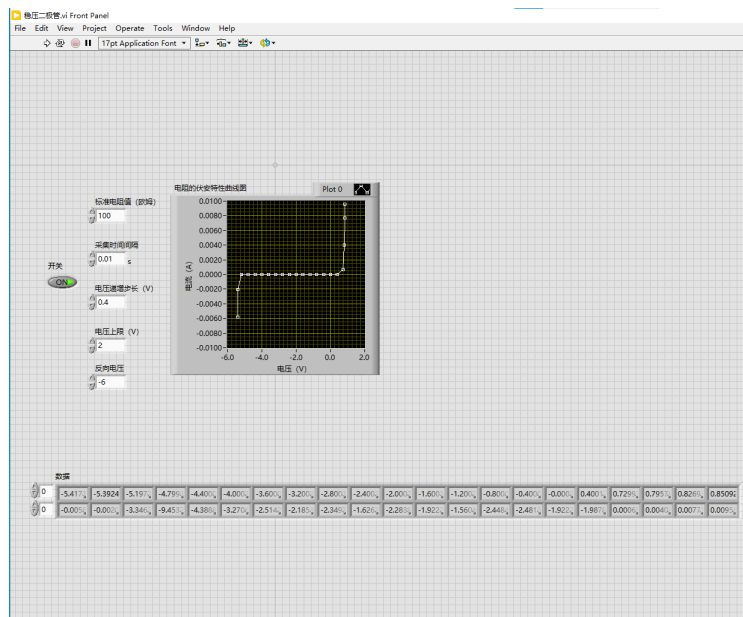


图 8: 稳压二极管的正反向伏安特性曲线 1

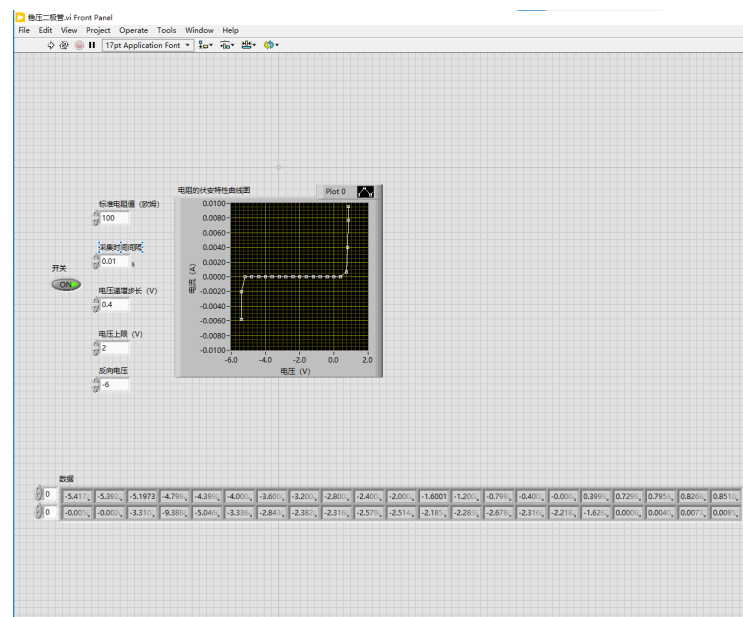


图 9: 稳压二极管的正反向伏安特性曲线 2

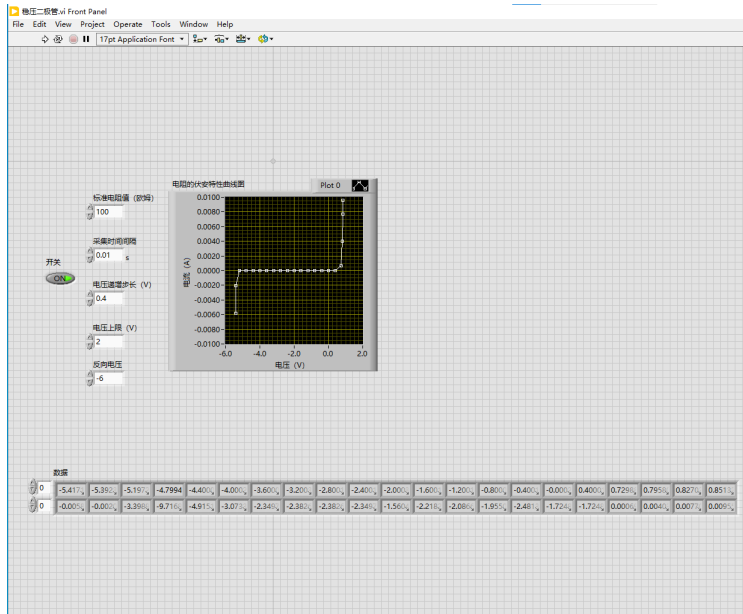


图 10: 稳压二极管的正反向伏安特性曲线 3

1.2.3 计算静态电阻值

1. 正向电流为 4 mA 附近的静态电阻：从伏安特性曲线中读图可知，在正向电流为 4 mA 附近，电压值为：

$$U_{I=4\text{mA}} = \frac{0.79581 + 0.79580 + 0.79578}{3} \text{ V} = 0.79580 \text{ V}$$

所以静态电阻值为：

$$R_S = \frac{U_{I=4\text{mA}}}{I} = 198.95 \Omega$$

2. 反向电流为 4 mA 附近的静态电阻：从伏安特性曲线中读图可知，在正向电流为 -4 mA 附近，电压值为：

$$U_{I=-4\text{mA}} = \frac{-5.4048 - 5.4046 - 5.4047}{3} \text{ V} = -5.4047 \text{ V}$$

所以静态电阻值为：

$$R_S = \frac{U_{I=-4\text{mA}}}{I} = 1.35 \times 10^3 \Omega$$

2 第二部分：电路综合实验

2.1 主要实验过程

在熟悉了实验室提供的电容电感元件表征程序和交流电路的稳态特性测量程序后，自行设计电路如图 11 所示，并利用交流电路的稳态特性测量程序进行测量：

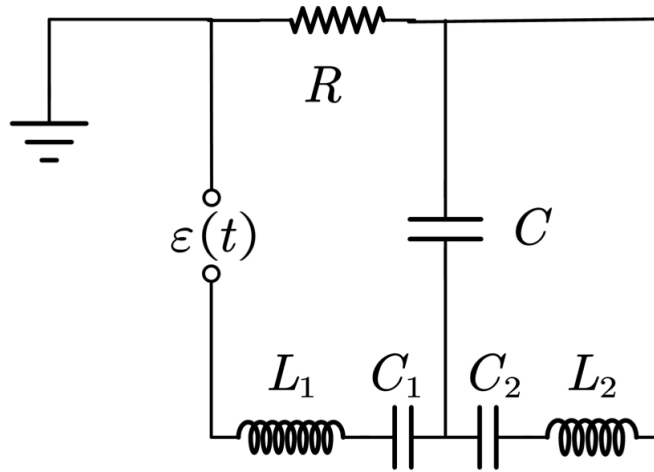


图 11: 电路图

初步设置参数为: $L_1 = 18 \text{ mH}$, $C_1 = 0.047 \text{ } \mu\text{F}$, $L_2 = 16 \text{ mH}$, $C_2 = 0.2 \text{ } \mu\text{F}$, $C = 0.5 \text{ } \mu\text{F}$, $R = 500 \text{ } \Omega$, 在前面板观察到电路的 Fano 共振现象:

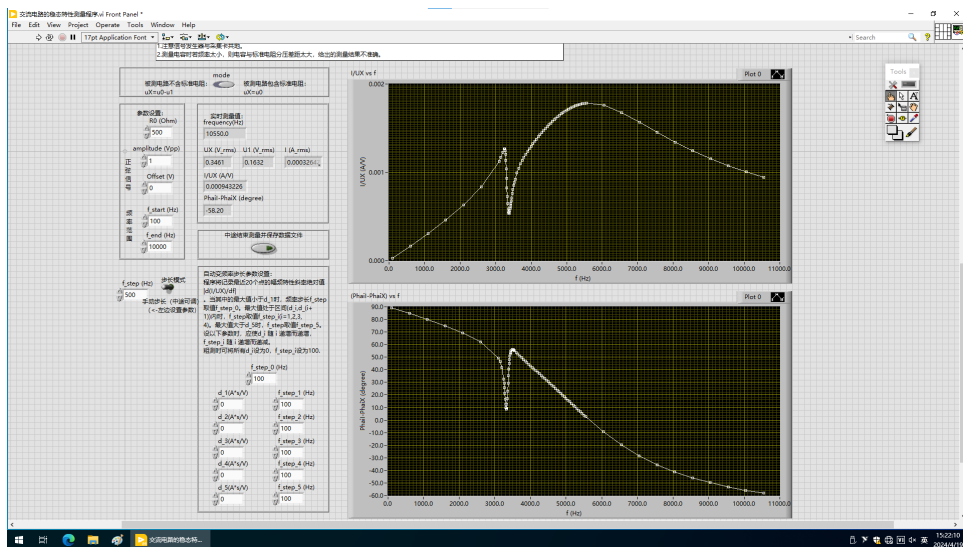


图 12: 电路的 Fano 共振现象

分别更改了 C, C_2, R 三个参量的值进行了探究: C 分别又取为 $0.1 \text{ } \mu\text{F}, 0.3 \text{ } \mu\text{F}, 0.7 \text{ } \mu\text{F}, 0.9 \text{ } \mu\text{F}$; C_2 分别又取为 $0.02 \text{ } \mu\text{F}, 0.03 \text{ } \mu\text{F}, 0.05 \text{ } \mu\text{F}, 0.1 \text{ } \mu\text{F}, 0.5 \text{ } \mu\text{F}, 0.8 \text{ } \mu\text{F}$; R 分别又取为 $100 \text{ } \Omega, 1000 \text{ } \Omega$ 。收集实验数据后, 从实验和理论两个方面进行了分析和讨论。

2.2 主要测量结果

1. 改变 C :

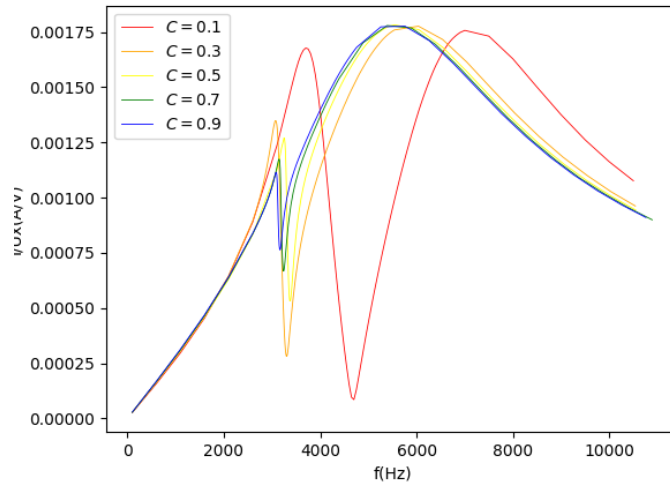


图 13: 改变 C (单位均为 μF) 后的幅频特性曲线

2. 改变 C_2 :

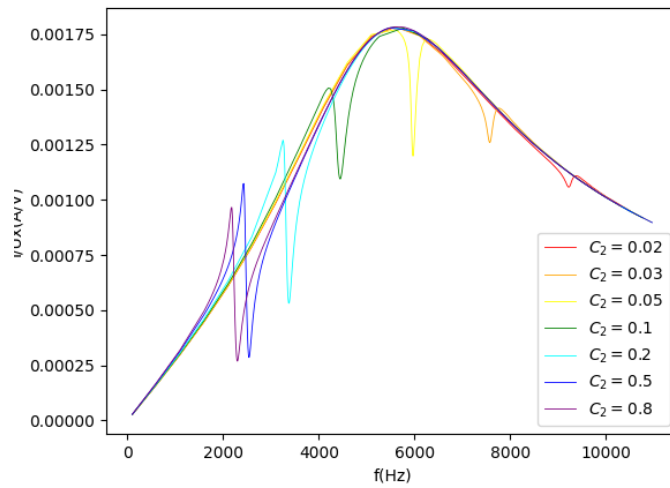


图 14: 改变 C_2 (单位均为 μF) 后的幅频特性曲线

3. 改变 R :

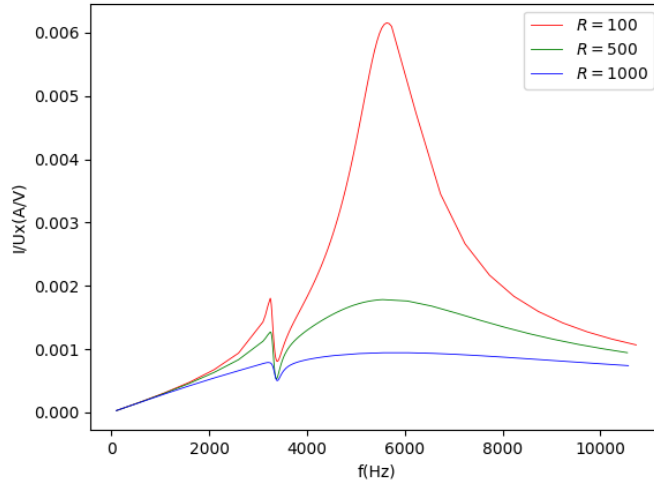


图 15: 改变 R (单位均为 Ω) 后的幅频特性曲线

2.3 分析与讨论

两个存在耦合的简谐振子的运动方程可以写为:

$$\ddot{x}_1 + \gamma_1 \dot{x}_1 + \omega_1^2 x_1 + g x_2 = a_1 e^{i\omega t}$$

$$\ddot{x}_2 + \gamma_2 \dot{x}_2 + \omega_2^2 x_2 + g x_1 = 0$$

对于图 11 中的电路有:

$$L_1 \ddot{q}_1 + R_1 \dot{q}_1 + \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C}\right) q_1 - \frac{q_2}{C} = \varepsilon(t)$$

$$L_2 \ddot{q}_2 + R_2 \dot{q}_2 + \left(\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C}\right) q_2 - \frac{q_1}{C} = 0$$

进行如下变量替换:

$$x_i = \sqrt{L_i} q_i \quad \gamma_i = \frac{R_i}{L_i} \quad \omega_i^2 = \frac{1}{L_i} \left(\frac{1}{C_i} + \frac{1}{C}\right) \quad (i = 1, 2) \quad g^2 = \frac{1}{C^2 L_1 L_2}$$

即可将电路方程化为标准形式。

忽略随时间指数衰减的通解, 仅保留稳定解, 可以得到

$$\frac{I}{U} = \frac{1}{U} \frac{dq_1}{dt} = \frac{i\omega}{L_1} \frac{\omega_2^2 - \omega^2 + i\gamma_2\omega}{(\omega_1^2 - \omega^2 + i\gamma_1\omega)(\omega_2^2 - \omega^2 + i\gamma_2\omega) - g^2}$$

定义 $\frac{I}{U}$ 的模 $\left|\frac{I}{U}\right|$ 和相位 ϕ 为 $\frac{I}{U} = \left|\frac{I}{U}\right| e^{i\phi}$ 即可。

将理论与实验进行拟合:

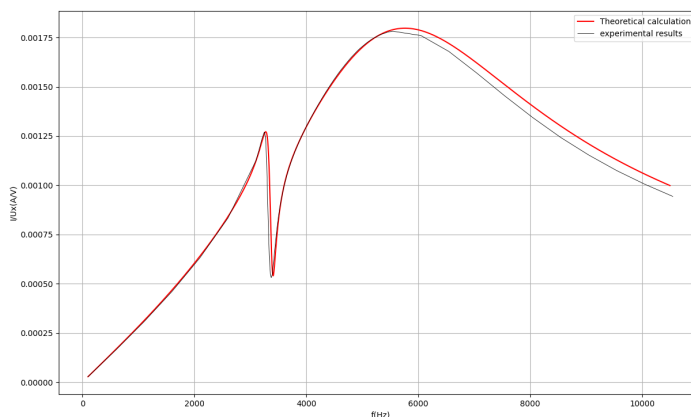


图 16: 拟合幅频特性曲线

经过对比，发现实验和理论符合的较好，其中的差异可能来源于实际元件的特性会随频率变化，而在理论计算中忽略了这一变化。

1. 改变 C :

改变 C 会直接改变表征两个振子的耦合强度的参数 g ，按照理论分析， g 越大，峰应该越高、越宽，从图 13 可以看出，随着 C 减小 g 增大，峰的高度和宽度确实是在不断增大。且当 C 减小到 $0.1 \mu\text{F}$ 时，因为 Fano 共振的条件是两个振子弱耦合，而当 g 过大时，耦合强度已经不能被视为弱耦合了，曲线已经不再是一个典型的 Fano 共振曲线。

2. 改变 C_2 :

改变 C_2 会直接改变表征窄谱共振特性的参数 $\omega_2 = \sqrt{\frac{1}{L_2}(\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C})}$ 。按照理论分析， ω_2 越小，对应的 Fano 共振的窄峰将左移，从图 14 中可以看出，随着 C_2 增大 ω_2 减小，对应的 Fano 共振的窄峰确实在不断左移。同时，在曲线中还可以看出，在 $C_2 = 0.05 \mu\text{F}$ 附近 Fano 峰基本左右对称，在左侧呈现先峰后谷，右侧先谷后峰且峰的峰值显著减小。这是因为当 $C_2 = 0.05 \mu\text{F}$ 时，在峰前二者均未经过 π 的相位突变，在 ω_2 振子过峰前二者相干相长， ω_2 振子过峰后产生 π 相位突变，二者相干相消；而在 $C_2 < 0.05 \mu\text{F}$ 时，在 Fano 峰前 ω_1 振子已经经过了 π 相位突变，所以先谷后峰，且二者相干相消导致峰的峰值显著减小。

3. 改变 R

改变 R 会直接改变整体电路中的电阻大小，导致 Fano 共振峰的峰值显著变化。按照理论分析， R 越小，对应的 Fano 共振峰的峰值应该越高，且宽峰比窄峰变化更加明显，从图 15 中确实可以看出以上现象。

3 收获与感想

本次虚拟仪器实验和以往的实验确实有着巨大的区别，我们利用了通用计算机的强大计算处理功能，通过传感器和接口卡实现信号输入，用键盘、鼠标、显示器等计算机外设实现控制和显示功能，真正实现了根据需要自行设计仪器，体会到了“软件就是仪器”的新概念。

同时，通过电路综合实验我们也通过利用实验室提供的两个程序，自行进行了电路的

设计，通过和同学们的通力协作，在普通物理实验层次完成了关于 Fano 共振的展示和研究，不仅体会到了建立基础实验与前沿研究的联系的可实现性，还深刻认识到了在实验研究中协同合作的重要性，虽然本次实验因为自主性比较强仍有着诸多做法不完全如意的地方，但是依旧感觉已经收获颇丰。