

《普通物理实验》实验报告

实验名称 基于虚拟仪器技术的电路综合实验 实验日期 2024 年 6 月 7 日
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 241

上一页列举了电阻伏安曲线的测量结果截图,电阻计算结果为:

对于 1000Ω 电阻的测量值: $R_x = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 R_{xi} = (1010.36 \pm 0.04)\Omega$

对于 50Ω 电阻的测量值: $R_x = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 R_{xi} = (51.520 \pm 0.018)\Omega$

2 测量二极管的伏安特性

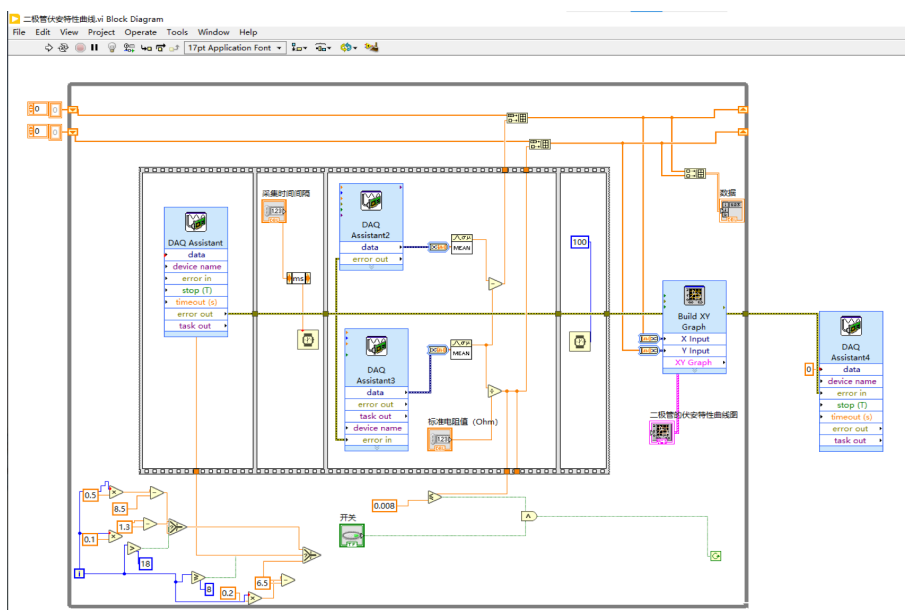


图 1: 测量电路程序框图

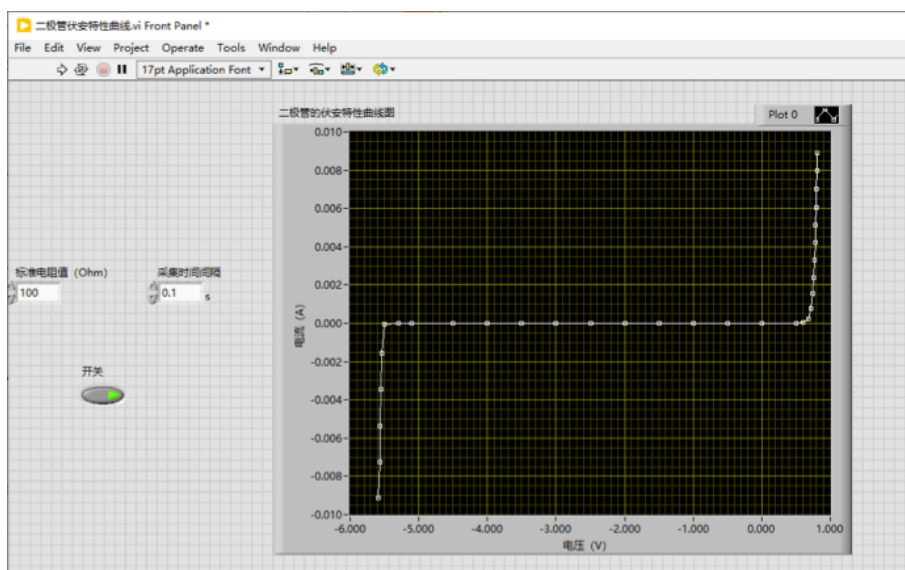


图 2: 测量结果面板截图

《普通物理实验》实验报告

实验名称 基于虚拟仪器技术的电路综合实验 实验日期 2024 年 6 月 7 日
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 241

测量二极管伏安特性时,对电路做出了一些调整:

1. 删除了线性拟合部分
2. 使系统输入电压范围包含正负两部分,并调整限流模块至电流小于一定限值
3. 观察系统,调整 4mA 附近测量点密度以研究对应点的静态电阻以得到更准确的数据

测量结果为:

$$U_+ = 0.785V$$

$$U_- = -5.560V$$

$$R_+ = 196\Omega$$

$$R_- = 1390\Omega$$

第二部分 电路设计和 Fano 共振的探究

1 理论分析

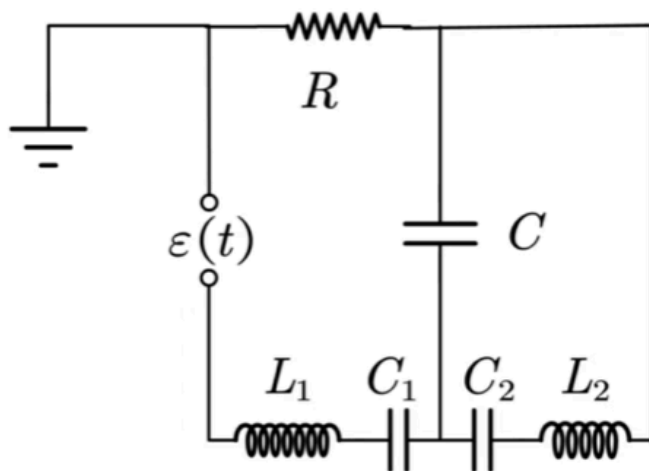


图 3: 实验电路图

对于以上的 Fano 共振电路,列出电路方程:

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

$$L_2 \dot{q}_2 + R_2 q_2 + \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C} \right) q_2 - \frac{q_1}{C} = 0 \quad (2)$$

《普通物理实验》实验报告

实验名称 基于虚拟仪器技术的电路综合实验 实验日期 2024 年 6 月 7 日
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 241

其中 q_1, q_2 分别为电容 C_1, C_2 上的电荷。定义 C_1, C_2 所在回路中的电流分别为 I_1, I_2 (以逆时针方向为正), 并取:

$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{L_2 \left(\frac{1}{C} + \frac{1}{C_2} \right)}}, \quad \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_1 \left(\frac{1}{C} + \frac{1}{C_1} \right)}}, \quad \gamma_1 = \frac{R_1}{L_1}, \quad \gamma_2 = \frac{R_2}{L_2}, \quad g = \sqrt{\frac{1}{C^2 L_1 L_2}} \quad (3)$$

用 I_1, I_2 表示, 化简得:

$$\dot{I}_1 + \gamma_1 I_1 + \omega_1^2 I_1 - \frac{1}{L_1 C} I_2 = e(t) \quad (4)$$

$$\dot{I}_2 + \gamma_2 I_2 + \omega_2^2 I_2 - \frac{1}{L_2 C} I_1 = 0 \quad (5)$$

定义 $\tilde{e}(t) = Ue^{-i\omega t}, I(t) = Ie^{-i\omega t}$ 。由于电路达到稳态, 故叠加解的表达式, 方法的推导:

$$\frac{\tilde{I}_1}{U} = \frac{\omega_2^2 - \omega^2 + i\gamma_2\omega}{(\omega_1^2 - \omega^2 + i\gamma_1\omega)(\omega_2^2 - \omega^2 + i\gamma_2\omega) - g^2} \cdot \frac{i\omega}{L_1} \quad (6)$$

因此:

$$\left| \frac{\tilde{I}_1}{U} \right| = \left| \frac{\omega_2^2 - \omega^2 + i\gamma_2\omega}{(\omega_1^2 - \omega^2 + i\gamma_1\omega)(\omega_2^2 - \omega^2 + i\gamma_2\omega) - g^2} \right| \cdot \left| \frac{i\omega}{L_1} \right| \quad (7)$$

$$\phi = \arg \left(\frac{\omega_2^2 - \omega^2 + i\gamma_2\omega}{(\omega_1^2 - \omega^2 + i\gamma_1\omega)(\omega_2^2 - \omega^2 + i\gamma_2\omega) - g^2} \cdot \frac{i\omega}{L_1} \right) \quad (8)$$

2 元件特性的测量

为了观察明显的 Fano 共振现象, 需要选择合适的电路参数, 我们为此先测量我们的两个固定电容和两个固定电感的损耗电阻和电容/电感值。测量图见下页, 我们按照测量结果取四个元件的参数估计如下:

$$C = 0.22\mu F \text{ 电容:} \quad (9)$$

$$C \approx 0.208\mu F \quad (10)$$

$$R \approx 1.4\Omega \quad (11)$$

$$C = 0.047\mu F \text{ 电容:} \quad (12)$$

$$C \approx 0.0456\mu F \quad (13)$$

$$R \approx 14\Omega \quad (14)$$

$$L = 18mH \text{ 电感:} \quad (15)$$

$$L \approx 19.25mH \quad (16)$$

$$R \approx 55\Omega \quad (17)$$

$$L = 16mH \text{ 电感:} \quad (18)$$

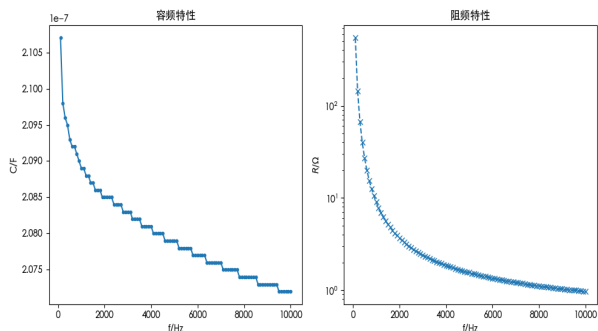
$$L \approx 16.3mH \quad (19)$$

$$R \approx 3\Omega \quad (20)$$

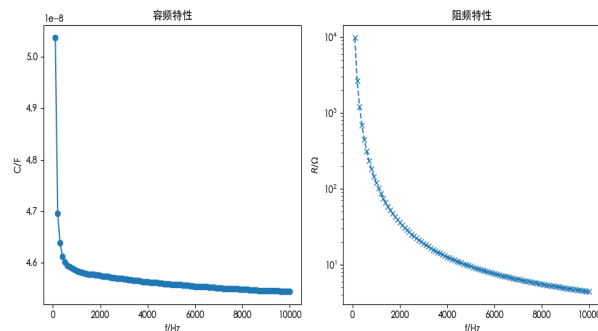
$$(21)$$

《普通物理实验》实验报告

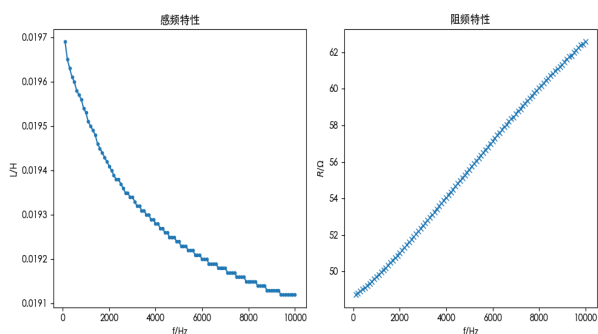
实验名称 基于虚拟仪器技术的电路综合实验 实验日期 2024 年 6 月 7 日
 姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 241



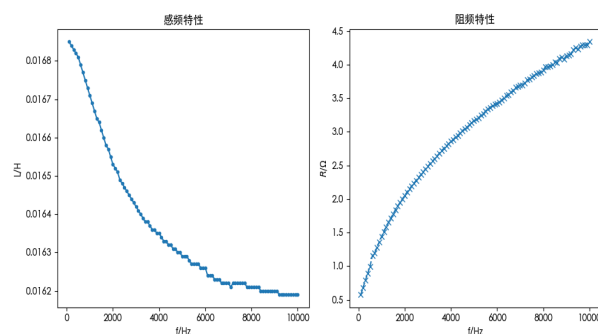
(a) $C \approx 0.22\mu F$ 电容的测量结果



(b) $C \approx 0.047\mu F$ 电容的测量结果



(c) $L = 18mH$ 电感的测量结果



(d) $L = 16mH$ 电感的测量结果

由以上测量结果我们选取电路参数为：

$$L_1 \approx 18mH \quad (22)$$

$$C_1 \approx 0.047\mu F \quad (23)$$

$$L_2 \approx 16mH \quad (24)$$

$$C_2 = 0.2\mu F \text{电阻箱} \quad (25)$$

$$C = 0.5\mu F \text{电阻箱} \quad (26)$$

$$R_1 = 500\Omega \text{电阻箱} \quad (27)$$

3 测量 Fano 共振

按照以上要求连接好电路，经过调试后得到了明显的 Fano 共振图像，下面用测量得到的数据和理论结果的对比，画出相位差和 \tilde{U}/I 与频率的关系图。

《普通物理实验》实验报告

实验名称 基于虚拟仪器技术的电路综合实验 实验日期 2024 年 6 月 7 日
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 241

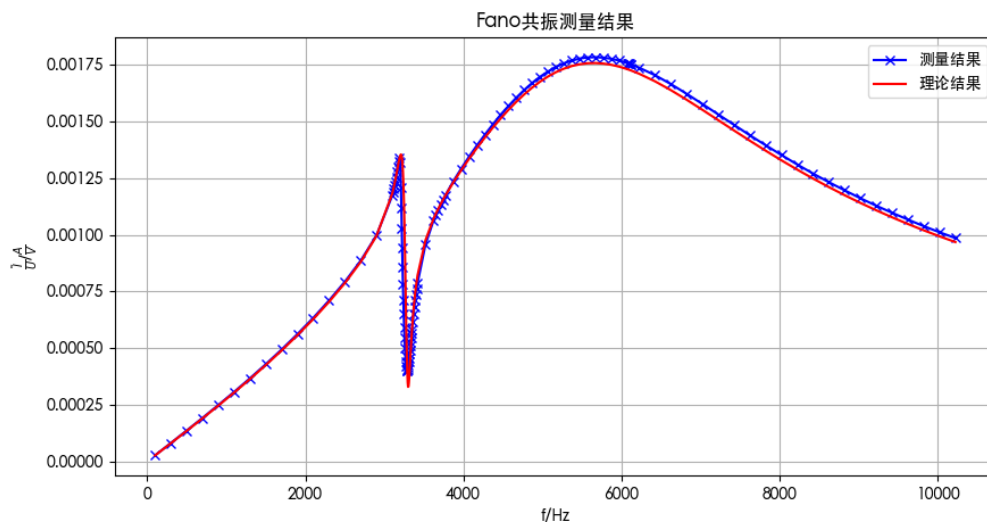


图 4: \tilde{U}/I 与频率的关系图

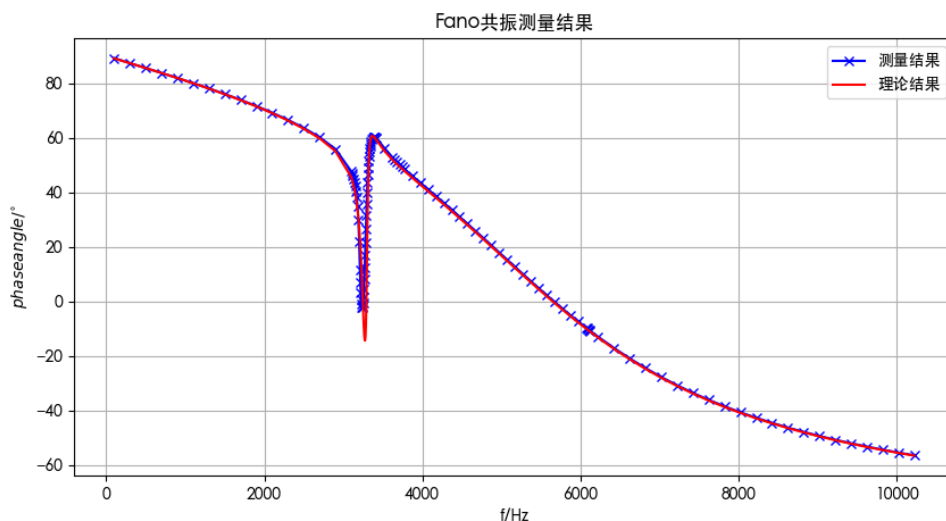


图 5: 相位差与频率的关系图

由图可见,理论与实验结果符合良好,说明电路设计合理,存在的差异可能主要来自于电路连接中存在的一些其他损耗和电路参数本身随频率变化造成的非线性效应。经过对数据简单估计处理,这些误差在随机误差允许的范围之内。

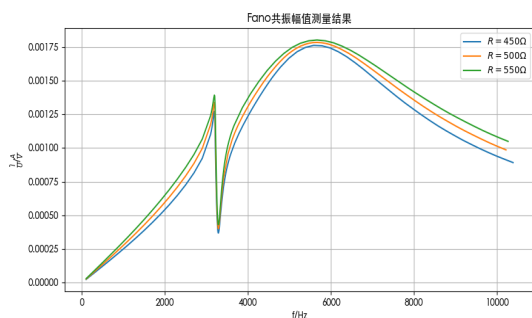
《普通物理实验》实验报告

实验名称 基于虚拟仪器技术的电路综合实验 实验日期 2024 年 6 月 7 日
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 241

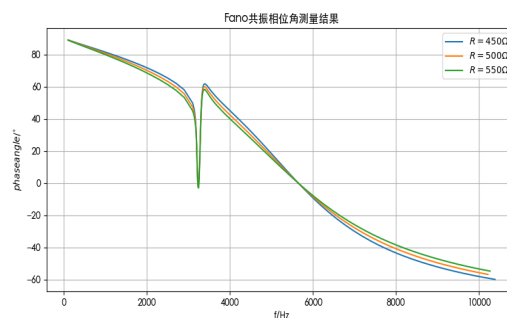
4 进一步的实验探究

测量得到 Fano 共振曲线后,我们尝试调节元件参数,观察不同参数对测量结果的影响。

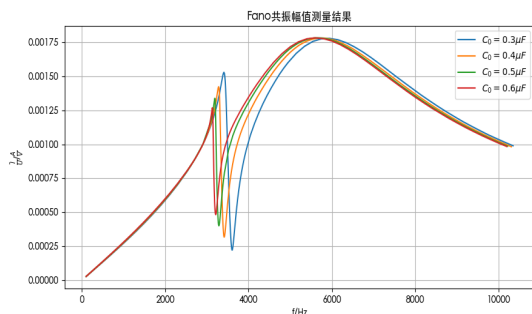
我们分别改变了 R, C, C₂ 的值,相当于分别改变了 $\gamma_1, g, \omega_1/\omega_2$ 等参数的值,观察幅频和相频曲线的测量结果,绘图如下:



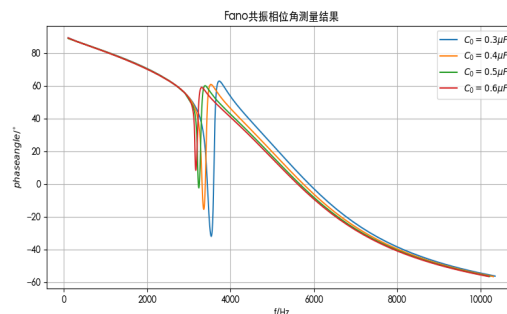
(a) 改变 R 幅值测量结果



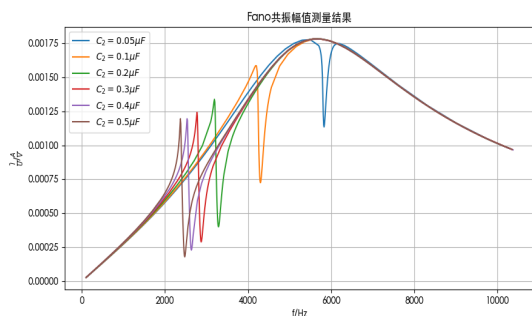
(b) 改变 R 相位测量结果



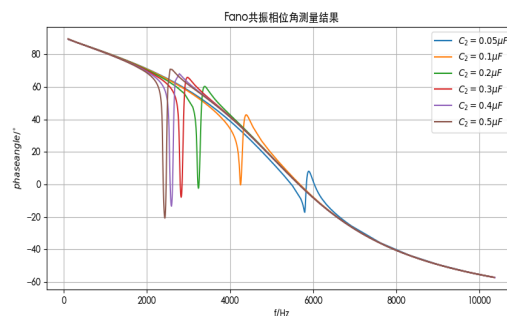
(c) 改变耦合电容幅值测量结果



(d) 改变耦合电容相位测量结果



(e) 改变 C_2 幅值测量结果

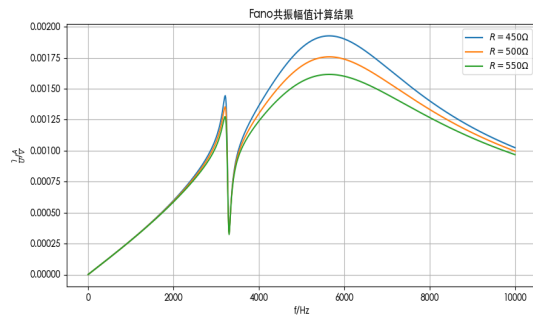


(f) 改变 C_2 相位测量结果

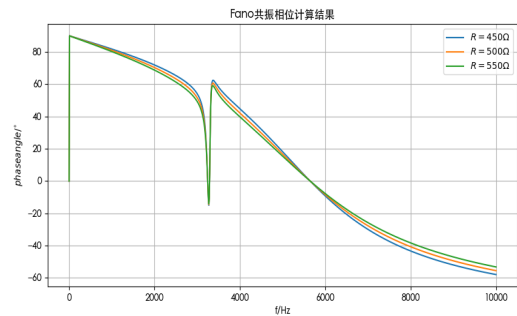
《普通物理实验》实验报告

实验名称 基于虚拟仪器技术的电路综合实验 实验日期 2024 年 6 月 7 日
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 241

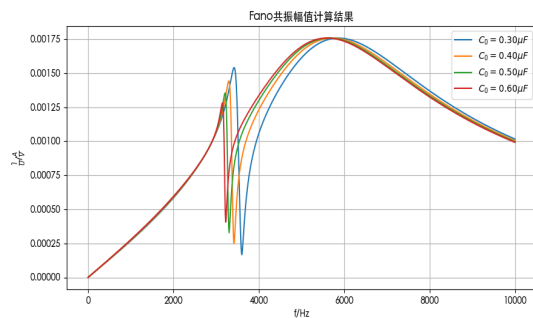
选取同样的参数,做理论计算,结果绘图如下:



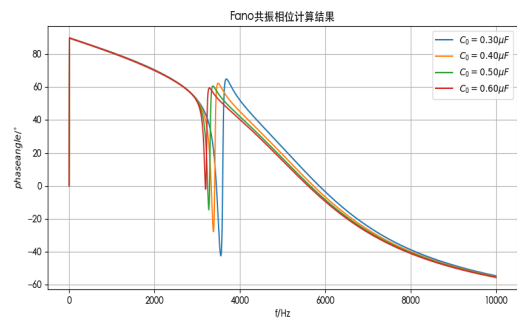
(g) 改变 R 幅值计算结果



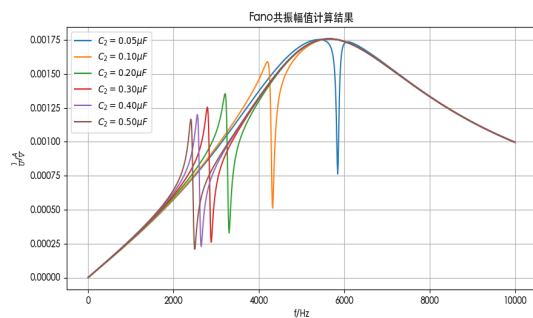
(h) 改变 R 相位计算结果



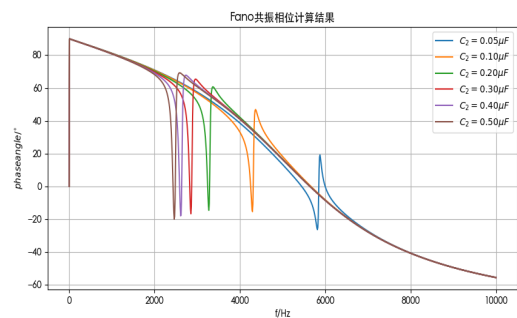
(i) 改变耦合电容幅值计算结果



(j) 改变耦合电容相位计算结果



(k) 改变 C_2 幅值计算结果



(l) 改变 C_2 相位计算结果

《普通物理实验》实验报告

实验名称 基于虚拟仪器技术的电路综合实验 实验日期 2024 年 6 月 7 日
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 241

分析这些数据图,我们发现了以下结论:

1. 理论与实验结果基本吻合,可见实验精确度较好。
2. Fano 共振的幅值震荡点和相位震荡点重合,这体现了 Fano 共振实际上是由于相位急剧变化引起的干涉相消造成的。
3. 改变 R , 即 γ_1 时,图像的谷值几乎不变,图像峰谷值对应的共振频率也几乎不变,对比理论公式,这是因为谷值的主要影响因素是 g 的值,因此这一实验结果与理论相符。而 R 值与整体的两个峰值均呈反相关关系,也与理论结果相符合。另外,改变 R 值时,相位曲线也几乎不变,这显示 R 不是对图像形状的主要影响因素。
4. 改变耦合电容,即改变 g 时,相频和幅频曲线的的震荡幅度以及两处共振点(即总体峰值和谷值位置)的频率均与耦合电容值反相关,这是因为对于较小的耦合电容,耦合强度较大,故系统呈现较好的耦合特征,对于较大的电容,系统被电容隔绝,耦合变为弱耦合。
5. 改变 C_2 时,图像的大共振峰位置几乎不变,但是 Fano 震荡点会发生移动,对于越小的 C_2 ,震荡点频率越大,当 C_2 小于 C_1 时,图像由先谷后峰变为先峰后谷,但是同时,当 C_2 减小时,震荡幅度和相位变化幅度也相应减小。

第三部分 收获与感想

1. 经过本次实验,我学习了 LABVIEW 的基本操作,了解了“电脑就是仪器”的自动化仪器思想。
2. 经过本次实验,我了解了如何通过电学系统描述并测量其他系统如力学系统中的物理过程。
3. 本次实验中,我练习了使用 python 画图的相关技术,以及理论和实际图像改变参数的对比分析及获得结论的流程。
4. LABVIEW 的集成化程度较好,可以把复杂的实验流程精确为程序框图和伪代码,通过电脑控制进行实验,这样的做法可复现性较好,相比手动实验减小了误差,大大简化和加快了实验流程,也方便进行进一步的数据处理。
5. 为了清楚的观察到我们想看到的实验现象,在实验前应该进行充分的理论计算,并设定好相应参数的量级和大概数值,以免实验过程中进行复杂的参数调节。本次试验一开始我搭好了电路图,但是由于参数设定的不好,没有观察到清楚的现象,调参花费了很多时间。按照老师的实例调参后,很快看到了明显的现象
6. 对于比较昂贵的实验器材,应当充分做好保护,这应该充分体现在程序设计,实验电路和实验过程中的各个步骤,尽可能保证系统安全稳定后再运行。