

RLC串联电路谐振实验

王豪

2019.05

提纲

➤ 实验要求

➤ 实验原理

- 预实验
- 与机械振动的对比
- 电路分析

➤ 实验内容

- 测量 $I-\omega$ 曲线
- 观测 $R-Q$ 关系

➤ 注意事项

- 共地问题

实验要求

目的

- 观察**串联谐振**现象，理解物理内涵
- 理解串联谐振中的**能量转换**
- 明确**谐振条件**，**Q值**意义

器材

- 信号发生器
- 毫伏表
- 直流电阻箱
- 标准电感
- 标准电容



为什么是谐振

➤ 弹簧振子比较

■ RLC方程(基尔霍夫定理)

$$U_R = IR \quad U_L = L \frac{dI}{dt}$$

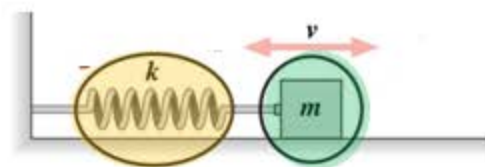
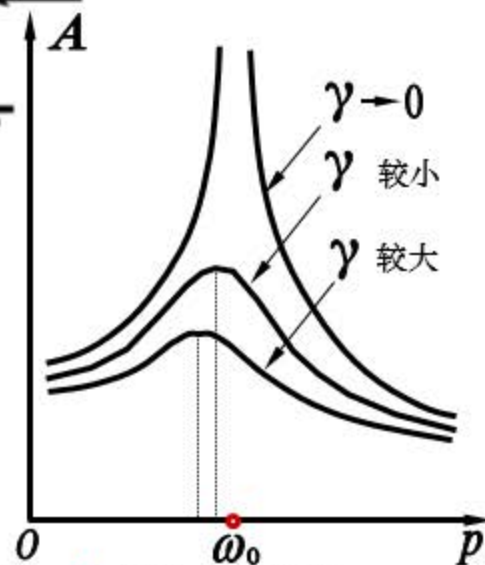
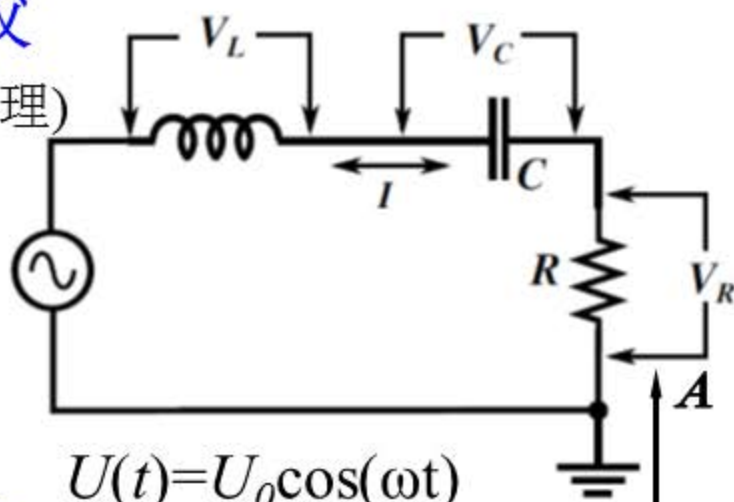
$$U_C = \frac{1}{C} \int Idt \quad I = \frac{dq}{dt}$$

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C} q = U$$

■ 阻尼弹簧振子方程 (有阻尼的受迫振动)

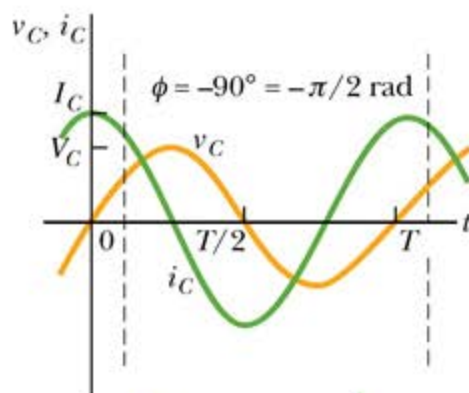
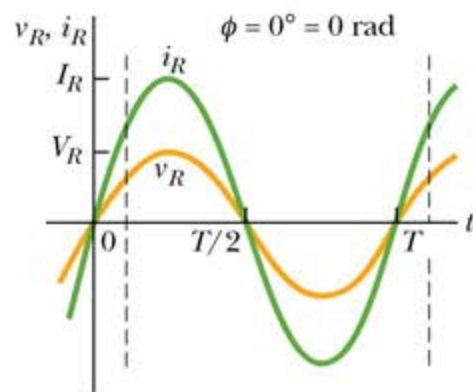
$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \gamma \frac{dx}{dt} + kx = F$$

■ (储能) $L \sim$ 质量 m , (储能) $1/C \sim$ 弹簧 k , (耗散) $R \sim$ 阻力系数 γ

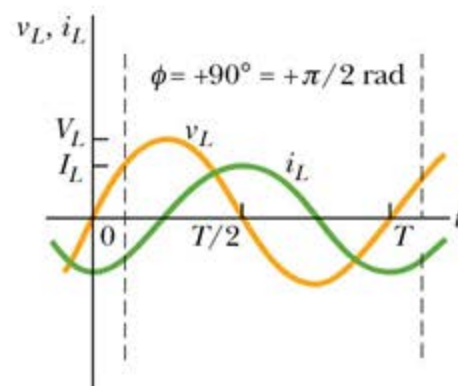


交流电路分析

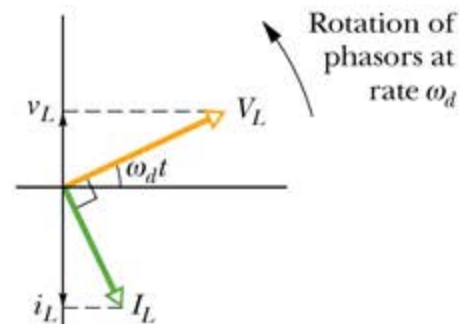
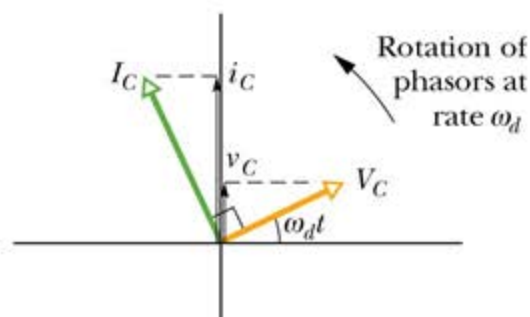
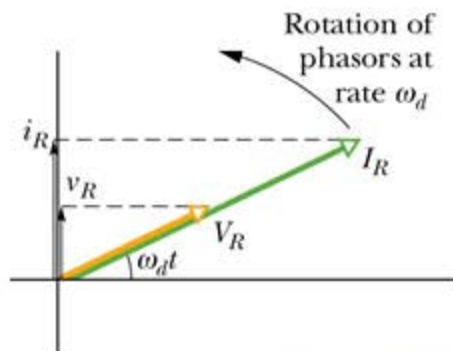
➤ R, C, L



$$\tilde{Z}_C = -j \frac{1}{\omega C}$$



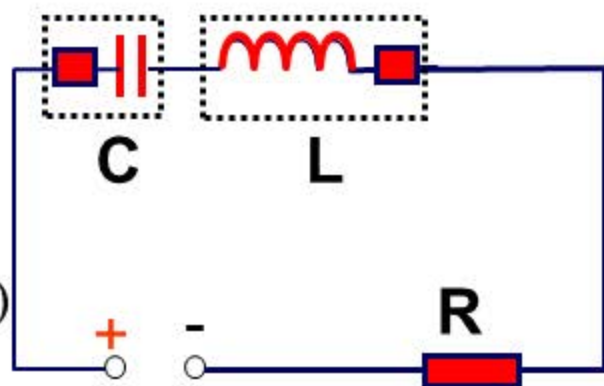
$$\tilde{Z}_L = j\omega L$$



电路分析

➤ 回路阻抗

- $R = R' + r_L + r_C$
- 电阻箱 R'
- 电容损耗电阻 r_L , 电容阻抗 $-1/(j\omega C)$
- 电感阻抗 $j\omega L$, 电感损耗电阻 r_C



➤ 电流与频率关系

- 总阻抗 $\tilde{Z} = R + j\omega L - j\frac{1}{\omega C}$
- 路端电压为 $\tilde{U}$
- 则回路电流为 $\tilde{I} = \frac{\tilde{U}}{\tilde{Z}}$

电路分析

回路中的电流

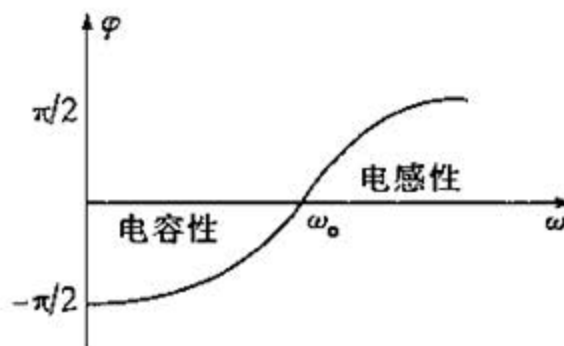
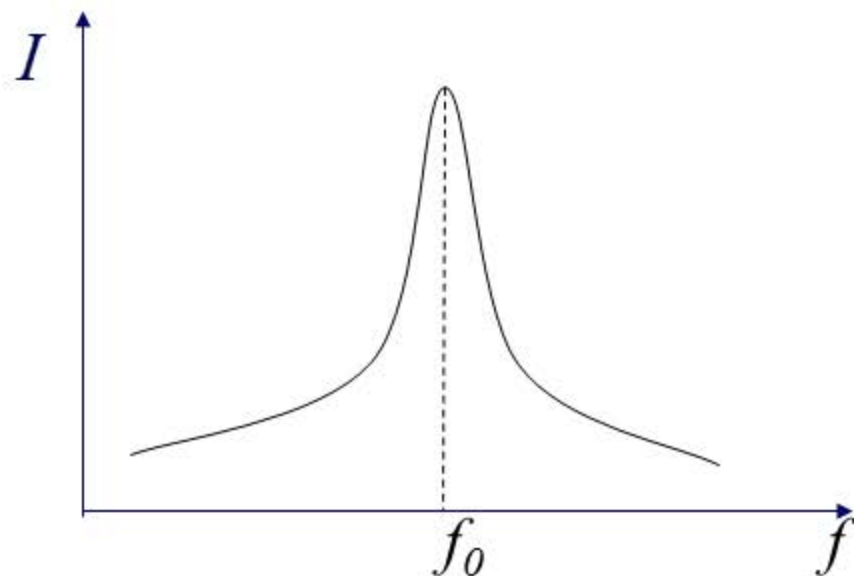
■ 模 (大小)

$$|\tilde{I}| = \frac{|\tilde{U}|}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

■ 相位 (I, U 相位差)

$$\phi = \arctan \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

实验内容一：测量 I - f (or ω) 曲线





谐振

■ 谐振频率 $\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$

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

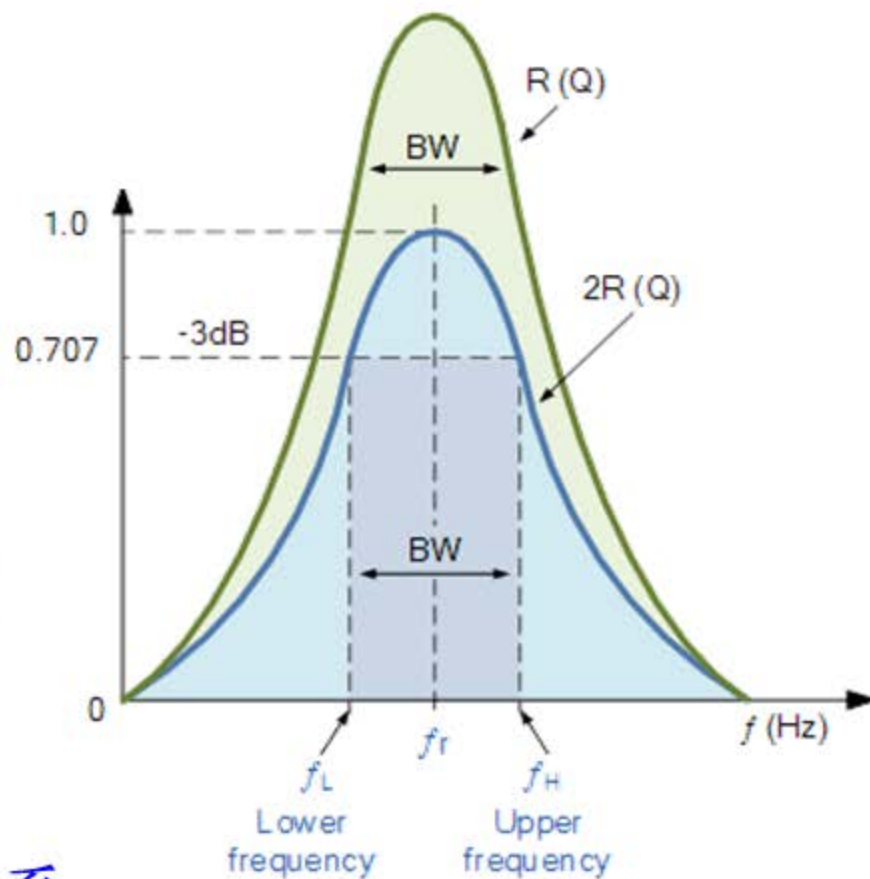
■ 谐振电流 $I_{\max} = \frac{U}{Z_{\min}} = \frac{U}{R}$

■ 谐振Q值 $Q = \frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$

- 储能
- 选频

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$

实验内容二：观察R-Q关系



实验步骤

➤ 测量I- ω 曲线

- 使用毫伏表测到电压有效值
- 电阻上电压与电流正比关系（转换测量）
- 保持路端电压为3Vrms
- 首先计算理论谐振频率 f_{oi} ，寻找实际谐振频率 f_{op}
- 找出谐振带宽对应的 f_1 和 f_2
- f_1 -(100, 250, 500, 1000, 2000, 5000)（取点疏密）
- f_2 +(100, 250, 500, 1000, 2000, 5000)
- 作图分析

实验步骤

➤ 观测R-Q关系

- 选取电阻箱 $R'=0, 30, 130\Omega$
- 在 f_{op} 附近调节 f , 找到 U_C 最大时对应的谐振频率, 读出 $(U_C)_{\max}$
- $Q=(U_C)_{\max}/U$
- 观察R-Q关系

➤ 注意事项

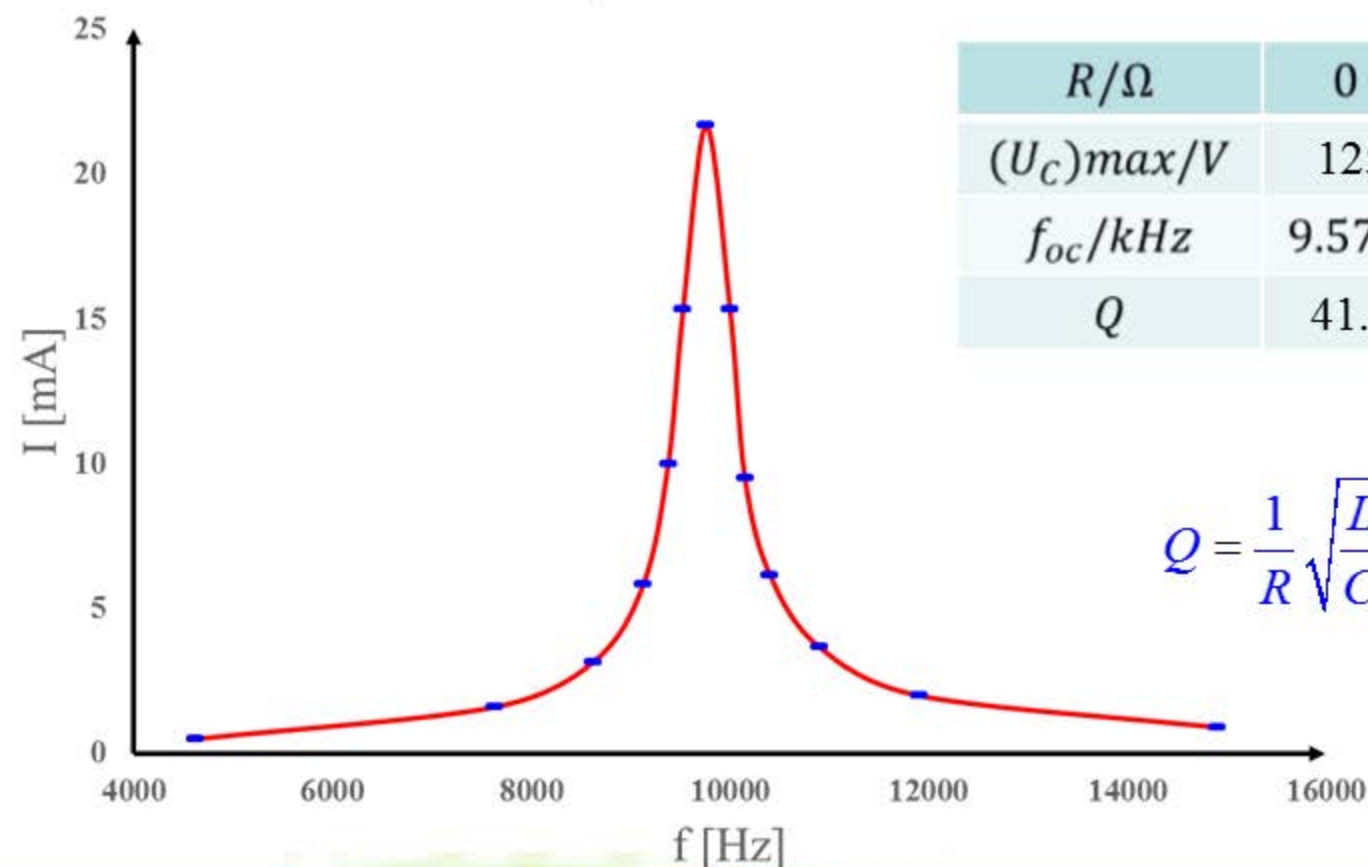
- 毫伏表量程选取, 有效数字位数
- 读出的为电压值, 计算得到电流值
- 保持路端电压恒定
- 交流共地

数据



结果

I - f for RLC



R/Ω	0	30	130
$(U_C)_{max}/V$	125	100	54.0
f_{oc}/kHz	9.579	9.573	9.540
Q	41.7	33.3	18.0

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

注意事项

➤ 交流共地

- 交流的地会和机器外壳的地相连，是接大地的
- 信号源与毫伏表的地线（两个黑色夹子）要保证接在一起
- 思考：如图所示电路，AC交流源右侧为交流地，已与毫伏表交流地（黑色端）相连，应如何连接毫伏表红色端，测量电阻上的电压？测量电容上的电压？

