《基础物理实验》实验报告 预习报告

实验名称 RLC电路的谐振与暂态过程 指导教师

姓　　名 陈苏 学号 2022K8009906009 分班分组及座号 1-03-5 号（例：1-04-5 号）

实验日期 2023 年 11 月 20 日 实验地点 教学楼 709 调课/补课 □是 成绩评定

实验目的

1. 研究RLC电路的谐振现象，了解RLC电路的相频特性和幅频特性;
2. 观察RLC电路的暂态过程，学习阻尼振动的规律.

实验仪器

标准电感，电感箱，标准电容，电容箱，标准电阻，电阻箱，函数信号发生器，示波器，数字万用表等.

实验原理

1. 串联谐振

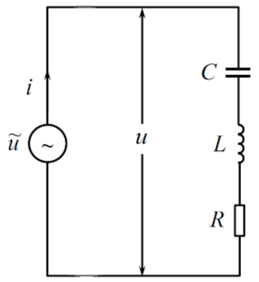

图 1 串联谐振电路图

如图所示，电路由电阻R，电感L，电容C串联在信号发生器两端组成. 设电源电压的峰值为u，频率为$f = 2\pi/\omega$，则稳定时的总阻抗Z为

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2},$$

电流i为

$$i = \frac{u}{Z} = \frac{u}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}},$$

电压u与电流i之间的相位差φ为

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}\right).$$

则当改变电源电压的频率f时，电路中的电流等测量随之改变，规律如图所示.

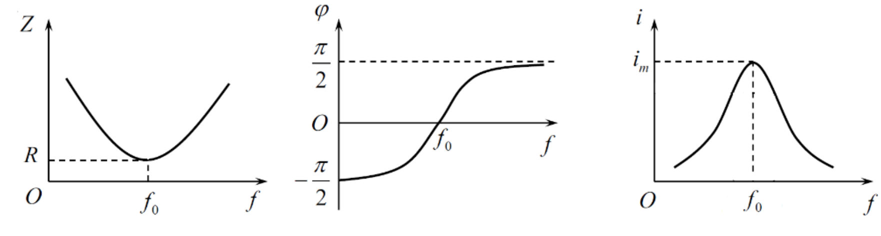

图 2 串联谐振电路参数随频率变化规律图

当f逐渐增加时，存在一个特殊的点f_0: 当$f < f_0$时，Z逐渐减小，i逐渐增大，而$\varphi < 0$，电路呈电容性;

当$f > f_0$时，Z逐渐增大，i逐渐减小，而$\varphi > 0$，电路呈电感性. 当$f = f_0$，即

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

时有$\varphi > 0$，且Z达到极小值$Z_0 = R$，i达到极大值$i = u/R$. 这种状态称为串联谐振，对应的频率称为谐振频率. 此时电路的品质因数Q为

$$Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{R\omega_0 C},$$

以及

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f_{1/2}},$$

Q越大，表征着电路的储耗能特性和选频特性越好.

2. 并联谐振

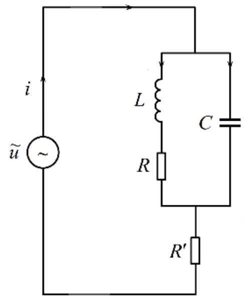

图 3 并联谐振电路图

如图所示，电路由电阻R和电感L串联，再与电容C并联在信号发生器两端组成. 设RLC间电压的峰值为u，电源频率为$f = 2\pi/\omega$，则稳定时的总阻抗Z为

$$Z = \sqrt{\frac{\left(\frac{R}{\omega C}\right)^2 + \left(\frac{L}{C}\right)^2}{\left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2 + \left(\frac{R}{\omega C}\right)^2}} = \sqrt{\frac{R^2 + (\omega L)^2}{(1 - \omega^2 LC)^2 + (\omega RC)^2}},$$

电流i为

$$i = \frac{u}{Z} = \frac{u}{\sqrt{\frac{R^2 + (\omega L)^2}{(1 - \omega^2 LC)^2 + (\omega RC)^2}}},$$

电压u与电流i之间的相位差φ为

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\omega L - \omega C(R^2 + (\omega L)^2)}{R}\right).$$

则当改变电源电压的频率f时，电路中的电流等测量随之改变，规律如图所示.

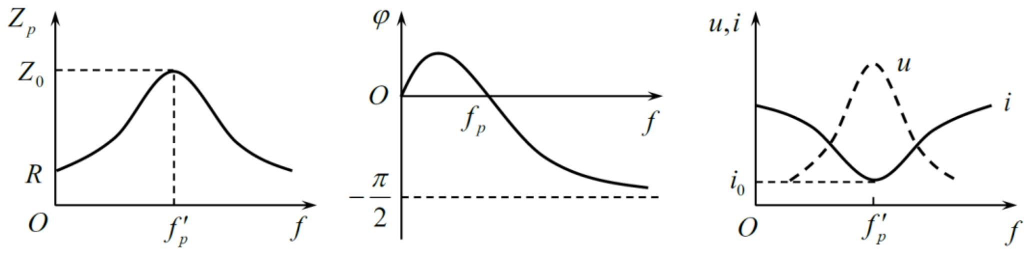

图 4 并联谐振电路参数随频率变化规律图

当f逐渐增加时，存在特殊的点f_p和$f_p{}'$：当$f < f_p$时，$\varphi > 0$，电路呈电感性；当$f > f_p$时，$\varphi < 0$，电路呈电容性；当$f < f_p{}'$时，Z逐渐增大，i逐渐减小；当$f > f_p{}'$时，Z逐渐减小，i逐渐增大. 而

$$f_p = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{L}\right)^2},$$

则当

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

时，有$\omega_P \sim \omega_0$.

3. 暂态过程

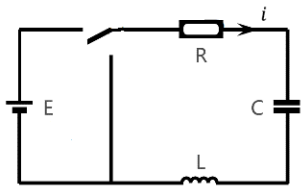

图 5 暂态过程电路图

如图所示，在充电状态时，电路由电阻R，电感L，电容C串联在直流电压源两端组成；在放电状态，电路由电阻R，电感L，电容C直接串联组成. 设电容两端的电压为u_C，则放电状态的电路方程为

$$\frac{d^2u_C}{dt^2} + \frac{R}{L}\frac{du_C}{dt} + \frac{1}{LC}u_C = 0,$$

初始条件为$u_C = E$，$du_C/dt = 0$.

设阻尼系数ζ为

$$\zeta = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}},$$

则方程的解分为三种情况:

(I) 当$\zeta < 1$,

$$u_C = E\sqrt{\frac{1}{1-\zeta^2}} \cdot e^{-t/\tau}\cos(\omega t + \varphi),$$

其中

$$\tau = \frac{2L}{R},$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1-\zeta^2}{LC}},$$

称为欠阻尼振荡.

(II) 当$\zeta = 1$,

$$u_C = E\left(1 + \frac{t}{\tau}\right) \cdot e^{-t/\tau},$$

其中

$$\tau = \frac{2L}{R},$$

称为临界阻尼振荡，是过阻尼和欠阻尼的分界点.

(III) 当$\zeta > 1$,

$$u_C = E\sqrt{\frac{1}{1-\zeta^2}} \cdot e^{-t/\tau}\sinh(\beta t + \varphi),$$

其中

$$\tau = \frac{2L}{R},$$

$$\omega = \sqrt{\frac{\zeta^2 - 1}{LC}},$$

称为过阻尼振荡.

三种振荡的模式如图所示.

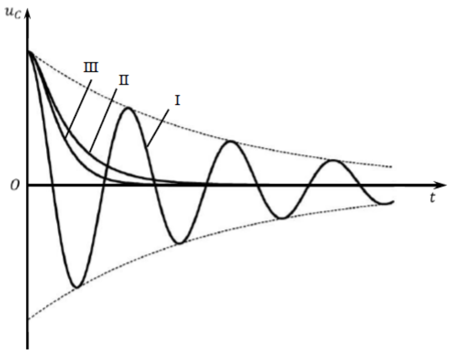

图 6 阻尼振荡的三种模式

实验步骤与实验数据

1. 测量串联谐振的相频和幅频特性

电路如图 1 所示. 取$L = 0.1$ H, $C = 0.05$ μF, $R = 100\Omega$. 保持总电压峰值恒定为$u = 2$V, 用示波器 CH1 通道测量总电压u, 用 CH2 通道测量电阻两端电压u_R. **注意: 总电压峰峰值不可以超过 3.0V, 防止串联谐振的电压过高. 注意: 测量时示波器的两个通道必须共地.**

改变函数发生器的输出频率, 找到谐振频率f_0. 用数字万用表测量u, u_L, u_C, 并计算 Q 值.

测量相频特性曲线和幅频特性曲线. 保持总电压峰值恒定为$u = 2$V, 用示波器测出相位差ϕ, 和对应的u_R. **注意: 测量相位差时, 要等 AVERAGE 输出稳定后再读数.** 作出电路的$\phi - f$曲线和$i - f$曲线. 利用$Q = f_0/\Delta f_{1/2}$估算Q. 注意: 由于函数发生器有内阻, 外部阻抗的改变可能导致总电压u的改变, 需要根据情况调整输入电压.

2. 测量并联谐振的相频特性和幅频特性曲线

电路如图 3 所示. 取$L = 0.1$ H, $C = 0.05$ μF, $R' = 5000\Omega$ (R'是为测量总电流i而接入的). 用 CH1 通道测量总电压E, 用 CH2 通道测量电阻两端电压$u_{R'}$. 用示波器的 MATH 功能计算 CH1, CH2 两通道测量值的差, 即为总电压$u = u_0 - u_{R'}$.

改变函数发生器的输出频率f, 找到谐振频率f_0.

测量相频特性曲线和幅频特性曲线. 保持电源电压峰值恒定为$u_0 = 2$V, 用示波器测出相位差ϕ, 和对应的u和$u_{R'}$. 作出电路的$\phi - f$曲线, $u - f$和$i - f$曲线.

3. 观察暂态过程

电路如图 5 所示. 取$L = 0.1$ H, $C = 0.2$ μF, 函数发生器产生频率$f = 50$Hz, 峰峰值$E = 2$V的方波. 这样从低电平到高电平相当于充电, 由高电平到低电平相当于放电. 用示波器 CH1 通道用测量总电压E, CH2 用来测量电容两端电压为u_C.

先将调节$R = 0\ \Omega$, 观察此时的u_C的波形. 然后逐渐增大R, 并测得临界电阻临界时的R_C.

观察$f = 250$Hz, $R = 2$kΩ和$f = 20$Hz, $R = 20$kΩ的u_C波形.