

实验七、LRC电路的相频和幅频特性研究

[实验目的]

- 1、掌握 RLC 串联谐振电路的特性及测量方法
- 2、了解电路品质因素 Q 的物理意义

[实验原理]

在力学实验中介绍过弹簧的简谐运动、阻尼振动和强迫振动，阐述过共振现象的一些实际应用。同样，在电学实验中，由正弦电源与电感、电容和电阻组成的串联电路也会产生简谐运动、阻尼振动和强迫振动。当正弦波电源输出频率达到某一频率时，电路的电流达到最大值，即产生谐振现象。谐振现象有许多应用，如电子技术中电磁波接收器常常用串联谐振电路作为调谐电路，接收某一频率的电磁波信号，收音机就是其中一例。利用谐振原理制作成的传感器，可用于测量液体密度及飞机邮箱内液位高度等。当然在配电网中，也要避免因电路谐振现象引起电容器或电感器的击穿。

图 1 为由纯电容器、电感器和电阻与正弦波电源组成的串联电路。图中空心电感器用纯电感 L 和损耗电阻 R_L 表示， C 为纯电容器， R 为电阻。根据交流电路的欧姆定律，电源两端电压 U_i 与电路的电流 I 之间的关系为：

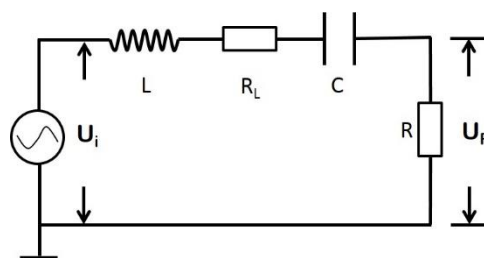


图1 RLC 串联谐振电路图

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

(1)

式中， ω 为正弦波的角频率， $Z = \sqrt{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2 + (R + R_L)^2}$ 称作交流电路的阻抗。总电压 U_i 与电流 I 的相位差 φ 为

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

(2)

由公式 (1) (2) 可知，阻抗 Z 和相位差 φ 都是角频率 ω 的函数。当 $\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$ 时，阻抗 Z 最小，这时电流 I 达到最大值，因而电阻 R 上的电压 U_R 为最大。这时整个电路呈现电阻性。电路达到谐振时的正弦波的频率 $\nu_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$ ，称为谐振频率。

RLC 串联电路的谐振曲线，如图 2 所示。谐振频率也可写为：

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

(3)

通常用 Q 值来表征电路选频性能的优劣， Q 值称为电路的品质因素。

$$Q = \frac{\nu_0}{\nu_2 - \nu_1}$$

(4)

由(4)式知, Q 值越大, 即 RLC 串联电路的频带宽度 $\Delta\nu = \nu_2 - \nu_1$ 越窄, 谐振曲线就越尖锐。

品质因素 Q 的另一含义是它标志电路中储存能量与每个周期内消耗能量之比。当电路处于谐振频率 $\nu_0 (\omega = 2\pi\nu_0)$ 时

$$Q = \frac{I^2 \omega_0 L}{I^2 (R + R_L)} = \frac{\omega_0 L}{R + R_L} \quad (5)$$

因此, 在电路中电阻 $R + R_L$ 的值越小, 电路的品质因素 Q 越大。在相同的电感量 L 和电阻 $R + R_L$ 条件下, 电路谐振频率 ν_0 越大, Q 值也越大。

从(5)式也不难得到, 在 $\nu = \nu_0$ 及电容损耗电阻 $r_c \approx 0$ 时

$$Q = \frac{U_C}{U}$$

(6)

在谐振频率时, 电容 C 或电感 L 上的电压是电路输入电压 U 的 Q 倍。

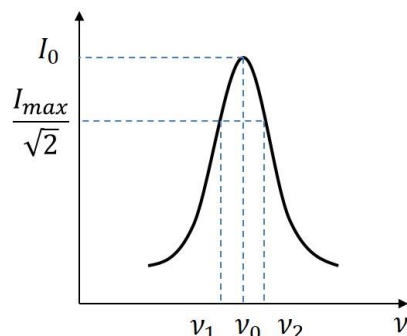


图2 RLC串联电路谐振曲线

[实验仪器]

信号源、数字式示波器、电感、电容、电阻。

[实验内容]

1、必做部分：测量非磁介质电阻与电容、电感组成的 RLC 串联谐振的谐振曲线

- 1) 按图 1 接线。实验用的电感器是电感值约为 0.1 mH 的电感器, 电容值取为 $0.047 \mu\text{F}$, 电阻取 $R=10 \Omega$ 。
- 2) 粗调信号源的频率, 大致找到 RLC 电路的谐振频率 ν_0 。调节信号源电压, 使在 ν_0 时的输出电压不超过测量仪器 (示波器) 的满量程, 将此时的输入电压记为 U_i 。保持 U_i 不变, 改变信号源频率, 测量不同频率时, 电阻 R 上对应的输出电压 U_R , 得到 $U_R-\nu$ 的关系曲线, 即为谐振曲线。
- 3) 作 $U_R-\nu$ 图, 从图中求半功率电频率 ν_1 和 ν_2 及谐振频率 ν_0 , 由 L 和 C 已知值利用公式 (3) 求得谐振频率 ν_0 与实验值进行比较。用公式 (4) 和 (5) 分别求 Q 值并进行比较。
- 4) 测量损耗电阻 R_L 值: 把频率精确到谐振点, 分别记录 U_i 和 U_R , 用 $\frac{U_i}{R+R_L} = \frac{U_R}{R}$ 求得损耗电阻 R_L 值。
- 5) 改变 R (例如取 $R=100 \Omega$ 等), 用 RLC 串联电路求谐振频率和半功率点。代入公式 (4) 求得 Q 值, 比较它与 $R=10 \Omega$ 时测得的 Q 值大小的区别。

2、选做部分

测量相频特性曲线 $\phi - \nu$

- 1) 信号源通道1作为输入电源端, $V_{pp}=2 \text{ V}$, $L=0.1 \text{ mH}$, $C=0.047 \mu\text{F}$, $R=10 \Omega$ 。
- 2) 将信号源通道2接入示波器的通道1, 进入李萨如图模式。
- 3) 调节通道2相位, 使得图线为直线, 此时相位值即为 ϕ 。
- 4) 作 $\phi - \nu$ 图。

思考题

- 1、品质因素 Q 有哪些物理意义？有何应用？
- 2、为什么良导体导线绕制的空心电感的损耗电阻 R_L 在不同频率电流通过时，其阻值不相同？
- 3、为什么本实验 RLC 电路谐振曲线，在谐振点两侧曲线并不对称？在什么条件下，这种不对称性变得不明显？