

课程编号 1800450001

得分	教师签名	批改日期

# 深 圳 大 学 实 验 报 告

课程名称: 大学物理实验(二)

实验名称: RLC 电路谐振特性的研究

学 院: 计算机与软件学院

指导教师: 高阳

报告人: 吴艇 组号: 19

学号 2020281061 实验地点 210

实验时间: 2021 年 10 月 27 日

提交时间: \_\_\_\_\_

## 一、实验目的

当电容 C 和电感 L 同时出现在电路中时,会发生谐振现象,这种电路叫谐振电路。在实际的电路中,总存在线圈、导线等电阻,因此,这种电路实际上是一个 RLC 谐振电路。RLC 谐振电路最重要的应用是在无线电技术中的信号选择(也叫选频),也被广泛用于振荡器、滤波器里,在一些特殊的情况下,也用来升压。谐振现象也会带来一些危害,研究谐振的目的在于认识这种客观现象,在生产技术上充分利用谐振,同时又要预防它所产生的危害。

本实验的目的在于:(1)初步认识 RLC 电路的谐振特性,并学习 RLC 电路谐振曲线、谐振频率、通频带、品质因数的测试方法;(2)交流电路和直流电路中测电压的方法存在显著的不同,在实验中注意学习交流电路中测电压的方法。

## 二、实验原理

RLC 谐振电路分串联谐振(也叫电压谐振)和并联谐振(也叫电流谐振)。

### (一) RLC 串联谐振

#### 1. 串联谐振现象及谐振频率

图 3-2-1 所示是一个 RLC 串联谐振电路.其交流电压 U 与交流电流 I (均为有效值)的关系为

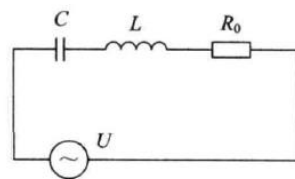
$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

(3-2-1)

电压与电流的相位差  $\varphi$  为

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

(3-2-2) 图 3-2-1 RLC 串联谐振电路



其中:  $Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$ , 称为交流电路的阻抗; L 是电感的自感系数; C 是电容器的容值; R 是电路中的电阻(注意:电路中的电阻除了  $R_0$  之外,还有电感上的  $R_L$ ,即  $R = R_0 + R_L$ );  $\omega$  是交流电源的圆频率; U 是交流电源的输出电压的有效值。

由式(3-2-1)、式(3-2-2)可知, Z、 $\varphi$ 、I 都是电源圆频率  $\omega$  的函数,当  $\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$  时,电压和电流间的位相差为零,即  $\varphi = 0$ ,此时电路中阻抗 Z 达到极小,电流 I 达到最大值  $I_{max}$ ,整个电路呈纯电阻性,这种现象叫做谐振现象,发生谐振的圆频率叫谐振圆频率  $\omega_0$ ,  $\omega_0$  的大小为

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

(3-2-3)

谐振频率为

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

(3-2-4)

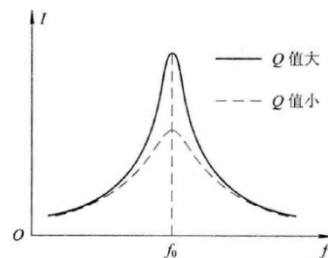


图 3-2-2 RLC 串联谐振特性

保持电压 U 不变,由式(3-2-1)决定的 I - f 曲线称为 RLC 串联谐振曲线,如图 3-2-2 所示。

## 2.品质因数 Q 及带宽

RLC 串联电路谐振时，电感上的电压  $U_L = \omega_0 LI$  和电容上的电压  $U_C = \frac{I}{\omega_0} C$  大小相等，相位相反，总电压为  $U = RI$ ，通常情况下，谐振电路的 R 比起容抗、感抗来说小得多，所以  $U_L$  和  $U_C$  比总电压 U 大许多倍，这个倍数称为谐振电路的品质因数 Q，即

$$Q = \frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{\frac{I}{\omega_0} C}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (3-2-5)$$

因为 Q 一般都大于 1，所以串联谐振也叫电压谐振。

Q 除了反映电路的电压分配之外，也反映电路存储能量的效率。RLC 串联电路谐振时，能量在电容和电感之间来回振荡，在振荡过程中能量有一部分变成焦耳热消耗在电阻上，为了维持振荡，外电路就要不断输入能量。由式(3-2-5)也可看出，电阻越小，Q 值越大，存储能量的效率越高。

Q 值也决定了电路的频率选择性能。为了定量描述频率选择性能，把在谐振峰两边的  $I = I_{\max}/\sqrt{2}$  处对应频率之间的宽度  $\Delta f = f_2 - f_1$  称为通频带宽度，简称带宽，如图 3-2-3 所示。Q 值越大，谐振峰越高，带宽越窄，电路的频率选择性越强。Q 值和带宽的关系为

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1} \quad (3-2-6)$$

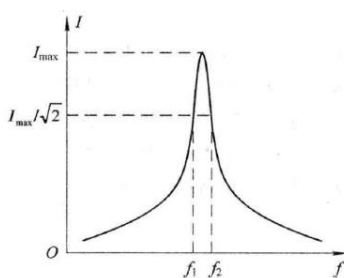


图 3-2-3 RLC 串联谐振电路的带宽

### (二) RLC 并联谐振

并联谐振现象及谐振频率的介绍如下。

图 3-2-4 所示是一个 RLC 并联谐振电路，其等效阻抗 Z 和位相差  $\varphi$  分别为

$$Z = \frac{R^2 + (\omega L)^2}{\sqrt{R^2 + [\omega CR^2 + \omega L(\omega^2 LC - 1)]^2}} \quad (3-2-7)$$

$$\varphi = \arctan\left[\frac{\omega L - \omega CR^2 - \omega^3 L^2 C}{R}\right] \quad (3-2-8)$$

并联电路的总电流 I 和等效阻抗 Z 的频率特性与串联相反，在某一频率下，阻抗有极大值，电流有极小值，如图 3-2-5 所示（注：在并联电路中，阻抗达到的极大频率，与谐振频率不严格一致）。

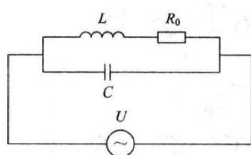


图 3-2-4 RLC 并联谐振电路

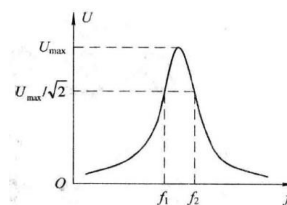


图 3-2-5 RLC 并联谐振曲线及带宽

在某一特定频率下，电流和电压同相，即 $\varphi = 0$ ，整个电路呈纯电阻性，通常说电路达到谐振，由式(3-2-8)可解出并联谐振圆频率为

$$\omega_P = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{L}\right)^2} = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{Q^2}} \quad (3-2-9)$$

其中 $\omega_0$ 为RLC串联时的谐振圆频率，Q为并联谐振的品质因数，其表达式仍为

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} \quad (3-2-10)$$

当 $Q \gg 1$ 时，有 $\omega_P = \omega_0$ 。

从式(3-2-9)可看出，只有当 $\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{L}\right)^2 > 0$ ，即 $R < \sqrt{\frac{L}{C}}$ 时， $\omega_P$ 才是实数，才有可能通过调频使电路达到谐振，实验中要注意这个问题。

谐振时，两个支路的电流 $I_C$ 和 $I_L$ 大小几乎相等，相位差为 $\pi$ ，且近似为总电流I的Q倍，即 $I_C = I_L = QI$ ，Q一般都大于1，因而并联谐振也称为“电流谐振”。谐振时，因阻抗最大，在激励电流一定时，电压的有效值最大，如图3-2-5所示。

和串联谐振电路一样，Q越大，并联谐振电路的选择性越好

### 三、实验仪器：

实验仪器包括：DH4503型实验仪、MVT-172D型交流数字毫伏表、导线若干。

#### (一)DH4503型RLC实验仪

##### 1. DH4503型实验仪简介

DH4503型RLC实验仪与交流数字毫伏表配合可以开展RLC谐振特性的研究实验，与示波器配套可以开展RC、RL、RLC暂态特性实验及RC、RL、RLC稳态特性(幅频特性、相频特性)的研究，RLC串联并联选频特性分析，电感量、电容量的测量，交流信号的整流滤波实验。其操作面板如图3-2-6所示。

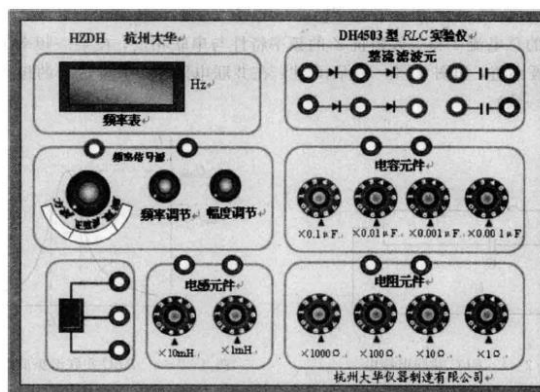


图 3-2-6 DH4503 型 RLC 实验仪面板

##### 2. DH4503 型 RLC 实验仪主要技术指标

- (1) 输入电源：220 V $\pm$ 10%，50 Hz。
- (2) 环境适应性：10~35 $^{\circ}$ C；为25%~75%。
- (3) 抗电强度：仪器能耐受 50 Hz、500 V 正弦波电压 1 min。
- (4) 信号源：输出波形为正弦波、方波、直流。

T 作频率范围：正弦波（分三挡）分别为50 Hz~1 kHz、1 kHz~10 kHz、10 kHz~100 kHz；方波为：50 Hz~1 kHz。

最大信号幅度：正弦波、方波电压峰峰值为0~10 V；  
直流为1.2~10 V。

## （二）MVT-172D 型交流数字毫伏表

### 1. MVT-172D 型交流数字毫伏表简介

MVT-172D 型交流数字毫伏表适用于测量频率为5 Hz~2 MHz, 30 μV~300 V的正弦波的有效电压值，采用4位数显，有电压 V、dB、dBm 三种显示方式，其操作面板如图 3-2-7 所示。

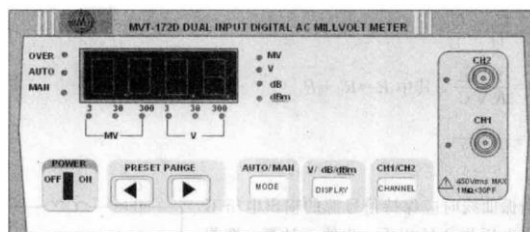


图 3-2-7 MVT-172D 型交流数字毫伏表操作面板

POWER：电源开关。

AUTO/MAN：测量方式选择。开机时处于“ AUTO”（自动转换量程）状态，按一下该开关，转换到“MAN”（手动转换量程），再按下该开关，回到“ AUTO”状态。

PRESET RANGE：当测量方式为“MAN”时用于改变量程。

CHANNEL（CH1/ CH2）：用于选择测量通道，按下 CHANNEL 键，若“CH1”前的灯亮，表头将显示 CH1 测得的电压；若“CH2”前的灯亮，表头将显示 CH2 测得的电压。

CH1：被测信号输入通道 1。

CH2：被测信号输入通道 2。

OVER：该指示灯亮，表示量程不合适。

AUTO：该指示灯亮，表示处于自动测换量程的状态。

MAN：该指示灯亮，表示处于手动测换量程的状态。

### 2. 主要技术指标

- （1）交流电压测量范围：30 μV~300V。
- （2）量程：3mV，30mV，300mV，3V，30V，300V。
- （3）电压的固有误差：±5%读数±6 个字（1 kHz 为基准）。
- （4）频率范围：5Hz~2MHz。
- （5）最大输入电压有效值：450 rms。

## 四、实验内容：

### （一）RLC 串联电路的谐振特性研究

具体要求：

- （1）分别取  $R_0 = 100\Omega$  和  $R_0 = 200\Omega$  测两条谐振曲线，分析电路中电阻不同会有哪些影响。
- （2）测量谐振频率，分析谐振频率的测量值和理论值是否相等，若不相等，请分析原因。
- （3）测量带宽：测出谐振曲线后，可由谐振曲线图求出带宽。
- （4）测量品质因数 Q，并分别用三种方法计算 Q 值，比较三种方法的计算结果是否相等，若不等，分析原因。

方法 1:  $Q = \frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U}$

方法 2:  $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$ ，其中  $R = R_0 + R_L$

方法 3:  $Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$

操作提示：

(1) 测绘谐振曲线时应保持信号源的输出电压不变。信号源输出电压为 2V 以下，为便于计算，推荐值为 1V。电源的频率  $f$  可由 RLC 实验仪的频率计直接读出，电路电流由  $I = U_{R_0}/R_0$  算出。用交流毫伏表的两个通道分别测信号源电压  $U$  和电阻  $R_0$  的电压时须注意毫伏表两通道的地线是相通的，接入电路时应同一点上（共地），否则会造成短路。测量电路可参照图 3-2-8。

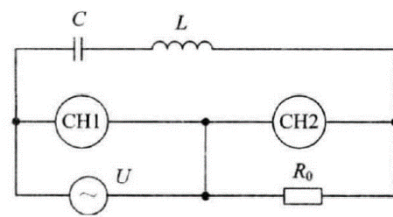


图 3-2-8 RLC 串联谐振曲线测量电路

(2) 选合适的 L 值、C 值和 R 值，推荐值为  $L = 100\text{mH}$ ， $C = 4.4 \times 10^{-8}\text{F}$ 。

(3) 测量点的选择。先计算出谐振频率  $f_0$  的理论值，再从  $f_0 - 1000(\text{Hz})$  到  $f_0 + 1000(\text{Hz})$ ，相隔一定频率间隔测一次电压值，在谐振频率  $f_0$  附近应缩短步长多测几个点。

(4) 当  $U_{R_0}$  达到最大时对应的电源频率就是谐振频率，请记录这一点的坐标  $(f_0, U_{R_0\text{max}})$ 。作图时应注意，这一点对应谐振曲线的峰值点。

(5) 品质因数 Q 的测量方法。达到谐振时，测量电路中 L、C 上的电压  $U_L$  和  $U_C$ ，由  $Q = \frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U}$  可计算出 Q。

(二) RLC 并联电路的谐振特性研究（选做）

具体要求：自行拟定测量内容及方法，对并联电路的谐振现象做进一步的探究。

测量电路可参见图 3-2-9。L、C 仍用串联电路中所用的数值， $R_0$  是电感本身的电阻， $R_1$  取  $3 \times 10^4 \Omega$ 。

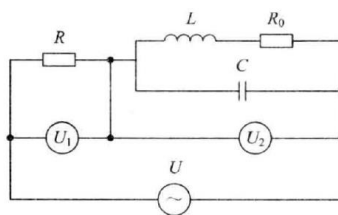


图 3-2-9 RLC 并联谐振曲线测量电路

需要解决的问题：

(1) 在测量并联谐振曲线时，需要电路中的 I 保持恒定。这应该怎么保证？

(2) 在电路中加入电阻  $R_1$  后，为了使  $R_1$  上的电压  $U_1$  不随频率改变，测量点应该怎么选择？

注意事项：

(1) 毫伏表两通道的公共线是相通的，连接线路时注意不要将电源短路。在测量  $U_L$  和  $U_C$  时，注意信号源和测量仪器共地的接法。

(2) 注意改变频率时要重新调整和测量音频振荡器的输出电压，使它保持为定值。

## 五、数据记录：

组号： 19 ； 姓名 吴艇

C=\_\_\_\_\_ L=\_\_\_\_\_

f/Hz	$R_1 = 100\Omega$		$R_2 = 200\Omega$		f/Hz	$R_1 = 100\Omega$		$R_2 = 200\Omega$	
	u/mV	i/mA	u/mV	i/mA		u/mV	i/mA	u/mV	i/mA
1600					2400				
1700					2450				
1800					2500				
1900					2550				
2000					2600				
2100					2700				
2150					2800				
2200					2900				
2250					3000				
2300					3100				
2350					3200				