|  |
| --- |
| **《基础物理实验》实验报告**  实验名称 RLC电路的谐振与暂态过程 指导教师 李梦朝  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. 研究串联和并联电路的谐振现象, 了解其相频特性和幅频特性;

2. 观察电路的暂态过程, 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 (RIGOL MSO1104), 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, 电感, 电容串联在信号发生器两端组成. 设电源电压的峰值为, 频率为, 则稳定时的总阻抗为

电流为

电压与电流之间的相位差为

则当改变电源电压的频率时, 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 |

当逐渐增加时, 存在一个特殊的点: 当时, 逐渐减小, 逐渐增大, 而, 电路呈电容性; 当时, 逐渐增大, 逐渐减小, 而, 电路呈电感性. 当, 即

时有, 且达到极小值, 达到极大值. 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为

以及

其中是当减小到极大值的对应的两个的差. 越大, 表征着电路的储耗能特性和选频特性越好.

1. 并联谐振

|  |
| --- |
| 图3 并联谐振电路图 |

如图所示, 电路由电阻和电感串联, 再与电容并联在信号发生器两端组成. 设间电压的峰值为, 电源频率为, 则稳定时的总阻抗为

电流为

电压与电流之间的相位差为

则当改变电源电压的频率时, 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 |

当逐渐增加时, 存在特殊的点和: 当时, , 电路呈电感性; 当时, , 电路呈电容性; 当时, 逐渐增大, 逐渐减小; 当时, 逐渐减小, 逐渐增大. 而

则当

时, 有.

1. 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, 电感, 电容串联在直流电压源两端组成; 在放电状态, 电路由电阻, 电感, 电容直接串联组成. 设电容两端的电压为, 则放电状态的电路方程为

初始条件为, .

设阻尼系数为

则方程的解分为三种情况:

(I) 当,

其中

称为欠阻尼振荡.

(II) 当,

其中

称为临界阻尼振荡, 是过阻尼和欠阻尼的分界点.

(III) 当,

其中

称为过阻尼振荡.

三种振荡的模式如图所示. 将图像平移和翻转即得到充电状态的图像.

|  |
| --- |
| 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, , . 保持总电压幅值恒定为.改变函数发生器的输出频率, 找到谐振频率. 用数字万用表测量,, 的有效值, 并计算

表1 谐振时值测量表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 5.52 | 5.52 | 0.468 | 11.8 |

测量相频特性曲线和幅频特性曲线. 保持总电压幅值恒定为, 用示波器测量的幅值, 计算电路电流幅值

以及CH2通道相对于CH1通道的时间差, 并计算相位差

绘制相频特性和幅频特性曲线. 作出电路的曲线和曲线, 并在图像中利用来估算.

**注意：**

(1) 在测量时间差时, 要等AVERAGE平均一段时间, 输出稳定后再读数.

(2) 由于函数发生器有内阻, 外部阻抗的改变可能导致总电压输出的改变, 因此每当调整一次频率, 就需要调整信号发生器输出电压的幅值. 用示波器CH1通道测量总电压, 用CH2通道测量电阻两端电压.

(3) 总电压峰峰值不可以超过3.0V, 防止串联谐振的电压过高.

(4) 按照电路图测量时, 示波器的两个通道必须共地.

|  |
| --- |
| 图7 串联谐振示波器波形示意图  CH1 (黄色) 为, CH2 (蓝色) 为 |

表2 串联谐振幅频和相频特性测量表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 信号发生器输出 | | 示波器测量 | | |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 1.977 | 1.880 | 2.00 | -116.2 | 0.349 | -78.64 | 3.49 |
| 2.142 | 2.000 | 2.00 | -95.78 | 0.556 | -68.96 | 5.56 |
| 2.204 | 2.080 | 2.00 | -79.25 | 0.752 | -59.34 | 7.52 |
| 2.470 | 2.150 | 2.00 | -57.65 | 1.08 | -44.62 | 10.8 |
| 2.650 | 2.190 | 2.00 | -39.70 | 1.32 | -31.30 | 13.2 |
| 2.740 | 2.220 | 2.00 | -24.21 | 1.36 | -19.35 | 13.6 |
| 2.820 | 2.240 | 2.00 | -10.76 | 1.45 | -8.677 | 14.5 |
| 2.770 | 2.250 | 2.00 | -2.375 | 1.46 | -1.924 | 14.6 |
| 2.850 | 2.260 | 2.00 | 3.402 | 1.49 | 2.768 | 14.9 |
| 2.850 | 2.275 | 2.00 | 16.27 | 1.53 | 13.33 | 15.3 |
| 2.760 | 2.300 | 2.00 | 28.27 | 1.41 | 23.41 | 14.1 |
| 2.470 | 2.360 | 2.00 | 51.87 | 1.01 | 44.07 | 10.1 |
| 2.250 | 2.430 | 2.00 | 67.51 | 0.802 | 59.06 | 8.02 |
| 2.100 | 2.620 | 2.00 | 74.76 | 0.397 | 70.51 | 3.97 |
| 2.060 | 3.180 | 2.00 | 67.64 | 0.204 | 77.43 | 2.04 |

|  |
| --- |
| 图8 串联谐振的幅频特性图 |
| 图9 串联谐振的相频特性图 |

可以看出在串联谐振电路中, 随着增加, 先增大后减小, 而从开始逐渐增加到. 在发生谐振时, 达到最大值, .

从图中估算出, . 则有.

1. 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, , (是为测量总电流而接入的). 保持总电压幅值恒定为. 用CH1通道测量电源电压, 用CH2通道测量电阻两端电压的幅值, 并计算总电流

用示波器的MATH功能计算 CH1, CH2两通道的差, 即为总电压. 测量其幅值, 以及CH2通道相对于MATH的时间差, 并计算相位差

改变函数发生器的输出频率, 找到谐振频率.

测量相频特性曲线和幅频特性曲线. 用示波器测出相位差, 和对应的和. 作出电路的, 和曲线.

**注意：**

(1)(2)(3)(4) 同上节.

(5) 示波器无法直接测量MATH的延迟时间 (Dly), 需要手工用Cursor功能读数.

|  |
| --- |
| 图10 并联谐振示波器波形示意图  CH1 (黄色) 为, CH2 (蓝色) 为, MATH (紫色) 为 |

表3 并联谐振幅频和相频特性测量表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 信号发生器输出 | | 示波器测量 | | | |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| 2.216 | 2.050 | 2.00 | 113 | 1.05 | 1.76 | 83 | 0.210 |
| 2.110 | 2.150 | 2.00 | 95 | 0.524 | 1.91 | 74 | 0.105 |
| 2.060 | 2.200 | 2.00 | 85 | 0.288 | 1.91 | 67 | 0.0576 |
| 2.270 | 2.231 | 2.00 | 54 | 0.182 | 1.97 | 43 | 0.0364 |
| 2.260 | 2.240 | 2.00 | 32 | 0.157 | 2.09 | 26 | 0.0314 |
| 2.280 | 2.247 | 2.00 | 14 | 0.135 | 2.11 | 11 | 0.0270 |
| 2.280 | 2.250 | 2.00 | 0.8 | 0.113 | 2.10 | 1 | 0.0226 |
| 2.300 | 2.253 | 2.00 | -11 | 0.116 | 2.09 | -8.9 | 0.0232 |
| 2.300 | 2.256 | 2.00 | -19 | 0.115 | 2.13 | -15 | 0.0230 |
| 2.300 | 2.265 | 2.00 | -47 | 0.135 | 2.15 | -38 | 0.0270 |
| 2.290 | 2.275 | 2.00 | -63 | 0.195 | 2.14 | -52 | 0.0390 |
| 2.290 | 2.320 | 2.00 | -93 | 0.442 | 2.08 | -78 | 0.0884 |
| 2.290 | 2.400 | 2.00 | -103 | 0.806 | 1.99 | -89 | 0.161 |
| 2.260 | 2.600 | 2.00 | -96 | 1.52 | 1.52 | -90 | 0.304 |

|  |
| --- |
| 图11 并联谐振的曲线 |
| 图12 并联谐振的曲线 |
| 图13 并联谐振的曲线 |

可以看出在并联谐振电路中, 随着增加, 先增大后减小, 先减小后增大, 而从开始逐渐减小到. 在发生谐振时, , 达到最大值, 达到最小值, 在这附近某处.

1. 观察暂态过程

电路如图5所示. 取, , 函数发生器产生频率, 峰值的方波. 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, CH2通道测量电容两端电压.

先将调节, 观察此时的的波形. 然后逐渐增大, 并测得临界电阻临界时的.

|  |  |
| --- | --- |
| 图14-1 , 时的暂态波形图总览  CH1 (黄色) 为, CH2 (蓝色) 为 | |
| 图14-2 , 时的暂态波形图  CH1 (黄色) 为, CH2 (蓝色) 为 | 图15 , 时的暂态波形图  CH1 (黄色) 为, CH2 (蓝色) 为 |
| 图16 , 时的暂态波形图  CH1 (黄色) 为, CH2 (蓝色) 为 | 图17 , 时的暂态波形图  CH1 (黄色) 为, CH2 (蓝色) 为 |

可以明显看出, 当和处于欠阻尼振荡, 当处于过阻尼振荡. 在调整过程中估计出临界阻尼对应于. 而理论值对应于

理论与实际符合得较好.

再观察, 和, 的波形.

|  |  |
| --- | --- |
| 图18 , 时的暂态波形图  CH1 (黄色) 为, CH2 (蓝色) 为 | 图19 , 时的暂态波形图  CH1 (黄色) 为, CH2 (蓝色) 为 |
| 图20 , 时的暂态波形图  CH1 (黄色) 为, CH2 (蓝色) 为 | 图21 , 时的暂态波形图  CH1 (黄色) 为, CH2 (蓝色) 为 |

可以明显看出, 当和处于过阻尼振荡.

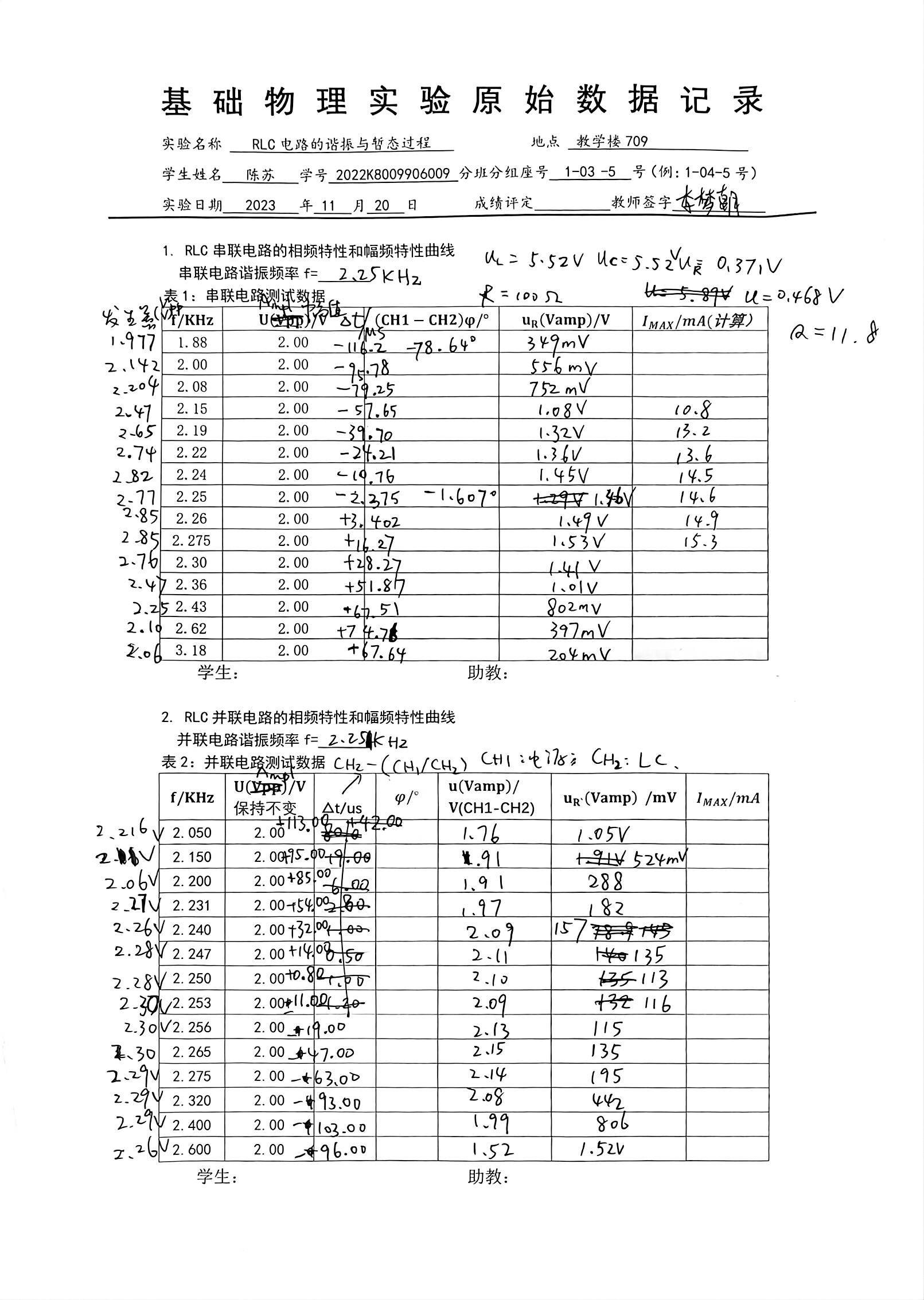
# 实验结论

在本次实验中，我进一步熟悉了函数发生器和示波器操作方法, 学习使用测量相位差和延迟时间.

实验时要注意等电路稳定后再测量, 以及正确使用AVERAGE功能并打开带宽限制. 在测量串联和并联谐振时 (图8, 图12), 在谐振频率附近电压变化很小, 以至于达到示波器的分度值, 造成谐振频率测量的较大误差. 而由于MATH的波形噪音很大, 并联谐振电压和电流的测量 (图11, 图12) 也有较大误差.

在测量暂态过程时, 发现在欠阻尼时电源信号并非完美的方波, 这可能是元件与信号发生器内部电路一起振荡导致的. 由于信号发生器输出精度和示波器测量精度有限, 不能准确地从图像中推断谐振频率. 可以考虑精度更高的直流可编程电源来输出信号.

# 附录1: 实验数据



# 附录2: 预习报告

