**《基础物理实验》实验报告**

分组号： 01—9

实验名称 RLC 电路的谐振与暂态过程  指导教师 尹倩青

姓名 王华强 学号 2016K8009929035 专业 计算机科学与技术

同组人员 无

实验日期 2017 年 11 月 20 日实验地点 教709 成绩评定

**实验名称** RLC 电路的谐振与暂态过程

**实验简介**

同时具有电感和电容两类元件的电路，在一定条件下会发生谐振现象。谐振时电路的阻抗、 电压与电流以及它们之间的相位差、电路与外界之间的能量交换等均处于某种特殊状态，因而 在实际中有着重要的应用，如在放大器、振荡器、滤波器电路中常用作选频等。本实验的第一部 分，将通过 RLC 电路的相频特性、幅频特性的测量，着重研究 LC 电路的谐振现象。 在阶跃电压作用下，RLC 串联电路由一个平衡态跳变到另一个平衡态，这一转变过程称为 暂态过程。在此期间电路中的电流及电容、电感上的电压呈现出规律性的变化，称为暂态特性。 RLC 电路的暂态特性在实际工作中十分重要，例如在脉冲电路中经常遇到元件的开关特性和电 容充放电的问题；在电子技术中常利用暂态特性来改善波形或者产生特定波形。但是在某些情 况，暂态特性也会造成危害，例如在接通、切断电源的瞬间，暂态特性会引起电路中电流、电压 过大，造成电器设备和元器件的损坏，这是需要防止的。本实验的第二部分是要观察和分析 RLC 串联电路暂态过程中电压及电流的变化规律。

**实验目的**

1. 研究 RLC 电路的谐振现象。

2. 了解 RLC 电路的相频特性和幅频特性。

3. 用数字存储示波器观察 RLC 串联电路的暂态过程，理解阻尼振动规律。

**实验仪器**

标准电感，标准电容，100 Ω 标准电阻，电阻箱，电感箱，电容箱，函数发生器，示波器， 数字多用表，导线等。

**实验原理, 实验内容**

同讲义, 见附件1

**数据处理**

1. 测 RLC 串联电路的相频特性和幅频特性曲线

取 L =0.1 H，C =0.05 μ F， R =100 Ω ，用示波器 CH1、CH2 通 道分别观测 RLC 串联电路的总电压 u 和电阻两端电压 R u 。

1. 调谐振，改变函数发生器的输出频率，找到谐振频率 f0 。在谐振时，用数字多用表测量 u ， ， 。计算 Q 值。

测得:

|  |  |
| --- | --- |
| f0计算值 | 2250Hz |
| f0测量值 | 2251Hz |
|  |  |
| u | 0.472V |
| uL | 5.47V |
| uC | 5.50V |
|  |  |
| Q的测量值 | Q=ur/u=uc/u=11.65 |
| Q测量值=11.65 | |

f0实际测量值几乎与计算值相同, 但是实验中测出的, 略有不同, 这样使用两者分别算出的Q也略有差距, 取平均值为11.65.

Q的测量值与用电路中各元件属性所计算出的Q理论有较大偏差, Q理论约为14左右. 究其原因, 可能是由于电路中各个接触点电阻, 示波器内阻等产生的.

1. 测相频特性曲线和幅频特性曲线：在总电压 upp =2.0 V 保持不变的条件下，用示波器 （在双踪显示下）测出电压、电流间相位差 ϕ ，以及相应的 R u 。信号频率在大约 1.50 ~ 3.30 kHz 范围内，选择相位差约 0°，± 15°，± 30°，± 45°，± 60°，± 72°，± 80°所对应的频率进行测量。 参考频率（单位 kHz）：1.88、2.00、2.08、2.15、2.19、2.22、2.24、2.25、2.26、2.275、2.30、 2.36、2.43、2.62、3.18。作 RLC 串联电路的 ϕ − f 曲线和 i − f 曲线。利用式（6）估算出 Q 值。

测量结果如下:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 相位差(degree) | 参考f(kHZ) | 实际f(kHZ) | UR峰值(mV) | IR峰值(mV) |
| -80 | 1.88 | 1.882 | 160 | 1.6 |
| -72 | 2 | 2.005 | 224 | 2.24 |
| -60 | 2.08 | 2.08 | 288 | 2.88 |
| -45 | 2.15 | 2.15 | 417 | 4.17 |
| -30 | 2.19 | 2.181 | 466 | 4.66 |
| -15 | 2.22 | 2.22 | 487 | 4.87 |
| 0 | 2.25 | 2.251 | 509 | 5.09 |
| 15 | 2.275 | 2.275 | 520 | 5.2 |
| 30 | 2.3 | 2.295 | 470 | 4.7 |
| 45 | 2.36 | 2.35 | 404 | 4.04 |
| 60 | 2.43 | 2.43 | 299 | 2.99 |
| 72 | 2.62 | 2.628 | 192 | 1.92 |
| 80 | 3.18 | 3.18 | 104 | 1.04 |

作 RLC 串联电路的 ϕ − f 曲线和 i − f 曲线:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 实际f(kHZ) | 1.882 | 2.005 | 2.08 | 2.15 | 2.181 | 2.22 | 2.251 | 2.275 | 2.295 | 2.35 | 2.43 | 2.628 | 3.18 |
| 相位差(degree) | -80 | -72 | -60 | -45 | -30 | -15 | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | 72 | 80 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 实际f(kHZ) | 1.882 | 2.005 | 2.08 | 2.15 | 2.181 | 2.22 | 2.251 | 2.275 | 2.295 | 2.35 | 2.43 | 2.628 | 3.18 |
| IR峰值(mV) | 1.6 | 2.24 | 2.88 | 4.17 | 4.66 | 4.87 | 5.09 | 5.2 | 4.7 | 4.04 | 2.99 | 1.92 | 1.04 |

选取峰值为520mV,计算得f2, f1处的U峰应为370mV, 落在45-60度,-45~-60度之间.

测得f1=2.135kHZ, f2=2.370kHZ

Q=9.579, 计算值小于实际测量值. 误差分析见实验结论部分.

2. 测 RLC 并联电路的相频特性和幅频特性曲线。取 L =0.1 H，C =0.05 μ F， R′ =5 k Ω （电阻 R′ 是为监测总电流 i 而串入的）。为观测电感与电容并联部分的电压和相位，用 CH1 测量总电压，用 CH2 测量 R′ 两 端电压，（注意共地点在 b 点），两通道测量电压值相减 CH1-CH2 就是并联部分的电压 u 。可通 过示波器面板上的“MATH”键实现两通道波形相减。

（1）调谐振。改变函数发生器的输出频率，观测并联部分的电压 u （CH1-CH2）与总电流 （CH2）的幅度和相位的变化。找到谐振频率 p f 。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 谐振频率fp | | | |
| 计算值 | 2250kHZ | 测量值 | 2250kHZ |
| Rl=10-20欧姆 | | | |

其中经计算得知, Rl的值太小, 对于fp的贡献几乎可以忽略不计.

（2）测相频特性曲线和幅频特性曲线：固定总电压（ R u + u ′ ）的峰峰值 2.0 V 保持不变， 测量并联部分电压 u （CH1-CH2）与总电流（CH2）的相位差以及二者的幅度值。可用光标（Cursor） 功能读取电压值。频率范围大约在 1.70 ~ 2.80 kHz。

参考频率（单位 kHz）：2.05、2.15、2.20、 2.231、2.24、2.247、2.25、2.253、2.256、2.265、2.275、2.32、2.40、2.60。

原始数据:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | Uch2峰值(反映I) | U并联峰值 | 峰值时间差(us) | 相位差绝对值(degree) | 相位差 |
| 2.05 | 532 | 750 | 114 | 84.132 | -84.132 |
| 2.15 | 300 | 830 | 95 | 73.53 | -73.53 |
| 2.2 | 164 | 870 | 81 | 64.152 | -64.152 |
| 2.231 | 100 | 880 | 43 | 34.53588 | -34.5359 |
| 2.24 | 92 | 900 | 19 | 15.3216 | -15.3216 |
| 2.247 | 84 | 990 | 15 | 12.1338 | -12.1338 |
| 2.25 | 68 | 1010 | 5 | 4.05 | -4.05 |
| 2.253 | 73 | 990 | 12 | 9.73296 | 9.73296 |
| 2.256 | 83 | 970 | 20 | 16.2432 | 16.2432 |
| 2.265 | 89 | 870 | 41 | 33.4314 | 33.4314 |
| 2.275 | 112 | 860 | 52 | 42.588 | 42.588 |
| 2.32 | 222 | 830 | 88 | 73.4976 | 73.4976 |
| 2.4 | 400 | 810 | 99 | 85.536 | 85.536 |
| 2.6 | 708 | 760 | 146 | 136.656 | 136.656 |

测量时遇到的问题见结论部分.

作 RLC 并联电路的 ϕ − f 曲线和 u − f 、i − f 曲线:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 2.05 | 2.15 | 2.2 | 2.231 | 2.24 | 2.247 | 2.25 | 2.253 | 2.256 | 2.265 | 2.275 | 2.32 | 2.4 | 2.6 |
| Uch2峰值(反映I) | 532 | 300 | 164 | 100 | 92 | 84 | 68 | 73 | 83 | 89 | 112 | 222 | 400 | 708 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 2.05 | 2.15 | 2.2 | 2.231 | 2.24 | 2.247 | 2.25 | 2.253 | 2.256 | 2.265 | 2.275 | 2.32 | 2.4 | 2.6 |
| U并联峰值 | 750 | 830 | 870 | 880 | 900 | 990 | 1010 | 990 | 970 | 870 | 860 | 830 | 810 | 760 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 2.05 | 2.15 | 2.2 | 2.231 | 2.24 | 2.247 | 2.25 | 2.253 | 2.256 | 2.265 | 2.275 | 2.32 | 2.4 | 2.6 |
| 相位差 | -84.132 | -73.53 | -64.152 | -34.5359 | -15.3216 | -12.1338 | -4.05 | 9.73296 | 16.2432 | 33.4314 | 42.588 | 73.4976 | 85.536 | 136.656 |

可以看出, 以上结果基本是理论结果所预言的形状, 但在某些位置也存在差异, 比如电压峰值就并没有落在2250Hz处, 与其他同学交流后发现其他人也有存在此问题的, 怀疑为系统误差.

**3. 观测 RLC 串联电路的暂态过程。**

由函数发生器产生方波。为便于观察，要求将方波的低电平调整与示波器的扫描基线一致。由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。函数发生器各参数可设为：频率 50 Hz，电压峰峰值 pp u =2.0 V，偏移 1V。示波器 CH1 通道用来测量总电压，CH2 用来测量电容两端电压𝑢𝐶，注意两个 通道必须共地。实验中 L=0.1 H，C=0.2 μF。

1. R=0 Ω，测量𝑢𝐶波形。



放大后得:



1. 调节 R 测得临界电阻𝑅𝐶，并与理论值比较。

理论值为1414 Ω , 实际测量值为1160Ω

测量时的示波器图形如下图所示:

放大得:

可见此时恰好没有之前图像中所示的波动, 此时的电阻值即为所求.

1. 记录 R=2 KΩ，20 KΩ 的𝑢𝐶波形。函数发生器频率可分别选为 250 Hz （R=2 KΩ）， 和 20 Hz（R=20 KΩ）。

两次实验中示波器的波形 分别如下所示:



实验结论与思考

1. 实验中应当注意, 在使用示波器测量分压时, 应使得示波器的接地端与函数发生器的接地端连在一起. 这样就要求必须严格按照电路图来连接电路.
2. **在串联谐振时，如果设置不当，电感和电容两端将出现有危险的高电压（超过36V）,原因是Q的≫1, 而Q代表Uc, Ul与U的比值.按此实验中的数据, 可以达到10x以上.**
3. 实验第一部分f0实际测量值几乎与计算值相同, 但是实验中测出的, 略有不同, 这样使用两者分别算出的Q也略有差距, 取平均值为11.65.
4. Q的测量值与用电路中各元件属性所计算出的Q理论有较大偏差, Q理论约为14左右. 究其原因, 可能是由于电路中各个接触点电阻, 示波器内阻等产生的.
5. 万用表测量电感，电容两端的电压uL和uc和电源的路端电压u用以计算Q值时. 所测得的数值要远小于函数发生器所提供的电压, 原理同上.
6. 注意此实验中测量电压的极值点不要使用峰峰值, 以避免毛刺所导致的误差, 使用幅度或最大值来进行计算.计算后的结果还要再化成有效值再参与计算.由于电路结构使得某一电压与电流成正比关系, 所以作曲线时可以直接使用U的值来反映I的趋势.
7. 完成相频曲线和幅频曲线时, 应保持CH1幅度值2V不变(不同频率点需要调节函数发生器，1.99~2.01之间即可)，在实验进行到第一部分时, 没有注意到此项要求, 导致所测数值可能有一定的偏差.
8. 读取相位差时, 当改变信号频率或幅度后，要先关闭“统计功能”，再打开，从而清零统计值然后读取数据,否则统计值显示的是从开始统计开始到当前时刻所有数据的平均。
9. 在此实验中, 由于器材的原因, 导致曲线波动底噪很大, 此时使用极值-统计-平均来取得一个比较准确的值. 在并联测并联部分分压时此点尤其重要. 实验中由于没有使用此法读数, 而是用光标读取最大值,导致读数偏差较大.
10. 从最后的几张波形图中, 我们可以验证RLC电路在电流突变时满足阻尼振动的规律: 存在三种情况: 欠阻尼, 过阻尼, 临界阻尼.

2017.11.21

发送至:

**尹倩青**

[yinqianqing0129@163.com](mailto:yinqianqing0129@163.com)

**IHEP**