

电路原理实验报告

实验名称 RLC串联电路的幅频特性和谐振现象

班 号 it51

实验日期 10月24日

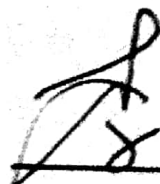
实验者 金瑾

同组人 张耀楠

成绩评定:

92

教师签名:



评阅日期:

11.14



清华大学实验报告

系别 计算机系 班号 计51 姓名 金撞 (同组姓名 张耀楠)
作实验日期 年 月 日 教师评定

实验三 RLC串联电路的幅频特性和谐振现象

一. 实验目的

1. 测量RLC串联电路的幅频特性
2. 研究串联谐振现象及电路参数对谐振特性的影响.

二. 实验电路及原理

1. 电路中频率的改变会引起电抗的改变, 从而引起阻抗的改变. 如果维持电源电压不变, 则电路中电流的大小会随频率而改变.

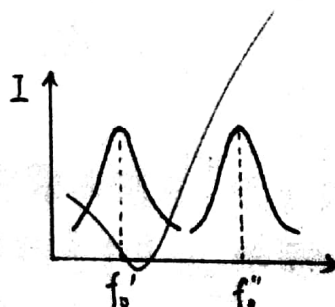
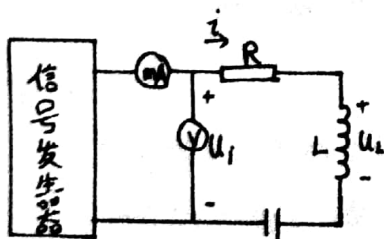
在RLC串联电路(见图3.1)中, 总的输入阻抗及电流为

$$Z = |Z| \angle \varphi = R + j(X_L + X_C) = R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})$$

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

由此可以看出电流的大小随频率的变化关系.

2. 在某频率下, $X_L = -X_C$, 即 $\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$. 这时电流达到最大值 $I = \frac{U_i}{R}$. 这一现象称为“谐振”. 此时的谐振角频率 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, 谐振频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.



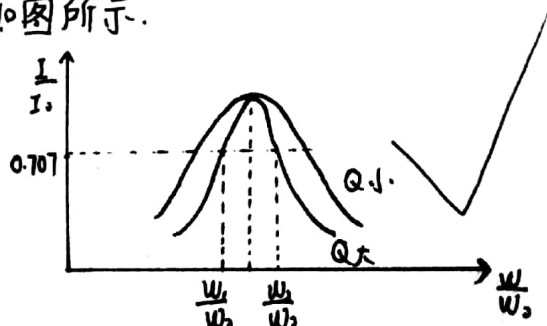
3. 从选择性来看, 要求 $I(f)$ 曲线越尖锐越好. 即在谐振频率附近, 阻抗要灵敏地随频率而变化. 常用品质因数 Q 来表示电路选择性的好坏. Q 为谐振时电感电压 U_L 或电容电压 U_C 与电源电压之比. 即



$$Q = \frac{U_L}{U_i} = \frac{U_C}{U_i} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{\sqrt{L/C}}{R}$$

$$\text{或 } Q = \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1} = \frac{1}{\frac{\omega_2}{\omega_0} - \frac{\omega_1}{\omega_0}}$$

式中 ω_1 和 ω_2 为谐振曲线上 $\frac{I}{I_0} = \frac{\sqrt{2}}{2}$ 的点所对应的角频率, 又称转折频率, 如图所示。



三. 实验设备

电感线圈	1个
电容箱	1个
电阻器	1个
NY450型双通道 交流毫伏表	1块
万用表 MF-14型	1块
EM 1643型函数发生器	1台

四. 实验任务

1. 用图3.1线路测RLC串联电路的幅频特性 $I(\omega)$, 测出谐振频率 f_0 , 谐振电流 I_0 , 电容电压 U_C 及电感电压 U_L , 给定参数为: $R=10\Omega$, $C=0.5\mu F$, $L \approx 100mH$, 电源电压维持1V不变
2. 改变 R , 使 $R=90\Omega$, 重复任务1
3. 改变 L , 使 $L \approx 400mH$, 重复任务1, 测 f_0 , I_0 , U_C , U_L .
4. 根据对偶原理和诺顿定理, 利用现有的实验设备自己设计一个 R, L, C 并联谐振实验线路.



五. 简要的预习计算.

任务1: $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0.1 \times 5 \times 10^{-7}}} = 711.76 \text{ Hz}$

$I_0 = \frac{U_i}{|R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})|} = \frac{U_i}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} = 0.1 \text{ A} = 100 \text{ mA}$

任务2: $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0.1 \times 5 \times 10^{-7}}} = 711.76 \text{ Hz}$

$I_0 = \frac{U_i}{|R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})|} = \frac{U_i}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} = 11.11 \text{ mA}$

任务3: $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 355.89 \text{ Hz}$

$I_0 = \frac{U_i}{|R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})|} = \frac{U_i}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} = 100 \text{ mA}$

六. 实验数据:

任务1: $f_0 = 711 \text{ Hz}$, $I_0 = 40.34 \text{ mA}$, $U_{C0} = 17.36 \text{ V}$, $U_{L0} = 17.58 \text{ V}$

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$f(\text{Hz})$	70	390	550	630	670	690	700	711	720	730	750	790	870	1030	1350
$I(\text{mA})$	0.23	1.78	4.35	9.11	17.12	27.20	34.76	40.34	36.84	29.61	18.90	10.46	5.58	2.98	1.64

任务2: $f_0 = 711 \text{ Hz}$, $I_0 = 9.54 \text{ mA}$, $U_{C0} = 4.10 \text{ V}$, $U_{L0} = 4.10 \text{ V}$

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f(\text{Hz})$	390	630	690	700	711	720	730	790	1030
$I(\text{mA})$	1.74	6.63	9.18	9.40	9.54	9.44	9.26	7.10	2.84

任务3: $f_0 = 356 \text{ Hz}$, $I_0 = 23.32 \text{ mA}$, $U_{C0} = 20.48 \text{ V}$, $U_{L0} = 20.51 \text{ V}$

七. 实验中需要注意的地方:

1. 一定要保证每次改变频率时, 电压表示数为1V. 否则数据会出现极大误差.
2. 因为实验导线接头与仪器插口不匹配, 所以要用钳子夹住金属部分. 这部分极易脱落, 所以务必夹紧.
3. 在选择测试点时, 频率的选择要与峰值处有充分的距离, 否则画图时只能画出上半部分, 产生较大误差.



4. 实验中电感箱~~每格~~为50mH. 旋转时要注意. 此处易发生错误.

八. 对书上“实验报告要求”的回答.

1. 根据 $Q = \frac{U_{ce}}{U_i}$ 及 $Q = \frac{\sqrt{L/C}}{R_{eq}}$ 计算Q值.

任务1: $Q = \frac{U_{ce}}{U_i} = \frac{17.36V}{1V} = 17.36.$

$R_{eq} = \frac{U_i}{I_0} = 24.79\Omega.$

$Q = \frac{\sqrt{L/C}}{R_{eq}} = 18.04. \checkmark$

任务2: $Q = \frac{U_{ce}}{U_i} = \frac{4.10V}{1V} = 4.10.$

$R_{eq} = \frac{U_i}{I_0} = 108.46\Omega$

$Q = 4.12 \checkmark$

任务3: $Q = \frac{U_{ce}}{U_i} = \frac{20.48V}{1V} = 20.48.$

$R_{eq} = \frac{U_i}{I_0} = 42.88\Omega$

$Q = \frac{\sqrt{L/C}}{R_{eq}} = 20.86. \checkmark$

2. 画出任务(1).(2)的电谐振曲线 $I/I_0 \sim f$.

任务1: 组别:	1	2	3	4	5	06	07	08	09	10
I/I_0 :	0.0057	0.0444	0.108	0.226	0.424	0.562	0.862	1	0.913	0.734
$f(Hz)$	0.006	0.044	550	630	670	0.674	700	711	720	730
	70	390		14	15					
	11	11	13							
	0.469	0.259	0.138	0.074	0.040					
	750	790	870	1030	1350					

任务2: 组别:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I/I_0	0.182	0.695	0.962	0.985	1	0.990	0.971	0.744	0.298
$f(Hz)$	390	630	690	700	711	720	730	790	1030

3. 推导 $Q = \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1}$ 的表达式.

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

$\frac{1}{I_0} = \frac{U/\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}}{U/R} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}}$

令 $\frac{1}{I_0} = \frac{1}{2}$. 得 $\begin{cases} \omega_1 = -\frac{R}{jL} + \sqrt{(\frac{R}{jL})^2 + \frac{1}{LC}} \\ \omega_2 = \frac{R}{jL} + \sqrt{(\frac{R}{jL})^2 + \frac{1}{LC}} \end{cases}$

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



九. 实验误差.

1. 电表内部误差.
2. 未待电表示数稳定便开始读数产生误差.
3. 因本实验存在导线接头与仪器插口不匹配的问题. 因此可能会因接触不良产生误差.
4. 电表工作时. 因外界影响产生的波动与误差.

实验中. 遇到误差过大的点应舍去或重测. 以免对实验结果产生影响.

十. 实验结论:

1. 当 $X_L = -X_C$, 即 $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ 时. 电流达到最大值. 电路中产生“谐振”现象. 此时谐振角频率 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$. 谐振频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$. 因此. LC 大的谐振频率小. LC 小的谐振频率大.
2. 从谐振频率 f_0 向两端延伸. I/I_0 逐渐减小. 减小速率逐渐加快. 到转折频率后. 减小速率又逐渐变慢.
3. $\frac{U_L}{R} \neq I_0$. 说明电感与电容的电阻不可忽略.
4. $Q = \frac{\sqrt{LC}}{R}$. R 一定时. $\frac{1}{C}$ 越大. 品质因数越好. 曲线最高处越尖锐.

十一. 思考题.

1. 在 RLC 串联电路中. 谐振时电流最大. 问这时 U_L . U_C 是否最大?
不是.

若不是. 问频率 ω_C 为多少时 U_C 最大? 频率 ω_L 为多少时 U_L 最大?

电容的阻抗: $-j/\omega C$. 电感的阻抗: $j\omega L$.

\therefore 是串联电路

\therefore 阻抗越大. 分得电压越大.

\therefore 当 $\omega_C < \omega_0$ 时. U_C 最大. 当 $\omega_L > \omega_0$ 时. U_L 最大.

ω_C . ω_L 和 ω_0 有什么关系?

$$\omega_C \omega_L = \omega_0^2.$$

(下页加详细推导)

2. (自行思考) 除了计算及不断测量选取 I 的最大值. 还有什么办法可以断定电路处于谐振状态?

不断测量 U_C 与 U_L . 当 $U_C = U_L$ (理想情况) 时. 电路处于谐振



3. (自行思考). 本实验中, 电容与电感的电阻不可忽略, 却大致仍有 $U_C = U_L$, 为什么?

推测: 本实验中, 两者的电阻可能大致也相等, 才会导致此现象.

2. 本实验中, 两者电阻较电抗大小可忽略, 导致此现象.

十二 收获.

$R_L \gg R_C$ 这里 U_{RL} 和 U_L 是相加

相比于前两次实验, 在本次实验中我做了较充足的准备与预习, 并进行了简单的预习计算, 所以做实验比前两次快了许多, 以后要继续保持这种好习惯.

但是, 在做实验时, 电感箱一格是 50mH, 我却思维定势, 认为一格是 100mH, 导致了一些小错误, 以后要多注意, 更仔细一些.

十一 思考题 1.

$$U_C = \frac{U_i}{\omega C \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}} \quad U_L = \frac{\omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}}$$

令 $\eta = \omega/\omega_0$, 将 $Q = \omega_0 L/R = 1/\omega_0 C R$ 代入.

$$U_C = \frac{Q U_i}{\sqrt{\eta^2 + Q^2(\eta^2 - 1)^2}} \quad U_L = \frac{Q U_i}{\sqrt{\eta^2 + Q^2(\eta^2 - 1)^2}}$$

$$U_{Cmax} = U_{Lmax} = \frac{Q U_i}{\sqrt{1 - 1/4Q^2}} > Q U_i$$

$$U_C \text{ 最大时, } \eta = \sqrt{1 - 1/4Q^2} < 1, \quad \omega_1 = \sqrt{1 - 1/4Q^2} \omega_0$$

$$U_L \text{ 最大时, } \eta = \sqrt{1 + 1/4Q^2} > 1, \quad \omega_2 = \omega_0 \sqrt{1 + 1/4Q^2}$$

$$\text{有 } \omega_1 \omega_2 = \omega_0^2$$



任务1表格

$$f_0 = 711 \text{ Hz} \quad I_0 = 40.34 \text{ mA} \quad U_{C0} = 17.36 \text{ V} \quad U_{L0} = 17.58 \text{ V}$$

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f(Hz)	70	390	550	630	670	690	700	711Hz	720	730
I(mA)	0.23	1.78	4.35	9.11	17.12	27.20	34.76	40.34mA	36.84	29.61

组别	11	12	13	14	15
f(Hz)	750	790	870	1030	1350
I(mA)	18.90	10.46	5.58	2.98	1.64

任务2表格

$$f_0 = 711 \text{ Hz} \quad I_0 = \frac{9.54}{9.22} \text{ mA} \quad U_{C0} = 4.10 \text{ V} \quad U_{L0} = 4.10 \text{ V}$$

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9
f(Hz)	390	630	690	690 700	711	720	730	790	1030
I(mA)	1.74	6.63	9.18	9.40	9.54 9.22	9.44	9.26	7.10	2.84

任务3

$$(\cancel{f_0 = 795 \text{ Hz}} \quad \cancel{I_0 = 9.44 \text{ mA}} \quad \cancel{U_{C0} = 4.70 \text{ V}} \quad \cancel{U_{L0} = 4.60 \text{ V}})$$

$$f_0 = 356 \text{ Hz} \quad I_0 = \frac{23.40}{23.32} \text{ mA} \quad U_{C0} = \frac{20.48}{20.51} \text{ V} \quad U_{L0} = \frac{20.48}{20.51} \text{ V}$$

实验仪器

功率信号源	15030446
电容箱	13024255
十进电感箱	03006973
交流毫伏表	11023535
台式万用表	15021552
电阻箱	DE-1403

桌号 A21

2016年10月24日

张

10-24



RLC串联电路的幅频特性和谐振现象

任务一

