

普通物理学实验 II

电子实验报告

实验名称: RLC 电路特性的研究

指导教师: 王鲲

班 级: _____

姓 名: _____

学 号: _____

实验日期: 2024 年 10 月 16 日 星期 三

浙江大学物理实验教学中心

目录

1 实验综述	3
1.1 实验背景	3
1.2 实验原理	3
1.2.1 RL 电路稳态	3
1.2.2 RC 电路稳态	3
1.2.3 RLC 电路稳态	3
1.2.4 RLC 电路暂态	4
2 实验内容	4
2.1 实验数据	4
2.1.1 RC 串联电路	4
2.1.2 RL 串联电路	5
2.1.3 RLC 串联电路稳态	6
2.1.4 RLC 串联电路暂态	8
2.2 数据处理	8
2.3 实验结论	8
2.3.1 RC 串联电路	8
2.3.2 RL 串联电路	9
2.3.3 RLC 串联电路稳态	9
2.3.4 RLC 串联电路暂态	9
3 实验拓展	10
3.1 RC 串联电路中 τ 的物理意义	10
3.2 RLC 电路的实际应用实例	10
4 参考文献	10

1 实验综述

1.1 实验背景

通过将电阻 (R)、电感 (L) 和电容 (C) 元件以不同方式组合, 可以构建 RL、RC 和 RLC 电路。这些电路在面对阶跃电压时会表现出不同的响应特性。随着电源频率的变化, 各个元件上的电压以及它们与电源电压之间的相位差也会随之变化。电压与频率之间的关系被称为幅频特性, 而元件电压相位与频率之间的关系则被称为相频特性。

本实验旨在利用示波器, 晶体管毫伏表 DA-16 与信号发生器测量 RL,RC,RLC 电路的幅频特性和相频特性, 通过实验数据分析, 验证电路的理论特性, 并探讨电路中各个元件的作用和影响。

1.2 实验原理

1.2.1 RL 电路稳态

在 RL 串联电路中, I, U, U_R, U_L 有以下关系:

$$\begin{aligned}U_R &= IR, U_L = I\omega L \\I &= \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \\ \phi &= \arctan \frac{\omega L}{R}\end{aligned}$$

由此可见, RL 电路的特性为 ω 增大时, I, U_R 减小而 U_L 增大, 相位差 ϕ 也随之增大。

1.2.2 RC 电路稳态

在 RC 串联电路中, C, I, U, U_R, U_C 有以下关系:

$$\begin{aligned}U_R &= IR, U_C = I\frac{1}{\omega C} \\I &= \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega C})^2}} \\ \phi &= -\arctan \frac{1}{\omega CR}\end{aligned}$$

可见, RC 电路的特性为 ω 增大时, I, U_R 增大而 U_C 减小, 相位差 ϕ 也随之趋向 0。

1.2.3 RLC 电路稳态

电路中如果同时存在电感和电容元件, 那么在一定条件下会产生某种特殊状态, 能量会在电容和电感元件中产生交换, 称之为谐振现象. 在 RLC 电路中, 阻抗 $|Z|, U, U_R,$ 和电流 i 有以下关系:

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

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

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

1.2.4 RLC 电路暂态

RLC 串联电路放电时，电路方程为：

$$LC \frac{d^2 U_C}{dt^2} + RC \frac{dU_C}{dt} + U_C = 0$$

方程的解一般按 R 值的大小可分为三种情况：

1. $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$: 电路为欠阻尼电路
2. $R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$: 电路为临界阻尼电路
3. $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$: 电路为过阻尼电路

2 实验内容

2.1 实验数据

2.1.1 RC 串联电路

表 1: RC 串联电路, $R=500\Omega$, $C = 0.5\mu F$

频率/Hz	100	200	300	400	600	800	1000
U_c	0.350V	0.335V	0.316V	294.6mV	248.4mV	209.7mV	179.2mV
频率/Hz	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
U_c	99.5mV	68.0mV	51.6mV	41.5mV	34.8mV	29.9mV	26.2mV

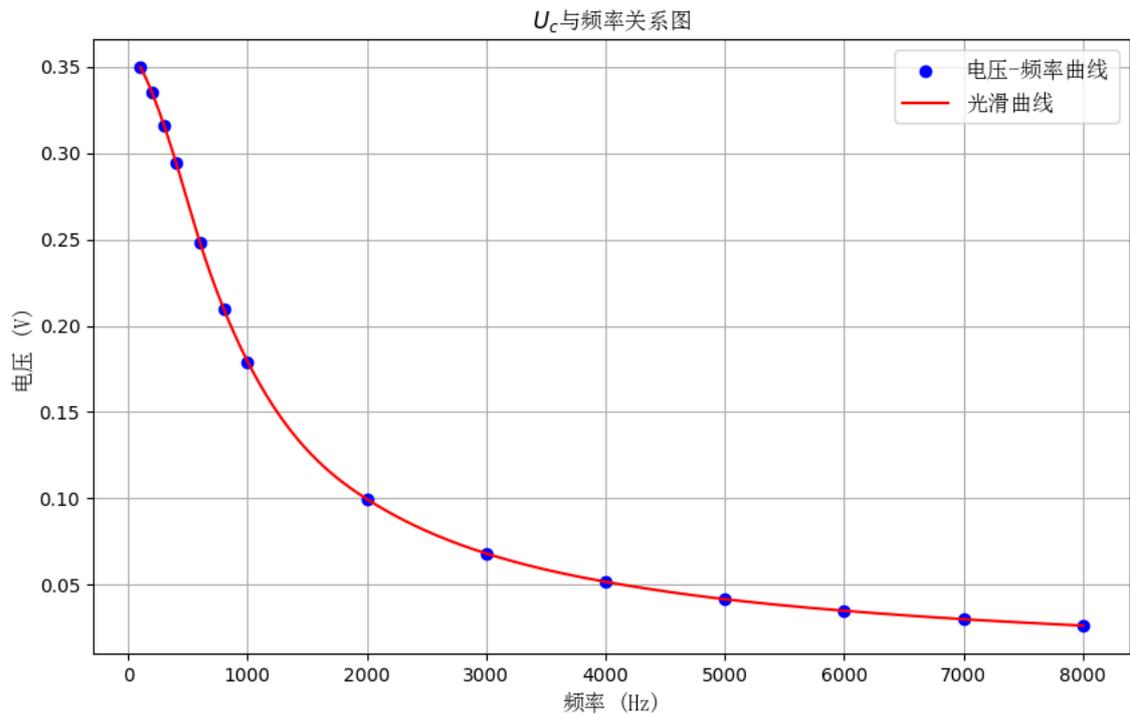


图 1: RC 串联电路中 U_c 与频率关系

2.1.2 RL 串联电路

表 2: RL 串联电路, $R=500\Omega$, $L=1.0\text{mH}$

频率/Hz	100	200	300	400	600	800	1000
U_L	5.76mV	8.98mV	12.68mV	16.50mV	24.28mV	32.06mV	39.81mV
频率/Hz	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
U_L	77.8mV	112.4mV	143.7mV	171.4mV	195.5mV	216.3mV	234.0mV

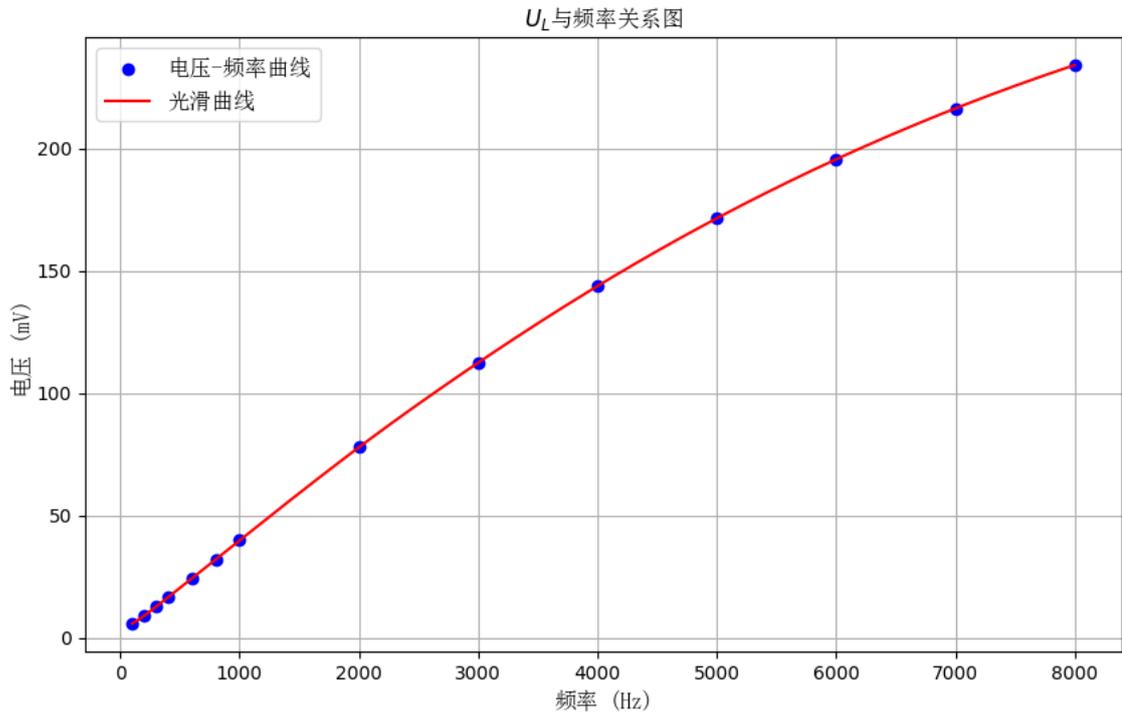


图 2: RL 串联电路中 U_L 与频率关系

2.1.3 RLC 串联电路稳态

表 3: RLC 串联电路, $R=100\Omega$, $L=0.1H$, $C=0.5\mu F$

频率/Hz	100	200	300	400	500	600	700
U_L	56.3mV	112.5mV	167.2mV	217.0mV	256.4mV	280.4mV	288.4mV
频率/Hz	705	710	715	720	725	730	740
U_L	288.5mV	288.5mV	288.5mV	288.4mV	288.3mV	288.2mV	287.9mV
频率/Hz	750	800	900	1000	1100	1200	
U_L	287.5mV	284.1mV	272.3mV	257.0mV	240.9mV	225.3mV	

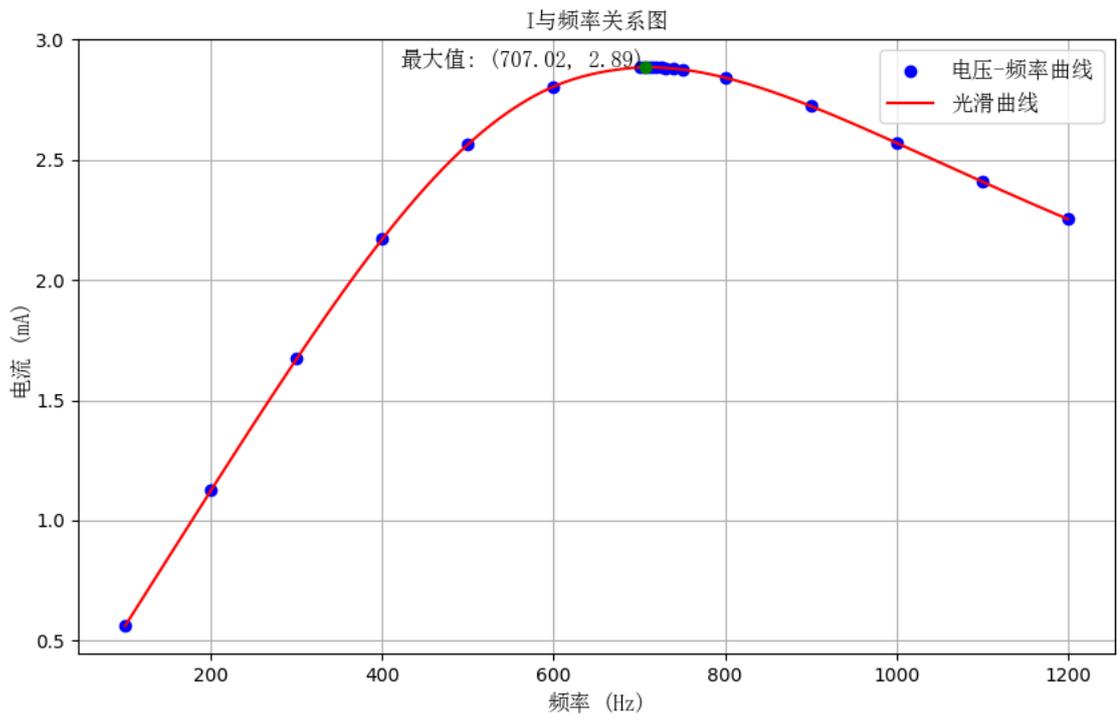


图 3: RLC 串联电路中电流大小与频率关系

2.1.4 RLC 串联电路暂态

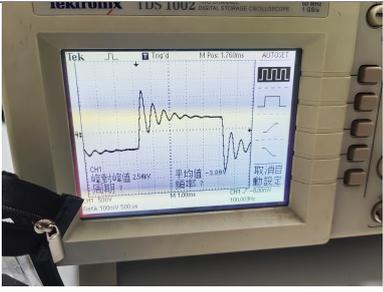
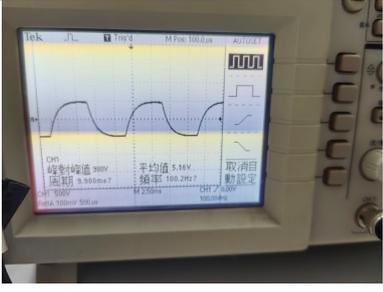
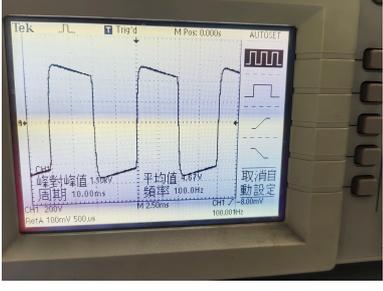
电路类型	参数	图片
欠阻尼电路	电容 C: 0.1 μ F 电感 L: 100mH 电阻 R: 100 Ω	
过阻尼电路	电容 C: 1.0 μ F 电感 L: 1.0mH 电阻 R: 1000 Ω	
临界阻尼电路	电容 C: 0.47 μ F 电感 L: 10mH 电阻 R: 300 Ω	

表 4: 不同阻尼电路的参数和示波器图

2.2 数据处理

在 RLC 串联电路稳态中, 理论谐振频率为:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 711.76Hz$$

实际测得的谐振频率为:707.02Hz. 相对误差:

$$\frac{f_0 - f_{exp}}{f_0} = 0.66631\%$$

2.3 实验结论

2.3.1 RC 串联电路

由实验数据与实验图像可知, RC 串联电路的幅频特性为: 随着频率的增大, 电容元件上的电压 U_C 逐渐减小, 基本符合反比例函数的特性

可能的实验误差:

- 电容元件的参数与实际值有一定偏差
- 电路中的电阻元件的参数与实际值有一定偏差
- 晶体管毫伏表 DA-16 精度限制
- 电源频率不稳定

2.3.2 RL 串联电路

由实验数据与实验图像可知, RL 串联电路的幅频特性为: 随着频率的增大, 电感元件上的电压 U_L 逐渐增大, 基本符合线性函数的特性。

可能的实验误差:

- 电感元件的参数与实际值有一定偏差
- 电路中的电阻元件的参数与实际值有一定偏差
- 晶体管毫伏表 DA-16 精度限制
- 电源频率不稳定

2.3.3 RLC 串联电路稳态

实际得到的谐振频率为 $707.02Hz$, 与理论值 $711.76Hz$ 相差不大, 相对误差为 0.66631% , 说明实验数据基本符合理论预期。可能的偏差来自于

- 电感元件的参数与实际值有一定偏差
- 电容元件的参数与实际值有一定偏差
- 电路中的电阻元件的参数与实际值有一定偏差
- 晶体管毫伏表 DA-16 精度限制
- 电路连接不良或存在接触电阻
- 外界电磁干扰

2.3.4 RLC 串联电路暂态

本次实验中, 欠阻尼, 过阻尼图像都有很好的表现, 但是临界阻尼的图像不够明显, 我猜测最大的原因来自于电容和电感不准, 导致最后的电阻无法刚好相等。

3 实验拓展

3.1 RC 串联电路中 τ 的物理意义

RC 串联电路的时间常量 τ 是电路的一个重要参数，它的物理意义是电路的响应速度。 τ 越小，电路的响应速度越快，电容元件上的电压 U_C 会更快地达到稳态值。在实际应用中， τ 可以用来控制电路的响应速度，例如在信号处理电路中，可以通过调整电容的值来控制信号的延迟时间。

3.2 RLC 电路的实际应用实例

一个实际生活中的 RLC 电路应用实例是无线电调谐电路。在收音机中，RLC 电路用于选择特定频率的电台信号。RLC 电路的谐振频率 f_0 由电感 L 、电容 C 和电阻 R 决定，公式为 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 。通过调整电感或电容的值，可以改变谐振频率，从而选择不同的电台信号。RLC 电路在此应用中起到滤波和调谐的作用，使得收音机能够接收到特定频率的电台信号。

4 参考文献

参考文献

- [1] 李海洋. 大学物理实验 II. 高等教育出版社, 2015.