

天津大学物理实验报告

机械学院 大二 年级 成绩

实验日期: 同组实验者 元

实验题目: RLC 电路稳态特性

一. 实验名称

RLC 电路的稳态特性.

二. 实验目的

1. 学会双踪示波器、函数发生器、数字万用表等基本电学仪器的使用.
2. 学会测量两个同频率电信号的相位差.

三. 实验仪器

双踪示波器, 数字函数发生器, 数字万用表, 电阻, 电感, 线圈, 电容器, 电路插板.

四. 实验原理

在交流电路中, 电阻、电感、电容具有不同的幅频特性和相频特性. 幅频特性是指电路中元件端电压随电源频率的变化规律, 相频特性是指回路电流与电压间相位差随电源频率的变化规律, 下面分别讨论 RC、RL 串联电路的幅频特性和相频特性.

1. RC 串联电路

如图 26-1 所示是 RLC 串联电路, 当开关接通 1 端时形成 RC 串联电路. U_0 、 I 、 U_R 、 U_C 表示电路电源电压、回路电流、电阻上电压及电容上电压的有效值. 由交流电路的欧姆定律有

天津大学物理实验报告

附 | 页

$$\begin{cases} U_R = IR \\ U_C = \frac{I}{\omega C} \end{cases}$$

式中, $I/\omega C$ 称为容抗, ω 为正弦交流电的角频率. 在正弦交流电路中, 电容元件中的电流比电压相位超前 90° , 如图 26-2 所示, 因此其总电压 $U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}$.

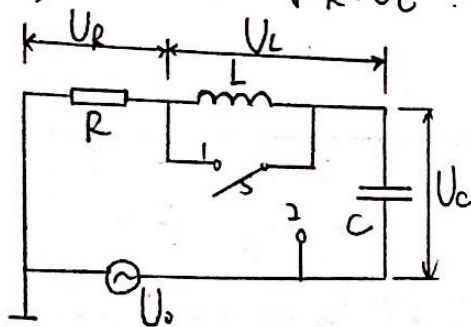


图 26-1 RLC 串联电路.

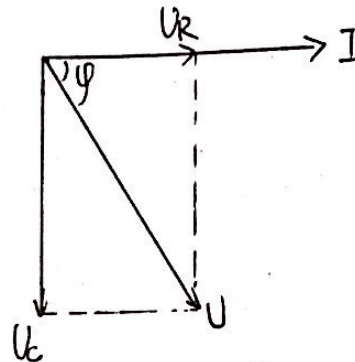


图 26-2 相量图.

总的阻抗 $Z = \sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega C})^2}$

电路电压与电流间相位差 $\varphi = \arctan(\frac{1}{\omega CR})$

2. RL 串联电路

将图 26-1 中开关 S 接通 2 端, 即为 RL 串联电路, 由交流电路欧姆定律有

$$\begin{cases} U_R = IR \\ U_L = I(\omega L) \end{cases}$$

式中, ωL 称为感抗, 在正弦交流电路中, 电感元件中的电压比电流相位上超前 90° . 如图 26-3 相量图所示, 因此总电压

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$$

总阻抗 $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$

电路电压与电流间相位差为 $\varphi = \arctan(\frac{\omega L}{R})$

2
4.13

实验题目：

3. RLC 电路中元件的幅频特性和相频特性

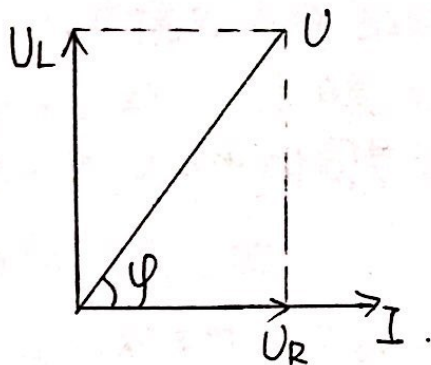
将图 26-1 的开关 S 断开则形成 RLC 串联电路，其相量关系如图 26-4 所示，因此其总电压

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$

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

电路电压与电流间的相位差 $\varphi = \arctan \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$

由此式可看出，当 $\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$ (或 $< 0, > 0$) 时，电路呈现电阻性、电感性、电容性。



26-3 相量图

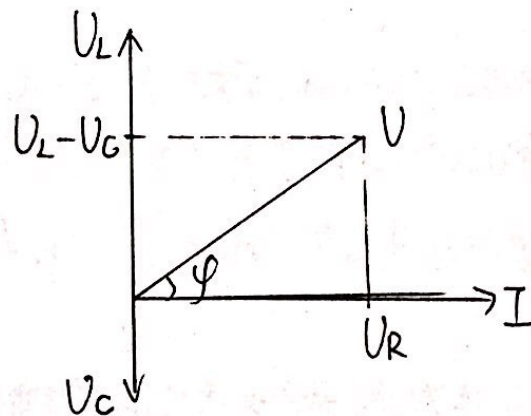


图 26-4 相量图

4. 两同频率正弦电信号相位差的测量

由于电阻上的电压与其电流同相，因此可用 U_R 的相位表示 I 的相位。

1) 方法一：正弦波列法。设有固定相位差的两个同频率的正弦波电压分别从示波器的端输入，波形如图 26-5 所示。

天津大学物理实验报告

附2页

用示波器先测出某一个波的一个周期的水平距离 S , 再测出两波同相点的水平距离 ΔS , 则两正弦波的相位差

$$\varphi = \left(\frac{\Delta S}{S}\right) \times 360^\circ.$$

(2) 方法二: 李萨如图形法. [此方法未用, 此处不再整理].

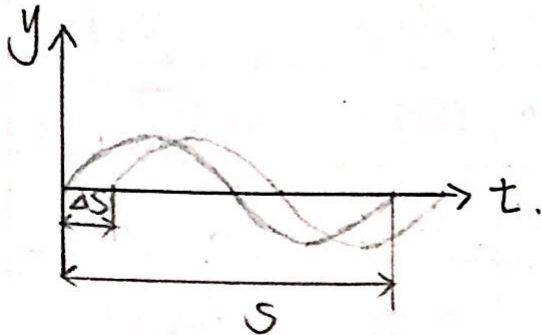


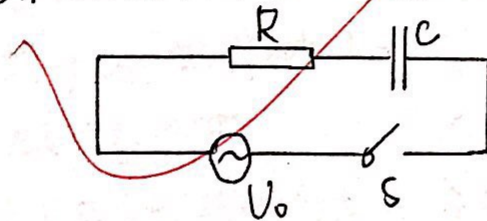
图26-5. 正弦波测法测相位差

五. 实验内容及要求

1. 测量 RC 串联电路的幅频特性及相频特性.

(1) 幅频特性

如图接 RC 电路, 取电源电压 $U_0 = 1V$. 正确选择数字万用表的输入插孔, 功能键, 量程键, 取频率 100, 300, 500, 700, 900 (Hz) 用数字万用表测出 U_C 和 U_R , 并利用公式 $U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}$ 计算 U 值和 U_0 比较.



(2) 相频特性

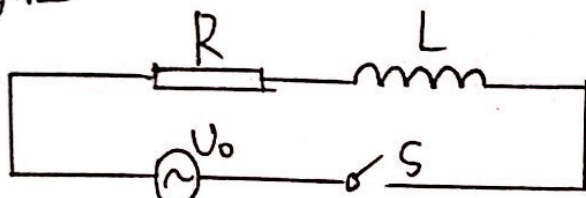
如图接 RC 电路, 仍取 $U_0 = 1V$. 取频率 100, 300, 500, 700, 900 (Hz). 用示波器测出总电压和电阻两端电压的相位关系及峰值的时间差, 单位统一转化为 ms.

(3) 测电阻阻值. 将数字万用表两接线柱接到电阻两端, 正确选择功能键和量程键, 测得电阻的真实值 $R = 502 \Omega$.

实验题目:

2. 测量RL串联电路的幅频特性和相频特性.

1) 幅频特性



如图接RL电路,取电源电压 $U_0 = 1V$. 正确选择数字万用表的输入孔、功能键、量程键,取频率 1000, 3000, 5000, 7000, 9000 (Hz) 调节幅值使 $U_0 = 1V$, 保持 U_0 不变,用数字万用表测出 U_R 和 U_L 并利用公式 $U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$ 计算 U 值并与 U_0 比较.

12) 相频特性.

如果接RL电路,取电源电压 $U_0 = 1V$. 取频率 1000, 3000, 5000, 7000, 9000 (Hz), 并用示波器测出各频率下总电压与电阻两端的电压相位关系,测出时间差 ΔS . 用公式 $\varphi = \frac{\Delta S}{S} \times 360^\circ$ 求出 φ 与 $\varphi_{理} = \arctan \frac{\omega L}{R + R_L}$ 比较

13) 测电感的等效电阻. 将数字万用表两端接线头插到电感两端,选择正确的输入插孔,功能键和量程键,读出电感的等效电阻值 R_L .

六. 数据处理与原始数据.

(一) RC串联电路

(1) 参数: $R = 502 \Omega$; $C = 0.47 \mu F$.

天津大学物理实验报告

附 3 页

(2) 数据表格

f / Hz	100	300	500	700	900
U_p / V	0.147	0.406	0.595	0.719	0.798
U_c / V	0.988	0.912	0.800	0.694	0.600
$U = \sqrt{U_p^2 + U_c^2} / \text{V}$	0.9988	0.9983	0.9969	0.9993	0.9983
$\Delta x / \text{ms}$	2.20	0.58	0.32	0.16	0.12
T / ms	10.00	3.33	2.00	1.43	1.11
$\varphi = \frac{\Delta x}{T} \times 360^\circ$	79.2°	62.64°	57.6°	40.28°	38.9°
$\varphi_{\text{理}} = \arctan(\omega CR)^\circ$	81.57°	66.48°	56.49°	43.94°	36.86°
百分差	2.91%	5.78%	1.96%	8.33%	5.53%

(3) 比较 U 与 $U_{\text{理}}(U_0)$.

实验设定 $U_0 = 1 \text{V}$.

观察可知 U 的测量值为 0.9988, 0.9983, 0.9969, 0.9993, 0.9983 非常接近于 U_0 , 但都略小于 U_0 .

(4). 比较 φ 与 $\varphi_{\text{理}}$

实验值 φ 与 $\varphi_{\text{理}}$ 的百分差约为 3%. 在误差允许范围内, 仍可近似认为 $\varphi \approx \varphi_{\text{理}}$. 且第四组频率为 700 Hz 实验误差过大, 百分差达到 8.33%.

$$\text{百分差 } \sigma^2 = \frac{1}{5} [(81.57^\circ - 79.2^\circ)^2 + (66.48^\circ - 62.64^\circ)^2 + (56.49^\circ - 57.6^\circ)^2 + (43.94^\circ - 40.28^\circ)^2 + (36.86^\circ - 38.9^\circ)^2] = 7.73^\circ \times \left(\frac{2\pi}{360}\right)^2 = 2.37 \times 10^{-3}$$

$$\sigma = 0.0488$$

σ 较小, 即 φ 与 $\varphi_{\text{理}}$ 相近, 误差较小.

实验题目:

(二) RL串联电路

11). 参数

$$R = 502 \Omega \quad L = 47 \text{mH} \quad R_L = 102 \Omega$$

12) 数据表格

f / Hz	1000	3000	5000	7000	9000
U_R / V	0.735	0.468	0.318	0.236	0.125
U_L / V	0.461	0.819	0.927	0.952	0.968
$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} / \text{V}$	0.8676	0.9433	0.9800	0.9808	0.9855
$\Delta X / \text{ms}$	0.088	0.050	0.038	0.028	0.0232
T / ms	1.00	0.33	0.20	0.14	0.11
$\varphi = \frac{\Delta X}{T} \times 360^\circ$	31.68°	54.00°	68.40°	72.00°	75.93°
$\varphi_{\text{理}} = \arctan \frac{\omega L}{R + R_L}$	30.45°	60.46°	71.22°	76.35°	79.30°
百分差	4.04%	10.68%	3.96%	5.69%	5.04%

13). 比较 U 与 U_0

实验设定 $U_0 = 1\text{V}$. 而实验值 U 均接近于 1V . 说明实验值较准确. 且可观察得实验值均略小于 U_0 .

14) 比较 φ 与 $\varphi_{\text{理}}$

通过计算可知 φ 与 $\varphi_{\text{理}}$ 百分差约为 4%, 较为准确. 但相对

天津大学物理实验报告

附4页

于上组与物理误差明显增大,尤其第2组实验,误差超过310%
应舍弃.

七. 误差分析与讨论

1. 电阻阻值、电感等效阻值、电容等效阻值(即总阻抗)的误差.

测量各元件(R、L)的阻值时,由于接线板内导线的影响,不同插孔中测出的阻值会有一定误差,说明测量值是不准确的.同时,实验进行中使用的阻值是实验前的测出的阻值也无法在实验过程中准确测量电阻,因此电阻会有一定误差.

2. 数字万用表的仪器误差

在测量RL串联电路的幅值特性时,当 $f > 700\text{Hz}$ 时,会出现L两端电压大于 $U_{\text{理}} = 1\text{V}$ 的情况,说明此时数字万用表的误差很大,其他情况也一定存在着误差,测量电阻的阻值也存在测量误差.

在使用数字万用表的过程中也可以人为降低误差,其准确度由其最大绝对允许误差 Δx 与所测量程满意值的百分数表示.公式表示为 $A\% = \frac{\Delta x}{\text{满量程值}} \times 100\%$. 因此选择高准确度,需要选择合适量程,只有选择合适量程才会发挥万用表的潜在准确度.

3. 示波器的测量误差

在测量同频率两信号的相位差的过程,有手动调节光标的操作,用肉眼判断光标是否在峰值处一定会造成一定误差,加上光标的移动是手控的,无法微调.实验过程中发现,光标的微小偏移会造成时间差的较大变化,因此间接造成 φ 的较大误差.

实验题目:

大误差,这部分的误差是不可忽略的.

4. 数据处理会使误差放大

根据公式 $\varphi_1 = \arctan \frac{1}{\omega CR}$ 和 $\varphi_2 = \arctan \frac{\omega L}{R}$, $\varphi = \frac{\Delta x}{x} \times 360^\circ$

参数 R, C, L 的误差以及 Δx 的误差会在运算过程中放大.

5. 误差比较

RC 电路中的误差较小,而 RL 电路中误差较大.

在 RL 电路中,误差随频率 f 的增大而减小,因此可以适当增加 f ,使误差尽可能减小.

八. 提出问题与探究.

1. 课本中实验原理部分, RC 电路中称 $\frac{1}{\omega C}$ 为容抗为 X_C 刷错误,应改为 $\frac{1}{\omega C}$.

2. 为什么 RL 电路的误差比较大.

猜测有可能 L 的等效电阻在实验过程中受温度等方面影响,变化较大,而实验时间跨度较大,会使误差偏大.

3. 将 RLC 串联,幅频特性和频率特性会有怎样变化?

通过实验操作和查阅资料,得知,在 RLC 串联电路中,施加正弦交流电压,电路中的电流和各元件上的电压将随电源的频率不同而改变. 电流和电源电压同,各元件上的电压

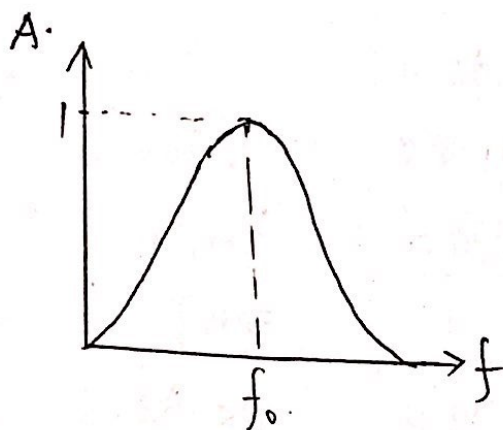
天津大学物理实验报告

附 1 页

和电源电压间的相位差也随频率的变化而变化。

$U_L = U_C$ 、 $U_R = U$ 时发生串联谐振 (与 R, L, C 有关)

$A = \frac{U_R}{U}$, 则幅频特性曲线为



数据表格一: RC串联电路

$$R = 502 \Omega$$

$$C = 0.47 \mu F$$

f / Hz	100	300	500	700	900
U_R / V	0.147	0.406	0.595	0.719	0.798
U_C / V	0.938	0.912	0.800	0.694	0.600
$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} / V$	0.9988	0.9983	0.9969	0.9993	0.9983
$\Delta \lambda / ms$	2.20	0.58	0.32	0.16	0.12
T / ms	10.00	3.33	2.00	1.43	1.11
$\varphi = \frac{\Delta \lambda}{T} \times 360^\circ$	79.2°	62.64°	57.6°	40.28°	38.9°
$\varphi_{理} = \arctan(\omega R C)$	81.57°	66.48°	56.49°	43.94°	36.86°
百分差	2.91%	5.78%	1.96%	3.33%	5.53%
$\omega = 2\pi f$	628	1885	3141	4398	5654

数据表格二: RL串联电路

$$R = 502 \Omega \quad L = 47 mH \quad R_L = 102 \Omega$$

f / Hz	1000	3000	5000	7000	9000
U_R / V	0.735	0.468	0.318	0.236	0.185
U_L / V	0.461	0.819	0.927	0.952	0.968
$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} / V$	0.8676	0.9433	0.9800	0.9808	0.9855
$\Delta \lambda / ms$	0.088	0.050	0.038	0.028	0.0232
T / ms	1	0.33	0.20	0.14	0.11
$\varphi = \frac{\Delta \lambda}{T} \times 360^\circ$	31.68°	54°	68.4°	72°	75.93°
$\varphi_{理} = \arctan \frac{\omega L}{R + R_L}$	30.45°	60.46°	71.22°	76.35°	79.30°
百分差	4.04%	10.68%	3.96%	5.69%	5.04%

3.13