

信息学院 2013 年级 通信 专业 四 班 姓名 何青 成绩 9

实验日期: 2015.3.25 学号 3013204264 同组实验者

实验题目:

RLC 串联电路的稳态特性

一. 实验目的

1. 了解 RC, RL 串联电路的幅频特性和相频特性.
2. 学会测两个同频率电信号的相位差.
3. 掌握双踪示波器的使用方法.

二. 实验仪器

双踪示波器、数字函数发生器、数字频率表、电阻、电感线圈、电容、电路插板.

三. 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.

1. RC 串联电路

如图1所示是RLC串联电路.当电键接通1端时形成RC串联电路. U_0 , I , U_R , U_C 分别表示电路电源电压、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:
$$\begin{cases} U_R = IR \\ U_C = \frac{1}{\omega C} I \end{cases}$$

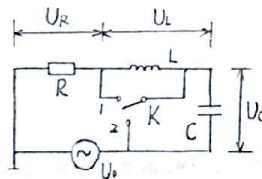


图1. RLC 串联电路

式中: $\frac{1}{\omega C}$ 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2相量图所示.因此其总电压 $U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}$

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

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

2. RL 串联电路

将图1中的K接通2端,即为RL串联电路.由交流电路欧

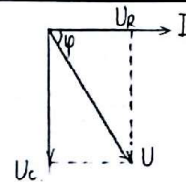


图2. U_R , U_L 相量

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

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超前 90° .如图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 $\varphi = \arctan(\frac{\omega L}{R})$

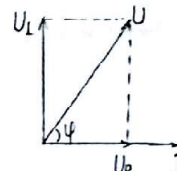


图3. U_R , U_C 相量

3. RLC 电路中元件的幅频特性和相频特性

将图1的K断开则形成RLC串联电路,其相量关系由图4

所示.因此其总电压 $U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$

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

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

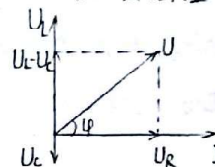


图4. U_R , U_L , U_C 相量

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

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 Y_1 , Y_2 端输入,波形如图5所示.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 $\varphi = \frac{\Delta S}{S} \times 360^\circ$.

(2) 方法二: 利萨如图形法. 将固定相位差的两个正弦波电压分别从示波器的 Y_1 , Y_2 端输入

天津大学物理实验报告

信息学院 2013 年级 通信 专业 四 班 姓名 何青 成绩

实验日期: 2015.3.25 学号 3013204264 同组实验者

实验题目:

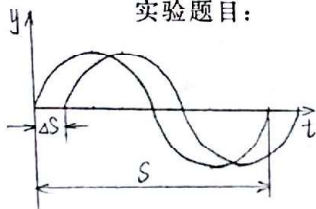


图5. 正弦波列法测相位差

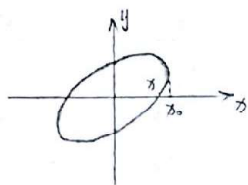


图6. 利萨如图形法测相位差

入,在示波器上可得到利萨如图形,一般情况下为椭圆图形,如图6所示,其解析式为

$$\begin{cases} x = x_0 \sin(\omega t + \varphi) \\ y = y_0 \sin \omega t \end{cases}$$

式中: x_0, y_0 分别是两个正弦信号的振幅.

由上式,当 $y=0$ 时,有 $\omega t = \pm n\pi$ ($n=0,1,2,\dots$),于是有 $x = \pm x_0 \sin \varphi$

所示两正弦波的相位差 $\varphi = \arcsin(\frac{x}{x_0})$

式中: x 为椭圆与 x 轴交点的坐标值, x_0 为椭圆上的 x 坐标最大点到 y 轴的距离.

四. 实验步骤

1. 测量RC串联电路的幅频特性及相频特性.

(1) RC电路的幅频特性.

按图1把正弦交流电信号加在电路插板上的RL串联电路上(用短导线将L短路).取电源电压 $U_0=1.000V$,正确选择数字多用表的输入插孔、功能键、量程键,按数据表频率取值,用数字多用表测出 U_R, U_C 值,注意每组测量前须保持 U_0 不变.

计算 U 的值并与设定值比较得出结论.

(2) RC电路的相频特性.

天津大学物理实验报告

附 页 2

校准好示波器并接图7接好电路用短导线将L短路),取 $U_0=1.000V$,调节示波器两波形稳定并使两波幅值大致相等且与 x 轴对称.按数据表频率取值测量 $S, \Delta S$ 值.测量时应保持 U_0 不变,根据波形判断总电压和电阻两端电压的位相关系(超前或滞后).

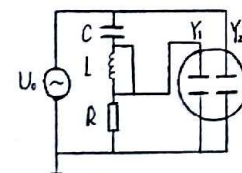


图7. 测量RC电路的相频特性

2. 测量RL串联电路的幅频特性和相频特性

(1) RL电路的幅频特性.

按图1将正弦交流信号加在RL电路板上(用短导线将电容C短路),测量方法与RC电路幅频特性相同.按数据表频率取值,用数字多用表测出 U_R, U_L 值.

U 的测量结果与设定值比较得出结论.

(2) RL电路的相频特性

类似于图7(将电容C短路)连成RL串联并接入双踪示波器,测量不同频率(参考数据表3)下的两信号的相位差并用数字多用表测出电感的阻值 R_L ,测量值 φ 与理论值 $\varphi_{理} = \arctan \frac{\omega L}{R}$ 比较得出结论.自拟数据表据.

五. 数据处理

数据表1. RC电路的幅频特性

f/Hz	100	300	500	1000	3000	5000
U_R/V	0.146	0.401	0.590	0.820	0.961	0.993
U_C/V	0.986	0.901	0.792	0.550	0.215	0.138
$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}/V$	0.997	0.986	0.988	0.987	0.984	1.001

天津大学物理实验报告

信息学院 2013 年级 通信 专业 四 班 姓名 何青 成绩

实验日期: 2015.3.25 学号 3013204264 同组实验者

实验题目:

数据表 2. RC 电路的相频特性

$C = 0.47 \mu F$

f/Hz	100	300	500	1000	3000	5000
ΔS	224ms	620ms	300ms	960ms	120ms	4ms
S	10.1ms	3.34ms	2.02ms	1.00ms	334ms	200ms
$\varphi = \frac{\Delta S}{S} \times 360^\circ$	79.84°	66.83°	52.47°	34.56°	12.93°	7.20°
$\varphi_{理} = \arctan(\omega RC)$	81.48°	65.81°	53.18°	33.74°	12.55°	7.61°

用数字表测出电阻值 $R = 507 \Omega$.

数据表 3. RL 电路的幅频特性

f/Hz	500	1000	3000	5000	7000	9000
U_R/V	0.791	0.729	0.464	0.316	0.235	0.185
U_L/V	0.295	0.463	0.820	0.925	0.952	0.979
$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}/V$	0.844	0.864	0.942	0.977	0.980	0.996

数据表 4. RL 电路的相频特性

$L = 47mH$

f/Hz	500	1000	3000	5000	7000	9000
ΔS	72ms	760ms	480ms	360ms	288ms	232ms
S	2.00ms	1.00ms	332ms	179ms	103ms	111ms
$\varphi = \frac{\Delta S}{S} \times 360^\circ$	12.96°	27.36°	52.05°	65.13°	72.50°	75.24°
$\varphi_{理} = \arctan(\omega L/R)$	13.44°	25.54°	55.10°	67.29°	72.36°	76.91°

用数字表测出电感的阻值 $R_L = 111 \Omega$.

天津大学物理实验报告

附 页 3

计算数据表 1 中的 U 的不确定度:

$$\bar{U} = \frac{1}{6} \times (0.997 + 0.986 + 0.988 + 0.987 + 0.984 + 1.001) = 0.9905 V$$

$$S_{\bar{U}} = \sqrt{\frac{\sum (U_i - \bar{U})^2}{6 \times 5}} = 2.790 \times 10^{-3} V$$

$$U_A = t_{0.68} \cdot S_{\bar{U}} = 1.11 \times 2.790 \times 10^{-3} = 3.097 \times 10^{-3} V$$

$$U_B = \frac{\Delta}{\bar{U}} = \frac{0.001}{0.9905} = 5.774 \times 10^{-4} V$$

$$U_C = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = 3.150 \times 10^{-3} V, U_r = \frac{3.150 \times 10^{-3}}{0.9905} \times 100\% = 0.3\%$$

∴ 测量结果表示为: $U = (0.991 \pm 0.003) V$ ($P = 68.3\%$)

$$U_r = 0.3\%$$

六. 实验结论

通过分析以上 4 组实验数据, 总结规律如下:

1. RC 串联电路: 随着频率 f 增大, U_C 减小, ΔS , S 皆减小.
2. RL 串联电路: 随着频率 f 增大, U_L 增大, ΔS , S 皆减小.

七. 误差分析

实验中造成误差的主要原因如下:

1. 线路中各接线处连接不稳定, 导致测量时出现误差.
2. 实验仪器 (如示波器) 上的频率、电压不稳定, 经常跳动, 容易引起读数时出现误差.

作业纸

院系 信息 班级 通四 姓名 何青 第 页

表1

f/Hz	100	300	500	1000	3000	5000
U_R/V	100 146	400	570 575	820 825	970 978	958
U_L/V	986	900	792	550 544	215	138
$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} / V$						

表2.

f/Hz	100	300	500	1000	3000	5000
ΔS	2.26ms 2.26ms	620μs	300μs	96.0μs 96.0μs	12.0μs 12.0μs	5.8μs 4μs
S	10.1ms	3.36ms	2.02ms	1.00ms 1.00ms	334μs 334μs	198μs 200μs
$\varphi = \frac{\Delta S}{S} \times 360^\circ$						
$\varphi_{dB} = \arctan(\omega R)$						

表3.

f/Hz	500	1000	3000	5000	7000	9000
U_R/V	791	729	464	316	235	185
U_L/V	295	463	820	925	952	979
$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} / V$						

表4.

f/Hz	500	1000	3000	5000	7000	9000
ΔS	72μs	76.0μs	48.0μs	36.0μs	28.8μs	23.2μs
S	2.00ms	1.00ms	332μs	199μs	143μs	111μs
φ						
$\varphi_{dB} = \arctan \frac{\omega L}{R}$						

$$R_L = 111 \Omega$$

$$R = 507 \Omega$$

2015-05-25 74
(31 6 3)