

实验 26 RLC 电路的稳态特性

RC、RL串联电路是电子学中最基本的电路之一。在交流电路中，幅频特性和相频特性是RC、RL串联电路的重要性质，并在电子电路中被广泛应用。

【预习重点】

- (1) RC、RL串联电路的幅频特性和相频特性。
- (2) 双踪示波器的使用方法。

【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。

【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。

【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。

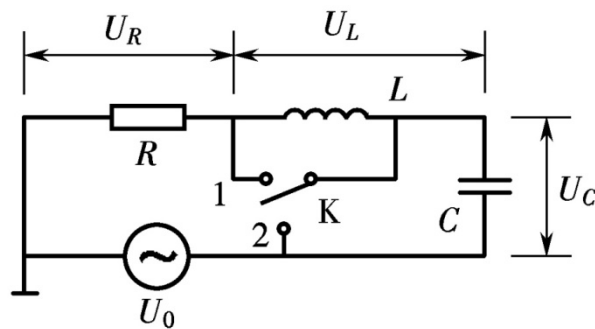


图 26-1 RLC 串联电路

1) RC串联电路

如图 26-1 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 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：

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

式中： $\frac{I}{\omega C}$ 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 相量图所示，因此其总电压

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

总的阻抗

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

电路电压与电流间相位差

$$\varphi = \arctan\left(\frac{1}{\omega CR}\right) \quad (26-1)$$

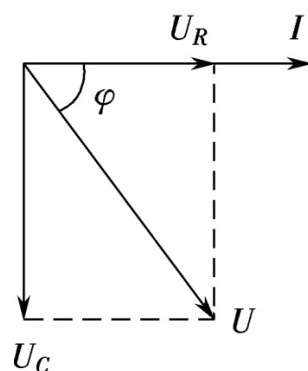


图 26-2 相量图

2) RL 串联电路

将图 26-1 中的 K 接通 2 端，即为 RL 串联电路，由交流电路欧姆定律：

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

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

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

$$\text{总阻抗 } Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

电路电压与电流间相位差

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\omega L}{R}\right) \quad (26-2)$$

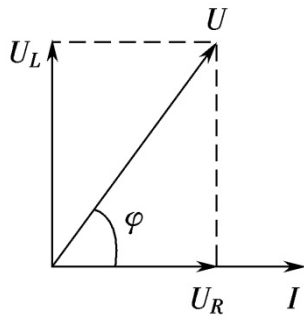


图 26-3 相量图

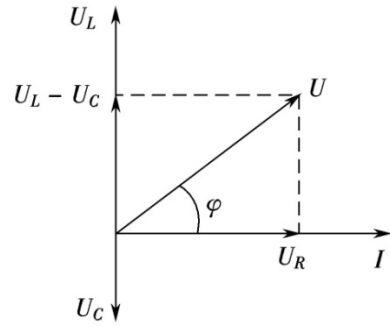


图 26-4 相量图

3) RLC 电路中元件的幅频特性和相频特性

将图 26-1 的 K 断开则形成 **RLC** 串联电路，其相量关系由图 26-4 所示。因此其总电压

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

总阻抗

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

电路电压与电流间相位差

$$\varphi = \arctan \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (26-3)$$

由式 (26-3) 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、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，分别从示波器的端输入，波形如图 26-5 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

$$\varphi = \left(\frac{\Delta S}{S}\right) \times 360^\circ \quad (26-4)$$

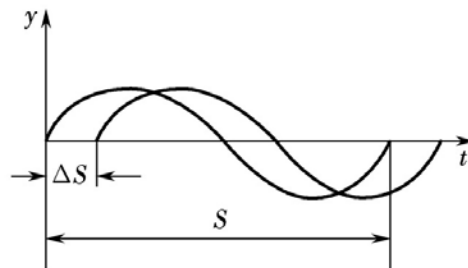


图 26-5 正弦波列法测相位差

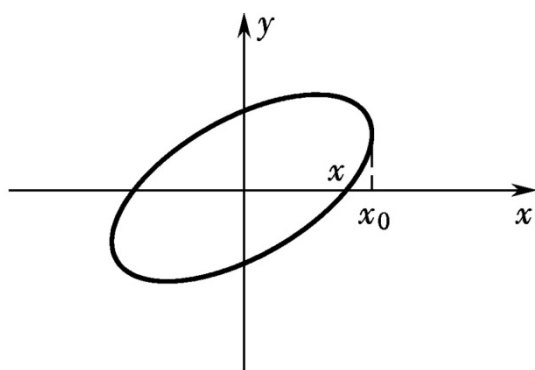


图 26-6 利萨如图形法测相位差

(2) 方法二：利萨如图形法。将有固定相位差的两个正弦波电压分别从示波器的 Y、X 端输入，在示波器上可得到利萨如图形。一般为椭圆图形，如图 26-6 所示，其解析式为

$$\left. \begin{aligned} x &= x_0 \sin(\omega t + \varphi) \\ y &= y_0 \sin \omega t \end{aligned} \right\} \quad (26-5)$$

式中：分别是两个正弦信号的振幅。

由式 (24-5)，当 $y=0$ 时，有 $\omega t = \pm n\pi (n = 0, 1, 2 \dots)$ 于是有

$$x = \pm x_0 \sin \varphi$$

所以两正弦波的相位差

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{x}{x_0}\right) \quad (26-6)$$

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。

【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) RC 电路的幅频特性。按图 26-1 把正弦交流电信号加于 **RLC** 电路板上（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 1 频率取值，用数字多用表测出值，注意每组测量前须保持 **U_0** 不变。

数据表 1

f / Hz	100	300	500	1000	3000	5000
U_R / V						
U_C / V						

$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} / V$						
--------------------------------	--	--	--	--	--	--

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。校准好示波器并按图 26-7 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 2 频率值测量值。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）。

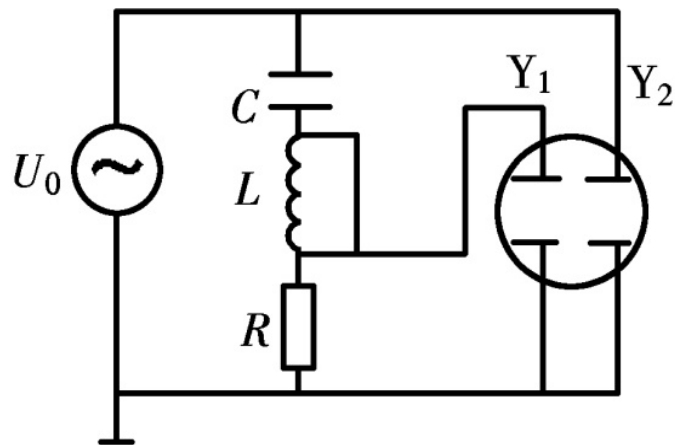


图 26-7 测量 RC 电路的相频特性

数据表 2

f / Hz	100	300	500	1000	3000	5000
$\Delta S / \text{cm}$						
S / cm						
$\varphi = \frac{\Delta S}{S} \times 360^\circ$						
$\varphi_{\text{理}} = \arctan(\omega CR)^{-1}$						

用繁用表测出电阻值 $R = \underline{\quad} \Omega$ 。

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 26-1 将正弦交流信号加在 RLC 电路板（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 3 频率取值，用繁用表测出值。

数据表 3

f / Hz	500	1000	3000	5000	7000	9000
U_R / V						

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

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 26-7 (将电容 C 短路) 联成 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繁用表测出电感的阻值

R_L , 将测量值 φ 与理论值 $\varphi_{理} = \arctan \frac{\omega L}{R + R_L}$ 比较, 得出结论。自拟数据表格。

【拓展与设计】

测量 RLC 串联电路中各元件上电压与电路总电压的关系; 用利萨如图形法测 RLC 电路的相频特性, 判断椭圆的旋转方向并加以理解。