

实验报告 18 RC 串联电路的稳态特性

实验名称	RC 串联电路的稳态特性		
班 级	23063114	实验日期	2024.11.14
学 号	23061922	实验成绩	预习成绩
姓 名	李锦涵		操作成绩
实验组号	4109		报告成绩
任课教师	彭辉丽		总评成绩

【实验目的】

1. 观测 RC 串联电路的幅频特性和相频特性。
2. 学习用双踪法和李萨如图形法测相位差。

【实验原理】

一、RC 串联电路的稳态特性

RC 串联电路的稳态过程是指 电路中的电压和电流随电源作恒定的周期性变化。
RC 串联电路的稳态特性包括幅频特性和相频特性。幅频特性是指 元件上输出电压的幅值随电源频率变化的特性；相频特性是指 元件上输出电压的相位随电源频率变化。

1. RC 串联电路如图 18-1 所示。根据电路的特点导出电阻端输出和电容端输出的幅频特性公式，并画出幅频特性曲线。

RC 串联电路的总阻抗： $|Z| = \sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega C})^2}$ 。

回路中的电流： $I = \frac{U_i}{|Z|}$ 。

则电容两端的输出电压 $U_C = I \cdot \frac{1}{\omega C} = \frac{U_i}{\sqrt{(\omega CR)^2 + 1}}$ 。

电阻两端的输出电压 $U_R = IR = \frac{U_i}{\sqrt{1 + (\frac{1}{\omega CR})^2}}$ 。

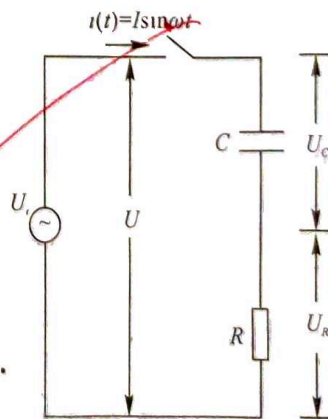
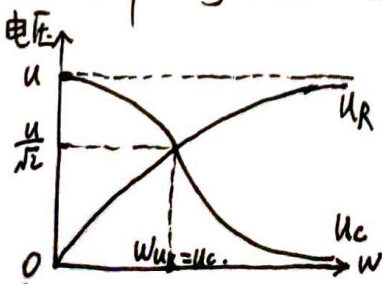
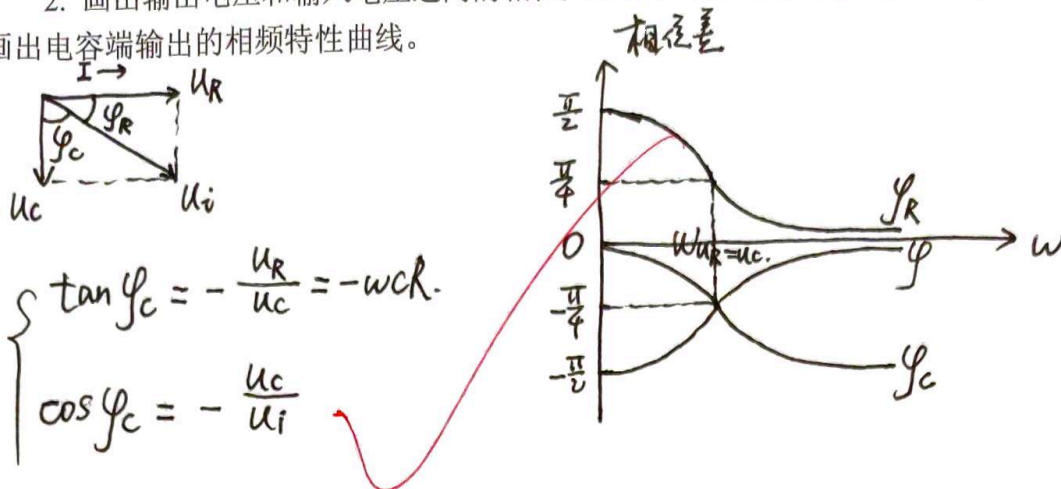


图 18-1



2. 画出输出电压和输入电压之间的相位关系图, 写出电容端输出的相频特性公式, 并画出电容端输出的相频特性曲线。



3. 时间常数 $\tau = RC$ 是反映 电容器充放电快慢 的物理量, R 是 回路等效电阻。(说明如何根据相频特性求时间常数 τ 。)

$$\begin{cases} \tan \varphi_C = -\frac{U_R}{U_C} = -\omega CR \\ \cos \varphi_C = -\frac{U_C}{U_i} \end{cases}$$

可知 $\tan \varphi = \omega RC = 2\pi f \tau$

作 $\tan \varphi - f$ 图求直线斜率 k , 得出 $\tau = \frac{k}{2\pi}$

二、相位差的测量方法

1. 双踪法是将 两个待测同频率正弦波 同时显示在示波器上, 从而求出相位差, 示波器上显示如图 18-2 所示。(写出相位差公式并说明公式中各量的物理意义。)

$$\varphi = 2\pi \frac{\Delta L}{L}$$

ΔL : 两正弦波达到同一相位的时间差。

L : 正弦波一个周期时间在示波器上显示的水平长度。

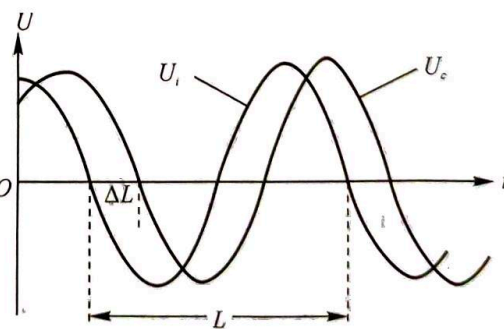


图 18-2

2. 将 U_c 和 U_i 分别输入示波器的 X 和 Y 轴, 示波器显示模式调整为 Y-T 模式, 这时在示波器上显示如图 18-3 所示。(写出相位差公式并说明公式中各量的物理意义。)

$$\begin{cases} x = x_0 \cos(\omega t - \varphi) \\ y = y_0 \cos \omega t \end{cases} \quad \begin{array}{l} x_0: U_c \text{ 振幅.} \\ y_0: U_i \text{ 振幅.} \end{array} \quad (B: \text{李萨如图线在 } y \text{ 轴两交点间的距离}).$$

$$B = y_0 [\cos(\frac{\pi}{2} + \varphi) - \cos(-\frac{\pi}{2} + \varphi)] = 2y_0 \sin \varphi.$$

$$A = 2y_0. (\text{李萨如图线在 } y \text{ 轴上的最大投影值}).$$

$$\Rightarrow \varphi = \arcsin \frac{B}{A}.$$

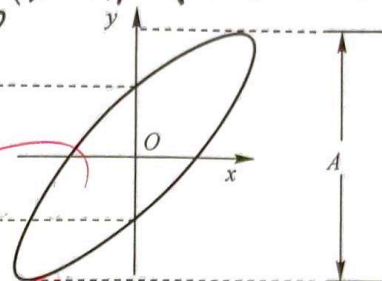


图 18-3

【实验仪器】(写明仪器型号、规格、精度。)

数字示波器.

数字式函数信号发生器.

基础电学实验箱.

【注意事项】

1. 信号发生器严禁短路.

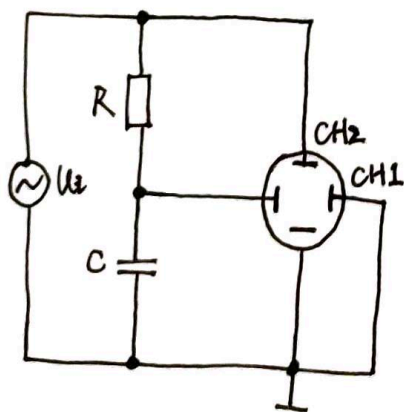
2. 信号发生器和示波器的接地端要共地.

测电容端的稳态特性, 其地端在电容一侧;

测电阻端的稳态特性, 其地端在电阻一侧.

【实验内容及步骤】(根据实验要求简述实验内容及步骤。)

如图连接电路.



1. 测定 RC 串联电路的幅频特性.

取 $R = 1.50 \text{ k}\Omega$, $C = 0.01 \mu\text{F}$, 调整信号发生器为正弦波,

输出电压为 1 V . 示波器选 "MEASURE", 自动测量.

调节 f 至 $50 \text{ Hz} \sim 30 \text{ kHz}$, 测 U_c 两端电压幅值, 作图.

2. 双踪法测定 RC 串联电路的相频特性.

(1) 示波器显示模式 Y-T, 按 "CURSOR" 选择类型为 X.

(2) 调节 f 至 $50 \text{ Hz} \sim 30 \text{ kHz}$, 测出 A 和 B , 求 φ , 作 $\varphi-f$ 曲线.

(3) 求 τ , $\tau = \frac{1}{\omega \tan \varphi}$, 与 $\tau = RC$ 比较.

3. 李萨如图形法测定 RC 串联电路的相频特性.

(1) 改变显示模式为 X-Y, 调整图形使 Y 轴与纵刻度线重合.

按 "CURSOR" 切换类型为 Y.

(2) f 调为 $50 \text{ Hz} \sim 30 \text{ kHz}$, 测出 A, B , 求 φ , 作 $\varphi-f$ 曲线.

(3) 作 $\tan \varphi - f$ 求斜率 k , 得 $\tau = \frac{1}{k}$, 与 $\tau = RC$ 比较.

【数据处理与结果】(整理数据表格, 计算结果和不确定度, 写出结果表达式。)

(在坐标纸上画出 RC 串联电路的幅频特性和相频特性; 用作图法求出时间常数 τ , 并和 $\tau = RC$ 比较, 算出百分比误差, 可用电脑作图。)

李萨如图形法: $\tau = \frac{k}{2\pi} = \frac{0.087}{2\pi} \approx 0.0130$.

理论值: $\tau_0 = RC = 0.015$.

误差: $\frac{|\tau - \tau_0|}{\tau_0} = \frac{0.002}{0.015} \approx 13.3\%$.

双踪法: $\tau = \frac{k}{2\pi} = \frac{0.1128}{2\pi} \approx 0.0179$

理论值: $\tau_0 = RC = 0.015$.

误差: $\frac{|\tau - \tau_0|}{\tau_0} = \frac{0.0029}{0.015} \approx 19.3\%$.

↓

HDU 设备老化太严重了,
建议修一修 ^.^.

(作图附后).

【结果讨论与误差分析】(实验所得幅频特性和相频特性曲线与理论曲线是否吻合, 分析影响实验结果的原因。分析作图求得的时间常数 τ 和 $\tau = RC$ 相差较大的原因。)

所得曲线与理论曲线基本吻合。

- (1) 误差分析: ① 系统误差: 如仪器老化、测量精度误差等。
② 非线性因素: 如放大器的饱和、电容漏电等。
③ 干扰和噪声: 如电磁干扰、热噪声等。

(2) τ 与 $\tau = RC$ 相差较大的原因:

- ① 测量误差: 如¹双踪法测得 ΔT , T 不准确 (使用手动法) 未使测量光标严格对准交点; 如²李萨如图形法测 A 时未与图形严格相切, 测 B 时未严格对准 y 轴交点。
② 模型误差: 实际系统中存在非线性因素, 不完全使得 $\tau = RC$ 。
③ 作图误差: 图线拟合时, 求得 k 值有上下浮动, 从而导致 τ 的误差。

【分析讨论题】

1. 什么是 RC 串联电路的稳态过程? 其电容端和电阻端的输出电压有什么关系?
2. 测量 RC 串联电路幅频特性, 电容端输出和电阻端输出的电路连线有什么区别?

1. (1) 稳态过程: 电路中的电压和电流随电源作恒定的周期性变化。

(2) 关系: 由 $U_i = I \cdot |Z| = I \sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega C})^2}$ 。

$$\Rightarrow \begin{cases} U_C = I \cdot \frac{1}{\omega C} = \frac{U_i}{\sqrt{(\omega CR)^2 + 1}} \\ U_R = I \cdot R = \frac{U_i}{\sqrt{1 + (\frac{1}{\omega CR})^2}} \end{cases} \Rightarrow \text{二者之间: } I = \frac{U_C}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U_R}{R}$$

2. ① 若电容端输出, 信号源接电容一端, 另一端接示波器。
② 若电阻端输出, 信号源接电阻一端, 另一端接示波器。

【实验心得或建议】

<1> RC 串联电路的时间常数 τ 对电路的频率响应有重要影响。

<2> 通过本次实验, 进一步理解了 RC 串联电路的稳态特性, 并进一步熟悉了信号发生器与示波器的操作。

【原始数据记录】

1. RC 串联电路的幅频特性测量数据如下。

$R = 1.5 \text{ k}\Omega$, $C = 0.01 \text{ }\mu\text{F}$ 表中 U_{cpp} 是数字式示波器峰峰值, U_{rms} 是有效值

$U_{\text{cpp}}/2\sqrt{2}$

f/kHz	0.50	1.00	2.00	3.00	5.00	7.00	9.00	11.00	13.00	15.00	18.00	22.00	26.00	30.00
U_{cpp}/V	5.08	5.06	4.98	4.84	4.52	4.12	3.76	3.40	3.08	2.80	2.44	2.12	1.84	1.64
U_{rms}/V	1.80	1.79	1.76	1.71	1.60	1.46	1.33	1.20	1.09	0.99	0.86	0.75	0.65	0.58

2. 双踪法测 RC 串联电路的相频特性测量数据如下。

$R = 1.5 \text{ k}\Omega$, $C = 0.01 \text{ }\mu\text{F}$ 表中 ΔT 是两个信号达到同一相位时的时间差, T 为信号周期

f/kHz	0.50	1.00	2.00	3.00	5.00	7.00	9.00	11.00	13.00	15.00	18.00	22.00	26.00	30.00
$\Delta T/\text{s}$	21.0×10^{-6}	17.8×10^{-6}	16.8×10^{-6}	16.2×10^{-6}	15.4×10^{-6}	14.4×10^{-6}	13.6×10^{-6}	12.4×10^{-6}	11.6×10^{-6}	10.8×10^{-6}	9.80×10^{-6}	8.60×10^{-6}	7.60×10^{-6}	6.80×10^{-6}
$T/\mu\text{s}$	2000.0	1000.0	500.0	333.3	200.0	142.9	111.1	90.9	76.9	66.7	55.6	45.5	38.5	33.3
ϕ/rad	0.066	0.112	0.211	0.305	0.484	0.633	0.769	0.857	0.948	1.018	1.108	1.189	1.242	1.282
$\tan \phi$	0.066	0.112	0.214	0.315	0.525	0.734	0.968	1.155	1.391	1.620	2.006	2.489	2.927	3.333

3. 李萨如图形法测 RC 串联电路的相频特性测量数据如下。

$R = 1.5 \text{ k}\Omega$, $C = 0.01 \text{ }\mu\text{F}$ 表中 A 、 B 分别是椭圆在 Y 轴上的投影和截距

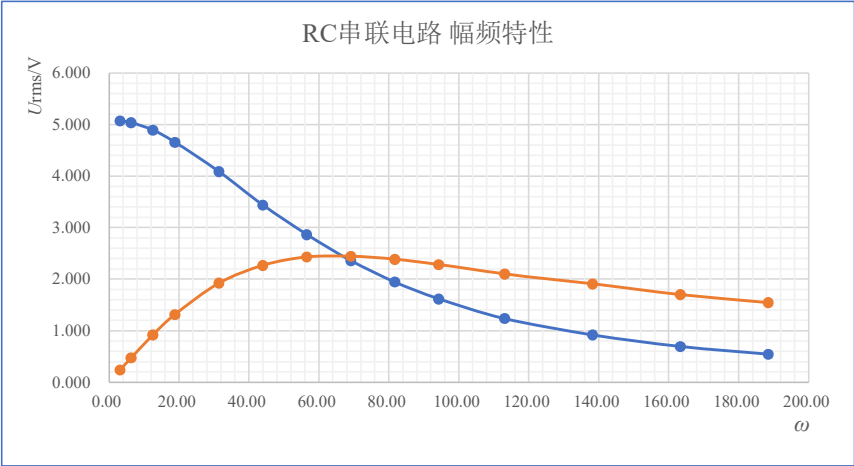
f/kHz	0.50	1.00	2.00	3.00	5.00	7.00	9.00	11.00	13.00	15.00	18.00	22.00	26.00	30.00
A/V	5.20	5.12	5.12	5.12	5.12	5.04	5.04	5.04	5.04	5.04	5.04	5.04	5.04	5.04
B/V	0.240	0.464	0.918	1.40	2.16	2.76	3.24	3.68	3.92	4.08	4.32	4.48	4.56	4.64
ϕ/rad	0.046	0.091	0.180	0.277	0.436	0.580	0.698	0.819	0.881	0.943	1.030	1.085	1.131	1.170
$\tan \phi$	0.046	0.091	0.182	0.280	0.465	0.654	0.839	1.069	1.237	1.379	1.664	1.940	2.124	2.358

教师签名

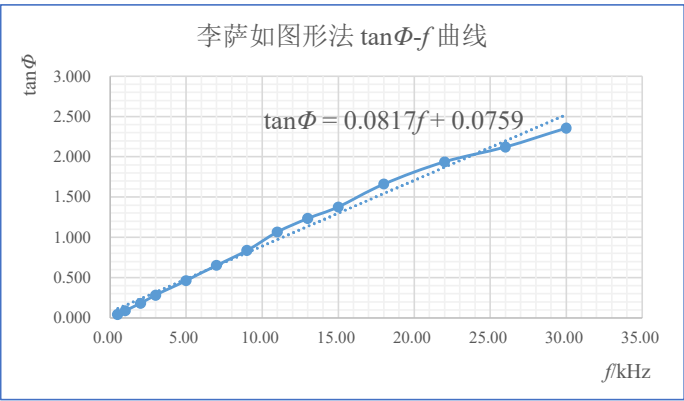
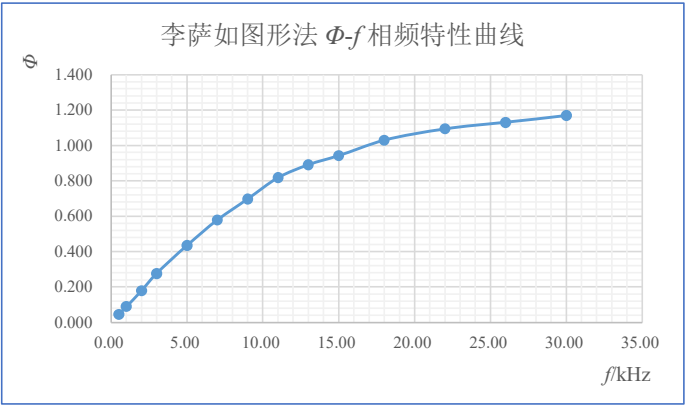
日期

11.12

RC 串联电路的幅频特性曲线：



李萨如图形法：



双踪法：

