

实验 44 RC 串联电路

RC 串联电路在接通或断开直流电源的瞬间, 相当于受到阶跃电压的影响, 电路对此要作出响应, 会从一个稳定态转变到另一个稳定态, 这个转变过程称为暂态过程。此过程变化快慢是由电路中各元件的量值和特性决定的, 描述暂态变化快慢的特性参数是放电电路的时间常数或半衰期。

一个实际电路总可简化成某种等效电路, 常见的等效电路有 RC 或 RLC 电路。本实验研究 RC 串联电路在暂态过程中, 不同参数对电流、电压的影响。通过对暂态过程的研究, 可以积极控制和利用暂态现象。研究 RC 串联电路暂态过程通常用直流法或交流法, 直流法包括冲击法和电压法, 交流法中有示波器观测法。

RC 串联电路的暂态特性在电子电路中有许多用途, 例如: 可起延迟作用、积分作用、耦合作用、隔直流作用等等。

【实验目的】

1. 学习如何通过实验方法研究有关 RC 串联电路的暂态过程。
2. 通过研究 RC 串联电路暂态过程, 加深对电容特性的认识和对 RC 串联电路特性的理解。
3. 提高对 RC 串联电路暂态过程的分析技能。
4. 根据对实验现象的分析, 学习和了解进行科学实验的一般程序和方法。

【实验要求】

1. 用计算机进行辅助设计, 选择最佳的实验方案, 最终由实验验证设计的合理性、正确性。
2. 用电压表测 $U_C(t)$ (或 $U_R(t)$) 来研究 RC 串联电路充放电电压 (或电流) 曲线。
3. 研究不同 R (或 C) 的 RC 串联电路的各种特性。
4. 由实验测量时间常数 τ , 将此值与由理论公式求得的 τ 值进行比较。
5. 用示波器测试 RC 串联电路的电流值与电容量。
6. 用李萨如图形测量相位。

【实验提示】

1. RC 串联电路的充放电过程

电阻、电容是电路的基本元件。在阻容串联电路中, 接通或断开直流电源时, 电路往往产生从一种状态过渡到另一种稳定状态的暂态过程, 可以用示波器观测这种瞬变过程。用示波器测量 RC 串联电路中的电流值和电容量可采用图 1 所示的电路来测量。用示波器测量出电阻 R 两端的电压 u_R 见图 1, 则可知 RC 串联电路中的电流

$$i = \frac{u_R}{R} \quad (1)$$

再用示波器按图 2 所示电路测量出电容器 C 两端的电压 u_C , 因为电源按原频率 ω 变化时, 有

$$u_C = i \cdot \frac{1}{\omega C} \quad (2)$$

由(1)和(2)式可求得 C 值:

$$C = \frac{u_R}{\omega R u_C} \quad (3)$$

实验中测量出 u_R , u_C 和给定的 R , ω 值, 就可以求得 i 和 C 的值。

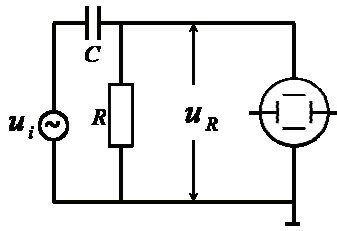


图 1

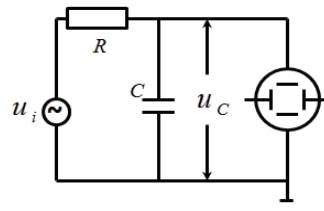


图 2

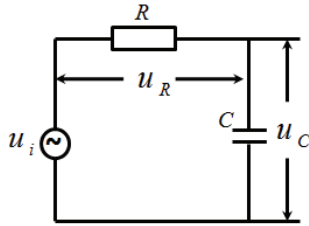


图 3

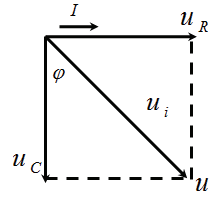


图 4

考虑 RC 串联电路的稳态过程时，当正弦电压 $u_i = y_0 \cos \omega t$ 输入 RC 串联电路，电容(或电阻)两端的输出电压 u_C (或 u_R) 的幅度及相位将随输入电压 u_i 的频率而变化，见图 3。

如图 4 所示，以电流矢量 I 作为参考矢量，作 u_R ， u_C 和 u_i 的矢量图。 u_C 及 u_i 之间的位相差满足下式：

$$\begin{cases} \tan \varphi = \omega CR \\ \frac{u_C}{u_i} = \cos \varphi \end{cases} \quad (4)$$

式中 ω 为 u_i 和 u_C 的角频率，位相差 φ 即为电路的相移；RC 为电路时间常数，常用 τ 表示，即 $\tau = RC$ 。

用李萨如图像法测量电路的相移时，将 u_C 和 u_i 分别输入示波器的 x 和 y 轴。如图 5 所示，可得李萨如图线如图 6 所示，其解析式为：

$$\begin{cases} x = x_0 \cos(\omega t - \varphi) \\ y = y_0 \cos \omega t \end{cases} \quad (5)$$

式中 x_0 和 y_0 分别为正弦信号 u_C 和 u_i 的振幅。

由上式可知，当 $x = 0$ 时， $\omega t - \varphi = \pm\pi/2$ ，即 $\omega t = \pm\pi/2 + \varphi$ 。由此值得李萨如线在 y 轴两交点之间的距离为：

$$B = y_0 [\cos(\frac{\pi}{2} + \varphi) - \cos(-\frac{\pi}{2} + \varphi)] = 2y_0 \sin \varphi \quad (6)$$

由式(5)可知，当 $\cos \omega t = \pm 1$ 时，可得到李萨如图线在 y 轴上的最大投影值：

$$A = 2y_0 \quad (7)$$

将上面两式相比得 $\sin \varphi = B/A$ 或

$$\varphi = \sin^{-1} \frac{B}{A} \quad (8)$$

所以通过测量李萨如图线的 A 和 B 值，即可算出电路的相移 φ 。

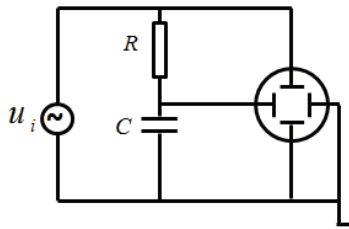


图 5

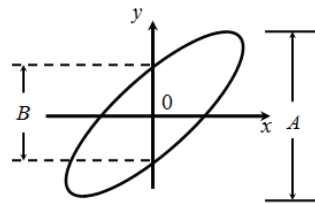


图 6

2.RC 串联电路实验数据举例

元件的标示值： $R = 2000\Omega$, $C = 0.01\mu F$, 测量值如表 1 所示：

表 1

$f / \times 10^2 \text{ hz}$	$u_c / \times 0.3V$	$u_i / 0.3V$
133.0	2.00	4.00

表 2

($A=4.00 \times 0.3V$)

$f / \times 10^2 \text{ hz}$	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0
$B / \times 0.3V$	1.50	1.70	1.90	2.05	2.20	2.35	2.50	2.60

由表 1 得：

$$\cos \varphi = \frac{u_c}{u_i} = 0.500$$

$$\tau = RC = \frac{\tan \varphi}{\omega} = 1.732 / 2\pi \times 133.0 \times 10^2 = 2.07 \times 10^{-5} (s)$$

由表 2 可以导出表 3

表 3

$f / \times 10^2 \text{ hz}$	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0
$\tan \varphi$	0.40	0.47	0.54	0.60	0.66	0.73	0.80	0.86

用最小二乘法得斜率

$$k = 13.1 \times 10^{-5} / \text{Hz}, \quad \tau = RC = \frac{k}{2\pi} = 2.08 \times 10^{-5} (s)$$

如果以后者为标准，则测量值的百分误差率为 $E = 0.5\%$ 。

【实验仪器】

各种不同量值的电阻和电容、数字电压表、稳压电源、示波器、开关、秒表等。

【设计要求】

1. 用电压法测量充放电曲线

(1) 电路参数的选择：根据实验室提供的仪器（秒表、电压表、电容），选择几组不同的 R , C 值输入计算机，测试并描绘出一条充放电曲线，经过多次反复，得到一组符合实验要求的电路参数 R 与 C 。

(2) 合理选择测量点的时间间隔：由于充放电过程中 $U_c(t)$ 和 $I(t)$ 随时间按指数规律变化，它是一条非线性曲线。通过计算机模拟的曲线，合理设计时间间隔。

2. 用示波器观察输入方波时的暂态过程：在计算机上模拟不同的方波频率作用下，不同电路参数时的充放电曲线。根据输出信号的要求，选择适当的参数输入计算机进行模

拟，直至选出最佳的参数。

【问题与讨论】

分析实验误差产生的原因。

【注意事项】

1. 电解电容应分清正负极。充电时，不能将电源正负极接反，不能超过其耐压范围。
2. 预习报告要求：**a.** 写出实验原理和计算公式；**b.** 拟出实验步骤；**c.** 列出数据表格；**d.** 列出所需仪器清单(注明型号规格)。