

浙江大学实验报告

专业：信息工程

姓名：胡东东

学号：3240102873

日期：2025 年 11 月 18 日

地点：东 4-216

课程名称：电子电路设计实验 I 指导老师：施红军/叶险峰/邓靖靖 成绩：

实验名称：一阶 RC 电路的瞬态响应过程实验研究 实验类型：探究性实验 同组学生姓名：赵皓翌

一阶 RC 电路的瞬态响应过程实验研究

一、实验目的

1. 熟悉一阶 RC 电路的零状态响应、零输入响应过程。
2. 研究一阶 RC 电路在零输入、阶跃激励情况下，响应的基本规律和特点。
3. 学习用示波器观察分析 RC 电路的响应。
4. 从响应曲线中求 RC 电路的时间常数。

二、实验原理

1. 一阶 RC 电路的零输入响应（放电过程）

电路在无激励情况下，由储能元件的初始状态引起的响应称为零输入响应，即电路初始状态不为零，输入为零所引起的电路响应。实际上是电容器 C 的初始电压经电阻 R 放电过程。在图 1 中，先让开关 K 合于位置 a，使电容 C 的初始电压值 $u_c(0^-) = U_o$ ，再将开关 K 转到位置 b。电容器开始放电放电方程为：

$$u_c + RC \frac{du_c}{dt} = 0 \quad (t \geq 0)$$

可以得出电容器上的电压和电流随时间变化的规律：

$$u_c(t) = u_c(0^-) e^{-\frac{t}{RC}} = U_o e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (t \geq 0)$$

$$i_c(t) = -\frac{u_c(0^-) e^{-\frac{t}{RC}}}{R} = -\frac{U_o}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (t \geq 0)$$

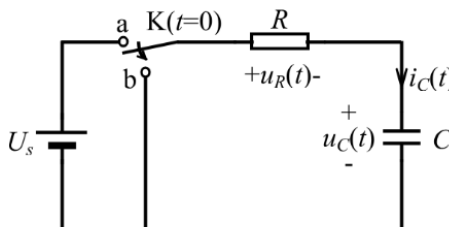


图 1 一阶电路

式中 $\tau = RC$ ，即为时间常数，其物理意义是 $u_c(t)$ 衰减到 $1/e$ (36.8%) $u_c(0)$ 所需要的时间，反映了电路过渡过程的快慢程度。 τ 越大，暂态响应所持续的时间越长，即过渡过程的时间越长；反之， τ 越小，过渡过程的时间越短。时间常数 τ 可通过相应的衰减曲线，见图 2。

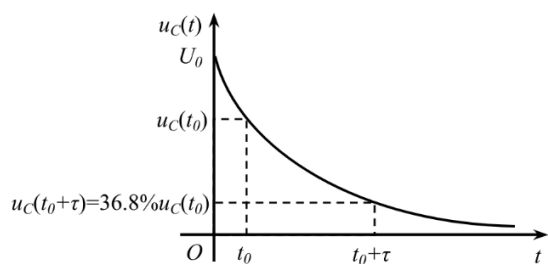


图2 由零输入响应曲线测时间常数

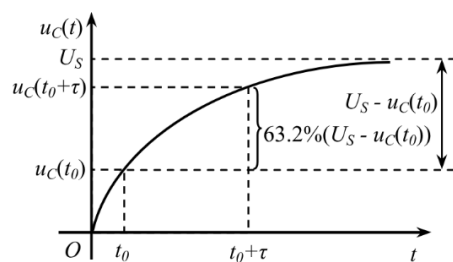


图3 一阶 RC 电路的零状态响应曲线

2. 一阶 RC 电路的零状态响应（充电过程）

所谓零状态响应是指初始状态为零，而输入不为零所产生的电路响应。一阶 RC 电路在阶跃信号激励下的零状态响应实际上就是直流电源经电阻 R 向 C 充电的过程。在图 1 所示的一阶电路中，先让开关 K 合于位置 b，当 $t = 0$ 时，将开关 K 转到位置 a。电容器开始充电，充电方程为：

$$u_c + RC \frac{du_c}{dt} = U_s \quad (t \geq 0)$$

初始值： $u_c(0^-) = 0$

可以得出电压和电流随时间变化的规律：

$$u_c(t) = U_s(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) = U_s(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (t \geq 0)$$

$$i_c(t) = \frac{U_s}{R} e^{-\frac{t}{RC}} = \frac{U_s}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (t \geq 0)$$

$\tau = RC$ 为时间常数，其物理意义是由初始值上升至稳态值与初始值差值的 63.2% 处所需的时间。同样可以从响应曲线中求得时间常数 τ ，如图 3 所示。

3. 方波响应

当方波信号激励加到 RC 两端时，在电路的时间常数远小于方波周期时，可以视为零状态响应和零输入响应的多次过程。方波的前沿相当于给电路一个阶跃输入，其响应就是零状态响应；方波的后沿相当于在电容具有初始值 $u_c(0)$ 时，把电源用短路置换，电路响应转换成零输入响应。

当方波的 1/2 周期小于电路的时间常数时，方波前后沿对应的是瞬态过程的其中一小部分。

由于方波是周期信号，可以用普通示波器显示出稳定的响应图形，便于观察和作定量分析。

三、主要仪器设备

一阶 RC 电路响应实验电路板、示波器、直流稳压源

四、实验方案设计与参数计算

(1) 实验方案总体设计：

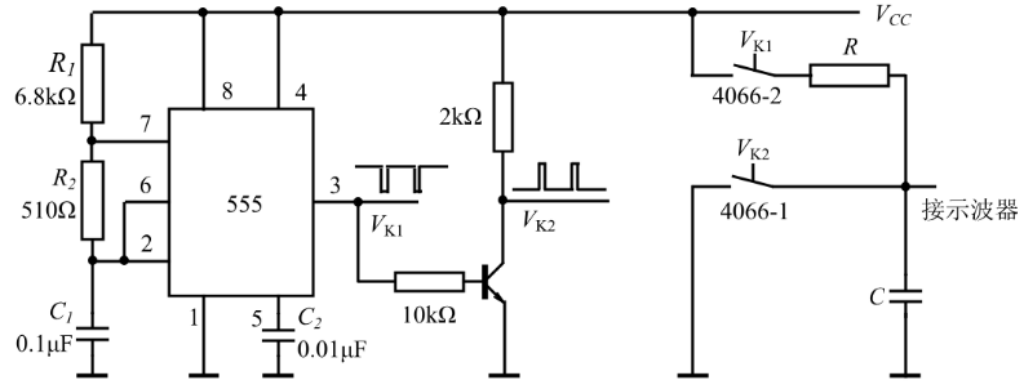


图 4 重复激励的零状态响应观测实验电路

RC 电路的响应是一个十分短暂的单次变化瞬态过程，一次激励引起电路一次响应。要在示波器上显示 RC 电路的响应曲线进而进行观察和测量有关参数，就必须周期性地重复进行激励，使这种单次变化的过程重复出现，而且要保证激励信号与示波器扫描的同步，只有这样，才能在示波器上显示稳定的电路响应曲线。

为此，实验时必须设计一个实验方案，实现对 RC 电路的周期性重复激励和向示波器提供扫描同步信号。图 4 是观测零状态响应过程的实验电路，选用 555 时基电路作激励脉冲信号发生电路，用 CD4066 电子开关实现电路中开关的切换，脉冲信号的前沿为示波器提供扫描同步触发信号。

(2) 各功能电路设计与计算

表 1 不同电路状态下一阶 RC 电路时间常数的理论值

电路状态	接入电阻 R/Ω	接入电容 C/pF	时间常数 $\tau(\text{理论值})/\mu s$
零状态响应	750	1.0×10^5	75
	9100	1.0×10^5	910
零输入响应	4300	1.0×10^4	43
	4300	2.2×10^5	946

五、实验任务要求

- 理论计算 4 个一阶 RC 电路的时间常数
- 更换电路中电阻电容的大小，用示波器分别观察 4 个一阶 RC 电路的零输入响应、零状态响应：
 - 描绘响应曲线（拍照）；
 - 用示波器测量 4 个 RC 电路的时间常数；
- 比较时间常数的理论值与测试值是否一致。

六、实验步骤、调试过程、实验数据记录

(1) 实验步骤

- 1. RC 电路的零输入响应：选取不同的电容，用示波器观察电容两端电压 $u_C(t)$ 的波形，借助示波器 Cursor 测量功能测得电路的时间常数，将测量值与计算得出的时间常数理论值作比较。
- 2. RC 电路的零状态响应：选取不同的电阻，用示波器观察电容两端电压 $u_C(t)$ 的波形，借助示波器 Cursor 测量功能测得电路的时间常数，将测量值与计算得出的时间常数理论值作比较。

(2) 实验数据记录与数据分析

表 2 实验数据记录及处理

电路状态	接入电阻 R/Ω	接入电容 C/pF	波形图	τ (测量值)/ μs	τ (理论值)/ μs	相对误差
零状态响应	750	1.0×10^5	图 5	85	75	13.3%
	9100	1.0×10^5	图 6	900	910	1.1%
零状态响应	4300	1.0×10^4	图 7	43	43	0.0%
	4300	2.2×10^5	图 8	950	946	0.4%

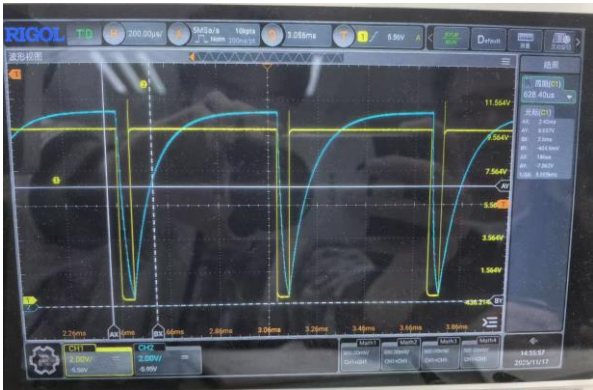


图 5

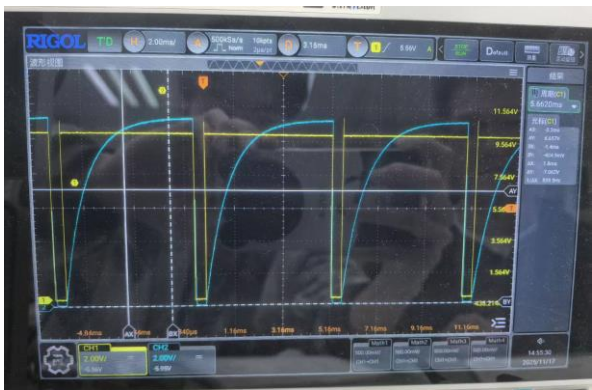


图 6

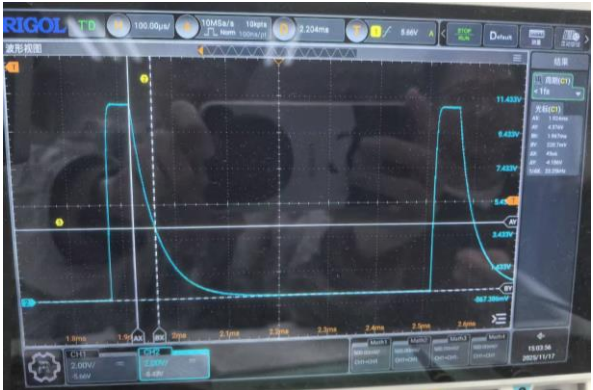


图 7

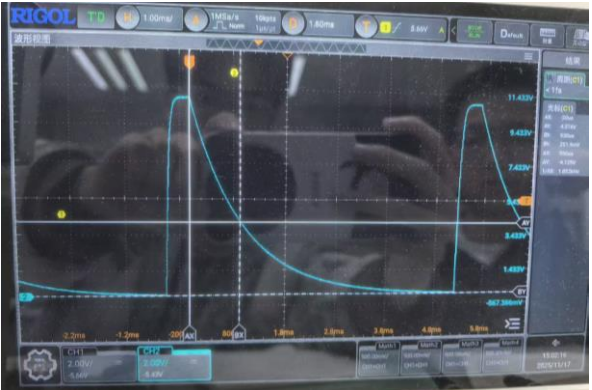


图 8

七、结论

通过本次实验我们对一阶 RC 电路的瞬态响应过程进行了观察与测量，得出以下结论：

1. 时间常数的理论值与测量值基本吻合。在四种不同 RC 组合下，测量值与理论值的相对误差均较小，说明实验测量方法可靠，理论模型准确。
2. 时间常数 τ 反映了电路瞬态过程的快慢。 τ 越大，电容充放电过程越缓慢； τ 越小，过程越迅速。实验中通过改变 R、C 值验证了 $\tau = RC$ 的关系。
3. 示波器配合 Cursor 功能能有效测量瞬态过程，在重复激励下，能稳定显示响应波形，便于定量分析。
4. 误差来源：可能包括元件标称值与实际值的偏差、示波器读数误差、电路分布电容等因素。

综上所述，本实验验证了一阶 RC 电路的零输入响应、零状态响应的基本规律，掌握了时间常数的测量方法，加深了对电路瞬态过程的理解。

八、思考题

1. 什么是零输入响应、零状态响应？

零输入响应指电路在无外部激励的情况下，仅由储能元件（如电容）的初始储能所引起的响应过程，如电容通过电阻放电的过程。

零状态响应指电路初始状态为零（如电容初始电压为 0），仅由外部激励（如阶跃电压）所引起的响应过程，如电容通过电阻充电的过程。

2. 在用示波器观察 RC 电路响应时如何才能使示波器的扫描与电路激励同步？

使用外部触发方式，将方波激励信号的前沿作为示波器的触发信号。确保触发电平设置合理，使每次扫描都从激励信号的同一相位开始，从而在屏幕上显示稳定的响应波形。

3. 什么是时间常数？它在电路中起什么作用？

时间常数 τ 是一阶 RC 电路的一个重要参数，它决定了电路瞬态过程的持续时间。

作用：决定电路瞬态过程的持续时间。在零输入响应中， τ 表示电压衰减到初始值的约 36.8% 所需时间；在零状态响应中， τ 表示电压上升到稳态值的约 63.2% 所需时间。 τ 越大，过渡过程越长； τ 越小，过渡过程越短。