

浙江大学实验报告

专业：信息工程
姓名：李昕
学号：3230103034
日期：2024 年 11 月 12 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： 同组学生姓名：罗启航

一、实验目的

- 熟悉一阶 RC 电路的零状态响应、零输入响应过程。
- 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。
- 学习用示波器观察分析 RC 电路的响应。
- 从响应曲线中求 RC 电路的时间常数。

二、实验任务和要求

- 研究一阶 RC 电路零输入响应和零状态响应的基本规律和特点
- 学习使用示波器观察、分析一阶 RC 电路的响应
- 从响应曲线中求一阶 RC 电路的时间常数

三、实验原理

1. 一阶 RC 电路的零状态响应（电容充电）

如下电路图所示，零状态响应，即初始状态为零 $U_C(0_-) = 0V$ ，而输入不为零所产生的电路响应 $U_C(t)$ 。一阶 RC 电路在阶跃信号激励下的零状态响应：即直流电源经电阻 R 向电容 C 充电的过程。

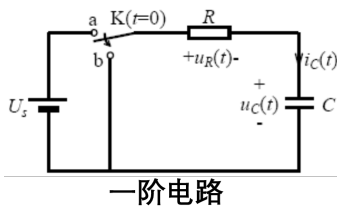


图 1: 一阶 RC 电路零状态响应

- 初始状态下， $u_C(0_-) = 0V$
- $t = 0$ 时，将开关 K 转到位置 a，电容充电： $u_C(t) + RC \frac{du_C(t)}{dt} = U_S, (t \geq 0)$

- 可以得出电容器上的电压和电流随时间变化的规律：

$$u_C(t) = u_C(0_-)e^{-\frac{t}{RC}} = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}, t \geq 0$$

$$i_C(t) = \frac{u_C(0_-)e^{-\frac{t}{RC}}}{R} = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}, t \geq 0$$

- 式中 $\tau = RC$ ，即为时间常数，其物理意义是 $u_C(t)$ 衰减到 $\frac{1}{e}$ (36.8%) $\cdot u_C(0)$ 所需要的时间，反映了电路过渡过程的快慢程度。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，越小，过渡过程的时间越短。时间常数可通过相应的衰减曲线进行观察。

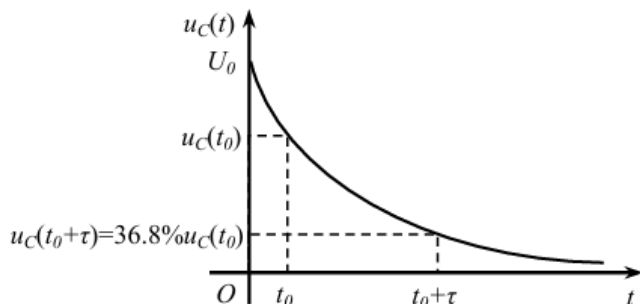


图 9.8.2 由零输入响应曲线测量时间常数

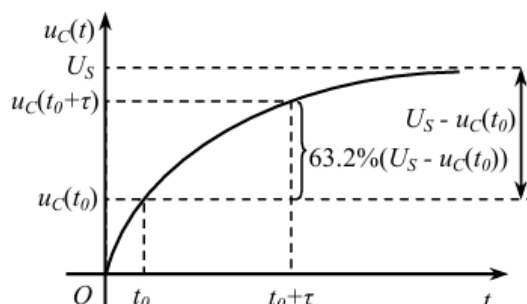


图 9.8.3 一阶 RC 电路的零状态响应曲线

2. 一阶 RC 电路的零状态响应

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。在上图所示的一阶电路中，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：

$$u_C + RC \frac{du_C}{dt} = U_S (t \geq 0)$$

初始值： $u_C(0_-) = 0$ 可以得出电压和电流随时间变化的规律：

$$u_C(t) = U_S(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) = U_S(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), (t \geq 0)$$

$$i_C(t) = \frac{U_S}{R}(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) = \frac{U_S}{R}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), (t \geq 0)$$

$\tau = RC$ 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 ，图像如上。

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。

四、实验方案设计与参数计算

1. 实验方案总体设计

本实验的电路如下：

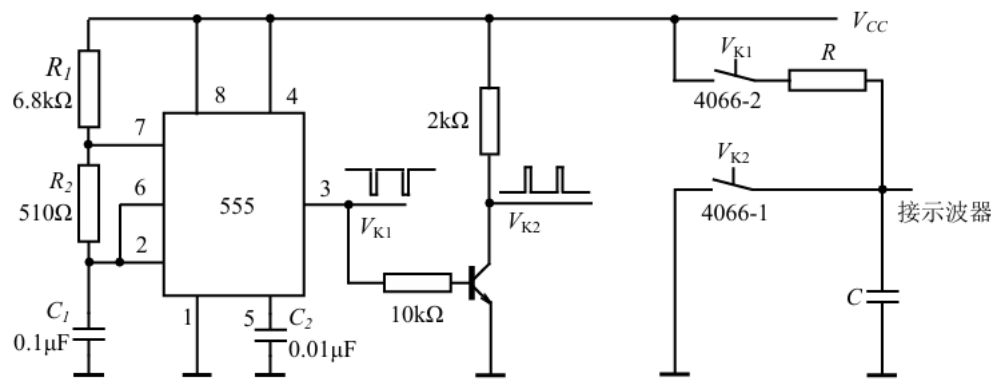


图 2: 一阶 RC 电路零状态响应

2. 理论值计算

本实验中共有四组 RC 值，计算 τ 的结果如下：

$R(\Omega)$	C (pF)	τ 计算值 (ms)	5τ 计算值 (ms)
9.1×10^3	1×10^5	0.91	4.95
0.75×10^3	1×10^5	0.075	0.375
4.3×10^3	1×10^4	0.043	0.215
4.3×10^3	2.2×10^4	0.0946	0.473

五、实验仪器设备

- 万用表
- 示波器
- 电路板

六、实验步骤、实验数据记录

1. 观察方波响应

接入 C_1 电容，利用示波器观察方波输出，分别使用自动测量和手动测量相应幅值和周期。自动测量周期为 $5.9240ms$ ，手动测量周期为 $5.94ms$ ，幅值为 $11.09V$ 。

2. τ 值的理论测量

接入 C_2 电容，观察到方波输出。

2.1 $C=1 \times 10^5 pF$, 接入 $R = 9.1 \times 10^3 \Omega$: 实验波形图如图所示:

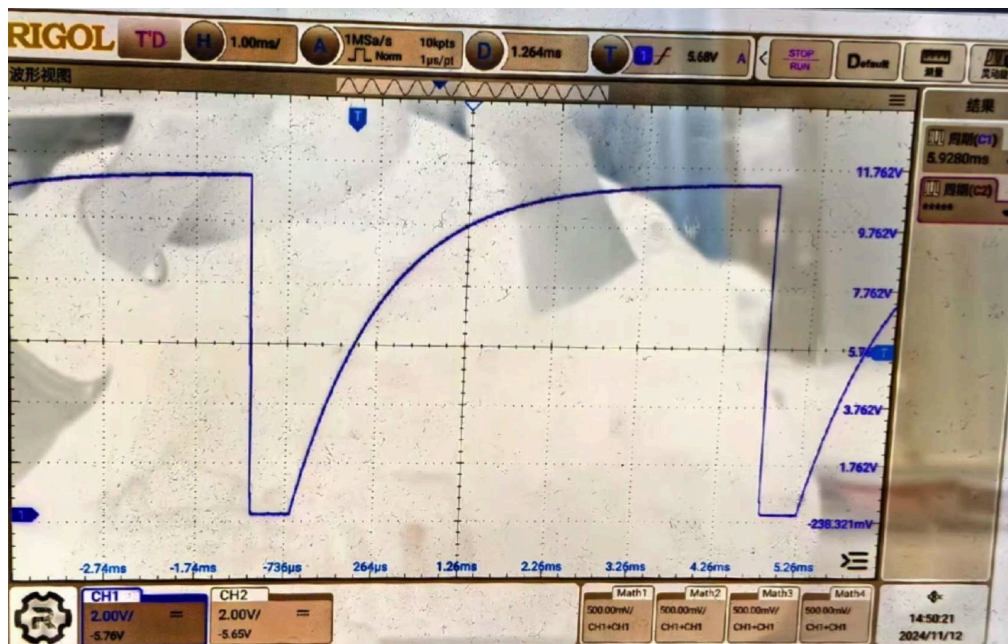


图 3: $C=1 \times 10^5 pF$, $R = 9.1 \times 10^3 \Omega$ 波形图

测量过程如下:

- (1) 取曲线上一点 $u(t_0) = 2.218V$
- (2) 根据公式, $u(t_0 + \tau) = 0.632 \times (11.09 - 2.218) + 2.218 = 7.82V$
- (3) 在示波器波形上取 $u = 7.82V$ 的点, 找到 $\Delta x = \tau = 950\mu s = 0.95ms$

2.2 $C=1 \times 10^5 pF$, 接入 $R = 0.75 \times 10^3 \Omega$: 实验波形图如图所示:

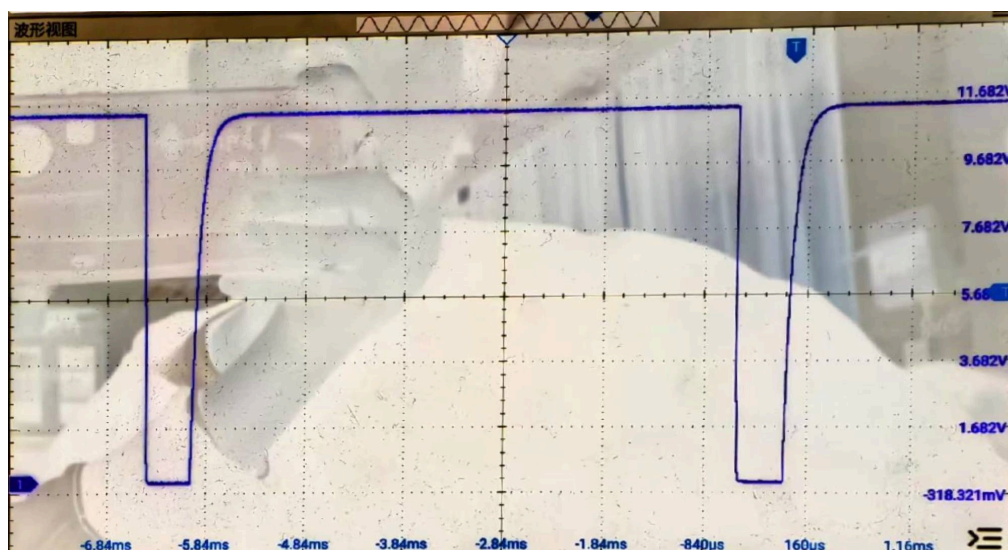


图 4: $C=1 \times 10^5 pF$, $R = 0.75 \times 10^3 \Omega$ 波形图

测量过程如下：

- (1) 取曲线上一点 $u(t_0) = 1.312V$
- (2) 根据公式， $u(t_o + \tau) = 0.632 \times (11.09 - 1.312) + 1.312 = 7.49V$
- (3) 在示波器波形上取 $u = 7.49V$ 的点，找到 $\Delta x = \tau = 85\mu s = 0.085ms$

2.3 $R = 4.3 \times 10^3 \Omega$, $C=1 \times 10^4 pF$: 实验波形图如图所示：

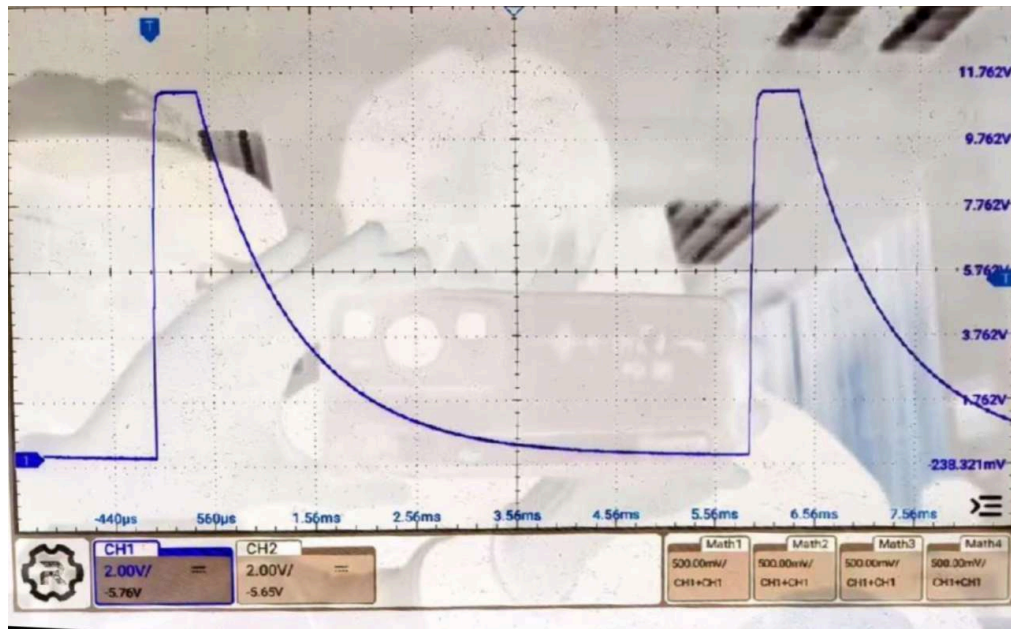
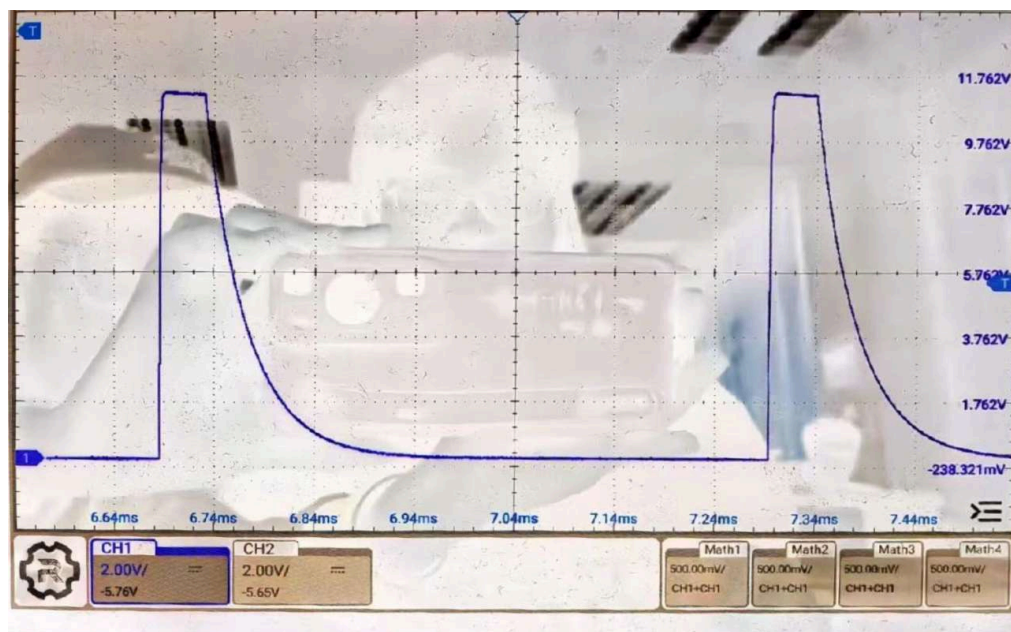


图 5: $R = 4.3 \times 10^3 \Omega$, $C=1 \times 10^4 pF$ 波形图

测量过程如下：

- (1) 取 $t_0 = 6.39ms$ 曲线上一点 $u(t_0) = 8.39V$
- (2) 根据公式， $u(t_o + \tau) = 0.368u(t_0) = 3.077V$
- (3) 在示波器波形上取 $u = 3.077V$ 的点，找到 $\Delta x = \tau = 41.99\mu s = 0.042ms$

2.4 $R = 4.3 \times 10^3 \Omega$, $C=2.2 \times 10^3 pF$: 实验波形图如图所示：

图 6: $R = 4.3 \times 10^3 \Omega$, $C = 2.2 \times 10^4 pF$ 波形图

测量过程如下：

- (1) 取 $t_0 = 6.39ms$ 曲线上一点 $u(t_0) = 9.51V$
- (2) 根据公式, $u(t_0 + \tau) = 0.368u(t_0) = 3.50V$
- (3) 在示波器波形上取 $u = 3.50V$ 的点, 找到 $\Delta x = \tau = 0.93ms$

七、 数据分析与讨论

将上述四组数据整合如下：

$R(\Omega)$	$C(pF)$	τ 测量值 (ms)	τ 计算值 (ms)	5τ 计算值 (ms)
9.1×10^3	1×10^5	0.95	0.91	4.95
0.75×10^3	1×10^5	0.085	0.075	0.375
4.3×10^3	1×10^4	0.042	0.043	0.215
4.3×10^3	2.2×10^4	0.93	0.0946	0.473

可以发现, 本实验中的 τ 测量值误差较小。且 τ 计算值越小, 测量的误差越大。这可能是由于示波器上的曲线较难取值, 误差较大导致的。

八、 结论

一阶 RC 电路零输入响应、零状态响应中 $\tau = RC$

九、心得与体会

本实验中，我更加熟悉了示波器的操作和万用表的测量，对 RC 电路的动态行为有了更加直观和深入的理解。并且我学会了如何测量时间常数，在基于示波器曲线测量的过程中，也认识到了细心观察和严谨分析的重要性。

十、思考题

1. 什么是零输入响应、零状态响应？

- **零输入响应:** 当电路的输入为零时，由于电路内部的初始条件（如电容上的初始电压）所引起的响应。在电路中，即使输入电压为零，电容也会通过电阻放电。
- **零状态响应:** 在一阶 RC 电路中，如果电容最初没有电荷，那么当施加一个阶跃输入电压时，电容将通过电阻充电，这个过程就是零状态响应。

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？

- 将示波器设置为触发模式，使示波器检测上升沿或下降沿时开始扫描
- 选择电路激励信号作为触发电源
- 调整触发电平，确保它设置在激励信号的适当电平上
- 选择合适的扫描速率，使得示波器的扫描周期与激励信号的周期相匹配，从而在屏幕上显示稳定的波形