

# 浙江大学实验报告

专业:

姓名:

学号:

日期:

地点:

课程名称: 电路与模拟电子技术实验 指导老师: 张治沁 成绩: \_\_\_\_\_

实验名称: 一阶 RC 电路特性的研究 实验类型: 电路实验

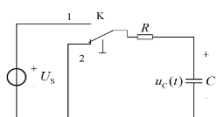
## 一、实验目的和要求

1. 熟悉一阶 RC 电路的零状态响应、零输入响应和全响应。
2. 研究一阶电路在阶跃激励和方波激励情况下, 响应的基本规律和特点。
3. 掌握积分电路和微分电路的基本概念。
4. 研究一阶动态电路阶跃响应和冲激响应的关系
5. 从响应曲线中求出 RC 电路时间常数 $\tau$ 。

## 二、实验内容和原理

1. 一阶 RC 电路的响应: 零输入响应: 指输入为零, 初始状态不为零所引起的电路响应。  
零状态响应: 指初始状态为零, 而输入不为零所产生的电路响应。  
完全响应: 指输入与初始状态均不为零时所产生的电路响应。

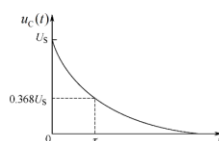
对于一阶 RC 电路来说: (对应的响应曲线如右图所示)



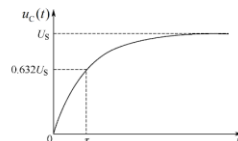
零输入响应:  $u_C(t) = U_S e^{-\frac{t}{\tau}}$  ( $t \geq 0$ ,  $\tau = RC$ )

零状态响应:  $u_C(t) = U_S (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$  ( $t \geq 0$ ,  $\tau = RC$ )

全响应:  $u_C(t) = U_S + [u_C(0+) - U_S] e^{-\frac{t}{\tau}}$  ( $t \geq 0$ ,  $\tau = RC$ )



一阶RC电路零输入响应



一阶RC电路零状态响应

(其中时间常数 $\tau$ 的物理意义是 $u(t)$ 衰减到 $36.8\%u(t_0)$ 所需时间)

2. 一阶 RC 电路的方波响应:

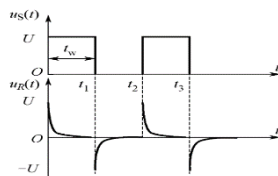
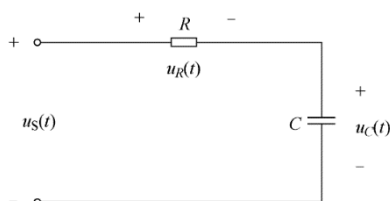
当方波信号激励加到 RC 两端时, 只要方波的半周期远大于电路电路的时间常数, 就可以认为方波的上升沿或下降沿到来时, 前一边沿所引起的过渡过程已经结束。因此, 电路对上升沿的响应就是零状态响应, 电路对下降沿的响应就是零输入响应。

当方波的半周期约等于甚至小于电路的时间常数时, 当方波的某一沿到来时, 前一沿引起的过渡过程尚未结束, 要经历一段时间后才能达到稳定。

3. 一阶 RC 电路的微分和积分特性

(1) 一阶 RC 电路的微分特性: 当  $T \gg \tau$  时 ( $\tau = RC$ ),  $u_R(t) = RC \frac{du_C(t)}{dt} \approx RC \frac{du_S(t)}{dt}$

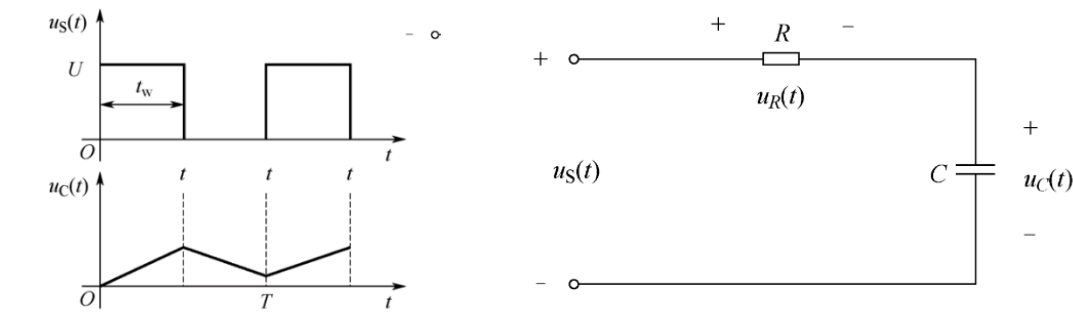
可得出此时电阻两端电压随时间变化的图像



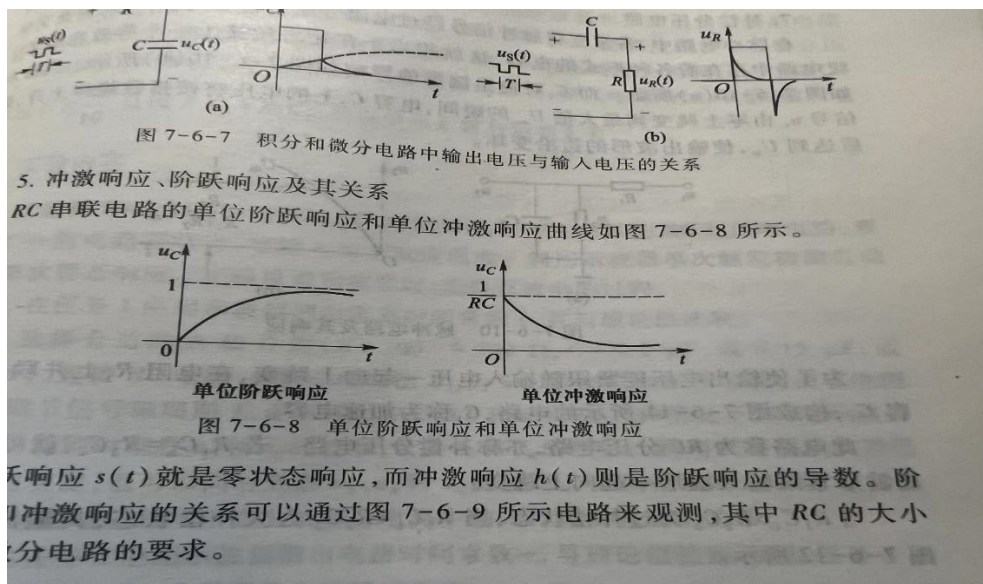
- (2) 一阶 RC 电路的积分特性:

若  $\tau \gg T$  ( $\tau = RC$ ) , 
$$u_C(t) \approx \frac{1}{RC} \int_{t_0}^t u_S(t) dt$$

电容上的输出电压近似为三角波，此电路结构称为积分电路。当方波的频率一定时， $\tau$  值越大，输出三角波的线性度越好，但其幅度下降； $\tau$  变小时，波形的幅度随之增大，但其线性度将变坏。



#### 4. 一阶 RC 电路的阶跃和冲激响应



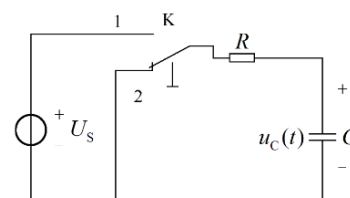
图示为阶跃响应和冲激响应的图像，阶跃响应就是零状态响应，冲激响应就是阶跃响应的导数。

### 三、主要仪器设备（必填）

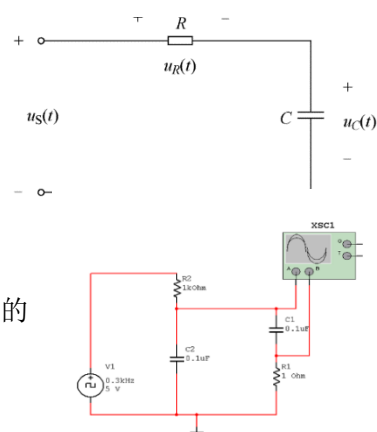
SDS2352X-E 数字示波器、SDG 2122X 信号源、实验板、 $1000 \mu F$  的电容、 $1 \mu F$  的电容、 $1K \Omega$  的电阻、开关

### 四、操作方法和实验步骤

- 按照右图所示接线，电阻选用  $1K \Omega$ ，电容选择  $1000 \mu F$  用示波器观察电容两端的电压变化使用光标测量法测量出放电时电容上的最大电压  $U$ ，计算出  $0.368U$ ，并使  $t$  轴上的光标指向  $0.368U$  对应的曲线上的点，此时  $t$  轴的读数即为时间常数  $\tau$ 。

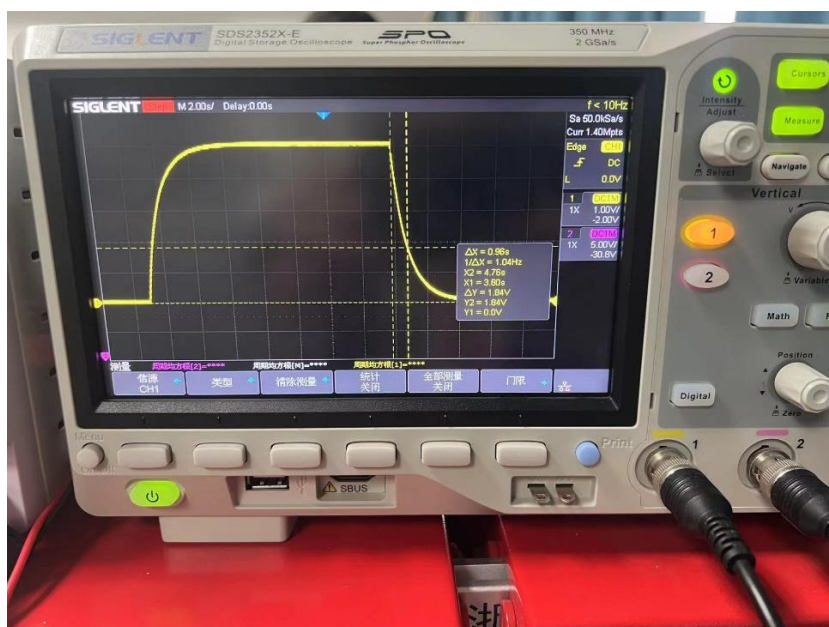


- 按照右图所示接线，电阻选择  $1\text{K}\Omega$ ，电容选择  $1\mu\text{F}$ ，此时的时间常数  $\tau$  为  $1\text{ms}$ ，信号发生器选择方波输出，占空比为 50%，频率分别选择  $100\text{Hz}$ 、 $1\text{KHz}$ 、 $10\text{KHz}$ ，用示波器观测  $U_R(t)$  并记录下示波器的图像。
- 将示波器的通道二接至电容两端，重复步骤二的频率输出，用示波器观测  $U_C(t)$  并记录下示波器的图像。
- 按照右图所示电路接线，示波器的两个通道按照图示接在相应的位置方波的频率选择  $0.3\text{KHz}$ ，从示波器上可以观测到阶跃响应和冲激响应的图像。



## 五、实验数据记录与处理（实验结果的分析）（因本次实验的实验结果主要是示波器的图像，因此实验数据的记录与实验结果的分析放在一起进行）

- 一阶 RC 电路时间常数的测量。



- $U_S = 5.02\text{V}$ ，计算出  $0.368 * U_S = 1.84\text{V}$ ，从图中可以看出横轴的  $\Delta t = 0.96\text{s}$ ，即时间常数  $\tau = 0.96\text{s}$ ，电阻为  $1000\Omega$ ，电容为  $1000\mu\text{F}$  时时间常数  $\tau$  的理论值为  $1\text{s}$ ，相对误差  $\Delta = (1 - 0.96) / 1 * 100\% = 4.0\%$
- 方波响应下一阶 RC 电路的微分特性

实验选用的电阻为  $1\text{K}\Omega$ ，电容为  $1\mu\text{F}$ ，时间常数  $\tau$  为  $1\text{ms}$

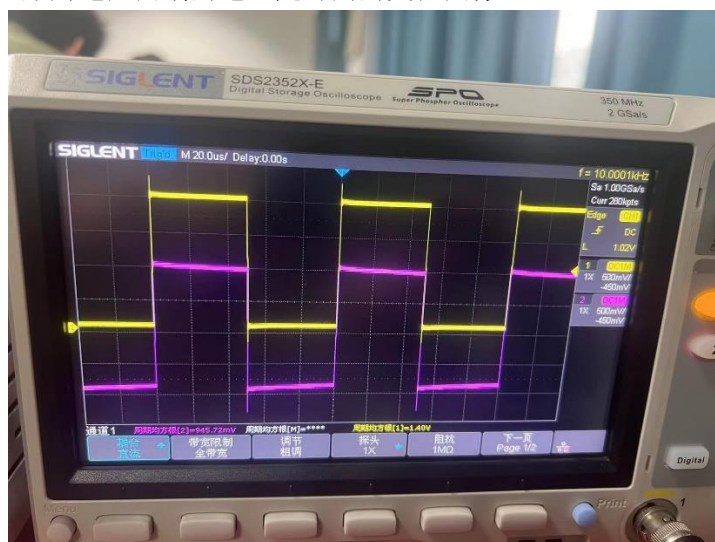
- 当  $T \gg \tau$  时 ( $T = 10\tau$ ，即信号源输出频率为  $100\text{Hz}$ )，图像如下（黄色波形为信号源的方波输入、紫色的波形为电阻两端的电压随时间的变化图像）



(2) 当  $T = \tau$  时（即信号源输出频率为 1KHz），图像如下（黄色波形为信号源的方波输入、紫色的波形为电阻两端的电压随时间的变化图像）



(3) 当  $T \ll \tau$  时（即信号源输出频率为 10KHz），图像如下（黄色波形为信号源的方波输入、紫色的波形为电阻两端的电压随时间的变化图像）



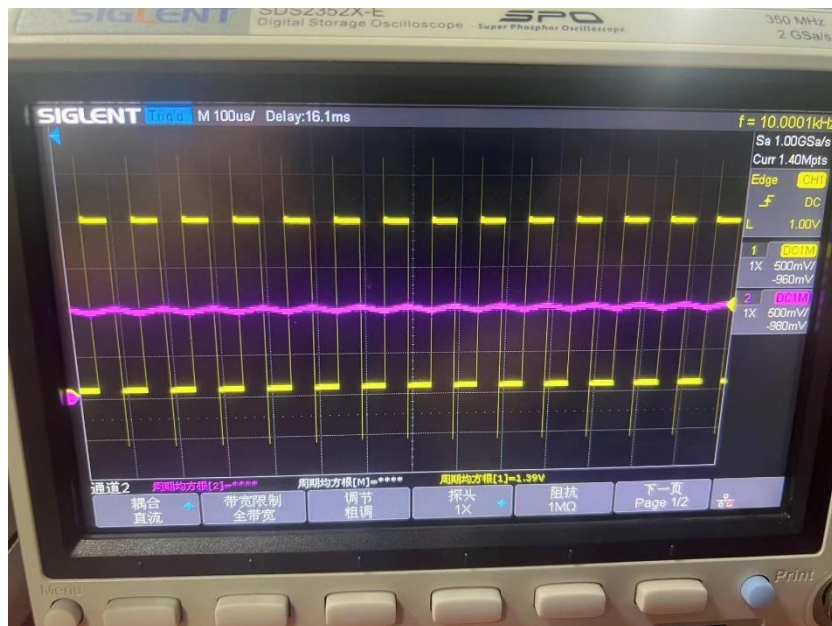
比较三张图可以得出，只有当  $T \gg \tau$  时电源电压突变后电阻电压才会出现比较尖锐的变化，即符合微



分特性的图像，而当  $T = \tau$  和  $T \ll \tau$  时电阻电压的变化都比较平缓，不符合微分特性。

### 3. 方波响应下一阶 RC 电路的积分特性

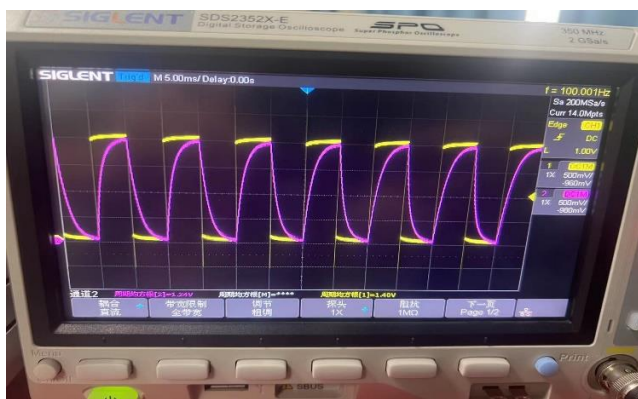
(1) 当  $T \ll \tau$  时（即信号源输出频率为 10KHz），图像如下（黄色波形为信号源的方波输入、紫色的波形为电容两端的电压随时间的变化图像）



(2) 当  $T = \tau$  时（即信号源输出频率为 1KHz），图像如下（黄色波形为信号源的方波输入、紫色的波形为电容两端的电压随时间的变化图像）

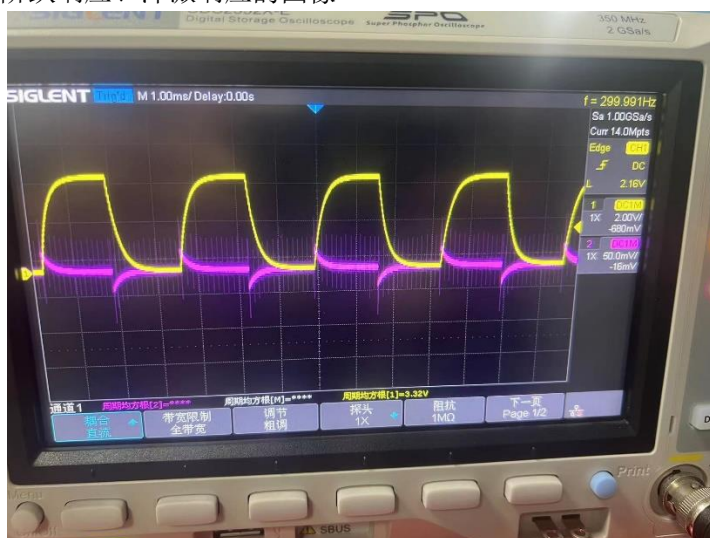


(3) 当  $T \gg \tau$  时（即信号源输出频率为 100Hz），图像如下（黄色波形为信号源的方波输入、紫色的波形为电容两端的电压随时间的变化图像）



通过上述三幅图像可以看出当  $T \ll \tau$  时，电源电压突变后，电容电压符合积分特性曲线，逐渐增大。当  $T \gg \tau$  时，电容电压符合实验原理部分电容电压的微分特性曲线。

#### 4. 阶跃响应、冲激响应的图像



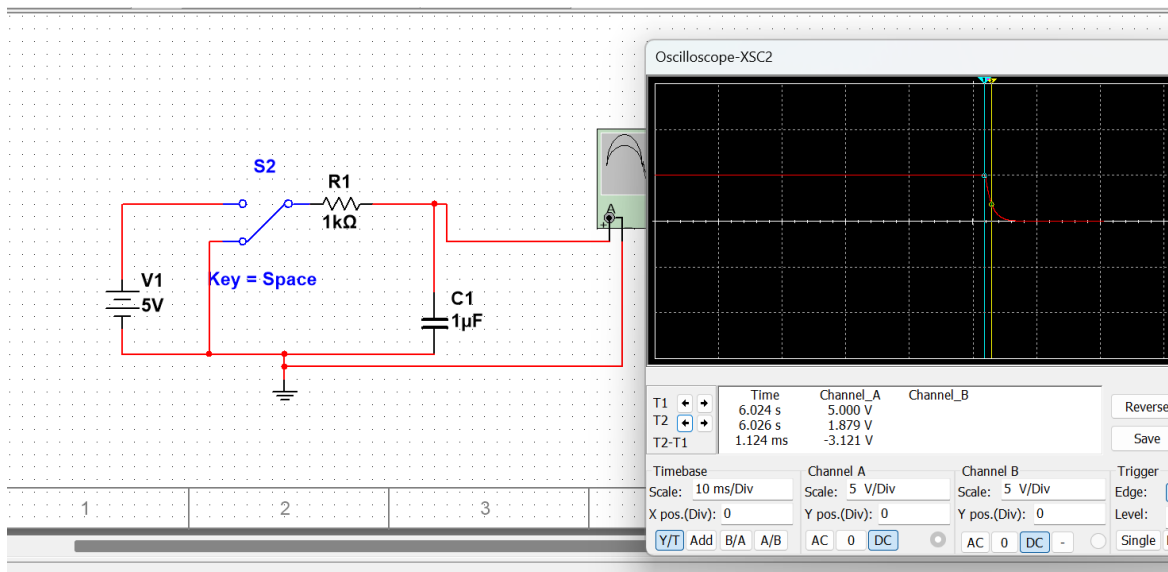
黄色的波形图为阶跃响应的关系图、紫色的波形图为冲激响应的关系图。（可以看出，阶跃响应符合零状态响应，而冲激响应的关系图符合阶跃响应的导数图像）

### 七、讨论、心得

通过本次实验，我明白了一阶 RC 电路电容电压随时间变化的规律，知道了时间常数的测定方法，了解了零状态响应、零输入响应，全响应的基本概念。明白了一阶方波响应的微分电路和积分电路特性以及电阻和电容的电压在不同频率时随时间变化的关系，也知道了冲激响应和阶跃响应及其关系。

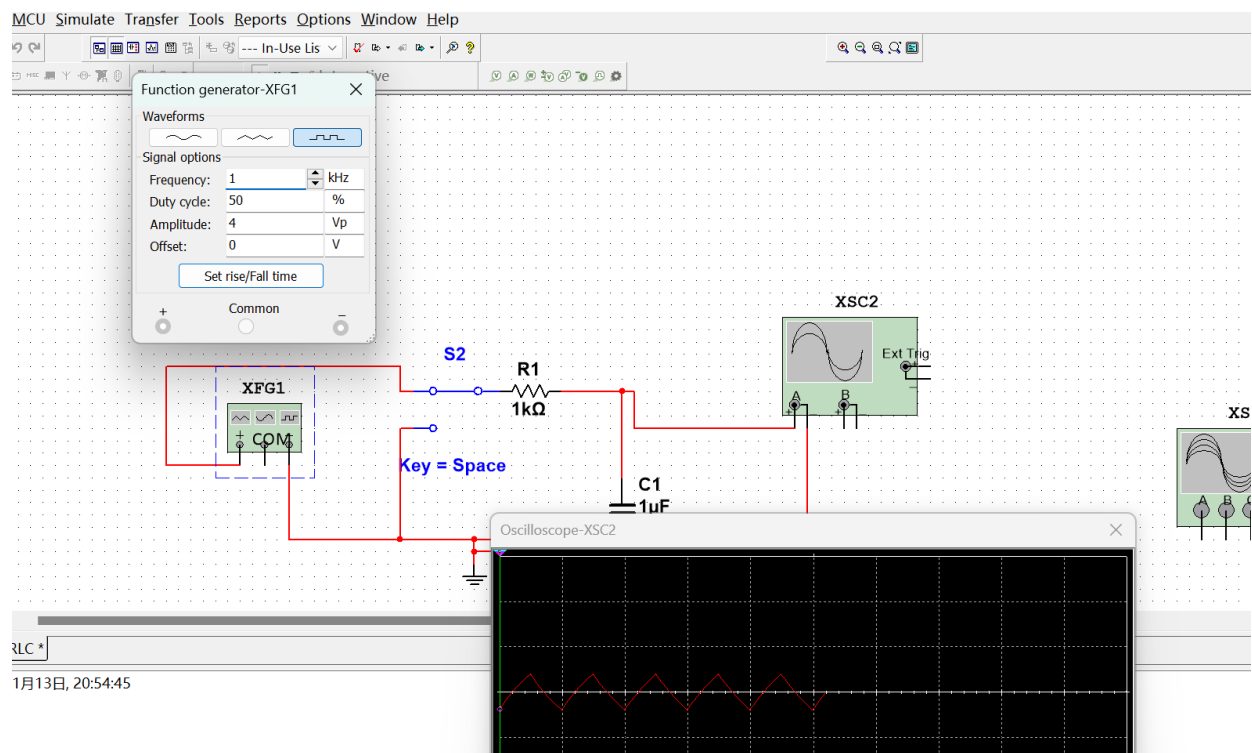
讨论：P250 思考题：微分电路是指输出和输入构成微分关系的电路，积分电路是输出电压和输入电压成积分关系的电路（输出电压近似三角波），微分信号的波形变化规律为电压从最大开始降低时，起初降低的速率较快，波形较尖锐，而之后趋于平缓。积分信号的波形近似为三角波。微积分电路在控制系统、信号处理和滤波应用中广泛使用，它们能够改变信号的频率响应和动态行为，从而满足特定的系统要求。

仿真：

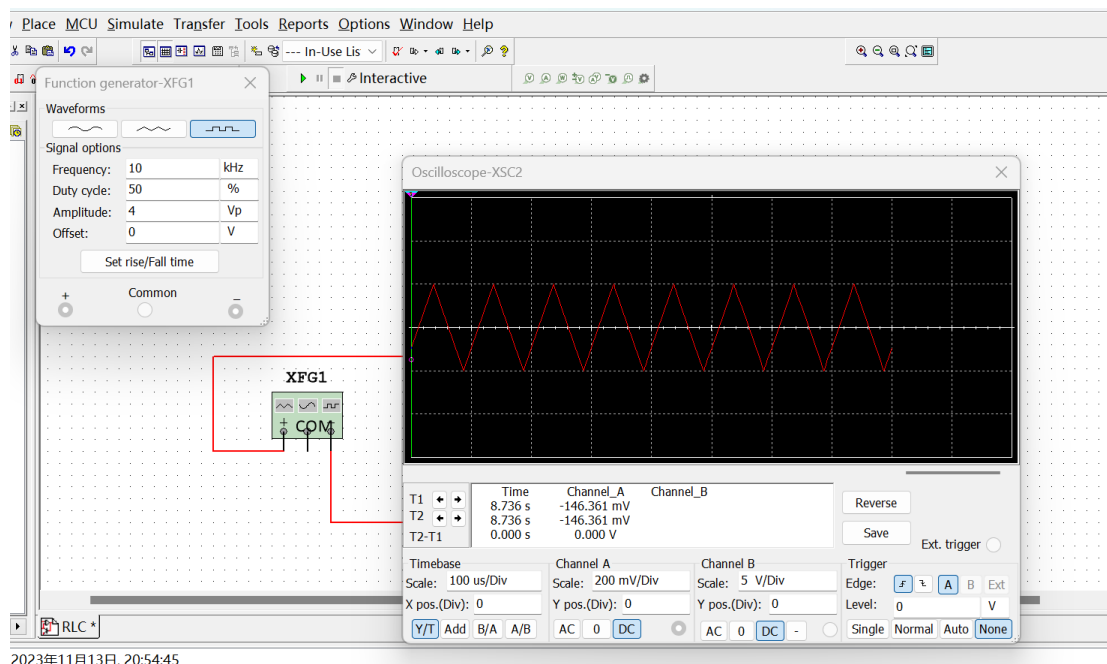


方波响应下电容两端的电压

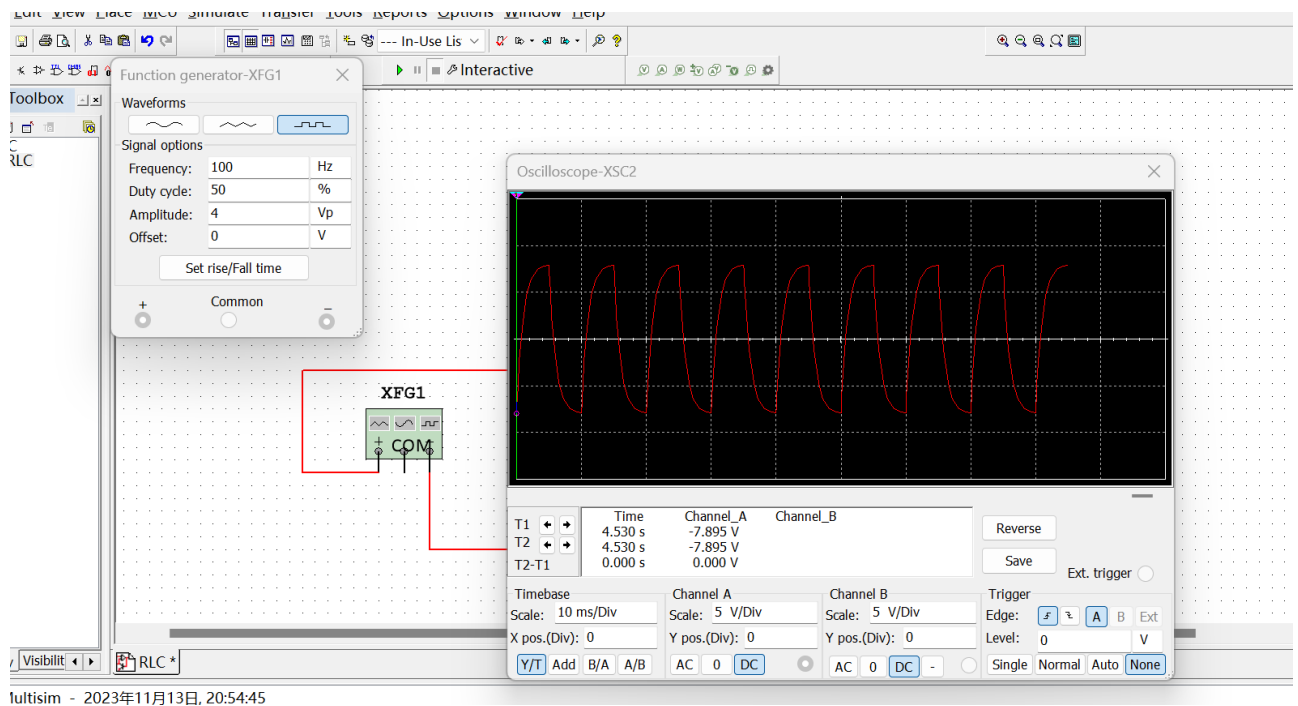
频率为 1000Hz:



频率为 10KHz:



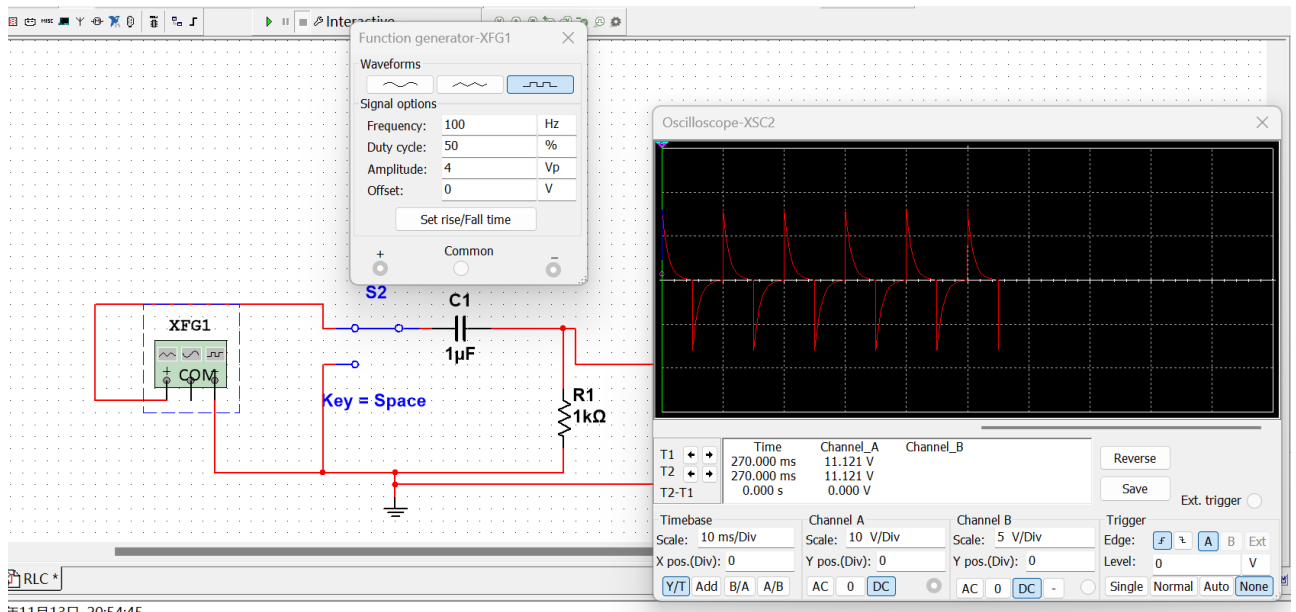
频率为 100Hz:



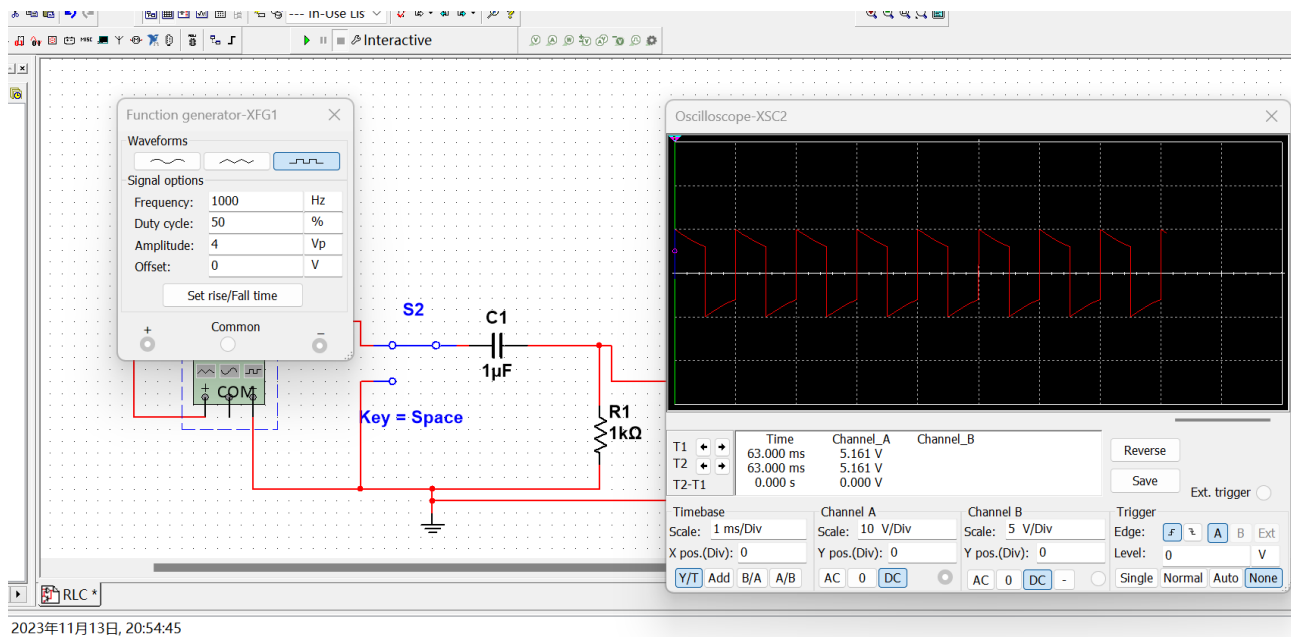
方波响应下电阻两端电压的变化图像

频率 100HZ:

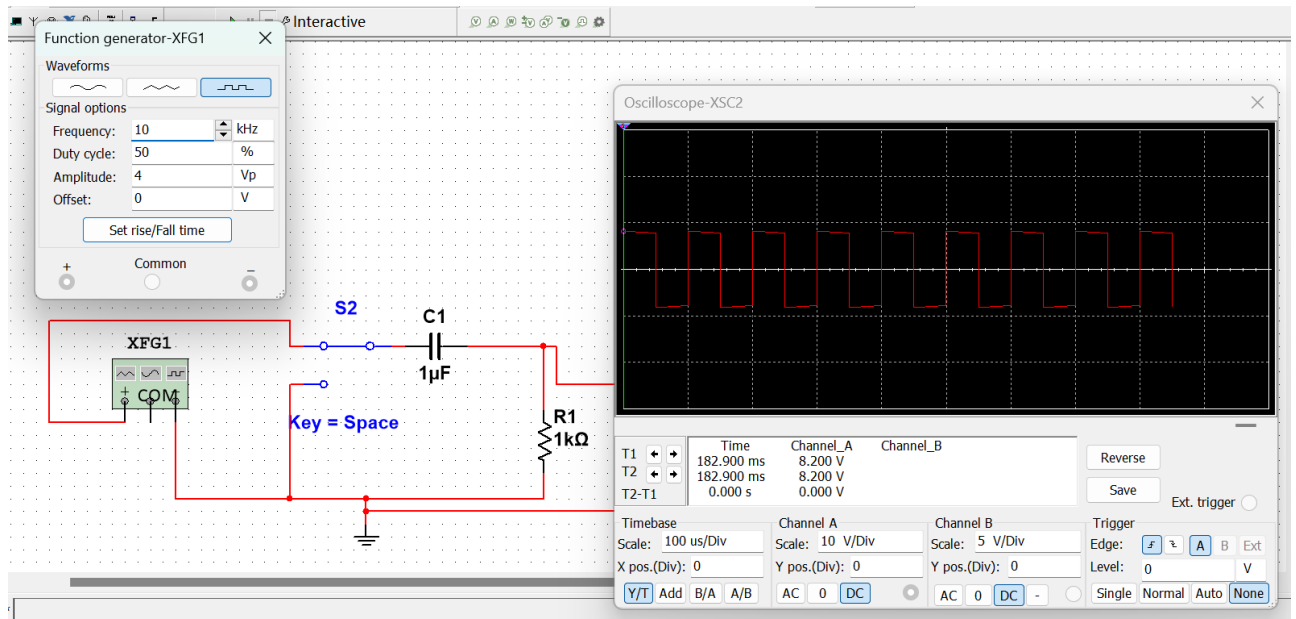




频率 1000HZ:



频率 10KHz:



RC 电路的冲激响应和阶跃响应:

