

东南大学电工电子实验中心 实验报告

课程名称： 电路实验

第 7 次实验

实验名称： 一阶电路时域响应的研究

院（系）： 自动化学院 专 业： 自动化

姓 名： 陈鲲龙 学 号： 08022311

实 验 室： 105 实验组别：

同组人员： 实验时间： 2023 年 12 月 19 日

评定成绩： 审阅教师：

一、实验目的

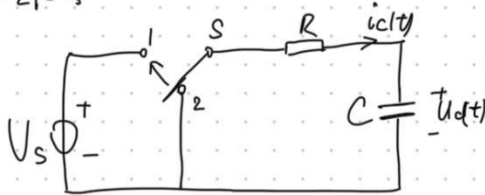
- (1) 研究一阶电路的方波响应；
- (2) 掌握一阶电路时间常数的测量方法；进一步掌握示波器的使用。
- (3) 学习运用电路实现微分、积分的方法，并采用实验的方法验证理论；
- (4) 学习理论设计、实验测量、对比总结的研究方法。

二、实验原理

1、复习一阶电路的时域响应：

一阶电路的时域响应：

① 零状态响应：所有储能元件的初始值为零的电路对外加激励的响应



$u_c(0_-) = 0$ 零状态

$t=0$ 时，开关 $2 \rightarrow 1$ 处，直流电源通过 R 向 C 充电。

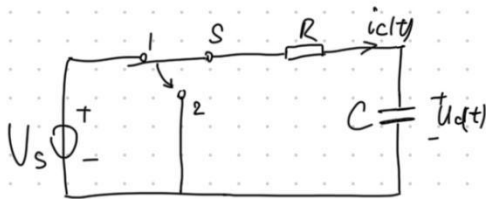
由 $u_c(t) + RC \frac{du_c(t)}{dt} = U_s \quad t \geq 0$ 及 $u_c(0_-) = 0$

$$\begin{cases} u_c(t) = U_s (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) & t \geq 0 \\ i_c(t) = \frac{U_s}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} & t \geq 0 \end{cases}$$

时间常数 $\tau = RC$

τ 越大，过渡时间越长

② 零输入响应：电路在无激励情况下，由储能元件初始状态引起的响应。



开关在 1：充电稳定后 $u_c(0_-) = U_0$ 将开关 $1 \rightarrow 2$

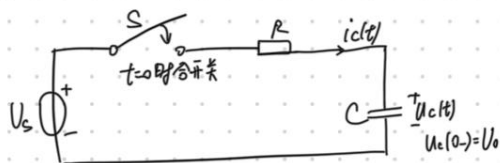
电容初始电压 $u_c(0_-)$ 经 R 放电

由 $u_c(t) + RC \frac{du_c(t)}{dt} = 0, \quad t \geq 0$ 及 $u_c(0_-) = U_0$

$$\begin{cases} u_c(t) = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}} & t \geq 0 \\ i_c(t) = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} & t \geq 0 \end{cases}$$

③ 全响应：电路在输入激励和初始状态共同作用下引起的响应为全响应。

③ 全响应：电路在输入激励和初始状态共同作用下引起的响应为全响应。



$$u_c(t) + RC \frac{du_c(t)}{dt} = U_s \quad \& \quad u_c(0-) = U_0$$

$$\therefore \begin{cases} u_c(t) = U_s (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) + u_c(0-) e^{-\frac{t}{\tau}} = [u_c(0-) - U_s] e^{-\frac{t}{\tau}} + U_s \quad t \geq 0 \\ i(t) = \frac{U_s}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} - \frac{u_c(0-)}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{U_s - u_c(0-)}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad t \geq 0 \end{cases}$$

零输入 零输入 自由分量 强制分量

全响应是零态分量及零输入分量之和。

也可视为自由分量、强制分量之和

↓ ↓
与 R、C 有关 仅与激励有关

④ 零状态电路对单位阶跃函数 $U(t)$ 的响应——阶跃响应

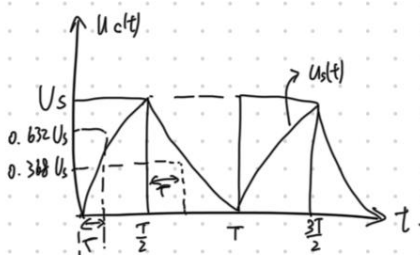
激励响应为阶跃 \sim 及延时阶跃 \sim 的叠加

⑤ 方波响应及时间常数 τ 测量

一系列阶跃信号及延时阶跃信号的叠加

幅值为 U_s 例： $u_s(t) = U_s U(t) - U_s U(t - \frac{T}{2}) + U_s U(t - T) - U_s U(t - \frac{3T}{2}) + \dots$

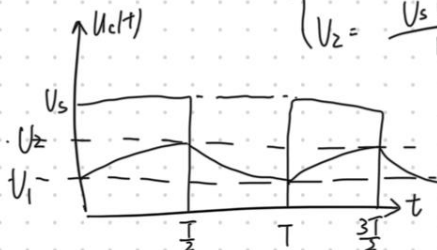
$$1^\circ \quad \frac{T}{2} \geq 5\tau \text{ 时: } u_c(t) = U_s (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) U(t) - U_s (1 - e^{-\frac{t-T}{\tau}}) U(t - \frac{T}{2}) = \begin{cases} U_s (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) & 0 \leq t \leq \frac{T}{2} \\ U_s e^{-\frac{t-T}{\tau}} & \frac{T}{2} \leq t \leq T \end{cases}$$



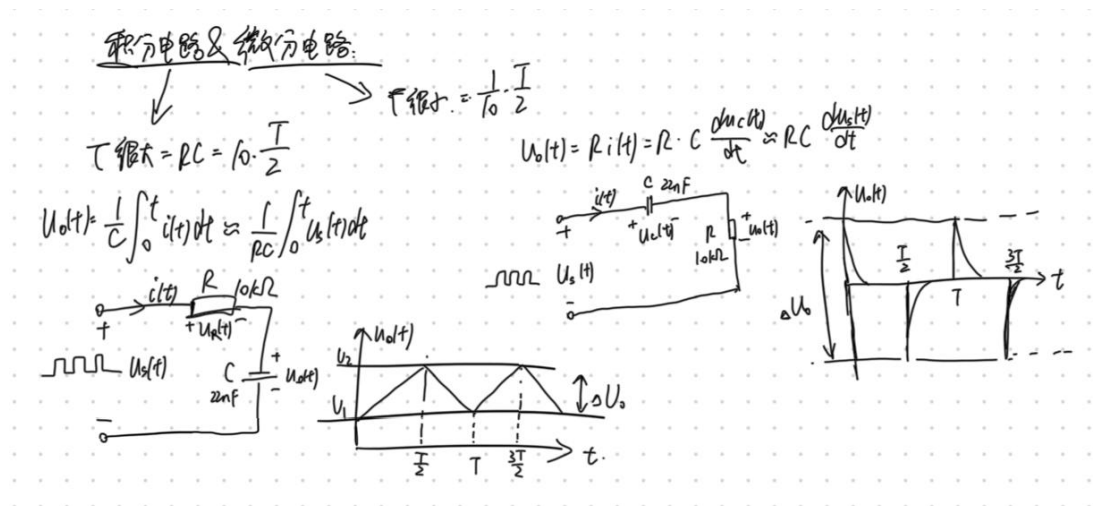
可测出 τ 值

2° $\frac{T}{2} \leq 5\tau$ 时

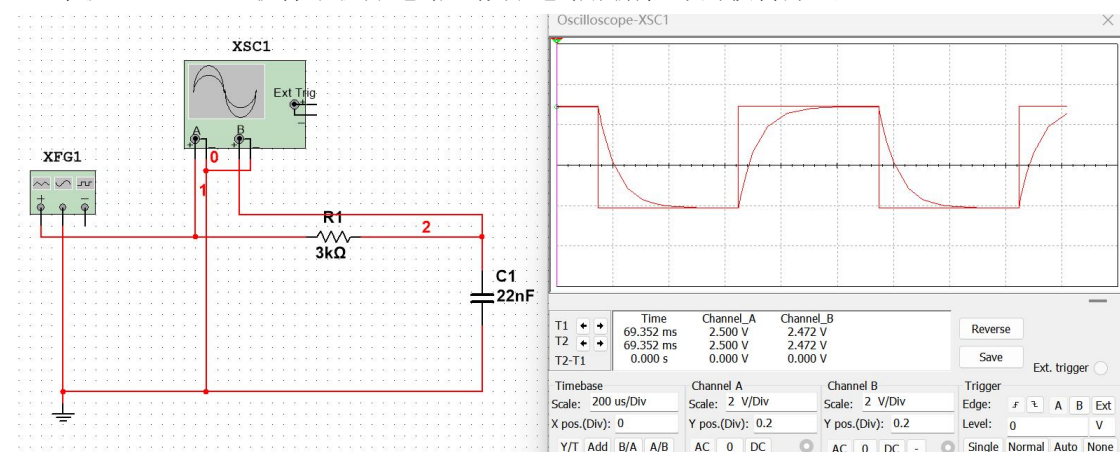
$$\begin{cases} U_1 = \frac{U_s (1 - e^{-\frac{T}{2\tau}}) e^{-\frac{T}{2\tau}}}{1 - e^{-\frac{T}{\tau}}} \\ U_2 = \frac{U_s (1 - e^{-\frac{T}{\tau}})}{1 - e^{-\frac{T}{\tau}}} \end{cases}$$



2、复习积分电路和微分电路：



3、掌握 Multisim 软件中积分电路、微分电路激励信号的获得方法：



4、确定实验内容 1 电路电阻取值：

$$\tau = 0.066 \text{ ms} = RC$$

$$\therefore R = \frac{0.066 \times 10^{-3}}{22 \times 10^{-9}} = 3 \times 10^3 = 3 \text{ k}\Omega$$

5、按照实验内容 2 参数要求，结合自身已有元件，设计积分、微分电路。并用 Multisim 软件进行仿真，预先测量记录相应波形（激励与响应同时观察）及数据值：见后文实验内容部分。

三、实验内容

四、实验内容

1、研究 RC 电路的方波响应

实验电路如图 8 所示：要求电路时间常数 $\tau=0.066\text{ms}$ 。确定电路 R 参数。

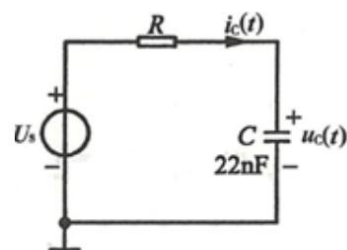


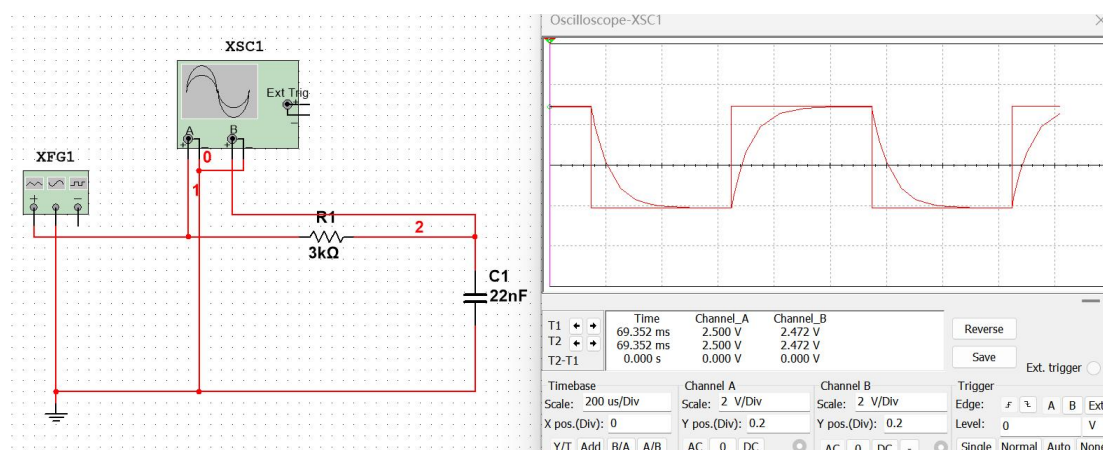
图 8 方波响应电路

(1) 激励信号取频率为 1kHz ，高电平电压为 5V ，低电平电压为 0V 的方波。用示波器观察测量并记录方波响应 $u_c(t)$ 和 $i_c(t)$ 波形，解释观察到的 $u_c(t)$ 波形现象。

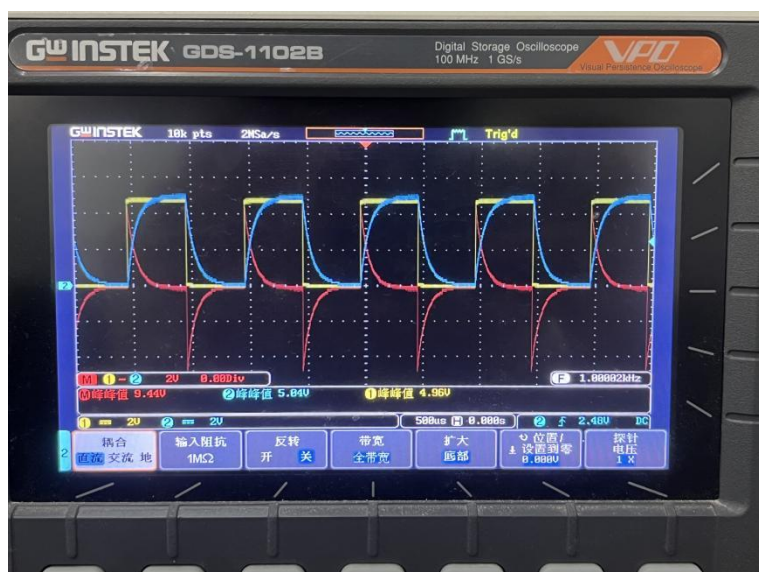
(2) 测出电路实际时间常数 τ 。

(3) 将 R 值增至 10 倍值，输入激励信号不变，观察响应 $u_c(t)$ 波形现象做如何变化，并作记录分析。

(4) 要能保持 (1) 中响应 $u_c(t)$ 波形现象，如何调整输入信号？观察记录调整后的 $u_c(t)$ 波形。



(1) 解释波形：低电平转入高电平，电容充电，零状态响应，上升减缓；高电平转入低电平，电容放电，零输入响应，下降减缓。



The image shows a GW Instek GDS-1102B digital storage oscilloscope. The screen displays a waveform with a blue horizontal line and a red curve. The top of the screen shows 'GW INSTEK GDS-1102B' and 'Digital Storage Oscilloscope 100 MHz 1 GS/s'. The bottom of the screen shows various settings like '18k pts', '200ns', and '1.000ns/div'. The oscilloscope has a black front panel with several buttons and knobs on the right side.

The circuit diagram on the left shows an AC voltage source (XFG1) connected in series with a 30kΩ resistor (R1) and a 22nF capacitor (C1). The output voltage across the capacitor is measured at point 2. An oscilloscope (XSC1) is connected to the circuit, with its input terminals A and B connected to the points before and after the capacitor, respectively. The oscilloscope screen on the right displays the resulting step response waveform, showing a sharp rise in voltage followed by an exponential decay towards a steady-state value.

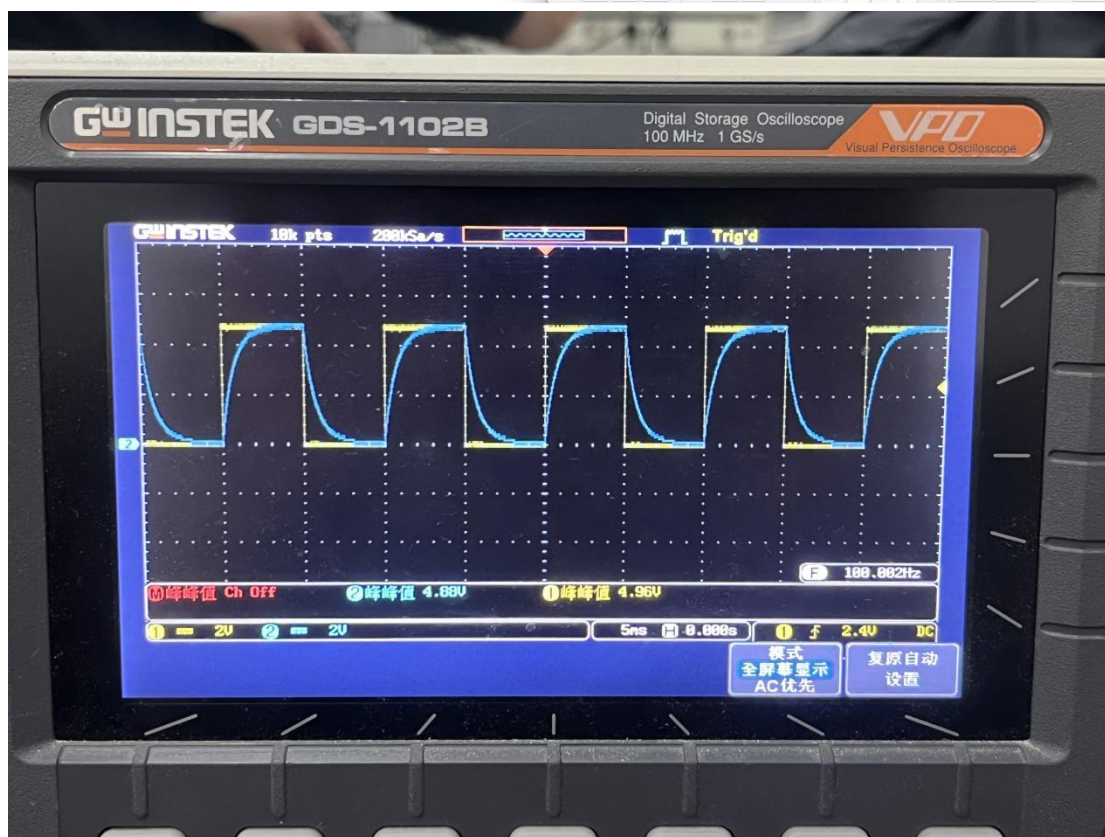
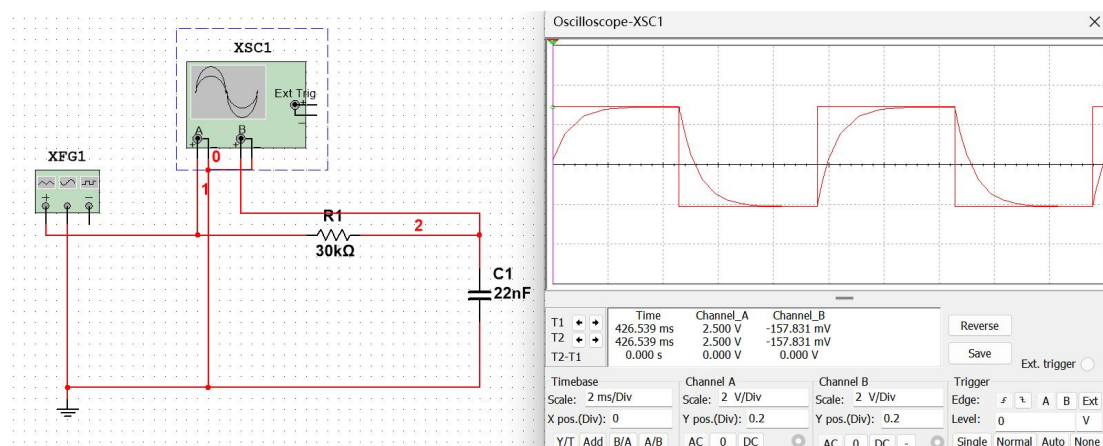
The image shows a GW INSTEK GDS-1102B Digital Storage Oscilloscope. The top panel features the brand name 'GW INSTEK', the model 'GDS-1102B', and technical specifications: 'Digital Storage Oscilloscope', '100 MHz', and '1 GS/s'. A 'VPO' logo is also present. The screen displays a yellow square wave and a blue sine wave. The screen's top status bar shows '10k pts', '200ns', and 'Trig'd'. The bottom of the screen shows three measurement readouts: '1.76V', '0.00ns', and '2.40'. The device has a black front panel with several buttons and a large screen.

(4) 将 f 变为原来的 $1/10$

分析：要保持一中响应的 $U_c(t)$ ，在 (3) R 变为原来的 10 倍后，仍要保持 (1) 中的 U_c 。原来的 $\tau = 0.066\text{ms}$ ，原来的 T 为 $1/1000 = 1\text{ms}$ ， $T/2 = 0.5\text{ms}$ ， τ 接近为 $T/2$ 的十分之一，所以在在一个周期里一定可以完成充电，放电。

而当 R 变为原来的 10 倍后， τ 也变为原来的 10 倍，为 0.66ms ，这时已经大于 $T/2$ ，在半个周期内不能完成充电，在整个周期内不能完成充放电。所以变成了 (3) 中所示的波形图，为连续的折线。

所以只需保持 τ 远小于 $T/2$ 即可，将 T 扩大为原来 10 倍，即 f 变为原来的 $1/10$ 。



2、积分电路和微分电路

设计并搭试积分、微分电路， $\tau = 0.2\text{ms}$ ，选取合适的输入方波频率，用示波器观察记录各输出电压 u_o 波形，测量 Δu_o 、 U_S 并计算 $\frac{\Delta u_o}{U_S}$ 比值。与 Multisim 软件仿真结果对比分析。

注意测量方法：当交流信号叠加直流信号，交流信号很小，直流信号相对于交流信号较大时，要精确测量交流信号，示波器通道耦合方式须用交流耦合。

$$R = 10\text{k}\Omega$$

$$C = 22\text{nF}$$

$$\therefore RC = 0.22\text{ms} \approx 0.2\text{ms} = \tau$$

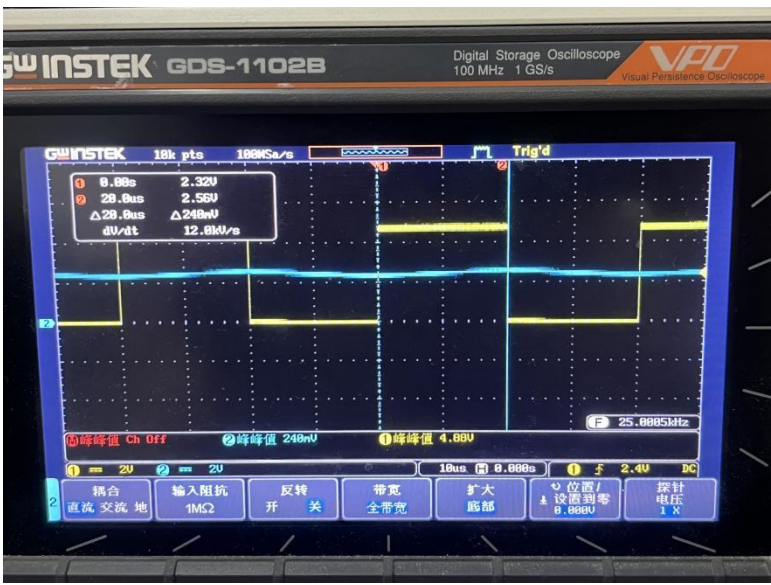
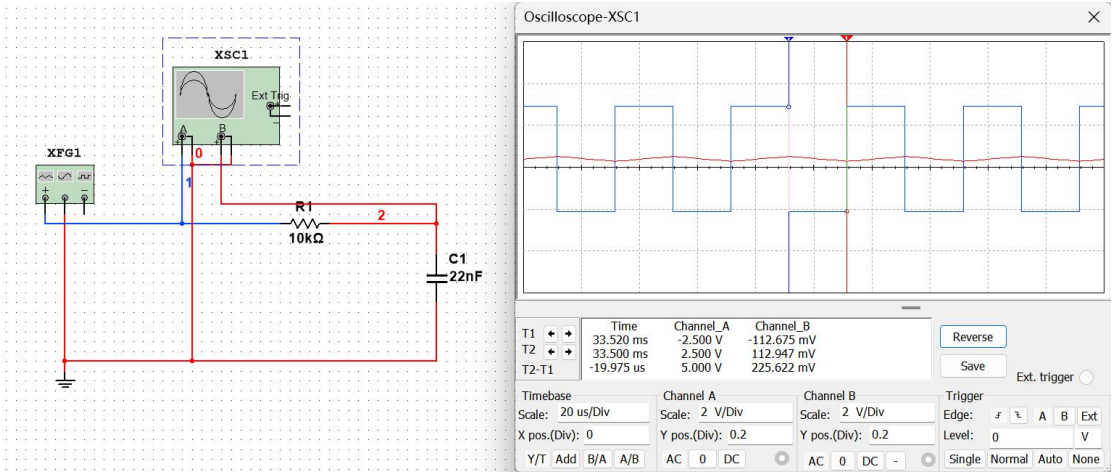
积分: $\tau = 0.2\text{ms} = 10 \cdot \frac{T}{2}$

$$\therefore T = 4 \times 10^{-5}\text{s} \quad \therefore f = \frac{1}{T} = 25\text{kHz}$$

微分: $\tau = 0.2\text{ms} = \frac{1}{10} \cdot \frac{T}{2}$

$$T = 4 \times 10^{-3}\text{s} \quad \therefore f = \frac{1}{T} = 250\text{Hz}$$

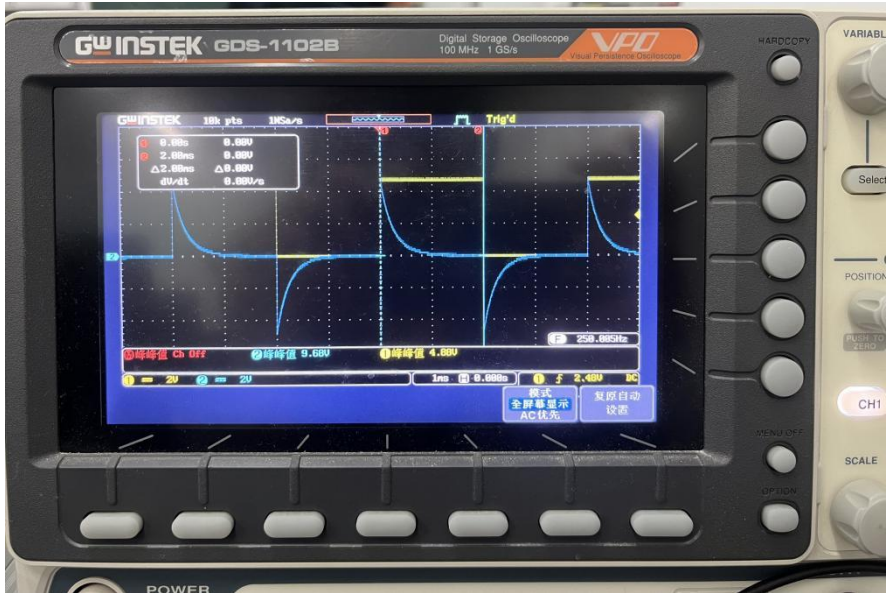
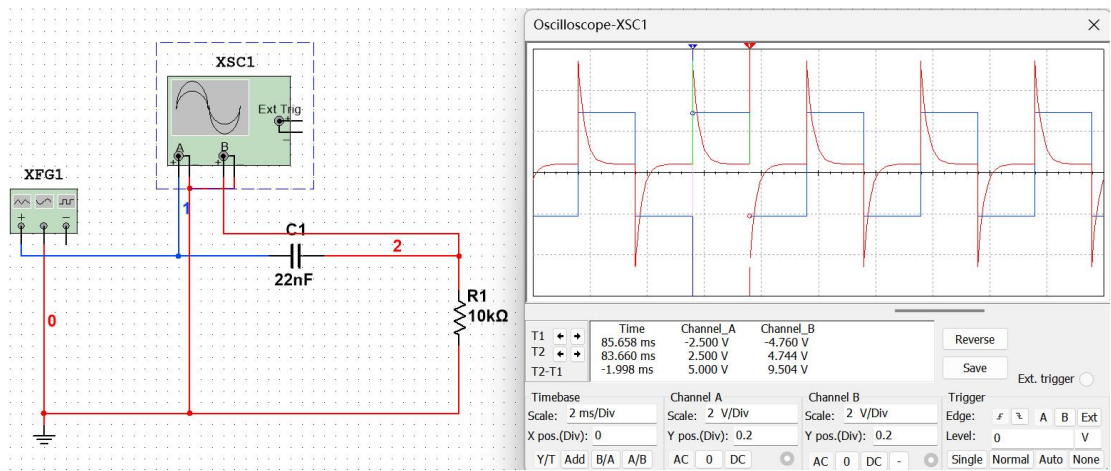
积分电路：



积分	$\Delta u_0(\text{mV})$	$U_s(\text{V})$	$\Delta u_0/U_s$
仿真	225.622	5	0.045
实测	230	4.88	0.047

注：实测时信号源耦合方式要调到交流，拉大波形，用 cursor 对齐三角波上下最大最小值之差才是所测的 $\Delta u_0(\text{mV})$ ，而不是对齐尖的毛刺，这样一来测量更精确，误差小了。

微分电路：



微分	$\Delta u_0(V)$	$U_s(V)$	$\Delta u_0/U_s$
仿真	9.504	5	1.9008
实测	9.68	4.88	1.9836

四、实验使用仪器设备（名称、型号、规格、编号、使用状况）

SDG1032X 信号源

SDG3055X-E 万用表

GDS1102B 示波器

Multisim 软件

五、实验总结

（实验出现的问题及解决方法、思考题（如有）、收获体会等）

- （1）要注意信号源高低电平设置 0-5V, 让波形在示波器中心, 选择直流耦合并将波形居中, 选择相同的量度, 才能看到理想的波形。
- （2）在测时间常数时要将波形拉宽, 这样能减小误差。
- （3）在测量积分电路电压波形时, 波形太扁不便于测量, 这个时候切换到交流耦合, 将波形拉大, 并用 cursor 标定最大最小值, 减小误差。
- （4）使用示波器时一定要注意与电源共地, 这样才能获得稳定的波形。
- （5）发现波形与预想的不一樣, 先检查频率是否忘记修改。
- （6）导致误差的可能原因: 1, 器件实测值和标称值不一致, 比如实物搭接电路时, 我们需要用万用表找所需阻值的电阻, 这个时候很明显能发现实际阻值和标称值有不小的误差; 2, 信号源设定 5V 但输出从示波器上来看可能只有 4.88V; 3, 在示波器上尽管我们用 cursor 进行标定, 但肉眼观测以及仪器精度有限, 难免存在误差。

六、参考资料（预习、实验中参考阅读的资料）

- [1] 李彩萍, 李乐生. 方波激励下一阶 RC 电路响应的研究[J]. 数字技术与应用, 2011(11):106-108. DOI:10.19695/j.cnki.cn12-1369.2011.11.073.
- [2] 李俊. 正弦激励下一阶电路全响应的时域分析法[J]. 科协论坛(下半月), 2011(03):84-85.
- [3] 朱桂萍, 于歆杰, 陆文娟. 一阶 RC 电路时域分析和频域分析的对比[J]. 电气电子教学学报, 2007(03):29-31+34.

《电路基础》第 6 版