

实验名称：电压比较器 姓名：严旭铨 学号：3220101731 专业：电气工程及其自动化
姓名：严旭铨
学号：3220101731
日期：2024.3.12
地点：紫金港东三 406

浙江大学实验报告

课程名称：模拟电子技术实验 指导老师：张伟 成绩：
实验名称：电压比较器 实验类型：模电实验 同组学生姓名：褚玘铖
一、实验目的和要求（必填） 二、实验内容和原理（必填）
三、主要仪器设备（必填） 四、操作方法和实验步骤
五、实验数据记录和处理 六、实验结果与分析（必填）
七、讨论、心得

实验 3 电压比较器

1. 实验目的

- 了解电压比较器与运算放大器的性能区别；
- 掌握电压比较器的结构及特点；
- 掌握电压比较器电压传输特性的测试方法；
- 学习比较器在电路设计中的应用。

2. 实验要求

- 设计过零电压比较器电路，反相输入端接地，同相输入端接 1kHz、1V 正弦波信号，测量并绘制输出波形和电压传输特性曲线。
- 设计单门限电压比较器电路，同相输入端接 1V 直流电压，反相输入端接 1kHz、5V 正弦波信号，测量并绘制输出波形和电压传输特性曲线。
- 设计反相输入（下行）滞回电压比较器，反相输入端接 1kHz、1V 正弦波信号，测量并绘制输出波形和电压传输特性曲线。
- 设计窗口电压比较器电路，输入为 1kHz、5V 三角波信号，设置参考电压 V_{ref1} 为 1V 直流电压，参考电压 V_{ref2} 为 4V 直流电压，测量并绘制输出波形和电压传输特性曲线。
- 设计三态电压比较器电路，输入为 V_{in} 为 1kHz、5V 三角波信号，设置参考电压 V_{ref1} 为 -2.5V 直流电压，参考电压 V_{ref2} 为 +2.5V 直流电压，当输入 $V_{in} < V_{ref1}$ 时，输出 $V_{out} = V_{OL}$ ；当输入 $V_{ref2} > V_{in} > V_{ref1}$ 时，输出 $V_{out} = 0V$ ； $V_{in} > V_{ref2}$ 时，输出 $V_{out} = V_{OH}$ 。

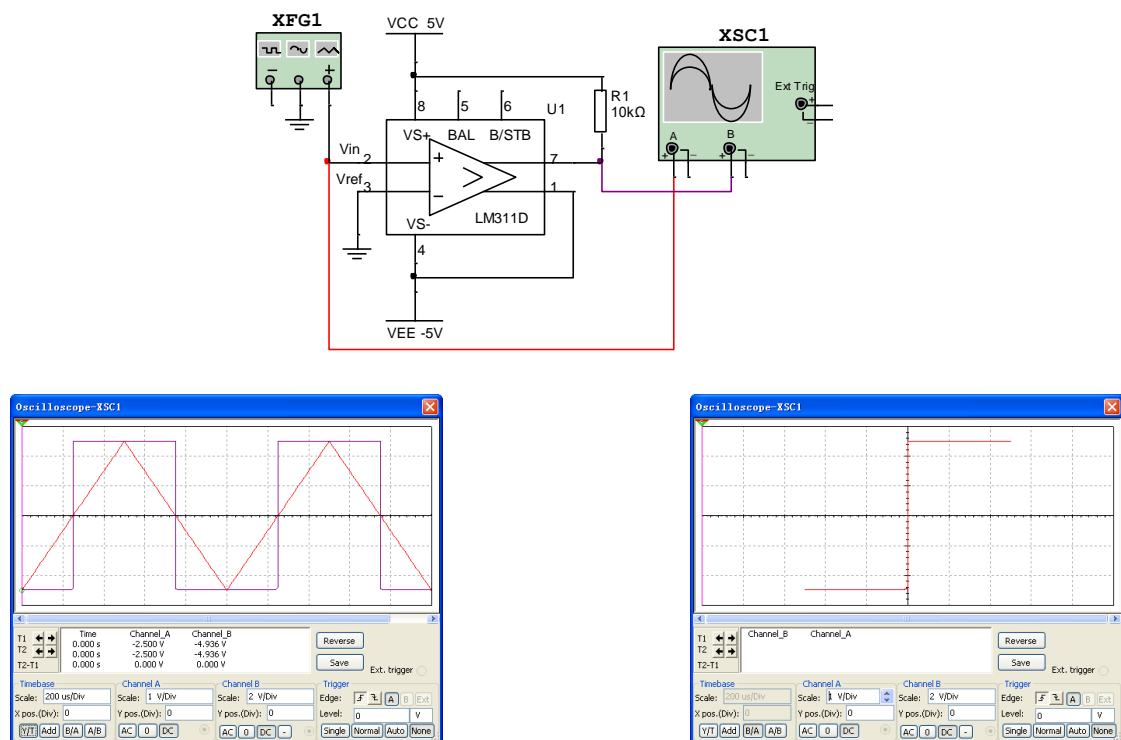
3. 实验内容和步骤

3.1. 过零电压比较器

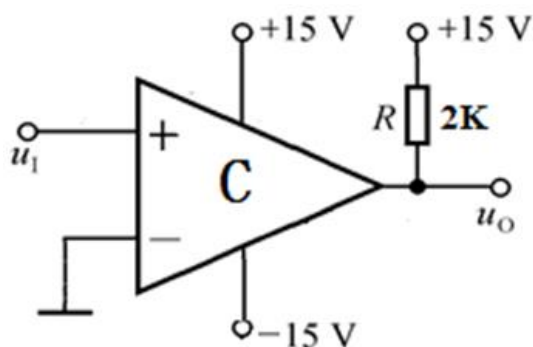
3.1.1. 实验原理

过零电压比较器是电压比较电路的基本结构，它可将交流信号转化为同频率的双极性矩形波。常用于测量正弦波的频率相位等。由 LM311 电压比较器构成的过零电压比较器电路如图 8-9-8 所示。输入输出波形如图所示，过零电压比较器的传输特性如图 8-9-10 所示。过零电压比较器的输入信号 V_{in} 接比较器的同相输入端，反相输入端接地 0V。当输入电压 $V_{in} \leq V_{out}$ 时，输出 $V_{out} = V_{OL}$ ；反之，当输入电压 $V_{in} \geq V_{out}$ 时，输出 $V_{out} = V_{OH}$ 。

实验名称：____电压比较器____ 姓名：____严旭铨____ 学号：____3220101731____



3.1.2. 实验步骤



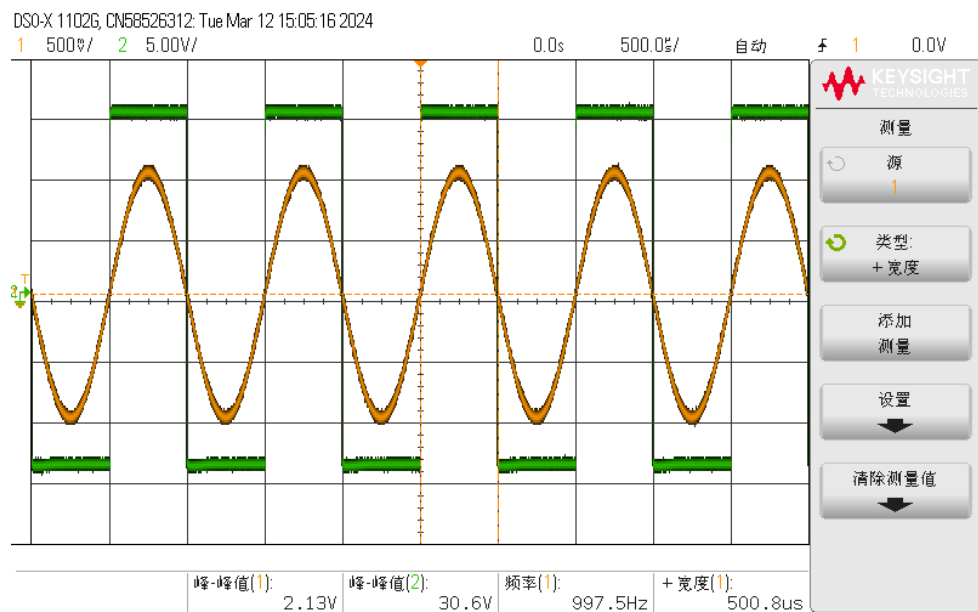
按上图连接电路，比较器先选用 LM393，同相端接 $f = 1\text{kHz}$, $V_{pp} = 2\text{V}$ 的正弦波。在示波器上观察波形并测量。之后换 LM358，去掉上拉电阻 R 后重复测量。

3.1.3. 实验数据

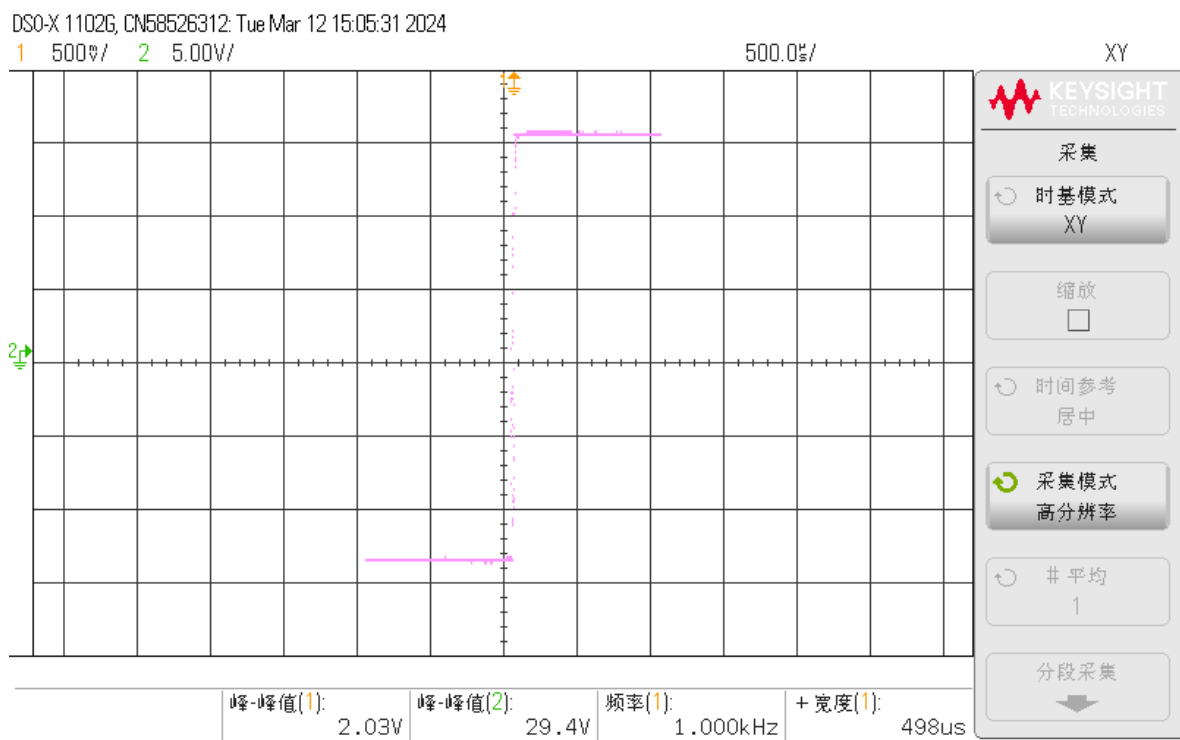
LM393:

输出波形:

实验名称: 电压比较器 姓名: 严旭铨 学号: 3220101731



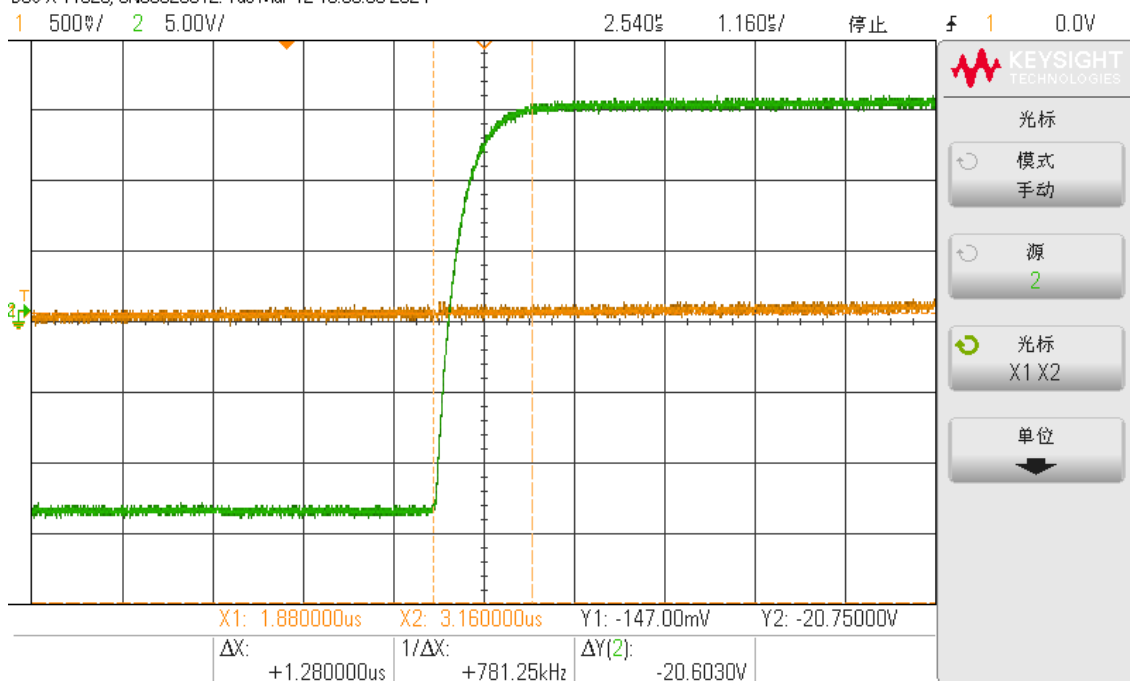
传输特性



实验名称：电压比较器 姓名：严旭铨 学号：3220101731

方波上升时间

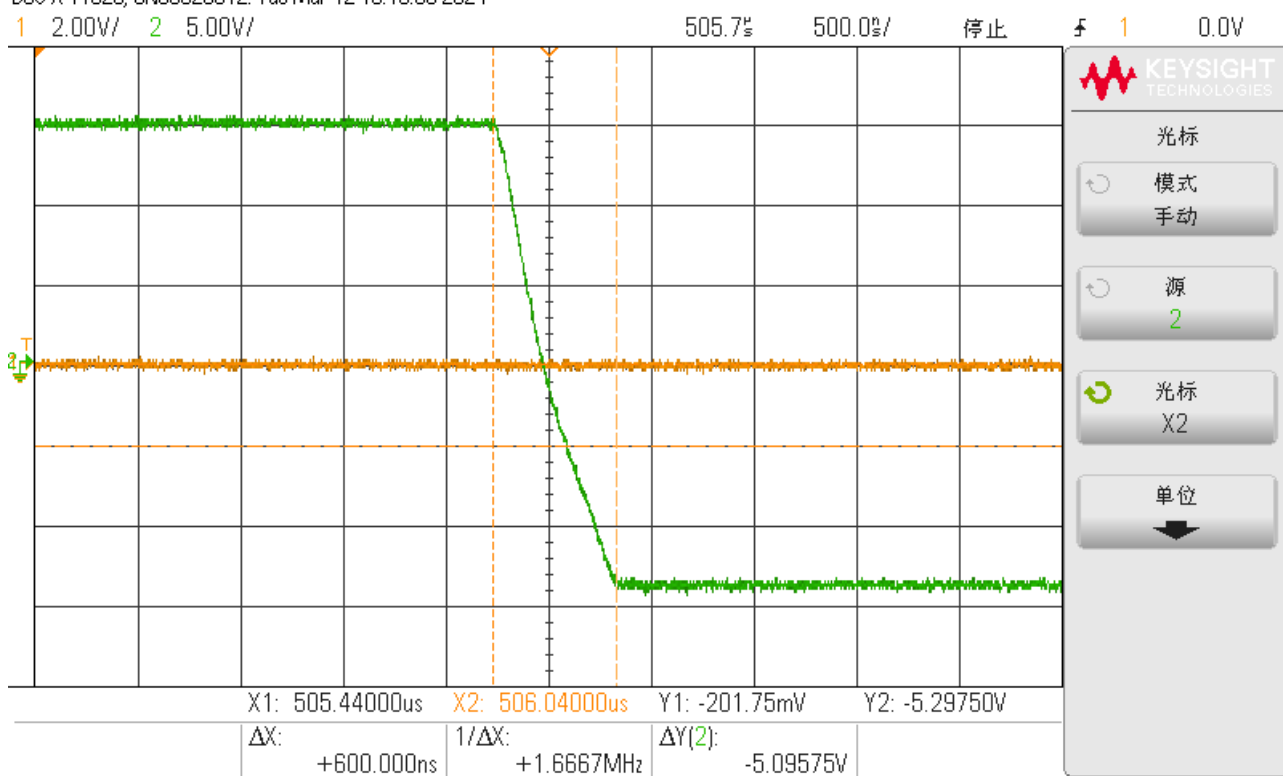
DSO-X 1102G, CN58526312: Tue Mar 12 15:08:53 2024



$$\Delta t_{\text{上升}} = 1.28\mu\text{s}$$

方波下降时间

DSO-X 1102G, CN58526312: Tue Mar 12 15:10:50 2024



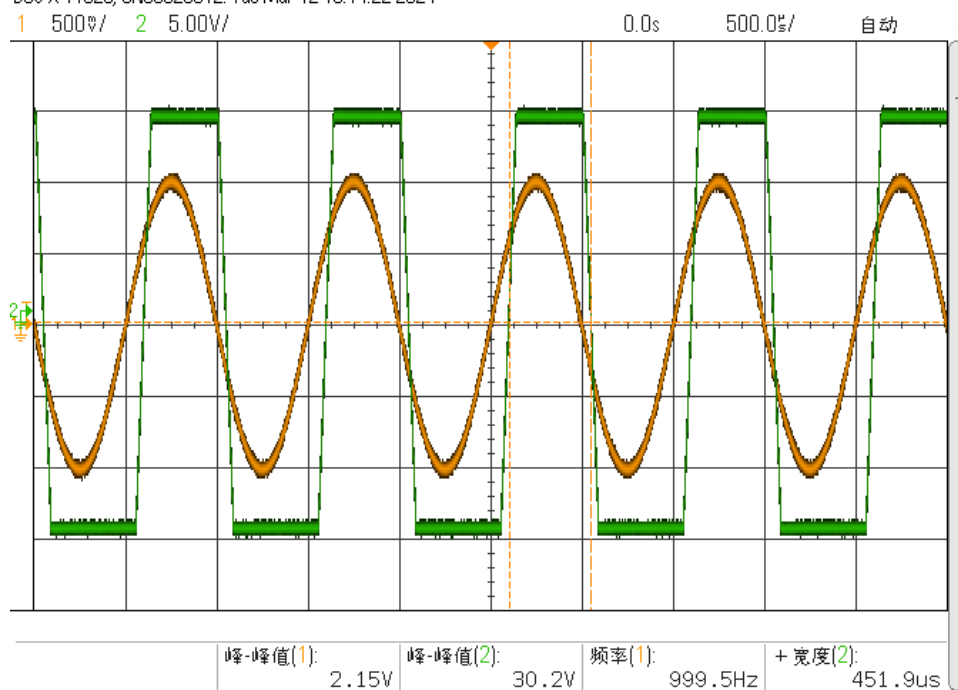
$$\Delta t_{\text{下降}} = 600\text{ns}$$

实验名称：电压比较器 姓名：严旭铨 学号：3220101731

LM358

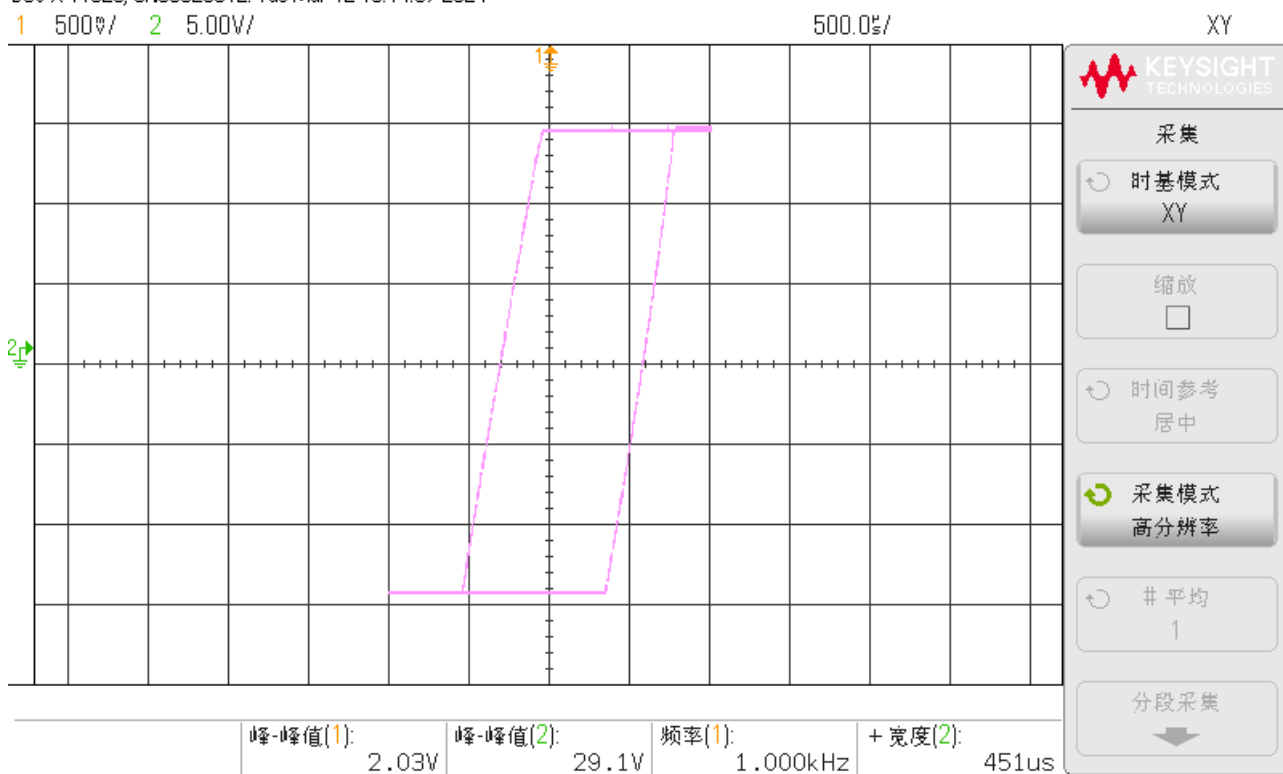
输出波形

DSO-X 1102G, CN58526312: Tue Mar 12 15:14:22 2024

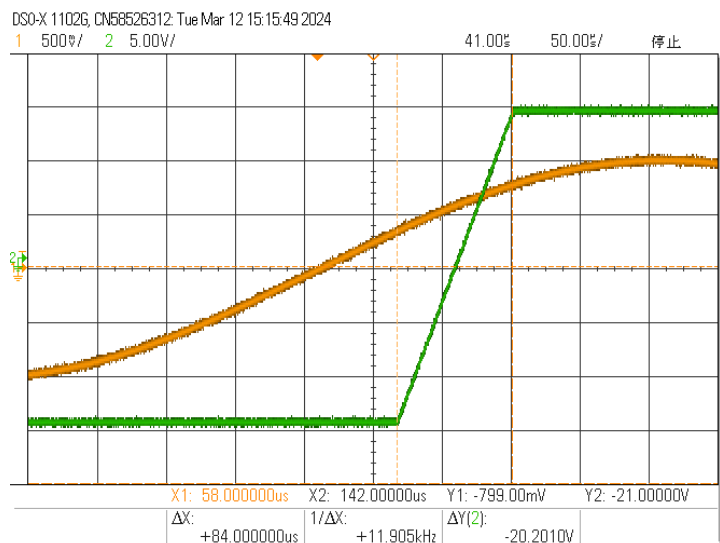


传输特性

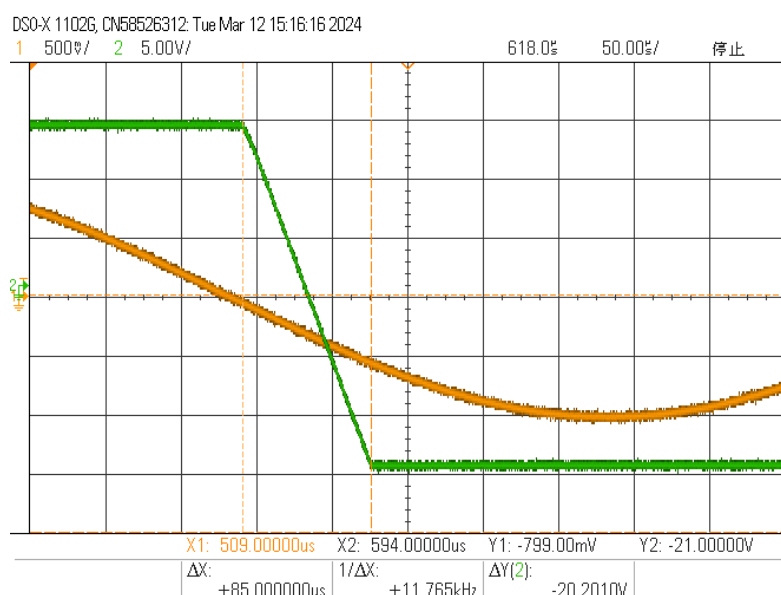
DSO-X 1102G, CN58526312: Tue Mar 12 15:14:57 2024



方波上升/下降时间



$$\Delta t_{\text{上升}} = 84\mu\text{s}$$



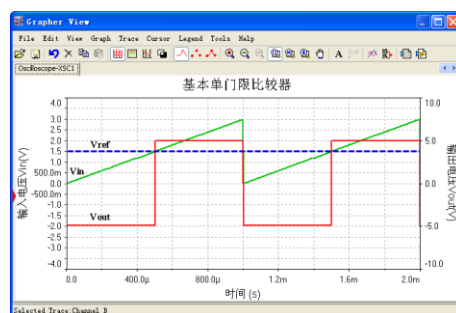
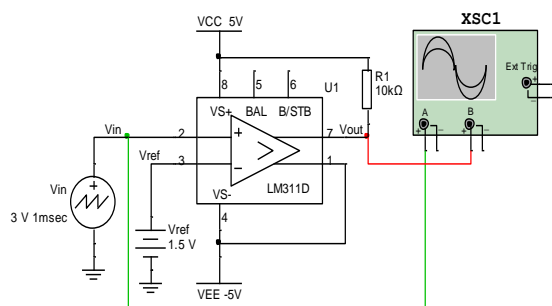
$$\Delta t_{\text{下降}} = 85\mu\text{s}$$

3.2. 单门限电压比较器

3.2.1. 实验原理

由 LM311 电压比较器构成的基本单门限比较器电路如图 8-9-11 所示，基本单门限比较器输入输出波形如图 8-9-12 所示。单门限比较器的输入信号 V_{in} 接比较器的同相输入端，反相输入端接参考电压（门限电平） V_{ref} 。当输入电压 $V_{in} > V_{ref}$ 时，输出为高电平 V_{OH} ；当输入电压 $V_{in} < V_{ref}$ 时，输出为低电平 V_{OL} 。

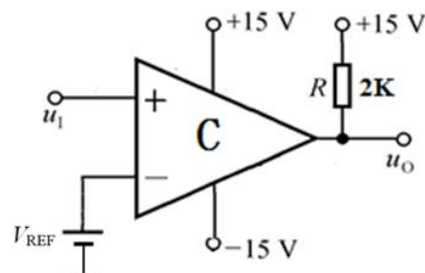
单门限比较器在设计时需注意的是输入阻抗要尽量低，另外，由于此电路是以开环增益方式工作，在输出翻转变期间若混入噪声，极易引起电路的误动作，在实验电路中需特别注意。



3.2.2. 实验步骤

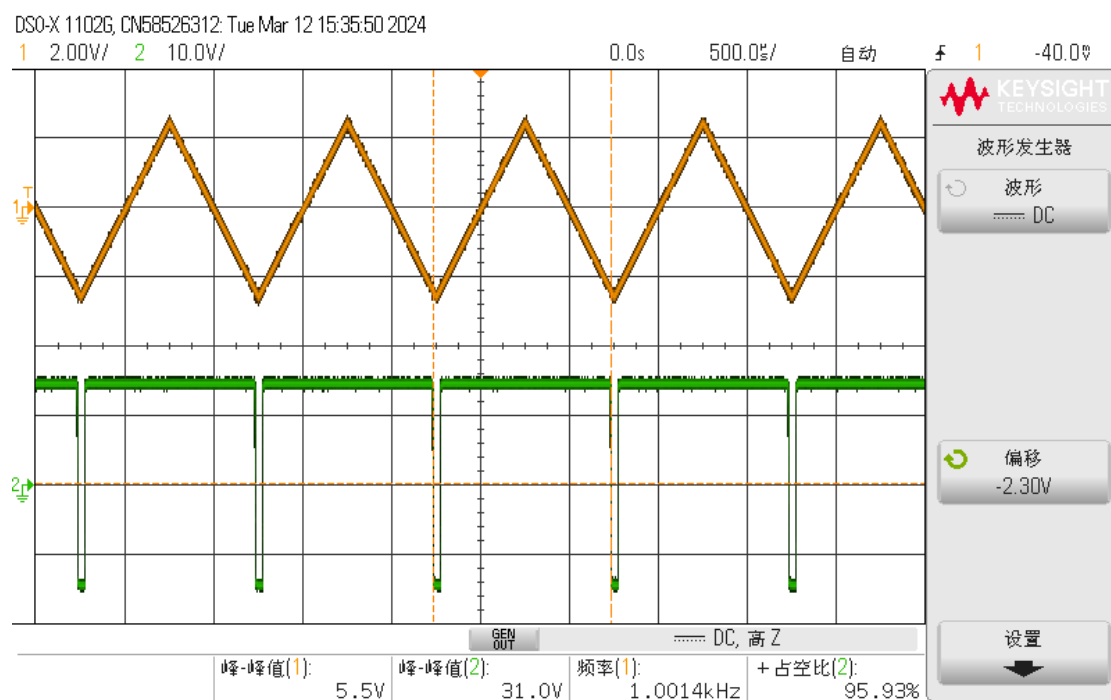
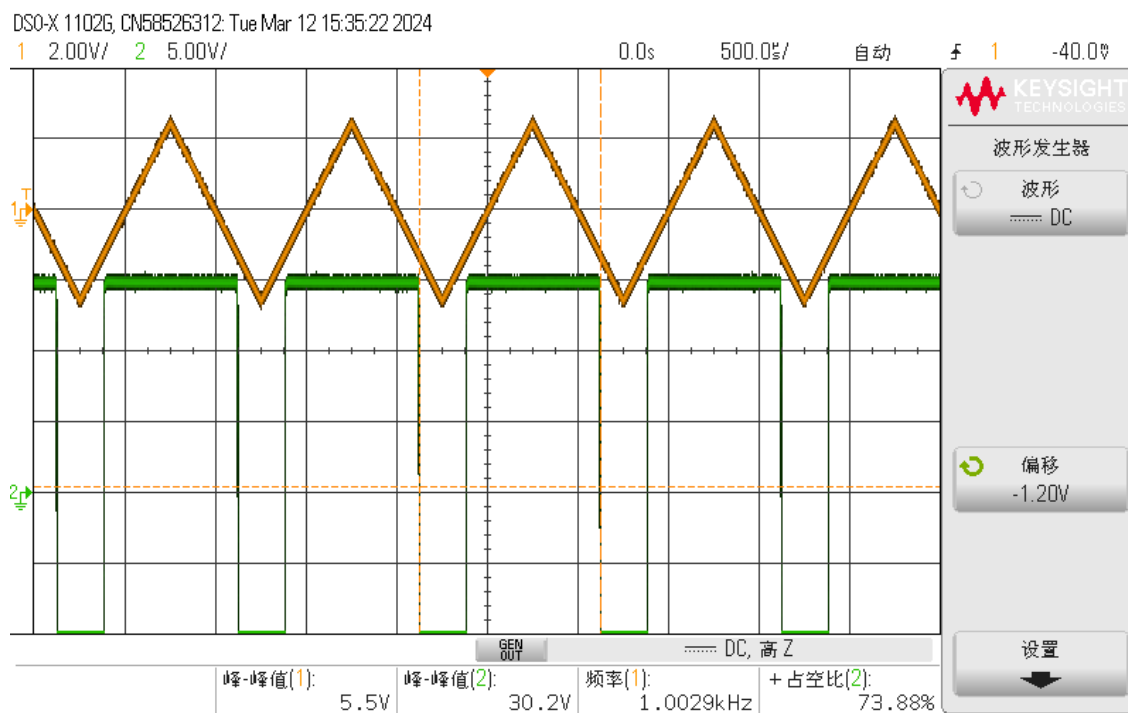
如右图所示连接实验电路，同相端输入 $f = 1\text{kHz}$

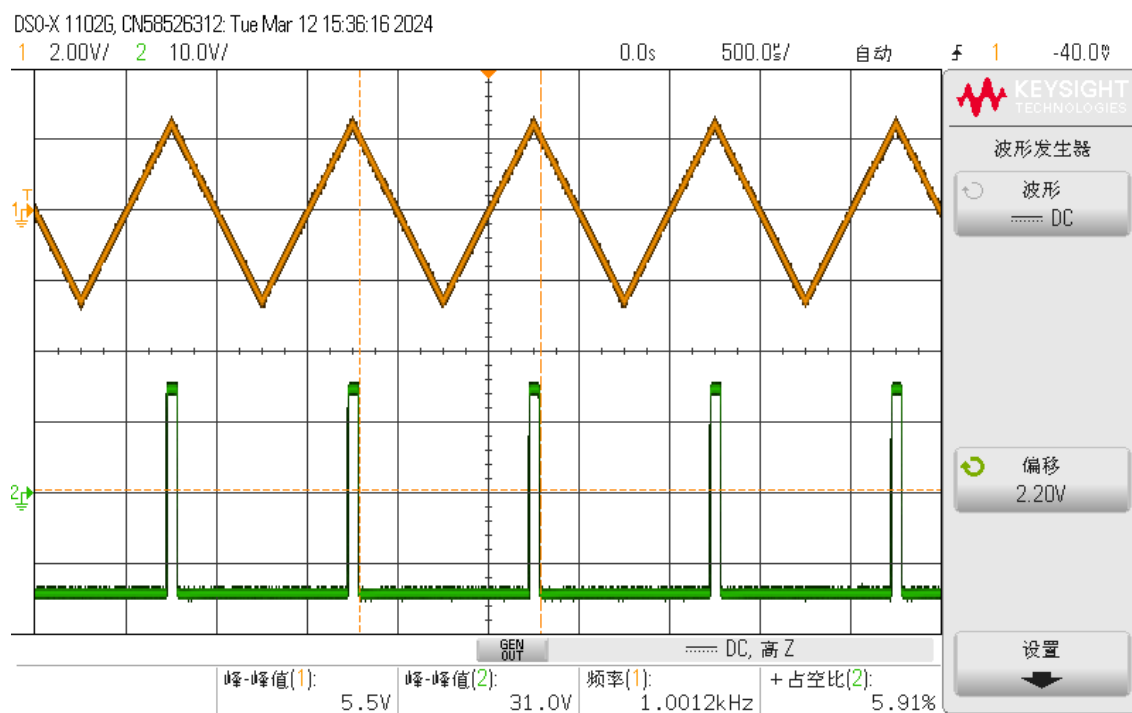
$V_{pp} = 5\text{V}$ 的三角波，反向端 V_{REF} 由示波器输出可调直流信号，在 $\pm 3\text{V}$ 以内改变输出直流电压的值，观察输出波形方波占空比的变化。



实验名称：____电压比较器____ 姓名：____严旭铨____ 学号：____3220101731____

3.2.3. 实验数据





V_{REF}/V	占空比%
-1.20	73.88
-2.30	95.93
2.20	5.91

可以看到， V_{REF} 从 2.5V 到 -2.5V 变化时，占空比随之从 0~100% 变化。这是 PWM 技术的一种体现。通过改变 V_{REF} 的值，可以改变方波的占空比。PWM（脉冲宽度调制）的生成原理基于用一个载波信号（通常是一个锯齿波或三角波）与调制信号（所需输出的波形）进行比较的方法。比较器的设定是，当载波信号的电平超过调制信号的电平时，输出一个高电平信号；反之，当载波信号的电平低于调制信号的电平时，输出一个低电平信号。在本实验中，调制信号的电平就是 V_{REF} 。因为取的峰峰值为 5V，那么很好理解，当载波信号（输入的三角波）的电压高于 V_{REF} 时，输出高电平。当 V_{REF} 取 2.5V 时，载波信号不会比它高，所以占空比为 0；反之，当 V_{REF} 取 -2.5V 时，载波信号一直高于它，所以占空比为 100%。因此，当载波为线性的信号时， V_{REF} 的调节与占空比之间也是线性的关系。

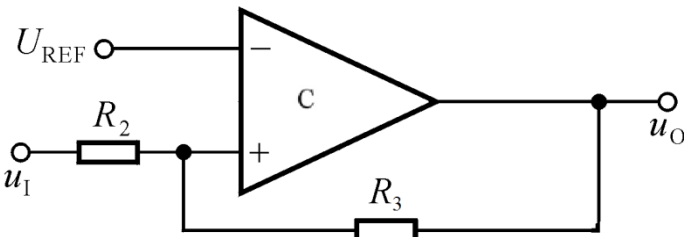
在这种方法中，载波信号（锯齿波或三角波）的频率决定了 PWM 信号的频率，而调制信号的幅度则影响 PWM 信号的占空比（即每个周期内高电平状态的时间与总周期的比例）。通过控制占空比，我们可以模拟不同的电压级别，从而实现了电力电子设备的有效控制。

3.3. 滞回电压比较器

3.3.1. 实验原理

滞回比较器具有迟滞回线形状，两个门限电压分别称为上门限电压 V_{TH} 和 下门限电压 V_{TL} ，两者之差为门限宽度或迟滞宽度，即 $\Delta V_T = V_{TH} - V_{TL}$ 。

当滞回比较器的同相输入端接输入电压，反相输入端接参考电压时，输入电压从低值达到超过上门限电压 V_{TH} 时，比较器输出从低的 V_{OL} 到高的 V_{OH} 翻转，称为同相滞回比较器，或称为上行滞回比较器；反之，反相输入端接输入电压，同相输入端接参考电压，称为反相滞回比较器，或称为下行滞回比较器。



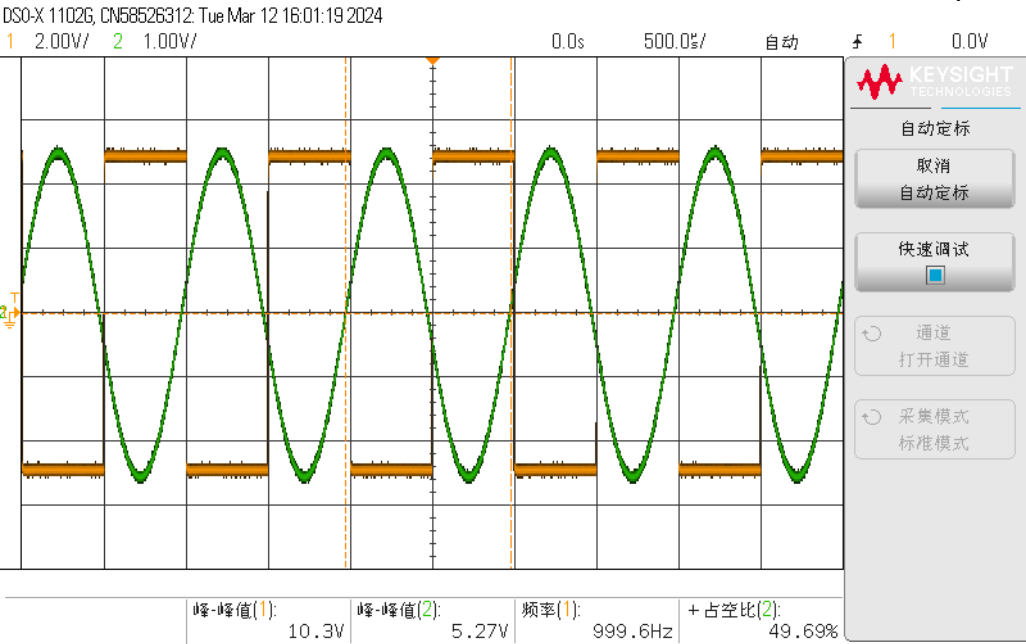
$$V_{TH} = \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) \times V_{ref}$$
$$V_{TL} = \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) \times V_{ref}$$
$$\Delta V_T = \frac{R_2}{R_3} \times (V_{OH} - V_{OL})$$

3.3.2. 实验步骤

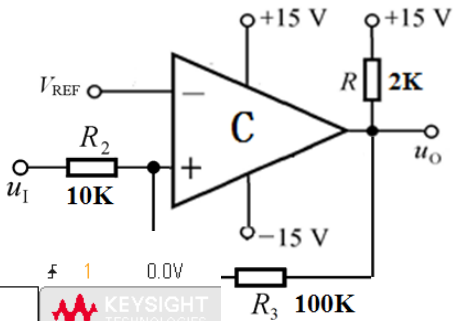
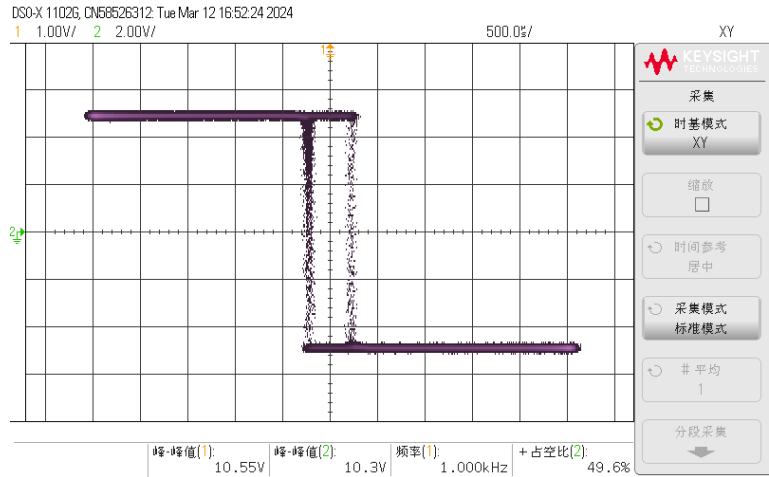
如图所示连接电路，反向端接正弦波 $f = 1\text{kHz}$ ， $V_{pp} = 5\text{V}$ ，测量输出波形。

3.3.3. 实验数据

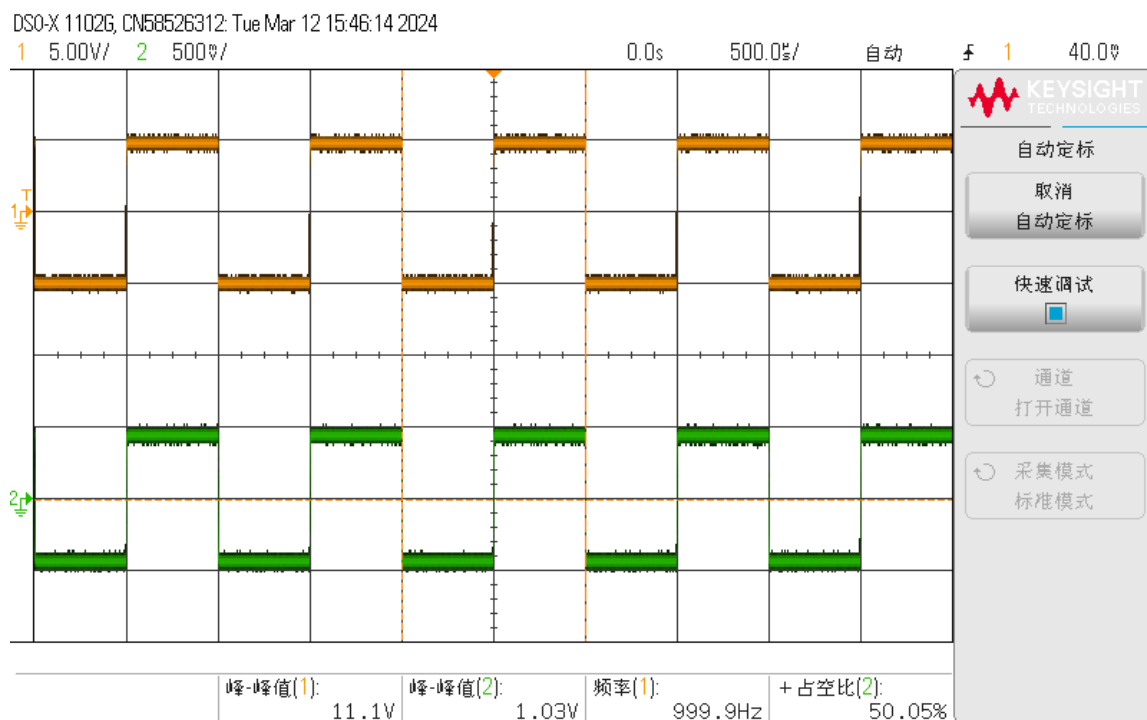
输出波形



电压传输特性曲线



回差电压



$$\Delta T = \frac{1.03}{2} V \approx 0.5V$$

回差电压约为 0.5V，满足实验要求。

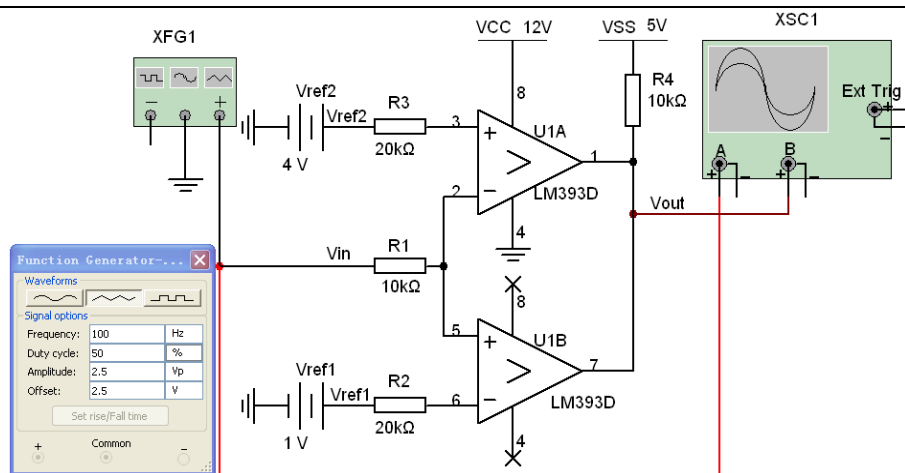
3.4. 窗口电压比较器

3.4.1. 实验原理 s

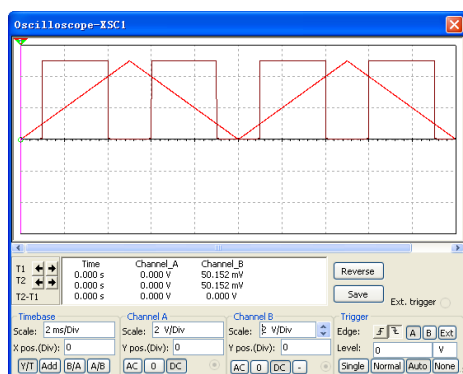
窗口比较器又称为双限比较器。窗口比较器的特点是当输入信号单方向变化时，可使输出电压 V_{out} 跳变两次，即窗口比较器提供了两个阈值和两种输出稳定状态可用来判断 V_{in} 是否处于上下两个门限电压之间。

由两个 LM393 比较器组成的窗口比较器如图所示。LM393 比较器芯片内部含有两个独立的比较器，其主要参数与 LM339 基本相同。在窗口比较器中，当输入被比较的信号电压 V_{in} 处于上下门限电压之间 ($V_{ref1} < V_{in} < V_{ref2}$) 时，输出为高电位 ($V_{out} = V_{OH}$)。当 V_{in} 不在门限电位范围之间时，($V_{in} > V_{ref2}$ 或 $V_{in} < V_{ref1}$) 输出为低电位 ($V_{out} = V_{OL}$)，窗口输出电压宽度 $\Delta V = V_{ref2} - V_{ref1}$ 。输入输出波形如图所示，窗口比较器的传输特性如图所示。

实验名称：____电压比较器____ 姓名：____严旭铨____ 学号：____3220101731____



窗口比较器电路



窗口比较器输入输出波形

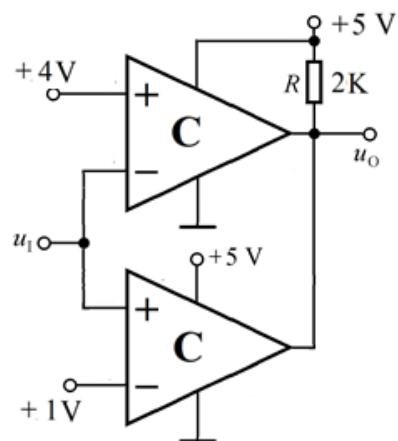


窗口比较器传输特性

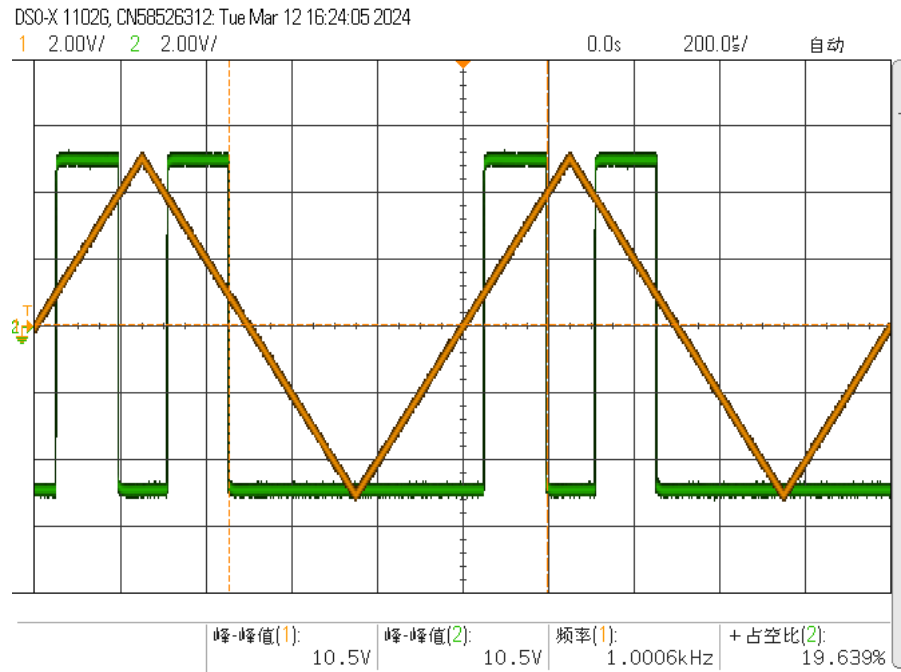
3.4.2. 实验步骤

如图所示连接电路，输入 $f = 1\text{kHz}$ ， $V_{pp} = 5\text{V}$ 的三角波信号，设置参考电压 $V_{REF1} = 1\text{V}$ (DC) 参考电压 $V_{REF2} = 4\text{V}$ (DC)。测量并绘制输出波形和电压传输曲线。元件参数如图。

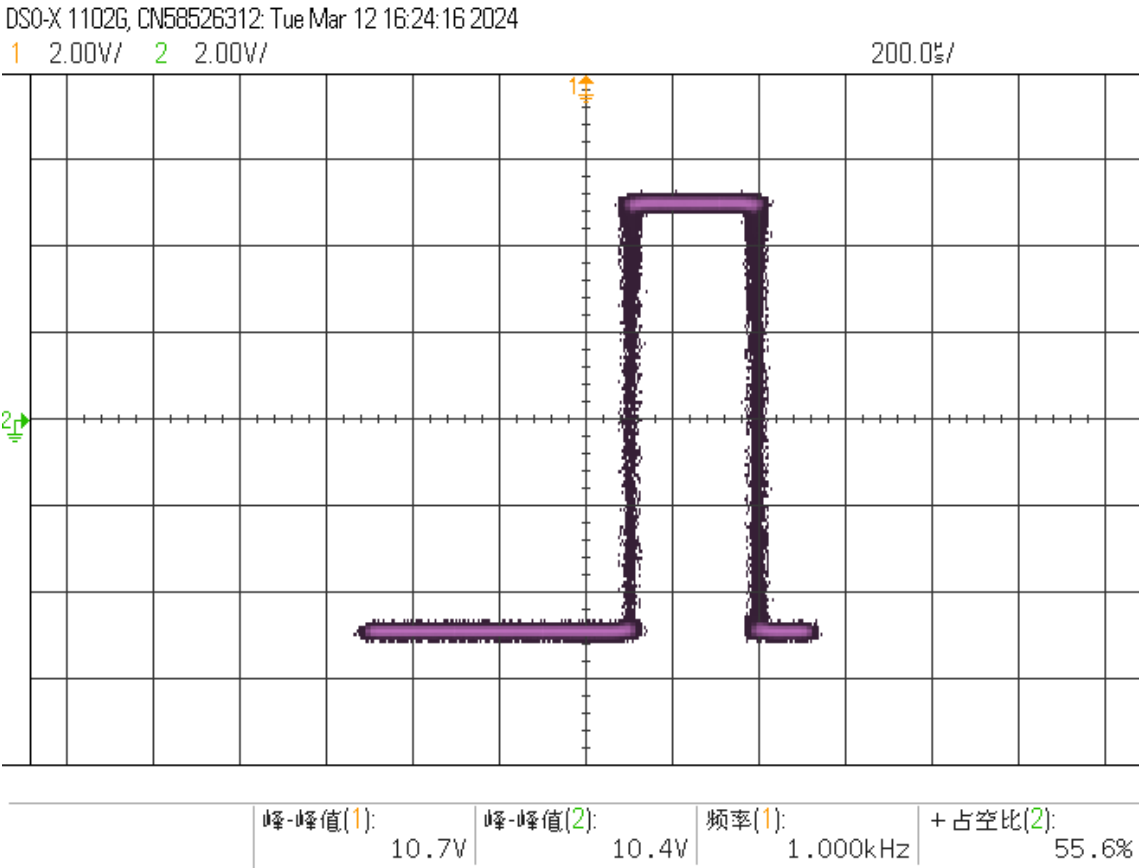
3.4.3. 实验数据



输出电压



电压传输特性曲线



跳变位置基本满足设计要求

3.5. 三态电压比较器

3.5.1. 实验原理

由 LM339 比较器组成的三态电压比较器电路如图所示。三态电压比较器输入 V_{in} 端和输出 V_{out} 端的波形如图所示。

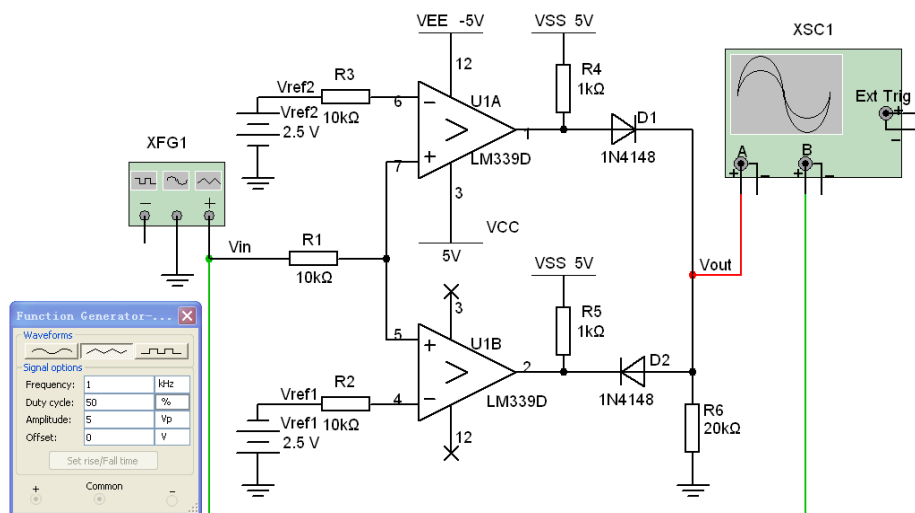


图 三态电压比较器电路

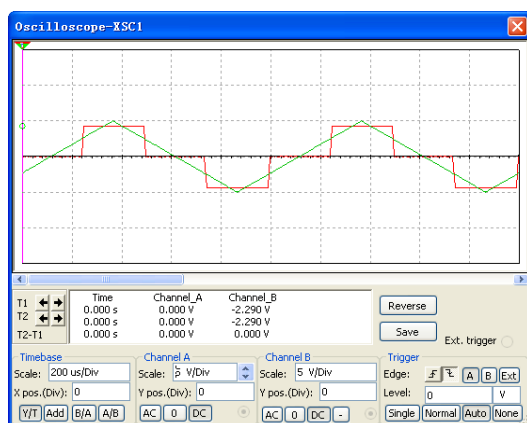
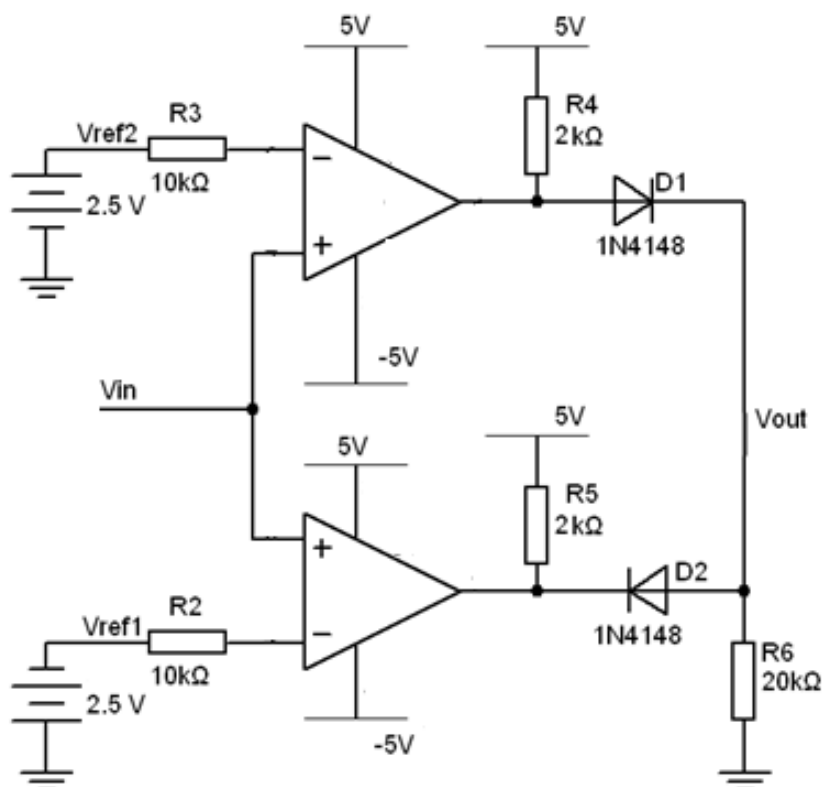


图 输入和输出波形

当输入 $V_{in} < V_{ref1}$ 时，D2 导通，D1 截止，输出 $V_{out} = V_{OL}$ ；输入 $V_{ref2} > V_{in} \geq V_{ref1}$ 时，D1、D2 都截止，输出 $V_{out} = 0V$ ； $V_{in} \geq V_{ref2}$ 时，D1 导通，D2 截止，输出 $V_{out} = V_{OH}$ 。

3.5.2. 实验步骤

如图所示连接电路



输入电压信号 V_{in} 为 1kHz、5V 三角波信号，观察输出波形是否能够满足

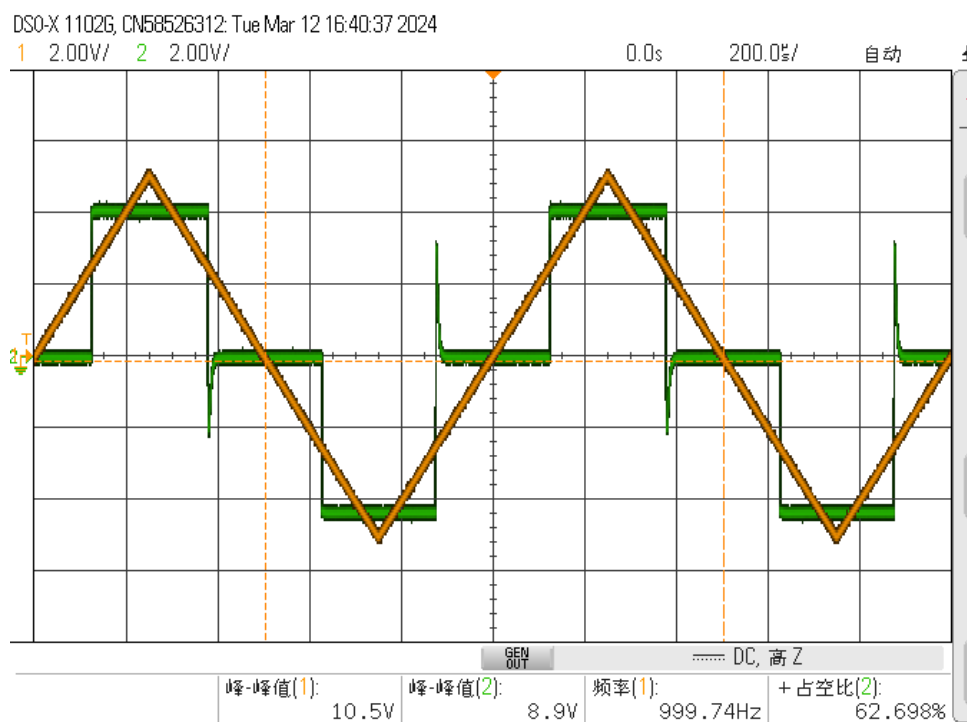
当输入 $V_{in} < V_{ref1}$ 时，输出 $V_{out} = V_{OL}$;

当输入 $V_{ref2} > V_{in} > V_{ref1}$ 时，输出 $V_{out} = 0V$;

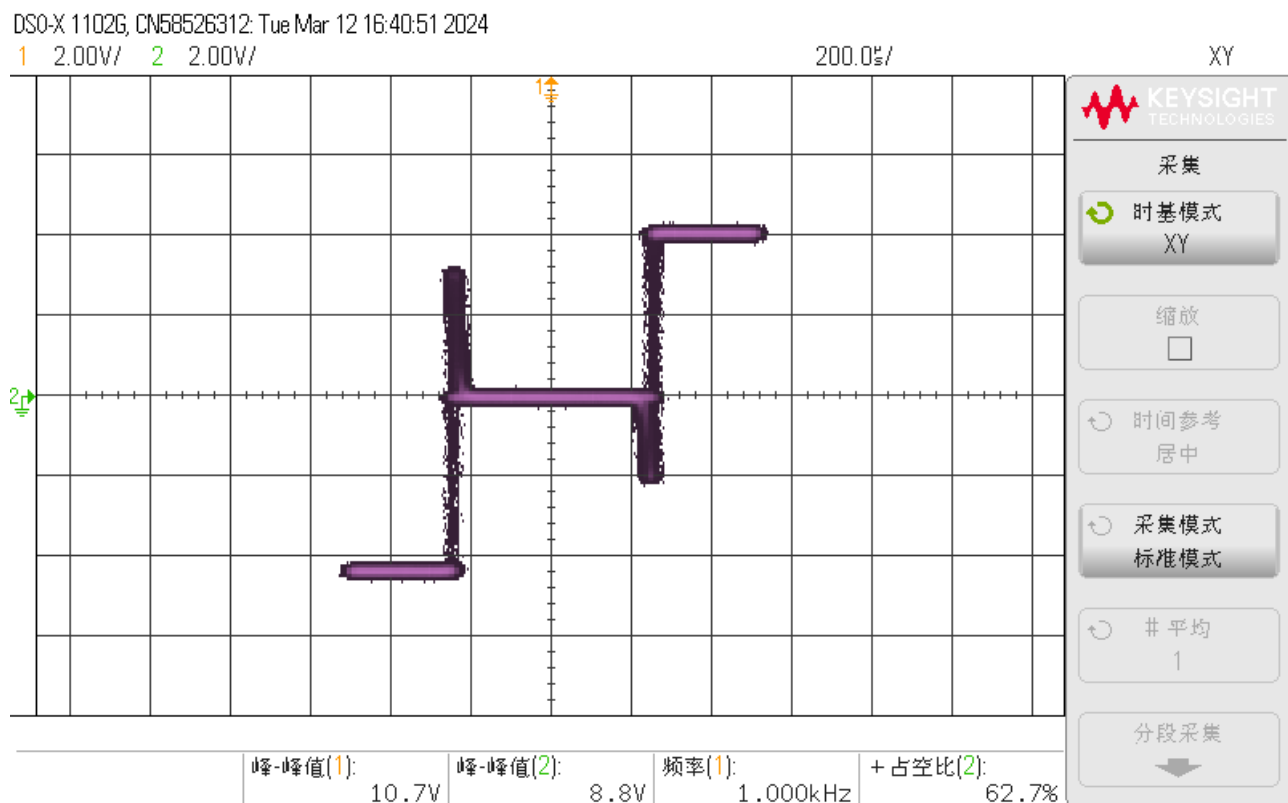
当输入 $V_{in} > V_{ref2}$ 时，输出 $V_{out} = V_{OH}$ 。

3.5.3. 实验数据

输出波形



传输特性曲线



满足要求。

4. 实验心得与体会

本次实验中我们学习了电压比较器的相关知识，设计并搭建了过零比较器、单门限比较器、迟滞比较器、双门限比较器和三态比较器，较好地实现了预期的功能。其中，单门限比较器中，改变参考电压 V_{REF} 能够明显地改变方波的占空比，这里涉及到了电子技术中常用的 PWM 技术。下面是找到的关于 PWM 技术的一些信息。

脉冲宽度调制（Pulse Width Modulation, PWM）是一种通过改变信号的占空比来控制模拟电路的技术。占空比是指在一定周期内，信号处于高电平状态的时间与总周期的比例。

PWM 可以产生一种类似于模拟信号的效果，这是通过更换一系列定幅值的脉冲宽度来实现的。在整个过程中，脉冲的频率保持不变，而占空比的变化影响了脉冲的宽度。所以，当占空比增加时，输出的能量会提高，同样，当占空比减小时，输出的能量会降低。这样，通过一个阻容变换电路，我们可以获得不同的平均电压值。

因此，单门限电压比较器可以通过改变占空比，用于 PWM 调控电路中。

窗口电压比较器可以在输入信号存在噪声的情况下较好地降低噪声对输出的影响，增强系统的稳定性。