

浙江大学实验报告

专业： 电子信息工程

姓名： _____

学号： _____

日期： 2024.3.12

地点： 紫金港东三 406

课程名称： 电路与电子技术实验 II 指导老师： 张伟 成绩： _____

实验名称： 电压比较器 同组学生姓名： _____

Lab3 电压比较器

一、实验目的

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

二、实验准备

1. 阅读各个运算放大器的参数，了解运算放大器的性能。
2. 学习各个功能电路的原理以及电路连接方式。
3. 对实验台进行安全检查。

三、实验内容与原理

(0) 了解运算放大器内部参数

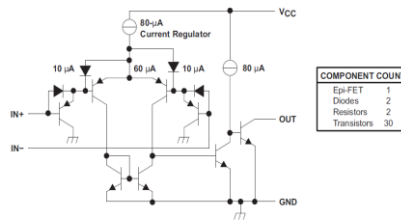
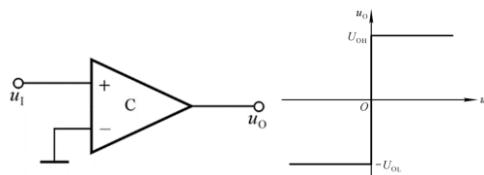


Figure 6. Schematic (Each Comparator)

对比 LM358 和 LM393 的电路图可以知道，LM393 在比较放大器的基础上新增了一个三极管。在连接电路的时候，需要增加一个电压源和一个上拉电阻，来保持输出的准确性。

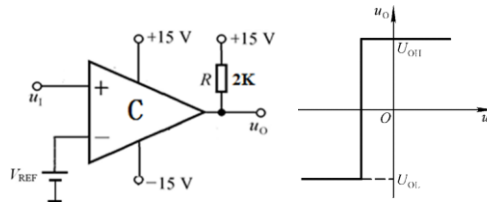
(一) 过零电压比较器



上图为一个电压过零比较器，负脚接地，表示基准电压为 0V。当正脚输入电压大于负脚时，该比较器由于未连接负反馈电路，所以输出线性失真电压，为正 V_{OH} ；当输入电压小于负脚基准电压时，输出 $-V_{OH}$

(二) 单门限电压比较器

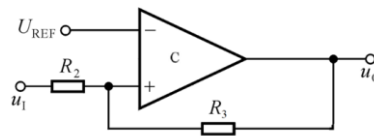
在上述过零比较器的基础上，在负脚上增加一个基准电压。根据正脚相对于基准电压的大小，输出高低电平。



实验任务

- 采用 LM393 做比较器，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，并测量输出方波的上升时间与下降时间。
- 采用 LM358 做比较器，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；测量输出方波的上升时间与下降时间并与 LM358 的 SR 比较。(输出不需要上拉电阻)。
- 采用 LM393 做比较器，设计单门限比较器电路，反相输入端接一可调输入电压 U_{in} ，同相输入端接 1kHz、5V 三角波信号，测量并绘制输出方波占空比与输入电压 U_{in} 的关系，理解 PWM 的生成原理。

(三) 滞回电压比较器



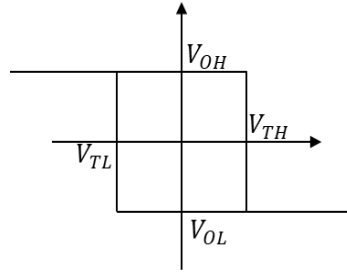
滞回比较器在电压比较器的基础上，为电压变化过程中增加了一段回差电压，合理规避了噪声信号导致的输出波形上下跳变。

$$V_+ = \frac{R_f}{R + R_f} V_i + \frac{R}{R + R_f} V_i$$

若上述等式与基准电压联立，则得到跳变的电压上限和下限：

$$V_{TL} = \left(1 + \frac{R}{R_f}\right) V_{REF} - \left(1 + \frac{R}{R_f}\right) V_{OH}$$

$$V_{TH} = \left(1 + \frac{R}{R_f}\right) V_{REF} + \frac{R}{R_f} V_{OH}$$



上图为反向输入滞回比较器的电压传输特性。

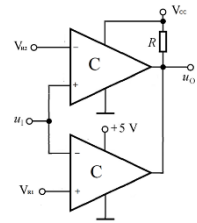
实验任务

设计反相输入（下行）滞回电压比较器，反相输入端接 1kHz、5V 正弦波信号，要求回差电压为 0.5V。测量并绘制输出波形和电压传输特性曲线。

(四) 窗口电压比较器

当输入电压在电路要求范围内，即 $V_1 < U_i < V_2$ 则输出与其他情况相反的电压，从而能够很好地判断输入电压是否在所选判断范围之内。

根据上图，当输入 $V_i > V_2$ 时，C2 三极管截止，C1 三极管导通，输出 0V 基准电压；当 $V_1 < V_i < V_2$ 时，两个三极管均截止，输出 V_{OH} 基准电压；当输入 $V_i < V_1$ 时，C1 三极管截止，C2 三极管导通，输出 0V 基准电压。



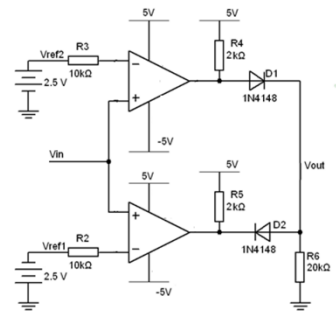
实验任务

自行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。

(五) 三态电压比较器

在窗口比较器的基础上，修改实验电路，使得通过输出电压可以判定输入电压在区间范围内，或大于上限电压，或小于下限电压。

如上图所示电路，当输入 $V_i > V_{REF2}$ 时，C2 输出高电压，D1 导通，C1 输出高电压，D2 截止，输出 V_{OH} 基准电压；当 $V_1 < V_i < V_2$ 时，C2 输出低电压，C1 输出高电压，两个二极管均截止，输出 0V；当输入 $V_i < V_{REF1}$ 时，C2 输出低电平，D1 截止，C1 输出低电压，D2 导通，输出 V_{OL} 。



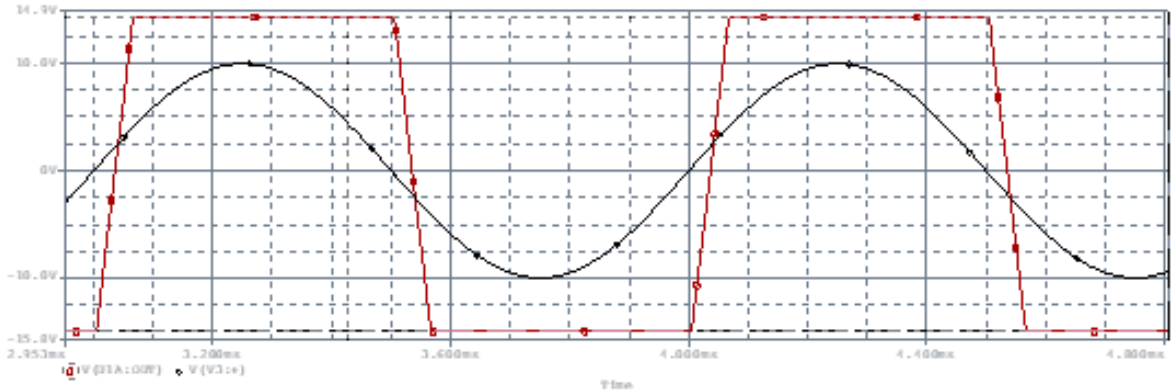
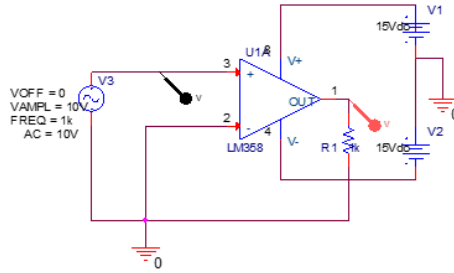
实验任务

自行设计三态电压比较器电路，输入电压信号 V_{in} 为 1kHz、5V 三角波信号，当输入 $V_{in} < V_{ref2}$ 时，输出 $V_{out} = V_{OL}$ ； $V_{in} < V_{ref1}$ 时，输出 $V_{out} = V_{OH}$ 。

三、实验过程与数据记录

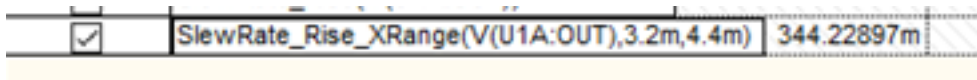
(一) 过零电压比较器

1. 使用 OrCAD 搭建 LM358 芯片过零比较器仿真电路，如下图所示



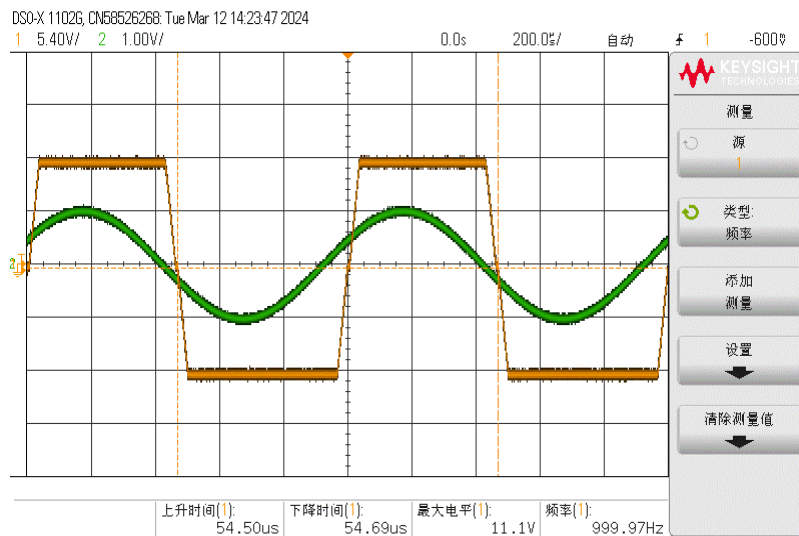
可以看到使用 LM358 芯片，当输入电压由正切换到负时，电压从 V_{OL} 切换到 V_{OH} ，但有一定的延时。

使用 Evaluate Measurement 中的，SlewRate_Rise 函数测量转换速率，得出以下结果：



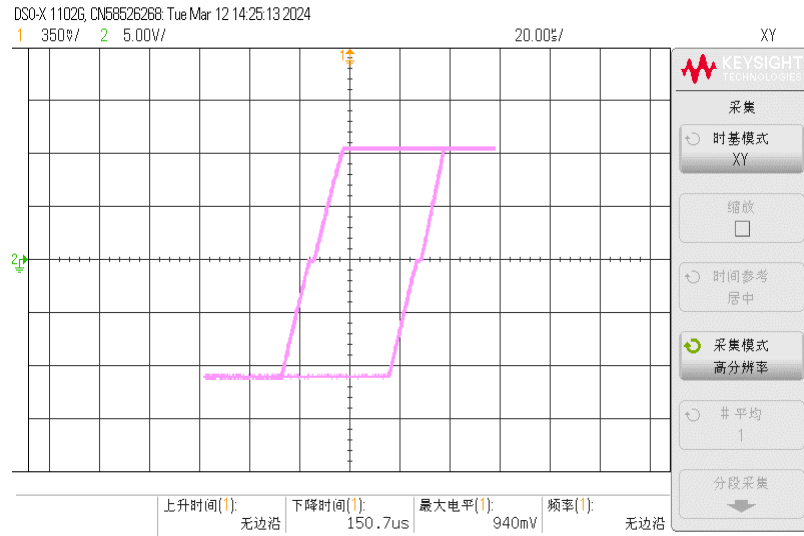
查阅 LM358 的说明书可知，LM358 的 $SR=0.3V/\mu S$ ，与仿真结果基本一致。

2. 搭建实验电路，是用示波器观察输入输出结果：

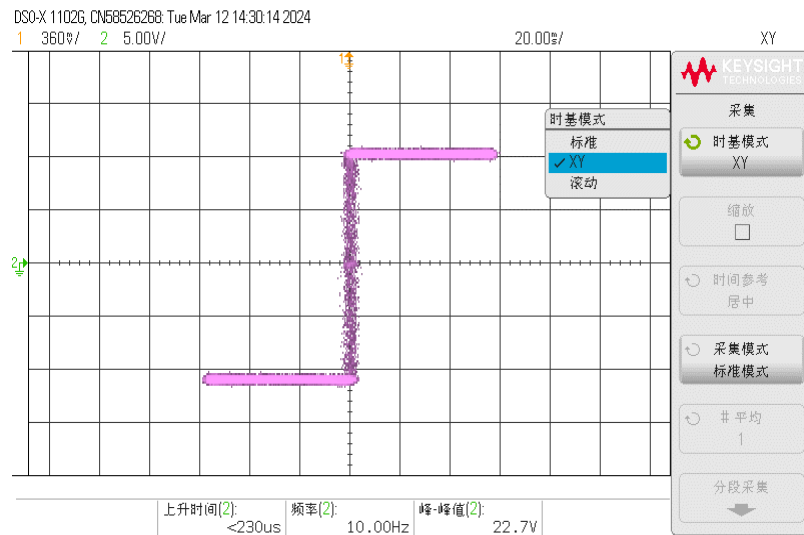


计算 $SR \approx 22.2/54.5 = 0.407V/\mu S$ 与使用说明书中的 SR 基本一致

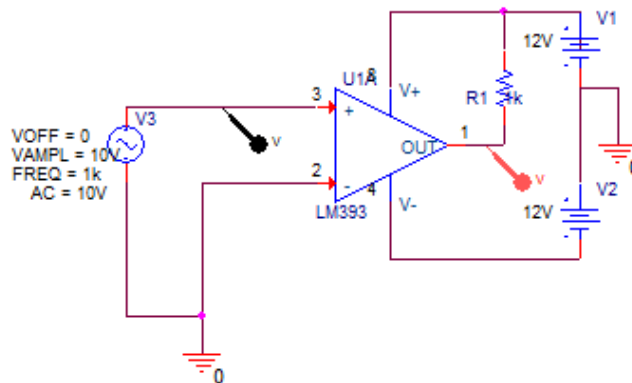
3. 使用示波器 XY 显示功能，输出电压传输特性

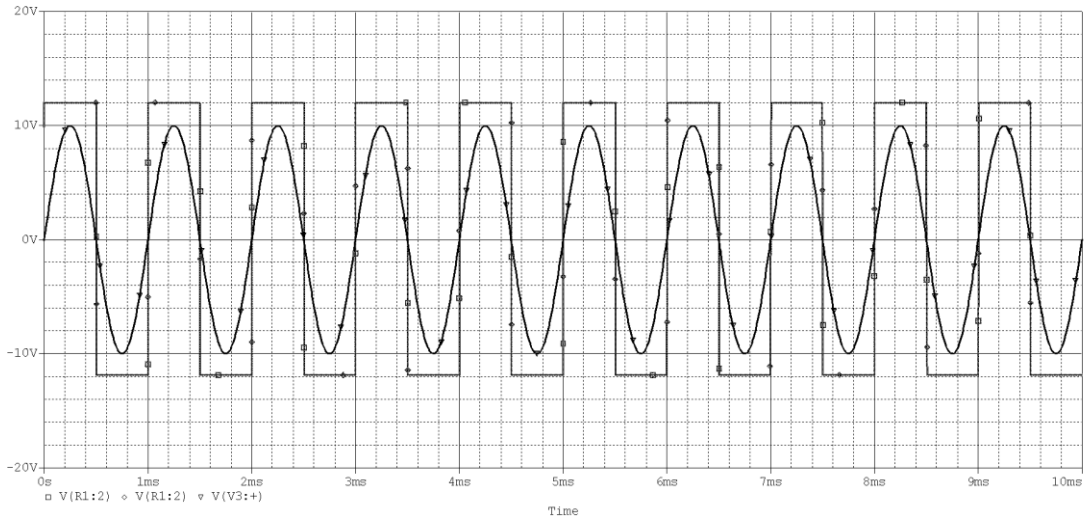


观察到，此时的波形，并没有非常理想，这是由于输入频率过高，比较器的输出发生了滞后，减小输入频率为 10Hz 后，得到如下波形：



4. 使用 LM393 重复上述实验，先进行 OrCAD 仿真：

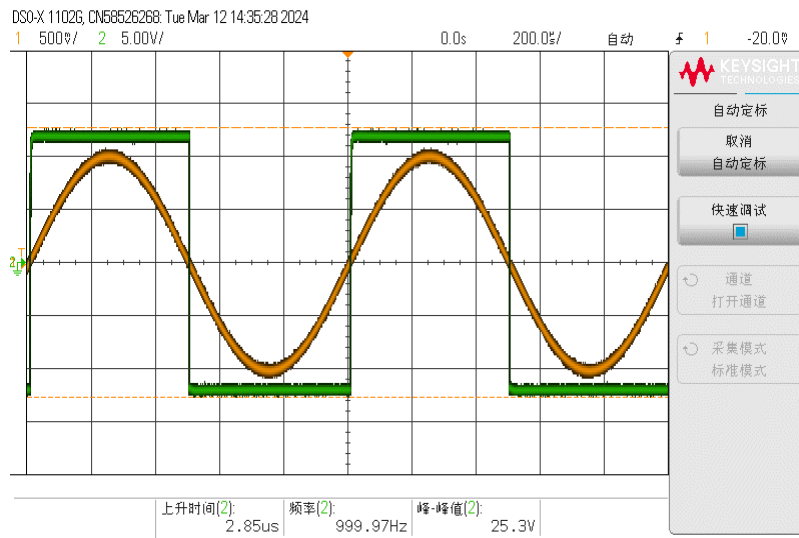




	Evaluate	Measurement	Value
	<input type="checkbox"/>	SlewRate_Rise(V(U1A:OUT))	
	<input type="checkbox"/>	SlewRate_Rise_XRange(V(U1A:OUT...))	
	<input checked="" type="checkbox"/>	SlewRate_Rise_XRange(V(R1:2),1m...)	14.33001meg

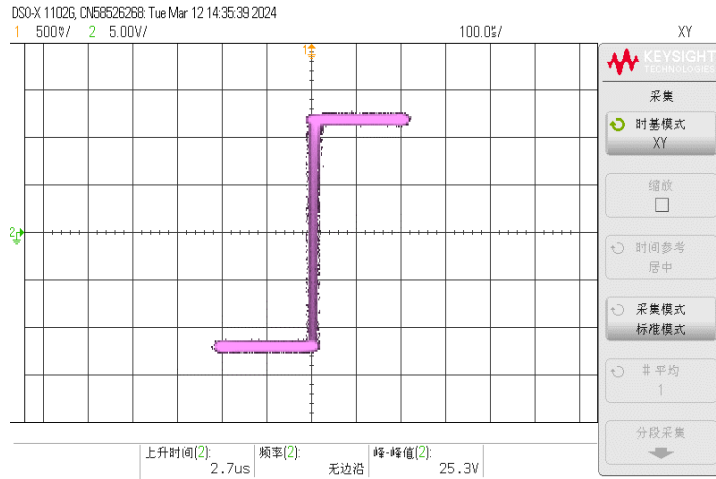
可以看到 LM393 作为开关的响应速率非常快，达到了 10^6 的数量级。

- 搭建实验电路，测量输入输出电压性质：



计算得到 $SR = 8.88V/\mu s$ ，大于 LM358 响应速率

调整示波器为 XY 采集模式，电压传输特性如图所示。



实验总结

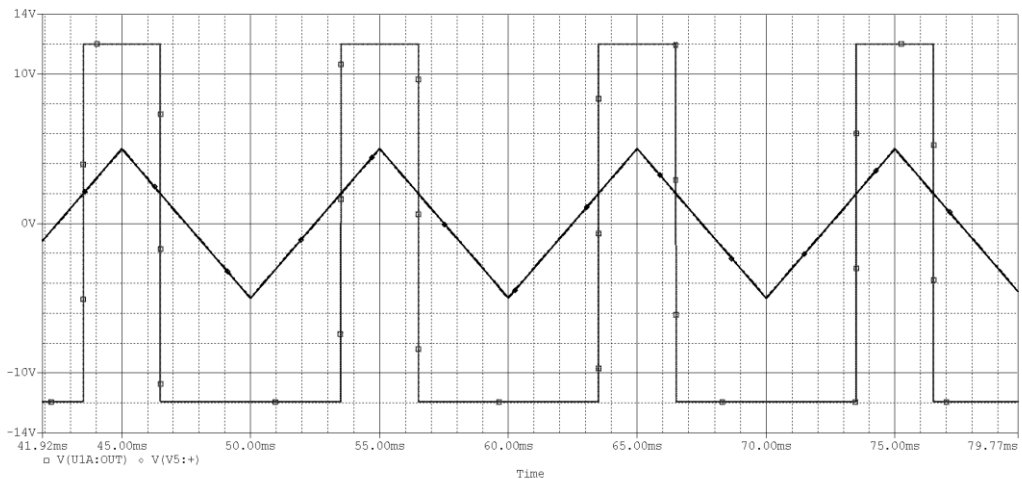
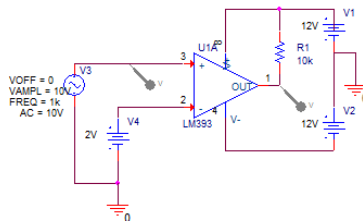
- 完成了过零比较器的电路搭建
- 测量了 LM358 和 LM393 的响应速率，总结如下：

	LM358	LM393
仿真中	0.344	10^6
实验中	0.407	8.88
手册中	0.3	4

仿真中的 LM393 输出特性有一些过于理想化，手册中并未注明 LM393 的具体 SR，只是描述了 LM393 输出电压变化 1.4V 所经历的时间。

(二) 单门限电压比较器

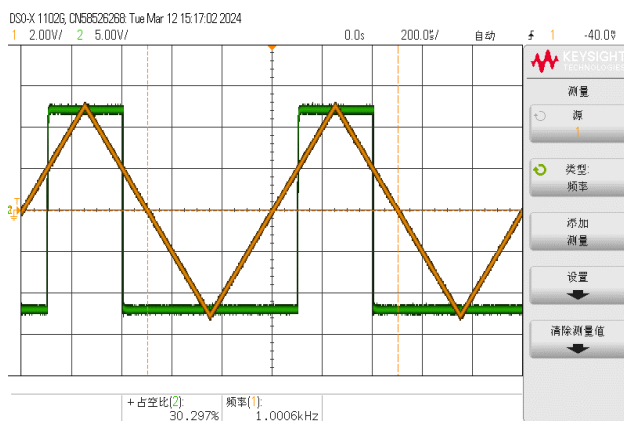
1. 设计单门限电压比较器电路图，并进行仿真



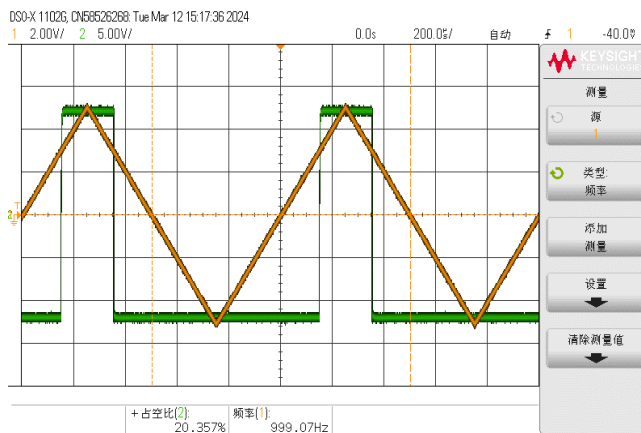
可以看到当电压大于 2V 时，输出上限电压，小于 2V 输出下线电压。同时可见，方波的占空比与基准电压有关。

2. 搭建实验电路测量占空比与基准电压的关系。

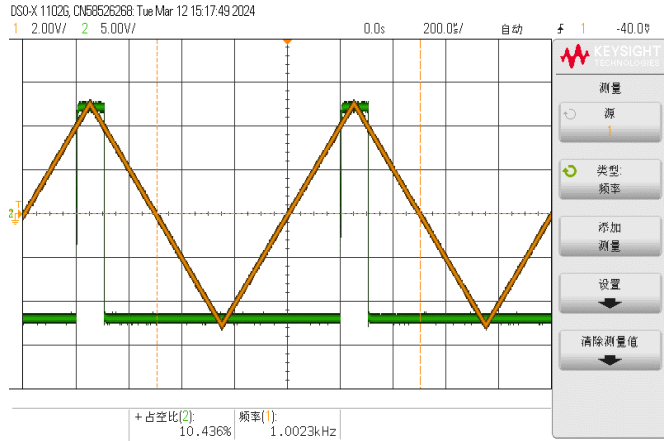
$V_{REF} = 2V$ ，占空比为 30.297%



$V_{REF} = 3V$ ，占空比为 20.367%

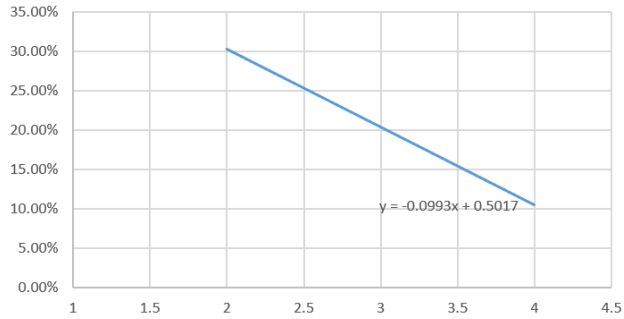


$V_{REF} = 4V$ ，占空比为 10.43%



绘制图线可以得到：

方波占空比与基准电压的关系



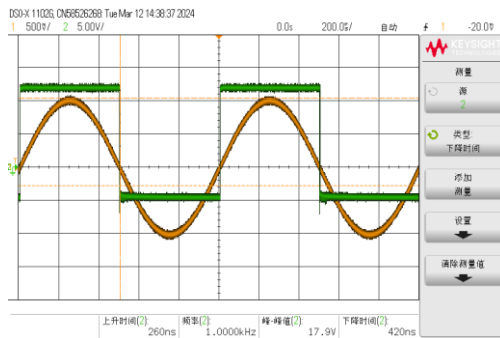
占空比在输入电压为三角波时的计算公式为：

$$\eta = \frac{V_H - V_{REF}}{V_H - V_L} \times 100\%$$

代入实验数据：

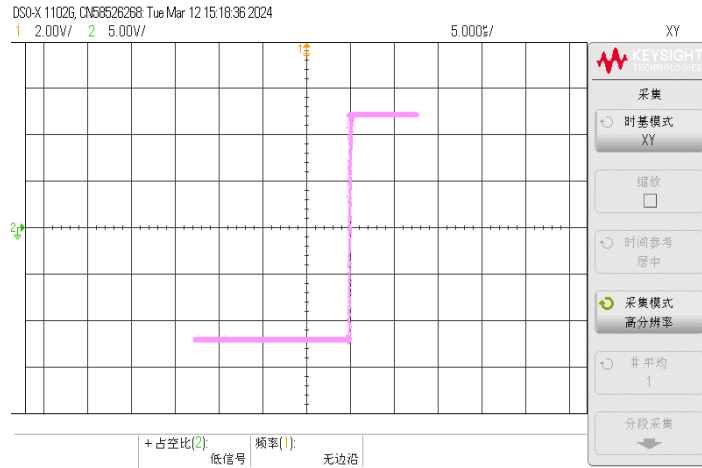
$$\eta = 50\% - 10 \times V_{REF} \cdot 100\%$$

- 在搭建实验电路的过程中，首先使用的是 $1k\Omega$ 的上拉电阻，发现输出下限电压时，并不是 $-12V$ 左右，如下图所示：



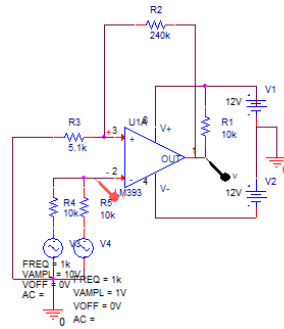
后改用 $10k\Omega$ 的电阻之后，输出正常。可见当上拉电阻为 $1k$ 时，三极管处于线性放大区，不能将输出点的电压拉得足够低。

4. 得到电压传输特性曲线



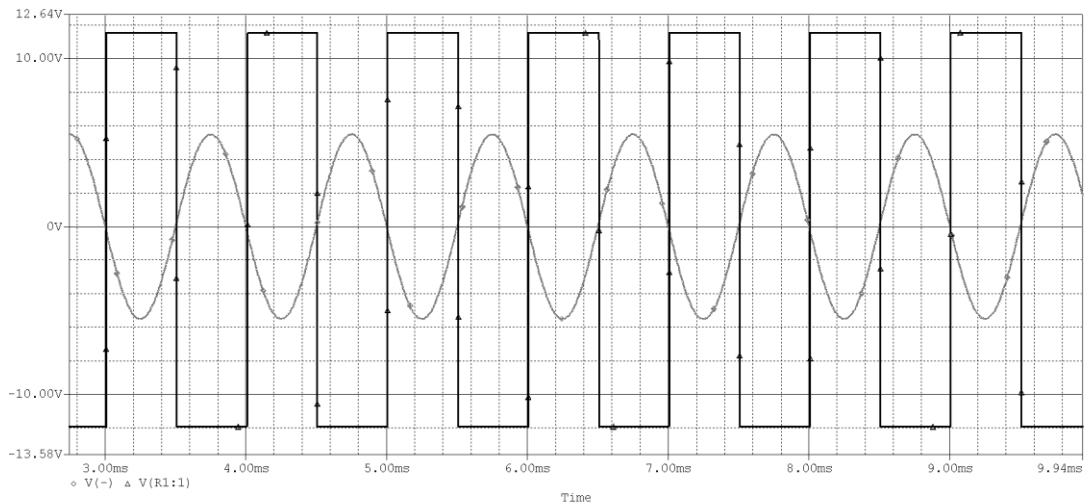
(三) 滞回电压比较器

5. 搭建反向滞回电压比较器

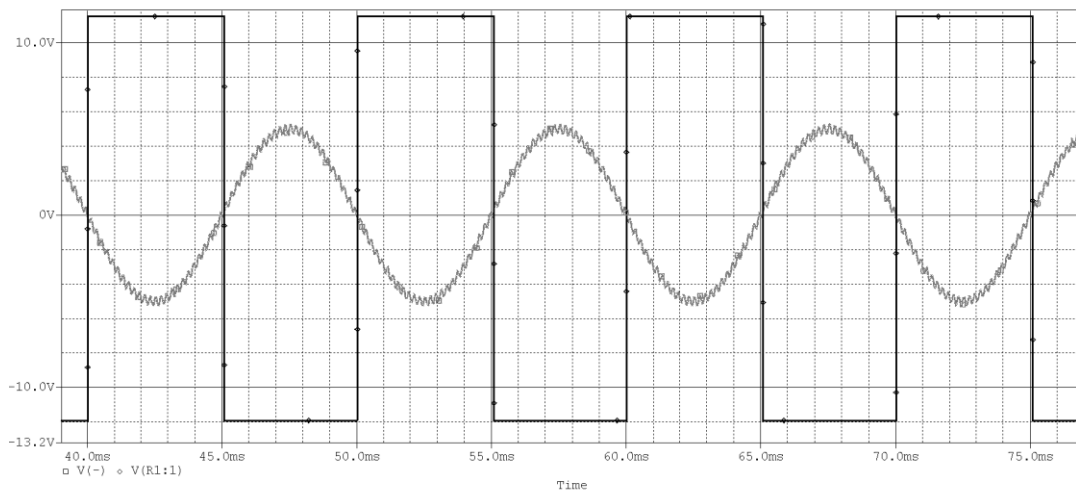


实验中各个参数确定：

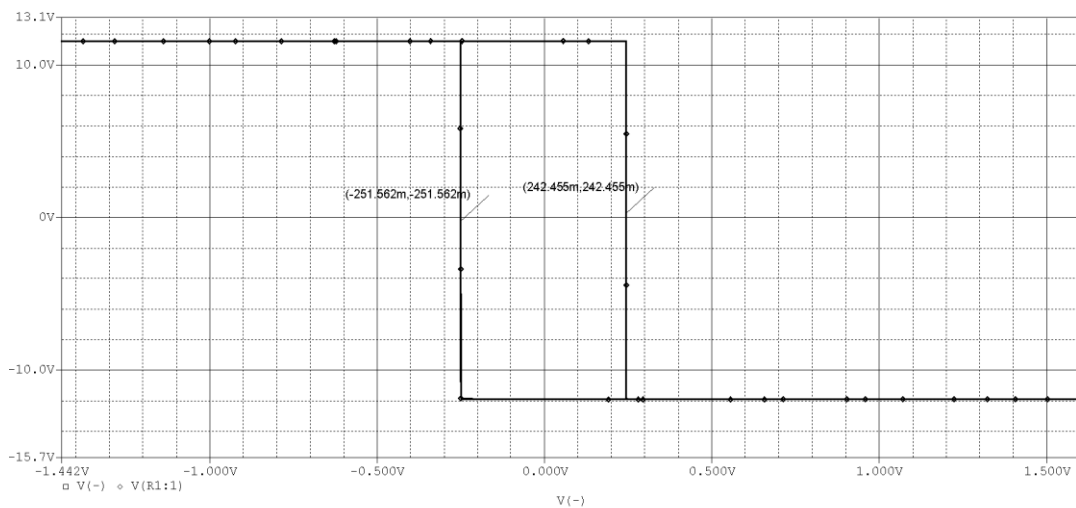
- 负脚输入电阻为 10k/10K，所以正脚的等效电阻大小应为 5kΩ
- 由于回差电压为 0.5V，所以根据 $V_T = \frac{R}{R_f} V_O$ ，可以计算得到 $R_f = 240k\Omega, R = 5.1k\Omega$



6. 输入 100Hz, 10Vpp 的正弦波和 5kHz, 幅值为 0.8Vpp 的正弦波, 得到如下仿真结果:

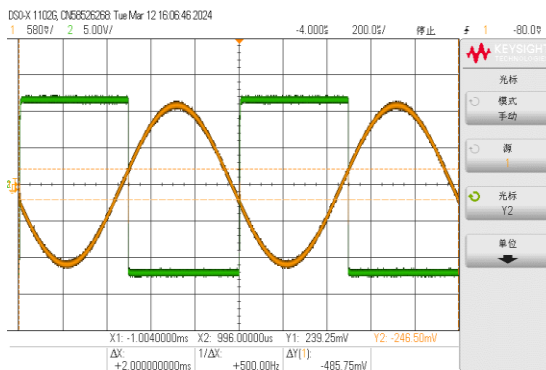


可以看到滞回比较器很好地滤除了噪声信号对比较器比较的干扰, 最后得到电压传输特性为:



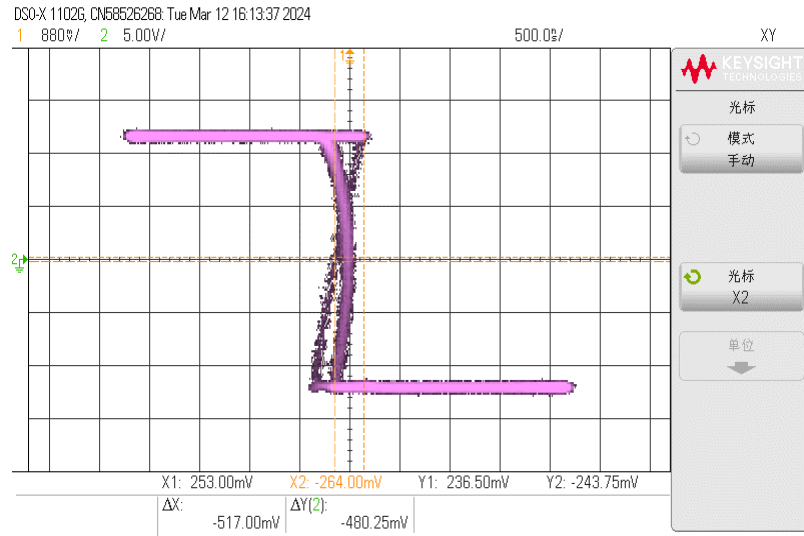
可见 $V_{TL} = -0.251V, V_{TH} = 0.242V$

7. 参照仿真电路, 搭建实验电路, 使用示波器测量输入输出, 得到实验结果:



从图上的观察可知, 电压转换在 $V_{TH} = 0.239V, V_{TL} = -0.246V$

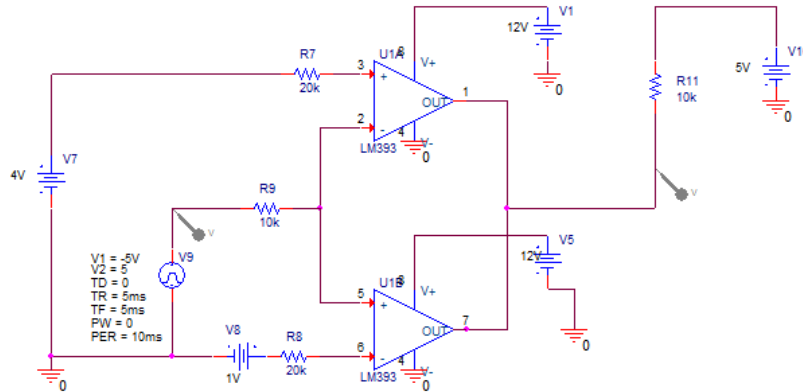
切换为 XY 视图，得到电压传输特性曲线：



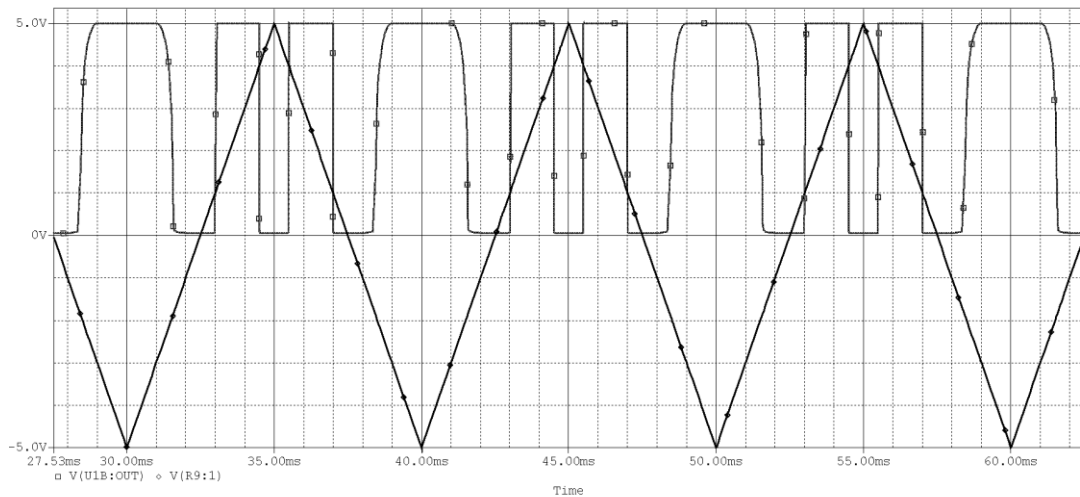
得到曲线图形有一些怪异，但是基本上是符合电压传输特性。

(四) 窗口电压比较器

8. 搭建窗口比较器的仿真电路

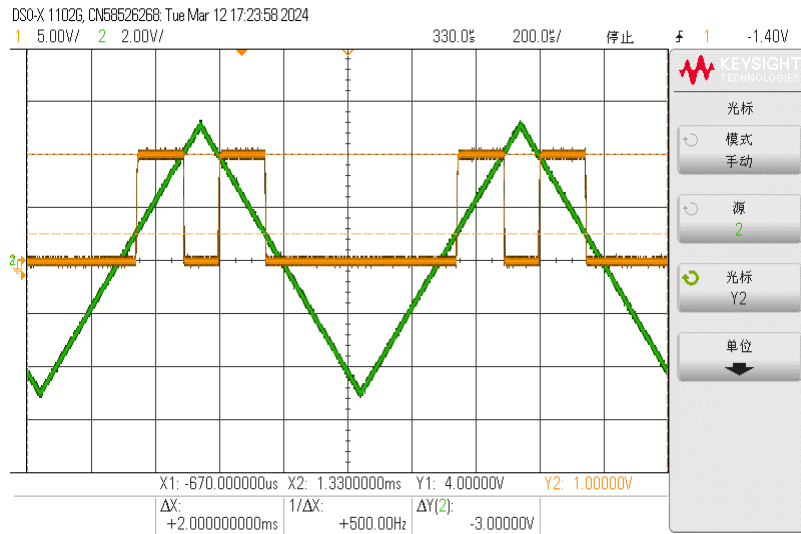


但是，该电路在仿真中出现的结果与理论不一致

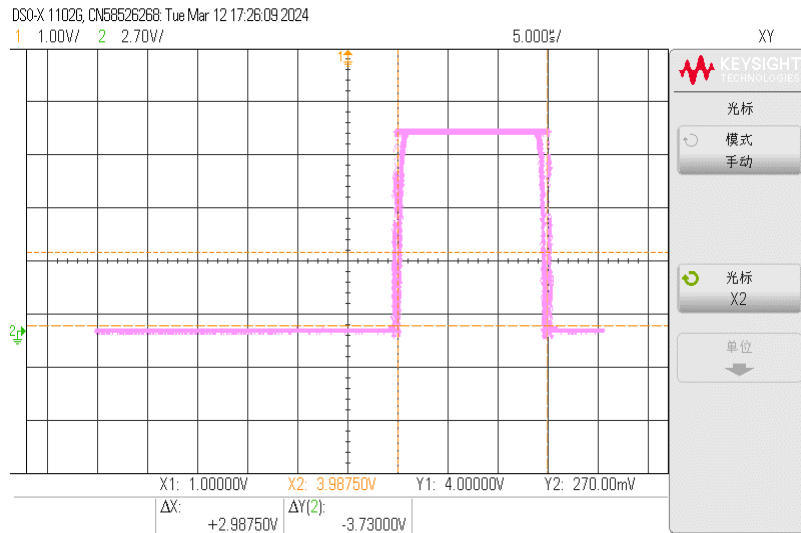


可以看到除了在 1V~4V 过程中能够正常跳变，但是在-1V -4V 电压同时跳变。但是理论上应该不会出现这种电压的变化。

9. 搭建实验电路，使用示波器观察输入输出电压波形



在实际电路中，比较器能够很好、很准确地输出电压波形，即在电压为 1V 和 4V 之间输出高电压，其他情况输出 0 电压。

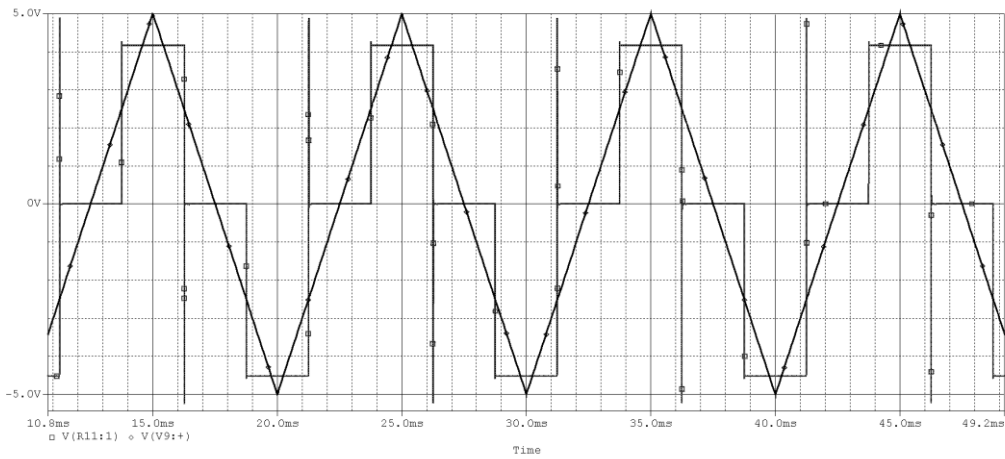
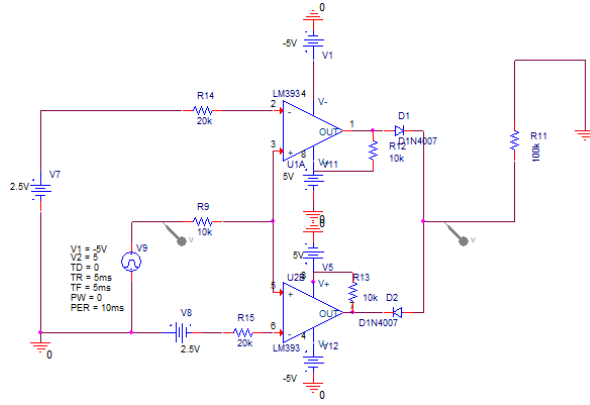


切换为 XY 视图，使用 cursors 观察电压变换点，可以看到，当输入电压在 1V~4V 之间输出高电压。

实验总结：该实验仿真过程中出现了无法解释的实验结果，然而搭建实际电路符合所想；可能原因是运放芯片本身内部结构过于复杂，仿真电路无法合理拟合。

(五) 三态电压比较器

10. 搭建如下实验仿真电路

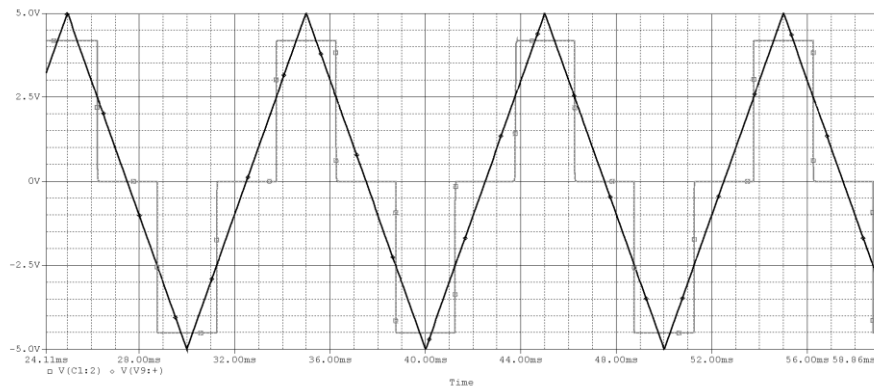
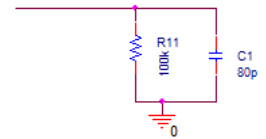


得到如上仿真结果

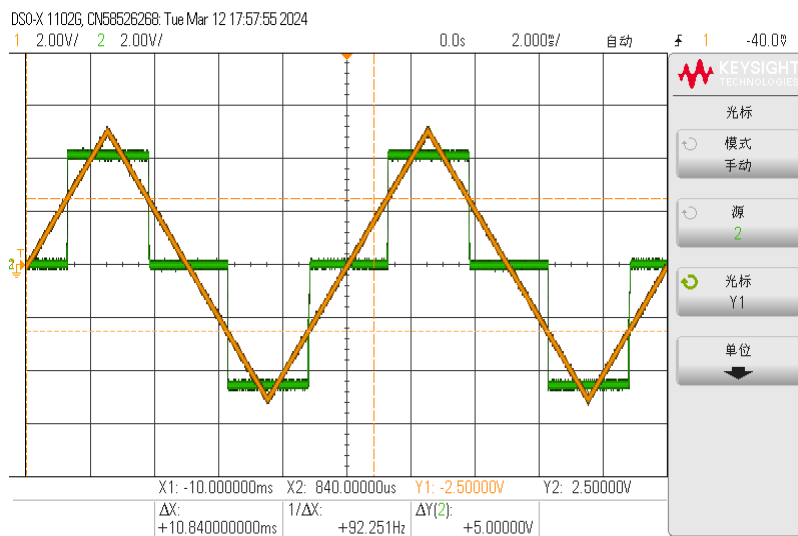
- 该波形表示该电路能够在输入电压属于-2.5V~2.5V 期间输出 0 点点位电压，其他情况输出 V_{OH}/V_{OL} ;
- 可见，由于二极管的加入，二极管内部的 PN 结电容导致实验得到的波形出现了高次谐波，使得图线并没有理想输出结果。

11. 在输出端 R11 两端并联一个 80pF 的滤波小电容，滤除高次谐波。

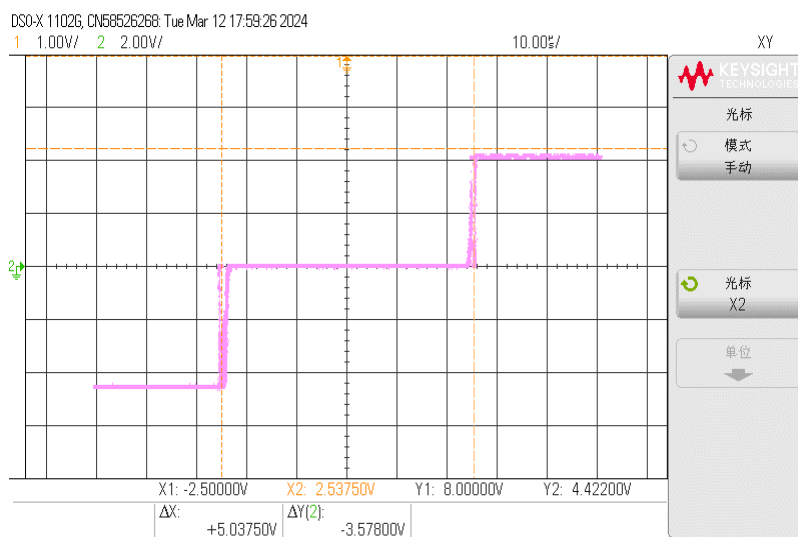
由 $X_c = j \frac{1}{\omega C}$ ，当输入电容两端的频率越高，电容支路越近似于短路，能够很好地滤除高次谐波，得到如下没有激波的输出结果。



12. 搭建实验电路



切换 XY 视图，得到电压传输特性曲线：



可以看到，当电压 $>2.5V$ ，输出 V_{OH} ；当电压 $<-2.5V$ ，输出 V_{OL} ，其他情况输出 $0V$ 电压。