

东南大学电工电子实验中心

实 验 报 告

课程名称： 模拟电子电路实验

第 6 次实验

实验名称： 2.6 比较器电路实验研究

院（系）： 自动化 专 业： 自动化

姓 名： 陈鲲龙 学 号： 08022311

实 验 室： 105 实验组别： 11

同组人员： _____ 实验时间： 2024 年 月 9 日

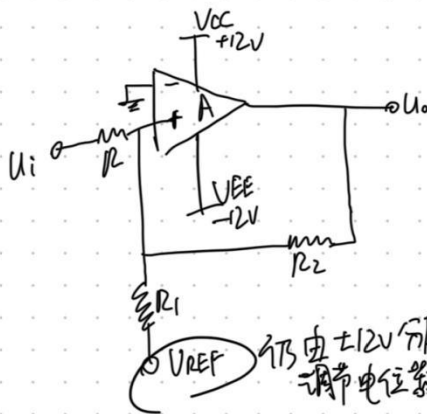
评定成绩： _____ 审阅教师： _____

一、实验目的

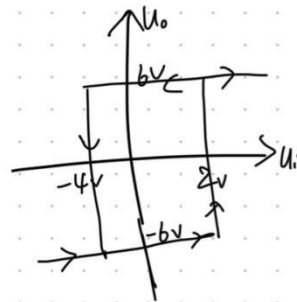
- (1) 熟悉比较器的电路结构与工作原理;
- (2) 掌握比较器的电路设计方法;
- (3) 掌握比较器的电路特性及测量方法;
- (4) 理解不同比较器的应用场合。

二、实验原理

2° 中心电压可调的施密特比较器



目标电压传输曲线:



$$\begin{cases} U_{TH} = 2V = A(b \cdot \cancel{U_{om}} - C \cdot U_{REF}) \\ U_{TL} = -4V = A(b \cdot \cancel{(-U_{om})} - C \cdot U_{REF}) \end{cases}$$

$$\text{联立可得 } A \cdot b = \frac{1}{2}$$

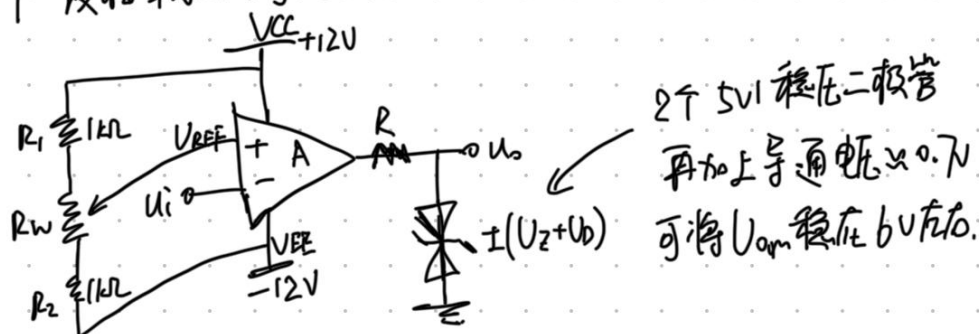
$$\Downarrow$$
$$\frac{R+R_1/R_2}{R_1/R_2} \cdot \frac{R_1/R_1}{R_2+R_1/R_1}$$

∴ 我选的 R, R_1, R_2 为 1:2:2 的比例可满足

电压比较器电路是将输入电压与参考电压 U_{REF} 比较，所利用的是运放的非线性区，而非线性区，其输出只有 $+U_{om}$ 和 $-U_{om}$ ，呈二态性，适合作接口电路、数电。

本实验中主要涉及2个电路：

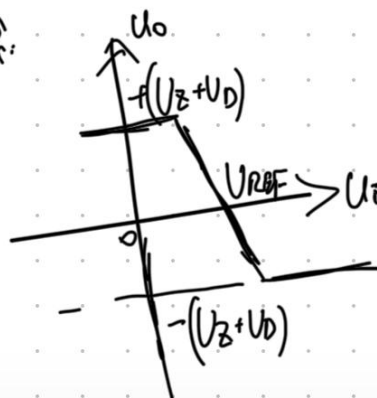
1° 反相输入单门比较器



除限流电阻

U_{REF} 通过 R_W 阻值改变对 $\pm 12V$ 分压得到参考电压

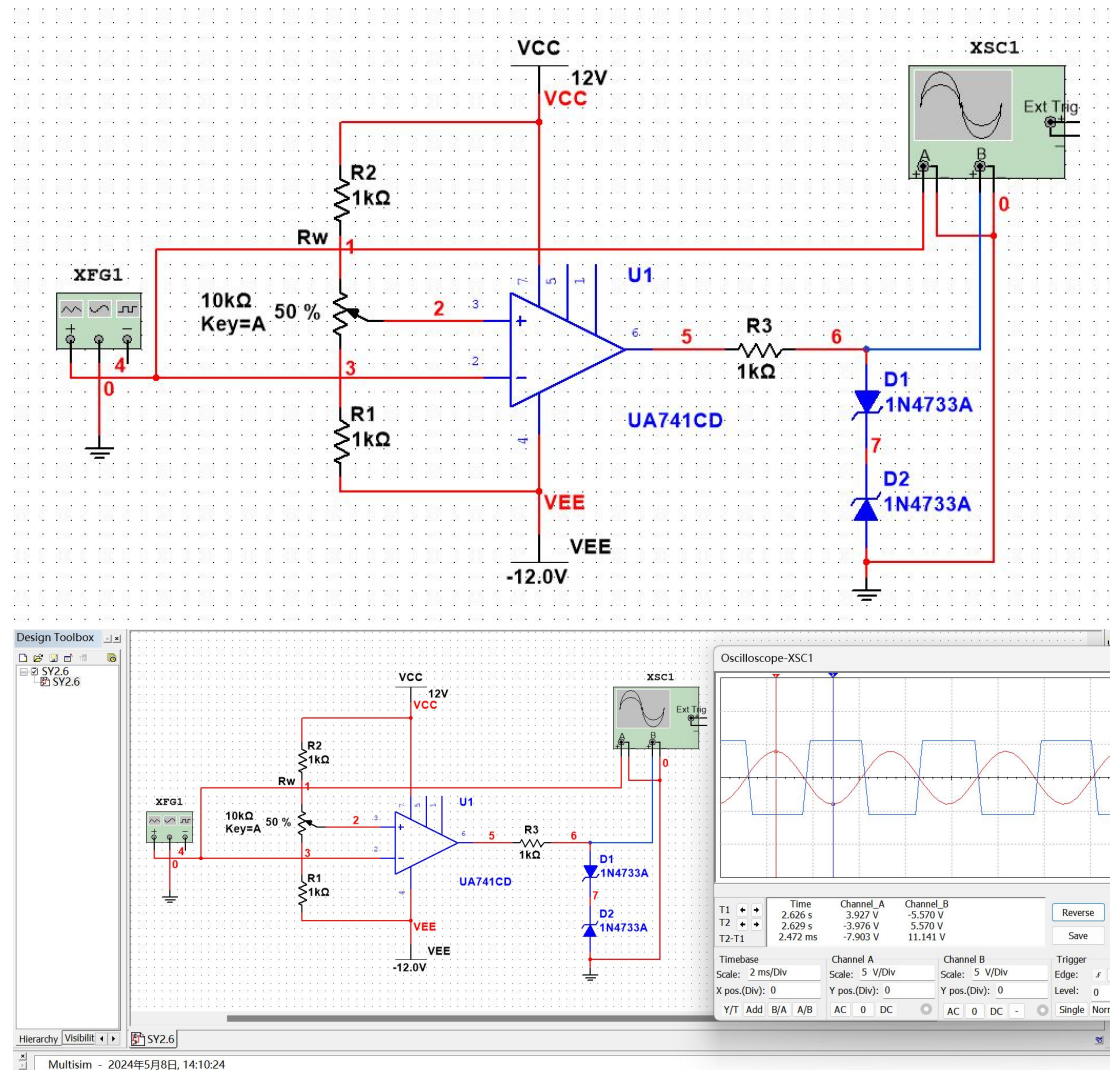
电压传输特性曲线：



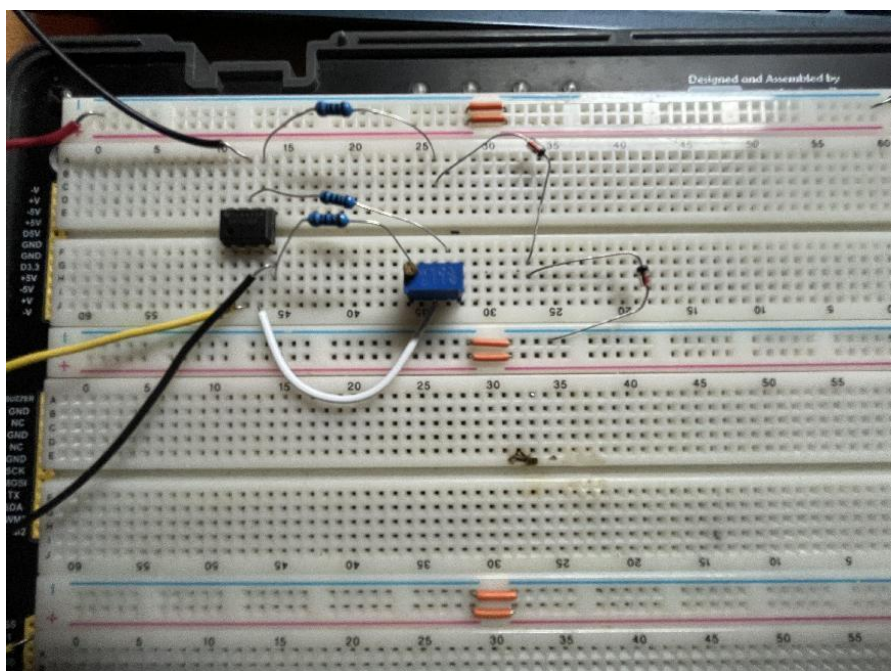
三、实验内容

必做实验部分：

1.仿真实验：



发现仿真波形与理论预期大致相符，但传输特性曲线不太稳定，还是看实验室示波器实测吧。
预搭接：



2. 电路实验

(1) 波形的变换作用

输入为 200Hz, 4Vpp 正弦波, 工作电压+12V

波形变换实验波形数据记录:

参考电压/V	UREF=0	UREF=-1	UREF=1
波形	图 1	图 6	图 11
高电平时间/ms	2.38; 图 2	1.59; 图 7	3.20; 图 12
低电平时间/ms	2.43; 图 3	3.23; 图 8	1.42; 图 13
电压传输特性	图 4、5	图 9、10	图 14、15

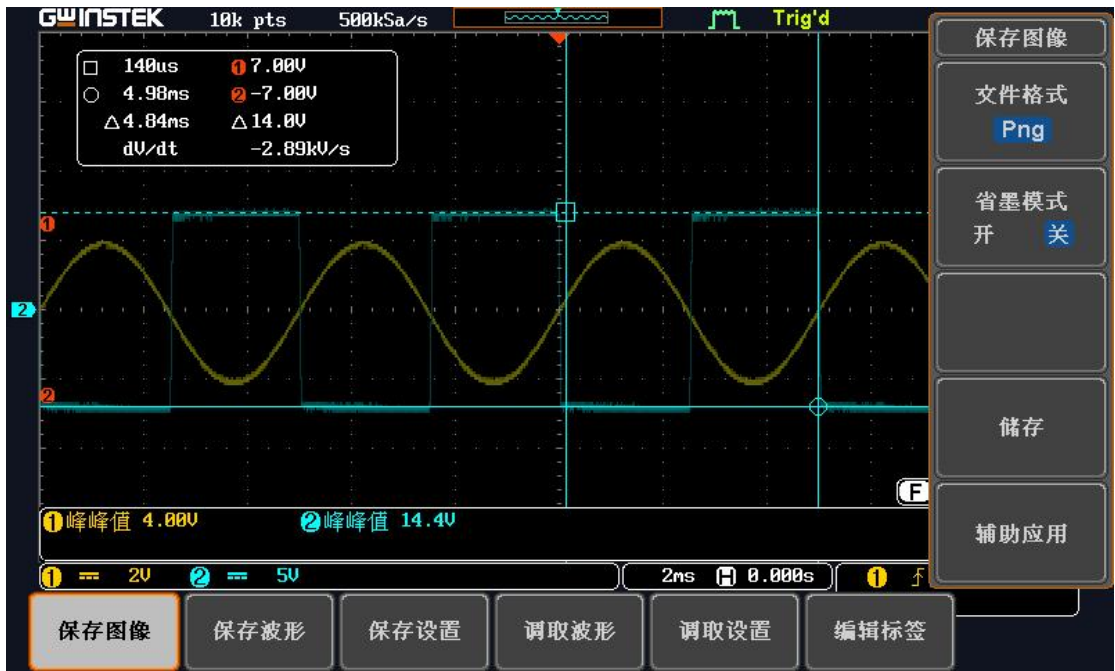


图 1

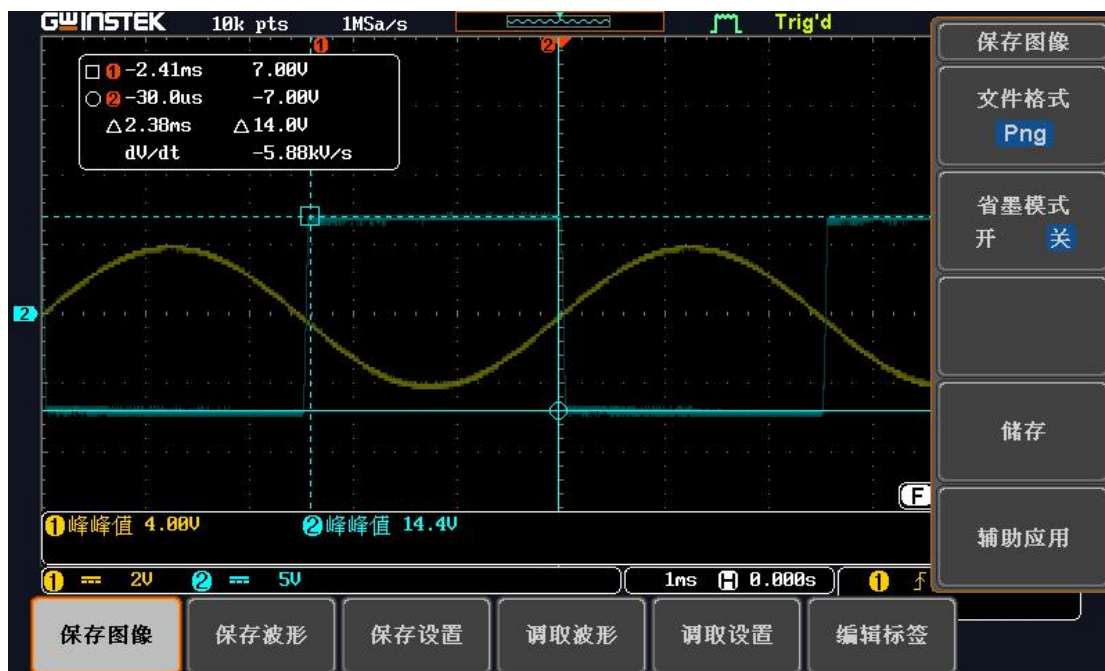


图 2

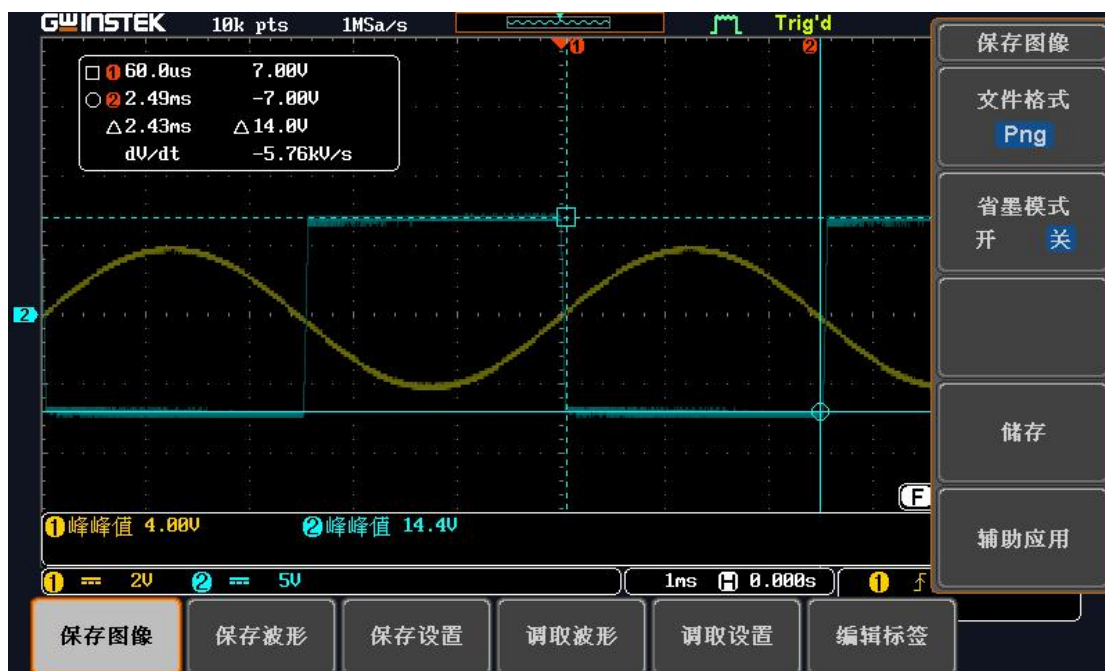


图 3

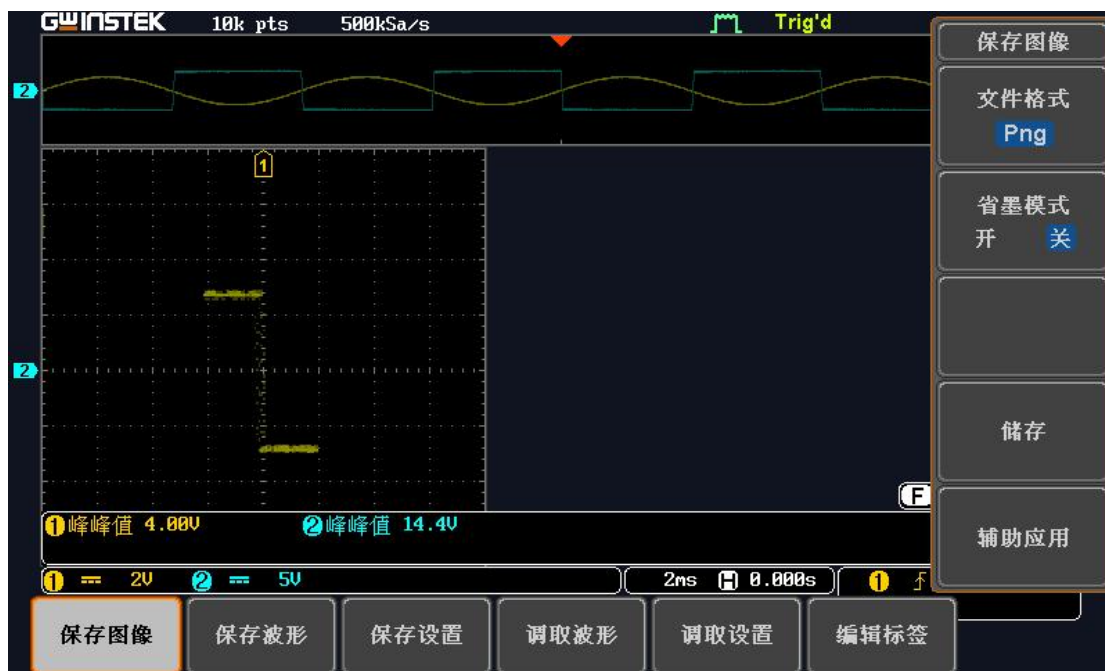


图 4

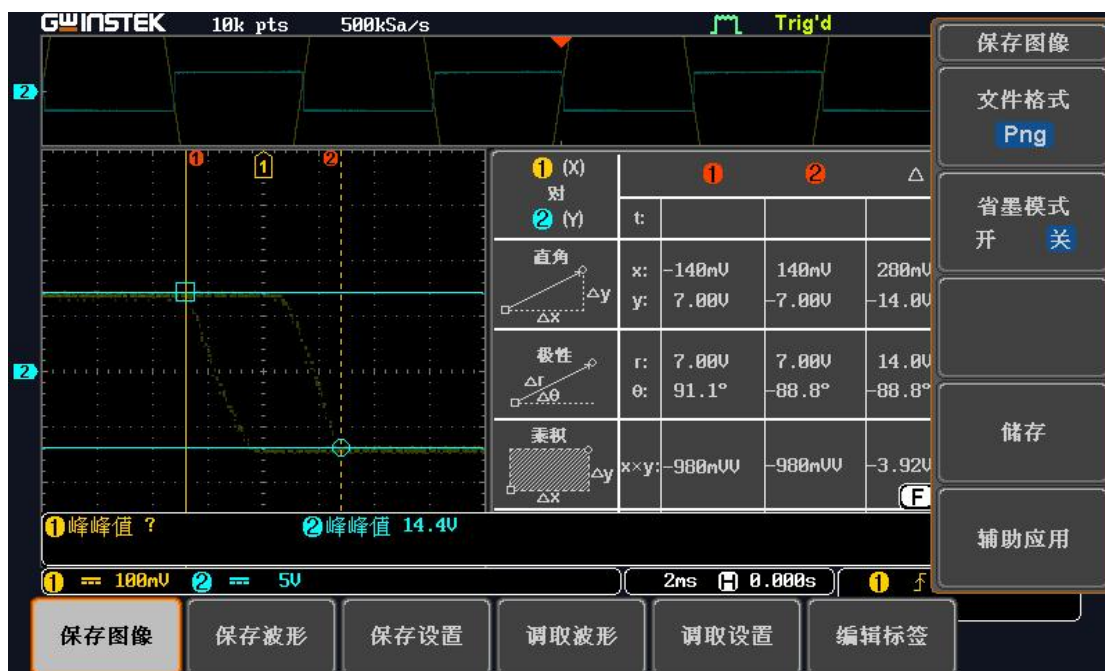


图 5

由上图可见 $U_{REF}=0$ 时，传输特性曲线关于原点对称，中心即 U_{REF} 确实约位于 0 处，上下电压 U_{om} 由两个稳压二极管控制在 $\pm 7V$ 。

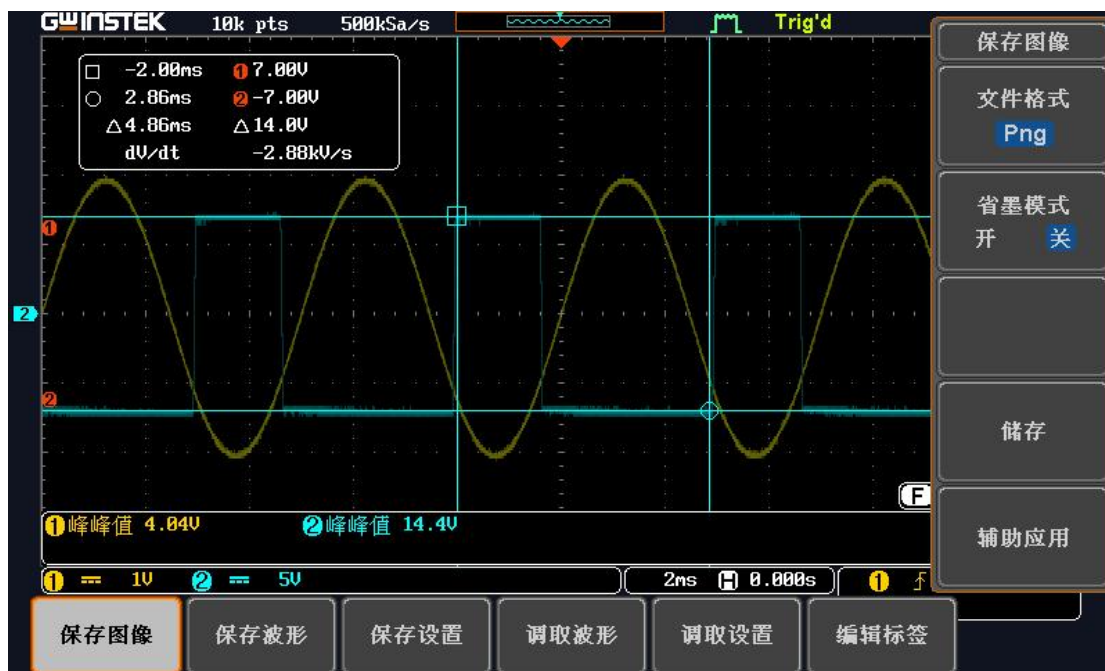


图 6

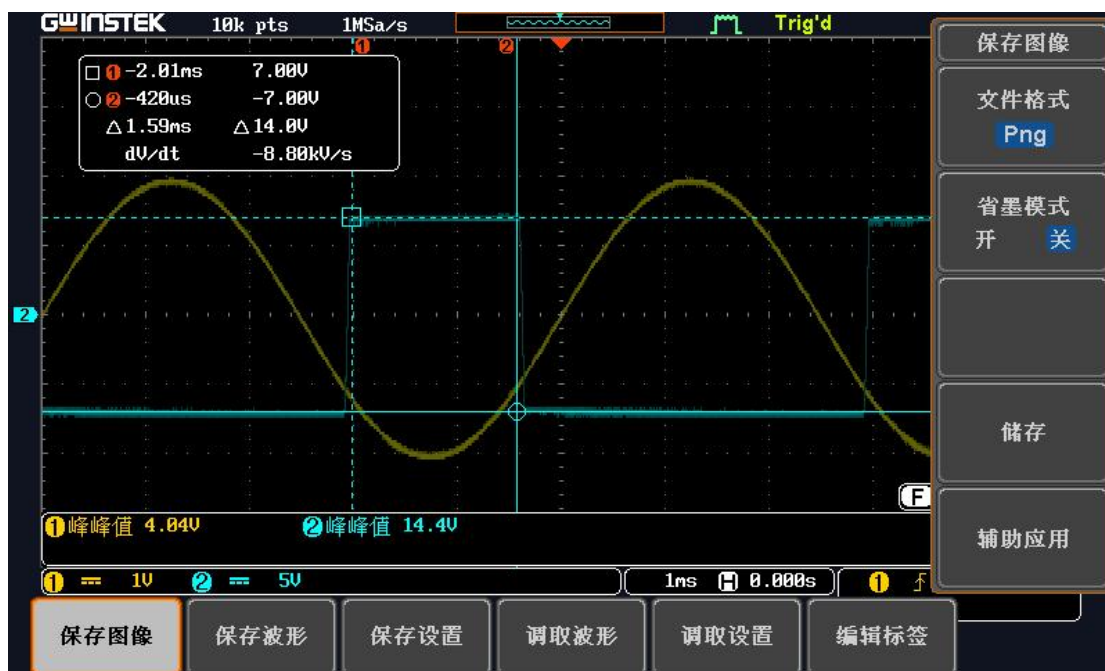


图 7

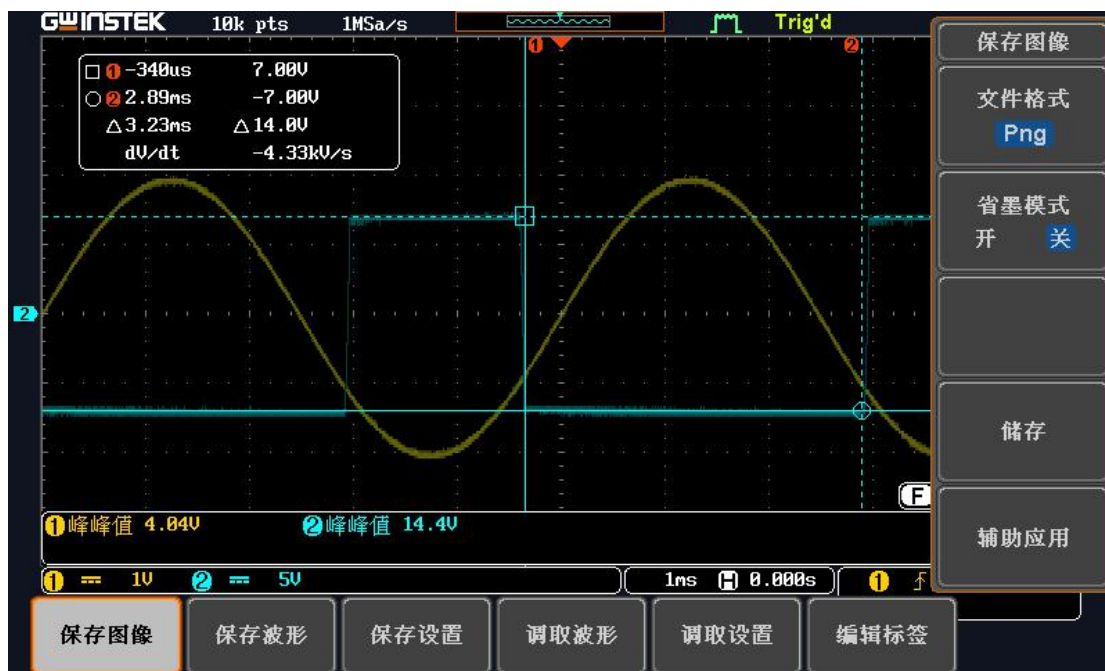


图 8

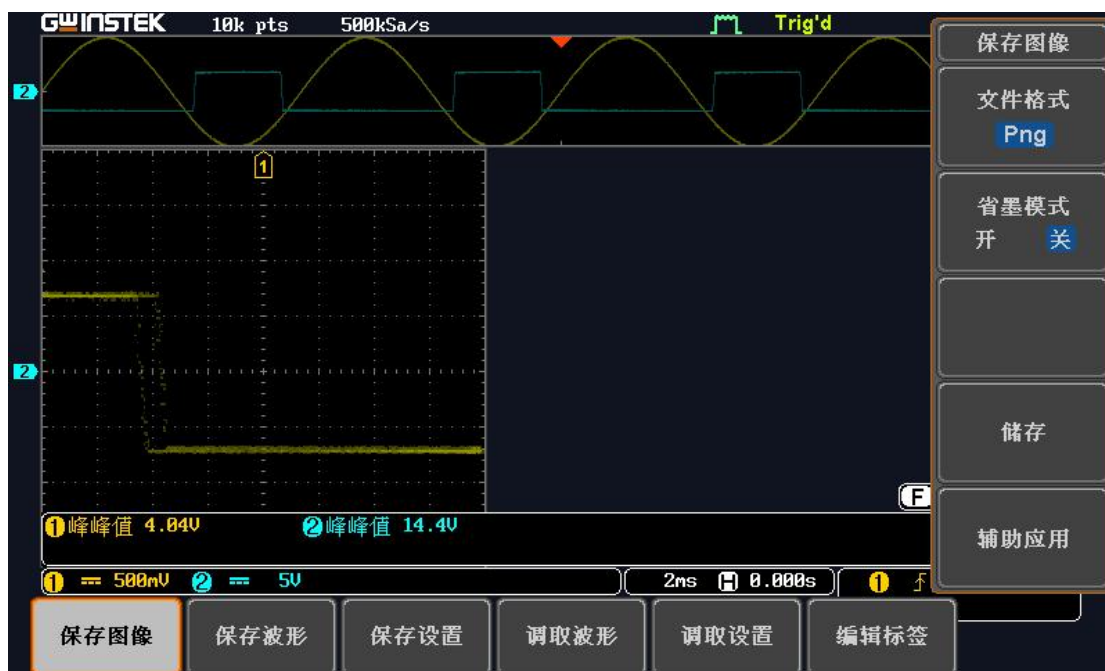


图 9

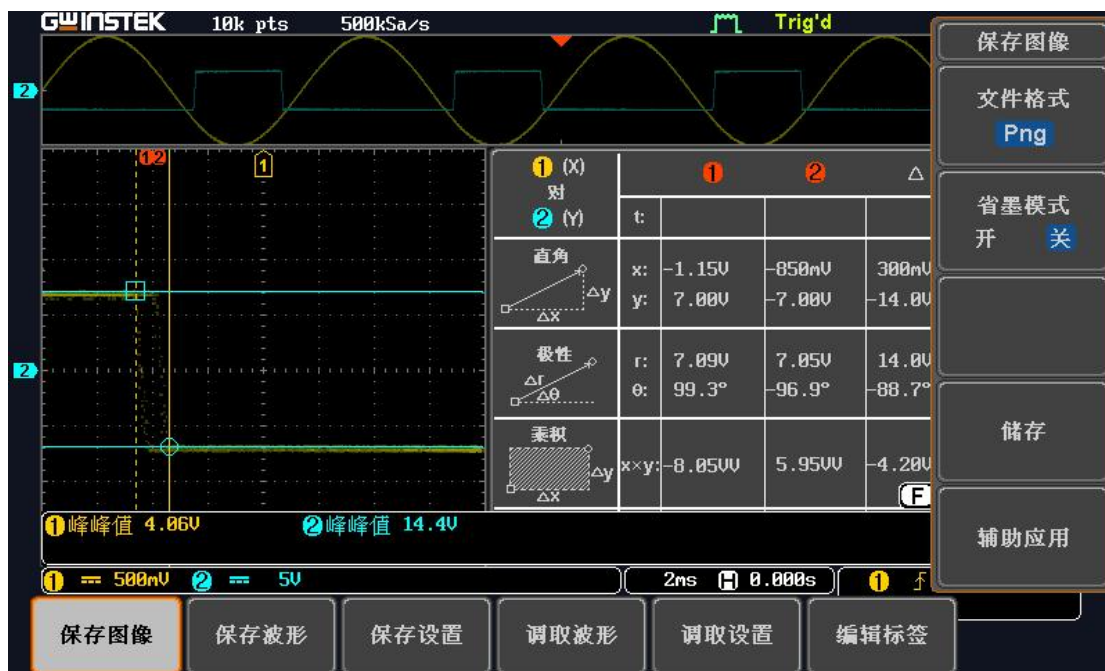


图 10

由上图可见 $U_{REF}=-1$ 时，两点横坐标相加 $(-1.15-0.85)$ 除 2 约为 -1，即传输特性曲线中心即 U_{REF} 确实约位于 -1V 处，上下电压 U_{om} 由两个稳压二极管控制在 $\pm 7V$ 。

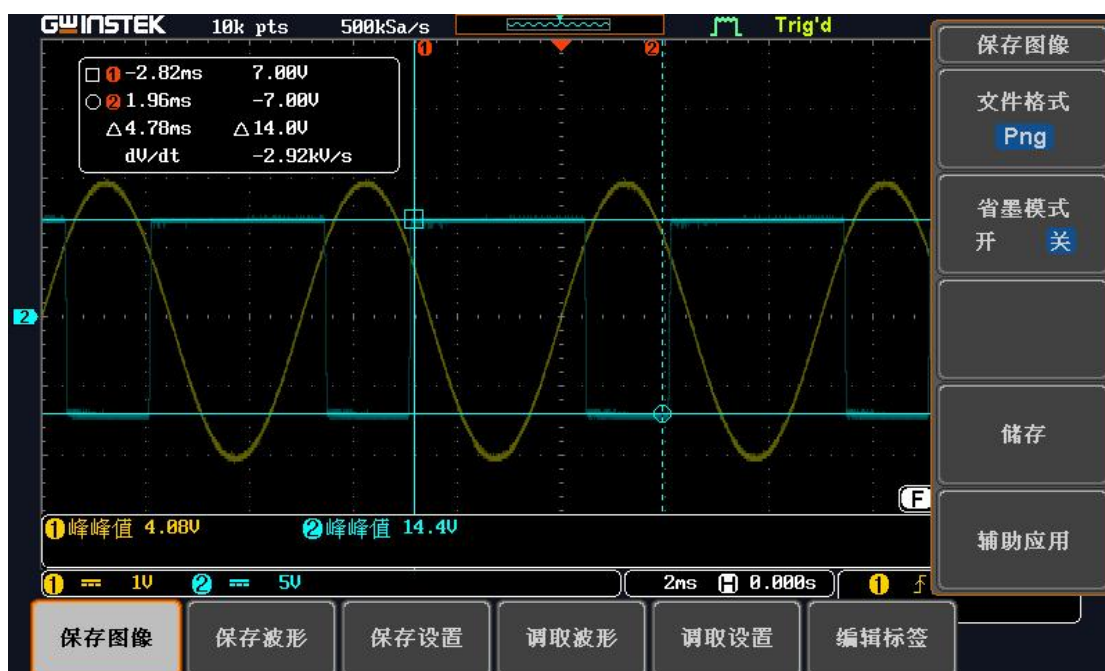


图 11

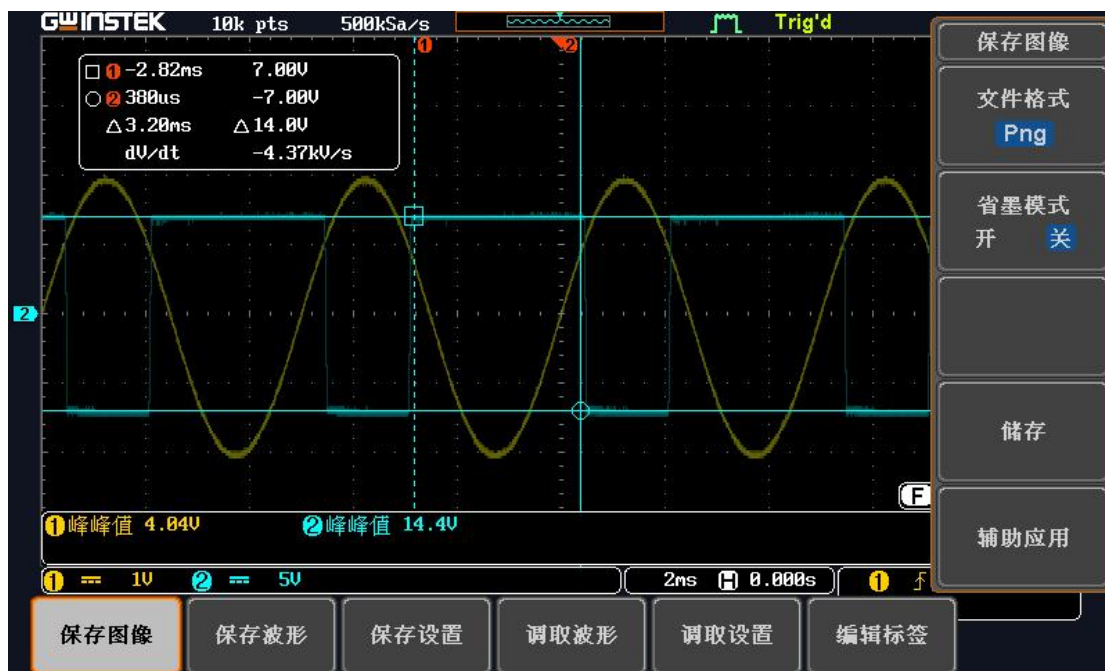


图 12

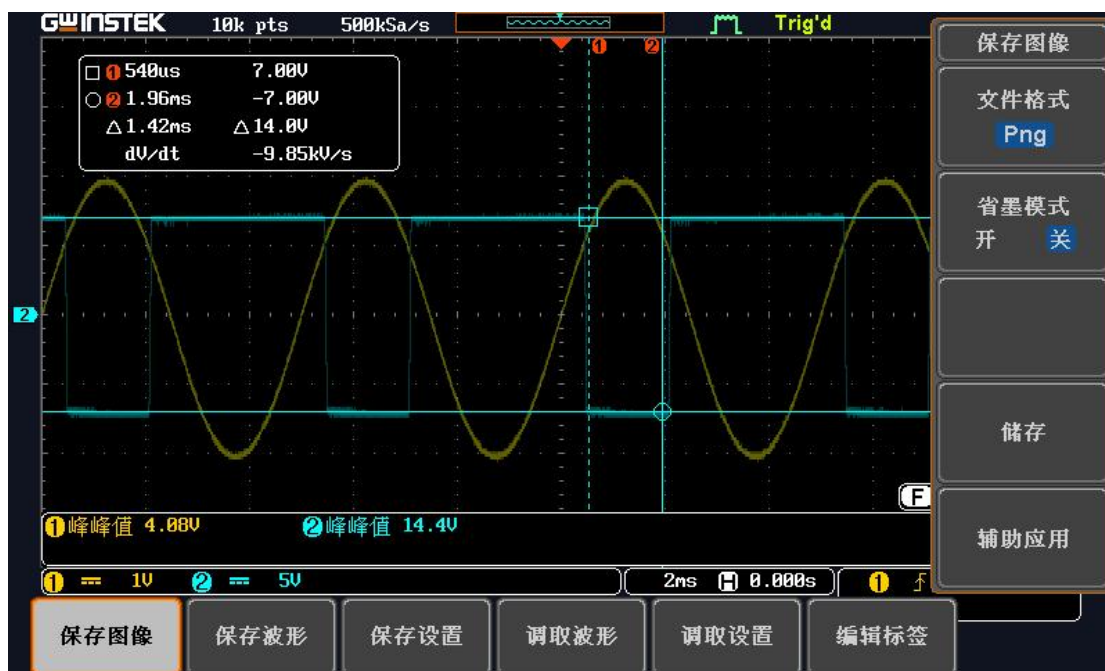


图 13

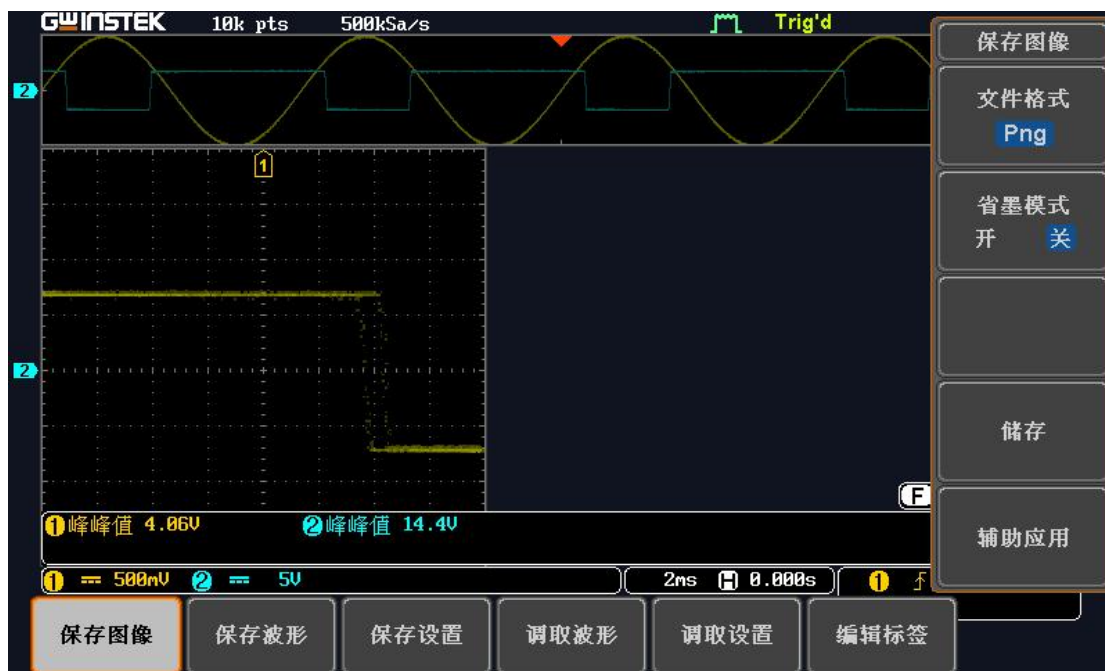


图 14

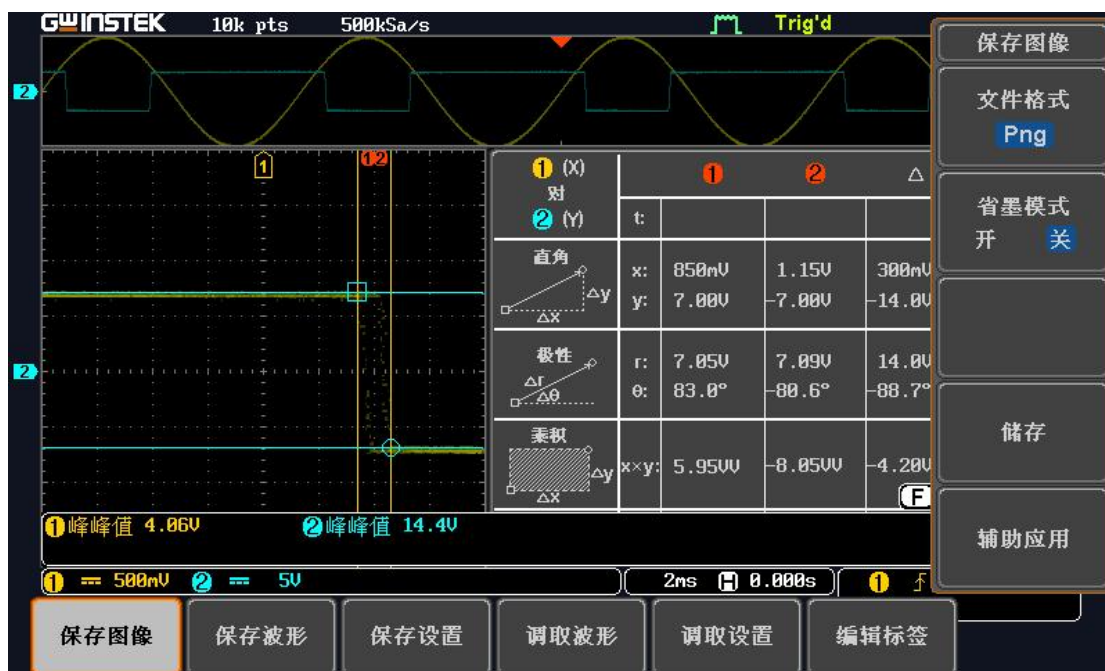


图 15

由上图可见 UREF=1 时，两点横坐标相加（1.15+0.85）除 2 约为 1，即传输特性曲线中心即 UREF 确实约位于 1V 处，上下电压 Uom 由两个稳压二极管控制在±7V。

（2）比较器特性的研究

输入为 2kHz，4Vpp 正弦波，工作电压+12V

比较器特性的研究：

参考电压/V	UREF=0	UREF=-1	UREF=1
波形	图 16	图 21	图 26

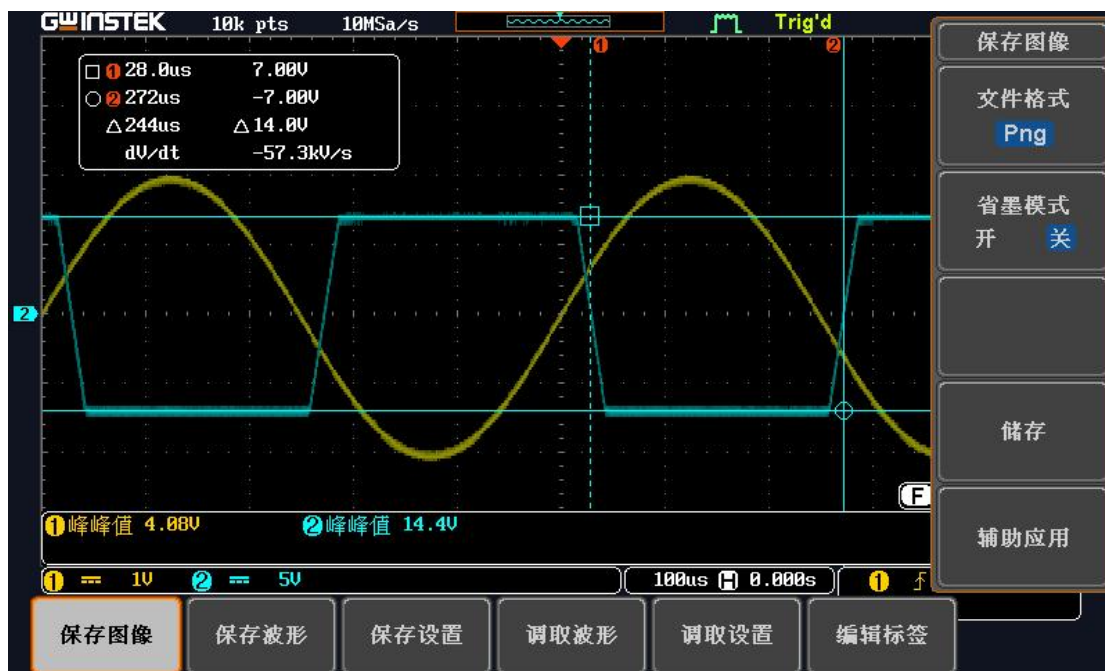


图 18

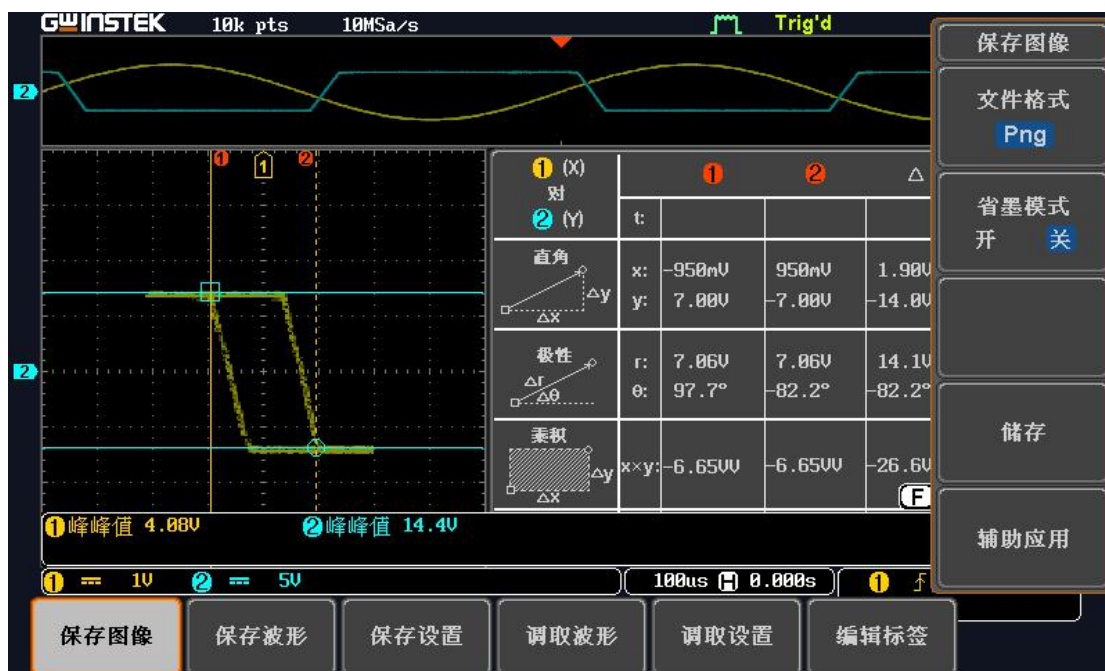


图 19

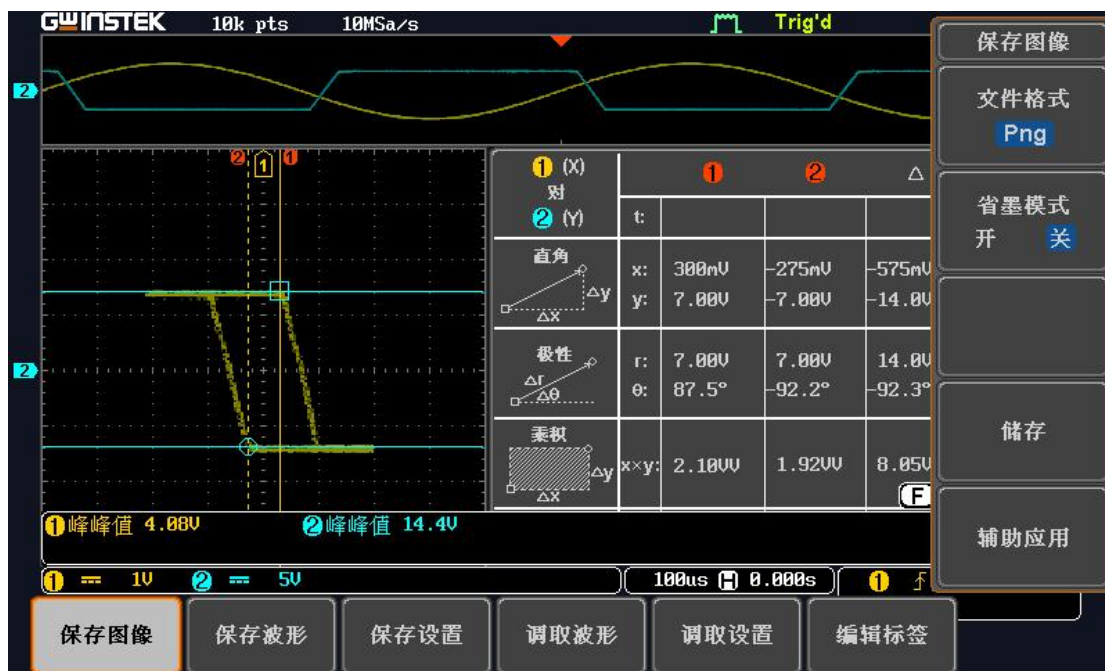


图 20

由上图可见 $U_{REF}=0$ 时，传输特性曲线关于原点对称，中心即 U_{REF} 确实约位于 0 处，上下电压 U_{om} 由两个稳压二极管控制在 $\pm 7V$ 。但与（1）中输入 200Hz 时对比发现，随着频率越来越大，回差变大，传输特性曲线开始倾斜，所以说这里要注意测量高低电平时间时要用 Cursor 卡在斜线中点处，这样才符合脉宽定义，不可直接示波器读数，这一现象是受转换速率的影响，与运放器件参数有关，后文将进一步理论分析。

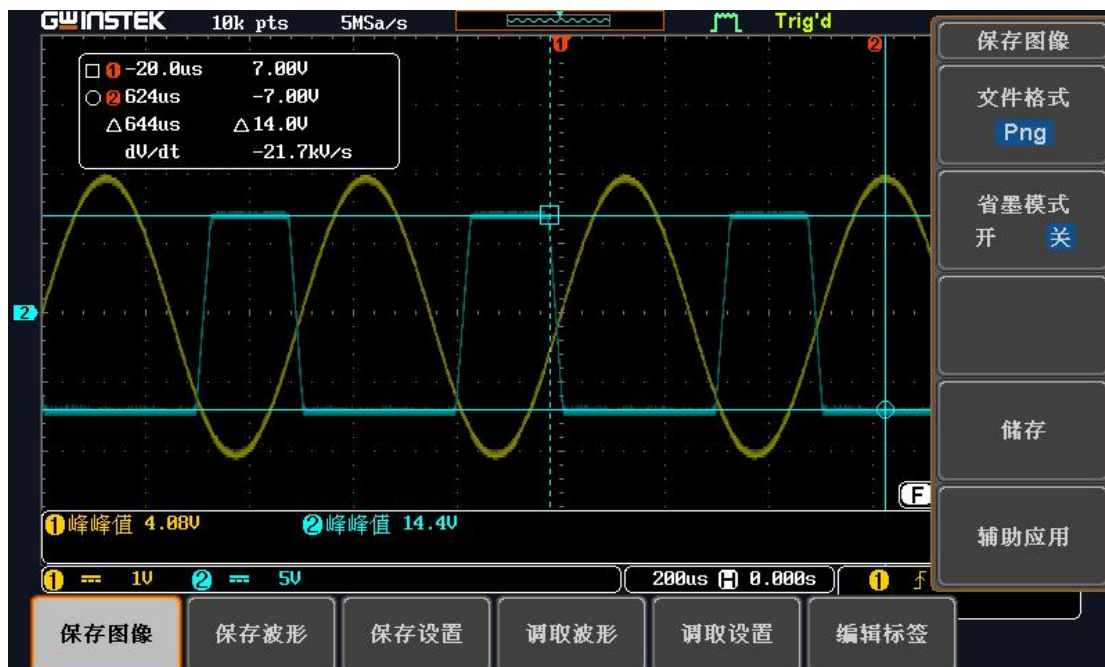


图 21

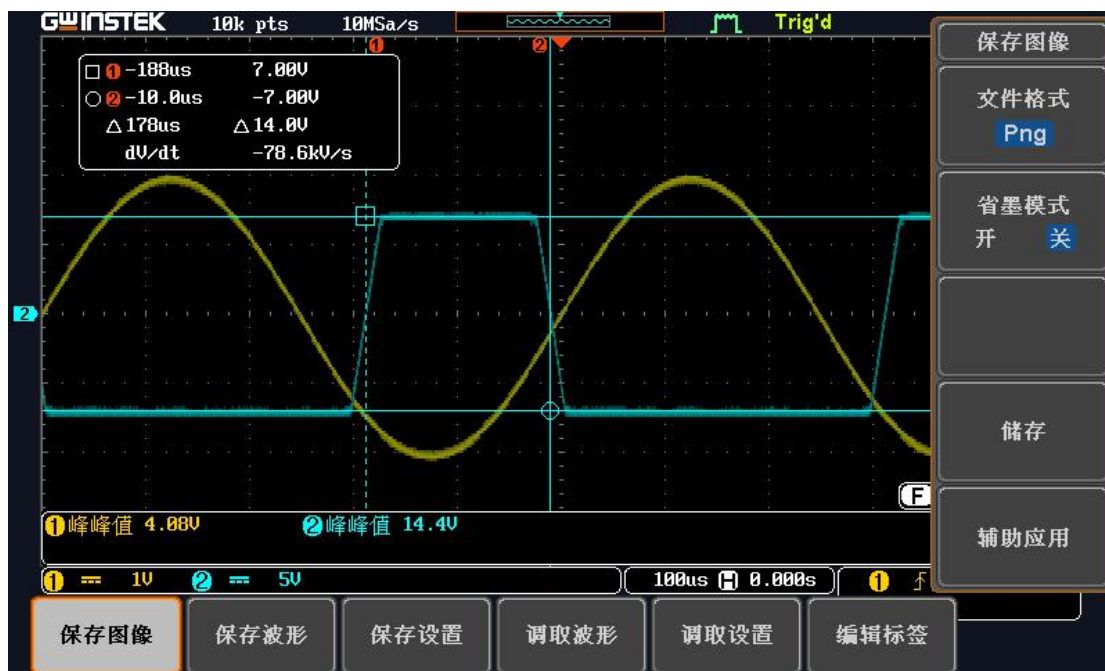


图 22

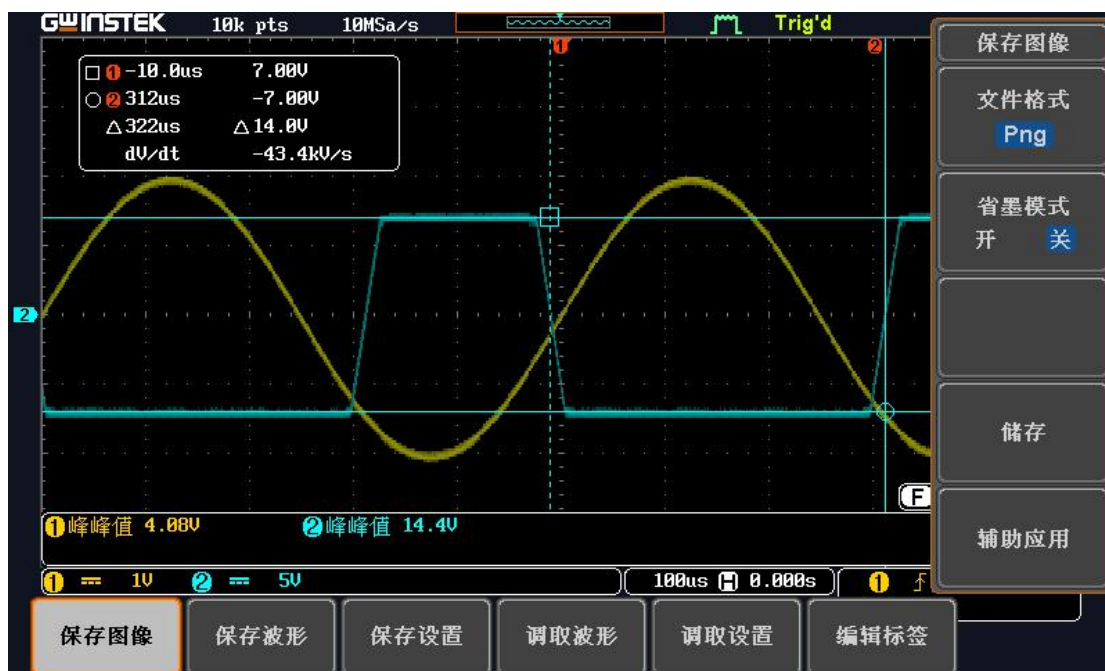


图 23

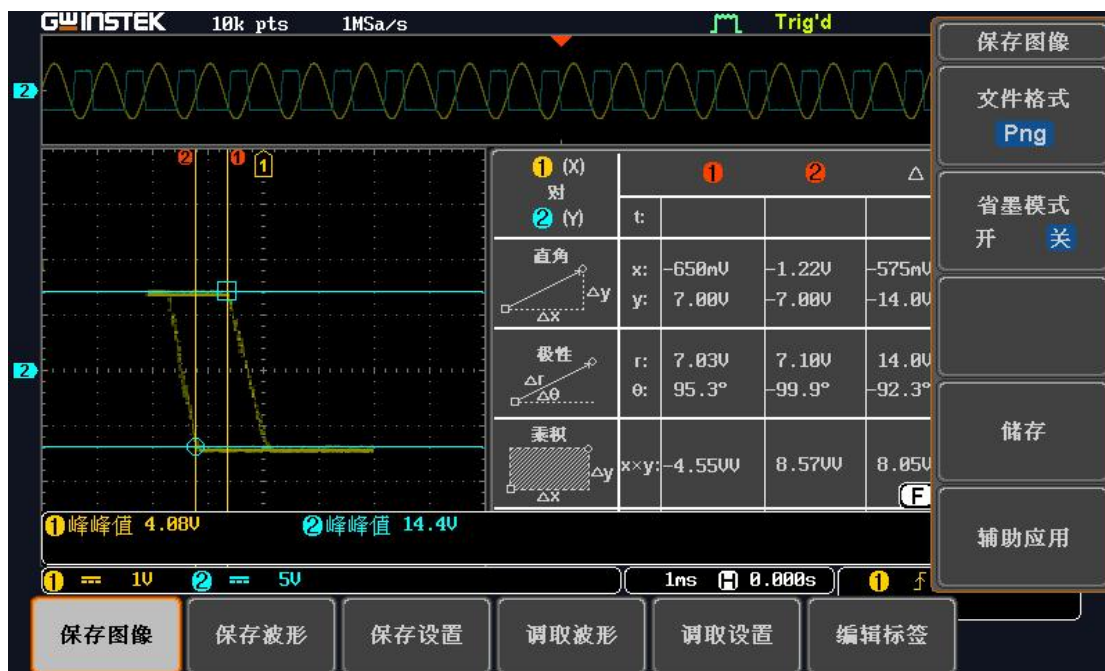


图 24

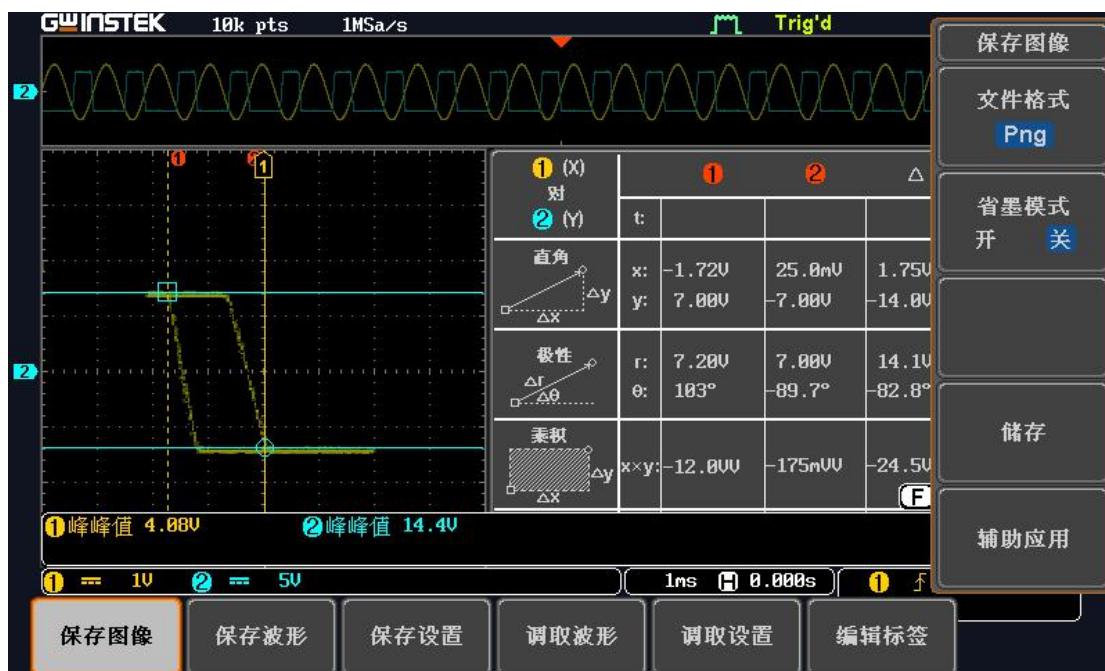


图 25

由上图可见 $U_{REF}=-1$ 时，传输特性曲线的回差增大和倾斜程度更加明显，传输特性曲线的中心即 U_{REF} 与 -1 也出现了少许偏差，对称性降低，上下电压 U_{om} 仍由两个稳压二极管控制在 $\pm 7V$ 。

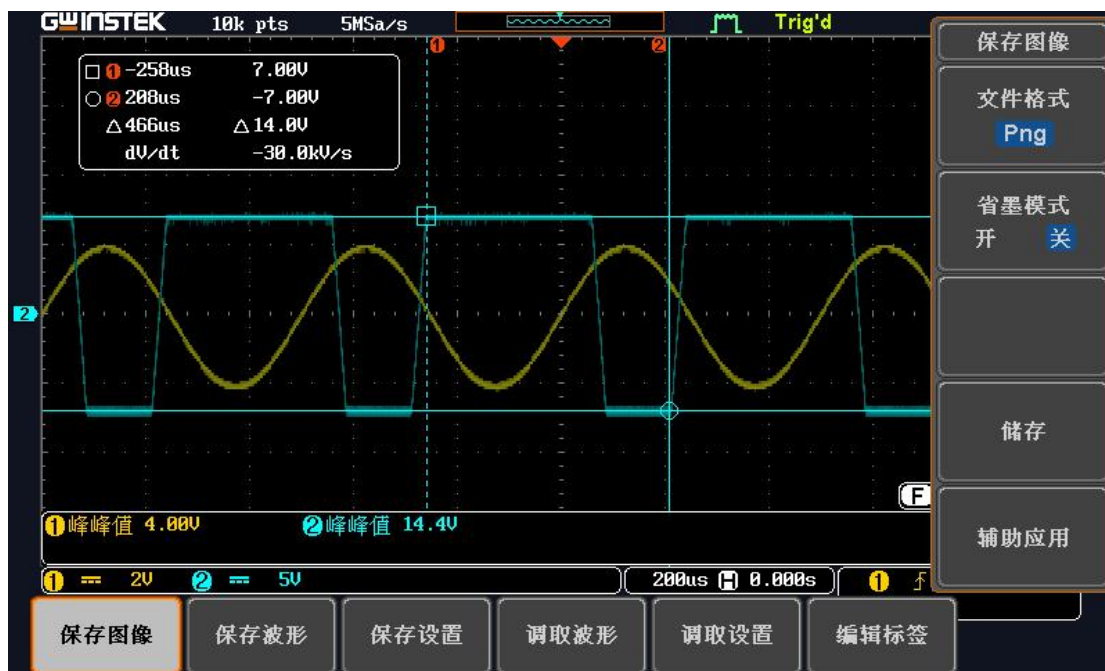


图 26

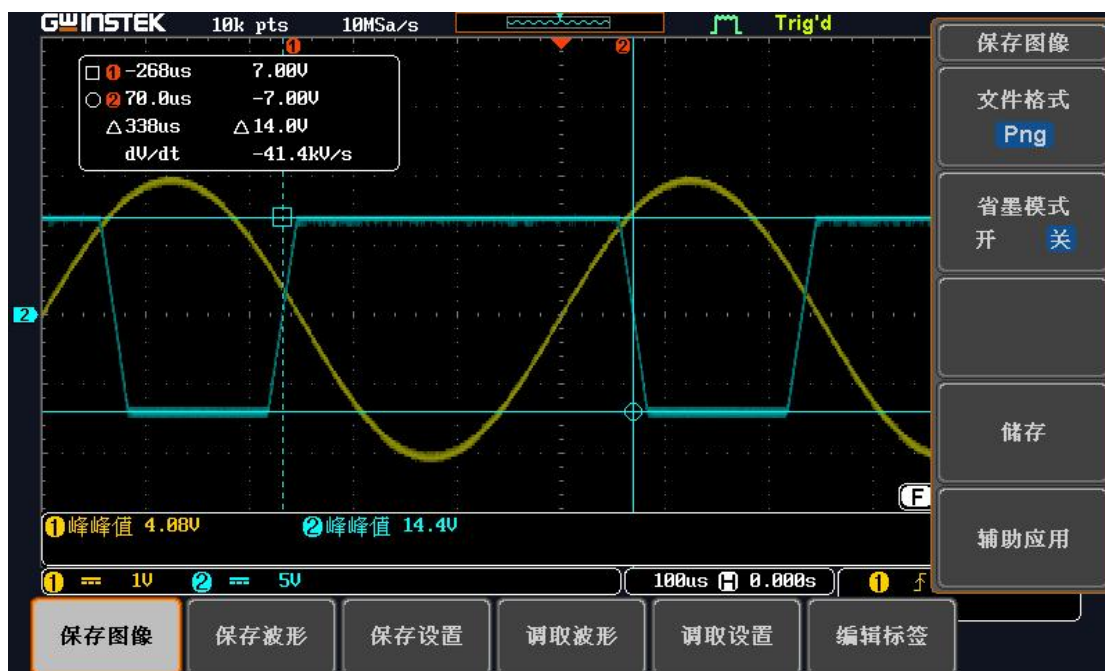


图 27

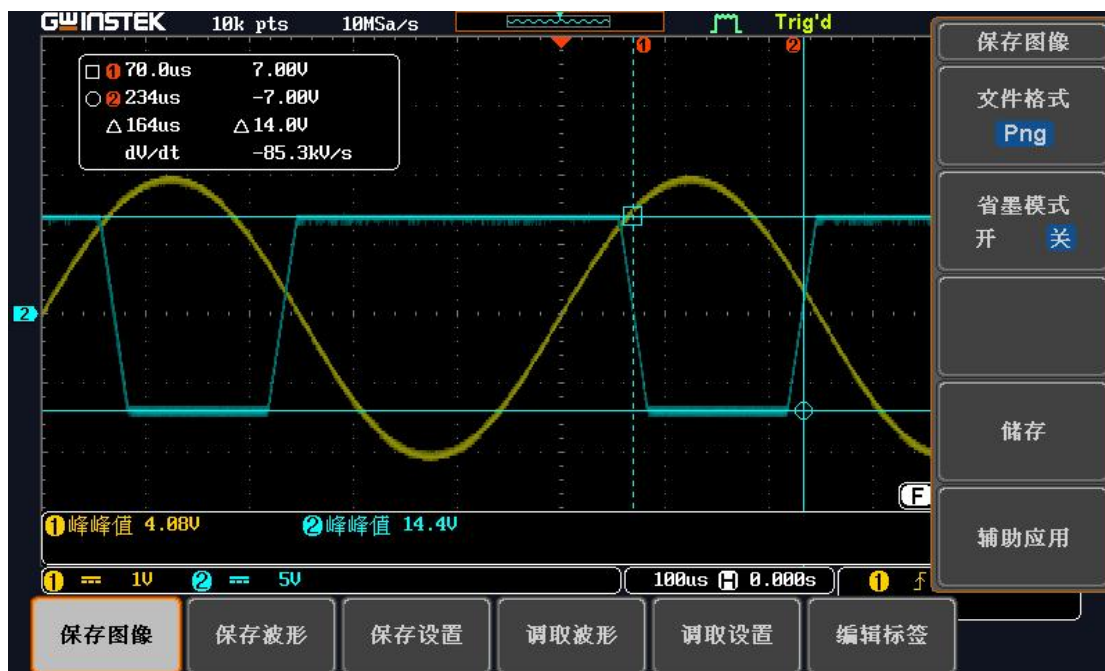


图 28



图 29

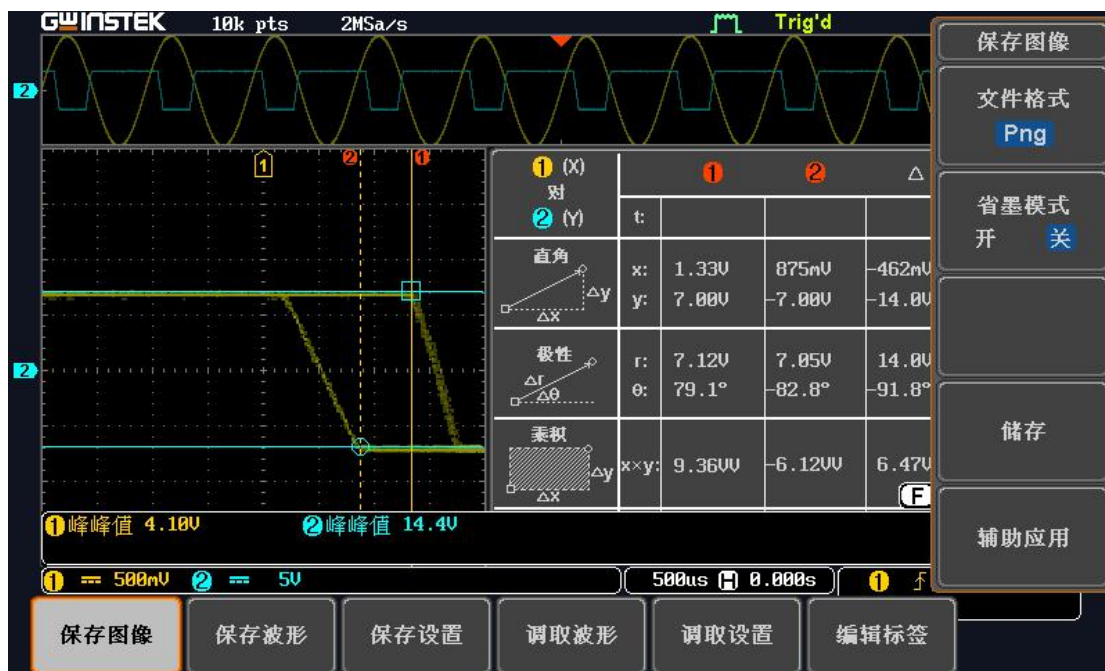


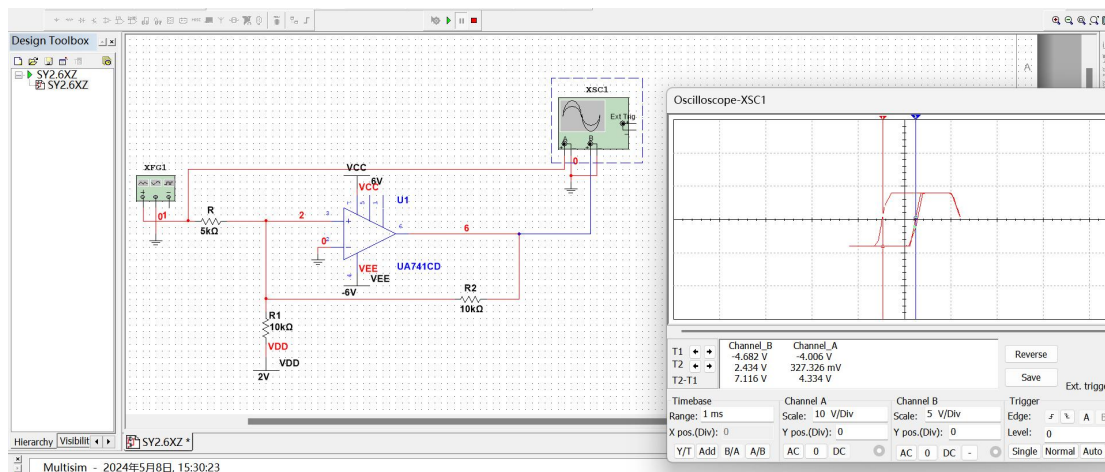
图 30

由上图可见 $U_{REF}=1$ 时，传输特性曲线的回差增大和倾斜程度更加明显，传输特性曲线的中心即 U_{REF} 与 1 也出现了少许偏差，对称性降低，上下电压 U_{om} 仍由两个稳压二极管控制在 $\pm 7V$ 。

选作部分实验：

施密特比较器

1.仿真实验：



(3) 中心电压可调的施密特比较器

图 2-6-7(a) 所示为中心电压可调的施密特比较器电路, 其电压传输特性曲线如图 2-6-7(b) 所示。

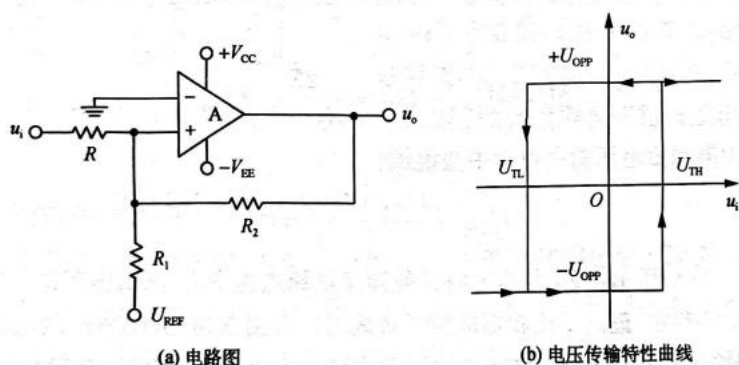


图 2-6-7 中心电压可调的施密特比较器

用类似的方法可以分析得到其上下限阈值电压分别为:

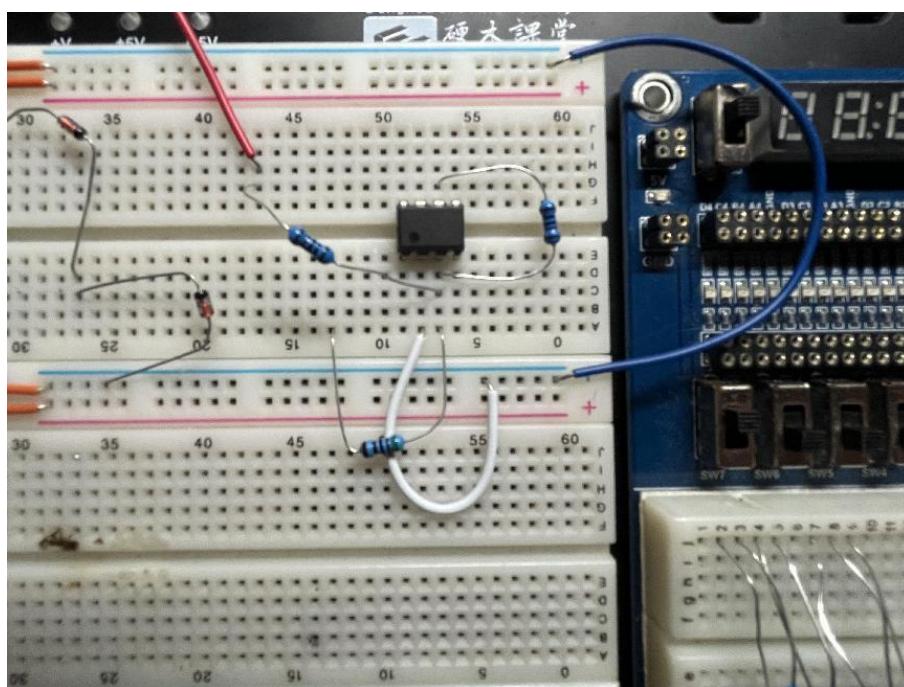
$$\begin{cases} U_{TH} = \frac{R + R_1 // R_2}{R_1 // R_2} \left(\frac{R // R_1}{R_2 + R // R_1} U_{OPP} - \frac{R // R_2}{R_1 + R // R_2} U_{REF} \right), \text{当 } u_o = +U_{OPP} \text{ 时} \\ U_{TL} = \frac{R + R_1 // R_2}{R_1 // R_2} \left[\frac{R // R_1}{R_2 + R // R_1} (-U_{OPP}) - \frac{R // R_2}{R_1 + R // R_2} U_{REF} \right], \text{当 } u_o = -U_{OPP} \text{ 时} \end{cases} \quad (2.6.7)$$

回差为:

$$\Delta U_T = U_{TH} - U_{TL} = 2 \times \frac{R + R_1 // R_2}{R_1 // R_2} \frac{R // R_1}{R_2 + R // R_1} U_{OPP} \quad (2.6.8)$$

由理论公式, 我凑了 R、R1、R2 分别为 5kΩ、10kΩ、10kΩ, 这样 1: 2: 2 的比例关系, U_REF 为 2V, 实验器材也比较方便取到对应数值。

预搭接:



2.电路实验

输入 200Hz:

波形如下:

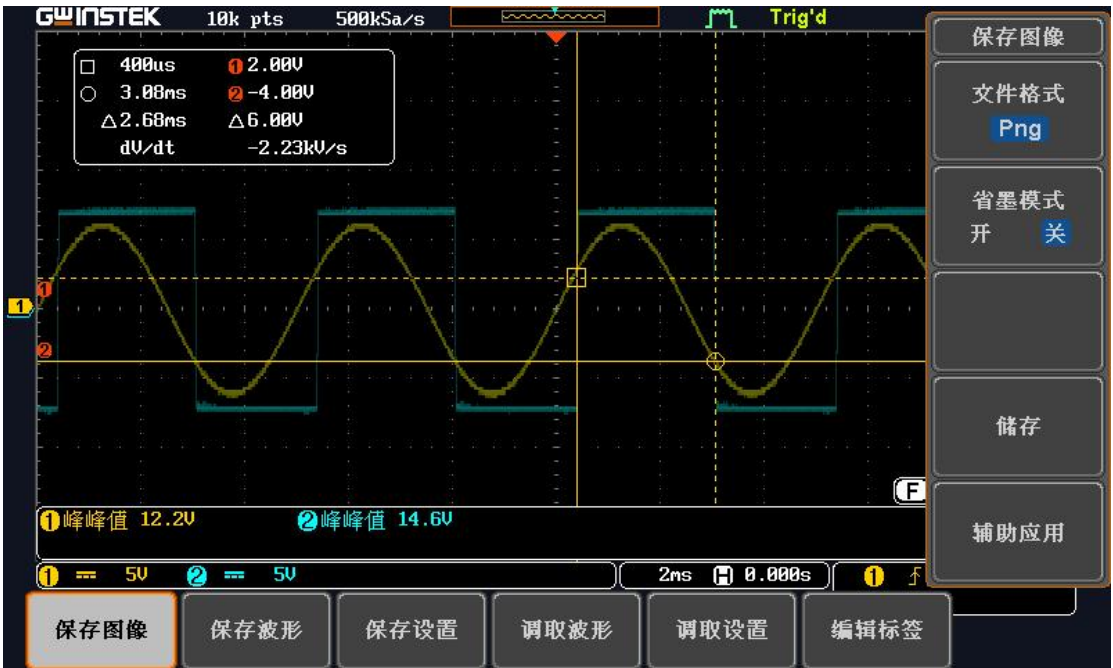


图 31

从上图波形中我 Cursor 卡出的俩点来看，波形是符合理论预期的，符合电压传输特性曲线在超过 2V 和低于 4V 时电平变化。

传输特性曲线如下:

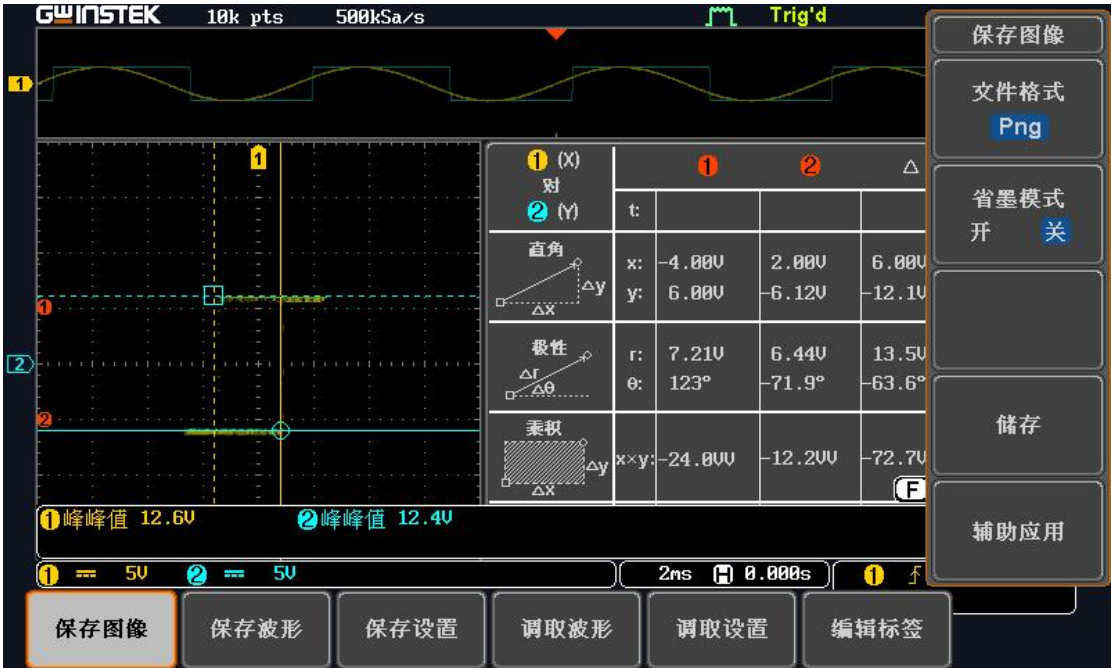
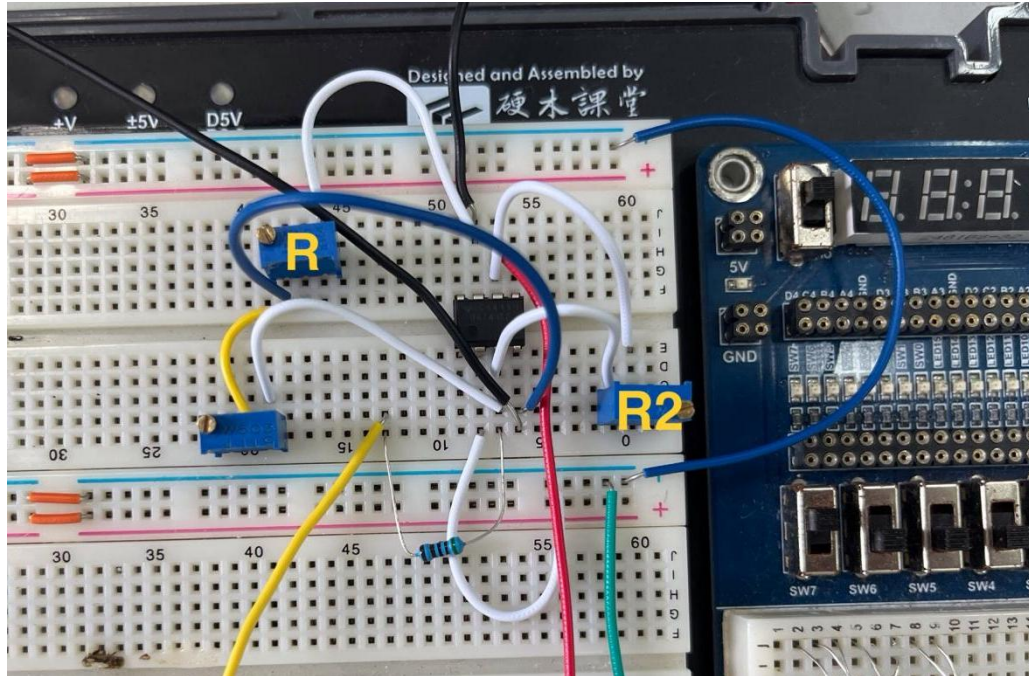


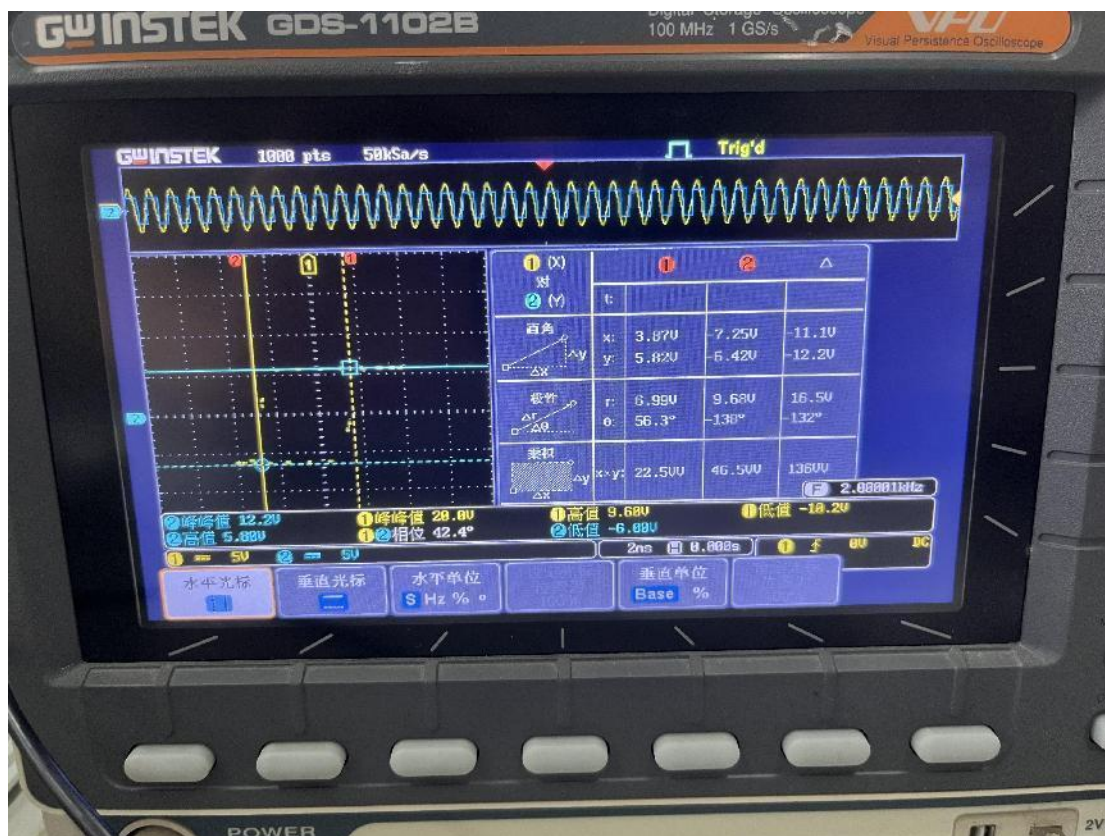
图 32

总结：实验中我将所有电阻换成电位器调节，电路实物如下图，其中 R 的作用是分压工作电压 $\pm 12V$ ，以得到 U_{REF} ，所以调节 R 可以改变传输特性曲线的中心位置即左右移动；而调节 R_2 可改变传输特性曲线的宽窄；两个电位器一起调节可最终使电压传输特性曲线符合要求即 $U_{TH}=2V$ ， $U_{TL}=-4V$ 。 U_{om} 由 5V1 稳压二极管稳定在 $\pm 6V$ 左右。



输入 2kHz:

传输特性曲线如下:



频率增大 2kHz 后，与必做实验相类似，观察到传输特性曲线的回差增大和倾斜程度更加明显，对称性也有降低，受 UA741 的转换速率的影响。

四、实验总结

这次实验我学习的是比较器电路，在实验总结中我主要说两个实验中的操作注意点以及上文提及的对于转换速率的分析。两个操作注意分别为输入 2kHz 时测量高低电平要用 Cursor 卡在斜线中点处而非端点，这样才符合脉宽定义；其次是在调节传输特性曲线时，理论上我们不应该去改变工作电压 $\pm 12V$ ，而是调节电位器以及用稳压二极管控制 U_{om} 。

对于 UA741 的转换速率，器件手册上为 $SR=0.5V/\mu s$ ，就是说 $1\mu s$ 能变 $0.5V$ ，以本实验中稳压二极管将 U_{om} 稳在大约 $\pm 6V$ 为例，则需要改变 $6+6=12V$ ，所需时间为 $24\mu s$ ，那么以上升时间小于 0.1 个半周期来算， $24\mu s < 0.1 \times 0.5 \times T$ ，那么 $T=480\mu s$ ，对应的最大频率约为 2kHz，所以说在实验中输入由 200Hz 改到 2kHz 时，能观察到传输特性曲线回差变大，更加倾斜，频率再增大则放大器来不及响应输出电压，即出现失真。

五、实验器材

E 派实验箱、示波器、信号源、稳压电源等

六、参考文献

《模拟电子电路实验》黄慧春 堵国梁 编著 东南大学出版社