



实验16 电压比较器应用电路设计P330

浙江大学电工电子教学中心
傅晓程

桌号请写在实验**地点**后

例如，**地点**：东3 - 2XX A1

本次实验**无需**验收

本次**需**提交实验报告



实验目的

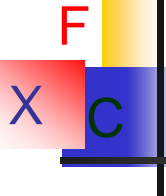
1. 了解电压比较器与运算放大器的性能区别；
2. 掌握电压比较器的结构及特点；
3. 掌握电压比较器电压传输特性的测试方法；
4. 学习比较器在电路设计中的应用。



实验任务

比较器：LM393

- 1、同相过零电压比较器电路，同相输入端接1 kHz、1 V正弦波信号(有效值)，测量并绘制输入、输出电压波形和电压传输特性曲线。**
- 2、单门限电压比较器电路，同相输入端接1 V直流电压，反相输入端接1 kHz、1 V正弦波信号(有效值)，测量并绘制输入、输出电压波形和电压传输特性曲线。**
- 3、滞回电压比较器电路，反相输入端接1 kHz、5 V峰-峰值三角波信号，测量并绘制输入、输出电压波形和电压传输特性曲线。**
- 4、窗口电压比较器电路，输入1 kHz、10 V峰-峰值三角波信号，测量并绘制输入、输出电压波形和电压传输特性曲线。**
- 5、三态电压比较器电路，输入1 kHz、10 V峰-峰值三角波信号，测量并绘制输入、输出电压波形和电压传输特性曲线。**



理想运放

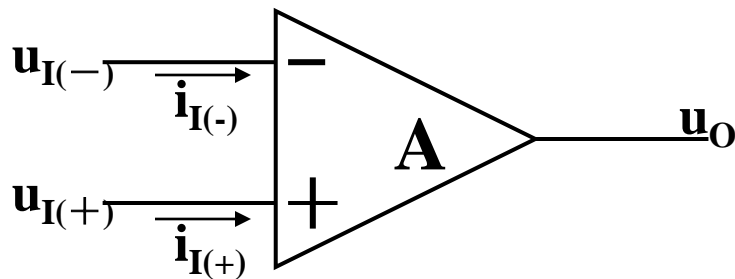
$$A_{od} \rightarrow \infty, R_{id} \rightarrow \infty, R_{ic} \rightarrow \infty,$$

$$K_{CMR} \rightarrow \infty, f_H \rightarrow \infty, R_o \rightarrow 0 ;$$

$$I_{IB(+)} = I_{IB(-)} \rightarrow 0 ,$$

$$U_{IO} \rightarrow 0, I_{IO} \rightarrow 0 ,$$

且温漂、噪声和干扰均忽略.



理想运放工作在线性区（放大器）的两个特点:

- ① “虚短” : $u_{I(+)} \approx u_{I(-)}$
- ② “虚断” : $i_{I(+)} = i_{I(-)} \approx 0$

理想运放工作在非线性区（比较器）的两个特点:

- ① “虚短” : 不成立 .
- ② “虚断” : $i_{I(+)} = i_{I(-)} \approx 0$

$$\begin{aligned} &u_{I(+)} > u_{I(-)} \text{ 时, } u_O = U_{O \max}^+ \\ &u_{I(+)} < u_{I(-)} \text{ 时, } u_O = U_{O \max}^- \end{aligned}$$

电压比较器（简称为 比较器）

理想比较器：

$$A_{od} \rightarrow \infty, R_{id} \rightarrow \infty, R_{ic} \rightarrow \infty,$$

$$K_{CMR} \rightarrow \infty, f_H \rightarrow \infty, R_o \rightarrow 0 ;$$

$$I_{IB(+)} = I_{IB(-)} \rightarrow 0 ,$$

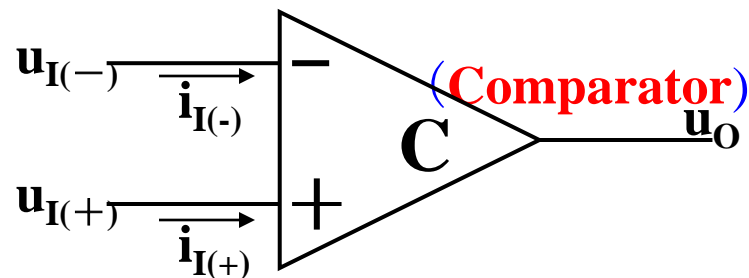
$$U_{IO} \rightarrow 0, I_{IO} \rightarrow 0 ,$$

且温漂、噪声和干扰均忽略.

强调：灵敏度（分辨率，鉴别度），

工作速度 [转换速率 SR ，响应时间]，

输入过激励，输出只有两个电平(高电平，低电平) .器件处于非线性工作状态.



① “虚短”：不成立 .

② “虚断”： $i_{I(+)} = i_{I(-)} \approx 0$

P338③ 电压比较器电路是否需要调零？原因何在？

P338④ 电压比较器电路两个输入电阻是否要求对称？为什么？

P338⑤ 电压比较器输出电压由什么决定？

电压比较器与运算放大器的性能区别:

比较器构成：运放构成比较器 和 专用比较器。

✓ 模拟电压比较器：非线性，响应快，延迟小，可直接驱动数字电路；

运算放大器：以负反馈条件工作为主，线性、稳定。

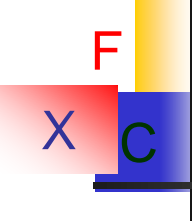
✓ 开环结构（或正反馈条件）运算放大器 → 模拟电压比较器。

运算放大器一般可作**电压比较器**使用，在要求不高情况下也可以考虑将某些运算放大器（例如：LM324、LM358、 μ A741、TL081、OP07、OP27等）当作比较器使用。但**电压比较器**原则上不能作为**运算放大器**使用。

注：LM393是**比较器**，它的速度指标主要体现在**上升时间**和下降时间这两个参数，根据这两个参数很容易判断它对信号的响应速度是否满足所需，而LM358是**运算放大器**，在数据手册中没有给出上升时间和下降时间这两个参数，只给出带宽，在处理低频、较缓慢的信号时不会有问题，在处理高速信号时就不易判断LM358是否满足速度要求。

P338① 电压比较器的作用与特点是什么？

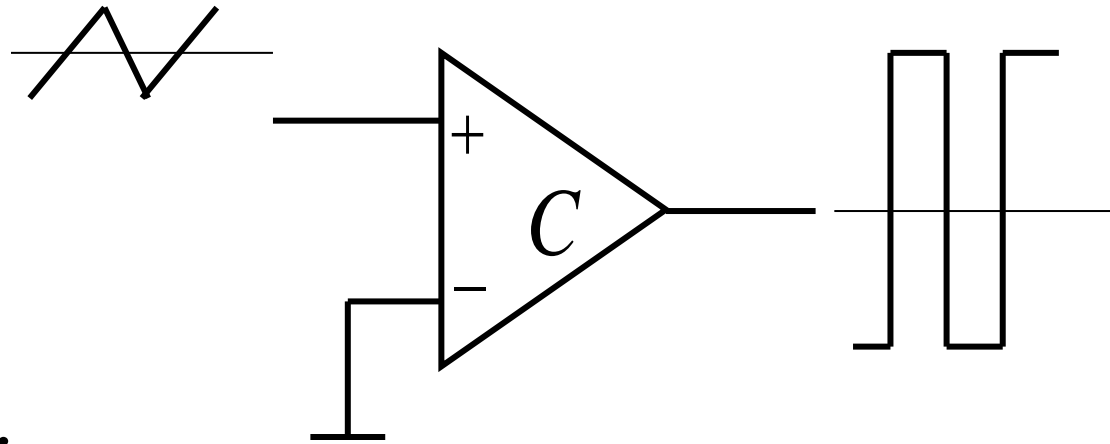
P338② 集成运算放大器能否作为电压比较器使用？集成电压比较器能否作为运算放大器使用？为什么？



电压比较器（简称为 比较器）应用

△ 在用模拟电路产生非正弦波形时，**电压比较器**是其中的主要单元电路。

△ 模数接口电路。



△ 模拟电压比较器的**功能**：

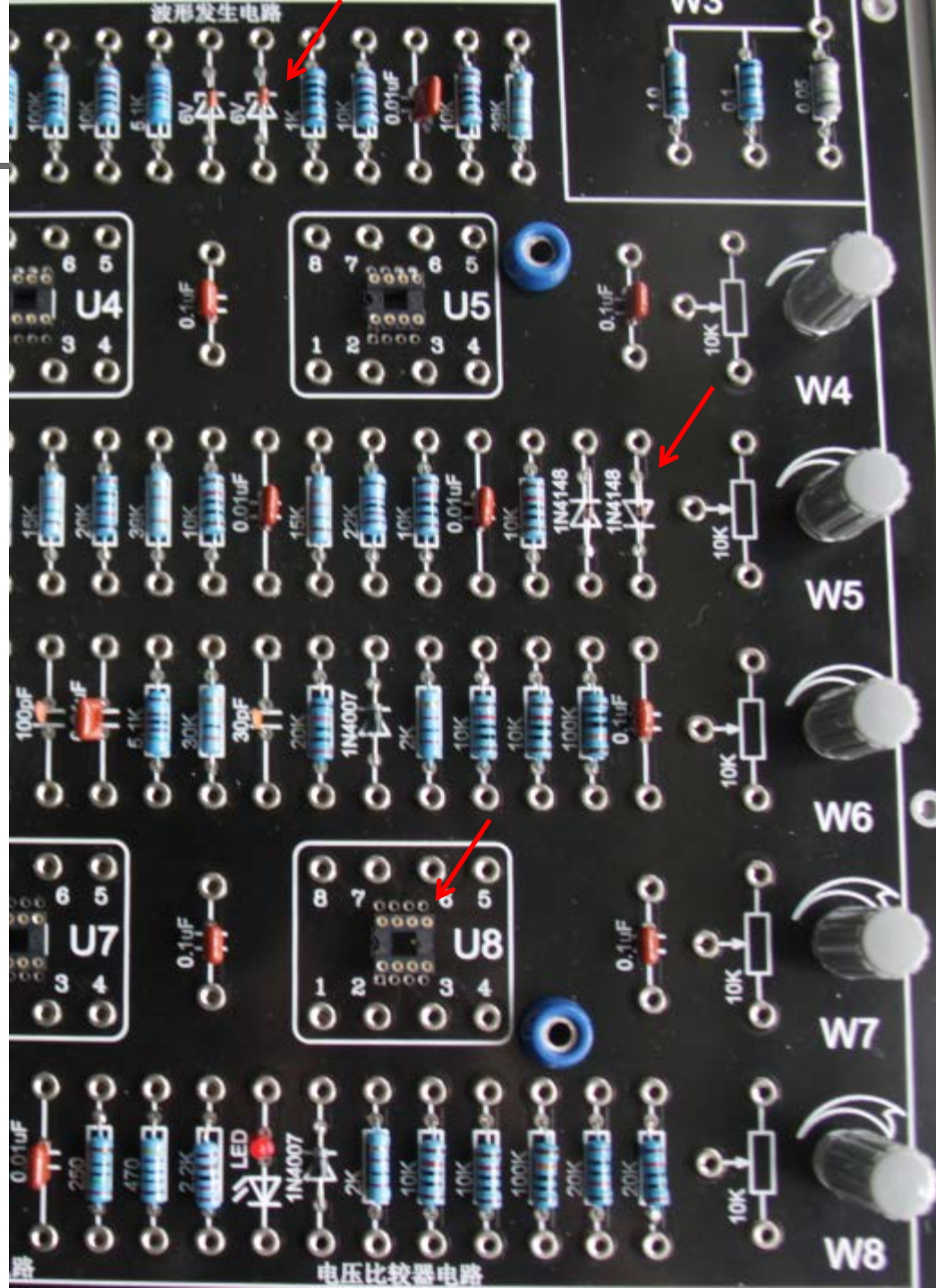
对两个输入模拟信号进行比较，使电路输出在两个极限电平（高电平, 低电平）之间自动转换，以实现方波（矩形波）输出。



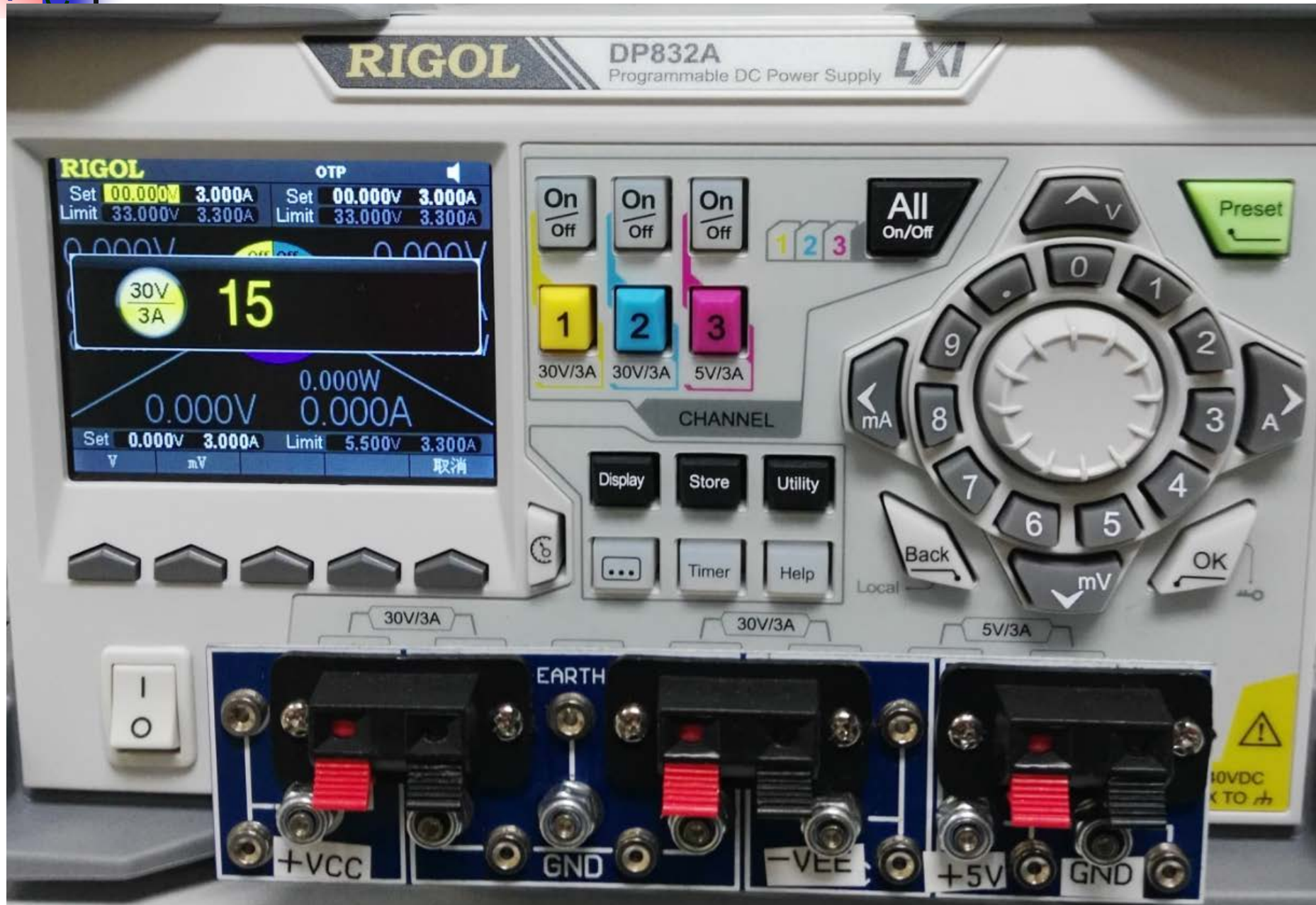
实验准备工作

- 1、在断电情况下，观察是否准确插入LM393。
- 2、用万用表测量实验箱上的+15V、-15V，或应用稳压电源调节+15V和-15V；以万用表测量示数为准。
- 3、检查万用表、示波器、函数发生器是否正常。
- 4、关闭实验箱直流电源，连接实验电路。**注意：**用导线将实验电路模板的工作电源与+15V、-15V和COM2（GND）的连接方式。

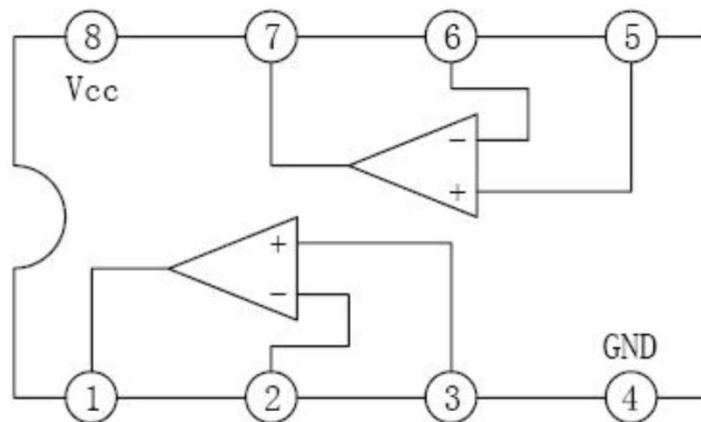
FXC



设定输出电压参数（其他参数默认）



LM393



工作电源电压范围宽，单电源、双电源均可工作，单电源：2~36V，双电源： $\pm 1 \sim \pm 18V$ ；

消耗电流小， $I_{cc}=0.8mA$ ；

输入失调电压小， $V_{IO}=\pm 2mV$ ；

共模输入电压范围宽， $V_{ic}=0 \sim V_{cc}-1.5V$ ；

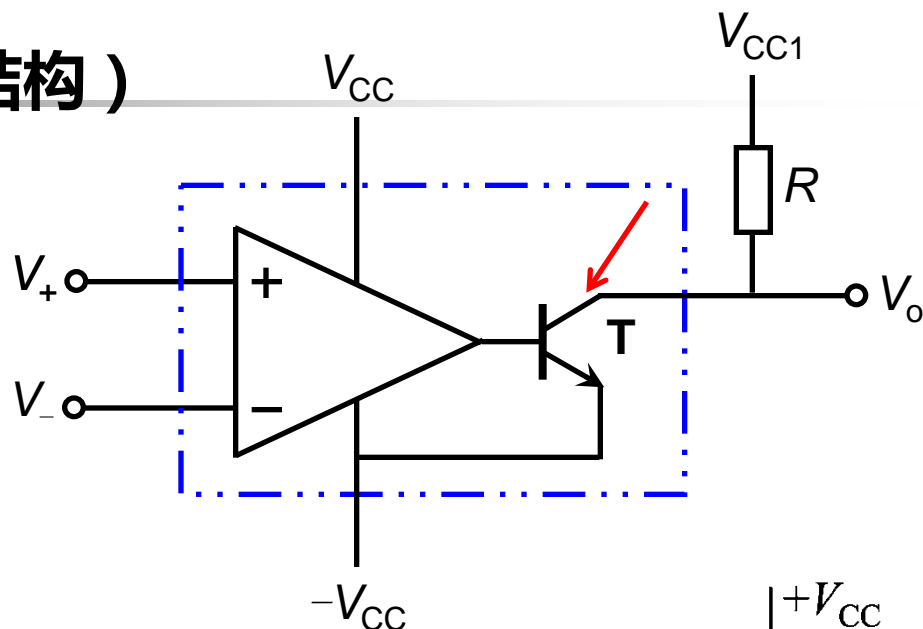
输出与TTL，DTL，MOS，CMOS等兼容；

LM393的输出部分是集电极开路，两个比较器的输出可以直接并联，共用外接电阻，实现“线与”。线与逻辑，即两个输出端（包括两个以上）直接互连就可以实现“AND”的逻辑功能。

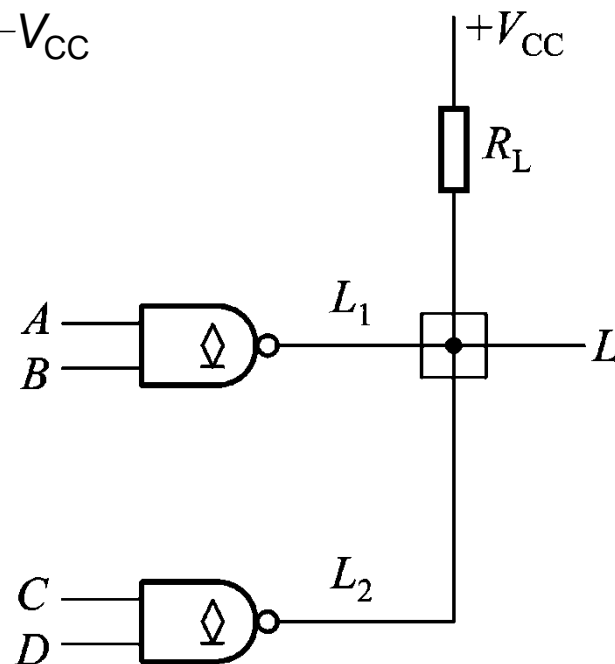
上拉电阻2K，如果图形不够理想请把上拉电阻设置为5.1K或10K。

专用电压比较器（输出结构）

- ✓ 集电极开路（OC）输出：
需外接上拉电阻 R ；
输出高电平受 V_{CC1} 控制。
（方便与各类逻辑器件连接）
（线与功能）

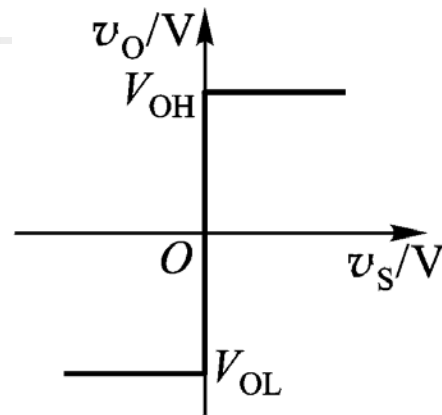
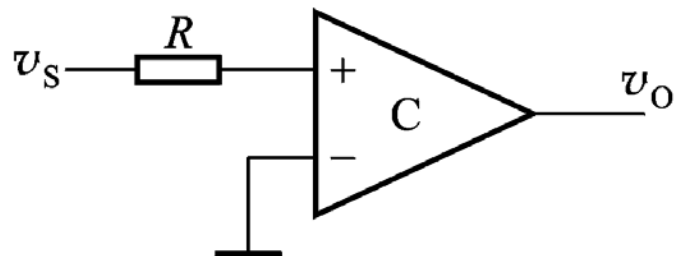


- ✓ 集电极/发射极开路（OE）输出；
漏极开路（OD）输出；
推挽式输出（轨到轨）。

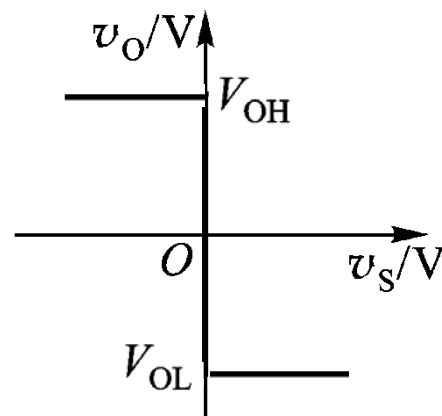
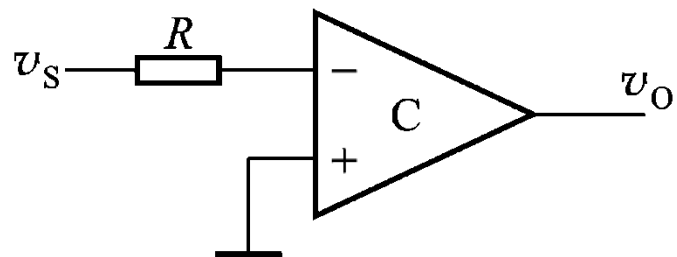


模拟电压比较器（过零比较器）LM358

✓ 同相过零比较器：

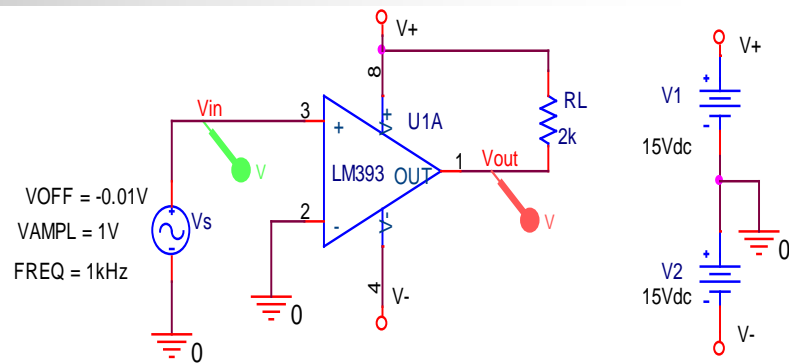


✓ 反相过零比较器：

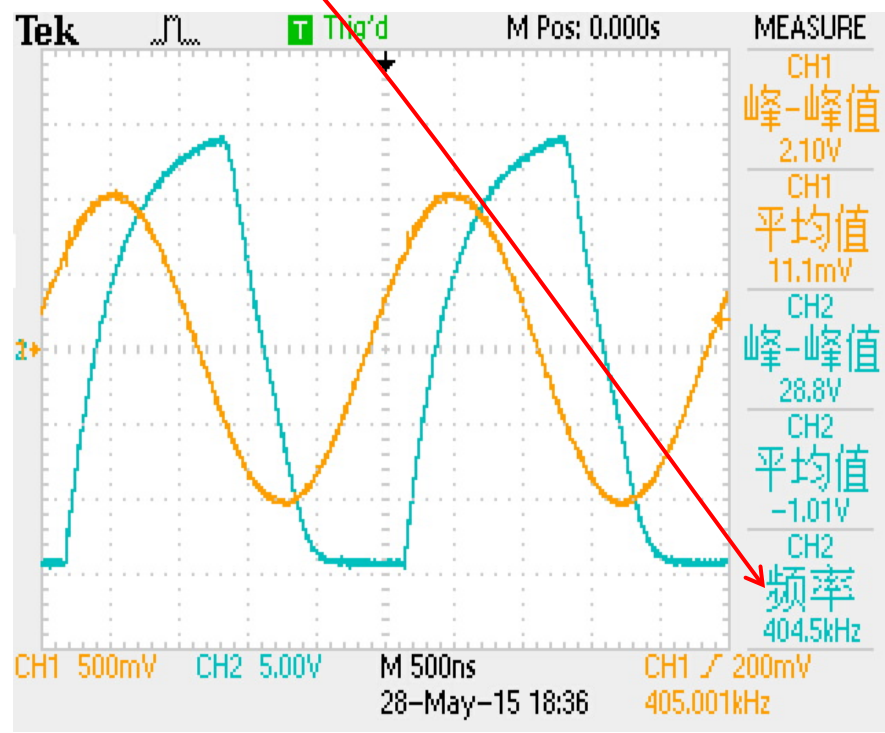
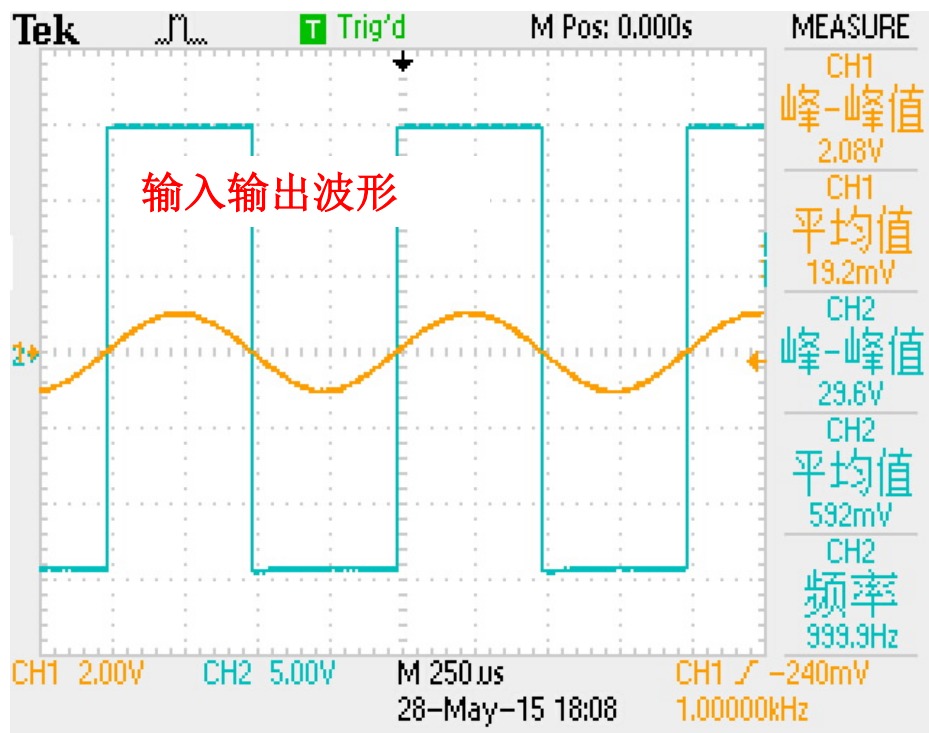


同相过零电压比较器参考LM393

- ◆ 反相输入端接地，同相输入端接1kHz、1V正弦波信号，测量并绘制输入输出波形和电压传输特性曲线。

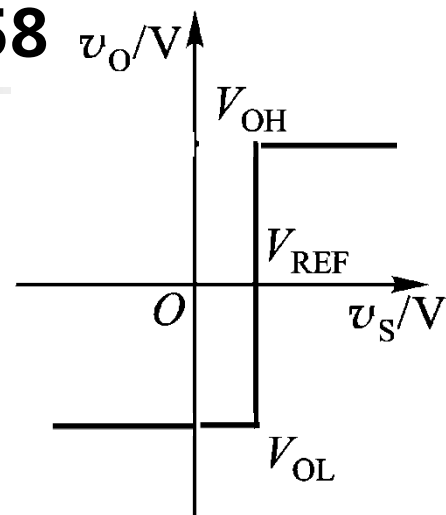
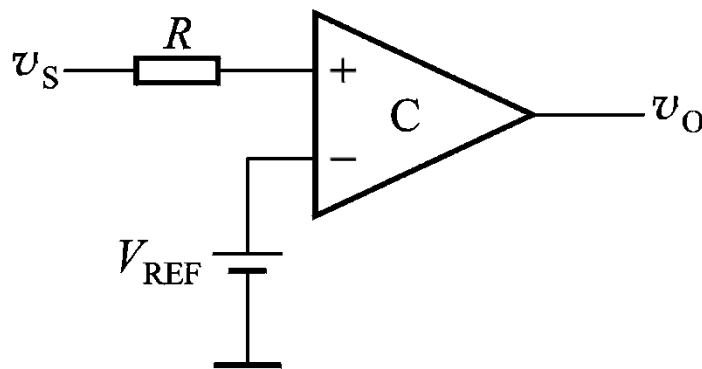


测量最高工作频率。

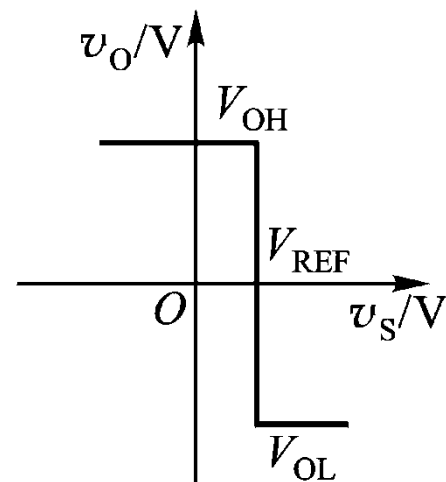
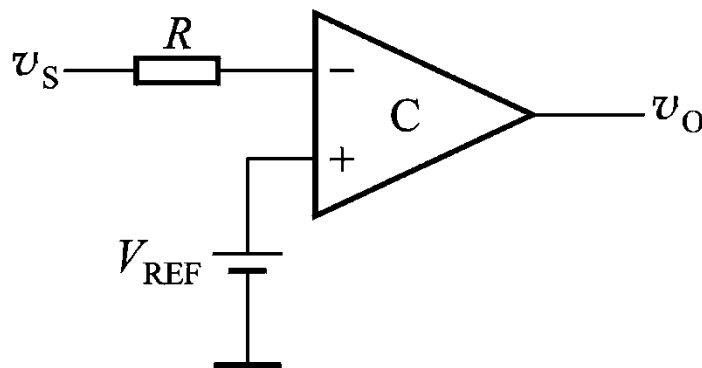


模拟电压比较器（单门限比较器）LM358

✓ 同相单门限比较器：

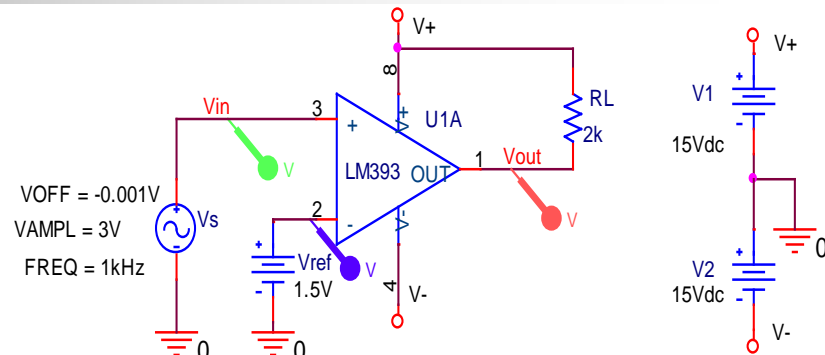


✓ 反相单门限比较器：

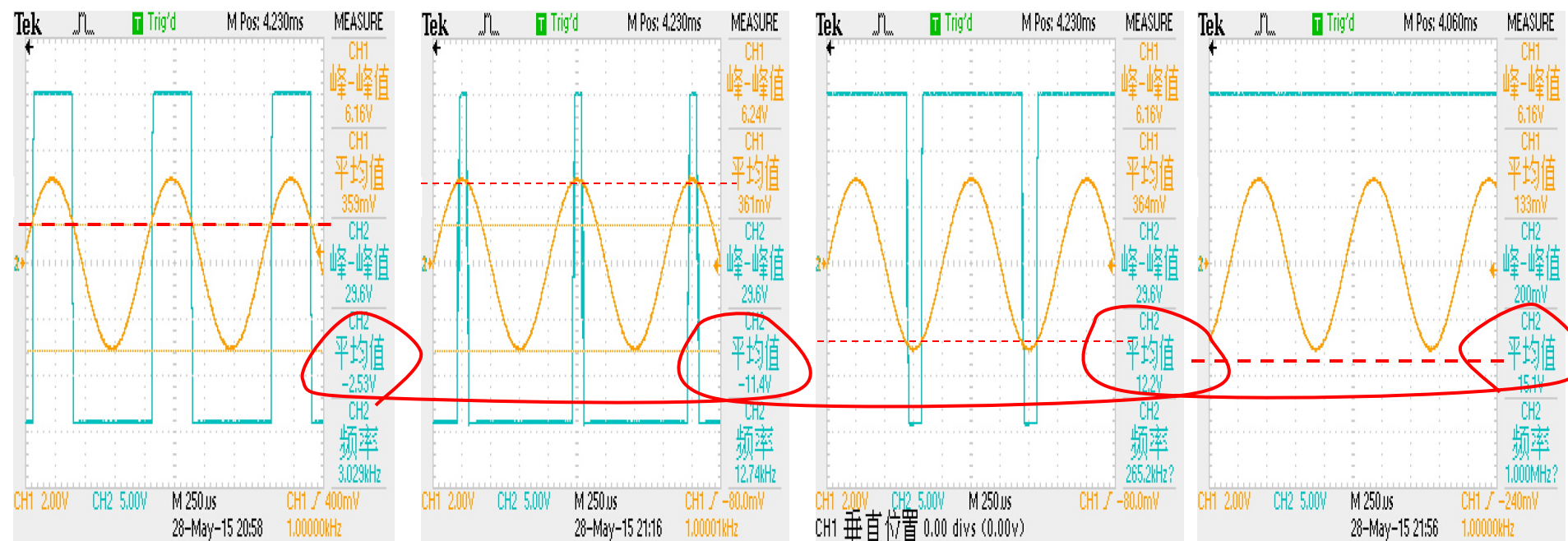


同相单门限电压比较器---PWM电路(脉冲宽度调制)参考

- 反相输入端接**1.5V直流电压** (参考电压 V_{ref} 、门限电平)，同相输入端接1kHz、3V正弦波信号，测量并绘制输入输出波形和**电压传输特性曲线**。



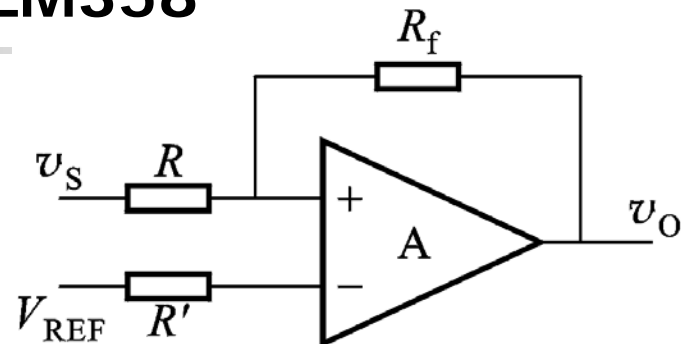
注意：改变 V_{ref} ，则占空比 $q = T_{高}/T$ 发生改变，即为 **PWM电路** (脉冲宽度调制)。



模拟电压比较器（滞回比较器）LM358

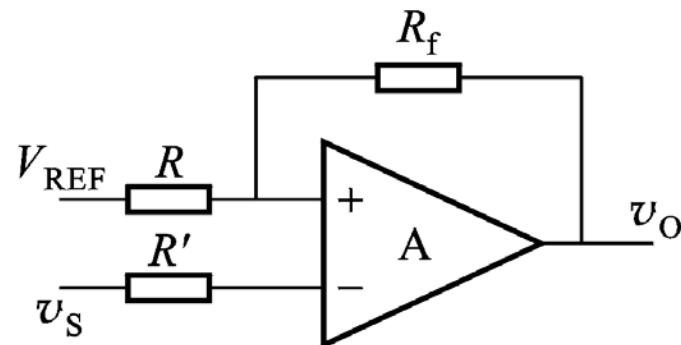
✓ 同相滞回比较器：

被比较电压接同相端，基准电压接反相端；
输出与输入构成**正反馈**。



✓ 反相滞回比较器：

被比较电压接反相端，基准电压接同相端；
输出与输入构成**正反馈**。



模拟电压比较器（同相滞回比较器）LM358

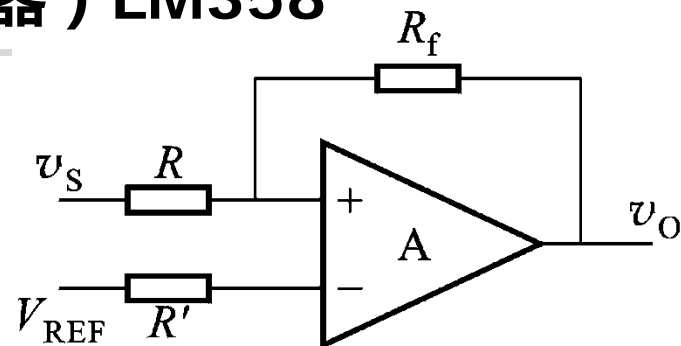
- ✓ 比较器是对 v_+ 和 v_- 的电平大小进行比较；
- ✓ 定义使比较器输出翻转的阈值： V_{TH} 、 V_{TL}

$$V_{TH} = (1 + \frac{R}{R_f})V_{REF} - \frac{R}{R_f}V_{OL}$$

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

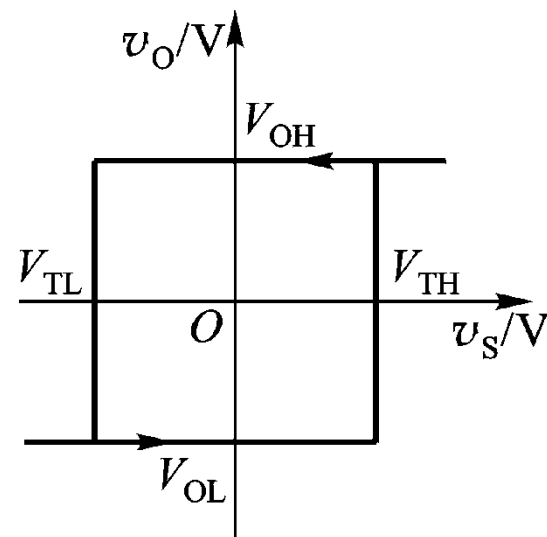
- ✓ 电压传输特性曲线
- ✓ 回差： $\Delta V = V_{TH} - V_{TL}$
(滞回比较器的固有特性，其大小可调)
(回差越大，电路的抗干扰能力越强)

越大越好？



$$v_+ = \frac{R}{R + R_f}v_O + \frac{R_f}{R_f + R}v_S$$

$$v_- = V_{REF}$$



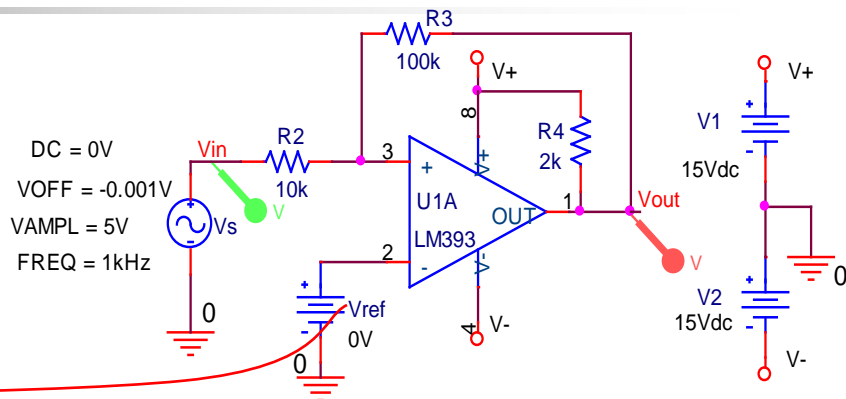
同相滞回电压比较器参考LM393

- 同相输入端接1kHz、5V三角波信号或正弦波信号，测量并绘制输入输出波形和电压传输特性曲线。

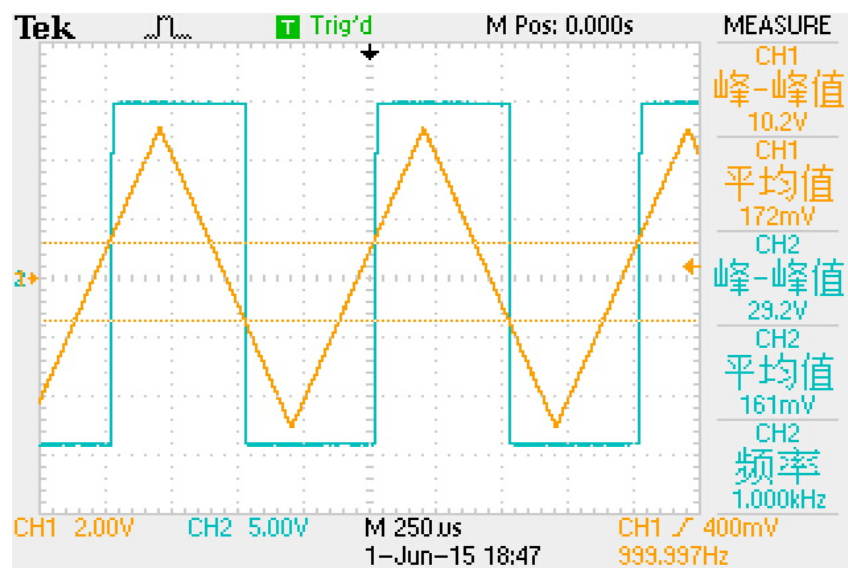
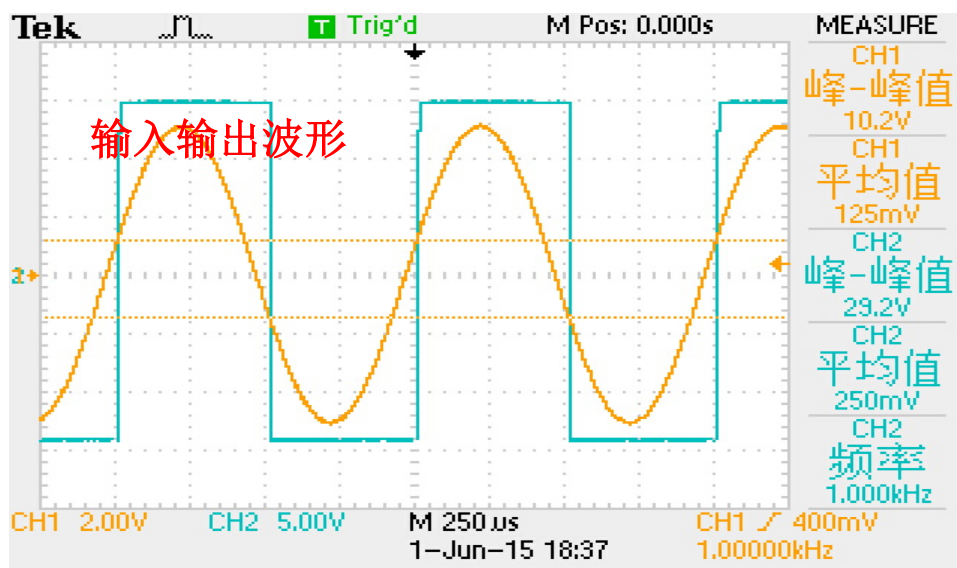
$$V_{TH} = \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) \times V_{ref} - \frac{R_2}{R_3} \times V_{OL} = +1.4871V$$

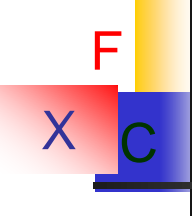
$$V_{TL} = \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) \times V_{ref} - \frac{R_2}{R_3} \times V_{OH} = -1.4821V$$

$$\Delta V_T = \frac{R_2}{R_3} \times (V_{OH} - V_{OL}) = 2.9692V$$



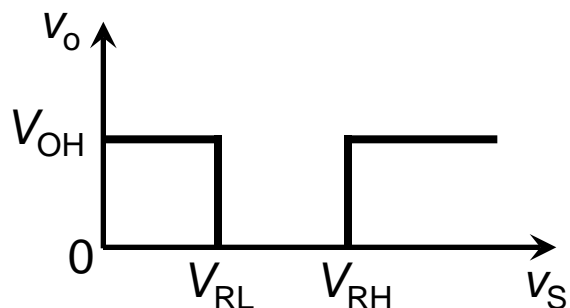
其中 $V_{OL} = -14.871V$ 、 $V_{OH} = +14.821V$ ， $R_2 = 10k$ 、 $R_3 = 100k$



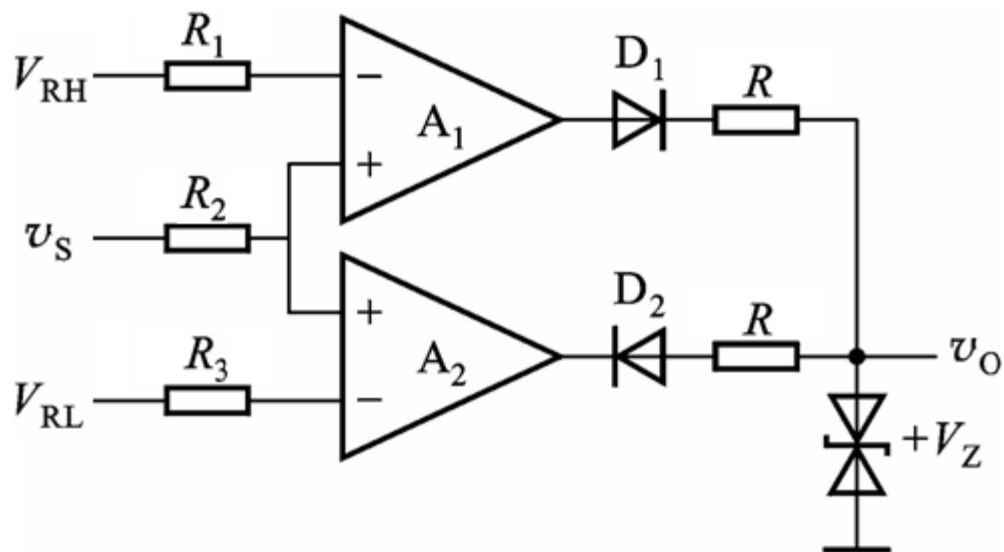
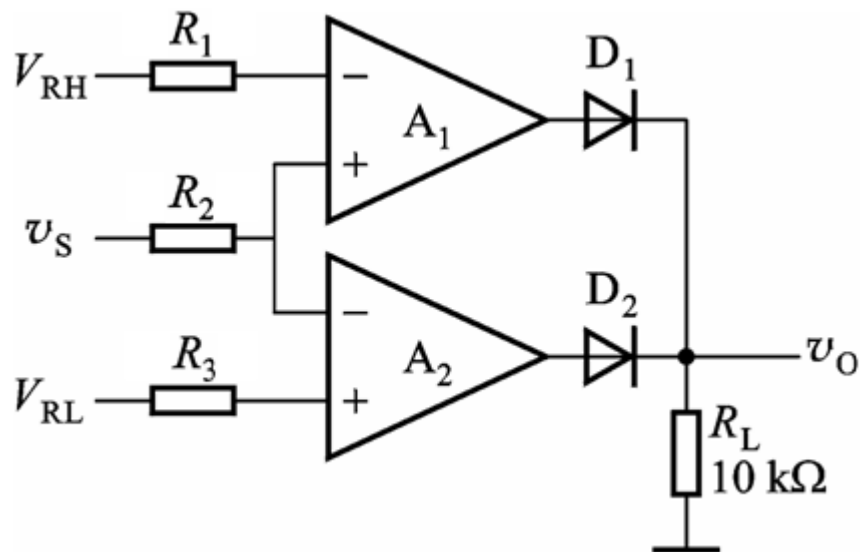
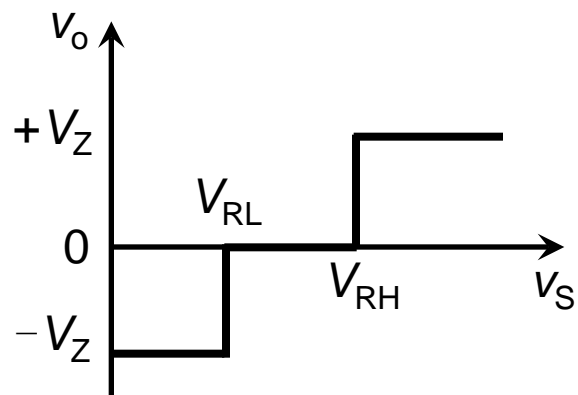


模拟电压比较器（典型应用 1）LM358

✓ 窗口比较器

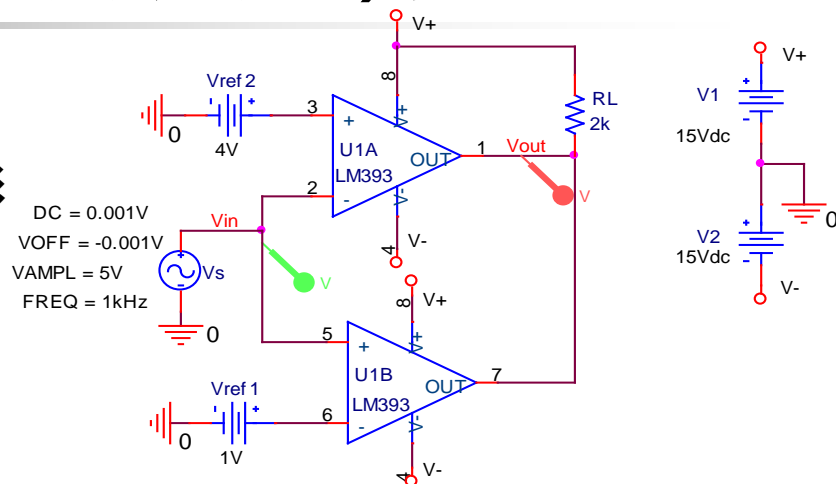


✓ 三态比较器

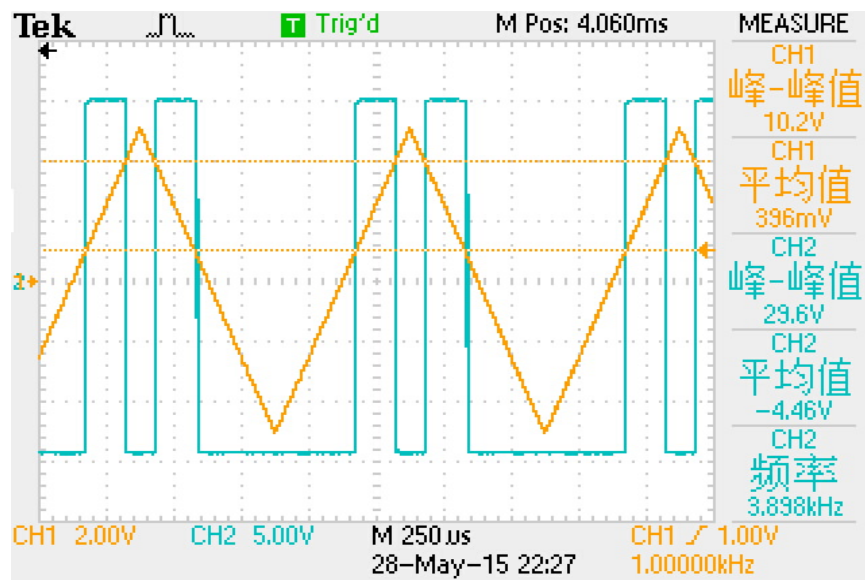
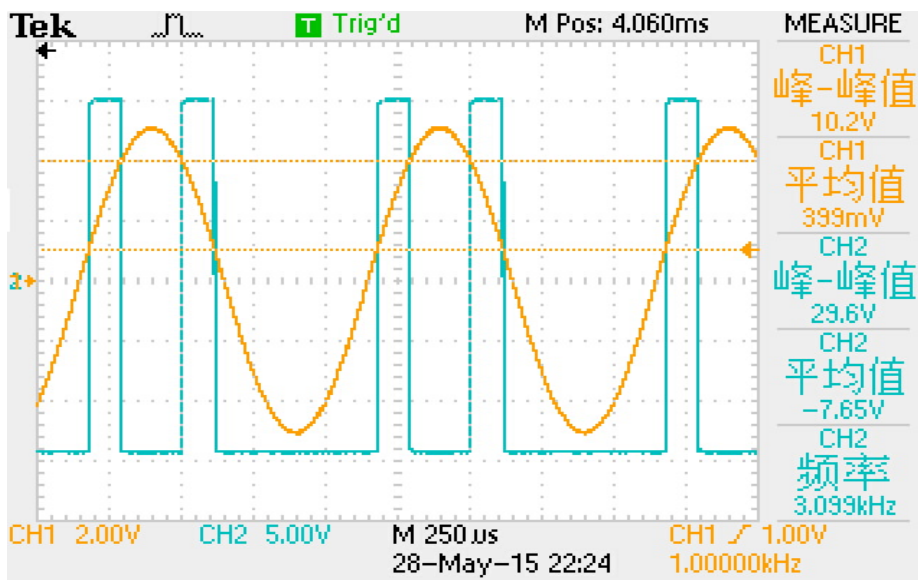


窗口电压比较器（又称为 双限比较器）参考LM393

- 输入为1kHz、5V三角波信号或正弦波信号，设置参考电压Vref1为1V直流电压，参考电压Vref2为4V直流电压，测量并绘制输入输出波形和电压传输特性曲线。

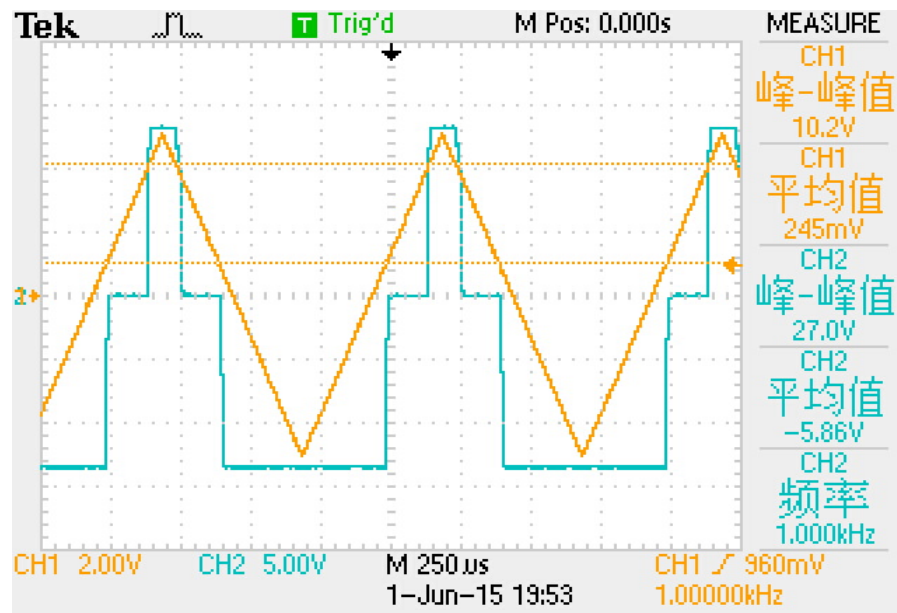
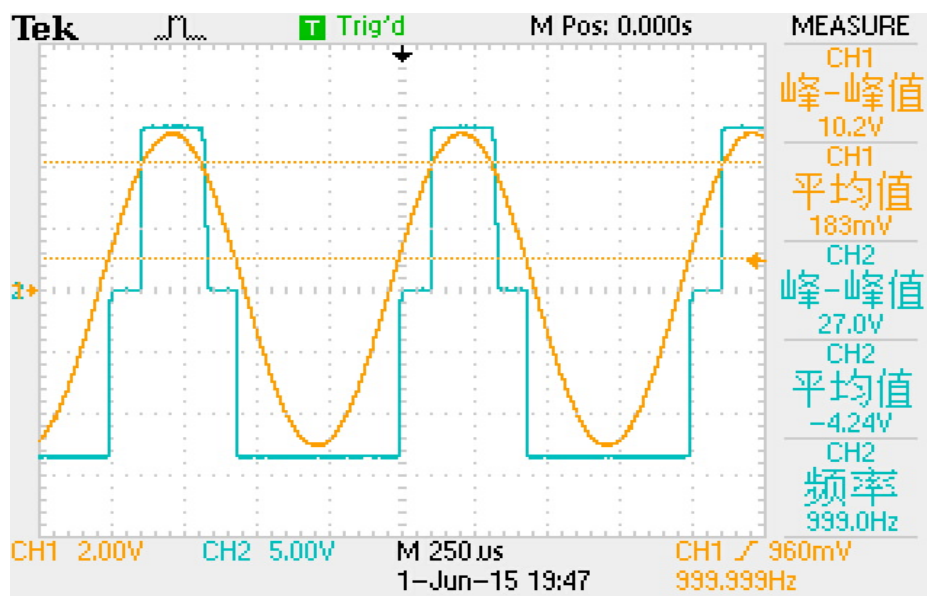
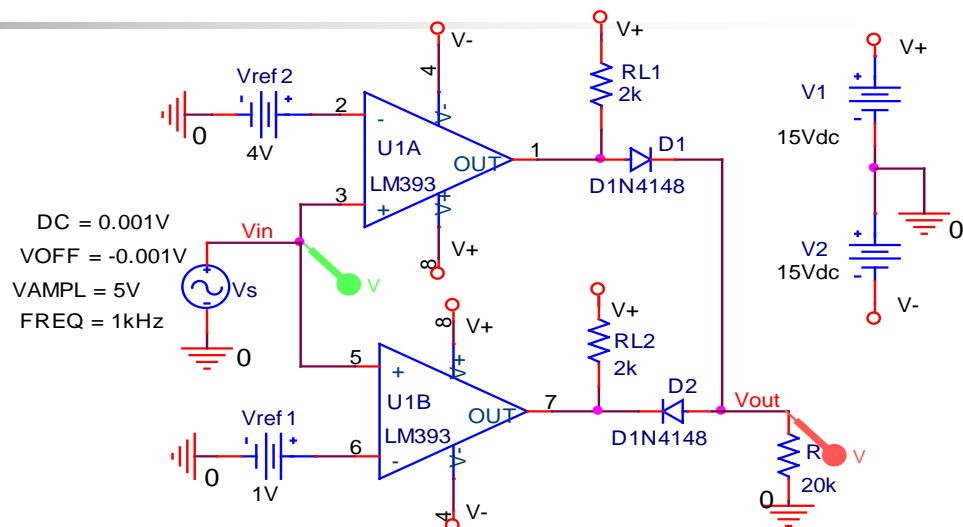


输入输出波形



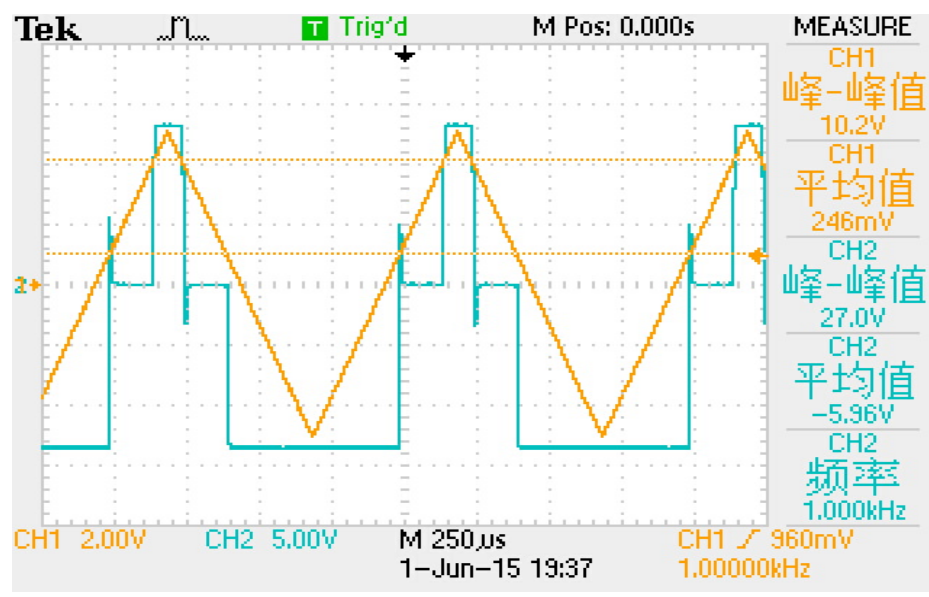
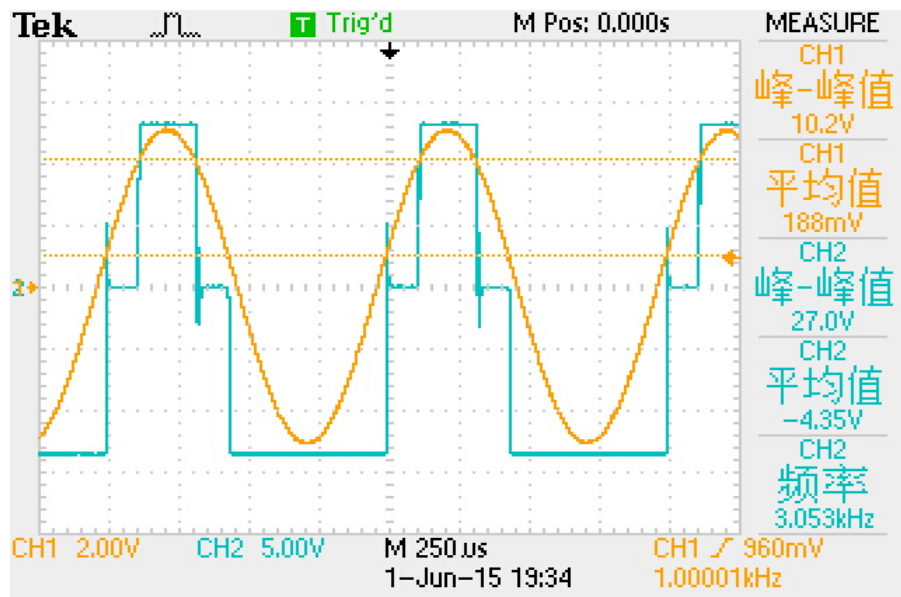
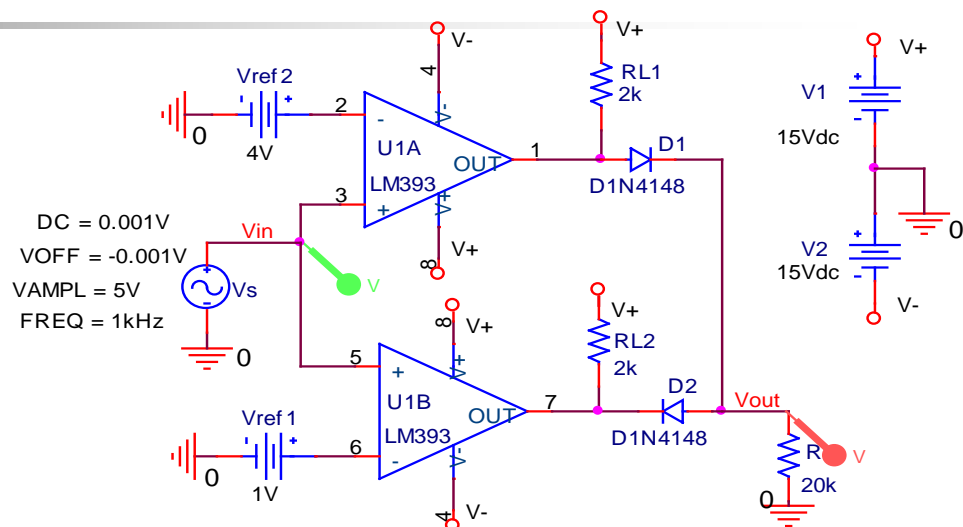
三态电压比较器D1、D2为1N4148参考LM393

- ◆ 输入电压信号 V_{in} 为1kHz、5V三角波信号或正弦波信号，测量并绘制输入输出波形和电压传输特性曲线。



三态电压比较器D1、D2为1N4007参考LM393

- 输入电压信号 V_{in} 为1kHz、5V三角波信号或正弦波信号，测量并绘制输入输出波形和电压传输特性曲线。





选做-实验思考

- 1、对本次实验任务应用单电源供电的情况下完成上述实验。
- 2、对LM358构成上述比较器进行实验。
- 3、比较器或普通运放LM358输入信号的幅值和参考电压可以大于电源电压吗？请在不同输入电压下完成比较实验。

注意：用LM358作为比较器时，输入信号频率应该小于100Hz一下。

P338

- ① 电压比较器的作用与特点是什么？
- ② 集成运算放大器能否作为电压比较器使用？集成电压比较器能否作为运算放大器使用？为什么？
- ③ 电压比较器电路是否需要调零？原因何在？
- ④ 电压比较器电路两个输入电阻是否要求对称？为什么？
- ⑤ 电压比较器输出电压由什么决定？



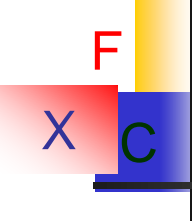
课后作业

本次需提交实验报告，要求请参看实验教材的要求和课件要求，及请回答教材和课件中思考问题。

选做：请仿真本次实验任务，且请把整个文件夹提交至FTP。

- 1、请提交做好的整个EDA文件夹的内容；请配上word文档说明。
- 2、提交时需压缩文件，压缩文件名的命名“座号_姓名.rar”。
- 3、提交的位置和截止时间：

“选做13 电压比较器_下次上课前提交”



下次实验

- 实验15 正弦波振荡电路设计 参见P327