

东南大学电工电子实验中心

实 验 报 告

课程名称： 电工电子实践基础

第 3 次实验

实验名称： 电压比较器电路设计

院（系）： 机械工程学院 专 业： 机械工程专业

姓 名： 杨新雄 学 号： 02021202

实 验 室： 105 实验组别： 02

同组人员： _____ 实验时间： 2023 年 5 月 9 日

评定成绩： _____ 审阅教师： _____

电压比较器电路设计

一、 实验目的

1. 熟悉比较器的电路结构和工作原理
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

1、运放中开环、正反馈下的基本特点

开环运放的基本特点如下：

- 放大倍数高：开环放大倍数非常高，通常为 10 万以上，能够放大微弱的信号，使其达到可观测的水平。
- 输出电阻低：开环运放的输出电阻十分低，能够驱动大电流负载。
- 超高输入阻抗：开环运放的输入阻抗很高，能够防止外部信号对其输入产生影响。
- 微分输入：开环运放具有微分输入，能够测量和放大微弱的差分信号。

正反馈表现以下特点：

- 1) 放大倍数变高：正反馈可以让运放的输出信号再次回馈到输入端，从而放大信号，增加了放大倍数。
- 2) 非线性失真：由于正反馈增加了放大倍数，也会增加失真的可能性。在正反馈条件下，运放可能存在饱和和振荡等非线性失真。
- 3) 稳定性变差：正反馈会减少运放的稳定性，增加了可能出现振荡的可能性。因此，在设计电路时需要格外注意。

2、滞回比较器的工作原理

1) 电路图

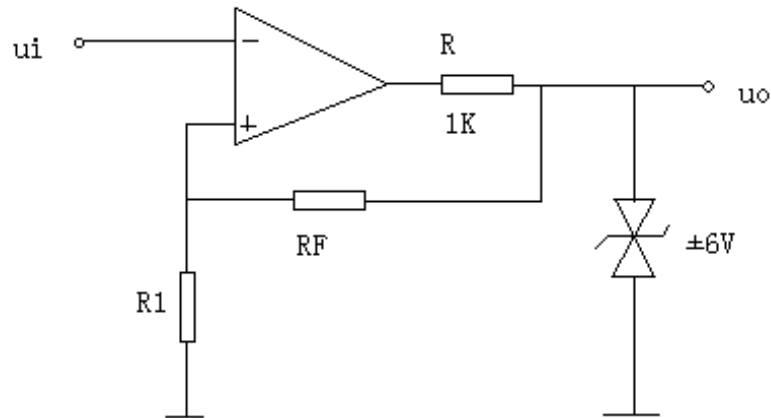


图 1 反相滞回比较器

2) 工作原理

滞回比较器是一种电路，通常又称“施密特触发比较器”或者“迟滞比较器”，可用于将模拟信号转换为数字信号。反相滞回比较器的基本工作原理如下：

U_h 和 U_l 分别为上下门限电压， $(U_h - U_l)$ 为回差或者门限宽度，满足如下关系：

$$U_h = \frac{R_1}{R_1 + R_F} U_{oh}$$

$$U_l = -\frac{R_1}{R_1 + R_F} U_{ol}$$

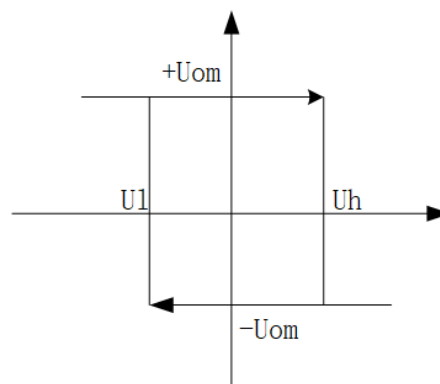


图 2 反相滞回比较器电压特性曲线

当 U_{in} 增大到 U_h 时，输出由 $+U_{om}$ 跳变到 $-U_{om}$ ；

当 U_{in} 减小到 U_l 时，输出由 $-U_{om}$ 跳变到 $+U_{om}$ ；

因此，反相滞回比较器的输出电压总是在两个阈值电压间切换，随着输入信号与参考电压之间的差异而变化。

3、比较器的应用

比较器是一种常用的电子元件，常用于以下应用场景：

- 模拟信号转数字信号：通过将比较器的输入端连接到模拟信号，比较器能够将模拟信号转换为数字信号，例如电压比较器、振荡器等。
- 触发器：通过使用带有滞回特性的比较器作为触发器，可以实现数字信号的触发，例如门控电路、计数器等。
- 传感器应用：比较器可以与传感器结合使用，用于测量温度、压力、光强等物理量，例如温度控制、压力检测、光电传感器等。
- 自动控制系统：比较器可以用于自动控制系统中，例如自动调光、温度控制、水位控制等。
- 信号放大：比较器可以被用作信号放大器，特别是在需要带负载时，例如测量压力或通过光敏电阻检测光强等。

三、 实验内容

1、反相滞回比较器

1) 直流电压测量 U_i 临界值

按图 3 所示电路接线，运放电源电压为 $\pm 15V$ ， $R_1 = 20k\Omega$ ， $R_F = 50k\Omega$ 。输入端 U_i 接可调直流电压（通过电阻分压电路产生），测出输出端 U_o 由 $+U_{omax}$ 到 $-U_{omax}$ 时 U_i 的临界值。同上，测出输出端 U_o 由 $-U_{omax}$ 到 $+U_{omax}$ 时 U_i 的临界值。

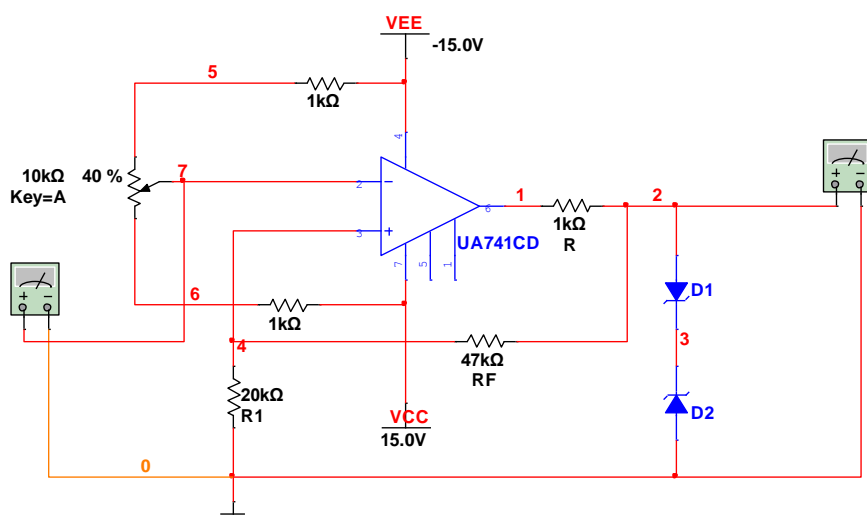


图 3 反相滞回比较器电路

表格 1 反相滞回比较器电路实验数据表

U_i/V	-3.00	0.0	1.00	2.00	2.08	2.09
U_o/V	7.18	7.18	7.18	7.18	7.18	-7.16
U_i/V	3.00	0.0	-1.00	-2.00	-2.09	-2.10
U_o/V	-7.16	-7.16	-7.16	-7.16	-7.16	7.18

实验结果分析：从实验数据可以得出门限电压 $U_h = 2.09V$, $U_l = -2.09V$ ，而限幅值 $U_{omax} = 7.18V$. 而理论的限幅值 $U_{omax} = 6.2V + 0.7V = 6.9V$ ，门限电压满足 $U_h = \frac{R_1}{R_1 + R_F} U_{omax} = 2.06V$ ， $U_l = -\frac{R_1}{R_1 + R_F} U_{omax} = -2.06V$. 这与实验结果十分接近，存在微小的误差，说明实验结果正确。

2) 交流信号观察输入输出波形

输入加正弦波信号，频率 $f = 500Hz$ ， $U_i = 1V_{pp}$ ，用示波器观察并记录 U_i 、 U_o 的波形。将 U_i 改为 $6V_{pp}$ ，重复以上操作，用示波器观察并记录 U_i 、 U_o 的波形，对测试结果进行分析。

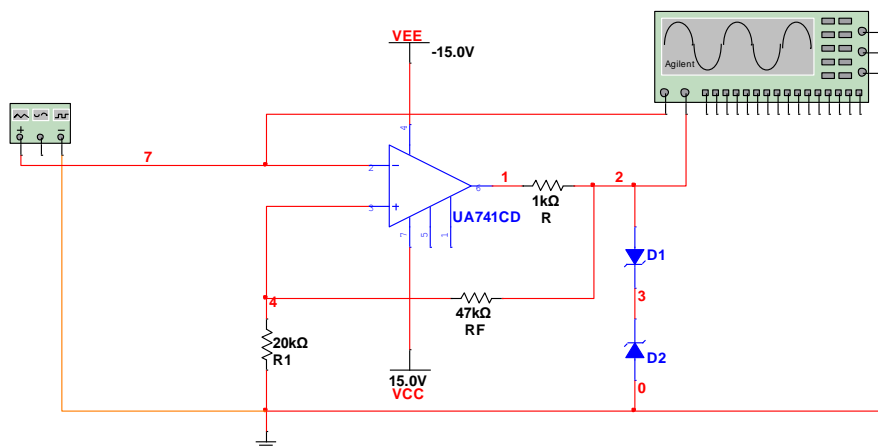


图 4 反相滞回比较器交流电路

表格 2 交流特性测量记录表

U_i		U_o
峰峰值 (V_{pp})	峰峰值 (V_{pp})	波形
1	7.27	
6	最大值: 7.20 最小值: -7.80	

实验结果分析： 从实验数据可以看出，当输入电压峰峰值较小，为 $1V_{pp}$ 时，输出电压均值为 $7.27V$ ；而当输入电压峰峰值较大，为 $6V_{pp}$ 时，输出波形为方波，高电平为 $7.20V$ ，低电平为 $-7.80V$ 。这说明滞回比较器与简单比较器相比抗干扰的能力增强，但是相应的灵敏度下降。

3) 观察测量电压传输特性

输入信号频率为 $f = 500Hz$ 、电压 U_i 为 $6V_{pp}$ 的正弦波，用示波器 X-Y 方式观察并记录电压传输特性曲线，测出传输特性曲线上输出电压的限幅值，及输入电压的两个门限电压值。



图 5 反相放大器电压传输特性曲线

表格 3 反相滞回比较器门限电压与限幅值

输出电压限幅值 U_{omax}/V	门限电压 U_l/V	门限电压 U_h/V
7.42	-2.43	2.27

实验结果分析： 使用 X-Y 方式观察电压传输特性曲线，可以很容易得出该反相滞回比较器的限幅值为 $7.42V$ ，而门限电压分别为 $U_l = -2.43V, U_h = 2.27V$ 。这与理论值有一定差距，说明交流信号受外界影响较大，从而产生了较大误差。

2、窗口比较器

设计一个窗口比较器，实现输入直流电压 U_i ，当 $U_i > 5V$ 或 $U_i < 0V$ 时，输出 $U_o = 10V$ ；当 $5V > U_i > 0V$ 时，输出 $U_o = 0V$ 。

要求：

- 输入端 U_i 接 $-2V \sim 10V$ 可调直流电压（通过电阻分压电路产生），测出输出端 U_o 在 $+U_{omax}$ 与 $-U_{omax}$ 间跳变时 U_i 的临界值。
- 输入端接频率为 $500Hz$ 、峰峰值为 $12V$ 的正弦波信号，用示波器观察并记录 U_i 、 U_o 波形。

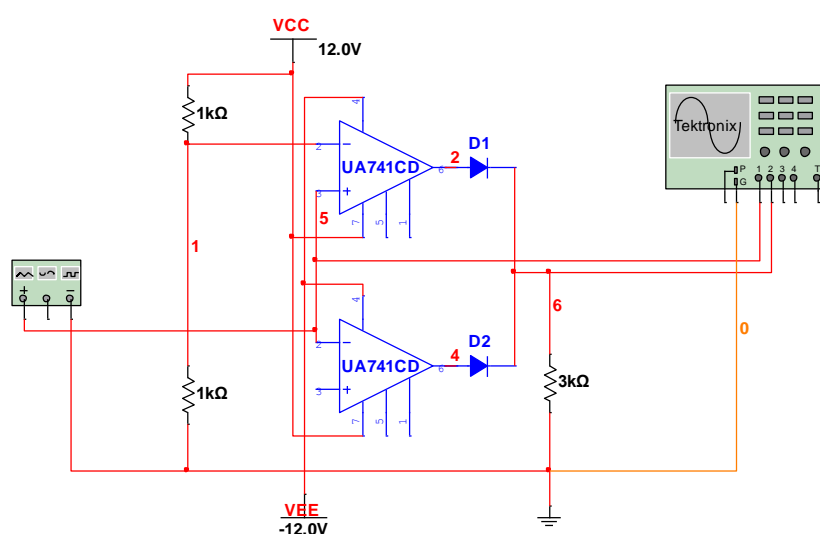


图 5 窗口比较器电路

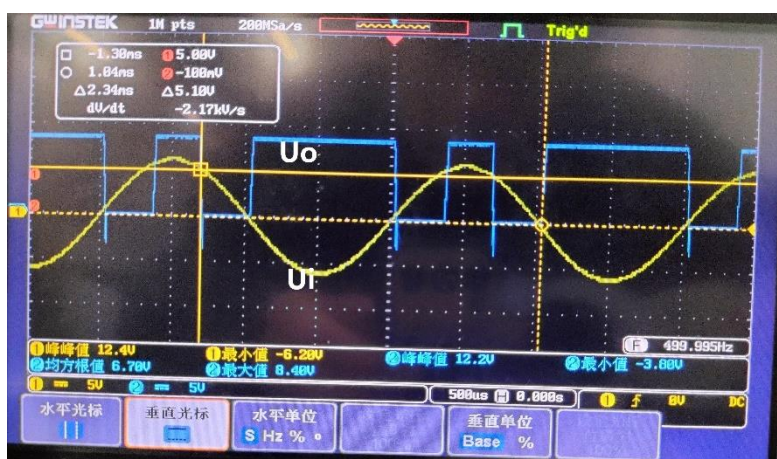


图 6 窗口比较器输入输出波形

表格 4 窗口比较器实验数据表

U_i/V	-2.00	-1.00	0.00	1.00	5.00	7.00
U_o/V	9.62	9.62	-0.176m	-0.176m	9.64	9.64

设计电路思路：窗口比较器的门限电压满足：

$$U_h = \frac{R + R_2}{R + R_1 + R_2} V_{CC}$$

$$U_l = \frac{R_2}{R + R_1 + R_2} V_{CC}$$

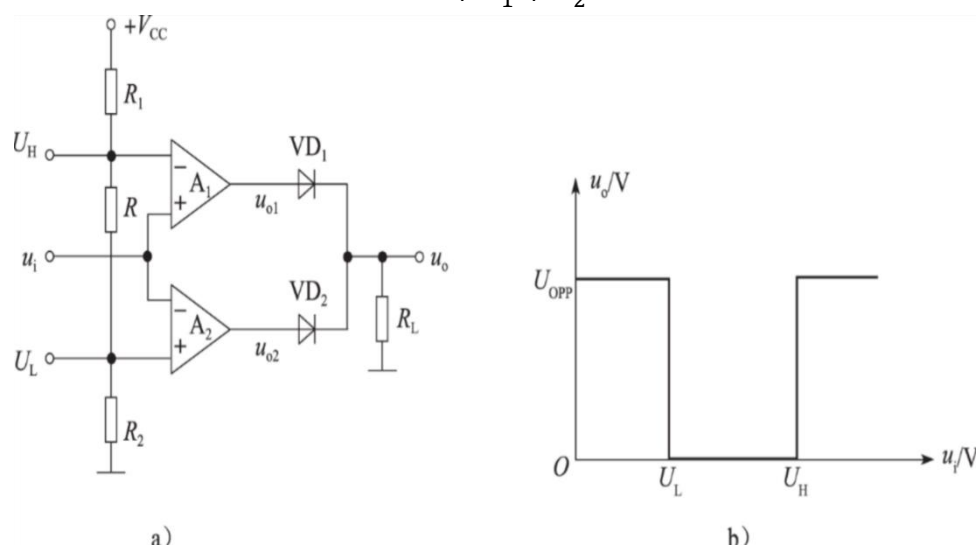


图 7 窗口比较器电路图与电压特性曲线

因此，需要满足实验的设计要求，就应该使 $R_2 = 0V, R = R_1 = 1k\Omega$ 。

实验结果分析：由窗口比较器实验数据表可以看出，实验设计电路满足要求。从交流信号输出波形可以看出，正弦波信号经过窗口比较器输出的波形有明显的窗口效应。

四、 实验总结

1. 实验误差分析

1) 反相滞回比较器电路

直流分析与交流分析的结果相差较大，主要原因可能是交流分析受交流信号和外界干扰较大，从而使交流信号时得出的门限电压和限幅值与理论值有较大差距。

2) 设计窗口比较器电路

设计的窗口比较器在加上交流信号时，窗口比较器可以将正弦波信号转换为多个矩形波，但是转折点与设计的理论值有一定差距。主要原因可能是加上的工作电压 V_{CC} 并不是 10V，电阻等分电压未能使转折点完全等于 5V。

2. 思考题

1) 比较器的应用要注意哪些问题？

- 噪声和抖动：比较器输入端的噪声和抖动可能会导致误判或误触发，因此需要采取一些措施来降低噪声和抖动，如滤波、去抖动等。
- 输入偏置电流：比较器的输入端具有一定的偏置电流，这可能会导致电路偏差或误判，因此需要注意选择合适的输入电阻或采用差分输入等方式来降低偏置电流的影响。
- 输入电压范围：比较器的输入电压范围需要符合实际应用的要求，过高或过低的输入电压可能会导致电路失效或误判。
- 输出电平：比较器的输出电平需要与后续电路匹配，过高或过低的输出电平可能会导致后续电路失效或误判。
- 响应时间：比较器的响应时间可能会影响电路的性能，需要根据实际应用要求选择合适的比较器或进行合理的设计。
- 工作温度范围：比较器的工作温度范围需要符合实际应用环境的要求，过高或过低的温度可能会导致电路失效或误判。

2) 迟滞比较器和简单比较器的最大区别是什么？

它们最大的区别在于其输出的**稳定性**和**滞后特性**。

简单比较器的输出在输入信号达到阈值时会瞬间发生变化，而迟滞比较器具有一定的滞后特性，其输出信号在输入信号的上升或下降过程中，只有当输入信号超过了某个阈值（称为上升沿或下降沿的触发电压），才会发生瞬间的输出反转，从而避免了信号噪声或抖动引起的误触发。

因此，迟滞比较器常被用于数字电路中的信号整形和去抖动等场合，而简单比较器则更适用于模拟电路中对快速信号变化的检测和测量。

3. 实验出现的问题

1) 在做实验 1 时，改变输入电压，无法观察到转折点

原因：电压调节范围较小，加大电压改变范围

2) 窗口比较器实验中，未观察到窗口效应

原因：运放工作电压设计不对

4. 收获体会

通过本次实验，帮助我了解了什么是比较器，知道了简单比较器、窗口比较器、迟滞比较器电路如何设计，学会了如何去设计一个想要的比较器电路，知道了如何使用示波器观察输入输出电压的传输特性曲线，强化了我搭接电路、排查各种问题的能力。

五、 实验建议（欢迎大家提出宝贵意见）

无