



第七章 波形的发生和信号的转换

郭圆月

2024年12月12日





§ 7.2 电压比较器

§7.2.1 概述

§7.2.2 单限比较器

§7.2.3 滞回比较器

§7.2.4 窗口比较器





§7.2.1 概述

1. 电压比较器的功能：比较电压的大小。

输入电压是模拟信号；输出电压表示比较的结果，只有高电平和低电平两种情况，为二值信号。使输出产生跃变的输入电压称为阈值电压。广泛用于各种报警电路。

2. 电压比较器的描述方法：电压传输特性 $u_O = f(u_I)$

电压传输特性的三个要素：

(1) 输出高电平 U_{OH} 和输出低电平 U_{OL}

(2) 阈值电压 U_T

(3) 输入电压过阈值电压时输出电压跃变的方向





§7.2.1 概述

3. 几种常用的电压比较器

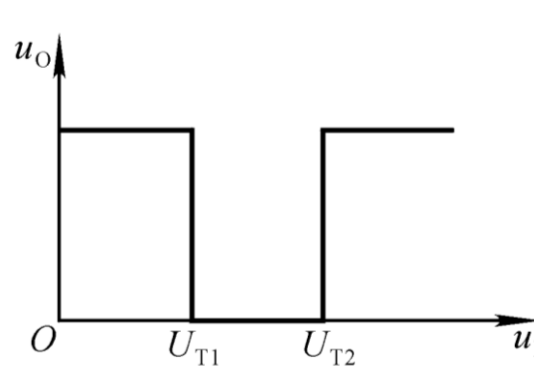
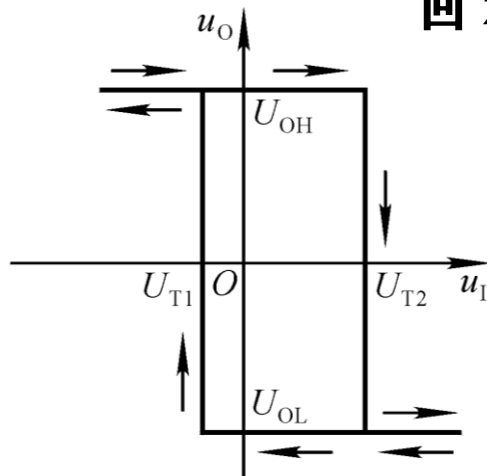
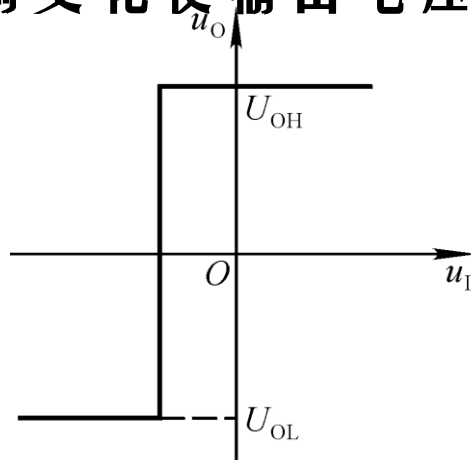
(1) 单限比较器：只有一个阈值电压

(2) 滞回比较器：具有滞回特性

输入电压的变化方向不同，阈值电压也不同，但输入电压单调变化使输出电压只跃变一次。

回差电压：

$$\Delta U = |U_{T1} - U_{T2}|$$



(3) 窗口比较器：

有两个阈值电压，输入电压单调变化时输出电压跃变两次

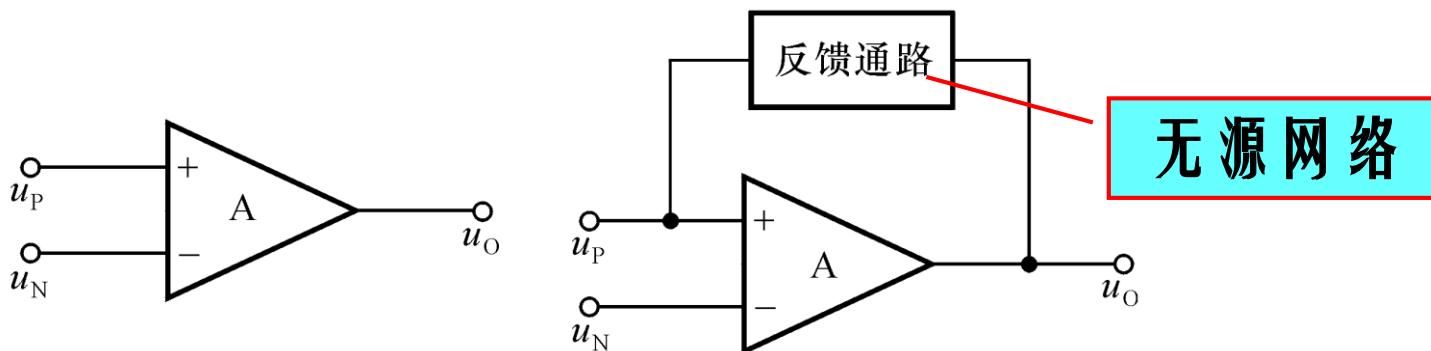




§7.2.1 概述

4、集成运放的非线性工作区

电路特征：集成运放处于开环或仅引入正反馈

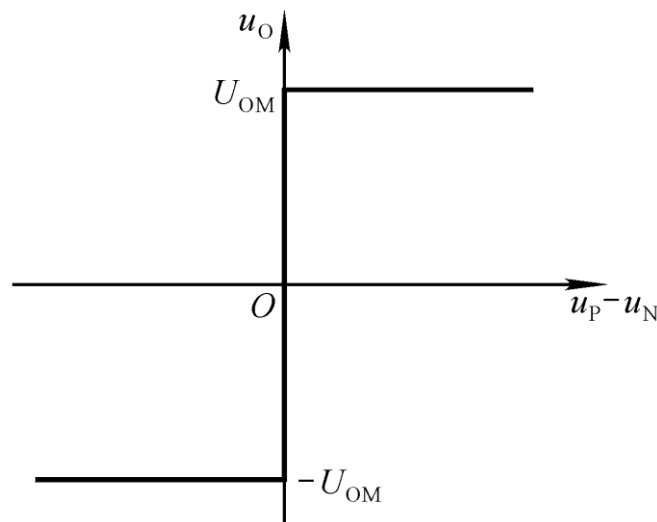


理想运放在非线性区的特点：

1) 净输入电流为0

2) $u_P > u_N$ 时， $u_O = +U_{OM}$

$u_P < u_N$ 时， $u_O = -U_{OM}$



5、教学基本要求

1) 电路的识别及选用； 2) 电路电压传输特性的分析。





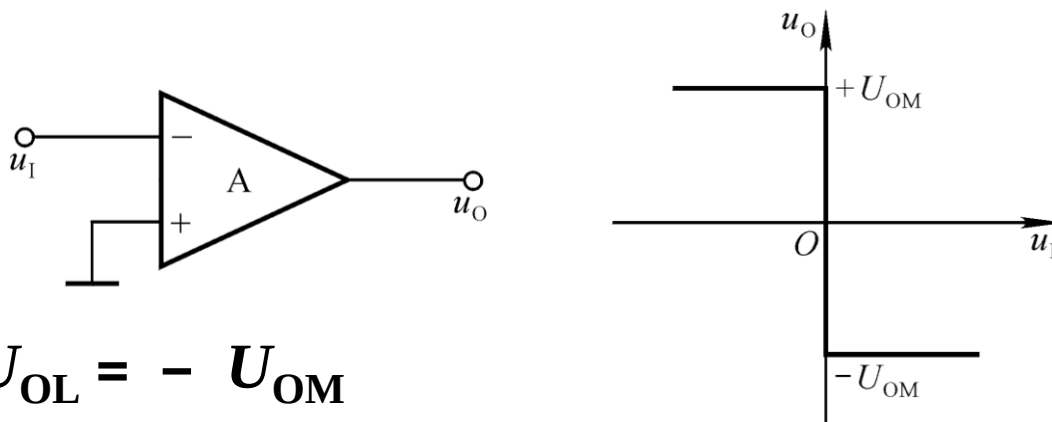
§7.2.2 单限比较器

1. 过零比较器

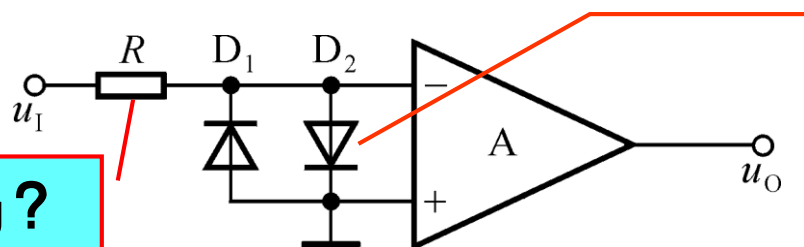
(1) $U_T = 0$

(2) $U_{OH} = +U_{OM}, U_{OL} = -U_{OM}$

(3) $u_I > 0$ 时, $u_O = -U_{OM}$; $u_I < 0$ 时, $u_O = +U_{OM}$



集成运放的净输入电压等于输入电压，为保护集成运放的输入级，需加输入端限幅电路。



必要吗？

二极管限幅电路使净输入电压最大值为 $\pm U_D$

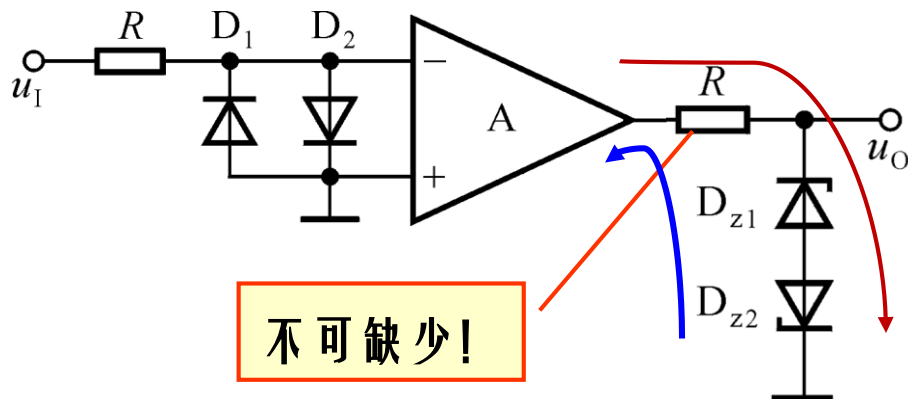
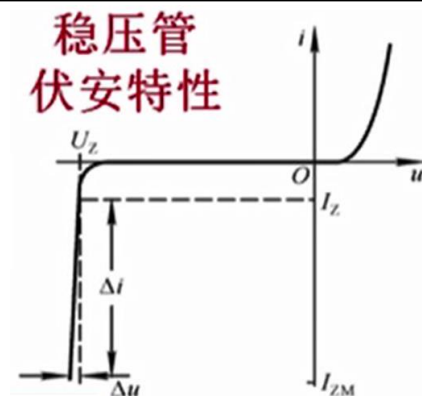




1. 过零比较器

二、电压比较器输出端的限幅电路

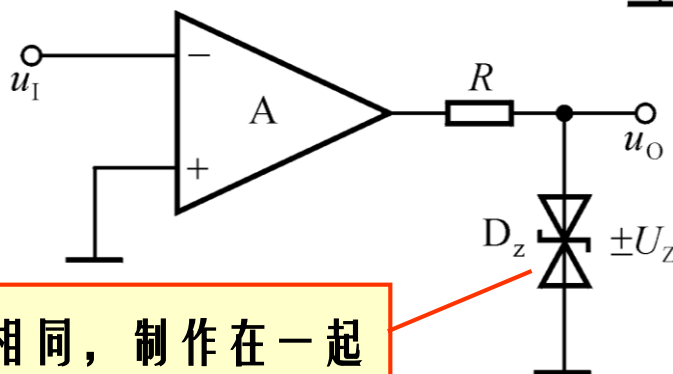
为适应负载对电压幅值要求，输出端加限幅电路。



不可缺少!

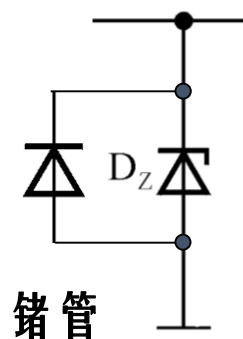
$$U_{OH} = + U_{Z1} + U_{D2}$$

$$U_{OL} = - (U_{Z2} + U_{D1})$$



两只相同，制作在一起

$$U_{OH} = - U_{OL} = U_Z$$



锗管

$$U_{OH} = U_Z$$

$$U_{OL} = - U_D$$

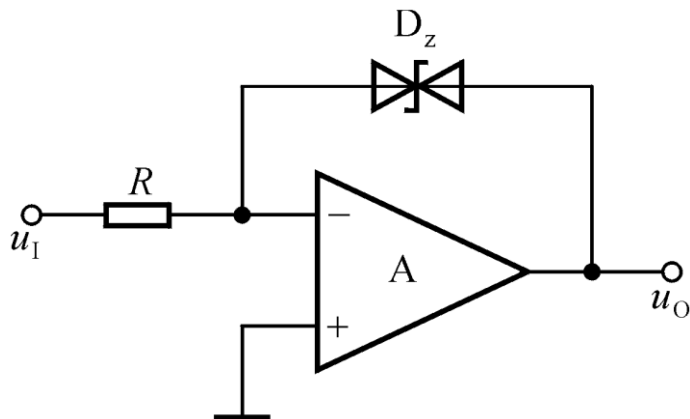
为使 U_{OL} 接近 0，怎么办？





1. 过零比较器

■ 跨接式输出限幅电路



$$u_O = \pm U_Z$$

(1) 保护输入端

(2) 加速集成运放状态的转换

电压比较器的分析方法：

(1) 写出 u_P 、 u_N 的表达式，令 $u_P = u_N$ ，求解出的 u_I 即为 U_T ；

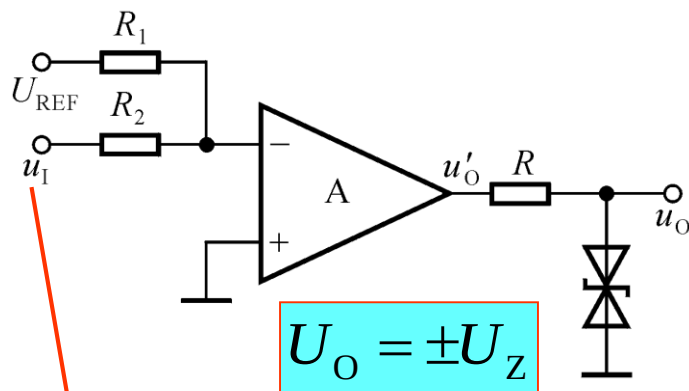
(2) 根据输出端限幅电路决定输出的高、低电平；

(3) 根据输入电压作用于同相输入端还是反相输入端决定输出电压的跃变方向。





2. 一般单限比较器



作用于反相输入端

根据叠加原理

$$u_N = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{REF} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot u_I$$

令 $u_N = u_P = 0$, 得

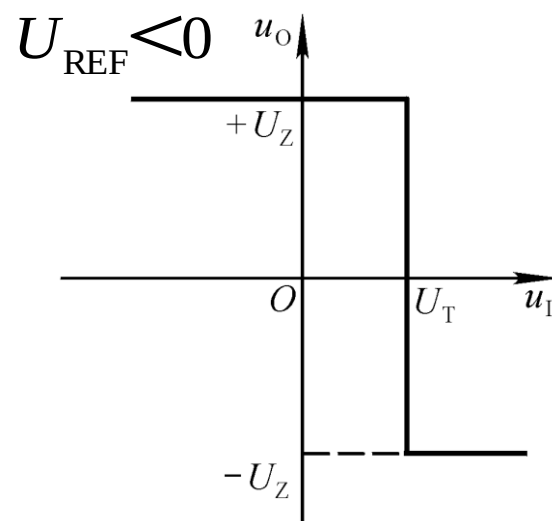
$$U_T = -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_{REF}$$

$$U_O = \pm U_Z$$

(1) 若要 $U_T < 0$, 则应如何修改电路?

(2) 若要改变曲线跃变方向, 则应如何修改电路?

(3) 若要改变 U_{OL} 、 U_{OH} 呢?

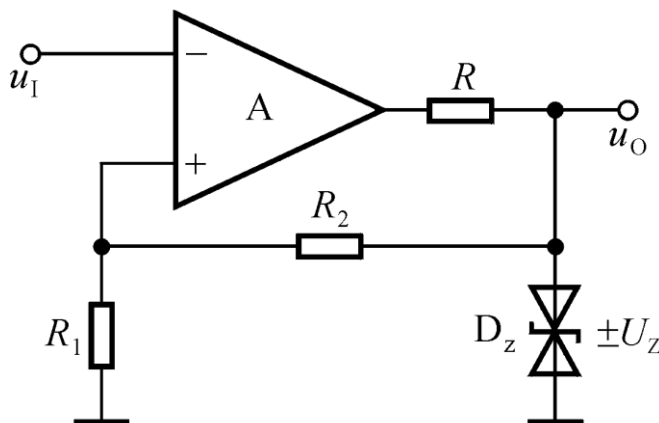




§ 7.2.3 滞回比较器

1. 阈值电压

反馈组态?
正负?



输出电压:

$$U_{OL} = -U_Z$$

$$U_{OH} = +U_Z$$

$$u_N = u_I$$

$$u_P = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot u_O, \text{ 令 } u_N = u_P, \text{ 得}$$

阈值电压:

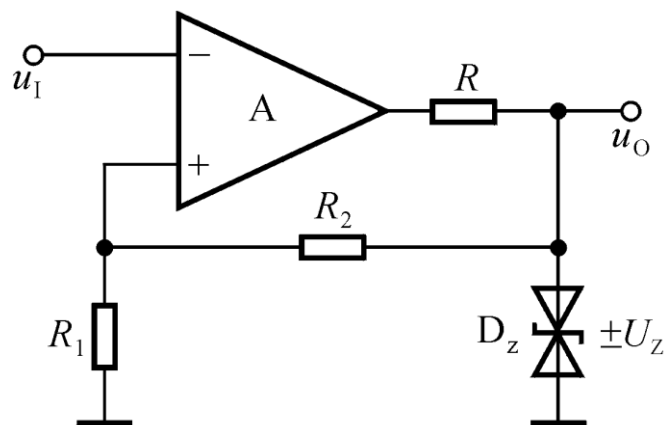
$$\pm U_T = \pm \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_Z$$





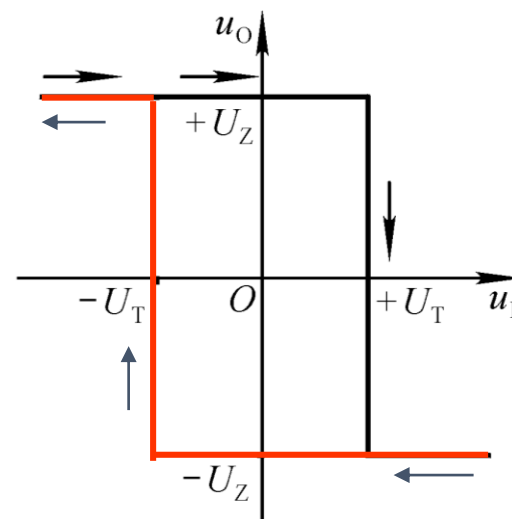
§ 7.2.3 滞回比较器

2. 工作原理及电压传输特性



$$\pm U_T = \pm \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_Z$$

$$U_O = \pm U_Z$$



设 $u_I < -U_T$ ，则 $u_N < u_P$ ， $u_O = +U_Z$ 。此时 $u_P = +U_T$ ，增大 u_I ，直至 $+U_T$ ，再增大， u_O 才从 $+U_Z$ 跃变为 $-U_Z$ 。

设 $u_I > +U_T$ ，则 $u_N > u_P$ ， $u_O = -U_Z$ 。此时 $u_P = -U_T$ ，减小 u_I ，直至 $-U_T$ ，再减小， u_O 才从 $-U_Z$ 跃变为 $+U_Z$ 。

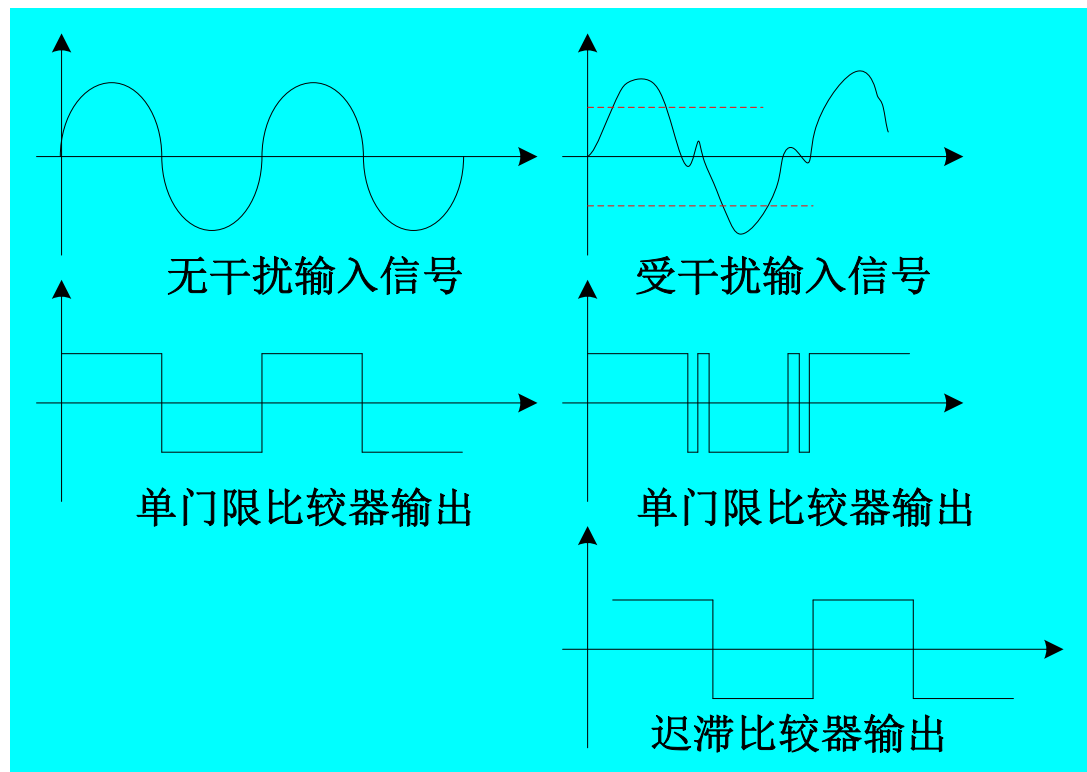




§ 7.2.3 滞回比较器

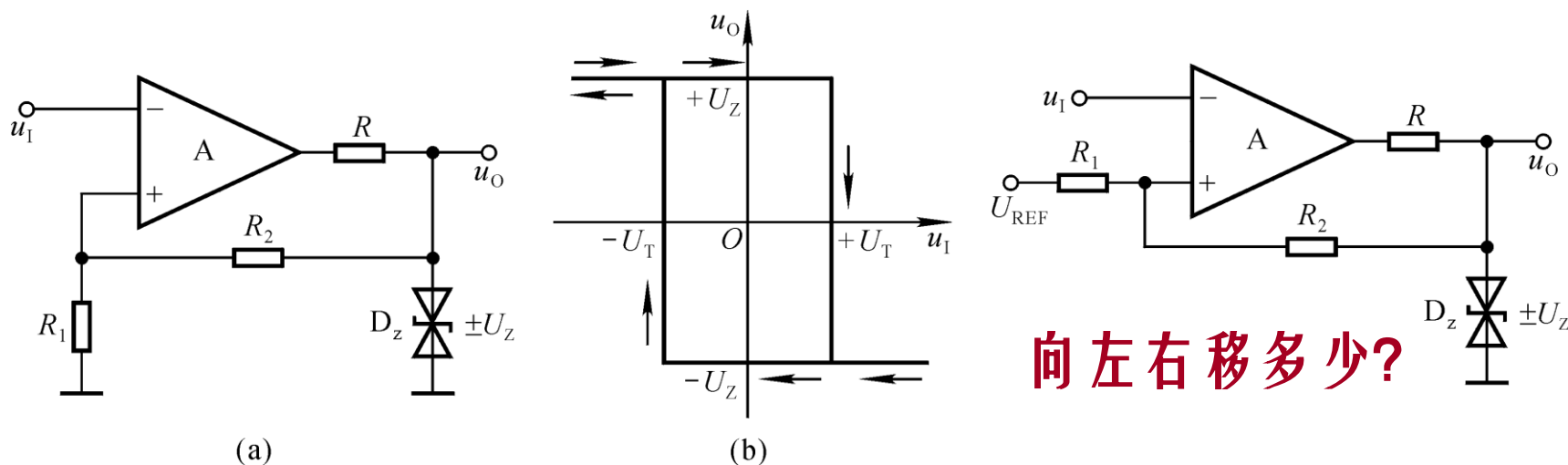
■ 性能对比

- 单门限电压比较器：电路结构简单、灵敏度高，但抗干扰能力差
- 迟滞比较器：两个电压比较门限，结构相对复杂，但具有良好的抗干扰能力





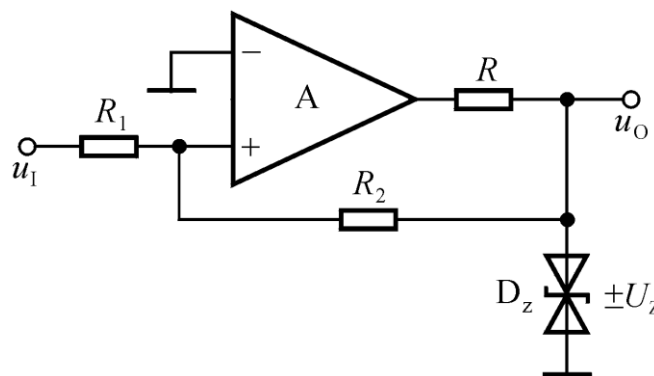
讨论一：如何改变滞回比较器的电压传输特性



向左右移多少？

1. 若要电压传输特性曲线左右移动，则应如何修改电路？
2. 若要电压传输特性曲线上、下移动，则应如何修改电路？
3. 若要改变输入电压过

阈值电压时输出电压的跃变方向，则应如何修改电路？



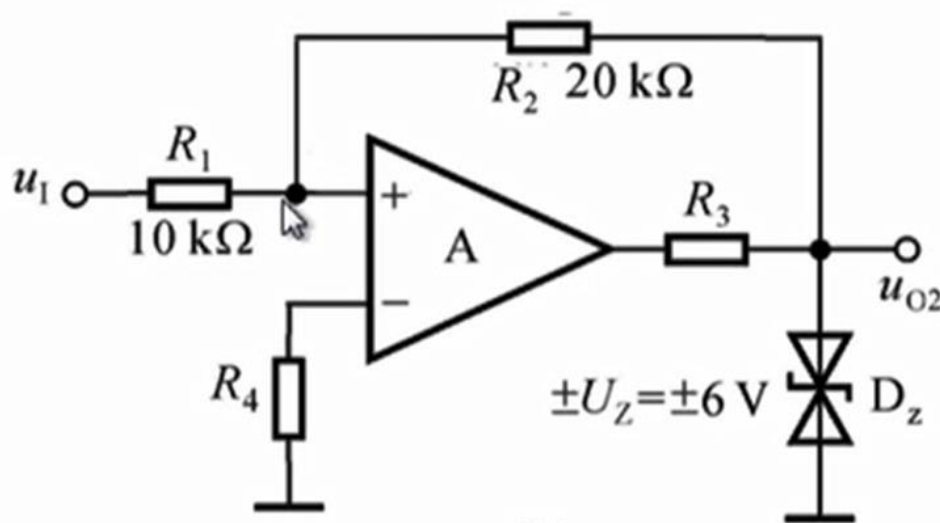
改变输出
限幅电路





典型例题

例1：求解电压比较器的电压传输特性。已知稳压管的限流电阻取值合适：



观察图示电路，仅引入正反馈，故为电压比较器，且为滞回比较器。求解电压传输特性的三因素（输出高、低电平，阈值电压，曲线过阈值电压时的跃变方向）：

$$U_{OH} = -U_{OL} = 6V$$





典型例题

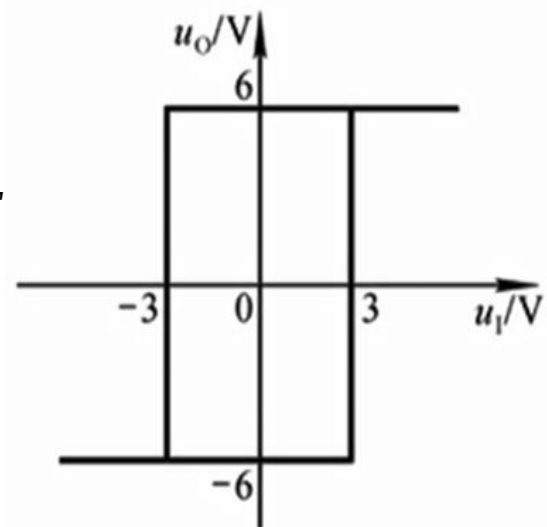
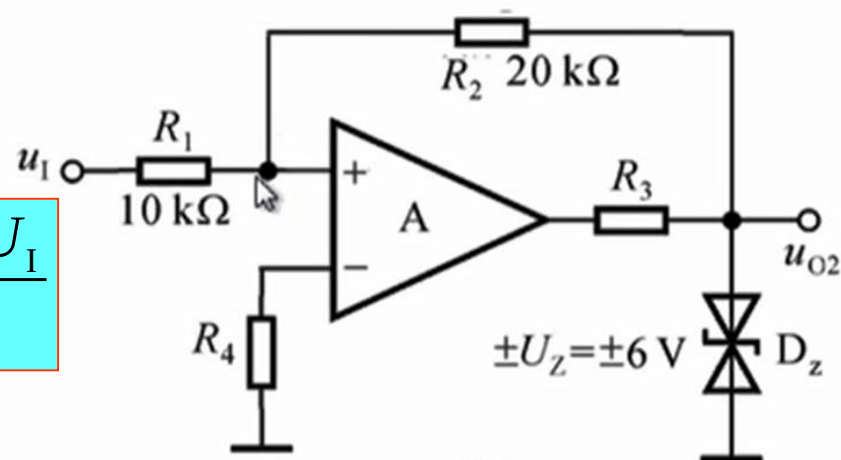
解： 根据叠加原理

$$U_P = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_O + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_I = \frac{U_O}{3} + \frac{2U_I}{3}$$

$$U_N = 0, \quad \text{令 } U_P = U_N = 0, \quad U_I = \frac{U_O}{2}$$

将 $U_O = \pm U_Z$ 代入，得 $+U_T = 3V$ ， $-U_T = -3V$

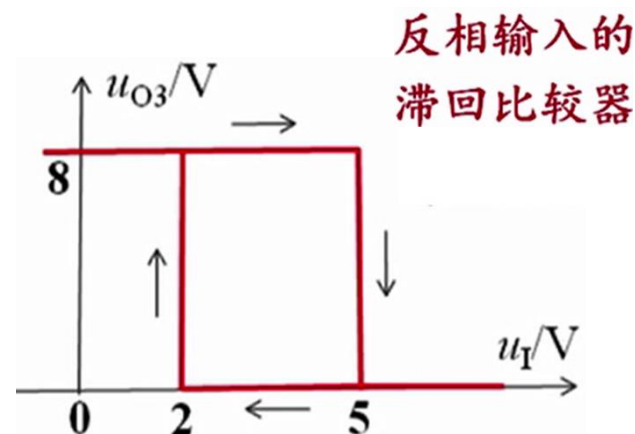
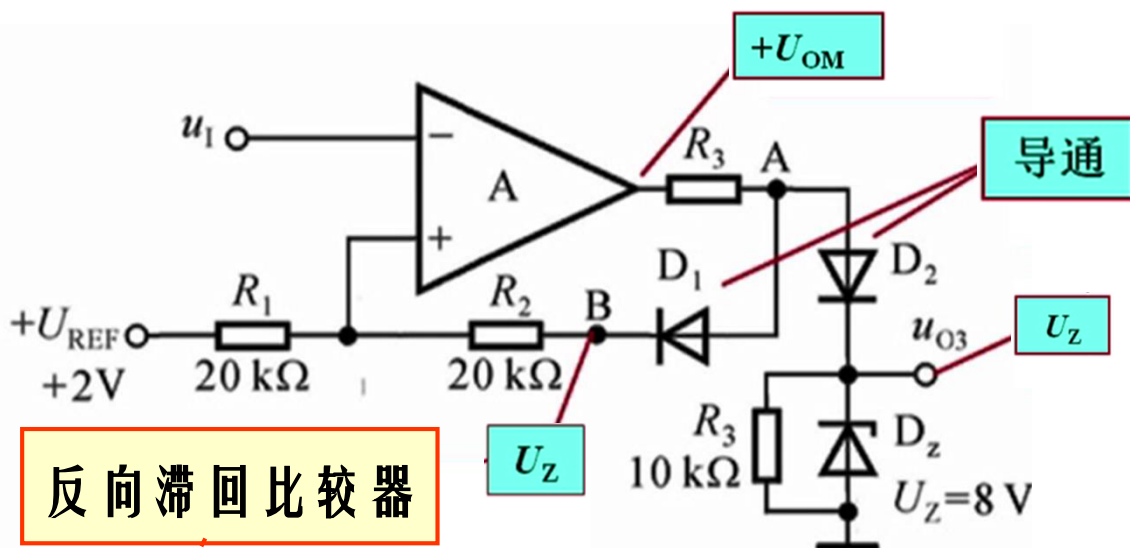
输入信号作用于同相输入端，因而，当 $u_I > U_T$ 时， $U_O = 6V$ ；当 $u_I < -U_T$ 时， $U_O = -6V$ ；所以电压传输特性如图所示。





典型例题

例2：求解图示电路电压比较器的电压传输特性。



$$u_P = \frac{R_2 \cdot U_{REF}}{R_1 + R_2} + \frac{R_1 \cdot U_Z}{R_1 + R_2} = u_N$$
$$U_{T1} = 5V$$

此时， $U_A = U_Z + U_D$ ， $U_B = U_A - U_D = U_Z$ ，

$U_{O3} = U_{OH} = U_Z = 8V$ ；

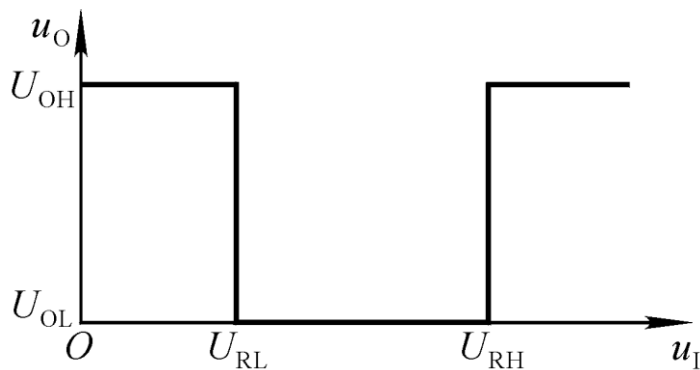
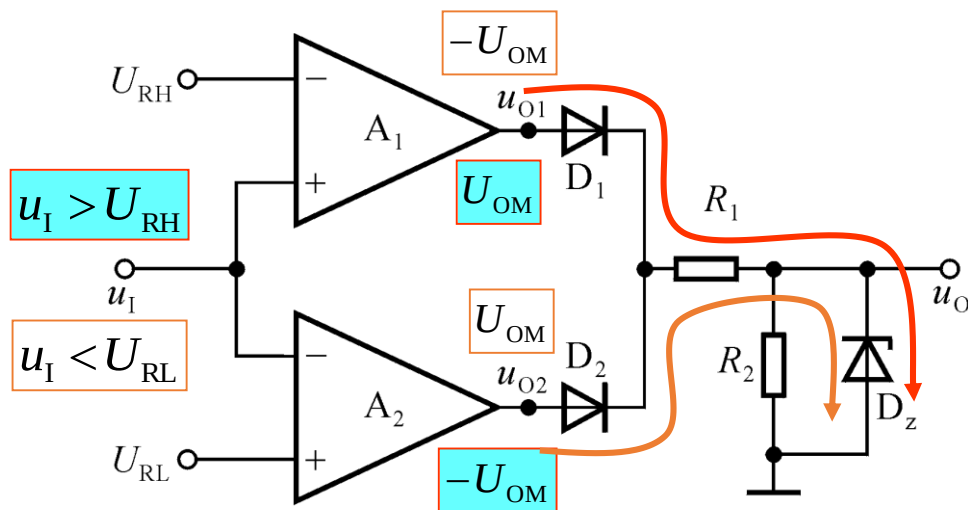
当集成运放的输出为 $-U_{OM}$ 时， D_1 、 D_2 均为反向偏置，处于截止

状态， $U_{T2} = U_{REF} = 2V$ ；稳压管截止， $U_{O3} = U_{OL} = 0V$ 。





§ 7.2.4 窗口比较器



当 $u_I > U_{RH}$ 时,

$u_{O1} = -u_{O2} = U_{OM}$, D_1 导通,
 D_2 截止; $u_O = U_Z$ 。

当 $u_I < U_{RL}$ 时,

$u_{O2} = -u_{O1} = U_{OM}$, D_2 导通,
 D_1 截止; $u_O = U_Z$ 。

当 $U_{RL} < u_I < U_{RH}$ 时,

$u_{O1} = u_{O2} = -U_{OM}$, D_1 、 D_2
均截止; $u_O = 0$ 。

