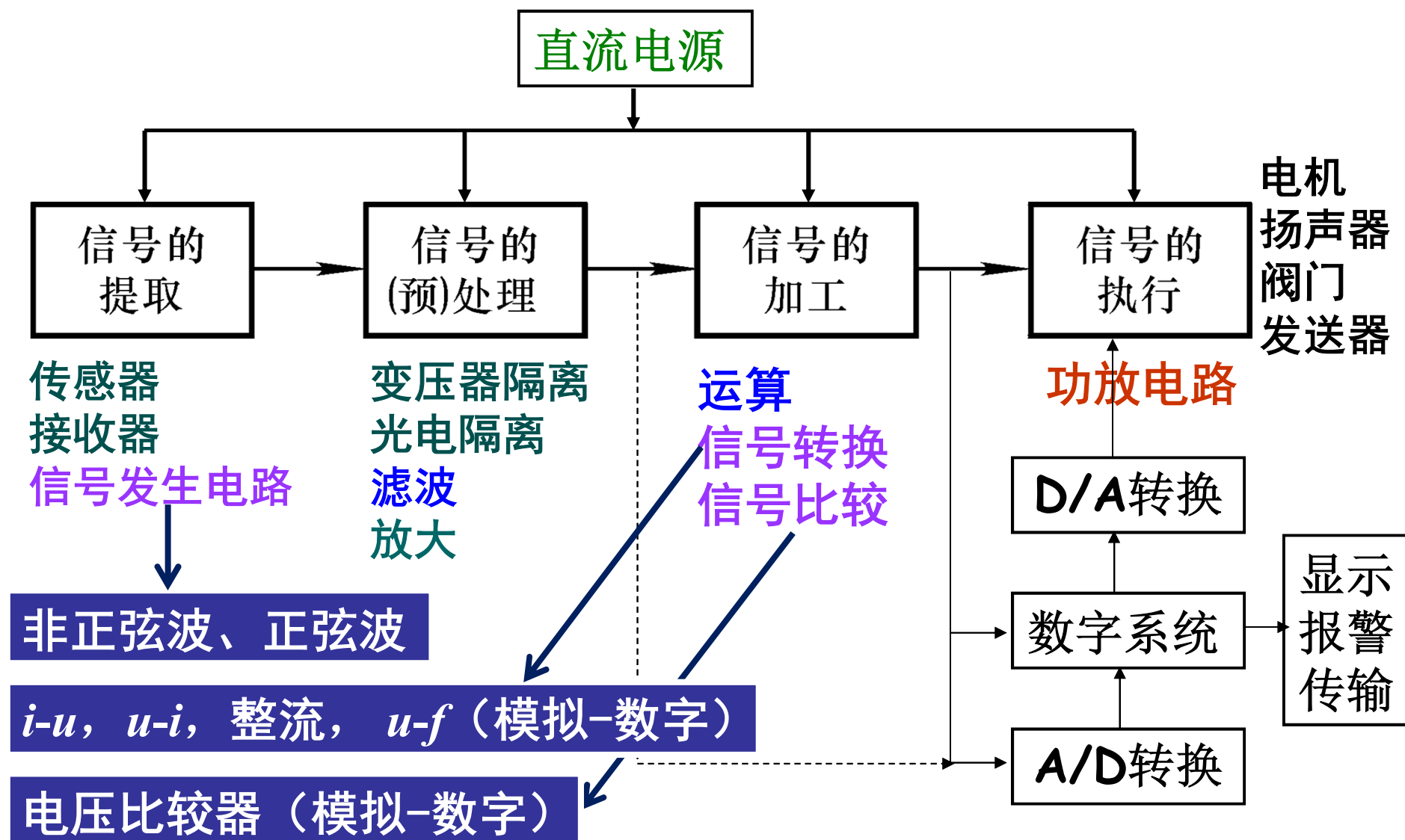


# Construction of Electronic System





# 第八章 波形的发生和信号的转换

8.1 电压比较器(Comparator)

8.2 非正弦波发生电路(Nonsinusoidal Oscillator)

8.3 信号转换电路 (Signal Converter)

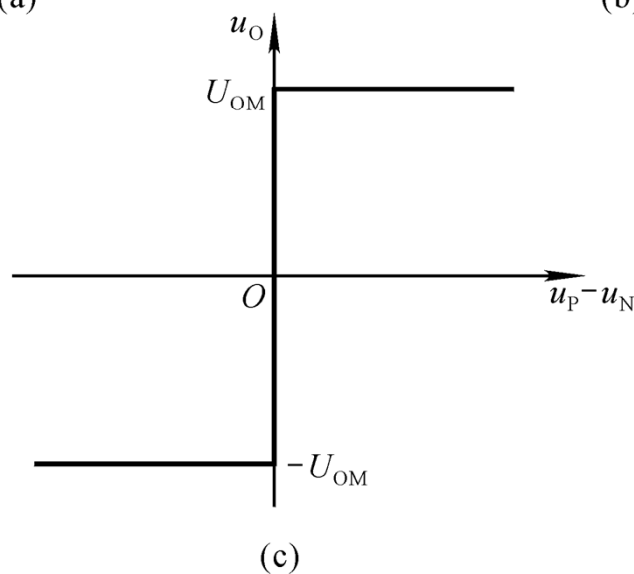
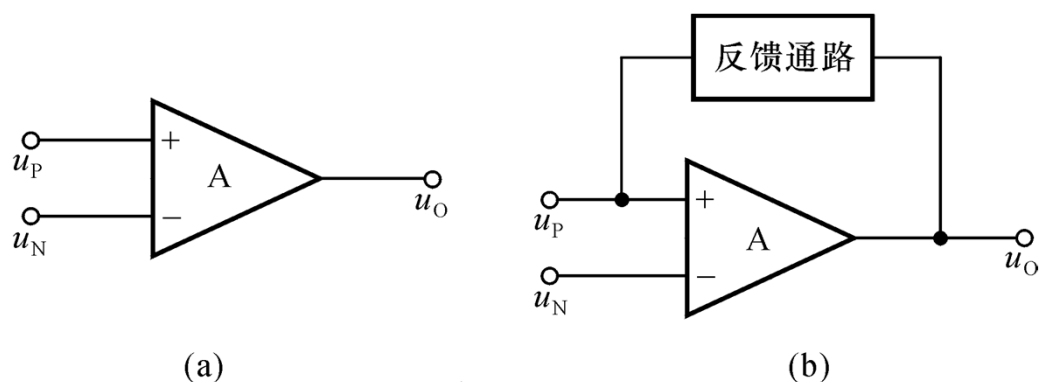
8.4 正弦波振荡电路(Oscillator )



## 8.1 电压比较器(Comparator)

### 一、集成运放的非线性工作区

**非线性工作区：**开环或者只引入正反馈



**非线性工作区特点：**

$$\bullet u_P > u_N \quad u_O = +U_{OM}$$

$$u_P < u_N \quad u_O = -U_{OM}$$

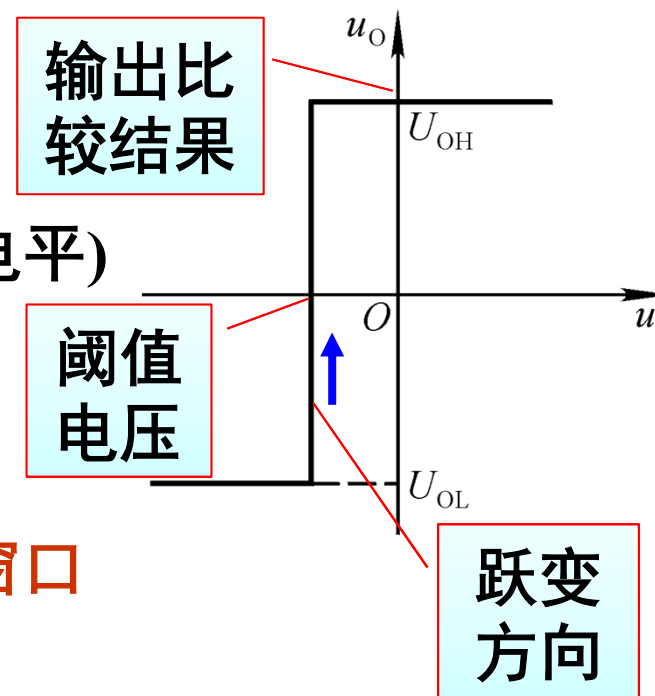
$$\bullet i_P = i_N \approx 0 \quad \text{虚断}$$

## 二、电压比较器的传输特性及种类

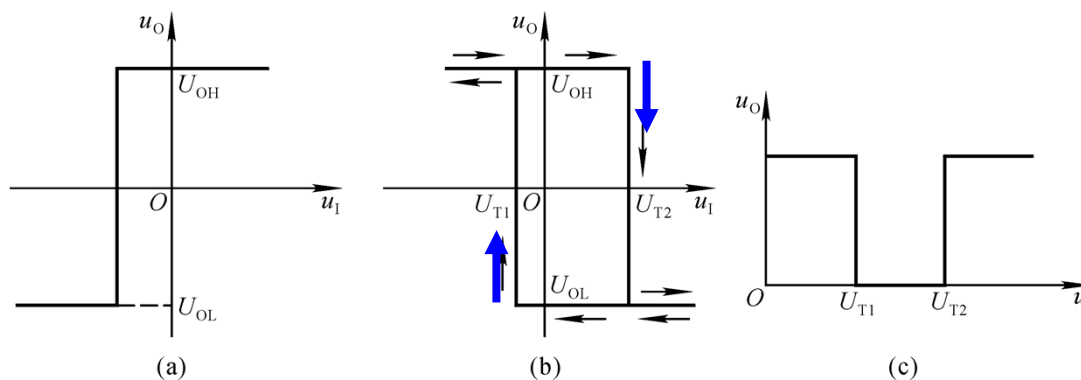
- 电压比较器的传输特性:  $u_O = f(u_I)$

### 传输特性的三要素

- 输出比较结果  $U_{OH}$  (高电平),  $U_{OL}$  (低电平)
- 阈值电压  $U_T$  (转折电压)
- $u_I$  变化经过  $U_T$  时,  $u_O$  的跃变方向



- 电压比较器的种类: 单限 滞回 窗口



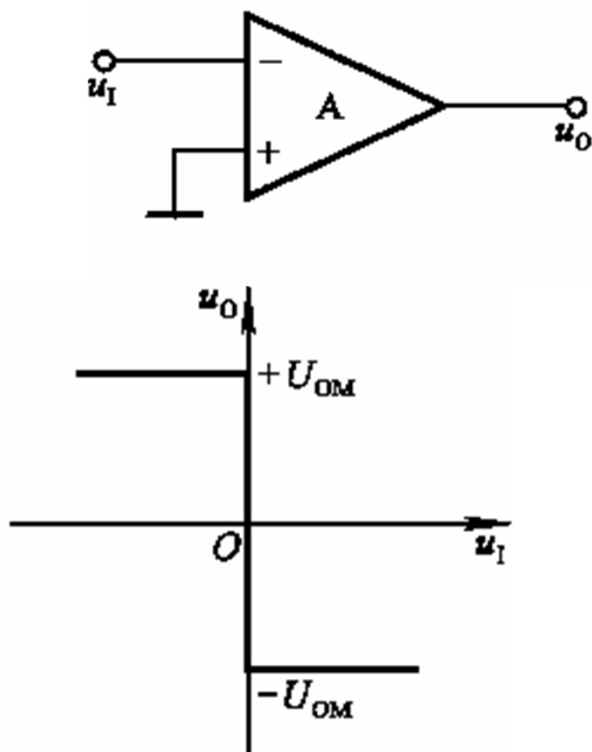
单限  
一个阈值

滞回  
两个阈值

窗口

### 三、单限电压比较器

#### 1. 过零比较器



#### 1) 分析三要素

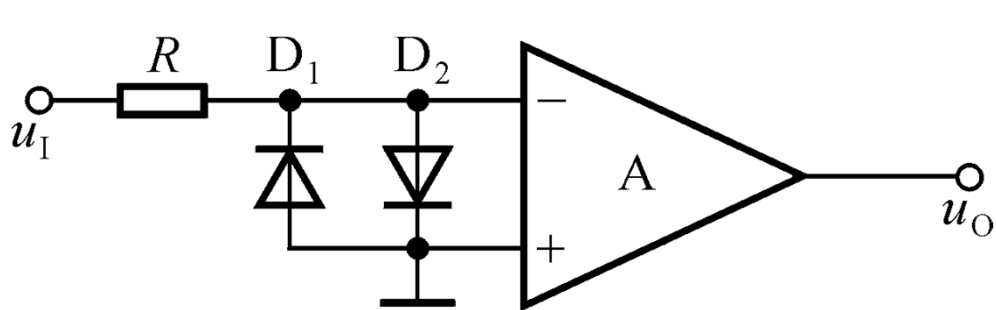
- $u_I > 0, U_{OL} = -U_{OM}$   
 $u_I < 0, U_{OH} = +U_{OM}$

- 阈值电压  $U_T = 0$

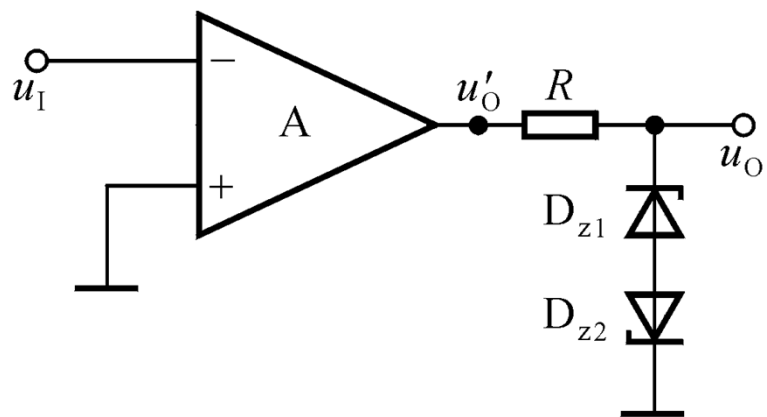
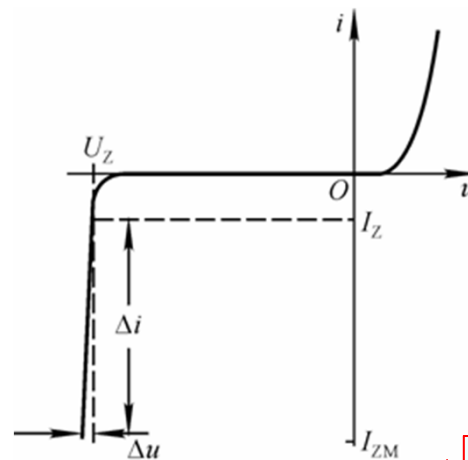
- $u_I$  由小往大变化经过  $U_T$  时,  
 $u_O$  由  $+U_{OM}$  变为  $-U_{OM}$

#### 2) 根据三要素画电压传输特性

**问题：**当  $u_I$  从同相端输入时，  
电压传输特性？

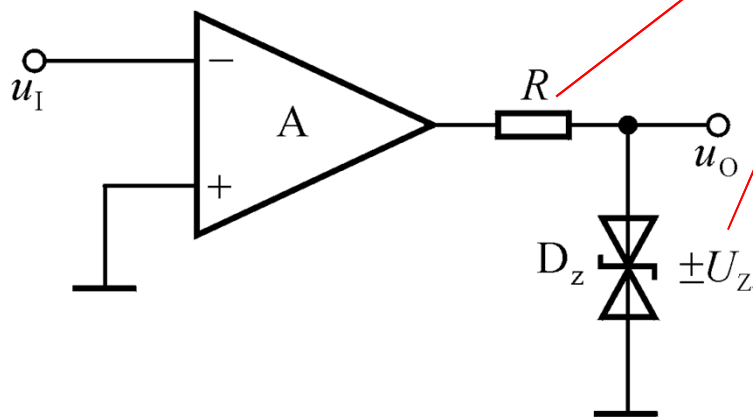


输入级的保护电路



(a)

输出限幅电路

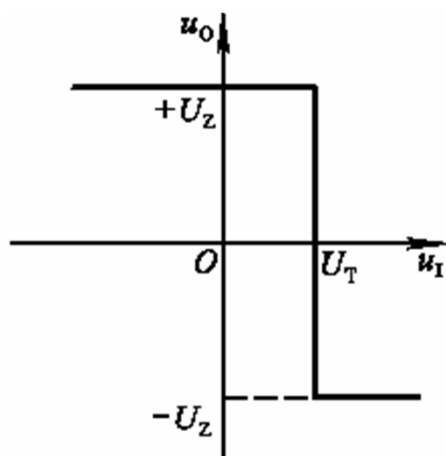
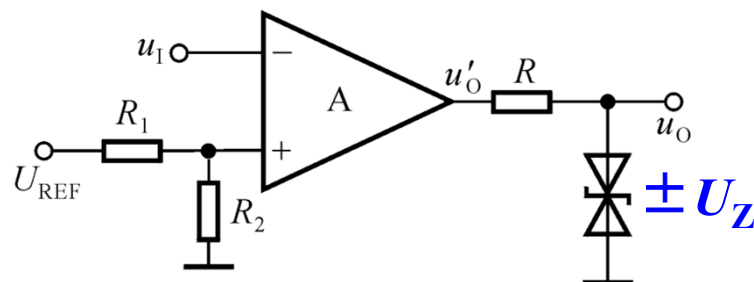


(b)

限流  
电阻

输出电  
压  $\pm U_Z$

## 2. 一般单限比较器



**问题：**当 $u_I$ 从同相端输入时，电压传输特性？

分析三要素方法：

- 1) 求出 $U_{OH}$ ,  $U_{OL}$   
主要分析限幅电路；
- 2) 利用虚断分别求出 $u_+$ 、 $u_-$ ,  
令 $u_+ = u_-$ , 求出 $U_T$ ；
- 3) 分析 $u_I > U_T$ 和 $u_I < U_T$ 时 $u_O$ 的值,  
从而确定传输特性方向。

$$\cdot u_O = \pm U_Z$$

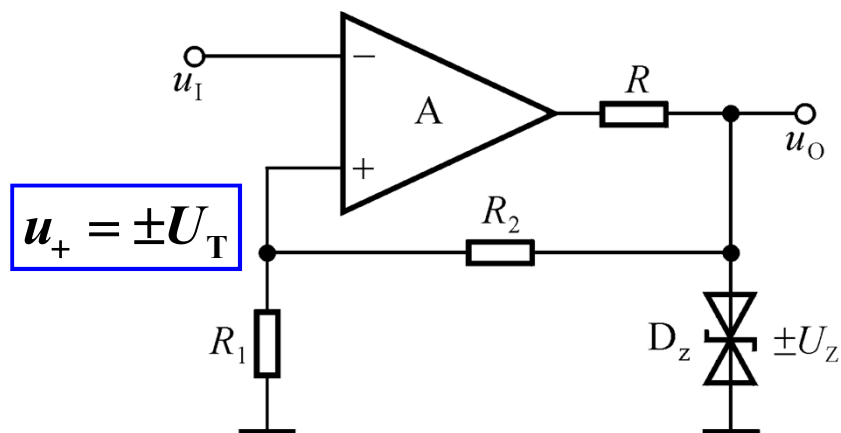
$$\cdot u_- = u_I \quad u_+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{REF}$$

$$U_T = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{REF}$$

$$\cdot u_I < U_T \quad u_- < u_+ \quad u_O = +U_Z$$

$$u_I > U_T \quad u_- > u_+ \quad u_O = -U_Z$$

## 四、滞回比较器(Schmitt Trigger)



引入了正反馈

### 1. 分析三要素

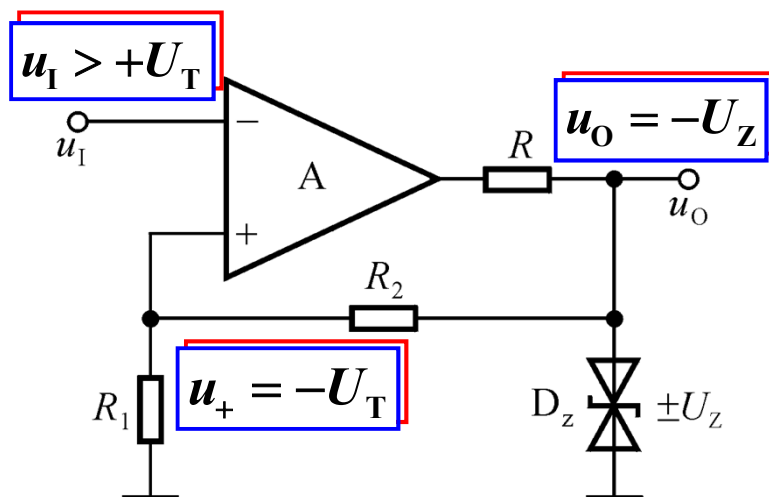
- $u_O = \pm U_Z$
- $u_- = u_I \quad u_+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u_O$

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

- $u_I < -U_T \quad u_- < u_+ \quad u_O = +U_Z$   
 $u_I > +U_T \quad u_- > u_+ \quad u_O = -U_Z$   
 $-U_T < u_I < +U_T$  时  $u_O$  值不确定

### 2. 画电压传输特性





•  $u_I$  从  $< -U_T$  逐渐增大到  $-U_T < u_I < +U_T$

则  $u_O$  保持  $+U_Z$  不变

$$u_O = +U_Z$$

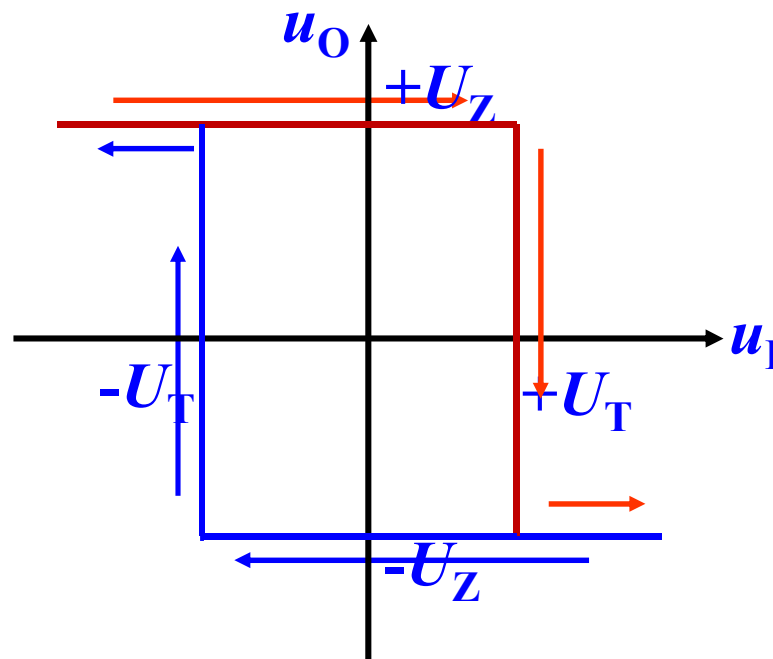
•  $u_I$  从  $> +U_T$  逐渐减小到  $-U_T < u_I < +U_T$

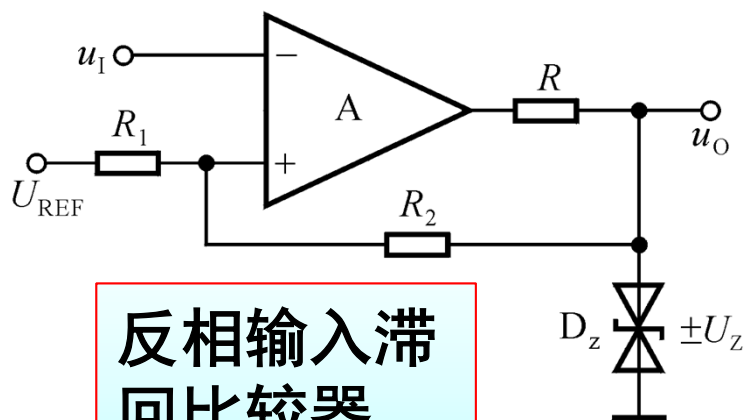
则  $u_O$  保持  $-U_Z$  不变

$$u_O = -U_Z$$

### 结论：

- 当  $u_I < -U_T$  或  $u_I > +U_T$  时， $u_O$  值确定；
- 当  $-U_T < u_I < +U_T$  时， $u_O$  值保持不变；
- 设某一时刻  $u_O = +U_Z$ ，则阈值为  $U_T$ ；反之  $u_O = -U_Z$  时，则阈值为  $-U_T$ 。

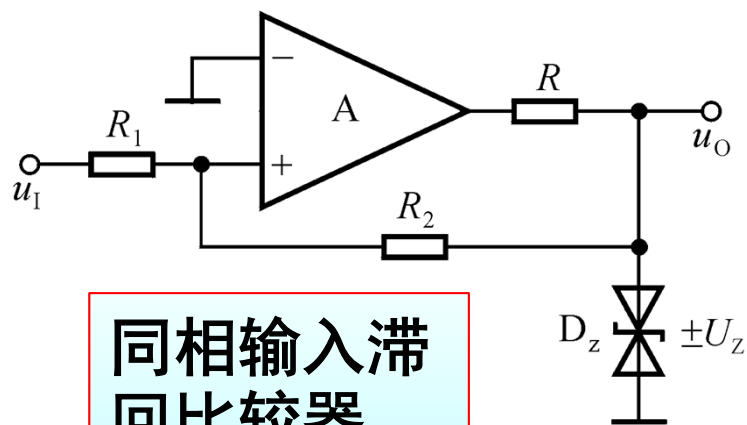
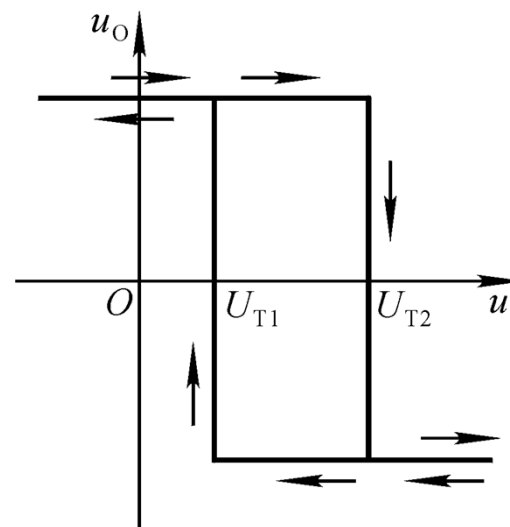




反相输入滞  
回比较器

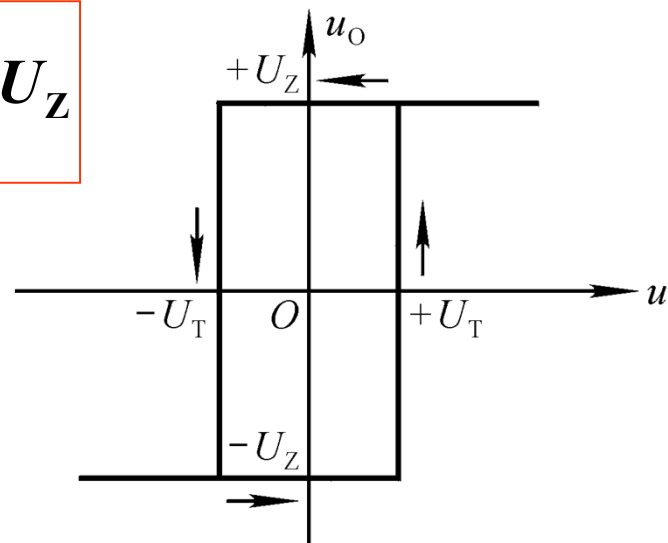
$$U_T = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{REF}$$

$$\pm \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_Z$$

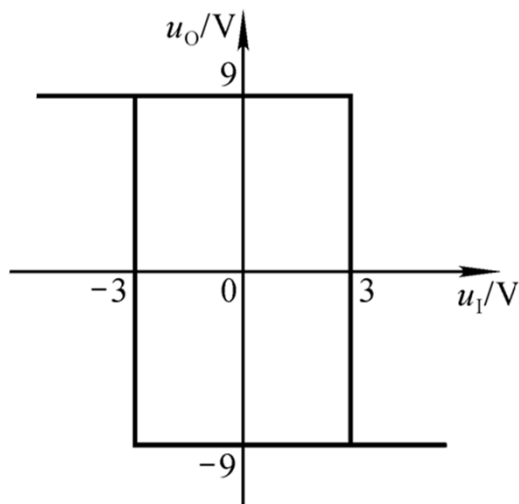
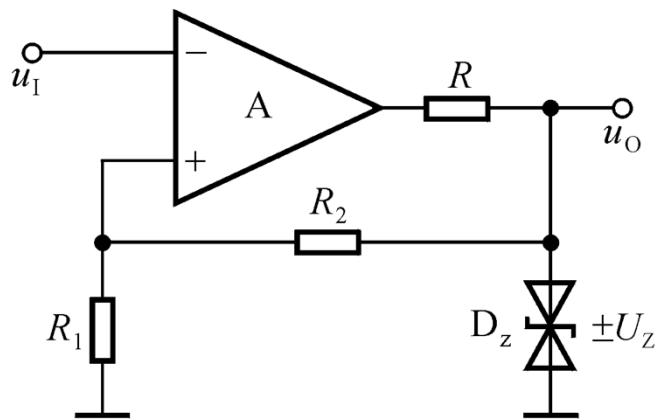


同相输入滞  
回比较器

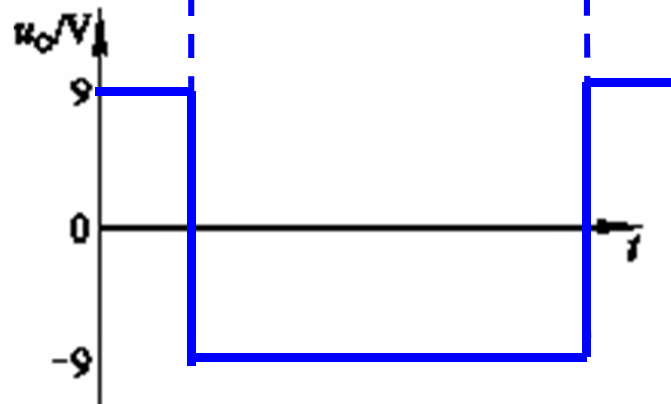
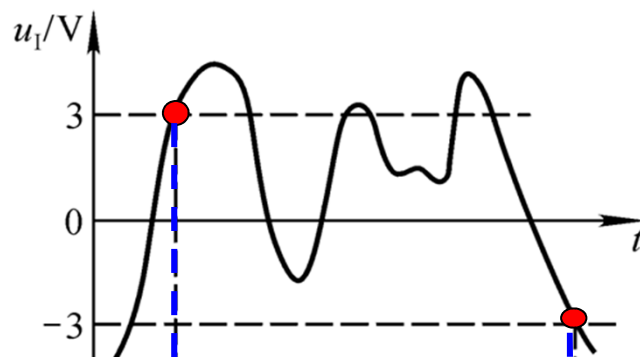
$$\pm U_T = \pm \frac{R_1}{R_2} U_Z$$



**讨论1:**  $R_1=50\text{k}\Omega$ ,  $R_2=100\text{k}\Omega$ ,  $\pm U_Z=\pm 9\text{V}$

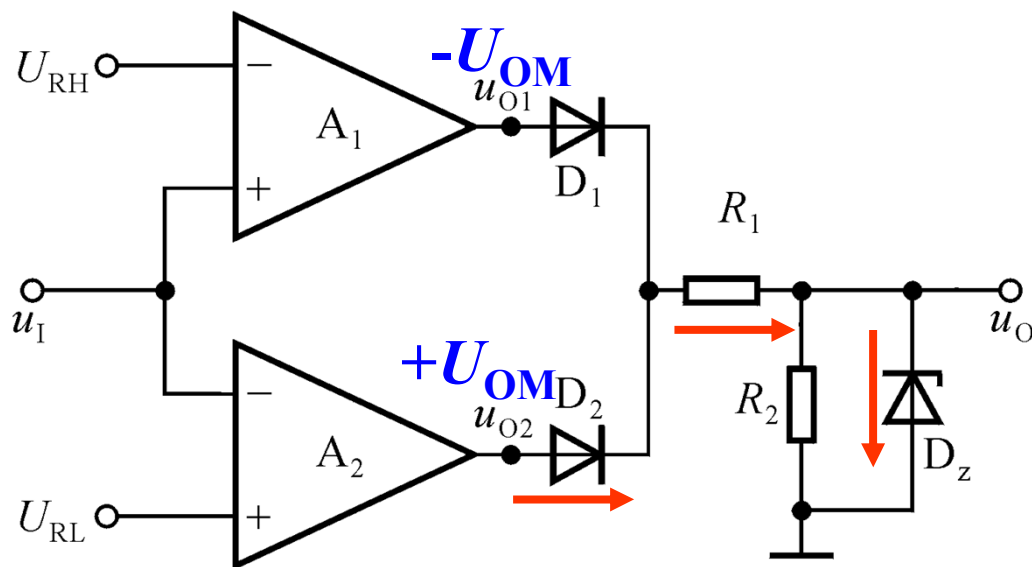


$$\pm U_T = \pm \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_Z = \pm 3\text{V}$$



**分析要领:** 看输入信号变化方向

## 五、窗口比较器



由两个单限比较器组成

$$U_{RH} > U_{RL}$$

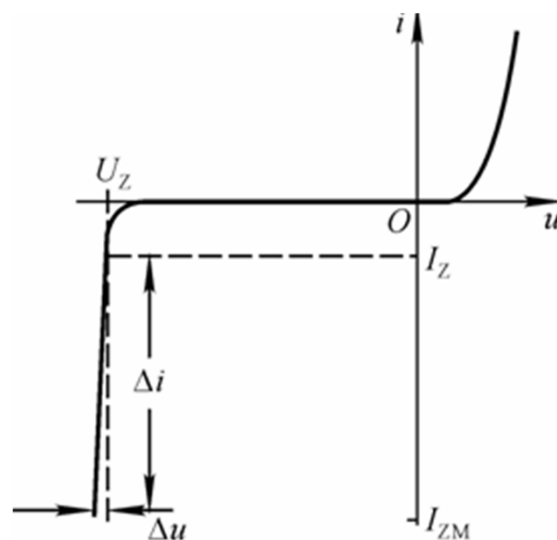
### 1. 分析三要素

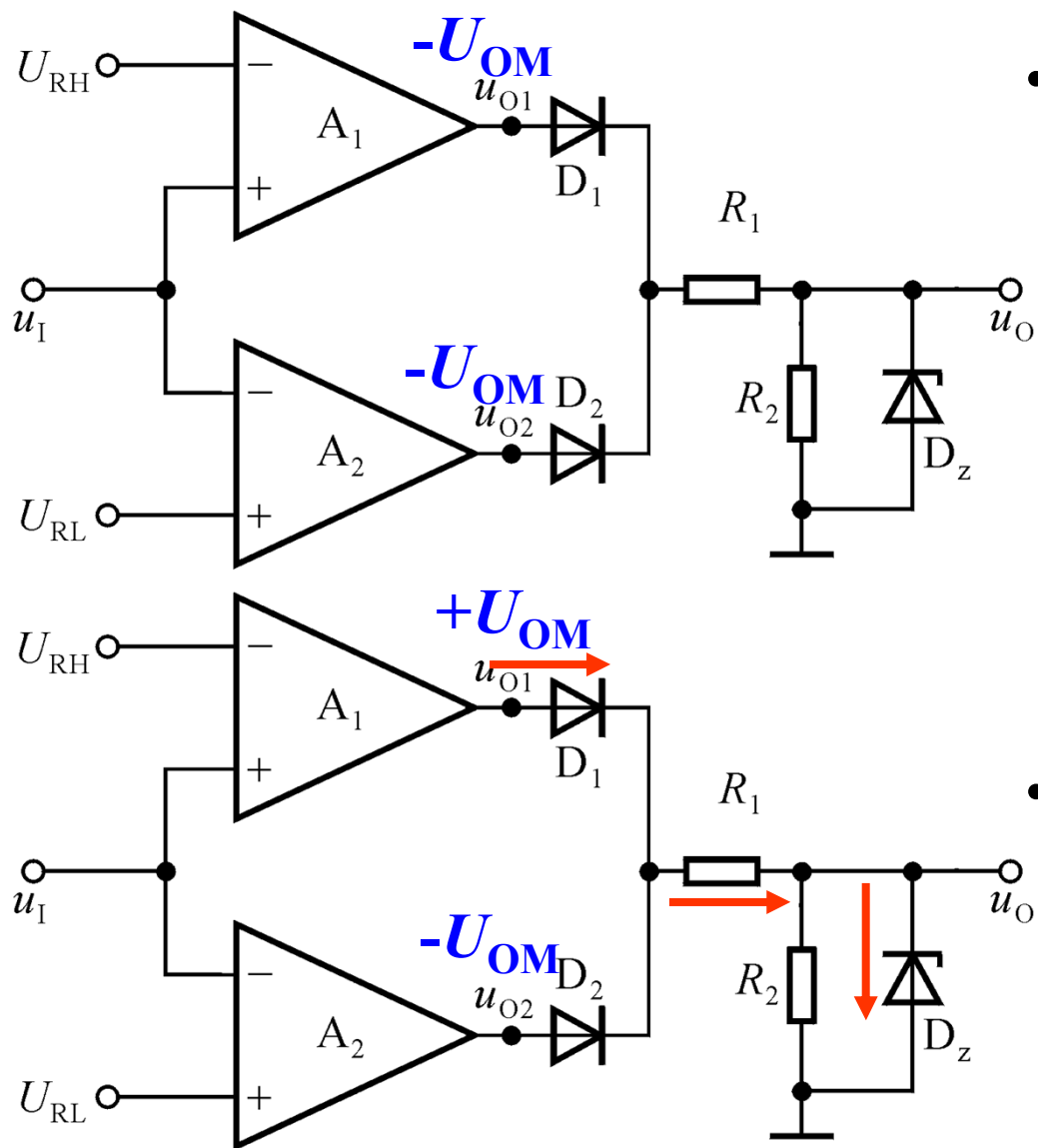
- $U_{T1} = U_{RL}$  ,  $U_{T2} = U_{RH}$
- $U_{OH} = +U_Z$  ,  $U_{OL} \approx 0$

### 2. 电压传输特性分析

- 当  $u_I < U_{RL}$  时

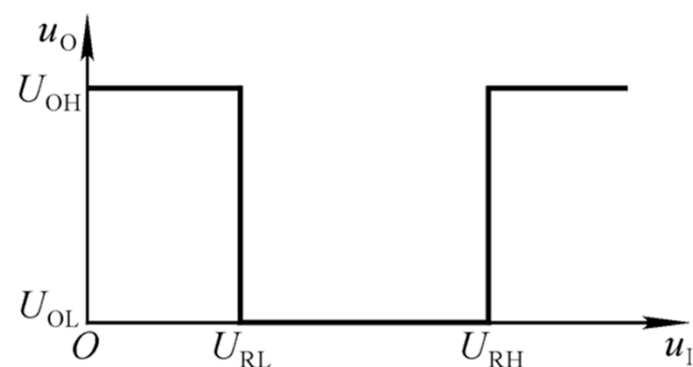
$D_1$ 截止,  $D_2$ 导通,  $u_O = +U_Z$





• 当  $U_{RL} < u_I < U_{RH}$  时

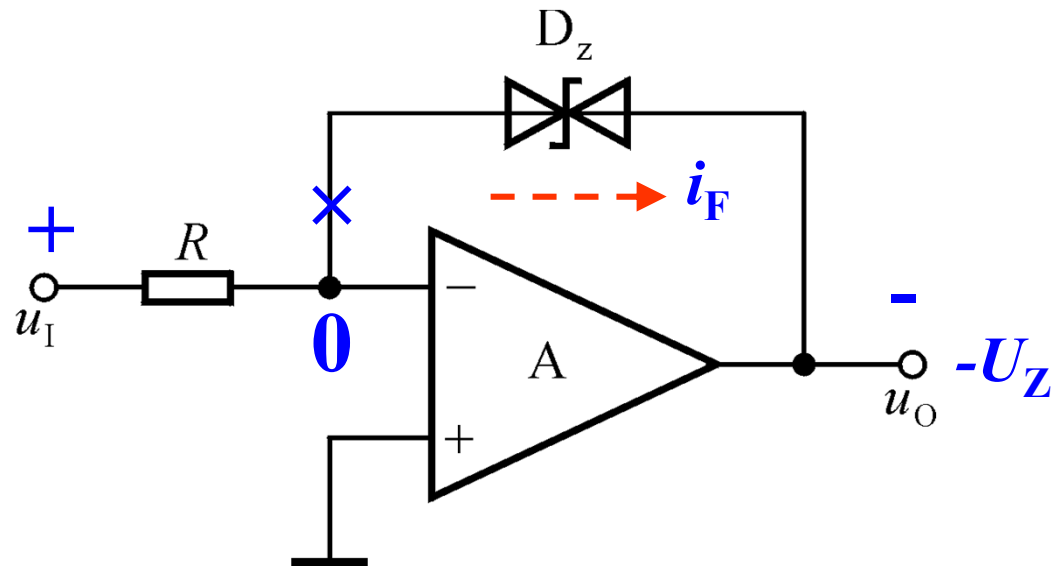
$D_1, D_2$  截止,  $u_O = 0$



• 当  $u_I > U_{RH}$  时

$D_1$  导通,  $D_2$  截止,  $u_O = +U_Z$

**特殊电压比较器：**引入负反馈的电压比较器



**特点：**净输入电压为零，保护了输入级；  
运放工作于线性区，提高了电压比较器翻转速度。

## 六、集成电压比较器

---

### 特点：

- 响应速度快，传输延迟短
- 一般不需外加限幅电路就可直接驱动数字电路
- 开环增益低
- 失调电压较大
- 共模抑制比小

### 性能指标：

- 供电电源
- 响应时间
- 失调电压及其温漂
- 静态电流
- 输出电流
- 输出电平范围
- 输入电压范围

## 分类：

- 按性能指标分：通用、低电压、高速、高精度、低功耗型
- 按输出级电路结构分：推拉式（push-pull）、集电极（或漏极）开路输出、互补输出型

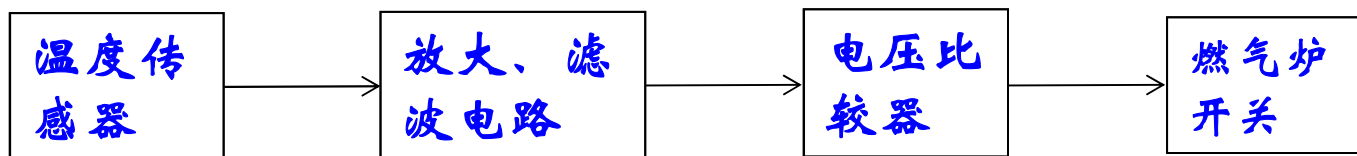
如 ADI:	高速高精度型	AD790	delay=45ns	offset=250uV
	高速型	ADCP566	delay=250ps	offset=1mV

TI：高速高精度型	TL3016	delay=7.6ns	offset=0.5mV
CMOS推拉式输出	TLC3702	delay=1.1us	offset=5mV
BJT推拉式输出	TL712	delay=25ns	offset=5mV
集电极开路输出	LM393	delay=0.3us	offset=3mV
漏极开路输出	TLC372	delay=200ns	offset=5mV

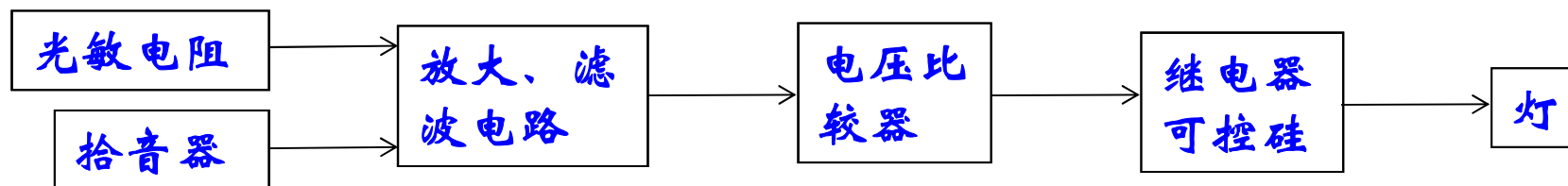


## 七、电压比较器的应用举例

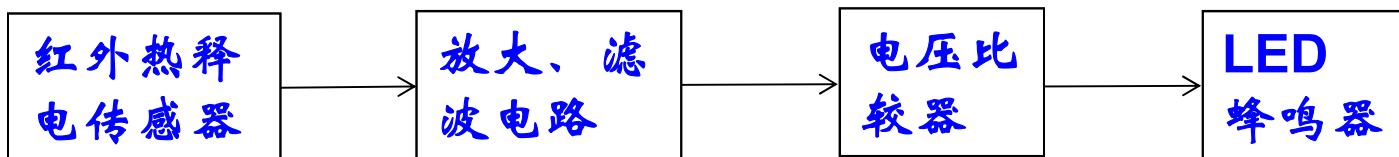
### • 温控器



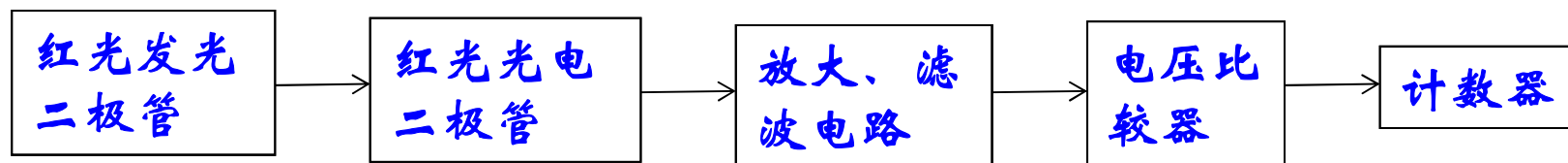
### • 声光控灯



### • 红外报警



### • 心率测量



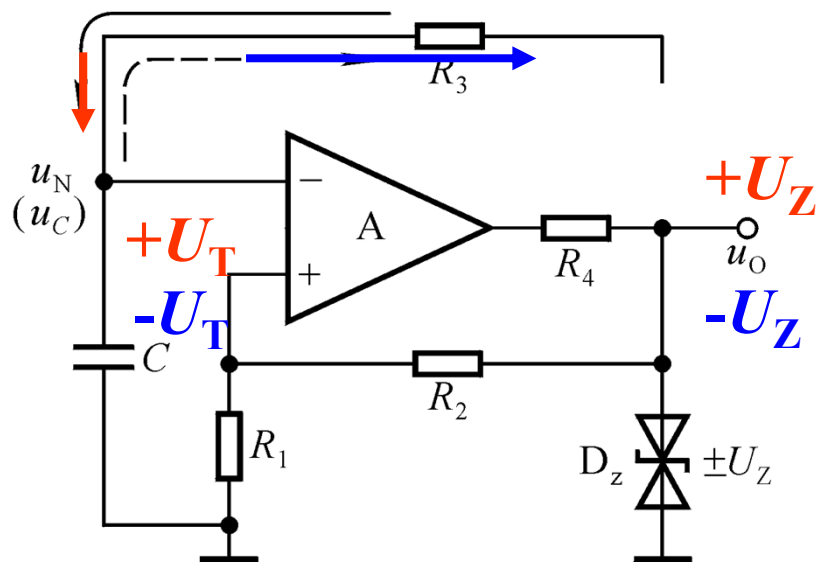


## 8.2 非正弦波发生电路 (Nonsinusoidal oscillator)

方波、矩形波、三角波、锯齿波

### 一、方波发生电路

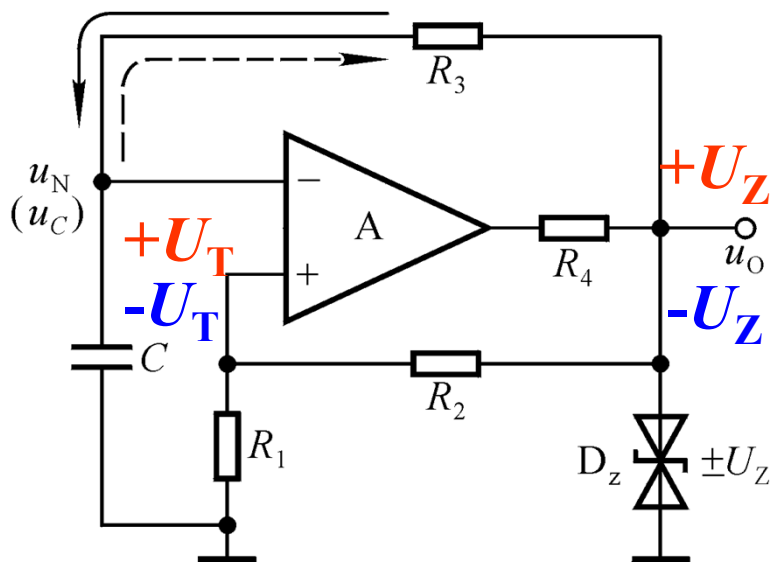
#### 1. 基本电路 反相滞回比较器 + RC负反馈回路



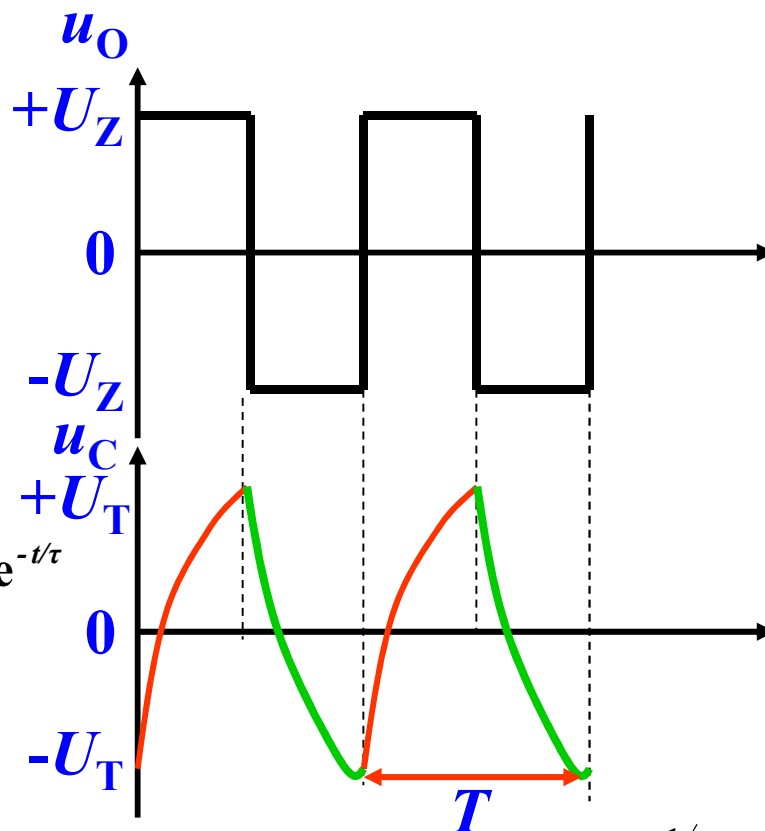
$$\pm U_T = \pm \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_Z$$

#### 1) 工作原理

- 设某一时刻  $u_O = +U_Z$ , 则  $u_+ = +U_T$   
 $u_O$  通过  $R_3$  对  $C$  充电,  $u_- \uparrow$   
当  $u_- = +U_T$  时,  $u_O = -U_Z$
- 当  $u_O = -U_Z$ , 则  $u_+ = -U_T$   
 $C$  通过  $R_3$  放电,  $u_- \downarrow$   
当  $u_- = -U_T$  时,  $u_O = +U_Z$
- 周而复始, 产生方波



## 2) 波形分析



## 3) 周期分析 $U(t) = U(\infty) + [U(0^+) - U(\infty)]e^{-t/\tau}$

一阶RC电路的三要素法

- 起始值  $-U_T$
- $t \rightarrow \infty$  时稳态值  $U_C \rightarrow +U_Z$
- 时间常数  $R_3C$

**问题：** 如何调节方波幅值？  
如何调节周期？

$$U_T = U_Z + (-U_T - U_Z)e^{-\frac{1/2T}{R_3C}}$$

$$T = 2R_3C \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$$