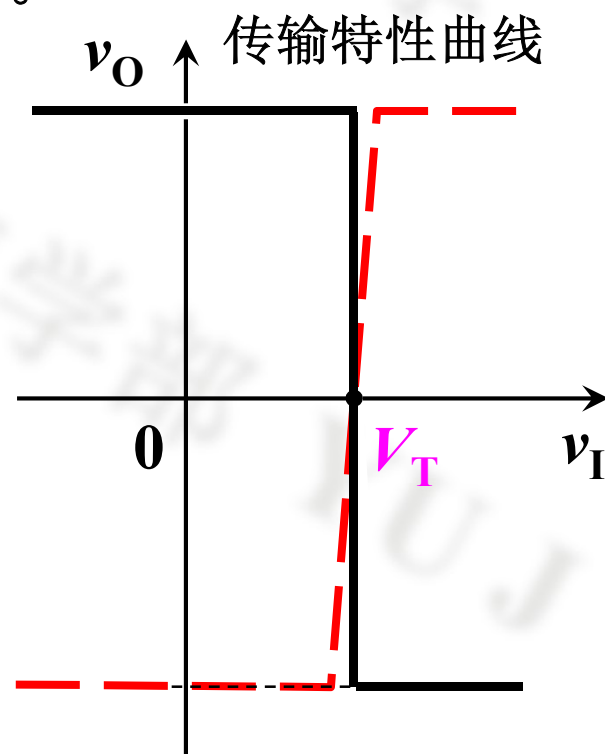
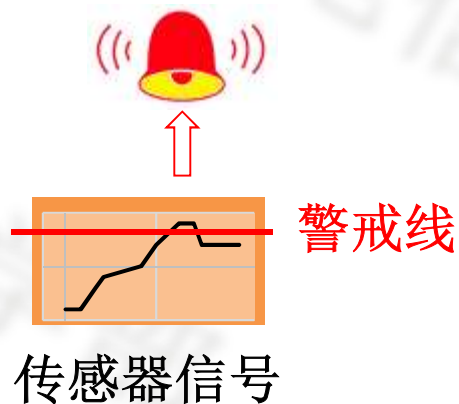


## 9.8 非正弦信号产生电路

### 1. 电压比较器 voltage comparator

#### (1) 单门限电压比较器

功能：将输入模拟电压信号 ( $v_I$ ) 与一个门限电压 ( $V_T$ ) 相比较，输出高电平或者低电平信号 ( $v_O$ )。



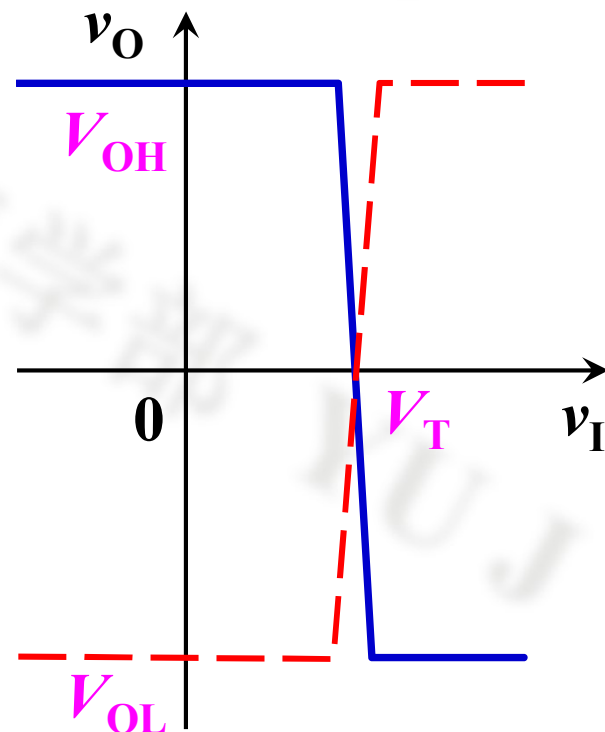
## (1) 单门限电压比较器 ①传输特性曲线

- 门限电压（或阈值电压）  $V_T$ ：  
输出电压发生翻转时的对应的输入电压。

特别的， $V_T = 0$ 时，称为过零比较器。

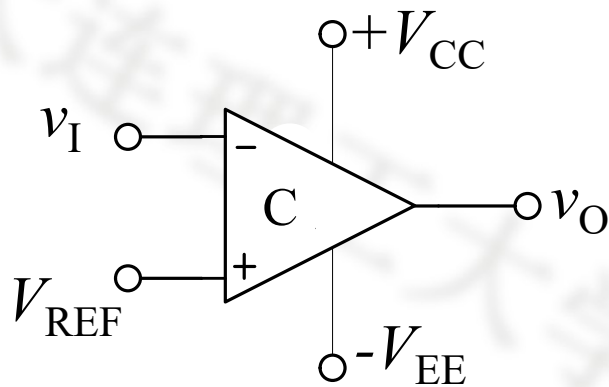
- 两种输出电平：  
高电平  $V_{OH}$ ；低电平  $V_{OL}$ 。
- 两种类型：  
反相、同相。

实现电路？  
门限电压  $V_T$ ？  
 $V_{OH}$  和  $V_{OL}$ ？

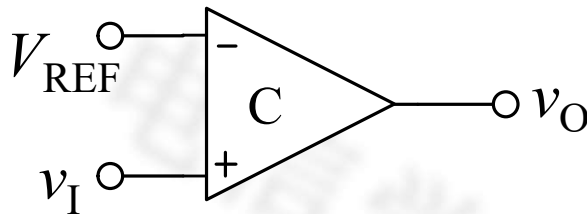


## ②基本电路 -- 开环的放大器

### 反相输入单门限电压比较器



### 同相输入单门限电压比较器



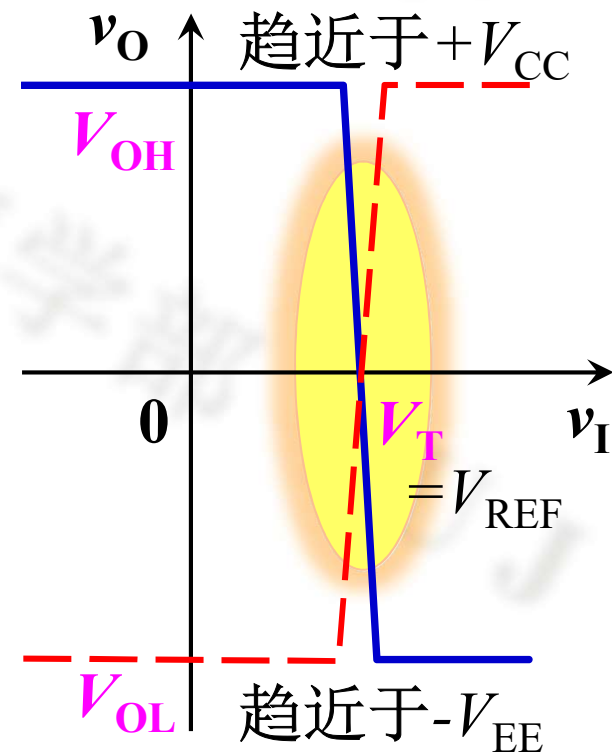
计算  $V_T$ :

- (1) 输出翻转时的输入信号  $V_T \approx v_I$
- (2) 放大器进入线性区: 虚短、虚断

放大区:  $v_O = A_{vd} (v_+ - v_-)$

若  $A_{vd} \rightarrow \infty$

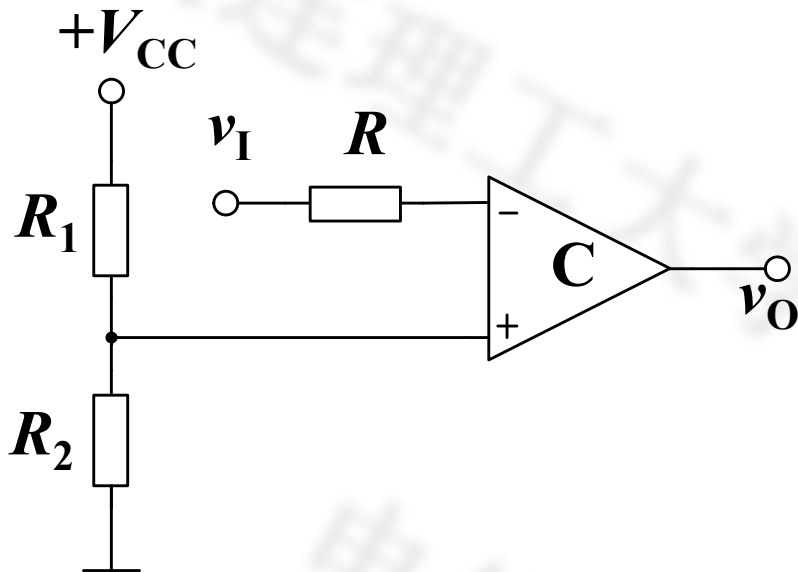
|             |                |
|-------------|----------------|
| $v_+ > v_-$ | $v_O = V_{OH}$ |
| $v_+ < v_-$ | $v_O = V_{OL}$ |



### ③ $V_T$ 的分析与设计

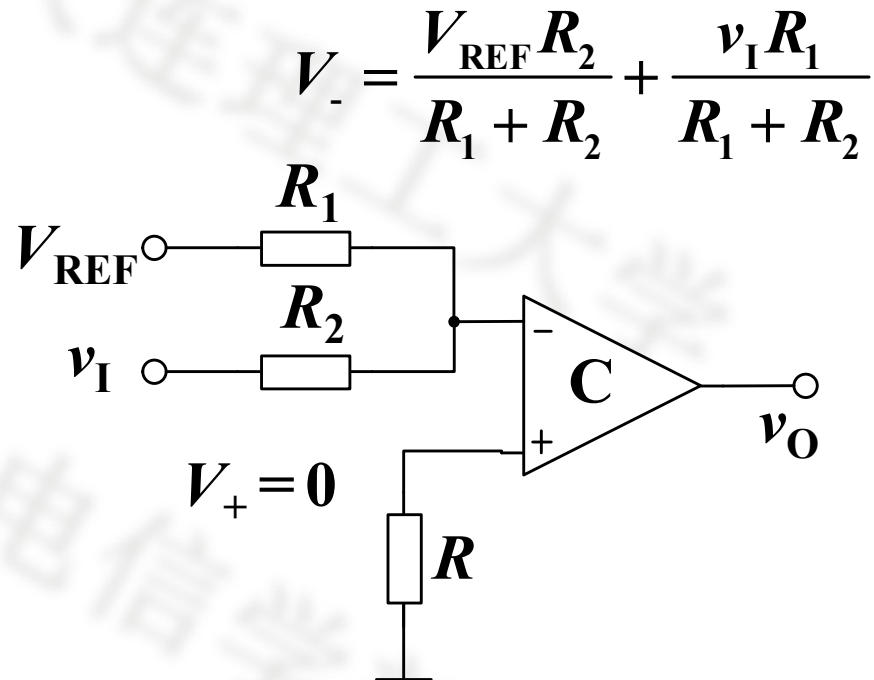
输出信号翻转时  
 $V_T = v_I$ ;  $V_- = V_+$

以反相单门限比较器为例



$$\begin{aligned} V_T &= v_{I(\text{翻转时})} \\ &= V_{CC} R_2 / (R_1 + R_2) \end{aligned}$$

$V_{OH}$  和  $V_{OL}$  与负载有关，如何稳定？



$$V_- = \frac{V_{REF} R_2}{R_1 + R_2} + \frac{v_I R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_+ = 0$$

翻转时：

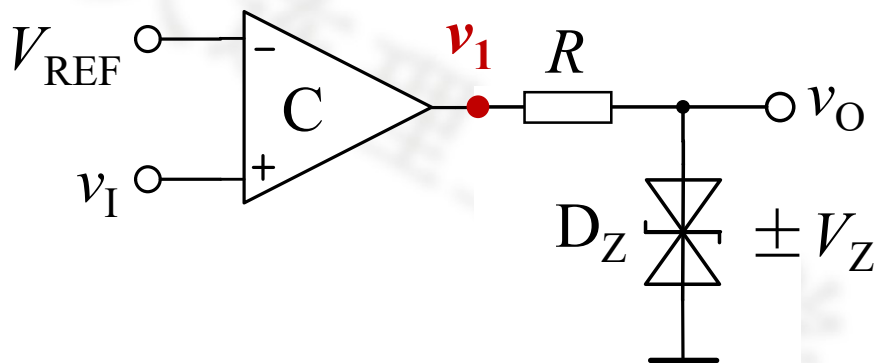
$$\frac{V_{REF} R_2}{R_1 + R_2} + \frac{V_T R_1}{R_1 + R_2} = 0$$

$$V_T = -V_{REF} R_2 / R_1$$

#### ④ $V_{OH}$ 和 $V_{OL}$ 的控制

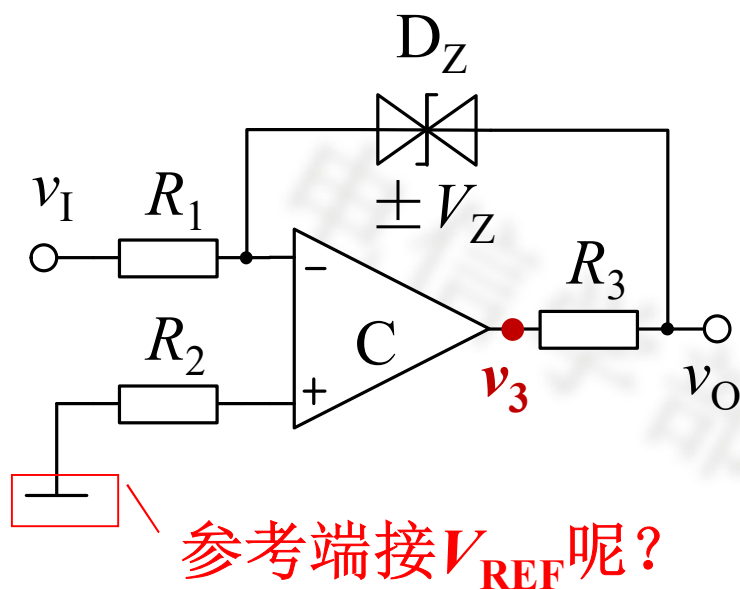
利用稳压二极管的限幅功能

前提：C的电源电压值显著大于 $V_Z$



$v_I < V_{REF}$  时,  $v_O = V_{OL} = -V_Z$

$v_I > V_{REF}$  时,  $v_O = V_{OH} = +V_Z$



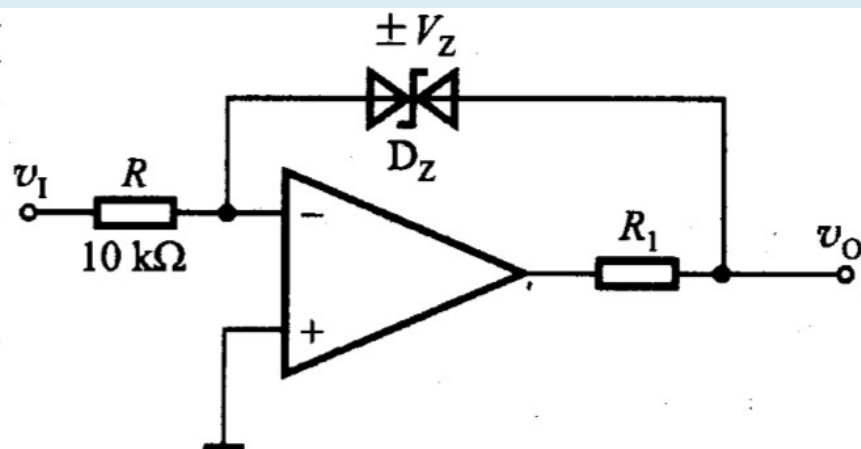
$V_T = V_{REF}$

| $v_I$       | $= 0$ | $< 0$                 | $> 0$    |
|-------------|-------|-----------------------|----------|
| $v_3 - v_N$ | $= 0$ | $> V_Z$               | $< V_Z$  |
| $D_Z$ 状态    | 截止    | 稳压导通                  |          |
| 比较器         | 开环    | 深度负反馈 $V_N = V_P = 0$ |          |
| $v_O$       | $= 0$ | $= V_Z$               | $= -V_Z$ |

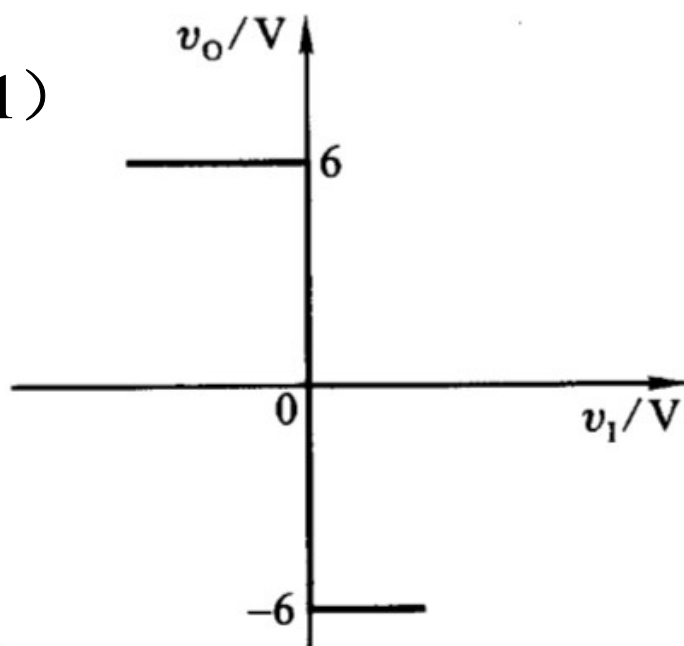
$V_Z + V_{REF}$

$-V_Z + V_{REF}$

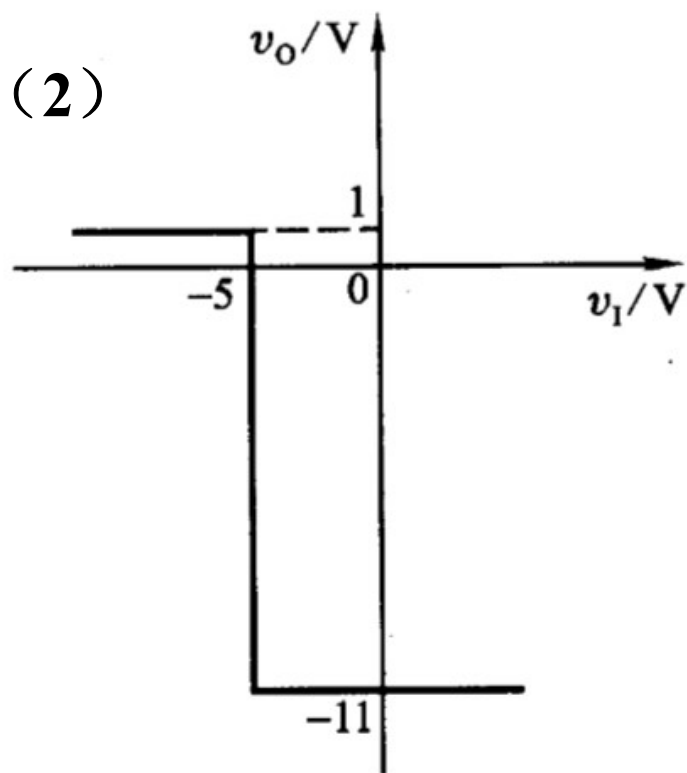
9.8.3 一电压器比较器电路如图题 9.8.3 所示。(1)若稳压管  $D_Z$  的双向限幅值为  $\pm V_Z = \pm 6\text{ V}$ ，运放的开环电压增益  $A_{VO} = \infty$ ，试画出比较器的传输特性；(2)若在同相输入端与地之间接上一参考电压  $V_{\text{REF}} = -5\text{ V}$ ，重画(1)问的内容。



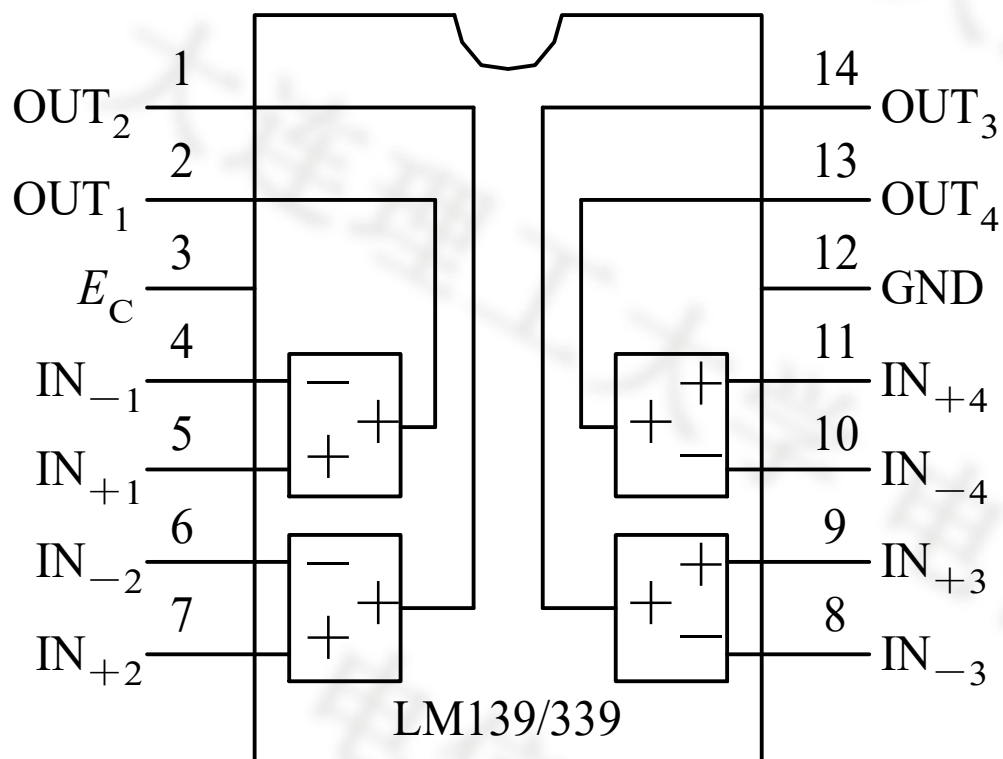
(1)



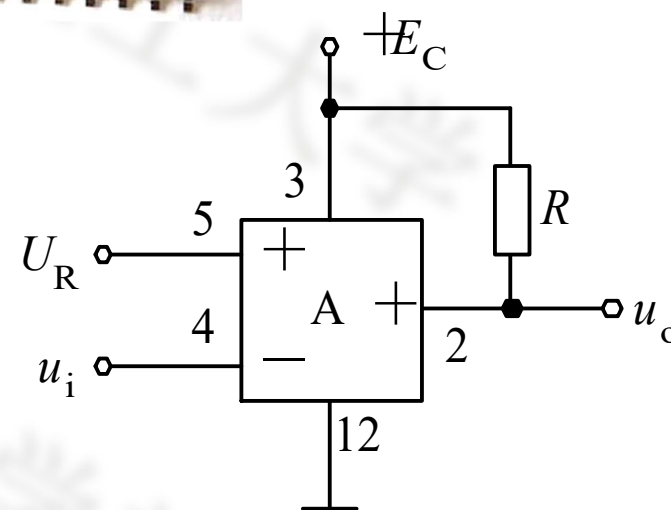
(2)



## (1) 单门限比较器 ⑤应用举例



(a)

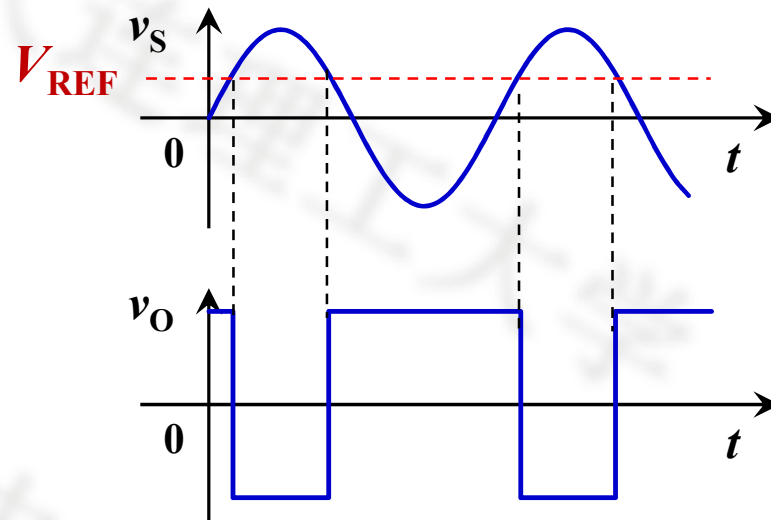
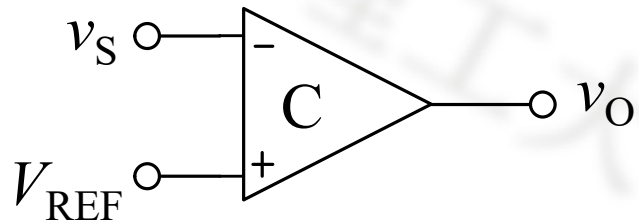


(b)

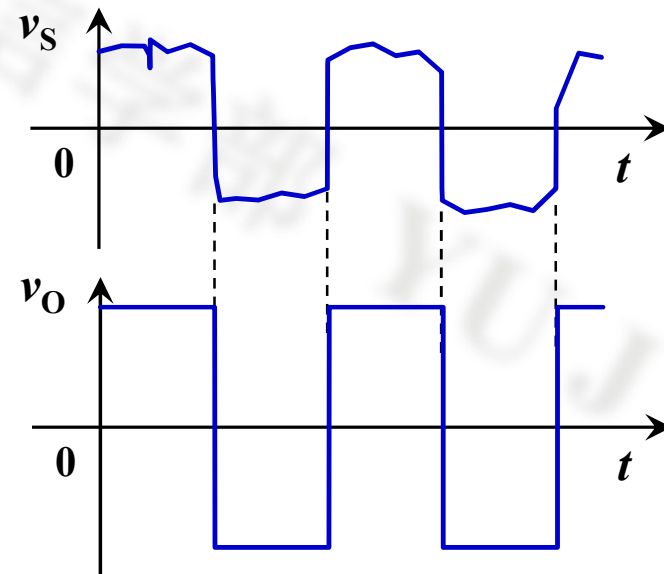
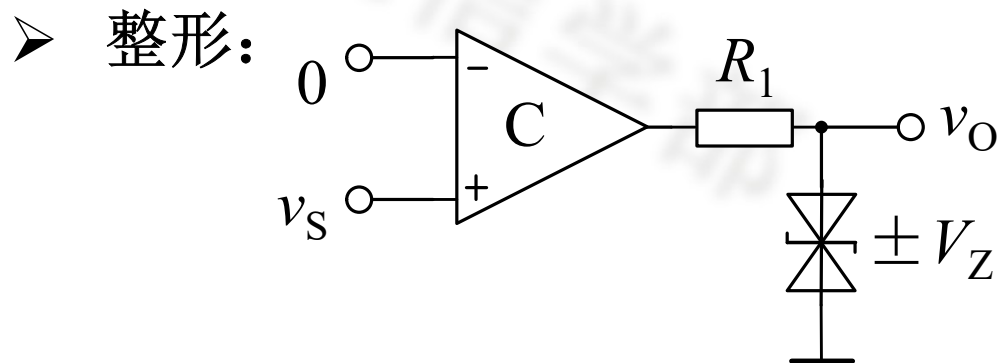
**LM139/339**系列集成电压比较器  
(a) 外引脚图; (b) 基本比较器电路

## (1) 单门限比较器 ⑤应用举例

- 波形变换：任意波形→矩形波



- 报警、产生控制信号：  
特点：快速响应





## (1) 单门限比较器 ⑥问题与思考

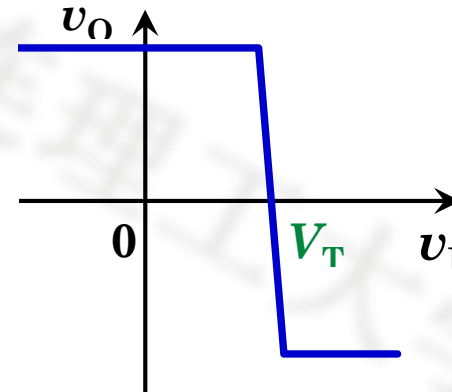
### ➤ 比较器与运算放大器的关系？

比较器属于运算放大器的一种；

晶体管的工作区不同；

通用运算放大器要求稳定(密勒补偿，速度慢)；

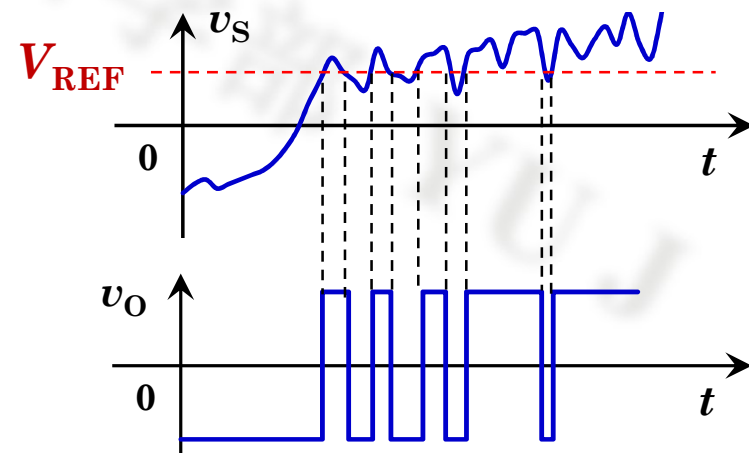
专用比较器通常强调速度快（通常比运放快1000倍）。



### ➤ 单门限比较器优缺点：

优点：电路简单，灵敏度高。

缺点：抗干扰能力差！



# 1. 电压比较器 (2) 双门限 (滞回、迟滞) 比较器

已知  $v_O = V_{om}^+$  或  $V_{om}^-$

则, 双门限:

$$V_T = \frac{R_1 V_{REF}}{R_1 + R_2} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{om}^+ \quad \text{上限阈值}$$

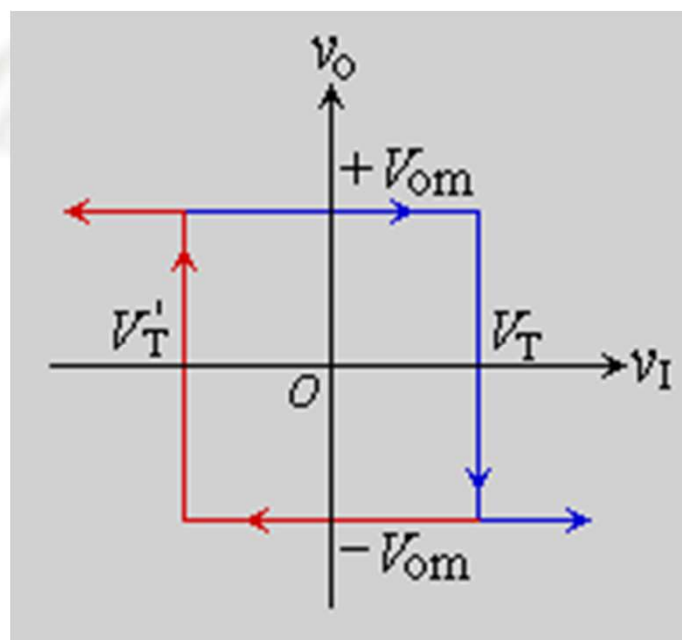
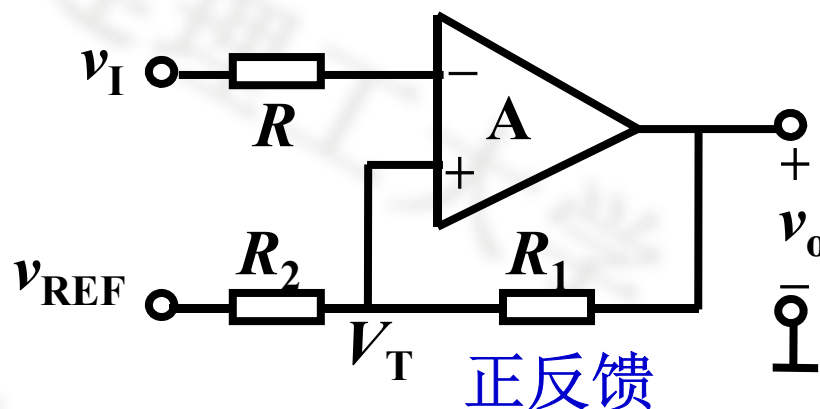
$$V'_T = \frac{R_1 V_{REF}}{R_1 + R_2} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{om}^- \quad \text{下限阈值}$$

$$\Delta V = V_T - V'_T \quad \text{回差电压}$$

$$= \frac{R_2}{R_1 + R_2} (V_{om}^+ - V_{om}^-)$$

传输特性:  
(以  $V_{REF}=0$  为例)

在输出反转瞬间  $V_+ = V_-$



# 1. 电压比较器 (3) 窗口比较器

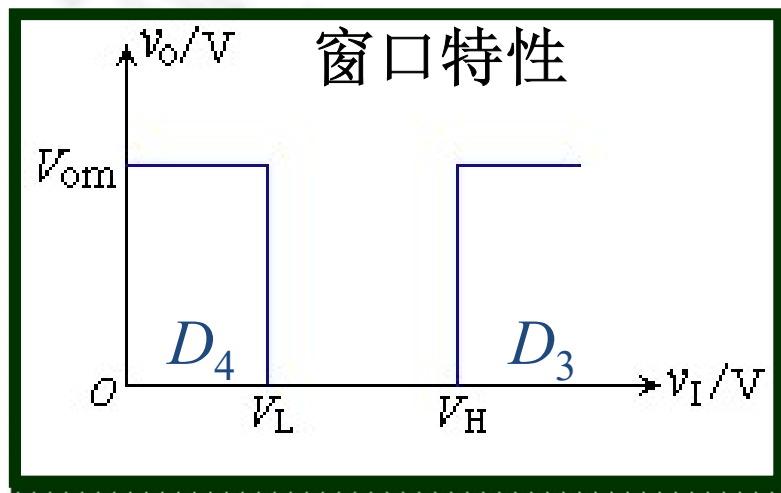
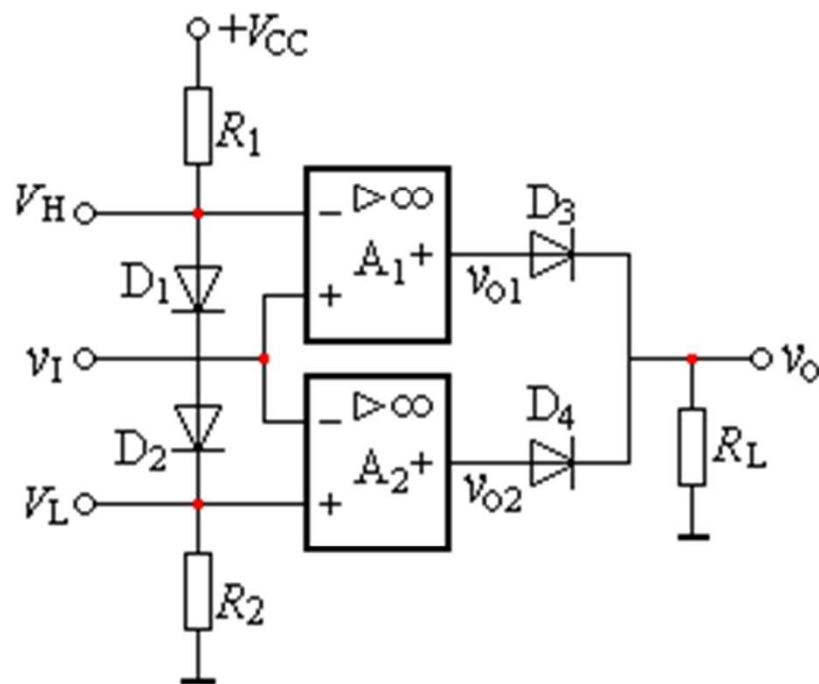
传输特性:

设 $R_1 = R_2$ , 则两门限:

$$V_L = \frac{(V_{CC} - 2V_D)R_2}{R_1 + R_2}$$
$$= \frac{1}{2}(V_{CC} - 2V_D)$$

$$V_H = V_L + 2V_D$$

应用: 拣选, 报警等



## 2 方波发生器（弛张振荡器、多谐信号发生器）

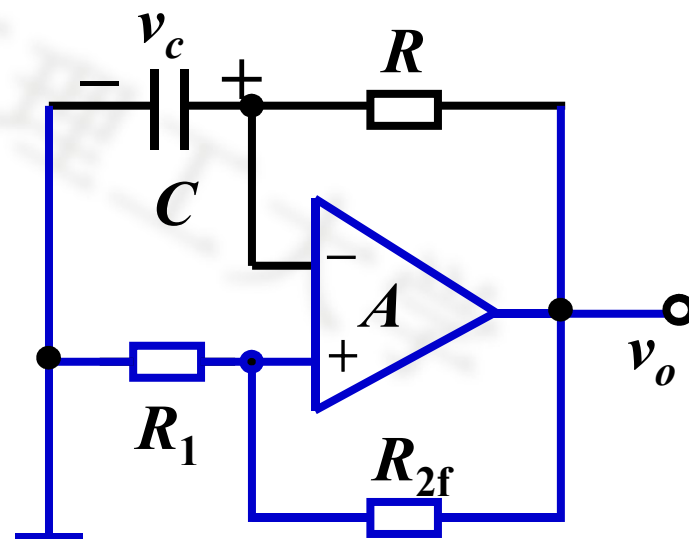
要求:

- 比较器能连续翻转.

$A, R_1, R_{2f}$  组成迟滞比较器

- 周期能受控 ( $RC$  电路)

反相输入



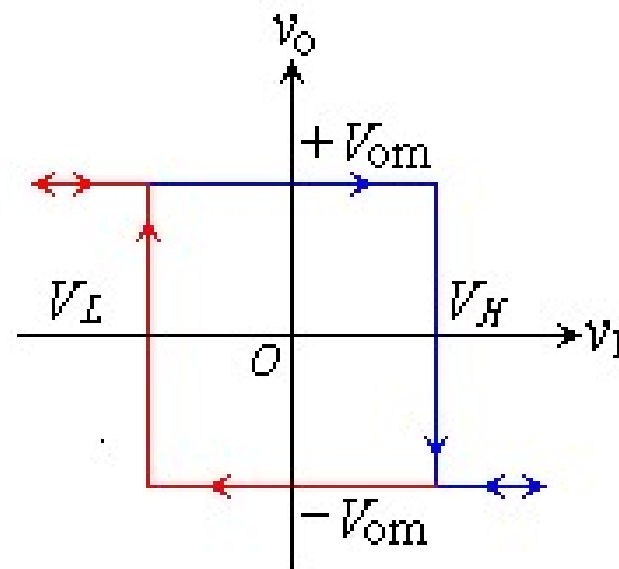
### (1) 工作原理

当输出为高电平, 则门限电压为

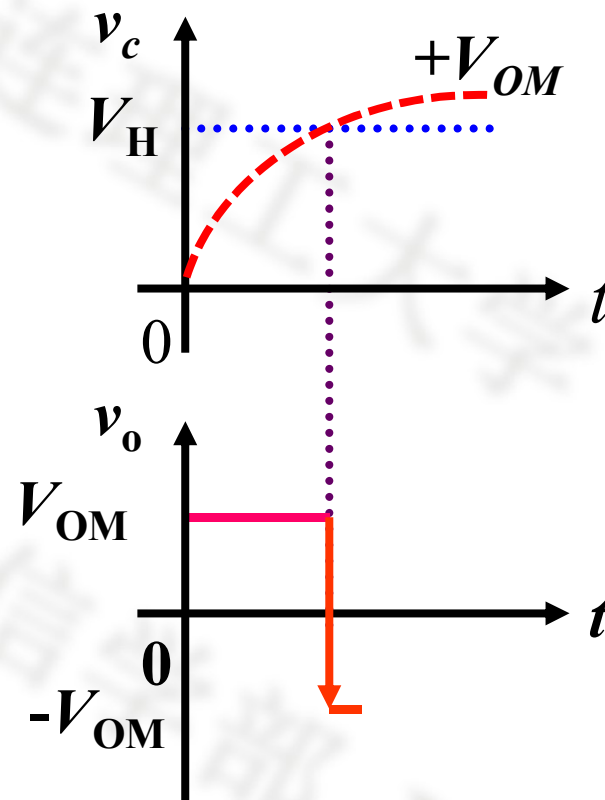
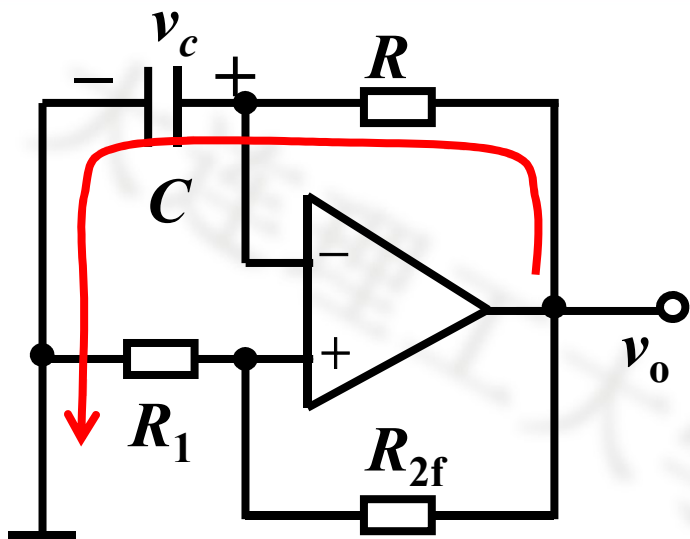
$$v_o = +V_{OM}; \quad V_H = \frac{R_1 V_{OM}}{R_1 + R_{2f}}$$

当输出为低电平,

$$v_o = -V_{OM}, \quad V_L = -\frac{R_1 V_{OM}}{R_1 + R_{2f}}$$



## 2 方波发生器 (1) 工作原理



(a) 设  $v_o = +V_{OM}$  则:  $v_+ = V_H$

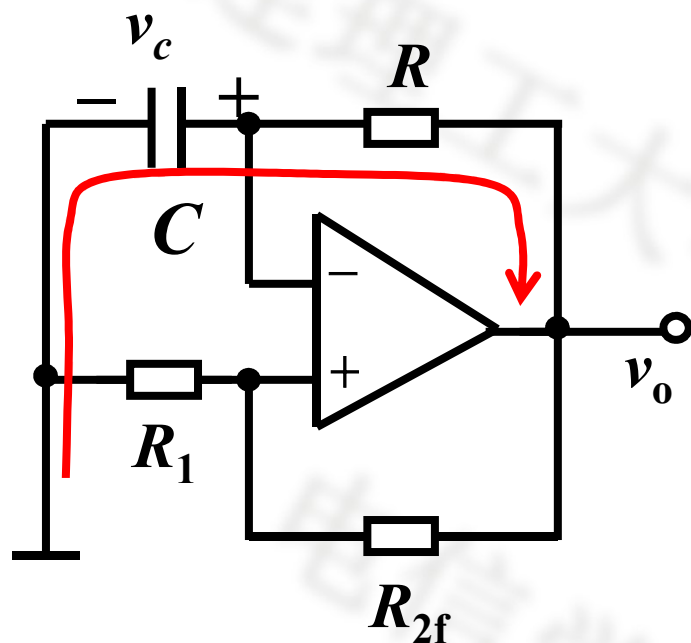
此时, 输出给  $C$  充电!

在  $v_c < V_H$  时,  $v_- < v_+$ ,  $v_o$  保持  $+V_{OM}$  不变;

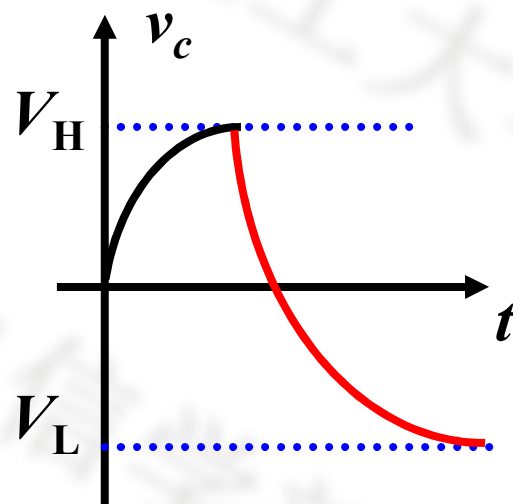
一旦  $v_c > V_H$ , 就有  $v_- > v_+$ ,

$v_o$  立即由  $+V_{OM}$  变成  $-V_{OM}$

## 2 方波发生器 (1) 工作原理

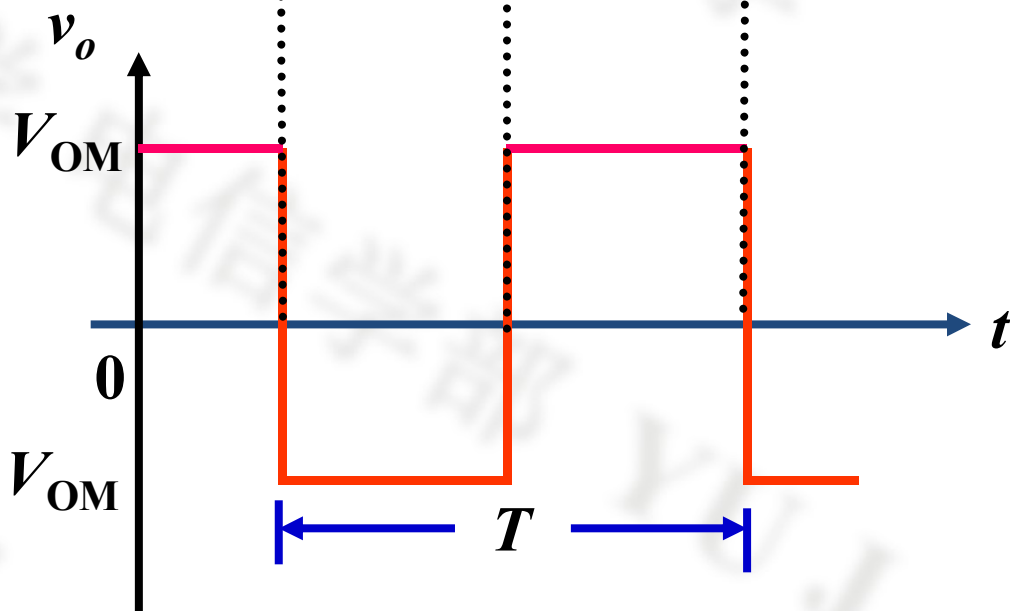
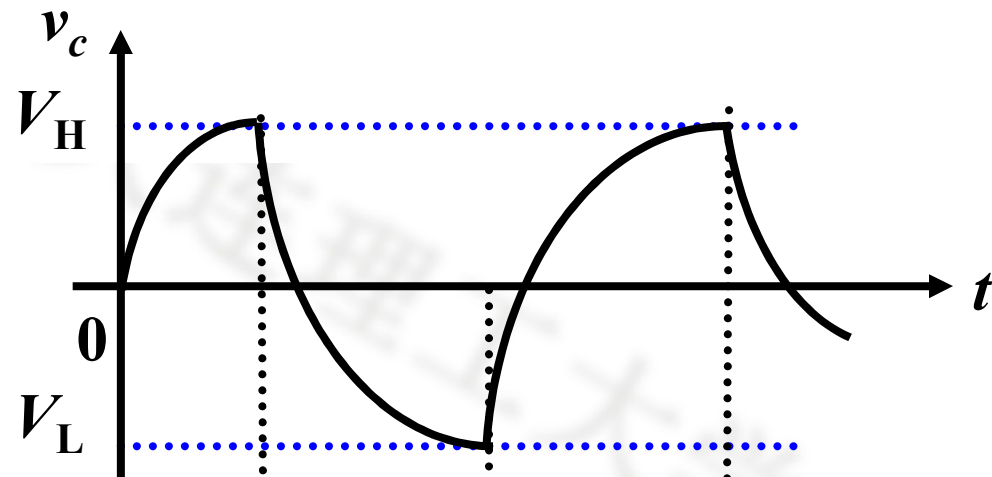
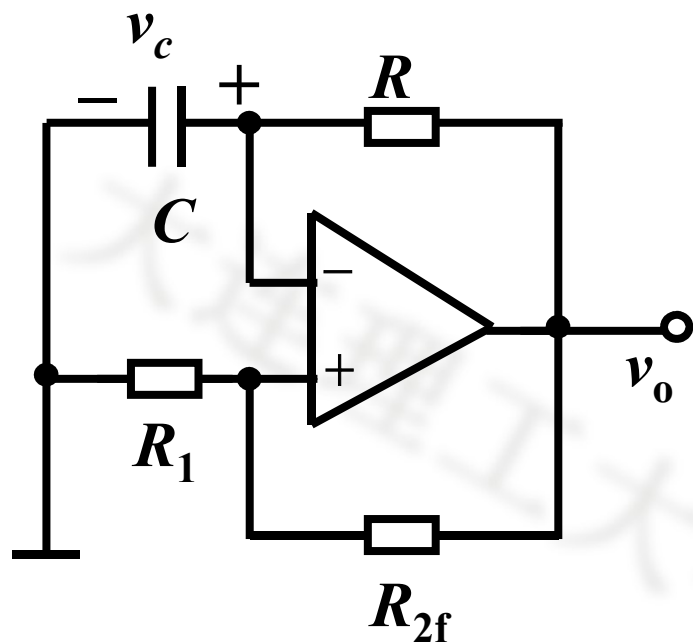


(b) 当  $v_o = -V_{OM}$  时,  $v_+ = V_L$   
此时,  $C$  经输出端放电。



$v_c$  降到  $V_L$  时,  $v_o$  上翻。

当  $v_o$  重新回到  $+V_{OM}$  以后, 电路又进入另一个周期性的变化。



输出波形:

$$V_H = -V_L = \frac{R_1 V_{OM}}{R_1 + R_{2f}}$$

### (c) 周期与频率的计算

$$V_H = -V_L = \frac{R_1}{R_1 + R_{2f}} V_{OM}$$

$v_c$ 上升阶段表示式:

$$v_c(t) = V_{OM} + (V_L - V_{OM})e^{-\frac{t}{RC}}$$

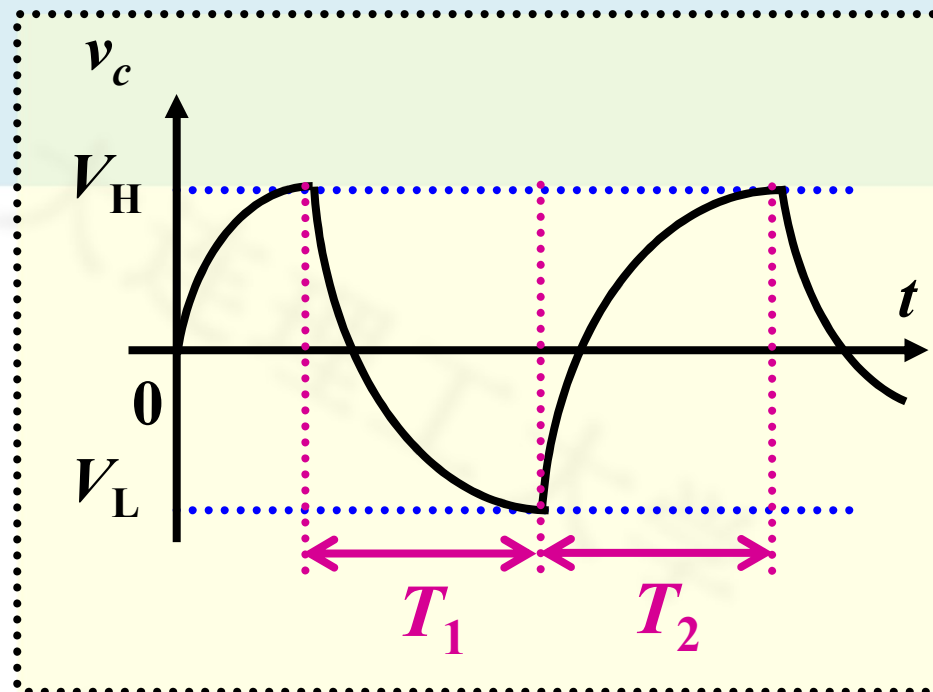
$$\Rightarrow V_H = V_{OM} + (V_L - V_{OM})e^{-\frac{T_2}{RC}}$$

$v_c$ 下降阶段表示式:

$$v_c(t) = -V_{OM} + (V_H + V_{OM})e^{-\frac{t}{RC}}$$

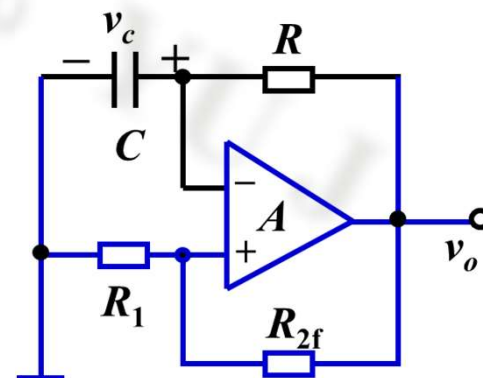
$$\Rightarrow V_L = -V_{OM} + (V_H + V_{OM})e^{-\frac{T_1}{RC}}$$

$$T_1 = T_2 = RC \ln \left( 1 + \frac{2R_1}{R_{2f}} \right)$$



$$T = 2RC \ln \left( 1 + \frac{2R_1}{R_{2f}} \right)$$

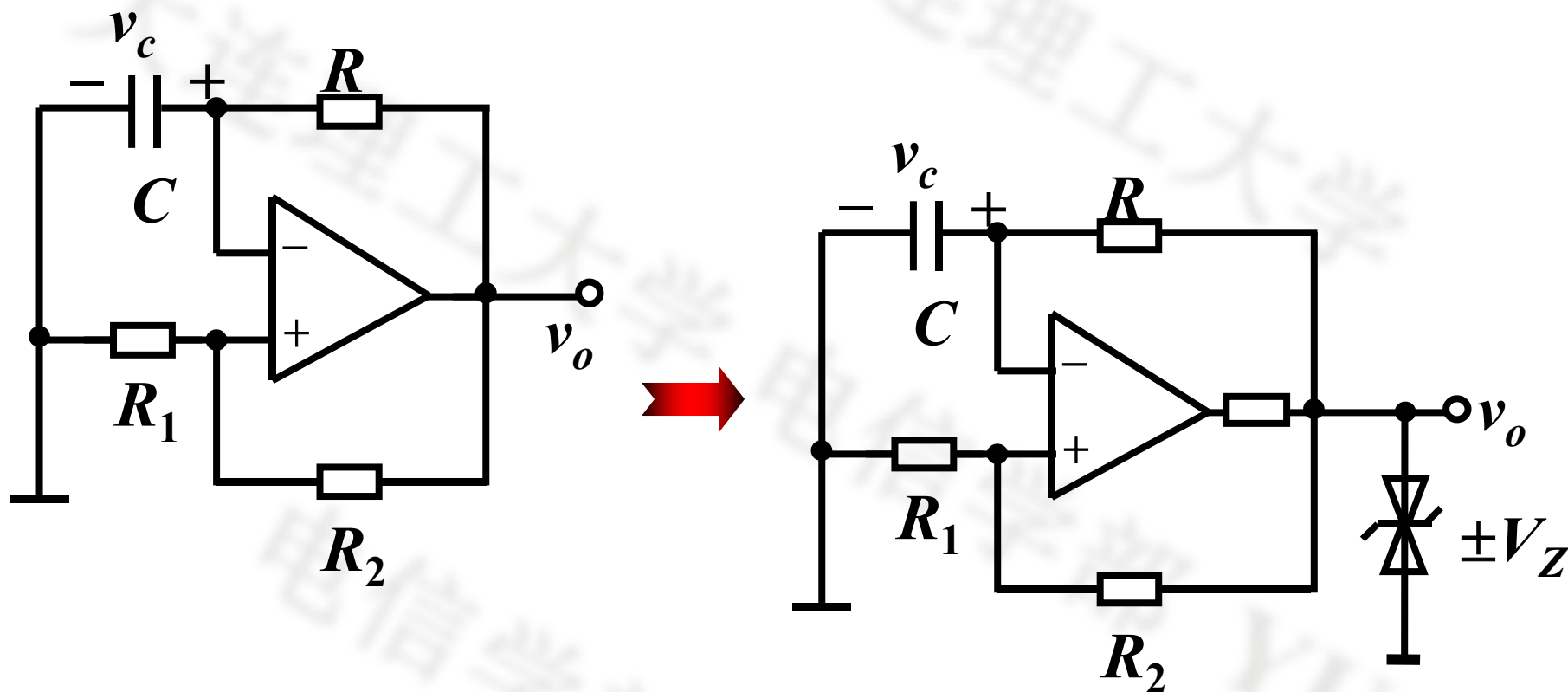
$$f = 1/T$$





## 2 方波发生器

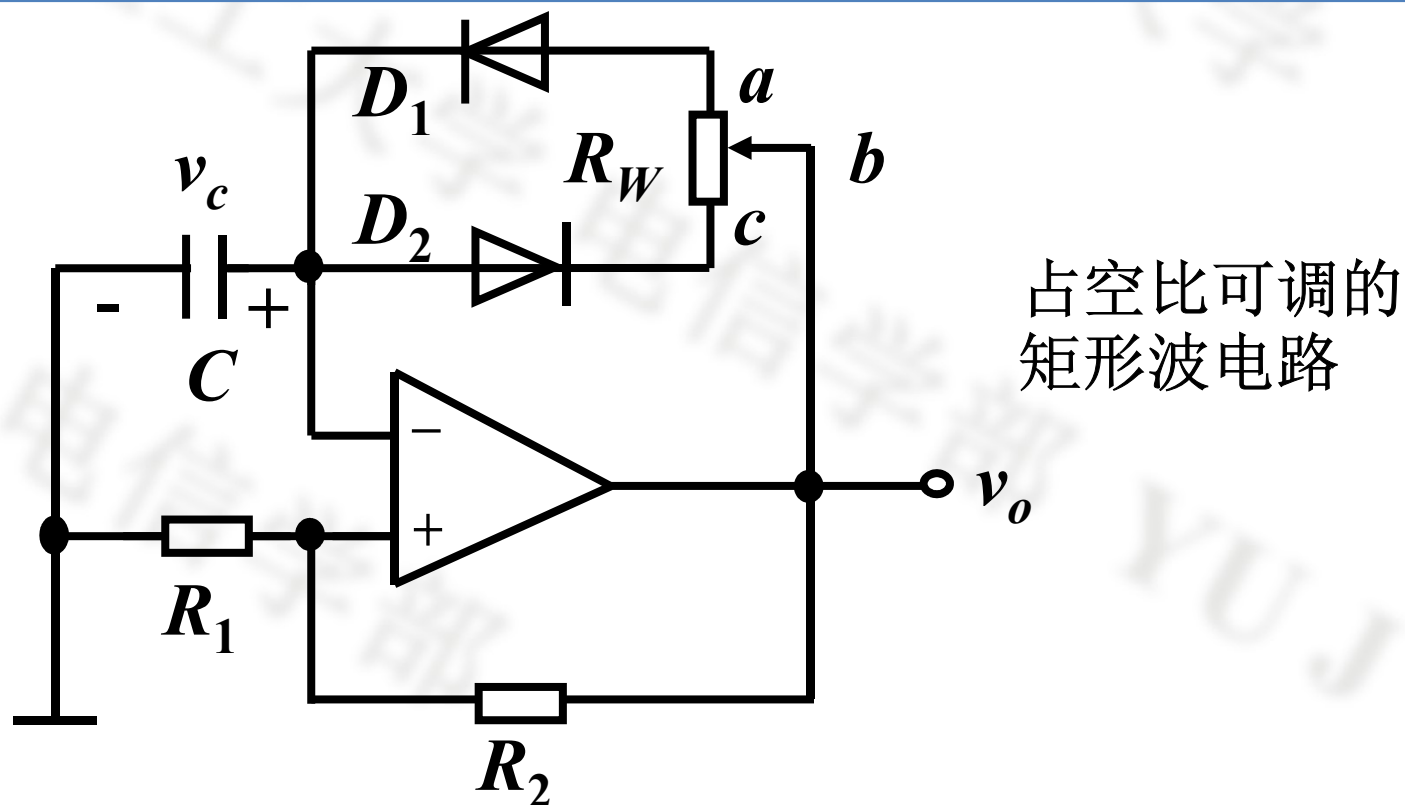
### (2) 电路的改进:



## 2 方波发生器

### (2) 电路的改进：矩形波发生器

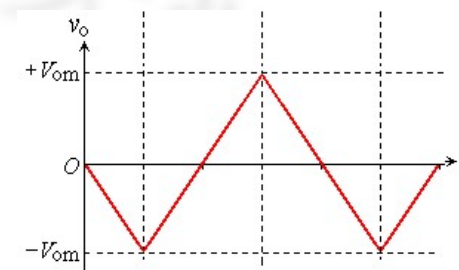
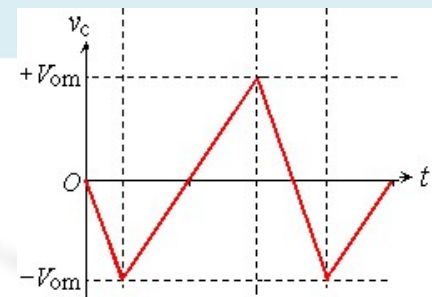
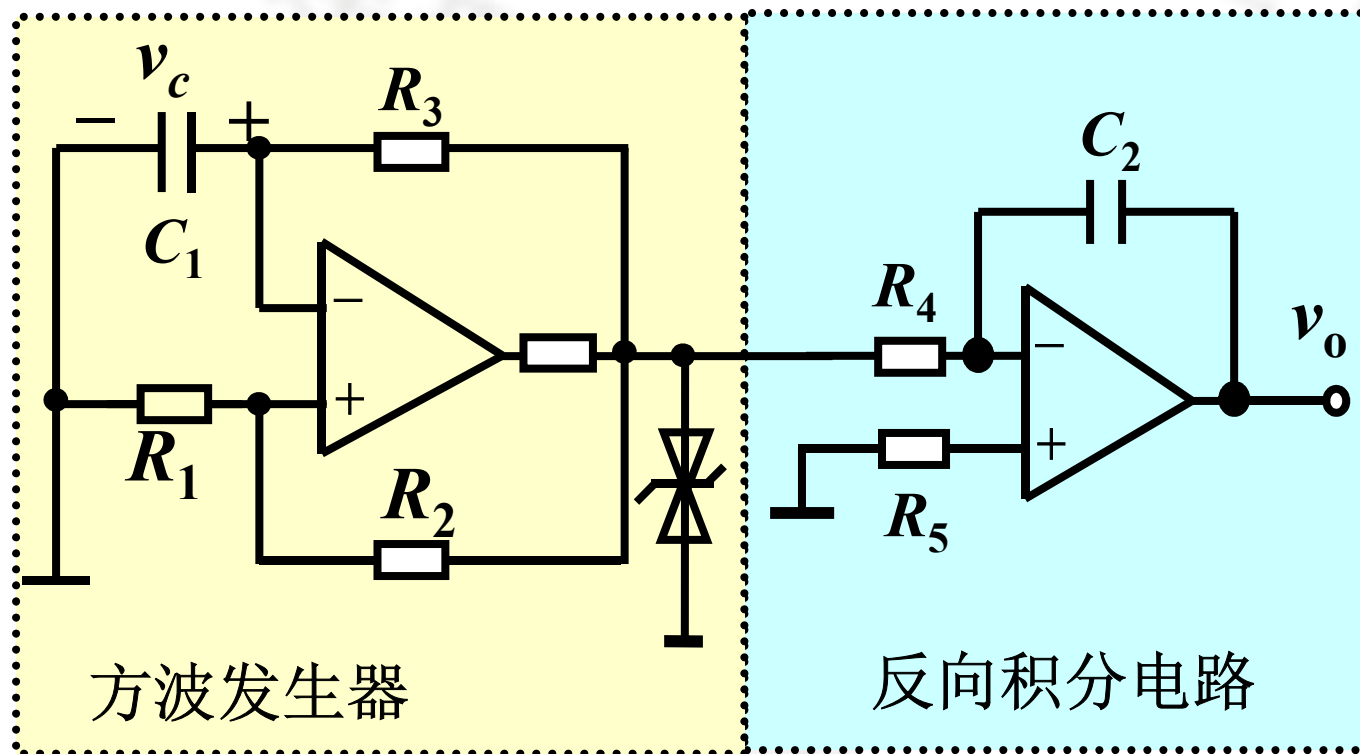
$C$ 充电时，充电电流经电位器的上半部、二极管 $D_1$ ；  
 $C$ 放电时，放电电流经二极管 $D_2$ 、电位器的下半部。  
改变 $C$ 的充、放电时间常数



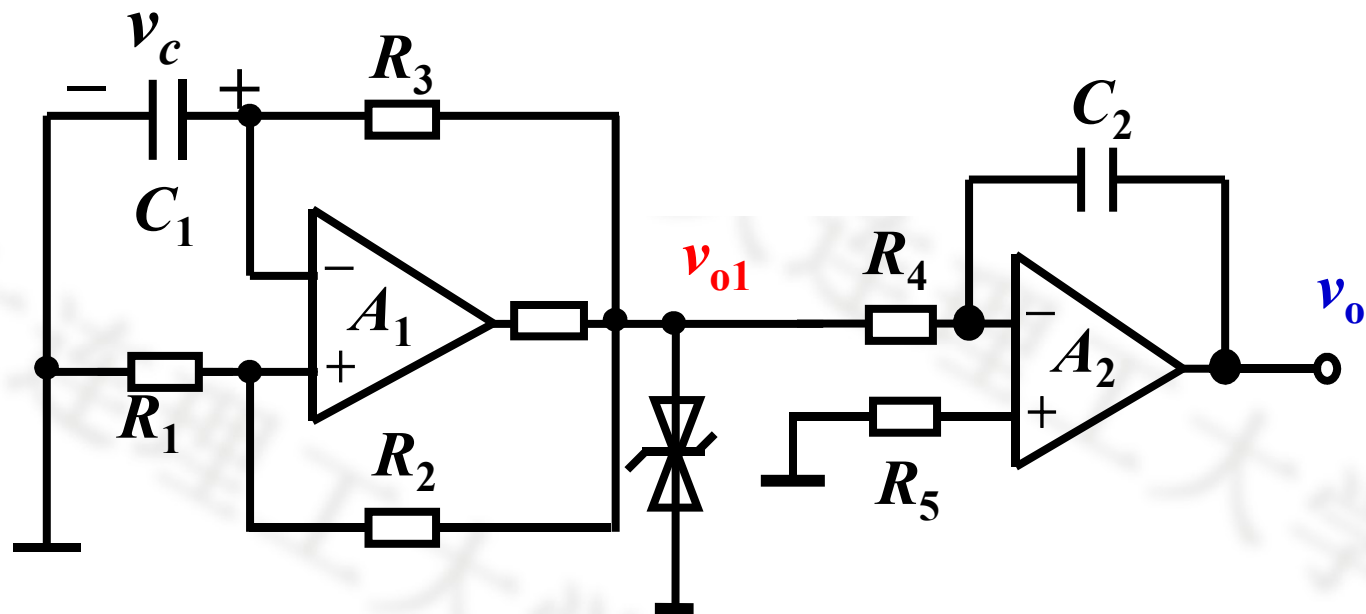
### 3 锯齿波发生电路

#### (1) 三角波发生器(锯齿波的特例)

电路1：应用现有电路设计



**电路一：** 方波发生器 → 矩形波 → 积分电路 → 三角波

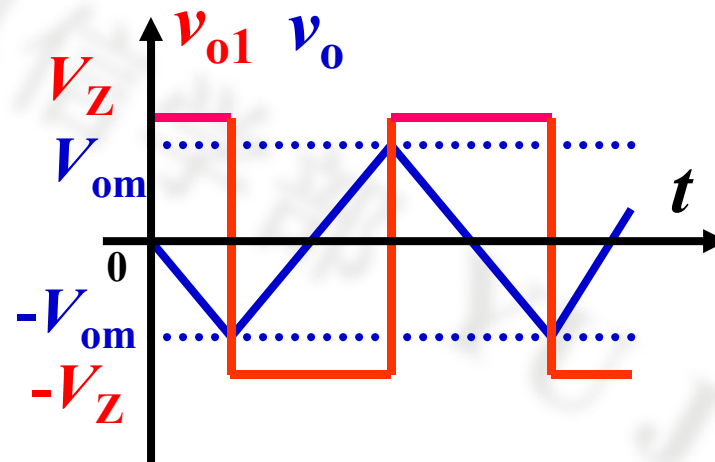


$$v_o = -\frac{1}{R_4 C_2} \int v_{o1} dt$$

三角波周期由方波发生器确定；

三角波幅值？

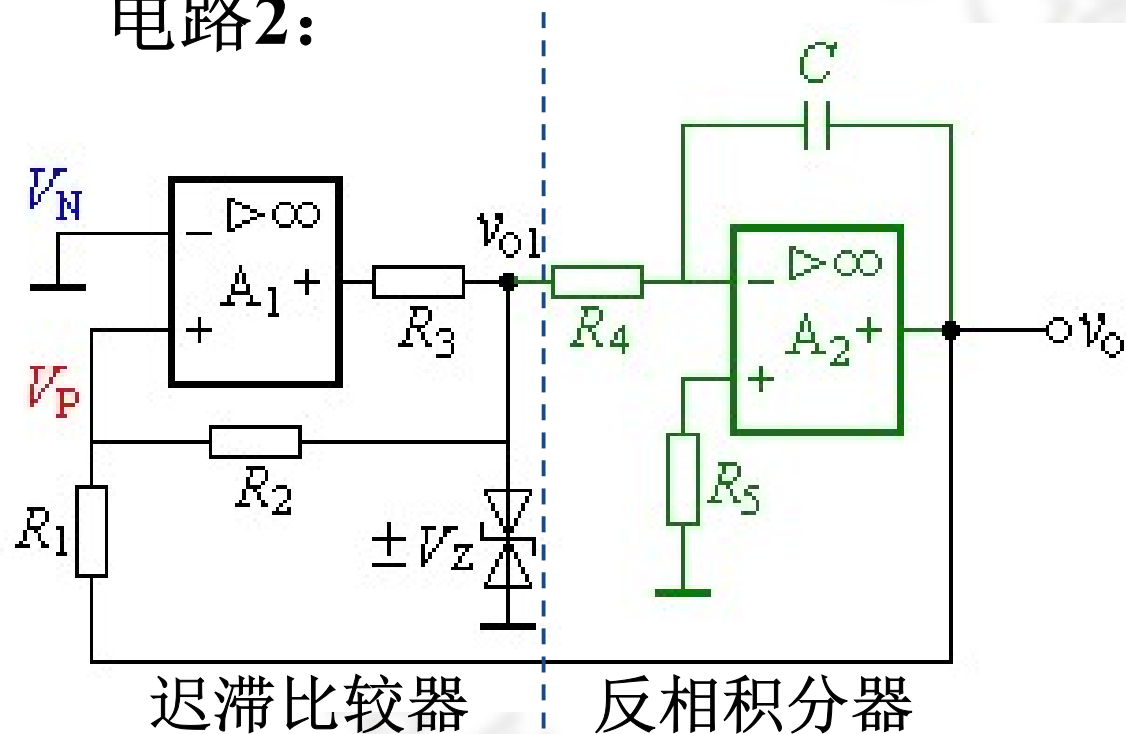
$$V_{om} = \frac{T}{4} \times \frac{V_Z}{R_4 C_2}$$



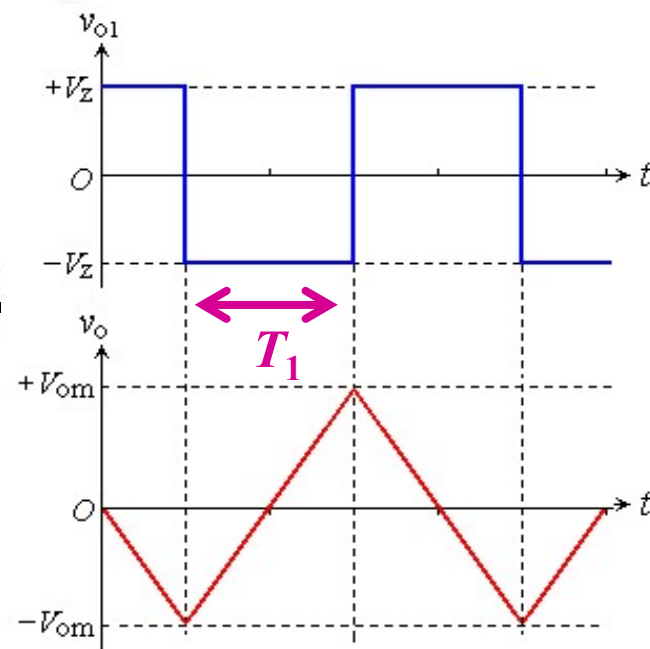
# (1) 三角波发生器

$$v_+ \approx v_- \rightarrow \text{求 } V_T \text{ 即求 } V_{om}=?$$

电路2:



假设  $v_C(v_O) = 0, v_{O1} = +V_Z$



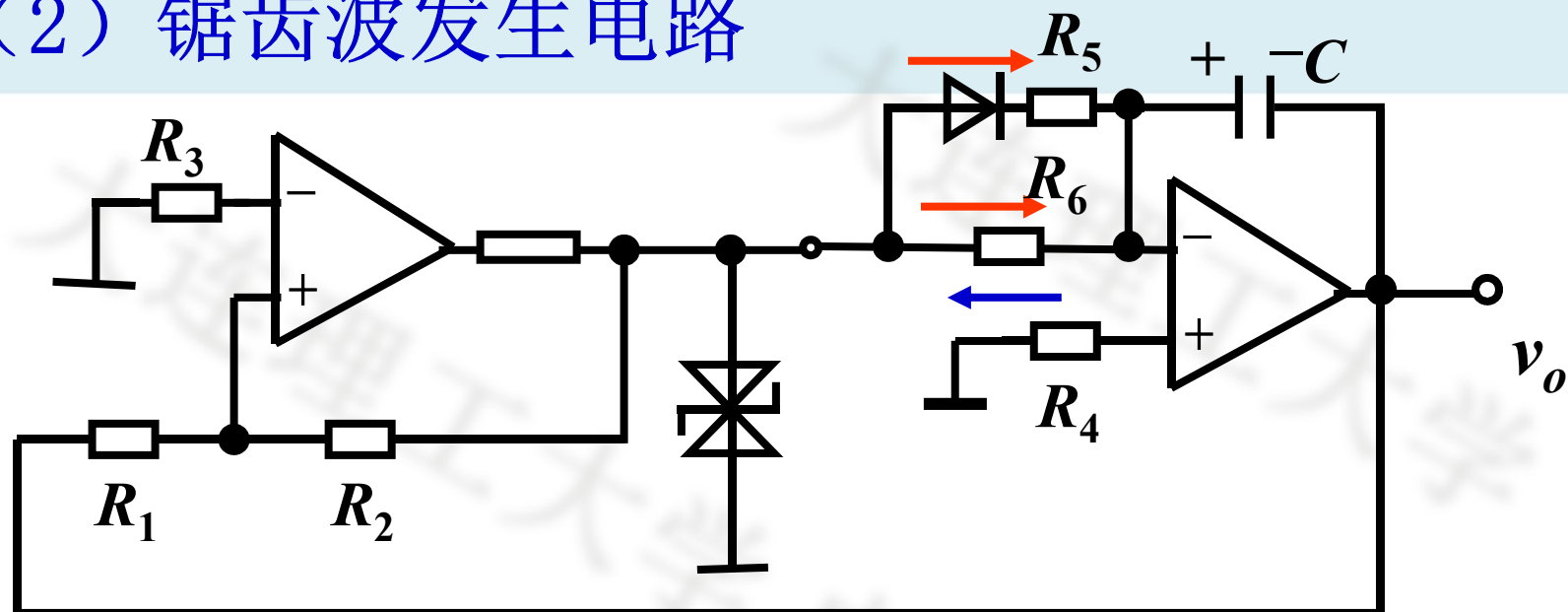
$$V_P = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_{o1} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_{om} = 0$$

$$v_{om} = -\frac{R_1}{R_2} v_{o1} \quad (v_{o1} = \pm V_Z)$$

$$|V_{om}| = \frac{R_1}{R_2} V_Z = \frac{V_Z}{R_4 C} \frac{T_1}{2}$$

$$T = 2T_1 = \frac{4R_1 R_4 C}{R_2}$$

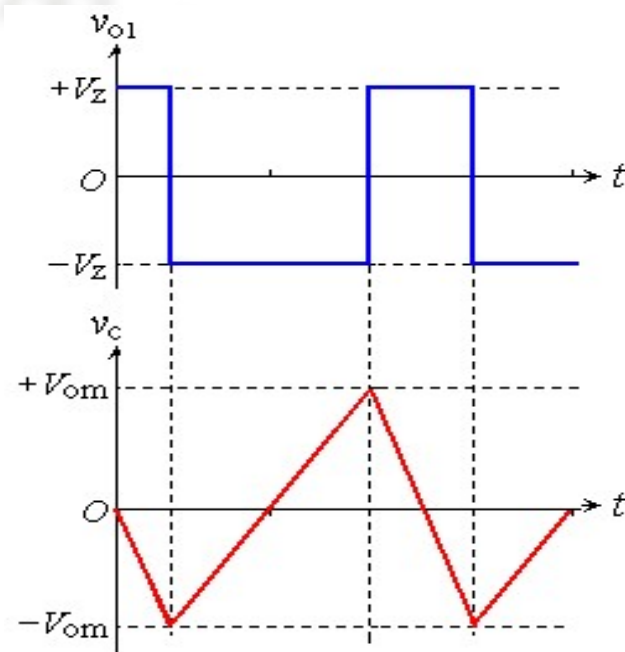
## (2) 锯齿波发生电路



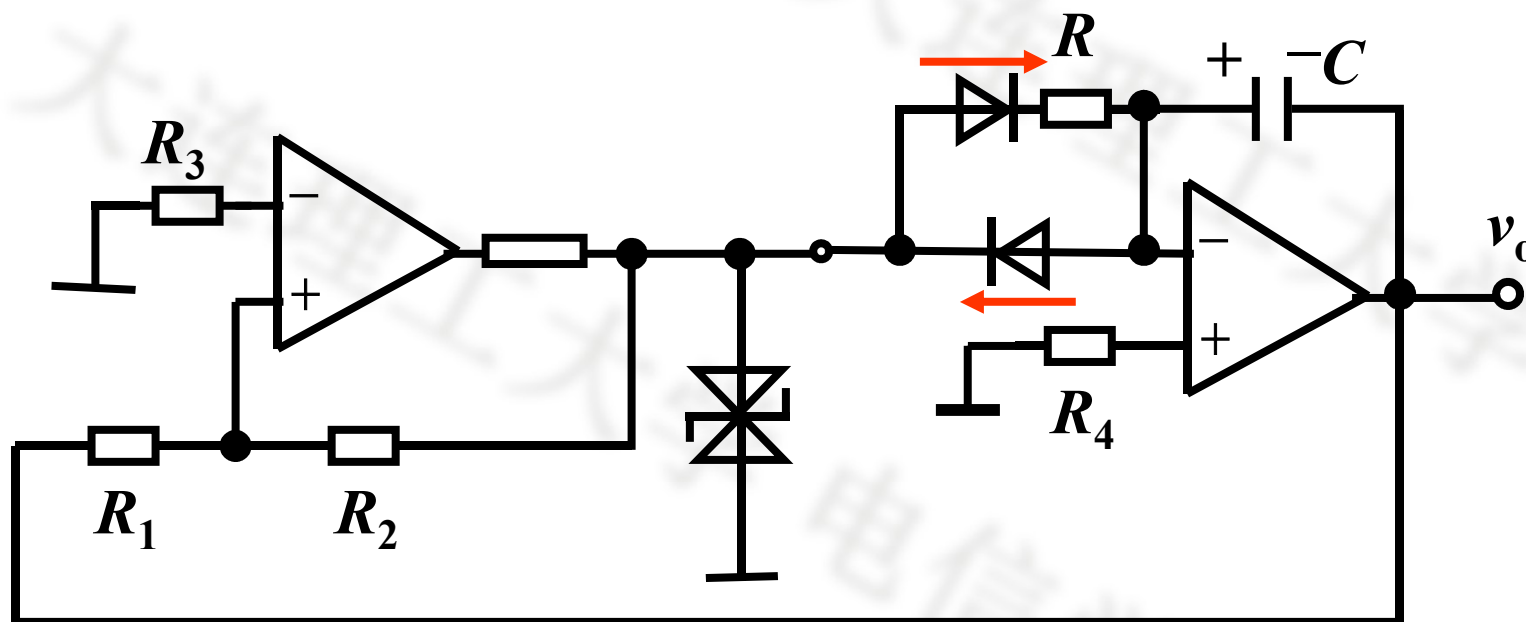
改变充放电时间常数

充电:  $(R_5 // R_6)C$

放电:  $R_6 C$



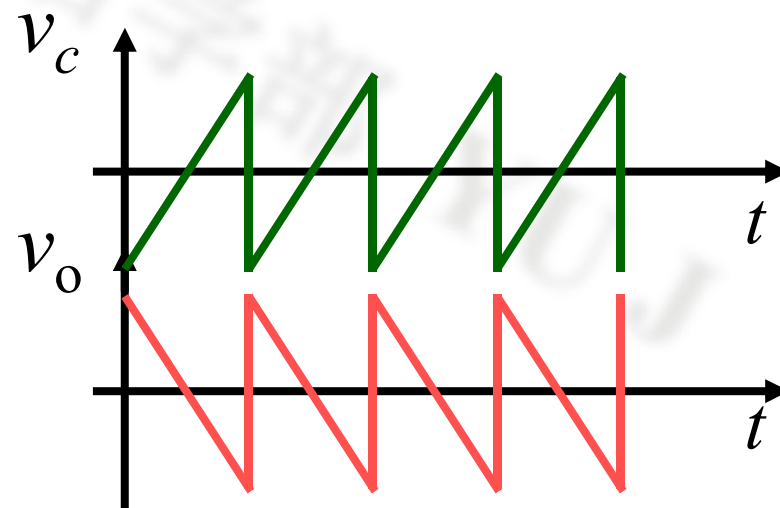
## (2) 锯齿波发生电路



特例：

使放电的时间常数为0。

$$T = \frac{2 R_1 R C}{R_2}$$



## 9 波形产生与变换电路

### 小结

**掌握：正弦波振荡电路；**

**掌握：比较器（单门限，双门限）；**

**掌握：方波/矩形波发生电路；**

**掌握：三角波/锯齿波发生电路。**

**预习：整流滤波电路**

### 作业

**P479: 9.8.5, 9.8.6;**

**P481: 9.8.8, 9.8.9, 9.8.10。**

