

## 10.8 非正弦信号产生电路

10.8.1 电压比较器

10.8.2 方波产生电路

10.8.3 锯齿波产生电路

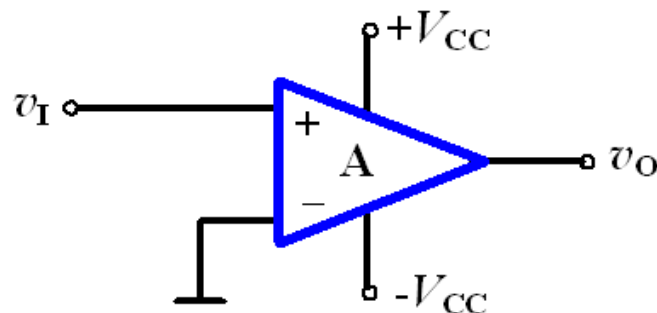
## 10.8.1 电压比较器

### 1. 单门限电压比较器

特点：开环，**虚短不成立**

增益 $A_0$ 大于 $10^5$

$$-V_{EE} \leq v_O \leq +V_{CC}$$



**运算放大器工作在非线性状态下**

(1) 过零比较器 (假设 $|-V_{EE}| = |+V_{CC}| = V_M$ )

$|v_I| \geq \frac{V_M}{A_0}$  时,  $|v_O| = |A_0 v_I| > V_M$ , 由于 $|v_O|$ 不可能超过 $V_M$ ,

所以  $|v_{Omax}| = V_M$  (忽略了放大器输出级的饱和压降)

当  $|+V_{CC}| = |-V_{EE}| = V_M = 15V$ ,  $A_0 = 10^5$  时,  $\frac{V_M}{A_0} = \frac{15}{10^5} = 0.15mV \approx 0$

可以认为  $\begin{cases} v_I > 0 \text{ 时, } v_{Omax} = +V_{CC} \\ v_I < 0 \text{ 时, } v_{Omax} = -V_{EE} \end{cases}$

**(过零比较器)**

## 10.8.1 电压比较器

### 1. 单门限电压比较器

特点：开环，**虚短**不成立

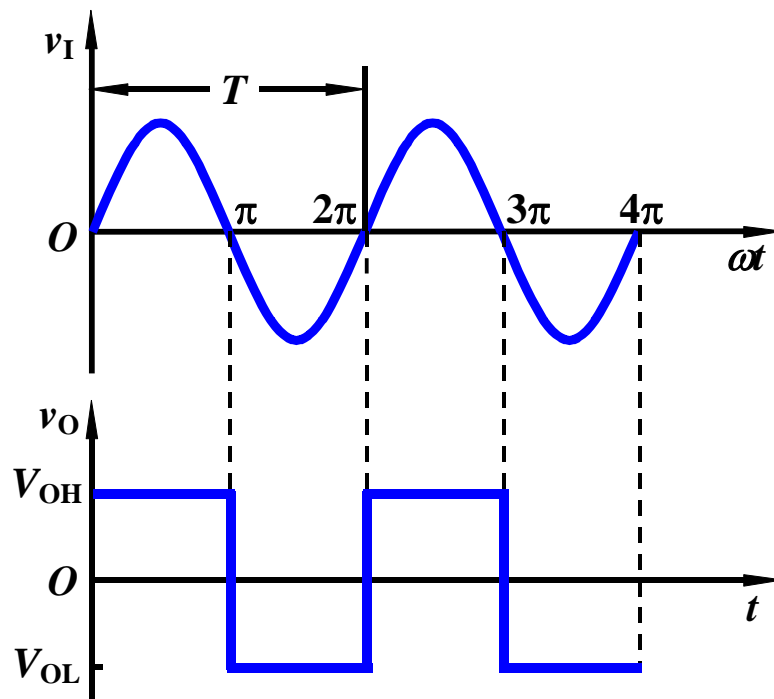
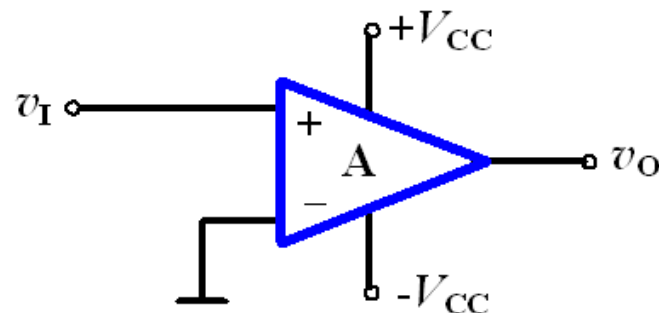
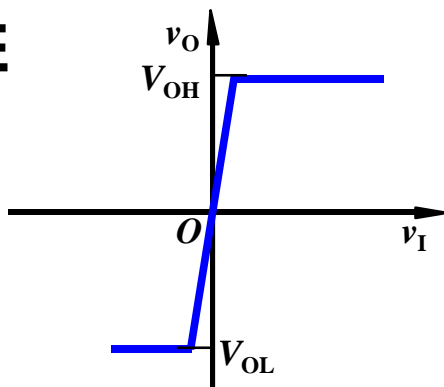
增益 $A_0$ 大于 $10^5$

$$-V_{EE} \leq v_O \leq +V_{CC}$$

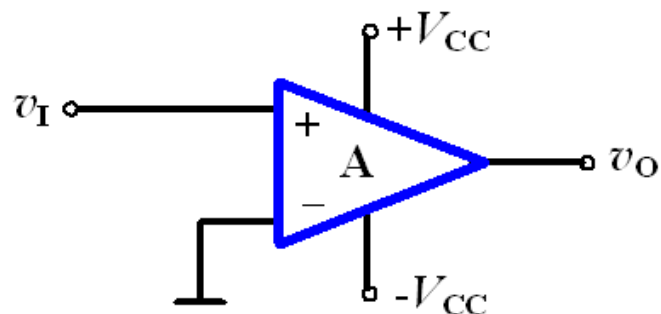
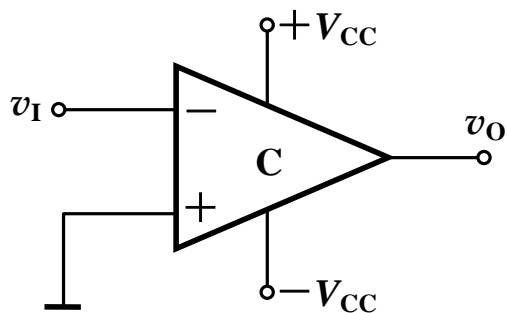
#### (1) 过零比较器

输入为正负对称的正弦波时，输出为方波。

电压传输特性

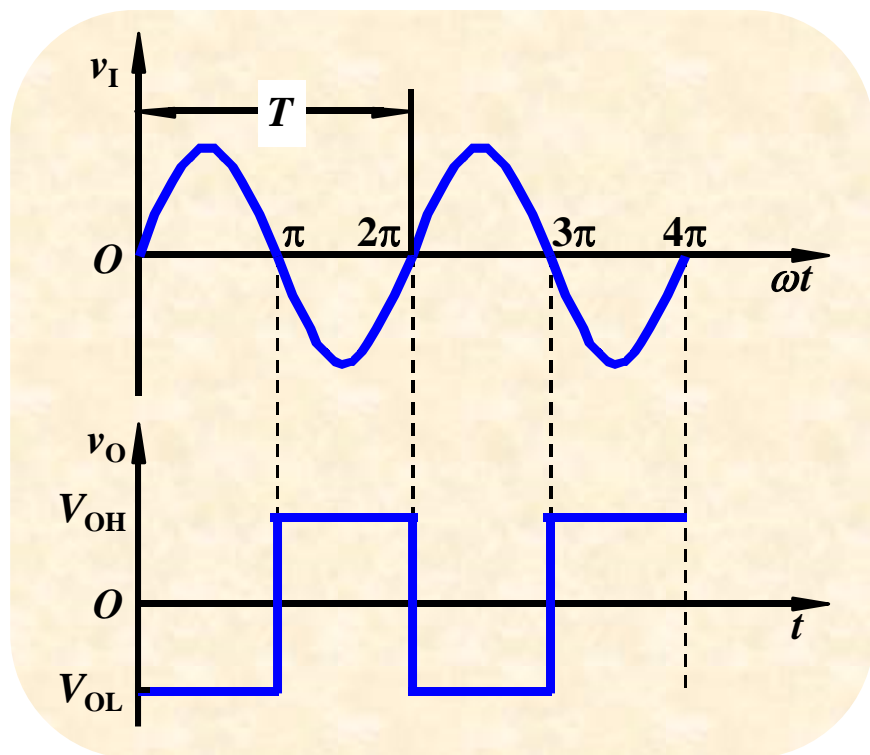
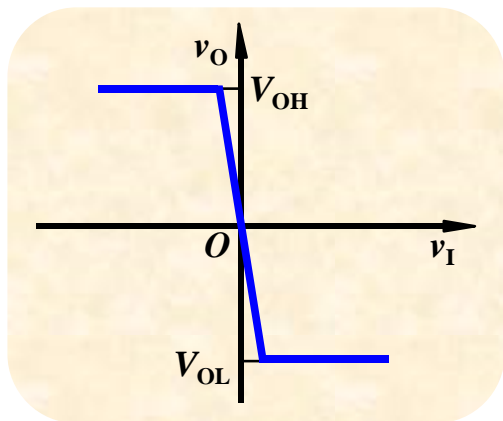


## 思考



1. 若过零比较器如左图所示，  
则它的电压传输特性将是怎样的？

2. 输入为正负对称的正弦波  
时，输出波形是怎样的？

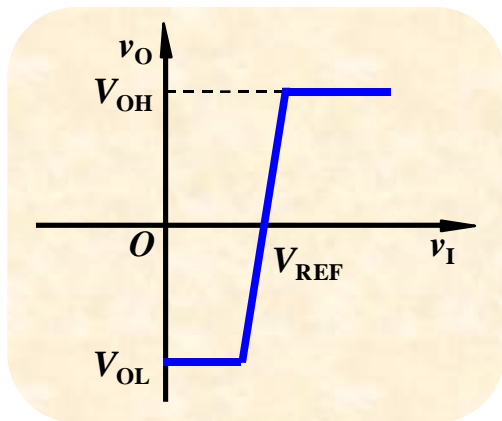


## 10.8.1 电压比较器

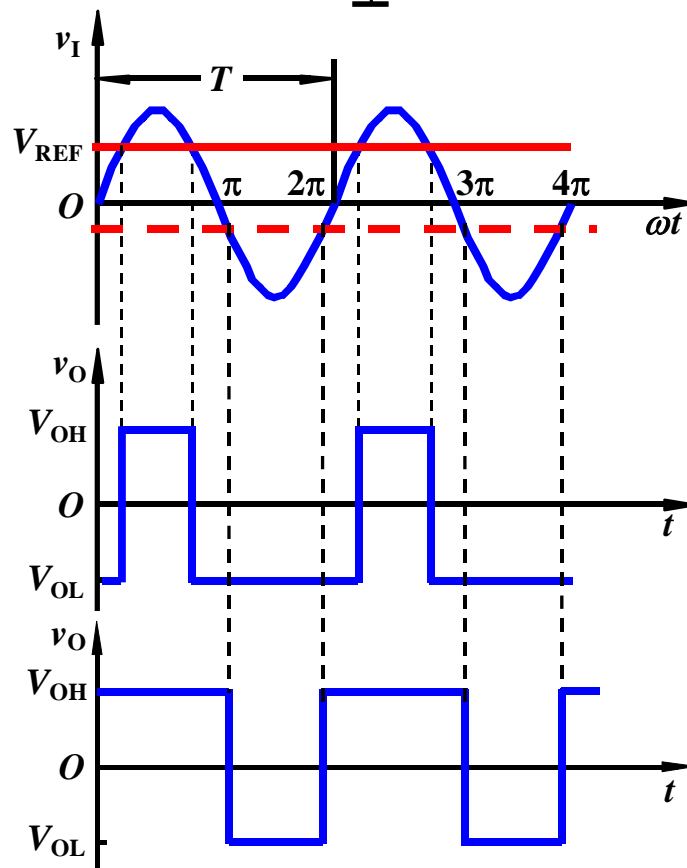
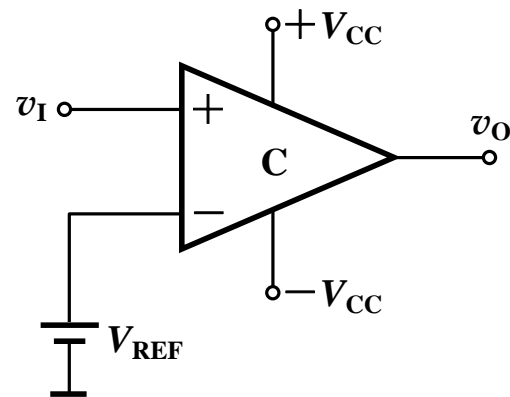
### 1. 单门限电压比较器

#### (2) 门限电压不为零的比较器 (门限电压为 $V_{REF}$ )

电压传输特性

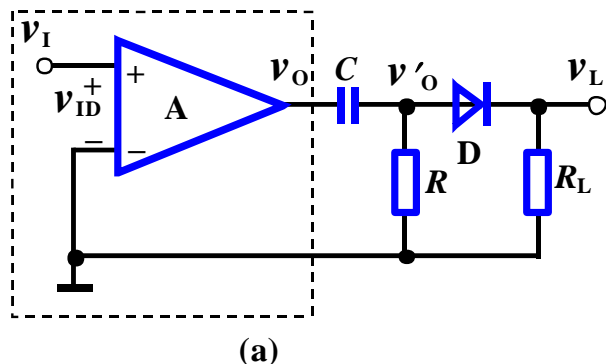


输入为正负对称的正弦波时，输出波形如图所示。

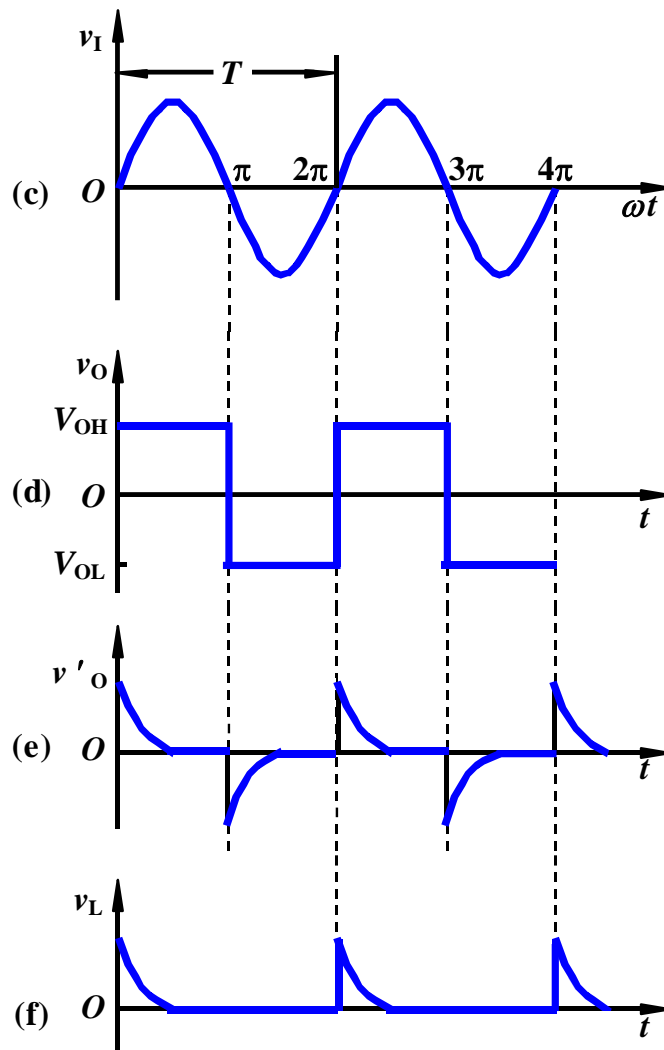


# 例

电路如图所示，当输入信号如图c所示的正弦波时，定性画出  $v_O$ 、 $v'_O$  及  $v_L$  的波形。



- 解：**
- (1) A 构成过零比较器
  - (2)  $RC$  为微分电路,  
 $RC \ll T$
  - (3) D 削波 (限幅、检波)

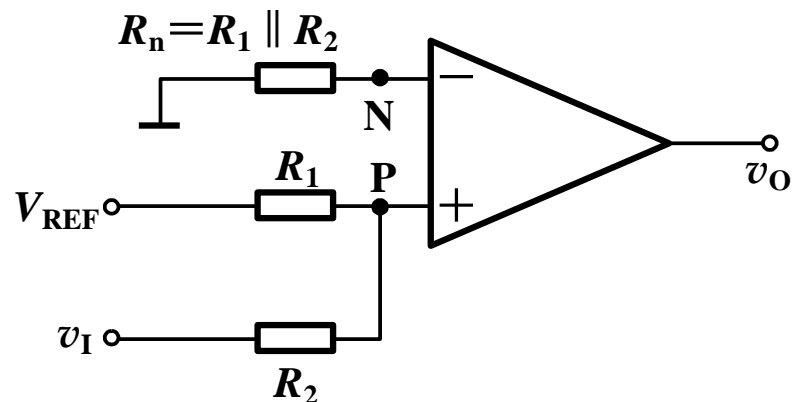


# 例

图示为另一种形式的单门限电压比较器，试求出其门限电压(阈值电压) $V_T$ ，画出其电压传输特性。设运放输出的高、低电平分别为 $V_{OH}$ 和 $V_{OL}$ 。

**解：** 利用叠加原理可得

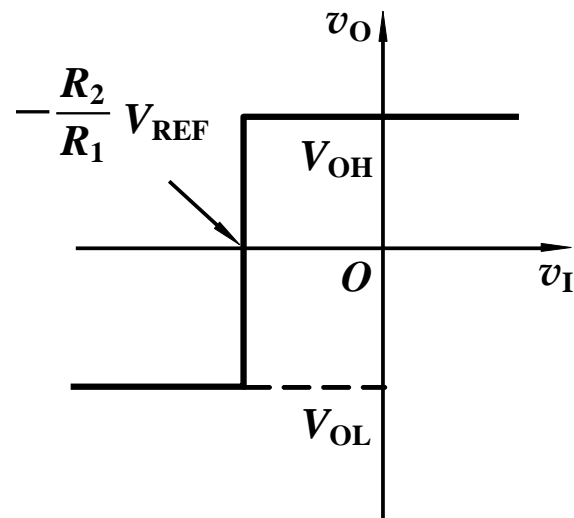
$$v_p = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{REF} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_I$$



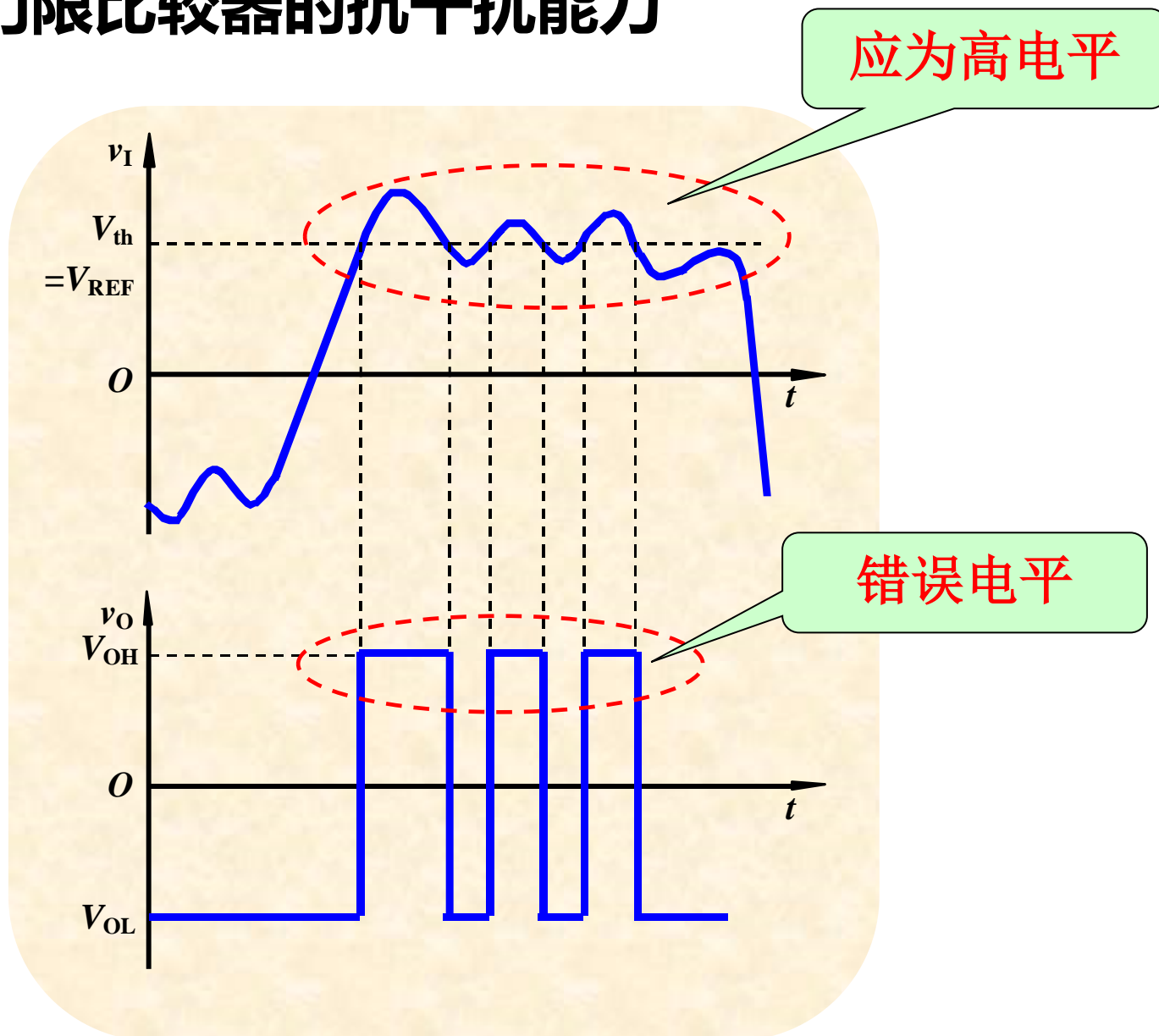
理想情况下，输出电压发生跳变时对应的 $v_P = v_N = 0$ ，即

$$R_2 V_{REF} + R_1 v_I = 0$$

门限电压  $V_T = (v_I =) -\frac{R_2}{R_1} V_{REF}$



# 单门限比较器的抗干扰能力





## 10.8.1 电压比较器

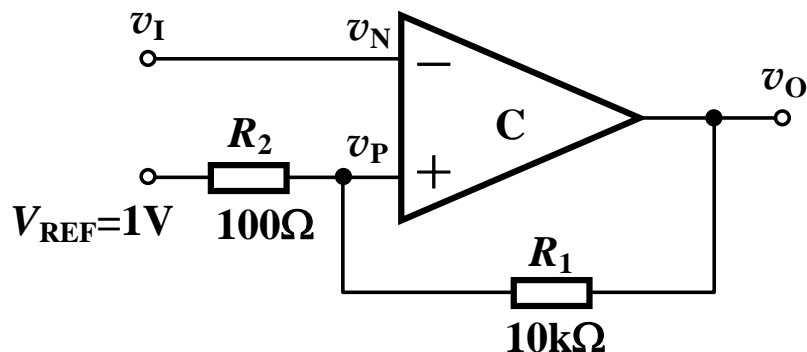
### 2. 迟滞比较器

#### (1) 电路组成

#### (2) 门限电压 $v_P$ 为门限电压,

$v_I > v_P$  时,  $v_O = V_{OL}$  (低电平)     $v_I < v_P$  时,  $v_O = V_{OH}$  (高电平)

而  $v_P$  与  $v_O$  有关, 对应  $v_O$  的两个电压值,  $v_P$  的两个门限电压



$$\left\{ \begin{array}{ll} V_{T+} = \frac{R_1 V_{REF}}{R_1 + R_2} + \frac{R_2 V_{OH}}{R_1 + R_2} & \text{上门限电压} \\ V_{T-} = \frac{R_1 V_{REF}}{R_1 + R_2} + \frac{R_2 V_{OL}}{R_1 + R_2} & \text{下门限电压} \end{array} \right.$$

**回差电压**  $\Delta V_T = V_{T+} - V_{T-} = \frac{R_2 (V_{OH} - V_{OL})}{R_1 + R_2}$

## 10.8.1 电压比较器

### 2. 迟滞比较器

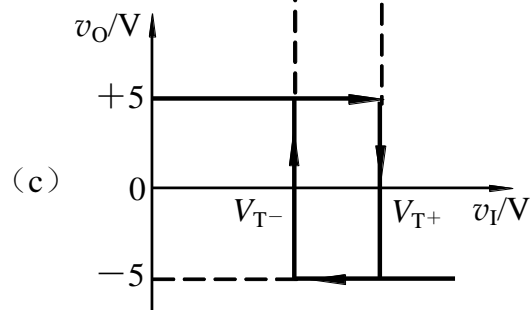
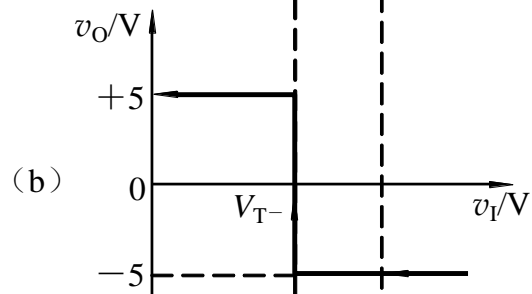
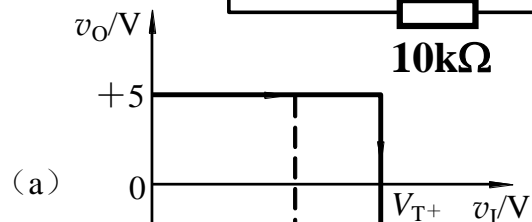
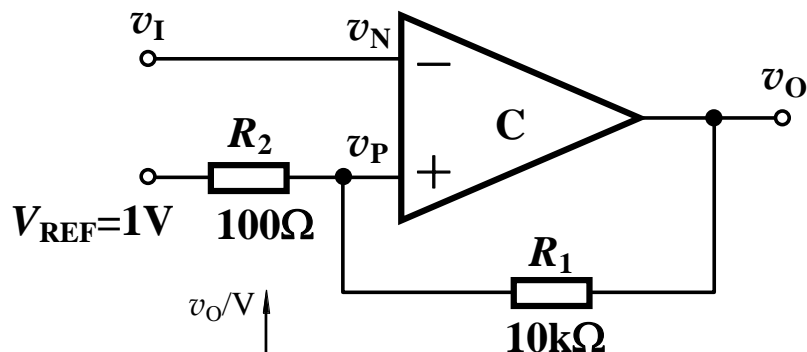
#### (3) 传输特性

$$V_{T+} = \frac{R_1 V_{REF}}{R_1 + R_2} + \frac{R_2 V_{OH}}{R_1 + R_2}$$

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

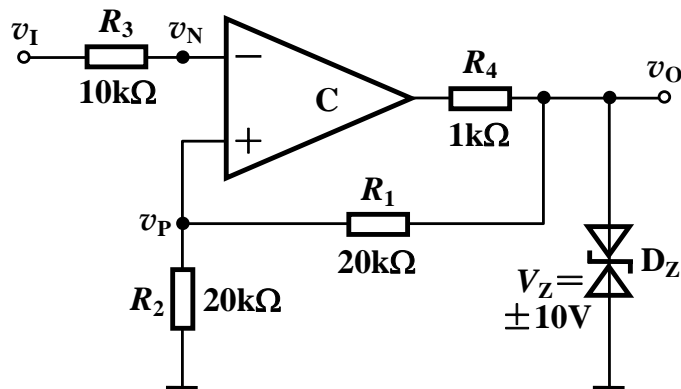
#### (4) 分析要点

- 门限电压与输出电压有关
- 任何时刻只有一个门限电压有效
- 先假设 输入是最低电平，肯定能得到对应输出电平，计算相应门限 $V_{T+}$ ；
- 先假设 输入是最高电平，肯定能得到对应输出电平，计算相应门限 $V_{T-}$ ；



# 例

电路如图9.4.6a所示，试求门限电压，画出传输特性和图c所示输入信号下的输出电压波形。



**解：(1) 门限电压**

$$V_{REF} = 0 \quad V_O = \pm 10V$$

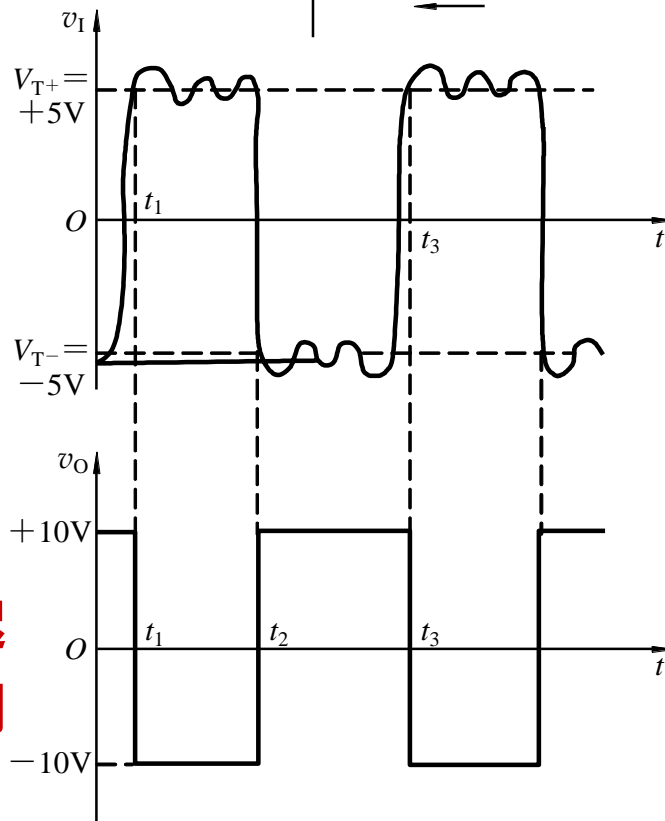
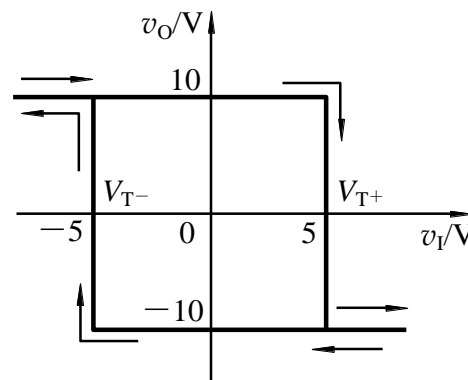
$$V_{T+} = \frac{R_1 V_{REF}}{R_1 + R_2} + \frac{R_2 V_{OH}}{R_1 + R_2} = 5V$$

$$V_{T-} = \frac{R_1 V_{REF}}{R_1 + R_2} + \frac{R_2 V_{OL}}{R_1 + R_2} = -5V$$

**(2) 传输特性**

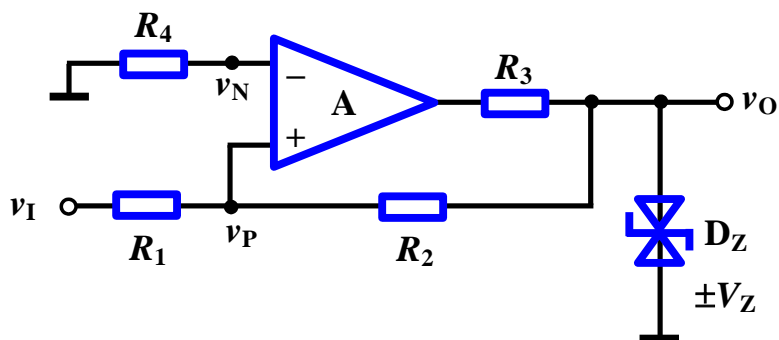
**(3) 输出电压波形**

**与单门限相比，迟滞比较器在电路翻转时有何特点？**

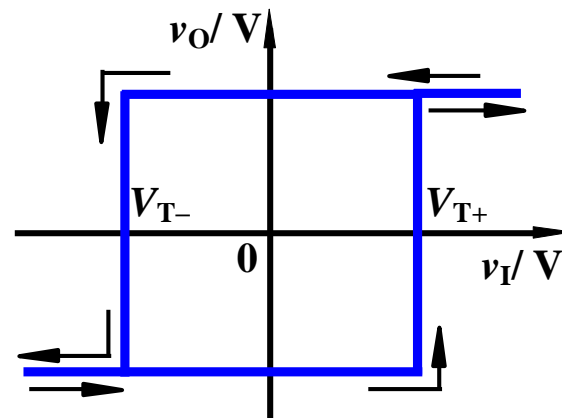


# 例

电路如图示，试求门限电压，画出传输特性。



## (2) 传输特性



## 解：(1) 门限电压

$$v_P = \frac{R_2 v_I}{R_1 + R_2} + \frac{R_1 v_O}{R_1 + R_2}$$

翻转时刻,  $v_P = v_N = 0$        $v_O = \pm V_Z$

$$v_I = -\frac{R_1}{R_2}(\pm V_Z) \quad V_{T+} = -\frac{R_1}{R_2}(-V_Z) \quad V_{T-} = -\frac{R_1}{R_2} \cdot V_Z$$

## 10.8.1 电压比较器

### 3. 集成电压比较器

**集成电压比较器与集成运算放大器比较：**

**开环增益低、失调电压大、共模抑制比小，灵敏度往往不如用集成运放构成的比较器高。**

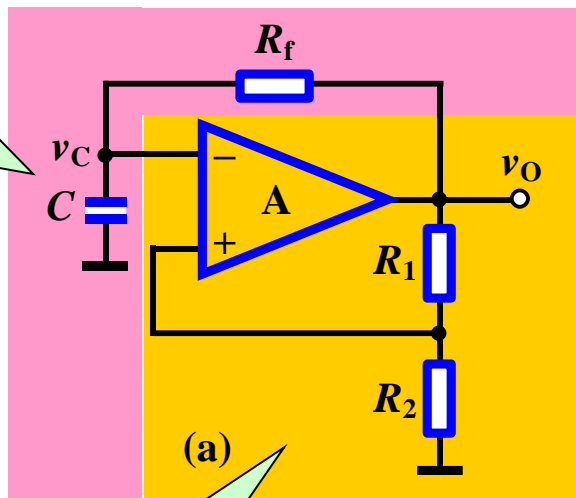
**但集成电压比较器中无频率补偿电容，因此转换速率高，改变输出状态的典型响应时间是30 ~ 200ns。**

**相同条件下741集成运算放大器的响应时间为30 $\mu$ s左右。**

## 10.8.2 方波产生电路

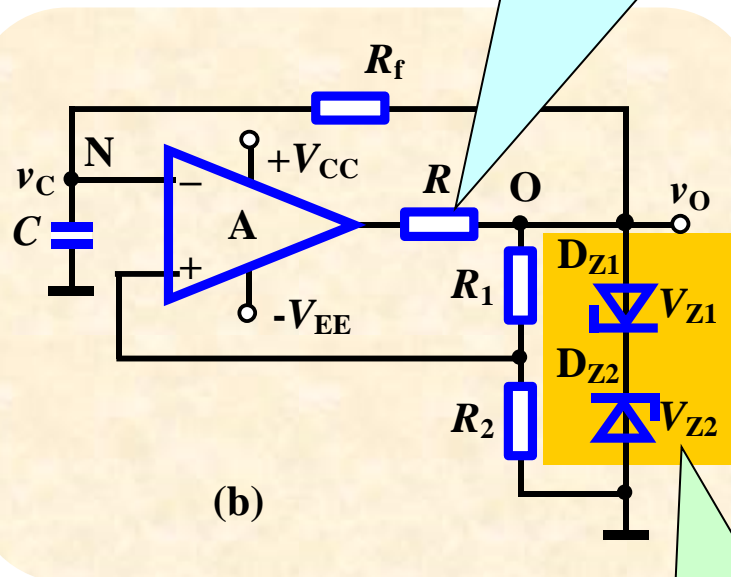
### 1. 电路组成 (多谐振荡电路)

RC充放电支路



迟滞比较器

能否不串入该电阻?



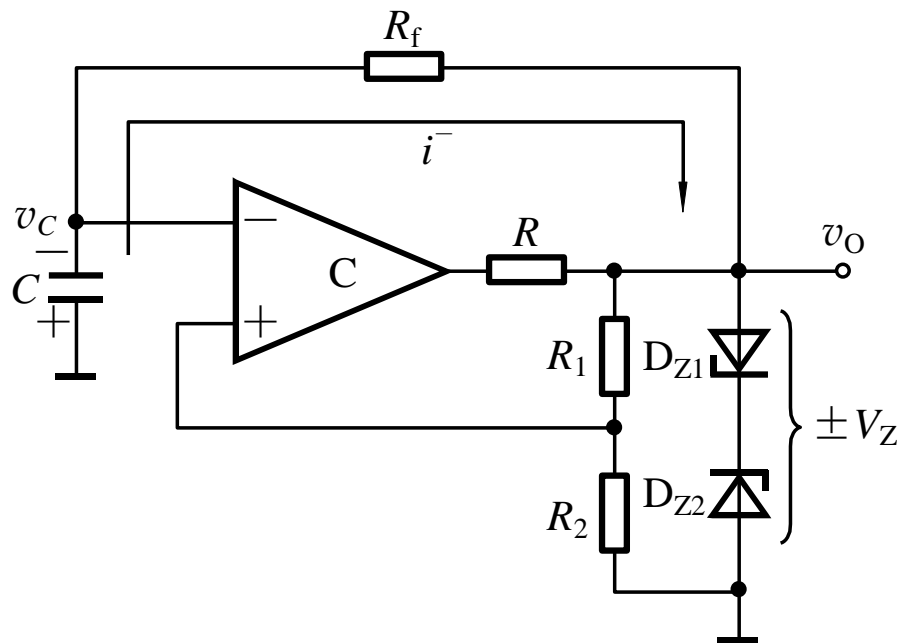
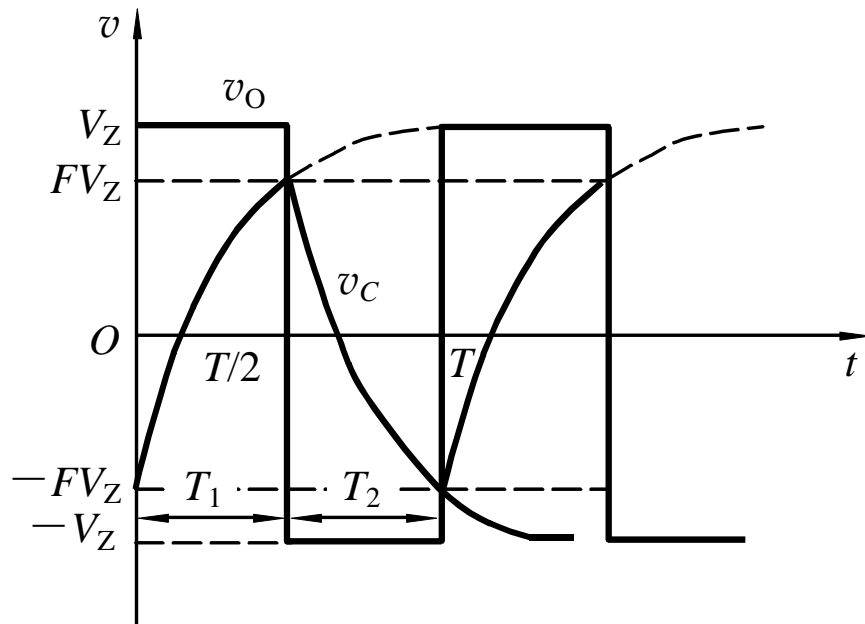
稳压管双向限幅

## 10.8.2 方波产生电路

### 2. 工作原理

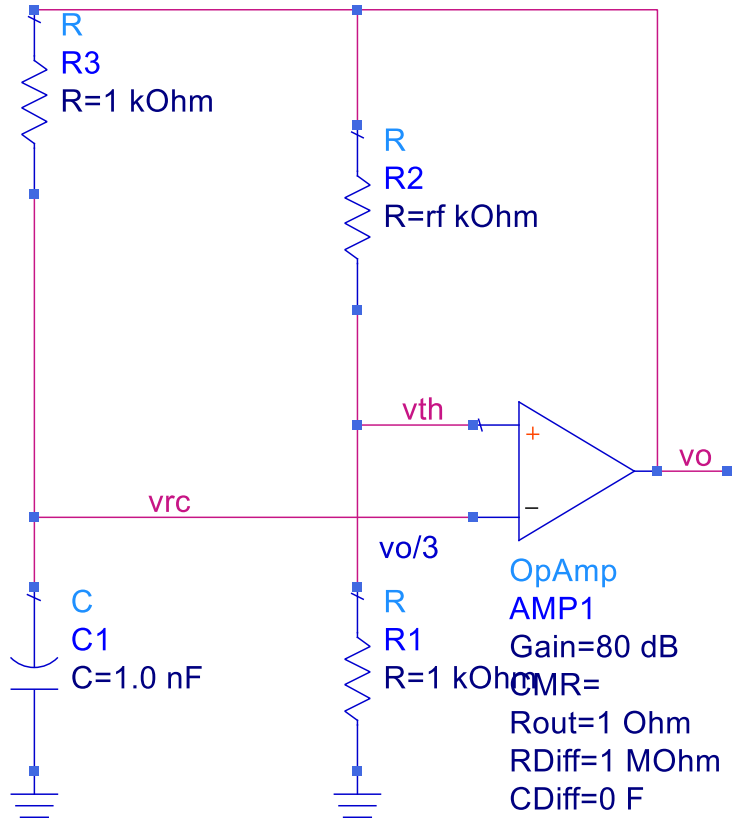
由于迟滞比较器中正反馈的作用，电源接通后瞬间，输出便进入饱和状态。

假设为正向饱和状态



$$F = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

# ADS example



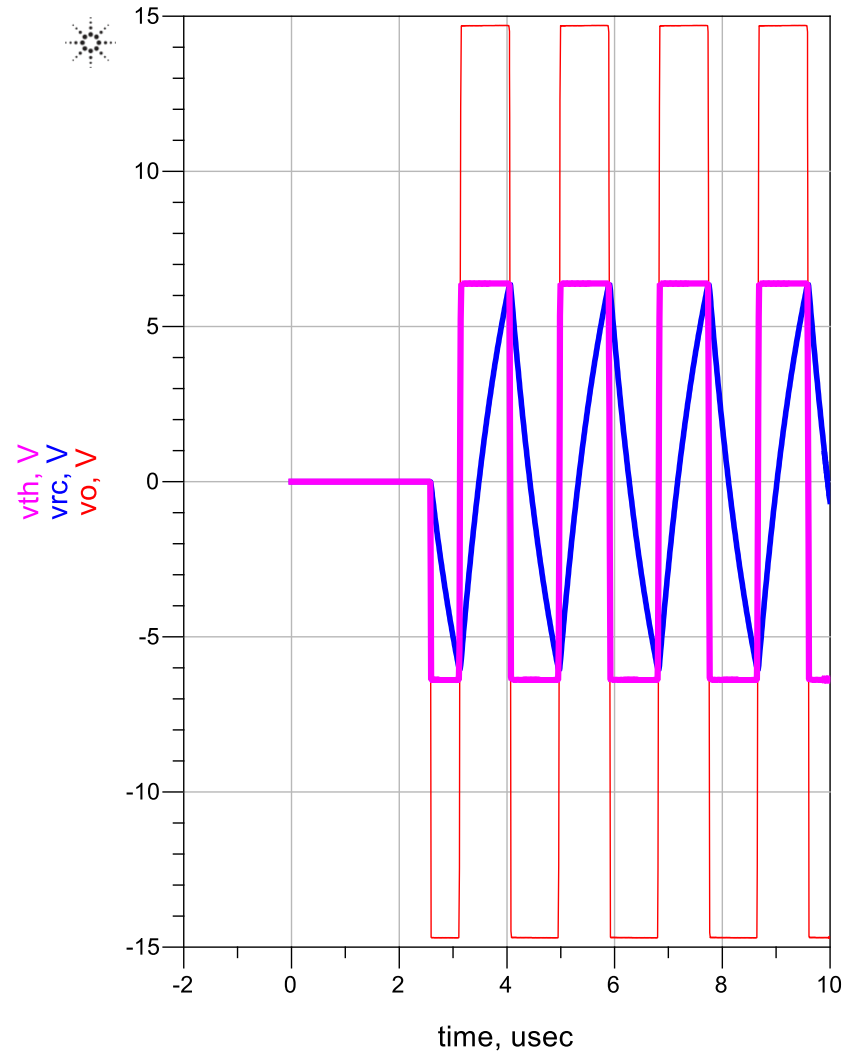
Var  
Eqn

**VAR**  
**VAR1**  
 vos=0.001  
 rf=1.3



**TRANSIENT**

**Tran1**  
 StopTime=30 usec  
 MaxTimeStep=10 nsec



Note: 需要OFFSET等非理想特性才能启动!



## 10.8.2 方波产生电路

### 3. 振荡周期

利用三要素法公式

$$v_C(t) = [v_C(0+) - v_C(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} + v_C(\infty)$$

其中  $v_C(\infty) = -V_Z$      $v_C(0+) = FV_Z$

$$\tau = R_f C \quad v_C(T_2) = -FV_Z \quad F = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

则  $-FV_Z = [FV_Z + V_Z]e^{-\frac{T_2}{R_f C}} - V_Z$

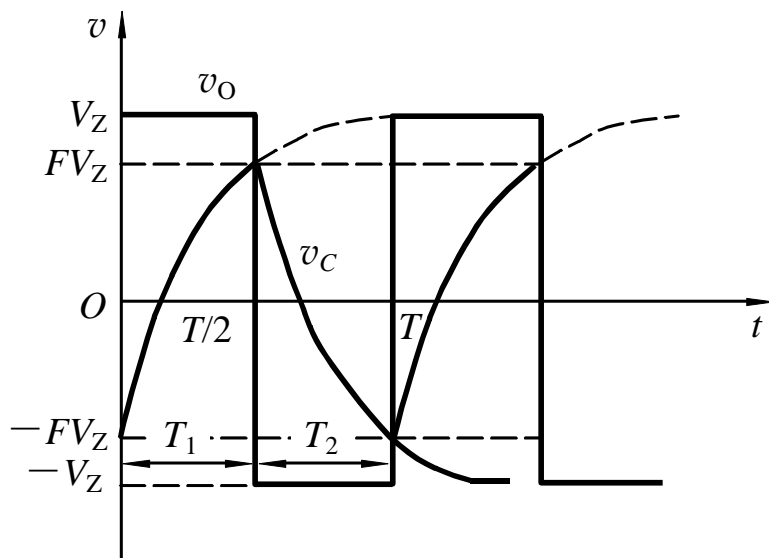
又  $T_1 = T_2$

$$\Rightarrow T_2 = R_f C \ln \frac{1+F}{1-F}$$

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

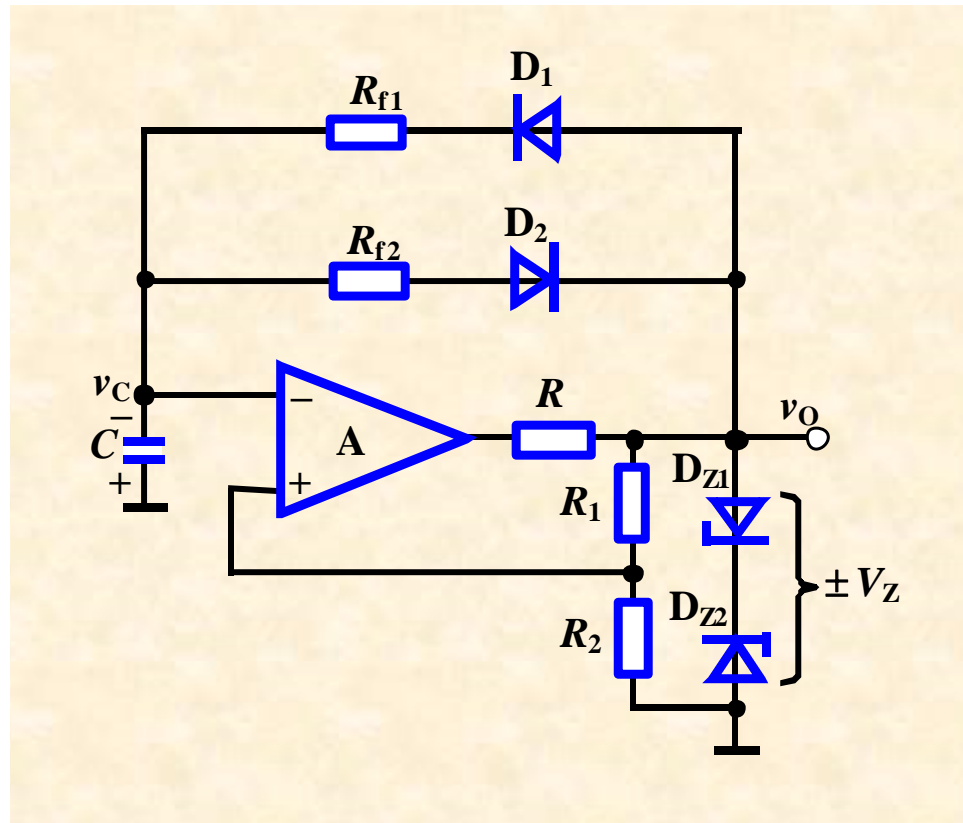
$$= R_f C \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)$$

当  $F = 0.462$  时  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2R_f C}$



## 10.8.2 方波产生电路

### 4. 占空比可变的方波产生电路



## 10.8.3 锯齿波产生电路

