

# 9 脉冲波形的变换与产生

---

## 9.1 单稳态触发器

## 9.2 施密特触发器

## 9.3 多谐振荡器

## \*9.4 555定时器及其应用

# 教学基本要求

---

- 1、正确理解多谐振荡器、单稳态触发器、施密特触发器的电路组成及工作原理。**
- 2、掌握多谐、单稳、施密特触发器MSI器件的逻辑功能及主要指标计算。**
- 3、了解555定时器的工作原理。**
- 4、了解555定时器组成的多谐、单稳、施密特触发电路、工作原理及外接参数及电路指标的计算。**

# 9.1单稳态电路

---

## 9.1.1 用门电路组成的微分型单稳态电路

## 9.1.2 集成单稳态电路

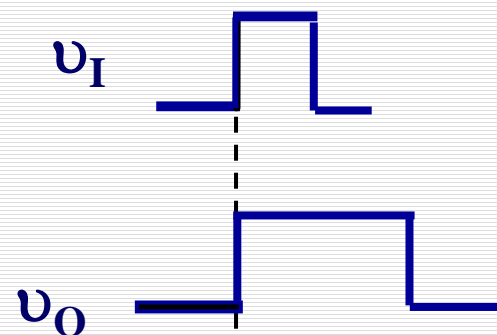
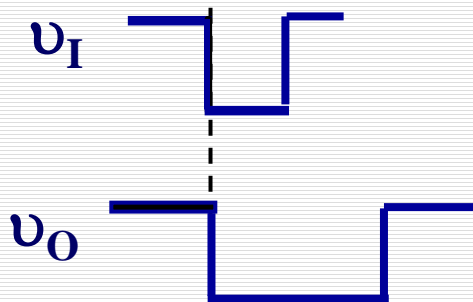
## 9.1.3 单稳态电路的应用

# 9.1 单稳态触发器

单稳态触发器的工作特点：

- ① 电路在没有触发信号作用时处于一种稳定状态。
- ② 在外来触发信号作用下，电路由稳态翻转到暂稳态；
- ③ 由于电路中 $RC$ 延时环节的作用，暂稳态不能长保持，经过一段时间后，电路会自动返回到稳态。暂稳态的持续时间仅取与 $RC$ 参数值有关。

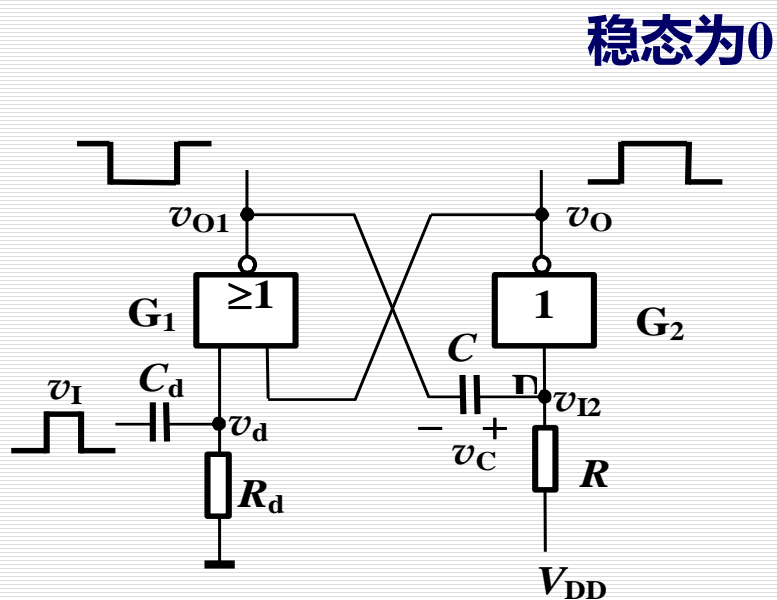
工作波形



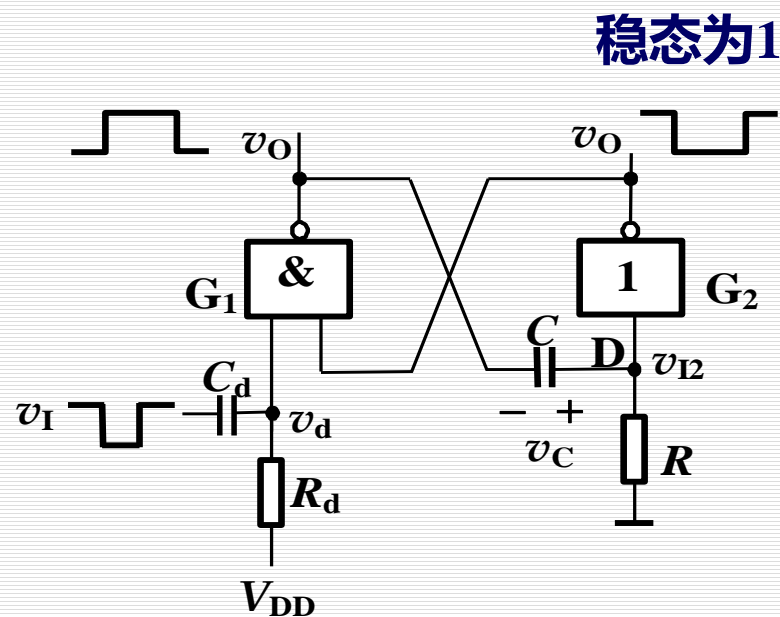
## 9.1.1 CMOS门电路组成的微分型单稳态触发器

### 1. 电路

CMOS或非门构成的微分型  
单稳态触发器

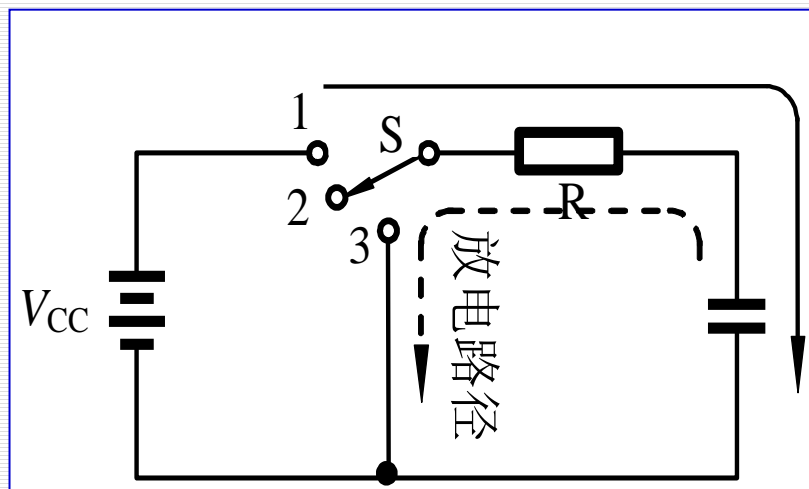


CMOS与非门构成的微分型  
单稳态触发器



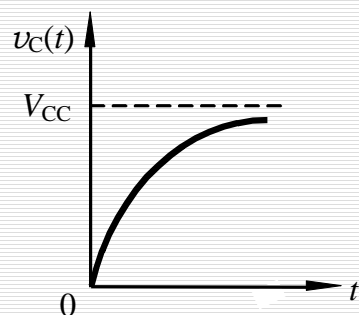
# 电容器充放电

## 开关在位置1时



设电容C上初始电压为零,电容将按指数规律充电,趋向电压 $V_{CC}$ 值。电容充电的速率取决于 $RC$ 乘积。

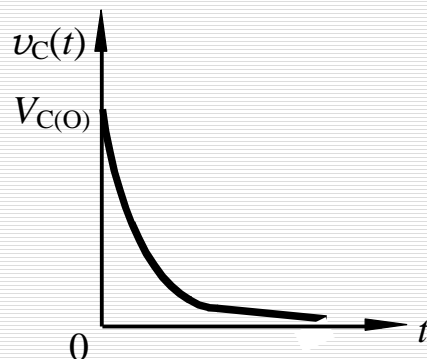
$$v_C(t) = V_{CC} (1 - e^{-t/RC})$$



当开关掷向位置3时,

电容将按逆时针方向经RC电路放电,并逐渐衰减为零。设电容放电时的初始电压为 $v_C(0)$ ,则电容放电电压

$$v_C(t) = v_C(0) e^{-t/RC}$$



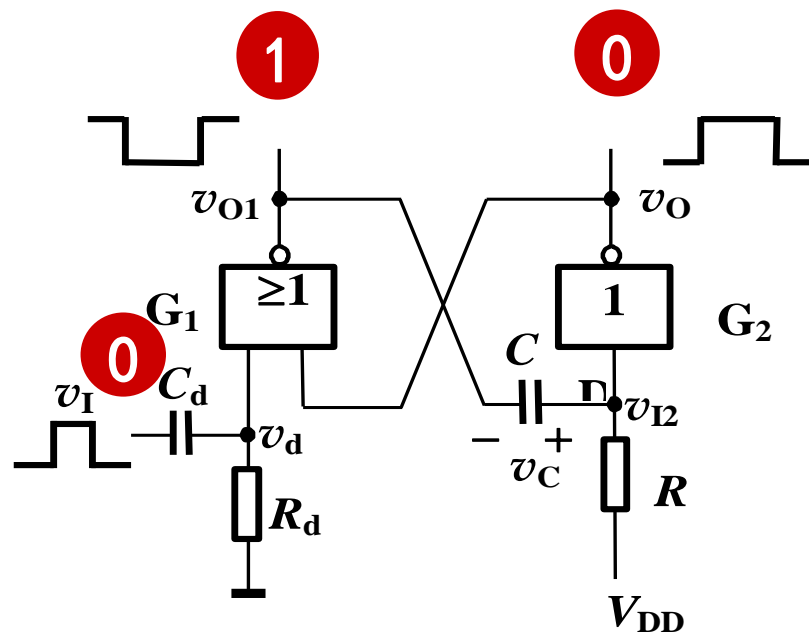
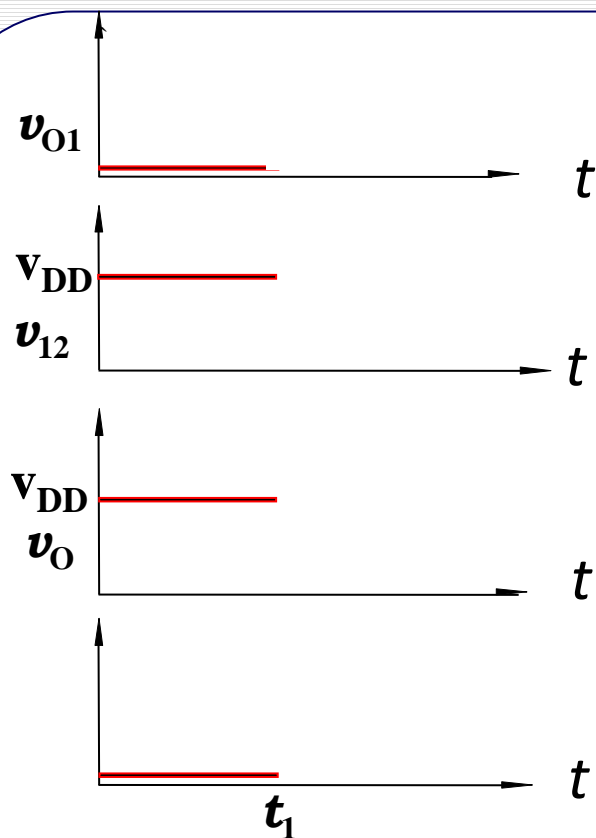
## 2. 工作原理

a) 没有触发信号时,  $v_I = 0$

$v_o = 0$

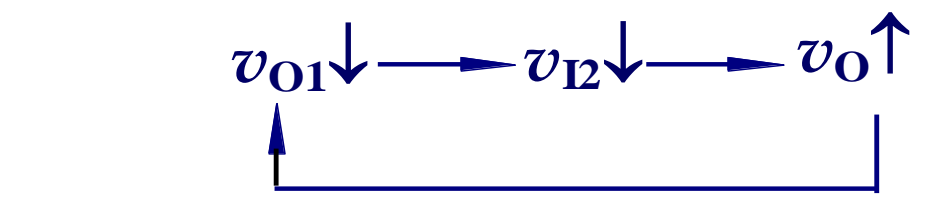
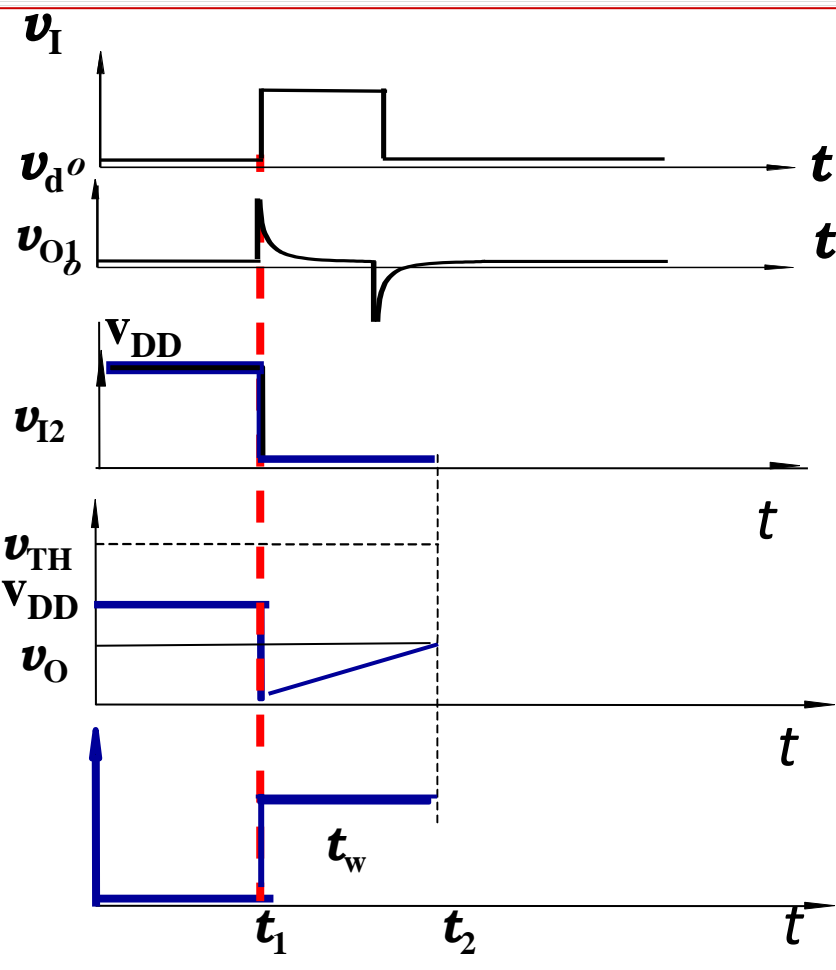
$v_c = 0$

电路处于一种稳态:

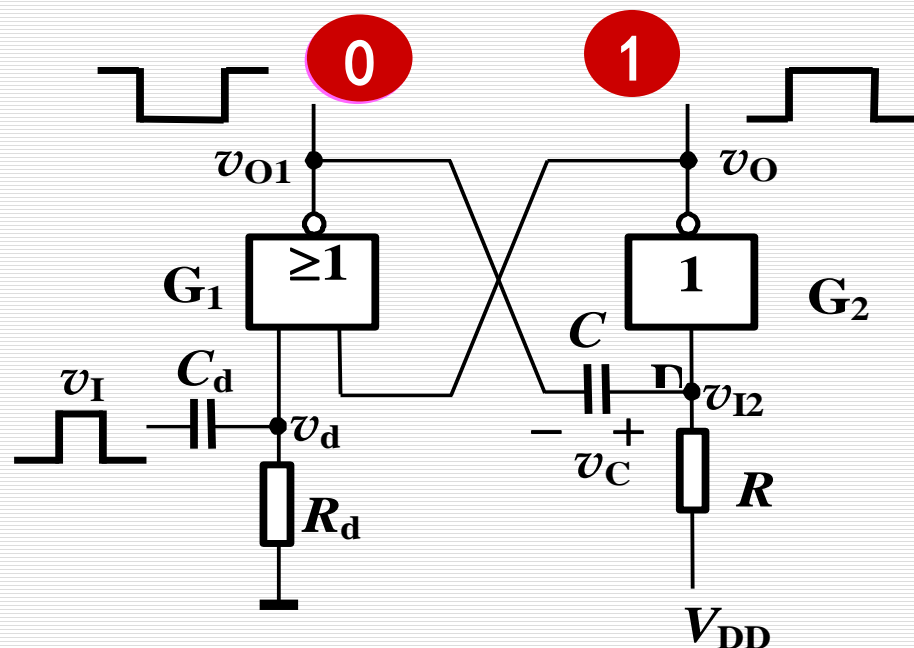


## b) 外加触发信号 电路进入暂稳态

当  $v_d \longrightarrow v_d = V_{TH}$  产生如下正反馈过程



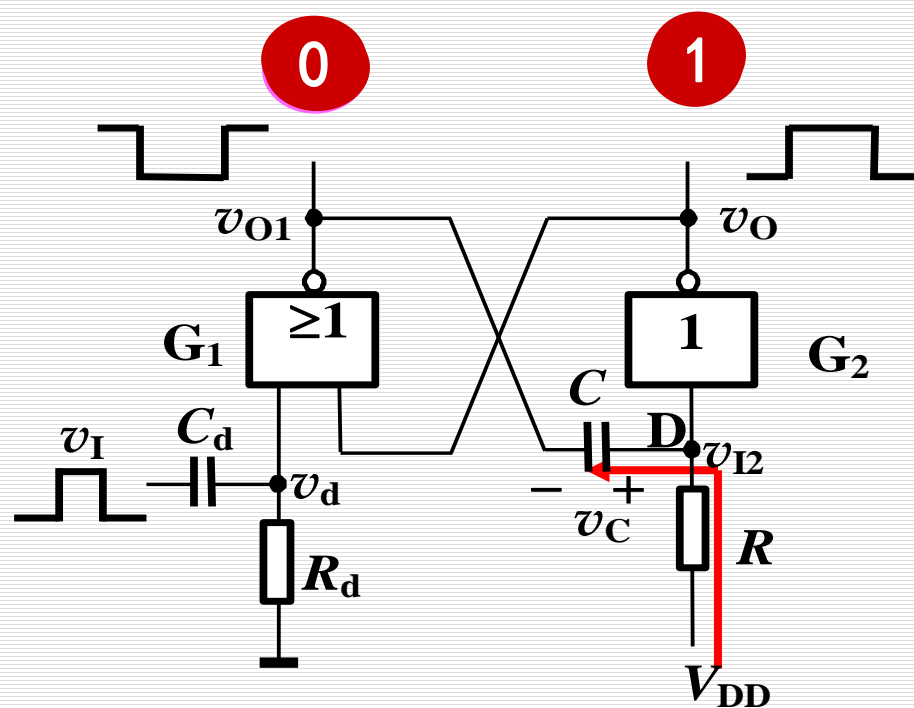
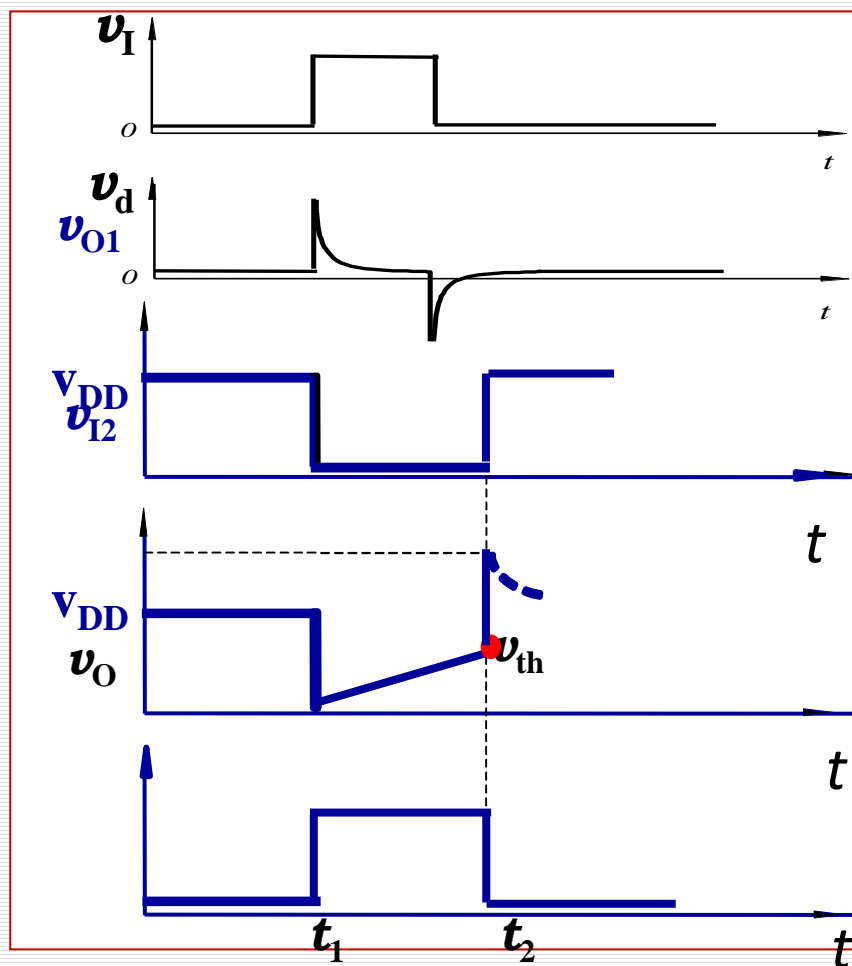
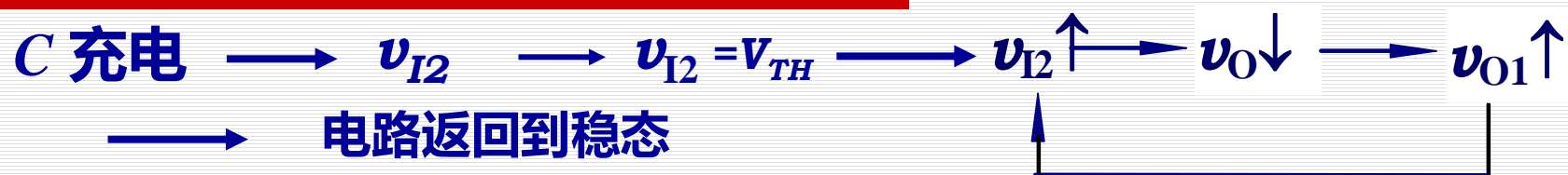
电路进入暂稳态  $v_O = 1$   $v_{O1} = 0$



电容充电,此状态不能长期维持



## c) 电容充电, 电路由暂稳态自动返回到稳态



### 3、主要参数的计算

#### (1) 输出脉冲宽度 $t_w$

$$t_w = RC \ln \frac{v_C(\infty) - v_C(0)}{v_C(\infty) - V_{TH}}$$

$$v_C(0+) = 0; \quad v_C(\infty) = V_{DD}$$

$$\tau = RC, \quad V_{TH} = V_{DD} / 2$$

$$t_w = RC \ln \frac{V_{DD} - 0}{V_{DD} - V_{TH}}$$

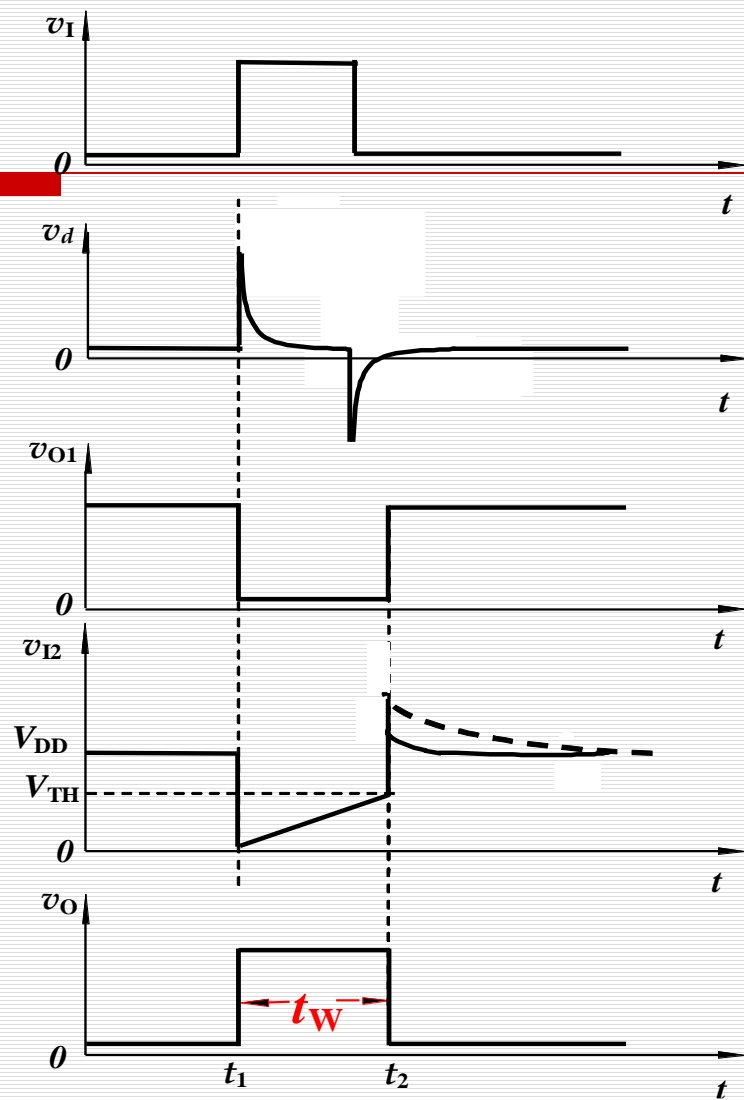
$$t_w \approx 0.7RC$$

#### (2) 恢复时间 $t_{re}$

$$t_{re} \approx 3\tau$$

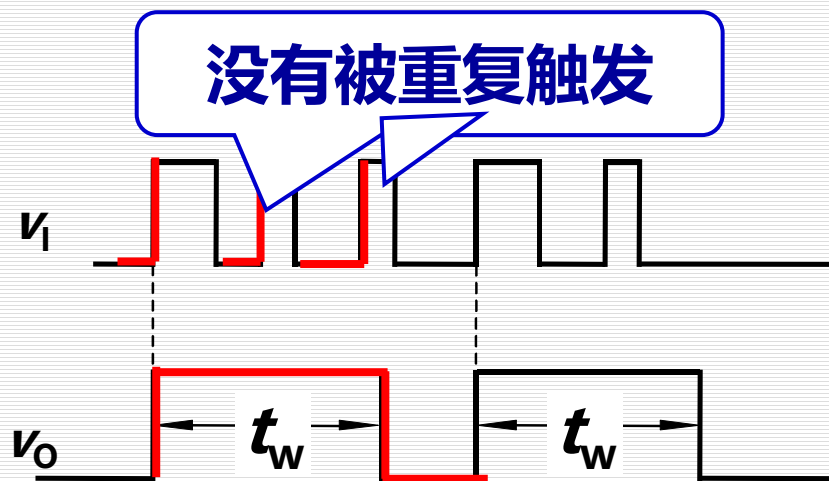
#### (3) 最高工作频率 $f_{max}$

$$f_{max} = \frac{1}{T_{min}} < \frac{1}{t_w + t_{re}}$$

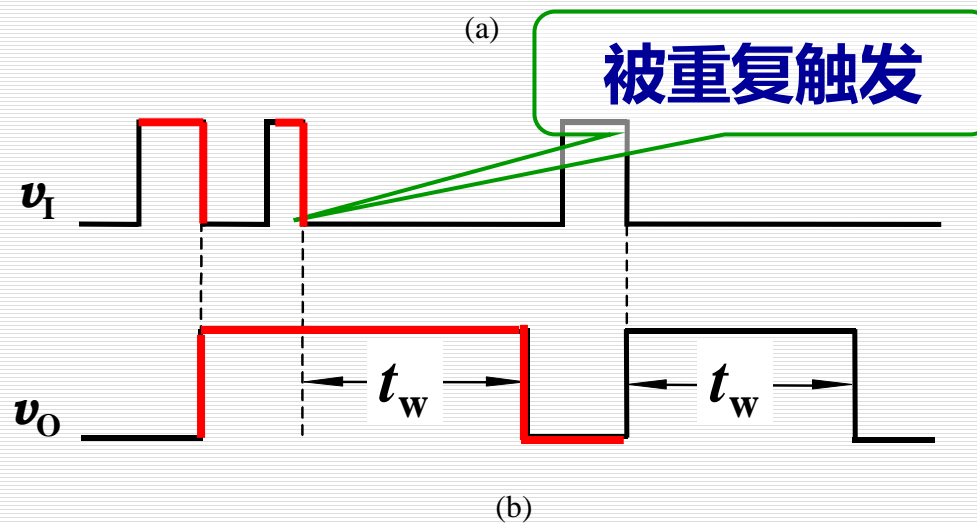


## 9.1.2 集成单稳态触发器

不可重复触发

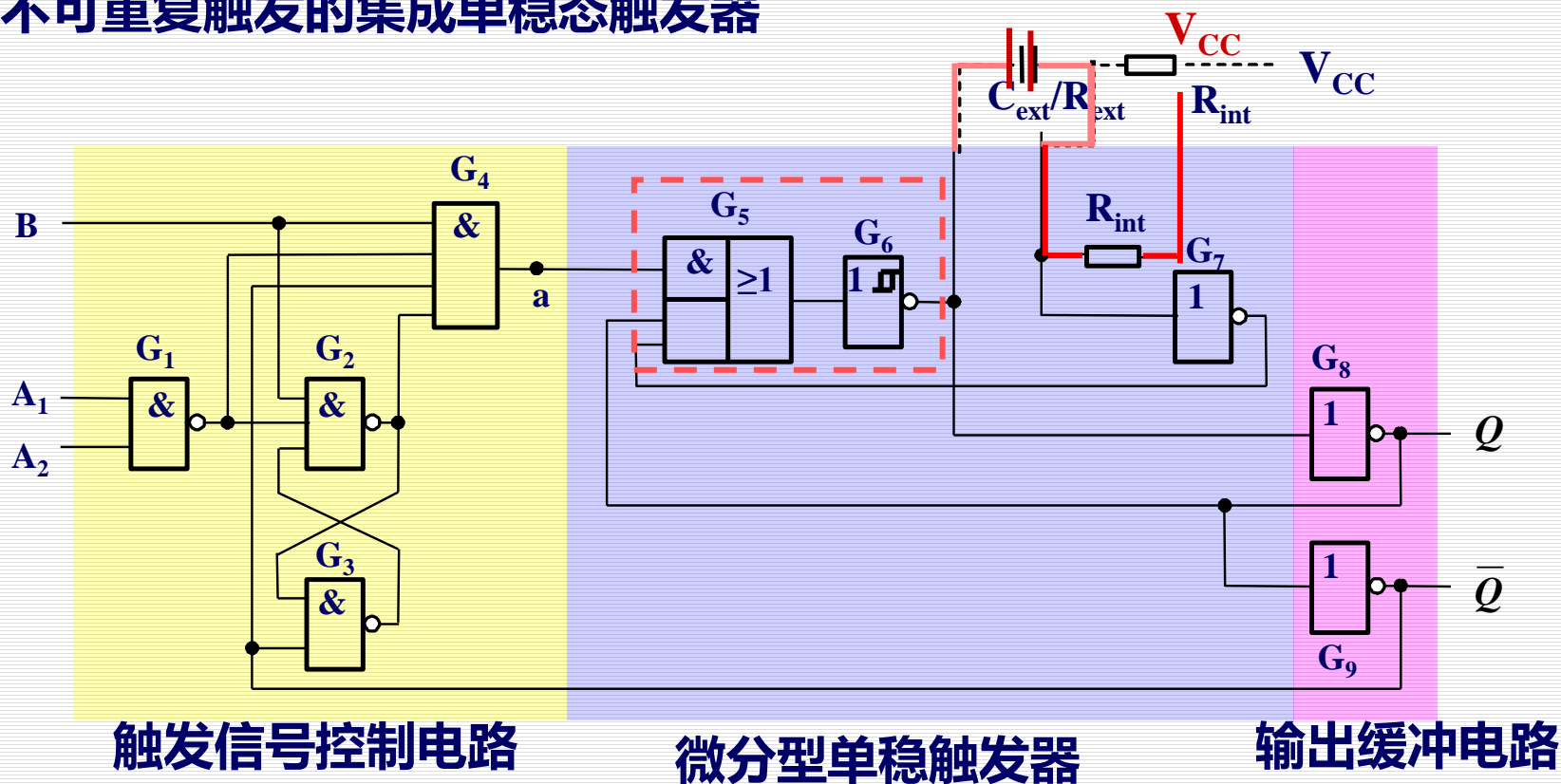


可重复触发



## 9.1.2 集成单稳态触发器

### 1. 不可重复触发的集成单稳态触发器



电路的连接:  $C$ : 外接电容

$R$ : 外接电阻或采用内部电阻

## 电路的不可重复触发特性

暂稳态:  $Q=1 \quad \bar{Q}=0$

The diagram illustrates a monostable multivibrator circuit. It consists of eight NAND gates (G1-G8) and one OR gate (G5). The circuit is shown in a quasi-stable state where  $Q=1$  and  $\bar{Q}=0$ . The timing network includes a capacitor  $C_{ext}$ , a resistor  $R_{ext}$ , and an internal resistor  $R_{int}$ . The output is  $Q$  and its complement  $\bar{Q}$ .

**输出脉冲宽度:  $t_w \approx 0.7RC$**

**电路一旦进入暂稳态,  $u_a$  就跳变为低电平。**

## 74121功能表

$A_1$	$A_2$	$B$	$Q$	$\overline{Q}$
$L$	$\times$	$H$	$L$	$H$
$\times$	$L$	$H$	$L$	$H$
$\times$	$\times$	$L$	$L$	$H$
$H$	$H$	$\times$	$L$	$H$
$H$	$\downarrow$	$H$	$\neg L$	$\neg H$
$\downarrow$	$H$	$H$	$\neg L$	$\neg H$
$\downarrow$	$\downarrow$	$H$	$\neg L$	$\neg H$
$L$	$\times$	$\uparrow$	$\neg L$	$\neg H$
$\times$	$L$	$\uparrow$	$\neg L$	$\neg H$

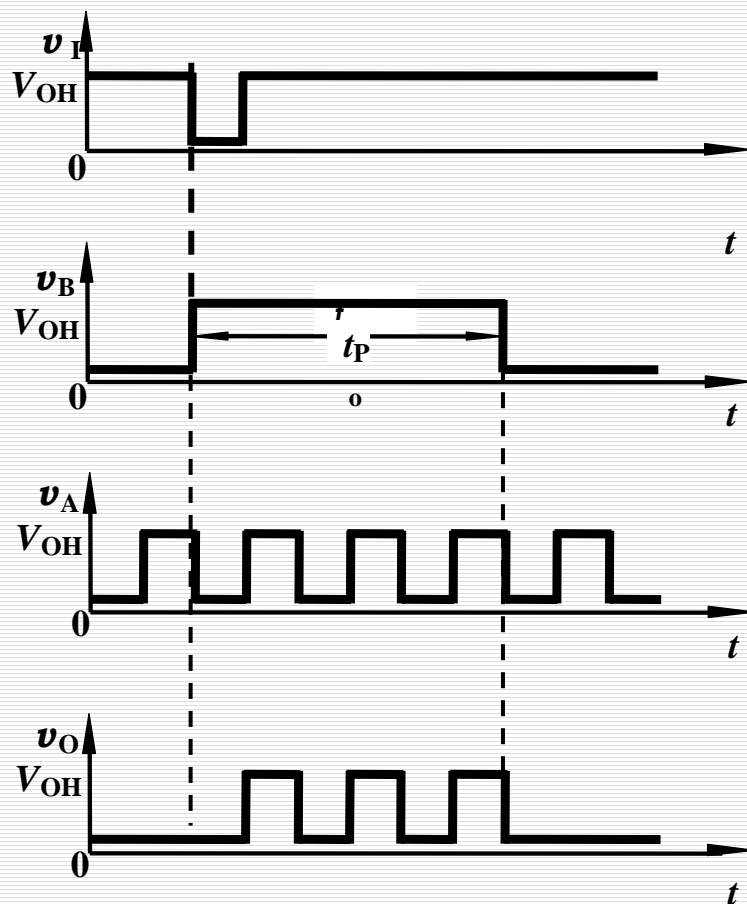
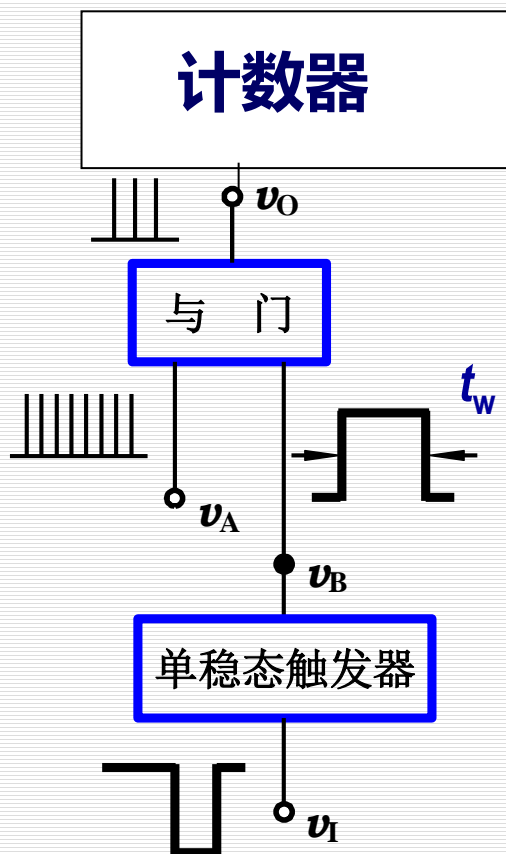
不可触发，保持稳态不变

$B$  和  $A_1$ 、 $A_2$  中有一个或两个为高电平，输入端有一个或两个下降沿时电路被触发

$A_1$ 、 $A_2$  中有一个或两个为低电平，在  $B$  端输入上升沿时电路被触发

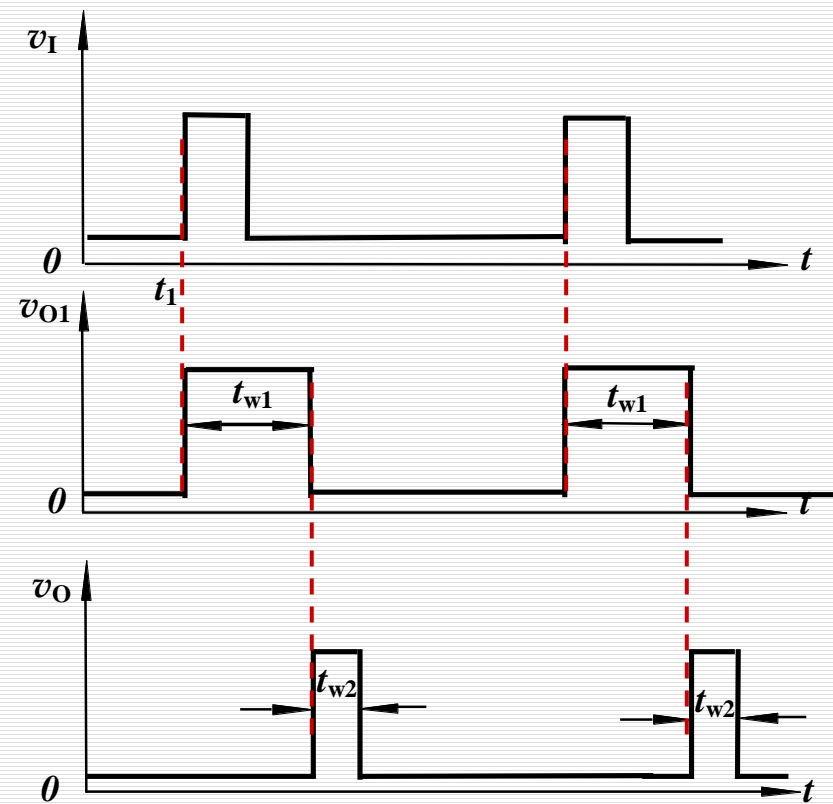
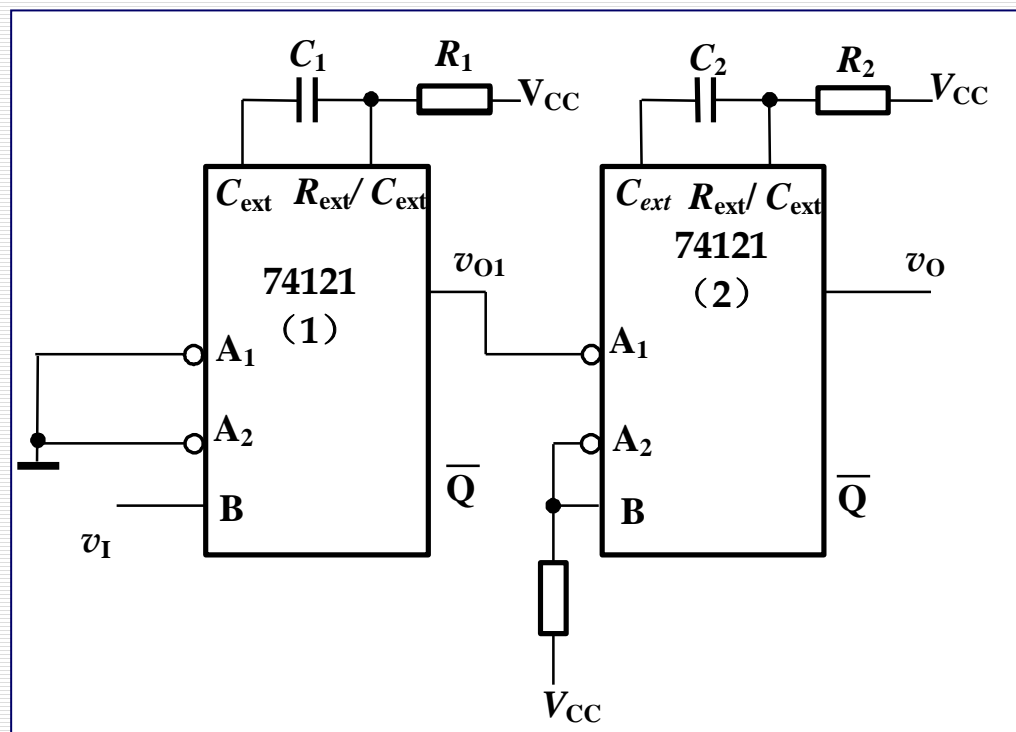
## 9.1.3 单稳态触发器的应用

### 1. 定时



该电路可用于频率计

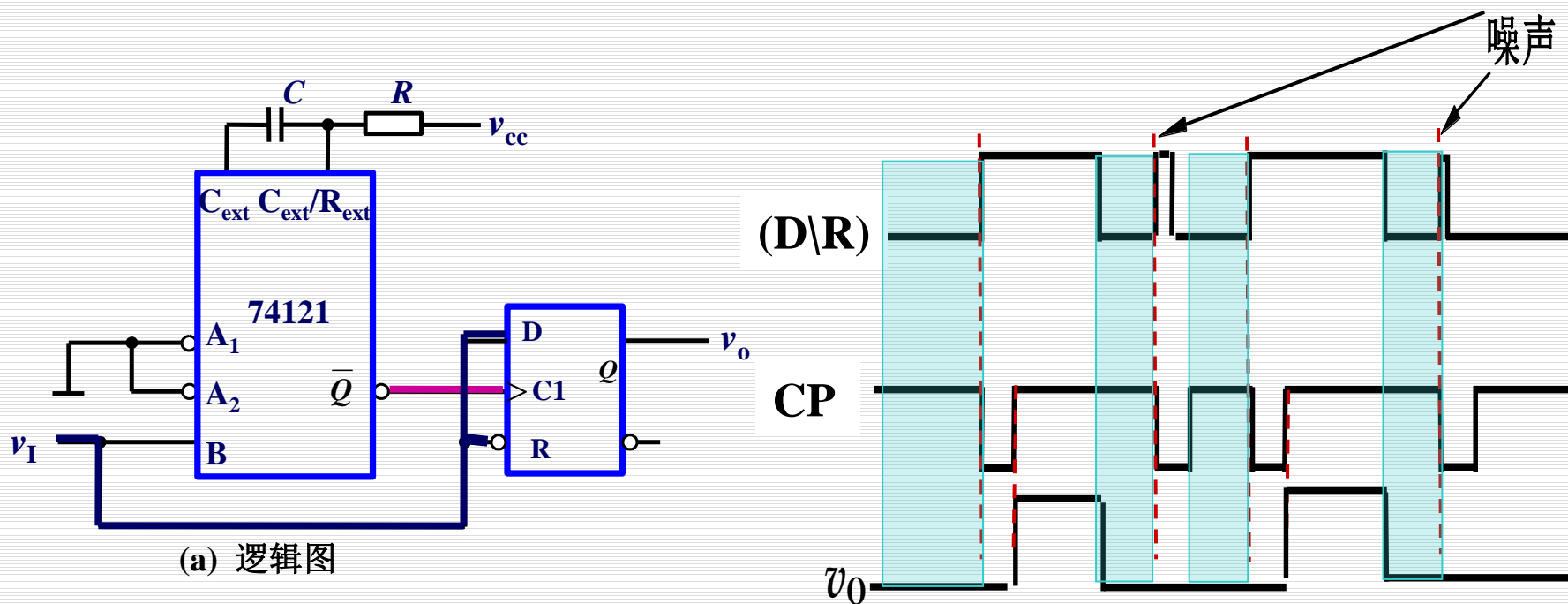
## 2. 延时





### 3. 组成噪声消除电路

如用 $v_I$ 作为下降沿触发的计数器触发脉冲,干扰加入,就会造成计数错误.



单稳触发器的输出脉宽应大于噪声宽度而小于信号脉宽,才可消除噪声。

## 9.2 施密特触发电路

---

### 9.2.1 逻辑门组成的施密特触发电路

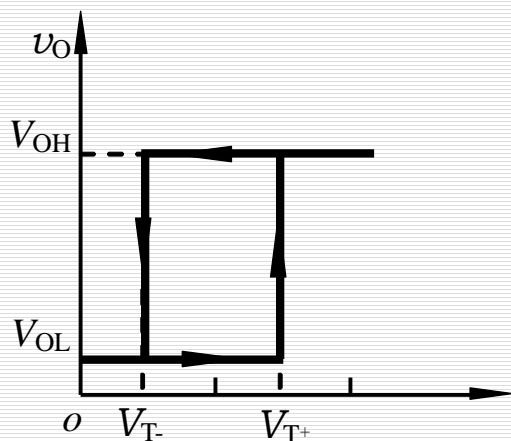
### 9.2.2 施密特触发电路的应用

## 9.2 施密特触发器

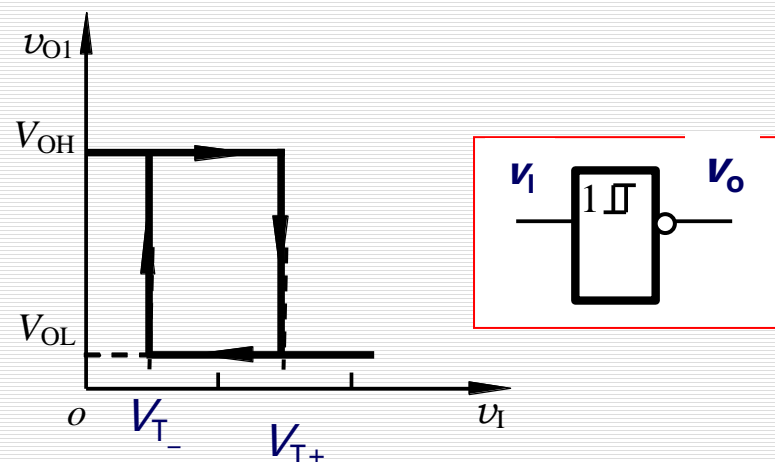
### 1、施密特触发器电压传输特性及工作特点：

① 施密特触发器属于电平触发器件，当输入信号达到某一定电压值时，输出电压会发生突变。

② 电路有两个阈值电压。输入信号增加和减少时，电路的阈值电压分别是正向阈值电压 ( $V_{T+}$ ) 和负阈值电压 ( $V_{T-}$ ) 。



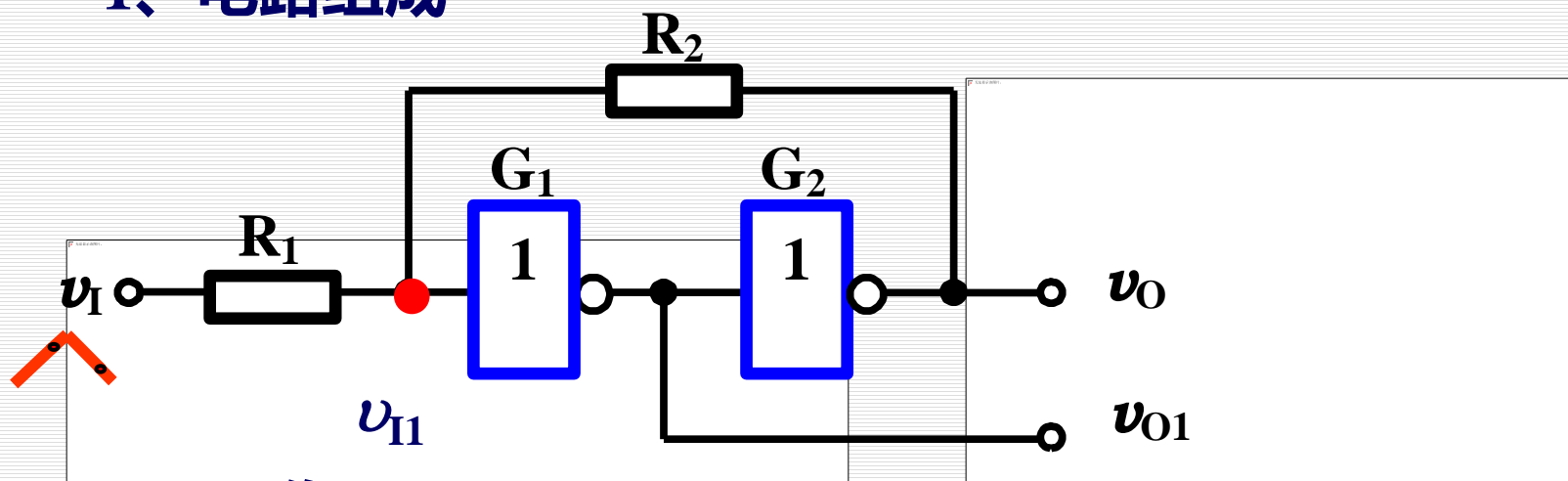
同相输出施密特触发器



反相输出施密特触发器

## 9.2.1 用CMOS门电路组成的施密特触发器

### 1、电路组成



### 2、工作原理

假定：

$$V_{th} \approx \frac{V_{DD}}{2}$$

$$R_1 < R_2$$

$v_I$  为三角波

利用“G1门输入点电流为零”可得到：

$$v_{I1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v_I + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_O$$

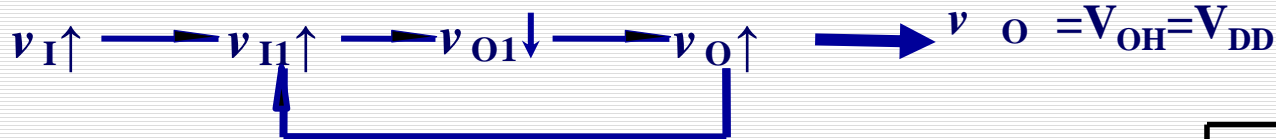
## 9.2.1 用CMOS门电路组成的施密特触发器

### 2、工作原理

当  $v_{I1}=0$ ,  $v_O=0V$

(1)  $v_I$  上升 只要  $v_{I1} < V_{TH}$ , 则保持  $v_O=0V$

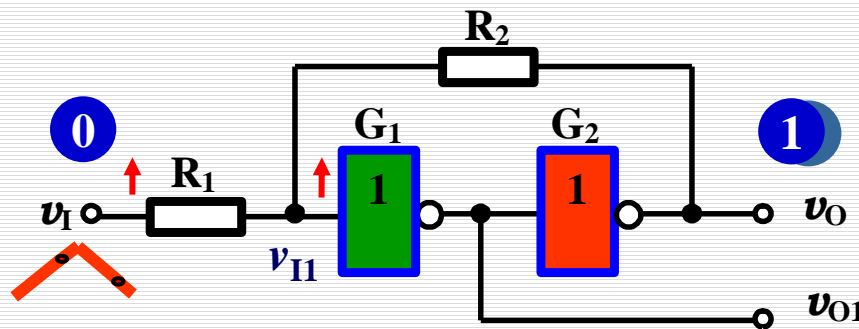
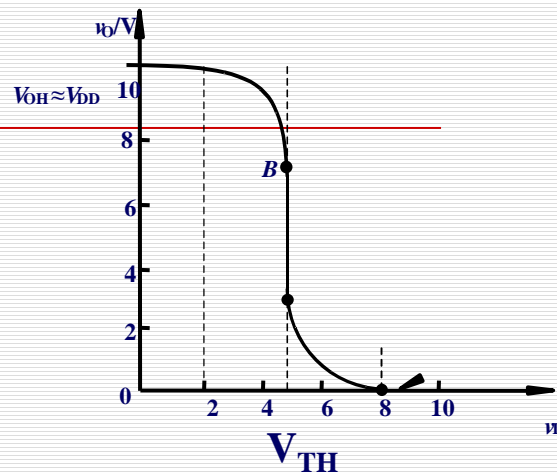
(2) 当  $v_{I1} = V_{TH}$ , 电路发生正反馈:



正向阈值电压 ( $V_{T+}$ ):  $v_I$  值在增加过程中, 使输出电压产生跳变时所对应的  $v_{I1}$  值

$$v_{I1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v_I + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_O$$

$$V_{T+} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_{TH}$$



$$v_{I1} = V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{T+}$$

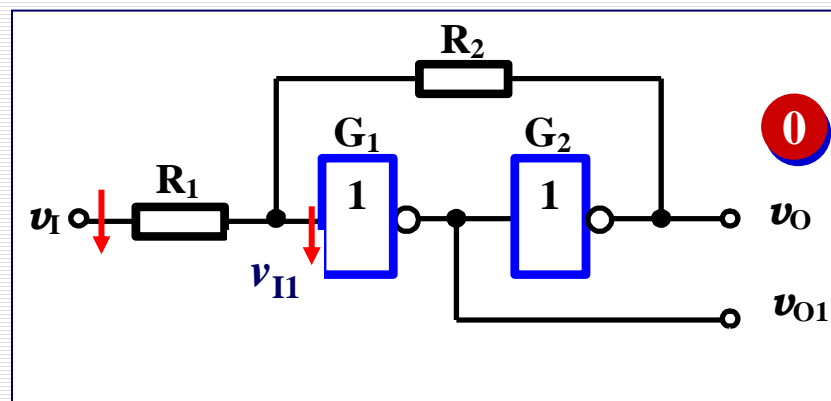
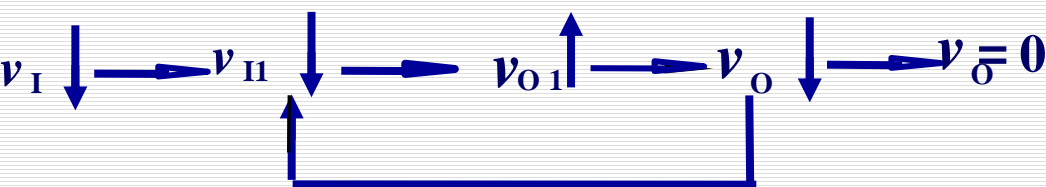
## 9.2.1 用CMOS门电路组成的施密特触发器

### 2、工作原理

(3)  $v_I > V_{th}$  电路维持  $v_O = V_{OH}$  不变

(4) 当  $v_I$  下降,  $v_{I1}$  也下降 只要  $v_{I1} > V_{th}$ , 则保持输出为1

当  $v_{I1} = V_{th}$ , 电路产生如下正反馈:



$v_I$  值在减少过程中, 使输出电压产生跳变时所对应的  $v_I$  值称为负向阈值电压  $V_{T-}$ .

$$v_{I1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v_I + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_O$$

$$V_{T-} = \left(1 - \frac{R_1}{R_2}\right) V_{th}$$

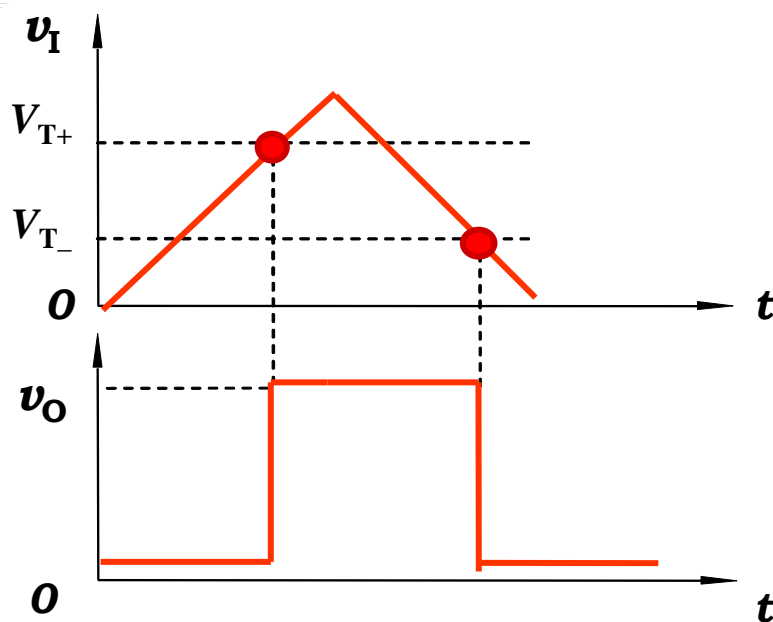
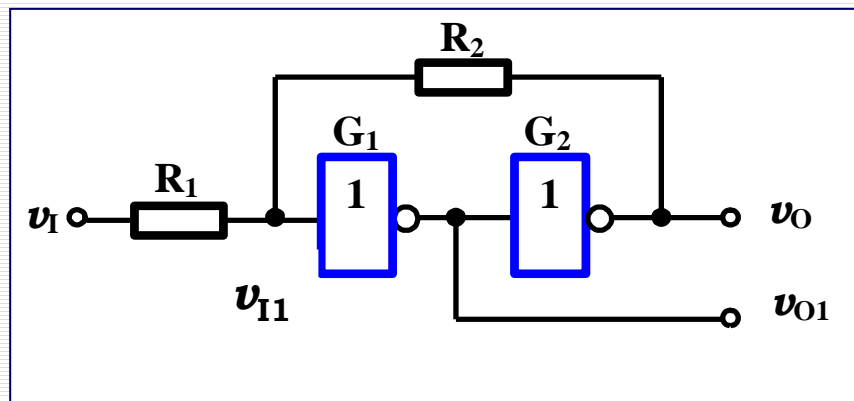
$$V_{T+} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_{th}$$

$$v_{th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{T-} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times V_{DD}$$

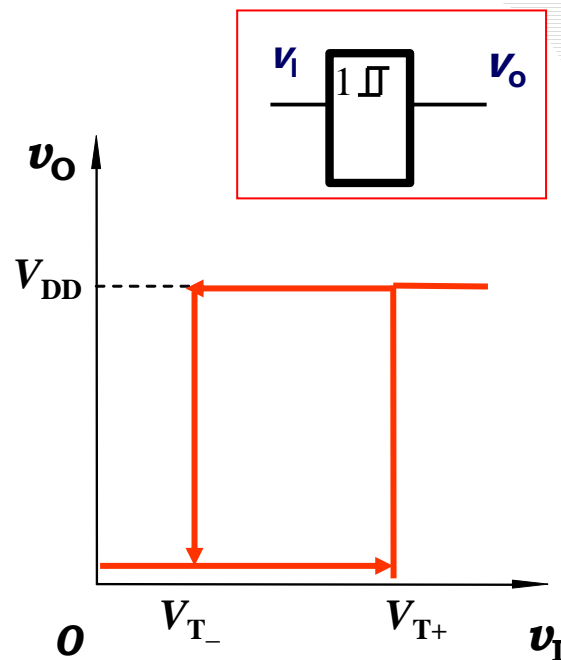
$$\Delta V_T = V_{T+} - V_{T-} \approx 2 \frac{R_1}{R_2} V_{th}$$

## 9.2.1 用CMOS门电路组成的施密特触发器

### 3、传输特性曲线



工作波形

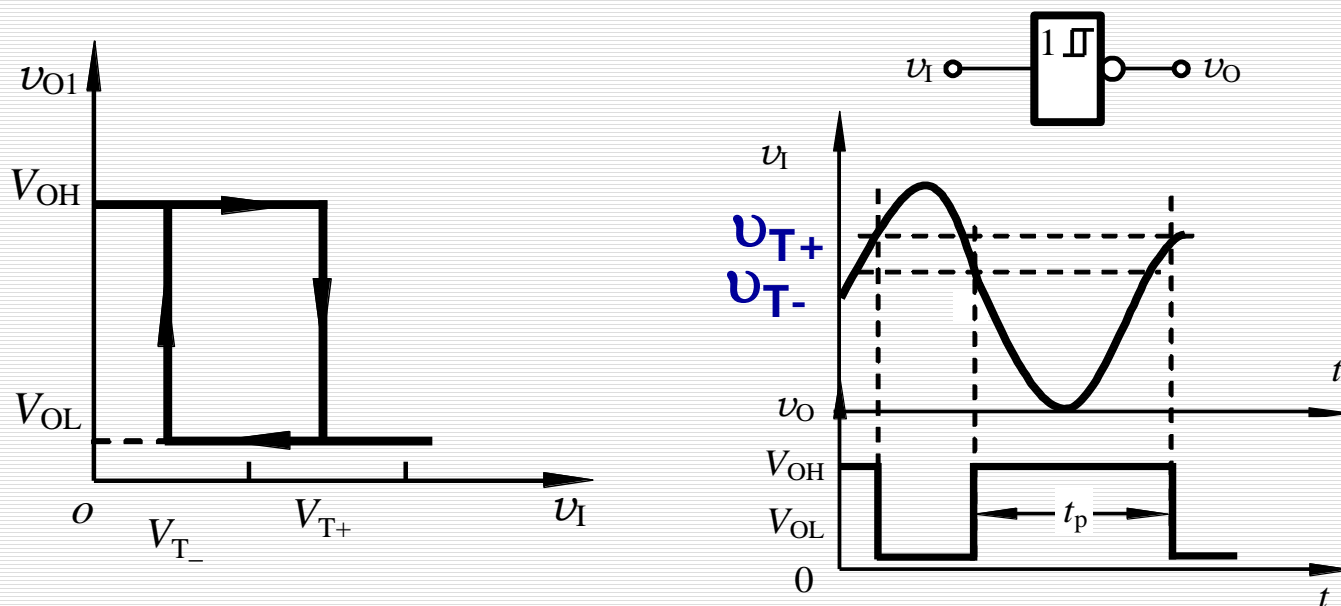


传输特性曲线

## 9.2.1 用CMOS门电路组成的施密特触发器

### 4、应用

#### (1) 波形的整形及变换



电路输出信号的频率与输入信号频率的关系？

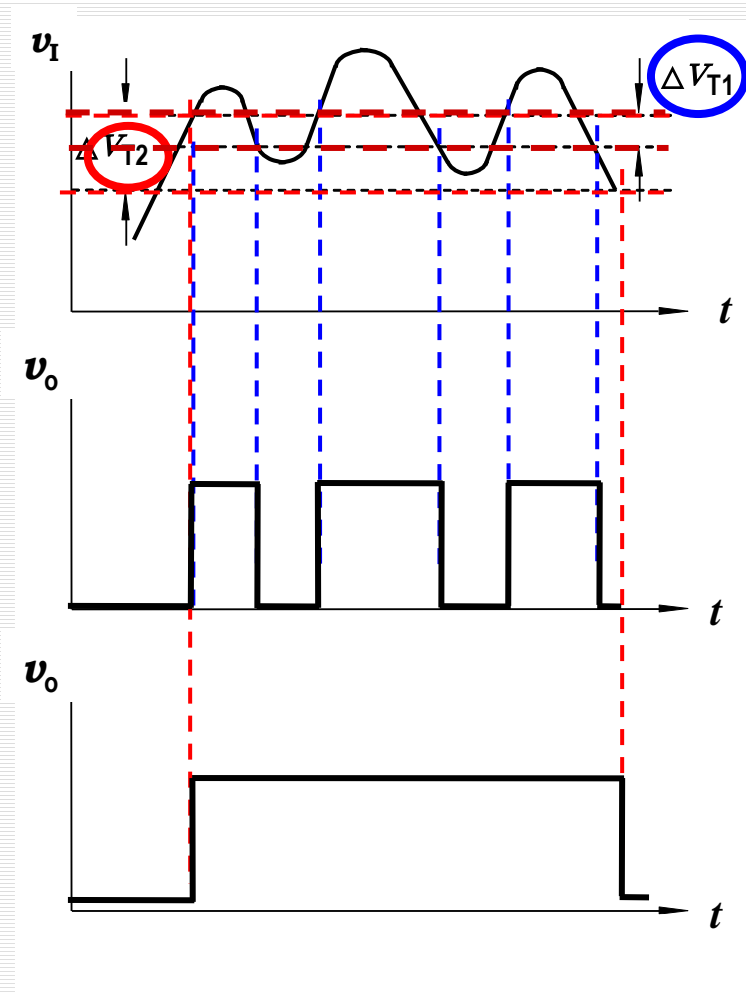
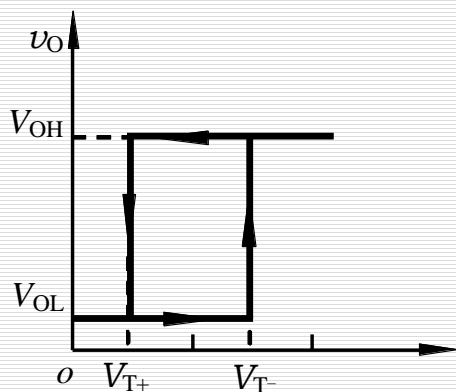
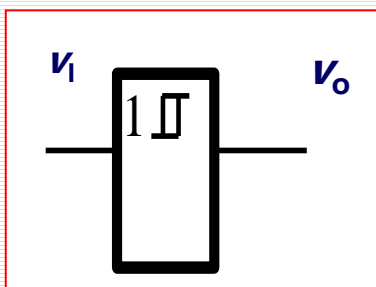
如何改变电路输出信号的占空比？



## 9.2.1 用CMOS门电路组成的施密特触发器

### 4、应用

#### (2) 消除干扰信号



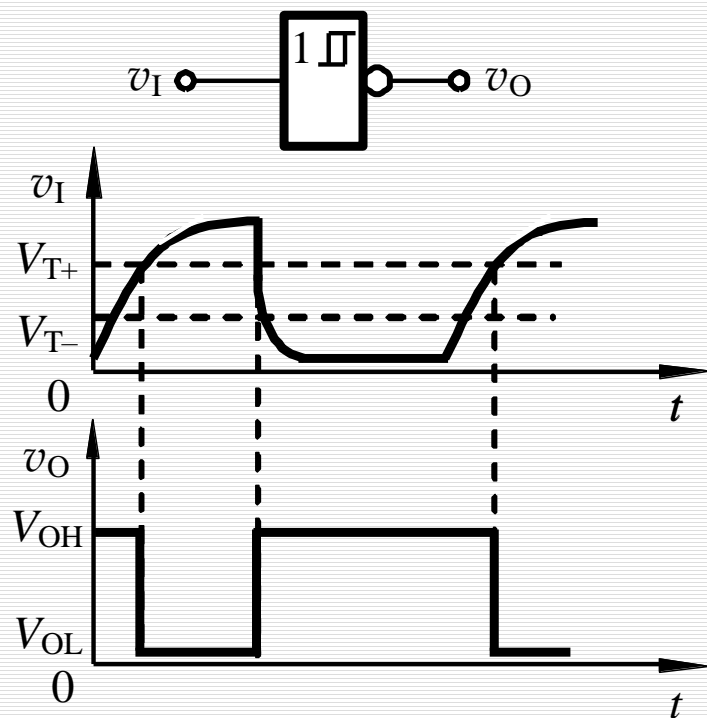
合理选择回差电压，可消除干扰信号。

## 9.2.1 用CMOS门电路组成的施密特触发器

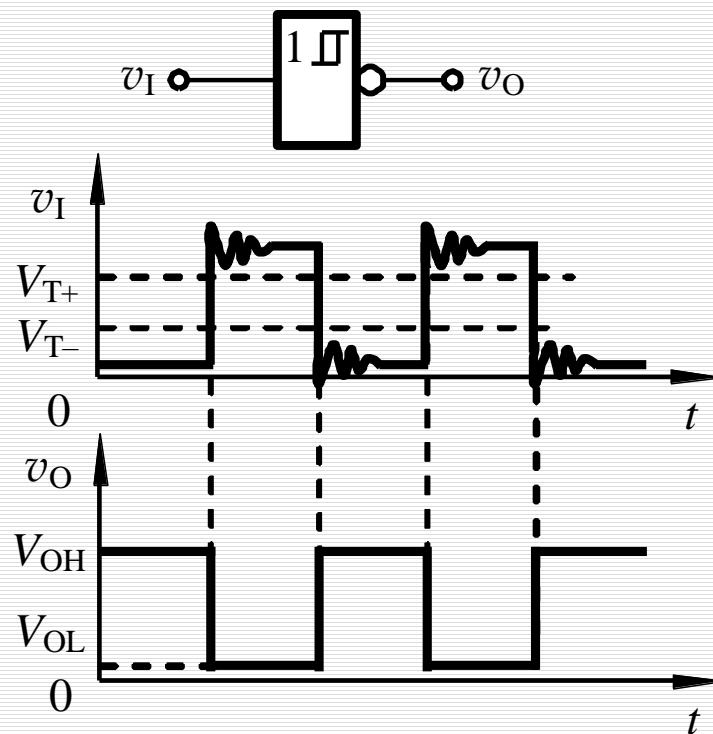
### 4、应用

#### (2) 消除干扰信号

传输线上电容较大



传输线长，接收端的阻抗与传输线阻抗不匹配

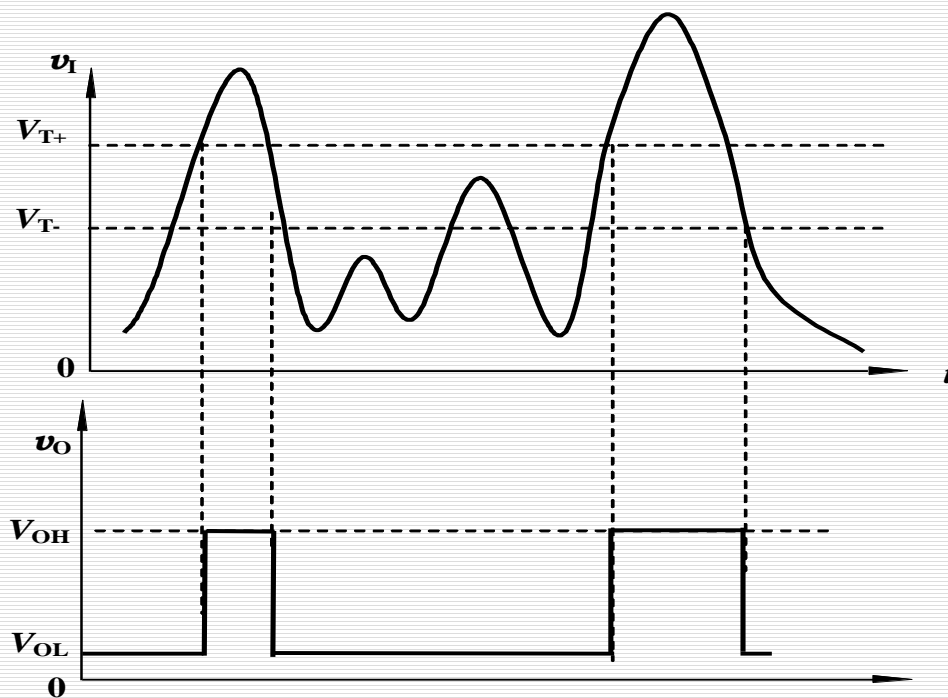
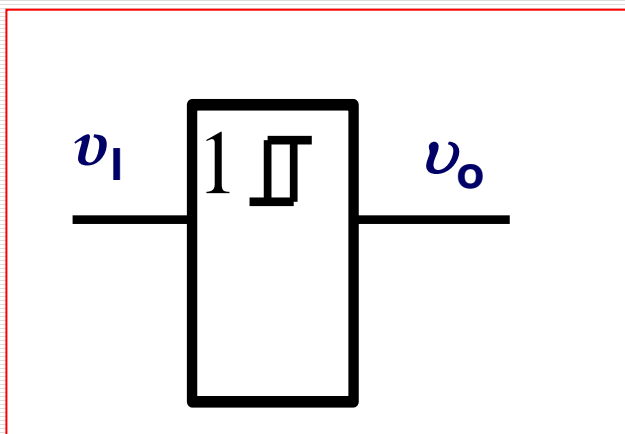


(b)

## 9.2.1 用CMOS门电路组成的施密特触发器

### 4、应用

#### (3) 幅值鉴别



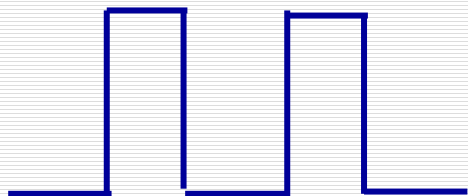
## 9.3多谐振荡器

### 概述

#### 三、多谐振荡器的基本组成

开关器件：产生高、低电平

反馈延迟环节（ $RC$ 电路）：利用 $RC$ 电路的充放电特性实现延时，输出电压经延时后,反馈到开关器件输入端，改变电路的输出状态,以获得所脉冲波形输出。



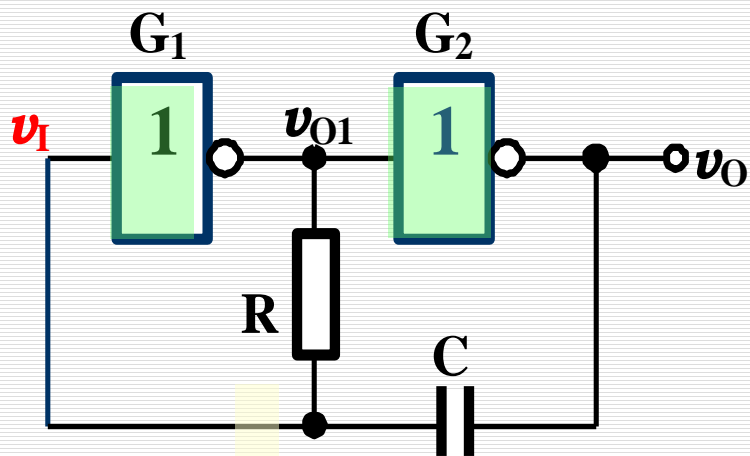
## 9.3.1由CMOS门电路组成的多谐振荡器

### 1. 电路组成

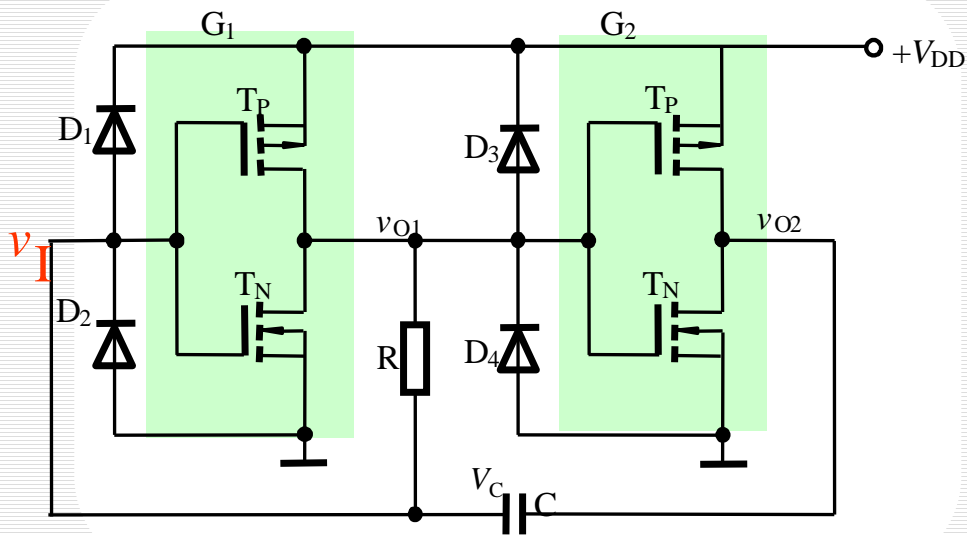
$v_{o1}$ 与 $v_o$ 反相,电容接在 $v_o$ 与 $v_i$ 之间:

$v_o=0, v_{o1}=1$  时,电容充电,  $v_i$ 增加;

$v_o=1, v_{o1}=0$  时,电容放电,  $v_i$ 下降;



多谐振荡器

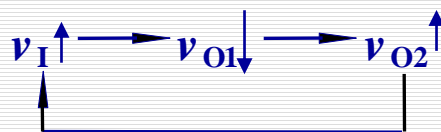


## 2. 工作原理

### (1) 第一暂稳态（初态） 电容充电，电路自动翻转到第二暂稳态

假定  $V_{TH} = V_{DD}/2$       电路初态:  $v_{O1}=1$   $v_{O2}=0$   $v_C=0V$

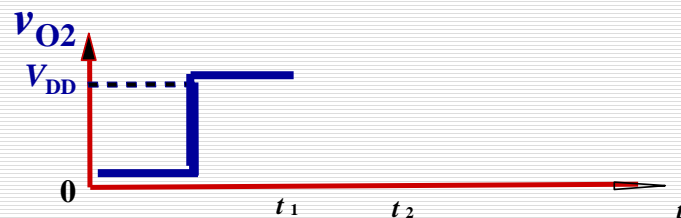
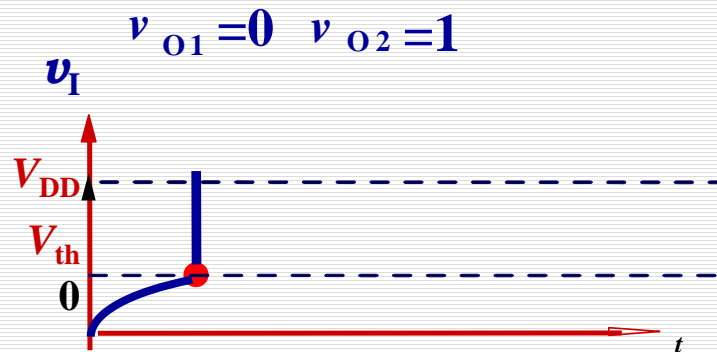
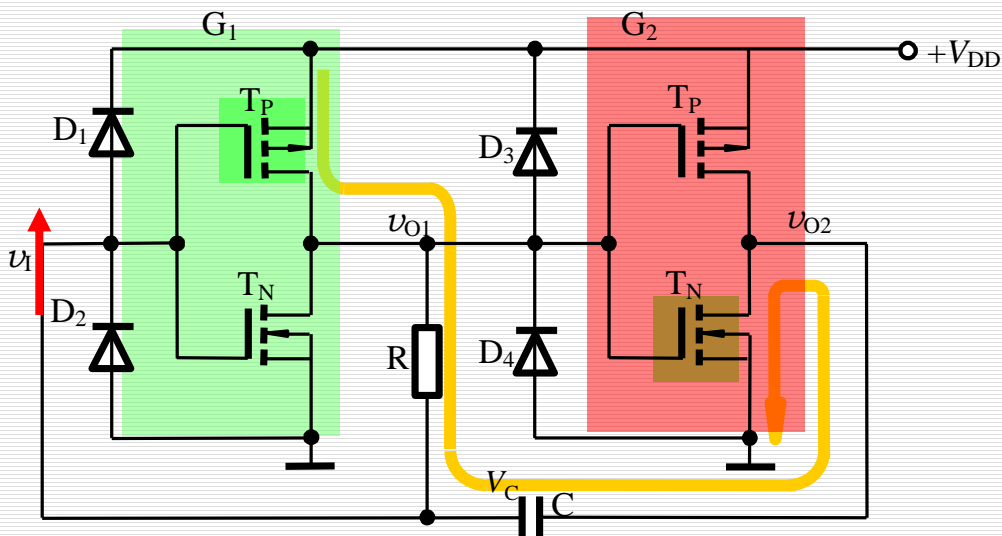
电容充电  $\longrightarrow v_C \uparrow \longrightarrow v_I \uparrow \longrightarrow$  当  $v_I = V_{th}$  时,



迅速使  $G_1$  导通、

$G_2$  截止、

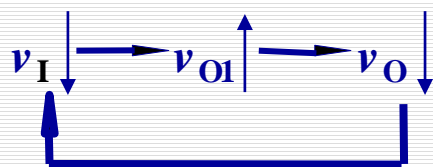
$v_{O1}=0$   $v_{O2}=1$  电路进入第二暂态



## 2. 工作原理

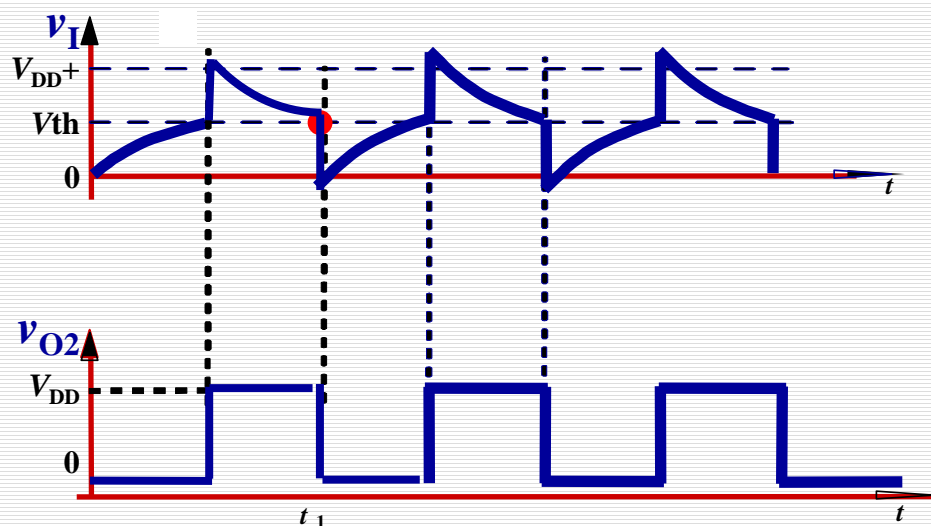
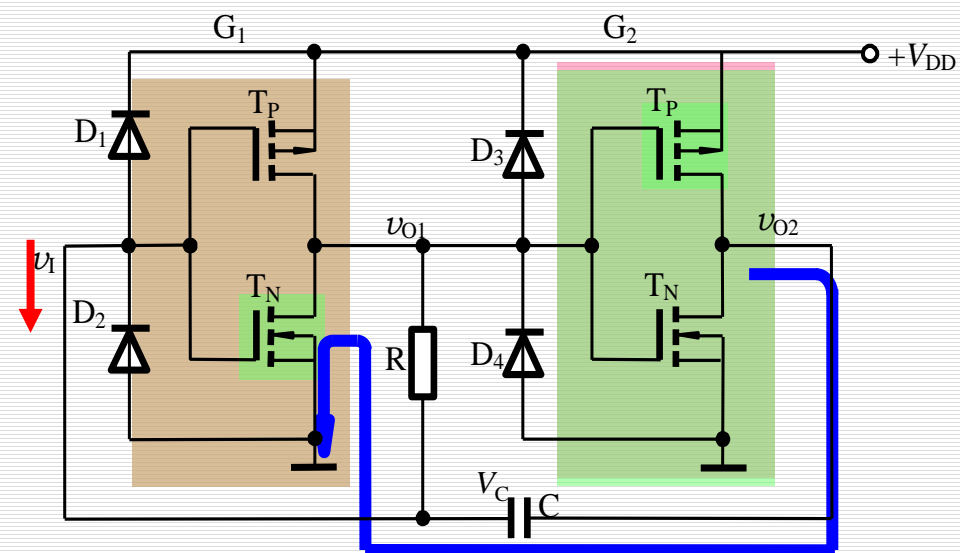
### (2) 第二暂稳态电容放电，电路自动翻转到第一暂稳态

电容放电  $\longrightarrow v_C \downarrow \longrightarrow v_I \downarrow \longrightarrow$  当  $v_I = V_{th}$  时,  $\longrightarrow$



$v_{O1} = 1$     $v_{O2} = 0$    电路返回第一暂稳态

$G_1$ 截止、    $G_2$ 导通、



### 3. 振荡周期的计算

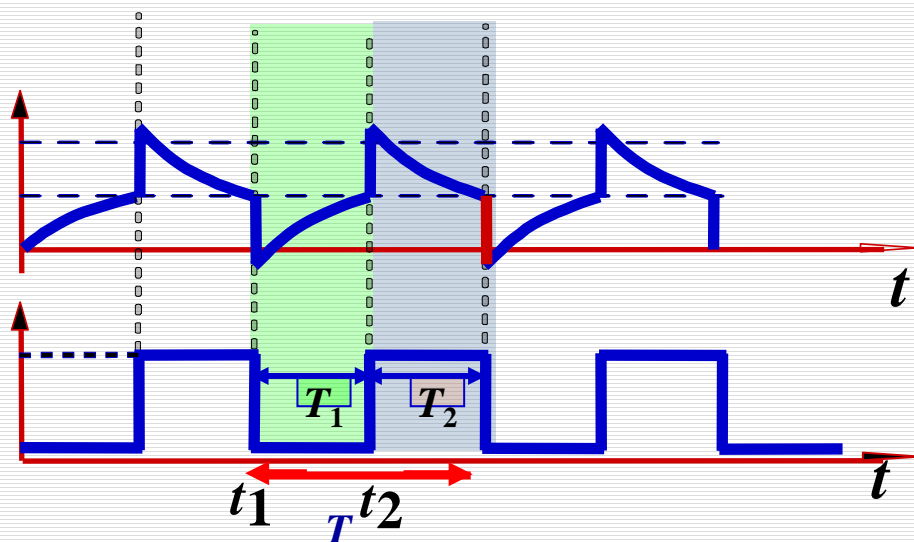
$$v(t) = v(\infty) + \left[ v(0^+) - v(\infty) \right] e^{-t/\tau} \quad t = \tau \ln \frac{v(0^+) - v(\infty)}{v(t) - v(\infty)}$$

$$T_1 = RC \ln \frac{V_{DD}}{V_{DD} - V_{th}}$$

$$T_2 = RC \ln \frac{V_{DD}}{V_{th}}$$

$$T = T_1 + T_2 = RC \ln \left[ \frac{V_{DD}^2}{(V_{DD} - V_{th}) \cdot V_{th}} \right]$$

$$T = RC \ln 4 \approx 1.4RC$$



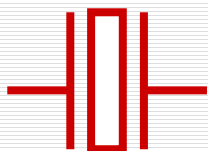
由门电路组成的多谐振荡器的振荡周期 $T$ 取决于 $R$ 、 $C$ 电路和 $V_{th}$ ，频率稳定性较差。



## 9.3.3 石英晶体振荡器

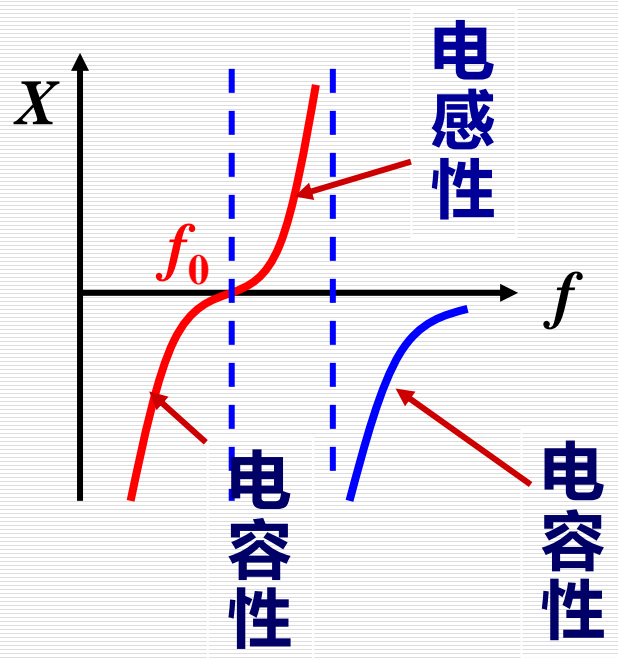
### 1、石英晶体电路符号和选频特性

电路符号

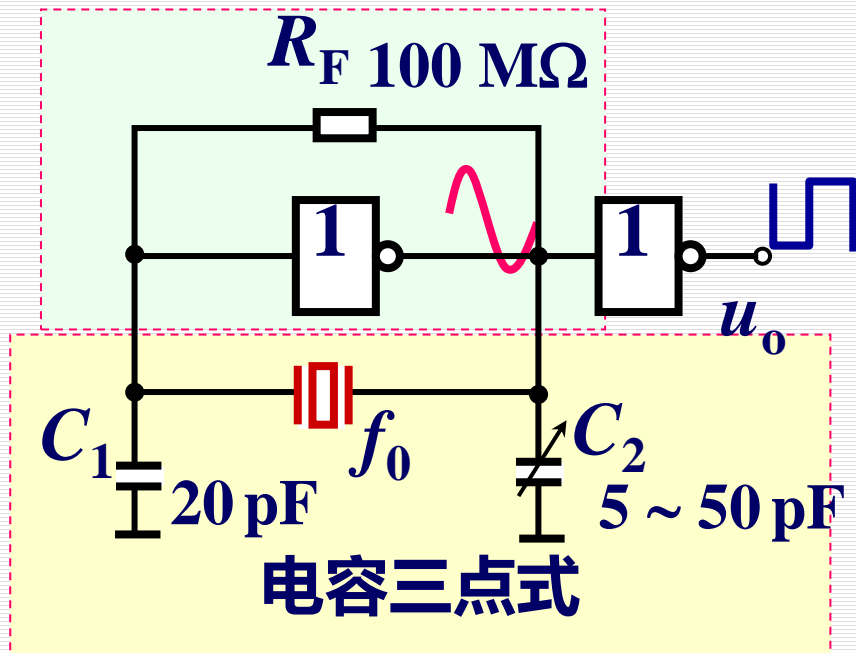


当  $f = f_0$  时,电抗  $X = 0$

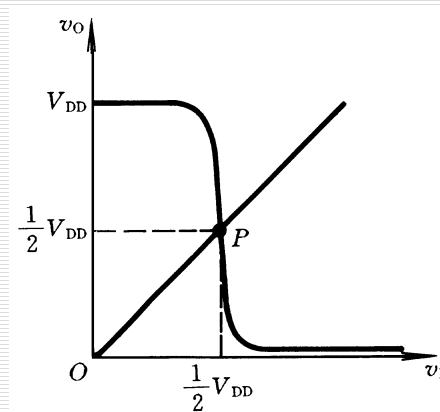
阻抗频率特性



## 2. CMOS 石英晶体多谐振荡器



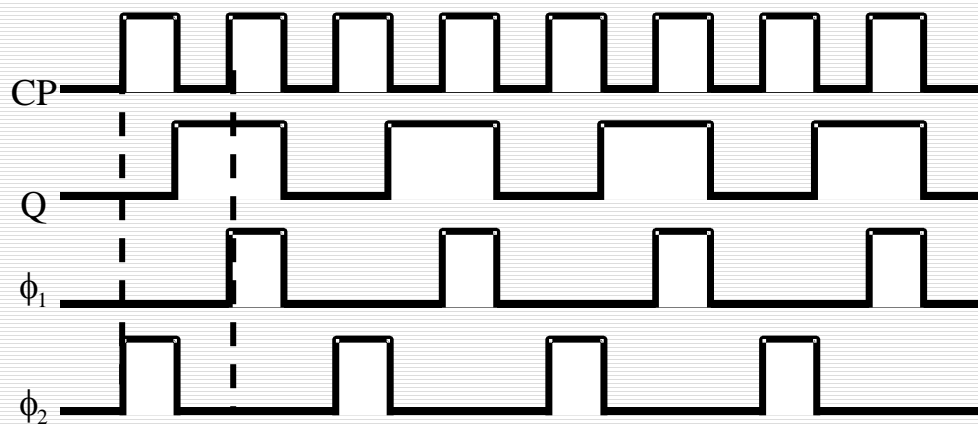
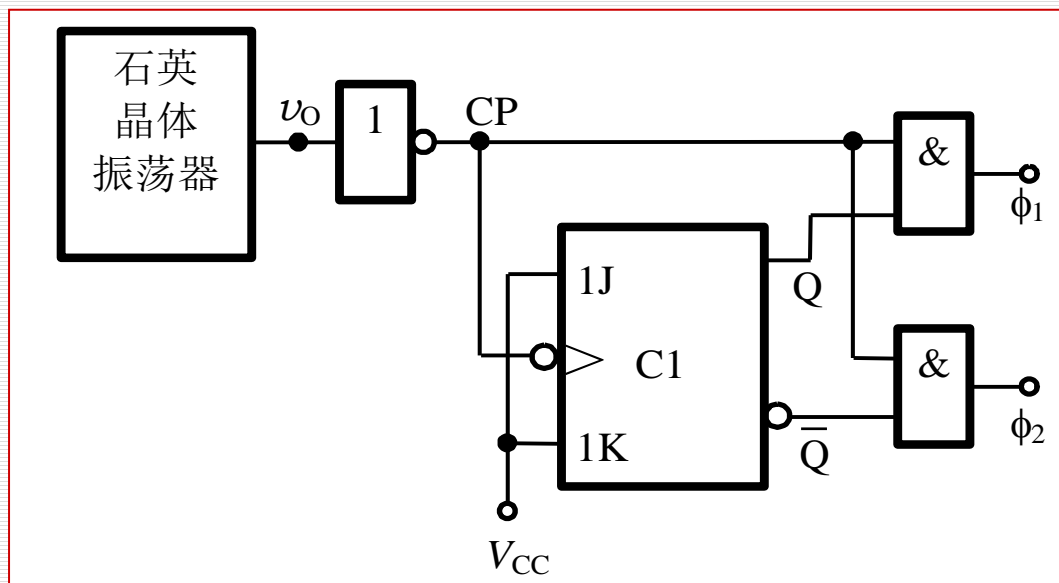
CMOS 反相器静态时  
工作在转折区



1. 偏置电阻 $R_F$ , 保证 CMOS 反相器静态工作在转折区 (放大)
2. 石英晶体  $X = 0$ , 回路构成正反馈;
3.  $C_1$ 、 $C_2$  为耦合电容, 可不要。

优点: 振荡频率稳定 (稳定度可达 $10^{-10}$ )、精度高。

# 双相脉冲产生电路



## 9.4 555定时器及其应用

---

### 9.4.1 555定时器

### 9.4.2 用555组成施密特触发器

### 9.4.3 用555组成单稳态触发器

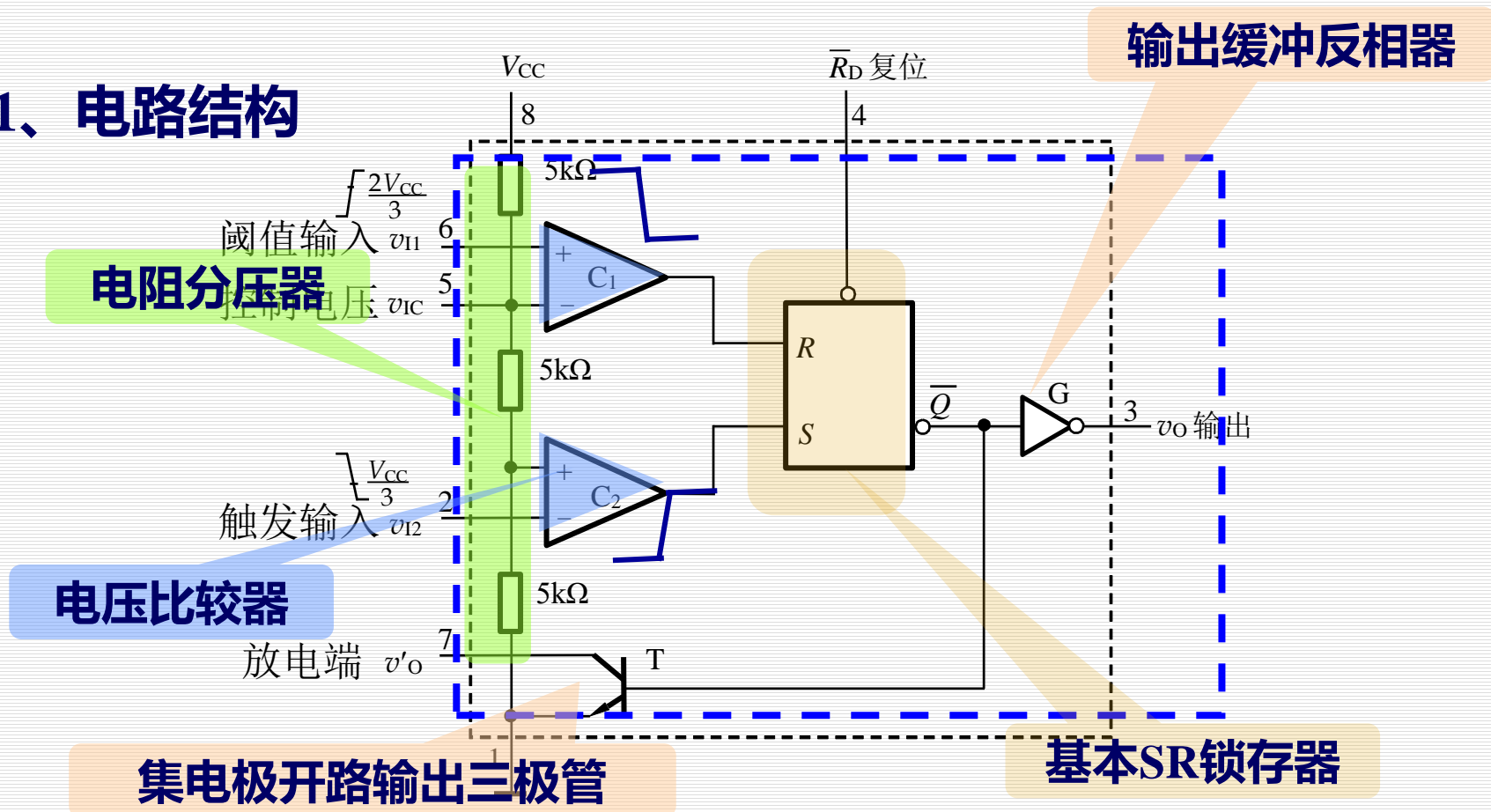
### 9.4.4 用555组成多谐振荡器

## 9.4 555定时器及其应用

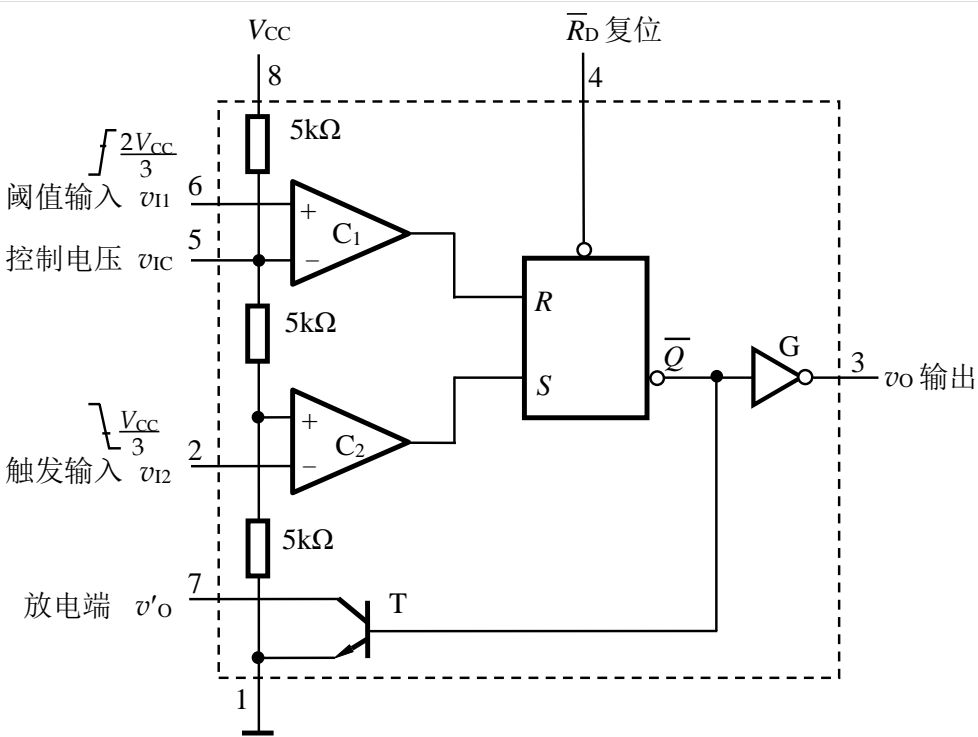
### 9.4.1 555定时器

555定时器是一种应用方便的中规模集成电路, 广泛用于信号的产生、变换、控制与检测。有双极性和CMOS 之分。

#### 1、电路结构



# 2、工作原理

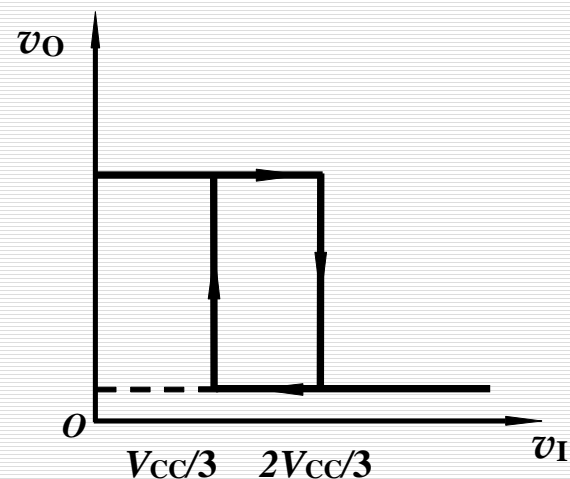
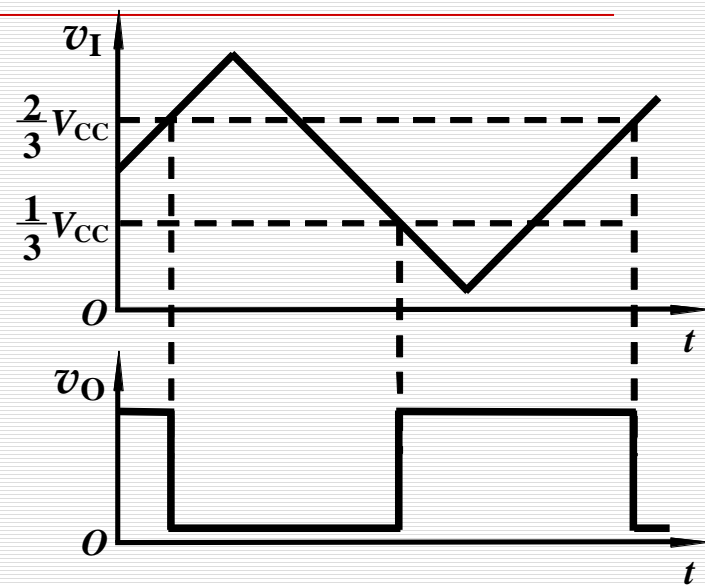
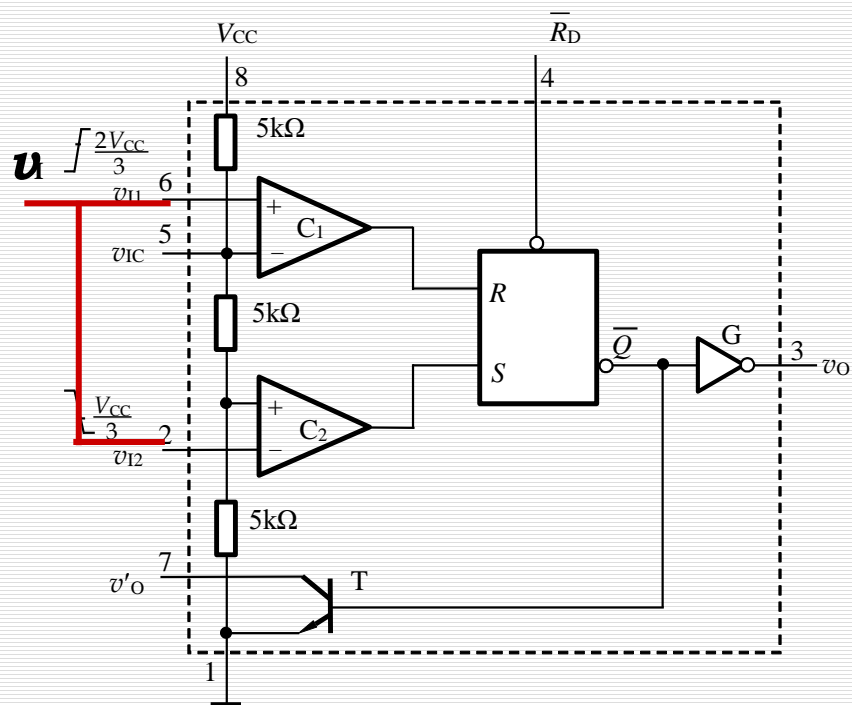


输 入			输 出	
阈值输入 ( $V_{I1}$ )	触发输入 ( $V_{I2}$ )	复位( $\overline{R}_D$ )	输出 ( $V_O$ )	放电 管T
×	×	0	0	导通
$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$< \frac{1}{3}V_{CC}$	1	1	截止
$> \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	1	0	导通
$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	1	不变	不变

### 3、555定时器功能表

输 入			输 出	
阈值输入 ( $V_{I1}$ )	触发输入 ( $V_{I2}$ )	复位( $\overline{R_D}$ )	输出 ( $V_O$ )	放电管 T
×	×	0	0	导通
$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$< \frac{1}{3}V_{CC}$	1	1	截止
$> \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	1	0	导通
$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	1	不变	不变

## 9.4.2 用555组成施密特触发电路

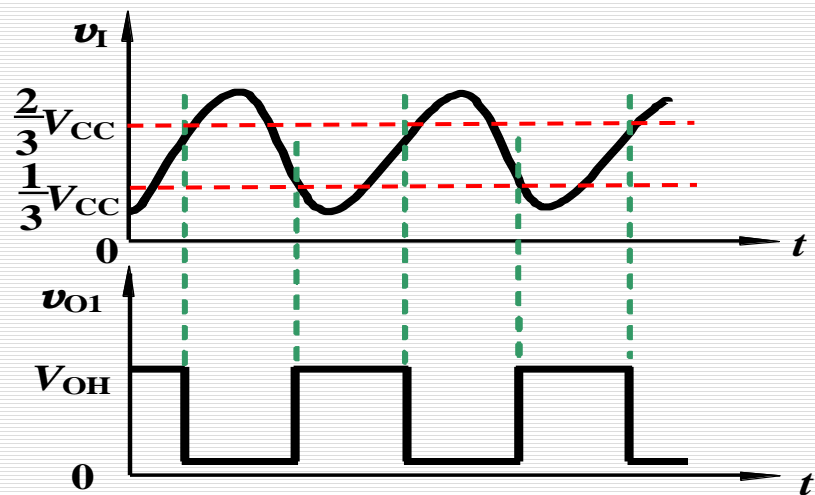
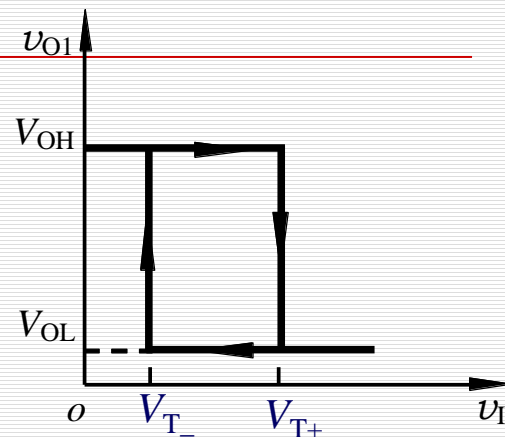
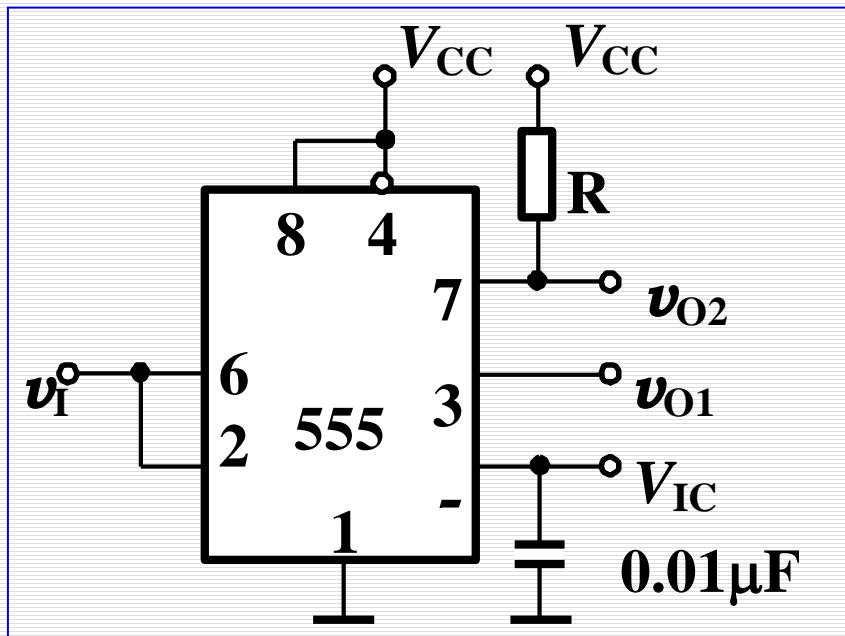


如何改变电路的阈值电压和回差电压？



# 施密特触发电路的应用

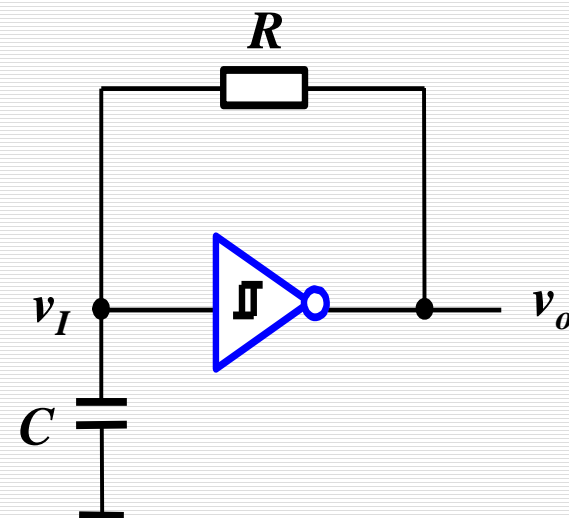
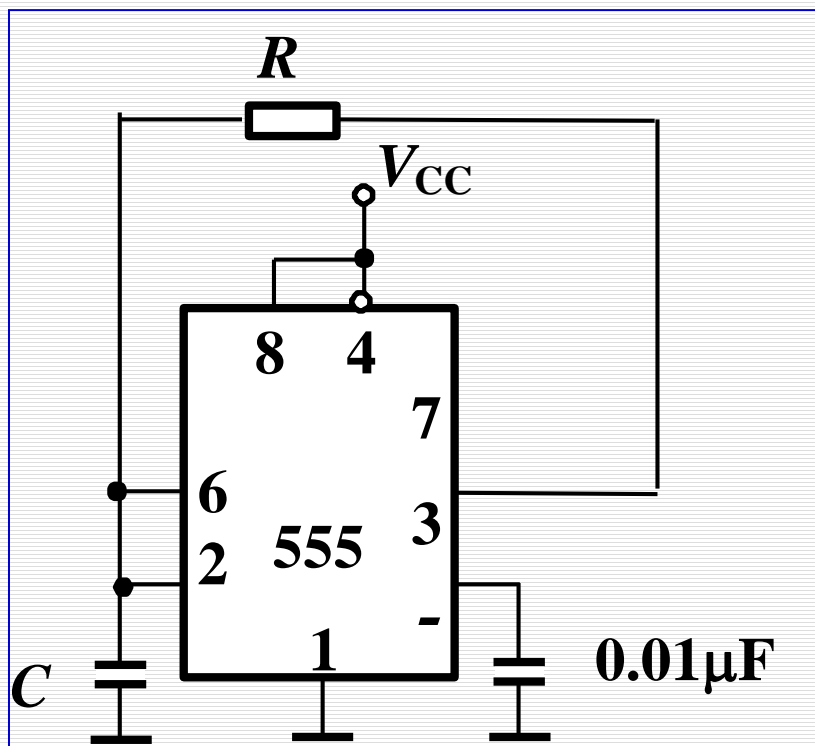
## ① 波形变换

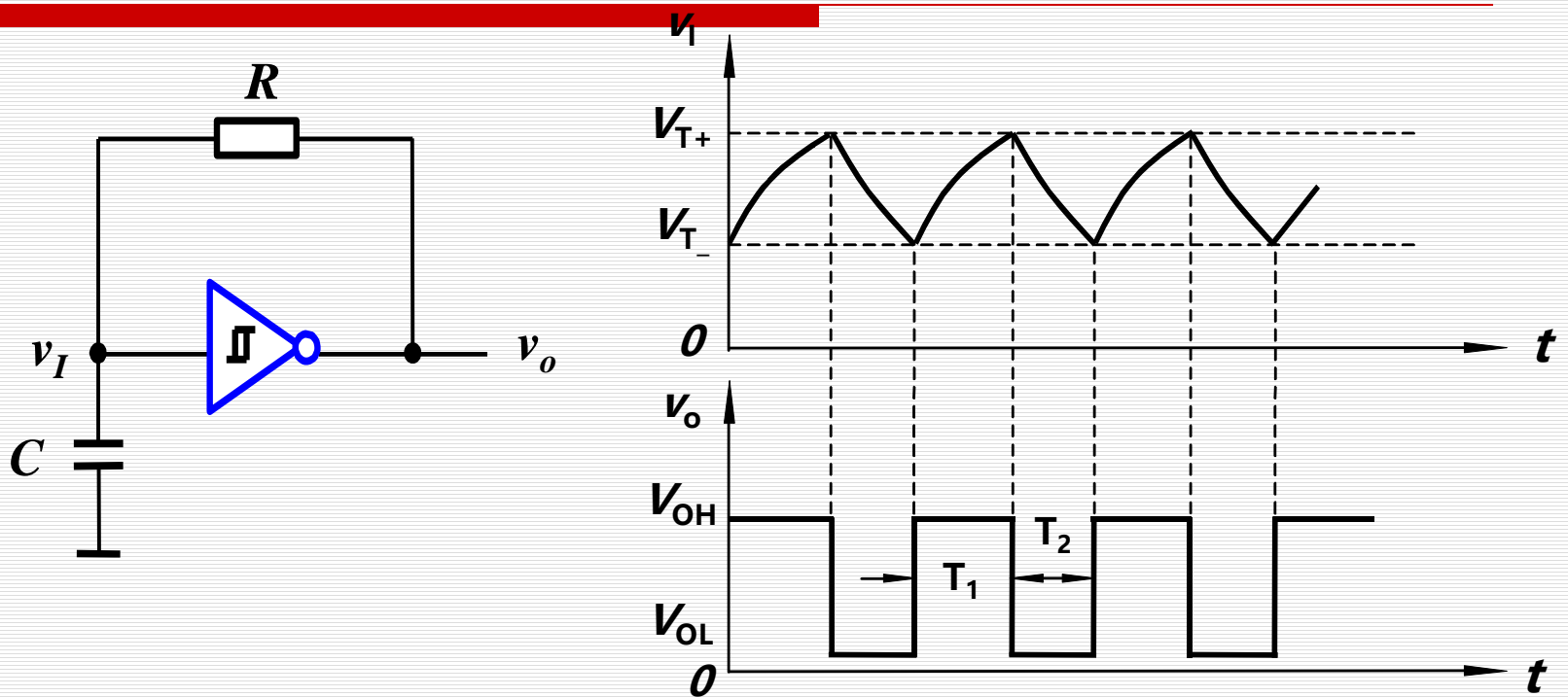


电路的频率可变? 占空比可变?

如何改变占空比? 回差电压减小, 占空比如何变化?

## ② 波形产生电路(多谐振荡电路)



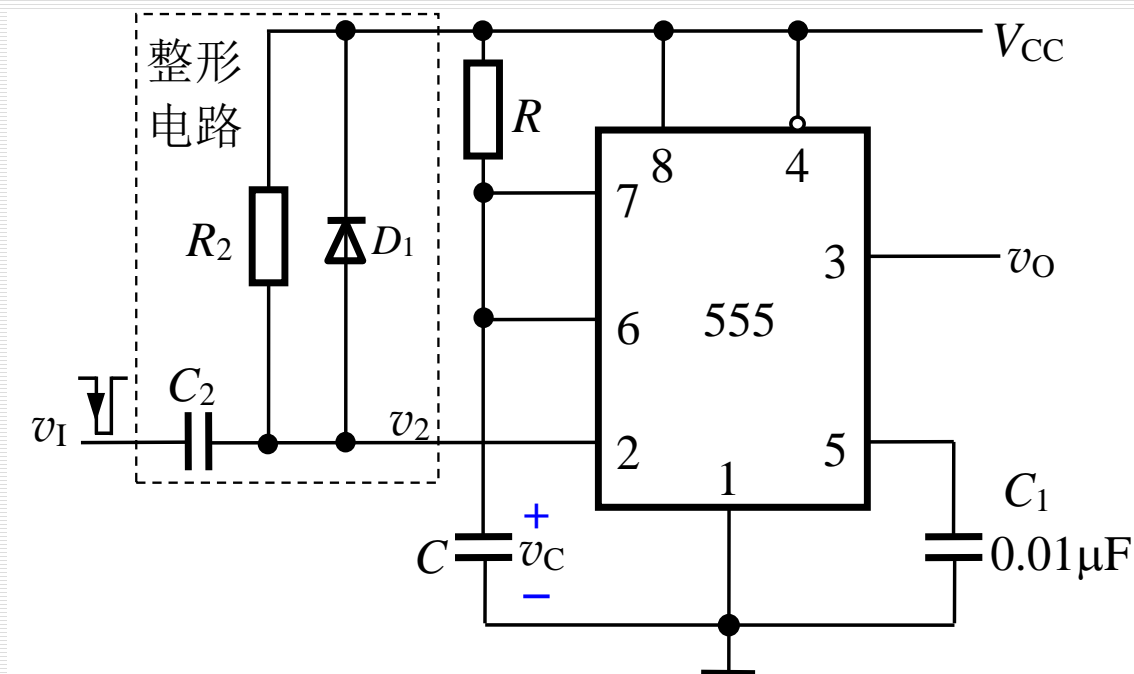


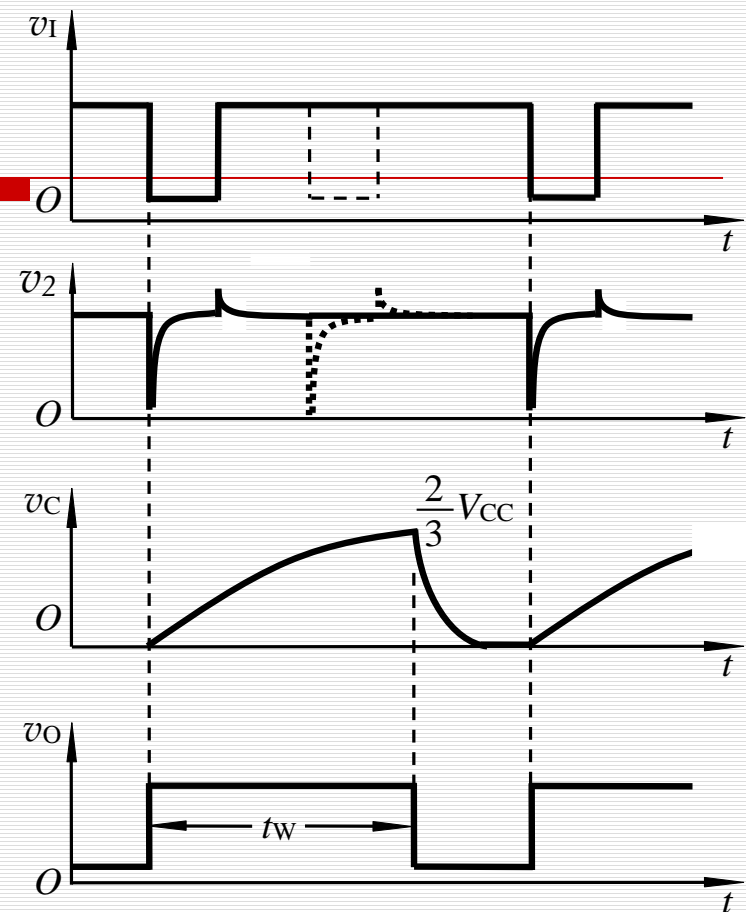
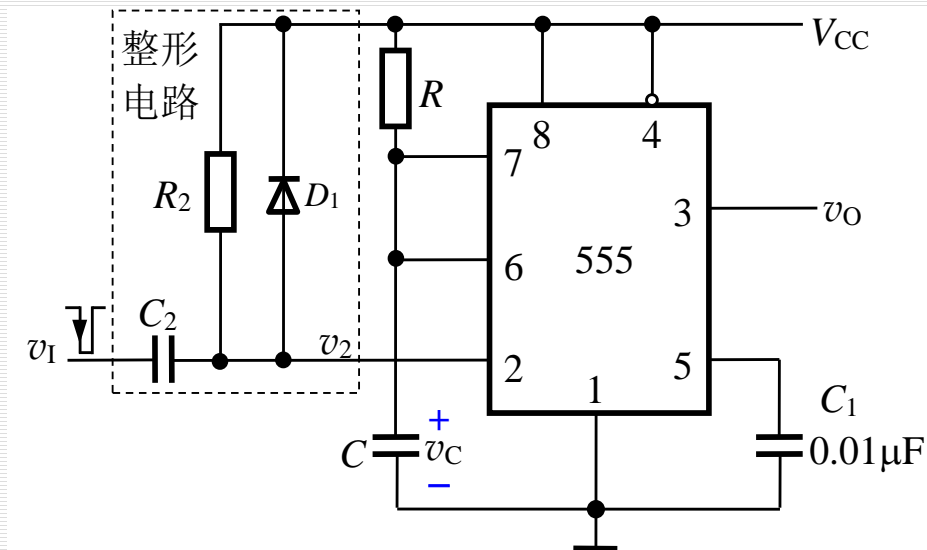
$$T = T_1 + T_2$$

$$= RC \ln \frac{V_{DD} - V_{T-}}{V_{DD} - V_{T+}} + RC \ln \frac{V_{T+}}{V_{T-}} = RC \ln \left( \frac{V_{DD} - V_{T-}}{V_{DD} - V_{T+}} \cdot \frac{V_{T+}}{V_{T-}} \right)$$

## 9.4.3 用555组成单稳态电路

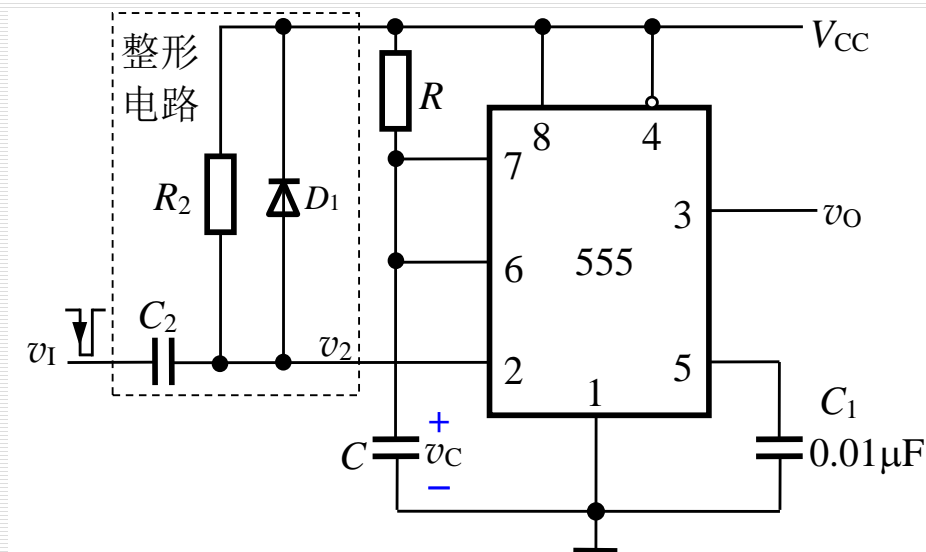
### 1、电路





- ①没有触发信号时( $v_I > \frac{1}{3} V_{CC}$ )电路处于稳态, 输出为0
- ②外加触发信号, 电路转换到暂态, 输出为1
- ③触发信号消除后, 电容充电电路自动转换到稳态输出为0

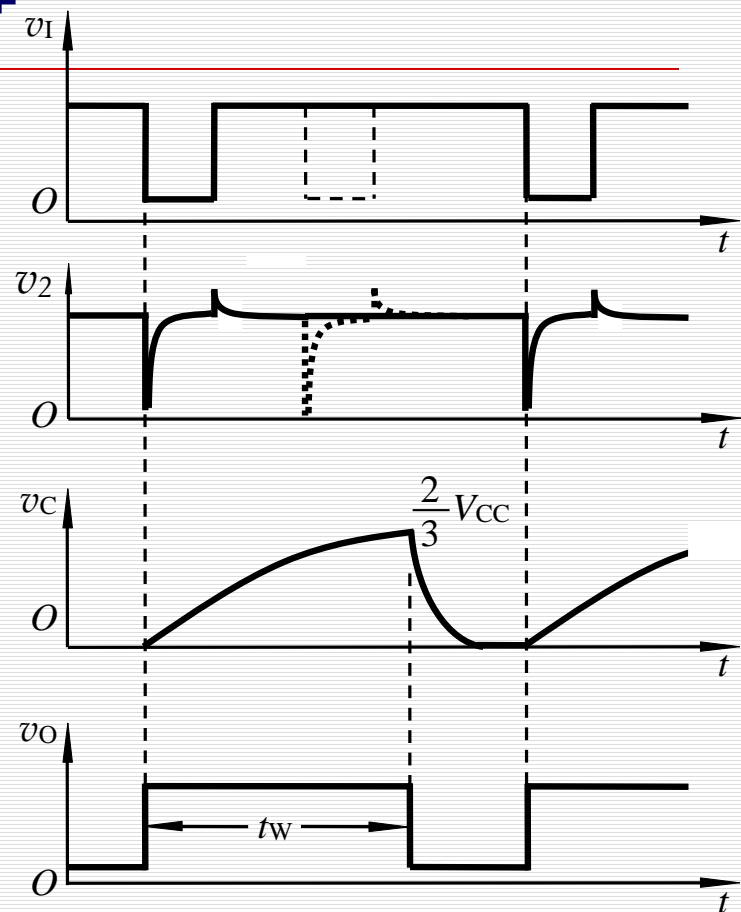
## ④工作波形及输出脉宽的计算



$$t_w = RC \ln 3 \approx 1.1RC$$

电路是可重复触发的单稳?

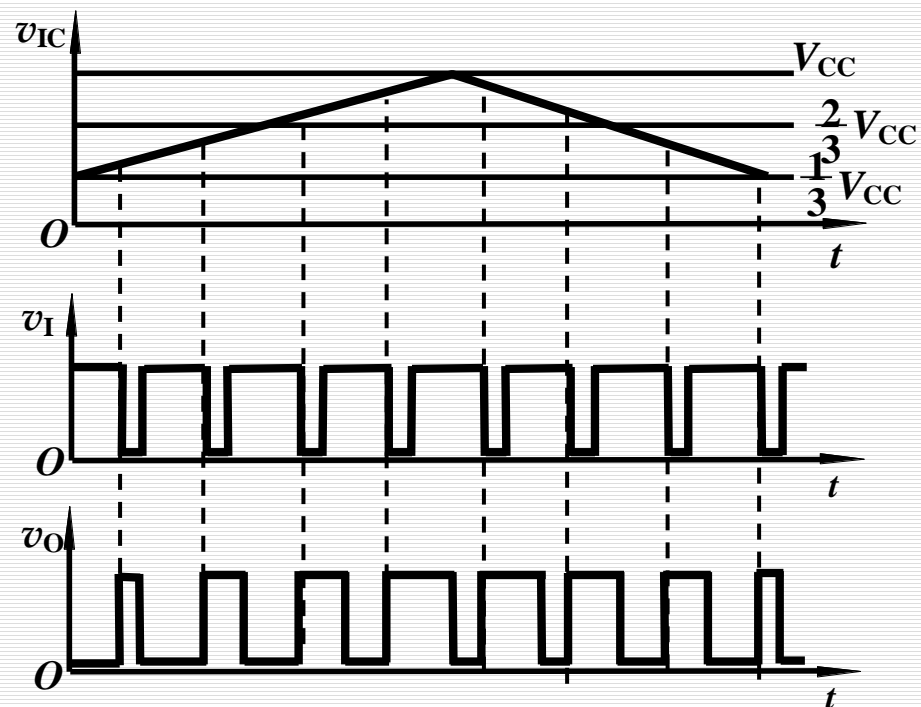
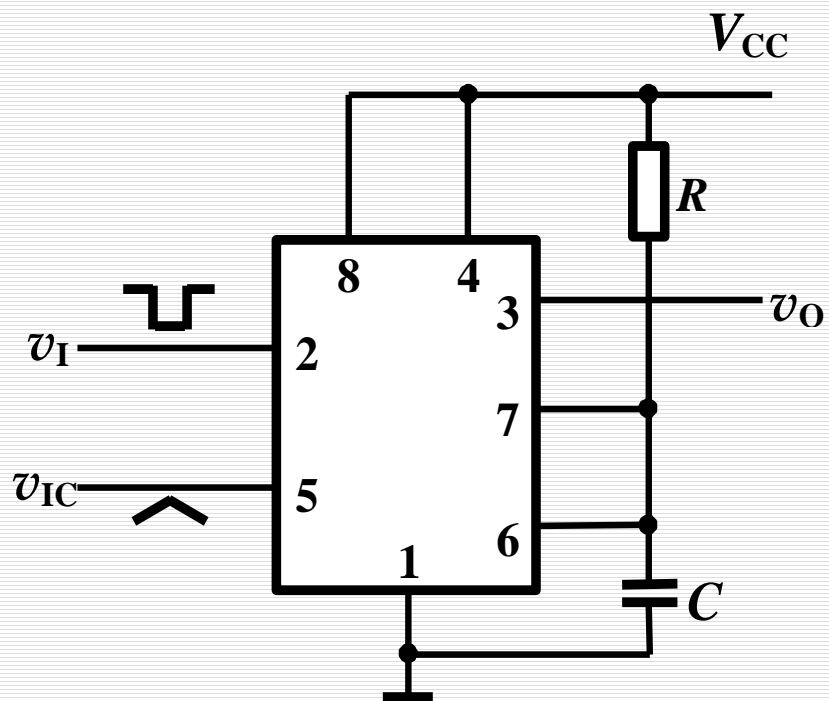
如将5脚接电压 $V$ ,电路的脉宽会改变吗? $V$ 增加,脉宽如何改变?减小?



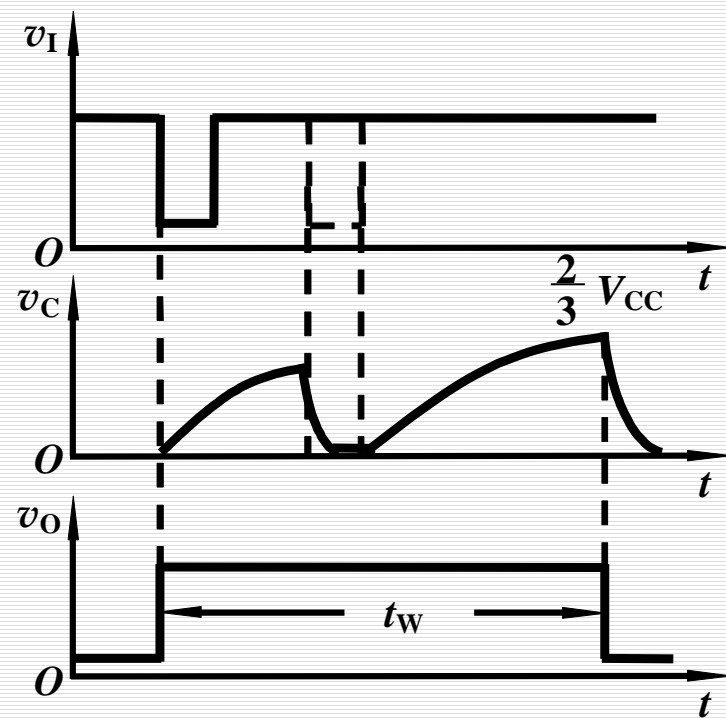
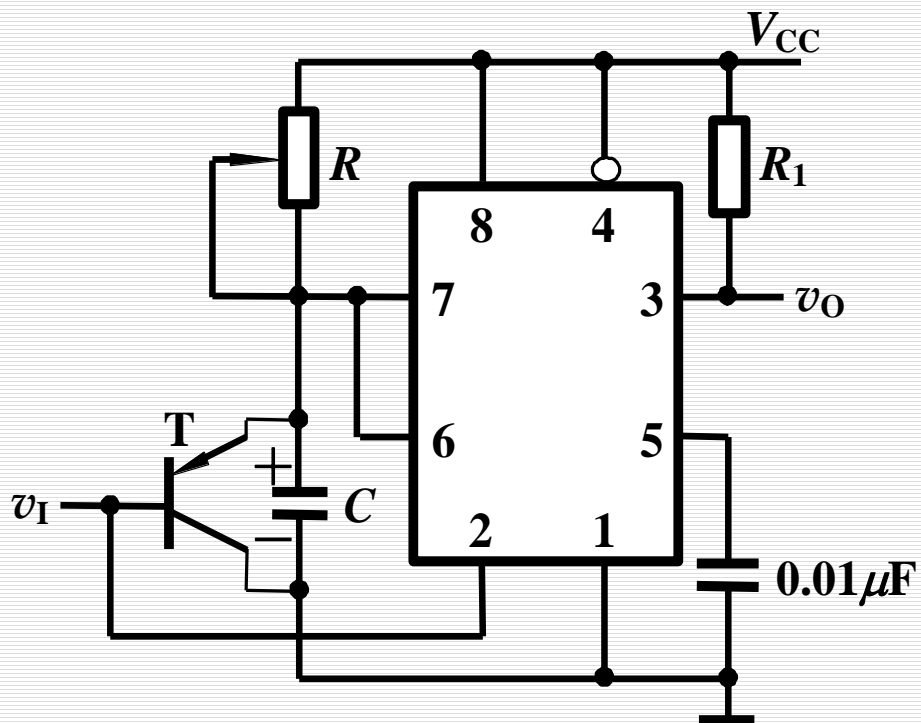
# 555组成的单稳态的应用:

## ①脉冲宽度调制器

## 工作波形



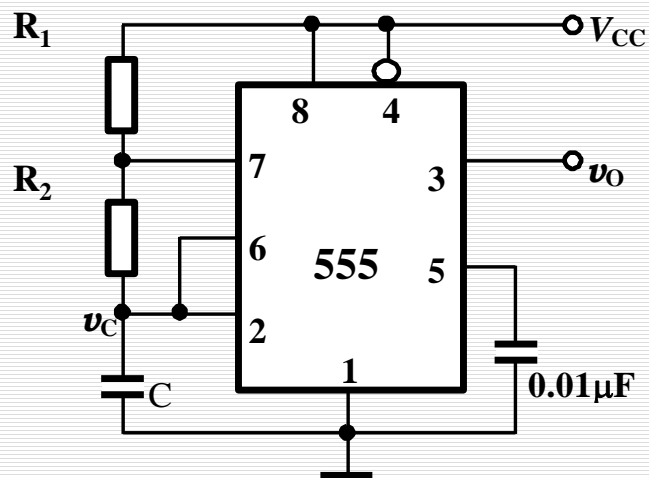
## ② 用555组成可重复触发单稳





## 9.4.4 用555组成多谐振荡电路

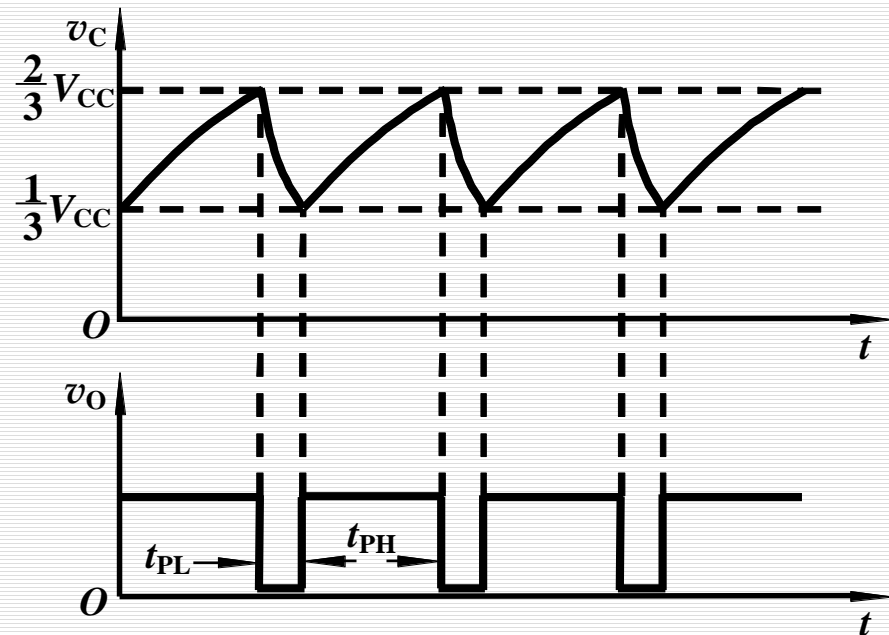
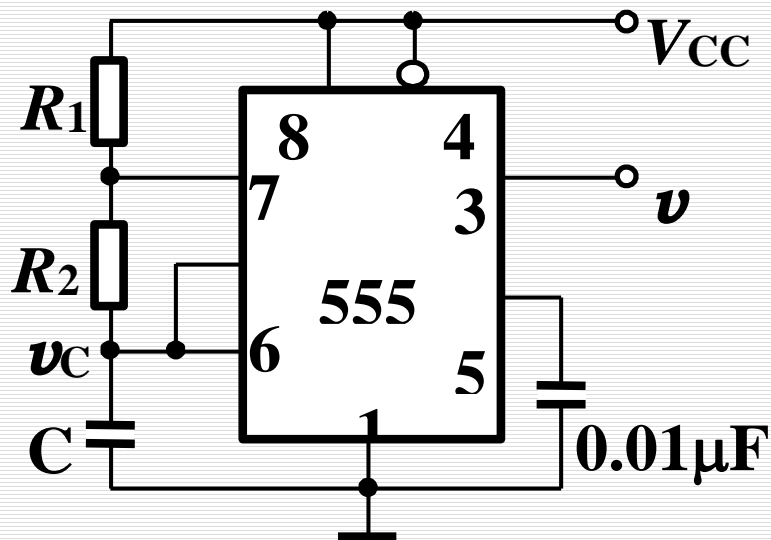
### 1、电路组成



### 2、工作原理

- 1) 电路第一暂态，输出为1。电容充电，电路转换到第二暂态,输出为0
- 2) 电路第二暂稳态，电容放电，电路转换到第一暂态

### 3、工作波形与振荡频率计算

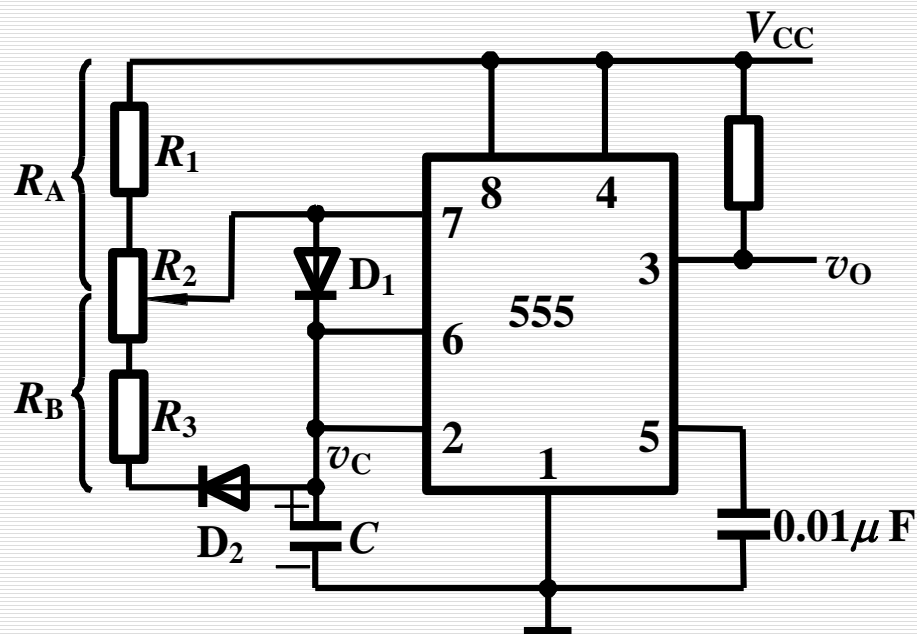


$$t_{\text{PL}} = R_2 C \ln 2 \approx 0.7 R_2 C$$

$$f = \frac{1}{t_{\text{PL}} + t_{\text{PH}}} \approx \frac{1.43}{(R_1 + 2R_2)C}$$

$$t_{\text{pH}} = (R_1 + R_2) C \ln 2 \approx 0.7 (R_1 + R_2) C$$

## 4、用555定时器组成占空比可调的调多谐振荡器



$$t_{\text{pH}} = R_A C \ln 2 \approx 0.7 R_A C$$

$$t_{\text{pL}} = R_B C \ln 2 \approx 0.7 R_B C$$

$$f = \frac{1}{t_{\text{pH}} + t_{\text{pL}}} \approx \frac{1.43}{(R_A + R_B)C}$$

$$q(\%) = \frac{R_A}{R_A + R_B} \times 100\%$$