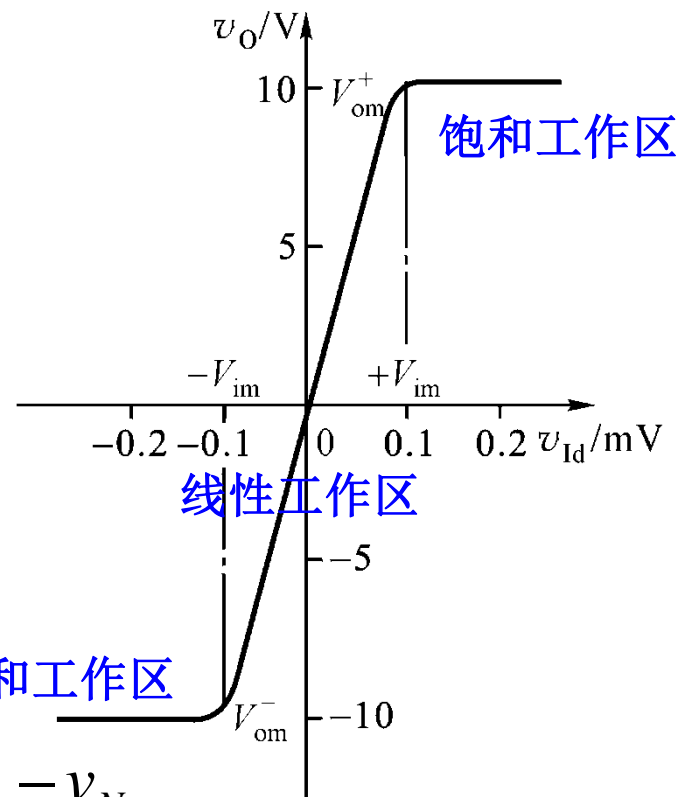
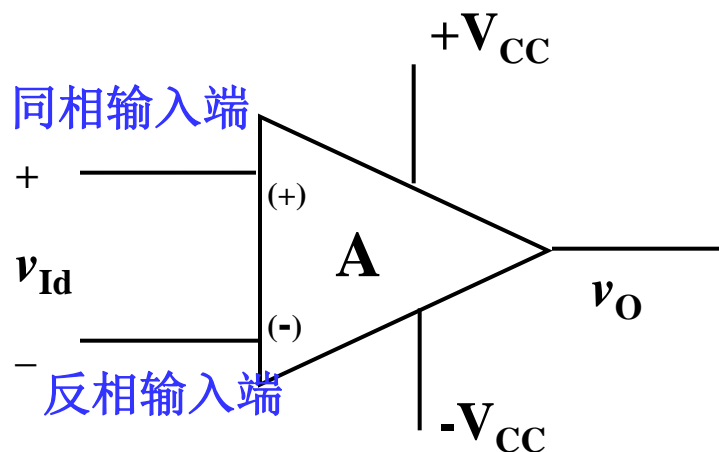


# 第5章 数字信号的产生

# 集成运算放大器

## 运放的电压传输特性

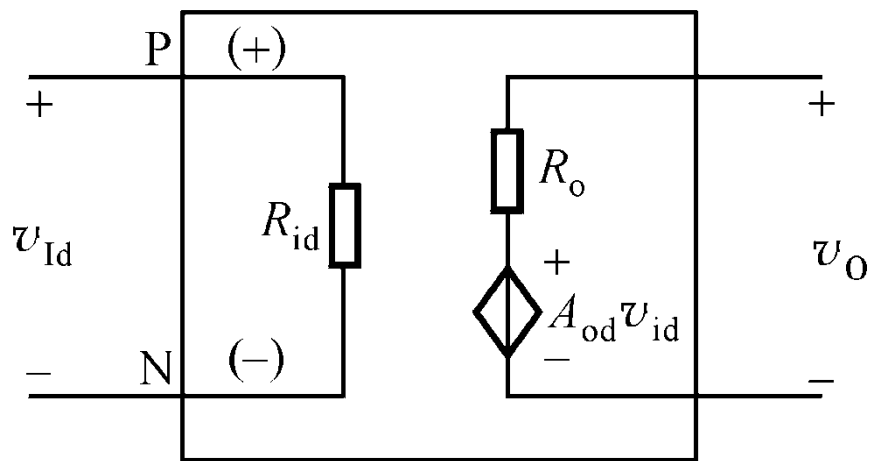


在线性工作区

$$A_{od} = \frac{v_O}{v_{Id}}$$

$$v_{Id} = v_P - v_N$$

# 运放的低频模型:



## 理想运算放大器:

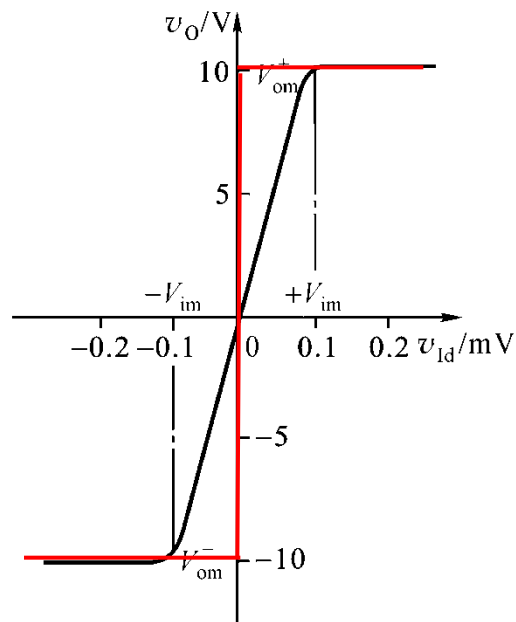
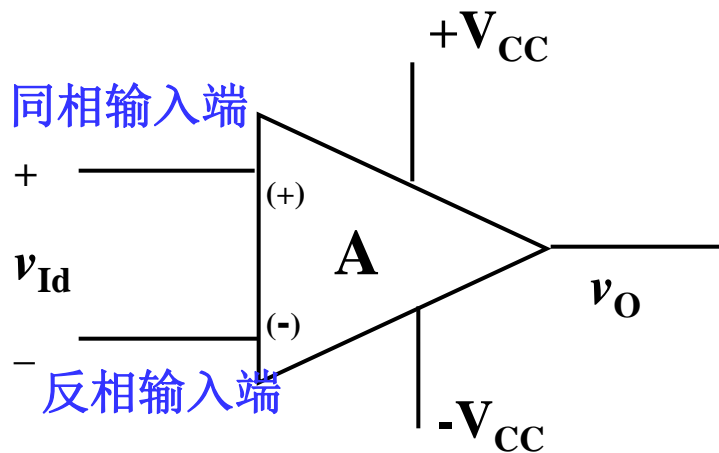
$$\mathbf{R_i} \longrightarrow \infty$$

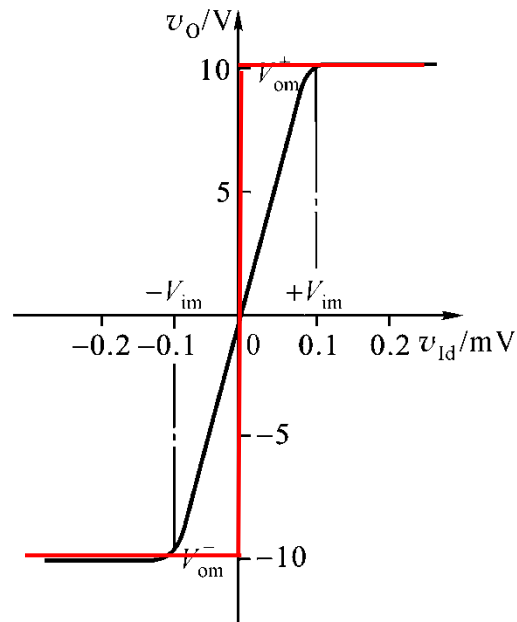
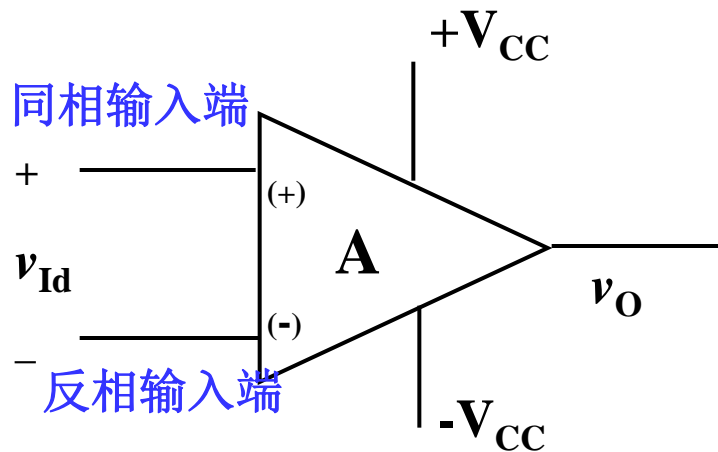
$$\mathbf{R_o} \longrightarrow 0$$

$$\mathbf{A_{od}} \longrightarrow \infty$$

$\mathbf{R_i}$ -----输入阻抗 ( $10^6$ — $10^8 \Omega$ )

$\mathbf{R_o}$ -----输出阻抗 ( $100 \Omega$ )





因为理想运放的  $A_{od}$  很大，最大输出电压  $V_{om}$  受电源电压限制，线性工作范围内， $v_{Id} \approx 0$ ；称为“虚短”

又因为理想运放的输入电阻  $R_{id}$  很大，所以输入电流  $I_{id} \approx 0$ ；称为“虚断”

# 4.1.1 电压比较器

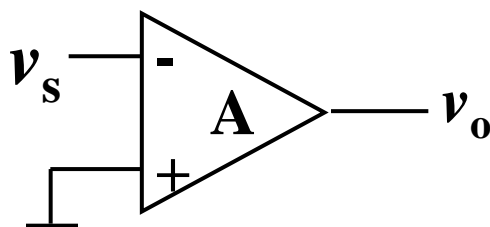
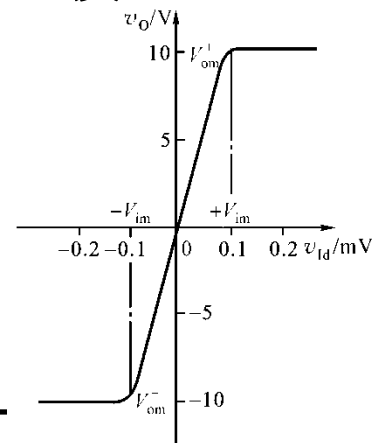
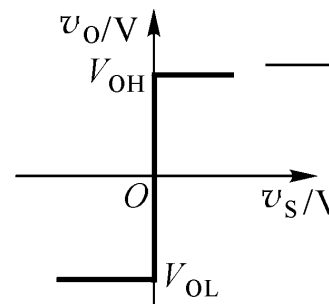
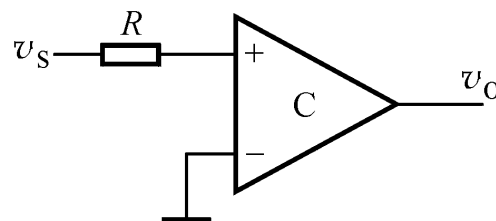
电压比较器是指一种将输入信号与已知参考电压进行比较，并用输出电平的高、低来表示比较结果的功能电路。

## 一、基本比较器

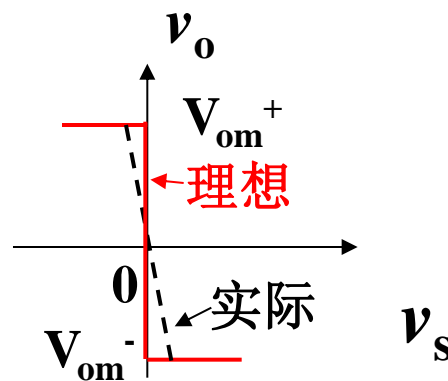
利用运放的开环特性

### ➤ 过零比较器

同相过零比较器

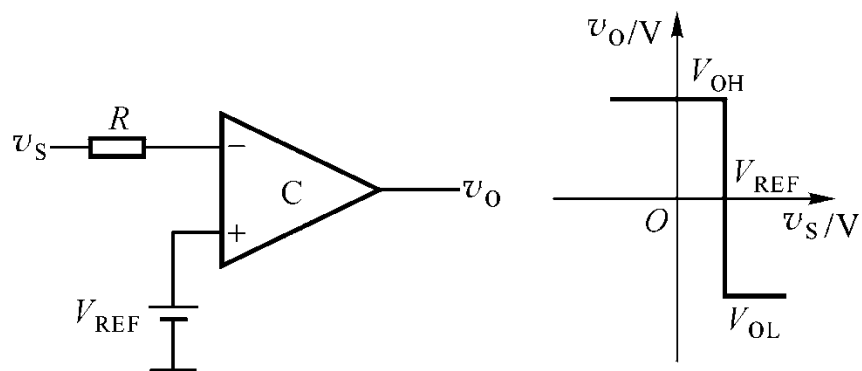


反相过零比较器

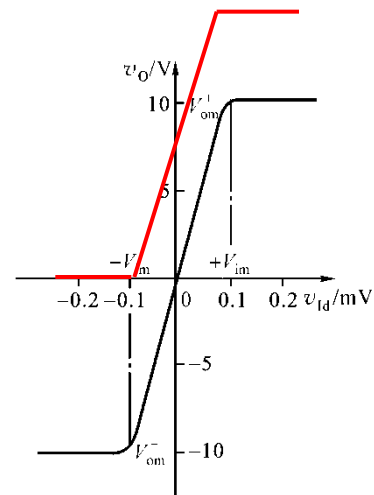
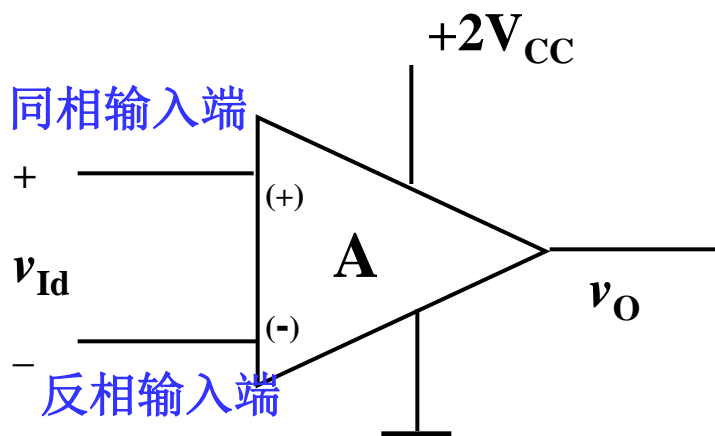


同相端电压大于反相端电压，  
输出高电平；

同相端电压小于反相端电压，  
输出低电平



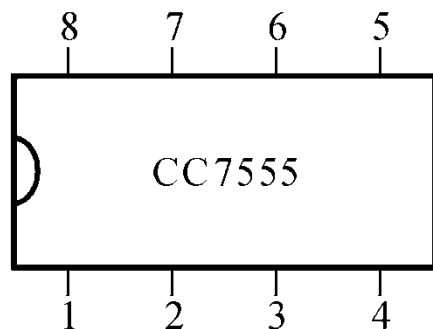
## 单门限比较器



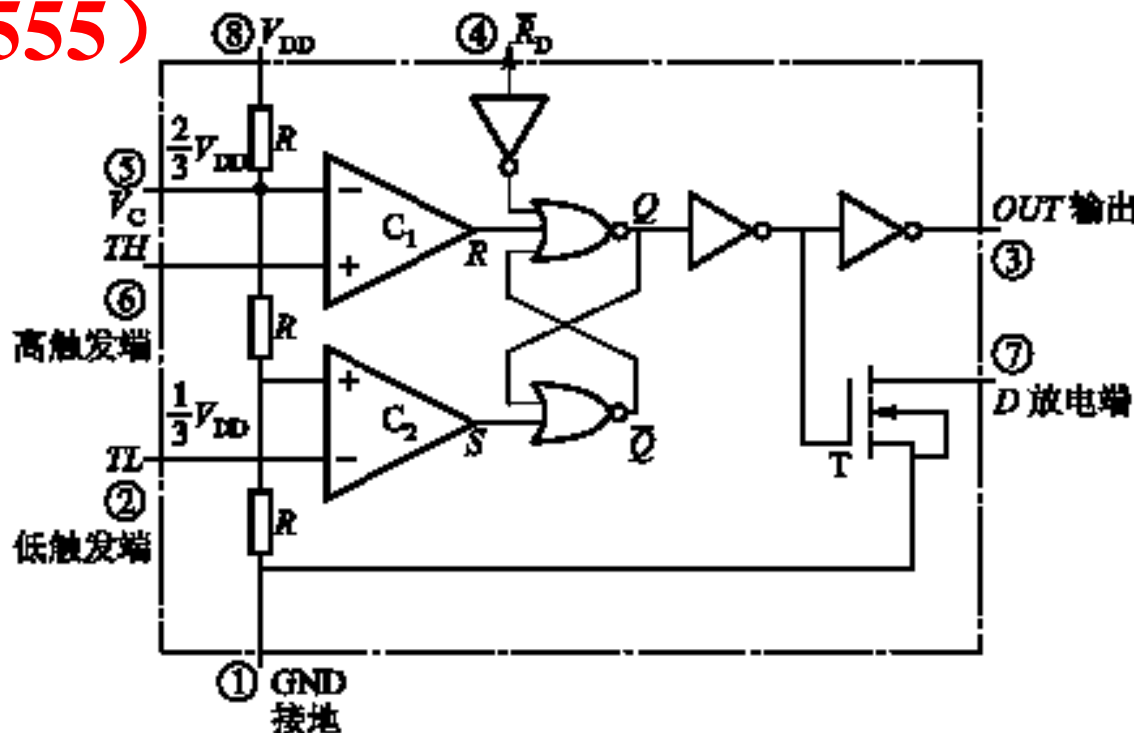
### 三、555集成定时器构成的波形发生器

555是由模拟和数字电路巧妙结合在一起后形成的单片集成电路。由于设计思路的独特，该集成电路广泛地用在脉冲的产生、整形、定时和延时等方面。

#### 1. 电路组成 (CC7555)



8只引脚封装，控制信号主要由高触发端 $V_{TH}$ 和低触发端 $V_{TL}$ 加入。

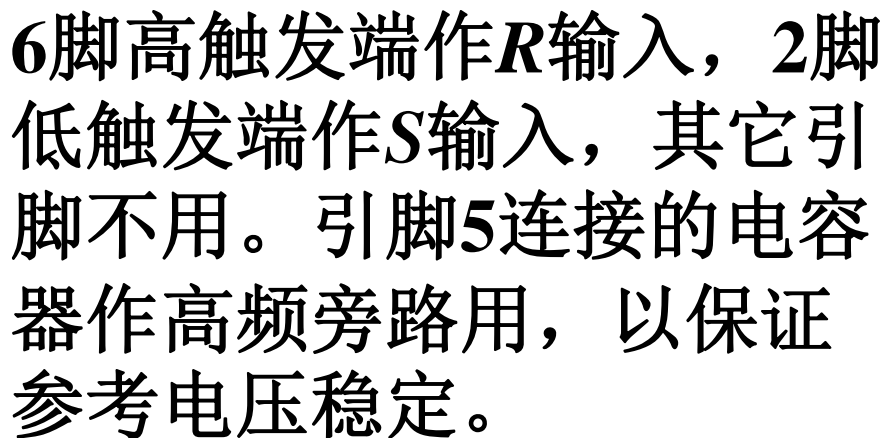




R	S	Q
0	0	保持
0	1	1
1	0	0
1	1	禁用

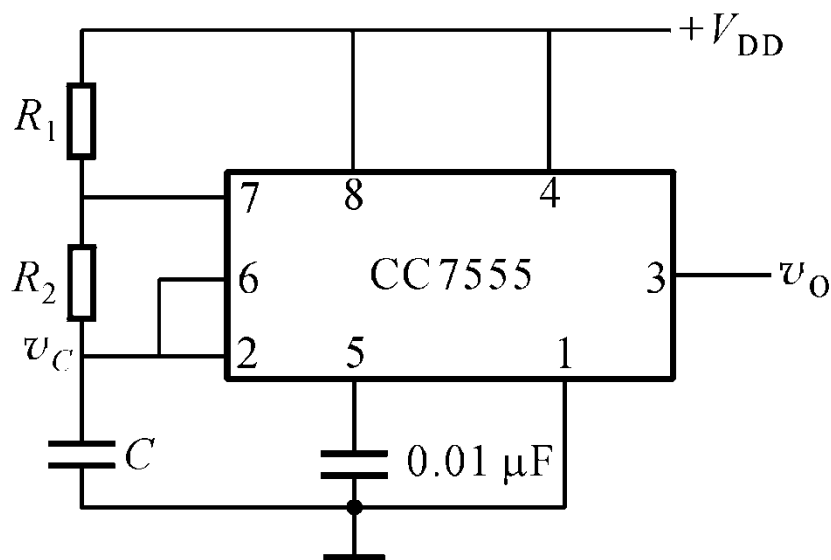


## ➤ 构成基本RS触发器



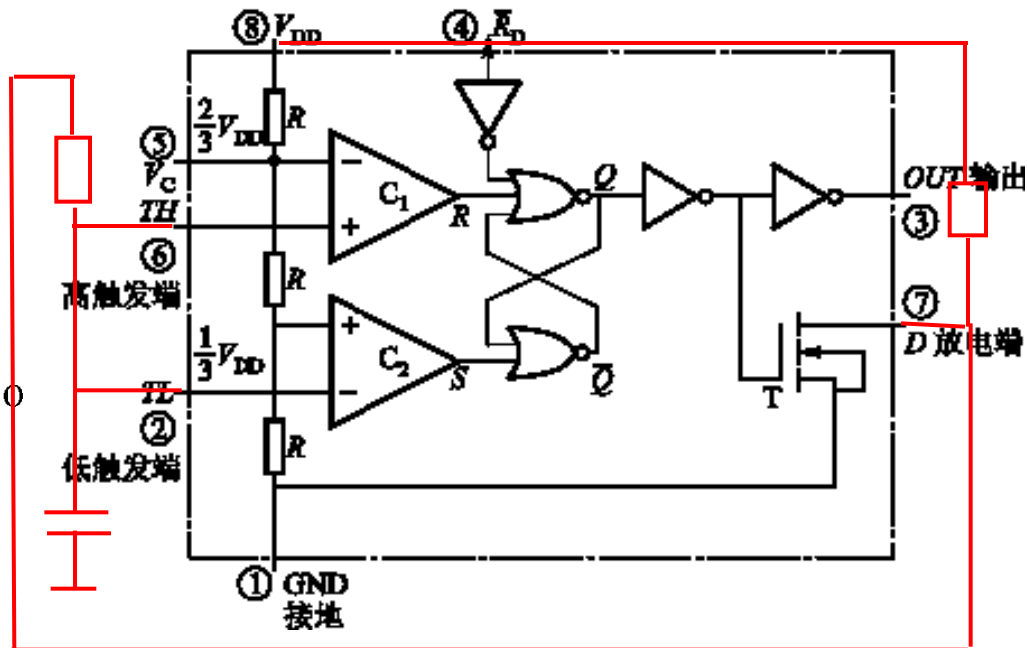
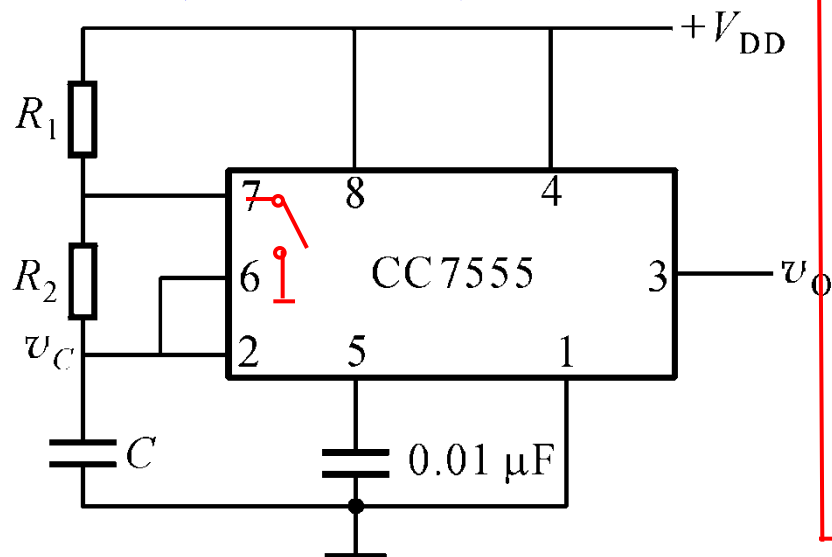
## ➤ 构成多谐振荡器

多谐振荡器的工作特点：只要一合上电源，电路的输出就能在输出高电平和输出低电平两个状态间进行自动的转换，产生前后沿都很陡的矩形波。



$R_1$ 、 $R_2$ 、 $C$ 是电路中的定时元件

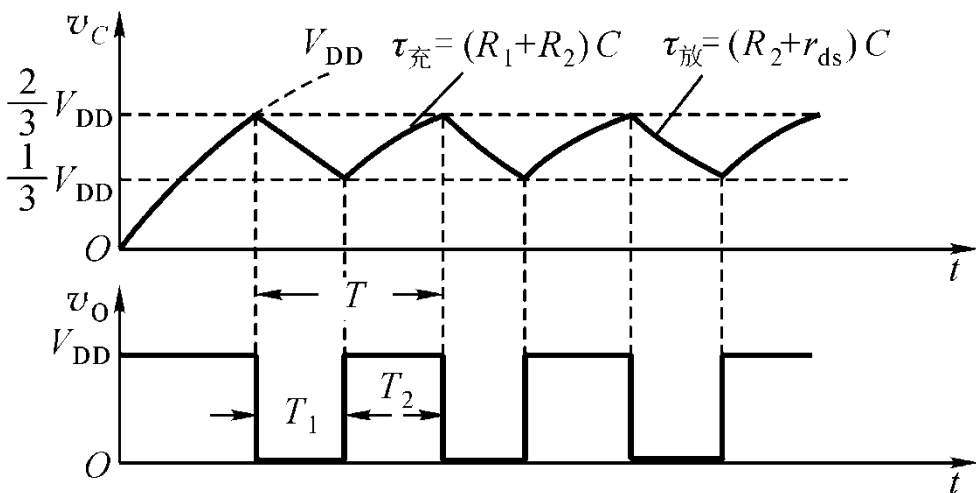
## ■ 电路的振荡过程:



假设合上电源时，电容初始电压为0，引脚2、6都为0，输出为高电平，放电管截止。

C充电，引脚2、6电压升高，当升到 $2V_{DD}/3$ 后，电路输出变为低电平，放电管导通。C上电压通过 $R_2 \rightarrow$ 放电管而放电。

当放至 $V_{DD}/3$ 时，电路输出又变为高电平。



## ■ 振荡周期计算

$$f(t) = f_p(t) + [f(0_+) - f_p(0_+)]e^{-\frac{t}{\tau}}$$

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

一阶电路的  
三要素公式

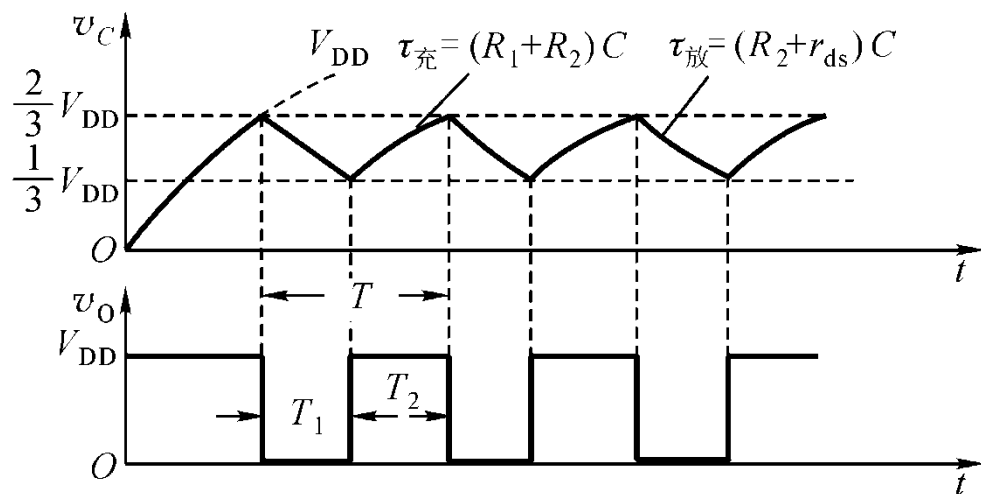
$$t = \tau \ln \frac{v_C(\infty) - v_C(0^+)}{v_C(\infty) - v_C(t)}$$

$$T = T_1 + T_2 = R_2 C \ln \frac{0 - \frac{2}{3}V_{DD}}{0 - \frac{1}{3}V_{DD}} + (R_1 + R_2)C \ln \frac{V_{DD} - \frac{1}{3}V_{DD}}{V_{DD} - \frac{2}{3}V_{DD}}$$

$$= (R_1 + 2R_2)C \ln 2$$

## ■ 占空比

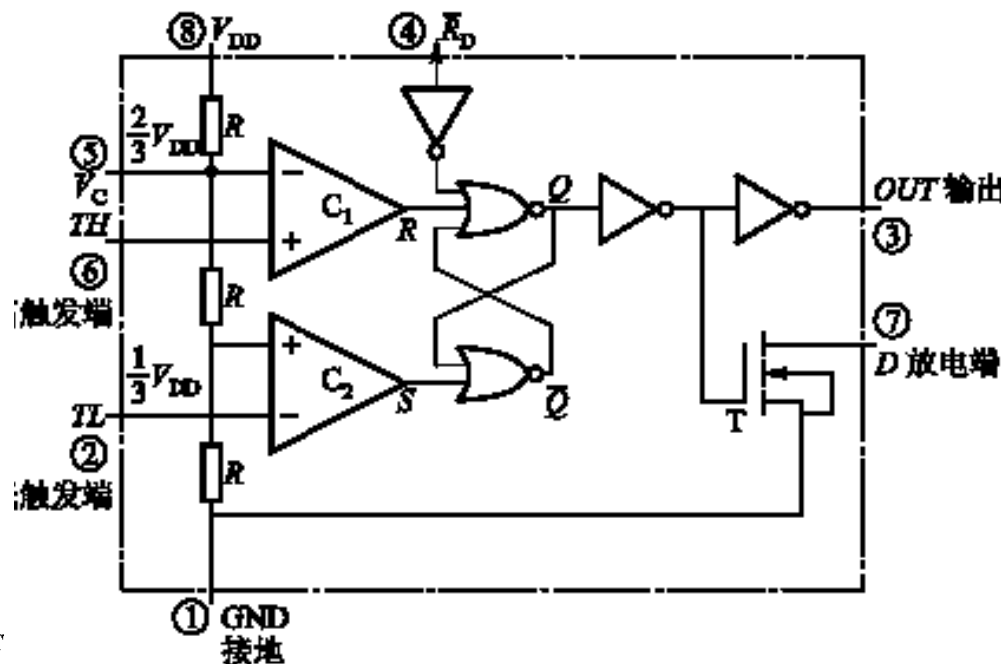
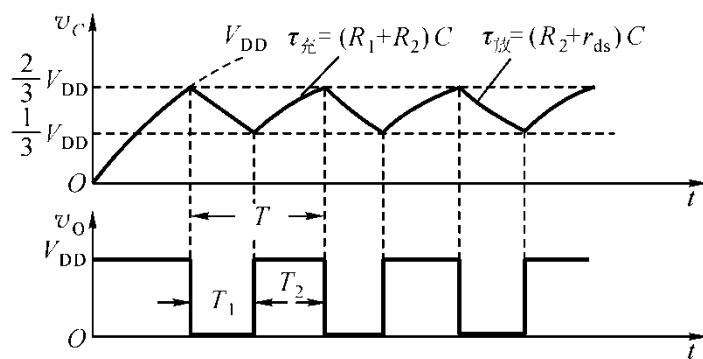
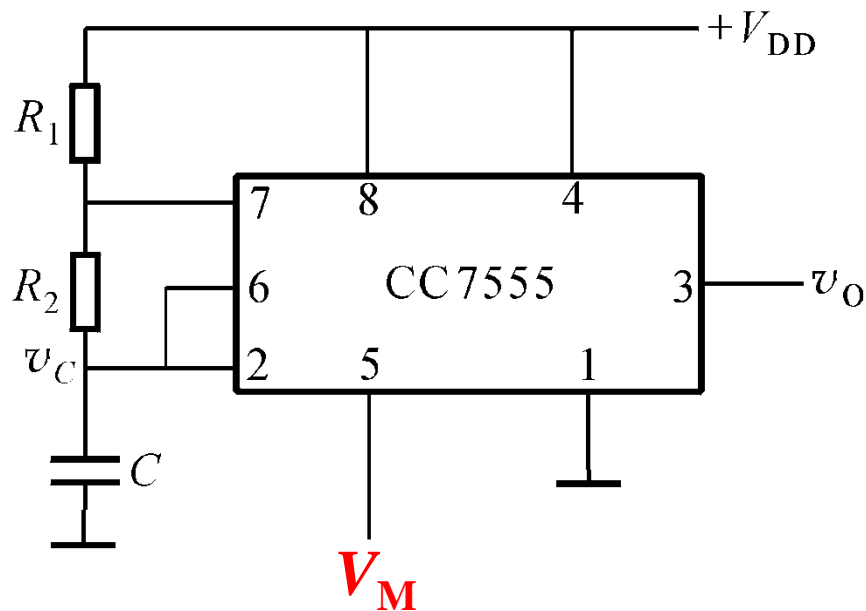
$$D = \frac{T_2}{T} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2}$$



## ■ 几种改进电路:

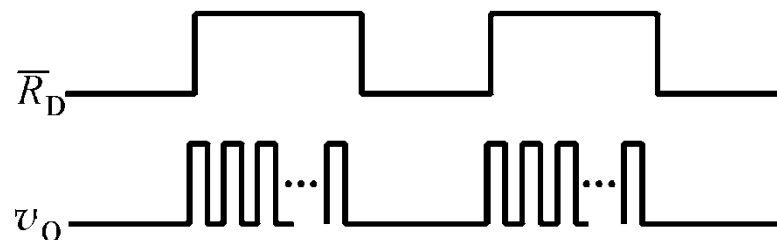
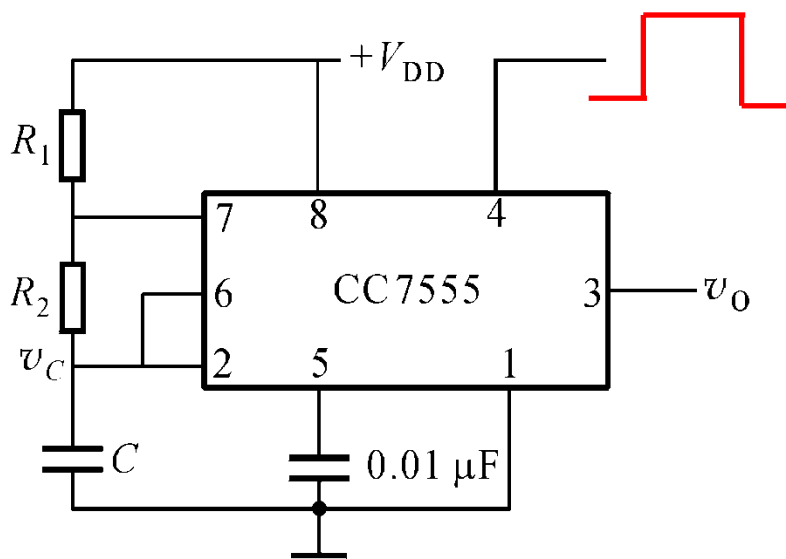
### • 实现压控振荡(VCO或V/F)

基本思路：通过外加电压使两个比较器的参考电压实现可调，从而改变振荡频率。



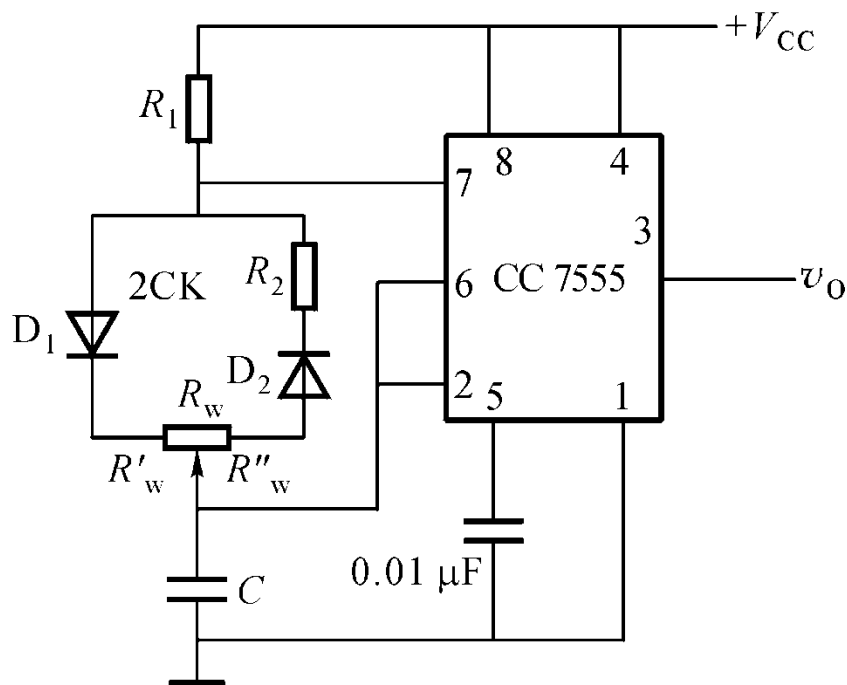
## • 实现脉冲调制波输出

可以在555的第4引脚（即复位端）加调制信号，当调制信号高电平时，电路产生高频振荡，调制信号低电平时，不振荡，输出低电平。



## • 占空比可调的多谐振荡器

实现占空比可调的基本思路是：设法使充放电回路分开，可通过二极管选择充放电回路。

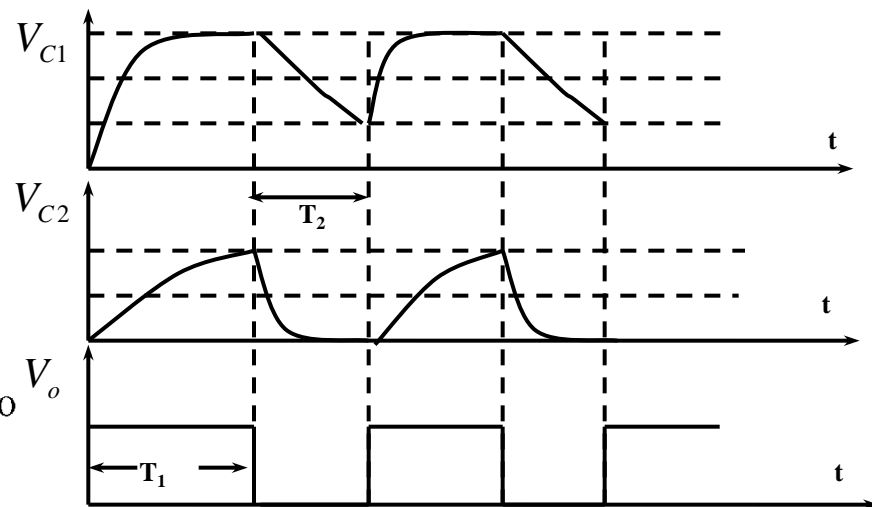
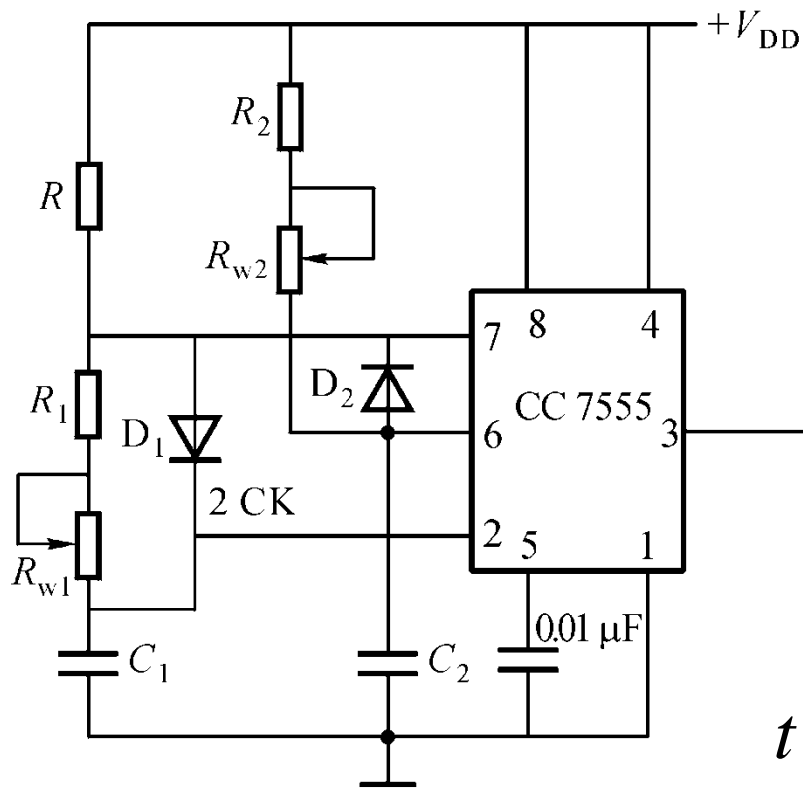


充电时间常数为：  
 $(R_1 + R'_w)C$ ;

放电时间常数为：  
 $(R_2 + R''_w)C$

$$T = (R_1 + R_2 + R_w)C \ln 2$$

# • 充电、放电电容分开的双谐振荡器



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

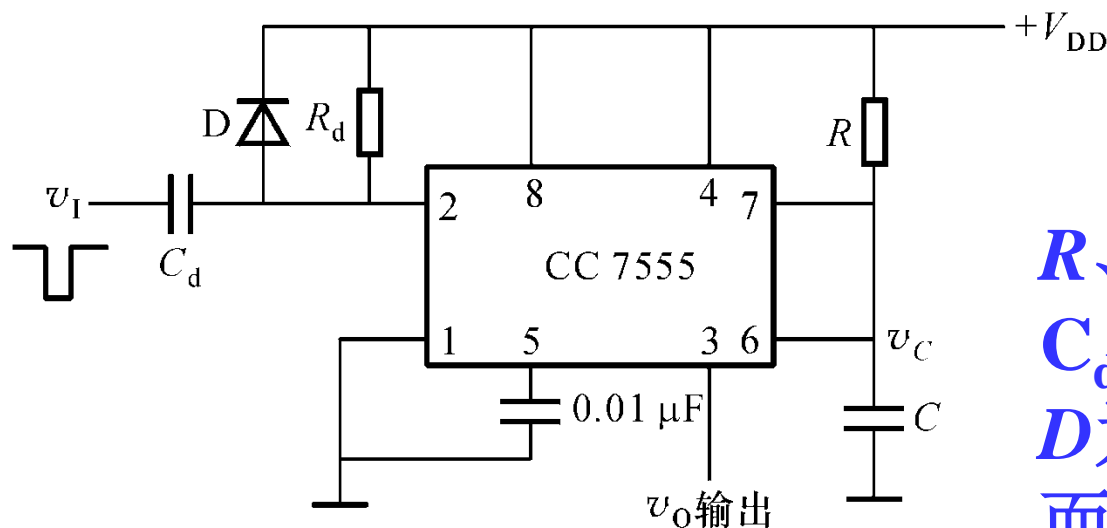
$$T = T_1(H) + T_2(L)$$

$$= (R_2 + R_{w2})C_2 \ln 3 + (R_1 + R_{w1})C_1 \ln 3$$



## ➤ 构成单稳态触发器

单稳态触发器的工作特点：电路需要触发信号，无触发信号输入时，电路一直处在稳定状态（由电路结构决定），电路一旦受触发，输出状态立刻进入暂稳态，触发信号消失后，电路状态能在暂态维持一定时间后，自动返回到稳态，等待下一次触发。暂态的维持时间长短由电路中的定时元件决定。



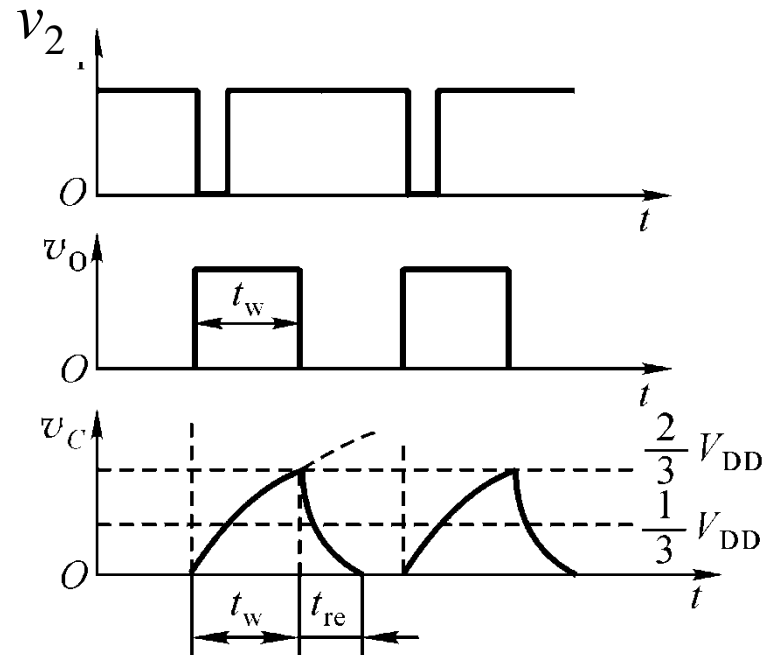
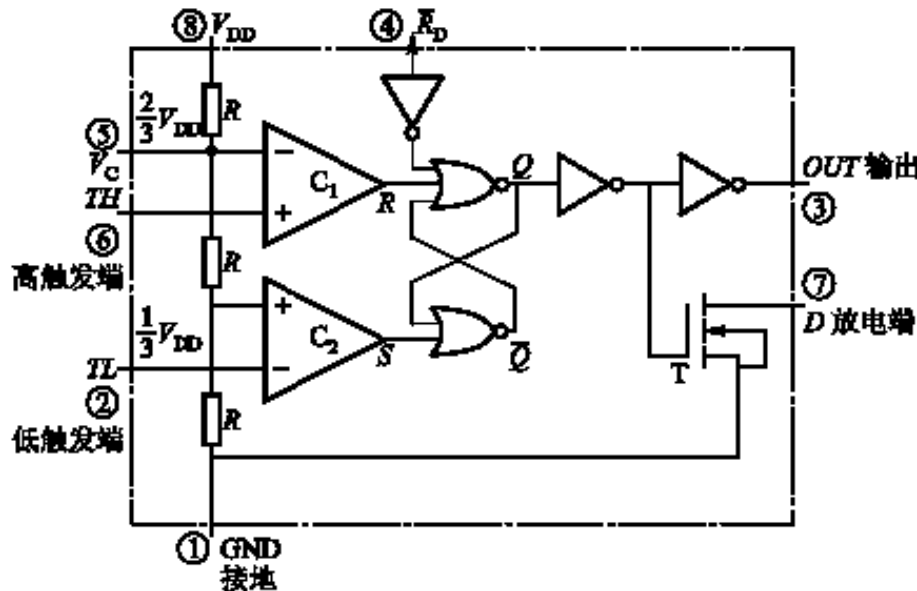
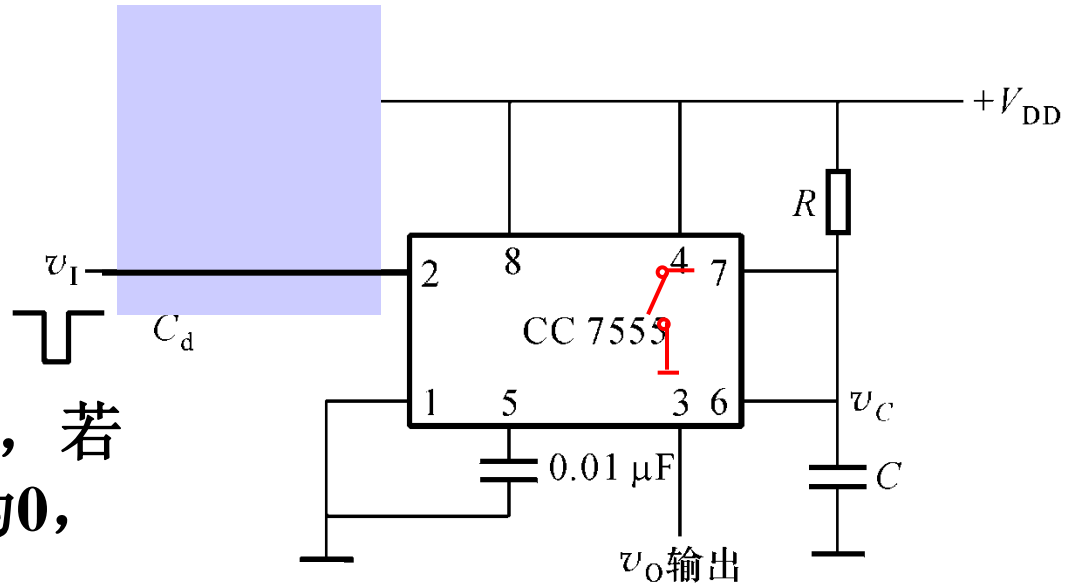
$R$ 、 $C$ 为定时元件  
 $C_d$ 、 $R_d$ 是微分电路， $D$ 为旁路正向脉冲而设置。

$v_2$ 必须为窄脉冲

## ■ 工作原理

1. 无触发信号输入时，  
引脚2高电平

(1) 假设起始 $Q=0$ ， $T$ 导通，若  
 $v_C$ 初始有电压，也迅速放为0，  
 $R=0$ ， $S=0$ ， $Q$ 维持0状态



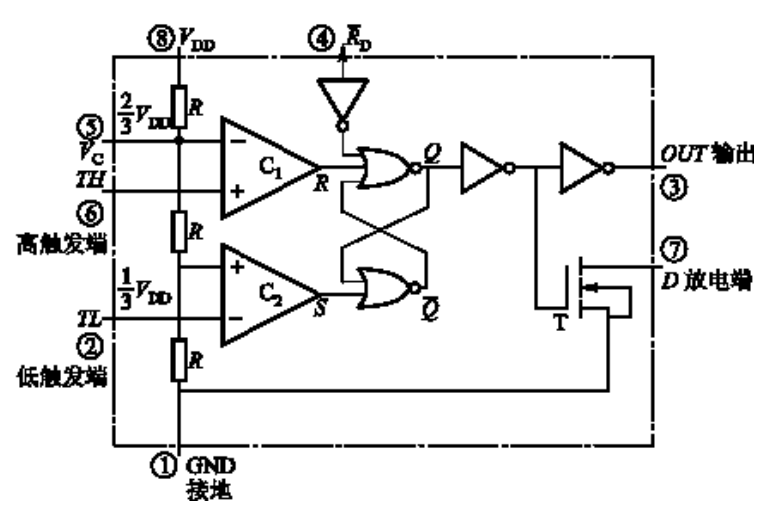
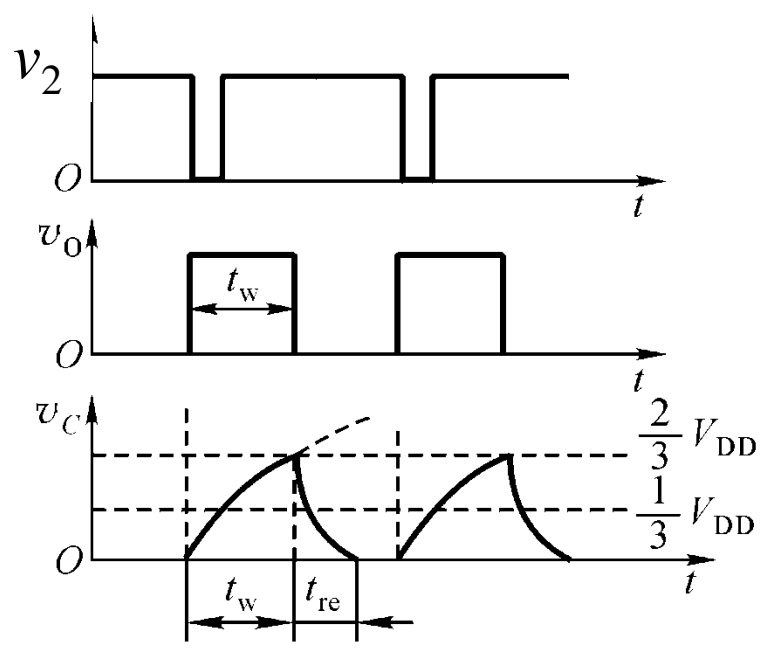
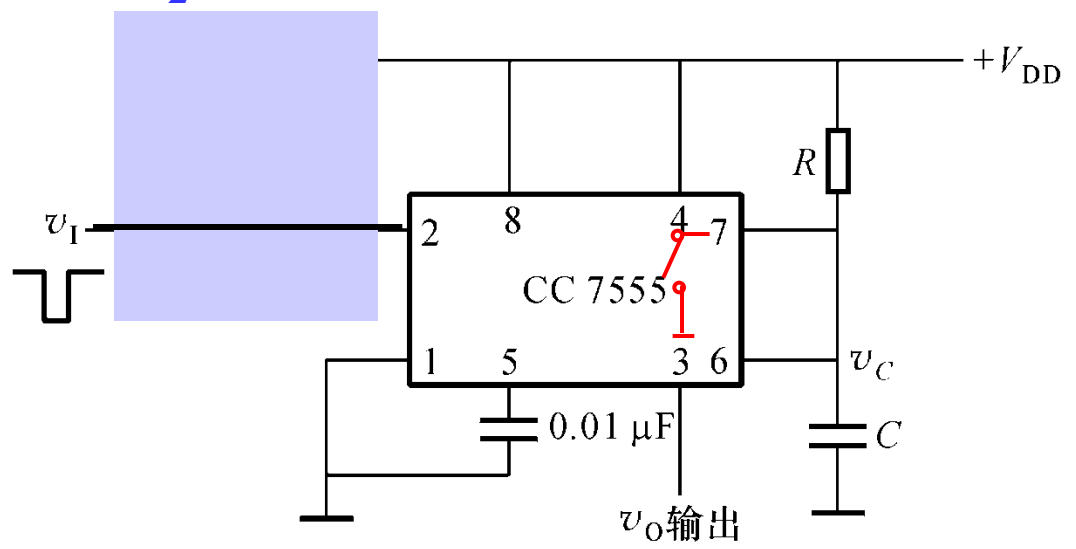
(2) 假设起始  $Q=1$ ,  $T$  截止,  $V_{DD}$  对  $R$ 、 $C$  充电,  $v_C \geq \frac{2}{3}V_{DD}$

时,  $R=1$ ,  $S=0$ ,  $Q$  变为  $0$ ,  $v_C$  迅速放电为  $0$ ,  $R=0$ ,  $S=0$

$Q$  维持  $0$  状态

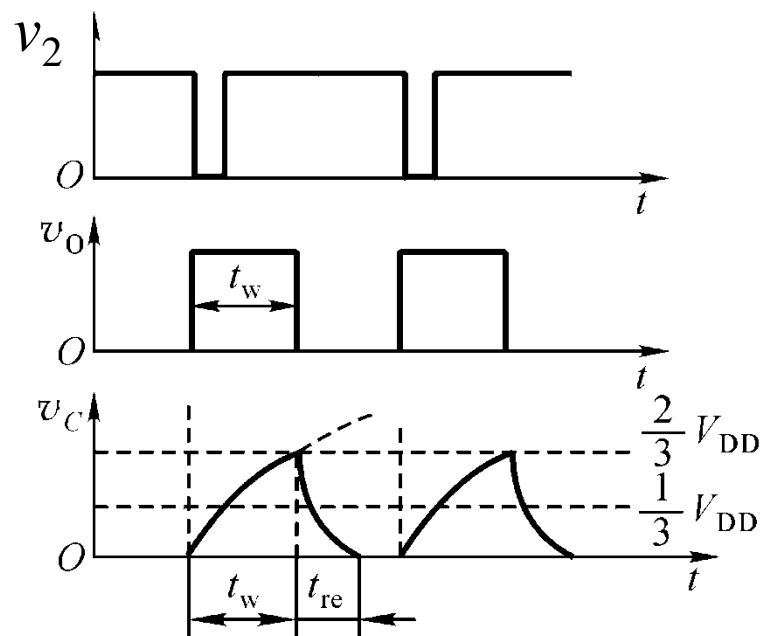
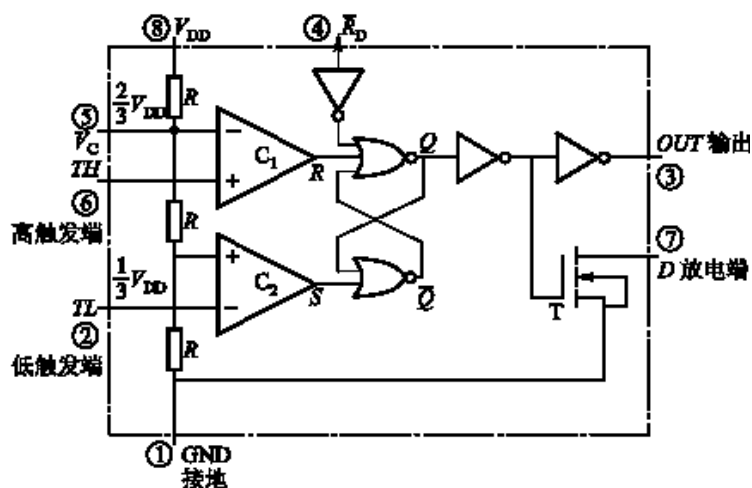
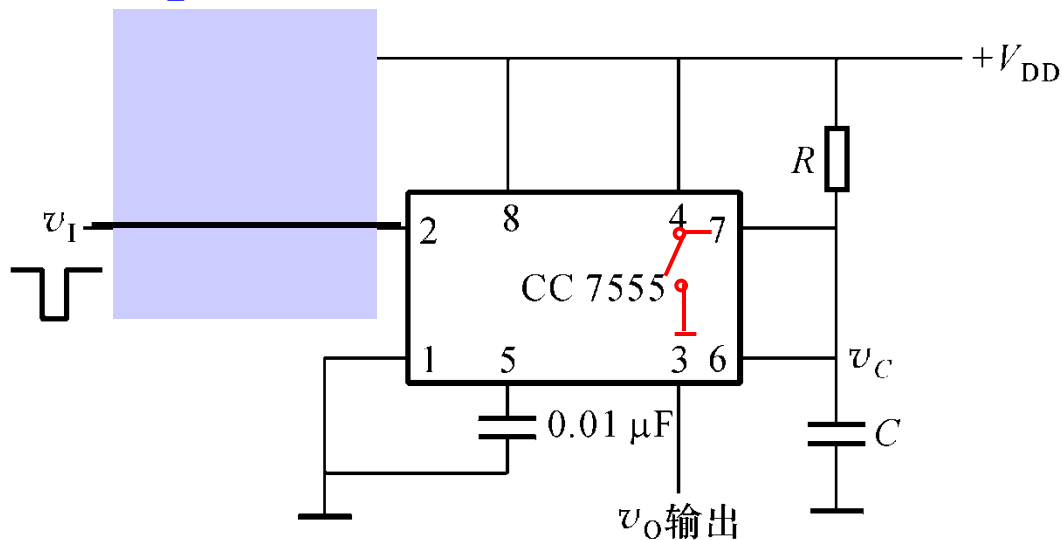
所以  $v_2$  高电平时, 电路处在稳态, 输出  $v_O$  为低电平, 放电管导通,  $v_C$  为低电平。

$v_2$  必须为窄脉冲



2. 触发信号加入后（**下降沿**），引脚2变低电平，使输出跳变为高电平，放电管截止。电容C充电， $v_C$  上升，当上升至  $2V_{DD}/3$  时，输出变为低电平，T 导电，电容又放电。等待第二次触发。

$v_2$  必须为窄脉冲



## ■ 脉冲宽度:

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

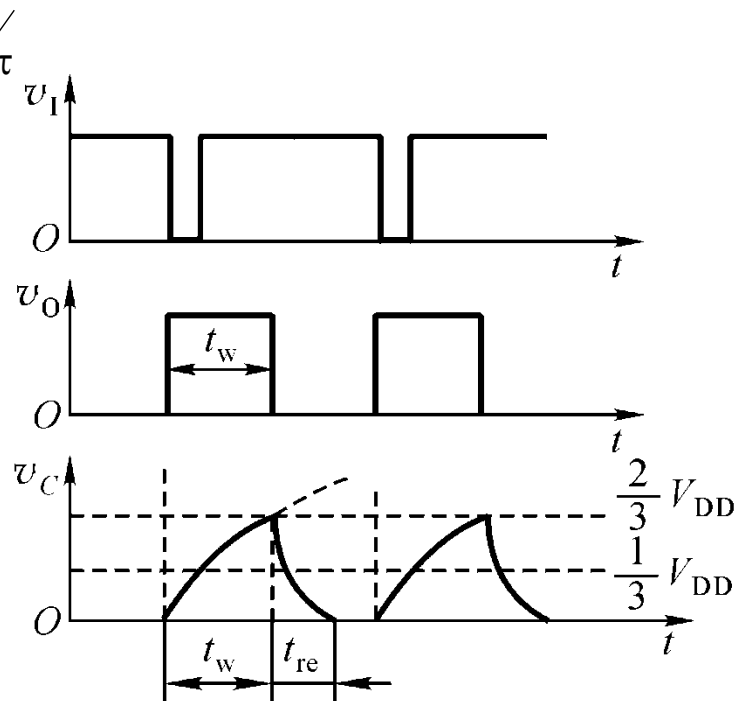
$$t_w = RC \ln \frac{V_{DD} - 0}{V_{DD} - \frac{2}{3}V_{DD}} = RC \ln 3$$

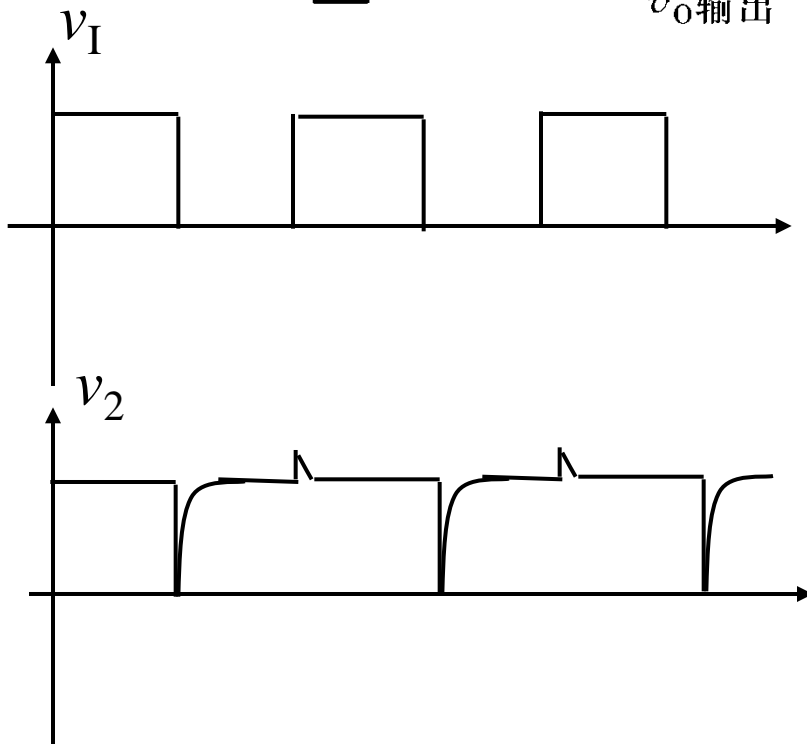
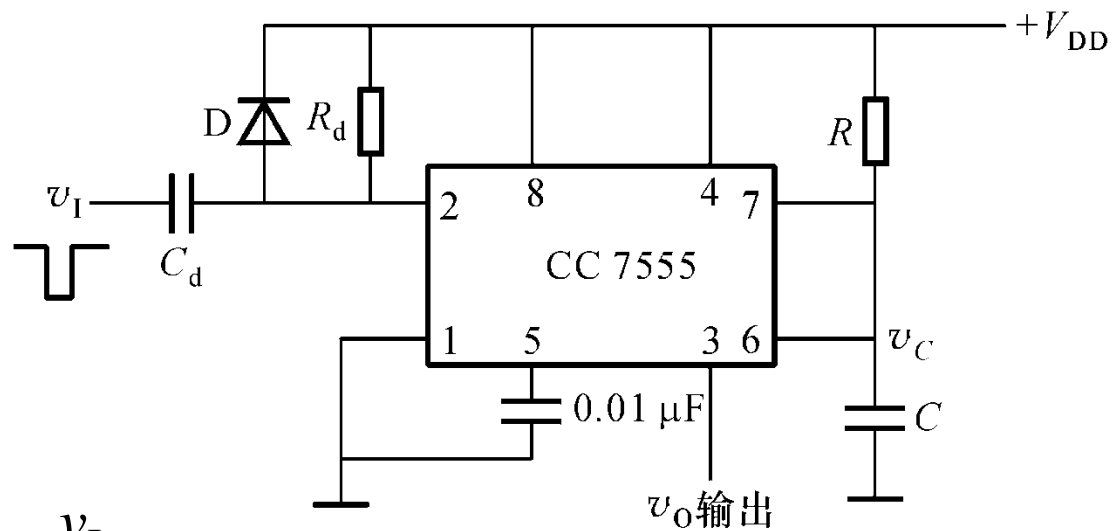
电路被触发进入暂态后，必须等待暂态结束后，并让电路状态完全回到稳态时，才能加入第二次触发信号，否则电路工作将会混乱。

因此，暂态结束，并使电容放光电所需时间称为电路的**恢复时间**。

$$t_{re} = (3 \sim 5)\tau_{\text{放}} = (3 \sim 5)R_{DS}C \quad \text{很小}$$

$R_{DS}$ 是场效应管导通时的沟道电阻。





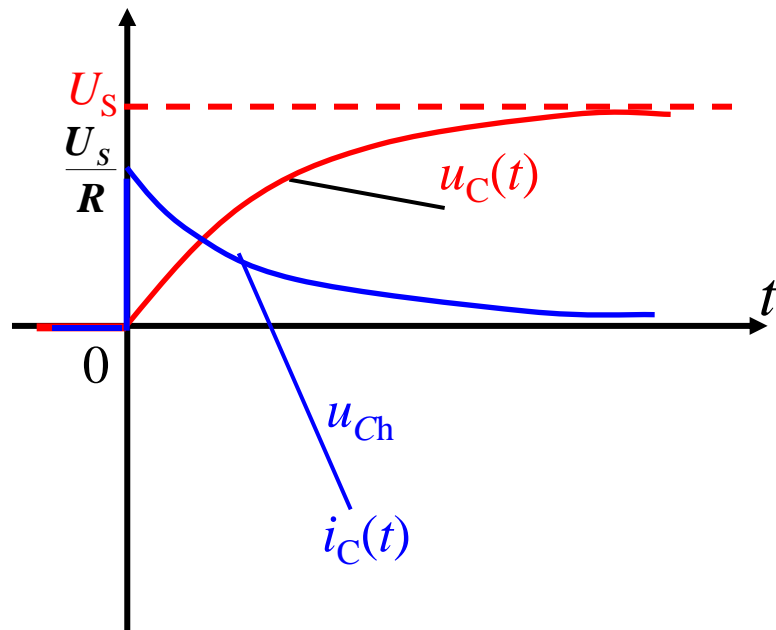
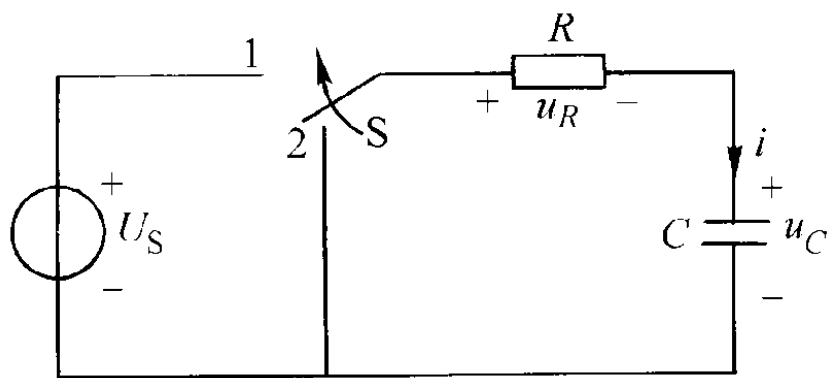
**$C_d$ 、 $R_d$ 是微分电路， $D$ 为旁路正向脉冲而设置。**

## 零状态响应

$$u_C(t) = u_{Cp}(t) + u_{Ch}(t) = U_S(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = U_S(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (t \geq 0)$$

$$i(t) = C \frac{du_C}{dt} = \frac{U_S}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad t > 0$$

$$u_R(t) = U_S e^{-\frac{t}{RC}} \quad t > 0$$

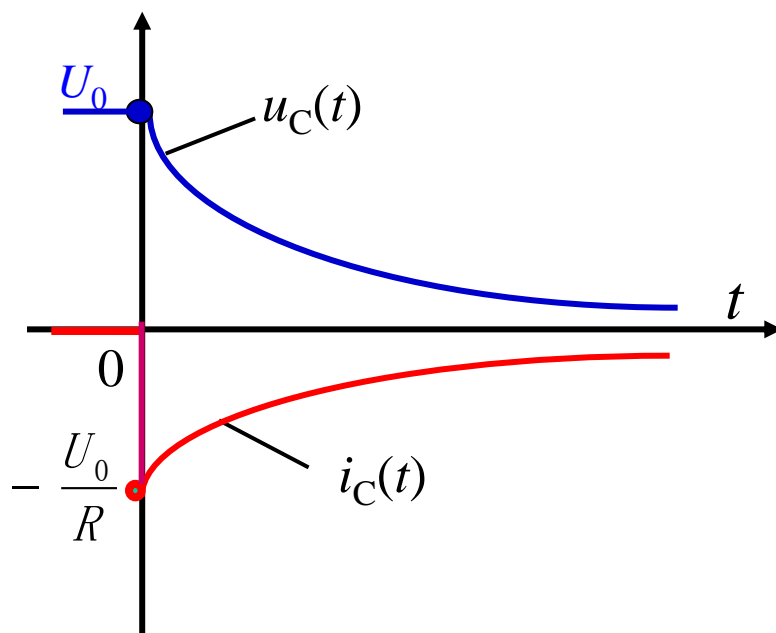
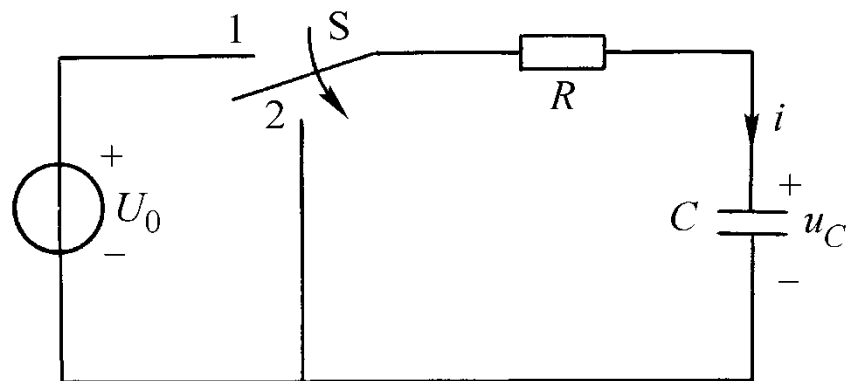


## 零输入响应

$$u_C(t) = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (t \geq 0) \quad \tau = RC$$

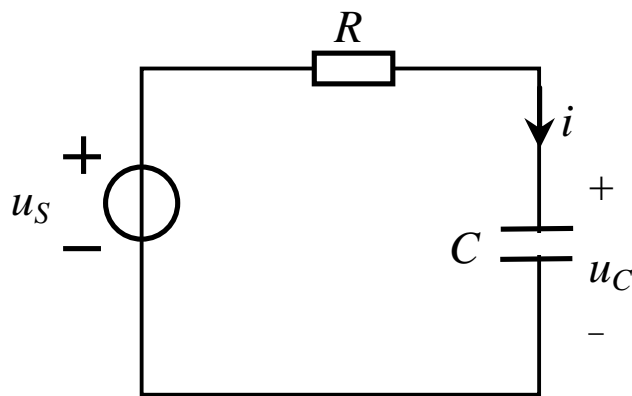
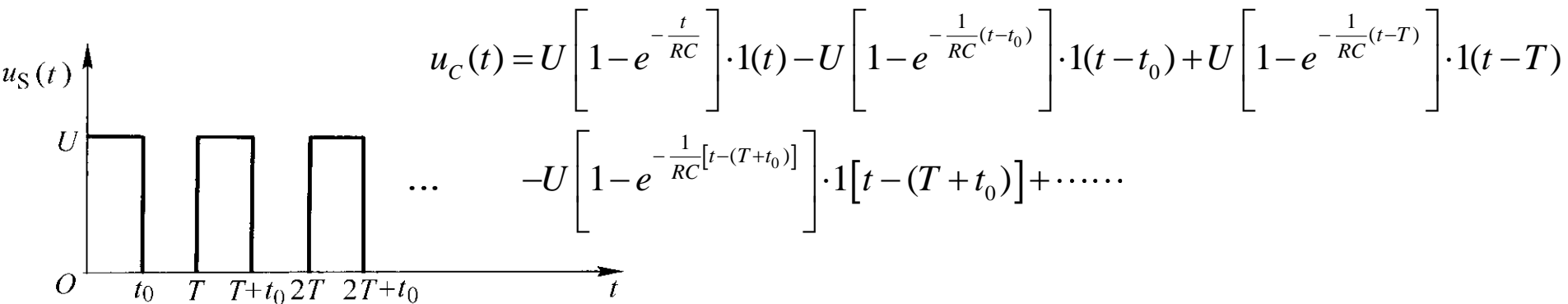
$$i(t) = C \frac{du_C}{dt} = -\frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (t > 0)$$

$$u_R(t) = -U_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad t > 0$$

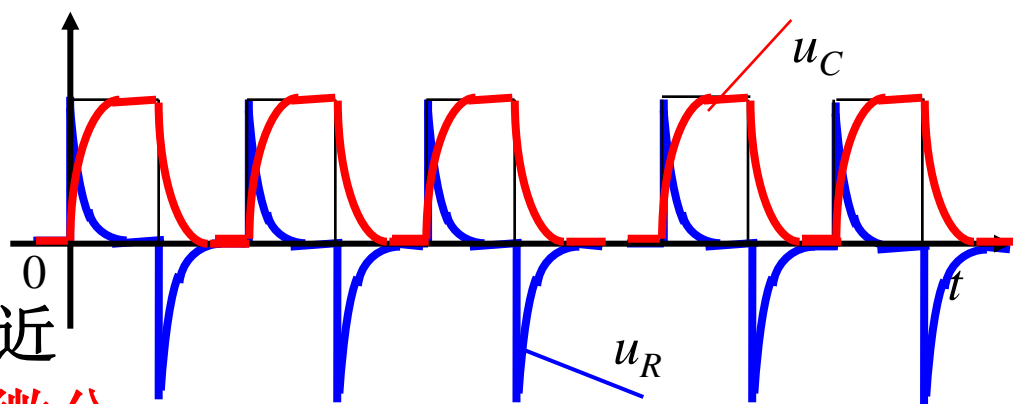




✓ 当  $t_0 > \tau (\tau = RC)$  时，可以认为在每一个脉冲消失前，电路都已经充电完毕并进入稳态；且在后一个脉冲作用前，电路都已经放电完毕并进入稳态。下图为  $t_0 = 10\tau (\tau = RC)$  时  $u_C(t)$  的波形。

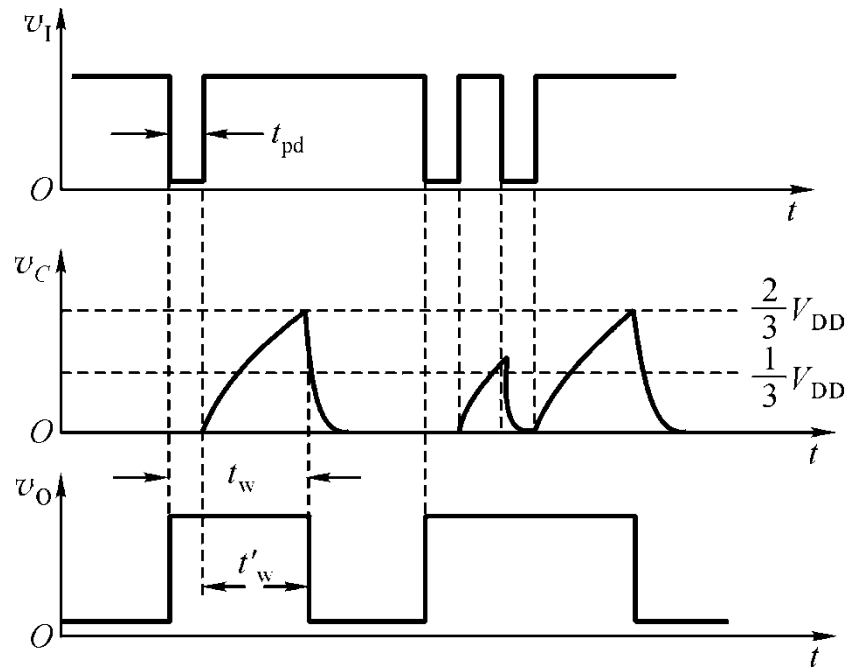
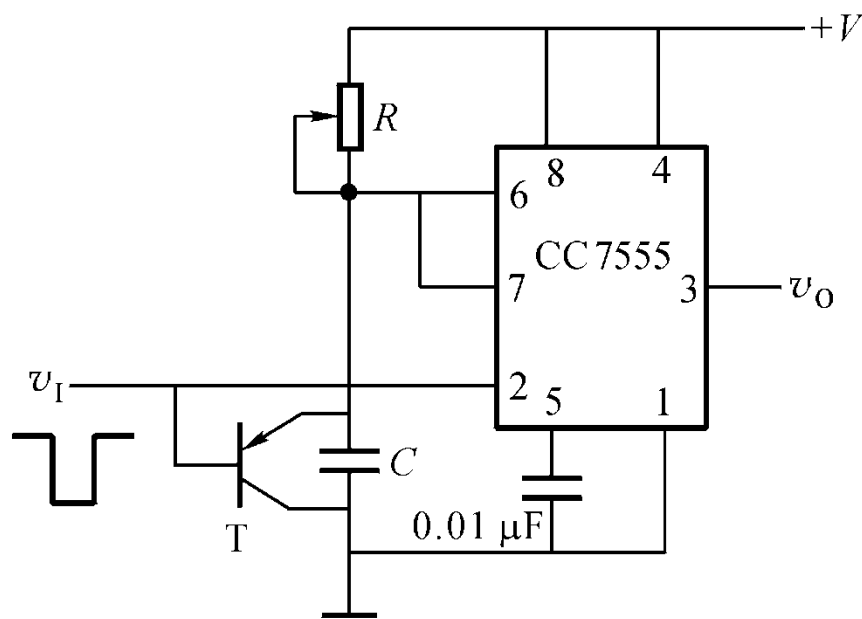


从  $u_R(t)$  输出近似为输入的微分。



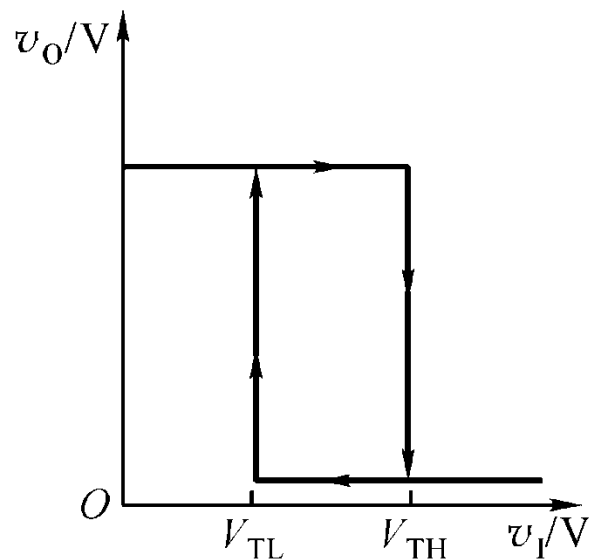
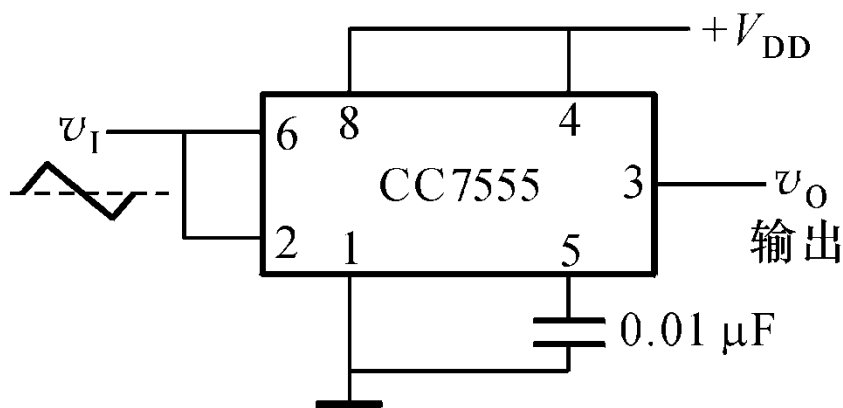
## ■ 可重触发的单稳态触发器

可重触发是指：单稳电路在第一次受触发进入暂态定时后，可以连续加入触发脉冲，每加入一次触发信号，电路的延迟时间将从原延时继续，使暂态时间不断地延续下去，以得到长时间的延迟时间。

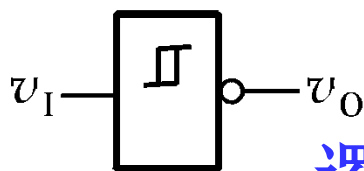


## ➤ 构成斯密特触发器（双稳态触发器）

电路的工作特点：电路有两个稳定状态，在输入触发信号的作用下，电路的输出状态能从一个状态转换到另一个状态。



电压传输特性



逻辑符号

## ■ 工作原理:

触发信号从小到大变化时:

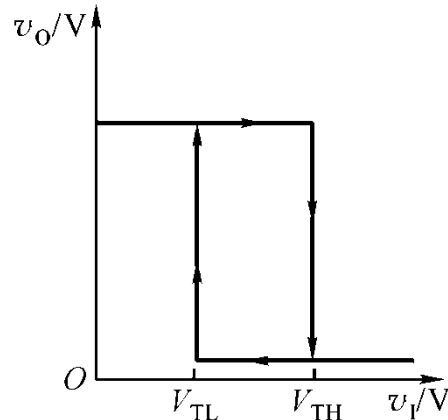
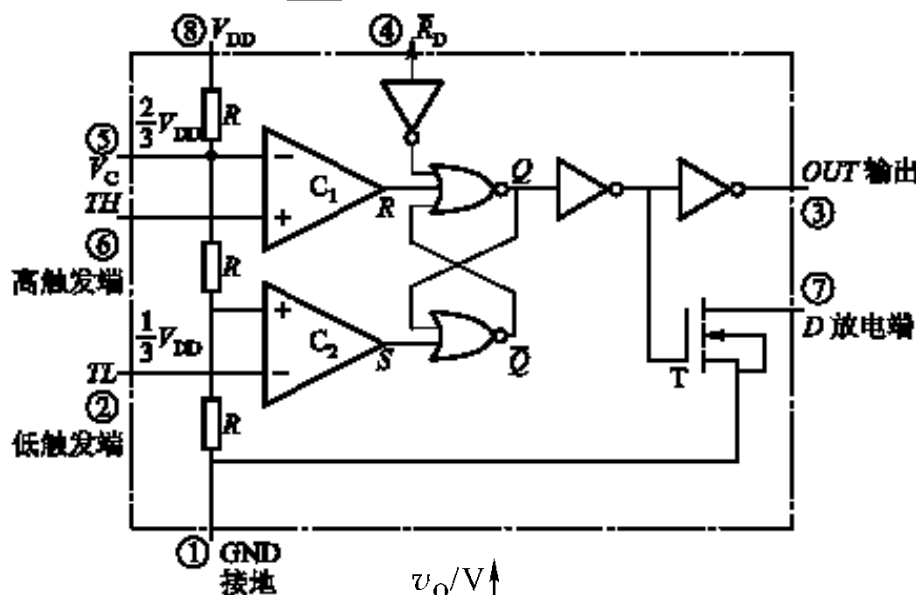
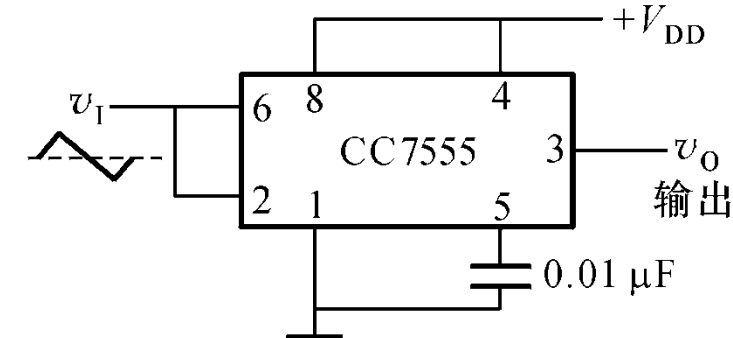
当  $v_I < \frac{1}{3}V_{DD}$  时, 集成定时器内部的  $R=0$ ,  $S=1$ , 输出为高电平。

当  $\frac{1}{3}V_{DD} \leq v_I \leq \frac{2}{3}V_{DD}$  时, 定时器内部  $R=S=0$ , 定时器输出状态保持不变。

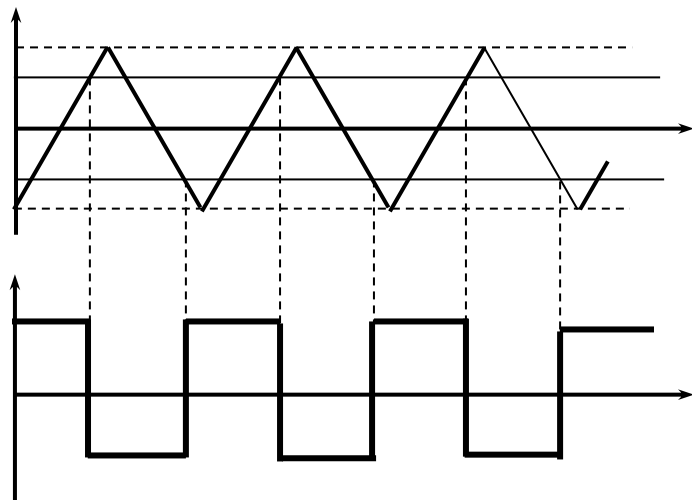
当  $v_I > \frac{2}{3}V_{DD}$  时,  $R=1$ ,  $S=0$ , 定时器输出变为低电平。

触发信号从大到小变化时:

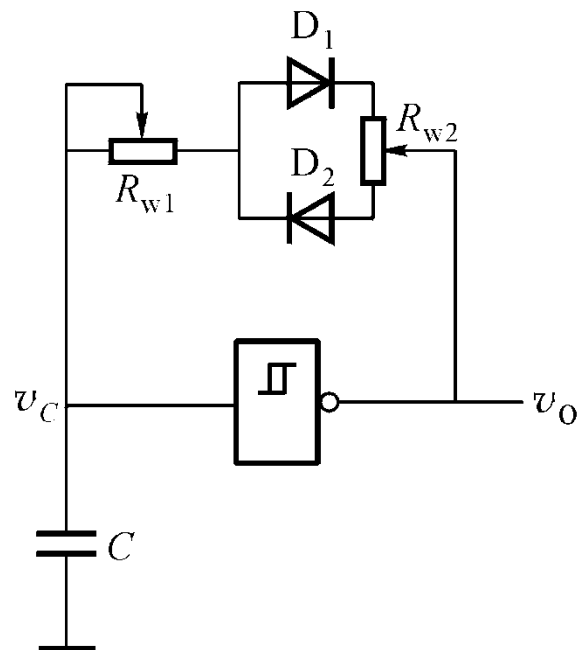
只要  $v_I \geq \frac{1}{3}V_{DD}$ , 输出状态保持不变, 只有  $v_I < \frac{1}{3}V_{DD}$ , 输出重新跳变为高电平。



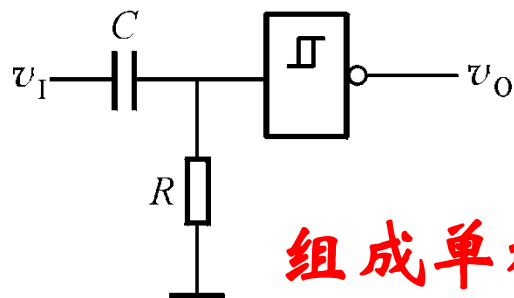
施密特触发器用于波形整形，多谐振荡器，也用于组成单稳态触发器等电路。



将三角波变换为方波



组成多谐振荡器



组成单稳态触发器