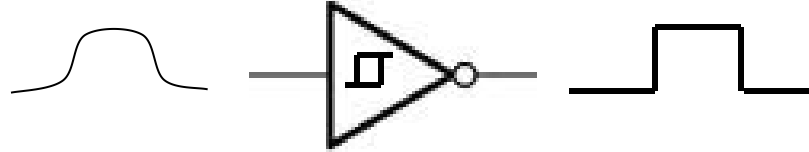


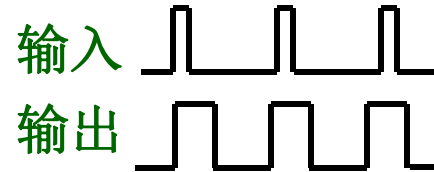
# 课程内容回顾

- 数制与码制(第一章)
- 逻辑代数(第二章)
- 组合逻辑电路(第四章)
- 触发器 (第五章)
- 时序逻辑电路(第六章)
- 集成门电路(第三章)
- 脉冲波形产生及整形(第七章)

**问题1：** 如何使波形较为理想？



**问题2：** 如何改变脉冲宽度？



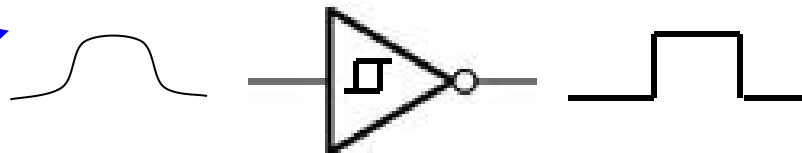
**问题3：** 时钟信号从哪里来？



# 第七章 脉冲波形的产生和整形

7.2 施密特触发器

问题1： 如何使波形较为理想？

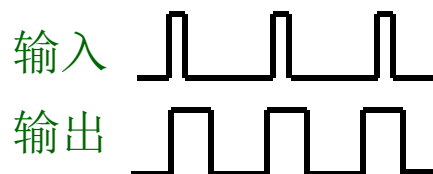


7.3 单稳态触发器

问题2： 如何改变脉冲宽度？

7.4 多谐振荡器

7.5 555定时器及应用



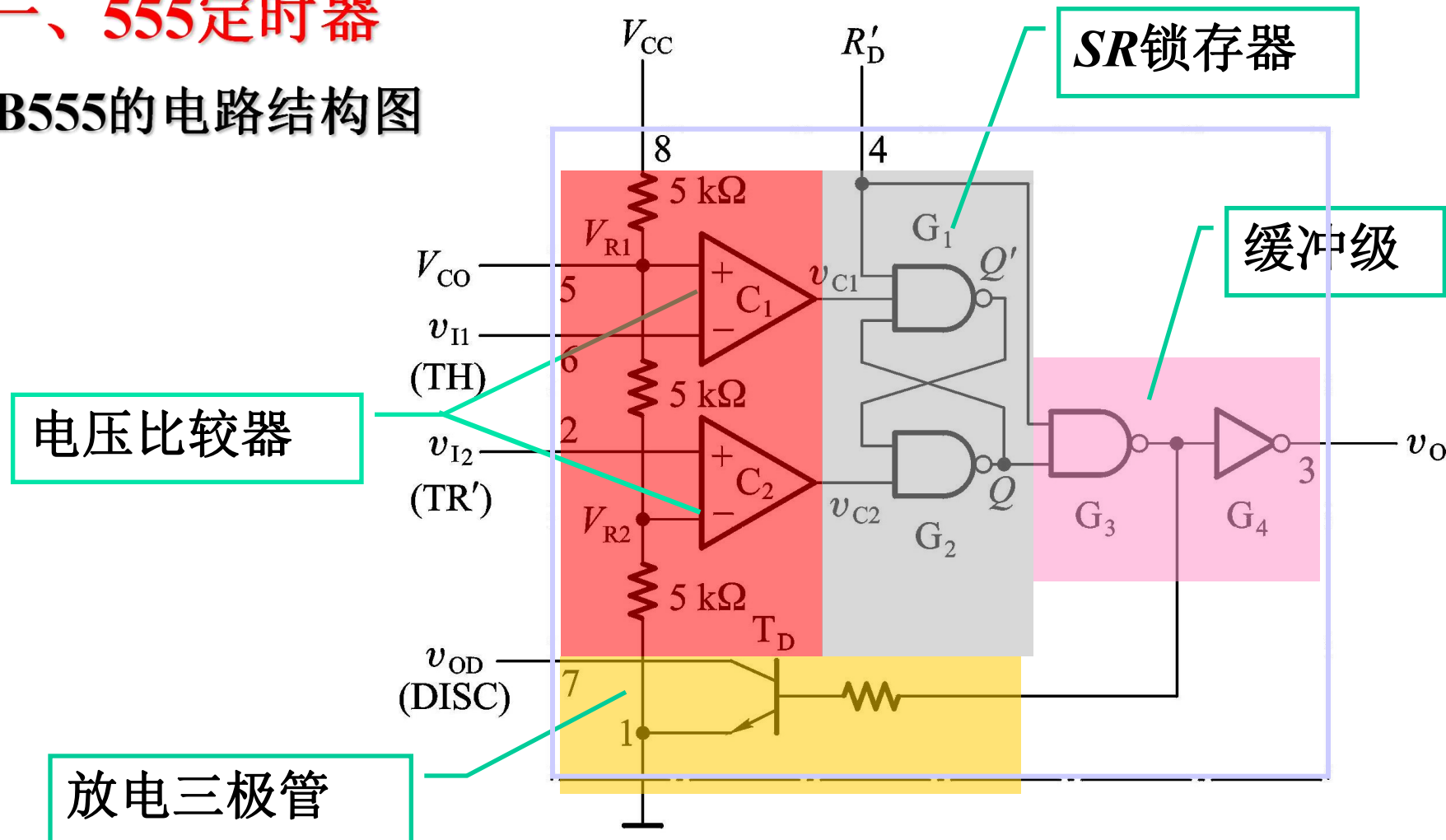
问题3： 时钟信号从哪里来？



## 7.5.1 555定时器及应用

### 一、555定时器

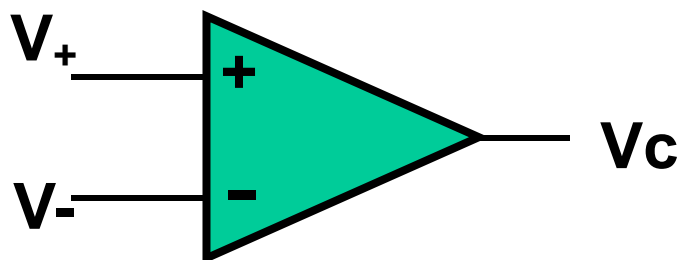
CB555的电路结构图



# 7.5.1 555定时器及应用

电压比较器

Comparator



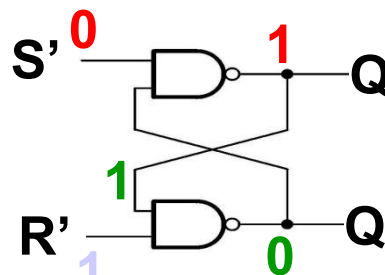
$V_+ > V_-$  时,  $V_c =$  高电平

$V_c = H;$

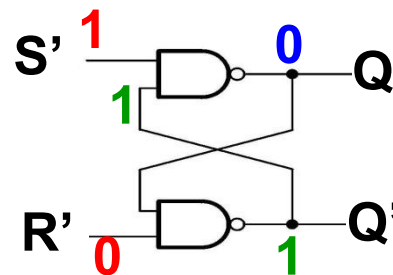
$V_c = 1;$

对称结构, 约定:  
 $S'$  与  $Q$  同侧

Set  
使  $Q$  置 1

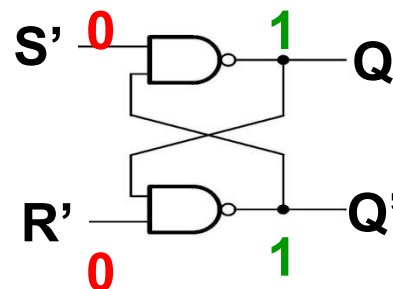
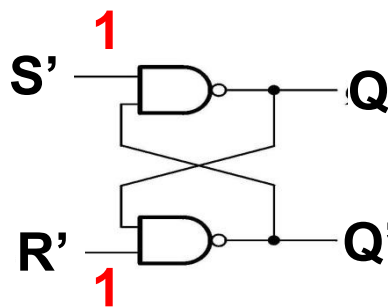


Reset  
使  $Q$  清零

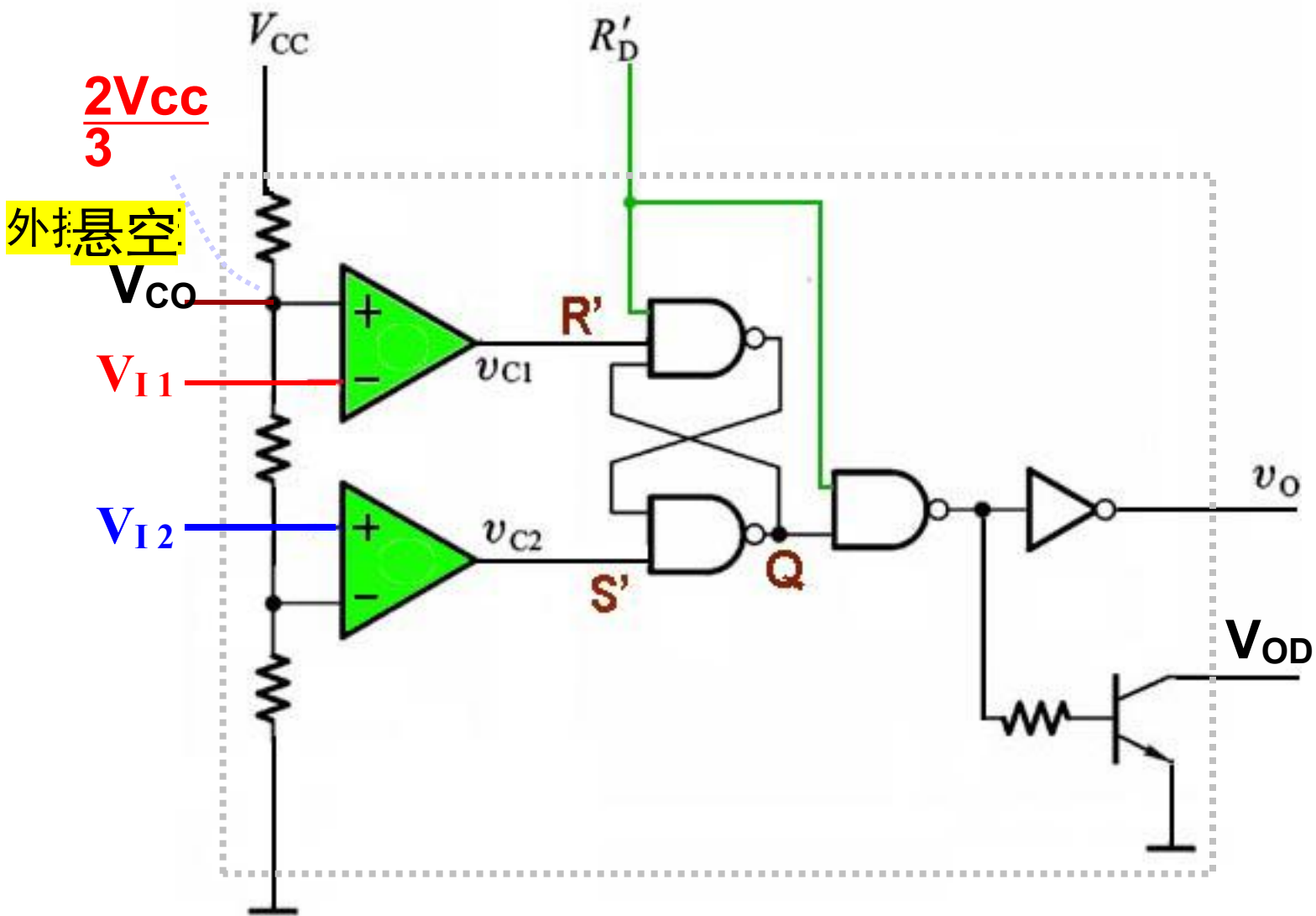


$S'$	$R'$	$Q^*$
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	$Q$

避开

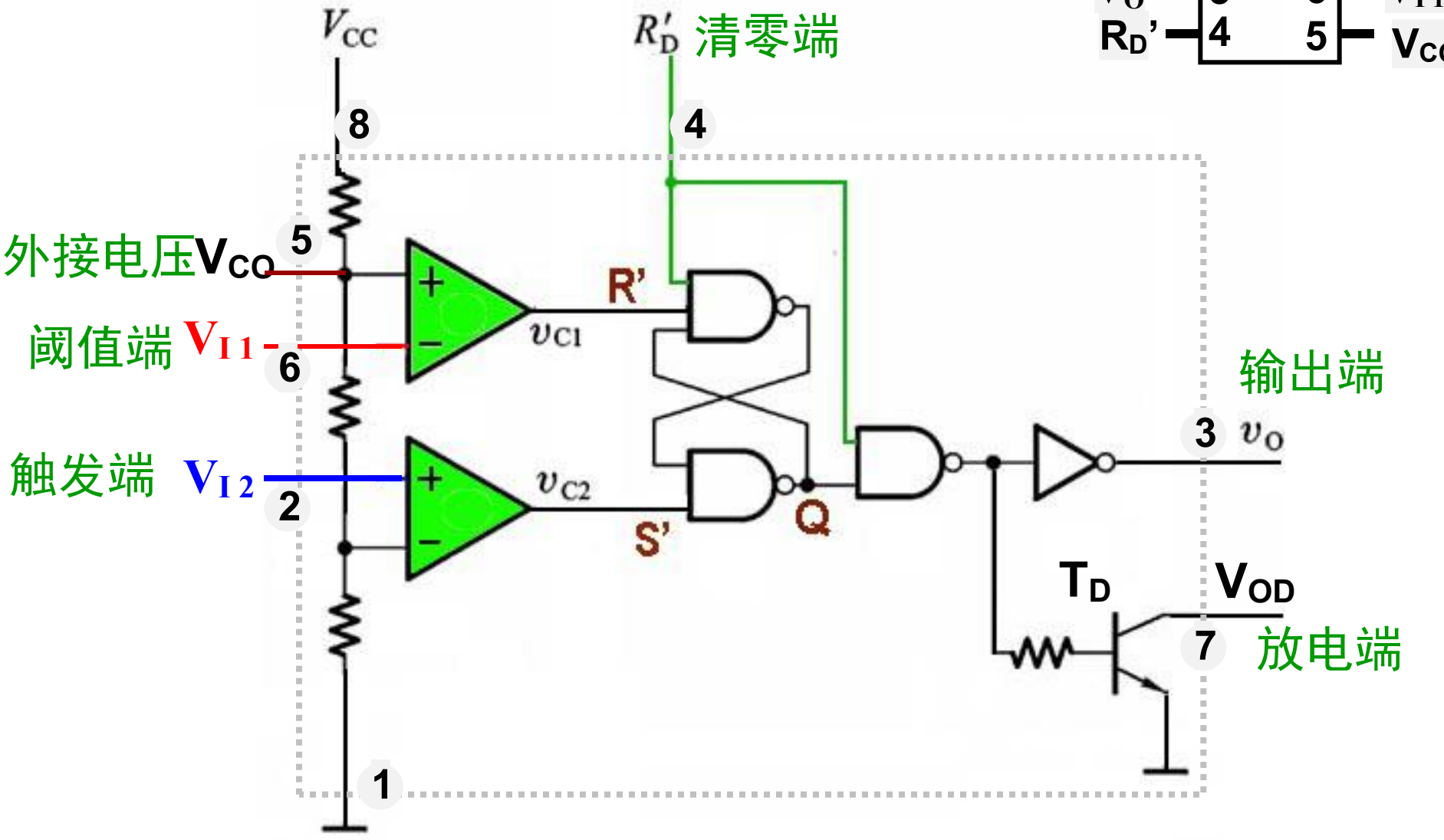


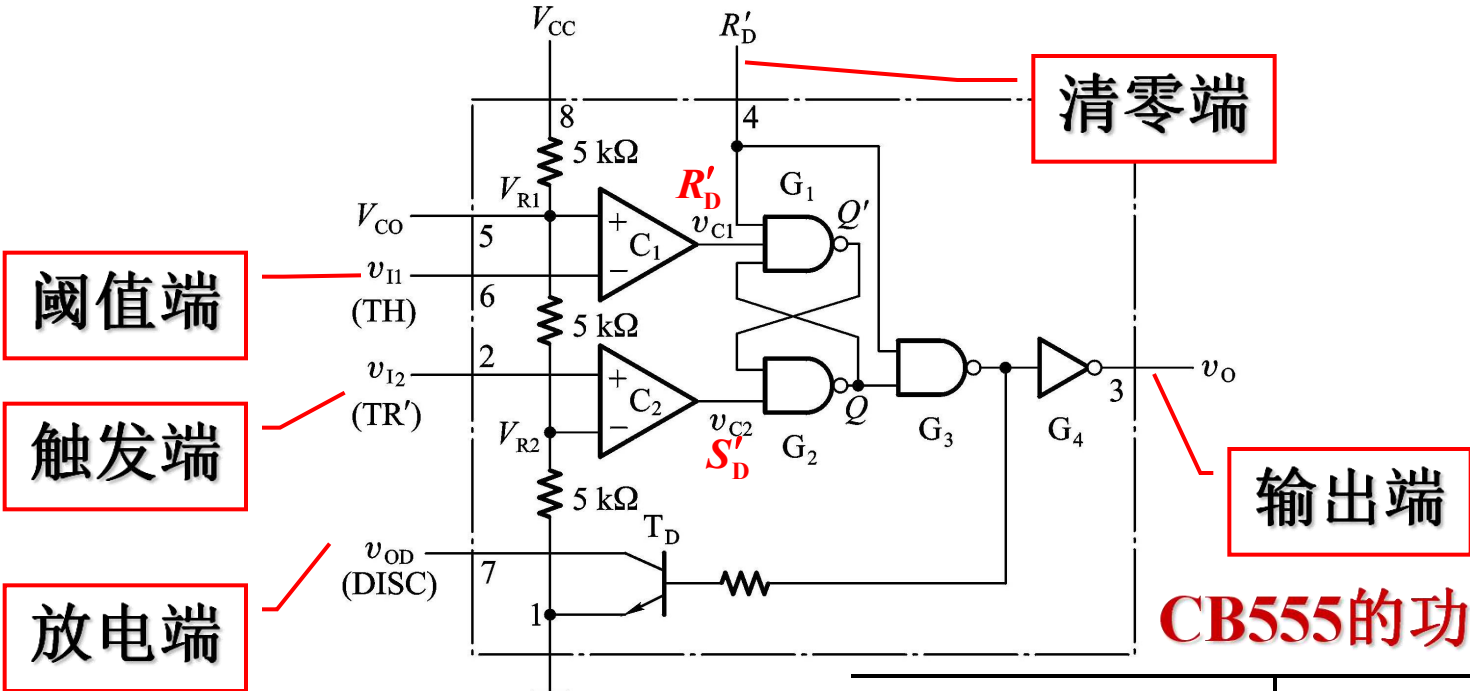
# 555多功能定时器



# 555多功能定时器

GND	1	8	V <sub>CC</sub>
V <sub>I2</sub>	2	7	V <sub>OD</sub>
V <sub>O</sub>	3	6	V <sub>I1</sub>
R <sub>D</sub> '	4	5	V <sub>CO</sub>





CB555的功能表(5端悬空)

输 入			过 渡		输 出	
$R_D'$	$V_{I1}$	$V_{I2}$	$V_{C1}$	$V_{C2}$	$V_O$	$T_D$ 状态
0	X	X	X	X	0	导通
1	$> \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	0	1	0	导通
1	$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	1	1	不变	不变
1	$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$< \frac{1}{3}V_{CC}$	1	0	1	截止
1	$> \frac{2}{3}V_{CC}$	$< \frac{1}{3}V_{CC}$	0	0	1	截止

当5端接有 $V_{CO}$ 时:

$$V_{R1} = V_{CO}, V_{R2} = \frac{1}{2}V_{CO}$$

将上述分析中的 $\frac{2}{3}V_{CC} \longrightarrow V_{CO}$ ,

$$\frac{1}{3}V_{CC} \longrightarrow \frac{1}{2}V_{CO}$$

所有结论仍成立。

## CB555的功能表(5端悬空)

输 入			过 渡		输 出	
$R'_D$	$V_{I1}$	$V_{I2}$	$V_{C1}$	$V_{C2}$	$V_O$	$T_D$ 状态
0	X	X	X	X	0	导通
1	$> \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	0	1	0	导通
1	$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	1	1	不变	不变
1	$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$< \frac{1}{3}V_{CC}$	1	0	1	截止
1	$> \frac{2}{3}V_{CC}$	$< \frac{1}{3}V_{CC}$	0	0	1	截止

由表可得如下口诀：

⇒ 大于、大于、出0；

⇒ 小于、大于、保持

⇒ 小于、小于、出1；

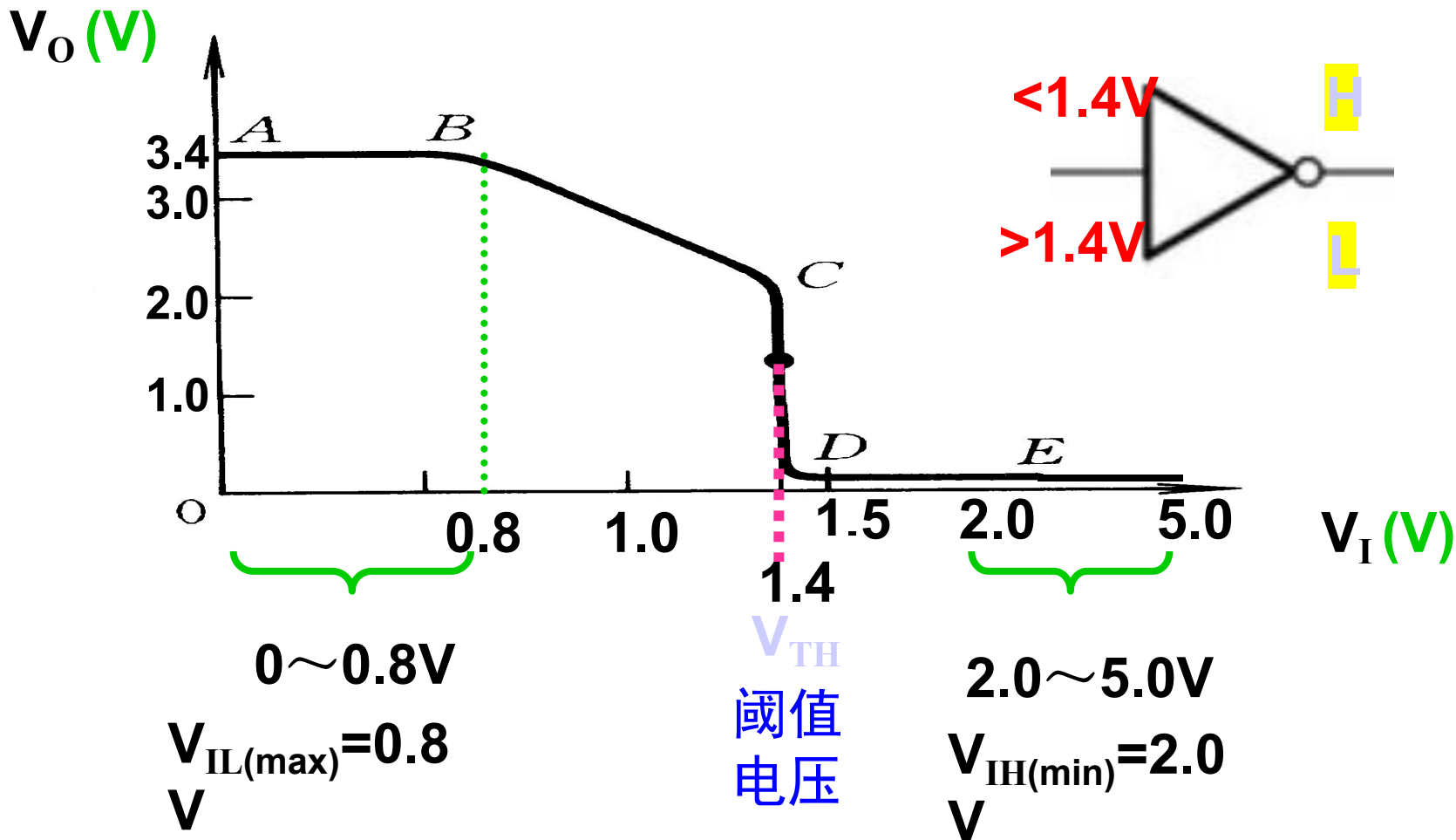
555 定时器的电源电压范围较宽，

CMOS类：  $V_{DD}$  为3~18伏，（ $U_{OH} \geq V_{DD}95\%$  ，  $I_{om} \leq 4mA$ ）

TTL类：  $V_{CC}$  为5~16伏，（ $U_{OH} \geq V_{CC}90\%$ ），  $I_{om} \approx 200mA$ ）



# TTL非门电压传输特性曲线



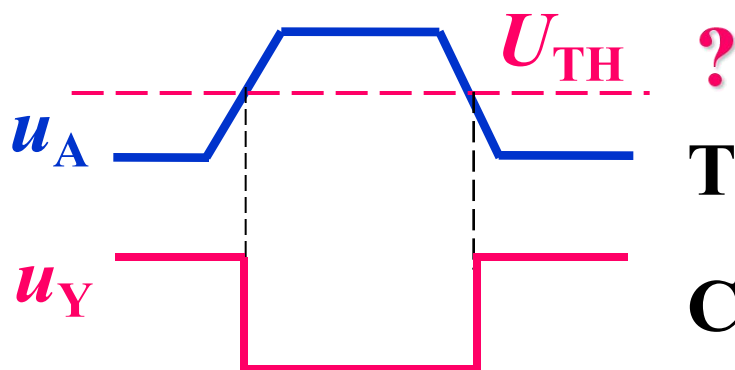
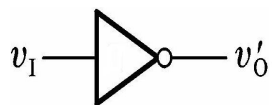
临界不稳定

$V_{IH} > 1.4V$ 时, T2, T5导通  
实际要求  $V_{IH} > 2.0V$

## 7.5.2 用555定时器接成施密特触发器

### 一、普通反相器和施密特反相器的比较

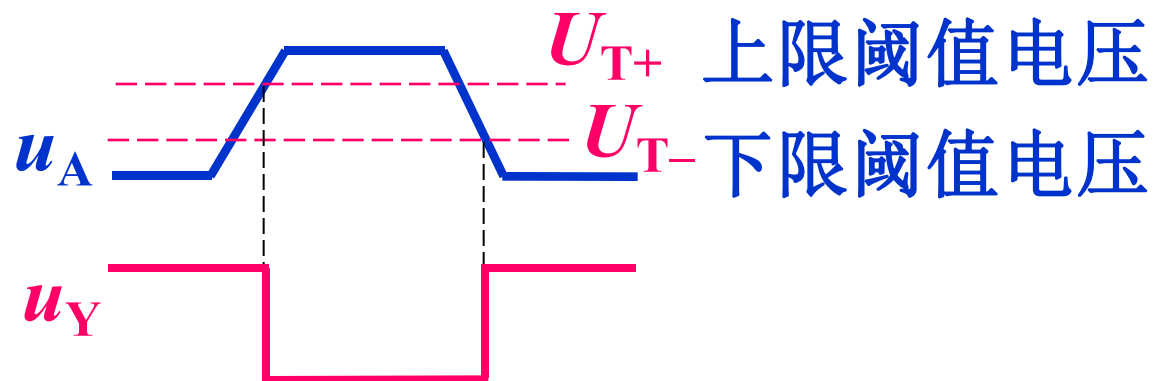
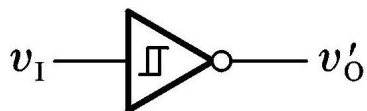
#### 普通反相器



TTL: 1.4 V

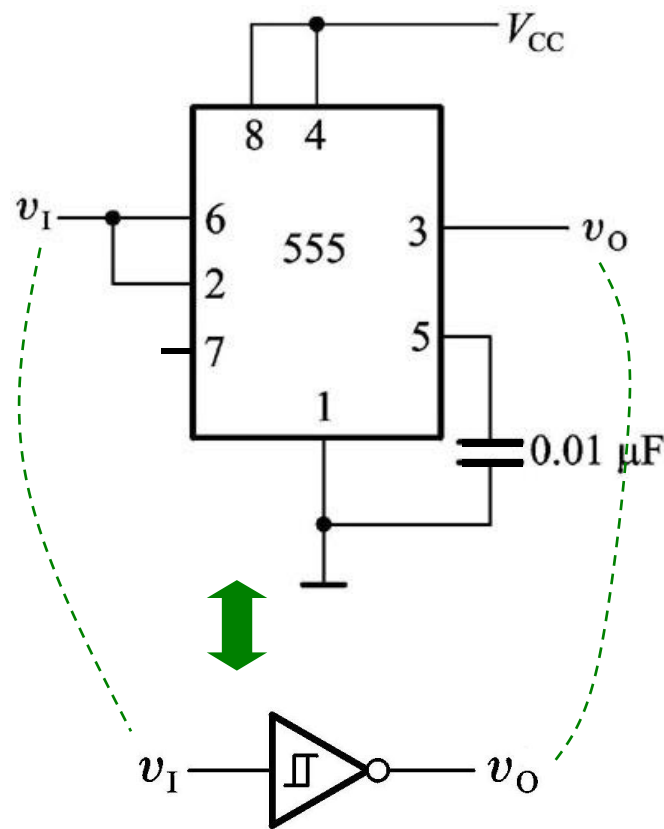
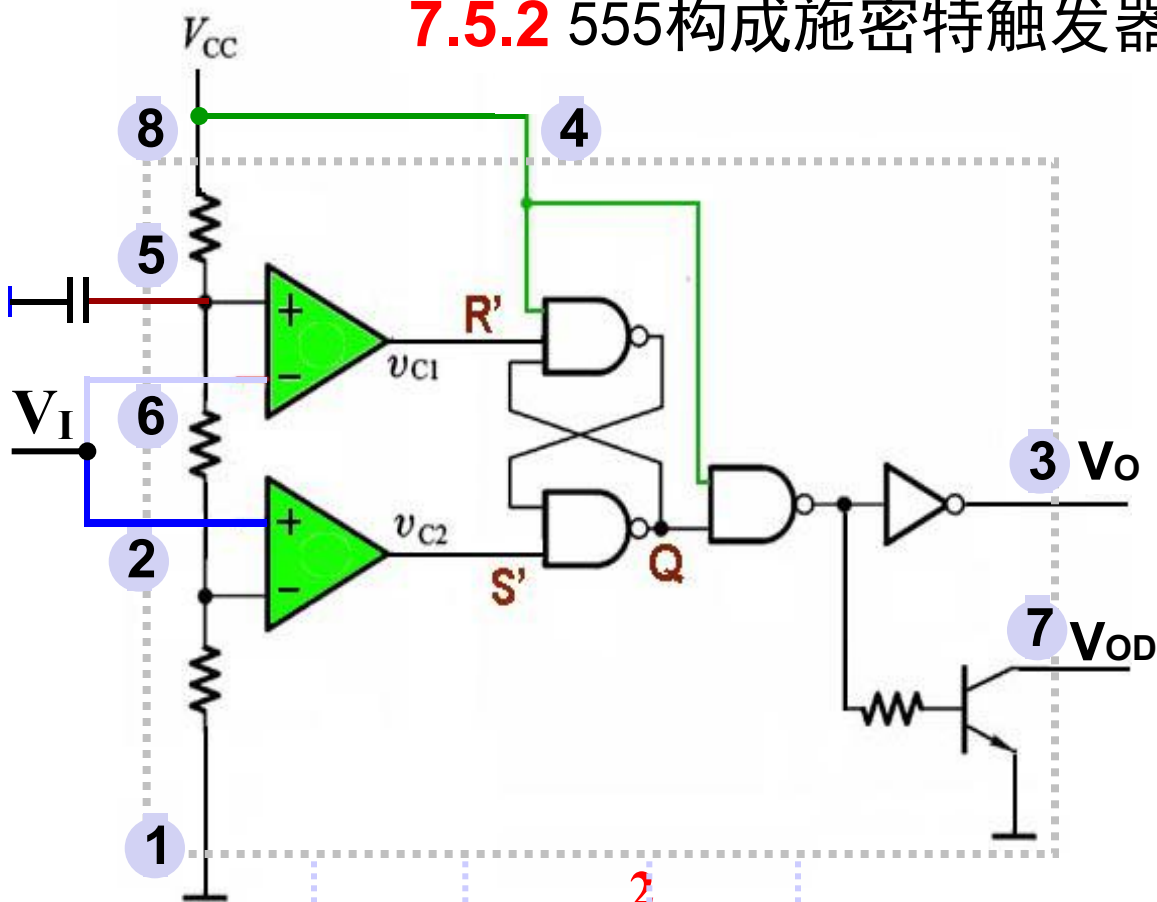
CMOS:  $\frac{1}{2}V_{DD}$

#### 施密特反相器



回差电压:  $\Delta U_T = U_{T+} - U_{T-}$

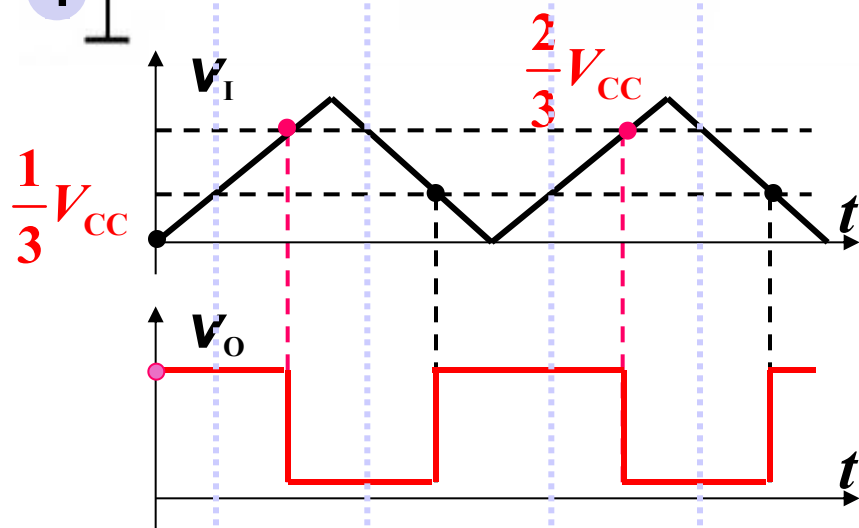
## 7.5.2 555构成施密特触发器



从电压波形知：  
此为**施密特反相器**

$$V_{T+} = \frac{2}{3}V_{CC}, V_{T-} = \frac{1}{3}V_{CC}$$

$$\Delta V_T = \frac{1}{3}V_{CC}$$



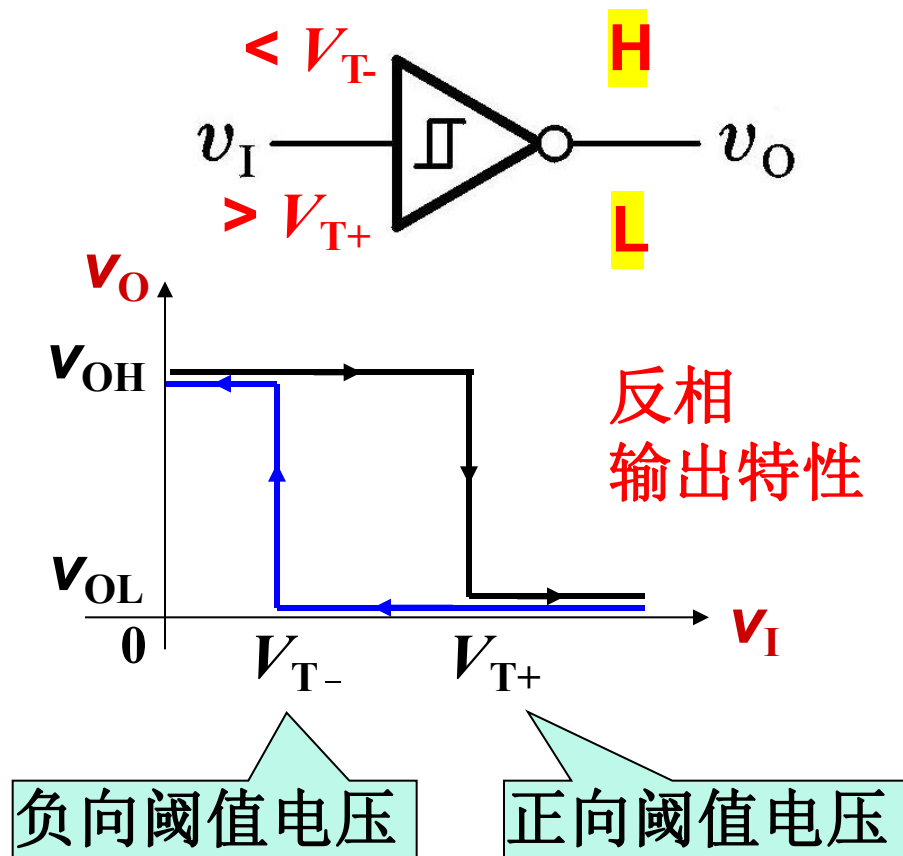
## 7.5.2 施密特非门的电压传输特性

### 施密特触发器的特点

1. 输入信号从低电平上升的过程中，电路状态转换时对应的输入电平，与输入信号从高电平下降过程中对应的输入转换电平不同。
2. 电路状态转换时，通过电路内部的正反馈过程使输出电压波形的边沿变得很陡。

$$\Delta V_T = V_{T+} - V_{T-}$$

$\Delta V_T$  称为回差电压



# 施密特触发器的应用

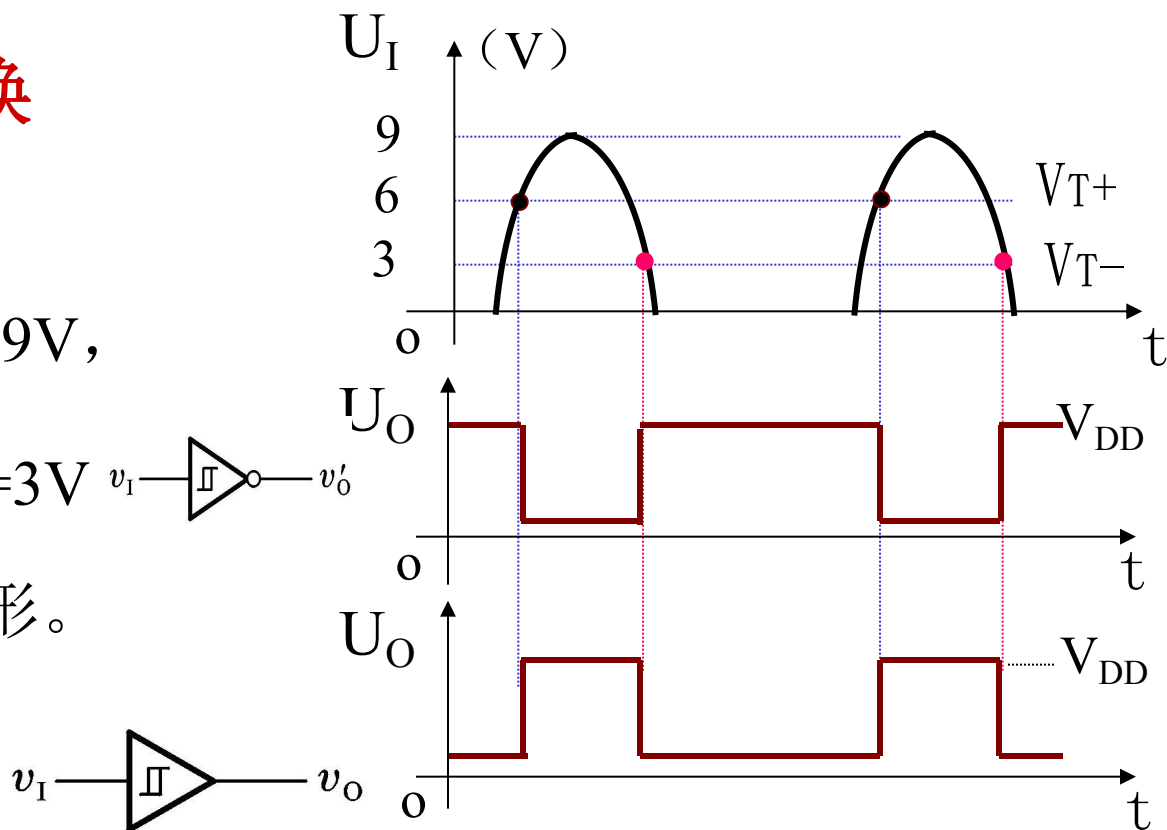
## 一、用于波形变换

例：

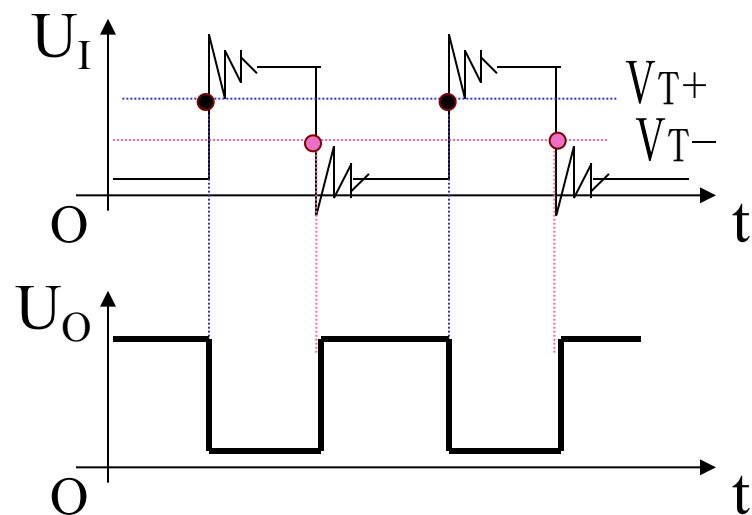
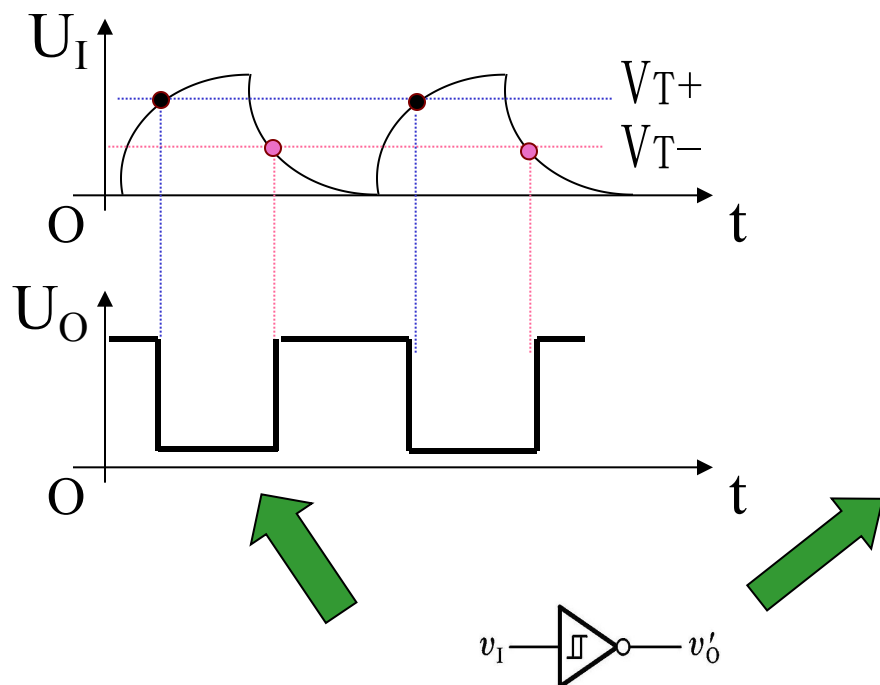
已知 $U_I$ 为半波， $U_{Im}=9V$ ，

电路的 $V_{T+}=6V$ ， $V_{T-}=3V$   $v_I \rightarrow \text{施密特触发器} \rightarrow v'_O$

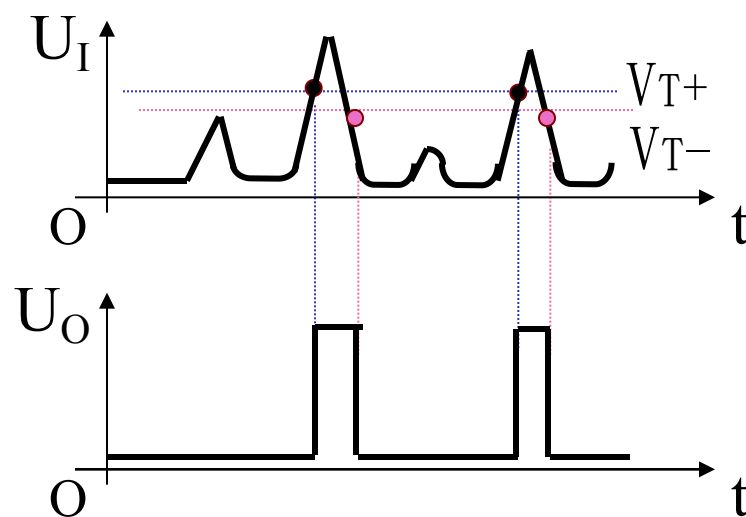
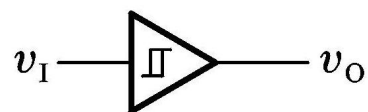
$U_{OH}=V_{DD}$ ，试画 $U_O$ 波形。



## 二、用于脉冲整形



## 三、用于脉冲鉴幅

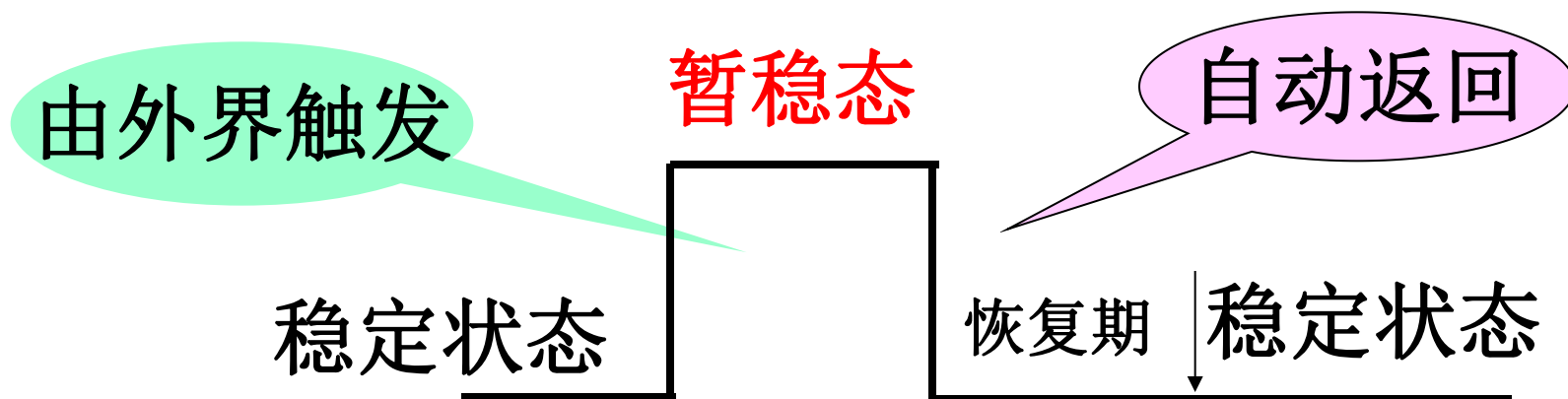


### 7.5.3 555定时器接成单稳态触发器

单稳态触发器是一种常用的**脉冲整形电路**，简称单稳。

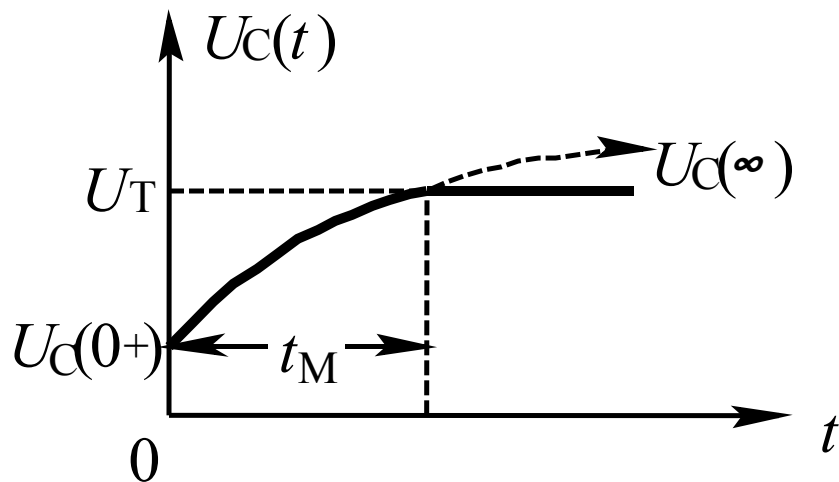
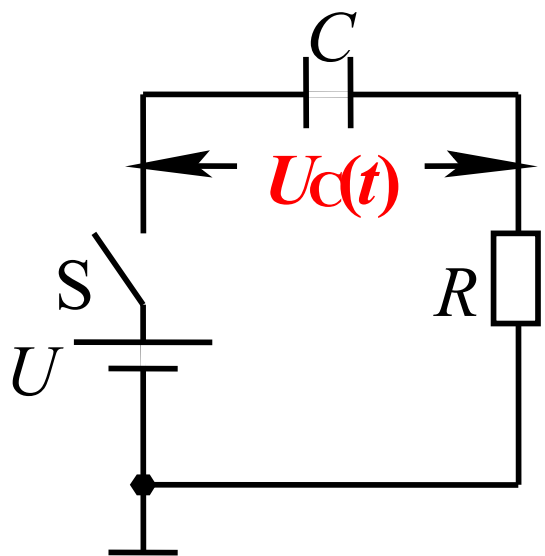
工作特性：

- ① 它有**稳态**和**暂稳态**两个不同的工作状态；
- ② 在**外界触发脉冲**作用下，能从稳态翻转到暂稳态，在暂稳态维持一段时间以后，电路能**自动返回稳态**；
- ③ 暂稳态不能长久保持，其维持时间的长短取决于电路自身参数，与外界触发脉冲无关。



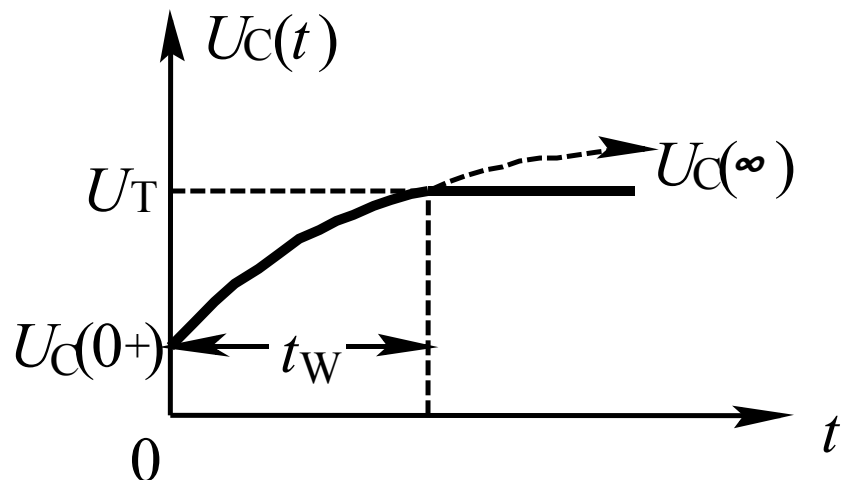
## 脉冲产生电路的暂态分析

脉冲波形产生与整形电路多是由RC充放电电路构成的。



- ① 开关闭合的一瞬间，电容器上电压不能突变，满足开关定理  $U_C(0_+) = U_C(0_-)$ 。
- ② 充电暂态过程结束后，流过电容器的电流  $i_C(\infty)$  为0，即电容器相当于开路。





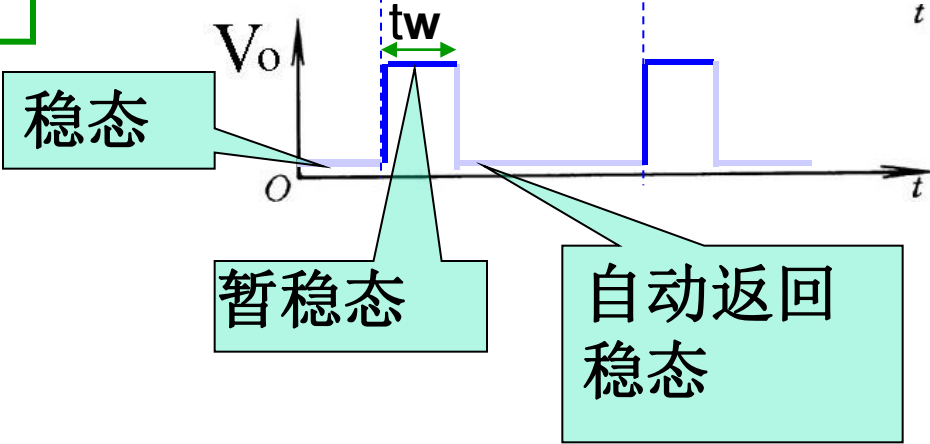
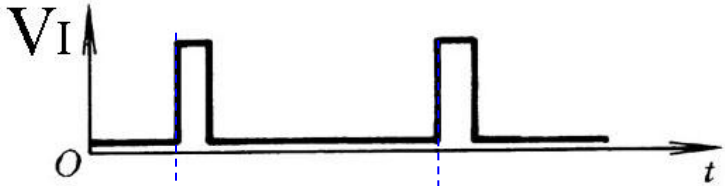
③ 电路的时间常数  $\tau = RC$ ， $\tau$  决定了暂态时间的长短。根据三要素公式，可以得到电压随时间变化的方程为

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

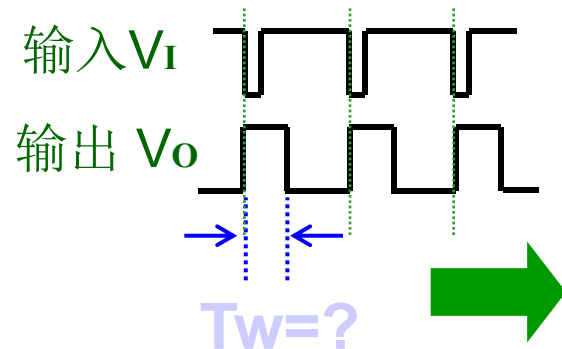
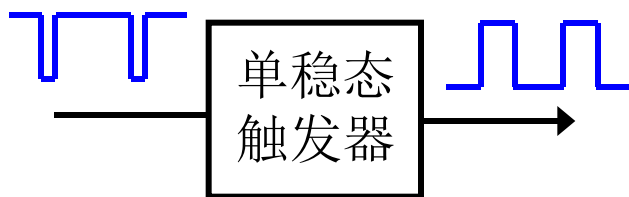
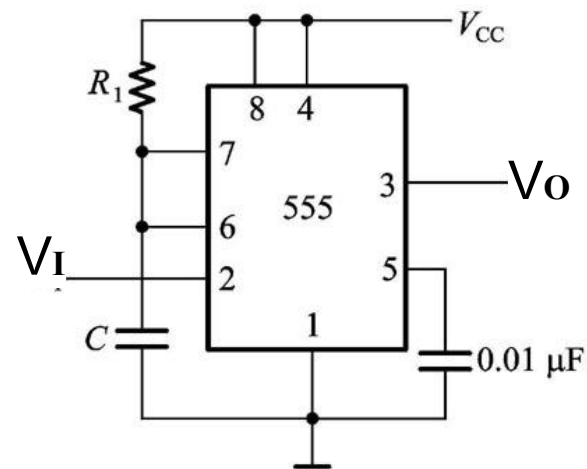
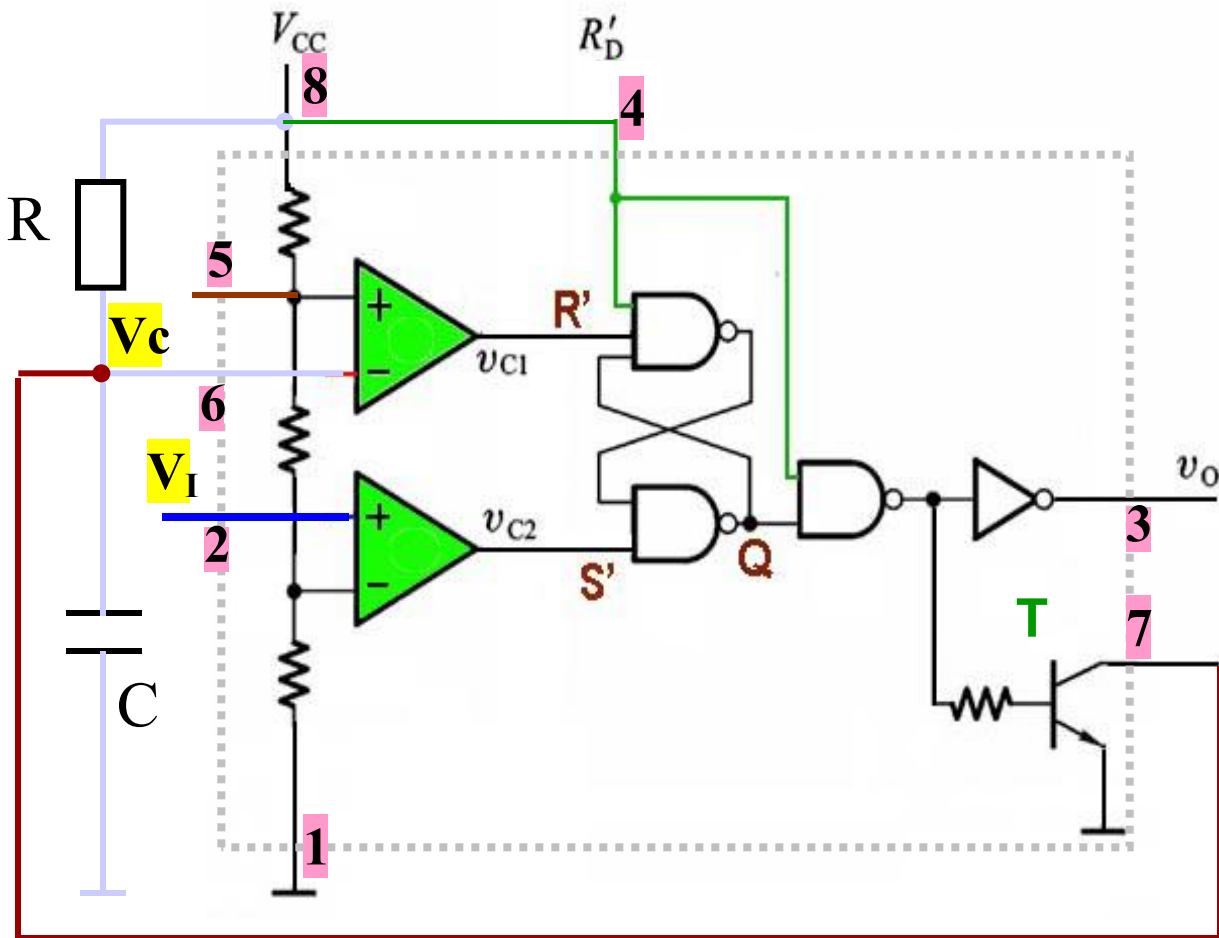
④ 令  $u_C(t_W) = U_T$ ，则从暂态过程的起始值  $U_C(0_+)$  变到  $U_T$  所经历的时间  $t_W$ （脉冲宽度）可用下式计算：

$$t_W = RC \ln \frac{U_C(\infty) - U_C(0_+)}{U_C(\infty) - U_T}$$

微分型单稳态触发器



### 7.5.3 用555定时器接成的单稳态触发器

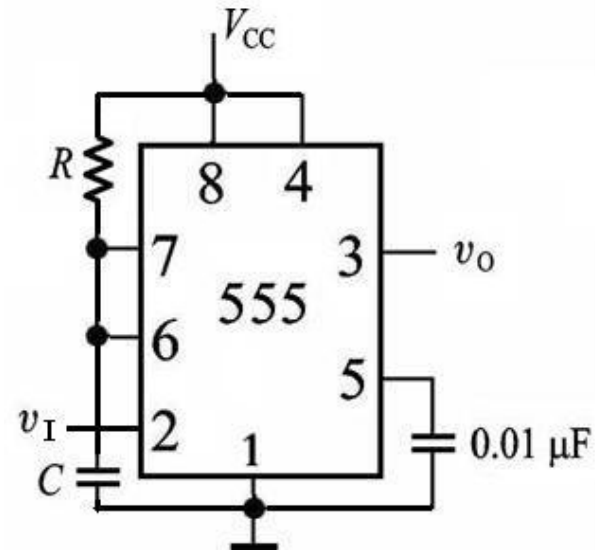


总之：不触发， $U_o=0$ ； 触发， $U_o=1$

$U_o=1$ 维持一段时间又返回 $U_o=0$

充电回路： $V_{CC}^+ \rightarrow R \rightarrow C \rightarrow V_{CC}^-$ （充电慢）

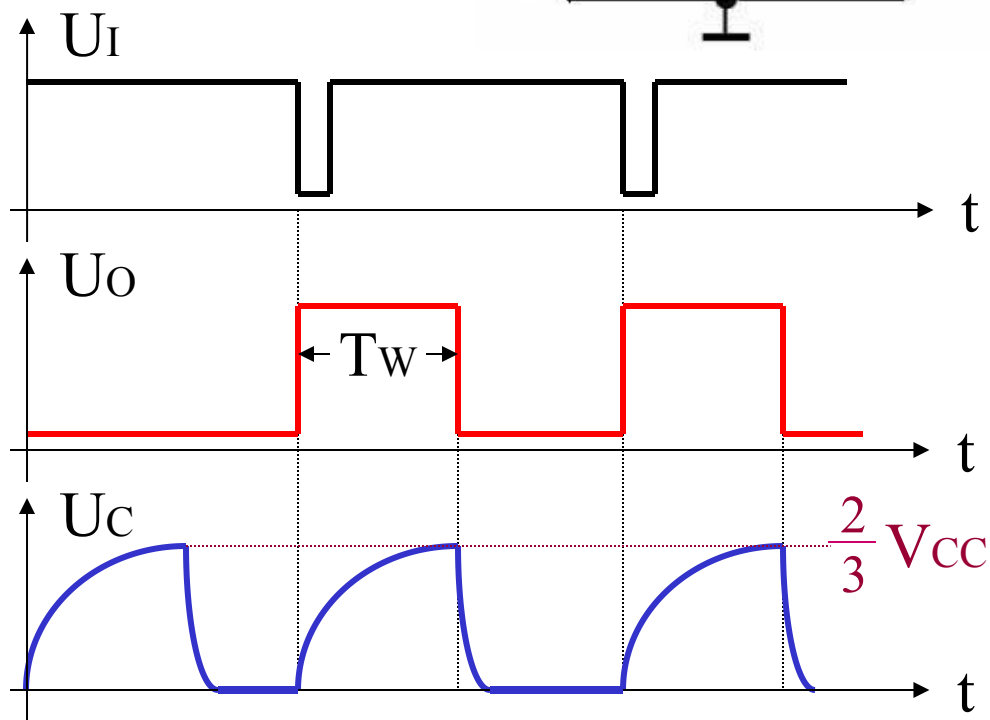
放电回路： $C^+ \rightarrow T_D \rightarrow C^-$ （放电快）



## 电压波形

$$T_w \approx RC \ln \frac{V_{CC}-0}{V_{CC}-\frac{2}{3}V_{CC}}$$

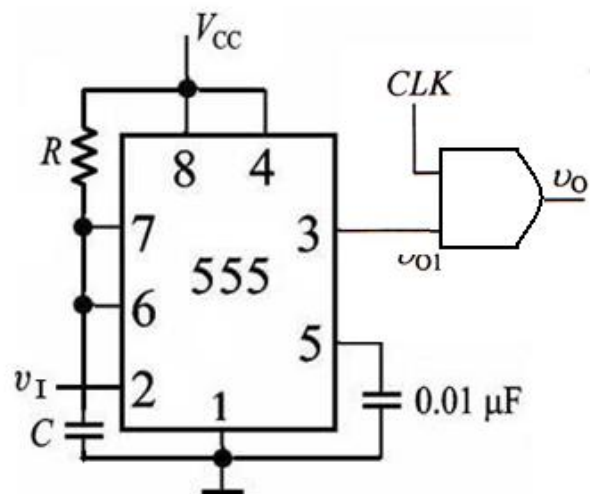
$$T_w \approx RC \ln 3 = 1.1RC$$



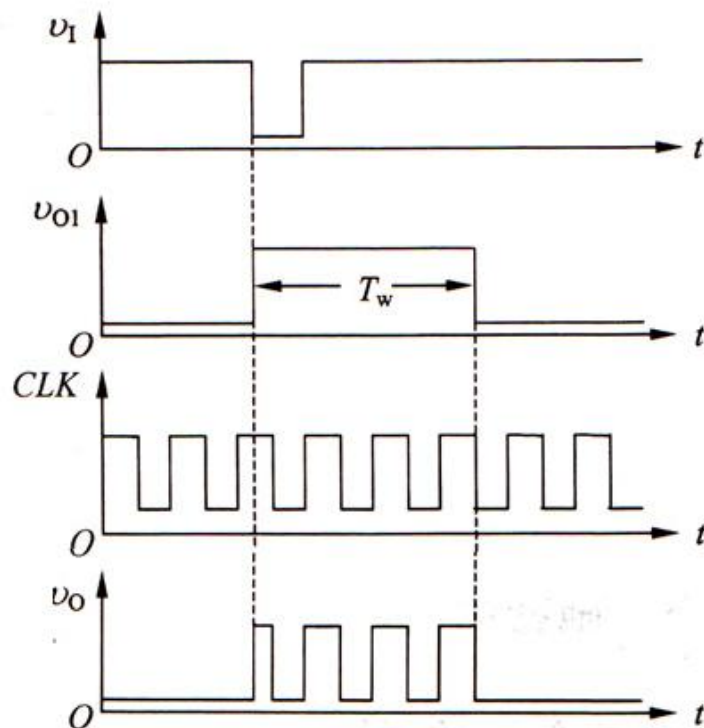
注意；第二次触发必须在第一次触发稳定之后进行。

# 单稳态触发器的应用举例

## 1. 脉冲定时



(a) 电路图



(b) 波形图

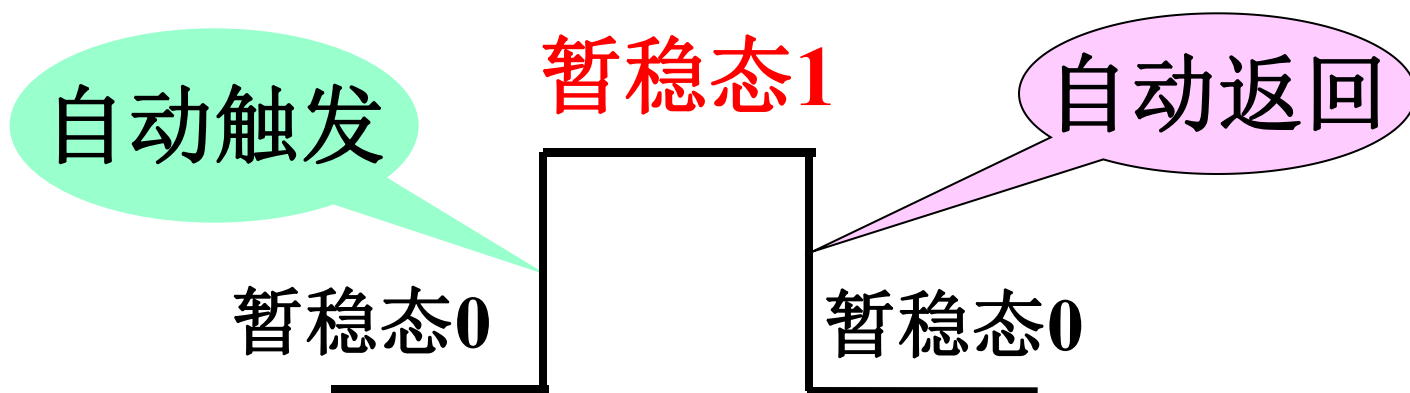
单稳态触发器做定时控制的应用

## 7.5.4 555定时器接成多谐振荡器

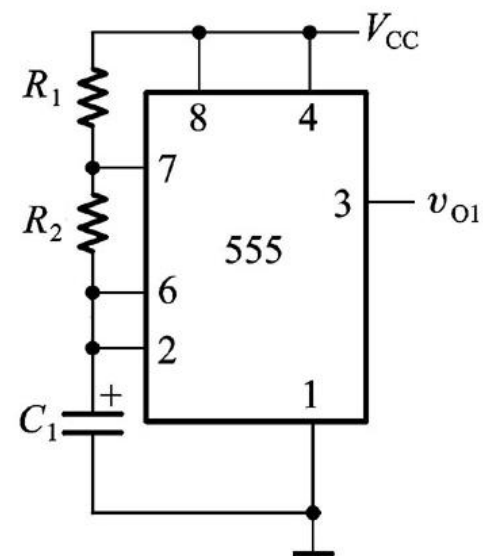
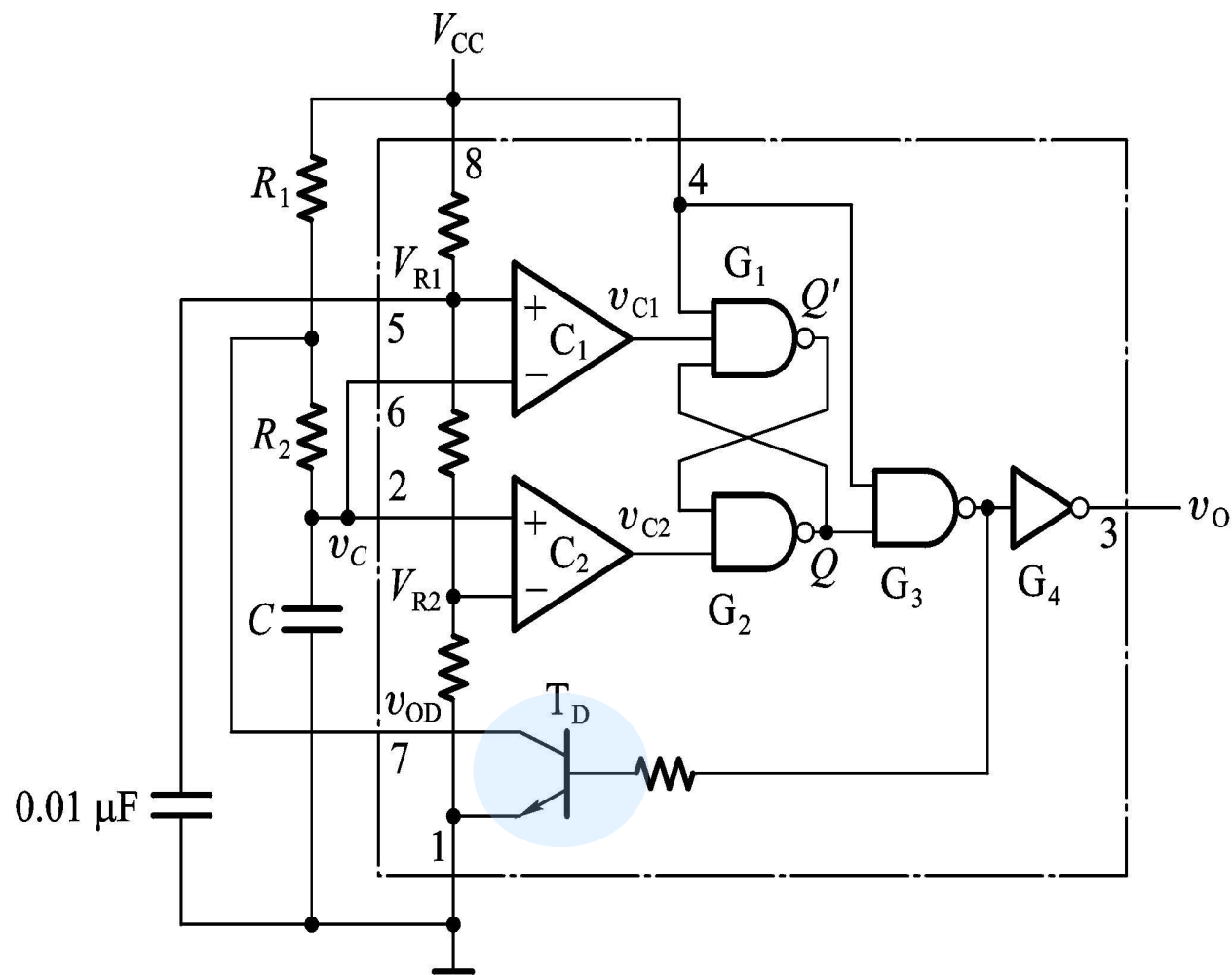
多谐振荡器是一种常用的**脉冲信号产生电路**。

工作特性：

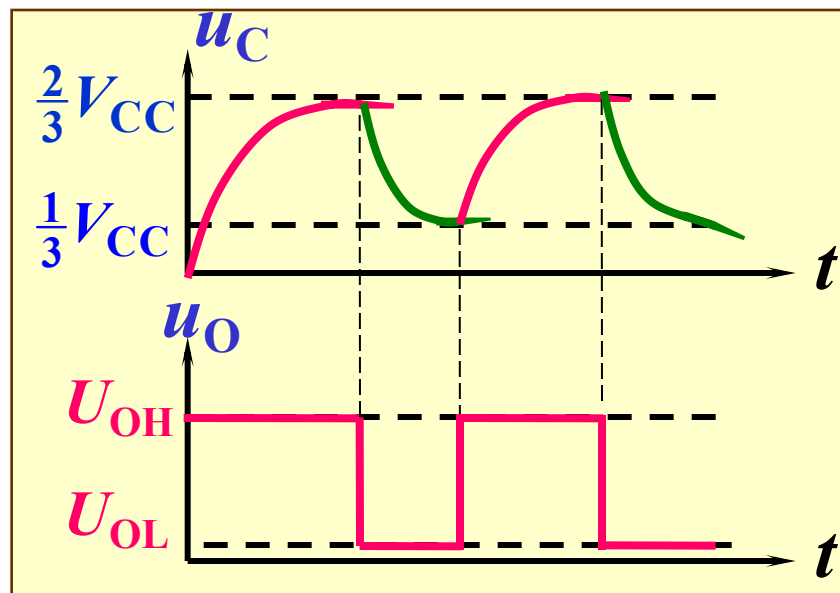
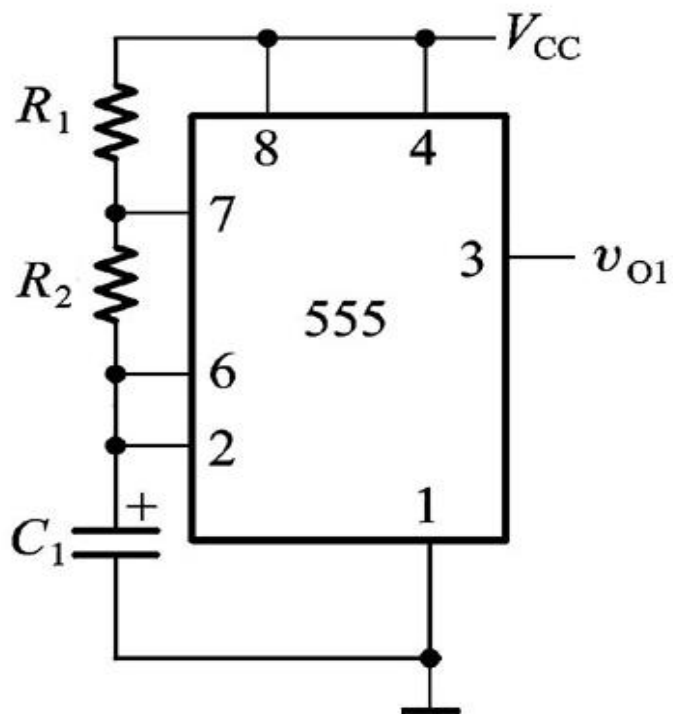
- ① **无稳态**，具有两个暂稳态；
- ② **自激振荡器**——在接通电源后，不需外加触发信号，便能自动产生矩形脉冲；
- ③ 矩形波中除基波外，还含有丰富的高次谐波——故称为**多谐振荡器**。



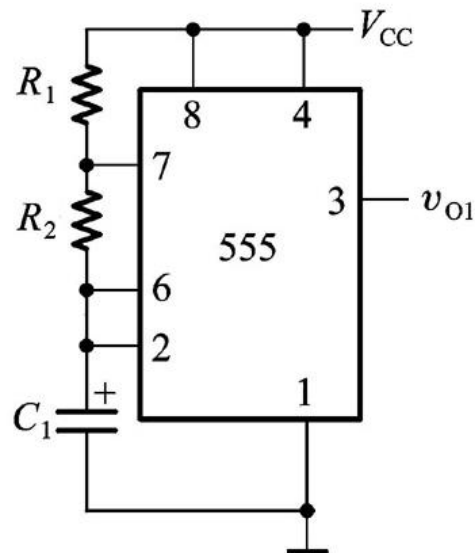
## 7.5.4 用555定时器接成的多谐振荡器



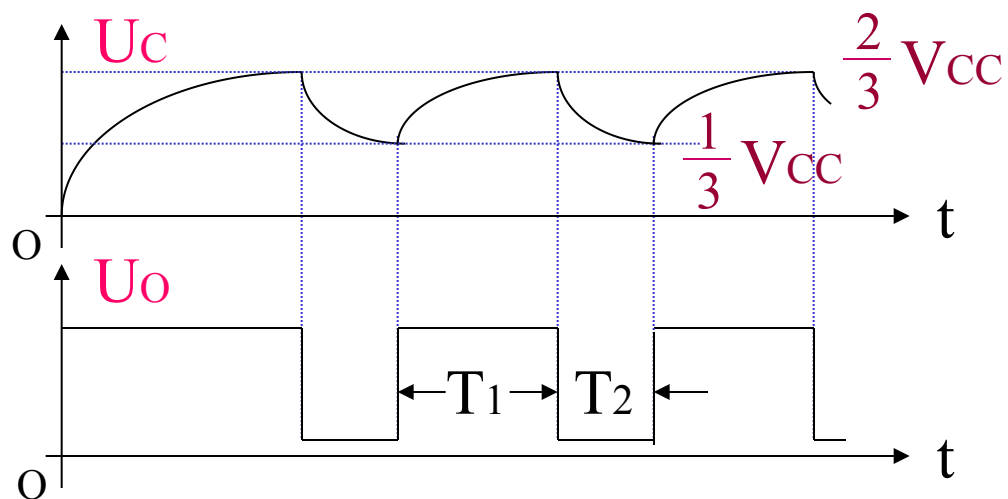
# 一、电路组成和工作原理







## 电压波形



本例:

$$T_1 = 0.7(R_1 + R_2)C;$$

$$T_2 = 0.7R_2C;$$

## 二、电路计算

$$T_1 = (R_1 + R_2)C \ln \frac{V_{CC} - V_{T-}}{V_{CC} - V_{T+}}$$

$$T_2 = R_2C \ln \frac{0 - V_{T+}}{0 - V_{T-}}$$

$$T = 0.7(R_1 + 2R_2)C;$$

$$q = T_1/T = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2}$$

为了得到小于或等于50%的占空比，  
可对电路加以改进。

**充电：**  $D_1$ 导通， $D_2$ 截至

$$T_1 = R_1 C \ln 2$$

**放电：**  $D_2$ 导通， $D_1$ 截至

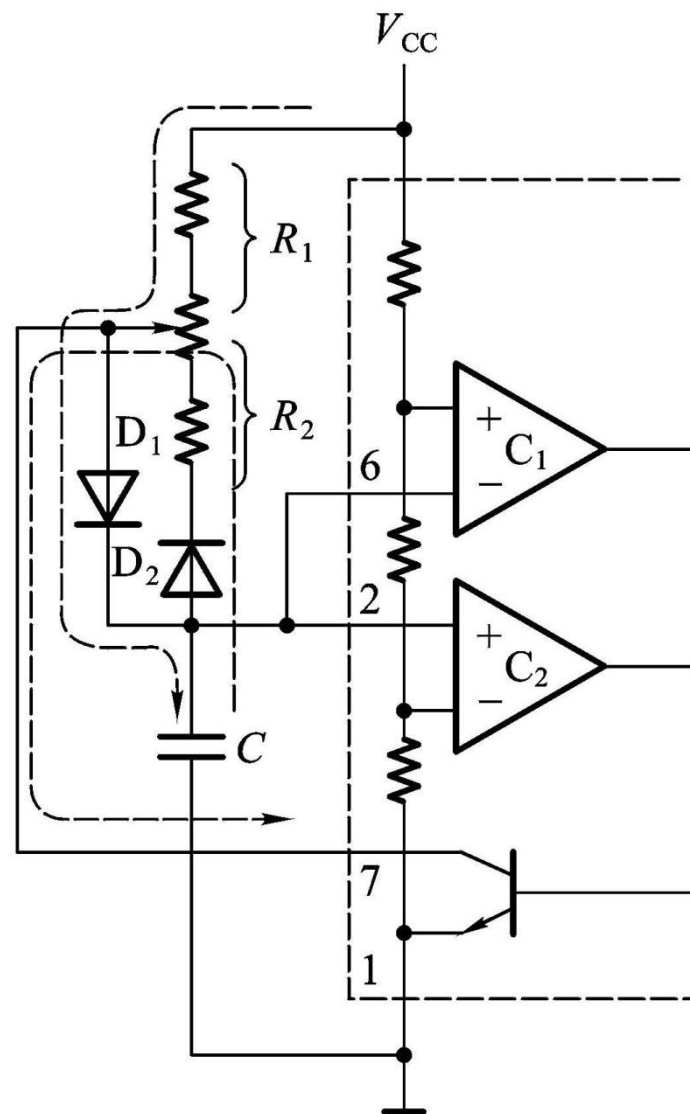
$$T_2 = R_2 C \ln 2$$

$$q = \frac{T_1}{T_1 + T_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

若 $R_1 = R_2$ ，则 $q = 50\%$ ，输出为方波。

电路的振荡周期：

$$T = T_1 + T_2 = (R_1 + R_2) C \ln 2$$



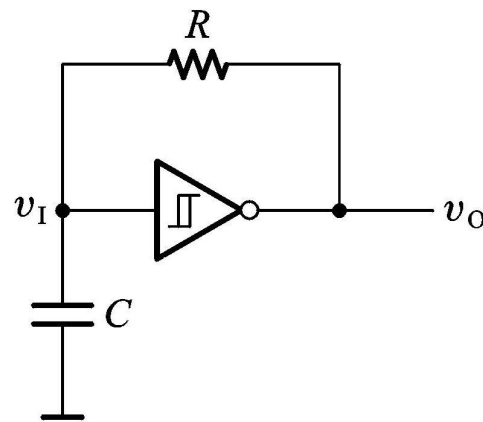
# 用施密特触发器构成多谐振荡器

## 工作原理

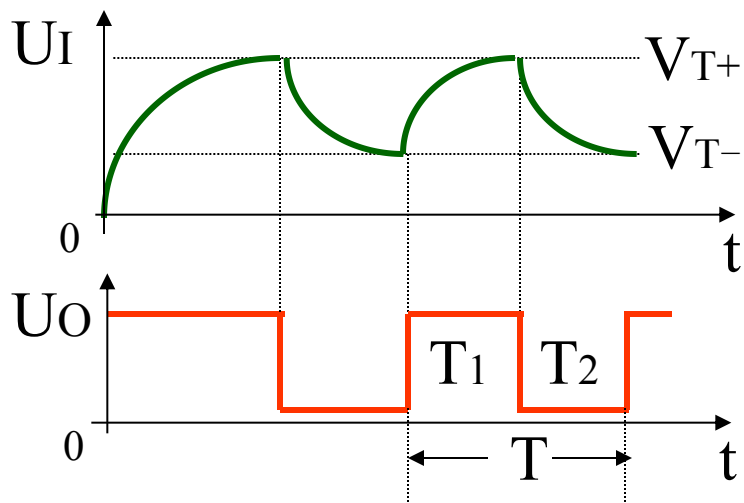
接通 $V_{CC}$ 瞬间，C中无电荷，所以：

- 1)  $U_C=0 \rightarrow U_I=0 \rightarrow U_O=1$
- 2)  $U_O=1 \rightarrow C$ 充电  $\rightarrow U_I \uparrow$ ,  $U_I \uparrow = V_{T+} \rightarrow U_O=0$
- 3)  $U_O=0 \rightarrow C$ 放电  $\rightarrow U_I \downarrow$ ,  $U_I \downarrow = V_{T-} \rightarrow U_O=1$

## 1、组成



## 3、电压波形

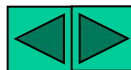


则：

$$T_1 = RC \ln \frac{V_{CC} - V_{T-}}{V_{CC} - V_{T+}}$$

$$T_2 = RC \ln \frac{0 - V_{T+}}{0 - V_{T-}}$$

$$T = T_1 + T_2; \quad f = 1/T; \quad q = T_1/T$$



## 电路改进

占空比可调电路如图：

充电经过 $R_2$ ，放电经过 $R_1$ ，

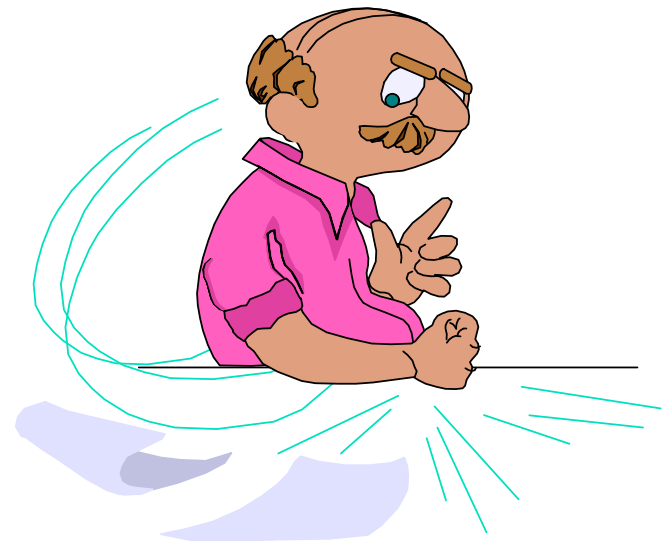
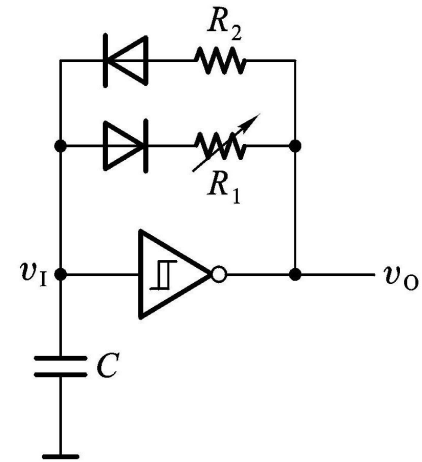
$$T_1 = R_2 C \ln \frac{V_{CC} - V_{T-}}{V_{CC} - V_{T+}}$$

$$T_2 = R_1 C \ln \frac{V_{T+}}{V_{T-}}$$

$$T = T_1 + T_2$$

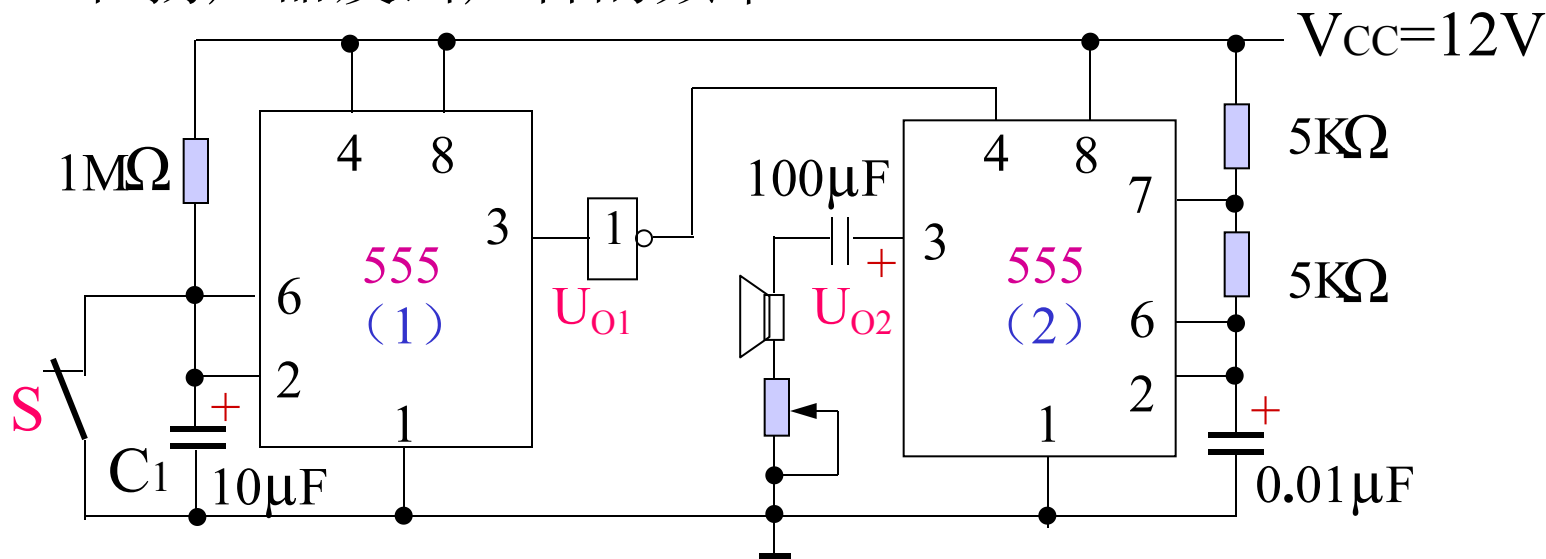
$$q = T_1 / T$$

调节 $R_1$  或  $R_2$ ，即可调节 $q$



## 555定时器应用举例：

下图是用555定时器接成的延时报警器。当开关S断开后，经过一定的延迟时间后扬声器开始发出声音。试求延迟的时间 $T_D$ 和扬声器发出声音的频率 $f$ 。

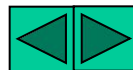


解：(1) 片接成施密特触发器，(2) 片接成多谐振荡器。

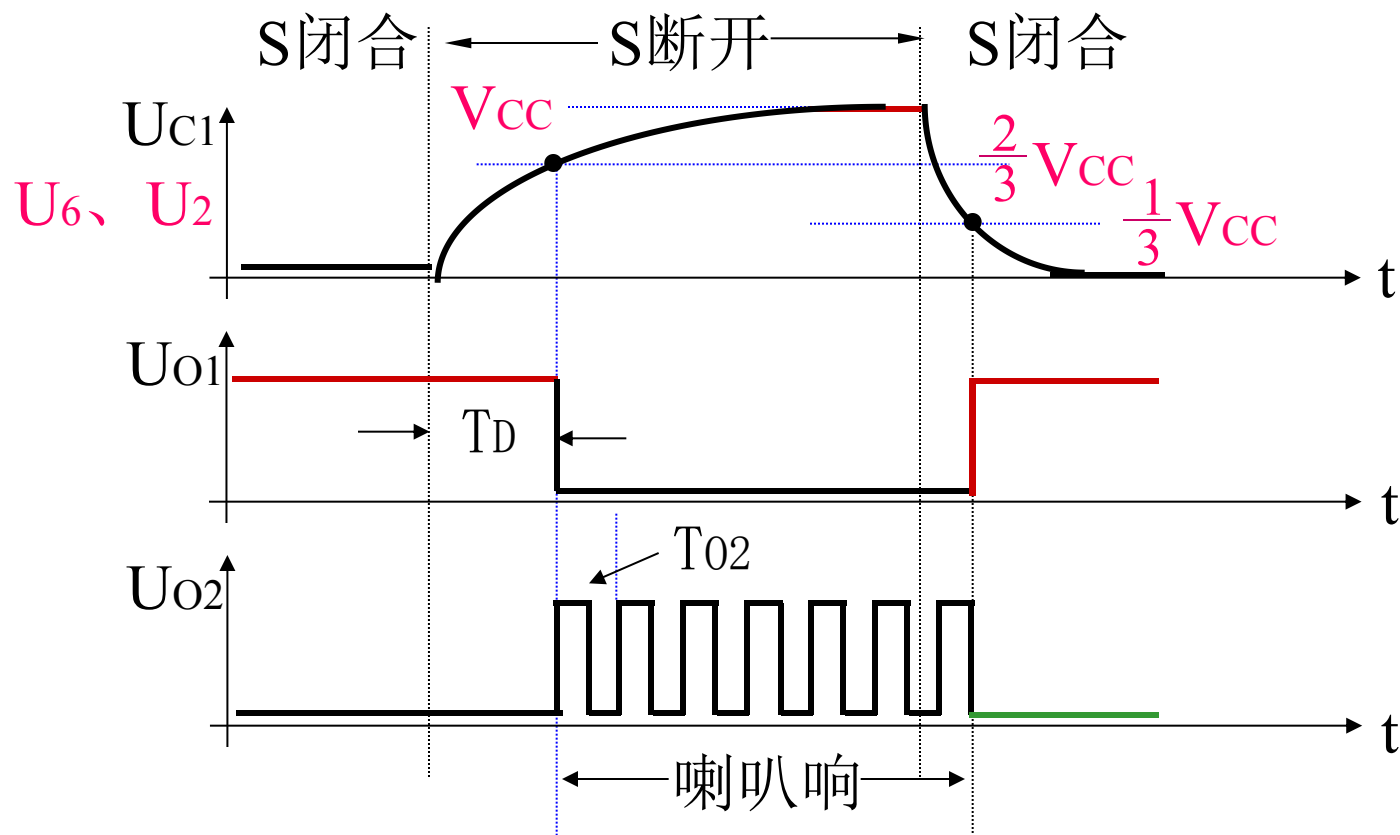
$U_6=U_2=U_{C1}$  的电压波形通过操纵开关S获得。

当 $U_{O1}=1$ 时；(2) 片的  $\overline{R_D}=0$ ，(2) 片不工作。

当 $U_{O1}=0$ 时；(2) 片自激振荡，喇叭出声。



工作波形：



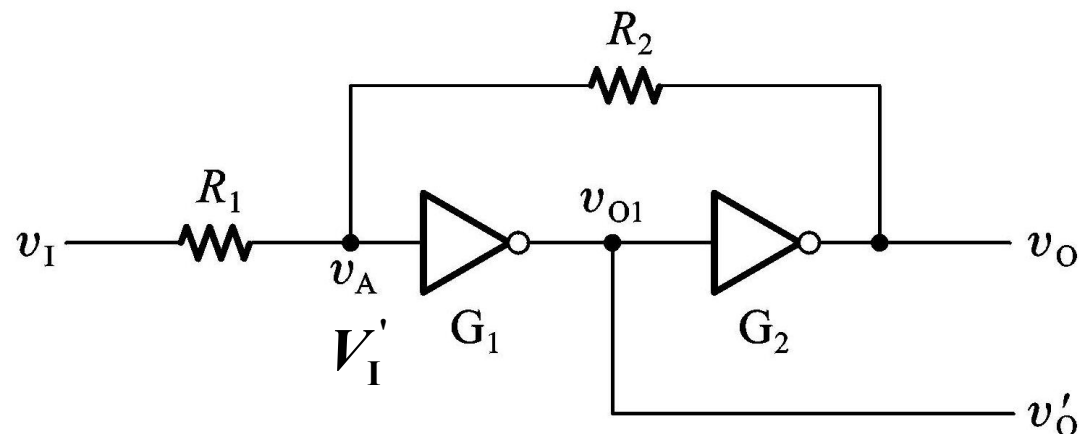
$$T_D = RC \ln \frac{V_{CC} - 0}{V_{CC} - \frac{2}{3}V_{CC}} = 10^6 \times 10 \times 10^{-6} \ln \frac{12}{12-8} \approx 11 \text{ (S)}$$

$$T_{02} = 0.7 (R_1 + 2R_2) C = 0.7 (5 + 2 \times 5) 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6} \approx 103.5 \mu\text{S}$$

$$f_{02} \approx 9.66 \text{ KHZ}$$

## 7.2.1 用门电路组成的施密特触发器

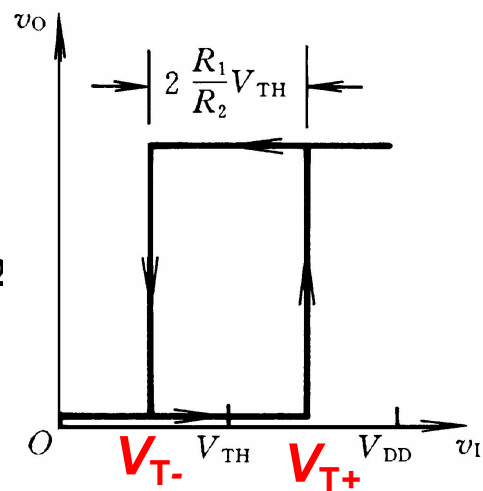
$$V_{OH} = V_{DD}, \quad V_{OL} = 0, \quad V_{TH} = \frac{1}{2}V_{DD}, \quad \text{且 } R_1 < R_2$$



当电路状态发生转变时

$$V_A = V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_I$$

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

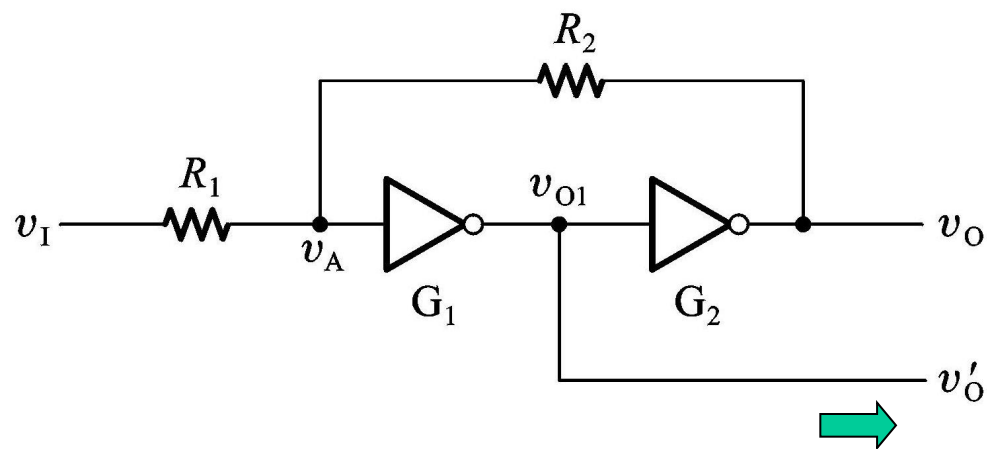


当  $V_I = 0$  时,  $V_O = 0$ 。

当  $V_I \uparrow$ , 至  $V_I' = V_{TH}$  时,  
进入传输特性的放大区,

$$V_I' \uparrow \rightarrow V_{O1} \downarrow \rightarrow V_O \uparrow$$

使电路迅速跳变到  $V_O = V_{OH}$



当电路状态发生转变时

$$V_A = V_{TH} \approx V_{DD} - (V_{DD} - V_{T-}) \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_I = V_{T-} = (1 - \frac{R_1}{R_2}) V_{TH}$$

**回差电压**

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

当  $V_I = 1$  时,  $V_O = 1$ 。

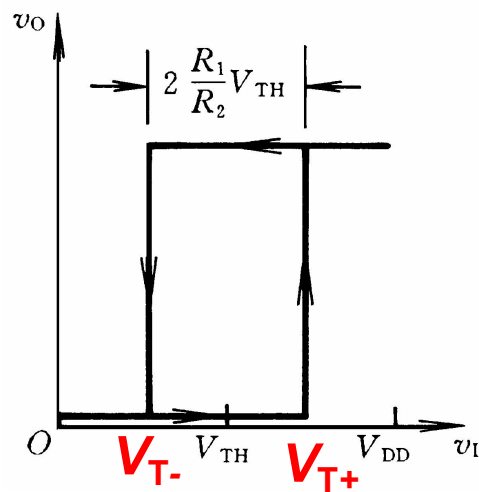
当  $V_I \downarrow$ , 至  $V_I' = V_{TH}$  时,

进入传输特性的放大区,

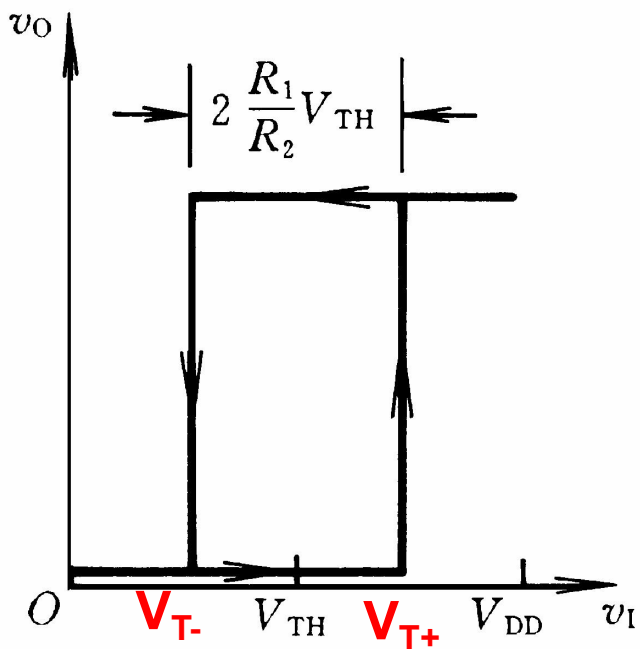
$$V_I' \downarrow \rightarrow V_{O1} \uparrow \rightarrow V_O \downarrow$$



使电路迅速跳变到  $V_O = V_{OL}$

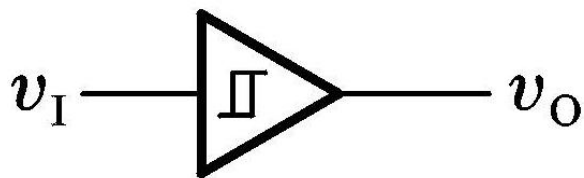




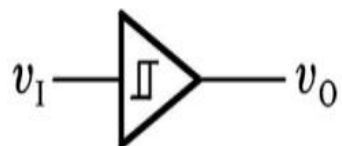
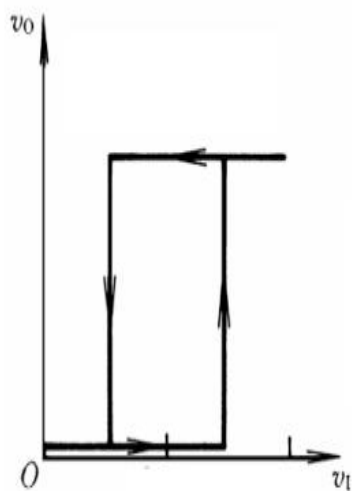
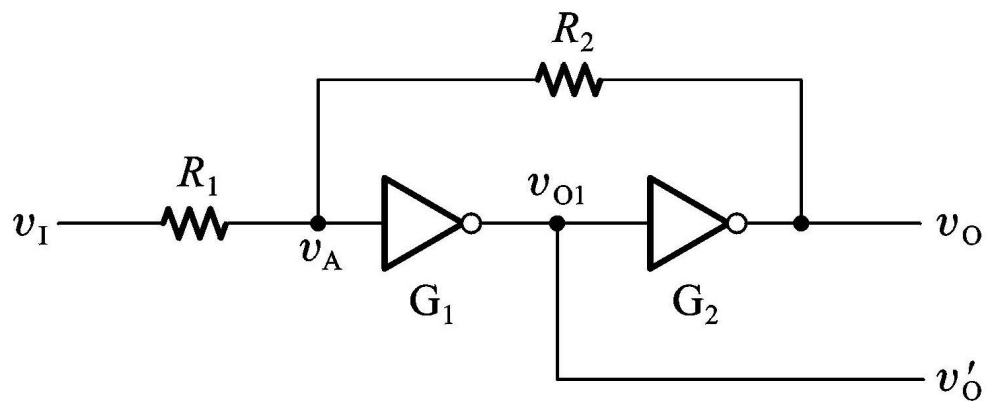


$$V_{T+} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_{TH}$$

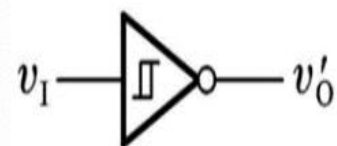
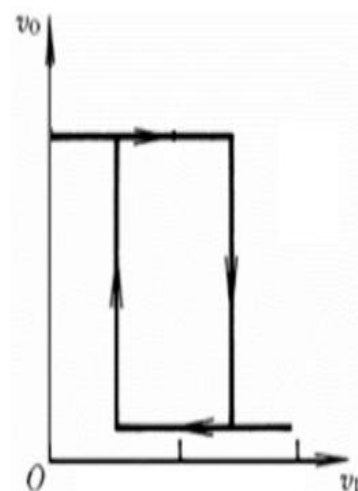
$$V_{T-} = \left(1 - \frac{R_1}{R_2}\right) V_{TH}$$



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



同向传输特性



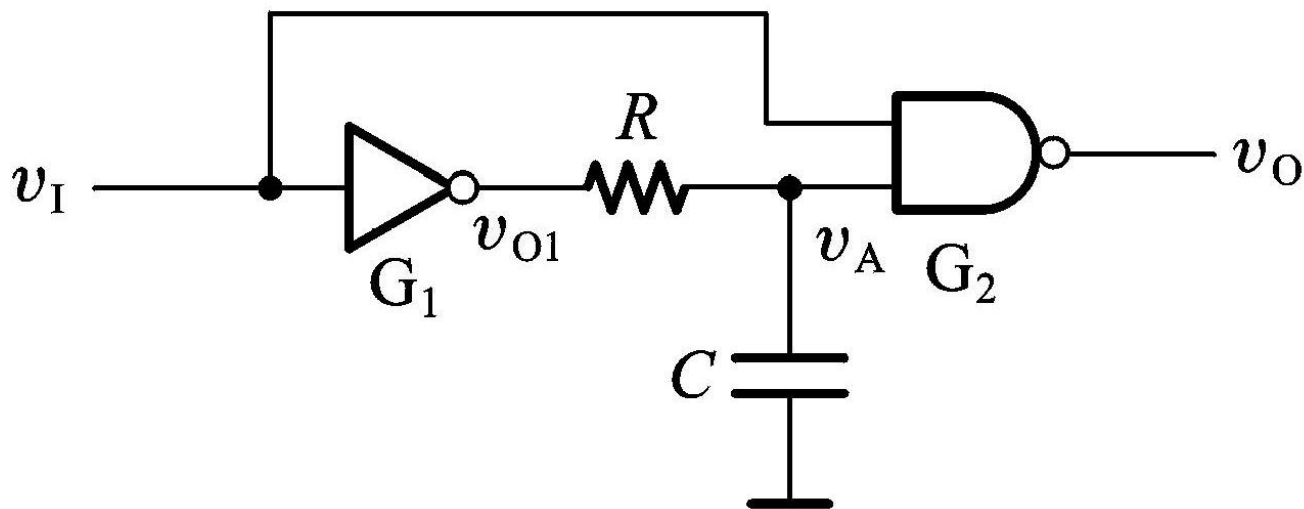
反向传输特性

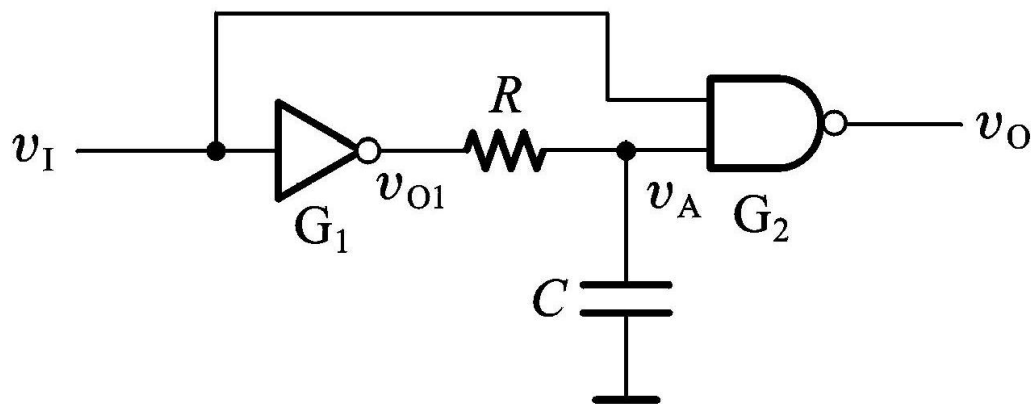
## 7.3.1 用门电路组成的单稳态触发器

### 积分型

#### 1、原理分析

$G_1$ 和 $G_2$ 为TTL门





\* 稳态下:  $V_I = 0, V_O = 1, (V_{O1} = V_{OH}), v_A = V_{OH};$

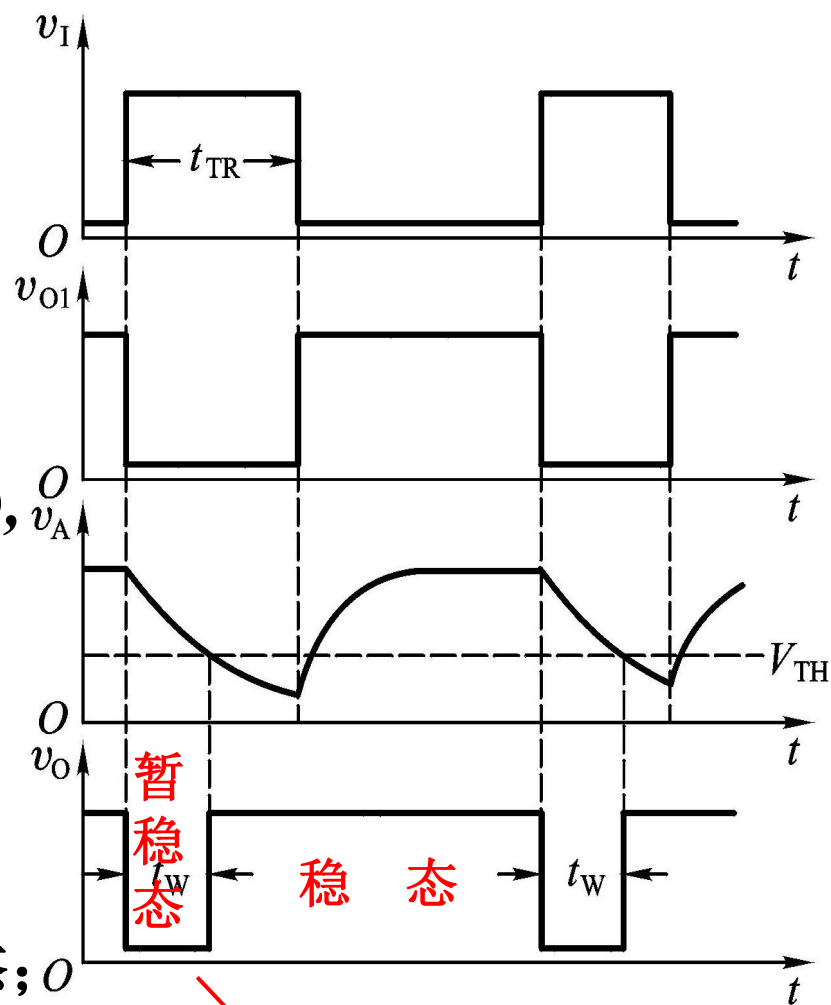
$V_A = V_{OH};$

\*  $V_I \uparrow$  后,  $V_O = 0$ , 进入暂稳态,

$V_{O1} = 0, C$  开始放电;

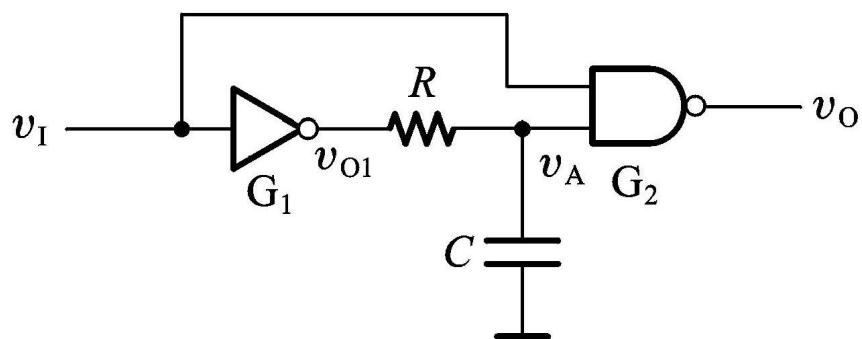
\* 当放至  $V_A = V_{TH}$  后,  $V_O = 1$ , 返回稳态; 0

\*  $V_I \downarrow$  后,  $C$  重新充电至  $V_{OH}$ , 恢复初始态;



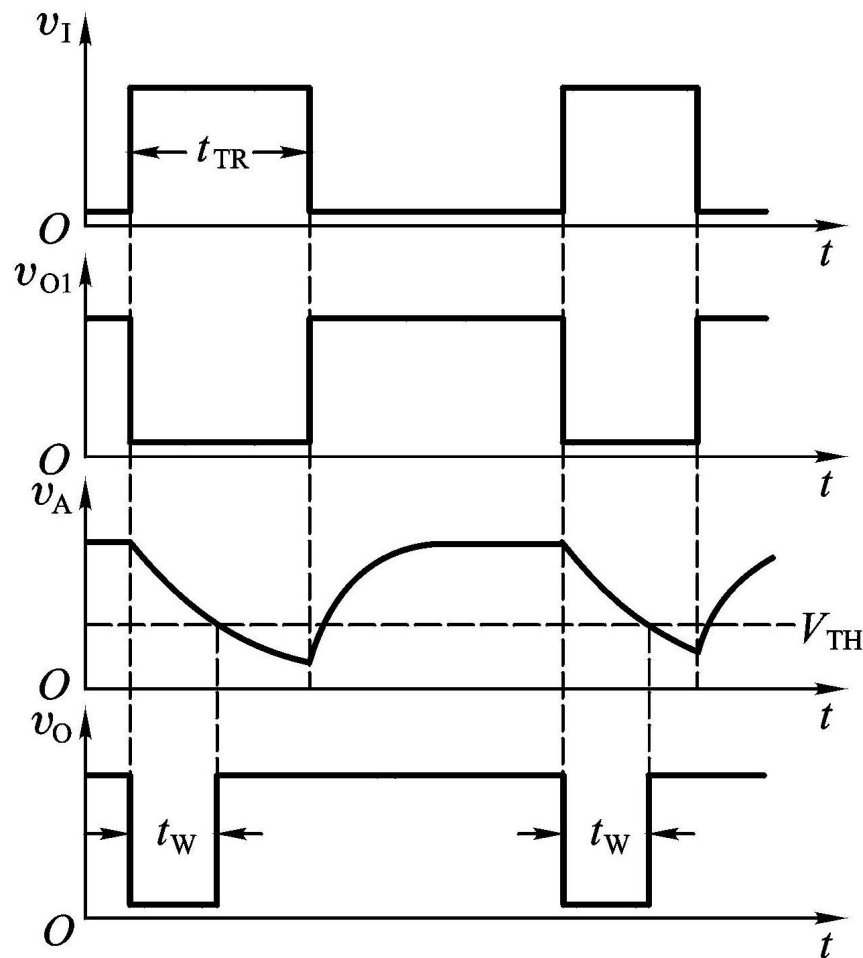
$t_w$  为输出脉宽

## 2. 性能参数计算



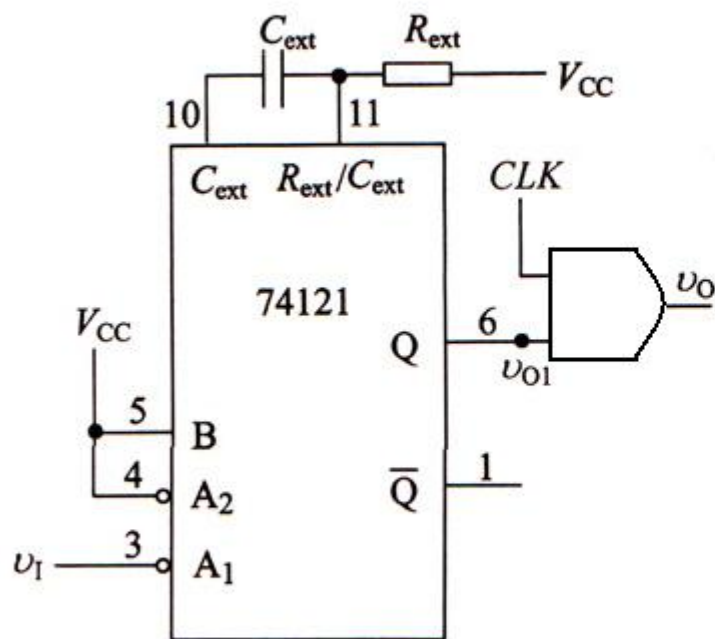
输出脉冲宽度（ $V_O = 0$ 时间）  
等于  $V_A$  从  $V_{OH}$  放电至  $V_{TH}$  的时间。

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

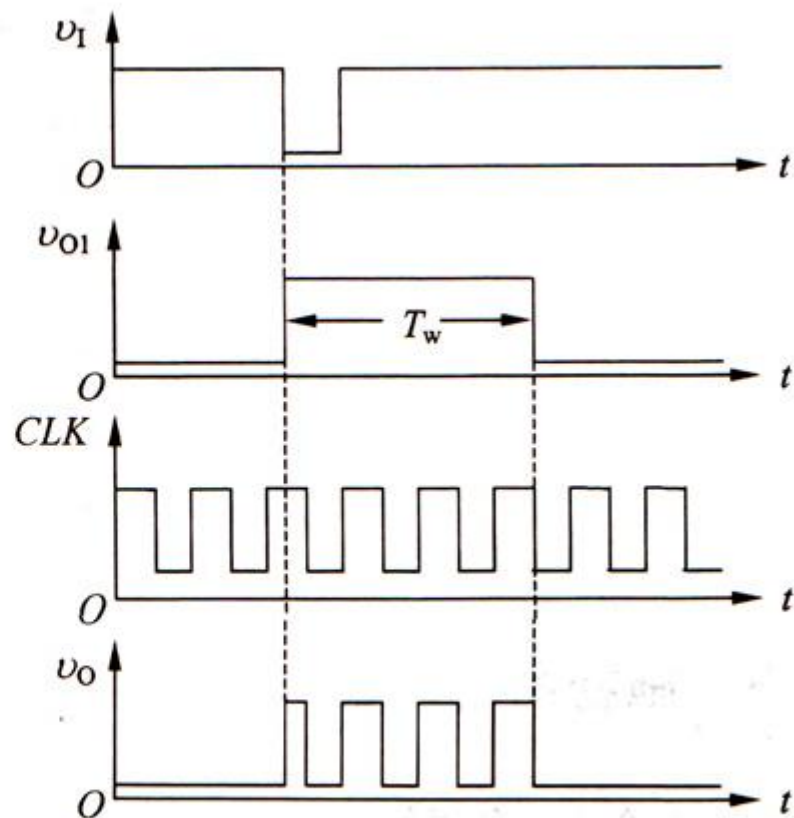


# 单稳态触发器的应用举例

## 1. 脉冲定时



(a) 电路图



(b) 波形图

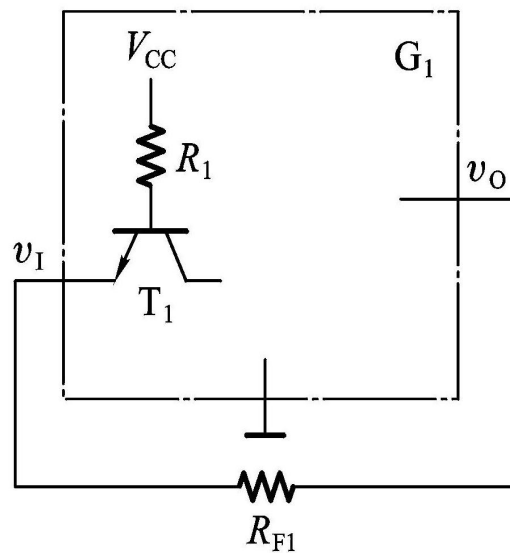
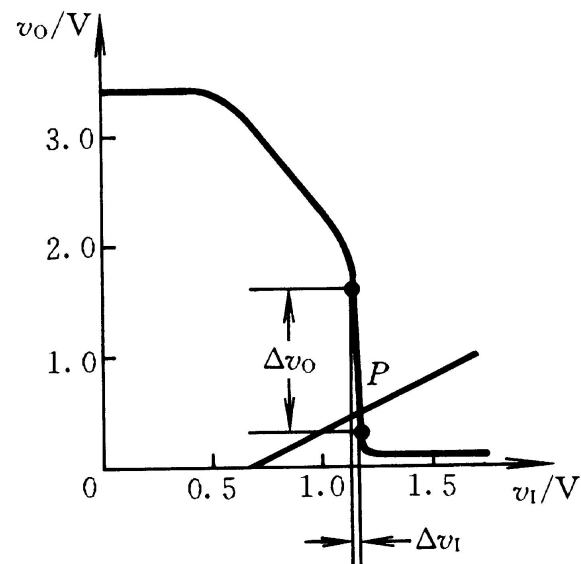
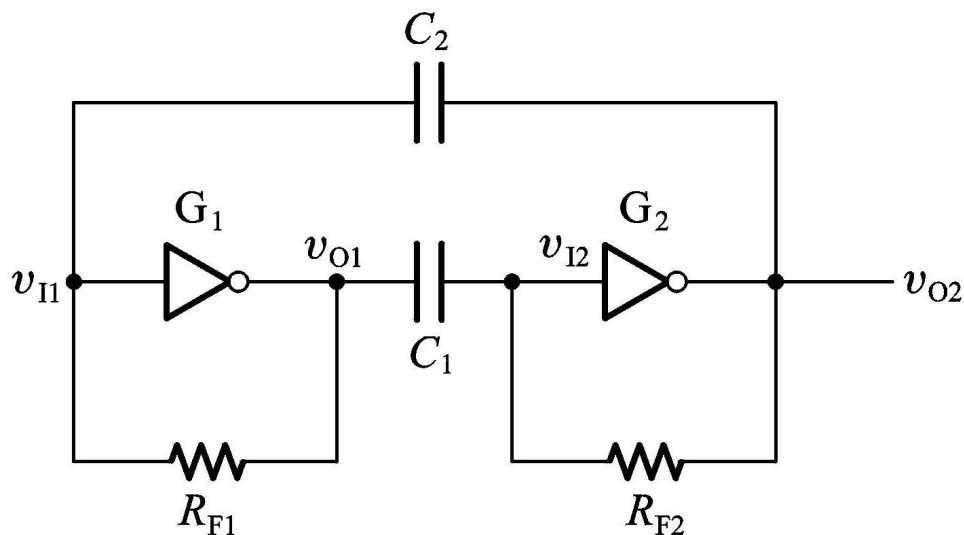
单稳态触发器做定时控制的应用

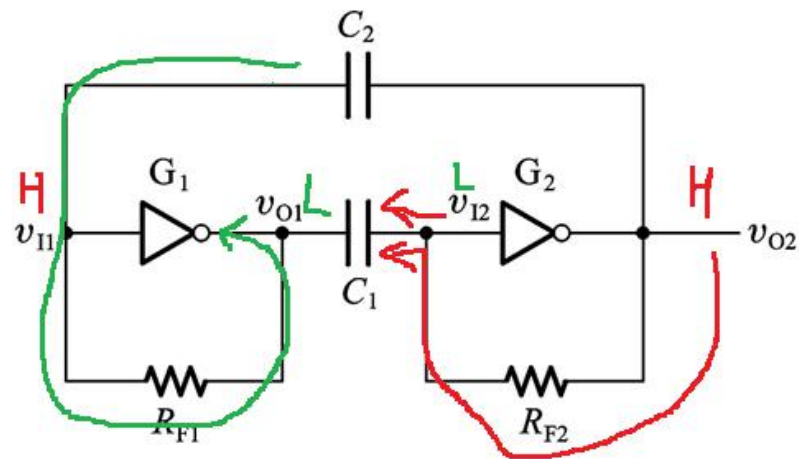
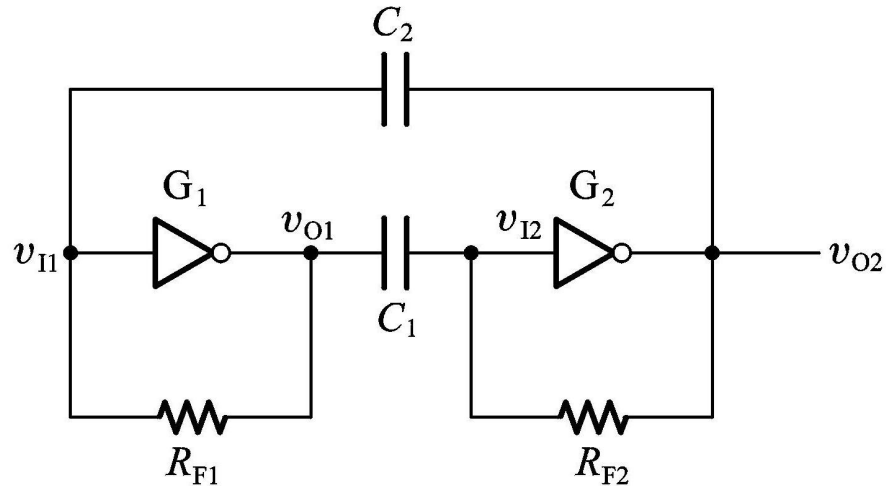
## 7.4 多谐振荡器（自激振荡，不需要外加触发信号）

### 7.4.1 对称式多谐振荡器

#### 一、工作原理（TTL）

(1) 静态（未振荡）时应是不稳定的





由于“扰动”使  $V_{I1}$  有微小  $\uparrow$ ，则有：

$$V_{I1} \uparrow \rightarrow V_{O1} \downarrow \rightarrow V_{I2} \downarrow \rightarrow V_{O2} \uparrow$$

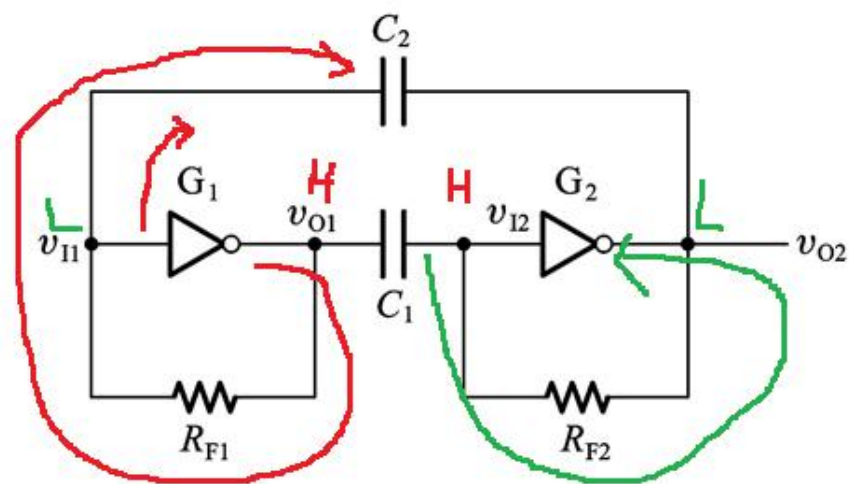
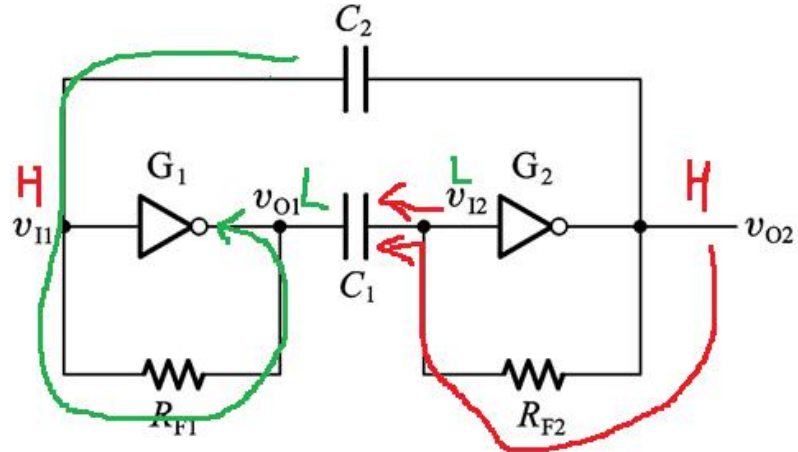
使  $V_{O1}$  迅速跳变为低，而

$V_{O2}$  迅速跳变为高。

电路进入第一个暂稳态，

$C_1$  开始充电， $C_2$  开始放电。





当  $V_{I2}$  充至  $V_{TH}$  时，再  $\uparrow$  将引起如下正反馈：

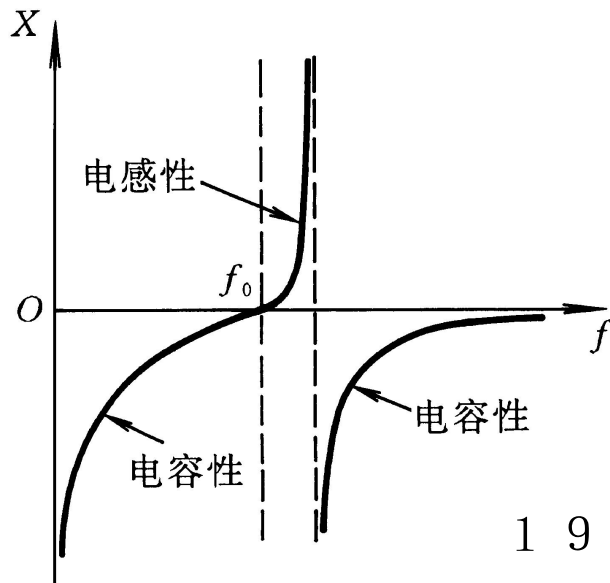
$$V_{I2} \uparrow \rightarrow V_{O2} \downarrow \rightarrow V_{I1} \downarrow \rightarrow V_{O1} \uparrow$$

使  $V_{O1}$  迅速跳变为高，而

$V_{O2}$  迅速跳变为低。

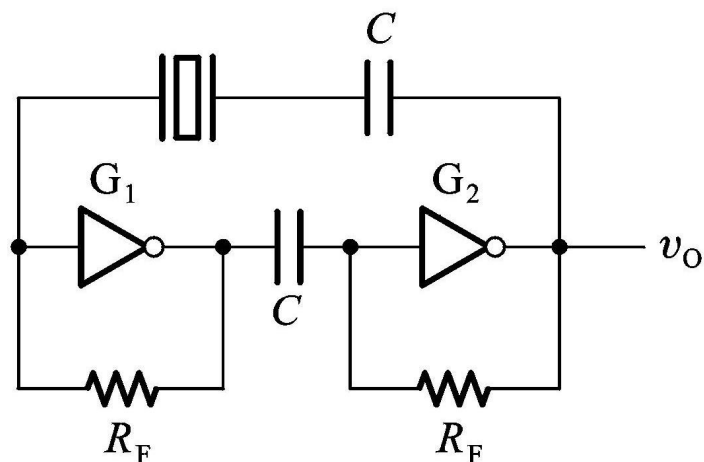
电路进入第二个暂稳态，  
 $C_2$  开始充电， $C_1$  开始放电。

## 7.4.5 石英晶体多谐振荡器



1922年

美国卡第提出用石英压电效应调制电磁振荡的频率。



巴黎广播电台首先用严济慈制作的石英振荡片实现了无线电播音中的稳频，随后各国相继采用，使无线广播振荡电磁回路稳频成为压电晶体的最重要应用之一。