

# 第十章 脉冲波形的产生与整形

- ★ 555定时器的工作原理和应用；
- ★ 555定时器的逻辑功能；
- ★ 由555构成的脉冲电路。

数字电路与模拟电路的区别：工作信号为离散脉冲信号。

一、什么是脉冲信号？

矩形波；三角波；锯齿波

狭义：持续时间极短的电压或电流信号

广义：凡不具有连续正弦形状的信号

最常用的脉冲信号是方波(矩形波)。

二、什么是脉冲单元电路？

用来产生、变换、整形脉冲信号的电路

本章讨论重点：

- 如何产生方波？
- 对不理想的方波如何整形？

脉冲电路分类：

- 单稳态电路（单稳态触发器）
- 多谐振荡（无稳态）电路
- 施密特电路（施密特触发器）

脉冲电路作用：脉冲波形的产生和整形。

脉冲电路构成：开关电路 + RC电路

破坏电路的稳态，  
产生暂态。

控制暂稳态时  
间的长短。

脉冲电路与数字电路的比较：

- ★脉冲电路侧重波形，数字电路侧重逻辑关系。
- ★数字电路的信号波形也是一种脉冲波形。

# 555定时器的原理和应用

## 555定时器:

一种多用途的数字—模拟混合集成电路。在外部配上适当的阻容元件即可方便地构成施密特触发器、单稳态触发器和多谐振荡器。使用方便,带负载能力较强。

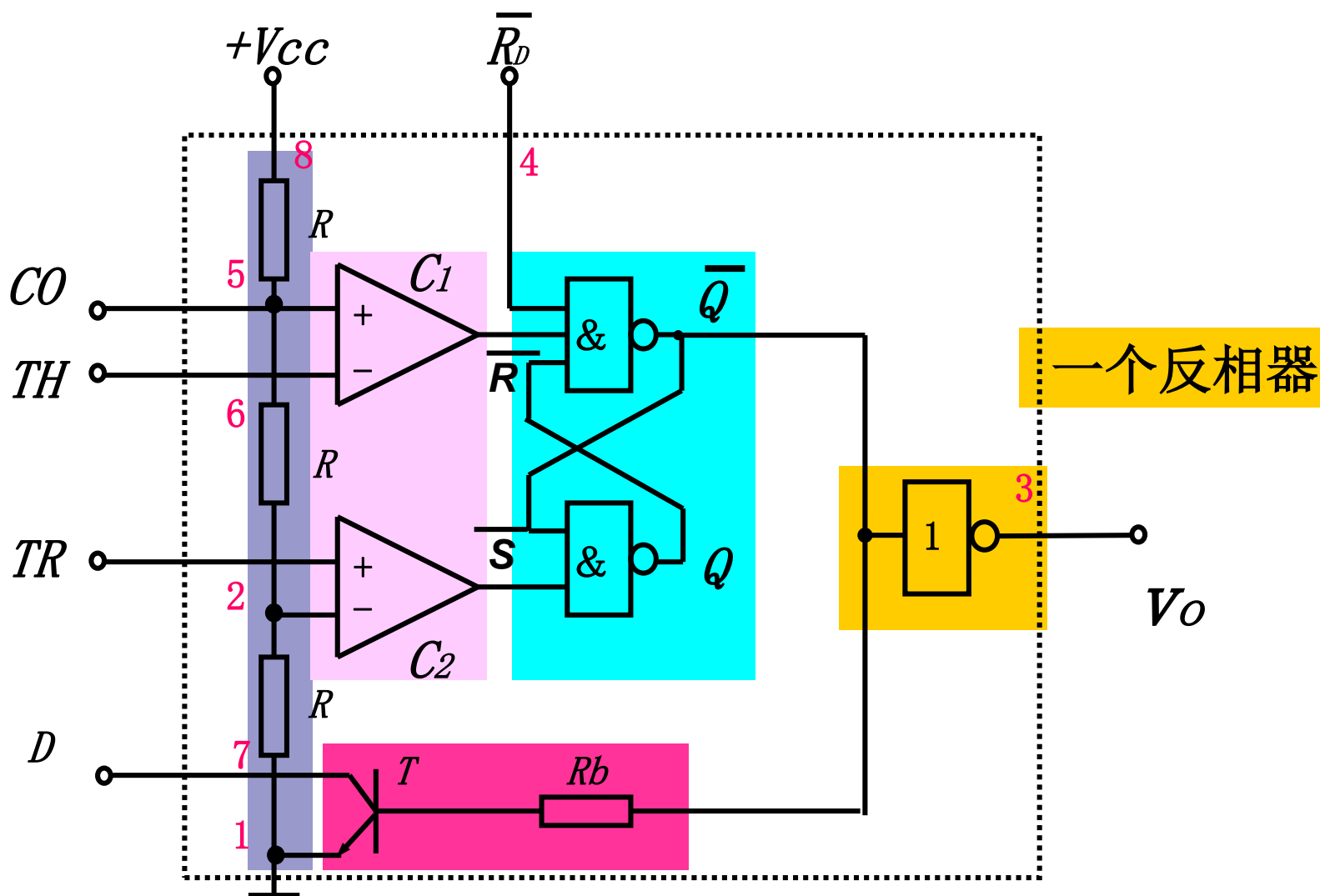
型号	单定时器	双极型	——最后3位数555
		单极型	——最后4位数7555
	双定时器	双极型	——最后3位数556
		单极型	——最后4位数7556

## 一、555定时器的电路结构和基本功能

### 1. 电路结构（555定时器的内部电路包括五个部分）

两个电压比较器: **C1**、**C2**

一个基本**RS** 触发器



由三个相等电阻组成的分压器

一个晶体管**T**

4.5~18V

$+V_{CC}$

复位端  
低电平有效

$\overline{R_D}$

电压  
控制端

$CO$

阈值  
输入端

$TH$

触发  
输入端

$TR$

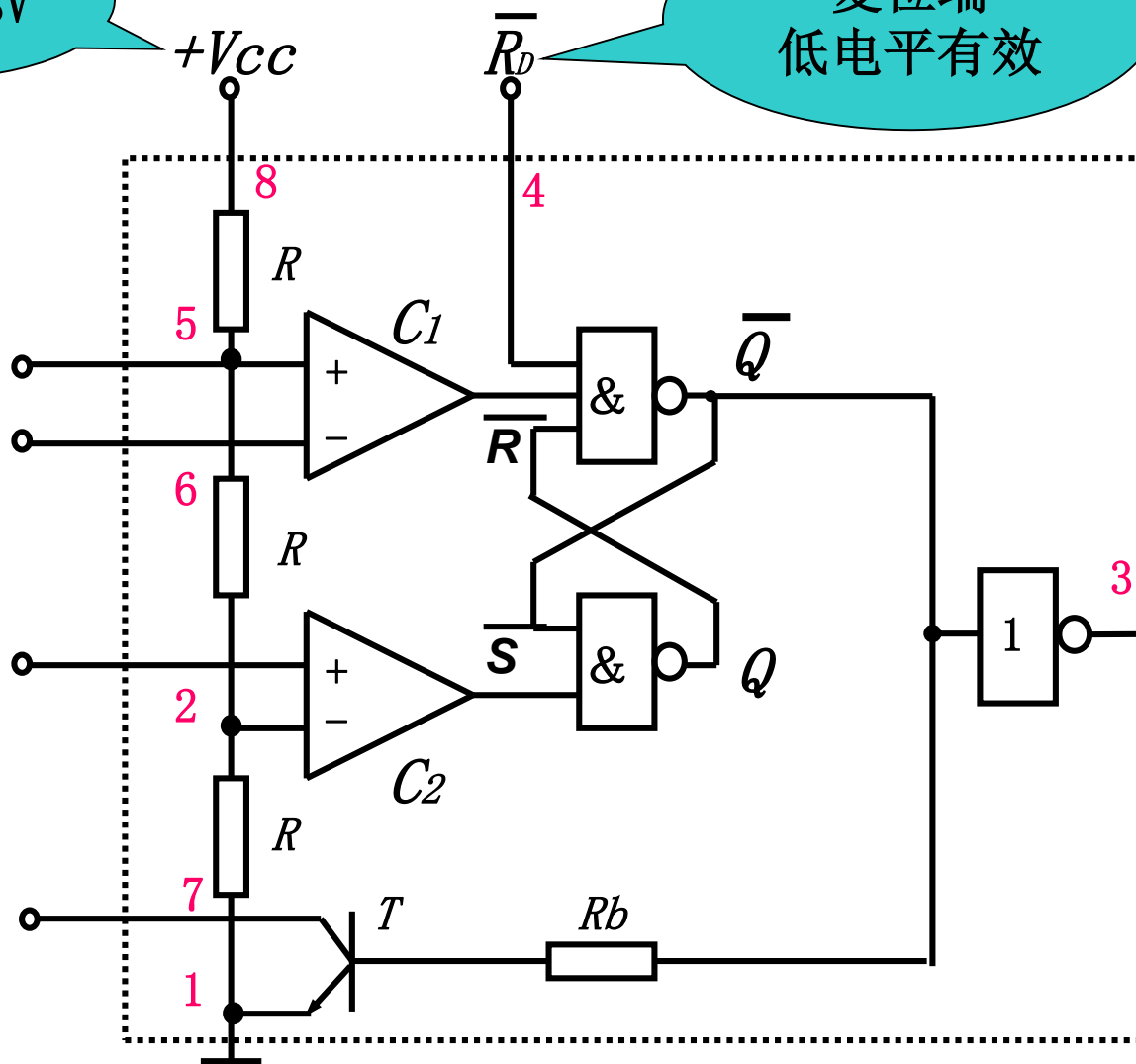
放电端

$D$

输出端

$V_o$

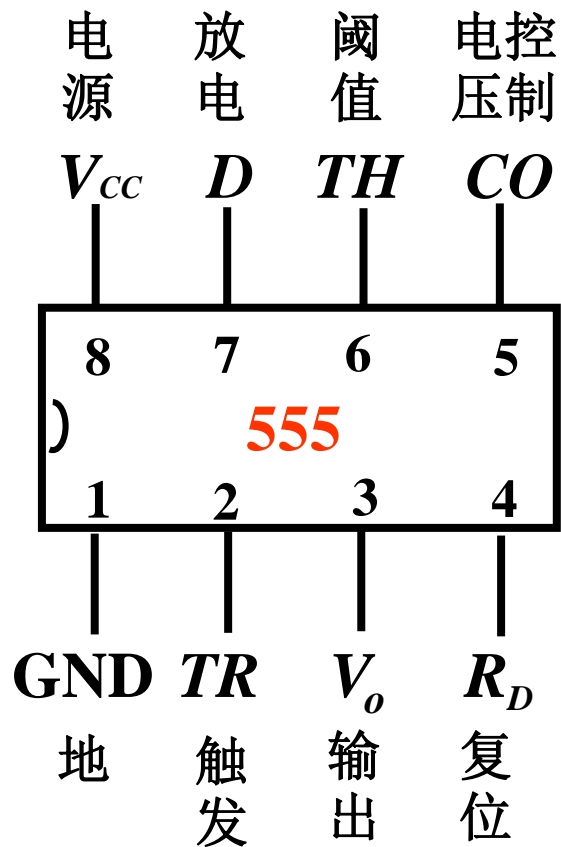
地



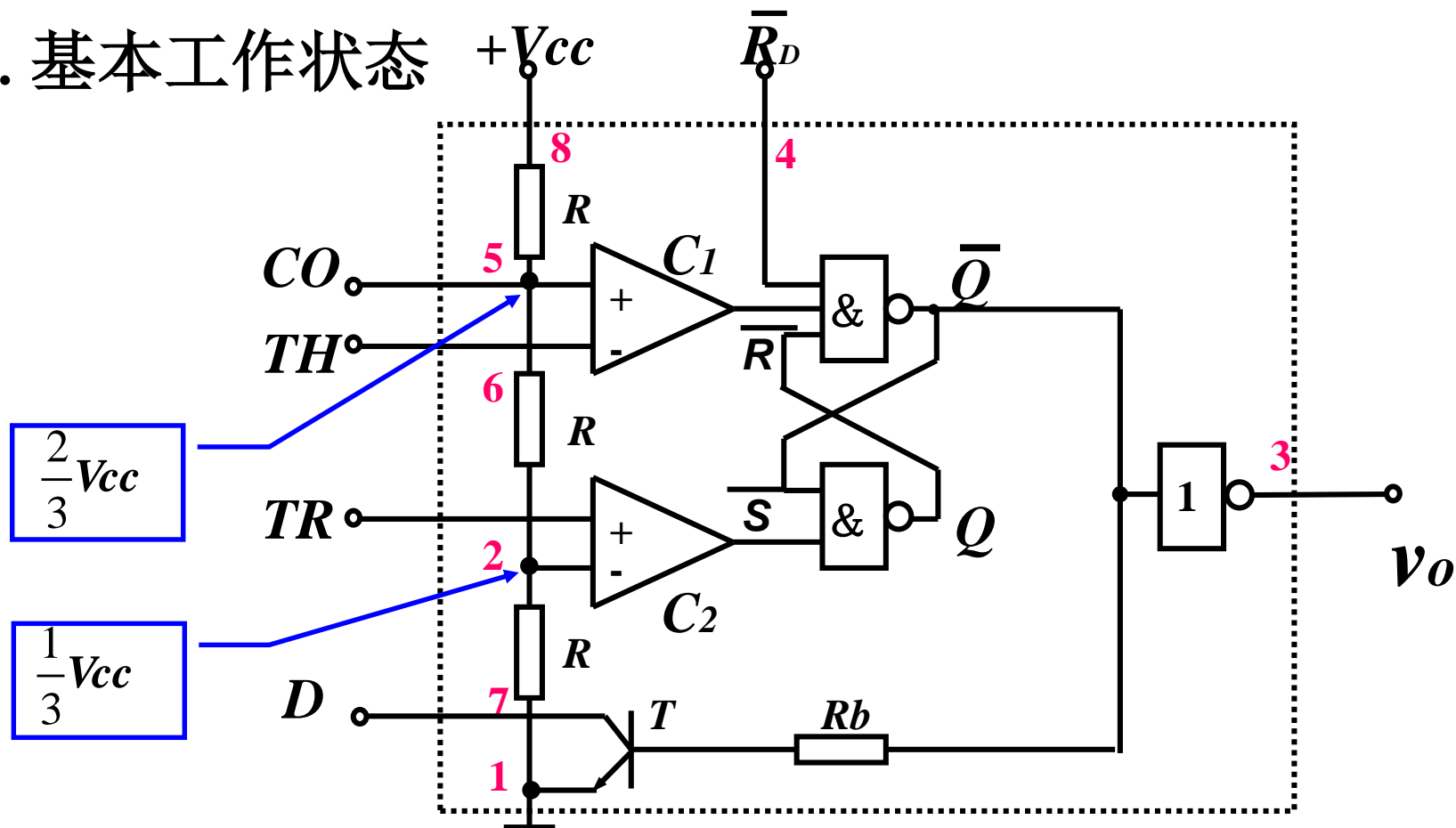
# 555定时器的管脚图

电源电压范围:

**4.5V ~ 18V**



## 2. 基本工作状态

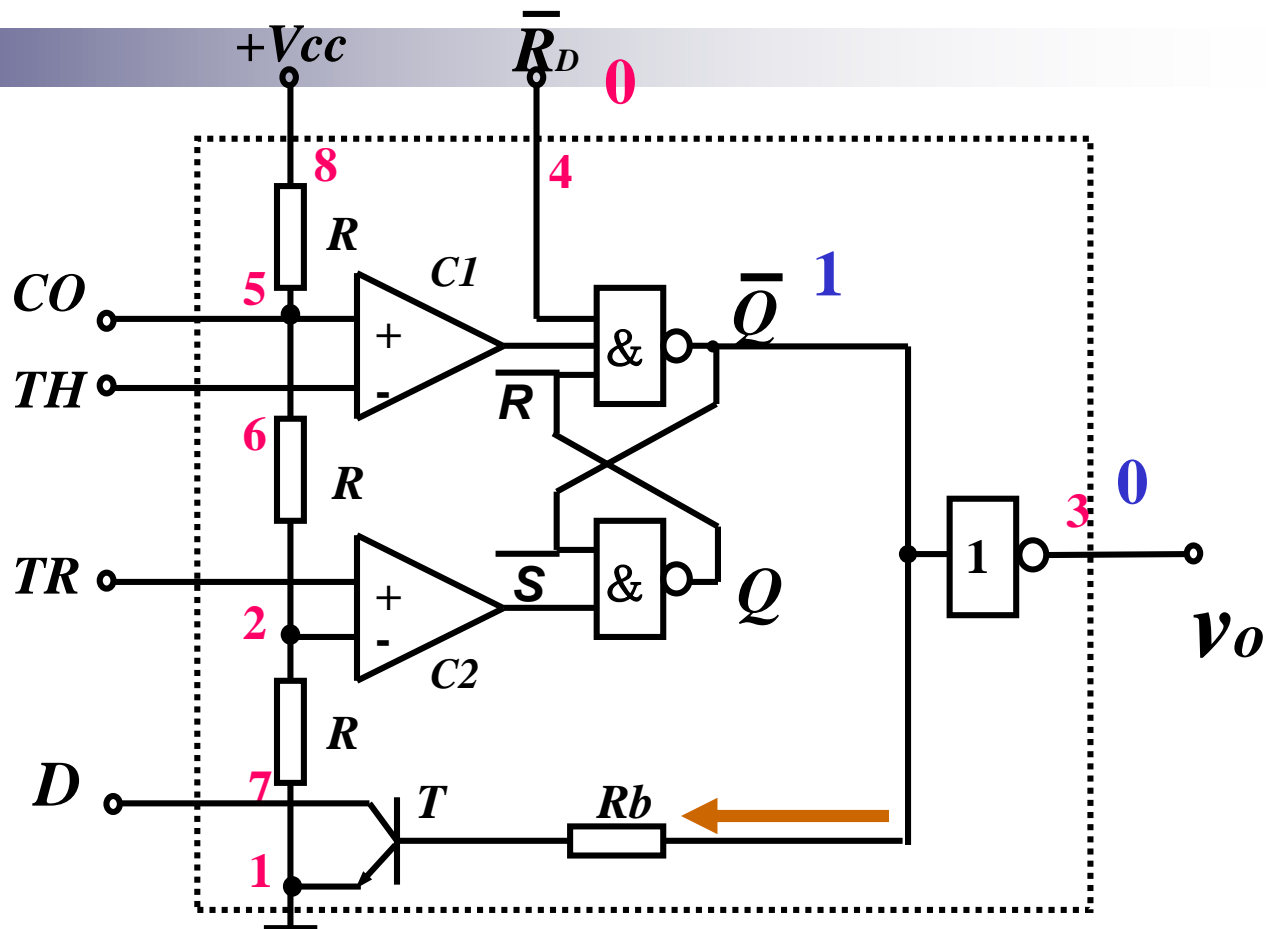


三个电阻构成的分压器给两个比较器提供**基准电压**：  
分别为  $\frac{2}{3}V_{cc}$  和  $\frac{1}{3}V_{cc}$ 。

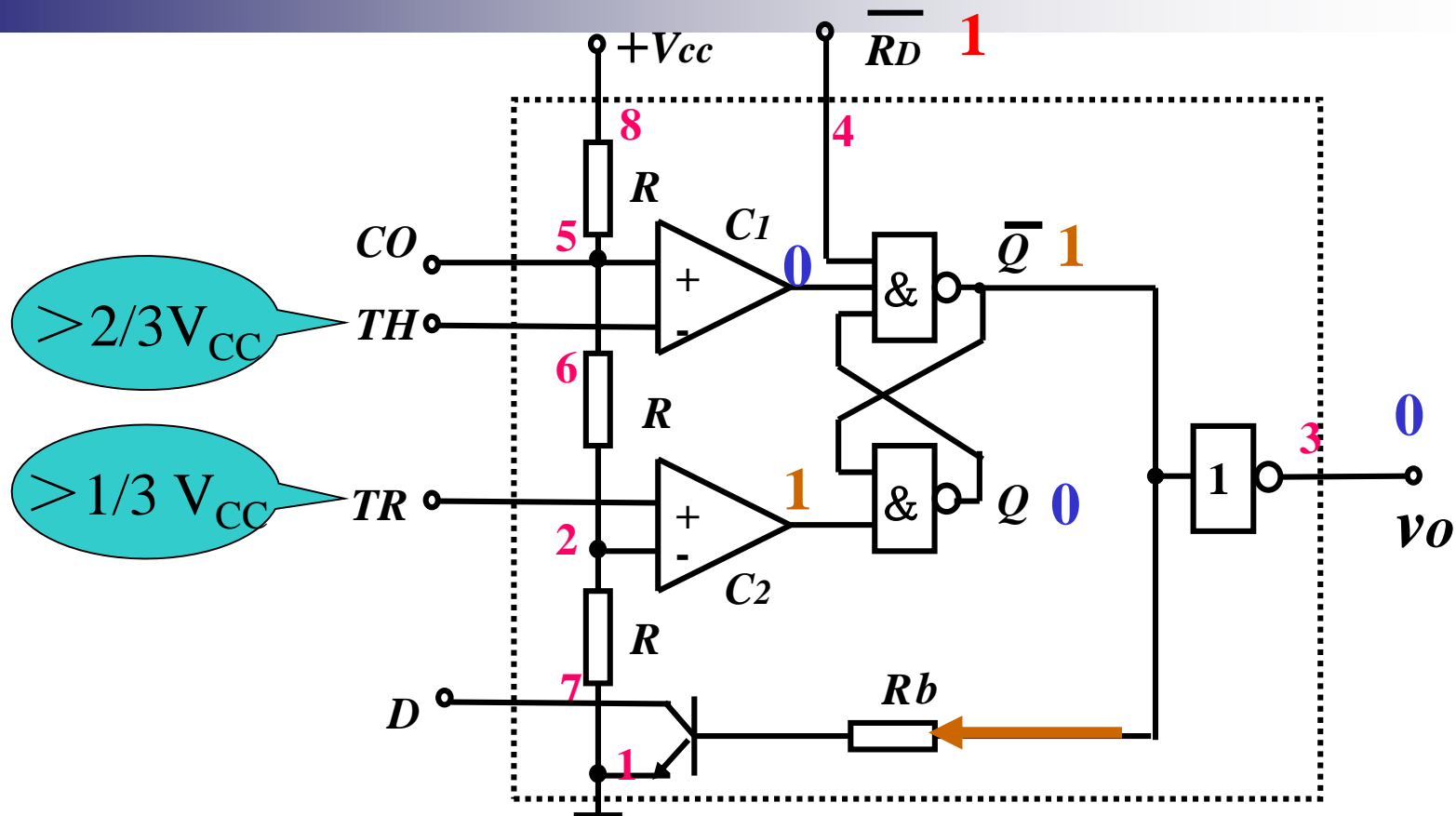


在  $TH$ 、 $TR$ 、 $\overline{R_D}$  端施加不同电平的控制信号，得到555的几种不同工作状态。

需了解  $C1$ 、 $C2$ 、 $T$ 、 $Q$ 、 $\bar{Q}$ 、 $V_O$  的工作情况。



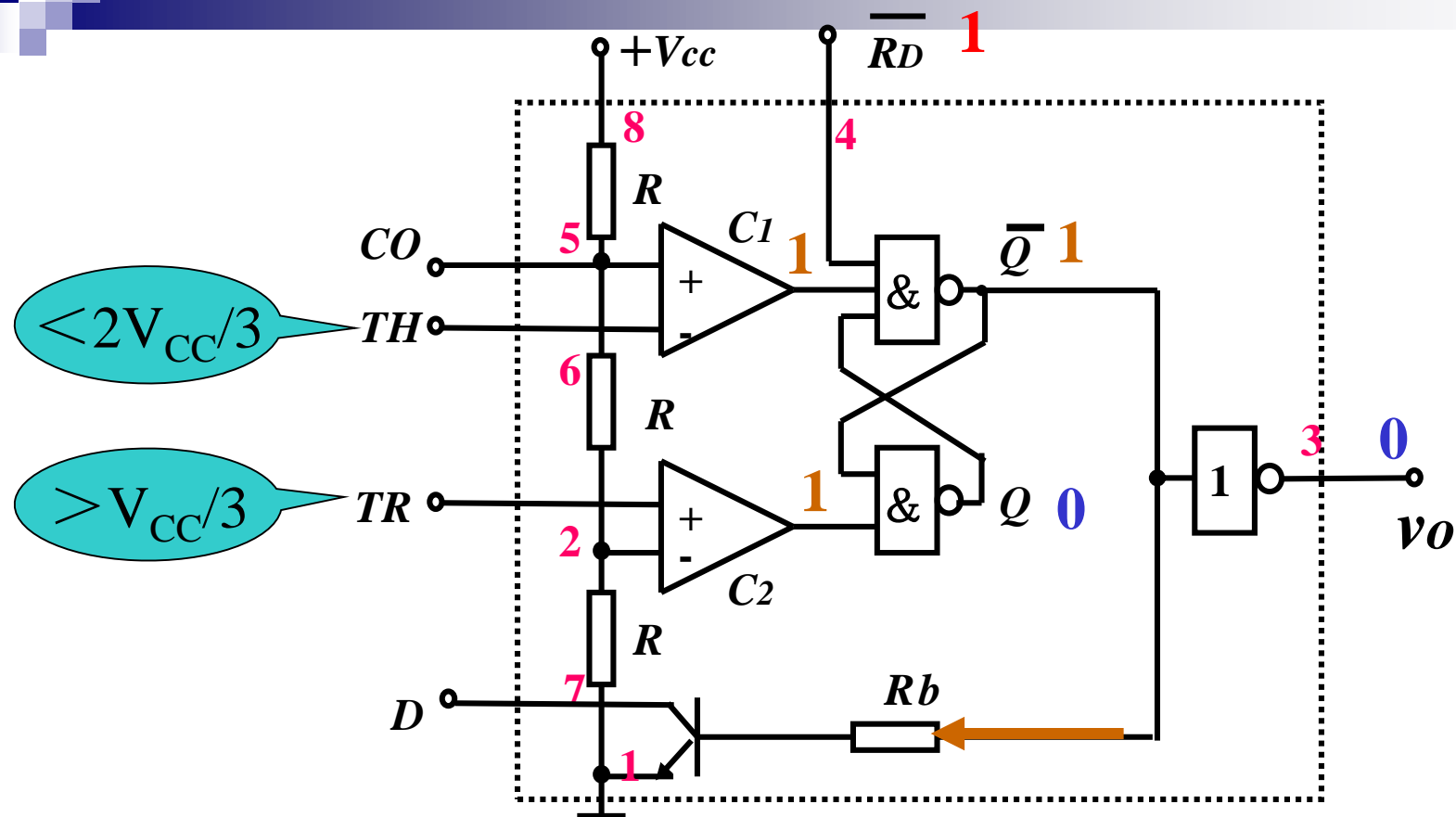
①  $\overline{R_D}=0$  时:  $\overline{Q}=1$ ,  $V_O=0$ ,  $T$  导通



①  $\bar{R_D}=0$  时:  $\bar{Q}=1$ ,  $V_o=0$ ,  $T$  导通

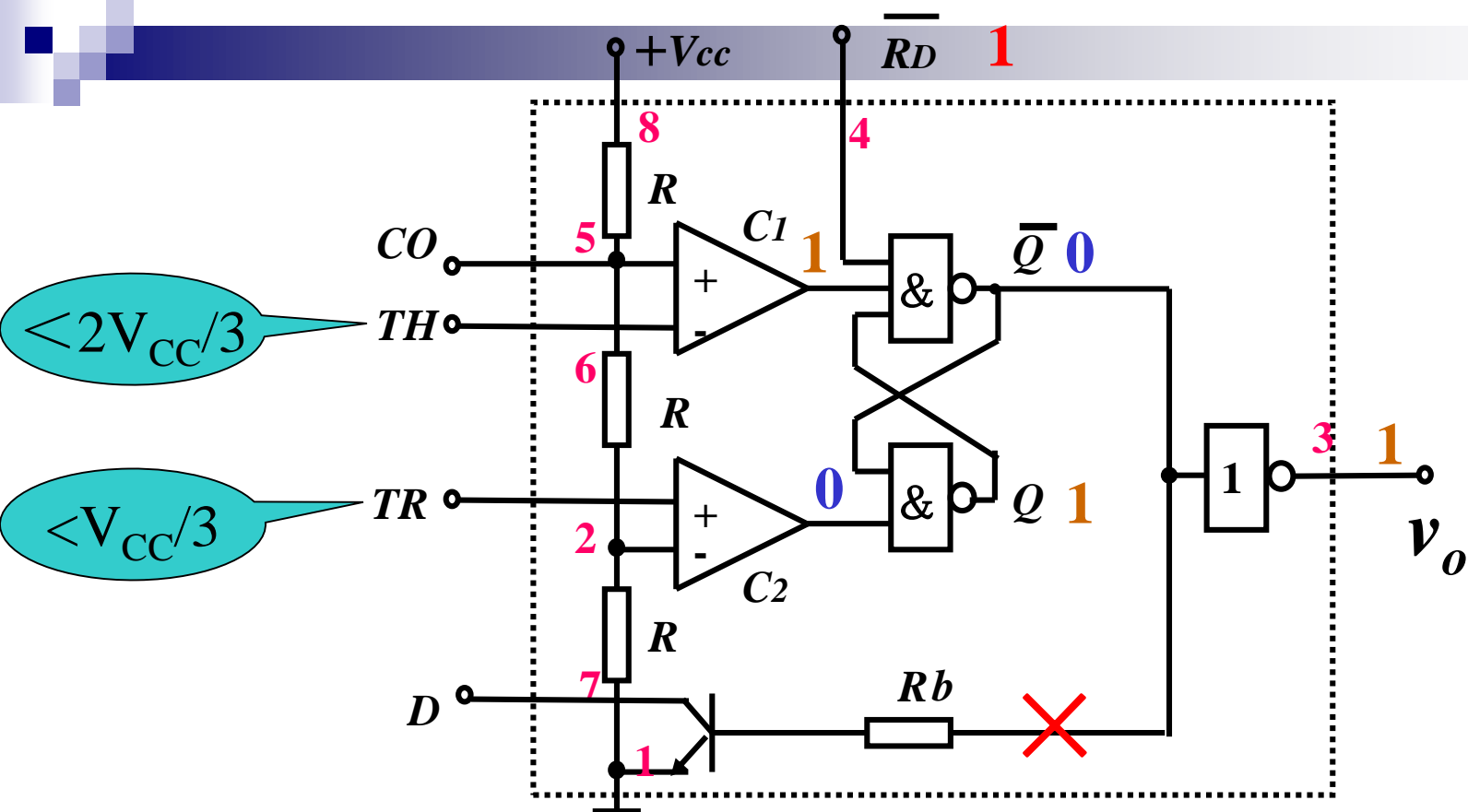
②  $\bar{R_D}=1$ ,  $V_{TH} > \frac{2}{3} V_{CC}$ ,  $V_{TR} > \frac{1}{3} V_{CC}$  时:

$C1=0$ 、 $C2=1$ 、 $\bar{Q}=1$ 、 $Q=0$ 、 $V_o=0$ ,  $T$  导通。



③  $\overline{RD}=1$  ,  $V_{TH} < \frac{2}{3} V_{CC}$  ,  $V_{TR} > \frac{1}{3} V_{CC}$  时:

$C1=1$ 、 $C2=1$ 、 $Q$ 、 $\overline{Q}$  不变;  $v_o$  不变,  $T$  状态不变。



③  $\overline{RD}=1$  ,  $V_{TH} < \frac{2}{3} V_{CC}$  ,  $V_{TR} > \frac{1}{3} V_{CC}$  时:

$C1=1$ 、 $C2=1$ 、 $Q$ 、 $\overline{Q}$  不变;  $V_o$  不变,  $T$  状态不变。

④  $\overline{RD}=1$  ,  $V_{TH} < \frac{2}{3} V_{CC}$  ,  $V_{TR} < \frac{1}{3} V_{CC}$  时:

$C1=1$ 、 $C2=0$ 、 $Q=1$ 、 $\overline{Q}=0$  ;  $V_o=1$  ,  $T$  截止。

## 555定时器功能表

$\overline{R}$ $\overline{S}$	$\overline{R_D}$	阈值端 $TH-\overline{R}$	触发端 $TR-\overline{S}$	$V_o$	晶体管 T
X X	0	X	X	0	导通
0 1	1	大于 $2V_{cc}/3$	大于 $V_{cc}/3$	0	导通
1 1	1	小于 $2V_{cc}/3$	大于 $V_{cc}/3$	保持	保持
1 0	1	小于 $2V_{cc}/3$	小于 $V_{cc}/3$	1	截止
0 0	1	大于 $2V_{cc}/3$	小于 $V_{cc}/3$	不允许相出现	

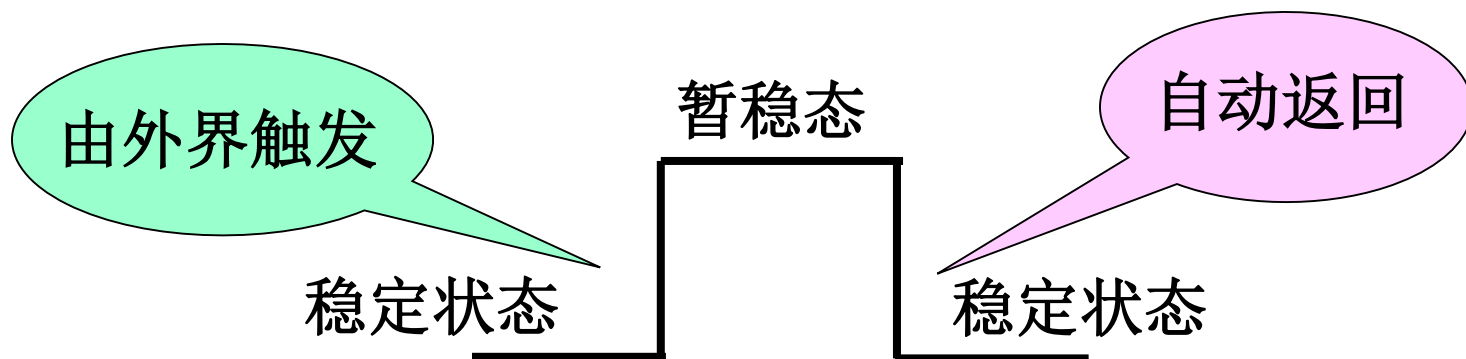
## 二、555定时器的基本应用

555定时器应用范围广泛，可构成多种电路形式，但最基本的电路为：**单稳态触发器、多谐振荡器和施密特触发器**。其它电路基本是这三种电路的变形。

1. 单稳态触发器
2. 多谐振荡器
3. 施密特触发器

# 1. 单稳态触发器

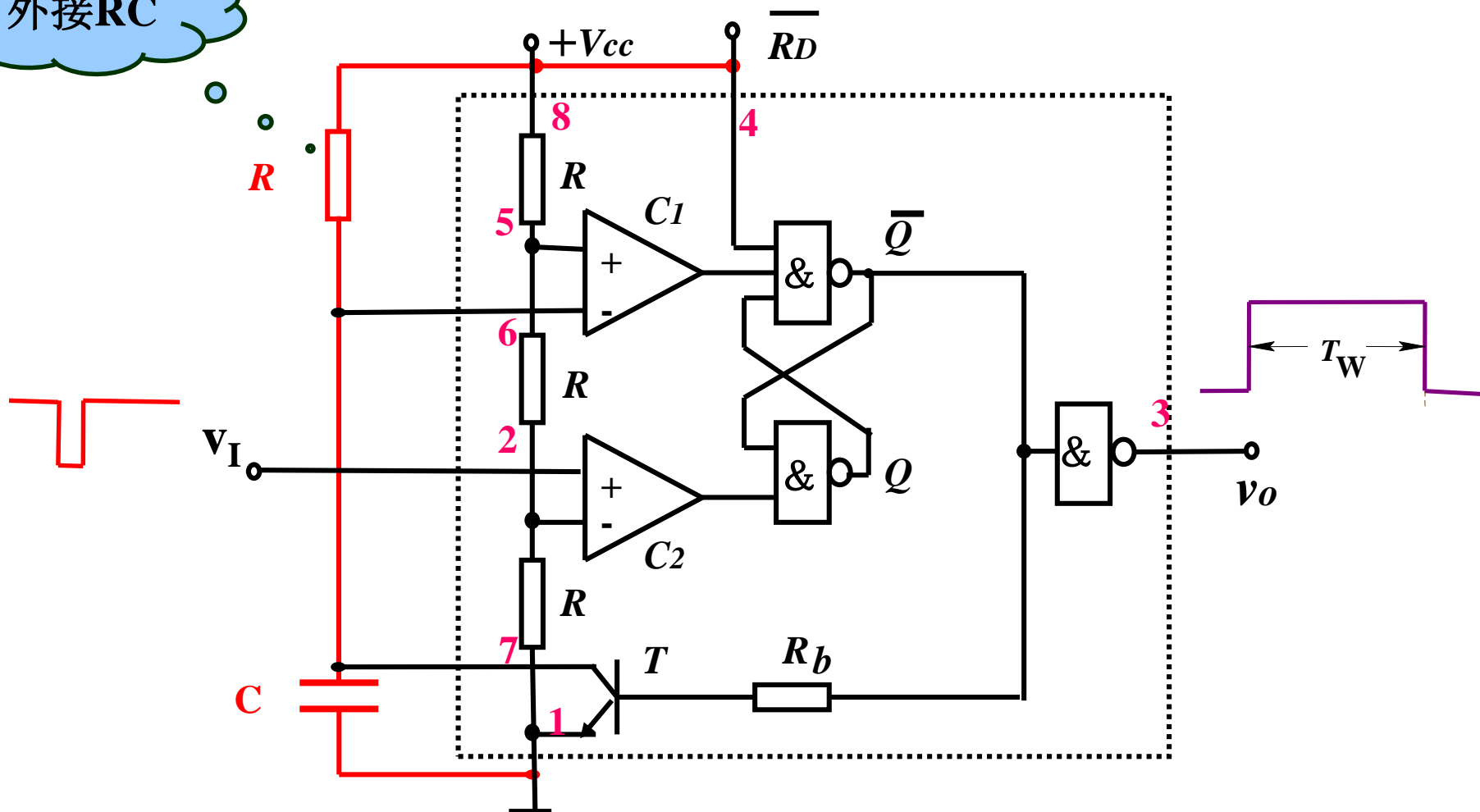
- ①电路有一个稳态和一个暂稳态。
- ②在**外来触发脉冲**作用下，电路由稳态**翻转**到暂稳态。
- ③暂稳态是一个不能长久保持的状态，经过一段时间后，电路会自动返回到稳态。暂稳态的持续时间与触发脉冲无关，仅决定于电路本身的参数（主要为RC参数）。



学习重点：**为什么**会自动返回？ 需**多少时间**？

# (1) 单稳态触发器电路

外接RC





## (2)工作原理

## 上电过程 ( $V_I=1$ )

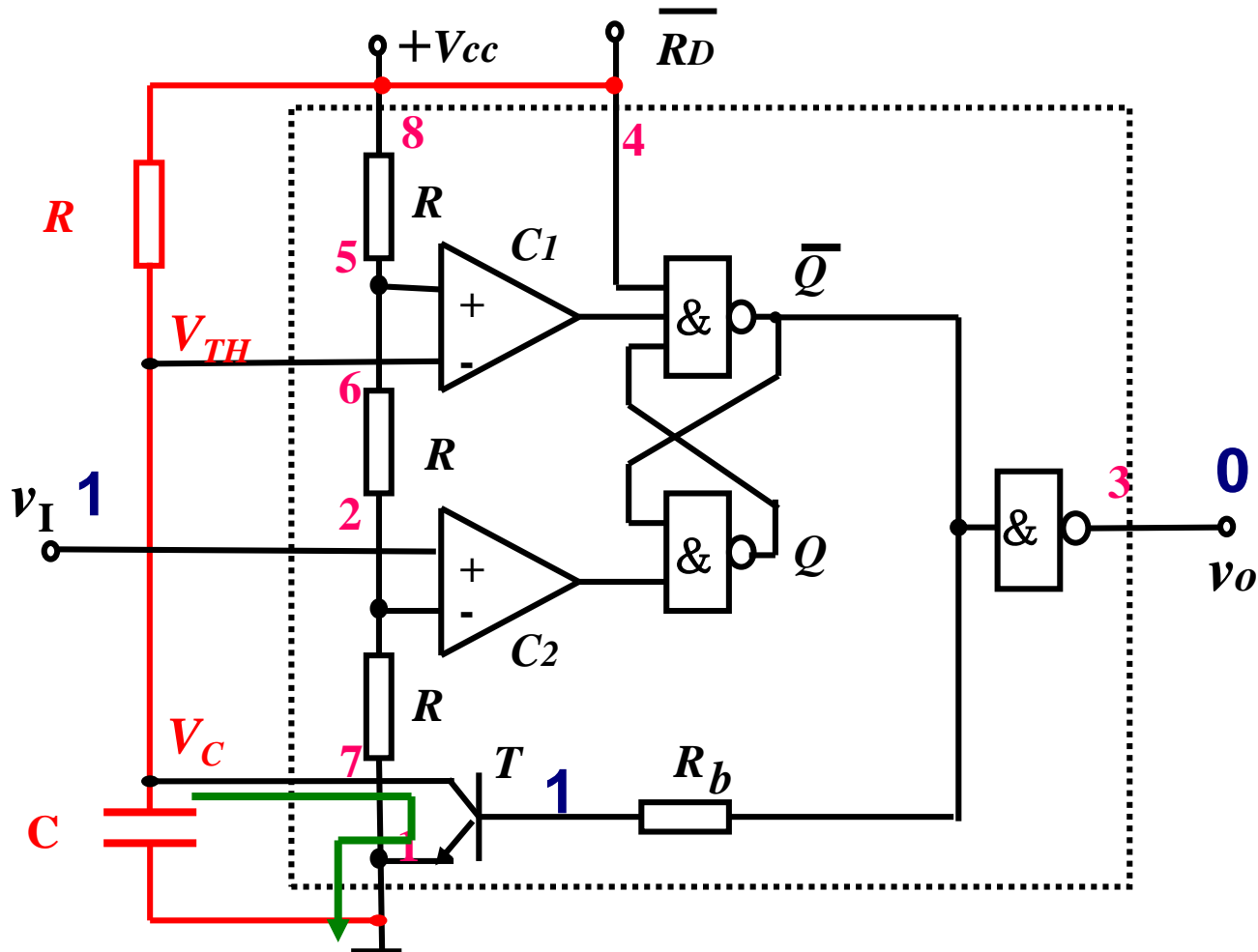
### ① 假设 $V_o=0$

T导通,  $V_c=0$ ,

$$C_1=C_2=1$$

电路处于稳态。

$V_6 = V_{TH}$	$V_2 = V_{TR}$	$V_O$	$\overline{R}$ $\overline{S}$	T
$>2/3 V_{CC}$	$>1/3 V_{CC}$	0	0 1	导通
$<2/3 V_{CC}$	$>1/3 V_{CC}$	保持	1 1	保持
$<2/3 V_{CC}$	$<1/3 V_{CC}$	1	1 0	截止



## (2) 工作原理

上电过程 ( $V_I=1$ )

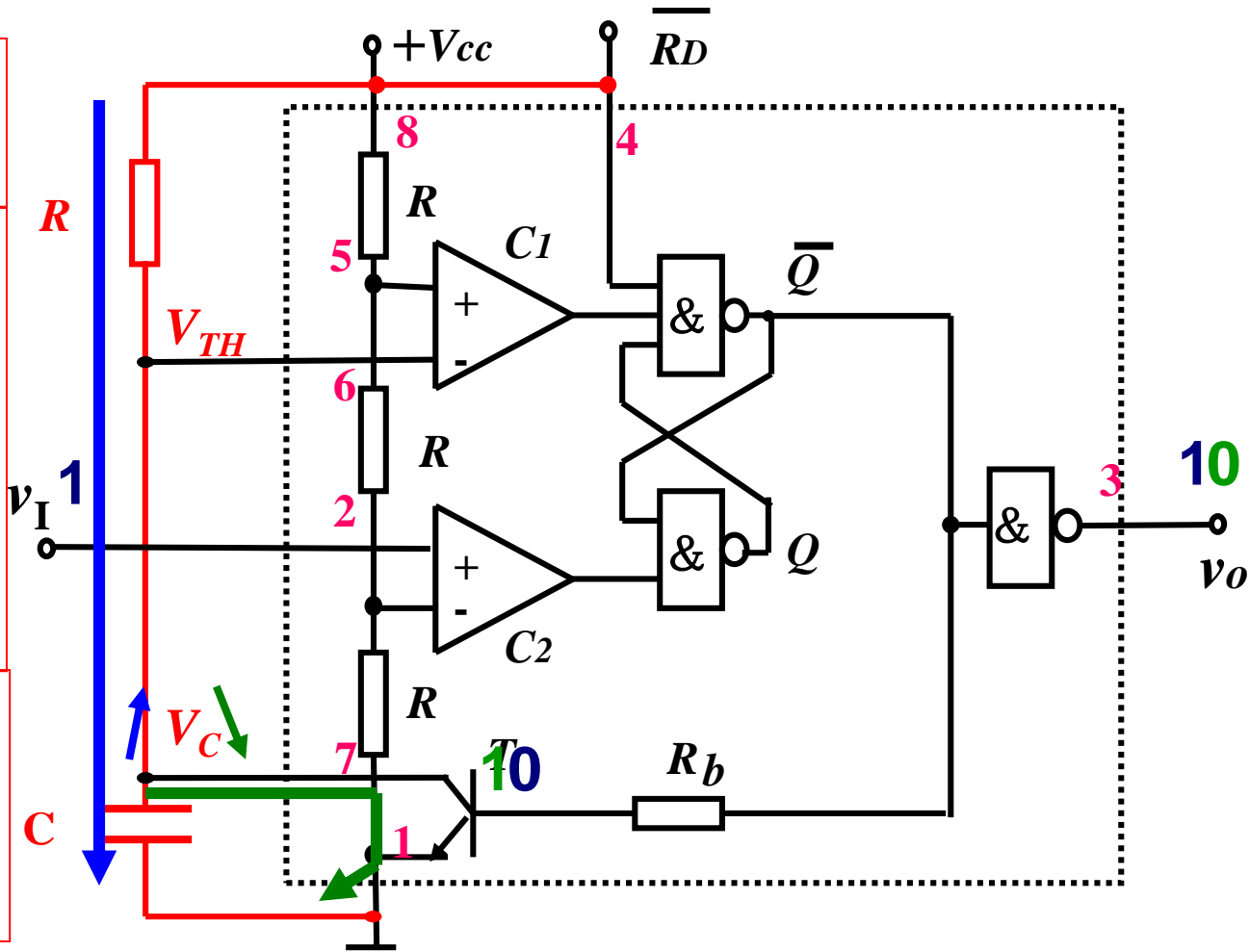
② 假设  $V_o=1$

T截止,  $C$ 充电,  
 $V_c$ 上升。

充电到  $2V_{CC}/3$  时:  
→ 比较器  $C_1=0$ ,  
将触发器置0,  
→  $V_o=0$ 。  
→ T导通,  $C$ 放电,  
 $V_c \approx 0$

→ 比较器  $C_1=C_2=1$ ,  
→ 电路状态不变。  
→ 电路进入稳态。

$V_6=V_{TH}$	$V_2=V_{TR}$	$V_o$	$\overline{R}$	$\overline{S}$	T
$>2/3 V_{CC}$	$>1/3 V_{CC}$	0	0	1	导通
$<2/3 V_{CC}$	$>1/3 V_{CC}$	保持	1	1	保持
$<2/3 V_{CC}$	$<1/3 V_{CC}$	1	1	0	截止



结论:  $V_I=1$ , 上电后输出处于稳定状态,  $V_o=0$ , T导通,  $V_c=0$ 。

## ■ (2) 工作原理 (续1)

### 触发翻转 ( $V_I=0$ , $C_2=0$ )

$V_6 = V_{TH}$	$V_2 = V_{TR}$	$V_O$	$\overline{R}$ $\overline{S}$	T
$>2/3 V_{CC}$	$>1/3 V_{CC}$	0	0 1	导通
$<2/3 V_{CC}$	$>1/3 V_{CC}$	保持	1 1	保持
$<2/3 V_{CC}$	$<1/3 V_{CC}$	1	1 0	截止

## 触发:

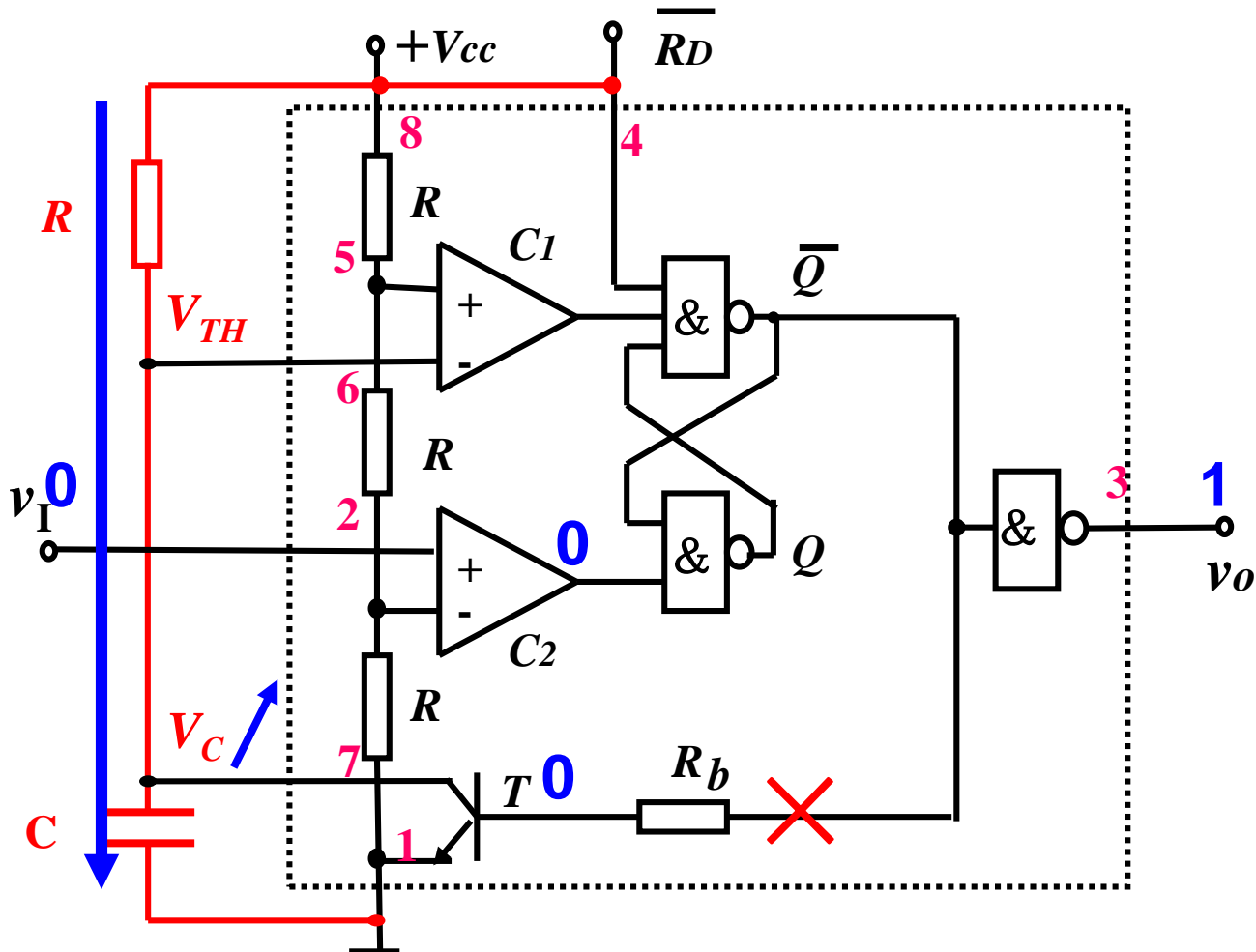
$$V_I = 0$$

$\rightarrow V_0 = 1,$

→T截止。对C充电，电路进入暂态，直到

$$V_c > 2/3 V_{CC}$$

## 充电时间决定于RC大小。



可以在5脚外接控制电压，以改变放电阈值。

**结论：**  $V_I=0$  触发后，电路进入暂态， $V_O=1$ ，T截止， $V_C \rightarrow$  逐渐上升。

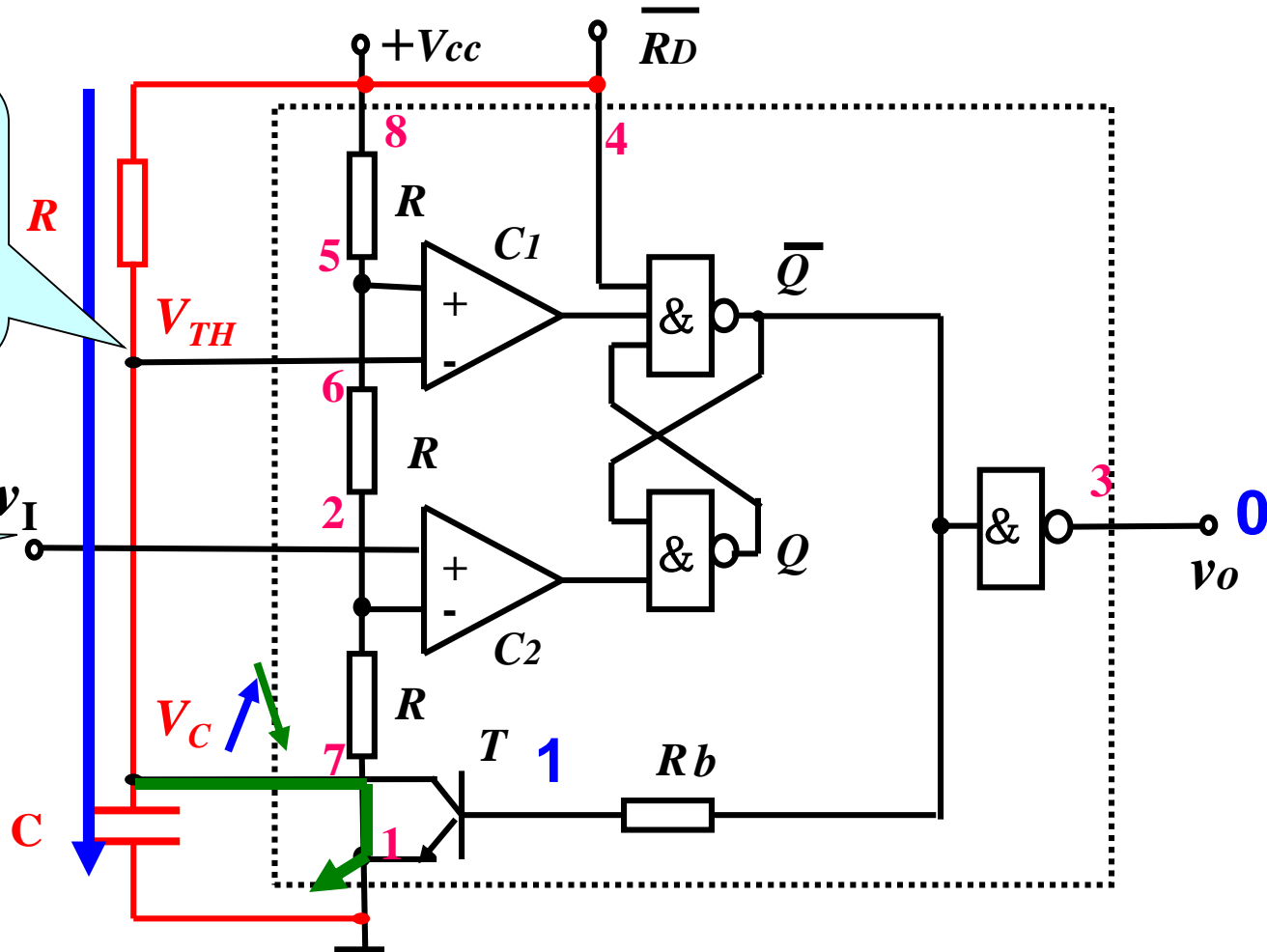
## (2) 工作原理 (续2)

自动返回 ( $V_I=1$ ,  $C_2=1$ )

$V_6=V_{TH}$	$V_2=V_{TR}$	$V_o$	$\overline{R}$	$\overline{S}$	T
$>2/3 V_{CC}$	$>1/3 V_{CC}$	0	0	1	导通
$<2/3 V_{CC}$	$>1/3 V_{CC}$	保持	1	1	保持
$<2/3 V_{CC}$	$<1/3 V_{CC}$	1	1	0	截止

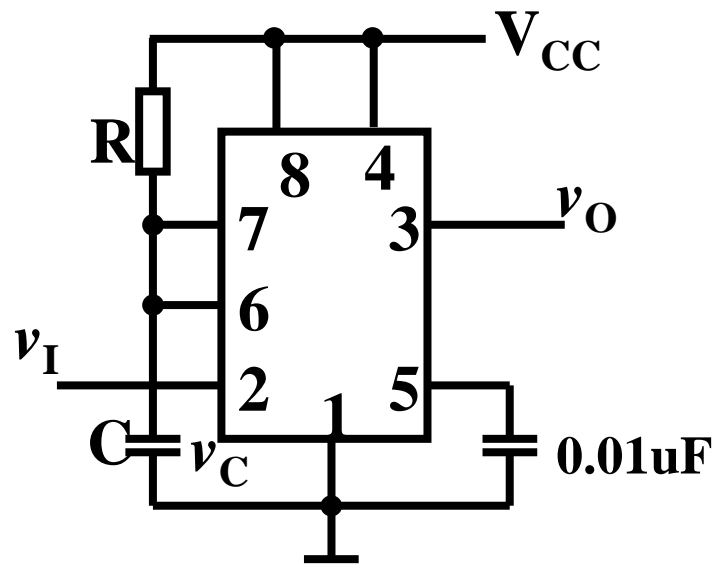
$V_C > 2/3 V_{CC}$  时,  
 $V_o = 0$ , T 导通,  
C 放电。

$V_I = 1$



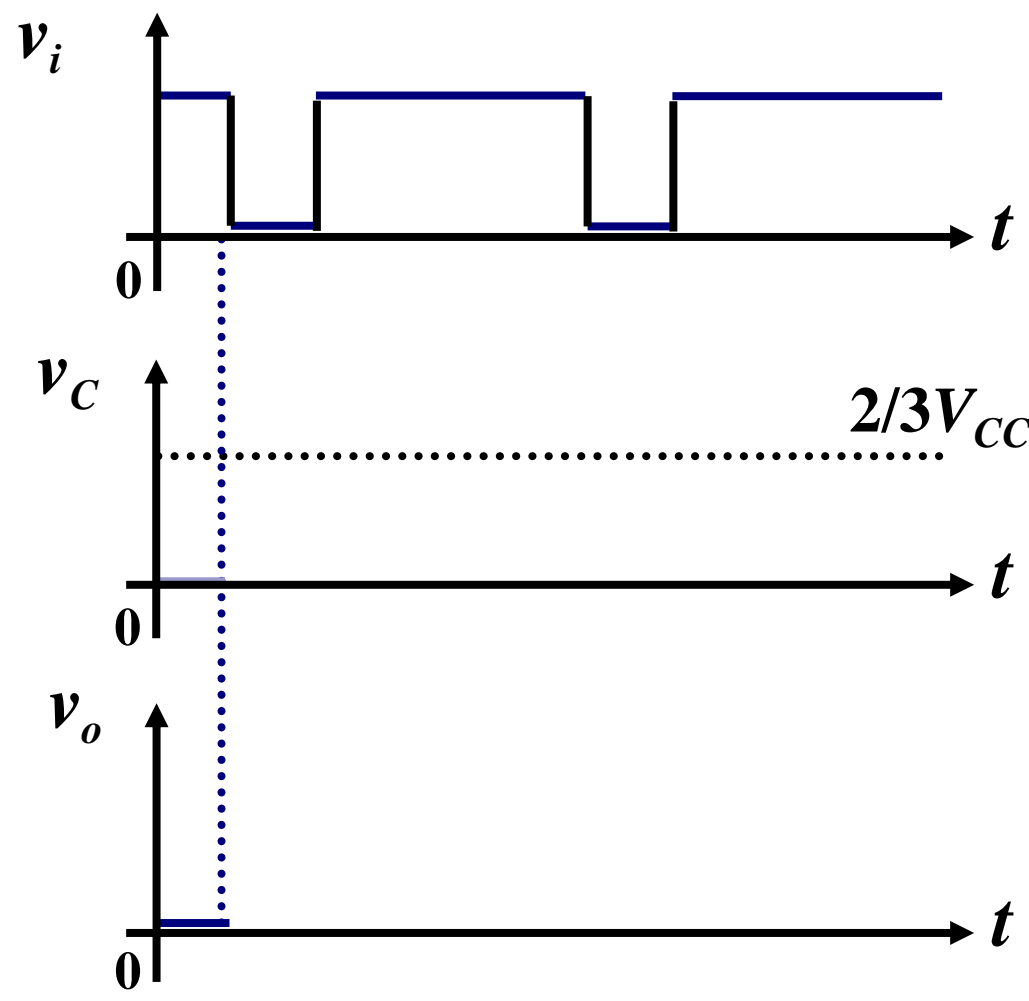
结论:  $V_C$  充电到  $2/3 V_{CC}$  后, 电路返回到稳态,  $V_o = 0$ , T 导通,  $V_C$  放电  $\rightarrow 0$ 。

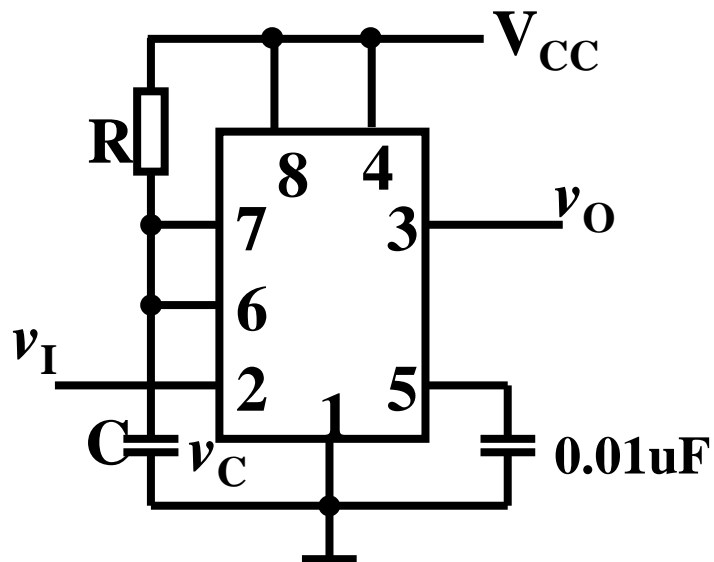
工作波形:



① 上电后进入稳态  
(  $V_I=1$ ,  $V_C=0$ ,  $V_O=0$  )

$V_6=V_{TH}$	$V_2=V_{TR}$	$V_O$	$\overline{R}$	$\overline{S}$	T
$>2/3 V_{CC}$	$>1/3 V_{CC}$	0	0	1	导通
$<2/3 V_{CC}$	$>1/3 V_{CC}$	保持	1	1	保持
$<2/3 V_{CC}$	$<1/3 V_{CC}$	1	1	0	截止





$V_6 = V_{TH}$	$V_2 = V_{TR}$	$V_o$	$\overline{R}$	$\overline{S}$	T
$> 2/3 V_{CC}$	$> 1/3 V_{CC}$	0	0	1	导通
$< 2/3 V_{CC}$	$> 1/3 V_{CC}$	保持	1	1	保持
$< 2/3 V_{CC}$	$< 1/3 V_{CC}$	1	1	0	截止

②外触发:  $V_i$

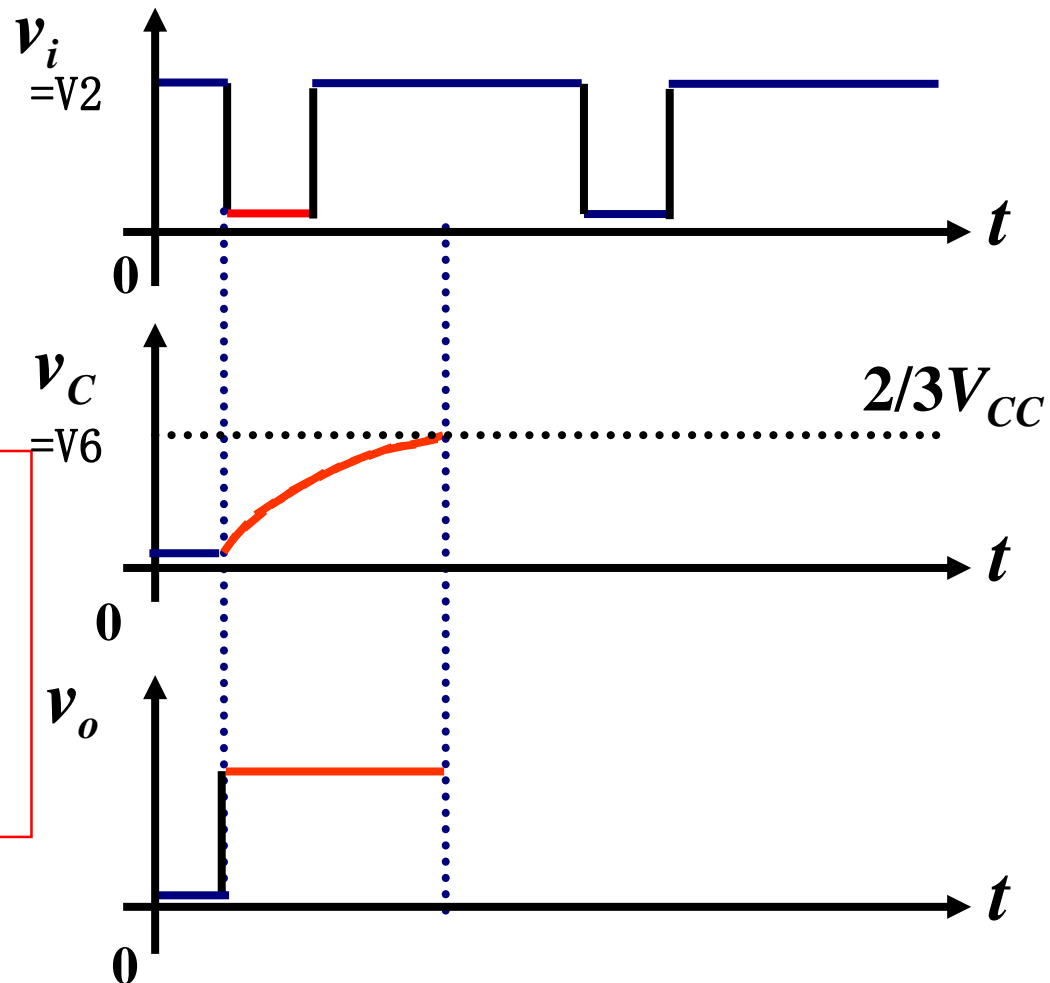
$V_i < 1/3 V_{CC}$ ,

→ 比较器  $C_2 = 0$ , 触发器置1,

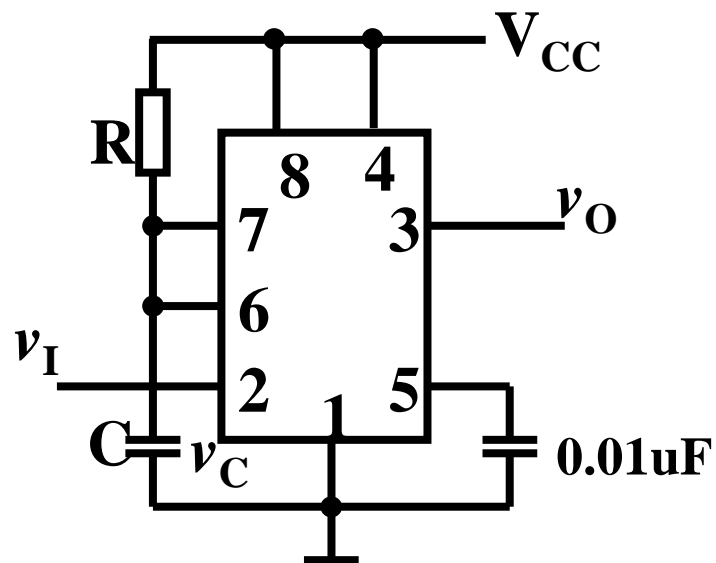
→  $V_o = 1$

→ T截止, C充电

→ 电路进入暂稳态。



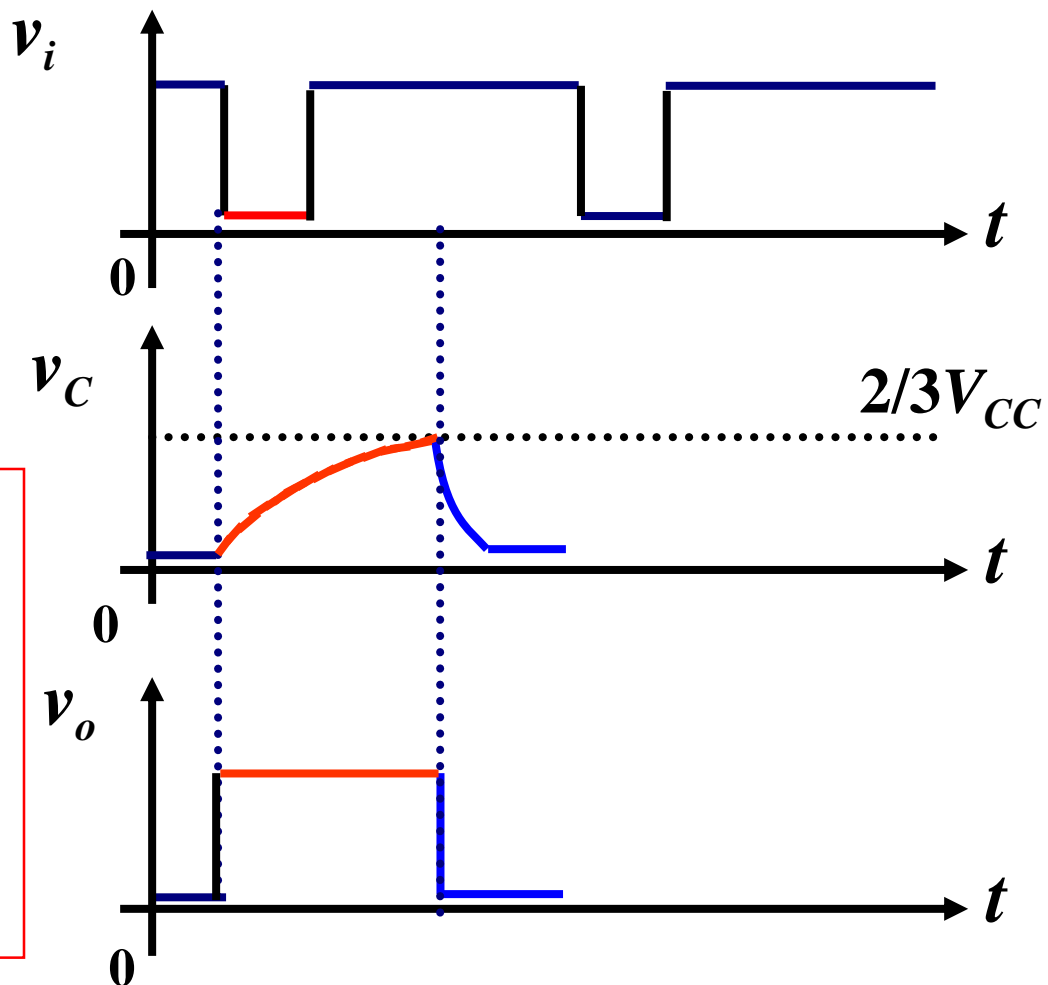
$V_6 = V_{TH}$	$V_2 = V_{TR}$	$V_o$	$\overline{R}$	$\overline{S}$	T
$> 2/3 V_{CC}$	$> 1/3 V_{CC}$	0	0	1	导通
$< 2/3 V_{CC}$	$> 1/3 V_{CC}$	保持	1	1	保持
$< 2/3 V_{CC}$	$< 1/3 V_{CC}$	1	1	0	截止

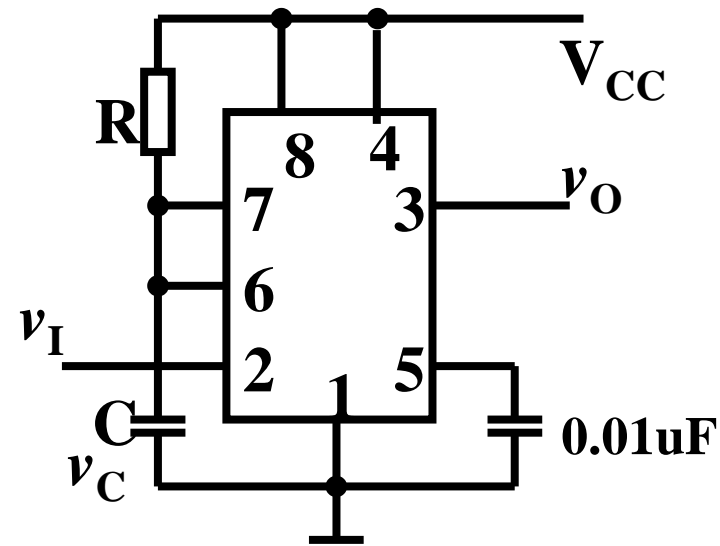


③自动返回 ( $V_I=1$ ) :

T截止, C充电, 当  $v_c$  上升到  $2/3 V_{CC}$  时:

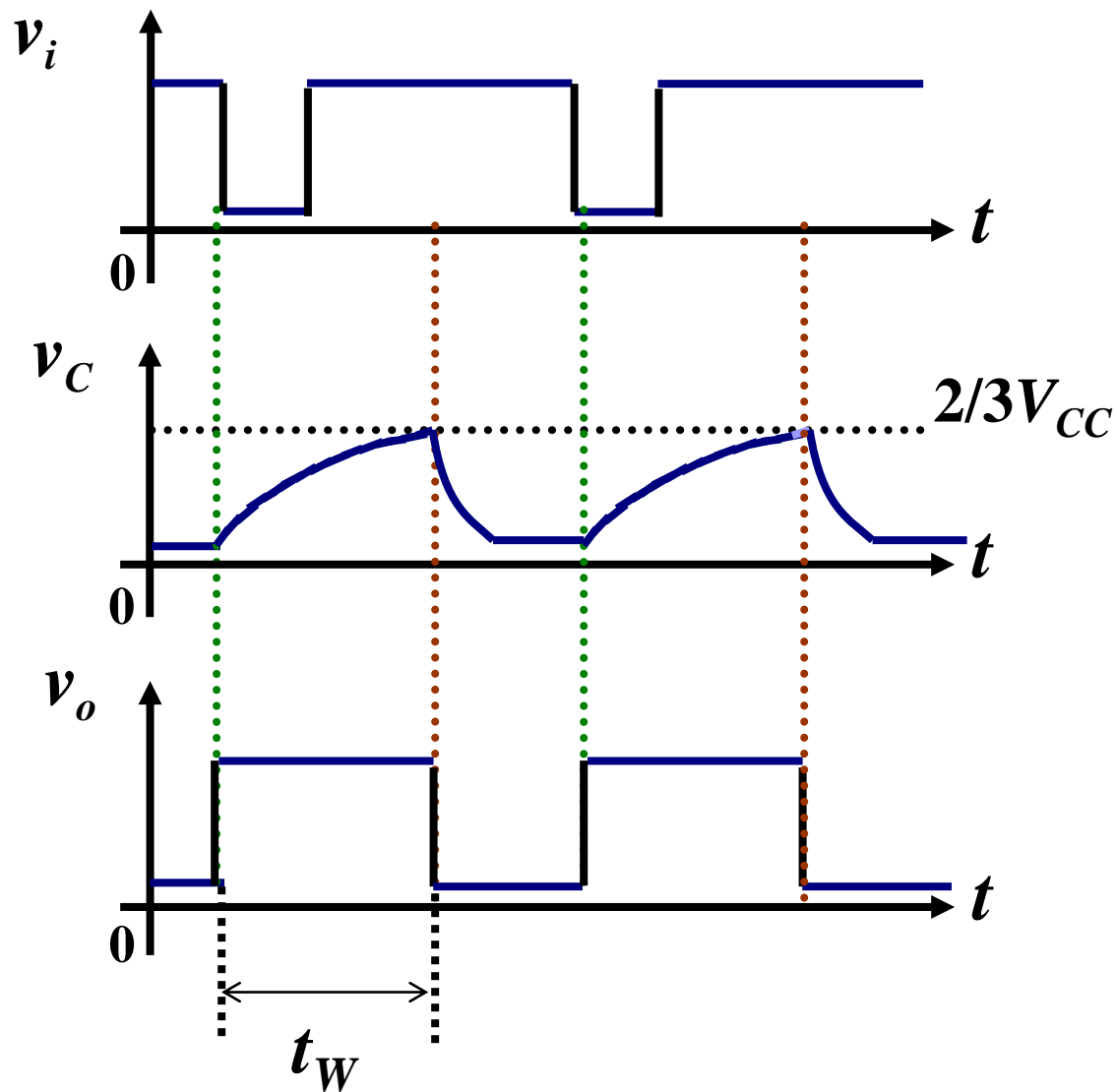
- 比较器  $C_1=0$ , 触发器置0,
- $V_o=0$
- T导通, C放电,  $v_c \approx 0$  电路
- 电路返回稳态。





## 结论:

$v_I$  每输入一次负脉冲,  
 $v_O$  便输出一个正脉冲,  
 脉冲宽度  $t_W$  由  $RC$  决定。





### (3) 输出脉冲宽度 $t_w$

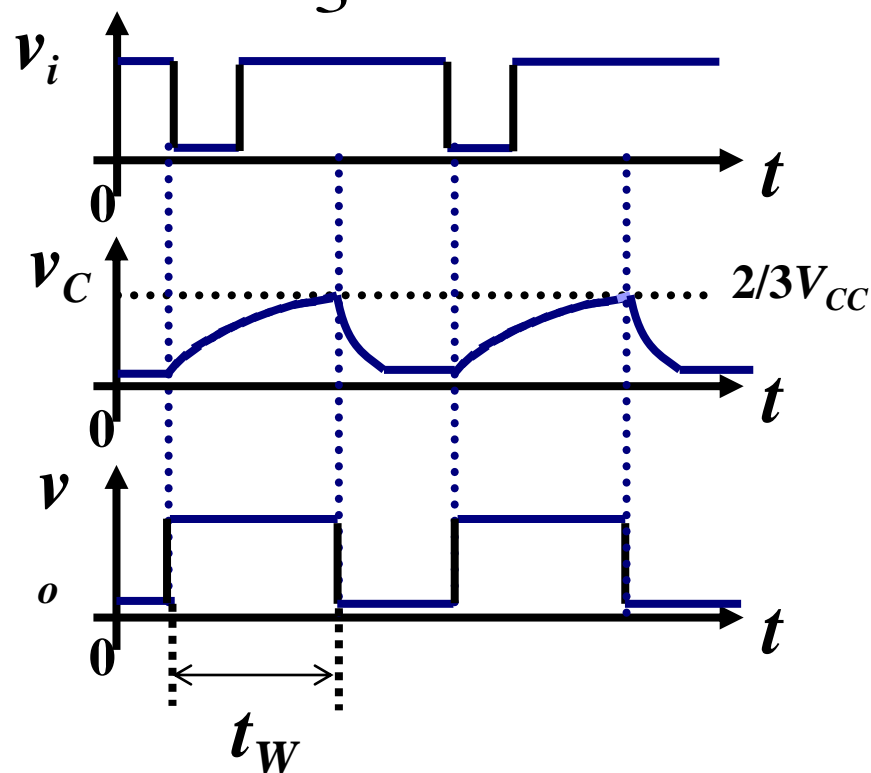
$t_w$  是  $V_C$  从 0 指数上升到  $2V_{CC}/3$  时所需的时间

$$v_c(0_+) = 0 \quad v_c(\infty) = V_{CC} \quad v_c(t) = \frac{2}{3}V_{CC}$$

$$\begin{aligned} t_w &= RC \ln \frac{V_C(\infty) - V_C(0_+)}{V_C(\infty) - V_C(t)} \\ &= RC \ln \frac{V_{CC} - 0}{V_{CC} - \frac{2}{3}V_{CC}} \\ &= 1.1RC \end{aligned}$$

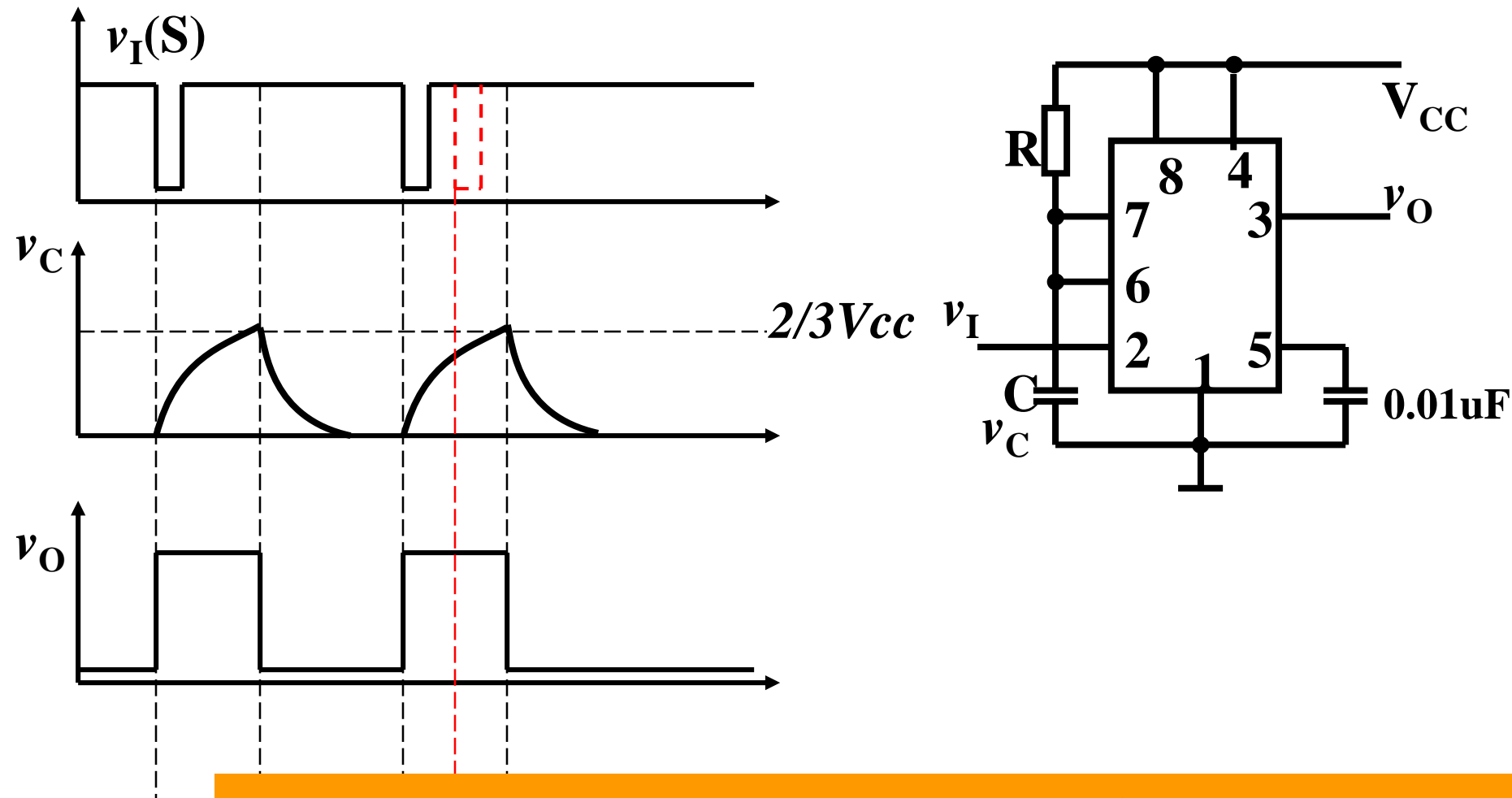
**注意：**

$t_w$  宽度增加将降低定时精度和稳度。seconds-minutes.



多次触发时的情况：

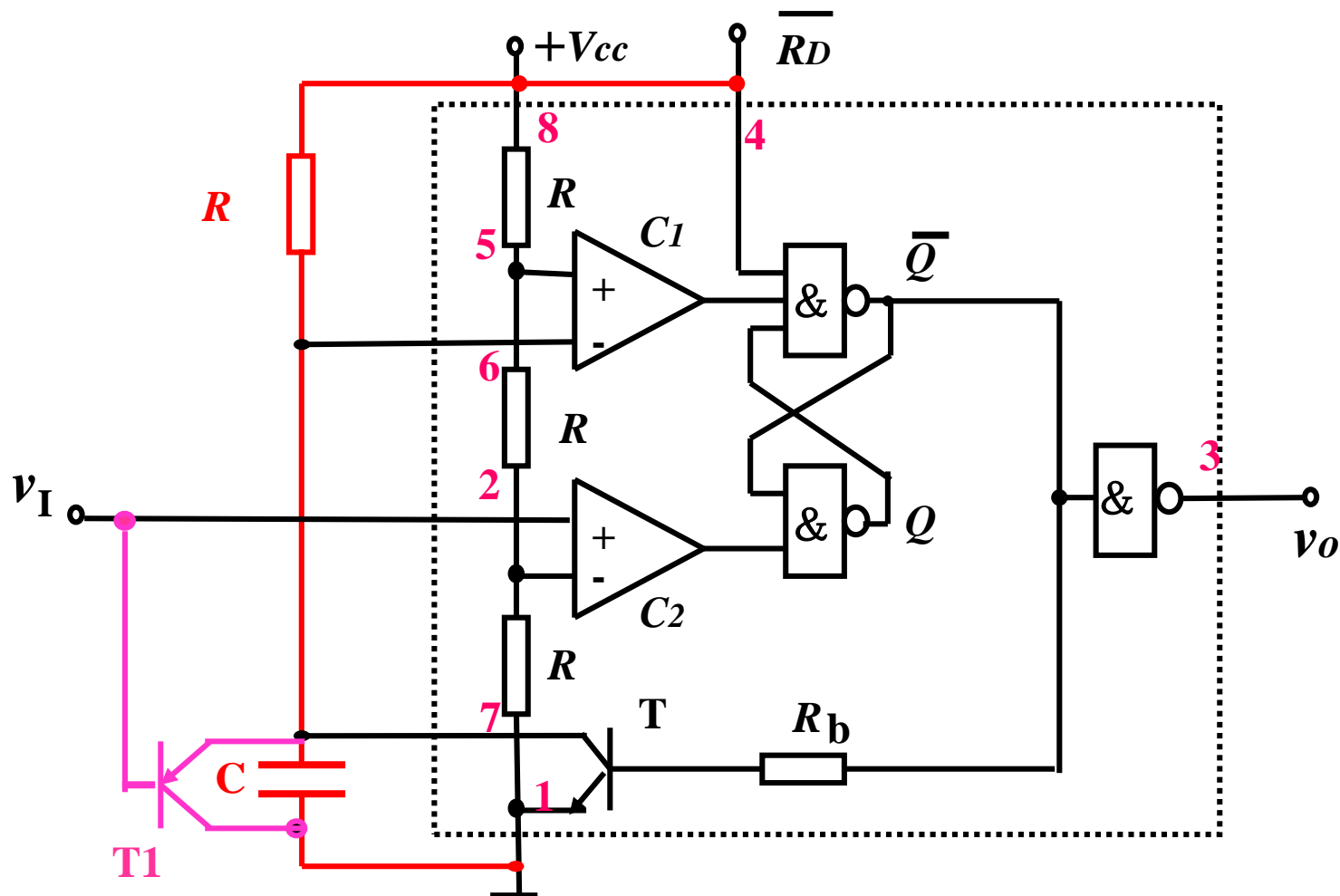
在充电过程中（ $C1=1$ ），如  $V_I$  再次触发， $C2=1 \rightarrow 0$ ， $Q$  仍保持为1，电路状态不变（ $T$  截止， $C$  保持充电状态）。



结论：该电路为不可重复触发型单稳态触发器。

## (4) 可重复触发的单稳态触发器（自学）

### ① 电路图

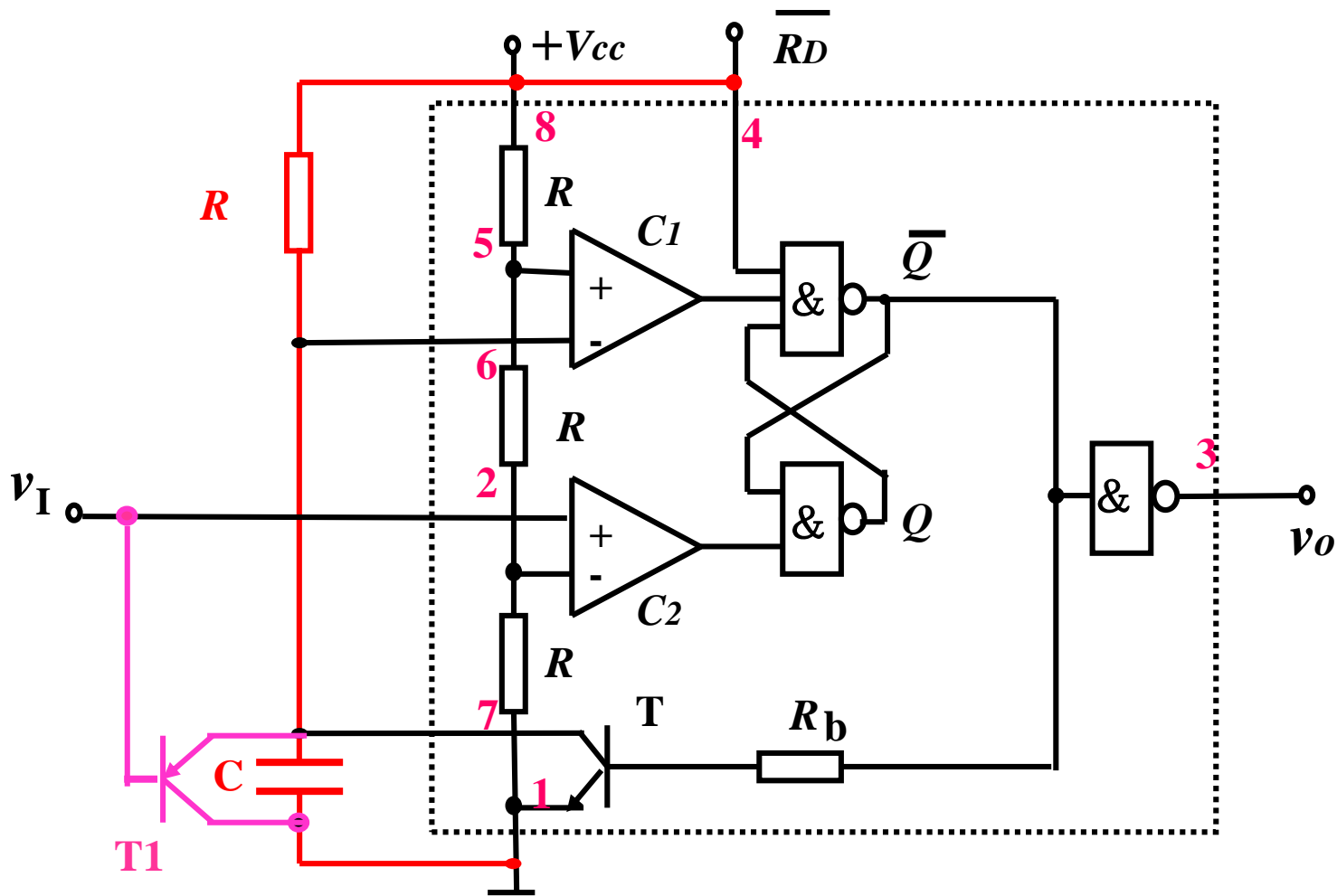


## (4) 可重复触发的单稳态触发器 (续)

### ② 工作过程

#### a. 稳态时:

$V_I=1$ , T1截止,  
电路状态同  
普通单稳。



#### b. 触发时:



$V_I=0$ 时, 电路触发翻转,  $V_o=1$ ,  $V_I=0$ 期间, T1导通,  
电容不能充电。

$V_I=1$ 后, T1截止, 电容开始充电。

## (4) 可重复触发的单稳态触发器 (续)

### ②工作过程 (续)

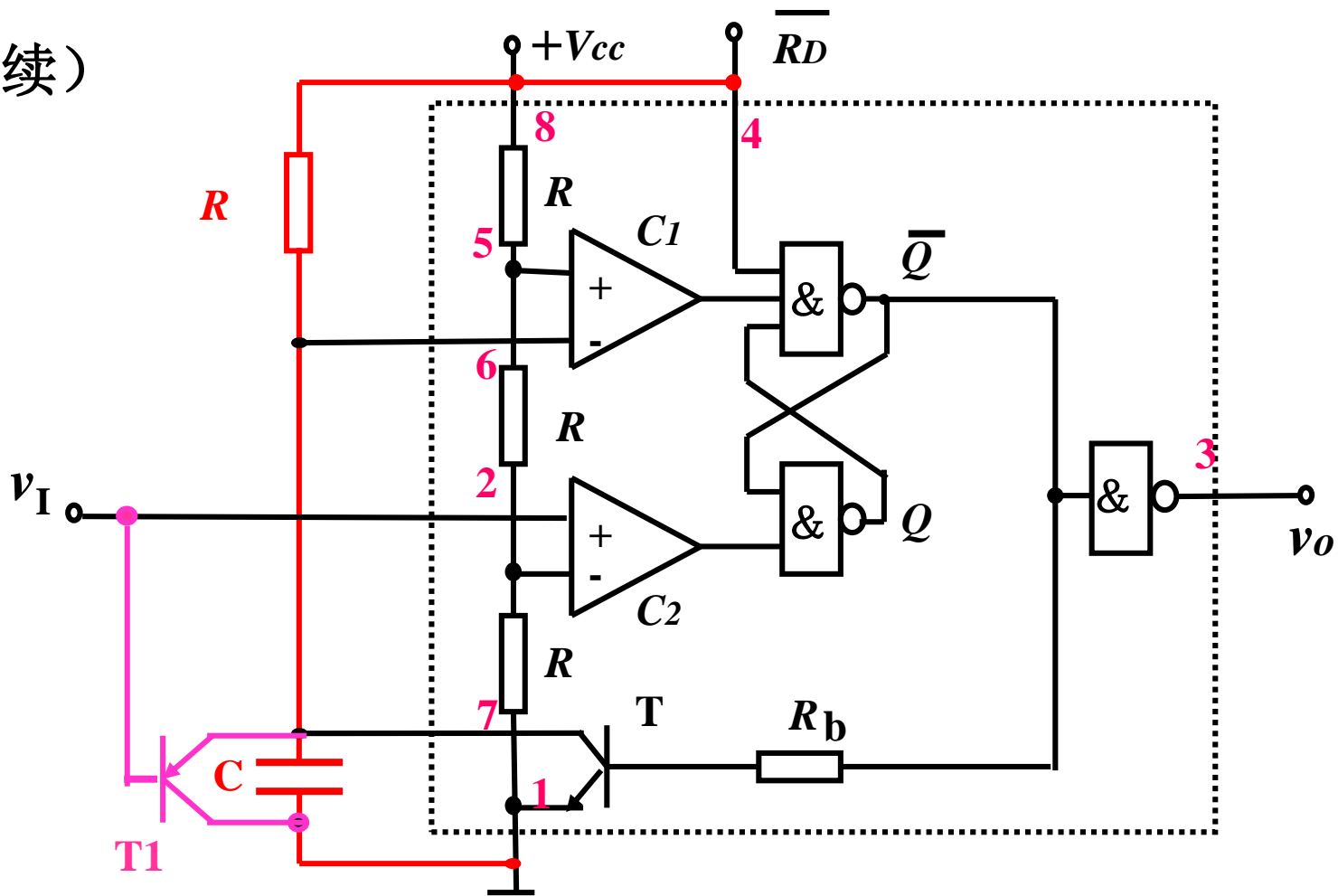
#### a. 稳态时:

$V_I=1$ , T1截止,  
电路状态同  
普通单稳。

#### b. 触发时:

电路翻转。

#### c. 重复触发时:



当  $V_C < 2/3 V_{CC}$  (电路仍处暂态) 时, 若  $V_I$  又进行触发 ( $V_I=0$ ), 则  $C$  通过  $T1$  放电, 电路将维持在暂态, 直到在  $t_w$  时间内没有新的触发, 电路回到稳态。

### ③ 可重复触发的单稳态触发器的波形图：

#### 触发过程：

a.  $V_I=1$ , 稳态  $\rightarrow V_O=0$

b.  $V_I=0$ , 触发  $\rightarrow V_O=1$

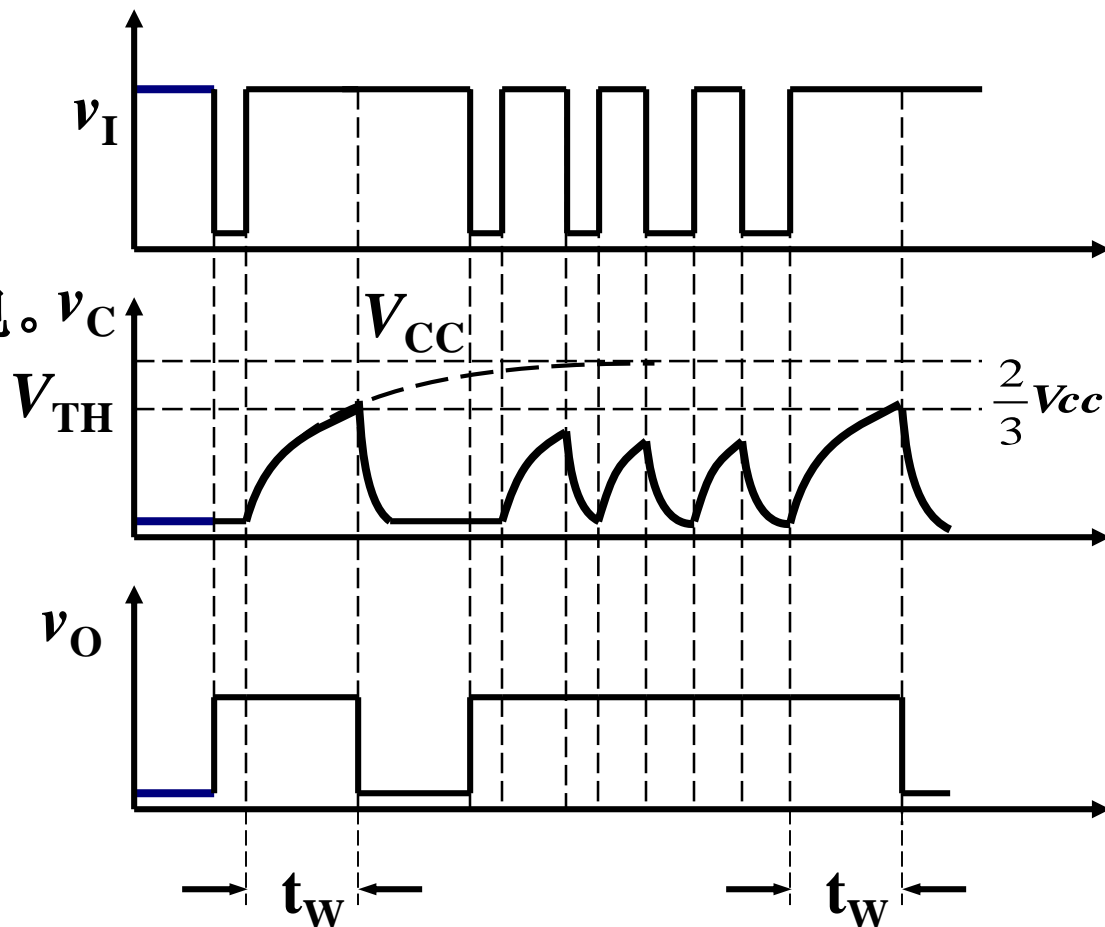
$\rightarrow$  进入暂态, C不能充电。

c.  $V_I=1 \rightarrow$  电容开始充电

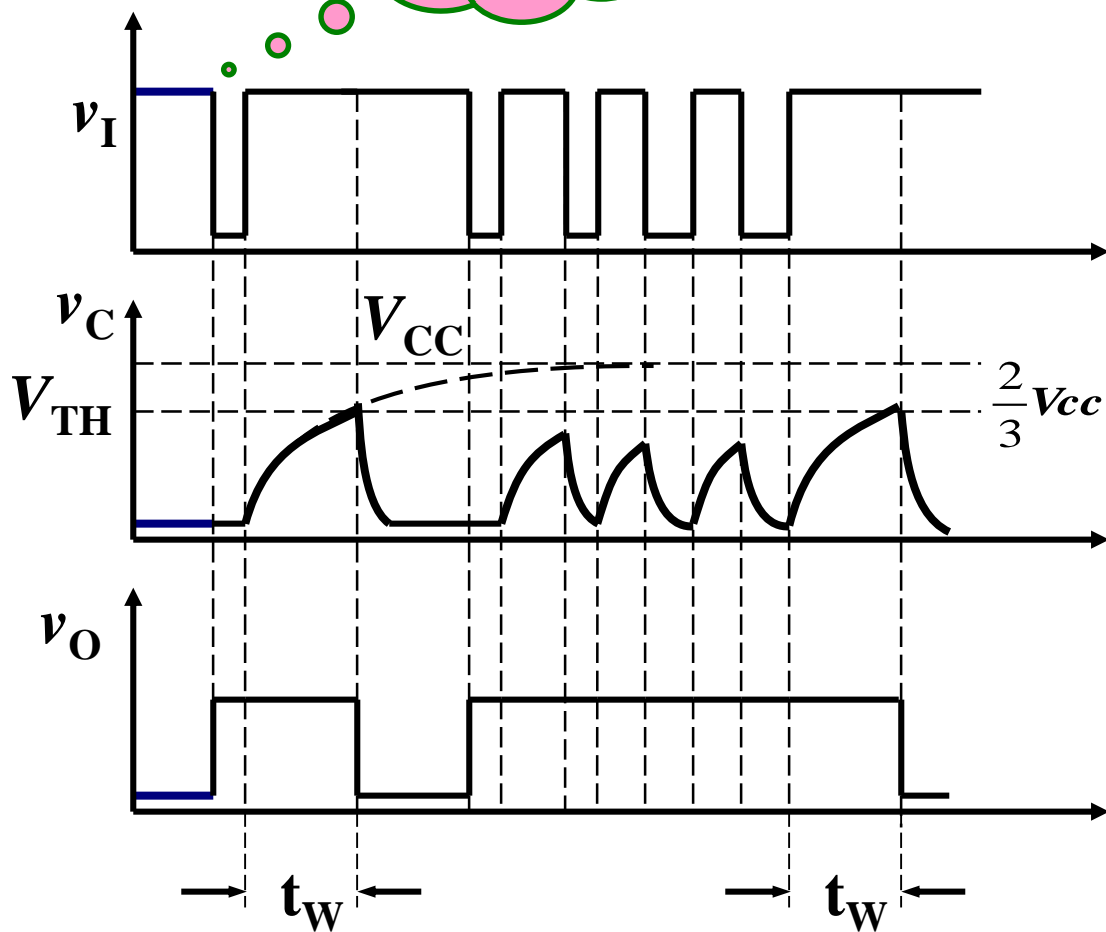
d.  $V_C > 2/3 V_{CC} \rightarrow Q=0$ ,  
 $\left\{ \begin{array}{l} \rightarrow V_O=0, \text{恢复稳态,} \\ \rightarrow \text{T导通, 电容放电} \end{array} \right.$

e. 重复触发：

电容充电过程中  $V_I=0$ ,  
电容放电,  $V_I=1$  后, 再次充  
电  $\rightarrow \rightarrow$  实现可重复触发。



失落脉冲  
检测仪

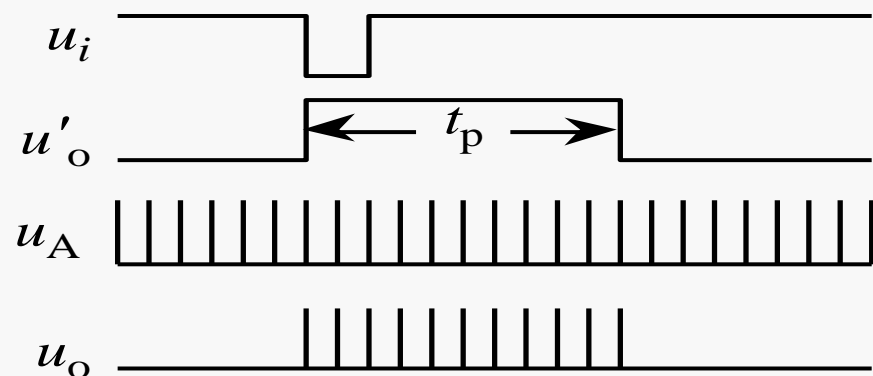
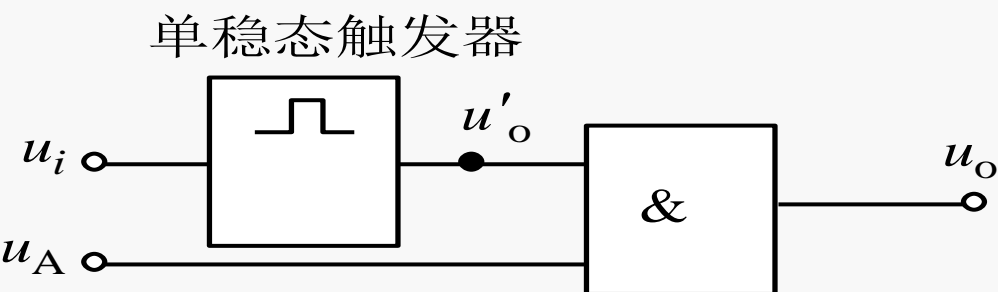


**结论:**

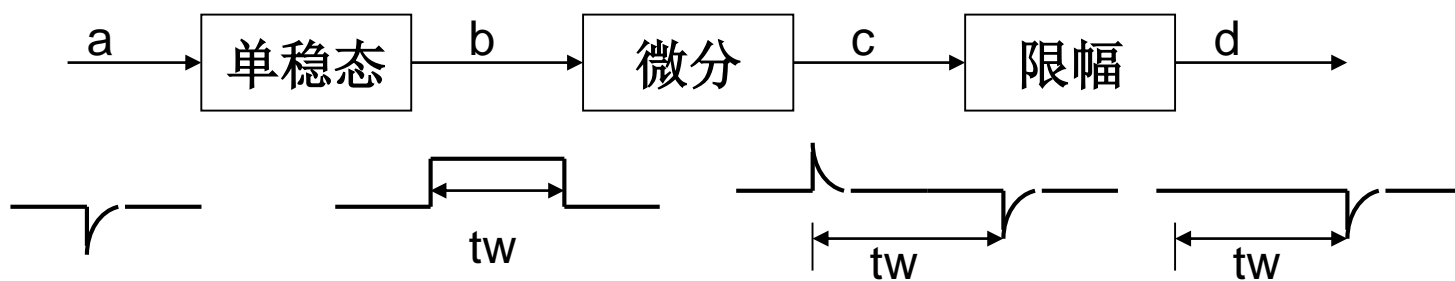
$v_I$  每输入一次负脉冲,  
 $v_O$  便输出一个正脉冲,  
 $v_C$  充电至  $\frac{2}{3}V_{CC}$  放电,  
再来正脉冲再充再放...

## (5) 单稳态触发器的应用

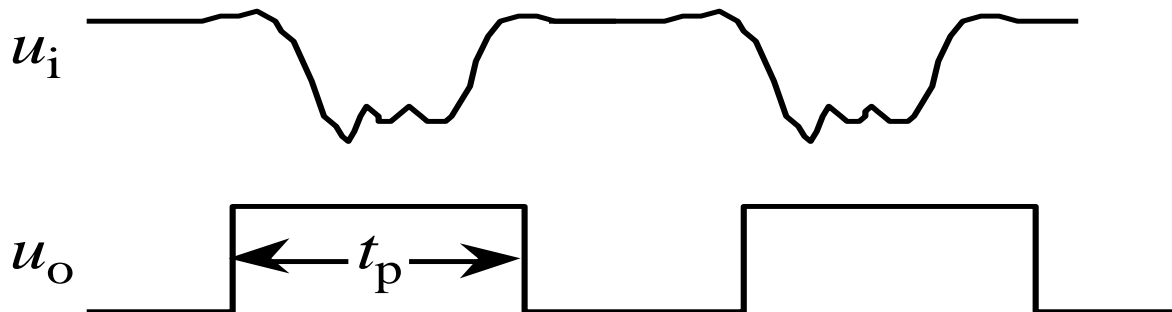
### 1. 定时：产生一定宽度的矩形



### 2. 延时：把输入信号延迟一定时间后输出



### 3. 整形：把不规则的波形转换成宽度、幅度都相等的波形



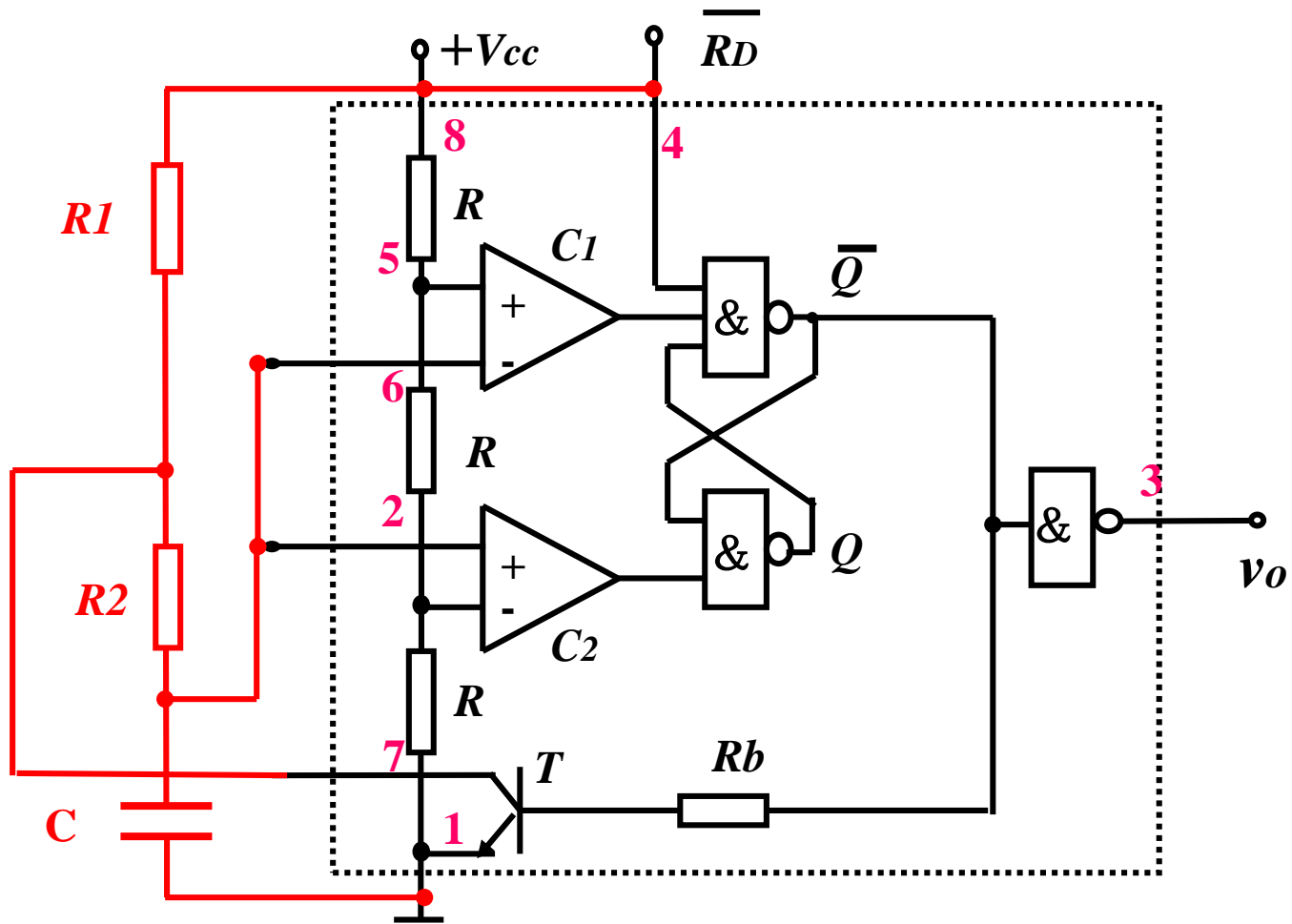


## 2. 555定时器做多谐振荡器

多谐振荡器的特点：

- (1) 不需外触发的自激振荡器；
- (2) 无稳定状态，均为暂稳态；
- (3) 矩形波中含有丰富的高次谐波，常称多谐振荡器。

## (1) 电路



## 外接R1,R2,C

## (2) 原理

①  $V_{CC}$ 通过 $R_1$ 、 $R_2$ 向 $C$ 充电, 在 $V_C$ 没有充电到  $2V_{CC}/3$  之前,  $V_o$  保持 1 不变。

② 当  $V_C = 2V_{CC}/3$  时  
→  $V_o$ 由1翻转为 0。

→  $T$  导通

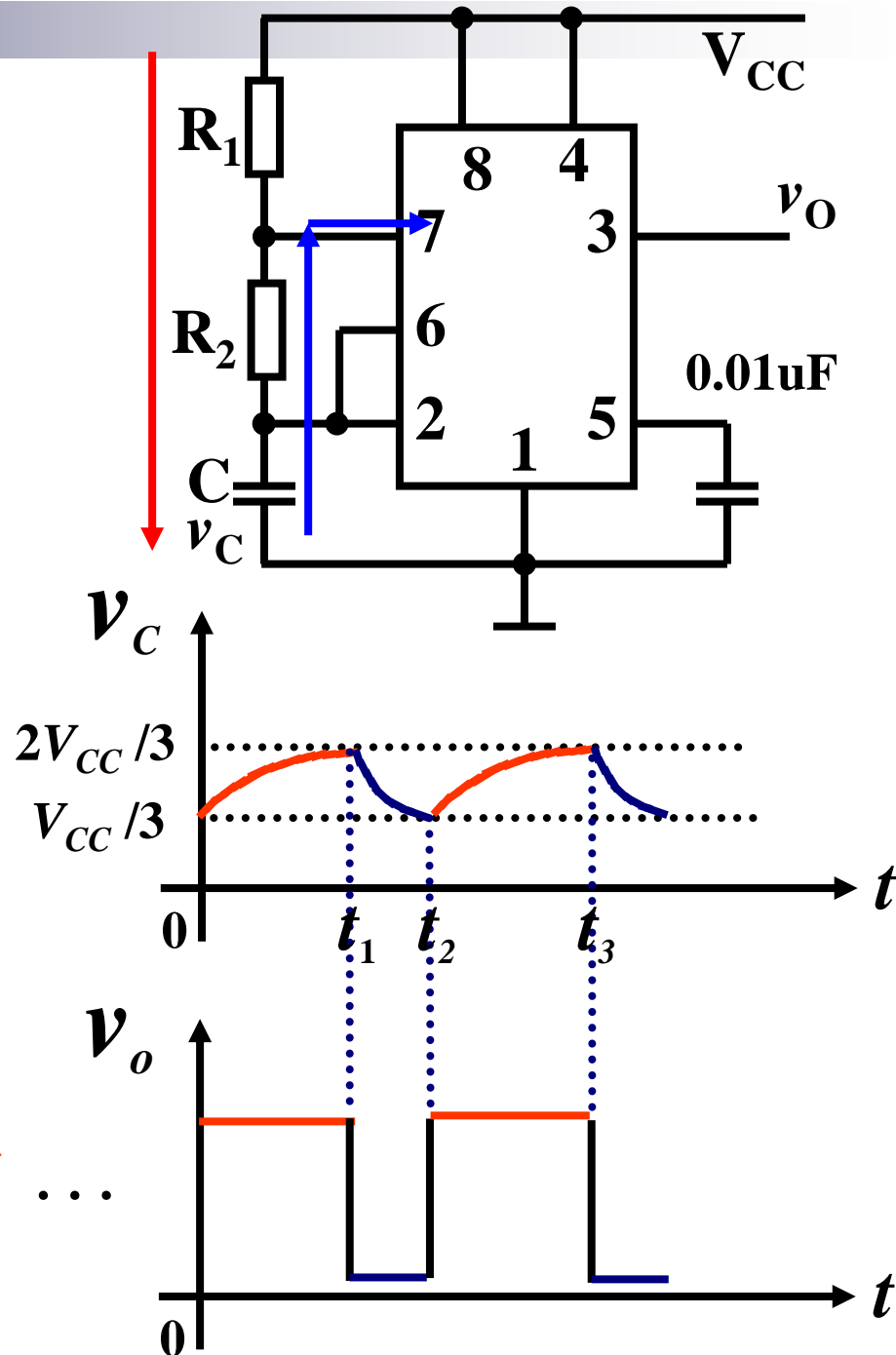
→ 电容 $C$ 经 $R_2$ 、 $T$ 放电。

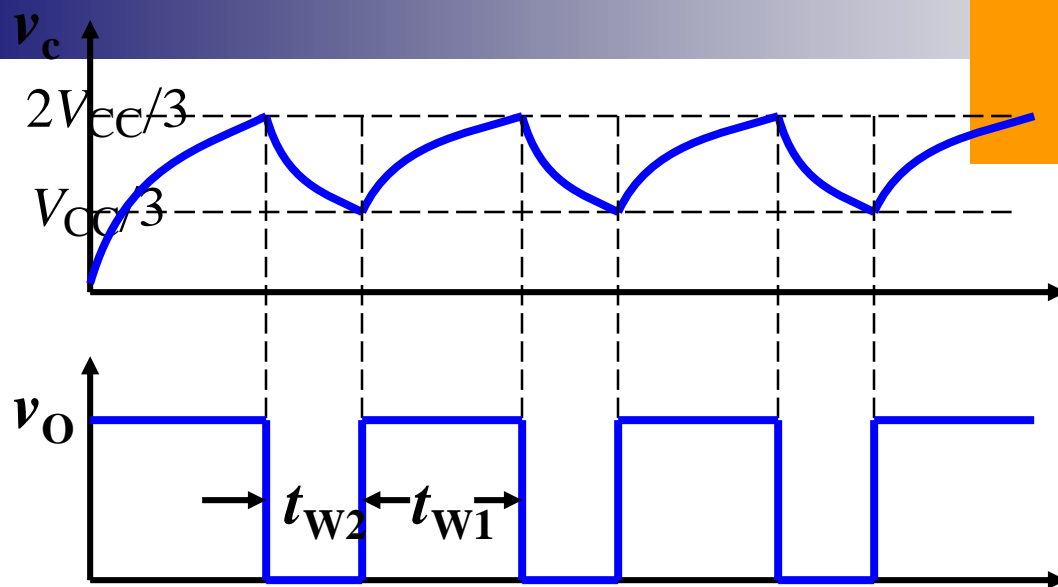
③ 当 $V_C$ 降至 $V_{CC}/3$ 时, 使得

→  $V_o$  回到1

→  $T$ 截止

→ 电容 $C$ 再充电, 进入循环 ...





$$t = \tau \ln \frac{v_c(\infty) - v_c(0_+)}{v_c(\infty) - v_c(t)}$$

第一个暂稳态的脉冲宽度  $t_{w1}$ ,  $V_c$  从  $V_{cc}/3$  充电上升到  $2V_{cc}/3$  所需的时间

$$t_{w1} = (R_1 + R_2)C \ln \frac{V_{cc} - 1/3V_{cc}}{V_{cc} - 2/3V_{cc}} \approx 0.7(R_1 + R_2)C$$

第二个暂稳态的脉冲宽度  $t_{w2}$ ,  $V_c$  从  $2V_{cc}/3$  放电下降到  $V_{cc}/3$  所需的时间

$$t_{w2} = R_2C \ln \frac{2/3V_{cc}}{1/3V_{cc}} \approx 0.7R_2C$$

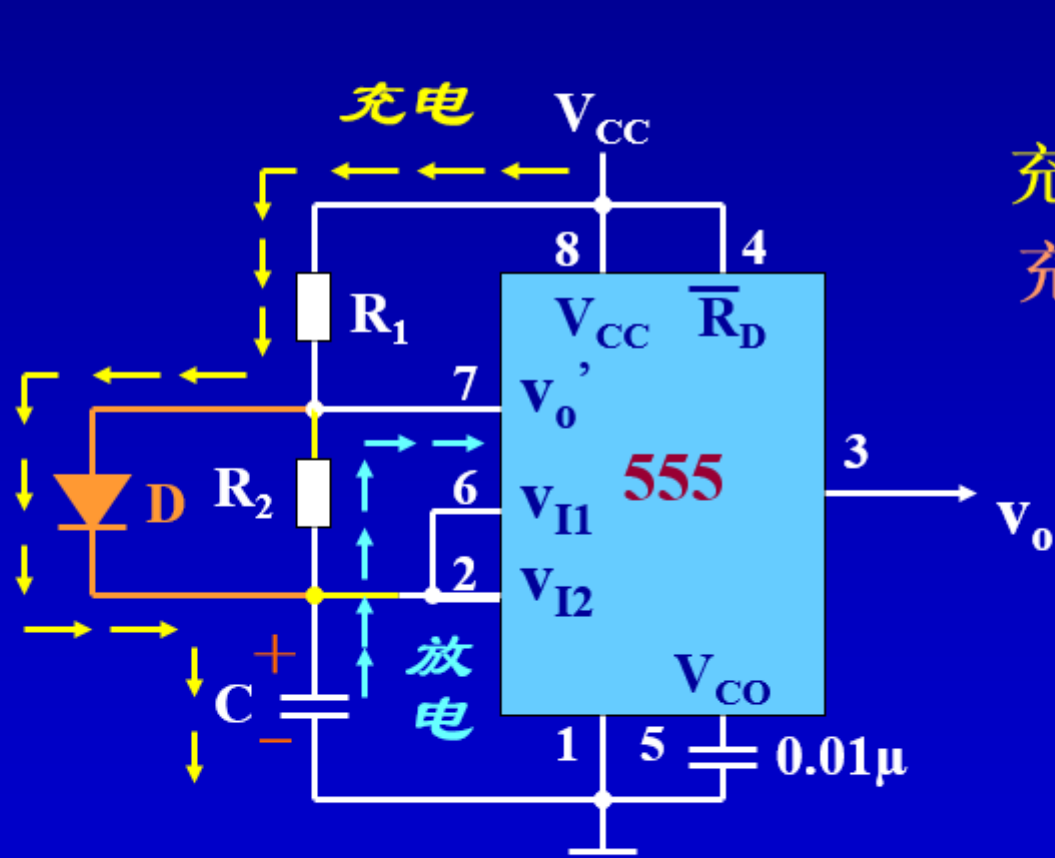
## 重点掌握:

振荡周期:  $T = t_{W1} + t_{W2} \approx 0.7(R_1 + 2R_2)C$

频率:  $f = \frac{1}{T} \approx \frac{1.43}{(R_1 + 2R_2)C}$

占空比:  $q = \frac{t_{W1}}{T} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2}$

问题：如何得到占空比  $q < \frac{1}{2}$  的脉冲波形？



充电时间 < 放电时间  
充电电阻 < 放电电阻

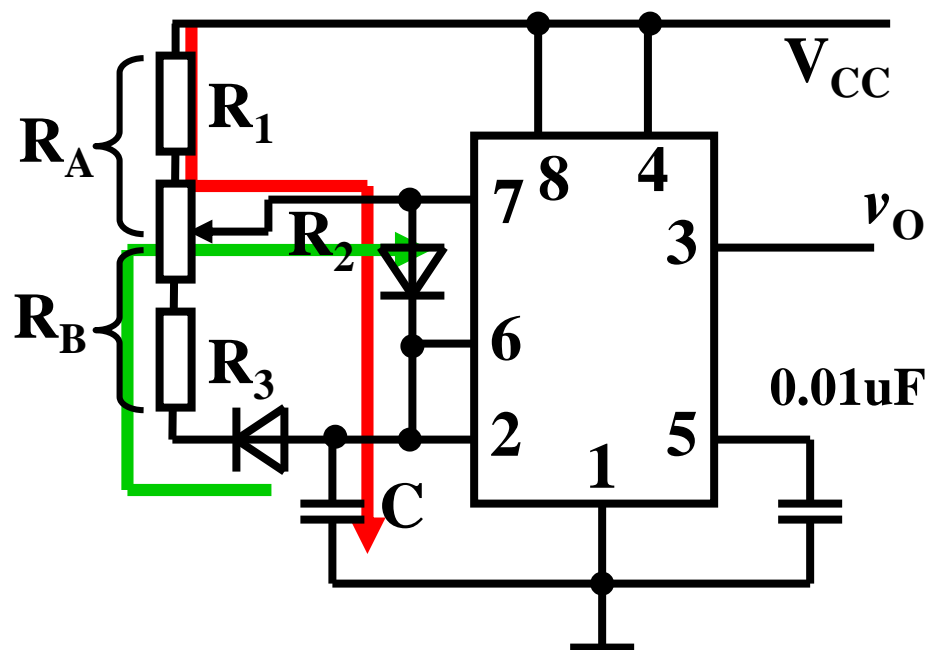
$$\tau_{\text{充}} \approx R_1 \cdot C$$

$$\tau_{\text{放}} \approx R_2 \cdot C$$

$$R_1 < R_2 \Rightarrow q < \frac{1}{2}$$

### (3) 占空比可调多谐振荡器

电路特点：充放电电路各自独立。



充电回路：  $t_{w1}=R_A C \ln 2$

放电回路：  $t_{w2}=R_B C \ln 2$

占空比：

$$q = t_{w1} / (t_{w1} + t_{w2}) = R_A / (R_A + R_B)$$

通过调节  $R_2$  来调节占空比

### 3. 555定时器做施密特触发器

施密特触发器的特点：

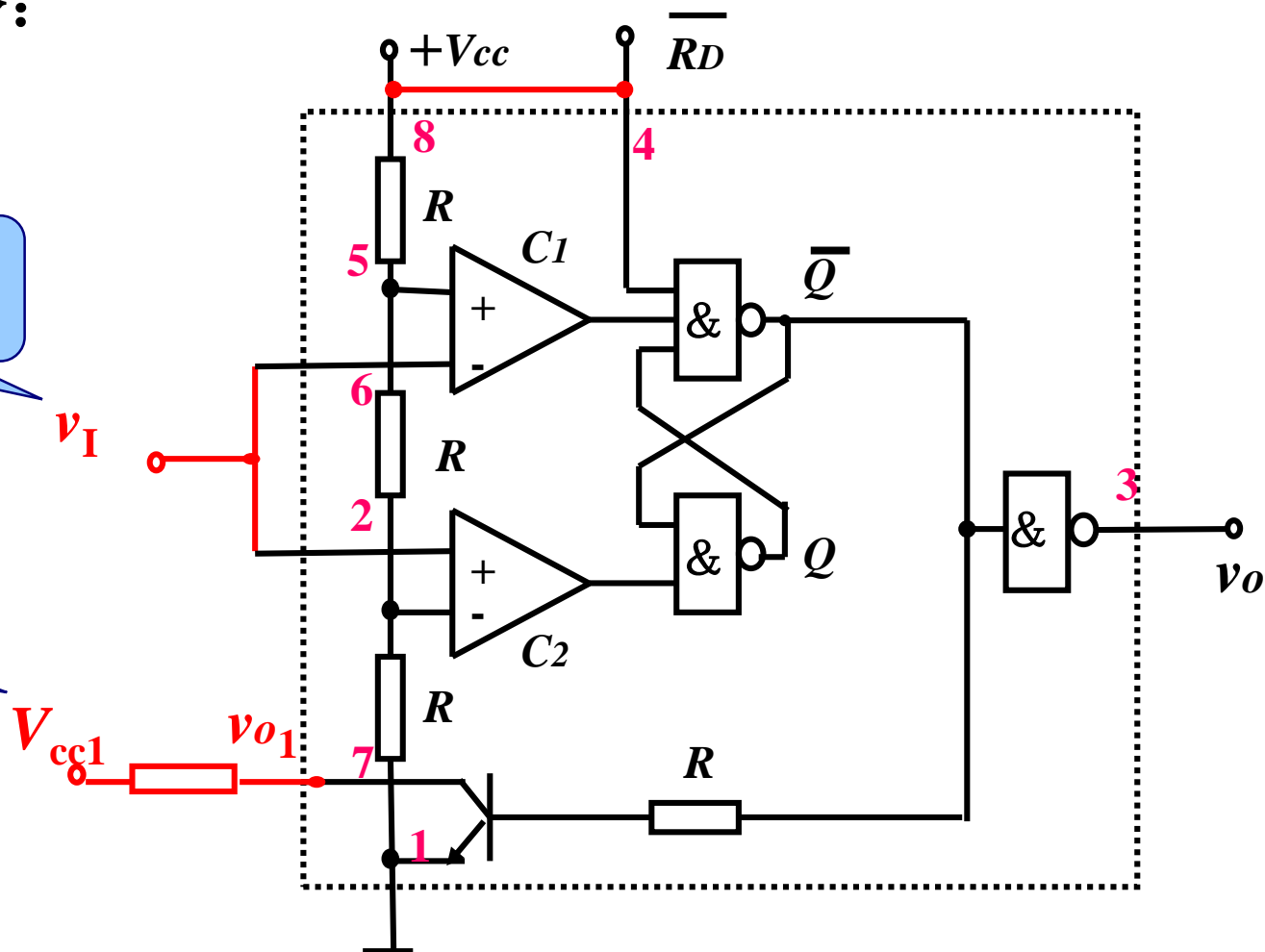
- (1) 双稳态触发器，有两个稳定的状态；
- (2) 电平触发——电压达到某个值时电路状态翻转；
- (3) 具有滞后电压传输特性——回差特性  
(两次翻转输入电平不同)；



# (1)电路:

2, 6端连在一起  
作为信号输入端

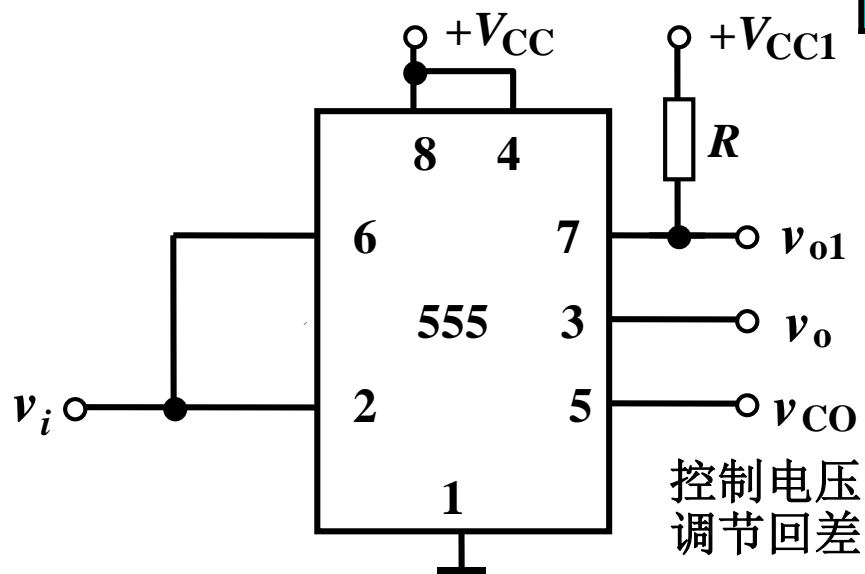
构成集电极开  
路型输出端。



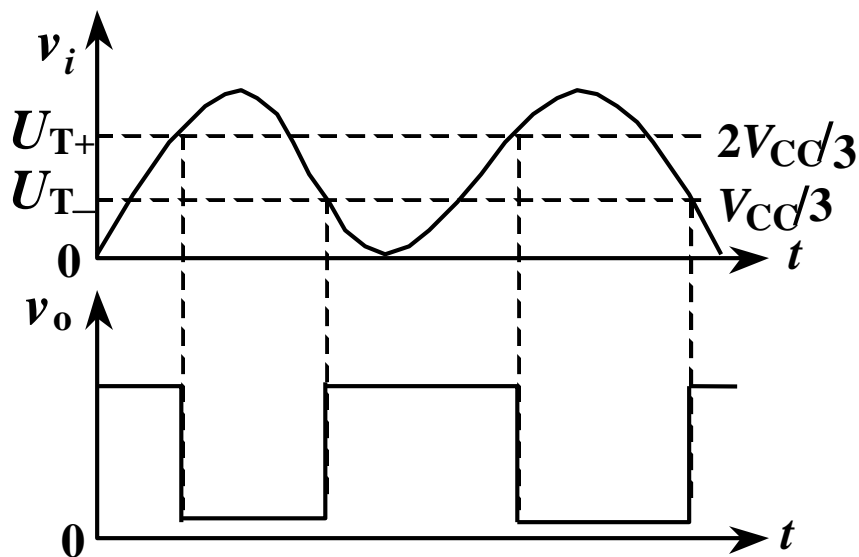
$V_I < 1/3 V_{CC}$  时,  $C1=1$ ,  $C2=0$ ,  $V_O=1$

$V_I > 2/3 V_{CC}$  时,  $C1=0$ ,  $C2=1$ ,  $V_O=0$

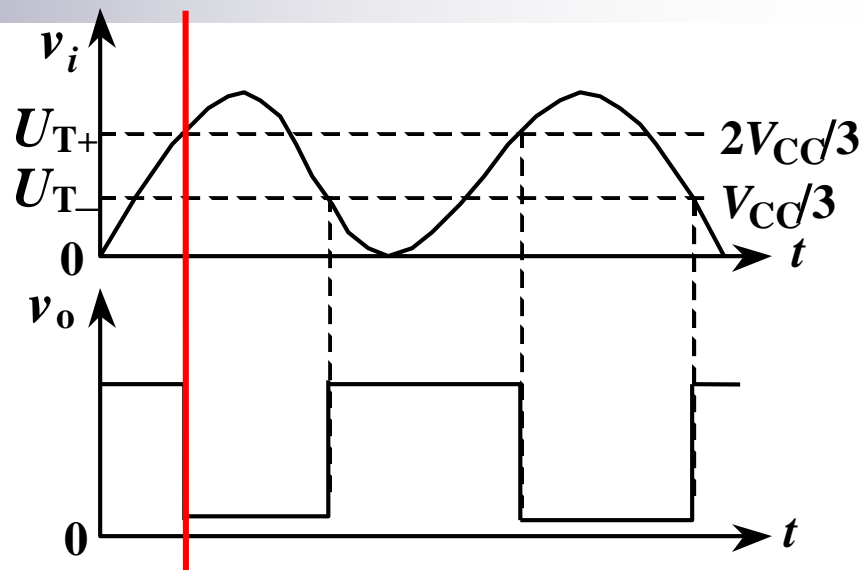
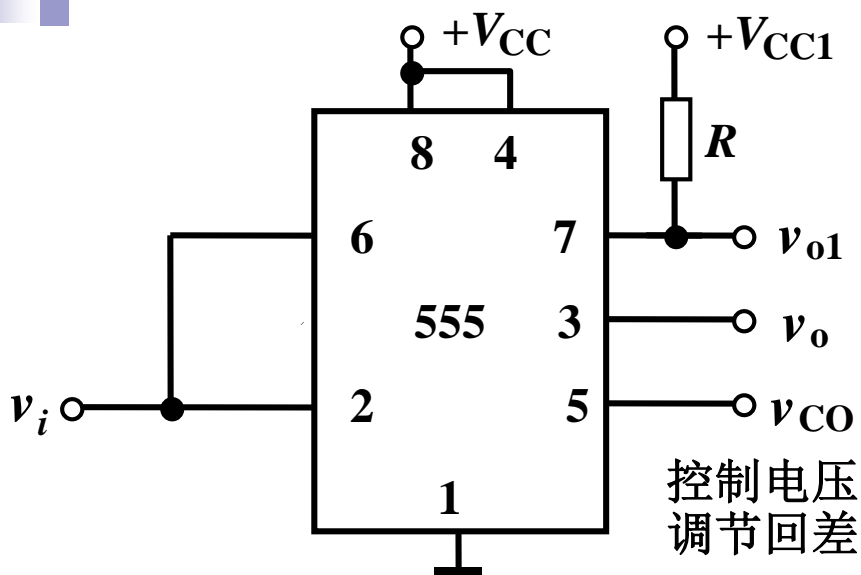
## (2)工作原理:



$V_6 = V_{TH}$	$V_2 = V_{TR}$	$V_o$	T
$> 2/3 V_{CC}$	$> 1/3 V_{CC}$	0	导通
$< 2/3 V_{CC}$	$> 1/3 V_{CC}$	保持	保持
$< 2/3 V_{CC}$	$< 1/3 V_{CC}$	1	截止

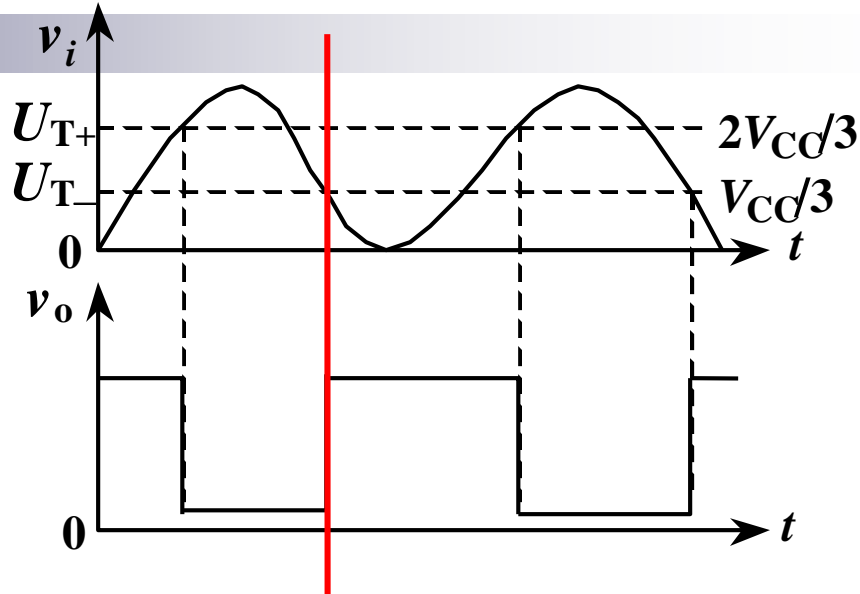
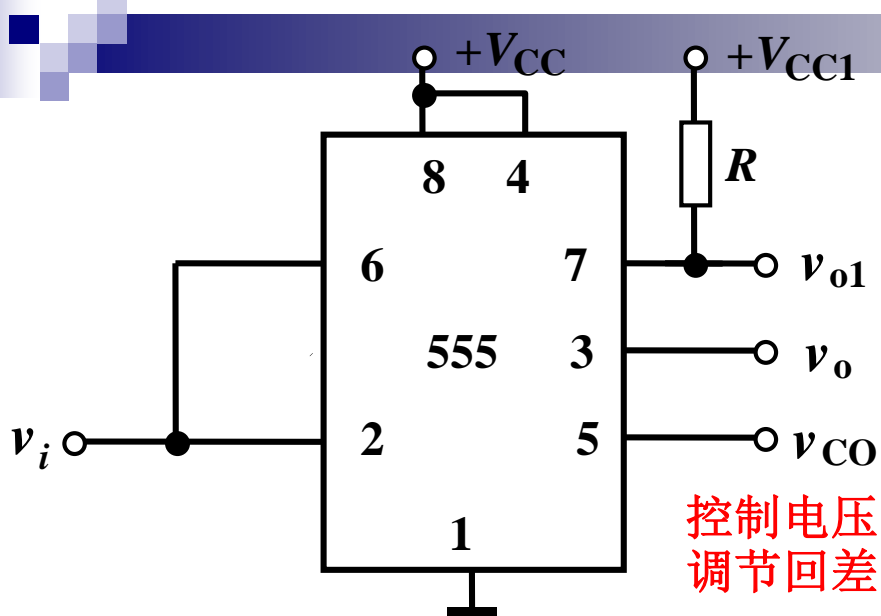


(a) 当  $V_i = 0$  时, 由于比较器  $C_1 = 1$ 、 $C_2 = 0$ , 触发器置 1, 即  $Q = 1$ 、 $\overline{Q} = 0$ ,  $V_o = 1$ 。  $V_i$  升高时, 在未到达  $2V_{CC}/3$  以前,  $V_o = 1$  的状态不会改变。



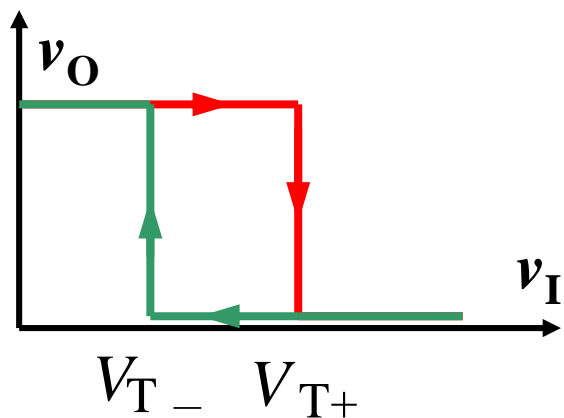
(a) 当  $v_i=0$  时，由于比较器  $C_1=1$ 、 $C_2=0$ ，触发器置 1，即  $Q=1$ 、 $\bar{Q}=0$ ， $v_o=1$ 。 $v_i$  升高时，在未到达  $2V_{CC}/3$  以前， $v_o=1$  的状态不会改变。

(b)  $v_i$  升高到  $2V_{CC}/3$  时，比较器  $C_1$  输出为 0、 $C_2$  输出为 1，触发器置 0，即  $Q=0$ 、 $\bar{Q}=1$ ， $v_o=0$ 。此后， $v_i$  上升到  $V_{CC}$ ，然后再降低，但在未到达  $V_{CC}/3$  以前， $v_o=0$  的状态不会改变。



- (a) 当  $v_i=0$  时，由于比较器  $C_1=1$ 、 $C_2=0$ ，触发器置 1，即  $Q=1$ 、 $\overline{Q}=0$ ， $v_o=1$ 。 $v_i$  升高时，在未到达  $2V_{CC}/3$  以前， $v_o=1$  的状态不会改变。
- (b)  $v_i$  升高到  $2V_{CC}/3$  时，比较器  $C_1$  输出为 0、 $C_2$  输出为 1，触发器置 0，即  $Q=0$ 、 $\overline{Q}=1$ ， $v_o=0$ 。此后， $v_i$  上升到  $V_{CC}$ ，然后再降低，但在未到达  $V_{CC}/3$  以前， $v_o=0$  的状态不会改变。
- (c)  $v_i$  下降到  $V_{CC}/3$  时，比较器  $C_1$  输出为 1、 $C_2$  输出为 0，触发器置 1，即  $Q=1$ 、 $\overline{Q}=0$ ， $v_o=1$ 。此后， $v_i$  继续下降到 0，但  $v_o=1$  的状态不会改变。

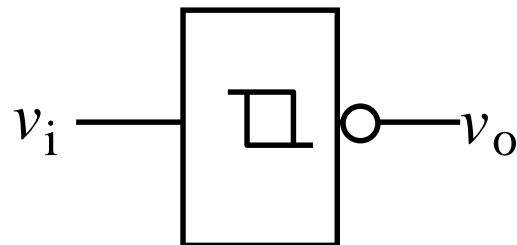
(a) 传输特性



下限阈值电压

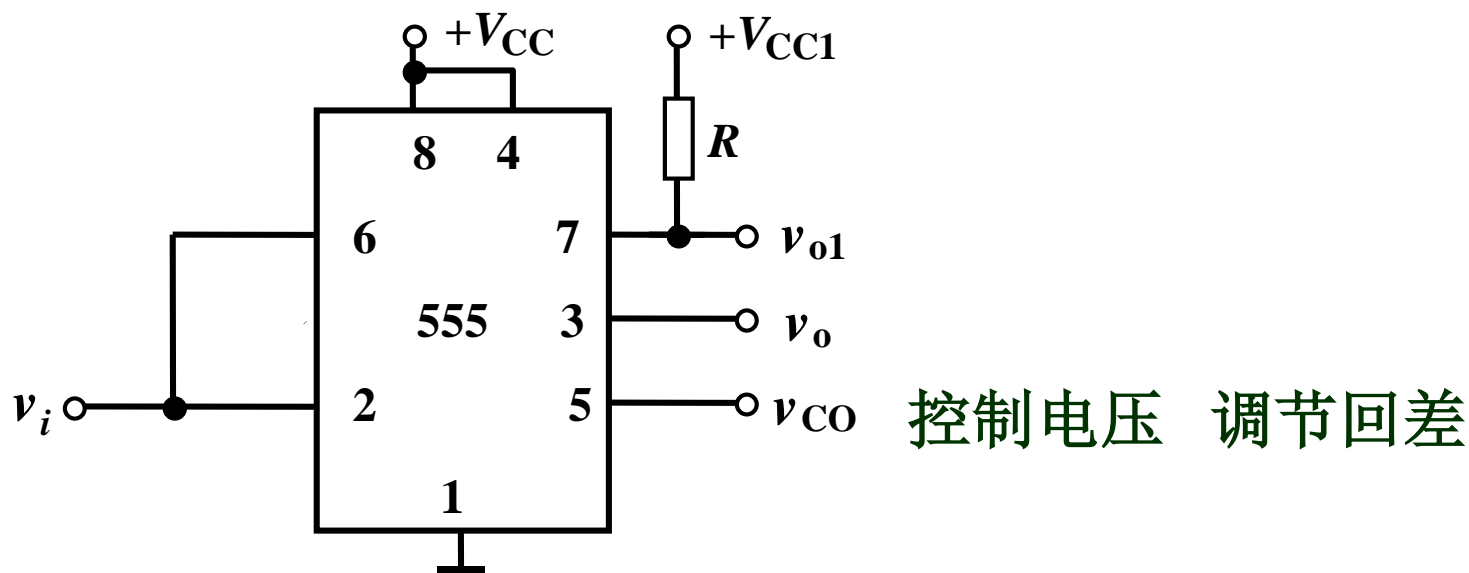
上限阈值电压

(b) 逻辑符号



回差电压（滞后电压）： $V_{T+}=2/3V_{CC}$ ； $V_{T-}=1/3V_{CC}$

$$\Delta V_T = V_{T+} - V_{T-} = 1/3V_{CC}$$

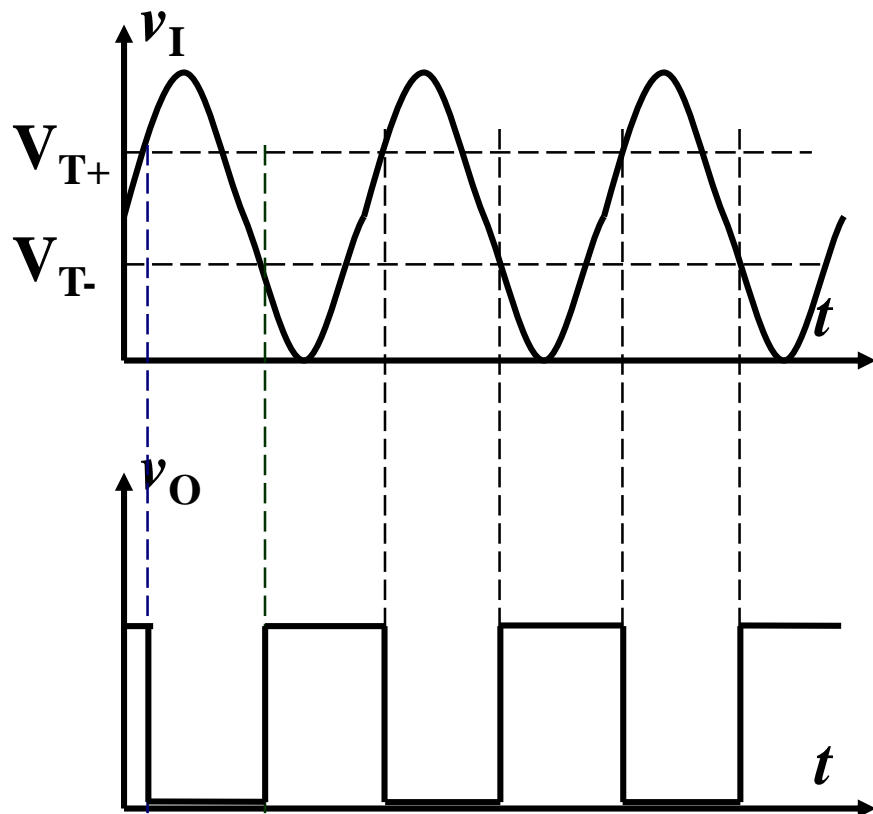


说明: ①在5脚上加控制电压  $v_{CO}$  可以改变  $V_{T+}$ ,  $V_{T-}$ , 以调节回差电压的大小。

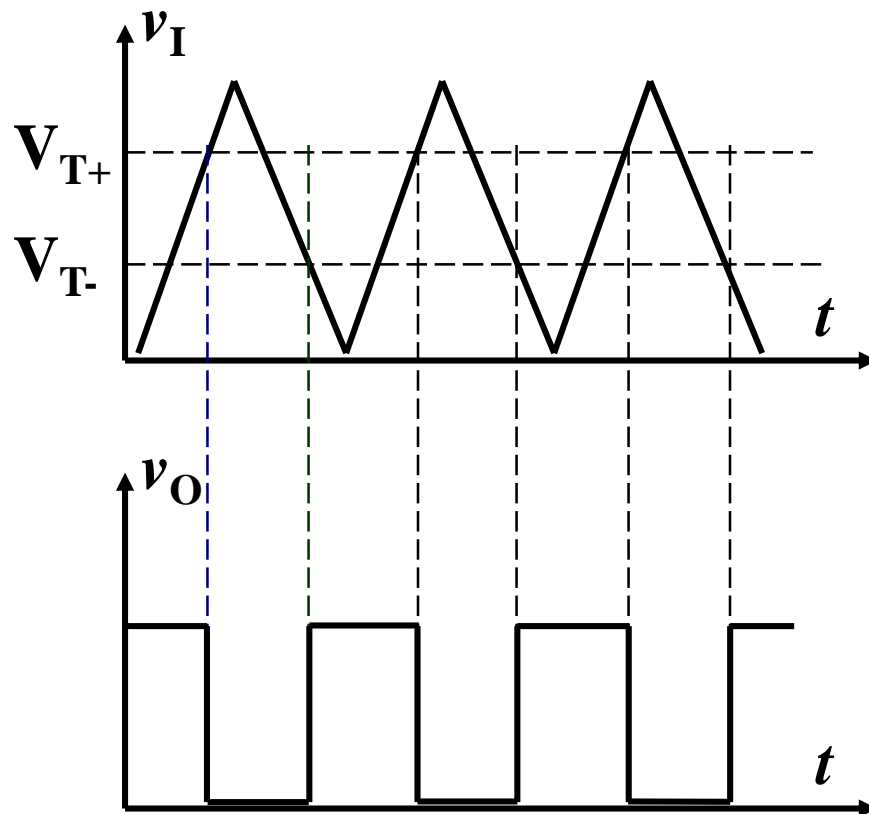
②在7脚外接一电阻, 并与  $V_{CC1}$  相连,  $v_o=1$  时,  $v_{o1}=V_{CC1}$ ;  $v_o=0$  时,  $v_{o1}=0$ 。可以实现电平移动。

### (3) 施密特触发器的应用：

#### ① 波形变换——三角波、正弦波变换成方波



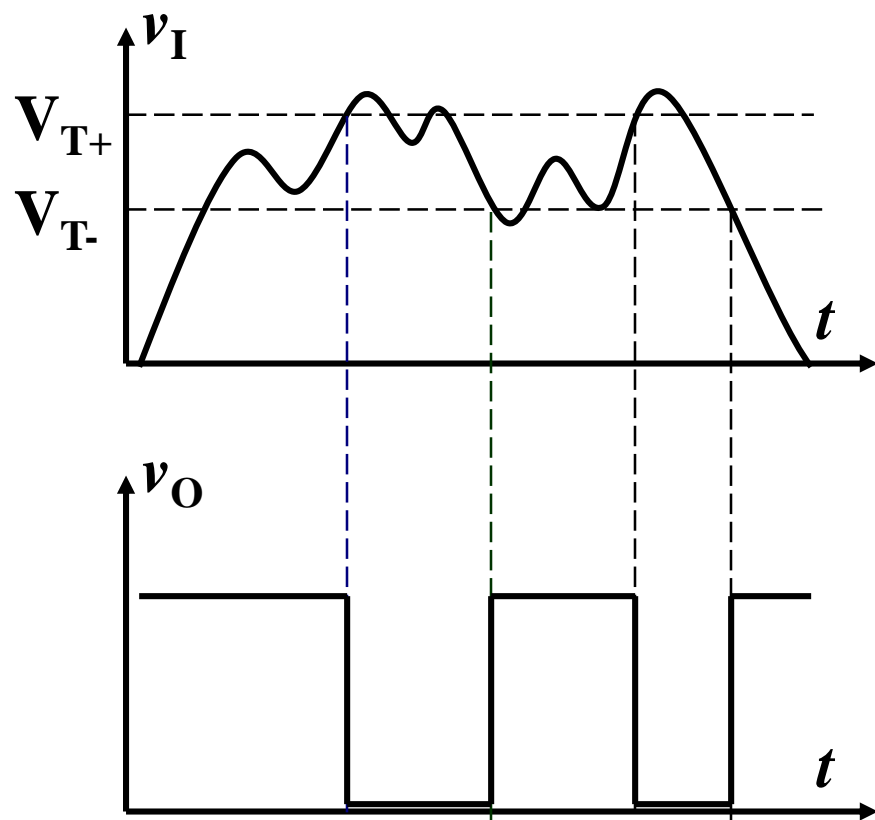
正弦波  $\rightarrow$  方波



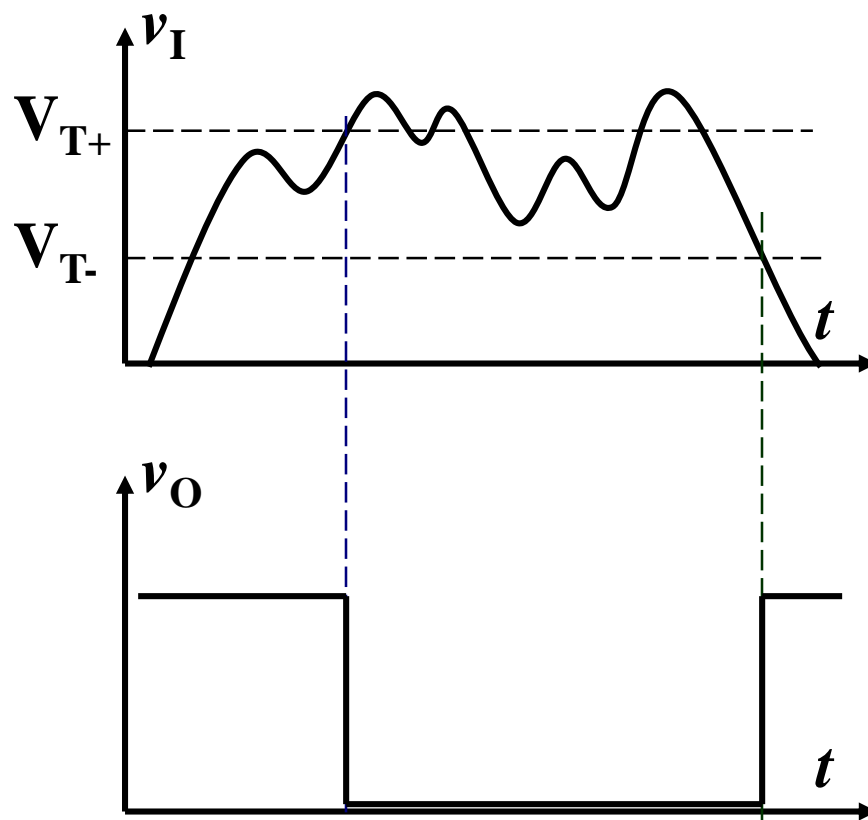
三角波  $\rightarrow$  方波

调节  $V_{T+}$ ,  $V_{T-}$  可以改变脉冲宽度

## ② 波形整形——消除噪声干扰



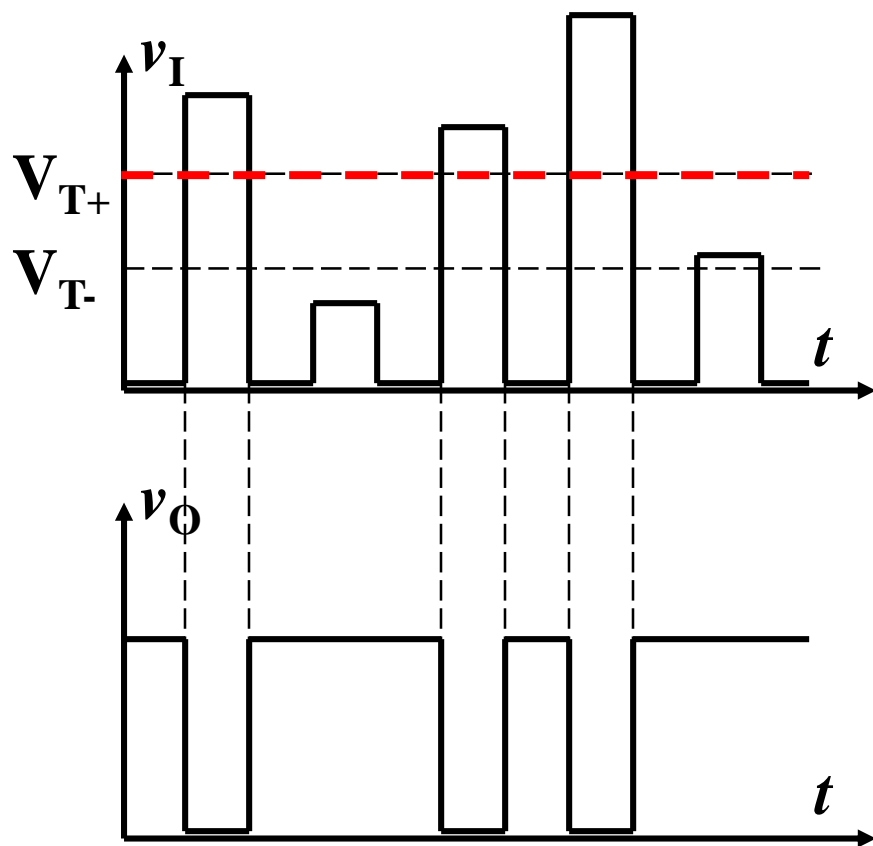
回差电压比较小



回差电压比较大

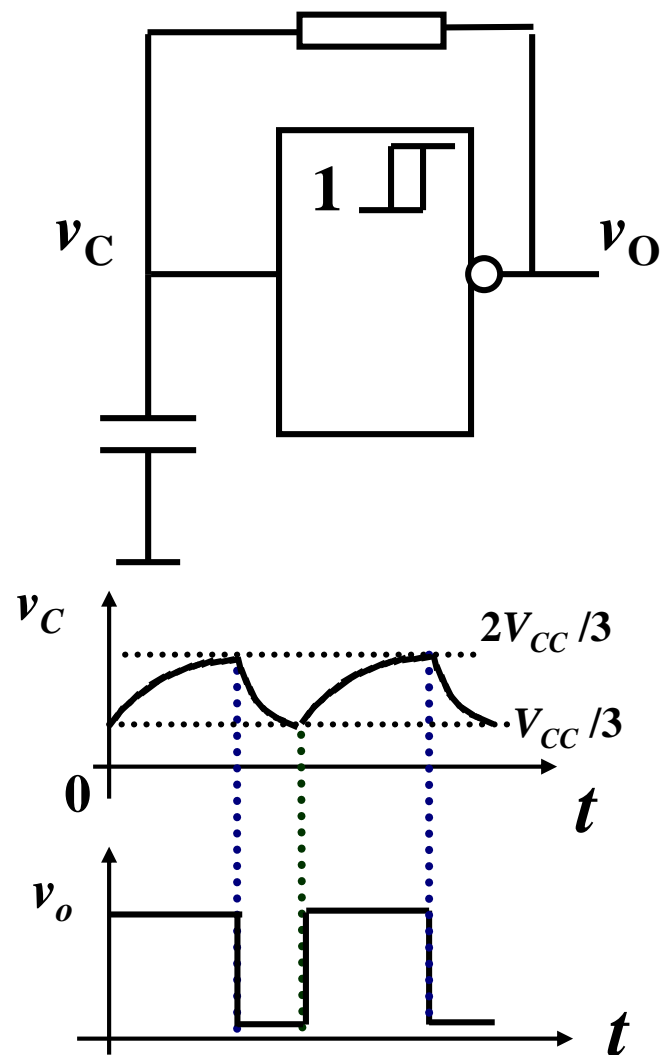


### ③ 幅度鉴别



可以调节 $V_{T+}$ 作为鉴别门限

### ④ 构成多谐振荡器



## 本章要求

- 1.熟练掌握**555**定时器的基本功能和三种基本应用。
- 2.熟练掌握脉冲电路**有关参数的计算和波形的绘制**。
- 3.掌握三种脉冲电路的主要应用。
- 4.掌握集成单稳、集成施密特触发器的主要特点和基本结构。

## 本章作业

**8.3, 8.6, 8.7**