



# 脉冲电路

刘鹏

liupeng@zju.edu.cn

浙江大学

信息与工程学院

- 概述
- 施密特触发器
- 单稳态触发器
  - 微分型
  - 积分型

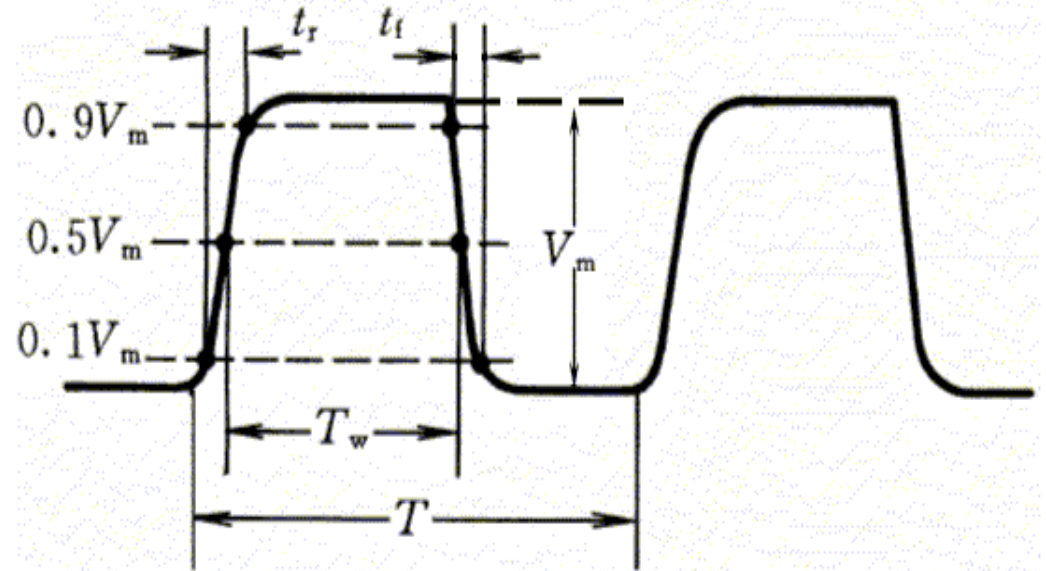
# 概述

## □ 参数

- 脉冲周期 $T$
- 脉冲幅度 $V_m$
- 脉冲宽度 $T_w$
- 上升时间 $t_r$
- 下降时间 $t_f$
- 占空比 $q$   
 $q = T_w / T$

## □ 获取矩形波形

- 多谐振荡器电路
- 整形电路变换已有的周期性波形

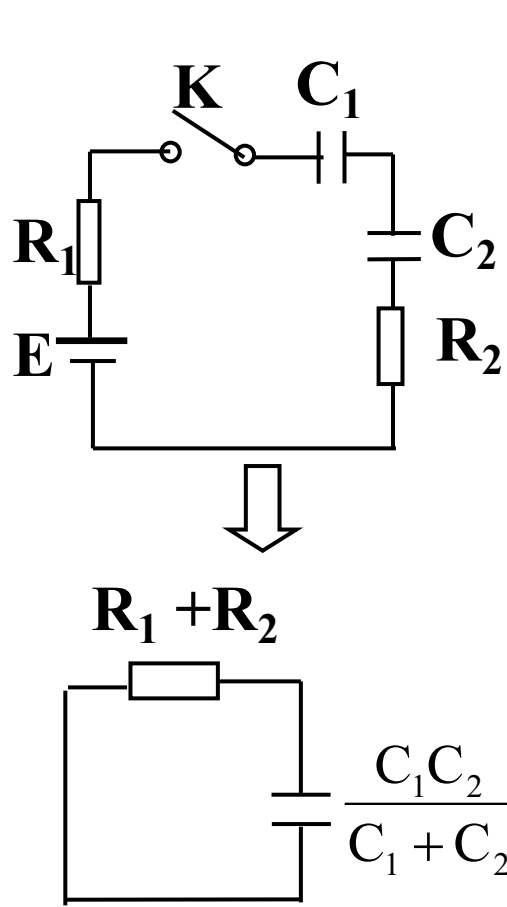


## 描述矩形脉冲特性的主要参数

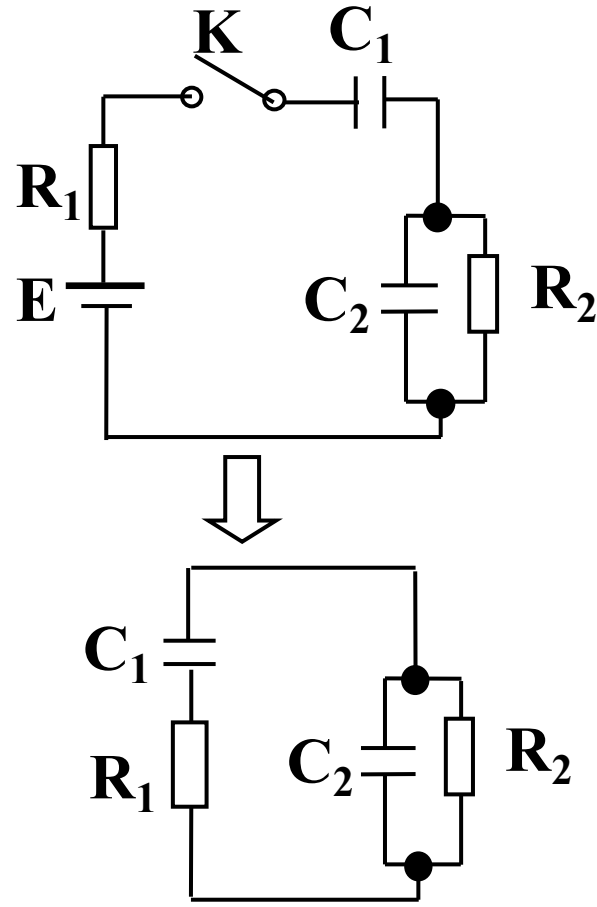
# 一阶线性电路的暂态分析

## 1. 什么叫一阶电路?

一个独立的储能元件的电路。即经串、并联可化简为RC /RL电路



一价电路



高价电路

## 2.一阶电路的分析

{ 解微分方程法  
三要素法    前提? **阶跃信号**

### (1) 三要素

{ 时间常数 $\tau$ :  $\tau = RC, \tau = L/R$   
初始值 $x(0^+)$ :  $v_c(0^+) = v_c(0^-), i_L(0^+) = i_L(0^-)$   
趋向 (稳态) 值 $x(\infty)$ :

- 电容不再充放电,  $i_c=0$ 。此时, 电容可视为开路
- 电感电流不再变化,  $v_L=0$ 。此时, 电感可视为短路

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

# 施密特触发器

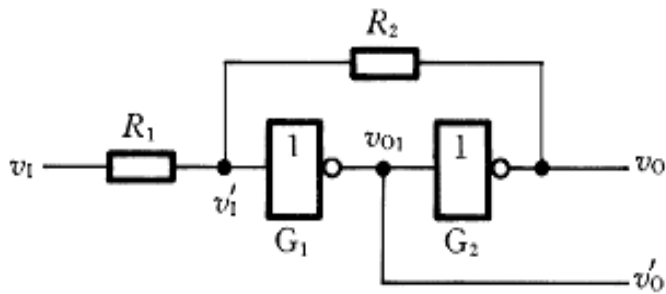
## □ 特点

- 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
  - 在电路状态转换时，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
- 将边沿变换缓慢的信号波形整形为边沿陡峭的矩形波，将叠加在矩形脉冲高、低电平上的噪声有效地清除

# 施密特触发器

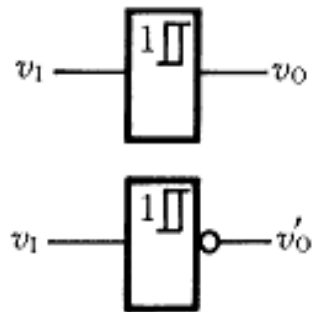
## 用CMOS非门电路组成施密特触发器

### 1.电路组成



条件:  $R1 < R2$

### 2.符号



### 3.原理

**假设:** CMOS为理想器件, 即

$$R_i = \infty, V_{TH} = V_{DD} / 2, V_{OH} = V_{DD}, V_{OL} = 0V$$

$$(1) \quad V'_I = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_I + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_o$$

与  $v_i, v_o$  均有关

$$\text{当 } V'_i < V_{DD} / 2 \Rightarrow v_i < \left(1 - \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot V_{TH}$$

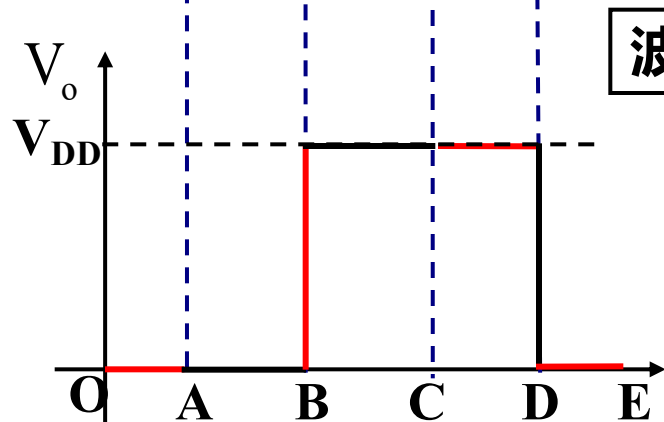
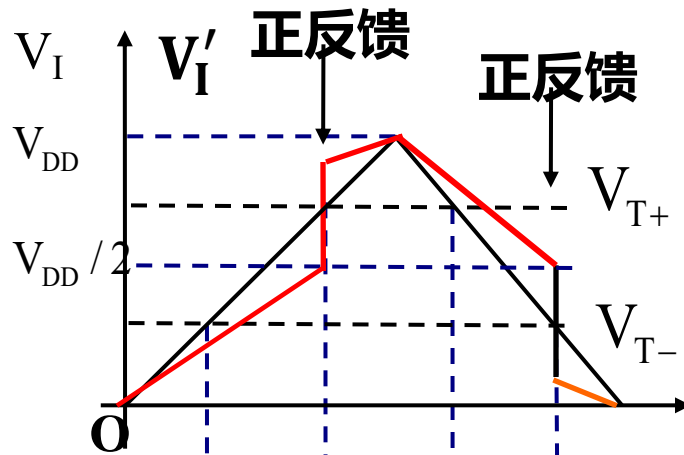
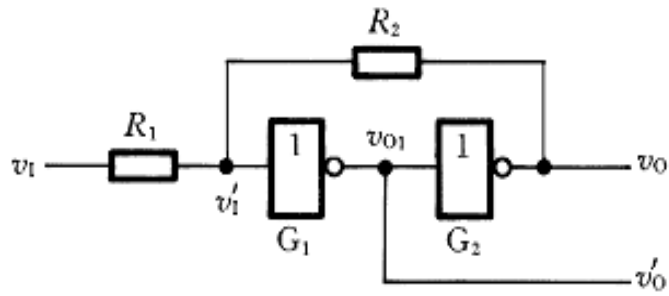
电路输出低电平

$V_{T-}$   
负向阈值电压

$$\text{当 } V'_i > V_{DD} / 2 \Rightarrow v_i > \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot V_{TH}$$

电路输出高电平

$V_{T+}$   
正向阈值电压



## (2) 当 $V_{T-} < v_i < V_{T+}$ 时?

• 当  $v_i < V_{T-}$  时,  $V_o = 0$  (OA段、DE段)

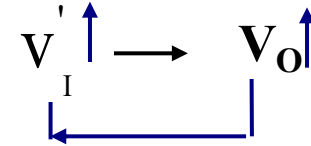
• 当  $v_i > V_{T+}$  时,  $V_o = V_{DD}$  (BC段)

• 当  $v_i$  从 0 变大时

$$v_i' = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_i$$

$v_i < V_{T+}$  时,  $v_i' < V_{TH}$   $V_o = 0$  (AB段)

$v_i$  略大于  $V_{T+}$  时, 有一正反馈过程

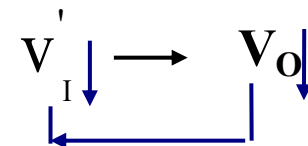


• 当  $v_i$  从  $V_{DD}$  变小时

$$v_i' = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_i + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD}$$

$v_i > V_{T-}$  时,  $v_i' > V_{TH}$ ,  $V_o = V_{DD}$  (CD段)

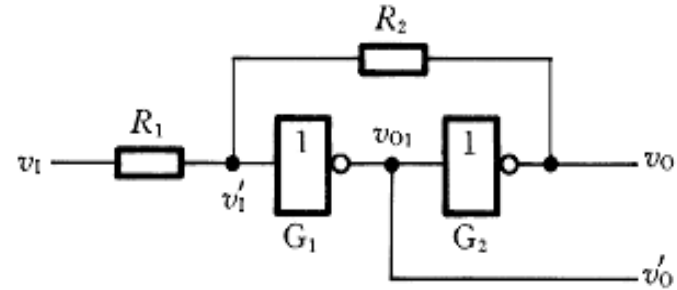
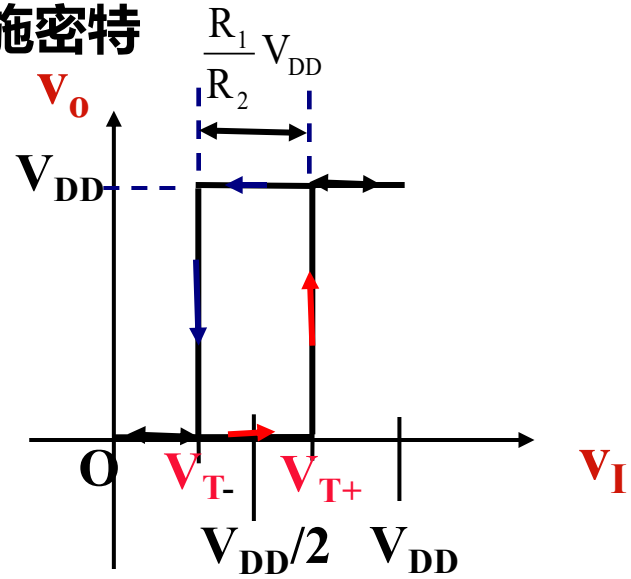
$v_i$  略小于  $V_{T-}$  时, 有一正反馈过程





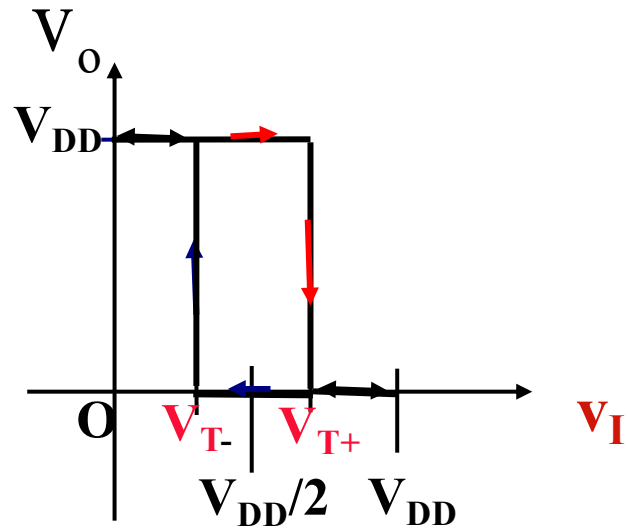
## 4.电压传输特性 $v_o=f(v_i)$

### •同相施密特



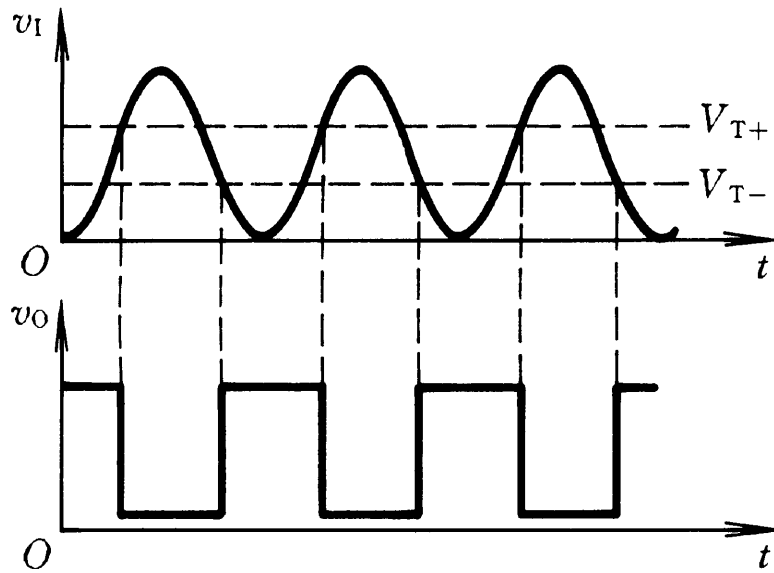
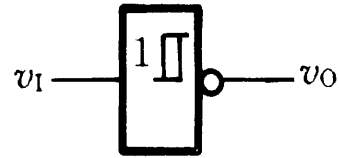
特点：滞后特性

### •反相施密特



# 施密特触发器的应用

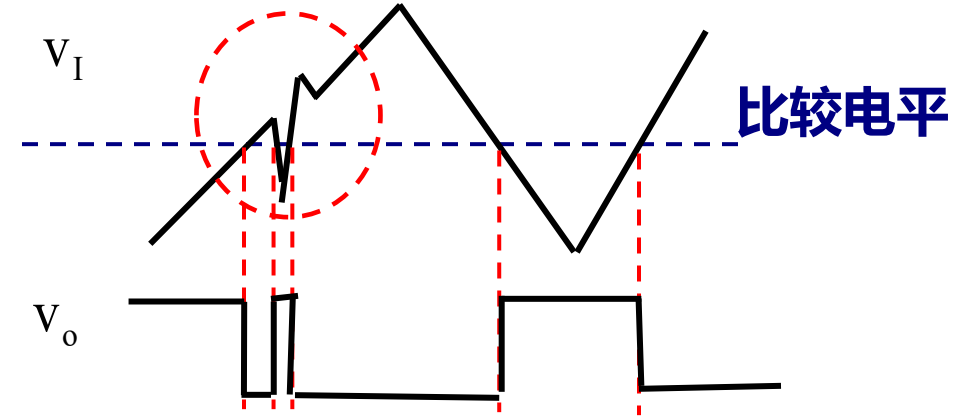
## 波形变换（整形）



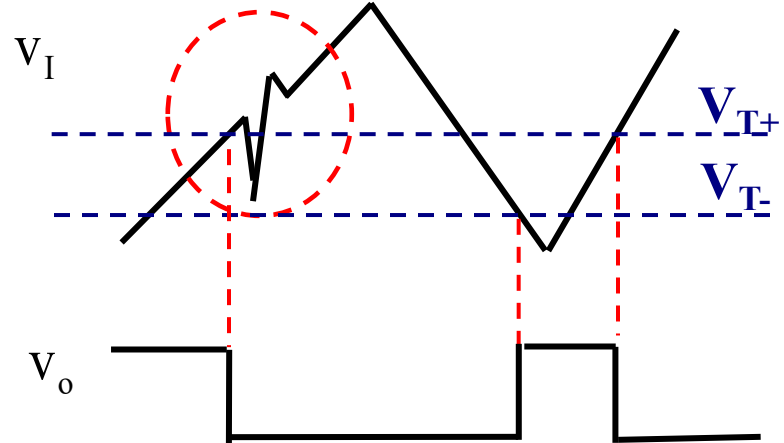
与电压比较器区别？

**抗干扰能力强**

### • 用反向比较器

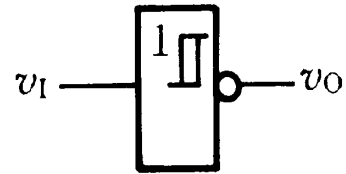


### • 用反向施密特触发器

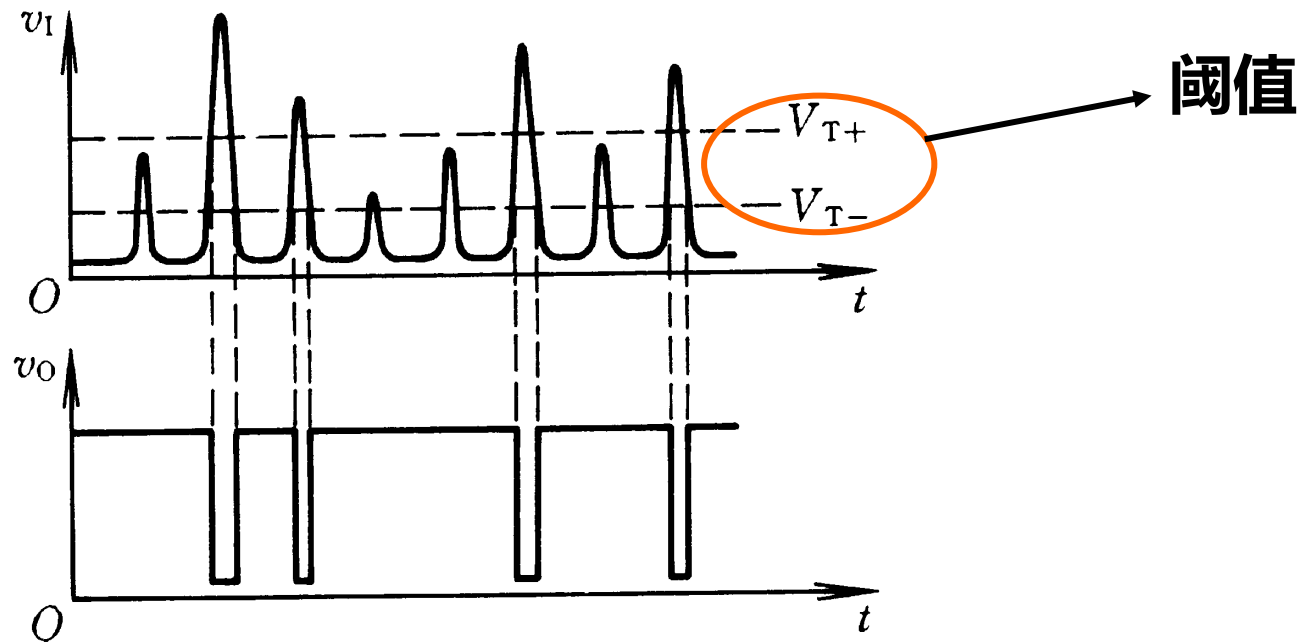


# 施密特触发器的应用

## 用于脉冲鉴幅



功能：筛选出幅度大于某一阈值的脉冲



# 单稳态触发器特点

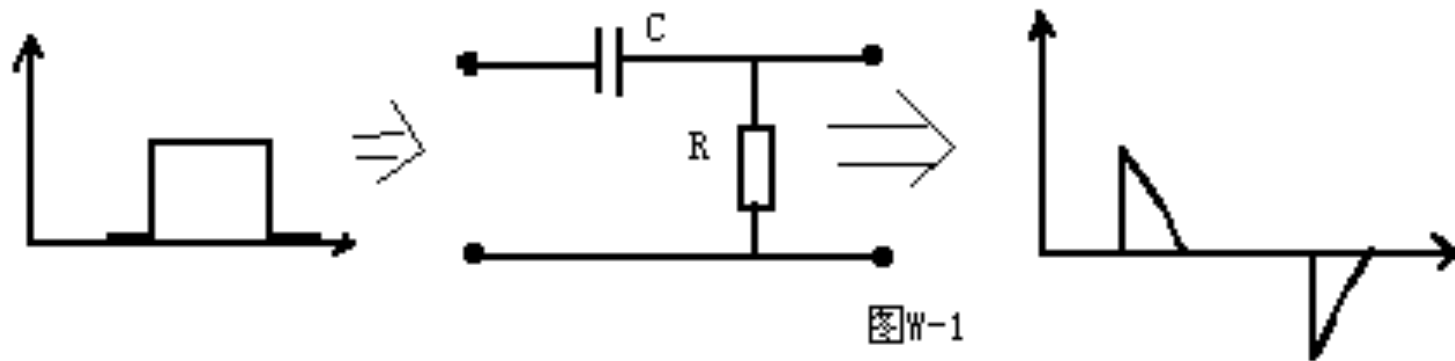
- 触发器有两个稳定的状态，即0和1，所以触发器也被称为双稳态电路
- 与双稳态电路不同，单稳态触发器只有一个稳定的状态。这个稳定状态要么是0，要么是1
- 单稳态触发器的工作特点是：
  - 在没有受到外界触发脉冲作用的情况下，单稳态触发器保持在稳态
  - 受到外界触发脉冲作用的情况下，单稳态触发器翻转，进入“暂稳态”。假设稳态为0，则暂稳态为1
  - 经过一段时间，单稳态触发器从暂稳态返回稳态。单稳态触发器在暂稳态停留的时间仅仅取决于电路本身的参数
- 积分电路是一种求和平均电路(积分 = 求和)，而微分电路是一种提取信号变化部分的电路，信号变化越快，输出越大(微分 = 求变)

# 积分电路与微分电路

- 对于**有RC构成的积分电路来说，输出取自电容**，输出电压是与电容上的电压成正比的。从电容特性知道，电容上的电压正比于它上面的电荷，而电容上的电荷是流过电容电流在时间上的积分(记住**电流的概念是单位时间流过的电荷**)，所以输出电压正比于对电容电流的积分，故称**积分电路**
- **微分电路的输出是在电阻上取出的**(关键的区别!!)，根据欧姆定律，电阻上的电压正比于流过电阻的电流，而流过电阻的电流也就是流过电容的电流。从上面讨论知道，流过电容的电流正比于电容上电压的微分，所以，输出电压正比于电容电压的微分，故称**微分电路**

# 微分电路

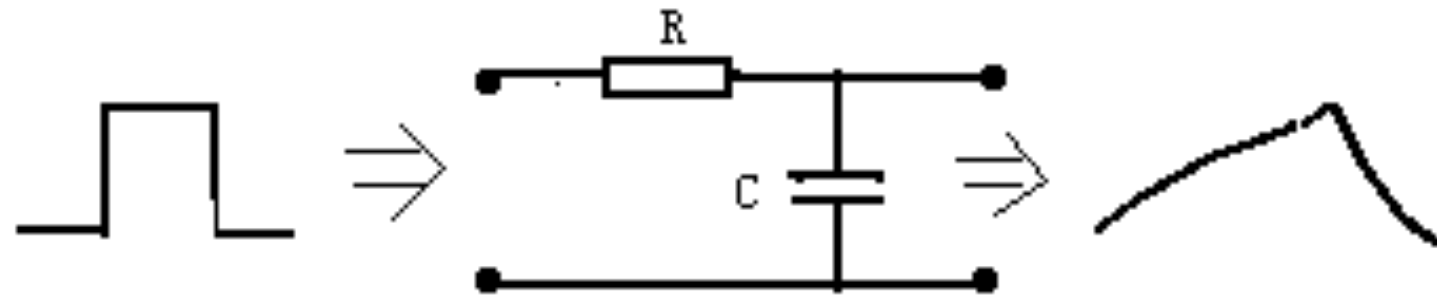
- **微分电路：**电路结构如图W-1，微分电路可把矩形波转换为尖脉冲波，此电路的输出波形只反映输入波形的突变部分，即只有输入波形发生突变的瞬间才有输出。而对恒定部分则没有输出。输出的尖脉冲波形的宽度与 $R \cdot C$ 有关（即电路的时间常数）， $R \cdot C$ 越小，尖脉冲波形越尖，反之则宽。此电路的 $R \cdot C$ 必须远远少于输入波形的宽度，否则就失去了波形变换的作用，变为一般的RC耦合电路了，一般 $R \cdot C$ 少于或等于输入波形宽度的1/10就可以了



图W-1

# 积分电路

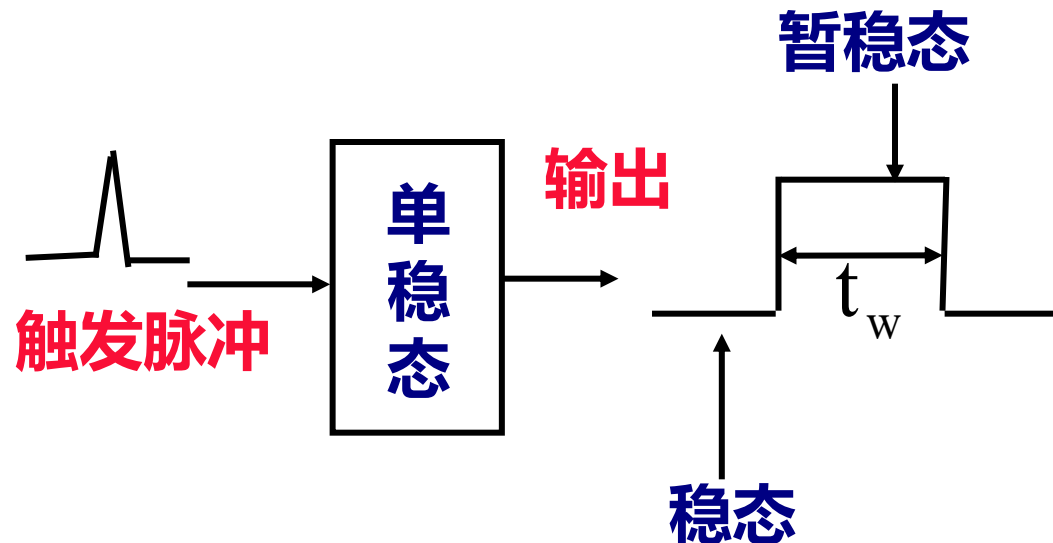
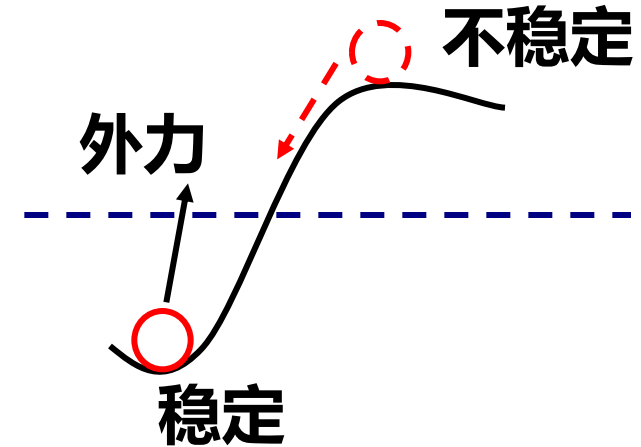
- 电路结构如图J-1，积分电路可将矩形脉冲波转换为锯齿波或三角波，还可将锯齿波转换为抛物波。电路原理很简单，都是基于电容的充放电原理，这里就不详细说了，这里要提的是**电路的时间常数 $R \cdot C$** ，构成积分电路的条件是电路的时间常数必须要大于或等于10倍于输入波形的宽度



图j-1

# 单稳态触发器

1. 电路有**稳态**和**暂稳态**两个状态
2. 在触发脉冲（**外力**）作用下，电路可进入暂稳态，并在暂稳态持续一段时间后，自动返回稳态
3. 暂稳态持续一时间与电路参数有关，与触发脉冲的宽度和幅度无关



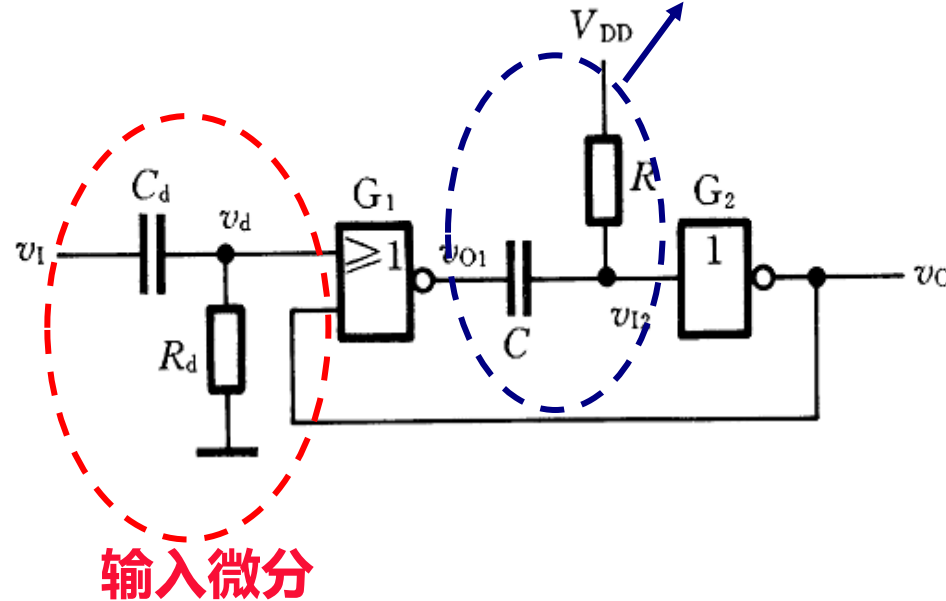
**注意：**  
触发脉冲也可负脉冲；  
电路也可以输出负脉冲。



# 用门电路组成的单稳态触发器

## 一、微分型单稳态触发器

### 1. 电路组成 (CMOS门和RC微分电路)



**输入微分作用：**  
使触发信号对暂稳持续时间不影响

### 2. 原理：

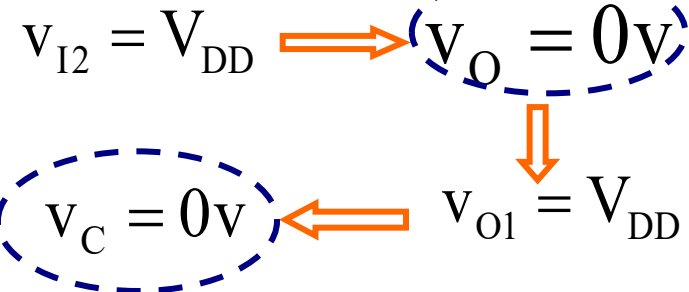
• 一般：  $R \gg 1k$ , 分析时可忽略  $R_{OH}$ 、 $R_{OL}$  的影响

• 对于CMOS门，可作以下近似：

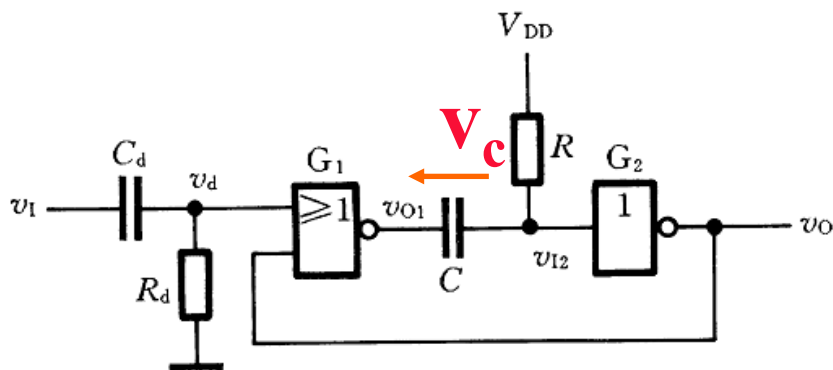
$$\begin{cases} V_{OL} = 0V, V_{OH} = V_{DD}; \\ R_i = \infty; \\ V_{TH} = V_{DD} / 2 \end{cases}$$

#### (1) 求稳态：

电路不再充放电，电路可视为开路。

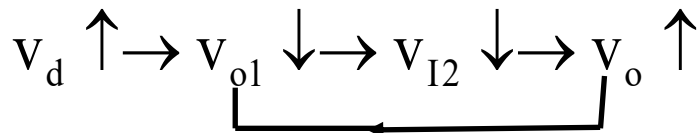


为下一阶段服务

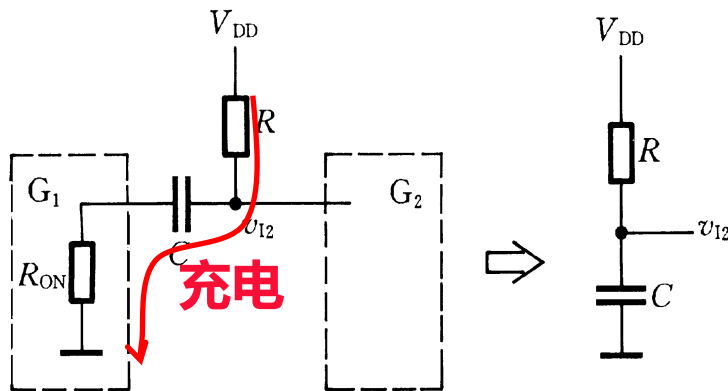


(2)准稳态: 加入触发脉冲

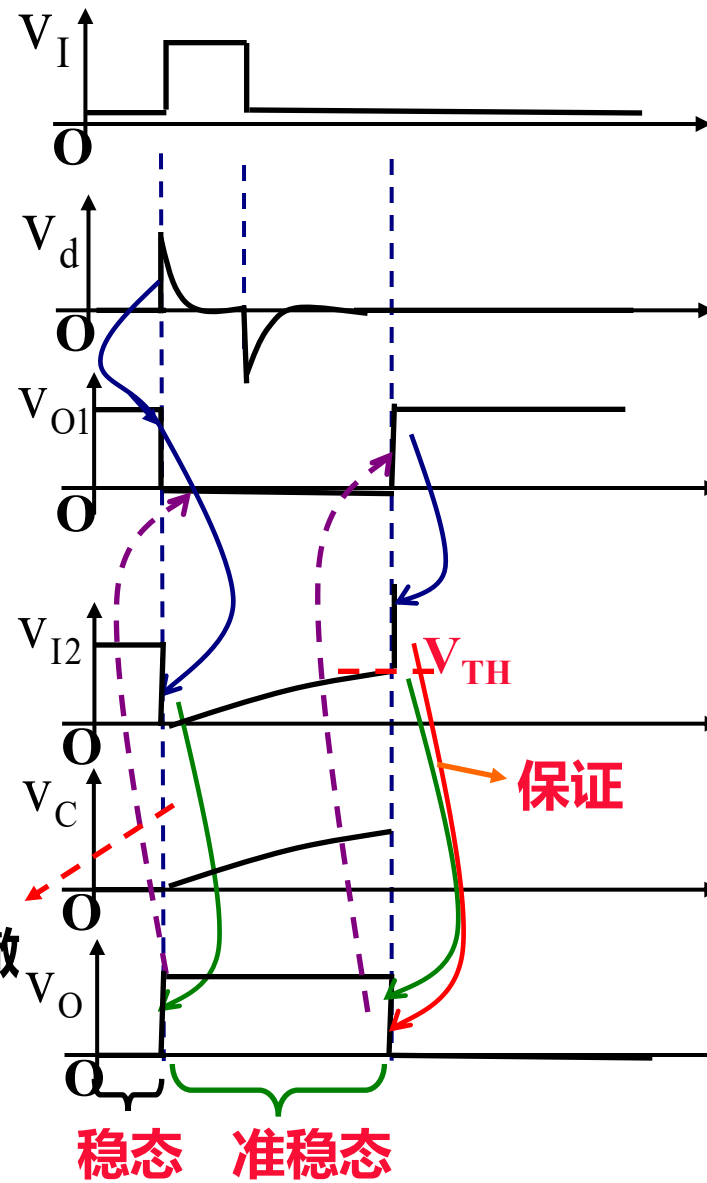
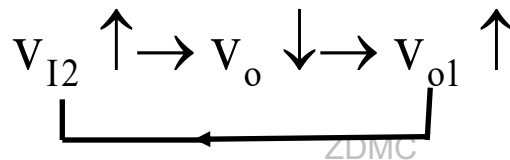
启动**正反馈过程**, 电路进入**准稳态**



准稳态等效电路



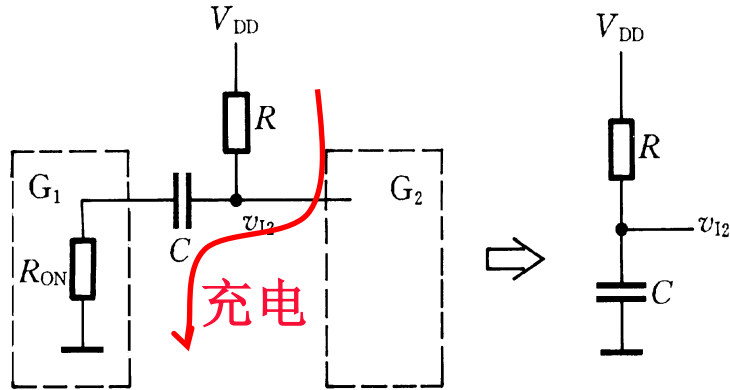
当  $V_{I2}$  上升至略  $V_{TH}$  时, 启动**正反馈过程**,  
**准稳态结束**



稳态 准稳态

# •求准稳态持续时间 $t_w$ ?

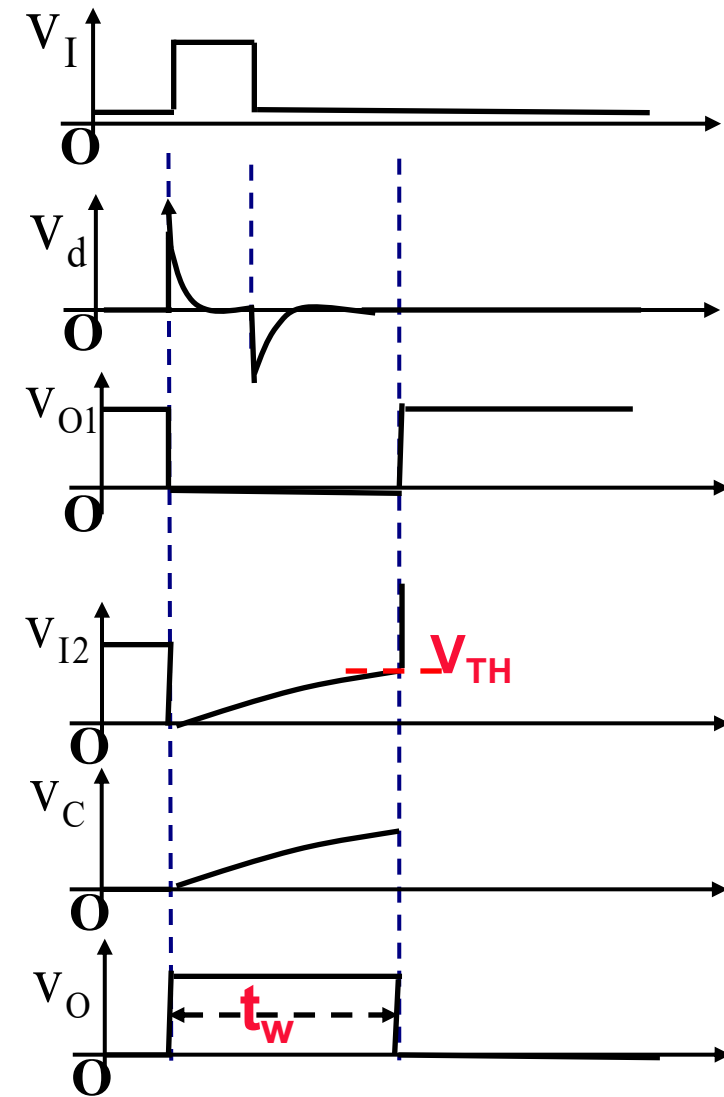
## 准稳态等效电路

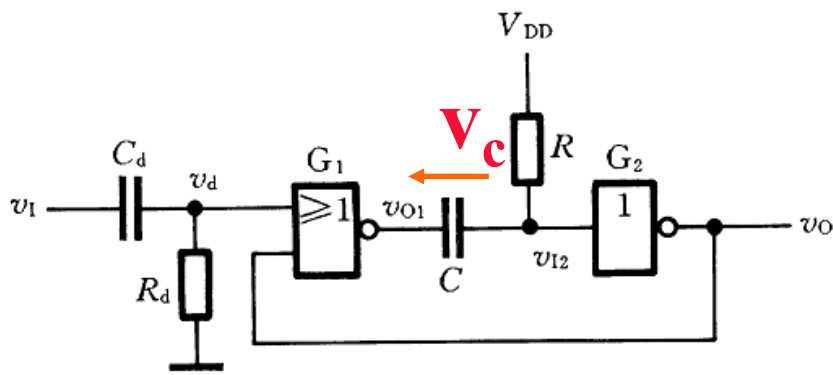


$$\begin{cases} v_{I2}(0^+) = 0 \\ v_{I2}(\infty) = V_{DD} \\ \tau = RC \end{cases} \Rightarrow v_{I2}(t) = V_{DD}(1 - e^{-t/RC})$$

$$\Downarrow v_{I2}(t_w) = V_{DD} / 2$$

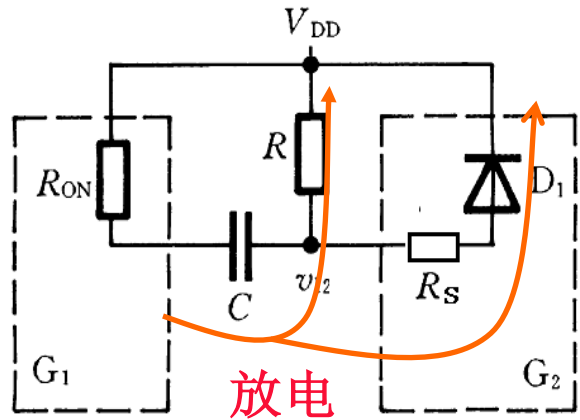
$$t_w = 0.69RC$$





### (3) 恢复期

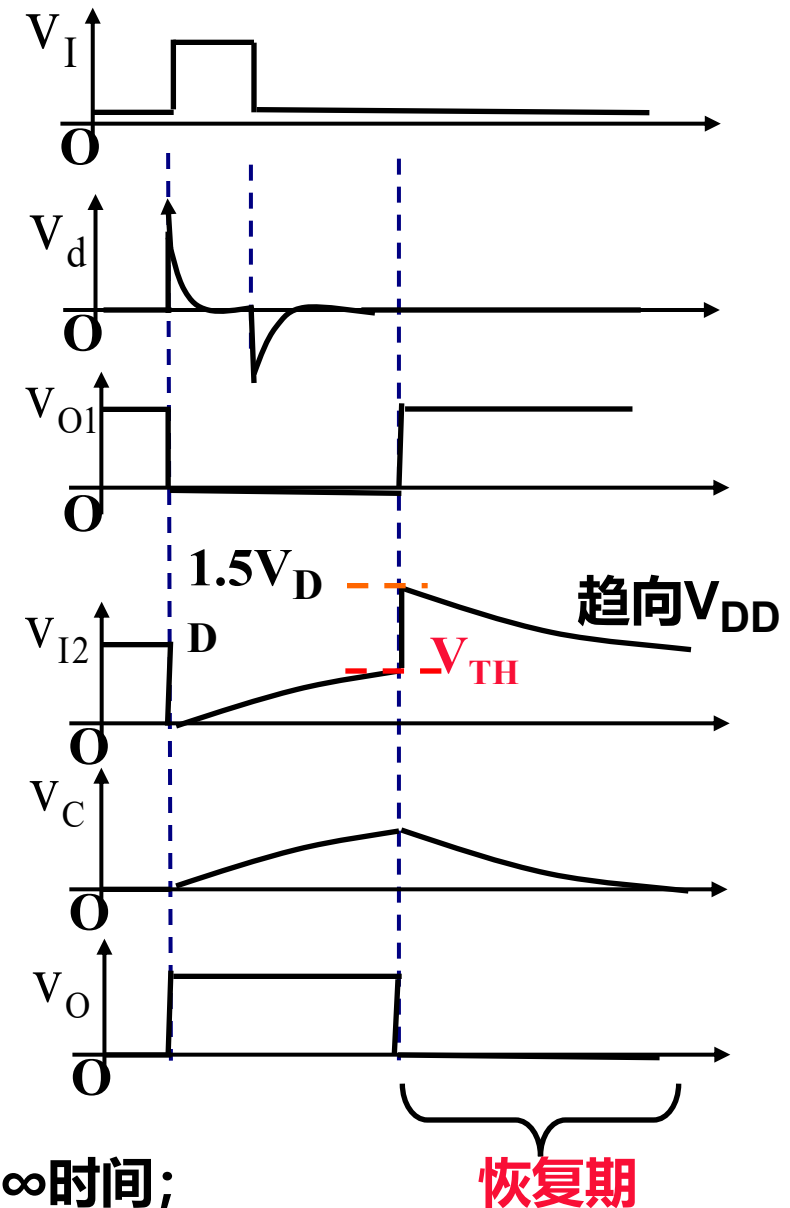
#### 恢复期等效电路



求恢复期  $T_{re}$ , 电路达到稳态的时间

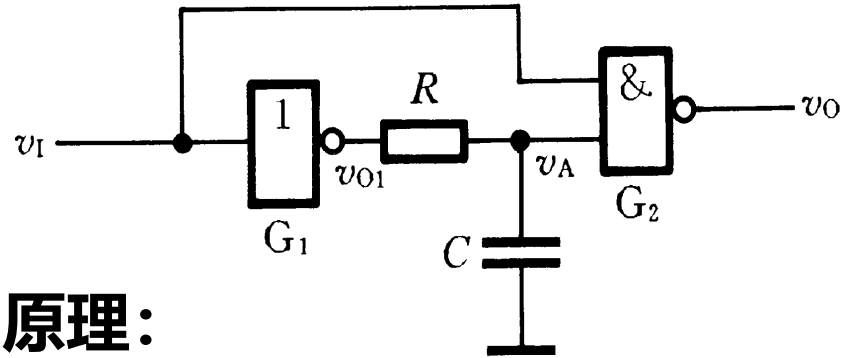
$$\begin{cases} v_{I2}(0^+) = 1.5v_{DD} \\ v_{I2}(\infty) = v_{DD} \\ \tau = (R // R_S + R_{ON}) \cdot C \end{cases}$$

- 理论上, 达到稳态需  $\infty$  时间;
- 一般认为,  $(3 \sim 5) \tau$  时间基本上达到稳态



## 二、积分型单稳态触发器

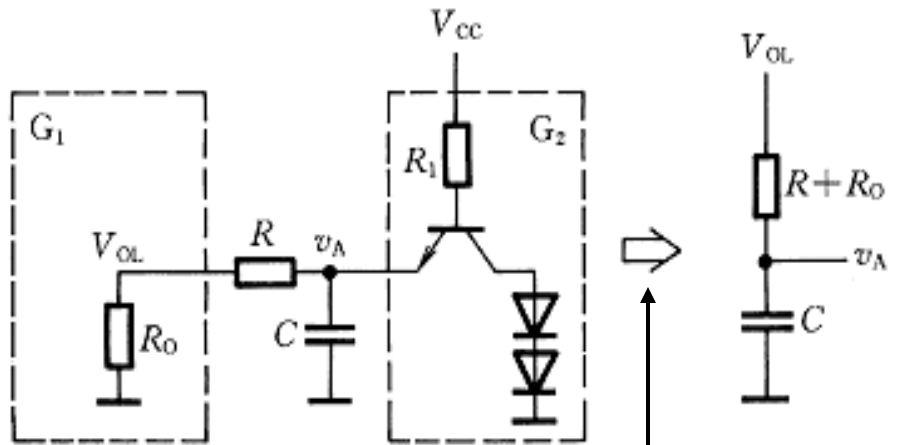
### 1. 电路组成 (TTL门和RC积分电路)



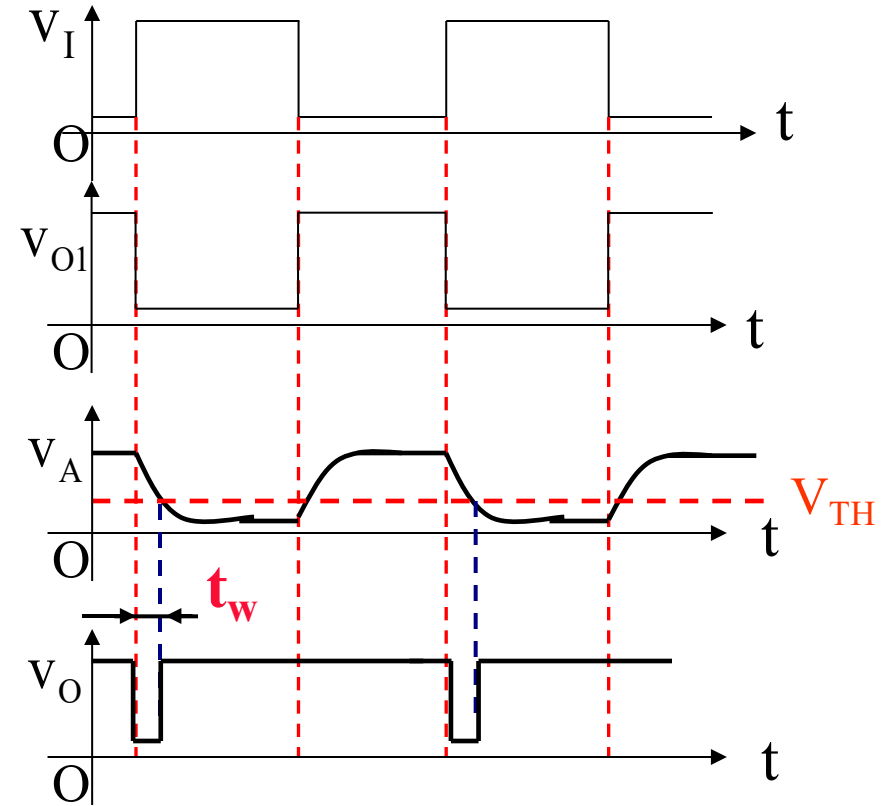
原理:

计算 $t_w$ ?

等效电路



在 $t_w$ 期间,  $v_A$ 为高电平



$$\begin{cases} v_A(0^+) = V_{OH} \\ v_A(\infty) = V_{OL} \\ \tau = (R + R_O)C \end{cases}$$

$$t_w = (R + R_O)C \ln \frac{V_{OL} - V_{OH}}{V_{OL} - V_{TH}}$$