

# 第十章 脉冲波形的产生和整形

wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

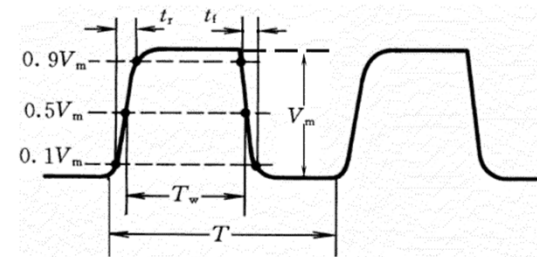
## 10.1 概述

一、获取矩形脉冲的方法

1. 脉冲波形发生电路

2. 脉冲波形整形电路

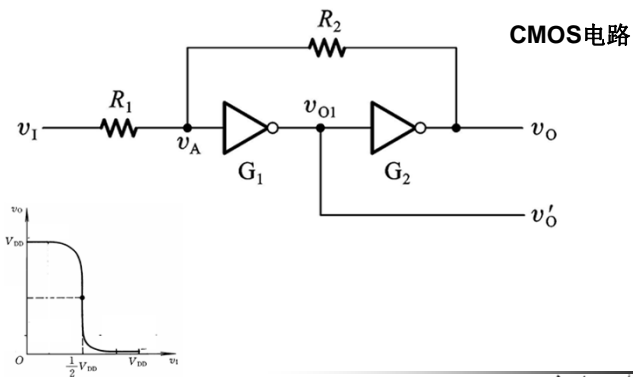
二、描述矩形脉冲特性的主要参数



wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

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



wang\_hong@tsinghua.edu.cn

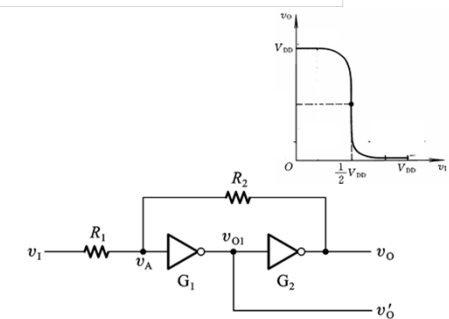
清华大学

\*当  $V_I = 0$  时,  $V_O = 0$ 。

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

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

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



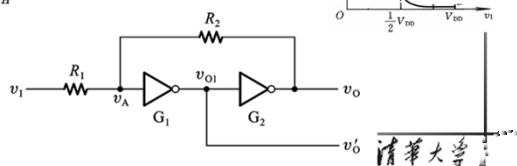
wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

\*当  $V_I = 1$  时,  $V_O = 1$

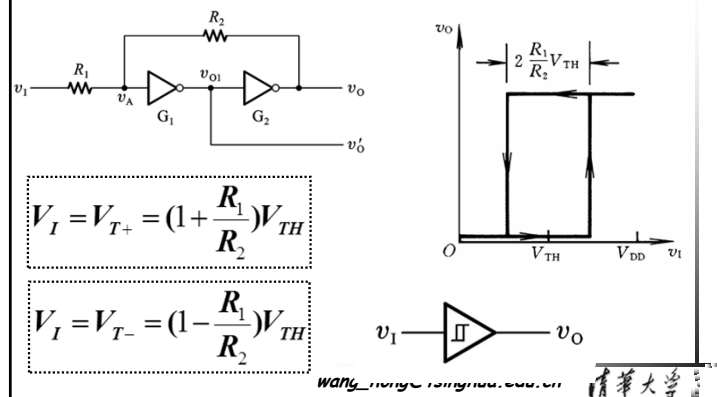
$$V_A = V_{TH} = (V_{DD} - V_I) \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_I$$

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



## 10.2 施密特触发器 (常用的一类脉冲整形电路)

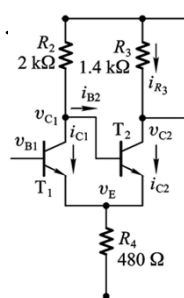
### 10.2.1 用门电路组成的施密特触发器



### 10.2.2 集成施密特触发器

#### 一、双极型IC

1.



$$V_{B1} = 0 \text{ 时, } T_1 \text{ 截止, } T_2 \text{ 饱和导通, } V_{C2} = V_{OL}$$

$$V_{E2} \approx (V_{CC} - V_{CES2}) \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

$$V_{B1} = 1 \text{ 时, } T_1 \text{ 饱和, } T_2 \text{ 截止, } V_{C2} = V_{OH}$$

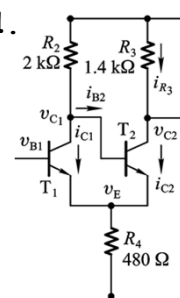
$$V_{E1} \approx (V_{CC} - V_{CES1}) \frac{R_4}{R_2 + R_4}$$

wang\_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

### 10.2.2 集成施密特触发器

#### 一、双极型IC

1.



$$V_{B1} = 0 \text{ 时, } T_1 \text{ 截止, } T_2 \text{ 饱和导通, } V_{C2} = V_{OL}$$

$$V_{E2} \approx (V_{CC} - V_{CES2}) \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

当  $V_{B1} \uparrow$ , 至  $V_{B1} = V_{E2} + 0.7V$  时,  $T_1$  导通, 并引起

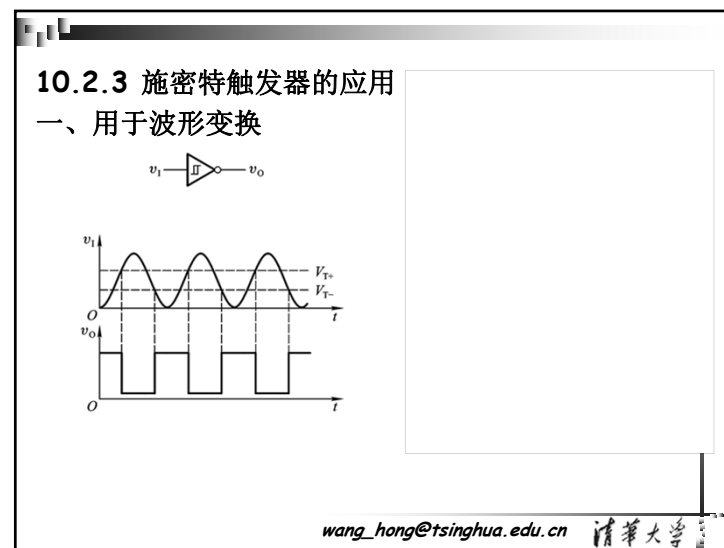
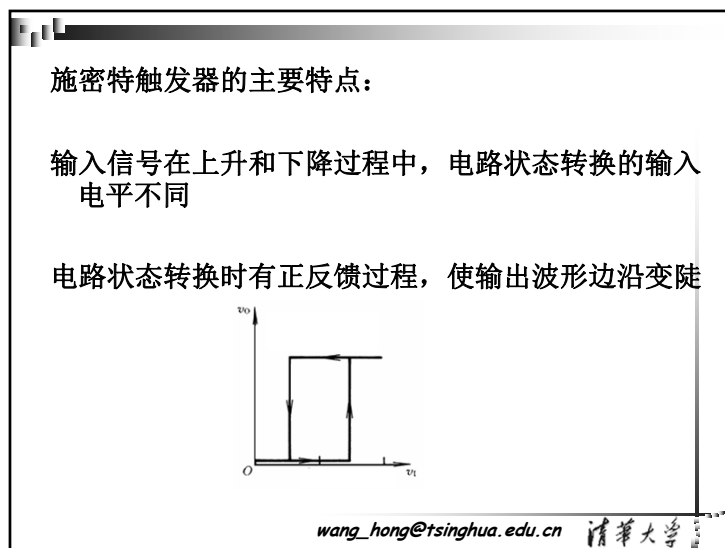
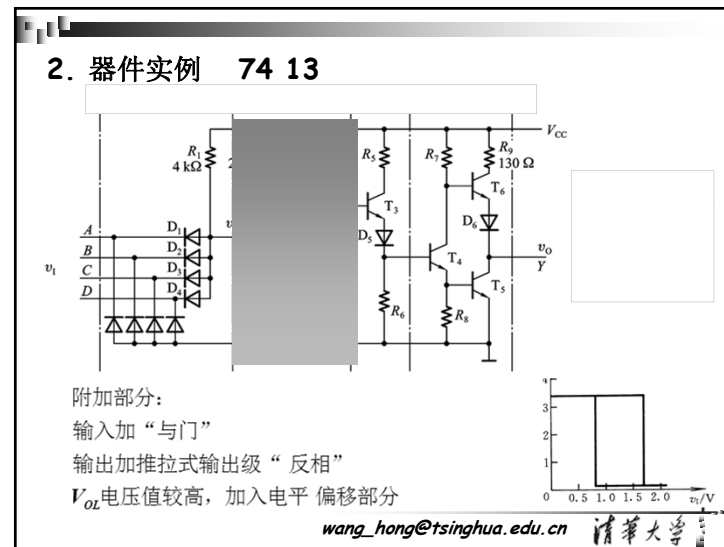
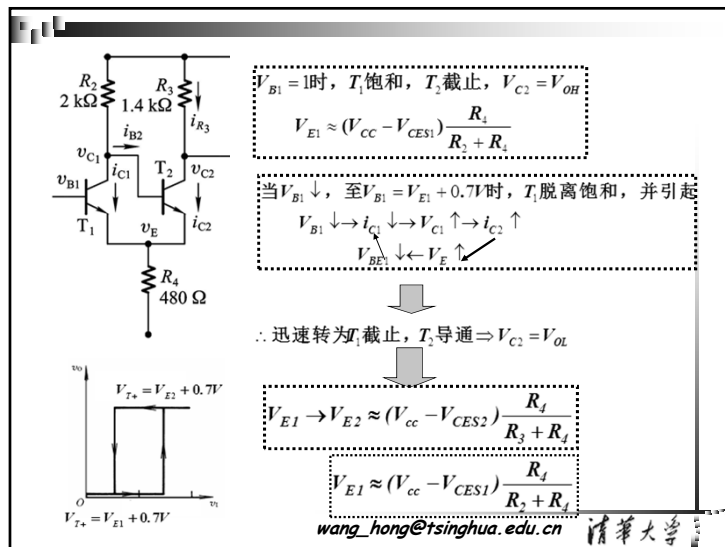
$$V_{B1} \uparrow \rightarrow i_{C1} \uparrow \rightarrow V_{C1} \downarrow \rightarrow i_{C2} \downarrow$$

$$V_{BE1} \uparrow \leftarrow V_E \downarrow$$

迅速转为  $T_1$  导通,  $T_2$  截止  $\Rightarrow V_{C2} = V_{OH}$

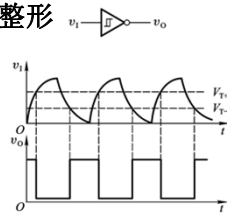
$$V_{E2} \rightarrow V_{E1} \approx (V_{CC} - V_{CES1}) \frac{R_4}{R_2 + R_4}$$

wang\_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学



### 10.2.3 施密特触发器的应用

#### 三、用于脉冲整形



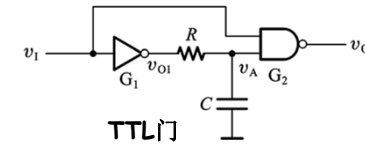
### 10.3 单稳态触发器

特点:

- ①有一个稳态和一个暂稳态。
- ②在外界触发信号作用下, 能从稳态→暂稳态, 维持一段时间后自动返回稳态。
- ③暂稳态维持的时间长短取决于电路内部参数。

#### 10.3.1 用门电路组成的单稳态触发器

##### 一、积分型



wang\_hong@tsinghua.edu.cn

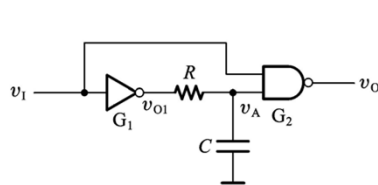
清华大学

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

\*  $V_I \uparrow$  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;

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

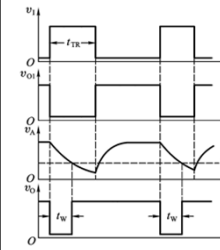


$$V_{(t)} = V_{(\infty)} + [V_{(0+)} - V_{(\infty)}] e^{-\frac{t}{\tau}}$$

wang\_hong@ts

#### 2. 性能参数计算

输出脉宽:

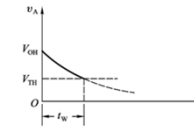
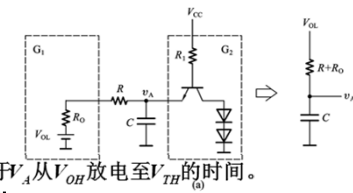
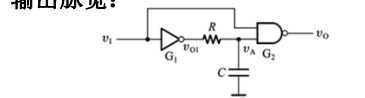


输出脉冲宽度 ( $V_O = 0$  时间) 等于  $V_A$  从  $V_{OH}$  放电至  $V_{TH}$  的时间。

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

$$t_{re} = (3 \sim 5)(R + R_O)C$$

$$t_d = t_{TR} + t_{re}$$



wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

## 二、微分型

CMOS门  $V_{OH} = V_{DD}, V_{OL} = 0, V_{TH} = \frac{1}{2}V_{DD}$

稳态下:  $V_I = 0, V_d = 0, V_{I2} = V_{DD}, V_o = 0, (V_{O1} = V_{DD}), C$  上无电压;

加触发信号  $V_I \uparrow$ ,  
 $V_d \uparrow \rightarrow V_{O1} \downarrow \rightarrow V_{I2} \downarrow \rightarrow V_o \uparrow$

电路迅速进入暂稳态  $V_{O1} \downarrow, V_{I2} \downarrow, C$  开始充电

wang\_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

## 二、微分型 G1和G2为CMOS门

$V_{OH} = V_{DD}, V_{OL} = 0, V_{TH} = \frac{1}{2}V_{DD}$

充电至  $V_{I2} = V_{TH}$  时,  $V_{I2} \uparrow$  又引起正反馈  
 $V_{I2} \uparrow \rightarrow V_o \downarrow \rightarrow V_{O1} \uparrow$

电路迅速返回稳态  $V_o = 0, V_{O1} = V_{DD}, C$  放电至没压差, 恢复稳态。

wang\_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

## 2、性能参数计算

输出脉宽

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

$t_{re} = (3 \sim 5)(R // r_{D1} + R_{ON})C \approx (3 \sim 5)R_{ON}C$

$t_d = t_w + t_{re}$

输出脉冲宽度 ( $V_o = 1$  时间) 等于  $V_{I2}$  从 0 充电至  $V_{TH}$  的时间

wang\_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

## 10.3.2 集成单稳态触发器

电路结构与工作原理 (74 121)

微分型单稳

控制附加电路

wang\_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

可重复触发?  
不可重复触发?

wang\_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

脉冲电路的分析方法:

- 分析工作过程→画波形→找出决定电路状态转换的关键电压
- 画出这点电压充、放电等效电路，化简
- 确定并修订充放电的几个关键值
- 计算充放电时间，求出所需要的结果

wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

### 10.4 多谐振荡器（自激振荡，不需要外加触发信号）

#### 10.4.4 用施密特触发器构成的多谐振荡器

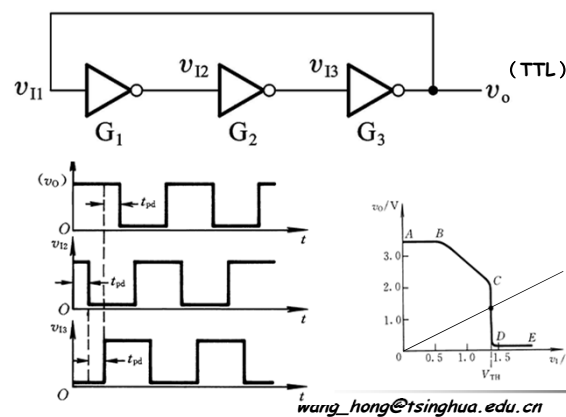
$T = T_1 + T_2 = RC \ln \frac{V_{DD} - V_{T-}}{V_{DD} - V_{T+}} + RC \ln \frac{0 - V_{T+}}{0 - V_{T-}}$

$T = T_1 + T_2 \approx R_2 C \ln \frac{V_{DD} - V_{T-}}{V_{DD} - V_{T+}} + R_1 C \ln \frac{0 - V_{T+}}{0 - V_{T-}}$

wang\_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

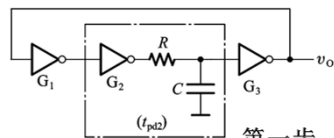
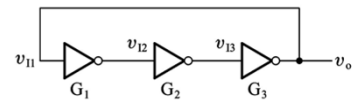
### 10.4.3 环形振荡器

一、最简单的环形振荡器

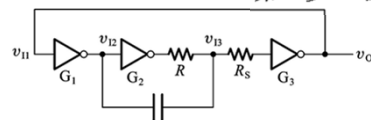


## 二、实用的环形振荡器

(TTL)



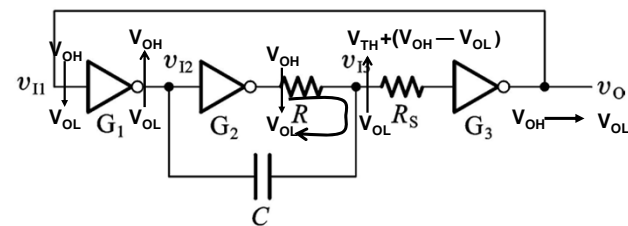
第一步：增加RC积分环节，加大 $t_{pd2}$ 。



第二步：为获取更大延迟，将C的接地端改至 $G_1$ 输出。

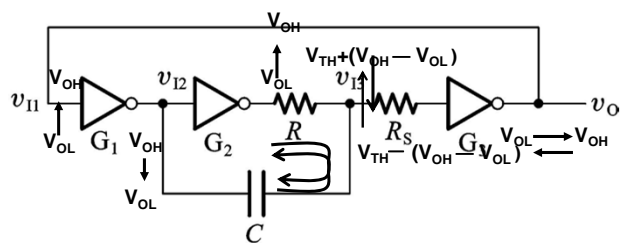
wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学



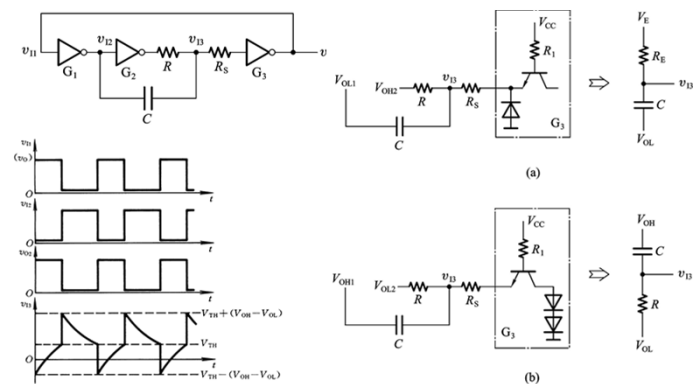
wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学



wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学



通过调整 $R$ 、 $C$ 改 $f$  ( $R$ 不能太大)

$RC$ 常数远大于 $T_{pd}$ , 因此周期主要计算 $RC$ 环节

wang\_hong@tsinghua.edu.cn

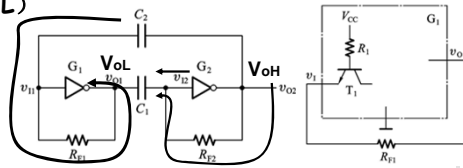
清华大学

### 10.4.1 对称式多谐振荡器

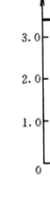
#### 一、工作原理 (TTL)

##### (1) 静态 (未振荡)

时应是不稳定的



$v_{O1}/V$



(2) 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

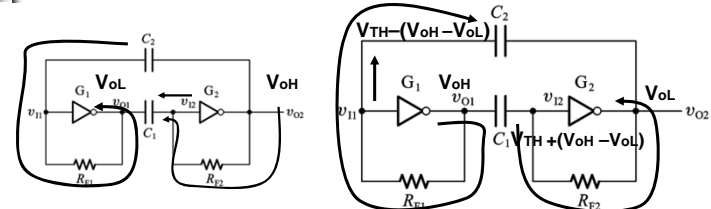
$V_{O2}$  迅速跳变为高.  $V_{O1} = V_{OL}, V_{O2} = V_{OH}$

电路进入第一个暂稳态,

$C_1$  开始充电,  $C_2$  开始放电。

wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学



(3) 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

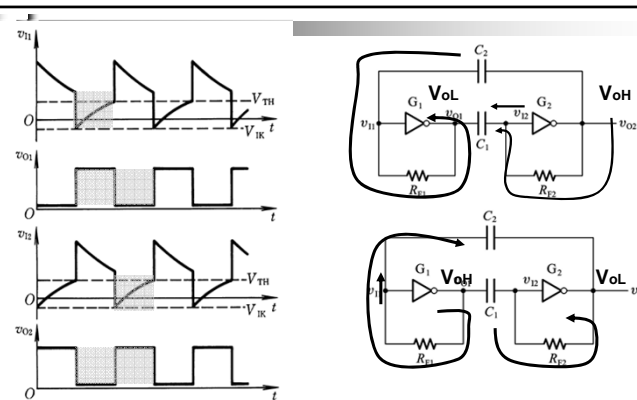
$V_{O2}$  迅速跳变为低.  $V_{O1} = V_{OH}, V_{O2} = V_{OL}$

电路进入第二个暂稳态,

$C_2$  开始充电,  $C_1$  开始放电。

wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

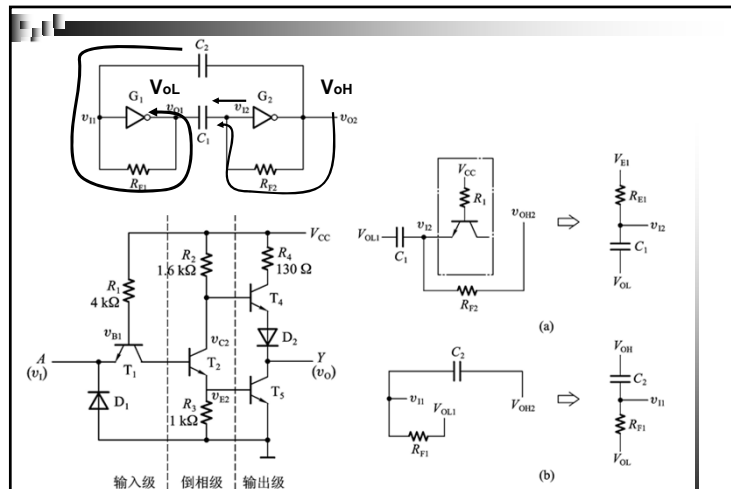


$T = V_{I1}$  从充电开始到充至  $V_{TH}$  的时间 +  $V_{I2}$  从充电开始到充至  $V_{TH}$  的时间

$$t_w = RC \ln \frac{V_{(x)} - V_{(0)}}{V_{(x)} - V_{(t)}}$$

wang\_hong@tsinghua.edu.cn

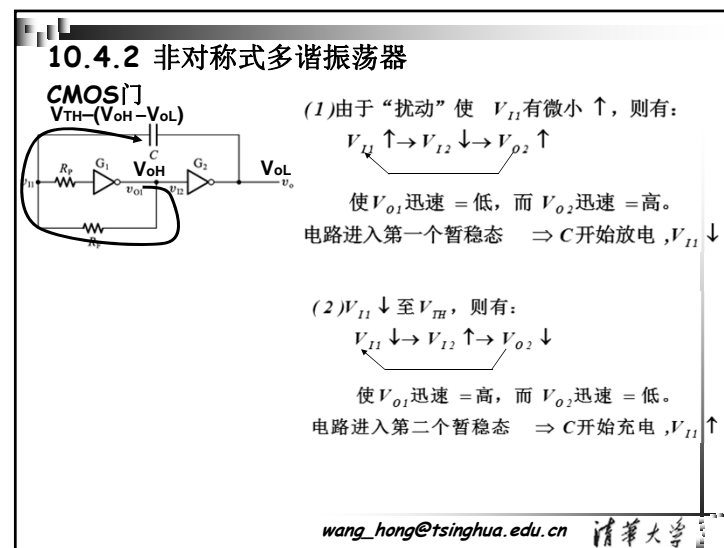
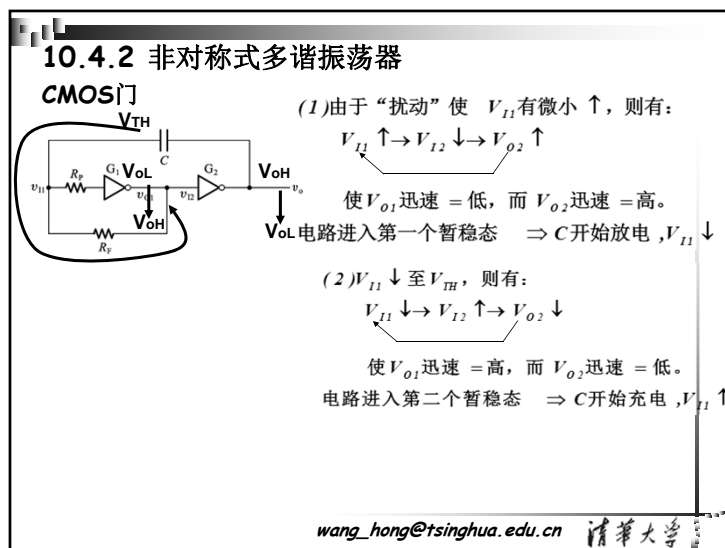
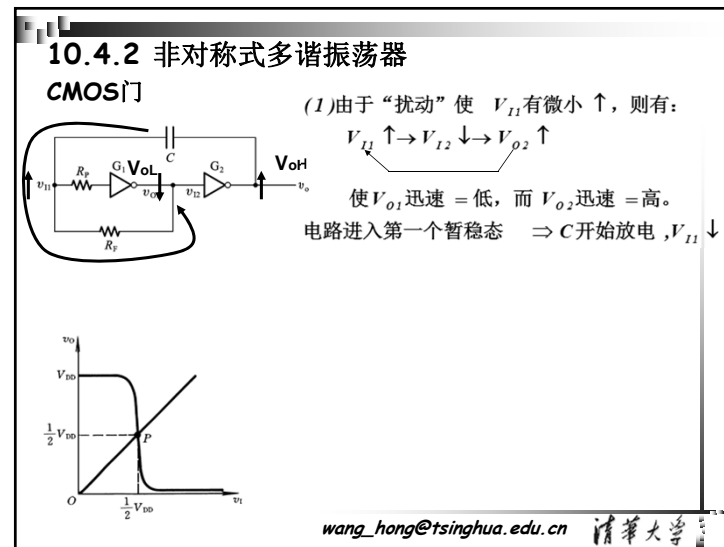
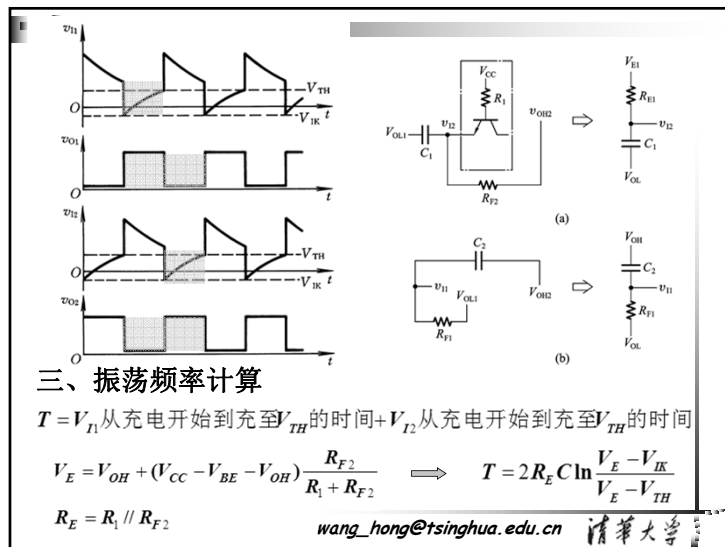
清华大学



wang\_hong@tsinghua.edu.cn

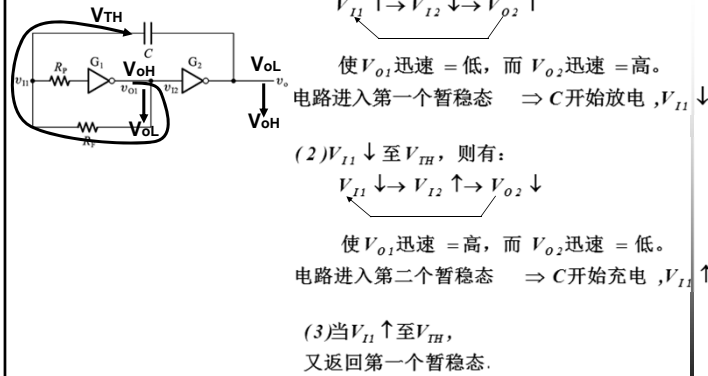
清华大学





### 10.4.2 非对称式多谐振荡器

CMOS门

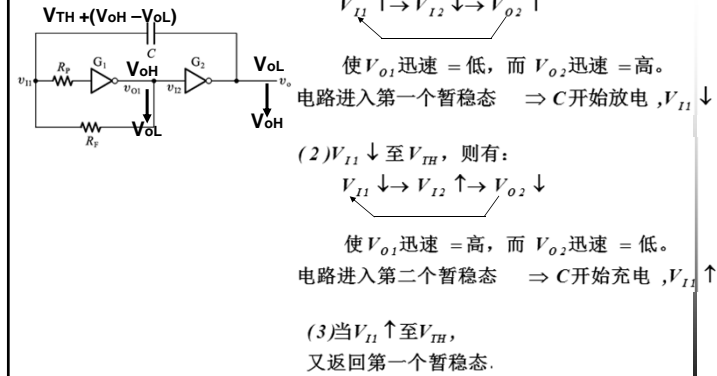


wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

### 10.4.2 非对称式多谐振荡器

CMOS门

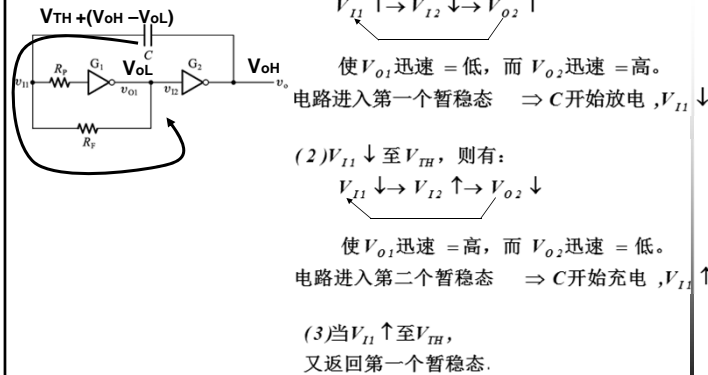


wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

### 10.4.2 非对称式多谐振荡器

CMOS门

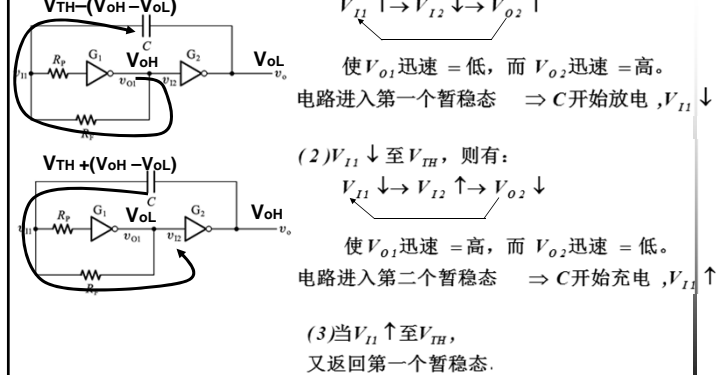


wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

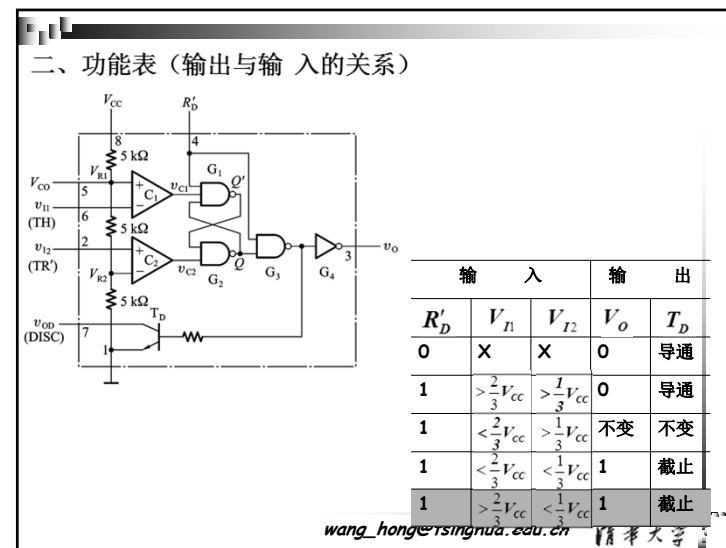
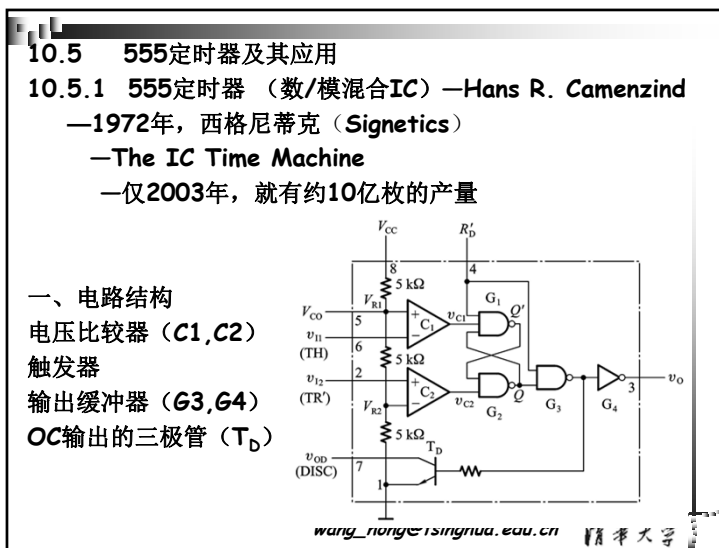
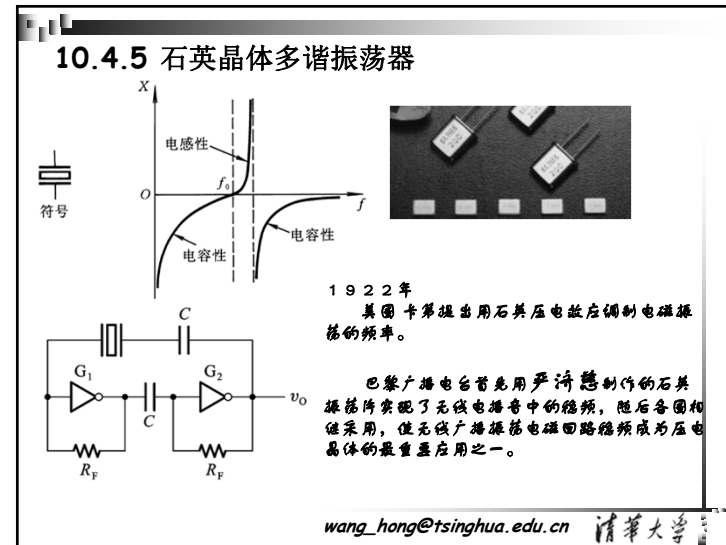
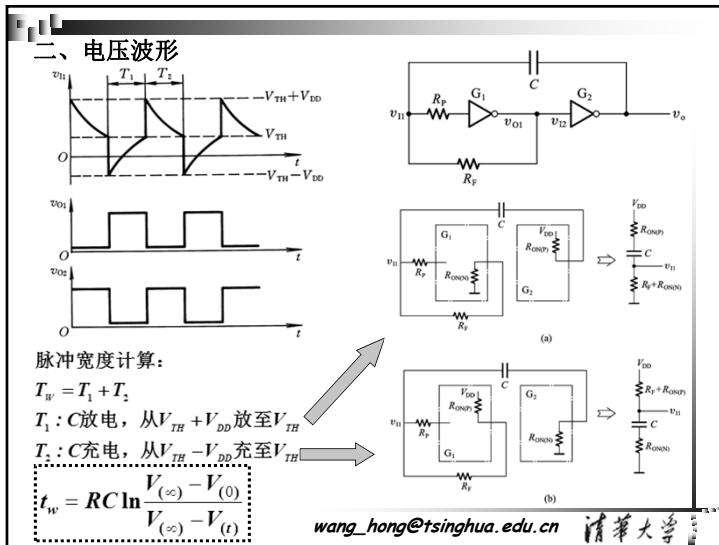
### 10.4.2 非对称式多谐振荡器

CMOS门



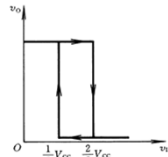
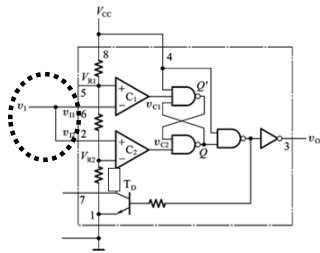
wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学



### 10.5.2 用555定时器接成施密特触发器

工作原理



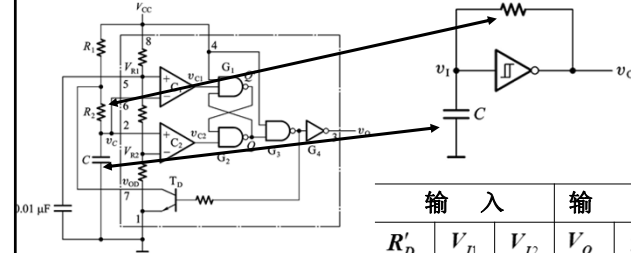
$V_I \uparrow$ , 使电路状态发生转变的值  $V_{T+} = ?$

$V_I \downarrow$ , 使电路状态发生转变的值  $V_{T-} = ?$

wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

### 10.5.4 用555实现多谐

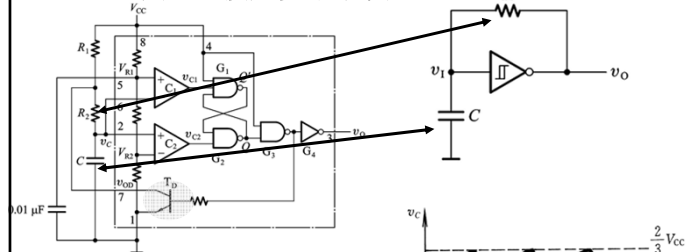


输 入		输 出		
$R'_D$	$V_{I1}$	$V_{I2}$	$V_O$	$T_D$
0	X	X	0	导通
1	$> \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$	0	导通
1	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$	不变	不变
1	$< \frac{2}{3} V_{CC}$	$< \frac{1}{3} V_{CC}$	1	截止
1	$> \frac{2}{3} V_{CC}$	$< \frac{1}{3} V_{CC}$	1	截止

wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

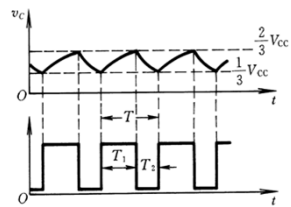
### 10.5.4 用555接成多谐触发器



$$T = T_1 + T_2$$

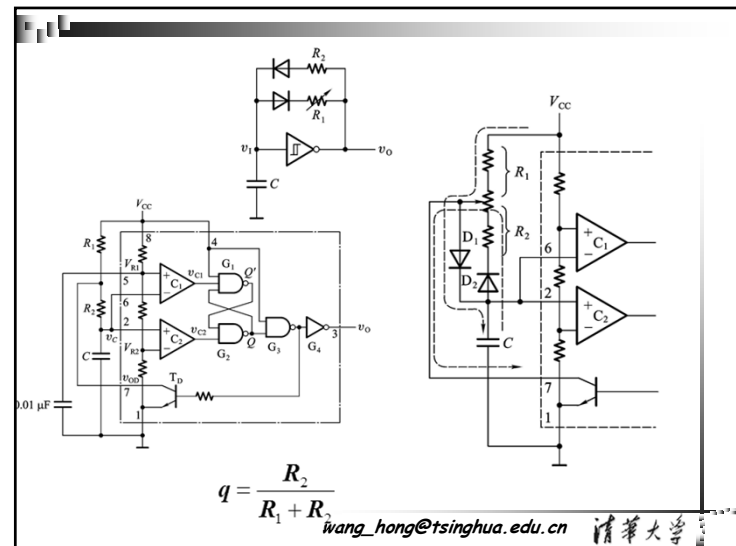
$$= (R_2 + R_1)C \ln \frac{V_{CC} - V_{T-}}{V_{CC} - V_{T+}} + R_2 C \ln \frac{0 - V_{T+}}{0 - V_{T-}}$$

$$q = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} > 50\% \quad \text{希望 } q < 50\%$$



wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

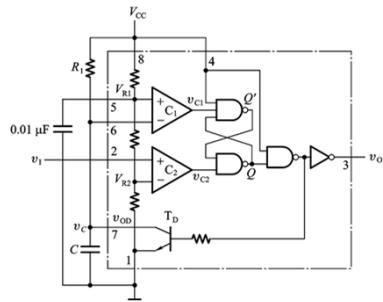


$$q = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

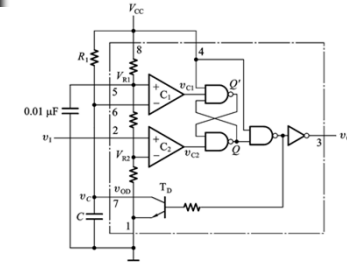
### 10.5.3 用555定时器实现单稳态触发器



输 入			输 出	
$R'_D$	$V_{I1}$	$V_{I2}$	$V_o$	$T_D$
0	X	X	0	导通
1	$> \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	0	导通
1	$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	不变	不变
1	$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$< \frac{1}{3}V_{CC}$	1	截止
1	$> \frac{2}{3}V_{CC}$	$< \frac{1}{3}V_{CC}$	1	截止

wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学



稳态:  $V_I = 1, V_o = 0, T_D$  导通

稳态时, 无触发信号:  $V_I = 1$  ( $> \frac{1}{3}V_{CC}$  即可,  $V_{C2} = 1$ )

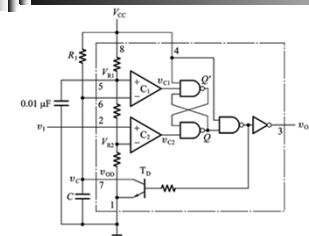
若通电后  $Q = 0 \rightarrow T_D$  导通  $\rightarrow V_C = 0 \rightarrow \begin{cases} V_{C1} = 1 \\ V_{C2} = 1 \end{cases} \rightarrow Q = 0$  保持

若通电后  $Q = 1 \rightarrow T_D$  截止  $\rightarrow C$  充电至  $V_C = \frac{2}{3}V_{CC}$

$\rightarrow V_{C1} = 0 \rightarrow Q = 0 \rightarrow T_D$  导通  $\rightarrow C$  放电  $\rightarrow \begin{cases} V_{C1} = 1 \\ V_{C2} = 1 \end{cases} \rightarrow Q = 0$  保持

wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学



触发时  $V_I$

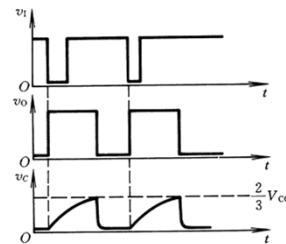
只要  $V_I$  降至  $\frac{1}{3}V_{CC}$ , 则  $\begin{cases} V_{C1} = 1 \\ V_{C2} = 0 \end{cases} \rightarrow Q = 1, T_D$  截止  $\rightarrow C$  开始充电

当  $V_C$  充至  $\frac{2}{3}V_{CC}$  时 (假定此时  $V_I$  已经回到高于  $\frac{1}{3}V_{CC}$ )

则  $\begin{cases} V_{C1} = 0 \\ V_{C2} = 1 \end{cases} \rightarrow Q = 0, T_D$  导通  $\rightarrow C$  开始放电至 0  $\begin{cases} V_{C1} = 1 \\ V_{C2} = 1 \end{cases} \rightarrow Q = 0$  保持

wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学



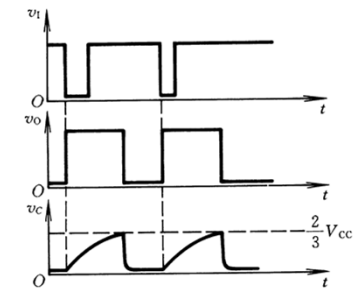
性能参数:

暂稳态输出的宽度

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

对  $V_I$  的宽度有何要求?

若  $V_I$  的宽度过宽?



wang\_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

