

# 数字电路与逻辑设计

## 第9章 脉冲波形的变换与产生

张江山

zhangjs@hust.edu.cn

信息工程系

### 9.1 单稳态触发器

#### 9.2 施密特触发器

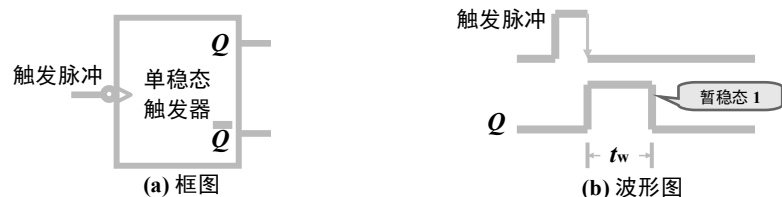
#### 9.3 多谐振荡器

### 9.1 单稳态触发器

双稳态电路：锁存器和触发器有两个稳定的状态(0, 1)，在外来信号作用下，可以从一个稳定状态变化到另一个稳定状态

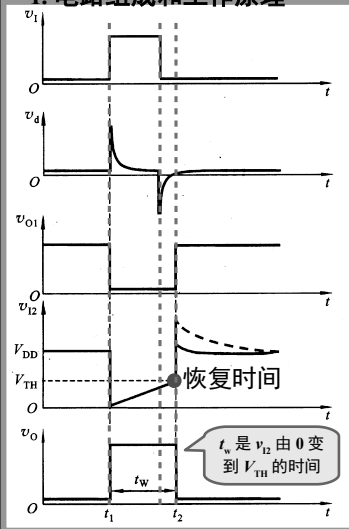
单稳态触发器的工作特点：

- ① 一个稳态，一个暂稳态，在没有触发信号作用时处于稳态
- ② 在有效脉冲沿作用下，由稳态翻转至暂稳态
- ③ 暂稳态维持一定时间后，自动回到稳态，暂稳态维持时间取决于 RC 参数

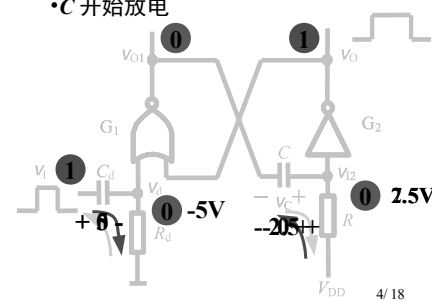


#### 9.1.1 CMOS 门电路组成微分型单稳态触发器

##### 1. 电路组成和工作原理



- (1)  $v_i=0$  无触发， $v_o=0$  处于稳态
- (2)  $v_i=1$  触发， $v_o=1$  进入暂稳态
  - $v_i=1 \rightarrow v_d=1 \rightarrow v_{01}=0 \rightarrow v_{12}=0 \rightarrow v_o=1$
  - $C_d$  和  $C$  开始充电
- (3)  $C$  充电至  $v_{12} > 2.5V$ ， $v_o=0$  回至稳态
  - $v_o=0 \rightarrow v_{01}=1 \rightarrow v_{12}=7.5V$
  - $C$  开始放电



#### 9.1.1 CMOS 门电路组成微分型单稳态触发器

##### 2. 主要参数计算

###### (1) 输出脉冲宽度 $t_w$

触发后，RC 充电过程决定暂稳态维持时间，设输出脉冲宽度  $t_w$

电容过渡过程全响应： $v_c(t) = v_c(0_+)e^{-\frac{t}{\tau}} + v_c(\infty)(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$

$t_w$  是  $v_{12}$  从 0 到  $V_{TH}$  的时间  $t_w = RC \ln \frac{v_c(\infty) - v_c(0)}{v_c(\infty) - V_{TH}}$

将  $v_c(0_+) = 0$ ， $v_c(\infty) = V_{DD}$ ， $\tau = RC$ ， $V_{TH} = V_{DD}/2$  代入

得： $t_w = RC \ln 2 = 0.7RC$

###### (2) 恢复时间 $t_{re}$ ，约为 $3 \sim 5\tau$

###### (3) 最高工作频率 $f_{max} = \frac{1}{T_{min}} < \frac{1}{t_w + t_{re}}$

#### 9.1.1 CMOS 门电路组成微分型单稳态触发器

##### 3. 讨论

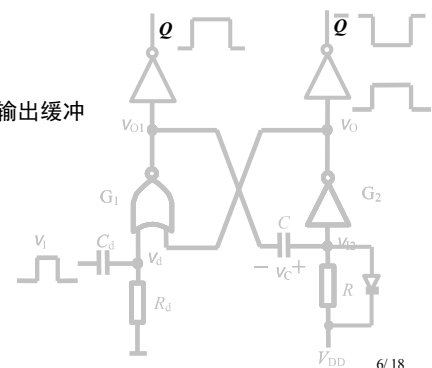
###### (1) 保护措施

$v_{12} = V_{TH} = 0.5V_{DD}$  瞬间，正反馈使  $v_{01} = V_{DD}$ ， $v_{12} = 1.5V_{DD}$ ，可能损坏 MOS 管

内加二极管钳位  $v_{12} \leq V_{DD} + 0.7V$

由此恢复时间也缩短

###### (2) 为改善波形，可加反相器作为输出缓冲

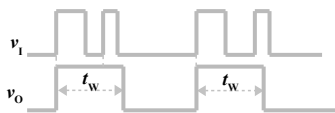


## 9.1.2 集成单稳态触发器

集成单稳态触发器分为可重复触发和不可重复触发两种

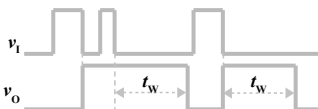
↑ 触发的不可重复触发器

触发后，暂稳态期间不能被重新触发，输出脉宽不受其影响，仍为  $t_w$



↓ 触发的可重复触发器

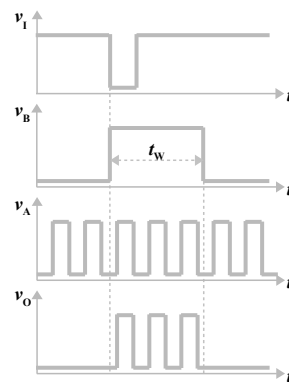
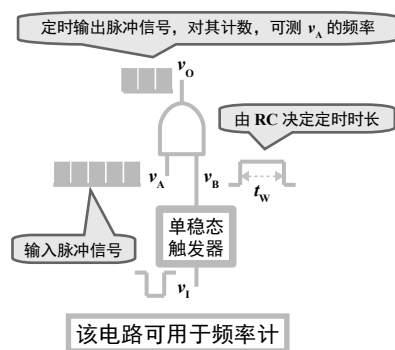
触发后，暂稳态期间可被重新触发，输出脉冲在新触发后再延迟  $t_w$



## 9.1.3 单稳态触发器应用

单稳态触发器可用于定时、延时、测频

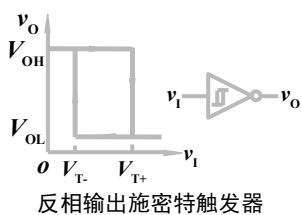
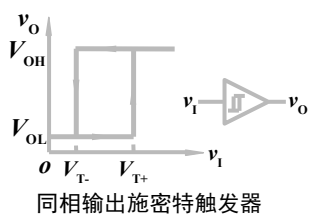
只有在暂稳态 1 时，才有输出脉冲



## 9.2 施密特触发器

施密特触发器电压传输特性及工作特点

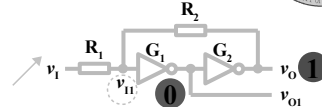
- ① 施密特触发器是电平触发器
- ② 输入信号增或减时，分别有正阈值 ( $V_{T+}$ ) 或负阈值电压 ( $V_{T-}$ )



## 9.2.1 用门电路组成施密特触发器

1. 电路组成

CMOS 门组成的同相施密特触发器



2. 工作原理

设  $V_{TH} \approx 0.5V_{DD}$ ,  $R_1 < R_2$

$V_{T+}$ :  $v_{II}$  增至  $V_{TH}$  时, 所对应  $v_i$  的值

$v_i$  为三角波

$$v_{II} = V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{T+}$$

$v_{II}$  决定电路状态 由叠加原理

$$v_{II} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v_i + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_O$$

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

$v_i = 0$ ,  $v_O = 0$ ,  $v_{II} = 0$

①  $v_i \nearrow$ , 只要  $v_{II} < V_{TH}$ ,  $v_O = 0$   $v_{II} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v_i + 0$

② 当  $v_{II} = V_{TH}$ , 电路输出发生跳变, 即  $v_O = 1$

## 9.2.1 用门电路组成施密特触发器

2. 工作原理

$$v_{II} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v_i + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_O$$

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

③ 当  $v_i \searrow$ ,  $v_{II} \searrow$ ,  $v_{II} > V_{TH}$ ,  $v_O = V_{OH} = V_{DD}$

④  $v_{II} = V_{TH}$ , 电路输出发生跳变, 即  $v_O = 0$

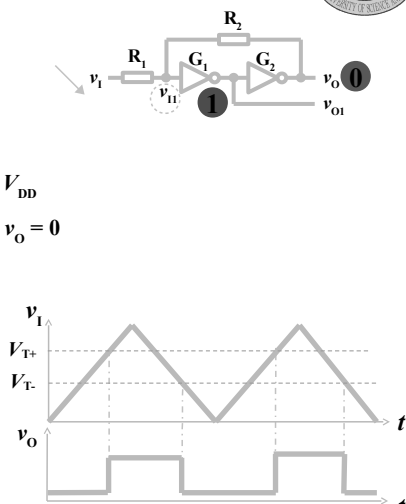
$$v_{II} = V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{T-} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_{DD}$$

$V_{DD} \approx 2V_{TH}$  代入

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

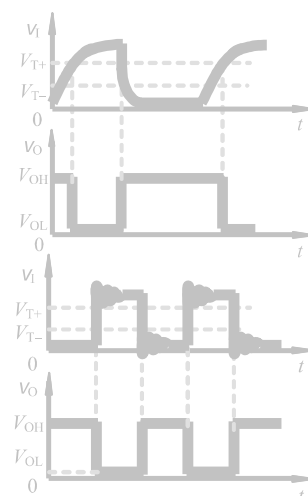
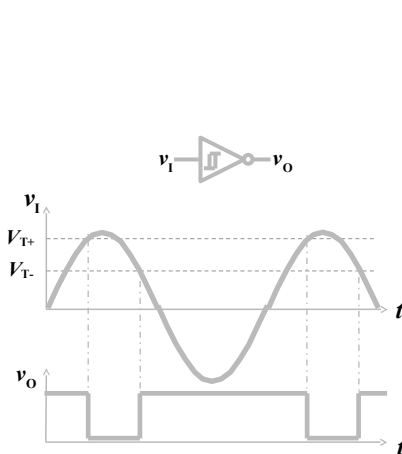
$$\Delta V_T = V_{T+} - V_{T-}$$

$$\approx 2 \frac{R_1}{R_2} V_{TH} = \frac{R_1}{R_2} V_{DD}$$



## 9.2.3 施密特触发器的应用

施密特触发器可用于整形、抗干扰等波形变换



## 9.3 多谐振荡器

### 概述

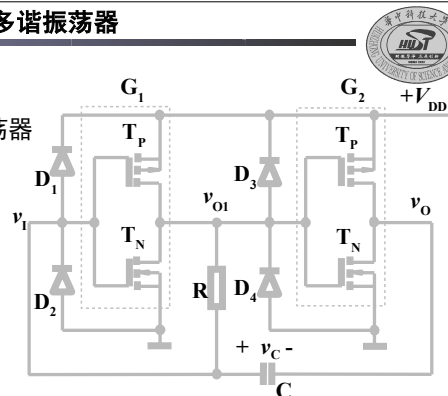
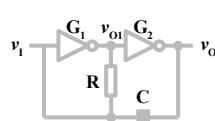
- 振荡器：是上电自动产生周期性振荡波形的电路
- 多谐振荡器：又称矩形波发生器，有两个暂稳态，无稳态
- 多谐振荡器由开关器件和 RC 电路组成



## 9.3.1 由 CMOS 门电路组成的多谐振荡器

### 1. 电路组成及工作原理

#### CMOS 门电路组成的多谐振荡器



## 9.3.1 由 CMOS 门电路组成的多谐振荡器

### 1. 电路组成及工作原理

#### ① 第一暂稳态

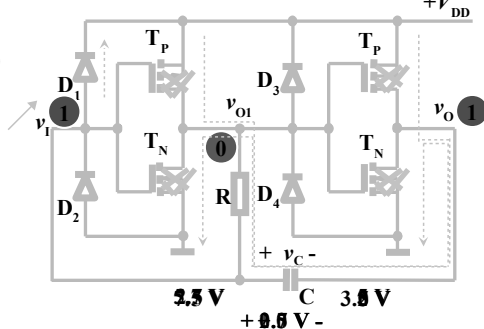
$t = 0$  时,  $v_i = 0, v_{oi} = 1, v_o = 0$

此时  $v_c = 0$ , 电容开始充电

电容充电至  $v_c = V_{TH}$  时,

$v_i = V_{TH}$ , 反向器输出反转

$v_o = V_{DD}$ , 进入第二暂稳态



在反转瞬间  $v_c = V_{TH} = 2.5V$ , 故  $v_i$  瞬间被抬高至  $7.5V$

由于  $D_1$  的钳位作用, 使  $v_i = V_{DD} + 0.7V, v_o = 3.2V$

电容开始放电至  $v_c = 0.7V, v_o = 5V$ , 电路进入第二暂稳态

## 9.3.1 由 CMOS 门电路组成的多谐振荡器

### 1. 电路组成及工作原理

#### ② 第二暂稳态

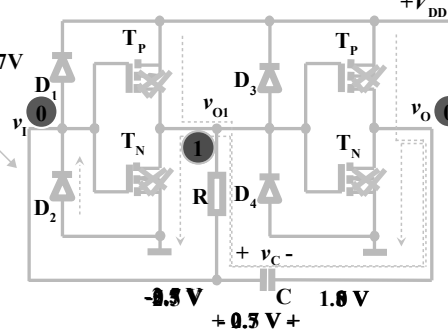
$v_c = 0.7V, v_o = V_{DD}, v_i = V_{DD} + 0.7V$

电容开始放电再反向充电

电容反向充电至  $v_c = -V_{TH}$  时,

$v_i = V_{TH}$ , 反向器输出反转

$v_o = 0$ , 回到第一暂稳态

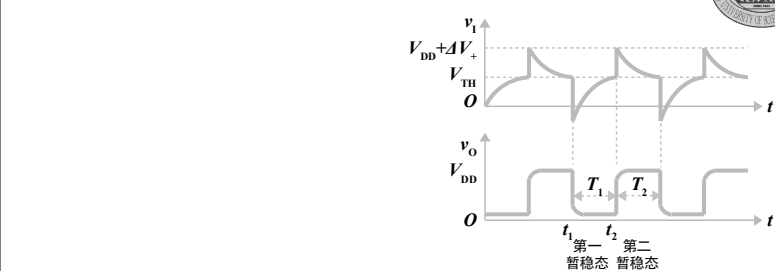


在反转瞬间  $v_c = -V_{TH} = -2.5V$ , 故  $v_i$  瞬间被降至  $-2.5V$

由于  $D_2$  的钳位作用, 使  $v_i = 0 - 0.7V, v_o = 1.8V$

电容开始放电至  $v_c = -0.7V, v_o = 0V$ , 电路回到第一暂稳态

## 9.3.1 由 CMOS 门电路组成的多谐振荡器



① 第一暂稳态开始,  $v_o = 0, v_i = v_c = -0.7V$

电容充电, 使  $v_i$  升至  $V_{TH}$ , 电路输出状态翻转至第二暂稳态,  $v_o = 1$

② 第二暂稳态开始,  $v_o = 1, v_c = 0.7V, v_i = v_o + v_c = V_{DD} + 0.7V$

电容放电再反向充电, 使  $v_i$  降至  $V_{TH}$ , 电路又翻转至第一暂稳态,  $v_o = 0$

## 9.3.2 由施密特触发器构成波形产生电路

### 1. 工作原理

上电时,  $v_c = 0 < V_T, v_o = 1$

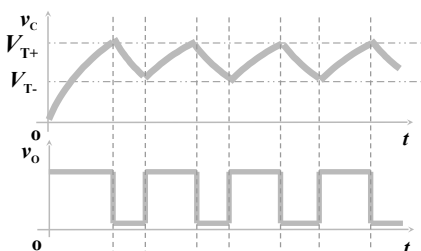
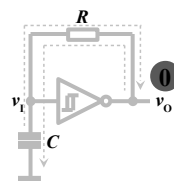
① 暂稳态 I:  $v_o = 1$ , 对 C 充电,  $v_c \nearrow$

② 自动翻转 I: 当  $v_c > V_T, v_o = 0$

③ 暂稳态 II:  $v_o = 0$ , C 放电,  $v_c \searrow$

④ 自动翻转 II: 当  $v_c < V_T, v_o = 1$ , 又进入暂稳态 I

周而复始, 在两个暂稳态之间交替变换, 输出矩形波。



电路电压波形