

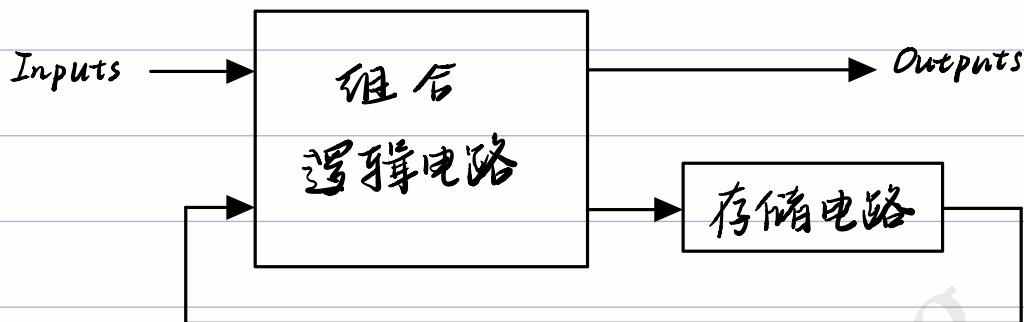
# §4 锁存器和触发器

## 1 概述

时序逻辑电路的基本结构

存储电路：保存电路当前的状态

组合逻辑电路：逻辑运算



## 基本双稳态电路

电路一旦进入某一种逻辑状态，

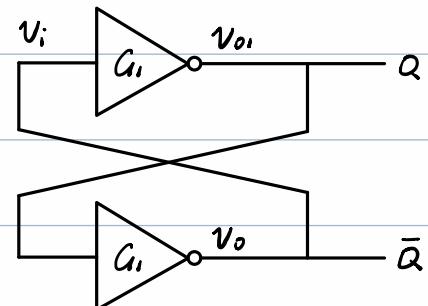
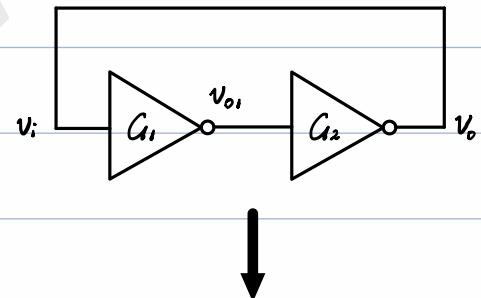
就能长期保持该状态不变。

$Q$  常态输出

$\bar{Q}$  反态输出

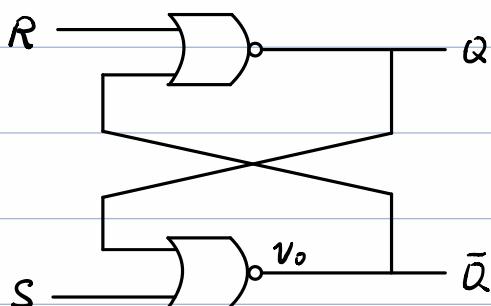
定义 { 0 状态  $Q = 0 \quad \bar{Q} = 1$

1 状态  $Q = 1 \quad \bar{Q} = 0$



## 2 SR锁存器

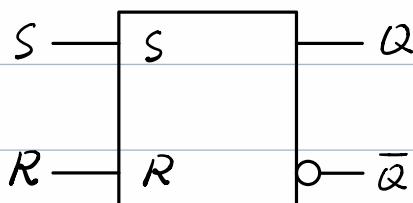
(1) 用或非门组成的 SR 锁存器 / 基本 SR 锁存器



## 功能表

S	R	Q	$\bar{Q}$	功能
0	0	不变	不变	保持
0	1	0	1	复位 / 置 0
1	0	1	0	置 1
1	1	0	0	非定义状态 →

逻辑符号

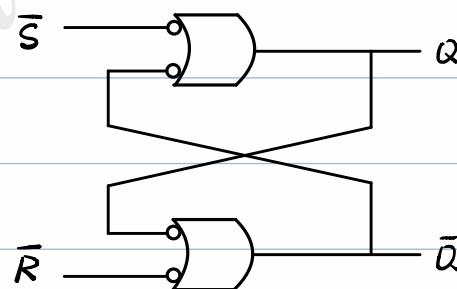


## 动态特性

传输延迟时间  $t_{PLH}$  和  $t_{PHL}$

脉冲宽度  $t_w$ ：基本 SR 锁存器工作时，必须保证 S 和 R 的高电平脉冲宽度不小于某一最小值  $t_w$

(2) 用与非门构成的 SR 锁存器 / 基本 SR 锁存器

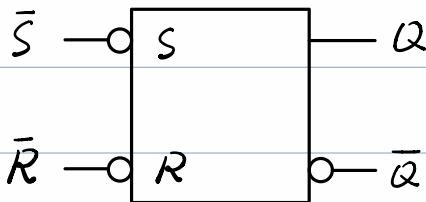


## 功能表

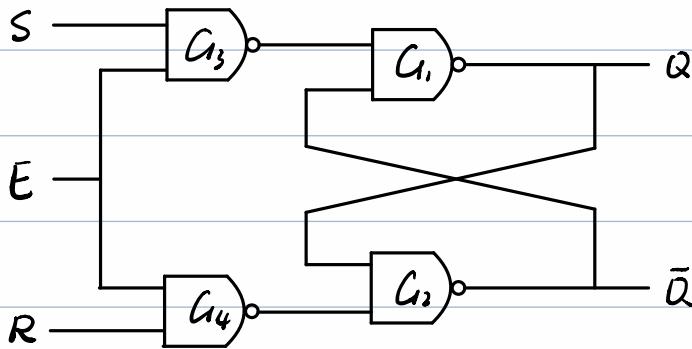
$\bar{S}$	$\bar{R}$	Q	$\bar{Q}$	功能
1	1	不变	不变	电路输出不变
1	0	0	1	置 0 / 复位 (reset)
0	1	1	0	置 1 / 置位 (set)
0	0	1	1	非定义状态 →

约束条件  $\bar{S} + \bar{R} = 1$

## 逻辑符号



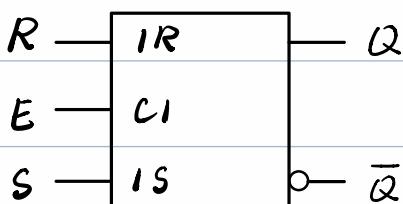
## (3) 门控SR锁存器



## 功能表

E	S	R	Q	$\bar{Q}$	功能
0	X	X	不变	不变	保持
1	0	0	不变	不变	保持
1	0	1	0	1	Reset
1	1	0	1	0	Set
1	1	1	1	1	非法状态

## 逻辑符号



CI 和 IR, IS 表示内部逻辑之间的关系

$C \Rightarrow \text{控制} \quad "1" \xrightarrow{\text{控制}} "1" \quad "$

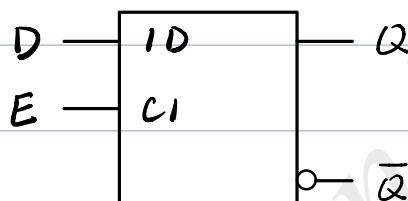
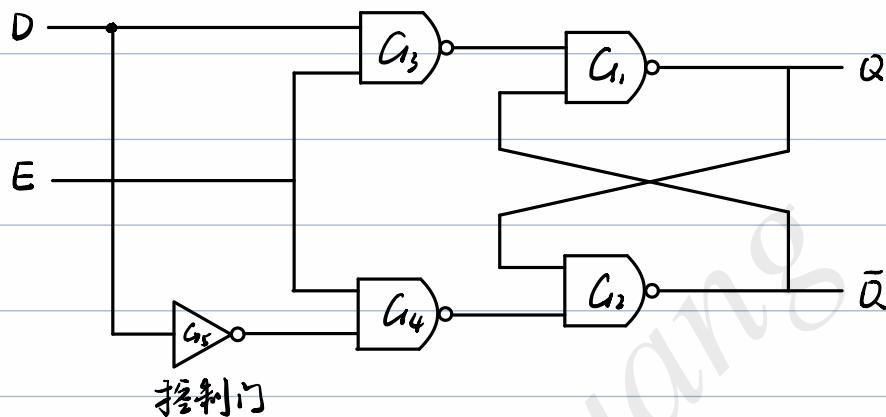
### 3 D锁存器

\*不存在非定义状态

D锁存器 { 逻辑门控D锁存器  
传输门控D锁存器

#### (1) D锁存器的电路结构

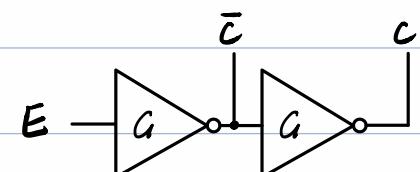
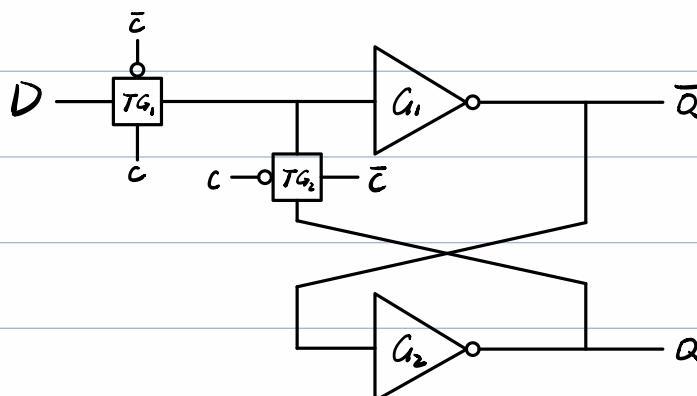
##### 逻辑门控D锁存器



功能表

E	D	Q	$\bar{Q}$	功能
0	x	不变	不变	保持
1	0	0	1	Reset
1	1	1	0	Set

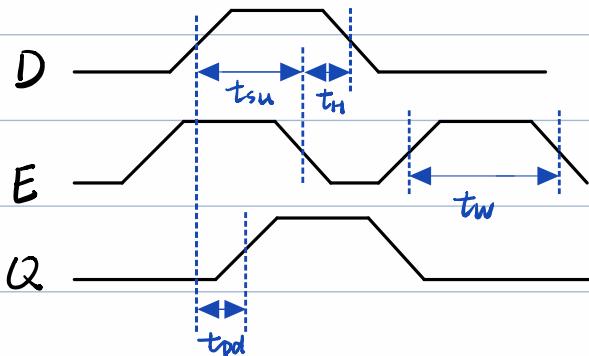
##### 传输门控D锁存器



# 动能表

E	D	Q	$\bar{Q}$	功能
0	X	不变	不变	保持
1	0	0	1	置0
1	1	1	0	置1

## (2) D锁存器的动态特性



传输延迟时间  $t_{pdl}$  ( $D \rightarrow Q$ )：输出信号对输入信号的响应延迟时间。

建立时间  $t_{su}$ ：D信号对下降沿的最小提前量

保持时间  $t_h$ ：D信号电平在E电平下降后需要继续保持的最少时间

脉冲宽度  $t_w$ ：E信号的宽度不小于  $t_w$

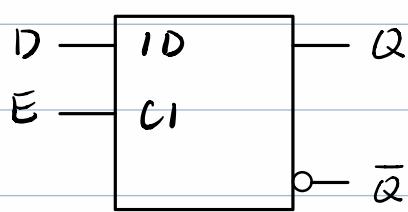
## 4 逐从D触发器

### (1) 逐从D触发器的结构及工作原理

锁存器 v.s. 触发器：触发方式不同

锁：电平敏感

触：边沿敏感

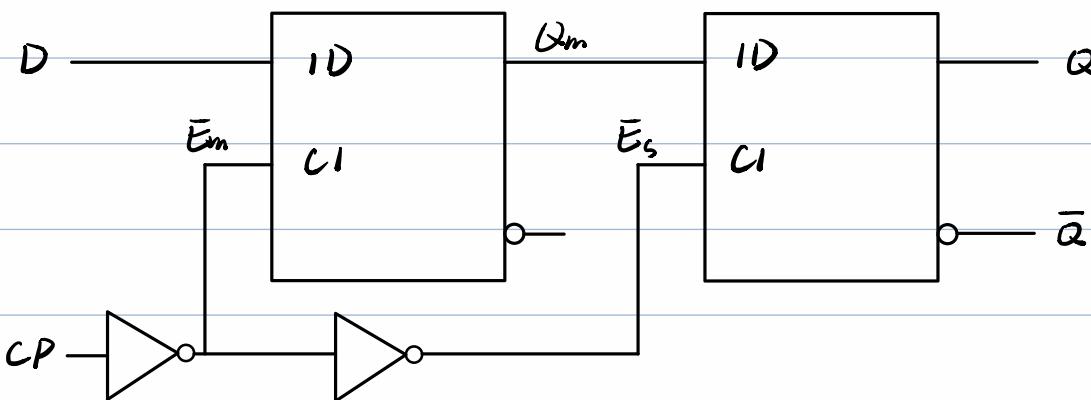


E	D	Q	$\bar{Q}$	功能
0	X	不变	不变	保持
1	0	0	1	Reset
1	1	1	0	Set

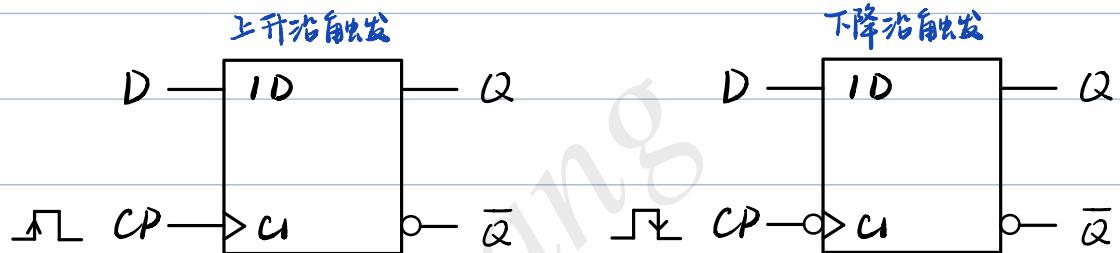
# 主H-D 触发器

主锁存器

从锁存器



逻辑符号



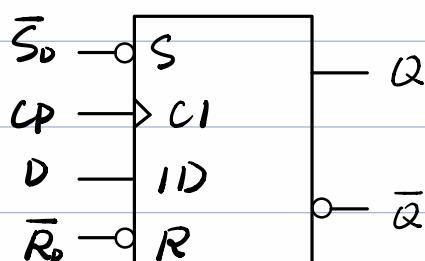
特性表

CP	D	$Q^n$	$Q^{n+1}$
x	x	x	$Q^n$
↑	0	x	0
↑	1	x	1
↓	0	x	0
↓	1	x	1

D 触发器特性方程  $Q^{n+1} = D$

(2) 有其他控制端的D触发器

逻辑符号



特性表

$\bar{S}_D$	$\bar{R}_D$	CP	D	$Q^{n+1}$	$\bar{Q}^{n+1}$	功能
0	1	x	x	1	0	异步置1
1	0	x	x	0	1	异步置0
0	0	x	x	1	1	输出不确定
1	1	↑	0	0	1	同步置0
1	1	↑	1	1	0	同步置1

### ① 异步输入端

异步：与 CP 信号无关

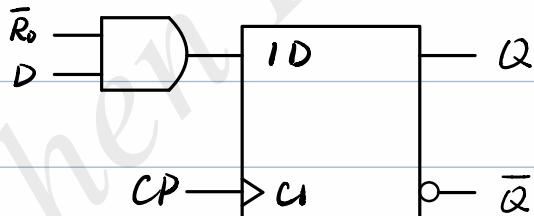
{ 直接置1端  $S_D$   
直接置0端  $R_D$

### ② 同步输入端

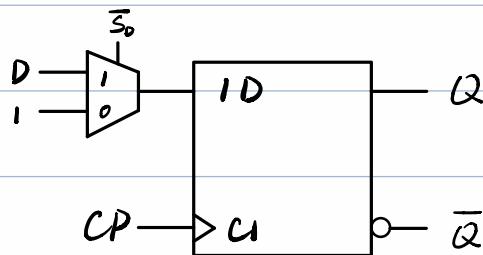
{ 同步清零端

同步置1端

同步清零端：清零输入有效，且 CP 有效跳变沿到来时，才能将触发器清零。

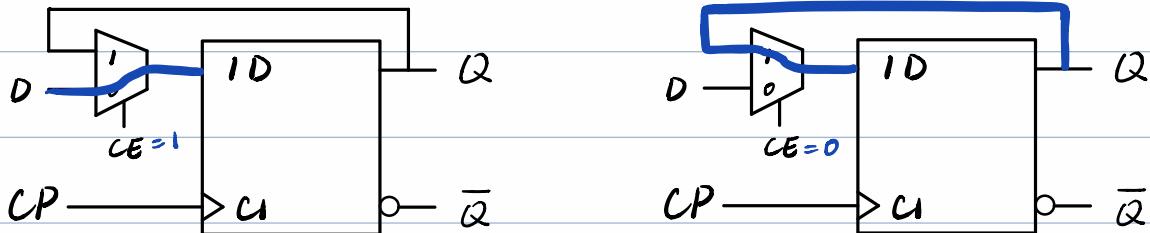


同步置1端：置1输入有效，且 CP 有效跳变沿到来时，才能将触发器置1。



### ③ 带有使能端的 D 触发器

功能 {  $E_n = 0$   $Q$  保持不变  
 $E_n = 1$  在 CP 作用下， $Q = D$



### (3) 动态特性

传输延迟时间  $t_{pd}$  ( $Q \rightarrow Q$ )

建立时间  $t_{su}$  ( $D \rightarrow Q$ )

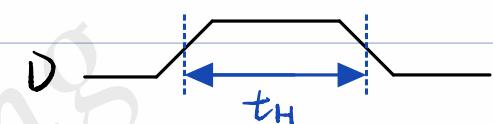
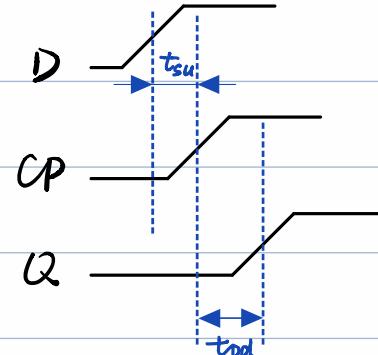
D 提前于 CP 的上升沿

保持时间  $t_H$  ( $D$ )

D 在 CP 上升沿到来后

还应保持一段时间，

该时间的最小值为  $t_H$

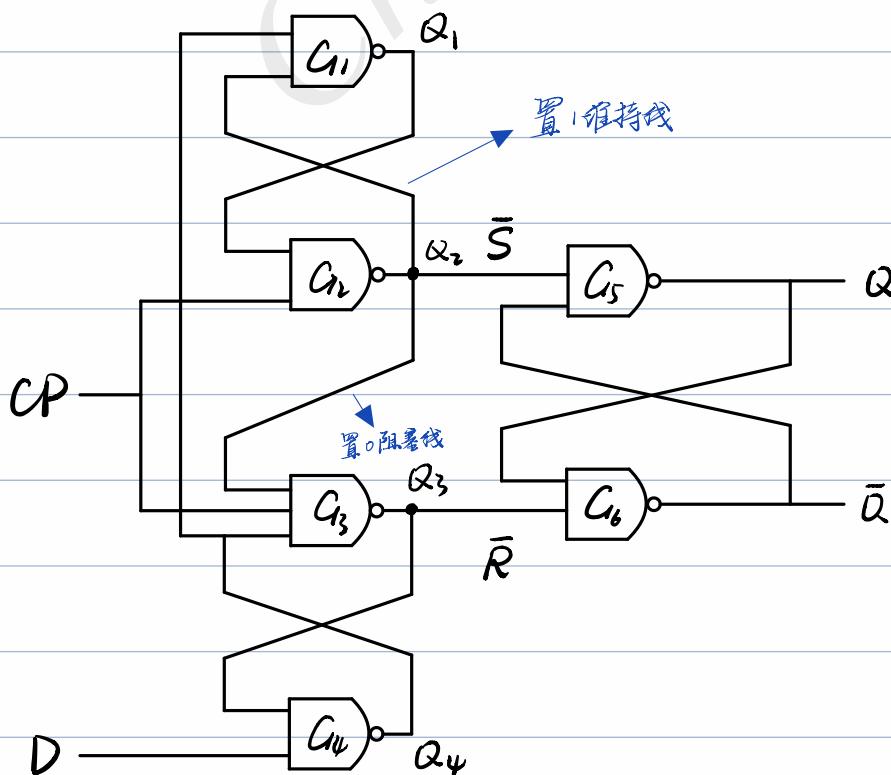


触发脉冲宽度  $t_w$  ( $CP$ )

最高时钟频率  $f_{cmax}$

$$f_{cmax} = \frac{1}{T_{cmin}}$$

### 5 维持阻塞 D 触发器



## 6 触发器的逻辑功能

表明其状态与输入信号之间的逻辑关系

描述方法

特性表

特性方程

状态图

时序波形图

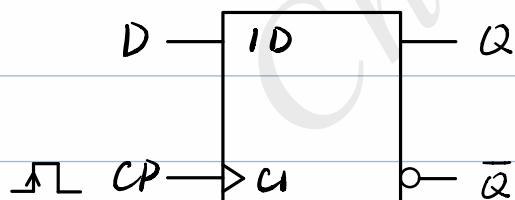
触发器按逻辑功能分类

{ D 触发器  
JK 触发器  
T 触发器  
SR 触发器

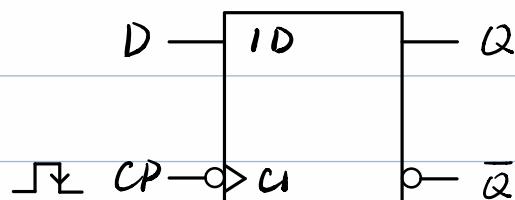
(1) D 触发器

逻辑符号

上升沿触发



下降沿触发



特性表

D       $Q^n$        $Q^{n+1}$

0      0      0

0      1      0

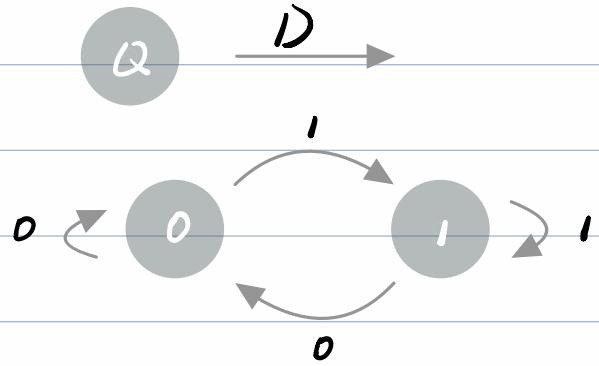
1      0      1

1      1      1

特性方程

$$Q^{n+1} = D$$

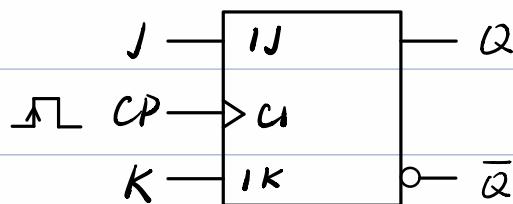
# 状态图



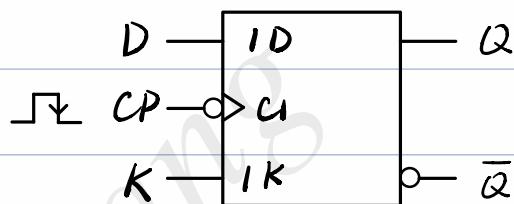
## (2) JK 触发器

逻辑符号

上升沿触发



下降沿触发



特性表

J	K	$Q^n$	$Q^{n+1}$	说明
0	0	0	0	状态不变
0	0	1	1	
0	1	0	0	置 0
0	1	1	0	
1	0	0	1	置 1
1	0	1	1	
1	1	0	1	翻转
1	1	1	0	

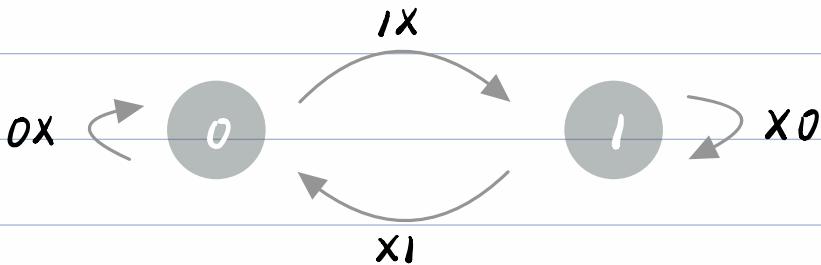
特性方程

$$Q^{n+1} = J\bar{Q}^n + \bar{K}Q^n$$

状态图

Q

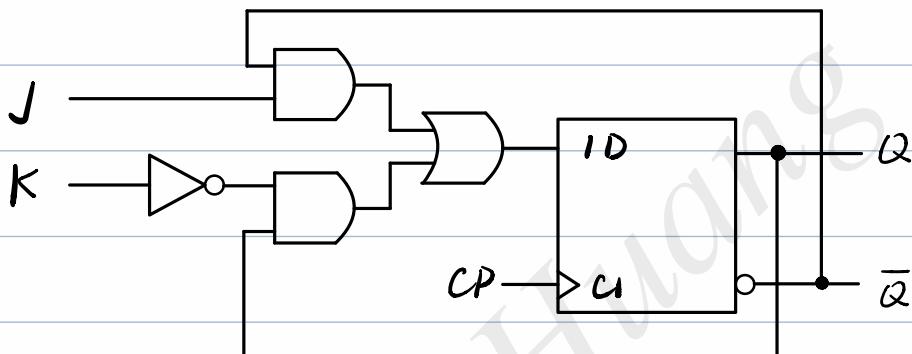
JK



## 用D触发器构造JK触发器

$$\begin{cases} Q^{n+1} = D \\ Q^{n+1} = J\bar{Q}^n + \bar{K}Q^n \end{cases}$$

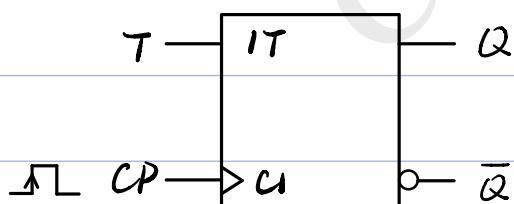
$$\Rightarrow D = J\bar{Q}^n + \bar{K}Q^n$$



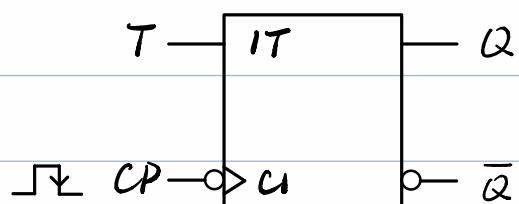
## (3) T触发器

逻辑符号

上升沿触发



下降沿触发



## 特性表

T	$Q^n$	$Q^{n+1}$
---	-------	-----------

0	0	0
---	---	---

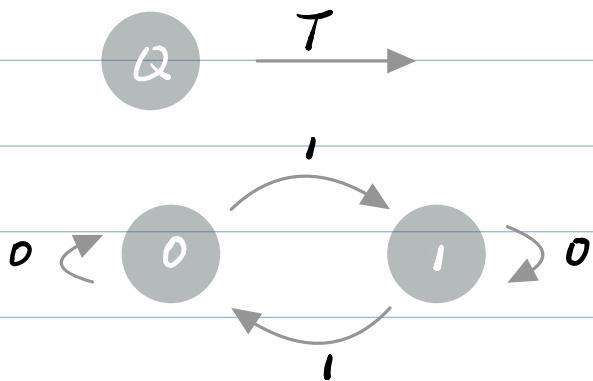
0	1	1
---	---	---

1	0	1
---	---	---

1	1	0
---	---	---

特性方程  $Q^{n+1} = T\bar{Q}^n + \bar{T}Q^n$

状态图

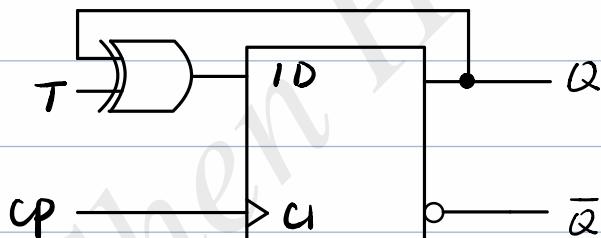


用D触发器构造T触发器

$$\begin{cases} Q^{n+1} = D \\ Q^{n+1} = T\bar{Q}^n + \bar{T}Q^n \end{cases}$$

$$\Rightarrow D = T\bar{Q}^n + \bar{T}Q^n$$

$$= T \oplus Q^n$$

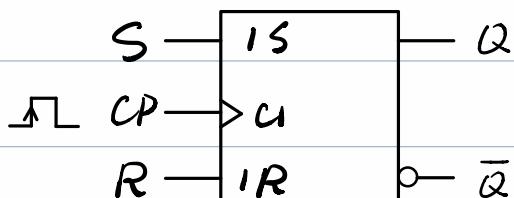


令  $T = 1$ ，得到  $Q^{n+1} = \bar{Q}^n \Rightarrow T' \text{ 触发器}$

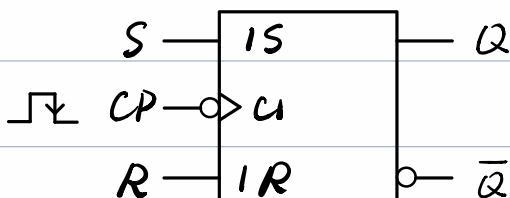
(4) SR触发器

逻辑符号

上升沿触发



下降沿触发



## 特性表

$S$	$R$	$Q^n$	$Q^{n+1}$	说明
0	0	0	0	状态不变
0	0	1	1	
0	1	0	0	置0
0	1	1	0	
1	0	0	1	置1
1	0	1	1	
1	1	0	不确定	不确定
1	1	1	不确定	

## 特性方程

$$\begin{cases} Q^{n+1} = S + \bar{R}Q^n \\ SR = 0 \text{ (约束条件)} \end{cases}$$