

第四章 触发器

❖ 4.1 基本触发器

4.1.1 用与非门组成的基本触发器

4.1.2 用或非门组成的基本触发器

4.1.3 集成基本触发器

❖ 4.2 同步触发器

4.2.1 同步RS触发器

4.2.2 同步D触发器

❖ 4.3 边沿触发器

4.3.1 边沿D触发器

4.3.2 边沿JK触发器

4.3.3 边沿触发器的功能分类、功能表示方法及转换

概 述

一、基本要求

1. 有两个稳定的状态(0、1)，以表示存储内容；
2. 能够接收、保存和输出信号。

二、现态和次态

1. 现态： Q^n 触发器接收输入信号之前的状态。
2. 次态： Q^{n+1} 触发器接收输入信号之后的状态。

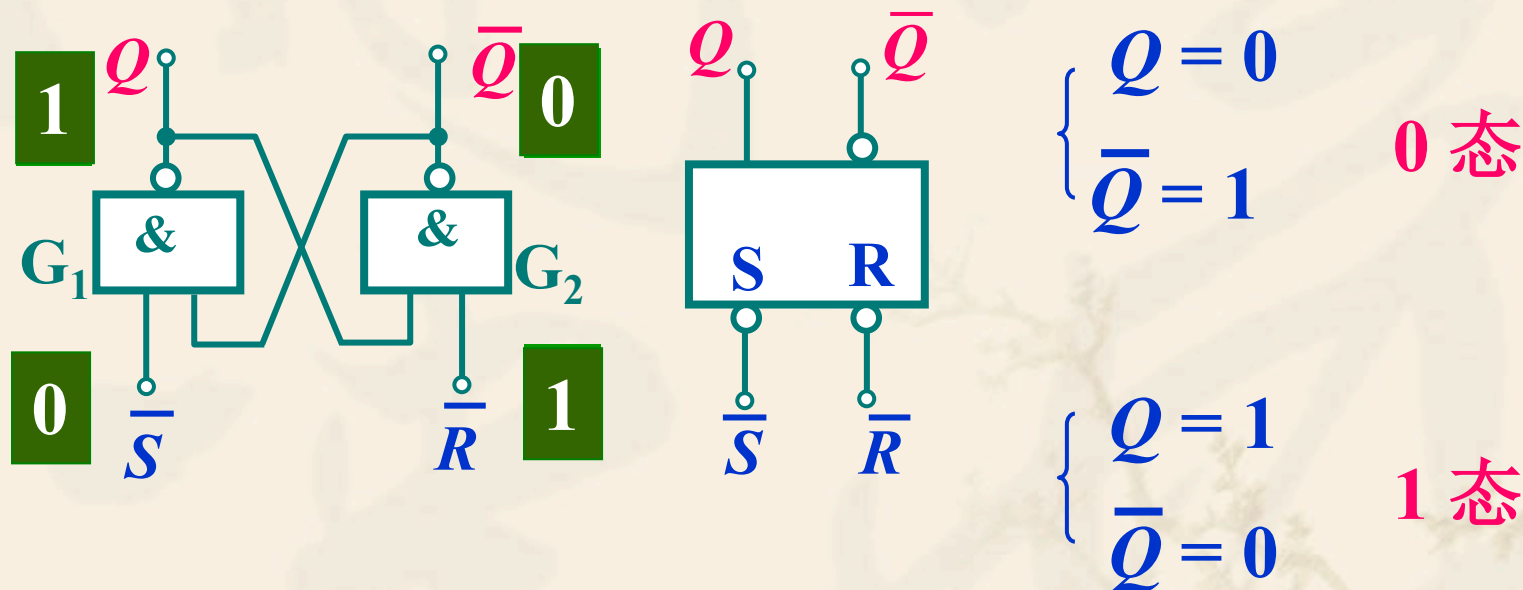
三、分类

1. 按电路结构和工作特点：基本、同步、边沿。
2. 按逻辑功能分： RS 、 JK 、 D 和 $T(T')$ 。
3. 其他： TTL 和 $CMOS$ ，分立和集成。

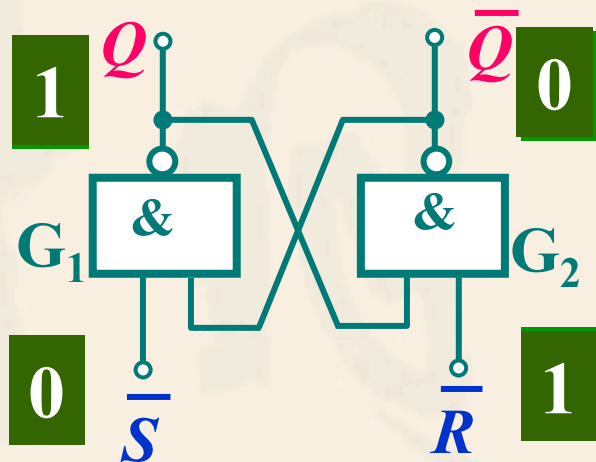
4.1 基本触发器

4.1.1 由与非门组成

一、电路及符号



二、工作原理



$$Q = \bar{\bar{S}}\bar{\bar{Q}}$$

$$\bar{Q} = \bar{\bar{R}}\bar{\bar{Q}}$$

$$\bar{S} = \bar{R} = 1 \left\{ \begin{array}{l} Q = Q \\ \bar{Q} = \bar{Q} \end{array} \right. \text{“保持”}$$

$$\bar{S} = 1, \bar{R} = 0 \left\{ \begin{array}{l} Q = 0 \\ \bar{Q} = 1 \end{array} \right. \text{0 态}$$

“置 0”或“复位” (Reset)

$$\bar{S} = 0, \bar{R} = 1 \left\{ \begin{array}{l} Q = 1 \\ \bar{Q} = 0 \end{array} \right. \text{1 态}$$

“置 1”或“置位” (Set)

$$\bar{S} = \bar{R} = 0 \quad Q \text{ 和 } \bar{Q} \text{ 均为 } U_H$$

\bar{R} 先撤消: \rightarrow 1 态

\bar{S} 先撤消: \rightarrow 0 态

信号同时撤消: 状态不定 (随机)

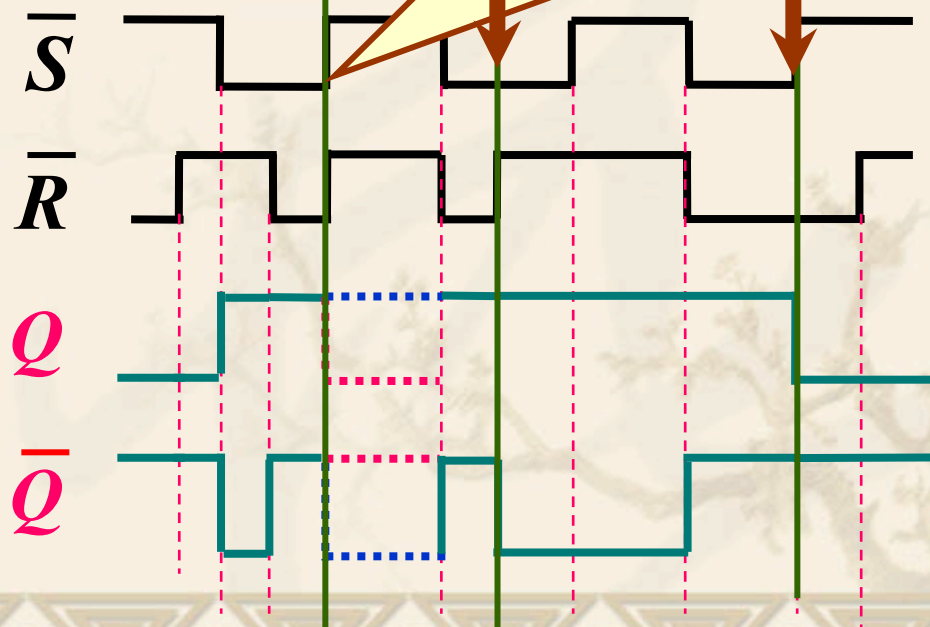
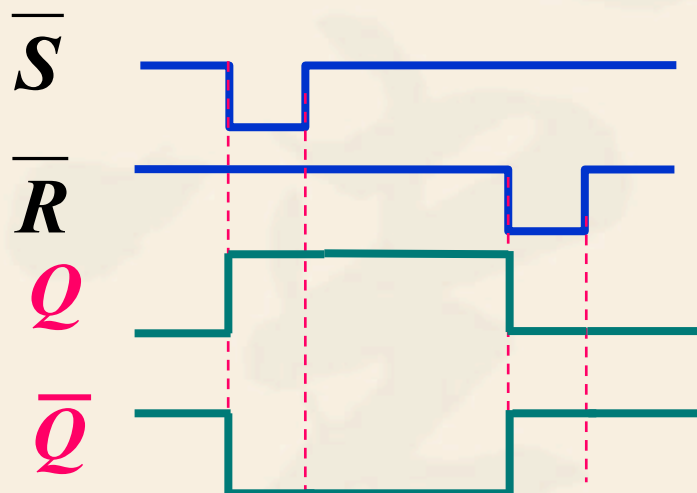
简化波形图

状态翻转过程需要一定的延迟时间，
如 $1 \rightarrow 0$ ，延迟时间为 t_{PHL} ；

$0 \rightarrow 1$ ，延迟时间为 t_{PLH} 。

由于实际中翻转延迟时间相对于脉冲的宽度和周期很小，故可视为0。

设触发器初始状态为0：



信号不同时撤消，状态确定

三、现态、次态、特性表和特性方程

1. 现态和次态

现态 Q^n : 触发器接收输入信号之前的状态。

次态 Q^{n+1} : 触发器接收输入信号之后的新状态。

2. 特性表和特性方程

特性表

R	S	Q^n	Q^{n+1}
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	不用
1	1	1	不用

简化特性表

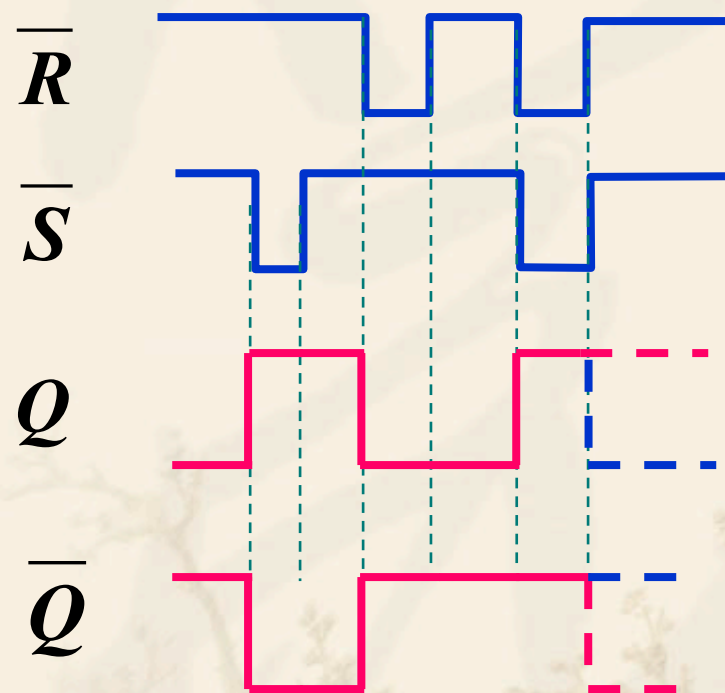
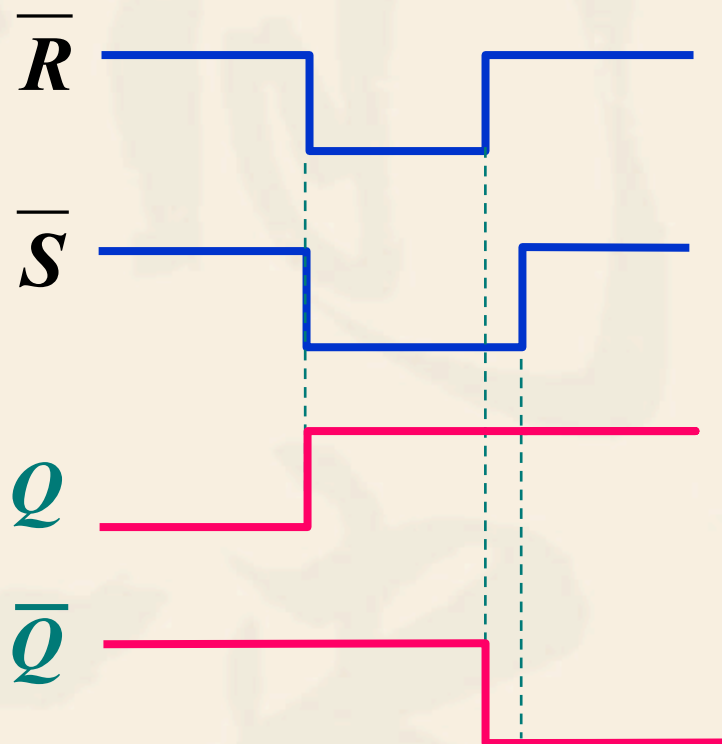
R	S	Q^{n+1}
0	0	Q^n 保持
0	1	1 置 1
1	0	0 置 0
1	1	不用 不允许

Q^{n+1} RS		00	01	11	10
Q^n	0	0	1	×	0
	1	1	1	×	0

特性方程

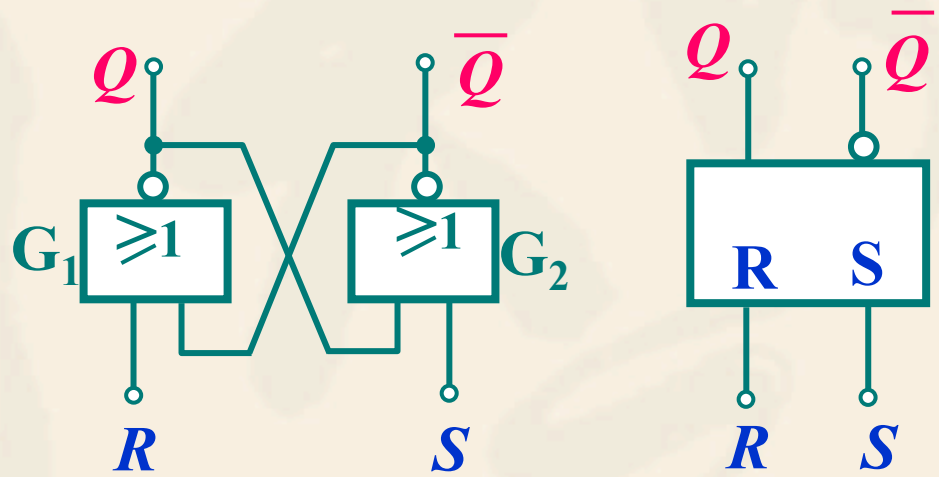
$$\left\{ \begin{array}{l} Q^{n+1} = S + \bar{R}Q^n \\ RS = 0 \quad \text{约束条件} \end{array} \right.$$

[例]



4.1.2 由或非门组成

一、电路及符号



二、工作原理

$$R = S = 0$$

$$Q^{n+1} = Q^n, \overline{Q^{n+1}} = \overline{Q^n}$$

“保持”

$$R = 0, S = 1$$

$$Q^{n+1} = 1, \overline{Q^{n+1}} = 0$$

“置 1”

$$R = 1, S = 0$$

$$Q^{n+1} = 0, \overline{Q^{n+1}} = 1$$

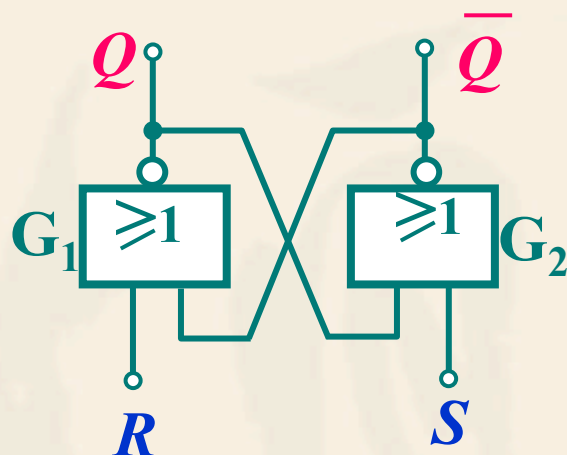
“置 0”

$$R = S = 1$$

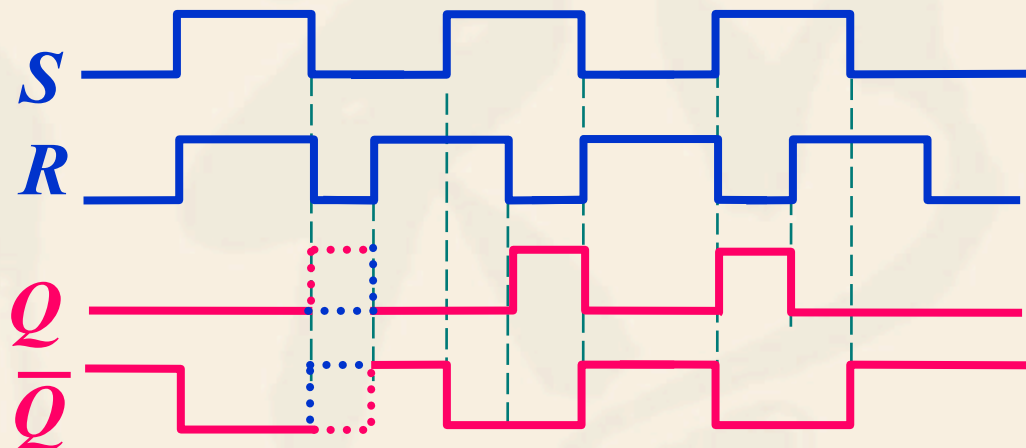
$$Q^{n+1}, \overline{Q^{n+1}} \text{ 均为 } U_L$$

“不允许”

若高电平同时撤消，则状态不定。



波形图



三、特性表和特性方程

R	S	Q^{n+1}	
0	0	Q^n	保持
0	1	1	置 1
1	0	0	置 0
1	1	不用	不许

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

四、基本 RS 触发器主要特点

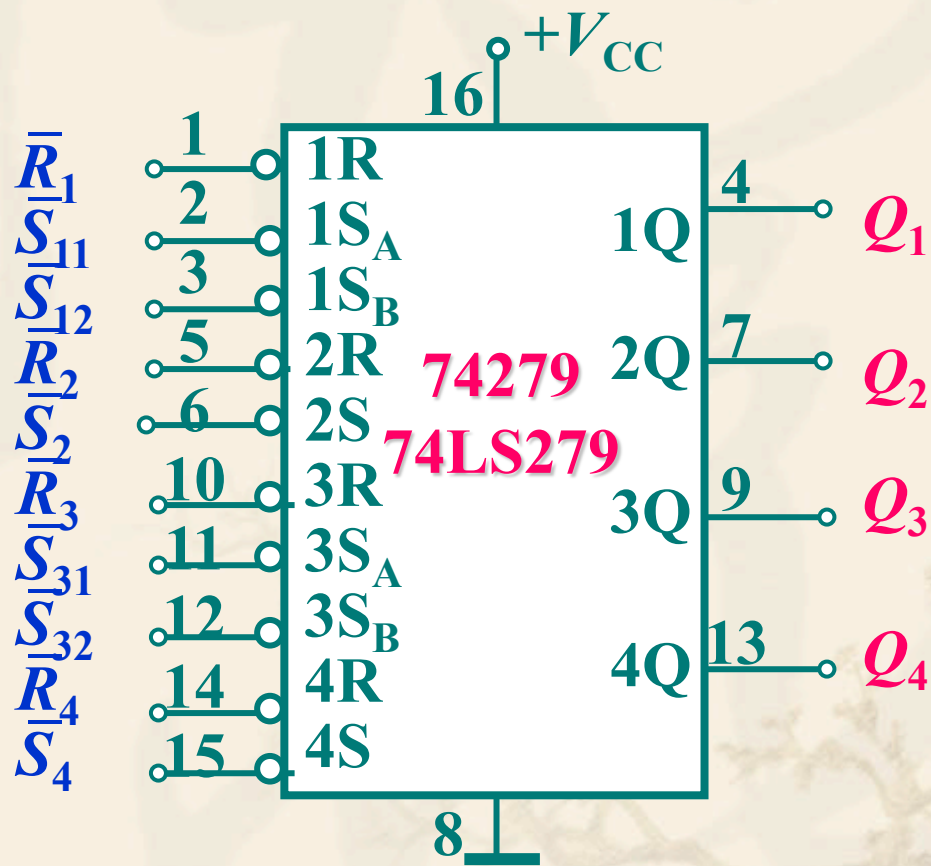
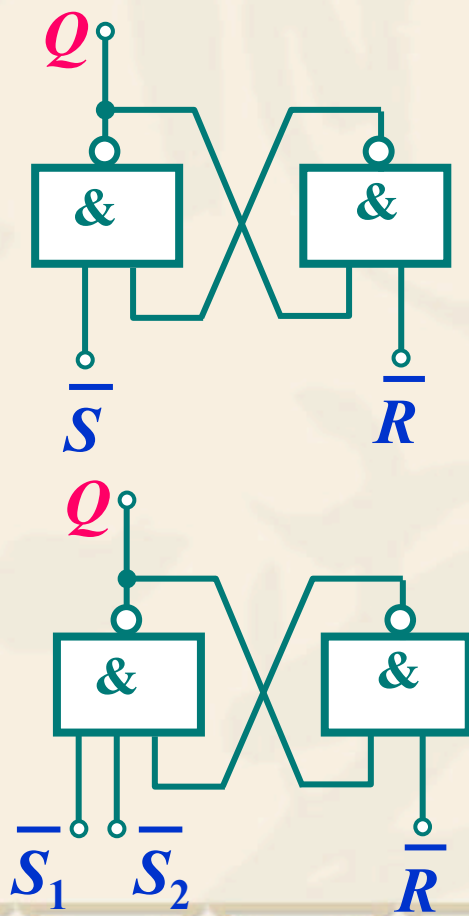
1. 优点：结构简单，具有置 0、置 1、保持功能。

2. 问题：输入电平直接控制输出状态，使用不便，抗干扰能力差； R 、 S 之间有约束。

4.1.3 集成基本触发器

TTL 集成基本触发器

74279、74LS279



4.2 同步触发器

4.2.1 同步 RS 触发器

同步触发器：触发器的工作状态不仅受输入端 (R 、 S) 控制，而且还受时钟脉冲(CP) 的控制。

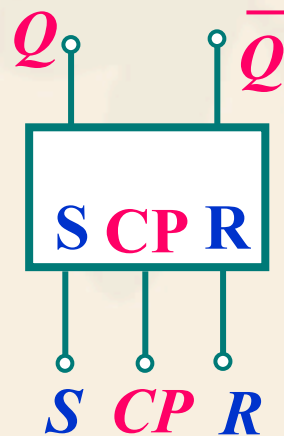
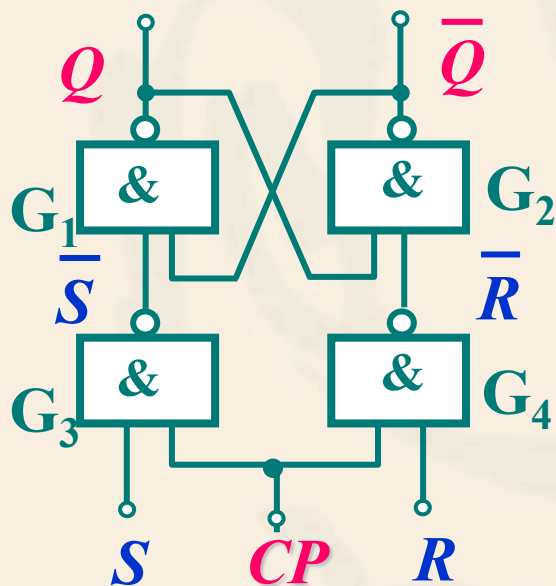
CP (Clock Pulse)：等周期、等幅的脉冲串。

基本 RS 触发器： S — 直接置位端；
 R — 直接复位端。
(不受 CP 控制)

同步触发器：{ 同步 RS 触发器
同步 D 触发器

一、电路组成及工作原理

1. 电路及逻辑符号



曾用符号



国标符号

2. 工作原理

当 $CP = 0$ $\overline{S} = \overline{R} = 1$ $Q^{n+1} = Q^n$ 保持

当 $CP = 1$ $\overline{S \cdot CP} = \overline{S \cdot 1} = \overline{S}$ $\overline{R \cdot CP} = \overline{R \cdot 1} = \overline{R}$

与基本 RS 触发器功能相同

特性表:

CP	R	S	Q^n	Q^{n+1}	注
0	×	×	×	Q^n	保持
1	0	0	0	0	保持
1	0	0	1	1	
1	0	1	0	1	置1
1	0	1	1	1	
1	1	0	0	0	置0
1	1	0	1	0	
1	1	1	0	不用	不许
1	1	1	1	不用	

特性方程:

$$\begin{cases} Q^{n+1} = S + \overline{R}Q^n \\ RS = 0 \quad \text{约束条件} \end{cases}$$

$CP = 1$ 期间有效

二、主要特点

1. 时钟电平控制

$CP = 1$ 期间接受输入信号;
 $CP = 0$ 期间输出保持不变。
 (抗干扰能力有所增强)

2. RS 之间有约束

4.2.2 同步 D 触发器

一、电路组成及工作原理

$$S = D, R = \overline{D}$$

$$\begin{aligned} Q^{n+1} &= S + \overline{R}Q^n \\ &= D + DQ^n = D \end{aligned}$$

($CP = 1$ 期间有效)

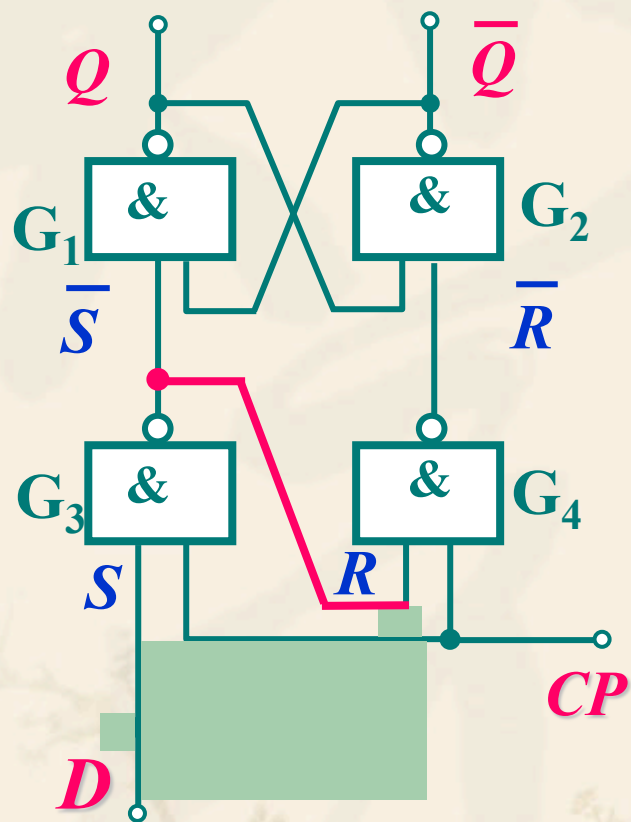
简化电路：省掉反相器。

二、主要特点

1. 时钟电平控制，无约束问题；

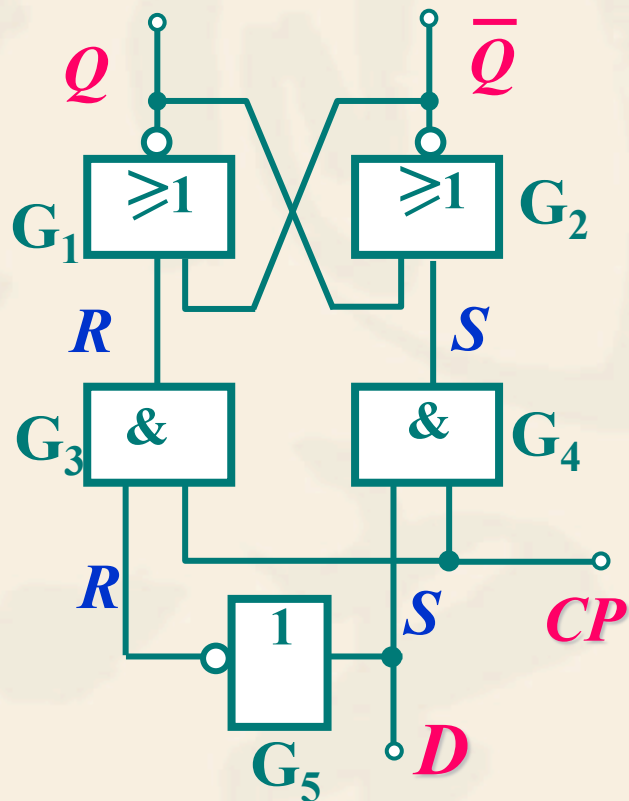
2. $CP = 1$ 时跟随。 ($Q^{n+1} = D$)

下降沿到来时锁存 ($Q^{n+1} = Q^n$)

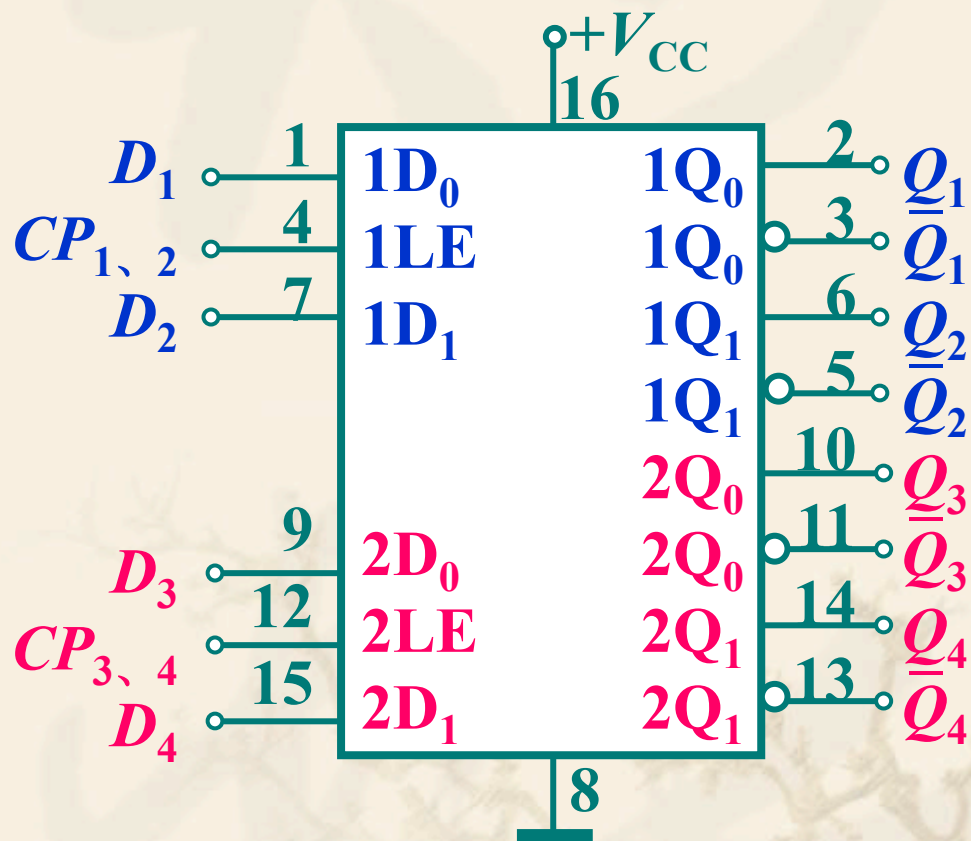


三、集成同步 D 触发器

TTL 74LS375



74LS375



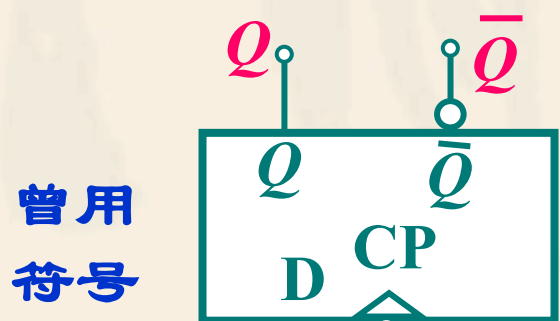
$$Q^{n+1} = S + \bar{R}Q^n = D + DQ^n = D$$

4.3 边沿触发器

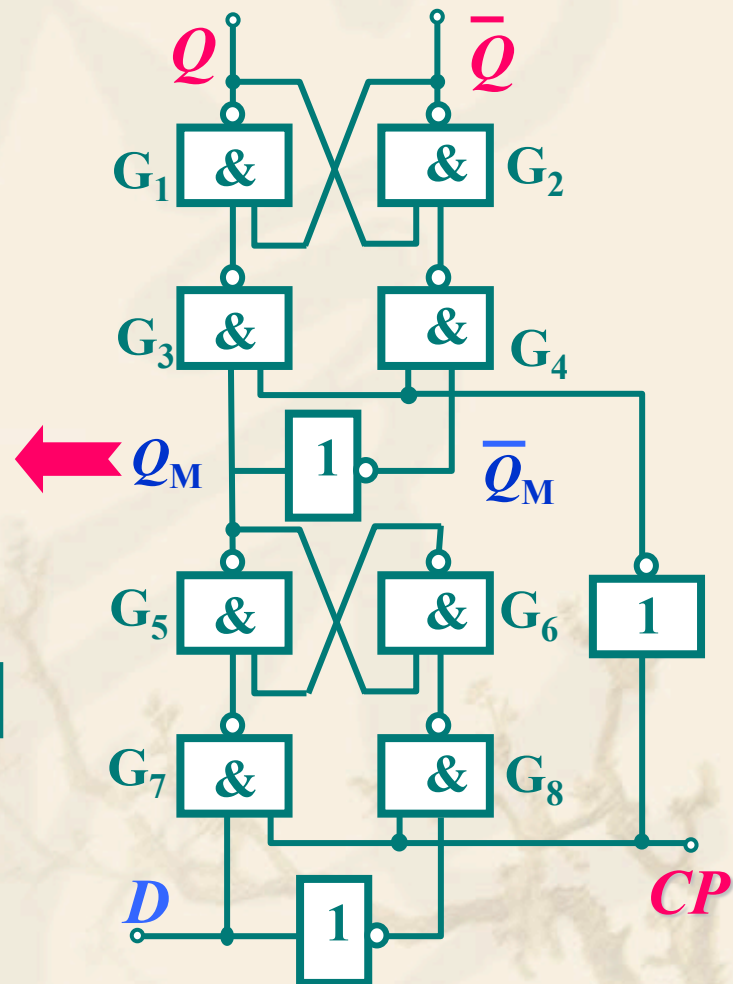
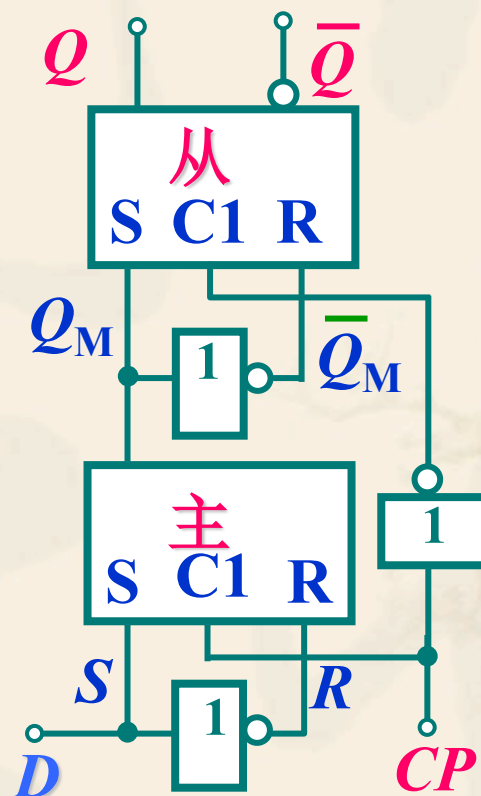
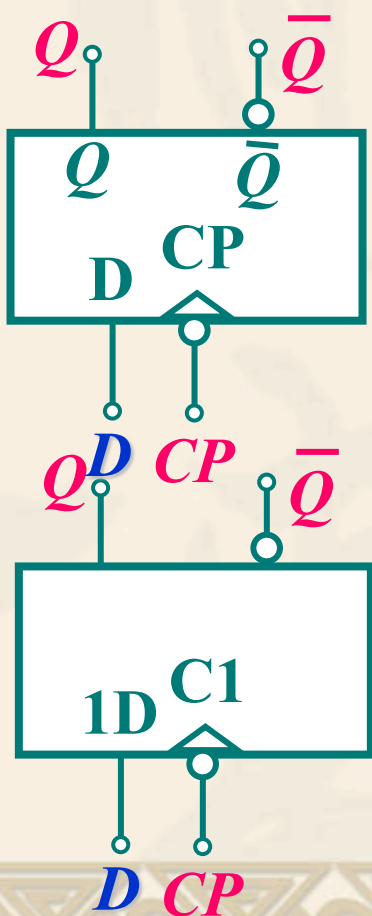
4.3.1 边沿 D 触发器

一、电路组成及工作原理

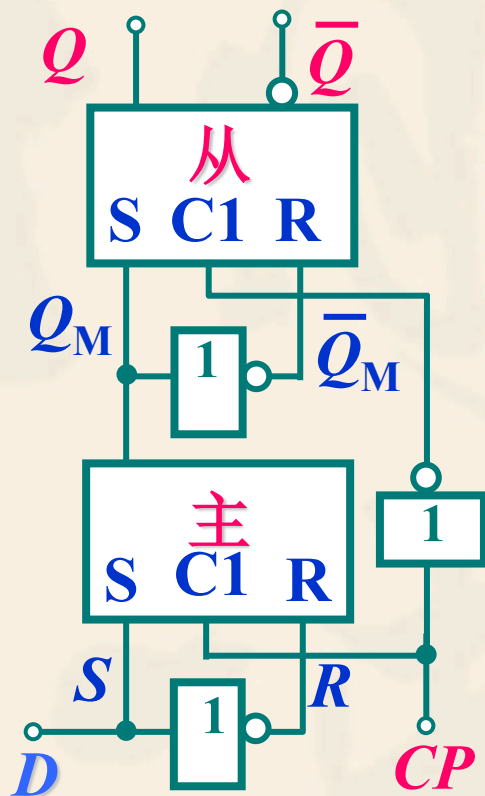
1. 电路组成及逻辑符号



国标符号



2. 工作原理



(1) 接收信号:

$$CP = 1$$

主触发器接收输入信号

$$Q_M^{n+1} = D \quad \text{主触发器跟随 } D \text{ 变化}$$

(2) 输出信号:

$$CP = 0$$

主触发器保持不变;

从触发器由 CP 到来之前的

Q_M^n 确定。

即: $Q^{n+1} = D$ 下降沿时刻有效

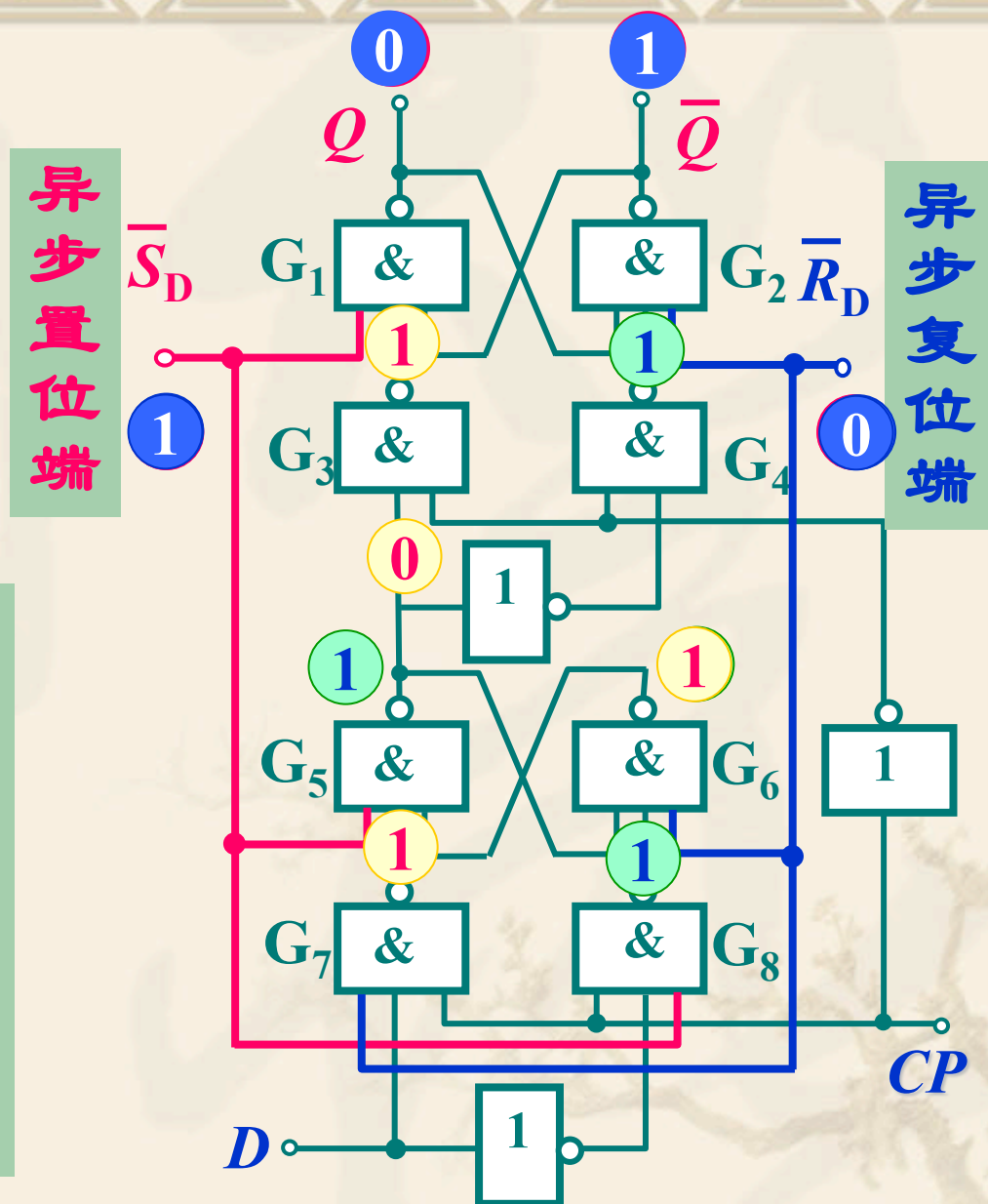
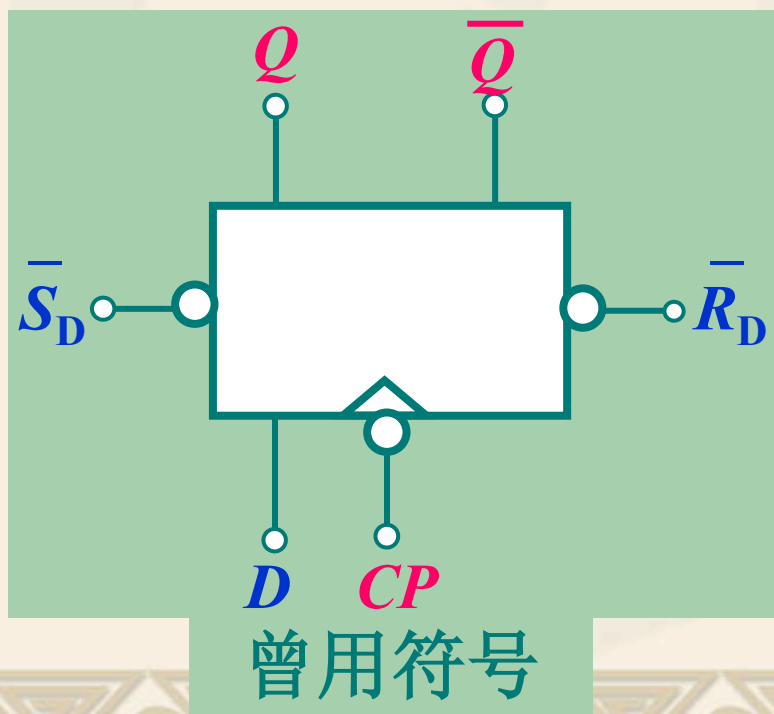
3. 异步输入端的作用

D — 同步输入端

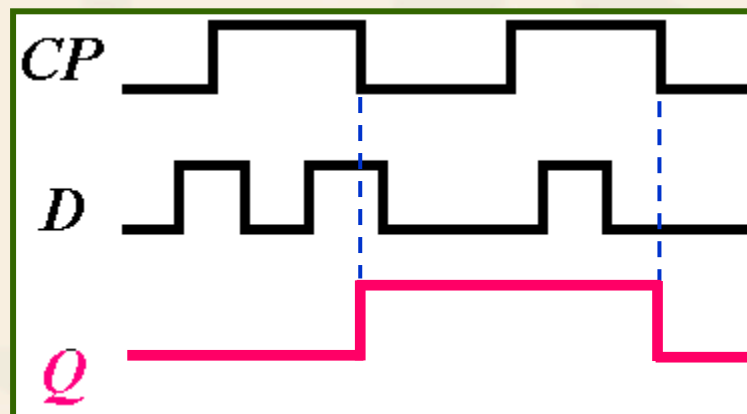
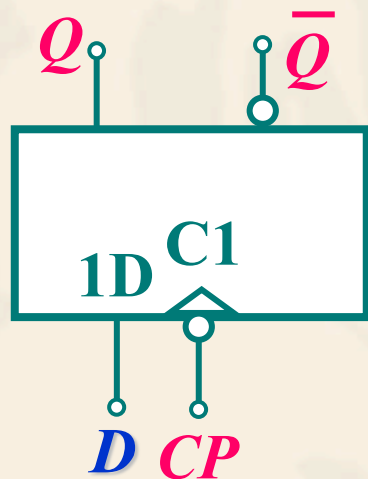
受时钟 CP 同步控制

\bar{R}_D 、 \bar{S}_D — 异步输入端

不受时钟 CP 控制



4. 波形

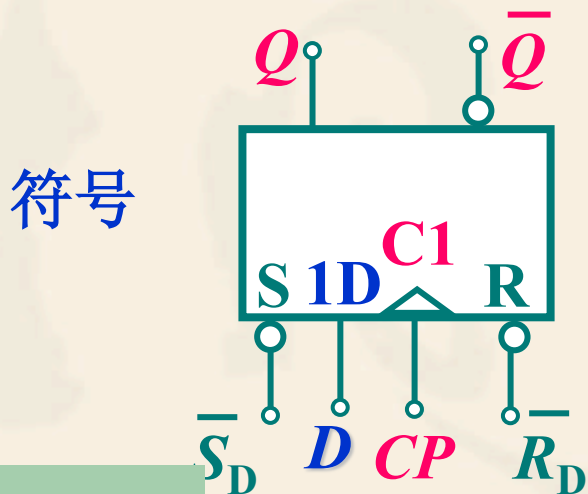


触发器的初始 0 状态可利用异步复位端接低电平实现

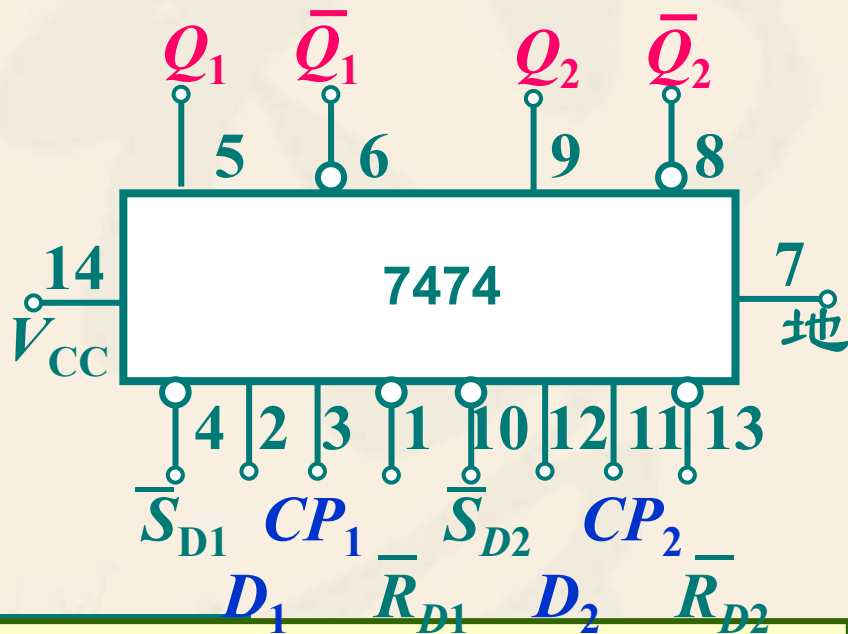
二、集成边沿 D 触发器

TTL 边沿 D 触发器

7474 (双 D 触发器)



引出端
功能



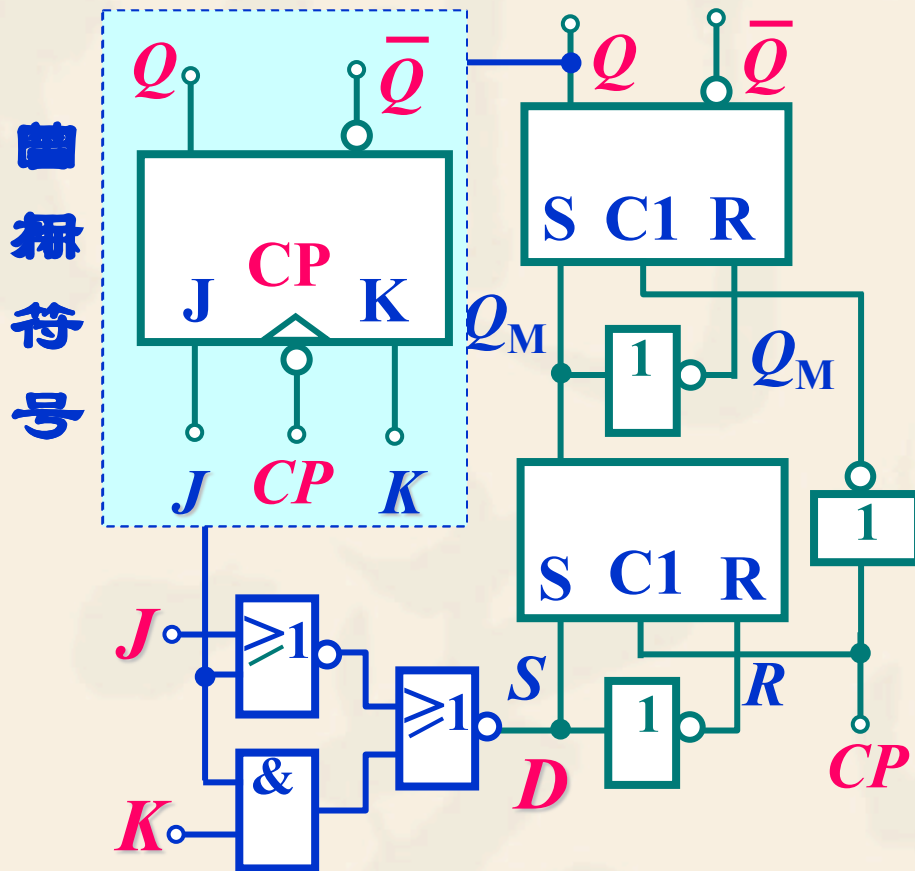
3. 主要特点

- ① CP 的上升沿(正边沿)或下降沿(负边沿)触发;
- ② 抗干扰能力极强;
- ③ 只有置 1、置 0 功能。

4.3.2 边沿 JK 触发器

一、电路组成及符号

二、工作原理



$$\begin{aligned}
 Q^{n+1} &= D \\
 &= \overline{J + Q^n + KQ^n} \\
 &= (J + Q^n)(\overline{K} + \overline{Q^n})
 \end{aligned}$$

冗余项 $J\overline{Q^n} + \overline{K}Q^n$

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

CP 下降沿有效

二、集成边沿 JK 触发器

TTL 边沿 JK 触发器 74LS112 (双 JK 触发器)

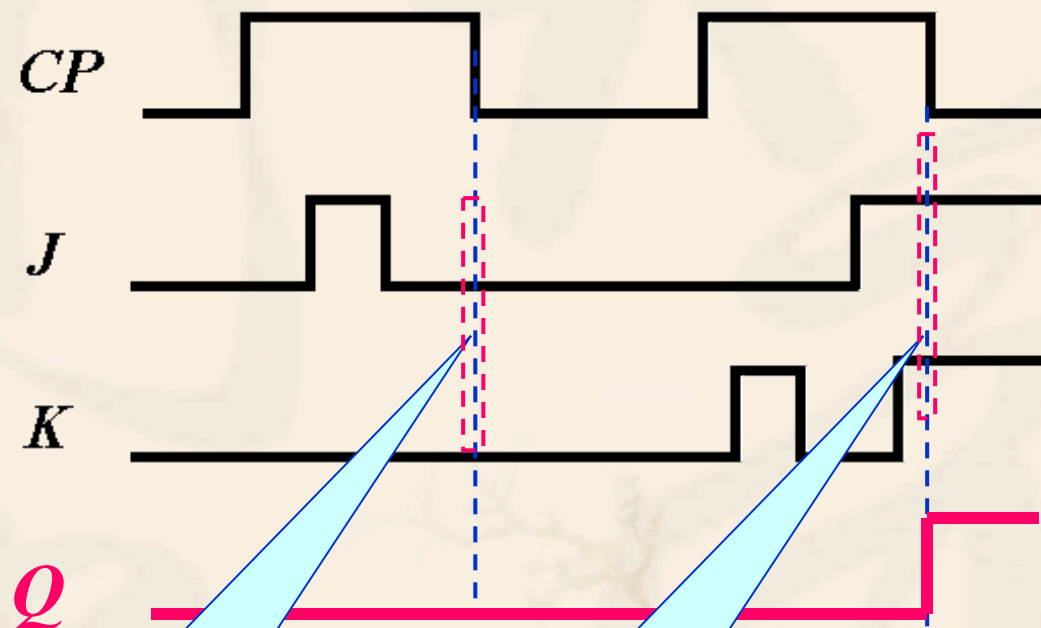
- CP 下降沿触发
- 异步复位端 \overline{R}_D 、异步置位端 \overline{S}_D 均为低电平有效

3. 主要特点

- ① CP 的上升沿或下降沿触发；
- ② 抗干扰能力极强，工作速度很高，在触发沿瞬间，按 $Q^{n+1} = J\overline{Q}^n + \overline{K}Q^n$ 的规定更新状态；
- ③ 功能齐全(保持、置 1、置 0、翻转)，使用方便。

4. 波形图

设输出端
初态为 0



$J = K = 0$
保持

$J = K = 1$
翻转

4.3.3 边沿触发器功能分类、功能表示方法及转换

一、边沿触发器功能分类

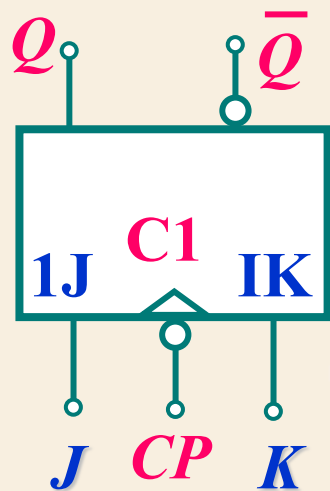
1. JK 型触发器

定义 在 CP 作用下, J 、 K 取值不同时, 具有保持、置0、置1、翻转功能的电路, 都叫做 JK 型时钟触发器。

符号

特性表

特性方程



J	K	Q^{n+1}	功能
0	0	Q^n	保持
0	1	0	置0
1	0	1	置1
1	1	$\overline{Q^n}$	翻转

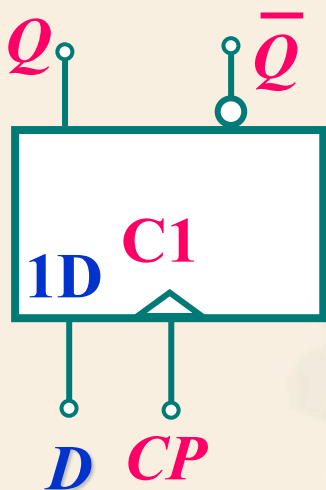
$$Q^{n+1} = J\overline{Q^n} + \overline{K}Q^n$$

CP 下降沿 时刻有效

2. D 型触发器

定义 在 CP 作用下, D 取值不同时, 具有置0、置1功能的电路, 都叫做 D 型时钟触发器。

符号



特性表

D	Q^{n+1}	功能
0	0	置 0
1	1	置 1

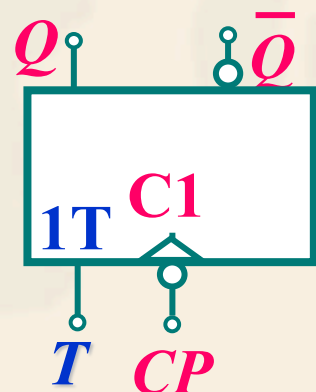
特性方程

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

CP 上升沿 时刻有效

3. T 型触发器

在 CP 作用下，当 $T=0$ 时保持状态不变， $T=1$ 时状态翻转的电路，叫 T 型时钟触发器。



T	Q^{n+1}	功能
0	Q^n	保持
1	\overline{Q}^n	翻转

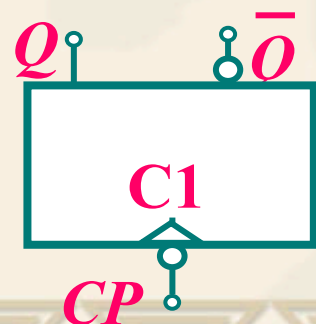
$$Q^{n+1} = T\overline{Q}^n + \overline{T}Q^n$$

$$= T \oplus Q^n$$

CP 下降沿时刻有效

4. T' 型触发器

每来一个 CP 就翻转一次的电路叫 T' 型时钟触发器。



Q^n	Q^{n+1}	功能
0	1	翻转
1	0	

$$Q^{n+1} = \overline{Q}^n$$

CP 下降沿时刻有效

二、边沿触发器逻辑功能表示方法

特性表、卡诺图、特性方程、状态图和时序图。

1. 特性表、卡诺图、特性方程

(1) 特性表(真值表)

D	Q^{n+1}	功能
0	0	置 0
1	1	置 1

J	K	Q^n	Q^{n+1}	功能
0	0	0	Q^n	保持
0	0	1		
0	1	0	0	置 0
0	1	1		
1	0	0	1	置 1
1	0	1		
1	1	0	\overline{Q}^n	翻转
1	1	1		

(2) 卡诺图

D 触发器: 单变量的函数，其卡诺图无意义。

JK 触发器: $Q^{n+1} = J\overline{Q}^n + \overline{K}Q^n$

		Q^{n+1}			
		$J K$			
Q^n	0	00	01	11	10
	1	0	0	1	1
0	1	1	0	0	1
1	1	1	0	0	1

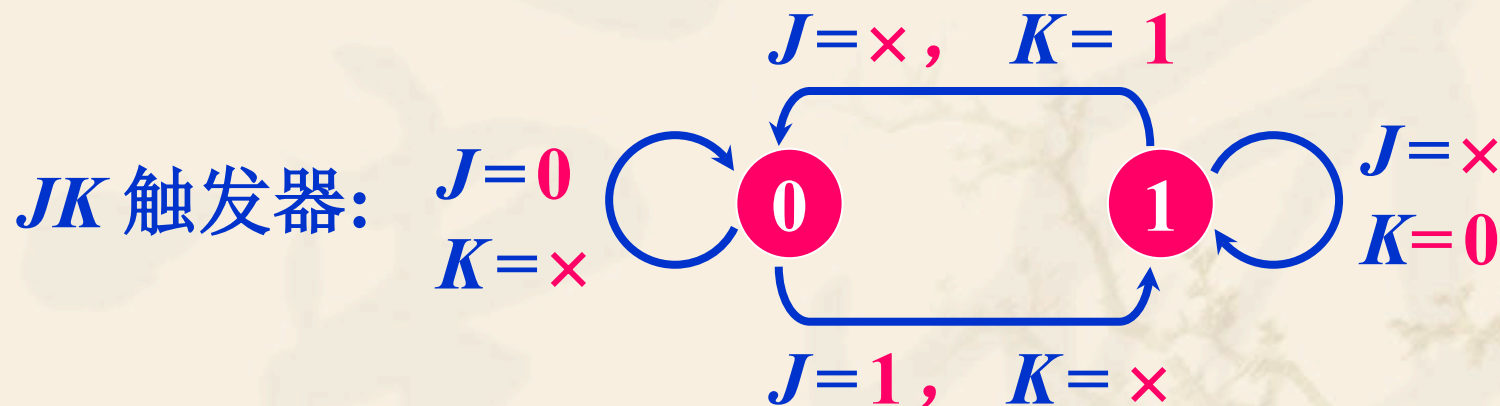
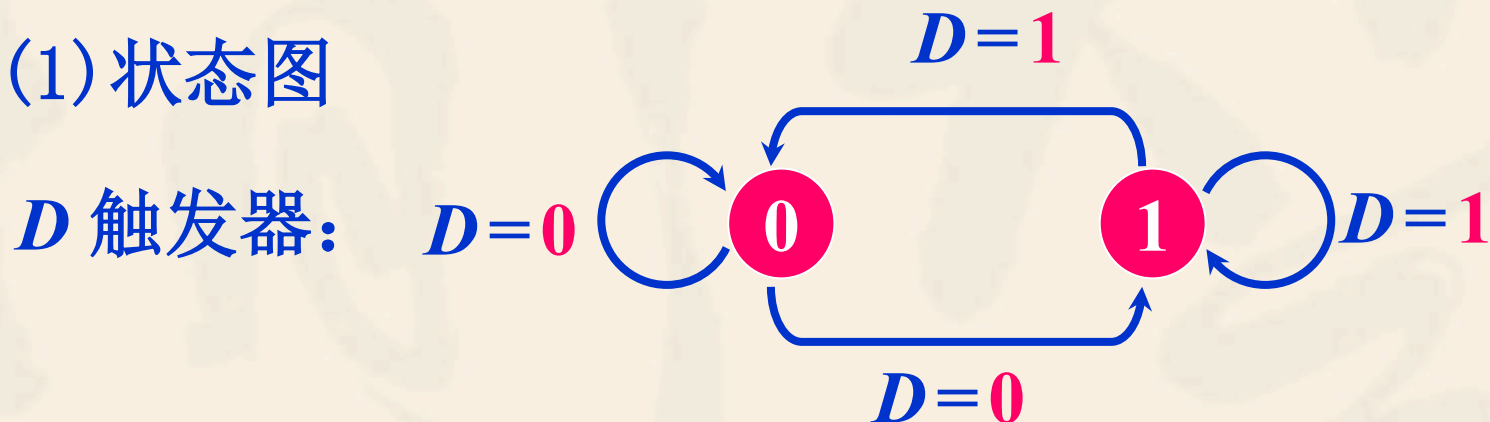
(3) 特性方程

D 触发器: $Q^{n+1} = D$

JK 触发器: $Q^{n+1} = J\overline{Q}^n + \overline{K}Q^n$

2. 状态图和时序图

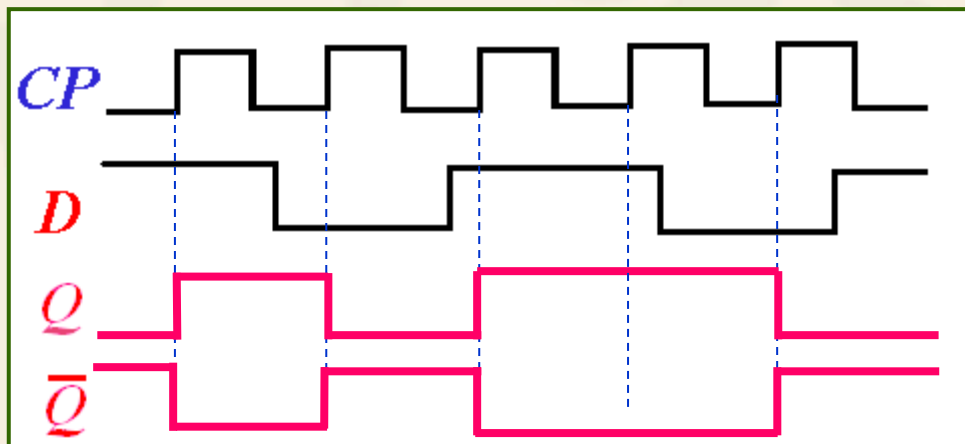
(1) 状态图



(2) 时序图

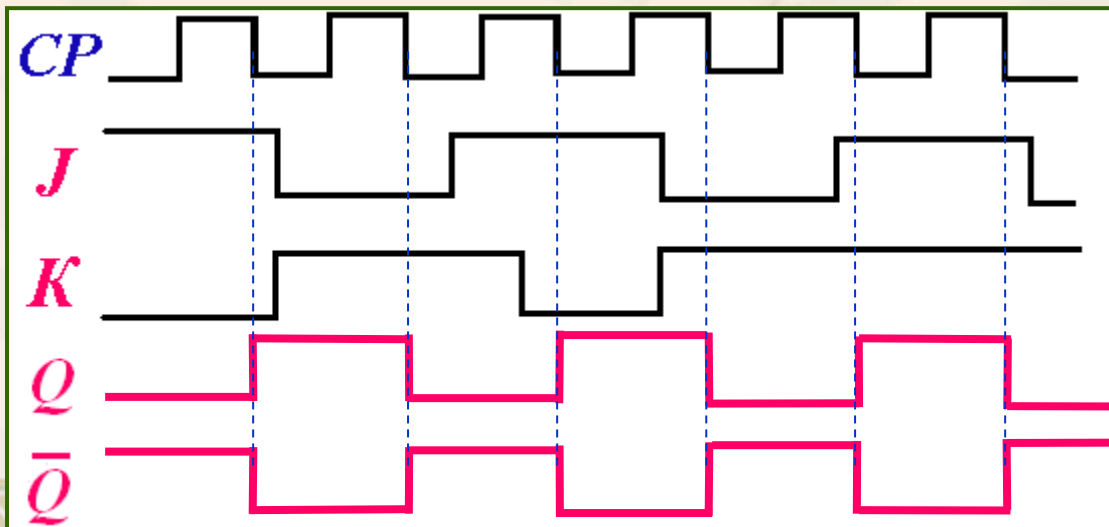
特点：表述了 CP 对输入和触发器状态在时间上的对应关系和控制或触发作用。

D 触发器：



CP 上升沿触发

JK 触发器：



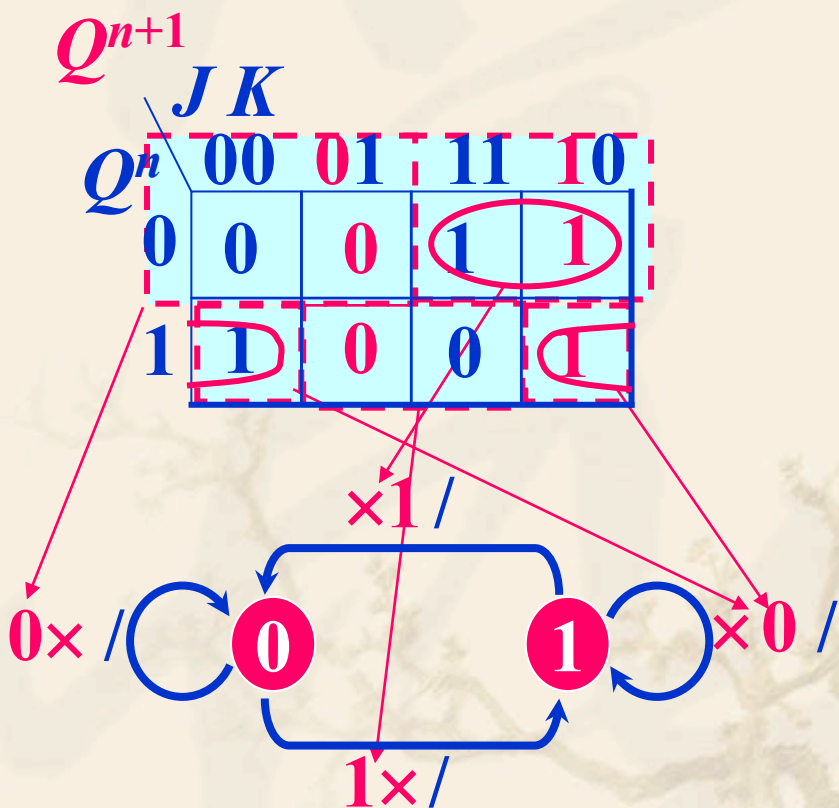
CP 下降沿触发

三、边沿触发器逻辑功能表示方法间的转换

1. 特性表 → 卡诺图、特性方程、状态图和时序图

(1) 特性表 → 卡诺图、状态图

J	K	Q^{n+1}	功能
0	0	Q^n	保持
0	1	0	置0
1	0	1	置1
1	1	$\overline{Q^n}$	翻转

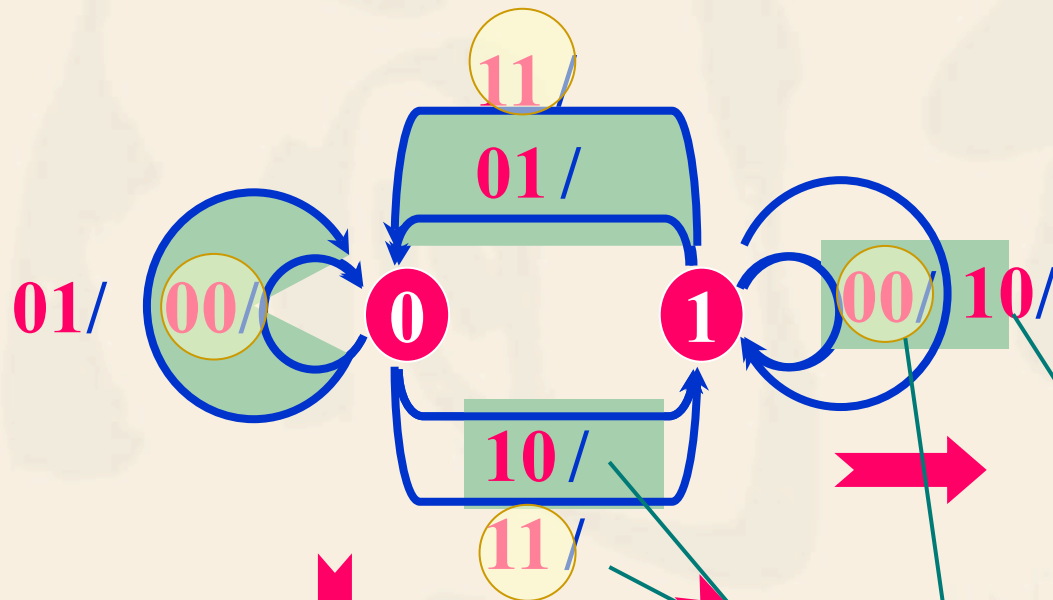


(2) 特性表 → 特性方程

$$Q^{n+1} = JQ^n + \overline{K}Q^n$$

向时序图的转换(略)

2. 状态图 → 特性表、卡诺图、特性方程和时序图



J	K	Q^n	Q^{n+1}
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

Q^{n+1}

JK	00	01	11	10
Q^n				
0	0	0	1	1
1	1	0	0	1

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

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

状态图 → 时序图

[例 4.3.1]

已知 CP 、 J 、 K 波形，
画输出波形。
假设初始状态为 0。

