

# 5. 触发器

## 5.1 概 述

## 5.2 基本RS触发器

## 5.3 同步触发器

## 5.4 主从触发器

## 5.5 边沿触发器

# 5.1 概 述

---

## 一、什么是触发器？

触发器是具有 **记忆** 功能的基本 **存储单元**，  
可用来存储 1 位二进制信息。

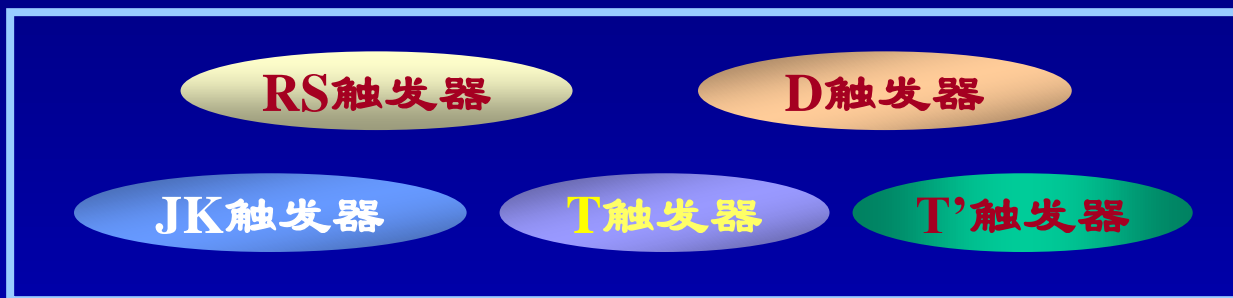
## 二、基本特性

-  具有两个能自行保持的稳定状态
-  根据不同的输入信号置成 **1** 态或 **0** 态

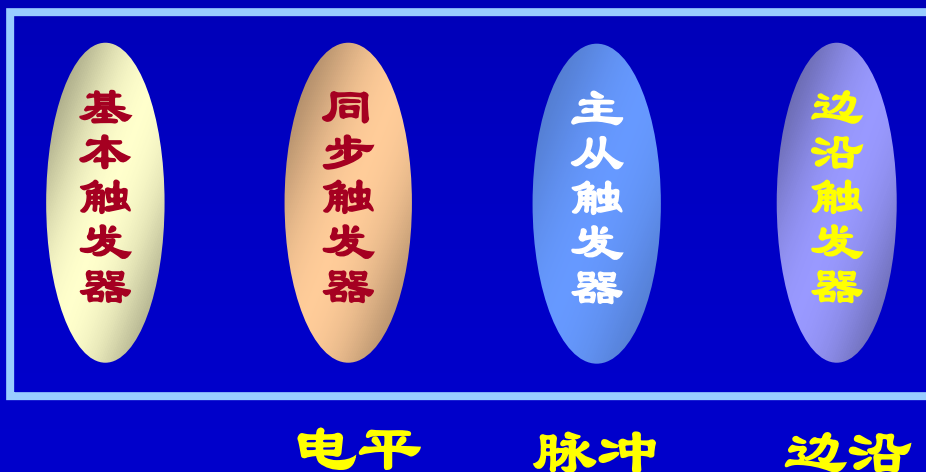
# 5.1 概 述

## 三、分类

### 1、根据逻辑功能分类

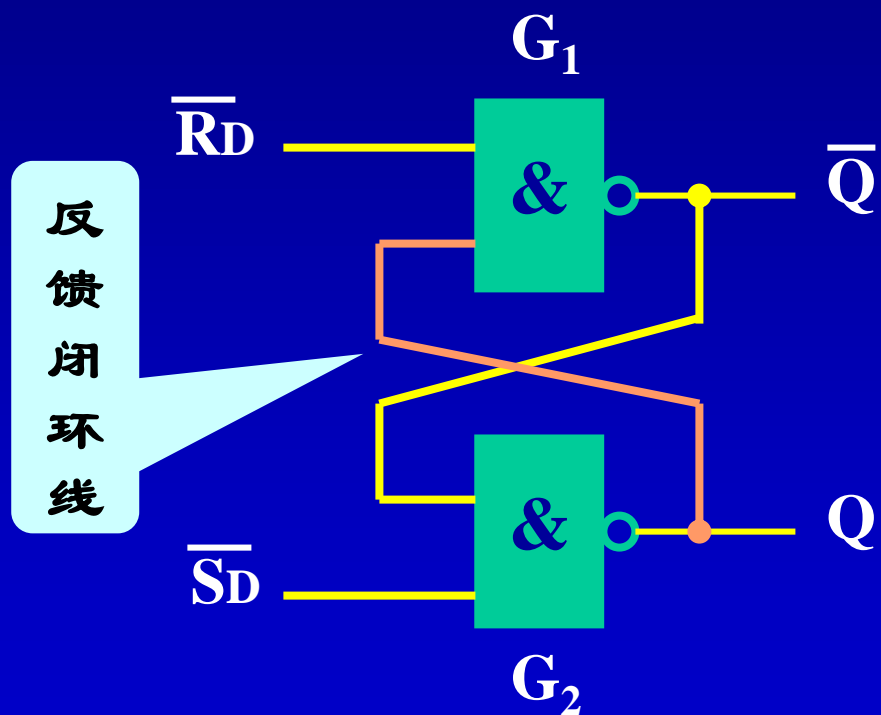


### 2、根据电路结构分类

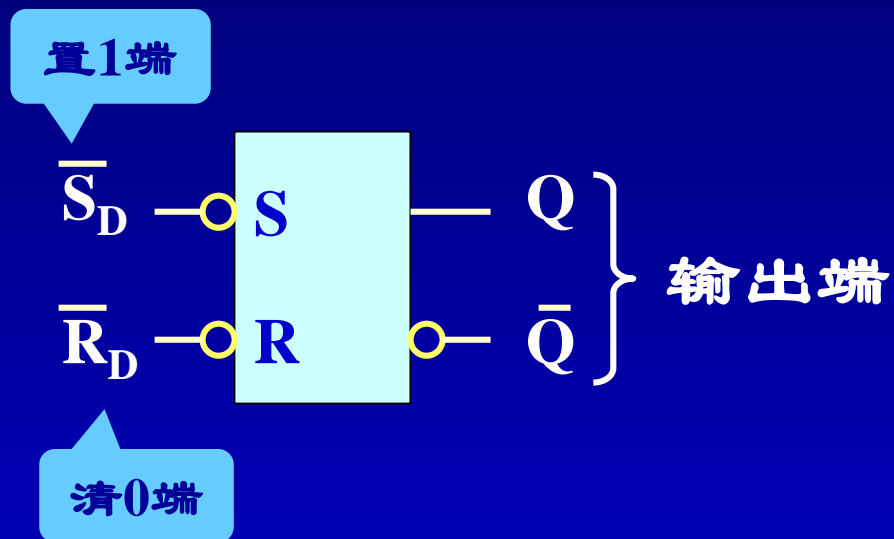


## 5.2 基本RS触发器

### 一、电路结构



基本RS触发器

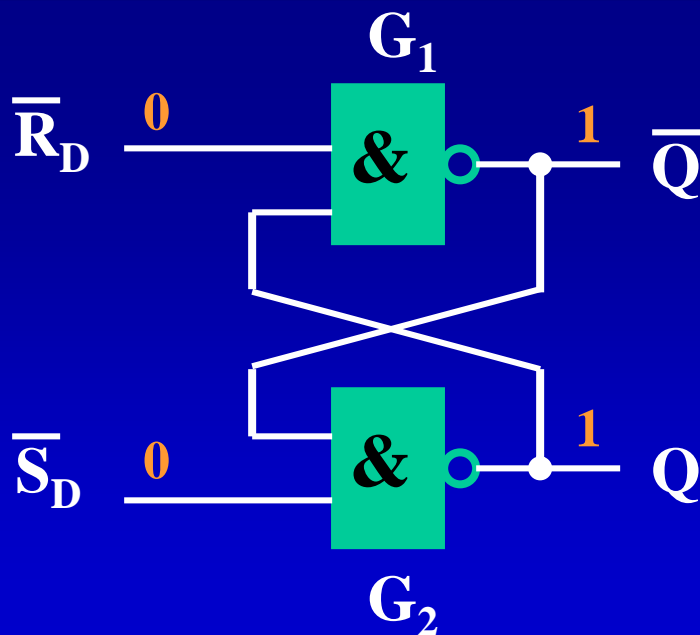


图形符号

$Q=1, \overline{Q}=0$ , 触发器为1态;  
 $Q=0, \overline{Q}=1$ , 触发器为0态;

## 5.2 基本RS触发器

### 二、工作原理



功能表

$\overline{R}_D$	$\overline{S}_D$	$Q$	$\overline{Q}$
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	保持	
0	0	1	1

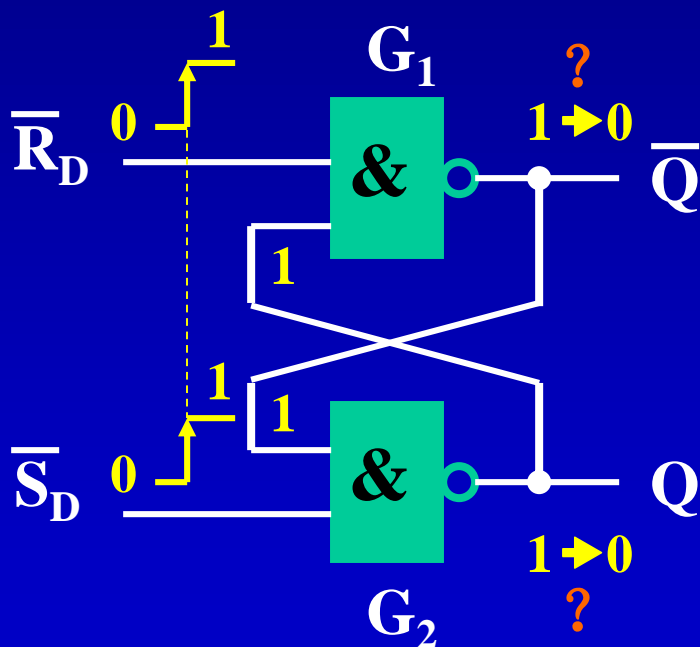
←置0

←置1

## 5.2 基本RS触发器

## 课堂讨论

$\overline{R}_D = 0$ ,  $\overline{S}_D = 0$  后, 若同时由0跳变至1, 次态不确定。



思考：如何避免？

约束条件：

$$\overline{R}_D + \overline{S}_D = 1$$

## 5.2 基本RS触发器

### 三、功能描述

#### 1、状态转移真值表

##### 【问题】

- 1、什么是状态转移真值表？
- 2、状态转移真值表与第四章组合逻辑电路的真值表之间有何差别和联系？

##### 【概念】

将触发器原来的状态 $Q^N$ ，也作为一个变量列入真值表，这种含有状态变量 $Q^N$ 的真值表，叫做触发器的状态转移真值表。

## 5.2 基本RS触发器

状态转移真值表

$\bar{R}_D \bar{S}_D$	$Q^n$	$Q^{n+1}$	
1 1	0	0	保持
	1	1	
0 1	0	0	置0
	1	0	
1 0	0	1	置1
	1	1	
0 0	0	x	♣ 不确定
	1	x	

简化

$\bar{R}_D \bar{S}_D$	$Q^{n+1}$
1 1	$Q^n$
0 1	0
1 0	1
0 0	不确定

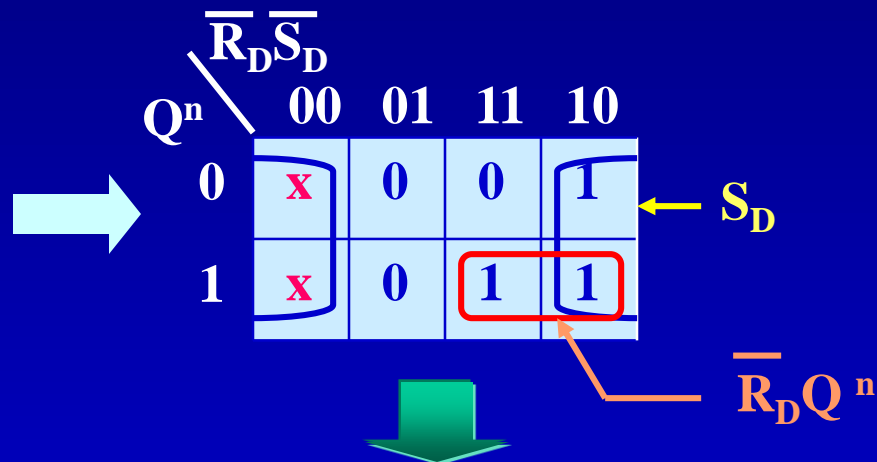


## 5.2 基本RS触发器

### 2、状态方程（特征方程）

触发器的逻辑表达式，称为状态方程或特征方程。

$\overline{R}_D \overline{S}_D$	$Q^n$	$Q^{n+1}$
1 1	0	0
	1	1
0 1	0	0
	1	0
1 0	0	1
	1	1
0 0	0	x
	1	x



状态方程

$$\begin{cases} Q^{n+1} = S_D + \overline{R}_D Q^n \\ \overline{R}_D + \overline{S}_D = 1 \text{ (约束条件)} \end{cases}$$

## 5.2 基本RS触发器

### 3、激励表

触发器由 **当前状态**  $Q^N$  转移至 **次态**  $Q^{N+1}$  时，对输入信号的要求。

$\overline{R}_D \overline{S}_D$	$Q^n$	$Q^{n+1}$
1 1	0	0
	1	1
0 1	0	0
	1	0
1 0	0	1
	1	1
0 0	0	x
	1	x



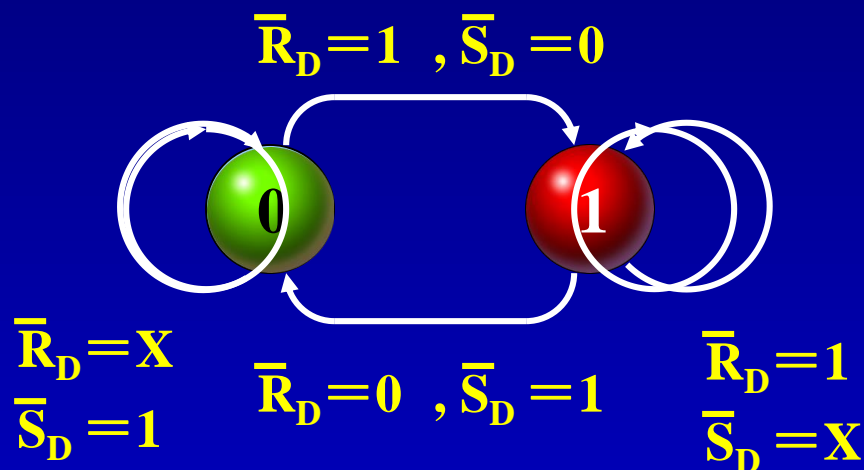
激励表

状态转移 $Q^n \rightarrow Q^{n+1}$	激励输入 $\overline{R}_D \quad \overline{S}_D$	
$0 \rightarrow 0$	X	1
$0 \rightarrow 1$	1	0
$1 \rightarrow 0$	0	1
$1 \rightarrow 1$	1	X

## 5.2 基本RS触发器

### 4、状态转移图

激励表



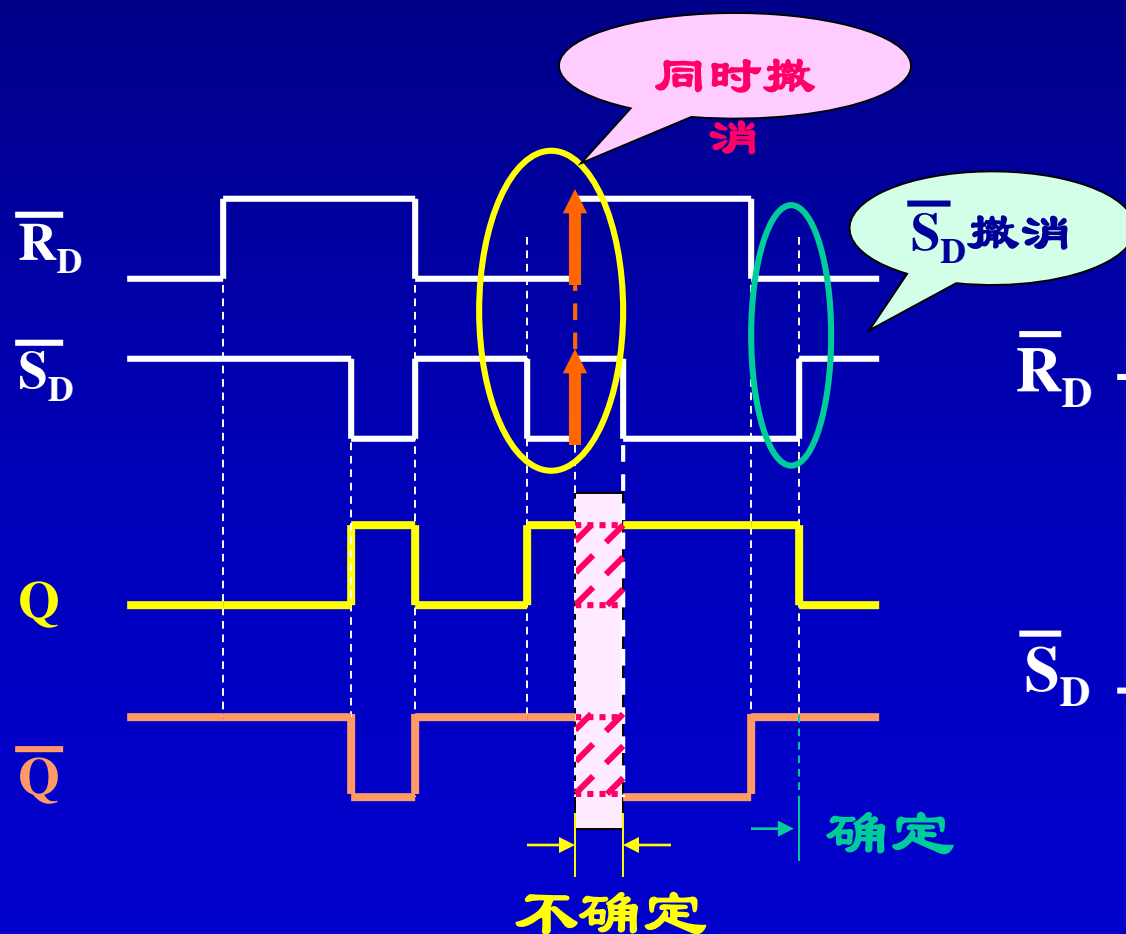
状态转移 $Q^n \rightarrow Q^{n+1}$	激励输入 $\bar{R}_D \quad \bar{S}_D$	
$0 \rightarrow 0$	X	1
$0 \rightarrow 1$	1	0
$1 \rightarrow 0$	0	1
$1 \rightarrow 1$	1	X

- 圆圈：FF的两个稳定状态
- 箭头：状态转移的方向
- 标注：状态转移的条件

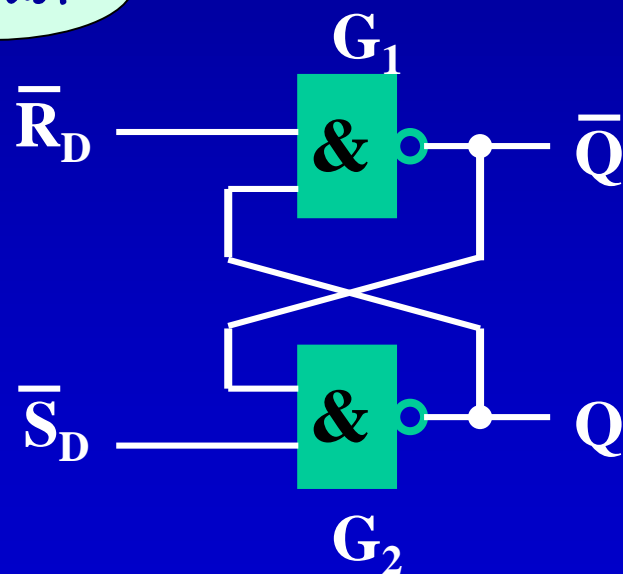
## 5.2 基本RS触发器

### 5、波形图 (时序图)

#### 例1、基本RS-FF 输出波形分析

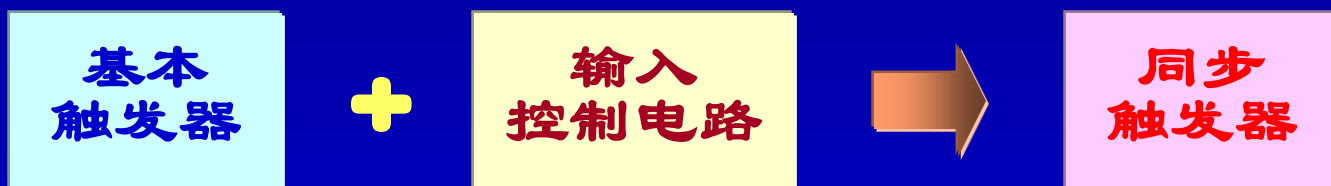


$\overline{R}_D$	$\overline{S}_D$	$Q$	$\overline{Q}$
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	保持	保持
0	0	1	1



## 5.3 同步触发器

- 一、什么是同步触发器？
- 二、为什么要设计同步触发器？
- 三、如何由基本触发器得到同步触发器？

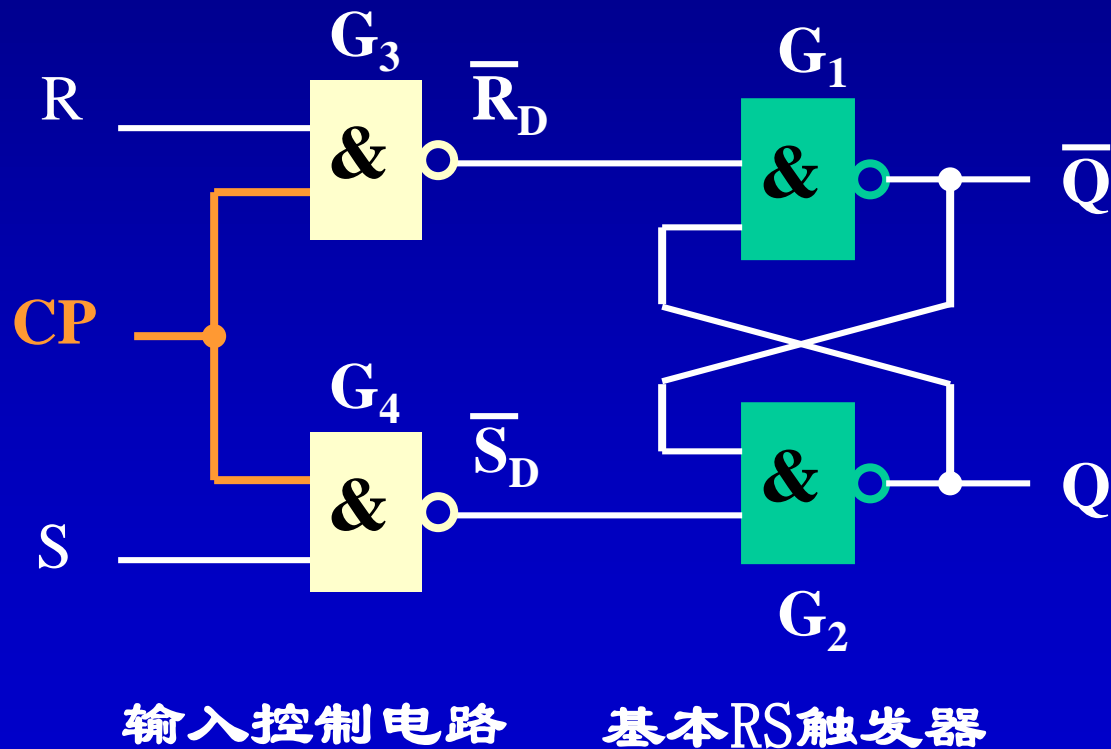


{ 控制输入：决定状态转移的方向，解决“如何翻”；  
时钟输入：决定状态转移的时刻，解决“何时翻”；

## 5.3 同步触发器

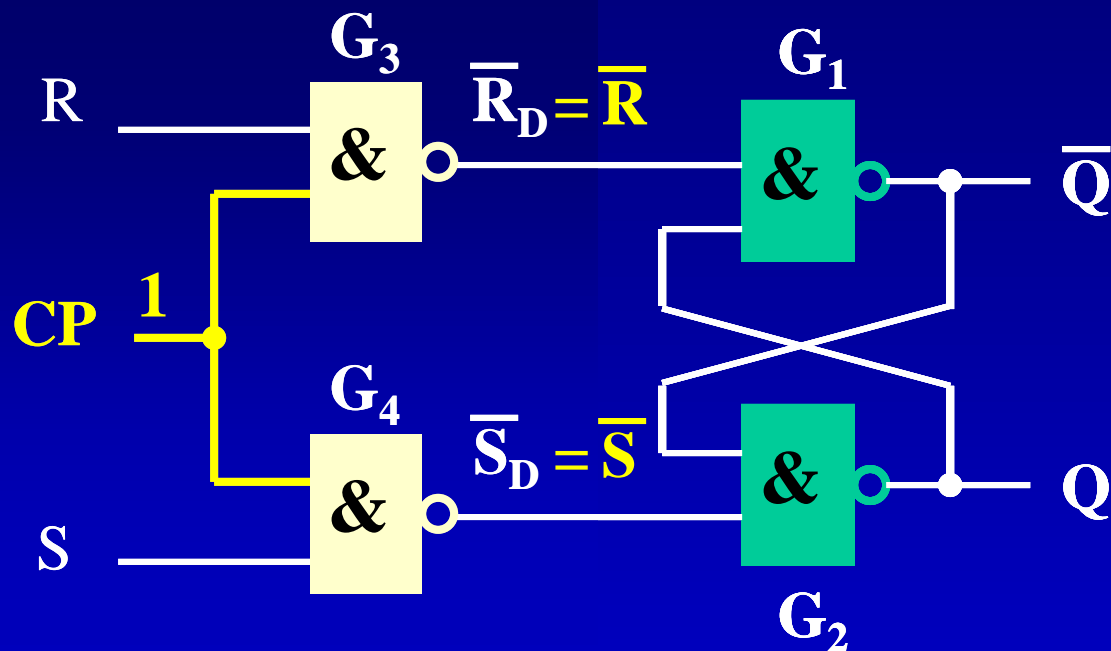
### 四、同步RS触发器

#### 1、电路结构



## 5.3 同步触发器

### 2、工作原理




- (1)  $CP = 0$  期间, FF 状态保持**不变**;
- (2)  $CP = 1$  期间, FF 状态随  $R$ 、 $S$  **改变**;

## 5.3 同步触发器

### 3、功能描述

#### (1) 状态转移真值表

CP	R S	$Q^n$	$Q^{n+1}$
0	X X	0	0
		1	1
1	0 0	0	0
		1	1
	1 0	0	0
		1	0
	0 1	0	1
		1	1
	1 1	0	X
		1	X



		RS			
$Q^n$		00	01	11	10
		0	1	x	0
1		1	1	x	0

$\overline{RQ^n}$       S



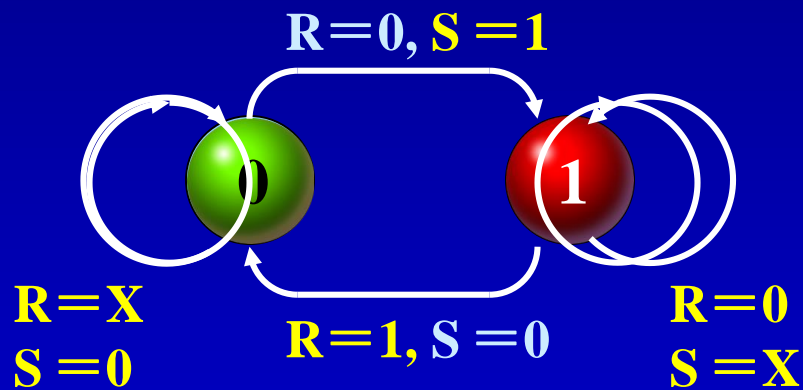
#### (2) 特征方程

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



## 5.3 同步触发器

### (3) 状态转移图

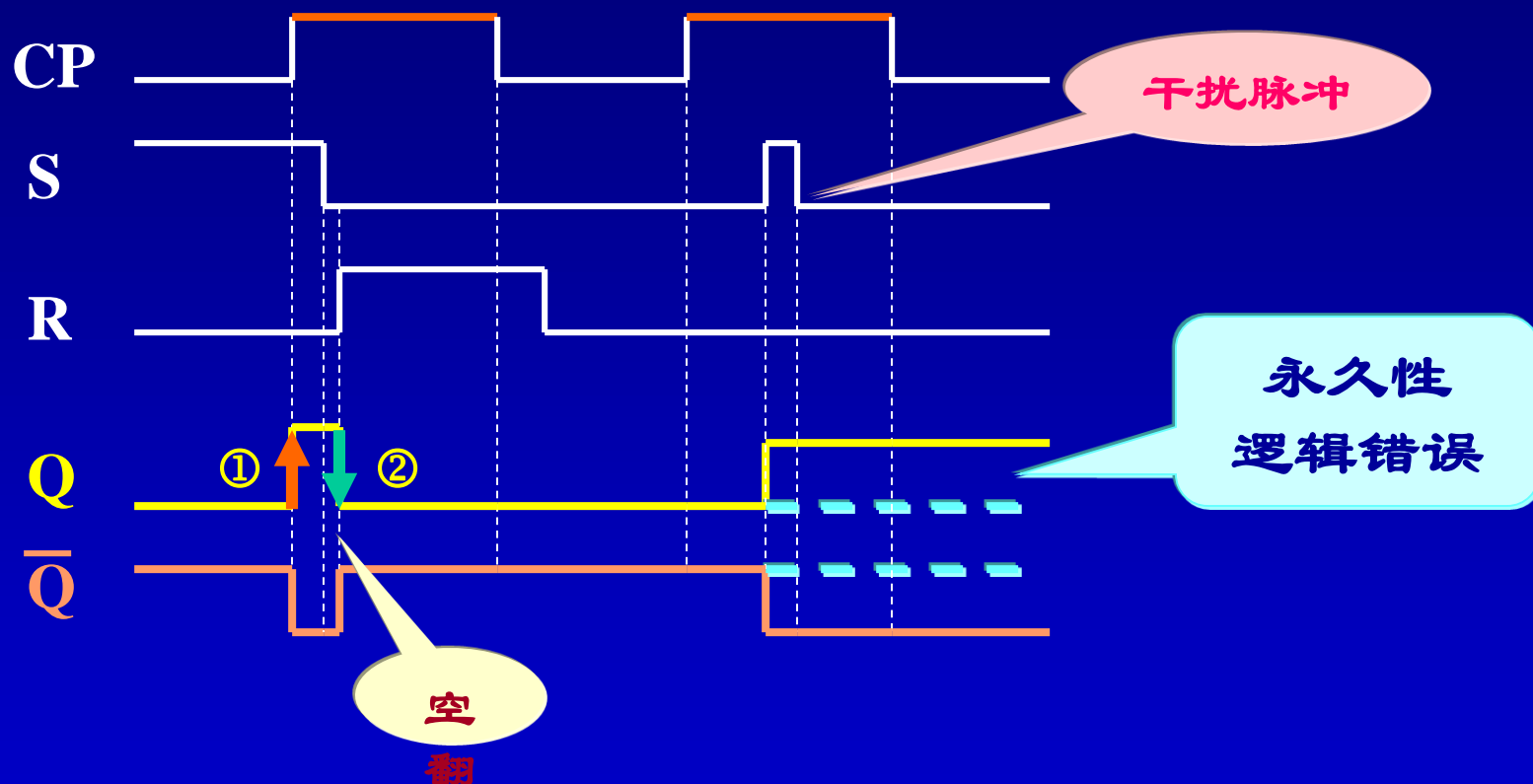


状态转移表

R	S	$Q^n$	$Q^{n+1}$
0	0	0	0
		1	1
0	1	0	1
		1	1
1	0	0	0
		1	0
1	1	0	x
		1	x

## 5.3 同步触发器

### 例2、同步RS触发器输出波形分析



**空翻:** 是指在一个时钟周期里, 触发器状态变化多于一次的现象。

## 5.3 同步触发器

### 五、同步D触发器

#### 1、为什么要设计D触发器？

解决RS-FF在 $R=S=1$ 时的次态不确定问题

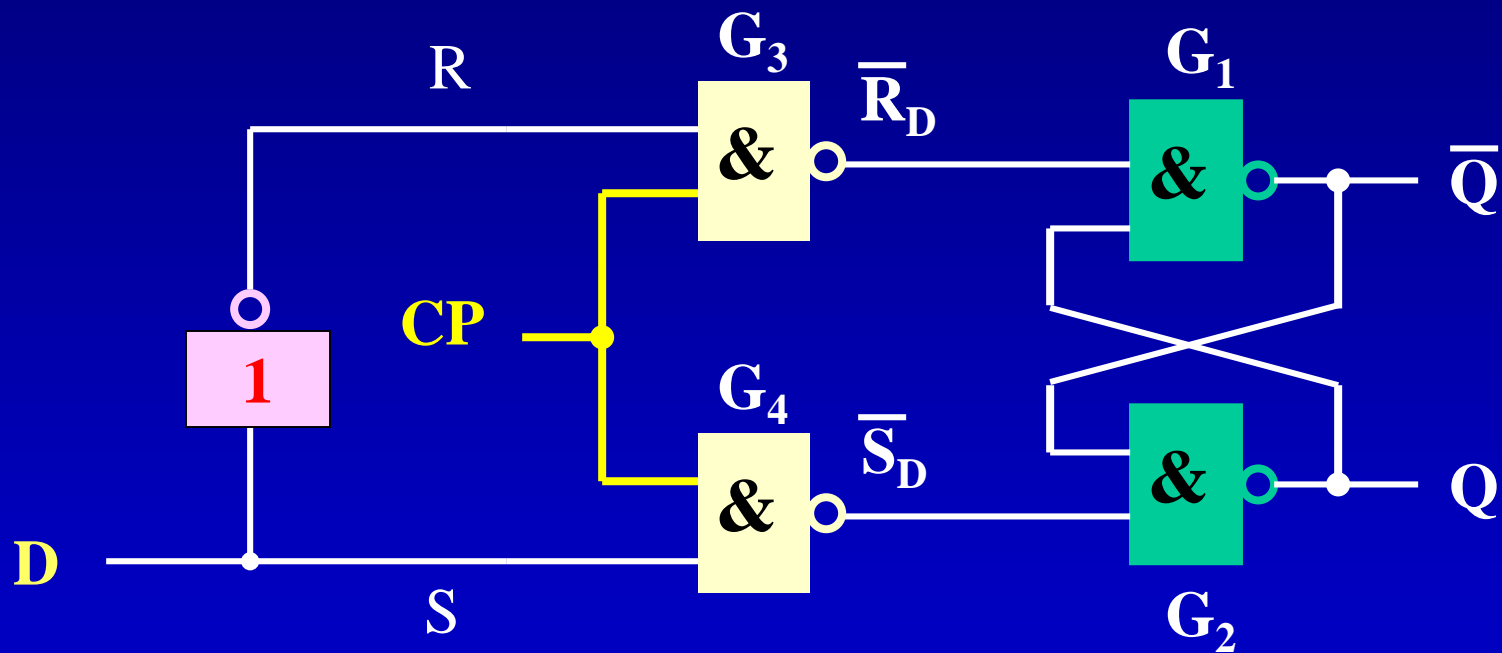
#### 2、如何解决次态不确定问题？

令  $S = \bar{R} = D$

D-FF是RS-FF在  $S = \bar{R}$  条件下的特例

## 5.3 同步触发器

### 3、电路结构



同步D触发器

## 5.3 同步触发器

### 4、特征方程

$$Q^{N+1} = S + \bar{R}Q^N$$

$$\begin{array}{c} S=D \\ \hline \hline R=\bar{D} \end{array} D + DQ^N = D$$

状态转移表

CP	D	$Q^{n+1}$
0	X	$Q^n$
1	0	0
	1	1

} CP=0, FF 状态保持不变

} CP=1,  $Q^{N+1} = D$

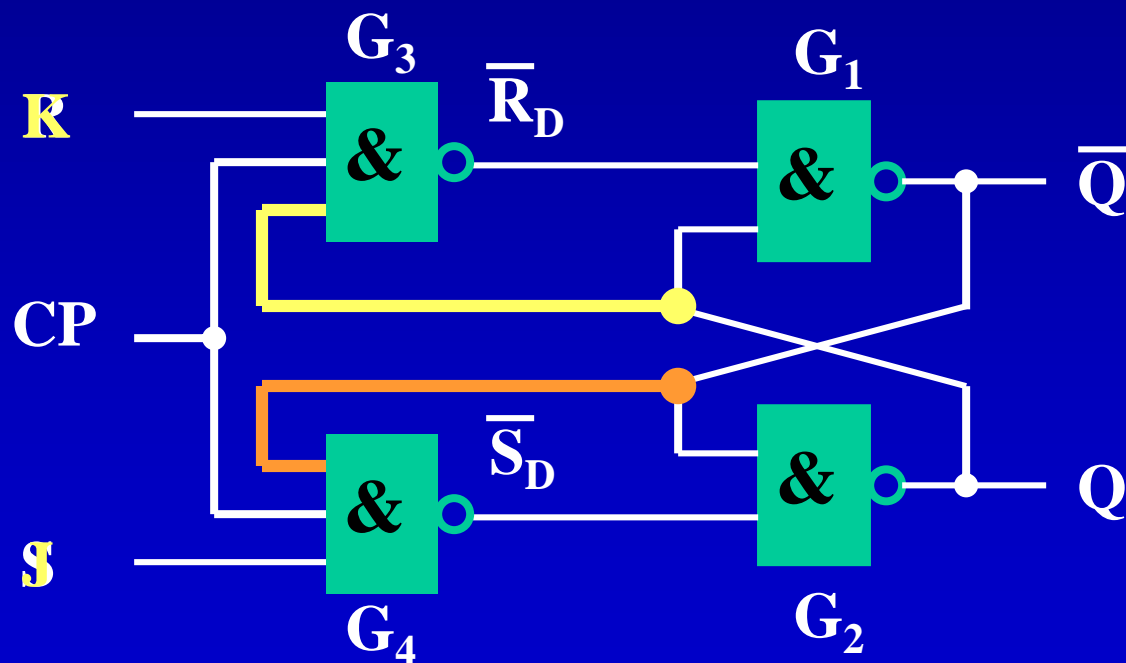
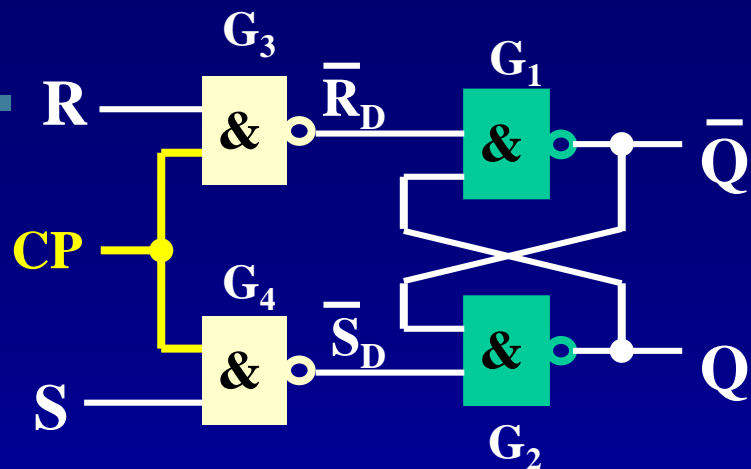
D-FF又叫锁存器

## 5.3 同步触发器

### 六、同步JK触发器

1、为什么要设计 JK 触发器？

2、电路结构



$$\begin{cases} R = K \cdot Q^n \\ S = J \cdot \bar{Q}^n \end{cases}$$

同步RS触发器

## 5.3 同步触发器

---

### 3、工作原理

**结论：**  $J=K=1$  时,  $Q^{n+1} = \overline{Q}^n$  (触发器翻转)

## 5.3 同步触发器

### 4、特征方程

$$Q^{n+1} = S + \bar{R} Q^n \quad (S = J \bar{Q}^n, R = K Q^n)$$

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

$$= J \bar{Q}^n + (\bar{K} + \bar{Q}^n) \cdot Q^n$$

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

约束条件

$$R \cdot S = K Q^n \cdot J \bar{Q}^n \equiv 0$$

结论：

无论J、K如何变化，约束条件始终得到满足。



## 5.3 同步触发器

状态转移表

CP	J	K	$Q^{n+1}$
0	X	X	$Q^n$
1	0	0	$Q^n$
	0	1	0
	1	0	1
	1	1	$\overline{Q}^n$

← CP=0, 保持

← 保持

← 清 0

← 置 1

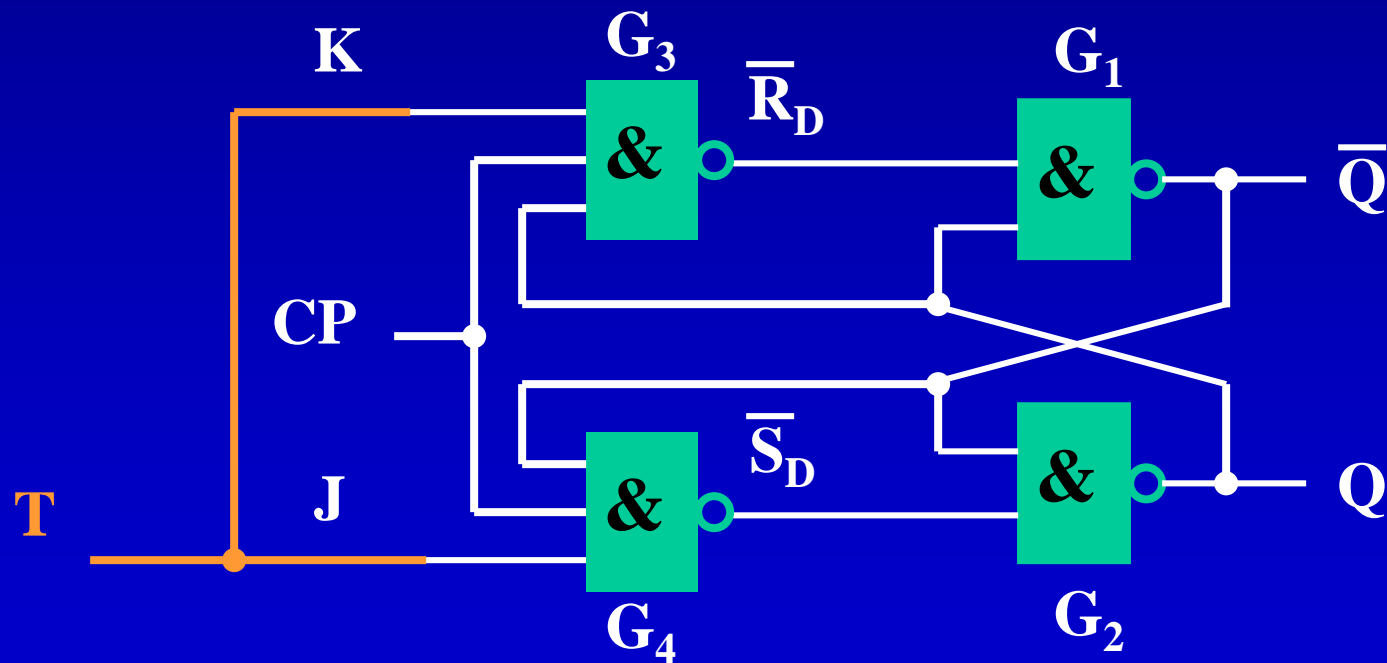
← 翻转

## 5.3 同步触发器

### 七、同步 T 触发器和 T' 触发器

#### 1、同步 T 触发器

##### ① 电路结构



## 5.3 同步触发器

### ② 特征方程

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

$$\underline{\underline{J=K=T}} \quad T \cdot \bar{Q}^n + \bar{T} \cdot Q^n$$

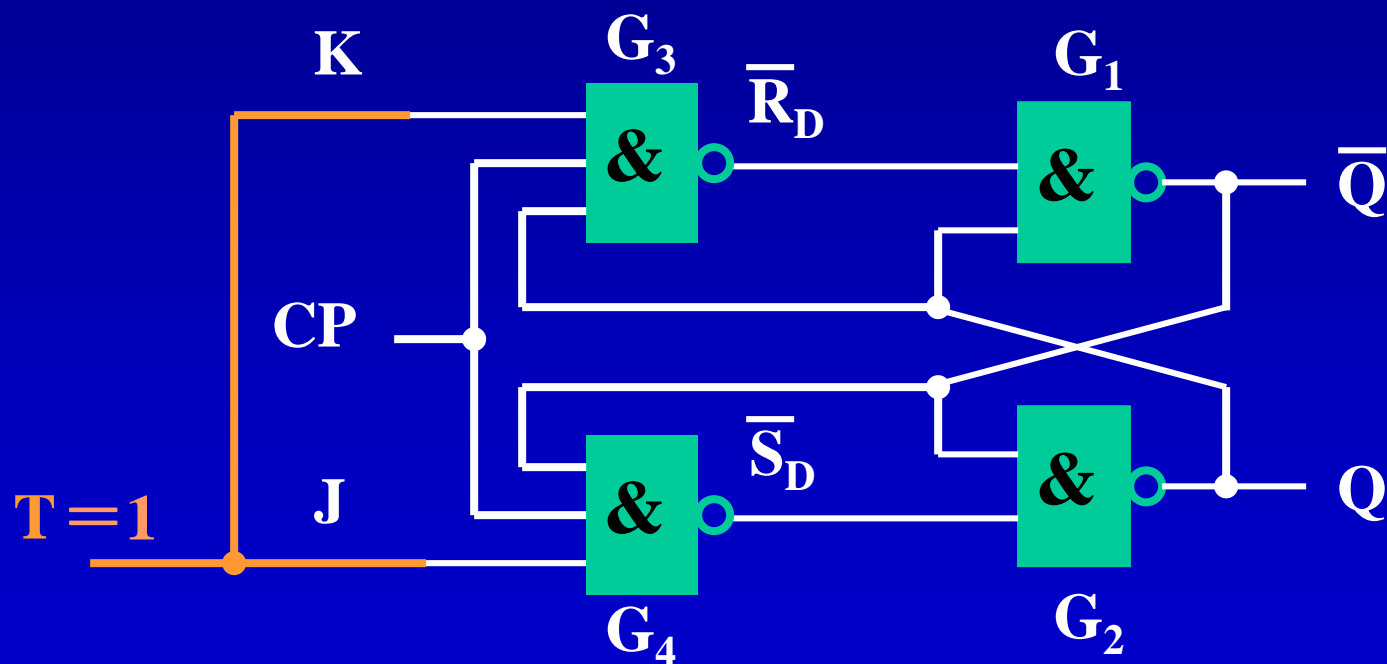
A、  $T=0$ ，  $Q^{n+1} = Q^n$ ， 状态保持

B、  $T=1$ ，  $Q^{n+1} = \bar{Q}^n$ ， 状态翻转

## 5.3 同步触发器

### 2、同步T'触发器

#### ① 电路结构



## 5.3 同步触发器

### ② 特征方程

$$Q^{n+1} = T \cdot \bar{Q}^n + \bar{T} \cdot Q^n$$

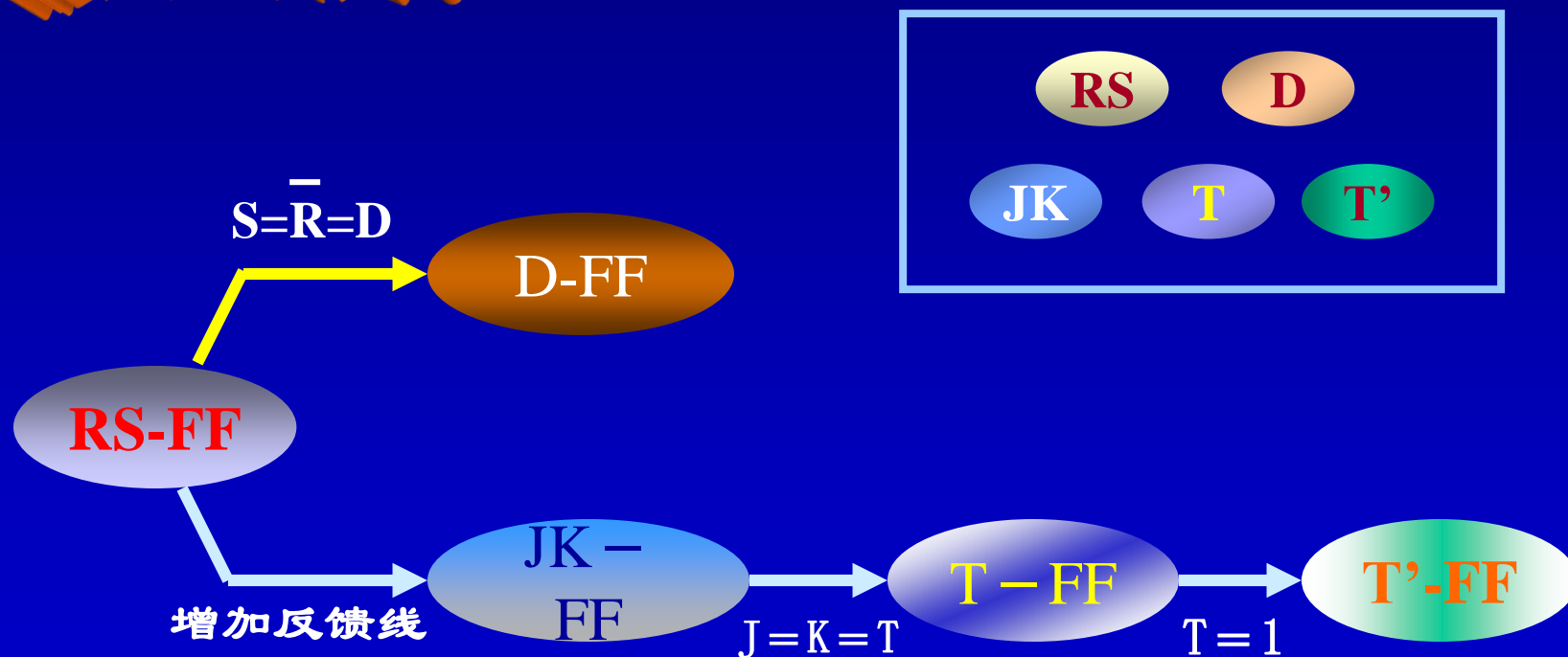
$$\stackrel{T=1}{=} T \cdot \bar{Q}^n + \bar{T} \cdot Q^n$$

$$= \bar{Q}^n$$

常用于计数器电路

## 5.3 同步触发器

### 触发器类型小结



## 5.3 同步触发器

### 七、同步触发器的空翻现象

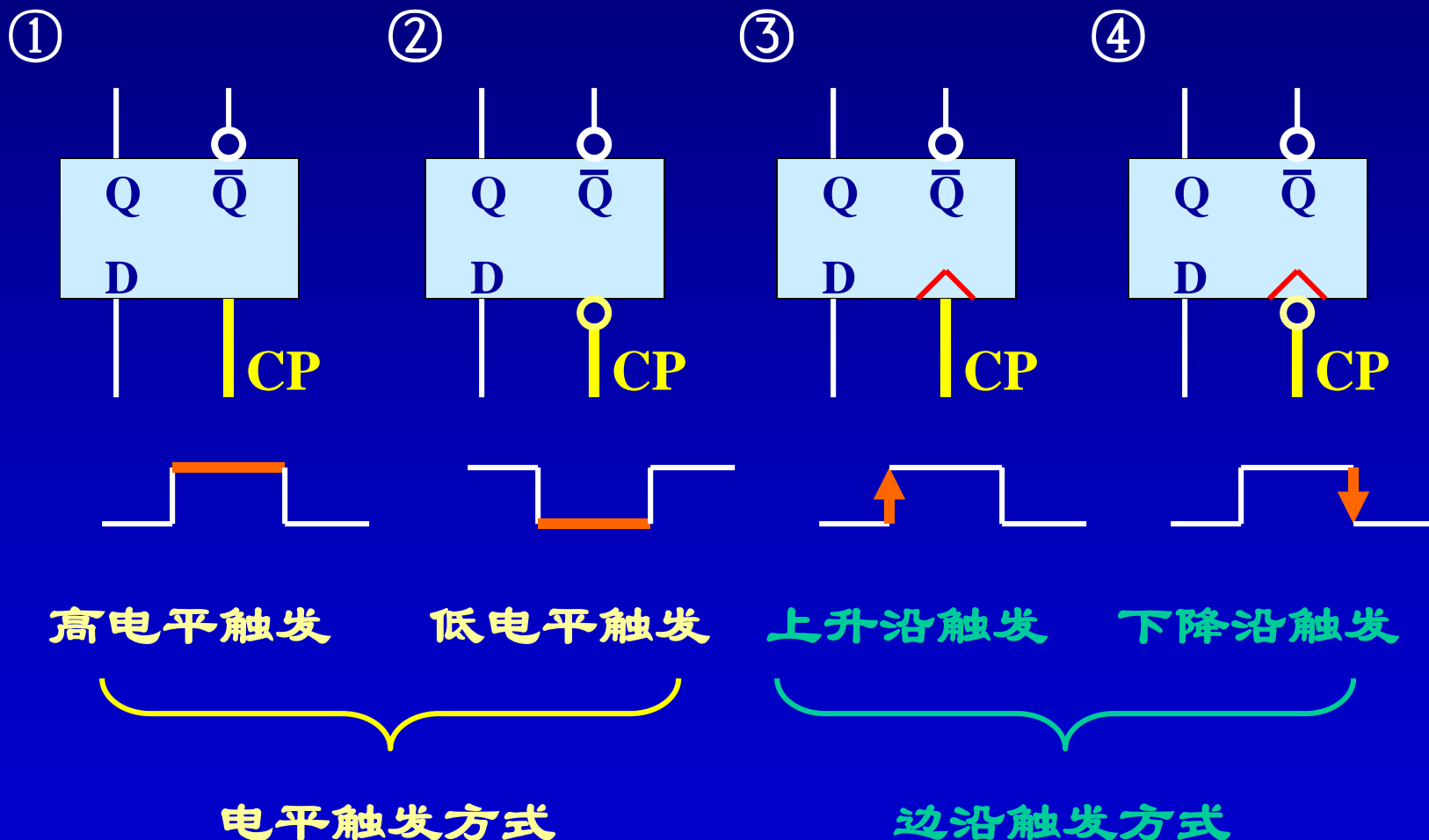
#### 1、触发方式及其分类

触发方式：是指FF在时钟脉冲的什么阶段，才能够接受控制输入信号，改变状态。



## 5.3 同步触发器

### 图形表示





## 5.3 同步触发器

2、同步触发器的触发方式  
属于电平触发方式

3、电平触发方式的根本缺陷 —— 空翻

● 什么是空翻？

● 空翻有何危害？

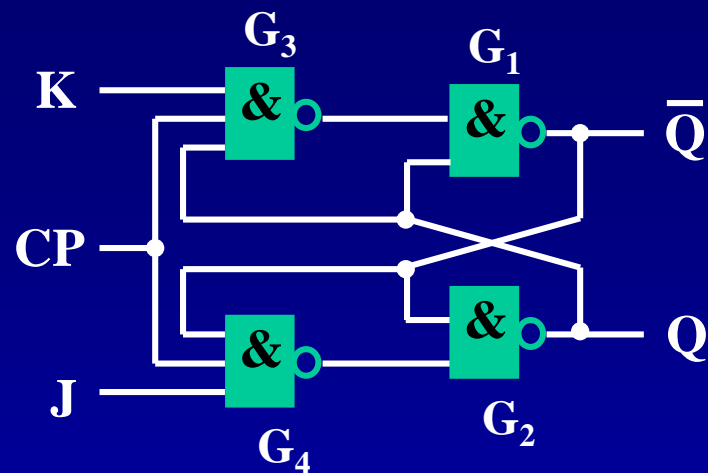
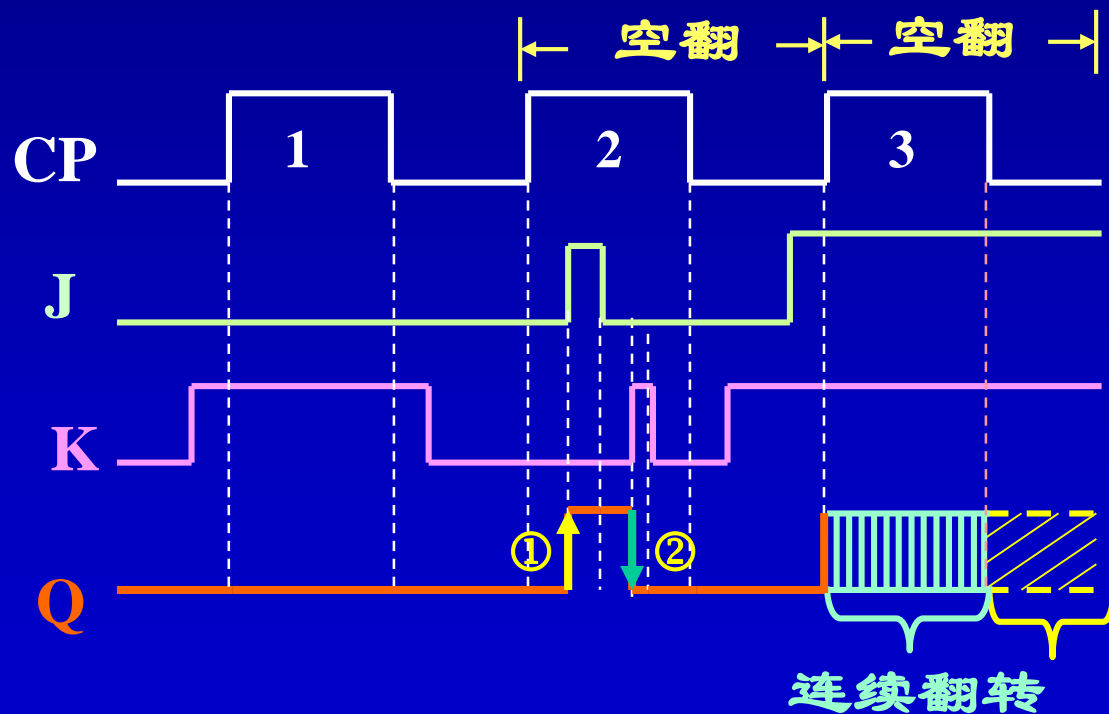
● 空翻产生的原因？

● 解决空翻的办法？

} 例题说明

## 5.3 同步触发器

### 例3、同步JK-FF 波形分析 (空翻现象)



功能表

CP	J	K	$Q^{n+1}$
0	x	x	$Q^n$
1	0	0	$Q^n$
	0	1	0
	1	0	1
	1	1	$\bar{Q}^n$

不确定



## 5.3 同步触发器

---

 如何解决空翻问题？

- (1) 限制CP宽度（操作困难）
- (2) 采用其他电路结构形式

## 5.4 主从触发器

---

### 一、为什么要设计主从触发器？

解决空翻问题

### 二、采用什么结构，才能避免空翻？

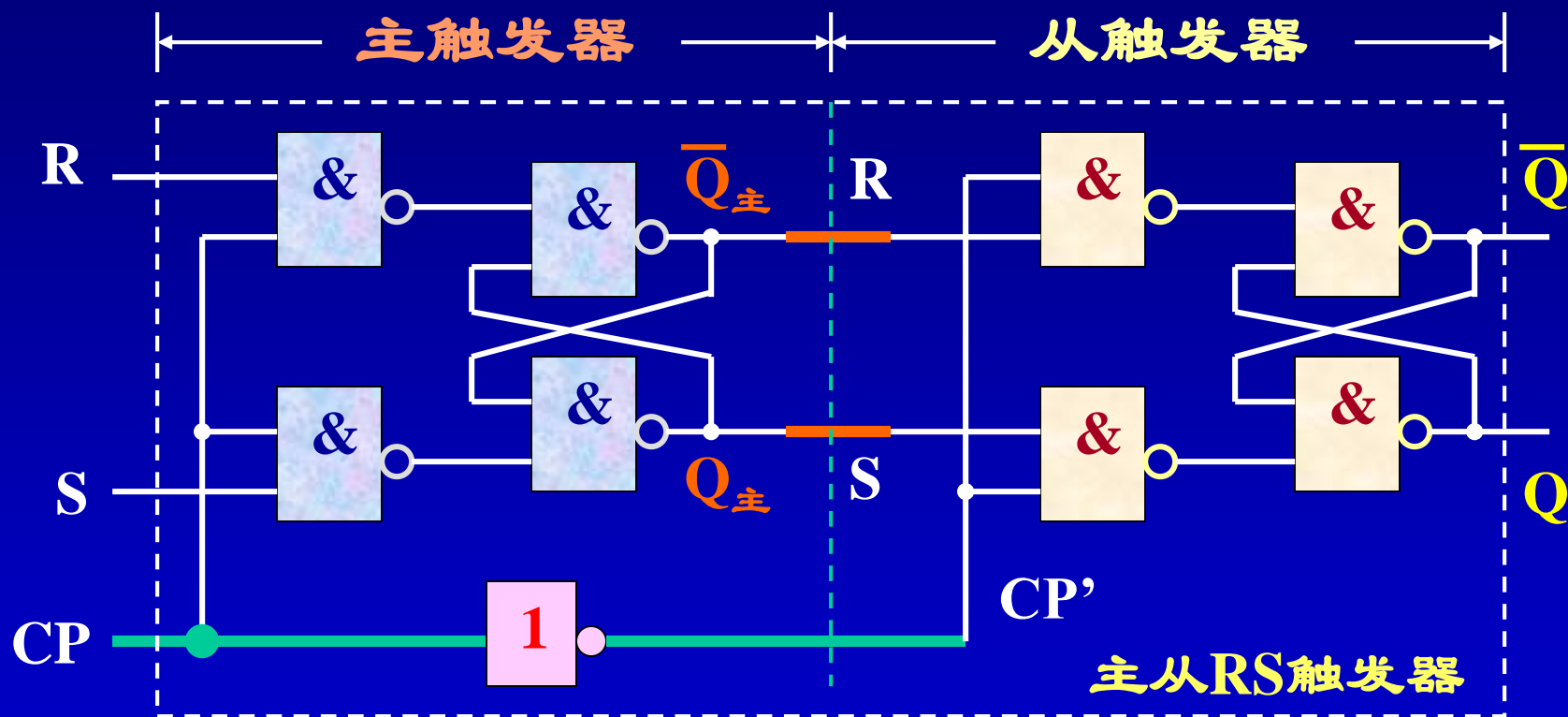
两个同步触发器级联，分时工作

### 三、主从触发器的基本原理

以主从RS触发器为例

## 5.4 主从触发器

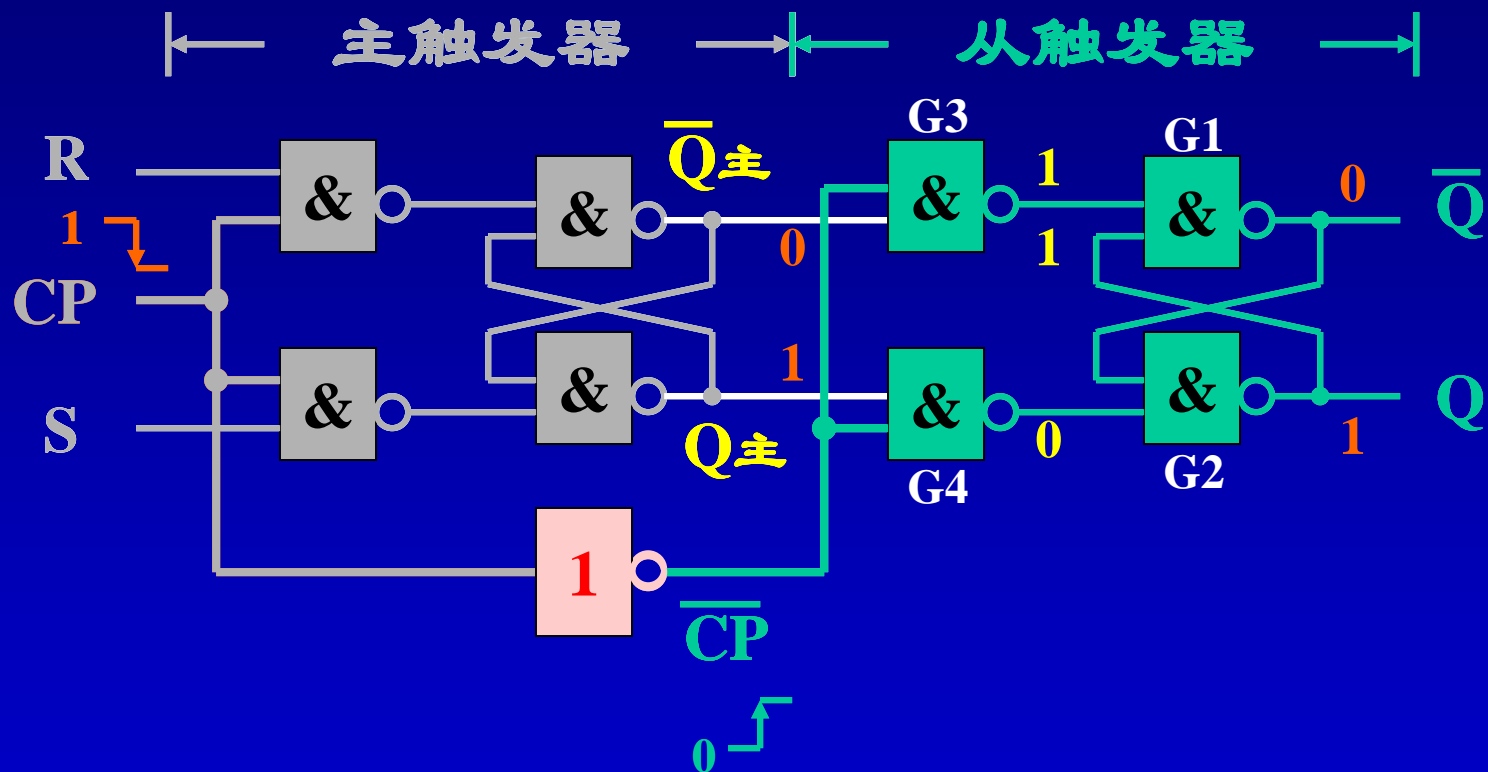
### 1、电路结构



整个触发器有没有可能只在这两个触发器分时工作的交界处，才发生状态翻转？

## 5.4 主从触发器

### 2、工作原理

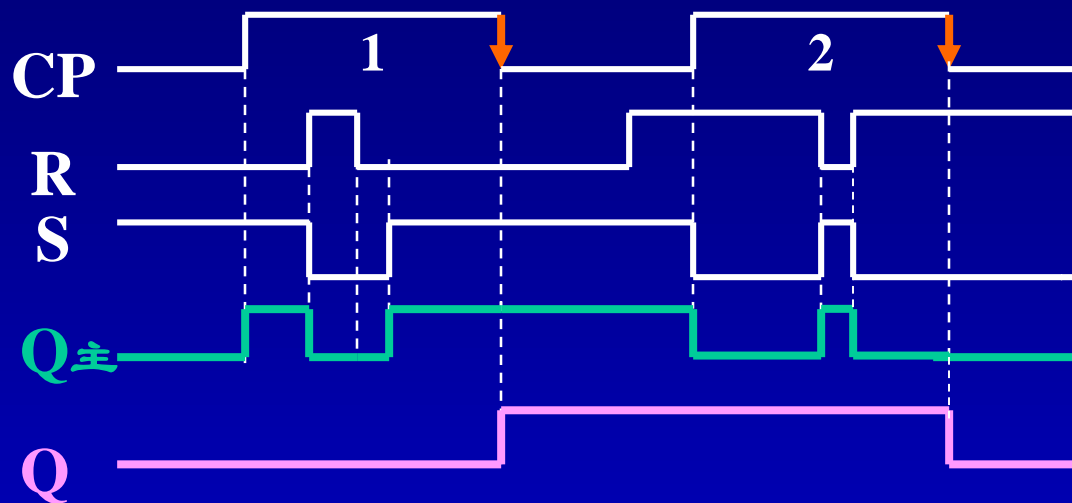


- (1)  $CP=1$ 期间,  $\left\{ \begin{array}{l} \text{主触发器接受控制输入信号 } R、S, \text{ 改变 } Q_{主}; \\ \text{从触发器状态保持不变。} \end{array} \right.$
- (2)  $CP \downarrow$ 时刻, 从触发器向主触发器看齐。



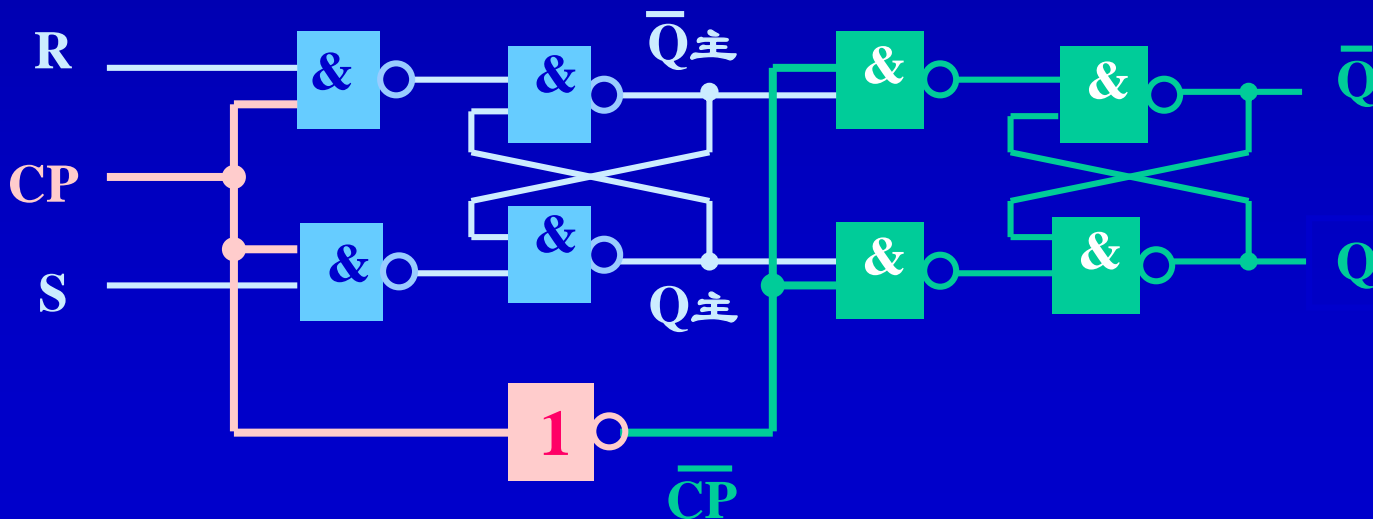
## 5.4 主从触发器

### 例4、主从RS触发器波形分析



功能表

CP	R	S	$Q_{\text{主}}^{n+1}$
0	x	x	$Q_{\text{主}}^n$
1	0	0	$Q_{\text{主}}^n$
	0	1	1
	1	0	0
	1	1	不确定



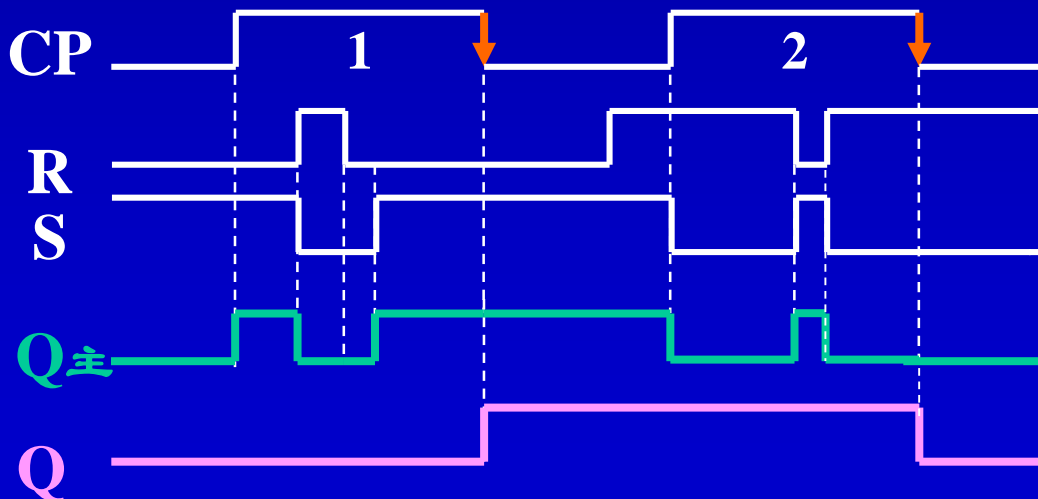
## 5.4 主从触发器



画主从触发器输出波形的步骤

- ☞ 根据功能表，分段画出 $Q_{\text{主}}$ 的波形；
- ☞ 根据 $CP\downarrow$ 时刻的 $Q_{\text{主}}$ ，画出 $Q$ 的波形；

思考：主从触发方式的特点？



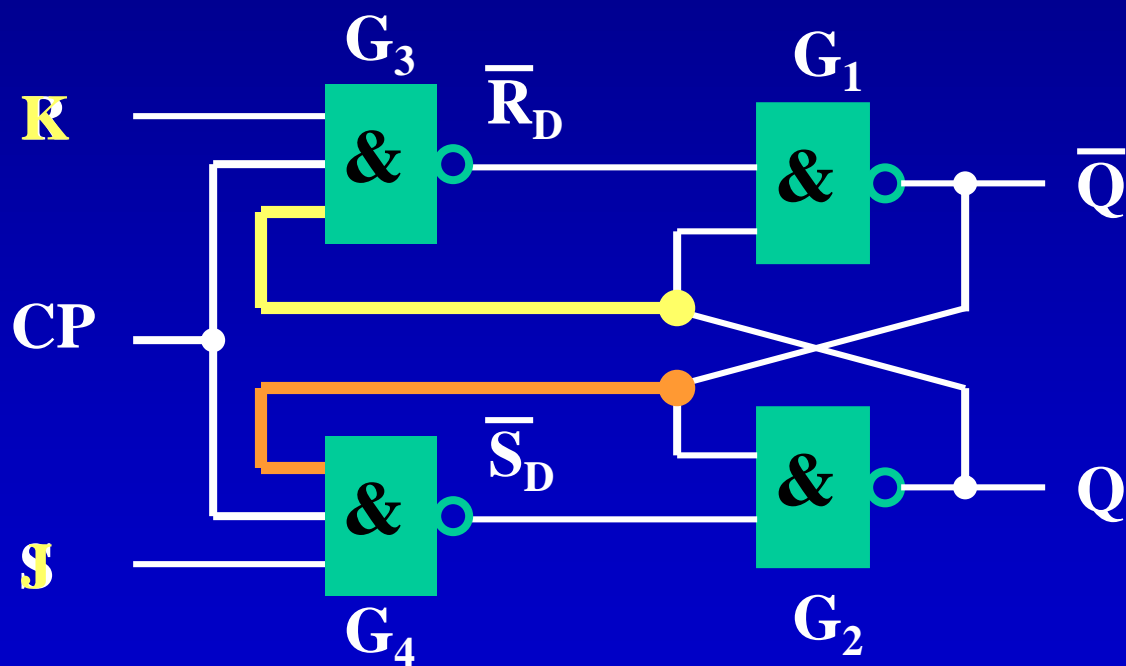


## 5.4 主从触发器

### 四、主从JK触发器

#### 1、电路演变

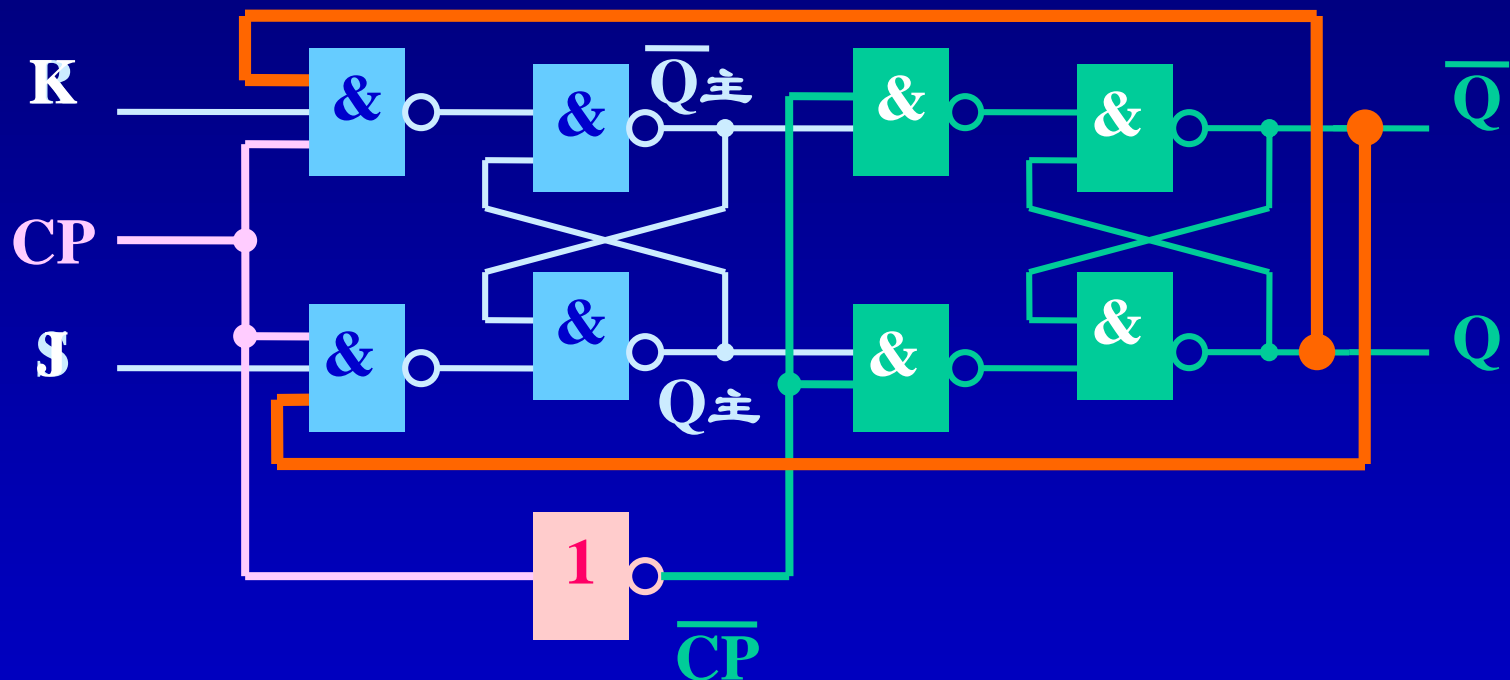
复习：由同步RS-FF构成同步JK-FF的方法



同步RS触发器

## 5.4 主从触发器

如何由主从RS触发器构成主从JK触发器？

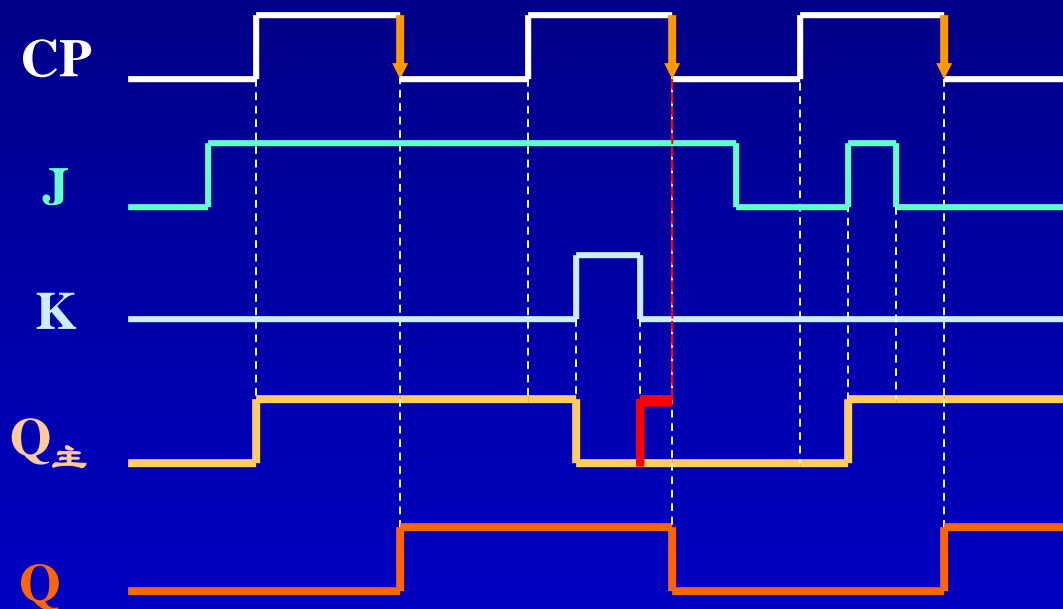


2、**主触发器**的一次翻转特性（主从JK触发器特有）

CP=1 期间，一旦J、K使 $Q_{主}$ 发生一次翻转后，无论J、K再如何变化，都不会使 $Q_{主}$ 再次翻转。

## 5.4 主从触发器

### 例5、主从JK触发器波形分析

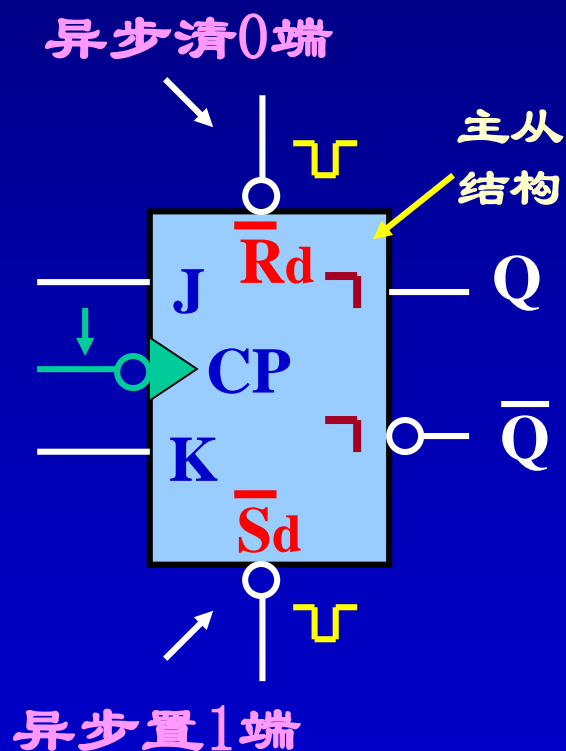


错?

## 5.4 主从触发器

### 五、集成主从 JK 触发器

功能表

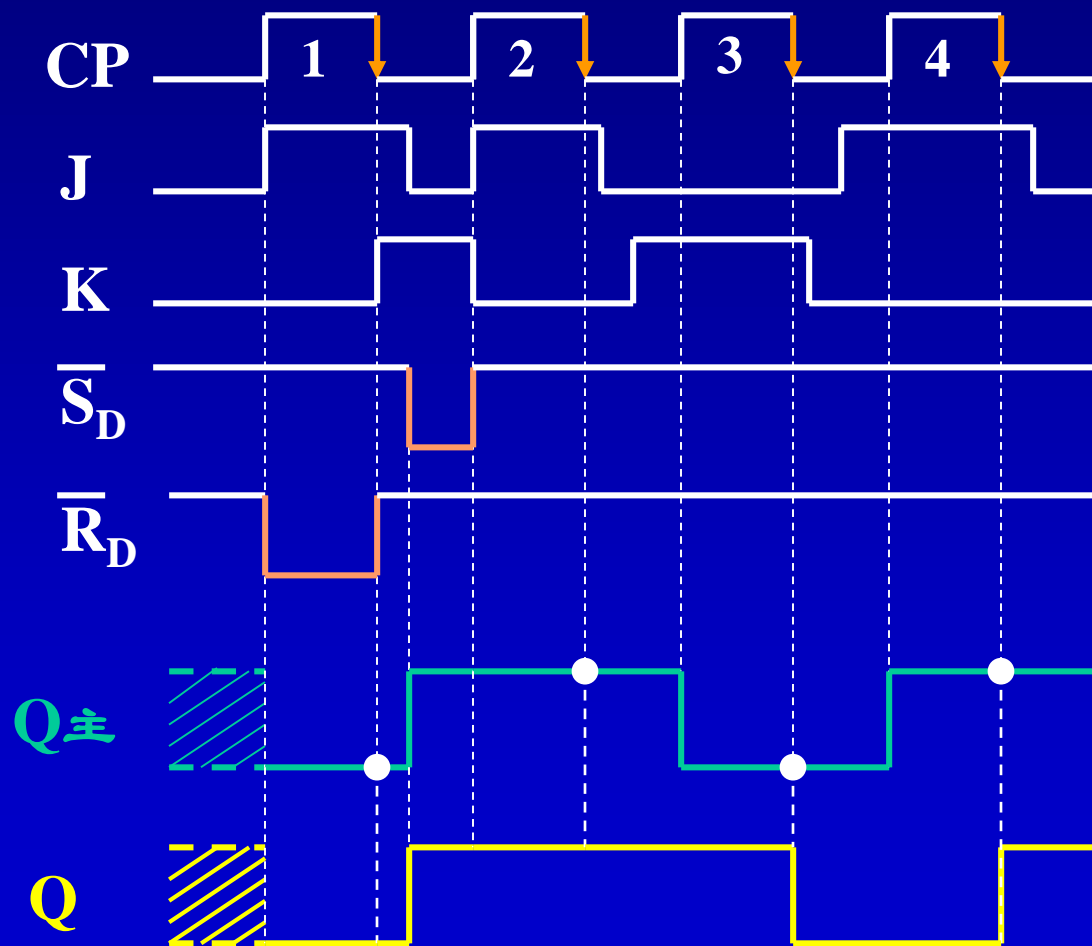


$\overline{R_d}$	$\overline{S_d}$	CP	J	K	$Q^{n+1}$
0	1	X	X	X	0
1	0	X	X	X	1
1	1	$\downarrow$	0	0	$Q^n$
1	1	$\downarrow$	0	1	0
1	1	$\downarrow$	1	0	1
1	1	$\downarrow$	1	1	$\overline{Q^n}$

$\overline{R_d}$ 、 $\overline{S_d}$  优先级最高

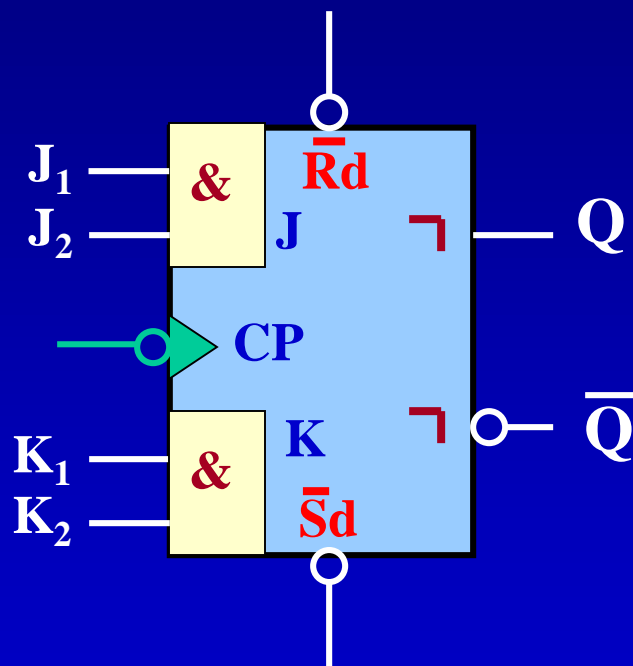
## 5.4 主从触发器

### 例6、带 $\overline{R}_D$ 、 $\overline{S}_D$ 的主从JK触发器波形分析



## 5.4 主从触发器

有多输入端 $J_1$ 、 $J_2$ 和 $K_1$ 、 $K_2$



$$\left. \begin{array}{l} J = J_1 \cdot J_2 \\ K = K_1 \cdot K_2 \end{array} \right\} Q^{n+1} = J_1 \cdot J_2 \cdot \bar{Q}^n + \overline{K_1 \cdot K_2} \cdot Q^n$$

## 5.5 边沿触发器

### 一、为什么要设计边沿触发器？

提高抗干扰能力

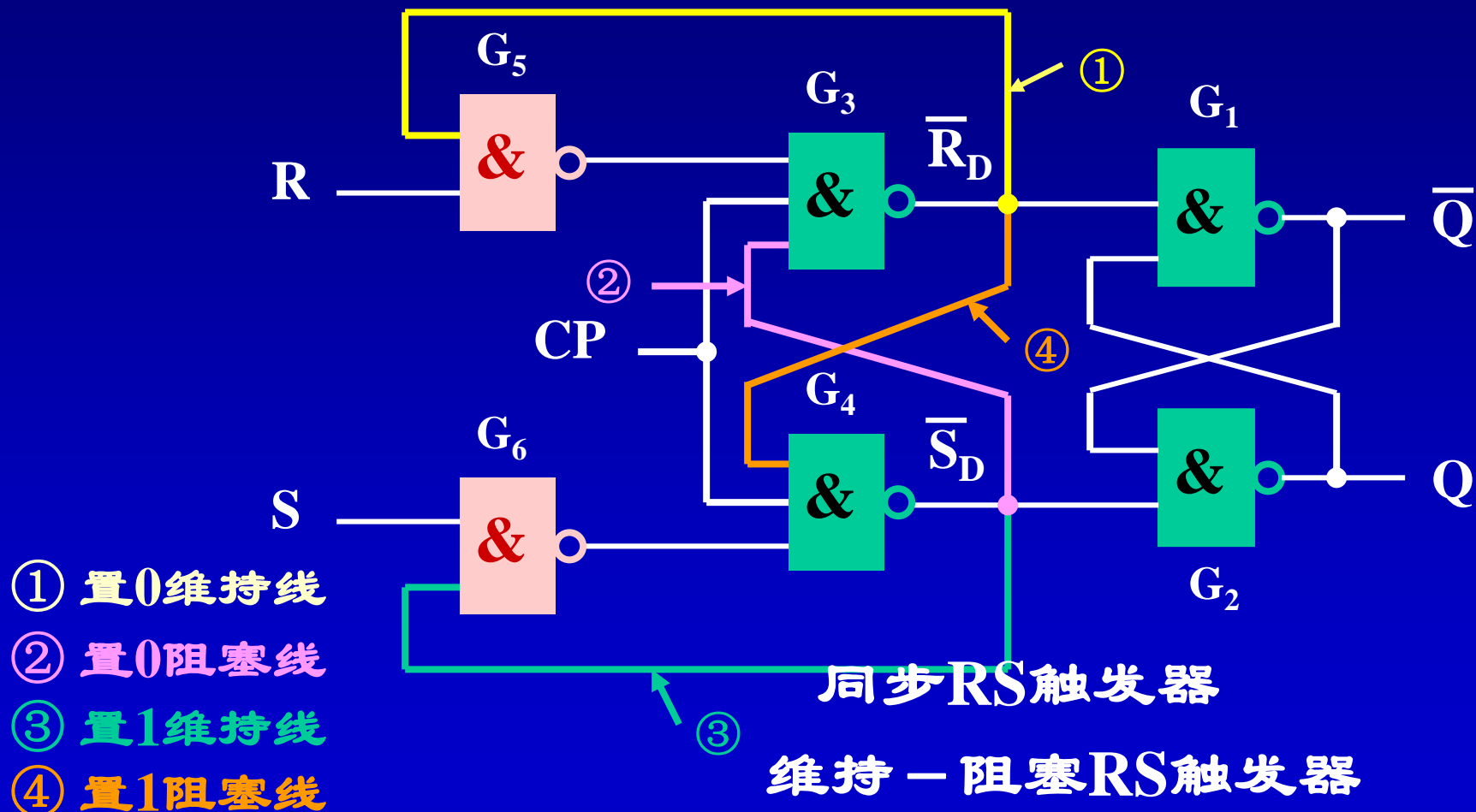
在CP上升沿或下降沿触发

### 二、维持—阻塞触发器

以维持—阻塞 RS触发器为例

## 5.5 边沿触发器

### 1、电路结构 (维持—阻塞RS触发器)





## 5.5 边沿触发器

---

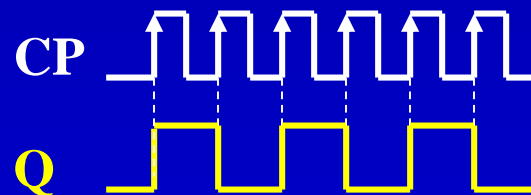
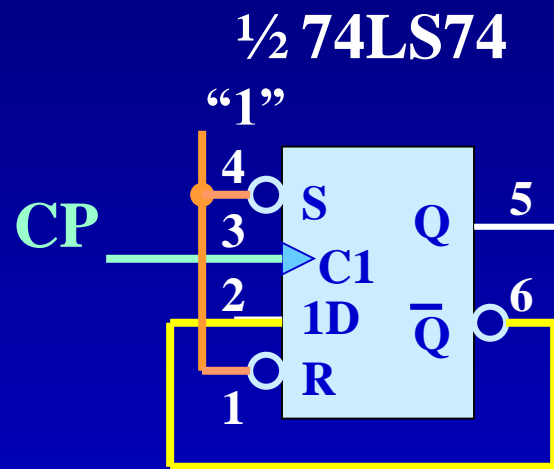
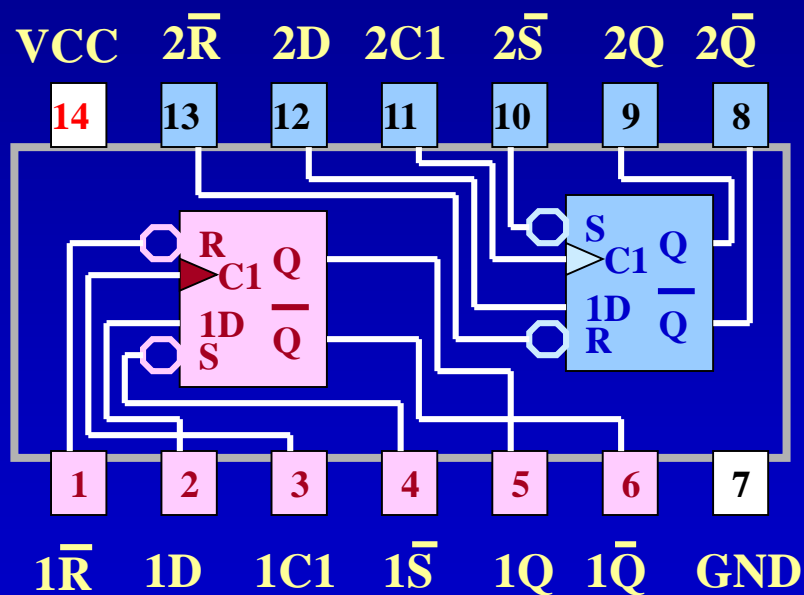
### 2、工作原理（略）

由于维持—阻塞线的作用，触发器只在 **CP↑** 时刻才发生状态变化，而在其余所有时间状态均保持不变。



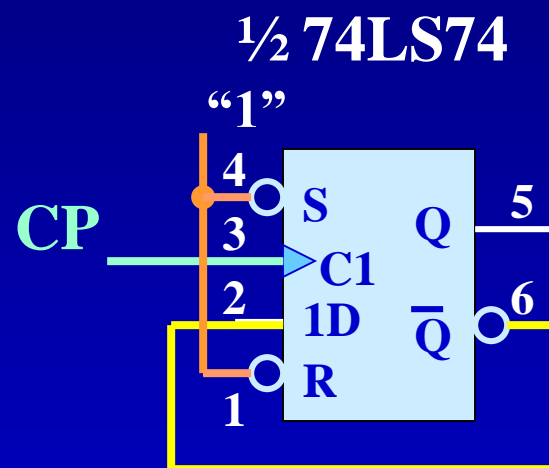
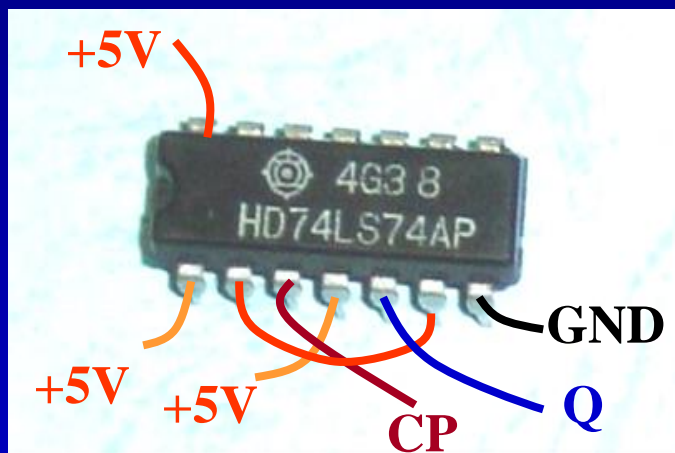
## 例7、如何实现2分频？

### 74LS74 (双D触发器)



提示:  $Q^{n+1} = D = \overline{Q}^n$

## 动手连线



【思考】 如何实现4分频？

## 5.5 边沿触发器

### 3、维持—阻塞D触发器

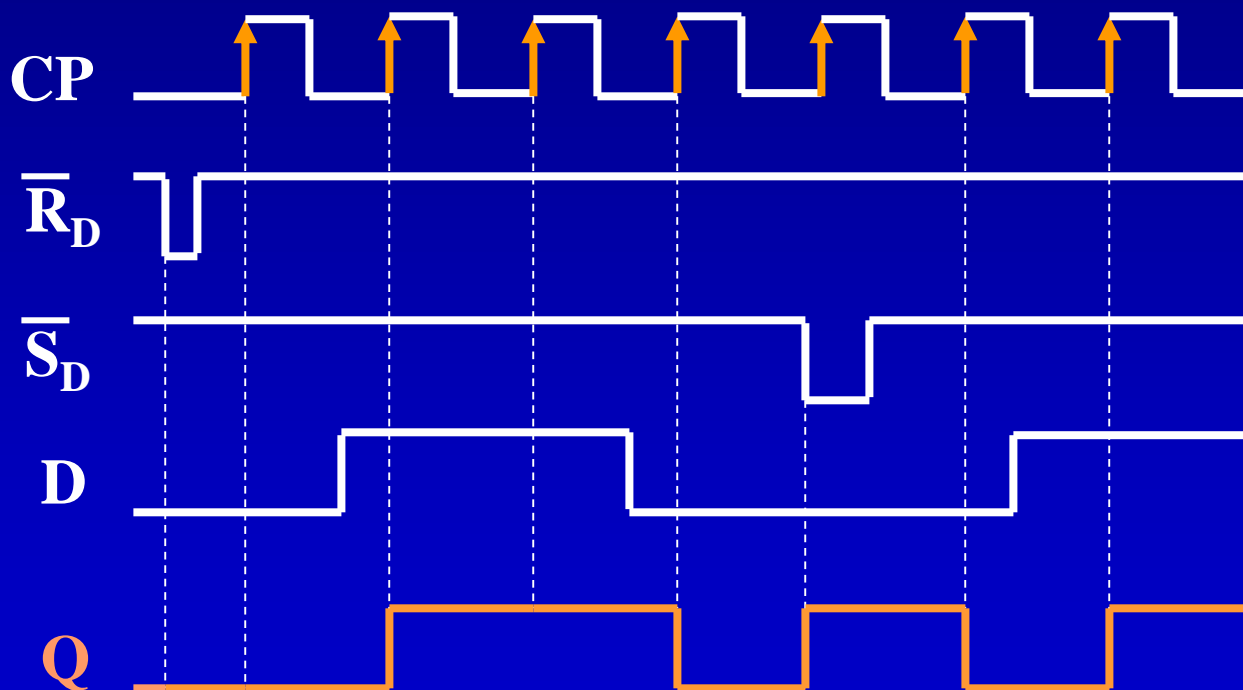
触发翻转特点

 CP↑时刻，状态改变， $Q^{N+1}=D$

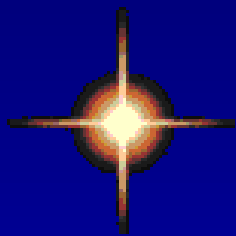
 其余所有时间，状态保持不变

## 5.5 边沿触发器

### 例8、维持阻塞D触发器波形分析



## 5.5 边沿触发器



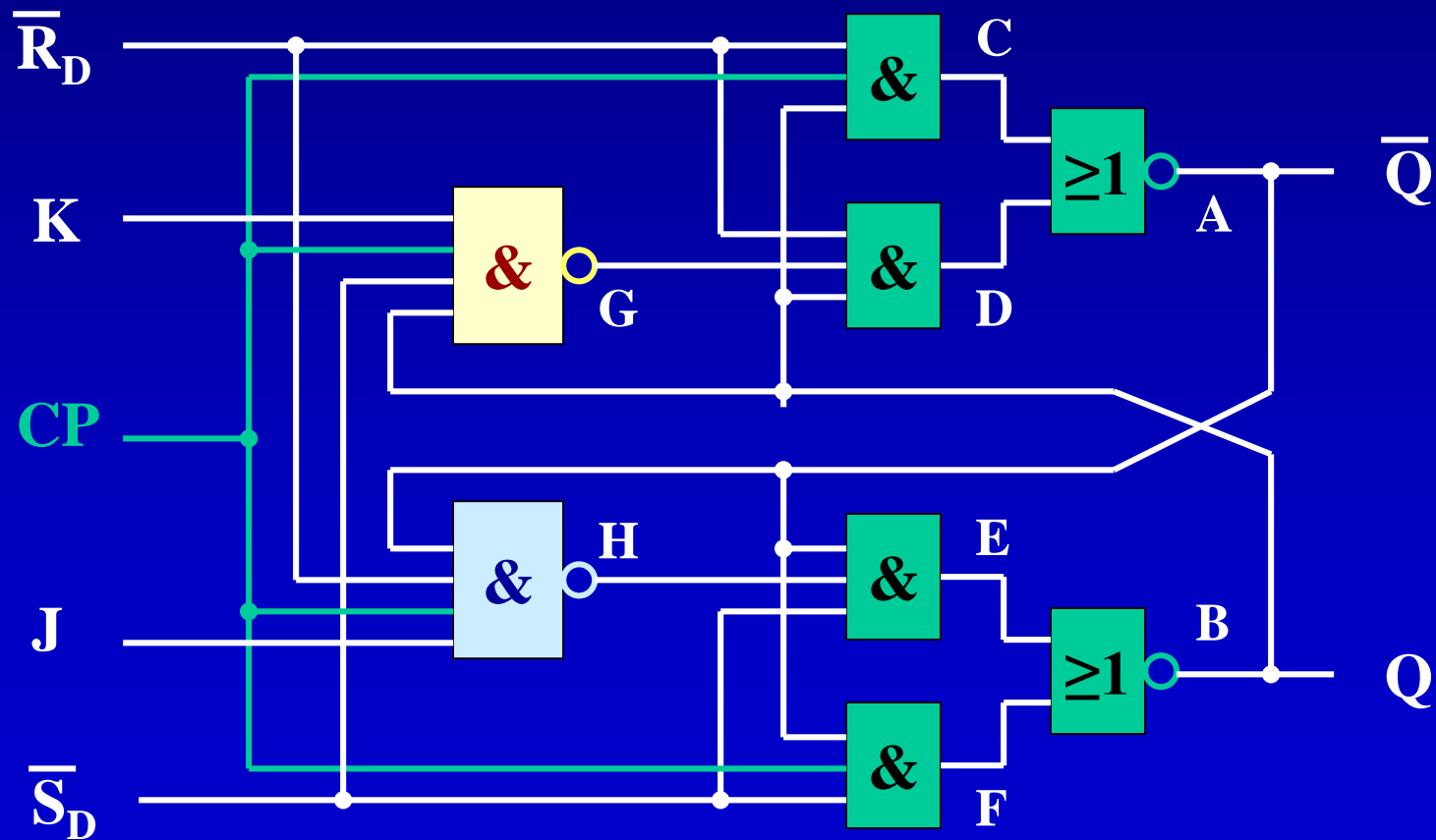
### 特别说明

- ▶ 若  $CP\uparrow$  时刻,  $\overline{R}_D$ 、 $\overline{S}_D$  同时无效, 则  $Q^{n+1}$  取决于  $CP\uparrow$  时刻  $D$  的状态;
- ▶ 若  $CP\uparrow$  时刻,  $\overline{R}_D$  或  $\overline{S}_D$  有效, 则  $CP\uparrow$  时刻  $D$  的作用将被“淹没”;

## 5.5 边沿触发器

### 三、下降沿触发的边沿触发器

#### 1、电路结构



## 5.5 边沿触发器

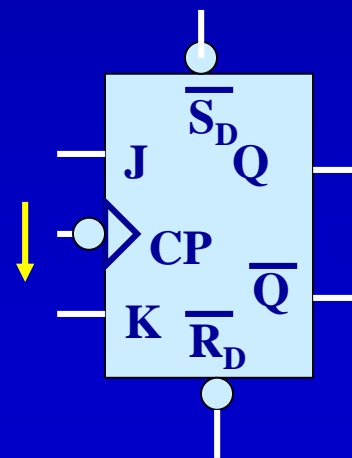
### 2、工作原理（略）

在稳定的 $CP=0$  及 $CP=1$  期间，触发器状态保持不变，只有在 $CP\downarrow$  时刻，触发器状态才发生转移。

JK-FF 功能表

$\overline{R_d}$	$\overline{S_d}$	CP	J	K	$Q^{n+1}$
0	1	X	X	X	0
1	0	X	X	X	1
1	1	$\downarrow$	0	0	$Q^n$
1	1	$\downarrow$	0	1	0
1	1	$\downarrow$	1	0	1
1	1	$\downarrow$	1	1	$\overline{Q}^n$

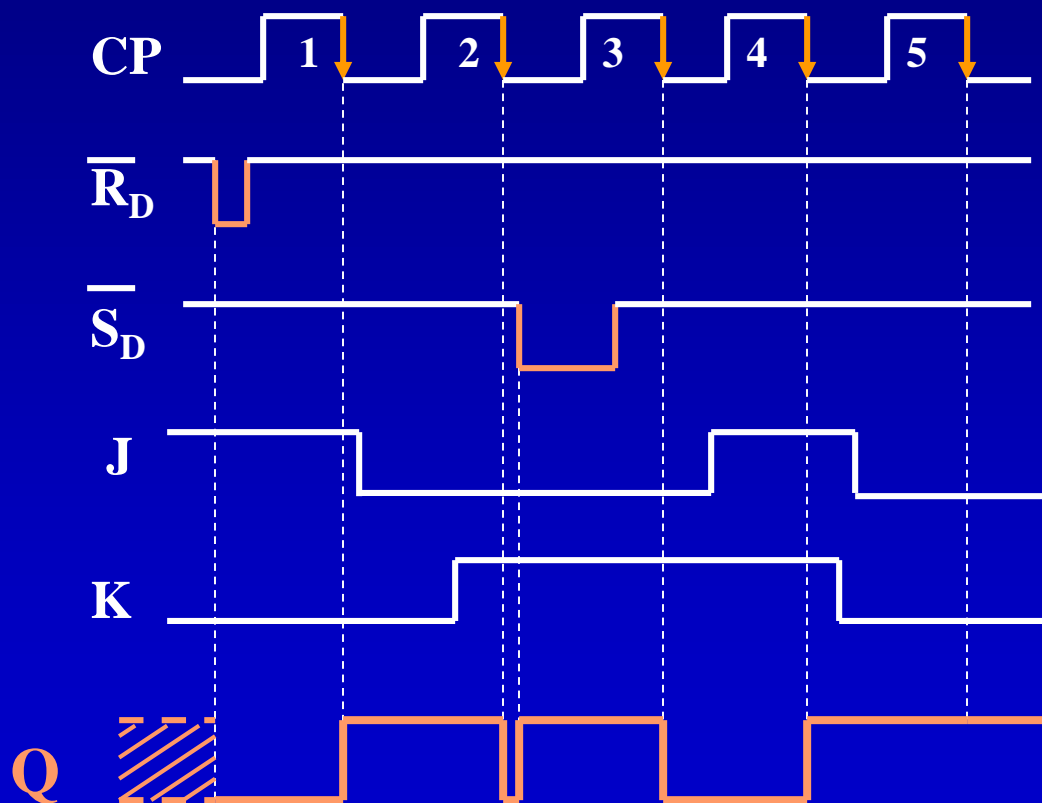
$\overline{R_d}$ 、 $\overline{S_d}$  优先级最高





## 5.5 边沿触发器

### 例8、下降沿触发的JK 触发器波形分析





例9、已知某触发器的真值表，试用JK触发器和少量门实现。

解1:

$$\begin{aligned} Q^{n+1} &= \overline{A} \overline{B} \overline{Q}^n + \overline{A} B + A \overline{B} Q^n + AB \cdot 0 \\ &= \overline{A} \overline{B} \overline{Q}^n + \overline{A} B (\overline{Q}^n + Q^n) + A \overline{B} Q^n \\ &= (\overline{A} \overline{B} + \overline{A} B) \overline{Q}^n + (\overline{A} B + A \overline{B}) Q^n \\ &= \overline{A} \overline{Q}^n + (A \oplus B) Q^n \end{aligned}$$

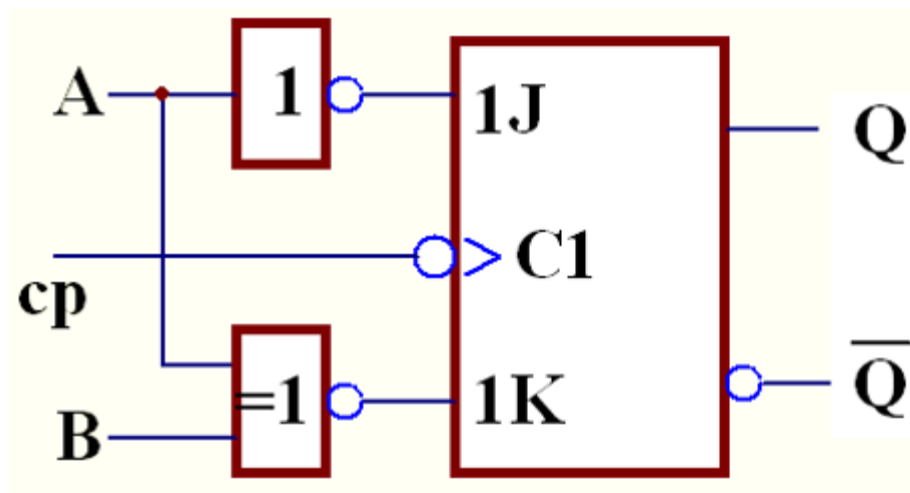
A	B	$Q^{n+1}$
0	0	$\overline{Q}^n$
0	1	1
1	0	$Q^n$
1	1	0

电路:

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

$$\therefore J = \overline{A}$$

$$K = A \oplus B$$



解2:

由JK触发器特性表可知,  
 $Q^{n+1}$ 和J、K的关系如表所示。

由此可求得J、K的表达式如下:

J	B	
	0	1
A		
0	1	1
1	0	0

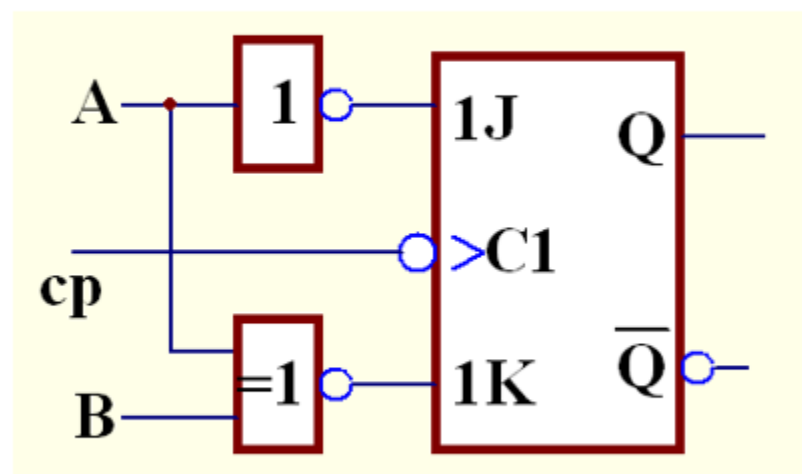
K	B	
	0	1
A		
0	1	0
1	0	1

$$J = \bar{A}$$

$$K = \bar{A}\bar{B} + AB = \overline{A \oplus B}$$

A B	$Q^{n+1}$	J K
0 0	$\bar{Q}^n$	1 1
0 1	1	1 0
1 0	$Q^n$	0 0
1 1	0	0 1

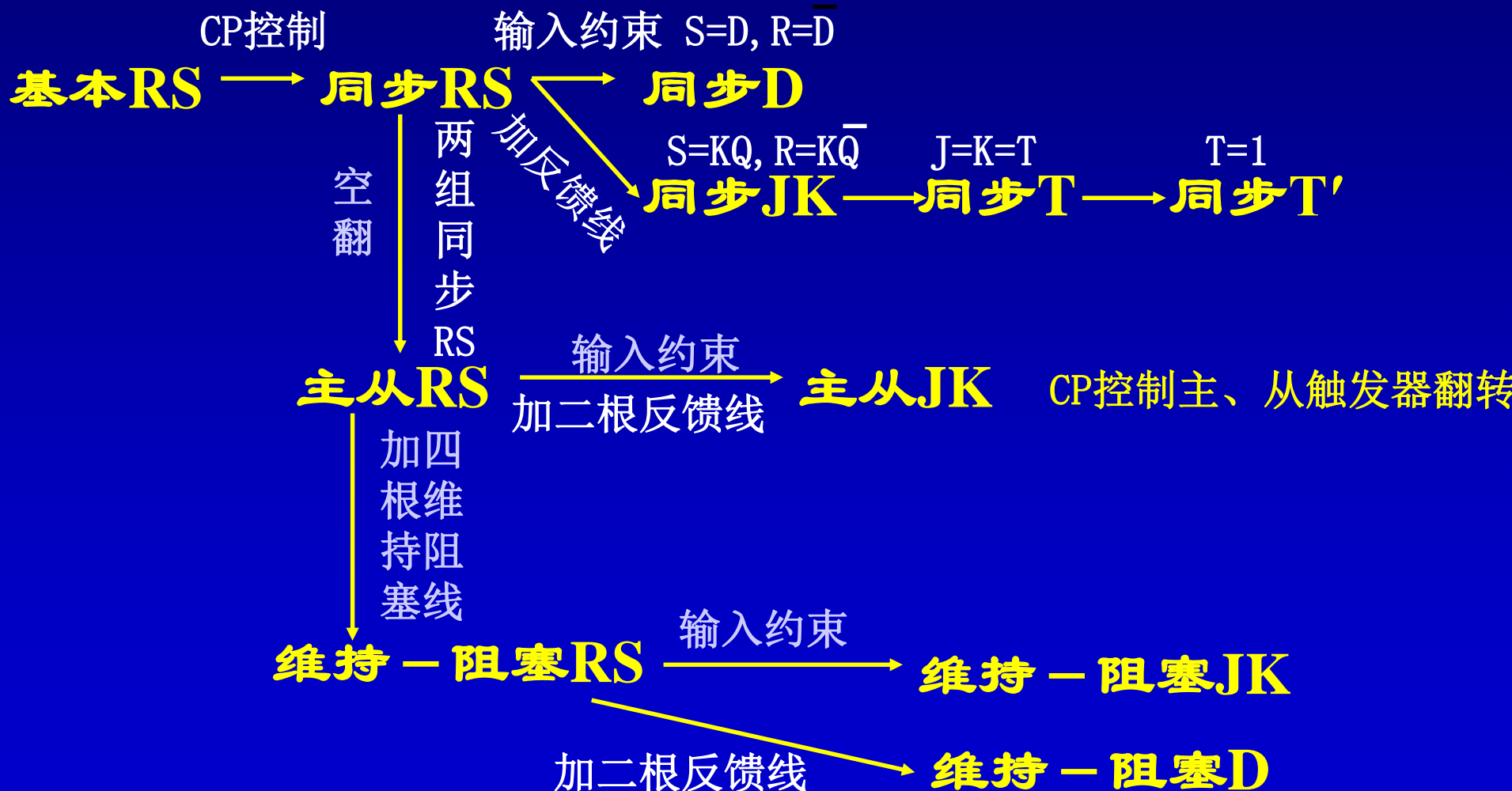
电路:



同步触发器：电平触发 → 空翻

主从触发器：脉冲触发 → 触发时刻非边沿

边沿触发器：边沿触发 → 触发器仅在边沿时刻翻转



# 本章重点



- ◆ 触发器的基本特性

- ◆ 触发器的分类

- 按逻辑功能

- RS、D、JK、T、T' 触发器

- 按电路结构

- 基本、同步、主从、边沿触发器

# 本章重点



- ◆ 触发翻转特点
  - 主从JK触发器的一次翻转特性
  - 空翻现象
- ◆ 状态转移表、特征方程
- ◆ 画波形图

# 本章作业

5.9, 5.11, 5.13, 5.14 , 5.15,

5.16, 5.17, 5.18, 5.19, 5.20, 5.21,