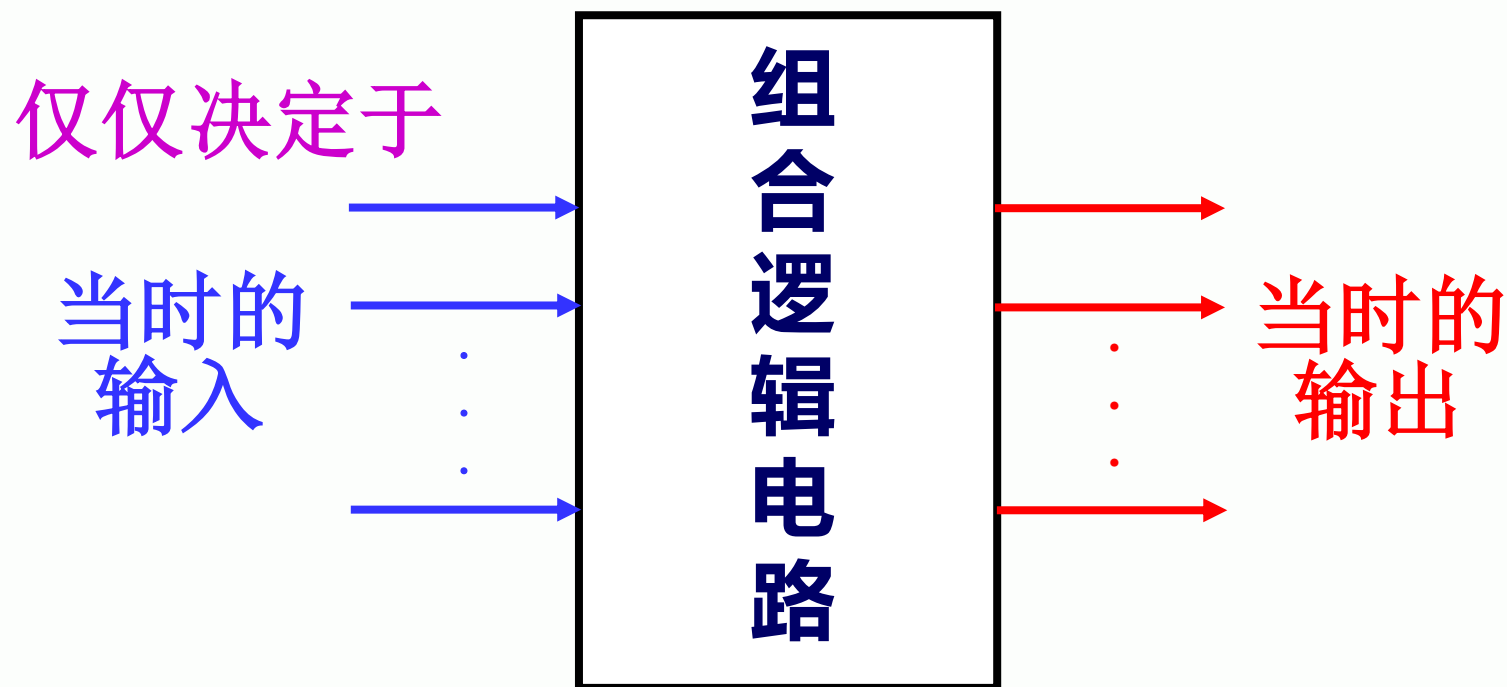


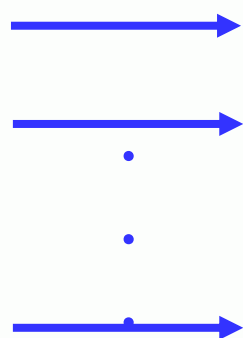
在前面所学习的组合逻辑电路中，



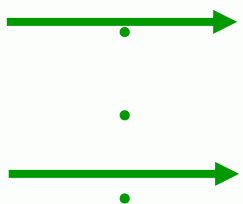
构成组合逻辑电路  
的基本单元是门电路

而在“时序逻辑电路”中，

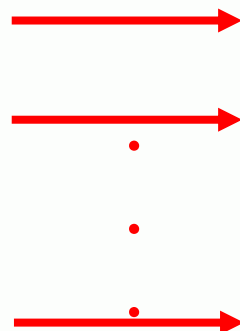
不仅与  
当时的  
输入  
有关



而且与  
过去的  
输出  
有关



时序  
逻辑  
电路



当时的  
输出

这就要求时序逻辑电路必须 **具有记忆功能！**

我们将要学习的“触发器”，它就具有记忆功能。

构成时序逻辑电路  
的基本单元是触发器

## 第10章 触发器和时序逻辑电路

10.1 触发器

10.2 时序逻辑电路的基本概念

10.3 时序逻辑电路的分析与设计

10.4 计数器

10.5 寄存器

10.6 脉冲波形的产生与整形

## 教学基本要求

- 1、熟练掌握不同功能触发器的符号、逻辑功能及其各种描述和波形分析方法。
- 2、熟练掌握时序逻辑电路的描述方式及其相互转换。
- 3、熟练掌握时序逻辑电路的分析方法
- 4、熟练掌握典型时序逻辑电路计数器寄存器的逻辑功能及其集成芯片应用。
- 5、掌握由555定时器组成的多谐、单稳、施密特触发器的电路、工作原理、外接参数及电路指标的计算。

## 10.1 触发器

### 10.1.1 基本RS触发器

### 10.1.2 同步RS触发器

### 10.1.3 主从JK触发器

### 10.1.4 维持阻塞D触发器

### 10.1.5 COS触发器

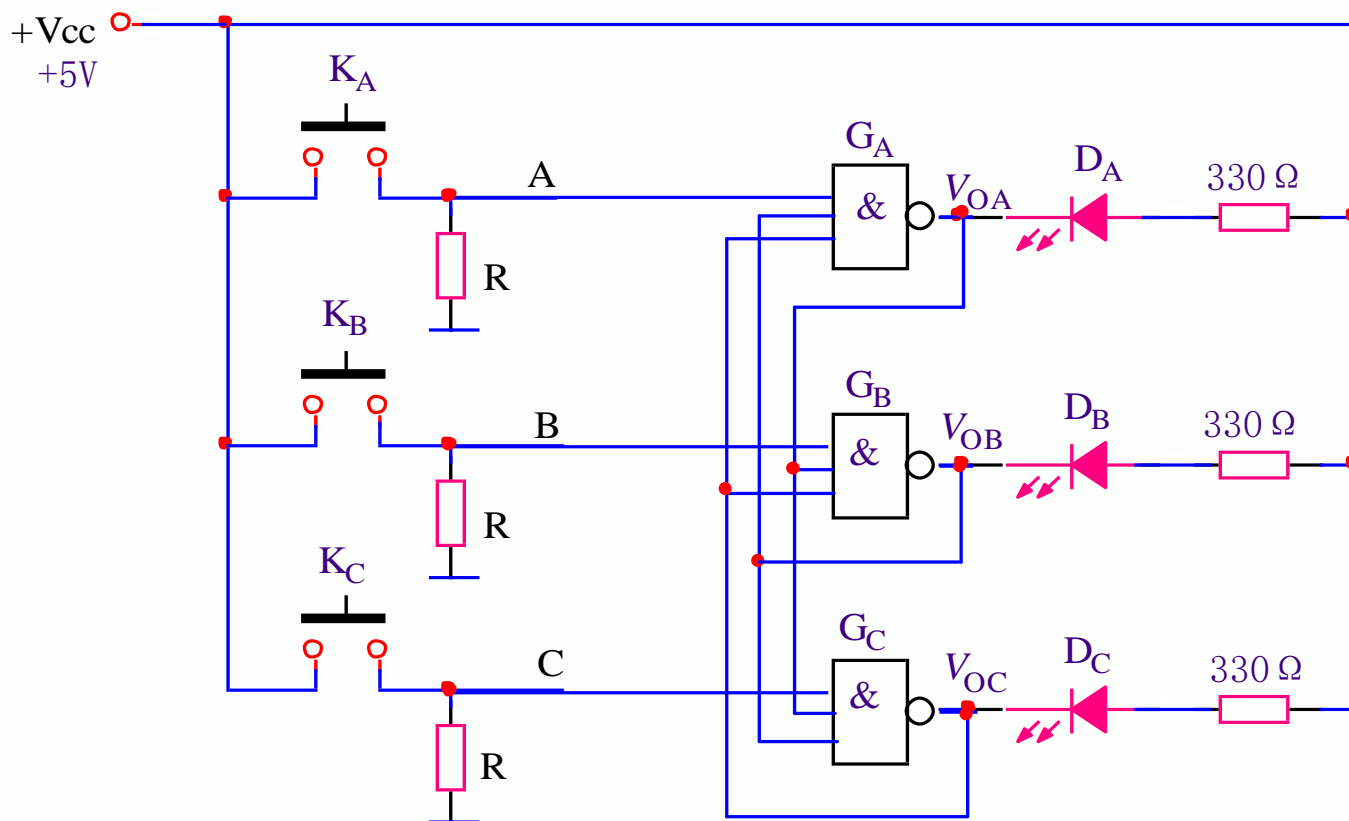
### 10.1.6 触发器逻辑功能转换



抢答器

## 应用举例

设计一个3人抢答电路。3人A、B、C各控制一个按键开关 $K_A$ 、 $K_B$ 、 $K_C$ 和一个发光二极管 $D_A$ 、 $D_B$ 、 $D_C$ 。谁先按下开关，谁的发光二极管亮，同时使其他人的抢答信号无效。



## 概 述

触发器是构成时序逻辑电路的基本单元，能够存储1位二进制码的逻辑电路，即具有记忆能力。它有两个互补输出端，其输出状态不仅与输入 有关，而且还与原来的输出状态有关。

按结构分为：基本RS锁存器、

同步RS锁存器、

主从触发器

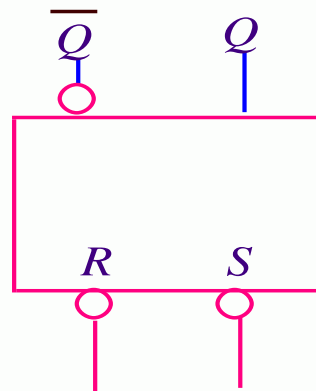
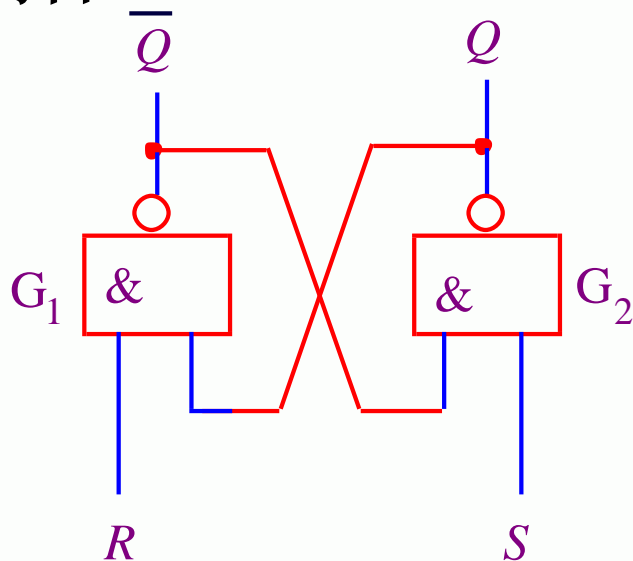
边沿触发器



## 10.1.1 基本RS锁存器

### 1、电路组成

由门电路组成的，它与组合逻辑电路的根本区别在于，电路中有反馈线，即门电路的输入、输出端交叉耦合。



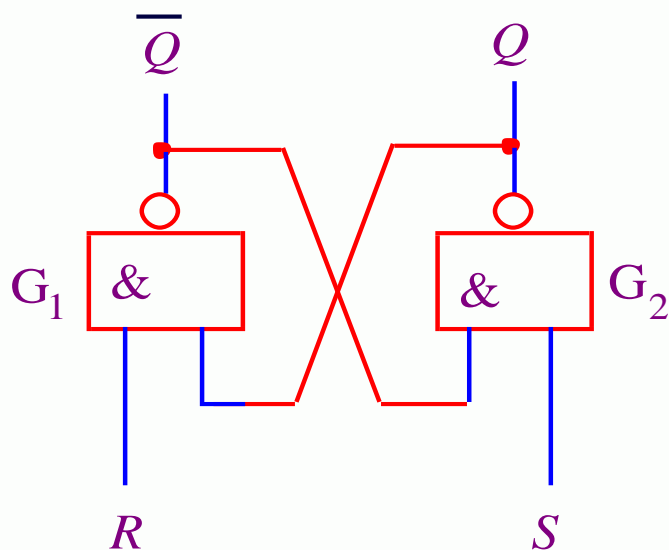
触发器有两个输入端（低电平有效），两个互补的输出端。

## 状态规定

一般规定触发器Q端的状态，为触发器的状态。

当  $Q=1$  时  $\bar{Q}=0$ ，称为 1 状态；

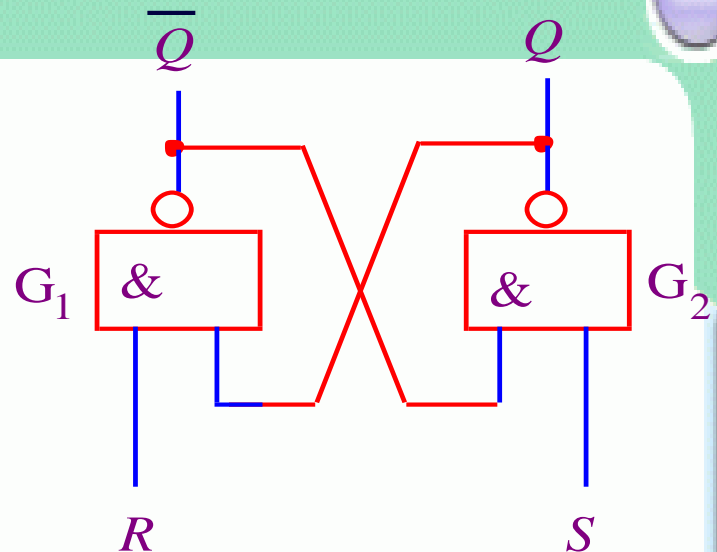
当  $Q=0$  时  $\bar{Q}=1$ ，称为 0 状态。



## 2 逻辑功能分析

输出逻辑表达式  $Q = \overline{S\overline{Q}}$

$$\overline{Q} = \overline{RQ}$$



$R=1, S=0$ , 有  $Q=1 \quad \overline{Q}=0$ , 称触发器置1或称置位; S端为置1端。

$R=0, S=1$ , 有  $Q=0 \quad \overline{Q}=1$ , 称触发器置0或称复位; R端为置0端。

$R=1, S=1$  若原来 $Q=1$ ,则触发器仍处于1状态

若原来 $Q=0$ ,则触发器仍处于0状态

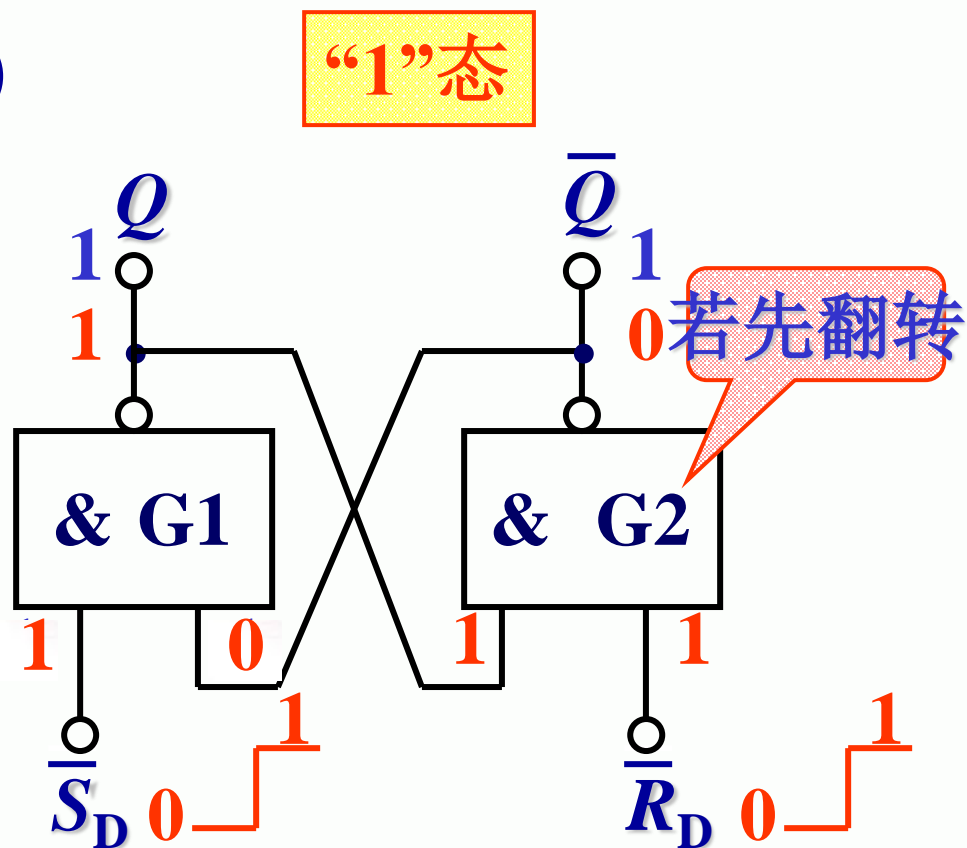
} 保持原状态,  
具有记忆能力

$R=0, S=0$ , 有  $Q=1 \quad \overline{Q}=1$ , 为不定状态。

加约束条件, 即  $R+S=1$

(4)  $\bar{S}_D=0$ ,  $\bar{R}_D=0$

当信号  $\bar{S}_D=\bar{R}_D=0$  同时变为1时，由于与非门的翻转时间不可能完全相同，触发器状态可能是“1”态，也可能是“0”态，不能根据输入信号确定。



若  $G_1$  先翻转，则触发器为“0”态

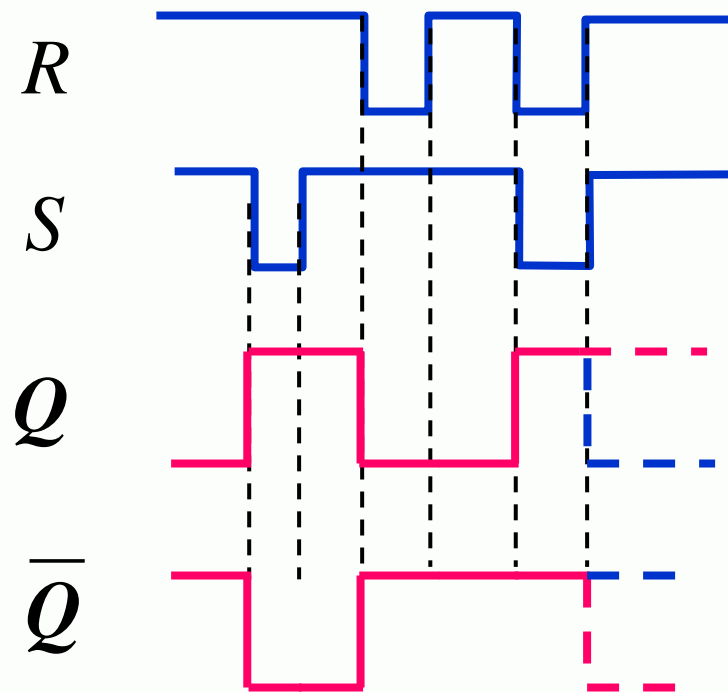
### 3 特性表

触发器接收输入信号之前所处的状态，即原来的状态（也称现态或初态）用  $Q^n$  表示

触发器新的状态（也称次态）用  $Q^{n+1}$  表示

$R$	$S$	$Q^n$	$Q^{n+1}$	功能说明
0	0	0	×	不定（不允许）
0	0	1	×	
0	1	0	0	置0（复位）
0	1	1	0	
1	0	0	1	置1（置位）
1	0	1	1	
1	1	0	0	保持原状态
1	1	1	1	

例 用与非门组成的基本RS锁存器中，设初始状态为0，已知输入 $R$ 、 $S$ 的波形，画出 $Q$ 的波形。

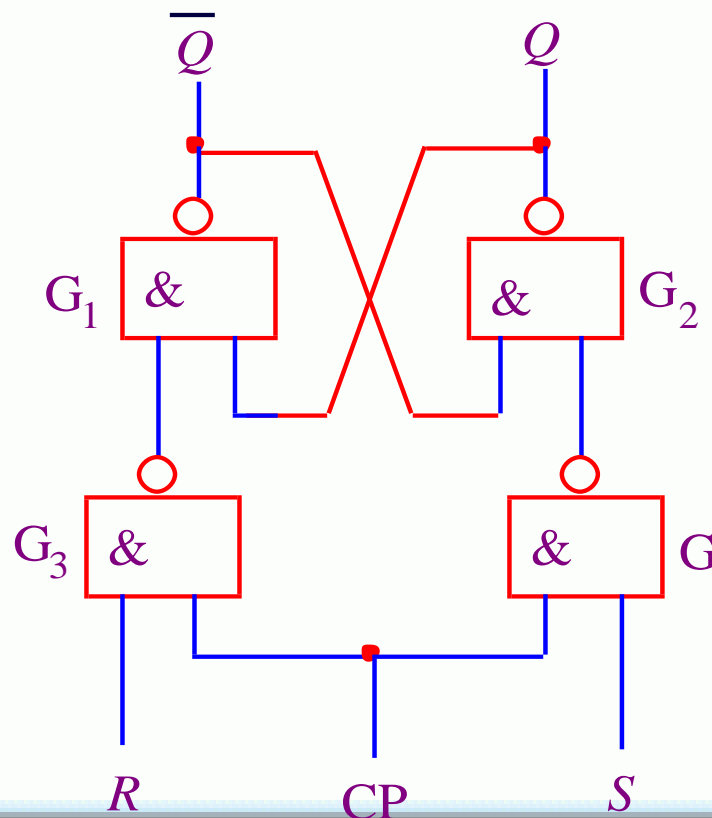
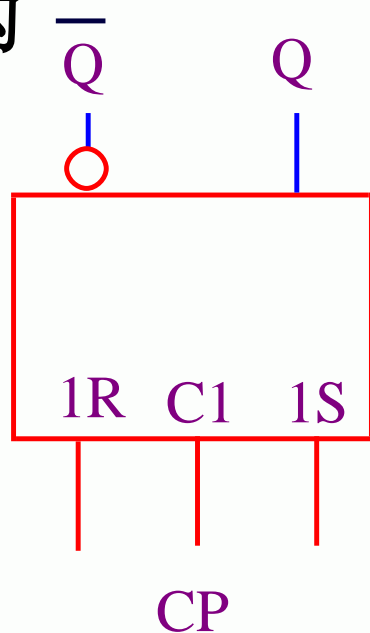


## 10.1.2 同步RS触发器

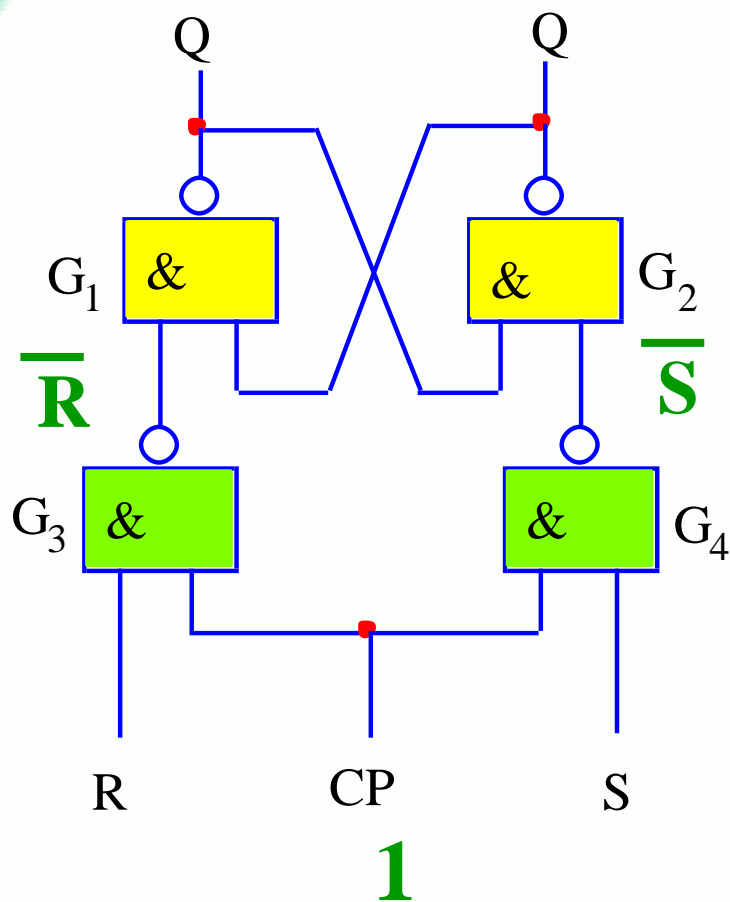
问题提出：在基本RS触发器中，触发器的翻转直接接受输入信号控制

给触发器加一个时钟控制端CP，只有在CP端上出现时钟脉冲时，触发器的状态才能变化。这种触发器称为逻辑门控触发器。

### 1. 电路结构



# 数字电子技术2. 逻辑功能



同步 RS 触发器的特性表

CP	R	S	Q <sup>n+1</sup>	
0	X	X	保	持
1	0	0	保	持
1	0	1	1	
1	1	0	0	
1	1	1	禁	止

由它的特性表可见：  
在R、S不相等时，Q  
服从于S！



### 3. 触发器功能的几种描述方法

(1) 特性表

(2) 特性方程

由特性表画出卡诺图得  
特性方程:

$Q^{n+1}$

$S Q^n$

	00	01	11	10
$R$				
0	0	1	1	1
1	0	0	×	×

$R$	$S$	$Q^n$	$Q^{n+1}$	功能说明
0	0	0	0	保持原状态
0	0	1	1	
0	1	0	1	输出状态与 $S$ 状态相同
0	1	1	1	
1	0	0	0	输出状态与 $S$ 状态相同
1	0	1	0	
1	1	0	×	输出状态不稳定
1	1	1	×	

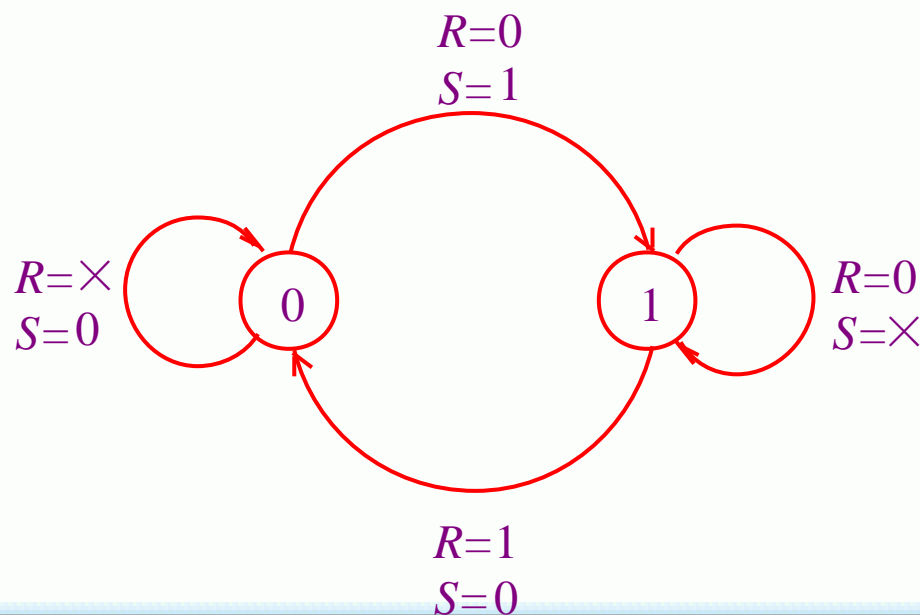
$$\begin{cases} Q^{n+1} = S + \bar{R}Q^n \\ RS = 0(\text{约束条件}) \end{cases}$$

$CP = 1$ 时有效

## (3) 状态转换图

- 状态转换图表示触发器从一个状态变化到另一个状态或保持原状不变时，对输入信号的要求。
- 两个圆圈内标以1和0，表示触发器的两个状态
- 带箭头弧线表示状态转换方向，箭头指向次态，箭尾为现态，弧线旁边标出条件。

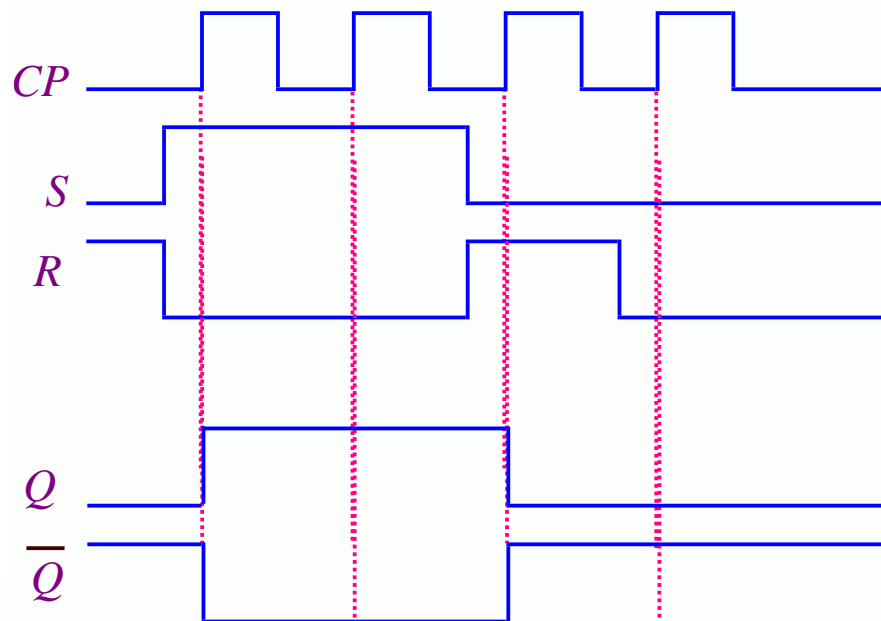
$R$	$S$	$Q^n$	$Q^{n+1}$	功能说明
0	0	0	0	保持原状态
0	0	1	1	
0	1	0	1	输出状态与 $S$ 状态相同
0	1	1	1	
1	0	0	0	输出状态与 $S$ 状态相同
1	0	1	0	
1	1	0	×	输出状态不稳定
1	1	1	×	



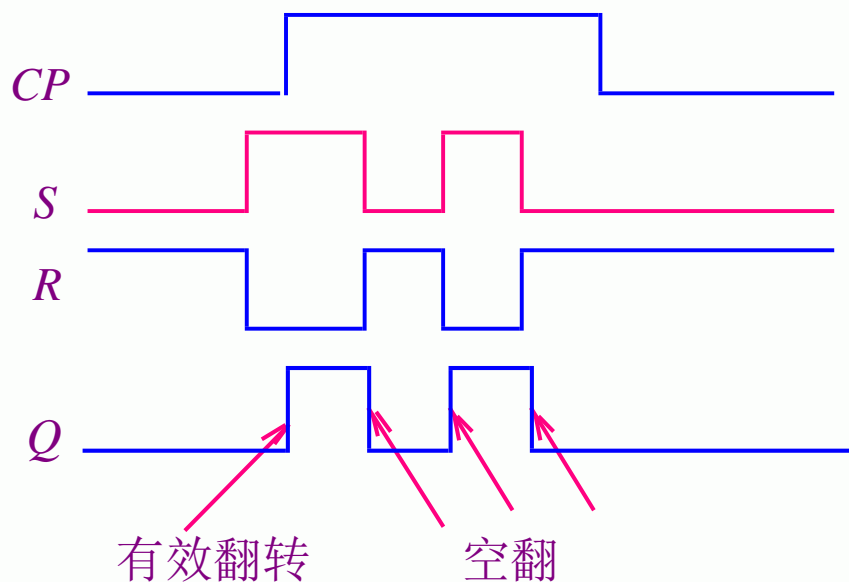
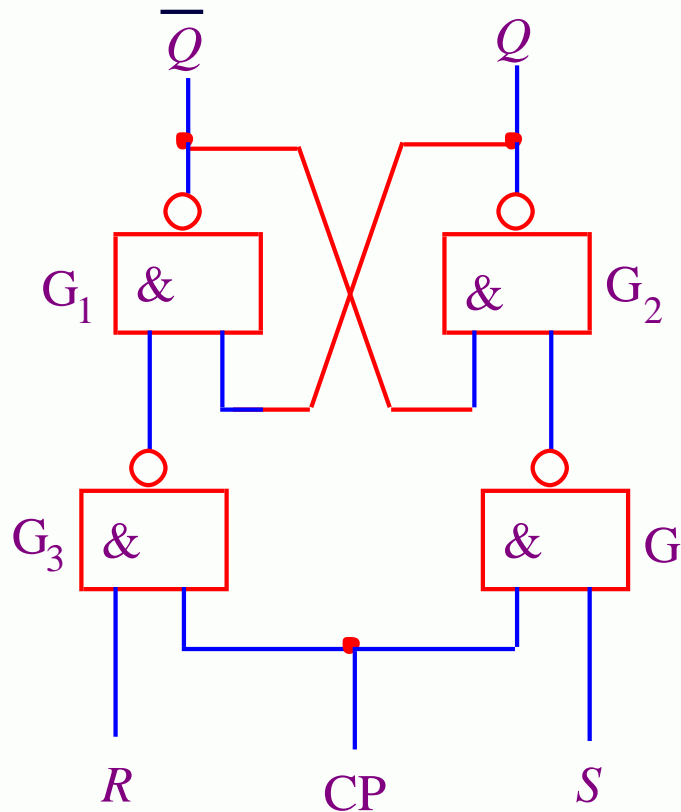
## (4) 波形图

触发器的功能也可以用输入输出波形直观地表示出来

$R$	$S$	$Q^n$	$Q^{n+1}$	功能说明
0	0	0	0	保持原状态
0	0	1	1	
0	1	0	1	输出状态与 $S$ 状态相同
0	1	1	1	
1	0	0	0	输出状态与 $S$ 状态相同
1	0	1	0	
1	1	0	×	输出状态不稳定
1	1	1	×	



## 4. 同步触发器存在的问题——空翻



在一个时钟脉冲周期中，触发器发生多次翻转的现象叫做空翻。可见，触发器的翻转只是被控制在一个时间间隔内，而不是某一时刻

# 10.1.3 主从JK触发器

## 1. 电路结构

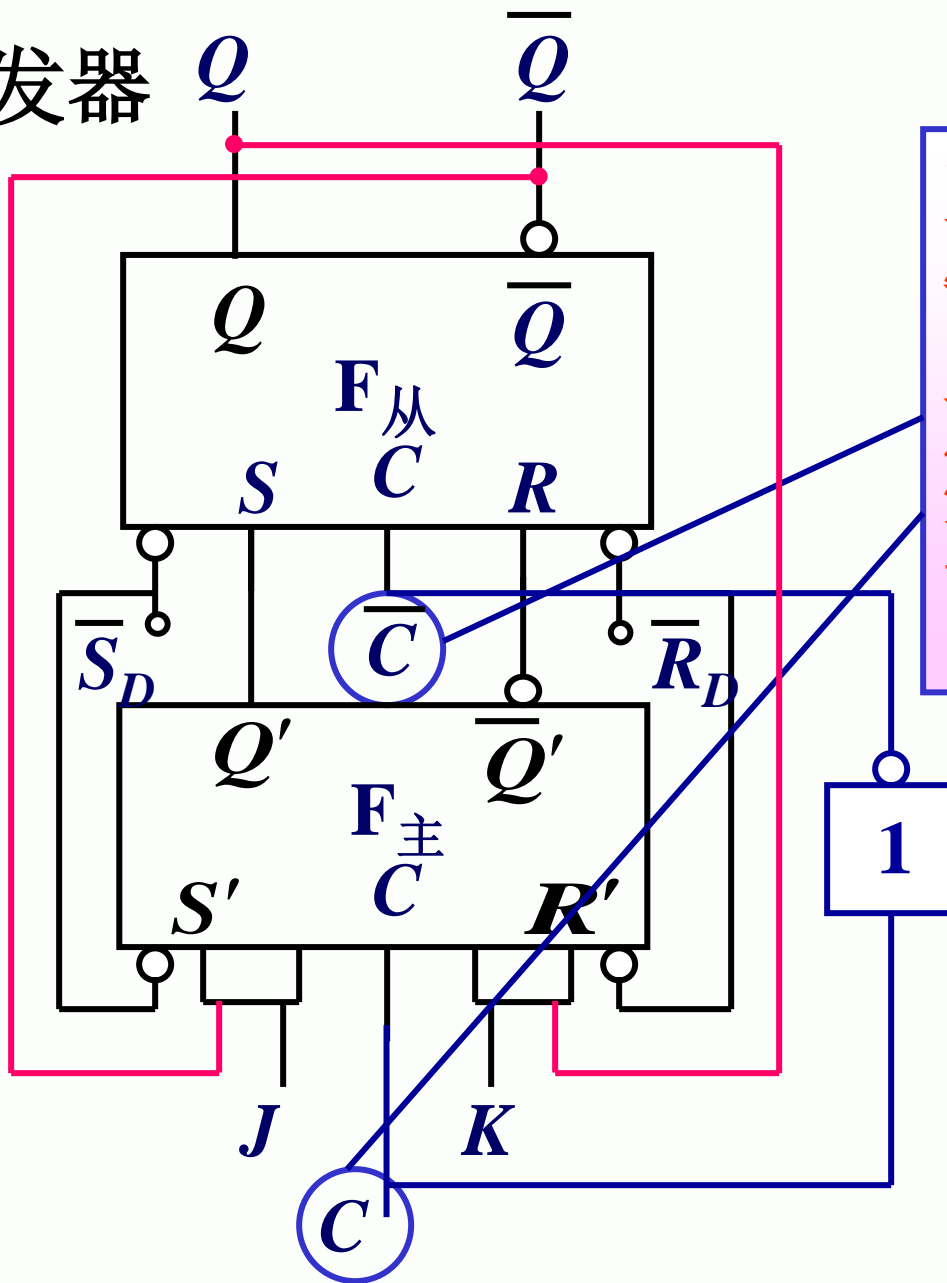
从触发器

反馈线

主触发器

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

$$R' = KQ$$



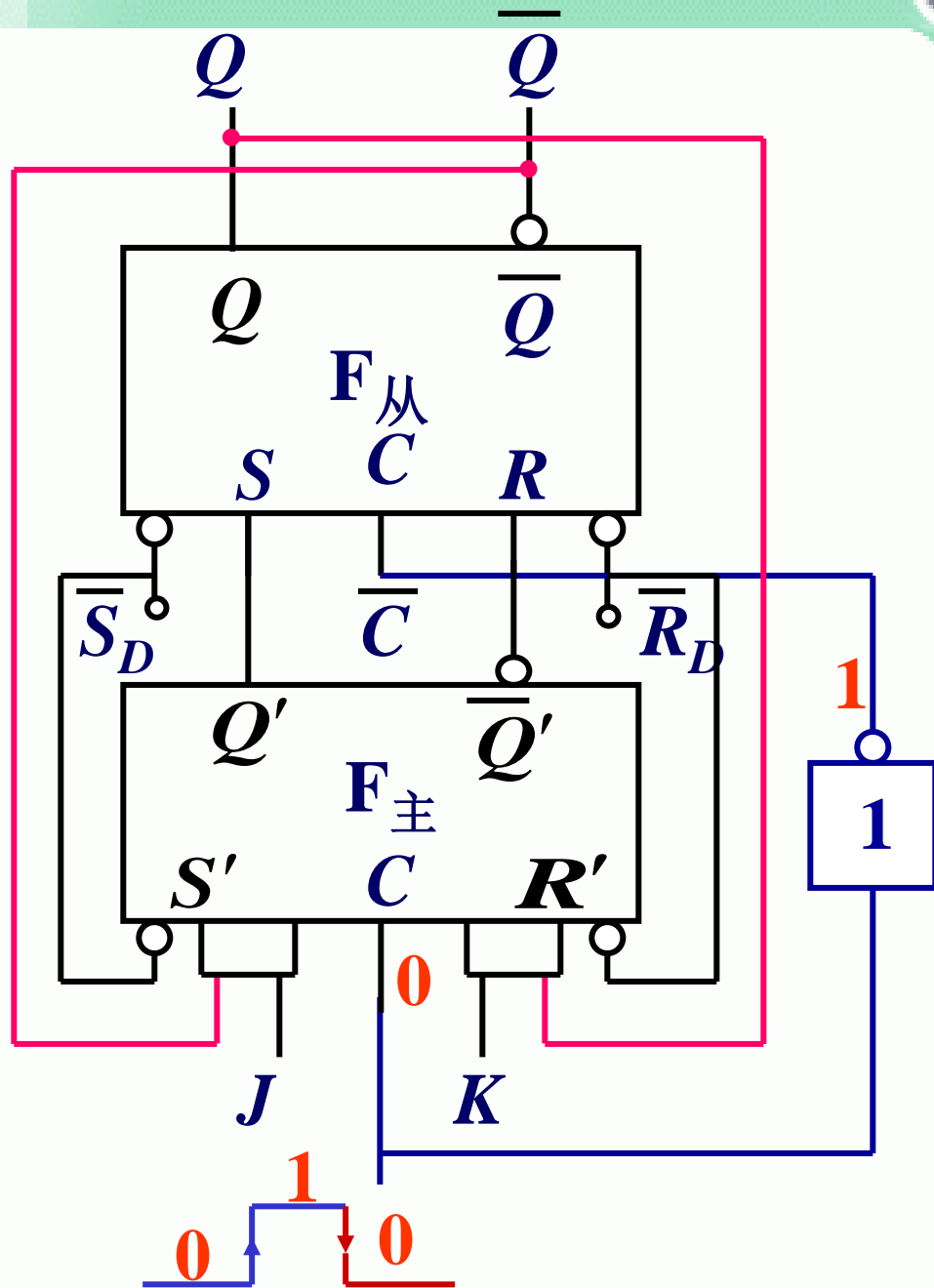
互补时钟控制主、从触发器不能同时翻转

$C=1$ , 主触发器接收信号并暂存 (即  $F_{\text{主}}$  状态由  $J$ 、 $K$  决定,  $F_{\text{从}}$  状态保持不变)。

$C$  下降沿 ( $\downarrow$ ) 触发器翻转 ( $F_{\text{从}}$  状态与  $F_{\text{主}}$  状态一致)。

$C$  低电平时,  $F_{\text{主}}$  封锁  $J$ 、 $K$  不起作用

要求  $C$  高电平期间  $J$ 、 $K$  的状态保持不变。



### 3. JK触发器的逻辑功能

$$S' = J\bar{Q}_n \quad R' = KQ_n$$

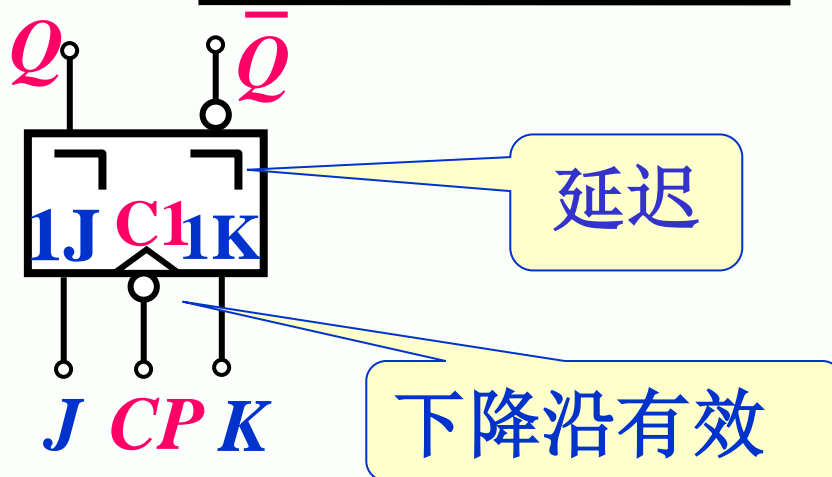
$$\begin{aligned} Q^{n+1} &= S' + \bar{R}'Q^n \\ &= J\bar{Q}^n + \bar{K}Q^n \cdot Q^n \end{aligned}$$

特性方程:

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

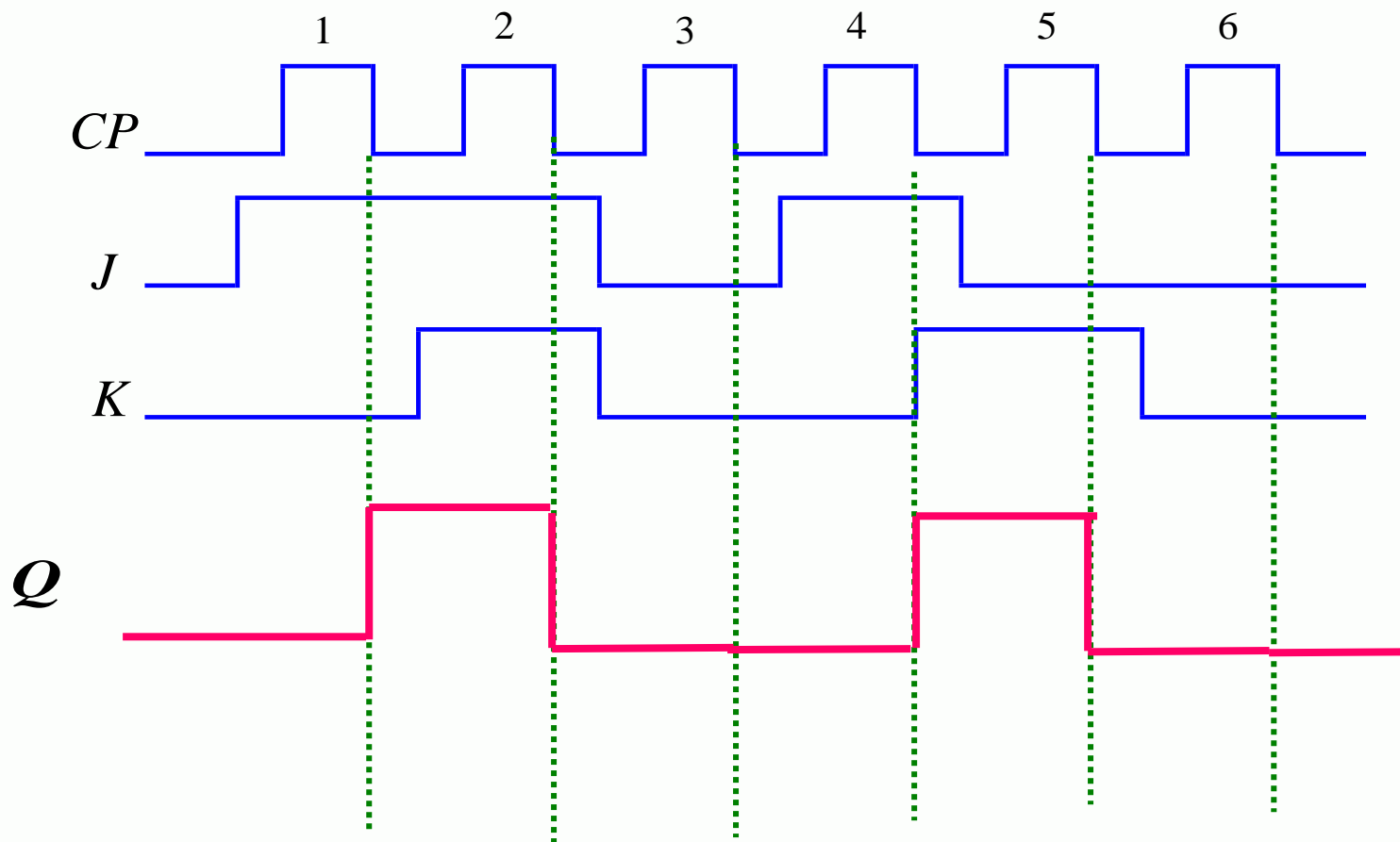
JK触发器状态表

J	K	$Q^{n+1}$
0	0	$Q^n$ (保持功能)
0	1	0 (置“0”功能)
1	0	1 (置“1”功能)
1	1	$\bar{Q}^n$ (翻转功能)



国标符号

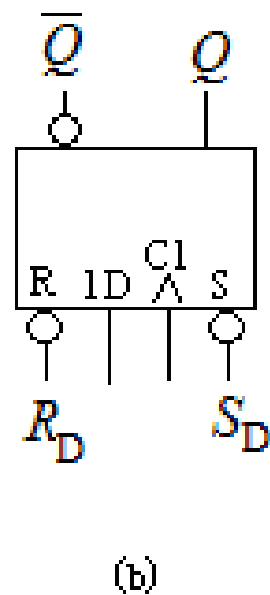
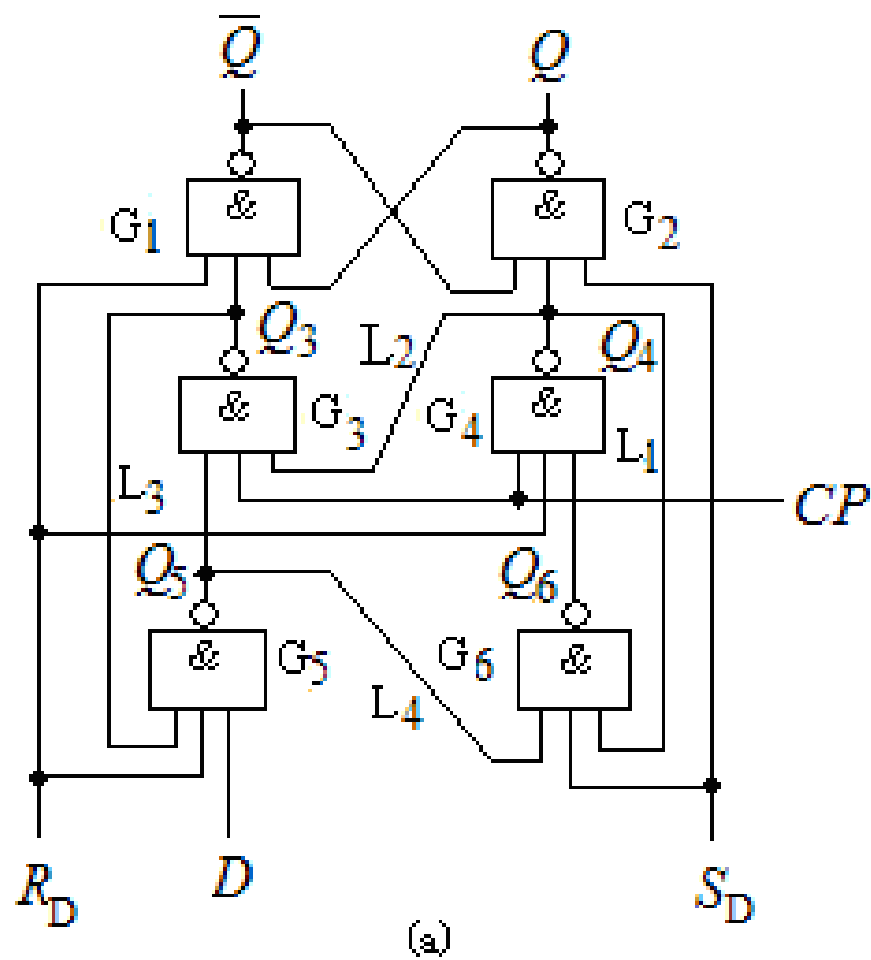
**例** 已知主从JK触发器 $J$ 、 $K$ 的波形如图所示，画出输出 $Q$ 的波形图（设初始状态为0）。





## 10.1.4 维持—阻塞边沿D触发器

### 1. 电路结构



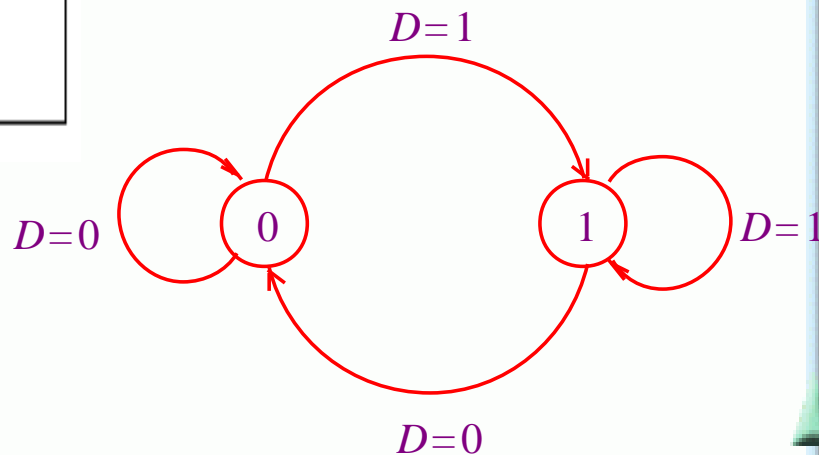
## 2. 逻辑功能

D触发器只有一个触发输入端D，因此，逻辑关系非常简单；

表 5.3.1 D 触发器的功能表

D	$Q^n$	$Q^{n+1}$	功能说明
0	0	0	输出状态与 D 状态相同
0	1	0	
1	0	1	
1	1	1	

D触发器的特性方程为：  $Q^{n+1}=D$



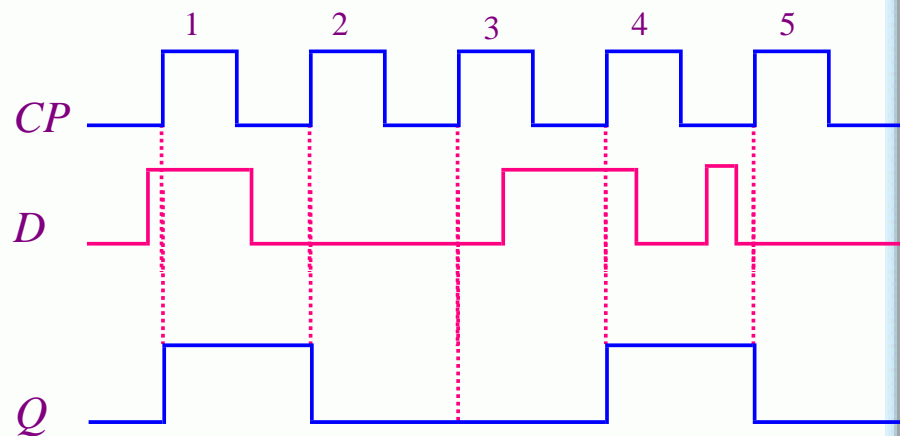
D触发器的状态转换图

**例** 已知边沿D触发器的输入波形，画出输出波形图。

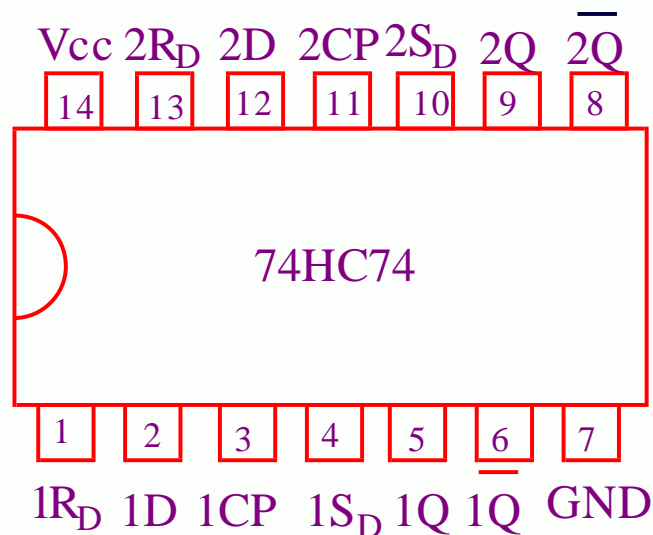
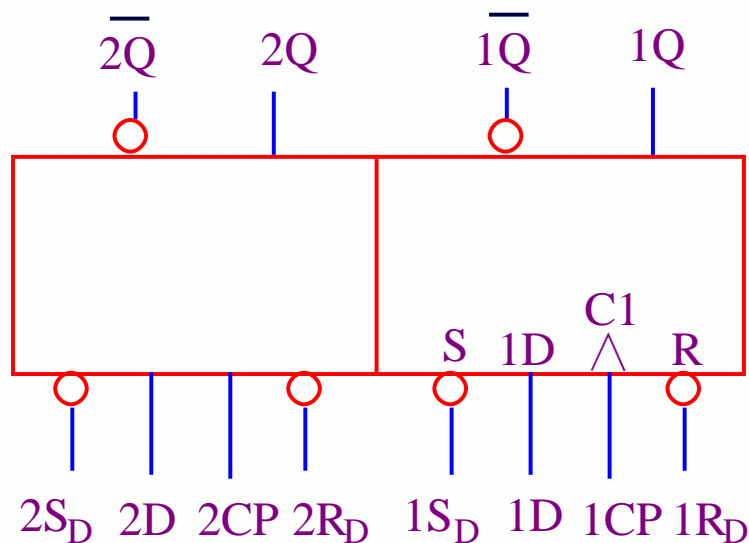
解：在波形图时，应注意以下两点：

- (1) 触发器的触发翻转发生在CP的上升沿。
- (2) 判断触发器次态的依据是CP上升沿前一瞬间输入端D的状态。

根据D触发器的功能表，可画出输出端Q的波形图。



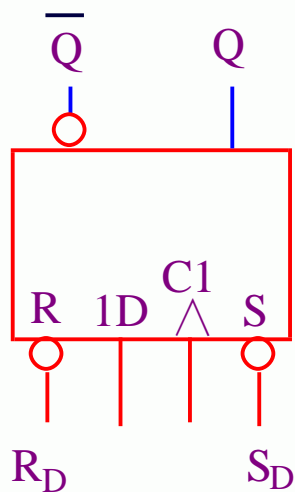
# 集成D触发器74HC74



特点:

- (1) 单输入端的双D触发器。
- (2) 它们都带有直接置0端 $R_D$ 和直接置1端 $S_D$ ，为低电平有效。
- (3)  $CP$ 上升沿触发。

### 3. 集成D触发器74HC74

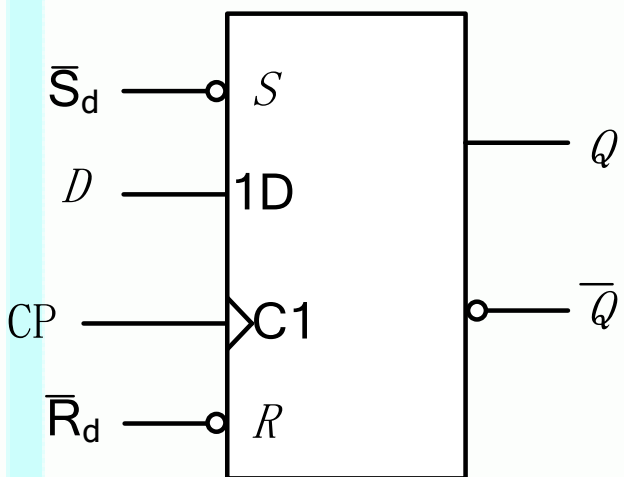


$R_D$ ——直接置0端，低电平有效；

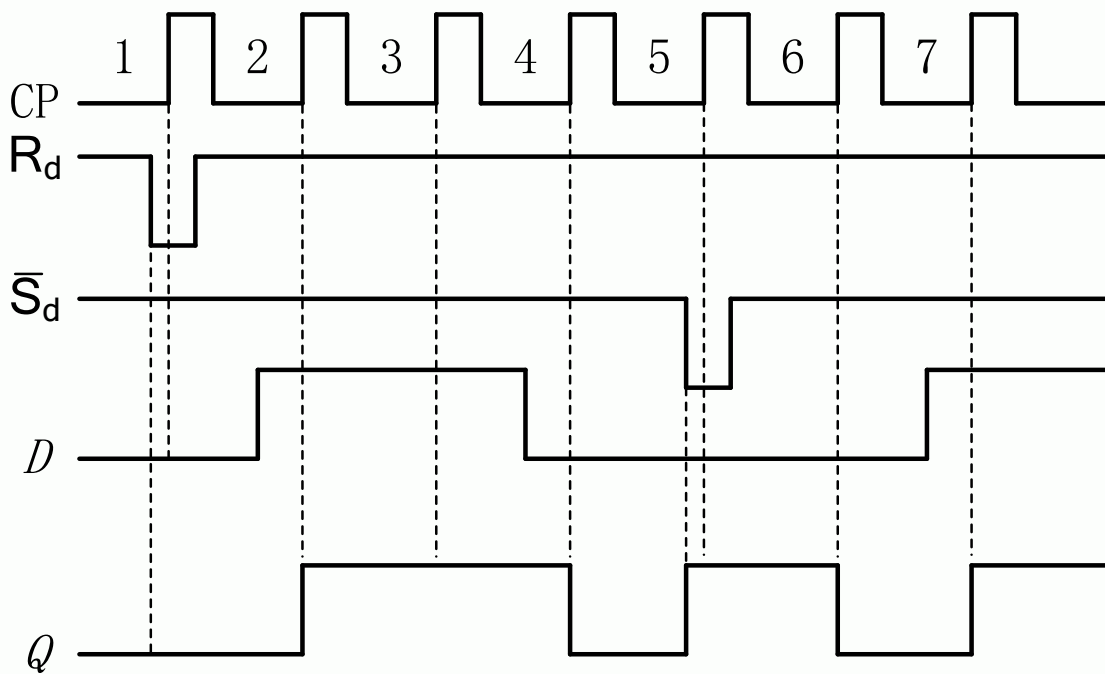
$S_D$ ——直接置1端；低电平有效。

$R_D$ 和 $S_D$ 不受 $CP$ 和 $D$ 信号的影响，具有最高的优先级。

$R_D$ 和 $S_D$ 的作用主要是用来给触发器设置初始状态，或对触发器的状态进行特殊的控制。在使用时要注意，任何时刻，只能一个信号有效，不能同时有效。



(a)

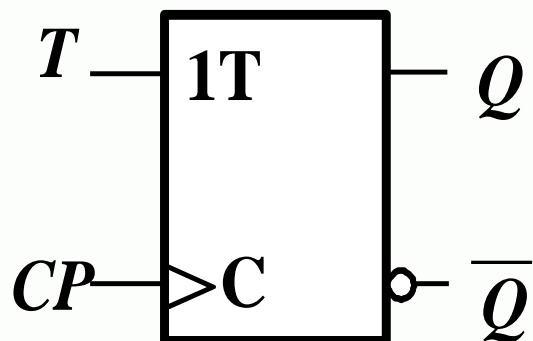


(b)

# 10.1.6 触发器逻辑功能转换

## T触发器

逻辑符号



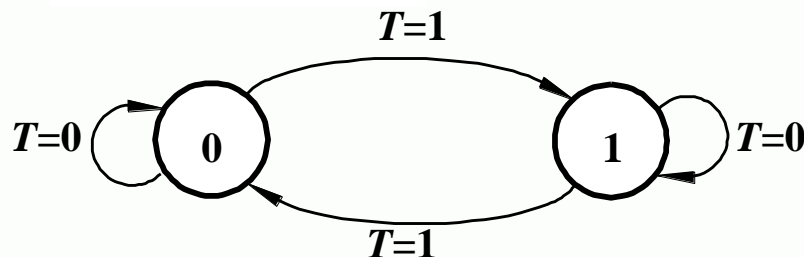
特性方程

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

特性表

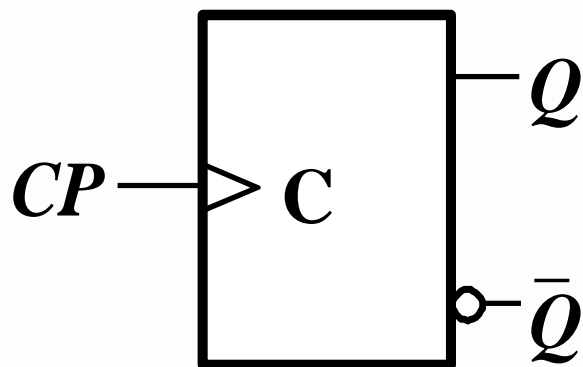
$T$	$Q^n$	$Q^{n+1}$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

状态转换图



# T'触发器

国际逻辑符号



特性方程

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

时钟脉冲每作用一次，触发器翻转一次。



## 触发器功能的转换举例

### 1 JK→D

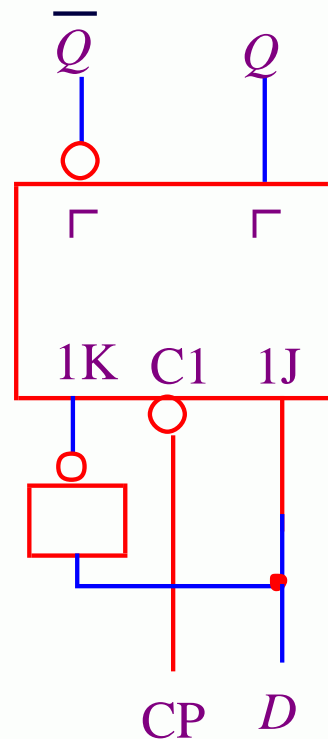
分别写出JK触发器和D触发器的特性方程

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

$$Q^{n+1} = D = D(\overline{Q}^n + Q^n) = D\overline{Q}^n + DQ^n$$

**比较得：**  $J=D$ ,  $K=\overline{D}$

**画出逻辑图：**

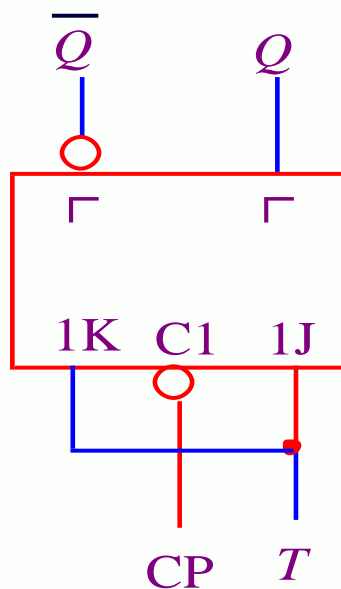


## 2 JK→T

写出T触发器的特性方程：

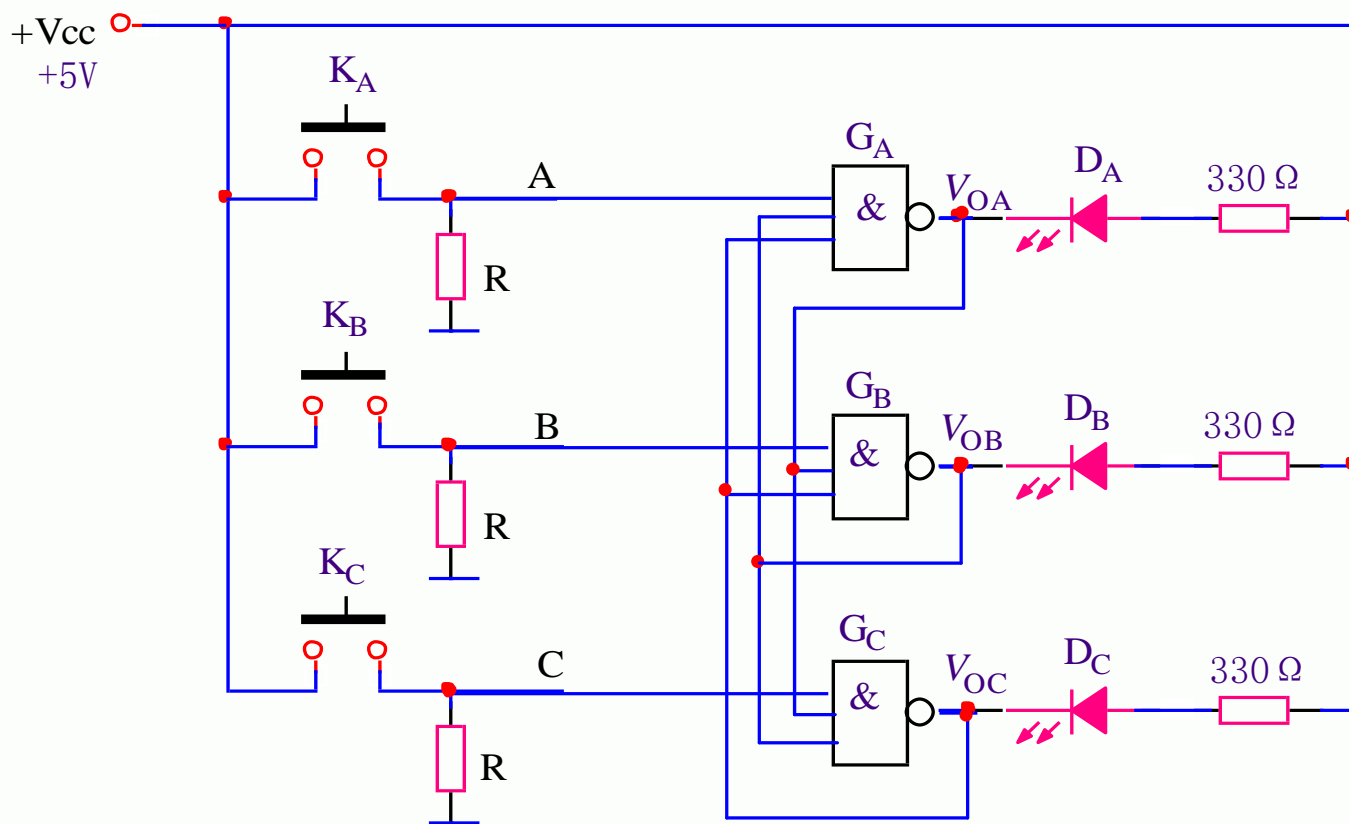
$$Q^{n+1} = T\overline{Q}^n + \overline{T}Q^n$$

与JK触发器的特性方程比较，  
得：  $J=T$ ，  $K=T$ 。

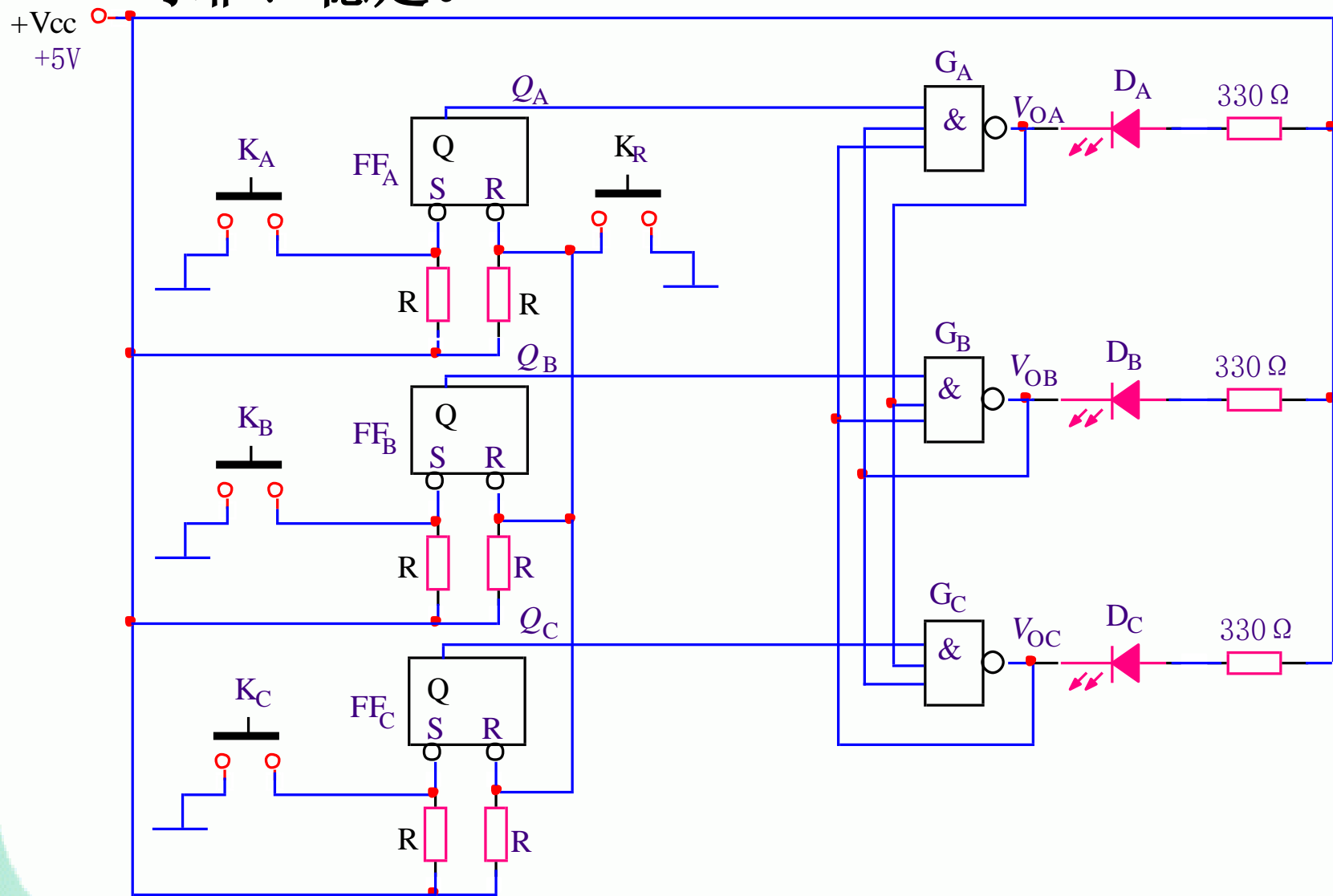


## 应用举例

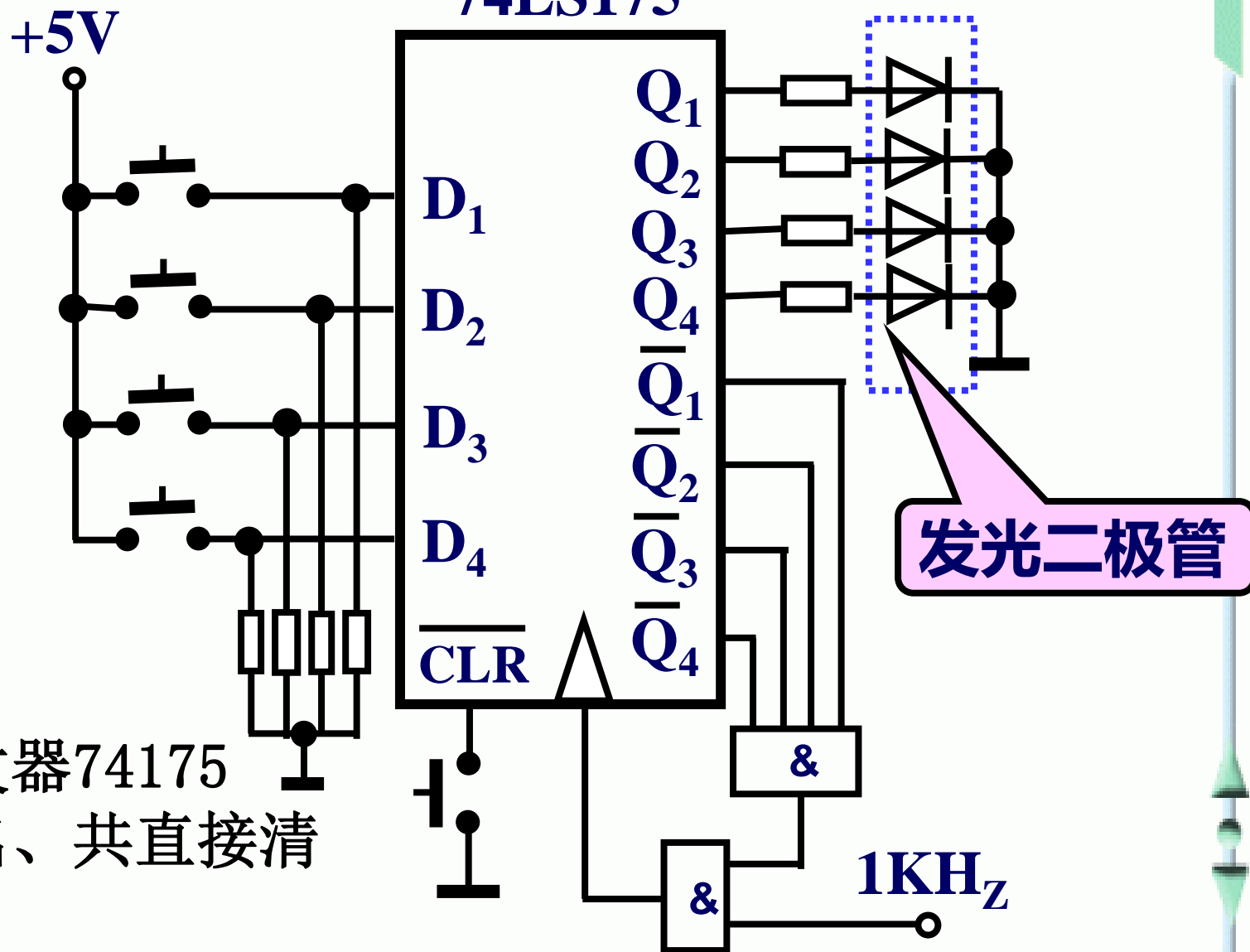
设计一个3人抢答电路。3人A、B、C各控制一个按键开关 $K_A$ 、 $K_B$ 、 $K_C$ 和一个发光二极管 $D_A$ 、 $D_B$ 、 $D_C$ 。谁先按下开关，谁的发光二极管亮，同时使其他人的抢答信号无效。



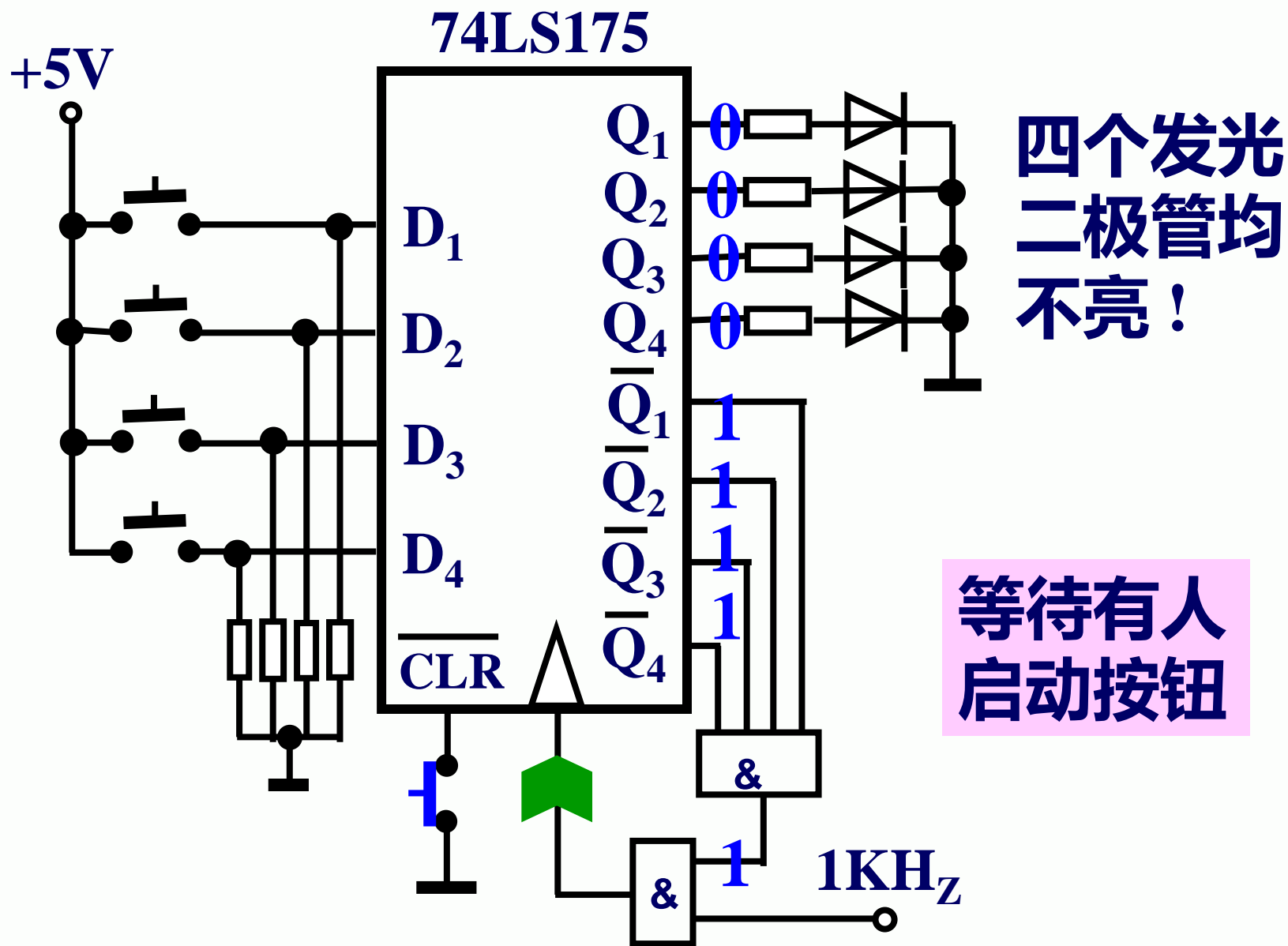
利用触发器的“记忆”作用，使抢答电路工作更可靠、稳定。

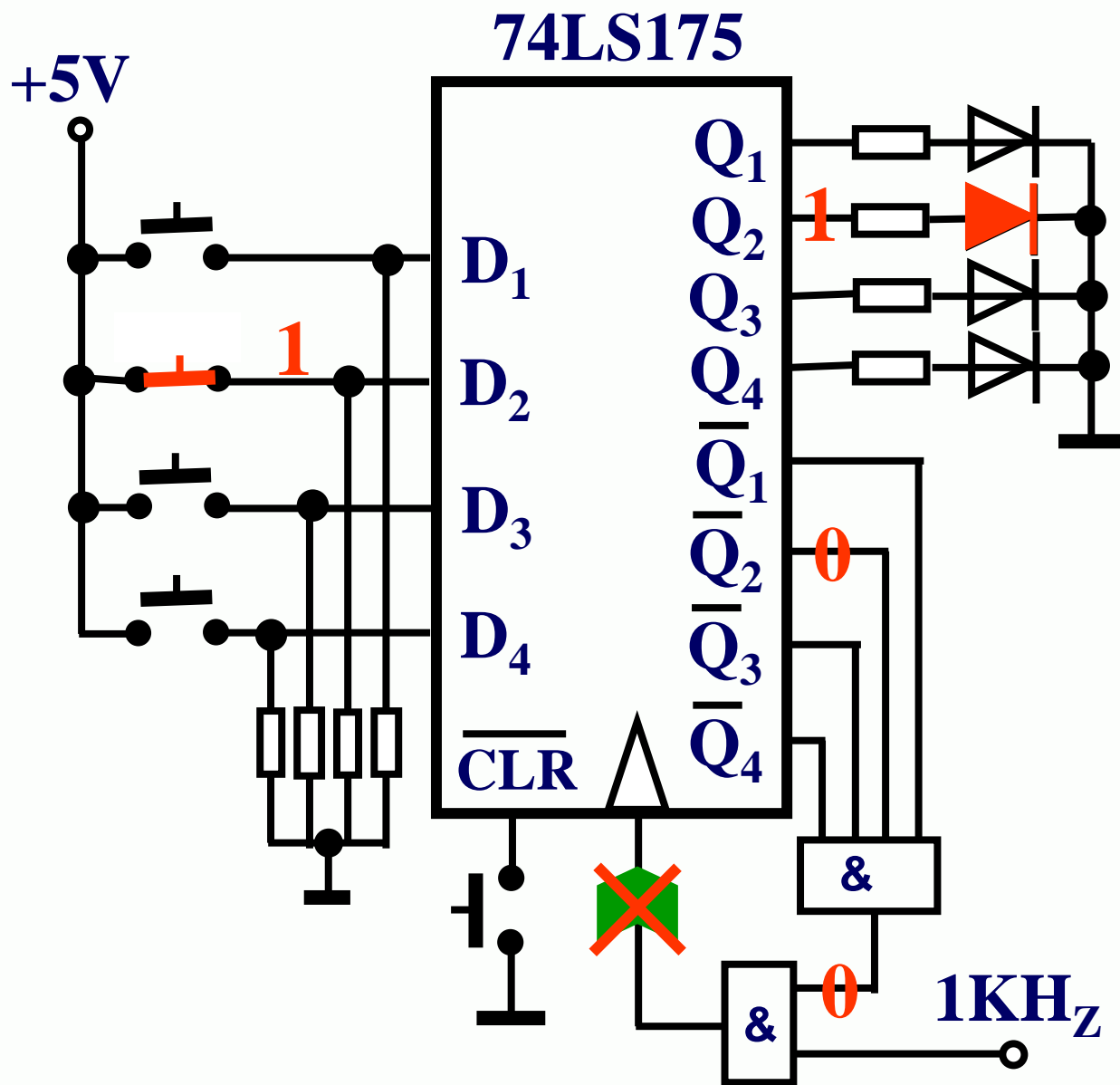


# D触发器应用举例：四路优先判决电路 74LS175



四D型触发器74175  
互补输出、共直接清  
除





2号选手  
拔得头筹

时钟的频  
率越高，区  
分选手按键  
先后的分辨  
率就越高。

## 小结

1. 触发器有两个基本性质：（1）有两个稳定状态“0”态和“1”态（2）在一定的外加信号作用下，触发器可从一个稳定状态转变到另一个稳定状态。
2. 描写触发器逻辑功能的方法主要有特性表、特性方程、卡诺图和波形图（又称时序图）等。
3. 按照结构不同，触发器可分为：
  - （1）基本RS触发器，为电平触发方式。
  - （2）同步触发器，为时钟电平触发方式。
  - （3）主从触发器，为脉冲触发方式。
  - （4）边沿触发器，为边沿触发方式。
4. 根据逻辑功能的不同，触发器可分为：
  - （1）RS触发器
  - （2）JK触发器
  - （3）D触发器
  - （4）T触发器（T'触发器）



## 触发器的分类

### 按触发方式

- 电平触发器
- 脉冲触发器
- 边沿触发器

### 按逻辑功能

- SR锁存器
- JK触发器
- D触发器
- T触发器
- T'触发器

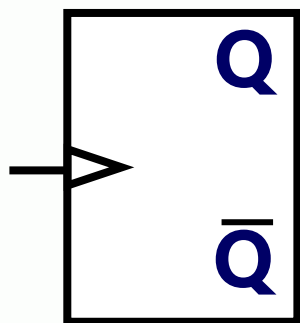
### 按结构

- 基本SR锁存器
- 同步SR触发器
- 主从触发器
- 边沿触发器

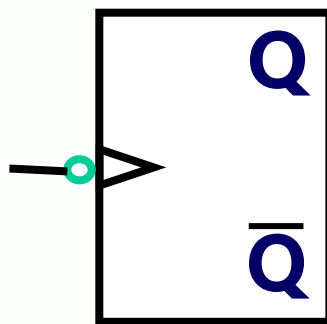
	结构形式	触发方式 (触发信号CP)	能构成何种功能FF
同步FF	基本FF+控制门	电平触发: 高电平触发 低电平触发	RS、D
边沿FF		边沿触发: 上升沿触发 下降沿触发	RS、D、T、T'、JK
主从FF	两个同步RSFF串接	主从触发: 高电平接收信号,下降沿建立状态 低电平接收信号,上升沿建立状态	RS、D、T、T'、JK

## 注意:

- 记住、分清各触发器的逻辑符号。
- 区分不同功能，看输入控制端名称。
- 区分不同触发方式，CP端有无小圈，有无小三角。

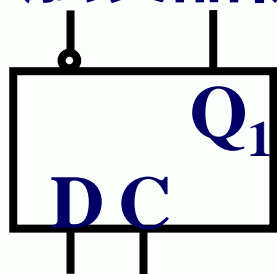


上升沿触发

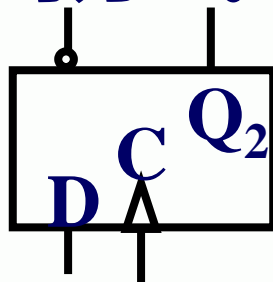


下降沿触发

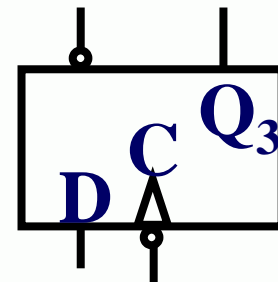
**例 试画出三种不同触发方式的D触发器在如下图中CP和D信号作用时各Q端的输出波形。设各触发器初始状态均为 0。**



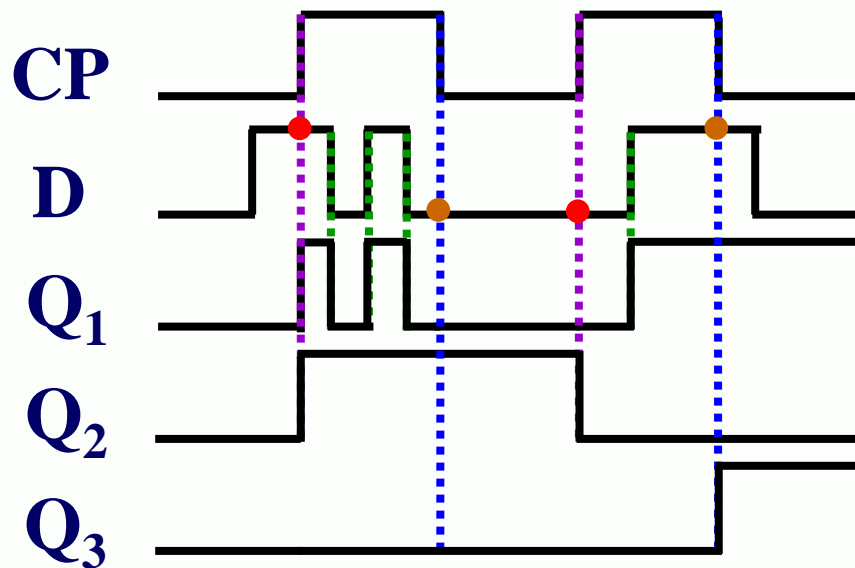
高电平触发



上升沿触发

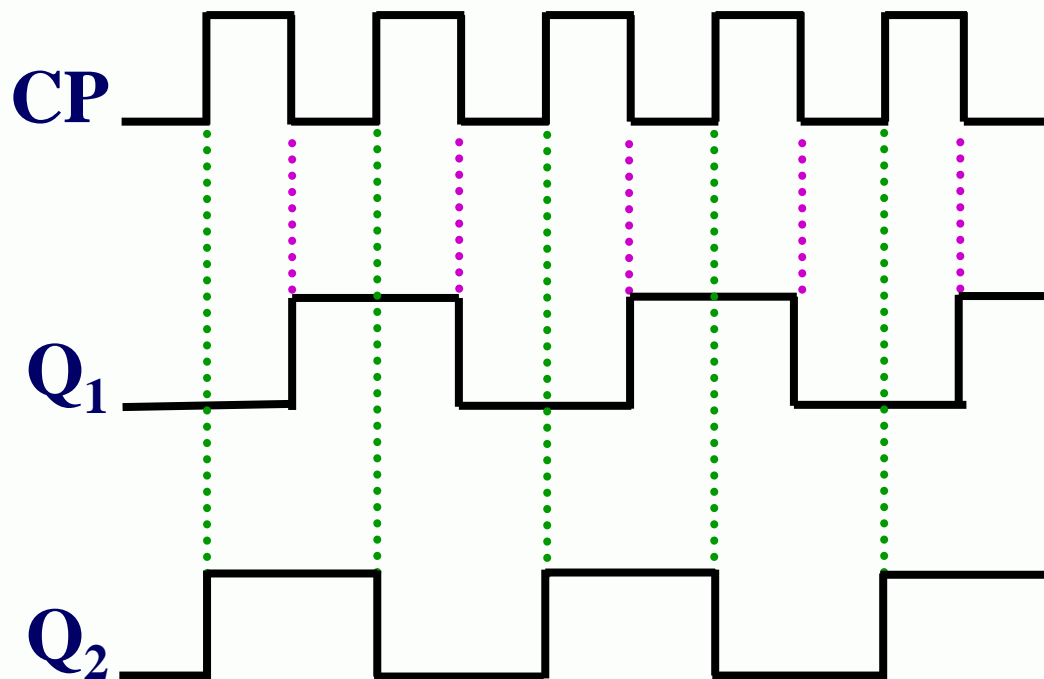
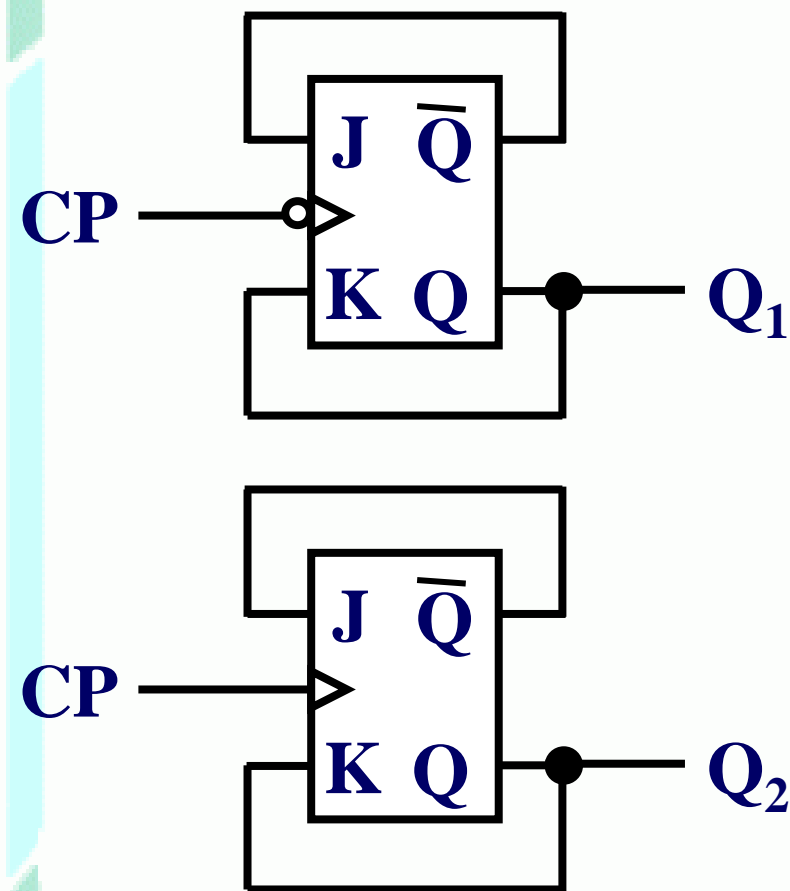


下降沿触发



# 讨论

假设初始状态  $Q^n = 0$



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

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

- 看懂逻辑符号；
- 熟练使用功能表、方程。