

数字逻辑设计

Digital Logic Design

高翠芸

School of Computer Science

gaocuiyun@hit.edu.cn

数字逻辑的知识脉络

后续课程：
如计算机
组成原理
等

本课程的内容

数字系统或计算机应用系统

Logisim、Verilog、VHDL等工具

组合逻辑电路

时序逻辑电路

编码器
译码器
全加器
比较器
...
数据选择器

寄存器
计数器
.....
节拍发生器

FPGA

CPLD

...

PROM

ROM

可编程逻辑器件

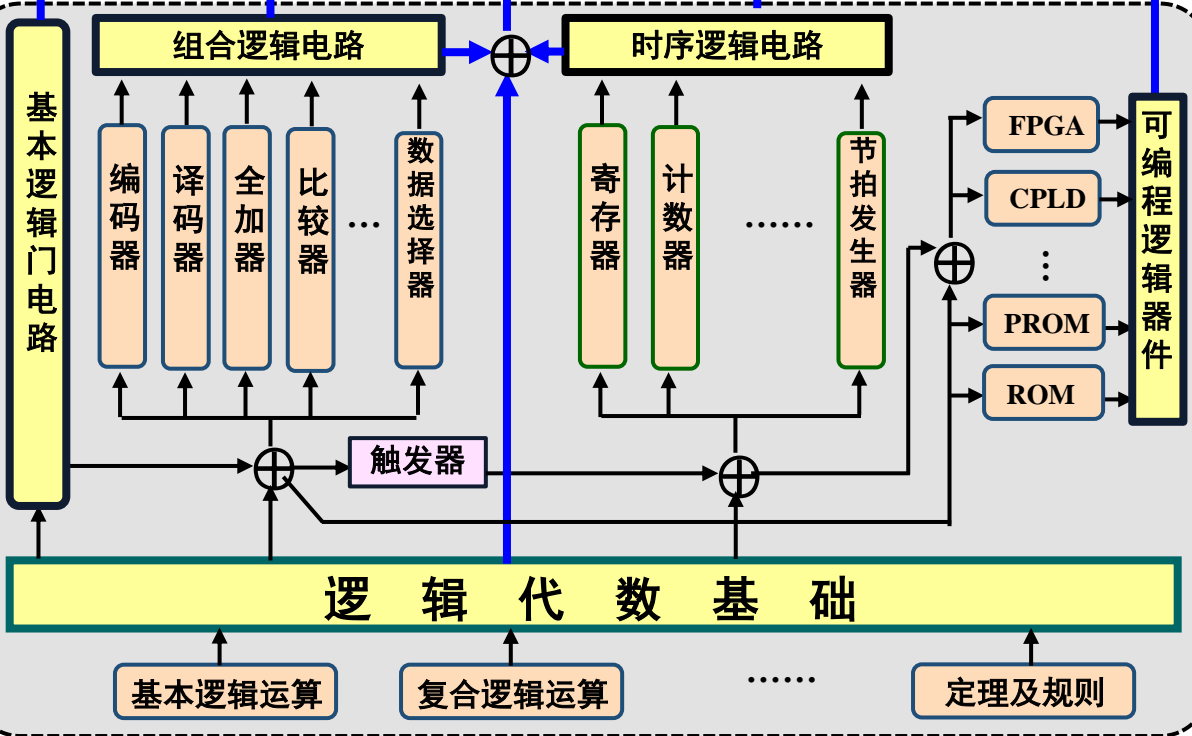
逻辑代数基础

基本逻辑运算

复合逻辑运算

.....

定理及规则



时序逻辑元件

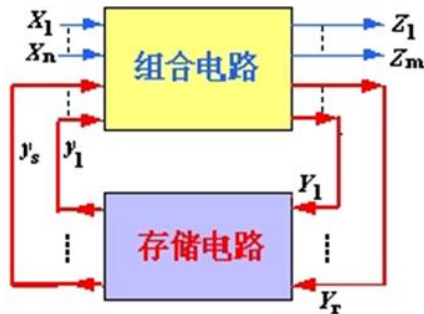
- 锁存器 (Latch)
- 触发器 (Flip-Flop)
- 带附加输入端的边沿触发器
- 触发器类型转换

时序逻辑电路的特点

组合电路的特点

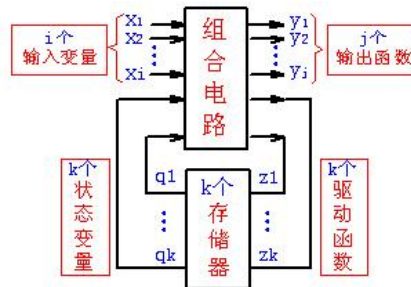
- 它是一种**无记忆电路**——输入信号消失，则输出信号也会立即消失
- 电路输出端的状态完全由输入端的状态决定

- 有时需要将参与运算的数据和运算结果保存起来——在组合逻辑电路的输出端添加具有**记忆功能**的部件



组合逻辑电路 vs 时序逻辑电路

- **锁存器和触发器**是构成存储电路的基本元件
- 两个重要概念：现态（原态）和 次态（新态）



构成		定义	结构	电路框图	逻辑函数表达式
数字逻辑电路	组合逻辑电路	<p>任意时刻的输出——</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 仅与当前时刻的输入有关 $Z_m = f_m(x_1, \dots, x_n)$	不包含存储元件		<p>只有一组：</p> $Z_m = f_m(x_1, \dots, x_n)$
	时序逻辑电路	<p>任意时刻的输出与以下均有关：</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 当前时刻的输入 ■ 电路过去（上一个时刻）的工作状态 $Z_m = f_m(x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_s)$	包含存储元件		<p>有三组：</p> <p>输出方程, 驱动方程, 状态方程：</p> $Z_m = f_m(x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_r)$ $Y_r = g_r(x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_s)$ $Y_s^{n+1} = q_s(x_1, \dots, x_n, Y_1^n, \dots, Y_s^n)$

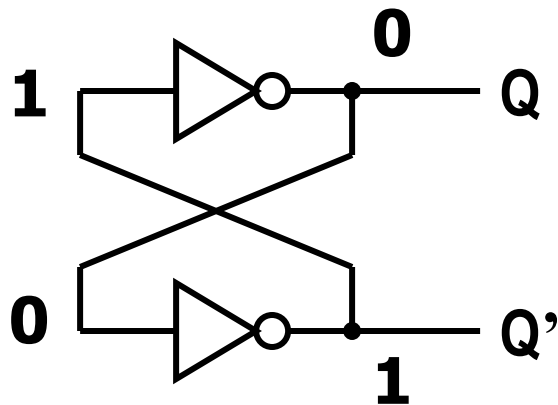
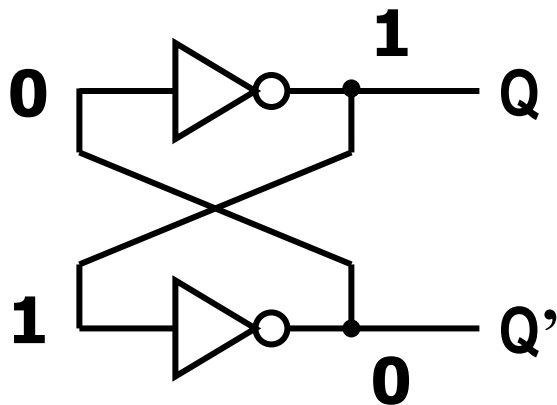
锁存器和触发器

- 锁存器：没有时钟输入端
- 触发器：有时钟输入端，并且只在时钟信号到来时，才发生状态转换

◆ 锁存器与触发器的特性（双稳态）

1. 有两个互补的输出端 Q 和 Q'
2. 有两个稳定的状态：0态, 1态
3. 在外界信号的刺激下，可以从一个稳定状态转变到另一个稳定状态。
4. 没有（或无效的）外界信号刺激，维持当前状态不变。

双稳态



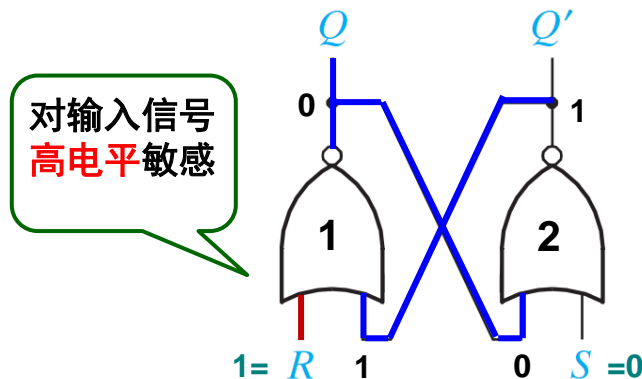
是否满足双稳态，有什么不足？

时序逻辑元件

- 锁存器 (Latch)
 - 或非门构成的基本RS锁存器
 - 与非门构成的基本RS锁存器
 - 门控D锁存器
- 触发器 (Flip-Flop)
 - 带附加输入端的边沿触发器
 - 触发器类型转换

基本RS锁存器（触发器的鼻祖）

(1) 电路构成（或非门）



$Q (Q_n)$ ——现态

$Q^+ (Q_{n+1})$ ——次态

$Q=0 (\bar{Q}=1)$: state 0

$Q=1 (\bar{Q}=0)$: state 1

R : 置0端(Reset the output to $Q=0$)

S : 置1端(Set the output to $Q=1$)

(2) 功能表

置0端 R	置1端 S	现态 Q_n	次态 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	—
1	1	1	—

RS 对 同时
取1互斥

保持

置 1

置 0

× 不允许

置0端 R	置1端 S	次态 Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	1
1	0	0
1	1	—

输入高电平
有效

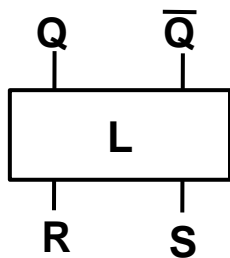
基本RS锁存器次态方程、逻辑符号等

(3) 次态方程

$$Q_{n+1} = S + \bar{R}Q_n$$

(SR = 0) 约束条件

(4) 逻辑符号



		S	
		0	1
RQ	00	0	1
	01	1	1
	11	0	X
	10	0	X

功能表

置0端 R	置1端 S	现态 Q_n	次态 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	—
1	1	1	—

基本RS锁存器驱动表

(5) 驱动表：完成状态转换需要满足的输入条件

$Q_n \rightarrow Q_{n+1}$	R	S
0 → 0	X	0
0 → 1	0	1
1 → 0	1	0
1 → 1	0	X

用于时序
电路设计

置0端 R	置1端 S	次态 Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	1
1	0	0
1	1	—

保持

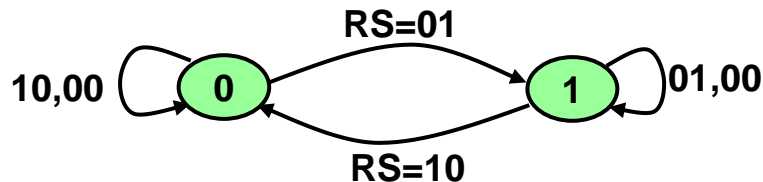
置 0

(6) 状态图

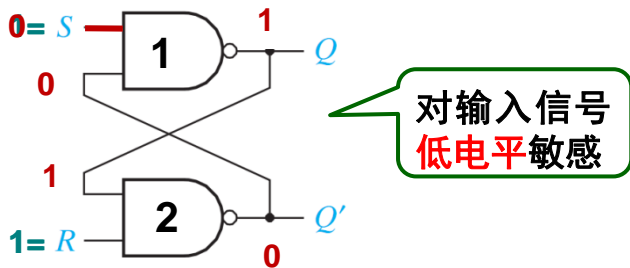
反映时序电路状态转移规律及相应输入、输出取值关系的有向图

图中元素的含义

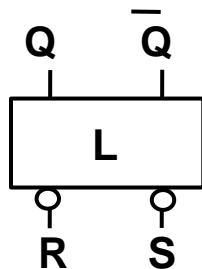
- 圆圈：表示电路的状态
- 有向线段：表示状态的转换关系
- 有向线段旁的文字：表示转换条件，即输入信号取值



另一种形式的基本RS锁存器（与非门）



逻辑符号:



(2) 功能表

置0端 R	置1端 S	现态 Q_n	次态 Q_{n+1}
1	1	0	0
1	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
0	0	0	—
0	0	1	—

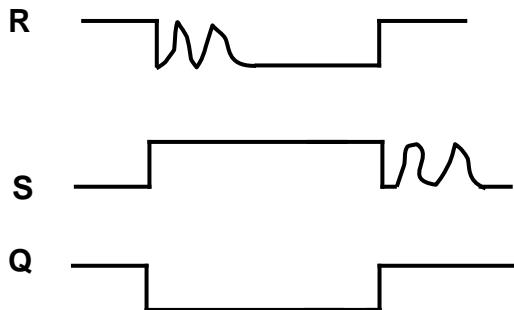
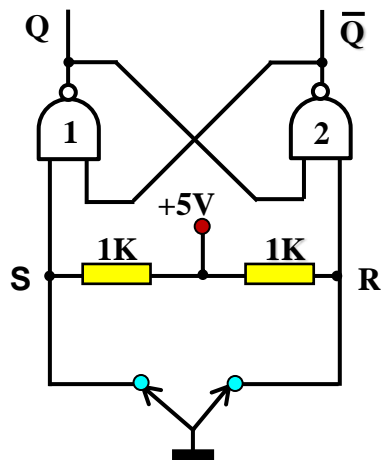
保持

置 1

置 0

× 不允许

锁存器的应用——开关去抖



- ❖ 由于机械弹性作用, 机械式开关在使用中, 通常伴随有一定时间的触点机械抖动。
- ❖ 触点抖动可能导致判断出错(一次按下或释放被错误地认为是多次操作)

(7) 典型芯片

74LS279: 4 R-S latches

RS锁存器小结

- 优点：结构简单

- 缺点：

 - ① 输入存在约束，使用不便；

 - ② 状态改变由输入直接控制。给使用带来局限性。

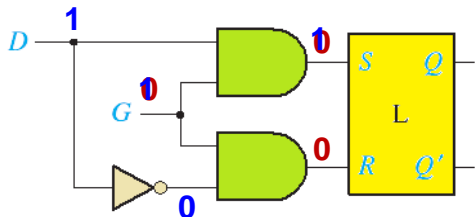
- 用途：记忆输入状态

- 基本RS锁存器是众多触发器的鼻祖

 - 其余的触发器都是在其基础上逐步改进和完善后形成的

门控D锁存器

(1) 电路构成



(2) 功能表

使能端 G	输入端 D	现态 Q_n	次态 Q_{n+1}
0	X	0	0
0	X	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

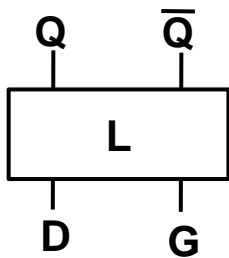
(3) 次态方程

\overline{GD}	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	1	1	1	0

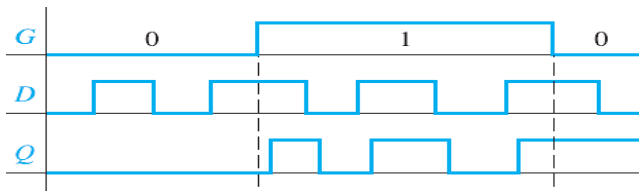
$$Q_{n+1} = GD + \overline{G}Q_n$$

在G为高电平期间，Q端的输出直接拷贝D端波形

(4) 逻辑符号



(5) 时序分析



(6) 典型芯片

74LS373: 8D锁存器

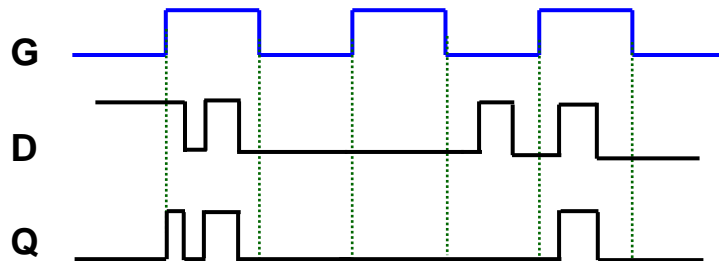
门控D锁存器的优缺点

- ◆ 特点：结构简单，仅一个输入端，不存在输入约束问题。
- ◆ 缺点：使能电位G作用期间，只要输入信号D改变（有时是干扰信号），Q也跟着改变，存在“空翻”现象

违背了构造时钟触发器的初衷：一个时钟内，最多允许触发器状态翻转一次

锁存器的使能端送时钟信号，电平触发方式的触发器

一个时钟内，触发器状态发生多次变化



“空翻”现象是锁存器（或电平方式触发器）共有的问题

“空翻”使以上器件不能正确实现计数功能！

☆ 关键问题：电平（电位）触发

☆ 解决方案：改电平触发为边沿触发

特征：时钟信号的上升沿或下降沿，触发器改变状态

什么样的Verilog描述会生成锁存器

只发生在组合逻辑电路中

1、if...else...语句没有else

```
always @ (*) begin
    if (d_en) q = d;
end
```

2、case语句没有default

锁存器的危害:

- 使静态时序分析变得非常复杂
- 对毛刺敏感，不能异步复位，上电后处于不确定的状态

```
reg q;
always @ (*) begin
    if (d_en) q2 = d;
    else      q2 = 1'h0;
end

always @ (*) begin
    case (cnt[1:0])
        2'b00 : q = d1;
        2'b01 : q = d2;
        2'b10 : q = d3;
    endcase
end
```

生成锁存器（latch）的示例

```
7   output reg [3:0] led
8 );
9   always @(*) begin
10     if(enable==1'b1)begin
11       if(select==1'b1)led=input_a-input_b;
12       else if(select==1'b0)led=input_a+input_b;
13       else led=0;
14     end
15     else if(enable==1'b0) led=4'b0000;
```

Open Block Design

Generate Block Design

SIMULATION

Run Simulation

RTL ANALYSIS

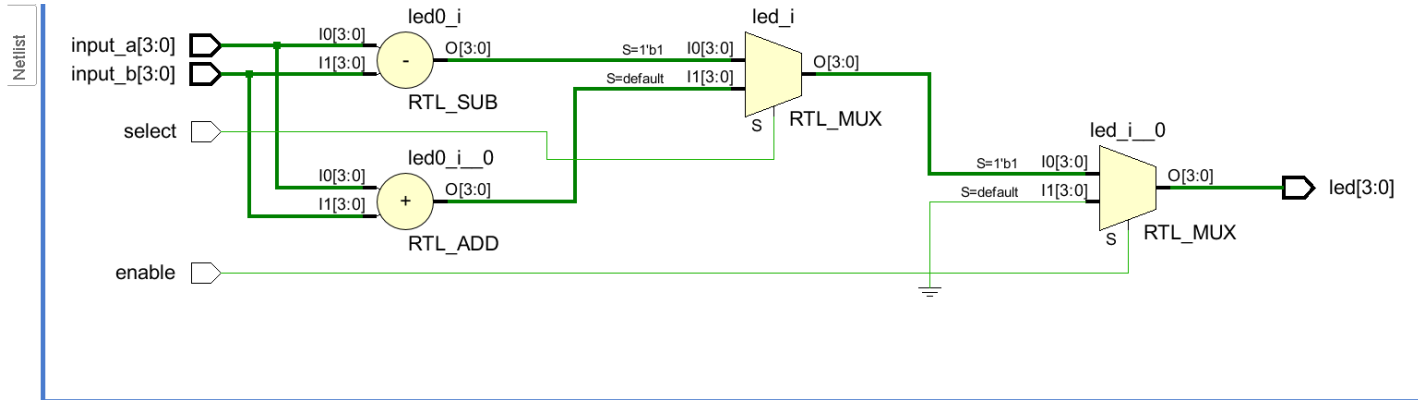
Open Elaborated Design

Report Methodology

Report DRC

Report Noise

Schematic



Tcl Console

Messages

Log

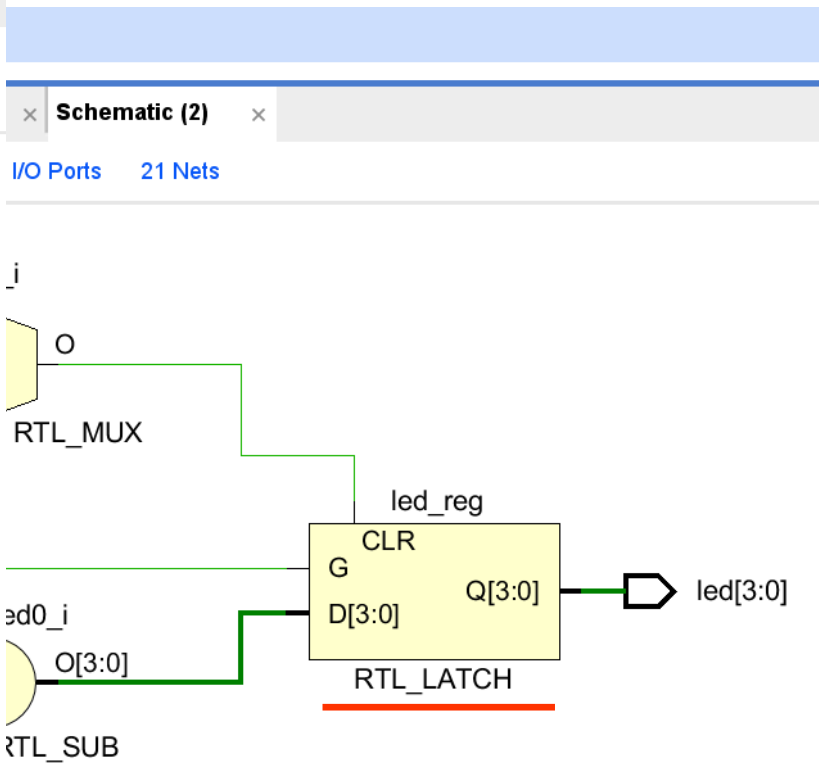
Reports

Design Runs

生成锁存器（latch）的示例——续

```
Project Summary x Schematic x multiplexers.v x testbench.v x Schematic (2) x
C:/VerilogCode/multiplexer/multiplexer.srcs/sources_1/imports/multipler/multiplexers.v

3 module multiplexer (
4     input wire enable,
5     input wire select,
6     input wire [3:0] input_a, input_b,
7     output reg [3:0] led
8 );
9 always @(*) begin
10     if(enable==1'b1)begin
11         if(select==1'b1)led=input_a-input_b;
12         //     else if(select==1'b0)led=input_a+input_b;
13         //     else led=0;
14     end
15     else if(enable==1'b0) led=4'b0000;
```



时序逻辑元件

- 锁存器（Latch）
 - 或非门构成的基本RS锁存器
 - 与非门构成的基本RS锁存器
 - 门控D锁存器
- 触发器（Flip-Flop）
- 带附加输入端的边沿触发器
- 触发器类型转换

时序逻辑元件

- 锁存器 (Latch)
- 触发器 (Flip-Flop)
- 带附加输入端的边沿触发器
- 触发器类型转换

边沿触发器

- D触发器
- RS触发器
- JK锁存器
- T触发器
- T'触发器
- 带附加输入端的触发器

时钟触发器

- 受时钟脉冲控制的触发器称作**时钟触发器**。
- 时钟也称**同步信号**。将多个触发器的时钟端相连，可以控制它们同一时刻动作。

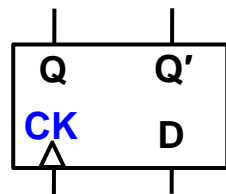
时钟触发器分类

按逻辑功能

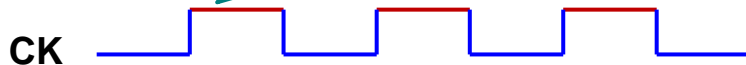
SR触发器
D触发器
JK触发器
T触发器
T'触发器

按触发方式

电平触发
边沿触发



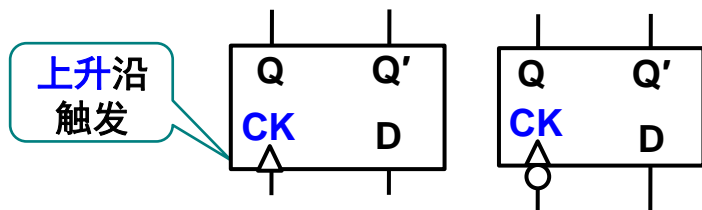
电平触发方式：时钟信号高电平期间，触发器可以做状态翻转



边沿触发方式：时钟上升沿到来时刻，触发器可以做状态翻转

边沿触发器——D触发器

(1) 逻辑符号



(2) 功能表（上升沿为例）

时钟端 CK	输入端 D	现态 Q_n	次态 Q_{n+1}
↑	0	0	0
↑	0	1	0
↑	1	0	1
↑	1	1	1

(3) 次态方程

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

时钟触发器的特点

- ◆由时钟脉冲确定状态转换的时刻（即何时转换？）
- ◆由输入信号确定触发器状态转换的方向（即如何转换？）

上升沿时刻

CK

D

采样D端的数据

Q

必须保证上升沿时刻能采样到正确数据

避免了空翻

(4) 驱动表

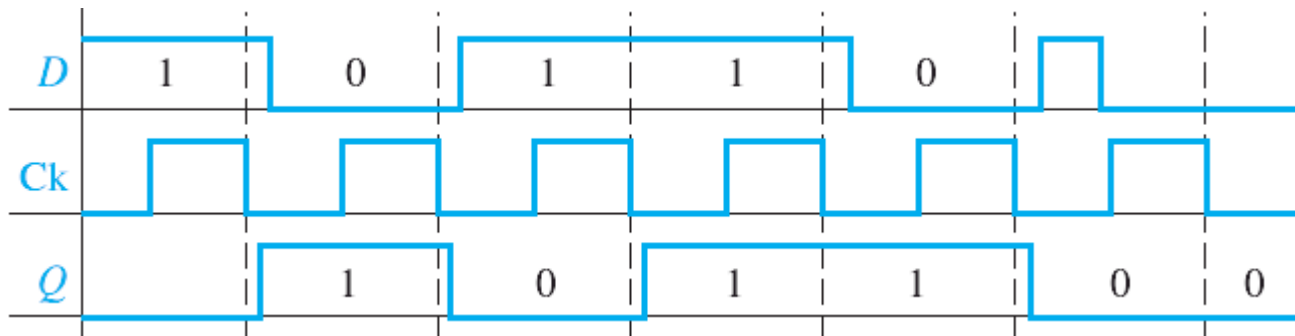
Q_n	→	Q_{n+1}	D
0	→	0	0
0	→	1	1
1	→	0	0
1	→	1	1

D触发器的特点：

最简单，应用最广

边沿触发器——D触发器

- 为了保证正常工作，输入信号D在**触发时钟边沿前后**保持恒定的值。
- 如果D在**触发边沿的同时**发生改变，最终的行为将变得难以预测。

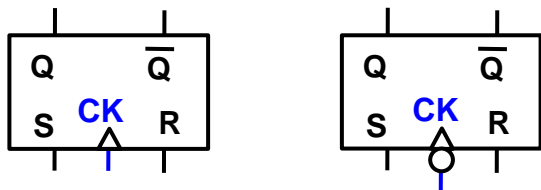


用Verilog实现D触发器

```
module VrDff(input CLK, input D, output reg Q);  
    always @ (posedge CLK)  
        Q <= D;  
endmodule
```

边沿触发器——RS触发器

(1) 逻辑符号



(3) 次态方程

$$Q_{n+1} = S + \bar{R}Q_n$$

$$SR = 0 \quad (\text{约束条件})$$

(2) 功能表（上升沿）

时钟端 CK	输入端 R	输入端 S	现态 Q_n	次态 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	—
↑	1	1	1	—

(4) 驱动表

Q_n	→	Q_{n+1}	R	S
0	→	0	X	0
0	→	1	0	1
1	→	0	1	0
1	→	1	0	X

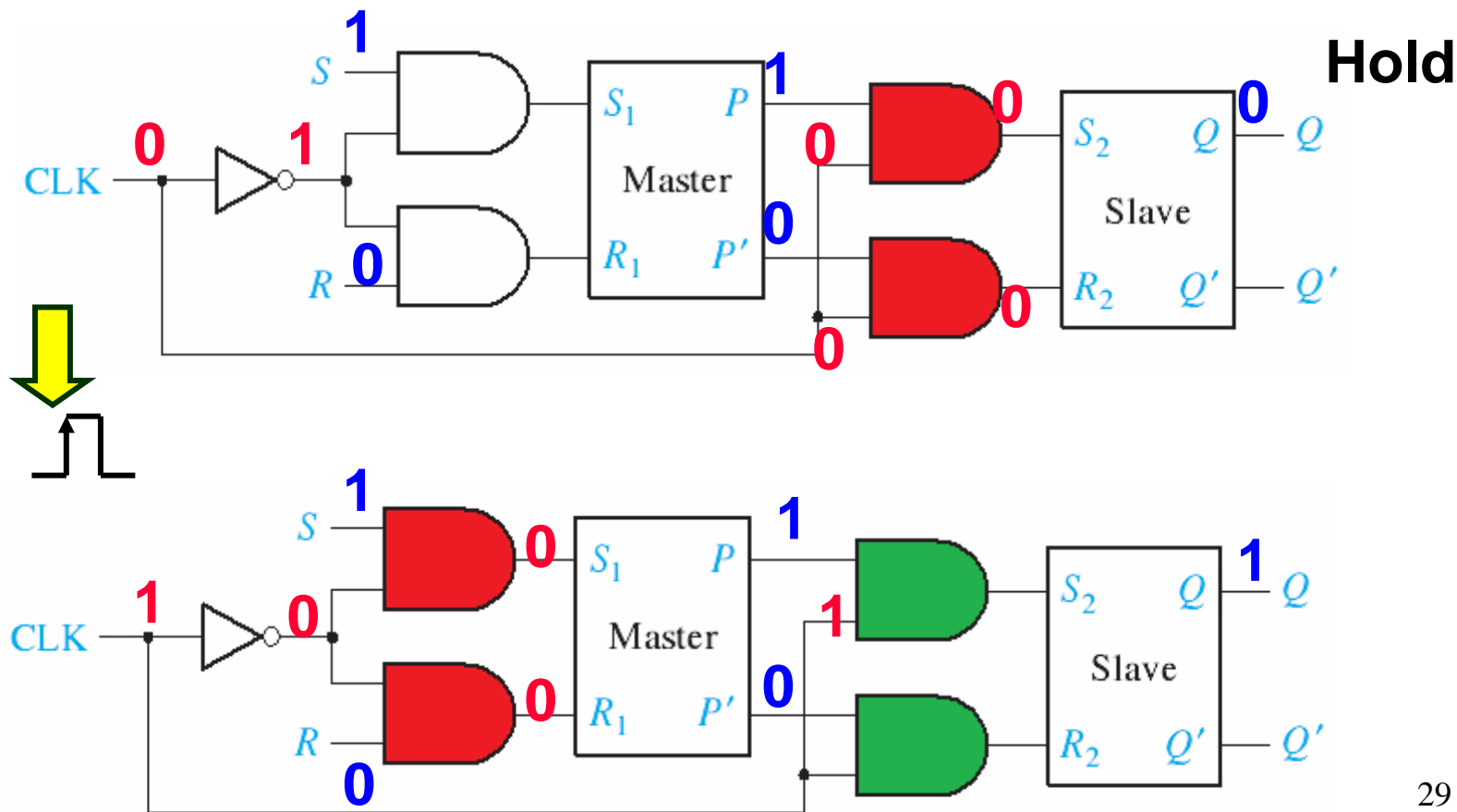
驱动表可以从触发器
功能推导出来

输入存在约束

RS触发器：输入存在约束

D触发器：没有约束，但是只有一个输入端

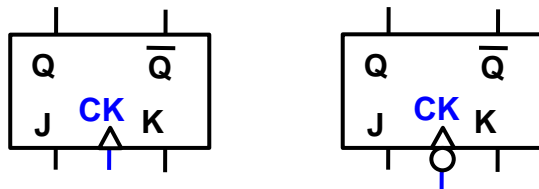
RS触发器——主从触发器



边沿触发器——JK触发器

(3) 次态方程

(1) 逻辑符号



(2) 功能表（下降沿）

时钟端 CK	输入端 J	输入端 K	现态 Q_n	次态 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

功能最全，输入没有约束

保持

置0

置1

翻转

$$Q_{n+1} = J \bar{Q}_n + \bar{K} Q_n$$

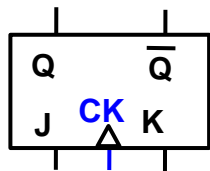
JK	00	01	11	10
0	0	0	1	1
1	1	0	0	1

(4) 驱动表

输入端 J	输入端 K	次态 Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	\bar{Q}_n

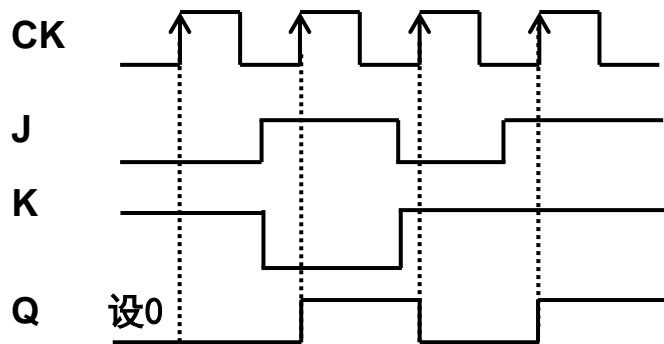
$Q_n \rightarrow Q_{n+1}$	J	K
0 → 0	0	X
0 → 1	1	X
1 → 0	X	1
1 → 1	X	0

边沿触发器—— JK触发器



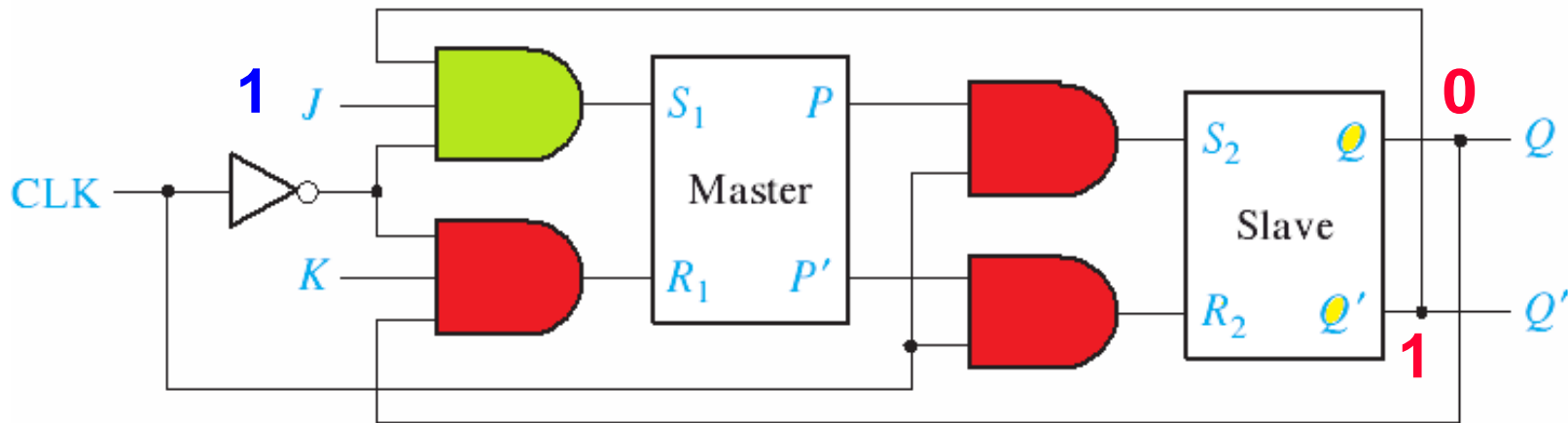
时钟边沿触发器

- ◆何时转换？——时钟脉冲有效边沿到来时刻
- ◆如何转换？——输入信号取值确定



输入端		次态
J	K	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	\overline{Q}_n

JK触发器——主从触发器



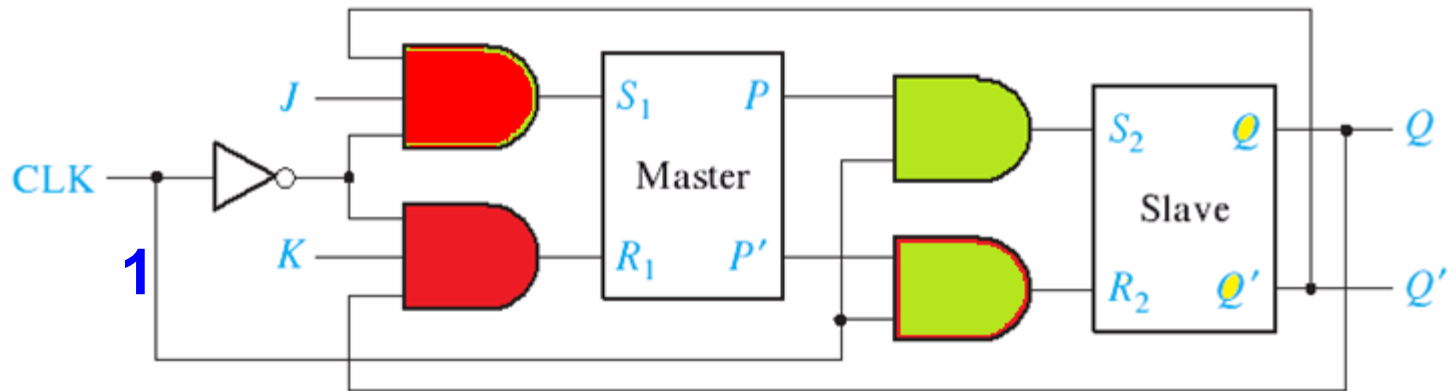
clk=0: If $Q=0$ and $J=1$, then $S_1=1, R_1=0$ ($P=1, P'=0$), 无论 K 取何值。
If $Q=1$ and $K=1$, then $S_1=0, R_1=1$ ($P=0, P'=1$), 无论 J 取何值。

主触发器的输出取决于从触发器的状态：

从触发器：0态；主触发器：1态

从触发器：1态；主触发器：0态

JK触发器——主从触发器



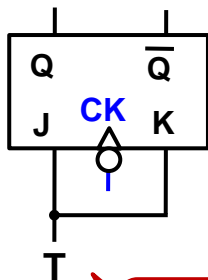
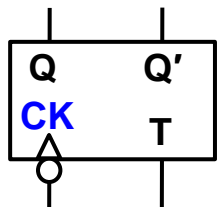
Clk ↑ :

If $Q=0$ and $J=1$: $P=1, P'=0$, then $S_2=1$ and $R_2=0$, $Q^+=1$

If $Q=1$ and $K=1$: $P=0, P'=1$, then $S_2=0$ and $R_2=1$, $Q^+=0$

边沿触发器——T触发器

(1) 逻辑符号



是JK触发器的特例

(2) 功能表（下降沿）

时钟端 CK	输入端 T	现态 Q_n	次态 Q_{n+1}
↓	0	0	0
↓	0	1	1
↓	1	0	1
↓	1	1	0

保持

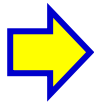
翻转

输入端 T	次态 Q_{n+1}
0	Q_n
1	\bar{Q}_n

(3) 次态方程

$$Q_{n+1} = J \bar{Q}_n + \bar{K} Q_n$$

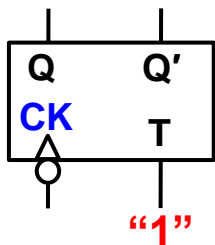
IF $J=K=T$



$$\begin{aligned} Q_{n+1} &= T \bar{Q}_n + T Q_n \\ &= T \oplus Q_n \end{aligned}$$

边沿触发器——T'触发器

(1) 逻辑符号



是T触发器的特例

(2) 功能表（下降沿）

时钟端 CK	输入端 T	现态 Q_n	次态 Q_{n+1}
↓	1	0	1
↓	1	1	0

(3) 次态方程

$$Q_{n+1} = J \bar{Q}_n + \bar{K} Q_n$$

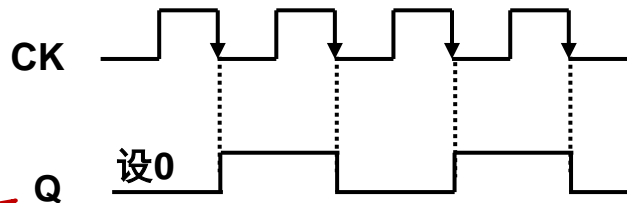


IF $J=K=T=1$

$$Q_{n+1} = \bar{Q}_n$$

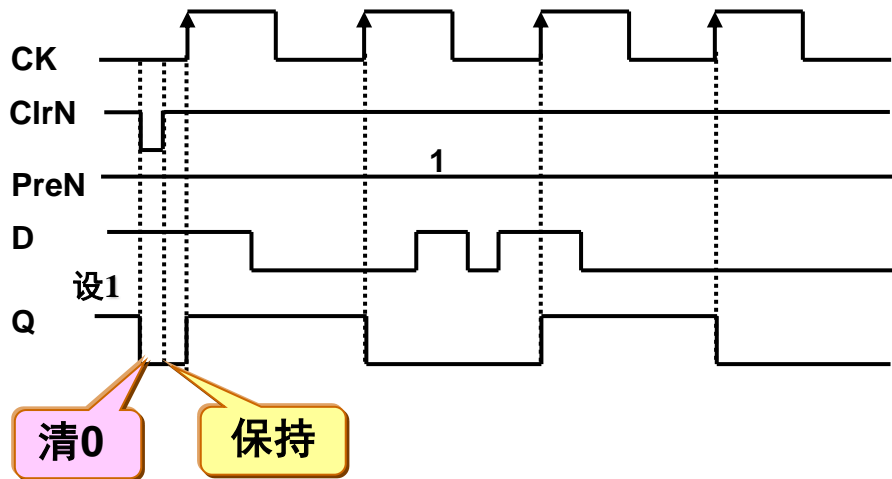
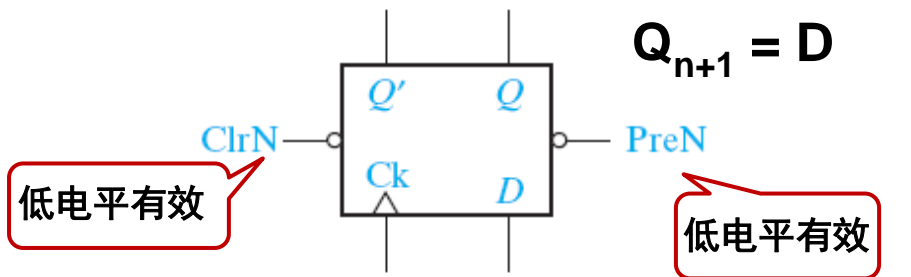
二分频

(4) 波形分析



带附加输入端的边沿触发器

■ 带异步清零端和异步置1端



异步：独立于时钟信号

用途：为触发器设置指定状态

时钟端 CK	输入端 D	异步置1端 PreN	异步清零端 ClrN	次态 Q_{n+1}
X	X	0	0	不允许
X	X	0	1	1
X	X	1	0	0
↑	0	1	1	0
↑	1	1	1	1
0,1, ↓	X	1	1	Q_n

- 被用于将触发器设置成**初始态**，而不依赖于时钟信号。

用Verilog实现带异步清零端的D触发器

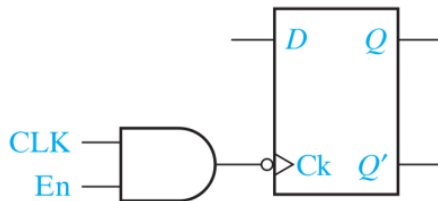
```
module VrDffC(input CLK, input CLRN, input D,  
              output reg Q);  
    always @ (posedge CLK or negedge CLRN)  
        if (CLRN==1'b0) Q <= 0;  
        else Q <= D;  
endmodule
```

带附加输入端的边沿触发器—续

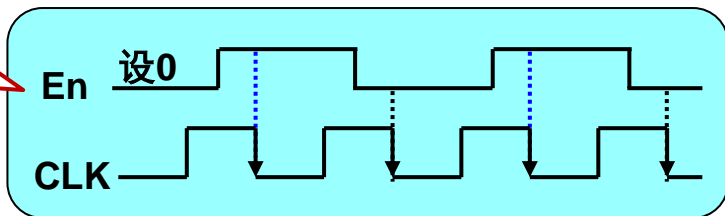
■ 带时钟使能端

解决方案:

使能端CE不与时钟端CLK捆绑使用

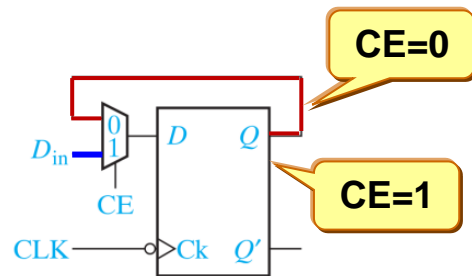
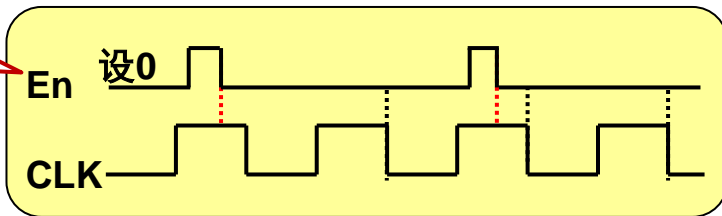


信号给定正确



后果: 失去同步性!

信号给定错误

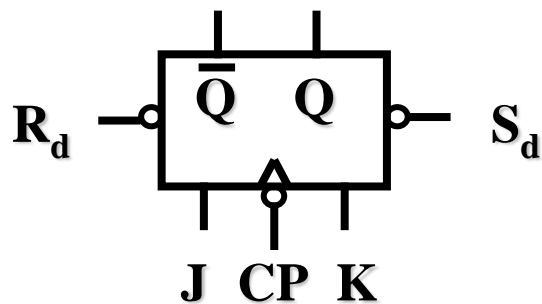


$$Q^+ = Q \cdot CE' + D \cdot CE$$

带时钟使能端的D触发器

```
module VrDffSE(input CLK, input CE,  
               input D, output reg Q);  
  
  always @ (posedge CLK)  
    if (CE==1) Q <= D;      //时钟使能有效  
    else Q <= Q;  
  
endmodule
```

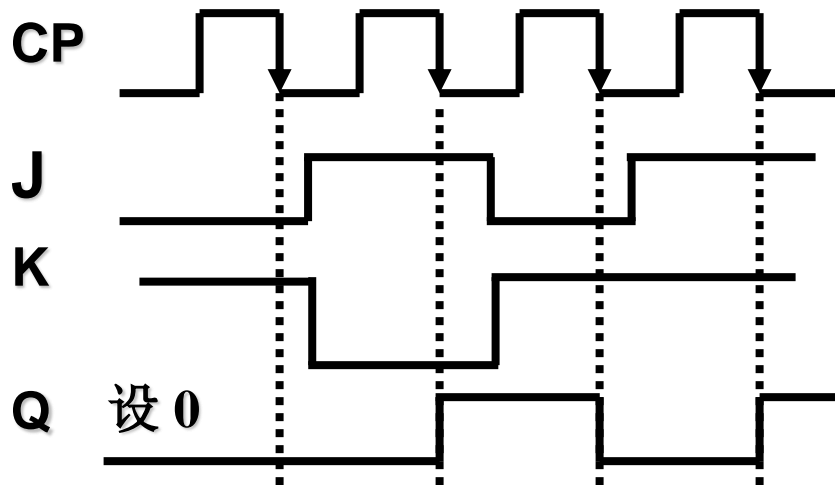
带附加输入端的边沿触发器—续



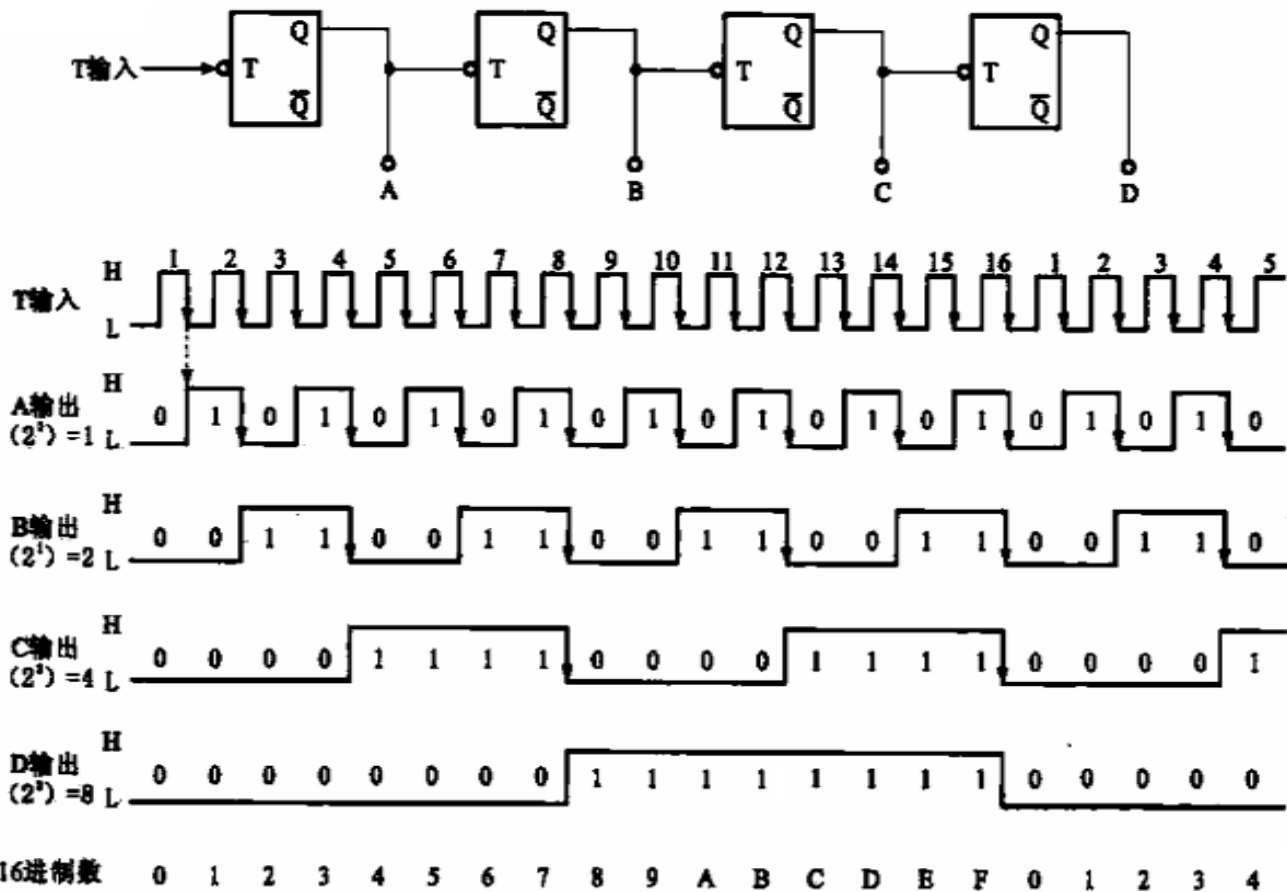
S_d	R_d	CP	J	K	Q^n	Q^{n+1}
1	0	x	x	x	x	0
0	1	x	x	x	x	1
1	1	\downarrow	0	0	0	0
			0	0	1	1
			0	1	0	0
			0	1	1	0
			1	0	0	1
			1	0	1	1
			1	1	0	1
			1	1	1	0

状态真值表

时序分析:

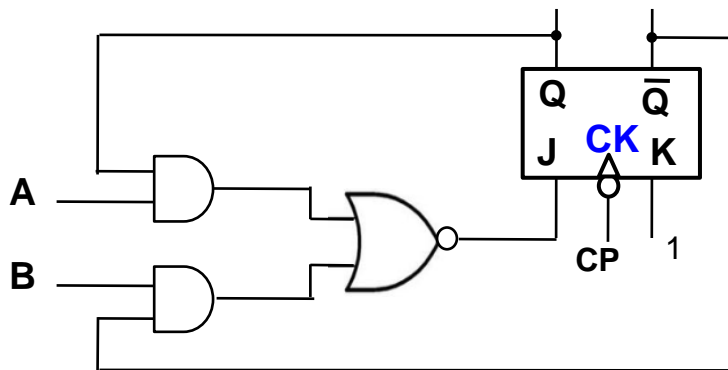


T触发器的应用—二进制加法计数器



JK触发器的应用实例

例1：写出JK触发器的次态方程

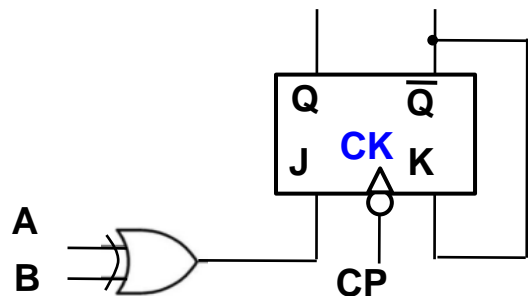


$$\begin{aligned}Q_{n+1} &= J \bar{Q}_n + \bar{K} Q_n \\&= J \bar{Q}_n \\&= \overline{A Q_n + B \bar{Q}_n \bar{Q}_n} \\&= \overline{A Q_n} \cdot \overline{B \bar{Q}_n \bar{Q}_n} \\&= (\bar{A} + \bar{Q}_n) (\bar{B} + Q_n) \bar{Q}_n \\&= \bar{A} \bar{B} \bar{Q}_n + \bar{B} \bar{Q}_n \\&= \bar{B} \bar{Q}_n\end{aligned}$$

JK触发器的应用实例2

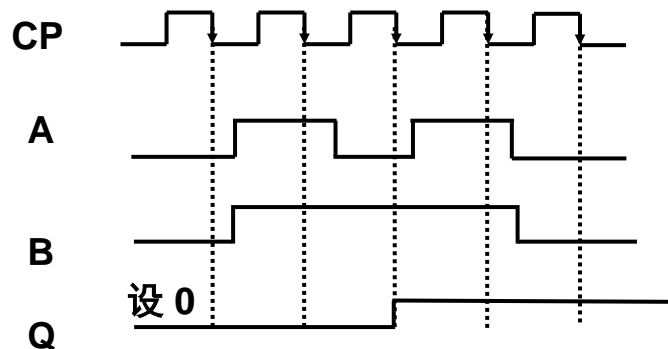
例2：画出Q端波形图

方法1：写出JK触发器的次态方程



$$\begin{aligned}Q_{n+1} &= J \bar{Q}_n + \bar{K} Q_n \\&= (A \oplus B) \bar{Q}_n + Q_n Q_n \\&= A \oplus B + Q_n\end{aligned}$$

按照次态方程，在每一个时钟下降沿画出Q端波形



方法2：在每一个时钟下降沿，计算J和K的取值，从而确定Q端波形

- 第1个↓：J=0, K=1 置0功能
- 第2个↓：J=0, K=1 置0功能
- 第3个↓：J=1, K=1 翻转功能
- 第4个↓：J=0, K=0 保持功能
- 第5个↓：J=0, K=0 保持功能

输入端		次态
J	K	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	\bar{Q}_n

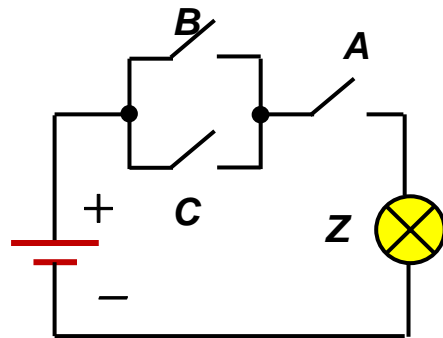
触发器的应用——1

1. 存储功能的应用——保存瞬态信号，直到清除为止

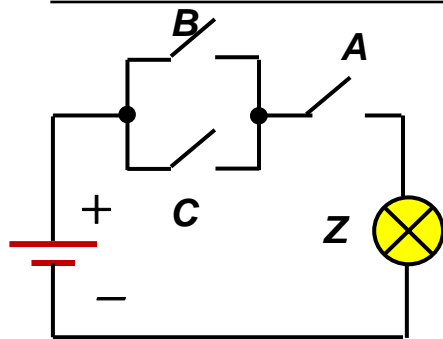
【例】举重裁判逻辑电路V2.0：一个主裁判A和两个副裁判B和C，只有两人以上(必须包含主裁判在内)认定试举动作合格，并按下自己的按钮时，输出信号 $Z=1$ ，该信号一直保持下去，直到工作人员按下清除按钮 P为止。

分析：

- 三个人的按钮动作有先后、长短之别，所以需要3个存储元件分别保存三个按钮信号；
- 存储元件有置1和置0功能即可（锁存器和SR、JK、D触发器均可）



触发器的应用——续

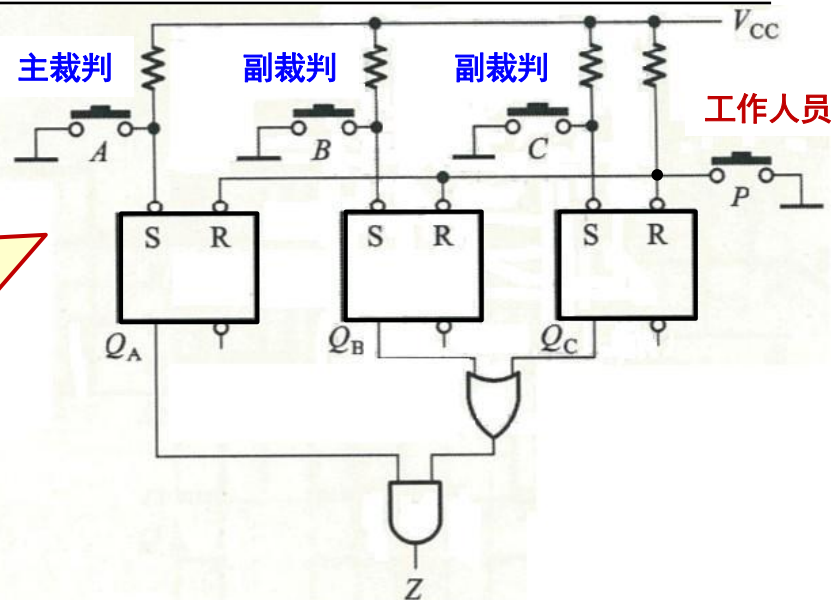


对于每个锁存器：

- 裁判按钮按下，执行**置1**功能；按钮弹起，执行**保持**功能；
- 按钮P按下，全体执行**置0**功能

基本RS锁存器

- 锁存器的置1端S：连接主裁判按钮A、和副裁B、C输出的低电平
- 锁存器的置0端R：连接工作人员按钮P给出的低电平
- 输出信号Z：三个锁存器输出状态的或与逻辑。



采用JK触发器或D触发器，如何实现？哪种方法更简单？

三人表决器设计

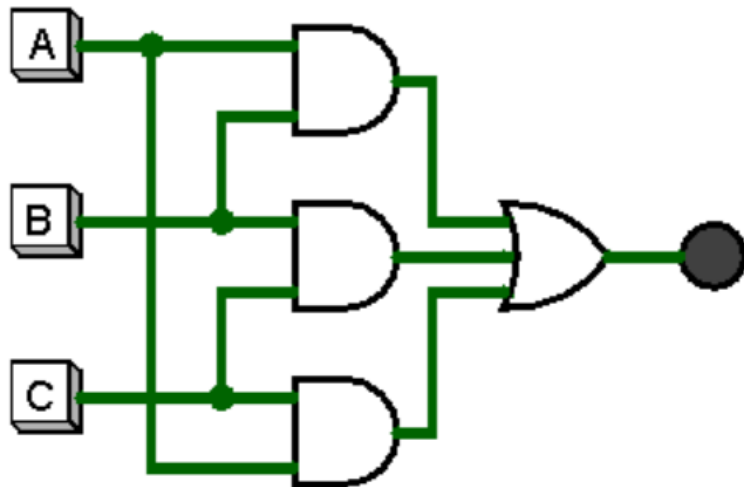
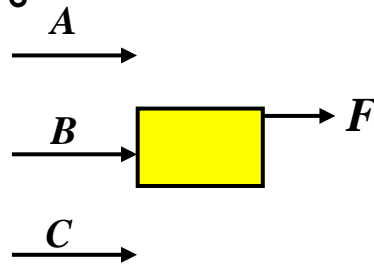
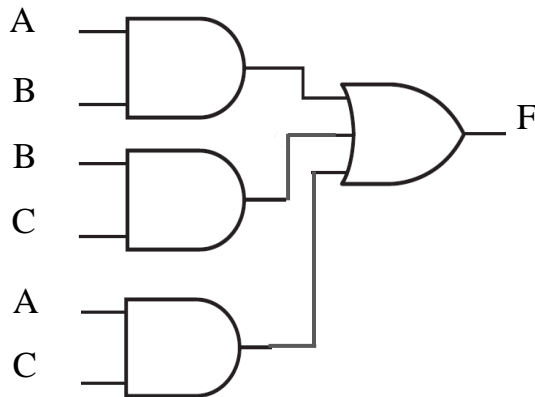
■少数服从多数，结果为多数人的选择。

真值表

A	B	C	F
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

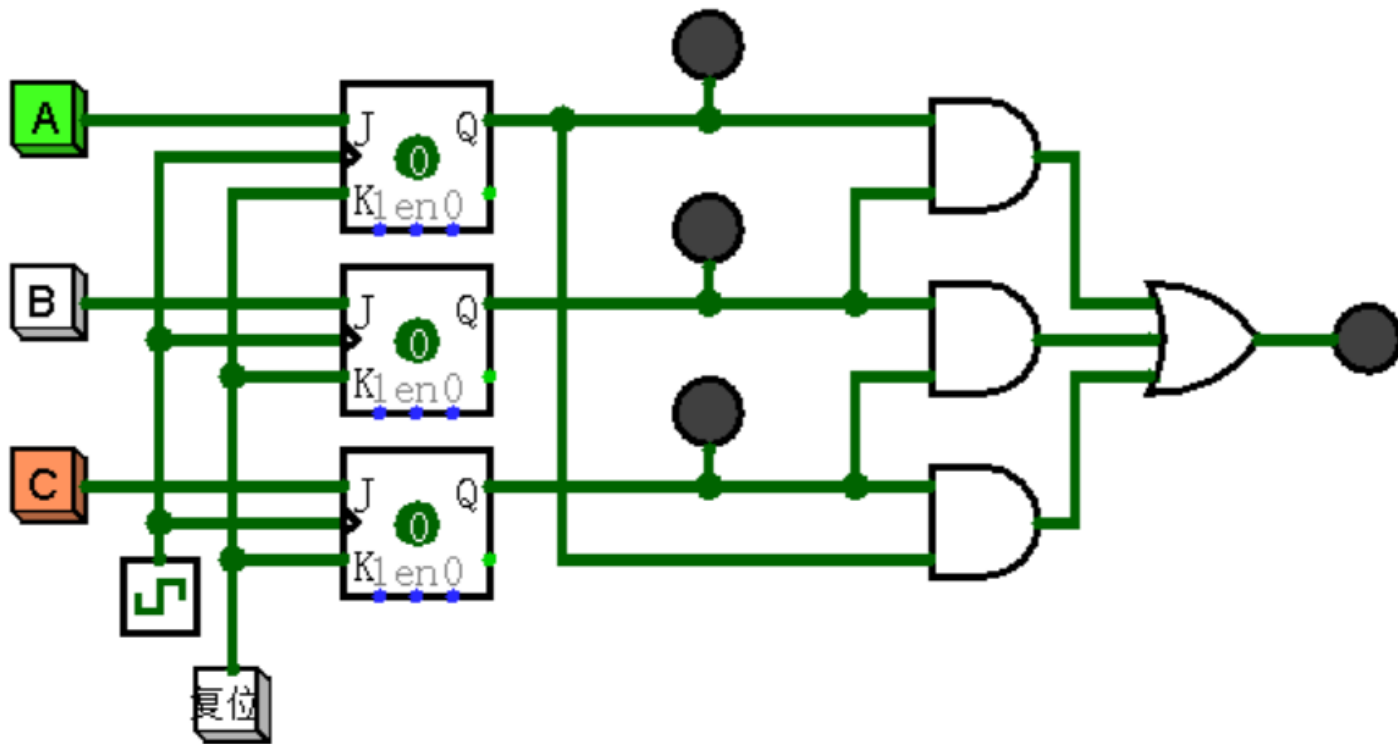
BC	00	01	11	10
A	0	0	1	0
1	0	1	1	1

$$F = AB + AC + BC$$



触发器的应用——存储功能

保存瞬态信号，直到清除为止

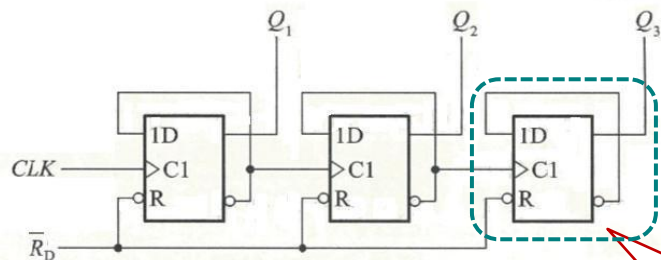


触发器的应用——2

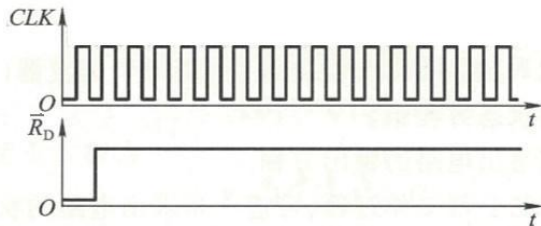
2. 分频/计数功能的应用——

利用触发器的置0、置1功能，由多个触发器组成分频电路，对输入的时钟信号进行分频。

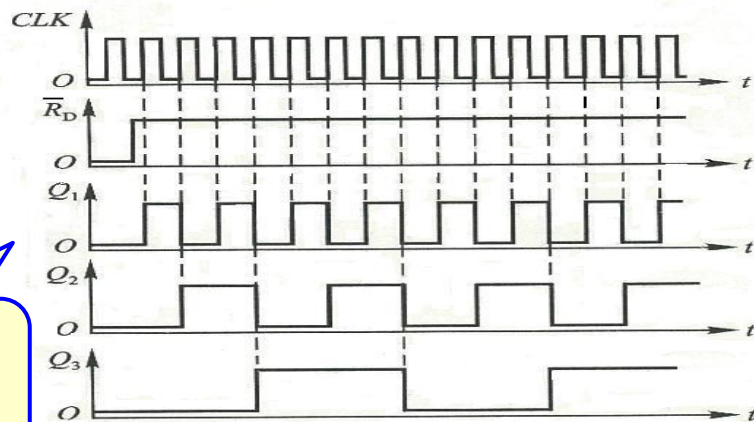
【例】分析输出信号 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 与时钟信号CLK之间的频率关系，R为清零端



T'触发器



Q_1 对CLK二分频
 Q_2 对CLK四分频
 Q_3 对CLK八分频



Q_1 、 Q_2 、 Q_3 输出波形

边沿触发器——总结

时钟边沿触发器的特点

- ◆ 由时钟脉冲边沿确定状态转换的时刻(即何时转换?)
其余时刻都是保持功能
- ◆ 由输入信号确定触发器状态转换的方向(即如何转换?)

思考：对于一个下降沿触发的JK触发器，如果让它实现保持功能，有几种方法可以做到？

◆ 方法1：

最简单的方法：不给有效的时钟边沿（此时不用考虑J端和K端的信号）

方法

◆ 方法2：

给时钟下降沿，此时触发器的保持功能就必须依靠J端和K端的信号配合才能完成

边沿触发器

- D触发器
- SR触发器
- JK触发器
- T触发器
- T'触发器
- 带附加输入端的触发器

时序逻辑元件

- 锁存器 (Latch)
- 触发器 (Flip-Flop)
- 带附加输入端的边沿触发器
- 触发器类型转换

触发器类型转换——代数法

- 触发器类型主要有5种，用到最多的是D触发器
- 触发器类型可以相互转换（例如，设计中手头没有需要的触发器类型）

转换方法 {
■ 代数法
■ 卡诺图法

□ 代数法

从次态方程入手

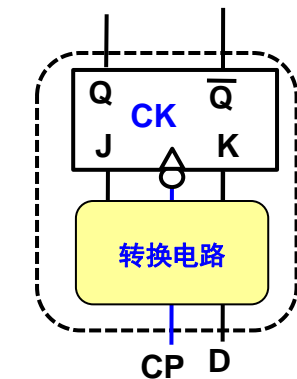
1. JK → D、T (T')、RS

(1) JK → D

$$\left. \begin{array}{l} \text{JK: } Q_{n+1} = J \bar{Q}_n + \bar{K} Q_n \\ \text{D: } Q_{n+1} = D \end{array} \right\}$$

$$D = J \bar{Q}_n + \bar{K} Q_n$$

$$D(Q_n + \bar{Q}_n) = J \bar{Q}_n + \bar{K} Q_n \rightarrow$$



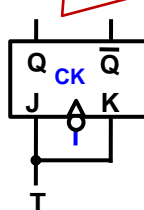
$$\left\{ \begin{array}{l} J=D \\ \bar{K}=D \quad (K=\bar{D}) \end{array} \right.$$

触发器类型转换——JK转其他

(2) JK → T

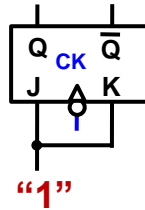
$$\left. \begin{array}{l} \text{JK: } Q_{n+1} = J \bar{Q}_n + \bar{K} Q_n \\ \text{T: } Q_{n+1} = T \bar{Q}_n + \bar{T} Q_n \end{array} \right\} \begin{array}{l} J=T \\ K=T \end{array}$$

JK触发器的特例



T'

T触发器的特例



(3) JK → RS

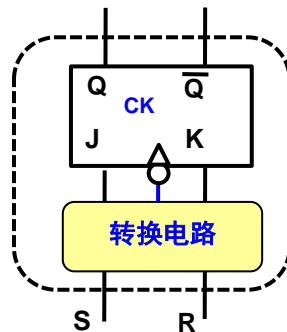
$$\text{JK: } Q_{n+1} = J \bar{Q}_n + \bar{K} Q_n$$

$$\begin{aligned} \text{SR: } Q_{n+1} &= S + \bar{R} Q_n = S(Q_n + \bar{Q}_n) + \bar{R} Q_n \\ &= S Q_n + S \bar{Q}_n + \bar{R} Q_n \\ &= S Q_n (R + \bar{R}) + S \bar{Q}_n + \bar{R} Q_n \\ &= R S Q_n + \bar{R} S Q_n + S \bar{Q}_n + \bar{R} Q_n \\ &= R S Q_n + S \bar{Q}_n + \bar{R} Q_n \end{aligned}$$

RS=0

$$J = f(R, S, Q)$$

$$K = f(R, S, Q)$$



$$J=S$$

$$K=R$$

触发器类型转换——D转其他

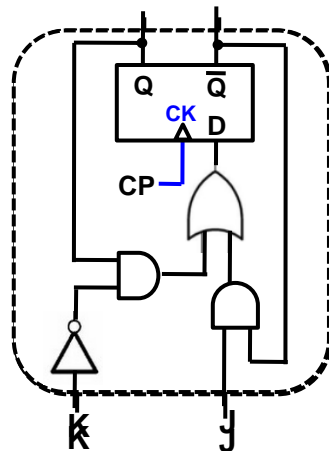
2. $D \rightarrow JK$ 、 T (T')、 RS

(1) $D \rightarrow JK$

$$\left. \begin{array}{l} JK: Q_{n+1} = J \bar{Q}_n + \bar{K} Q_n \\ D: Q_{n+1} = D \end{array} \right\}$$

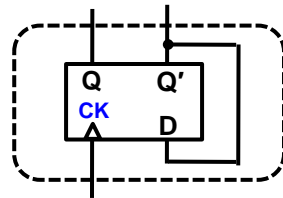
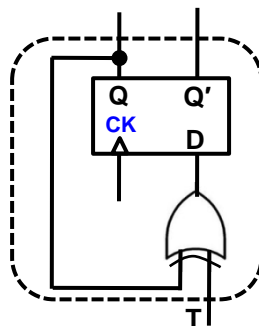
$$D = f(J, K, Q)$$

$$D = J \bar{Q}_n + \bar{K} Q_n$$



(2) $D \rightarrow T$ (T')

$$\left. \begin{array}{l} T: Q_{n+1} = T \oplus Q_n \\ D: Q_{n+1} = D \\ T': Q_{n+1} = \bar{Q}_n \end{array} \right\} \begin{array}{l} D = T \oplus Q_n \\ D = \bar{Q}_n \end{array}$$



(3) $D \rightarrow RS$?

触发器类型转换——D转其他

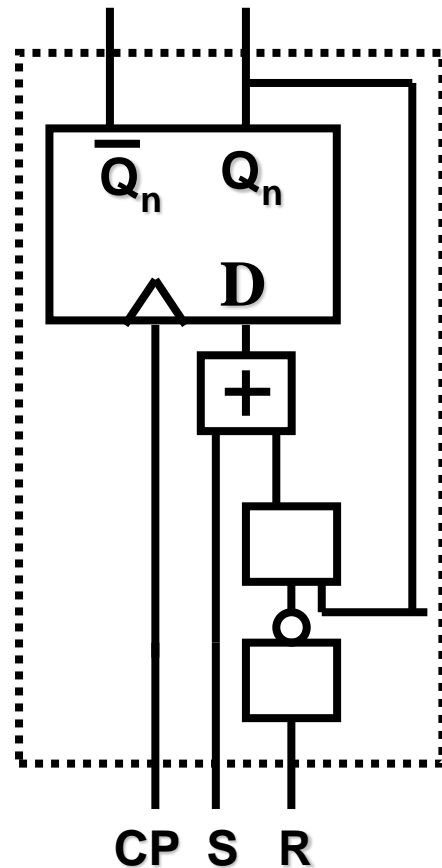
2. $D \rightarrow JK$ 、 T (T')、 RS

(3) $D \rightarrow RS$

D: $Q_{n+1} = D$

RS: $Q_{n+1} = S + \overline{R} Q_n$

$\longrightarrow D = S + \overline{R} Q_n$



触发器类型转换——卡诺图法

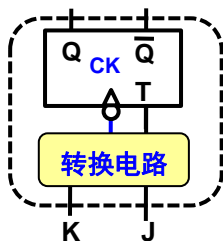
□ 卡诺图法

1. $T \rightarrow JK$ 、 D 、 RS

(1) $T \rightarrow JK$

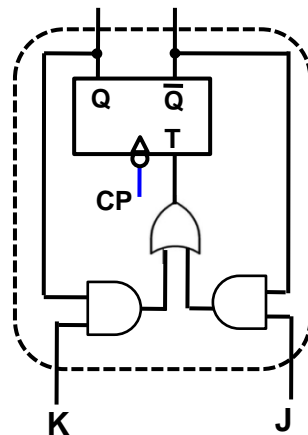
$Q_n \rightarrow Q_{n+1}$	T	J	K
0 \rightarrow 0	0	0	X
0 \rightarrow 1	1	1	X
1 \rightarrow 0	1	X	1
1 \rightarrow 1	0	X	0

$$T = f(J, K, Q)$$



$$T = J\bar{Q}_n + KQ_n \rightarrow$$

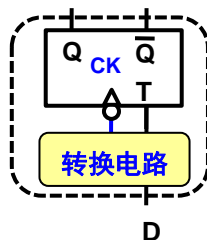
$Q_n \backslash JK$	00	01	11	10
0	0	0	1	1
1	0	1	1	0



(2) $T \rightarrow D$

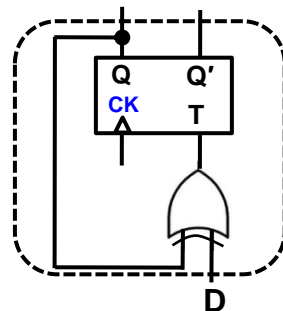
$Q_n \rightarrow Q_{n+1}$	T	D
0 \rightarrow 0	0	0
0 \rightarrow 1	1	1
1 \rightarrow 0	1	0
1 \rightarrow 1	0	0

$$T = f(D, Q)$$



$$T = D \oplus Q_n \rightarrow$$

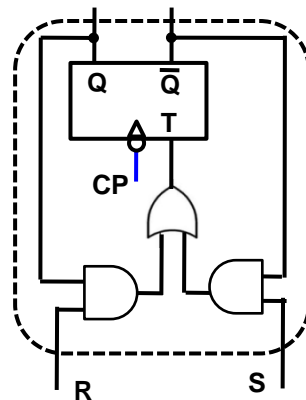
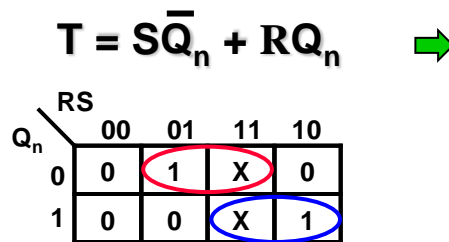
$Q_n \backslash D$	0	1
0	0	1
1	1	0



触发器类型转换——卡诺图法

(3) $T \rightarrow RS$

Q_n	\rightarrow	Q_{n+1}	T	R	S
0	\rightarrow	0	0	X	0
0	\rightarrow	1	1	0	1
1	\rightarrow	0	1	1	0
1	\rightarrow	1	0	0	X



触发器类型转换——卡诺图法

2. RS \rightarrow JK、D、T(T')?

(1) RS \longrightarrow JK

$Q_n \rightarrow Q_{n+1}$	R S	J	K
0 \rightarrow 0	\times 0	0	\times
0 \rightarrow 1	0 1	1	\times
1 \rightarrow 0	1 0	\times	1
1 \rightarrow 1	0 \times	\times	0

S

$Q_n \backslash JK$	00	01	11	10
0	0	0	1	1
1	\times	0	0	\times

R

$Q_n \backslash JK$	00	01	11	10
0	\times	\times	0	0
1	0	1	1	0

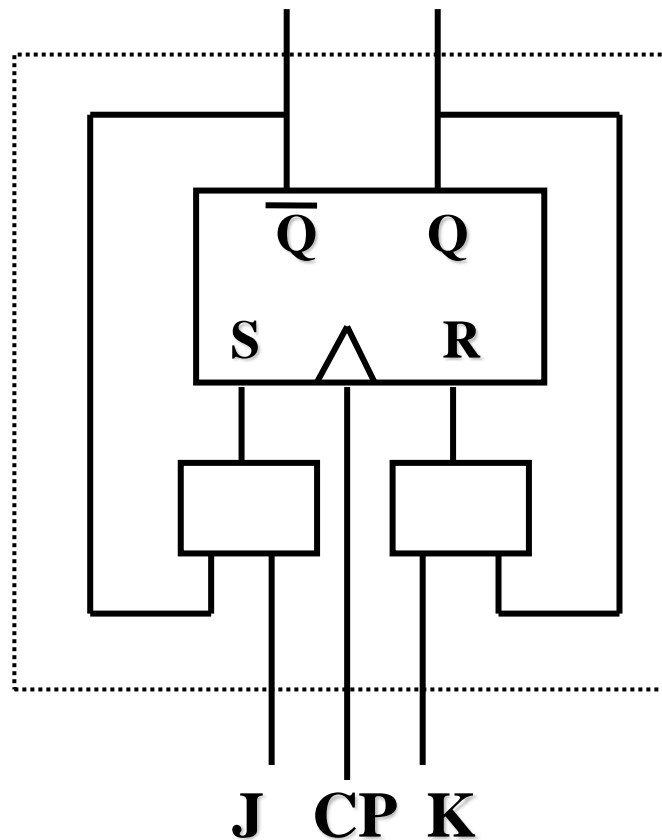
$$\begin{cases} R = K Q_n \\ S = J \bar{Q}_n \end{cases}$$

触发器类型转换——卡诺图法

2. RS \rightarrow JK、D、T(T')

(1) RS \longrightarrow JK

$$\begin{cases} R = K Q_n \\ S = J \bar{Q}_n \end{cases}$$



触发器类型转换——卡诺图法

(2) RS \longrightarrow D

$Q_n \longrightarrow Q_{n+1}$	R S	D
0 \longrightarrow 0	\times 0	0
0 \longrightarrow 1	0 1	1
1 \longrightarrow 0	1 0	0
1 \longrightarrow 1	0 \times	1

		R	
		0	1
D	Q_n	\times	1
	1	0	0

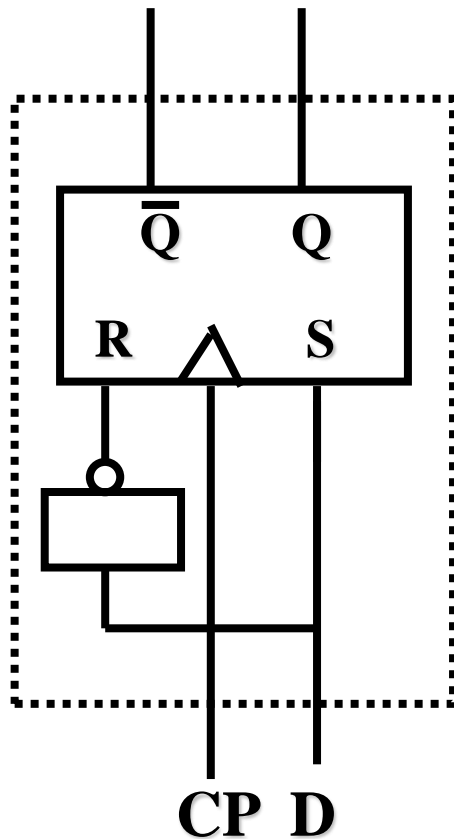
		R	
		0	1
S	Q_n	0	0
	1	1	\times

$$\begin{cases} S = D \\ R = \bar{D} \end{cases}$$

触发器类型转换——卡诺图法

(2) RS \longrightarrow D

$$\begin{cases} S = D \\ R = \bar{D} \end{cases}$$



触发器类型转换——卡诺图法

(3) RS \longrightarrow T?

$Q_n \longrightarrow Q_{n+1}$	R S	T
0 \longrightarrow 0	\times 0	0
0 \longrightarrow 1	0 1	1
1 \longrightarrow 0	1 0	1
1 \longrightarrow 1	0 \times	0

		Q_n	
		0	1
S	T	0	\times
	1	1	0

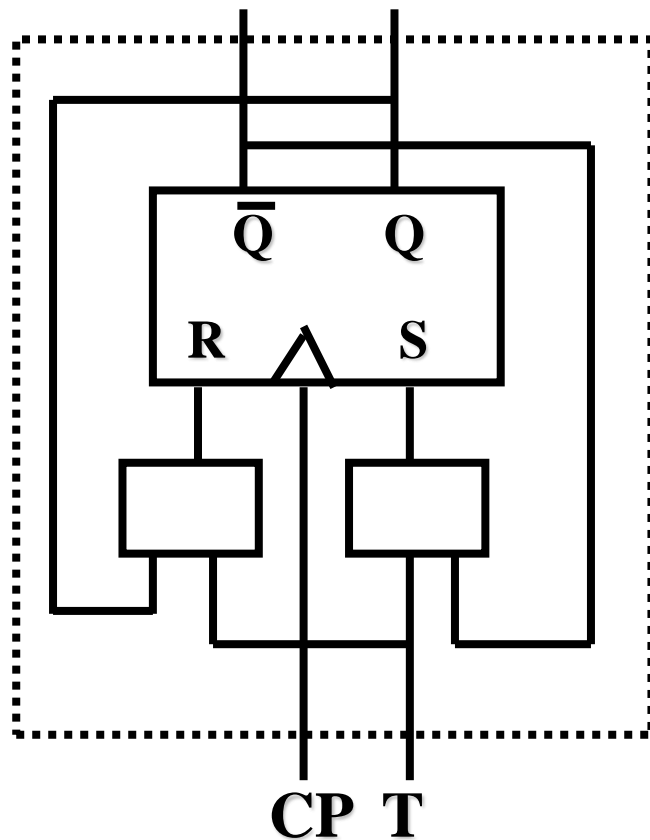
		R	
		0	1
T	Q_n	\times	0
	1	0	1

$$\left\{ \begin{array}{l} R = T Q_n \\ S = T \bar{Q}_n \end{array} \right.$$

触发器类型转换——卡诺图法

(3) RS \longrightarrow T

$$\begin{cases} R = T Q_n \\ S = T \bar{Q}_n \end{cases}$$



时序逻辑元件

- 锁存器 (Latch)
- 触发器 (Flip-Flop)
- 带附加输入端的边沿触发器
- 触发器类型转换

