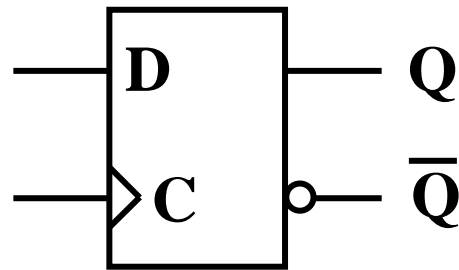


内容提纲

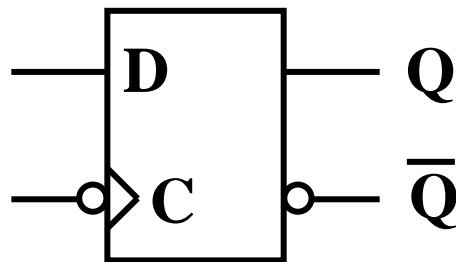
- 触发器的实现和功能描述
- 触发器的逻辑功能转换
- 锁存器和触发器的动态特性

D触发器(Flip-Flop)

- 只在时钟信号的上升沿或下降沿变化瞬间，根据输入信号更新状态
 - 最多一次翻转
- 在其他时间状态保持不变



(a)



(b)

逻辑符号

特性表(a)

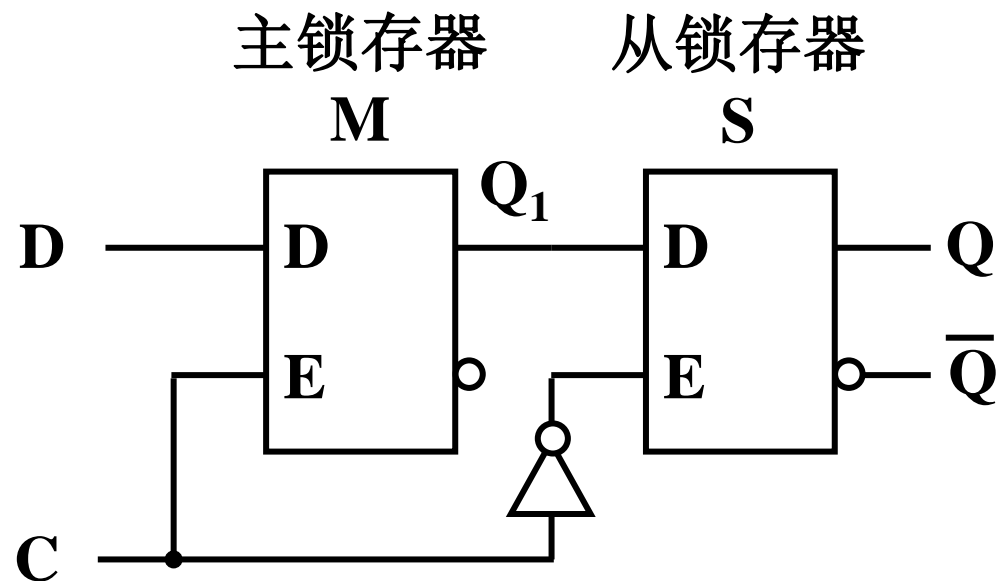
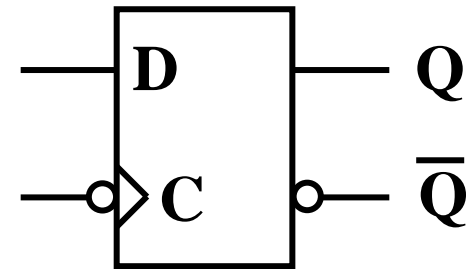
C	D	Q^{n+1}
\uparrow	x	D
x	x	Q^n

特性表(b)

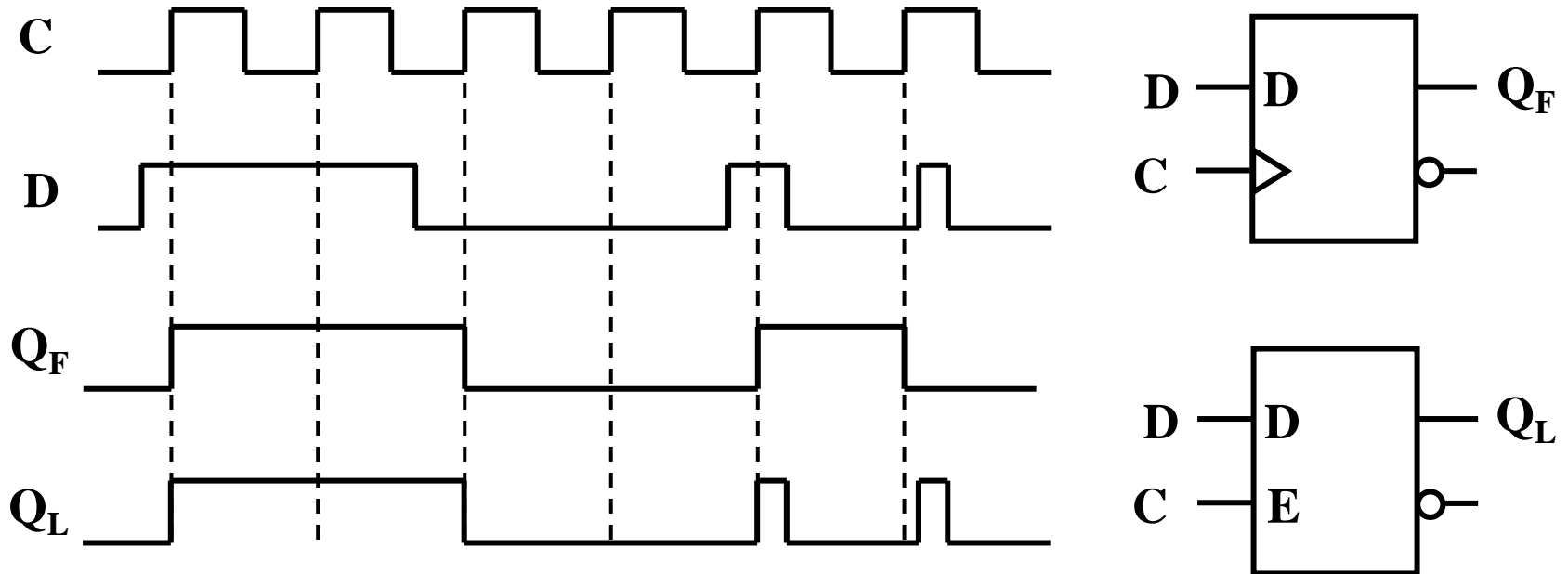
C	D	Q^{n+1}
\downarrow	x	D
x	x	Q^n

D触发器—主从结构

- 当 $C=1$ 时，主锁存器 M 随 D 变化而变化，从锁存器 S 保持原先状态不变
- 当 C 从 1 变为 0 (下降沿) 时，主锁存器 M 锁存此时 D 的值，从锁存器 S 按 M 状态更新



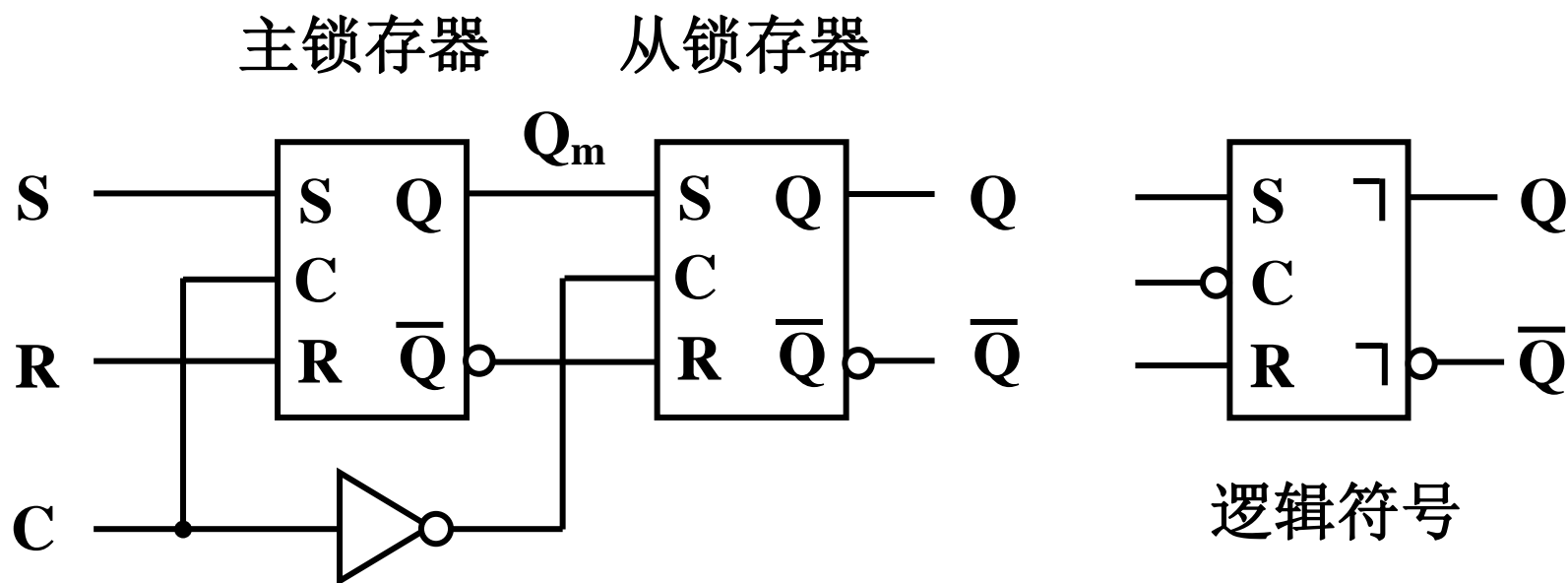
示例—D触发器波形图



如果在**C**高电平期间**D**不变化，则两者行为相同

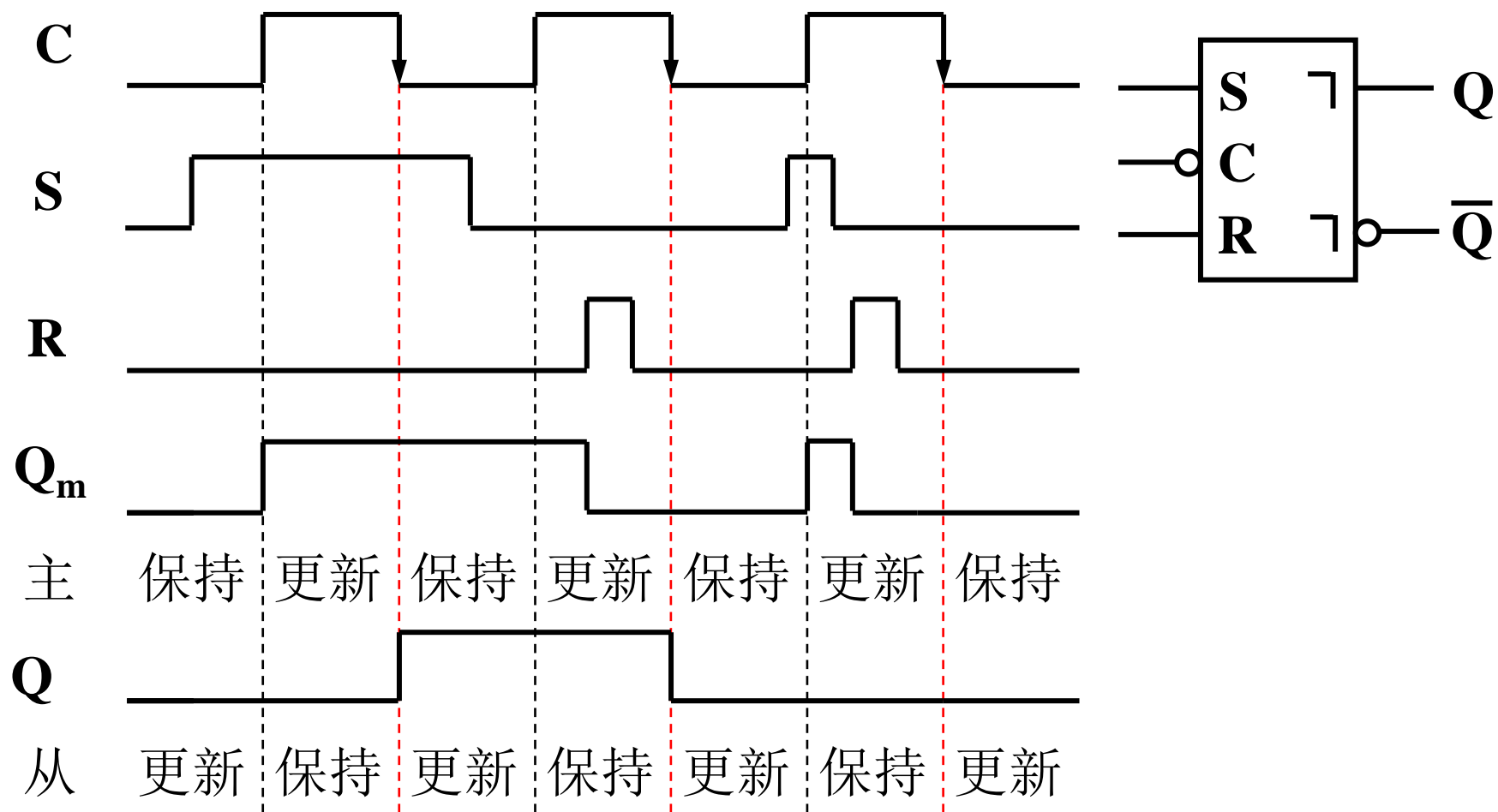
如果改成低电平和下降沿有效的器件，波形如何？

主从结构SR触发器



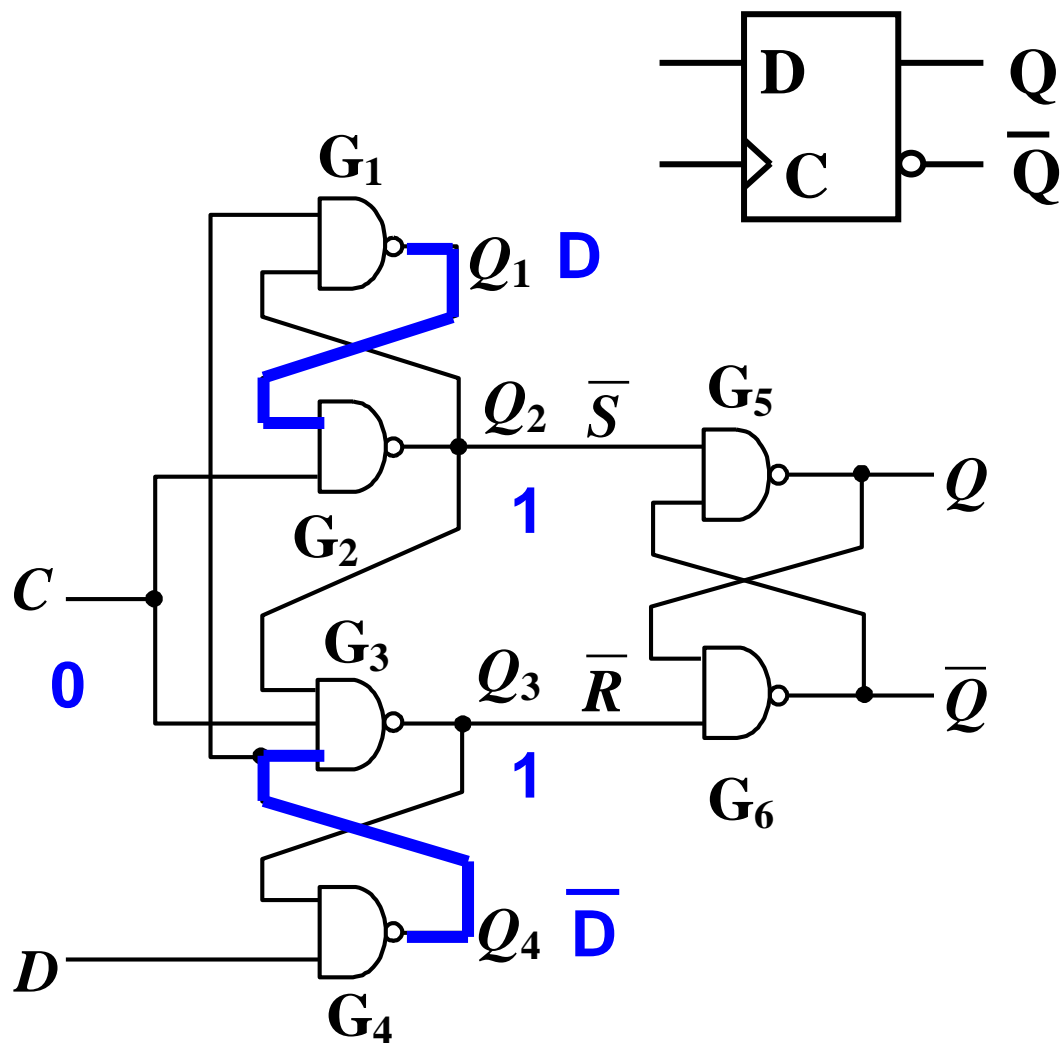
- 主锁存器按输入信号S、R更新时，从锁存器保持
- 主锁存器保持时，从锁存器按主锁存器状态更新
 - 主锁存器可能翻转多次，但从锁存器只能翻转一次

主从结构SR触发器波形图



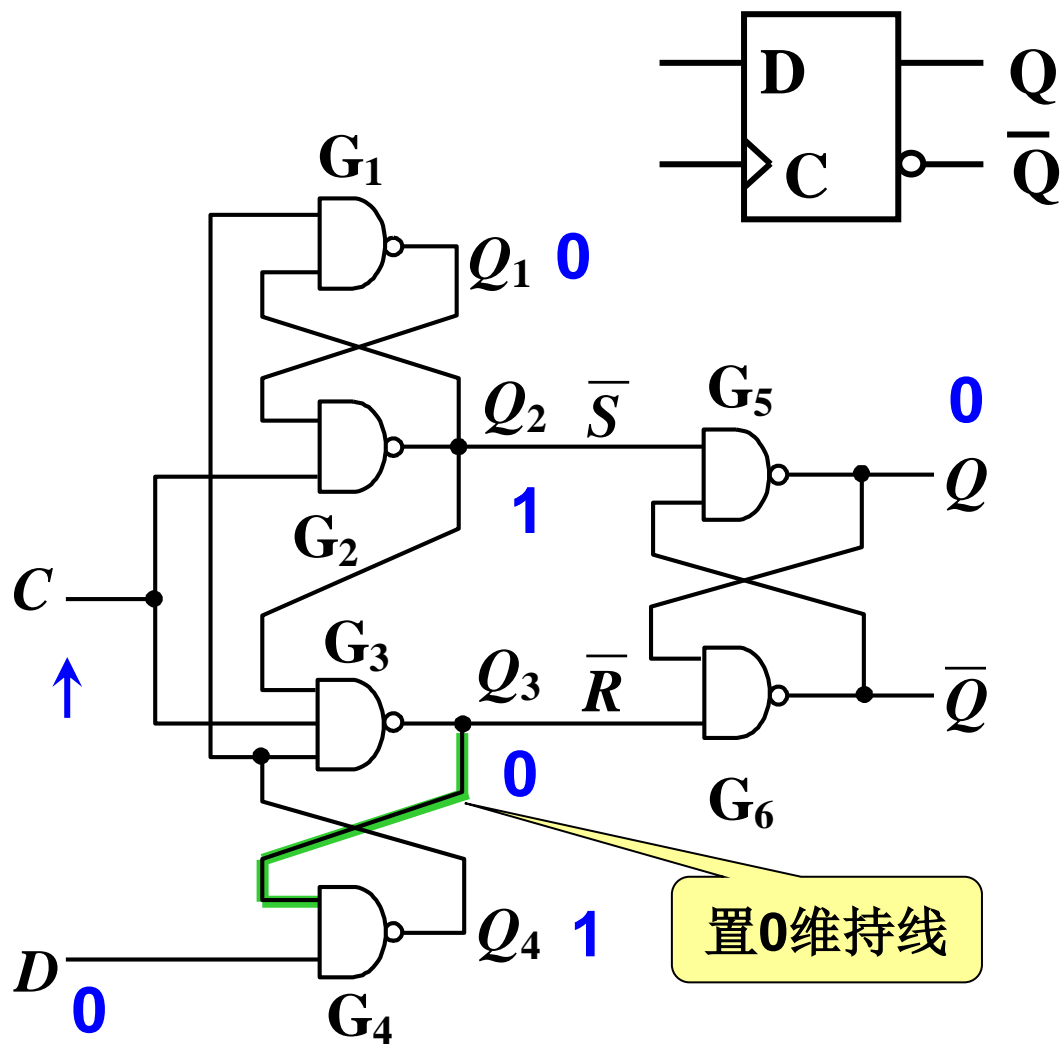
维持阻塞结构D触发器

- 当 $C=0$ 时
 - $Q_2=1$, $Q_3=1$,
 Q 、 \overline{Q} 保持
 - $Q_4=\overline{D}$, $Q_1=D$
- 触发器为状态更新作好准备



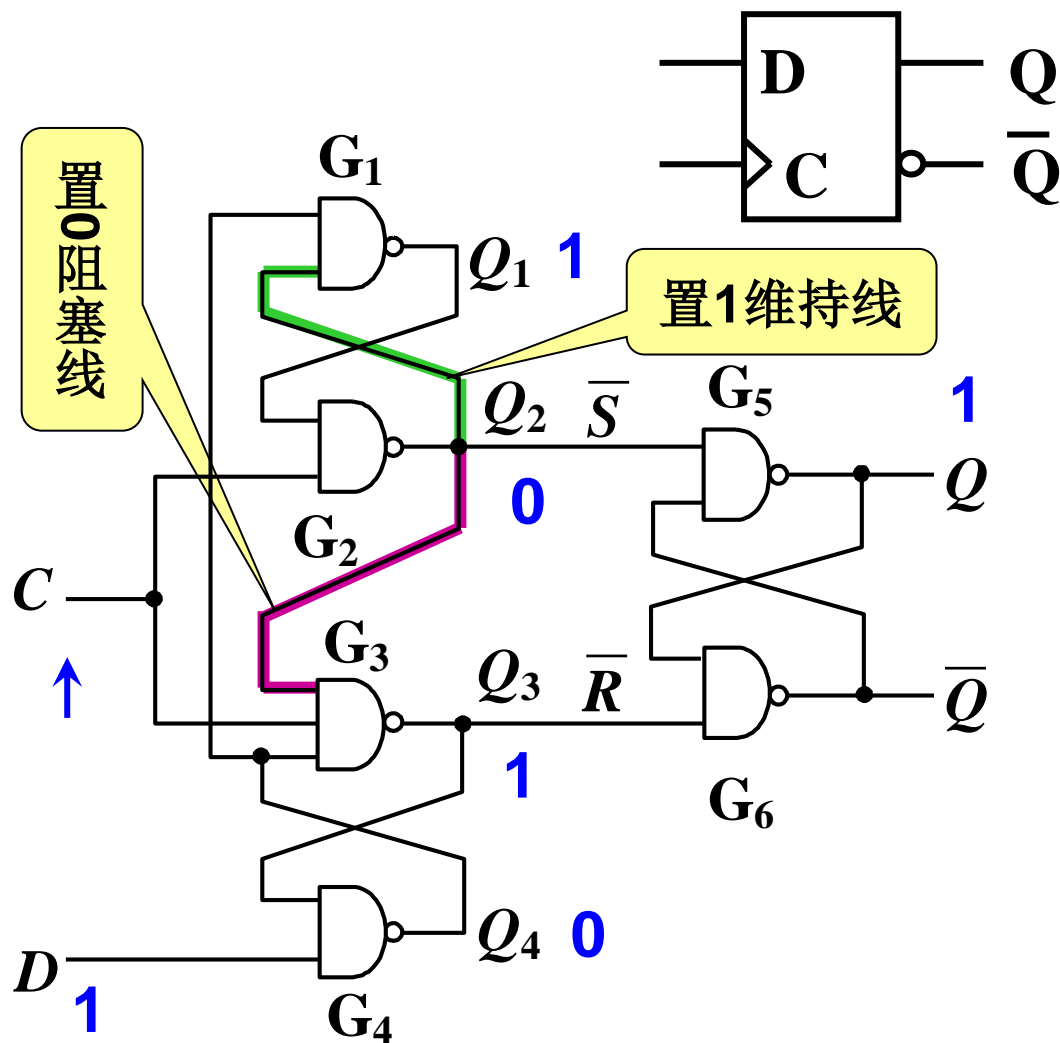
维持阻塞结构D触发器(续1)

- C由0变为1时
- 若 $Q_4=1$, $Q_1=0$, 即 $D=0$, 则
 - $Q_3=0$, $Q_2=1$
 - $Q_3=0$, 将Q置0, 封锁G4, 随后D的变化不影响Q



维持阻塞结构D触发器(续2)

- C由0变为1时
- 若 $Q_4=0$, $Q_1=1$, 即 $D=1$, 则
 - $Q_3=1$, $Q_2=0$
 - $Q_2=0$, 将Q置1, 封锁G1、G3, 维持Q, 阻止随后D的变化影响Q



维持阻塞结构D触发器(续2)

● 综合：

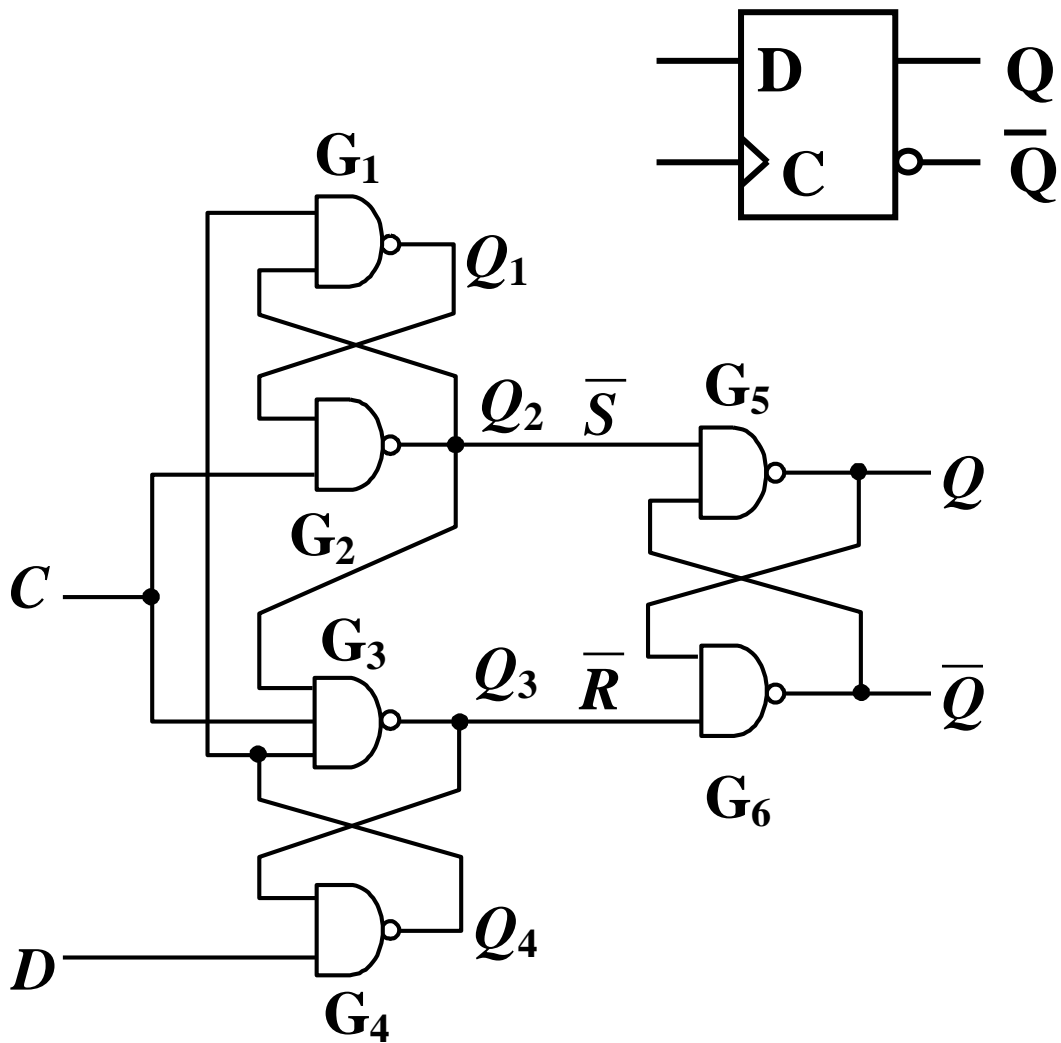
— 当 $C=0$ 时：

- 触发器保持原先状态，为更新做好准备

— 当C从0变1时:

- Q变为D值，且随后封锁输入端的更新，保持这个D值不变

➔ 上升沿有效D触发器



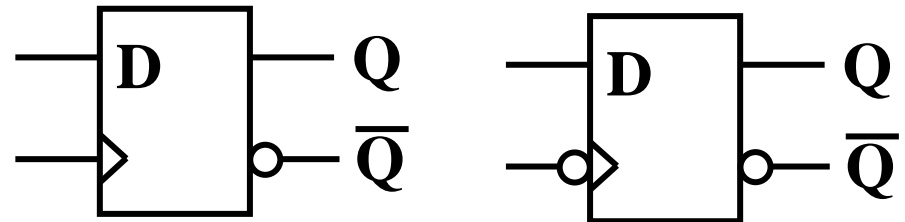
触发器逻辑功能描述

- 在时钟信号有效边沿(上升沿或下降沿), 触发器根据输入信号更新状态
 - 现态: 时钟信号有效边沿前触发器的状态, 记为 Q^n
 - 次态: 时钟信号有效边沿后触发器的状态, 记为 Q^{n+1}
- 触发器的逻辑功能是指次态与现态和输入信号之间的逻辑关系
 - 描述方法: 特性表(真值表)、特性方程(逻辑表达式)、状态图(状态转换图)、硬件描述语言 (HDL)
- 触发器按逻辑功能分类: **D**触发器、**SR**触发器、**T**触发器、**JK**触发器

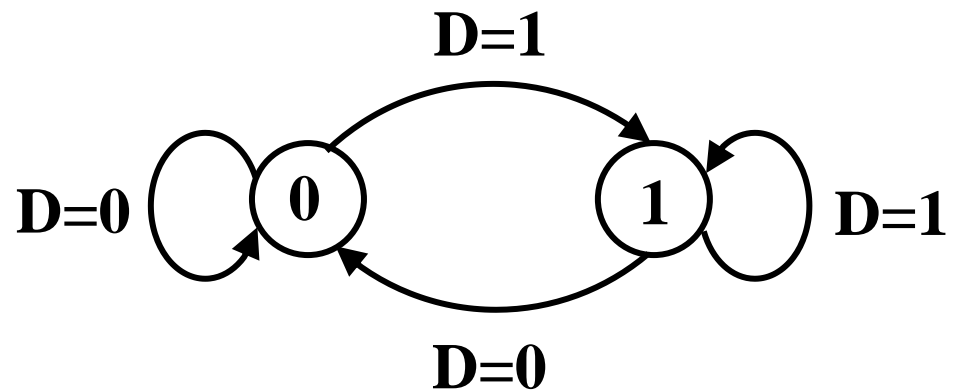
D触发器

特性表

D	Q^n	Q^{n+1}	说明
0	0	0	清0
0	1	0	
1	0	1	置1
1	1	1	



逻辑符号



状态图

特性方程 $Q^{n+1} = D$

T触发器

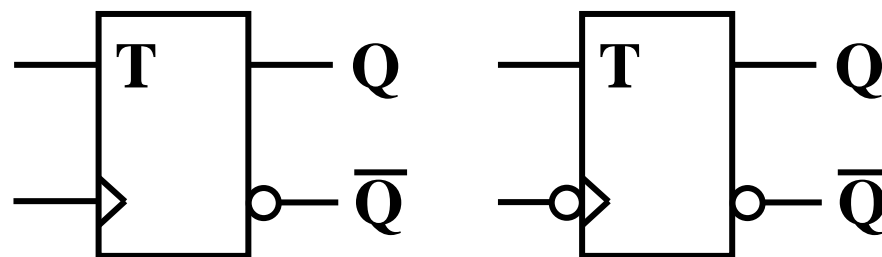
特性表

T	Q^n	Q^{n+1}	说明
0	0	0	保持
0	1	1	
1	0	1	翻转
1	1	0	

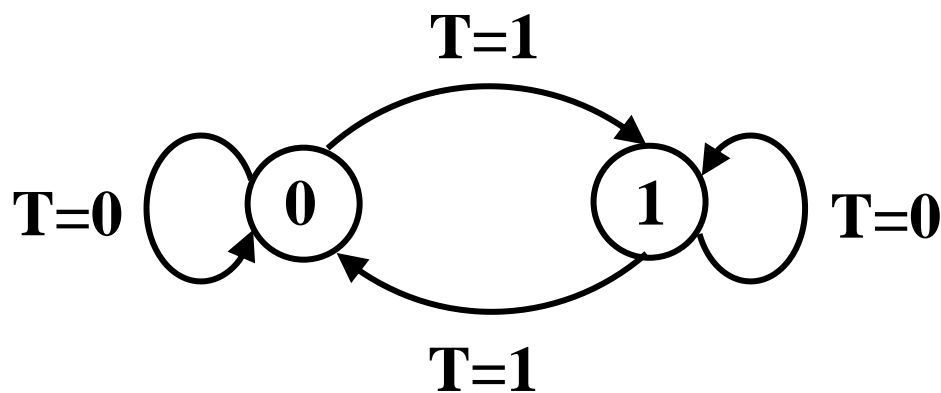
特性方程

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

$$= T \oplus Q^n$$



逻辑符号

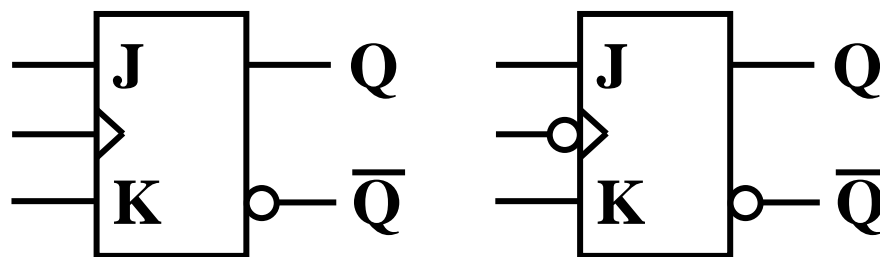


状态图

JK触发器

特性表

J	K	Q^n	Q^{n+1}	说明
0	0	0	0	保持
0	0	1	1	
0	1	0	0	清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	



逻辑符号

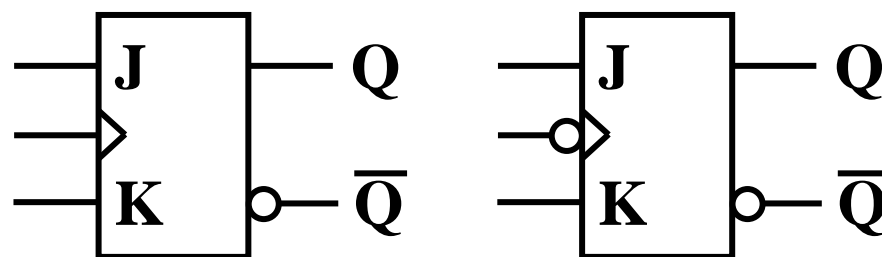
JK		00	01	11	10
Q^n	0	0	0	1	1
	1	1	0	0	1

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

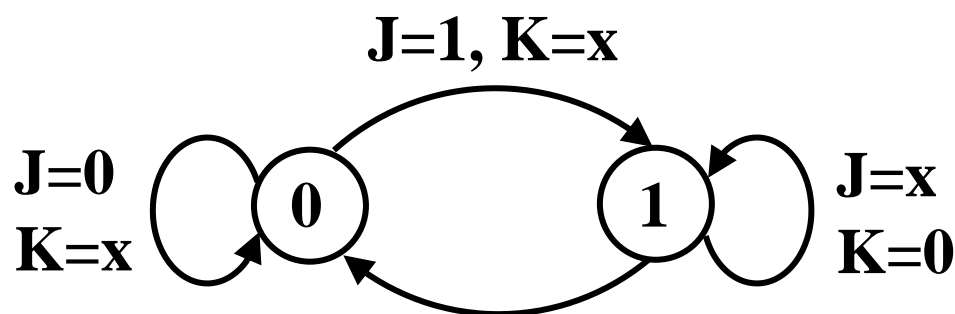
JK触发器 (续)

特性表

J	K	Q^n	Q^{n+1}	说明
0	0	0	0	保持
0	0	1	1	
0	1	0	0	清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	



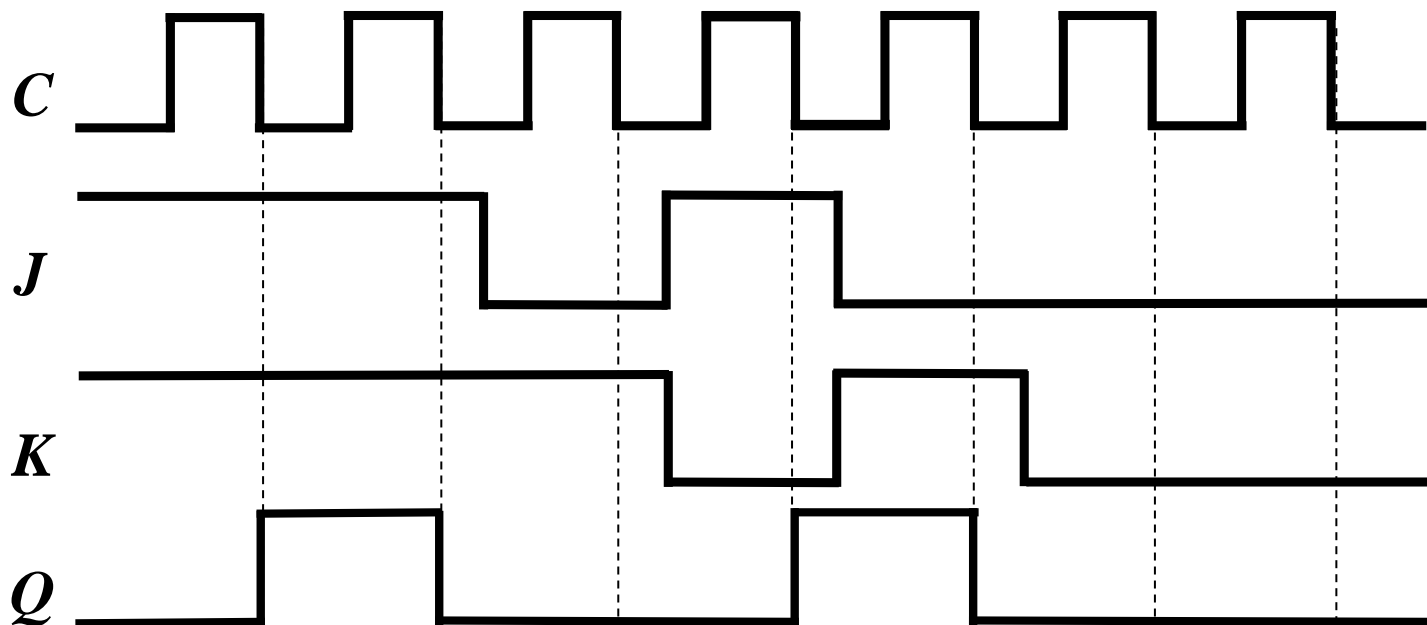
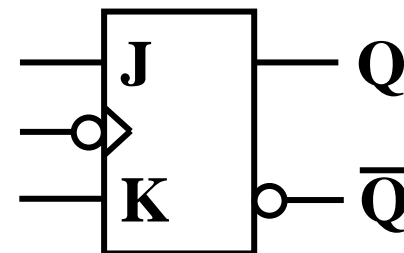
逻辑符号



状态图

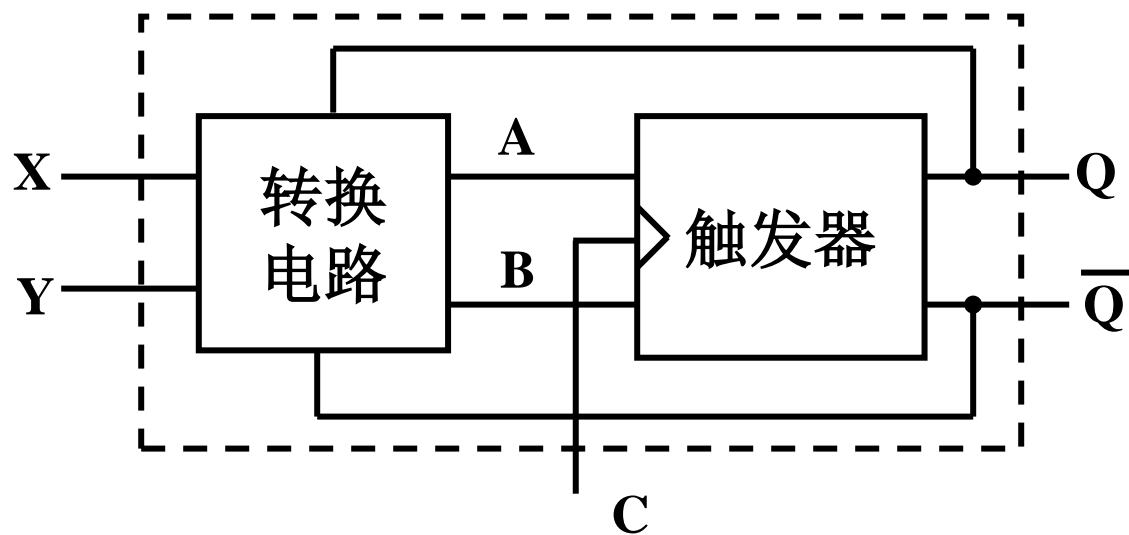
示例—JK触发器波形图

- 画出输出波形(设初态为0)

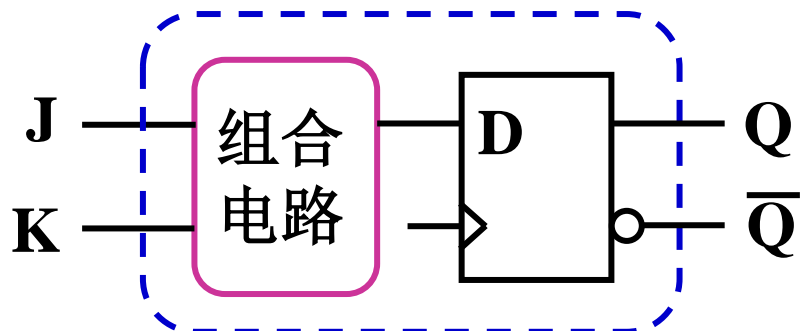


触发器逻辑功能转换

- 利用某种功能触发器来构造不同功能的触发器
 - 根据两种触发器的特性方程，求解转换电路的逻辑函数式



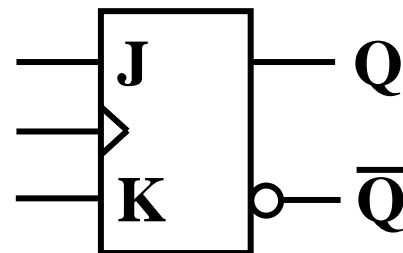
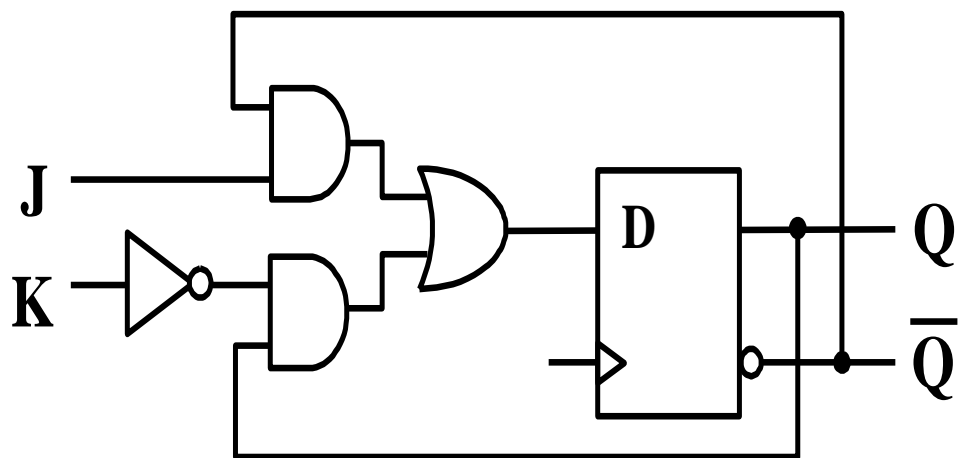
D触发器构成JK触发器



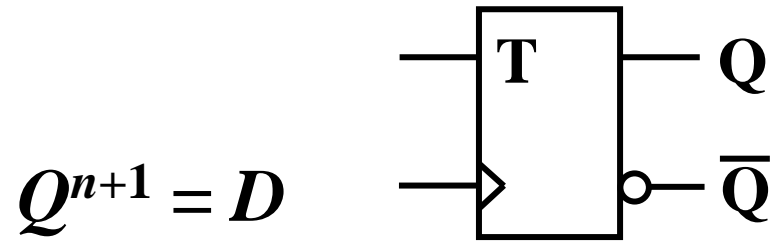
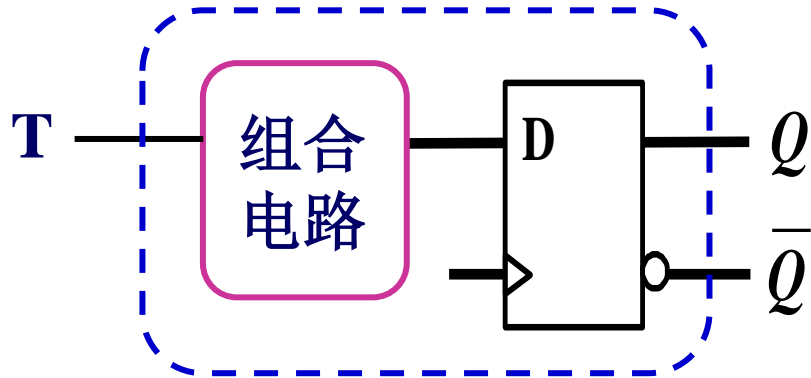
$$Q^{n+1} = D$$

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

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



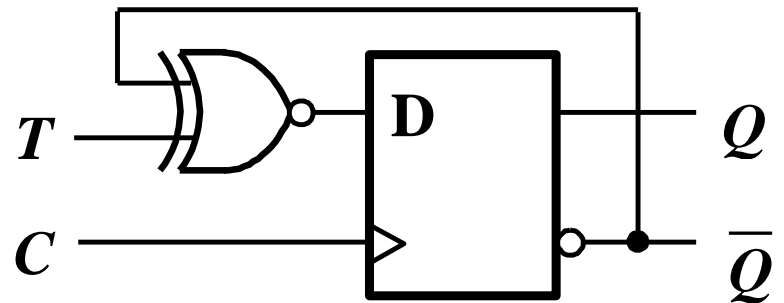
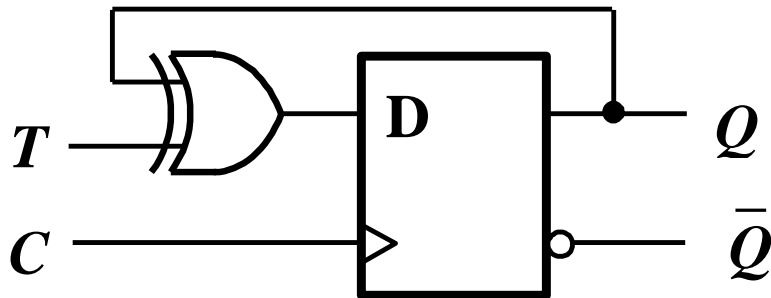
D触发器构成T触发器



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

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

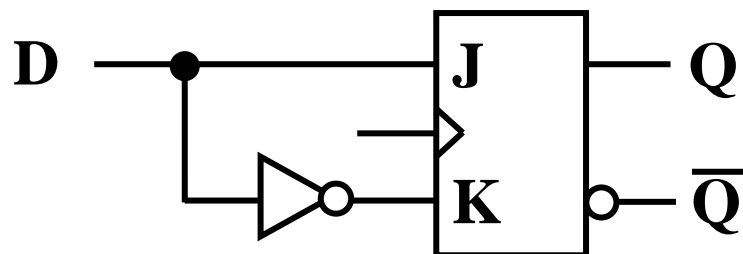
$$D = T\bar{Q}^n + \bar{T}Q^n = T \oplus Q^n$$



JK触发器构成其他触发器

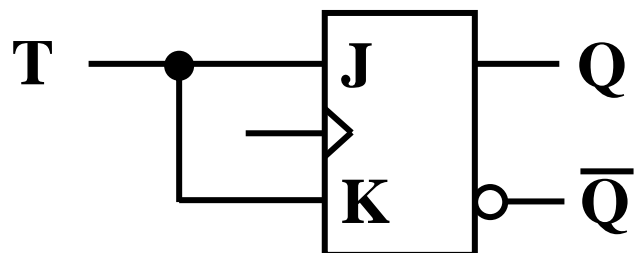
- 构成D触发器

– $J=D, K=\bar{D} \quad Q^{n+1} = D$



- 构成T触发器

– $J=K=T \quad Q^{n+1} = T \oplus Q^n$



JK触发器特性表

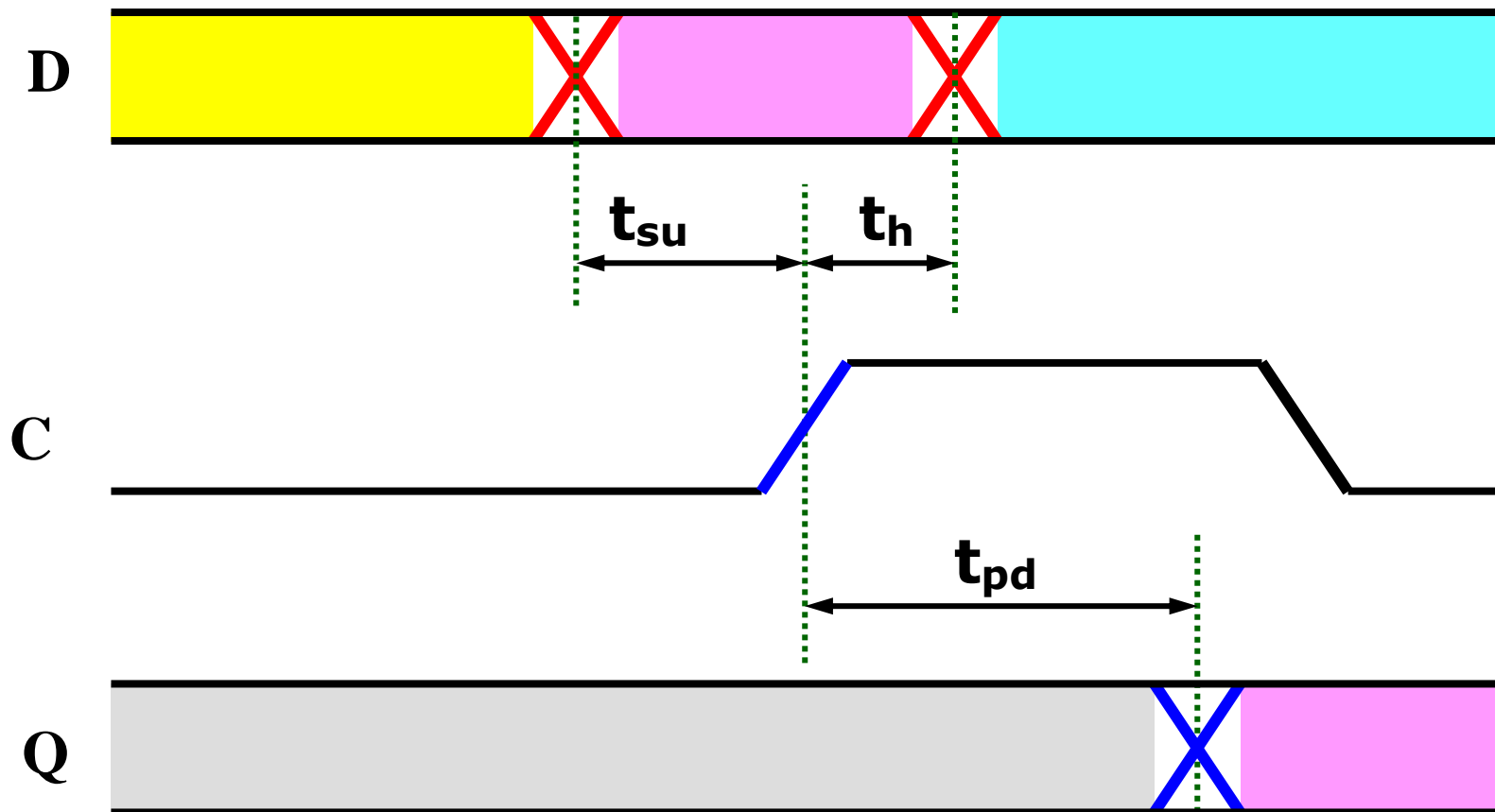
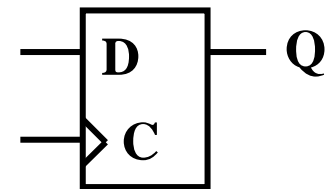
J	K	Q^n	Q^{n+1}	说明
0	0	0	0	保持
0	0	1	1	
0	1	0	0	清0
0	1	1	0	
1	0	0	1	置1
1	0	1	1	
1	1	0	1	翻转
1	1	1	0	

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

锁存器和触发器的动态特性

- 保证锁存器和触发器可靠地更新状态，输入信号与时钟信号之间的时间要求
 - 建立时间 $t_{su}(\text{setup})$ ：要求输入信号在时钟有效边沿到来之前，提前一段时间做好准备
 - 保持时间 $t_h(\text{hold})$ ：在时钟有效边沿到达后，需要输入信号再保持一段时间
- 锁存器和触发器输出信号对时钟信号响应的延迟时间
 - 传输延迟时间 $t_{pd}(\text{propagation delay})$

D触发器定时波形图



示例—分析D触发器动态参数

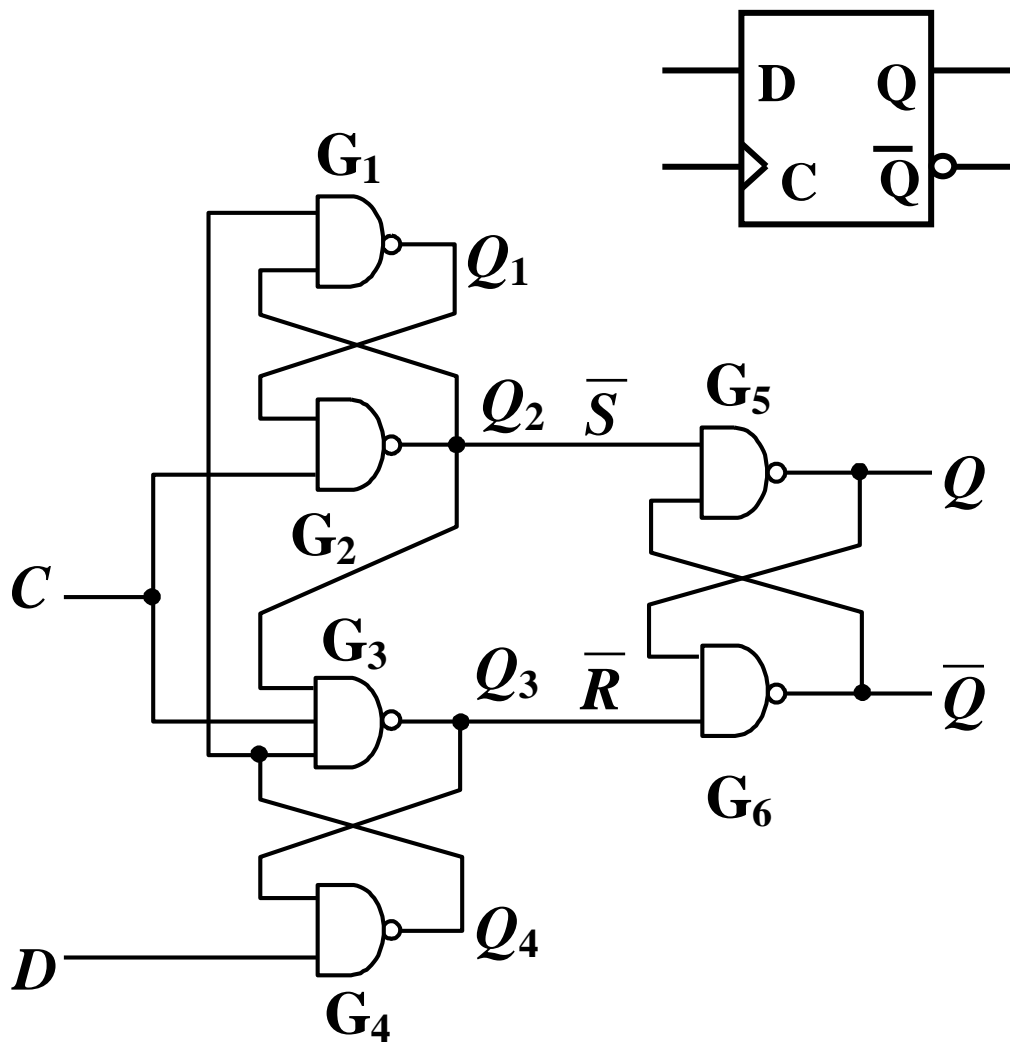
- 设所有门的传输延迟都等于 t_d ,
忽略导线延迟,
求:

t_{su} , t_h , t_{pd}

$$t_{su} = 2t_d$$

$$t_h = t_d$$

$$t_{pd} = 3t_d$$



D锁存器定时波形图

