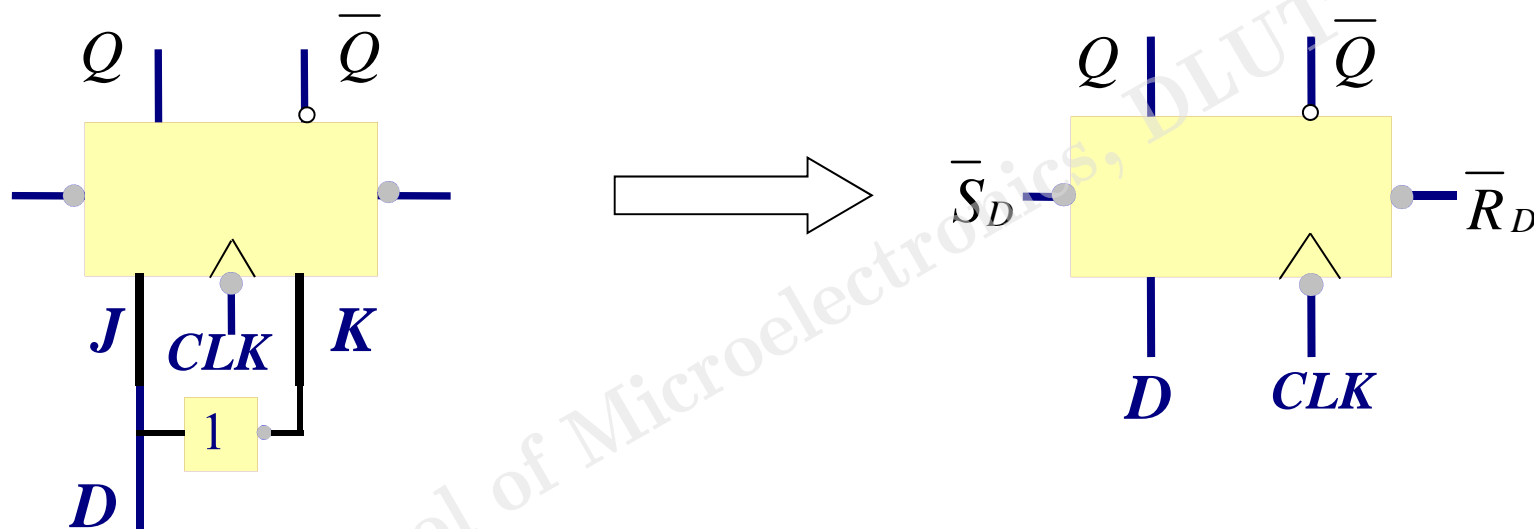


§ 5.2.4 主从 D-FF

主从 JK-FF 加一个非门



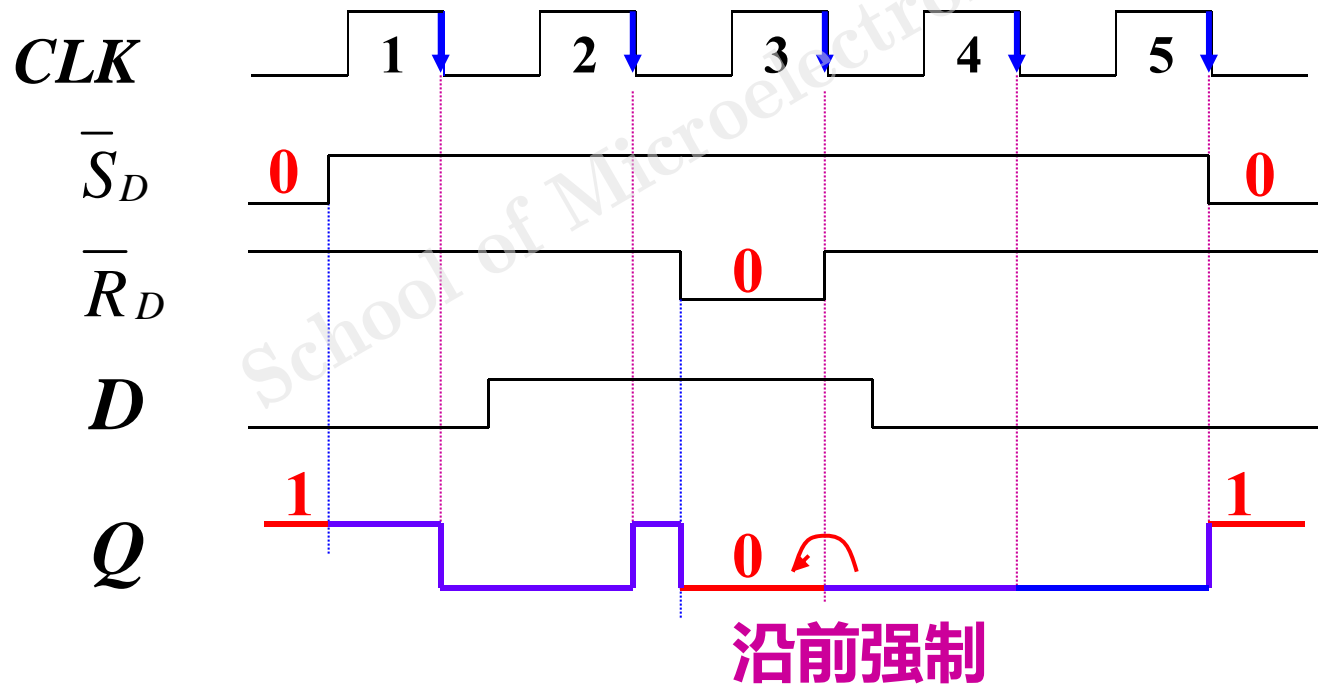
特征方程

$$\begin{cases} Q^{n+1} = D \\ \bar{S}_D = \bar{R}_D = 1 \end{cases}$$

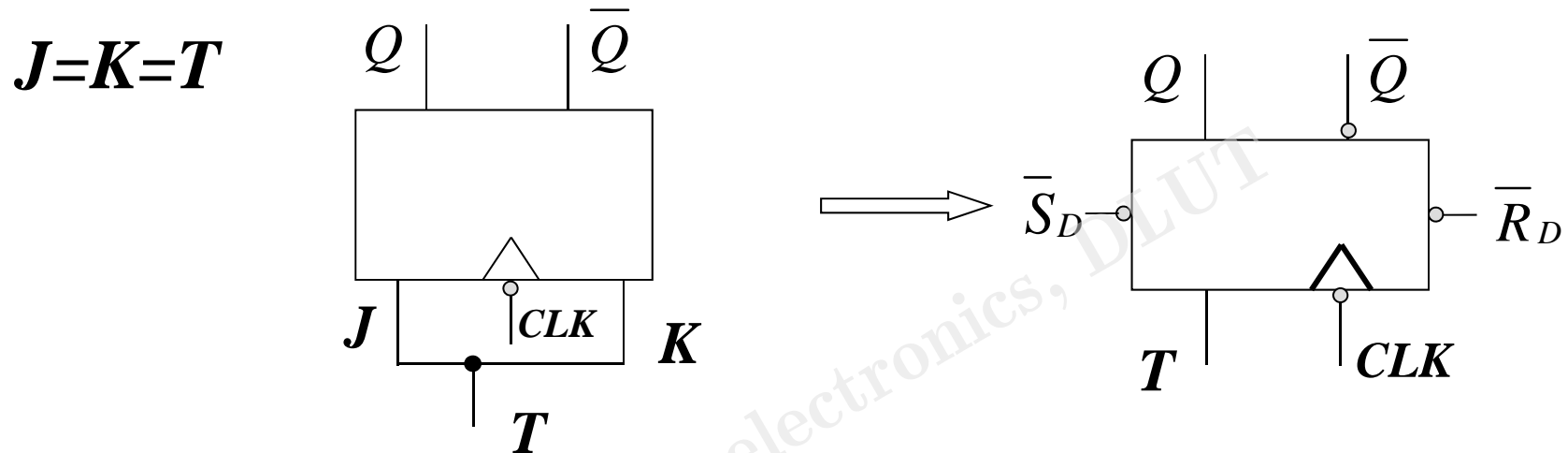
D-FF 是 JK-FF 中 $J \neq K$ 的部分，是 JK-FF 的特例

在 CLK 下降沿到达之前, 若 $D=0$ ($D=1$), 当 CLK 下降沿到达时, $Q^{n+1}=0$ ($Q^{n+1}=1$)。

练习



§ 5.2.5 主从 T-FF



T-FF特征方程:

$$\left. \begin{array}{l} Q^{n+1} = T\bar{Q}^n + \bar{T}Q^n = T \oplus Q^n \\ \bar{S}_D = \bar{R}_D = 1 \end{array} \right\} \begin{array}{l} T=0, \quad Q^{n+1} = Q^n \\ T=1, \quad Q^{n+1} = \bar{Q}^n \end{array}$$

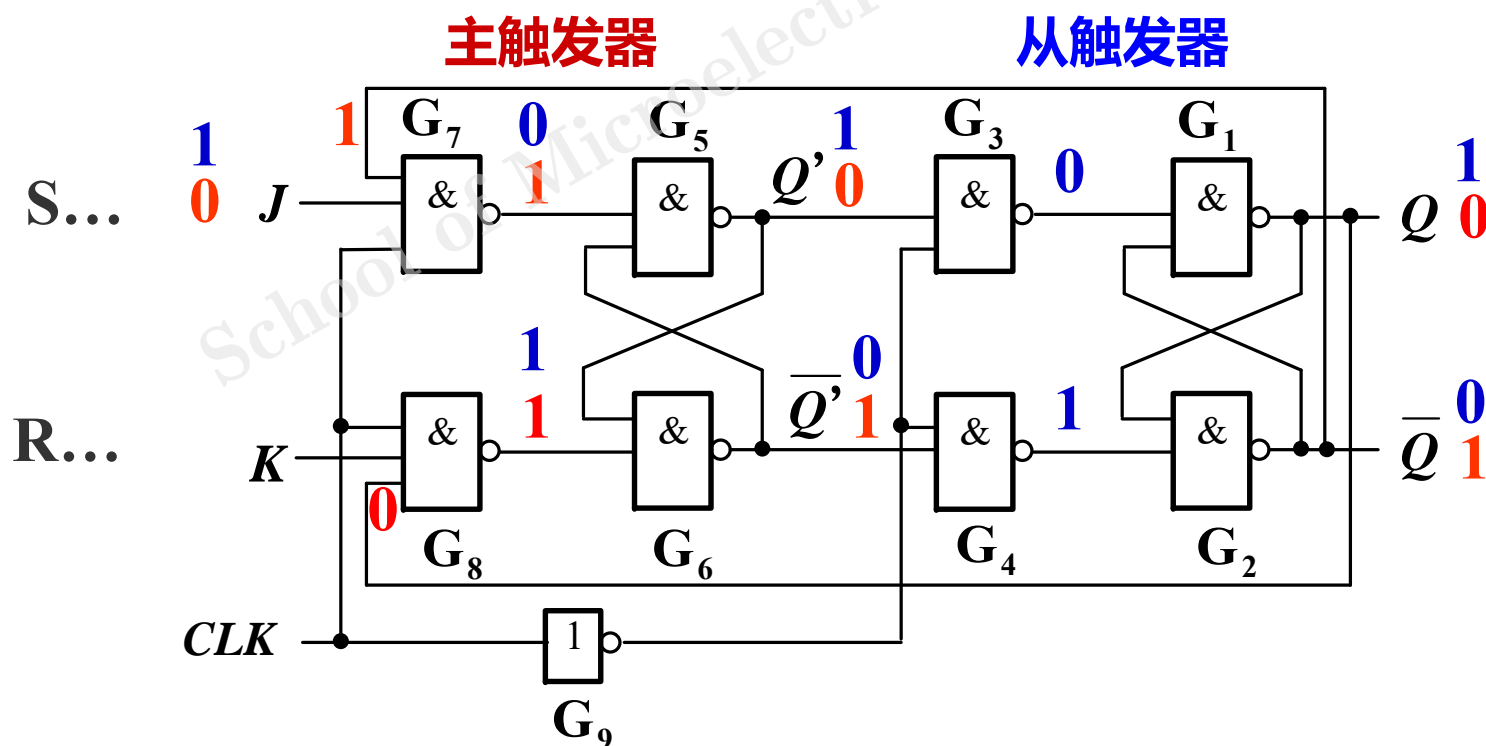
Toggle - FF

T-FF 是 JK-FF 中 $J=K$ 的部分，是 JK-FF 的特例

§ 5.2.6 主从结构 FF的问题

主从JK触发器的一次变化问题

例如，当 $Q = 0$ 时，门 G_8 被封锁，输入信号 K 不起作用，若 $J = 0$ ，则主触发器 Q' 保持 0。若 J 由 0 变为 1，则主触发器 Q' 也由 0 变为 1，而且只变化一次。



$CLK=1$ 期间，输入信号数据（ J 、 K 、 D 、 T ）的变化会导致触发器出现“一次变化”现象，使FF输出状态不能反映 CLK 在从1到0前瞬间 J 、 K 端的状态，破坏了逻辑关系。

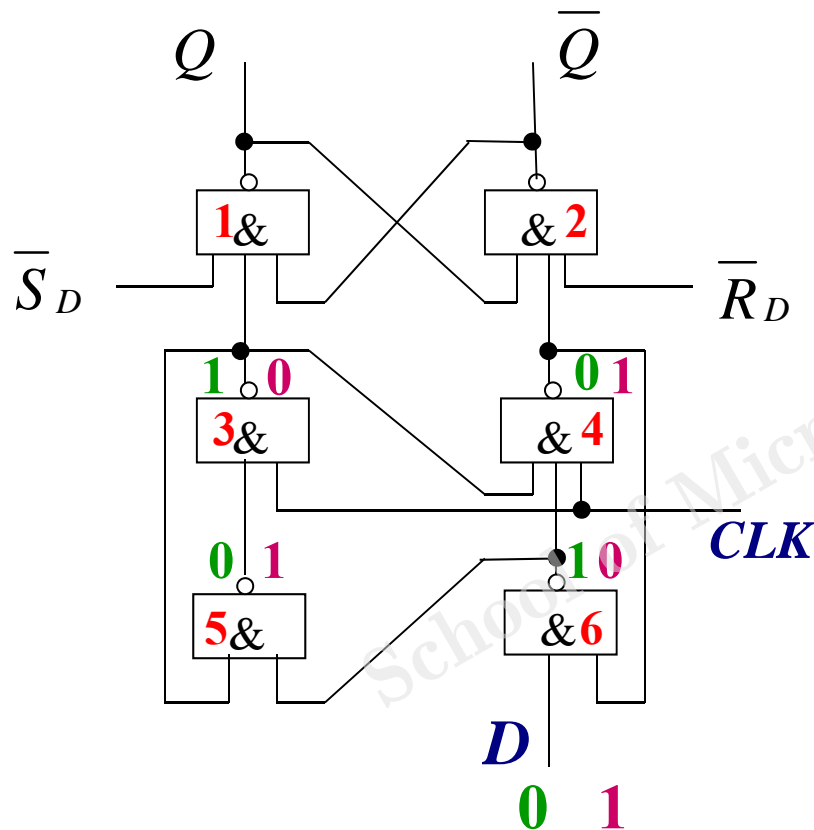
主从FF 只能用在 CLK 信号很窄的场合

§5.3 边沿触发器

为免除CLK=1期间输入控制电平不许改变的限制，可采用**边沿触发**方式。其特点是：触发器只在时钟跳转时发生翻转，而在CLK=1或CLK=0期间，输入端的任何变化都不影响输出。

如果翻转发生在上升沿就叫“**上升沿触发**”或“**正边沿触发**”。如果翻转发生在下降沿就叫“**下降沿触发**”或“**负边缘触发**”。

1. TTL正边沿D触发器



工作原理 ($\overline{S}_D = \overline{R}_D = 1$)

$CLK=0$, $G_3=G_4=1$, Q 保持

D 过 G_6 、 G_5 等在 G_3 、 G_4 入口

当CLK 上升沿到达

CLK

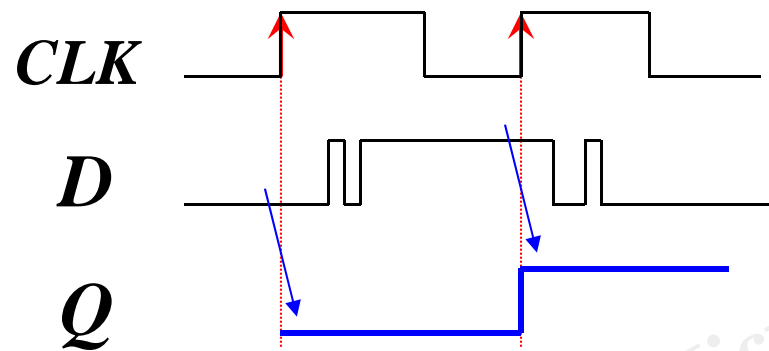
若 $D=0$, $G_6=1$, $G_5=0$,
 $G_3=1$, $G_4=0$, $\therefore Q=0$

若 $D=1$, $G_6=0$, $G_5=1$,
 $G_3=0$, $G_4=1$, $\therefore Q=1$

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

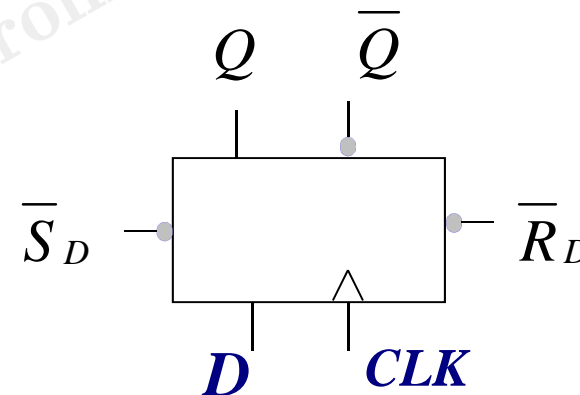
维持 - 阻塞式FF在CLK 上升沿触发

CLK上升沿前D的数据为CLK上升沿到时 Q^{n+1} 的状态



FF { 正边沿触发
 $Q^{n+1} = D$

符号



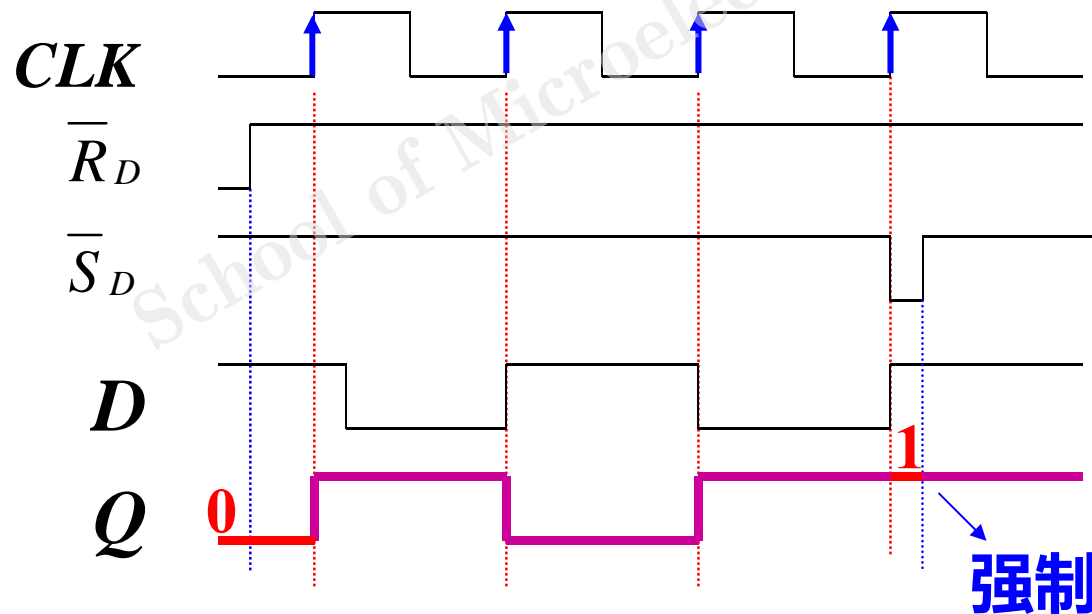
边沿触发方式，正边沿到达时触发，其他时间输出不变，抗干扰能力强。

画波形步骤:

- ① 直接输入 \overline{R}_D \overline{S}_D
- ② CLK 有效边沿
- ③ 特征方程

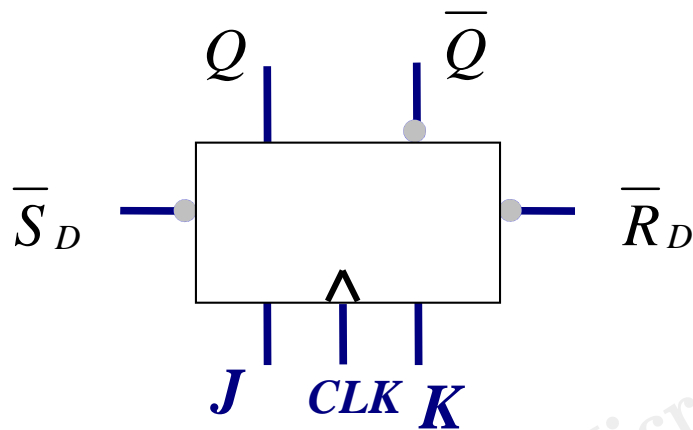
$$\begin{cases} Q^{n+1} = D \\ Q^{n+1} = J\overline{Q}^n + \overline{K}Q^n \\ Q^{n+1} = T \oplus Q^n \end{cases}$$

例: 画出上升边沿触发的D-FF波形



2. 正边沿触发 JK-FF

符号



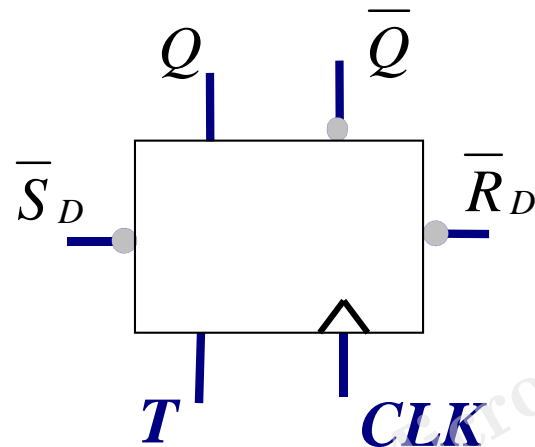
除了上升沿触发外，
与主从JK-FF相同。

$$\left\{ \begin{array}{l} Q^{n+1} = J\bar{Q}^n + \bar{K}Q^n \\ \bar{S}_D = \bar{R}_D = 1 \end{array} \right.$$

J	K	Q^{n+1}	
0	0	Q^n	$J=K=0$, 保持
0	1	0	$J \neq K$, $Q^{n+1} = J$
1	0	1	
1	1	\bar{Q}^n	$J=K=1$, 翻转

3. 正边沿触发 T-FF

符号:



$$\begin{cases} Q^{n+1} = T \oplus Q^n \\ \bar{S}_D = \bar{R}_D = 1 \end{cases}$$

CLK 正边沿触发

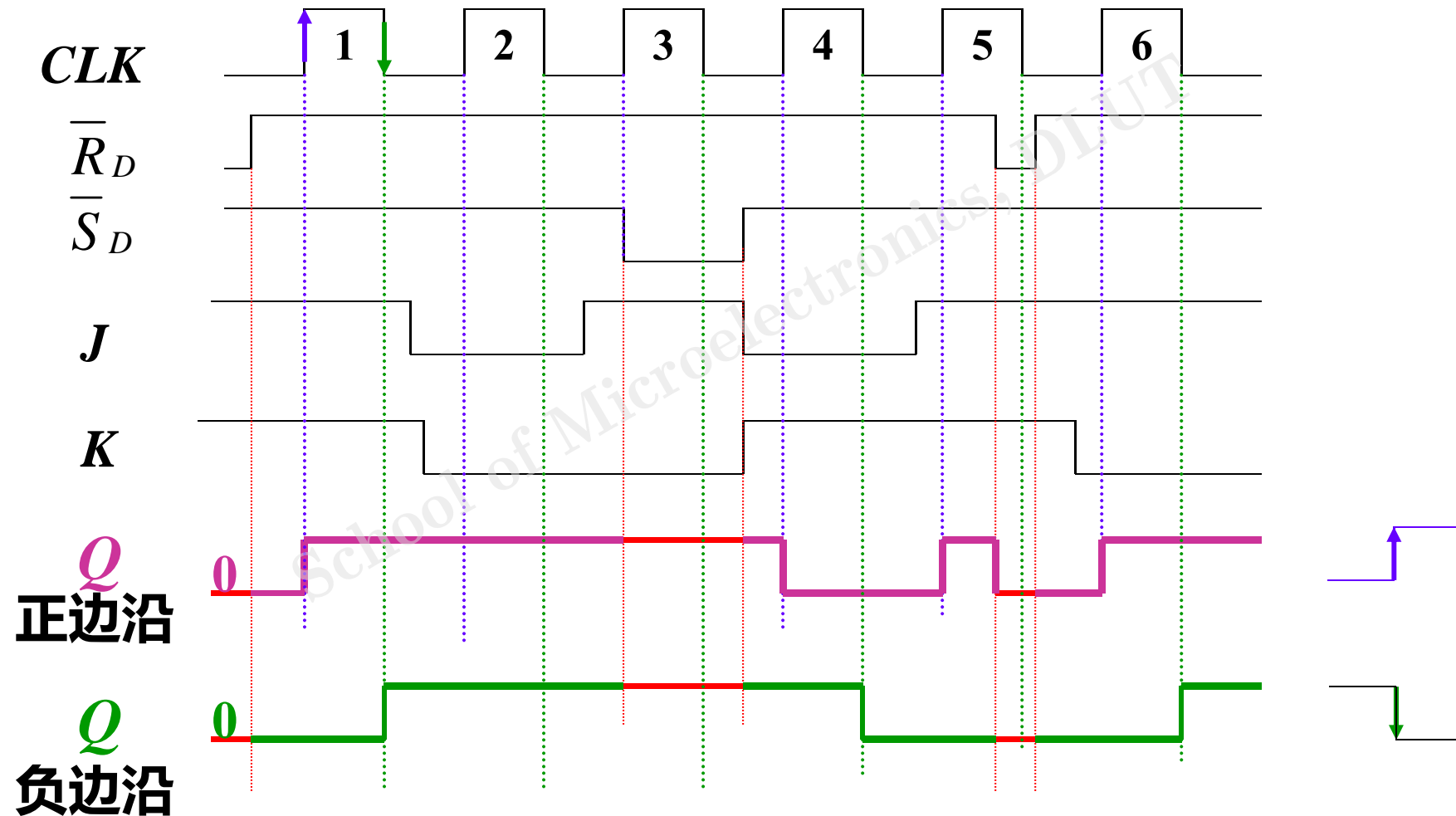
6 种合格产品:

负边沿触发 JK-FF, D-FF, T-FF

正边沿触发 JK-FF, D-FF, T-FF

练习:

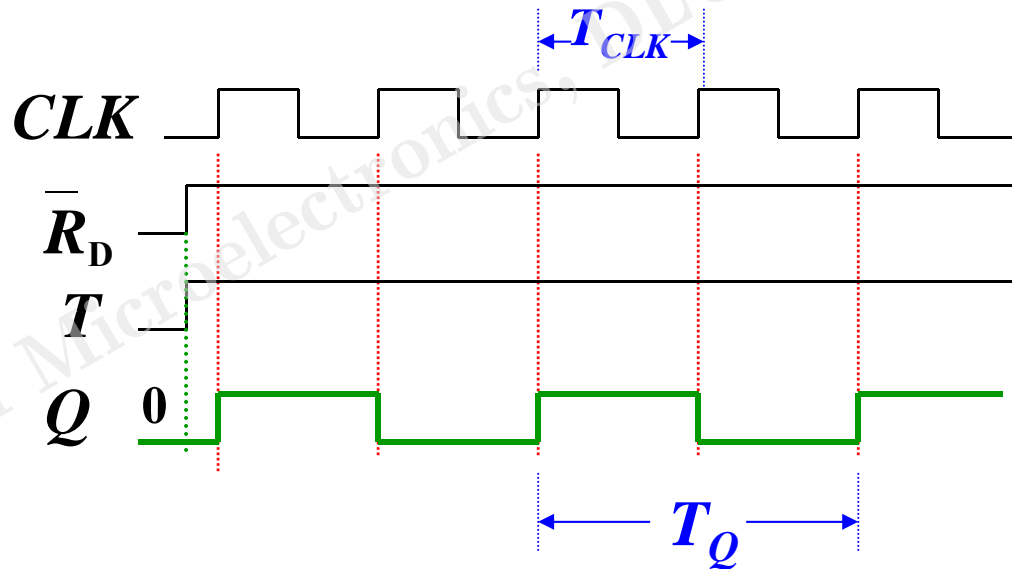
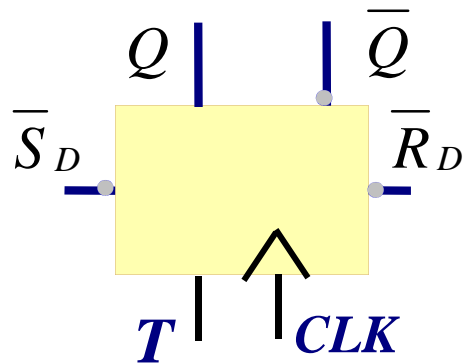
分别画出正边沿和负边沿触发的JK-FF的输出波形。



§5.6 触发器应用

Applications of FF

例1. 根据下图中触发器及 CLK, \bar{R}_D, T 波形, 对应画出 Q 波形。



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

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

二分频电路

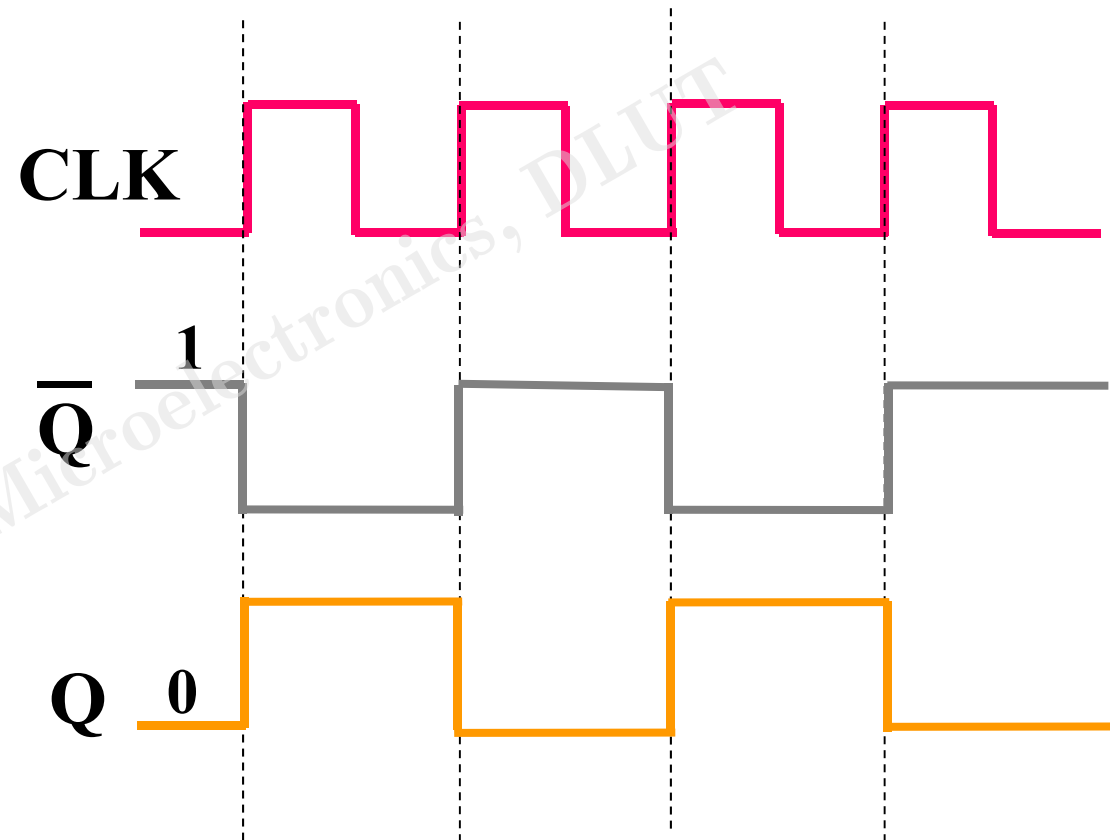
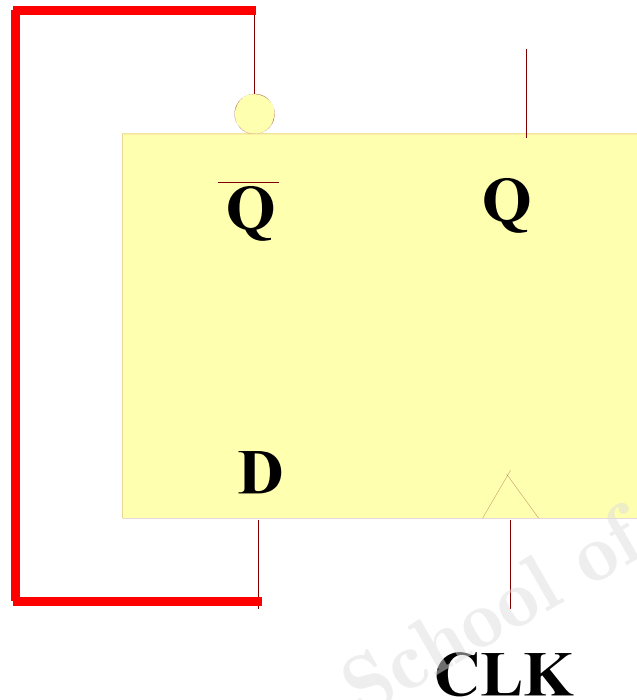
$$T_Q = 2T_{CLK}$$

$$f_Q = \frac{1}{2} f_{CLK}$$

用D触发器 将一个时钟进行2分频

D触发器功能

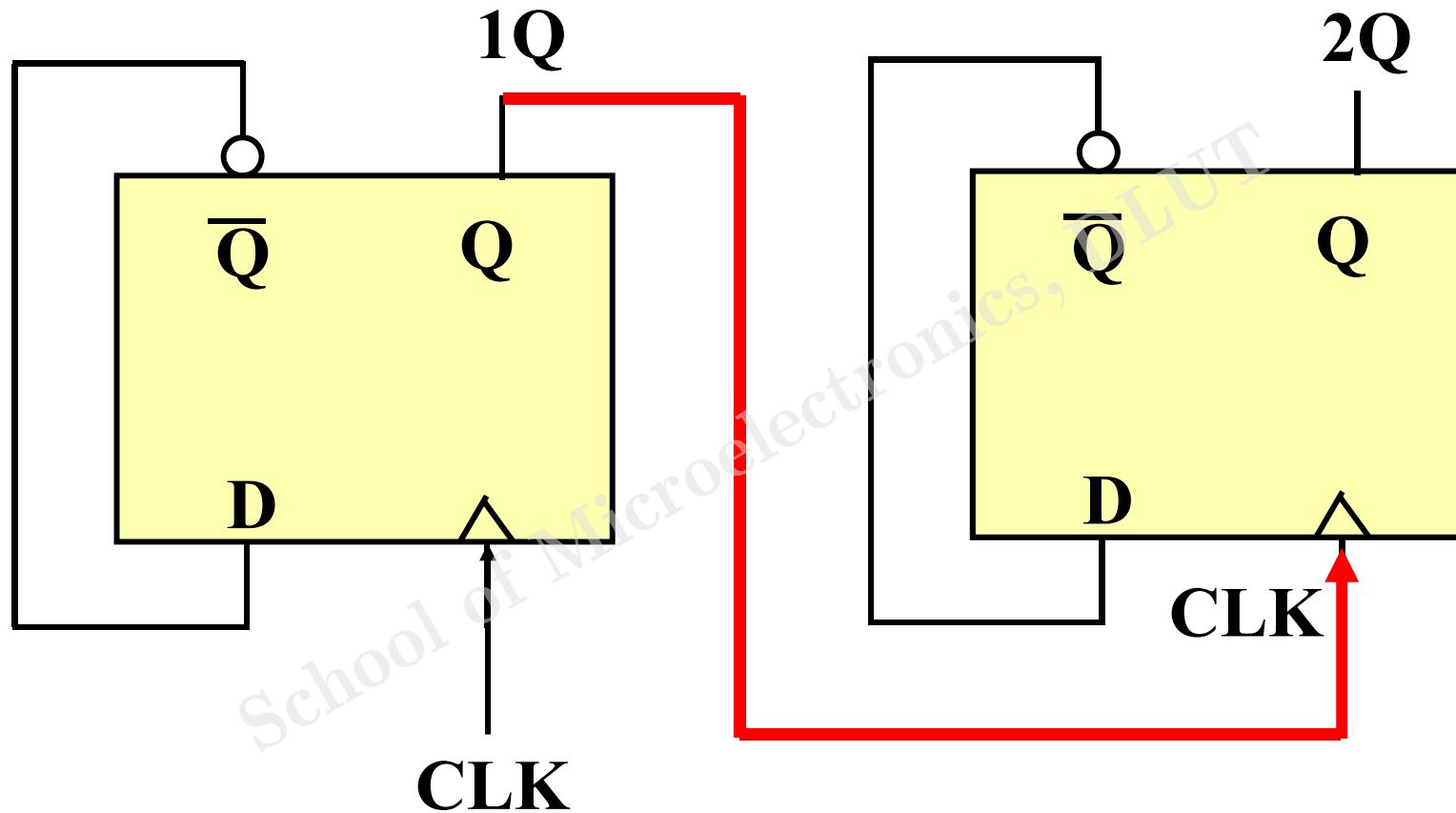
CLK↑ 时, $Q=D$



R_D 、 S_D 不用时,悬空
或通过 $4.7k\Omega$ 的电阻
接高电平

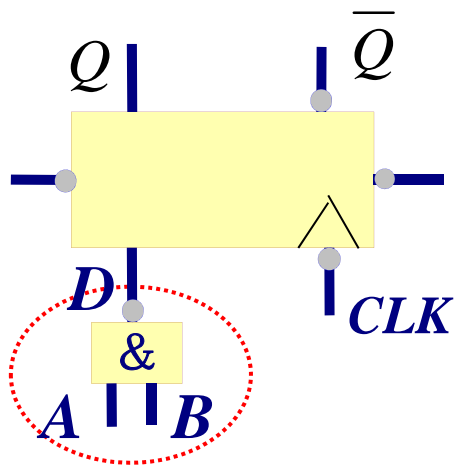
$$\text{频率 } f_Q = f_{CLK}/2$$

用2个2分频器级联组成一个4分频器



频率 $f_{2Q} = f_{1Q}/2 = f_{CLK}/4$

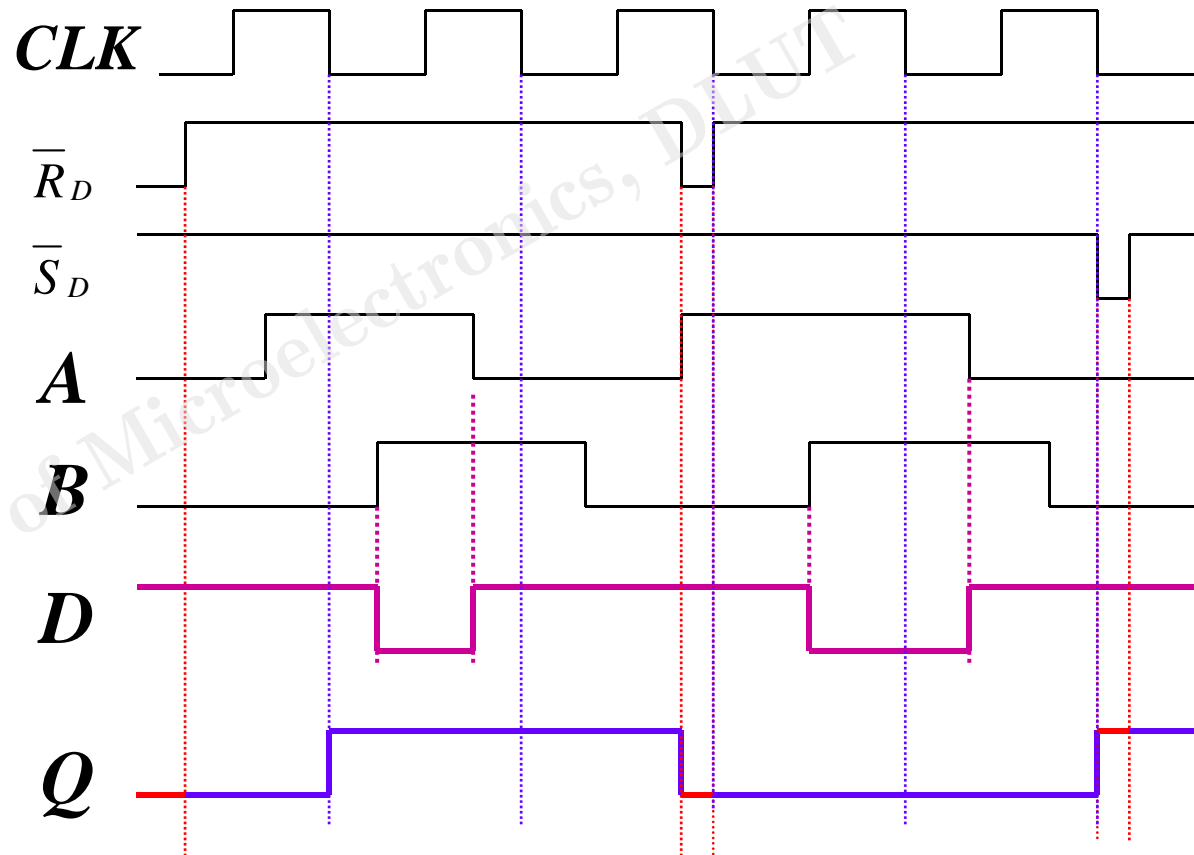
例 2. 触发器如图所示，对应输入波形画出输出波形 Q 。



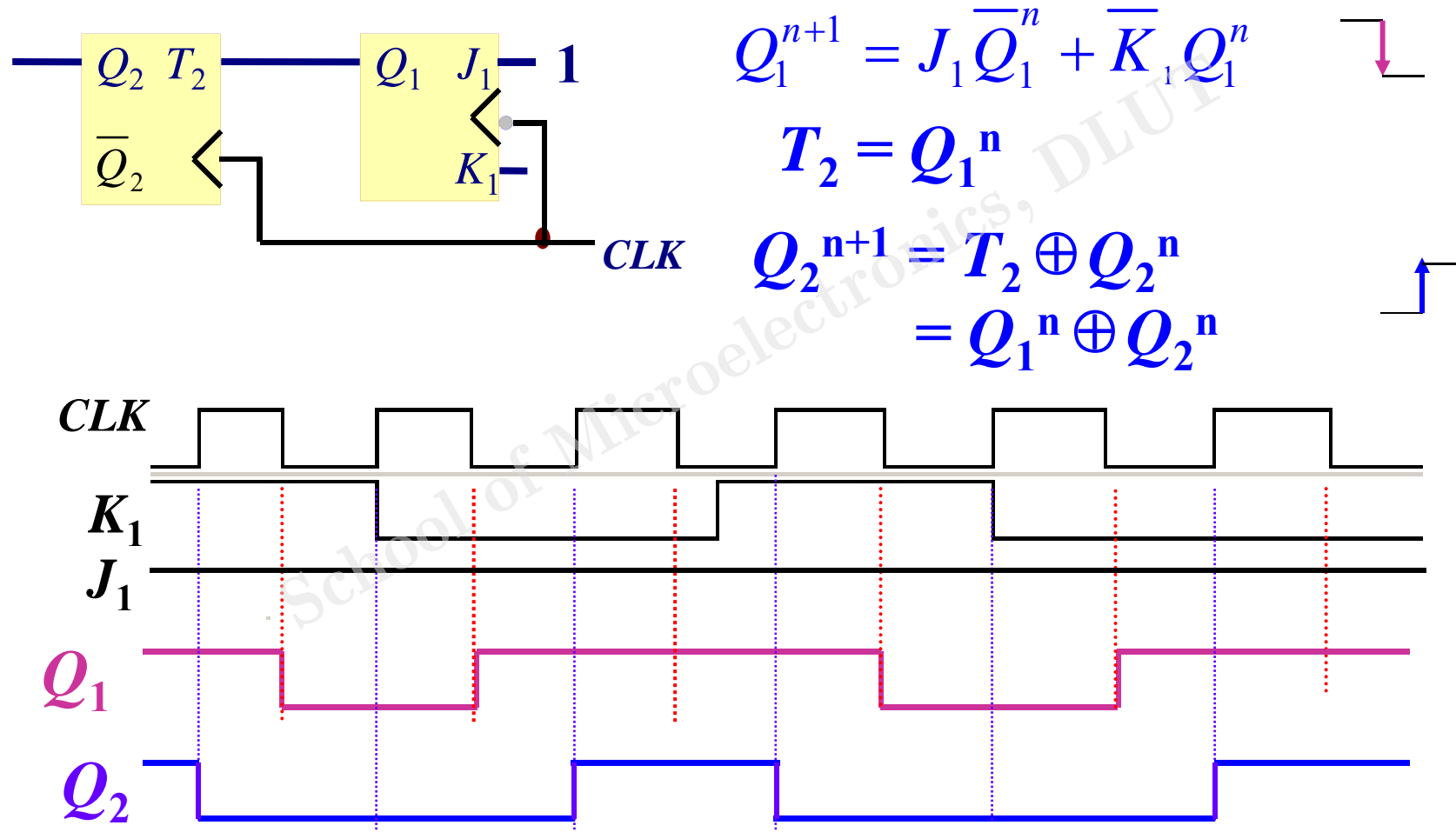
驱动电路

$$D = \overline{AB}$$

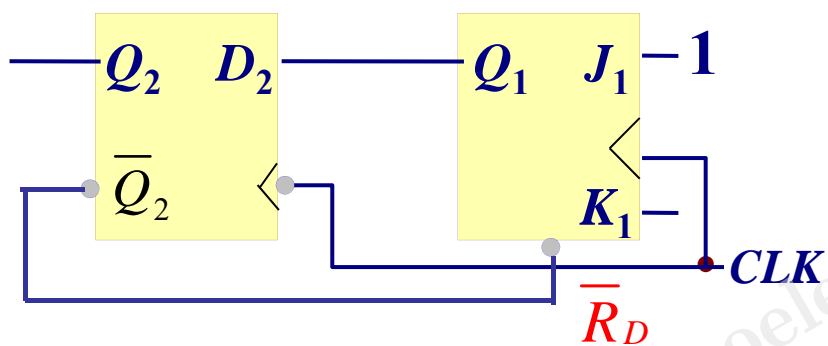
$$Q^{n+1} = D$$



例 3. 对应下图电路的输入 CLK 和 K_1 波形画出输出 Q_1 和 Q_2 的波形。初始 Q_1 和 Q_2 为高电平。



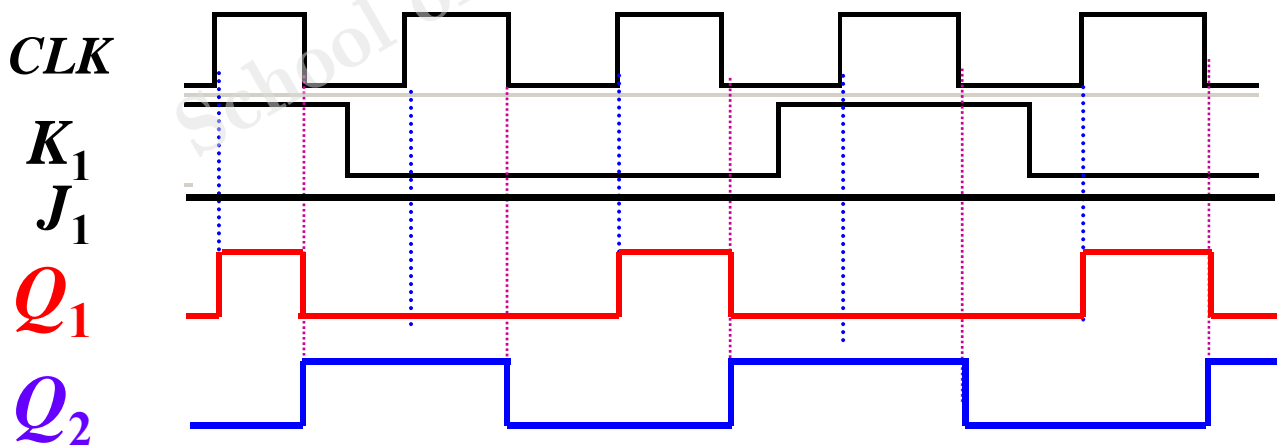
例 4. 根据下图电路及 CLK 和 K_1 输入波形, 画出输出 Q_1 和 Q_2 波形。初始状态 $Q_1=Q_2=0$ 。



$$Q_1^{n+1} = J_1 \overline{Q}_1^n + \overline{K}_1 Q_1^n$$

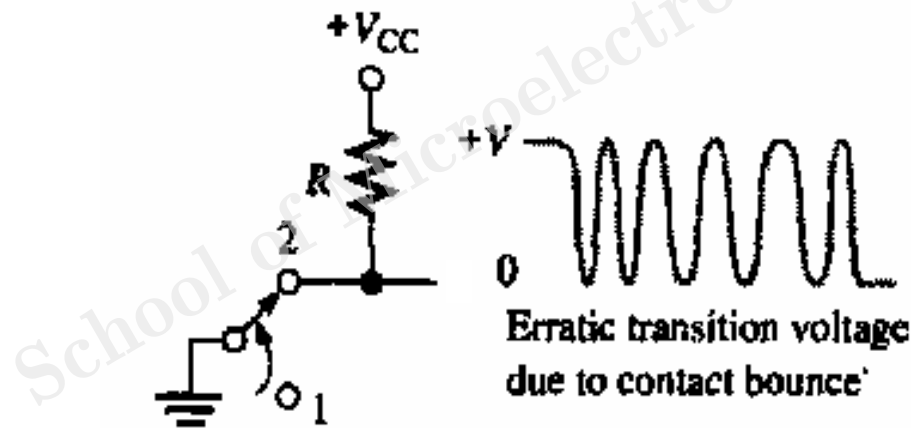
$$Q_2^{n+1} = D_2 = Q_1^n$$

当 $Q_2=1, \bar{R}_D=0, Q_1=0$



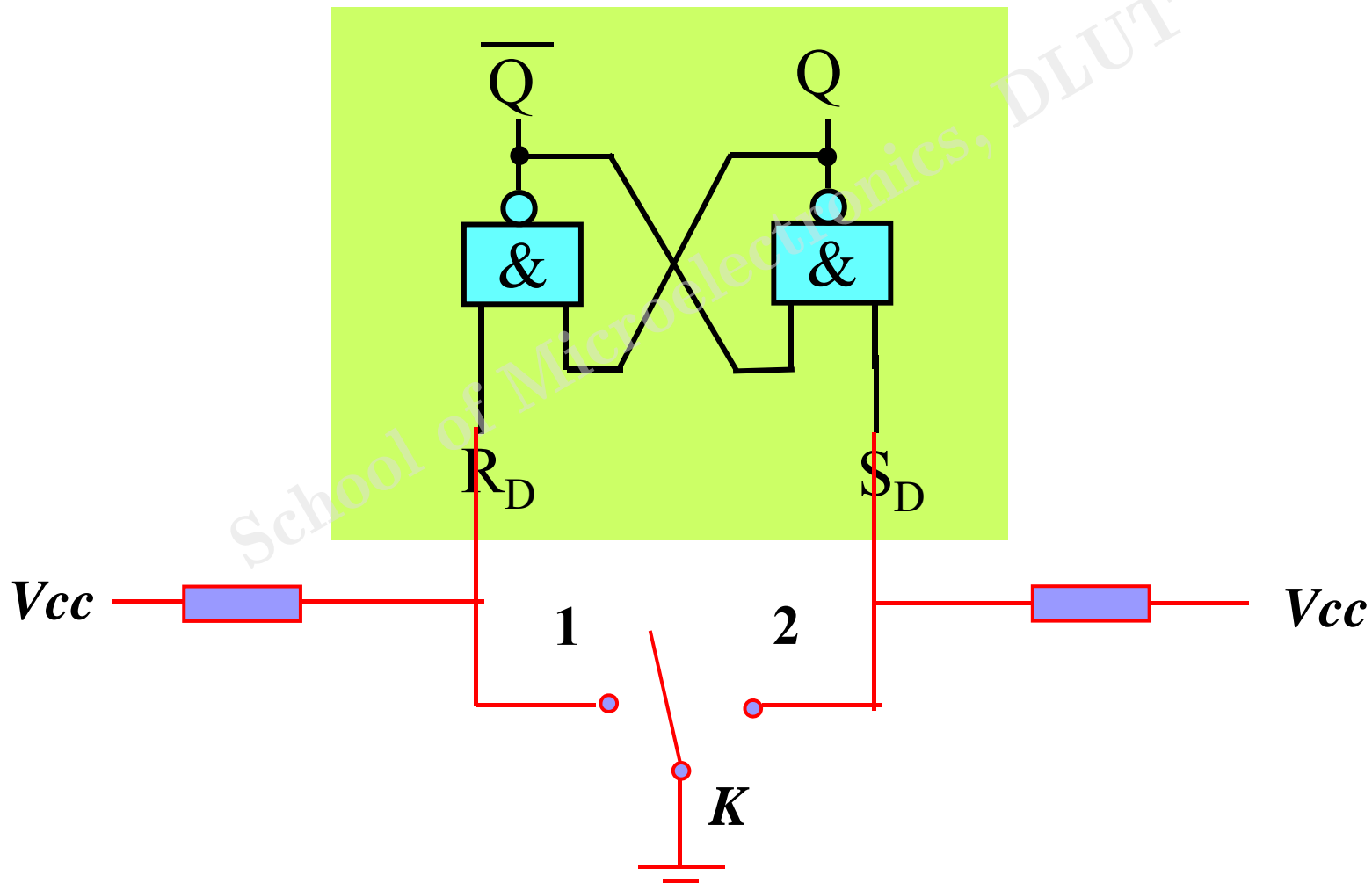
例 5.

消除 (接触跳动) 噪声电路： 当一个开关闭合时，在开关完全闭合之前几毫秒时间内，有时会发生金属接触点之间的碰撞和跳动，这样置位端将产生不正确的结果，导致机器的误动作。



用基本RS-FF:

当开关第一次与2点相接时, $\bar{S}=0, \bar{R}=1$, 输出 Q 为高电平; 当开关跳开时, $\bar{S}=1, \bar{R}=1$, 输出 Q 不变。



作业

5.9

5.10

5.14

5.17

5.18

5.21

School of Microelectronics, DLUT