

# Chương 3

## Mạch tuần tự

# Nội dung chương 3

- Khái niệm chung
- Các loại Flip – Flop
- Bộ đếm
- Thanh ghi dịch

# Khái niệm chung

- Mạch tuần tự: các ngõ ra ở trạng thái kế tiếp vừa phụ thuộc vào trạng thái hiện tại của ngõ vào, vừa phụ thuộc trạng thái hiện tại của ngõ ra
- Khi các ngõ vào thay đổi trạng thái, các ngõ ra không thay đổi ngay mà chờ đến khi có xung đồng hồ
- Mạch tuần tự có tính đồng bộ và tính nhớ → cơ sở để thiết kế các bộ nhớ
- Cơ sở thiết kế mạch tuần tự là dựa trên Flip – Flop

# Flip – Flop (FF)

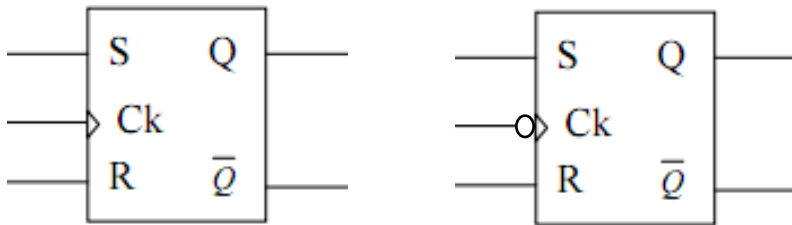
- FF là mạch dao động đa hài hai trạng thái bền, được xây dựng trên cơ sở các cổng logic và hoạt động theo một bảng trạng thái cho trước
- Một FF thường có:
  - Một hoặc hai ngõ vào dữ liệu, một ngõ vào xung đồng hồ
  - Hai ngõ ra, thường ký hiệu  $Q$  (ngõ ra chính) và  $\bar{Q}$  (ngõ ra phụ)
- Phân loại FF:
  - FF không có tín hiệu điều khiển (không đồng bộ): Chốt (latch)
  - FF có tín hiệu điều khiển (đồng bộ): Chốt (latch) và FF

# Flip – Flop đồng bộ

- Ck tác động theo sườn (lên, xuống)
  - RSFF
  - JKFF
  - TFF
  - DFF

# RSFF

- Kí hiệu:



- Bảng trạng thái:

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

| $S^n$ | $R^n$ | $Q^n$ | $Q^{n+1}$ |
|-------|-------|-------|-----------|
| 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     | X         |
| 1     | 1     | 1     | X         |

# RSFF (tt)

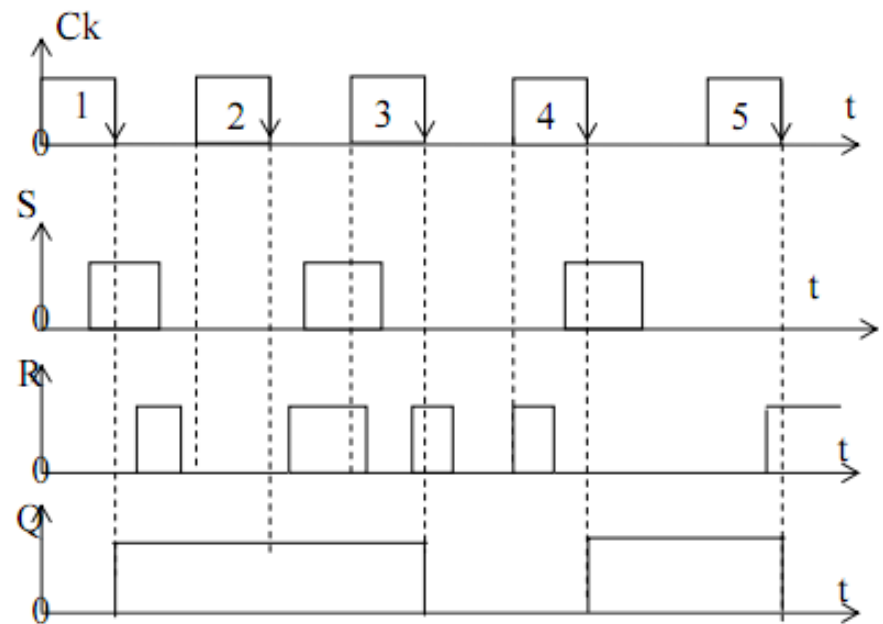
- Phương trình logic:

| $Q^{n+1} \backslash Q^n \begin{matrix} S^n R^n \end{matrix}$ | 00 | 01 | 11 | 10 |
|--|----|----|----|----|
| 0  | 0  | 0  | X  | 1  |
| 1  | 1  | 0  | X  | 1  |

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

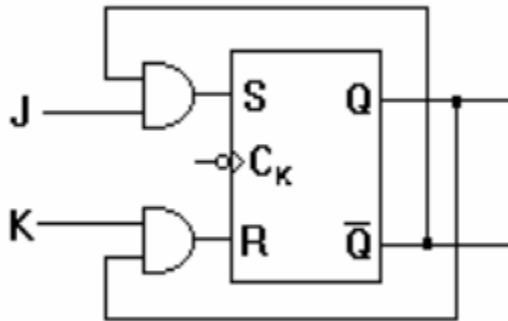
$(S^n \cdot R^n = 0)$

- Dạng sóng: (Ck tác động sườn xuống)



# JKFF

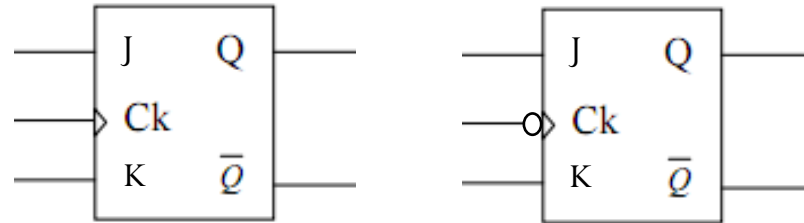
- Cải tiến từ RSFF



- Bảng trạng thái:

| $J^n$ | $K^n$ | $Q^{n+1}$        |
|-------|-------|------------------|
| 0     | 0     | $Q^n$            |
| 0     | 1     | 0                |
| 1     | 0     | 1                |
| 1     | 1     | $\overline{Q^n}$ |

- Kí hiệu:



| $J^n$ | $K^n$ | $Q^n$ | $Q^{n+1}$ |
|-------|-------|-------|-----------|
| 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         |

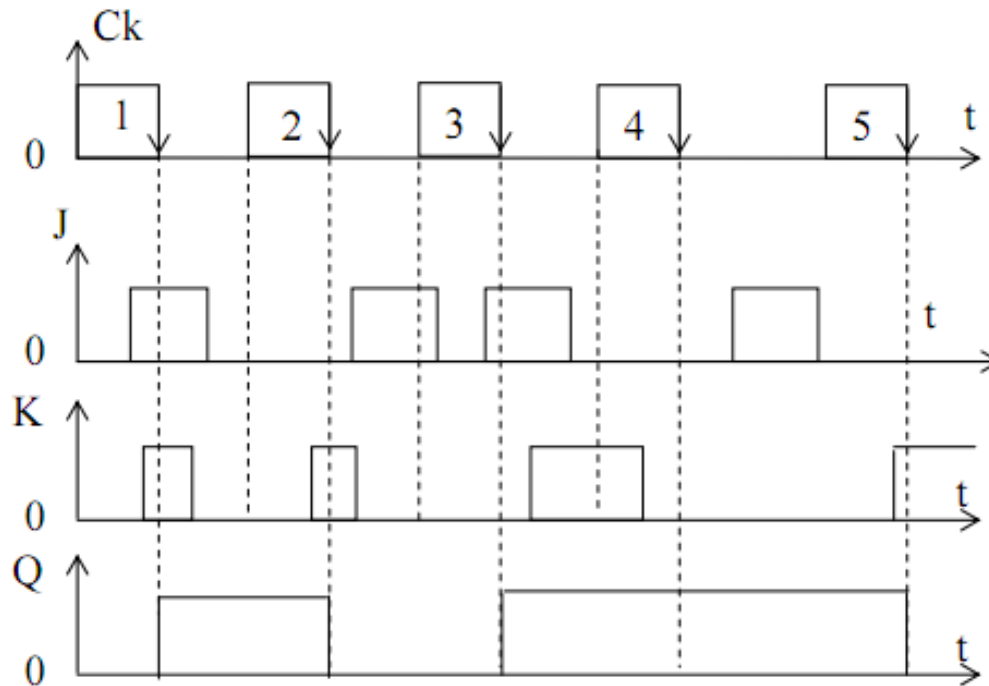


## JKFF (tt)

- Phương trình logic:

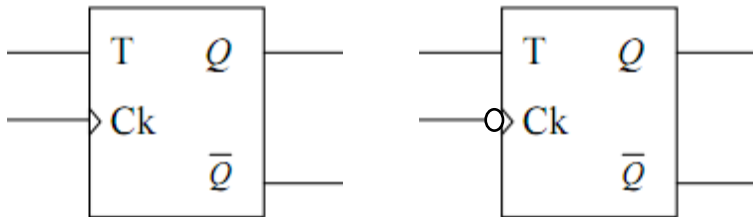
$$Q^{n+1} = J^n \overline{Q}^n + \overline{K}^n Q^n$$

- Dạng sóng: (Ck tác động sườn xuống)



# TFF

- Kí hiệu:



- Bảng trạng thái:

| $T^n$ | $Q^{n+1}$        |
|-------|------------------|
| 0     | $Q^n$            |
| 1     | $\overline{Q^n}$ |

- Phương trình logic:

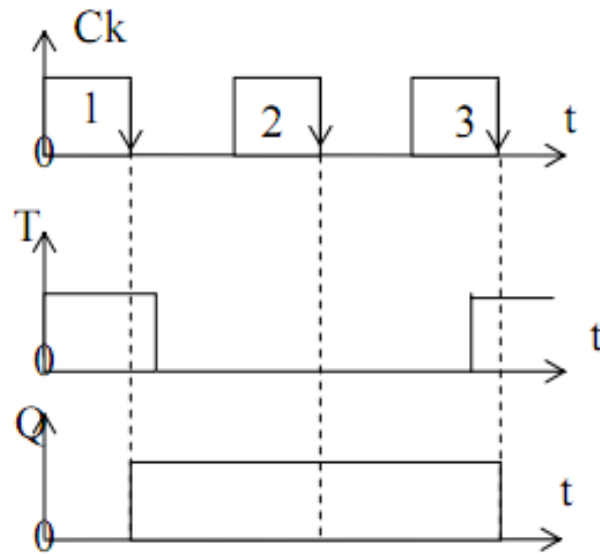
$$Q^{n+1} = \overline{T^n} Q^n + T^n \overline{Q^n}$$

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

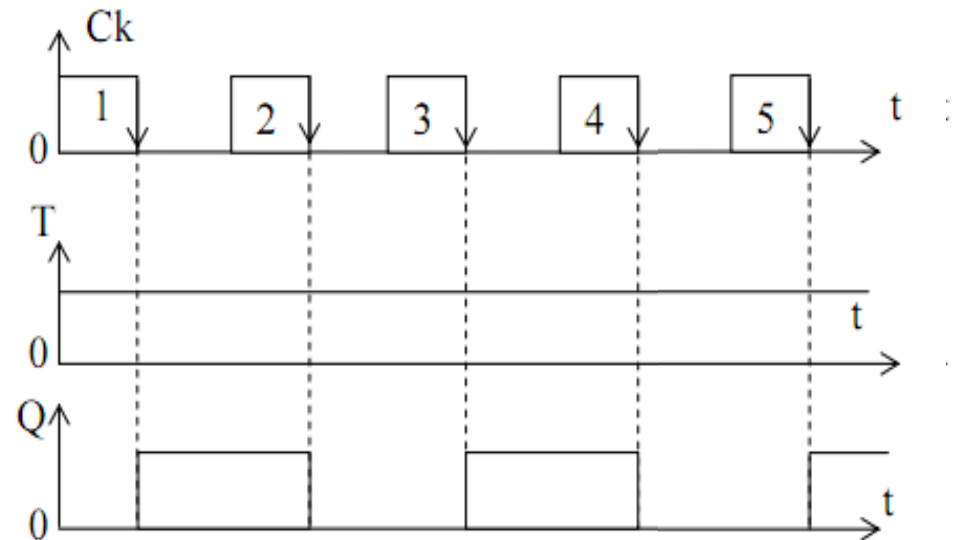
| $T^n$ | $Q^n$ | $Q^{n+1}$ |
|-------|-------|-----------|
| 0     | 0     | 0         |
| 0     | 1     | 1         |
| 1     | 0     | 1         |
| 1     | 1     | 0         |

# TFF (tt)

- Dạng sóng: (Ck tác động sườn xuống)



Khi ngõ vào T luôn bằng 1:

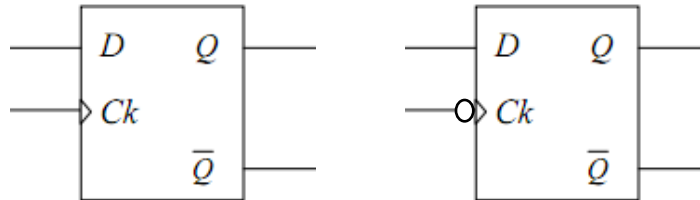


$$f_Q = \frac{f_{Ck}}{2}$$

- Vậy khi  $T = 1$ , TFF đóng vai trò mạch chia tần số xung đồng hồ
- Nếu ghép  $n$  TFF với nhau và các ngõ vào T luôn bằng 1 ta có  $f_Q = \frac{f_{Ck}}{2^n}$

# DFF

- Kí hiệu:



- Bảng trạng thái:

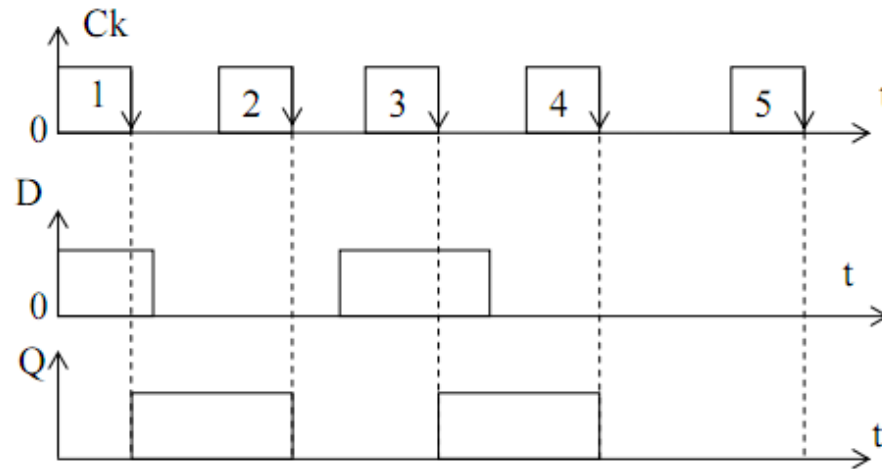
| $D^n$ | $Q^{n+1}$ |
|-------|-----------|
| 0     | 0         |
| 1     | 1         |

| $D^n$ | $Q^n$ | $Q^{n+1}$ |
|-------|-------|-----------|
| 0     | 0     | 0         |
| 0     | 1     | 0         |
| 1     | 0     | 1         |
| 1     | 1     | 1         |

- Phương trình logic:  $Q^{n+1} = D^n$

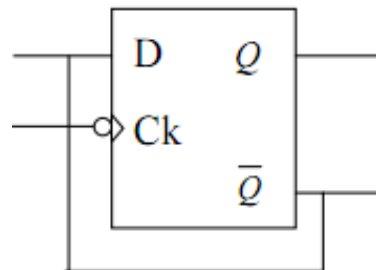
# DFF (tt)

- Dạng sóng:



- Ứng dụng:

- Lưu trữ dữ liệu để chế tạo bộ nhớ và thanh ghi
- Chia tần số nếu mắc hồi tiếp ngõ ra  $\bar{Q}$  về ngõ vào  $D$



# Bộ đếm

- Xây dựng dựa trên cơ sở các Flip – Flop ghép với nhau
- Phân loại:
  - Theo hệ đếm: bộ đếm thập phân, bộ đếm nhị phân
  - Theo hướng đếm: mạch đếm lên, mạch đếm xuống, mạch đếm vòng
  - Theo tín hiệu chuyển: bộ đếm nối tiếp, bộ đếm song song, bộ đếm hỗn hợp
  - Chức năng điều khiển: bộ đếm đồng bộ, bộ đếm không đồng bộ

# Bộ đếm nối tiếp

- Bộ đếm nối tiếp: bộ đếm trong đó các TFF hoặc JKFF giữ chức năng của TFF được ghép nối tiếp với nhau và hoạt động theo một loại mã duy nhất là BCD 8421
- Phân loại:
  - Đếm lên
  - Đếm xuống
  - Đếm lên/xuống
  - Modulo M
- Ưu điểm: đơn giản, dễ thiết kế
- Nhược điểm: với dung lượng lớn, sử dụng nhiều FF thì thời gian trễ tích lũy lớn → kết quả sai

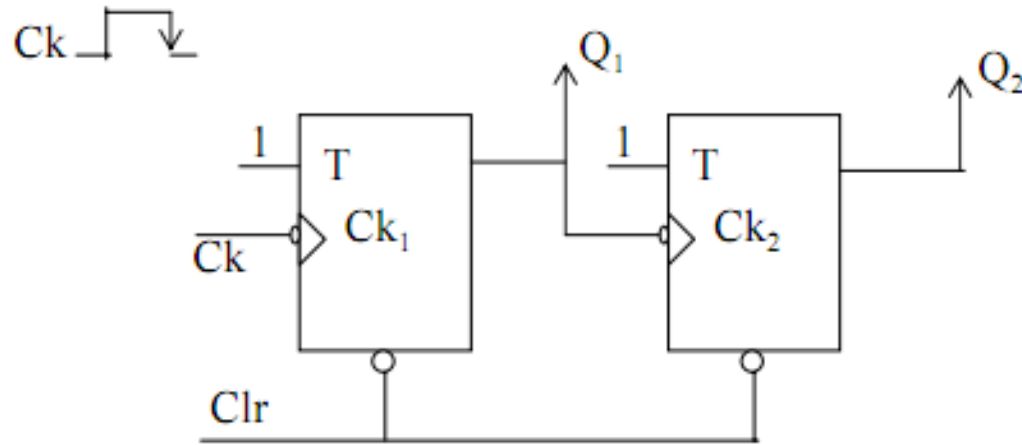
# Bộ đếm nối tiếp - Đếm lên

- Bộ đếm lên có nội dung đếm tăng dần
- T/(J, K) luôn luôn ở mức logic 1 và ngõ ra của TFF/JKFF đứng trước nối với ngõ vào Ck của TFF/JKFF đứng sau
  - Ck tác động sườn xuống: TFF hoặc JKFF ghép với nhau theo quy luật:  $Ck_{i+1} = Q_i$
  - Ck tác động sườn lên: TFF hoặc JKFF ghép với nhau theo quy luật:  $Ck_{i+1} = \overline{Q_i}$



# Bộ đếm nối tiếp - Đếm lên (tt)

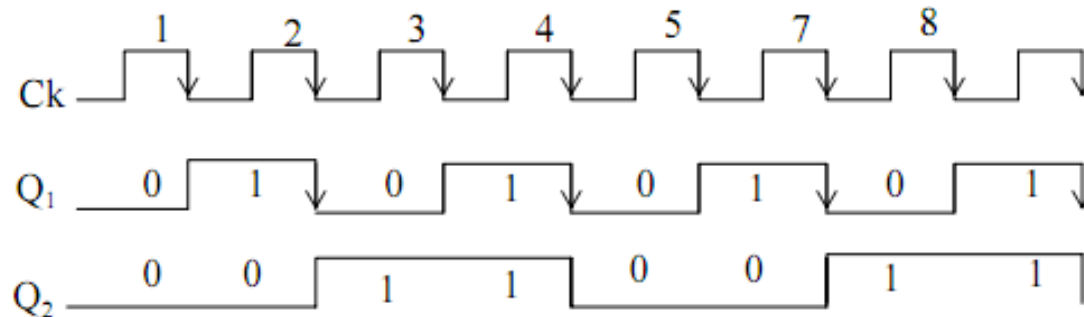
- Xét mạch đếm nối tiếp, đếm 4, đếm lên, dùng TFF:
  - Trường hợp Ck tác động theo sườn xuống:



Clr (Clear) là ngõ vào xóa của TFF; với Clr tác động mức thấp thì khi  $\text{Clr} = 0$  thì ngõ ra Q của FF bị xóa về 0

# Bộ đếm nối tiếp - Đếm lên (tt)

– Giải đồ thời gian:

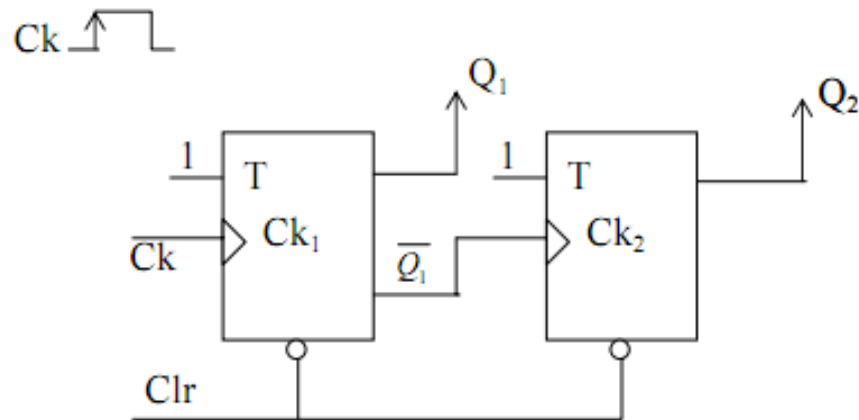


– Bảng trạng thái:

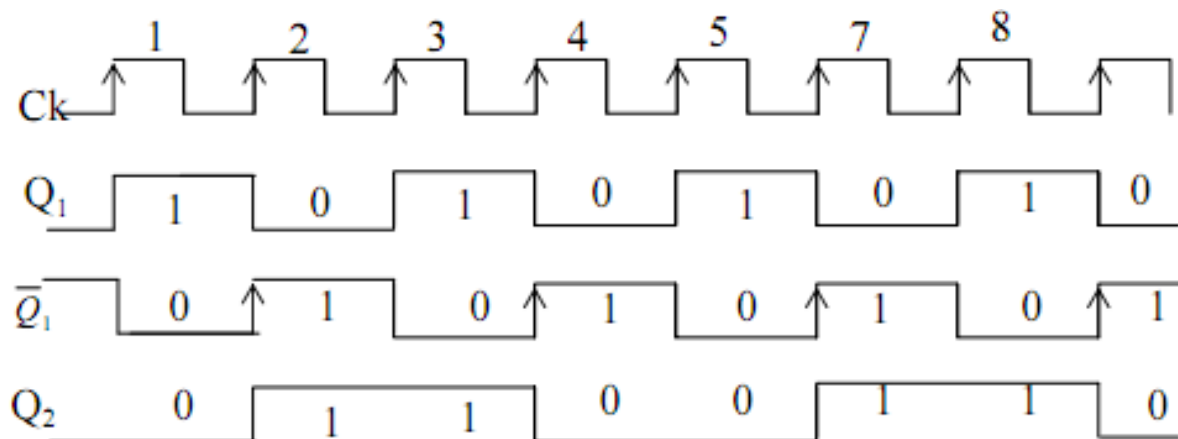
| Xung vào | Trạng thái hiện tại |       | Trạng thái kế tiếp |       |
|----------|---------------------|-------|--------------------|-------|
| Ck       | $Q_2$               | $Q_1$ | $Q_2$              | $Q_1$ |
| 1        | 0                   | 0     | 0                  | 1     |
| 2        | 0                   | 1     | 1                  | 0     |
| 3        | 1                   | 0     | 1                  | 1     |
| 4        | 1                   | 1     | 0                  | 0     |

# Đếm lên (tt)

- Trường hợp Ck tác động theo sườn lên:



- Giải đồ thời gian:



# Bộ đếm nối tiếp - Đếm lên (tt)

– Bảng trạng thái:

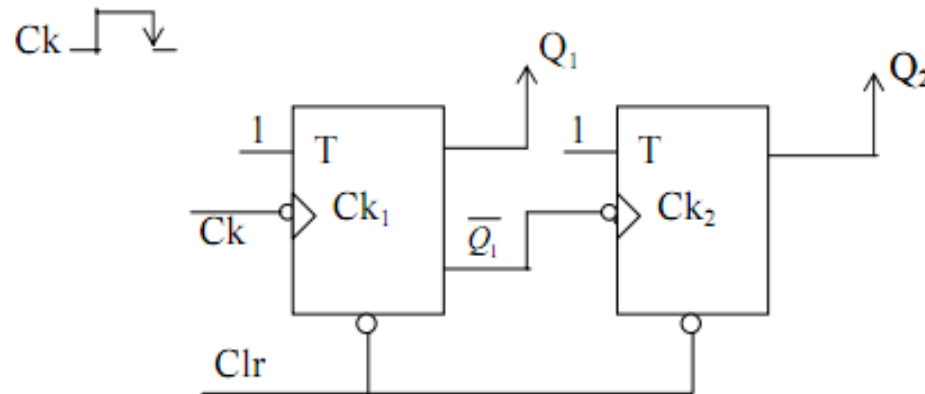
| Xung vào | Trạng thái hiện tại |       | Trạng thái kế tiếp |       |
|----------|---------------------|-------|--------------------|-------|
| Ck       | $Q_2$               | $Q_1$ | $Q_2$              | $Q_1$ |
| 1        | 0                   | 1     | 1                  | 0     |
| 2        | 1                   | 0     | 1                  | 1     |
| 3        | 1                   | 1     | 0                  | 0     |
| 4        | 0                   | 0     | 0                  | 1     |

## Bộ đếm nối tiếp - Đếm xuống

- Bộ đếm xuống có nội dung đếm giảm dần
- T/(J, K) luôn luôn ở mức logic 1 và ngõ ra của TFF/JKFF đứng trước nối với ngõ vào Ck của TFF/JKFF đứng sau
  - Ck tác động sườn xuống: TFF hoặc JKFF ghép với nhau theo quy luật:  $Ck_{i+1} = \overline{Q_i}$
  - Ck tác động sườn lên: TFF hoặc JKFF ghép với nhau theo quy luật:  $Ck_{i+1} = Q_i$

# Bộ đếm nối tiếp - Đếm xuống (tt)

- Xét mạch đếm nối tiếp, đếm 4, đếm xuống, dùng TFF:
  - Trường hợp Ck tác động theo sườn xuống:

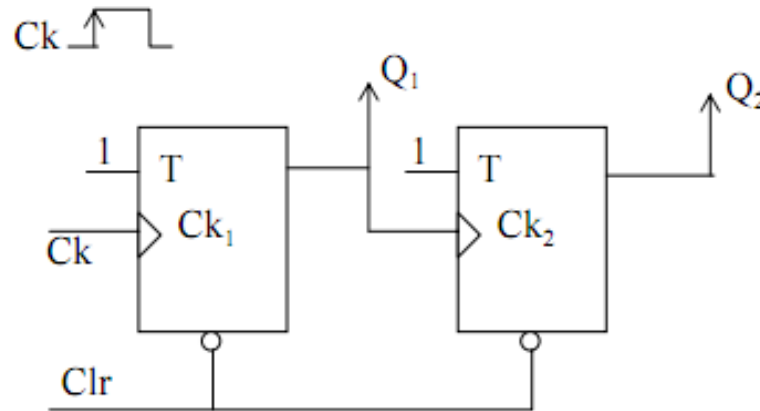


Bảng trạng thái:

| Xung vào |  | Trạng thái hiện tại |       | Trạng thái kế tiếp |       |
|----------|--|---------------------|-------|--------------------|-------|
| Ck       |  | $Q_2$               | $Q_1$ | $Q_2$              | $Q_1$ |
| 1        |  | 0                   | 0     | 1                  | 1     |
| 2        |  | 1                   | 1     | 1                  | 0     |
| 3        |  | 1                   | 0     | 0                  | 1     |
| 4        |  | 0                   | 1     | 0                  | 0     |

# Bộ đếm nối tiếp - Đếm xuống (tt)

- Trường hợp Ck tác động theo sườn lên:



Bảng trạng thái:

| Xung vào | Trạng thái hiện tại |       | Trạng thái kế tiếp |       |
|----------|---------------------|-------|--------------------|-------|
| Ck       | $Q_2$               | $Q_1$ | $Q_2$              | $Q_1$ |
| 1        | 1                   | 1     | 1                  | 0     |
| 2        | 1                   | 0     | 0                  | 1     |
| 3        | 0                   | 1     | 0                  | 0     |
| 4        | 0                   | 0     | 1                  | 1     |

# Bộ đếm nối tiếp - Đếm lên/xuống

- Bộ đếm lên/xuống vừa có thể đếm lên vừa có thể đếm xuống tùy thuộc vào tín hiệu điều khiển
- Gọi  $X$  là tín hiệu điều khiển, ta quy ước:
  - Nếu  $X = 0$  thì đếm lên
  - Nếu  $X = 1$  thì đếm xuống
- Trường hợp Ck tác động sườn xuống:
$$Ck_{i+1} = \bar{X}Q_i + X\bar{Q}_i = X \oplus Q_i$$
- Trường hợp Ck tác động sườn lên:
$$Ck_{i+1} = \bar{X}\bar{Q}_i + XQ_i = \overline{X \oplus Q_i}$$



# Bộ đếm nối tiếp - Đếm modulo M

- Bộ đếm modulo M là bộ đếm nối tiếp, theo mã BCD 8421, có dung lượng đếm khác  $2^n$
- Xét mạch đếm 5, đếm lên, đếm nối tiếp: cần dùng 3 FF
  - Bảng trạng thái:

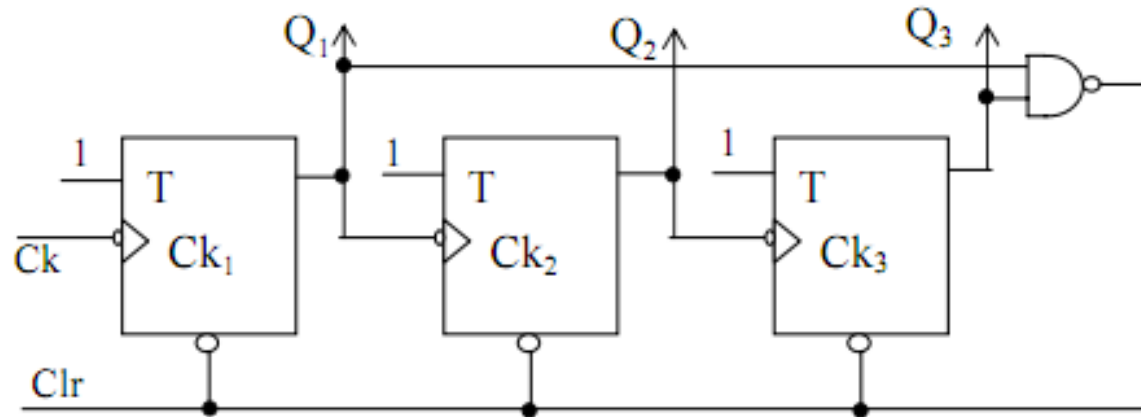
| Xung vào | Trạng thái hiện tại |       |       | Trạng thái kế tiếp |       |       |
|----------|---------------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|
| Ck       | $Q_3$               | $Q_2$ | $Q_1$ | $Q_3$              | $Q_2$ | $Q_1$ |
| 1        | 0                   | 0     | 0     | 0                  | 0     | 1     |
| 2        | 0                   | 0     | 1     | 0                  | 1     | 0     |
| 3        | 0                   | 1     | 0     | 0                  | 1     | 1     |
| 4        | 0                   | 1     | 1     | 1                  | 0     | 0     |
| 5        | 1                   | 0     | 0     | 1/0                | 0     | 1/0   |

# Bộ đếm nối tiếp - Đếm modulo M (tt)

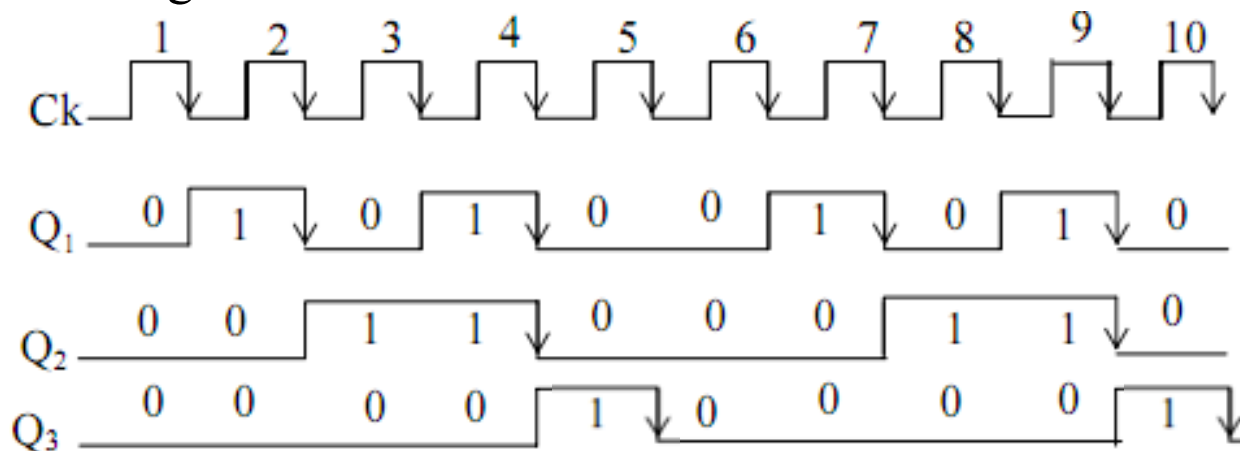
- Vấn đề đặt ra: Sau xung  $C_k$  thứ 5, ta tìm cách đưa tổ hợp 101 về 000 để mạch thực hiện đếm lại từ tổ hợp ban đầu
- Tổ hợp 101 có 2 ngõ ra  $Q_1$  và  $Q_3$  đồng thời bằng 1 (khác với các tổ hợp trước đó)  $\rightarrow$  dấu hiệu nhận biết để xóa bộ đếm về 000
- Để xóa bộ đếm về 000:
  - Đối với FF có ngõ vào Clr tác động mức 0 thì ta dùng cổng NAND 2 ngõ vào
  - Đối với FF có ngõ vào Clr tác động mức 1 thì ta dùng cổng AND 2 ngõ vào

# Bộ đếm nối tiếp - Đếm modulo M (tt)

- Sơ đồ mạch:



- Giải đồ thời gian:



# Bộ đếm song song

- Bộ đếm trong đó các FF mắc song song với nhau
- Các ngõ ra thay đổi trạng thái đồng thời dưới sự điều khiển của tín hiệu  $Ck \rightarrow$  còn gọi là bộ đếm đồng bộ
- Sử dụng bất kỳ loại FF và theo bất kỳ quy luật đếm
- Không phụ thuộc tín hiệu  $Ck$  tác động sườn lên, sườn xuống, mức 0 hay mức 1
- Thiết kế dựa trên bảng đầu vào kích của FF: Điều kiện ngõ vào để đạt yêu cầu thay đổi ở ngõ ra.

| $Q^n$ | $Q^{n+1}$ | $S^n$ | $R^n$ | $J^n$ | $K^n$ | $T^n$ | $D^n$ |
|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0     | 0         | 0     | X     | 0     | X     | 0     | 0     |
| 0     | 1         | 1     | 0     | 1     | X     | 1     | 1     |
| 1     | 0         | 0     | 1     | X     | 1     | 1     | 0     |
| 1     | 1         | X     | 0     | X     | 0     | 0     | 1     |

## Bộ đếm song song (tt)

- Xét mạch đếm đồng bộ, đếm 5, đếm lên theo mã BCD 8421 dùng JKFF: cần dùng 3 JKFF
  - Bảng trạng thái:

| Xung vào | Trạng thái hiện tại |       |       | Trạng thái kế tiếp |       |       |
|----------|---------------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|
| Ck       | $Q_3$               | $Q_2$ | $Q_1$ | $Q_3$              | $Q_2$ | $Q_1$ |
| 1        | 0                   | 0     | 0     | 0                  | 0     | 1     |
| 2        | 0                   | 0     | 1     | 0                  | 1     | 0     |
| 3        | 0                   | 1     | 0     | 0                  | 1     | 1     |
| 4        | 0                   | 1     | 1     | 1                  | 0     | 0     |
| 5        | 1                   | 0     | 0     | 0                  | 0     | 0     |

# Bộ đếm song song (tt)

- Bảng đầu vào kích:

| Xung<br>vào | Trạng thái hiện tại |                |                | Trạng thái kế tiếp |                |                |                |                |                |                |                |                |
|-------------|---------------------|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|             | Q <sub>3</sub>      | Q <sub>2</sub> | Q <sub>1</sub> | Q <sub>3</sub>     | Q <sub>2</sub> | Q <sub>1</sub> | J <sub>3</sub> | K <sub>3</sub> | J <sub>2</sub> | K <sub>2</sub> | J <sub>1</sub> | K <sub>1</sub> |
| 1           | 0                   | 0              | 0              | 0                  | 0              | 1              | 0              | X              | 0              | X              | 1              | X              |
| 2           | 0                   | 0              | 1              | 0                  | 1              | 0              | 0              | X              | 1              | X              | X              | 1              |
| 3           | 0                   | 1              | 0              | 0                  | 1              | 1              | 0              | X              | X              | 0              | 1              | X              |
| 4           | 0                   | 1              | 1              | 1                  | 0              | 0              | 1              | X              | X              | 1              | X              | 1              |
| 5           | 1                   | 0              | 0              | 0                  | 0              | 0              | X              | 1              | 0              | X              | 0              | X              |

# Bộ đếm song song (tt)

- Lập bảng Karnaugh để tối thiểu hóa:

| $J_1$ \ $Q_3Q_2$ |   | $Q_1$ |    |    |    |
|------------------|---|-------|----|----|----|
|                  |   | 00    | 01 | 11 | 10 |
| 0                | 1 | 1     | x  | 0  |    |
| 1                | x | x     | x  | x  |    |

$$J_1 = \overline{Q_3}$$

| $K_1 \backslash Q_3 Q_2$ |   | $Q_1$ |    |    |    |
|--------------------------|---|-------|----|----|----|
|                          |   | 00    | 01 | 11 | 10 |
| $Q_1$                    | 0 | x     | x  | x  | x  |
|                          | 1 | 1     | 1  | x  | x  |

$$K_1 = 1$$

| $J_2 \backslash Q_3 Q_2$ |   | $Q_1$ |    |    |    |
|--------------------------|---|-------|----|----|----|
|                          |   | 00    | 01 | 11 | 10 |
| 0                        | 0 | x     | x  | 0  |    |
| 1                        | 1 | x     | x  | x  |    |

$$J_2 = Q_1$$

| $K_2 \backslash Q_3 Q_2$ |   | $Q_1$ |    |    |    |
|--------------------------|---|-------|----|----|----|
|                          |   | 00    | 01 | 11 | 10 |
| 0                        | x | 0     | x  | 0  |    |
| 1                        | x | 1     | x  | x  |    |

$$K_2 = Q_1$$

# Bộ đếm song song (tt)

- Lập bảng Karnaugh để tối thiểu hóa:

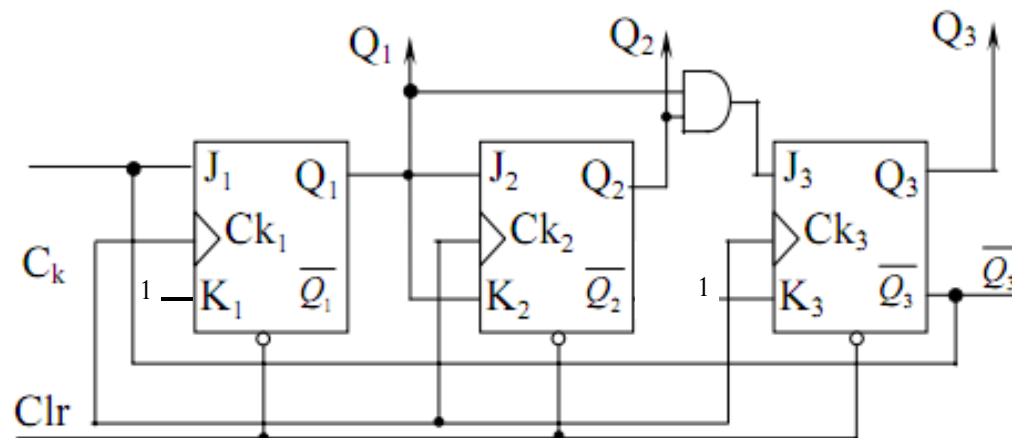
| $J_3$ | $Q_3Q_2$ |    |    |    |
|-------|----------|----|----|----|
|       | $Q_1$    | 00 | 01 | 11 |
| 0     | 0        | 0  | x  | x  |
| 1     | 0        | 1  | x  | x  |

$$J_3 = Q_1 Q_2$$

| $K_3$ | $Q_3Q_2$ |    |    |    |
|-------|----------|----|----|----|
|       | $Q_1$    | 00 | 01 | 11 |
| 0     | x        | 1  | x  | 1  |
| 1     | x        | 1  | x  | x  |

$$K_3 = 1$$

- Sơ đồ logic:





# Thanh ghi dịch chuyển

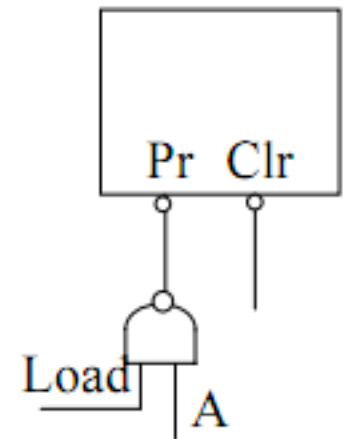
- Xây dựng dựa trên cơ sở các DFF hoặc các FF khác thực hiện chức năng của DFF
- Mỗi DFF lưu trữ 1 bit dữ liệu
- Để tạo thanh ghi nhiều bit, ghép các DFF lại với nhau theo quy luật:
  - Ngõ ra của DFF đứng trước được nối với ngõ vào dữ liệu của DFF sau ( $D_{i+1} = Q_i$ ): thanh ghi có khả năng dịch phải
  - Ngõ ra của DFF đứng sau được nối với ngõ vào dữ liệu của DFF trước ( $D_i = Q_{i+1}$ ): thanh ghi có khả năng dịch trái

# Thanh ghi dịch chuyển (tt)

- Phân loại:
  - Theo hướng dịch chuyển dữ liệu:
    - Dịch trái
    - Dịch phải
    - Vừa dịch phải vừa dịch trái
  - Theo ngõ vào dữ liệu:
    - Ngõ vào dữ liệu nối tiếp
    - Ngõ vào dữ liệu song song
  - Theo ngõ ra:
    - Ngõ ra nối tiếp
    - Ngõ ra song song
    - Ngõ ra vừa nối tiếp vừa song song

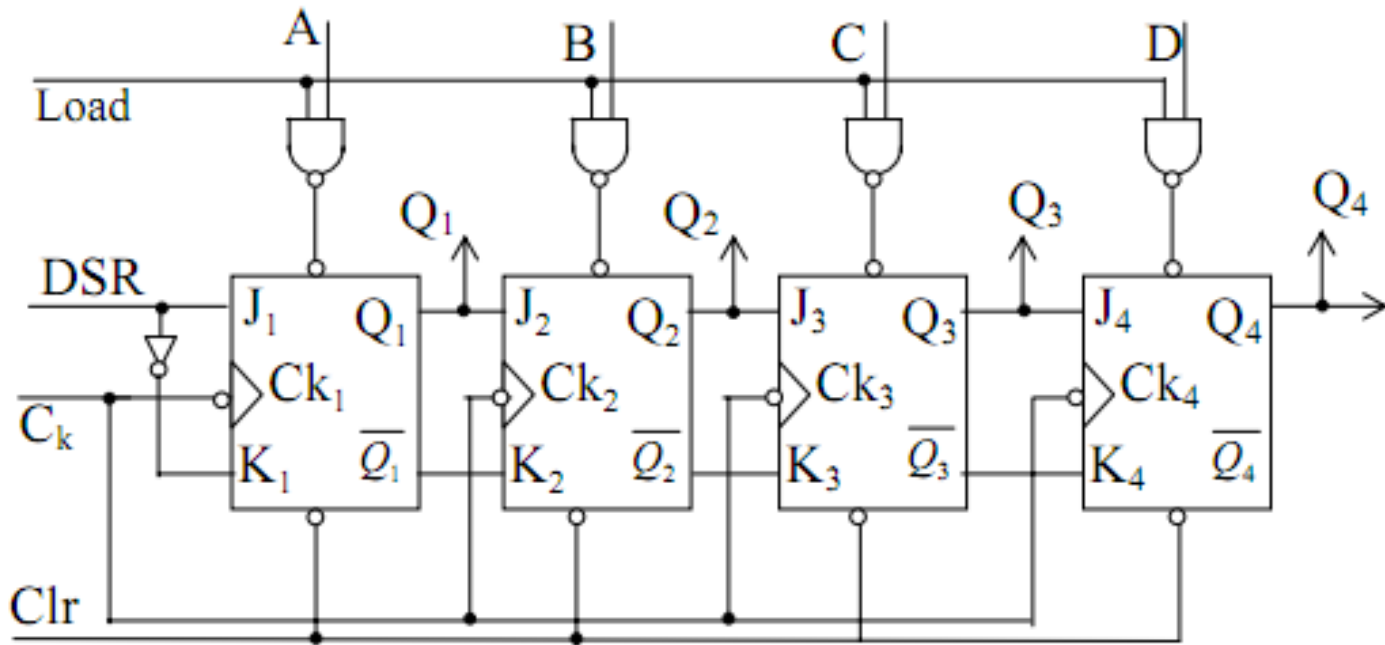
# Thanh ghi dịch chuyển (tt)

- Nhập dữ liệu vào FF:
  - Dữ liệu được nhập vào FF bằng chân Preset (Pr)
  - Khi Load = 0: Pr = Clr = 1 (Chân Clr để trống ứng với mức logic 1)
    - FF tự do, dữ liệu không được nhập vào FF
  - Khi Load = 1: Pr =  $\bar{A}$ 
    - Giả sử ban đầu:  $Q = 0$
    - Nếu  $A = 0 \rightarrow \text{Pr} = 1, \text{Clr} = 1 \rightarrow Q = Q^0 = 0$
    - Nếu  $A = 1 \rightarrow \text{Pr} = 0, \text{Clr} = 1 \rightarrow Q = 1$
  - Vậy  $Q = A$ , dữ liệu được nhập vào FF
  - **Chú ý:** phương pháp này đòi hỏi trước khi nhập phải xóa FF về 0



## Thanh ghi dịch chuyển (tt)

- Xét thanh ghi 4 bit dịch phải dùng JKFF:



Trong đó:

- DSR (Data Shift Right): ngõ vào dữ liệu nối tiếp
- Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub>, Q<sub>4</sub>: các ngõ ra song song

# Thanh ghi dịch chuyển (tt)

- Hoạt động của mạch:
  - Giả sử ban đầu Load = 1  $\rightarrow$  A, B, C, D được nhập vào thanh ghi dịch  
 $Q_1 = A, Q_2 = B, Q_3 = C, Q_4 = D$
  - Xét  $FF_1$ :  $D = DSR_1, Q_1 = A$ 
    - Nếu  $DSR_1 = 0 \rightarrow Q = 0$
    - Nếu  $DSR_1 = 1 \rightarrow Q = 1$
    - Như vậy sau một xung Ck tác động sườn xuống thì  $Q_1 = DSR_1$
  - Lúc đó tại  $FF_2, FF_3, FF_3$ :  $Q_2 = A, Q_3 = B, Q_4 = C$
  - Như vậy, sau khi Ck tác động sườn xuống, nội dung trong thanh ghi được dời sang phải 1 bit
  - Sau 4 xung, dữ liệu trong thanh ghi được xuất ra ngoài và nội dung DFF được thay bằng dữ liệu từ ngõ vào  $DSR_1, DSR_2, DSR_3, DSR_4$

# Thanh ghi dịch chuyển (tt)

- Bảng trạng thái :

| Xung<br>vào | Trạng thái hiện tại |         |         |       | Trạng thái kế |         |         |         |
|-------------|---------------------|---------|---------|-------|---------------|---------|---------|---------|
|             | $Q_1$               | $Q_2$   | $Q_3$   | $Q_4$ | $Q_1$         | $Q_2$   | $Q_3$   | $Q_4$   |
| 1           | A                   | B       | C       | D     | $DSR_1$       | A       | B       | C       |
| 2           | $DSR_1$             | A       | B       | C     | $DSR_2$       | $DSR_1$ | A       | B       |
| 3           | $DSR_2$             | $DSR_1$ | A       | B     | $DSR_3$       | $DSR_2$ | $DSR_1$ | A       |
| 4           | $DSR_3$             | $DSR_2$ | $DSR_1$ | A     | $DSR_4$       | $DSR_3$ | $DSR_2$ | $DSR_1$ |

# Thanh ghi dịch chuyển (tt)

- Trường hợp ngõ ra  $\overline{Q_4}$  bằng ngõ vào dữ liệu nối tiếp DSR:

Bảng trạng thái:

| Xung<br>vào | Trạng thái hiện tại |       |       |       | Trạng thái kế |       |       |       |
|-------------|---------------------|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------|
|             | $Q_1$               | $Q_2$ | $Q_3$ | $Q_4$ | $Q_1$         | $Q_2$ | $Q_3$ | $Q_4$ |
| 1           | 0                   | 0     | 0     | 0     | 1             | 0     | 0     | 0     |
| 2           | 1                   | 0     | 0     | 0     | 1             | 1     | 0     | 0     |
| 3           | 1                   | 1     | 0     | 0     | 1             | 1     | 1     | 0     |
| 4           | 1                   | 1     | 1     | 0     | 1             | 1     | 1     | 1     |
| 5           | 1                   | 1     | 1     | 1     | 0             | 1     | 1     | 1     |
| 6           | 0                   | 1     | 1     | 1     | 0             | 0     | 1     | 1     |
| 7           | 0                   | 0     | 1     | 1     | 0             | 0     | 0     | 1     |
| 8           | 0                   | 0     | 0     | 1     | 0             | 0     | 0     | 0     |