

**Lecture 09**

**카운터**

# 개요



## ■ 카운터

- 입력되는 펄스의 수를 세는 논리회로
- 클록 펄스처럼 펄스의 주기가 일정할 때는 1초 동안에 입력되는 펄스의 수를 세어 해당 펄스 신호의 주파수를 알 수 있고 주기도 알 수 있음 → **frequency counter**라고 함
- 정밀한 클록 발생기와 카운터를 사용하면 두 시점 간의 **시간 간격**을 측정할 수 있음

## ■ 카운터 종류

- 클록과의 동기 방식에 따라 **비동기식 카운터**(asynchronous counter)와 **동기식 카운터**(synchronous counter)로 나눌 수 있음
- 수를 세는 방향에 따라 **상향 카운터**(up counter)와 **하향 카운터**(down counter)로 분류할 수 있음

# 개요



## ■ 비동기식 카운터

- 카운터에 있는 플립플롭들이 공통의 클록 펄스를 갖지 않음
- 첫 번째 플립플롭의 클록 입력에만 클록 펄스가 입력되고, 다른 플립플롭은 각 플립플롭의 출력을 다음 플립플롭의 클록 입력으로 사용함  
→ **직렬 카운터**(sequential counter) 또는 **리플 카운터**(ripple counter)라고 함
- JK 플립플롭 또는 T 플립플롭을 사용해 구성함
- 고속 동작에 부적당함

## ■ 동기식 카운터

- 카운터에 있는 플립플롭들이 공통의 클록 펄스에 의해 동시에 트리거되어 동작함
- 고속 동작에 적합하지만 비동기식 카운터에 비해 회로가 복잡하다는 단점이 있음  
→ **병렬 카운터**(parallel counter)라고 함

# 비동기식 상향 카운터

## ■ 2진 상향 카운터(binary up counter)

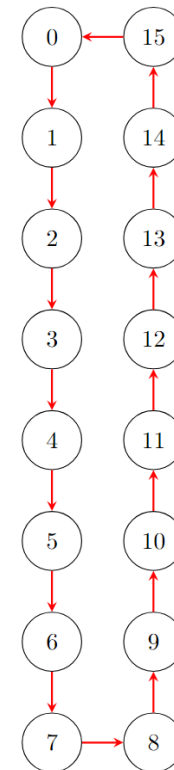
클록 펄스	$Q_D$	$Q_C$	$Q_B$	$Q_A$	10진수
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1
3	0	0	1	0	2
4	0	0	1	1	3
5	0	1	0	0	4
6	0	1	0	1	5
7	0	1	1	0	6
8	0	1	1	1	7
9	1	0	0	0	8
10	1	0	0	1	9
11	1	0	1	0	10
12	1	0	1	1	11
13	1	1	0	0	12
14	1	1	0	1	13
15	1	1	1	0	14
16	1	1	1	1	15

2진수 4자리 카운터

- $Q_D$  : 최상위 비트
- $Q_A$  : 최하위 비트

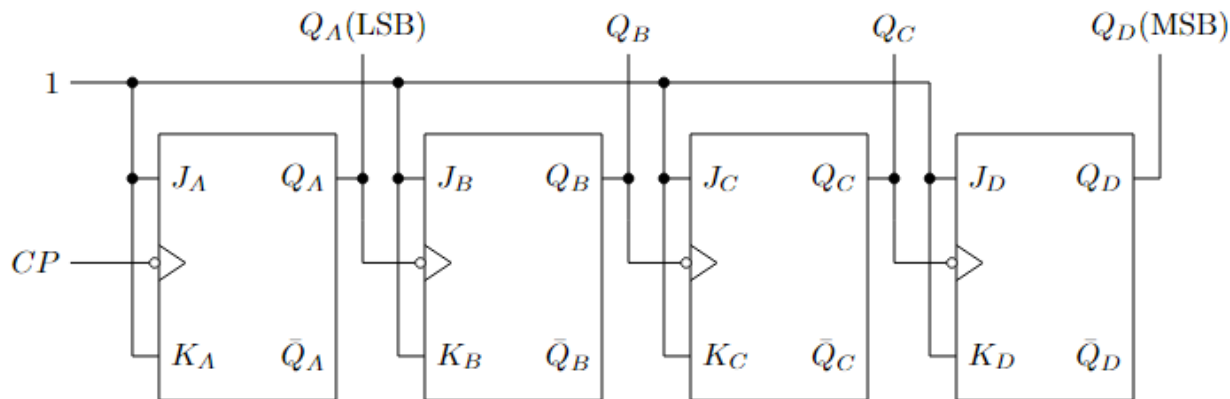
0000에서 1111까지  
상태의 수가 16개이  
므로 **16진(mod-16)**  
카운터라고 함

상태도



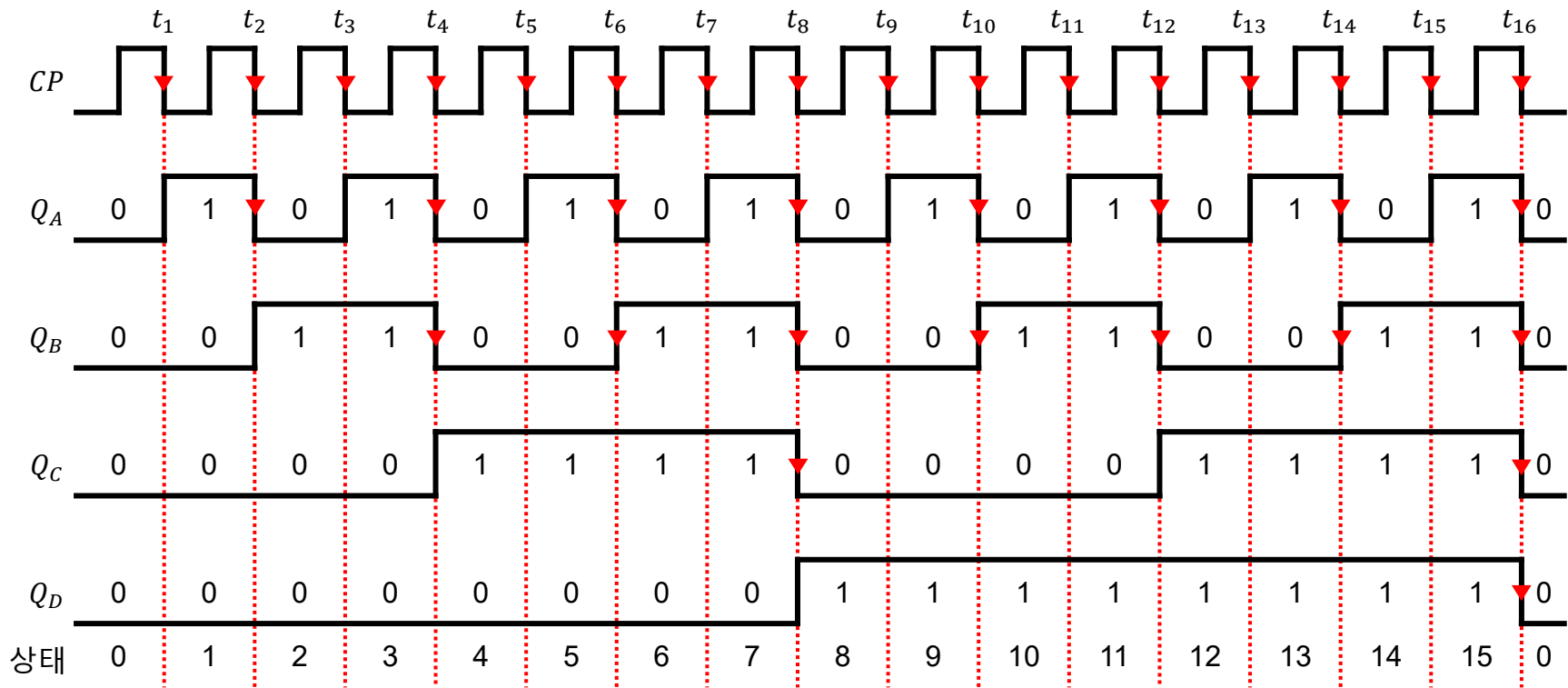
# 비동기식 상향 카운터

- 2진 상향 카운터(binary up counter)
  - JK 플립플롭 4개를 사용하며, 모든 플립플롭의 입력은  $J = K = 1$ (토글)임
  - 첫 번째 플립플롭의 클록 입력에 외부 클록 신호( $CP$ )를 연결함
  - 첫 번째 플립플롭의 출력  $Q_A$ 를 두 번째 플립플롭의 클록 입력에 연결함
  - 두 번째 플립플롭의 출력  $Q_B$ 를 세 번째 플립플롭의 클록 입력에 연결함
  - 세 번째 플립플롭의 출력  $Q_C$ 를 네 번째 플립플롭의 클록 입력에 연결함
  - 플립플롭 출력 단자  $Q_D, Q_C, Q_B, Q_A$ 를 조합하면 상향 카운터가 됨



# 비동기식 상향 카운터

## ■ 2진 상향 카운터(binary up counter)



# 비동기식 상향 카운터

- 비동기식 카운터의 동작 속도

- 첫 번째 플립플롭에 인가되는 클록 주파수는 다음 식을 만족해야 함

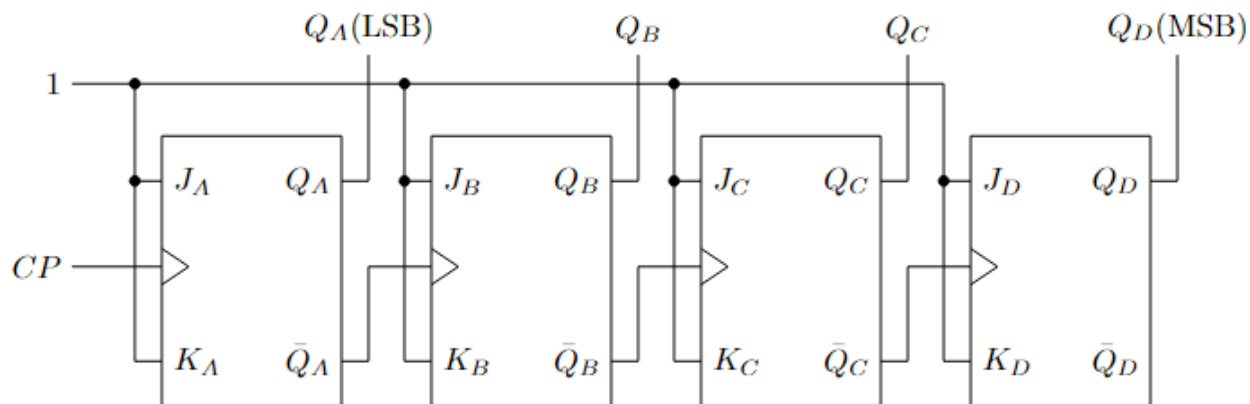
$$f_{max} \leq \frac{1}{n \times t_{pd}}$$

- $f_{max}$  : 최대 클록 주파수
    - $n$  : 플립플롭의 수
    - $t_{pd}$  : 플립플롭 한 개당 전파 지연 시간
  - 예,  $t_{pd} = 20\text{ns}$ 이고 플립플롭의 수가 4개인 4비트 2진 비동기식 카운터를 설계할 경우 클록 주파수는 12.5MHz 이하이어야 함

$$f_{max} \leq \frac{1}{n \times t_{pd}} = \frac{1}{4 \times 20 \times 10^{-9}} = 12.5\text{MHz}$$

# 비동기식 상향 카운터

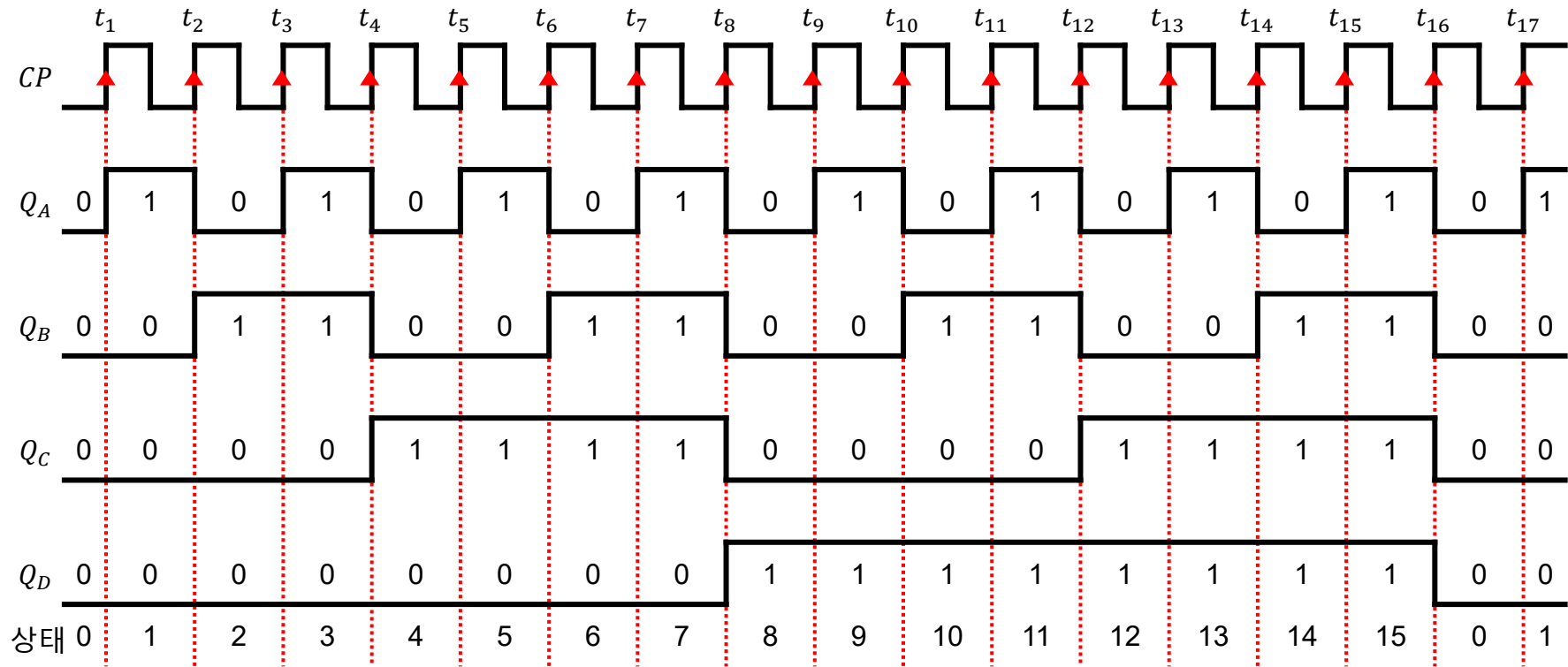
- 상승 에지에서 동작하는 상향 카운터
  - JK 플립플롭 4개를 사용하며, 모든 플립플롭의 입력은  $J = K = 1$ (토글)임
  - 첫 번째 플립플롭의 클록 입력에 외부 클록 신호( $CP$ )를 연결함
  - 첫 번째 플립플롭의 출력  $\bar{Q}_A$ 를 두 번째 플립플롭의 클록 입력에 연결함
  - 두 번째 플립플롭의 출력  $\bar{Q}_B$ 를 세 번째 플립플롭의 클록 입력에 연결함
  - 세 번째 플립플롭의 출력  $\bar{Q}_C$ 를 네 번째 플립플롭의 클록 입력에 연결함
  - 플립플롭 출력 단자  $Q_D, Q_C, Q_B, Q_A$ 를 조합하면 상향 카운터가 됨





# 비동기식 상향 카운터

- 상승 에지에서 동작하는 상향 카운터



# 비동기식 하향 카운터

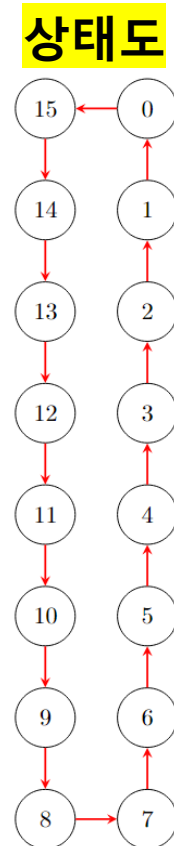
## ■ 2진 하향 카운터(binary down counter)

클록 펄스	$Q_D$	$Q_C$	$Q_B$	$Q_A$	10진수
1	1	1	1	1	15
2	1	1	1	0	14
3	1	1	0	1	13
4	1	1	0	0	12
5	1	0	1	1	11
6	1	0	1	0	10
7	1	0	0	1	9
8	1	0	0	0	8
9	0	1	1	1	7
10	0	1	1	0	6
11	0	1	0	1	5
12	0	1	0	0	4
13	0	0	1	1	3
14	0	0	1	0	2
15	0	0	0	1	1
16	0	0	0	0	0

2진수 4자리 카운터

- $Q_D$  : 최상위 비트
- $Q_A$  : 최하위 비트

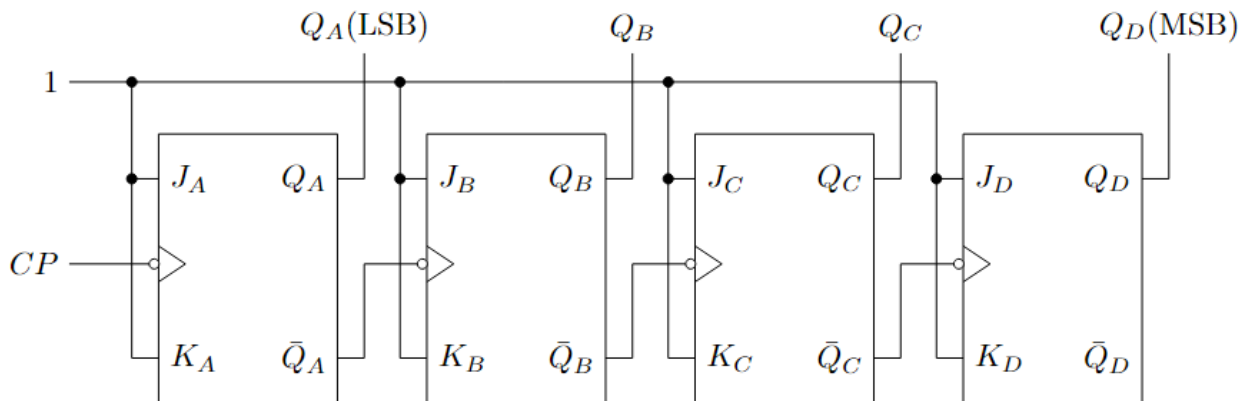
1111에서 시작하여  
15번째 클록 펄스의  
끝에서 0000으로 감  
소함



# 비동기식 하향 카운터

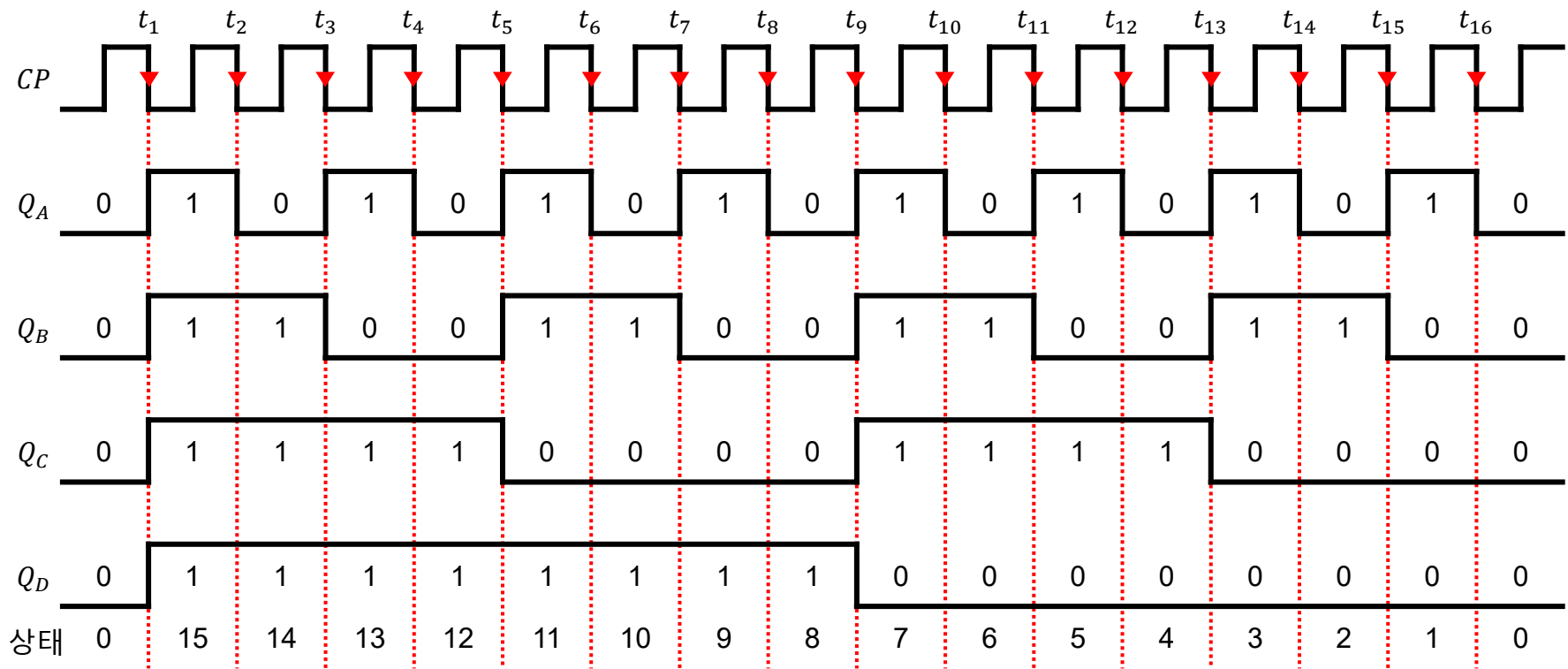
## ■ 2진 하향 카운터(binary down counter)

- JK 플립플롭 4개를 사용하며, 모든 플립플롭의 입력은  $J = K = 1$ (토글)임
- 첫 번째 플립플롭의 클록 입력에 외부 클록 신호( $CP$ )를 연결함
- 첫 번째 플립플롭의 출력  $\bar{Q}_A$ 를 두 번째 플립플롭의 클록 입력에 연결함
- 두 번째 플립플롭의 출력  $\bar{Q}_B$ 를 세 번째 플립플롭의 클록 입력에 연결함
- 세 번째 플립플롭의 출력  $\bar{Q}_C$ 를 네 번째 플립플롭의 클록 입력에 연결함
- 플립플롭 출력 단자  $Q_D, Q_C, Q_B, Q_A$ 를 조합하면 하향 카운터가 됨



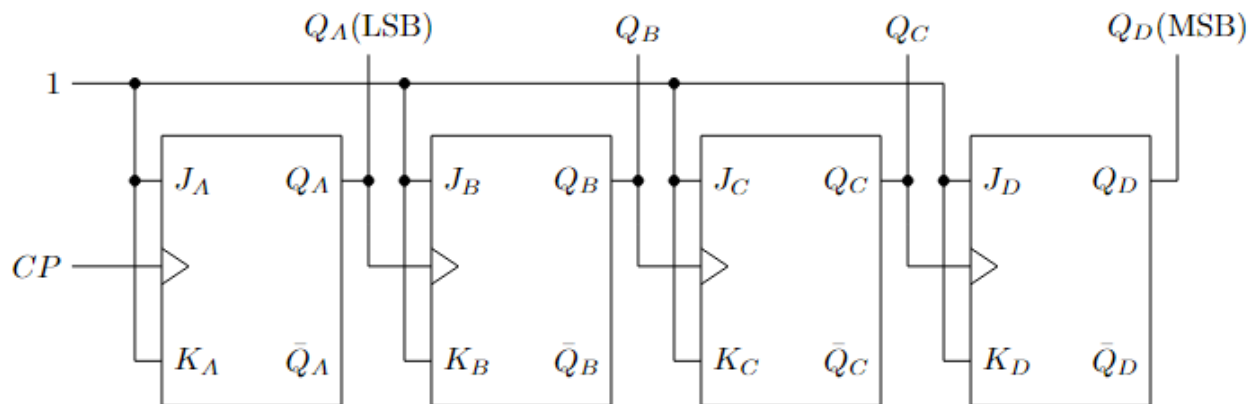
# 비동기식 하향 카운터

## ■ 2진 하향 카운터(binary down counter)



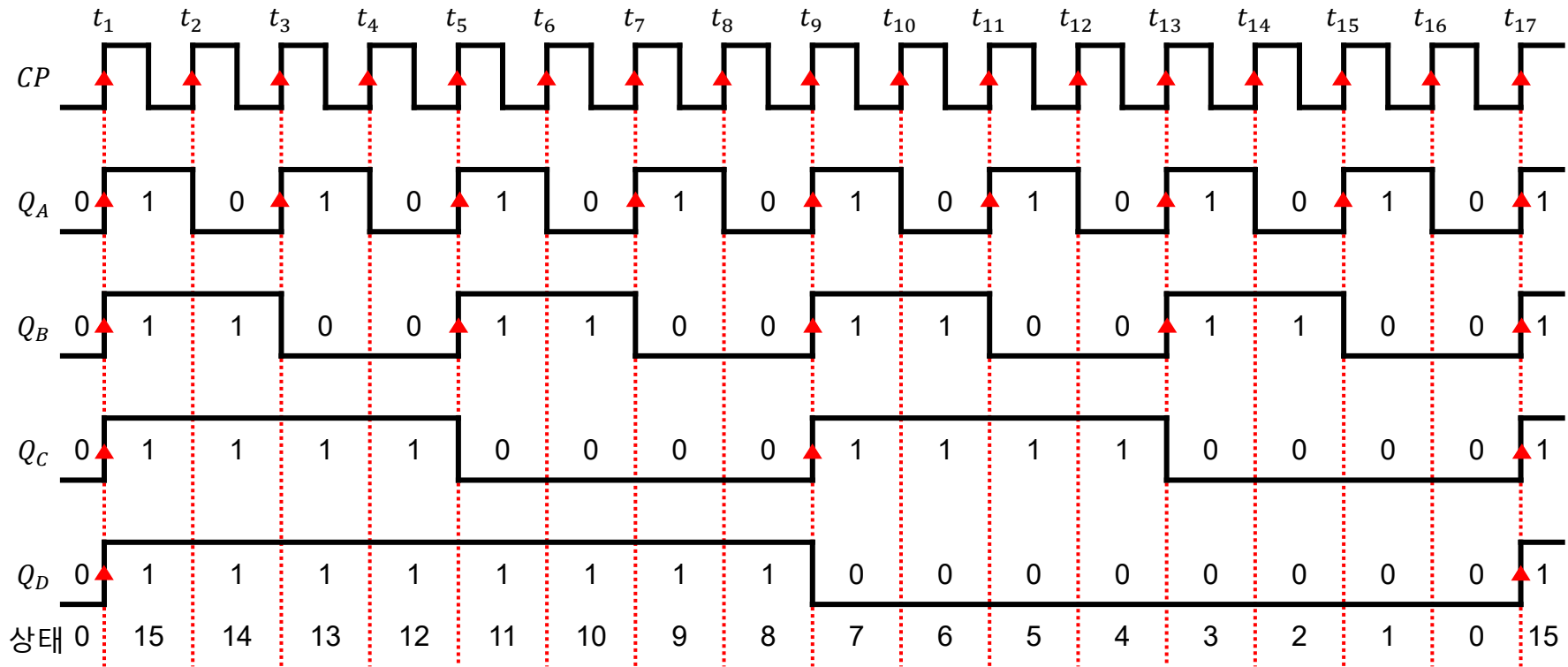
# 비동기식 하향 카운터

- 상승 에지에서 동작하는 하향 카운터
  - JK 플립플롭 4개를 사용하며, 모든 플립플롭의 입력은  $J = K = 1$ (토글)임
  - 첫 번째 플립플롭의 클록 입력에 외부 클록 신호( $CP$ )를 연결함
  - 첫 번째 플립플롭의 출력  $Q_A$ 를 두 번째 플립플롭의 클록 입력에 연결함
  - 두 번째 플립플롭의 출력  $Q_B$ 를 세 번째 플립플롭의 클록 입력에 연결함
  - 세 번째 플립플롭의 출력  $Q_C$ 를 네 번째 플립플롭의 클록 입력에 연결함
  - 플립플롭 출력 단자  $Q_D, Q_C, Q_B, Q_A$ 를 조합하면 하향 카운터가 됨



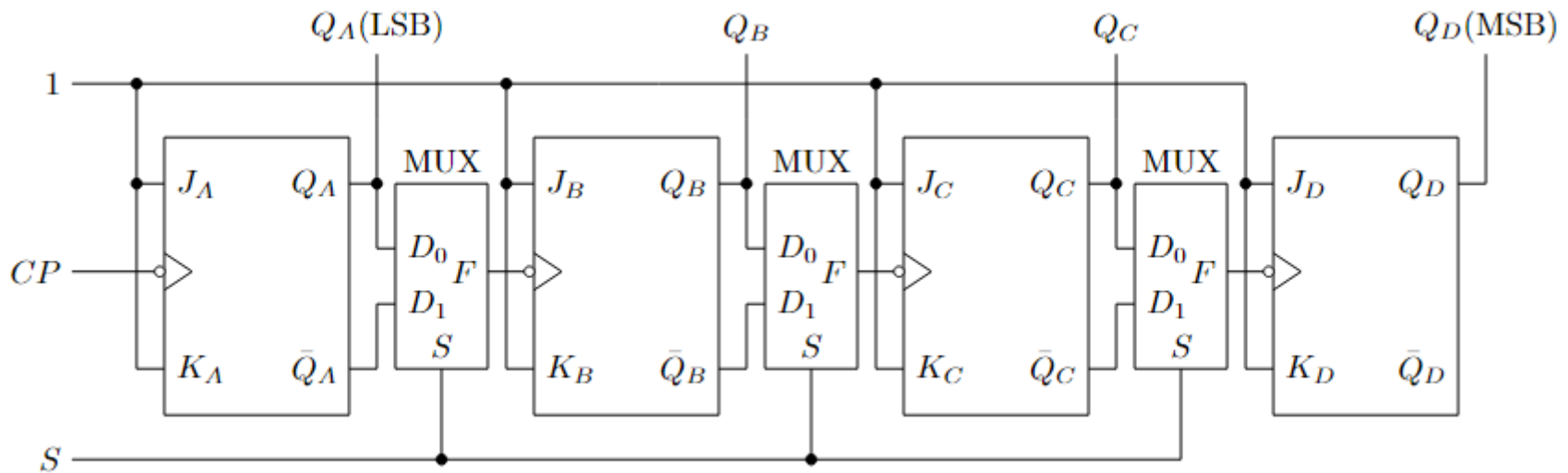
# 비동기식 하향 카운터

- 상승 에지에서 동작하는 하향 카운터



# 비동기식 상향/하향 카운터

- 상향 카운터와 하향 카운터를 조합하면 상향/하향 카운터를 만들 수 있음
  - 선택 단자  $S$ 와 멀티플렉서(MUX)를 추가함
    - $S = 0$  : 상향 카운터가 됨
    - $S = 1$  : 하향 카운터가 됨



# 비동기식 modulo- $m$ 카운터

- $n$ 개의 플립플롭을 사용하면 modulo- $2^n$  카운터를 설계할 수 있음
  - 예,  $n = 4$ 개의 플립플롭을 사용하면 modulo-16 카운터를 설계할 수 있음
- $m \neq 2^n$ 일 경우 modulo- $m$  카운터도 설계할 수 있음

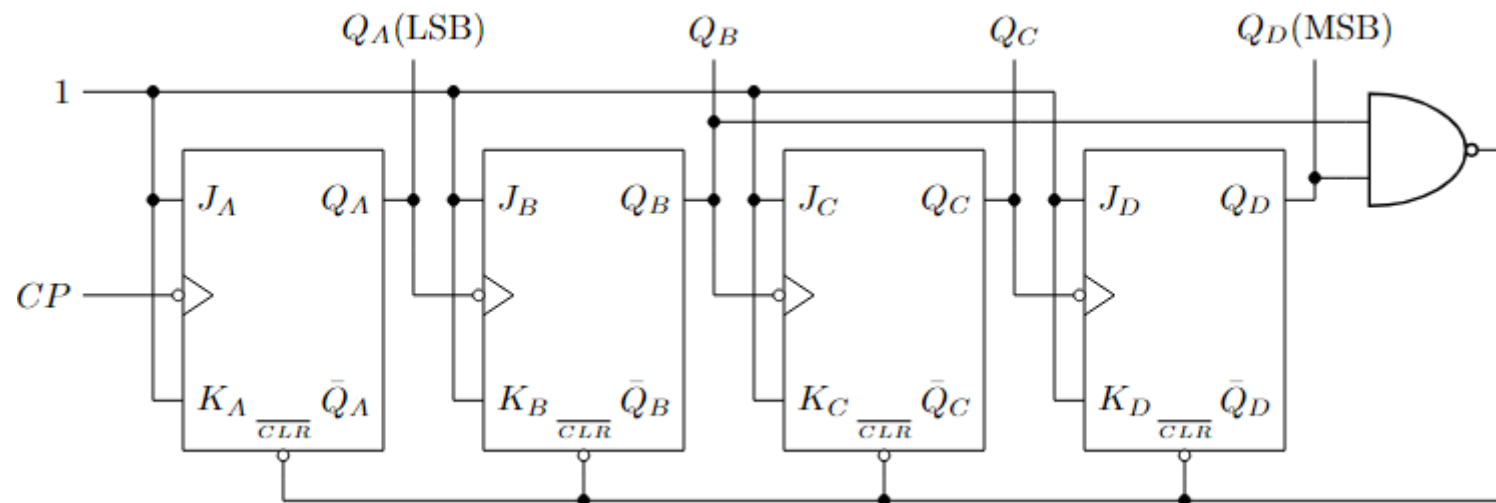
- Modulo-10 카운터
  - 클리어 입력( $\overline{CLR}$ )을 갖는 플립플롭을 사용해야 함
  - 카운터의 출력이 10이 될 때  $Q_D Q_C Q_B Q_A = 1010$ 이 되므로  $Q_D$ 와  $Q_B$  출력을 NAND 게이트로 결합하고 해당 출력을 모든 플립플롭의  $\overline{CLR}$  입력에 연결함

클록 펄스	$Q_D$	$Q_C$	$Q_B$	$Q_A$	10진수
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1
3	0	0	1	0	2
4	0	0	1	1	3
5	0	1	0	0	4
6	0	1	0	1	5
7	0	1	1	0	6
8	0	1	1	1	7
9	1	0	0	0	8
10	1	0	0	1	9



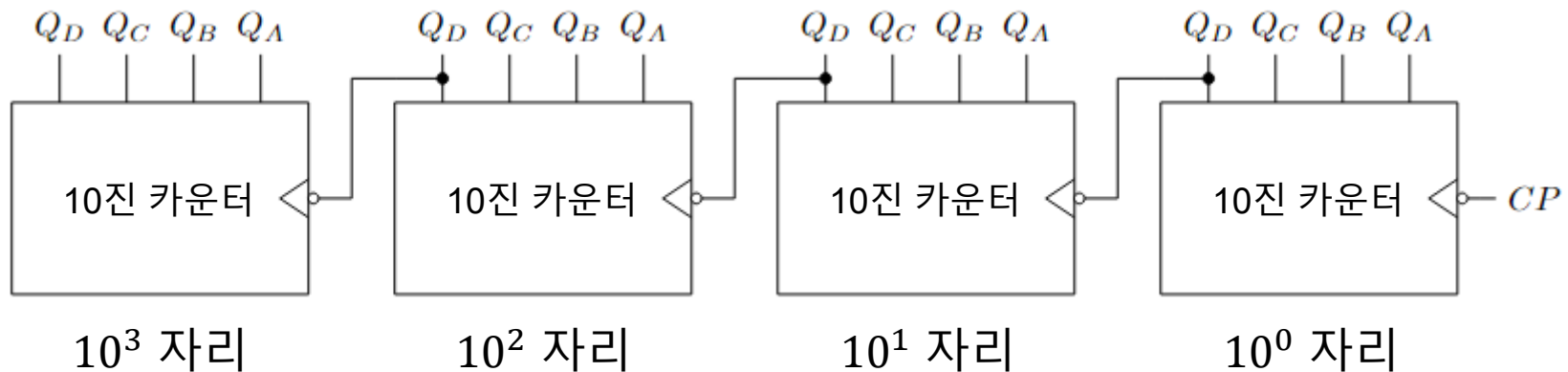
# 비동기식 modulo- $m$ 카운터

## ■ Modulo-10 카운터



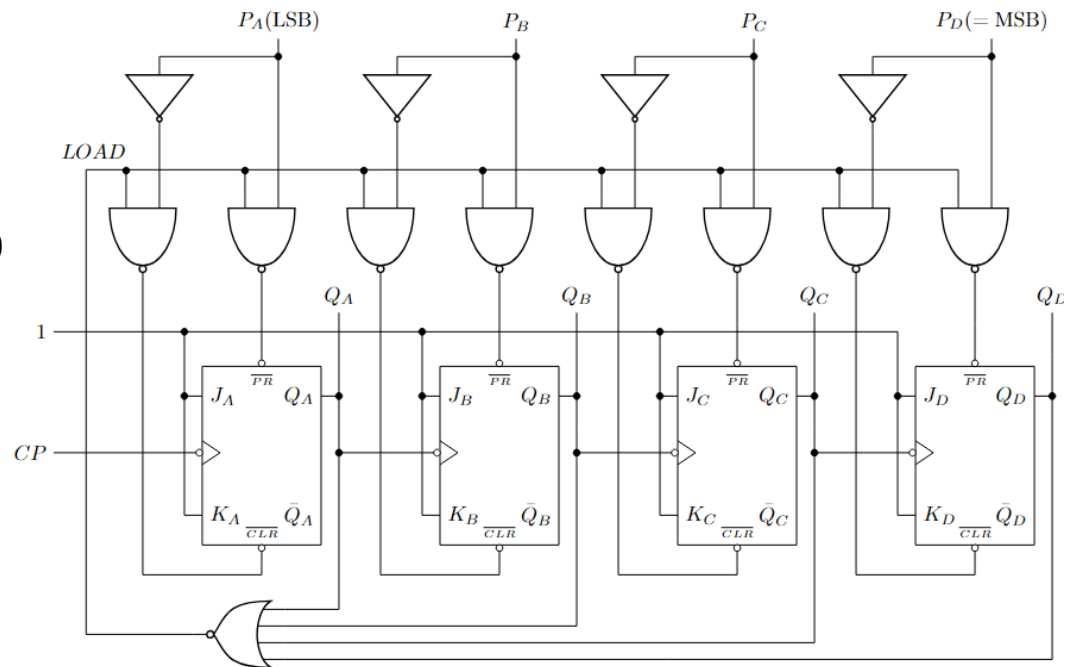
# 비동기식 modulo- $m$ 카운터

- $n$ 자리 10진수를 카운트하려면 modulo-10 카운터  $n$ 개를 종속으로 연결하면 됨
  - 예, 4자리 10진수인 0에서 9999까지 카운트할 수 있는 카운터를 10진 카운터 4개로 구성함
    - 각 자리의 값이 9에서 0으로 변할 때, 즉  $Q_D$ 가 1에서 0으로 변할 때 다음 자리의 10진 카운터가 1씩 증가하도록 구성되어 있음



# 비동기식 프리셋 카운터

- 프리셋 카운터는 0보다 큰 수로부터 카운트를 시작할 수 있음
  - 예,  $P_DP_CP_BP_A (=0001 \sim 1111 \text{ 사이의 수})$ 로부터 시작될 수 있음
    - $Q_DQ_CQ_BQ_A = 0000$ 일 때 NOR 게이트의 출력, 즉  $LOAD = 1$ 이 되므로 카운터의 값이 프리셋 값 ( $P_DP_CP_BP_AP_A$ )으로 설정됨
    - 다른 경우에는  $LOAD = 0$ 이므로 카운터가 정상적으로 동작함



# 동기식 카운터

- 비동기식 카운터의 단점

- 플립플롭  $n$ 개를 종속 연결한 카운터의 전체 전파 지연은  $n \times t_{pd}$ 가 되기 때문에 고속으로 동작하는 응용 분야에는 적합하지 않음

- 동기식 카운터

- 카운터에 있는 플립플롭들이 공통의 클록 펄스에 의해 동시에 트리거되어 고속 동작에는 적합함
- 비동기식 카운터에 비해 회로가 복잡함
- 설계 과정
  - ① 클록 신호에 대한 각 플립플롭의 상태 변화를 표로 작성함
  - ② 이러한 변화를 일으킬 수 있도록 플립플롭의 제어 신호(J, K)를 결정함
  - ③ 플립플롭의 제어 신호는 카르노 맵을 이용해 간소화함
  - ④ 카운터 회로를 그림

# 동기식 카운터

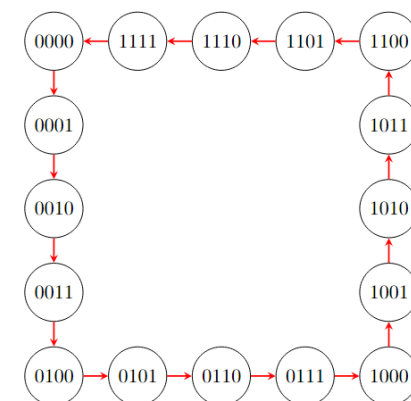
## 4비트 동기식 2진 카운터

현재 상태				다음 상태				플립플롭 입력							
$Q_D$	$Q_C$	$Q_B$	$Q_A$	$Q_D$	$Q_C$	$Q_B$	$Q_A$	$J_D$	$K_D$	$J_C$	$K_C$	$J_B$	$K_B$	$J_A$	$K_A$
0	0	0	0	0	0	0	1	0	X	0	X	0	X	1	X
0	0	0	1	0	0	1	0	0	X	0	X	1	X	X	1
0	0	1	0	0	0	1	1	0	X	0	X	X	0	1	X
0	0	1	1	0	1	0	0	0	X	1	X	X	1	X	1
0	1	0	0	0	1	0	1	0	X	X	0	0	X	1	X
0	1	0	1	0	1	1	0	0	X	X	0	1	X	X	1
0	1	1	0	0	1	1	1	0	X	X	0	X	0	1	X
0	1	1	1	1	0	0	0	1	X	X	1	X	1	X	1
1	0	0	0	1	0	0	1	X	0	0	X	0	X	1	X
1	0	0	1	1	0	1	0	X	0	0	X	1	X	X	1
1	0	1	0	1	0	1	1	X	0	0	X	X	0	1	X
1	0	1	1	1	1	0	0	X	0	1	X	X	1	X	1
1	1	0	0	1	1	0	1	X	0	X	0	0	X	1	X
1	1	0	1	1	1	1	0	X	0	X	0	1	X	X	1
1	1	1	0	1	1	1	1	X	0	X	0	X	0	1	X
1	1	1	1	0	0	0	0	X	1	X	1	X	1	X	1

### JK 플립플롭의 여기표

$Q(t)$	$Q(t+1)$	$J$	$K$
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

### 상태표



# 동기식 카운터

## 4비트 동기식 2진 카운터

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00					
01				1	
11	x	x	x	x	x
10	x	x	x	x	x

$$J_D = Q_C Q_B Q_A$$

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00	x	x	x	x	x
01	x	x	x	x	x
11				1	
10					

$$K_D = Q_C Q_B Q_Q$$

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00				1	
01	x	x	x	x	x
11	x	x	x	x	x
10				1	

$$J_C = Q_B Q_A$$

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00	x	x	x	x	x
01				1	
11				1	
10	x	x	x	x	x

$$K_C = Q_B Q_A$$

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00		1	x	x	x
01		1	x	x	x
11		1	x	x	x
10		1	x	x	x

$$J_B = Q_A$$

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00	x	x	1		
01	x	x	1		
11	x	x	1		
10	x	x	1		

$$K_B = Q_A$$

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00	1	x	x	1	
01	1	x	x	1	
11	1	x	x	1	
10	1	x	x	1	

$$J_A = 1$$

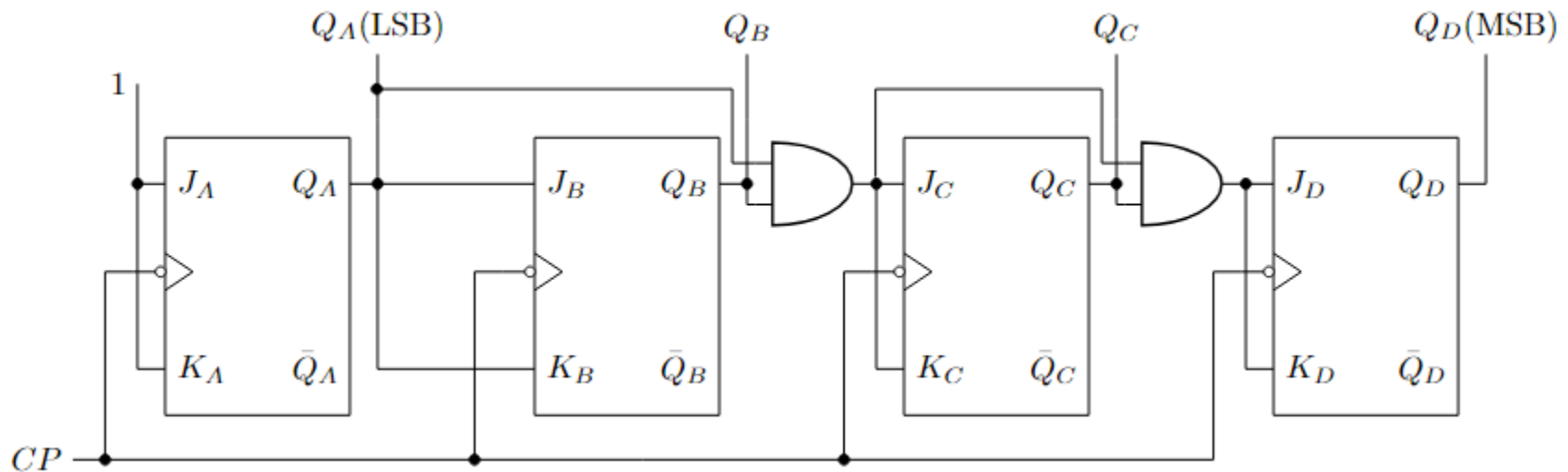
$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00	x	1	1	x	
01	x	1	1	x	
11	x	1	1	x	
10	x	1	1	x	

$$K_A = 1$$

# 동기식 카운터

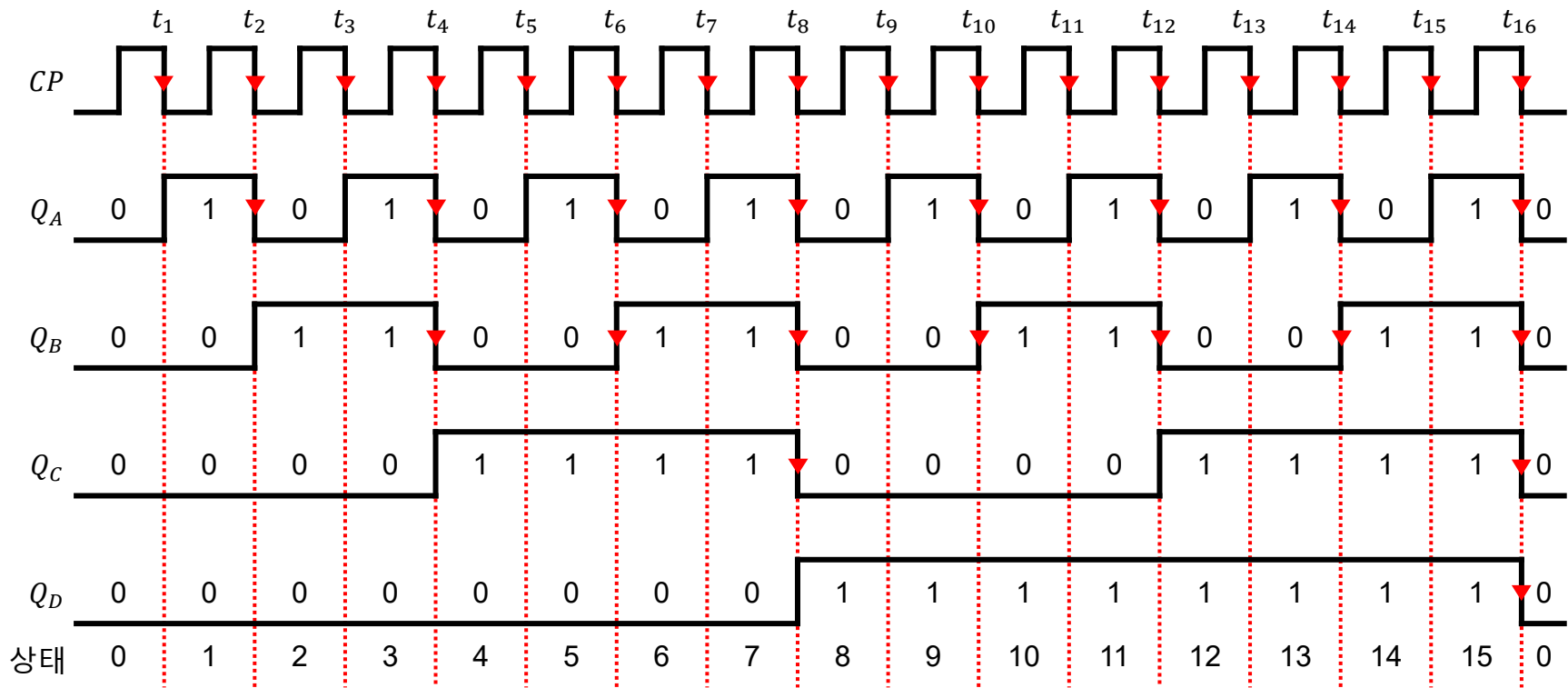
## ■ 4비트 동기식 2진 카운터

- $Q_A$  출력이 토글
- $Q_A$  출력이 1이면  $Q_B$  출력이 토글
- $Q_A$  출력과  $Q_B$  출력이 모두 1이면  $Q_C$  출력이 토글
- $Q_A$  출력과  $Q_B$  출력과  $Q_C$  출력이 모두 1이면  $Q_D$  출력이 토글



# 동기식 카운터

## ■ 4비트 동기식 2진 카운터





# 동기식 카운터

## ■ 일반적 동기식 2진 카운터

- 첫 번째 플립플롭의 J와 K 입력은 모두 1에 연결함
- 다른 플립플롭의 J와 K 입력은 하위 플립플롭들의 출력의 논리적 AND

첫 번째 플립플롭 :  $J_A = K_A = 1$

두 번째 플립플롭 :  $J_B = K_B = Q_A$

세 번째 플립플롭 :  $J_C = K_C = Q_B Q_A$

네 번째 플립플롭 :  $J_D = K_D = Q_C Q_B Q_A$

다섯 번째 플립플롭 :  $J_E = K_E = Q_D Q_C Q_B Q_A$

여섯 번째 플립플롭 :  $J_F = K_F = Q_E Q_D Q_C Q_B Q_A$

...

# 동기식 카운터

- 동기식 카운터 동작 속도

총 지연 시간 = 플립플롭  $t_{pd}$  + AND 게이트  $t_{pd}$

- 예, 플립플롭의  $t_{pd} = 50\text{ns}$ 이고, AND 게이트의  $t_{pd} = 20\text{ns}$ 일 때

- 동기식 modulo-16 카운터의 최대 동작 속도

$$f_{max} \leq \frac{1}{50\text{ns} + 20\text{ns}} = \frac{1}{70 \times 10^{-9}} = 14.3\text{MHz}$$

- 비동기식 modulo-16 카운터의 최대 동작 속도

$$f_{max} \leq \frac{1}{4 \times 50\text{ns}} = \frac{1}{200 \times 10^{-9}} = 5\text{MHz}$$

→ 비동기식 카운터에 비해 동기식 카운터는 높은 입력 주파수를 사용하는 응용에 적합함

# 동기식 카운터

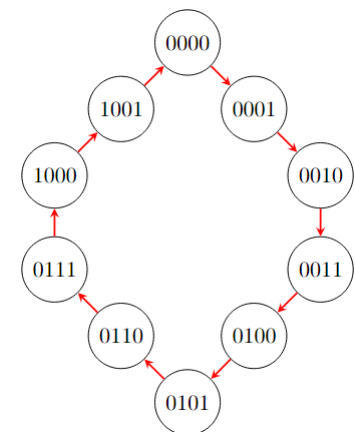
## ■ 동기식 BCD 카운터

현재 상태				다음 상태				플립플롭 입력								출력
$Q_D$	$Q_C$	$Q_B$	$Q_A$	$Q_D$	$Q_C$	$Q_B$	$Q_A$	$J_D$	$K_D$	$J_C$	$K_C$	$J_B$	$K_B$	$J_A$	$K_A$	$C$
0	0	0	0	0	0	0	1	0	X	0	X	0	X	1	X	0
0	0	0	1	0	0	1	0	0	X	0	X	1	X	X	1	0
0	0	1	0	0	0	1	1	0	X	0	X	X	0	1	X	0
0	0	1	1	0	1	0	0	0	X	1	X	X	1	X	1	0
0	1	0	0	0	1	0	1	0	X	X	0	0	X	1	X	0
0	1	0	1	0	1	1	0	0	X	X	0	1	X	X	1	0
0	1	1	0	0	1	1	1	0	X	X	0	X	0	1	X	0
0	1	1	1	1	0	0	0	1	X	X	1	X	1	X	1	0
1	0	0	0	1	0	0	1	X	0	X	X	0	X	1	X	0
1	0	0	1	0	0	0	0	X	1	0	X	0	X	X	1	1

### JK 플립플롭의 여기표

$Q(t)$	$Q(t+1)$	$J$	$K$
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

### 상태표



# 동기식 카운터

## 동기식 BCD 카운터

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00					
01				1	
11	x	x	x	x	x
10	x	x	x	x	x

$$J_D = Q_C Q_B Q_A$$

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00	x	x	x	x	x
01	x	x	x	x	x
11	x	x	x	x	x
10		1	x	x	x

$$K_D = Q_A$$

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00				1	
01	x	x	x	x	x
11	x	x	x	x	x
10	x		x	x	x

$$J_C = Q_B Q_A$$

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00	x	x	x	x	x
01				1	
11				x	
10	x	x	x	x	x

$$K_C = Q_B Q_A$$

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00		1	x	x	x
01		1	x	x	x
11	x	x	x	x	x
10				x	x

$$J_B = \bar{Q}_D Q_A$$

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00	x	x	1		
01	x	x	1		
11	x	x	x	x	x
10	x	x	x	x	x

$$K_B = \bar{Q}_D Q_A$$

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00	1	x	x	1	
01	1	x	x	1	
11	x	x	x	x	x
10	1	x	x	x	x

$$J_A = 1$$

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00	x	1	1	x	
01	x	1	1	x	
11	x	x	x	x	x
10	x	1	x	x	x

$$K_A = 1$$

# 동기식 카운터

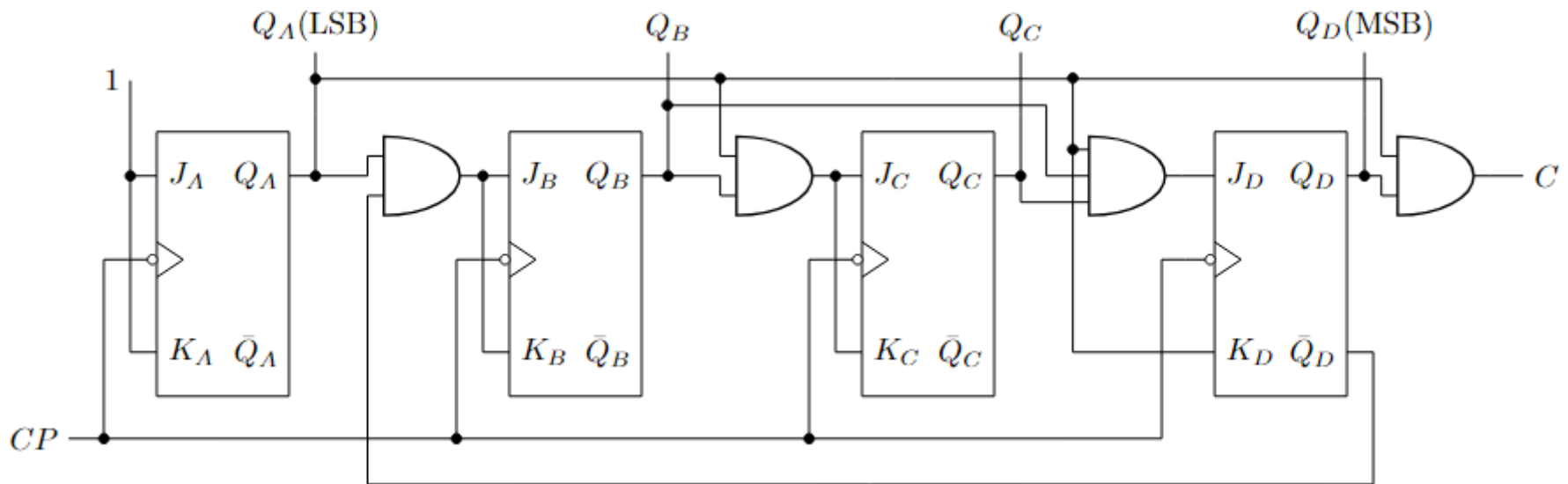
## 동기식 BCD 카운터

현재 상태				다음 상태				플립플롭 입력								출력
$Q_D$	$Q_C$	$Q_B$	$Q_A$	$Q_D$	$Q_C$	$Q_B$	$Q_A$	$J_D$	$K_D$	$J_C$	$K_C$	$J_B$	$K_B$	$J_A$	$K_A$	$C$
0	0	0	0	0	0	0	1	0	X	0	X	0	X	1	X	0
0	0	0	1	0	0	1	0	0	X	0	X	1	X	X	1	0
0	0	1	0	0	0	1	1	0	X	0	X	X	0	1	X	0
0	0	1	1	0	1	0	0	0	X	1	X	X	1	X	1	0
0	1	0	0	0	1	0	1	0	X	X	0	0	X	1	X	0
0	1	0	1	0	1	1	0	0	X	X	0	1	X	X	1	0
0	1	1	0	0	1	1	1	0	X	X	0	X	0	1	X	0
0	1	1	1	1	0	0	0	1	X	X	1	X	1	X	1	0
1	0	0	0	1	0	0	1	X	0	X	X	0	X	1	X	0
1	0	0	1	0	0	0	0	X	1	0	X	0	X	X	1	1

$$C = Q_D Q_A$$

# 동기식 카운터

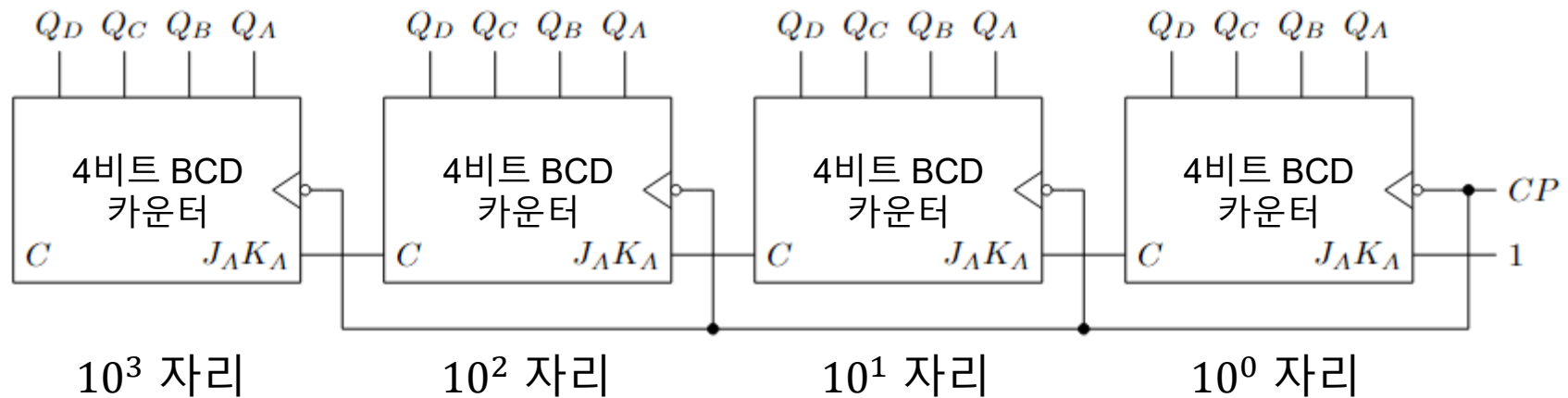
## 동기식 BCD 카운터



# 동기식 카운터

## ■ 동기식 BCD 카운터

- 동기식 BCD 카운터를 여러 개 종속으로 연결하면 여러 자리 카운터를 쉽게 구성할 수 있음



# 동기식 카운터

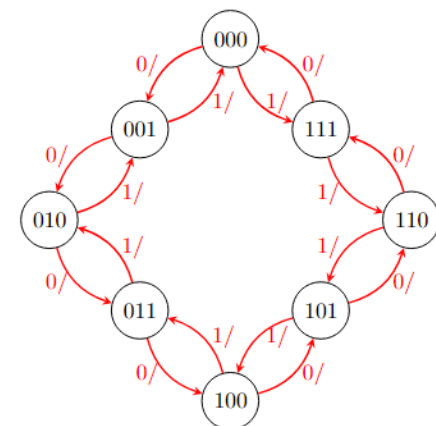
- 3비트 동기식 2진 상향/하향 카운터
  - 0 → 1 → 2 → ... → 7과 같이 증가하거나 7 → 6 → 5 → ... → 0과 같이 감소하는 카운터

현재 상태			입력	다음 상태			플립플롭 입력					
$Q_C$	$Q_B$	$Q_A$	$x$	$Q_C$	$Q_B$	$Q_A$	$J_C$	$K_C$	$J_B$	$K_B$	$J_A$	$K_A$
0	0	0	0	0	0	1	0	X	0	X	1	X
0	0	0	1	1	1	1	1	X	1	X	1	X
0	0	1	0	0	1	0	0	X	1	X	X	1
0	0	1	1	0	0	0	0	X	0	X	X	1
0	1	0	0	0	1	1	0	X	X	0	1	X
0	1	0	1	0	0	1	0	X	X	1	1	X
0	1	1	0	1	0	0	1	X	X	1	X	1
0	1	1	1	0	1	0	0	X	X	0	X	1
1	0	0	0	1	0	1	X	0	0	X	1	X
1	0	0	1	0	1	1	X	1	1	X	1	X
1	0	1	0	1	1	0	X	0	1	X	X	1
1	0	1	1	1	0	0	X	0	0	X	X	1
1	1	0	0	1	1	1	X	0	X	0	1	X
1	1	0	1	1	1	0	X	0	X	1	1	X
1	1	1	0	0	0	0	X	1	X	1	X	1
1	1	1	1	1	1	0	X	0	X	0	X	1

JK 플립플롭의 여기표

$Q(t)$	$Q(t+1)$	$J$	$K$
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

상태표





# 동기식 카운터

## ■ 3비트 동기식 2진 상향/하향 카운터

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00			1		
01					1
11	x	x	x		x
10	x	x	x		x

$$J_C = Q_B Q_A \bar{x} + \bar{Q}_B \bar{Q}_A x$$

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00		x	x	x	x
01		x	x	x	x
11					1
10			1		

$$K_C = Q_B Q_A \bar{x} + \bar{Q}_B \bar{Q}_A x$$

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00			1		1
01		x	x	x	x
11		x	x	x	x
10			1		1

$$J_B = Q_A \bar{x} + \bar{Q}_A x$$

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00		x	x	x	x
01			1		1
11			1		1
10		x	x	x	x

$$K_B = Q_A \bar{x} + \bar{Q}_A x$$

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00		1	1	x	x
01		1	1	x	x
11		1	1	x	x
10		1	1	x	x

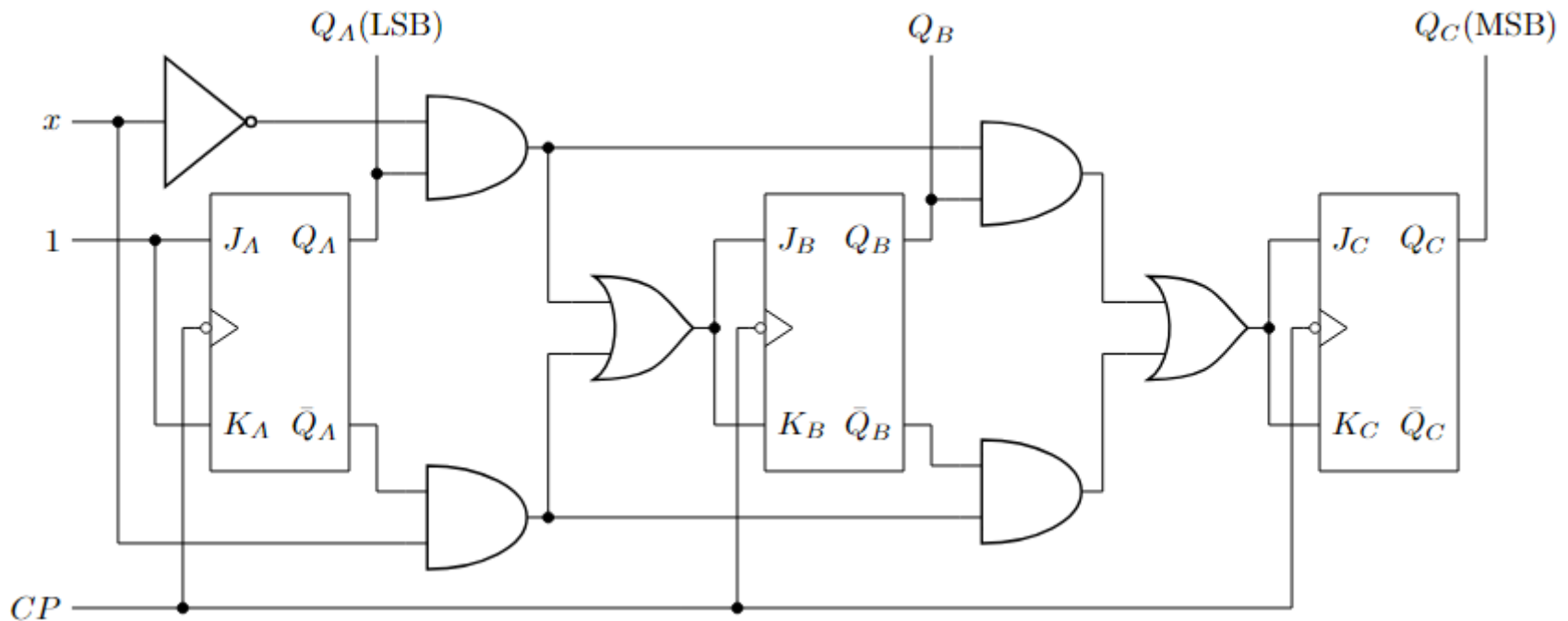
$$J_A = 1$$

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
00		x	x	1	1
01		x	x	1	1
11		x	x	1	1
10		x	x	1	1

$$K_A = 1$$

# 동기식 카운터

## ■ 3비트 동기식 2진 상향/하향 카운터



# 동기식 카운터

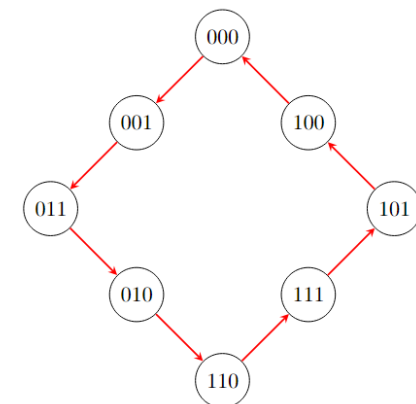
- 불규칙한 순서를 갖는 카운터
  - 카운터의 상태가 순차적으로 변하지 않고 불규칙하게 변할 수 있음

현재 상태			다음 상태			플립플롭 입력					
$Q_C$	$Q_B$	$Q_A$	$Q_C$	$Q_B$	$Q_A$	$J_C$	$K_C$	$J_B$	$K_B$	$J_A$	$K_A$
0	0	0	0	0	1	0	X	0	X	1	X
0	0	1	0	1	1	0	X	1	X	X	0
0	1	0	1	1	0	1	X	X	0	0	X
0	1	1	0	1	0	0	X	X	0	X	1
1	0	0	0	0	0	X	1	0	X	0	X
1	0	1	1	0	0	X	0	0	X	X	1
1	1	0	1	1	1	X	0	X	0	1	X
1	1	1	1	0	1	X	0	X	1	X	0

JK 플립플롭의 여기표

$Q(t)$	$Q(t+1)$	$J$	$K$
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

상태표



# 동기식 카운터

- 불규칙한 순서를 갖는 카운터

		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
$Q_C$	0				1
	1	x	x	x	x

$$J_C = Q_B \bar{Q}_A$$

		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
$Q_C$	0	x	x	x	x
	1	1			

$$K_C = \bar{Q}_B \bar{Q}_A$$

		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
$Q_C$	0		1	x	x
	1			x	x

$$J_B = \bar{Q}_C Q_A$$

		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
$Q_C$	0	x	x		
	1	x	x	1	

$$K_B = Q_C Q_A$$

		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
$Q_C$	0	1	x	x	
	1		x	x	1

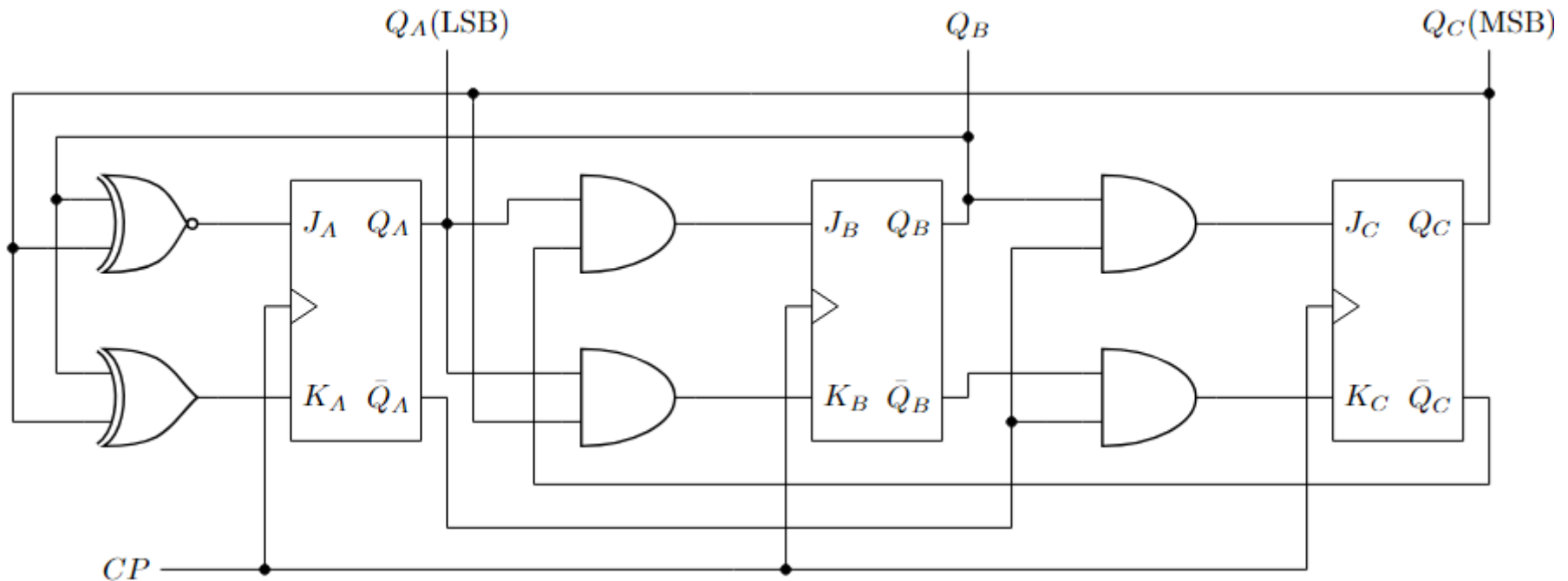
$$\begin{aligned} J_A &= \bar{Q}_C \bar{Q}_B + Q_C Q_B \\ &= Q_C \odot Q_B \end{aligned}$$

		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
$Q_C$	0	x		1	x
	1	x	1		x

$$\begin{aligned} K_A &= Q_C \bar{Q}_B + \bar{Q}_C Q_B \\ &= Q_C \oplus Q_B \end{aligned}$$

# 동기식 카운터

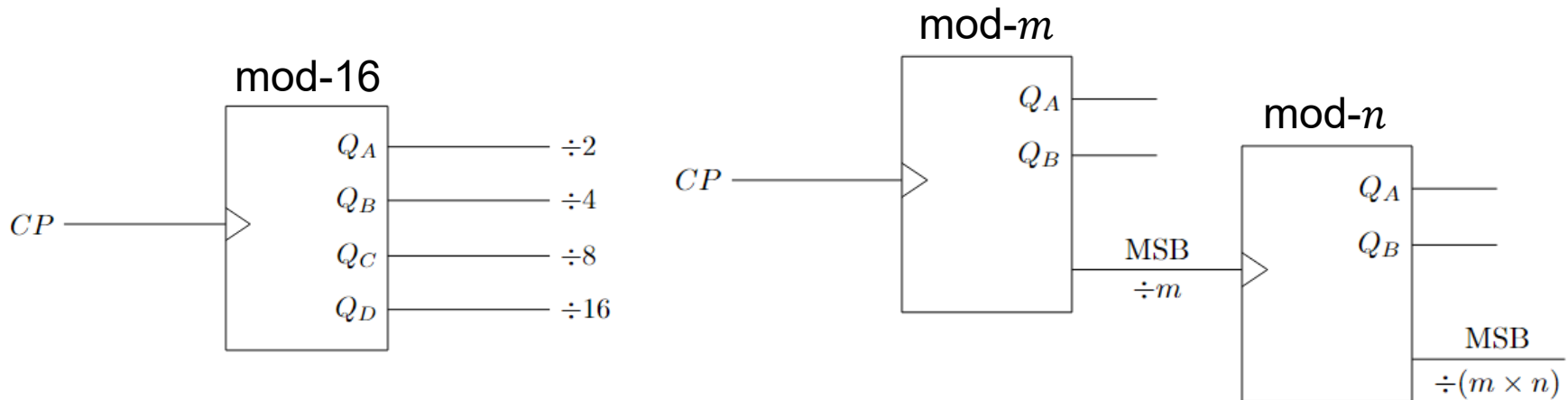
- 불규칙한 순서를 갖는 카운터



# 동기식 카운터

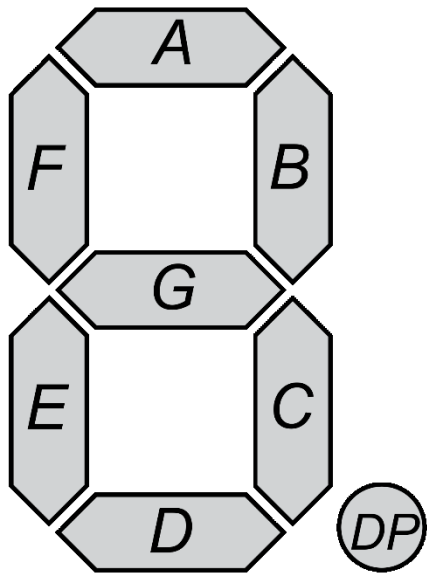
## ■ 주파수 분할

- T 플립플롭에서 출력은 입력 주파수의  $1/2$ 이 되므로 T 플립플롭 4개를 종속으로 연결한 구조에서 입력 주파수의  $1/2, 1/4, 1/8, 1/16$ 인 주파수를 얻을 수 있음
- Modulo- $m$  카운터의 최상위 비트 출력을 modulo- $n$  카운터의 입력에 연결함으로써  $\div (m \times n)$ 의 주파수 분할을 할 수 있음



# 카운터 출력 표시

- 7-segment LED를 사용하는 방법



카운터 내용 $Q_D Q_C Q_B Q_A$	숫자	Active high 7-segment LED							
		DP	G	F	E	D	C	B	A
0000	0	0	0	1	1	1	1	1	1
0001	1	0	0	0	0	0	1	1	0
0010	2	0	1	0	1	1	0	1	1
0011	3	0	1	0	0	1	1	1	1
0100	4	0	1	1	0	0	1	1	0
0101	5	0	1	1	0	1	1	0	1
0110	6	0	1	1	1	1	1	0	1
0111	7	0	0	1	0	0	1	1	1
1000	8	0	1	1	1	1	1	1	1
1001	9	0	1	1	0	0	1	1	1

# 동기식 카운터

## 동기식 BCD 카운터

		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
$Q_D Q_C$	00	1		1	1
	01		1	1	1
	11	x	x	x	x
	10	1	1	x	x

$$A = Q_D + Q_B + \bar{Q}_C \bar{Q}_A + Q_C Q_A$$

		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
$Q_D Q_C$	00	1	1	1	1
	01	1		1	
	11	x	x	x	x
	10	1	1	x	x

$$B = \bar{Q}_C + \bar{Q}_B \bar{Q}_A + Q_B Q_A$$

		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
$Q_D Q_C$	00	1	1	1	
	01	1	1	1	1
	11	x	x	x	x
	10	1	1	x	x

$$C = \bar{Q}_B + Q_A + Q_C$$

		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
$Q_D Q_C$	00	1		1	1
	01		1		1
	11	x	x	x	x
	10	1		x	x

$$D = \bar{Q}_C \bar{Q}_A + \bar{Q}_C Q_B + Q_B \bar{Q}_A + Q_C \bar{Q}_B Q_A$$

		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
$Q_D Q_C$	00	1			1
	01				1
	11	x	x	x	x
	10	1		x	x

$$E = \bar{Q}_C \bar{Q}_A + Q_B \bar{Q}_A$$

		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
$Q_D Q_C$	00	1			
	01	1	1	1	1
	11	x	x	x	x
	10	1	1	x	x

$$F = Q_D + Q_C + \bar{Q}_B \bar{Q}_A$$

		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
$Q_D Q_C$	00			1	1
	01	1	1		1
	11	x	x	x	x
	10	1	1	x	x

$$G = Q_D + Q_C \bar{Q}_B + Q_B \bar{Q}_A + \bar{Q}_C Q_B$$



# 기타 카운터

## ■ 링 카운터

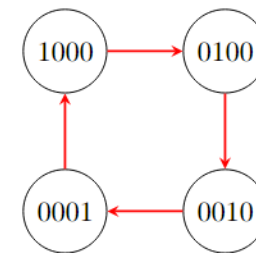
- 임의의 시간에 한 플립플롭만 논리 1이 되고 나머지 플립플롭은 논리 0이 되는 카운터
- 논리 1은 입력 펄스에 따라 그 위치가 한쪽 방향으로 순환함

현재 상태				다음 상태				플립플롭 입력			
$Q_A$	$Q_B$	$Q_C$	$Q_D$	$Q_A$	$Q_B$	$Q_C$	$Q_D$	$D_A$	$D_B$	$D_C$	$D_D$
1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0

**D 플립플롭의 여기표**

$Q(t)$	$Q(t+1)$	$D$
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

**상태표**



# 기타 카운터



## ■ 링 카운터

$Q_A Q_B$		$Q_C Q_D$			
		00	01	11	10
00	x	1	x		
01		x	x	x	x
11	x	x	x	x	x
10		x	x		x

$$D_A = Q_D$$

$Q_A Q_B$		$Q_C Q_D$			
		00	01	11	10
00	x			x	
01			x	x	x
11	x	x	x	x	x
10	1	x	x	x	x

$$D_B = Q_A$$

$Q_A Q_B$		$Q_C Q_D$			
		00	01	11	10
00	x			x	
01	1	x	x	x	x
11	x	x	x	x	x
10		x	x		x

$$D_C = Q_B$$

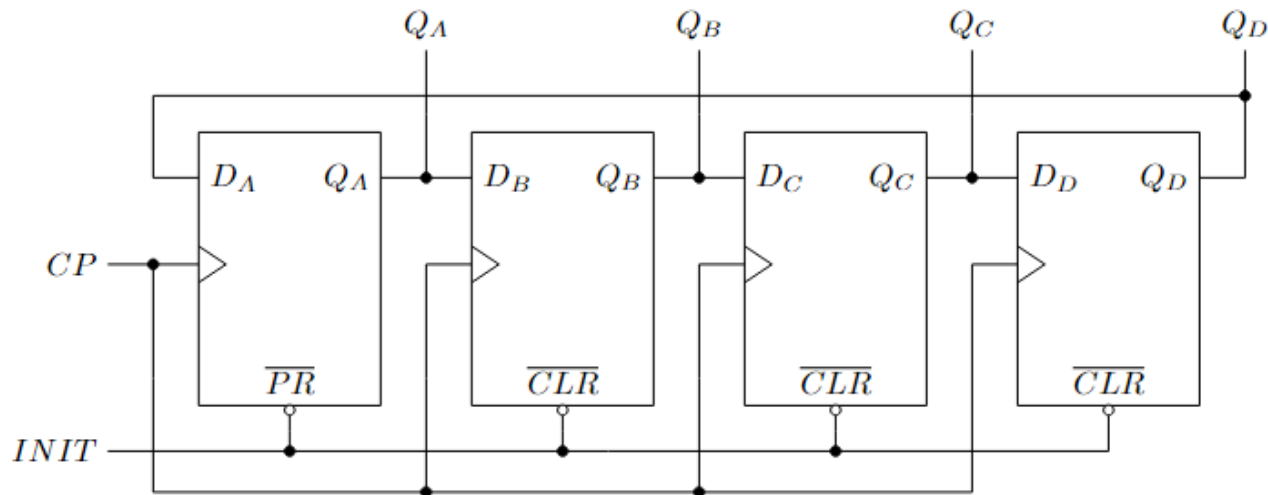
$Q_A Q_B$		$Q_C Q_D$			
		00	01	11	10
00	x			x	1
01			x	x	x
11	x	x	x	x	x
10		x		x	x

$$D_D = Q_C$$

# 기타 카운터

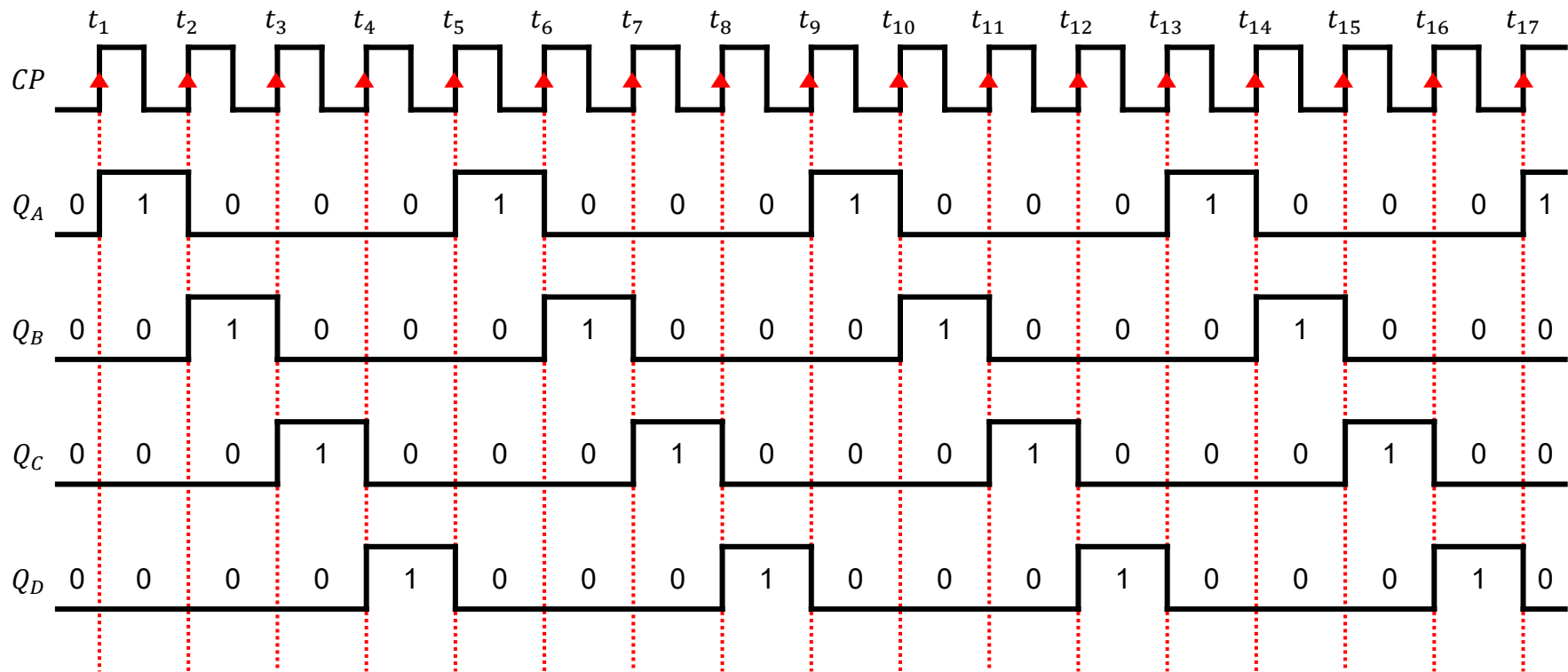
## ■ 링 카운터

- 처음에  $INIT = 0$ 으로 하면 첫 번째 플립플롭의 출력  $Q_A$ 는 1로 세트되고, 나머지 플립플롭의 출력은  $Q_B Q_C Q_D = 000$ 이 됨. 다음에  $INIT = 1$ 로 하면 링 카운터의 최초 출력은  $Q_A Q_B Q_C Q_D = 1000$ 이 됨
- 이후부터 클록 펄스가 입력될 때마다 클록 펄스의 상승 에지에서 오른쪽으로 한 자리씩 이동함



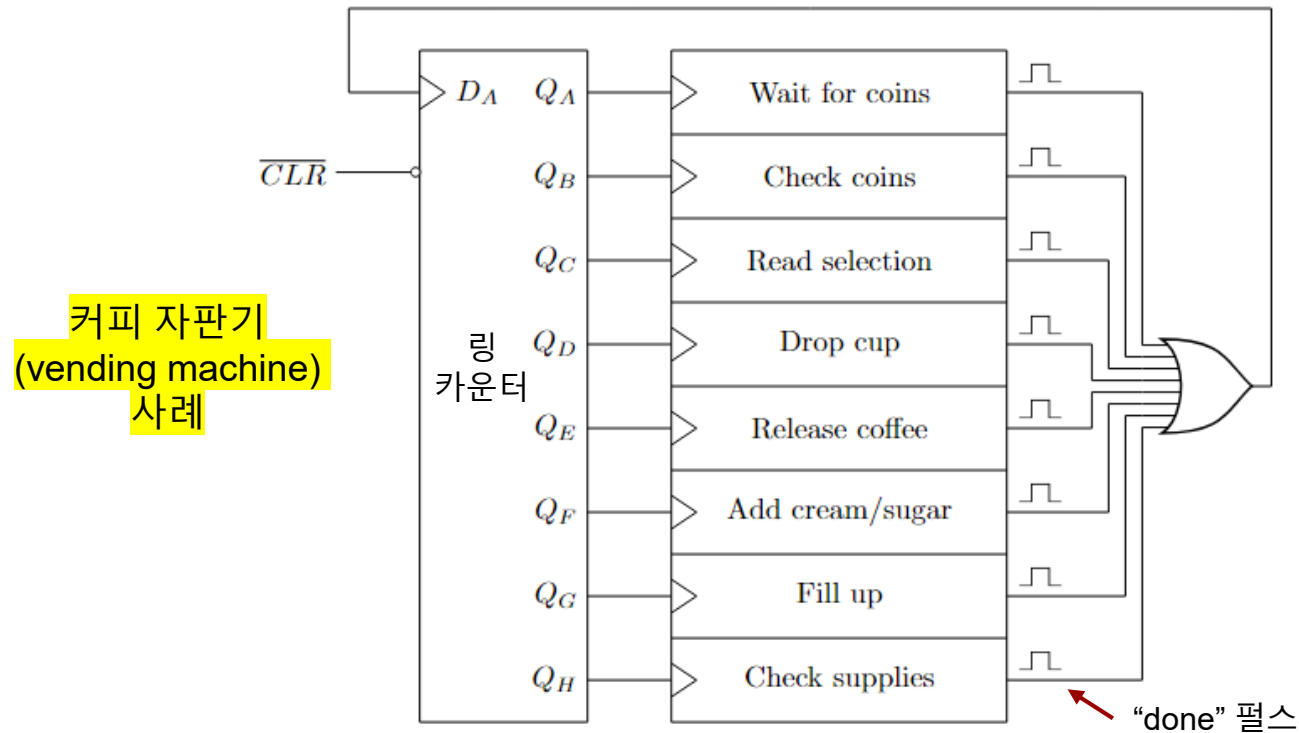
# 기타 카운터

## ■ 링 카운터



# 기타 카운터

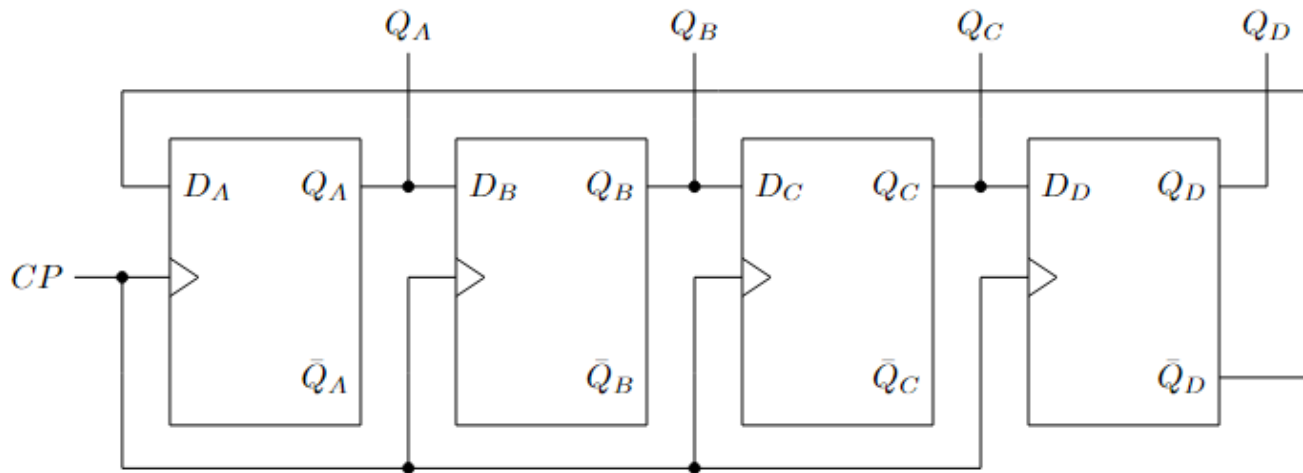
- 링 카운터
  - 어떤 일련의 동작을 제어하는 데 매우 유용함



# 기타 카운터

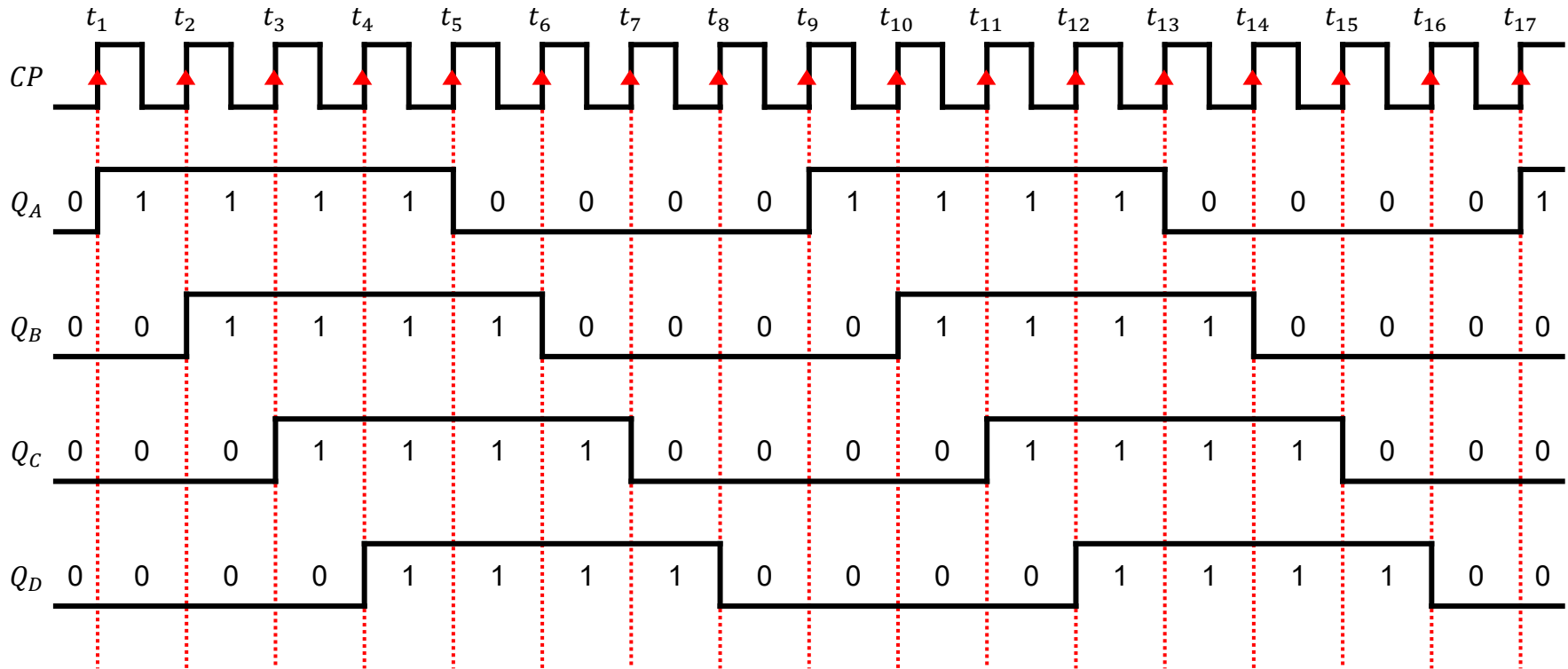
## ■ 존슨(Johnson) 카운터

- 플립플롭  $n$ 개로 구성된 링 카운터는  $n$ 가지 상태를 출력함
- 존슨 카운터는 링 카운터와 달리 출력 상태의 수는 두 배로 늘어남
  - 맨 오른쪽 D 플립플롭의  $\bar{Q}$  출력을 맨 왼쪽 D 플립플롭의 D 입력에 연결함
  - 트위스티드 링 카운터(twisted ring counter)라고도 함



# 기타 카운터

## ■ 링 카운터



# 기타 카운터

## ■ 존슨(Johnson) 카운터

클록 펄스	$Q_A$	$Q_B$	$Q_C$	$Q_D$	10진수	디코딩 게이트 입력
1	1	0	0	0	8	$Q_A \bar{Q}_B$
2	1	1	0	0	12	$Q_B \bar{Q}_C$
3	1	1	1	0	14	$Q_C \bar{Q}_D$
4	1	1	1	1	15	$Q_A Q_D$
5	0	1	1	1	7	$\bar{Q}_A Q_B$
6	0	0	1	1	3	$\bar{Q}_B Q_C$
7	0	0	0	1	1	$\bar{Q}_C Q_D$
8	0	0	0	0	0	$\bar{Q}_A \bar{Q}_D$