

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)

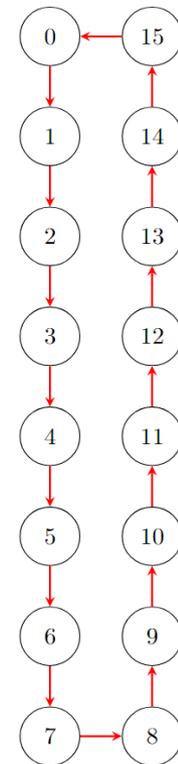
클록 펄스	Q_D	Q_C	Q_B	Q_A	10진수
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1
3	0	0	1	0	2
4	0	0	1	1	3
5	0	1	0	0	4
6	0	1	0	1	5
7	0	1	1	0	6
8	0	1	1	1	7
9	1	0	0	0	8
10	1	0	0	1	9
11	1	0	1	0	10
12	1	0	1	1	11
13	1	1	0	0	12
14	1	1	0	1	13
15	1	1	1	0	14
16	1	1	1	1	15

2진수 4자리 카운터

- Q_D : 최상위 비트
- Q_A : 최하위 비트

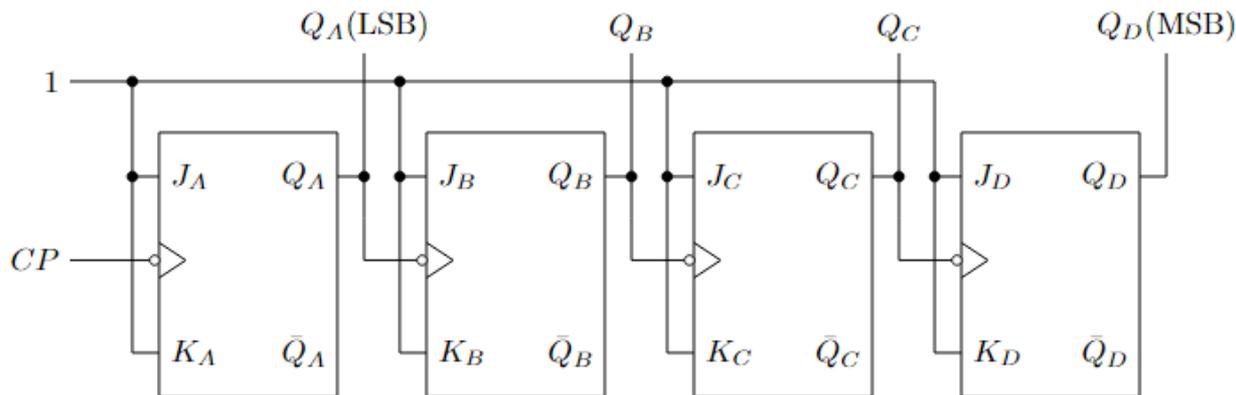
0000에서 1111까지
상태의 수가 16개이
므로 **16진(mod-16)**
카운터라고 함

상태도



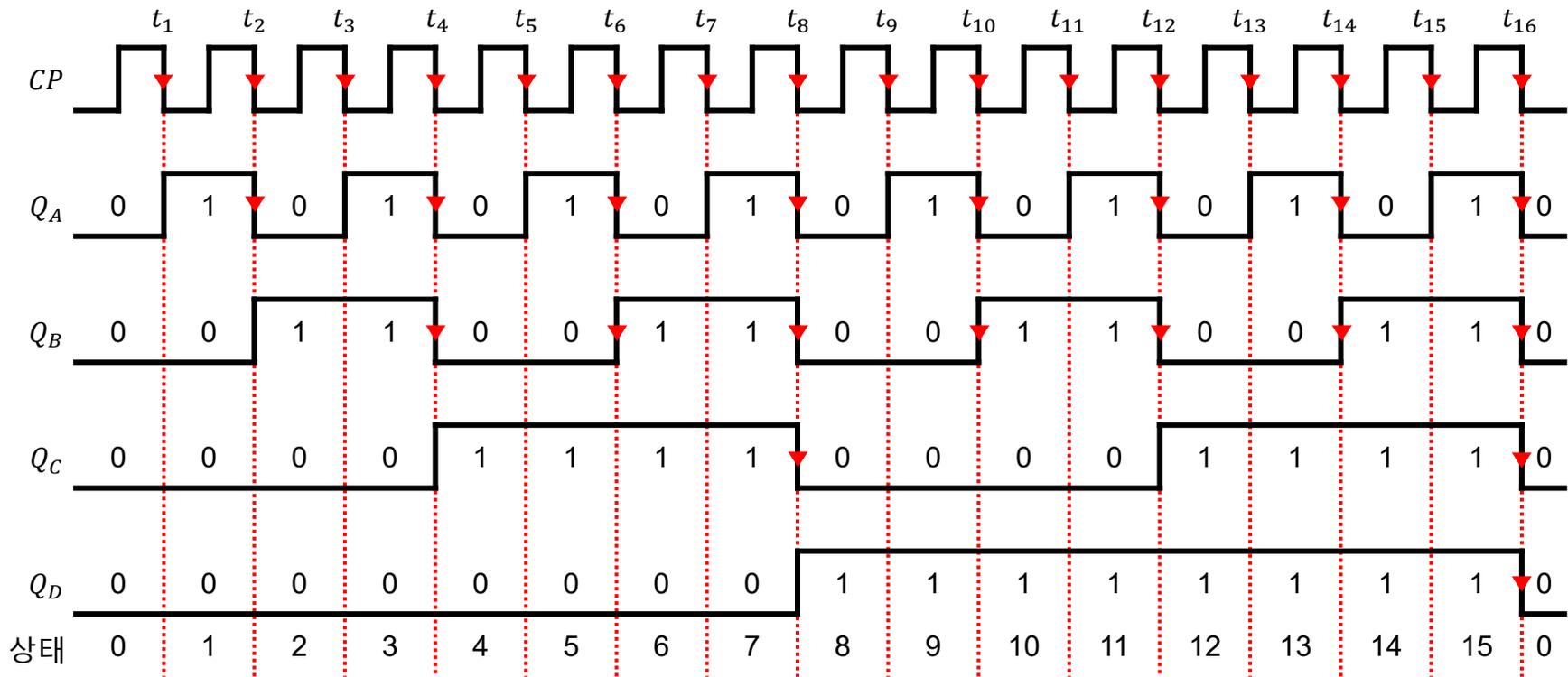
비동기식 상향 카운터

- 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

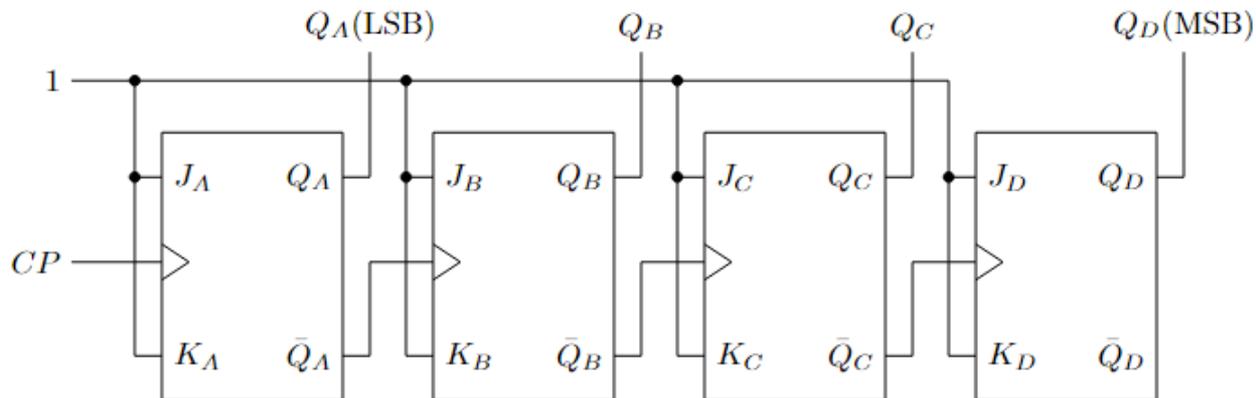
$$f_{max} \leq \frac{1}{n \times t_{pd}}$$

- 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

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

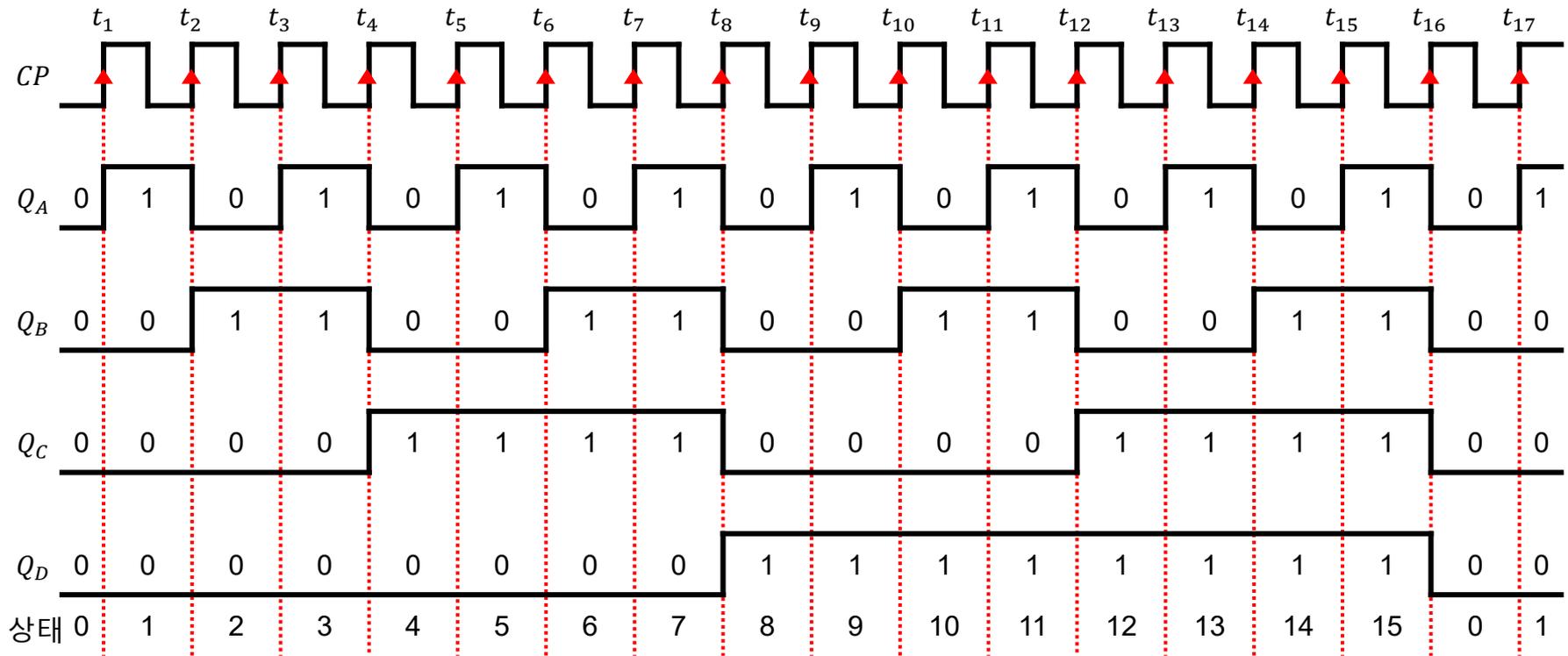
비동기식 상향 카운터

- 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)

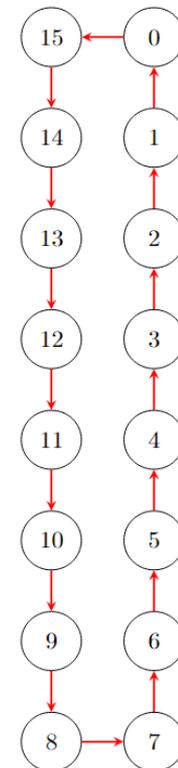
클록 펄스	Q_D	Q_C	Q_B	Q_A	10진수
1	1	1	1	1	15
2	1	1	1	0	14
3	1	1	0	1	13
4	1	1	0	0	12
5	1	0	1	1	11
6	1	0	1	0	10
7	1	0	0	1	9
8	1	0	0	0	8
9	0	1	1	1	7
10	0	1	1	0	6
11	0	1	0	1	5
12	0	1	0	0	4
13	0	0	1	1	3
14	0	0	1	0	2
15	0	0	0	1	1
16	0	0	0	0	0

2진수 4자리 카운터

- Q_D : 최상위 비트
- Q_A : 최하위 비트

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

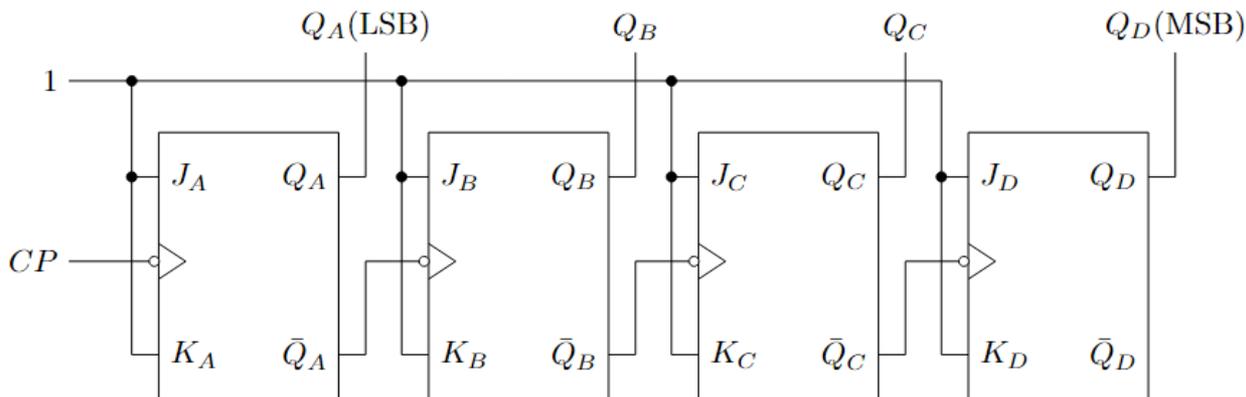
상태도



비동기식 하향 카운터

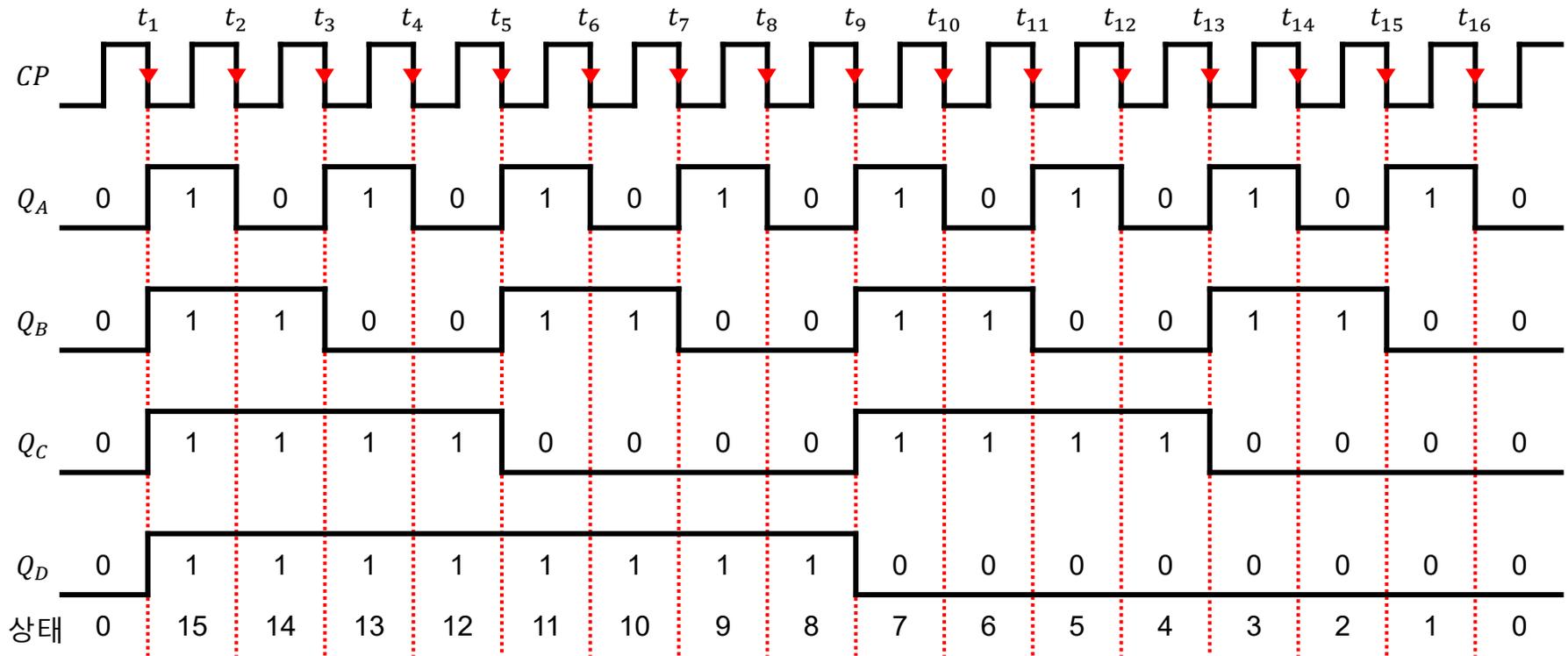
■ 2진 하향 카운터(binary down counter)

- 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



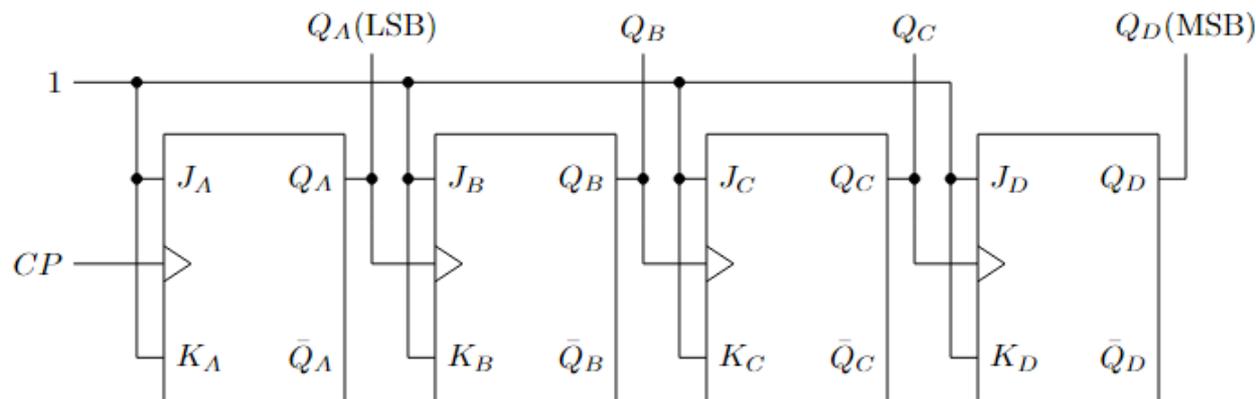
비동기식 하향 카운터

- 2진 하향 카운터(binary down counter)



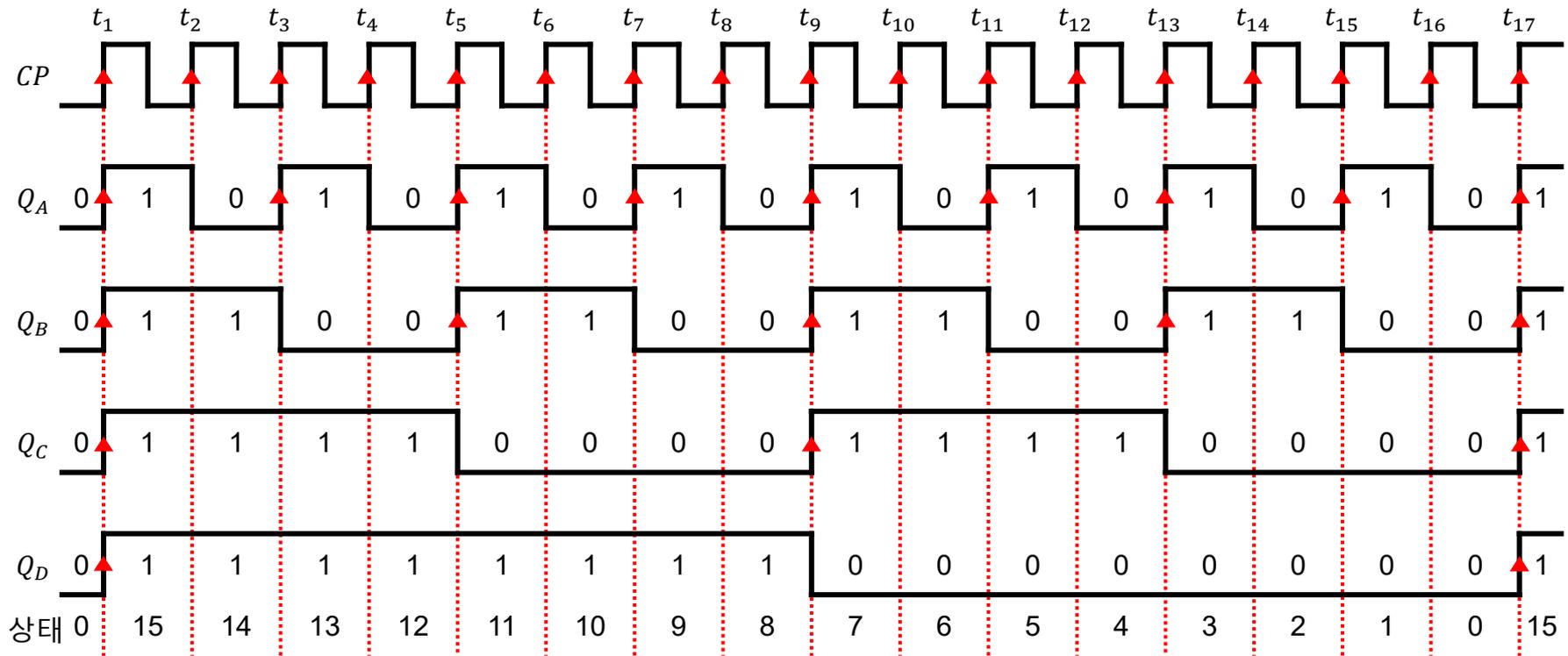
비동기식 하향 카운터

- 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 modulo- m 카운터

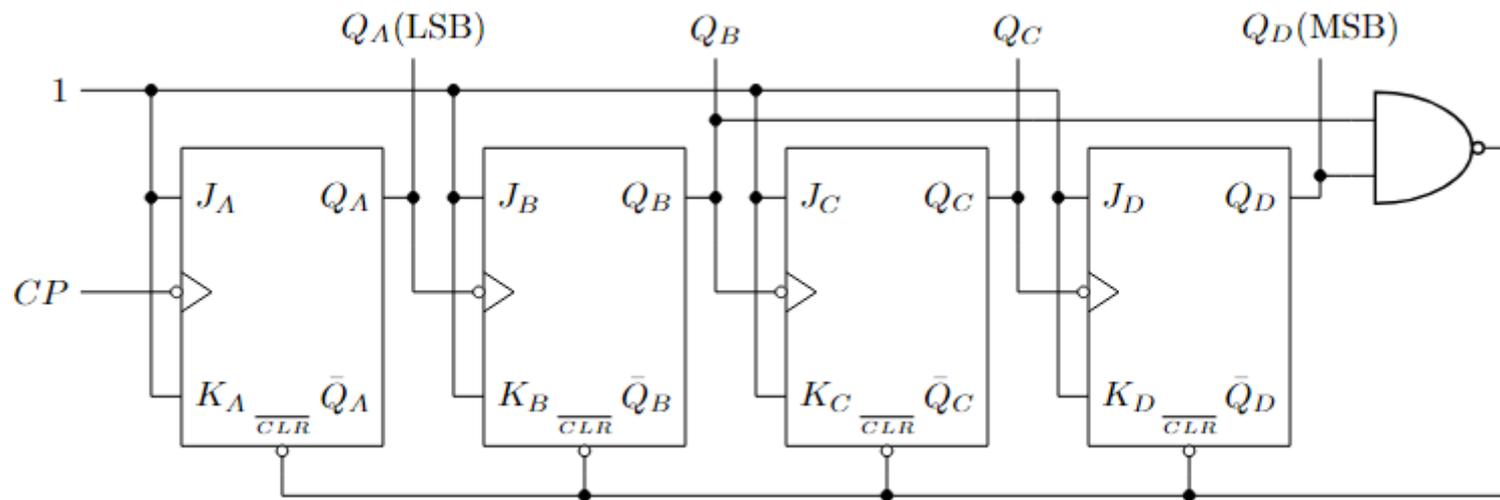
- n 개의 플립플롭을 사용하면 modulo- 2^n 카운터를 설계할 수 있음
 - 예, $n = 4$ 개의 플립플롭을 사용하면 modulo-16 카운터를 설계할 수 있음
- $m \neq 2^n$ 일 경우 modulo- m 카운터도 설계할 수 있음

- 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

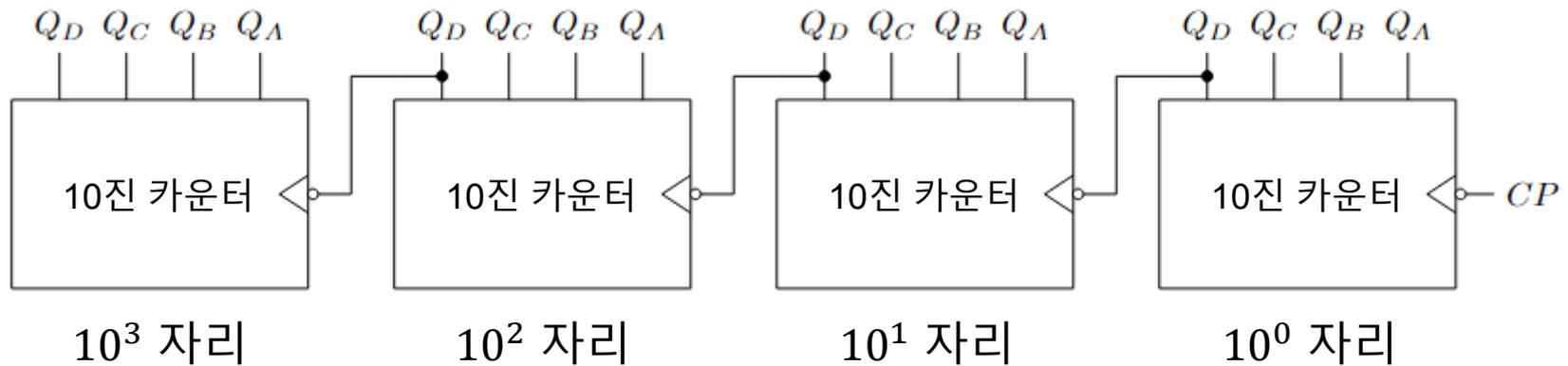
비동기식 modulo- m 카운터

- 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

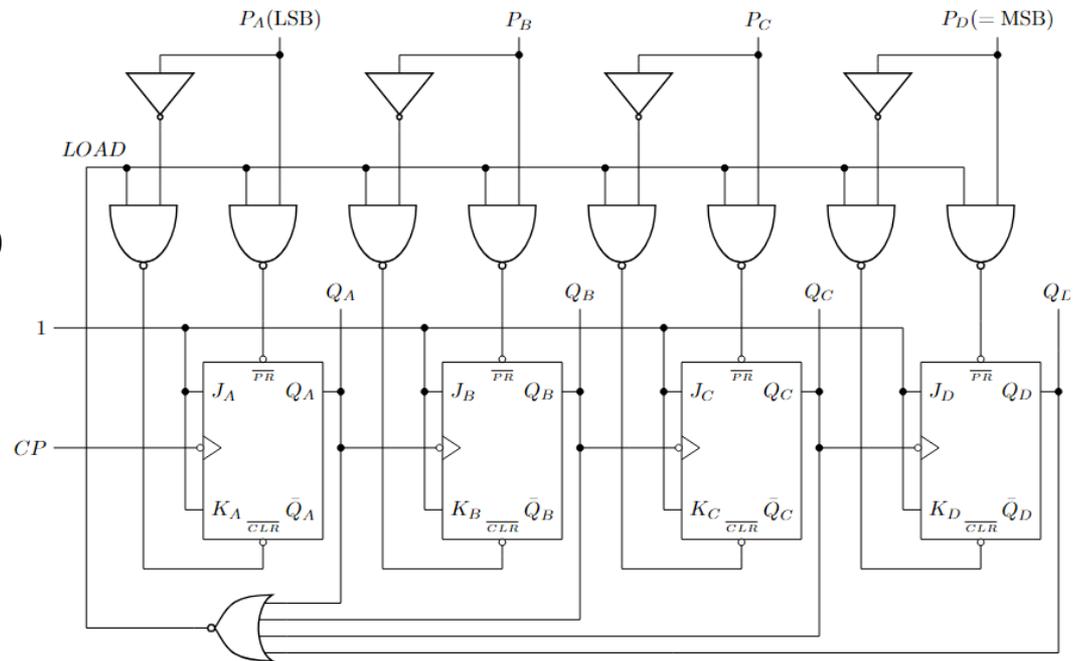


비동기식 프리셋 카운터

- 프리셋 카운터는 0보다 큰 수로부터 카운트를 시작할 수 있음

- 예, $P_D P_C P_B P_A (=0001 \sim 1111 \text{ 사이의 수})$ 로부터 시작될 수 있음

- $Q_D Q_C Q_B Q_A = 0000$ 일 때 NOR 게이트의 출력, 즉 $LOAD = 1$ 이 되므로 카운터의 값이 프리셋 값 ($P_D P_C P_B P_A$)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 클럭 펄스에 의해 동시에 트리거되어 고속 동작에는 적합함
 - 비동기식 카운터에 비해 회로가 복잡함
 - 설계 과정
 - ① 클럭 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

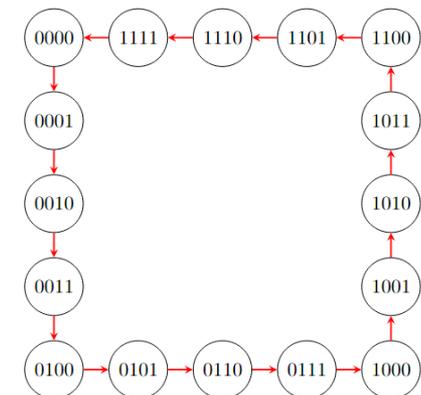
4비트 동기식 2진 카운터

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

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

$$J_D = Q_C Q_B Q_A$$

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

$$K_D = Q_C Q_B Q_Q$$

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

$$J_C = Q_B Q_A$$

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

$$K_C = Q_B Q_A$$

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

$$J_B = Q_A$$

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

$$K_B = Q_A$$

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

$$J_A = 1$$

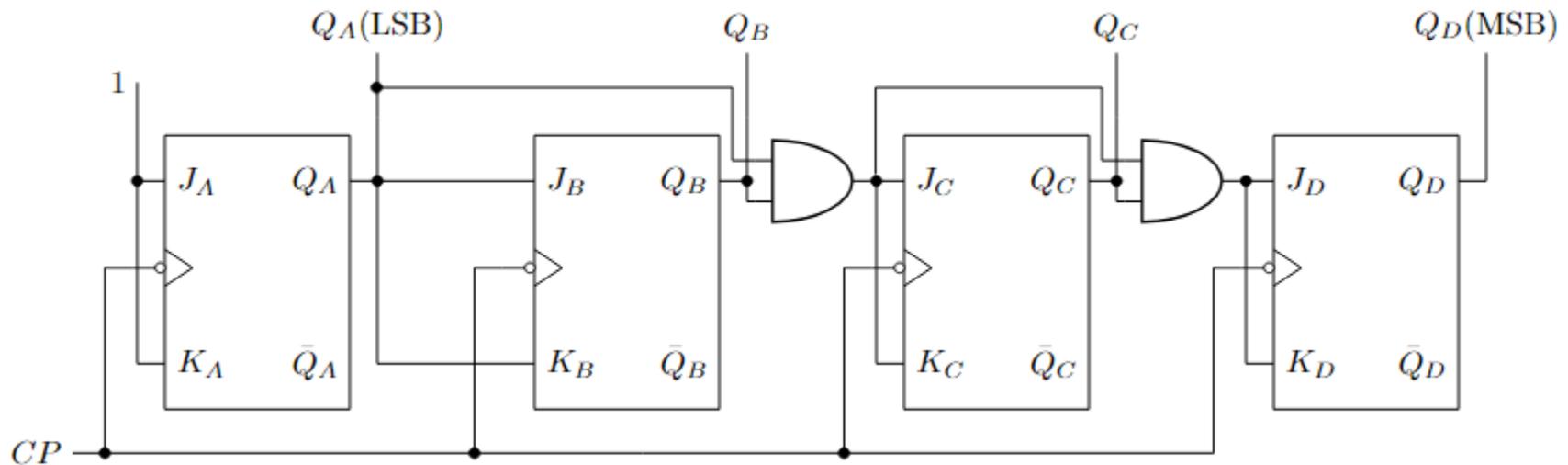
		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
$Q_D Q_C$	00	x	1	1	x
	01	x	1	1	x
	11	x	1	1	x
	10	x	1	1	x

$$K_A = 1$$

동기식 카운터

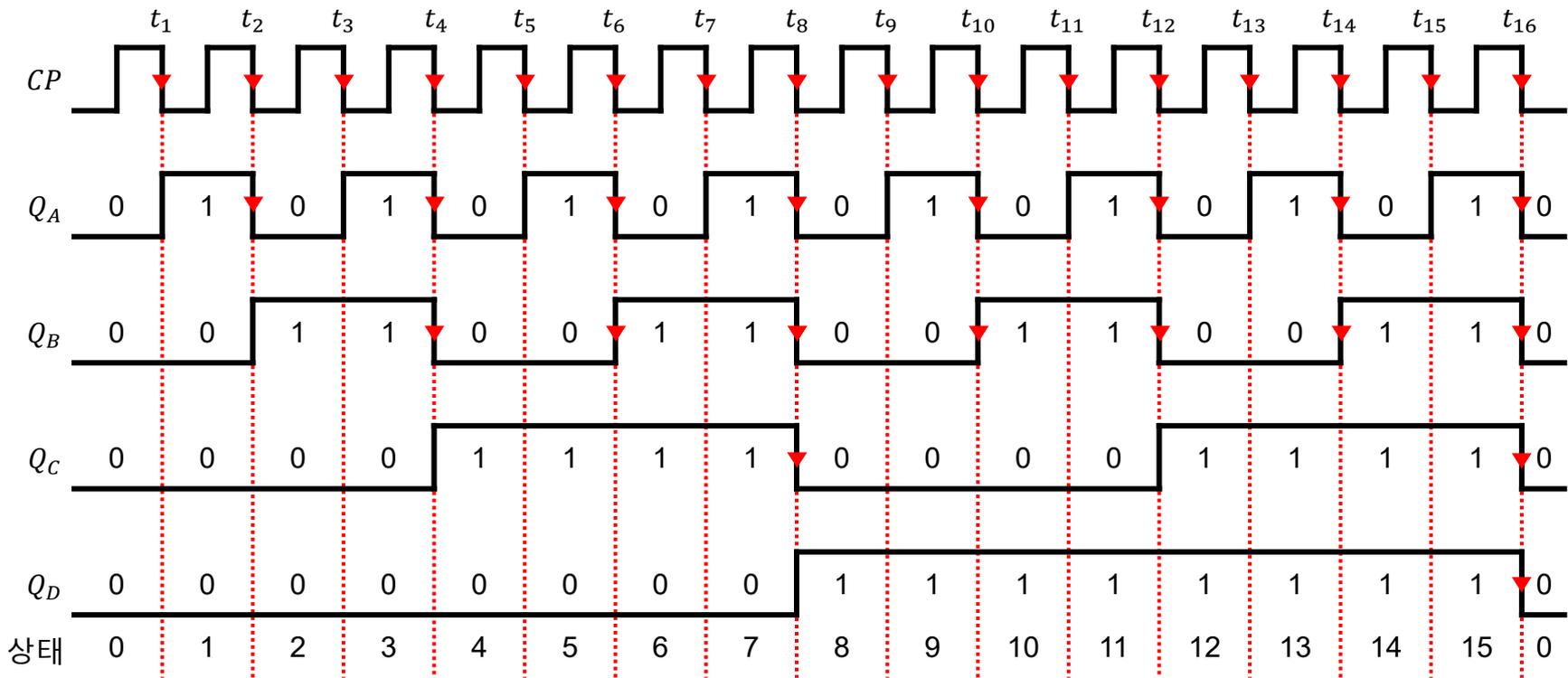
4비트 동기식 2진 카운터

- 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 추력의 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

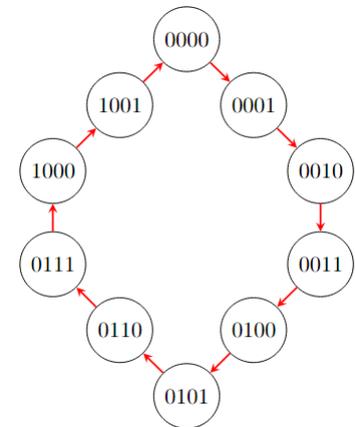
동기식 BCD 카운터

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

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

$$J_D = Q_C Q_B Q_A$$

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

$$K_D = Q_A$$

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

$$J_C = Q_B Q_A$$

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

$$K_C = Q_B Q_A$$

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

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

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

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

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

$$J_A = 1$$

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

$$K_A = 1$$

동기식 카운터

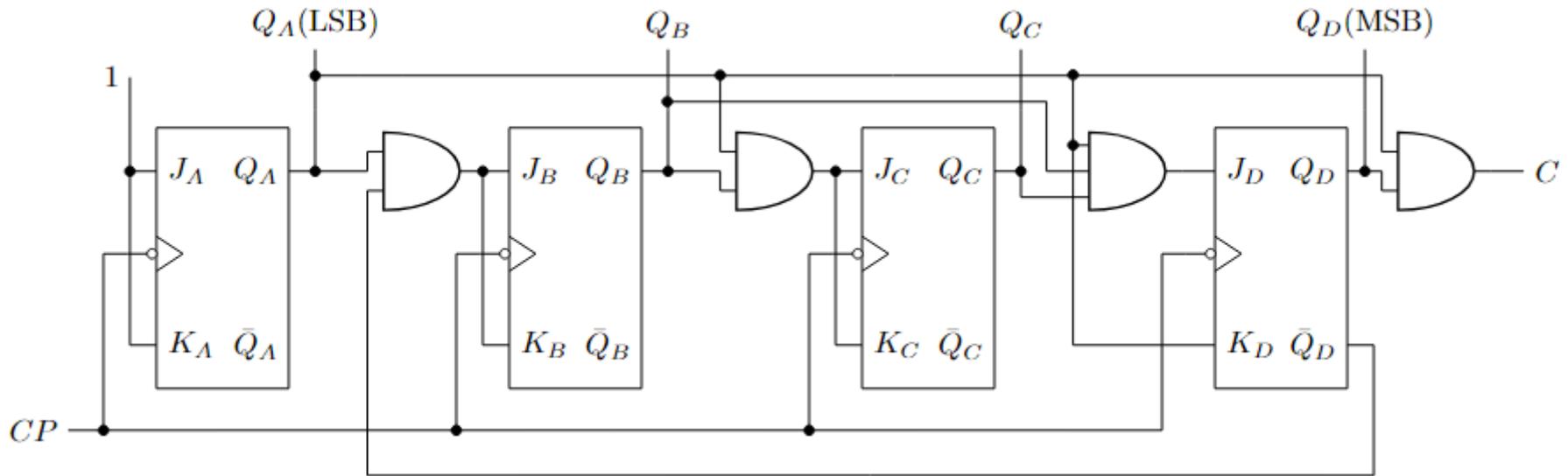
동기식 BCD 카운터

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

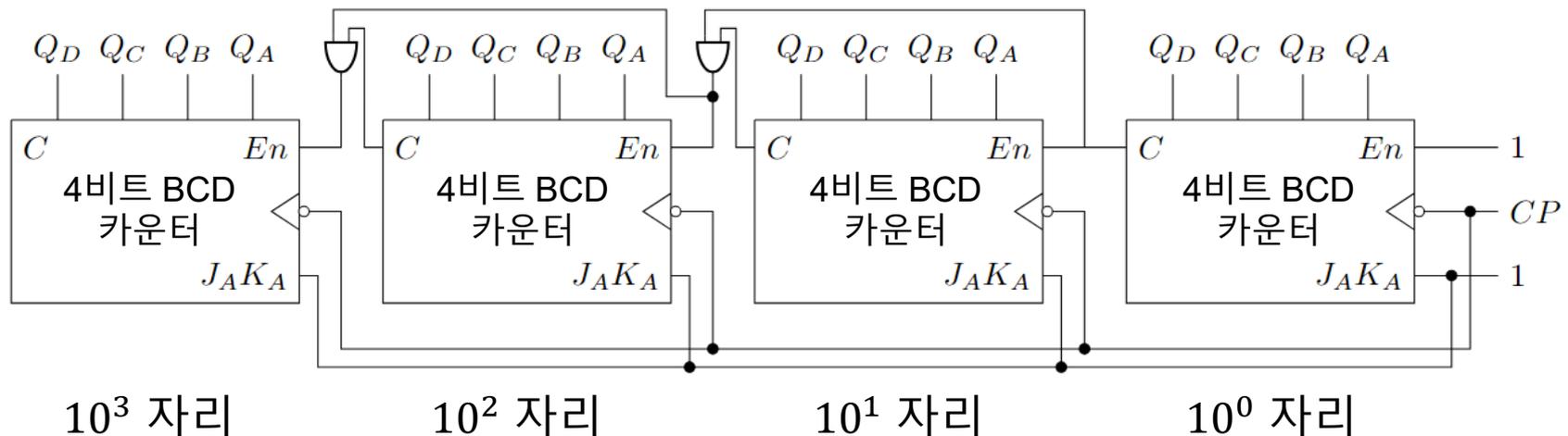
- 동기식 BCD 카운터



동기식 카운터

동기식 BCD 카운터

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



동기식 카운터

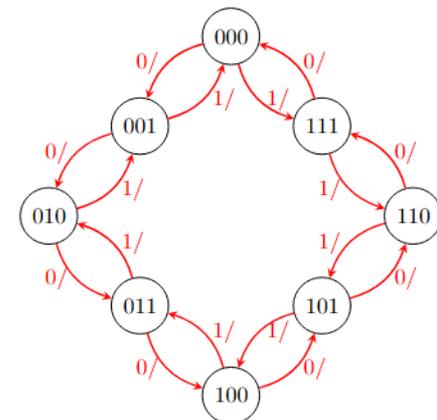
- 3비트 동기식 2진 상향/하향 카운터
 - 0 → 1 → 2 → ... → 7과 같이 증가하거나 7 → 6 → 5 → ... → 0과 같이 감소하는 카운터

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

현재 상태			입력 x	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	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	0	1	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

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	

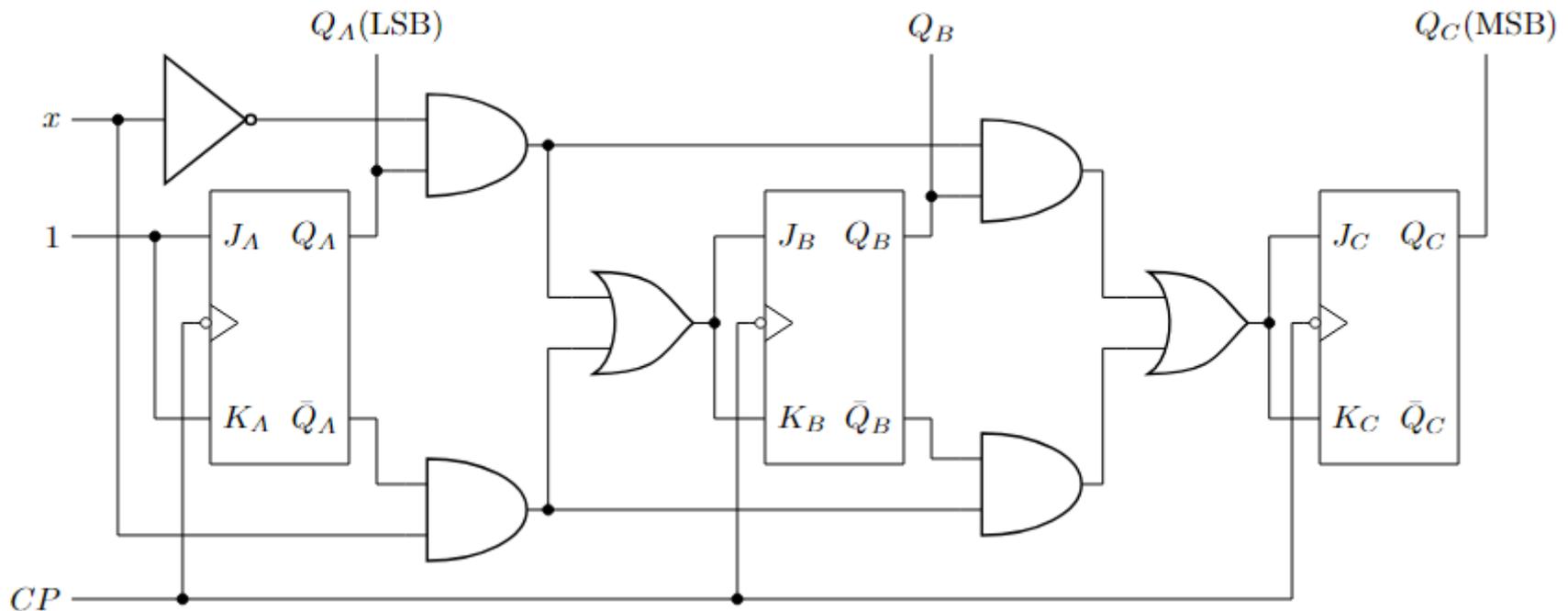
$$J_A = 1$$

$Q_D Q_C$		$Q_B Q_A$			
		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

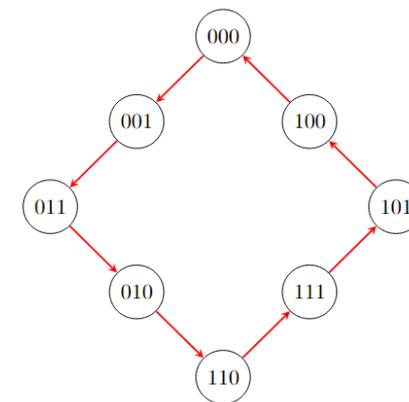
- 불규칙한 순서를 갖는 카운터
 - 카운터의 상태가 순차적으로 변하지 않고 불규칙하게 변할 수 있음

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

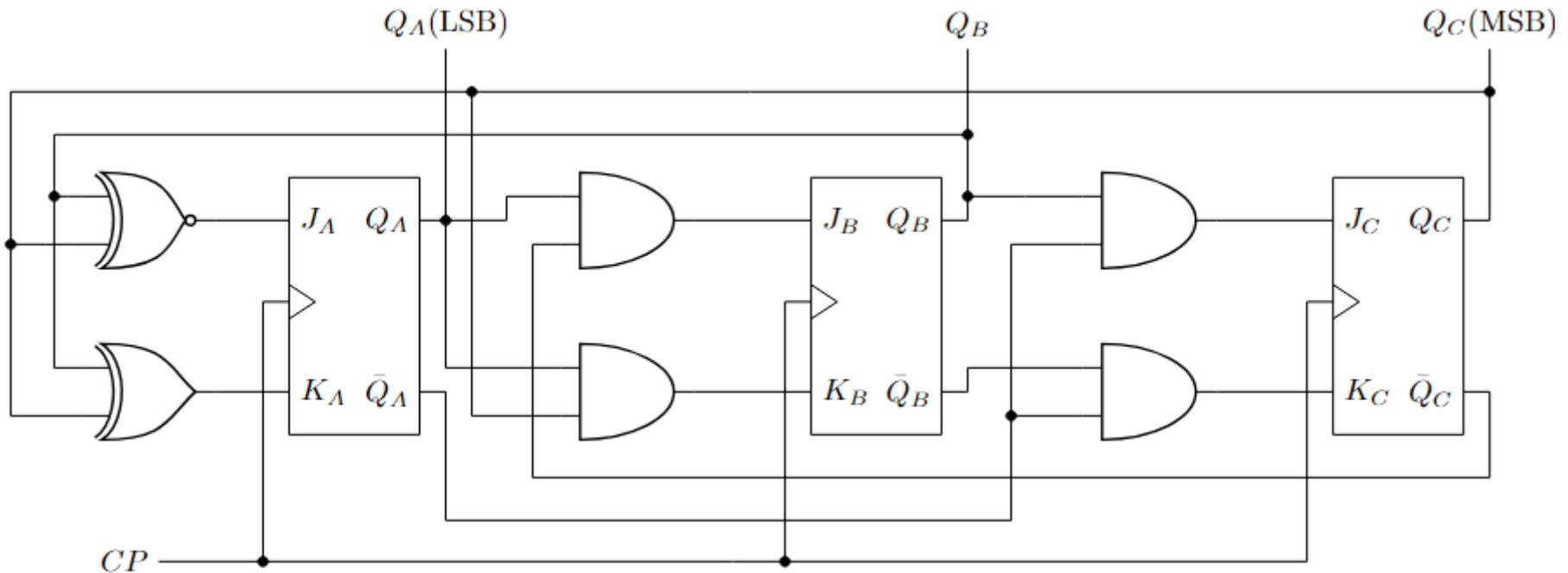
$$J_A = \bar{Q}_C \bar{Q}_B + Q_C Q_B = Q_C \odot Q_B$$

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

$$K_A = Q_C \bar{Q}_B + \bar{Q}_C Q_B = Q_C \oplus Q_B$$

동기식 카운터

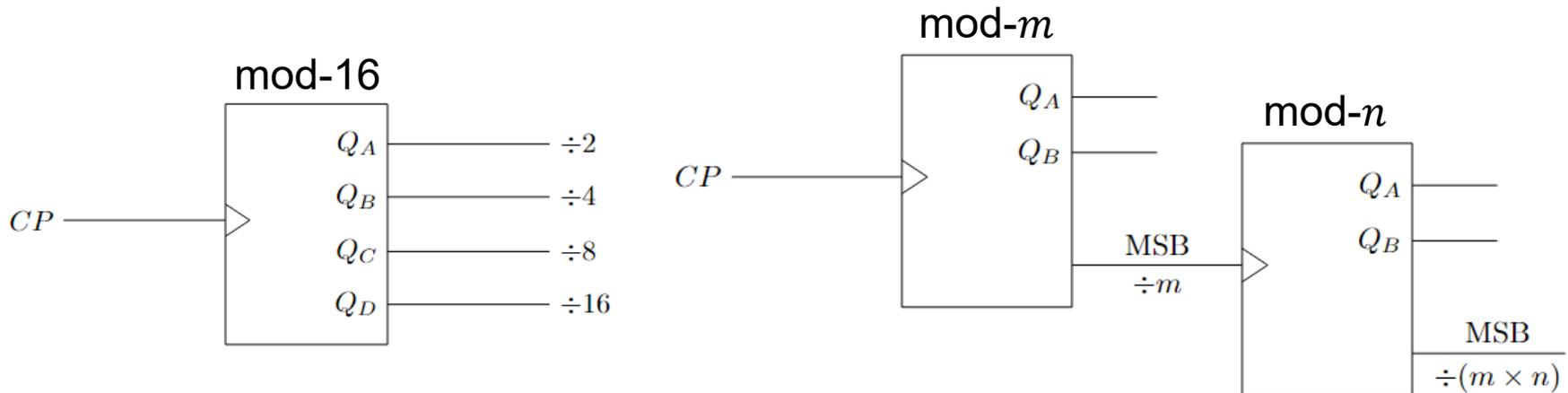
- 불규칙한 순서를 갖는 카운터



동기식 카운터

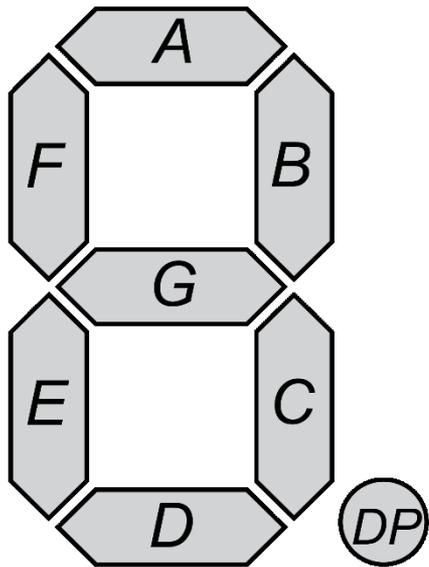
■ 주파수 분할

- 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

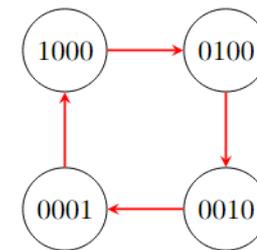
- 임의의 시간에 한 플립플롭만 논리 1이 되고 나머지 플립플롭은 논리 0이 되는 카운터
- 논리 1은 입력 펄스에 따라 그 위치가 한쪽 방향으로 순환함

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

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

$$D_A = Q_D$$

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

$$D_B = Q_A$$

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

$$D_C = Q_B$$

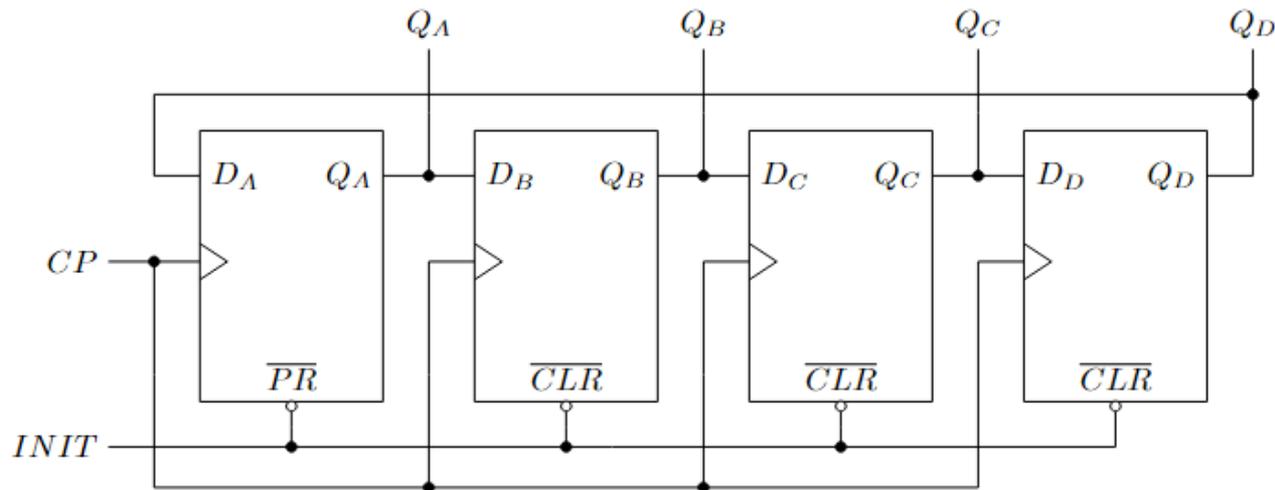
		$Q_C Q_D$			
		00	01	11	10
$Q_A Q_B$	00	x		x	1
	01		x	x	x
	11	x	x	x	x
	10		x	x	x

$$D_D = Q_C$$

기타 카운터

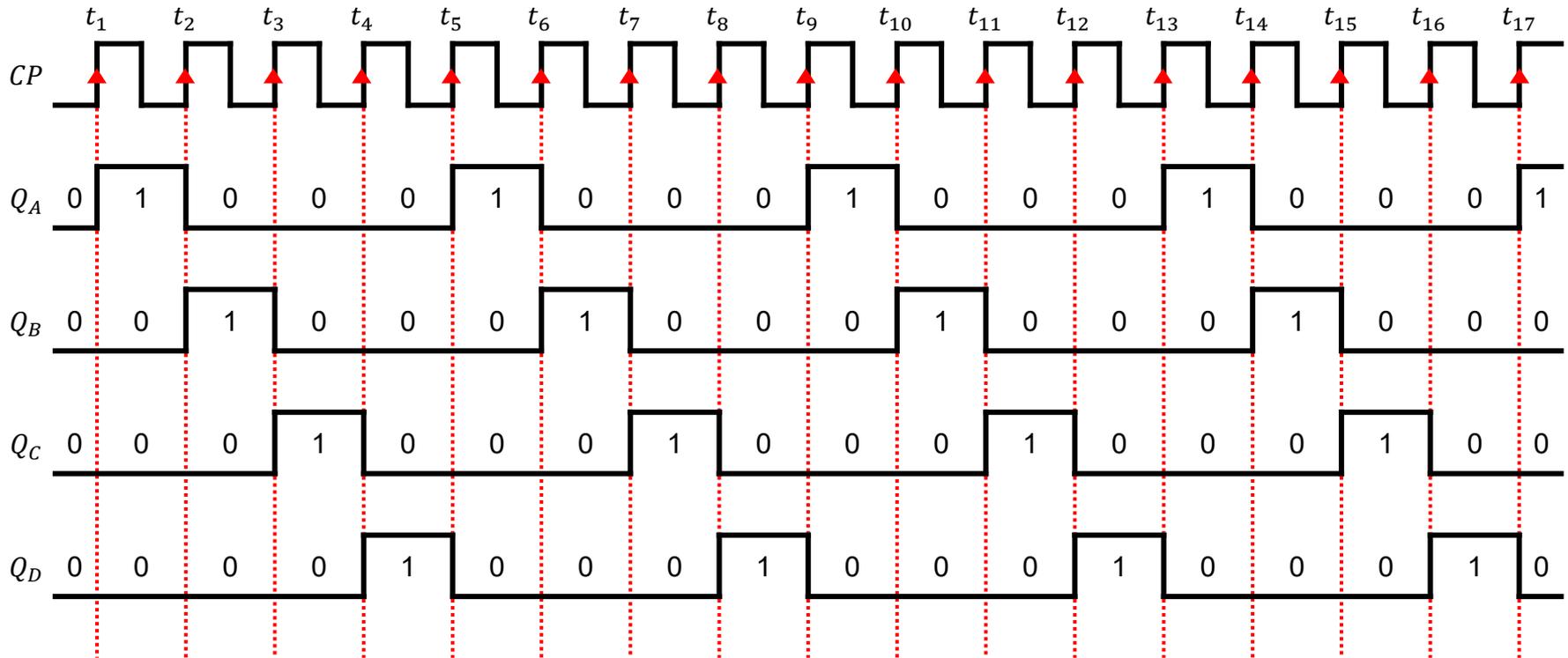
■ 링 카운터

- 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

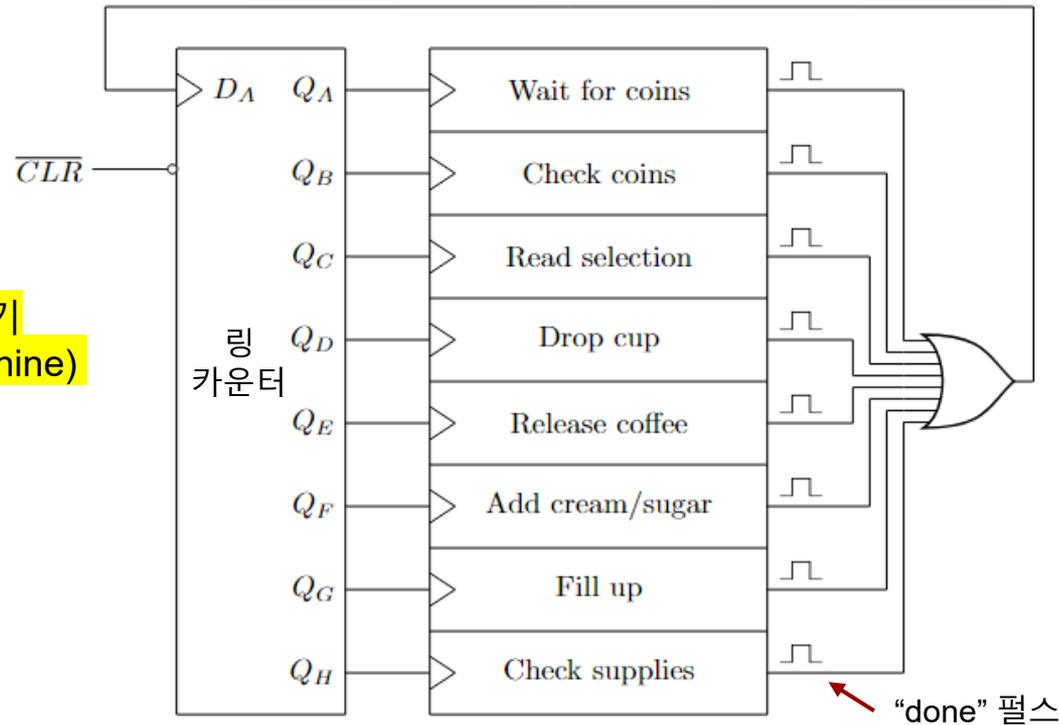
■ 링 카운터



기타 카운터

- 링 카운터
 - 어떤 일련의 동작을 제어하는 데 매우 유용함

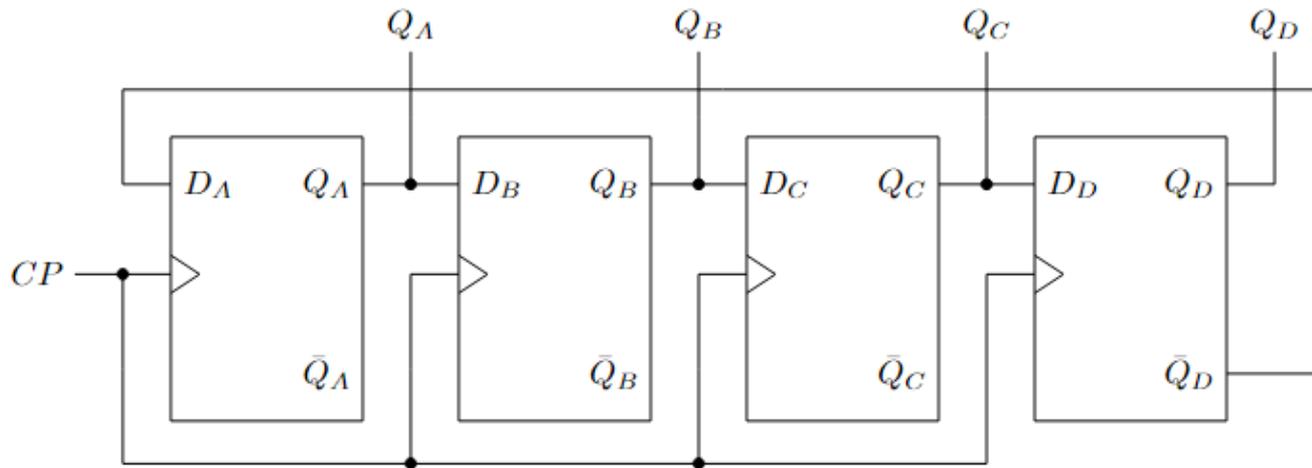
커피 자판기
(vending machine)
사례



기타 카운터

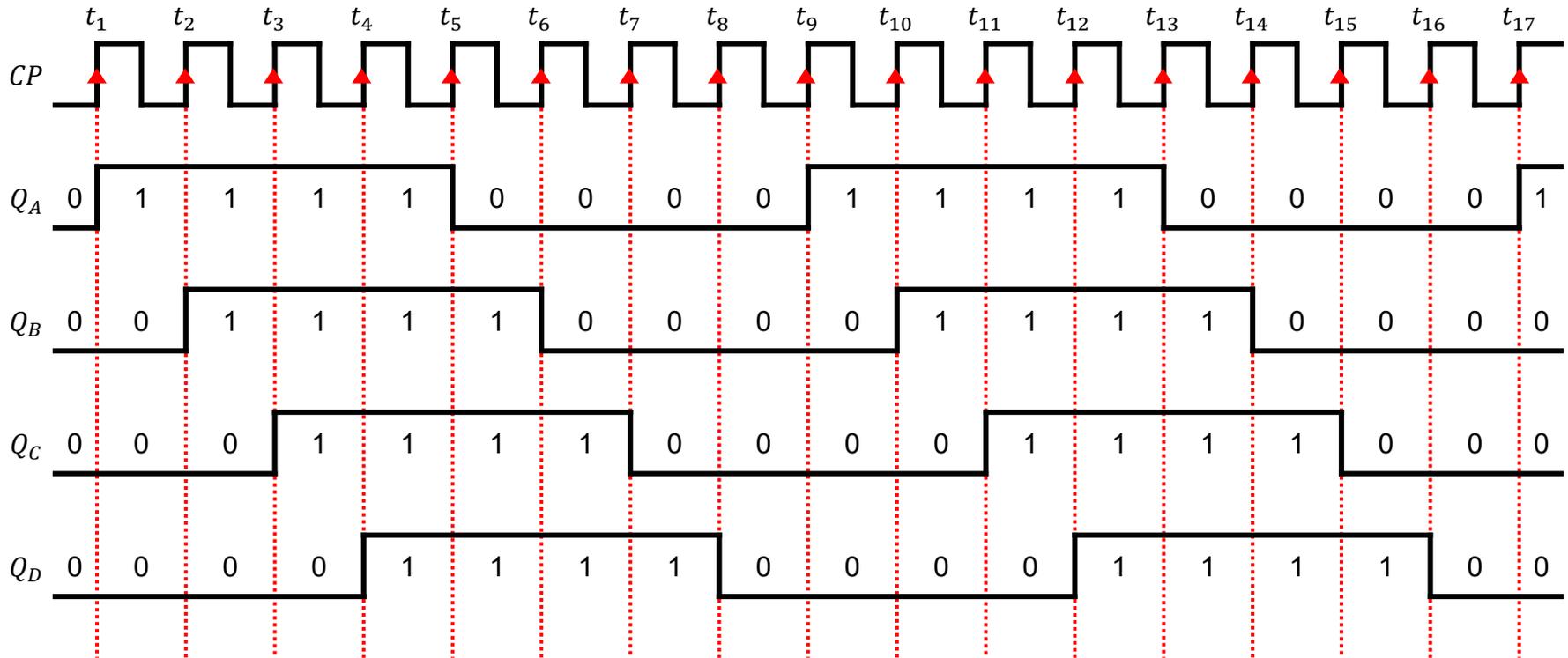
- 존슨(Johnson) 카운터

- 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	$\bar{Q}_A \bar{Q}_D$