

10장. 카운터와 레지스터

01. 비동기 카운터

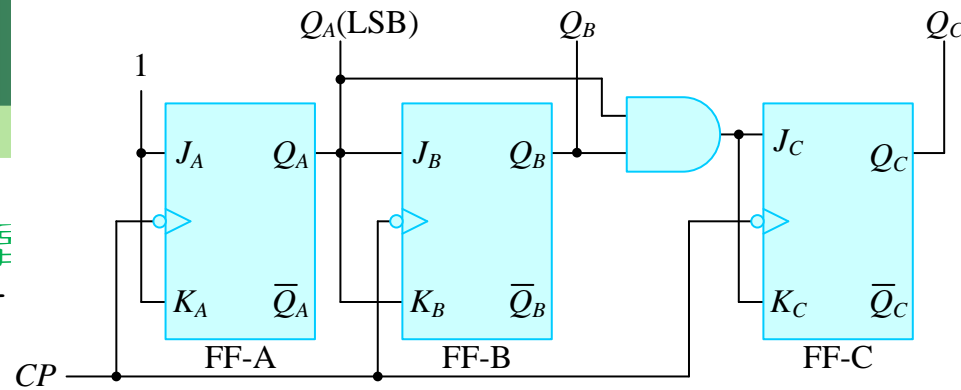
02. 동기 카운터

03. 레지스터

04. 시프트 레지스터 카운터

01 비동기식 카운터

❖ 비동기 카운터는 첫 번째 플립플롭이 입력되고, 다른 플립플롭은 각 입력으로 사용한다.

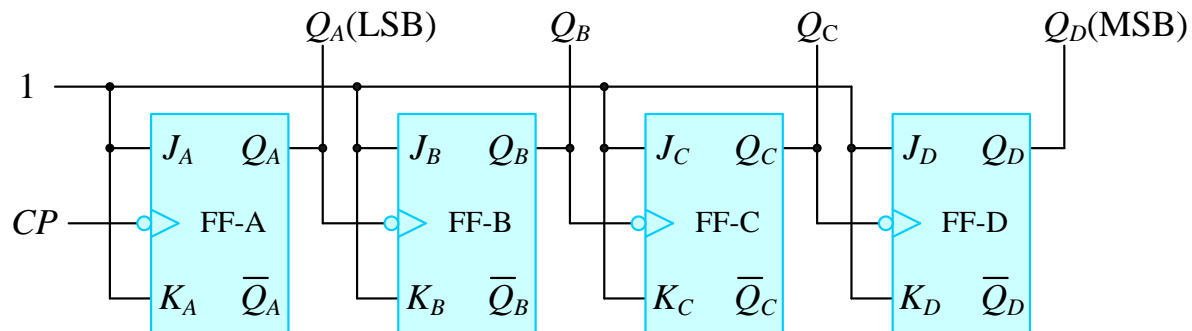


❖ 비동기 카운터는 **리플(ripple) 카운터**라고도 부른다.

❖ 카운터에서 구별되는 상태의 수가 m 일 때 **modulo- m** (간단히 mod- m , m 진)의 카운터이다.

❖ J-K 플립플롭 또는 T 플립플롭 사용

❖ **상향 카운터(up counter), 하향 카운터(down counter)**



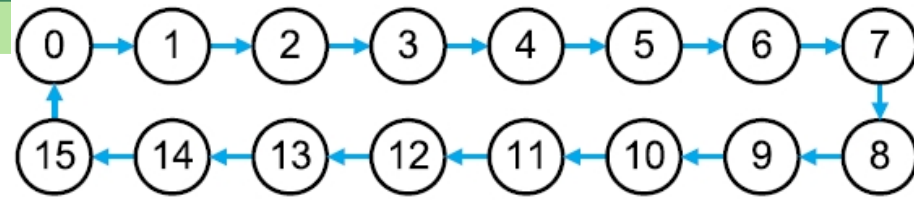
m 진(mod- m) 카운터 : 카운터의 상태의 수가 m 개인 카운터

플립플롭 n 개를 종속으로 연결하면 0부터 최대 $(2^n - 1)$ 까지 계수할 수 있다.

01 비동기식 카운터



4비트 비동기식 상향 카운터



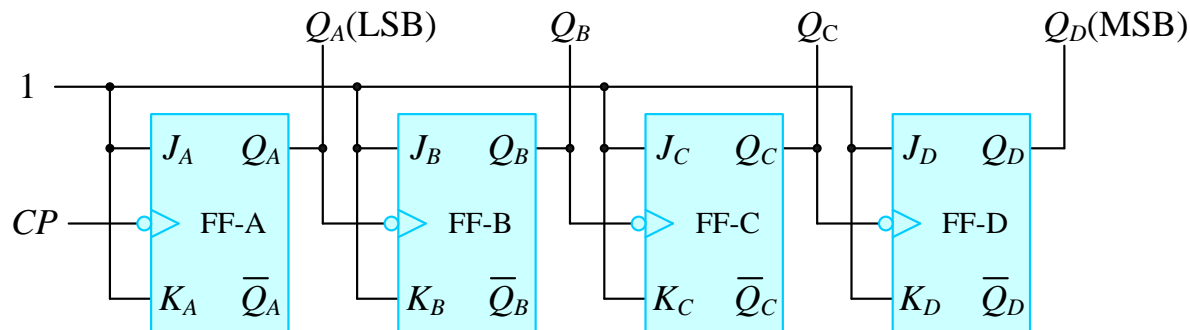
클록펄스	Q_D	Q_C	Q_B	Q_A	10진수
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1
3	0	0	1	0	2
4	0	0	1	1	3
5	0	1	0	0	4
6	0	1	0	1	5
7	0	1	1	0	6
8	0	1	1	1	7
9	1	0	0	0	8
10	1	0	0	1	9
11	1	0	1	0	10
12	1	0	1	1	11
13	1	1	0	0	12
14	1	1	0	1	13
15	1	1	1	0	14
16	1	1	1	1	15

계수표



□ 비동기식 카운터의 설계 방법

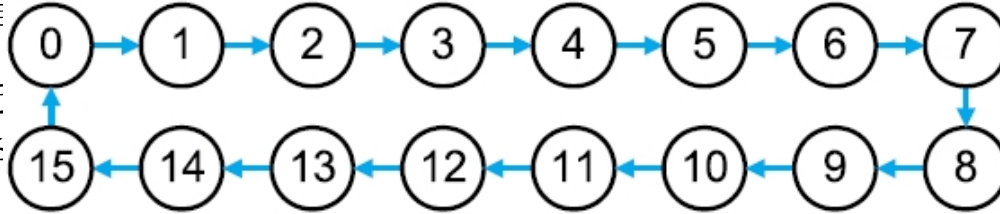
- ① 모든 JK 플립플롭의 입력 J 와 K 를 1(+5V)에 연결한다.
- ② 첫 번째 플립플롭의 클록 입력에 외부 클록신호(CP)를 연결한다.
- ③ 첫 번째 플립플롭의 출력 Q_A 를 두 번째 플립플롭의 클록입력에 연결한다.
- ④ 두 번째 플립플롭의 출력 Q_B 를 세 번째 플립플롭의 클록입력에 연결한다.
- ⑤ 세 번째 플립플롭의 출력 Q_C 를 네 번째 플립플롭의 클록입력에 연결한다.
- ⑥ 플립플롭 출력 단자 Q_D, Q_C, Q_B, Q_A 로부터 출력된 값을 조합하면 상향 카운터가 된다.



01 비동기식 카운터

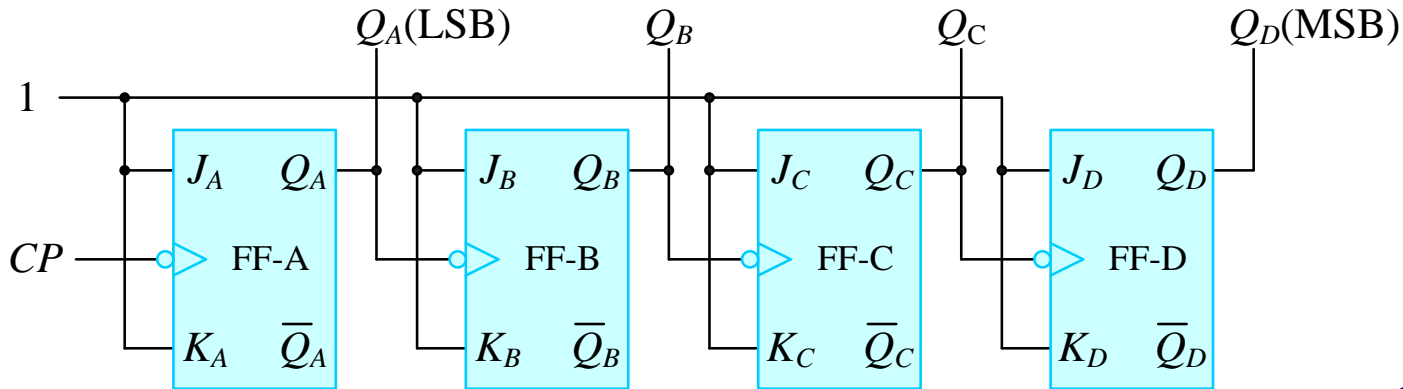


❖ 각 플립플롭

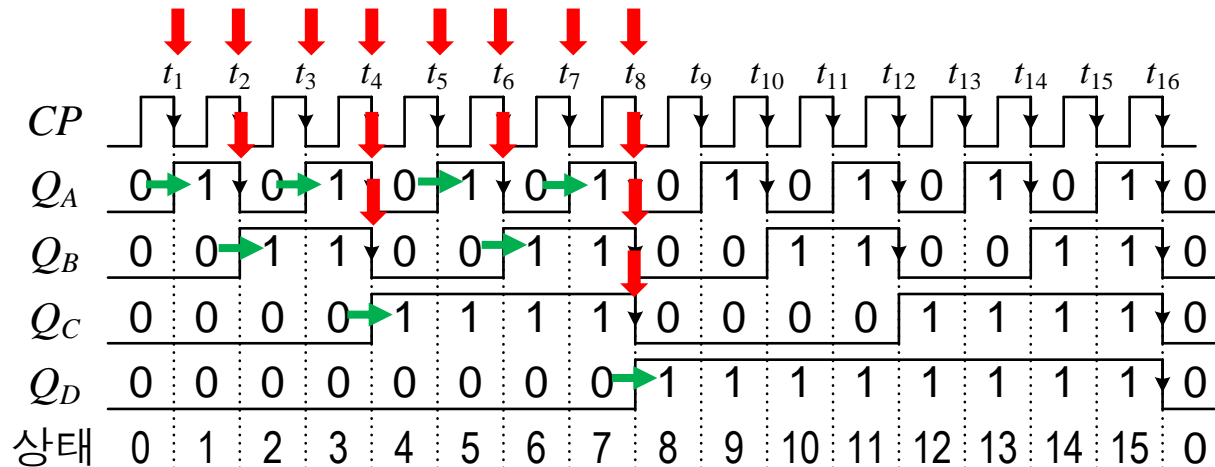


❖ Q_A 에서는 1/16의 주

서는 1/8, Q_D 에서는 <상태도>

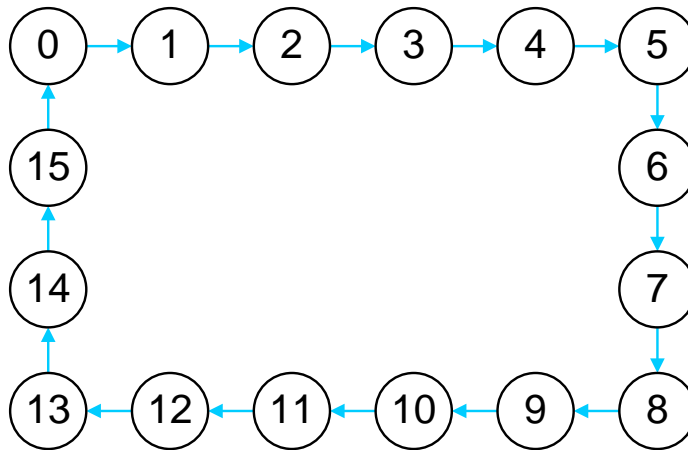


<회로도>



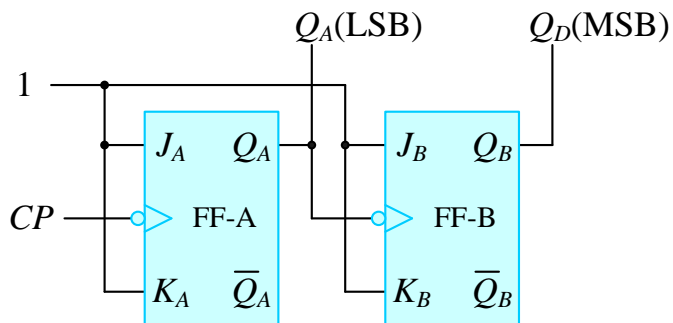
<타이밍도>

01 비동기식 카운터

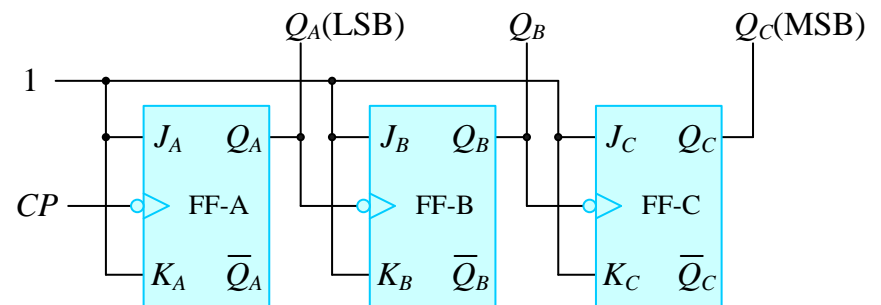


상태도

□ 2비트, 3비트 비동기식 상향 카운터



2비트 비동기식 상향 카운터



3비트 비동기식 상향 카운터

01 비동기식 카운터

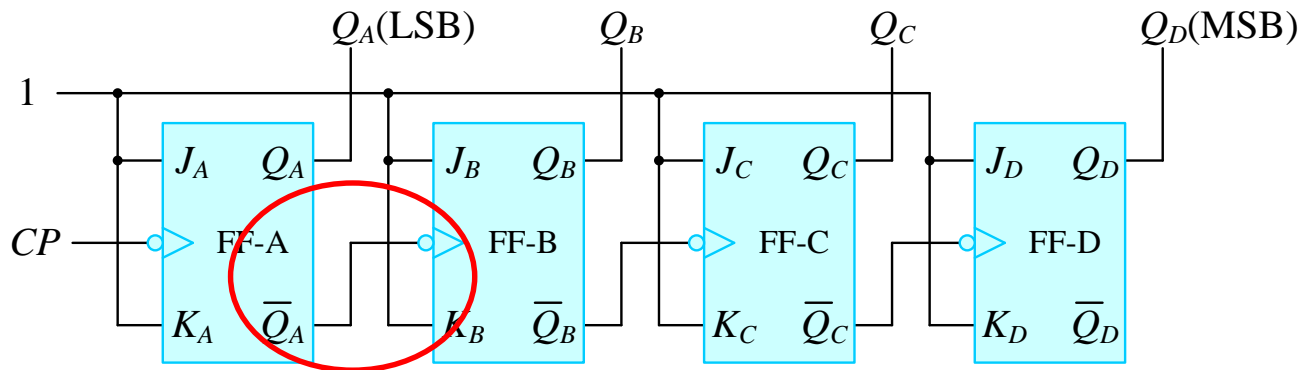


4비트 비동기식 하향 카운터

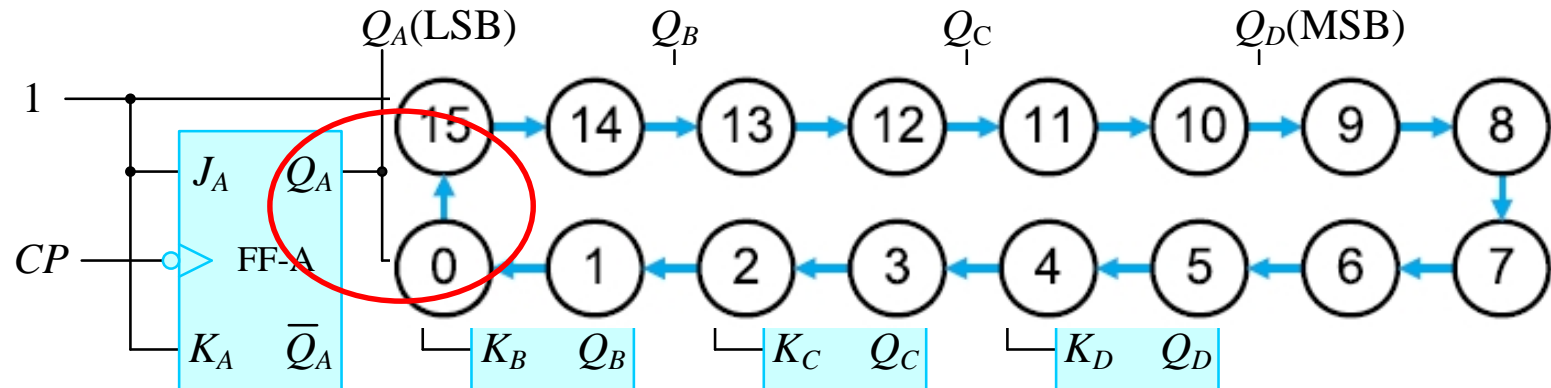
클럭펄스	Q_D	Q_C	Q_B	Q_A	10진수
1	1	1	1	1	15
2	1	1	1	0	14
3	1	1	0	1	13
4	1	1	0	0	12
5	1	0	1	1	11
6	1	0	1	0	10
7	1	0	0	1	9
8	1	0	0	0	8
9	0	1	1	1	7
10	0	1	1	0	6
11	0	1	0	1	5
12	0	1	0	0	4
13	0	0	1	1	3
14	0	0	1	0	2
15	0	0	0	1	1
16	0	0	0	0	0

계수표

01 비동기식 카운터



<회로도>



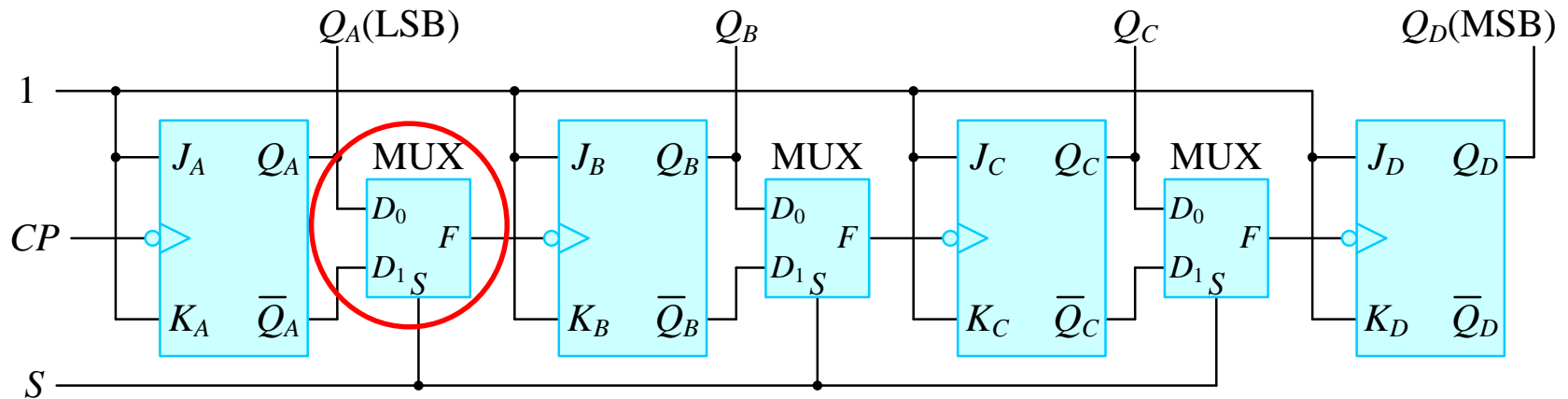
Q_A	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Q_B	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
Q_C	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Q_D	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
상태	0	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

<타이밍도>

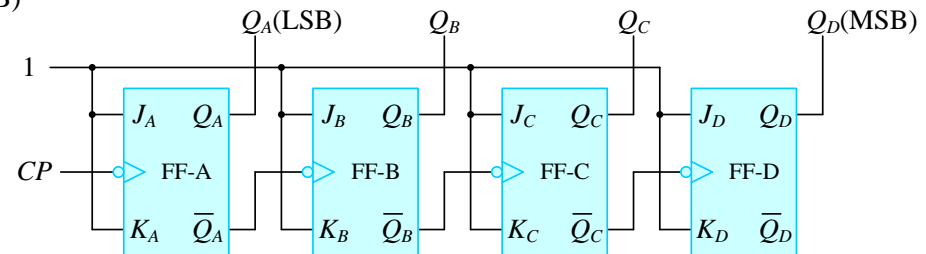
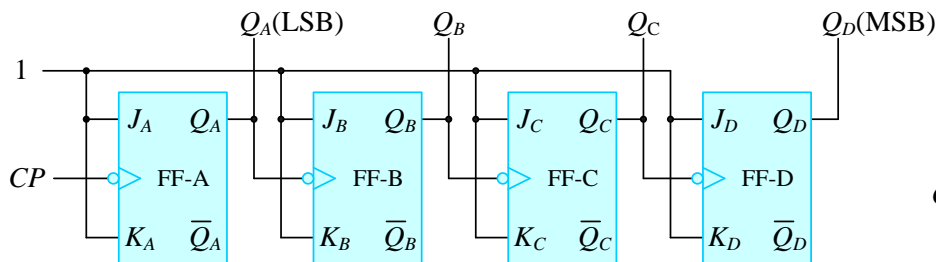


4비트 비동기식 상향/하향 카운터

- ❖ $S=0$ 으로 하면 MUX의 입력 D_0 와 출력 F 가 연결 : 상향 카운터
- ❖ $S=1$ 로 하면 MUX의 입력 D_1 과 출력 F 가 연결 : 하향 카운터



4비트 비동기식 상향/하향 카운터





비동기식 10진 카운터

- ❖ 비동기식 10진 카운터(BCD 카운터, decade counter, mod-10 counter)
- ❖ 0에서 9까지의 카운트를 반복
- ❖ BCD 카운터를 구성하려면 4개의 플립플롭이 필요
- ❖ 16개의 상태 중에서 10개의 상태만을 사용

상태표

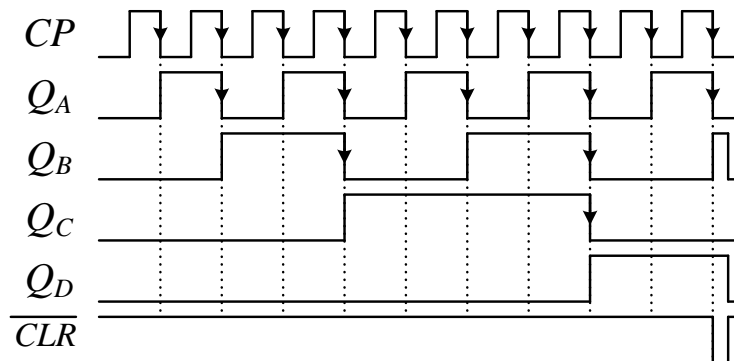
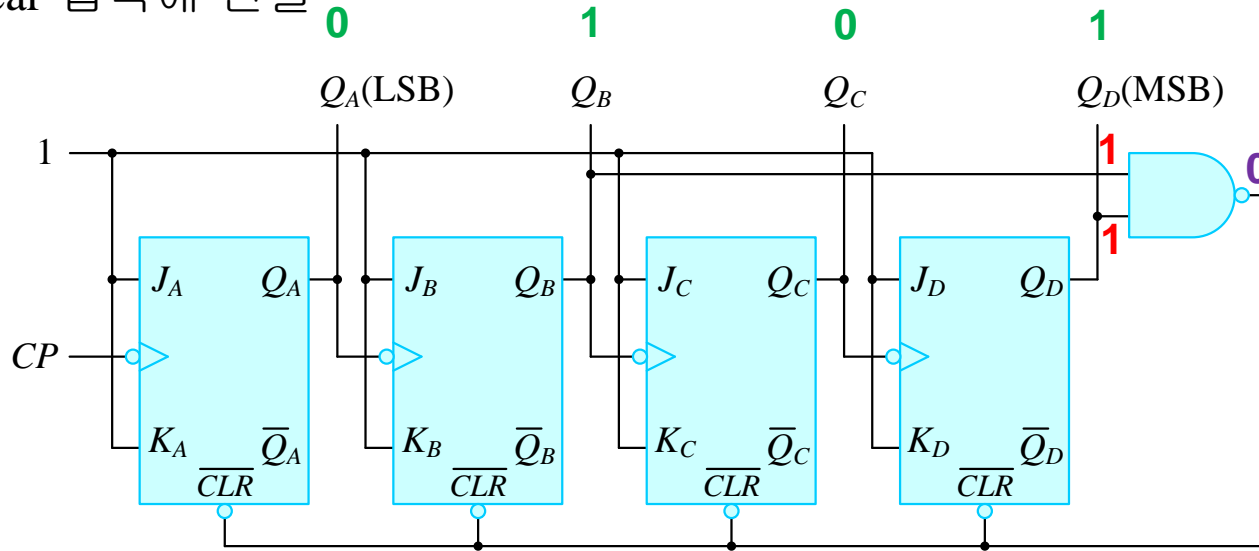
클록펄스	Q_D	Q_C	Q_B	Q_A	10진수
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1
3	0	0	1	0	2
4	0	0	1	1	3
5	0	1	0	0	4
6	0	1	0	1	5
7	0	1	1	0	6
8	0	1	1	1	7
9	1	0	0	0	8
10	1	0	0	1	9

01 비동기식 카운터



- ❖ 카운터 출력이 **[목표하는 최고 카운트]+1**에 도달한 순간을 포착하여 모든 플립플롭을 0으로 Clear
 $10 = (1010)_2$

- ❖ Q_B 와 Q_D 출력을 NAND 게이트로 결합하고 그 출력을 모든 플립플롭이 clear 입력에 연결



← glitch

glitch는 카운터의 오동작 원인이 될 수 있다.

타이밍도

01 비동기식 카운터



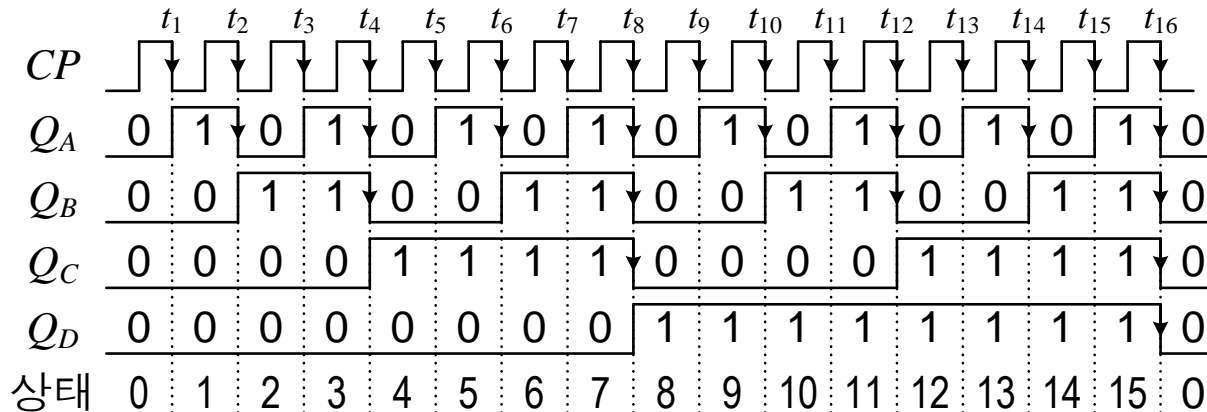
□ 비동기식 카운터의 동작속도

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

f_{\max} : 최대 클럭 주파수, n : 플립플롭 수, t_{pd} : 플립플롭 당 전파지연시간

예를 들어, $t_{pd}=20\text{ns}$, 플립플롭의 수가 4개인 4비트 2진 비동기식 카운터를 설계할 경우 클럭 주파수는 $12.5[\text{MHz}]$ 이하이어야 한다.

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





3. 다음 중 카운터에 관한 설명으로 틀린 것은?

- ㉠ 토글(T) 플립플롭의 원리를 이용한다.
- ㉡ MOD- N 카운터는 모듈러스가 N 이다.
- ㉢ 동기식 카운터는 주로 고속에 사용된다.
- ㉣ 플립플롭이 4개라면 계수는 4가지 경우가 존재한다.

4개의 플립플롭으로는 $16(=2^4)$ 가지 상태가 존재한다.



5. modulo-6 계수기를 만들려면 최소 몇 개의 플립플롭이 필요한가?

㉠ 1개

㉡ 2개

㉢ 3개

㉣ 6개

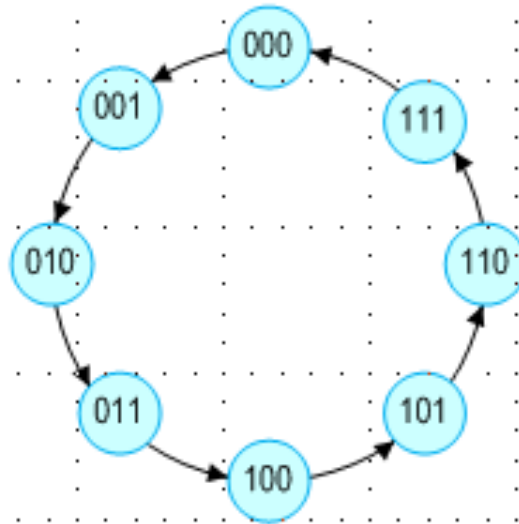
6. 다음의 상태 변화를 가지는 카운터는 최소 몇 개의 플립플롭으로 구성되는가?

㉠ 2개

㉡ 3개

㉢ 4개

㉣ 8개



카운터의 상태 수가 8개이므로 $\lceil \log_2 8 \rceil = 3$ 개이다.



8. 10진 카운터를 구성하려고 한다. 플립플롭을 몇 단으로 하면 가장 적절한가?

㉠ 2단

㉡ 3단

㉢ 4단

㉣ 5단

11. 비동기식 99진 리플 카운터를 만들려면 몇 개의 플립플롭이 필요한가?

㉠ 4개

㉡ 5개

㉢ 6개

㉣ 7개



15. 3개의 플립플롭으로 구성된 카운터의 모듈러스는?

㉠ MOD-3

㉡ MOD-4

㉢ MOD-8

㉣ MOD-16

24. 비동기식 카운터에 대한 설명 중 옳지 **않은** 것은?

㉠ 설계가 쉽다.

㉡ ripple counter라고도 한다.

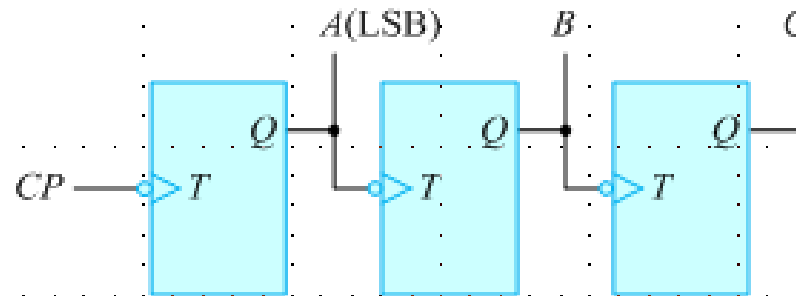
㉢ 동기식에 비하여 속도가 빠르다.

㉣ 전단의 출력이 다음 단의 trigger 입력이 된다.



32. 다음은 리플 카운터(ripple counter)이다. 초기 상태 $A=0, B=0, C=0$ 이었
다면 클럭 펄스가 12개 인가된 후의 상태는?

- ㉠ $A=0, B=0, C=1$
- ㉡ $A=0, B=1, C=1$
- ㉢ $A=1, B=1, C=0$
- ㉣ $A=1, B=0, C=0$

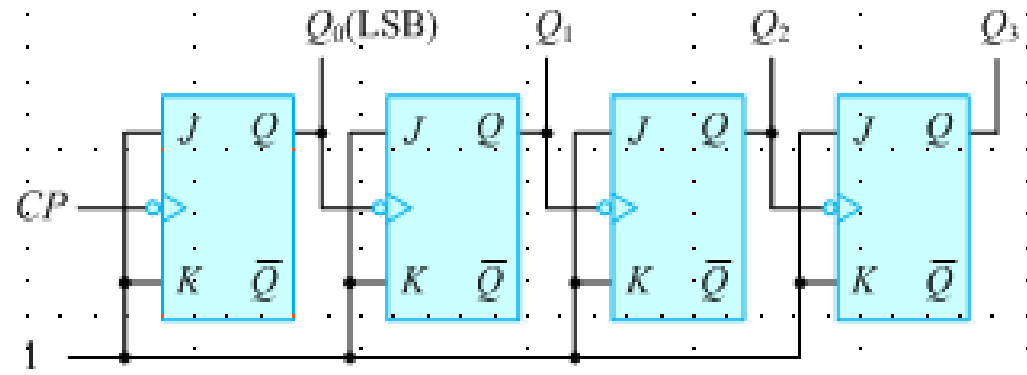


따라서 $CBA = 100$ 이다.

0 $\xrightarrow{1}$ 1 $\xrightarrow{2}$ 2 $\xrightarrow{3}$ 3 $\xrightarrow{4}$ 4 $\xrightarrow{5}$ 5 $\xrightarrow{6}$ 6 $\xrightarrow{7}$ 7 $\xrightarrow{8}$ 0 $\xrightarrow{9}$ 1 $\xrightarrow{10}$ 2 $\xrightarrow{11}$ 3 $\xrightarrow{12}$ 4

37. 다음 카운터의 명칭은?

- ㉠ 비동기식 15진 업카운터
- ㉡ 비동기식 16진 업카운터
- ㉢ 동기식 15진 업카운터
- ㉣ 동기식 16진 업카운터





38. BCD 카운터가 0111 상태에 있다. 카운터가 리셋 된 후 몇 개의 펄스가 공급되었는가?

- ㉠ 3개 ㉡ 6개 ㉢ 7개 ㉣ 12개

41. 4단 하향 카운터에서 10번째 클럭펄스가 인가되면 각 단이 나타내는 2진수를 10진수로 변환하면? 단, 카운터의 초기상태는 0000이라고 가정한다.

- ㉠ 6 ㉡ 7 ㉢ 8 ㉣ 9

$0 \xrightarrow{1} 15 \xrightarrow{2} 14 \xrightarrow{3} 13 \xrightarrow{4} 12 \xrightarrow{5} 11 \xrightarrow{6} 10 \xrightarrow{7} 9 \xrightarrow{8} 8 \xrightarrow{9} 7 \xrightarrow{10} 6$



- 플립플롭에서의 전파지연 t_{PD} 인 경우 n 개의 플립플롭을 종속 연결한 비동기식 카운터의 전체 전파지연은 $n \times t_{PD}$ 가 된다.
- 이러한 지연 때문에 입력 클록펄스를 모든 플립플롭에 공통으로 인가하는 동기식 카운터를 사용

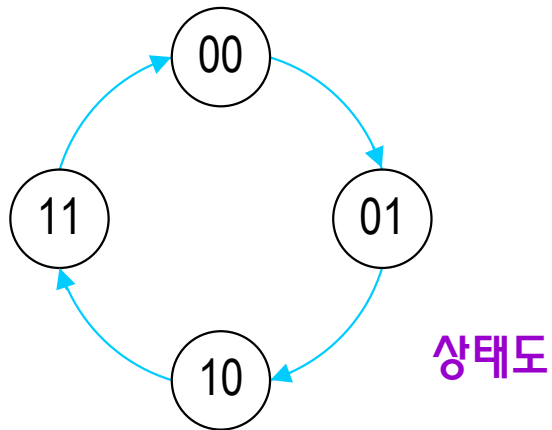
□ 동기식 카운터 설계 방법

- ① 클록 신호에 대한 각 플립플롭의 상태 변화(클록 이전 상태와 이후 상태)를 표(상태 여기표)로 작성한다.
- ② 이러한 변화를 일으킬 수 있도록 플립플롭의 제어신호(J, K)를 결정한다. 여기서 플립플롭의 여기표(excitation table)가 필요하다.
- ③ 플립플롭의 제어신호는 카르노 맵을 이용하여 간소화한다.
- ④ 카운터 회로를 그린다.

02 동기식 카운터



2비트 동기식 카운터



현재상태		차기상태		플립플롭 입력			
Q_B	Q_A	Q_B	Q_A	J_B	K_B	J_A	K_A
0	0	0	1				
0	1	1	0				
1	0	1	1				
1	1	0	0				

상태여기표



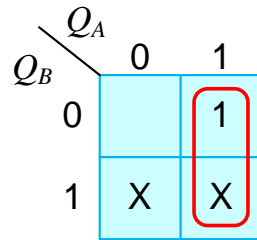
JK 플립플롭의 여기표

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

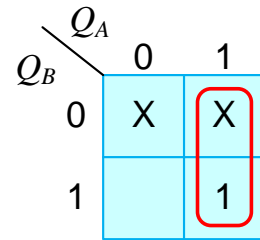
02 동기식 카운터



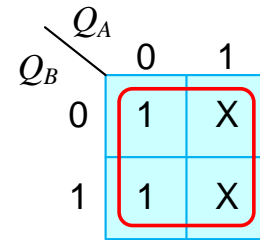
현재 상태		차기 상태		플립플롭 입력			
Q_B	Q_A	Q_B	Q_A	J_B	K_B	J_A	K_A
0	0	0	1	0	x	1	x
0	1	1	0	1	x	x	1
1	0	1	1	x	0	1	x
1	1	0	0	x	1	x	1



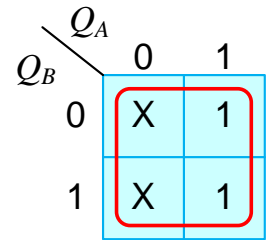
$$J_B = Q_A$$



$$K_B = Q_A$$

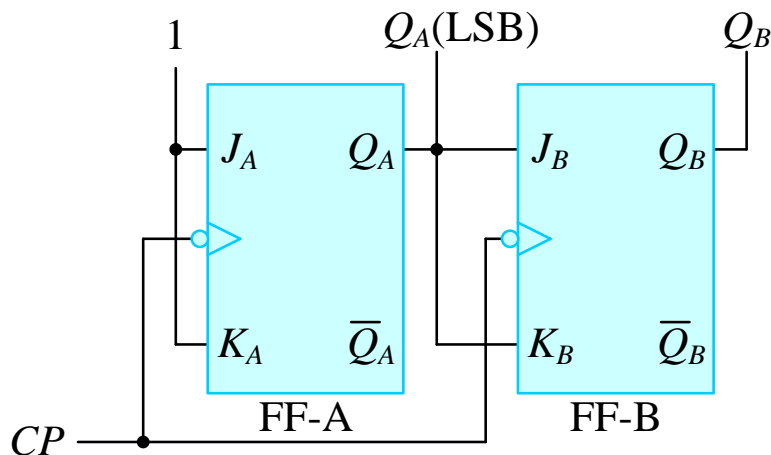


$$J_A = 1$$

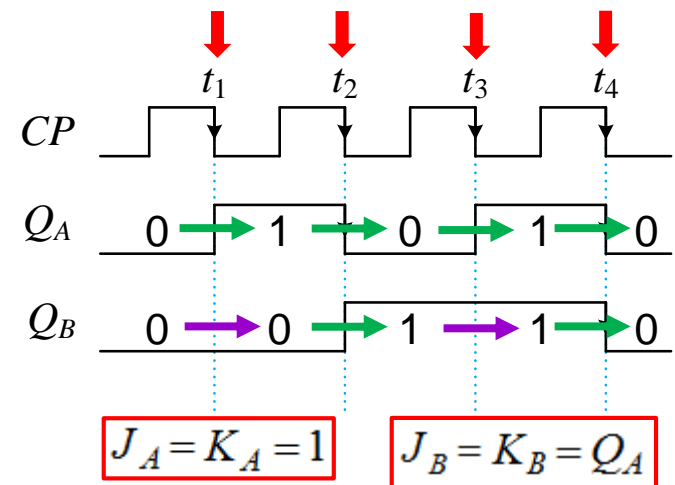


$$K_A = 1$$

<카르노 맵>



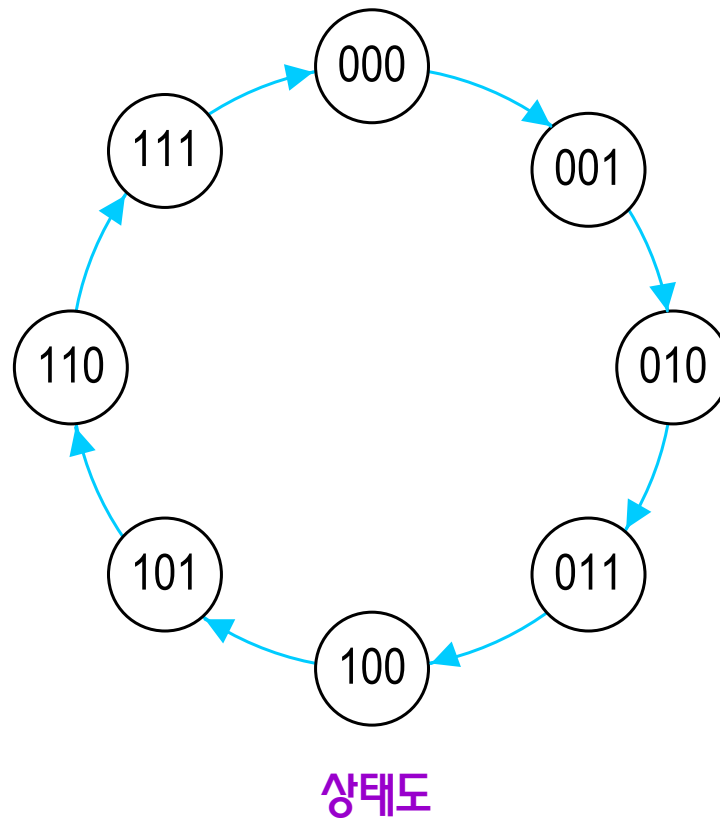
회로도



타이밍도



3비트 동기식 카운터



02 동기식 카운터



현재상태			차기상태			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	0	0	x	1	x	x	1
0	1	0	0	1	1	0	x	x	0	1	x
0	1	1	1	0	0	1	x	x	1	x	1
1	0	0	1	0	1	x	0	0	x	1	x
1	0	1	1	1	0	x	0	1	x	x	1
1	1	0	1	1	1	x	0	x	0	1	x
1	1	1	0	0	0	x	1	x	1	x	1

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

$$J_C = Q_B Q_A$$

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

$$K_C = Q_B Q_A$$

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

$$J_B = Q_A$$

02 동기식 카운터



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

$$K_B = Q_A$$

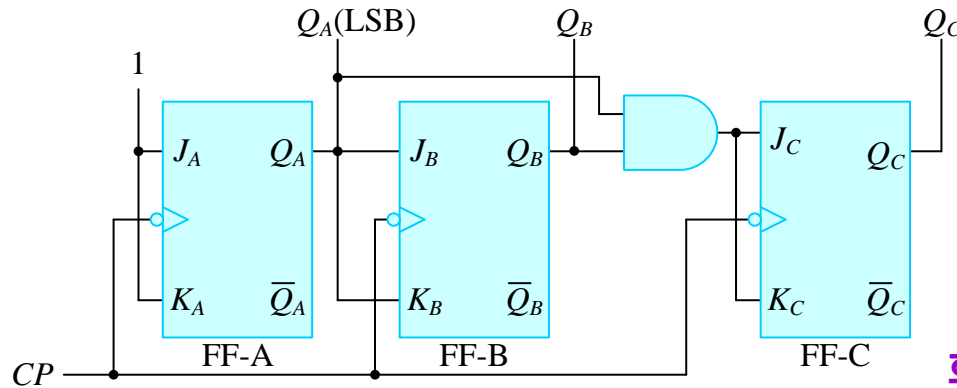
Q_C	$Q_B Q_A$			
	00	01	11	10
0	1	X	X	1
1	1	X	X	1

$$J_A = 1$$

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

$$K_A = 1$$

카르노 맵



회로도

CP	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Q_A	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Q_B	0	0	1	1	0	0	1	1	0
Q_C	0	0	0	0	1	1	1	1	0
상태	0	1	2	3	4	5	6	7	0

타이밍도

$$J_A = 1$$

$$K_A = 1$$

$$J_B = Q_A$$

$$K_B = Q_A$$

$$J_C = Q_B Q_A$$

$$K_C = Q_B Q_A$$

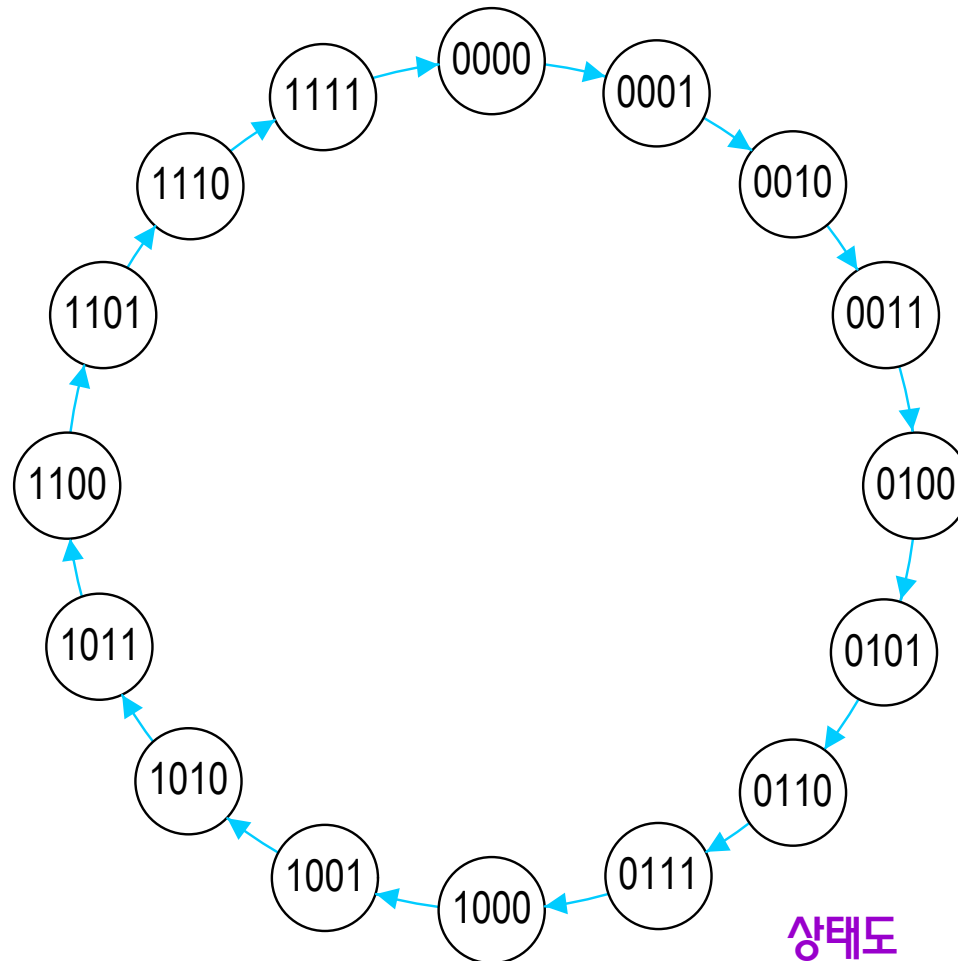
$$J_D = K_D =$$

$$J_E = K_E =$$

02 동기식 카운터



4비트 동기식 카운터



02 동기식 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	×	0	×	0	×	1	×
0	0	0	1	0	0	1	0	0	×	0	×	1	×	×	1
0	0	1	0	0	0	1	1	0	×	0	×	×	0	1	×
0	0	1	1	0	1	0	0	0	×	1	×	×	1	×	1
0	1	0	0	0	1	0	1	0	×	×	0	0	×	1	×
0	1	0	1	0	1	1	0	0	×	×	0	1	×	×	1
0	1	1	0	0	1	1	1	0	×	×	0	×	0	1	×
0	1	1	1	1	0	0	0	1	×	×	1	×	1	×	1
1	0	0	0	1	0	0	1	×	0	0	×	0	×	1	×
1	0	0	1	1	0	1	0	×	0	0	×	1	×	×	1
1	0	1	0	1	0	1	1	×	0	0	×	×	0	1	×
1	0	1	1	1	1	0	0	×	0	1	×	×	1	×	1
1	1	0	0	1	1	0	1	×	0	×	0	0	×	1	×
1	1	0	1	1	1	1	0	×	0	×	0	1	×	×	1
1	1	1	0	1	1	1	1	×	0	×	0	×	0	1	×
1	1	1	1	0	0	0	0	×	1	×	1	×	1	×	1

Tip

JK 플립플롭의 여기표

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

상태여기표

02 동기식 카운터



$Q_D Q_C \backslash Q_B Q_A$		00	01	11	10
00					
01				1	
11		X	X	X	X
10		X	X	X	X

$$J_D = Q_C Q_B Q_A$$

$Q_D Q_C \backslash Q_B Q_A$		00	01	11	10
00		X	X	X	X
01		X	X	X	X
11				1	
10					

$$K_D = Q_C Q_B Q_A$$

$Q_D Q_C \backslash Q_B Q_A$		00	01	11	10
00				1	
01		X	X	X	X
11		X	X	X	X
10				1	

$$J_C = Q_B Q_A$$

$Q_D Q_C \backslash Q_B Q_A$		00	01	11	10
00		X	X	X	X
01				1	
11				1	
10		X	X	X	X

$$K_C = Q_B Q_A$$

카르노 맵

02 동기식 카운터



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

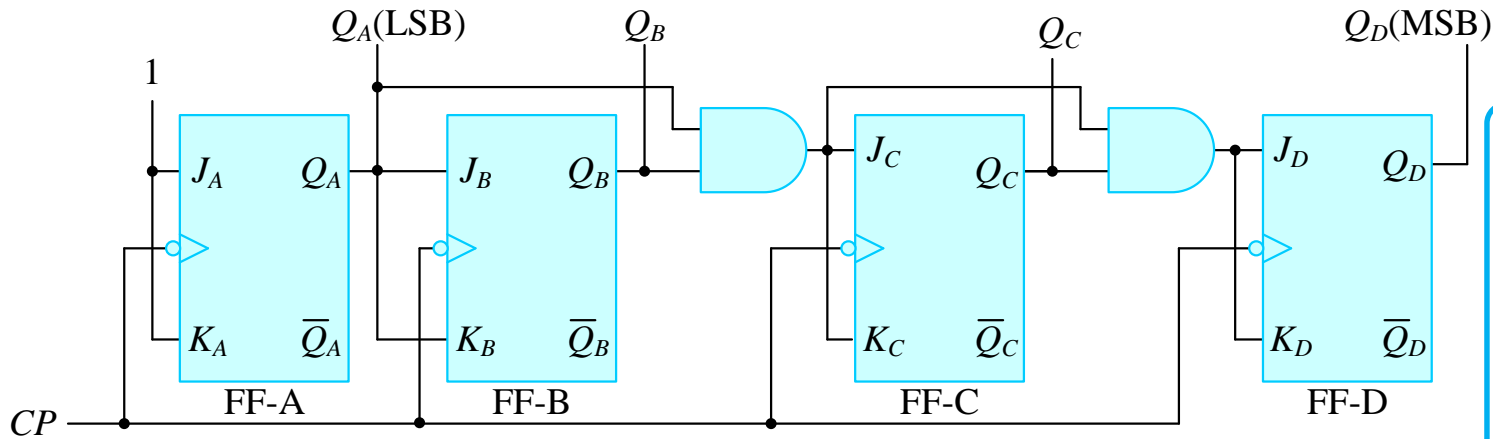
$$J_A = 1$$

		$Q_B Q_A$			
		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

$$K_A = 1$$

카르노 맵

02 동기식 카운터



회로도

$$\begin{aligned}
 J_A &= 1 \\
 K_A &= 1 \\
 K_B &= Q_A \\
 J_B &= Q_A \\
 J_C &= Q_B Q_A \\
 K_C &= Q_B Q_A \\
 J_D &= Q_C Q_B Q_A \\
 K_D &= Q_C Q_B Q_A
 \end{aligned}$$

CP																
Q_A	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Q_B	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
Q_C	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
Q_D	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
상태	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

타이밍도



4비트 동기식 카운터의 계수표

클럭펄스	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
17	0	0	0	0	0



□ n -비트 동기식 카운터

- ❖ 상태표로부터 플립플롭의 입력함수를 추정할 수 있다.
- ❖ 하위의 모든 출력이 1일 때, 각 출력은 0은 1로, 1은 0으로 변화한다.
- ❖ 토글동작이 필요할 때, J 와 K 입력은 모두 1이 되어야 한다.
- ❖ 따라서 플립플롭의 입력 함수는 간단하게 하위비트의 논리적 AND이다.

$$J_A = K_A = 1$$

$$J_B = K_B = Q_A$$

$$J_C = K_C = Q_B Q_A$$

$$J_D = K_D = Q_C Q_B Q_A$$

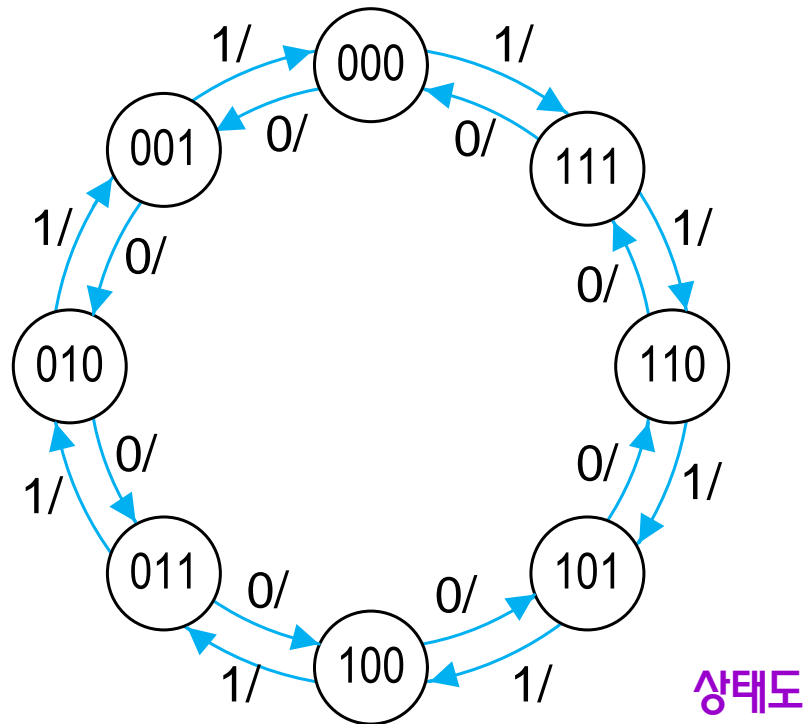
$$J_E = K_E = Q_D Q_C Q_B Q_A$$

$$J_F = K_F = Q_E Q_D Q_C Q_B Q_A$$



3비트 동기식 상향/하향 카운터

- 외부 입력 $x=0$: 상향 카운터
- 외부 입력 $x=1$: 하향 카운터



02 동기식 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	×	0	×	1	×
0 0 0	1	1 1 1	1	×	1	×	1	×
0 0 1	0	0 1 0	0	×	1	×	×	1
0 0 1	1	0 0 0	0	×	0	×	×	1
0 1 0	0	0 1 1	0	×	×	0	1	×
0 1 0	1	0 0 1	0	×	×	1	1	×
0 1 1	0	1 0 0	1	×	×	1	×	1
0 1 1	1	0 1 0	0	×	×	0	×	1
1 0 0	0	1 0 1	×	0	0	×	1	×
1 0 0	1	0 1 1	×	1	1	×	1	×
1 0 1	0	1 1 0	×	0	1	×	×	1
1 0 1	1	1 0 0	×	0	0	×	×	1
1 1 0	0	1 1 1	×	0	×	0	1	×
1 1 0	1	1 0 1	×	0	×	1	1	×
1 1 1	0	0 0 0	×	1	×	1	×	1
1 1 1	1	1 1 0	×	0	×	0	×	1

상태여기표



Tip

JK 플립플롭의 여기표

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

02 동기식 카운터



$Q_C Q_B \backslash Q_A x$	00	01	11	10
00		1		
01				1
11	X	X	X	X
10	X	X	X	X

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

$Q_C Q_B \backslash Q_A x$	00	01	11	10
00	X	X	X	X
01	X	X	X	X
11				1
10		1		

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

$Q_C Q_B \backslash Q_A x$	00	01	11	10
00		1		1
01	X	X	X	X
11	X	X	X	X
10		1		1

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

$Q_C Q_B \backslash Q_A x$	00	01	11	10
00	X	X	X	X
01		1		1
11		1		1
10	X	X	X	X

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

$Q_C Q_B \backslash Q_A x$	00	01	11	10
00	1	1	X	X
01	1	1	X	X
11	1	1	X	X
10	1	1	X	X

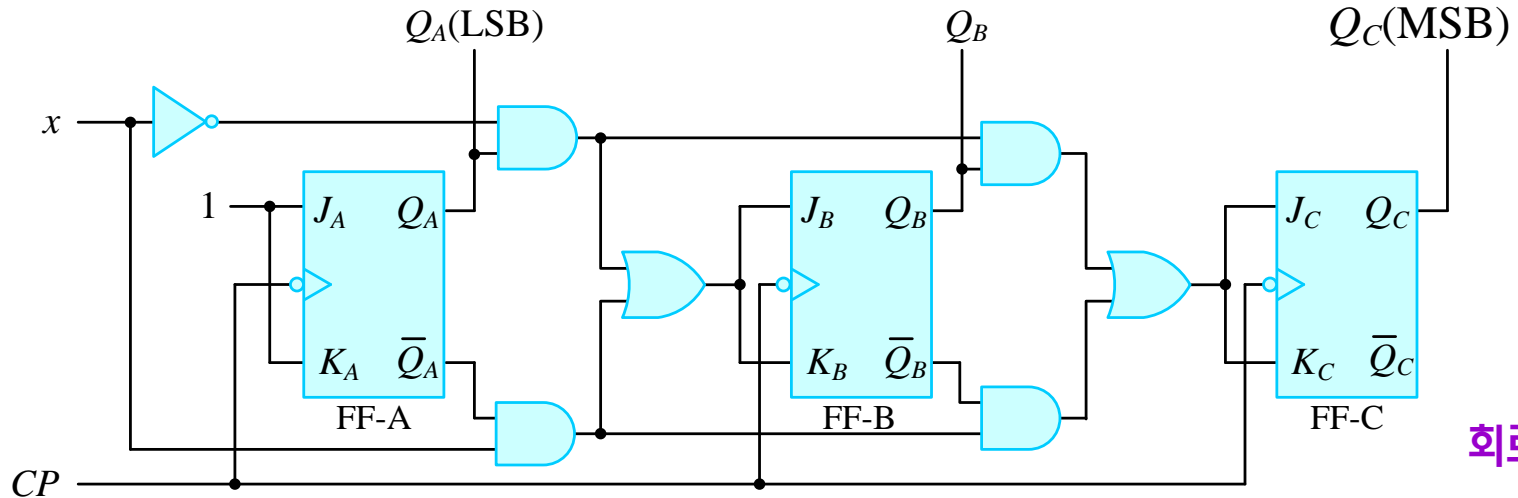
$$J_A = 1$$

$Q_C Q_B \backslash Q_A x$	00	01	11	10
00	X	X	1	1
01	X	X	1	1
11	X	X	1	1
10	X	X	1	1

$$K_A = 1$$

카르노 맵

02 동기식 카운터



회로도

$$J_A = 1$$

$$K_A = 1$$

$$J_B = \overline{Q_A}x + \overline{Q_A}x$$

$$K_B = \overline{Q_A}x + \overline{Q_A}x$$

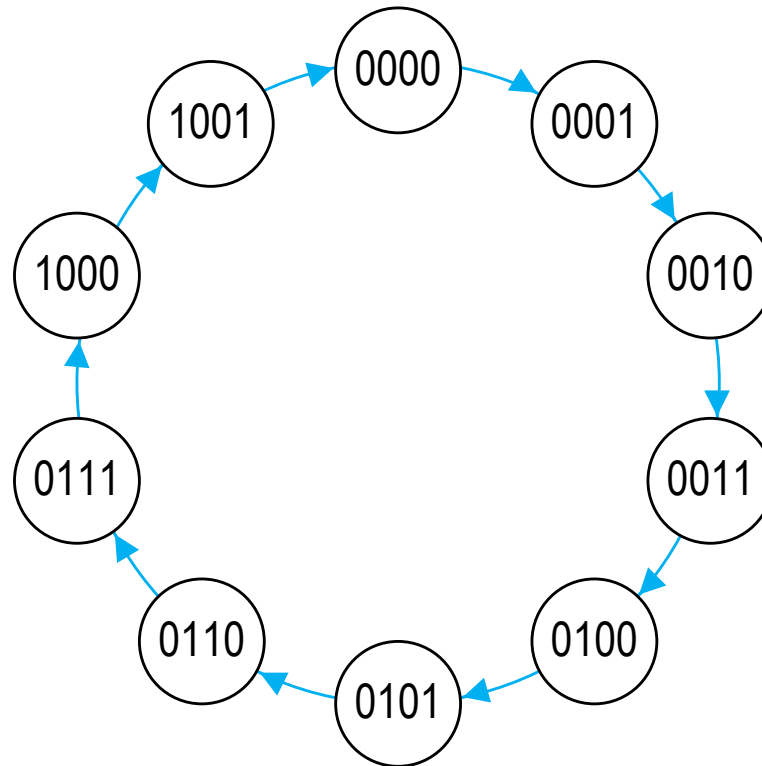
$$J_C = \overline{Q_B}Q_Ax + \overline{Q_B}Q_Ax$$

$$K_C = \overline{Q_B}Q_Ax + \overline{Q_B}Q_Ax$$

02 동기식 카운터



동기식 BCD 카운터



상태도

02 동기식 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	×	0	×	0	×	1	×
0	0	0	1	0	0	1	0	0	×	0	×	1	×	×	1
0	0	1	0	0	0	1	1	0	×	0	×	×	0	1	×
0	0	1	1	0	1	0	0	0	×	1	×	×	1	×	1
0	1	0	0	0	1	0	1	0	×	×	0	0	×	1	×
0	1	0	1	0	1	1	0	0	×	×	0	1	×	×	1
0	1	1	0	0	1	1	1	0	×	×	0	×	0	1	×
0	1	1	1	1	0	0	0	1	×	×	1	×	1	×	1
1	0	0	0	1	0	0	1	×	0	×	×	0	×	1	×
1	0	0	1	0	0	0	0	×	1	0	×	0	×	×	1

상태여기표



JK 플립플롭의 여기표

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

02 동기식 카운터



$Q_D Q_C \backslash Q_B Q_A$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
$Q_D Q_C$	00				
	01			1	
	11	X	X	X	X
	10	X	X	X	X

$$J_D = Q_C Q_B Q_A$$

$Q_D Q_C \backslash Q_B Q_A$		$Q_B Q_A$			
		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

$$K_D = Q_A$$

$Q_D Q_C \backslash Q_B Q_A$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
$Q_D Q_C$	00			1	
	01	X	X	X	X
	11	X	X	X	X
	10	X		X	X

$$J_C = Q_B Q_A$$

$Q_D Q_C \backslash Q_B Q_A$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
$Q_D Q_C$	00	X	X	X	X
	01			1	
	11	X	X	X	X
	10	X	X	X	X

$$K_C = Q_B Q_A$$

$Q_D Q_C \backslash Q_B Q_A$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
$Q_D Q_C$	00		1	X	X
	01		1	X	X
	11	X	X	X	X
	10			X	X

$$J_B = \overline{Q_D} Q_A$$

$Q_D Q_C \backslash Q_B Q_A$		$Q_B Q_A$			
		00	01	11	10
$Q_D Q_C$	00	X	X	1	
	01	X	X	1	
	11	X	X	X	X
	10	X	X	X	X

$$K_B = \overline{Q_D} Q_A$$

카르노 맵

02 동기식 카운터



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

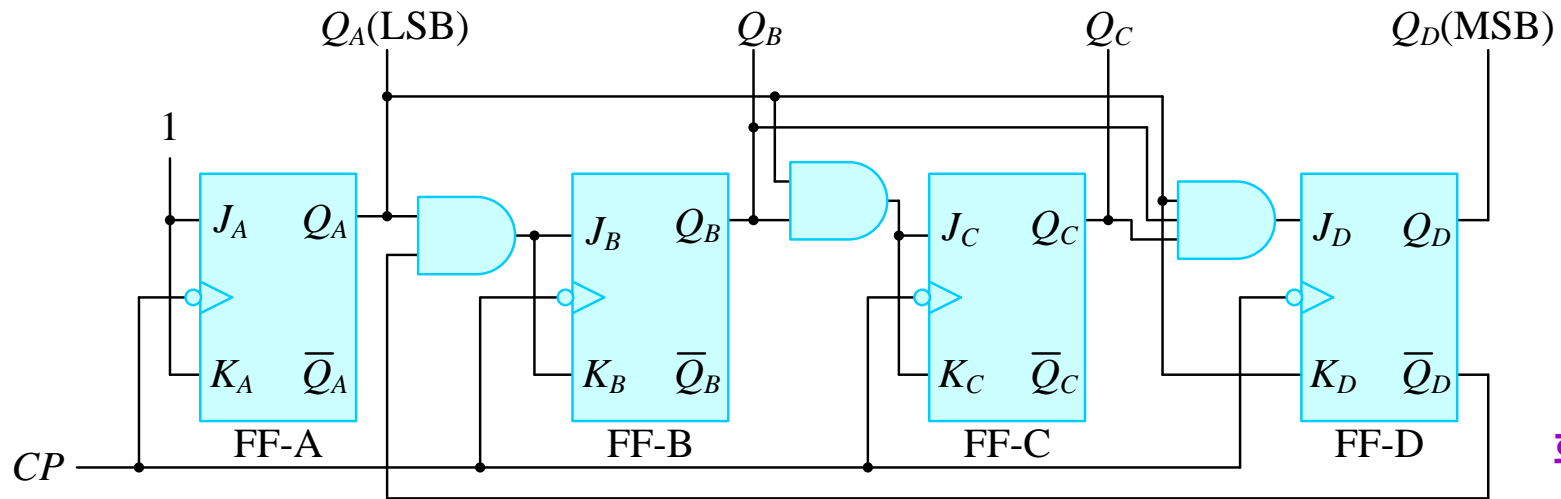
$$J_A = 1$$

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

$$K_A = 1$$

카르노 맵

02 동기식 카운터



회로도

$$J_A = 1$$

$$K_A = 1$$

$$J_B = \overline{Q_D} Q_A$$

$$K_B = \overline{Q_D} Q_A$$

$$J_C = Q_B Q_A$$

$$K_C = Q_B Q_A$$

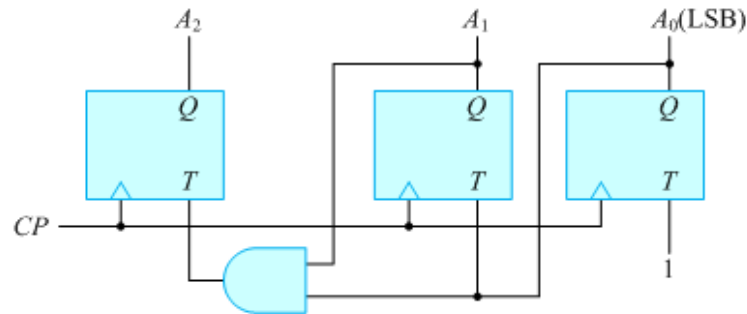
$$J_D = Q_C Q_B Q_A$$

$$K_D = Q_A$$



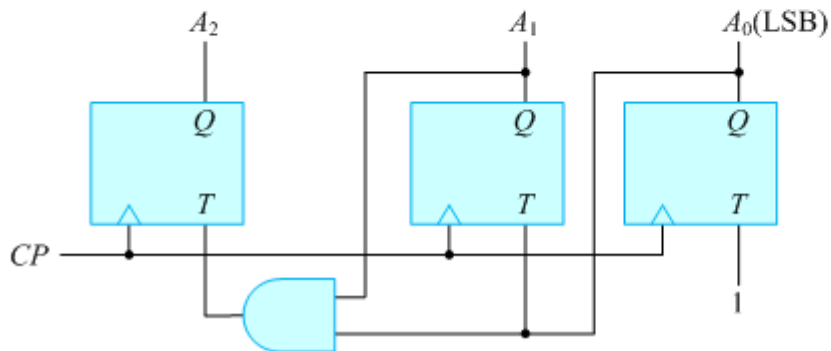
48. 다음 그림의 카운터는 어떠한 카운터인가?

- ㉠ 동기식 6진 카운터
- ㉡ 동기식 8진 카운터
- ㉢ 비동기식 5진 카운터
- ㉣ 비동기식 7진 카운터



49. 아래의 회로가 $A_2A_1A_0=011$ 의 상태에 있다고 가정하자. 이 때 두 개의 CP(count pulse)를 입력시키면 각 펄스에 의해 상태가 어떻게 변화하겠는가?

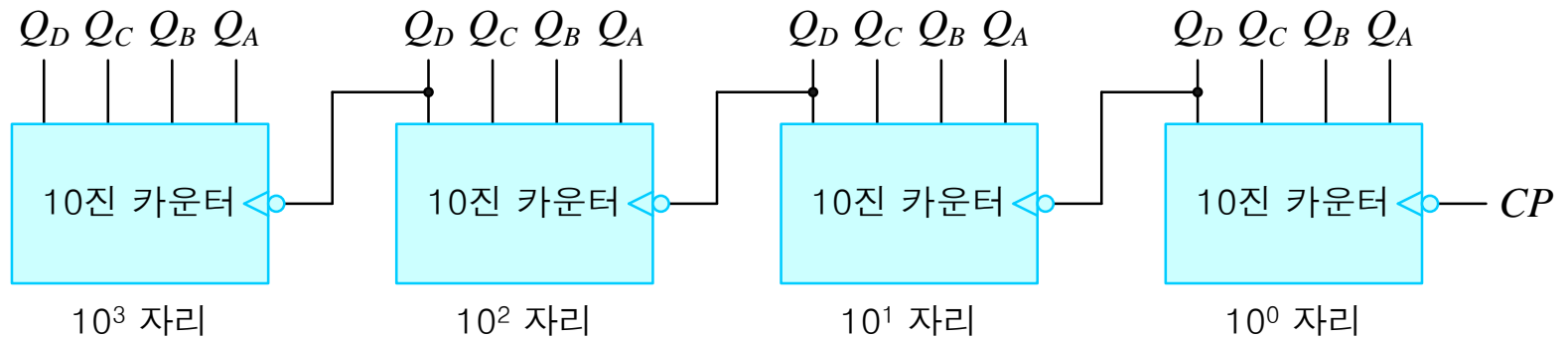
- | | |
|---------------|---------------|
| ㉠ 011→010→001 | ㉡ 011→101→111 |
| ㉢ 011→100→101 | ㉣ 011→001→111 |





□ 4자리 10진 카운터의 블록도

- 4자리 10진수인 0000~9999까지 카운트할 수 있는 카운터

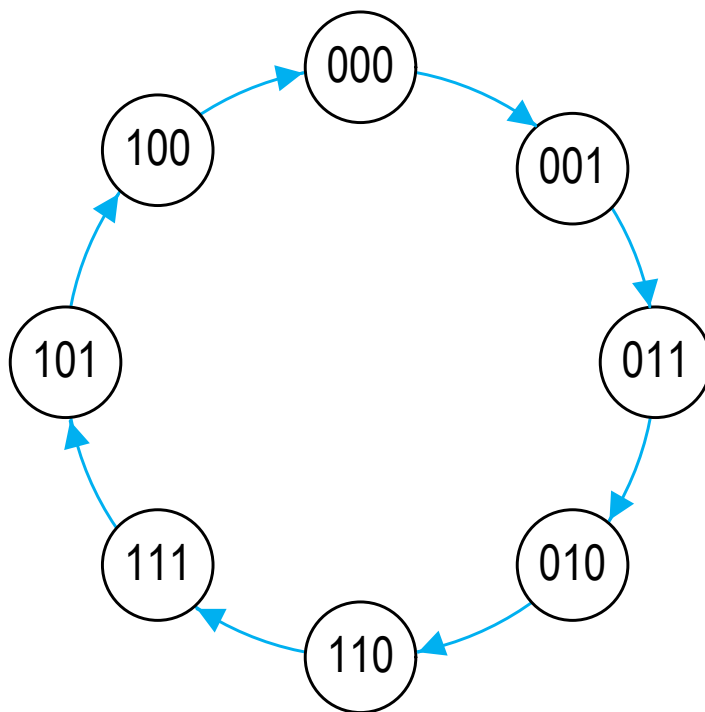


02 동기식 카운터



불규칙한 순서를 갖는 카운터

□ 3비트 그레이 코드 카운터



상태도

02 동기식 카운터



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	×	0	×	1	×
0	0	1	0	1	1	0	×	1	×	×	0
0	1	0	1	1	0	1	×	×	0	0	×
0	1	1	0	1	0	0	×	×	0	×	1
1	0	0	0	0	0	×	1	0	×	0	×
1	0	1	1	0	0	×	0	0	×	×	1
1	1	0	1	1	1	×	0	×	0	1	×
1	1	1	1	0	1	×	0	×	1	×	0

상태여기표



Tip

JK 플립플롭의 여기표

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

02 동기식 카운터



$Q_C \backslash Q_B Q_A$	00	01	11	10
0				1
1	X	X	X	X

$$J_C = Q_B \overline{Q_A}$$

$Q_C \backslash Q_B Q_A$	00	01	11	10
0	X	X	X	X
1	1			

$$K_C = \overline{Q_B} \overline{Q_A}$$

$Q_C \backslash Q_B Q_A$	00	01	11	10
0		1	X	X
1			X	X

$$K_C = \overline{Q_B} \overline{Q_A}$$

$Q_C \backslash Q_B Q_A$	00	01	11	10
0	X	X		
1	X	X	1	

$$K_B = Q_C Q_A$$

$Q_C \backslash Q_B Q_A$	00	01	11	10
0	1	X	X	
1		X	X	1

$$J_A = \overline{Q_C} \overline{Q_B} + Q_C Q_B$$

$$= Q_C \oplus Q_B$$

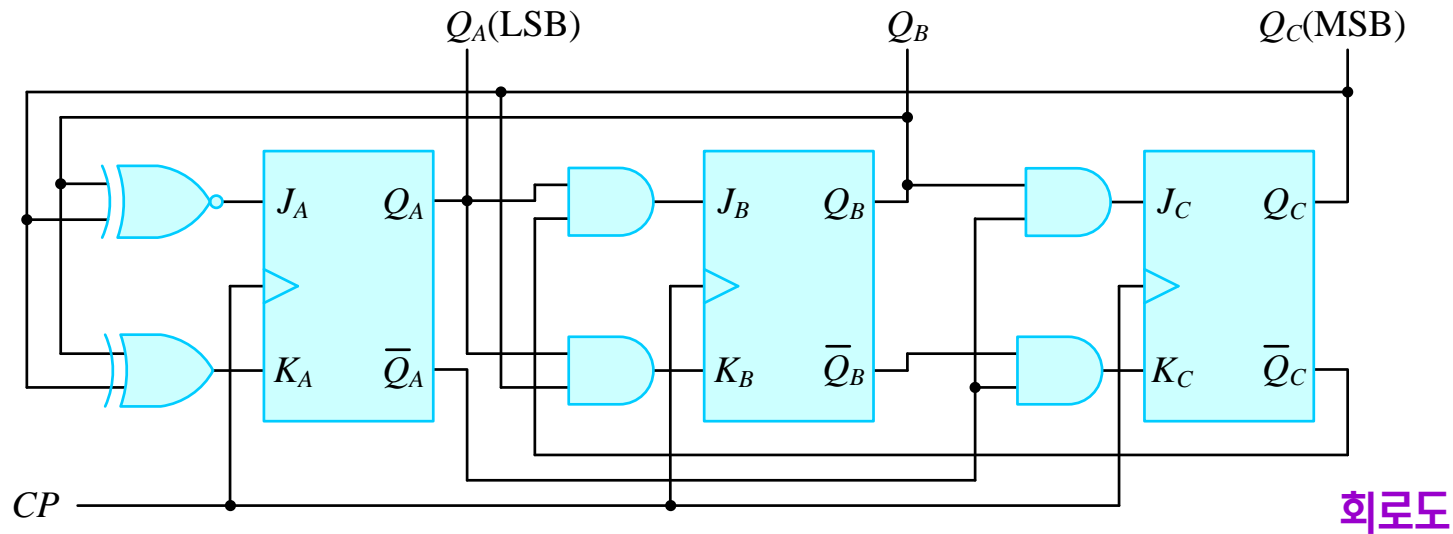
$Q_C \backslash Q_B Q_A$	00	01	11	10
0	X		1	X
1	X	1		X

$$K_A = Q_C \overline{Q_B} + \overline{Q_C} Q_B$$

$$= Q_C \oplus Q_B$$

카르노 맵

02 동기식 카운터



$$J_A = Q_C \oplus Q_B$$

$$K_A = Q_C \oplus Q_B$$

$$J_B = \overline{Q_C} Q_A$$

$$K_B = Q_C Q_A$$

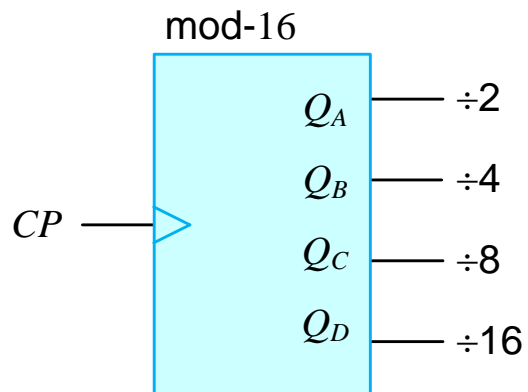
$$J_C = Q_B \overline{Q_A}$$

$$K_C = \overline{Q_B} \overline{Q_A}$$

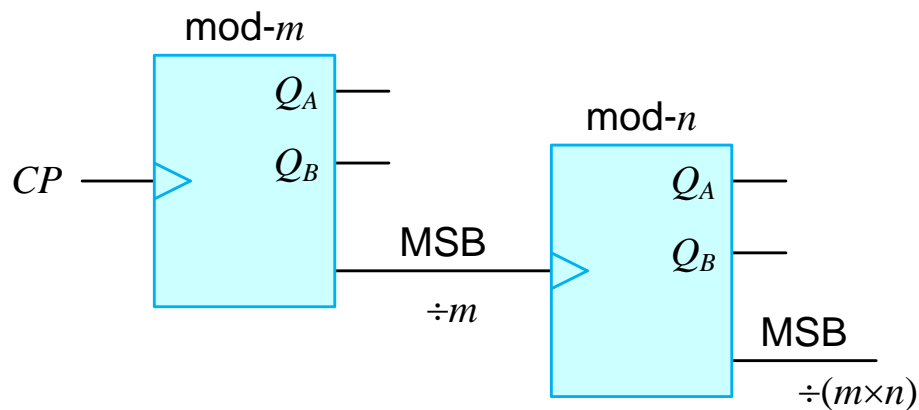
02 동기식 카운터



주파수 분할



16진 카운터 블록도

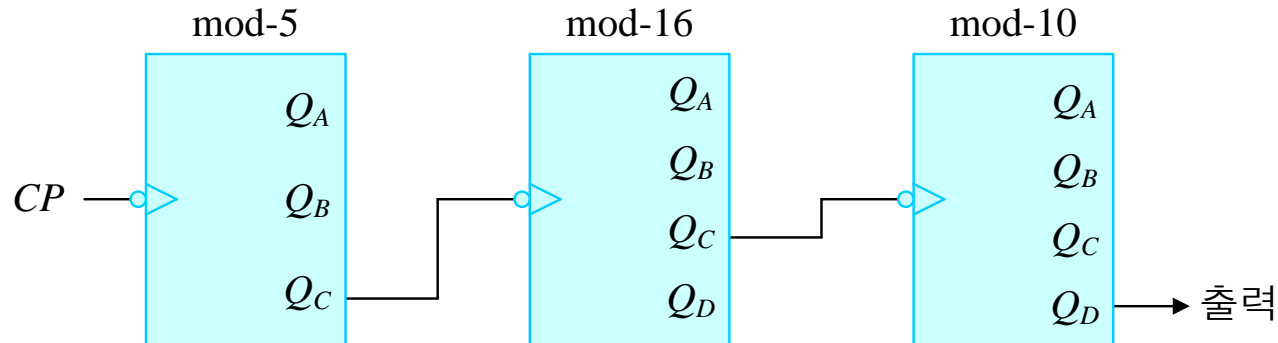


$(m \times n)$ 분주회로 개념도

02 동기식 카운터



예제 10-1 다음 그림에서 입력 클럭(CP) 주파수가 1MHz일 때 출력 주파수를 구하여라.



풀이

첫 번째 단은 5진 카운터, 두 번째 단은 8진 카운터, 세 번째 단은 10진 카운터이므로 입력 주파수가 1MHz이면 출력 주파수는 2.5KHz이다.

$$\frac{10^6}{5 \times 8 \times 10} = 2.5 \times 10^3 \text{ Hz} = 2.5 \text{ KHz}$$

End of Example



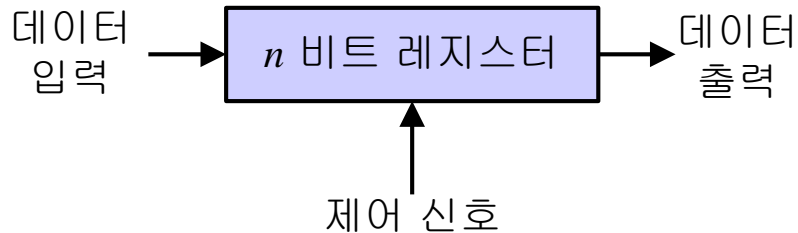
레지스터의 분류

- ❖ **레지스터(register)** : 플립플롭 여러 개를 일렬로 배열하여 적당히 연결함으로써 **여러 비트로 구성된 2진수를 저장**할 수 있게 한 것.
- ❖ 레지스터는 외부로부터 들어오는 **데이터를 저장하거나 이동**하는 목적으로 사용하며, 상태의 순서적인 특성을 갖는 것이 아니다.
- ❖ 레지스터는 다양한 종류의 카운터를 구성하는 데 사용될 뿐만 아니라 여러 비트를 일시적으로 저장하거나 저장된 비트를 **좌측으로 또는 우측으로 하나씩 시프트(shift)**할 때도 사용된다.
- ❖ 레지스터는 **CPU 내부에서 연산의 중간 결과를 임시 저장**하는 경우나 어떤 2진수의 보수를 구한다든지, 곱셈 또는 나눗셈을 하는 경우에도 사용.

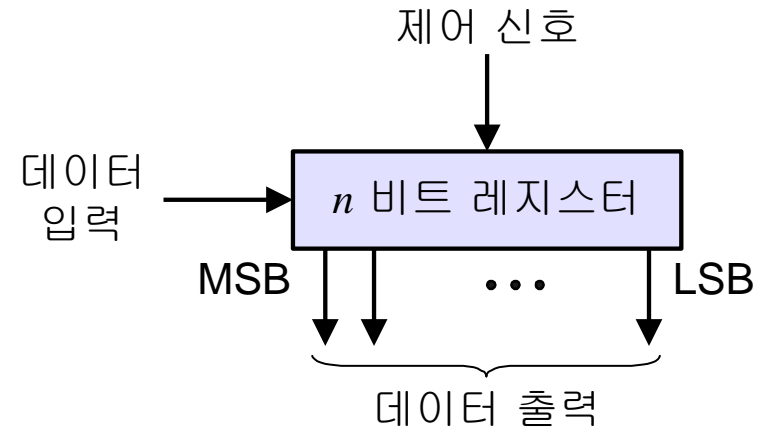
01 레지스터의 분류



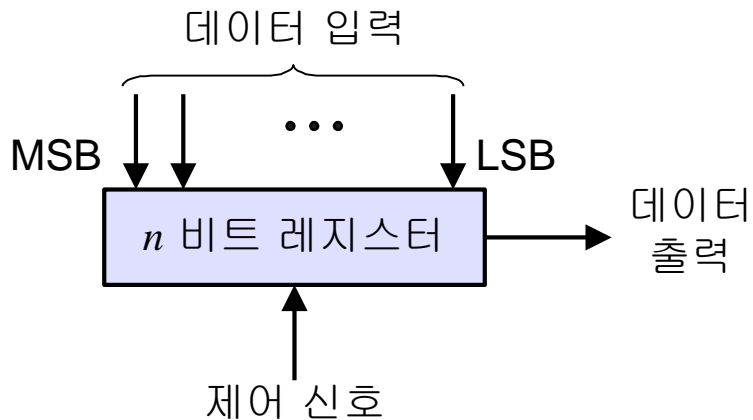
• 레지스터의 종류



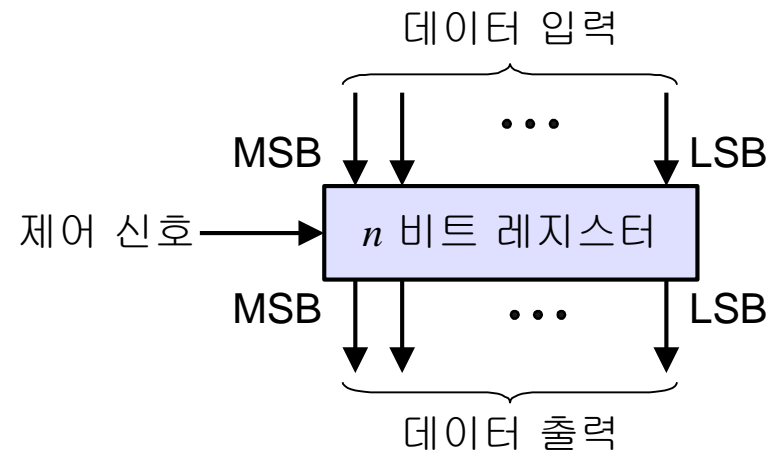
직렬입력-직렬출력



직렬입력-병렬출력



병렬입력-직렬출력

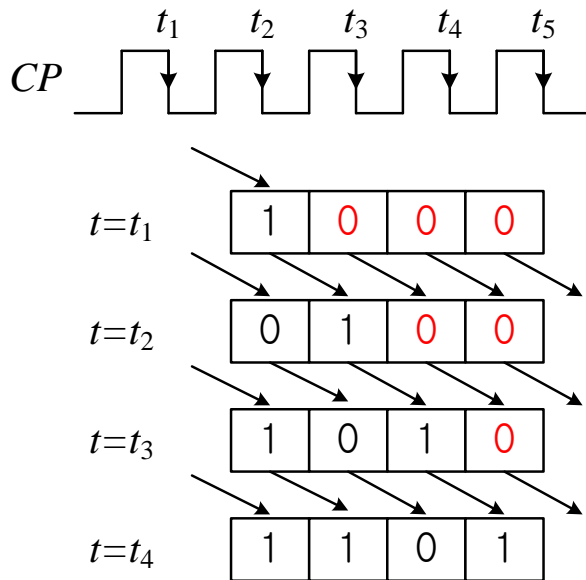
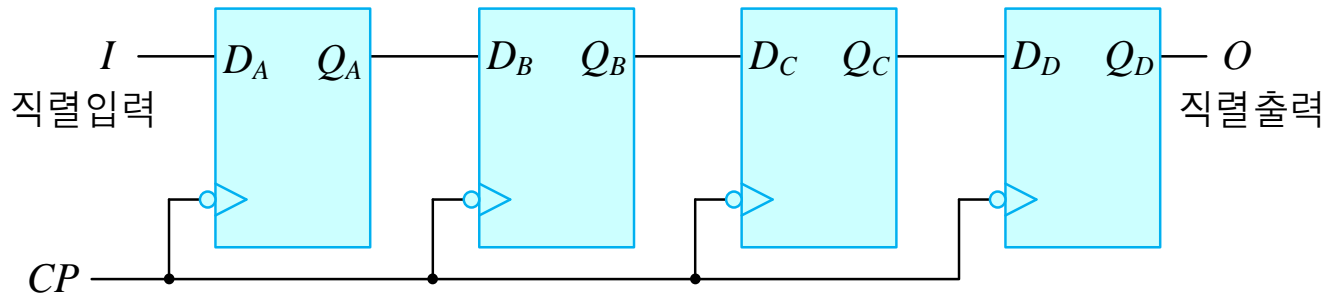


병렬입력-병렬출력

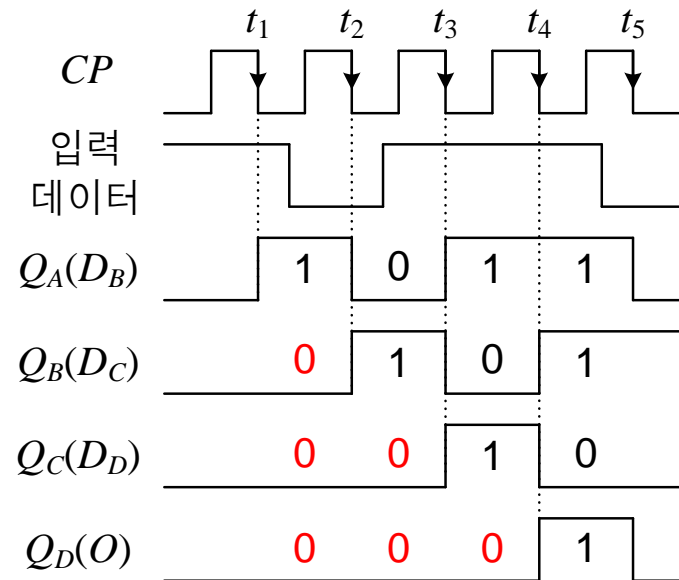
03 레지스터



직렬입력-직렬출력 레지스터



데이터 비트의 시프트

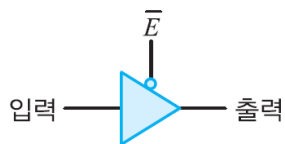
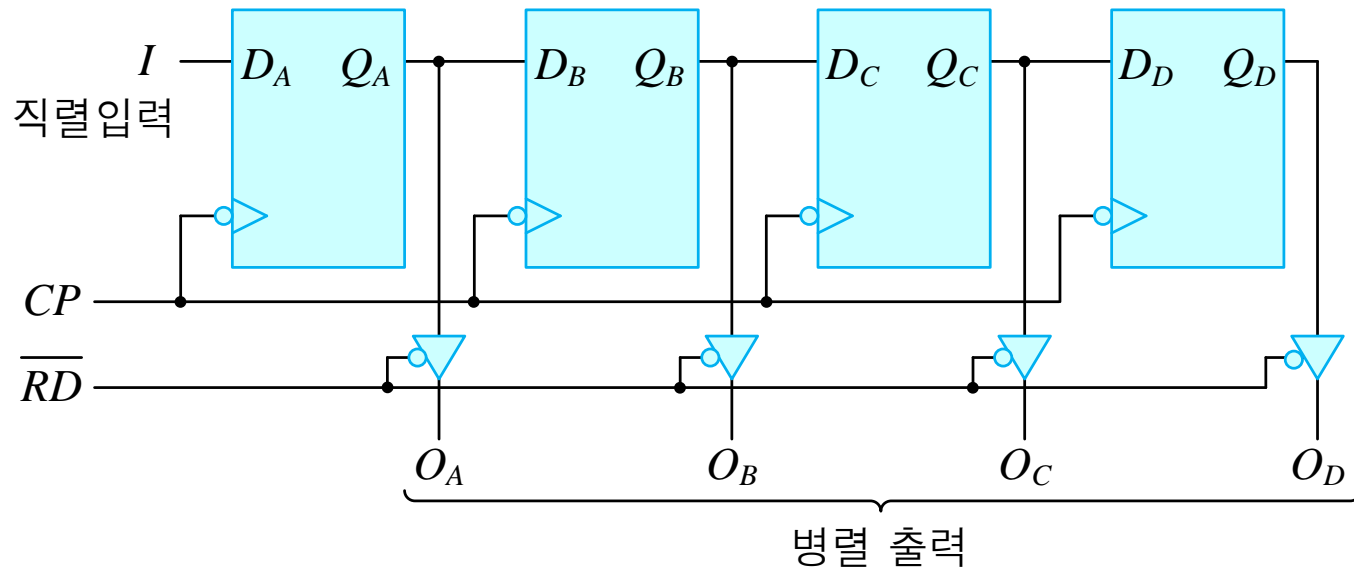


타이밍도



직렬입력-병렬출력 레지스터

- 레지스터에 저장되어 있는 데이터의 출력은 새로운 4비트 데이터가 레지스터에 차게 되는 4번째 클록펄스, 8번째 클록펄스, 12번째 클록펄스 등에서 출력 버퍼를 인에이블($\overline{RD} = 0$)하여 동시에 읽어내면 된다.



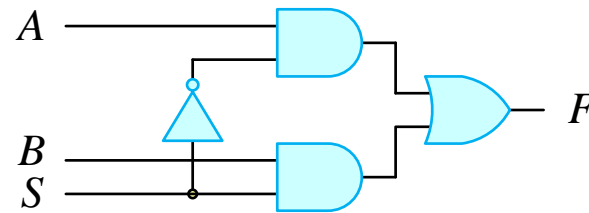
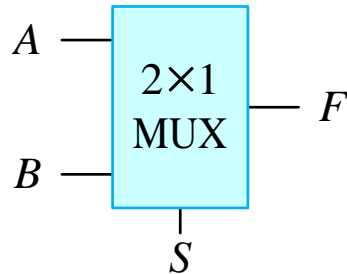
\overline{E}	입력	출력
0	0	0
0	1	1
1	0	High-Z
1	1	High-Z



병렬입력-직렬출력 레지스터

□ MUX의 동작

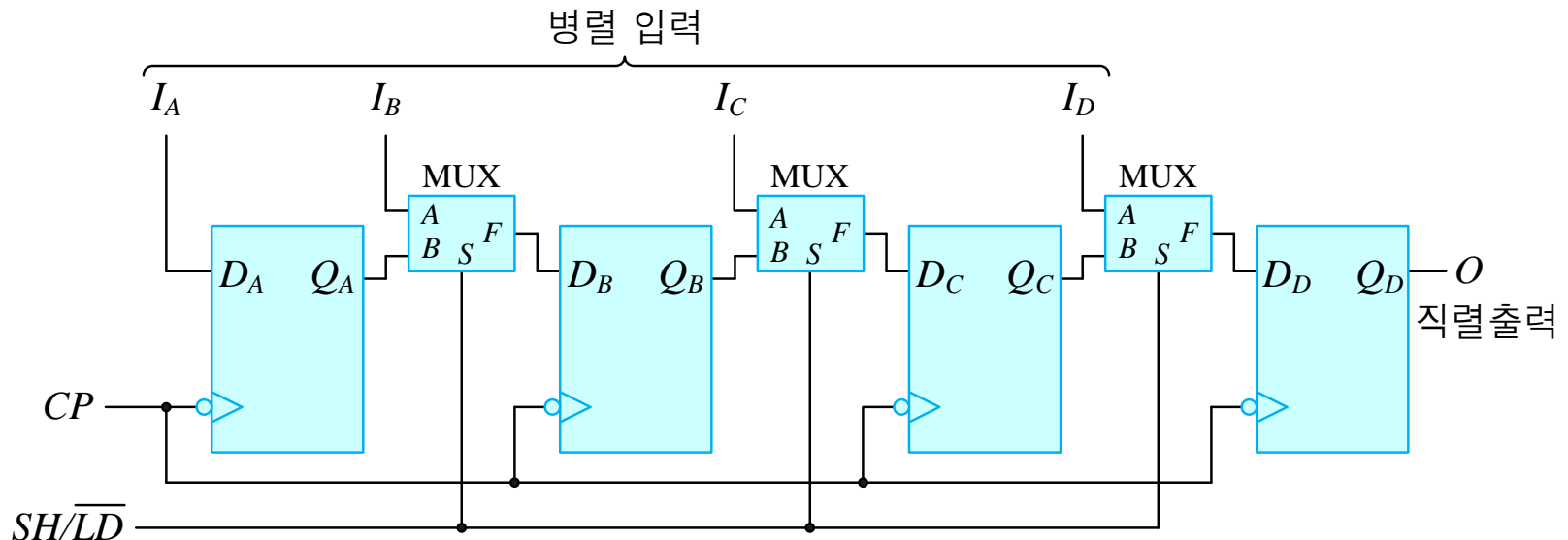
- $S=0$: 입력 A 와 출력 F 가 연결
- $S=1$: 입력 B 와 출력 F 가 연결





□ 레지스터 동작

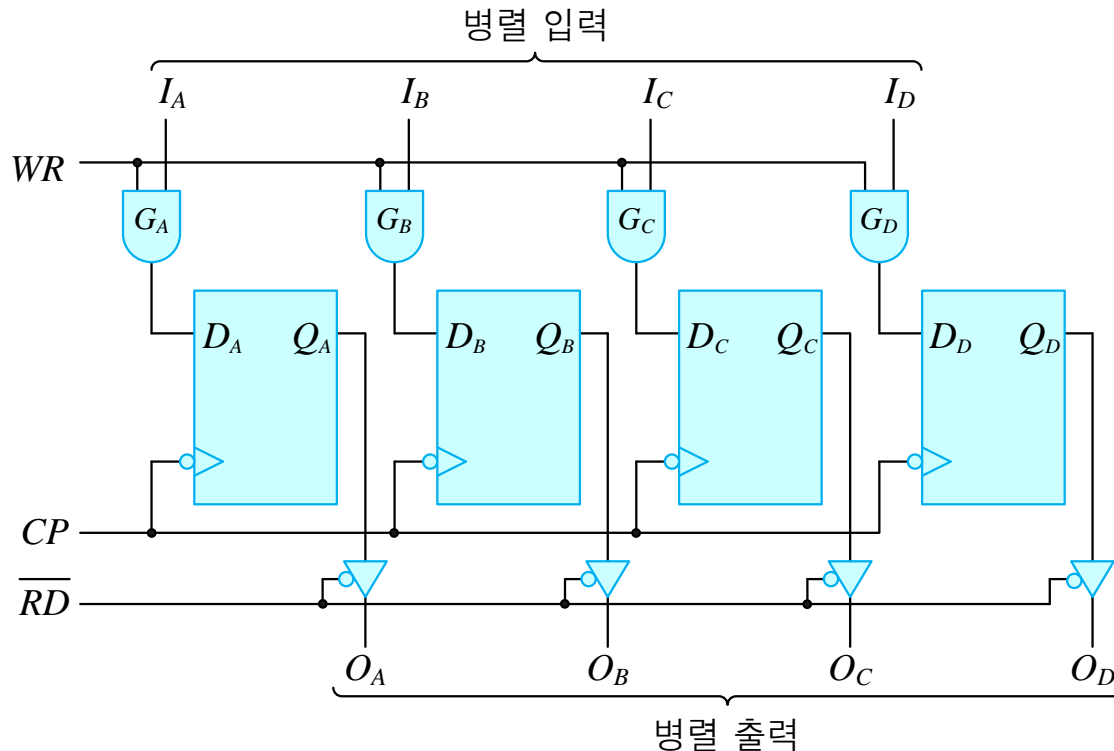
- $SH/\overline{LD}=0$: 입력 데이터(I_A, I_B, I_C, I_D)가 각 플립플롭의 입력에 각각 연결되므로 클록펄스의 하강에지에서 입력 데이터의 각 비트가 동시에 샘플되어 대응하는 플립플롭의 출력 Q 에 저장
- $SH/\overline{LD}=1$: 클록펄스의 하강에지마다 레지스터 내용이 오른쪽으로 시프트





병렬입력-병렬출력 레지스터

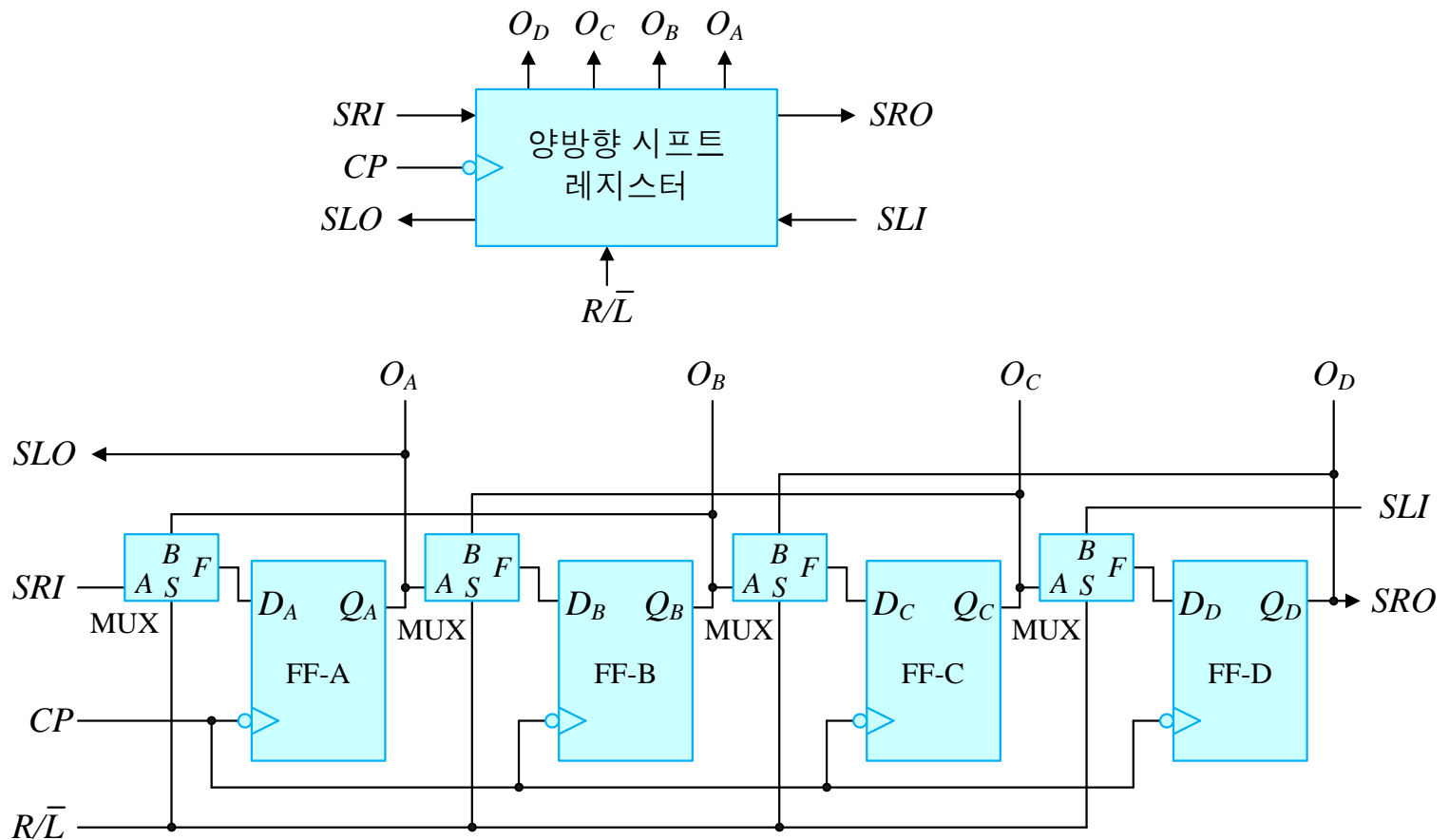
- $WR=1$ 이면 I_A, I_B, I_C, I_D 의 병렬 데이터는 각 AND 게이트를 통하여 동시에 각 플립플롭의 D 입력에 전송.
- $\overline{RD}=0$ 이면 각 플립플롭의 출력 데이터는 버퍼를 통하여 동시에 O_A, O_B, O_C, O_D 에 출력되며, $\overline{RD}=1$ 이면 출력되지 않는다.





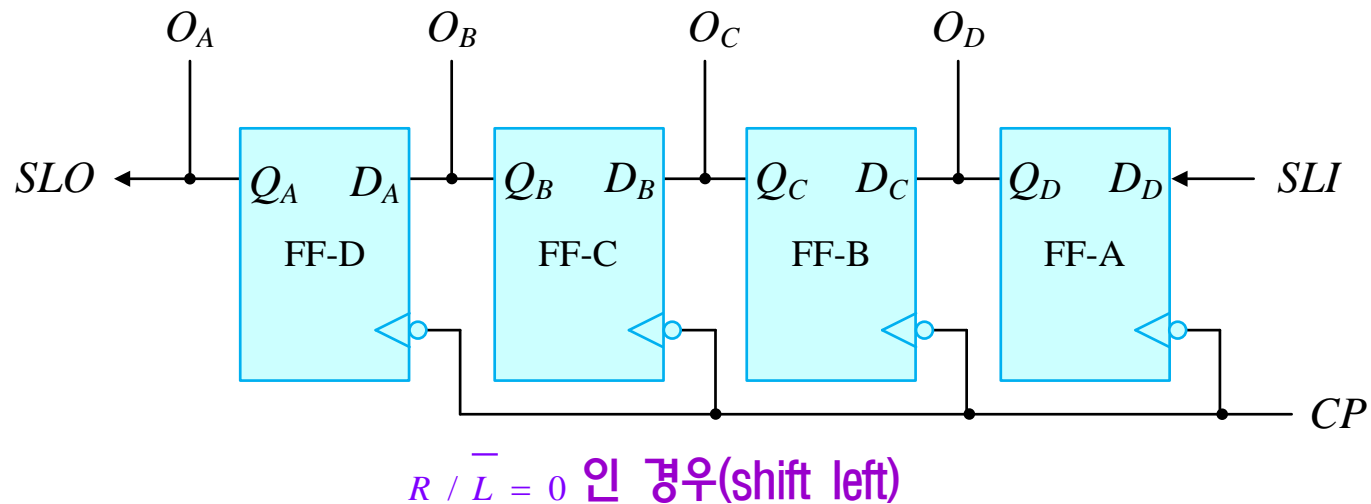
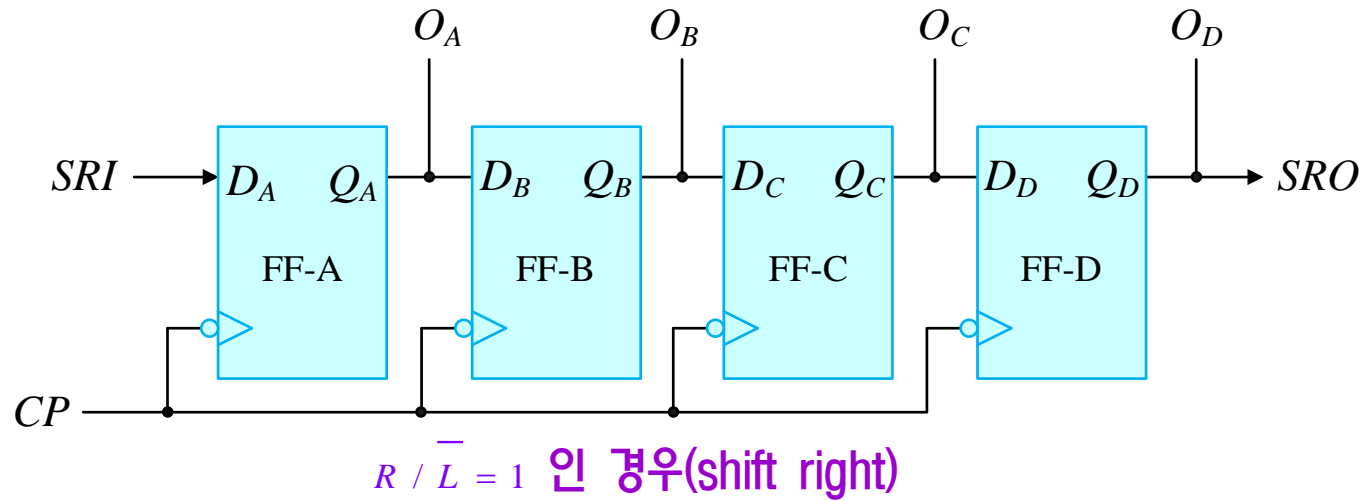
양방향 시프트 레지스터

- $R/\bar{L}=1$: 데이터를 SRI 에 입력시켜 오른쪽으로 시프트하면서 SRO 에서 출력
- $R/\bar{L}=0$: 데이터를 SLI 에 입력시켜 왼쪽으로 시프트하면서 SLO 에서 출력





□ 제어 입력에 따른 쌍방향 시프트 레지스터 동작



03 레지스터



Tip

시프트 동작에 따른 레지스터 값의 변화

① N 비트 오른쪽 시프트의 경우(빈 자리에는 0이 들어감)

$$\text{이동한 결과값} = \text{이동하기 전의 값} \div 2^N$$

② N 비트 왼쪽 시프트의 경우(빈 자리에는 0이 들어감)

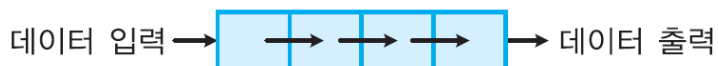
$$\text{이동한 결과값} = \text{이동하기 전의 값} \times 2^N$$



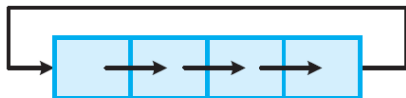
Tip

시프트 동작 및 순환 동작 비교

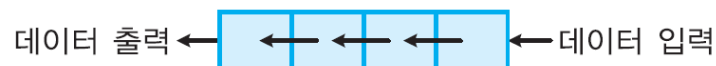
- 오른쪽 시프트 동작



- 오른쪽 순환 시프트(회전) 동작



- 왼쪽 시프트 동작



- 왼쪽 순환 시프트(회전) 동작

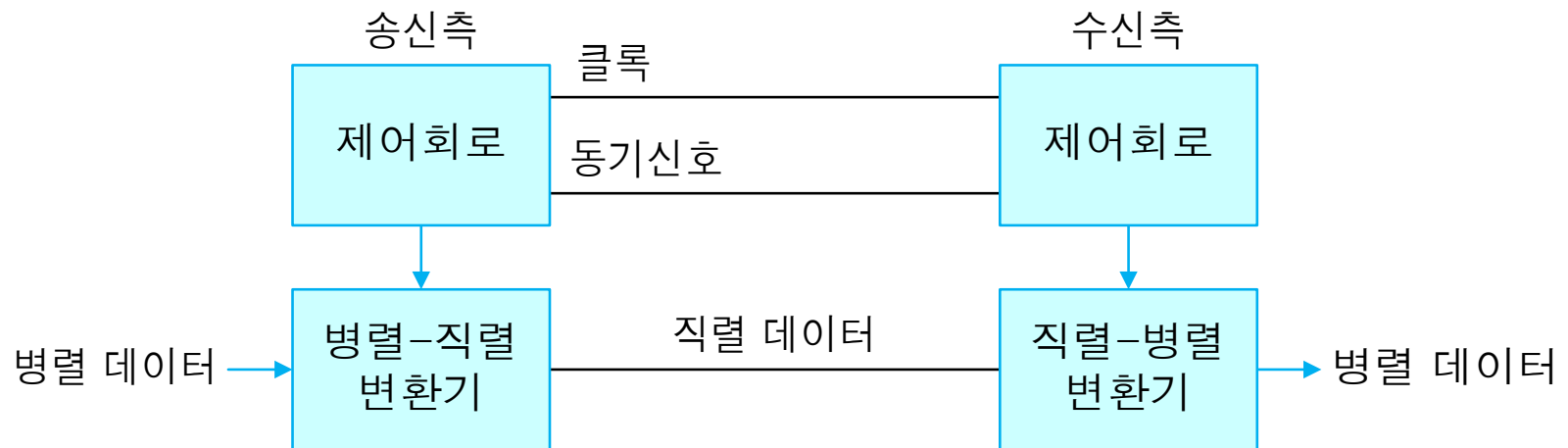




시프트 레지스터의 응용

□ 직렬 데이터 통신

- 시프트 레지스터는 음성통신을 위한 시스템에서 광범위하게 사용
- 전자 교환기는 각 전화가입자의 아날로그 음성신호를 ADC(Analog to Digital Converter)를 통하여 디지털 신호로 변환
- ADC는 입력 아날로그 신호를 매초 8000번 샘플링(sampling)하여 8비트 병렬데이터로 변환($8000 \times 8 = 64\text{Kbps}$)
- 이것은 다시 병렬입력-직렬출력 시프트 레지스터를 통해서 직렬데이터로 변환
- 중계선(trunk)의 전송방식에는 T1 방식과 E1 방식이 있음



03 레지스터



- 중계선의 전송속도

T1 방식

$$24 \times 64\text{Kbps} + 8\text{Kbps} = 1544\text{Kbps} = 1.544\text{Mbps}$$

E1 방식

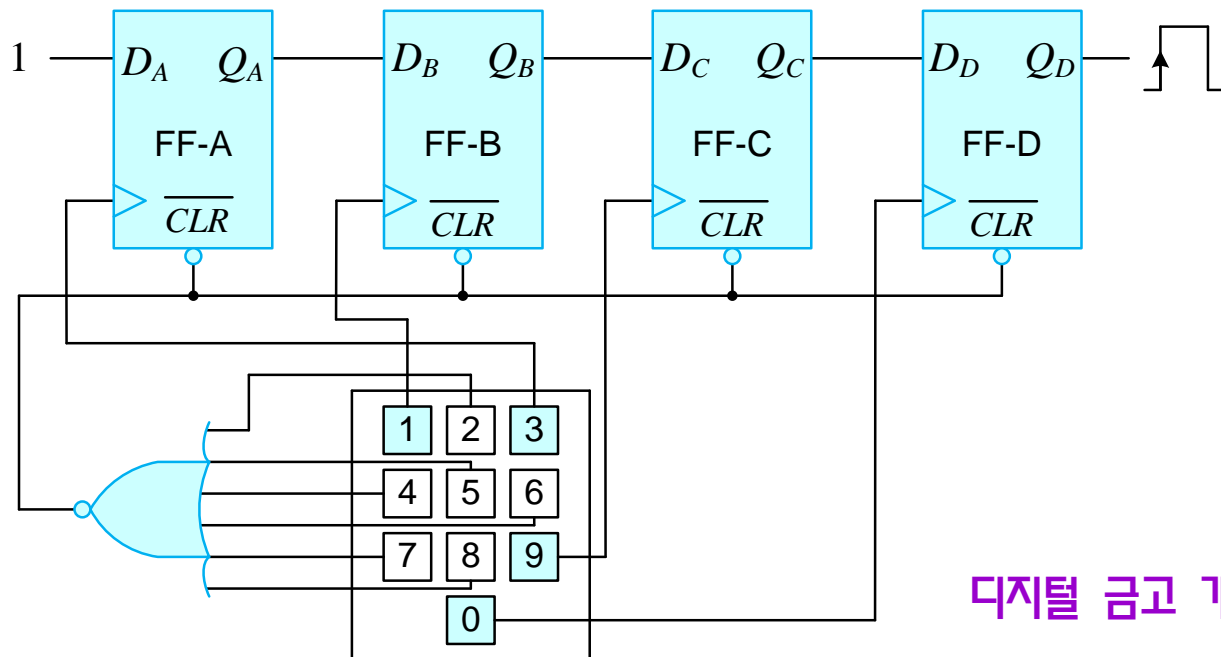
$$32 \times 64\text{Kbps} = 2048\text{Kbps} = 2.048\text{Mbps}$$

- 수신측의 전자교환기에서는 이 직렬데이터를 직렬입력-병렬출력 시프트 레지스터로 병렬 데이터로 변환
- 24채널(또는 32채널)로 디멀티플렉스하고 각 채널의 8비트 병렬데이터를 64kHz의 DAC(Digital to Analog Converter)에 의하여 원래의 아날로그 신호를 재생
- 비트 전송의 타이밍 기준을 제공하기 위한 클록을 보내는 선과 또 직렬데이터의 형태(format)를 정의하기 위한 동기신호를 보내는 선이 필요



□ 디지털 금고

- 비밀번호가 “3, 1, 9, 0”인 경우를 가정
- 키 패드상의 키 3, 1, 9, 0은 각 플립플롭의 클럭입력에 연결
- 기타 키들은 NOR 게이트의 입력에 연결
- 비밀번호를 순서적으로 누르면 각 데이터가 오른쪽으로 시프트
- 마지막 키 0을 누르면 $Q_D=1$ 이 되어서 금고문이 열림

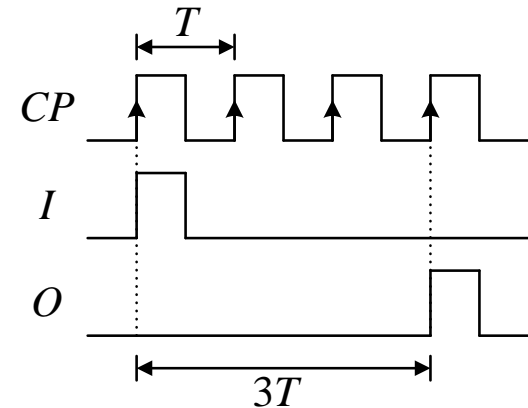
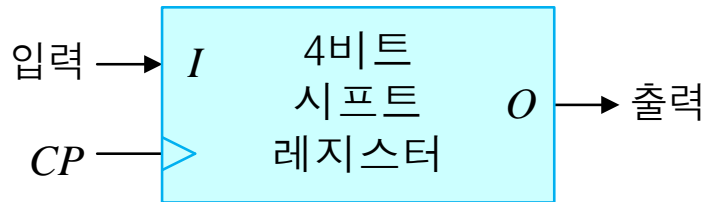


디지털 금고 개념도



□ 시간 지연회로

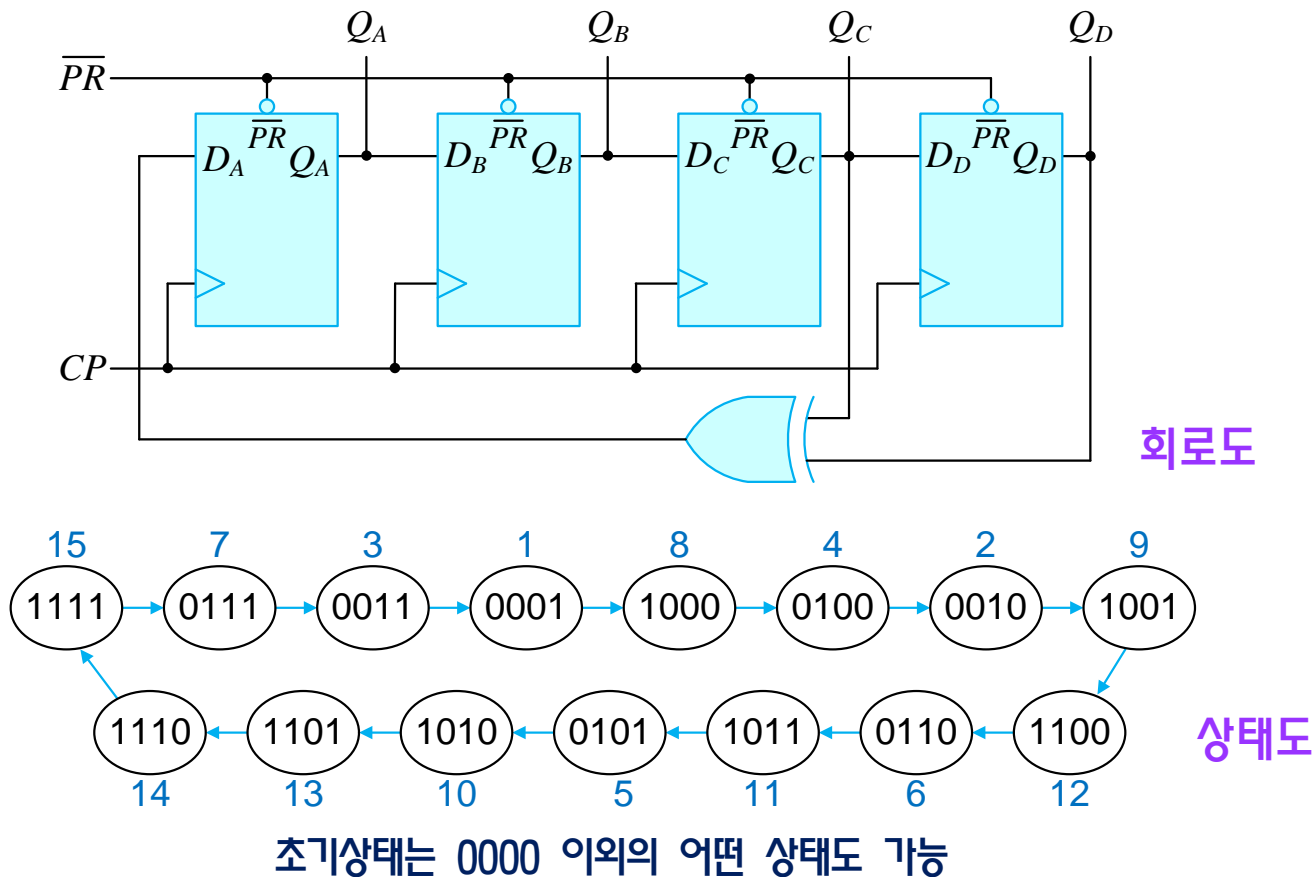
- n 비트 직렬입력-직렬출력 레지스터를 사용하면 입력에 가해진 펄스보다 $(n-1)T$ (T 는 클록의 주기)만큼 지연되어 출력에서 펄스가 나온다.
- 4비트 레지스터를 쓴 경우, 클록 주파수가 1MHz이면 $T=1\mu\text{s}$ ($=1/10^6$), 따라서 $3\mu\text{s}$ 지연되어 펄스가 나온다.
- 시간지연(time delay)을 더욱 증가하려면 레지스터를 필요한 개수만큼 직렬연결하고, 클록펄스를 공통으로 사용





□ 난수발생회로

- 임의의 랜덤(random)한 수열을 발생하는 회로
- $\overline{PR} = 0$ 후, $\overline{PR} = 1$ 하면, $Q_A Q_B Q_C Q_D = 1 1 1 1$
- 펄스를 입력함에 따라 상태도와 같이 동작

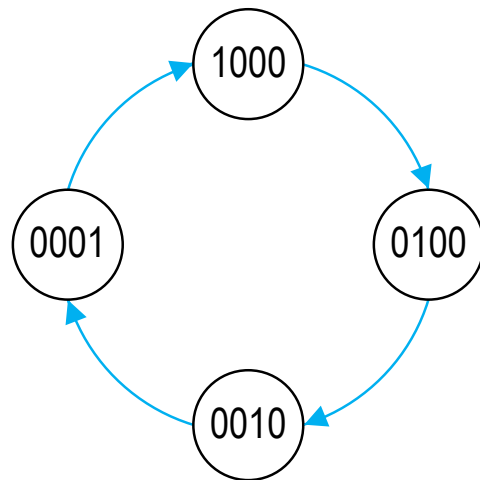




링 카운터

- ❖ 임의의 시간에 한 개의 플립플롭만 논리 1이 되고 나머지 플립플롭은 논리 0이 되는 카운터
- ❖ 논리 1은 입력펄스에 따라 그 위치가 한쪽 방향으로 순환

□ 상태도



04 시프트 레지스터 카운터



□ 상태 여기표

현재상태	차기상태	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



Tip

D 플립플롭의 여기표

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

04 시프트 레지스터 카운터



□ 카르노 맵

$Q_A Q_B$ \ $Q_C Q_D$		$Q_C Q_D$			
		00	01	11	10
00	X	1	X		
01		X	X		X
11	X	X	X		X
10		X	X		X

$$D_A = Q_D$$

$Q_A Q_B$ \ $Q_C Q_D$		$Q_C Q_D$			
		00	01	11	10
00	X			X	
01			X	X	X
11	X	X	X	X	X
10	1	X	X	X	X

$$D_B = Q_A$$

$Q_A Q_B$ \ $Q_C Q_D$		$Q_C Q_D$			
		00	01	11	10
00	X			X	
01	1	X	X	X	X
11	X	X	X	X	X
10		X	X	X	X

$$D_C = Q_B$$

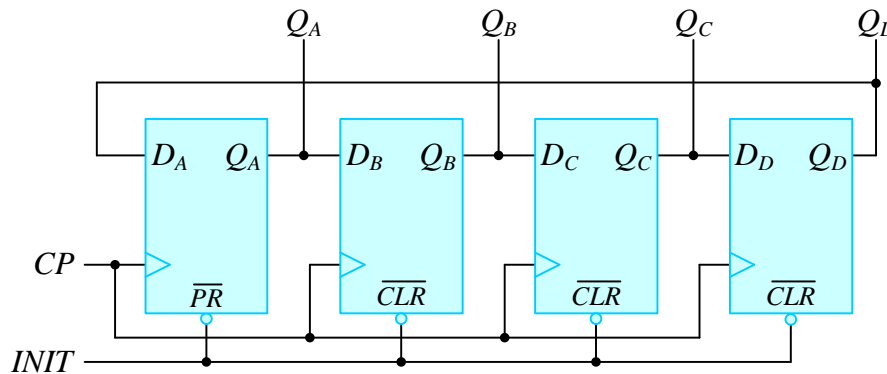
$Q_A Q_B$ \ $Q_C Q_D$		$Q_C Q_D$			
		00	01	11	10
00	X			X	1
01			X	X	X
11	X	X	X	X	X
10		X	X	X	X

$$D_D = Q_C$$

04 시프트 레지스터 카운터



- 처음에 *INIT* 단자를 논리 0으로 하면 첫 번째 플립플롭만 출력이 0이 되고, 나머지 플립플롭의 출력은 0이 된다. *INIT* 단자를 다시 논리 1로 하면 링 카운터의 최초의 출력은 $Q_A Q_B Q_C Q_D = 1000$ 이다.
- 이 후부터 클록펄스가 입력될 때마다 클록펄스의 상승에지에서 오른쪽으로 한 자리씩 이동을 하며, Q_D 의 출력은 다시 D_A 로 입력된다.

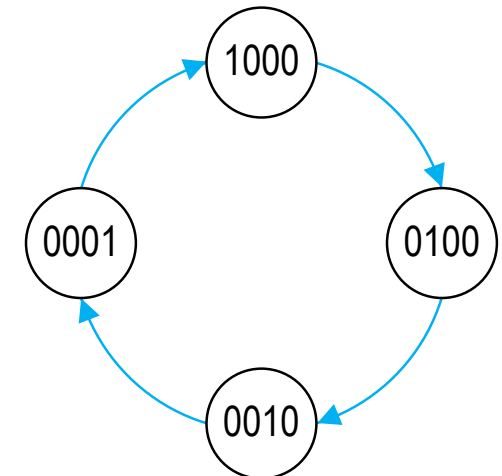
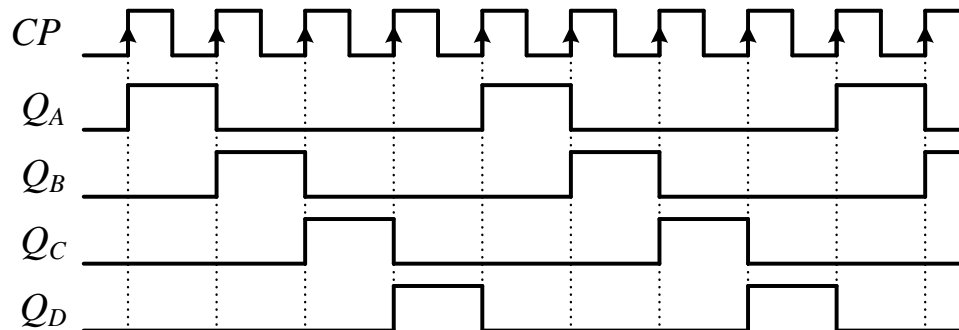


$$D_A = Q_D$$

$$D_B = Q_A$$

$$D_C = Q_B$$

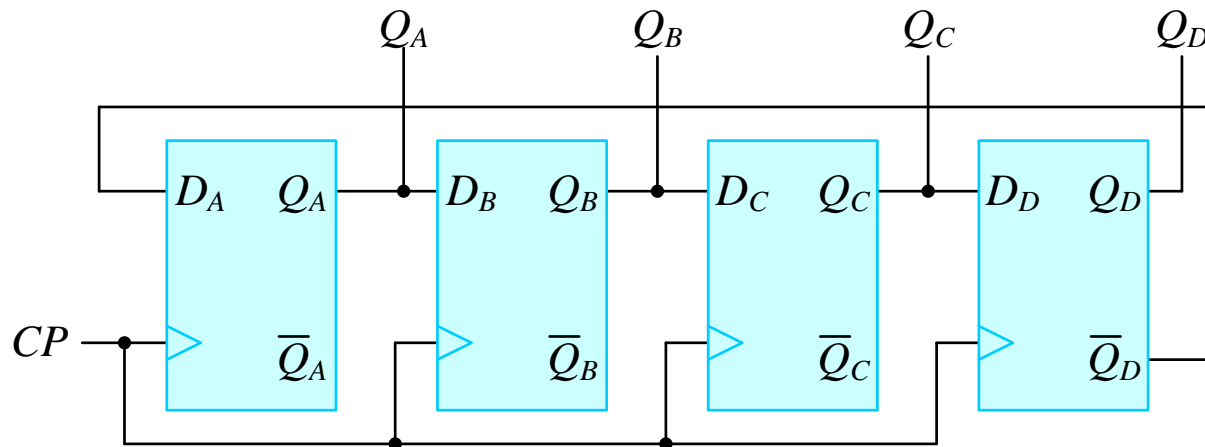
$$D_D = Q_C$$



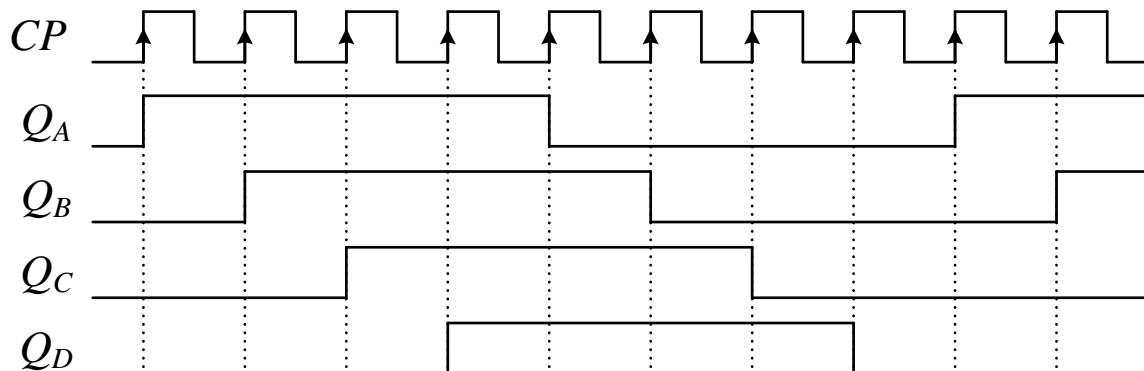


존슨 카운터

- n 개의 플립플롭으로 구성된 링 카운터는 n 가지의 서로 다른 상태를 출력
- 존슨 카운터는 $2n$ 가지의 서로 다른 상태를 출력



회로도



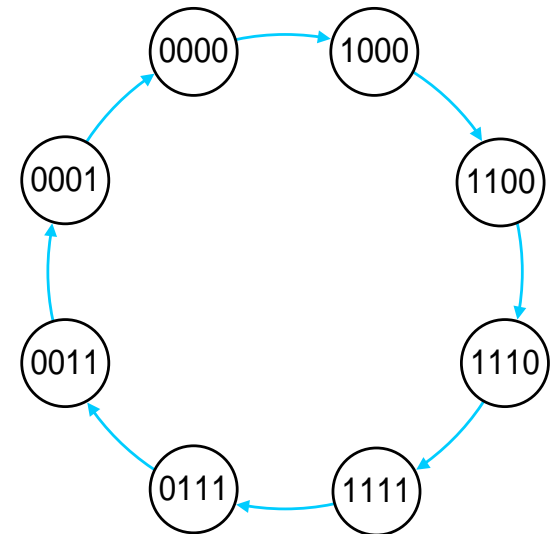
타이밍도

04 시프트 레지스터 카운터



4비트 존슨 카운터의 계수표

클럭펄스	Q_A	Q_B	Q_C	Q_D	10진수
1	1	0	0	0	8
2	1	1	0	0	12
3	1	1	1	0	14
4	1	1	1	1	15
5	0	1	1	1	7
6	0	0	1	1	3
7	0	0	0	1	1
8	0	0	0	0	0



상태도

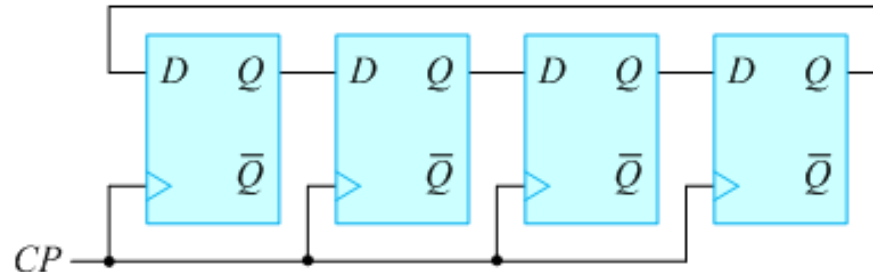
- 존슨 카운터의 단점은 사용되지 않는 초기상태가 주어지면 사용되지 않는 계수의 순서만이 계속하여 반복하게 된다. 이 단점은 회로에서 세 번째 플립 플롭의 입력을 다음 불 함수로 수정하면 해결할 수 있다.

$$D_C = (Q_A + Q_C)Q_B$$



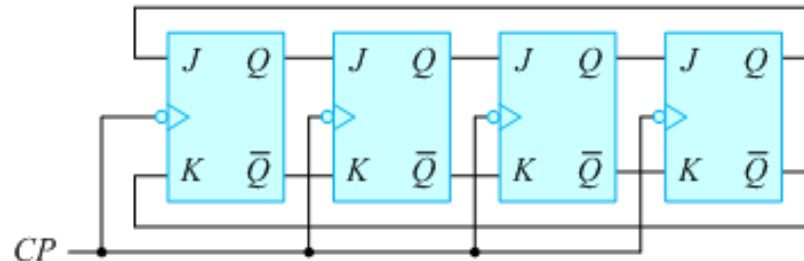
55. 다음 카운터의 명칭은?

- ㉠ 링 카운터
- ㉡ 4진 카운터
- ㉢ 6진 카운터
- ㉣ 8진 카운터



56. 다음 그림과 같이 구성된 회로는 무슨 카운터인가?

- ㉠ 동기식 카운터
- ㉡ 비동기식 카운터
- ㉢ 존슨 카운터
- ㉣ 링 카운터



04 시프트 레지스터 카운터



예제 10-2

4비트 링 카운터의 각 플립플롭에서 출력파형의 주파수와 듀티 사이클을 구하여라. 단, 클록(CP) 주파수가 1MHz 라고 가정한다. 또한 4비트 존슨 카운터에 대해서 반복하여라.

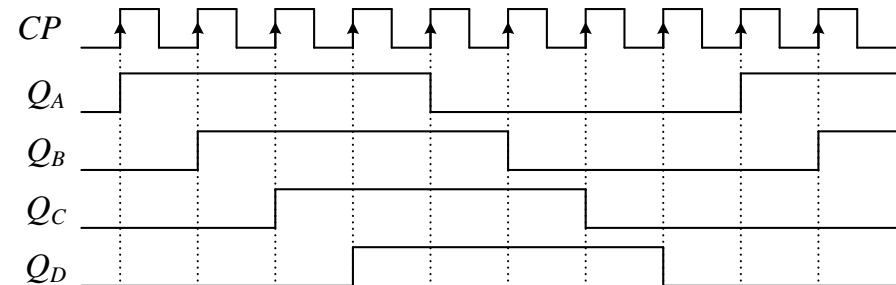
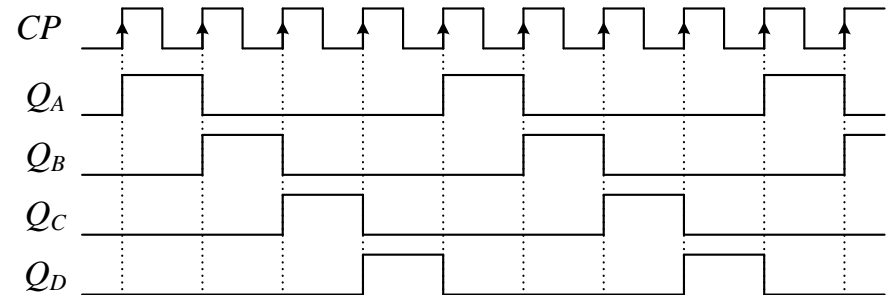
풀이

링 카운터 주파수

듀티 사이클 :

존슨 카운터 주파수

듀티 사이클 :



End of Example