시퀀스 제어의 기본회로 및 전동기 운전회로(V)

글/최 완 호
(한국산업기술원 전문위원)

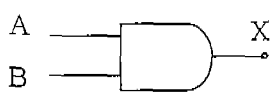
V. 무접점 Sequence Control

이번호에서는 무접점 시퀀스 제어의 기본 특성 및 회로를 분석하여 유접점을 무접점으로 자유롭게 변환하고, 나아가서는 무접점 회로 시퀀스 제어를 구성할 수 있는 기술적인 테크닉을 추구하고자 한다.

5-1 디지털 기본 논리회로

① AND 회로(논리적)

ⓐ 논리기호

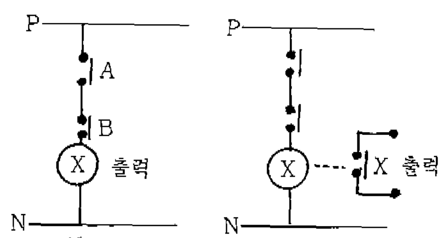


ⓑ 논리식 X = A · B

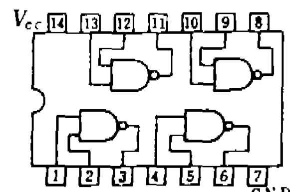
ⓒ 진리표

입 력		출 력
A	B	X
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

ⓓ 유접점 회로



<1> <2>



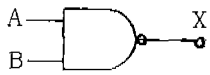
SN7408

AND 회로란 유접점 시퀀스 제어회로 ⓓ에서 보는 바와 같이 직렬회로를 말한다.

그림 ⓓ에서 <1>은 코일 ⓧ에서 출력을 표시하고, <2>는 ⓧ의 접점에서 출력을 나타내는 방법이다.

② NAND 회로(AND 부정)

ⓐ 논리기호



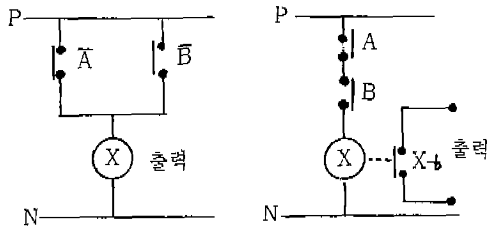
ⓑ 논리식

$$X=\overline{A \cdot B}$$
$$=\overline{A}+\overline{B}$$

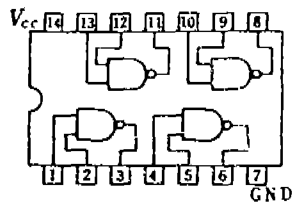
ⓒ 진리표

입 력		출 력
A	B	X
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

ⓓ 유접점 회로

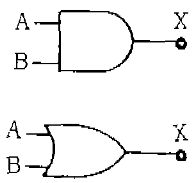


SN7400



③ OR 회로(논리합)

ⓐ 논리기호

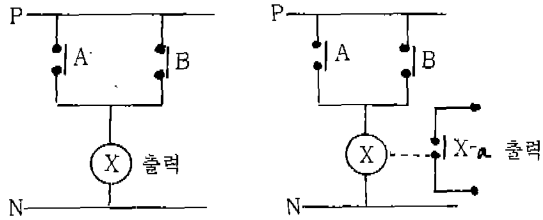


ⓑ 논리식 $X=A+B$

ⓒ 진리표

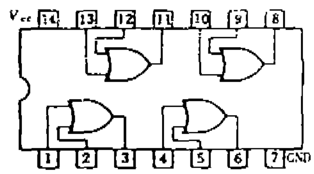
입 력		출 력
A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

ⓓ 유접점 회로



<1> <2>

SN7432

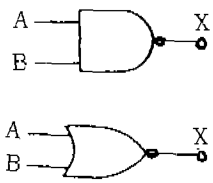


OR 회로란 유접점회로 ⓓ에서 보는 바와 같이 병렬회로이다.

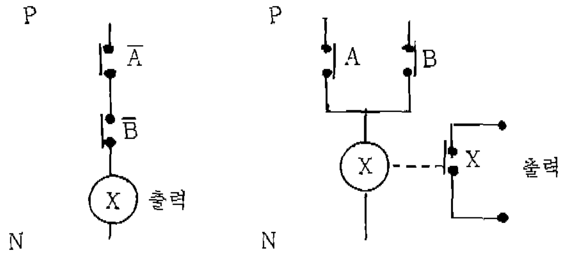
그림 <1>은 코일 ⓧ가 출력이고 그림 <2>는 코일 ⓧ의 접점에서 출력을 나타낸 것이다.

④ NOR 회로(OR 부정)

ⓐ 논리기호



ⓓ 유접점 회로

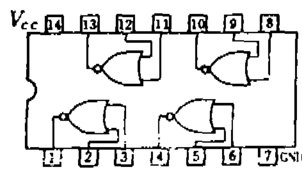


ⓑ 논리식

$X = \overline{A+B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$

ⓒ 진리표

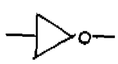
입 력		출 력
A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



2 입력 NOR IC
SN7402

⑤ NOT 회로(부정회로)

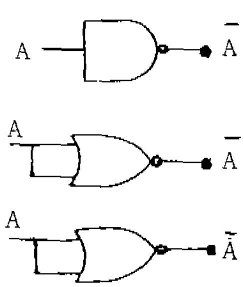
ⓐ 논리기호

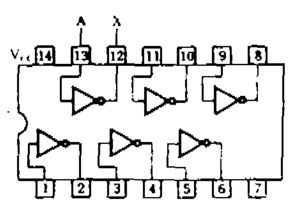


ⓑ 논리식

$A = \overline{A}$

ⓒ 등가 논리기호



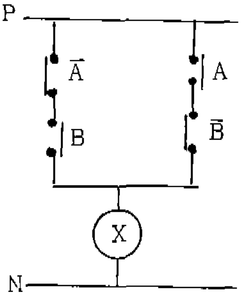


인버어터 IC

SN7404

⑥ Exclusive－OR(배타적인 논리합)

ⓐ 유접점 회로



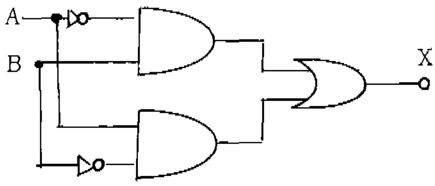
ⓑ 논리식

$$X = \bar{A}B + A\bar{B}$$
$$= A \oplus B$$

ⓒ 진리표

입 력		출 력
A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

ⓓ 논리회로

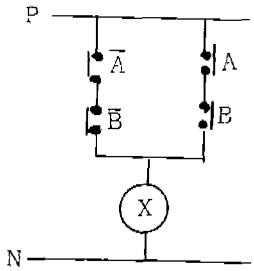


ⓔ 간략화된 논리기초

Exclusive－OR 회로란 2개의 입력중 서로 다른 입력조건을 가질때만 출력을 내는 회로이다. 이 회로는 자동화 설비에서 출력카드 회로로 많이 이용되고 있다.

⑦ Exclusive－NOR 회로

ⓐ 유접점 회로



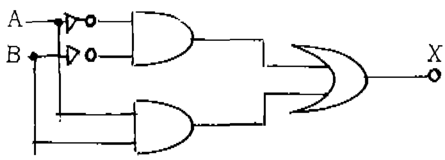
ⓑ 논리식

$$X = \bar{A}\bar{B} + AB$$
$$= A \odot B$$

ⓒ 진리표

입 력		출 력
A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

ⓓ 논리회로

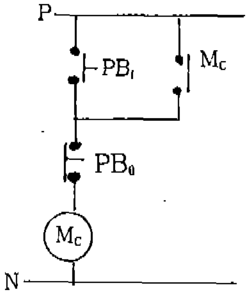


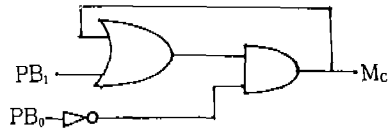
ⓔ 간략화된 논리기호

Exclusive－NOR 회로란 2개의 입력중 서로 같은 입력조건을 가질 때 출력을 내는 회로이다.

5－2 시퀀스 무접점 응용회로

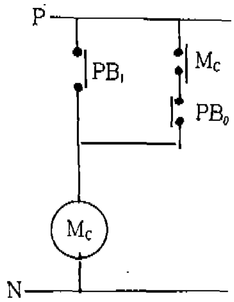
① 자기유지 및 정지우선회로

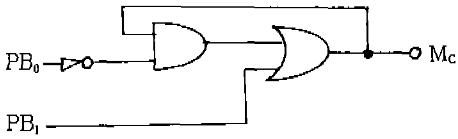




$M_C = (PB_1 + M_C) \cdot \overline{PB_0}$

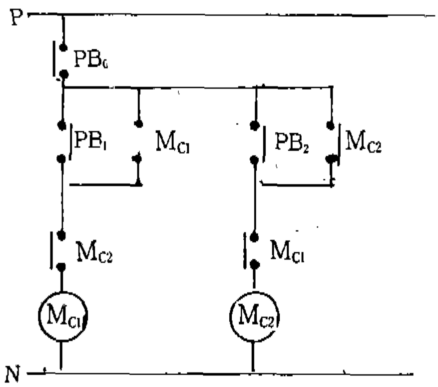
② 기동우선회로

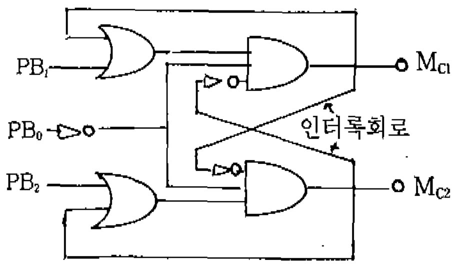




$M_C = PB_1 + \overline{PB_0} \cdot M_C$

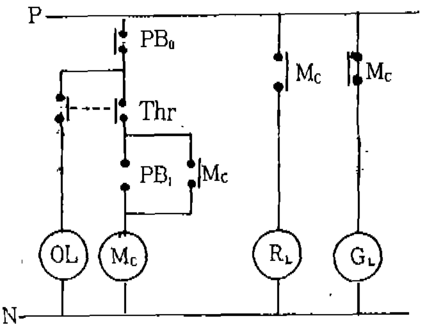
③ 인터록 회로

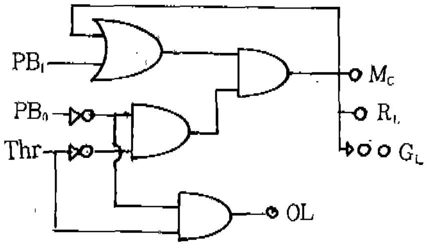




$M_{C1} = (PB_1 + M_{C1}) \cdot \overline{PB_0} \cdot \overline{M_{C2}}$
$M_{C2} = (PB_2 + M_{C2}) \cdot \overline{PB_0} \cdot \overline{M_{C1}}$

④ 직입 기동회로





$M_C = (PB_1 + M_C) \cdot \overline{PB_0} \cdot \overline{Thr}$

$R_L = M_C$

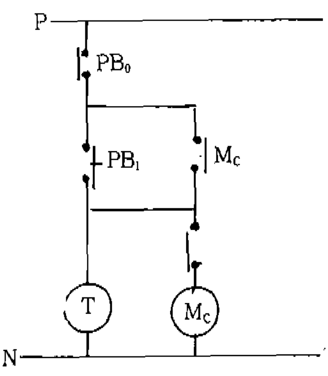
$G_L = \overline{M_C}$

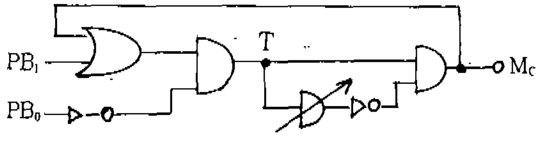
$OL = PB_0 \cdot Thr$

⑤ 각종 Timer Logic 회로

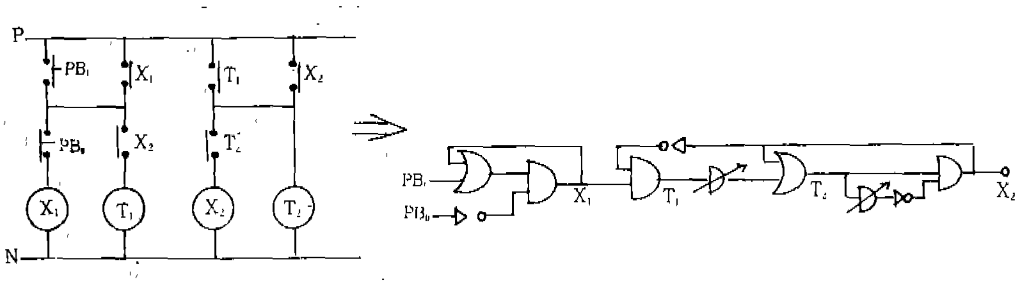
On Delay Timer	한시동작 순시복귀	a 접점			
		b 접점			
Off Delay Timer	순시동작 한시복귀	a 접점			
		b 접점			
On, Off Delay Timer	한시동작 한시복귀	a 접점			
		b 접점			

⑥ 한시동작회로





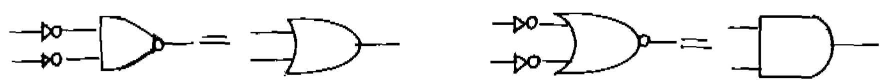
⑦ 반복회로



⑧ De morgan에 의한 등가 Logic circuit

ⓐ $\overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$ ⓑ $\overline{A+B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$

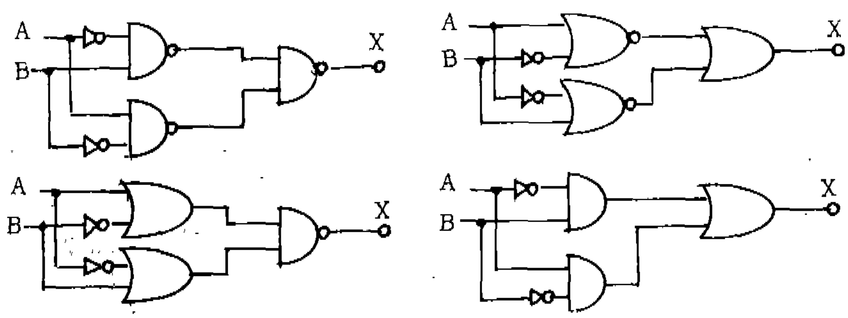
ⓒ $\overline{\bar{A} \cdot \bar{B}} = A+B$ ⓓ $\overline{\bar{A}+\bar{B}} = A \cdot B$

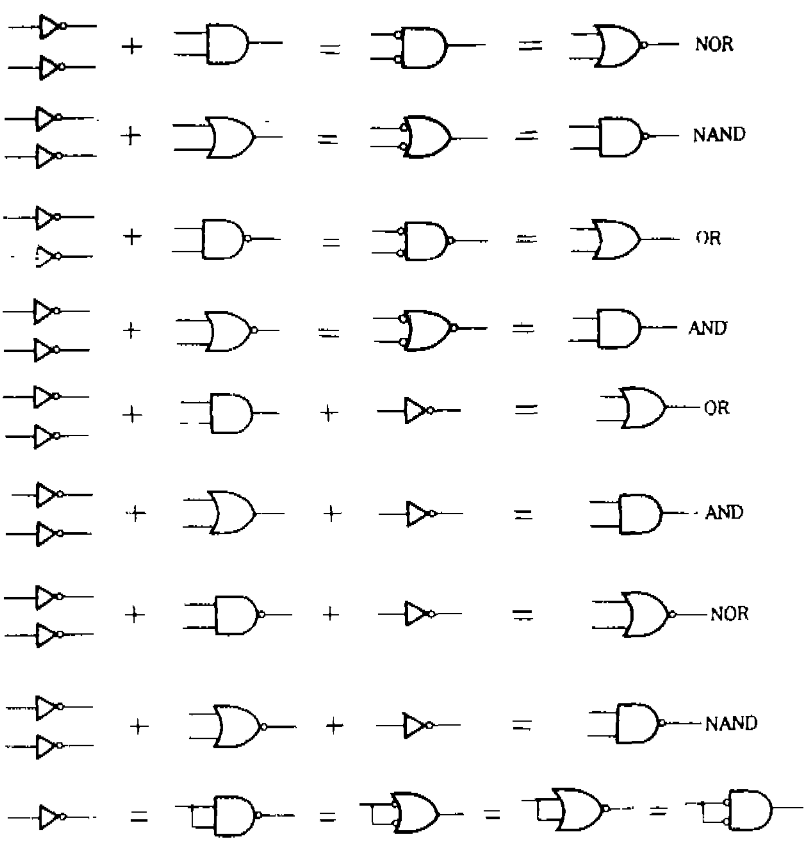


Demorgan의 정리는 하나의 Logic circuit를 여러개의 등가 Logic circuit로 변환할 때 이용하는 방법으로 다지털 논리회로에서 중요한 부분을 차지하고 있다.

예를 들어서 Exclusive－OR 논리회로의 여러개의 Logic circuit로 표현할 수 있다.

$$X = \overline{\overline{\bar{A}B + A\bar{B}}} = \overline{\overline{\bar{A}B} \cdot \overline{A\bar{B}}} = \overline{(A+\bar{B}) \cdot (\bar{A}+B)} = \overline{(A+\bar{B})} + \overline{(\bar{A}+B)} = \bar{A} \cdot B + A \cdot \bar{B}$$





⑨ 부울대수의 정리

부울대수의 정리와 karnaugh도 MAP은 시퀀스 유접점·무접점 회로를 간략화하는 방법으로 시퀀스 제어 및 PLC에서 필수적인 요소이다.

정 리

T1 : 교환의 법칙

(a) $A+B=B+A$

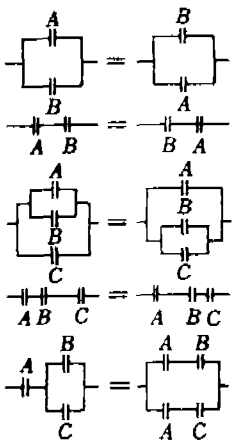
(b) $A\cdot B=B\cdot A$

T2 : 결합의 법칙

(a) $(A+B)+C=A(B+C)$

(b) $(A\cdot B)\cdot C=A\cdot(B\cdot C)$

T3 : 분배의 법칙



정　　리

(a) $A \cdot (B+C)=A \cdot B+A \cdot C$

(b) $A+(B \cdot C)=(A+B) \cdot (A+C)$

T4 : 동일의 법칙

(a) $A+A=A$

(b) $A \cdot A=A$

T5 : 부정의 법칙

(a) $(\bar{A})=\bar{A}$

(b) $(\bar{\bar{A}})=A$

T6 : 흡수의 법칙

(a) $A+A \cdot B=A$

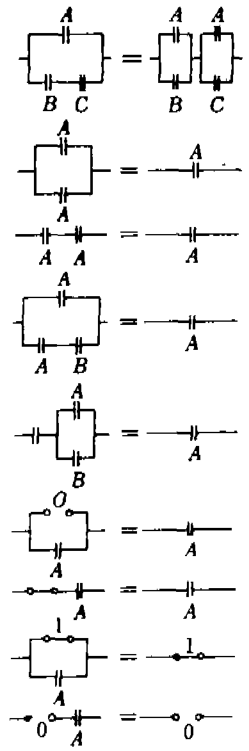
(b) $A \cdot (A+B)=A$

T7 : (a) $0+A=A$

(b) $1 \cdot A=A$

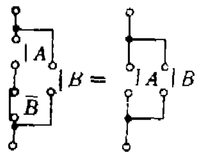
(c) $1+A=1$

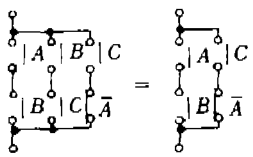
(d) $0 \cdot A=0$



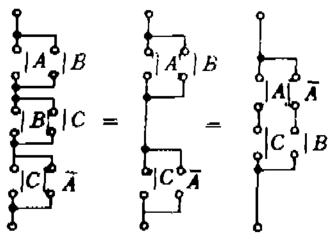
다음은 부울대수의 정리를 이용한 간략화의 예이다.

ⓐ $A \cdot \bar{B}+B=A+B$　　ⓑ $A \cdot B+B \cdot C+C \cdot \bar{A}=A \cdot B+C \cdot \bar{A}$





ⓒ $(A+B) \cdot (B+C) \cdot (C+\bar{A})=(A+B) \cdot (C+\bar{A})=A \cdot C+\bar{A} \cdot B$



ⓓ 3개의 문이 있다. 이중 2개 이상 문이 동시에 닫힐 때만 불이 켜지는 회로가 있다면 이것을 부울대수식 및 유접점 회로로 표시하여 보자.

문을 각각 A, B, C라 하면 이중 두 문이 닫힐 때(I의 상태)만 불이 켜지는 상태(I의 상태)를 진리치표로 나타내면 다음과 같다.

ABC	출 력
000	0
001	0
010	0
011	1
100	0
101	1
110	1
111	0

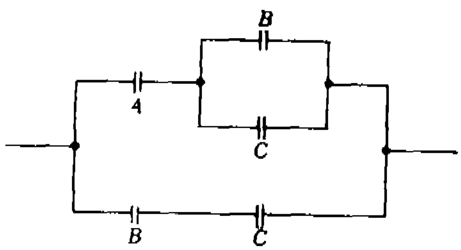
옆의 진리표에 출력이 1인 때를 논리식으로 표시하면

$\overline{A}\cdot B\cdot C=1$
$A\cdot\overline{B}\cdot C=1$
$A\cdot B\cdot\overline{C}=1$
$A\cdot B\cdot C=1$

따라서 이들이 모두 병렬로 연결된 회로에 불이 켜지므로

출력$=\overline{A}\cdot B\cdot C+A\cdot(\overline{B}\cdot C+B\cdot\overline{C}+B\cdot C)$
출력$=\overline{A}\cdot B\cdot C+A[\overline{B}\cdot C+B\cdot(C+\overline{C})]$
출력$=\overline{A}\cdot B\cdot C+A[\overline{B}\cdot C+B(1)]$
출력$=\overline{A}\cdot B\cdot C+A(\overline{B}\cdot C+B)=\overline{A}\cdot B\cdot C+A(B+C)$
출력$=\overline{A}\cdot B\cdot C+A\cdot B+A\cdot C=B\cdot(\overline{A}\cdot C+A)+A\cdot C$
출력$=B\cdot(A+C)+A\cdot C=A\cdot B+B\cdot C+A\cdot C=A(B+C)+B\cdot C$
※ $\overline{B}\cdot C+B=B+C$

여기서 $B\cdot(A+C)+A\cdot C$와 $A(B+C)+B\cdot C$는 같은 접점수이다.
이 식을 스위치 회로로 표시하면 다음과 같다.



⑩ Karnaugh도 MAP을 이용한 간략화

지금까지는 논리극수의 간략화를 수식적으로 행해 왔지만 도표에 의한 간략한 방법도 매우 유용하다. 진리값으로부터 직접 논리식을 유도할 때는 불필요한 많은 항을 포함하게 된다. 이것을 간략화하는 방법으로서 도표, 즉 맵(map)을 이용하는 방법(map method)이 Karnaugh(카르나) 또는 Veitch(베이치)도 방법이다.

Karnaugh도와 진리값표가 다른 점은 진리값 표가 각 입력상태에 따른 모든 출력을 표시하는 반면 Karnaugh도는 각 입력상태에 따른 출력 1을 나타내는 데 필요한 표시도이다. Karnaugh도에는 2변수, 3변수, 4변수에 대한 것이 사용되며 5변수 이상에 대한 것은 너무 복잡하므로 잘 사용되지 않는다.

디지털 컴퓨터에서는 4비트(bit)가 한 바이트(byte)로 구성되어 워드(wood)를 만드는 등 4입력 변수로 동작하는 일이 많으므로 논리회로에서는 주로 4변수 Karnaugh도가 사용된다.

※ Karnaugh도 MAP의 구성요령

㉠ MAP을 구성할 때는 2^n개로만 구성한다(2, 4, 8, 16…).

㉡ MAP을 구성할 때는 2^n개의 구성 MAP을 크게 구성한다.

㉢ MAP은 대각선으로 구성할 수 있다.

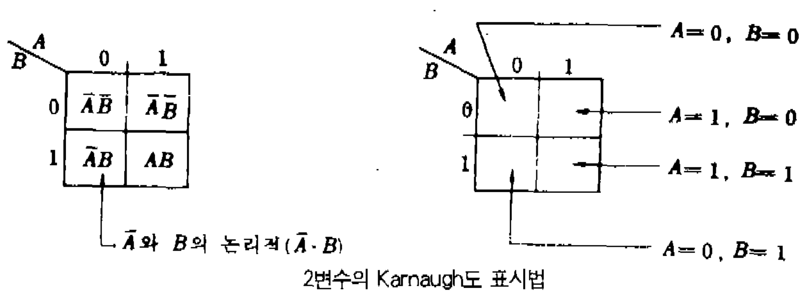
㉣ MAP의 구성수는 최소가 되어야 한다.

a) 2변수의 Karnaugh도

2변수 A, B는 각각 0과 1을 취할 수 있으므로 이들 변수의 가능한 결합방식은 $4(2^n = 2^2)$가지가 되며 Karnaugh도는 아래 그림과 같이 4칸(box)으로 구성된다.

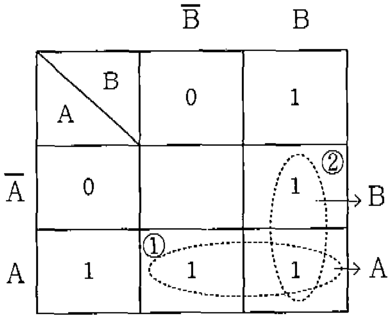
각 칸(box 또는 map)의 논리표시는 2변수의 논리적(AND)인 다음과 같은 논리극수로 표시된다. 즉 칸은 2개의 논리변수 A와 B가 다음과 같은 단일 조합임을 표시하게 된다. 즉

$\overline{A}\overline{B}(A=0, B=0)$
$\overline{A}B(A=0, B=1)$
$A\overline{B}(A=1, B=0)$
$AB(A=1, B=1)$



2변수의 Karnaugh도 표시법

예) $X=AB+\overline{A}\overline{B}+A\overline{B}=A+B$



여기서 AB의 변수항은 바뀌어도 무관하다. ①번 MAP에 해당하는 변수는 (A, B, B)에서 같은 변수의 긍정과 부정을 지워버리면 A만 남게되고 또한 그 항이 A항이다.

②번 MAP에 해당되는 변수는 A・A・B에서 B만 남게되므로 X에 대한 간략화된 논리식은 A+B이다.

또한 ①번항은 A 변수항이고 ②번항은 B 변수항이므로
①번항의 논리식은 A+A+B에서 ②번항의 논리식은 A+A+B에서 A+A=1, B+B =1이므로 A+B만 남게 된다. Karnaugh도에서 원칙을 고수하면 다변수에서는 혼동되므로 전자에 설명한 방법을 이용하면 쉽게 간략화 할 수 있다.

b)3변수의 Karnaugh도

		$\bar{B}\bar{C}$	$\bar{B}C$	BC	$B\bar{C}$
	A \ BC	00	01	11	10
A	0	$\bar{A}\bar{B}\bar{C}$	$\bar{A}\bar{B}C$	$\bar{A}BC$	$\bar{A}B\bar{C}$
A	1	$A\bar{B}\bar{C}$	$A\bar{B}C$	ABC	$AB\bar{C}$

예) $X=A\bar{B}\bar{C}+A\bar{B}C+ABC+AB\bar{C}$
$+\bar{A}BC+\bar{A}B\bar{C}=A+B$

①

		$\bar{B}\bar{C}$	BC	BC	$B\bar{C}$	
	A \ BC	00	01	11	10	
A	0			1	1	→ B
A	1	1	1	1	1	→ A

②

A \ BC	00	01	11	10
0			1	1
1		1	1	

$X=AC+\bar{A}B$

③

A \ BC	00	01	11	10
0			1	
1		1	1	1

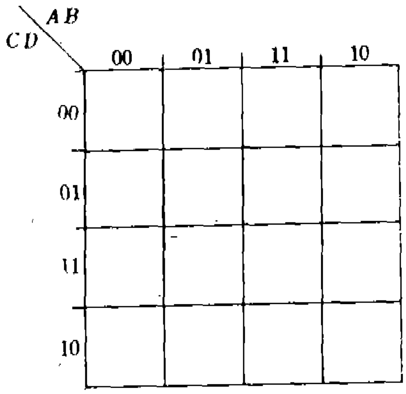
$X=AC+BC+AB$
$=AC+B(A+C)$

④

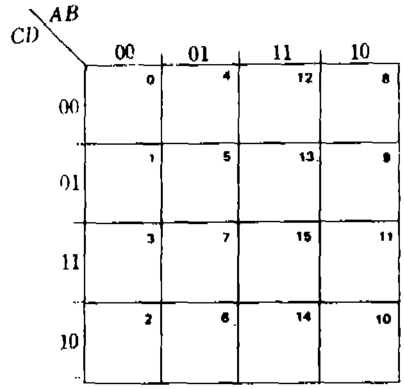
A \ BC	00	01	11	10
0	1			1
1	1			1

$X=\bar{A}\bar{B}\bar{C}+\bar{A}B\bar{C}+A\bar{B}\bar{C}+AB\bar{C}=\bar{C}$
다음 카드로도 MAP은 구성이 한개이다.

ⓒ 4변수 Karnaugh도



〈그림 1〉 4변수 Karnaugh도

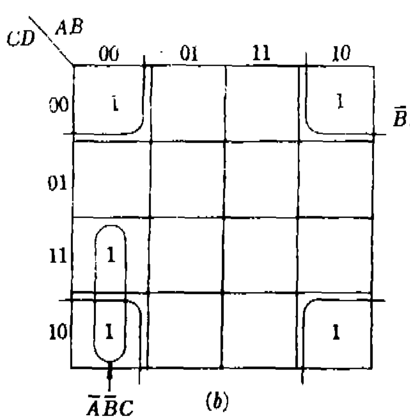


〈그림 2〉 4변수 Karnaugh도의 칸 표시

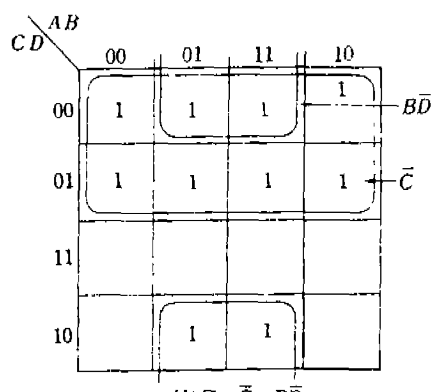
CD \ AB	00	01	11	10
00	$\bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}$	$\bar{A}B\bar{C}\bar{D}$	$AB\bar{C}\bar{D}$	$A\bar{B}\bar{C}\bar{D}$
01	$\bar{A}\bar{B}\bar{C}D$	$\bar{A}B\bar{C}D$	$AB\bar{C}D$	$A\bar{B}\bar{C}D$
11	$\bar{A}\bar{B}CD$	$\bar{A}BCD$	$ABCD$	$A\bar{B}CD$
10	$ABC\bar{D}$	$\bar{A}BC\bar{D}$	$ABC\bar{D}$	$A\bar{B}C\bar{D}$

〈그림 3〉 4변수 논리극수의 Karnaugh도 표시법

그림 1에서 ABCD의 자리변수는 임의대로 배열할 수 있다. 다음은 4변수 Karnaugh도 MAP의 구성예이다.



(b)



(b) $Z=\bar{C}+B\bar{D}$