

한개의 환경을 깨끗이 사용한
새로운 방식의 전류원 인버터

한국 과학 기술원

(A NEW CURRENT SOURCE INVERTER WITH SINGLE
AUXILIARY CAPACITOR COMMUTATED CIRCUIT)

1. 서

유도 전동기의 구동에 이용되는 인버터의 방식은 크게 전압원과 전류원으로 분류할 수가 있으며, 이를에 대한 장단점은 널리 알려져 있다. 본 논문에서는 기존에 이용되어 왔던 전류원 인버터 방식에 비해서 성능이 우수하며, 좀 더 경제적인 방식을 제안하고 해석하기로 한다. 지금까지 널리 알려져온 방식으로는, 6개의 보조 다이리스터와 3개의 환류용 키페시터를 사용한 방식 - TYPE1 [1], 6개의 환류용 다이오드와 6개의 환류용 키페시터를 사용한 ASCI 방식 - TYPE2 [2], ASCI 방식의 동작 주파수를 증가시키기 위해서 추가로 6개의 다이오드와 2개의 리액터를 추가한 방식 - TYPE3 [3], 2개의 보조 다이리스터와 1개의 환류용 키페시터를 사용한 THACI 방식 - TYPE4 [4] 등을 들 수가 있다.

일반적으로 전류원 인버터의 환류 구간을 특정 다이리스터를 차단시키고 도풀 시키고자 하는 다이리스터의 양단에 순방향 바이어스 전압이 걸릴 때까지 환류용 케페시터를 정전류로 방전시키는 선형 방전구간과, 유도전동기의 누설 리액터에 저항되어 있던 에너지를 환류용 케페시터로 轉移시키는 궁진구간으로 나눌 수가 있다. 인버터의 최대동작 주파수는 주로 선형 방전구간의 길이에 의해서 결정되는데, 이를 줄이기 위해서 케페시터값을 작게하면, 궁진구간에서 발생하는 스파이크전압이 커지기 때문에, 이 두 가지를 적절히 조정하기 위해서는 절충점이 필요하다. TYPE1과 TYPE2는 동작특성이 비슷하나 TYPE2가 좀 더 경제적이고 [1], TYPE4는 TYPE2에 비해서 구조가 간단하고 경제적 이지만, 유도 전동기의 충성점을 필요로 하고 또한 최대 동작 주파수가 TYPE2의 1/3에 불과하다는 단점을 지니고 있다 [4].

따라서, TYPE2가 넘티 이용되고 있지만
이방식 또한 쇠대 통작주파수가 제한을
받기 때문에, TYPE3에서는 선형방전 구간
을 가능하면 짧게 하기 위해서 원류에 짧
가 하게되는 케페시터를 디액티브 short
시켜 케페시터의 방전속도를 증가시키고
있다. 그러나, 이러한 경우에는 main다이리
스터를 통해서 커다란 short current가 으
르기 때문에 main다이리스터의 용량이 상
승할 뿐만 아니라, 신뢰성도 감소하게 된다.
또한 TYPE2와 TYPE3에 사용되는 원류용
다이오드는 main다이리스터와 직렬로 연
결되기 때문에, 내압과 전류 용량이 main
다이리스터와 동일하게 된다. 따라서, 본
논문에서는 이러한 문제점을 제거한 인버
터를 개발하고 이를 해석하기로 한다.

2. — —

2.1 제안된 인버터의 동작 설명

그림 1-(a)에 제안된 인버터의 회로가 주어져 있다. 그림-1은 T11을 차단시키고 T13을 도통시키는 환류 과정에서, 부하의 조건에 따라서 존재할 수 있는 mode를 모두 그려 놓은 것인데, 이때의 순서도는 그림 1-(i)와 같다. 디이티스터의 환류 시 주요 경로는 0-2-4-6-7의 순서이고, 나머지 경로는 부하의 상태에 따라서 다이오드 D22 가 도통될 으로써 발생한다. 즉 매 환류시마다 DC-link current의 일부가 부하를 경유하지 않고 bypass하는 경우를 나타낸다. 이로 인하여, 환류 구간에서 U상 전류 파형에 영향을 미치지만 인버터의 전체적인 동작에는 큰 영향을 미치지는 못한다.

먼저 그림 1-(a) 처럼 T11과 T12가
도통상태에 있다고 가정하면, mode1이나
mode2는 T31과 T34를 도통 시킴으로써
시작된다. 즉, C1의 초기 전압에 의해서
T11이 커지게 되고, U상에 으르렁 전류

는 T3과 T34에 의해서 공급되면서, 케페 시터를 방전시키기 시작 한다. 이와 동시에 D52가 토풍되어, C1 양단을 티액터 L13로 short 시켜, C1의 방전속도를 한층 증가시킨다. 이는 TYPE3 인버터와 동일한 원리로 선형 방전 구간의 깊이를 줄이기 위함이다. 시간이 경과함에 따라서, 케페시터 양단의 전압이 부하의 V상과 U상 사이의 전압보다 커지게 되면 mode3이나 mode4가 시작된다. 따라서, 이구간의 깊이는 무부하 상태에서 최대가 될 때 그림-2의 유도 전동기의 역기전력과 선 전류 사이의 관계로 부여 할 수가 있다. Mode3이나 mode4가 시작되면 유도전동기의 누설 티액터에 저항되어 있던 에너지가 C1으로 轉移되는 과정이 시작 된다. 따라서 스위치트랜스를 줄이기 위하여 C1을 증가 시키고, L13를 적절히 선정하면 인버터의 최대 풍작주파수는 크게 제한을 받지 않게 된다. 여기서 mode3이나 mode4는 L13과 C1 값에 따라서 존재하지 않을 수도 있으나, 그렇게 되면 T34와 D52에 부리가 가게 되므로, 본 논문에서는 이 mode도 포함 시켰다.

2.2 각 mode에 대한 방정식 유도

각 mode별로 통가회로를 구성하면, 해당된 mode의 상태 방정식을 얻을 수가 있게 되는데, 증복되는 방정식이 많으므로 대표적인 방정식을 먼저 쓴 다음, 각 mode에 해당하는 방정식은 표-1에 정리하였다.

$$iu(t) = 0 \quad (1)$$

$$iu(t) = Id \quad (2)$$

$$iu(t) = Id - iv(t) \quad (3)$$

$$iv(t) = 0 \quad (4)$$

$$iv(t) = Id \quad (5)$$

$$iw(t) = -Id \quad (6)$$

$$iw(t) = -iu(t) \quad (7)$$

$$ip(t) = 0 \quad (8)$$

$$ip(t) = iw(t) + Id \quad (9)$$

$$ix(t) = 0 \quad (10)$$

$$ic(t) = 0 \quad (11)$$

$$ic(t) = iu(t) \quad (12)$$

$$ic(t) = Id - iv(t) \quad (13)$$

$$ic(t) = ix(t) + Id \quad (14)$$

$$ic(t) = Id + ix(t) - iv(t) \quad (15)$$

$$vc(t) = -Vco \quad (16)$$

$$vc(t) = Vco \quad (17)$$

$$\frac{dvc(t)}{dt} = [ix(t) + Id] / C1 \quad (18)$$

$$\frac{dix(t)}{dt} = [-Rx \ ix(t) - vc(t)] / Lx \quad (19)$$

$$\frac{dvc(t)}{dt} = [ix(t) - iv(t) + Id] / C1 \quad (20)$$

$$\frac{dvc(t)}{dt} = [Id - iv(t)] / C1 \quad (21)$$

$$\frac{diu(t)}{dt} = \frac{-R}{Lx} iu(t) + \frac{1}{2Lx} Ewu(t) \quad (22)$$

$$\frac{div(t)}{dt} = \frac{1}{2Lx} vc(t) - \frac{R}{Lx} iv(t) + \frac{R}{2Lx} Id + \frac{1}{2Lx} Euv(t) \quad (23)$$

$$\frac{diu(t)}{dt} = \frac{R}{3Lx} [iv(t) + iw(t) - 2iu(t)] + \frac{1}{3Lx} [Ev(t) + Eh(t) - 2Eu(t) - vc(t)] \quad (24)$$

$$\frac{div(t)}{dt} = \frac{R}{3Lx} [iu(t) - 2iv(t) + iw(t)] + \frac{1}{3Lx} [Eu(t) - 2Ev(t) + Eh(t) + 2vc(t)] \quad (25)$$

$$\frac{diw(t)}{dt} = \frac{R}{3Lx} [iu(t) + iv(t) - 2iw(t)] + \frac{1}{3Lx} [Eu(t) + Ev(t) - 2Ew(t) - vc(t)] \quad (26)$$

표-1. 각 환류모드에 대한 관련 방정식

	0	1	2	3	4	5	6	7
iu	2	22	2	24	3	24	3	1
iv	4	4	4	25	23	25	23	5
iw	6	7	7	26	6	26	6	6
ip	8	9	8	9	8	9	8	8
ix	10	19	19	19	19	10	10	10
ic	11	14	14	15	15	13	12	11
vc	16	18	18	20	20	21	21	17

2.3 Mode 2에 대한 근사 solution

일반적으로 6-step current waveform으로 구동되는 유도전동기는 누설티액터와 저항, 역기전력 전압원의 직렬로 생각할 수가 있으며[2], 그림-1의 환류구간에서의 역기전력은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Evu = Em \sin(\omega t + \phi) \quad (27)$$

Mode2가 시작되는 시점을 $t=0$ 타 가정하고, 이 모드내에서 역기전력의 변화를 무시하면, 방정식 (18)과 (19)로 부여 ($Rx = 0$ 타 가정),

$$\frac{dvc(t)}{dt}^2 + Wx^2 vc(t) = 0 \quad (28)$$

초기 조건을 표-1로 부여 대입하면,

$$vc(t) = \sqrt{Lx/C1} Id \sin Wxt - Vco \cos Wxt \quad (29)$$

$$ix(t) = Vco \sqrt{C1/Lx} \sin Wxt + Id \cos Wxt - Id$$

$$Wx = 1/\sqrt{Lx C1} \quad (30)$$

캐패시터 양단 전압이 E_{vu} 와 같아지는 시간(T_2)은,

$$T_2 = \sqrt{\frac{Lx C_1}{\sin^2 \phi}} \left[\frac{E_m \sin \phi}{V_{co} + Lx I_d^2 / C_1} \right] + \tan^{-1} \left[\frac{V_{co}}{I_d} \sqrt{\frac{C_1}{Lx}} \right] \quad (31)$$

로 주어진다. 즉, T_2 는 선형 방전 구간의 길이를 나타낸다. 그림 -3 에는 부하가 변화할 때 T_2 와 공진구간의 길이가 Lx 의 함수로 주어져 있다.

3. 3. 3. 3.

그림 -1 ~ 그림-5에는 $C_1=30\mu F$, $Lx=1.2$ 3, 4 mH로 변화시켰을 때의 T_2 와 공진구간의 길이 및 환류용 캐패시터의 전압을 부하의 함수로 보여주고 있다. 예상했던 바와 같이 T_2 의 길이는 감소했고, slip주파수가 증가함에 따라서 공진구간의 길이가 dominant 함을 알 수가 있다. 또한, Lx 가 없을 때보다 큰 C_1 을 사용함으로써 spike 전압이 감소했음에도 불구하고, 전체 환류시간의 길이는 훨씬 감소되었음을 알 수가 있다. 이러한 사실로 볼 때, 새로 제안된 방식의 인버터는 기존의 방식보다 훨씬 우수한 특성을 가지고 있음을 알 수가 있고, 또한 환류용 다이오우드가 main 다이리스터와 병렬로 연결 되어있기 때문에, TYPE3 방식의 잇점을 가지면서도 더 경제적임을 알 수가 있다. 그러므로, 제안된 인버터는 기존의 방식을 대체시켜 사용되리라 생각된다.

4. 4. 4. 4.

- [1] M.B. Brennen, " A comparative analysis of two commutation circuits for adjustable current input inverters feeding induction motors ", *IEEE Power Elec. Spec. Conf.*, pp 201-212, 1973
- [2] W.Farrer, " Quasi-sine-wave fully regenerative inverter ", Proc. *IEE*, Vol.120 ,No.9, September, 1973
- [3] Richard H.Osman, " An improved circuit for accelerating commutation in current source inverters ", *IEEE Trans., Ind. Appl.*, Vol IA-20, No.5, September/October, 1984
- [4] Robert L. Steigerwald, " Characteristics of a current fed inverter with commutation applied through load neutral point ", *IEEE Trans., Ind. Appl.*, Vol. IA-15, No.5, September/October, 1979

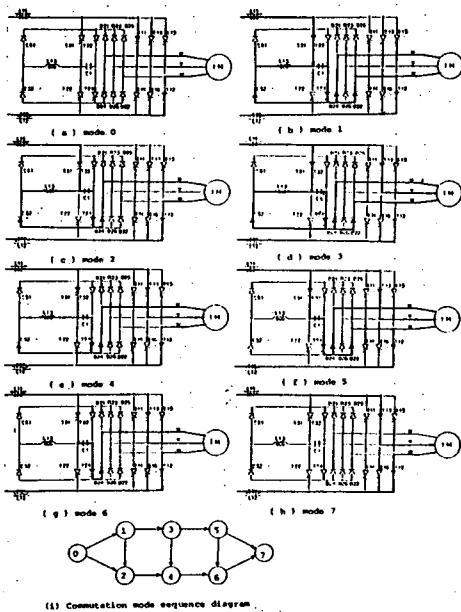


그림 -1. 제안된 방식의 전류원 인버터의 주회로와 환류 mode도

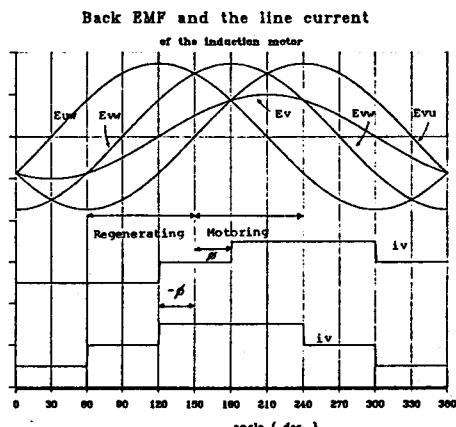


그림 -2. 유도전동기의 역기전력과 선전류 사이의 관계도

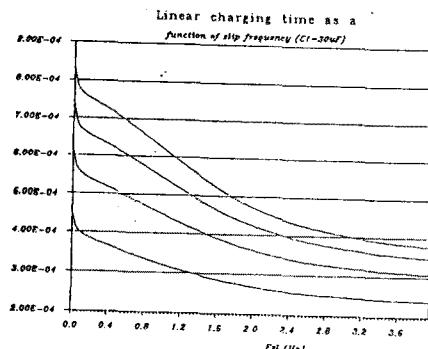


그림 -3. 선형 방전구간

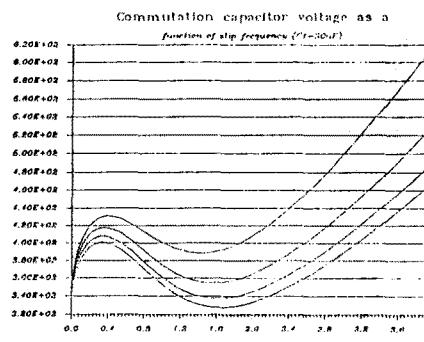


그림 -5. 환류용 캐패시터 전압

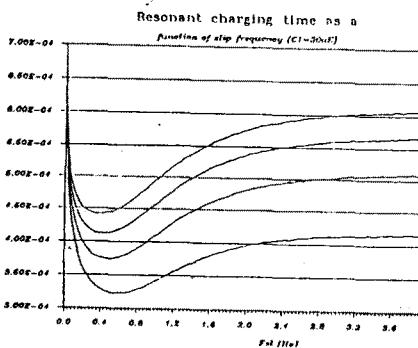


그림 -4. 공진 방전구간