

공통암 3상 IHMCL 인버터

송성근*, 박성준*, 문채주**

*전남대학교 전기공학과, **목포대학교 전기공학과

3-phase IHMCL inverter using common-arm

S.G. Song*, S.J. Park*, C.J. Moon**

*Chonnam National Univ., **Mokpo National Univ.

ABSTRACT

The number of transformers and the size of transformers in inverter using 3-phase transformer could be reduced compare with a multi-level inverter using single phase transformer. but still the 3-phase transformer inverter needs many switches. In this study, we proposed the isolated multi-level inverter using 3-phase transformers and common arm. Also, the equal-area method is used to calculate conduction angle with switching frequency equal to output fundamental frequency and it can reduce harmonics component of output voltage and switching loss. Finally, We tested multi-level inverter to clarify electric circuit and reasonableness through Matlab simulation and experiment by using prototype inverter.

1. 서 론

멀티 레벨 인버터는 크게 플로팅 상태의 분리된 커패시터를 이용하여 출력 레벨을 형성하는 flying capacitor circuit (FCC), 다이오드클램프 방식을 적용하여 출력 레벨을 형성하는 diode clamped circuit (DCC), 절연된 풀-브리지 형태를 모듈화 하여 결합시킨 isolated H-bridge circuit (IHC) 형태의 세 가지로 구분될 수 있다[1]-[4]. 이 중 IHC 타입 멀티레벨 인버터는 저압의 H-Bridge 형태의 회로를 직렬로 연결하여 독립된 DC 링크단을 가지는 셀들로 구성되어 모듈화 설계가 가능하다는 장점을 가지고 있으나, 각 H-Bridge마다 독립된 전압을 공급해야하는 문제점이 있다. 최근 IHC 타입 인버터의 문제점을 극복기 위해 출력 단을 변압기를 사용하여 절연함으로써 단일 직류 전원을 사용하는 연구가 수행 되었다. 이와 같은 멀티레벨 인버터에서 출력 전압파형의 품질 개선을 위해서는 많은 수의 전압 적층이 필요하게 되며, 이로인해 많은 수의 스위치 및 절연변압기가 필요 하므로 3상 멀티레벨 인버터에 적용하기에는 무리가 있다.

본 논문에서는 3상 변압기 절연형 H-Bridge 멀티레벨 인버터 구조에서 전압 적층에 따른 스위칭 소자수를 줄이기 위해 공통암을 이용한 공통암 3상 IHMCL(Isolated H-bridge cascade multilevel)인버터 구성을 제안하였다. 제안된 멀티레벨 인버터구조에서 스위칭 신호제어는 등면적 법에 의해 도통각을 제어를 통하여 스위칭 주파수를 기본주파수와 동일하게 하였으며, 출력전압의 THD 감소 및 스위치 손실을 줄였다.

2. 공통암 3상 IHMCL 인버터

2.1 3상 IHMCL 인버터

본 논문에서 제안한 공통암 3상 IHMCL 인버터의 구조는 그림 1과 같다. 그림 1은 변압기 5개 사용한 경우의 IHMCL 인버터의 구조로 각 인버터는 단일 직류 전원을 사용하며, 전압 적층을 위해 3상 저주파 변압기를 사용하였다.

제안된 인버터는 3상 변압기를 이용하므로 단상 변압기를 이용한 경우 보다 변압기 수를 줄일 수 있으며, 변압기 이용률이 증가 하므로 부피도 줄일 수 있어 저렴한 인버터 구현이 가능하다. IHMCL 인버터의 변압기 1차측 각 상은 H-Bridge 인버터에 연결되어 있어 V_{DC} , 0, $-V_{DC}$ 의 전압 레벨을 갖게 되며, 변압기 2차측은 각 상별로 직렬 연결하여 전압 적층을 한다. 그림 1에서 볼 수 있듯 각 상의 극성을 결정하는 암을 공통으로 사용하여 그렇지 않은 경우에 비해 24개의 스위치 소자를 줄였으며, 만일 k 개의 변압기를 이용하는 경우 줄일 수 있는 소자 수(p)는 다음 식과 같다.

$$p = 6(k-1) \quad (1)$$

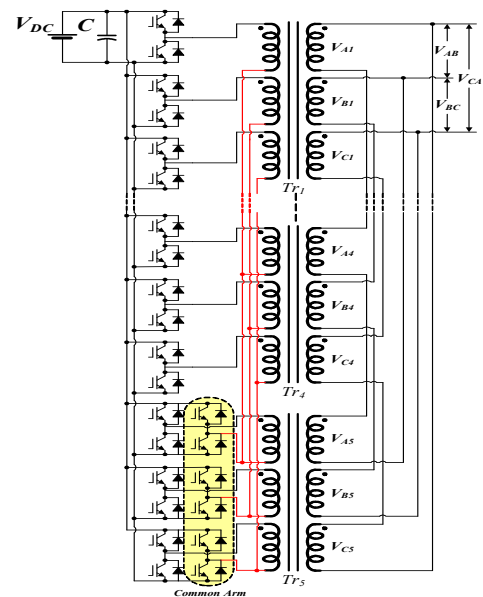


그림 1 공통암을 이용한 3상 IHMCL 인버터 구조
Fig. 1 Structure of 3-Phase IHMCL inverter using common-arm

이 경우 공통암으로 사용하는 스위치 소자의 전류 용량은 다른 암의 전류 용량의 합보다 큰 것을 사용하여야 하는 단점이 있으나 전체적인 소자 수 감소와 그에 따른 스위치 손실 저감 면에서 매우 우수한 인버터의 구현이 가능 하다.

2.2 스위칭 신호발생

그림 2은 5개의 H-Bridge를 사용한 경우 정현파 출력을 내기 위한 각 H-Bridge의 출력 파형으로 스위칭 주파수를 정현파의 기본 주파수와 같이 제어한 경우를 나타낸다. 그림 2에서 인버터의 도통각인 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ 에 따라 출력전압의 실효치는 식 (2)와 같이 주어진다.

$$V_o = V_{DC} \sqrt{\frac{2}{\pi} (8\pi - \alpha_1 - 3\alpha_2 - 5\alpha_3 - 7\alpha_4 - 9\alpha_5)} \quad (2)$$

위의 식에서 원하는 실효치를 만족하는 도통각의 해는 유일하지 않고 수없이 많이 존재하게 되며, 이를 계산하는 방식 또한 무수히 많다. 그 중 가장 많이 사용되는 방식은 Newton-rapson법을 이용한 비선형 방정식을 직접 해석하는 방법으로 이와 같은 방법은 계산 시간이 많이 걸리므로 실시간 연산이 거의 불가능하다.

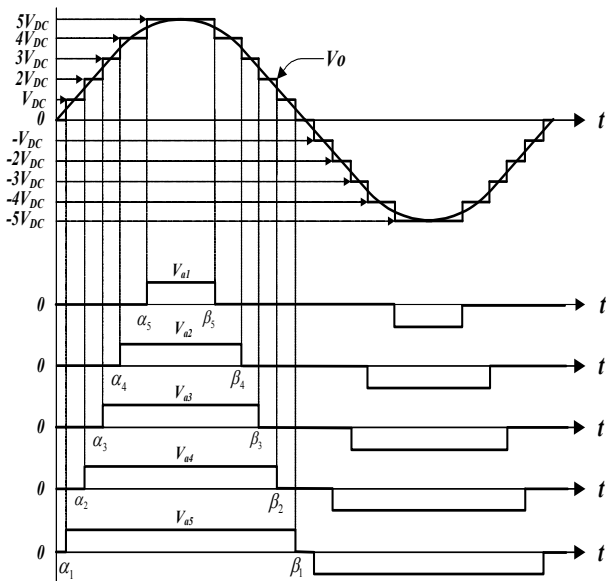


그림 2 IHCML 인버터 스위칭 패턴
Fig. 2 The switching function of IHCML inverter

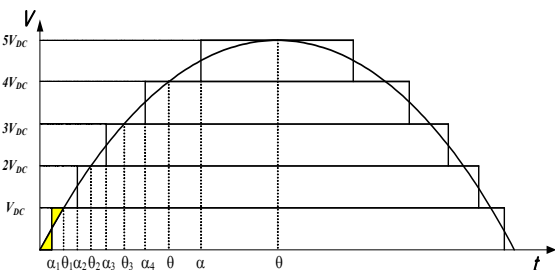


그림 3 THD저감을 위한 스위칭함수의 발생
Fig. 3 The principle of conduction angle determination for THD reduction

본 논문에서는 그림 3에서 도식한 바와 같은 등면적법 (Equal Area)에 의한 도통각 제어 방식을 사용하였다. 그림에서 레벨 전압과 정현적인 지령전압과의 교점은 다음 식과 같다.

$$\theta_n = \sin^{-1}\left(\frac{n V_{DC}}{V_p}\right) \quad (3)$$

만일 식 (3)을 만족를 만족하는 n 번째의 교점이 존재하지 않으면 교점은 다음 식을 이용하여 계산한다.

$$\theta_n = \frac{\pi}{2} \quad (4)$$

앞 식 (3), (4)에 의해 계산된 교점을 이용하여 그림 3에 표현한 두 면적이 같아지게 되는 인버터 도통각은 다음 식에 의해 결정된다.

$$\alpha_n = \theta_{n-1} - \frac{1}{V_{DC}} \int_{\theta_{n-1}}^{\theta_n} (V_p \sin(\theta) - n V_{dc}) d\theta \quad (5)$$

단, $\theta_0 = 0$

3. 시뮬레이션 및 실험결과

제안된 IHCML 인버터의 타당성을 검증하기 위해 Matlab을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행 하였으며, 실험실 차원의 프로토타입을 제작하여 실험 하였다. 그림 4는 변조비를 1.0으로 한 경우 각 H-bridge 출력 및 등면적법을 사용한 지령 전압과 가상의 출력을 나타낸 것으로 각 스위치의 스위칭 주파수는 기본주파수와 같으며 극성이 모두 같음을 확인할 수 있다.

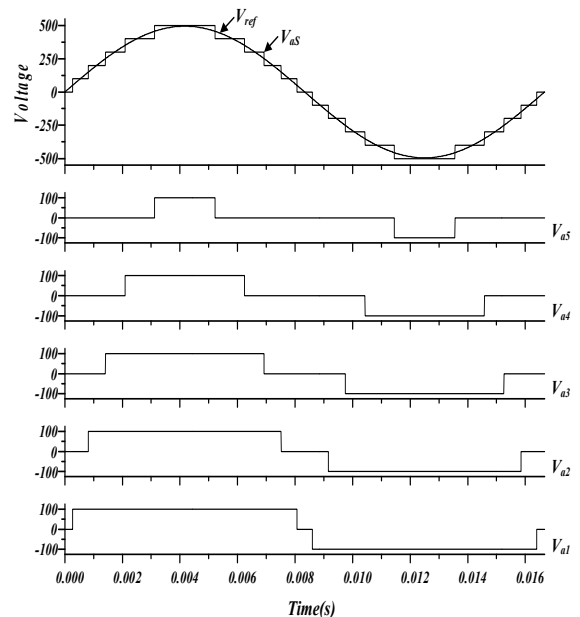


그림 4 변조비 1.0인 경우 H-Bridge 출력 및 지령 전압
Fig. 4 H-bridge output and reference at modulation 1.0

그림 5는 Newton-rapson법을 이용하여 특정 고조파 성분을 제거한 경우와 등면적법을 이용하여 계산한 도통각에 대한 인버터 출력 전압의 THD(Total harmonic distortion)와 DF(Distortion factor)를 나타낸 것으로 두 경우의 결과가 큰 차이가 없음을 확인 할 수 있으며, 전류의 왜곡률을 나타내는 DF는 변조비 0.3 이상에서 모두 5% 이하를 유지 하고 있다.

제안된 3상 IHCML 인버터의 타당성을 검증하기 위해 그림 6과 같은 3상 변압기 5개와 IPM 6개를 이용하여 실험실 차원의 실제 IHCML 인버터를 제작하여 실험을 수행 하였다. 제어는 DSP 2812를 이용하여 수행하였으며 TI사의 IQ-math를 이용하여 실시간으로 도통각 및 교차각을 계산 하였다. 다수의 스위치 제어를 위해 2중 레지회로를 이용하여 Dead Time을 구현하였으며 제어 신호를 동기화 시켰다.

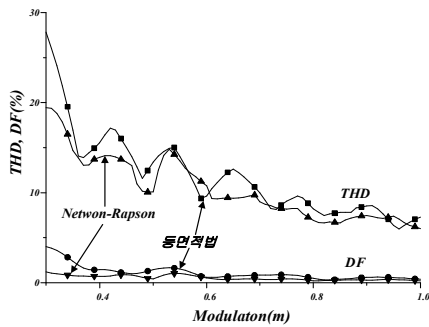


그림 5 인버터 출력 THD, DF
Fig. 5 THD and DF of output voltage

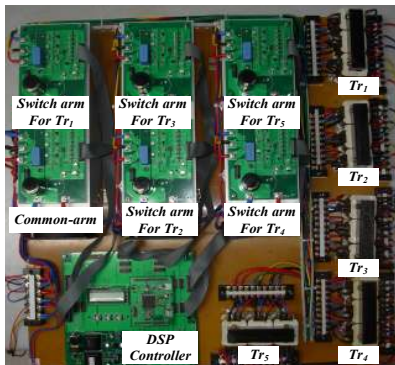


그림 6 3상 IHCML 인버터 프로토타입
Fig. 6 Prototype 3-Phase IHCML inverter

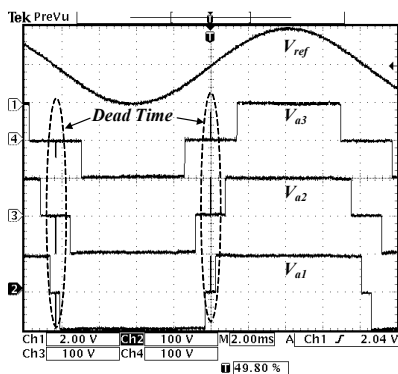


그림 7 H-Bridge 출력 전압 및 지령 전압
Fig. 7 The output voltages of H-Bridge and reference voltage

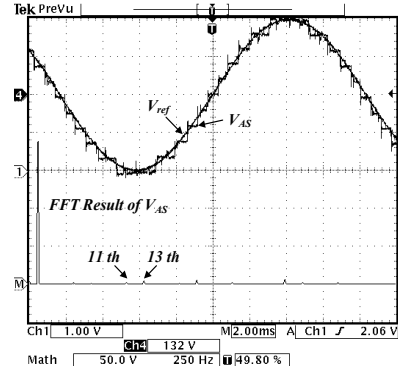


그림 8 변조비 1.0 인 경우 결과 파형
Fig. 8 The result waveforms at modulation 1,0

그림 7은 변조비가 1.0인 경우 지령 전압과 각 H-Bridge의 출력 전압을 나타낸 것으로 시뮬레이션 결과와 같이 모든 출력의 극성이 같음을 확인 할 수 있다. 또한 모든 H-Bridge의 스위치 주파수는 기본 주파수와 같다.

그림 8은 변조비 1.0인 경우의 지령 전압과 IHCML 인버터 출력 전압으로 전압의 THD는 6.4%, DF는 0.38%로 시뮬레이션 결과와 거의 같음을 확인 하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 공통암과 저주파 3상 변압기를 이용한 3상 변압기 절연형 H-Bridge 멀티레벨 인버터(IHCML)를 제안 하였으며, 시뮬레이션 및 프로토타입을 제작하여 제안한 방식의 타당성을 검토 하였다. 제안된 방식의 인버터는 절연 변압기를 사용함으로 단일 직류 전원 사용이 가능하며, 스위치 제어를 기본과 성분과 같게 제어함으로써 각 H-Bridge의 출력 전압의 극성이 같게 된다. 그러므로 H-Bridge의 극성을 결정하는 암을 공통으로 사용할 수 있으며 이로 인해 스위치 수를 공통암을 사용하지 않은 경우에 비해 24개 절약 할 수 있었다. 또한 본 논문에서 스위치 도통각을 실시간으로 제어하면서 출력 전압의 THD를 저감 시킬 수 있는 스위칭 방식인 등면적 법을 사용하므로 스위치 도통손 및 스위칭에 의한 고조파 노이즈를 저감시켜 성능이 우수한 인버터 제작이 가능함을 확인 하였다.

참 고 문 헌

- [1] K.A. Corzine, M.W. Wielebski, F.Z. Peng and J. Wang, "Control of Cascaded Multi-Level Inverters", Electric Machines and Drives Conference, Vol. 3, 2003, pp.1549~1555.
- [2] Tolbert, L.M., Fang Zheng Peng and Habetler, T.G., "Multilevel converters for large electric drives" Industry Applications, IEEE Transactions, Vol. 35, 1999, pp.36~44.
- [3] Fu-San Shyu and Yen-Shin Lai, "Virtual Stage Pulse-Width Modulation Technique for Multilevel Inverter/Converter" Power Electronics, IEEE Transactions, Vol. 17, 2002, pp.332~341.
- [4] Timothy. S "THE POWER ELECTRONICS HANDBOOK Industrial Electronics Series", Chap 6