

3-레벨 NPC 인버터의 중성점 전압 불균형 시 왜곡된 공간 벡터 보상에 대한 연구

현승욱*, 남윤준*, 홍석진*, 원충연*
성균관대학교*

A Study on Method to Compensate Distorted Space Vector at Unbalanced Neutral Point Voltage of 3-Level NPC PWM Inverter

Seung Wook Hyun*, Yun Joon Nam*, Seok Jin Hong* and Chung Yuen Won*
Sungkyunkwan University*

ABSTRACT

본 논문은 3 level NPC 인버터의 중성점 전압의 불균형 시 나타나는 공간 벡터 왜곡 현상을 보상하는 기법에 대해 제안하였다. NPC 인버터의 중성점 전압은 부하에 인가되는 상전압에 영향을 미치며, 이러한 출력 상전압의 변화에 의해 NPC의 공간벡터는 중성점 전압에 영향을 받게 된다. 이러한 중성점 불균형에 따른 공간 벡터 전압 왜곡 현상을 보상하기 위해 캐리어 전압 크기 및 옵셋 전압 인가 기법을 제안한다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 NPC 인버터의 중성점 전압 불균형에 대한 영향 및 제안한 기법의 타당성을 입증하였다.

1. 서 론

최근 스위칭 소자 및 MCU의 발전으로 신재생 에너지 분야에서 사용되는 토폴로지의 연구가 많이 수행되었으며, 이러한 분야의 계통 연계를 위한 3상 인버터의 전력변환 기술이 많이 연구되었다. 3상 인버터에는 2레벨 인버터와 여러 가지 종류의 멀티레벨 인버터가 개발되었으며, 2 level 인버터에 비해 더 낮은 상전류 THD특성을 갖는 3레벨 NPC (Neutral Point Clamped) 타입 인버터가 가장 많은 연구가 진행되었다.

하지만 3레벨 NPC 인버터는 DC link의 중성점이 각 상의 중성점과 공유되어있는 구조로 되어있기 때문에, 부하의 불균형, 시스템 기생 성분의 불균형, 제어의 불균형 등을 통해 중성점 전압의 불균형 현상이 나타날 수 있다. 또한 이러한 NPC의 구조로 인해, 중성점 전압 불균형은 출력단 전압에 영향을 주게 되며, 이를 개선하는 알고리즘을 필요로 한다.

본 논문은 3레벨 인버터의 DC link 전압 불균형 시 나타나는 현상과 이에 따른 공간벡터 왜곡 보상 기법 및 제안한 기법과 중성점 전압 균형 제어 기법을 혼용하는 제어 알고리즘에 대해 연구하였다.

2. 3레벨 인버터의 공간 벡터 왜곡 현상

그림 1은 DC link 전압 균형 시와(a) 불균형 시의(b) Sector A 공간 벡터 다이어그램이다. DC link 전압 불균형 시에는 Small vector와 Medium vector가 각 커패시터 전압에 영향을 받는다. 윗단 커패시터의 전압이 아랫단 커패시터 전압보다 더 클 경우, 윗단 커패시터 전압에 영향을 받는 Small vector POO, PPO 는 균형 상태보다 더 큰 전압이 부하에 인가되어

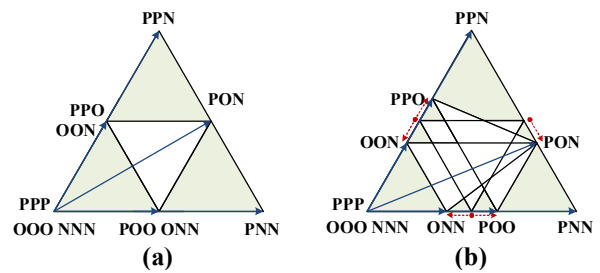


그림 1. (a) 중성점 전압 균형시와 (b) 불균형 시 Sector 1A에서의 공간 벡터 다이어그램

Fig. 1. Vector diagram of Sector 1A (a) neutral point voltage is balanced (b) neutral point voltage is unbalanced.

벡터의 길이가 더 길어지지만, 아랫단 커패시터에 영향을 받는 Small vector ONN, OON은 상대적으로 더 작아지게 된다. 또한 Medium vector PON은 윗단 커패시터에 영향을 받는 A상 부하가 아랫단 커패시터 전압에 영향을 받는 C상 부하보다 더 큰 전압이 걸리게 되어 벡터의 방향이 A상쪽으로 기우는 현상이 발생하게 된다.^[1]

3. 공간 벡터 왜곡 보상 기법

3.1 캐리어 크기 가변을 통한 보상 기법

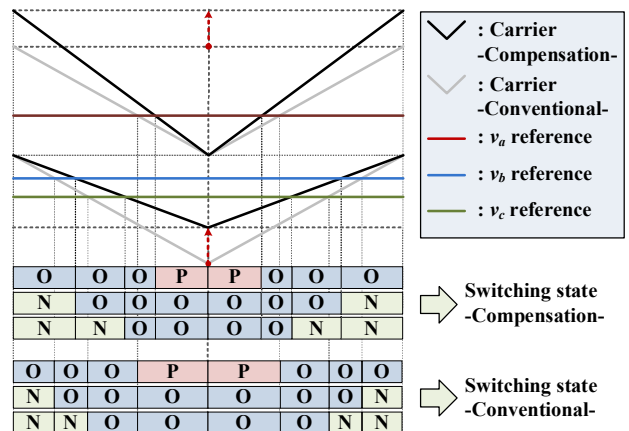


그림 2. Sector 1A에서의 기존 스위칭 시퀀스 및 캐리어 가변을 통한 공간 벡터 왜곡 보상 기법 스위칭 시퀀스

Fig. 2. Switching sequences by conventional and proposed methods based on compare with carrier waveforms in Sector 1A.

그림 2는 Sector 1A에서의 기존 스위칭 시퀀스 및 캐리어 가변을 통한 공간 벡터 왜곡 보상 기법 스위칭 시퀀스 그림이다. 윗단 커패시터 전압이 높아 POO의 크기가 ONN보다 커질 경우 윗단 커패시터에 영향을 받는 POO의 인가시간을 줄이고 ONN의 인가시간을 늘이면 왜곡된 벡터에 대한 출력 전압 보상이 가능하다. 하지만 이러한 보상 기법을 사용할 경우 윗단 커패시터와 아랫단 커패시터의 전압 이용률이 같이 가변하기 때문에 중성점 전압 불균형 현상이 더욱 커지는 현상이 발생할 수 있다.

3.2 캐리어 크기 및 직류 옵셋 인가를 통한 보상 기법

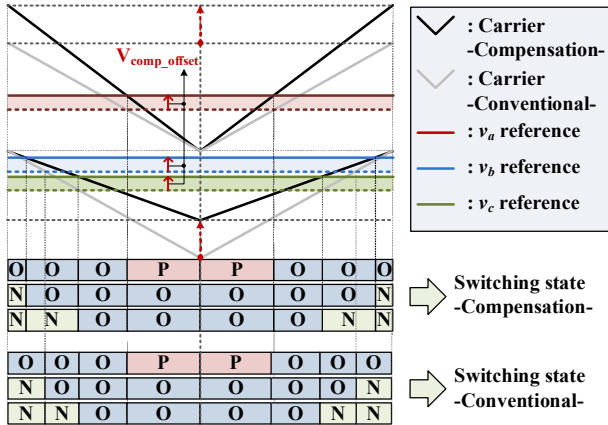


그림 3. Sector 1A에서의 기존 스위칭 시퀀스 및 캐리어 가변 및 직류 옵셋 전압 인가를 통한 공간 벡터 왜곡 보상 기법 스위칭 시퀀스
Fig. 3. Switching sequences by conventional and proposed additional methods based on compare with carrier in Sector 1A.

그림 3은 Sector 1A에서의 기존 스위칭 시퀀스 및 캐리어 가변 및 직류 옵셋 전압 인가를 통한 공간 벡터 왜곡 보상 기법 스위칭 시퀀스 그림이다. 3상 시스템에서 각 상에 동일한 직류 옵셋을 인가하면 3상 평형이 이루어져 상전류 및 출력에 영향을 주지 않는다. 하지만 직류 옵셋 인가는 3레벨 NPC 인버터의 스몰 벡터 인가시간을 바꿀 수 있기 때문에 중성점 전압 균형 제어에서 가장 많이 사용하는 기법이다. 이를 통해 제한한 기법을 사용하였을 때 나타나는 전압 이용률 차이만큼을 직류 옵셋 전압을 통해 보상하면 그림 3과 같이 윗단 커패시터 전압과 아랫단 커패시터 전압 이용률을 동일하게 하면서 공간 벡터 왜곡 현상을 보상할 수 있다. 이 때 캐리어의 크기 및 옵셋 전압의 크기는 수식 (1) (2)와 같이 계산할 수 있다.

$$V_{peak_Top} = \frac{2V_{C1}}{V_{C1} + V_{C2}}, V_{peak_Bottom} = \frac{2V_{C2}}{V_{C1} + V_{C2}} \quad (1)$$

$$V_{comp_offset} = \frac{\sqrt{3}MI(V_{C1} - V_{C2})}{2(V_{C1} + V_{C2})} \quad (2)$$

4. 시뮬레이션

그림 4는 carrier 크기 가변을 통한 전압 불균형 보상 기법 시뮬레이션 파형이다. 그림 4와 같이 옵셋 전압을 인가하지 않을 경우 그림 2에서 설명한 바와 같이 중성점 전압 불균형이 점점 더 커지게 된다.

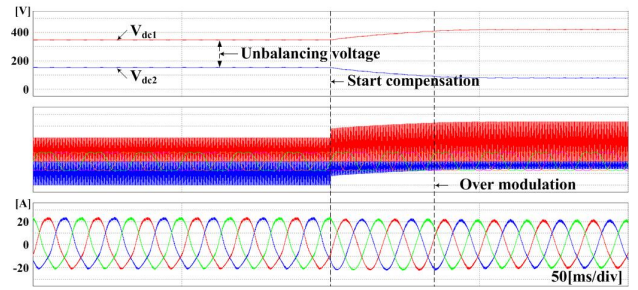


그림 4. 캐리어 크기 가변을 통한 보상 기법 시뮬레이션 파형
Fig. 4. Simulation results of variable amplitude of carrier waveform at unbalanced neutral point voltage

그림 5는 캐리어 크기 조절과 옵셋 전압 인가를 통한 불균형 보상 기법 시뮬레이션 파형이다. 그림 5와 같이 반송파 크기 가변과 지령 전압에 옵셋을 같이 인가할 경우 DC link 불균형 시 출력 상전류가 보상되는 것을 볼 수 있으며, 보상 후 DC link 전압 변화가 나타나지 않았다. 시뮬레이션 결과 THD는 보상 전 10.4[%], 보상 후 1.3[%]로 측정되었다.

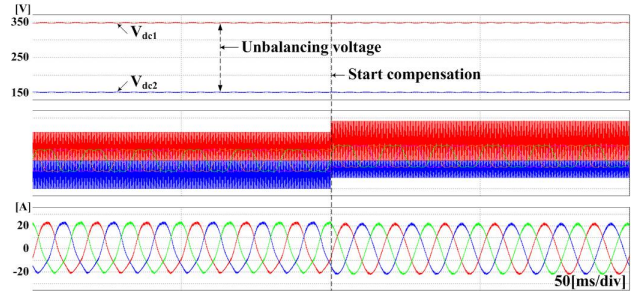


그림 5. 캐리어 크기 가변 및 옵셋 전압 인가를 통한 보상 기법
Fig. 5. Simulation results of variable amplitude of carrier waveform and offset of reference voltage

5. 결론

본 논문은 3레벨 NPC 인버터에서 중성점 전압 불균형 시 출력 상전류를 보상하는 기법에 대해 연구하였다. 본 연구는 캐리어 크기 보상을 통해 전류의 왜곡 현상을 개선하였으며 옵셋 전압 인가를 통해 보상 기법이 DC link 전압에 영향을 주지 않도록 하였다. 제한한 기법을 통해 중성점 전압 불균형 상태에서 제안한 기법 보상 전 10.4[%], 보상 후 1.3[%]의 THD가 나타남을 시뮬레이션으로 검증하였다.

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 삼성중공업 (2012T00100064)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

참고 문헌

[1] A. Lewicki, Z. Krzeminski, H. Adu Rub, "Space Vector Pulsewidth Modulation for Three Level NPC Converter With the Neutral Point Voltage Control," IEEE Trans. on Ind. Electron., Vol. 58, No. 11, pp. 5076-5086, Nov. 2011.