

양방향 3레벨 인버터를 위한 반송파 기반 PWM 방식의 중성점 제어 기법

권민호, 김주하, 최세완
서울과학기술대학교

Neutral-Point Voltage Balancing Control Method of Carrier-Based PWM Scheme for Bi-directional Three-Level Inverter

Minho Kwon, Jooha Kim and Sewan Choi
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

기존의 단방향 동작만 고려한 인버터에서 반송파 기반 PWM 방식의 중성점 전압 제어기법을 양방향 동작의 인버터에 그대로 적용할 경우 역방향 동작에서 중성점 전압이 오히려 벌어지는 문제가 있다. 본 논문에서는 구현이 간단한 반송파 기반 PWM 방식의 중성점 전압 제어기법을 양방향 인버터에 적용하여 인버터의 전류 방향에 상관없이 하나의 제어기로 구현된 제어기법을 제안한다. 제안하는 기법은 양방향 모드전환 시에도 끊임없는 제어가 가능하고 초기 동작과 무부하 동작에서도 중성점 전압의 불평형을 제거할 수 있다. 양방향 T type 인버터를 제작하여 본 논문에서 제안한 제어기법을 검증 하였다.

1. 서론

중앙 집중식 대규모 화석연료의 발전을 저감하고 신·재생에너지 사용의 확대를 위하여 지능형 전력망(Smart grid)이 대두됨에 따라 신·재생에너지를 기반으로 하는 분산발전시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 에너지저장장치 필요성이 증가함에 따라 계통연계형 양방향 인버터의 필요성이 증대되고 있다. 최근 기존의 2레벨 인버터에 비해 스위칭 손실 및 수동소자의 부피를 줄일 수 있는 3레벨 인버터에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 하지만 3레벨 인버터는 2레벨과 달리 중성점 전압의 제어가 수반되어야 한다. 그림 1의 3레벨 인버터의 벡터 중 small 벡터($V_1 \sim V_6$)와 midium 벡터($V_7 \sim V_{12}$)만 중성점 전압변동에 영향을 주는데 small 벡터 상태에서의 전류는 알 수 있지만 midium 벡터 상태에서의 전류방향은 인버터의 전류 방향에 의해서 결정되기 때문에 중성점 전압이 증가 하는지 감소하는지 알 수 없다^[1]. 따라서 기존 단방향 인버터의 중성점 제어기법을 양방향 인버터에 그대로 적용할 경우 역방향 동작시 중성점 전압이 오히려 벌어지는 문제가 있기 때문에 양방향 인버터의 경우에는 동작 모드에 따라 서로 다른 중성점 보상 알고리즘이 필요하다.

그림 2는 반송파 기반 PWM 방식으로 일반적인 전압·전류 제어블록이다. 여기서 n 은 변조지수에 직접 보상되는 중성점 보상 값으로서 인버터의 전류 방향을 판단하여 양수 또는 음수로 보상되어야 한다. 하지만 영전류 부근(zero cross)에서의 잦은 변동(fluctuation) 때문에 정확한 전류 방향을 판단하기가 어렵다. 히스테리시스 밴드를 이용하여 위의 문제를 완화 할

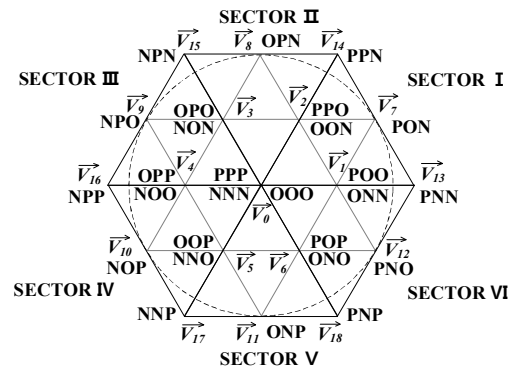


그림 1 3레벨 인버터의 스위칭 상태 벡터도

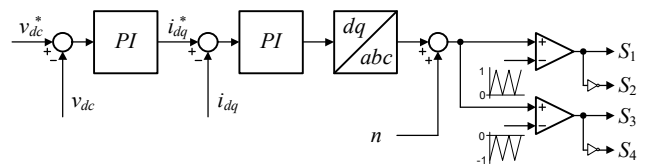


그림 2 이중 반송파 기반 PWM 방식의 전압 전류 제어블록

수는 있지만 이 또한 정확하지 못하기 때문에 초기 동작이나 모드전환시, 특히 무부하 동작에서 중성점 전압의 불평형을 야기 시킨다. 본 논문에서는 구현이 간단한 반송파 기반 PWM 방식의 중성점 전압 제어기법을 양방향 인버터에 적용하여 인버터의 전류 방향에 상관없이 하나의 제어기로 구현된 제어기법을 제안한다.

2. 제안하는 중성점 보상 기법

그림 3(a)는 3레벨 인버터 제어를 위한 일반적인 이중 반송파 기반의 PWM 방식이다. 그림 3(b)는 상전압이 양전압일 때의 스위칭 한 주기 동안의 파형을 보여주고 그림 3(c)는 음전압일 때의 한 주기 동작 파형이다. 그림 3으로부터 n 에 따라 u_{AO} 의 P상태와 N상태가 어떻게 증·감하는지 볼 수 있다. 각 상태의 증가 또는 감소는 인버터의 전류 방향에 따라 중성점 전압에 주는 영향이 다르다. 인버터모드에서는 P상태가 길어지면 상측캐패시터의 전압은 줄어들고 하측캐패시터의 전압이 증가하는 반면에 정류모드에서는 하측캐패시터의 전압이 증가, 상측캐패시터의 전압이 감소한다. 따라서 인버터의 동작 모드

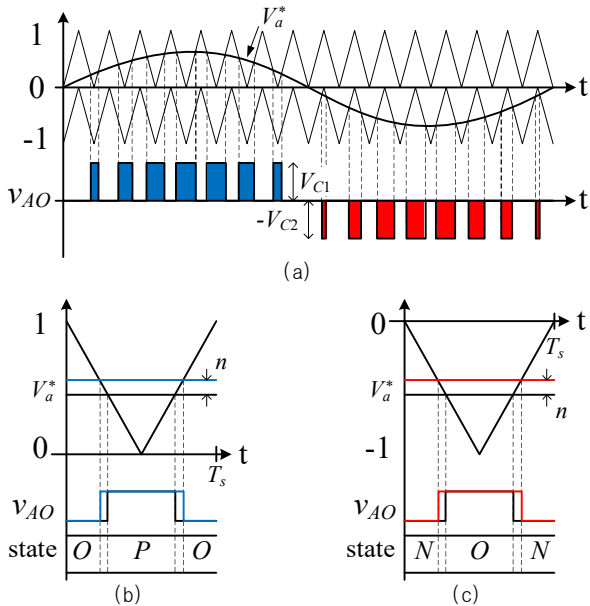


그림 3 IPD PWM변조 파형 (a)기본파 한주기 파형 (b)양전압일 때의 스위칭 한 주기 파형 (c)음전압일 때의 스위칭 한 주기 파형

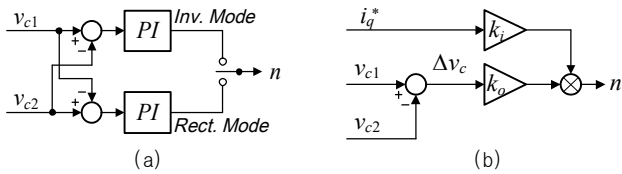


그림 4 양방향 중성점 전압 보상 알고리즘 (a)동작모드 선택에 의한 방법 (b)제한하는 방법

별로 중성점 보상값 n 이 서로 달라야 한다.

그림 4(a)는 기존의 단방향 인버터에서의 중성점 보상 알고리즘을 양방향에 적용한 보상 기법이다. 현재 인버터의 동작 모드를 판단하여 중성점 보상 제어기를 선택하는 방식으로 현재 동작 모드의 정확한 판단이 필요하다. 그림 4(b)는 제안하는 중성점 보상 알고리즘으로 인버터의 동작 모드에 상관없이 하나의 제어기로 중성점 보상이 가능한 구조이다. 제안하는 보상기의 출력 n 은 다음과 같이 결정 된다.

$$n = \Delta v_c k_o \times i_q^* k_i \quad (1)$$

인버터 동작 모드에 따라 부호가 결정되는 전류의 크기 지령치 i_q^* 와 중성점 전압의 차 Δv_c 가 곱해져 보상이 되기 때문

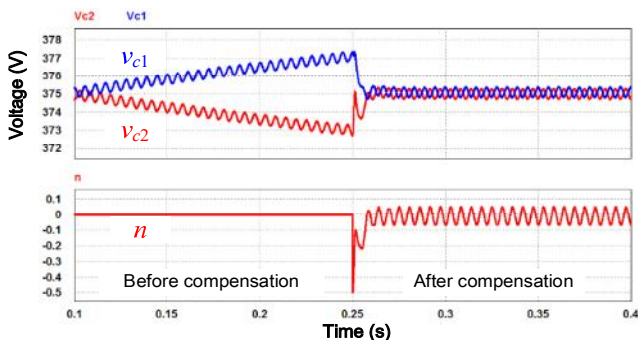


그림 5 중성점 보상 알고리즘 적용 모의실험 파형

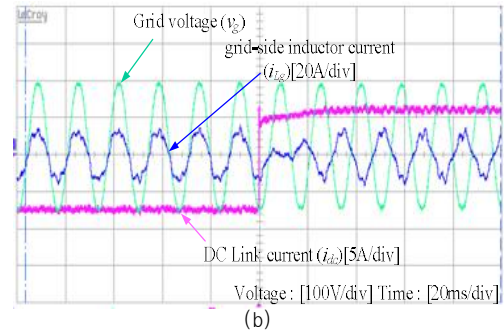
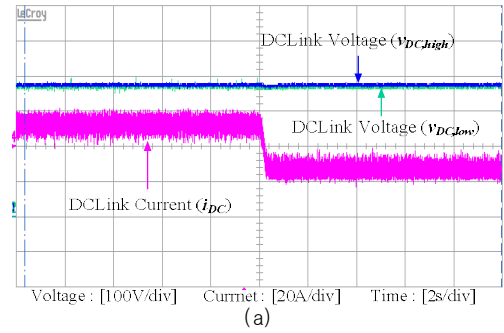


그림 6 동작모드 전환 시 실험파형 (a) DC 측 전압, 전류 (b) AC측 전압, 전류

에 동작 모드에 맞게 n 의 부호가 자동으로 결정되어진다. k_i 와 k_o 는 스케일 조절을 위한 비례상수이다. 이 두 개의 비례상수는 인버터의 동특성에 영향을 주기 때문에 적절한 값으로 선정하여야 한다.

3. 실험결과

그림 5는 제안하는 알고리즘을 검증하기 위해 중성점에 불평형이 발생한 후 알고리즘을 적용한 모의실험 파형이다. 그림 6은 제안하는 알고리즘을 적용하여 인버터의 동작 모드가 전환될 때의 실험 파형이다. 제안하는 알고리즘을 적용하여 양방향 인버터의 동작모드가 끊김없이 전환 되는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 양방향 3레벨 인버터에서 반송파 기반 PWM 방식의 중성점 전압 제어기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 동작 모드에 상관없는 하나의 제어 블록으로 구현되어 있기 때문에 모드전환이 끊김없고 반송파 PWM방식을 기반으로 하는 기법이기 때문에 복잡한 연산 없이 간단하게 구현이 가능하다. 본 논문에서는 T type 3레벨 양방향 인버터로 제안하는 알고리즘을 검증 하였다.

참고 문헌

[1] B. Wu, *High Power Converters and AC Drives*, John Wiley & Sons Inc., pp.143-177, 2007.
 [2] W. Song, X. Feng, K. M. Smedley, "A Carrier Based PWM Strategy With the Offset Voltage Injection for Single Phase Three Level Neutral Point Clamped Converters," *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 28, No. 3 pp. 1083-1095, Mar 2013.