

Cascaded NPC/H-bridge 멀티 레벨 인버터의 전력 및 손실 분배를 위한 새로운 Level-Shift PWM 기법

하재옥, 강진욱, 현승욱, 원충연
성균관대학교

Novel Level-Shift PWM for Power and Loss Distribution of Cascaded NPC/H-bridge Multi Level Inverter

Jae Ok Ha, Jin Wook Kang, Seung Wook Hyun, Chung Yuen Won
Sungkyunkwan University

ABSTRACT

Cascaded NPC/H bridge 인버터의 기존 Level Shift PWM에서는 한 stack에서 전력 및 손실 불균형이 발생하게 된다. 이에 따라 손실 불균형을 개선하기 위해 새로운 Level Shift PWM을 개발하였고, PSIM 9.14를 통해 기존의 PWM 기법들과 비교 분석 하였다.

1. 서론

현재 산업용 인프라를 구축하기 위한 전력용 반도체 스위치 소자를 이용한 고효율 인버터의 구조는 다양하게 사용되고 있다. 이러한 인버터 시스템의 에너지 효율을 증가시키고 절약이 가능한 고효율 양방향 인버터 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[1] 이러한 고효율 양방향 인버터 토폴로지 중 cascaded NPC/H bridge 멀티 레벨 인버터의 한 개의 stack은 PWM기법에 따라 손실과 전력 불균형이 발생할 수 있다.^[2]

따라서 본 논문에서는 인버터의 전력 및 손실 분배를 위한 새로운 Level Shift PWM기법을 제안하였고 PSIM 9.1.4를 이용하여 제안하는 PWM 기법의 타당성을 검증하였다.

2. 본론

2.1 Cascaded NPC/H-bridge 멀티 레벨 인버터

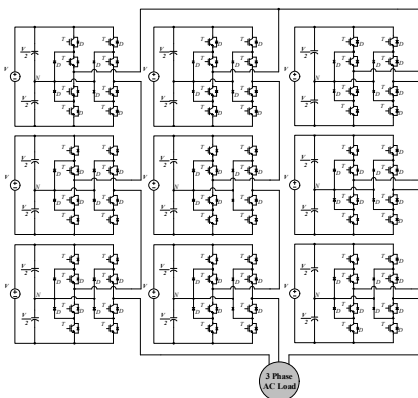
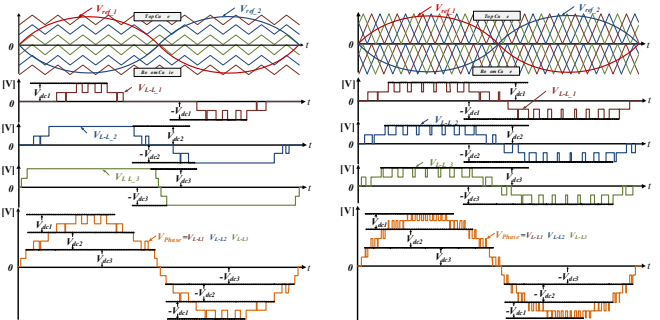


그림 1 Cascaded NPC/H-bridge 멀티 레벨 인버터 시스템 회로도
Fig. 1 Cascaded NPC/H-bridge multi level inverter system circuit diagram

멀티 레벨 인버터는 전력용 반도체 소자를 사용한 전력 스택 및 이를 제어하기 위한 제어 장치 장치로 구성되어 있다. 그림 1은 대표적으로 산업용 대용량 시스템에서 많이 사용하는

3상 Cascaded NPC/H bridge 시스템의 회로도를 보여준다. 인버터 시스템의 구조는 단상 NPC/H Bridge로 구성된 셀을 직렬로 연결하여 한 상을 구성하고, NPC/H Bridge 모듈의 출력을 다단 결합하여 출력 전압의 레벨을 증가시킨다. 따라서 Cascaded NPC/H Bridge 인버터는 낮은 전압을 이용하여 높은 전압을 출력하고 셀의 수에 따라 출력 전압 레벨 수의 증가로 정현파에 유사한 출력 전압 파형을 얻을 수 있다.

2.2 기존 PWM 기법



(a) Level-Shift PWM (b) Phase-Shift PWM

그림 2 기존 PWM의 모듈 출력전압 및 인버터 출력 전압
Fig. 2 Module output voltage and inverter output voltage of conventional PWM

2.2.1 Level-Shift PWM

본 논문에서는 멀티레벨 인버터에 사용하는 PWM방식 중 모든 캐리어가 동일한 위상과 크기를 가지고, 각 대역폭이 수직적으로 나란하게 배치하여 레퍼런스 파형과 비교하는 방식인 IPD를 사용한 Level Shift방식을 사용하였다. 이는 그림 2 (a)와 같이 동작한다. 셀의 수(N)를 기준으로 $N \times 2$ 개의 캐리어 파형을 이용하고 레퍼런스 파형과 비교하여 스위칭 파형을 생성한다. 이렇게 사용되는 $N \times 2$ 개의 캐리어 파형은 대역폭을 수직적으로 연달아 배치한다. 그림 2 (a)와 같이 6개의 캐리어 파형이 주어졌을 때 레퍼런스 파형과 비교하여 각 한 셀에서의 출력 전압을 E의 크기로 내보내고 각각 세 개의 셀에서 출력하는 전압을 다단 결합하여 한 상의 전압으로 출력하게 된다.

2.2.2 Phase-Shift PWM

Phase Shift방식은 캐리어 파형을 셀의 수에 따라 위상지연을 다르게 배치하는 스위칭 방식이다. 120° 의 위상차를 갖는 3개의 캐리어 파형과 레퍼런스 파형을 비교하여 스위칭하는 Phase Shift방식은 그림 2 (b)와 같은 스위칭 파형을 생성한다.

6개의 캐리어 파형이 주어졌을 때 레퍼런스 파형과 비교하여 Level Shift 방식과 마찬가지로 셀 전압 $\pm E[V]$ 의 전압을 출력하며, 이를 다단 결합하여 인버터의 상전압을 출력한다.

2.3 제안하는 Level-Shift PWM

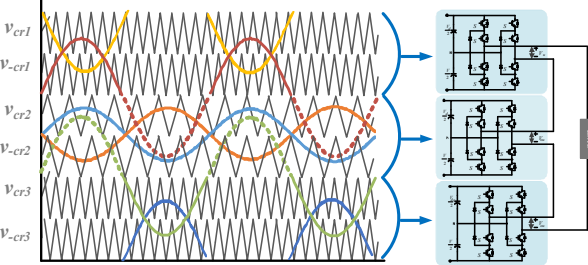


그림 3 새로운 Level-Shift PWM의 스위칭 파형
Fig. 3 Switching waveform of novel level-shift PWM

기존의 Level Shift PWM 기법은 원점을 기준으로 180° 의 위상차를 갖는 선형적인 두 개의 레퍼런스 파형과 대칭적 위치에 있는 2개의 캐리어 파형을 비교하여 스위칭 디바이스의 turn on 또는 off를 결정한다. 본 논문에서 제안한 새로운 Level Shift PWM 기법에서는 그림 3과 같이 각각 다른 크기 제어비를 갖는 6개의 레퍼런스 파형을 사용한다. 이에 따라 가장 높은 peak값을 갖는 캐리어 파형을 기준으로 2개씩 쌍을 이루어 1개의 인버터의 스위칭을 결정하게 된다.

2.4 시뮬레이션 결과

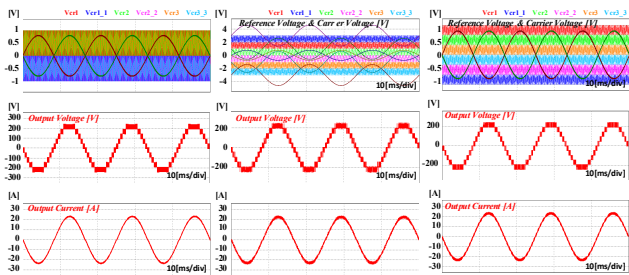


그림 4. 기존 PWM과 제안한 새로운 Level-Shift PWM 기법을 적용한 시뮬레이션 결과
Fig. 4. Simulation result using conventional PWM method and proposed novel Level-Shift PWM method

본 논문에서 제안한 PWM 기법의 타당성을 검증하기 위해 Cascaded NPC/H bridge 인버터의 한 개의 leg를 기존의 Phase Shift PWM 기법 및 Level Shift PWM 기법과 제안한 새로운 Level Shift PWM 기법으로 각각 구현하였다. 그림 4는 이에 따른 각각의 스위칭 파형과 출력 전압, 전류를 보여준다. 시뮬레이션 결과 출력전류의 THD는 기존의 Level Shift PWM 기법이 2.51%, Phase Shift PWM 기법이 2.34%이고, 제안한 새로운 Level Shift PWM 기법의 경우 2.41%로 THD값이 Phase Shift보다 0.07%크고, Level Shift보다 0.1% 낮아진다는 것을 확인하였다.

2.41 기존 PWM 기법과 제안한 새로운 Level-Shift PWM의 손실 비교

시뮬레이션을 통해 Cascaded NPC/H bridge 인버터의 한 개의 leg의 각각 1 stack당 발생하는 손실을 비교하고 그림 5와 같은 결과를 얻었다. 손실량을 측정하여 표 1에 정리하였다.

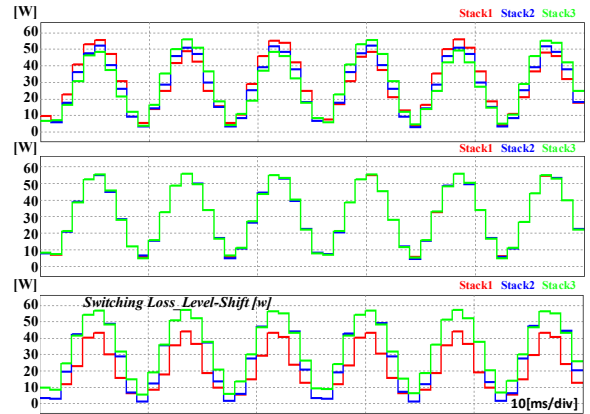


그림 5 각 PWM 방식에 따른 스위칭 손실 파형
Fig. 5 Switching loss waveform according to each PWM method

표 1 각 PWM 방식에 따른 손실 비교
Table 1 Comparison of losses according to each PWM method

PWM Method	Phase Shift	Novel Level Shift	Level Shift
1 stack 손실	31.39 [W]	29.6 [W]	21.01 [W]
2 stack 손실	31.43 [W]	28.46 [W]	31.5 [W]
3 stack 손실	31.42 [W]	29.56 [W]	34.04 [W]
총 손실	94.24 [W]	87.62 [W]	86.55 [W]

표 1에서 확인할 수 있듯이, 기존의 Phase Shift PWM은 손실이 균등한 것에 비해 높은 손실을 갖고, Level Shift PWM은 손실은 적지만 불균형하다는 단점이 존재한다. 반면 제안하는 새로운 Level Shift PWM의 경우 Phase Shift PWM 보다 적은 손실이 발생되고, Level Shift PWM보다는 각 stack 당 손실이 균등한 것을 확인하였다.

3. 결론

본 논문에서는 cascaded NPC/H bridge 인버터의 기존의 PWM 기법에서 발생하는 전력 및 손실 불균형을 개선하기 위한 새로운 Level Shift PWM 기법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 출력 전류의 THD 특성이 기존의 Level Shift보다 0.1% 작다는 것을 검증하였다. 또한 인버터의 한 leg당 손실이 Phase Shift보다 7.96W 작은 것을 검증하였다.

감사의 글
본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 20162010103830)

참고 문헌

[1] J. Rodriguez, S. Bernet, B. Wu, J. O. Pontt and S. Kouro, "Multilevel Voltage Source Converter Topologies for Industrial Medium Voltage Drives," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 54, no. 6, pp. 2930-2945, Dec. 2007.
[2] Bin Wu; Mehdi Narimani, "Cascaded H Bridge Multilevel Inverters," in High Power Converters and AC Drives, 1, Wiley IEEE Press, 2017, pp.480