

Active NPC 컨버터를 사용한 이차 전지 충전방전 시스템 설계

성기석, 김석민, 이교범
아주대학교

Design of a Secondary Battery Charging/Discharging System using an Active NPC Converter

Ki Seok Sung, Seok Min Kim, and Kyo Beum Lee
Ajou University

ABSTRACT

본 논문은 active neutral point clamped (A NPC) 컨버터를 이용한 이차 전지 충전방전 시스템 설계 방법을 제안한다. 제안하는 시스템은 계통 전압의 정류를 위한 필터와 3 레벨 NPC 컨버터, 이차 전지 충전방전을 위한 양방향 DC/DC 컨버터로 구성된다. 그러나 기존의 NPC 컨버터는 IGBT의 스위칭 손실이 특정 소자에 집중되어 스위칭 주파수를 높이는데 한계를 갖는다. 본 논문은 손실 불균형 문제를 해결하기 위해 기존의 NPC 컨버터 대신 A NPC 컨버터를 적용하며 이를 위한 변조 방법을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 변조 방법에 따른 IGBT의 손실 및 온도 분포에 대한 분석 결과를 제시하며 제안하는 이차 전지 충전방전 시스템의 타당성을 검증한다.

제한 IGBT의 동작에 의해 4가지 O 스위칭 상태를 가지며 표 1에 나타난 6단계 변조 방식을 이용하여 외측 IGBT의 스위칭 손실을 분담할 수 있다.

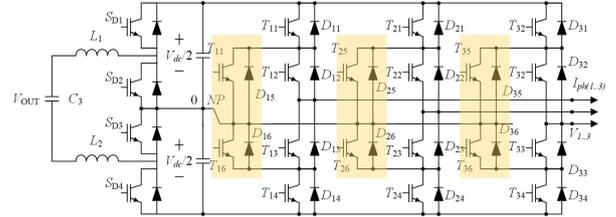


그림 1 제안하는 A-NPC 컨버터 기반의 배터리 충전방전 시스템
Fig. 1 Proposed battery charging/discharging system based on A-NPC converter

1. 서론

ESS 시장의 성장과 신재생 에너지에 대한 관심이 증대하고 있다. 신재생 에너지에 대한 시장은 매년 2배씩 증가를 하고 있으며, 에너지를 저장하는 이차 전지에 대한 관심도 증가하고 있다. 이차 전지의 활용은 자동차, ESS, UPS 등 다방면의 분야에서 사용되고 있으며 점차 사용되는 범위가 증가하고 있다. 이차 전지의 특성 연구를 위해 필수적인 충전방전 테스트 장비는 높은 제어 동특성과 신뢰성이 요구된다.

중대형 이차 전지 충전방전 시스템은 주로 정류기 역할을 하는 3 레벨 NPC 컨버터와 멀티레벨 DC/DC 컨버터로 구성된다. 그러나 기존의 NPC 컨버터는 한 레그를 구성하는 4개의 IGBT 간에 스위칭 손실이 불균형하게 분배되는 문제가 발생한다. 외측 두 개의 IGBT가 유효 전력의 전달을 담당하기 때문에 스위치의 손실 또한 외측 두 개의 IGBT로 집중되며 이로 인해 스위칭 주파수를 높이는데 한계가 있다^[1].

본 논문은 IGBT 손실을 균등하게 분배하기 위해 A NPC 컨버터를 적용한 이차 전지 충전방전 시스템과 이의 제어 기법을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 시스템의 타당성을 검증한다.

2. 본론

2.1 A-NPC 3-Level 컨버터

제안하는 A NPC 컨버터는 기존 NPC 컨버터의 클램프 다이오드를 IGBT로 대체한다^[2]. A NPC 컨버터는 다이오드를 대

표 1 IGBT 손실 분배를 위한 A-NPC 스위칭 모드
Table 1 Switching mode of A-NPC for IGBT loss distribution

State	T_{x1}	T_{x2}	T_{x3}	T_{x4}	T_{x5}	T_{x6}
P	1	1	0	0	0	1
OU_2	0	1	0	0	1	0
OU_1	0	1	0	1	1	0
OL_1	1	0	1	0	0	1
OL_2	0	0	1	0	0	1
N	0	0	1	1	1	0

2.2 3-Level DC/DC 컨버터

DC/DC 컨버터는 양방향 3 레벨 토폴로지를 사용하며 그림 2와 표 2는 회로와 스위칭 동작 모드를 설명한다^[3]. 3 레벨 DC/DC 컨버터는 높은 전압에 대응이 가능하며 구조가 간단하고 커패시터 전압 불균형이 작다. 이차 전지 충전방전 제어는 큰 대역폭으로 빠른 동특성을 갖는 이중 루프 PI 제어기를 사용한다.

표 2 DC/DC 컨버터의 스위칭 모드
Table 2 Switching mode of DC/DC converter

Mode	S_{a2} (S_{d1} 상보)	S_{a3} (S_{d4} 상보)	출력 전압
1	0	0	$V_o = 2V_C$
2	0	1	$V_o = V_{C1}$
3	1	0	$V_o = V_{C2}$
4	1	1	$V_o = 0$

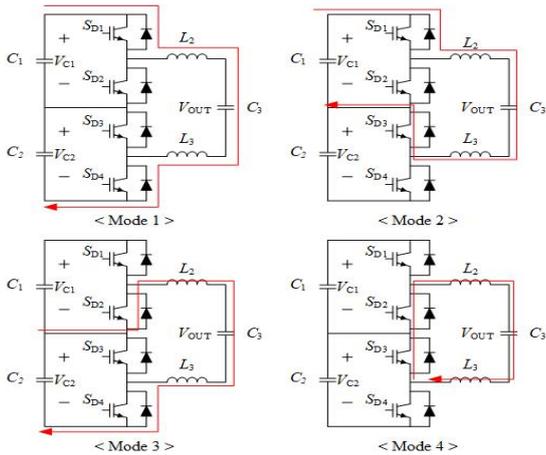


그림 2 3-레벨 DC/DC 컨버터의 동작 모드
Fig. 2 Operating mode of three-level DC/DC converter

3. 시뮬레이션 결과

3.1 스위칭 손실

NPC 컨버터와 A NPC 컨버터의 스위칭 시 상단($T_{x1,x2}$) 및 하단($T_{x3,x4}$) 스위치에 대한 온도 상승을 비교하였다. A NPC 컨버터를 적용함으로써 외측 IGBT (T_{x1} , T_{x4})의 온도가 20°C 정도 저감됨을 확인할 수 있다.

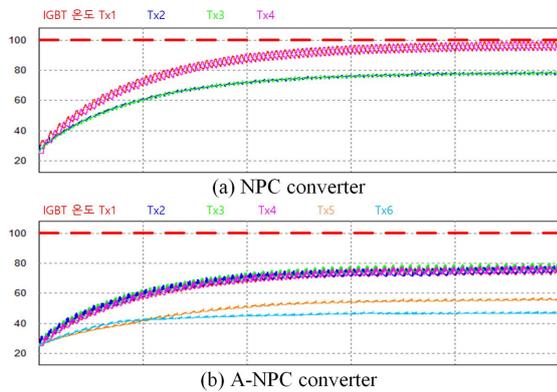


그림 3 IGBT 온도 비교
Fig. 3 Temperature comparison of IGBTs

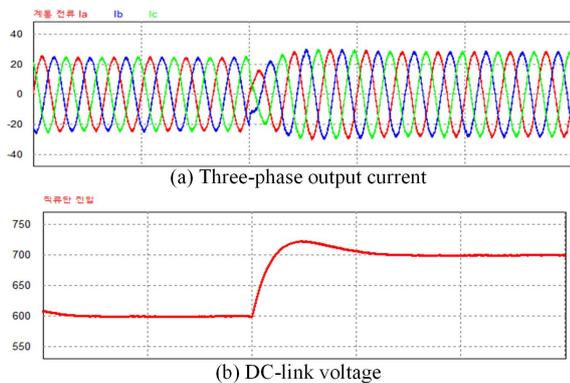


그림 4 직류단 전압 제어 결과 파형
Fig. 4 Simulation result of DC-link voltage control

3.2 A-NPC 컨버터 전압 제어

A NPC의 주 제어 목적은 계통 전압을 정류하여 직류단의 전압을 유지하는 것이다. 그림 4는 직류단 전압을 600V에서 700V로 제어할 때의 직류단 전압과 계통 전류를 나타낸다. 외측 IGBT의 손실 저감으로 높은 스위칭 주파수를 사용하여 낮은 THD의 전류가 출력됨을 확인할 수 있다.

3.3 DC/DC 컨버터 전류 제어

그림 5는 DC/DC 컨버터 출력 측 이차 전지의 전류제어 결과를 나타낸다. 이차 전지는 저항 부하로 모의 하였으며 10 A의 충전과 10 A의 방전을 위한 전력 급변에도 제어가 빠르게 수행됨을 알 수 있다.

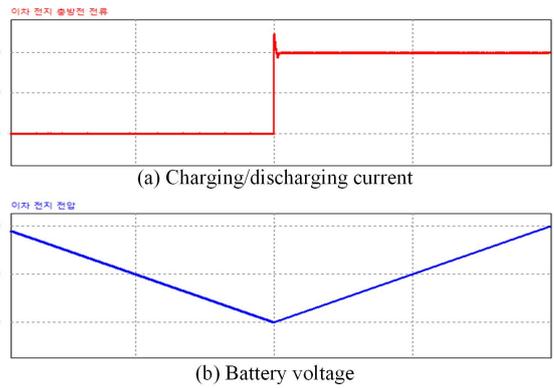


그림 5 DC/DC 컨버터 전류 제어 파형
Fig. 5 Simulation result of current control

4. 결론

본 논문에서는 A NPC를 적용한 이차 전지 충전 시스템과 제어 기법을 제안하였다. A NPC 컨버터는 추가 IGBT를 이용하여 외측 IGBT의 손실을 공유하여 높은 스위칭 주파수를 사용할 수 있다. 높은 전압을 변조할 수 있는 양방향 3 레벨 DC/DC 컨버터는 이차 전지의 충전전 전류를 빠른 동특성으로 제어한다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 시스템의 제어 성능을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] Y. Deng, J. Li, K. H. Shin, T. Viitanene, M. Saedifard, and R. G. Harley, "Improved Modulation Scheme for Loss Balancing of Three Level Active NPC Converters," *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 32, No. 4, pp. 2521-2532, Apr. 2017.
- [2] T. Brückner, S. Bernet, and H. Güldner, "The Active NPC Converter and Its Loss Balancing Control," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 52, No. 3, pp. 855-868, Jun. 2005.
- [3] S. Dusmez, A. Hasanzadeh, and A. Khaligh, "Comparative Analysis of Bidirectional Three Level DC Dc Converter for Automotive Applications," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 62, No. 5, pp. 3305-3315, May 2015.