

배터리 충·방전용 양방향 DC-DC 컨버터의 필터 인덕턴스를 고려한 제어특성 분석

김학수, 이재운, 강경숙, 노의철, 김흥근*, 전태원**,
부경대학교, 경북대학교*, 울산대학교**

Analysis of the Control Characteristics of Bidirectional DC-DC Converter for Battery Charging and Discharging with Considering Filter Inductance

Hak Soo Kim, Jaewoon Lee, Eui Cheol Nho, Heung Geun Kim*, Tae Won Chun**
Pukyong National Univ., Kyungpook National Univ.*, University of Ulsan**

ABSTRACT

본 논문에서는 배터리 충·방전용 양방향 DC-DC 컨버터의 필터 인덕턴스와 제어특성의 영향을 분석한다. 필터 인덕턴스의 값을 변경하여 기존의 제어기법과 개선된 제어기법에 따른 특성 변화를 3kW급 양방향 2상 인터리빙 DC-DC 컨버터 회로에 적용하여 분석하였으며 시뮬레이션을 통해서 타당성을 검증하였다.

1. 서론

ESS(Energy Storage System)는 수백 MW급 발전소용 대용량 시스템에서부터 수 kW급 가정용 소용량 시스템에 이르는 다양한 어플리케이션에 광범위하게 적용되고 있다. ESS가 주목받게 됨에 따라 ESS의 핵심요소인 배터리 충·방전용 DC-DC 컨버터에서 발생하는 손실을 줄이기 위한 새로운 토폴로지 및 소프트 스위칭 기법에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다. 소프트 스위칭을 달성하기 위해서 컨버터를 전류입계모드 및 전류불연속모드로 동작시키면 ZVS 및 ZCS를 통해서 스위칭 손실은 줄일 수 있지만 전류 리플의 크기가 평균 전류 레벨의 2배 이상 커지기 때문에 도통손실이 증가하게 되고, 큰 전류 리플은 배터리의 수명에 악영향을 미치므로 ESS의 신뢰성을 떨어뜨리게 된다. 특히, 비절연형 양방향 DC-DC 컨버터는 입출력 승·강압비가 큰 경우 동일한 정격의 절연형 및 연속모드로 동작하는 컨버터에 비해서 전류 리플이 더욱 커지게 된다^[1]. 전류 리플을 줄이기 위해서는 인터리빙방식의 DC-DC 컨버터 토폴로지를 채택하여 상을 늘려 전류리플을 상쇄시키거나 수동필터를 적용하여 전류리플을 감쇄시킬 수 있다. 인터리빙 DC-DC 컨버터 토폴로지의 경우 상을 늘리면 늘릴수록 전류리플을 더 작게 줄일 수 있고 전반적으로 제어 특성이 좋지만 부품이 늘어나는 만큼 회로의 가격도 상승하게 된다. 이에 반해 수동필터를 사용할 경우 부품 수를 많이 안 늘려도 적절한 파라미터의 선정으로 전류리플을 쉽게 저감할 수 있지만 회로의 제어특성이 나빠지는 트레이드 오프가 있다. 따라서 시스템 설계 시 성능 및 가격적인 측면을 전반적으로 고려하여 적용하고자 하는 어플리케이션에 알맞은 절충점을 찾는 것이 중요하다.

본 논문에서는 그림 1과 같이 ESS용 양방향 2상 인터리빙 소프트 스위칭 DC-DC 컨버터에 LCL필터가 적용되었을 경우 제어기법에 따라서 필터 인덕턴스의 변화가 어떤 영향을 미치는지 분석하였다.

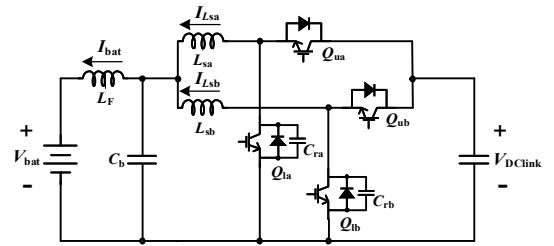
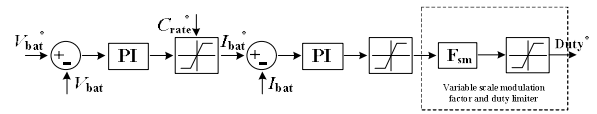


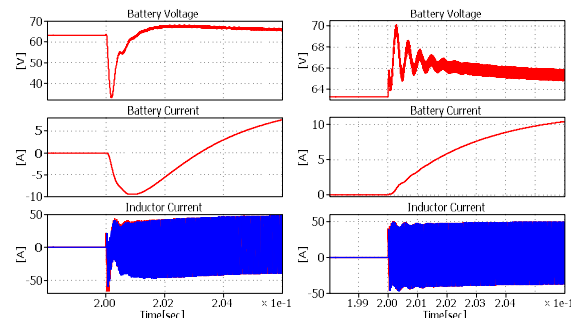
그림 1 2상 인터리빙 양방향 소프트스위칭 DC-DC 컨버터
Fig. 1 2 phase interleaved bidirectional soft switching DC-DC converter

2. 개선된 DC-DC 컨버터의 제어기법

그림 2는 필터 인덕턴스가 추가된 2상 인터리빙 양방향 DC-DC 컨버터의 과도상태 특성 개선을 위한 제어기법의 블록도 및 제어기법이 적용된 출력파형^[2]을 나타낸 것으로 전압제어기리미터의 상·하한치와 지령의 변화에 따라 제어기 듀티를 피드포워드 시킴으로써 제어기 루프 이득을 개선시켜서 과도상태 특성을 보상해줄 수 있다.



(a) 개선된 제어블록도



(b) 충전 시 제어기법 적용 전과 적용 후 각 출력파형

그림 2 개선된 제어기법 및 출력파형
Fig. 2 Improved control method and output waveforms

3. 시뮬레이션 결과

표 1은 제안하는 시스템의 파라미터를 나타낸 것이다. 필터 인덕턴스의 변화에 따른 영향을 분석하기 위해서 배터리 측 L 값을 50 μH 와 600 μH 로 각각 Case 1과 Case 2로 설정하여 시뮬레이션을 진행하였다.

표 1 시스템 파라미터
Table 1 System Parameters

Parameter	Case 1	Case 2
V_{bat}	70 [V]	75 [V]
V_{DClink}	350 [V]	350 [V]
f_s	20 [kHz]	20 [kHz]
L_F	50 [μH]	600 [μH]
L_S	30 [μH]	30 [μH]
C_b	220 [μF]	220 [μF]
C_{rate}	0.3 C	0.3 C

그림 3과 그림 4는 개선된 제어기법의 적용 전과 후의 충·방전 시 필터 인덕턴스 값에 따른 배터리 전압 및 전류 비교 파형으로, 그림 3과 그림 4의 (a) 파형을 보면 Case 2는 제어가 잘 되지만 Case 1일 경우 제어가 되지 않아 특정 값에 수렴하지 않고 발산하는 것을 확인할 수 있다. 반면에 개선된 제어기법이 적용된 그림 3과 그림 4의 (b) 파형을 보면 Case 1과 Case 2 모두 제어가 잘 되는 것을 확인할 수 있으며, 인덕턴스 값을 10배 이상 줄여도 전류리플의 크기는 0.1 A 이내인 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 배터리 측 필터 인덕턴스가 추가된 2상 인터리빙 방식 양방향 DC DC 컨버터와 배터리 측 필터 인덕턴스가 없는 4상 인터리빙 방식 양방향 DC DC 컨버터의 각 파형을 비교한 것이다. 그림 5(a)는 2상 인터리빙 방식의 배터리 전압 및 전류 파형을 나타낸 것으로 전압리플은 그림 5(b)의 4상 인터리빙 방식에 비해 크고 반대로 배터리 전류리플의 크기는 필터 인덕턴스가 추가된 2상 인터리빙 방식이 더 작은 것을 확인할 수 있다.

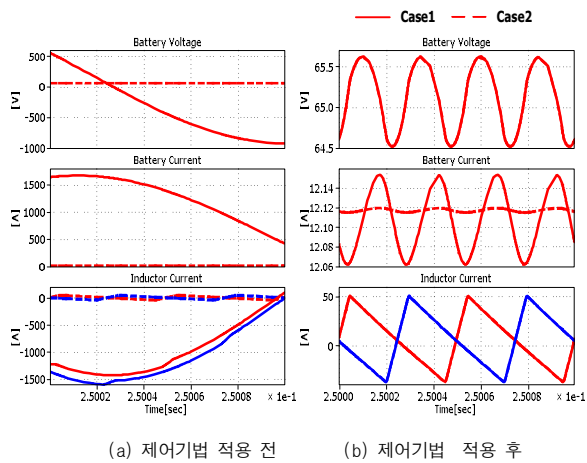
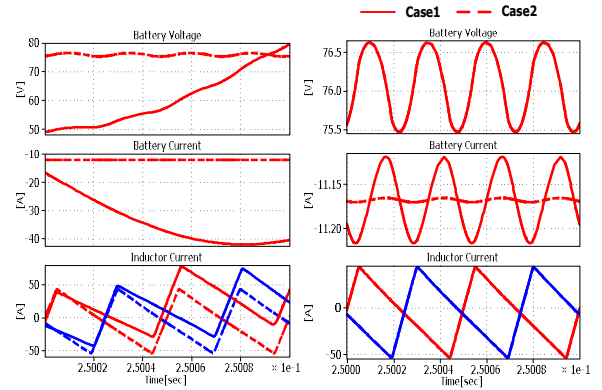
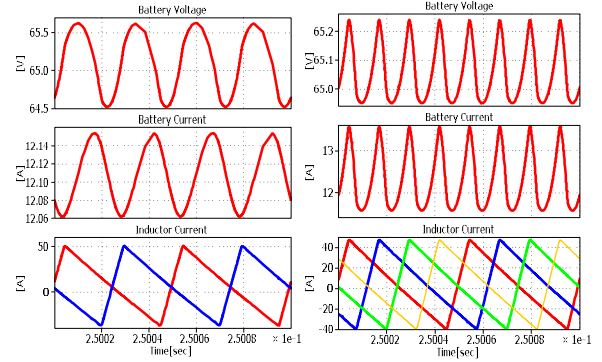


그림 3 충전모드 시 필터 인덕턴스에 따른 비교파형
Fig. 3 Comparison of non-adapted and adapted proposed control method with different filter inductance in charging mode



(a) 제어기법 적용 전 (b) 제어기법 적용 후

그림 4 방전모드 시 필터 인덕턴스에 따른 비교파형
Fig. 4 Comparison of non-adapted and adapted proposed control method with different filter inductance in discharging mode



(a) 2상 인터리빙 방식 (b) 4상 인터리빙 방식

그림 5 2상 인터리빙 방식과 4상 인터리빙 방식의 출력 리플 비교파형
Fig. 5 Output Ripple Comparison of 2-phase interleaving method with filter inductance and 4-phase Interleaving method without filter inductance

4. 결론

본 논문에서는 배터리 충·방전용 양방향 DC DC 컨버터의 제어기법에 따라 필터 인덕턴스의 변화가 미치는 영향을 분석하였다. 개선된 제어기법 적용 시 필터 인덕턴스의 값을 아주 작게 설계 가능한 것을 확인할 수 있었고 시뮬레이션을 통한 각 파형의 비교를 통하여 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

[1] H. R. Karshenas, H. Daneshpajoo, A. Safaei, P. Jain, and A. Bakhshai, "Bidirectional DC DC Converters for Energy Storage Systems", www.intechopen.com
[2] 김학수, 이재운, 정재현, 노의철, 전태원, 김홍근, "ESS 용 양방향 소프트 스위칭 DC DC 컨버터의 과도상태 특성개선을 위한 제어기법", 2016년 전력전자 추계학술대회 논문집 pp.137-138