

전기자동차 배터리 충방전용 양방향 DC-DC 컨버터의 고효율화

권창근, 정재현, 노의철, 김인동, *김흥근, **전태원
부경대학교, *경북대학교, **울산대학교

High Efficiency Bidirectional DC-DC Converter for Battery Charging and Discharging of Electric Vehicle.

Chang Keun Kwon, Jae Hun Jung, Eui Cheol Nho, In Dong Kim, *Heung Geun Kim, **Tae Won Chun
Pukyong National Univ., *Kyungpook National Univ., **University of Ulsan

ABSTRACT

본 논문에서는 V2G 기능이 있는 전기자동차 배터리 충방전용 양방향 DC DC 컨버터에 대해 다룬다. 상용 전원 220 V는 PWM 인버터에 의해 직류 400 V로 변환되며 전기자동차용 배터리 전압은 176 V ~ 252 V 이다. 배터리 충방전용 DC DC 컨버터의 효율을 높이기 위하여 1 모듈 1 폴로 구성된 경우와 1 모듈 3 폴로 구성된 경우를 비교 분석하였다.

1. 서론

최근 신·재생에너지원의 불안정한 출력특성으로 인한 마이크로그리드에서 에너지 저장 시스템의 필요성과 전기 자동차를 이용한 V2G에 대한 관심이 대두됨에 따라, 양방향 DC DC 컨버터에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[1]

본 논문에서는 전기자동차용 배터리의 충방전을 위한 간단한 구조의 양방향 DC DC 컨버터에 대해 고효율화 방안을 다루었다. 일반적인 1 모듈 1 폴 IGBT를 사용한 방식과 1 모듈 3 폴 IGBT를 사용한 방식에 대해 스위칭 패턴을 손실이 최소화 되도록 하여 효율을 비교 분석하였다.

1 모듈 3 폴 시스템은 3상 인터리브드 DC DC 컨버터를 구성하고 각 상은 전류 불연속 모드로 동작하여 스위치의 턴 온이 영전류에서 이루어지도록 하였다. 또한 각 폴의 스위칭이 120°의 위상차를 가지도록 하여 실제 배터리의 충전 및 방전 전류의 리플이 1 모듈 1 폴 컨버터를 사용하는 경우보다 작아지도록 하였다. 시뮬레이션을 통하여 3kW 충전시 1 모듈 1 폴 컨버터를 이용한 경우와 1 모듈 3 폴 시스템을 이용한 경우에 대한 배터리의 충전 전류 리플을 비교하였으며, 스위치 손실은 데이터시트를 이용하여 계산상으로 구하여 비교하였다.

2. 시스템 구성 및 충·방전 모드 설명

그림 1은 1 모듈 1 폴로 구성된 일반적인 양방향 DC DC 컨버터를 나타낸다. V_B 는 배터리측을 나타내며 V_{DC} 는 인버터의 DC link 전압을 나타낸다. 인버터는 계통 전압 V_S 와 연결되어 운전하게 된다. 충전시 S_2 는 오프신호가 인가되어 다이오드로 동작하며, S_1 의 듀티를 조절하여 Buck 컨버터로 동작하게 된다. 방전시는 S_1 에 오프신호가 인가되고 S_2 의 듀티를 조절하여 Boost 컨버터로 동작한다. L은 스위칭 주파수가 50 kHz인 경우 전류리플 40% 범위 내에서 동작하도록 설계하였으며

230 μ H이다. 그림 2에 1 모듈 3 폴 시스템을 나타내었다.

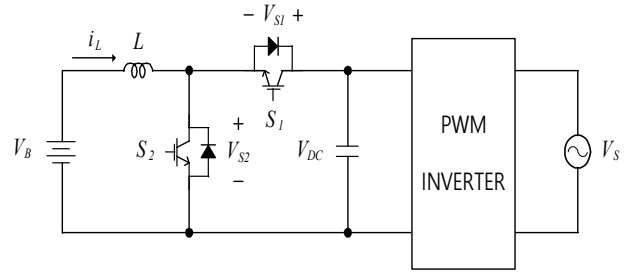


그림 1 1-모듈 1-폴로 구성된 양방향 DC-DC 컨버터

그림 2의 시스템에서 $L_a \sim L_c$ 는 컨버터의 최대 출력인 경우 전류 불연속 모드의 임계 인덕터스인 164 μ H로 정하였다. 그림 1의 회로와 충전 및 방전 모드시 원리는 동일하며, 각 폴의 스위칭 신호 패턴은 120°의 위상차를 가진다.

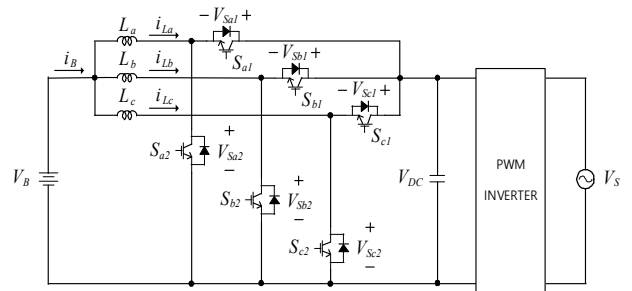


그림 2 1-모듈 3-폴로 구성된 3상 인터리브드 양방향 DC-DC 컨버터

본 논문에서 가정한 컨버터의 사양은 최대 출력 3kW이며, 배터리 전압은 완전 충전시 252 V, 최저로 방전시 176 V라고 가정하였다.

3. 시뮬레이션 결과 및 스위치 손실 계산

시뮬레이션은 배터리가 최저로 방전된 상태($V_B = 176$ V)에서 계통에서 PWM 컨버터를 통하여 3kW의 전력을 공급받는 경우에 대하여 수행하였다. 왜냐하면 이때의 전류가 가장 크기 때문이다.

3.1 시뮬레이션 결과

그림 3에 그림 1의 시스템의 시뮬레이션 결과 파형을 나타내었다. 스위칭 패턴과 배터리에 입력되는 전류 파형을 나타내었다. 평균 전류는 약 17A이고, 전류 리플은 약 7A정도이다.

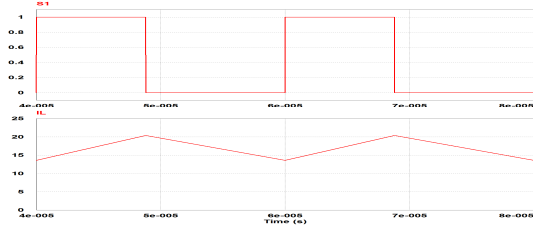


그림 3 1-모듈 1-폴 컨버터의 시뮬레이션 결과 파형

그림 4에 1 모듈 3 폴로 구성된 시스템을 시뮬레이션한 결과 파형을 나타내었다. 각 인덕터에 흐르는 전류는 불연속 모드인 것을 알 수 있으며, 이를 통하여 충전모드시 동작하는 스위치 $S_{a1} \sim S_{c1}$ 의 턴 온이 영전류에서 이루어진다는 것을 알 수 있다. 배터리에 흐르는 전류의 평균치는 약 17A정도이며, 전류리플은 약 3A로 단일 컨버터를 이용한 경우의 전류리플의 42%정도로서 그 크기가 줄어든 것을 확인할 수 있다.

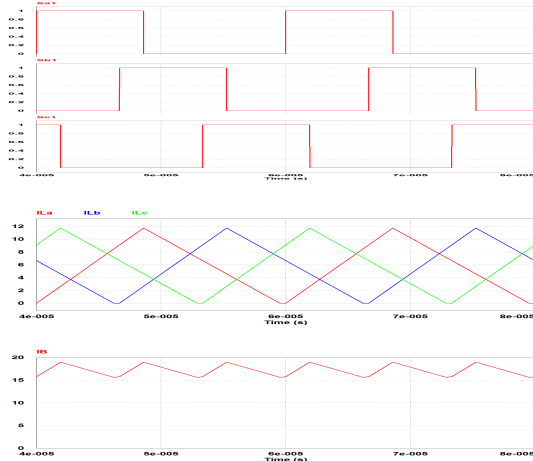


그림 4 1-모듈 3-폴 컨버터의 시뮬레이션 결과 파형

3.2 스위치 손실 계산

스위치의 대략적인 총 손실은 표 1에 나타난 성분들의 합으로 나타낼 수 있다.^[2]

표 1 스위치 손실 성분과 계산에 필요한 성분

스위치 손실 성분	데이터시트 표기 항목	그림 1 컨버터	그림 2 컨버터
IGBT 도통 손실	$V_{CE} \times I_C$	O	O
IGBT 턴 온 에너지	E_{ON}	O	X
IGBT 턴 오프 에너지	E_{OFF}	O	O
다이오드 도통 손실	$V_F \times I_F$	O	O
다이오드 오프 에너지	E_{RR}	O	X

표 1의 우측항에는 충전모드시 그림 1의 컨버터와 그림 3의

컨버터의 경우 포함해야하는 손실성분을 표시하였다. 전류 연속모드로 동작하는 경우 스위치 턴 온 손실과 함께 환류다이오드의 턴 오프 손실 성분도 포함된다.

표 2는 데이터시트를 참조하여 각 시스템에서 발생하는 스위치 손실을 나타낸 것이다. 각 정격에 맞는 모듈을 선정된 뒤 해당하는 반도체 소자의 데이터시트를 사용하였으며, 그림 1의 컨버터는 2개의 IGBT가 한 모듈로 구성된 SEMIKRON사의 SK60GB125를, 그림 2의 시스템은 6개의 IGBT가 한 모듈로 구성된 SEMIKRON사의 SK30GD123 소자를 사용하였다. 제안하는 컨버터는 3개의 폴의 손실분을 합하여 나타내었다.

표 2 각 시스템에서의 계산된 스위치 손실 성분

스위치 손실 성분	그림 1 컨버터	그림 2 컨버터
IGBT 도통 손실 [W]	18.7	12.8
IGBT 턴 온 손실 [W]	104.2	0
IGBT 턴 오프 손실 [W]	62.7	100
다이오드 도통 손실 [W]	11.9	11.3
다이오드 오프 손실 [W]	26.7	0
계 [W]	224.2	124.1

4. 결론

본 논문에서는 전기자동차 배터리 충전용 양방향 DC DC 컨버터의 고효율화에 대해 분석하였다. 3상 인터리브드 컨버터를 전류불연속 모드에서 동작시킴으로서 스위치의 턴 온시 발생하는 스위칭 손실을 제거하였다. 이를 통하여 동일한 스위칭 주파수를 가지며, 전류 연속모드로 동작하는 1 모듈 1 폴 컨버터 스위칭 손실의 약 55.4% 까지 스위치에서 발생하는 손실을 감소시켰다. 또한 1 모듈 3 폴 컨버터를 구성하는 각각의 스위치의 스위칭을 120°의 위상차를 가지도록 하여 배터리의 충전 전류 리플을 1 모듈 1 폴 컨버터로 한 경우의 42%의 크기로 감소시켰다. 1 모듈 3 폴 시스템은 전기자동차용 배터리 이용한 에너지 저장시스템을 구성하는 양방향 전력변환 시스템의 고효율화에 많은 기여를 할 것으로 기대된다.

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (NO. 20111020400260)

참고 문헌

- [1] 최석재, 김동명, 김수한, 최병조, “양방향 배터리 충전용 컨버터의 소신호 해석과 제어기 설계”, 전력전자학회 학술대회 논문집, pp. 177-178, 2011, 7.
- [2] Arendt Wintrich, Ulrich Nicolai, Werner Tursky, Tobias Reimann, Application Manual Power Semiconductors, SEMIKRON International GmbH, pp. 280-282.