

800V 배터리 전기자동차 LDC용 낮은 스위치 전압정격을 갖는 새로운 소프트 스위칭 하프브리지 컨버터

김병우, 김강산, 조우식, 아디스티라, 김규영, 최세완
서울과학기술대학교

A New Soft-switched Half-bridge Converter with Low-voltage Rated Switch for 800V Battery EV LDC

Byeongwoo Kim, Kangsan Kim, Woosik Cho, Adhistira M. Naradhupa, Kyuyeong Kim
Sewan Choi

Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 800V 배터리 전기자동차 LDC용 낮은 스위치 전압정격을 갖는 새로운 소프트 스위칭 하프브리지 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 입력이 직렬구조로써 입력전압의 절반으로 낮은 스위치의 전압정격을 갖기 때문에 600V의 Si MOSFET를 사용할 수 있어 도통손실을 줄일 수 있으며 부분공진 동작으로 스위칭 손실 저감 효과를 갖고, 넓은 입력전압 및 부하영역에서 소프트 스위칭을 성취하여 높은 효율을 달성할 수 있으며 변압기의 직렬연결로 된 커패시터로 인해 자화전류의 오프셋이 없다. 제안하는 소프트 스위칭 컨버터의 동작원리를 제시하고 시작품을 통해 본 논문의 타당성을 검증하였다.

1. 서론

전기자동차(Electric Vehicles, EVs), 하이브리드 전기자동차(Hybrid Electric Vehicles, HEVs)와 같은 친환경 자동차에 사용되는 저전압 배터리 충전기(Low voltage DC DC Converter, LDC)는 고전압 배터리로부터 차량 내 전장시스템에 전력을 공급하는 저전압 보조배터리를 충전하는 중요 부품이다 [1]. 전기자동차의 충전시간 단축과 일회 충전에 따른 주행거리 연장을 위해 배터리의 용량 증대에 대한 필요성이 높아지고 있다. 최근 800V 배터리 팩을 갖는 전기자동차가 출시되었으며 이에 따라 800V/14V LDC 토폴로지 연구에 대한 필요성이 대두되고 있다 [2]. 400V 배터리 팩 탑재 차량에 사용되고 있는 400V/14V LDC에 가장 많이 채용되고 있는 토폴로지는 추가회로 없이 ZVS 턴 온을 성취하는 위상천이 풀브리지 컨버터(Phase Shift Full Bridge, PSFB)이다 [3]. 하지만 800V 배터리 팩을 갖는 전기자동차용 800V/14V LDC의 경우 PSFB는 스위치의 전압정격이 800V 이므로 1000V 이상의 전압정격을 갖는 스위치를 사용해야 한다. 높은 전압정격을 갖는 MOSFET의 경우 큰 스위칭 손실을 갖고 전압정격과 비례하여 온 저항이 증가하기 때문에 도통손실이 커지는 단점을 갖을 뿐 만 아니라 1000V 이상의 정격을 갖는 적절한 MOSFET 선정에 어려움이 있다. 또한 PSFB의 고유한 단점으로 경부하시 소프트 스위칭을 실패할 수 있으며, 자화전류의 오프셋을 0으로 보장하기 위해 DC 블로킹 커패시터가 요구된다.

본 논문에서는 800V 배터리 전기자동차 LDC용 낮은 스위치 전압정격을 갖는 새로운 소프트 스위칭 하프브리지 컨버터를

제안한다. 제안하는 컨버터는 입력전압의 절반으로 스위치 전압정격이 결정되어 낮은 도통손실과 스위칭 손실을 갖으며 800V의 높은 입력전압에도 600V 스위치를 사용할 수 있어 스위치 선정에 유리하고, 넓은 입력전압 및 부하영역에 관계없이 항상 ZVS 턴 온을 성취하여 높은 효율을 달성할 수 있다. 2kW급 시작품을 제작하여 제안하는 컨버터의 타당성을 검증하였다.

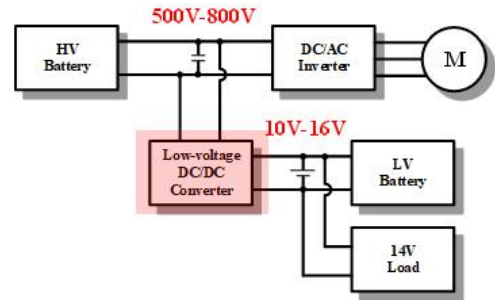


그림 1. 800V 배터리를 갖는 전기자동차 시스템 구성도

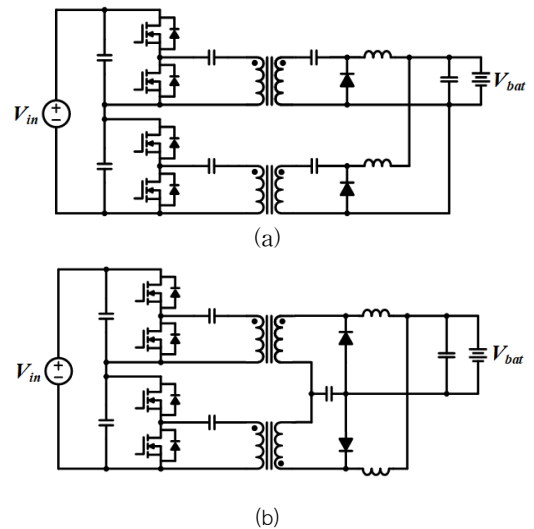


그림 2. 제안하는 차량탑재형 충전기 회로도 (a) 입력직렬 출력병렬 구조 (b) 입력직렬 출력병렬-인터리빙 구조

2. 제안하는 컨버터의 동작원리

그림 1은 800V 배터리를 갖는 전기자동차 시스템 구성도를 나타내며 그림 2는 제안하는 새로운 소프트 스위칭 하프브리지 컨버터 회로도이며 (b)는 출력 병렬 인터리빙 구조로써 2차 측 커패시터에 흐르는 전류를 인터리빙하여 전류정격 저감이 가능하다. 제안하는 컨버터는 1차 측에는 하프브리지 컨버터가 입력 직렬로 구성되어 있으며 2차 측에 다이오드와 직렬 커패시터로 구성된 정류기가 병렬로 구성되어 있다. 그림 3은 제안하는 컨버터의 동작과형이며 그림 4는 제안하는 컨버터의 동작모드를 나타낸다. 제안하는 컨버터는 상측과 하측의 하프브리지 컨버터가 각각 180도 위상차를 갖고 비대칭 상보적 스위칭으로 동작하며 입력전압 및 부하변동에 상관없이 모든 스위치가 항상 ZVS 턴 온을 성취하며, 스위치에 걸리는 전압이 입력전압의 절반으로 결정되어 스위치의 턴 오프 손실을 저감할 수 있으며, 800V의 높은 입력전압에도 600V의 Si MOSFET를 사용할 수 있어 스위치 선정에 유리하다. 이에 따라 낮은 온 저항을 갖는 스위치를 선정하여 도통손실 또한 저감시킬 수 있다. 또한 다이오드의 ZCS 턴 오프를 성취하여 다이오드의 역회복에 따른 문제를 최소화 할 수 있다.

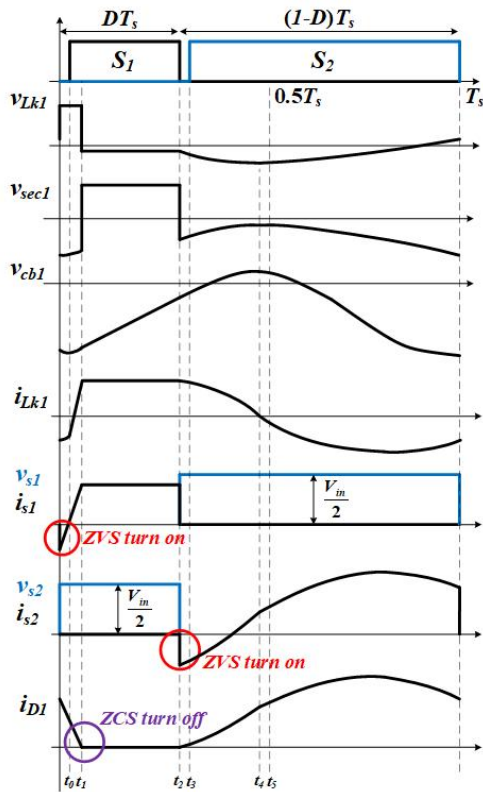


그림 3. 제안하는 컨버터의 동작원리

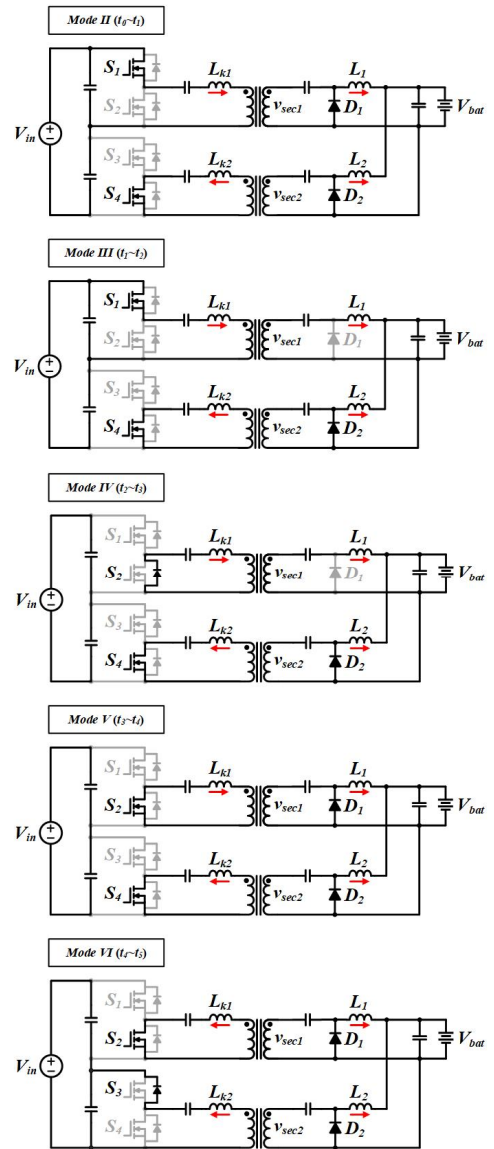
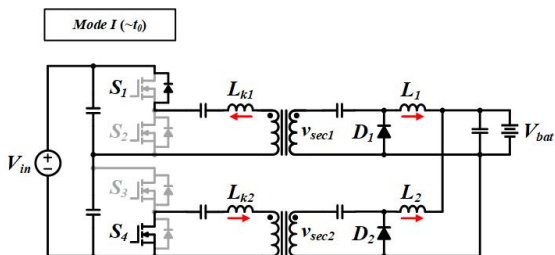


그림 4. 제안하는 컨버터의 동작원리

	PSFB [3]	ACF [4]	Proposed
Turn ratio	24:1:1	9:1	6:1
DC magnetizing current offset	0A	> 2A	0A
Voltage rating	800V	620V	400V
Current rating (rms)	S ₁ =8A S ₂ =8A	S ₁ =6A S ₂ =3A	S ₁ =8A S ₂ =9A
Switch utilization	0.078	0.179	0.147
Switching Characteristics	Hard switching	Hard switching	Entire range ZVS turn on
Diode Voltage	60V	23V	75V

표 1. LDC 토폴로지 특성 비교 ($P_o = 2kW$, $V_i = 500 \sim 800V$, $V_o = 14V$, $f_s = 100kHz$)

3. 비교분석

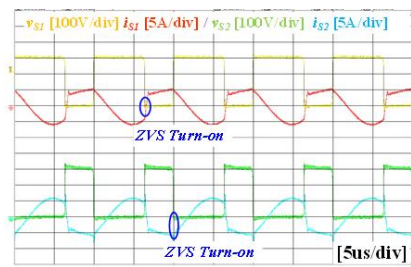
표 1은 제안하는 컨버터와 PSFB, 능동클램프 포워드 컨버터(Active Clamped Forward converter, ACF)를 적용한 800V/14V LDC의 특성에 대한 비교 결과를 나타낸 것이다. ACF 컨버터는 스위치 전류정격이 가장 낮고 스위치 이용률이 가장 높지만 하드스위칭을 하며 600V의 Si MOSFET을 사용할 수 없다. 제안하는 컨버터는 전압정격이 입력전압의 절반으로 가장 낮고 모든 범위에서 ZVS 턴 온을 성취하여 도통손실 및 스위칭 손실 측면에서 유리한 장점을 갖는다.

4. 실험 결과

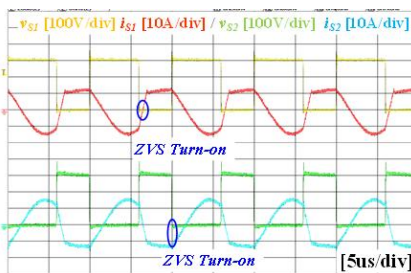
제안하는 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계사양에 따라 실험을 하였다.

- $V_i = 600V$ • $V_o = 14V$ • $n_1:n_2 = 6:1$ • $f_s = 100kHz$

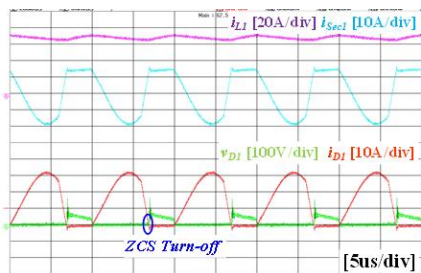
그림 6은 (a), (b)와 (c)는 제안하는 컨버터의 실험파형으로 스위치의 ZVS 턴 온 및 다이오드의 ZCS 턴 오프를 성취하는 것을 확인할 수 있다. 그림 7은 제안하는 컨버터의 효율이다. 2차 측에 정류 다이오드를 사용하여 측정된 효율은 각각 최고 효율 90.1%@1.5kW, 정격효율 88.1%@2kW이다. 또한 다이오드를 스위치로 대체하여 동기정류 방식을 적용할 경우에는 약 3%의 효율이 증가할 것으로 예상된다.



(a)



(b)



(c)

그림 6. 실험파형 (a) 스위치 전압 및 전류 파형 @500W (b) 스위치 전압 및 전류 파형 @2kW (c) 다이오드 전압 및 전류 파형 @2kW

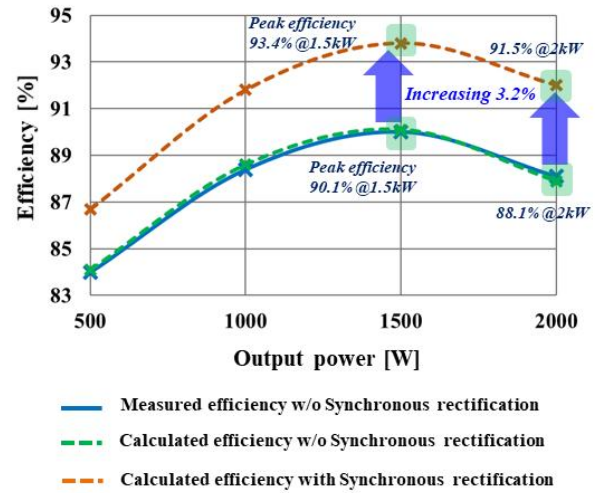


그림 7. 제안하는 컨버터의 효율

5. 결론

본 논문에서는 800V 배터리 전기자동차 LDC용 낮은 스위치 전압정격을 갖는 새로운 소프트 스위칭 하프브리지 컨버터를 제안하였다. 제안한 컨버터는 입력이 직렬구조로써 입력전압의 절반으로 낮은 스위치의 전압정격을 갖기 때문에 도통손실과 스위칭 손실 저감 효과를 갖고, 넓은 입력전압 및 부하영역에서 소프트 스위칭을 성취하여 높은 효율을 달성할 수 있다. 추후, 동기 정류방식을 적용할 경우 다이오드 도통손실을 저감하여 계산된 효율과 같이 3% 이상의 효율이 증가 될 것으로 예상된다.

참고 문헌

- [1] B. Kim, K. Kim, S. Choi, "A 800V/14V Soft switched Converter with Low voltage Rating of Switch for xEV applications," 2018 International Power Electronics Conference (IPEC Niigata 2018 ECCE ASIA), Niigata, 2018
- [2] Porsche, e mobility. New possibilities with 800 volt charging, Porsche 2016. [Online]. Available: <https://newsroom.porsche.com/en/technology/porsche-engineering-epower-electromobility-800-volt-charging-12720.html> [Accessed: 10 Oct 2017].
- [3] A. Kawahashi, "A new generation hybrid electric vehicle and its supporting power semiconductor devices," in Proc. International Symposium Power Semiconductor Devices and ICs, Kitakyushu, Japan, May. 2004, pp. 23-29.
- [4] S. J. Chen, S. P. Yang and M. F. Cho, "Analysis and implementation of an interleaved series input parallel output active clamp forward converter," in IET Power Electronics, vol. 6, no. 4, pp. 774-782, April 2013.