

전기자동차 800V/14V LDC용 낮은 스위치 전압정격을 갖는 소프트 스위칭 컨버터

김강산, 김병우, 최세완
서울과학기술대학교

A Soft-switched Converter with Low-Voltage Rating of Switch for the 800V/14V LDC of EV

Kangsan Kim, Byungwoo Kim, Sewan Choi
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 전기자동차 800V/14V LDC용 낮은 전압정격을 갖는 소프트 스위칭 컨버터를 제안한다. 제안하는 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 있으며 변압기의 직렬연결로 된 커패시터로 인해 자화전류의 오프셋이 없다. 제안하는 소프트 스위칭 컨버터의 동작원리를 제시하고 시작품을 통해 본 논문의 타당성을 검증하였다.

1. 서론

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 [1]. 400V 배터리 팩 탑재 차량에 사용되고 있는 400V/14V LDC에 가장 많이 채용되고 있는 토폴로지는 추가회로 없이 ZVS 턴 온을 성취하는 위상전이 폴브리지 컨버터(Phase Shift Full Bridge, PSFB)이다 [2]. 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 뿐만 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 전기자동차 800V/14V LDC용 낮은 전압정격을 갖는 소프트 스위칭 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.

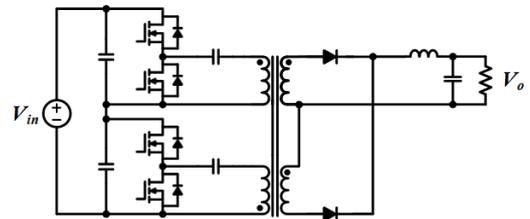


그림 1. 제안하는 낮은 전압정격을 갖는 소프트 스위칭 컨버터

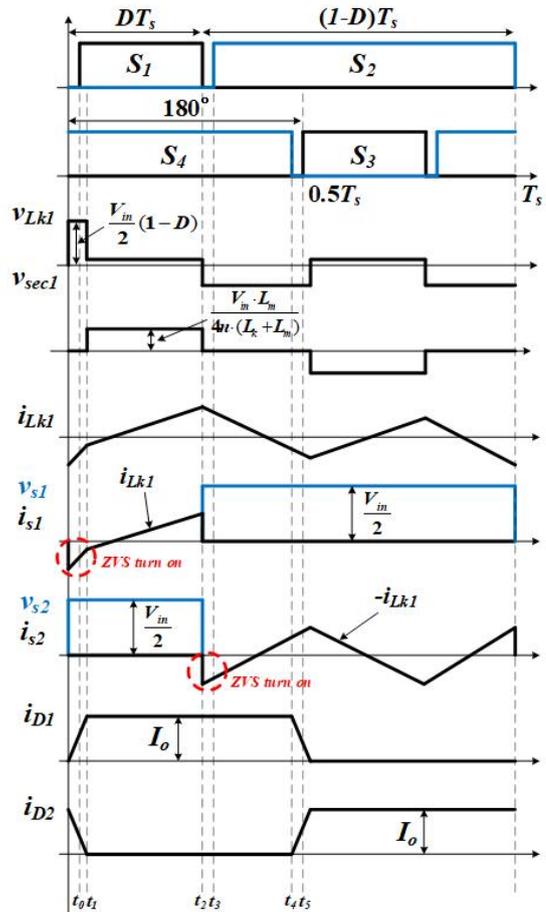


그림 2. 제안하는 컨버터의 동작파형

2. 제안하는 컨버터

그림 1은 제안하는 전기자동차 800V/14V LDC용 소프트 스위칭 컨버터를 나타내며 그림 2는 제안하는 컨버터의 동작파형을 나타낸다. 제안하는 컨버터는 상측과 하측의 하프브리지 컨버터가 각각 180도 위상차를 갖고 비대칭 상보적으로 동작하며 입력전압 및 부하변동에 상관없이 모든 스위치가 항상 ZVS 턴 온을 성취한다. 또한, 스위치에 걸리는 전압이 입력전압의 절반으로 결정되어 스위칭 손실을 감소할 수 있으며, 800V의 높은 입력전압에도 600V 스위치를 사용할 수 있어 스위치 선정에 유리하다. 이에 따라 낮은 온 저항을 갖는 스위치를 선정하여 도통손실을 감소시킬 수 있다. 제안하는 컨버터는 표 1은 제안하는 컨버터와 PSFB, 능동클램프 포워드 컨버터 (Active clamp forward, ACF)를 사용하는 기존의 LDC의 특성에 대한 비교 결과를 나타낸 것이다. 제안하는 컨버터는 전압정격이 입력전압의 절반으로 가장 낮고 모든 범위에서 ZVS 턴 온을 성취하여 도통손실 및 스위칭 손실 측면에서 유리한 장점을 갖는다.

	PSFB [2]	ACF [3]	Proposed
Turn ratio	11:1:1	2:1	7:1
DC magnetizing current offset	0A	> 9A	0A
Voltage rating	800V	450V	400V
Current rating (rms)	$S_1=14A$ $S_2=14A$	$S_1=9A$ $S_2=12A$	$S_1=10A$ $S_2=11.7A$
Switching Characteristics	ZVS turn on is failed at light load	ZVS turn on is failed at light load	Always ZVS turn on

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

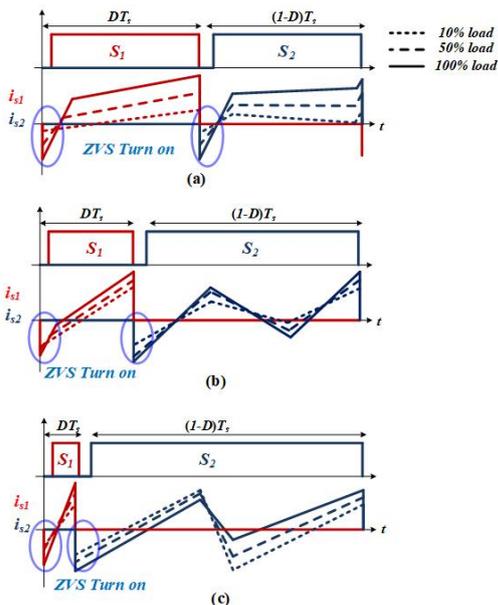


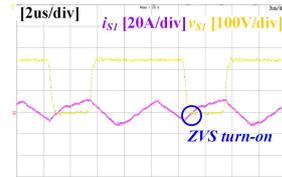
그림 3. 제안하는 컨버터의 입력전압 변동 및 부하변동에 따른 스위치 전류파형 (a) $DT_s < 0.5T_s$ (b) $DT_s < 0.3T_s$ (c) $DT_s < 0.1T_s$

3. 실험 결과

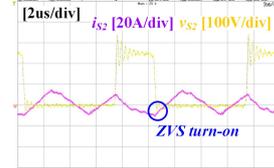
제안하는 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계 사양에 따라 실험을 하였다.

- $P_o = 2kW$
- $V_i = 500\sim 800V$
- $V_o = 14V$
- $n_1:n_2 = 7:1$
- $L_k = 10\mu H$
- $f_s = 100kHz$

제안한 컨버터의 2kW 시작품 사진은 그림 4와 같으며 그림 5 (a)와 (b)는 스위치의 전압 및 전류 파형이다. 스위치는 ZVS 턴 온을 성취하는 것을 확인 할 수 있다.



(a) 스위치 S_1 의 전압 및 전류파형



(b) 스위치 S_2 의 전압 및 전류파형

그림 5. 실험파형

4. 결론

본 논문에서는 전기자동차 800V/14V LDC용 낮은 전압정격을 갖는 소프트 스위칭 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. 2kW급 시작품을 통해 본 논문의 타당성을 검증하였다. 최종발표 시, 시작품을 통한 추가 실험결과를 제시할 예정이다.

참고 문헌

- [1] 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].
- [2] 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.
- [3] 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.