

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. 서 론

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 위상천이 풀브리지 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 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 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.

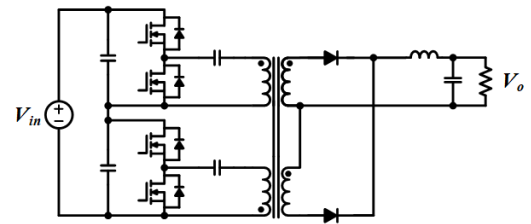


그림 1. 제안하는 낮은 전압정격을 갖는 소프트 스위칭 컨버터

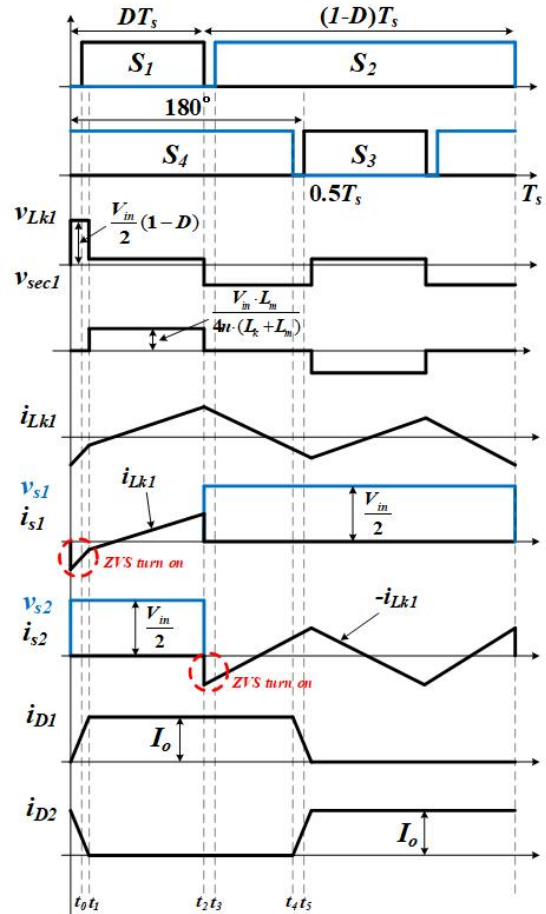


그림 2. 제안하는 컨버터의 동작파형

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 ($P_o = 2kW$, $V_i = 500 \sim 800V$, $V_o = 14V$, $f_s = 100kHz$)

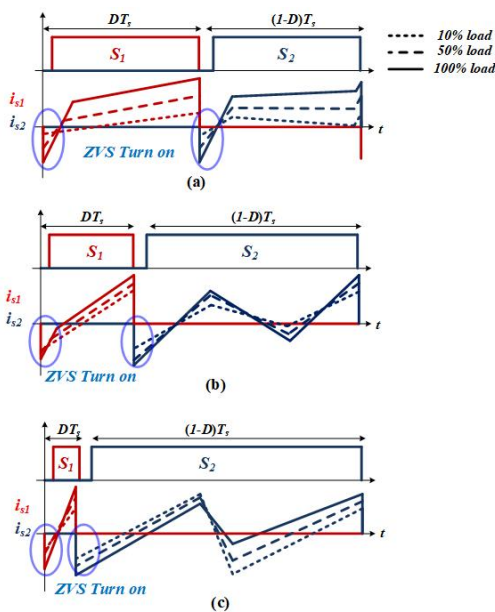


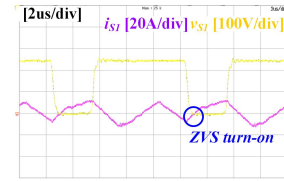
그림 3. 제안하는 컨버터의 입력전압 변동 및 부하변동에 따른 스위치 전류파형 (a) $DT_s < 0.5T_s$ (b) $DT_s < 0.3T_s$ (c) $DT_s < 0.1T_s$

3. 실험 결과

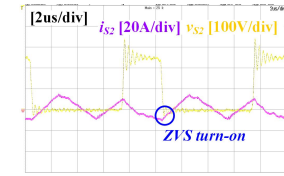
제안하는 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계 사양에 따라 실험을 하였다.

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

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. 결 론

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.

참 고 문 헌

- [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.