

낮은 스위치 전압정격과 넓은 전압범위를 갖는 800V/14V LDC용 새로운 소프트 스위칭 컨버터

김병우, 김강산, 김규영, 이동한 최세완
서울과학기술대학교

A New Soft-switched Converter with Low-voltage Rated Switch and wide voltage range for 800V/14V LDC

Byeongwoo Kim, Kangsan Kim, Kyuyeong Kim, Donghan Lee Sewan Choi
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 낮은 스위치 전압정격과 넓은 전압범위를 갖는 800V/14V LDC용 새로운 소프트 스위칭 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 입력이 직렬구조로써 입력전압의 절반으로 낮은 스위치의 전압정격을 갖기 때문에 600V의 Si-MOSFET를 사용할 수 있어 도통손실을 줄일 수 있으며 넓은 입력전압 및 부하영역에서 소프트 스위칭을 성취하여 높은 효율을 달성할 수 있고 변압기의 직렬연결로 된 커패시터로 인해 자화전류의 오프셋이 없다. 또한 2차 측의 DC 블로킹 커패시터에 인터리빙 방식을 적용하여 기존의 전류정격이 큰 문제를 해결하였다. 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]. 현재 400V 배터리 팩이 탑재된 전기자동차용 400V/14V LDC에 가장 많이 사용되는 토폴로지는 추가회로 없이 ZVS 턴 온을 성취할 수 있는 위상전이 풀브리지 컨버터(Phase Shift Full Bridge, PSFB)이다[3]. 하지만 800V 배터리 팩이 탑재된 전기자동차용 LDC에 PSFB를 적용할 경우에 스위치의 전압정격이 입력전압인 800V가 되므로 1000V 이상의 전압정격을 갖는 스위치를 사용해야함으로 적절한 MOSFET 선정에 어려움이 있다. 일반적으로 PSFB는 경부하시 소프트 스위칭을 실패하는 단점이 있으며, 입력전압이 증가할수록 높은 부하에서도 소프트 스위칭을 실패할 수 있다. 또한 자화전류의 오프셋을 0으로 보장하기 위한 DC 블로킹 커패시터가 요구된다는 단점이 있다.

본 논문에서는 낮은 스위치 전압정격과 넓은 입력전압 범위를 갖는 낮은 스위치 전압정격과 넓은 전압범위를 갖는

800V/14V LDC용 새로운 소프트 스위칭 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 스위치의 전압정격이 입력전압의 절반으로 결정되어 800V의 높은 입력전압에도 600V 스위치를 사용할 수 있기 때문에 스위치 선정에 용이하며, 넓은 입력전압 및 부하영역에 관계없이 항상 ZVS 턴 온을 성취하여 높은 효율을 달성할 수 있다. 또한 변압기에 직렬로 연결되어 있는 커패시터로 인해 자화전류의 오프셋이 없다는 장점이 있다. 2kW급 시작품의 실험을 통하여 제안하는 컨버터의 타당성 및 성능을 검증하였다.

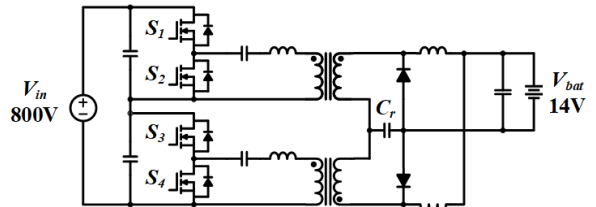


그림 1. 제안하는 저전압 배터리 충전기 회로도

2. 제안하는 컨버터의 동작원리

그림 1은 제안하는 저전압 배터리 충전기 회로도를 나타낸다. 제안하는 컨버터는 1차 측에 하프브리지 컨버터가 입력직렬로 구성되어 있으며 2차 측에 다이오드와 커패시터(Cr)로 구성된 정류기가 병렬로 구성되어 있다. 제안하는 컨버터는 변압기 2차 측에 구성된 커패시터(Cr)에 인터리빙 방식을 적용하여 기존의 컨버터[1]의 커패시터(Cr)에 비해 약 60% 이상의 전류정격 저감이 가능하다. 그림 2는 제안하는 컨버터의 동작모드이며 그림 3은 제안하는 컨버터의 동작파형을 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. 또한 그림 4는 입력전압 및 부하변동에 따른 스위치 전류파형을 나타내며, 입력전압 및 부하변동에 상관없이 ZVS 턴 온을 성취하는 것을 확인할 수 있다.

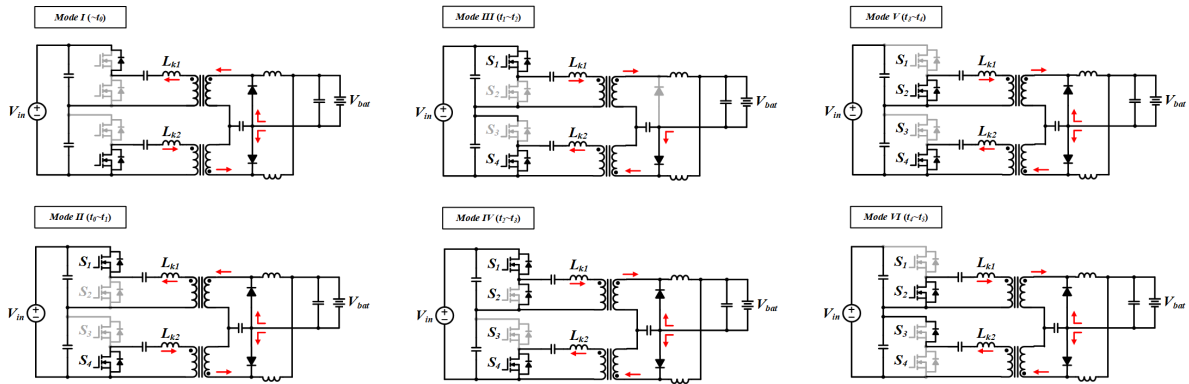


그림 2. 제안하는 컨버터의 동작모드

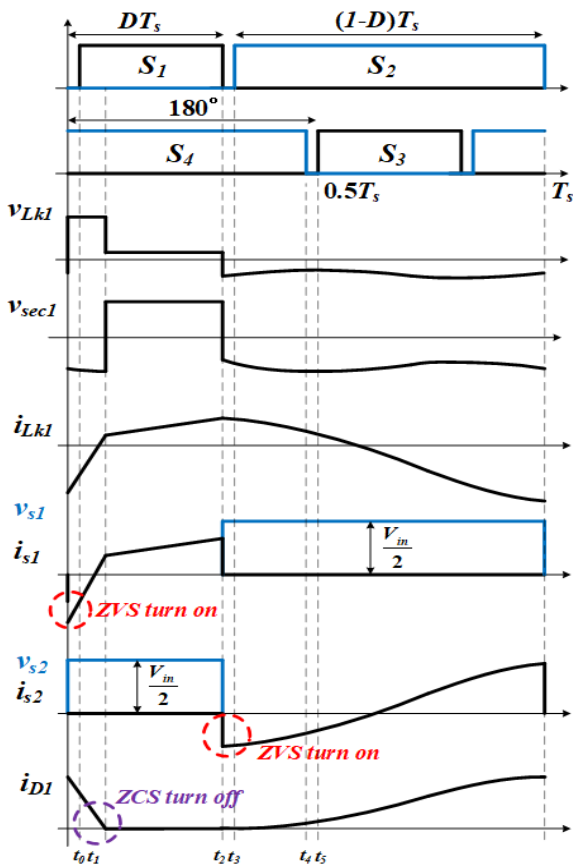


그림 3. 제안하는 컨버터의 동작파형

3. 비교분석

표1은 800V/14V LDC의 특성에 대해 제안한 컨버터와 PSFB, 능동클램프 포워드 컨버터(Active Clamped Forward converter, ACF)를 비교한 결과를 나타낸 것이다. PSFB 컨버터는 스위치 이용률이 가장 낮고 하드스위칭을 하며, 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.

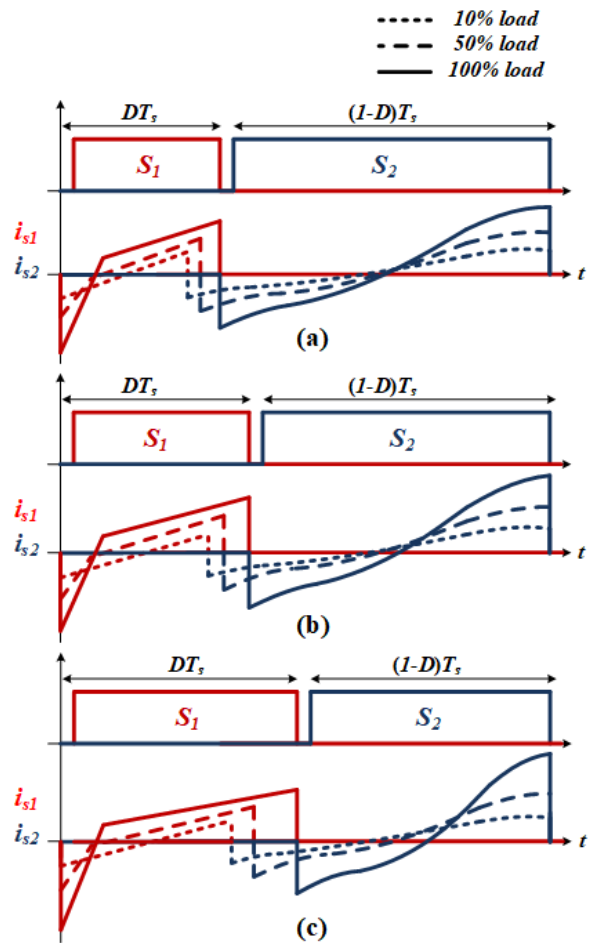


그림 4. 제안하는 컨버터의 입력전압 및 부하변동에 따른 스위칭 전류 (a) $V_{in}=800V$, (b) $V_{in}=700V$, (c) $V_{in}=600V$.

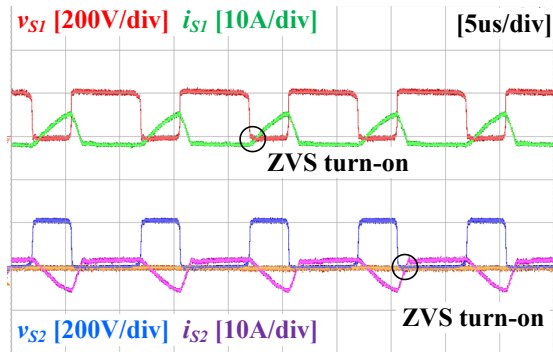
4. 실험 결과

제안하는 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계사양에 따라 실험을 하였다.

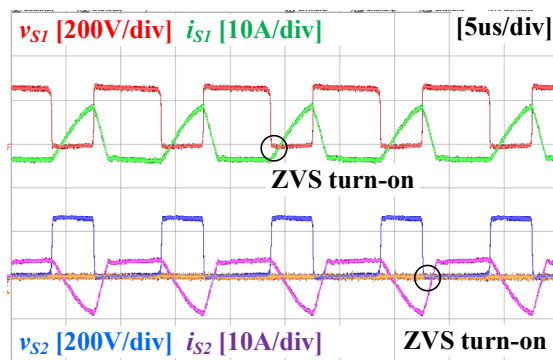
- $V_i = 600V$ • $V_o = 14V$ • $n_1:n_2 = 6:1$ • $f_s = 100kHz$

그림 6은 (a), (b)와 (c)는 제안하는 컨버터의 실험파형으로

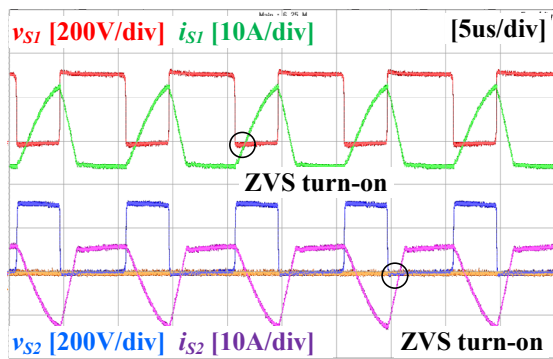
부하변동에 상관없이 스위치의 ZVS 턴 온을 성취하는 것을 확인할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 5. 실험파형 (a) 스위치 전압 및 전류 파형 @500W (b) 스위치 전압 및 전류 파형 @1kW (c) 스위치 전압 및 전류 파형 @2kW

5. 결 론

본 논문에서는 낮은 스위치 전압정격과 넓은 전압범위를 갖는 800V/14V LDC용 새로운 소프트 스위칭 컨버터를 제안하였다. 제안한 컨버터는 입력이 직렬인 구조이기 때문에 스위치의 전압정격이 입력 전압의 절반이 되며 낮은 스위치 전압정격을 갖기 때문에 도통손실과 스위칭 손실을 줄일 수 있다. 또한 넓은 입력전압 및 부하영역에 관계없이 소프트 스위칭을 성취하여 높은 효율을 달성할 수 있으며, 추후 동기 정류방식을 적용할 경우 다이오드 도통손실을 저감하여 효율이 증가 할 것으로

예상된다.

	PSFB [3]	ACF [4]	Proposed
턴 비	24:1:1	9:1	6:1
회로도			
자화전류 오프셋	 0A	 > 2A	 0A
스위치 전압정격	800V	620V	400V
스위치 전류정격	S ₁ =8A S ₂ =8A	S ₁ =6A S ₂ =3A	S ₁ =8A S ₂ =10A
스위치 이용률	0.078	0.179	0.147
스위칭특성	Hard switching	Hard switching	Entire range ZVS turn on
다이오드 전압정격	60V	23V	56V
보조 커패시터 (전류정격)	X	O (3Arms)	O (40Arms)

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

참 고 문 헌

- [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.