

전기자동차용 On-Board 충전기를 위한 ZVZCS 하프브리지 컨버터

박준성, 김표수, 박요한, 최세완
서울과학기술대학교

On-Board Charger with ZVZCS Half-Bridge Converter for Electric Vehicle

Junsung Park, Pyosoo Kim, Yohan Park, Sewan Choi
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 친환경 차량의 On-board charger를 위한 ZVZCS 하프브리지 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 다이오드에 병렬 연결된 작은 커패시터로 인하여 Asymmetrical PWM 스위칭시의 단점인 상·하측 스위치의 전류 비대칭성을 완화시키며 스위치 최대 전류를 감소시켜 턴오프 손실을 줄일 수 있다. 또한 다이오드 턴오프시 dv/dt 가 매우 작아 스위칭 손실 및 노이즈를 최소화 할 수 있다.

1. 서론

화석에너지 고갈과 지구온난화에 따른 문제의 심각성이 대두됨에 따라 글로벌 자동차회사들의 전기자동차 및 플러그인 하이브리드 자동차 등 친환경자동차에 대한 개발경쟁이 가속화되고 있다. 이러한 전기자동차의 개발과 함께 상용화를 위해서는 충전인프라의 구축이 필수적이다. 이에 따라 충전기를 직접 차량에 탑재하여 일반 가정용 전원으로 차량 내 배터리를 충전할 수 있는 On-board charger에 대한 개발이 시급히 요구되고 있는데 이의 요구조건은 다음과 같다. 1) 차량에 탑재되므로 고전력밀도와 저소음이 요구되는데 이를 위하여 스위칭주파수가 높아야 한다. 2) 차량전체의 에너지 효율과 관계가 있으므로 고효율이 요구된다. 3) 유니버설한 입력전압(100Vac~240Vac)과 넓은 배터리전압(220Vdc~420Vdc)의 동작범위를 가져야 한다.

또한 차량충전기는 높은 입력역률이 요구되므로 역률보상을 위한 부스트 컨버터와 후단의 DC-DC 컨버터로 구성된다. 후단의 DC-DC 컨버터로서 회로구성이 간단하고 추가 회로 없이 스위치 ZVS 턴온 및 다이오드 ZCS 턴오프가 가능한 하프브리지 컨버터가 사용될 수 있다. 그러나 이 컨버터는 Asymmetrical PWM 스위칭으로 인하여 넓은 출력전압범위를 갖는 본 응용에서는 상·하측 스위치 전류의 심한 비대칭성이 문제가 된다.

본 논문에서는 새로운 ZVZCS 하프브리지 컨버터를(ZVZCS HB) 제안한다.^[1] 제안한 컨버터는 다이오드에 작은 커패시터를 병렬로 연결^[2]하여 Asymmetrical PWM 스위칭시의 단점인 상·하측 스위치의 전류 비대칭성을 완화시켜 소자 선정을 용이하게 하며 스위치 최대 전류가 감소되어 턴오프 손실뿐만 아니라 도통손실도 감소한다. 또한 다이오드 턴오프시 dv/dt 가 매우 작아 스위칭 손실 및 노이즈를 최소화 할 수 있다.

2. 제안하는 방식

그림 1은 제안하는 ZVZCS 하프브리지 컨버터를 이용한 On-board Battery Charger의 구성도를 나타낸다. 그림 2와 3에 제안하는 컨버터의 주요파형과 각 동작모드를 나타낸다.

제안한 컨버터의 주요 동작은 일반적인 Asymmetrical 하프브리지 컨버터와 동일하지만 $t_1 \sim t_2$ 와 $t_4 \sim t_5$ 동작 때 다이오드에 병렬 연결된 작은 커패시터와 변압기 누설인덕턴스의 공진으로 인하여 그림 4 (a)와 같이 다이오드 턴오프시 dv/dt 가 매우 작아 역회복에 의한 턴오프 손실을 줄일 수 있다. 그리고 그림 4 (b)와 같이 스위치 턴오프 전류가 기존 방식보다 작아 턴오프 손실을 감소시킬 수 있다.

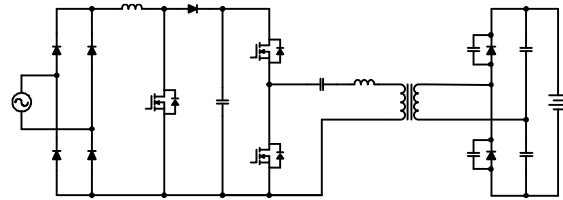


그림 1 제안하는 하프브리지 컨버터를 이용한 On-board Charger의 구성도

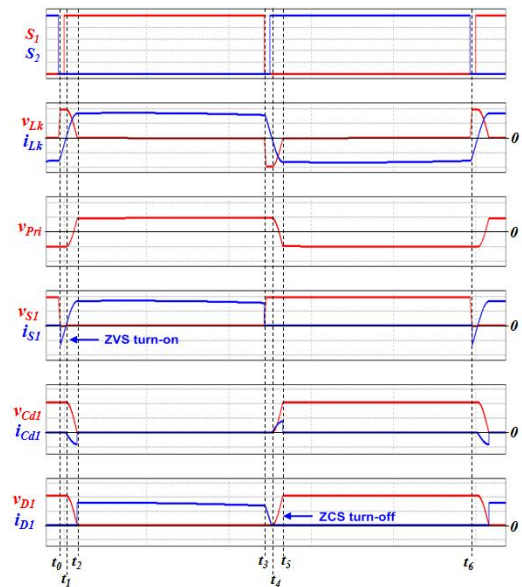


그림 2 제안하는 ZVZCS 하프브리지 컨버터의 주요파형

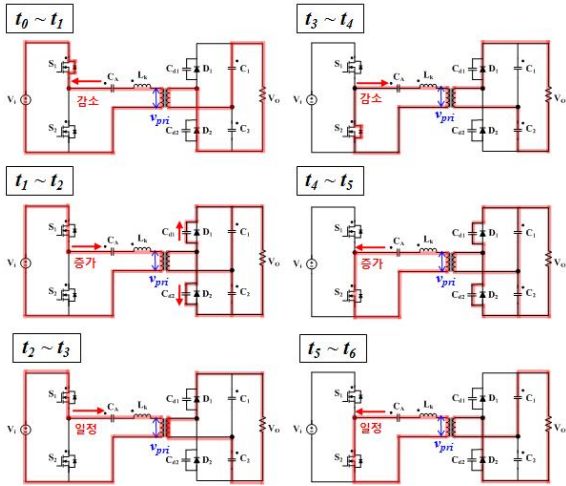
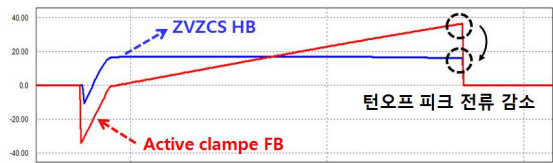


그림 3 제안하는 ZVZCS 하프브리지 컨버터의 동작모드



(a) 다이오드 전압



(b) 스위치 전류

그림 4 기존 컨버터와 제안한 컨버터의 비교 파형

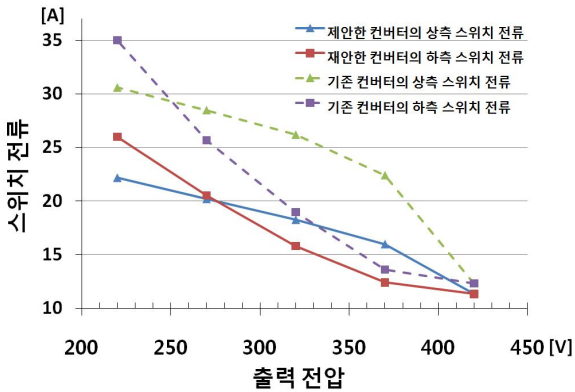


그림 5 출력전압에 따른 스위치 전류

또한 그림 5는 출력전압에 따른 기존 컨버터와 다이오드에 병렬로 작은 커패시터를 연결한 제안한 컨버터의 각 스위치 전류를 나타낸다. 듀티가 0.5(출력전압이 420V) 일 때 두 방식 모두 상·하측에 작고 비슷한 크기의 전류가 흐르나 출력전압이 작아지면서 (듀티 0.5이하로 되면서) 전류가 증가함과 동시에 상·하측 스위치에 비대칭적 전류가 흐르게 된다. 낮은 출력전압(낮은 듀티)에서 제안한 방식은 기존방식의 비해 스위치 전류의 크기가 작을뿐만 아니라 비대칭성도 완화됨을 볼 수 있다.

3. 실험 결과

제한한 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음 사양으로 실험하였다.

- $P_o : 3kW$
- $V_{AC} : 100 \sim 240V$
- $V_{DC} : 220 \sim 420V$
- $f_s : 100kHz$
- $N_p : N_s = 18 : 18$
- $L_k = 8\mu H$
- $C_k = 20\mu F$
- $C_d = 14nF$

그림 5는 듀티가 0.5일 때 상측 스위치의 전압, 전류파형이며 ZVS 턴온이 성취되고 턴오프시 전류가 작은 것을 볼 수 있다. 그림 6은 다이오드의 전압, 전류 파형이며 병렬로 연결된 작은 커패시터로 인해 다이오드 턴오프시 낮은 dv/dt를 갖고 ZCS가 성취되는 것을 볼 수 있다.

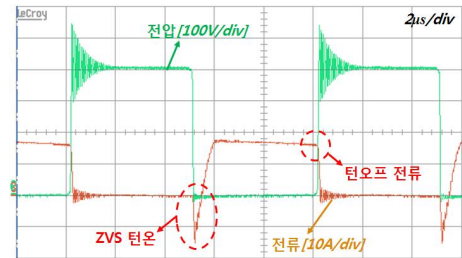


그림 5 상측 스위치 전압-전류

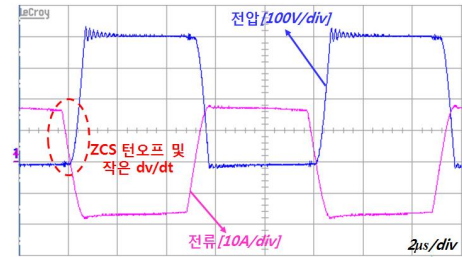


그림 6 상측 다이오드 전압-전류

4. 결론

본 논문에서는 전기자동차용 On-board Battery Charger를 위한 새로운 ZVZCS 하프브리지 컨버터를 제안하였다. 제안한 컨버터는 하프브리지 PWM 컨버터의 다이오드에 병렬로 연결된 작은 커패시터를 추가하여 다이오드 턴오프 손실을 줄일뿐 아니라 스위치 전류 크기 및 턴오프 손실을 감소시켰다. 또한 기존 하프브리지 컨버터의 단점인 상·하측 스위치 전류의 비대칭성을 완화시켜 스위치 선정 시 장점을 가질 수 있다.

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.
(과제번호 2010-0014433)

참고 문헌

- [1] Kim, P.; Choi, S.; Kim, J., "An inductorless asymmetrical ZVS full bridge converter for step-up applications with wide input voltage range", IEEE ECCE, pp.1945-1951, Sept. 2010.
- [2] Park, H.; Kim, C.; Moon, G., Lim, J., "Novel Current Stress Reduction Technique for Boost Integrated Half-Bridge DC/DC Converter with Voltage Doubler Type Rectifier", IEEE PESC, pp.1-6, June 2006.