

전기자동차와 플러그인 하이브리드 자동차를 위한 넓은 ZVS 범위를 갖는 단일단 차량탑재형 충전기

박준성, 박요한, 박찬수, 최세완, 박성식*
 서울산업대학교, *인텍에프에이

A Single-stage On-board Charger with Wide ZVS range for EV and PHEV

Junsung Park, Yohan Park, Chansoo Park, Sewan Choi, Sungsik Park*
 Seoul National University of Technology, *INTECH FA

ABSTRACT

본 논문에서는 일반 가정용 전원으로 친환경 차량의 배터리를 충전할 수 있는 On-board charger를 위한 단일단 능동클램프 하프브리지 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 4개의 스위칭 소자를 가지며 전 듀티영역에서 ZVS가 성취되므로 스위칭 주파수를 높일 수 있다. 시뮬레이션을 통하여 타당성 및 성능을 검증하였다.

본 논문에서는 차량충전기를 위한 새로운 단일단 능동클램프 하프브리지 컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터는 4개의 스위칭소자를 가지며 기존의 능동클램프 푸시풀 및 하프브리지 방식과 달리 전 듀티영역에서 ZVS가 성취되므로 스위칭주파수를 더욱 높일 수 있어 넓은 입출력전압 동작범위를 갖는 차량용 On-board Charger 로서 적합하다.

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(300Vdc ~ 420Vdc)의 동작범위를 가져야 한다.

또한 차량충전기는 높은 입력역률이 요구되므로 역률보상을 위한 부스트 컨버터와 후단의 Off-line DC-DC 컨버터의 2단으로 구성되는 것이 일반적이다. 하지만 이 2단 방식은 두 번의 전력변환을 거치므로 고효율을 기대하기 어렵고 각 컨버터의 제어회로 및 검출회로 등에 따른 고가격 및 복잡성의 단점이 있다. 따라서 입력역률 보상과 출력전압조정 기능이 한 대의 컨버터로 이루어지는 단일단 방식^[1-4]이 제안되었는데 이 방식은 2단 방식에 비해 간단하고 저가격 및 고효율을 달성할 수 있다. 단일단 방식의 단점은 전원주파수의 2배인 저주파 리플이 출력단에 나타나는 것인데 정밀한 출력전압의 제어가 필요치 않은 배터리 충전기와 같은 응용에서는 문제가 되지 않는다. 기존에 제안된 단일단 역률보상회로 중 소자 전압 및 전류 스트레스가 낮고 ZVS가 성취되어 대용량(1 ~ 10kW)에 적용이 가능한 ZVT 풀브리지 PWM 방식^[1]은 보조회로가 비교적 복잡한 단점이 있다. 이를 개선한 능동클램프 풀브리지 방식^[2,3]은 보조회로로서 클램프스위치 1개로 주소자의 전압클램프 뿐 아니라 ZVS도 가능케 하였다.

2. 제안하는 방식

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

제안하는 컨버터는 저전압 측에 2개의 필드 인덕터, 4개의 MOSFET 스위치, 2개의 입력 커패시터, 2개의 고주파 변압기로 구성되어 있다. 저전압 측 각 레그는 그림 2와 같이 서로 180°의 위상차로 인터리빙하여 전류 리플을 감소시킨다. 또한 각 레그의 상하측 스위치는 비대칭으로 출력전압을 제어하고 상보적(Complementary) 스위칭에 의해 변압기의 누설 인덕터와 스위치의 내부 커패시터를 이용하여 자연스럽게 ZVS를 성취할 수 있다.

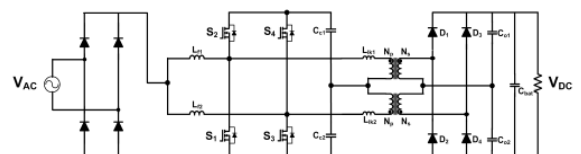


그림 1 제안하는 능동클램프 하프브리지 On-board Charger

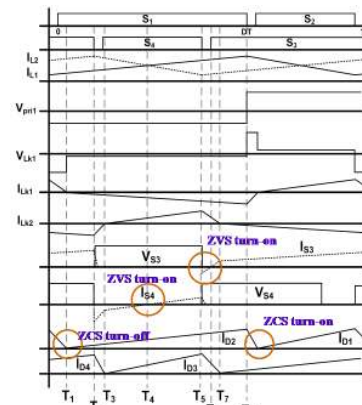


그림 2 제안하는 컨버터의 주요파형

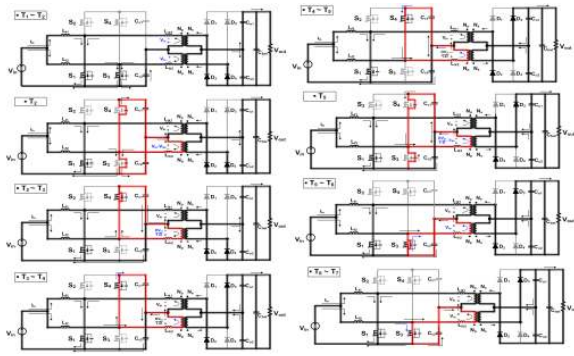


그림 3 제안하는 컨버터의 동작모드

그림 4는 기존의 능동클램프 방식으로서 풀브리지, 푸시풀, 하프브리지 방식을 나타내는데 그림 4(a)의 풀브리지 방식은 클램프 스위치를 포함하여 5개의 스위치가 필요하고 클램프 스위치의 스위칭주파수도 메인스위치의 2배가 되는 단점이 있다. 그림 4(b)의 푸시풀 방식과 그림 4(c)의 하프브리지 방식은 스위치수가 4개이지만 ZVS가 성취되는 영역이 $D > 0.5$ 로 제한되는 단점이 있다. 그림 5(a)와(b)는 기존방식의 ZVS영역을 보여주며 그림 5(c)는 전 듀티영역에서 ZVS가 가능한 제안한 컨버터의 ZVS영역을 보여준다.

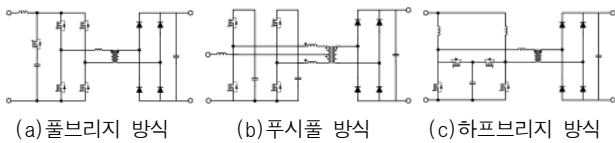


그림 4 기존 On-board Charger

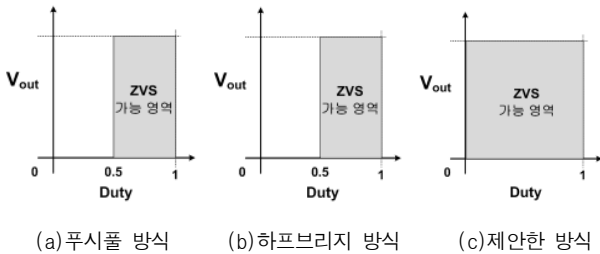


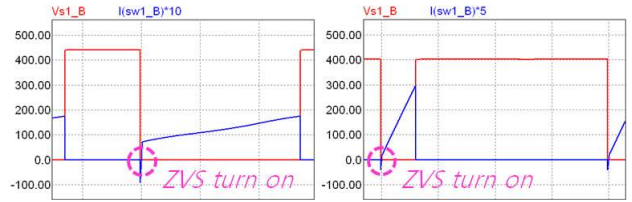
그림 5 ZVS영역 비교

3. 시뮬레이션 결과

제안한 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계 사양으로 시뮬레이션을 실행하였다.

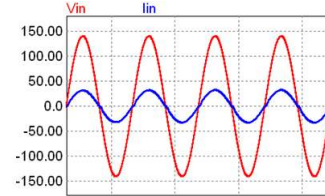
$\bullet P_o: 2kW$ $\bullet V_{AC}: 100 \sim 240V$ $\bullet V_{DC}: 300 \sim 420V$ $\bullet f_s: 100kHz$
 $\bullet \Delta V_{DC}: 5\%$ $\bullet \Delta I_L: 10\%$ $\bullet PF: 0.98$ 이상

변압기 권선비는 1:1이며 누설인덕턴스는 2.5uH이다. 그림 6(a)는 듀티가 0.5보다 클 때 ZVS 성취 파형이며 그림 6(b)는 듀티가 0.5보다 작을 때에도 ZVS가 성취되는 것을 볼 수 있다. 그리고 그림 6(c)는 입력 전압과 입력 전류의 파형으로 전압과 전류의 위상이 일치하고 역률은 99.8%의 시뮬레이션 결과를 얻었다.



(a) $D > 0.5$ 일 때 ZVS 성취

(b) $D < 0.5$ 일 때 ZVS 성취



(c) 입력 전압전류 파형

그림 6 실험 파형

4. 결론

본 논문에서는 차량충전기를 위한 새로운 단일단 능동클램프 하프브리지 컨버터를 제안하였다. 제안된 컨버터의 동작 특성을 설명하였고 1.5kW, 100kHz의 시제품을 제작하여 제안한 컨버터의 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] Cho, J.G.; Baek, J.W.; Yoo, D.W.; Song, D.I.; Rim, G.-H., "Zero-voltage-transition isolated PWM boost converter for single stage power factor correction," IEEE APEC '97, pp.471-476
- [2] 조정구외, "단일 전력단 역률보상을 위한 능동클램프를 갖는 새로운 영전압스위칭 풀브릿지 PWM 컨버터", 1997년도 전력전자학회 하계학술대회 논문집, pp.247-230
- [3] Watson, R.; Lee, F.C., "A soft-switched, full-bridge boost converter employing an active-clamp circuit," IEEE PESC '96, pp.1948-1954
- [4] Kim E.H, Kwon B.H, "High step-up resonant push-pull converter with high efficiency", IET Power Electronics, Vol.2, Issue 1, pp.79-89, 2009.
- [5] D. Choi, B. Lee, S. Choi, C. Won, D. Yoo, "A Novel Power Conversion Circuit for Cost-Effective Battery-Fuel Cell Hybrid Systems", Journal of Power Sources, Vol. 152, pp.245-255, Dec. 2005.
- [6] Kim, H.; Yoon, C.; Choi, S., "An Improved Current-Fed ZVS Isolated Boost Converter for Fuel Cell Applications," IEEE Trans. on Power Electronics, to be published in 2010.