

연료전지 응용을 위한 낮은 턴오프 전류를 갖는 준공진형 부스트 하프브리지 컨버터

박찬수, 최세완, 나재형*, 이진희*, 이정민*
서울과학기술대학교, *효성중공업

Quasi-Resonant Boost-Half-Bridge Converter with Reduced Turn-off Switching Losses for Fuel Cell Application

Chansoo Park, Sewan Choi, Jaehyeong Na*, JinHee Lee*, Jeongmin Lee*
Seoul National University of Science and Technology, *Hyosung Corporation

ABSTRACT

능동클램프 타입의 전류원 컨버터는 입력전류 리플이 작으며 클램프로 서지제거는 물론 스위치의 ZVS 턴온을 가능하게 한다. 그 중 부스트 하프브리지 컨버터는 변압기 턴비와 다이오드 정격이 낮고 모든 소자가 대칭적 구조를 가지며 변압기의 마그네타이징 오프셋이 없으므로 연료전지와 같은 대전류·고승압 응용에 적합하다. 본 논문에서는 준공진 기법을 적용하여 스위치 턴오프 전류를 크게 감소시킨 능동클램프 타입의 부스트 하프브리지 컨버터를 제안한다. 16V, 1.2kW급 시작품으로 기존 방식과의 비교분석을 통하여 제안하는 방식의 타당성을 입증하였다.

1. 서론

세계적으로 가정용 연료전지 발전시스템의 상용화를 앞당기기 위한 노력이 진행중이며 그 일환으로 연료전지 출력전압을 기존 30~60V에서 16V로 낮추려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이는 연료전지 셀 수가 감소하면 제작이 용이하고 고장률이 낮아질 뿐만 아니라 부피 및 가격이 감소하기 때문이다.

이와 같이 연료전지 출력이 더욱 낮아짐에 따라 고승압·고효율의 DC DC 컨버터가 요구된다. 연료전지 응용에 적합한 컨버터로는 입력전류 리플이 작은 전류원 능동클램프 타입의 풀브리지^[1], 푸쉬풀^[2], 하프브리지^[3], 부스트 하프브리지^[4] 방식이 있다. 부스트 하프브리지 방식은 다른 방식들에 비해 스위치 개수가 적고 변압기 센터탭이 필요하지 않아 제작이 용이한 장점을 갖는다. 더욱이 다른 방식과 달리 전 듀티영역에서 모든 스위치의 ZVS 턴온이 가능하다. 하지만 기존 PWM 부스트 하프브리지 방식은 턴오프시 스위치 전류가 높아 스위칭 손실이 큰 단점이 있다.

본 논문에서는 준공진 기법을 적용하여 낮은 턴오프 전류를 갖는 능동클램프 부스트 하프브리지 컨버터를 제안한다. 기존 PWM 방식과 제안하는 준공진 방식의 특징을 비교·분석하였고 1.2kW급 시작품을 제작하여 성능 및 효율을 분석하였다.

2. 제안하는 컨버터

그림 1에서 보듯이 제안하는 컨버터는 저전압·대전류 입력에 적합한 입력병렬·출력직렬의 구조로 낮은 변압기 턴비로 고승압이 가능하고 전 듀티영역에서 모든 스위치의 ZVS 턴온과 다이오드의 ZCS 턴오프가 가능한 장점을 갖는다.

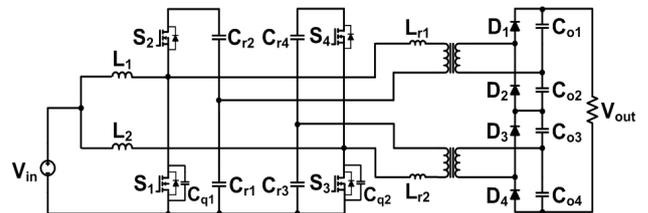


그림 1 제안하는 DC-DC 컨버터

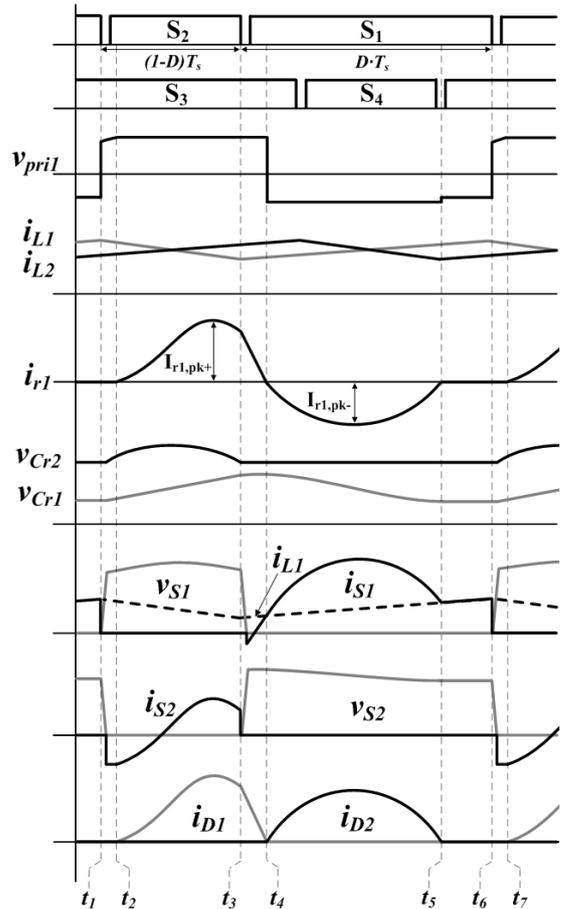


그림 2 제안하는 컨버터의 주요파형

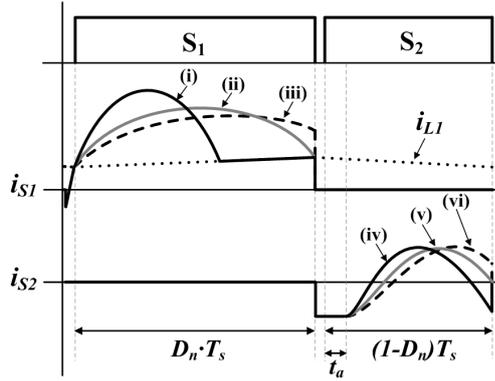


그림 3 공진 주기 변화에 따른 스위치 전류 파형

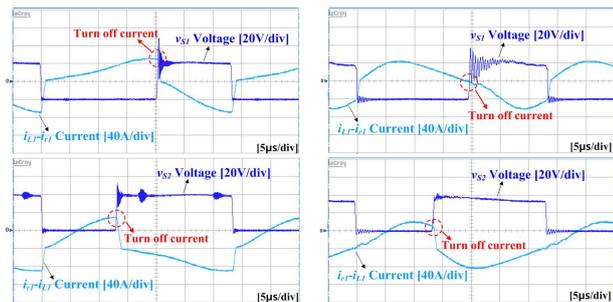
그림 2에 제안하는 컨버터의 주요파형을 나타내었다. 제안하는 컨버터는 인터리빙 효과로 입력전류의 리플이 작고 상·하측 스위치가 상보적 스위칭을 하여 출력전압을 조정한다. 제안하는 컨버터의 상·하측 스위치는 턴온시 ZVS 동작을 할 뿐만 아니라 제안하는 공진 동작으로 스위치의 턴오프 전류가 감소한다. 턴오프시 하측 스위치는 L_{r1} C_{r1} 의 공진 동작으로 턴오프 전류가 i_{L1} 로 낮아지고 상측 스위치는 L_{r1} C_{r2} 의 공진 동작으로 턴오프 전류가 감소한다. 그림 3에 공진주기 변화에 따른 스위치 전류 파형을 나타내었다. 하측 스위치는 (i)과 (ii)의 경우에 i_{L1} 의 크기로 턴오프 되지만 (iii)의 경우는 이보다 높은 턴오프 전류로 스위칭을 한다. 마찬가지로 상측 스위치는 (iv)와 (v) 경우에 스위치 턴오프 전류가 0이지만 (vi)에서는 턴오프 전류가 존재한다. 따라서 상·하측스위치의 RMS 전류와 턴오프 전류를 고려하여 공진 소자를 각각 (v), (ii)의 경우에 맞춰 선정하는 것이 가장 바람직하다. 또한 하측스위치에 작은 커패시터를 병렬로 추가하여 스위치 전압의 기울기를 완만하게 함으로써 턴오프시 스위칭 손실을 더욱 줄일 수 있다.

3. 실험 결과

제안하는 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 기존 PWM 방식과 제안하는 준공진 방식의 1.2kW급 시제품을 제작하여 다음의 사양으로 실험을 진행하였다.

- $P_{out} = 1140W$
- $V_{in} = 16 \sim 26V$
- $V_{out} = 360V$
- $f_{sw} = 30kHz$
- $\Delta I_{in} = 3\%$
- $\Delta V_{out} = 2\%$

그림 4는 두 가지 방식의 상·하측 스위치 전압과 전류 파형을 나타낸다. 두 가지 방식 모두 상·하측 스위치가 ZVS 턴온을 하지만 기존 PWM 방식에 비해 제안하는 준공진 방식의 스위치 턴오프 전류가 낮은 것을 확인할 수 있다.



(a) 기존 PWM 방식 (b) 제안하는 준공진 방식
그림 4 실험파형 ($P_{out}=1140W$, $V_{in}=16V$, $V_{out}=360V$)

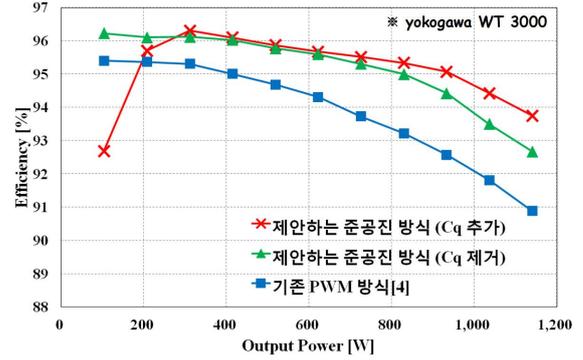


그림 5 측정 효율



그림 6 1.2kW 연료전지 전력변환기(컨버터+인버터)

그림 5는 두 가지 방식의 측정 효율을 나타내며 기존 PWM 방식은 정격부하(입력전압은 16V)에서 90.9%인 반면 제안하는 준공진 방식은 93.7%로 효율이 상승한 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 연료전지 응용에 적합한 준공진 방식의 부스트 하프브리지 컨버터를 제안한다. 제안하는 공진 동작으로 스위치의 턴오프 전류를 감소하였고 하측 스위치에 작은 커패시터를 병렬로 추가하여 턴오프시 스위칭 손실을 더욱 감소하였다. 1.2kW급 시제품을 제작하여 기존 PWM 방식에 비해 제안하는 준공진 방식의 효율이 2.8% 개선되었음을 확인하였다.

본 논문은 (주)호성중공업의 지원으로 수행되었으며, 이에 대해 깊이 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] R. Watson, F. C. Lee, "A Soft Switched, Full Bridge Boost Converter Employing an Active Clamp Circuit", *Proc. IEEE PESC'96*, pp.1948-1954, Jun. 1996.
- [2] E. Kim, B. Kwon, "High Step Up Resonant Push Pull Converter with High Efficiency", *IET Power Electron.*, Vol. 2, pp.79-89, Jan. 2009.
- [3] S. Han, H. Yoon, G. Moon, M. Youn, Y. Kim, K. Lee, "A new active clamping zero voltage switching PWM current fed half bridge converter", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol.20, pp. 1271-1279, Nov. 2005.
- [4] H. Kim, C. Yoon, S. Choi, "An Improved Current Fed ZVS Isolated Boost Converter for Fuel Cell Applications", *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol.25, pp.2357-2364, Sept.2010.