

15V출력의 1kW급 가정용 연료전지를 위한 고승압 DC-DC 컨버터

김준근, 박찬수, 최세완, 박가우*, 문상호*
서울산업대학교, *지필로스

High Step-up DC-DC Converter for 15V, 1kW Residential Fuel Cell

Joonkeun Kim, Chansoo Park, Sewan Choi, Gawoo Park*, Sangho Moon*
Seoul National University of Technology, *G-Philos

ABSTRACT

본 논문에서는 15V 출력의 1kW급 가정용 연료전지를 위한 고승압 DC-DC 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 전 부하 영역에서 모든 스위치의 ZVS 턴온과 다이오드의 ZCS 턴오프가 성취되고 클램프 커패시터를 분할하여 사용함으로써 불균형 문제를 해소하였다. 기존 전류원 컨버터와 특성을 비교 분석하였고 이론적 해석과 시뮬레이션 및 실험을 통해 타당성을 검증하였다.

1. 서론

국내외적으로 가정용 연료전지 발전시스템의 실용화를 위한 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 상용화를 앞당기기 위해서는 시스템의 안정화와 함께 저가격화가 매우 중요한 걸림돌이 되고 있다. 최근 저가격화의 일환으로 연료전지의 출력전압을 기존의 30V~60V에서 더욱 낮추는 시도가 진행되고 있다. 일본의 경우 신에너지산업기술종합개발기구(NEDO)에서 연료전지 출력전압을 15V로 하여 저가격화 함으로서 가정용 연료전지 발전시스템의 상용화를 가속시키고 있다. 이는 연료전지의 셀 수가 감소하면 제작이 용이하고 그에 따른 고장률이 낮아질 뿐 아니라 부피 및 가격 감소가 가능하기 때문이다. 국내에서도 “그린에너지 발전전략 로드맵”의 일환으로 2012년까지 1kW급 그린홈 연료전지의 1만호 보급사업이 진행되고 있는 가운데 15V출력의 1kW급 가정용 연료전지를 위한 BOP개발이 추진되고 있다.

이와 같이 연료전지 출력이 저전압·대전류화 함에 따라 고승압·고효율의 DC-DC 컨버터가 요구되는데 변압기 턴비가 작은 전류원 컨버터가 승압에 더욱 유리하며 고효율·고밀도를 위해서는 소프트스위칭이 가능한 능동클램프방식의 DC-DC 컨버터가 적합하다. 본 논문에서는 15V출력의 1kW급의 부하추종형 가정용 연료전지 PCS에 적합한 능동클램프방식의 고승압 하프브리지 컨버터를 제안한다. 제안한 하프브리지 컨버터는 기존의 풀브리지^[2], 푸쉬풀^[3], 하프브리지^[4] 방식과 달리 $D < 0.5$ 영역에서도 ZVS 턴온이 성취되므로 경부하시 효율이 중요한 응용에 적합하다.

2. 제안하는 컨버터

일반적인 계통연계형 가정용연료전지 시스템 경우 연료전지의 효율을 극대화해서 사용하기 위하여 연료전지의 최대정격에서 운전하며 가정내 부하를 공급하고 남은 전력을 계통에 주입하게 되므로 최대정격에서의 PCS의 효율이 중요하다. 그러나 본 연구에서 개발하고자 하는 시스템은 기본적으로 가정내 부하를 공급하며 부족한 전력만 계통에서 공급받는 부하추종형이므로 PCS는 전부하 범위에서 높은 효율을 유지하여야 한다. 본 연료전지 응용과 같은 고승압·고효율이 가능한 기존의 컨버터로서 그림 1과 같이 전류원 능동클램프 타입의 풀브리지 방식^[2], 푸쉬풀 방식^[3], 하프브리지 방식^[4]을 고려할 수 있다. 그림 1(a)의 풀브리지 방식은 다른 방식에 비해 스위치개수가 1개 더 많고 클램프스위치의 스위칭 주파수(주스위치의 2배)와 전류부담이 큰 단점이 있다. 그림 1(b)의 푸쉬풀 방식은 공진을 이용하므로 L-C 값 선정이 어렵고 주스위치는 하드스위칭하게 되며 저전압, 대전류측 센터탭 변압기의 제작이 용이하지 않은 단점이 있다. 그림 1(c)의 하프브리지 방식은 모든 스위치의 ZVS가 가능하고 변압기등 제작측면에 문제가 없지만 $D < 0.5$ 구간에서 주스위치가 하드스위칭하게 되므로 스위칭주파수가 제한되고 경부하시 고효율을 달성하기 어렵다.

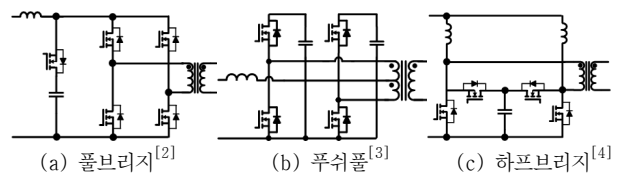


그림 1. 기존의 전류원 능동클램프 DC-DC 컨버터

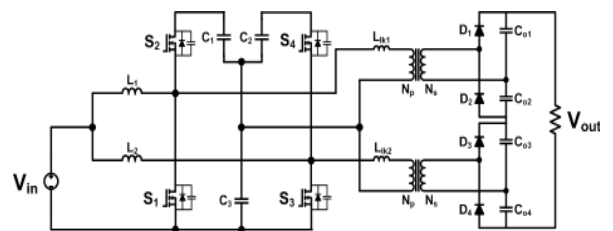


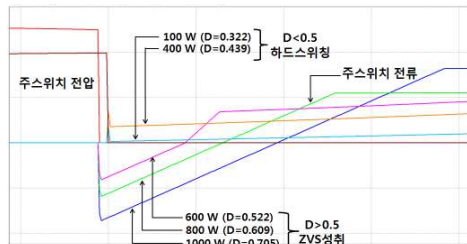
그림 2. 제안하는 DC-DC 컨버터

그림 2 에 제안하는 하프브리지컨버터를 나타낸다. 제안하는 컨버터는 기존의 하프브리지 컨버터와는 달리 $D < 0.5$ 인 경우에도 ZVS가 성취되어 경부하시에도 고효율을 달성할 수 있으므로 본 부하중형 연료전지 응용에 적합하다. 또한 출력전압측을 직렬로 쌓은 구조로 변압기 턴비를 최소화하고 다이오드 전압장격을 낮춰 저가격의 쇼트키 다이오드를 선정할 수 있는 장점이 있다. 표 1에 각 방식의 특징을 비교하였다.

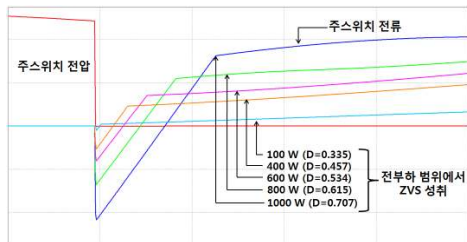
그림 3 에 제안하는 방식과 기존의 하프브리지 방식의 부하에 따른 주스위치의 스위칭동작을 나타낸다. 그림 3(a)에서 보듯이 기존의 방식은 $D < 0.5$ (500W)이하에서는 하드스위칭되나 제안한 방식은 전 듀티영역(전부하)에서 ZVS가 성취되는 것을 볼 수 있다.

표 1. 주요 특징 비교

	풀브리지	푸쉬풀	하프브리지	제안한 방식
동작 듀티	$0 < D < 1$			
스위치 개수	5 EA	4 EA	4 EA	4 EA
스위칭 방식	오버랩	공진	비대칭 PWM	비대칭 PWM
주스위치 ZVS	ZVS ON	Hard Switching	ZVS ON	ZVS ON
보조스위치 ZVS	ZVS ON	ZVS ON ZVS OFF	ZVS ON	ZVS ON
ZVS 영역	$0.5 < D < 1$	$0.5 < D < 1$	$0.5 < D < 1$	$0 < D < 1$



(a) 기존의 하프브리지

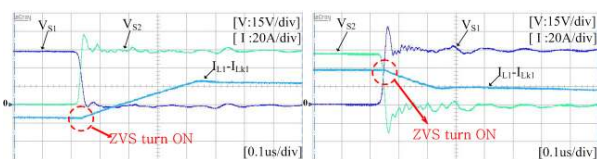


(b) 제안하는 방식

그림 3. 부하에 따른 주스위치의 스위칭동작

3. 실험 결과

제안한 컨버터의 실험파형과 실험효율을 각각 그림 4와 그림 5에 나타내었다.



(a) 주스위치 ZVS 턴온

(b) 보조스위치 ZVS 턴온

그림 4. 실험파형 ($P_o = 500W, V_{in} = 20V, D = 0.5, V_o = 380V, f_s = 50kHz$)

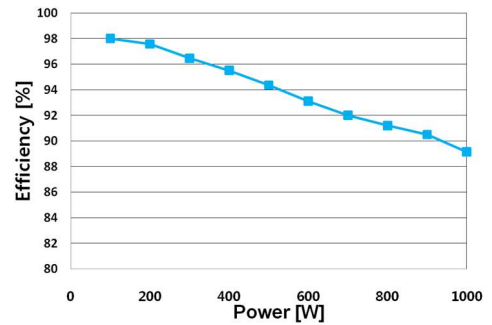


그림 5. 실험효율 ($P_o = 1kW, V_{in} = 15V, V_o = 380V, f_s = 50kHz$)



그림 6. 1kW 시작품

4. 결론

본 논문에서는 15V 출력의 1kW급 가정용 연료전지를 위한 고출압 DC-DC 컨버터를 제안하였다. 제안하는 컨버터의 특징을 분석하였으며 실험을 통하여 타당성을 검증하였다. 제안하는 컨버터는 기존 전류원 컨버터에 비해 넓은 ZVS영역을 가지므로 본 연구의 응용과 같은 전부하 범위에서 높은 효율이 필요한 응용에 적합하다.

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 2009T100200032)

참고 문헌

- [1] 최세완, "특집: 대체에너지 발전시스템에서의 전력전자기술 - 연료전지 발전시스템에서의 전력전자기술", *전력전자학회지*, 제6권, 제1호, pp.30-36, 2003년 8월.
- [2] Jih-Sheng Lai, Douglas J. Nelson, "Energy Management Power Converters in Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles", *Proceeding of the IEEE*, Vol. 95, pp.766-777, April. 2007.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] H. Kim, C. Yoon, S. Choi, "An Improved Current-Fed ZVS Isolated Boost Converter for Fuel Cell Applications", *IEEE Transactions on Power Electronics*, to be published.