15V, 1kW 연료전지 스택을 위한 부하추종형 전력변환장치

박찬수, 오형민, 최세완, 박가우*
서울과학기술대학교, 지필로스*

A Load Following Power Conversion System for 15V, 1kW Fuel Cell Stack

Chansoo Park, Hyeongmin Oh, Sewan Choi, Gawoo Park*
Seoul National University of Science and Technology, G-Philos*

ABSTRACT

본 논문에서는 15V, 1kW 저전압 연료전지를 위한 고효율 전력변환장치를 제안한다. DC DC 컨버터로는 15V에서 380V로의 고승압에 적합한 입력병렬·출력직렬 부스트 하프브리지를 제안하였는데 이는 전부하영역에서 ZVS 턴온으로 96%의 최고 효율을 달성하였다. 또한 DC AC 인버터부는 상용전원으로의 변환 및 DC 링크 전압 제어를 수행한다. 1kW급 시작품을 제작하여 그 성능을 검증하였다.

1. 서 론

가정용 연료전지 발전시스템의 상용화를 앞당기기 위한 연구개발이 진행되고 있는 가운데 최근 일본 및 국내에서는 연료전지의 출력전압을 기존의 30~60V에서 15V로 낮추어 상용화가 진행되고 있다. 연료전지스택의 측면에서는 셀 수가 감소하여 가격저감이 가능할 뿐만 아니라 제작이 용이하고 고장률이 감소하는 장점을 갖는다. 하지만 전력변환장치, 특히 승압컨버터의 측면에서는 높은 승압비가 요구되어 변압기의 부피가 커지고 누설인덕턴스의 증가에 따른 문제가 더욱 심화될 수 있다. 또한 연료전지에서 일정한 전력을 발생시켜 계통에 주입시키는 방식과 달리 부하추종형 방식은 연료전지에서 발전된 전력으로 가정내 부하를 공급하고 계통에의 주입은 허용하지 않는 방식으로 항상 부하전력보다 전력을 발전해야하므로 전력변환장치는 최대정격에서 뿐 아니라 전 부하영역에서 높은 효율이 요구된다.

본 논문에서는 이같은 저전압 연료전지 스택을 이용한 부하추종형 전력변환장치를 제안한다. 제안하는 전력변환장치의 DC DC 컨버터는 고승압에 적합한 입력병렬·출력직렬의 능동클램프 부스트 하프브리지 컨버터로 전 부하영역에서 ZVS 턴온이 가능하여 경부하 및 중간부하영역에서도 고효율을 달성할 수 있다. DC AC 인버터는 단상 전압형 풀브리지 인버터로 구현하였으며 직류 전압 380V를 교류 전압 220V로 변환하고 DC 링크 전압제어를 수행한다. 제어기는 디지털 PLL 제어기, 전류제어기 및 보호기능을 DSP로 구현하였다.

2. 제안하는 시스템

제안하는 연료전지 전력변환시스템을 그림 1에 나타내었다. 연료전지 전압이 15V로 전류정격이 70A가 넘어 도통손실이 커

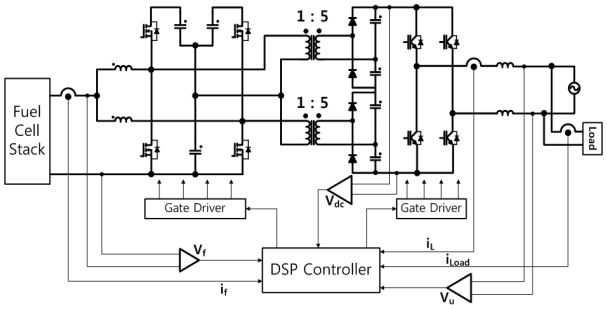
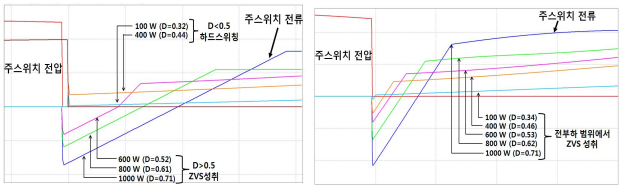


그림 1 제안하는 연료전지 전력변환장치

질 뿐아니라 380V로 승압시 기존의 컨버터로는 변압기 턴비가 너무 커져 누설인덕턴스에 따른 문제가 커진다. 또한 계통과 연계되나 전류주입은 하지 않고 가정내 필요부하만을 공급하는 부하추종형이므로 경부하에서 큰 비중을 차지하는 스위칭 손실을 낮추는 것이 중요하다.

제안하는 DC DC 컨버터는 승압에 필요한 고주파변압기의 턴비를 최소화(1:5)하고 대전류 입력에 적합한 입력병렬·출력직렬의 능동클램프 부스트 하프브리지 컨버터로서 기존의 풀 브리지[1] 방식에 비해 스위치 개수가 적고 보조스위치와 주스위치의 스위칭주파수가 같은 장점을 가지고, 그림 2와 같이 기존의 푸쉬풀[2] 및 하프브리지[3] 방식과 달리 전 부하(듀티)영역에서 모든 스위치의 ZVS 턴온이 성취되어 경부하 및 중간부하영역에서 높은 효율을 달성할 수 있으므로 특히 부하추종형 전력변환장치에 적합하다. 제안하는 컨버터의 특징은 다음과 같다.

- 전 부하영역에서 스위치 ZVS턴온과 다이오드 ZCS 턴오프
- 변압기 턴비가 낮아 누설인덕턴스에 의한 영향이 적고 스위치의 전류정격 및 다이오드의 전압정격이 낮음
- 대칭구조로서 Low Profile 및 열분산이 용이함
- 전 듀티영역을 사용하므로 넓은 입력범위의 응용에 적합하며 별도의 클램프 회로 및 스타트업 회로가 필요 없음



(a) 기존 푸쉬풀/하프브리지방식 (b) 제안하는 방식

그림 2 부하에 따른 주스위치의 스위칭동작

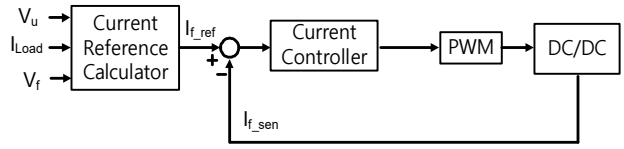


그림 3 DC-DC 컨버터의 제어기

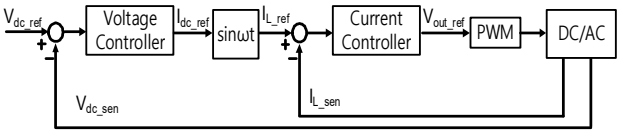
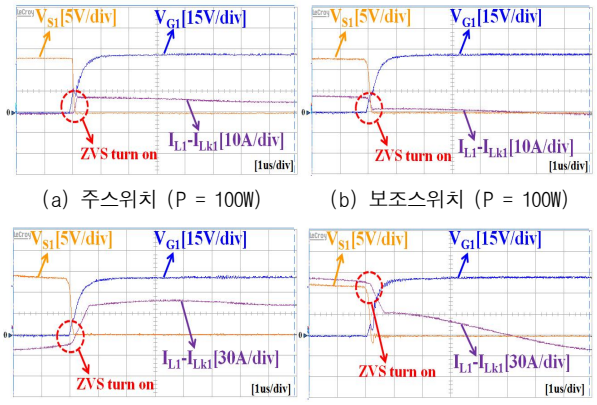


그림 4 DC-AC 인버터의 제어기

그림 3은 제안하는 DC DC 컨버터의 제어기로 부하에서 필요로 하는 전력만을 공급하기 위해 컨버터의 전류를 제어한다. 그림 4는 제안하는 DC AC 인버터의 제어기로 DC 링크 전압과 필터 인덕터 전류를 제어한다. 또한 각각의 DC DC 컨버터와 DC AC 인버터는 하나의 디지털 제어기에 의해 제어되도록 구현하였으며 이는 시스템의 연계 동특성을 빠르게 하여 과도 상태에서의 안정성을 높이는 효과가 있다.

3. 실험 결과

제안한 1kW급 전력변환장치의 시작품을 제작하여 실험을 수행하였다. 그림 5은 정격부하와 경부하시 DC DC 컨버터 주 스위치와 보조스위치의 게이트, 전압, 전류 파형이다. 풀부하에서뿐만 아니라 경부하에서도 모든 스위치가 ZVS 턴온 되는 것을 확인할 수 있다. 그림 6은 계통에서 전류를 분담하고 있는 상황으로 전류 THD는 3.7% 이다. 그림 7은 제어부 전원을 제외한 전력변환장치의 효율을 나타낸다. 제안하는 전력변환장치는 최고효율 97.4%, 1kW에서 93.5%의 효율을 달성하였다. 그림 8은 시작품 사진으로 크기는 9.6 Liter이다.



(a) 주스위치 (P = 100W) (b) 보조스위치 (P = 100W)

(c) 주스위치 (P = 1000W) (d) 보조스위치 (P = 1000W)

그림 5 DC-DC 컨버터 실험파형

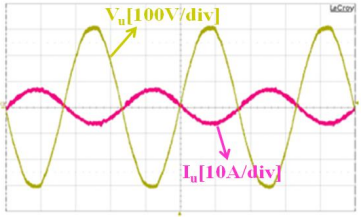


그림 6 인버터 출력전압 및 계통전류 파형

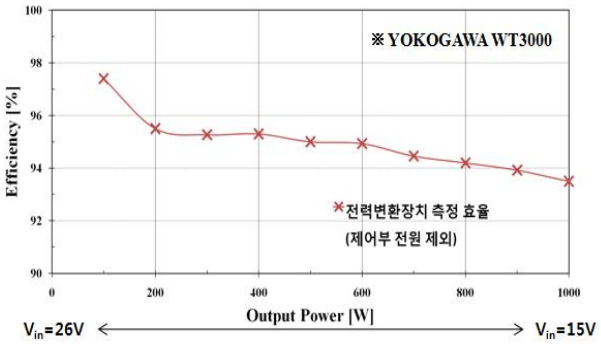


그림 7 측정 효율

그림 8 1kW 연료전지 전력변환장치 시작품

4. 결 론

본 논문에서는 15V 출력의 1kW급 연료전지 스택을 위한 부하추종형 전력변환장치를 제안한다. 제안한 승압용 컨버터는 고승압의 응용에서 최소의 변압기 턴비(1:5)를 가지며 기존의 방식과 달리 전 듀티영역에서의 ZVS 턴온이 가능하여 전부하 영역에서 고효율 달성이 가능하다. 시작품으로부터의 실험결과 제안하는 전력변환장치는 최고효율 97.4%, 1kW에서 93.5%의 효율을 달성하였다.

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 신재생에너지기술개발사업 연구 과제입니다.(NO. 2009T1002000032)

참 고 문 헌

[1] Jih Sheng Lai, Douglas J. Nelson, "Energy Management Power Converters in Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles", *Procceding of the IEEE*, Vol. 95, pp.766 777, April. 2007.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 김준근, 박찬수, 최세완, 박가우, 문상호, "15V출력의 1kW급 가정용 연료전지를 위한 고승압 DC DC 컨버터", *전력전자학회 2010년도 하계학술대회 논문집*, pp.144 145