

1kW급 연료전지 발전용 2단 구성 방식의 DC-DC 컨버터 설계

유호원, 정용민, 임승범, 이준영*, 홍순찬
 단국대학교 전자전기공학과, 명지대학교 전기공학과*

Design of the Two-Stage DC-DC Converter for 1kW Fuel Cell Power Generation System

Ho-Won Yoo, Yong-Min Jung, Seung-Beom Lim, Jun-Young Lee*, and Soon-Chan Hong
 Dept. of Electronics and Electrical Eng., Dankook University, Dept. of Electrical Eng., Myongji University*

ABSTRACT

In this paper, the two-stage DC-DC converter is proposed to make the control simple and to boost the low input voltage in the fuel cell generating system. The low efficiency of the conventional power converter is caused by a characteristic of the low-voltage and high-current in the fuel cell generating system. High-frequency transformer is needed to block the noise and to guarantee the safety of cell and load as a magnetically insulation. The proposed two-stage DC-DC converter for a fuel cell generation is more efficient than the traditional one-stage converter and easy to control. The design of a high-frequency transformer is also simple. Finally, the utility of the proposed converter is proved by the simulations and experiments.

1. 서 론

연료전지는 높은 효율과 저소음, 연료의 유연성, 환경 친화적 면에서 기존의 발전 시스템을 대체할 수 있는 잠재성 있는 발전 시스템이다. 그러나 연료전지는 비선형적인 24~48[V]의 낮은 출력전압 특성을 가지고 있어 낮은 전압을 승압하고 인버터를 통하여 220[V] 교류전압을 얻는다. 또한 연료전지의 상용화를 위하여 저가의 고효율 변환장치가 필요하며 이를 위한 연구가 진행되고 있다.

연료전지 발전 시스템에서 연료전지의 저전압, 대전류 특성으로 인하여 기존의 전력변환기의 효율이 낮다. 그리고 전지와 부하 사이의 안전과 노이즈 차단을 위하여 절연이 필요하기 때문에 고주파 변압기가 필요하다.

본 논문에서는 연료전지 발전 시스템에서 연료전지의 낮은 출력전압을 승압시키고 제어를 간단히 하는 2단 구성의 DC-DC 컨버터를 제안한다.

2. 연료전지 발전 시스템

연료전지 발전 시스템은 그림 1과 같이 천연가스나 메탄올 등의 연료를 수소로 바꿔주는 개질기, 수소를 전기에너지로 바꿔주는 연료전지 스택과 연료전지의 낮은 출력전압을 승압하기 위한 DC-DC 컨버터, 안전을 위한 절연 변압기, 직류전압을 교류전압으로 바꿔주는 인버터로 구성된 전력 변환기로 구성되어

있다.

연료전지 스택은 24V~48V의 낮은 직류전압을 출력으로 하기 때문에 상용전원으로 사용하기 위하여 전압을 승압해야 하고, 연료전지의 출력전압은 부하에 따라 변동하기 때문에 이를 안정된 전원으로 사용하기 위하여 전압 조정(Voltage Regulation)이 필요하다. 그림 1에서 전력변환기는 DC-DC 컨버터와 인버터로 구성된다.

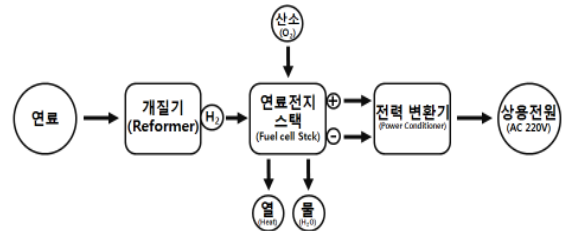


그림 1 연료전지 발전 시스템
 Fig. 1 Fuel cell power generation system

그림 2는 계통연계형 연료전지 발전용 전력변환 시스템의 블록도이다. 이 시스템은 크게 연료전지, DC-DC 컨버터, 인버터로 구성되어 있다. 계통연계형 연료전지 발전용 전력변환 시스템은 연료전지 발전에서 얻은 전압을 DC-DC 컨버터를 통하여 전압을 승압하고 인버터를 통하여 AC 220V로 변환한다. 일반적으로 DC-DC 컨버터의 출력전압을 400[V]로 승압하여 인버터 앞단에 설치한 축전지를 충전하고 그 전압을 인버터를 통하여 AC 220V로 변환하여 교류전원으로 사용하거나 모선으로 보낸다.

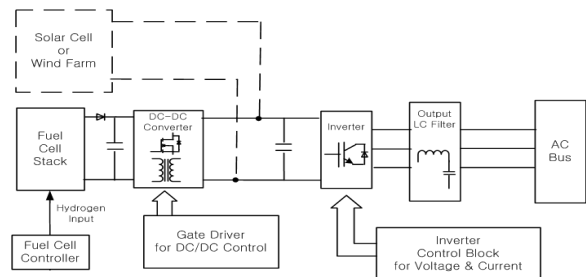


그림 2 계통연계형 연료전지 발전용 전력변환 시스템의 블록도
 Fig. 2 Block diagram of the grid-connected fuel cell power conversion system

3. 2단 구성방식의 DC-DC 컨버터

3.1 기존의 DC-DC 컨버터

연료전지용 DC-DC 컨버터로는 그림 3과 같은 전브리지 컨버터가 많이 사용되었다.

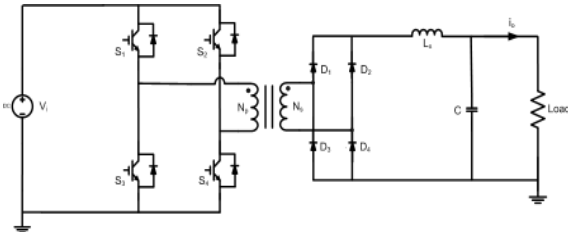


그림 3 기존 DC-DC 컨버터
Fig. 3 Conventional DC-DC converter

기존의 전브리지 컨버터는 출력전압에 따라서 ON되는 스위칭소자가 달라서 제어 복잡하고 제어 IC의 가격이 비싸다. 그리고 스위칭 소자의 전압 및 전류 스트레스가 커서 고가의 스위칭소자를 사용해야 하는 단점이 있다.

또한 입력전압이 변동하는 연료전지 시스템에서의 변압기는 입력 최소전압인 24[V]에서 출력전압이 정격이 되도록 설계되며, 입력 최대전압인 48[V]에서도 동작하여야 한다. 따라서 스위칭소자의 전압 스트레스는 최대 입력전압의 2배가 인가되는 단점이 있다.

3.2 제안한 2단 구성방식의 컨버터

본 논문에서는 전브리지 컨버터의 문제점을 해소하기 위하여 그림 4와 같은 2단으로 구성된 DC-DC 컨버터를 제안한다.

제안한 2단 구성 방식의 DC-DC 컨버터는 부스트 컨버터와 반브리지 컨버터, 출력전압 검출부, 부스트 컨버터 제어부, 고정시비율 발생 회로로 구성되어 있다.

입력전압이 변동하는 연료전지 시스템에서의 변압기 설계는 입력 최소 전압에서 출력전압이 정격이 되도록 설계되며, 입력 최대 전압에서도 동작해야 한다. 2단 구성 방식의 연료전지용 컨버터는 부스트 컨버터의 출력전압이 80[V]로 일정하게 제어하며, 이로 인하여 변압기 설계는 입력전압이 일정한 전압정격으로 설계를 할 수 있다.

부스트 컨버터는 제어부의 출력전압 검출회로에서 전압신호를 받아서 스위칭소자(S_b)를 스위칭한다. S_b 가 ON되었을 때 코일(L_b)에 전류가 흘러 에너지가 축적되며 S_b 가 OFF된 동안에 다이오드(D_b)를 통하여 커패시터(C_b)를 충전한다.

반브리지 컨버터는 입력측과 출력측 사이에 전기적인 절연을 함과 아울러 변압기의 권수비에 의해서만 전압이 출력되고 출력전압을 제어하지 않으므로 간단한 구조로 되어 있다. 이때 반브리지 컨버터의 스위칭소자 S_h 와 S_L 은 고정시비율 게이트 발생회로에서 고정시비율로 ON/OFF 동작을 반복하게 된다. 스위칭소자 S_h 또는 S_L 이 ON 되었을 때 에너지를 부하에 공급하다가 두 스위치가 모두 OFF 되었을 때 코일(L) 및 커패시터(C)에 저장되었던 에너지가 부하에 공급한다.

이러한 부스트 컨버터와 하프-브리지 컨버터는 제어가 용이하고 최적화 설계를 통하여 전력밀도를 높일 수 있다. 그리고 제어 IC는 일반적인 PWM Controller를 사용하므로 가격이

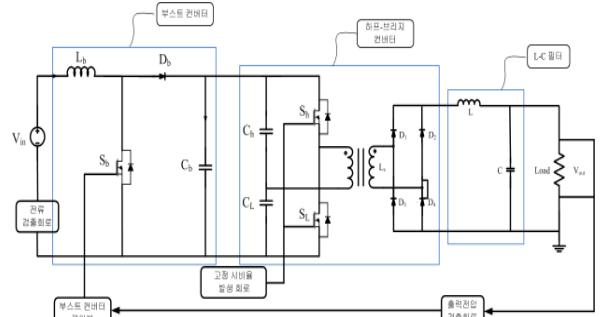


그림 4 제안 회로
Fig. 4 Proposed circuit

저렴하다. 또한 출력전압을 2단에 걸쳐서 승압시킴으로 스위칭 소자의 전류 정격을 줄여주어 스위칭 소자의 가격을 줄일 수 있다. 또한 입력전압이 변동하는 연료전지 시스템에서의 변압기 설계는 입력 최소전압인 24[V]에서 정격이 되도록 설계되지만, 2단 구성 방식의 연료전지용 컨버터는 부스트 컨버터의 출력전압이 80[V]로 일정하기 때문에 변압기를 일정한 전압정격으로 설계를 할 수 있고 변압기의 이용율을 높일 수 있다.

4. 시뮬레이션 결과 및 검토

제안회로를 SIMplorer를 사용하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션에 사용한 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Simulation parameter

입력전압	DC 24V~ 48V	출력전압	DC 400V
출력전류	2.5A	부하	160Ω~ 1kΩ
부스트 컨버터 스위칭주파수	30kHz	하프-브리지 컨버터 스위칭주파수	50kHz
부스트 컨버터 듀티비 범위	0.52~ 0.76	하프-브리지 컨버터 듀티비	0.4

그림 5는 부스트 컨버터의 입력전압이 36[V]일 때 부스트 컨버터의 스위칭소자 S_b 와 하프-브리지 컨버터의 스위칭소자 S_h 및 S_L 의 게이트 전압 파형이다. 그림 6은 부스트 컨버터의 입력전압이 36[V]이고, 부하가 1kΩ에서 160Ω으로 변동할 때에도 제안한 컨버터의 최종 출력전압이 400V로 일정하게 유지됨을 보여주고 있다.

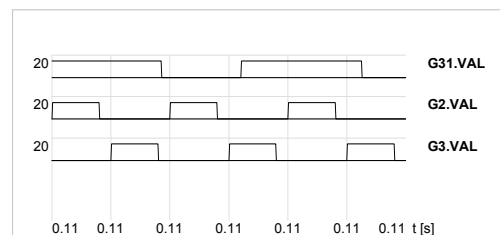


그림 5 입력전압이 36[V]일 때의 게이트 전압
(a) S_b (상) (b) S_h (중) (c) S_L (하)
Fig. 5 Gating voltage when input voltage is 36[V].
(a) S_b (b) S_h (c) S_L

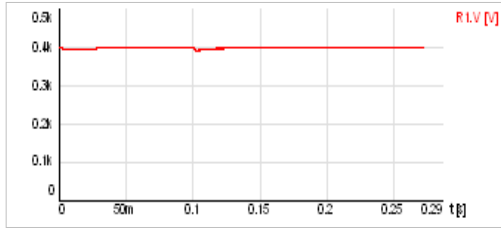


그림 6 입력전압이 36[V]일 때 부하 변동 시의 출력전압

Fig. 6 Output voltage during load change when input voltage is 36[V]

5. 실험결과 및 검토

제안한 회로의 유용성을 확인하기 위하여 시스템을 구성하고 실험하였다. 실험에 사용한 파라미터는 시뮬레이션 파라미터와 동일하다.

그림 7은 제안한 회로의 게이트전압 파형으로서 위로부터 S_b 의 게이팅 신호, S_h 의 게이팅 신호, 그리고 S_L 의 게이팅 신호이며, S_b 는 30kHz로 동작하고 S_h 와 S_L 은 50kHz로 동작하고 있다. 그리고 S_b 는 최대 듀티비를 0.8 이하로 제한하였고 S_b 의 듀티비 범위는 0.52~0.76이다. S_h 와 S_L 의 듀티비는 0.4로 고정시켜서 동작한다.

그림 8은 160Ω 부하에서 컨버터의 최종 출력전압이 400[V]이고 출력전류가 2.5A로 제안한 컨버터의 용량이 1,000[W]임을 보여준다.

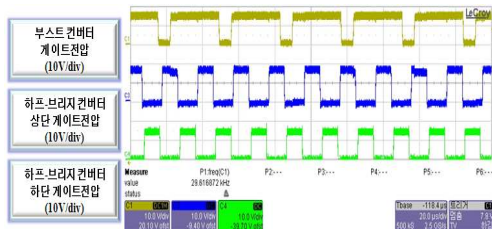


그림 7 제안한 컨버터의 게이트 전압

Fig. 7 Gating signal waveforms in proposed converter

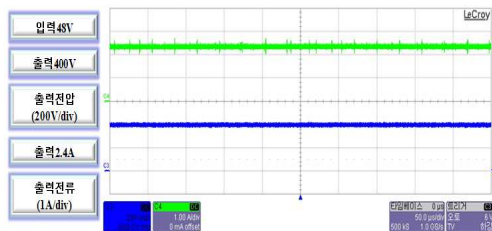


그림 8 제안 회로의 출력전류(상) 및 출력전압(하)

Fig. 8 i_o and V_{out} in proposed converter

그림 9는 부하가 1kΩ에서 160Ω으로 변동할 때에도 제안한 컨버터의 최종 출력전압이 400V로 일정하게 유지됨을 보여주고 있다.

그림 10은 제안한 컨버터의 효율을 측정한 그래프로 16.6% 부하에서는 대략 효율이 91.5%이고 부하가 증가할수록 효율이 떨어져서 100% 부하에서는 86.5%이다. 이 효율은 기존에

사용하던 DC-DC 컨버터보다 높은 값이다.

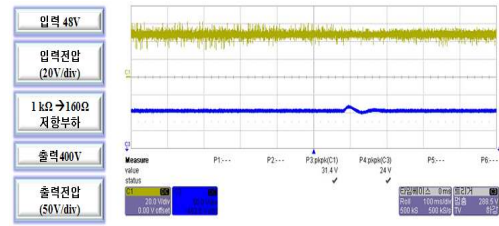


그림 9 부하 변동 시의 입력전압(상)과 출력전압(하)

Fig. 9 Output voltage when load is changed

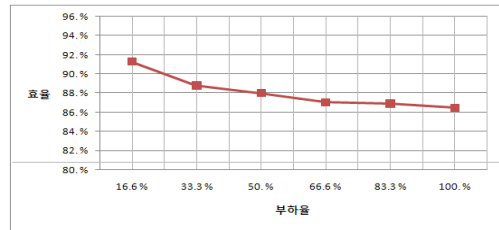


그림 10 제안한 컨버터의 효율

Fig.10 Efficiency of proposed converter

6. 결론

본 논문에서는 1kW급 연료전지 발전용 시스템에 사용할 수 있는 2단 구성방식의 DC-DC 컨버터를 제안하였다.

제안한 2단 구성의 연료전지 발전용 DC-DC 컨버터는 기존의 1단 컨버터에 비해 효율이 동등 이상이고 고주파 변압기의 설계가 간단하며 제어도 간단하다. 제안한 컨버터는 부스트 컨버터와 반브리지 컨버터가 종속적으로 접속되어 있으며, 출력전압을 센싱하여 부스트 컨버터를 제어하여 일정한 전압을 출력으로 하고 반브리지 컨버터는 일정 전압을 입력으로 받아 변압기의 권수비에 의하여 승압한다.

이러한 부스트 컨버터와 하프-브리지 컨버터는 제어가 용이하고 최적화 설계를 통하여 전력밀도를 높일 수 있다. 그리고 제어 IC는 일반적인 PWM Controller를 사용하므로 가격이 저렴하다. 또한 출력전압을 2단에 걸쳐서 승압시키므로 전압 스트레스가 작아지므로 스위칭 소자의 가격을 줄일 수 있다.

참고 문헌

- [1] 문상필, 서기영, 이현우, M.Nakaoko, 신취범, “연료전지 시스템을 위한 풀-브리지 소프트 위상 전이 PWM DC-DC 컨버터”, 한국조명·전기설비학회 추계학술대회 논문집, pp.371-376, 2005. 11. 4.
- [2] 윤현기, 문건우, 윤명중, “전압 리플을 이용해 영전류스위칭하는 두 개의 트랜스포머를 가지는 위상전이 풀-브릿지 컨버터”, 전력전자학회 논문지, 제11권, 제1호, pp.14-21, 2006. 2.