인터리브드 풀브릿지 컨버터와 하프브릿지 인버터를 결합한 연료전지 발전 시스템

김헌희*, 이희준*, 신수철*, 정용채**, 원충연*
성균관대학교*, 남서울대학교**

Fuel Cell Generation System Combined Interleaved Full-bridge Converter with Half-bridge Inverter

Heon Hee Kim*, Hee Jun Lee*, Soo Chul Shin*, Yong Chae Jung**, Chung Yuen Won*
Sungkyunkwan University*, Namseoul University**

ABSTRACT

This paper suggested a fuel cell generation system which combined interleaved full bridge converter with half bridge inverter. High ratio step up converter is essential to use the power as general voltage source. Full bridge converter has high efficiency and can boost the input voltage to high output with transformer. With series connected capacitors, interleaved full bridge converter and half bridge inverter are combined. Half bridge inverter has two fewer switches compared to full bridge type. Also, switching loss can be reduced. The performance is verified through simulation with 1.5[kW] fuel cell generation system.

1. 서 론

연료전지는 친환경 고효율의 신재생 에너지 중 가장 유망한 신재생 에너지로 각광받고 있다. 연료전지는 오염물질을 거의 발생시키지 않고 기존의 연료를 연소시켜 에너지를 얻는 방식보다 효율이 높고 소음이 적다. 또한 유지보수가 거의 필요 없고, 발생하는 열 에너지를 활용할 수 있는 장점도 있다.

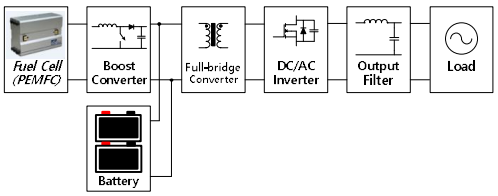


그림 1 논문에 적용된 연료전지 발전 시스템
Fig. 1 Schematic of applied fuel cell power system

그림 1은 연료전지 발전 시스템을 나타낸다. 연료전지는 부하가 증가할수록 전압이 감소한다. PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell)는 최소 부하시 1.23V에서 최대 부하시 0.5V까지 감소한다. 이러한 특성 때문에 셀을 결합한 연료전지 스텍을 이용하더라도 부하에 직접 연결하여 이용할 수 없다. 불안정한 낮은 전압을 이용하여 안정된 낮은 전압을 출력하는 고성능의 컨버터가 필요하다. 그리고 연료전지의 느린 응답 특성 때문에 배터리 팩과 같은 보조 에너지 저장장치가 필요하다.

본 논문에서는 60[V]의 배터리 전압을 승압하여 인버터 DC 링크 전압을 공급하는 풀브릿지 컨버터와 하프브릿지 인버터를 결합한 형태의 새로운 발전장치를 제안하였다.

2. 제안된 풀브릿지 컨버터 - 하프브릿지 인버터 결합 회로

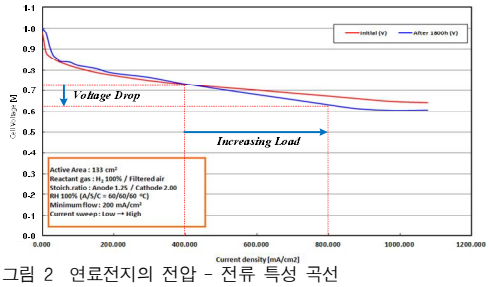


그림 2 연료전지의 전압 - 전류 특성 곡선
Fig. 2 Voltage-current characteristic curve of fuel cell

연료전지 스텍은 부스트 컨버터로 24[V]에서 48[V]의 전압을 공급한다. 그림 2는 연료전지 셀의 출력 전류에 따른 출력 전압 곡선을 나타낸다. 출력 전류밀도가 높아지면 셀 전압이 감소한다. 셀의 직렬연결로 이루어진 연료전지 스텍의 전압도 감소하게 된다. 연료전지 스텍과 연결된 부스트 컨버터는 60[V]의 일정한 전압을 출력하여 배터리를 충전시킨다. 풀브릿지 컨버터는 60[V]의 배터리 전원을 승압하여 인버터가 220[V_{ac}]의 상용전압을 출력할 수 있도록 인버터 DC링크 전압을 공급한다.

2.1 제안된 회로 구성

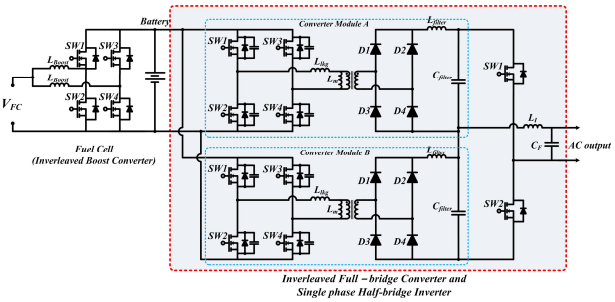
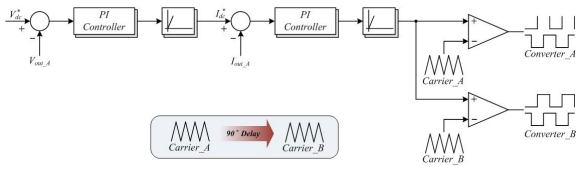


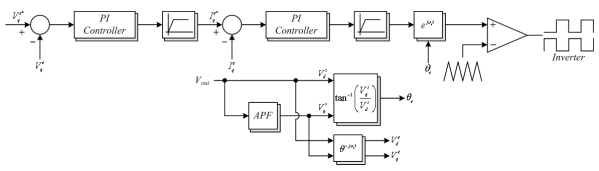
그림 3 제안된 풀브릿지 컨버터 - 하프브릿지 인버터 결합 회로
Fig. 3 Schematic of combined full-bridge converter and half-bridge inverter

그림 3은 제안된 풀브릿지 컨버터 하프브릿지 인버터 결합 회로를 나타낸다. 인터리브드 풀브릿지 컨버터를 적용함으로써 스위치와 다이오드의 전압 정격을 낮추고, 출력단을 직렬로 연결함으로써 변압기의 턴비를 줄여 누설인덕턴스를 감소시킨다. 풀브릿지 컨버터 출력단의 두 커패시터를 이용하여 하프브릿지 인버터를 구성한다. 하프브릿지 인버터는 풀브릿지 인버터 타입에 비해 스위치가 적고 이에 따라 스위칭 손실 또한 감소한다.

2.2 제안된 시스템의 제어



(a) 풀브릿지 컨버터 제어블록도



(b) 하프브릿지 인버터 제어블록도

그림 4 제안된 회로의 제어블록도
Fig. 4 Schematic of combined full-bridge converter and half-bridge inverter

그림 4의 (a)와 (b)는 각각 풀브릿지 컨버터와 하프브릿지 인버터의 제어블록도를 나타낸다. 풀브릿지 컨버터는 PI제어기를 이용하여 전압과 전류를 수행하고 Duty값을 결정한다. 정해진 Duty에 따라 Phase shift를 수행하여 제어한다. 그리고 두 컨버터 모듈에 90°위상 차이를 가진 Carrier와 비교하여 인터리빙 방식으로 제어함으로써 컨버터 입력측 리플을 저감한다. 입력측 리플(Δi_{int})은 아래 식으로 표현된다.

$$\Delta i_{int} = \frac{V_{in}}{L_m} \cdot \left((T_S D - \Delta t_{PS}) - \frac{t_2}{T_S D - \Delta t_{PS}} \right) \quad (1)$$

V_{in}, L_m, T_S, D, t_{PS}는 각각 입력전압, 자화인덕턴스, 스위칭주기, 듀티 및 *Phase shift* 시간을 나타낸다.

하프브릿지 인버터는 d q변환된 전압과 전류의 q축 값을 PI 제어기를 이용하여 전압지령을 만들고 Carrier와 비교하여 SPWM을 수행한다.

3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안한 시스템의 타당성을 증명하기 위해 Powersim사의 PSIM 9.0을 이용하여 모의실험을 하였다. 그림3과 같은 회로도를 1.5[kW]급으로 구성하여 60[V]를 입력받아 750[V]로 승압하고 이를 이용해 220[V]의 상용전압을 출력한다. 표 1은 시뮬레이션의 파라미터를 나타낸다. 연료전지와 배터리의 특성을 고려한 모델링을 적용하였고 필터와 변압기 등 설계값을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Schematic of applied fuel cell power system

Paramaters		Symbol	Value
System Power		P	1500[W]
Full-bridge Converter	Input Voltage	V_{in}	60[V_{dc}]
	Input Current	I_{in}	25[A]
	Output Voltage	V_{out}	750[V_{dc}]
	Switching Frequency	f_{sw}	10[kHz]
	Output Inductance	L_{out}	500[μH]
	Output Capacitance	C_{out}	900[μF]
	Transformer Turn Ratio	$N_p : N_s$	12:96[turns]
Half-bridge Inverter	Input Voltage	V_{in}	750[V_{dc}]
	Output Voltage	V_{out}	220[V_{rms}]
	Output Current	I_{out}	6 82[A_{rms}]
	Switching Frequency	f_{sw}	10[kHz]
	Output Inductance	L_{out}	500[μH]
	Output Capacitance	C_{out}	80[μF]

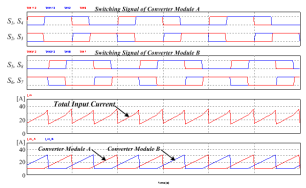


그림 5 풀-브릿지 컨버터의 스위칭 신호 및 입력 전류
Fig.5 Switching signal and input current of full-bridge converter

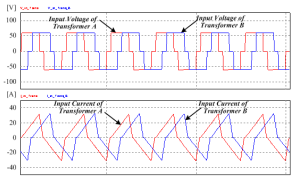


그림 6 변압기 입력 전압 및 전류
Fig. 6 Voltage and current on transformer input side.

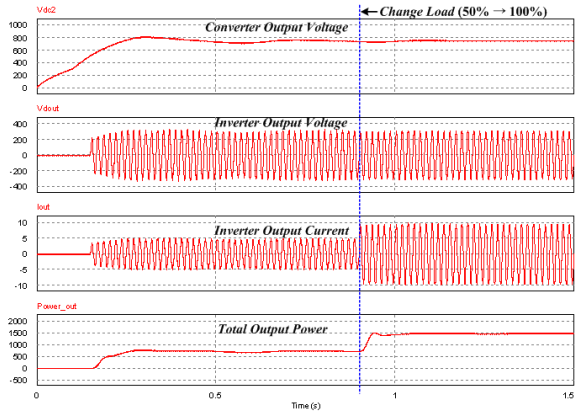


그림 7 인버터 입력 전압, 출력 전압 및 전류, 출력 전력
Fig. 7 Input voltage, Output voltage and current, Output power of half-bridge inverter

그림 5는 풀브릿지 컨버터의 스위칭 패턴과 입력 전류를 나타낸다. 인터리빙 제어를 통해 식(1)과 같은 전류 리플을 갖는다. 이는 동기식 스위칭에 비해 전류 리플이 약 30% 저감하는 효과가 있다. 그림 6은 풀브릿지 컨버터 변압기의 전압 및 전류 파형을 보여준다. 인터리빙 제어에 의해 90°위상차가 나는 것을 볼 수 있다. 그림 7은 인버터 입력 전압, 출력 전압 및 전류, 출력 전력을 보여준다.

4. 결 론

본 논문에서는 인터리브드 풀브릿지 컨버터와 하프브릿지 인버터가 결합된 새로운 연료전지 발전 시스템을 제안하였다. 두 풀브릿지 컨버터의 출력단을 직렬로 연결함으로써 고비율로 승압된 전압을 출력할 수 있고, 컨버터의 출력측 커패시터를 이용하여 하프브리지 타입의 인버터를 구성할 수 있다. 이로써 풀브릿지 인버터에 비해 두 개의 적은 스위치를 이용할 수 있고 스위칭 손실 또한 줄일 수 있다. 제안된 시스템의 타당성을 1.5[kW]급 발전시스템을 모의실험을 통해 증명하였다.

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 20119010200060 11 2 100)

참 고 문 헌

[1] 이태원, “연료전지 스택 시뮬레이터 모델링을 통한 연료전지 발전 시스템 설계 및 연구”, 성균관대학교 박사 학위 논문, 2006

[2] R. J. Wai, “High efficiency power conversion for low power fuel cell generation system,” IEEE Trans. Power Electron., vol. 20, no. 4, pp. 847 856, Jul. 2005.