

마이크로프로세서에 의해 제어되는 연료전지용 전력변환 회로 설계

(A Design of Power Converter for Fuel Cell Controlled by Micro-Processor)

장수진 · 이원철 · 이태원 · 김수석 · 원충연*

(Su-Jin Jang · Won-Chul Lee · Tae-Won Lee · Soo-Seok Kim · Chung-Yuen Won)

요 약

최근, 연료전지는 새로운 발전시스템으로 주목받고 있다. 연료전지는 저전압/대전류의 전기적 특성을 가진다. 그러므로 일반 상용부하에 적용하기 위해서는 승압용 컨버터와 인버터가 필요하다. 제안된 시스템은 연료전지의 전압을 380[Vdc]로 승압하기 위한 절연형 DC-DC 컨버터와 단상 220[Vac]로 변환하기 위한 LC 필터를 가진 PWM 인버터로 구성된다. 또한, 연료전지 발전시스템용 양방향 DC-DC 컨버터는 부하 응답 특성을 개선시키기 위하여 구성하였다.

본 논문에서는 풀 브리지 컨버터와 단상 인버터를 설계하고 제작하였으며, 시뮬레이션과 실험을 통해 연료전지 발전 시스템이 분산전원에 적용이 가능함을 보여준다.

Abstract

Recently, a fuel cell is remarkable for new generation system. The fuel cell is characterized by low voltage and high current. Therefore, for connecting to general load, it needs both a step up converter and an inverter. The proposed system consists of an isolated DC-DC converter to boost the fuel cell voltage to 380[Vdc] and a PWM inverter with LC filter to convert the dc voltage to single phase 220[Vac]. Also, bi-directional DC-DC converter for fuel cell generation system is composed to improve load response characteristic.

In this paper, full bridge converter and the single phase inverter are designed and installed for fuel cell. Simulation and experiment verify that fuel cell generation system could be applied for the distributed generation.

Key Words : fuel cell, bi-directional converter, full bridge converter, single phase inverter

1. 서 론

* 주저자 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수

Tel : 031-290-7115, Fax : 031-290-7179

E-mail : won@yurim.skku.ac.kr

접수일자 : 2004년 1월 30일

1차심사 : 2004년 2월 6일

심사완료 : 2004년 9월 2일

다양한 에너지 자원의 효율적 활용 및 고품질의 전력을 공급하기 위한 방법으로 태양광 발전, 연료전지 발전, 열병합 발전, 풍력 발전 등의 연구가 활발

히 전개되고 있다.

연료전지는 다양한 연료를 사용할 수 있고, 저공해 특성을 가지고 있다.

그리고, 부하가 밀집된 대도시 혹은 변전소에 분산 설치가 용이 하여 송전 손실을 줄일 수 있고, 또 운전 중에 발생하는 열을 이용하여 열병합 발전이 가능하여 가장 효율적인 차세대 에너지 전원으로 주목 받고 있다[1,2].

연료전지 스택은 일반적으로 27-48[Vdc] 정도의 직류를 출력하므로 이를 최대 400[Vdc] 정도로 승압하여 60[Hz]의 교류로 변환시키는 전력변환 장치가 필요하다. 또한 연료전지 특성상 에너지 저장 능력이 없으므로 시스템 초기 기동 시나 부하의 급변에 따른 속응성 능력을 부여하기 위해서 일반적으로 배터리나 슈퍼 커패시터 등의 에너지저장장치를 병합하여 사용하는 하이브리드 시스템의 구조를 갖는다.

연료전지용 전력변환기의 토폴로지는 연료전지의 출력전압, 용량 및 응용 분야에 따라 다양한 형태가 있다. 연료전지의 낮은 직류 전압을 인버터로 교류 변환 후 변압기를 이용하여 승압하는 교류-교류 승압 방식은 비교적 높은 효율을 얻을 수 있지만 저주파 변압기를 사용하므로 무게와 부피가 커지며, 직류 전압을 조정하기 어려우므로 출력전압의 품질이 저하되는 단점을 가지고 있다.

직류-직류 승압방식에 사용하는 고주파변압기는 부피 및 무게가 작아 전체 변환기의 소형화가 가능하며 직류링크 전압이 조정 가능하므로 출력전압의 품질이 향상된다.

연료전지의 출력전압이 낮은 경우 boost 컨버터, buck-boost 컨버터 등의 비절연 컨버터 방식으로는 높은 승압비를 구현하기 어려우므로 고주파 변압기를 사용하는 절연형 방식을 주로 사용한다. 하지만 플라이백 방식과 포워드 방식은 변압기의 이용률이 낮기 때문에 풀 브리지, 하프 브리지, 푸쉬-풀 형태의 컨버터를 적용한다.

또한 승압용 컨버터의 2차측 형태에 따라 중간탭 방식과 브리지 방식으로 선택할 수 있으며, 연료전지 시스템의 용량이 클 경우 복수대의 소용량 컨버터를 사용하는 다중형을 적용할 수 있다.

본 논문에서는 연료전지 대신에 실제 연료전지의

V-I 출력특성을 갖는 시뮬레이터를 제작·사용하였으며, 380[Vdc]로 승압하기 위한 풀 브리지 DC-DC 컨버터, 승압되어진 전압을 상용부하에 공급하기 위한 3[kW]급 단상 풀 브리지 DC-AC 인버터를 설계하고 제작하였다.

또한, 전력을 충·방전할 수 있는 양방향 DC-DC 컨버터로 연료전지의 느린 출력 응답특성을 보완할 수 있음을 시뮬레이션을 통해 확인하였다[3].

2. 연료전지 발전시스템 구성

2.1 연료전지 발전시스템

연료전지는 연료(수소)의 화학에너지가 전기에너지로 직접 변환되어 직류 전력을 생산하는 능력을 갖는 전지(Cell)로 정의되며, 효율도 다른 발전 시스템에 비해 우수하다.

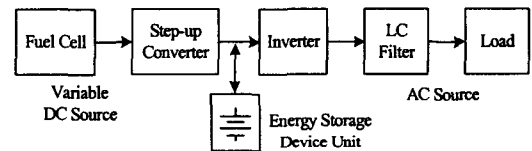


그림 1. 독립형 연료전지 발전시스템의 전력 흐름도
Fig. 1. Power flow chart of stand alone fuel cell generation system

그림 1은 연료전지에서 발생된 직류 저전압을 승압하여 가정용에 적합한 단상 교류전압을 얻을 수 있는 독립형 연료전지 발전시스템이다.

그림 1에서 연료전지 발전시스템의 전력을 상용 부하에 공급하려면 직류에서 교류로 변환하여야 하기 때문에 인버터가 필수적이다. 독립형 인버터는 계통의 전압과 상관없이 일정 전력을 부하에 공급하는 전력변환 장치이다.

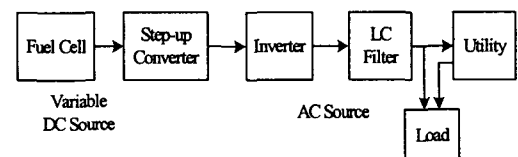


그림 2. 연계형 연료전지 발전시스템의 전력 흐름도
Fig. 2. Power flow chart of utility connecting fuel cell generation system

그림 2는 연료전지에서 발생된 직류 저전압을 승압하여 가정용에 적합한 단상 교류전압을 상용 전력 계통에 병렬 접속하는 계통 연계형 연료전지 발전 시스템을 나타낸다.

본 논문에서는 그림 1, 그림 2와 같이 독립운전 및 상용계통과 연계운전 시험을 하였다.

2.2 연료전지 발전시스템 구성

그림 3은 연계형 연료전지 발전시스템의 전체 구성도를 나타내고 있다.

연료전지는 가격이 높고, 제어가 복잡하므로 연료전지 시뮬레이터를 사용하였다[3,4].

연료전지와 연료전지의 출력전압을 승압하기 위한 풀 브리지 DC-DC 컨버터, 상용 계통에 전력을 공급하기 위한 풀 브리지 DC-AC 인버터로 구성된다.

또한, 독립운전 시 연료전지의 낮은 출력 응답특성을 보상하기 위한 전력 저장장치도 구성되어야 한다[5].

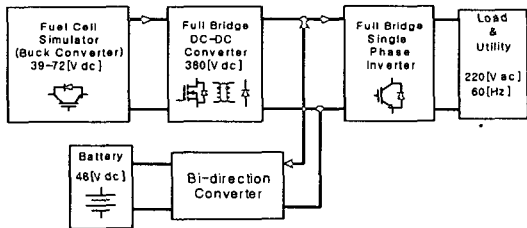


그림 3. 연료전지 발전시스템 전체 구성도
Fig. 3. The overall block diagram of fuel cell generation system

연료전지 발전시스템을 위한 연계용 인버터는 경우에 따라 독립운전을 하여 독립적으로 부하에 전력을 공급할 수 있는 기능이 있어야 한다.

인버터 및 연료전지 발전시스템을 안정적이고 효율적으로 제어하기 위하여 제어부에는 TMS320C31 DSP를 사용하였고 역할은 다음과 같다.

- 연료전지 시뮬레이터의 출력이 실제 연료전지와 동일한 전압-전류 발전특성을 얻을 수 있도록 출력 제어
- 인버터 DC link 전압을 380[Vdc] 정전압 제어하기 위한 승압형 풀 브리지 컨버터 제어
- 상용 교류부하에 220[Vac], 60[Hz]인 교류를공

- 급하기 위한 인버터 IGBT 게이트 신호 발생
- 부하변동에 따른 출력전압의 제어
- 계통연계를 위한 인버터의 주파수 및 위상제어
- 전체 시스템의 감시와 보호기능[6,7]

2.3 마이크로 프로세서에 의한 연료전지 시뮬레이터 구현

그림 4는 연료전지용 시뮬레이터의 구성도를 나타낸다. 마이크로프로세서에 의한 제어 블록도에서 출력전압 및 전류를 검출 하여 A/D 컨버터를 통해 DSP로 입력되면 연료전지의 V-I 특성 곡선에 해당하는 기준값을 생성하여 D/A컨버터로 출력한다.

D/A 컨버터를 통해 출력되는 아날로그 신호는 스위치를 제어하기위해 PWM 제너레이터 회로의 입력으로 사용된다. PWM 제너레이터 회로의 출력신호는 벡 컨버터의 게이트 신호로 인가되도록 제어하였다.

마이크로프로세서는 TI(Texas Instrument)사의 부동 소수점 연산이 가능한 TMS320C31 DSP를 사용하였다.

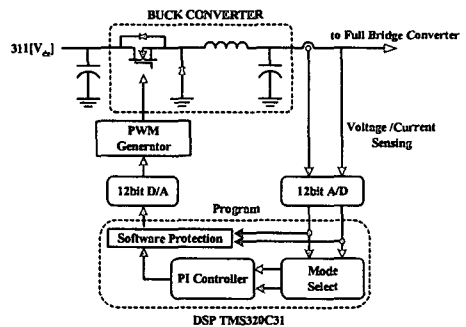


그림 4. 마이크로프로세서에 의한 벡 컨버터 제어
Fig. 4. Buck converter control by microprocessor

D/A 컨버터로 출력되는 제어신호와 톱니파의 비교에 의해 만들어진 PWM 신호는 플로팅 게이트 드라이브를 통하여 시뮬레이터의 게이트 신호로 인가되게 된다.

또한 설정된 기준전류 이상의 경우에는 연료전지 출력특성 영역 중 Ohmic 모드로 동작하도록 제어하게 된다.

Ohmic 모드에서는 연료전지의 특성곡선을 1차 함수형태로 간이화한 출력특성을 가지도록 제어한다.

마이크로프로세서에 의해 제어되는 연료전지용 전력변환 외로 설계

2.4 마이크로 프로세서에 의한 DC-DC 컨버터 구현

그림 5는 제어회로를 포함한 풀 브리지 컨버터의 구성도를 나타낸다. 풀 브리지 컨버터의 제어 보드는 TI사의 TMS320C31 DSP를 사용하였으며, 컨버터의 입력전압 및 출력전압/전류를 검출하기 위하여 12[bit] A/D컨버터를 사용하였다.

소프트웨어 보호 기능에는 컨버터 입력전압의 과전압 및 저전압, 컨버터 출력의 과전압에 대한 보호 기능도 가지고 있어서 풀 브리지 컨버터가 안정적으로 구동할 수 있도록 하였다.

풀 브리지 컨버터는 그림 6과 같이 전압제어기를 갖으며, 출력전압을 검출하여 기준전압과 비교한다.

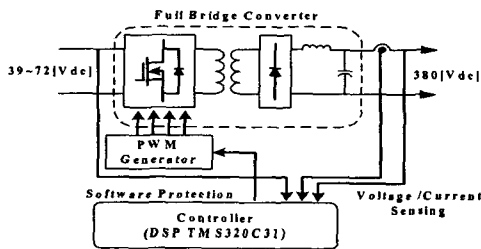


그림 5. 풀 브리지 컨버터의 구성도
Fig. 5. Block diagram of full bridge converter

비교된 전압은 PI제어기를 거쳐 비교기를 통해 일정전압을 출력할 수 있도록 PWM 신호를 발생한다.

과도한 전류가 흐르게 되면 연료전지가 파괴될 수 있으므로 이것을 방지하기 위하여 최대 전류 이상을 출력할 수 없도록 프로그램화 하였다.

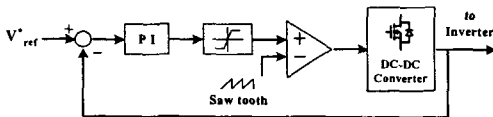


그림 6. 풀 브리지 컨버터의 제어 블록도
Fig. 6. Control block diagram of full bridge converter

2.5 충·방전이 가능한 응답 특성 보상용 양방향 DC-DC 컨버터

그림 7과 같이 양방향 전력 수수가 가능한 컨버터는 인버터의 입력에 DC-DC 컨버터와 병렬로 연결

된다.

연료전지의 응답특성이 느리기 때문에 부하의 급격한 증가에 대해서 연료전지의 출력 전력과 부하의 요구량의 차이만큼 전력을 순간적으로 방전시켜 연료전지의 느린 응답 특성을 보완하게 되는 것이다 [3,5].

컨트롤러에서 충·방전 지령전류를 순시 계산하여 충·방전 동작을 하기 때문에 부하 변동에 따른 시스템의 빠른 응답을 기대할 수 있다.

배터리 전원 48[Vdc]로 380[Vdc]의 전압을 출력할 수 있는 컨버터 기능과 충전 기능을 낼 수 있는 양방향 전력변환 장치를 구성하였다.

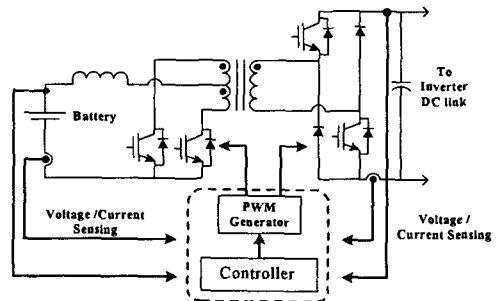


그림 7. 양방향 DC-DC 컨버터
Fig. 7. Bi-directional DC-DC Converter

2.6 풀 브리지 인버터의 제어

그림 8은 단상 풀 브리지 인버터의 제어 블록도를 나타내고 있다. 인버터는 운전 모드에 따라 단독운전과 계통 연계운전으로 구분된다[8].

단독운전의 경우 출력전압을 정 전압 유지하기 위한 전압제어를 실시하고, 연계운전의 경우 인버터 출력전압이 계통전압의 위상 및 크기와 동일하게 되면 연계스위치를 투입하고 전류제어를 실시하게 된다.

인버터가 갖추어야 할 주요 기본 기능을 설명하면 다음과 같다.

① 위상 동기회로 : PLL회로를 사용하여 인버터와 계통전원의 위상이 동기 되도록 제어한다.

② 주파수 조정회로 및 전압 조정회로 : 주파수 편차가 60 ± 1 [Hz] 이내로 제어하고, 전압 편차가 제어 범위 이내로 추종 하도록 제어한다.

④ PWM 제어회로 : 인버터 출력전압을 제어하기

위한 기준 정현파와 삼각파를 비교하여 IGBT를 구동하기 위한 게이트 신호를 발생한다.

⑤ 출력 LC필터 : 인버터 출력 파형이 정현파에 근사하도록 고조파 성분을 제거한다.

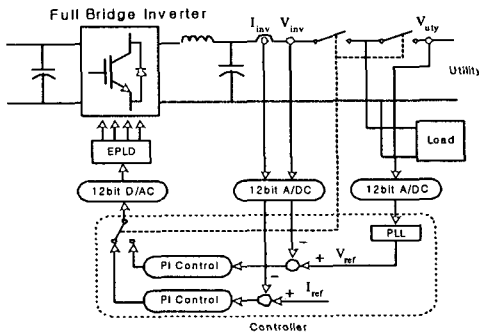


그림 8. 단상 쥘 브리지 인버터의 제어
Fig. 8. Control of single phase full bridge inverter

3. 시뮬레이션 및 실험 결과

3.1 시뮬레이션

그림 9는 연료전지 발전시스템의 전체 시뮬레이션 회로를 나타내고 있다.

전력변환장치의 과도 및 정상상태에서의 특성과 제어의 용이성을 확인하고자 Psim과 연동이 가능한 Matlab 시뮬레이션 툴을 사용하였다.

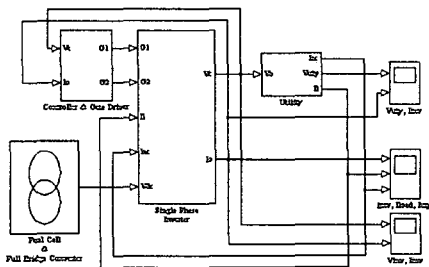


그림 9. 연료전지 발전시스템 회로
Fig. 9. Fuel cell generation system

연료전지 시뮬레이터, 풀 브리지 컨버터, 양방향 컨버터의 시뮬레이션 회로는 Psim으로 구성하여 Matlab의 subcircuit으로 연동하였으며, 연계형 인버터의 구성 및 제어는 Matlab으로 전체적인 시뮬레이션을 실시하였다.

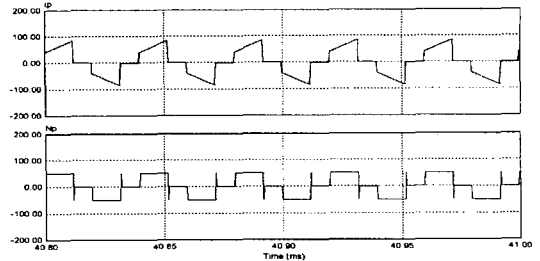


그림 10. 고주파 변압기 1차측 권선전류 및 권선전압
Fig. 10. Transformer primary current and voltage

그림 10은 독립운전(1.8[kW] 저항 부하)시 풀 브리지 컨버터의 변압기 1차측 권선전류 및 권선 전압 파형을 보여주고 있다.

그림 11은 독립운전(1.8[kW] 저항 부하)시 단상 풀 브리지 인버터의 시뮬레이션 출력 파형을 나타낸다. 출력 전압은 220[Vac], 60[Hz]로 제어되고 있음을 확인할 수 있다.

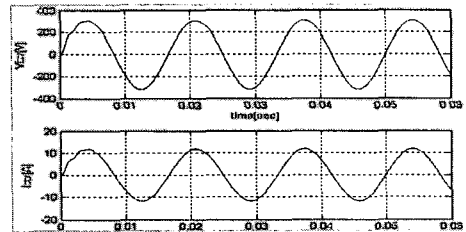


그림 11. 인버터 출력전압 및 출력전류 (1.8[kW])
Fig. 11. Inverter output voltage and output current

그림 12와 13은 계통연계 형 인버터의 병렬운전 모드를 나타내고 있다.

병렬운전(1[kW] 저항부하) 시 25[%]의 전력은 연료전지 발전시스템의 인버터에서 75[%]의 전력은 계통에서 부하로 공급한다.

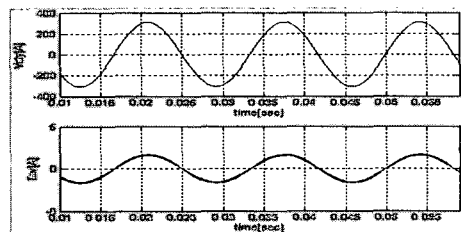


그림 12. 계통전압과 인버터 출력전류(1[kW])
Fig. 12. Utility voltage and inverter output current

마이크로프로세서에 의해 제어되는 연료전지용 전력변환 회로 설계

그림 12는 계통전압과 부하에서 필요한 전력의 25[%]에 해당하는 인버터 출력전류(1.14[A])를 나타내고 있다.

그림 13은 병렬운전 시의 인버터 출력전류, 계통에서 부하로 흐르는 전류, 인버터와 계통에서 공급되어진 부하전류 파형을 나타내고 있다.

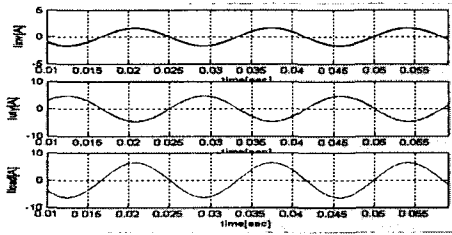


그림 13. 인버터 출력전류, 계통전류, 부하전류(1[kW])
Fig. 13. Inverter output current, utility current, load current(1[kW])

다음은 연료전지 및 발전시스템의 응답특성을 개선하기 위한 양방향 DC-DC 컨버터 시뮬레이션 파형이다.

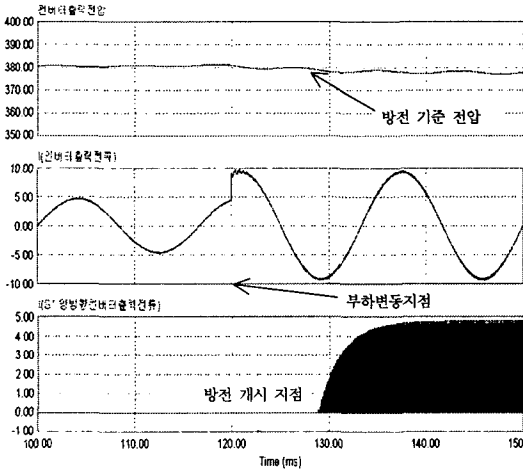


그림 14. 양방향 컨버터의 출력 파형
Fig. 14. Bi-directional converter output

그림 14는 750[W]에서 1.5[kW]로 부하 급변 시 풀 브리지 컨버터 출력 전압, 인버터 출력 전류, 양방향 컨버터 출력 전류를 나타내고 있다.

부하 증가 시 풀 브리지 컨버터의 출력 전압이 강하여 방전 기준 전압 이하가 되면 양 방향 컨버터

에서 부족분의 전력이 공급되어지기 때문에 부하 변동에 따른 시스템의 빠른 응답을 기대할 수 있다.

그림 7과 같이 저전압(48[Vdc])의 배터리를 연료전지 발전시스템에 적용하였을 경우 충·방전 전류에 의해 부하 변동에 대한 연료전지의 출력 응답 특성 및 전체 시스템의 과도 응답 시간 및 특성을 향상시킬 수 있음을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있다.

3.2 실험 결과

본 논문에서는 그림 15와 같이 연료전지 특성을 갖는 연료전지 시뮬레이터, 승압형 풀 브리지 컨버터, 인버터로 구성되어진 연료전지 발전시스템으로 부하에 전력을 공급하였다.

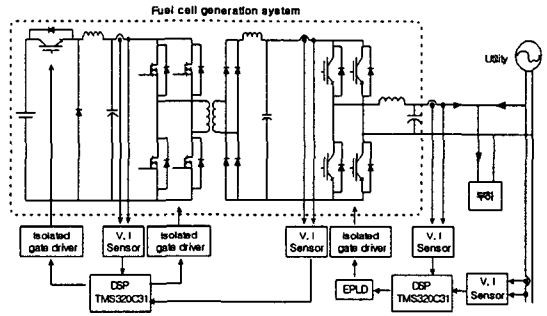


그림 15. 연료전지 발전 시스템 전체 회로
Fig. 15. The overall circuit of fuel cell generation system

표 1. 연료전지 발전시스템 파라미터
Table 1. Parameter of fuel cell generation system

파라미터	정격
시뮬레이터 스위칭 주파수	15[kHz]
시뮬레이터 출력 인덕턴스	2.2[mH]
시뮬레이터 출력 커패시턴스	1100[μF]
승압컨버터 스위칭 주파수	15[kHz]
승압컨버터 변압기 권선비	1:13
승압컨버터 출력 인덕턴스	2.5[mH]
승압컨버터 출력 커패시턴스	6600[μF]
인버터 스위칭 주파수	10[kHz]
인버터 출력 리액턴스	2[mH]
인버터 출력 커패시턴스	10[μF]

그림 16은 독립운전(1.8[kW] 저항 부하)시 연료전지 시뮬레이터의 출력전압을 입력으로 하는 풀 브리지 컨버터의 고주파 변압기 1차측 전류 및 전압을 나

타낸다. 파형에서 스위치 On/Off 시 링잉 현상을 볼 수 있는데, 이는 고주파 변압기의 누설 성분에 기인한다.

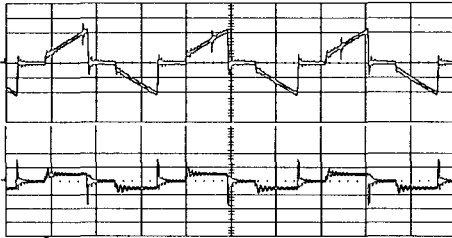


그림 16. 고주파 변압기 1차측 권선전류 및 권선전압
Fig. 16. Transformer primary current and voltage
(100(V/div), 50(A/div), 20(us/div))

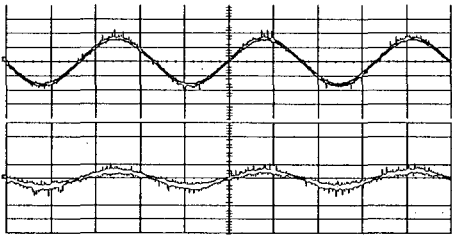


그림 17. 인버터 출력전압 및 출력전류(1.8(kW))
Fig. 17. Inverter output voltage and output current (200(V/div), 20(A/div), 5(ms/div))

그림 17은 독립운전(1.8[kW] 저항 부하)시 LC필터를 거친 풀 브리지 인버터 출력 전압 및 출력 전류를 나타내고 있다.

본 논문에서 설계하고 제작한 연료전지 발전시스템이 부하에 안정적으로 전력을 공급하고 있음을 파형을 통해 확인할 수 있다.

다음은 연료전지 시뮬레이터의 제어 및 출력특성을 확인하고자 계통 연계형 인버터에 적용하여 전체적인 시스템의 안정성을 확인하였다.

부하는 그림 15와 같이 계통(utility)과 연료전지 발전시스템 사이에 병렬로 연결이 된다.

그림 18의 파형은 병렬운전(1[kW] 저항부하) 시 25[%]는 인버터가 75[%]는 계통이 부하 분담하여 흐르는 전류를 나타내고 있다.

부하에서 필요한 전력보다 연료전지 발전시스템에서 공급하는 전력이 부족할 경우, 부족분에 해당하는 전력은 계통에서 부하로 공급되게 된다.

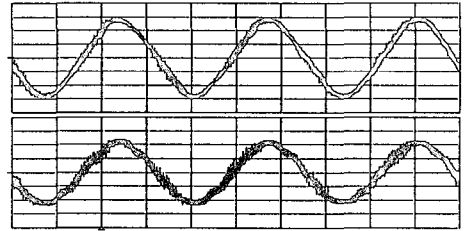


그림 18. 부하전류 및 계통전류 파형(1(kW))
Fig. 18. Load current and utility current
(200(V/div), 2(A/div), 5(ms/div))

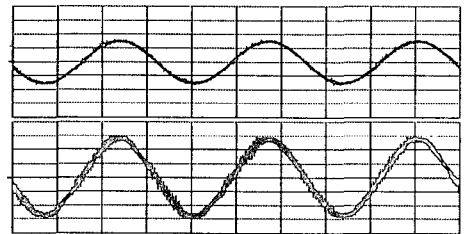


그림 19. 계통전압 및 부하전류 파형(1(kW))
Fig. 19. Utility voltage and load current
(200(V/div), 2(A/div), 5(ms/div))

상측 파형은 부하 전류를 나타내고, 하측 파형은 계통에서 공급되는 전류 파형을 나타낸다.

실제 인버터에서 부하로 공급되는 전류는 부하전류와 계통전류의 차만큼 인버터에서 공급하고 있음을 파형을 통해 알 수 있다.

인버터와 계통에서 흐르는 전류가 부하에 안정적으로 공급되는 것을 보여주고 있다.

그림 19는 병렬운전(1[kW] 저항부하) 시 계통전압과 부하전류 파형을 나타내고 있다.

그림 18과 19를 통해서 제작한 연료전지 발전시스템이 계통연계 시에도 안정적으로 부하에 전력을 공급하고 있음을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 연료전지의 발전특성과 동일한 출력 특성을 가지는 연료전지 시뮬레이터, 연료전지(시뮬레이터)의 낮은 출력전압을 승압하는 절연형 DC-DC 컨버터, 상용부하에 전력을 공급하기 위한 교류전원으로 변환하는 인버터를 설계하고 제작하였다.

또한, 시스템의 응답 특성을 개선해주기 위한 양

방향 DC-DC 컨버터를 적용하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 39~72[Vdc]의 출력전압을 갖는 연료전지 시뮬레이터를 구현하기 위해 TMS320C31 DSP 보드와 벡 컨버터를 사용하여 실제 연료전지와 동일한 저전압, 대전류 출력 특성을 얻었다.

2) 연료전지(시뮬레이터)의 출력전압은 저전압이므로 인버터의 DC 링크 전압인 380[Vdc]를 공급하기 위해서는 최고 10배 이상 승압할 필요가 있다.

따라서 절연형 DC-DC 컨버터 중에서 고주파 변압기의 권선비를 이용하여 쉽게 승압이 가능한 풀 브리지 컨버터를 설계하고 제작하였다.

3) 단상 풀 브리지 인버터를 설계하고 제작하였으며, TMS320C31 보드와 EPLD를 이용한 SPWM 스위칭 기법에 의하여 가정용 교류전압을 구현하였다.

4) 양방향 DC-DC 컨버터를 적용하여 연료전지 및 전체 시스템의 응답특성을 개선할 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

5) 연료전지 시뮬레이터, 승압형 컨버터, 단상 인버터, 양방향 DC-DC 컨버터를 설계 및 제작하여 Psim과 Matlab등의 소프트웨어 프로그램으로 시뮬레이션하여 실험 결과와 비교하였다.

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라 구축 지원사업의 지원에 의해서 수행된 연구 결과입니다.

References

- [1] M.W.Ellis, M.R.V.Spakovsky, D.J.Nelson, "Fuel cell systems: efficient, flexible energy conversion for the 21st century", Proceedings of the IEEE, Vol. 89, pp. 1808-1818, Dec, 2001.
- [2] K.Wang, C.Y.Lin, L.Zhu, D.Qu, C.Lee, J.S.Lai, "Bi-directional DC to DC Converters for Fuel Cell Systems", Power Electronics in Transportation, IEEE, pp. 47-51, October, 1998.
- [3] G.K.Andersen, C.Klumpner, S.B.Kjaer, F.A.Blaabjerg, "New green power inverter for fuel cells", PESC of IEEE, Vol. 2, pp. 727-733, June, 2002.
- [4] Yoon-Ho Kim, Sang-Sun Kim, "An Electrical Modeling and Fuzzy Logic Control of a Fuel Cell Generation System", Transactions on Energy Conversion, IEEE, Vol. 14, No.2, pp. 239-244, June, 1999.
- [5] E.Santi, D.Franzoni, A.Monti, D.Patterson, F.Ponci, N.Barry, "A fuel cell based domestic uninterruptible power supply", APEC of IEEE, Vol. 1, pp. 605-613, March, 2002.

- [6] T.A.Nergaard, J.F.Ferrell, L.G.Leslie, J.S.Lai, "Design Considerations for a 48V Fuel Cell to Split Single Phase Inverter System with Ultracapacitor Energy Storage", PESC of IEEE, Vol. 4, pp. 2007-2012, 2002.
- [7] A. M. Tudey, J. N. Krese, "A Low-Cost Inverter for Domestic Fuel Cell Applications", PESC of IEEE, Vol. 1, pp. 339-346, 2002.
- [8] C.J.Hatziaodoni, A.A.Lobo, F.Pourboghra, M.Daneshdoost, "A Simplified Dynamic Model of Grid-Connected Fuel-Cell Generators", Transactions on Power Delivery, IEEE, Vol. 17, No. 2, pp. 467-473, April, 2002.

◇ 저자소개 ◇

장수진 (張水珍)

1976년 12월 6일생. 2002년 서울산업대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 성균관대 대학원 에너지시스템공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 메카트로닉스공학과 박사과정.

이원철 (李元喆)

1977년 4월 9일생. 2003년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2004년 성균관대 대학원 정보통신공학부 졸업(석사).

이태원 (李泰遠)

1971년 7월 14일생. 2000년 성균관대 메카트로닉스공학과 졸업(석사). 2002년~현재 동 대학원 메카트로닉스공학과 박사과정.

김수석 (金漱石)

1959년 1월 16일생. 1984년 서울산업대 공대 전기공학과 졸업. 1989년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 서울산업대 전기공학과 조교.

원충연 (元忠淵)

1955년 5월 10일생. 1978년 성균관대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 서울대 공대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991년 12월~1992년 12월 미국 테네시 주립대학 전기공학과 방문교수. 현재 성균관대 정보통신공학부 교수. 본 학회 편수위원.