

연료전지 발전시스템의 직류/교류 변환기

김 용호, 권 기현*, 김 진수, 정 용호, 최 경수
금성 산전 연구소

DC / AC converters for the power generating system
using fuel cell

Y.H.Kim, G.H.Kwon, J.S.Kim, Y.H.Jung, K.S.Choi
GOLDSTAR INDUSTRIAL SYSTEMS CO. LTD R&D LAB

Abstract

2. 연료전지 발전용 전력변환부

Generally, fuel cell has characteristics of low voltage, large current and voltage variation under load change. Therefore, DC output voltage of fuel cell is too low to convert into AC with high efficiency and good performance. For this reason, fuel cell generating system is composed of DC-DC converter and inverter in cascade.

This paper used 2-phase boost DC-DC converter to obtain low distortion waveform and reduce input-output current ripple, and discussed inverter which can be operated in independent drive mode and utility line interface drive mode. Then, the change of modes can be achieved smoothly.

1. 서 론

오늘날 급격히 부상되고 있는 환경오염문제와 화석연료의 고갈이 예상되고 있으므로 새로운 에너지에 대한 연구, 즉 대체에너지에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 이러한 점에 미루어 환경오염이 적고 고효율이며 동시에 연료의 공급이 손쉬운 연료전지가 차세대 발전시스템으로 크게 주목을 받고 있다.

일반적으로 연료전지는 저전압, 대전류의 특성을 가지므로 이 출력을 가지고 교류로 직접 변환시키면 비효율적으로 되고 또한 연료전지가 부하변동에 따라 전압이 변하므로 양호한 특성의 파형을 얻기 힘들다. 이러한 연료전지의 특성 때문에 연료전지 발전시스템에서는 출력을 적절한 정도로 승압시키고 일정하게 유지시키는 DC-DC 컨버터와 사용자가 필요로 하는 교류로 변환하는 인버터를 혼합하여 사용하는 것이 일반적이다.

본 논문에서는 인버터부의 효율을 높이고 저왜율의 파형 및 입,출력단의 전류리플을 감소시키기 위해 2상형 BOOST DC-DC 컨버터를 채용하였다. 그리고 부하에 전력을 단독으로 공급하는 독립운전과 계통과의 연계운전이 무순단으로 전환이 가능한 시스템을 꾸미고 실험을 통해 확인하였다.

연료전지 발전시스템의 구성블럭도가 그림 1에 주어져 있다. 본 연구에서는 40 KW급의 용량을 기준으로 연료전지의 출력전압은 100 V이내 정도이며, 부하의 양에 따라 전압의 크기가 변화한다. 그러나 인버터부의 효율을 높이고 저왜율의 파형을 얻기 위해서는 인버터의 직류단 전압이 적절한 수준의 전압 (약 300 V 이상)을 유지해야 한다. 따라서 DC 단 전압을 일정하게 유지하기 위해 DC-DC 컨버터를 채용하였다. DC-DC 컨버터에 의해 승압된 직류전원은 후단에 연결된 3상 인버터가 상용교류로 변환시켜, 독립운전시에는 부하측에만 연결되어 부하전력을 공급하고 연계운전시에는 부하와 계통선에 같이 연결되어 부하와 계통에 전력 및 무효전력을 공급하며 그 과정이 무순단으로 부드럽게 이루어진다. 또 연계운전시 전력 및 무효전력 공급을 할 때에도 전력 및 무효전력 명령에 따라 그 크기를 조절할 수 있게 하였다.

3. 2상 승압형 컨버터

그림 2에 2상 승압형 컨버터의 전력회로가 주어져 있다. 콘덴서 전압 V_{dc} 및 리액터 전류 I_{L1} , I_{L2} 는 PI 제어기를 통해 제어되며 전류제어루프를 inner-loop, 전압제어루프를 outer-loop로 하고 전류제어루프를 전압제어루프보다 빠르게 설정한다. 또한 각각의 전류 I_{L1} , I_{L2} 는 동일한 전류명령에 의해 독립적으로 제어된다.

그림 2에서와 같이 2상 승압형 컨버터는 단상승압형 컨버터와는 달리 두 개의 스위칭 소자에 의한 전류제어가 행해지므로 콘덴서에 들어가는 전류리플을 반감시킬 수 있으며 이로써 전해콘덴서의 리플전류에 대한 부담도 줄일 수 있다. 즉 콘덴서에 들어가는 전류 I_{L1} , I_{L2} 를 180° 위상차를 가진 두 개의 삼각파로써 도통각을 제어하면 두 전류의 리플이 서로 중첩이 되어 한 개의 스위칭소자에 의한 경우보다 전류리플을 상당히 줄일 수 있다.

4. 연료전지용 인버터

(1) 인버터의 제어구조

인버터는 독립운전과 계통운전의 두가지 모드에 대하여 동작되고 이 두 운전모드간의 상호전환이 최소한의 과도상태를 가지도록 제어하는 방법이 요구된다.

이때의 제어블럭도를 그림 3 에 나타내었다. 연료전지 발전 시스템의 제어구조는 전압과 전류의 이중제어루프를 가지며 모두 PI 제어를 한다. 이때 전류제어루프는 매우 빠른 응답성을 요구하므로 아날로그방식을 취하며, 회로의 간소화 및 제어의 용이성을 위해 전압 Regulation 과 기타 시퀀스는 DSP (Digital Signal Processor) 내에서 실행한다. 전압제어는 d-q 변환을 통한 전압순시제어를 행한다.

독립운전 모드에서는 그림 3 에서와 같이 기준전압 명령과 DSP 내에서 발생시킨 전기적 각속도 명령을 가지고 필터 커패시터의 전압을 제어하여 부하에 전력을 공급한다.

연계운전 모드에서는 계통에서의 전압을 검출하여 위상을 추적하고 이를 기준으로 전력 성분 및 무효전력 성분의 전류명령 I_p^* , I_q^* 를 발생시켜 전류제어를 행하도록 되어있다.

(2) 모드전환시의 제어

단독운전 모드에서 연계운전 모드로 전환하고자 할 때에는 필터 커패시터 전압을 전전압의 크기와 위상을 우선 일치시켜 계통과 연계하였을 때의 영향을 최소화시킨 다음 계통과 연결되어 있는 스위치를 ON 시킨다. 연계되었을 때에도 바로 전류제어루프로 동작하지 않고 전압제어루프로 운전한 다음 전력명령 P^* 및 무효전력명령 Q^* 에 따라 전류제어를 행한다. 이러한 전환을 실시하면 계통과 필터 커패시터 사이의 리액터에 흐르는 전류가 거의 흐르지 않게 되고 모드가 전환되는 과도상태에서의 각 상태변화를 최소화 시킬 수 있다.

또 연계운전 모드에서 독립운전 모드로 전환하고자 할 때에는 역으로 그 전의 전류제어상태에서 전압제어로 바꾸어 동작한 다음 계통과 연결된 스위치를 끊은 후, 독립적인 기준전압 명령과 DSP 내에서 발생시킨 전기적 각속도명령에 따라 전압제어를 행하여 부하에 전력을 공급한다.

(3) 인버터의 세부구조

그림 4 는 인버터의 전력회로도 및 제어기의 세부 블럭도를 나타내고 있다. 그림에서와 같이 연료전지용 인버터에서의 주 스위칭소자로는 IGBT 를 사용하였다.

회로부는 크게 Digital 부와 Analog 부와 그외의 센서, Power 부분 그리고 Gate Circuit 부분으로 나뉘어진다. Digital 부는 실시간으로 신호처리가 가능한 DSP 를 사용하였다. Digital 부에서는 기준전압과 기준 전기적 각속도의 값을 내장하고 있으며 독립운전 모드에서는 이 기준값들을 가지고 연산된 전류명령을 Analog 부에 보낸다. 마찬가지로 연계운전 모드에서는 계통 전전압의 전압크기와 위상을 검출하고 전력명령 P^* 및 무효전력명령 Q^* 에 따라 연산된 결과의 전류명령을 Analog 부에 보낸다.

Analog 부인 전류제어부에서는 이 전류신호들을 받아서 순시적으로 전류를 제어한다. 그리고 전류제어부에서의 출력과 필터 커패시터 전압을 더한 값이 인버터의 전압명령이고 이를 삼각파 캐리어 전압과 비교하여 PWM 신호를 발생시킨다. 이 신호가 Gate 구동회로를 통하여 전력부에 가해진다.

인버터와 계통, 부하와의 연결은 $\Delta - Y$ 결선에 의한 변압기에 의해 분리되어 있다.

5. 실험결과 및 고찰

부하가 없는 경우의 각부 전압 및 전류의 파형이 그림 5 에 보여지고 있다. 각각의 스텝은 연계운전시와 독립운전시 그리고 다시 연계운전시의 전압, 전류 파형들이고 이때 전압제어와 전류제어를 행한 결과를 볼 수 있다. 부하와 연결하였을 때에도 연계운전시 각각의 전력명령 P^* 와 무효전력명령 Q^* 에 따라 부하측에 공급되고 나머지는 계통측에 공급되는 것을 그림 6 의 (a) 와 (b) 에 보여지고 있다. 전력명령을 주었을 경우 전원측 전류파형이 좋지 못한 것은 실험에 있어서 실제 연료전지에 의한 독립전원 대신에 전원측에서 정류한 전원을 사용한 까닭으로 전원측과의 상호 영향으로 고조파 성분이 발생한 것을 보여주고 있다. 그리고 부하와 연결했을 때의 전환과정이 무순단으로 진행되어가는 파형이 그림 7 에 나타나 있다.

6. 결 론

이상과 같은 연료전지 인버터에 관한 연구로 다음과 같은 성과를 얻을 수 있었다.

- 1) DSP 를 사용하여 빠른 연산이 가능하다.
 - 2) 독립운전시에는 전압제어가 행하여져 부하측으로의 단독전력 공급이 가능하다. 따라서 정전시에도 운전이 가능하다.
 - 3) 연계운전시에는 전력 및 무효전력명령에 의한 전류제어를 행함으로써 독립된 전원으로서의 분산배치가 가능하다.
 - 4) 독립운전과 연계운전으로의 전환시 갑작스런 변화없이 무순단으로 전환이 가능하다.
- 위의 성과 이외에 독립된 전원으로서의 연료전지에 의한 접속에 의해 보다 특성이 좋은 파형이 얻어지리라 여겨진다.

7. 참고 문헌

1. 高林 泰弘, 黒木 一男, 番場 忠省, "オンサイト 用 燃料電池 發電装置 の 開發 インバ-タ", 富士時報, Vol 63, No 11, 1990, pp 737-739.
2. T. Asaeda, T. Yutani, T. Kwabata and Y. Hamasaki "DC-to-AC Converter for Fuel Cell System", IEEE, PSEC Conf. Record, 1983, pp 84-91.
3. N. Eguchi, T. Imura, "Self-commutated inverter for fuel cell power plant", IEEE Ind. Appl. Annual Meeting, pp 527-532, 1986.

* 본 연구는 동력자원부의 에너지기술개발사업비를 지원받아 이루어지고 있습니다.

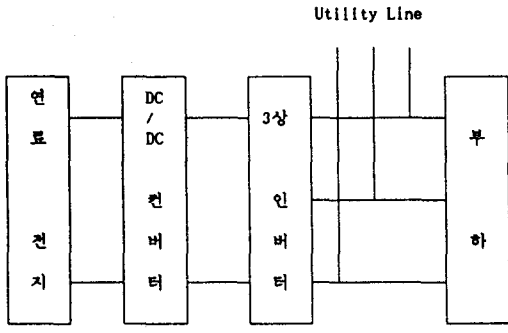


그림 1. 연료전지 시스템 블럭도

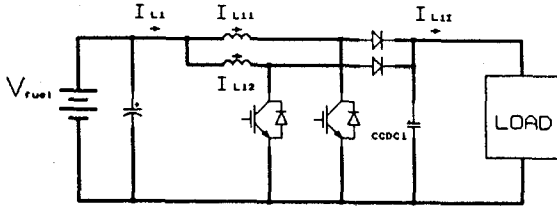


그림 2. 2상 승압형 컨버터

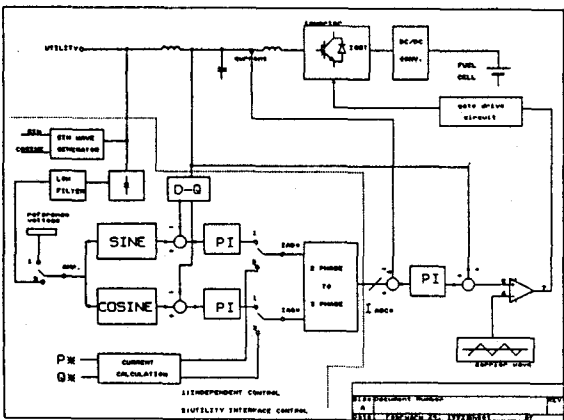


그림 3. 독립운전 및 계통 연계운전의 제어 블럭도

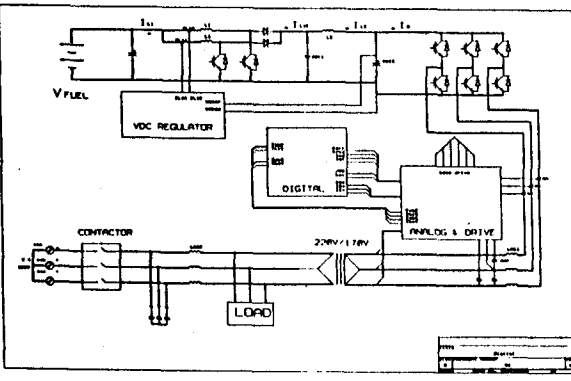


그림 4. 인버터의 전력회로와 제어기의 세부 블럭도

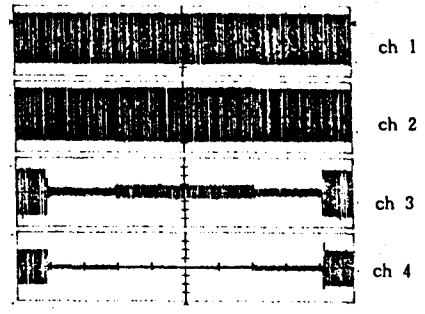
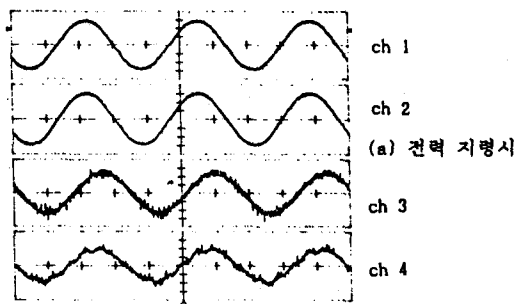
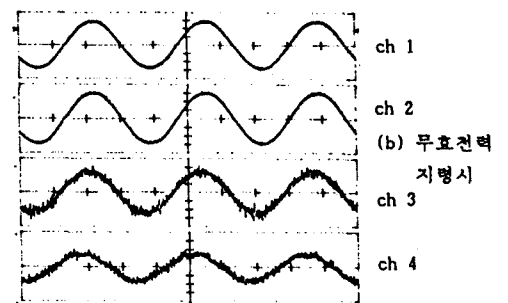


그림 5. 무부하시 모드전환 과정 (2 S/DIV)

ch 1 ch 2 ch 3 ch 4
 전원전압 변압기속 전압 인버터전류
 100V/DIV 100V/DIV 50A/DIV 50A/DIV



(a) 전력 지형시



(b) 무효전력 지형시

그림 6. 부하연결시 응답특성 (5 ms/DIV)

ch 1 ch 2 ch 3 ch 4
 전원전압 변압기속 전압 인버터전류
 100V/DIV 100V/DIV 50A/DIV 50A/DIV

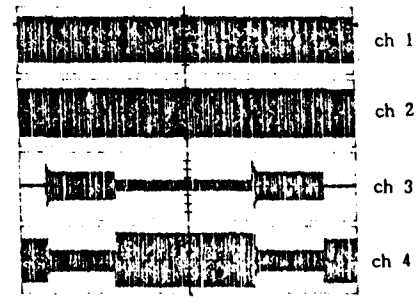


그림 7. 부하연결시 모드전환 과정 (2 S/DIV)

ch 1 ch 2 ch 3 ch 4
 전원전압 변압기속 전압 인버터전류
 100V/DIV 100V/DIV 50A/DIV 50A/DIV