전력전자학술대회 논문집 2004. 7.12 ~ 7.15

가정용 연료전지 시스템의 계통접속을 위한 Power Conditioner 개발

최시영, 김래영, 권형남, 정준모, 서인영
(주) 효성 중공업 연구소 전력전자응용팀

The Development of Grid-Tied Power Conditioner for RPG Fuel Cell System

See-Young Choi, Rae-Young Kim, Hyoung-Nam Kwon, Joon-Mo Jung, Inn-yung Suh
R&D Institute, Industrial Performance Group, Hyosung Corp.

ABSTRACT

연료전지와 같은 분산전원은 전력계통과 연계 운전함으로 보다 안정된 전원을 얻을 수 있고 그 잉여 전력을 계통에 역송전함으로써 다양한 에너지원의 효율적인 활용도 가능케 하는 이점을 지닌다. 본 논문은 본소에서 개발한 PEMFC형 연료전지 시스템을 위한 1KW급 계통 연계형 인버터를 소개하고, 이의 구성 및 특성을 소개하고자 한다.

1. 서 론

인류 문명의 비약적인 진보는 막대한 에너지 소비에 의해 이루어져 왔으며 그 대부분은 화석 에너지와 핵에너지에 의존하고 있다. 최근 화석 에너지 자원의 고갈과 지구 온난화와 같은 자연환경의 파괴라는 근본적인 문제의 대두는 풍력, 태양광, 수소에너지와 같이 무공해의 청정에너지원 이용하기 위한 새로운 발전시스템에 대한 관심을 증가시키게 되었고 이와 같은 맥락에서 청정에너지를 이용하여 전기를 생산하기 위한 분산전원에 대한 활발한 연구가 진행 중이다. 청정에너지원을 이용하는 대부분의 분산전원 중 수소에너지를 이용하는 연료전지 발전 시스템은 바람, 태양, 조류 등과 같은 자연에너지를 이용하는 대부분의 자연친화적 발전 시스템이 상시 운전을 하지 못한다는 단점을 극복할 수 있고 전기 에너지를 생산함과 동시에 부수적으로 발생하는 열을 이용하여 전체 에너지 발전시스템의 효율을 상당히 높일 수 있다는 장점을 가지고 있다.

그러나, 연료전지 시스템을 효율적인 분산전원으로 사용하기 위해서는 기존 계통과 협조한 운전하는 계통연계 운전 방식의 채택이 바람직하는 견해가 지배적이며 이를 위하여 저전압, 대전류의 출력 특성을 가지는 연료전지의 에너지를 계통 전원에 협조 운전시키기 위한 에너지 형태로 변환하는 계통 연계형 인버터가 필요된다. 본 논문에서는 연료전지 시스템을 기반으로 하여 저전압, 대전류 특성을 갖는 1KW급 계통 연계형 인버터를 소개하고, 이의 구성 및 특성을 소개하고자 한다.

2. 시스템 구성

2.1 DC/DC 컨버터

DC-DC 컨버터를 구분함에 있어서 전압형과 전류형의 두 가지 방식을 그림 1에 나타낸다. 그림 1(a)의 전압형은 저전압인 1차측에 전압원이 고전압인 2차측에 전류원이 있는 방식이고, 그림 1(b)의 전류형은 저전압인 1차측에 전류원이 고전압인 2차측에 전압원이 있는 방식으로 각각 장단점을 가지고 있다.

구조적인 차이점은 그림 1(a)의 전압형은 전압형 승압쵸퍼로 평활용 인덕터가 변압기 2차측에 위치하고, 그림 1(b)는 전류형 승압쵸퍼로 평활용 인덕터가 변압기 1차측에 위치한는 것으로 전압형은 인덕터 전류의 환류가 변압기 2차측의 다이오드 정류기를 통해 이루어지고, 전류형은 변압기 1차측의 스위칭 소자를 통해 이루어진다. 두 번째로 전압형 승압쵸퍼의 경우 연료전지 입력부의 전류리플을 억제하기 위해 큰 용량의 필터가 필요하지만, 전류의 승압쵸퍼의 경우 상대적으로 작은 용량의 필터가 요구되어 진다. 또한 전류형 승압 컨버터의 경우 고조파 변압기가 없더라도 승압의 기능을 가지므로, 고조파 변압기의 턴 수비가 전압형에 비해 작아질 수 있다. 그러나, 1(b)는 전류형 승압쵸퍼로 평활용 인덕터는 전압형에 비해 많은 전류가 흐르게 되므로 인덕터의 권선량이 많아지게 되어 제작, 부피 면에서는 매우 불리하게 된다.

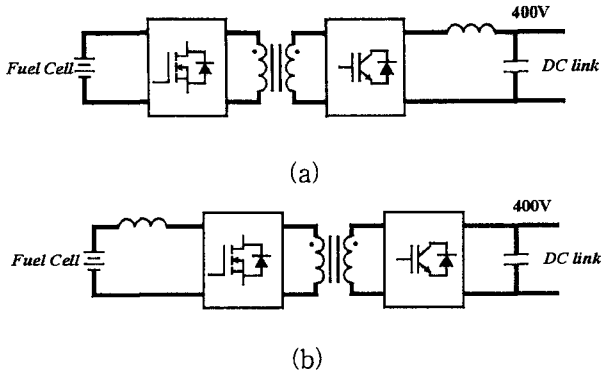

그림 1 컨버터 시스템. (a) 전압형 컨버터 (b) 전류형 컨버터

Fig. 1 Converter system. (a) Voltage source Converter (b) Current source Converter

결론적으로, 그림 1(b)는 전류형은 인덕터 제작과 부피에 따른 문제점으로 인해 입력 전류가 수십

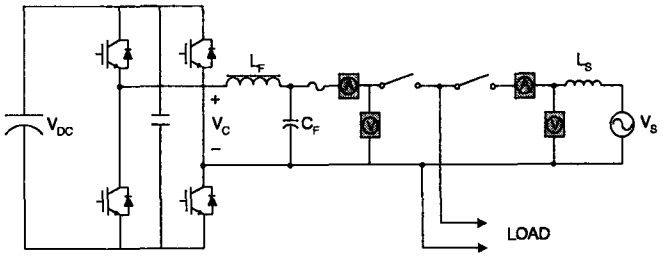

그림 2 인버터 시스템

Fig. 2 Inverter system

암페어급인 경우 적합하며 그 외의 경우는 그림 1(a)의 전압형을 적용하되, 입력 전류의 리플을 적절히 억제할 수 있는 필터를 추가적으로 설치하는 것이 바람직하다. 본 시스템은 1kW시스템으로 전류형 컨버터를 채택하였다.

2.2 DC/AC 인버터 부

인버터는 그림 2와 같이 단상 Full-Bridge 방식의 PWM 인버터 구조를 가진다. 인버터는 구조의 단순화를 위해 IPM(Intelligent Power Module)을 사용하였다. 필터부는 LC 필터로 구성하게 될 때 이는 다음과 같이 정량적으로 설계될 수 있다. THD를 3%이하로 설계하기 위해, 독립운전일 경우를 살펴보면, 고주파 성분에 대하여 입력전압에 대한 출력전압의 크기의 비는 근사적으로 다음과 같다.

$$\frac{V_o}{V_i} \approx \frac{1}{w^2 LC} \leqq 0.03 \quad (1)$$

$$LC \geq 1/(0.03w^2) = 8.44e-9 \quad (2)$$

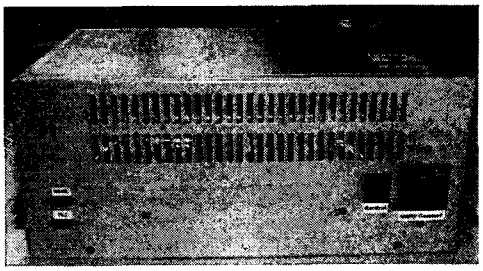

그림 3 1kW 연료전지용 전력변환 시스템

Fig. 3 1kW power conversion system for fuel cell 시스템

커패시터 값이 2μF이라 가정하면 인덕턴스가 4.22mH 이상의 값만 가지면 3% 이상의 THD를 만족시킬 수 있다.

그러나 계통과 연계하여 운전할 경우 상황은 달라진다. 이것은 계통의 임피던스가 매우 작기 때문인데, 이렇게 작은 계통의 임피던스는 필터 C를 무용지물로 만들기 때문이다. 만약 계통의 임피던스가 Ls=0.01mH 이고, 필터 L과 C를 각각 Lf=4.22mH, C=2uF 이라고 할 때, 전류의 THD는 16%로 증가하게 된다. 즉, 같은 필터로 독립운전일 경우 3% 이하의 THD를 만족시켰지만, 계통과 연계운전일 경우 THD가 16%나 되는 것을 확인 할 수 있다. 이것은 계통의 작은 임피던스가 필터 C를 무력화시키기 때문인데, 이것을 해결하기 위해서는 인덕턴스의 값을 증가시켜야 한다. 또한 필터의 성능은 계통의 임피던스에 따라 큰 영향을 받게 된다.

결과적으로, 적절한 전류 리플을 유지하기 위해서는 필터 Lf를 충분히 큰 값으로 유지할 필요가 있으며 이는 비록 인버터의 효율을 떨어뜨리는 원인이 될 수 있으나 전체 시스템의 성능을 위해서는 감안되어야 하는 부분이며 본 시스템에서는 Lf를 15mH로 설계하였다. 그림 3은 이상의 설계 값으로 제작된 제품을 보여준다.

3. 시스템 사양 및 특성

3.1 설계 사양

표 1은 설계 사양을 나타내는 표로 출력은 1kW 시스템이나 입력 전류정격은 큰 값임을 알 수 있다. 연료전지의 특성상 전류의 변동이 크다는 점을 감안할 때 실제 전류정격은 이보다 더 커지게 된다. 따라서 큰 전류용량으로 인해 시스템이 커지고 효율이 저하되는 문제점을 가지게 된다. 시스템 통신 방식은 485통신 방식으로 상위기와 통신을 수행한다. 출력은 단상 220V의 계통과 연계될 수도 있고, 계통과 연계하지 않고 독립운전도 가능하다. 독립운전모드로 동작 시 인버터는 일정 전압제어를 수행하게 된다.

표 1 1kW 시스템의 설계 사양표
Table 1 The design value of 1kW system

구분	항 목	효성
출력 사항	분산전원종류	연료전지
	출력상수	단상
	정격출력용량	1kW
	정격출력전압	220Vac
입력사항	정격입력전압	$43V_{DC}$
	정격입력전류	$27.5A_{rat}$
DC/DC 컨버터	스위치소자 개수	4 ea
	절연유무	절연
시스템/기구	크기	450*310*190[mm]
	통신	485통신

3.2 시스템 특성

표 2는 본 시스템의 특성을 나타내는 표이다. 역률은 98% 이상이고, 전류제어는 상위기로부터 지령을 받아 제어를 수행한다. 인버터는 PWM방식의 인버터로 모든 제어는 동기좌표계에서 수행되어 진다. 따라서 제어변수를 직류값으로 변환하여 제어함으로써 제어의 정밀도를 높일 수 있고, 3상 시스템에서 사용되는 알고리즘을 그대로 단상시스템에 적용할 수 있는 장점을 가진다. 정전 시에는 단독운전방지 시스템이 동작하여 연료전지시스템의 손상을 방지하고, 인명피해를 방지할 수 있다.

표 2 1kW 시스템 특성표
Table 2 The characteristics of 1kW system

구분	효성
효율	88%
역률	98% 이상
전류제어방식	지령에 따른 전류제어
인버터제어방식	PWM Inverter
정전 시	Anti-Islanding
보호기능	OVR, UVR, OFR, UFR

4. 결 론

본 논문에서는 본소에서 개발한 1kW 가정용 연료전지용 전력변환 시스템의 구성 및 동작원리를 설명하고 특성을 기술하였다. 본 시스템은 전류형 컨버코로 연료전지의 출력전압을 상승시켰다. DC/AC인버터는 단상 Full-Bridge 방식의 PWM 인버터로 구성되었다. 시스템 특성으로는 88%이상의 효율을 가지고, 98%이상의 역률로 제어되는 특성을 가진다. 또 보호기능으로서 단독운전 방지시스템, 과전압보호, 과전류보호 기능 등을 가진다. 본 연구소에서는 더 소형/경량화된 구조를 가지면서 고효율을 특성을 가지는 연료전지용 전력변환기를 개발 중에 있다.

참 고 문 헌

[1] A.Monti, E. Santi, F.Ponci, D.Franzoni, " Fuel Cell Based Domestic Power Supply - A Student Project", PESC 02. 2002 IEEE 33rd Annual , Volume: 1, 2002 pp: 315-320 vol.1

[2] F. Santi, D. Franzoni, A. Monti, D. Patterson, F. Pconci and N.Barry, " A Fuel Cell Based Domestic Uninterruptible Power Supply" IEEE APEC 2002, Dallas, Texas, pp. 605-613, March 10-14, 2002

[3] A. M. Tuckey, J. N. Krese, " A Low-Cost Inverter for Domestic Fuel Cell Applications", PESC 02. 2002 IEEE 33rd Annual , Volume: 1, 2002 pp 339-346 vol.1v