

# Z-소스 네트워크의 전압보상 기능을 갖는 연료전지 Z-소스 액티브 필터

김종남\*, 정영국\*\*, 임영철\*, 김광현\*

\*전남대학교 전기공학과 \*\*대불대학교 컴퓨터정보공학부

## Fuel Cells Z-Source Active Power Filter with the Z-Source Network Voltage Compensation Capability

\*J.N. Kim, \*\*Y.G. Jung, \*Y.C. Lim, \*K.H. Kim

\*Chonnam National University \*\*Daebul University

### ABSTRACT

일반적으로 연료전지 Z-소스 액티브 필터는 고조파 보상전류가 급변하는 경우, 연료전지의 특성에 기인하여 Z-소스 네트워크의 전압이 강하하는 현상이 발생한다. 본 연구에서는 이상의 문제점을 개선하기 위한 Z-소스 네트워크의 전압강하 보상 기능을 갖는 Z-소스 액티브 필터를 제안하였다. Z-소스 네트워크의 전압보상을 위하여 절연형 Cuk 컨버터가 사용되었다. PSIM을 이용하여 부하 급변의 과도상태에서 제안된 방법의 타당성이 입증되었다.

액티브 필터는 전통적인 V-소스 나 I-소스가 아닌 Z-소스 토폴로지이며, 이는 종전의 토폴로지에 비하여 다양한 장점<sup>[3]</sup>을 가지고 있다. Z-소스 액티브 필터의 d.c전압은 소형 분산에너지인 연료전지에 의하여 공급되고 있다. 연료전지는 낮은 반응 온도를 갖고 있으며, 가정용, 자동차용, 이동용 전원에 적합하며 현재 실용화가 빠르게 진행되고 있는 PEM(Polymer Electrolyte Membrane)FC<sup>[4]</sup>를 사용하고 있다.

### 1. 서론

최근에 와서 전력전자 변환기기의 사용이 증가되고 있으나 한편으로는 관련 계통의 전력품질을 저하시키는 역효과도 있기 때문에 전력전자 기술은 기술적인 양면성을 갖고 있다 할 수 있다. 이러한 현대의 전원환경에서 고 정밀성과 안정성이 요구되는 부하장치들은 양질의 전력품질이 요구되어진다<sup>[1]</sup>.

전력품질 향상을 위한 전력전자 장치로는 액티브 필터<sup>[2]</sup>가 대표적이라 할 수 있으며 대부분의 액티브 필터는 V-소스 또는 I-소스 토폴로지를 갖고 있다. 그러나 최근에 제안된 Z-소스 토폴로지<sup>[3]</sup>는 shoot through라는 독특한 스위칭 패턴의 제어에 의하여 출력전압을 승압하기 때문에 여러 단의 부스트 컨버터가 필요치 않는 장점이 있다. 이 토폴로지는 저 전압-대 전류의 전기적인 특성을 갖는 연료전지<sup>[4]</sup> 전원시스템에 적합하다. 그러나 연료전지 Z-소스 액티브 필터<sup>[1,5,6]</sup>는 고조파 보상전류가 급증하는 경우, 연료전지가 이에 바로 응답하지 못하기 때문에 Z-소스 네트워크의 전압 강하가 발생한다.

본 연구에서는 이상의 문제점을 개선하기 위한 시스템을 제안하였다. 고조파 보상전류가 급증하는 경우에는 Z-소스 네트워크에 병렬로 연결된 절연형 Cuk 컨버터<sup>[7,8]</sup>가 동작하여 전압강하 분을 보상하는 구조로 되어져 있다. PSIM 시뮬레이션에 의하여 고조파 전류가 급변하는 과도상태에서도, Z-소스 네트워크 전압이 일정하게 유지시킬 수 있었으며 또한 보상성능도 개선할 수 있었다.

### 2. 이론

#### 2.1 제안된 시스템

그림 1은 본 연구의 제안된 시스템을 나타내고 있다. 먼저

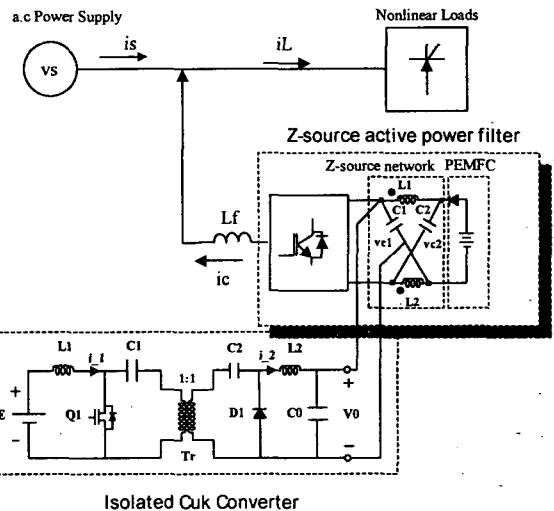


그림 1 제안된 시스템  
Fig. 1 The proposed system

연료전지에 의해서 액티브 필터는 보상 에너지를 공급 받고 있으며, 40.6v인 연료전지 전압은 인버터 스위칭 소자의 shoot-through에 의하여 Z-소스 네트워크의 콘덴서 C1과 C2에 약 250v d.c전압을 발생시킨다. 이 전압을 최종 보상 에너지원으로 하여 액티브 필터는 보상기준전류 ic\*에 해당하는 보상전류 ic를 전원 측으로 주입하게 된다. 이 과정 중에서 만약 부하전류의 고조파가 급증하면, 연료전지 시스템내의 콤프레서 동작지연 및 연료공급 속도지연 그리고 화학반응 지연 등이 발생되며 따라서 연료전지는 충분한 에너지를 공급하지 못하게 된다. 따라서 Z-소스 네트워크의 d.c전압은 감소하며 결국 ic를 추종하지 못한다.

이러한 문제점은 Z-소스 네트워크에 절연형 Cuk컨버터의 병렬 연결로 어느 정도 해결이 가능하다. 절연형 Cuk컨버터는

스위칭 손실이 작아서 효율이 높은 장점을 지니고 있다.

## 2.2 액티브 필터

그림 2는 연료전지 Z-소스 액티브 필터의 구조를 나타내고 있다. 액티브 필터의 보상 기준치  $i_c^*$ 는 (1)-(3)으로 연산된다. Z-소스 액티브 필터의 dc전원으로 연료전지가 사용되므로, 일반적인 액티브 필터와 같은 전압하향 피드백 제어루프는 필요하지 않다. 그림 3은 Z-소스 액티브 필터의 제어 알고리즘이다.

$$I_a = \frac{1}{T} \int_0^T i_L \sin \omega t dt \quad (1)$$

$$i_a = I_a \sin \omega t \quad (2)$$

$$i_c^* = i_L - i_a \quad (3)$$

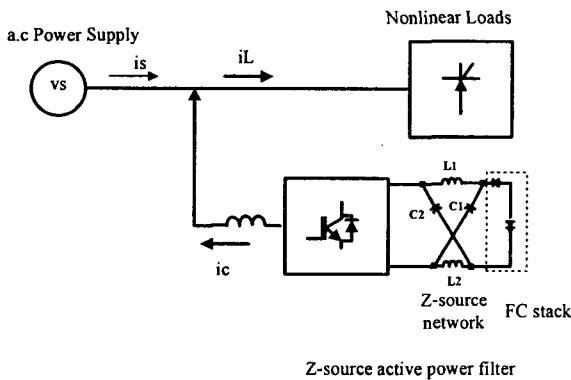


그림 2 연료전지 Z-소스 액티브 필터  
Fig. 2 Fuel cells Z-source active power filter

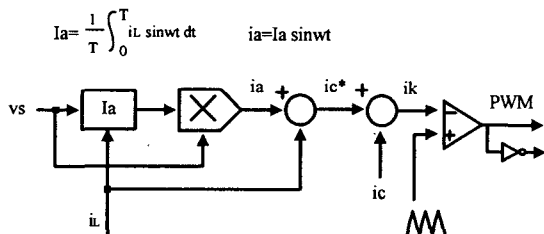


그림 3 제어 알고리즘  
Fig. 3 Control algorithm

## 2.3 절연형 Cuk컨버터<sup>[7,8]</sup>

그림 4는 절연형 Cuk컨버터를 나타내고 있다. Cuk 컨버터는 Buck-Boost컨버터와 동일하게 출력전압  $V_0$ 의 극성은 반전되며 크기는 듀티 비  $D$ 에 따라 입력 전압  $E$ 보다 클 수도 작을 수도 있다. 이 회로에서 스위치  $Q_1$ 이 오프(off)되면 절연 변압기  $Tr$ 의 1차 권선을 통하여 인덕터  $L_1$ , 콘덴서  $C_1$ 에 전류가 흐르며 이 기간 중 인덕터  $L_2$ 의 에너지는 부하로 방출된다.  $Q_1$ 이 온(on) 되면  $L_1$ 에 에너지가 축적되며,  $C_1, C_2$ 의 에너지는  $L_2$ 와 부하로 방출된다.  $Q_1$ 에 흐르는 전류는 입력 전류의 합으로 된다.

이 회로의 특징은  $C_1, C_2$ 에 의하여  $Tr$ 의 dc분이 차단되며, 자동적으로 전압-시간 곱의 평형이 이루어진다. 또한 스위칭 손실이 작기 때문에 효율이 높으나, 온 상태에서  $Q_1$ 에 흐르는 전류는  $L_1$ 과  $L_2$ 의 합이 되고 따라서 스위치 전류의 피크치가 크게 되는 단점이 있다.  $D$ 와  $V_{c1}, V_{c2}$ 와의 관계는 (4),(5)로 나타내진다.

$$V_{c1} = \frac{E}{1-D} \quad (4)$$

$$V_{c2} = DV_{c1} = \frac{D}{1-D} E \quad (5)$$

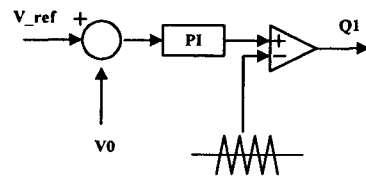
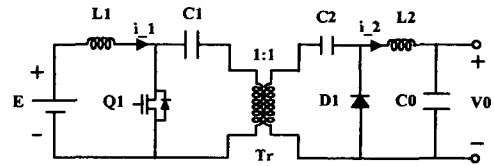


그림 4 절연형 Cuk컨버터  
Fig. 4 Isolated Cuk converter

## 3. 결과 및 고찰

제안된 시스템에 대한 PSIM 시뮬레이션 조건을 표 1은 나타내었다. 그림 5는 액티브 필터의 Z-소스 네트워크의 전압 강하 보상을 위한 절연형 Cuk컨버터의 입력전압  $E=72V$ 와 출력전압  $V_0=260V$ 를 나타낸 것이다. 그림 6은 연료전지 전압  $V_{fc}=40.6V$ 와 Z-소스 네트워크 전압  $V_{c1}=250V$ 의 파형을 나타내고 있다.

표 1 시뮬레이션 파라미터  
Table 1 Simulation Parameters

vs(a.c)	155v(peak)/60Hz	
$i_L$	90A(peak)	
$L_f$	2mH	
Nonlinear load.	$L=4mH, C=3300\mu F, r=8\Omega$	
Isolated Cuk converter	$E=72V, V_0=260V, L_1=264\mu H, C_1=3.3\mu F, C_2=3.3\mu F, L_2=160\mu H, f_{sw}=20kHz$	
Active Power Filter	$v_{c1}=v_{c2}(d.c)=250v, f_{sw}=5.4kHz, SPWM, M=0.645, \text{shoot-through duty ratio}=0.162$	
	Z-source network	$L_1=L_2=160\mu H, C_1=C_2=1000\mu F$
	Fuel Cells <sup>[4]</sup>	PEMFC, AvistaLab SR-12(500W), $v_{fc}=40.6v, v_{base}=28.9v, i_{base}=17.3A$

그림 7은 고조파 전류가 급증하는 경우, 절연형 Cuk컨버터가 있는 동작한 경우와 하지 않은 경우의 전압보상 결과를 정상상태에서 비교한 것이다. 절연형 Cuk컨버터가 있는 경우에는 Z-소스 네트워크 전압 강하가 보상되기 때문에 전원전류  $i_s$ 는 정현파 형태를 보이고 있으나, 없는 경우에는 거의 보상이 이루어지지 않고 있다.

그림 8은 비선형 부하전류  $i_L$ 이 33A→87A로 급증하는 과도 상태에 대한 보상 결과를 나타낸 것이다. 우선 그림 8(a)는 Z-소스 네트워크전압  $V_{c1}$ 의 보상이 있는 경우로서  $V_{c1}=250V$ 를 일정하게 유지하고 있으며 전원전류  $i_s$ 는 정현파 형태를 보이고 있다. 그러나 그림 8(b)와 보는 바와 같이  $V_{c1}$ 의 보상이 없

는 경우에는 부하가 급변하는 0.3sec 지점에서부터는 약 140V로 전압이 강하함을 알 수 있으며 따라서 액티브 필터는 d.c.전압원이 확립되지 않기 때문에  $i_s$ 는 거의 보상이 되지 않고 있다.

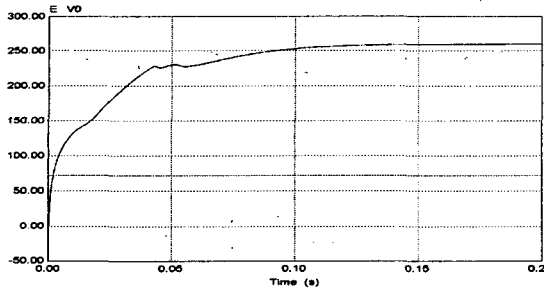


그림 5 절연형 Cuk컨버터의 E와 Vo (무부하시)  
Fig. 5 E and Vo of the isolated Cuk converter (in case of No-load)

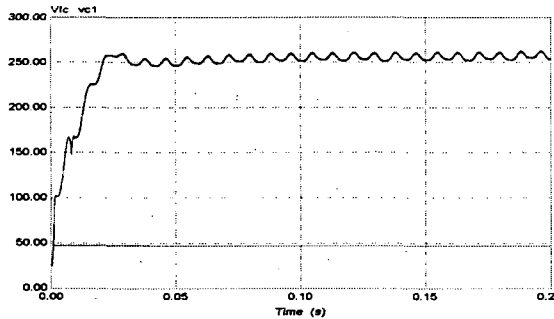
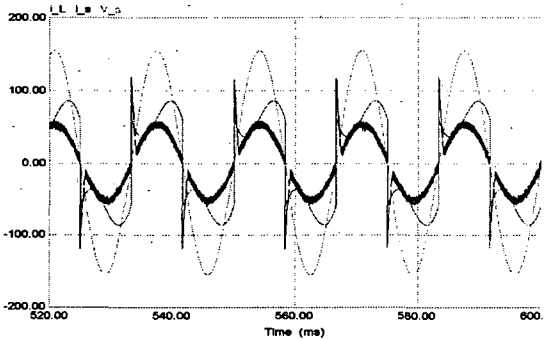
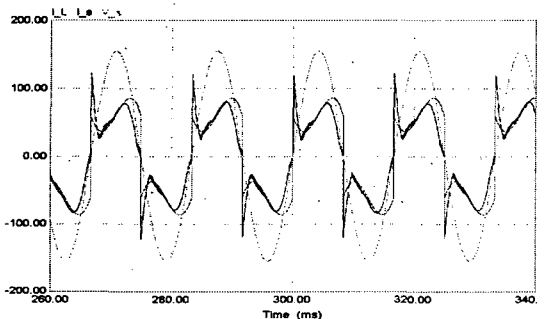


그림 6 Z-소스 네트워크 전압 (Vfc, Vc1)  
Fig. 6 Z-source network voltages (Vfc, Vc1)

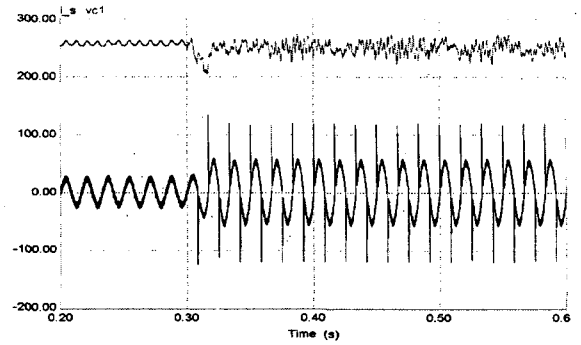


(a) With isolates Cuk converter

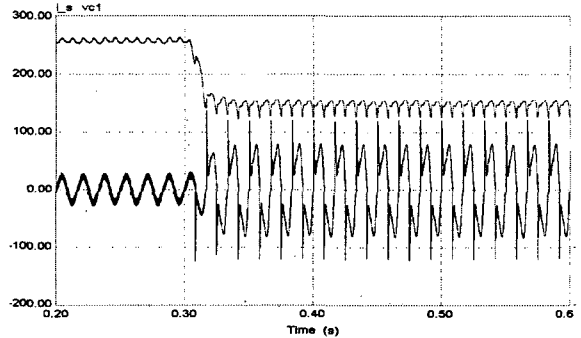


(b) Without isolates Cuk converter

그림 7 큰 고조파 전류의 보상결과( $i_s, i_L$ )  
Fig. 7 Compensation results( $i_s, i_L$ ) in case of the heavy harmonics



(a) With isolates Cuk converter



(b) Without isolates Cuk converter

그림 8 고조파 전류가 급증하는 과도상태에 대한 보상 결과( $V_{c1}, i_s$ )

Fig. 8 Compensation results( $V_{c1}, i_s$ ) in transient state, in case of the heavy harmonics

#### 4. 결론

본 연구에서는 비선형 부하가 급변하는 경우, 연료전지 Z-소스 액티브 필터의 Z-소스 네트워크의 전압을 보상하는 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템의 Z-소스 네트워크 전압 보상은 절연형 Cuk컨버터에 의하여 실현하였다. 절연형 Cuk컨버터가 있는 경우와 없는 경우에 대한 Z-소스 네트워크 전압과 전원전류를 PSIM 시뮬레이션에 의하여 살펴보았다. 그 결과, 고조파 부하가 급증함에 따라 보상전류가 증가하더라도 Z-소스 네트워크 전압을 일정하게 제어할 수 있었음을 확인 할 수 있었으며 보상성능도 양호하였다.

본 연구는 한국과학재단 지정 '전남대 고품질 전기전자 부품 및 시스템 연구센터'의 연구비 지원으로 연구된 결과의 일부임.

#### 참고 문헌

- [1] 엄준현, 정영국, 임영철, "기 설치된 능동전력필터와 연료전지 Z-소스 능동전력필터의 병렬운전", 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템 부문회 춘계학술대회논문집, pp.376-379, 2006.
- [2] Y.G. Jung, W.Y. Kim, Y.C. Lim, S.H. Yang and F. Harashima, "The Algorithm of Expanded Current Synchronous Detection for Active Power Filters

- Considering Three-Phase Unbalanced Power System", IEEE Trans. Ind. Electron., vol.50, no.5, pp.1000-1006, 2003.
- [3] Fang Zheng Peng, "Z-Source Inverter", IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.39, No.2, pp.504-510, 2003.
- [4] 최우진, "양자 교환막형 연료전지의 등가임피던스 모델을 이용한 인버터에 의한 맥동전류의 영향에 관한 연구", 한국조명전기설비학회 논문지 제18권 제6호, pp.230-237, 2004.
- [5] 엄준현, 정영국, 임영철, "연료전지 Z-소스 능동전력필터의 병렬운전 시스템", 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환 시스템 부문회 춘계학술대회논문집, pp.372-375, 2006.
- [6] 김기선, 정영국, 임영철, "Z-source 능동전력필터", 대한전기학회 전기기기 및 에너지 변환 시스템 부문회 추계 학술대회 논문집, 2005, pp.189-191.
- [7] Z. Fedyezak, R. Strzelecki, G. Benysek, "Single-phase PWM AC/AC semiconductor transformer topologies and applications", in Conf. Rec of IEEE PESC'02 2002, in CD-ROM version.
- [8] 김홍근, 전력전자 Second edition, 경북대학교 전력전자연구실, pp.167-172.