

Z-소스 네트워크를 갖는 능동전력필터

김재현\*, 정영국\*\*, 임영철\*  
\*전남대학교, \*\*대불대학교

Active Power Filter with Z-Source Network

\*J.H.Kim, \*\*Y.G.Jung, \*Y.C.Lim  
\*Chonnam National University, \*\*Daebul University

**Abstract** - 본 연구에서는 Z-소스 네트워크를 갖는 능동전력필터 시스템을 제안하였다. 제안된 방식의 동작원리는 종전의 V-소스 능동전력필터와 동일하나, 고조파 보상 전류가 Z-소스 인버터에 의하여 발생된다는 점이 차이가 있다. 또 제안된 시스템을 서로 병렬 운전하는 경우와 종전의 능동전력필터와 병렬 운전하는 방법을 제안하였다. 제안된 시스템은 PSIM 시뮬레이션에 의하여 타당성이 입증되었다.

1. 서 론

최근 전력전자 기술의 눈부신 발전에 힘입어 PWM인버터가 산업현장 뿐만 아니라 생활 가전 등에 많이 적용되고 있다. 이러한 인버터는 전원에 따라 전압형(V-Source)과 전류형(I-Source)으로 구분되며, 특히 V-source는 제어가 용이하며 고속 디지털 신호 처리기(DSP)의 보급으로 인해 범용성에 있어서 I-source보다 뛰어나다[1].

최근에 Z-소스(Z-Source)인버터[2]가 제안된 바 있는데, 이는 LC 임피던스 네트워크와 shoot-through 듀티비를 제어함으로써, 저전압-대전류의 dc전원으로 부터 부하가 요구하는 ac전압을 직접 공급할 수 있다.

본 연구에서는 배전계통에서 전력품질을 개선하기 위한 능동전력필터[3,4]에 Z-소스 네트워크를 적용하는 방법[1]을 제안하였다. 또한 제안된 Z-소스 네트워크를 갖는 능동전력필터가 서로 병렬 운전하는 방법에 대해서도 검토하였다. PSIM 시뮬레이션에 의하여 정상상태에서의 제안된 방법의 보상 성능과 장점을 확인할 수 있었다

2. 제안된 시스템

2.1 기본 시스템

본 연구에서 제안된 Z-소스 네트워크를 갖는 능동전력필터를 그림 1에 나타내었다.

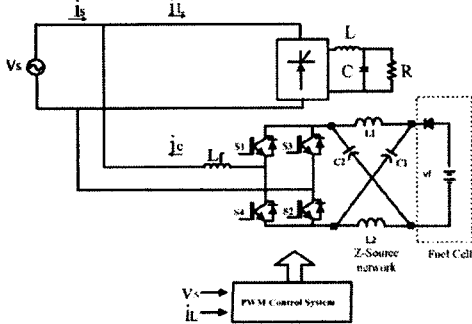


그림 1 기본 시스템

능동전력필터로 동작하는 Z-소스 인버터의 shoot-through 듀티 비를 제어함으로써 48v의 연료전지[5] 또는 배터리에서 보상전류  $i_c$ 를 직접 발생할 수 있다. Z-소스 인버터는 매우 간단한 LC 임피던스 구조를 하고 있으며, 추가적인 dc 부스트 컨버터가 없이 각 상의 shoot-through를 제어하여 전압을 승압시킬 수 있는 독특한 구조의 인버터이다.

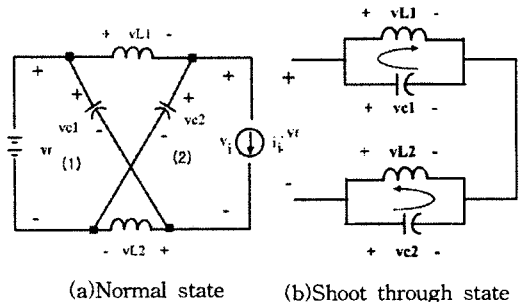


그림 2 등가회로

그림 2는 Z-소스 인버터의 동작모드별 등가회로이다. 우선 그림 2(a)는 일반적인 스위칭 상태에서의 등가회로이며, 그림 2(b)는 그림 3으로 나타난 Leg의 각 스위치가 동시에 "ON"되는 shoot-through기간  $T_0$ 를 형성하는 원리를 보여준다. 그림 4는 그림 1의 전원전압  $v_s$ 와 비선형 부하 전류  $i_L$ 로부터 비선형 부하의 고조파를 검출하고 이를 보상하기 위한 기준신호  $i_c^*$ 를 연산하는 과정을 나타내고 있다.

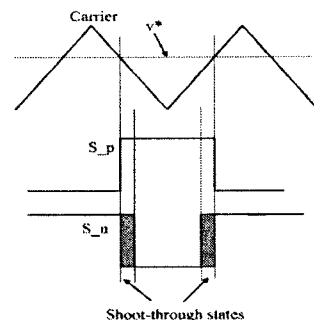


그림 3 Shoot-through상태

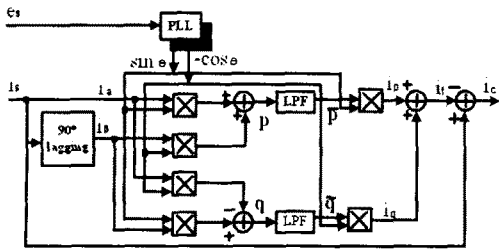


그림 4 기본 시스템의 보상제어 알고리즘

### 2.2 병렬운전 A 시스템

그림 5는 그림 1로 나타낸 Z-소스 능동전력필터의 병렬 운전 시스템을 나타내고 있다. 보상 기준 전류  $i_c^*$ 에 상응하는 보상신호  $i_{c1}$ 과  $i_{c2}$ 를 인버터#1과 인버터#2가 각각 균등 분담하여 발생하고 있다. 병렬 운전 시스템은 연료전지 또는 배터리 스택 1개에 여러 대의 인버터를 모듈로 연결 가능하며, 특히 부하에 따라 크게 변동하는 연료전지의 단자전압과 전류의 특성을 고려할 수 있다. 즉 단자전압의 변동은 Z-소스 인버터의 Z-소스 네트워크와 스위칭 상태로 조절하며, 대 전류의 특성은 병렬 운전에 의하여 해결할 수 있다. 그림 6에 병렬운전 A 시스템에 대한 보상제어 알고리즘을 나타내었다.

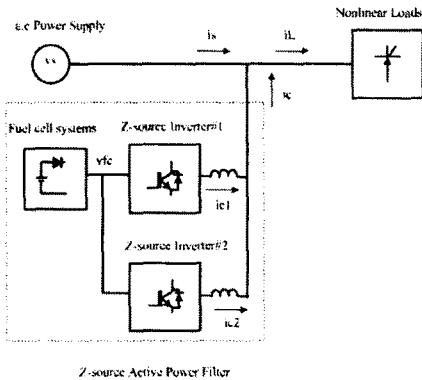


그림 5 병렬 운전 A 시스템

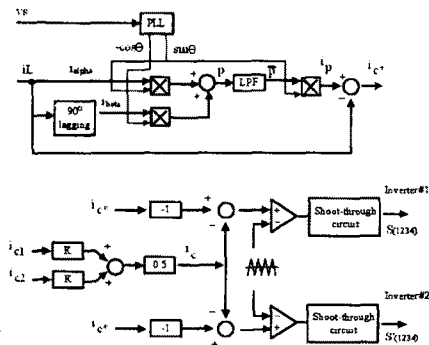


그림 6 병렬운전 A의 보상제어 알고리즘

### 2.3 병렬운전 B 시스템

그림 7은 종전의 능동전력필터와 그림 1의 Z-소스 능동전력필터를 병렬 운전하는 방법을 나타내고 있다. 종전의 능동전력필터는  $i_s$ 에서 보상기준치를 검출하며, Z-소스 능동전력필터는  $i_L$ 에서 보상기준치를 검출하여 이에 상응하는 보상전류  $i_{c1}$ 과  $i_{cfc}$ 를 Existing APF와 Z-Source APF가 각각 균등 분담한다. 결과적으로  $i_{c1}$ 과

$i_{cfc}$ 를 합한 전체  $i_c$ 에 의하여, 전원 측의 전력품질은 향상되게 된다. 그림 8은 B 시스템에 대한 제어 블록선도이다.

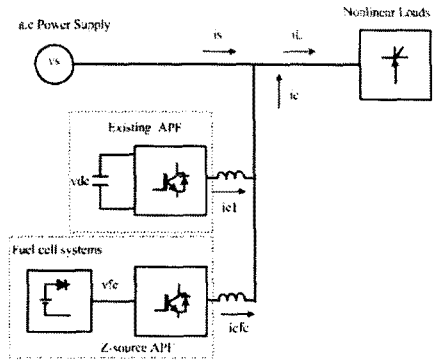


그림 7 병렬 운전 B 시스템

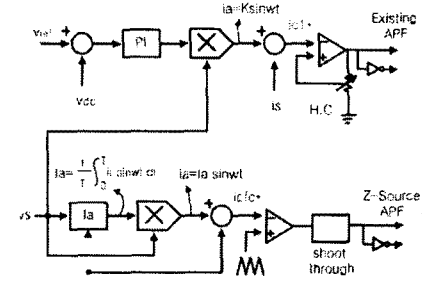


그림 8 병렬운전 B의 보상제어 알고리즘

## 3. 시스템 구성

그림 1, 그림 5 그리고 그림7에 대한 시스템 파라미터를 표 1, 표 2, 표 3에 각각 나타내었다.

표 1 기본 시스템의 파라미터

$e_s(a.c)$	155v(peak)/60Hz
$i_L$	20A
$v_{c1}(d.c)$	378v
Nonlinear load	$L=3mH, C=3300\mu F, R=6\Omega$
fsw	5.4kHz, SPWM, $M=0.645$
shoot-through duty ratio	$0.1944 \times 2$
Fuel Cells[5]	PEMFC, A vista Lab SR-12(500W), $v_{cell}=40.6v$ , $v_{base}=28.9v$ , $i_{base}=17.3A$
Z-source inverter	$L1=L2=160\mu H$
	$C1=C2=1000\mu F$
$L_f$	1.5mH

표 2 병렬운전 A 시스템의 파라미터

$v_s(a.c)$	311v(peak)/60Hz
$i_L$	70A(peak)
$v_{c1}(d.c)$	405v
fsw	5.4kHz, SPWM, $M=0.645$
shoot-through duty ratio	$0.216 \times 2$
Z-source inverter	$L1=L2=160\mu H$
	$C1=C2=1000\mu F$
$L_f$	3mH

표 3 병렬운전 B 시스템의 파라미터

vs(a.c)	155v(peak)/60Hz
$i_L$	70A(peak)
Lf	3mH
Existing APF	vref(vdc)=300v, Hysteresis Controller(H.C)
Z-Source APF	vc1=vc2(d.c)=300v, fsw=5.4kHz, SPWM, M=0.645, shoot through duty ratio=0.162 X2
	L1=L2=160uH C1=C2=1000uF

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 기본 시스템

그림 9는 shoot-through 시간인  $T_o$ 의 변화에 따른 Z-소스 인버터의 dc전압확립을 나타내고 있다.  $T_o=35\mu s$ 인 경우에는 약 378v이며  $T_o=20\mu s$ 인 경우에는 약 210v정도 확보됨을 알 수 있다. 그림 10은 Z-소스 능동전력필터가 동작할 때의 비선형 부하전류  $i_L$ , 보상전류  $i_c$  그리고 전원전류  $i_s$ 를 나타내고 있으며, 전원전류  $i_s$ 는 정현파를 유지하고 있다.

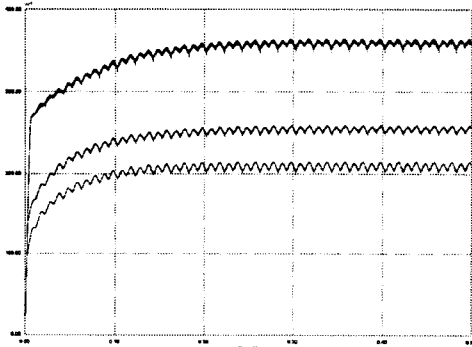


그림 9 Z-source 인버터의 C1또는 C2전압 (y-axis:100v/div.) (a)  $T_o=36\mu s$  (b)  $T_o=35\mu s$  (c)  $T_o=20\mu s$

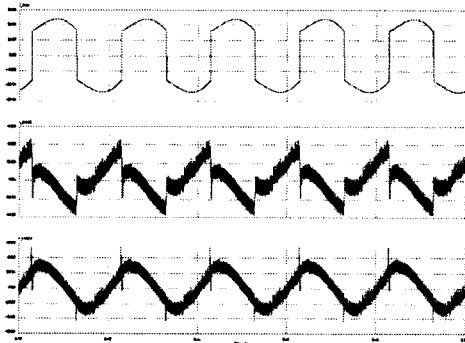


그림 10 보상 전 후의 전류파형 (y-axis:10A/div.) (a)  $i_L$  (b)  $i_c$  (c)  $i_s$

##### 4.2 병렬운전 A 시스템

그림 11은 1개의 연료전지에 병렬 연결된 Z-소스 능동전력필터가 동작할 때, 각각의 인버터가 발생하는 보상전류를 나타내고 있다. 전체 보상전류  $i_c=50A$ 에 대하여 인버터#1과 인버터#2는 각각  $i_{c1}=i_{c2}=25A$ 만을 부담하여도 됨을 보여준다. 인버터가 모듈로 병렬 운전되기 때문에 우선 유지보수가 용이하고, 부하용량이 증가되는 경우에는 시스템의 중단 없이 증가분의 인버터 모듈만

추가하면 된다. 만약 병렬운전이 없이 인버터#1만이 존재하는 경우, 인버터#1은 보상전류  $i_c=i_{c1}=50A$ 를 모두 부담하여야 하며, 이는 인버터 스위칭 소자의 용량 증가와 비용 증가를 유발하는 원인이 된다.

그림 12는 정상상태에서의 비선형 부하전류  $i_L$ , 보상전류  $i_c$  그리고 전원전류  $i_s$ 를 각각 나타내고 있으며, 전원전류  $i_s$ 는 40A(peak)의 정현파를 유지하고 있다.

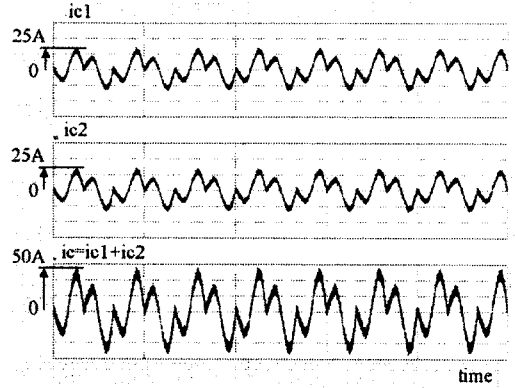


그림 11 정상상태에서의 보상전류 파형

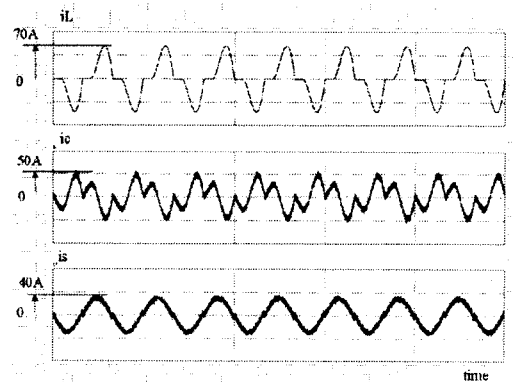


그림 12 정상상태에서의 보상성능

##### 4.3 병렬운전 B 시스템

중전의 능동전력필터의 vdc와 Z-소스 능동전력필터의 vc1의 확립과정은 그림 13에 나타내었다. vdc는 급격하게 증가한 후 다시 300v로 일정하게 전압을 유지하나, vc1은 완만한 전압 증가로부터 일정하게 290v를 유지함을 알 수 있다.

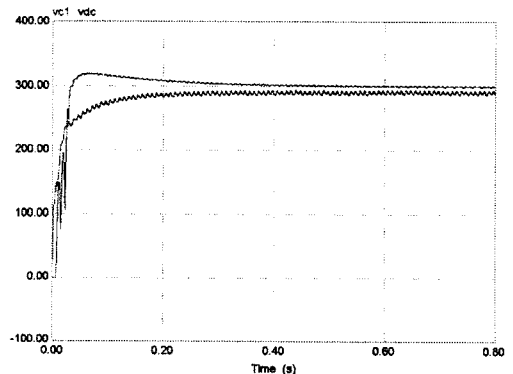


그림 13 중전의 APF과 Z-소스 APF의 dc전압

[참 고 문 헌]

- [1] 김기선, 정영국, 임영철, "Z-source 능동전력필터", 대한전기학회 전기기기 및 에너지 변환 시스템 부문회 추계 학술대회 논문집, 2005, pp.189-191.
- [2] Fang Zheng Peng, "Z-Source Inverter", IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.39, No.2, pp.504-510, 2003.
- [3] 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.
- [4] Y. G. Jung, Y. C. Lim and S. H. Yang, "Single-Phase Active Power Filter based on Three-Dimensional Current Coordinates", IEE Proc. Electr. Power Appl., vol.147, no.6, November, pp.572-578, 2000.
- [5] Jin-Woo Jung, Min Dai, and Ali Keyhani, "Modeling and Control of a Fuel Cell Based Z-Source Converter," in Conf. Rec., IEEE APEC'05, 2005, pp.1112-1118.

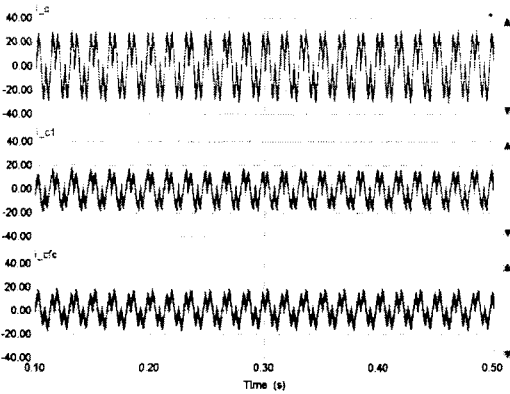


그림 14 정상상태의 보상전류 파형( $i_c, i_{c1}, i_{cfc}$ )

그림 14는 병렬운전 B 시스템의 전체 보상전류  $i_c$  =30A(peak)는 정확하게 종전의 APF 보상전류  $i_{c1}$  =15A(peak)와 Z-소스 APF의 보상전류  $i_{cfc}$ =15A(peak)로 균등 분담됨을 알 수 있다. 즉 보상용량이 증가하는 경우에 종전의 능동전력필터는 그대로 두고 증가분에 해당하는 연료전지 Z-소스 능동전력필터만을 모듈로 설치하면 그만큼 설치비용 및 유지보수 측면에서 유리하다. 그림 16은 정상상태에서의 보상성능을 나타낸 것이다. 보상 후의 전류  $i_s$ 는 전압  $v_s$ 와 동상이며 정현파를 유지하고 있다.

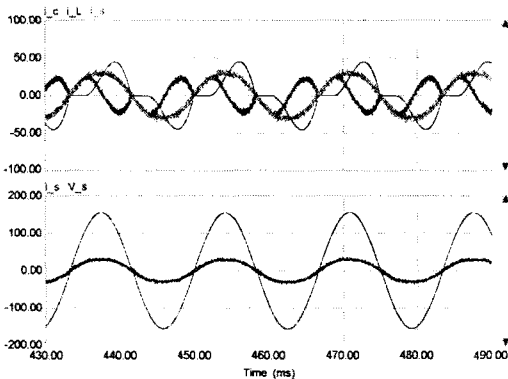


그림 16 정상상태에서의 보상성능

5. 결 론

본 연구에서는 Z-소스 인버터를 적용한 능동전력 필터를 제안하였으며, 이들을 병렬 운전하기 위한 전략을 제시하였다. 제안된 방법은 저전압-대전류 특성을 갖는 연료전지 dc전압을 부스트 시킬 별도의 전력변환기가 필요하지 않는다.

병렬운전 전략을 살펴보면 다음과 같다. 1개의 연료전지에 대하여 병렬 접속한 A 시스템의 경우, 스위칭 소자의 정격이 낮아도 되며 부하 증가시 증가분의 인버터 모듈만을 추가하면 되기 때문에 유지 보수 면에서 유리하다.

또한 병렬운전 B는 종전의 V-소스 능동전력필터의 보상 용량이 요구되는 시점에 있어서, Z-소스 능동전력필터 모듈을 병렬로 운전 할 수 있다. 제안된 시스템을 비선형 부하의 고조파 보상에 적용해본 결과, 각각의 능동전력필터 모듈은 전체 보상 전류를 균등하게 분담함을 알 수 있었고, 보상성능 역시 양호하였음을 확인 할 수 있었다.