

Z-source 능동전력필터

김기선*, 정영국**, 임영철*

*전남대 전기공학과, **대불대 컴퓨터정보공학부

Z-Source Active Power Filters

*K.S. Kim, **Y.G. Jung and *Y.C. Lim

*Chonnam National University, **Daebul University

Abstract - 본 연구는 Z source 인버터를 단상 능동전력필터에 적용하여 전원 측 고조파 전류를 보상하기 위한 방법을 제시하였다. Z source 능동전력필터는 연료전지를 d.c전원으로 하고 있으며, 단상 p-q이론에 의해 보상기준전류가 연산된다. PSIM 시뮬레이션에 의하여 제안된 방법의 보상성능을 확인하였으며, 부하전류와 전원전류에 대한 과정 및 스펙트럼을 비교검토했다.

크 전압의 크기에 의하여 제한 받으며, d.c 링크전압을 승압 및 강압하기 위해서는 Buck-Boost d.c/d.c 변환기를 부가되어야 한다. 또한 임의의 한상에 shoot-through가 발생되면, EMI의 발생과 V-source의 경우에는 스위칭 소자가 파괴되기 때문에 데드타임 회로가 필요하다. 데드타임의 보상은 출력 파형에 왜성을 유발한다.

1. 서 론

최근 전력전자 기술의 뉴부신 발전에 힘입어 배전체통에 비선형 부하의 사용이 급증하고 있으며, 이들 비선형 부하들은 자신 뿐만 아니라 관련 계통의 전력품질에 악영향을 미치고 있다. 이와 같은 전력품질을 개선하기 위한 효과적인 방법 중의 하나가 능동전력필터(Active Power Filter)이다. 능동전력필터는 보상전류를 발생하기 위한 전원에 따라서 전압형(V-Source)과 전류형(I-Source) 등으로 분류되며, 이들은 각각의 부하특성에 따라서 적절하게 선택되어지고 있다[1].

본 연구에서는 종전의 V-Source 및 I-Source 대신에 연료전지를 d.c전원으로 한 Z-Source[2,3] 인버터를 적용한 능동전력필터 시스템의 성능에 대하여 고찰하였다. 본 연구에서 사용한 능동전력필터의 보상 알고리즘은 단상p-q이론이며, PSIM시뮬레이션에 의하여 Z-source 인버터의 보상 성능을 확인하였다.

2. Z-source 인버터[1-3]

일반적으로 인버터는 부하 측에서 바라볼 때 어떠한 전원으로 동작하는 가에 따라서 V-source와 I-source로 나눌 수 있다.

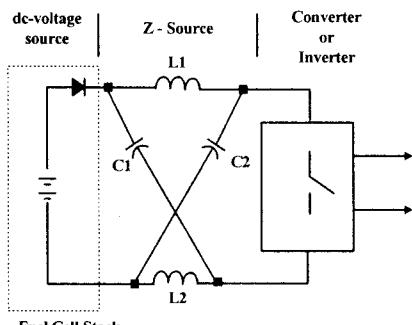
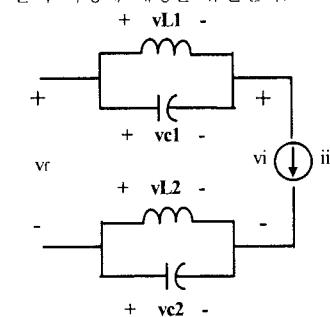
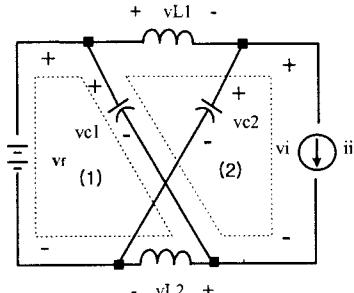


그림 1 Z-source 인버터의 일반적인 구조
Fig.1 Generalized structure of the Z-source inverter

그런데 이와 같은 형태의 인버터는 a.c 출력전압이 d.c링



(a) In the shoot-through states



(b) In the non-shoot-through states

그림 2 Z-source 인버터의 등가회로
Fig.2 Equivalent circuit of the Z-source inverter

그림 1은 이와 같은 종래의 인버터의 문제점을 어느 정도 해결 가능한 Z-source 인버터의 일반적인 구조를 나타낸다. Z-source 인버터는 매우 간단한 L-C 일피던스 구조를 하고 있으며, 부가적인 d.c/d.c 변환기 없이 각 상의 shoot-through를 제어하여 전압을 승압시킬 수 있는 독특한 구조로 되어 있다. 그림 1에서 보는 바와 같이 Z-source 인버터의 d.c전원으로는 연료전지를 사용하고 있으며, 역전류에 의하여 연료전지가 파괴되는 것을 막기 위하여 다이오드를 연결하여 사용한다. 그림 2는 Z-source 인버터의 동작모드에 따른 등가회로이다. 우선 그림 2(a)는 Leg의 각 스위치가 동시에 "ON"되어 shoot-through가

발생되는 경우를 나타내며, 그림 2(b)는 일반적인 스위칭 상태의 등가회로를 나타낸다.

3. 능동전력필터 제어 알고리즘

단상의 비선형 부하 시스템에 인가되고 있는 순시전압과 순시전류는 다음으로 각각 표현 가능하다.

$$e_s = \sqrt{2} E \sin \theta \quad (1)$$

$$i_L = \sum \sqrt{2} I_m \sin(n\theta - \phi_n) \quad (2)$$

$$= i_p + i_q + i_h = i_f + i_h \quad (3)$$

여기서 i_p , i_q , i_h , i_f 는 각각 유효전류, 기본파 무효전류, 기본파 전류 그리고 고조파 전류 성분이다.

단상으로부터 2상을 구하기 위해서 (1)과 (2)를 각각 90° 지연시킨 성분을 생각할 수 있고, 따라서 (4)와 (5)와 같은 α - β 정지좌표에서의 2상 성분이 구해진다.

$$\begin{bmatrix} e_\alpha \\ e_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e(\theta) \\ e(\theta - 90^\circ) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{2} E \sin \theta \\ -\sqrt{2} E \cos \theta \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i(\theta) \\ i(\theta - 90^\circ) \end{bmatrix} \quad (5)$$

순시유효전력 p 와 순시무효전력 q 는 3상 시스템과 같은 형태로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_\alpha & e_\beta \\ -e_\beta & e_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{p} \\ \bar{q} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{p} \\ \bar{q} \end{bmatrix} \quad (6)$$

p 와 q 는 지역통과필터(LPF)를 거치게 되면 \bar{p} (p 의 직류 성분)와 \bar{q} (q 의 직류성분)가 구해지며, PLL(Phase Locked Loop)에 의해 전원전압과 동기된 $\sin \theta$ 와 90° 위상차가 나는 $\cos \theta$ 로부터 순시유효전류와 순시무효전류는 다음으로 구할 수 있다.

$$i_p = \bar{p} \sin \theta \quad (7)$$

$$i_q = \bar{q} (-\cos \theta) \quad (8)$$

i_p 와 i_q 의 합으로 기본파 전류성분 i_h 가 얻어지며 결국 고조파 보상전류 성분 i_c 는 (10)으로 표현된다.

$$i_h = \bar{p} \sin \theta + \bar{q} (-\cos \theta) \quad (9)$$

$$i_c = i_h = i_s - i_f \quad (10)$$

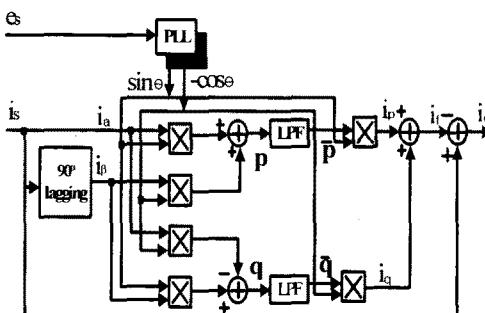


그림 3 보상기준전류 i_c 연산 블록선도
Fig. 3 Block diagram for calculating the i_c

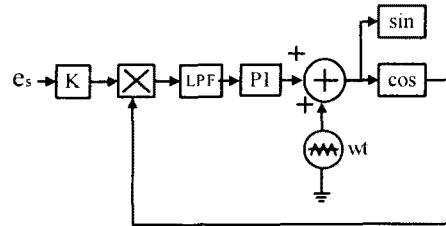


그림 4 PLL 블록선도

Fig. 4 Block diagram of PLL

이상에서 나타낸 부하전류의 고조파 성분 연산과정과 PLL에 의해 전원전압의 $\sin \theta$ 와 $-\cos \theta$ 성분을 검출하는 블록선도를 각각 그림 3과 그림 4에 나타내었다.

4. 시스템 구성

그림 5는 본 연구에서 제안된 Z-source 단상 능동전력필터를 나타내고 있다. Z-source 인버터의 d.c단은 스택 정격전압이 40cell×0.7v=28v인 연료전지가 직렬로 6개 연결(168V)되어 있다. PWM변조는 fs=10kHz 캐리어 비교방식을 사용하며, 능동전력필터는 스위칭 손실과 인덕터 L_f 등에 손실이 없다고 가정하였다. 또한 비선형부하는 다이오드 정류기를 사용하였다. 표 1에 본 연구의 시스템 파라미터를 나타내었다.

표 1 시스템 파라미터
Table 1 System Parameters

es	311v(peak)/60Hz
i_h	50A
co	168v
fs	10kHz, SPWM
Z-source	$L_1=L_2=160\mu H$
inverter	$C_1=C_2=1000\mu F$
Lf	1.5mH

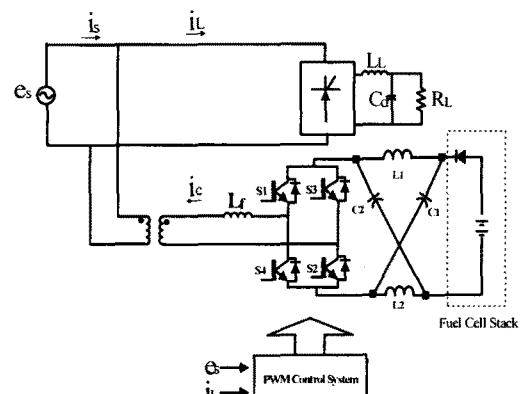


그림 5 Z-source 능동전력필터 시스템

Fig. 5 Z-source active power filter system

5. 결과 및 고찰

그림 6은 Z-source 능동전력필터가 동작할 때의 비선형부하전류 i_h , 보상전류 i_c 그리고 전원전류 i_s 를 나타내고 있다. 그림 3과 (10)에 의하여 연산된 보상기준 전류를

Z-source 능동전력필터가 잘 추종하고 있음을 알 수 있으며, 전원전류는 정현파를 유지하고 있다.

그림 7은 그림 6의 조건에서의 전원전압 cs와 전원전류 is의 위상관계, z-source 콘덴서 전압 vc1과 능동전력필터의 출력전압 ci를 나타내고 있다. 그림 7(a)를 살펴보면 es와 is의 위상은 동상이며 따라서 단위역률이 유지되며, 이때 가장 중요한 Vc1은 약 400v 정도 확립되고 있음을 알 수 있다. 그림 7(c)는 그림 6(b)에서 나타낸 ic의 발생 전압 ci이다.

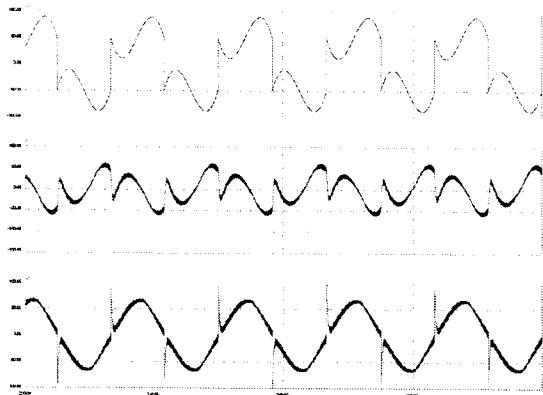


그림 6 보상 전 후의 전류파형(y-axis:50A/div.)

(a) i_L (b) i_c (c) i_s
Fig.6 Current waveform(y-axis:50A/div.)
(a) i_L (b) i_c (c) i_s

그림 8은 그림 6(a)와 그림 6(c)로 나타낸 i_L 과 i_s 에 대한 스펙트럼이다. i_L 의 경우를 살펴보면, 유효 성분과 기본파 무효성분의 합인 60Hz 기본파 성분을 비롯하여 여러 고조파 성분들이 존재하고 있다. 그러나 그림 8(b)로 나타낸 i_s 스펙트럼에는 기본파 60Hz 성분 중 무효성분이 그림 8(a)에 비하여 감소되었으며, 또한 기타 고조파 성분들도 매우 저감되어져 있다. 결론적으로 그림 5에서 제안된 Z-source 인버터 시스템은 종전의 V-source 인버터와 동일한 성능을 가지고 있으며, 교체 가능함도 보였다.

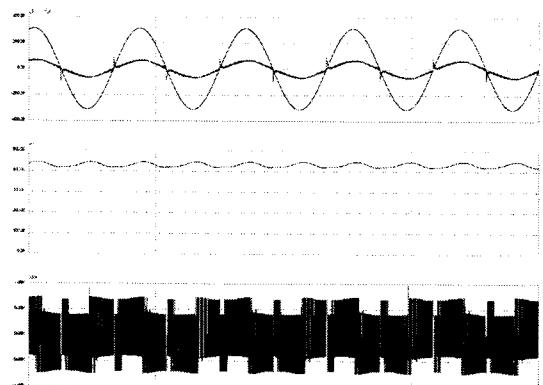


그림 7 보상전압 파형

(a) es와 is의 파형(y-axis:200v/div., 200A/div.)
(b) Vc1 (y-axis:100v/div.) (c) ci (y-axis:500v.div.)
Fig.7 Compensation voltage waveform
(a) cs and is (y-axis:200v/div., 200A/div.)
(b) Vc1 (y-axis:100v/div.) (c) ci (y-axis:500v.div.)

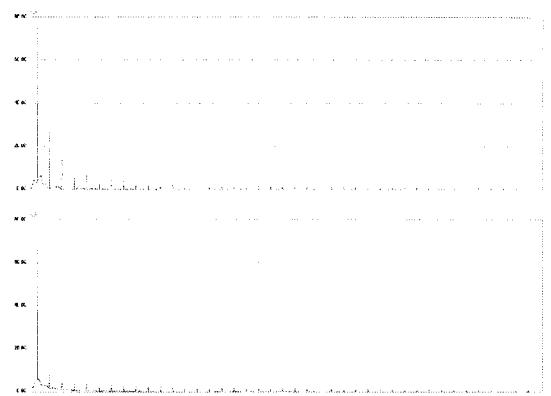


그림 8 전류의 스펙트럼(a) i_L (b) i_s
(x-axis:1kHz/div.,y-axis:20dB/div.)
Fig.8 Current spectra (a) i_L (b) i_s
(x-axis:1kHz/div.,y-axis:20dB/div.)

6. 결 론

본 연구에서는 종전의 V-source 인버터 대신에 Z-source 인버터를 적용한 능동전력필터의 성능을 고찰하였다. Z-source 인버터의 d.c 전압원으로는 연료전지 모델을 사용하였으며, 능동전력필터 보상 알고리즘으로 단상 p-q이론을 적용하였다. 제안된 시스템의 성능은 PSIM 시뮬레이션에 의하여 확인하였다. 그 결과, Z-Source 능동전력필터는 종전의 V-source 경우와 같이 보상전류를 잘 발생하였으며, 전압과 전류에 대한 단위역률도 양호하였다. 연료전지의 사용이 일반화되면 앞으로 능동전력필터에 Z-source 인버터의 사용이 증가하리라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 ‘천남대 고품질 전기 전자 부품 및 시스템 연구센터’의 연구비 지원으로 연구된 결과의 일부임.

[참 고 문 헌]

- [1] Fang Zheng Peng, "Z-Source Inverter", IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.39, No.2, pp.504-510, 2003.
- [2] 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.
- [3] M. Shen, J. Wang, A. Joesph, F.Z. Feng, L. Tolbert, and D.J. Adams, "Maximum Constant Boost Control of the Z-Source Inverter," in Proc., IEEE IAS'04, 2004, pp.142-147.