

## 연료전지 전원을 갖는 3상 Z-소스 동적 전압 보상기

(Three-Phase Z-Source Dynamic Voltage Restorer with a Fuel Cells Source)

정영국\*

(Young-Gook Jung)

### 요 약

본 연구에서는 전압품질에 민감한 설비를 위한 3상 Z-소스 동적 전압 보상기(Z-DVR : Z-Source Dynamic Voltage Restorer)를 제시하였다. 제안된 시스템은 수동필터와 Z-소스 토폴로지의 직렬형 능동필터로 구성된다. Z-DVR의 ESS(Energy Storage System)로는 친환경적인 고분자 전해질 연료전지(PEMFC : Proton Exchange Membrane Fuel Cells)를 사용하였다. 고조파 검출은 동기좌표계의  $i_d - i_q$  이론에 의하였으며, 부하전압 보상을 위하여 PI제어를 사용하였다. 3상 전원이 모두 전압 sag가 발생하는 경우, PSIM에 의하여 제안된 방법과 배터리 스택을 적용하는 충전의 방법에 대하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 전압 보상성능이 유사함을 알 수 있었다. 또한 전압 sag와 swell이 동시에 또는 독립적으로 발생하는 다양한 전원 조건하에서 제안된 시스템의 전압 보상 성능과 전압에 대한 %THD(%Total Harmonic Distortion)를 검토하였다.

### Abstract

This paper proposes a three-phase Z-source dynamic voltage restorer (Z-DVR) to mitigate the voltage sag for the critical loads. The proposed system is composed of passive filter and Z-source topology inverter. As an ESS(Energy Storage System) of the proposed system is employed the Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC). To calculate and control the harmonics and compensation voltage,  $i_d - i_q$  theory in dq rotating reference frame and PI controller are used. In case that three-phase voltage sags occurred, a PSIM simulation was done for the performance comparison of the conventional method employed battery stacks and proposed method. As a result, considering the voltage compensation performance, each method was nearly similar. Also, the compensation performance and the %THD(%Total Harmonic Distortion) result under the various source voltage conditions (sag or swell) were presented and discussed to show the performance of the proposed system.

Key Words : Z-source inverter(ZSI), Dynamic voltage restorer(DVR), PEM fuel cells source,  
Voltage sag and swell compensation

\* 주저자 : 대불대학교 융합기술학부 부교수  
Tel : 061-469-1263, Fax : 061-469-1299  
E-mail : jyg@mail.daebul.ac.kr  
접수일자 : 2008년 7월 11일  
1차심사 : 2008년 7월 22일  
심사완료 : 2008년 8월 7일

### 1. 서 론

반도체 제조공장 자동화와 같은 설비나 디지털 정 보기기 그리고 의료기기 등은 전압 sag 및 왜형 등 전압 품질에 매우 민감하다. 특히 이들 부하들은 24 시간 연속적으로 동작하는 경우가 많기 때문에 높은 신뢰도의 전원을 필요로 한다. 전원의 다양한 변동을 순간적으로 보상하는 동적 전압 보상기(DVR) [1-3]는 전 전압 보상방법을 사용하는 UPS와 비교 하여, 배전계통에서 직렬 변압기를 이용하여 전압변 동분의 부족분만을 보상하기 때문에 용량을 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있다. DVR은 근본적으로 유효전력을 다루기 때문에 별도 에너지저장장치 ESS (Energy Storage System)를 필요로 한다. ESS로는 캐패시터, 배터리, 초전도코일, 플라이휠 등이 있으며 전압변동이 발생하는 짧은 순간(60[Hz]주파수를 기본으로 8.3[ms]-1[min]기간)에만 보상전력이 방출 되므로 적은 에너지의 소모로 양호한 보상특성을 얻을 수 있다.

본 연구에서는 신재생 에너지인 연료전지를 ESS 로 사용하는 Z-소스 인버터(ZSI)[4]와 수동필터(PF) 를 혼합한 동적 전압 보상기(Z-DVR)를 제안하였다. Z-DVR의 ZSI는 shoot-through기간[4]을 조절하여 낮은 dc전압의 연료전지로부터 높은 ac전압을 직접 발생시킬 수 있는 인버터이다. 제안된 시스템은  $i_d - i_q$  이론[5]에 의해 고조파를 검출하고 여기에 전 압 변동분을 더하여 보상기준전압을 연산한다. 연료 전지는 전력전자 변환기의 전원으로 적합한 PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cells)[6-7]를 사용하였으며, 단상 ZSI 3대를 PEMFC에 공통으로 연결하여 3상 ZSI를 구성하였다. PSIM 6.0(Power Electronics Simulation Tool)시뮬레이션에 의하여 다양한 전원조건에 대한 제안된 시스템의 타당성을 확인하였으며, 특히 ESS로 배터리와 PEMFC를 사 용한 경우에 대해 그 보상성능을 비교하였다. 3상 전 원이 모두 또는 각각 sag와 swell이 발생하는 경우 에 대한 %THD(%Total Harmonic Distortion)를 비 교 검토하였다.

### 2. Z-소스 인버터(ZSI)

그림 1은 Z-소스 인버터(ZSI)를 간략화한 등가회 로를 나타내고 있다. L-C 네트워크는 대칭 격자회로 이므로  $L_1 = L_2 = L$ 과  $C_1 = C_2 = C$  이며  $V_{L1} = V_{L2} = V_L$ 과  $V_{C1} = V_{C2} = V_C$  조건을 만족하고 있다. 그림 1을 살펴보면, Z-소스 인버터는 sw→1인 active상태 와 sw→2인 shoot-through상태로 동작됨을 알 수 있다.

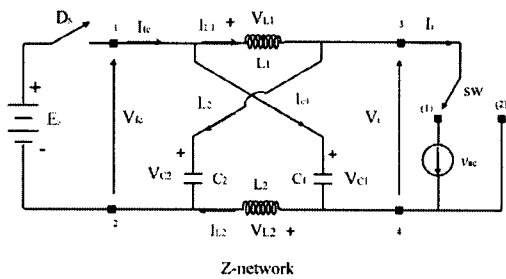


그림 1. 간략화한 단상 Z-소스 인버터  
Fig. 1. Simplified single-phase Z-source inverter

먼저, active상태는 인버터 dc링크 단에 평균전압  $V_i$ 가 걸리는 상태로서 에너지는  $C_1$ 과  $C_2$ 에 충전되며 전압방정식은 다음으로 표현된다. 여기서  $V_{fc}$ 는 연료전지의 dc전압,  $V_i$ 는 Z-소스 네트워크의 평균 dc 전압,  $v_{ac}$ 는 Z-소스 인버터의 ac출력전압이다.

$$V_{L1} = V_{fc} - V_{c2} \tag{1}$$

$$V_i = V_{c1} - V_{L1} = V_{c1} - (V_{fc} - V_{c2}) = 2V_c - V_{fc}$$

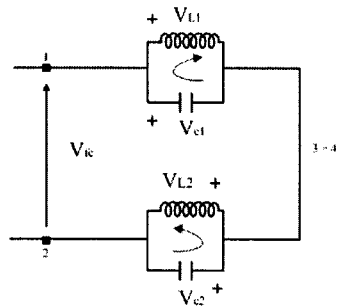


그림 2. shoot-through 상태  
Fig. 2. Shoot-through state

그림 2는 그림 1의 shoot-through상태를 나타내는 등가회로이며 인버터의 동일 Leg내의 positive 스위치와 negative 스위치가 동시에 'on'되므로 결국  $V_i=0$ 이다. 따라서 중전의 인버터의 경우, shoot-through상태는 급기시 되며 PWM 스위칭 신호에 데드타임을 부가하여 방지한다. shoot-through상태에서  $C_1$ 과  $C_2$ 에 충전된 에너지는  $L_1$ 과  $L_2$ 로 전달되며 전압방정식은 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} V_L &= V_c \\ V_{fc} &= V_{c1} + V_{c2} = 2V_c \\ V_i &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

스위칭 주기를  $T = T_0 + T_1$ 라 할 때, Z-소스 네트워크의 dc전압 피크치  $v_i$ , Z-소스 네트워크의 dc전압 평균치  $V_i (= \bar{v}_i)$ , dc 전압의 boost factor B 그리고 shoot-through duty ratio  $D_o$ 는 active상태의 총 지속시간  $T_1$ 과 shoot-through상태의 총 지속시간  $T_0$ 로 (3)과 같이 표현가능하다.

$$V_i = \bar{v}_i = \frac{T_1}{T_1 - T_0} V_{fc} = V_c \quad (3)$$

$$v_i = \frac{T}{T_1 - T_0} V_{fc} = BV_{fc} \quad (4)$$

$$B = \frac{T}{T_1 - T_0} = \frac{1}{1 - \frac{2T_0}{T}} \geq 1, \quad D_o = \frac{T_0}{T} \quad (5)$$

(2)~(5)에 의하여  $V_c$ 는 (6)과 같이 된다.

$$V_c = \frac{1 - \frac{T_0}{T_1}}{1 - \frac{2T_0}{T}} V_{fc} = \frac{1 - D_o}{1 - 2D_o} V_{fc} \quad (6)$$

이상의 식들로 부터 ZSI의 ac출력전압  $v_{ac}$ 은 (7)과 같은 변조지수 M과 boost factor B의 함수로 나타낼 수 있다.

$$v_{ac} = M \frac{v_i}{2} = MB \frac{V_{fc}}{2} \quad (7)$$

### 3. 제안된 Z-DVR

#### 3.1 동작원리

전원전압 품질에 민감한 부하에 대해, 보상전압  $v_c$ 를 발생하기 위해 제안된 Z-DVR을 그림 3에 나타내었다. 제안된 시스템은 전원 측의 전압변동을 보상하여 부하 전압을 일정한 크기의 평형전압으로 유지시킬 뿐만 아니라, 결합 변압기(TR)에 흐르는 전류에 대하여 기본파 전류제어를 행함으로써 고조파 전류성분이 전원으로 흐르지 못하고 수동필터(PF) 쪽으로 흐르도록 한다. TR은 누설 인덕턴스가 매우 적도록 설계되어야 하며 변압기의 전압 주입방향은 전력계통에서 공급하는 극성과 일치하도록 한다.

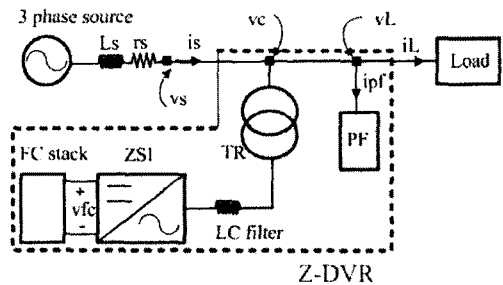


그림 3. 제안된 3상 Z-DVR 시스템  
Fig. 3. Proposed three-phase Z-DVR system

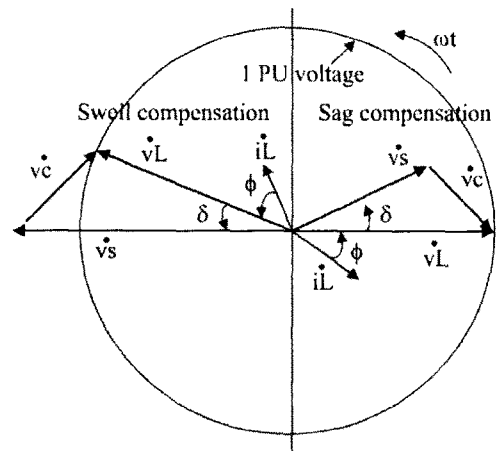


그림 4. 보상전압의 페이서도  
Fig. 4. Phasor diagram of compensation voltage

연료전지 전원을 갖는 3상 Z-소스 동적 전압 보상기

Z-DVR은 5차, 7차 그리고 고차 고조파를 억제하기 위한 PF와 연료전지를 전원으로 갖는 ZSI로 구성되며 전체적으로 하이브리드 능동필터와 유사하다. Z-DVR은 부하에 유효전력을 공급하는 것이 주목적이므로 별도의 에너지 저장장치(ESS)가 필요하며, 본 연구에서는 배터리 대신 환경 친화적인 PEMFC를 ESS로 사용하고 있다.

그림 4는 보상과정을 나타내는 페이지도이다. 그림 4에서 보는 바와 같이 부하전압  $v_L$ 은 전원전압  $v_s$ 보다 위상이 8만큼 뒤지며,  $v_L$ 을 원 제적에 따르는 1 PU(Per Unit) 전압을 유지하기 위하여 sag시에는  $+v_e$ 를 swell시에는  $-v_e$ 를 Z-DVR이 발생하여야 한다.

그림 5는 제안된 시스템 중에서 ZSI의 전력회로만을 나타내고 있다. 3개의 단상 ZSI의 dc링크 단을 PEMFC와 공통으로 연결한 구조로 되어 있다. ZSI 출력단의 LC필터는 인버터 스위칭으로 발생한 고조파 성분을 제거하기 위한 것이다. ZSI는 shoot-through기간을 조절하여 PEMFC의 낮은 dc전압을 곧바로 높은 ac 보상전압  $v_e$ 로 변환하여 배전계통에 주입한다.

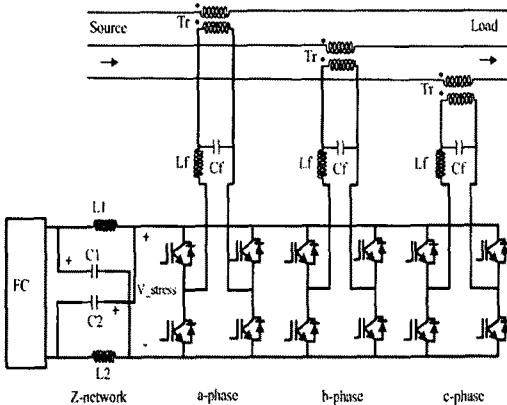


그림 5. 제안된 시스템의 ZSI 전력회로  
Fig. 5. ZSI power circuit of the proposed system

표 1. Z-소스 네트워크의 파라미터  
Table 1. Parameters of Z-source network

Inductance	L	160[uH]
Capacitance	C	1000[uF]
Resonant frequency	$f_r$	400[Hz]

그림 6은 simple boost제어에 의한 3상 shoot-through회로를 나타내고 있다. simple boost제어법[4]은 dc의  $\pm V_{sh}$ 를 조절하여 Z-네트워크의 캐패시터  $C_i$ 에 걸리는 전압  $V_{ci}$ 을 제어하는 기법을 말하며, 표 1에 ZSI의 Z-네트워크의 파라미터를 나타내었다.

그림 7은 Z-DVR의 수동필터로서 5고조파와 7고조파 그리고 고역통과필터로 구성되어 있다. 이 수동필터는 민감한 부하로부터 발생하는 5차, 7차 등 고조파 전류에 대하여 0 임피던스 경로를 제공하여 이들 고조파를 흡수하는 역할을 한다. 따라서 이 수동필터로 인해 Z-DVR의 ZSI 용량은 대폭 감소한다. 표 2는 수동필터에 대한 파라미터를 나타내었다.

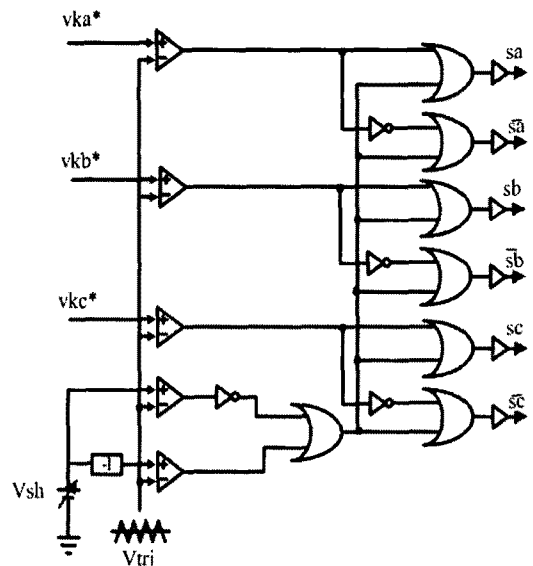


그림 6. 3상 shoot-through 제어회로  
Fig. 6. Three-phase shoot-through circuit

표 2. 수동필터의 파라미터  
Table 2. Parameters of passive filter

5th	$C_5=140[uH], L_5=2[mH]$
7th	$C_7=70[uH], L_7=2[mH]$
HPF	$C_h=300[uH], L_h=0.26[mH], R_h=3[\Omega]$

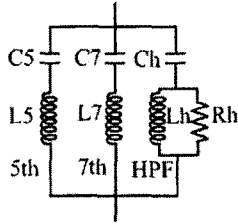


그림 7. 수동필터  
Fig. 7. Passive filter

### 3.2 보상전압 연산 알고리즘

그림 3에 나타난 3상 전원전압  $v_{(abc)}$ 과 전원전류  $i_{(abc)}$ 은 (8), (9)에 의하여  $\alpha\beta$ 좌표로 변환된다. 전원전압에 동기된 dq좌표의 전류는 (10), (11)과 같으며, 전원전압의 위상각은 (12)로 연산 가능하다.

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{sa} \\ v_{sb} \\ v_{sc} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{v_\alpha^2 + v_\beta^2}} \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \omega t & \sin \omega t \\ -\sin \omega t & \cos \omega t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \cos \omega t &= \frac{v_\alpha}{\sqrt{v_\alpha^2 + v_\beta^2}} \\ \sin \omega t &= \frac{v_\beta}{\sqrt{v_\alpha^2 + v_\beta^2}} \end{aligned} \quad (12)$$

(10)으로 연산된 dq동기좌표상의  $i_d$ 와  $i_q$ 를 고역 통과필터(HPF)를 거치면 아래의 성분들이 얻어진다.

$$i_d = \bar{i}_d + \tilde{i}_d \quad (13)$$

$$i_q = \bar{i}_q + \tilde{i}_q$$

$\bar{i}_d = i_d$ 의 직류분  $\tilde{i}_d = i_d$ 의 교류분

$\bar{i}_q = i_q$ 의 직류분  $\tilde{i}_q = i_q$ 의 교류분

$\tilde{i}_d$ 와 ( $\bar{i}_q + \tilde{i}_q$ )성분을 제거하기 위한 보상기준전류  $i_{h(abc)}$ 는 (15)로 구해진다.

$$\begin{bmatrix} i_{ca} \\ i_{cb} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{v_\alpha^2 + v_\beta^2}} \begin{bmatrix} v_\alpha & -v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\tilde{i}_d \\ -(\bar{i}_q + \tilde{i}_q) \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$\begin{bmatrix} i_{ha} \\ i_{hb} \\ i_{hc} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ca} \\ i_{cb} \end{bmatrix} \quad (15)$$

$i_{h(abc)}$ 에  $K_h$ 를 곱하면 (16)과 같은 전압  $v_{h(abc)}$ 의 형태로 되며 이  $v_{h(abc)}$ 에 전압 변동분  $\Delta v_{L(abc)}$ 을 더하면 Z-DVR이 발생할 최종적인 보상전압  $v_{c(abc)}$ 이 얻어진다.

$$v_{h(abc)} = K_h i_{h(abc)} \quad (16)$$

$$\Delta v_{L(abc)} = v_{L(abc)}^* - v_{L(abc)} \quad (17)$$

$$v_{c(abc)} = \Delta v_{L(abc)} - v_{h(abc)} \quad (18)$$

여기서  $v_{L(abc)}$ 은 부하전압의 지령치이며  $v_{L(abc)}$ 은 검출된 부하전압이다. 그림 8은 제안된 방법의 보상전압을 검출 제어하기 위한 블록선도를 나타내고 있다.

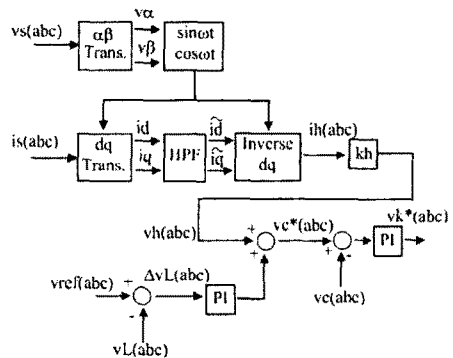


그림 8. 제어 블록선도  
Fig. 8. Control block diagram

### 4. 모의실험 검증

본 연구에서 제안하는 3상 Z-DVR의 동작을 검증하기 위하여 PSIM6.0 시뮬레이터를 이용한 모의실험을 실시하였다. 부하는 3상 전압형 다이오드 정류기를 사용하였으며, 표 3에 시뮬레이션에 사용한 시스템 파라미터를 나타내었다.

표 3. 시스템의 파라미터  
Table 3. System parameters

3 phase source		$v_s = 311v_{peak}/60[\text{Hz}]$	
		$L=0.05[\text{mH}], R=0.5[\Omega]$	
3 phase Z-DVR	ZSI	LC filter	$L_f=1[\text{mH}], C_f=10[\mu\text{F}], R=5[\Omega]$
		Simple boost control $M=0.55, V_{sh}=0.61, f_{sw}=10[\text{kHz}]$	
	PEM FC	Ballard NEXA (1.2[kw]) × 4 (series) $V_{fc}=42.2\text{v}-26.6\text{v}, I_{fc}=50$	
	Passive filter	5th	$C_5=140[\mu\text{H}], L_5=2[\text{mH}]$
		7th	$C_7=70[\mu\text{H}], L_7=2[\text{mH}]$
HPF		$C_h=300[\mu\text{H}], L_h=0.26[\text{mH}], R=3[\Omega]$	
Diode rectifier Load		$C_d=1000[\mu\text{F}], R_L=10[\Omega]$	

그림 9는 제안된 시스템의 ESS로 사용하는 PEMFC의 V-I-P(전압-전류-출력)모의실험 파형을 나타낸 것이다.

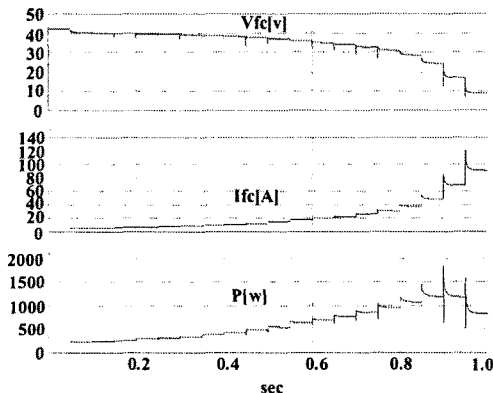


그림 9. PEMFC의 V-I-P 모의실험 ( $V_{fc}-I_{fc}-P$ )  
Fig. 9. Simulated results of PEMFC ( $V_{fc}-I_{fc}-P$ ) waveform

Ballard NEXA(1.2[kw]) 연료전지의 특성을 얻기 위한 시뮬레이터[6-7]로 모델링 하였으며, 매 0.05[s]마다 저항 부하를 20번 증가한 결과 실제 Ballard NEXA (1.2[kw]) 연료전지와 유사한 특성을 얻을 수 있었다.

그림 10과 그림 11은 3상의 전원이 동시에 36% sag가 발생한 경우, 150[vdc] 배터리 스택과 표 3의 Ballard NEXA(1.2[kw]) PEMFC 4개(직렬연결)를 ESS로 적용하여, Z-네트워크 C의 전압  $v_{c1}$ 과 부하 전압  $v_L$ 의 보상성능을 각각 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 양쪽의 경우 모두  $v_L$ 의 보상성능이 동일함을 알 수 있다. PEMFC를 ESS로 사용한 경우는 배터리의 경우보다 부하전압 보상기간 동안 (0.1~0.15[ms])  $v_{c1}$ 에 전압변동이 좀 더 존재한다.

이는 전류증가에 대한 전압변동이 심한 연료전지의 V-I특성 때문이라 생각된다. 또한 위상각의 관점에서 살펴보면, sag가 발생하기 전의 전압 위상각은  $v_s$ 와  $v_L$  모두  $-4^\circ$ 로 동일하나, sag를 보상하는 기간 동안에는 약간의 차이가 발생하고 있음을 알 수 있다.

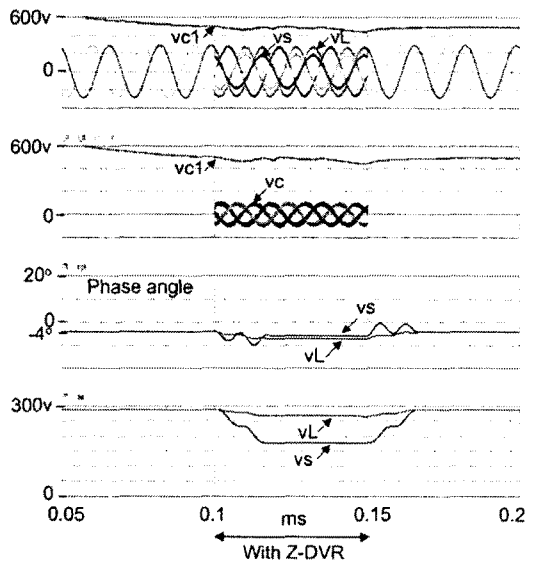


그림 10. ESS로서 배터리를 사용한 경우의 전압 보상 결과(a, b, c전압 36%) sag  
Fig. 10. Voltage compensation results in case while battery stack is adopted as ESS(36%) sag

그림 12는 그림 6에서 나타난 shoot-through회로의 보상 기준치 전압  $v_{k*}$ , shoot-through 제어전압  $V_{sh}$ , 삼상과 캐리어  $V_{tri}$  그리고 dc전압 스트레스  $V_{stress}$  파형을 나타내고 있다.

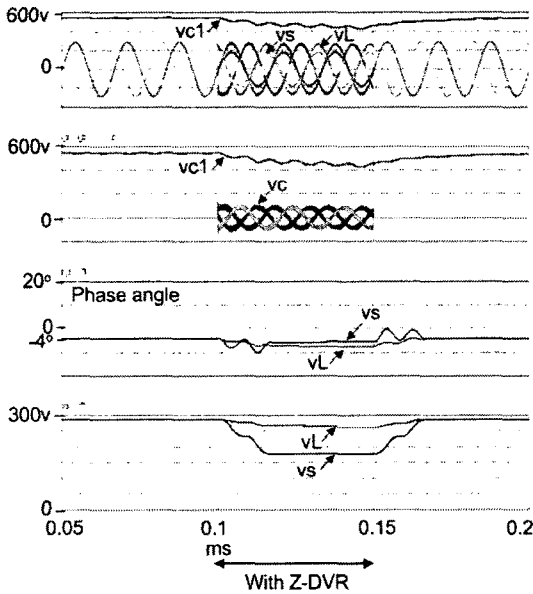


그림 11. ESS로서 PEMFC를 사용한 경우의 전압 보상 결과(a, b, c전압 36(%) sag)

Fig. 11. Voltage compensation results in case while PEMFC stack is adopted as ESS(36% sag)

표 3에서와 같이  $V_{tri}=10[V]$ 를 기준을 할 때,  $V_{sh}=6.1[V]$  그리고  $M=5.5$ 에 의해 보상 기준치 전압  $v_{k*}$ 가 변조됨을 알 수 있다. 또한 ZSI의 dc단 전압 스트레스  $V_{stress}$ 는 최대치가 1,000[V]를 넘는데, 이는 ZSI를 사용하기 때문에 발생하는 현상으로 ZSI의 제어법을 maximum boost제어법이나 maximum constant boost제어법 등으로 교체하면 어느 정도 경감될 수 있으리라 생각된다.

제한된 보상기가 동작하는 0.1~0.15[ms] 기간에는  $v_{k*}$ 는 증가하고  $V_{stress}$ 는 감소되는데, 이는 36[%] 전압 sag에 해당되는 보상전압을 제한된 보상기가 급격하게 발생하기 때문에 생긴 현상이다. 즉 이 기간 동안 증가된  $v_{k*}$ 에 해당되는 보상에너지를 연료전지 스택이 급격하게 발생하고 연료전지의 V-I-P

특성으로 인해 ZSI의 dc단 직류전압 스트레스는 순간적으로 감소된다. 그림 13은 그림 11과 동일 조건 하에서의 전압 보상 전후의 전류 파형을 나타낸 것이다. 그림 13에서와 같이, 부하전류  $i_L$ 로부터 발생하는 진폭이 큰 5차, 7차 고조파는  $i_{pf}$  파형을 보면 알 수 있드시 PF로 흡수되고 있으며 따라서 전원전류  $i_s$ 는 정현파로 된다. 그러나  $i_s$ 는  $v_s$ 와 동상으로 되지는 않는다.

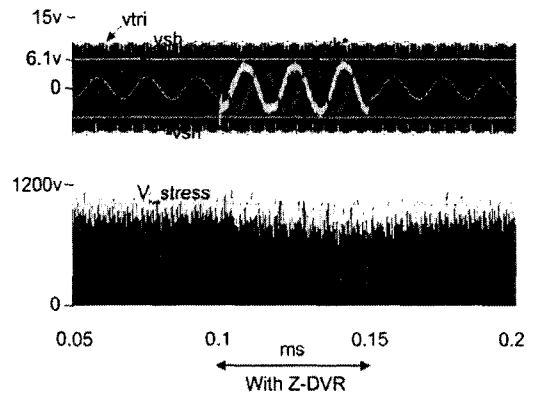


그림 12. 기준치 변조파형과 dc 전압 스트레스  
Fig. 12. Dc voltage stress and reference modulation

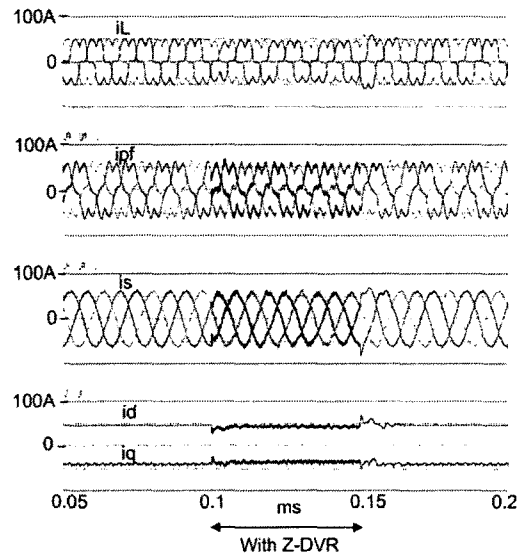


그림 13. 제안된 방법의 전류 파형  
Fig. 13. Current waveforms of the proposed system

연료전지 전원을 갖는 3상 Z-소스 동적 전압 보상기

표 4는 sag나 swell등 다양한 전압 조건이 발생하는 경우 제안된 방법으로 보상된  $v_L$ 의 %THD를 나타낸 것이다. 최대치 311[v]에 대해 a, b, c상 전압 모두 36% sag와 28% swell이 발생하는 경우에는 보상된  $v_L$ 의 %THD는 대략 4~5[%]정도이다. 그러나 각상이 독립적으로 swell과 sag가 발생하는 경우는 %THD는 약 10%정도이며, 이는 각상이 모두 동일한 크기의 sag나 swell이 발생하는 것보다 %THD가 더 악화됨을 알 수 있다.

표 4. 보상된  $v_L$ 의 %THD  
Table 4. compensated  $v_L$  %THD

%THD	a-phase	b-phase	c-phase
No sag/swell	0.9	1	0.9
a,b,c-phase : sag 36[%]	4.3	4.5	4.2
a,b,c-phase : swell 28[%]	4.8	4.7	4.6
a-phase : sag 42[%] b-phase : swell 38[%] c-phase : sag 20[%]	12.5	8.6	9.9

5. 결 론

본 연구에서는 다양한 전원전압의 조건에 민감한 부하에 대해, 평형되고 정현파인 3상 전압을 공급하기 위한 연료전지(PEMFC)를 보상전원으로 하는 3상 Z-소스 동적 전압 보상기(Z-DVR)를 제시하였다. 제안된 시스템은 Z-소스 인버터(ZSI)와 5차, 7차 고조파 그리고 고차 고조파를 억제하기 위한 수동필터(PF)로 구성하였으며, 고조파 및 보상전압 검출을 위하여 동기좌표계의  $i_d-i_q$  이론과 PI제어법을 사용하였다.

3상 전원이 모두 36[%] 전압 sag가 발생하는 상황에 대하여, 제안된 방법과 ESS로 150[v] 배터리 스택을 적용하는 종전의 방법과 비교한 결과, 보상 성능이 거의 일치함을 알 수 있었다. 전압 sag나 swell등 다양한 전원 조건에 대해 제안된 방법의 보상 성능을 검토하기 위해 부하전압의 %THD를 분석하였다. 3상 전압 모두 36[%] 전압sag와 28[%] 전압 swell이 각각 발생하는 경우에는 부하전압의 %THD는 약 4~5[%]정도였다. 반면에 각상이 독립

적으로 전압 swell과 전압 sag이 발생하는 경우에는 %THD가 약 10[%]정도로 5[%]정도 증가됨을 알 수 있었다.

References

- [1] M. J. Newmann, D. G. Holmes, J. G. Nielsen, and F. Blaabjerg, "A dynamic voltage restorer(DVR) with selective harmonic compensation at medium voltage level", IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.41, no.6, pp.1744-1753, 2005.
- [2] J. H. Kim, Y. C. Jung, and Y. C. Lim, "A stand alone type fuel cells micro-source system with a voltage sag compensator", in Conf. Rec. of ICPE'07 (Daegu,Korea), 2007, pp.472-477, in CD-ROM version.
- [3] D. M. Vilathgamuwa, H. M. Wijekoon, and S. S. Choi, "A novel technique to compensative voltage sags in multiline distribution system - the interline dynamic voltage restorer", IEEE Trans. Ind. Electron., vol.53, no.5, pp.1603-1611, 2006.
- [4] Y. Huang, M. Shen, F. Z. Peng, and J. Wang, "Z-source inverter for residential photovoltaic systems", IEEE Trans. Power Electron., vol.21, no.6, pp.1776-1782, 2006.
- [5] V. Soares, P. Verdelho, and G. D. Marques, "An instantaneous active and reactive current component method for active filters", IEEE Trans. Power. Electron., vol.15, no.4, pp.660-669, 2000.
- [6] J. H. Oum, Y. C. Jung, and Y. C. Lim, "Z-source active power filter with a fuel cells source", in Conf. Rec. of ICPE'07 (Daegu,Korea), 2007, pp.467-471, in CD-ROM version.
- [7] J. M. Correa, F. A. Farret, V. A. Popov, and M. G. Simoes, "Sensitivity analysis of the modeling parameters used in simulation of proton exchange membrane fuel cells", IEEE Trans. Energy Conversion, vol.20, no.1 pp.211-218, 2005.
- [8] M. Bongiorno and J. Svensson "Voltage dip mitigation using shunt-connected voltage source converter", IEEE Trans. Power. Electron., vol.22, no.5, pp.1867-1874, 2007.

◇ 저자소개 ◇

정영국 (鄭榮國)

1963년 11월 10일생. 1986년 전남대학교 공대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 대불대학교 융합기술학부 부교수.

Tel : (061)469-1263, Fax : (061)469-1299

E-mail : jyg@mail.daebul.ac.kr