

# 전압sag-swell과 고조파 보상기능을 갖는 Z-소스 전력품질보상시스템

박희재\* 오승열\* 정영국\*\* 임영철\*\*\*  
전자부품연구원\*, 대불대학교\*\*, 전남대학교\*\*\*

## Z-source power quality conditioner with compensation capability of voltage sag-swell and harmonics

\*Hee-Jae Park, \*Seung-Yeol Oh, \*\*Young-Gook Jung, \*\*\*Young-Cheol Lim

\*KETI(Korea Electronics Technology Institute), \*\*Daebul University, \*\*\*Chonnam National University

### ABSTRACT

본 연구에서는 배전계통의 전압 및 전류 품질을 통합적으로 개선할 수 있는 수동필터 연계형 Z-소스 전력품질 보상 시스템을 제안한다. 제안된 시스템의 주안점은 전압의 변동을 보상하는 직렬형 인버터와 고조파를 보상하는 병렬형 인버터에 각각 Z-소스 토폴로지를 적용하는 것이다. 전압 sag와 swell이 발생하는 과도상태에서 제안된 시스템의 성능을 검증하기 위하여 PSIM시뮬레이션을 하여 타당성을 입증하였다..

### 1. 서 론

최근 들어 24시간 동작하는 전력품질에 민감한 장비들의 사용이 증가하고 있으며, 원하지 않는 전력품질 저하로 인해 이들 장비들은 피해를 받으며, 이에 따르는 손해배상을 요구하는 등 전력품질에 대한 관심이 증가되고 있다[1]. 따라서 수용가들 또한 종래의 확실적인 품질로 전력을 공급받아야 했던 수동적인 입장에서 자신이 필요한 품질로 전력을 공급받기 원하는 능동적인 입장으로 바뀌고 있다. 이상의 문제점을 해결하기 위한 방법으로 전력품질보상기[2-3]가 배전계통에 활발히 연구되고 있다. 전력품질보상기는 일반적으로 배전선로에 위치해 효율적으로 선로관리를 하는 것을 주 임무로 하고 있다. 전력품질보상기는 직렬형 인버터와 병렬형 인버터가 직류커패시터 또는 배터리를 공유하는 형태로 구성되며, 선로 상에서 발생하는 전압변동, 고조파 보상, 전력조류 제어 등을 수행할 수 있다.

본 연구에서는 배전계통의 전력 품질을 통합적으로 향상시키기 위한 수동필터 연계형 Z-소스 전력품질보상기를 제시하였다. 제안된 방법은 전압 변동을 보상하기 위해 커플링 변압기로 계통에 직렬 연결된 Z-소스 인버터(ZSI)[4]와 고조파 전류를 보상하기 위해 계통에 병렬로 연결된 ZSI로 구성되어 있다. 고조파를 보상하기 위하여 회전좌표에서의  $i_d - i_q$  이론[5]이 적용되며, 전압보상을 위하여 부하전압과 기준전압의 비교를 위한 PI제어기가 사용되었다. 3상 전원 모두 또는 각각이 sag 및 swell이 발생하는 조건에서도 제안된 방법의 보상능력이 양호함을 PSIM 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

### 2. Z-소스 전력품질보상시스템

그림 1은 본 연구에서 제안된 Z-소스 전력품질보상기를 나

타내고 있다. 제안된 시스템의 전체적인 구조는 종래의 전력품질보상기와 동일하나, 직렬형 인버터와 병렬형 인버터에 Z-소스 토폴로지가 적용되어 있는 점이 다르다.

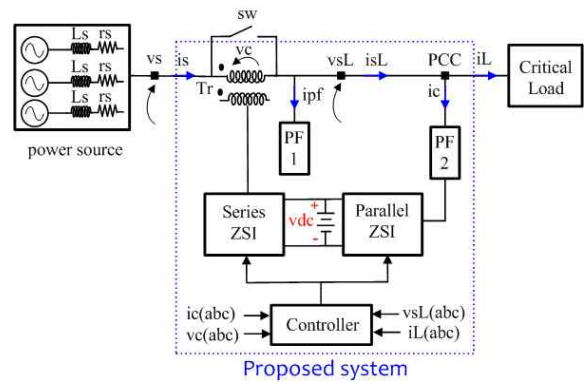


그림 1 제안된 Z-소스 전력품질보상 시스템  
Fig. 1 Proposed Z-source power quality conditioner

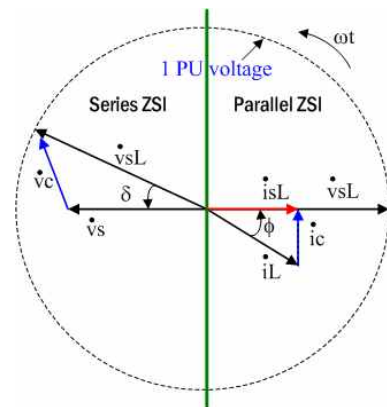


그림 2 전압sag 보상 페이서도  
Fig. 2 Phasor for sag compensation

ZSI는 직류 단에 격자형 L-C네트워크가 있으며 동일 레그의 상하 스위치를 동시에 "ON"하는 shoot-through동작[4]에 의하여 낮은 직류전압을 곧바로 높은 교류전압으로 변환할 수 있는 인버터이다. 그림 1로 나타낸 병렬형 ZSI가 보상전류  $i_c$ 를 주입하는 지점을 전력품질보상기 내의 PCC(Point of Common Coupling)로 설정하였다.

그림 2는 전압 sag가 발생하는 경우, 제안된 전력품질보상기의 보상 페이서도를 나타내고 있다. 여기서, 직렬형 ZSI가 발

생하는 보상전압을  $v_c$ , 병렬형 ZSI가 발생하는 보상전류를  $i_c$ 라 하고, 또한 PCC단의 전압을  $v_{sL}$  그리고 그 전류를  $i_{sL}$ 이라 한다. 그림 1에서 보는 바와 같이, 직렬형 ZSI는 전원 측에 커플링 변압기를 통하여 직렬로 연결되어 전압원 전압 조절기로 동작된다. 또한 병렬형 ZSI는 선로 상에 7고조파 수동필터(PF2)를 통하여 병렬로 연결되며 전류원 전류 고조파 조절기로 동작된다. 제안된 시스템은 바로 이  $v_{sL}$ 을 일정한 정현파 전압으로 제어하며  $i_{sL}$ 을  $v_{sL}$ 과 동상이며 정현파로 제어하는 것을 목적으로 하고 있다. 이상을 그림 2의 보상 페이서도와 (1),(2)로 나타낼 수 있다.

$$v_s + v_c = v_{sL} \quad (1)$$

$$i_L + i_c = i_{sL} \quad (2)$$

### 2.1 직렬형 ZSI 제어

전압 sag 및 swell 보상기능을 갖는 직렬형 ZSI는 그림 1의 ESS(Energy Storage System)  $V_{dc}$ 를 공통으로 단상 인버터 브리지 3개를 연결한 구조로 되어있다. 보상전압  $v_c$ 에 함유되어 있는 PWM 주파수를 제거하기 위해 직렬형 ZSI의 출력 단에는 L-C필터를 설치한다. 직렬형 ZSI와 병렬로 연결된 수동필터(PF1)는 보상 후, PCC단의 전압  $v_{sL}$ 에 남아있는 고조파를 제거하는 고역통과필터(HPF)기능을 한다. 그림 3은 보상 후 PCC단의 전압  $v_{sL}$ 를 일정 제어하기 위한 PI제어기의 블록 선도를 나타내고 있다.

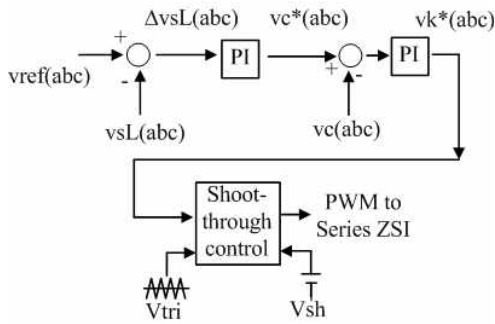


그림 3 직렬형 ZSI의 보상전압 검출 및 제어 알고리즘  
Fig. 3 Compensation voltage detection and control algorithm of the series ZSI

### 2.2 병렬형 ZSI 제어

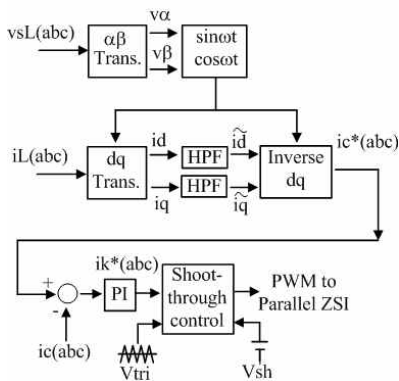


그림 4 병렬형 ZSI의 고조파 검출 알고리즘  
Fig.4 Harmonics detection and control algorithm of the parallel ZSI

그림 1에서 나타낸 병렬형 ZSI의 역할은 PCC에 연결되는 여러 종류의 부하들로부터 발생한 고조파가 PCC 앞단으로 전달되지 못하도록 하는 것이다. 특히 ZSI는 7고조파에 동조된 L-C필터(PF2)와 직렬 연결되어 있다. 이 7고조파 동조 LC필터는 비선형 부하로부터 발생하는 심각한 7고조파 전류성분을 제거하는 목적으로 설치되며 이때 ZSI는 단독으로 동작되는 되는 것에 비하여 보상 용량(특히 보상직류전압  $V_{dc}$ )이 매우 저감된다. 그림 4는 병렬형 ZSI에 적용하기 위한 고조파 전류 검출  $i_d - i_q$  알고리즘을 나타내었다.

## 3. 결과 및 고찰

본 연구에서 제시된 시스템의 보상성능을 검토하기 위해 PSIM시뮬레이션을 하였으며, 표 1에 시스템 파라미터를 제시하였다. 민감한 부하로서의 비선형 부하는 3상 전압형 다이오드 정류기를 사용하였다.

표 1 PSIM시뮬레이션의 파라미터  
Table 1 Parameters of PSIM simulation

Line voltage	$v_s = 311 V_{peak}/60\text{Hz}$	
Line impedance	$L_s = 0.05\text{mH}, r_s = 0.5\Omega$	
Proposed system	ESS	Battery stack $V_{dc} = 150\text{V}$
	Z-network	$L = 160\mu\text{H}, C = 1000\mu\text{F}, f_r = 400\text{Hz}$
	Shoot-through control	Simple boost control, $f_{sw} = 10\text{kHz}$
	Series ZSI	Switching device : IGBT Single-phase bridge $\times 3$
Parallel ZSI	Switching device : IGBT Three-phase bridge	
Critical load	$L_{ac} = 1.5\text{mH}, C_d = 1000\mu\text{F}, R_L = 20\Omega$	

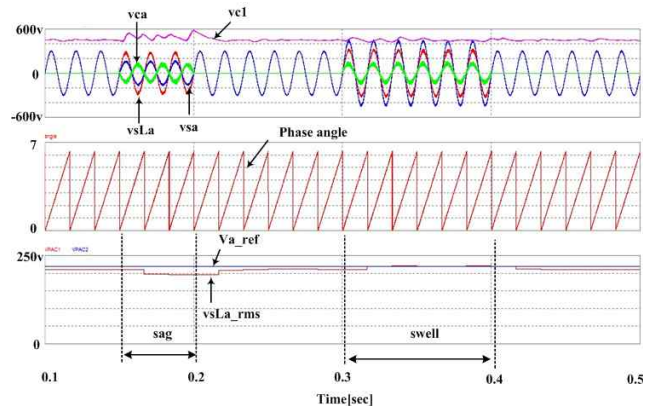


그림 5 sag와 swell이 발생한 경우에 대한 직렬형 ZSI의 보상성능  
Fig. 5 Compensation performance of series ZSI for voltage sag and swell

그림 5는 3상 전압에 sag 40%와 swell 40%가 순차적으로 발생한 경우 a상에 대한 직렬형 ZSI의 전압 보상 결과만을 나타내었다. Z-네트워크의 캐패시터 전압  $V_{c1}$ 는 전 구간동안 450v를 유지하고 있으나, sag가 발생한 경우에는 약간 맥동이 증가된 모습을 보인다. 보상 성능의 관점에서 살펴보면, sag나 swell에 무관하게 PCC에서의 a상 전압  $v_{sLa}$ 은 311V(1P.U)

를 잘 유지하고 있음을 알 수 있다.

또한 그림 5의 중간 과정은 전압을 보상하기 전과 후에 대하여 360도 주기를 갖는 삼각파의 위상각 정보를 나타내고 있다. 보상 전후에도 PCC 전압의 위상각은 서로 일치하고 있다. 그림 5의 아래 과정은 a상 전압의 기준 실효치  $V_{a-ref}$ 와 PCC에서의 a상 부하전압 실효치  $V_{sLaRMS}$ 을 비교한 것이다.  $V_{sLaRMS}$ 의 값이 1주기 정도 지연되어 나타나는 이유는, 1주기 정보를 이용하여 그 다음 주기의 실효치가 연산되기 때문이다.

그림 6은 그림 5와 동일한 조건에서 병렬형 ZSI에 의해 PCC단의 고조파 전류를 보상한 결과이다. PCC단에서의 a상 부하전류  $i_{La}$ 이 왜형되어 있더라도, sag와 swell에 무관하게 PCC단의  $i_{sLa}$ 은 정현파 전류를 잘 유지함을 알 수 있다. 그림 6의 아래 과정은 이 경우에 대한 a상 부하전류  $i_{La}$ 의 d축 전류  $i_{Ld}$  및 q축 전류  $i_{Lq}$ , 그리고 PCC단의 a상 전류  $i_{sLa}$ 의 d축 전류  $i_{sLd}$  및 q축 전류  $i_{sLq}$ 를 각각 나타내고 있다.

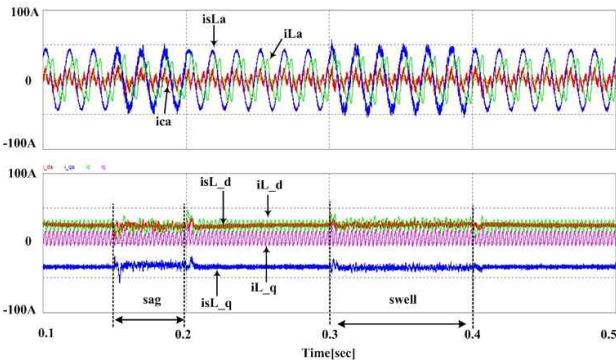


그림 6 sag와 swell이 발생한 경우에 대한 병렬형 ZSI의 보상성능  
Fig. 6 Compensation performance of shunt ZSI for voltage sag and swell

표 2 보상된  $v_{sL}$ 의 %THD

Table 2 %THD of the compensated  $v_{sL}$

%THD	a-phase	b-phase	c-phase
No sag/swell	1.1	1	0.95
a,b,c-phase : sag 35%	4.5	5.1	4.5
a,b,c-phase : swell 30%	4.2	4.3	5.3
a-phase : sag 40%	12.5	9.5	10.9
b-phase : swell 35%			
c-phase : sag 25%			

표 2는 sag나 swell등의 전압변동이 발생하는 경우, 제안된 방법으로 보상된 PCC상의  $v_{sL}$ 의 %THD를 나타낸 것이다. 최대치 311V에 대해 abc상 전압 모두 35% sag와 30% swell이 발생하는 경우에는 보상된  $v_{sL}$ 의 %THD는 대략 4-5%정도이다. 그러나 각상에 독립적으로 swell과 sag가 발생된 경우는 %THD는 약 11%정도이며, 이는 각상이 전압이 모두 동일한 크기의 sag나 swell로 발생하는 것보다 %THD가 더 악화됨을 알 수 있다. 그림 7은 보상 후 PCC 전압  $v_{sLa}$ , 보상후 PCC 전류  $i_{sLa}$  및 부하전류  $i_{La}$ 에 대한 FFT 스펙트럼을 나타내고

있다. sag 및 swell이 발생하더라도, 제안된 시스템에 의해 보상된 전압 및 전류는 60Hz 성분만을 유지함을 알 수 있다.

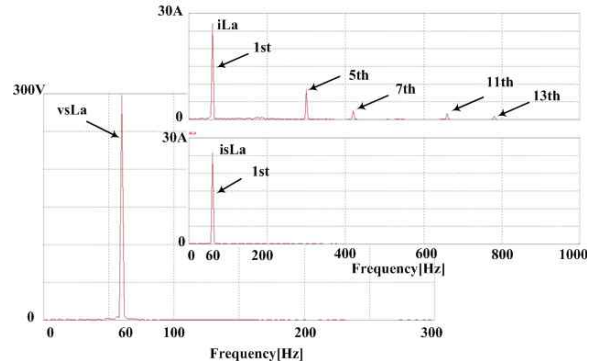


그림 7 보상후 PCC 전압  $v_{sLa}$ , 보상후 PCC전류  $i_{sLa}$  및 부하전류  $i_{La}$ 에 대한 FFT 스펙트럼

Fig. 7 FFT spectra of the compensated  $v_{sLa}$ , compensated  $i_{sLa}$  and  $i_{La}$

#### 4. 결론

본 연구에서는 민감한 부하의 전압 및 전류에 대해 통합적으로 전력품질을 개선하기 위한 수동필터 연계형 Z-소스 전력품질보상시스템을 제시하였다. ZSI의 simple boost control에 의해 낮은 배터리 150V으로 고조파 및 전압 변동에 대한 보상분을 직접 발생시킬 수 있었다. 전원전압에 40% sag와 40% swell이 순차적으로 발생하는 경우에도 PCC에서의 부하전압을 311V (1[P.U])로 제어하였으며, 동시에 PCC단의 전원전류 전압과 동상의 정현파로 제어하였다.

이 논문은 교육과학기술부(지역거점연구단육성사업/바이오하우징연구사업단) 및 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

#### 참고 문헌

- [1] 정영국, "연료전지 전원을 갖는 3상 Z-소스 동적 전압 보상기", 한국조명전기설비학회 논문지 제22권 제10호, pp.41-48, 2008
- [2] G. Janjun, X. Dianguo, L. Hankui, and G. Maozhong, "Unified power quality conditioner(UPQC) : the principle, control and application", in proc., PCC-Osaka'02, 2002, pp.80-85.
- [3] M. Aredes, R.M. Fernandes, "A dual topology of unified power quality conditioner : the iUPQC", in proc., EPE'09, (Barcelona, Spain), 2009, pp.1-10 <CD-ROM>.
- [4] Fang Zheng Peng, "Z-Source Inverter", IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.39, No.2, pp.504-510, 2003.
- [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.