3상 하이브리드 Z-소스 UPQC (Z-HUPQC)시스템

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

Three-Phase Hybrid Z-Source UPQC (Z-HUPQC)System

*Seung-Yeol Oh, **Young-Gook Jung, ***Young-Cheol Lim
*KETI(Korea Electronics Technology Institute), **Daebul University, ***Chonnam National University

ABSTRACT

전압과 전류에 민감한 장치설비에 대해 통합적으로 전력품질을 개선할 수 있는 3상 UPQC(Unified Power Quality Conditioner)는 전압의 변동을 보상하는 직렬형 인버터와 전류의 고조파를 보상하는 병렬형 인버터로 구성된다. 본 연구의 주안점은 종전의 3상 UPQC의 직렬형 인버터와 병렬형 인버터에 Z-소스 토폴로지를 적용하는 것이다. Z-소스 인버터의 shoot-through제어를 위해서는 simple boost control을 사용하였으며 shoot-through제어에 의하여 Z-소스 네트워크의 직류전압이 제어 가능하였다. 과도상태와 정상상태에서 전압과 전류 조건에 대한 PSIM시뮬레이션에 의해 제안된 시스템의 타당성을 확인할 수 있었다.

1. 서 론

최근 24시간 연속 동작하는 컴퓨터 제어기기, 최첨단 의료기기, 반도체 제조 자동화 장비 등 전력품질에 매우 민감한 장비들의 사용이 증가하고 있다. 이들 장비들은 매우 짧은 전압 sag나 고조파 등에도 치명적인 결과를 초래할 수도 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 UPQC(Unified Power Quality Conditioner)[1,2]가 배전계통에 활발히 연구되고 있다. UPQC는 일반적으로 배전선로에 위치해 효율적인 선로관리를 하는 것을 주 임무로 하고 있다. UPQC는 직렬형 인버터와 병렬형 인버터가 직류커패시터 또는 배터리를 공유하는 형태로 구성되며, 선로 상에서 발생하는 전압변동, 고조파 보상, 전력조류 제어 등을 수행할 수 있다.

본 연구에서는 이와 같은 종래의 UPQC의 직병렬 인버터에 Z-소스 토폴로지[3,4]를 적용한 3상 하이브리드 Z-소스 UPQC (Z-HUPQC)를 제시하였다. 제시된 방법은 전압 변동을 보상하는 직렬형 Z-소스 인버터(ZSI)와 고역통과필터(HPF) 그리고 고조파 전류를 보상하는 병렬형 Z-소스 인버터(ZSI)와 7고조파에 동조된 수동필터[5]등 하이브리드 구조로 되어져 있다. 고조파를 보상하는 병렬형 ZSI를 위하여 i_d-i_q이론[6]이 적용되며, 전압보상을 위한 직렬형 ZSI는 부하전압과 기준전압의 비교에 의한 PI제어를 적용하였다. 3상 전원 모두가 sag 및 swell이 발생되는 조건하에서도 제안된 방법은 보상성능이 우수함을 PSIM 시뮬레이션에 의하여 확인 할 수 있었다.

2. 3상 Z-HUPQC 시스템

그림 1은 본 연구에서 제안된 3상 Z-소스 하이브리드 UPQC (Z-HUPQC)를 나타내고 있다. 제안된 시스템의 전체적인 구조는 일반적인 UPQC와 동일하나, 직렬형 인버터와 병렬형 인버터가 Z-소스 토폴로지로 구성되어 있는 점이 다르다. Z-소스 인버터는 직류 단에 격자형 LC네트워크가 있으며 동일 레그의 상하 스위치를 동시에 "ON"하는 shoot-through동작[3,4]에 의하여 직류 단의 낮은 전압을 활용하여 곧바로 높은 교류전압으로 변환할 수 있는 인버터이다. 그림 1에서 보는 바와 같이 병렬형 ZSI가 보상전류i_c를 주입하는 지점을 UPQC내의 PCC(Point of Common Coupling)로 본 연구에서는 설정하고 있다.

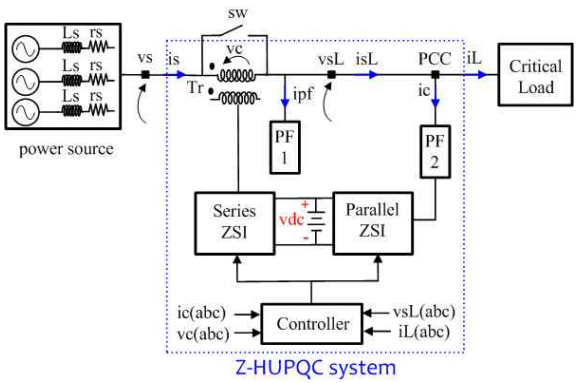

그림 1 제안된 Z-HUPQC 시스템
Fig. 1 Proposed Z-HUPQC system

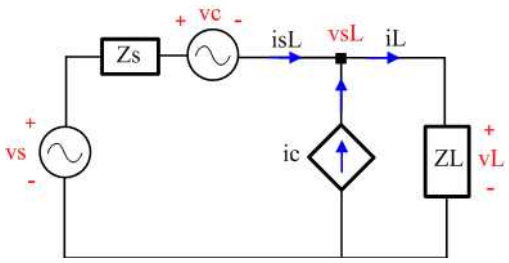

그림 2 UPQC의 등가회로
Fig. 2 Equivalent circuit of UPQC

그림 2는 UPQC의 등가회로를 나타내고 있다. 여기서, 직렬

형 ZSI가 발생하는 보상전압을 v_c, 병렬형 ZSI가 발생하는 보상전류를 i_C라 하고, 또한 PCC의 바로 앞단의 전압을 v_{sL} 그리고 전류를 i_{sL}이라 한다. 그림 2에서 보는 바와 같이, 직렬형 ZSI는 전원 측과 직렬로 연결되어 전압원 형태의 전압 조정기로 동작하며, 병렬형 ZSI는 선로 상에 병렬로 연결되어 전류원처럼 동작하여 전류 고조파의 조절기로 동작된다. Z-HUPQC는 바로 이 v_{sL}를 일정한 전압으로 제어하며 i_{sL}을 v_{sL}과 동상이며 정현파로 제어하는 것을 목적으로 하고 있다. 이상을 그림 3의 보상 페이서도와 식(1),(2)로 나타낼 수 있다.

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

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

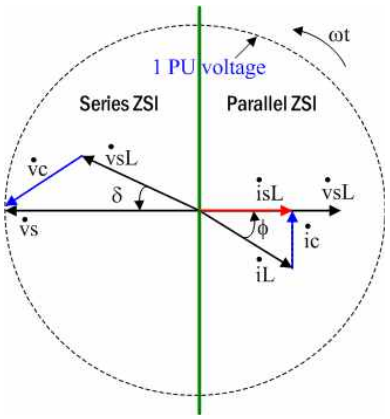

그림 3 보상 페이서도
Fig. 3 Compensation phasor diagram

2.1 직렬형 ZSI 제어

그림 4는 전압 sag나 swell등을 보상하기위한 전압조절기로 동작하는 3상 Z-직렬형 ZSI를 나타내고 있으며, ESS(Energy Storage System)를 공통으로 하여 단상 인버터 브리지 3개를 연결한 구조이다. 여기서 직렬형 ZSI의 출력 LC필터는 보상전압v_c에 있는 PWM 스위칭 주파수를 제거하기위한 것이다. 직렬형 ZSI와 병렬로 연결된 수동필터(PF1)는 보상 후의 부하전압v_{SL}과 전원전류i_{sL}에 잔류되어 있는 고조파를 흡수하는 고역통과필터(HPF)이며 표 1에 파라미터를 나타내었다. 그림 5은 부하전압v_{sL}를 일정하게 제어하기 위한 PI제어 블록선도를 나타내고 있다.

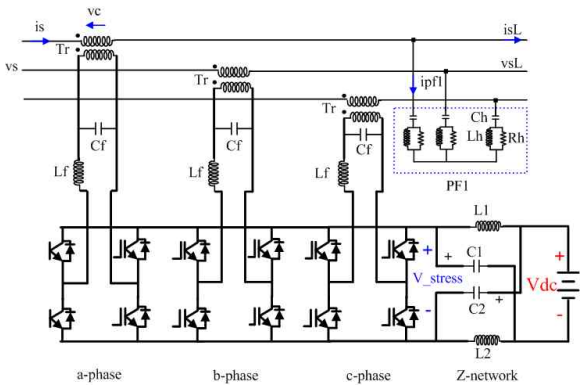

그림 4 직렬형 ZSI와 수동필터 PF1
Fig.4 Series ZSI and passive filter PF1

표 1 수동필터 PF1의 파라미터
Table 1 Parameters of passive filter PF1

C_h	300uF
L_h	0.26mH
R_h	3Ω

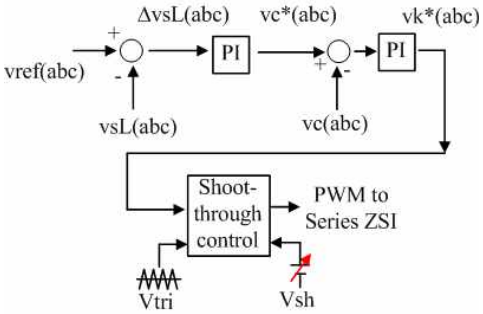

그림 5 직렬형 ZSI의 보상전압 검출 알고리즘
Fig. 5 Series ZSI and its compensation voltage detection algorithm

2.2 병렬형 ZSI 제어

그림 6에 Z-소스 토폴로지를 갖는 하이브리드 병렬형 인버터를 나타내었다. 이 인버터의 역활은 PCC에 연결되는 여러 종류의 부하들로부터 PCC앞단으로 고조파가 전달되지 못하도록 하는 것이다. 특히 이 인버터는 7고조파에 동조된 LC필터로 PCC와 연결되어 있다. 이 7고조파 동조 LC필터는 3상 비선형 부하로부터 발생하는 심각한 7고조파 전류성분을 제거하기 위한 것이며 따라서 이와 연결된 병렬형 ZSI는 단독으로 동작되는 되는 것에 비하여 보상용량이 감소된다. 그림 7은 병렬형 ZSI에 적용한 i_d-i_q이론에 의한 고조파 전류 검출 알고리즘을 나타내었다.

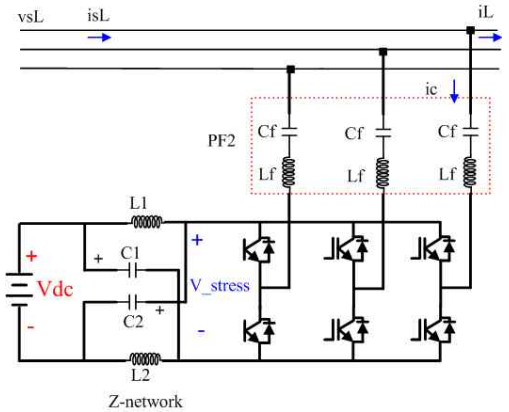

그림 6 병렬형 ZSI와 수동필터 PF2
Fig.6 Parallel ZSI and passive filter PF2

표 2 수동필터 PF2의 파라미터
Table 2 Parameters of passive filter PF2

C_f	57.6uF
L_f	2.5mH
Tuned frequency	419Hz

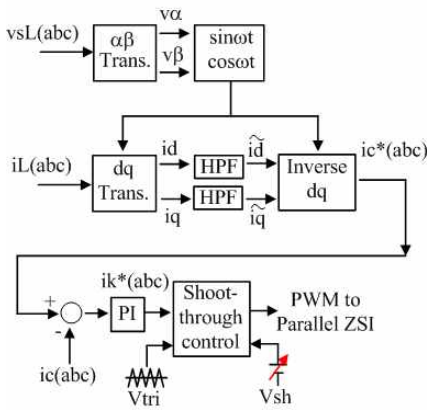

그림 7 병렬형 ZSI의 고조파 검출 알고리즘
Fig.7 Parallel ZSI and its harmonics detection algorithm

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 연구에서 제시된 시스템의 유용성을 검토하기위해 PSIM 시뮬레이션을 수행하였으며 표 3에 시스템 파라미터를 제시하였다. 민감한 부하로서의 비선형 부하는 3상 전압형 다이오드 정류기를 사용하였다.

표 3 PSIM시뮬레이션의 파라미터
Table 3 Parameters of PSIM simulation

Line voltage		v_s=311v_{peak}/60Hz
Line impedance		L=0.05mH, R=0.5Ω
Z-HUPQC	ESS	Battery stack 150v
	Z-network	L=160uH, C=1000uF, f_r=400Hz
	Shoot-through control	Simple boost control M=0.55, V_{sh}=0.6, f_{sw}=10kHz
	Series ZSI	Switching device : IGBT Single-phase bridge ×3
		LC FIlter : C=10uF, L=1mH, R=5Ω,
	Parallel ZSI	Switching device : IGBT Three-phase bridge
Non linear load (Diode rectifier)		L_{ac}=1.5mH, C_d=1000uF, R_L=20Ω

그림 8은 V_{sh}의 변화에 대한 V_{c1}를 나타내는 그래프이다. V_{sh}의 값은 삼각파 캐리어의 피크치에 대한 비율을 의미하고 있다. 일반적으로 V_{sh}의 변화에 따른 V_{c1}는 선형적 비례를 하고 있으며 본 연구에서는 V_{dc}=150v에 대해 V_{sh}을 0.6으로 설정하였으며 따라서 V_{c1}는 450v를 얻을 수 있었다.

그림 9는 모든 상에 sag 56%와 swell 44%가 연속적으로 발생하는 경우에 대한 직렬형 ZSI의 전압 보상 결과를 나타내었다. V_{c1}는 전 구간동안 450v를 유지하고 있으나 sag가 발생한 경우에는 약간 증가된 맥동을 보인다. 보상 성능의 관점에서 살펴보면, sag나 swell에 무관하게 PCC에서의 부하전압v_{sL}은 311v 기준의 1PU를 잘 유지하고 있다.

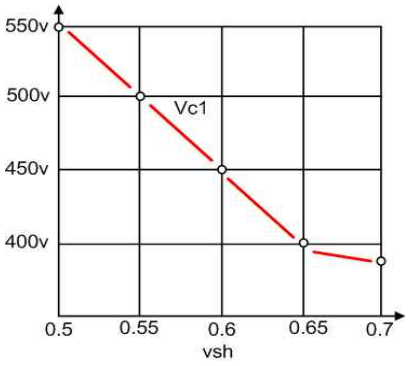

그림 8 V_{sh}변화에 따른 Z-네트워크의 V_{c1}
Fig. 8 V_{c1} variation of Z-network with different V_{sh}

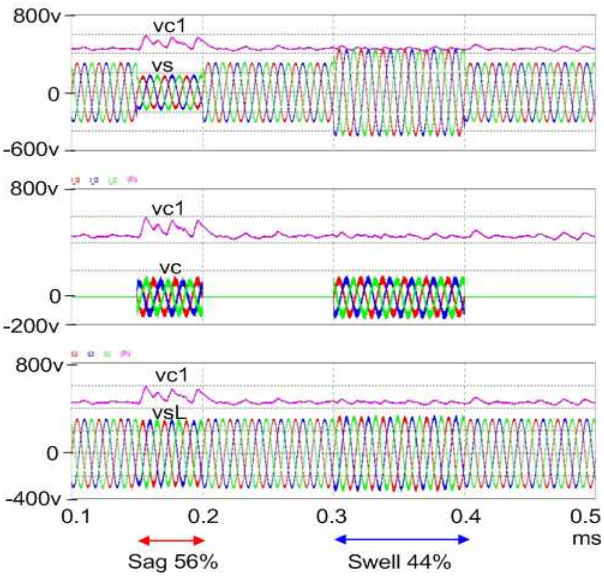

그림 9 직렬형 ZSI의 보상결과
Fig.9 Compensation results of series ZSI

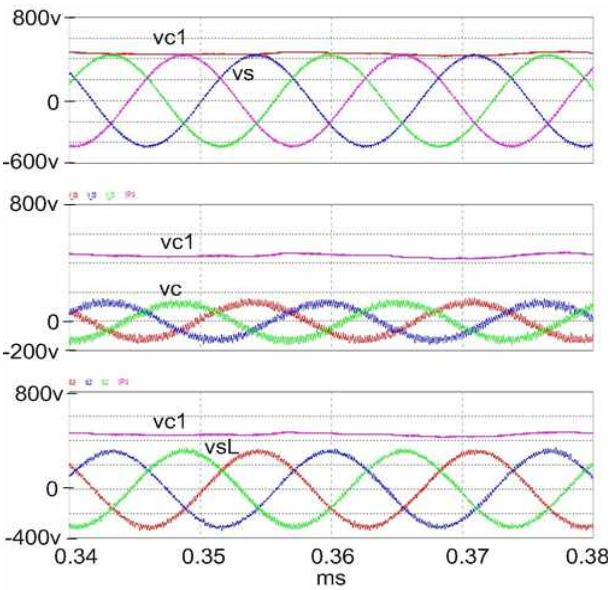

그림 10 직렬형 ZSI의 자세한 파형(swell 44%)
Fig.10 Detail waveforms of series ZSI(swell 44%)

그림 10은 그림 9의 swell 44% (0.3s-0.4s)부분을 확대한 파형이다. v_s가 450v로 증가되더라도 보상전압v_c는 140v정도의 보상전압을 발생하여 v_{sL}을 평형된 311v 정현파로 유지됨을 보이고 있다. 그림 11은 그림 9와 동일한 조건에서 병렬형 ZSI에 의해 고조파 전류를 보상한 결과이다. sag와 swell에 무관하게 PCC앞단의 i_{sL}은 평형된 3상 정현파를 유지하고 있다. 그림 12는 그림 11의 swell 44% (0.3s-0.4s)부분만을 확대한 것이다. 병렬형 ZSI에서 발생된 i_C에 의하여 PCC앞단의 i_{sL}은 평형된 3상 정현파로 제어될 뿐 만 아니라 v_{sL}과 동상임을 보여주고 있다.

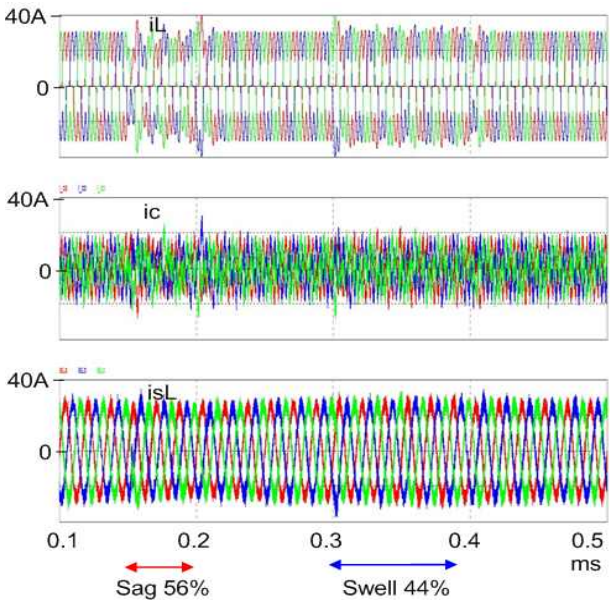

그림 11 병렬형 ZSI의 보상결과
Fig.11 Compensation results of parallel ZSI

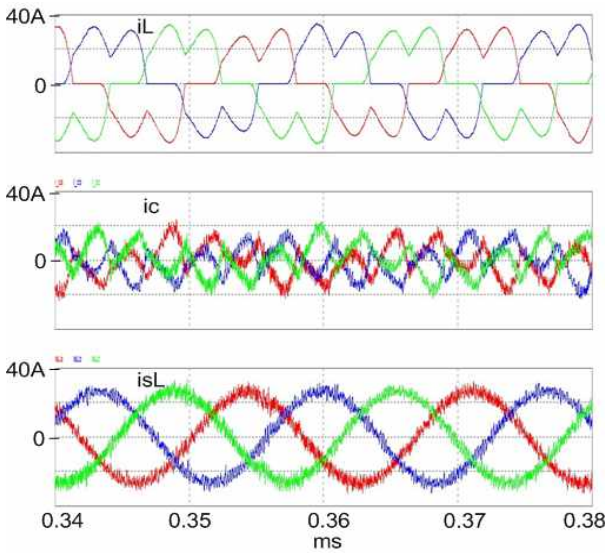

그림 12 병렬형 ZSI의 자세한 파형(swell 44%)
Fig.12 Detail waveforms of parallel ZSI(swell 44%)

4. 결 론

민감한 부하의 전력품질을 개선하기위해 본 연구에서는 종전의 3상 UPQC에 Z-소스 토폴로지를 적용한 3상 Z-소스 하이브리드 UPQC(Z-HUPQC)를 제시하였다. Simple boost control에 의해 Z-소스 인버터(ZSI)의 shoot-through제어 전압을 캐리어 피크치에 대해 60%유지하는 경우, 낮은 바테리 150v만으로도 높은 보상전압 450v를 직접 발생시킬 수 있었다. 전원전압에 sag가 56% 발생하고 곧바로 44% swell로 전환되는 경우에도 PCC에서의 부하전압은 311v 에 대한 1PU를 유지하였으며, 또한 PCC앞단의 전원전류 역시 정현파로 제어 가능하였다.

This study was supported by the Research Center for Stabilization of Power Systems with Large Distributed Generations at Chonnam National University in KOREA

참 고 문 헌

[1] S. A. O. Silva, P. F. Donoso-Garcia, P.C. Cortizo, and P. F. Seixas, "A three-phase line interactive UPS system implementation with series-parallel active power line conditioning capabilities". IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.38, no.6, pp.1581-1590, 2002.

[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] Y. Huang, M. Shen, F. Z. Peng, and J. Wang, "Z-source inverter for residental photovoltaic systems", IEEE Trans. Power Electron., vol.21, no.6, pp.1776-1782, 2006.

[4] J. H. Oum, Y. G. Jung, and Y. C. Lim, "Z-source active power filter with a fuel cells source", in Conf. Rec. of ICPE'07 (Daegu,Korea), 2007, in CD-ROM version.

[5] S. Srianthumrong, and H. Akagi, "A medium-voltage transformerless ac/dc power conversion system consisting of a diode rectifier and a shunt hybrid filter", IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.39, no.3, pp.874-882,2003.

[6] 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.

[7] J. H. Kim, Y. G. 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, in CD-ROM version.