

Z-소스 교류 컨버터 토폴로지의 동적 전압 보상기

(Dynamic Voltage Restorer(DVR) with a Z-Source AC Converter Topology)

임영철* · 정영국**

(Young-Cheol Lim · Young-Gook Jung)

Abstract

This paper proposes a new type of voltage sag-swell compensator based on a Z-source AC-AC converter. The proposed topology employs a pulse width modulation (PWM) Z-source AC-AC converter along with a injection transformer. A safe commutation strategy is used to eliminate voltage spikes on switches without snubber circuit. During a voltage sag or swell, the proposed system controls the adding or missing voltage and maintains the rated voltage of sinusoidal waveform at the terminals of the critical loads. The proposed system is able to compensate 20[%] voltage swell and is also able to compensate 60[%] voltage sag. In order to control and detect the voltage sag and swell, the peak voltage detection method is applied. Also, the operating principles of the proposed system are described, and a circuit analysis is provided. Finally, PSIM simulation and experimental results are presented to verify the proposed concept and theoretical analysis.

Key Words : Z-source converter, Voltage sag-swell compensation, Dynamic voltage restorer(DVR)

1. 서 론

반도체 제조공장 자동화와 같은 설비나 디지털 정보 기기 그리고 의료기기 등은 전압 sag와 swell(전원전압 60[Hz] 주파수를 기본으로 8.3[ms]-1[min]기간 동안 부족전압 및 과전압이 되는 현상)의 전압 변동과 전압 왜형 등의 전압 품질[1]에 매우 민감하다. 특히 이들 장비들은 24시간 연속적으로 동작하는 경우가

많기 때문에 높은 신뢰도의 전원을 필요로 하며, 안정된 전압공급은 원가 절감과 생산성 향상에 지대한 영향을 미치고 있다. 전압 변동에 관한 문제는 일반적으로 무정전 전원장치(un-interruptible power supply : UPS)와 동적 전압 보상기(dynamic voltage restorer : DVR)[1-2,8,10]에 의하여 해결 가능하다. 대용량의 배전계통의 다양한 전압변동을 순간적으로 보상하는 DVR은 배전계통에 직렬 변압기를 통하여 연결되며, 전 전압 보상법을 사용하는 소형 전원계통에 적용되는 UPS와 비교하여 볼 때, 개별부하별로 설치할 경우 비용과 효율 면에서 많은 문제점을 가지고 있으며[3], 전압 변동분의 부족분만을 보상하는 DVR은 보상 용량을 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다.

* 주저자 : 전남대학교 전기공학과 교수
** 교신저자 : 대불대학교 융합기술학부 부교수
Tel : 061-469-1263, Fax : 061-469-1353
E-mail : jyg@mail.daebul.ac.kr
접수일자 : 2010년 3월 22일
1차심사 : 2010년 3월 23일
심사완료 : 2010년 7월 1일

일반적으로 DVR은 유효전력을 다루기 때문에 별도 에너지 저장장치(energy storage system : ESS)를 필요로 한다[4-7]. ESS로는 커패시터, 배터리, 초전도 코일, 플라이 휠 등이 있으나 보통 배터리 스택이 많이 이용되며 ESS를 이용하여 전압변동이 발생하는 짧은 순간에 교류 보상전력을 방출한다. 배터리를 사용하는 방법은 부하의 급변에도 안정적인 보상전원의 확보라는 관점에서는 유리하나, 카드늪과 수은, 납과 같은 독성이 강한 중금속을 포함하고 있기에 특별한 방법을 사용하여 폐기하지 않으면 심각한 환경 오염문제를 일으킨다. 특히 이 방법은 교류 보상전압에 해당되는 고전압의 배터리 스택으로부터 전압형 인버터를 통해 교류 보상전압을 곧바로 발생하거나, 저압의 배터리 스택의 전압을 직류 부스트 컨버터를 거쳐 승압한 후, 이를 전압형 인버터를 통해 고압의 교류 보상전압을 간접적으로 발생하는 방법이 있다. 또 다른 방법으로 저전압의 교류 보상전압을 배전계통과 직렬 연결된 변압기의 권선비를 조절하여 승압하는 방법도 있으나 이는 변압기의 부피와 손실이 증가되는 문제점이 발생된다.

본 연구에서는 충전의 전압형 PWM인버터를 사용하지 않고 에너지 저장장치로서 배터리가 필요하지 않는 Z-소스 토폴로지를 갖는 교류 컨버터[6-7]의 DVR을 제안한다. 제안된 Z-소스 컨버터 토폴로지의 DVR은 Z-소스 컨버터의 동작 원리를 바탕으로 하고 있으며 shoot-through기간과 스위칭 순서에 따라서 Z-소스 네트워크의 인덕터와 커패시터의 에너지를 조절 가능하다. 이 원리를 이용하면 전원 전압과 같은 주파수를 갖는 동상의 전압이나 역상의 전압을 발생 가능하며 또한 이들의 전압을 승압 또는 강압할 수 있다. 제안된 시스템의 타당성을 검증하기 위하여 PSIM시뮬레이션을 수행하였으며, DSP 제어기(TMS320F2812) 기반의 실험 시스템을 제작하였다. 전압 sag가 60[%]로 심하게 발생하는 경우와 swell이 20[%] 발생하는 경우에 대하여 제안된 시스템을 적용하였다. 그 결과 전압 sag와 swell에 해당되는 보상전압을 제안된 시스템은 ± 3 [%]의 보상 에러율로 발생하였으며, 또한 부하 전압을 3.5[%]이하의 %THD를 갖는 정현파형으로 유지할 수 있었다.

2. 이 론

2.1 시스템 구성과 원리

그림 1은 제안된 Z-소스 교류 컨버터 토폴로지의 DVR을 나타내고 있다. 제안된 시스템은 입력전원 v_i 부분, Z-소스 교류 컨버터[6-7], L_f-C_f 필터회로와 배전계통에 보상전압 v_{com} 을 주입하기 위한 결합 변압기 그리고 보상 전압 v_{com} 에 의하여 정현파의 일정전압으로 유지되는 부하전압 v_o 부분으로 구성된다. 제안된 시스템 중에서 Z-소스 교류 컨버터는 전원 계통에서 발생하는 전압 변동 분을 검출하여 결합 변압기를 통하여 전압 변동 분을 보상하는 역할을 담당하고 있다.

전체 시스템은 양방향 공통 이미터 결합 전력용 스위치(S_{1a}, S_{1b} 과 S_{2a}, S_{2b})의 온 오프 상태에 따라 교류 보상 에너지의 저장과 방출이 이루어지는 교류 Z-소스 네트워크(L_1, L_2 과 C_1, C_2)와 보상전압 v_{com} 의 스위칭 노이즈 성분을 제거하기 위한 L_f-C_f 필터 그리고 v_{com} 을 계통에 주입하기 위한 결합 변압기(1 : 1)로 구성되어 있다. DVR용 결합 변압기는 누설 인덕턴스가 매우 적도록 설계되어야 하며, 본 연구에서는 변압기의 전압 주입방향은 전력계통의 극성과 반대방향(가극성)으로 한다.

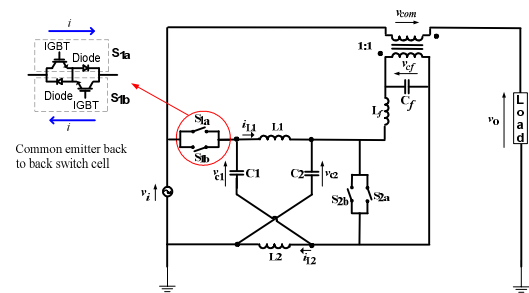


그림 1. 제안된 Z-소스 교류 컨버터 토폴로지의 동적 전압 보상기

Fig. 1. Proposed DVR with a Z-source ac converter topology

그림 2는 제안된 시스템에 의하여 전원 전압 v_i 를 이용하여 v_i 와 동상의 전압을 강압하는 원리를 스위칭 패턴을 이용하여 나타내고 있다. 그림 2를 살펴보면

safe-commutation 방법을 갖는 제안된 컨버터의 DVR 동작은 두 가지 모드로 구분됨을 알 수 있다. 전원 전압 $v_i(t) > 0$ 인 조건에서는 (이 기간 동안을 stage 1이라 한다) 스위치 S_{1b} 와 S_{2a} 가 턴 온되는데, S_{2a} 는 commutation을 위하여 턴 온되며, S_{1b} 는 전류의 연속 흐름을 위하여 턴 온된다. S_{1a} 와 S_{2b} 는 데드 타임을 가지고 상보적으로 변조된다. 만약 전원 전압 $v_i(t) < 0$ 인 기간 동안에는 (이 기간 동안을 stage 2라 한다), 스위치 S_{1a} 와 S_{2b} 는 턴 온되는데, S_{1a} 는 commutation을 목적으로 턴 온되며, S_{2b} 는 전류의 연속 흐름을 위하여 턴 온된다. 또한 S_{1b} 와 S_{2a} 는 데드 타임을 가지고 상보적으로 변조된다.

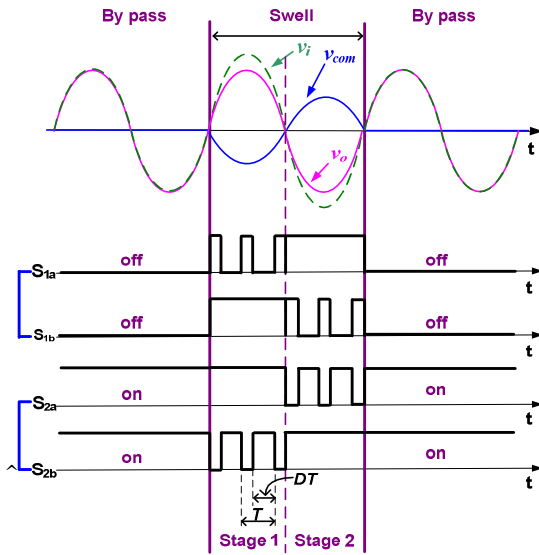


그림 2. Safe commutation를 고려한 swell 전압 스위칭 방법

Fig. 2. Switching commutation strategies for voltage swell compensation

그림 1에서 나타낸 Z-소스 네트워크의 인덕터 L_1, L_2 과 커패시터 C_1, C_2 는 각각 동일한 L 과 C 를 갖기 때문에 Z-소스 네트워크는 대칭적인 조건을 갖고 있다. 데드 타임 효과를 고려하지 않는 경우, 제안된 Z-소스 교류 컨버터는 스위칭 주기에 대하여 두 가지 스위칭 state를 갖는다. 그림 4는 state 1과 state 2를 나타내고 있으며 각각은 다음을 만족한다.

$$i_{L1} = i_{L2} = i_L \tag{1}$$

$$v_{c1} = v_{c2} = v_c \tag{2}$$

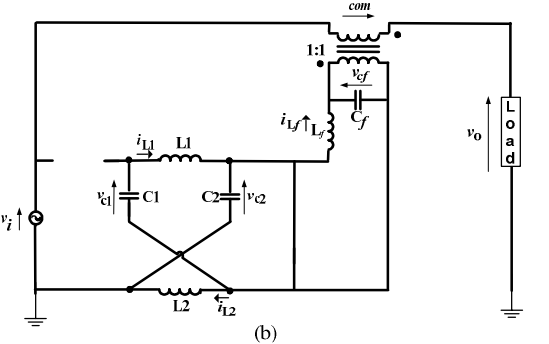
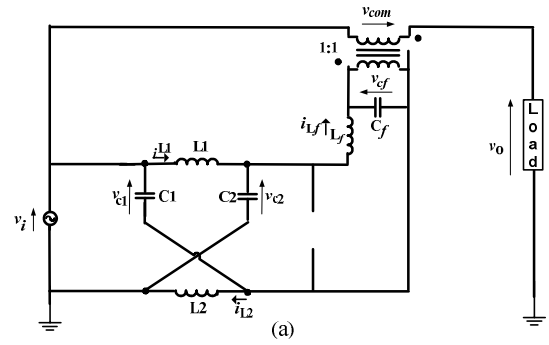


그림 3. 제안된 Z-소스 교류 컨버터의 동작상태 (a) state 1; (b) state 2

Fig. 3. Operation states of the proposed Z-source ac converter (a) state 1; (b) state 2

그림 3 (a)에서 나타낸 state 1의 상태는 $(1-D)T$ 동안 이루어지고, 여기서 T 는 그림 2에서 나타낸 스위칭 주기를 의미하며 이때 각 상태에 대한 방정식은 식 (3)으로 표현된다.

$$L \frac{di_L}{dt} = v_i - v_c \tag{3}$$

그림 3 (b)로 나타낸 state 2는 DT 동안에 이루어지며, 이때 각 상태에 대한 방정식은 식 (4)로 표현된다.

$$L \frac{di_L}{dt} = v_c \tag{4}$$

식 (3)과 식 (4)로부터 평균 방정식은 식 (5)와 같이

된다.

$$L \frac{di_L}{dt} = (1-D)(v_i - v_c) + D \cdot v_c \quad (5)$$

그림 4는 듀티비 D에 따른 필터 커패시터 전압 v_{cf} 의 게인(v_{cf}/v_i)[11-12] 변화를 나타내고 있으며, 두 가지 동작 영역이 있음을 보여준다. $D < 0.5$ 인 조건에서, 제안된 Z-소스 교류 컨버터는 입력전압 v_i 와 동일 주파수이며 동상인 출력 전압 v_o 를 승압할 수 있으며, 이 경우 전압 sag를 보상할 수 있다. 또한 $D > 0.5$ 인 조건에서는 v_i 와 동일한 주파수이며 역상인 v_o 를 승압 또는 강압할 수 있으며 이때는 전압 swell을 보상할 수 있다.

이때 부하 전압 v_o 는 식 (6)과 같이 표현되며

$$v_o = v_i + v_{com} = v_i + v_{cf} = v_i + \frac{1-D}{1-2D} v_i$$

or $\frac{2-3D}{1-2D} v_i \quad (6)$

이로부터 그림 5의 부하전압 게인 K는 식 (7)로 결정된다.

$$K = \frac{v_o}{v_i} = \frac{2-3D}{1-2D} \quad (7)$$

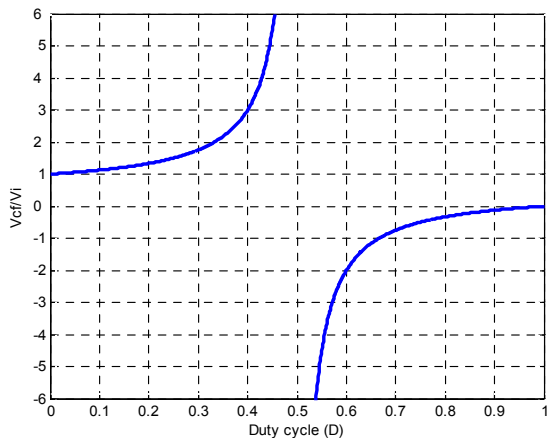


그림 4. Z-source converter의 듀티비(D)에 따른 필터 커패시터의 전압게인(v_{cf}/v_i)
Fig. 4. Voltage gain (v_{cf}/v_i) of filter capacitor versus duty cycle (D) of Z-source converter

그림 5는 듀티비(D)에 따른 부하전압 게인(K)을 나타내고 있다. $D < 0.4$ 인 조건 동안 Z-소스 교류 컨버터의 출력전압은 전압sag를 보상할 수 있으며, $D > 0.67$ 인 경우에는 전압 swell을 보상할 수 있다.

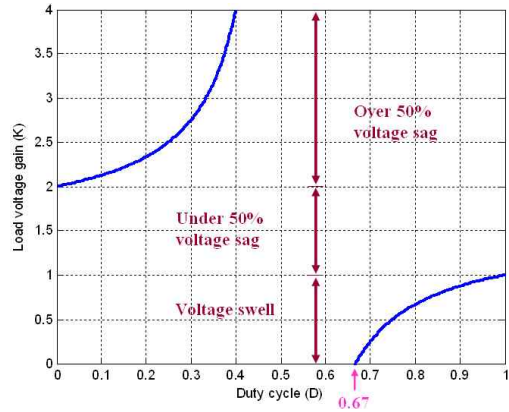


그림 5. 듀티비(D)에 따른 부하전압의 게인(K)
Fig. 5. Load voltage gain(K) versus the duty cycle(D)

2.2 전압 검출 및 제어기 구성

전압 검출은 전압 sag보상기의 동 특성을 결정하는 중요한 요소이며, 입력 및 출력 전압의 크기는 PWM 듀티비와 보상의 시점을 결정한다. 따라서 빠르고 정확한 전압 검출은 제안된 시스템이 전압 sag-swell 보상기로서 역할을 하기 위해 매우 중요하다. 다양한 전압 검출법들이 전압 보상기법에 대하여 적용되어져 왔으나, 본 연구에서는 전압 sag-swell을 검출하고 제어하기 위하여 입력 및 출력 전압의 피크치를 필요로 하는 간단한 피크치 검출법[17]을 사용한다. 그림 6은 전압 피크치 검출법을 나타내고 있으며, 사인과 신호는 필터를 거쳐 90° phase shifter 회로에 보내진다. 검출된 출력신호의 피크치의 값은 식 (8)에 의하여 계산된다.

$$V_{o(peak)} = \sqrt{V_o^2 \sin^2(\omega t) + V_o^2 \cos^2(\omega t)} \quad (8)$$

그림 7은 전압 제어를 위한 PI제어기를 나타내며, 항상 정현파로 유지되어야 할 부하 전압 기준치와 피

드백 되어지는 실제 부하 전압과의 차이가 PI제어기의 입력으로 사용된다. PI제어기의 출력은 그림 5에 있는 K이며 이를 이용하여 듀티비 D는 식 (9)로 계산 된다.

$$D = \frac{K-1}{2K-3} \quad (\text{with } D < 0.5) \quad (9)$$

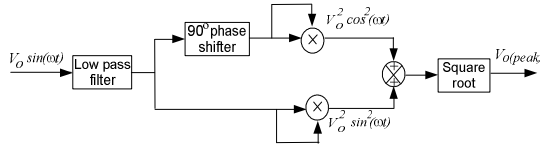


그림 6. 피크치 검출법
Fig. 6. Peak value detection method

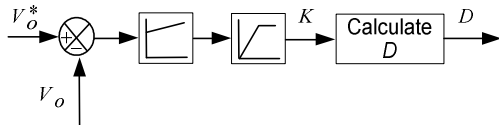


그림 7. PI전압 제어기
Fig. 7. PI voltage controller.

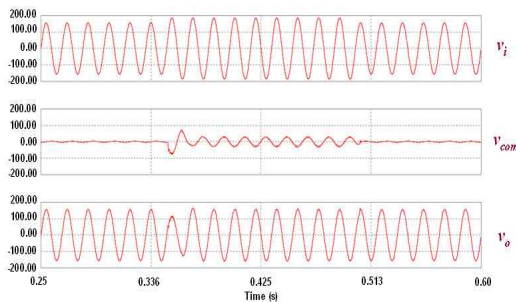


그림 8. 20[%] 전압 swell에 대한 시뮬레이션 결과
Fig. 8. Simulation results for 20[%] voltage swell

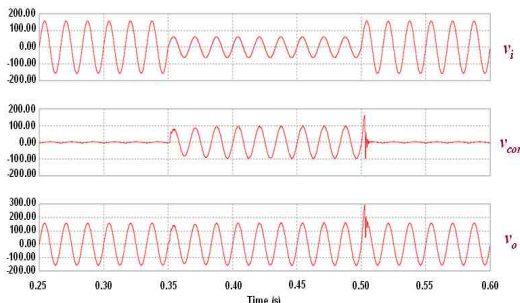


그림 9. 60[%] 전압 sag에 대한 시뮬레이션 결과
Fig. 9. Simulation results for 60[%] voltage sag

그림 8과 그림 9는 전원전압에 20[%] 전압 swell과 60[%] 심한 전압 sag이 각각 발생한 경우에 대한 시뮬레이션 결과이다. 두 경우 모두 약간의 과도상태를 제외하면 양호한 보상결과를 보임을 알 수 있다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 10은 DSP(digital signal processor) TMS320F2812 제어기 기반의 제한된 Z-소스 교류 DVR 시스템이며, DSP제어기, IGBT 드라이버 회로, 2개의 검출회로, 변압기, 그리고 전원단으로 구성되었다. 부하에 이상적인 정현파 전압을 공급하기 위하여, NF사의 ES2000 단상 전원공급기가 사용되었으며, 자체 프로그램에 의하여 sag 및 swell등을 발생할 수 있다.

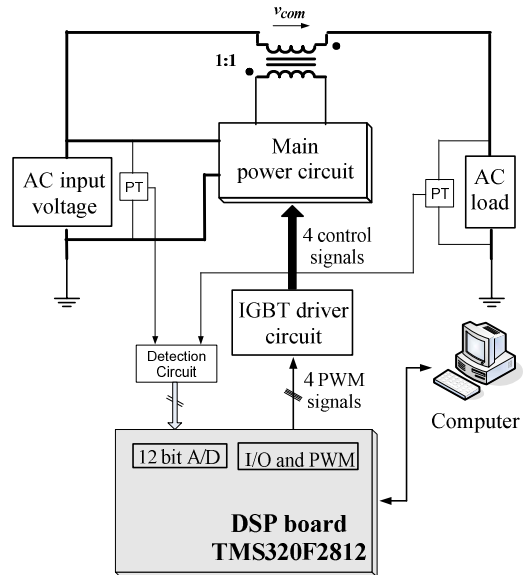


그림 10. TMS320F2812-DSP를 기반 실험 시스템의 블록 다이어그램

Fig. 10. Block diagram of experimental system based on a TMS320F2812-DSP

또한 입력 및 출력 전압 검출은 LEM사의 LV-25P 전압센서에 의하였으며, 특히 출력 부하 전압 센서는 그림 7의 PI제어기를 통하여 출력 부하전압을 110[Vrms]로 유지하는 역할을 한다. 표 1에는 실험에

사용된 파라미터를 나타내고 있으며, Z-소스 네트워크의 $L_1=L_2$ 는 1[mH], $C_1=C_2$ 는 3.3[μ F], 출력필터의 L_f 와 C_f 는 각각 1[mH], 10[μ F]이며 스위칭 주파수는 20[kHz] 그리고 부하는 100[Ω]이 사용되었다.

표 1. 실험 시스템의 파라미터
Table 1. Parameters of Experimental System

Normal AC input voltage(v_i)		110[Vrms]
Z-source network	$L_1=L_2$	1 [mH]
	$C_1=C_2$	3.3 [μ F]
Transformer ratio (additive polarity)		1 : 1
Switching frequency(f_{sw})		20 [kHz]
Dead time for commutation		0.5 [μ s]
L-C filter	L_f	3 [mH]
	C_f	10 [μ F]
Load (R)		100 [Ω]

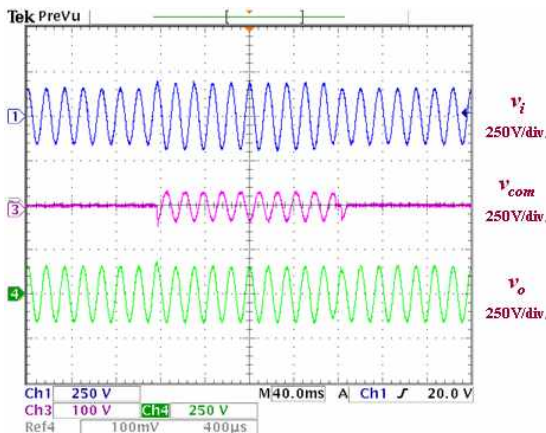


그림 11. 20[%] 전압swell에 대한 실험결과
(250[V]/div., 40[ms]/div.)
Fig. 11. Experimental results for 20[%] voltage swell(250[V]/div., 40[ms]/div.)

그림 11은 전원전압 155[Vpeak](110[Vrms]) /60 [Hz]에 대해 20[%] 전압 swell이 발생된 경우에 대해, 제안된 시스템에 의한 보상 결과를 나타내었다. Swell이 발생한 분량만큼 제안된 시스템은 보상전압 v_{com} 을 잘 발생하고 있으며, 따라서 전원조건과 무관하게 부하전압 v_o 는 일정하게 유지하고 있음을 알 수 있다.

그림 12는 60[%]정도 심하게 전압 sag가 발생된 경우에 대한 보상 결과를 나타낸다. 제안된 시스템은 보상전압을 잘 발생하고 있으며, 따라서 부하전압은 sag가 발생되기 전의 정격상태로 유지되고 있다. 그림 13은 그림 11과 그림 12와 동일한 조건에 대한 과도상태의 보상 성능을 보인 것이다. 제안된 시스템의 보상전압 연산을 위한 알고리즘에 식 (8)과 같은 1주기 연산 부분이 포함되기 때문에 보상된 전압에는 보상의 지연에 따른 스파이크가 발생한다. 이는 한 주기에 대해 128개 구간으로 나누어 연산하는 moving average filter와 같은 신호처리 알고리즘에 의하여 해결 가능 하리라 생각된다.

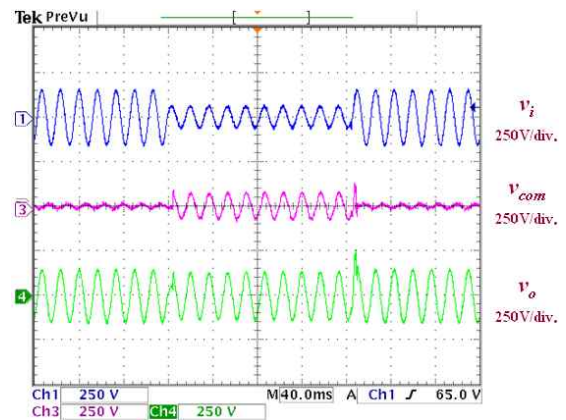
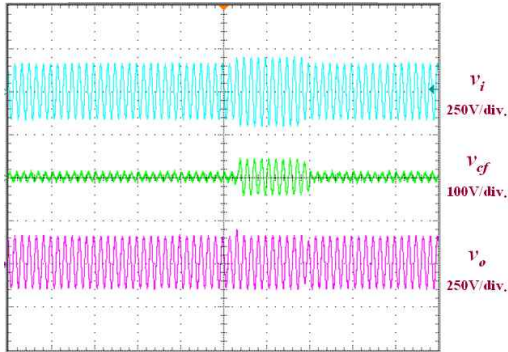
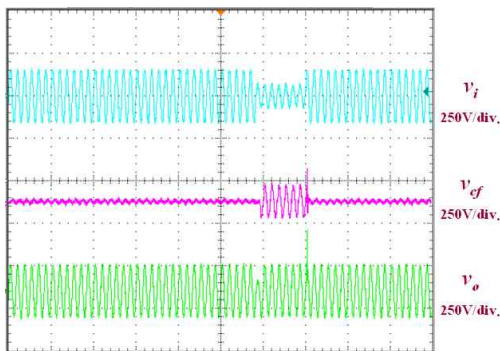


그림 12. 60[%]전압sag에 대한 실험결과
(250[V]/div., 40[ms]/div.)
Fig. 12. Experimental results for 60[%] voltage sag(250[V]/div., 40[ms]/div.)

그림 14는 입력전압의 변화에 대하여 보상된 부하전압의 총고조파 왜형률[%] (total harmonics distortion : %THD)을 측정 한 결과이다. 식 (10)에서 보는 바와 같이, 일반적으로 임의 파형의 %THD가 0[%]인 경우에는 그 파형은 왜형이 전혀 없는 이상적인 정현파로 되며, THD가 커질 수록 왜형이 심해져 감을 나타낸다. 여기서 H_1 은 기본파의 크기이고(상용 전원의 경우, 기본파 주파수는 60[Hz]), H_k 는 k번째 고조파의 크기이다. 그림 14를 살펴보면 110[Vrms]의 경우에 %THD가 낮으며, 125[Vrms]에서 %THD는 높은 값을 보인다.



(a) 20[%] voltage swell



(b) 60[%] voltage sag

그림 13. 과도상태에 대한 실험결과
(250[V]/[div.], 100[ms]/[div.])

Fig. 13. Experimental results for transient states
(250[V]/[div.], 100[ms]/[div.])

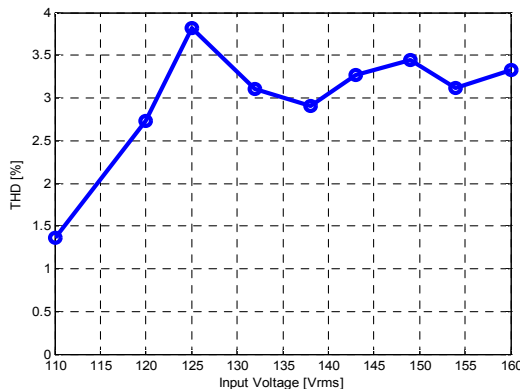


그림 14. 입력전압의 변화에 대해 보상된 출력전압의 측정된 THD[%]

Fig. 14. Measured THD[%] of the compensated output voltages according as different input voltages

그러나 130[Vrms] 이상에서는 3~3.5[%] 범위의 양호한 %THD를 유지하고 있다.

$$\%THD = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} |H_k|^2}}{H_1} \times 100 \quad (10)$$

4. 결 론

본 연구에서는 직접 교류변환 Z-소스 컨버터 토폴로지의 동적 전압 보상기를 제안하였다. 제안된 Z-소스 교류 컨버터 토폴로지의 DVR은 Z-소스 컨버터의 동작 원리를 바탕으로 하고 있으며, 전압 swell과 sag에 대한 보상능력을 가지고 있다. 제안된 시스템은 배터리 스택과 큰 용량의 커패시터와 같은 에너지 저장장치를 사용하지 않기 때문에 시스템의 크기를 줄일 수 있다. 또한 연속적인 전류를 공급받기 위하여 스너머 회로없이 safe commutation기법을 사용하였다.

제안된 시스템의 타당성을 검증하기 위하여 PSIM 시뮬레이션을 수행하였으며, TMS320F2812 DSP제어기 기반의 실험 시스템을 제작하였다. 전압 swell이 20[%] 발생하거나 전압 sag가 60[%] 심하게 발생하는 전원조건에 대하여도 제안된 시스템은 보상전압을 ±3[%]의 보상 에러율로 발생하였고, 보상 후의 부하단 전압을 3.5[%]이하의 %THD를 갖는 정현파형으로 유지하였다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

- [1] S. M. Hietpas, M. Naden, "Automatic voltage regulator using an AC voltage-voltage converter", IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 36, no. 1, pp. 33-38, 2000.
- [2] J. Prez, V. Crdenas, L. Morn, "Single-phase AC-AC converter operating as a dynamic voltage restorer (DVR)," in Proc. IEEE IECON'06, 2006, pp. 1938-1943.
- [3] Y. H. Chun, J. W. Kim, J.H. Jeon, "A study on the

- instantaneous voltage drop compensator through the series voltage injection”, The Korea Society for Energy Engineering, vol. 10, no. 4, pp.310-317, 2001.
- [4] D. M. Vilathgamuwa, C. J. Gajanayake, P. C. Loh, and Y. W. Li, “Voltage sag compensation with Z-source inverter based dynamic voltage restorer,” in Proc. IEEE IAS’06, 2006, pp. 2242-2248.
- [5] T. Jimichi, H. Fujita, and H. Akagi, “Design and experimentation on a dynamic voltage restorer capable of significantly reducing an energy-storage element,” in Proc. IEEE IAS’05, 2005, pp. 896-903.
- [6] M. Vilathgamuwa, A. A. D. R. Perera, S. S. Choi, and K. J. Tseng, “Control of energy optimized dynamic voltage restorer,” in Proc. IEEE IECON’99, 1999, pp. 873-878.
- [7] Y. W. Li, P. C. Loh, F. Blaabjerg, and D. M. Vilathgamuwa, “Investigation and improvement of transient response of DVR at medium voltage level,” IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 43, no. 5, pp. 1309-1319, 2007.
- [8] D. M. Lee, T. G. Habetler, R. G. Harley, T. L. Keister, and J. R. Rostron: “A voltage sag supporter utilizing a PWM-switched autotransformer,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 22, no.7, pp.626-635, 2007.
- [9] S. M. Silva, and B. J. C. Filho, “Component-minimized voltage sag compensators,” in Proc. IEEE IAS’02, 2002, pp. 883-889.
- [10] O. C. M. Hernandez, and P. N. Enjeti, “Application of a boost AC-AC converter to compensate for voltage sags in electric power distribution systems,” in Proc. IEEE PESC’00, 2000, pp. 470-475.
- [11] X. P. Fang, Z. M. Qian, and F. Z. Peng, “Single-phase Z-source PWM AC-AC converters,” IEEE Power Electronics Letters, vol. 3, no. 4, pp. 121-124, 2005.
- [12] Y. Tang, C. Zhang, and S. Xie, “Single-phase four switches Z-source AC-AC converters,” in Proc. IEEE APEC’07, 2007, pp. 621-625.
- [13] B. H. Kwon, B. D. Mim, and J. H. Kim, “Novel commutation technique of AC-AC converters”, IEE Proc. Electr. Power Appl., vol. 145, no. 4, July 1998, pp. 295-300.
- [14] P. W. Wheeler, J. Rodriguez, J. C. Clare, L. Empringham, and A. Weinstein: “Matrix converter: A technology review”, IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 49, no. 2, pp. 276-288, 2002.
- [15] H.-Y. Chu, H.-L. Jou, and C.-L. Huang, “Transient response of a peak voltage detector for sinusoidal signals,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 39, no. 1, pp. 74-79, 1992.
- [16] Q. V. Tran, T. W. Chun, J. R. Ahn, and H. H. Lee, “Algorithms for controlling both the DC boost and AC output voltage of Z-source inverter,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 54, no.5, pp.2745-2750, 2007.
- [17] A. Prasai, and D. M. Divan, “Zero-energy sag corrector with reduced device count,” IEEE Trans. Power Electron., vol. 24, no. 6, pp.1646 - 1653, June 2009.

◇ 저자소개 ◇



임영철(任永徹)

1953년 4월 23일생. 1975년 전남대학교 전기공학과 졸업. 1977년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1997년 호주 모나시대학교 Visiting Scholar. 1998~2007년 산업자원부 지정 전남대학교 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터 소장. 현재 전남대학교 전기공학과 교수.
Tel : (062)530-1743
E-mail : yclim@chonnam.ac.kr



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)469-1353
E-mail : jyg@mail.daebul.ac.kr