

Z-소스 전압Sag 보상기

김재현*, 엄준현*, 정영국**, 임영철*
*전남대학교, **대불대학교

Z-Source Voltage Sag Compensator

*J.H. Kim, *J.H. Oum, **Y.G. Jung, and *Y.C. Lim,
*Chonnam National University, **Daebul University

ABSTRACT

본 연구에서는 Z-소스 네트워크를 갖는 순시전압sag 보상기를 제안하였다. 제안된 시스템은 연료전지 스택(fuel cells stack)을 갖고 있는 Z-소스 인버터의 shoot-through제어에 의하여 ac보상전압을 직접 발생한다. PSIM 시뮬레이션에 의하여 sag와 swell이 발생하는 정상상태와 과도상태에서의 제안된 방법의 타당성을 검토하였다.

1. 서론

최근 컴퓨터를 이용한 산업전자 제어장비와 정보기기 그리고 디지털 기기와 같은 비선형 부하에 대한 수요가 증가되고 있다. 이들 비선형 부하는 전원전압의 왜형과 불 평형 그리고 고조파 전류에 대해 매우 민감한 동작 특성을 갖고 있으며, 동시에 관련 계통에 고조파 및 전압 왜형의 발생원이 되기도 한다. 전력 품질을 저하시키는 요인으로는 비선형 부하에서 전원측으로 발생하는 고조파와 전원전압의 왜형 그리고 순간적인 전압 변동(sag 또는 swell)으로 구분할 수 있다. 이상에 대한 문제점들은 순간전압sag 보상기[1,2]로 해결 가능하다.

본 연구에서는 신재생 에너지인 연료전지(fuel cells)[3,4]를 사용하는 Z-소스 인버터[5,6]에 의한 전압sag 보상기를 제안하였다. Z-소스 인버터는 shoot-through에 의하여 저 전압의 연료전지로부터 고전압의 ac보상전압을 곧바로 발생시킬 수 있는 인버터이다. 전원전압에서 sag와 swell이 각각 또는 동시에 발생하는 경우에 대한 PSIM시뮬레이션에 의하여 본 연구의 타당성을 확인할 수 있었다.

2. Z-소스 전압Sag 보상기

그림 1은 제안된 Z-소스 전압sag 보상기의 개요도를 나타내고 있다. 제안된 시스템은 전압sag 보상전압 v_c 를 발생하는 방법에 있어서 종전의 시스템과 차이점이 있다. 즉 종전의 방법은 v_c 를 발생하기 위하여 고전압을 갖는 배터리 스택과 V-소스 인버터가 필요하다. 그러나 제안된 방법은 저 전압의 연료전지 스택으로부터 곧바로 v_c 를 얻어내기 위한 Z-소스 인버터를 전압보상기로 사용하고 있다. 그림 2는 전원전압 벡터와 부하전압 벡터를 각각 V_s 및 V_L 그리고 전원전압의 변동분을

V_x 라 할 때, 그림 1의 보상기에 의해서 V_x 와 전원전류 벡터 I_s 의 고조파 성분을 보상하는 과정을 설명하고 있는 페이지이다. V_s 에 전압강하가 발생되면, V_L 은 전압강하 V_x 가 발생되기 전의 V_s 보다 크기가 작아진다. V_x 와 크기가 같고 방향이 반대인 보상전압 V_c 를 연료전지 Z-소스 인버터가 발생하면, 그림 2에서 보는 바와 같이 V_x 를 V_c 가 상쇄하며 따라서 V_L 은 전압강하 발생 전의 V_s 과 같게 된다. 여기서, 전원전압 v_s 변동이 없는 경우 릴레이는 'on'상태를 유지하고, sag나 swell이 발생되면 릴레이는 'off'가 되어 직렬 변압기를 활성화시킨다.

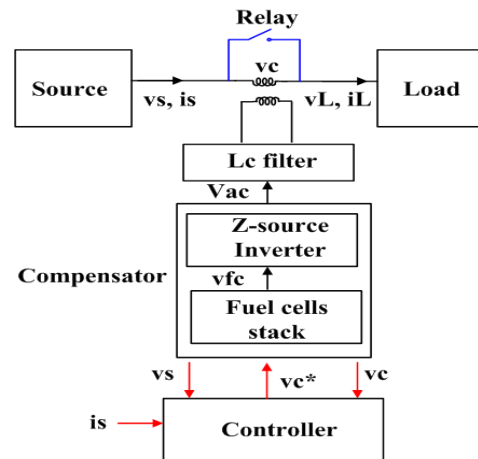


그림 1 Z-소스 전압sag 보상기의 개요도
Fig. 1 Z-source voltage sag compensator

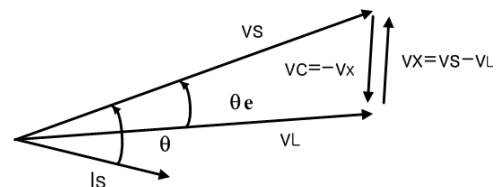


그림 2 보상 과정중의 페이저 다이어그램
Fig. 2 Phasor diagram during sag compensation

그림 3은 단상 Z-소스 인버터의 등가회로를 나타내고 있다. L-C 임피던스 네트워크는 대칭 격자회로이므로

$L_1 = L_2 = L$ 과 $C_1 = C_2 = C$ 이며 $V_{L1} = V_{L2} = V_L$ 과 $V_{C1} = V_{C2} = V_C$ 조건을 만족한다. 그림 3을 살펴보면, 단상 Z-소스 인버터는 sw→1인 active상태와 sw→2인 shoot-through상태로

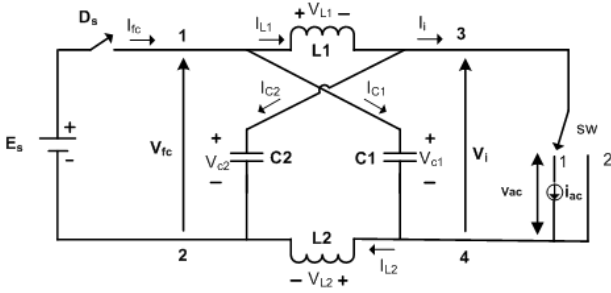


그림 3 간략화된 단상 Z-소스 인버터
Fig. 3 Simplified single-phase Z-source inverter

먼저, active상태는 인버터 dc단에 평균전압 V_d 가 걸리는 상태로서 에너지는 1 과 2 에 충전되며 전압방정식은 다음으로 표현된다. 여기서 V_{fc} 는 연료전지의 dc전압, V_c 는 Z-소스 네트워크 dc전압, V_{ac} 는 Z-소스 인버터의 ac출력전압이다.

$$V_{L1} = V_{fc} - V_{c2} \quad (1)$$

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

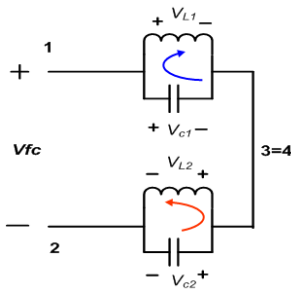


그림 4 shoot-through 상태
Fig. 4 Shoot-through state

그림 4는 shoot-through상태에 대한 등가회로이며 인버터의 동일 Leg내의 positive 스위치와 negative 스위치가 동시에 'on' 되므로 결국 $V_d = 0$ 이다. 이때 1 과 2 에 충전된 에너지는 1 과 2 로 전달되며 전압방정식은 아래와 같다.

$$V_{L1} = V_c \quad (2)$$

$$V_{fc} = 2V_c = V_{c1} + V_{c2}$$

$$V_i = 0$$

인버터 dc단의 피크전압 V_d , boost factor B 그리고 shoot-through duty ratio D_o 는 다음과 같이 active상태의 총 지속시간 T_1 과 총 shoot-through상태 T_0 로 표현 가능하다.

$$V_d = \frac{T_1}{T_1 + T_0} V_{fc} = \frac{1}{1 - 2D_o} V_{fc} = DV_{fc} \quad (3)$$

$$\text{Boost factor } B = \frac{T_1}{T_1 + T_0} = \frac{1}{1 - 2D_o} \geq 1 \quad (4)$$

$$\text{shoot-through duty ratio } D_o = \frac{T_0}{T} \quad (5)$$

따라서 변조지수를 M이라 할 때, V_{fc} 에 대한 Z-소스 인버터의 ac출력전압 V_{ac} 는 (6)으로 구해진다.

$$V_{ac} = M \frac{V_{fc}}{2} = M \frac{V_{fc}}{2} \quad (6)$$

그림 5는 제안된 시스템의 보상 제어 알고리즘을 나타내고 있는데, 단상 pq이론[7,8]과 PI제어기를 기본으로 하고 있다.

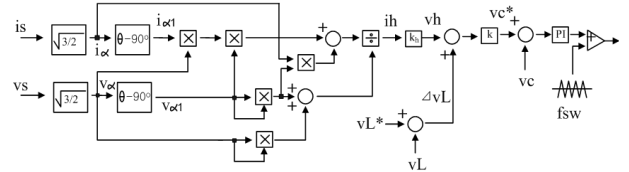


그림 5 보상 및 제어 알고리즘
Fig. 5 Compensation and control algorithm

3. 시뮬레이션 결과

그림 6에는 110v/30A, 3.3kw급의 제안된 시스템의 구체적인 하드웨어를 나타내었다. 전압 보상은 하이브리드 직렬형 Z-소스 액티브 필터를 사용하였으며, 커플링 변압기(1:1)를 통하여 배전계통과 직렬로 연결되고 있다. 전압 보상은 V_s 의 변동에 따른 V_L 의 변동분 ΔV_L 과 i_s 의 고조파를 보상하기 위한 병렬형 수동필터와 직렬형 Z-소스 액티브 필터로 구성된다. PWM변조를 위해서 $f_{sw} = 5.4\text{KHz}$ 삼각파 비교방식을 이용하였다. 보상기의 dc단은 AvistaLab SR-12(0.5kw) PEMFC 스택 [3,4]을 기본 모델로 하였으며, 비선형 부하로는 싸이리스터 제어 정류기를 사용하였다.

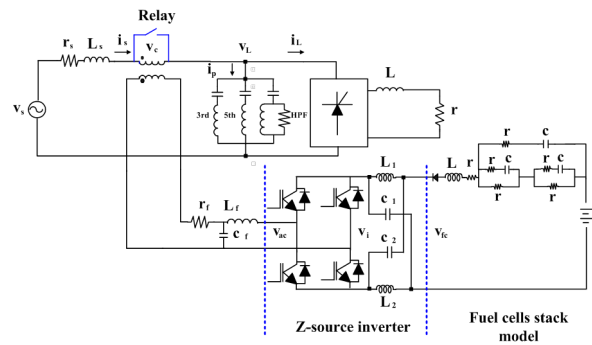


그림 6 Z-소스 전압sag 보상기의 하드웨어
Fig. 6 Hardware of the Z-source voltage sag compensator

그림 7은 V_s 의 피크치에 대한 58%정도의 sag가 V_s 의 2주기 반 동안 발생한 경우에 대한 보상결과이다. V_s 에 sag가 발생한 경우라도 제안된 보상은 V_c 를 순서적으로 발생하기 때문에 sag가 발생되기 전의 V_s 와 거의 동일한 정현파 전압을 유지한다.그림 8은 2주기의 swell이 V_s 에 발생한 경우에 대한 보상 결과이다. 140%정도의 swell이 발생한 경우라도, 보상은 과잉 40% swell전압을 감소시키는 방향으로 V_c 를 발생시키고 있

다. 그림 9는 150% swell과 50% sag가 v_s 에 순차적으로 발생하는 과도상태에 대한 보상결과이다. 과도상태라 할지라도 정상상태와 동일한 보상성능을 보이고 있음을 알 수 있다. 전원 전압 v_s 에 전압변동이 없는 경우에는 Z-소스 네트워크의 콘덴서 전압 v_{c1} v_{c2} 는 200V정도로 유지되고 있으나, v_s 의 swell과 sag에 따라서 v_{c1} v_{c2} 는 변동되고 있다.

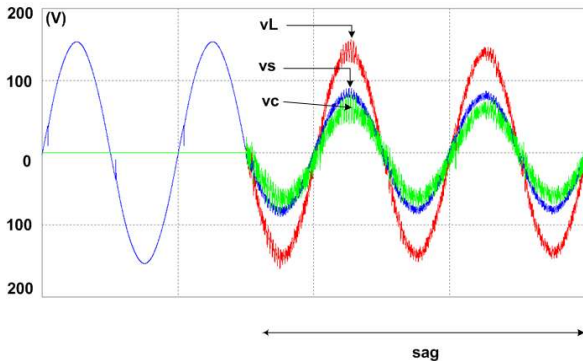


그림 7 58%의 sag에 대한 보상결과
Fig. 7 Compensation result for the 58% sag

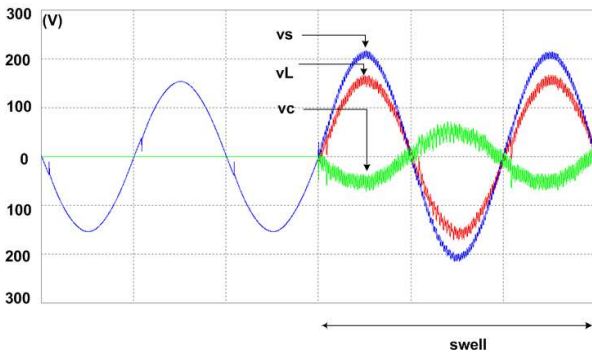


그림 8 140%의 swell에 대한 보상결과
Fig. 8 Compensation result for the 140% swell

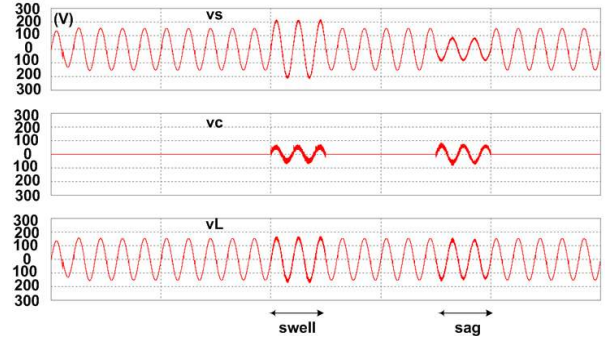
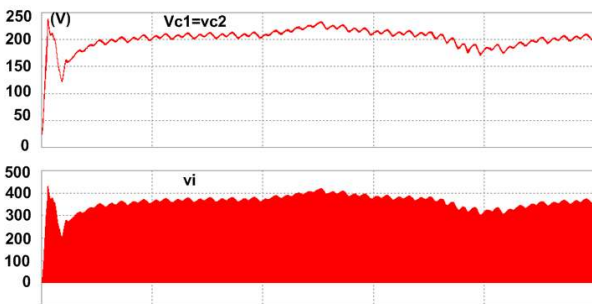


그림 9 swell(150%)와 sag(50%)에 대한 과도상태 보상결과
Fig. 9 Compensation result for the swell(150%) and sag(50%) in transient stats

4. 결론

본 연구에서는 신재생 에너지인 연료전지에 적합한 Z-소스 전압sag 보상을 제안하였다. 제안된 시스템은 보상전압의 피크치에 근접한 고전압의 dc배터리 스택과 V-소스 인버터 대신에 저전압의 PEMFC 스택을 전원으로 하는 Z-소스 인버터를 보상기로 사용하고 있다. 이 방식은 Z-소스 인버터의 shoot-through 제어를 통하여 저전압의 dc전원으로부터 고전압의 ac보상전압을 직접 발생시킬 수 있는 장점이 있다. 전원전압에 대하여 58%의 sag와 140%swell이 발생하여도 제안된 시스템은 보상전압을 순시적으로 발생할 수 있음을 PSIM시뮬레이션에 의하여 확인할 수 있었다.

This research project received supporting funds from the second-stage Brain Korea 21.

참고 문헌

- [1] P.T. Cheng, C.C. Hung, C.C. Pan, and S. Bhattacharya, "Design and implementation of a series voltage sag compensator under practical utility conditions", in Conf. Rec. of IEEE APEC'02, 2002, pp.1061-1067.
- [2] D.M. Vilathgamuwa P.C. Loh, and Y.W. Li, "Voltage sag compensation with Z-source inverter based dynamic voltage restorer", in Conf. Rec. of IEEE IAS'06, 2006, pp.2242-2248.
- [3] P.J.H. Wingelaar, J.L. Duarte, and M.A.M. Hendrix, "Dynamic characteristics of PEM fuel cells", in Conf. Rec. of IEEE PESC'05, 2005, pp.1635-1641..
- [4] Jin-Woo Jung, Min Dai, and Ali Keyhani, "Modeling and Control of a Fuel Cell Based Z-Source Converter," in Conf. Rec. of, IEEE APEC'05, 2005, pp.1112-1118.
- [5] Fang Zheng Peng, "Z-Source Inverter", IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.39, No.2, pp.504-510, 2003.
- [6] P.C. Loh, D.M. Vilathgamuwa, and Y.Li "Pulse width modulation of Z-Source Inverters", IEEE Trans. Power Electron., vol.20, No.6, pp.1346-1355, 2005.
- [7] M.T. Haque, and T. Ise, "Implementation of single-phase pq theory", in Proc. PCC-Osaka'02, 2002, pp.761-765
- [8] M.T. Haque, "Single-phase pq theory", in Conf. Rec. of IEEE PESC'02, 2002, in CD-version