

비선형 부하를 위한 임의의 위상 급변 및 전압제어가 가능한 전력품질 외란 발생기

박성대, 노의철, 김인동, 최남섭*, 전태원**, 김흥근***
 부경대학교, *전남대학교, **울산대학교, ***경북대학교

Power Quality Disturbance Generator with Arbitrary Phase Jump
 and Voltage Control for Nonlinear Load

P.S. Park, E.C. Nho, I.D. Kim, N.S. Choi*, T.W. Chun**, H.G. Kim***

Pukyong National University, *Chonnam National University, **University of Ulsan, ***Kyungpook National

Abstract - This paper deals with a simple structured power quality disturbance generator for nonlinear load devices. The proposed generator can be applied to the performance test of custom power devices. Voltage sag, swell, outage, unbalance and phase jump after outage are provided by the generator. The improving phase jump operating principle of the generator is described and analysed. The usefulness of the generator is verified through simulation.

1. 서 론

전력품질 개선을 위하여 다양한 방안들이 제시되어 사용되고 있으며 정전 및 전압변동에 대응하기 위해 UPS가 대표적으로 사용되고 있다^{[1-2])}. 그런데 이러한 전력품질 개선 장치들의 성능을 테스트하기 위해서는 Sag, Swell, 순간정전 등의 전압 변동을 임의로 발생시켜 줄 수 있는 장치가 필요하다. 기존의 전압변동발생장치로는 PSL사의 sag발생기^{[3])}, Elgar사의 SW5250^{[4])}이 있으나 원래 설정된 sag값에 변동이 생긴다는 문제점과 고가라는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 극복하는 새로운 방식의 전압변동 발생장치가 제안되었으나^{[5-6])} 비선형 부하에서의 위상 급변 기능에 대한 방안은 미흡하다.

본 논문에서는 간단한 구조와 높은 신뢰도를 갖는 새로운 방식의 전압 변동 발생 장치에 비선형 부하에서도 위상 급변기능이 있는 전력품질 외란 발생기와 개선된 전압변동발생장치를 제안하고 그 특성을 파악하고자 한다.

2. 제안한 방식의 회로와 동작원리

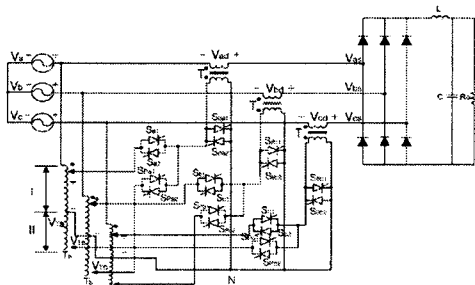


그림 1 제안한 방식의 전력품질 외란 발생기-1
 Fig. 1 Proposed power quality disturbance generator-1

그림 1은 제안한 방식의 위상급변기능이 있는 전력품질

외란 발생기 회로의 일례를 나타낸다. 그림 1의 전압 외란 발생기의 동작 원리를 기술하면 다음과 같다.

2.1 Sag, Swell, Outage 발생

제안한 회로의 sag, swell, outage 발생원리는 참고 문헌(5-6)에서 제시한 원리와 동일하다. 그리고 SCR 사이리스터 스위칭 패턴은 참고문헌(7)에서와 동일하다.

2.2 위상 변위 발생

순간정전 또는 Sag발생시 전압강하와 더불어 위상이 급변하는 경우가 있으므로 이러한 현상을 만들기 위해서 그림1의 각 스위치 동작을 살펴보면 다음과 같다. 우선 그림 1의 회로에서 S_{Pa1} , S_{Pa2} 를 사용하여 원래의 전원전압보다 위상을 지연시킬 수 있다.,를 S_{Pa1} , S_{Pa2} 턴온하면 v_{ad} 에는 v_b 전압이 인가되어 출력전압 v_{ad} 는 v_a 와 v_b 의 합으로 결정된다. 그림 2는 각 상전압의 벡터도를 나타낸다. 그림 2에서

$$v_a = \sqrt{2} V \sin \omega t \tag{1}$$

$$v_b = \sqrt{2} V \sin \left(\omega t - \frac{2}{3} \pi \right) \tag{2}$$

$$v_c = \sqrt{2} V \sin \left(\omega t + \frac{2}{3} \pi \right) \tag{3}$$

라 두면

$$v_a + v_b = \sqrt{2} V \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{3} \right) \tag{4}$$

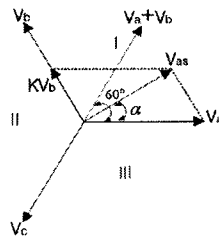


그림 2 각 상전압 벡터도
 Fig. 2 Voltage vector diagram

이 되어 v_a 보다 위상이 지연된 전압을 얻을 수 있다. 유사한 원리로 각 상전압의 크기를 조절하여 α 의 각도 만큼 위상 변위를 발생시킬 수 있다. 가령, v_b 의 K 배 전압을 얻는다고 가정하면,

$$v_{ad} = \pm K v_b \tag{5}$$

$$v_{as} = v_a + v_{ad}$$

$$= \sqrt{2}V\sin\omega t \pm \sqrt{2}KV\sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right)$$

$$= \sqrt{2}V\sqrt{1 \pm K + K^2}\sin(\omega t \pm \alpha) \quad (6)$$

여기서,

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{K\sin\frac{2}{3}\pi}{1 + K\cos\frac{2}{3}\pi}\right) \quad (7)$$

이 되어 크기와 위상이 가변 하는 전압을 발생한다. 식 (6)과 (7)로부터 α 의 변화에 대한 v_{as} 의 크기를 나타내면 그림 3과 같다.

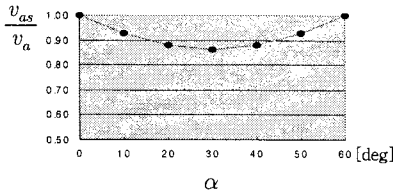


그림 3 위상변위 α 에 따른 전압변동
Fig. 3 Voltage variation with phase jump α

따라서 위상을 가변하기 위해서는 전압의 크기도 변해야 한다는 문제가 있는데, 전압의 크기를 일정하게 유지하기 위한 방안을 모색하면 다음과 같다. 그림 4는 출력 전압을 일정하게 유지하면서 위상지연이 가능한 경우의 각 부분 입출력 전압 벡터도를 나타낸다. a상 출력전압 v_{as} 의 크기는 v_a 와 동일하게 하고 위상은 α 만큼 지연되게 하려면, v'_a 와 v'_c 의 전압을 만들어서 벡터적으로 합하면 된다. 이때 v'_a , v'_c , v_{as} 의 관계는 다음과 같다.

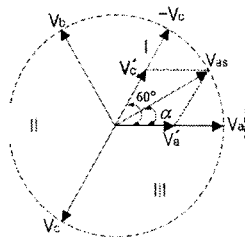


그림 4 입출력 전압 벡터도
Fig. 4 Vector diagram for input and output voltage

$$v_{as} = \sqrt{(v'_a + v'_c\cos60^\circ)^2 + (v'_c\sin60^\circ)^2} \quad (8)$$

$$v'_a = V\cos\alpha - V\frac{\sin\alpha}{\tan60^\circ} \quad (9)$$

$$v'_c = V\frac{\sin\alpha}{\sin60^\circ} \quad (10)$$

여기서 V 는 $v_a \sim v_c$ 의 실효값을 의미한다. 식 (8)-(10)로부터 v_{as} 를 일정하게 유지하면서 α 를 $0^\circ \sim 60^\circ$ 범위에서 가변시 v'_a 와 v'_c 의 크기를 살펴보면 그림 5와 같다.

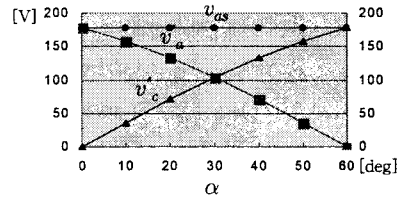


그림 5 위상변위 α 의 변화에 따른 v'_a , v'_c , v_{as}
Fig. 5 v'_a , v'_c and v_{as} with the variation of α

이와 같은 특성을 갖도록 그림 1의 회로를 일부 수정하면 그림 6과 같다. 그림 6에서 T_1 과 T_2 는 3상 슬라 이닥스이며 $S_{0a} \sim S_{0c}$ 는 outage 발생을 위한 것이며 $S_{Ta} \sim S_{Tc}$, $S_{pa} \sim S_{pc}$ 는 식 (8)-(10)을 구현하기 위한 것이다. 그림 6의 회로에서 outage를 발생하려면 $S_{0a} \sim S_{0c}$ 를 턴오프한다. 이때 $S_{Ta} \sim S_{Tc}$, $S_{pa} \sim S_{pc}$, $S_{Ba} \sim S_{Bc}$ 도 모두 오프상태를 유지한다. Outage 종료 후 위상변위된 전압을 출력하고자 하면 T_1 과 T_2 의 2차측 설정전압을 식 (9)와 (10)에 따라 정해두고 $S_{Ta} \sim S_{Tc}$, $S_{pa} \sim S_{pc}$ 를 턴온 $S_{Ba} \sim S_{Bc}$ 를 턴오프한다.

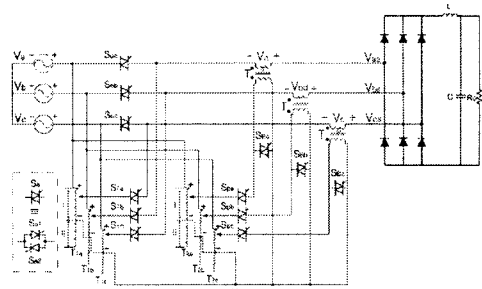


그림 6 제안한 방식의 전력품질 외란 발생기-2
Fig. 6 Proposed power quality disturbance generator-2

3. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 그림 1의 회로와 동일하게 수행 하였으며, 그림 1에서 시뮬레이션에 필요한 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Parameters for the simulation

파라미터	값	파라미터	값
교류 3상전원	220V, 60Hz	부하저항 R_o	18 Ω
변압기 main inductance	0.1H	SCR Bulk resistance	1m Ω
변압기 leakage inductance	323uH	SCR Forward voltage	0.8V
정류기 필터 L	1mH	정류기 필터 C	13600uF

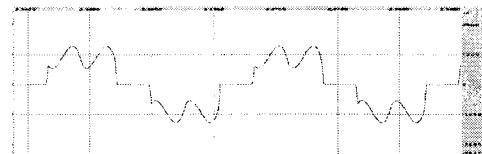


그림 7 위상변위 발생시의 i_a 의 파형
Fig. 7 v_a , v_{ad} and i_a of Phase jump generation

그림 7은 위상급변이 발생한 경우의 a상의 전류를 나타낸다. a상의 전류가 비선형적으로 나온다는 것을 알 수 있다.

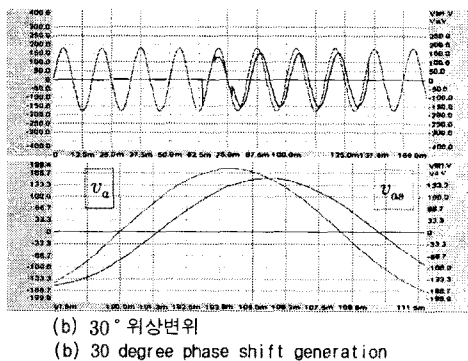
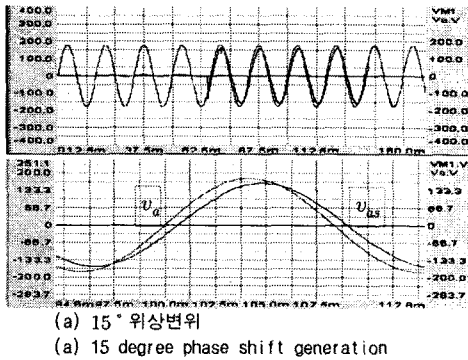


그림 8 위상변위 발생시의 v_a 와 v_{as} 의 파형(그림 1의 경우)
Fig. 8 v_a and v_{as} of Phase shift generation
(In case of Fig. 1)

그림 8은 그림 1의 회로방식으로 정전 발생 후 전압 제한까지 위상이 각각 15°, 30° 지연되는 경우의 파형을 나타낸다. 각 경우에 v_{as} 가 v_a 보다 각각 10%, 14% 감소하였음을 알 수 있다.

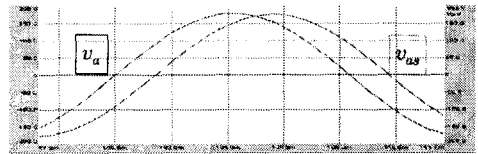
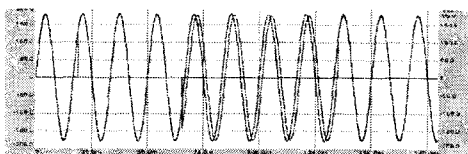
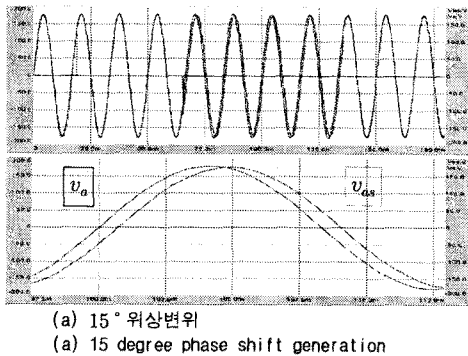


그림 9 위상 변위 발생시의 v_a 와 v_{as} 의 파형(그림 6의 경우)
Fig. 9 v_a and v_{as} of Phase shift generation
(In case of Fig. 6)

그림 9는 그림 6의 방식으로 그림 8과 동일한 조건으로 시뮬레이션한 결과를 나타낸다. 위상변위가 있음에도 불구하고 v_{as} 와 v_a 의 크기가 동일함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 전력품질 개선을 위한 전력품질 개선장치의 성능 테스트를 위한 새로운 방식의 전압변동 발생장치를 제안하였다. 제안한 방식은 비선형 부하에서도 전압 sag, swell, outage는 물론 전압 불평형 및 위상변위도 발생시킬 수 있고 위상변위시 출력전압도 일정하게 유지할 수 있다. 제안한 방식에 대한 시뮬레이션 결과 광범위한 전압변동 발생이 가능함을 확인하였다. 제안한 방식이 갖는 주요 특징을 정리하면 다음과 같다.

- 구조가 매우 간단하여 경제적 구현이 가능하며 효율이 높고 소형 경량화 가능하다.
- 슬라이닥스와 SCR 사이리스터를 사용함으로 경제적이고 신뢰도가 높다.
- 비선형 부하에서도 Sag와 Swell의 크기를 임의로 바꿀 수 있다.
- Outage 및 전압 불평형 발생이 용이하다
- 전압의 위상 변위를 임의로 발생 시킬 수 있으며 전압을 일정하게 할 수도 있고 가변 할 수도 있다.
- 제어가 간단하다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초 전력연구원(R-2005-7-067) 주관으로 수행된 과제임.

[참 고 문 헌]

- [1] 최재호, "전력품질 장애와 대책," 전력전자학회지 5권 1호, pp. 13-18., 2000
- [2] R. S. Weissbash, G. G. Karady, P. G. Farmer, "A combined uninterruptible power supply and dynamic voltage compensator using a flywheel energy storage system," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 16, No. 2, pp. 265-270, April 2001
- [3] Power Standards Lab, "Industrial Power Corruptors-standard power quality disturbance generators." 2003.
- [4] Elgar electronics Co., "Smartwave Swit-ching amplifier operation manual." 2002
- [5] J.W.Lim, K.S.Lee, E.C.Nho, I.D.Kim, T.W.Chun, H.G.Kim, S.S.Lee, "3-Phase Voltage Disturbance for Performance Test of A Flywheel Energy Storage UPS" Proceeding of ICPE'04, pp. 222-225, 2004.
- [6] 이병철, 최성훈, 팽성환, 노의철, 김인동, 전태원, 김홍근, "위상급변 기능이 있는 전력품질 외란 발생기," 전력전자학회 추계학술대회 논문집, pp. 96-100, 2004.
- [7] 박성대, 이병철, 노의철, 김인동, 전태원, 김홍근, "비선형부하특성을 갖는 전력품질 개선장치의 성능시험을 위한 전압변동발생기," 대한전기학회 제37회 하계학술대회 논문집 B부문, pp. 935-936, 2006.