

전력품질 개선장치의 성능시험을 위한 3상 전압변동 발생기의 동작특성 분석

박성대, 노의철, 김인동, 전태원\*, 김흥근\*\*  
 부경대학교, \*울산대학교, \*\*경북대학교

Operating characteristics analysis of 3-phase voltage disturbance generator for the test of custom power devices

S.D. Park, E.C. Nho, I.D. Kim, T.W. Chun\*, H.G. Kim\*\*  
 Pukyong National University, \*University of Ulsan, \*\*Kyungpook National University

**Abstract** - This paper deals with an analysis of SCR thyristor switching pattern for a power quality disturbance generator with phase jump function. 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 phase jump operating principle of the generator is described and analysed. Especially, a proper switching of the SCR thyristors for the proposed generator is important to guarantee the system reliability. Therefore the switching patterns for the thyristors in each made were analysed.

1. 서 론

전력 품질 개선을 위하여 다양한 방안들이 제시되어 사용되고 있으며 정전 및 전압변동에 대응하기 위해 UPS가 대표적으로 사용되고 있다. 최근에는 고전압 대전류 전력제어기기인 Custom Power Devices에 대한 관심이 고조되어 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다 [1-3]. 그런데 이러한 전력 품질 개선 장치들의 성능을 테스트하기 위해서는 새그, 스웰, 순간정전 등의 전원 변동을 임의로 발생시켜 줄 수 있는 장치가 필요한데 기존의 장치는 너무 고가이고 취급하기가 용이하지 않다.

PSL사의 새그 발생기[4]는 전원과 부하 사이에 저항을 직렬로 연결하여 저항에 의한 전압강하를 이용하여 전압의 새그를 얻는 것으로서, 조작이 간편하고 설치가 간단하며 각 상간 전압 불평형을 쉽게 만들 수 있는 장점이 있다. 그러나 저항을 사용하기 때문에 부하가 증가할 때 원래 설정된 새그 값에서 변동이 발생하는 문제점이 있다. 스웰의 발생 범위는 25% 정도로 제한되어 광범위한 스웰을 얻기가 곤란하다.

Elgar사의 SW5250A는 위상 변이 및 서지, 스파크 등의 발생기능도 있으나[5] 새그, 스웰 발생 범위가 적고 가격이 고가이다.

최근 저가이면서 실용적인 새로운 방식의 전압 변동 발생 장치가 제안되었으며[6-7], 제안한 방식은 새그, 스웰, 순간정전 발생은 물론 전압 불평형 상태를 발생시킬 수도 있으며 특히 순간정전 발생후 전원 재인가시 원래의 전압 위상보다 지연되거나 앞서게 할 수 있는 기능이 있다.

그러나 시스템을 구성하는 SCR 사이리스터의 온/오프 스위칭 시점이 잘못 설정되면 단락사고가 발생하는 등의 심각한 문제가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 방식의 전압변동 발생장치에 있어서 동작의 신뢰도를 제고하기 위하여 SCR 사이리스터의 스위칭 가능 구간을 면밀히 분석하고자 한다.

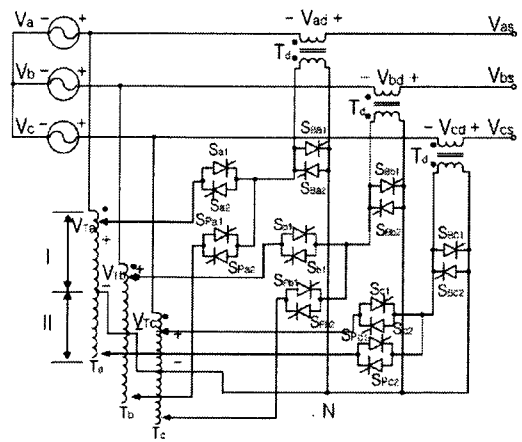


그림 1 제안한 방식의 전압 변동 발생기  
 Fig. 1 Proposed voltage disturbance generator

2. 제안한 방식의 회로원리

그림 1은 제안한 방식의 위상 변이 기능이 있는 전력품질 외란 발생기 회로를 나타낸다. 그림 1의 전압 외란 발생기의 동작원리를 기술하면 다음과 같다. 표 1은, 전압  $V_{as}$ 가 정상, 새그, 스웰, 순간정전, 순간정전 후 위상변위를 위해 필요한 SCR 사이리스터의 온/오프 상태와 슬라이더스 접점위치를 정리해서 나타낸 것이다.

표 1 전압 변동에 따른 스위치 상태와 T-접점위치 (a상의 경우)

Table 1 Each switch operating condition and T-contact point (in case of a-phase)

$V_{as}$	$S_{a1}, S_{a2}$	$S_{Ba1}, S_{Ba2}$	$S_{Pa1}, S_{Pa2}$	T접점
정상	OFF	ON	OFF	-
새그	ON	OFF	OFF	I-구간하단
스웰	ON	OFF	OFF	II-구간
순간정전	ON	OFF	OFF	I-구간상단
위상지연	OFF	OFF	ON	

## 2.1 새그, 스웰, 순간정전 발생

그림 1에서  $v_a, v_{as}, v_{ad}$ 의 관계는

$$v_{as} = v_a - v_{ad} \quad (1)$$

이며, 여기서

$$v_{ad} = v_{T_a} / n \quad (2)$$

$$v_{T_a} = v_a / n_T \quad (3)$$

이다, 여기서  $n_T$ 는 슬라이드스 T의 변압비이다. 따라서,

$$v_{as} = v_a (1 - 1/n \cdot n_T) \quad (4)$$

이 되며 새그의 정도는 T와  $T_a$ 의 변압비로 결정된다. 접점이  $T_a$ 의 상단부로 올라갈수록 새그의 정도는 증가하여 100%가 되면

$$v_{ad} = v_a \quad (5)$$

가 되어 식 (1)에서

$$v_{as} = 0 \quad (6)$$

이 되므로 순간정전 즉, 정전상태를 발생하게 된다.  $T_a$ 의 접점을 II-구간에 두면 식(1)~(3)으로부터

$$v_{as} = v_a (1 + 1/n \cdot n_T) \quad (7)$$

이 되어 스웰이 발생하며 스웰의 정도는  $n_T$ 로 조절하며 변압기의 용량과 권선비에 따라 조절 범위가 매우 다양한 값을 얻을 수 있다.

## 2.2 위상 변위 발생

순간정전 발생 후 전원전압이 부하에 재인가된 경우 원래의 공급전원의 위상보다 지연 혹은 앞서게 할 수 있다. 우선 그림 1의 회로에서 Spa1, Spa2를 사용하여 원래의 전원전압보다 위상을 지연시킬 수 있다. Spa1, Spa2를 턴온하면  $v_{ad}$ 에는  $v_b$  전압이 인가되어 출력 전압  $v_{as}$ 는  $v_a$ 와  $v_b$ 의 합으로 결정된다. 마찬가지로 위상을 앞서게 할 경우는 Spa1, Spa2를  $T_c$ 에 연결하여 턴온하면  $v_{ad}$ 에  $v_c$ 의 전압이 인가되어  $v_a$ 와  $v_c$ 의 합으로  $v_{as}$ 의 위상이 결정된다. 위상 변위의 정도는 T의 변압비로  $v_b$ 의 크기를 조절하여 위상변위를 시킬 수 있다. 그림 2는 각 상전압의 벡터를 나타낸다. 그림 2에서

$$v_a = \sqrt{2}v \sin \omega t \quad (8)$$

$$v_b = \sqrt{2}v \sin (\omega t - \frac{2}{3} \pi) \quad (9)$$

$$v_c = \sqrt{2}v \sin (\omega t + \frac{2}{3} \pi) \quad (10)$$

라 두면,

$$v_a + v_b = \sqrt{2}v \sin (\omega t - \frac{\pi}{3}) \quad (11)$$

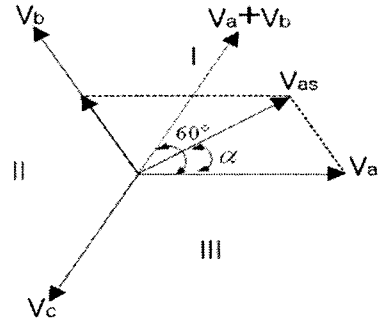


그림 2 각 상전압 벡터도

Fig. 2 Voltage vector diagram

이 되어  $v_a$  보다 위상이  $60^\circ$  지연된 전압을 얻을 수 있다. 이를 일반화 하면,

$$v_{ad} = \pm K v_b \quad (12)$$

$$\begin{aligned} v_{as} &= v_a - v_{ad} \\ &= \sqrt{2}V \sin \omega t \pm \sqrt{2}KV \sin (\omega t - \frac{2}{3} \pi) \\ &= \sqrt{2}V \sqrt{1 \pm K + K^2} \sin (\omega t + \alpha) \end{aligned} \quad (13)$$

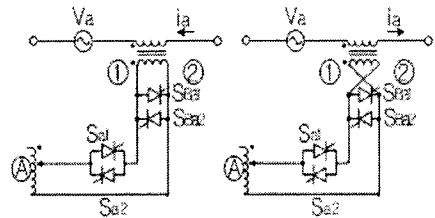
여기서,

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{K \sin \frac{2}{3} \pi}{1 + K \cos \frac{2}{3} \pi} \right) \quad (14)$$

이 되어 크기와 위상이 가변하는 전압을 발생한다.

## 3. SCR 사이리스터 스위칭 패턴 분석

그림 1의 회로에서 스위치 Sa1~Sc2와 Sba1~Sbc2, Spa1~Spa2의 온/오프 상태에 따라서 정상상태와 전압변동(새그, 스웰, 순간정전)을 발생하는 상태로의 교번적인 천이가 가능하다. 이러한 상태변화는 임의의 순간에 모두 가능한 것이 아니다. 전원전압과 전원전류의 방향이 일정한 조건에 맞을 경우에 한해서 원하는 상태로의 천이가 가능하다. 커뮤테이션 허용구간을 분석하기 위하여 그림 1의 일부분만을 그림 3과 같이 나타내었다.



(a) 새그 발생시 (b) 스웰 발생시

그림 3 전압변동 발생시 접속도

Fig. 3 Connection diagram for voltage disturbance

### 3.1 전압변동 발생시

먼저 정상상태에서 새그가 발생하는 경우를 살펴본다. 그림 3(a)에서 정상상태에서는  $S_{Ba1}$ ,  $S_{Ba2}$ 가 턴온되어 있고  $S_{a1}$ 과  $S_{a2}$ 는 턴오프되어 있다. 이때 새그를 발생하기 위하여  $S_{a1}$ 과  $S_{a2}$ 를 턴온하고  $S_{Ba1}$ 과  $S_{Ba2}$ 를 턴오프하는데, 그림 4에서와 같이 전원전압과 전류의 극성이 서로 다른 구간에서만 가능하며 극성이 동일한 구간에서는 전류가 불가능하다. 그림 3에서  $V_a$ 가 양(+)이고  $i_a$ 가 음(-)인 구간을 살펴본다.  $i_a$ 가 음의 방향이므로 그림 3(a)에서 전류는 부하측에서 전원측으로 흐른다. 그러면  $S_{Ba2}$ 가 통전중에 있으므로  $S_{a1}$ 을 턴온하면 단권변압기의 2차측 전압이  $S_{Ba2}$ 에 역방향으로 인가되어  $S_{Ba2}$ 는 턴오프되고 직렬변압기의 1차측에 단권변압기 2차측 전압이 인가된다. 따라서 직렬변압기의 2차측에 인가되는 전압의 극성은 전원전압과 반대가 되어 최종 출력전압의 크기는 전원전압보다 작아진다.

정상상태에서 스웰이 발생하는 경우를 살펴보면, 그림 3(b)에서  $S_{a1}$ 과  $S_{a2}$ 를 턴온하고  $S_{Ba1}$ 과  $S_{Ba2}$ 를 턴오프하는데, 그림 4에서와 같이 전원전압과 전류의 극성이 서로 동일한 구간에서만 가능하며 극성이 상이한 구간에서는 불가능하다. 이것은 새그의 경우와 상반되는 특징이 있다.

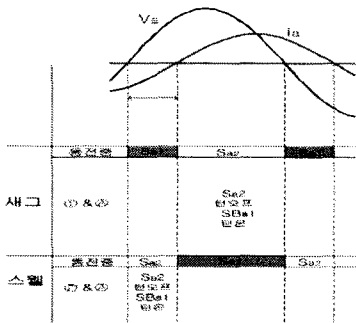


그림 4 전압변동 발생시 스위칭 상태  
Fig. 4 Switching states in voltage disturbance generation

### 3.2 정상상태 복귀시

새그가 발생한 상태에서 정상상태로 복귀하는 경우를 살펴본다. 그림 3(a)에서 새그가 발생한 상태하에서는  $S_{a1}$ 과  $S_{a2}$ 가 턴온되어 있고  $S_{Ba1}$ 과  $S_{Ba2}$ 가 턴오프되어 있다. 이때 정상상태로 복귀하려면  $S_{Ba1}$ 과  $S_{Ba2}$ 를 턴온하고  $S_{a1}$ 과  $S_{a2}$ 를 턴오프하는데, 그림 5에서 알 수 있듯이 전원전압과 전류의 극성이 동일한 구간에서만 가능하며 극성이 상이한 구간에서는 불가능하다. 왜냐하면 전원전압  $V_a$ 는 양(+)이고 전류  $i_a$ 는 음(-)인 구간에서 보면 전류는 전원측으로 흐르고 있으므로  $S_{a1}$ 이 턴온상태에 있는데, 이때  $S_{Ba1}$ 을 턴온하면 단권변압기의 양(+)의 전압이 직렬연결된  $S_{a1}$ 과  $S_{Ba1}$ 에 순방향으로 인가되어 단락회로를 형성하면서 과도한 단락전류에 의해 소자가 파괴되기 때문이다. 스웰이 발생한 상태에서 정상상태로 복귀하는 경우는 그림 3(b)에서  $S_{Ba1}$ 과  $S_{Ba2}$ 를 턴온하고  $S_{a1}$ 과  $S_{a2}$ 를 턴오프하는데, 그림 5에서와 같이 전원전압과 전류의 극성이 서로 다른 구간에서만 가능하며 극성이 동일한 구간에서는 불가능하다.

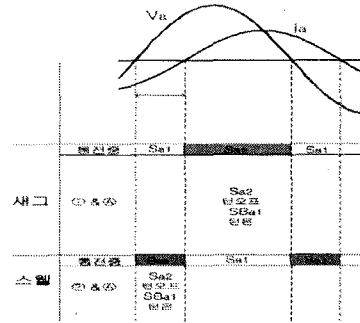


그림 5 정상상태로 복귀시 스위칭 상태  
Fig. 5 Switching states in the recovery to normal condition

## 4. 결 론

본 논문에서는 SCR 사이리스터와 직렬변압기 및 단권변압기로 구성된 간단한 형태의 전압변동 발생장치의 기본 동작원리와 SCR 사이리스터의 스위칭 패턴에 대해 분석하였다.

회로방식은 간단해 보이지만, SCR 사이리스터의 온/오프 스위칭 시점을 제대로 파악하지 못할 경우 단권변압기 출력이 단락되는 심각한 문제가 발생할 수 있다.

따라서, 전압변동을 발생시키고자 하는 경우와 정상상태로 복귀하고자 하는 경우에 대한 SCR 사이리스터의 스위칭 가능여부를 명확히 파악하였으며 안전한 동작이 이루어지는 구간을 확보하였다. SCR 사이리스터의 스위칭을 안전하게 하면 제안한 방식은 기존방식보다 매우 경제적이며 신뢰성이 높은 전압변동 발생기의 특성을 갖게 되며 전력품질 개선장치의 성능 시험에 효과적으로 활용될 것으로 기대된다.

본 연구는 산업자원부 지원에 의하여 기초전력 연구원(과제번호:R-2002-B-043)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] R. G. Lawrence, K. L. Craven, G. D. Nichols, "Flywheel UPS," IEEE IA Magazine, pp. 44-50, may/June, 2003.
- [4] Power Standards Lab. "Industrial Power Corruptors standard power quality disturbance generators," 2003.
- [5] Elgar electronics Co. "Smartwave Switching amplifier operation manual," 2002.
- [6] 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.
- [7] 이병철, 최성훈, 맹성환, 노의철, 김인동, 전태원, 김홍근, "위상 급변 기능이 있는 전력품질 외란 발생기," 전력전자학회 추계학술대회 논문집, pp. 96-100, 2004.