

전압변동 발생기의 직렬변압기에 의한 전압변동 개선

노의철, 이영호, 민병호, 김인동, 전태원*, 김홍근**, 최남섭***
 부경대학교, *울산대학교, **경북대학교, ***전남대학교

Reduction of series transformer voltage variation of voltage disturbance generator

E.C. Nho, Y.H. Lee, B.H. Min, I.D. Kim, T.W. Chun*, H.G. Kim**, N.S. Choi***
 Pukyong National Univ., *Univ. of Ulsan, **Kyungpook National Univ., ***Chonnam National Univ.

ABSTRACT

A new 3-phase voltage disturbance generator is proposed. The voltage drop of the conventional generator in normal mode can be reduced significantly. The output voltage of the proposed generator is constant in normal mode and the efficiency of the series transformer is improved. The proposed generator has good feature of simple structure, cost effective implementation, high reliability, high efficiency, and easy control. The usefulness of the scheme is verified through simulation and experiments.

1. 서론

전력계통의 신뢰도 향상에 힘입어 장시간 정전으로 인한 사고는 거의 없으나 순간정전, 순시전압강하 등에 의한 전력품질 외란으로 자동화 설비, 컴퓨터 시스템 등이 오작동하는 사례는 빈번히 발생하고 있다. 이러한 사고를 방지하기 위하여 전력품질 개선을 하기 위한 다양한 방안들이 제시되어 사용되고 있으며 정전 및 전압변동에 대응하기 위해 UPS가 대표적으로 사용되고 있다. 최근에는 고전압 대전류 전력 제어기기인 Custom Power Devices에 대한 관심이 고조되어 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다^[1-3]. 그런데 이러한 전력품질 개선장치들의 성능을 테스트하기 위해서는 새그, 스웰, 순간정전 등의 전원변동을 임의로 발생시켜 줄 수 있는 장치가 필요한데 기존의 장치는 너무 고가이고 취급하기가 용이하지 않다.

최근 저가이면서 실용적인 TCR(Thyristor Controlled Reactor)을 이용한 방식^[4]이 제안되었으나 과도한 유효전력을 필요로 한다는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하는 새로운 방식의 전압변동 발생장치가 제안되었으나^[5,6] 정상상태 동작에서 직렬변압기의 임피던스에 의한 전압강하 문제가 발생한다.

본 논문에서는 직렬변압기에 의한 전압강하 문제를 해결하는 새로운 방식의 전력품질 외란 발생기를 제안하고 그 특성을 파악하고자 한다. 제안한 방식은 새그, 스웰, 순간정전 발생은 물론 전압 불평형 상태의 발생도 가능하다.

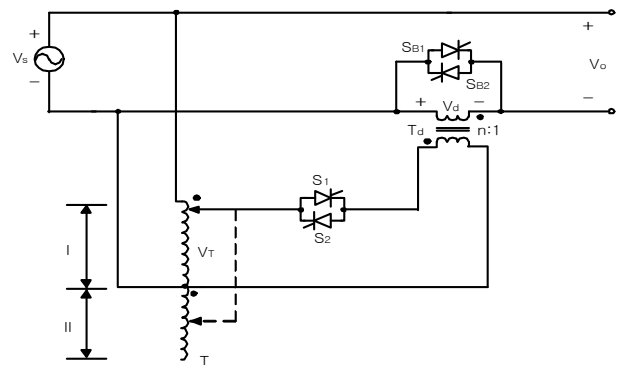


그림 1 제안한 방식의 단상 전압 변동 발생기
 Fig. 1 Proposed 1-phase voltage disturbance generator

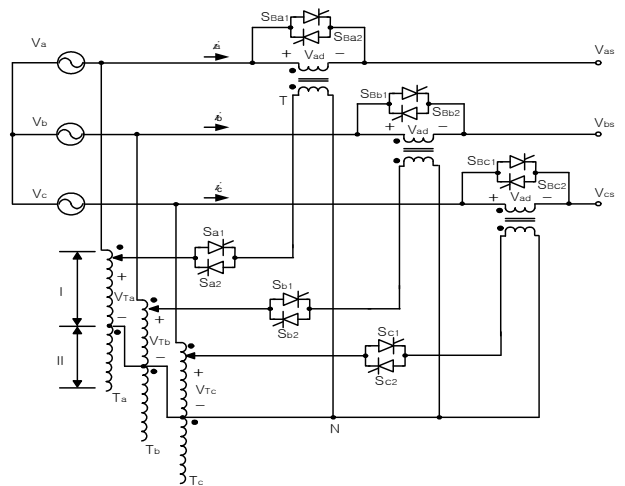


그림 2 제안한 방식의 3상 전압 변동 발생기
 Fig. 2 Proposed 3-phase voltage disturbance generator

2. 제안한 방식의 회로원리

그림 1과 2는 각각 제안한 방식의 단상 및 3상 전압변동 발생기 회로를 나타낸다. 그림 1과 2의 전압 외란 발생기의 동작 원리를 기술하면 다음과 같다. 그림 1과 2에서 전원전압 Vs와 Va, Vb, Vc는 일정하다고 가정한다. 임의의 전압변동을 발생하기 위하여 전원전압과 출력단자 (Vo, Vas-Vcs) 사이에 각각 직렬변압기를 삽입하였다. SCR 사이리스터 스위치 (Sb1-Sb2)는

정상모드 동작시 직렬변압기를 바이패스 시키면서 전원전압을 출력단자에 직접 인가하기 위하여 설치되었다. S_1 - S_2 는 직렬변압기 1차측에 원하는 양의 전압변동을 인가하기 위하여 전원전압의 일부를 미끄럼 방식 단권변압기 2차측으로부터 직렬변압기에 연결하는 역할을 한다.

그림 3과 4는 각각 정상동작모드시 기존방식과 제안한 방식의 a-상 등가회로를 나타낸다.

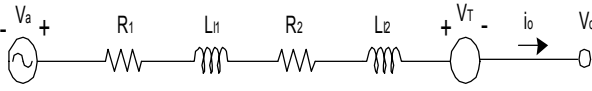


그림 3 기존방식의 정상 모드에서의 a상 등가회로
Fig. 3 a-phase equivalent circuit in normal mode of the conventional scheme

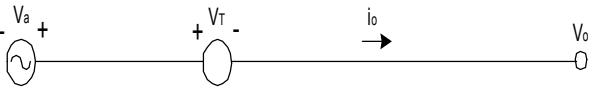


그림 4 제안한 방식의 정상 모드에서의 a상 등가회로
Fig. 4 a-phase equivalent circuit in normal mode of the proposed scheme

2.1 정상 모드

그림 3의 기존 방식에서는 SCR 사이리스터 S_{Ba1} 과 S_{Ba2} 가 턴온되면 출력전압 V_{as} 는 다음과 같이 된다.

$$V_{as} = V_a - i_a(R_1 + j\omega L_{11} + R_2 + j\omega L_{12}) - V_T \quad (1)$$

여기서, R_1 과 R_2 및 L_{11} 과 L_{12} 는 각각 직렬변압기의 1차 및 2차측 권선저항과 누설 리액턴스를 나타낸다. 또한 V_T 는 SCR 사이리스터의 온상태 전압강하를 의미한다.

그림 4는 제안한 방식에서의 등가회로를 나타내는데 기존방식과는 달리 직렬변압기의 임피던스가 나타나지 않음을 알 수 있다. SCR 사이리스터 S_{Ba1} 과 S_{Ba2} 가 온 되어 있으므로 출력전압 V_{as} 는 전원 전압 V_a 와 거의 동일하며 단지 SCR 사이리스터의 도통상태 전압강하 정도의 차이만 있으나 무시할 수 있을 정도로 적은 값이다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$V_{as} = V_a - V_T \quad (2)$$

식 (1)과 (2)로부터 제안한 방식에서는 부하전류 통전시 직렬변압기의 임피던스에 의한 전압강하가 없고 출력전압이 거의 일정함을 알 수 있다.

2.2 전압 새그 및 순간정전 모드

전압 새그를 발생시키기 위해서는 S_{Ba1} 과 S_{Ba2} 는 턴오프되고 S_{a1} 과 S_{a2} 가 턴온되므로 슬라이더 전압 V_{Ta} 가 직렬변압기 2차측에 나타난다. 따라서, 전압 새그 모드에서의 출력전압은 다음과 같다.

$$V_{as} = V_a - i_a(R_1 + j\omega L_{11} + R_2 + j\omega L_{12})$$

$$- n(V_T - V_{Ta}) \quad (3)$$

식 (3)에서 n 은 직렬변압기의 권선비를 의미하고 V_{Ta} 는 V_a 로부터 얻어지며

$$V_{Ta} = V_a/n_T \quad (4)$$

이다. 여기서 n_T 는 슬라이더 전압 T의 변압비이다. 따라서 출력전압은 다음과 같다.

$$V_{as} = V_a(1 - n/n_T) - i_a(R_1 + j\omega L_{11} + R_2 + j\omega L_{12}) - nV_T \quad (5)$$

순간정전 모드를 발생하려면 단지 V_{Ta} 값을 조절하여 V_{as} 가 0이 되도록 하면 되며 V_{Ta} 의 조절은 슬라이더로 간단히 이루어진다. 즉, V_{Ta} 를 다음과 같이 설정한다.

$$V_{Ta} = V_a - i_a(R_1 + j\omega L_{11} + R_2 + j\omega L_{12}) - nV_T \quad (6)$$

2.3 전압 스웰 모드

전압 스웰 모드는 직렬변압기의 2차측 전압이 전원전압에 더해져야 하므로 슬라이더의 구간 II에서 전압을 설정해야 하며, 그렇게 하면 V_{Ta} 의 극성이 바뀌게 되어 출력전압은 다음과 같다.

$$V_{as} = V_a - i_a(R_1 + j\omega L_{11} + R_2 + j\omega L_{12}) - n(V_T - V_{Ta}) \quad (7)$$

단, V_{Ta} 는 다음의 조건을 만족시키도록 설정한다.

$$V_{Ta} \geq i_a(R + j\omega L) + nV_T \quad (8)$$

3. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 그림 2의 회로와 동일하게 하여 수행하였으며, 시뮬레이션 파라미터는 다음과 같다. 전원전압의 선간전압 =220V, 출력용량=10kVA, 직렬변압기의 권선비 $n=1$, 부하역률은 0.8(진상) - 0.8(지상).

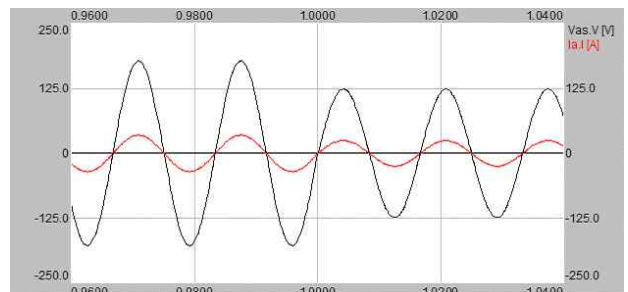


그림 5 30% 새그 발생
Fig. 5 30% Sag generation

그림 5는 부하역률이 1인 경우 정격전압에 대해 30% 새그 발생시의 출력 전압을 보여주는 파형이다. 시간축의 중간지점에서부터 정격전압이 30% 저감되어 출력됨을 알 수 있다.

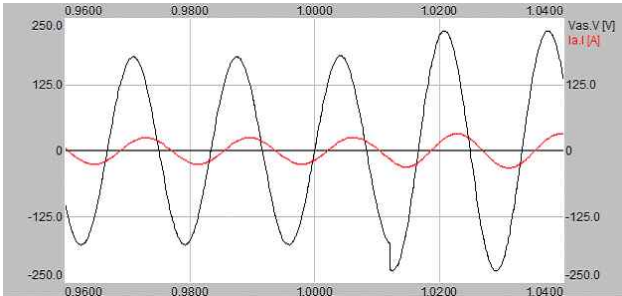


그림 6 30% 스웰 발생
Fig. 6 30% Swell generation

그림 6은 부하역률이 지상 0.8인 경우 30% 스웰이 발생한 경우를 나타낸다. 시간축의 3/5 지점에서부터 스웰이 발생 후 출력전압이 전원전압보다 증가한 것을 알 수 있다.

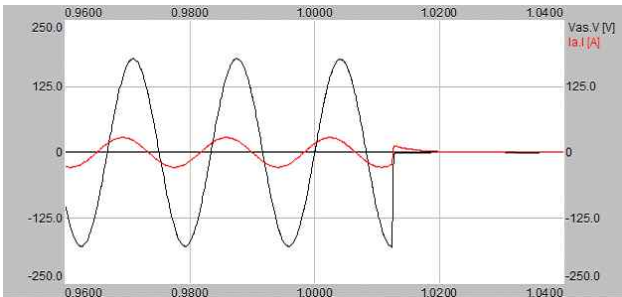


그림 7 30% 스웰 발생
Fig. 7 30% Swell generation

그림 7은 부하역률이 진상 0.8인 경우 순간정전이 발생하는 경우를 보이고 있다.

4. 실험 결과

그림 1에 해당하는 실험 장치를 제작하고 시뮬레이션과 유사한 조건으로 순간정전에 대해서 실험하였다.

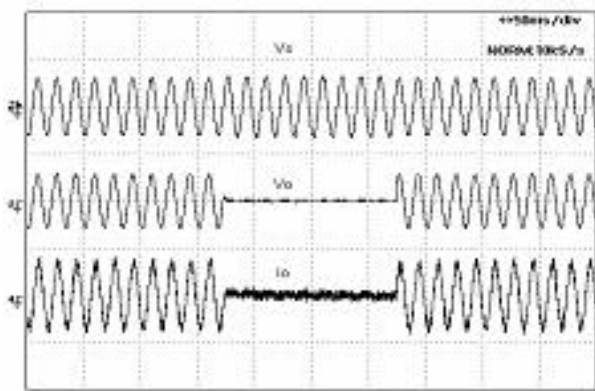


그림 8 순간정전 발생시 전원 선간전압과 출력전압 및 전류파형
(200V/div., 100ms/div.)
Fig. 8 Source voltage, output voltage, and output current in case of outage generation (200V/div., 100ms/div.)

그림 8은 순간정전 발생시 전원선간전압과 전압변동 발생장치의 출력전압 및 출력전류 파형을 나타낸다.

5. 결론

본 논문에서는 새로운 방식의 전압변동 발생장치를 제안하였다. 제안한 방식은 전압 새그, 스웰, 순간정전은 물론이고 전압 불평형을 발생할 수 있으며 기존 방식에 비해 구조가 간단하고 제어가 용이하여 저 비용으로 고성능 구현이 가능하다. 또한 기존의 직렬변압기를 사용하는 방식에서의 전압강하 문제를 해결한 새로운 구조의 전압변동 발생기로서 효율도 더욱 증가되었다. 제안한 방식이 갖는 주요 특징을 정리하면 다음과 같다.

- 구조가 매우 간단하여 신뢰도가 높다.
- 슬라이닥스와 SCR 사이리스터를 사용함으로 경제적이다.
- PWM 스위칭이 없어 효율이 높다.
- 순간정전 및 전압 불평형 발생이 용이하다.
- 기존의 방식보다 정상상태에서 전압강하가 없으며 효율이 향상된다.
- 새그와 스웰의 크기를 임의로 설정할 수 있으며 제어가 용이하다.

제안한 방식은 전력품질 개선을 위한 Custom Power Device의 성능시험에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

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

참고 문헌

- [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] Y.H.Chung, G.H.Kwon, T.B.Park, and G.Y.Lim, "Voltage Sag and Swell generator with thyristor controlled rectifier," IEEE Power Con 2002, Vol. 3, pp. 1933-1937, 2002.
- [5] 이병철, 최성훈, 팽성환, 노의철, 김인동, 전태원, 김홍근, "위상 급변 기능이 있는 전력품질 외란 발생기," 전력전자학회 추계학술대회 논문집, pp. 96-100, 2004.
- [6] 변우열, 김중원, 이기수, 노의철, 김인동, 전태원, 김홍근, "다이나믹 UPS 시스템의 전력품질 외란발생을 위한 전압 sag-swell 발생기," 전력전자학회논문지, 제10권 1호, pp. 102-107, 2005.