
단상 무정전 전원공급 장치의 성능시험을 위한 전압변동 발생기

변우열* · 노의철* · 김인동* · 최남섭** · 정규범***

A Voltage Disturbance Generator for the Performance Test of 1-Phase UPS

Woo-Yeol Byeon* · Eui-Cheol Nho* · In-Dong Kim* · Nam-Sup Choi** · Gyu-Bum Joung***

요 약

본 논문에서는 단상 무정전 전원공급 장치의 성능시험을 위한 새로운 방식의 전압변동 발생기를 제안하였다. 제안한 방식의 컨버터는 정상적으로 공급되는 상용전원으로부터 순시전압강하, 순시전압상승, 순간정전 등을 발생시켜서 시험하고자 하는 단상 무정전 전원공급 장치에 인가할 수 있다. 제안한 발생기의 구조는 매우 간단하며 경제적이고 전압변동을 발생시키기 위한 제어방식 또한 간단하여 신뢰도와 효율이 높은 장점을 갖는다. 제안한 방식에 대한 회로분석과 동작원리를 기술하였으며 제안한 방식의 타당성을 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통하여 확인하였다.

ABSTRACT

This paper describes a new voltage disturbance generator for the performance test of a 1-phase UPS (Uninterruptible Power Supply). The proposed scheme has the ability of voltage sag, swell, and outage generation. The structure of the proposed generator is simple and cost-effective. The voltage disturbance can be generated with easy control system. The circuit operation and characteristics of the proposed converter are described and the usefulness of the converter is verified through computer simulations and experimental results.

키워드

순시전압강하, 순시전압상승, 순간정전, UPS

1. 서 론

정보화 사회로의 비약적 발전에 따라 일반 가정은 물론 전체 사회 및 산업 시스템이 보다 긴밀히 유기적으로 결합되어 다양성과 새로운 가치 창출이 급속도로 증가하고 있다. 그런데 이러한 정보화 사회의 기본이 되는 정보처리 시스템은 절대적으로 안정된 전원이 공급되지 않으면 신뢰도를 전혀 확보할 수 없다. 즉, 산업용 첨단장비, 의료기기, 로봇, 자동화 시스템, PLC, 컴퓨터, 금융, 사무용기기 등 고도의 디지털 정보처리 시스템을 요하는 기기는 상용전원의 순시전압강하, 순시전압상승, 순간정전, 과전압, 저전압, 전압 불평형 등의 전압 변동에 매우 민감하

게 반응하여 오동작 또는 동작이 정지되는 치명적인 결과를 초래할 가능성이 매우 높다. 이러한 문제를 해결하기 위해 전력 품질을 개선하기 위한 다양한 방안들이 제시되어 사용되고 있다. 정전 및 전압변동에 대응하기 위해 UPS가 대표적으로 사용되고 있으며, 최근에는 고전압 대전류 전력제어기기인 Custom Power Devices에 대한 관심이 고조되어 DVR (Dynamic Voltage Restorer), DSTATCOM (Distribution Static Compensator), SVC (Static Var Compensator), 능동전력필터, 등에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[1-4].

그런데 이러한 전력품질개선 장치들의 성능을 테스트하기 위해서는 순시전압강하, 순시전압상승, 순

* 부경대학교

접수일자 : 2004. 8. 31

** 여수대학교

*** 우석대학교

간정전 등의 전원 변동을 임의로 발생시켜 줄 수 있는 장치가 반드시 필요한데 기존의 장치는 너무 고가이므로 활용하기가 용이하지 않다. 최근 저가이면서 실용적인 TCR (Thyristor Controlled Reactor)을 이용한 방식[5]이 제안되었으나 과도한 유효전력을 필요로 한다는 단점이 있다. 따라서 실험실 레벨에서 활용 가능한 경제적이면서 간단한 전압변동 발생기의 필요성이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

본 논문에서는 단상 무정전 전원공급 장치의 성능시험을 위하여 구조가 간단하며 경제적이고 신뢰도가 매우 높은 새로운 방식의 전압변동 발생장치를 제안하고자 한다. 제안 회로에 대한 회로분석과 동작원리를 설명하였으며 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통해 일반 사무용으로 널리 사용되고 있는 단상 무정전 전원공급장치의 성능시험을 위한 전압변동 발생장치로 유용하게 활용될 수 있음을 입증하였다.

II. 제안한 전압변동 발생기의 회로구성

그림 1은 제안한 방식의 단상 전압 변동 발생기를 나타낸다. 일정한 상용 전원전압 v_s 로부터 순시전압강하, 순시전압상승, 순간정전의 전압 변동이 있는 부하전압 v_o 를 만들기 위해서 v_s 와 v_o 사이에 직렬로 v_d 를 추가한다. v_d 의 전압은 v_T 에 의해 결정되며 v_T 는 전원전압 v_s 로부터 얻어진다. $T(T_a - T_c)$ 는 슬라이더스를 의미하며 접점이 I-영역에 있는 경우는 순시전압상승, II-영역에 있는 경우는 순시전압강하를 발생하며 순시전압강하 및 순시전압상승의 크기를 조절하려면 접점의 위치를 바꾸면 된다.

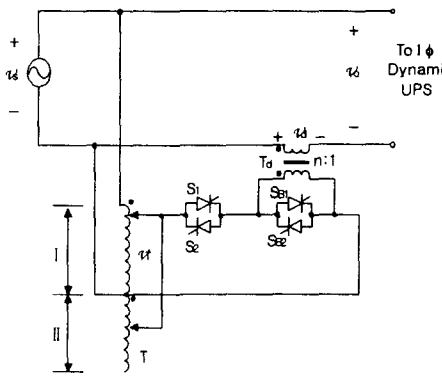


그림 1. 단상 전압변동 발생기
Fig. 1 1-phase voltage disturbance generator

크기를 고정하여 사용하는 경우는 원하는 크기대로 중간 탭을 설치한 단권 변압기로 사용하면 된다. 그림 1에서 각각의 스위치 S_1, S_2, S_{B1}, S_{B2} 는 SCR 사이리스터로 구성되어 효율과 신뢰도가 높은 특성을 갖는다.

III. 제안한 전압변동 발생기의 동작원리

3-1. 순시전압강하 발생원리

그림 1의 단상 발생기에 대하여 순시전압강하를 발생시키는 동작원리를 기술하면 다음과 같다. 일정한 상용전원 v_s 로부터 순시전압강하를 발생시키기 위해서는 그림 1에서 v_d 의 극성이 마이너스(-)가 되어야 한다. 그런데 직렬변압기 T_d 의 2차측 전압 v_d 는 1차측 전압의 크기와 권선비 n 으로 결정된다. 1차측 전압은 다음의 2가지를 취할 수 있다.

- 1) S_{B1} 과 S_{B2} 가 턴온되어 있는 경우:

$$v_{Td1} = 0V \quad (1)$$

- 2) S_1 과 S_2 는 온, S_{B1} 과 S_{B2} 는 오프인 경우 :

$$v_{Td1} = v_T \quad (2)$$

S_1 과 S_2 가 오프되어 있고 S_{B1} 과 S_{B2} 가 온되어 있는 경우는 정상상태로서 출력전압 v_o 와 상용전원전압 v_s 는 동일하다. 순시전압강하를 발생하기 위해서는 S_{B1} 과 S_{B2} 를 턴오프하고 S_1 과 S_2 를 턴온하되 미끄럼방식 단권변압기의 접점을 II-구간에 설정하도록 한다. 그러면 직렬변압기 T_d 의 1차측 전압 v_{Td1} 은

$$v_{Td1} = -n_T v_s \quad (3)$$

여기서 n_T 는 미끄럼방식 단권변압기 T 의 권선비를 나타낸다. 따라서 전압변동 발생기의 출력전압 v_o 는

$$\begin{aligned} v_o &= v_s + v_d \\ &= v_s + n v_{Td1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= v_s - nn_T v_s \\
 &= v_s(1 - nn_T)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

여기서 n 은 직렬변압기 Td의 변압비를 나타낸다. v_o 의 크기는 일정한 상용전압 v_s 에 대해 nn_T 로 정해지며 n 을 일정하게 두면 결국 n_T 에 의해 결정된다. n_T 는 미끄럼방식 단권변압기의 접점위치를 바꿈으로서 간단히 조절할 수 있다. 따라서 순시전압강하의 크기는 쉽게 조절 가능하다.

3.2 순시전압상승 발생원리

전압변동 발생기의 출력전압이 순시적으로 상용전압보다 증가하려면 직렬변압기 2차측 전압 v_d 가 v_s 에 더해져야 한다. 따라서 식 (3)의 v_{Td} 의 극성이 바뀌어야 한다. 그러기 위해서는 미끄럼방식의 단권변압기 접점 위치를 I-영역에 두어야 한다. 그러면

$$v_{Td} = n_T v_s \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
 v_o &= v_s + v_d \\
 &= v_s(1 + nn_T)
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

이 되어 출력전압의 크기는 증가한다. 순시전압 강하 발생원리에서와 유사한 방식으로 I-영역 내의 접점위치를 간단한 조작으로 바꾸어 줌으로서 전압상승의 크기를 임의로 조절할 수 있게 된다.

3.3 순간정전 발생원리

요즈음은 상용전력 공급시스템이 상당히 안정화 되어 있어서 장시간의 정전사고는 거의 발생하지 않으나 수 사이클 - 수 초에 이르는 순간정전 사고는 의외로 빈번히 발생하고 있다[6]. 그림 1에서 이러한 순간정전 상태를 임의로 발생시키기 위해서는 v_d 의 크기를 v_s 의 크기와 동일하도록 하고 극성이 반대가 되도록 하면 된다. 즉,

$$\begin{aligned}
 v_d &= -nn_T v_s \\
 &= -v_s.
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

따라서 II-영역에서

$$nn_T = 1 \tag{8}$$

이 되도록 n_T 를 조절하면 된다. 순간정전 상태에서 정상상태로 복귀하려면 S1과 S2를 턴오프하고 SB1과 SB2를 턴온 하면 된다.

IV. 시뮬레이션 결과

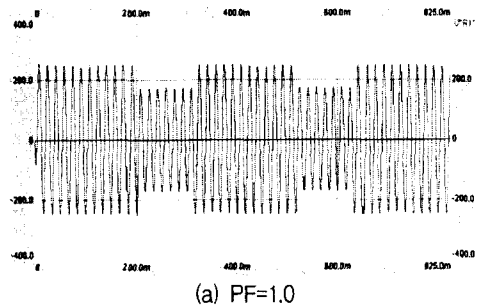
그림 1의 단상 전압변동 발생기의 동작을 확인하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 하였으며 그 결과는 다음과 같다. 시뮬레이션은 다음과 같은 조건에서 수행하였다. $v_s = 220\text{ V}$, $n = 1$, 출력 = 3 kVA. 그림 2는 30% 순시전압강하가 발생하는 경우를 나타내며, 2(a)와 2(b)는 부하 역률이 각각 1.0과 0.8 (지상)인 경우이다. 역률에 무관하게 동작이 제대로 이루어지고 있음을 알 수 있다.

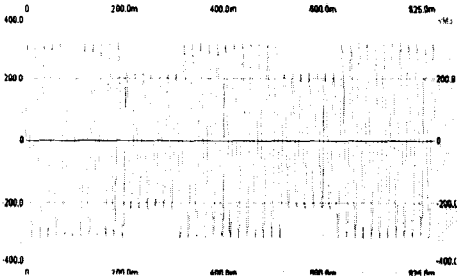
그림 3은 50% 순시전압강하가 발생하는 경우를 나타낸다. 3(a)와 3(b)는 각각 부하역률이 1.0, 0.8 (지상)인 경우이다.

그림 4는 20% 순시전압 상승이 발생하는 경우의 전압변동 발생기 출력전압과 전원전압을 나타낸다. 그림 4(a)는 전상상태에서 역률이 1.0인 상태로 동작하다가 20% 전압이 증가하는 부분을 나타내며 그림 4(b)는 0.8 지상으로 동작하다가순시전압 상승 상태에서 정상상태로 복귀하는 부분을 나타낸다.

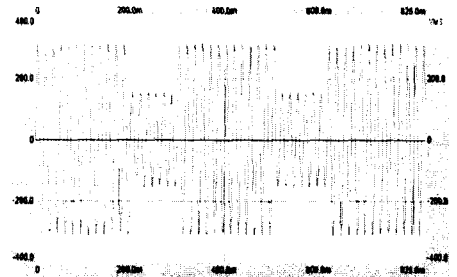
그림 5는 80%의 순시전압 상승이 발생하는 경우를 나타내는데, 5(a)는 역률 1.0에서 80% 전압이 상승한 상태에서 정상으로 복귀되는 경우를 나타내며, 5(b)는 역률 0.8 (지상)에서 정상상태에서 80% 전압이 상승하는 경우를 나타낸다.

그림 6은 역률이 0.8인 경우 순간정전이 발생하는 것을 나타낸다. 직렬변압기의 전압을 상용전원전압과 크기는 같고 역상이 되도록 출력함으로써 서로 상쇄되어 전압변동 발생기의 출력전압이 0으로 감소됨을 알 수 있으며 약 100ms 경과 후 다시 정상상태로 복귀되고 있음을 보이고 있다.

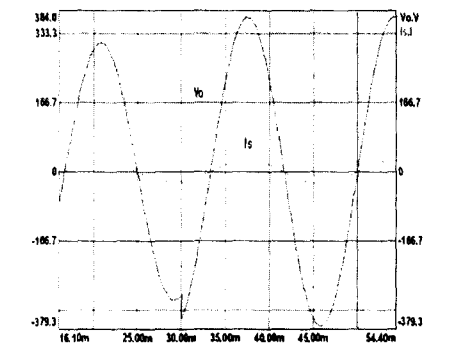




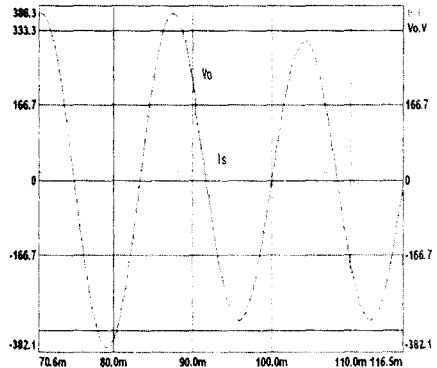
(b) PF=0.8
 그림 2. 30% 순시전압강하 발생
 Fig. 2 30% voltage sag generation



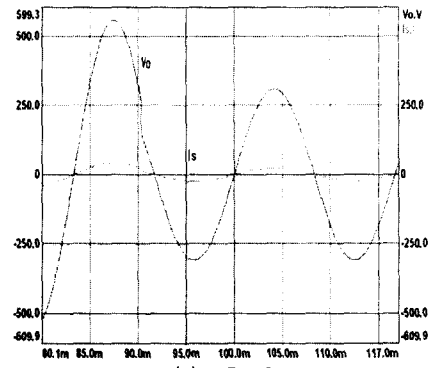
(a) PF=1.0
 (b) PF=0.8
 그림 3. 50% 순시전압강하 발생
 Fig. 3 50% voltage sag generation



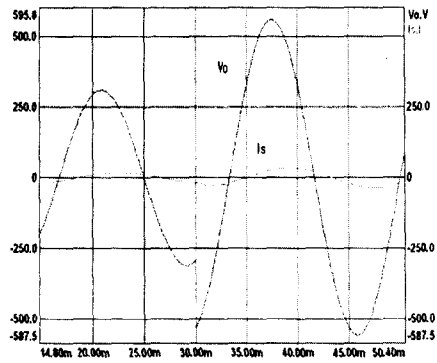
(a) PF=1.0



(b) PF=0.8
 그림 4. 20% 순시전압상승 발생
 Fig. 4 20% voltage swell generation



(a) PF=1.0



(b) PF=0.8
 그림 5. 80% 순시전압상승 발생
 Fig. 3 80% voltage swell generation

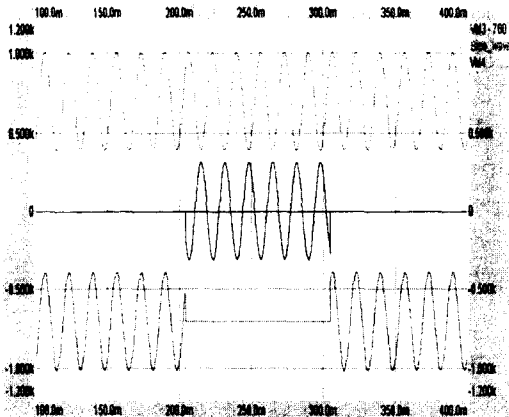


그림 6. 순간정전 발생
Fig. 6 Outage generation

V. 실험 결과

그림 7은 역률 0.85(지상)인 상태에서 50% 전압 sag가 2번 연속하여 발생한 경우의 전원전압과 출력전압을 나타내며 10사이클 동안 약 400ms 간격으로 2번 발생하고 있다.

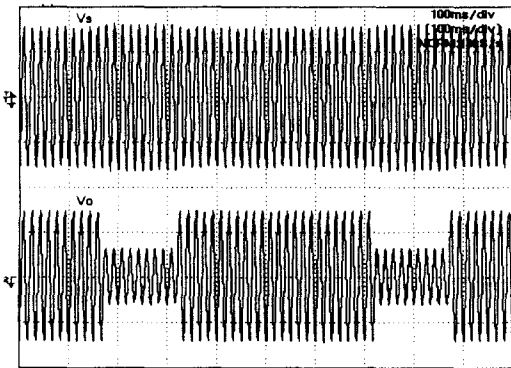


그림 7. 50% sag시 전원전압과 출력전압 (200V/div)
Fig. 7 Source and output voltage in case of 50% sag generation (200V/div)

그림 8은 outage가 발생하였을 경우의 전원전압, 출력전압, 출력전류의 파형을 나타낸다. 순간정전이 깨끗하게 발생되고 있음을 알 수 있다.

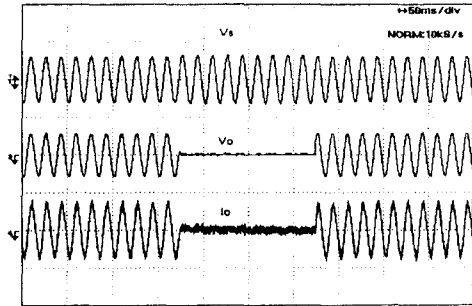


그림 8. Outage 발생시 전원전압, 출력전압, 출력전류 (500V/div, 20A/div)
Fig. 8 Source and output voltage and output current in case of outage (500V/div, 20A/div)

VI. 결론

본 논문에서는 전격품질 개선을 위한 여러 기기 중에서 특히 일반 가정용과 사무용으로 널리 사용되고 있는 단상 무정전 전원공급장치의 성능 테스트를 위한 새로운 방식의 전압변동 발생장치를 제안하였다.

제안한 방식에 대한 동작원리와 특성을 기술하였으며 성능확인을 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 광범위한 전압변동 발생이 가능함을 확인하였으며 부하 역률에 무관하게 안정된 동작이 이루어짐을 보였다. 기존의 방식에 비하여 구성이 매우 간단하므로 신뢰도가 높고 제작비용이 저렴하여 중·소용량은 물론 대용량 Custom Devices에도 효과적으로 적용 가능할 것으로 기대한다. 제안한 방식이 갖는 특징을 정리하면 다음과 같다.

- 미끄럼방식 단권변압기와 SCR 사이리스터를 사용함으로 경제적이고 신뢰도가 높다.
- 구조가 매우 간단하여 효율이 높고 소형 경량화가 가능하다.
- 순시전압강하와 순시전압상승의 크기를 임의로 바꿀 수 있으며 광범위한 변동범위를 갖는다.
- 순간정전, 저전압, 과전압 발생도 가능하다.
- 전압변동 발생을 위한 제어가 간단하다.

참고문헌

[1] R.S.Weissbash, G.G.Karady, and 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, April 2001, pp. 265-270.

- [2] R.G.Lawrence, K.L.Craven, and G.D.Nichols, "Flywheel UPS," IEEE IA Magazine, May/June, 2003, pp. 44-50..
- [3] A. Ghosh and G. Ledwich, "Compensation of distribution system voltage using DVR," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 17, No. 4, pp. 1030-1036, 2002, Oct.
- [4] M.C. Jiang, "Analysis and design of a three-phase active power filter," IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 37, No. 3, pp. 824-831, 2001.
- [5] 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, 2002, pp. 1933- 1937.
- [6] W.E Brumsickle, R.S.Schneider, G.A.Luckjiff, D.M.Divan, M.F.McGranaghan, "Dynamic sag correctors: cost-effective industrial power line conditioning," IEEE Trans. on Ind. Appl. vol. 37, no. 1, pp. 212-217, 2001.

저자 소개

변우열(Woo-Yeol Byeon)



1987년 동아대학교 전기공학과 졸업 (공학사)
 1997년 부경대학교 전기공학과 졸업 (공학석사)
 2003년 부경대학원 전기공학과 박사과정 수료

1982년 1월 ~ 현재 KT 부산전산국 시스템 운용과
 ※관심분야 : UPS, 정류기, 전력품질 개선

노의철(Eui-Cheol Nho)



1984년 서울대 공대 전기공학과 졸업 (공학사)
 1986년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업 (공학석사)
 1991년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(공학박사)

1997년~1998년 미국 Wisconsin-Madison 주립대학 방문교수
 1995년~현재 부경대학교 공대 전기제어계측공학부 부교수
 ※관심분야 : 전력전자, 통신용 정류기 및 UPS, 소프트 스위칭 DC/DC 컨버터, 인버터, 전력품질 개선

김인동(In-Dong Kim)



1984년 서울대 공대 전기공학과 졸업 (공학사)
 1987년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업 (공학석사)
 1991년 동 대학원 졸업 (공학박사)
 1991년~1996년 대우중공 철도차량

연구소 책임연구원

1997년~1998년 미국 Univ. of Tennessee 방문교수
 1996년~현재 부경대학교 전기제어계측공학부 부교수
 ※관심분야 : 전력전자, 전동기제어, 통신용 정류기 및 UPS, 통신용 DC/DC 컨버터

최남섭(Nam-Sup Choi)



1987년 고려대학교 전기공학과 졸업 (공학사)
 1989년 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학석사)
 1994년 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학박사)

1995년~현재 여수대학교 전기및반도체공학과 교수
 1999년 3월~2000년 2월 위스콘신주립대학 방문교수
 ※관심분야 : 전력전자회로 모델링 및 해석, 멀티레벨 컨버터 설계 및 응용, PWM AC-AC 컨버터, 전력품질 개선

정규범(Gyu-Bum Joung)



1984년 아주대 공대 전자공학과 졸업
 1986년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업 (공학석사)
 1990년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업 (공학박사)
 1990~1991년 미국 VPI and State

University 연구원

2002-2003년 미국 Texas A&M University 교환교수
 1993-1995년 한국항공우주연구원 선임연구원
 1995~현재 우석대학교이공대 정보통신공학과 부교수
 ※관심분야 : 전력전자, 파워컨버터, SMPS, 대체에너지 응용