

위상 급변 기능이 있는 전력품질 외란 발생기

이병철, 최성훈, 팽성환, 노의철, 김인동, 전대원*, 김홍근**
 부경대학교, *울산대학교, **경북대학교

Power Quality Disturbance Generator with Phase Jump Function

B.C. Lee, S.H. Choi, S.H. Paeng, 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 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. The control scheme of the disturbance generator is simple and hardware setup is cost effective compared with the conventional scheme. The usefulness of the generator is verified through simulation and experimental results.

1. 서 론

전력 품질 개선을 하여 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 Sag, Swell, 순간정전 등의 전원 변동을 임의로 발생시켜 줄 수 있는 장치가 필요한데 기존의 장치는 너무 고가이고 취급하기가 용이하지 않다.

PSL사의 Sag 발생기^[4]는 전원과 부하 사이에 저항을 직렬로 연결하여 저항에 의한 전압강하를 이용하여 전압의 Sag를 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 Sag 값에서 변동이 발생하는 문제점이 있다. Swell의 발생 범위는 25% 정도로 제한되어 광범위한 Swell을 얻기가 곤란하다.

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

최근 저가이면서 실용적인 TCR(Thyristor Controlled Reactor)을 이용한 방식^[6]이 제안되었으나 과도한 유효전력을 필요로 한다는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하는 새로운 방식의 전압 변동 발생 장치가 제안되었으나^[7] 위상 급변 기능에 대한 방안은 미흡하다.

본 논문에서는 간단한 구조와 고신뢰도를 갖는 새로운 방식의 전압 변동 발생 장치에 위상 급변기능이 있는 전력품질 외란 발생기를 제안하고 그 특성을 파악하고자 한다. 제안한 방식은 Sag, Swell, Outage 발생은 물론 전압 불평형 상태를 발생시킬 수도 있으며 특히 Outage 발생후 전원 재인가시 원래의 전압 위상보다 지연되거나 앞서게 할 수 있는 기능이 있다.

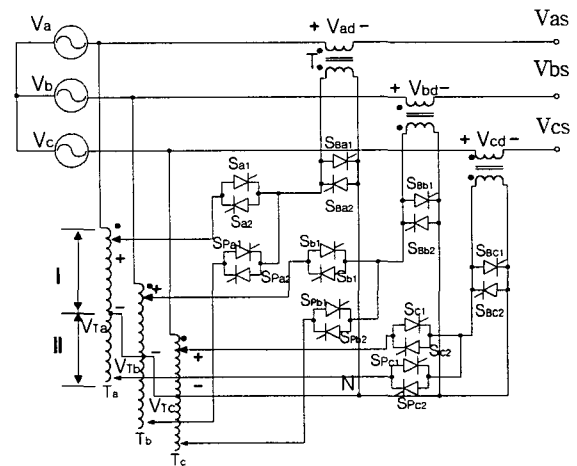


그림 1 전력품질 외란 발생기
 Fig. 1 Power quality disturbance generator

2. 제안한 방식의 회로원리

그림 1은 제안한 방식의 위상 급변 기능이 있는 전력품질

질 외란 발생기 회로를 나타낸다. 그림 1의 전압 외란 발생기의 동작원리를 기술하면 다음과 같다. 표 1은 그림 1의 다이내믹 UPS로 공급되는 전압 V_{as} 가 정상, Sag, Swell, Outage, Outage 후 위상변위를 위해 필요한 SCR 사이리스터의 온/오프 상태와 슬라이더스 접점 위치를 정리해서 나타낸 것이다.

표 1 전압 변동에 따른 스위치 상태와 T-접점위치
Table 1 Each switch operating condition and T-contact point

V_{as}	S_{a1}, S_{a2}	S_{Ba1}, S_{Ba2}	S_{Pa1}, S_{Pa2}	T접점
정상	OFF	ON	OFF	-
sag	ON	OFF	OFF	I-구간 하단
swell	ON	OFF	OFF	II-구간
outage	ON	OFF	OFF	I-구간 상단
위상지연	OFF	OFF	ON	

2.1 Sag, Swell, Outage 발생

그림 1에서 V_a, V_{as}, V_{ad} 의 관계는

$$V_{as} = V_a + V_{ad} \quad (1)$$

이며, 여기서

$$V_{ad} = V_T / n \quad (2)$$

$$V_T = V_a / n_T \quad (3)$$

이다, 여기서 n_T 는 슬라이더스 T의 변압비이다. 따라서 Sag를 발생시키려면 V_a 보다 작아지도록 해야 하며, 이를 위해서는 V_{ad} 가 마이너스(-)로 출력되어야 한다. S_{Ba1} 과 S_{Ba2} 가 온되어 있으면 T의 1차와 2차는 단락상태이므로 V_{ad} 는 영이 되어 정상상태를 유지한다. 이때 S_{Ba1} 과 S_{Ba2} 를 턴오프하면서 S_{a1} 과 S_{a2} 를 턴온하면 T_d 의 1차측에는 슬라이더스 2차측 전압이 인가된다. V_d 의 극성이 마이너스가 되기 위해 V_T 에서는 T의 I-구간에서 얻어져야 한다. 이때

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

이 되며 Sag의 정도는 T와 T_d 의 변압비로 결정된다. 슬라이더스의 구조상 I, II 구간내의 임의의 지점에서 V_{Ta} 를 용이하게 얻을 수 있으며, 전압 Sag 정도도

접점 위치에 따라 임의로 설정 가능하므로 0~100% 전 범위에 걸쳐 광범위한 Sag를 얻을 수 있다. 접점이 T_a 의 상단부로 올라갈수록 Sag의 정도는 증가하여 100%가 되면

$$V_{as} = -V_a \quad (5)$$

가 되어 식 (1)에서

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

이 되므로 Outage 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 Swell 이 발생하며 Swell의 정도는 n_T 로 조절하며 변압기의 용량과 권선비에 따라 조절 범위가 매우 다양한 값을 얻을 수 있다.

2.2 위상 변위 발생

Outage 발생 후 전원전압이 부하에 재인가된 경우 원래의 공급전원의 위상보다 지연 혹은 앞서게 할 수 있다. 우선 그림 1의 회로에서 S_{Pa1}, S_{Pa2} 를 사용하여 원래의 전원전압보다 위상을 지연시킬 수 있다. S_{Pa1}, S_{Pa2} 를 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 S_{Pa1}, S_{Pa2} 를 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 벡터도를 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,

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

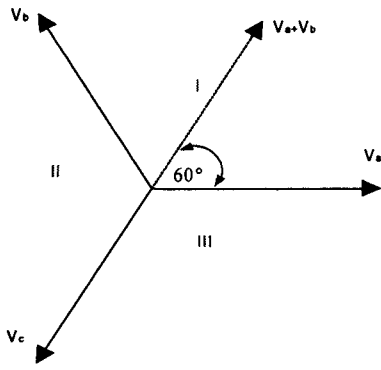


그림 2 각 상전압 벡터도
Fig. 2 Voltage vector diagram

이 되어 v_a 보다 위상이 60° 지연된 전압을 얻을 수 있다. 유사한 원리로 각 상전압의 크기를 조절하여 $\pm 15^\circ, \pm 30^\circ, \pm 45^\circ, \pm 60^\circ$ 등의 위상 변위를 발생시킬 수 있다. 더욱 미세하게 임의의 위상지연을 발생시키려면 단권 변압기의 접점을 이동하여 크기를 가변하면 된다. v_b 의 K 배 전압을 얻는다고 가정하면,

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

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

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

여기서,

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

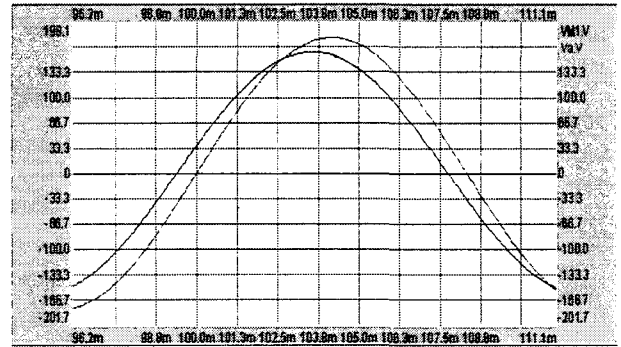
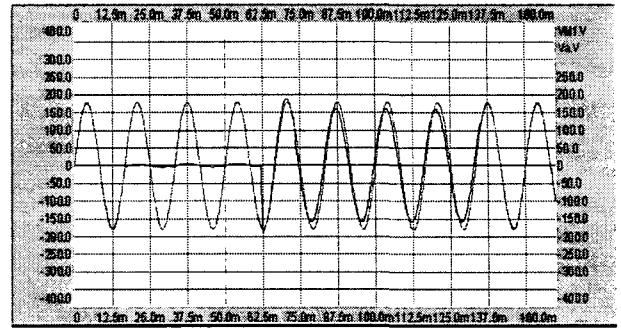
이 되어 크기와 위상이 가변하는 전압을 발생한다.

3. 시뮬레이션 결과

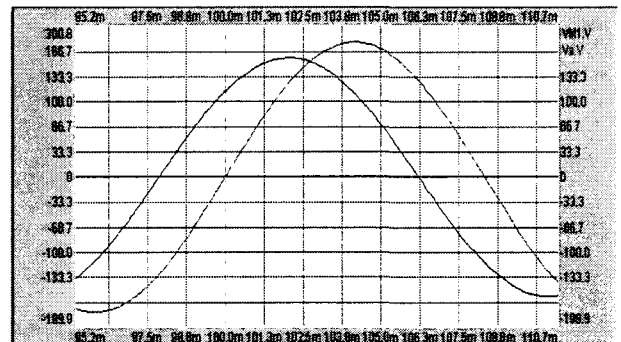
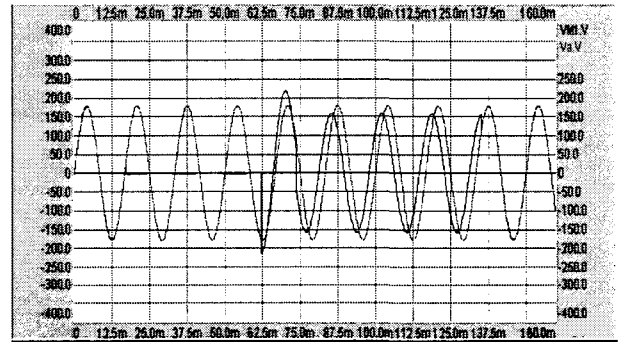
시뮬레이션 파라미터는 표 2와 같다.

표 2 시뮬레이션 파라미터
Table 2 Parameters for the simulation

파라미터	값
교류 3상전원	220V, 60Hz
부하 리액터(L1,L2,L3)	10.9mH
변압기 main inductance	0.1H
부하 저항	4.11Ω
SCR Forward voltage	0.8V
SCR Bulk resistance	1mΩ



(a) 15° 위상변위 발생(진상)
(a) 15 degree phase jump generation(lead)

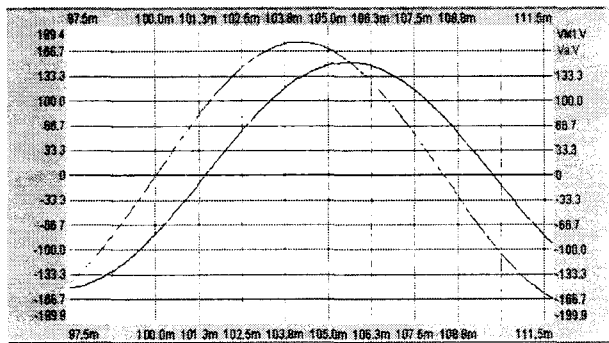
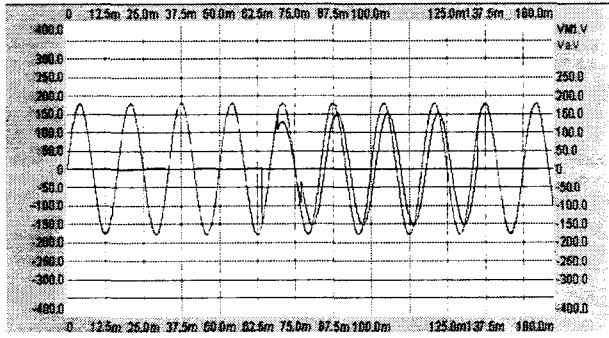


(b) 45° 위상변위 발생(진상)
(b) 45 degree phase jump generation(lead)

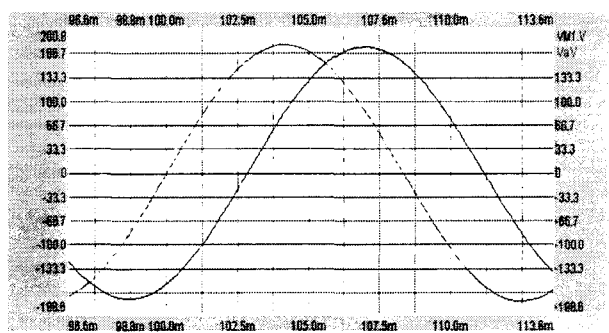
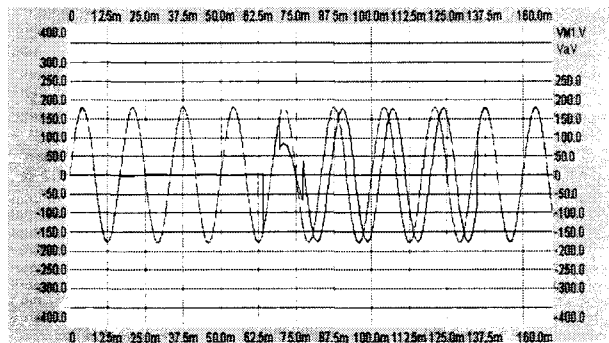
그림 3 위상변위 발생(진상)
Fig. 3 Phase jump generation(lead)

그림 3(a), (b)는 정전 발생 후 전원의 재인가시 전원의 위상을 각각 $15^\circ, 45^\circ$ 앞서는 것을 보여주는

파형이다. 정전 발생 전에는 동상이지만 정전발생 후 위상이 변위 되는 것을 볼 수 있다.



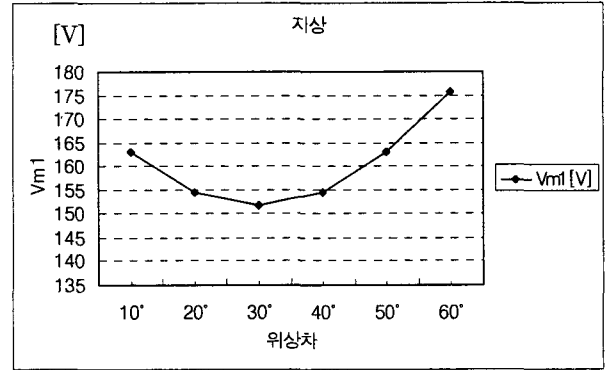
(a) 30° 위상변위 발생(지상)
(a) 30 degree phase jump generation(lag)



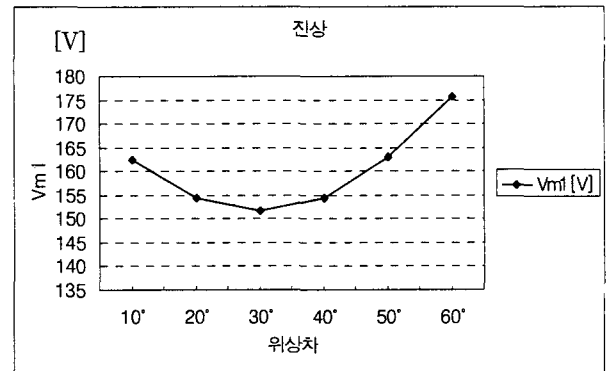
(b) 60° 위상변위 발생(지상)
(b) 60 degree phase jump generation(lag)

그림 4 위상변위 발생(지상)
Fig. 4 Phase jump generation(lag)

그림 4(a), (b)는 각각 전원전압에 대해 정전 발생후 전원전압 재인가시 위상이 30°, 60° 지연되는 파형이다. 위상 변위의 정도는 각상의 전압조절에 의해 결정된다.



(a) PF=0.85(지상)



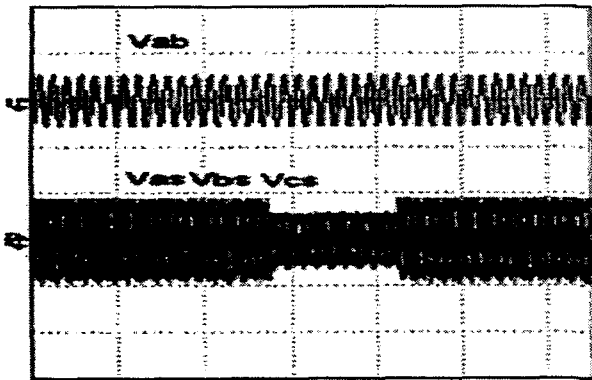
(b) PF=0.85(진상)

그림 5 위상변위 발생에 따른 전압변동
Fig. 5 Voltage magnitude variation according to the phase jump

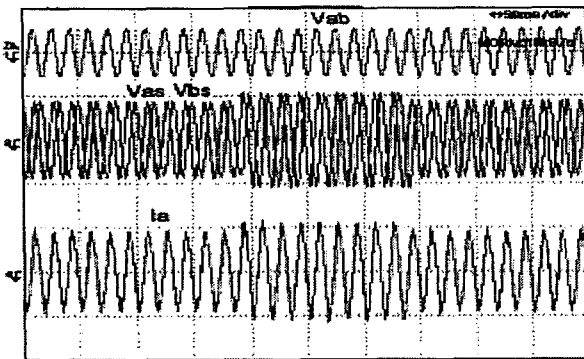
그림 5(a), (b)는 정전 후 전원 재인가시 위상을 변위시켰을때 각 위상변위에 따른 부하전압을 나타내고 있다. 그래프를 보면 알 수 있듯이 30°를 중심으로 부하전압의 크기가 좌우 대칭을 이루는 것을 알 수 있다.

4. 실험 결과

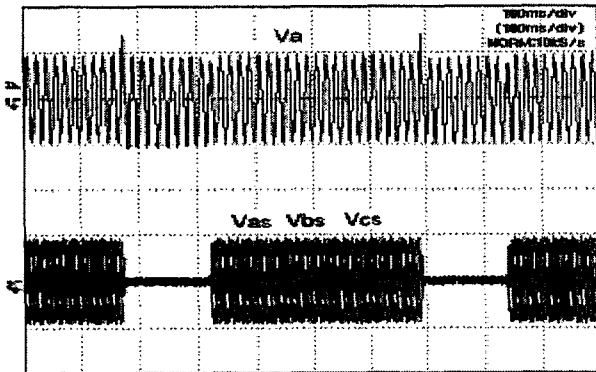
그림 6(a), (b), (c)는 실험파형으로 각각 30% Sag, 30% Swell, Outage 발생의 출력전압 파형이다. 위 파형은 각각 Sag, Swell, Outage가 85ms동안 발생하고 다시 정상으로 돌아오는 것을 보여주고 있다. 위의 파형을 통해서 정리해보면 Sag-Swell 발생기의 출력전압을 전원전압보다 크게나 작게 할 수 있고 그 변동 범위도 광범위하게 할 수 있고 전압불평형을 발생시킬 수 있다. 또한 정전 발생 후 전원전압 재인가시 제안한 회로의 원리로 임의의 위상변위도 시킬 수 있다.



(a) 30% sag 발생



(b) 30% swell 발생



(c) 정전 발생

그림 6 Sag, Swell, Outage 발생

Fig. 6 Generation of Sag, Swell, Outage

5. 결 론

본 논문에서는 전력품질 개선을 위한 custom power devices의 성능 테스트를 위한 새로운 방식의 전압변동 발생장치를 제안하였다. 제안한 방식은 전압 Sag, Swell, Outage는 물론이고 전압 불평형 및 위상 변위도 임의로

발생할 수 있으며 기존 방식에 비해 구조가 간단하고 제어가 용이하여 저 비용으로 고성능 구현이 가능하다. 또한 용량에 무관하게 광범위한 용량을 대상으로 적용 가능하다. 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.
- 슬라이더스와 SCR 사이리스터를 사용함으로 경제적이고 신뢰도가 높다.
- Sag와 Swell의 크기를 임의로 바꿀 수 있다.
- Outage 및 전압 불평형 발생이 용이하다
- 전압의 위상 변위를 임의로 발생 시킬수 있다.
- 제어가 간단하다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관으로 수행된 과제(R-2002-B-043)임

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 Swit-ching amplifier operation manual." 2002
- [6] Y. H. Chung, G. H. Kwon, T. B. Park, G. Y. Lim, "Voltage Sag and Swell generator with thyristor controlled rectifier," IEEE Power Con 2002, Vol. 3, pp. 1933-1937, 2002
- [7] 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.