

선형 및 비선형 부하에 적용 가능한 3상 전압변동 발생기의 스위칭 특성해석

魯義哲[†], 朴成大^{*}, 金仁東^{**}

Switching Characteristics Analysis of a 3-phase Voltage Disturbance Generator Applicable to Linear and Nonlinear Loads

Eui-Cheol Nho, Sung-Dae Park and In-Dong Kim

요 약

본 논문에서는 DVR 등의 전력품질 개선장치들의 성능시험에 용이하게 사용하기 위하여 제안한 3상 전압변동 발생기에 대하여 선형뿐만 아니라 비선형 부하에서도 동작이 가능함을 보이는 스위칭 특성해석을 하였다. 선형 부하의 경우는 전류가 연속이므로 전압변동 발생기를 구성하는 SCR 사이리스터의 자연전류(natural commutation)가 용이하게 발생하지만, 비선형 부하의 경우는 전류 불연속 모드 동작이 발생하여 SCR 사이리스터의 원활한 스위칭이 이루어질 수 없는 경우도 있다. 따라서 비선형 부하 시 전류 불연속 구간에서의 SCR 사이리스터의 스위칭 패턴을 분석하여 전압 새그(sag), 스웰(swell), 순간정전(outage), 전압불평형(voltage unbalance) 동작이 선형에서와 동일하게 발생하는 조건을 파악하였다. 각각의 기능을 발생시키는 원리와 동작 특성을 해석하였으며 시뮬레이션과 실험을 통하여 성능을 확인하였다. 본 논문에서 다룬 전압변동 발생기는 전원 외란 발생을 낮은 비용으로 구현해 낼 수 있고 구조와 제어가 간단하여 전력품질 개선과 관련된 연구를 하는데 용이하게 활용될 것으로 기대한다.

ABSTRACT

Switching characteristics in both linear and nonlinear loads are analysed for a 3-phase voltage disturbance generator applicable to the performance test of custom power devices. Since the line current of the linear load is continuous the natural commutation of the SCR thyristors comprising the generator is carried out with ease. However, in case of nonlinear load the natural commutation scheme is different from that of the linear load due to the discontinuous load current. Through the analysis it is found that a specific switching condition can provide the voltage sag, swell, outage, and voltage unbalance generation in nonlinear load too. The operation of the voltage disturbance generation is described and the usefulness of the generator is verified through simulation and experimental results. It is expected that the generator can be used in the performance test of the custom power devices with low implementation cost and easy control.

Key Words : Voltage disturbance generator, Linear and nonlinear loads

1. 서 론

[†]교신저자 : 정회원, 부경대 전기제어공학부 교수

E-mail : nhoec@pknu.ac.kr

^{*}정회원, (주)PSTEK 기술연구소 연구원

^{**}정회원, 부경대 전기제어공학부 교수

접수일자 : 2008. 3. 31 1차 심사 : 2008. 4. 10

심사완료 : 2008. 4. 14

전력사용량의 꾸준한 증가에 따라 수ms~수초에 이르는 순간정전(outage), 새그(sag:순시전압강하), 스웰(swell:순시전압상승), 전압불평형(voltage unbalance),

고조파왜곡(harmonic distortion)등의 전력품질 외란도 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 외란이 발생하는 원인에는 여러 가지가 있으나, 주로 전력계통의 고장, 낙뢰, 지락사고, 또한 대형부하나 커패시터 뱅크의 투입 및 차단, 전력변환장치의 사용 등을 들 수 있다. 이러한 외란 중에서 특히 산업현장에서는 전력계통의 사고에 의한 순간정전과 새그에 대한 관심이 고조되고 있다. 왜냐하면, 공장자동화에 따른 산업용 로봇 및 PLC 등은 전력품질에 매우 민감하게 동작하기 때문이다. 이러한 전력품질 외란으로부터 시스템을 연속적으로 안정되게 사용하기 위하여 전력품질 개선장치(custom power device)의 사용이 급증하고 있으며, 이러한 장치들로는 DSTATCOM(Distribution Static Compensator), DVR(Dynamic Voltage Restorer), 능동 전력필터, SVC(Static Var Compensator), UPS 등을 들 수 있다^[1-4]. 근래에는 인터넷 데이터 센터를 포함하는 다양한 첨단 사업장이 급속히 증가함에 따라 이에 부응하기 위한 최적의 전력품질 개선장치에 대한 연구의 필요성도 시급히 요청되고 있는 실정이다. 그런데 이러한 전력품질 개선장치들의 성능을 테스트하기 위해서는 새그, 스웰, 순간정전, 전압불평형 등의 전원변동을 임의로 발생시켜 줄 수 있는 장치가 필요한데 기존의 장치는 너무 고가이므로 활용하기가 용이하지 않다^[5,6].

최근 저가형 전압변동 발생기가 제안되었으나^[7], 과도한 무효전력이 필요하며 별도의 노치필터가 필요하다는 등의 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하는 새로운 형태의 저가형 전압변동 발생기가 제안되어 실효성 있는 경제적 구현이 가능하게 되었다^[8-10]. 그러나 이들 전압변동 발생기에 대해서는 선형부하에 대한 특성해석은 하였으나 비선형 부하에 대한 검토는 이루어지지 않았다. 산업계에서 널리 사용되는 정류기, 최근 정보화산업과 관련된 인터넷 데이터센터 등 비선형 부하의 사용이 널리 확산되어 있으므로 비선형 부하를 고려한 전력품질 외란발생기를 검토할 필요가 있다. 이러한 필요성에 따라 비선형 부하에 적용 가능한 전압변동 발생기가 제안되었으나^[11], [11]에서는 SCR 사이리스터의 자연소호를 위하여 SCR에 홀딩(holding) 전류 이상의 전류를 통전시키기 위한 더미저항을 추가 하였다.

본 논문에서는 더미저항의 추가 없이 비선형 부하에서도 동작이 가능하도록 스위칭 특성 분석을 하였으며 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 특성을 입증하고자 한다.

2. 전압변동 발생 원리

다이오드 정류기와 같은 비선형 부하에서는 선전류가 불연속이므로 [11]의 회로에서는 전류를 연속적으로 흐르게 하기 위하여 전압변동 발생기 출력단에 더미저항을 추가하여 SCR 사이리스터의 자연전류가 가능하도록 하였다. 본 논문에서는 이러한 더미저항을 없애고도 비선형 부하에서 SCR 사이리스터가 자연전류 되도록 하였으며 그림 1은 제안한 선형 및 비선형 부하에 적용 가능한 3상 전압변동발생기의 구조를 나타내고 있다. 그림 1의 회로에 대한 구조를 요약하면 다음과 같다. 새그와 스웰을 발생하기 위하여 별도의 강압 및 승압변압기를 사용하지 않고 3상 전력공급선의 각상에 직렬변압기를 설치하였으며, 새그 및 스웰의 크기를 임의로 설정할 수 있도록 하기 위하여 미끄럼방식의 단권변압기를 사용하였으며, 이 변압기의 2차측을 SCR 사이리스터 스위치를 통하여 직렬변압기에 인가하는 구조로 되어 있다. 이렇게 함으로써 기존의 TCR을 사용한 방식에서 필요로 하는 과도한 무효전력에 비해 극히 미미한 정도 밖에 안되는 무효전력만 흐르게 하여 상대적으로 효율이 높고 중량과 부피 또한 현저히 감소되는 효과를 얻을 수 있다. SCR 사이리스터 스택은 출력전압을 정상상태에서 전압이상상태로의 전환이 용이하도록 구성되어 있으며 자연전류에 의해 전환이 되므로 스위칭 손실이 없고 단지 도통손만 있으므로 효율을 최대화 하도록 하였다. 표 1은 새그, 스웰, 순간정전에 따른 스위치의 상태와 미끄럼방식 단권변압기의 접점의 위치를 나타내고 있다. 각상의 동작원리는 동일하므로 a-상에 대해서만 기술하였다.

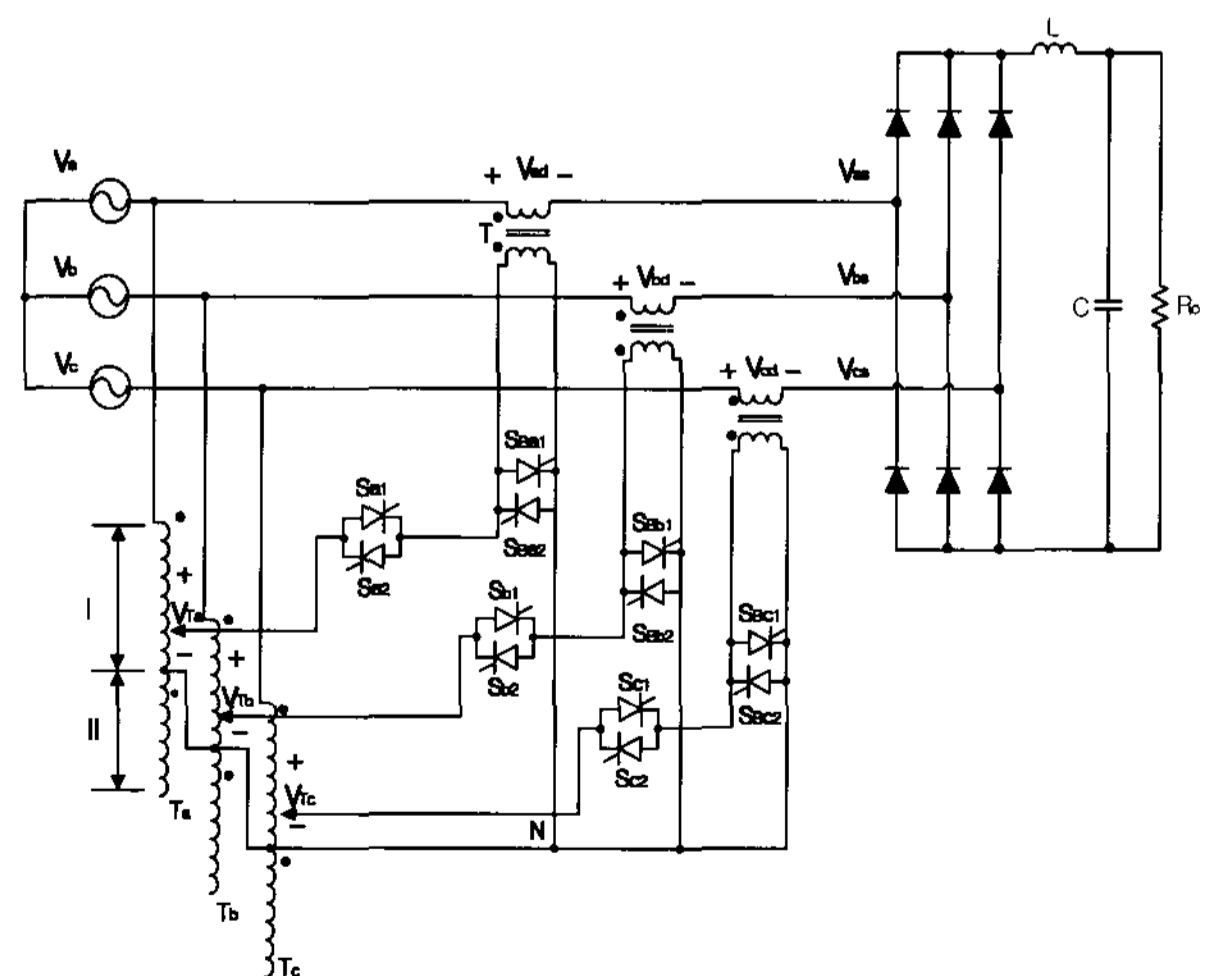


그림 1 전압변동 발생기와 비선형부하
Fig. 1 Voltage disturbance generator and nonlinear load

표 1 전압변동에 따른 스위치 상태와 T-접점위치 (a상의 경우)

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

V_{as}	S_{a1}, S_{a2}	S_{Ba1}, S_{Ba2}	T _a 접점
정상	OFF	ON	-
새그	ON	OFF	I-구간하단
스웰	ON	OFF	II-구간
순간정전	ON	OFF	I-구간상단

2.1 새그, 스웰, 순간정전 발생

그림 1에서 V_a, V_{as}, V_{ad} 의 관계는 다음과 같다.

$$V_{as} = V_a - V_{ad} \tag{1}$$

$$V_{ad} = V_{Ta}/n \tag{2}$$

$$V_{Ta} = V_a/n_{Ta} \tag{3}$$

여기서 n 과 n_{Ta} 는 각각 직렬변압기 T와 단권변압기 T_a의 변압비이다. 따라서 새그를 발생시키려면 V_{as} 는 V_a 보다 작아지도록 해야 하며, 이를 위해서는 V_{ad} 가 플러스(+)로 출력되어야 한다. S_{Ba1}과 S_{Ba2}가 온되어 있으면 T의 1차와 2차는 단락상태이므로 V_{ad} 는 영이 되어 정상상태를 유지한다. S_{Ba1}과 S_{Ba2}를 턴오프 하면서 S_{a1}과 S_{a2}를 턴온하면 T의 1차측에는 단권변압기의 2차측 전압이 인가된다. V_{ad} 의 극성이 플러스가 되기 위해 T_a의 접점은 I-구간에 있어야 한다. 이때

$$V_{as} = V_a \{1 - 1/(n \times n_{Ta})\} \tag{4}$$

이 되며 새그의 정도는 T와 T_a의 변압비로 결정된다. 미끄럼방식 단권변압기의 구조상 I-구간 내의 임의의 지점에서 접점설정이 가능하므로 0~100%의 전 범위에 걸쳐 광범위한 새그를 얻을 수 있다. 접점이 T_a의 상단부로 올라갈수록 새그의 정도는 증가하여 100%가 되면

$$V_{ad} = V_a \tag{5}$$

가 되어 식 (1)에서

$$V_{as} = 0 \tag{6}$$

이 되므로 순간정전을 발생하게 된다.

T_a의 접점을 II-구간에 두면 동일한 방법으로

$$V_{as} = V_a \{1 + 1/(n \times n_{Ta})\} \tag{7}$$

이 되어 스웰이 발생하며 스웰의 정도도 새그와 마찬가지로 T_a의 접점 위치로 다양하게 설정할 수 있다.

2.2 전압불평형 발생

그림 1에서 전력품질 외란 발생기의 3상 출력 전압 V_{as}, V_{bs}, V_{cs} 는 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{as} = V_a \{1 \pm 1/(n \times n_{Ta})\} \tag{8}$$

$$V_{bs} = V_b \{1 \pm 1/(n \times n_{Tb})\} \tag{9}$$

$$V_{cs} = V_c \{1 \pm 1/(n \times n_{Tc})\} \tag{10}$$

여기서, n_{Ta}, n_{Tb}, n_{Tc} 는 각각 단권변압기 T_a, T_b, T_c의 변압비를 의미하며 접점위치에 의해 결정된다. n_{Ta}, n_{Tb}, n_{Tc} 는 서로 동일한 값을 취할 수도 있고 상이하게도 할 수 있으므로 V_{as}, V_{bs}, V_{cs} 의 전압불평형은 각 단권변압기의 접점 위치만 상이하게 설정함으로써 간단히 얻을 수 있고 전압불평형 정도도 용이하게 조절할 수 있다.

3. SCR 사이리스터의 스위칭 패턴 해석

그림 1의 회로에서 스위치 S_{a1}~S_{c2}, S_{Ba1}~S_{Bc2}의 온/오프 상태에 따라서 정상상태와 전압변동(새그, 스웰, 순간정전)을 발생하는 상태로의 교번적인 천이가 가능하다. 그러나 이러한 상태변화는 임의의 순간에 모두 가능한 것은 아니다. 전원전압과 전원전류의 방향이 일정한 조건을 만족시키는 경우에 한해서 원하는 상태로의 천이가 가능하다. 정상상태에서 전압변동을 발생시키는 경우와 반대의 경우 각각에 대하여 SCR 사이리스터의 스위칭 조건을 살펴보면 다음과 같다. 그림 2는 스위칭 특성을 해석하기 위하여 그림 1의 일부를 다시 나타낸 것이다.

3.1 전압변동 발생시 스위칭 허용구간

먼저 선형 부하 접속시 정상상태에서 새그가 발생하는 경우를 살펴본다. 그림 2에서 정상상태에서는 S_{Ba1}, S_{Ba2}가 턴온 되어 있고 S_{a1}과 S_{a2}는 턴오프 되어 있다.

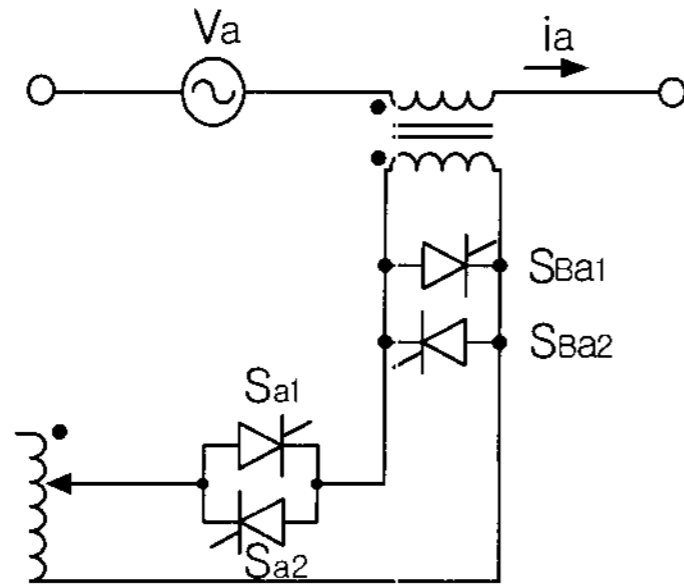
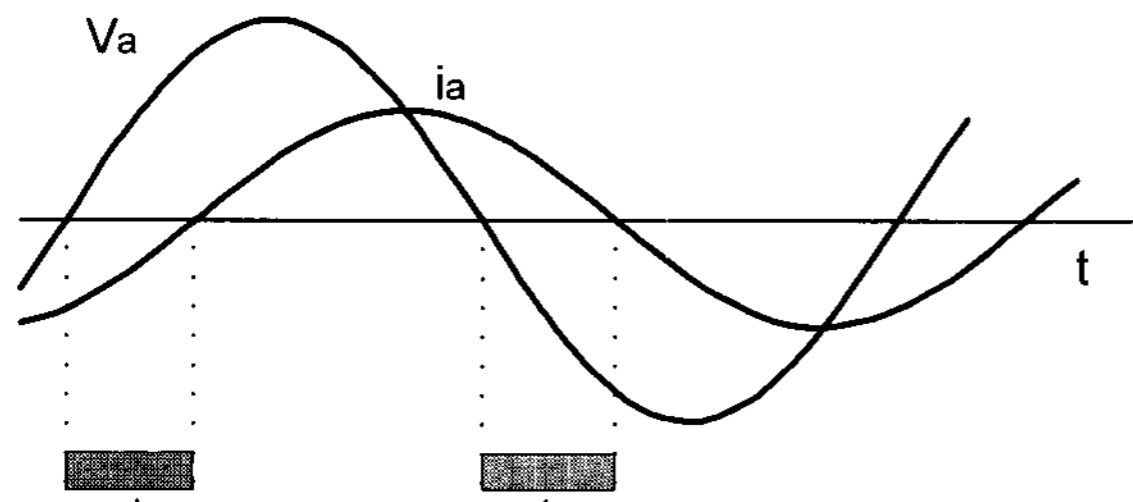
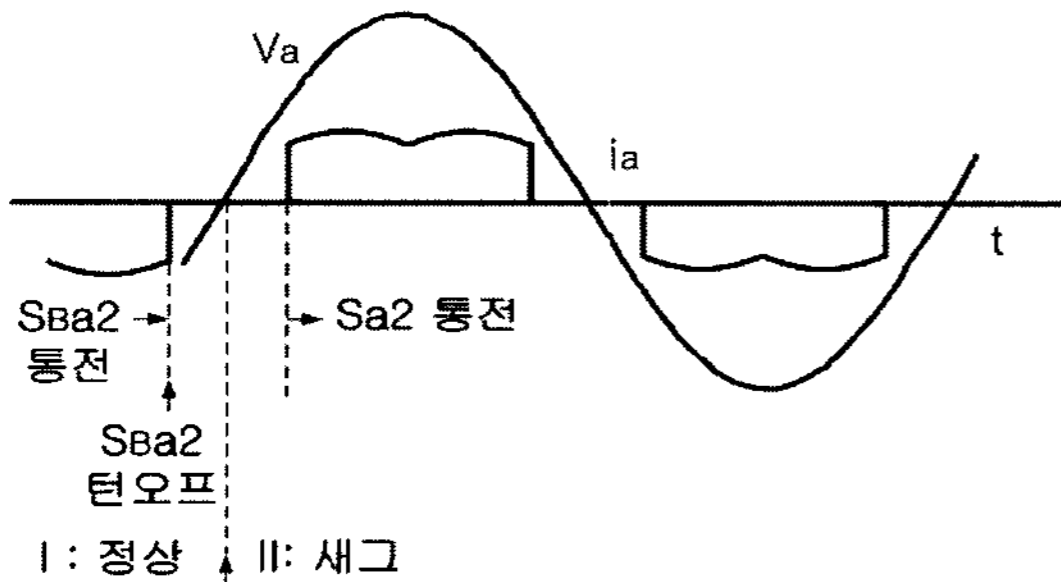


그림 2 SCR 사이리스터와 직렬변압기 부분
Fig. 2 SCR thyristor and series transformer



(a) 선형 부하인 경우
(a) In case of linear load



(b) 비선형 부하인 경우
(b) In case of nonlinear load

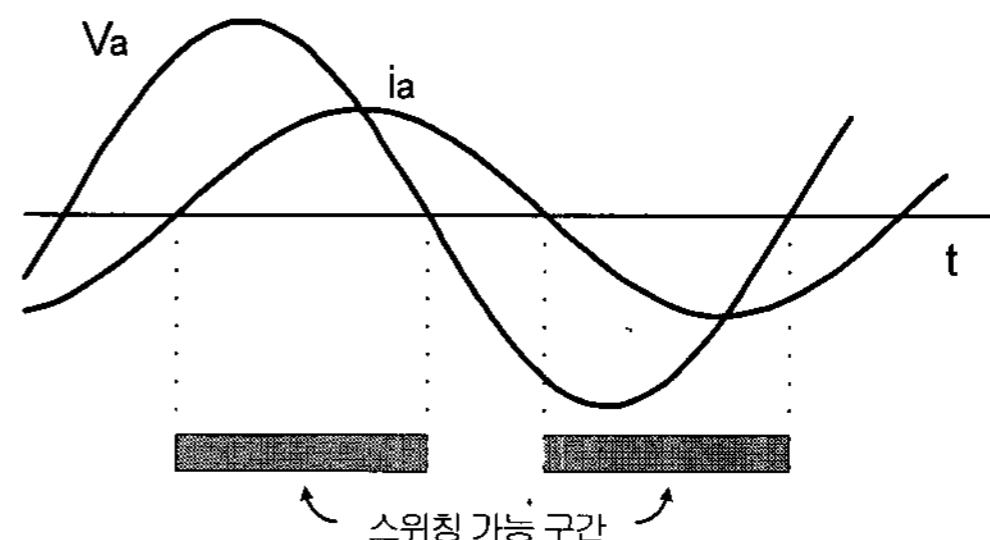
그림 3 전압변동 발생시 스위칭 상태
Fig. 3 Switching states in voltage disturbance generation

이때 새그를 발생하기 위하여 S_{a1} 과 S_{a2} 를 턴온 하고 S_{Ba1} 과 S_{Ba2} 를 턴오프 하는데, 그림 3(a)에서와 같이 전원전압과 전류의 극성이 동일한 구간에서는 전류가 불가능하다. V_a 가 양(+)이고 i_a 가 음(-)인 구간을 살펴보면, i_a 가 음(-)이므로 그림 2에서 전류는 부하측에서 전원측으로 흐른다. 그러면 S_{Ba2} 가 통전중에 있으므

로 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 유기되는 전압의 극성은 전원전압을 상쇄시키는 방향이 되어 최종 출력전압의 크기는 전원전압보다 작아진다. 비선형 부하에서는 그림 3(b)와 같이 전류의 불연속 구간이 발생한다. 그림 3(b)에서 알 수 있듯이 정상구간(I)에서 S_{Ba2} 를 통해 흐르는 전류는 V_a 가 음(-)에서 양(+)으로 변하기 전에 0으로 감소한다. 따라서 새그를 발생시키고자 하면 i_a 가 0이 됨과 동시에 S_{Ba2} 의 게이트 신호를 오프하고 V_a 가 음(-)에서 양(+)으로 변하는 지점에서 S_{a1} 과 S_{a2} 를 턴온한다. 그러면 V_a 가 양(+)인 구간에서 i_a 가 양(+)으로 통전하면서 직렬변압기의 1차측 전류는 S_{a2} 를 통하여 흐르게 된다. 정상상태에서 순간정전을 발생시키는 경우도 앞에서 기술한 원리와 동일하게 동작하며 스웰을 발생시키고자 하는 경우에는 스위칭 허용구간이 새그를 발생시키는 경우와 반대가 된다.

3.2 정상상태 복귀시 스위칭 허용구간

새그가 발생한 상태에서 정상상태로 복귀하는 경우를 살펴본다. 그림 2에서 새그가 발생한 상태 하에서는 S_{a1} 과 S_{a2} 가 턴온 되어 있고 S_{Ba1} 과 S_{Ba2} 가 턴오프 되어 있다. 이때 정상상태로 복귀하려면 S_{Ba1} 과 S_{Ba2} 를 턴온하고 S_{a1} 과 S_{a2} 를 턴오프 하는데, 그림 4(a)에서 알 수 있듯이 전원전압과 전류의 극성이 동일한 구간에서만 가능하며 극성이 상이한 구간에서는 불가능하다. 왜냐하면 전원전압 V_a 는 양(+)이고 전류 i_a 가 음(-)인 구간에서는 S_{a1} 이 턴온 상태에 있으므로 S_{Ba1} 을 턴온하면 단권변압기의 양(+)의 전압이 S_{Ba1} 에 순방향으로 인가되어 단락회로를 형성하기 때문이다. 그림 4(b)는 비선형 부하 시 새그 상태에서 정상상태로 복귀하기 위한 스위칭 상태를 나타내고 있다.



(a) 선형 부하인 경우
(a) In case of linear load

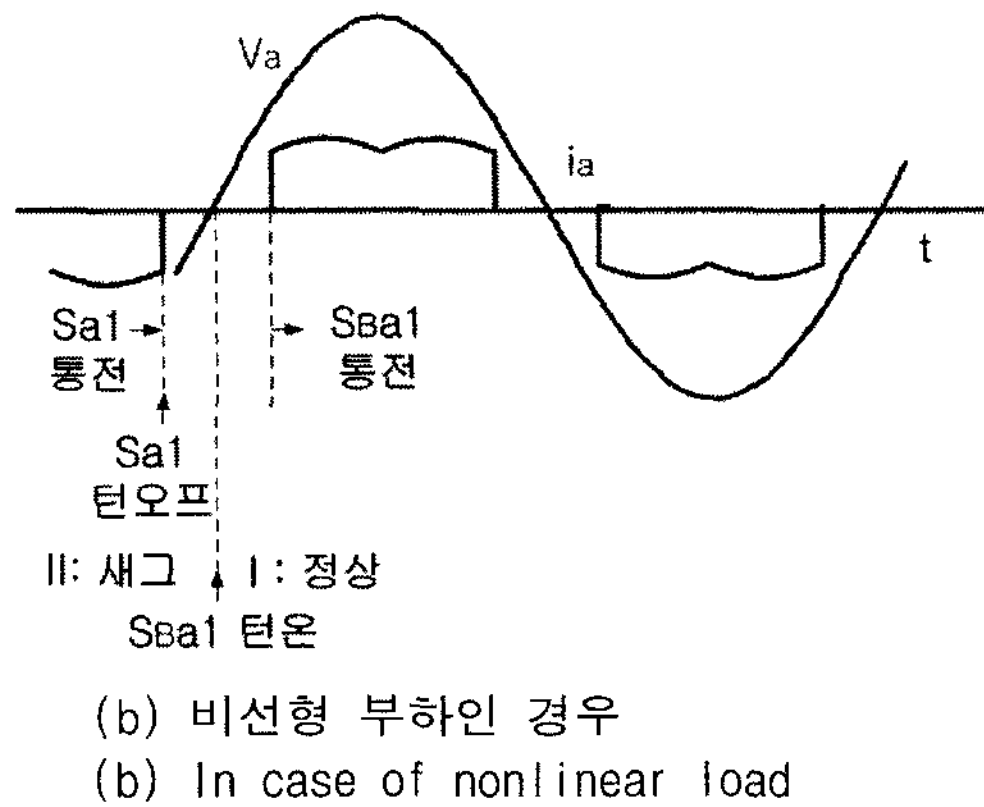


그림 4 정상상태로 복귀시 스위칭 상태
Fig. 4 Switching states in the recovery to normal condition

V_a 가 음(-)인 구간 동안 새그 상태에서 S_{a1} 을 통해 흐르는 전류가 0이 됨과 동시에 S_{a1} 의 게이트 신호를 오프하고 V_a 가 음(-)에서 양(+)으로 변하는 지점에서 S_{Ba1} 을 턴온한다. 그러면 V_a 가 양(+)인 구간에서 i_a 가 양(+)으로 흐를 때 직렬변압기의 1차측 전류는 S_{Ba1} 을 통하여 흐르면서 정상상태로 회복된다. 스웰 상태에서 정상상태로 복귀하는 경우의 스위칭 허용구간은 새그의 경우와 반대로 된다.

4. 시뮬레이션 결과

비선형 부하인 경우의 시뮬레이션은 그림 1의 회로와 동일하게 수행 하였으며, 그림 1에서 시뮬레이션에 필요한 파라미터는 표 2와 같다.

표 2 시뮬레이션 파라미터
Table 2 Parameters for the simulation

파라미터	값	파라미터	값
교류 3상전원	220V, 60Hz	정류기 필터 L	1mH
직렬변압기 자화인덕턴스	100mH	부하저항 R_o	18Ω
직렬변압기 누설인덕턴스	323μH	SCR Bulk resistance	1mΩ
단권변압기 자화인덕턴스	100mH	SCR Forward voltage	0.8V
단권변압기 누설인덕턴스	50μH	정류기 필터 C	6800μF

그림 5와 6은 선형부하인 경우 각각 새그와 스웰 발생 시의 출력전압 파형을 나타낸다. 그림 5는 정상상태에서 30%의 새그가 발생하였다가 다시 정상상태로 복귀되는 것을 나타낸다. 그림 6(a)는 정상상태에서 30% 스웰이 발생하는 경우를 나타내고 6(b)는 50% 스웰 발생후 정상상태로 복귀되는 경우를 나타낸다. 그림 7은 비선형 부하시 50% 새그가 발생한 후 정상상태로 회복하는 경우의 정류기 출력전압과 정류기 입력전압파형을 나타낸다. 그림 8은 비선형 부하시 a-상 전류파형을 나타낸다.

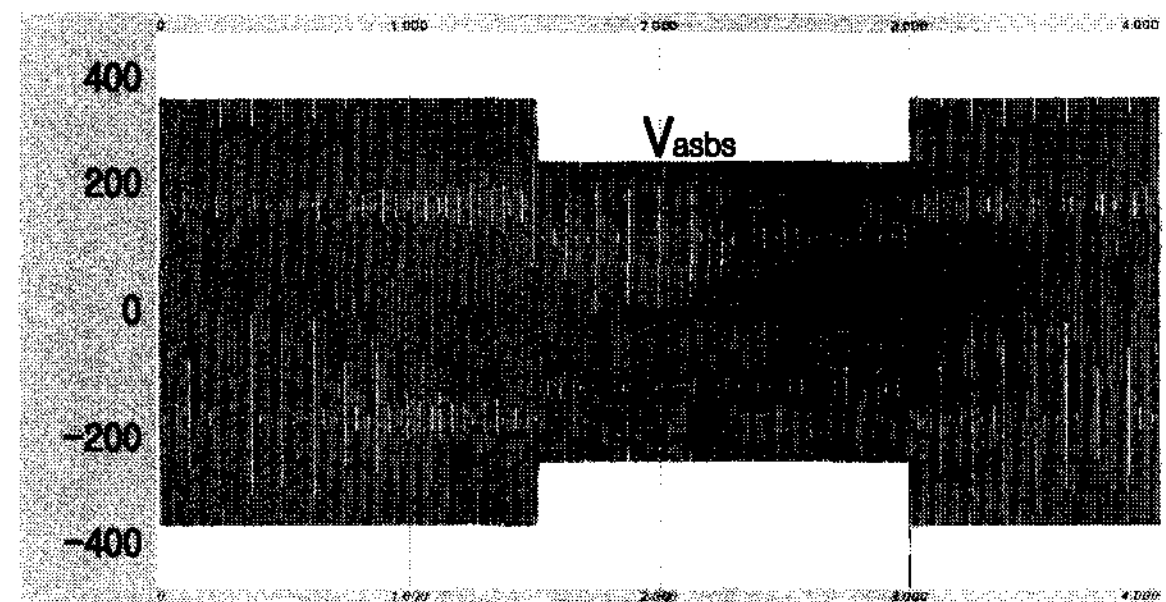
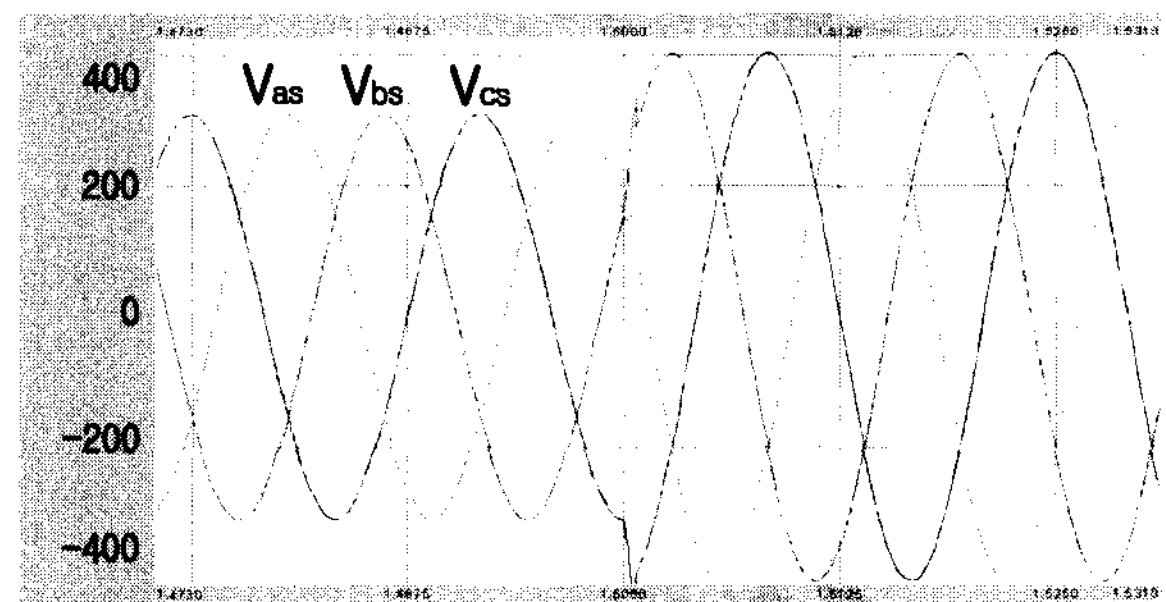
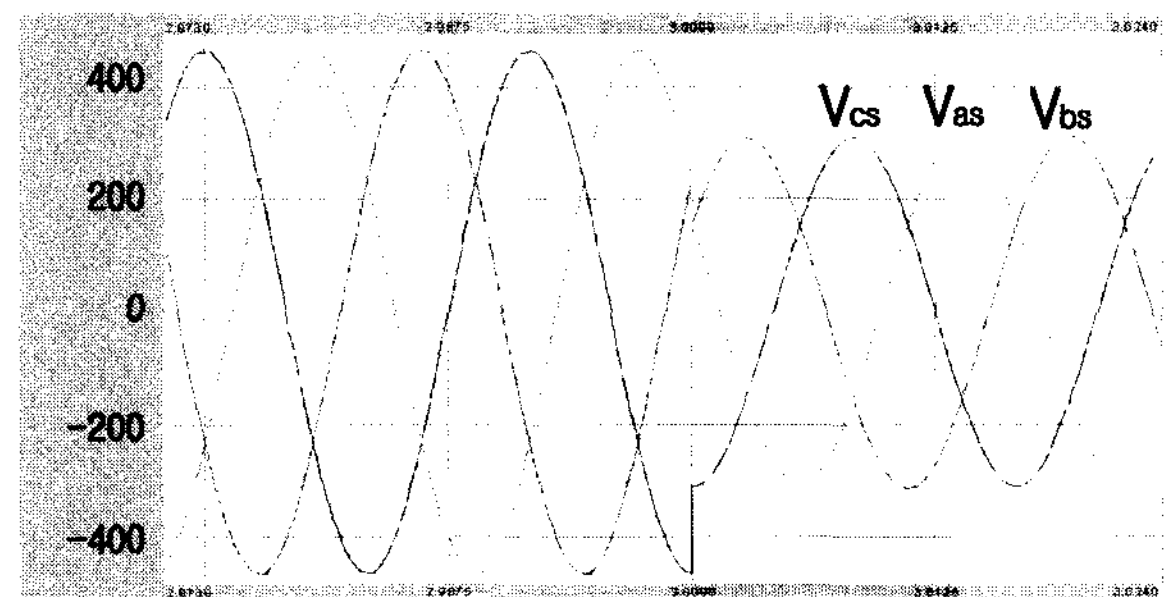


그림 5 선형 부하시 30% 새그 발생
Fig. 5 30% Sag generation in linear load



(a) 정상상태에서 30% 스웰 발생
(a) From normal to 30% Swell generation



(b) 50% 스웰 발생 후 정상상태로 복귀
(b) From 50% Swell to normal condition

그림 6 선형 부하시 스웰 발생
Fig. 6 Swell generation in linear load

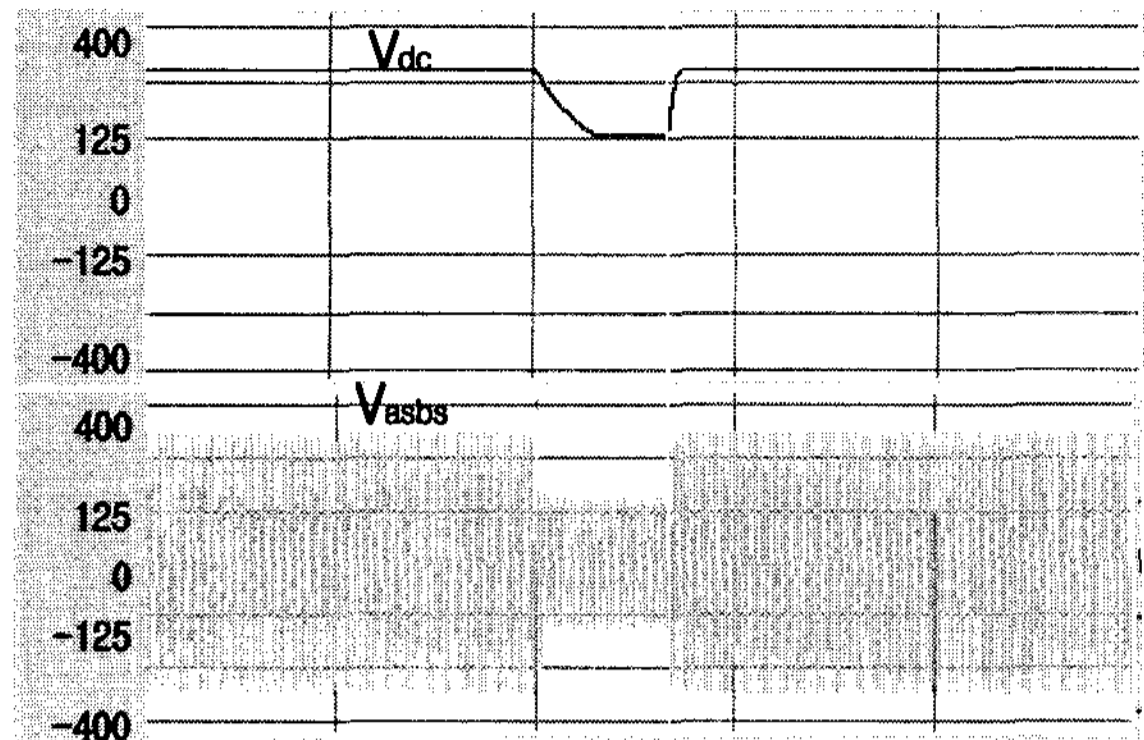


그림 7 비선형 부하시 50% 새그 발생 (상: 정류기 출력 전압, 하: 정류기 입력전압)
 Fig. 7 50% sag generation in nonlinear load (top: rectifier output voltage, bottom: rectifier input voltage)

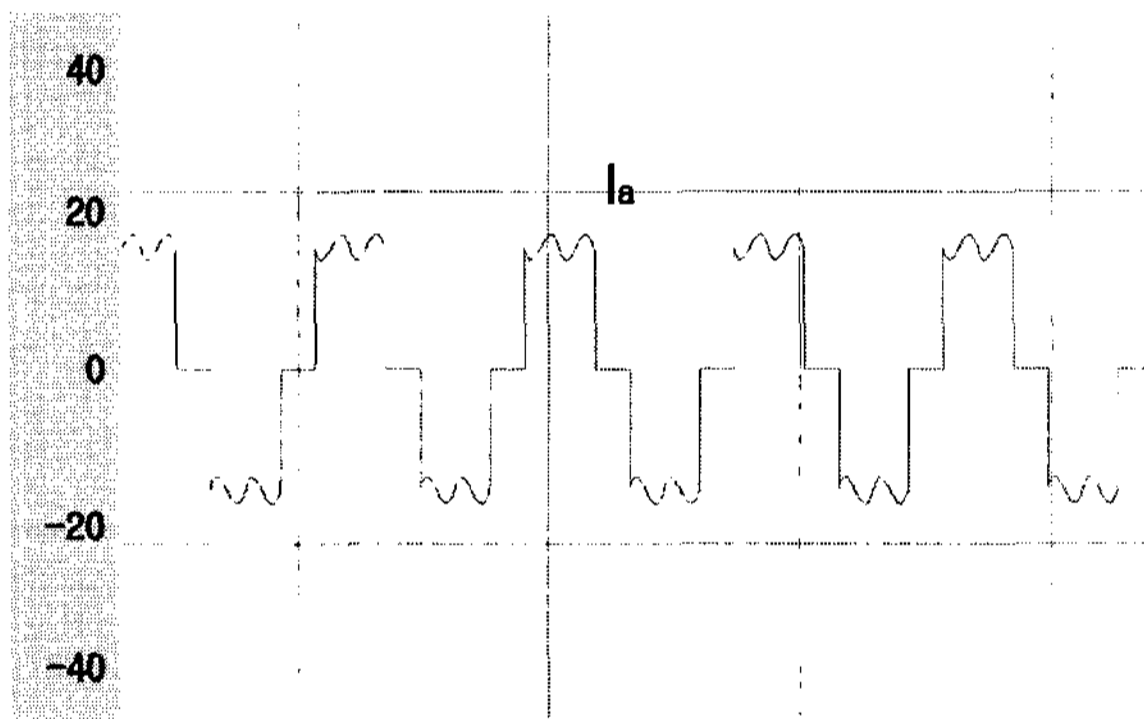


그림 8 비선형 부하시 a-상 전류파형
 Fig. 8 a-phase current in nonlinear load

5. 실험 결과

선형 및 비선형 부하에 대한 실험을 수행하였으며 대표적인 실험 파형은 다음과 같다. 그림 9는 선형 부하에서 50% 새그를 연속 2번 발생시킨 경우의 a-b상 선간전원전압과 선간출력전압 파형을 나타내며, 그림 10은 정상상태에서 30% 스웰을 발생시킨 경우 a-b상 선간전원전압과 a- 및 b-상의 출력 상전압파형, 그리고 a-상 전류파형을 나타낸다. 그림 11은 비선형 부하시 50% 새그가 발생한 후 정상상태로 복귀하는 경우의 정류기 출력전압과 정류기 입력전압파형을 나타낸다. 그림 12는 비선형 부하시 a-상 전류파형을 나타낸다. 따라서 선형 뿐 아니라 비선형 부하에서도 전압변동이 원활히 이루어짐을 알 수 있다.

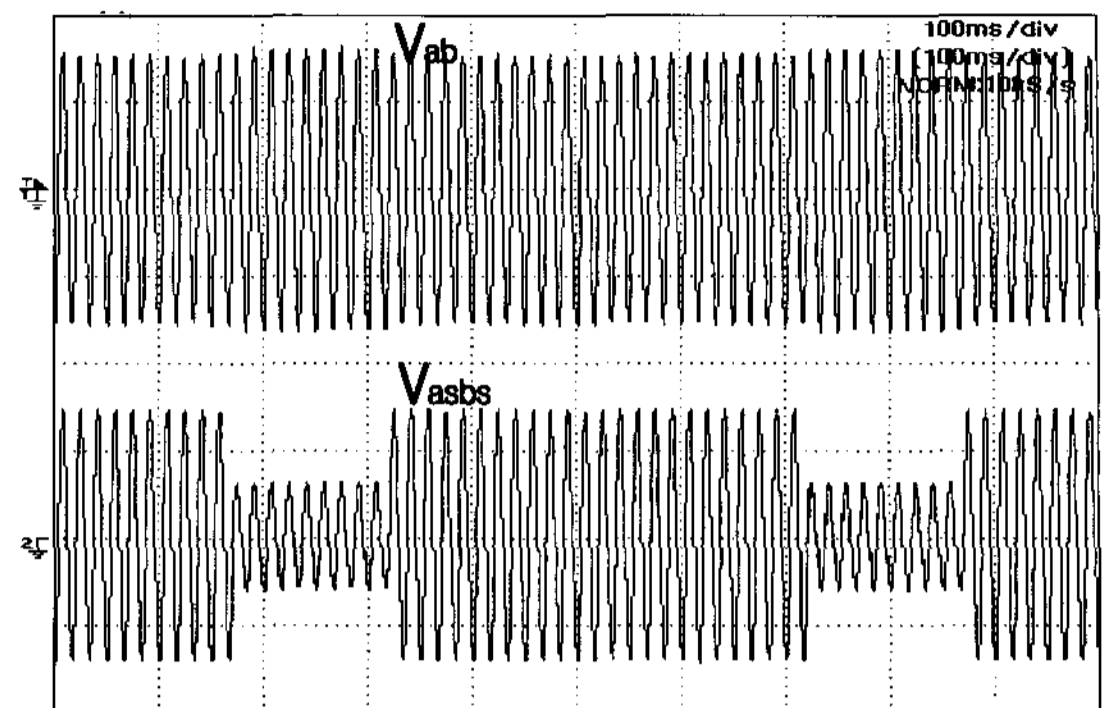


그림 9 50% 새그 발생시 선간전원전압과 선간출력전압 (200V/div)
 Fig. 9 Line-to-line source and output voltage in case of 50% sag generation (200V/div)

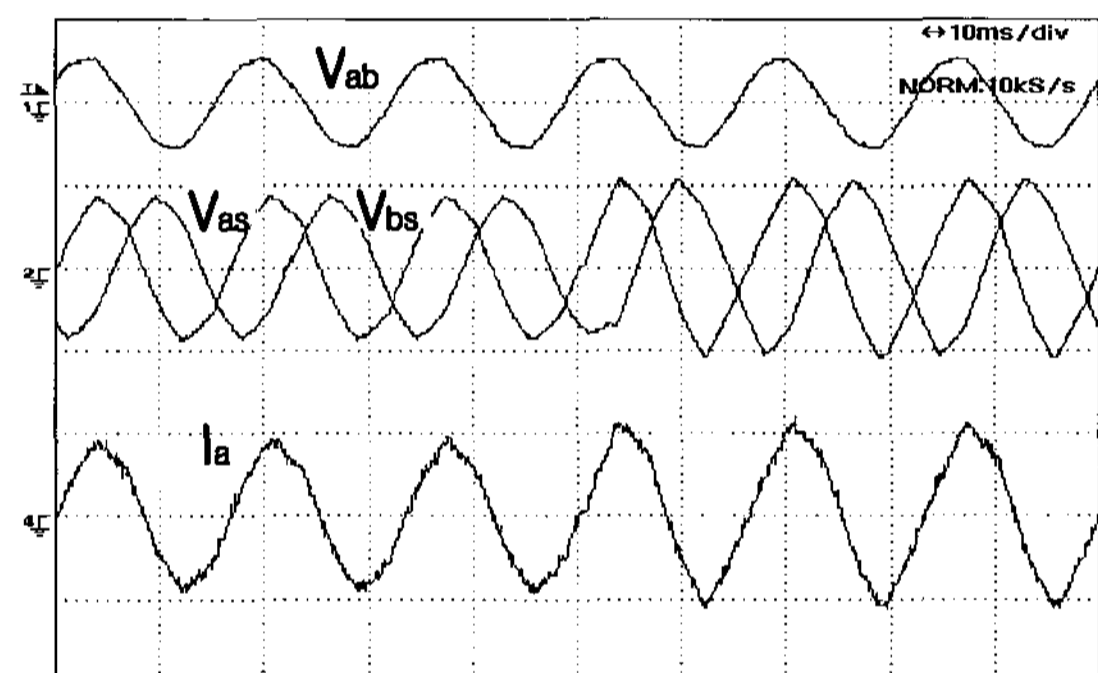


그림 10 30% Swell 발생시 전원 선간전압, 출력상전압 및 a상 전류 (500V/div, 200V/div, 20A/div)
 Fig. 10 Line-to-line source voltage, output phase voltages, and a-phase current in case of 30% swell generation (500V/div, 200V/div, 20A/div)

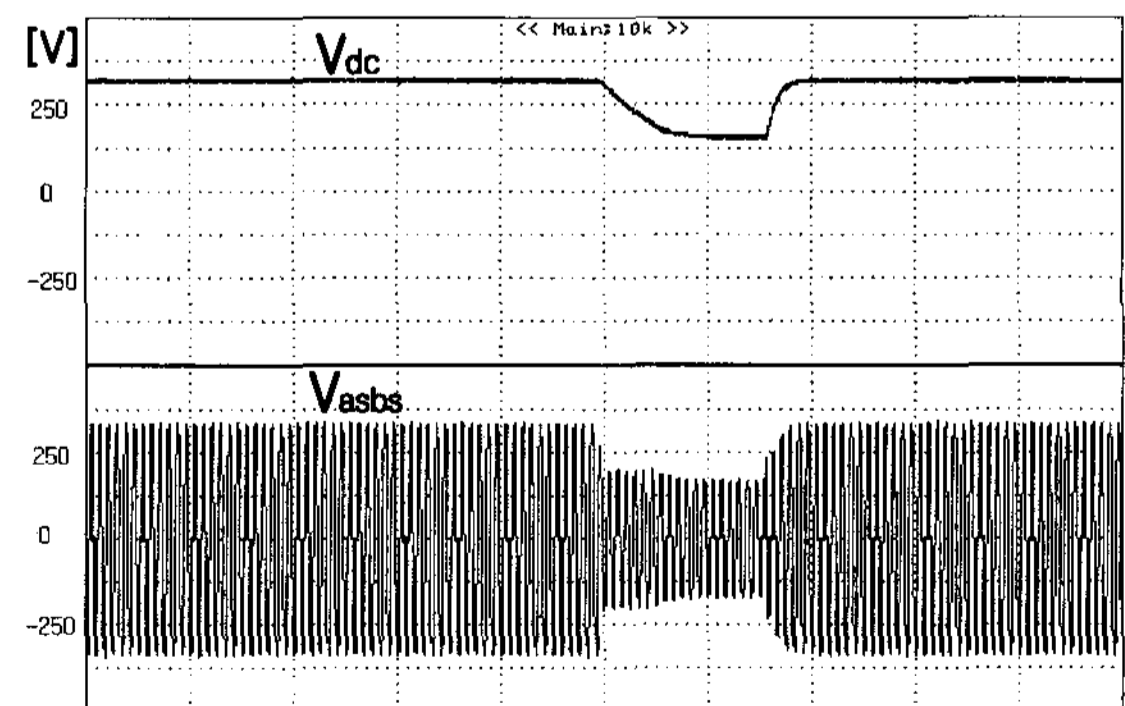


그림 11 비선형 부하시 50% 새그 발생 (상: 정류기 출력전압, 하: 정류기 입력전압, 125V/div)
 Fig. 11 50% sag generation in nonlinear load (top: rectifier output voltage, bottom: rectifier input voltage, 125V/div)

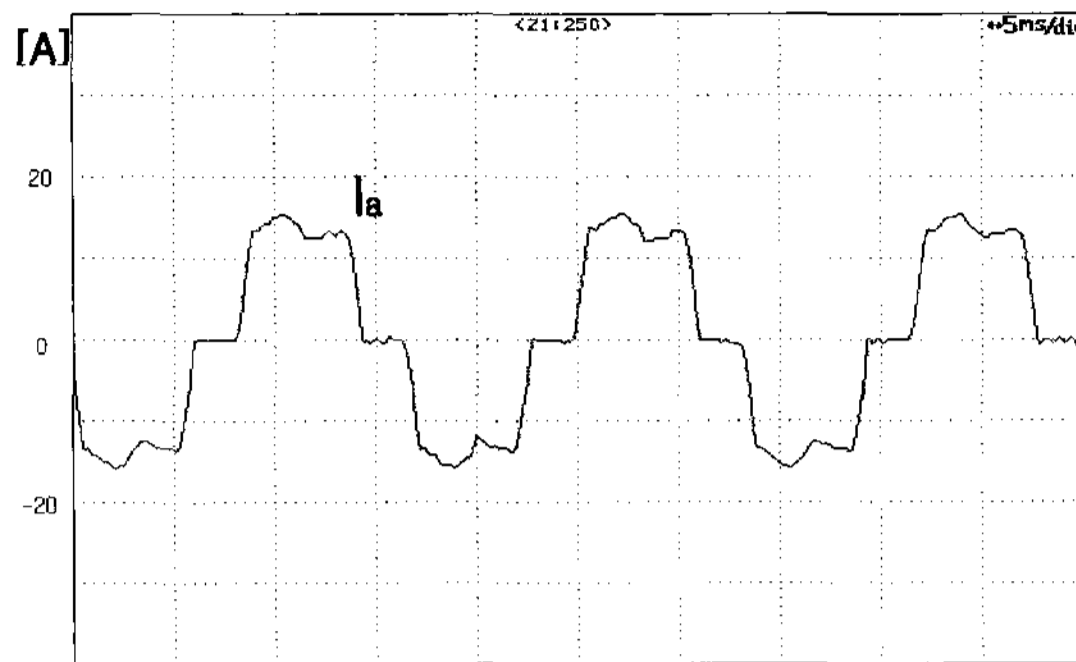


그림 12 비선형 부하시 a-상 전류 실험파형 (10A/div)
 Fig. 12 a-phase current in nonlinear load (10A/div)

6. 결 론

본 논문에서는 전력품질 개선장치들의 성능시험을 위하여 제안된 전압변동 발생기에 대하여 선형 뿐 아니라 비선형 부하에서도 원활한 동작이 이루어질 수 있는 스위칭 특성해석을 하였다. 스위칭 특성해석을 통하여 기존의 방식에서 비선형 부하동작을 위하여 사용하였던 더미저항을 제거할 수 있었으며, 따라서 효율을 향상시키고 시스템의 구성을 간단히 할 수 있게 되었다. 스위칭 특성해석 결과 새그와 순간정전 발생시의 스위칭 메카니즘은 동일하고 스웰을 발생시키는 경우는 새그의 경우와 상반된다는 것을 알 수 있었으며, 선형부하인 경우와 비선형 부하인 경우는 서로 구분하여 스위칭을 하여야 정상 동작이 된다는 것을 파악하였다. 즉, 선형 부하에서는 3상의 각상 전압과 전류의 극성에 따라 SCR 사이리스터의 스위칭 허용구간이 결정되며, 비선형 부하에서는 전압의 극성이 바뀌는 영점 근처에서 SCR 사이리스터를 스위칭 해야 한다. 선형 및 비선형 부하에 대하여 전압변동 발생이 가능함을 시뮬레이션과 실험을 통하여 입증하였다. 전력품질 개선을 위한 전력품질 개선장치들은 그 중요성에 힘입어 성능 향상 및 새로운 토폴로지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으므로 본 논문에서 다룬 전압변동 발생기는 전력품질 개선장치들의 성능시험에 요긴하게 활용될 것으로 기대된다.

이 논문은 2005학년도 부경대학교 연구년 교수 지원사업에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

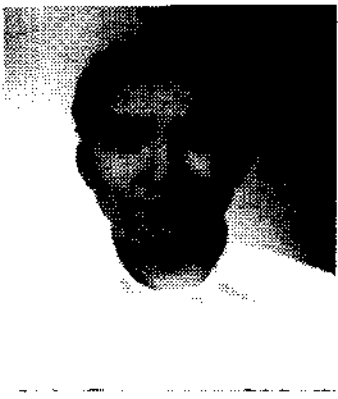
- [1] S. A. O. Silva, P. F. Donoso-Garcia, P. C. Cortizo and P. F. Seixas, "A three-phase line interactive UPS system implementation with series-parallel active power-line conditioning capabilities," *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, Vol. 38, No. 6, pp. 1581-1590, 2002, Nov./Dec.
- [2] M. C. Jiang, "Analysis and design of a three-phase active power filter," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 37, No. 3, pp. 824-831, 2001.
- [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] F. Z. Peng, H. Akagi, and A. Nabae, "A New Approach to Harmonic Compensation in Power Systems-A Combined System of Shunt Passive and Series Active Filters," *IEEE Trans. Industry Applications*, Vol. 26, No. 6, pp. 983-990, 1990, Nov.
- [5] Power Standards Lab. "Industrial Power Corruptors standard power quality disturbance generators," 2003.
- [6] Elgar electronics Co., "Smart wave Switching amplifier operation manual," 2002.
- [7] 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*, Vol. 3, pp. 1933-1937, 2002.
- [8] 변우열, 김중원, 이기수, 노의철, 김인동, 전태원, 김홍근, "다이나믹 UPS 시스템의 전력품질 외란발생을 위한 전압 Sag-Swell 발생기," *전력전자학회 논문지* Vol. 10, No. 1, pp. 102-107, 2005. 2.
- [9] J. W. Kim, K. S. Lee, E. C. Nho, I. D. Kim T. W, Chun H. G. Kim, S. S. Lee "3-Phase Voltage Disturbance Generator for the Performance Test of A Flywheel Energy Storage UPS," *Proceedings of International Conference on Power Electronics*, Vol. 2, pp. 222-225, 2004.
- [10] E.C. Nho, I.D. Kim, T.W. Chun, H.G. Kim, "Cost-effective power quality disturbance generator for the performance test of custom power devices," *Proceedings of IEEE-IECON*, pp. 1606-1610, 2004.
- [11] 박성대, 노의철, 김인동, 전태원, 김홍근, "비선형부하특성을 갖는 전력품질 개선장치의 성능시험을 위한 전압변동발생기," *대한전기학회 하계학술대회 논문집*, pp. 935-936, 2006.

저 자 소 개



노의철(魯義哲)

1960년 8월 2일생. 1984년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 졸업(공박). 1997년~1998년 미국 Univ. of Wisconsin-Madison 객원교수. 2005년~2006년 미국 University of California-Irvine 객원교수. 1995년~현재 부경대 전기제어공학부 교수. 당 학회 편집이사.



박성대(朴成大)

1979년 5월 25일생. 2005년 부경대 공대 전기공학과 졸업. 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 (주)PSTEK 기술연구소 연구원.



김인동(金仁東)

1960년 8월 27일생. 1984년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 졸업(공박). 1991년~1996년 대우중공업 철도차량연구소 책임연구원. 1997년~1998년 미국 Univ. of Tennessee 방문교수. 2004년~2005년 미국 Virginia Tech 방문교수. 1996년~현재 부경대 공대 전기제어공학부 교수. 당 학회 편집위원.