

전력품질 향상기기의 실증시험을 위한 SSHG 개발

권기현*, 정용호*, 김희중*, 박태범*, 전영수**
 * LG산전 중앙연구소, ** 한전 전력연구원

SSHG(Sag/Swell and Harmonics Generator) Development for Actual Test of CPD(Custom Power Device)

G. H. Kwon*, Y. H. Chung*, H. J. Kim*, T. B. Park*, Y. S. Jeon**
 *LG Industrial System R&D Center, **KEPRI

Abstract - This paper proposes a new SSHG(Sag/Swell and Harmonic Generator) injecting voltage by using series inverter. The proposed SSHG composes series inverter, DC capacitor as energy storage, rectifier and voltage clamp circuit. This SSHG is designed to generate typical power disturbances, such as voltage sag/swell, over/under voltage and voltage flicker. Also it is designed to generate unexpected voltage phase jumping waveform by controlling the series inverter.

In this paper, three kinds of control methods for the proposed 2MVA SSHG are given. Typical voltage sag and swell waveforms are implemented by adopting simple control method. Also the voltage flicker is generated by changing the amplitude of the injected voltage in random. Owing to the limited bandwidth of the proposed SSHG, high frequency transient waveforms can be obtained by using the open loop control. The simulation and experimental results are given to verify the operation of the proposed SSHG. Finally, conclusions are given.

1. 서 론

최근 십수년 사이 전자기기나 전력제품들에 마이크로 프로세서나 DSP같은 IC류의 사용이 급증해짐에 따라 전력의 품질에 더욱 민감해지고 있다. 이는 또한 전자기기의 정지나 관련 시스템의 정지와 같은 사고를 초래하여 생산현장이나 사무실 등에 적지않은 손실을 입히고 있는 실정이다. 이러한 전력품질의 악화를 막기 위해 DVR(Dynamic Voltage Restorer)나 DSTATCOM과 같은 CPD(Custom Power Device)장비들이 개발 또는 제품화되어 화학공장이나 반도체공장 같은 곳에 설치되어 운영되고 있다.¹⁾⁻²⁾

하지만 전력품질을 향상시키는 CPD장비들을 개발한다고 해도 이를 시험하기 위한 장비는 전문하다. UPS와 같은 제품은 제품의 신뢰성 및 성능을 시험, 평가하는 규격이 있으며 이를 시험하기 위한 장비가 있으나 CPD를 시험하기 위한 장비는 거의 없다. 현재까지 나온 장비로는 수 kVA나 수십 kVA 급에 불과하여 CPD장비의 정격인 수 MVA나 그 이상의 장비들을 시험하기에는 부족하다.

CPD장비들을 시험하기 위한 장비에 대한 연구로는 변압기와 TCR(Thyristor Controlled Reactor)를 이용하여 Voltage Sag/Swell, Under/Over Voltage, Voltage Harmonic Distortion을 발생시키는 연구들 들 수 있다.³⁾ 그러나 이 방법으로 Voltage Sag를 발생시키려면 부하 정격의 수배정도의 용량을 필요로 하며 상대적으로 느린 응답특성을 가진다.

다른 방법으로 Solid-state switched tap changer⁴⁾를 들 수 있다. 이 방법은 Chopper를 이용하여 Voltage

Sag나 Swell을 발생시키므로 실제 Voltage Sag나 Swell이 발생될 때의 Voltage phase jump와 같은 파형을 기대할 수는 없는 단점을 가지고 있다. 또한 시스템에 필요한 스위칭 디바이스의 수도 Tap에 따라 많아지는 단점이 있다.

빠른 응답특성과 상대적으로 작은 규모의 용량, 그리고 Voltage phase jump와 같은 파형을 발생시키기 위해 본 논문에서는 직렬 인버터, DC 콘덴서, 정류기와 Voltage Clamp 회로를 가지는 새로운 SSHG에 대하여 논의하고자 한다.

2. 제안된 SSHG의 구성 및 동작

그림 1은 SSHG의 회로를 나타내고 있다. 그림에서와 같이 단상 인버터와 직렬 변압기의 조합으로 배전계통에 전력을 주입하는 방법은 DVR과 유사하다. 회로구성 또한 DVR과 유사하여 배전계통과 연결되어 있는 직렬 변압기(T_s), Bypass 스위치(B_1, B_2), LC필터(L_s, C_p)와 연결된 단상 인버터, DC 콘덴서(C_{dc}), 전압 Clamp회로(R_s, D_s 와 S_a), 그리고 인버터에 DC 전력을 공급하기 위한 병렬 변압기(T_p)와 정류기로 구성되어 있다. 앞에서 설명한 것과 같이 DVR회로와 다른 점은 전압 Clamp 회로와 병렬 변압기, 정류기에 있다. SSHG에 사용되는 병렬 변압기와 정류기는 DVR에서와 같이 단순히 에너지 저장장치인 DC 콘덴서에 충전하는 정도의 용량이 아니라 정격 용량의 전력을 공급할 정도로 큰 용량을 가진다.

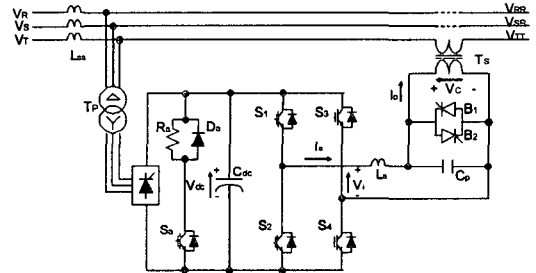


그림 1. 제안된 SSHG의 회로

SSHG는 여러 가지 종류의 Power Disturbance를 발생시킬 수 있으나 전력의 유입과 유출의 측면에서 Voltage Sag나 Swell의 동작을 살펴보면 다음과 같다. SSHG에서의 Voltage Sag와 Swell 동작은 DVR과 반대되는 동작특성을 가진다. 즉 SSHG에서 Voltage Sag를 발생시키고자 할 때는 출력에 배전계통에서 정상전압을 가지고 전압하강을 발생시키므로 그 전압하강 만큼 전력이 Inverter로 유입되게 된다. 참고로 DVR에서는 Voltage Sag를 보상할 때 에너지 저장장치에 저장되어 있는 에너지를 소비하는 형태로 동작하게 된다. 즉 전력

은 인버터에서 배전계통으로 유입된다. Voltage Sag를 발생시킬 때 유입된 전력을 소모시키기 위해 SSHG는 내장된 전압 Clamp 회로를 동작시켜 소비하게 된다. 반대로 Voltage Swell을 발생시키고자 할 때는 출력에 전압상승을 발생시키는 만큼의 전력이 필요하므로 병렬 변압기와 정류기를 통해 전력을 공급하여 Voltage Swell을 발생시킨다.

3. 제안된 SSHG의 제어

이러한 Voltage Sag와 Swell을 발생시키기 위해 본 논문에서는 3가지 전압 제어 방법에 대해 논의하기로 한다. 즉 Open loop 제어, Ramped open loop 제어, 그리고 Dead beat 제어에 대해 소개하기로 한다.

Open loop 제어 방법은 배전계통에 주입되는 전압을 조절하기 위한 Feedback이 없다. 제어방법은 간단하고 Voltage Sag나 Swell을 발생시키는 데 효과적이다. 하지만 이 방법은 전압 제어가 끝나는 시점이나 시작되는 시점에서 필터 리액터(Ls)에 흐르는 전류가 과도하게 흐를 가능성이 있는 문제점이 있다.

Ramped open loop 제어 방법의 경우, 주입되는 전압의 크기는 1 Cycle이나 그 이하의 시간 간격이내에 부하 전압을 원하는 Voltage Sag나 Swell 전압으로 점차적으로 증가시키는 방법이다. 이 방법은 앞선 Open loop 제어에서 필터 리액터에 흐르는 과도전류를 제한할 수 있는 이점이 있으나 시간지연이 발생된다.

마지막으로 Dead beat 제어 방법은 그림 2에 나타나고 있다. 이 제어 방법은 빠른 Dynamic response를 얻을 수 있으며 필터 리액터에 흐르는 과도 전류를 최소화하기 위해 전류 제어 loop가 적용되어 있다.^[5-6] 그림 2에서와 같이 제어기는 Outer loop로서 Dead beat 전압 제어가, Inner loop로서는 전류 제어기로 구성되어 있어서 전압 제어가 원하는 Voltage Sag와 Swell을 발생시키도록 제어하고 Inner loop의 전류제어가 전압 발생시 과도하게 흐르는 전류를 제한하도록 동작한다. Inner loop의 전류제어기는 통상적인 PI제어기를 사용하였다.

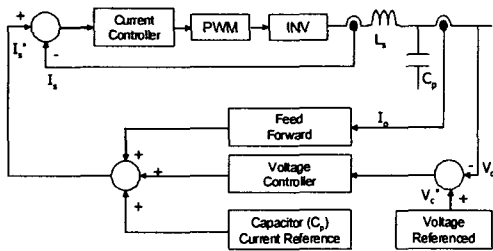


그림 2. Double dead beat 제어기의 블록도

4. 시뮬레이션과 시험결과

시뮬레이션 및 시험에 사용된 Parameter는 표 1과 같다. 시뮬레이션 Tool로는 PSIM이 사용되었다.

그림 3는 Open loop 제어를 사용하였을 때의 Voltage Sag와 Swell 파형을 보여주고 있다. 그림의 파형에서와 같이 Voltage Sag와 Swell 파형은 만족할만한 수준이나 Voltage Sag 발생 후 정상전압으로 복귀할 때와 Voltage Swell을 발생하고자 할 시점에서는 Spike성 전압이 발생되는 것을 볼 수 있다. 이는 또한 전류에서도 짧은 시간에 아주 큰 과도전류가 흐르는 것을 볼 수 있다.

표 1. SSHG의 주요 Parameters

항목	내용
Line Voltage	22.9 kV
Power Ratings	2,000 kVA
DC Link Voltage	1,600 V
Switching Frequency	1 kHz
Filter Reactor Ls	200 uH
Filter Capacitor Cp	750 uF
Clamp Resister Rs	1 Ohm
Series Transformer	5 Legs Type, 3 Phase Transformer
Line Inductance Lss	35 mH

그림 4는 Ramped open loop 제어를 사용하였을 때의 파형을 보여주고 있다. 이 때 Voltage Sag나 Swell을 발생시킬 기준 전압을 점차적으로 증가시키는 방법으로 제어를 하게 된다. 이 때 발생시키고자 하는 기준 전압까지의 시간 간격은 1 Cycle내지 그 이하로 설정된다. 그림 3과 비교하여 Spike성 전압이 발생되지 않고 과도전류도 억제되어 전류파형이 많이 개선됨을 알 수 있다.

그림 5는 Double dead beat 제어의 경우를 보여준다. 이 경우의 제어에 있어서는 그림 3과 그림 4의 Open loop 제어와는 달리 많이 개선된 형태를 보여주고 있다. 이 때의 전류 파형은 그림 2와 같이 Current 제어 loop를 사용하여 전류를 제한한 결과로 과도전류가 거의 나타나지 않는다.

그림 6은 Ramped open loop 제어를 사용하여 실제 22.9kV인 배전계통에서 Voltage Sag를 발생시킨 결과를 보여주고 있다. 이 때의 전압은 정상상태의 전압을 기준으로 약 70%정도로 Drop이 발생하였으며 기간은 약 6 Cycle정도이다.

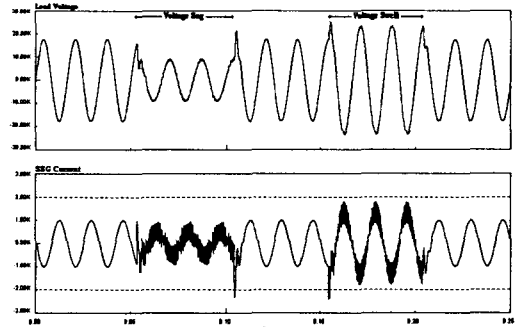


그림 3. Open loop 제어에서의 시뮬레이션 결과 (부하전압과 인버터 전류)

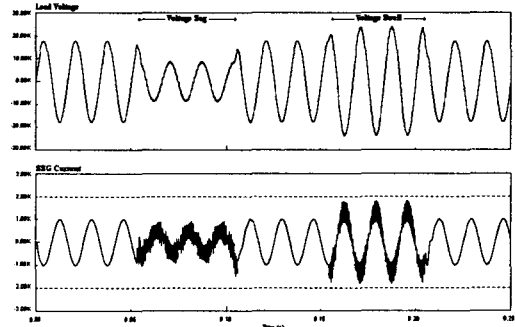


그림 4. Ramped Open loop 제어에서의 시뮬레이션 결과 (부하전압과 인버터 전류)

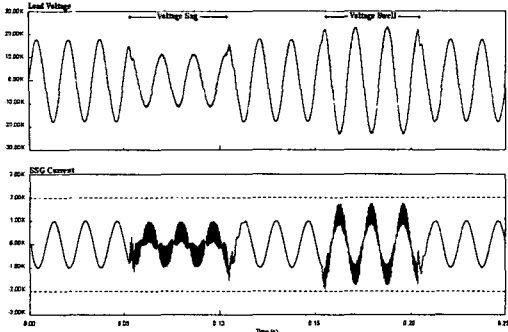


그림 5. Dead beat 제어에서의 시뮬레이션 결과 (부하전압과 인버터 전류)

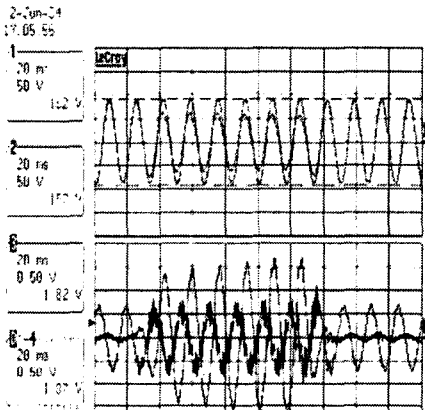


그림 6. Ramped open loop 제어를 사용하여 시험한 결과 (Ch1 : 입력전압, Ch2 : 부하전압, Ch3 : 인버터 전압, Ch4 : 인버터 전류)

4. 결 론

본 논문에서는 MVA급의 CPD를 시험하고 평가하기 위한 대전력의 Voltage Sag와 Swell 발생기를 제안하였다. 그리고 3가지의 전압제어 기법을 통해 Voltage Sag와 Swell을 효과적으로 발생시킬 수 있음을 시뮬레이션을 통해 검증하였고 실험을 통해 가능성을 확인하였다.

차후에는 앞에서 언급하였던 전압제어 기법을 이용하여 Voltage harmonic distortion과 Voltage flicker 그리고 Over/Under Voltage를 발생시키는 데에 적용하여 시험할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Math H.J. Bollen, "Understanding Power Quality Problems Voltage Sags and Interruptions", IEEE Press, 2000, pp 2 5.
- [2] N.G. Hingorani and L. Gyugyi, "Understanding FACTS", IEEE Press, 2000, pp 19.
- [3] Y.H. Chung, G.H. Kwon, T.B. Park, K.Y. Lim, "Voltage Sag and Swell Generator with Thyristor Controlled Reactor", IEEE PowerCon 2002, Kunming, China, pp 1933 1037.
- [4] Y.H. Chung, G.H. Kwon, T.B. Park, K.Y. Lim, "Voltage Sag and Swell Generator with Solid State Switched Tap Changer", EPE 2003 Toulouse, Paper # 1072
- [5] T. Kawabata, Y. Shikano and S. Higashino, et.al., "Chargeless UPS Using Multi functional BIMOS Inverter", IEEE IAS Conf, 1986, pp 513 520.
- [6] H.J. Cha, S.S. Kim, K.M. Kang and Y.H. Chung, "Real time Digital Control of PWM Inverter with PI