

다이오드 정류기와 인버터를 이용한 순간 전압 강하 보상기

이준기*, 박덕희*, 김희중*, 한병문*, 소용철**

*명지대학교 전기공학과

**경기 공업대학 전기 전자계열

Sag Voltage Compensator using Diode Rectifier and Series Inverter

Joon-Gee Lee*, Duk-Hee Park*, Hee-joong Kim*, Byung-Moon Han*,

Yong-Chul Soh**

*Myongji University

**Kyonggi Institute of Technology

Abstract

This paper describes controller development for a dynamic voltage compensator using a shunt diode converter and series inverter. The control system was designed using 1/4 period integrator and vector relationship between the supply voltage and load voltage. A simulation model and scaled hardware model were developed for analyzing performance of the controller and the whole system. Both results confirm that the dynamic compensator can restore the load voltage under the fault of the distribution system.

중심용어: UPS(uninterruptible power supply), SPS(standby power supply), DVR(dynamic voltage compensator), FACTS(flexible ac transmission system)

1. 서 론

산업의 발달과 더불어 사용이 급증하고 있는 컴퓨터와 사무 자동화 기기, 로봇과 생산 자동화 기기, 의용전자 기기와 통신 기기 등은 동작상 전력을 공급하는 배전 계통에서 발생하는 순간정전, 순간전압강하, 과전압, 고조파 등과 같은 외란에 대단히 민감하다. 따라서 이러한 외란을 적절히 제거하지 않으면 관련장비는 고장이나 오동작을 일으켜 생산지연이나 조업중단과 같은 막대한 손실을 초래한다[1][2][3].

외란에 관계없이 부하가 요구하는 전압을 공급할 수 있도록 고안되어 현재 가장 많이 사용중인 장비가 배터리와 전력변환기로 구성되어 있는 UPS이다[4]. 또한 최근에는 초전도코일을 사용한 SPS도 시험 가동중

이다[5][6]. 그런데 UPS의 경우 급전선과 부하가 완전히 분리된 구조로 인버터가 항상 부하의 최대정격으로 동작하여 손실이 큰 단점을 가지고 있다. 초전도코일을 사용한 SPS는 낮은 정격으로 동작하는 장점은 있으나 초전도코일과 관련된 부분이 고가임으로 경제성 문제가 대두되어 있다.

한편 에너지저장용 캐패시터 बैं크를 사용한 DVR이 순간전압강하를 보상하는 장치로 많은 연구가 진행되어 왔다[7][8]. 이러한 보상기 역시 선로와 직렬로 결합되어 전압강하가 발생한 순간동안 캐패시터 बैं크에 저장된 에너지를 방출하여 부하에 안정된 전원을 공급하지만, 에너지 저장용 캐패시터 बैं크가 상대적으로 커지게 되는 단점을 가지고 있다.

이러한 점을 감안하여 본 논문에서 제시하는 순간 전압 보상기는 선로에 병렬로 연결된 12펄스 다이오드 정류기와 직렬로 연결된 인버터가 직류 링크단을 공유하는 형태로 구성하였다.

2. 보상기의 동작원리

통상 배전 계통은 하나의 모선에 여러 개의 선로가 병렬로 연결되어 있어 단일선로의 고장은 모선이나 타 선로에 정전보다는 전압강하를 유발하며, 그 크기는 전체 회로 중 관련된 선로와 기기의 임피던스에 의해 결정된다. 따라서 타 선로에 연결된 부하에 공급되는 전압의 크기는 정상전압에 비해 적으나 0은 아니다. 미국에서의 통계에 의하면 공급전압의 크기는 정격전압의 60%로 저하하는 경우가 가장 많은 것으로 알려져 있다. 한편 이 고장은 최대 500ms 이내에 해당선로의 차단기를 열어 분리함으로 순간전압강하는 최대 500ms 동안 지속된다[7].

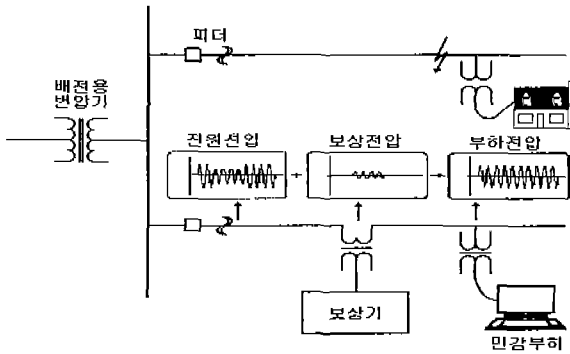


그림 1. 보상기의 개념도

그림 1은 순간 전압 보상기의 개념도를 나타낸 것이다. 전압보상기의 출력전압은 부하의 정격전압과 사고 시 강하된 모선전압의 차와 위상에 의해 결정된다. 전압보상기에 흐르는 전류는 이상적으로는 부하전류와 동일하다. 단위 역률 근처에서 발생하는 순간전압강하를 보상할 경우 보상기는 유효전력을 공급하여 강하된 전압을 복원한다.

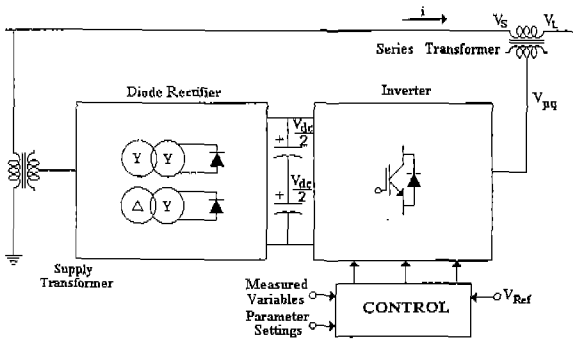


그림 2. 보상기의 동작원리

그림 2는 순간 전압 보상기의 동작원리를 설명하는 원리도를 간략히 나타낸 것이다. 원리도에서 보듯이 다이오드 정류기와 인버터가 직류 링크단을 공유하는 구조로 구성되어 있으며 정류기는 전원단에 병렬로, 인버터는 전원단에 직렬로 결합되어 있다.

변압기를 이용한 12펄스 다이오드 정류기는 연결모선 전류의 고조파 성분을 12펄스 전류로 제어하고 인버터가 전압을 주입할 때 필요로 하는 유효전력을 흡수하는 기능을 갖는다. 인버터는 주입전압의 크기와 위상각을 제어하여 주입전압 $V_{in}(t)$ 를 생성한다. 이 주입전압 $V_{in}(t)$ 는 직렬로 결합된 변압기에 의해 전원전압 $V_s(t)$ 와 벡터적으로 합해져 부하전압 $V_L(t)$ 를 생성한다.

3. 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 모형

본 논문에서 제안한 순간 전압강하 보상기의 동작특성을 분석하기 위해 그림3과 같은 시뮬레이션 모형을 설정하여 EMTP를 이용한 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션 모형은 배전 선로 직렬인버터와 12펄스 다이오드 정류기가 직류 링크단을 공유하는 형태로 구성되어 있다.

정류기 측과 선로와의 결합변압기는 Y-Y, Δ-Y 형태로 구성되어 있고, 직렬인버터는 선로와 직렬주입 변압기로 결합되어 있다. 부하는 역률 0.8의 R-L 부하를 사용하였다.

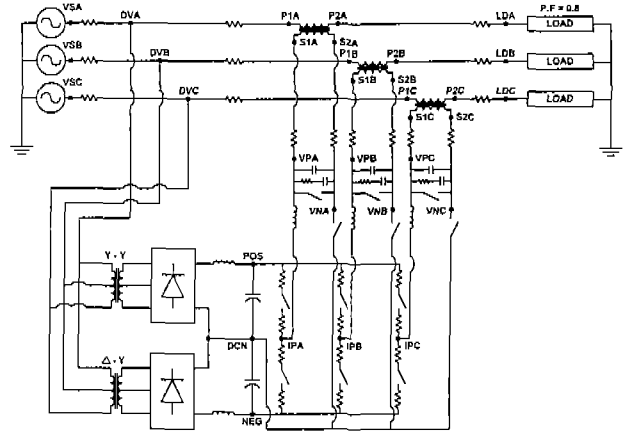


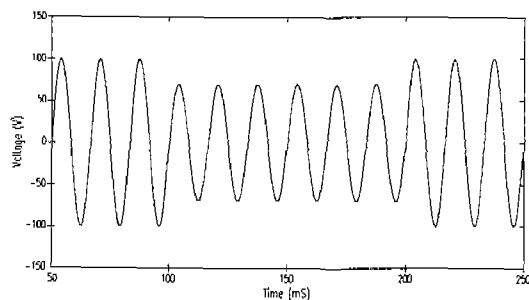
그림 3. 시뮬레이션 모형

3.2 시뮬레이션 결과

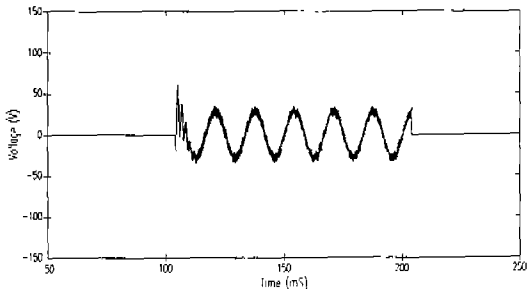
전압보상기의 동작특성을 분석하기 위해 EMTP를 이용한 시뮬레이션을 수행하였는데 시뮬레이션의 편의상 선로의 사고 시 전원전압이 Sag인 경우를 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서 사용된 회로정수는 표 1에 나타내었다.

표 1. 시뮬레이션 회로정수

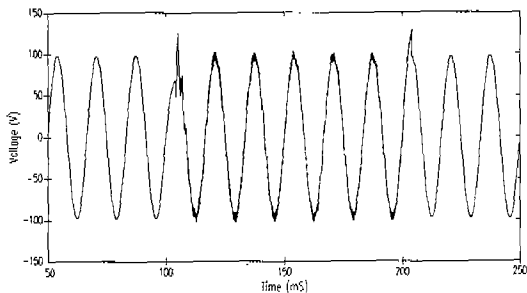
A상 전원전압(최대값)	100V
전원 주파수	60Hz
DC Link 캐패시터	2200μF
스위칭 주파수	3KHz
부하 역률	0.8



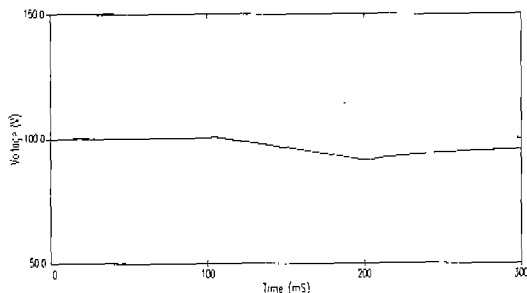
(a) 전원전압



(b) 인버터 출력전압



(c) 보상된 부하전압



(d) 직류 링크단 전압

그림 4. 시뮬레이션 결과

그림 4는 시뮬레이션 결과를 보여준다. 총 시뮬레이션 시간은 0.3s이며, 이 시간동안 선로 사고시간은 0.1~0.2s까지 0.1s 동안이다. 이때 선로의 전압은 정상상태의 70%로 강하시켰다. 사고 시 동적전압보상기는 선로에서 사고를 감지하고 선로의 사고에 의해서 불평형된 3상 전압을 보상하여 부하전압을 일정하게 유지한다. 보상동작 시간에 유효전력은 직렬인버터에서 선로로 공급되며 정류기는 선로에서 유효전력을 흡수하여 강하하는 직류 링크단의 전압을 보상한다.

4. 실험 결과

4.1 제어기

직렬인버터는 선로에 사고 발생시 사고를 판단하여

제어된 크기와 위상을 갖는 전압을 선로에 직렬로 주입하여 보상해 줌으로써 부하전압을 일정하게 유지하는 것을 그 목적으로 한다.

그림 5의 제어기는 전원전압을 측정하여 전원전압과 동기된 제어 신호를 발생하게 된다. 전압센서로 측정된 전압의 절대값 신호를 reset 신호에 의해 1/4주기씩 적분하게 되며 적분된 값은 다시 전원전압에 동기시켜서 발생된 Sampling 신호에 의해 Sample & Hold에 의해서 그 값이 유지된다.

Sample & Hold에서 출력된 신호는 사고판단과 인버터의 주입전압을 결정하기 위한 MI와 위상을 계산하는데 쓰이며 계산된 MI와 위상은 직렬인버터의 PWM Logic에 입력되어 최종 스위칭 신호를 발생한다.

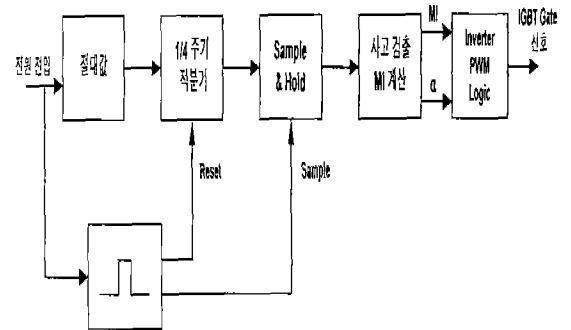


그림 5. 제어기

4.2 축소 모형

시뮬레이션 결과를 토대로 그림 6과 같은 축소 모형을 제작하여 실험을 실시하였다. 총 사고 시간은 0.3초이고 사고 전압은 전원 전압의 30%에 해당하는 전압으로 강하시켰다. 인버터의 스위칭 주파수는 10kHz이다.

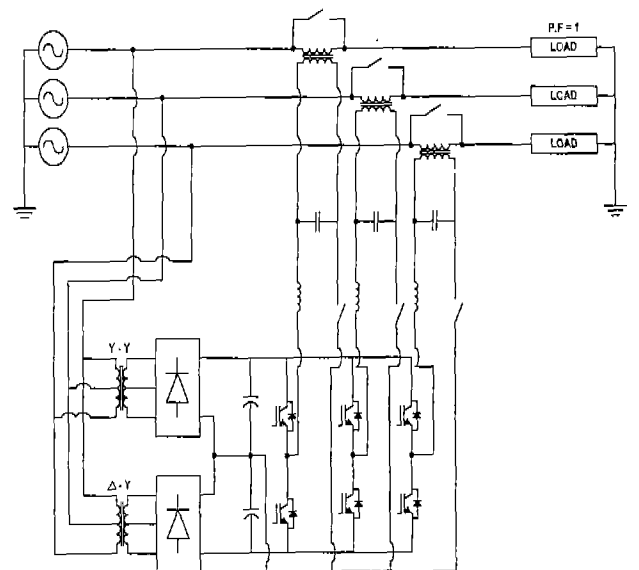


그림 6. 축소 모형

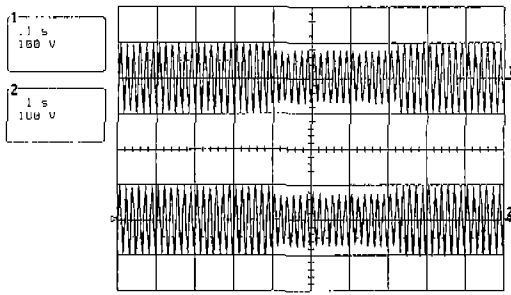
선로에 주입함으로써 부하단 전압이 일정해짐을 볼 수 있다.

5. 결론

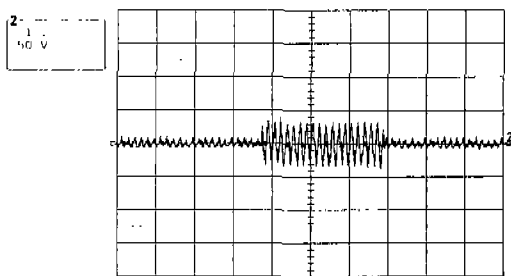
본 논문에서는 배전 선로의 사고에 의해 발생하는 모선의 순간전압강하를 연속적으로 보상하는 순간전압보상기를 제안하고 그 동작원리와 제어방식을 이론적으로 분석하였으며, 시스템의 동작과 성능을 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 또한 제안된 시스템의 동작과 성능을 하드웨어적으로 검증하기 위해 축소모형을 제작하고 실험을 실시하였다. 실험 결과를 통해 알 수 있듯이 제안된 제어방식의 타당성을 확인 할 수 있었다. 향후 추가로 실시해야 할 연구는 3상 불평형시 좀 더 빠른 응답을 가지는 제어 알고리즘의 개발과 이에 따른 검증이며, sag 뿐만 아니라 swell, 역률 보상 등의 기능을 가지는 전압 보상기를 개발하는 것이다.

참고 문헌

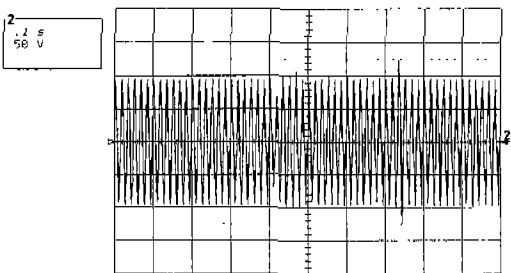
- [1] M.H.J. Bollen, "Voltage sags: Effects, mitigation and prediction," *Power Engineering Journal*, pp. 129-134, June, 1996.
- [2] M. McGranaghan, D. R. Mueller and M. J. Samotyj, "Voltage sags in industrial systems," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 29, No. 2, March/April 1993.
- [3] D. Povh, K. Pregizer, M. Weinhold and R. Zurowski, "Improvement of Supply Quality in distribution systems," *CIREN'97*, Birmingham, June, 1997.
- [4] M. Yatsu, et al. "Three-phase 200kVA UPS with IGBT Consisting of High Power-factor Converter and Instantaneous Waveform-controlled HF PWM Converter", *IEEE Conference Record, IECON'90*, pp. 1057-1062, 1990.
- [5] C. DeWinkel and J.D. Lamoree "Storing power for critical loads," *IEEE Spectrum*, pp. 38-42, June, 1993.
- [6] J. Hahn, R.K. Babcock and Wilcox "Overview and progress of a mid-sized superconducting magnetic energy storage system," *Power Quality/ Power Proceeding*, sep, 1997.
- [7] *Westinghouse Science & Technology Center*, "A Novel Approach to Eliminate Distribution System Disturbances", *Westinghouse Research Memo 92M015*, November, 1992.
- [8] 한병문 외 3, "순간전압강하에 대한 동적전압보상기" 대한 전기학회, 논문지 47권 8호, 1998년 8월.



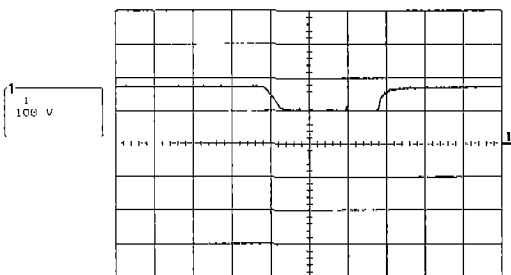
(a) 전원전압(상)과 부하전압(하)



(b) 인버터 출력전압



(c) 보상된 부하전압



(d) 직류 링크단 전압

그림 7. 실험 결과

그림 7은 실험 결과 파형을 보여주고 있다. 비사고 구간에서 인버터는 동작하지 않게 되며 단지 정류부를 통한 유효전력의 흡수를 통해 대기 모드로 동작한다. 사고 감지후 인버터는 보상분 만큼의 전압을