

비선형 부하에 적용 가능한 3상 새그 보상기의 선택적 고조파 보상기법

조현식, 박희성, 차한주
충남대학교

Selective Harmonic Elimination of Three-Phase Sag Compensator for Nonlinear Load

HyunSik Jo, Hee Sung Park, Hanju Cha
Chungnam National University

ABSTRACT

3상 새그 보상기는 계통 새그나 사고 발생 시 빠르게 이상상태를 검출하여 계통을 분리하고 슈퍼커패시터에 충전된 에너지를 부하에 안정하고 연속적인 정격 전압을 공급하는 장치이다. 그러나 비선형 부하일 때, 3상 새그 보상기의 출력전압에 저차 고조파가 포함된 왜곡이 발생한다. 본 논문에서는 비선형 부하에서도 안정적인 정현파 전압을 공급하기 위해 선택적 고조파 제거 방식을 도입한 전압제어기를 제안 하였다. 새그 보상기 시작품을 제작하였으며, 제안한 선택적 고조파 제거 전압 제어기의 타당성을 실험을 통하여 THD가 12.7%에서 4.3%로 개선되는 것을 확인하였다.

1. 서 론

최근 들어 고도 정보화 사회를 맞이하여 컴퓨터 및 정밀기기 등의 수요가 증가함에 따라 모든 전자장비의 시스템 운영에 일치하는 양질의 전력을 공급할 수 있어야 한다. 계통 사고나 새그 발생 시 중요부하에 막대한 악영향을 초래하기 때문에 불안정한 전력으로부터 중요부하의 보호가 요구되고 있다. 이 논문에서 제안한 새그 보상기는 사고나 새그를 순시비교법과 개선된 MAPF(Modified all pass filter)기법^[1]을 사용하여 계통 이상을 빠르게 검출하고 중요부하를 계통으로부터 분리한다. 또한 에너지 저장장치로 충·방전의 시간이 짧아 중요부하나 침투 부하를 단기적으로 보상해 주는 역할에 적합한 슈퍼커패시터를 사용하며 양방향 사이리스터를 이용하여 계통을 차단하고, 인버터 출력 전압 제어를 통하여 선형 부하 보상과^[2], 비선형 부하에서도 적용 가능한 전압 제어기^[3]를 가진다.

2. 3상 새그 보상기

2.1 3상 새그 보상기의 구조

3상 전압 새그 보상기는 그림 1에서와 같이 3상 계통 전압, 양방향 사이리스터, 변압기, DC/AC 인버터, 슈퍼커패시터, TMS320F28335를 이용한 컨트롤러로 구성되어 있다. 계통 정상 상태에서는 양방향 사이리스터를 통해 부하는 계통과 연결되고, 병렬로 연결된 보상기는 변압기와 DC/AC 인버터를 통해 슈퍼커패시터를 기준 정 전압으로 유지하는 동작을 한다. 계통 새그나 사고 발생 시 빠르게 이상상태를 검출하여 사이리스터를 통해 불안정한 전력으로부터 중요부하를 보호하고 슈퍼커패시터에 충전된 전력을 DC/AC 인버터를 통해 부하에 공급한다.

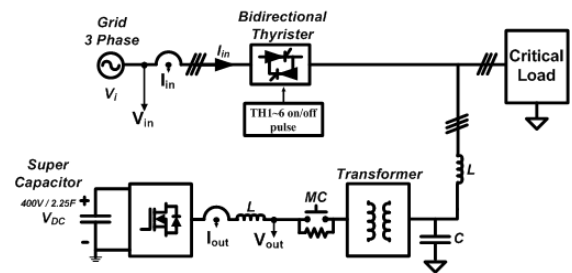


그림 1 3상 새그 보상기 구성도

Fig. 1 Configuration of 3phase sag compensator

2.2 제안된 선택적 고조파 제거 전압제어기

비선형 부하에 의한 전압 왜곡을 보상하기 위해 제안된 선택적 고조파 제거 전압제어기가 기존의 기본과 전압제어기에 추가된다. 제어기의 구조를 그림 2에 나타내었다. 기본과에 대한 제어는 지령 값과 현재 피드백 값의 차를 영으로 만드는 비례·적분 제어기에 의해 수행이 된다. 고조파의 왜곡 성분은 지령 값과 피드백 값의 차이가 되는데 이 값을 대역필터에 통과시켜 고조파를 선택적으로 보상 할 수 있게 한다. 제안된 제어기는 기존의 각 상의 모든 피드백 값에 대한 오차에 대하여 고조파를 보상을 해주는 방식이 아니라, 동기 좌표계에서 직류 성분의 고조파를 보상을 해 주기 때문에 제어기의 구조가 간단하며, 좌표변환을 따로 하지 않아도 된다는 장점이 있다. 또한 같은 방식으로 다른 차수에 대한 고조파 보상을 할 수 있는 장점도 가진다. 이 논문에서 제안된 시스템에서는 5차 고조파와 7차 고조파를 보상하기 위해 동기좌표계에서 6차 고조파에 대한 성분을 보상 하였다.

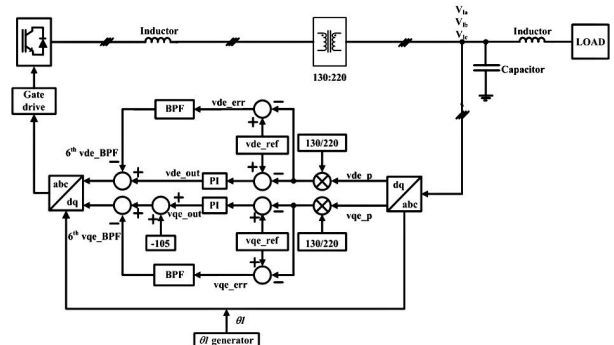


그림 2 대역필터를 이용한 선택적 고조파 제거 전압제어기

Fig. 2 Selective Harmonic Elimination Voltage Controller using Band Pass Filter

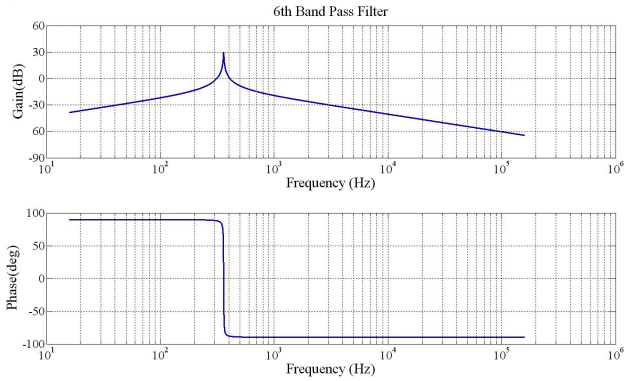


그림 3 대역필터의 보드선도

Fig. 3 Bode Plot of Band Pass Filter

제어기에 사용된 대역필터의 전달 함수는 식 (1)과 같으며, 보드선도는 그림 3과 같다.

$$G(s) = \frac{kbs}{s^2 + bs + \omega_c^2} \quad (1)$$

(k=제어기 게인, b=밴드폭, ω_c =차단주파수)

2.3 실험 결과

제안한 제어기의 성능을 검증하기 위하여 새그 보상기의 시작품을 제작하여 4kW의 비선형 부하조건에서 실험을 수행하였다. 계통이 이상이 발생하면 이를 빠른 시간에 검출하고 양방향 싸이리스터를 통해 계통을 차단하고, 슈퍼커패시터에 저장되어 있는 에너지를 부하 측에 공급하여야 한다. 선택적 고조파 제거 전압제어기를 적용하기 전, 즉 보상중의 비선형 부하에 의해 왜곡이 발생하는 부하전압과 부하전류, 부하전압의 FFT를 그림 4에 나타내었고 이 때의 THD는 12.7%이다. 선택적 고조파 제거 전압제어기를 적용 후 보상중의 부하전압과 부하전류, 부하전압의 FFT를 그림 5에 나타내었다. 제안한 제어기를 적용을 하면 부하전압의 5고조파와 7고조파의 성분이 현저하게 줄어들며 THD가 12.7%에서 4.3%로 개선이 되는 것을 확인할 수 있다. 그림 6은 계통 정전이 발생하여 이를 빠른 시간에 검출하여 양방향 싸이리스터를 통해 계통을 차단하고 슈퍼커패시터에 저장된 에너지를 인버터가 부하에 정격 전압을 연속적으로 공급하며 계통이 복전 되었을 때 계통전압과 부하전압의 동기화 과정을 거쳐 계통을 통해 부하에 전력을 공급해주는 파형을 나타낸다.

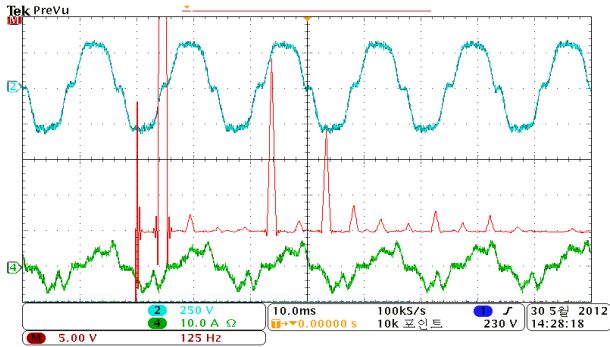


그림 4 제안한 전압제어기 적용 전 정전시의 부하 전압 · 전류 파형과 FFT(THD : 12.7%)

Fig. 4 Voltage · Current waveform and FFT(THD : 12.7%)

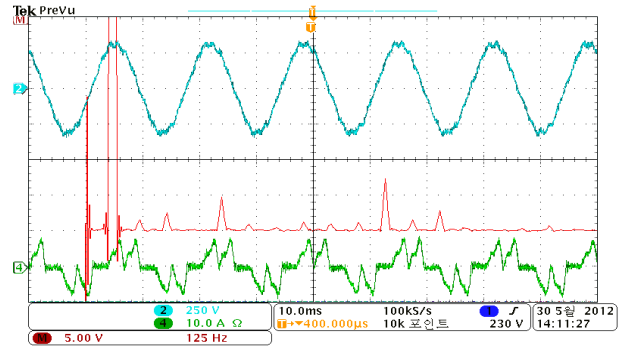


그림 5 제안한 전압제어기 적용한 정전시의 부하 전압 · 전류 파형과 FFT(THD : 4.3%)

Fig. 5 Voltage · Current waveform and FFT with proposed Voltage Controller on Interruption (THD : 4.3%)

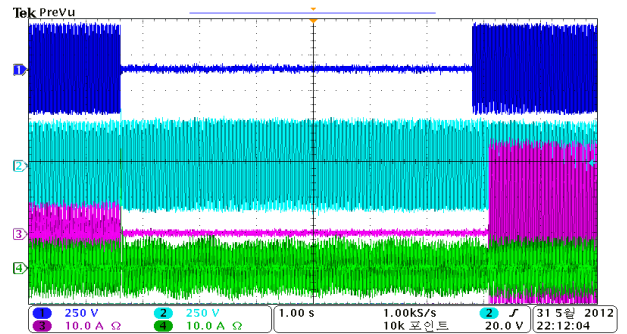


그림 6 정전시의 입·출력 전압·전류 파형

Fig. 6 Input-output Voltage · Current waveform on Interruption

3. 결론

본 논문에서 제안된 새그 보상기는 계통 새그나 사고 발생 시 빠르게 이상상태를 검출하여 싸이리스터를 오픈하여 계통과 부하를 분리하고 슈퍼커패시터에 충전된 에너지를 인버터를 통해 부하에 안정하고 연속적으로 정격 전압을 공급한다. 왜곡되는 출력전압을 보상하기 위한 선택적 고조파 제거 전압제어기를 제안하였으며, 이를 새그 보상기 시작품을 제작하여 4kW 비선형 부하 조건에서 그 성능을 실험을 통하여 검증하여 보상중의 전압 THD를 12.7%에서 4.3%로 개선하였다.

참고 문헌

- [1] S. Lee, T. Vu, H. Cha "A new fast peak detector for single or three phase unsymmetrical voltage sags", Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 12-16 Sept. 2010, pp.434-440.
- [2] 채승우, 차한주 "SEMI F47을 만족하는 10kW급 전압 새그 보상기 개발" 전력전자학회 2011년도 학술대회 논문집 2011.7 page 404-405.
- [3] K. Kim, N. Park, D. Hyun "Advanced Synchronous Reference Frame Controller for Three phase UPS Powering Unbalanced and Nonlinear Loads", Power Electronics Specialists Conference, 2005. PESC '05. IEEE 36th, 2005. page 1699-1704.