

교류전기철도 전력품질 향상을 위한 직·병렬 보상장치 적용에 관한 연구

(Application of Multi-Level Inverter for Improvement of Power Quality in AC 25[kV]
Electrified Railway System)

박수철* · 송중호 · 창상훈

(Soo-Cheol Park · Joong-Ho Song · Sang-Hoon Chang)

요 약

본 논문에서는 병렬 인버터를 통한 고조파 보상은 물론 직렬 인버터로 전압강하 보상 및 부하불평형 문제도 해결할 수 있는 보상설비에 대하여 특성을 분석하였다. 제안하는 설비의 구조와 제어방법을 제시하고, 제어방법의 효과를 검증하기 위하여 전기철도 급전시스템과 보상설비를 모델링하여 모의계산을 수행하여 그 결과를 제시하였으며, 본 논문에서는 기존의 급전선로 전압강하 보상시스템의 단점을 보완하기 위해 DC-Link를 공유하는 직렬과 병렬형 인버터를 Scott 변압기 2차 측의 T상과 M상에 두어 다양한 보상 특성을 확인하였다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 급전선로의 전기차로 인해 발생하는 고조파전류를 병렬인버터를 통해 제거하여 154[kV] 3상 모선으로의 유입을 차단하게 된다. 또한 모선의 선간단락, 일선지락 등의 사고로 발생하는 급전선로의 순간전압강하 혹은 순간전압상승 등을 보상하여 지속적인 전압공급을 가능하게 됨을 확인하였다. 더불어 철도의 기동 등으로 인한 순간적인 전압의 강하에 있어서도 직렬인버터를 통한 보상으로 인해 전압의 지속적인 유지를 확보할 수 있음을 확인하였다. 본 논문에서는 이러한 다양한 보상동작을 수행할 수 있는 제안된 시스템의 동작을 PSCAD/EMTDC를 통해 검증하였으며, 향후 시스템 제작에 따른 특성분석에 용이하게 적용될 것으로 보인다.

Abstract

This paper proposes analysis on new equipment for power quality in electric railway. The proposed equipment consists of series inverter and parallel inverter. Each inverter is connected by capacitor as dc link. This structure can be compensated for active and reactive power in catenary through transformer. We verified the proposed equipment using the PSCAD/EMTDC and the calculation results from the proposed approach are widely described in the paper.

Key Words : Electrified Railway System, Series inverter and parallel inverter, Power Quality, Voltage Compensation

* 주저자 : 한국철도시설공단 전기기술단장
Tel : 042-607-4019, Fax : 042-607-4289
E-mail : parksscc@naver.com
접수일자 : 2006년 10월 19일
1차심사 : 2006년 10월 27일, 2차심사 : 2006년 11월 23일
심사완료 : 2006년 11월 30일

1. 서 론

국가 교통 물류의 혁신적인 변화를 가져온 경부고

속철도를 위시하여, 여러 간선철도의 전철화 사업으로 인하여 국내의 전철노선의 연장을 확장 일로에 있다. 이 같은 국내 전기철도의 확충은 한국전력의 일반전력계통과 전기철도 시스템과의 잦은 연계의 의미하기도 한다. 이에 따라 일반전력계통에서는 단상시스템이며, 이동하는 집중부하 특성을 갖는 전기철도 급전시스템으로 인한 전력품질 저하에 관심을 갖기 시작하였고, 전기철도 입장에서는 전력품질 문제에 대하여 수용가로서 규제사항의 충실한 의무수행을 해야 한다.

현재 한국전력에서는 전력품질 문제중 불평형과 고조파 전압왜형율을 전기철도와 한국전력시스템이 접속되는 PCC에서 일정 제한치로서 규제하고 있다. 이에 따라 현재 경부선에는 능동필터와 수동필터가 설치되어 고속철도 개통과 함께 운영되고 있다. 그러나 이는 선로의 고조파 전류를 저감시킬 목적으로 설치되었으며, 국내 기술이 아닌 외국기술에 의존하여 설치되었다. 그러나 전기철도에서는 고조파 문제 뿐 아니라 선로의 전압강하도 종종 문제시 되고 있는 현실이다.

본 논문에서는 병렬 인버터를 통한 고조파 보상은 물론 직렬 인버터로 전압강하 보상 및 부하불평형 문제도 해결할 수 있는 보상설비에 대하여 특성을 분석해 보고자 한다. 제안하는 설비의 구조와 제어 방법을 제시하고, 제어방법의 효과를 검증하기 위하여 전기철도 급전시스템과 보상설비를 모델링하여 모의계산을 수행하였다.

2. 전기철도용 직·병렬 보상설비

본 논문에서 제안한 전력품질 보상장치는 직렬보상장치와 병렬보상장치가 혼합된 형태를 가지고 있으며, 그 개략적인 구조는 그림 1과 같다. 제안한 시스템은 스코트 변압기 2차측에 M상과 T상에 각각 설치된다.

그림 1의 점선부분 안에 있는 것이 제안하는 보상설비를 보여준다. 그림에서 보듯이 전차선로에 직렬로 변압기를 통하여 연결된 인버터와 병렬로 연결된 인버터가 한쪽 상에 하나씩 연결된 것을 볼 수 있다. 또한 직렬 및 병렬 인버터는 커패시터를 통하여

DC-Link를 공유하며 연결되어 있어, 커패시터에 저장된 유효전력의 사용이 가능한 특성을 가지고 있다. 보상설비에서 유효전력을 사용할 수 있다는 것은 선로전압을 바로 보상할 수 있으며, 불평형 문제를 해결할 수 있는 장점을 가진다.

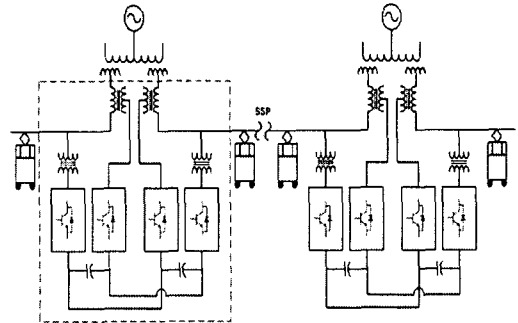


그림 1. 제안하는 전기철도용 전력품질 보상설비
Fig. 1. Proposed equipment for power quality

3. 제어시스템의 설계

위와 같은 구조의 시스템에서 병렬인버터는 정상적인 선로운전 조건에서 전류고조파 제거, 무효전력 보상, DC-Link 전압제어 등을 수행하게 되며, 직렬인버터는 사고 등으로 발생하는 순간전압강하와 같은 전압외란으로부터 부하를 보호하고 전압강하를 보상하기 위한 전압제어 기능을 수행하게 된다. 다음은 제안 시스템의 제어에 대하여 논하고자 한다.

3.1 PLL(Phase Locked Loop)

계통연계 형 인버터는 인버터의 동작 기준점을 찾기 위한 위상각 연산이 필수적이라 할 수 있으며, 그림 2의 PLL회로가 이러한 연산동작을 수행하기 위한 위상각을 연산하게 된다.

본 시스템의 제어기에서는 M상의 경우 M상 전원 전압을 90° 위상 지연 필터를 거쳐 M상과 90° 를 이루는 하나의 전압을 생성하고 이를 마치 3상 전압을 Park's 변환을 통해 얻은 90° 차를 갖는 정지좌표상의 전압으로 가상하여 위상각을 구하였다. 그림 3은 구해진 위상각을 보여준다.

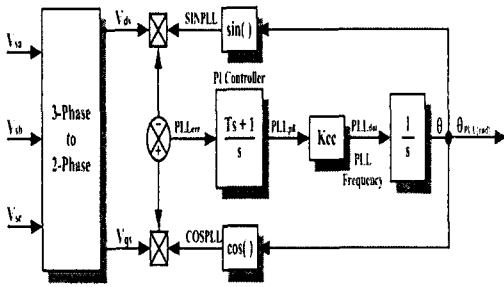


그림 2. PLL을 통한 위상검출기
Fig. 2. Phase detector through the PLL

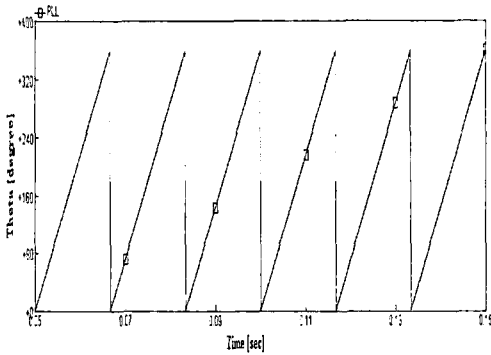


그림 3. 연산된 위상각
Fig. 3. Calculated phase angle

3.2 병렬인버터의 제어

병렬인버터는 철도차량이 비선형 부하이기 때문에 선로에 나타나는 전류고조파를 제거하고 시스템의 DC-Link 전압을 유지하기 위한 제어가 주된 기능이라 할 수 있다. 병렬인버터 또한 선로에 보상동작을 수행하기 위해서는 선로와의 동기점 검출을 위한 연산이 필요하게 되며, 이러한 연산과정은 직렬인버터 제어구조에 포함된 Sine Generator까지의 연산과정과 동일하다. 생성된 기준 정현파는 선로의 전류고조파를 제거하기 위한 연산과정과 DC-Link 전압제어를 위한 연산과정에 사용된다. 기준 정현파는 선로의 전류와 비교되어 병렬인버터가 주입하여야 할 고조파 전류를 연산하게 되고, 이는 DC-Link 전압제어기 연산을 통한 결과와 더해져 병렬인버터가 주입하여야 할 전류기준치를 생성하게 된다. 이

는 병렬인버터 출력전류의 실측치와 비교되어 기준치를 추종하기 위한 전류제어기를 거쳐 병렬인버터의 스위칭 신호를 생성하게 된다. 그림 4는 병렬인버터의 이러한 연산과정을 보여준다.

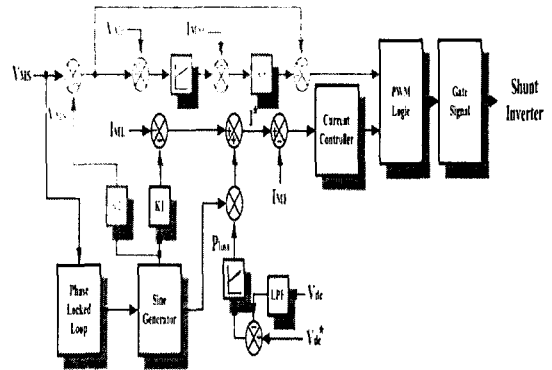


그림 4. 병렬인버터 제어
Fig. 4. Control of parallel inverter

3.3 고조파 보상전류 제어

병렬인버터의 보상전류에 대한 제어는 다음과 같이 이루어진다. 병렬인버터의 기준전압 V_1^* 은 선로 보상 기준전류와 실제 필터전류의 차를 선로전압과 더해줌으로 해서 구할 수 있으며, 이때 전류제어를 위한 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta I_{PF} = I_{PF}^* - I_{PF} \quad (1)$$

$$V_1^* = V_s + L_{PF} \frac{\Delta I_{PF}}{\Delta t} = V_s + K \Delta I_{PF} \quad (2)$$

이 방정식은 전류제어기가 이득 K를 가진 비례제어기처럼 동작함을 보여주며, 그림 5는 이와 같은 제어구조를 보여준다.

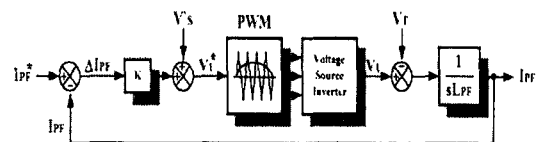


그림 5. 병렬인버터의 전류제어구조
Fig. 5. Current control structure of parallel inverter

기에서 기준 정현파를 생성한다. 생성된 기준 정현파는 곧 선로의 기준 전압으로 간주하게 되며, 선로에서 측정된 실측 전압과의 차를 구하게 된다. 이 차이가 실질적으로 직렬인버터가 선로에 주입하여야 할 전압이 되며, 이를 통해 직렬인버터가 유효전압을 선로에 공급할지, 흡수할지를 결정하게 된다. 직렬인버터가 주입하여야 할 전압이 결정되면 이를 효율적으로 공급하기 위한 제어수행이 이루어지는데, 이를 위해서 직렬인버터 출력단의 전압을 취하여 원하는 양의 전압이 주입되고 있는지를 확인하게 되고 이의 차를 PI제어기를 거쳐 원하는 양에 추종하게 한다. PI제어기를 거친 연산량은 직렬인버터 출력단에 흘러가는 전류를 제어하기 위한 제어기를 거쳐 인버터 스위칭에 필요한 스위칭 신호를 생성하게 된다.

4. 사례연구

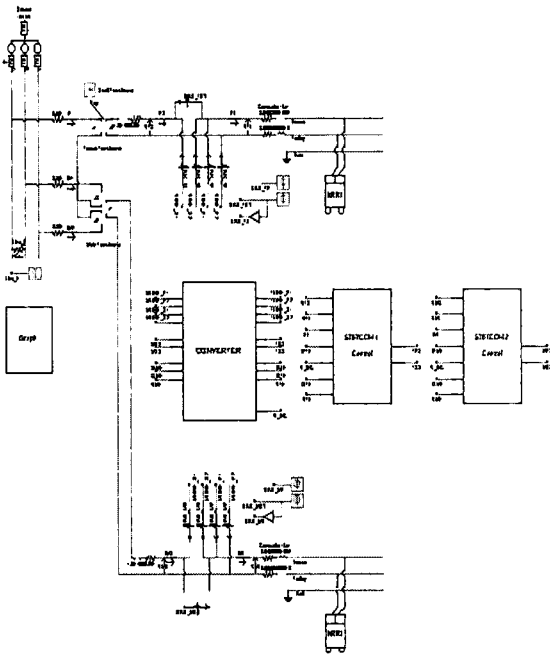


그림 8. 시뮬레이션 모델
Fig. 8. Simulation model

본 논문에서는 제안하는 시스템의 동작과 성능을 분석하기 위해 계통해석에 유용한 프로그램인

PSCAD/EMTDC(Power System Computer Aided Design/Electro Magnetic Transients DC Analysis Program)을 이용하여 전체 시스템 모델링 및 성능 해석을 실시하였다. 그림 8은 PSCAD/EMTDC을 이용한 전체 시뮬레이션 모형을 나타낸 것이다.

전체 시뮬레이션은 3[sec] 동안 수행되었으며, 병렬 축 인버터는 0.2[sec], 직렬 축 인버터는 0.3[sec] 후에 동작하도록 하였다. 제안된 시스템 시뮬레이션에 사용된 자세한 회로정수는 표 1에 나타내었다.

표 1. 시뮬레이션 회로정수
Table 1. Circuit constants of simulation

병렬 인버터	결합변압기	10[MVA] (5.5[kV] : 55[kV])
	필터 L, C	2[mH], 1[μF]
	스위칭 주파수	3060[Hz]
직렬 인버터	주입변압기	10[MVA](8[kV] : 24[kV])
	필터 L, C	2[mH], 30[μF]
	스위칭 주파수	3060[Hz]
커패시터	커패시턴스	4,200[μF]
	기준전압	14[[kV]]

4.1 시뮬레이션 모델

4.1.1 전원모델

그림 9는 시뮬레이션에 사용된 전원모델을 나타낸 것이다. 전원모델은 실제 계통과 유사한 선로구현을 위해 3상 4선식 154[kV] 전원으로 구성하였으며, 선로에서 발생할 수 있는 전압외란 현상 중 순간전압 강하를 모의하기 위해 154[kV] 선로 양단에 저항을 두어 선간단락 사고를 발생시킬 수 있도록 모델링 하였다. 또한 서로 90°의 위상차를 갖는 M상과 T상에 해당하는 전압을 생성하기 위해 154[kV] : 55[kV] 변압비를 가진 Scott 변압기를 두어 M상과 T상의 선로를 모델링하였다.

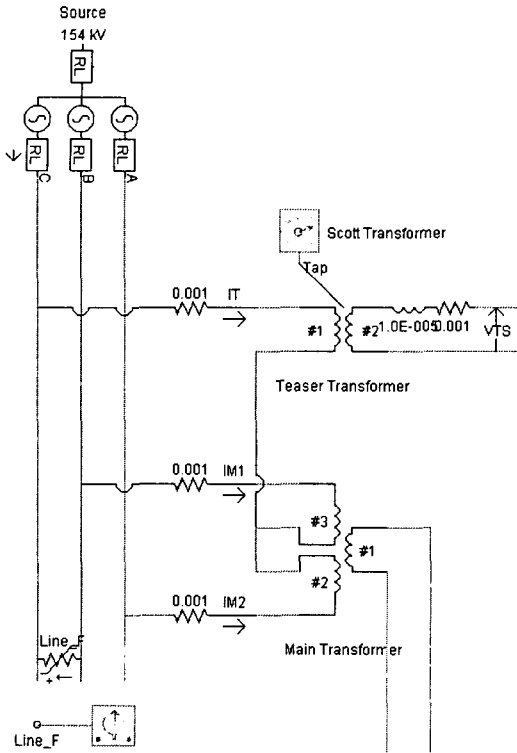


그림 9. 전원모델
Fig. 9. Model for source

4.1.2 부하모델

실제 급전선로는 부하인 전기차와 직접 연결되어 있기 때문에, 부하의 종류에 따라 다양한 형태의 현상을 관찰할 수 있다. 일반적으로 급전선로에서 볼 수 있는 전철부하는 전력변환기를 사용하고 있기 때문에 전압과 전류가 비선형성을 가지는 비선형 부하(non-linear load)로 간주할 수 있다. 비선형 부하로 대표할 수 있는 것이 다이오드 정류기 부하라 할 수 있는데, 이러한 형태의 부하는 급전선로에 고조파 전류를 흐르게 하여 전력품질을 저하시키는 요인으로 작용하게 된다. 시뮬레이션에 사용된 부하모델 구성에 있어서도 이러한 점을 고려하여 다이오드 정류기 형태의 유도성 부하를 구현하여 적용하였다.

총 전철부하용량은 일반적으로 고려되고 있는 15[MVA]로 산정하였으며, 전기차의 기동순간 기동 전류가 과도하게 흐름에 따라 선로의 전압강하 발생

을 고려하기 위해 기동순간의 전철부하 저항값을 변화시킬 수 있도록 가변저항을 두어 모델링 하였다. 그림 10은 이러한 상태를 반영한 전철의 부하모델을 보여준다.

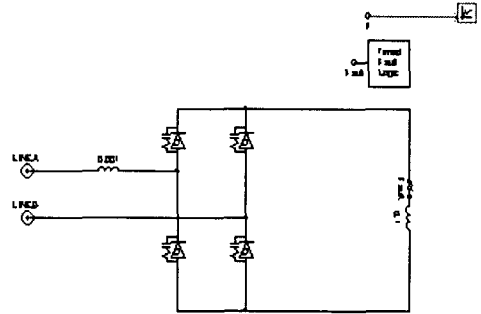


그림 10. 전기차 모델
Fig. 10. Model for electric car

4.1.3 직·병렬인버터 모델

그림 11은 급전선로의 전압보상 및 고조파보상을 목적으로 하는 제안된 시스템의 하드웨어 시뮬레이션 모델을 보여준다. 급전선로에 각각 직렬과 병렬로 연결되는 인버터 모델은 단상 풀브리지 인버터로 구성하였다. 이들 4대의 단상 인버터는 DC 커패시터를 공유하고 있으며, M상과 T상에 설치된 직·병렬인버터는 동일한 구조와 역할을 수행하게 된다.

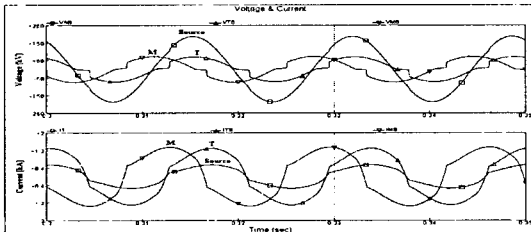
제안된 시스템의 직렬인버터 구성은 IGBT 스위칭 소자와 스위칭 LC필터, 3:1 권수비의 주입 변압기로 구성되어 있으며, 직렬인버터 구동을 위한 PWM 발생부가 포함되어 있다. 직렬인버터의 스위칭 주파수는 3,060[Hz]로 하였다. 병렬인버터의 구성은 IGBT 스위칭 소자와 스위칭 LC필터, 10:1의 권수비를 가진 절연변압기로 구성하였으며, 스위칭 주파수는 직렬인버터와 동일한 3,060[Hz]로 설정하였다.

4.2 시뮬레이션 결과

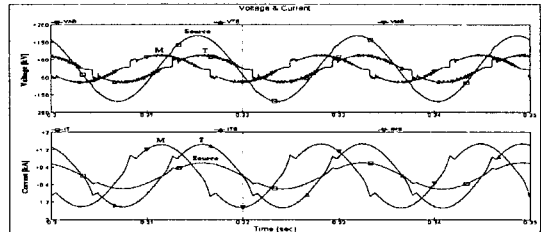
본 논문에서 제안한 시스템의 동작해석을 위해 구성된 시뮬레이션 상황설정은 표 2와 같다. 시뮬레이션 동작 후 과도구간을 피하는 영역인 0.2초에서 병렬인버터를 투입한 후, 0.3초에서 직렬인버터를 투입하게 된다. 선로에 직·병렬인버터가 모두 투입된 후, 병렬인버터는 APF와 같은 동작을 수행하게 되며, 직렬인버터는 급전선로의 전압외란 유무를 검출하게 된다.

표 2. 시뮬레이션 시나리오
Table 2. Scenario of simulation

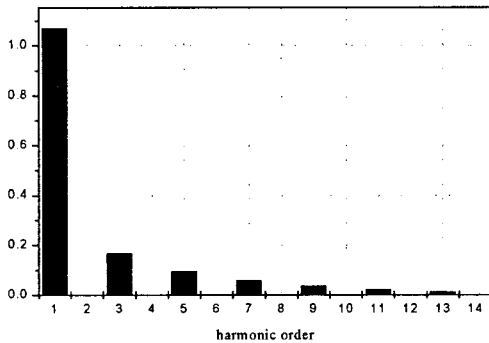
병렬인버터 투입	0.2[sec]	
직렬인버터 투입	0.3[sec]	
모선의 선간단락 사고에 따른 순간전압강하	0.4~0.6[sec]	
전철의 기동	T상	0.42[sec]
	M상	0.62[sec]



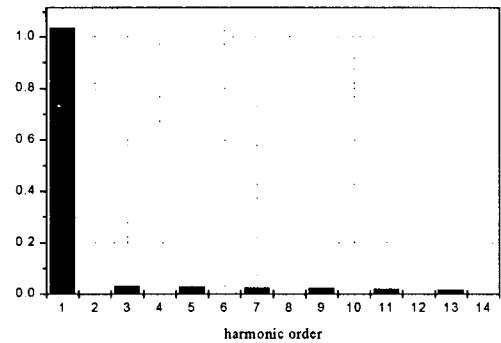
(a) 보상전 수전전압 및 M-T상 전압·전류 파형



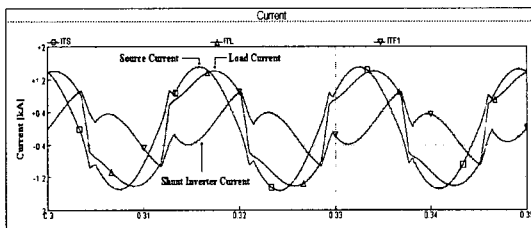
(b) 보상후 수전전압 및 M-T상 전압·전류 파형



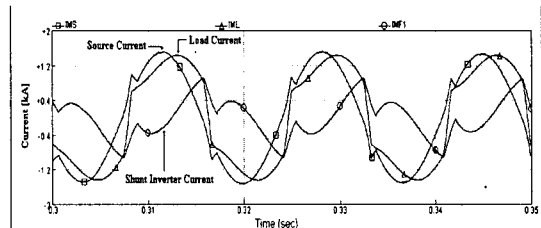
(c) M-T상 부하전류 FFT



(d) M-T상 전원전류 FFT



(e) M-T상 전원전류·부하전류·병렬인버터



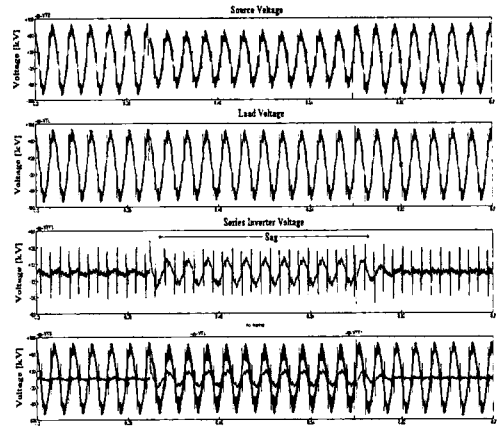
(f) DC-Link 전압 파형

그림 13. APF 동작 특성
Fig. 13. Operation characteristic of APF

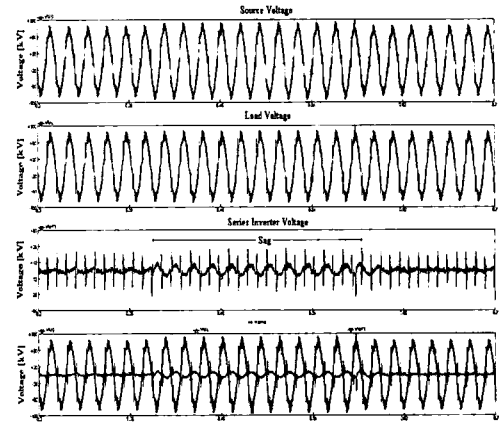
본 시뮬레이션에서는 모선의 선간단락 사고에 따른 교류급전시스템의 순간전압강하에 대한 모의와 전철의 기동순간에 나타나는 급전선로의 전압강하에 대한 모의를 통한 제안된 시스템의 동작특성을 분석하기 위한 시뮬레이션을 실시하였다.

그림 13은 급전선로에 제안된 시스템이 투입되었을 경우, 병렬 인버터를 통해 선로의 전류고조파를 제거하는 파형을 보여준다. 0.2초인 순간에 병렬인버터는 스위칭 동작을 시작함과 동시에 14[kV]의 기준직류전압을 추종하고 있음을 볼 수 있으며, 제어블록을 통해 연산된 주입전류를 선로에 주입함으로써 해서 전원 측의 전류가 거의 정현파에 가깝게 보상되고 있음을 확인 할 수 있다. 이때 그림 13 (a)와 (b)는 각각 보상전과 후의 전류파형을 보여주며, 그림 13 (c)와 (d)는 그에 따른 FFT 결과를 보여준다. 보상동작 후 전원전류의 저차 기수고조파가 현저하게 줄어든 것을 확인할 수 있다. 그림 13 (e)는 보상관계를 명확하게 알아보기 위해 전원전류와 부하전류, 인버터 주입전류를 같이 나타내었다.

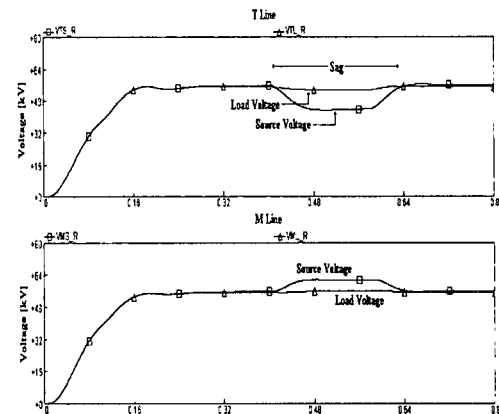
그림 14의 결과는 154[kV]의 선로에서 0.4초인 순간에 0.2초 동안 임의의 선간단락 사고를 내었을 경우의 급전선로 전압보상 결과를 보여준다. 154[kV]에서 선간단락사고가 발생하는 동안 사고 지점으로 상당 양의 사고전류가 흐르기 때문에 사고 상과 직접 연결된 Scott 변압기 2차 측의 T상 급전선로는 순간적으로 전압이 강하하게 되며, M상 급전선로의 전압은 순간 상승하게 된다. 이러한 전압의 강하와 상승은 급전선로에 직접 연결되어 있는 전철의 시스템에 그대로 영향을 주게 된다. 이러한 사고 발생시에도 제안된 시스템은 전압보상을 통해 부하에 일정전압을 공급하는 것을 그림 14 (a)와 (b)를 통해 확인할 수 있으며, 그림 14 (c)의 급전선로 전원과 부하의 전압 실효치를 통해 더욱 명확하게 확인할 수 있다.



(a) T상 전원 · 부하 · 직렬인버터 주입 전압 파형

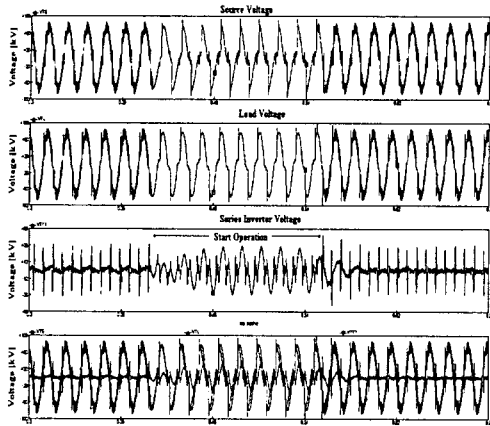


(b) M상 전원 · 부하 · 직렬인버터 주입 전압 파형

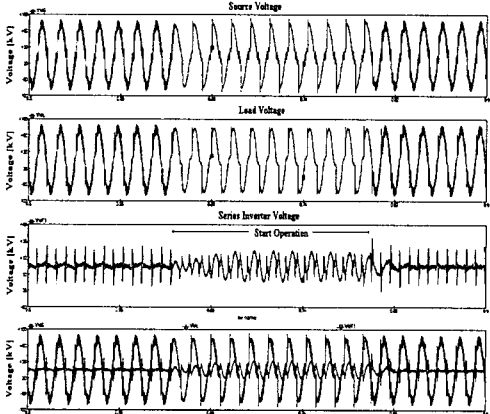


(c) T-M상 전원 · 부하 실효치 전압

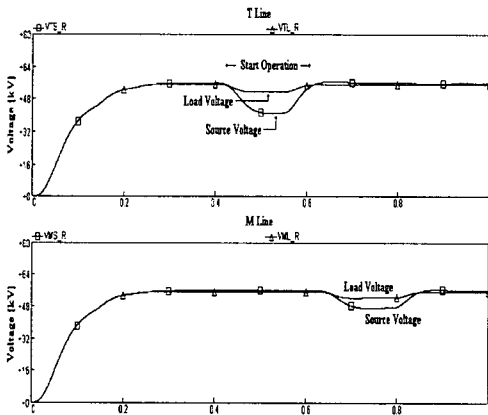
그림 14. 모선의 선간단락 시 M-T상 전압파형
Fig. 14. M-T Voltage waveform in case of the line short



(a) T상 전원·부하·직렬인버터 주입 전압 파형

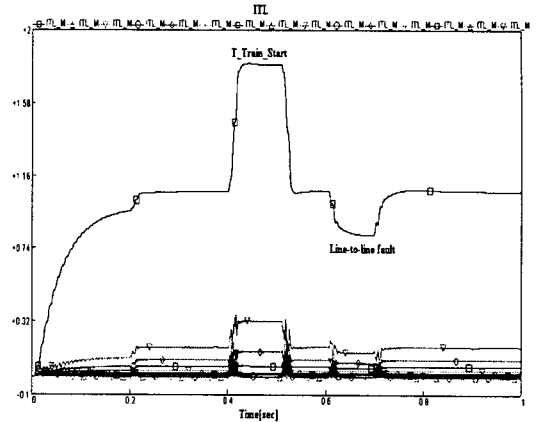


(b) M상 전원·부하·직렬인버터 주입 전압 파형

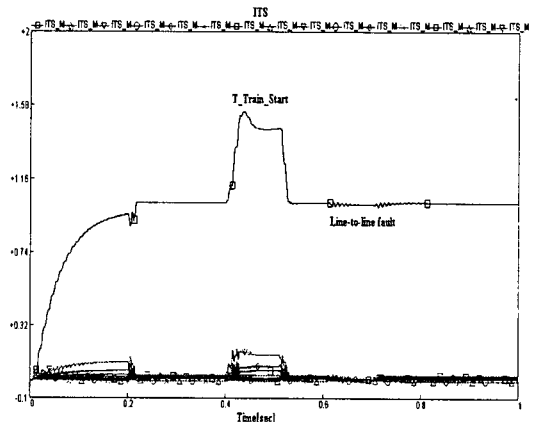


(c) T-M상 전원·부하 실효치 전압

그림 15. 전기차 기동시 M-T상 전압파형
Fig. 15. M-T Voltage waveform in case of the starting electric car



(a) T상 부하전류 FFT변화



(b) T상 전원전류 FFT변화

그림 16. 전기차 기동 및 선간 단락사고시 T상 선로의 FFT변화

Fig. 16. FFT variation of phase T in case of the line short and starting the electric car

그림 15는 전기차 기동순간에 발생하는 전압 보상 결과를 보여준다. 전기차의 기동시에 급전선로에서는 전기차측으로 상당한 양의 기동전류를 흐르게 한다. 이로 인해 전기차가 위치해 있는 급전선로는 순간 전압이 강하하는 것을 볼 수 있으며, 본 논문에서 제안한 시스템을 적용할 경우에 이러한 전압강하 현상을 보상하는 것을 알 수 있다. 전기차의 기동순간을 모의하기 위해 다이오드 정류기로 모델링한 전기차의 부하용량을 30[%]정도 크게 설정하는 것으로 모의를 하였으며, T상과 M상의 부하변동은 동일하게 설정하였다. 그림 15 (a)와 (b)는 각각 T상과 M

상측의 전원·부하·직렬인버터 주입전압을 보여주고 있으며, 그림 15 (c)는 급전선로의 전원과 부하전압의 실효치를 보여준다. 실효치 결과를 통해 직렬인버터에서 부하 측으로 전압이 주입되고 있음을 확인할 수 있다. 그림 16 (a)와 (b)는 T상의 전원전류와 부하전류의 전철기동구간과 모선의 선간단락사고시의 FFT변화율을 보여준다.

5. 결 론

본 논문에서는 기존의 급전선로 전압강하 보상시스템의 단점을 보완하기 위해 DC-Link를 공유하는 직렬과 병렬형 인버터를 Scott 변압기 2차 측의 T상과 M상에 두어 다양한 보상 특성을 확인하였다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 급전선로의 전기차로 인해 발생하는 고조파전류를 병렬인버터를 통해 제거하여 154[kV] 3상 모선으로의 유입을 차단하게 된다. 또한 모선의 선간단락, 일선지락 등의 사고로 발생하는 급전선로의 순간전압강하 혹은 순간전압상승 등을 보상하여 지속적인 전압공급을 가능하게 됨을 확인하였다. 더불어 철도의 기동 등으로 인한 순간적인 전압의 강하에 있어서도 직렬인버터를 통한 보상으로 인해 전압의 지속적인 유지를 확보할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 다양한 보상동작을 수행할 수 있는 제안된 시스템의 동작을 PSCAD/ EMTDC를 통해 검증하였으며, 향후 시스템 제작에 따른 특성분석에 용이하게 적용될 것으로 보인다.

References

[1] Pee-Chin Tan, Robert E. Morrison, Doanld Grahame Holmes, "Voltage Form Factor Control and Reactive Power Compensation in a 25-(kV) Electrified Railway System Using a Shunt Active Filter Based on Voltage Detection", IEEE Trans. on Industry Application, Vol. 39, No. 2, March/April 2003, pp. 575-581.
 [2] Fang Zheng Peng, Jih-Sheng Lai, "Dynamic Performance and Control of a Static Var Generator Using Cascade Multi-level Inverters", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 33, No. 3, May/June 1997, pp. 748-755.
 [3] R. E. Morrison, "Power quality issues on AC traction systems," in Proc. Ninth Int. Conf. Harmonics and Quality of Power, 2000, pp. 709-714.

[4] K. K. Sen, "STATCOM-Static synchronous compensator: Theory, modeling, and applications," in Proc. IEEE-PES Winter Meeting, vol.2, 1998, pp. 1177-1183.
 [5] S. Buso, L.Malesani, and P.Mattavelli, "Comparison of current control techniques for active filter applications," IEEE Tran. Ind. Electron., vol. 45, pp. 722-729, Oct. 1998.
 [6] H. Akagi, H.Fujita, and K. Wada, "A shunt active filter based on voltage detection for harmonic termination of a radial power distribution line," Conf. Rec. IEEE-IAS Annu. Meeting, pp. 1393-1399, 1998.
 [7] T.A.Kneschke, "Control of Utility System Unbalance Caused by Single-Phase Electric Traction," IEEE Transactions, vol. IA-21, no.6, 1985, pp. 1559-1570.
 [8] R. E. Morrison, M. J. Barlow, "Continuous over voltages on AC traction systems", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No.5, May 1983, pp.1211-1217.

◆ 저자소개 ◆

박수철 (朴壽喆)

1951년 2월 10일생. 1952년생. 1980년 2월 명지대학교 전기공학과 졸업. 2002년 2월 서울산업대학교 철도전문대학원(석사). 2006년 서울산업대학교 철도전문대학원(박사과정). 1994년 철도청 전기국 공업서기관. 2003년 철도청 전기본부 고속철도 전기과장 공업부이사관. 2004년 한국철도시설공단 호남지역본부장. 2005년 한국철도시설공단 시스템사업본부장. 2006년~현재 한국철도시설공단 전기기술단장.
E-mail : parksscc@naver.com

송중호 (宋重鎬)

1957년 1월 30일생. 1957년생. 1980년 2월 서울공대 전기공학과 졸업. 1982년 2월 서울공대 전기공학과 졸업(석사). 1993년 8월 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(박사). 1995~1996년 미국 위스콘신대 초빙연구원. 1982~1985년 이화전기 기술개발부. 1985년~2002년 한국과학기술연구원 지능제어연구센터 책임연구원. 2002년~현재 서울산업대학교 공과대학 전기공학과 부교수.
E-mail : joongho@snut.ac.kr

창상훈 (倉相勳)

1961년생. 1982년 2월 한국철도대학 철도전기과 졸업. 1992년 2월 연세대 공과대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 2월 홍익대 대학원 전기정보제어공학과 졸업(박사). 1994년~현재 한국철도기술연구원 철도시험인증연구 센터장. 서울산업대학교 철도전문대학원 겸임교수.
E-mail : shchang@krii.re.kr