

고조파 저감 능력을 가진 직류전철 회생인버터 시스템

(Regeneration Inverter System for DC Traction with Harmonic Reduction Capability)

장수진 · 김용기 · 방호진 · 송상훈 · 안규복 · 원충연*

(Su-Jin Jang · Yong-Ki Kim · Hyo-Jin Bang · Sang-Hun Song · Kyu-Bok Ahn · Chung-Yuen Won)

요 약

본 논문에서는 전철시스템의 변전소에서 직류모선에 발생하는 잉여분의 직류전력을 교류전원 측으로 회생시킬 수 있는 직류전력 회생시스템을 제안한다. 제안된 직류 전철용 회생인버터 시스템은 인버터와 능동전력필터로 사용할 수 있다. 회생인버터 모드에서는 전철의 감속에 의해 회생되는 에너지를 재사용 할 수 있으며, 능동전력필터 모드에서는 변전소의 정류기에 의해 발생하는 고조파 왜곡을 보상하기 위해 사용할 수 있다.

전력용량과 스위칭 손실을 고려하여 시스템은 3상 PWM 인버터를 기반으로 설계되며 병렬인버터, 출력변압기와 LCL필터로 구성된다.

Abstract

This paper proposes a dc power regenerating systems, which can generate the excessive dc power from dc bus line to ac supply in substations for traction system. The proposed regeneration inverter system for dc traction can be used as both an inverter and an active power filter(APF). As a regeneration inverter mode, it can recycle regenerative energy caused by decelerating tractions and as an active power filter mode, it can compensate for harmonic distortion produced by the rectifier substation.

From the viewpoint of both power capacity and switching losses, the system is designed on the basis of three phase PWM inverters and composed of parallel inverters, output transformers, and an LCL filter.

Key Words : regenerating systems, traction system, regeneration inverter, active power filter

1. 서 론

전동차가 운행 중인 구간이 하 구배 구간이나 감속 운행 시에는 전동차에서 많은 양의 전력이 발생

하게 된다. 이 전력은 가속 시에 투입된 에너지가 운동에너지, 위치에너지로 바뀌고 감속 및 정지 시, 그리고 내리막길에서는 투입된 에너지의 40% 정도의 에너지가 전력으로 바뀌게 된다.

이러한 전력은 직류 가선 전압을 상승시킨다. 직류 가선 전압이 일정 전압 이상으로 상승할 경우 정류기 및 차량에 설치되어진 전력 변환기에 고장을 가져 올 수 있기 때문에 전력을 강제로 소모시키는

* 주저자 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수

Tel : 031-290-7115, Fax : 031-290-7179

E-mail : won@yurim.skku.ac.kr

접수일자 : 2004년 3월 5일

1차심사 : 2004년 3월 15일

심사완료 : 2004년 9월 2일

장치가 필요하다.

현재의 경우 이 잉여 전력의 상당 부분을 강제 소모하여 손실이 되고 있는 실정이다.

최근, 직류전철의 잉여전력을 재사용하기 위한 직류전력 회생시스템에 관한 연구를 발표한 사례가 있다[1,2].

본 논문에서는 1500[Vdc] 직류 전압을 사용하는 전동차 시스템에서 하강 경사로 주행이나 감속 운행 시 발생하는 잉여분의 전력을 교류모션으로 회생하여 직류 가선 전압의 상승을 억제하고 에너지를 절약할 수 있는 회생인버터 직류 급전시스템을 제안하였다.

또한 직류 전동차 시스템에는 전력변환 장치의 사용으로 고조파 전류 발생, 역률저하, 전압의 왜곡 등이 수반되므로 회생용 인버터 시스템에 능동전력필터(Active Power Filter : APF) 기능을 추가하였다.

본 논문에서는 고조파 저감 능력을 가진 직류전력 회생인버터 시스템의 제어 알고리즘과 현장 적용 가능성을 확인하였다.

2. 제안된 회생인버터 직류 급전시스템

전동차가 운행 중인 구간이 하 구배 구간(내리막 길)이나 감속 운행 시에는 전동차에서 발전 제동이 되어 많은 양의 전력이 발생하게 된다.

이 에너지를 전력 변환장치를 이용, 가선전압의 상승분을 교류 모션으로 회생시킬 경우 직류 가선전압의 상승을 억제할 수 있고, 회생 시키는 에너지만큼 절약을 기대할 수 있다[1,2,3].

현재, 부산지하철 1, 2호선에서는 정류기 및 회생용 인버터가 하나로 구성된 더블 컨버터(Double Converter)시스템에 의해 에너지를 회생시키고 있다.

그러나 본 논문에서는 회생용 인버터를 별도로 설치하므로 인버터의 용량이 작아도 되고 기존의 정류기 시스템에 부가하여 설치할 수 있으므로 경제성이 높다.

한편, 전동차 시스템에는 전력변환 장치의 사용으로 고조파 전류발생, 역률 저하, 전압의 왜형이나 불평형이 수반되어 전력기기의 상호교란, 온도상승 등

의 문제가 발생되므로 이에 대한 대처가 필요하다 [4,5].

3상 PWM AC/DC 컨버터는 전압과 전류가 동상이 되도록 제어할 수 있고, 전력의 흐름을 양방향으로 제어할 수 있기 때문에 직류급전선의 잉여 에너지를 전원 측으로 회생할 수 있는 시스템에 적용 가능하다.

또한 능동전력필터 기능을 추가하더라도 별도의 전력변환회로 없이 한 시스템에서 제어가 가능하다.

그림 1은 기존 다이오드 정류기 시스템에 본 논문에서 제안한 IGBT 인버터, LCL필터, 변압기 등으로 구성된 능동전력필터 기능이 추가되어진 직류전력 회생인버터 시스템을 나타내고 있다.

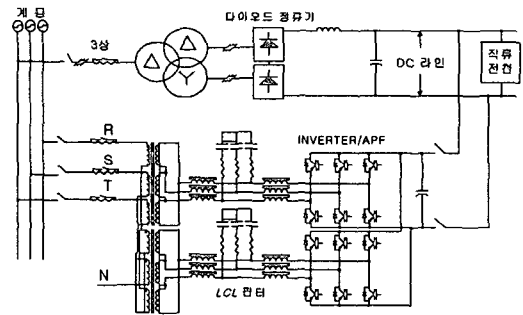


그림 1. 직류전력 회생 인버터 시스템
Fig. 1. DC power regeneration inverter system

2.1 회생인버터 시스템의 제어

그림 1의 회생인버터 동작을 간단히 표현하면 그림 2와 같이 표현할 수 있다.

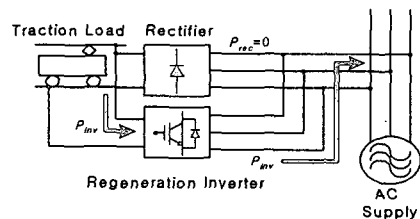


그림 2. 제안된 시스템의 회생인버터 동작
Fig. 2. Regeneration inverter operation of the proposed system

직류가선 전압이 일정전압 이상 상승 시 회생인버터로 동작한다. 그림 2는 회생모드로 동작 시 급전시

고조파 저감 능력을 가진 직류전철 회생인버터 시스템

시스템의 전력흐름을 나타내고 있다. P_{inv} 는 회생모드 동작 시 교류모션으로 회생되는 전력을 나타내고 있으며, 정류기를 통한 전철로 공급되는 전력(P_{rec})은 0이다[3,4].

3상 PWM AC/DC 컨버터의 회생 동작을 직류 전철 급전시스템을 위한 회생용 인버터의 알고리즘에 응용하였다.

3상 PWM AC/DC 컨버터의 전압 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} e_a &= L_i \frac{di_a}{dt} + V_a \\ e_b &= L_i \frac{di_b}{dt} + V_b \\ e_c &= L_i \frac{di_c}{dt} + V_c \end{aligned} \quad (1)$$

e_a, e_b, e_c 는 전원 전압, i_a, i_b, i_c 는 상전류, V_a, V_b, V_c 는 제어 전압이다. L_i 는 인터페이스 인덕터이다.

정지좌표계에서의 d-q전압 방정식은 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} e_d^s &= L_i \frac{di_d^s}{dt} + V_d^s \\ e_q^s &= L_i \frac{di_q^s}{dt} + V_q^s \end{aligned} \quad (2)$$

동기좌표계에서의 d-q전압 방정식은 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} e_d^e &= L_i \frac{di_d^e}{dt} - \omega L_i i_q^e + V_d^e \\ e_q^e &= L_i \frac{di_q^e}{dt} + \omega L_i i_d^e + V_q^e \end{aligned} \quad (3)$$

전원 전압이 각주파수 ω 를 가진 평형 3상 정현파 전압이라면 a상 전압을 기준각으로 하여 3상 전원전압을 다음식과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} e_a &= -E \sin \omega t \\ e_b &= -E \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ e_c &= -E \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, E 는 상전압의 최고치이다. 그러므로 전원 전압은 d-q 정지좌표계에서 다음과 같이 표현되고,

$$\begin{aligned} e_d^s &= -E \sin \omega t \\ e_q^s &= E \cos \omega t \end{aligned} \quad (5)$$

d-q 동기좌표계에서는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} e_d^e &= 0 \\ e_q^e &= E \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)을 식 (3)에 대입하면

$$\begin{aligned} 0 &= L_i \frac{di_d^e}{dt} - \omega L_i i_q^e + V_d^e \\ E &= L_i \frac{di_q^e}{dt} + \omega L_i i_d^e + V_q^e \end{aligned} \quad (7)$$

식 (7)과 같이 된다.

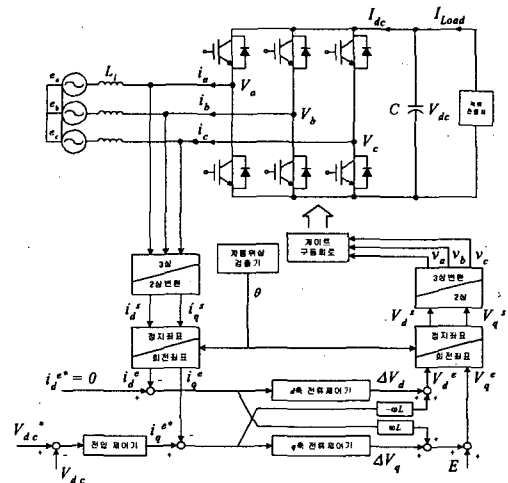


그림 3. 회생용 인버터 전체 제어 블록도
Fig. 3. The overall control block diagram of regeneration inverter

3상의 전류를 동기좌표계의 d, q로 변환한 다음 전압지령과 DC link의 전압차로부터 PI전압제어를 행하여 q축 전류지령을 만든다. q축 전류에 d축의 간섭분을 보상하여 q축 전압 지령치를 만든다.

역률을 1로 제어하기 위해 동기좌표계의 회전각 $\theta (= \omega t)$ 를 $Ed=0$ 이 되도록 설정하고 d축 전류를 0으로 제어한다. 이는 곧 유효전력분 전류를 제어함으로써 직류링크 전압을 제어하는 것과 동일하다[5].

따라서, 직류전력 회생시스템에 3상 PWM AC/DC 컨버터를 적용하여 가선전압 상승 시 교류 모선으로 전력을 회생할 수 있음을 제안한다.

지금까지 언급한 회생용 인버터의 전체 제어도를 그리면 그림 3과 같다.

2.2 고조파 저감 능력을 가진 능동전력 필터

그림 1을 블록화하여 간단히 표현하면 그림 4와 같다. 능동전력필터는 전철의 전력변환장치에 의해 발생하는 고조파를 폭넓게 보상할 수 있고, 보상되는 양을 순시적으로 가변 제어할 수 있다.

제안된 시스템이 능동전력필터 모드로 동작하는 동안 인버터에서는 전철 부하에 의한 고조파 전류를 보상한다. 화살표의 방향은 능동전력필터로 동작 시 전력흐름을 나타낸다.

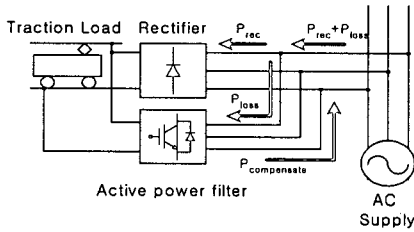


그림 4. 제안된 시스템의 능동전력필터 동작
Fig. 4. Active power filter operation of the proposed system

P_{rec} 는 능동전력필터 모드 동작 시 다이오드 정류기로 공급되는 전력을 나타내고 있으며, 고조파 성분을 보상하기 위한 보상성분($P_{compensate}$)은 제안된 시스템에서 공급하고 있음을 나타낸다[6,7].

기존의 무효전력보상은 정상상태에서 무효전력의 기본파 성분만을 보상하여 역률 보상만을 할 수 있도록 고려되어 왔기 때문에, 과도 상태뿐만 아니라 정상상태의 스위칭에 의한 고조파 성분의 무효전력과 유효전력을 완전히 제어할 수 없었다.

이에 따라 계통 내에 왜곡된 전류가 흐르게 되고, 이는 유도장해, 전력기기의 과열, 공진에 의한 이상 전압 발생 등의 악영향을 미친다.

이들을 제거하기 위하여 이전의 무효전력 보상이론 보다 일반화 되어진 무효전력 보상이론이 pq이론이다[8].

일반적으로 3상 순시유효전력(instantaneous active power)은 식 (8)과 같이 정의 된다.

$$p = v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c \quad (8)$$

3상 순시 유효·무효전력 p 와 q 를 전기적 양으로 α - β 상에서의 순시유효전력 p 와 순시무효전력 q 로 나타내면 식 (9)와 같다.

$$\begin{aligned} p &= v_\alpha i_\alpha + v_\beta i_\beta \\ q &= v_\alpha i_\beta - v_\beta i_\alpha \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)를 정리하면 식 (10)과 같다.

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (10)$$

식 (10)으로부터 α 상과 β 상에 대한 전류를 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \begin{bmatrix} v_\alpha & -v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (11)$$

p, q 의 직류성분과 교류 성분을 $\bar{p}, \tilde{p}, \bar{q}, \tilde{q}$ 라 하고, 식 (12)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} p &= \bar{p} + \tilde{p} \\ q &= \bar{q} + \tilde{q} \end{aligned} \quad (12)$$

식 (12)를 식 (11)에 대입하면, 식 (13)과 같다.

고조파 저감 능력을 가진 직류전철 외생인버터 시스템

$$\begin{bmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{\alpha} & v_{\beta} \\ -v_{\beta} & v_{\alpha} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \bar{p} + \tilde{p} \\ \bar{q} + \tilde{q} \end{bmatrix} \quad (13)$$

식 (13)으로부터 순시유효전력 p와 순시무효전력 q에 의해서 순시전류 i_{α} 와 i_{β} 를 결정할 수 있다. 부하 전류 i_{La}, i_{Lb}, i_{Lc} 를 검출하여 α - β 변환을 거쳐 순시 유효전력 p와 순시무효전력 q를 계산 한다.

$$\begin{bmatrix} i_{\alpha}^* \\ i_{\beta}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} \begin{bmatrix} v_{\alpha} & -v_{\beta} \\ v_{\beta} & v_{\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\bar{p} \\ -\bar{q} \end{bmatrix} \quad (14)$$

그리고 식 (14)를 이용하여 기준전류 i_{α}^* 와 i_{β}^* 를 계산하게 되고 다시 역 α - β 변환을 통해서 보상전류의 지령치 $i_{\alpha}^*, i_{\beta}^*, i_{\gamma}^*$ 를 생성해낸다. i_{fa}, i_{fb}, i_{fc} 는 실제 능동전력필터의 보상전류를 나타낸다[8].

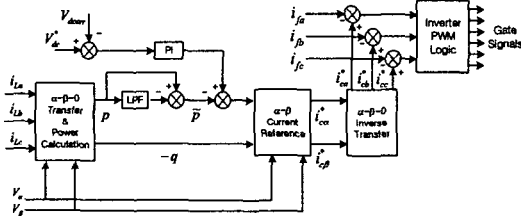


그림 5. 능동전력필터 제어 블록도
Fig. 5. The control block diagram of active power filter

그림 5는 본 연구에서 제안하고 있는 dq이론을 적용한 병렬형 능동전력필터의 제어 블록도를 나타내고 있다.

3. 직류 전력시스템 시뮬레이션

3.1 기존 다이오드 정류기 전력시스템

본 논문에서 제안한 직류 전력시스템에 대한 시뮬레이션은 Psim을 이용하여 실시하였다.

그림 6의 직류 전철 전력시스템 시뮬레이션은 현재 수도권 전철변전소에서 사용 중인 기존 12펄스 다이오드 정류기이다.

표 1은 직류 전철 전력시스템을 수행하기 위한 변

전소 전력시뮬레이션 데이터 및 파라미터는 “도시철도 에너지 사용 설비 진단용역”에 관한 연구 보고서 (2003년)를 활용하였다[9].

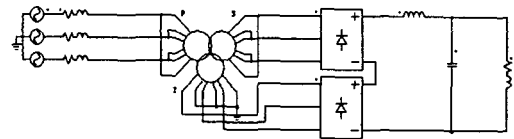


그림 6. 기존 다이오드 정류기 직류 전력시스템
Fig. 6. Existing diode rectifier dc power system

표 1. 수락산 변전소 전력시스템 파라미터
Table 1. Parameter of Suraksan subsystem power system

파라미터	정격
주회로	다이오드 정류기
정류기 평균 공급전력	5735[kW]
정류기 평균전류	3828[A]
구동 평균 전압	1500[V]
차량 편성	8량 (2.5분 운전시격)

회생인버터가 설치되지 않은 변전소에서 8량(2.5분 운전시격)으로 구성된 직류전철에 공급되어지는 전력은 순시적으로 변동되기 때문에 보고서 데이터 중 다이오드 정류기의 평균 공급전력과 구동 평균전압, 정류기 평균전류를 활용하여 직류전철 부하를 산정하였다.

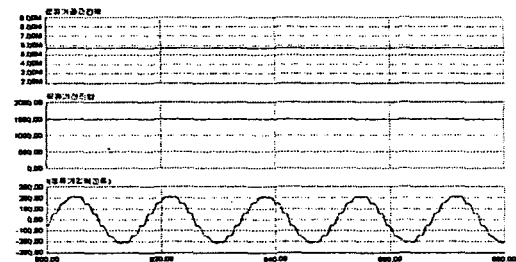


그림 7. 정류기 공급전력, 직류가선전압, 정류기 입력전류
Fig. 7. Rectifier output power, dc trolley wire voltage, rectifier input current

그림 7은 변전소의 정류기에서 부하(직류전철)로 공급되고 있는 전력이 5735[kW] 일 때, 정류기 공급전력과 직류가선전압, 정류기 입력전류 파형을 나타

내고 있다.

그림 8은 그림 7의 정류기 입력전류 파형의 FFT 분석 파형을 나타내고 있으며, 입력전류는 $n=12k\pm 1$ ($k=1,2,3\dots$)의 고조파 성분을 포함하여 11, 13차 고조파의 영향을 받고 있음을 FFT 분석을 통하여 확인할 수 있다.

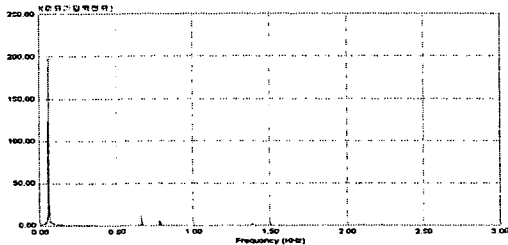


그림 8. 다이오드 정류기 입력전류 FFT 분석
Fig. 8. Input current FFT analysis of diode rectifier

3.2 능동전력필터 기능이 추가된 회생인버터 직류 전력시스템

그림 9는 다이오드 정류모드로 동작 시에는 능동 전력필터 기능을 갖고, 직류 가선전압이 상승 시에는 회생인버터로 동작하는 제안된 직류철도 급전시스템을 나타낸다.

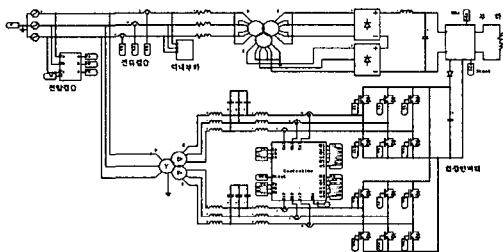


그림 9. 고조파 저감 능력을 가진 직류전철 회생인버터
Fig. 9. Regeneration inverter for dc traction with harmonic reduction capability

제안되어진 직류 전철 전력시스템의 시뮬레이션은 지하철 7호선 수락산 변전소를 모델로 하였으며, 기존 12펄스 다이오드 정류기에 능동전력필터 기능이 추가되어진 회생인버터 시스템을 적용하였다.

표 2는 제안한 회생인버터 시스템을 시뮬레이션하기 위한 전력 시뮬레이션 데이터 및 파라미터를

나타내고 있다. “도시철도 에너지 사용 설비 진단용역”에 관한 연구 보고서(2003년) 내용 중 정류기에 회생인버터를 설치한 경우의 데이터이다.

표 2. 수락산 변전소 및 회생인버터 파라미터
Table 2. Parameter of Suraksan subsystem and regeneration inverter

파라미터	정격
주회로	IGBT 인버터
정류기 평균 공급전력	5738[kW]
정류기 평균 전류	3828[A]
구동 평균 전압	1499[V]
회생 평균 직류전압	1573[V]
교류 출력전압	3상 800Vrms/22.9kV
교류 출력 주파수	60[Hz]
차량 편성	8량 (2.5분 운전시격)

회생인버터가 설치된 변전소에서 8량(2.5분 운전시격)으로 구성된 직류전철에 공급되어지는 전력은 순시적으로 변동되기 때문에 평균 공급전력과 구동 평균전압, 회생 평균 전압 데이터를 활용하여 직류전철 부하를 산정하였다.

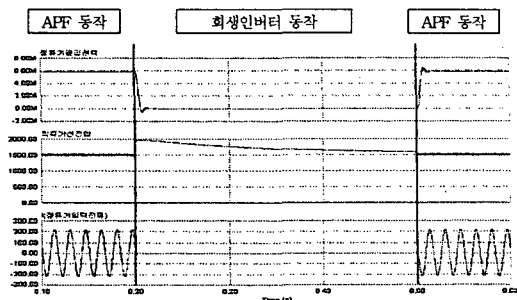


그림 10. 정류 및 회생동작 시 정류기 공급전력, 직류가선전압, 정류기입력전류
Fig. 10. Rectifier output power, dc trolley wire voltage, rectifier input current at rectification and regeneration operation

그림 10은 본 논문에서 제안한 회생인버터 시스템이 적용된 변전소의 정류기에서 부하(직류전철)로 공급되고 있는 전력이 5738[kW] 일 때, 정류기 공급전력과 직류가선전압, 정류기 입력전류 파형을 나타내고 있다. 전철이 정상 주행 중 0.2초 후에 하구배 구간 또는 감속 운행하였을 경우 직류 가선전압이 상승하였음을 가정하였다.

고조파 저감 능력을 가진 직류전철 회생인버터 시스템

구동 평균전압 1499[V]로 정류모드 동작 시, 0.2초 후에 직류 가선전압이 상승하면 다이오드 정류기에 공급되는 입력전류는 흐르지 않는다.

회생모드 동작에 의해 직류 가선전압이 차량의 구동전압으로 하강하게 되면 다이오드 정류기를 통하여 부하(전철)로 전력이 재공급된다.

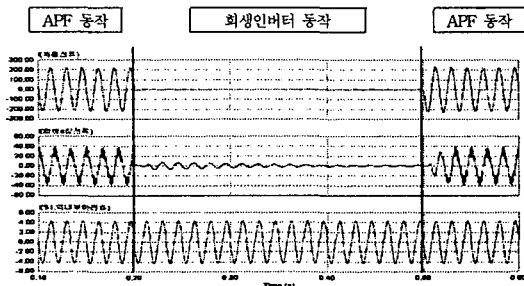


그림 11. 계통전류, 회생전류(보상전류), 역내부하전류
Fig. 11. Utility current, regeneration current (compensation current), load current

그림 11는 전력을 직류전철로 공급하는 정류모드 (0.1~0.2초, 0.5~0.6초)에서는 능동전력필터(APF)로 동작을 하고, 직류 가선전압이 상승 시에는 회생모드(0.2~0.5초)로 동작하여 전력을 계통으로 회생하는 파형을 나타낸다.

직류 가선전압이 상승하기 전까지 인버터에서는 보상전류가, 가선전압이 상승 후에는 회생전류를 계통에 공급한다.

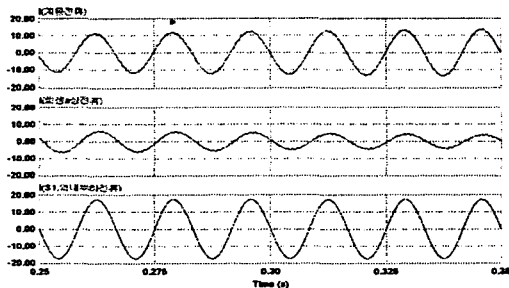


그림 12. 계통전류, 회생전류, 역내부하전류 (회생전력 < 역내부하공급전력)
Fig. 12. Utility current, regeneration current, load current (regeneration power < load supply power)

그림 12의 부하조건은 회생전력이 역내부하에서 필요한 전력보다 작은 경우 역내부하에 공급되어지는

전력은 회생인버터에서 공급되는 전력(직류가선의 회생전력)과 교류모선에서 공급되는 전력의 합이다.

그림 12의 시뮬레이션 결과로 가선전압 상승 시 회생된 전력은 역내 다른 부하로 공급되어 소비되거나, 교류모선으로 회생됨을 알 수 있다.

그림 13은 제한한 시스템이 능동전력필터로 동작 (그림 11의 0.1~0.2초, 0.5~0.6초) 시 계통전류, 정류기 입력전류, 보상전류를 나타낸다. 정류기 입력전류는 11차, 13차 고조파가 함유된 일그러진 파형이나, 회생인버터 시스템의 능동전력필터 기능으로 보상전류를 공급하므로 계통전류가 정현파에 가까운 파형을 나타낸다.

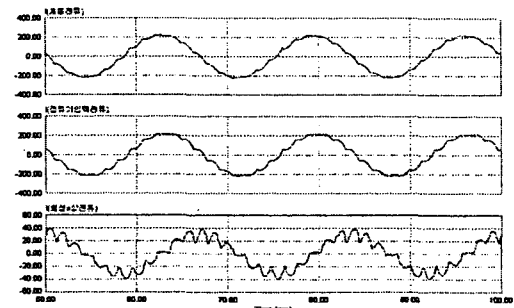


그림 13. 계통전류, 정류기 입력전류, 보상전류
Fig. 13. Utility current, rectifier input current, compensation current

그림 14는 능동전력필터 동작 시 계통전류와 정류기 입력전류의 FFT분석 결과 파형을 나타낸다. 다이오드 정류기 입력전류의 고조파는 $n=12k\pm 1$ ($k=1,2,3,\dots$)의 고조파 성분을 포함하여 11, 13차 고조파의 영향을 받고 있다.

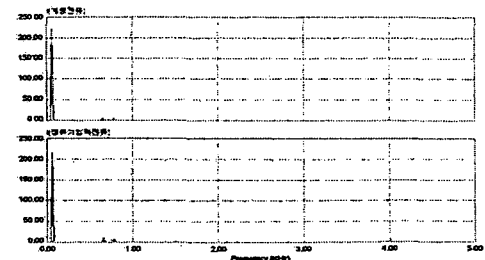


그림 14. 계통전류, 정류기 입력전류 FFT 분석
Fig. 14. FFT analysis of utility current and rectifier input current

표 3. 계통전류와 정류기입력전류의 FFT 비교
Table 3. FFT comparison of utility current and rectifier input current

	정류기입력전류	계통전류 (보상 되어진 전류)
11차	13.28[A]	5.85[A]
13차	7.48[A]	2.62[A]

표 3은 고조파의 영향으로 파형의 왜곡이 심한 정류기 입력전류와 보상전류에 의해 보상되어진 계통전류의 FFT 분석 비교표를 나타낸다.

본 논문에서 제안한 능동필터의 기능으로 계통전류가 60[%]이상 보상되어 졌음을 FFT 분석을 통하여 확인할 수 있다.

능동전력필터의 보상전류에 의해 계통전류는 11차, 13차 고조파가 저감됨을 그림 14와 표 3을 통하여 확인할 수 있다. 계통전류의 경우 출력 LCL필터와 인터페이스 변압기의 최적 설계가 된다면 파형의 고조파 함유율 및 파형의 왜곡을 더욱 개선시킬 수 있다.

그림 15는 회생모드로 운전하고 있을 때 교류 모선의 상전압과 회생 인버터의 선전류로서 직류 모션에서 교류 모션으로 단위역률로 회생전력이 전달되고 있음을 의미한다.

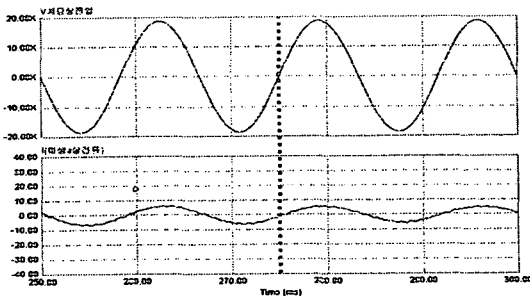


그림 15. 계통 상전압, 회생 전류
Fig. 15. Utility phase voltage and regeneration current

4. 결 론

본 논문에서는 직류를 전원으로 하는 전철 시스템에서 잉여분의 직류 전력을 교류모션으로 회생하면서 정류모드 시 고조파를 저감할 수 있는 능동전력

필터 기능이 추가된 직류전력 회생용 인버터 시스템을 구성하고 이를 단위역률로 제어할 수 있는 제어 기법을 연구하였다.

시뮬레이션을 통해 본 논문에서 제안한 회생인버터 시스템을 기존 직류전철 변전소에 적용하면 잉여 전력 발생 시 전력을 재사용하여 에너지 활용성을 증가시킬 수 있음을 확인하였다.

또한 능동필터의 기능으로 인해 계통전류가 60[%] 이상 보상되어 졌음을 확인할 수 있었다.

향후 시스템을 직류전철 급전시스템에 적용 시 나타날 수 있는 문제점을 파악하고 현장 적용의 타당성을 검증하기 위하여 축소모형(3상 380[Vac], 3.7[kVA])을 설계하고 제작하여 제안된 제어기법을 적용할 예정이다.

본 연구는 국가교통핵심기술개발사업에서 지원된 차세대 전철시스템 에너지회생장치 개발 과제의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

References

- (1) K.W.Kim, I.S.Yoon, Y.M.Seo, D.Y.Yoon, and S.C.Hong, "A study on the power factor improvement of DC power regenerating systems" The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 6, No. 5, pp.410-415, 2001.
- (2) K.W.Kim, Y.M.Seo, S.C.Hong, "A study on the implementation of inverter systems for regenerated power control" The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 7, No. 2, pp.205-213, 2002.
- (3) A.Horn, R.H.Wilkinson, and T.H.R.Enslin, "Evaluation of converter topologies for improved power quality in DC traction substations", ISE of IEEE, Vol.2, pp.802-807, 1996.
- (4) P.J.Randewijk, and J.H.R.Enslin, "Inverting DC traction substation with active power filtering incorporated", PESC of IEEE, Vol.1, pp.360-366, 1995.
- (5) H.I.Han, N.K.Hahn, N.K.Sung, G.D.Kim, D.K.Kim, K.H.Han, "A study on current controller comparison for three phase PWM converter", KIEE Summer Annual Conference, pp.1248-1250, 2000.
- (6) Ohnishi.T, "Three phase PWM converter/inverter by means of instantaneous active and reactive power control", IECON of IEEE, Vol. 1, pp. 819-824, 1991.
- (7) J.H.Marks, and T.C.Green, "Ratings analysis of active power filters", PESC of IEEE, Vol.3, pp.1420-1425, 2001.
- (8) Fujita.H and Akagi.H, "The unified power quality conditioner : the integration of series and shunt-active filters", Power Electronics of IEEE Transactions, Vol. 13, pp.315-322, 1998.

고조파 저감 능력을 가진 직류전철 외생인버터 시스템

- (9) Office of Subway Construction, Seoul Metropolitan Government, "Facilities diagnosis report of energy application", 2003.

◇ 저자소개 ◇

장수진 (張水珍)

1976년 12월 6일생. 2002년 서울산업대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 성균관대 대학원 에너지시스템공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 메카트로닉스공학과 박사과정.

김용기 (金容基)

1959년 11월 3일생. 1987년 서울산업대 화학공학과 졸업. 1991년 연세대 대학원 화학공학과 졸업(석사). 2003년 서울시립대 대학원 화학공학과 졸업(박사). 1994 8월~현재 한국철도기술연구원.

방효진 (徐政成)

1981년 2월 8일생. 2003년 서울산업대 공대 전기공학과 졸업. 현재 성균관대 대학원 메카트로닉스공학과 석사과정.

송상훈 (宋尙勳)

1971년 3월 11일생. 1999년 성균관대 공대 전기공학과 졸업. 2001년 성균관대 대학원 대체에너지공학과 졸업(석사). 2003년~현재 동 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학과 박사 과정. 산업기술시험원 연구원.

안규복 (安圭福)

1968년 11월 30일생. 1994년 명지대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 2월~1999년 3월 LG산전 연구소 근무. 2004년 현재 (주)인텍FA연구소장.

원충연 (元忠淵)

1955년 5월 10일생. 1978년 성균관대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 서울대 공대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991년 12월~1992년 12월 미국 테네시 주립대학 전기공학과 방문교수. 현재 성균관대 정보통신공학부 교수. 본 학회 편수위원.