

전압강하 보상기능을 갖는 직류지하철 회생인버터 시스템

김준구*, 조기현*, 김종윤*, 원충연*, 김용기**
 성균관대학교*, 한국철도 기술연구원**

DC railway regenerative inverter system with voltage drop compensator

Jun-Gu Kim*, Kee-Hyun Cho*, Jong-Yoon Kim*, Chung-Yuen Won*, Yong-Ki Kim**
 Sungkyunkwan University*, Korea Railroad Research Institute**

ABSTRACT

본 논문에서는 전압강하 보상 기능을 갖는 직류 지하철 회생 인버터 시스템을 제안하였다. 직류 지하철 시스템의 정류기 사고 및 급전선의 단선사고로 인해 계통으로부터 원활한 전력을 공급받지 못하는 경우 전동차가 운행할 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 직류 지하철 시스템과 병렬로 연결되어진 회생인버터에 전압강하 보상 기능을 추가 하였다. 본 논문에서 제안하는 전력변환기는 양방향으로 전력 제어가 가능하여 하나의 전력변환기기로 3가지의 기능을 수행한다. 시뮬레이션과 실험을 통해서 제안된 시스템의 타당성을 확인한다.

불가피 하다. 또한 현재 지하철 시스템은 많은 전력변환장치를 사용함으로 고조파가 발생하여 역을 지하, 파형의 왜곡 등의 문제가 수반되어 진다.^{[2][3]}

본 논문에서는 지하철에서 발생하는 회생에너지를 재활용하고자 회생인버터를 제안하였으며 고조파를 저감시키기 위해 능동전력필터 기능을 추가하였다. 동일한 전력 변환 장치로 직류 가선 전압 상승 시 회생 모드로 동작하고 역행 운전 시에는 능동 전력 필터 모드로 동작한다. 또한 단선 사고 시 예비정류기 모드로 동작하여 직류 가선 전압을 정전압으로 제어할 수 있다.

2. 제안하는 시스템

1. 서론

전동차의 운행구간이 하 구배 구간이거나 제동구간일 경우 전동차에서 많은 양의 회생에너지가 발생한다. 이러한 에너지는 전동차의 입력에너지의 45~47% 정도이며, 약 20%는 타역행 전동차에서 소모되거나 나머지 20~27%의 에너지가 잉여 전력으로 직류 가선전압을 상승시킨다. 그림 1은 직류전동차의 에너지 사용도를 나타내고 있다.^[1]

직류 지하철 시스템에서 전동차가 회생 제동 및 하 구배 구간을 운행 할 경우 많은 양의 에너지가 발생하게 된다. 이러한 회생에너지는 전력변환장치를 이용하여 가선전압의 상승분을 교류 모선으로 회생시킬 수 있다.

그림2는 본 논문에서 제안한 인버터 시스템이 추가된 직류 지하철 급전시스템을 나타낸다. 현재 국내에서 개발한 회생인버터는 기존 지하철 급전시스템에 적용가능하나 회생기능에만 국한 되어있다. 본 논문에서 제안한 시스템은 동일한 전력변환장치로 회생인버터, 능동전력 필터 및 전압강하 보상 기능을 수행할 수 있다.

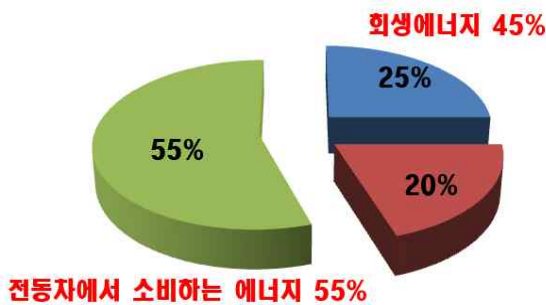


그림 1. 직류 지하철 에너지 사용도
 Fig 1. Energy utilization of DC traction

이러한 회생에너지는 직류 가선전압을 상승시키며, 권선의 소손 및 계통보호장치의 오동작 문제점의 원인이 되어 지고 있다. 따라서 현재의 시스템에서는 가선전압이 일정전압 이상으로 상승 할 경우 별도의 저항부하를 사용하여 회생에너지를 소모 하고 있다. 하지만 현 시스템과 같은 회생에너지 소비는 비효율적으로 에너지 낭비가 심한 현재의 시스템은 많은 개선이

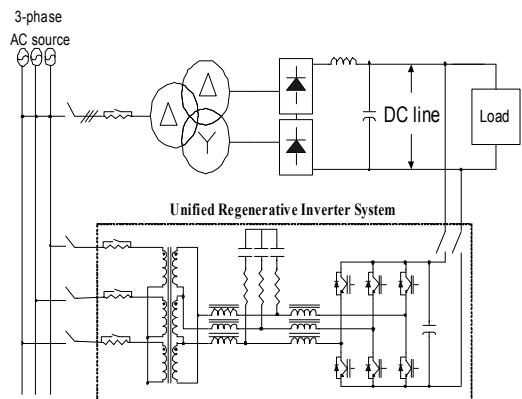


그림 2. 제안하는 회생인버터 시스템
 Fig 2. Proposed regenerative inverter system

2.1 회생인버터 모드 분석

가선전압이 일정 전압 이상 상승하는 경우 제안한 인버터 시스템은 회생모드로 동작하며, 회생에너지를 계통에 배류하여 역내 부하에 사용할 수 있다. 그림 3은 회생모드 동작 시 제어 블록도를 나타낸다.

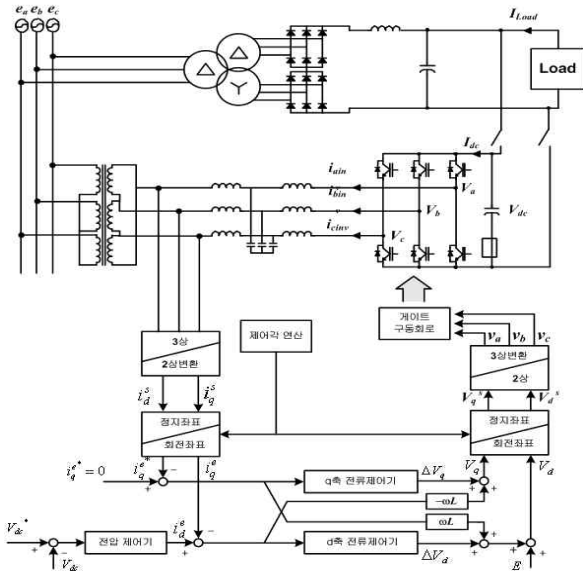


그림 3. 회생모드 시 제어 블록도

Fig 3. Control block diagram of regenerative mode

2.2 능동전력필터 모드분석

그림 4는 본 논문에서 제안한 pq 이론에 의한 능동전력필터의 제어 블록도를 나타내고 있다. 계통 측 전압과 전류를 검출하고 2상 정지좌표계로 변환하여 V_α, V_β 와 I_α, I_β 로 변환한다. 이들의 연산을 통하여 순시유효전력 p 와 순시무효전력 q 를 계산하여 왜곡된 부하전류를 보상하기 위한 보상전류를 계통에 공급한다.^[4]

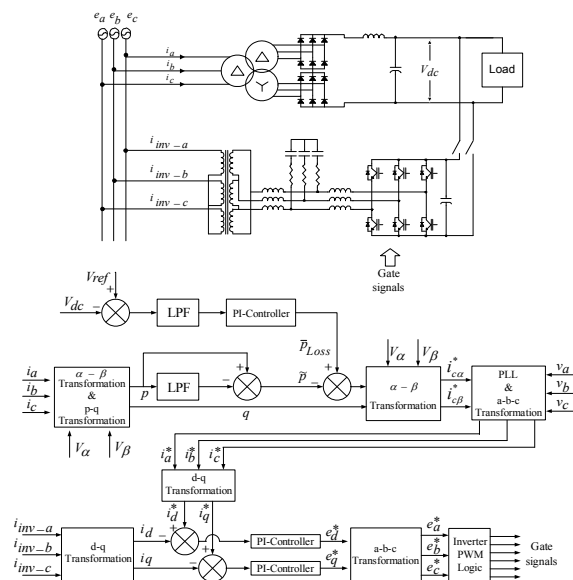


그림 4. 능동전력필터 제어 블록도

Fig 4. The control block diagram of active power filter

2.3 전압강하 보상 모드 분석

주 정류기의 고장으로 전력공급이 불가능할 경우, 회생인버터 시스템은 전압강하 보상 모드로 동작한다. 이때 PWM 컨버터로 동작을 하여 부하측으로 전력을 공급하게 된다. 그림 5는 전압강하 보상 모드 시 제어블록도를 나타낸다.

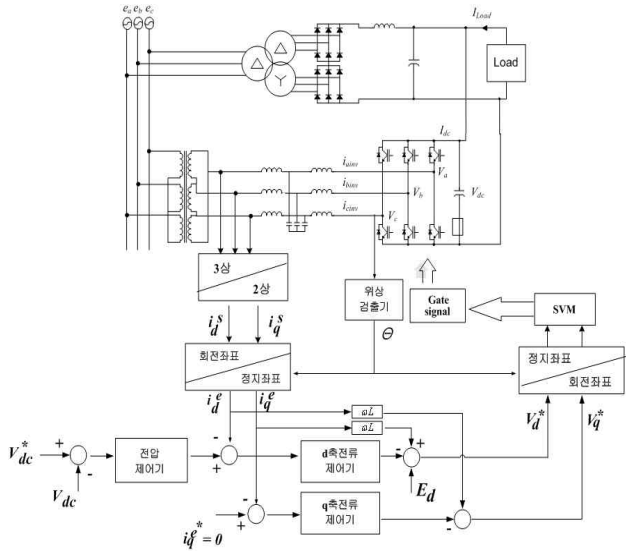


그림 5. 전압강하 보상 모드 제어 블록도

Fig 5. Control block diagram of voltage drop compensator

3. 시뮬레이션

시뮬레이션에 사용한 툴은 전력전자분야 전용으로 개발된 PSIM 소프트웨어를 사용하였다. 시뮬레이션에 사용한 소자는 이상적이다. 그림 6은 전체 시뮬레이션 회로도를 나타내고 있다. 직류 전철 시스템을 모사하기 위해 직류전동기와 유도전동기로 구성된 MG-set을 구성하여 시뮬레이션 하였다. 가선전압 측에 주 정류기의 고장을 모의하는 스위치를 구성하여 전압강하 보상 모드를 확인하였다. DC link의 스위치를 off하게 되면 계통에서 부하 측으로 전력 공급이 되지 않기 때문에 회생인버터 시스템은 가선전압의 전압을 센싱 받고, 일정 값 이하로 떨어지게 되면 전압강하 보상 모드로 동작하여 부하 측으로 전력을 공급하게 된다.

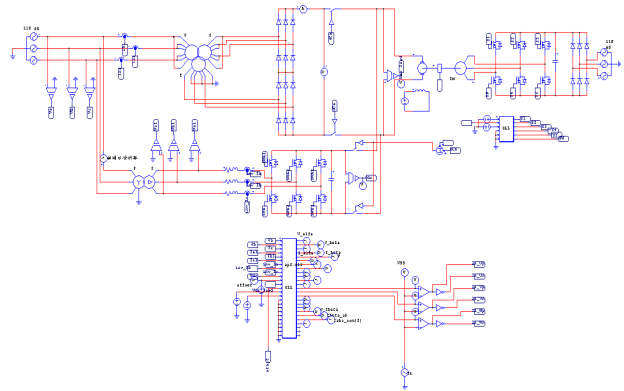


그림 6. 제안하는 시스템 회로도

Fig 6. Proposed circuit diagram

그림 7은 회생인버터 모드와 능동전력필터 모드를 나타내는 부하전류, 인버터 출력전류, 가선전압을 나타낸다. 0.2초에서부터 0.35초 구간에서는 부하 측으로부터 회생에너지가 발생하여 회생인버터는 회생모드로 동작하게 된다. 따라서 정류기로부터 입력되는 부하전류는 흐르지 않는다. 부하 측에서 발생된 회생 에너지는 계통 측으로 회생됨을 알 수 있고, 이때 회생되어지는 전류는 계통전압과 180° 위상차를 가진다. 0.15초 부터 0.2 초 사이와 0.35초 이후에는 능동전력필터로 동작하여 계통 측의 고조파를 보상하는 보상전류를 출력한다.

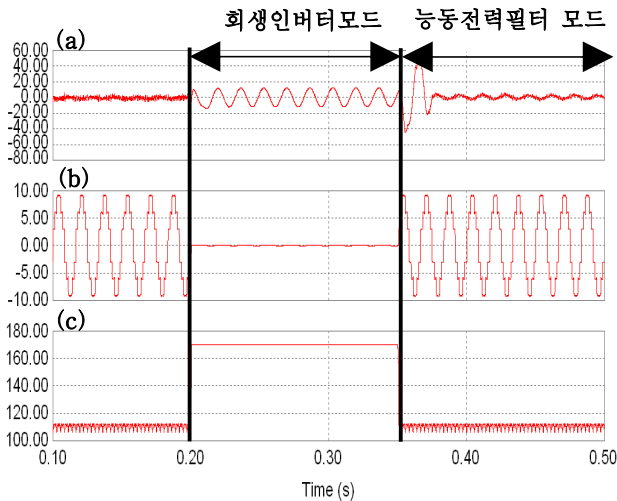


그림 7. 회생인버터 및 능동전력필터 모드 시 각 부 파형
(a)인버터 출력전류, (b)부하 전류 (3) 가선전압

Fig 7. Output waveform of regenerative inverter and active power filter (a)Output current (b)Load current (c)DC line voltage

그림 8은 전압강하 보상 모드로 동작할 경우 각 부 파형을 나타낸다. 1초 이후부터 가선전압 측의 스위치를 off하여 주 정류기 고장을 모의하였다.

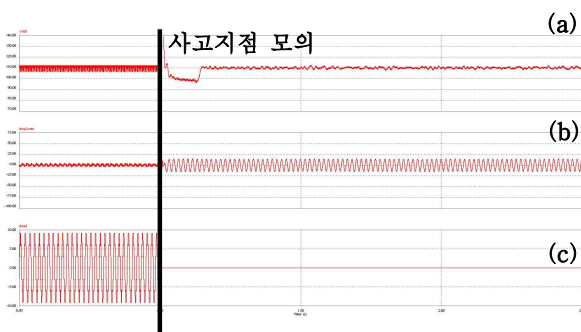


그림 8. 전압강하 보상 시 각 부 파형
(a)가선전압 (b)인버터 출력전류 (c)정류기 출력 전류

Fig 8. Output waveform of drop voltage compensation mode
(a)DC line voltage (b)Inverter output current
(c)Rectifier Output current

1초 이전에는 계통에서 부하로 전력을 공급하지만 주 정류기의 사고지점 이후부터 계통에서 전력을 공급받지 못하기 때문에 정류기 출력전류는 0으로 나타난다. 사고지점 이후에는 회생인버터가 PWM 컨버터로 동작하여 부하 측에 전력을 공급한다.

4. 결론

본 논문에서 전압강하 보상기능을 갖는 직류지하철 시스템을 제안하였다. 제안된 회생인버터 시스템은 하나의 전력변환기로 회생기능, 능동전력필터 기능, 전압강하 보상기로 동작한다. 제안된 시스템은 시뮬레이션을 통해 시스템의 타당성을 확인하였고, 지하철 급전 시스템에 제안된 회생인버터를 사용하면 현재 시스템의 문제점을 해결할 수 있을 것으로 여겨진다.

이 논문은 한국철도기술연구원의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] 장수진, 김연충, 이병국 원충연, 배창한, 김용기 “ 능동전력 필터 기능이 추가된 지하철 회생전력 제어용 인버터”, 조명전기설비학회지, 제 20권 제 5호 pp25~32.
- [2] A.Horn, R.H.Wilkinson, and T.H.R.Enslin, “Evaluation of converter topologies for improved power quality in DC traction substations”, ISIE of IEEE, Vol.2, pp.802-807, 1996.
- [3] 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.
- [4] 한국철도기술연구원, “도시철도표준화 연구개발사업 2003년도 연구중간보고서”, 2003.