

도시철도 전력공급용 더블컨버터에 관한 연구

장춘석, 김성안, 김환진, 한갑진, 조윤현
동아대학교

A Study on Double Converter for Urban Transit Power Supply

Choon Seok Jang, Sung An Kim, Hwan Jin Kim, Gap Jin Han, Yun Hyun Cho
Dong-A University

ABSTRACT

도시철도에서 사용하는 전력공급 장치는 대부분 다이오드를 이용하여 전차선(DC)에 공급하고 있으며, 다이오드 특성상 단방향 전력공급이 가능하기 때문에 전동차의 회생제동으로 발생하는 회생 전력을 재사용 할 수 없는 단점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 전동차에서 발생하는 회생전력을 교류 모션으로 환원시켜주기 위하여 사이리스터를 이용한 양방향 더블컨버터를 제안한다.

더블컨버터의 제어 목적은 전차선의 부하에 따라 전압을 일정하게 유지시키면서 부하 조건에 따라 안정적인 모드 전환을 하는 것이다. 이를 위하여 더블컨버터의 병렬로 운전을 통하여 순차적인 모드 전환을 위한 알고리즘을 더블컨버터 시뮬레이션을 적용하여 검증하였다.

1. 서 론

현재 도시철도 전동차는 전차선으로부터 직류전압으로 구동되고 있으며, 교류를 전차선으로 직류를 공급하기 위하여 주로 다이오드 정류방식을 이용하고 있다. 다이오드 정류방식은 설비가 간단하며 유지보수에 유리하지만 소자 특성상 단방향 전력 공급만 가능하고 전압을 제어 할 수 없기 때문에 전동차의 회생제동으로 발생하는 회생전력을 재사용할 수 없으며, 전압 제어가 불가능한 단점을 가지고 있다. 회생전력을 재사용하기 위하여 별도의 회생 인버터를 사용하거나 에너지 저장장치를 이용하는 등의 연구가 진행되어왔다.^{[1][2]}

본 논문에서는 전동차에서 발생하는 회생에너지를 재사용하기 위하여 별도의 장치 없이 6펄스 사이리스터 컨버터의 역병렬 연결한 더블컨버터 2대의 병렬 운전을 통하여 부하 변화에 따라 Forward / Reverse Mode 변환으로 교류모션으로부터 전차선으로 전력을 공급하거나, 전동차의 회생제동으로 발생하는 회생 전력을 교류모션으로 환원시켜주는 더블컨버터 운전을 제안한다.

더블컨버터의 제어 목적은 전선의 전압을 일정하게 유지하면서 부하전류에 따라 Forward / Reverse Mode 변환과정에서 안정적인 모드 변환을 통하여 전압변동률을 낮추며, 각 더블컨버터에 균등하게 전류가 분배되도록 하는 것이다.

2. 더블 컨버터의 구조 및 동작

2.1 단일 더블컨버터

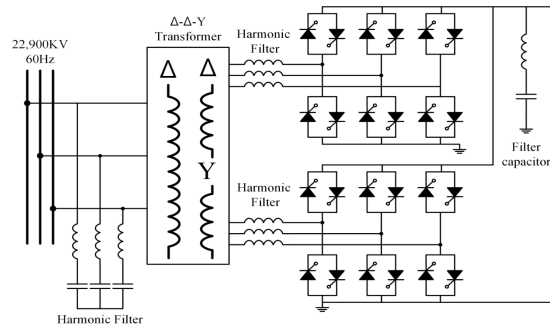


그림 1 더블컨버터의 시스템 구조
Fig. 1 System structure of the double converter

표 1 더블컨버터 사양
Table 1 The specification of Double Converter

변압기	입력전압	3상 22.9kV
	결선	$\Delta \Delta Y$
	권선비	$22900 : 1750 : 1750/\sqrt{3}$
더블컨버터	출력전압	3상 1750 V
	정격 출력 전압	DC 1650V
직류부하전류	용량	8.25MW
	최대 전류	2500A
	최소 전류	2500A

그림 1은 도시철도 전력공급용 더블컨버터 시스템의 1대 구성도를 나타내며, 사양은 표 1에 나타내었다.

3상 22.9kV를 $\Delta \Delta Y$ 변압기를 통하여 출력 측 ΔY 변압기에 각각 6펄스 사이리스터 컨버터로 연결하였으며, 변압기의 출력에 30° 위상차를 가지기 때문에 더블컨버터 출력 전압은 12펄스 출력의 특성을 가진다.

그림 2는 더블컨버터의 제어 구성도를 나타낸다. 더블컨버터의 3상 전원의 영전압을 검출하여 점호각의 트리거 시점을 결정하며, 직류 전압 및 전류의 검지를 통하여 더블컨버터의 모드 결정과 점호각을 계산하기 위한 PI제어기에 입력된다.

더블컨버터의 출력 전압으로 PI제어하며, 그 값을 코사인 역함수를 통하여 알파각을 결정한다.

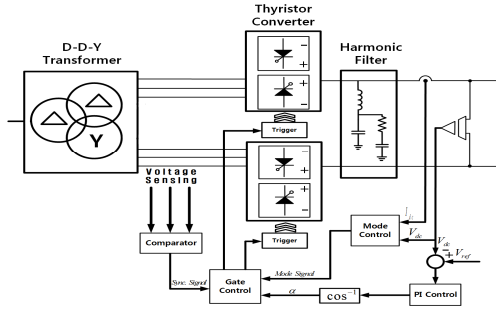


그림 2 단일 더블컨버터의 제어 구성도
Fig. 2 The configuration of double converter control

2.2 병렬 더블컨버터 및 모드변환

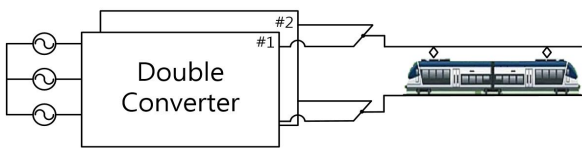


그림 3 병렬 더블컨버터의 개념도
Fig. 3 The Concept of Parallel Double-Converter

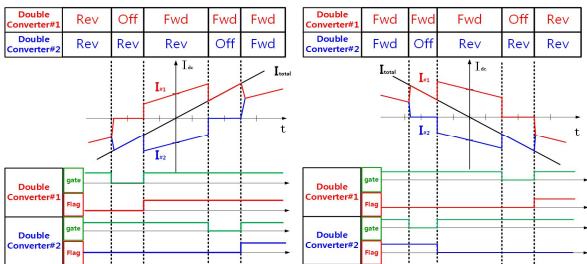


그림 4 병렬 더블컨버터의 부하 전류에 따른 모드 운전
Fig. 4 Mode operation in accordance with load current of parallel double converter

그림 3은 병렬 더블컨버터 운전의 개념도를 나타내었으며, 그림4는 병렬 더블컨버터의 부하전류에 따른 운전의 모드 변환을 나타낸 그래프이다. 더블컨버터 모드는 직류 부하단의 전류에 의하여 결정되며, 각각의 더블컨버터의 모드 변환기준을 설정하여 순차적인 모드변환을 통하여 영전류 부근에서 발생하는 전압 변동을 낮추면서 안정적인 모드 변환이 이루어 질 수 있도록 한다.

3. 시뮬레이션

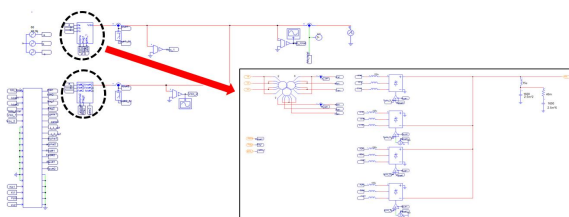


그림 5 병렬 더블컨버터의 시뮬레이션 구성도
Fig. 5 Parallel double converter simulation configuration

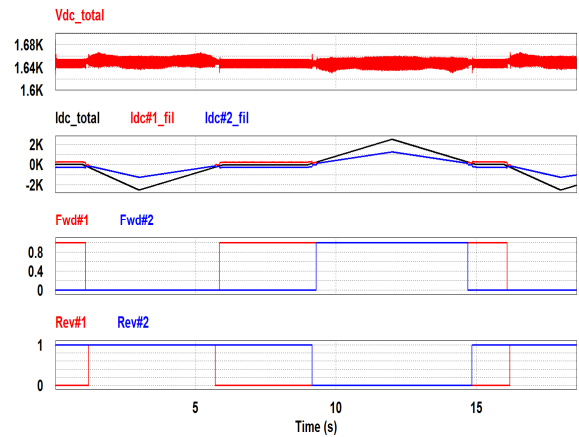


그림 6 병렬 더블컨버터의 시뮬레이션 결과
Fig. 6 Simulation Results of Parallel Double Converter

그림 5는 병렬 더블 컨버터의 시뮬레이션 구성도를 나타내었으며, 그림 6은 병렬 더블컨버터의 부하전류에 따른 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 최대 부하 전류는 $\pm 2500A$ 이며, 부하 전류의 부호가 바뀌는 영역에서 모드변환이 이루어진다. 더블컨버터의 모드신호와 전류를 확인함으로써 각 더블컨버터의 순차적인 모드변환을 통하여 안정적인 모드변환이 이루어지는 것을 확인할 수 있다.

또한 차전류 제어를 통하여 각 더블컨버터의 부하 전류가 각 더블컨버터에 균등하게 배분되는 것을 확인할 수 있으며, 부하전류가 영전류 구간에 있을 경우에도 안정적인 더블컨버터 운전이 이루어지는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 도시철도 전력공급용 더블컨버터의 병렬운전에 대하여 제안하였다. 임의의 부하 전류에 안정적인 더블컨버터의 운전과 영전류 구간에서도 순차적인 모드 전환을 통한 안정적인 운전을 통하여 일정한 출력 전압을 유지 할 수 있음을 시뮬레이션으로 증명하였다.

본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 재원으로 철도기술연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(14RTRP B091404 01).
본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제(No.20134030200320)입니다.

참고 문헌

- [1] Kyungmin Kwon, Eun Kyu Lee, Jeaho Choi "Efficiency Improvement of ESS for DC Transit System", Power Electronics and Motion Control Conference, Vol. 4, pp. 2641 2646, 2012, June.
- [2] C.H. Bae, M.S. Han, Y.K. Kim, C.Y. Choi, S.J. Jang "Simulation Study of Regenerative Inverter for DC Traction Substation", Electrical Machines and Systems, 2005.(ICEMS) Proceedings of the Eighth International Conference, Vol. 4, pp. 1452 1456, 2005, Sept.