

철도 변전설비를 위한 사이리스터 더블 컨버터 파워 시스템의 제어 기법

문동옥, 이창희[†], 김영우, 장영훈
다원시스

Control Algorithm of Thyristor Double Converter Power System for Railway Power Substation

Dong Ok Moon, Chang Hee Lee[†], Young Woo Kim, Young Hun Jang
Dawonsys

ABSTRACT

본 논문에서는 철도 변전설비를 위한 사이리스터 더블 컨버터 파워 시스템의 제어 기법을 제안한다. 사이리스터 더블 컨버터는 기존 시스템과는 다르게 전동차의 제동 시 발생하는 회생 에너지를 AC 모선으로 환원 가능하다. 제안한 제어 기법에서는 부하 상황에 따른 더블컨버터의 모드전환을 통해 안정적인 전원의 공급과 동시에 에너지 효율을 상승 시킬 수 있다. 10kW급 시작품을 제작하여 제안하는 제어 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

1. 서론

일반적으로 전동차 제동 시 발생하는 회생에너지는 적절히 처리되지 않는다면 전차선 가선전압의 상승을 야기하여 철도 급전 계통 및 전동차 내 전장품에 악영향을 미칠 수 있다. 기존의 도시철도 변전 설비는 다이오드 정류 시스템과 사이리스터 더블컨버터 시스템을 사용하고 있으며 이를 이용하여 철도에 에너지를 공급하고 있다. 하지만 다이오드 정류 시스템은 회생되는 에너지를 처리 할 수 없기 때문에 회생에너지를 처리하기 위한 추가적인 시스템이 요구되며 그에 따라 추가적인 설치비용 및 시스템의 효율성을 저감시키게 된다.

하지만 사이리스터 더블 컨버터 파워 시스템의 경우 전류가 사이리스터 더블 컨버터를 통해 양방향 도통이 가능하기 때문에 가선전압을 일정하게 유지 시킬 수 있다. 사이리스터 더블 컨버터 시스템은 간단한 구조를 가지며 회생에너지를 처리하기 위한 별도의 장치가 필요 없다. 또한 대용량 사이리스터의 사용으로 회생에너지 이용률이 높으며 기존 다이오드 정류 시스템과 비교하여 가격 및 부피를 저감 할 수 있다.

본 논문에서는 도시철도 변전설비의 회생에너지 이용의 효율을 증가시키기 위한 사이리스터 더블 컨버터 방식의 직류 급전 설비의 제안과 사이리스터 더블 컨버터의 제어 기법 제안한다. 또한 10kW급 축소모델 시작품의 시험 통해 제안하는 제어 기법의 타당성을 검증 하였다.

2. 사이리스터 더블 컨버터의 제어 알고리즘

2.1 사이리스터 더블 컨버터 파워시스템

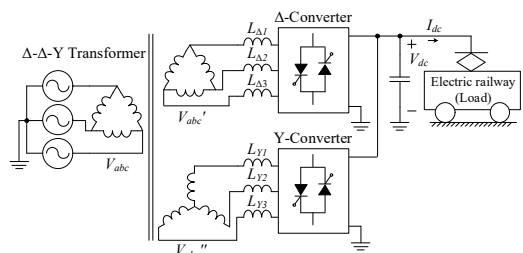


Fig. 1. Block diagram of electric railway power system

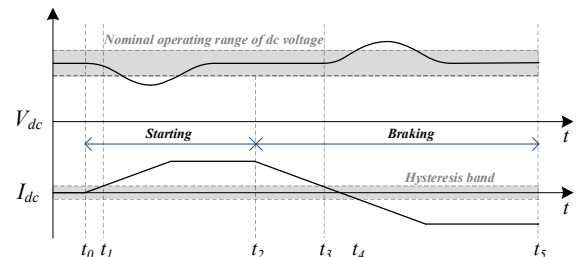


Fig. 2. Operating waveform of double converter power system

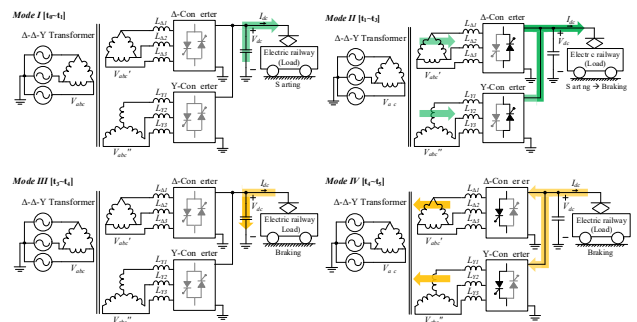


Fig. 3. Operating mode of electric railway power system

그림 1은 도시철도 직류 급전용 사이리스터 더블컨버터 파워 시스템의 구성도이다. 사이리스터 더블 컨버터 파워 시스템은 3상 Δ-Δ-Y 변압기, Δ형 3상 사이리스터 더블 컨버터, Y형 3상 사이리스터 컨버터 그리고 출력 커패시터로 구성된다. 더블 컨버터는 3상 사이리스터 컨버터 2대가 역병렬로 연결된 형태이며 그에 대한 자세한 내용은 [1]에 있다. 그림 2와 3에 도시철도 직류 급전용 사이리스터 더블컨버터 파워 시스템과 동작모드를 나타내었다.

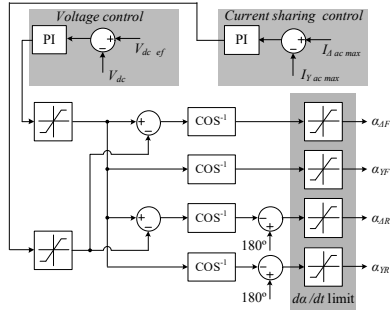


Fig. 4. Control block diagram of thyristor double converter

모드 I이 시작되기 전 시스템의 출력은 일정 dc 전압으로 유지되고 있으며 Δ 형, Y형 싸이리스터 더블컨버터는 모두 off되어있는 상황이다. 전동차의 시동으로 전동차부하에서 전류를 요구하며 그에 따라 출력 커패시터가 전동차 부하의 모든 에너지를 충당한다. 다른 에너지원이 없기 때문에 출력 커패시터의 전압은 서서히 감소하게 된다.

모드 II는 컨버터의 dc 전압이나 전동차의 부하가 일정 값을 초과하였을 시 더블컨버터의 Forward mode 동작을 통해 dc 전압을 다시 일정하게 제어하며 AC모션으로부터 전동차에 전력을 공급한다. 더블컨버터가 Forward mode로 동작하다 전동차가 제동하였을 경우 요구되는 부하는 점점 감소하며 일정 값 이하로 감소하였을 시 컨버터가 off된다.

모드 III는 컨버터가 모두 off되어있는 상황에서 전동차의 제동에 따른 회생에너지가 발생하는 구간이다. 컨버터가 off되어 있기 때문에 회생에너지는 전동차로부터 출력 커패시터로 공급되며 그에 따라 dc 전압이 상승하게 된다.

모드 IV는 전동차의 제동에 따른 회생에너지로 인한 컨버터의 dc 전압이나 전동차의 회생에너지가 일정 값을 초과하였을 시 더블컨버터의 Reverse mode 동작을 통해 전압을 일정하게 제어하며 전동차로부터 AC모션으로 에너지를 환류한다. Reverse mode에서 Forward mode로의 전환은 모드 IV와 동일한 방식으로 이루어진다.

2.2 싸이리스터 더블 컨버터의 제어 기법

그림 4는 제안하는 싸이리스터 더블컨버터의 제어 블록도이다. 제안하는 싸이리스터 더블컨버터는 출력전압인 가선전압을 일정하게 제어한다. 더블컨버터가 일정한 전압을 제어하면 전동차의 상태에 따라 에너지를 공급 또는 환원 시키는데 이때 입력 측 Δ Y 변압기의 오차로 인해 각 컨버터에 흐르는 전류에 불균형이 발생하게 된다. 전류의 불균형은 시스템의 정격 상승 및 손실 증가 그에 따른 비용 증가로 이어지게 되며 Δ , Y 컨버터의 입력측 전류를 이용하여 입력측 전류의 최댓값을 동일하게 제어하는 입력전류 불균형 제어를 하게 된다. 그림 5는 싸이리스터 더블컨버터의 모드전환 알고리즘 순서도이다. 그림 5의 ΔV_{dc} 와 ΔI_{Ldc} 는 단락 방지를 위한 시스템의 Hysteresis band이며 축소모델에서는 각각 2.5V, 2A를 사용하여 시스템의 단락을 방지하였으며 모드 전환 시 α 값의 초기값을 주어 시스템의 과도 상태를 최소화 하였다.

2.3 시험결과

그림 6은 더블컨버터 파워 시스템의 모드전환 시 시험 파형이다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 부하 측 전류의 방향에 따라 모드전환을 하며 일정 전압을 유지 하는 것을 볼 수 있다. 본

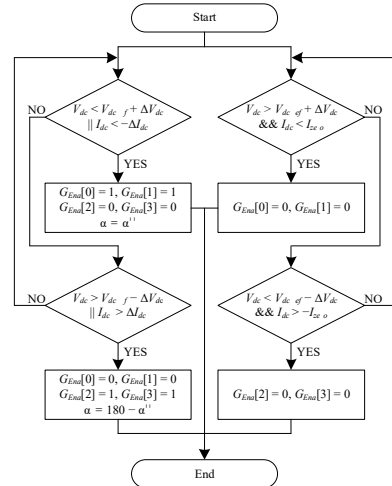


Fig. 5. Mode change algorithm for thyristor double converter

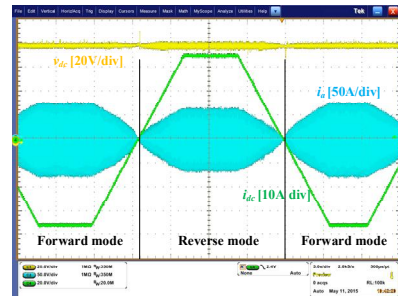


Fig. 6. Experimental waveform of 10kW reduced model at mode change

10kW급 시작품은 실제 모델의 사양으로부터 입출력 전압이 동일한 비율로 감소하였기 때문에 실제 모델의 응답과 동일한 응답 특성을 가질 것이라 예측 가능하며 이는 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

3. 결론

본 논문에서는 도시철도 직류 급전용 싸이리스터 더블컨버터의 제어알고리즘에 대하여 연구 하였다. 싸이리스터 더블 컨버터를 사용한 도시철도 직류 급전 시스템에서는 다이오드 정류 시스템과 다르게 전류가 양방향으로 도통 가능하여 전동차의 제동 시 발생하는 회생에너지를 추가 비용이나 면적의 증가 없이 AC모션으로 환원 가능한 장점을 가진다. 본 논문은 부하측 상황에 따라 싸이리스터 더블 컨버터의 모드 전환이 가능한 제어 기법을 제안하였고 10kW급 축소모델의 제작 및 시험을 통해 제안하는 제어기법의 타당성을 검증하였다.

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비 지원 (과제번호 15RTRP B091404 02)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

[1] L. A. Schlabach, "Analysis of discontinuous current in a 12 pulse thyristor DC motor drive," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 27, no. 6, pp. 1048 1054, Nov./Dec. 1991.