

철도 변전설비를 위한 사이리스터 듀얼 컨버터 실증시험

김병준, 권국민, 김영우, 이창희
다원시스

Thyristor Dual Converter System Verification Test for Railway Power Substation

Byung-Jun Kim, Gook-Min Kwon, Young-Woo Kim, Chang-Hee Lee
Dawonsys

ABSTRACT

철도 변전설비를 위한 사이리스터 듀얼 컨버터 시스템은 기존의 다이오드 정류기로 구성된 변전설비 시스템과는 다르게 전동차 제동 시 발생하는 에너지를 안정적으로 계통(22.9kV)에 전달 가능하다. 본 논문에서는 사이리스터 듀얼 컨버터의 실증 시험을 통해 기존에 제안된 제어기법을 검증하였다. 실증 시험의 경우 부산 호포 차량기지(전동차 6량 1편성) 시험용 전동차가 기동 시 사이리스터 듀얼 컨버터에서는 882kW의 에너지를 공급하며, 제동 시 시험용 전동차에서 사이리스터 듀얼 컨버터로 756kW의 에너지가 회생되는 것을 확인 및 분석하여 본 시스템의 타당성을 검증하였다.

1. 서론

도시철도 전동차용 직류급전설비는 전동차 운전 시 필요한 전력을 공급한다. 전동차 제동 시 발생하는 회생에너지를 적절히 처리하지 않는다면 전차선의 가선전압을 상승시켜 철도 급전 계통과 전동차 내 전장품에 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 회생 에너지를 적절히 처리해야 하는데 기존 다이오드 정류 시스템을 이용한 변전설비는 회생되는 에너지를 처리할 수 없기 때문에 회생에너지를 처리하기 위한 추가적인 시스템이 필수적이다. 해당 문제를 해결하기 위해 기존 다이오드 정류 시스템에서는 대용량 커패시터를 이용한 충전회로 또는 저항을 이용한 방전회로를 구성하였으나 이에 따른 추가적인 설비비용, 설치 공간 등이 필요하다. 또한 회생 에너지를 계통에 전달하지 못하므로 시스템 효율성 또한 저감된다. 따라서 본 논문에서는 양방향 도통이 가능한 사이리스터 듀얼 컨버터 시스템을 적용하였다. 해당 시스템은 사이리스터 위상 제어를 이용하여 가선전압을 일정하게 유지 시킬 수 있으며, 회생에너지를 처리하기 위한 별도의 장치가 필요 없는 간단한 구조의 장점을 가지고 있다. 또한 대용량 사이리스터를 역병렬로 구성하여 전동차의 회생에너지 이용률이 높고, 기존의 다이오드 정류 시스템과 비교하여 시스템 구성비용을 저감할 수 있다는 장점이 있다. 본 논문에서는 호포변전소 테스트베드를 구축하여 시험용 전동차를 이용하여 가선전압 제어 및 제동 시 도시철도 변전설비의 회생 에너지를 계통에 전달하여 시스템 효율을 증가시키는 사이리스터 듀얼 컨버터 시스템의 실증시험을 진행하였으며 시험 결과 분석을 통해 본 시스템의 타당성을 검증 하였다.

2. 사이리스터 더블 컨버터 실증시험

2.1 사이리스터 듀얼 컨버터 시스템

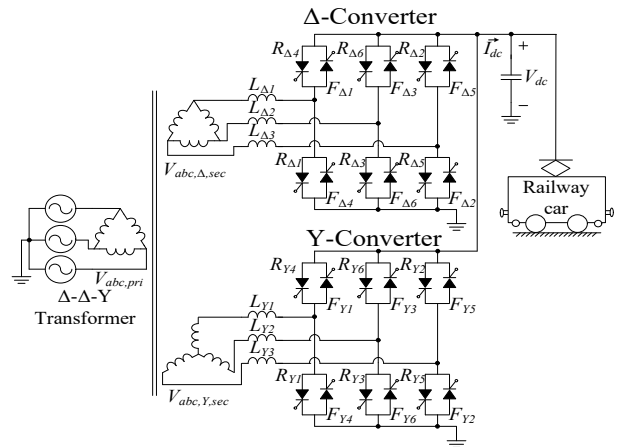


그림 1 사이리스터 듀얼 컨버터 시스템 구성
Fig. 1 Block diagram of thyristor bidirectional converter system

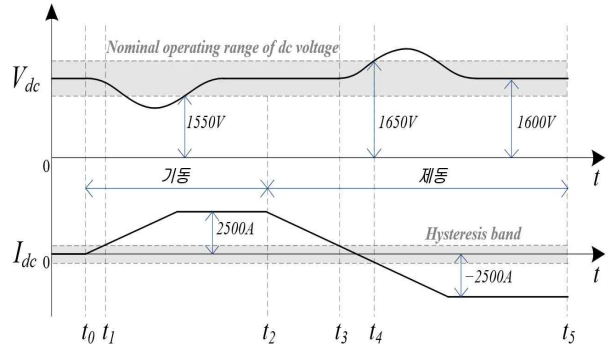


그림 2 사이리스터 듀얼 컨버터 시스템 동작 파형
Fig. 2 Operating waveform of thyristor bidirectional converter

그림 1은 사이리스터 듀얼 컨버터 시스템 구성을 나타내며 3상 Δ - Δ -Y 변압기, Δ 형 3상 사이리스터 컨버터, Y형 3상 사이리스터 컨버터 출력단 DC 커패시터로 구성된다^[1]. 그림 2는 사이리스터 듀얼 컨버터 시스템의 동작 파형을 나타낸다. 출력단 DC 전압제어 및 변압기 오차로 인한 입력전류 불균형 제어 기법을 사용하였으며 DC 출력 전압을 1600V로 제어한다.

표 1 사이리스터 듀얼 컨버터 시스템 제원

Table 1 Thyristor bidirectional converter system specification

항 목	내 용
입력전압	AC 22,900V
변압기 전압	1차측 22,900V, 2차측 D-1750V, Y-1750V
출력전압	DC 1,600V(1,500V~1,700V)
출력전류	DC 2,500A
용량	Forward Converter : 4.1MVA / Reverse Converter : 4.1MVA
사용소자	ABB 5STP26N6500

표 2 전동차 제원

Table 2 Electric car specification

항목	시험용 전동차
전원공급방식	DC1,500V 가공전식
편성	6량 1편성 (T-CAR:3 / M-CAR:3)
속도제어방식	VVVF INVERTER 제어
제동방식	전기(회생) 및 공기제동
전동기 방식	유도전동기
전동차 시험 속도	0~50km/h
동작조건	Powering: P1~P4 / Braking: B1~B7

또한 컨버터의 출력 전류는 Δ 형 3상 사이리스터 컨버터, Y형 3상 사이리스터 컨버터에서 각각 1,250A를 출력하여 DC 2,500A를 출력한다.

2.2 사이리스터 듀얼 컨버터 및 시험용 전동차 제원

표1은 본 논문에서 실증시험에 사용된 사이리스터 듀얼 컨버터 시스템 제원을 나타낸다. 계통에서 전동차로 전력을 전달하는 Forward Converter와 반대로 전동차에서 계통으로 회생되는 전력을 전달해주는 Reverse Converter의 용량은 각각 4.1MVA이다. 또한 표2는 전동차 제원을 나타내는데 시험용 전동차는 6량 1편성으로 구성된다.

테스트 베드의 구성은 그림 3과 같다. 부산 호포기지의 시험선의 경우 2km로 구성되어 있으며, 본 실증 시험에서는 시험용 전동차의 동작 상태를 Powering 4단으로 설정 후 전동차의 속도가 50km/h가 되면 타행시간을 3초 유지한 후 Braking 7단으로 설정하여, 전동차의 기동 및 제동 상태에 따른 사이리스터 듀얼 컨버터의 모드전환 시험을 진행하였다.

2.3 시험용 전동차 실증시험 결과

그림 4는 시험용 전동차를 이용한 사이리스터 듀얼 컨버터 실증시험 결과 파형을 나타낸다. 전동차가 가선 가압 후 기동하는 동안 Forward mode로 동작하며, 전동차가 제동할 경우 Reverse mode로 동작한다. 시험용 전동차가 기동 및 제동 시 적용된 제어 알고리즘을 통해 DC 출력 전압이 1,600[V]로 제어되는 것을 확인할 수 있으며, 사이리스터 듀얼 컨버터의 입-출력 전류가 컨버터 전류 불균형이 발생되지 않음을 확인할 수 있다. 실증시험을 통해 시험용 전동차 기동 시 사이리스터 듀얼 컨버터에서 부하로 출력되는 에너지는 882kW이며, 시험용 전동차 제동 시 사이리스터 듀얼 컨버터로 회생되는 에너지는 756kW이다.



그림 3 사이리스터 듀얼 컨버터 전동차 시험 테스트베드

Fig. 3 test-bed of thyristor bidirectional converter system

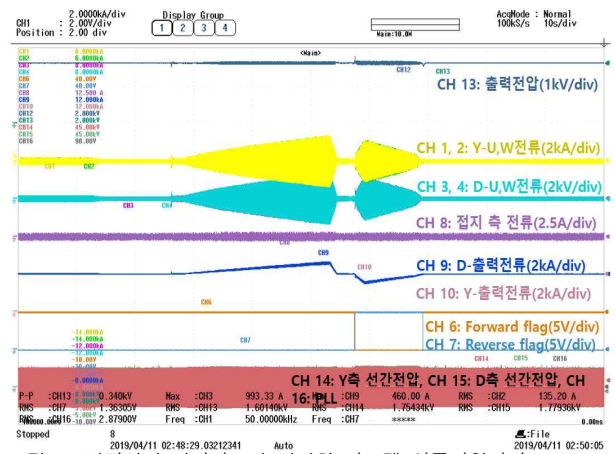


그림 4 변전설비 사이리스터 양방향 시스템 실증시험결과

Fig. 4 thyristor bidirectional system verification test result

3. 결론

본 논문에서는 4.1MVA급 도시철도 직류 급전용 사이리스터 듀얼 컨버터의 제어 알고리즘 검증 및 시험용 전동차 실증시험에 대해 연구하였으며 기존에 사용되던 다이오드 정류 시스템과는 다르게 대용량 사이리스터를 역병렬로 구성하여 시험용 전동차의 제동 시 발생하는 회생에너지를 추가적으로 전동차에서 회생되는 전력을 저항을 이용하여 소모하지 않고 계통으로 전달 할 수 있음을 확인하였다. 또한 시험용 전동차 실증 시험을 통하여, 본 논문에 적용된 시스템 및 제어 기법에 대한 필요성 및 타당성을 검증 하였다.

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비 지원(과제번호 18RTRP-B088263-05)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.
- [2] 한성우, 이창희, 김영우, 문동욱, (2015). 철도 변전설비를 위한 사이리스터 이중 컨버터 전력 시스템의 제어 기법. 전력전자학회논문지, 20(6), 573-579.