

철도 직류 급전용 싸이리스터 이중 컨버터 전력 시스템의 병렬운전에 대한 연구

김영우, 원충연
성균관대학교

A Study on the Parallel Control Algorithm of Thyristor Dual Converter Power System for DC Power substation of Railway

Young woo Kim, Chung Yuen Won
Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문에서는 철도 직류 급전용 싸이리스터 이중 컨버터 전력 시스템의 병렬운전 제어기법을 제안한다. 싸이리스터 이중 컨버터 전력 시스템의 병렬운전 시 발생하는 순환전류 및 전류 불균형은 제안하는 병렬운전 기법을 통해 제어가 가능하다. 또한 제안하는 제어 기법은 동일한 응답을 가지면서 출력 측 전류 센서의 제거가 가능하다. 제안하는 제어기법의 타당성은 10kW급 축소모델의 시험을 통해 검증하였다.

1. 서론

최근 철도차량의 이용률 증가로 인한 가선 전력의 수요 증가를 충족시키기 위해 기존 시스템을 병렬로 사용하고 있다. 기존 시스템을 병렬로 사용함에 따라 시스템간 오차에 따른 부하 불균형 및 시스템간 순환하는 전류로 인해 시스템의 정격이 증가하게 된다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 병렬운전 기법에 대한 연구가 많이 진행 되어 왔다. 기존 병렬운전 기법으로는 중앙 집중식 제어, 마스터/슬레이브 제어, Droop 제어 등이 있다. 첫째, 중앙 집중식 제어는 가장 안정적이거나 중앙 제어기의 고장 발생 시 시스템 전체가 차단되는 단점과 모듈화 측면에서 단점을 가진다. 둘째, 마스터/슬레이브 방식은 산업계에서 가장 많이 사용되고 있으며 안정적이지만 마스터 컨버터의 고장 발생 시 시스템 전체가 차단되는 단점이 있다. 이를 보완하기 위하여 마스터 승계형 제어 방식이 있지만 마스터 승계 시 발생하는 과도응답에 의하여 출력 안정도가 저하되는 단점이 있다. 마지막으로 Droop 제어 방식은 각각의 제어기가 독립적인 제어를 수행하여 모듈화 측면에서 가장 장점을 가지지만 출력의 안정도 및 부하 불균형 제어 성능이 나머지 제어 방식에 비하여 떨어진다.

본 논문에서는 도시철도 직류 급전용 싸이리스터 이중 컨버터 전력 시스템의 병렬운전 기법을 제안한다. 제안하는 병렬운전 기법은 각각의 컨버터가 독립적인 제어를 수행하며 병렬운전 시 발생하는 순환전류에 대한 제어 및 부하 불균형 제어를 통해 안정적인 병렬운전을 수행할 수 있다. 또한 싸이리스터 이중 컨버터의 단독운전 기법 중 DC 출력전류 값을 이용한 제어 방식^[1]에서 DC측 전류 센서를 제거한 제어 기법을 제안한다. 제안하는 제어 기법은 10kW 축소모델을 통해 타당성을 검증하였으며 추후 4MW 실제 모델에 적용 예정이다.

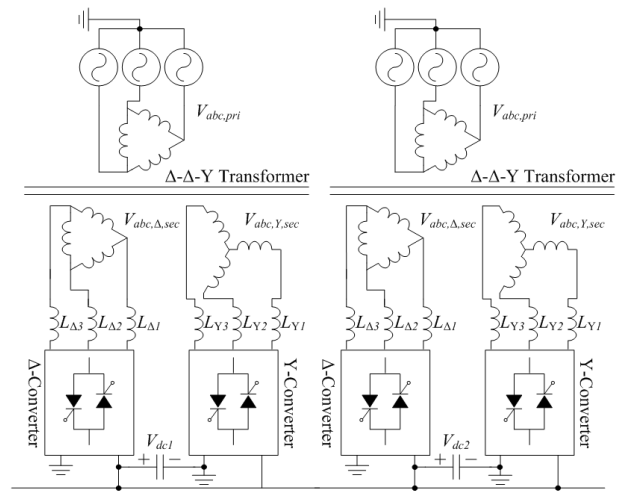


그림 1 싸이리스터 이중 컨버터 전력 시스템의 병렬운전 구성도

Fig. 1 Block diagram of parallel structure of dual converter power system.

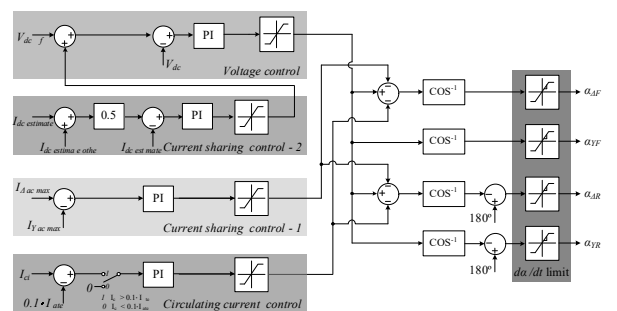


그림 2 제안하는 병렬운전 알고리즘 구성도

Fig. 2 Block diagram of the proposed parallel control algorithm.

2. 본론

그림 1은 싸이리스터 이중 컨버터 전력 시스템의 병렬운전 회로 구성도이다. 싸이리스터 이중 컨버터 전력시스템은 3상 Δ-Δ-Y 변압기, Δ형 3상 싸이리스터 이중 컨버터, Y형 3상 싸이리스터 이중 컨버터 그리고 출력 커패시터로 구성된다. 각각의

전력 시스템은 독립된 제어를 가지며 제어기간 근사화된 출력 전류 및 시스템 동작 상태를 주고받는다. 제어기간 주고받는 정보는 노이즈에 의하여 통신이 끊기는 경우를 고려하여 통신을 사용하지 않으며 아날로그 신호나 디지털 점진 신호로 전달하기 때문에 통신을 사용하는 것 보다 노이즈에 강하며, 빠른 응답 특성을 가진다.

기존 싸이리스터 이중 컨버터의 단독운전 기법은 I_{dc} 전류와 V_{dc} 를 이용하여 모드전환 조건을 결정한다. I_{dc} 값은 출력 전류 센서의 출력이며 입력 측 2개의 전류센서는 보호용으로 사용되어 왔다. 하지만 싸이리스터 컨버터의 I_{dc} 전류는 컨버터의 입력전류가 정류된 값과 동일하므로 입력전류 값으로부터 출력전류를 근사화 시킬 수 있다. 기존 시스템에서 보호용으로 사용되었던 입력 전류센서는 A상과 C상에 위치하고 있으며 3상의 특성을 이용하여 B상의 전류를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$i_B(t) = -(i_A(t) + i_C(t)) \quad (1)$$

$$I_{dc} \approx I_{dc,est} = LPF(\max(i_A(t), i_B(t), i_C(t))) \quad (2)$$

식 (2)로부터 근사화 된 출력 전류를 얻을 수 있기 때문에 기존에 사용되었던 출력 전류 센서를 제거 할 수 있다. 그림 2는 제안하는 싸이리스터 이중 컨버터 전력 시스템의 병렬운전 제어 알고리즘이다. 이중 컨버터의 전력 시스템 병렬운전은 각각 출력 전압 제어부, 전류 제어부로 크게 나눌 수 있다. 전류 불균형 제어기 1과 전압제어기는 단독운전에서 사용하던 제어기와 동일하다. 제안하는 병렬운전 기법은 PLL 오차 또는 전압 센서의 오차 그리고 기생성분의 영향으로 인하여 발생하는 시스템간 전류 불균형을 해소하기 위한 전류 불균형 제어기 2가 사용되며 이 전류제어기의 출력 값은 출력 전압 지령치에 보상된다. 싸이리스터 이중 컨버터 전력 시스템은 컨버터 출력이 커패시터로 구성되어 있으며 전류 리플을 저감시키기 위한 인덕터가 존재하지 않는다. 따라서 시스템에서 제어 가능한 값은 커패시터 전압이므로 커패시터 전압 값을 키우거나 줄여 발생하는 전류 불균형을 해소 시킨다. 또한 제안하는 병렬운전 기법은 순환전류를 억제하는 제어가 사용되며 순환 전류는 시스템간 동작 상태가 반대일 경우 존재 하게 되는데 이 순환전류의 크기를 일정 값 이하로 제어하지 않는다면 순환전류가 계속 증가하게 된다. 따라서 순환전류에 의하여 시스템의 고장 및 오동작을 야기 시키지 않도록 순환전류 값이 일정 값 이하가 되도록 제어한다.

표 1은 제안하는 병렬운전 알고리즘과 기존 병렬운전 알고리즘의 비교표이다. 표 1에서 볼 수 있듯이 제안하는 병렬운전 알고리즘은 병렬로 연결된 각각의 컨버터가 독립적인 제어를 수행하기 때문에 마스터 제어기의 숫자는 Droop 제어기의 마스터 제어기의 숫자와 같다. 기존 Droop 제어기는 병렬로 연결된 컨버터의 전류를 고려하지 않고 Droop 계수에 따른 출력의 지령치의 증가 또는 감소를 통한 부하 불균형을 해소하기 때문에 출력 특성 및 안정도가 다른 제어 기법들에 비해 떨어지는 단점을 가지고 있다. 이러한 Droop 제어기의 문제점을 해결하기 위하여 제안하는 병렬운전 제어기법은 통신을 사용하지 않고 아날로그 신호를 통해 병렬로 연결된 컨버터의 전류 및 동작 상태신호를 확인하여 제어를 수행한다. 따라서 제안하는 병렬운전 제어기법은 Droop 제어 보다 출력 안정도를 향상 시킬 수 있지만 기존의 마스터 슬레이브 방식의 통신선의 숫자와

표 1 기존 병렬운전 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 비교

Table 1 Comparison of control algorithm for parallel operation

	Centralized	Master/slave	Droop	Proposed
Number of master controller	1	1	N	N
Communication	Required	Required	None	None
Modularity	Low	High	High	Normal
Performance	High	High	Low	High
Stability	High	High	Low	High

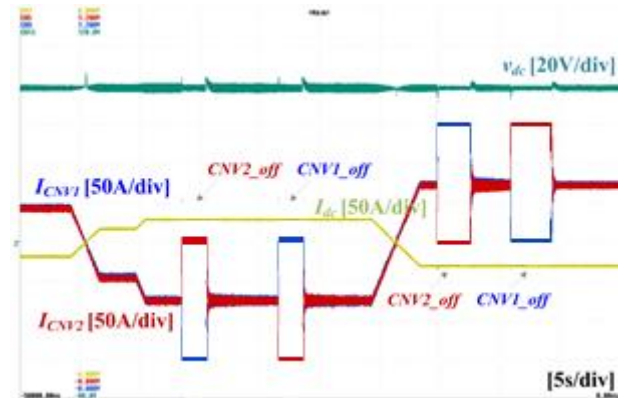


그림 3 제안하는 병렬운전 알고리즘의 차단/투입 시 파형

Fig. 3 Experimental waveform of proposed parallel control algorithm at ON/OFF condition.

아날로그 신호선의 숫자가 더 많으며 모든 제어기의 접지가 동일한 단점이 있다. 그러나 통신을 사용하지 않기 때문에 노이즈에 강한 장점이 있으며 각각의 독립적인 제어를 통해 별도의 알고리즘 추가 없이 병렬로 연결된 컨버터의 고장 시에도 항상 출력을 일정하게 유지 시킬 수 있는 장점이 있다. 그림 3은 싸이리스터 이중 컨버터 전력 시스템의 병렬운전 차단/투입 시 시험파형이다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 부하 상태나 컨버터의 동작 순서에 상관없이 순환전류나 전류 불균형이 발생하지 않고 정상적으로 동작하는 것을 확인 할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 철도 직류 급전용 싸이리스터 이중 컨버터 전력 시스템의 병렬운전 제어기법을 제안한다. 싸이리스터 이중 컨버터 전력 시스템의 병렬운전 시 발생하는 순환전류 및 전류 불균형은 제안하는 병렬운전 기법을 통해 제어 가능하다. 제안하는 제어 기법의 타당성은 10kW급 축소모델의 시험을 통해 검증하였다.

참고 문헌

[1] S. Han, C. Lee, Y. Kim and D. Moon, "Control algorithm of thyristor dual converter power system for railway power substation," Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 20, No. 6, pp. 573-579. Dec. 2015.