

DC 배전용 3상 AC/DC 컨버터의 병렬 운전시 발생하는 순환전류 제어 알고리즘

정철호*, 신수철*, 정태복*, 이택기**, 원충연*
성균관대학교*, 한경대학교**

Control Algorithm for Circulating Currents in Parallel Operation of Three-Phase AC/DC Converter for DC Distribution System

Chul-Ho Jung*, Soo-Cheol Shin*, Tae-Bok Jung*, Taek-Kie Lee**, Chung-Yuen Won*
Sungkyunkwan University*, Hankyong National University**

ABSTRACT

본 논문에서는 여러 대의 전력변환장치를 모듈화 하여 병렬 운전할시 필연적으로 발생하게 되는 순환전류를 억제하기 위한 제어 기법을 제안하였다. 이에 따라 병렬 운전 시스템이 갖는 응답 특성 및 정상상태 동작 등의 타당성을 시뮬레이션 모델을 통하여 검토하였다.

1. 서 론

DC 배전과 같은 대용량 시스템에서는 다수의 AC/DC 컨버터를 모듈화 하여 병렬 운전하는 방법이 일반적으로 사용된다. 이 방법은 낮은 전류 정격의 소자를 사용할 수 있으며, 시스템을 설계하는데 있어 각 전원 모듈의 규격화를 이룰 수 있다. 또한 각 전력변환장치 모듈은 하드웨어 설계 시 최적의 용량으로 설계됨으로써 비용면에서도 효과적인 설계가 가능하다.

2대 이상의 전력변환장치에서는 직류전압을 각각 제어하게 되며 각 구성요소가 전압제어를 하는데 있어 센서의 오차, 제어기의 오차, 선로 임피던스, 스위칭 반도체 소자의 특성 차이 등에 의해서 제어하는 전압에 차이가 발생할 수 있고, 이에 따라 DC BUS에 순환전류가 필연적으로 발생하게 된다. 순환전류는 교류의 무효전력과 유사하여 시스템 전체의 손실과 직결되며, 연계되는 기기에 여러 가지 악영향을 주고 전력 품질을 악화시킬 수 있다.^{[1][2]}

본 논문에서는 순환전류를 억제하기 위한 제어 기법을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 병렬운전 시스템의 타당성을 검토하고자 한다.

2. 본 론

2.1 시스템 구성

그림 1은 본 논문에서 제안한 시스템의 구성도이다. 3상 AC/DC 컨버터의 커패시터가 완전 방전되어있는 상태에서 기동할 수 있도록 초기충전 회로를 갖는다. 초기충전 회로는 커패시터가 방전되어 있을 때 커패시터로 입력되는 과전류를 방지하여 3상 AC/DC 컨버터의 IGBT와 병렬구조로 결합되어 있는 다이오드의 소손을 방지한다. 계통 연계 시 AC/DC컨버터는 일반적으로 수 [kHz] 범위의 스위칭 주파수를 사용하게 되는데 이 범위의 스위칭 주파수는 출력전류의 고조파를 증가시키므로 이를 방지하기 위해 LCL 필터를 사용하였다. 출력용량

을 증대시키기 위하여 각 모듈간의 DC_Link를 공통으로 연결하여 병렬시스템을 구성하였다.

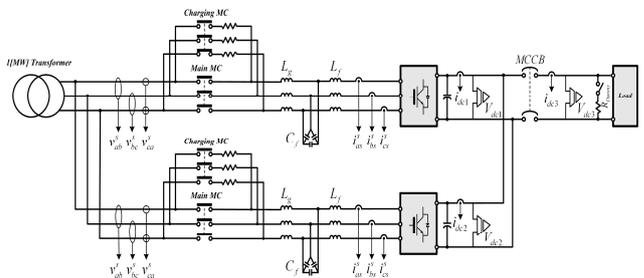


그림 1. 제안한 3상 AC/DC 컨버터의 병렬 시스템 구조.
Fig 1. Proposed parallel system of three-phase AC/DC converter.

2.2 제어 순서도

시스템은 초기에 DC_Link 커패시터를 충전하기 위한 초기 충전 MC를 통하여 충전하게 되고 주 MC가 ON 동작하면 초기 충전 MC는 OFF 동작을 하게 된다. 초기충전은 컨버터의 IGBT에 병렬구조로 결합되어 있는 다이오드를 통해 충전하고 입력되는 3상 교류 220[V] 정류를 통해 DC_Link 전압이 $311 \pm 10\% [V]$ 가 확보되면 스위칭 동작이 개시되면서 DC_Link 전압은 제어하고자 하는 목표 값으로 제어를 한다. 병렬로 구성된 2대의 시스템은 같은 방법으로 제어를 하고 각각 제어 목표점에 도달하게 되면 MCCB 차단기에 의해 부하가 연결되어 원하는 출력용량으로 시스템은 운전을 한다.

2.3 제어 알고리즘

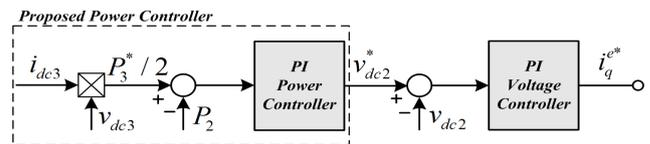


그림 2. 제안한 전력 제어 블록도.
Fig 2. Proposed power control block.

그림 2는 본 논문에서 제안한 전력 제어 블록도이다. 여러 가지 경우에 따라 각 모듈 간에 전위차가 발생하였을 때 흐르는 순환전류를 전력 제어 알고리즘을 통하여 억제한다. 컨버터 1을 마스터 모듈, 컨버터 2를 슬레이브 모듈이라 가정할 때, 공통으로 연결된 DC_Link의 전류 i_{dc3} 와 전압 v_{dc3} 을 센싱 받아

시스템 전체의 용량을 구하여 이 값을 병렬로 구성된 모듈의 수로 나누어주면 각 모듈이 가지는 지령 용량 값을 구할 수 있다. 이 값을 슬레이브 모듈의 용량과 계산해서 구한 오차 값으로 PI 전력 제어기를 통하여 슬레이브 모듈의 전력을 제어한다. 제어기를 통하여 출력 지령 전압 값을 구하고 다음으로 PI 전압, 전류 제어기를 수행한다. 이때 각 제어기의 지령 값은 마스터 모듈과 동일하게 설정하여 전압의 오차가 있음에도 출력 값은 같도록 제어 한다.

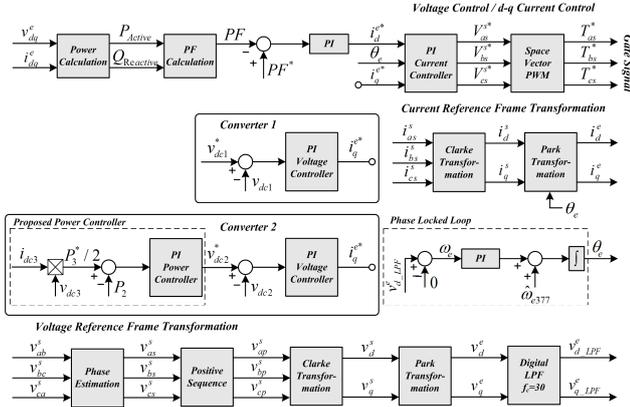


그림 3. 3상 AC/DC 컨버터의 제어 블록도.
Fig 3. Control block of three-phase AC/DC converter.

그림 3은 3상 AC/DC 컨버터에 적용된 전체 제어 블록도이다. 3상 AC/DC 컨버터는 선간전압을 이용하여 각 상전압으로 변환하고, 각 상의 전류를 이용하여 컨버터를 제어한다. 제어 블록은 순환전류를 억제하기 위한 전력 제어, 직류 전압 제어, 역률 제어, 계통의 위상각을 계산하는 PLL(Phase Locked Loop) 블록, 교류 계통 전압에 불평형을 해석하기 위한 Positive Sequence Calculator, 유·무효 전력을 계산하는 유·무효 전력 계산기 블록을 포함하고 있다.

2.4 시뮬레이션

표 1은 시뮬레이션에 사용한 파라미터이다. 본 논문에서는 10[kW] 시스템으로 모의시험 하여 제안한 제어 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

표 1. 3상 AC/DC 컨버터의 시뮬레이션 파라미터.

Table 1. Simulation parameters of three-phase AC/DC converter.

Parameters	Value
정격 출력	10[kW]
계통 입력 전압	220[V _{rms}]
계통 입력 전류	27.6[A]
계통 주파수	60[Hz]
스위칭 주파수	10[kHz]
계통 측 인덕터	400[uH]
필터 커패시터	3.5[uF]
컨버터 측 인덕터	2[mH]
DC_Link 커패시터	4700[uF]
PWM 컨버터 출력 전압	380[V]
PWM 컨버터 정격 최대 출력 전류	33.82[A]

그림 4는 3상 AC/DC 컨버터의 전압 제어에 대한 시뮬레이션 결과 파형이다. v_{dc1} 은 컨버터 1의 출력 전압을 나타내고 v_{dc2} 는 제안한 전력 제어기를 포함하여 나타낸 출력 전압이다.

DC_Link 전압은 다이오드 정류되어 출력되는 311[V] 전압에서 목표 전압으로 제어하기 위해 PWM을 시작해서 380[V]로 승압 한다. 0.8초부터 10[kW]의 부하를 순간적으로 인가함에 따라 전압제어와 전류제어, 제안한 전력제어가 원활하게 제어되는지를 확인할 수 있다. 급격한 부하 변동에도 전류 제어기가 발산하지 않고 지령 전류를 출력함을 알 수 있고, 센싱 받는 전압의 크기가 차이가 있음에도 같은 전류의 크기가 흐르는 것을 확인함으로써 순환전류가 억제된 것을 확인할 수 있다.

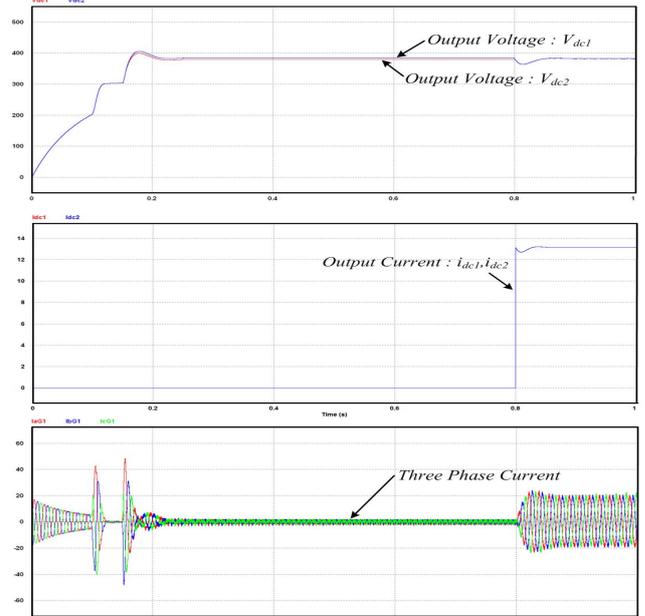


그림 4. 3상 AC/DC 컨버터의 출력 전압, 전류 시뮬레이션 파형.
Fig 4. Simulation results of output voltage and current.

3. 결론

본 논문에서는 대용량 전원 시스템에서 전력변환장치 여러 대를 모듈화 하여 병렬로 운전할 때에 발생하는 순환전류를 억제하는 제어 기법을 제안하였다. 이로 인해 병렬 운전 시스템 전체의 신뢰도 증진과 미래의 확장 가능성에 대한 여유를 확보할 수 있고 각 모듈 간에 제어하는 전압 차이로 발생하는 순환전류 대한 문제를 해소함으로써 대용량 병렬 운전 시스템에서의 활용이 가능하다.

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 기술혁신사업(No.20119010200060-11-2-100)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

참고 문헌

- [1] "Load Sharing with Paralleled Power Supplies," Unitrode Application Note, pp. 2-1~2-13, 1994.
- [2] "Daniel Salomonsson, Ambra Sannino "Low-Voltage DC Distribution System for Commercial Power Systems With Sensitive Electronic Loads," Proceedings of the IEEE transactions on power delivery, Vol. 22, No. 3, pp.1620~1627, Jul., 2007.