

DC 배전용 3상 AC/DC 컨버터의 병렬운전 시 발생하는 순환전류 저감 제어 기법

한동우*, 신수철*, 이희준*, 정철호*, 정태복*, 원충연*
성균관대학교*

Control Method for Reduction Circulating Currents in Parallel Connected Three-Phase AC/DC Converter for DC Distribution System

Dong Woo Han*, Soo Cheol Shin*, Hee Jun Lee*, Chul Ho Jung*, Tae Bok Jung*,
Chung Yuen Won*
Sungkyunkwan University*

ABSTRACT

본 논문에서는 3상 AC/DC 컨버터의 병렬 운전 시 발생하는 순환전류를 효과적으로 저감시키기 위한 제어 기법을 제안하였다. 병렬 운전 시스템에서 발생하는 순환전류는 제안된 제어 기법에 따라 저감되고 또한 각 컨버터가 분담하는 임의의 전력량을 제어할 수 있다. 제안된 시스템이 갖는 응답 특성 및 정상상태 동작은 시뮬레이션을 토대로 그 타당성을 검증하였다.

1. 서론

DC 배전과 같은 대용량의 시스템에서는 전력변환장치들을 병렬로 모듈화하여 운전하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다.^[1] 이러한 방법은 낮은 전류정격의 소자를 사용하여 대전력, 고효율을 낼 수 있으며 시스템을 설계하는데 있어 각 전원 모듈의 규격화를 이룰 수 있다는 장점이 있다. 또한 출력전력의 확장성이 용이하고, 보수하는데도 편리할 뿐만 아니라 각 전력변환장치 모듈은 하드웨어 설계 시 최적의 용량으로 설계됨으로써 비용 면에서도 효과적인 설계가 가능하다. 그러나 2대 이상의 전력변환장치를 병렬 운전할 경우 각 컨버터간의 센서의 측정 오차, 제어기의 이득 값의 차이, 선로 임피던스 차이, 스위칭 반도체 소자의 특성 차이 등의 파라미터 불일치로 인하여 제어 전압에 차이가 발생할 수 있고, 이에 따라 DC Bus에는 순환전류가 필연적으로 발생하게 된다. 순환전류는 무효전력 성분과 유사하여 전체 전력 시스템 용량의 감소와 직결되며, 이는 연계되는 기기의 손상이나 전력변환장치의 스위칭 소자의 파괴 등과 같은 악영향을 미칠 수 있다.

본 논문에서는 순환전류 저감을 위한 제어 기법을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 병렬 운전 시스템의 타당성을 검증하고자 한다.

2. 본론

2.1 DC 배전용 병렬 운전 시스템

그림 1의 DC 배전용 3상 AC/DC 컨버터는 교류전압을 직류 전압으로 변환하여 부하에 직류전력을 공급한다. 초기 충전 회로는 방전되어있는 커패시터로 유입되는 초기 돌입전류를 방지하여 스위칭 소자 및 기타 기기들의 손상을 방지한다. 또한 일

반적으로 대용량의 계통과 연계된 AC/DC 컨버터들은 수[kHz] 범위의 스위칭 주파수를 갖는다. 컨버터들의 스위칭 주파수는 컨버터 입력 전류에 고조파를 증가시키게 되고 이를 억제하기 위해 LCL 필터를 사용하였다. LCL 필터는 필터의 설계가 어렵고 특정 주파수 영역에서 공진이 발생할 우려가 있지만 작은 부피 및 낮은 비용, 그리고 우수한 필터를 갖는다는 장점이 있다. 이러한 3상 AC/DC 컨버터는 일반적으로 3상의 전력을 제어하기 위하여 좌표변환 이론을 적용하여 3상의 교류전압 및 전류를 2상의 d q축 전압과 전류로 변환한다. 또한 시스템의 출력 용량의 증대를 위해 각 모듈은 DC Link를 병렬 연결하여 시스템을 구성하였고 병렬로 연결 시 전압원의 충돌로 발생하는 돌입전류를 방지하기 위하여 인덕터를 추가하였다.

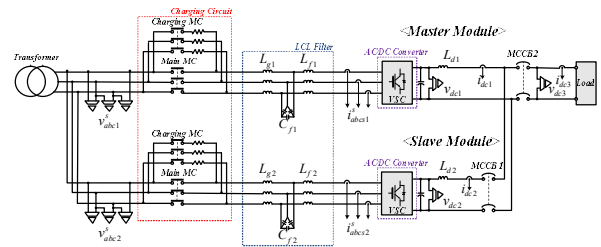


그림 1. DC 배전용 병렬 운전 시스템

2.2 제안된 순환전류 제어 시퀀스

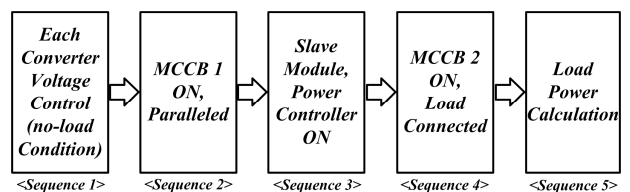


그림 2. 제안된 순환전류 제어 시퀀스

제안된 병렬 운전 시스템의 시퀀스는 그림 2와 같다. 제안된 제어를 수행하려면 그림 1의 상단 컨버터를 Master 모듈, 하단의 컨버터를 Slave 모듈로 정하여 운전한다. 전력 제어는 Slave 모듈에서만 수행한다. 각 컨버터는 무 부하 상태에서 전압제어를 수행하며 각 시스템이 전압제어에 따른 지령 전압으로 운전 된다. 각 컨버터가 제어 전압으로 운전할 때 MCCB1

은 ON이 되어 두 개의 컨버터는 병렬 운전된다. 병렬 연결된 AC/DC 컨버터간의 파라미터 불일치 등으로 인해 두 컨버터 사이에는 전압차이로 인한 순환전류가 발생한다. 순환전류가 발생하면 Slave 모듈은 PI 전력 제어기를 수행하여 발생하는 순환전류를 0으로 제어한다. MCCB2가 ON이 되어 부하가 연결 되면 부하의 전력을 계산한다. 이를 각 모듈의 수만큼 나누어 준 값은 각 시스템이 감당하게 되는 전력이 되고, PI 전력 제어기의 지령 값으로 넣어주게 된다.

제안된 PI 전력 제어기를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$P_2^* = \frac{(i_{dc,3} \times v_{dc,3})}{n} \quad (1)$$

$$P_2 = i_{dc,2} \times v_{dc,2} \quad (2)$$

$$P_{err,2} = P_2^* - P_2 \quad (3)$$

$$v_{dc,2}^*(t) = K_p P_{err,2}(t) + K_i \int P_{err,2}(t) dt \quad (4)$$

2.3 시뮬레이션

표 1. DC 배전용 병렬 운전 시스템의 파라미터

| Parameters | Name | Value |
|------------------------|-----------|-----------|
| Total Power | P_T | 120[kVA] |
| Grid Voltage | V_{abc} | 380[V] |
| Grid Frequency | f_g | 60[Hz] |
| Switching Frequency | f_s | 5[kHz] |
| Filter Line Inductance | L_g | 120[μF] |
| Filter Capacitance | C_f | 50[μF] |
| Boost Inductance | L_f | 500[μH] |
| DC Link Capacitance | C_o | 10200[μF] |
| DC Link Voltage | V_{dc} | 700[V] |

표 1은 시뮬레이션에 적용한 시스템의 파라미터들이다. 순환전류를 발생시키기 위하여 Slave 모듈은 Master 모듈보다 5V 작은 전압을 센싱 받는다.

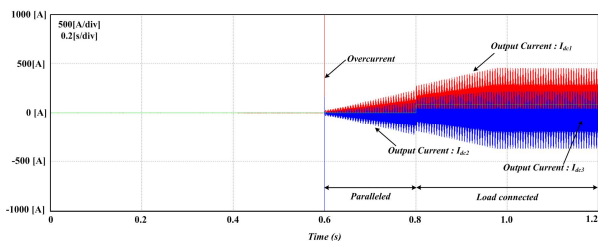


그림 3. 전력제어기를 적용하지 않았을 시 순환 전류 파형

그림 3에는 순환전류와 돌입전류가 발생하는 것을 보여주고 있다. 시스템에 전력 제어기 적용하지 않았을 시 전위차에 의하여 순환전류가 발생하였고 또한 DC Link 커패시터로 유입되는 큰 돌입전류가 생기는 것을 확인할 수 있다.

전력 제어를 적용 하였을 때에는 순환전류가 저감되고 전력 지령에 따라 전력분담도 이루어지는 것을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다. 그림 4와 5는 제안한 제어 기법을 적용하여

각 시스템에 전류, 전력이 정상적으로 분배되고 있는 것을 보여준다. 제어 기법을 통해 순환전류를 0에 가깝게 저감시켰고, 인덕터를 출력단에 추가하여 돌입전류를 방지하였다. 부하가 연결된 뒤에도 각 시스템에 정상적으로 전류, 전력이 분담되는 것을 확인할 수 있다.

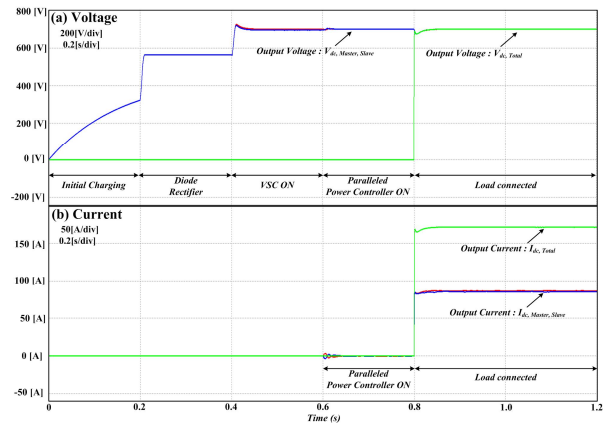


그림 4. 전력제어기 적용 시 (a) 전압 파형, (b) 전류 파형

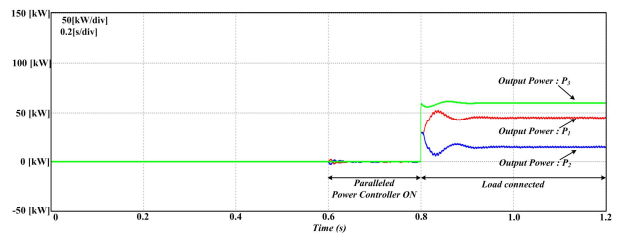


그림 5. 전력제어기 적용 시 전력 파형(3:1 전력 분담)

3. 결론

본 논문에서는 대용량의 시스템에서 전력변환장치를 병렬로 연결하여 운전할 때 전압원의 충돌로 발생하는 돌입전류를 인덕터를 추가하여 방지하였고, 또한 제어 기법을 시스템에 적용하여 순환전류가 저감되는 것을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 이 제어 기법을 적용할 경우 전체 시스템의 신뢰성과 계통의 확장성이 향상 될 것이다.

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 기술혁신사업 (No.20119010200060 11 2 100)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

참고 문헌

- [1] 정철호 “DC 배전용 3상 AC/DC 컨버터의 병렬 운전시 발생하는 순환전류 제어 알고리즘” 전력전자학회, 전력전자학회 2011년도 추계학술대회 논문집 2011.11, pp. 167 168
- [2] 임창순 “병렬 삼상 부스트 컨버터에서 일반화된 순환전류 제어 방법” 전력전자학회, 전력전자학회논문지, 제16권 제3호 2011.6, pp. 250 257
- [3] 변영복 “병렬운전 UPS의 특성과 기술동향” 전력전자학회, 전력전자학회지, 제5권 제4호 2000.8, pp. 11 17