

다병렬 DC 배전 시스템의 전력 제어 기법

한동우*, 이희준*, 신수철*, 원충연*, 김학성**
성균관대학교, 동양미래대학교**

Power Control Method of Multi-Parallel DC Distribution System

Dong Woo Han*, Hee Jun Lee*, Soo Cheol Shin*, Chung Yuen Won*, Hack Seong Kim**
Sungkyunkwan University*, Dongyang Mirae University**

ABSTRACT

본 논문에서는 DC 배전과 같이 출력을 증대시키기 위하여 전압원 컨버터 모듈을 병렬로 연결할 때 요구되는 전력 제어 기법을 제안한다. 전력 제어 기법을 통하여 각 모듈의 전력을 자유롭게 제어할 수 있으며, 병렬 시스템이 가지는 문제점인 순환전류 또한 저감시킬 수 있다. 제안된 전력 제어 기법은 DC 배전 시스템을 위한 전력 변환 모듈에 적용하였으며, 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 검증하였다.

1. 서론

대용량의 전력을 요구하는 시스템에서는 전력 변환 장치들을 모듈화 하여 병렬로 연결하여 운전하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다. 이러한 시스템은 단일 모듈을 사용하는 방법과 비교하여 방열·표준화·보수의 용이성, 신뢰성·성능 향상, 부피 감소 등 많은 이점을 가지지만 추가적인 전력 제어가 요구된다. 기존의 제어 방법으로는 UOVD(Uniform Output Voltage Distribution)제어^[1], Droop제어^[2] 등이 사용된다. 하지만 이러한 방법들은 무조건 출력을 균등하게 분배해야 하는 제약이 있거나, 전압 변동 범위에 관한 사양이 엄격한 경우 적용이 불가능한 단점이 있다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 다수의 전력 변환 모듈이 병렬 연결되는 배전 시스템으로 모듈 간 자유로운 전력 분배와 낮은 전압변동율을 요한다. 따라서 제안하는 전력 제어 기법을 통하여 배전시스템을 구성할 경우 높은 신뢰성과 자유로운 전력 분배가 가능해진다.

2. 본론

2.1 DC 배전 시스템

본 논문에서 제안하는 전력 제어기를 적용할 DC 배전 시스템은 그림 1과 같다. 3상 양방향 AC/DC PWM 컨버터를 통하여 교류 전력을 700[V_{dc}]의 DC 전압으로 변환하고, 이를 다시 양방향 DC/DC 컨버터를 통하여 380[V_{dc}]의 배전 전압으로 변환한다. AC/DC 컨버터로 인하여 생기는 입력 전류의 고조파를 줄이기 위하여 LCL 필터를 구성하였고, 시스템의 동특성 및 소자의 크기를 줄이기 위하여 DC/DC 컨버터를 3병렬로 구성하였다. 두 개의 컨버터는 방열, 신뢰성, 보수, 부피 등을 고려하여 하나의 모듈로 구성하였으며, 전체 시스템의 용량 증대를 위하여 동일한 모듈 3개를 병렬로 연결하여 구성하였다.

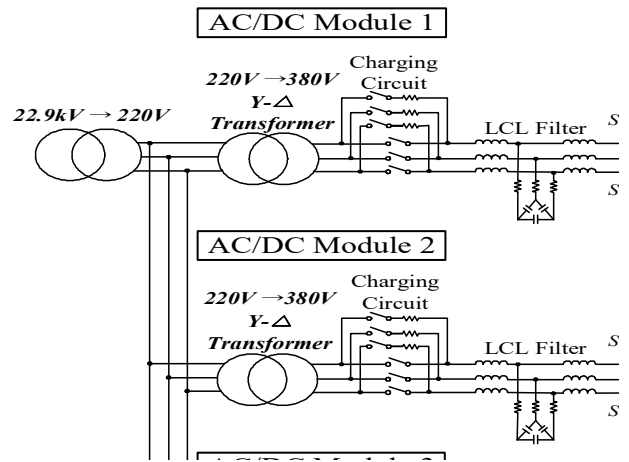


그림 1 DC 배전 시스템 회로도
Fig. 1 Schematic of DC distribution system

2.2 제안하는 전력 제어 기법

그림 2는 전체 시스템의 제어 블록도를 나타낸다. 제안된 시스템은 정상분 전압만 추출하여 위상을 검출하고, 이를 이용하여 순시 역률, 전압, 전류 제어를 통하여 AC/DC 컨버터의 출력 전압 제어를 수행한다. 또한 승압된 전압을 3병렬 양방향 DC/DC 컨버터를 통하여 380[V_{dc}]의 배전 전압에 맞게 강압한다. Module 1은 Master 모듈로써 380[V_{dc}]의 전압제어만 수행하며, Module 2와 Module 3은 각 모듈의 출력 전압과 전류를 실시간으로 센싱하여 전력 지령과의 오차를 통해 전력 제어를 수행한다. 전력 제어기는 식 (1)과 같이 전력 지령과 실제 전력의 차와 상수 K를 곱하여 전압 제어기의 지령값을 출력하게 된다. 본 논문에서는 DC BUS 전압의 변동을 고려하여 상수 K를 통한 전력 제어기의 출력 값이 380[V]의 10[%]가 되도록 설정하였다.

$$V_{dcBB}^* = V_{fdb} + K_1(P^* - P_{fdb}) \quad (1)$$

전력 제어기는 위 식 (1)과 같이 전력 지령과 실제 전력을 비교하여 전압 제어기의 지령 값을 결정한다. 전력 지령이 큰 경우에는 현재 전압 값보다 큰 값을, 실제 전력이 큰 경우에는 현재 전압 값보다 작은 값을 제어기의 출력 값으로 가지며 이를 전압 제어기의 입력으로 사용한다.

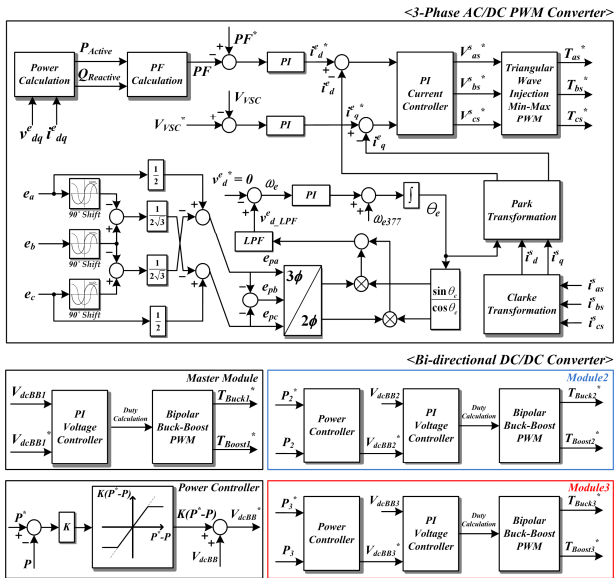


그림2 전체 시스템 제어 블록도
Fig.2 Control block of entire system

3. 시뮬레이션

표 1 AC/DC 모듈의 파라미터 값
Table 1 Values of the converter modules parameters

Parameters	Value
Capacity	50[kW]
Grid Voltage	380[V _{rms}]/60[Hz]
Output Voltage	380[V _{dc}]
Switching Frequency	5[kHz]

표 1은 제안하는 시스템의 파라미터 값으로, 3개의 AC/DC 모듈에 동일하게 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

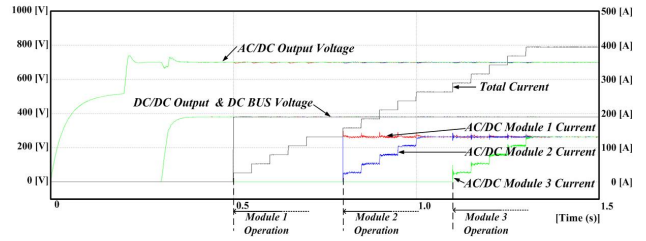
그림 3은 전력 제어를 통한 시스템의 전력 제어 파형을 보여준다. 각 AC/DC 모듈의 AC/DC 컨버터는 입력되는 계통의 교류 전력을 700[V_{dc}]로 제어하고, 이 전압을 3병렬 양방향 DC/DC 컨버터가 배전 전압 380[V_{dc}]로 제어한다. 그림을 통하여 380[V_{dc}]의 동일한 배전 전압 하에 전류가 제어됨으로써 전력이 제어되는 것을 알 수 있다.

그림 3 (a)는 10[kW]에 해당하는 부하들을 15번 step으로 인가한 파형으로, 부하가 점점 증가하여 순차적으로 다수의 전력 변환 장치를 병렬로 연계하여 부하를 감당하는 상태를 나타낸다. 그림을 통하여 AC /DC 모듈들이 차례대로 50[kW]의 전력을 분담하는 것을 보여준다.

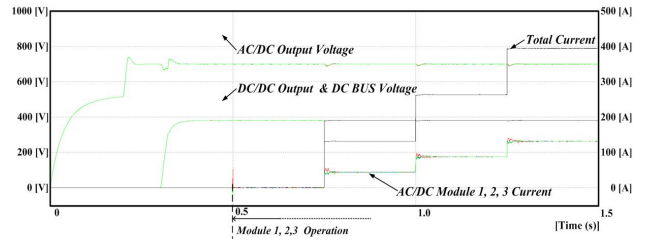
그림 3 (b)는 50[kW]에 해당하는 부하들을 3번 step으로 인가한 파형으로, AC/DC 모듈들은 전체 부하의 1/3씩을 균등하게 분담하는 것을 보여준다.

그림 3 (c)는 AC/DC 모듈들이 50[kW]의 전력을 번갈아가면서 분담하는 것을 보여준다. 고장 및 수리 등의 이유로 AC/DC 모듈을 DC BUS에서 분리해야 할 때, 그림 3 (c)와 같은 제어가 필요하다.

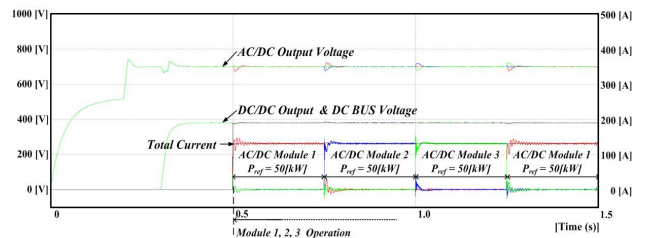
그림 3을 통하여 제안된 DC 배전 시스템은 안정적인 배전 전압 380[V_{dc}] 하에 전력 제어를 통한 자유로운 전력 제어가 가능함을 알 수 있다.



(a) 10[kW] 부하 step 인가 시 전력 제어 파형



(b) 50[kW] 부하 step 인가 시 전력 제어 파형



(c) 50[kW] 부하 전력 제어 파형

그림 4 제안된 시스템의 전력 제어 파형
Fig. 4 Power control waveform of proposed system

4. 결론

본 논문에서는 시스템의 용량 증대를 목적으로 전력 변환 장치들을 병렬로 연계할 경우, 순환전류 및 전력 제어를 위해 반드시 요구되는 전력 제어 기법을 제안하였다. 제안된 전력 제어 기법을 통하여 DC 배전 시스템은 안정적인 낮은 전압 변동을 가지는 높은 품질의 배전 전압을 유지함과 동시에 자유로운 전력 제어가 가능하다. 전력 제어기의 성능은 시뮬레이션을 통하여 검증되었으며, 이를 통하여 DC 배전 시스템과 같은 대용량 병렬 연계 시스템의 높은 신뢰성과 확장성을 기대할 수 있다.

본 연구는 2012년도 상업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제 (No. 20124010203300)입니다.

참고 문헌

- [1] Siri, K, "Uniform Current/Voltage Sharing for Interconnected DC DC Converters", *Aerospace Conference, 2007 IEEE*, pp. 1-17, 2007.
- [2] Guerrero, J. M, "Hierarchical Control of Droop Controlled AC and DC Microgrids A General Approach Toward Standardization", *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, Volume. 58, Issue. 1, pp. 158-172, 2011.