

# DC배전용 직류전류 드롭제어를 이용한 3상 AC/DC PWM컨버터의 병렬제어기법

박윤욱\*, 신수철\*, 이희준\*, 김영렬\*\*, 원충연\*,  
성균관대학교\*, 안양대학교\*\*

## Parallel Control Method of 3-Phase AC/DC PWM Converter using DC Current Droop Control for DC Distribution

Yun-Wook Park\*, Soo-Cheol Shin\*, Hee-Jun Lee\*, Young-Ryeol Kim\*\*,  
Chung-Yuen Won\*  
Sungkyunkwan University\*, Anyang University\*\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 컨버터의 병렬운전을 하는데 있어 제안한 드롭제어를 사용하여 전력을 분담한다. 제안한 방법을 이용하면 직류배전에서 병렬시스템의 용량증설을 용이하게 할 수 있다. 기존의 교류전원에서 사용하는 드롭 제어 방법을 새롭게 개선하여 직류전원에서 드롭 제어가 적용되도록 드롭 제어기를 설계한다. 그리고 제안한 드롭 제어기의 제어방법을 상세히 설명한다. 본 논문에서는 제안한 제어방법을 50[kW] 직류배전 시스템에 적용하여 시뮬레이션을 통하여 제안된 기법의 타당성을 검증한다.

### 1. 서론

최근 꾸준히 증가하는 전자 부하로 인하여 직류 배전에 대한 관심이 높아지고 있다. 상업용 빌딩에서 대부분의 부하는 PC, 모니터, TV, 오디오 시스템, 조명등 직류 부하들로 이루어져 있다. 직류 전력을 공급하기 위한 직류배전 시스템은 교류 배전 시스템에 비하여 역률, 효율, 에너지관리 등에서 장점을 갖지만 신뢰성, 시스템 구성의 복잡성 측면에서 단점을 갖는다. 또한 직류배전 시스템은 전력용 반도체의 용량 제한으로 인하여, 시스템의 단일 용량을 증가시키기 어려운 단점을 갖는다. 이러한 이유로 직류배전 시스템은 용량 증가를 위하여 병렬제어 운전이 필요하다. 교류시스템의 병렬운전은 전압의 위상 각, 회전방향, 전압의 크기의 동기화 제어로 가능하며, 직류 시스템의 병렬운전은 전압의 크기 동기화 제어로 가능하다. 전압원 소스 컨버터를 갖는 직류배전 시스템은 직류링크에 커패시터를 사용하여, 직류전압의 임피던스가 작으므로 병렬 운전시 작은 전압차이에 의하여 두 시스템 사이에 큰 돌입전류가 발생할 수 있고, 병렬 시스템 사이에 제어진동을 일으킬 수 있다<sup>[1]</sup>. 이러한 이유로 직류배전 시스템에서 병렬운전을 하기 위하여, Master 시스템의 용량은 Slave 시스템에 비하여 시스템의 용량이 커야 한다. 또한 Master 시스템의 제어 응답은 Slave 시스템의 제어 응답보다 빠르게 제어 하여야 시스템의 진동을 억제할 수 있다. 본 논문에서는 동일 용량의 직류배전용 AC/DC 컨버터의 병렬운전 방법을 제안한다. 제안한 방식은 비선형 방정식을 이용하여 Slave 시스템이 Master 시스템의 출력전류와 동일한 출력을 발생시키도록 하여 전력변환기의 다 병렬 운전이 적용 가능하다.

### 2. 시스템구성 및 제어

#### 2.1 직류배전 시스템의 구성

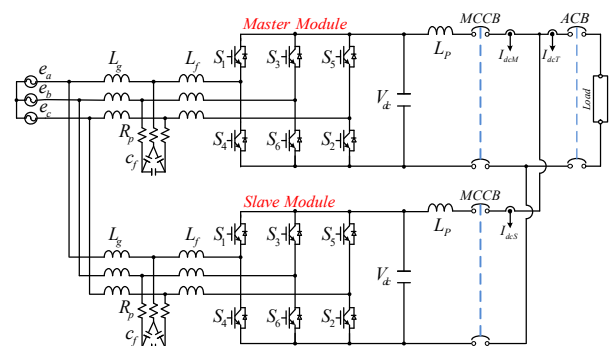


그림 1. 병렬구조의 DC배전 시스템

직류배전 시스템은 태양광 발전 및 신재생 에너지원과 연계가 용이하기 때문에 양방향 전력제어가 가능하여야 한다. 또한 시스템의 효율 향상 및 유지보수성을 위하여 Slave 시스템의 증설이 용이하여야 한다. 직류배전 시스템의 병렬운전을 위하여 Slave 시스템의 직류 전압은 Master 시스템의 직류 전압과 동일하게 제어 한 후 두 시스템을 연계 하여야 한다. 그러나 각각 다른 제어기를 갖는 두 시스템에서 AD 센서의 오차 등으로 인하여 측정 전압과 실제전압은 차이가 있을 수 있다. 이러한 상황에서 두 시스템을 연계하면 두 시스템 사이에 순환전류가 발생할 수 있다. 그러므로 순환전류 저감을 위하여 병렬운전 시 Slave 시스템은 전압제어 완료 후 Master 시스템과 연계시점에서 전류제어 또는 전력제어로 전환하여 Master 시스템과 연계할 필요성이 있다. 본 논문의 시뮬레이션에서 적용한 전력변환기 각 모듈의 용량은 50[kW] 이고, 입력전압은 380[V<sub>rms</sub>] 이며, 직류전압 700[V<sub>dc</sub>]이다.

#### 2.2 Slave 모듈의 드롭 전류제어기

그림 2는 Slave 시스템의 Droop 제어를 위한 블록이다. Slave 시스템은 Master 시스템과 같이 직류 700[V<sub>dc</sub>]를 제어한 후 Master 시스템과 연계시점에서 Master 시스템의 부하전류와 동일한 전류를 출력할 수 있도록 전류 제어를 수행한다. 이때 Master 시스템과 Slave시

시스템의 정격용량이 같으므로 Slave시스템의 전류제어에 의하여 Master 시스템에서 제어하는 직류전압  $700[V_{dc}]$ 의 진동을 유발할 수 있다. 그러므로 Slave시스템의 제어응답은 Master시스템에 비하여 느리게 제어하거나 제어량을 축소할 필요성이 있다. 그림 2는 Master시스템과 Slave시스템의 전류 오차를 3차 방정식을 이용하여 오차량을 변화 시킨다.

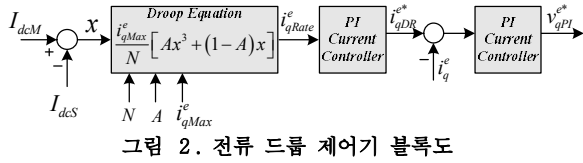


그림 2. 전류 드롭 제어기 블록도

### 2.2.1 드롭 제어 방정식

식 1의  $A$ 는 상수로서 Droop 제어를 위하여 사용자가 임의로 설정할 수 있다. 함수  $f(x)$ 는 오차  $x=1$ 인 점에서 항상  $f(x)=1$ 이 출력되는 3차방정식이다. 주 시스템의 출력전류와 보조시스템의 출력전류의 차이에 대한 오차를 변화 시켜 오차  $x$ 가 선형으로 감소할 때 식 1을 이용하여 오차가 비선형으로 변화하는 것으로 변화시킨다. 상수  $A$ 가 클수록 전류오차에 대하여 함수 출력 값이 작다. 따라서 이를 이용하면 큰 전류 오차에서 보조시스템의 출력전류를 빠르게 상승시키고 작은 전류차이에서는 보조시스템의 출력전류를 작게 상승시켜 병렬운전 최종점에서 보조시스템에 의한 주 시스템 전압 진동을 억제할 수 있다.

$$f(x) = [Ax^3 + (1-A)x] \quad (1)$$

### 2.2.2 AC/DC컨버터의 Q축 전류 지령 설계

제안한 VSC의 Droop 제어 방식은 Master 시스템의 직류 전압제어를 수행하고, Slave 시스템은 직류전류 제어를 수행한다. 직류전류를 제어하기 위하여 VSC의  $q$  축 전류를 제어함으로써 직류 전류는 간접적으로 제어된다. 보조시스템의 제어전류량은 주 시스템의 직류출력전류를 병렬회로수로 나누고, 이를 교류축의  $q$  축전류로 환산하여 VSC의 3상전류를 제어한다.

$$\begin{cases} x = I_{dcM} - I_{dcS} \\ f(x) = \frac{i_{qMax}^e}{N} [Ax^3 + (1-A)x] \end{cases} \quad (2)$$

식 2는 식 1을 이용하여 정격용량  $50[kW]$ 의 Slave 시스템에 적용하기 위한 방정식이다. 시뮬레이션 모델은 각 모듈의 정격용량이  $50[kW]$ 이므로 VSC의 최대  $q$  축전류  $i_{qMax}^e$ 는  $107[A]$ 이다. Master 시스템의 직류 출력전류와 Slave 시스템의 직류 출력전류 사이에 발생하는 전류 오차를 이용하여 Slave 시스템의  $q$  축전류를 제어하기 위하여 식 2와 같이 방정식을 설계한다. 여기서,  $i_{qMax}^e$ 는 VSC의 최대  $q$  축전류이며,  $N$ 는 전체 시스템의 병렬회로 수이다.

## 3. 시뮬레이션

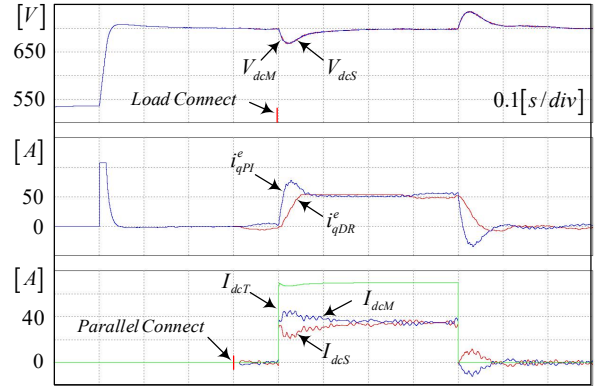


그림 3. 병렬운전의 전류분배 결과파형

그림 3은 제안한 알고리즘을 이용하여 주 시스템과 보조시스템을 병렬 연결한 후  $50[kW]$ 의 저항 부하를 투입, 해제 하였을 경우에 각 시스템의 직류전압, VSC의  $q$  축전류, DC 부하전류를 나타낸 것이다. 두 시스템은 동시에 전압제어를 수행하고, 보조시스템은 전압제어 완료 후 주시스템과 연계됨과 동시에 제안한 전류 Droop 제어를 수행한다. 병렬운전 중 부하를 투입하는 경우, 제안한 제어기는 VSC의  $q$  축전류를 증가시켜 적절하게 직류전류를 분담하는 것을 확인할 수 있다. 또한 제안한 제어기는 두 시스템 사이의 제어진동을 최소화 시키면서 적절하게 부하전류를 분담한다.

## 4. 결론

직류배전을 위한 VSC는 전력용 반도체의 용량 한계로 인하여 단일 시스템의 용량은 제한적이며, 시스템 용량 증가를 위하여 VSC의 병렬운전이 필요하다. 제안한 방식은 Master시스템의 3상전류를 동기좌표변환하고, 유효축인  $q$  축전류를 이용하여 직류전압을 제어한다. Slave시스템은 직류부하전류를 측정하고 이를 병렬회로로 나누어 보조시스템이 분담하여야 할 전류를 계산한다. 이를 제안한 3차방정식을 이용하여 보조시스템의  $q$  축전류로 이용함으로써, 시뮬레이션 결과와 같이 병렬시스템 간 안정적으로 부하를 분담함을 확인할 수 있다. 직류전류의 오차크기가 큰 경우는 방정식을 이용하여 빠르게 Slave회로의 전류를 증가시키고, 전류의 오차가 작은 경우는 Slave회로의  $q$  축전류를 더욱 작게 제어함으로써, 용량이 같은 두 시스템에서도 안정적으로 전류를 분담할 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

본 연구는 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2011-0015584)

## 참고 문헌

- [1] P. Karlsson, J. Svensson "DC bus voltage control for a distributed power system" Power Electronics, IEEE Transactions on, vol. 18, pp. 1405-1412, 2003.