

# 새로운 가상 임피던스 선정기법 기반의 적응 드롭을 이용한 직류배전용 AC/DC 컨버터의 병렬운전

이운성\*, 강경민\*, 최봉연\*, 김미나\*, 이훈\*, 원충연\*  
 성균관대학교\*

## Novel Adaptive Virtual Impedance-based Droop Control for Parallel Operation of AC/DC Converter for DC Distribution

Yoon-Seong Lee\*, Kyung-Min Kang\*, Bong-Yeon Choi\*,  
 Mi Na Kim\*, Hoon Lee\* and Chung-Yuen Won\*  
 Sungkyunkwan University

### ABSTRACT

The AC/DC converter, which connects the AC grid to the DC grid in the microgrid, is a critical component in power sharing and stable operation. Sometimes the AC/DC converters are connected in parallel to increase the transmission and reception capacity. When connected in parallel, circulating current is generated due to line impedance difference or sensor error. As a result of circulating current, there is deterioration and loss in particular PCS(Power Conversion System). In this paper, we propose droop control with novel adaptive virtual impedance for reducing circulating current. Feasibility of proposed algorithm is verified by PowerSIM simulation.

### 1. 서론

디지털 제어기술과 전력반도체 기술의 발전을 통해 직류 시스템의 단점이었던 전압변환이 용이해지고, 최근 xEV, 신재생 에너지, ESS 및 다양한 디지털 부하의 보급으로 DC 전력에 대한 수요가 증가하므로 DC 배전에 대한 관심이 다시 시작되고 있다<sup>[1]</sup>. DC 배전은 일반적으로 신재생 에너지원이나 ESS를 통해 배전망을 유지하는데, 신재생에너지의 간헐적 특성 때문에 기존 AC 배전망과의 연계가 요구된다. AC/DC 컨버터는 기존 AC 배전망과 DC 배전망을 연계하여 전력을 전달하고, 때에 따라 배전망의 전압을 유지하는 역할을 한다. 이때, 두 배전망 간 송·수전 용량 증대를 위해 AC/DC 컨버터를 병렬로 연결하여 사용한다.

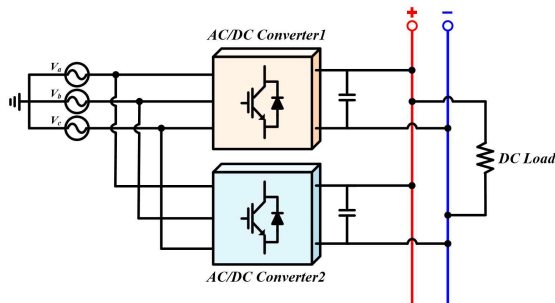


Fig. 1 용량 증대를 위해 병렬 연결된 AC/DC 컨버터  
 Fig. 1 AC/DC converter for increase the capacity

송·수전 용량 증대를 위해 병렬로 연결된 AC/DC 컨버터는 선로 임피던스 차이나 전압, 전류 센서의 오차로 인해 병렬로 연결된 컨버터 사이에 순환전류가 발생한다. 특정 PCS(Power Conversion System)의 열화와 손상을 유발하는 순환전류를 저감하기 위해서 통신을 사용하지 않는 시스템에서는 가상 임피던스를 이용한 droop 제어를 사용한다.

### 2. 본문

#### 2.1 가상 임피던스를 이용한 droop 제어

병렬로 연결된 AC/DC 컨버터의 등가회로는 그림 2와 같다. 두 컨버터의 선로 임피던스 차이나 전압, 전류 센서의 오차로 인해 컨버터의 출력전압이 상이해지고, 이로 인해 순환전류가 발생한다. 출력 전류에 가상 임피던스를 곱하여 전압 지령치에 보상해줌으로써 droop제어가 가능해지고, 이때 출력 전류에 곱해지는 가상 임피던스는 컨버터의 출력단에 직렬로 연결된 저항과 동일한 역할을 한다. 가상 임피던스를 이용한 droop 제어를 통해 산출되는 전압 지령  $v_o^*$ 은 식 (1)과 같다.

$$v_o^* = v_{ref} - (R_d + K_d)i_o + v_{comp} \quad (1)$$

위 식에서  $R_d$ 는 가상 임피던스,  $K_d$ 는 드롭계수  $i_o$ 는 컨버터의 출력전류,  $v_{comp}$ 는 2차 제어에 의한 전압 보상값을 의미한다. 일반적으로 가상 임피던스  $R_d$ 는 식 (2)를 통해 결정된다.

$$R_d = \epsilon_v / i_{max} \quad (2)$$

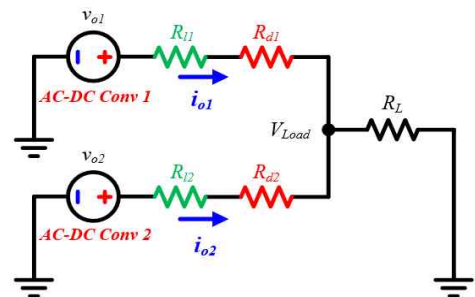
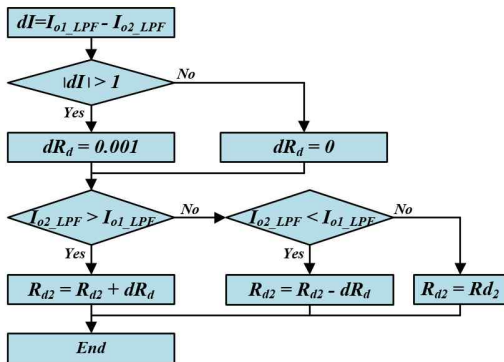


그림. 2 병렬로 연결된 AC/DC 컨버터의 등가회로  
 Fig. 2 Equivalent circuit of AC/DC converter in parallel

위 식에서  $\varepsilon_v$ 는 전압 변동 최대 허용치,  $i_{max}$ 는 최대 출력전류를 의미한다. 가상 임피던스  $R_d$ 는 선로 임피던스보다 월등히 큰 값으로 선정하여 적용하는데, 가상 임피던스가 출력단에 연결된 저항과 같은 역할을 하므로 큰 전압 강하가 일어나고 배전망 전압을 일정하게 유지하기 위해서는 큰 2차 제어 보상값이 필요한 문제가 발생한다.

### 2.2 새로운 가상 임피던스 선정기법

큰 2차 제어 보상값이 필요한 기존의 가상 임피던스 기반의 droop 제어방식을 보완하기 위해 새로운 가상 임피던스 선정 방식을 제안한다. 그림 3은 제안하는 가상 임피던스 선정기법의 순서도이다. 그림 2에서  $i_{o1}$ 과  $i_{o2}$ 의 크기가 다를 때 순환전류가 발생하게 되는데 이를 이용하여 더 큰 전류가 흐르는 컨버터의 가상 임피던스를 증가시켜 두 컨버터의 출력전류의 차이를 최소화하였다. 또한  $i_{o1}$ 과  $i_{o2}$ 의 차이가 일정값 이하일 때는 가상 임피던스를 고정하여 불필요한 가상 임피던스의 상승을 줄이고 이를 통해 2차 제어 보상값을 적절하게 유지하였다.



3 새로운 가상 임피던스 선정기법 순서도

Fig. 3 Novel virtual impedance selection method flowchart

### 3. 시뮬레이션

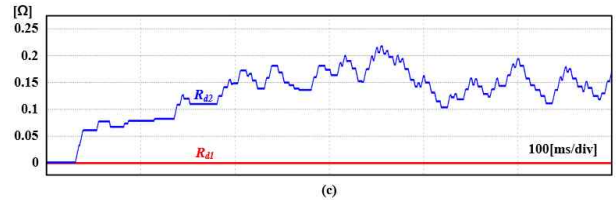
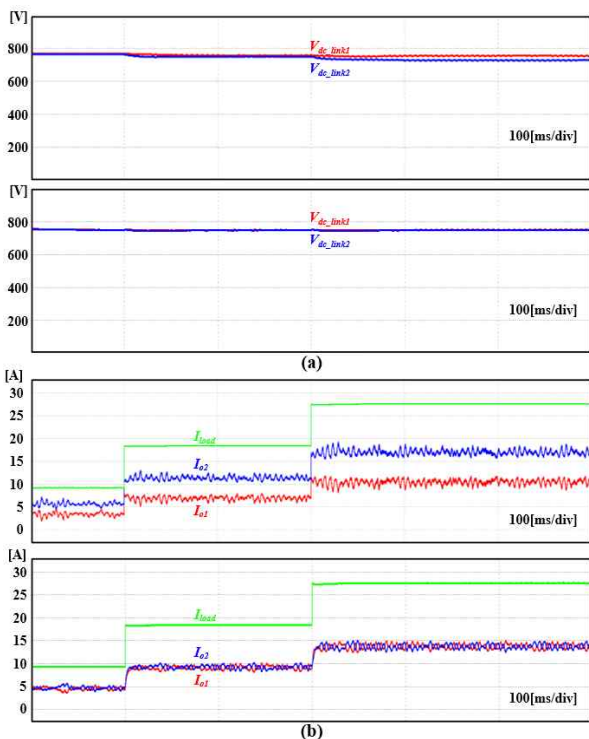


그림. 4 새로운 가상 임피던스 선정기법을 이용한 droop 시뮬레이션 파형

Fig. 4 Simulation waveform of parallel operation of AC/DC converter using novel virtual impedance selection method

4(a)는 각각 제안하는 가상 임피던스 선정기법을 적용한 droop제어 적용 전과 후의 출력 전압을 나타내고 4(b)는 출력 전류, 4(c)는 알고리즘을 통해 구해진 가상 임피던스를 나타낸다. 새로운 가상 임피던스 선정 방식을 적용하지 않은 그래프에서는 부하가 증가할수록 병렬 연결된 두 컨버터의 출력 전압의 편차가 커지는 것을 확인할 수 있고 순환전류 또한 증가함을 확인할 수 있다. 제안하는 기법을 적용하면, 2차 제어를 통해 두 컨버터의 출력 전압을 일정값 내로 유지할 수 있고, 부하가 증가하여도 순환전류를 일정값 내로 유지할 수 있다. 또한, 알고리즘을 통해 구해진 가상 임피던스가 일정 수준으로 유지되는 것을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 큰 전압 보상값을 갖는 기존 2차 제어를 적용한 droop 제어의 단점을 보완하기 위해 전압 보상 값이 크지 않은 적절한 가상 임피던스를 선정하기 위한 알고리즘과 이를 이용한 AC/DC 컨버터의 병렬운전을 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 알고리즘을 적용한 droop 제어가 두 컨버터의 출력 전압 차이를 줄여주고 순환전류가 저감됨을 확인하였다. 또한, 적절한 가상 임피던스 선정을 통해 2차 제어의 보상값을 줄여 안정성을 확보할 수 있다.

### 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2019381010001B)

### 참고 문헌

- [1] 송성근, 김용구. (2016). 직류(DC) 배전 시스템의 기술동향. 전기의세계, 65(8), 13-20.
- [2] J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, J. Matas, L. G. de Vicuna and M. Castilla, "Hierarchical Control of Droop-Controlled AC and DC Microgrids - A General Approach Toward Standardization," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 58, no. 1, pp. 158-172, Jan. 2011
- [3] J. M. Guerrero, L. Garcia de Vicuna, J. Matas, M. Castilla, and J. Miret, "Output impedance design of parallel-connected UPS inverters with wireless load-sharing control," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 52, no. 4, pp. 1126-1135, Aug. 2005.