

DC 마이크로그리드의 배전 손실 최소화를 위한 새로운 드롭 제어 기법

김석웅, 최시영, 김래영[†]
한양대학교

A Novel Droop Control Method to Minimize Distribution Loss in DC Microgrid

Seok-Woong Kim, See-Young-Choi, Rae-Young Kim[†]
Hanyang University

ABSTRACT

Dc microgrid has the advantage of high efficiency as compared to the ac system. Droop method has been realized to suppress the current mismatching among the distributed sources. However, this method involves distribution loss due to the line impedance. In this paper, a novel droop method is proposed to minimize the distribution loss as well as the voltage deviation by adjusting the droop coefficient. The proposed droop method is verified by using the simulation based on PSCAD/EMTDC.

1. 서론

최근 전기에너지의 사용확대로 인하여 마이크로그리드의 연구가 활발히 진행되고 있다. DC 마이크로그리드의 경우 AC 마이크로그리드에 비하여 효율성과 신뢰성 측면에서 많은 이점을 포함한다.

그림 1과 같이 병렬로 연결되어 있는 분산전원(DG)들은 하나의 배전 라인을 공유하며 장치의 종류에 따라 전압 및 전류제어를 수행한다. 그러나 센서에러, 계산에러, 서로 다른 라인 임피던스의 크기에 따라 전압 제어를 수행하는 장치들 사이에서 전류 불균형이 발생한다.

전류 불균형 문제를 해결하기 위하여 다양한 논문들에서 드롭 제어 방법에 대하여 다루었다.^[1] 그러나 기존의 드롭 제어 방법의 경우, 전체 부하량과 신재생 발전량의 변화에 따라 각 전압제어 장치가 동일하게 에너지를 공유하게 된다. 이에 따라 각 전압제어 장치들 사이의 전압 편차가 발생하게 되며, 실제 배전 라인에 존재하는 라인 임피던스에 의하여 배전 손실이 발생하게 된다. 특히 배전 라인이 장거리 모델로 구축 될 경우 이러한 전압 편차가 크게 발생하여 시스템의 shutdown으로 이어질 수 있으며, 효율 측면에서 많은 문제들이 발생한다.

이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 전압 편차와 배전 손실을 최소화 하기 위한 드롭 계수 가변 방법을 제시하였다. 제안한 방법은 배전 용량을 개선할 수 있으며, 에너지 저장 장치(ESS)의 이용률을 확대할 수 있다. 특히 장거리 배전 모델에 적용되었을 때 그 효과가 극대화 된다. PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용하여 기존의 방법과 비교함으로써 효과를 검증하였다.

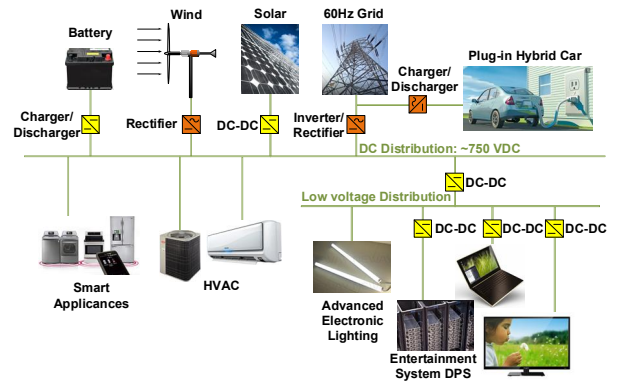


그림 1 DC 마이크로그리드의 일반적인 구성
Fig. 1 Typical Configuration of the DC Microgrids

2. 본론

2.1 기존의 드롭 제어 방법

전력균형을 유지하기 위하여 제안된 드롭 제어기는 그림 2와 같으며, 드롭 제어 동작에 따라 새롭게 결정되는 전압 레퍼런스는 식 (1)과 같다. 각 장치의 용량에 따라 드롭 계수는 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$V'_{ref} = V_{dc0} - K \cdot I_{dc} \quad (1)$$

$$K = \frac{\Delta V_{dc} \cdot V_{dc, \min}}{P_{rated}} \quad (2)$$

이 방법의 경우, 전류 불균형을 효과적으로 개선할 수 있지만, 장거리 배전 모델 적용 시 몇 가지 한계점을 갖는다.

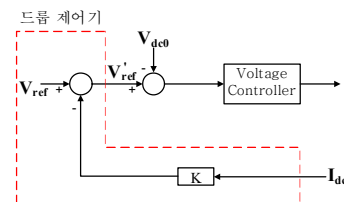


그림 2 드롭 제어를 포함하는 전압 제어기
Fig. 2 Voltage Controller with Droop Control

2.2 제안된 드롭 제어 방법

그림 3은 3개의 지역으로 나뉜 장거리 배전 모델의 등가 회로이다. 지역과 지역이 서로 연결되어 있는 경우 배전라인이 길어짐에 따라 라인 임피던스가 상당히 큰 값으로 결정되며, 이는 지역간의 전압 편차 및 배전 손실을 야기한다.

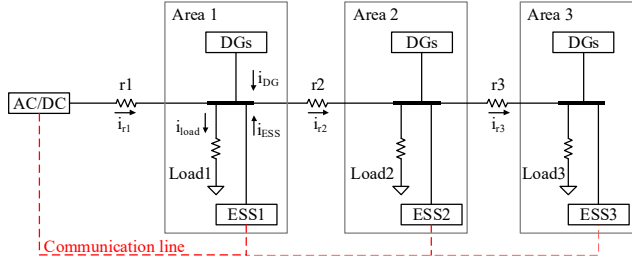


그림 3 장거리 배전 등가 모델
Fig. 3 Long-Distance Distribution Equivalent Line

이러한 한계를 극복하기 위하여 한 지역의 ESS가 가용범위 내에서 인접한 부하로 에너지를 공급하거나 분산 장치들에서 발전되는 에너지를 흡수 할 수 있어야 한다. 그림 4는 본 논문에서 제안하는 새로운 제어 기법이며, 드롭 계수는 ESS의 출력 전압이 기준 전압을 추종하기 위한 값으로 결정된다.

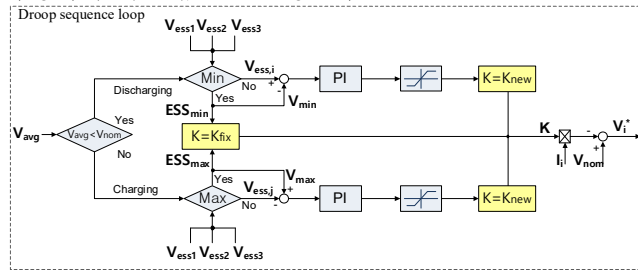


그림 4 새로운 드롭 시퀀스 루프
Fig. 4 A Novel Droop Sequence Loop

계통연계 인버터와 ESS의 제어기에서는 분산 통신을 사용하여 각 지역의 출력 전압을 전달받으며, 그에 따라 평균전압을 계산한다. 동작모드는 공칭 전압과 평균 전압의 차에 따라 방전 및 충전 모드로 나눌 수 있다.

방전모드 시, 각 지역의 전압 중 최소전압에 해당되는 ESS의 드롭 계수는 식 (1)에 의해 결정된다. 나머지 ESS의 드롭 계수는 최소전압을 추종하기 위하여 PI 제어기에 의해 제어 동작을 수행하며 그림 5와 같이 동일한 출력 전류 조건에서 드롭 기울기가 바뀌게 된다.

충전모드 시, 방전모드와 반대로 최대전압을 사용하고 나머지 시퀀스는 방전모드와 동일하다.

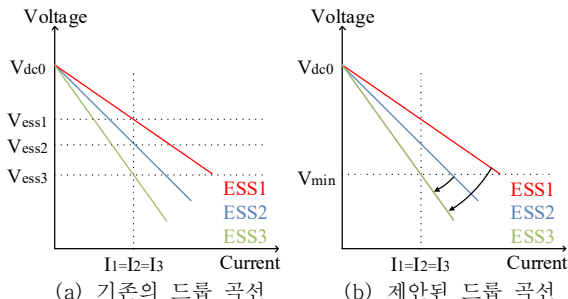


그림 5 방전모드에서 드롭 특성 커브
Fig. 5 Droop Characteristic Curves in Discharging Mode

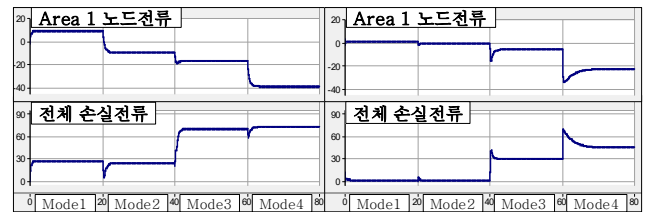
3. 시뮬레이션 분석

제안된 기법의 타당성을 검증하기 위하여 PSCAD/EMTDC를 이용하여 DC 마이크로그리드 모델을 구현하였다. 표 1과 같이 DGs의 발전량을 바꿔가며 충전 및 방전모드를 설정 하였고, 모드 변화에 따라 출력되는 전류의 결과 파형은 그림 6에서 확인할 수 있다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 1. Area 1에서의 KCL을 적용하면 노드전류를 얻을 수 있고, 2. 라인 임피던스를 지나서 라인 전류를 합하면 전체 손실전류를 얻을 수 있다.

기존의 기법과 제안된 기법을 비교했을 때, 제안된 기법의 경우, 모드1과 모드2에서 노드전류와 손실전류는 거의 발생하지 않는 것을 확인할 수 있다. 모드 3과 모드4의 경우, 각 지역의 ESS가 부하나 발전 에너지를 충분히 수용할 수 없는 상황이 발생되어 노드전류가 필연적으로 발생하지만 제안된 기법의 경우 그 손실이 기존 기법 대비 확연히 감소됨을 확인 할 수 있다.

표 1. 시뮬레이션 변수
Table 1. Simulation Variable

Item	Area 1	Area 2	Area 3
Nominal voltage	750V	750V	750V
ESS	100kW	100kW	100kW
Load	50kW	80kW	25kW
Line impedance	0.2[ohm]	0.2[ohm]	0.2[ohm]
DGs (Mode1)	25kW	50kW	10kW
DGs (Mode2)	75kW	100kW	50kW
DGs (Mode3)	50kW	10kW	37.5kW
DGs (Mode4)	100kW	50kW	75kW



(a) 기존의 드롭 기법 (b) 제안된 드롭 기법

그림 6 정상상태 응답 결과 파형
Fig. 6 Steady-State Response Result Curve

4. 결론

본 논문은 장거리 DC 마이크로그리드 모델에서 각 지역간의 전압 편차 및 배전 손실을 최소화하기 위한 새로운 드롭 제어 방법을 제안하였다. 제안된 드롭 제어 기법은 시뮬레이션을 이용하여 기존의 드롭 제어 기법 대비 타당성을 검증하였다.

본 연구는 한국전력공사 전력연구원 재원으로 기초전력연구원(14135)주관으로 수행된 과제임.

참고 문헌

- [1] Youichi Ito, Yang Zhongqing and Hirofumi Akagi, "DC Micro-grid Based Distribution Power Generation System," in Proc. IEEE IPEMC, 2004, vol. 3, pp. 1740-1745. J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp. 68-73.