

계통 환경에 따른 드롭 제어 적용 연구

송주원, 김예중, 김명진*

충북대학교

2022227012@chungbuk.ac.kr, kaj4375@chungbuk.ac.kr, mckim@chungbuk.ac.kr

Application of droop control in a grid environment

Juwon Song, Yejung Kim, Myungchin Kim*

Chungbuk Univ.

요약

환경 및 기후 문제로 인해 증가되는 분산 발전을 안정적으로 통합하기 위한 MG가 증가되고 있다. 최근 소규모 MG가 증가되며 LV 배전망을 활용한 전력 시스템 연구가 필요한 실정이다. MG 운용에 필수적인 GFM 인버터는 기존의 동기 발전 모방한 드롭 제어 방식을 일반적으로 사용하고 있다. 이때, 드롭 제어는 운용 전압에 따라 지배적인 선로 임피던스를 통해 제어되므로 LV 환경에 맞는 제어기법이 고려되어야 한다. 본 논문은 LV 환경에서 P/V 드롭 제어 시 전력분배 및 드롭 특성을 확인하고, LV 환경에서 P/f 드롭 제어의 한계점을 확인하였다.

I. 서론

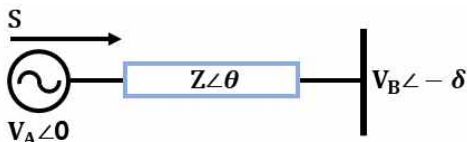
환경 문제와 기후 변화 문제로 인해 태양광, 풍력 등의 재생 에너지원이 점점 더 많은 주목을 받고 있다 [1]. 이러한 다양한 분산 자원(DG)을 기존 전력 시스템과 통합할 때 안정성 및 신뢰성을 향상시키는 방법으로 Micro Grid(MG) 개념이 제안되었다 [2].

MG는 계통 연계형 또는 독립형으로 운영되고 AC MG에 많이 사용되는 인버터는 제어 방식에 따라 Grid-Feeding, Grid-Supporting, Grid-Forming (GFM)로 구분된다. 이 중에서 Grid-Feeding 인버터는 계통 연계 시 DG에서 사용된다. 이 모드에서는 전력 제어기에서 유효전력과 무효전력을 계통에 공급하도록 한다. GFM 인버터는 교류 전압원으로 작동하여 전력이 부하에 공급될 수 있도록 독립형 MG에서 사용된다 [3].

선로 임피던스 중 리액턴스 성분이 상대적으로 높은 High-Voltage(HV)의 계통에서는 인버터의 병렬운전을 위해 유효전력/주파수(P/f) 드롭 제어 사용이 일반적이다 [4]. 다만, DG가 연결된 Low-Voltage(LV) 배전망을 이용한 소규모 MG가 증가하며, 선로 특성이 고려된 드롭 제어 방식이 필요로 하고 있다 [5].

본 논문에서는 임피던스 특성에 따른 P/f 드롭 제어와 유효전력/전압(P/V) 드롭 제어 방식에서 전력 분배 특성을 확인하였다. 또한, HV 계통에서 P/V 드롭 제어 방식 적용에 한계가 있음을 확인하였다.

II. 드롭 제어 기법



〈그림 1〉 마이크로그리드 내 인버터의 등가회로

그림 1은 식 (1), (2) 전력 공급 계산을 위해 인버터 전압을 기준으로 한 부하 측 전달되는 전력에 대한 등가회로이다.

$$P = \frac{V_A}{R^2 + X^2} [R(V_A - V_B \cos \delta) + X V_B \sin \delta] \quad (1)$$

$$Q = \frac{V_A}{R^2 + X^2} [-R V_B \sin \delta + X(V_A - V_B \cos \delta)] \quad (2)$$

식(1),(2)의 R과 X는 각각 선로의 저항과 리액턴스이다. 또한, 위 식은 선로의 임피던스 특성(저항 혹은 리액턴스)에 따라 근사화할 수 있다. 선로 임피던스가 저항 성분이 리액턴스 성분보다 상대적으로 큰 경우 전압과 주파수는 각각 유효전력과 무효전력의 관계식으로 나타내진다. 또한, 리액턴스 성분이 상대적으로 큰 경우 전압과 주파수는 각각 무효전력과 유효전력의 관계식으로 나타내진다. 이와 같은 관계를 통해 식(3)~(6)과 같이 나타낼 수 있다 [3].

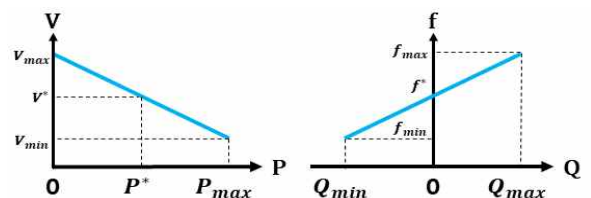
$$f - f_0 = -k_p (P - P_0) \quad (3)$$

$$V - V_0 = -k_q (Q - Q_0) \quad (4)$$

$$f - f_0 = k_q (Q - Q_0) \quad (5)$$

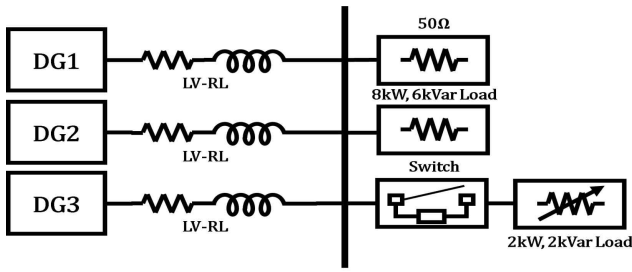
$$V - V_0 = -k_p (P - P_0) \quad (6)$$

식(3),(4)는 각각 P/f , 무효전력/전압 (Q/V) 드롭 제어를 나타낸다. 리액턴스 성분 선로를 가지는 HV 계통에서 도입 가능한 제어이다. 식 (5),(6)의 경우는 P/V , 무효전력/주파수 (Q/f) 드롭 제어를 나타내며, LV에서 도입 가능한 제어이다. 이때, k_p 와 k_q 는 드롭계수이며 전압과 주파수는 그림 2와 같은 범위 내에서 제어된다.



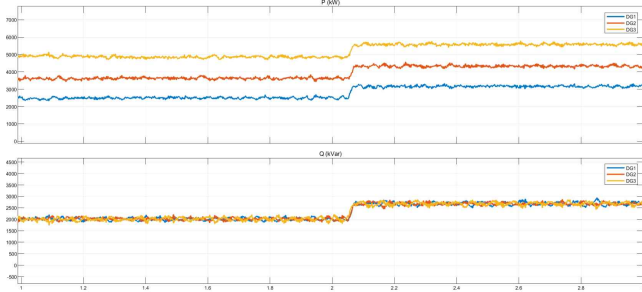
〈그림 2〉 LV MG에서의 드롭 제어

III. 모의된 계통 파라미터 및 결과

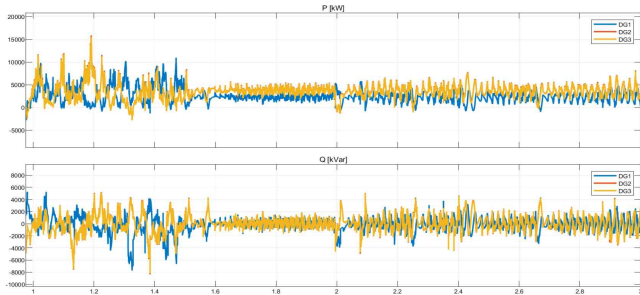


〈그림 3〉 LV 환경의 마이크로그리드

그림 3은 MATLAB SIMULINK 환경에서 구현한 마이크로그리드를 도시하였다. 드롭제어가 적용된 인버터가 병렬로 결선되어 부하에 전력을 공급한다. 본 연구에서는 일반적인 LV 계통 환경을 고려하기 위해 선로 임피던스의 R/X 비율을 7.7로 설정하였다 [6].



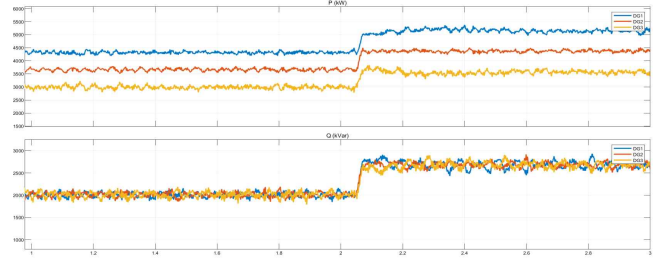
〈그림 4〉 P/V , Q/f 제어가 적용된 인버터 출력



〈그림 5〉 P/f , Q/V 제어가 적용된 인버터 출력

그림 4는 LV 환경에서 P/V , Q/f 제어가 적용된 인버터에서 유효전력과 무효전력을 출력한 파형이다. 계수비는 전압과 주파수 각각 3:2:1, 1:1:1로 도입하였다. 이때 부하용량이 증가하여도, 도입한 계수비에 따라서 인버터 간 전력분배가 이루어짐을 확인하였다.

그림 5는 LV 환경에서 P/f , Q/V 제어가 적용된 인버터는 도입한 계수비에 따른 전력의 분담을 이루어지지 않았다. 따라서 LV 환경에서 P/f , Q/V 제어의 경우, 한계점이 존재하였다.



〈그림 6〉 선로 임피던스에 따른 전력 분배 확인

그림 6은 그림 3과 동일한 시스템 형상에서 드롭 계수를 모두 동일하게 설정 후 선로의 R/X비를 다르게 할 때의 인버터 출력이다. R/X비는 DG1, DG2, DG3 각각 7.7, 9.2, 11.6으로 설정하였다. 이 경우 전력 분배는 선로 R/X의 비율과 드롭 계수가 합쳐진 만큼 영향이 있음을 확인하였다.

IV. 결론

본 연구에서는 저항이 상대적으로 큰 선로에서는 P/V , Q/f 드롭제어가 적용된 인버터가 드롭계수에 따라 전력 분배됨을 확인하였다. LV 환경에서 드롭제어를 모의하여 P/f , Q/V 드롭제어는 LV에서 사용할 수 없는 한계점을 확인하였다. 또한, R/X비율이 다를 경우, 전력 분배는 선로 R/X의 비율과 드롭 계수가 합쳐진 만큼 영향이 있음을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2020R1A6A1A12047945).

참고 문헌

- [1] F. Deng, W. Yao, X. Zhang, Y. Tang and P. Mattavelli, "Review of Impedance-Reshaping-Based Power Sharing Strategies in Islanded AC Microgrids," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 14, no. 3, pp. 1692-1707, May 2023.
- [2] A. A. Chowdhury, S. K. Agarwal and D. O. Koval, "Reliability modeling of distributed generation in conventional distribution systems planning and analysis," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 39, no. 5, pp. 1493-1498, Sept.-Oct. 2003.
- [3] J. Rocabert, A. Luna, F. Blaabjerg and P. Rodríguez, "Control of Power Converters in AC Microgrids," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 27, no. 11, pp. 4734-4749, Nov. 2012.
- [4] S. Fazal, M. E. Haque, M. T. Arif and A. Gargoom, "Droop Control Techniques for Grid Forming Inverter," 2022 IEEE PES 14th Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), Melbourne, Australia, 2022, pp. 1-6.
- [5] T. L. Vandoorn, J. D. M. De Kooning, B. Meersman, J. M. Guerrero and L. Vandevelde, "Automatic Power-Sharing Modification of P/V Droop Controllers in Low-Voltage Resistive Microgrids," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 27, no. 4, pp. 2318-2325, Oct. 2012.
- [6] A. Engler, "Applicability of droops in low voltage grids," Int. J. Distrib. Energy Resources, vol. 1, no. 1, Technology and Science Publisher, Germany, Kassel, 2005.