

병렬형 인버터의 부하 분담과 부하 전압 레귤레이션을 고려한 가상 인덕터 기반의 드롭 제어

김동환, 전재량, 최재호
충북대학교

Droop Control for Parallel Inverters Using Virtual Inductor with load sharing and voltage regulation

Dong Hwan. Kim, Jaeryang Jeon, Jaeho Choi

School of Electrical Engineering, Chungbuk National University, Chungbuk, Korea

ABSTRACT

복합 성분으로 구성 되어 있는 선로임피던스 하에서 인버터 병렬 운전을 위한 드롭 제어 방식을 다루고 있다. 드롭 제어 방식은 선로 임피던스가 복합 성분으로 구성되어 있는 경우 유효 전력의 분담에 있어서 여러 가지 이유로 오차를 발생시킨다. 이러한 오차에 대한 대책으로 가상 임피던스의 적용은 전력 간섭성분 제어로 전력 분담의 오차는 해결되었다. 하지만 대전류가 흐르는 대용량 시스템에서는 가상 임피던스로 인한 전압 강하가 커지게 되므로 설정한 유효전력을 추종하지 못하게 된다. 본 논문에서는 위의 사항을 고려하여 복합 성분으로 구성 되고 불평형인 선로임피던스와 하에서 유효전력 분담을 개선하고자 하였으며 제한한 드롭 제어 방식을 기존의 방식과 비교 하였다. 제안한 드롭 제어 방식의 전력 분담은 PSIM과 실험을 통해 검증되었다.

1. 서론

생활수준 향상으로 전력소비량이 나날이 증가하고 있다. 하지만 환경 문제로 인한 규제와 부지확보의 등으로 인하여 대형 발전소의 설립이 제한됨에 따라 태양광, 풍력, 연료전지 등과 같은 신재생 에너지를 활용한 분산발전의 사용이 급격하게 증가하고 대용량화되어 오고 이에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다. 이 분산 발전 시스템들이 통합되어 마이크로그리드의 형태를 지니고 있는데, 이는 단일 분산 발전 시스템과 비교했을 때 향상된 신뢰성과 효율성을 지니고 있다. 마이크로그리드는 계통에 사고가 발생하였을 시 독립운전모드로 전환한다. 이때 부하가 요구하는 전력을 공급해주기 위해서 병렬 운전을 하는 각 분산발전시스템의 유효 전력과 무효 전력을 제어하기 위해 드롭제어 방식이 쓰이게 된다. 이 방식은 유효 전력의 분담에 있어서 여러 가지 이유로 오차를 발생시키며 이에 대한 대책으로 가상 임피던스를 추가하여 전력 조류의 복잡성을 해결하기 위한 연구가 진행되어 오고 있다.

본 논문에서는 드롭 제어의 오차에 대한 대책 중 가상 인덕터 방식과 함께 유효 전력 분담에 오차를 야기시키는 요인들을 고려하여 전력 분담을 개선하였고, 이를 PSIM 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

2. 드롭 제어

2.1 드롭제어

마이크로그리드를 구성하고 있는 하나의 분산발전원을 등가 회로로 표현하면 그림 1과 같다. 여기서 $E \angle \phi$ 는 분산발전원의 출력전압, \bar{V} 는 PCC 전압, \bar{Z} 는 분산발전원과 PCC 단 사이의 선로 임피던스를 나타낸다. 이 등가회로를 바탕으로 유도성 선로라는 가정 하에 분산 발전원이 연결되어있는 전송 선로에 흐르는 유효전력과 무효전력을 위한 드롭 제어식은 식 (1), (2)와 같다.

$$\omega^* = \omega_{nom} - k_{\omega}(P_{ref} - P) \quad (1)$$

$$E^* = E_{nom} - k_v(Q_{ref} - Q) \quad (2)$$

ω^* : 지령주파수 ω_{nom} : 정격주파수 k_{ω} : $P-\omega$ 드롭계수

E^* : 지령전압 E_{nom} :정격주파수 k_v : $Q-E$ 계수

2.2 가상 임피던스 방식

저전압에 사용되는 전송선로의 경우 저항 성분이 존재하기 때문에 유효, 무효 전력 사이에 상호 간섭 성분이 생기므로 선로가 유도성이라는 가정을 두고 있는 기존의 드롭 제어 방정식 $P-\omega$, $Q-E$ 은 효력을 잃게 된다. 이에 상호 간섭 성분의 영향을 제거하기 위해 선로 임피던스에 가상의 인덕터 성분을 추가하여 상호 간섭 성분을 제거해줄 수 있다. 추가된 가상 인덕터는 드롭 제어를 거쳐 출력된 지령 전압에 출력 전류와 가상 임피던스와의 곱으로 표현된 가상 임피던스에서의 전압 강하만큼을 감해줌으로써 시스템에 적용 된다.

$$E_{ref} = E^* - Z_v i_0 \quad (3)$$

2.3 전력 분담 개선을 위한 정격 전압 설정

선로 임피던스의 불평형으로 각각의 선로에서 다른 전압강하가 발생할 경우 적절한 가상 인덕터의 선정에도 불구하고 무

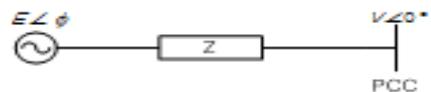


그림 1 분산 발전 시스템의 등가 회로

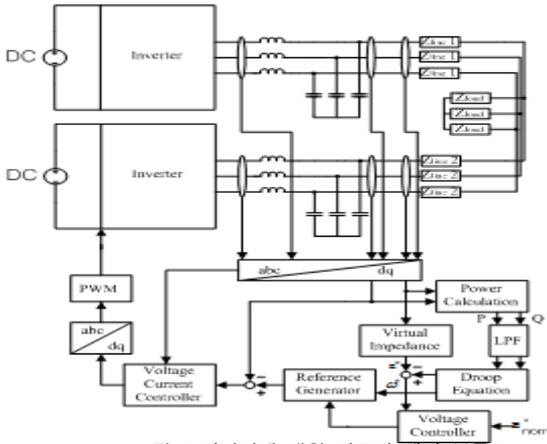


그림 2 인버터에 대한 회로와 제어 블록도

효 전력 분담의 오차를 개선시키지 못한다. 더하여 출력 전류가 큰 대용량 시스템이나 큰 가상 인덕터를 적용했을 때 상대적으로 큰 전압강하가 발생할 경우 지령 유효 전력보다 낮은 유효 전력에서 부하 분담이 이루어 진다. 이에 대한 대책으로 본 논문에서는 불평형인 각각의 선로 임피던스와 가상 임피던스에서의 전압 강하를 고려하여 정격 전압을 설정하였다.^[1]

$$E_{nom}^* = E_{nom} + \frac{2}{3} \frac{R}{V_{PCC,peak}} P_{ref} + \frac{2}{3} \frac{(X+X_v)}{V_{PCC,peak}} Q_{ref} \quad (4)$$

2.4 전력 분담 개선을 위한 정격 전압의 적용

그림 2는 인버터에 대한 회로와 제어 블록도를 나타낸 것이다. 유효 전력 간의 간섭 성분을 제거하기 위해 가상 임피던스에서의 전압 강하만큼을 감해주었다. 또한 불평형 선로 임피던스와 가상 임피던스에서의 전압 강하로 인한 전력 분담 오차를 개선하기 위해 지령 전압이 재설정된 정격 전압을 추종하도록 하였다.

3. 시뮬레이션

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Parameters of droop control simulation

DC Link 전압	190 [V]	가상 인덕터	0.007
라인 임피던스 1	2+j0.00015	라인 임피던스 2	0.8+j0.00052
P reference	800[W]	Q reference	10[W]

가상 임피던스에서의 전압강하는 출력 전류가 큰 대용량 시스템에서 문제가 될 수 있다. 하지만 보통의 실험실에서 대용량 조건 하에 실험을 진행하기는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 실험실 환경을 고려하여 대용량 시스템을 기준으로 시뮬레이션을 진행하지 않고 매우 큰 가상 임피던스를 적용해 낮은 전력에서 큰 전압 강하 현상을 유도하여 제안한 드롭 제어의 유효성과 타당성을 검증 하였다.

그림 3은 가상 인덕터를 포함한 드롭제어에서 DG1과 DG2의 유효전력과 무효전력을 나타낸다. 무효전력은 불평형 라인 임피던스로 인하여 sharing이 제대로 이루어지지 않고 가상 인덕터에 의한 전압 강하로 유효 전력이 설정한 유효 전력보다 낮게 부하 분담이 이루어 진다. 하지만 그림 4에서는 제안한 제어를 하였을 때 전력 분담의 오차가 개선되는 것을 확인할 수 있다.

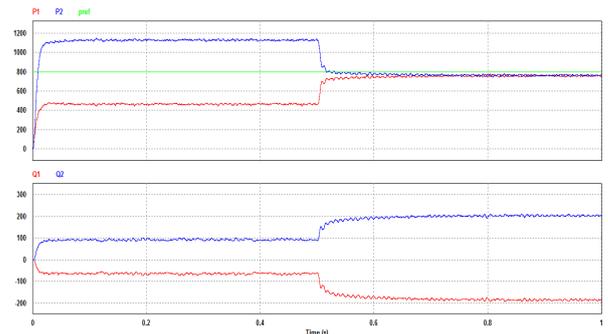


그림 3 가상 인덕터를 포함한 드롭제어 시뮬레이션(유효전력, 무효전력)

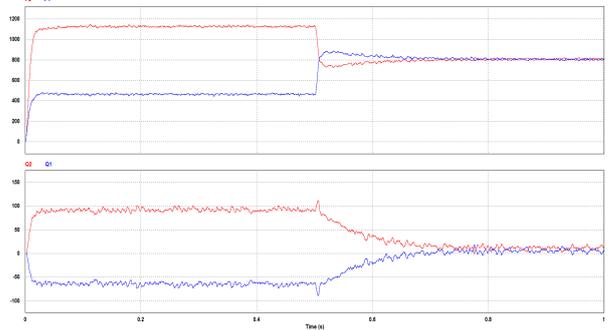


그림 4 제안한 드롭제어 적용한 시뮬레이션(유효전력, 무효전력)

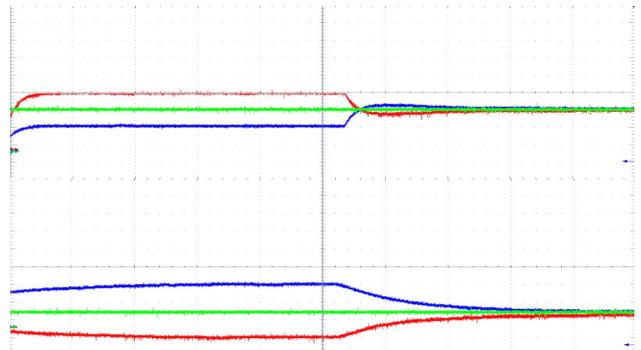


그림 5 제안한 드롭제어 적용한 실험결과(유효전력, 무효전력)

4. 결론

본 논문에서는 문헌 [1]에서의 전압 강하를 보상해주는 방식을 응용하여 병렬형 인버터의 부하 분담과 가상 인덕터 전압 강하에 대한 조정을 이루고자 하였고 시뮬레이션과 실험을 통해 결과를 확인해 보았다.

참고 문헌

- [1] K. Jung, K. Lim, D. Kim and J. Choi, "Droop method for high-capacity parallel inverters in islanded mode using virtual inductor," *Trans. of KIPE*, vol. 20, no. 1, pp. 81-90, 2013.
- [2] Chen, Wu, and Guangjiang Wang. "Decentralized Voltage-Sharing Control Strategy for Fully Modular Input-Series - Output-Series System With Improved Voltage Regulation." *IEEE Trans. on Ind. Electronics* Vol. 62, no.5, 2015