

선로 특성에 따른 마이크로그리드 영향성 및 제어기법 연구

황인기, 김예중, 김명진*

충북대학교

spgi17@chungbuk.ac.kr, kaj4375@chungbuk.ac.kr, *mckim@chungbuk.ac.kr

Microgrid Influence and Control Techniques According to Line Characteristics

Hwang In Ki, Kim Ye Jung, Kim Myung Chin*

Chungbuk National Univ

요약

화석 연료 사용 증가로 인한 환경문제가 발생하고 있다. 이에 대응하기 위해 RE100과 같은 탄소배출량 감소를 위한 여러 정책들이 도입되어 연료전지, 풍력발전, 태양광발전과 같은 재생에너지 설비가 증가하고, 이에 따라 마이크로그리드 및 분산형 발전도 증가하는 추세이다. 마이크로그리드에서 드롭 제어를 이용하여 병렬 인버터의 전력분배를 구현하였고, 선로 임피던스 특성 변화가 드롭 제어 미치는 영향을 확인하고, 가상 인덕터를 추가하여 선로 임피던스 특성 변화에도 제어 가능한 드롭 제어를 구현하였다.

I. 서론

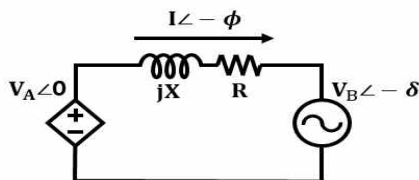
화석 연료 사용 증가는 탄소배출량을 증가시켜 지구온난화는 환경문제의 발생을 야기한다. 국내의 경우 이에 대한 대응으로 한국형 RE100(Renewable Electricity 100%)을 도입하는 등 탄소배출량 감소를 위한 여러 정책을 도입하고 있다. 이에 따라 연료전지, 풍력발전, 태양광발전 등 신재생에너지 기반 설비가 증가하고, 분산형 발전 및 마이크로그리드에 대한 연구도 비례하여 증가는 추세이다.[1]

마이크로그리드는 전원계통과의 연결상태에 따라 독립형 또는 계통연계형으로 동작하게 된다. 계통연계형으로 동작할 경우에는 부하 분담을 보조하는 역할을 하지만, 사고 발생했을 때 스위치가 개방되면서 독립운전으로 동작하게 되는 것이 일반적이다. 독립운전 시 부하에 공급되는 전력의 신뢰성을 높이기 위해 여러 분산요소에서 각 인버터의 병렬 운전은 핵심 기술이며 통신선 없이 독립적으로 제어 가능한 드롭(Droop) 제어 방식이 제안되어 왔다. 다만, 전력분배의 역할은 자율적으로 수행할 수 있게 하는 드롭제어 기법의 형상이 선로 임피던스의 특성에 따라서 상이한 것으로 알려져 있다.[2]

본 논문에서는 선로 임피던스 특성 변화가 드롭 제어 미치는 영향을 확인하고, 가상 인덕터를 추가하여 선로 임피던스 특성 변화에도 제어 가능한 드롭 제어를 구현하였다.

II. 본론

2.1. 드롭 제어



<그림 1> 마이크로그리드 인버터 등가회로

그림 1과 같이 구성된 AC 마이크로그리드에 대해서 A 지점과 B지점 사이의 유효전력과 무효전력의 흐름은 각각 식 (1)과 식 (2)와 같다.[3]

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

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

여기서, P와 Q는 각각 인버터의 유효 전력과 무효 전력이며, R과 X는 각각의 저항과 유도성 리액턴스이다. 이때 선로에서 유도성 리액턴스가 지배적인 경우, 저항은 무시할 수 있다. 위상각 (δ)이 충분히 작은 상황에서 식 (1)과 (2)의 경우, 각각 식(3)과 (4)로 유도할 수 있다.[4]

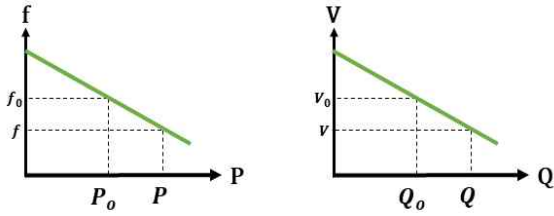
$$P \approx \frac{V_A V_B}{X} \delta \quad (3)$$

$$Q \approx \frac{V_A (V_A - V_B)}{X} \quad (4)$$

식(3, 4)과 같이 유효 전력은 위상각, 무효 전력은 두 지점의 전압 차이와 연관된다. 유도성 리액턴스가 지배적인 경우, 위상각(δ)의 미분형인 주파수(f)를 이용해 유효전력을 제어할 수 있다. 따라서 식(5, 6)과 같이 식을 구성할 수 있다. 여기서 f_0 , V_0 는 각각 부하의 정격주파수 및 정격전압이고, P_0 , Q_0 부하의 정격전력을 나타낸다. 병렬 운전되는 각 인버터의 출력 비율은 드롭 계수(k_p , k_q)들로 조절이 가능하다.[5]

$$f - f_0 = -k_p (P - P_0) \quad (5)$$

$$V - V_0 = -k_q (Q - Q_0) \quad (6)$$



<그림 2> 유도성 리액턴스를 지닌 선로의 드롭 제어

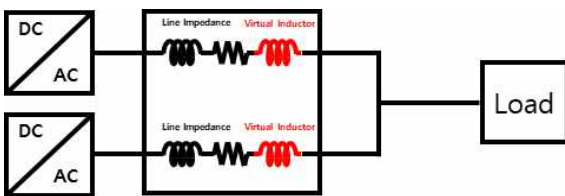
2.2. 가상 인덕터 구현

선로에서 저항이 지배적인 경우 유도성 리액턴스가 무시됨으로 식(5, 6)을 이용한 드롭 제어를 사용할 수 없다. 이때 가상의 인덕터를 도입해, 저항이 지배적인 선로를 유도성 리액턴스가 지배적인 선로로 변환하면 드롭 제어가 가능하다. 가상 인덕터의 적용은 식(7)과 같이 정의된다.[6]

$$v_{ref} = v_0 - sL_v i_0 \quad (7)$$

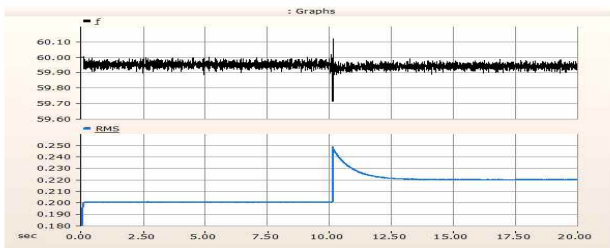
2.3. 시뮬레이션 구성

<그림 3>은 마이크로그리드 및 선로 임피던스를 도식화한 모습이다. 인버터 내 제어기에는 식(5, 6)을 이용한 드롭 제어로 PSCAD를 이용해 시뮬레이션을 구성하였다. 이때 R/X의 비율을 변경하며 제어 양상을 확인하였다. 가상 인덕터를 추가하여, R/X의 비율에 관계없이 유도성 리액턴스가 지배적이도록 하여 인버터의 드롭제어를 수행할 수 있도록 하였다. 식(5, 6)에서 정의된 드롭 제어 및 선로 임피던스 등의 이유로 전압 강하는 불가피하다. 2차 제어를 활용하여, 드롭 제어 및 선로 임피던스로부터 발생된 전압 강하에 대한 보상도 구현하였다.

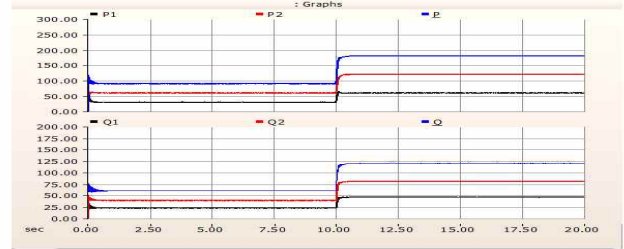


<그림 3> 시뮬레이션 구성

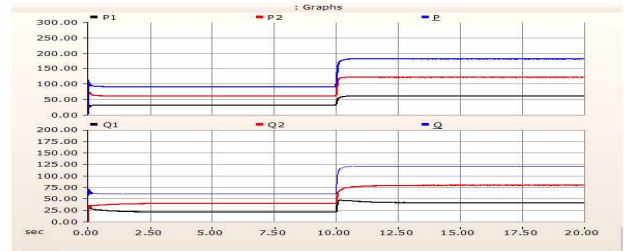
<그림 4>는 2차 제어 시 전압 및 주파수가 변화를 나타내는 파형으로 2차 제어 시 전압이 정격 범위로 보상되는 것을 확인할 수 있다. <그림 5>에서는 드롭 계수비를 2대 1로 분배했을 때 전력도 이에 비례하여 분배됨을 확인하였다. 이후 R/X이 증가했을 때는 제어 되지 않는 것을 확인하였고, 가상 인덕터를 도입하여 <그림 6>의 파형과 같이 선로 임피던스 변화에도 전력이 계수비에 비례하여 분배되는 것을 확인하였다.



<그림 4> 2차 제어에 따른 부하 주파수 및 전압



<그림 5> 유도성 선로 임피던스 시 인버터 출력



<그림 6> 가상 인덕터 도입 시 인버터 출력

III. 결론

마이크로그리드에서 통한 인버터의 병렬운전 시 전력 분배를 드롭 제어를 통해 구현할 수 있다. 본 논문에서는 인버터의 출력 전력을 드롭 계수비에 따라 분배하고 2차 제어를 통해 드롭 제어로 인해 발생하는 출력 감소를 보상하였다. 이후 선로 임피던스 특성에서 저항성분이 커짐에 따라 드롭 제어 시 시스템이 불안정해지는 것을 확인하였고, 가상 인덕터를 추가한 제어기를 구현해 선로 임피던스 특성 변화에도 안정적으로 제어되는 것을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참고 문헌

- [1] 이민혁, 이평강, 정동주, 한민우, 정석희. (2023). 재생 전기 100% 사용을 위한 RE100: 현황 및 전망. 대한환경공학회지, 45(3), 161-169.
- [2] 임경배, 최재호. (2013). 마이크로그리드 독립 운전 모드시 저전압 불평형 선로 임피던스를 고려한 드롭 방식의 인버터 병렬 운전 제어 연구. 전력전자학회논문지, 18(4), 387-396
- [3] Joan Rocabert, Alvaro Luna, Frede Blaabjerg, Pedro Rodríguez. "Control of Power Converters in AC Microgrids", IEEE Transactions on Power Electronics IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 27, NO. 11, NOVEMBER 2012.
- [4] Hannu Laaksonen, Pekka Saari, and Risto Komulainen. "Voltage and frequency control of inverter based weak LV network microgrid", 2005 International Conference on Future Power Systems.
- [5] 김현준, (2017.2) 드롭 제어 기반 분산 전원용 인버터의 병렬 운전에 관한 연구, 명지대학교.
- [6] 임경배. (2013.2), 마이크로그리드 단독 운전 시 인버터 병렬운전을 위한 드롭제어, 충북대학교.