

인버터의 병렬 운전을 위한 다항 모델 드롭 제어방식

금호중, 김범준, 이강주, 원충연
성균관대학교

Droop Control Method using Multinomial Model for Parallel Operation of Inverters

Ho Jung Kum, Bum Jun Kim, Kang Joo Lee, Chung Yuen Won
Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문에서는 다항 모델을 이용하여 인버터의 병렬 운전을 위한 드롭 제어방식을 제안한다. 인버터의 병렬운전을 제어하는 방법 중 통신 없이 유효전력과 무효전력을 이용하여 출력전압의 크기와 주파수를 제어하는 드롭 제어가 많이 사용된다. 기존의 드롭 제어에서는 응답속도를 증가시키면 정상상태 오차가 커지는 문제점이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 다항 모델을 이용하여 개선된 드롭 제어방식을 제안하고 시뮬레이션을 통해 검증한다.

1. 서 론

최근 태양광, 풍력과 같은 신재생 에너지의 발전, UPS 등에 인버터가 병렬로 운영되고 있는데 이를 제어하는 방법으로 기존에는 마스터 슬레이브 제어 방법을 사용했기 때문에 반드시 통신선을 필요로 했다. 하지만 통신선에 의하여 확장성이 부족하고 통신선의 문제로 인하여 전체 시스템의 오류로 이어지는 문제가 발생하였다.^[1] 그에 따라 통신선 없이 제어하는 방법이 필요해 졌으며 새롭게 제안되었던 방법이 드롭 제어방식이다. 드롭 제어는 인버터가 출력하는 유효전력이 증가했을 때 출력전압의 주파수가 강하하는 특성과 출력하는 무효전력이 증가했을 때 출력전압의 크기가 강하하는 특성을 이용한 제어 방법으로 현재도 많이 이용되고 있고 많은 연구가 진행되고 있다.

하지만 기존의 드롭 제어방식은 드롭 제어 함수의 계수에 의해 응답속도와 정상상태 오차가 상충관계를 가지게 된다.

따라서 본 논문에서는 다항 모델을 이용한 드롭 제어방식으로 상충관계에 있는 응답속도와 정상상태 오차를 동시에 개선하였다.

2. 본 론

2.1 드롭 제어

그림 1은 병렬 운전하는 인버터의 등가회로를 나타내는 그림으로 통신선 없이 단독제어가 가능한 드롭 제어방식은 인버터가 출력하는 유효전력과 무효전력을 이용하여 출력전압의 주파수와 크기를 제어하는 원리이다.

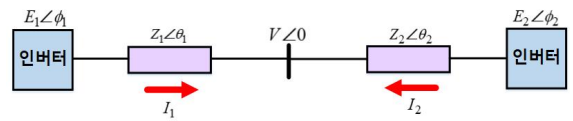


그림 1 인버터의 병렬운전
Fig. 1 Parallel operation of Inverters

출력 임피던스를 순수인덕턴스라고 가정했을 때, 식(1)과 식(2)를 통해 유효전력과 무효전력이 각각 주파수와 전압에 매우 의존적임을 알 수 있다.

$$P = \frac{V \cdot E}{Z} \cdot \phi \quad (1)$$

$$Q = \frac{V \cdot E}{Z} - \frac{V^2}{Z} \quad (2)$$

이러한 의존적인 관계를 이용하여 식(3)과 식(4)와 같은 드롭 함수를 유도할 수 있으며 계수 m, n의 크기에 따라 상충관계에 있는 응답속도와 정상상태 오차가 결정된다.

$$\omega^* = \omega_{nl} - mP \quad (3)$$

$$E^* = E_{nl} - nQ \quad (4)$$

따라서 그림 2와 같은 각각의 드롭 특성 곡선을 그릴 수 있다.

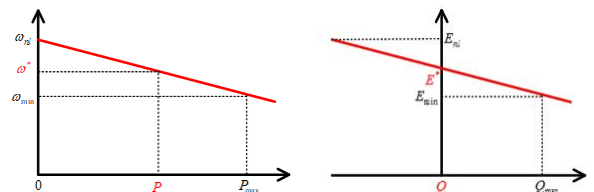


그림 2 P-ω, Q-E 드롭 특성 곡선
Fig. 2 P-ω, Q-E Droop characteristic curve

2.2 제안하는 드롭 제어

기존의 드롭 함수를 식(5)와 식(6)과 같이 3차식의 함수로 만들어줌으로써 제안하는 드롭 제어방식을 모델링 할 수 있으며

$$\omega^* = \omega_{nl} - [m_3(P_{\max} - P_{ref})^3 + m_1(P_{\max} - P_{ref})] \quad (5)$$

$$E^* = E_{nl} - (n_3 Q_{\max}^3 + n_1 Q_{\max}) \quad (6)$$

그림 3과 같은 드롭 특성 곡선을 그릴 수 있다.

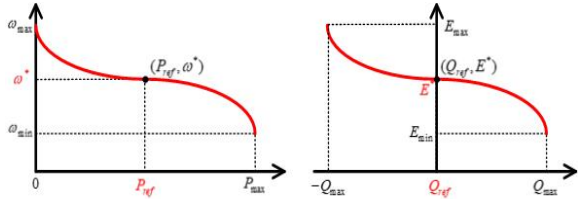


그림 3 제안하는 드롭 $P-\omega$, $Q-E$ 특성 곡선
Fig. 3 Proposed Droop $P-\omega$, $Q-E$ characteristic curve

계수 m_3, m_1, n_3, n_1 을 선정하는데 그림 4와 같이 3차식 곡선의 기울기를 결정하는 α, β 값이 존재하고 β 를 α 보다 크게 함으로써 더 빠르고 정확한 제어가 가능해진다.

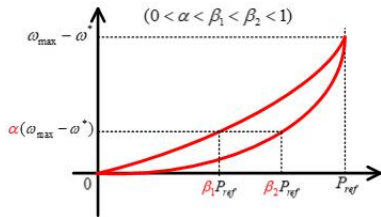


그림 4 α, β 에 따른 3차식 곡선 기울기 변화
Fig. 4 Slope change of cubic curve according to α, β

따라서 드롭 함수의 계수 m_3, m_1, n_3, n_1 을 식(7)~(10)과 같이 정리 할 수 있다.

$$m_3 = \frac{(\omega_{nl} - \omega^*)(\alpha - \beta)}{(P_{\max} - P_{ref})^3(\beta^3 - \beta)} \quad (7)$$

$$m_1 = \frac{(\omega_{nl} - \omega^*)(\beta^3 - \alpha)}{(P_{\max} - P_{ref})(\beta^3 - \beta)} \quad (8)$$

$$n_3 = \frac{(E_{nl} - E^*)(\alpha - \beta)}{(Q_{\max})^3(\beta^3 - \beta)} \quad (9)$$

$$n_1 = \frac{(E_{nl} - E^*)(\beta^3 - \alpha)}{(Q_{\max})(\beta^3 - \beta)} \quad (10)$$

제안하는 다항 모델 드롭 제어방식을 사용한 제어 블록도를 그림 5를 통해 확인 할 수 있고 계수의 크기에 따라 상층관계에 있던 응답속도와 정상상태 오차를 동시에 개선할 수 있다.

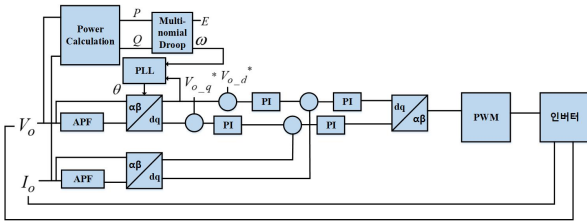
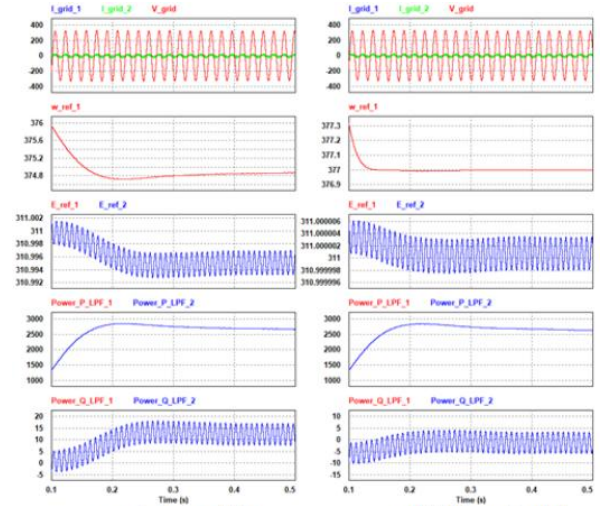


그림 5 다항 모델 드롭 제어 블록도
Fig. 5 Multinomial droop control block diagram

2.3 시뮬레이션 결과

그림 6은 표 1의 파라미터값을 이용하여 기존의 드롭 제어와 제안하는 다항 모델 드롭 제어의 비교 파형으로서 기존의 드롭 제어보다 정상상태 오차와 응답속도가 개선되었음을 확인할 수 있다.



(a) 기존 드롭 제어 (b) 제안하는 드롭 제어

그림 6 시뮬레이션 결과
Fig. 6 Simulation results

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Simulation parameter

파라미터	입력값	
Power	5kW	
Input Voltage	400V	
Frequency	60Hz	
Filter	L	1000μH
	C	40μF
Load	R	9.86Ω

3. 결론

본 논문에서는 인버터의 병렬 운영을 위한 다항 모델 드롭 제어방식을 제안하였다. 기존의 드롭 함수를 3차 다항식으로 모델링함으로써 상층관계에 있던 기존 드롭 제어의 응답속도와 정상상태 오차를 동시에 개선하였고 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

참고 문헌

[1] J. M. Guerrero, Luis Garcia de Vicuna, J. Matas, M. Castilla and J. Miret, "Output impedance design of parallel connected UPS inverters with wireless load sharing control," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 52, no. 4, pp. 1126-1135, Aug. 2005.

[2] Q. C. Zhong and Y. Zeng, "Universal Droop Control of Inverters With Different Types of Output Impedance," in IEEE Access, vol. 4, no. , pp. 702-712, 2016