

선로임피던스를 고려한 200kVA 모듈형 UPS의 병렬 운전 알고리즘

안창현, 장주형, 임승범, 김지수
(주) 이온

Parallel Operation Algorithm of UPS Considering Line Impedance

Chang Hoen Ahn, Ju Hyeong Jang, Seung Beom Lim, and Ji Soo Kim
EON

ABSTRACT

최근 통신 기술의 발달과 대용량화에 의하여 UPS장비를 모듈화하여 용량 증설 시 모듈을 추가로 설치하는 모듈형 UPS의 수요가 증가하고 있다. 모듈형 UPS는 용량 증설 및 수리 시 모듈 교체로 가능하고 높은 전력 밀도를 갖는 장점이 있다. 이러한 특징을 갖는 모듈형 UPS개발을 위해서는 병렬 제어가 필수이다. 본 논문에서는 저항성의 선로임피던스를 고려한 수하(Droop)제어를 이용하여 단일 모듈 33kVA를 최대 6대 병렬 운전하여 총 200kVA로 동작하는 Module형 UPS의 병렬 운전 기법을 제안한다.

1. 서 론

본 논문에서는 200kVA 모듈형 UPS 개발에 필요한 병렬 제어 알고리즘을 제안한다. UPS의 모듈화는 높은 전력밀도와 용량 증설이 쉬우며, 한 개의 모듈 고장 시 다른 모듈이 병렬로 동작하므로 안전성이 높고 수리 및 유지보수가 용이한 장점이 있다. 이러한 모듈형 UPS의 개발을 위해서는 병렬운전이 필수적으로 필요하다. 병렬운전의 종류로는 크게 통신선이 필요한 방식과 비통신선 방식으로 나뉜다. 통신선 방식으로는 평균분담 제어, 중앙제어, 주종제어 등이 있으며 비통신선 방식으로는 수하(Droop)제어가 있다. 통신선 방식은 기본적으로 통신모듈의 성능과 병렬운전의 성능이 직결되는 문제점이 있기 때문에 통신 속도나 노이즈에 취약한 단점이 있다. 하지만 비통신선 방식의 수하제어는 병렬 운전하는 각각의 단일 모듈이 지능적으로 부하분담을 할 수 있어 통신선 방식에 비해서 제약이 적은 장점이 있다.

본 논문에서는 저항성으로 선로의 임피던스를 고려한 새로운 수하제어 방식을 사용하여 33kVA의 단일 모듈을 6개 병렬 운전하여 200kVA UPS로 동작하는 병렬운전 알고리즘을 제안한다. 끝으로 시뮬레이션을 통하여 제안한 알고리즘의 유용성을 검증하였다.^[1]

2. 수하제어 알고리즘

2.1절 기존 수하제어 전력분석

수하제어는 유효전력과 무효전력을 비통신선 방식으로 공유하여 각 모듈이 개별적으로 유효전력과 무효전력을 제어하는 방법으로 시스템의 모델링을 통하여 유효전력과 무효전력의 지

배적인 요소를 제어해야 한다. 그림 1은 시스템을 간략하게 모델링한 것으로 이때의 피상전력은 식(1)과 같다.

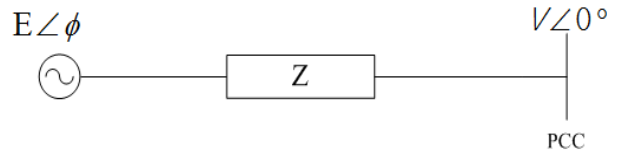


그림 1 간략화된 시스템 모델링
Fig. 1 Simplified system model

$$\bar{S} = P + jQ = \frac{VE}{Z}(\cos(\theta - \phi) + j\sin(\theta - \phi)) - \frac{V^2}{Z}(\cos\theta + jsin\theta) \quad (1)$$

식 (1)에서 선로가 저항성 성분이 유도성 성분에 비해 매우 크다고 가정하면 $\theta = 0^\circ$ (선로 임피던스 위상각) 가정하여 다음 식 (2)와 같이 유효전력 성분과 무효전력 성분을 간략화 할 수 있다.

$$P = \frac{EV\cos\phi - V^2}{R} \quad (2)$$
$$Q = -\frac{EV}{R}\sin\phi$$

식 (2)에서 위상차(ϕ)가 매우 작다면 $\sin\phi = \phi$, $\cos\phi = 1$ 로 근사화 할 수 있으며, 유효전력과 무효전력 식은 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$P \approx \frac{V}{R}(E - V) \quad (3)$$
$$Q \approx -\frac{EV}{R}\phi$$

여기서, 유효전력은 인버터 전압 E 와 common bus 전압 V 의 차에 비례하고, 무효전력은 위상차에 반비례한다.

$$\omega^* = \omega_{nl} + nQ_{avg} \quad (4)$$
$$E^* = E_{nl} + mP_{avg}$$

식 (4)에서 무효 전력은 위상대신에 주파수를 이용하여 제어하고 이때 n 은 주파수 드롭계수, m 은 전압 드롭계수이다.

2.2절 제안하는 수하제어 알고리즘

수하제어 식 (4)에서 전압 드롭계수 m 은 유효전력 분담의 정확성과 동특성을 결정짓는 요소이다. m 이 크면 클수록 빠른 응답과 안정적인 부하분담이 이루어지는데 식 (4)를 그대로 적용하면 부하가 증가하면 증가할수록 인버터의 출력 전압 지령치를 낮추게 하여 출력전압의 크기가 작아지고, 유효전력의 불평형이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 적분기를 적용하여 전압 드롭 제어에서 출력 전압 지령치는 출력 전압의 피크값을 조절하여 드롭 제어 출력 전압 지령치를 추종하는 적분 제어기의 출력이 된다. 이를 적용하면 식 (5)와 같다.

$$E^* = \int ((E_{nl} - V_{peak})K_e - mP)dt \quad (5)$$

식 (5)를 적용하였을 때, 일정한 크기의 출력전압과 유효전력 분담이 잘 이루어지지만 수하제어 운용 시 유효전력의 오버슈트가 발생할 수 있다. 따라서 오버슈트를 개선하기 위해 안티 와인드업을 추가하여 최종적으로 전압 수하제어 식은 식 (6)과 같다.

$$E^* = \int ((E_{nl} - V_{peak})K_e - (E_{nl} - E^*)K_a - mP)dt \quad (6)$$

식 (6)에서 K_e 는 전압 드롭 방지를 위한 적분 이득이고, K_a 는 안티와인드업 이득이다.

2.3절 시뮬레이션

본 논문에서 제안하는 알고리즘 검증에 위해 모듈 2대의 각 상 선로 저항을 다르게 설정하고 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Parameter for simulation

파라미터	모듈 1	모듈 2
R상 선로 저항	0.009[Ω]	0.04[Ω]
S상 선로 저항	0.01[Ω]	0.041[Ω]
T상 선로 저항	0.011[Ω]	0.039[Ω]
부하	30k[W]	30k[W]

시뮬레이션 동작은 초기에 모듈 1대가 동작 후 다른 1대의 모듈이 투입되어 수하제어를 시작하다가 다시 모듈 1대만의 동작하도록 하였다. 시뮬레이션 결과에서 4가지 파형들은 순서대로 각 모듈의 유효전력, 무효전력, 출력전압 그리고 출력전류이다.

그림 2는 기존의 수하제어 방식으로 제어하였을 경우의 시뮬레이션 결과로서, 출력 전압의 크기가 작아지고 각 모듈의 유효전력 분담이 이루어지지 않는다. 그림 3은 식 (5)의 적분기를 적용한 제어방법으로 시뮬레이션한 결과로, 수하 제어 시 출력전압이 일정하게 유지되고, 유효전력의 분담이 잘 이루어지는 것을 확인 할 수 있지만 수하제어 운용 시 오버슈트가 발생한다. 제안하는 방법으로 수하제어를 운용 시에는 그림 4와 같이 각 모듈의 유효전력의 오버슈트를 억제하고 우수한 동특성을 가지면서 정확한 부하 분담이 이루어짐을 확인할 수 있다.

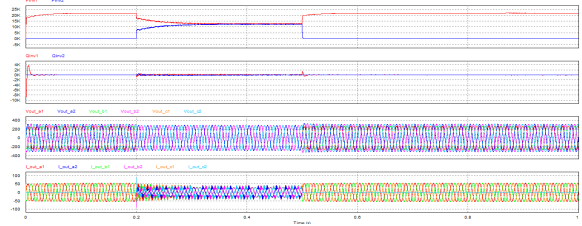


그림 2 기존 수하제어 식으로 제어한 결과 파형
Fig. 2 The nonmodified droop control waveform

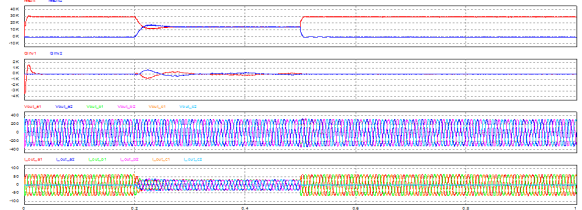


그림 3 식 (5)를 적용한 부하 분담 결과 파형
Fig. 3 The waveform for droop control of applying the equation (5)

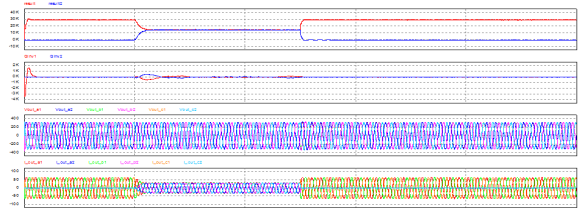


그림 4 제안하는 수하제어 식의 부하 분담 결과 파형
Fig. 4 The waveform for proposed droop control

3. 결론

본 논문에서는 기존의 비통신 방식의 수하제어 알고리즘을 적용하였을 때의 문제점인 전압 드롭과 유효전력의 불평형을 보완한 새로운 수하제어 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 기존의 문제를 해결하기 위해 기존 수하제어 식에 적분 이득과 안티와인드업 이득을 추가하여 전압 드롭 해소 및 유효전력의 우수한 동특성과 정확한 부하 분담이 이루어지도록 하였다. 끝으로 제안하는 알고리즘의 타당성을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

이 논문은 중소기업청의 중소기업기술혁신개발사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음. (No. S2222196)

참고 문헌

- [1] J. M. Guerrero, N. Berbel, "Droop Control Method for the Parallel Operation of Online Uninterruptible Power Systems Using Resistive Output Impedance", *APEC '06. Twenty First Annual IEEE*, pp. 1716-1722, 2006, April.
- [2] Qing Chang Zhong, "Robust Droop Controller for Accurate Proportional Load Sharing Among Inverters Operated in Parallel" *IEEE Trans IE*, Vol. 60, No. 4, pp. 1281-1290, 2013, April.