

Droop Control을 이용한 3상 UPS의 병렬운전

김현섭, 델카스틸로, 한정호, 박한얼, 송화창, 송중호
서울과학기술대학교

Parallel operation of three-phase UPS using droop control

Hyun-Seob Kim, Del castillo, Jung-Ho Han, Han-Eol Park, Hwachang Song, Joong-Ho Song
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

부하 시스템의 용량 증대와 중요도에 따른 신뢰성 향상을 위해 Uninterruptible Power Supply(UPS)의 병렬운전 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문은 droop특성을 적용한 3상 UPS의 병렬운전 제어 알고리즘을 제안한다. 또, 기존의 droop 제어기를 적용한 UPS의 plug and play(PnP) 운전시 순환 전류의 원인을 분석하고 PnP 운전이 가능한 droop 제어기를 제안한다. 그리고 제안된 알고리즘의 타당성을 검증하기 위해 PSIM을 통해 시뮬레이션을 수행하였다.

1. 서론

최근 정보화, 산업화 사회로 발전함에 따라 컴퓨터 시스템, 의료장비, 통신 장비와 같은 전원에 민감한 부하의 사용이 증가하고 있다. 그러나 이런 부하들은 전원의 일시적인 이상현상에도 큰 영향을 받아 시스템 전체가 정지하거나 오동작을 하게 된다. 이에 대한 대책으로써 UPS의 사용이 필수적이다. 최근에는 부하 시스템의 용량 증대와 부하 중요도에 따른 신뢰성 향상을 위해 UPS의 병렬운전 연구가 활발히 진행되고 있다. 일반적으로 UPS의 병렬운전을 하기 위해서는 출력전압의 크기, 주파수, 위상이 일치해야 하고 PnP운전이 가능해야 한다.^[1] UPS의 병렬운전 기법에는 active load sharing기법과 droop control 기법이 있다. active load sharing 기법은 UPS간의 통신을 이용하기 때문에 신뢰성과 확장성이 떨어지고 노이즈에 취약하다. 반면에 droop control 기법은 UPS간의 통신이 불필요하기 때문에 신뢰성과 확장성이 높아 3상 UPS 병렬운전 제어 방식으로 적합하다. 본 논문은 droop 제어기법^[2]을 적용한 3상 UPS의 병렬 제어 알고리즘을 제안하고 기존의 droop 제어기를 적용한 UPS의 PnP 운전시 UPS간의 순환 전류의 원인을 분석하고 PnP가 가능한 droop 제어기를 제안하였다.

2. 3상 UPS 병렬운전 제어기법

2.1 Droop 특성을 이용한 UPS 병렬운전 제어기법

그림 1은 droop 제어기법을 적용한 3상 UPS의 병렬운전을 위한 제어 블록도이다. UPS의 전압(v_{oa}, v_{ob}, v_{oc}), 전류(i_{oa}, i_{ob}, i_{oc} , i_{La}, i_{Lb}, i_{Lc})는 위상(θ)을 기준으로 dq변환된다. 전력제어기는 droop 특성을 이용하여 위상과 출력전압 지령치(v_{od}^*, v_{oq}^*)를 출력한다. 전압제어기와 전류제어기는 각각 인버터 출력전류 지령치(i_{Ld}^*, i_{Lq}^*), 상전압 지령치(v_{dn}^*, v_{qn}^*)를 출력한다. 상전압 지령치는 SVM(Space Vector Modulation)을 통해 구현된다.

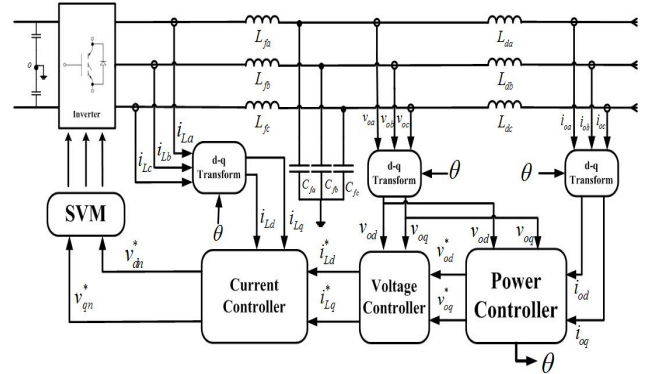


그림 1 droop control을 이용한 3상 UPS 병렬운전제어 블록도
Fig. 1 Control block diagram of three-phase UPS Parallel Operation using droop control

2.2 PnP 운전시 기존의 droop 제어기의 문제점

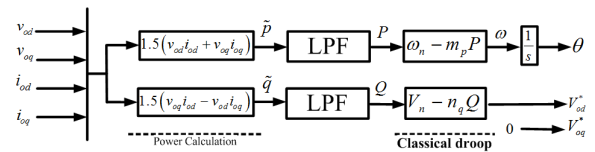


그림 2 기존의 droop 제어기를 적용한 전력 제어기
Fig. 2 Power controller using classical droop control
그림 2는 기존의 droop제어기를 적용한 전력 제어기의 블록도이다. 기존의 droop 제어기는 식 (1), 식 (2)와 같다.

$$\omega = \omega_n - m_p P \quad (1)$$

$$v_{od}^* = V_n - n_q Q \quad (2)$$

그림 3은 PnP 운전시 UPS간의 위상차이, 전압크기차이로 인해 순환전류가 흐른다는 것을 보여준다.

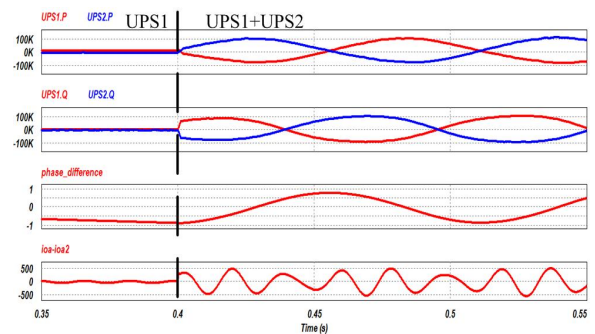


그림 3 기존의 droop를 적용한 UPS의 PnP 운전시 각 UPS의 유효 전력(P), 무효전력(Q), 위상차이, 순환전류
Fig. 3 P,Q,phase difference and circulating current of UPS at PnP operation of UPS using classical droop

2.3 PnP 운전이 가능한 droop 제어기

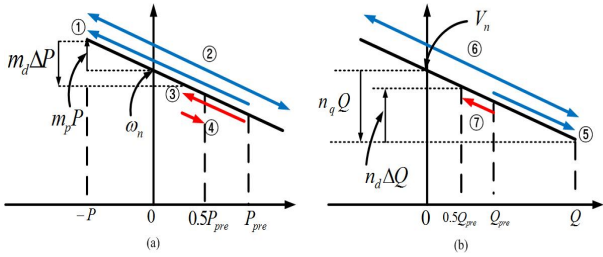


그림 4 PnP시 UPS1의 전력변동 추이

Fig. 4 Progress of power fluctuation in UPS1 at PnP operation

그림 4의 (a)는 UPS1의 유효전력과 주파수의 움직임을 보여준다. 기존의 droop 제어기 적용시 유효전력은 절반의 부하를 담당하지 못한다. 반면에 유효전력변화량에 대한 droop를 추가함으로써 UPS1의 유효전력은 전체 부하의 절반의 유효전력을 공급하게 된다. 그림 4의 (b)는 UPS1의 무효전력과 전압 크기의 움직임을 보여준다. 기존의 droop 제어기 적용시 무효전력은 절반의 부하를 담당하지 못한다. 반면에 무효전력변화량에 대한 droop를 추가함으로써 UPS1의 무효전력은 전체 부하의 절반의 유효전력을 공급하게 된다. 3상 UPS의 PnP가 가능한 droop 제어기는 식 (3), 식 (4)와 같다.

$$\omega = \omega_n - m_p P - m_d \Delta P \quad (3)$$

$$v_{od}^* = V_n - n_q Q - n_d \Delta Q \quad (4)$$

여기서 m_d 는 유효전력변화량에 대한 droop 계수, ΔP 는 유효전력변화량, n_d 는 무효전력변화량에 대한 droop 계수, ΔQ 는 무효전력변화량을 의미한다. 그림 4는 PnP가 가능한 droop 제어기를 적용한 전력 제어기의 제어 블록도이다.

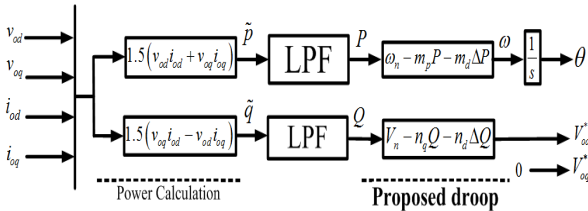


그림 5 제안한 droop 제어기를 적용한 전력 제어기

Fig. 5 Power controller using proposed droop control

3. 시뮬레이션

제안한 droop 제어기법을 적용한 3상 UPS 병렬운전과 PnP 가능한 droop 제어기의 타당성을 입증하기 위해 표1과 같은 파라미터를 두고 시뮬레이션을 하였다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Simulation parameters

	UPS1	UPS2
System capacity	30kVA	30kVA
Inductance of LC filter	500uH	450uH
Capacitance of LC filter	300uF	270uF
Decoupling L filter	200uH	180uH
m_p	2.513×10^{-4}	2.513×10^{-4}
m_d	6.283×10^{-5}	6.283×10^{-5}
n_q	8.642×10^{-4}	8.642×10^{-4}
n_d	4.321×10^{-5}	4.321×10^{-5}
Load 1	P=12.5kW, Q=4.6kVAR	
Load 2	P=5kW, Q=1.5kVAR	

그림 6은 부하변동에 대한 각 UPS의 유효전력, 무효전력, 출력 전류를 나타낸다. UPS의 출력임피던스가 10% 차이가 있음에도 불구하고 부하 증가시 각각의 UPS는 출력전류의 크기와 위상이 같고 동등한 부하를 분담한다. 그림 7은 PnP 운전시 각 UPS의 유효전력, 무효전력, 출력 전류를 나타낸다. 기존의 droop 제어기와 달리 각각의 UPS가 동등한 부하를 분담한다.

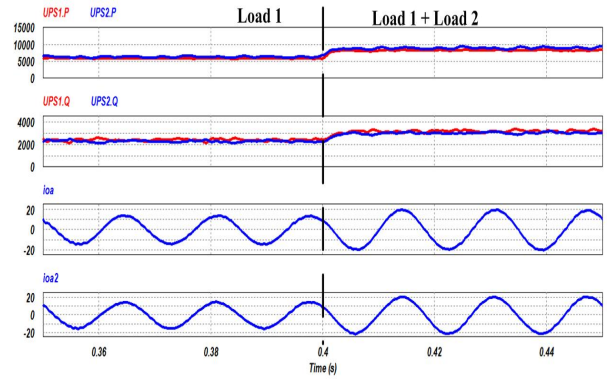


그림 6 부하 증가시 각 UPS의 유효전력, 무효전력, 출력전류

Fig.6 Active power, reactive power, output current of UPS for load increase

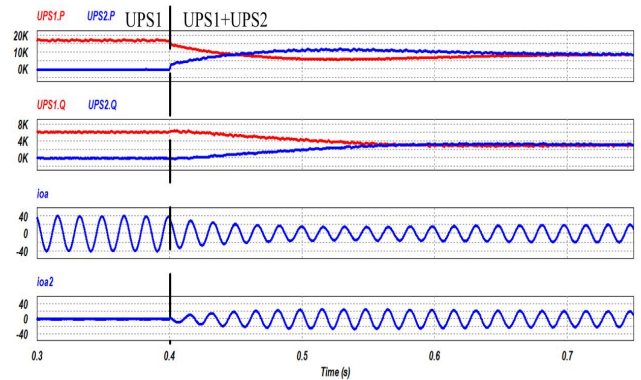


그림 7 PnP 운전시 각 UPS의 유효전력, 무효전력, 출력전류

Fig.7 Active power, reactive power, output current of UPS at PnP operation

4. 결론

본 논문은 droop 제어기를 적용한 3상 UPS의 병렬 제어 알고리즘을 제안하고 기존의 droop 제어기를 적용한 UPS의 PnP 운전시 순환전류가 흐르는 문제점을 분석하고 PnP가 가능한 droop 제어기를 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 부하증가시, PnP 운전시, 각각의 UPS가 출력전류의 크기와 위상이 동일하고 동등한 부하분담이 이뤄지는 것을 확인하였다. 최종 논문 발표시 실험을 통해 본 논문의 제어기법을 검증하겠다.

참고 문헌

- [1] J.M. Guerrero, L. Garcia de Vicuna, and J. Uceda, "Uninterruptible power supply systems provide protection," IEEE Ind. Electron. Mag., vol. 1, no. 1, pp. 28-38, 2007.
- [2] N. Pogaku, M. Prodanovic, and T. C. Green, "Modeling, analysis and testing of autonomous operation of an I inverter based microgrid", IEEE Trans. Power Electron., vol. 22, no. 2, pp. 613-625, Mar. 2007.