3상 4선식 UPS 인버터의 2-병렬운전

지준근*, 꽁섬낭*, 구대관**
순천향대학교*, (주)브이씨텍**

2-parallel operation of inverters in 3-phase 4-wires UPS

Jun Keun Ji*, Samnang Kuong*, Dae Kwan Ku**
Soonchunhyang Univ.*, VCTech**

ABSTRACT

본 논문에서는 3상 4선식 UPS 인버터에 대한 저항성 수하 제어 방식 병렬운전 알고리즘을 제안하고, PSIM 시뮬레이션을 통해서 제안된 병렬운전 알고리즘과 강인 전압제어기를 적용한 2병렬 UPS 인버터의 운전 결과를 제시한다. 3상 UPS 인버터 2대로 병렬운전 환경을 구축하였고, 주파수 전압 강하 방식의 저항성 수하 제어를 이용하여 저항 부하, 유도성 부하, 비선형 부하에 대한 전력분담을 확인하였다.

1. 서 론

최근 전원 환경에 민감한 데이터 센터, 공장 같은 중요 부하에 대한 안정적인 전원을 공급하기 위해 무정전전원장치(Uninterruptible Power Supply ; UPS)가 널리 쓰이고 있다. 특히, 부하의 증가에 따라 UPS의 병렬운전이 필요하게 되었고 이에 더해 UPS로 구성된 전력망의 고장 시에도 부하에 대한 지속적인 전원 공급과 손쉬운 UPS 증설을 위해 리던던시(Redunduncy) 개념이 주로 이용되고 있다.

병렬 UPS 인버터 시스템의 제어법은 크게 통신선 방식 과 비통신선 방식으로 구분할 수 있다. 비통신선 방식은 교류 발전기의 수하제어(Droop Control)를 UPS 병렬운전에 적용한 것으로서 각개 UPS 인버터의 출력전압 및 출력전류 정보만을 이용하기 때문에 설치 지역 문제가 사라져 더 높은 신뢰성과 확장성을 가지고 있다[1].

본 논문에서는 3상 4선식 UPS 인버터에 대한 저항성 수하 제어 방식 병렬운전 알고리즘을 소개하고, 각종 부하에 대한 2 병렬 운전 시뮬레이션 결과를 보인다.

2. 3상 4선식 UPS 인버터의 병렬운전

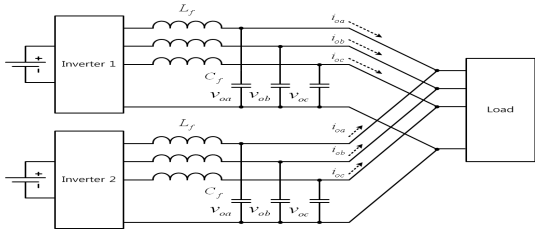

그림 1 3상 4선식 인버터의 2병렬 결선도

그림 1은 3상 4선식 인버터의 2병렬 구성을 보여준다. 인버터에서 출력하는 각 상의 순시 유무효전력은 다음 식과 같다.

$$P_{ix} = v_{ox} i_{ox} \quad (1)$$

$$Q_{ix} = v_{ox}(-90^\circ) i_{ox} \quad (2)$$

위 식 (1), (2)의 밑 첨자 x는 a, b, c상을 의미한다. 각 상의 출력 전압은 각 상과 중성선 사이의 전압으로서 출력 LC 필터의 필터 캐패시터 전압이다.

순시 무효전력을 계산하기 위해서는 전압 신호를 90도 지연시켜야 한다. 하지만 수하제어를 이용한 병렬 인버터 운전의 특성은 출력전압의 각주파수가 부하조건에 따라 변한다는 것이다. 따라서 출력전압의 주파수 변화에 적응(Adaptive)하고 정확한 90도 지연을 이루어 낼 수 알고리즘이 필요하다.

일반적으로 입력신호의 90도 지연을 시키기 위해 버퍼 메모리(Buffer Memory), 저역통과필터, 전역통과필터(All Pass Filter) 등을 쓸 수 있지만 이 방법들은 입력신호의 주파수 변화에 대한 적응이 불가능하다. 본 절에서는 주파수 적응이 가능한 SOGI QSG(Second Order Generalized Integrator Quadrature Signal Generator)를 사용한다[2].

3. 저항식 수하제어 알고리즘

3상의 총 유무효전력은 각 상의 유무효전력을 합함으로서 간단하게 구할 수 있다. 저항성 수하(Resistive Droop)제어를 적용하면 다음 식과 같다.

$$E^* = E_{nl} - m_p P_{3ph} = E_{nl} - m_p(P_{avga} + P_{avgb} + P_{avgc}) \quad (3)$$

$$\omega^* = \omega_{nl} + m_q Q_{3ph} = \omega_{nl} + m_q(Q_{avga} + Q_{avgb} + Q_{avgc}) \quad (4)$$

E^*, ω^*는 각상의 전압제어기의 지령이 되며 다음식과 같다.

$$\begin{bmatrix} v_{oa}^* \\ v_{ob}^* \\ v_{oc}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E^* \sin(\omega^* t) \\ E^* \sin\left(\omega^* t - \frac{2}{3}\pi\right) \\ E^* \sin\left(\omega^* t + \frac{2}{3}\pi\right) \end{bmatrix} \quad (5)$$

또한 수하제어에는 저항성분만 존재하는 가상 임피던스를 이용한다. 따라서 수하제어 알고리즘에서 결정된 전압 지령은 다음식과 같이 수정된다.

$$\begin{bmatrix} v_{oam}^* \\ v_{obm}^* \\ v_{ocm}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E^* \sin(\omega^* t) - R_D i_{oa} \\ E^* \sin\left(\omega^* t - \frac{2}{3}\pi\right) - R_D i_{ob} \\ E^* \sin\left(\omega^* t + \frac{2}{3}\pi\right) - R_D i_{oc} \end{bmatrix} \quad (6)$$

v_{oxm}^*은 a, b, c상의 수정된(Modified) 전압 지령이고 R_D는 제어기에만 존재하는 가상 임피던스(Resistive Only)이다.

4. 시뮬레이션 결과

본 절에서는 제안한 수하제어와 강인 전압 제어기를 이용하여 3상 4선식 3레벨 인버터의 2병렬운전 시뮬레이션 결과를 기술한다. PSIM을 이용한 이산시간 시뮬레이션을 수행하였으며 제어기는 C언어를 쓰지 않고 PSIM Digital Control Module의 블록을 이용하여 설계하였다. 시뮬레이션 상황은 시뮬레이션 시작과 동시에 2대의 UPS 인버터가 부하상태에서 병렬운전을 시작하는 간단한 상황으로만 가정하였다. 표 1은 시뮬레이션에 사용된 시스템의 파라미터이다.

표 1 3상 4선식 3레벨 인버터 2병렬 시뮬레이션의 시스템 파라미터

항목	사양
Simulation time step	1[usec]
UPS inverter topology	3 ph 4 wire 3level inverter
UPS rated output power	3[kVA] per phase
Switching device & freq	IGBT, 20[kHz]
Inverter output LC filter	1.5[mH], 10[uF] per phase
Power sharing method	Resistive $P-E, Q-\omega$ Droop
E_{nl}	311[V] (220[Vrms])
ω_{nl}	377[rad/sec] (60[Hz])
$P-E$ Droop coefficient	5.0e 4[V/W]
$Q-\omega$ Droop coefficient	5.0e 4[rad/VAR]
Virtual impedance	$R_D = 0.5$[Ohm]
Line impedance	0.0005[Ohm](Balanced)

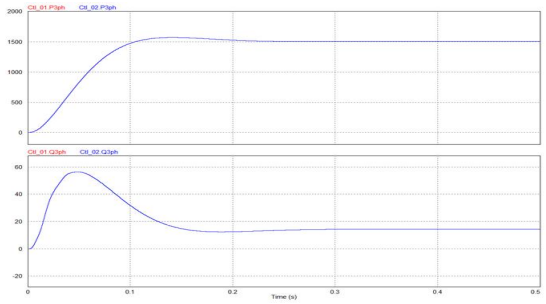

그림 2 3상 평형 저항 부하 - 평균 유무효전력

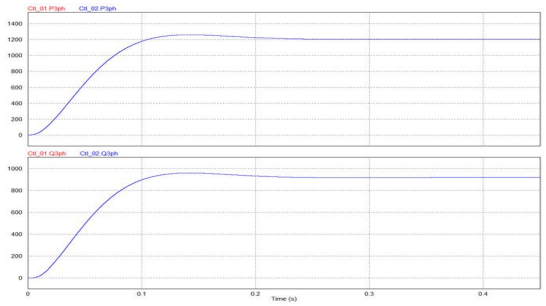

그림 3 3상 평형 유도성 부하 - 평균 유무효전력

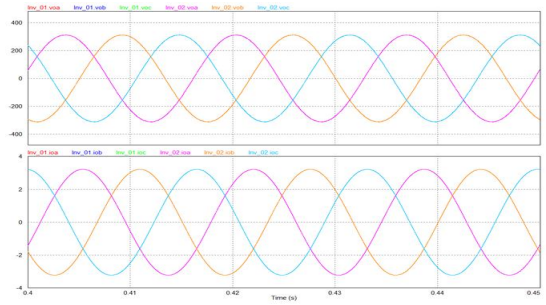

그림 4 3상 평형 유도성 부하 - 출력 전압 전류 확대

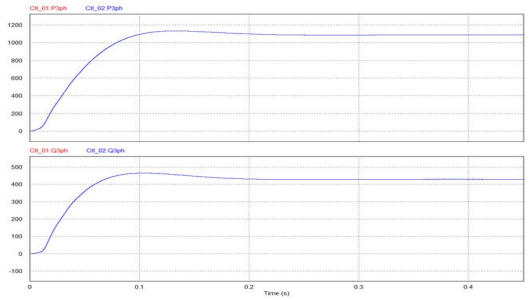

그림 5 3상 평형 비선형 부하 - 평균 유무효전력

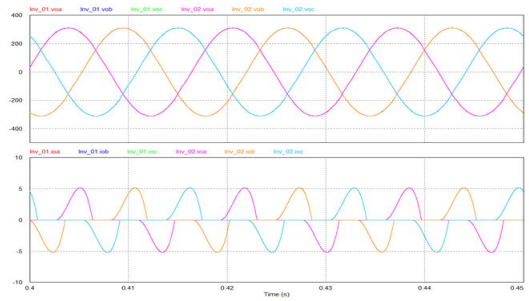

그림 6 3상 평형 비선형 부하 - 출력 전압 전류 확대

그림 2, 3, 5는 각각 3상 평형 저항 부하, 유도성 부하, 비선형 부하 조건에서 각 인버터의 평균 유무효전력을 나타낸다. 위 파형은 유효전력 아래 파형은 무효전력을 나타내고 있는데, 두 파형들이 겹쳐 있으므로 모든 부하조건에 대해 유무효전력 분담이 우수하게 되고 있다는 것을 알 수 있다.

그림 4와 6은 각각 3상 평형 유도성 부하, 비선형 부하 조건에서 UPS 인버터들의 출력 전압과 전류(부하전류)를 나타낸다. 각 그림의 위 파형은 전압을 아래 파형은 전류를 나타내는데, 인버터의 전압과 전류가 완전히 겹쳐 있는 상태이므로 우수한 성능으로 전력 분담이 되고 있다는 것을 알 수 있다. 그림 4의 전류 파형에서 유도성 부하의 특징인 전압에 대한 전류의 위상 뒤짐 현상을 확인할 수 있고, 그림 6의 전류 파형에서 비선형 부하의 특징인 영전류 구간이 나타나는 것을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 3상 4선식 UPS 인버터의 저항성 수하제어 방식 병렬운전 알고리즘을 제안하였고, 시뮬레이션을 통해서 제안된 병렬운전 알고리즘을 적용한 2 병렬 UPS 인버터 운전 결과를 제시하였다. 저항성 수하제어를 이용한 2 병렬 운전은 3상 평형 저항 부하, 유도성 부하, 비선형 부하에 대해 우수한 전류 분담 및 전력 분담 성능을 보여주었다.

참 고 문 헌

[1] J.M. Guerrero, L. Hang, J. Uceda, "Control of Distributed Uninterruptible Power Supply Systems", IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol. 55, No. 8, pp. 2845 2859, 2008.

[2] M. Ciobotaru, R. Teodorescu, F. Blaabjerg, "A New Single Phase PLL Structure Based on Second Order Generalized Integrator", PESC 2006, pp.1 6, 2006.

[3] J.M. Guerrero, MJ. atas, Luis Garcia de Vicuna, M. Castilla, J. Miret, "Decentralized Control for Parallel Operation of Distributed Generation Inverters Using Resistive Output Impedance", IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol. 54, No. 2, pp.994 1004, 2007.