

배터리 잔존용량을 고려한 단상 UPS 모듈의 병렬 운전 기법

강진욱*, 최봉연*, 김민기*, 이택기**, 원충연*
성균관대학교*, 한경대학교**

Parallel Operation Method of Single Phase UPS Module Considering Battery State of Charge

Jin-Wook Kang*, Bong-Yeon Choi*, Min-Gi Kim*, Taeck-Kie Lee**, Chung-Yuen Won*
SungKyunKwan University*, Hankyong National University**

ABSTRACT

This paper proposes parallel operation method of single phase UPS module considering the battery SOC. A master module performs output voltage control and current sharing algorithm considering battery SOC of each UPS modules. The slave modules control output current by current reference from master module. The applied parallel operation method is verified by the PSIM simulation.

1. 서론

최근 무정전 전원장치(Uninterruptible Power Supply, UPS) 시스템은 컴퓨터, 생명유지 장치 등 중요한 부하 보호를 위해 널리 적용되고 있다. 그 중 모듈 형 UPS 시스템은 유연한 확장성 및 높은 신뢰성의 이점을 갖지만 출력전압 차이로 인하여 순환전류가 발생하는 단점이 있다. 순환전류가 발생하는 단점을 해결하기 위하여 전류분배 기법이 사용된다.

기존의 전류분배 기법의 경우 UPS 모드로 동작 시 출력전류는 부하 균등 분담을 위해 균등 분할된다. 하지만 각 모듈의 배터리는 서로 다른 잔존용량(State of Charge, SOC)을 갖기 때문에 균등 방전 할 경우 SOC가 낮은 배터리의 모듈부터 운전을 정지하게 된다. SOC가 낮은 배터리 모듈의 운전 정지로 인해 전체 UPS 시스템이 부하를 감당하지 못하는 문제가 생기고 이는 UPS 시스템의 신뢰성을 낮추는 요인이 된다^{[1][2]}.

본 논문에서는 이러한 문제를 개선하기 위해 배터리 SOC를 고려한 능동 전류분배 기법을 제안하였다. 제안한 전류분배 기법은 배터리 SOC에 따라 서로 다른 출력전류 제어 지령을 산출 함으로써 배터리 간 SOC 차이를 감소시켰다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 전류분배 기법의 유효성을 검증하였다.

2. 배터리 SOC를 고려한 전류분배 기법

그림 1은 멀티모듈 단상 UPS 시스템이다. 그림 1과 같이 각 배터리의 SOC 상태가 다를 경우 제안하는 전류분배 기법을 적용하여 출력전류를 차등분배 한다. 제안된 기법은 마스터 모듈과 슬레이브 모듈로 구성된다. 마스터 모듈은 전압 제어를 수행하며 슬레이브 모듈은 전류 제어를 수행한다. 또한 마스터 모듈은 각 UPS 모듈의 배터리 SOC에 따라 전류 지령을 생성하는 전류분배 알고리즘도 수행한다.

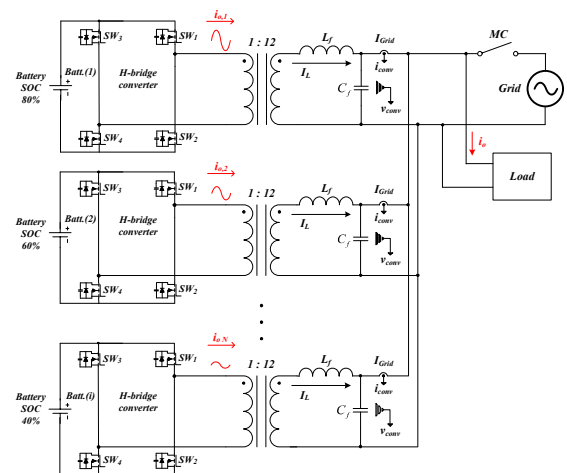


그림 1 멀티모듈 단상 UPS 시스템
Fig. 1 System of multi-module single phase UPS

2.1 SOC를 고려한 전류 지령 산출

SOC를 고려한 전류 지령 산출을 위해 각 모듈의 출력전류에 대한 수식적 분석이 요구된다.

먼저 부하에서의 소비전력은 다음의 식으로 계산된다.

$$P_o = i_o v_o = (i_{o,d} + i_{o,q}) v_o \quad (1)$$

UPS 시스템에서 공급되는 출력전류 i_o 는 유효전류 $i_{o,q}(k)$ 와 무효전류 $i_{o,d}(k)$ 로 구성된다. 각 모듈의 출력전류의 합은 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$i_o = i_o(1) + i_o(2) + i_o(3) + \dots + i_o(N) \quad (2)$$

$$= \sum_{k=1}^N [i_{o,d}(k) + i_{o,q}(k)]$$

제안된 전류분배 기법은 유효전류 지령과 무효전류 지령을 발생하기 위하여 각 모듈의 배터리 SOC를 확인한다. SOC가 고려된 전류 지령은 식 (3),(4)에 의해 생성된다.

$$i_{o,q}(i) = \frac{soc(i)}{\sum_{k=1}^N soc(k)} i_{o,q} \quad (3)$$

$$i_{o,d}(i) = \frac{1}{\left[\sum_{k=1}^N \frac{1}{soc(k)} \right]} \frac{i_{o,d}}{soc(i)} \quad (4)$$

2.2 제안하는 전류분배 알고리즘

그림 2는 배터리 모듈의 SOC를 고려한 전류분배 알고리즘이다. 각 배터리 모듈의 SOC를 측정된 뒤 i 번째 배터리 모듈을 위한 인버터의 전류 지령 $i_{q_cmd}(i)$ 와 $i_{d_cmd}(i)$ 를 생성하고 전류분배를 수행한다. 알고리즘에 의해 SOC가 높은 배터리 모듈은 출력전류가 증가하고, SOC가 낮은 배터리 모듈은 출력전류가 감소하여 배터리 모듈 밸런싱이 수행된다. 전류분배 알고리즘 수행 도중 생성된 전류 지령 $i_{q_cmd}(i)$ 와 $i_{d_cmd}(i)$ 가 인버터가 출력 가능한 최대전류에 도달하면 출력전류를 제한한다. 이후 출력이 제한되지 않은 배터리 모듈을 이용하여 출력전압 유지 및 밸런싱 알고리즘 수행을 이어간다.

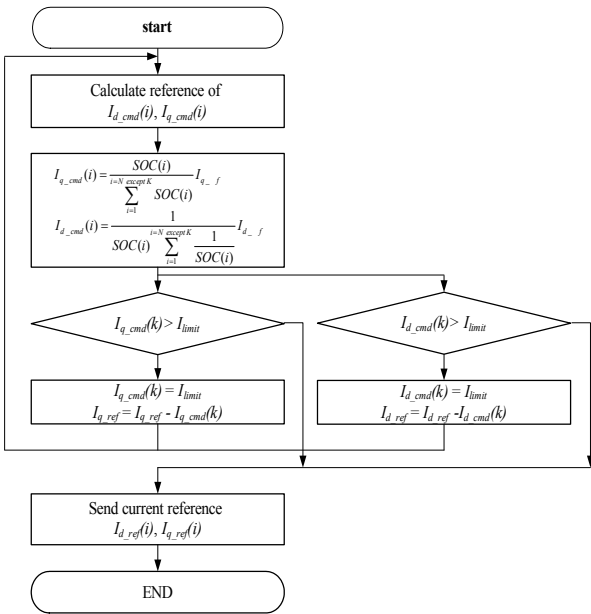


그림 2 배터리 SOC를 고려한 전류분배 알고리즘
Fig. 2 Current sharing algorithm considering the battery SOC

3. 단상 UPS 모듈의 전류 제어

그림 3은 단상 UPS 모듈의 제어 블록도로 전압 제어루프와 전류 제어루프로 구성되고 마스터 모드와 슬레이브 모드로 동작한다. 마스터 모드 동작에서는 UPS 모듈의 전압 제어루프를 실행한다. 그 결과 전류 지령 i_{q_ref} 와 i_{d_ref} 가 발생하고 마스터 모듈은 제안된 전류분배 알고리즘을 수행함으로써 각 UPS 모듈을 위한 전류 지령을 생성한다.

슬레이브 모드 동작 시 모든 슬레이브 모듈의 전압 제어루프는 활성화되지 않고 마스터 모듈로부터 발생된 전류 지령을

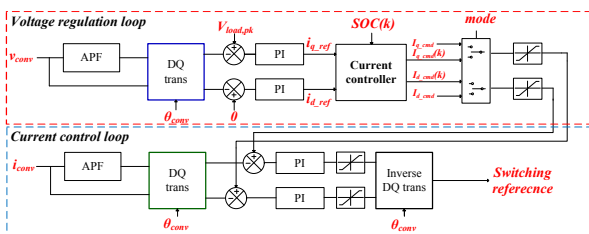


그림 3 멀티모듈 단상 UPS 시스템의 제어 블록도
Fig. 3 Control block diagram of multi-module single phase UPS system

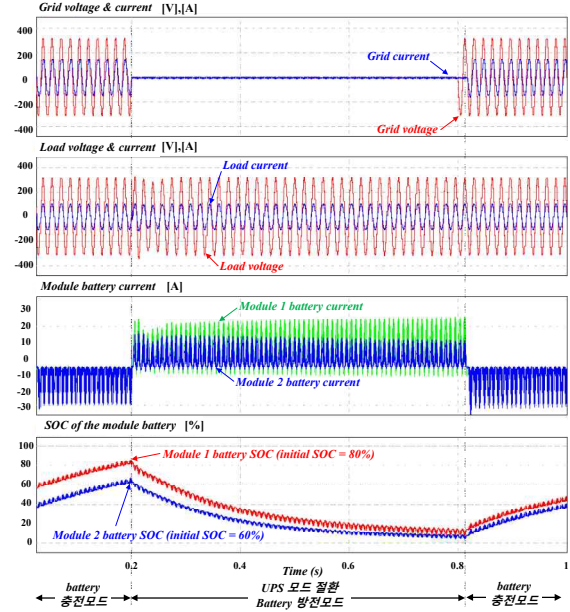


그림 4 제안된 전류분배 기법을 적용한 UPS 시스템의 주요 파형
Fig. 4 Key waveform of UPS system using the proposed current sharing method

추종하는 전류 제어루프만 활성화 된다. 전류 제어루프에 의해 각 배터리 모듈의 SOC 차이는 감소하게 된다.

4. 시뮬레이션

그림 4는 제안된 전류분배 기법을 적용한 멀티모듈 단상 UPS 시스템의 시뮬레이션 파형으로 두 개의 UPS 모듈을 사용하였다. UPS 모드로 전환 시 모듈 1의 배터리 SOC는 80%이고 모듈 2의 배터리 SOC는 60%이다. UPS 동작 중 제안하는 전류분배 기법에 의해 SOC가 높은 모듈 1의 배터리가 SOC가 낮은 모듈 2의 배터리보다 더 많은 전류를 부하로 공급한다. 이로 인해 배터리 모듈의 SOC 차이가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 배터리 잔존용량을 고려한 단상 UPS 모듈의 병렬 운전 기법을 제안하였다. SOC를 고려한 전류 지령을 산출하기 위해 인버터의 출력전류를 수식화 하였고, 이를 이용한 전류분배 기법의 타당성을 시뮬레이션으로 검증하였다.

본 연구는 2014년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원 (No. 20124010203300)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

참고 문헌

- [1] L. R. Yu, Y. C. Hsieh, W. C. Liu and C. S. Moo, "Balanced Discharging for Serial Battery Power Modules with Boost Converters", ICSSE 2013, pp. 449-453, 2013 July.
- [2] S. P. Hsu, C. L. Lin and J. Y. Wu, "Balancing Charge/Discharge Management for Series/Parallel Battery Pack", ICIEA 2012, pp. 613-618, 2012, July.