

직렬 멀티모듈 UPS 시스템의 배터리 밸런싱 알고리즘

박정민*, 이순령*, 전진용**, 여태정**, 원충연*
성균관대학교*, 삼성전자**

Battery Balancing Algorithm for Serial Multi-Module UPS System

Jung Min Park*, Soon Ryung Lee*, Jin Yong Jeon**, Tae Jung Yeo**, Chung Yuen Won*
Sungkyunkwan University*, Samsung Electronics**

ABSTRACT

본 논문에서는 직렬 멀티 모듈형 무정전 전원 장치(UPS, Uninterruptible power supply) 시스템의 배터리 밸런싱 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 배터리의 고유 특성에 의한 SOC(State of charge) 차이를 최소화시키기 위해 각 배터리의 출력전력 제어를 함으로써 배터리 가용 용량을 높인다. 직렬로 연결된 UPS 모듈의 배터리 전압을 이용하여 전력 지령을 계산하고 이를 바탕으로 각 UPS 모듈의 출력전력을 제어한다. 제안한 배터리 밸런싱 알고리즘의 타당성은 수학적 분석 및 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

1. 서 론

UPS 시스템은 전원의 안정화 및 정전사고 대응 등에 사용된다. 부하의 용량이 증가함에 따라 UPS 용량 또한 증가해야 한다. 하지만 기존의 단상 UPS 시스템의 경우 부하 용량증가에 따른 UPS 증설에 많은 제약을 받게 된다. 이를 보완하기 위해 직, 병렬로 연결된 모듈형 UPS 시스템이 제안되었고, 배터리 모듈이 증가할수록 인버터 2차 측에 연결된 변압기의 턴수비는 낮아져 변압기 크기를 줄일 수 있다. 하지만 각 UPS 모듈에 포함되는 배터리 모듈 간 SOC 차이가 발생하는 단점을 갖는다^{[1][2]}.

본 논문에서는 비교적 가격이 높은 BMS(Battery management system)를 배제한 배터리 간 전압 차를 이용하는 밸런싱 제어로 UPS 시스템의 가용 용량을 증가시키는 알고리즘을 제안하였다. 배터리 전압 밸런싱 제어를 위한 배터리 출력전력 제어를 통해 배터리 SOC 차를 감소시켰다. 제안한 알고리즘의 타당성은 수학적 분석 및 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

2. 직렬 멀티모듈 UPS 시스템

2.1 직렬 UPS 시스템

직렬 멀티 모듈 UPS 시스템의 기본 동작에 대해서는 그림 1과 같다. 계통과 연결된 UPS 시스템은 평상시 충전상태로 동작한다. 계통 전압의 이상 발생 시 스위치 SW_{grid} 에 의해 계통과 연결은 차단되고 UPS 모드로 동작하게 된다. 계통 차단 후 UPS 모듈은 부하에 안정적으로 전력을 공급하기 위해 계통 주기의 1/4 시간 이내에 동작하여야 한다.

배터리는 동일한 제품과 조건에서 충·방전 하더라도 배터리 고유 특성에 의해 배터리 모듈 간의 SOC 차가 발생하게 된다.

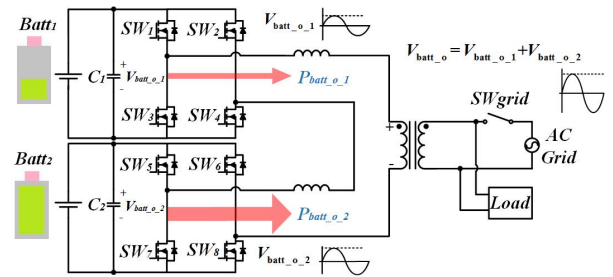


그림 1 직렬 멀티모듈 UPS 시스템
Fig. 1 Serial multi-module UPS system

UPS 동작 중 각 배터리 모듈의 SOC를 고려하지 않고 방전 시 SOC 가용 범위를 넘게 되면 직렬로 연결된 배터리 모듈은 방전을 멈추어 전체 시스템의 동작이 정지된다.

이를 방지하기 위해 본 알고리즘은 각 배터리 모듈의 전압을 측정하여 UPS 모듈의 출력전압 지령치를 계산하고 이를 바탕으로 배터리 전압 밸런싱 제어를 수행한다. 본 알고리즘은 그림 1과 같이, 상대적으로 배터리 전압이 높은 배터리 모듈2는 인버터 출력전압을 높여 방전량을 증가시키고, 반대로 배터리 전압이 낮은 배터리 모듈1은 인버터 출력전압을 낮추어서 방전량을 감소시킨다. 이러한 밸런싱 기법을 통해 배터리 모듈 간 전압 차를 최소화한다.

2.2 배터리 SOC에 의한 출력전압 결정

제안한 알고리즘은 배터리 전압을 이용하여 출력전압 지령을 산출한다. V_{batt_o} 는 N개의 모듈 출력 전압의 합과 같다.

$$V_{batt_o} = V_{batt_{o,1}} + V_{batt_{o,2}} + \dots + V_{batt_{o,N}} \quad (1)$$
$$= \sum_{k=1}^N V_{batt_o}(k)$$

i번째 모듈에 대해 각 인버터의 최대 출력 지령전압 $V_{ref_{o,i}}$ 는 다음의 식 (2)와 같이 계산된다.

$$V_{ref_{o,i}} = \frac{V_{batt}(i)}{\sum_{k=1}^N V_{batt_o}(k)} V_{order} \pm (V_{batt_{max}} - V_{batt_{min}}) \quad (2)$$

$V_{batt_{max}}$ 와 $V_{batt_{min}}$ 은 각각 배터리 모듈 중 최대 전압값과 최소 전압값을 나타낸다.

2.3 제안하는 배터리 밸런싱 알고리즘

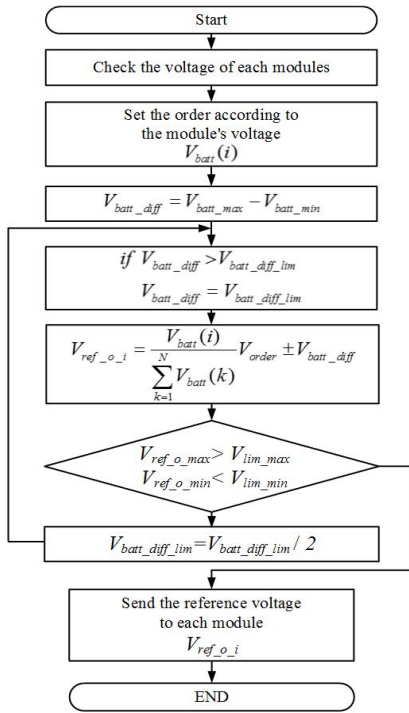


그림 2 제안한 배터리 밸런싱 알고리즘
Fig. 2 Proposed battery balancing algorithm

각 모듈의 배터리 전압을 고려한 배터리 밸런싱 알고리즘은 그림 2와 같다. 만약 V_{batt_max} 와 V_{batt_min} 의 차 V_{batt_diff} 가 제한값 $V_{batt_diff_lim}$ 이상일 경우, 지령전압 $V_{ref_o_i}$ 는 해당 배터리의 출력전압보다 높아지는 경우가 발생할 수 있다. 이는 배터리의 출력전압이 정격전압보다 높아져 과방전을 야기한다. 이러한 과방전을 막기 위해 임의의 제한값 $V_{batt_diff_lim}$ 를 설정하여 배터리 전압 차 V_{batt_diff} 가 일정값 이상이 되는 것을 제한한다.

마스터 UPS 모듈은 제안한 알고리즘 수행 후 각 모듈의 기준 전압 $V_{ref_o_i}$ 를 계산하고 이를 각 슬레이브 모듈에 전달한다. 이를 바탕으로 슬레이브 모듈은 출력전압을 결정하고, 따라서 각 배터리 간의 잔존용량 차이는 최소화된다.

3. 시뮬레이션

시뮬레이션은 2개의 UPS 모듈이 직렬로 연결되어 충전상태로 동작 중 $T=0.3[s]$ 에서 계통과 차단되어 UPS모드로 동작됨을 가정하였다. 시뮬레이션은 PSIM을 이용하여 수행하였고, 각 파라미터값은 표 1과 같다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Simulation parameter

| 파라미터 | 모듈 1 | 모듈 2 |
|-------------------------|----------|----------|
| Power | 280 [W] | 300 [W] |
| Rated battery voltage | 50 [V] | 50 [V] |
| Initial Battery SOC | 95 [%] | 100 [%] |
| Switching frequency | 20 [kHz] | 20 [kHz] |
| Transformer turns ratio | 1:10 | |
| Grid cut off | 0.3 [s] | |

표 1를 이용하여 정격전압 50[V], SOC 차는 5[%]로 배터리

모델링에 적용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 그림 3은 제안한 알고리즘을 적용하여 계산된 지령전압을 통해 각 배터리 모듈별 전압의 제어상태를 나타내고 있다. $T=0.3[s]$ 을 기준으로, 이전의 시스템은 충전상태로 동작 한다. 기준 점 이후, 계통 차단이 발생하고 시스템은 UPS상태로 동작한다. 그림 3과 같이 UPS는 계통 차단 후 1/4주기 이내인 1.46[ms]내에 동작하여 부하에 전력이 공급되는 것을 확인하였다.

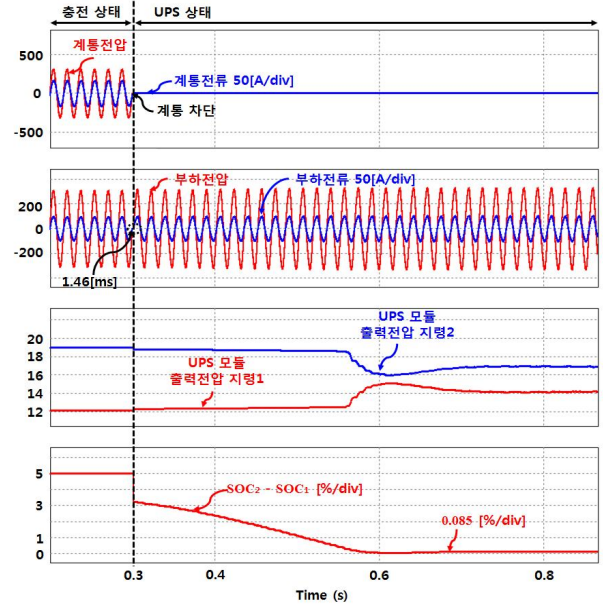


그림 3 배터리 밸런싱 알고리즘 적용 결과 파형
Fig. 3 Simulation result using battery balancing algorithm

또한 그림 3과 같이 각 UPS 모듈 간의 지령전압과 배터리 모듈 간의 SOC 차는 제안하는 밸런싱 알고리즘을 통해 줄어든다. 최종적으로 두 모듈의 SOC 차는 기존 5%에서 약 0.085%로 감소됨을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 직렬 멀티모듈 UPS 시스템의 배터리 밸런싱 알고리즘을 제안하였다. 배터리 전압에 따른 출력 전압 지령을 수직화 하였고, 이를 적용한 알고리즘의 타당성을 확인하였다. 제안한 알고리즘은 2개의 UPS 모듈을 이용한 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

이 논문은 삼성전자(주) 연구비 지원에 의하여 연구되었습.(No. IO131217 01110 01)

참고 문헌

[1] Y.C. Hsieh, S.P. Chou, C.S. Moo, "Balance Discharging for Series connected Batteries", in IEEE 2004, pp. 2697-2702, June, 2004.
[2] L.R. Yu, Y.C. Hsieh, W.C. Liu, C.S. Moo, "Balanced Discharging for Serial Battery Power Modules with Boost Converters", in ICSSE 2013, pp. 449-453, July, 2013.