

Droop Control을 적용한 BESS 병렬운전 제어 알고리즘

오승진, 김태형, 권병기
포스코 ict

A parallel control algorithm using droop control for Bess Energy Storage System(BESS)

Oh Seung Jin, Kim Tea Hyong, Kwon Byong Gi
POSCO ICT

ABSTRACT

BESS를 대용량화 하기 위하여 병렬운전에 관련하여 많은 연구가 진행 중이다. 병렬운전 알고리즘의 제어 목표는 인버터 간의 순환전류를 제거하고, 부하 분담이 균등하게 하는 것에 있다. 이를 위하여 연구되었던 방법 중 전압 제어와 전류 제어의 인버터를 결합한 Master-Slave 방식은 통신을 통하여 정확한 부하분담이 가능하지만 통신 지연 발생시 과도상태에 과전류가 발생 할 수 있다는 단점을 갖는다.

본 논문은 독립된 계통에서 BESS가 병렬운전 중 스텝부하 투입시 통신 지연 시간 동안의 과도상태에서 과전류가 발생하지 않도록 하는 Droop Control을 적용한 제어 알고리즘을 제안한다.

1. 서 론

화석 에너지 고갈과 환경문제가 대두 됨에 따라 태양광, 풍력, 연료전지 등과 같은 신재생에너지 사용이 급격하고 증가하고 있다. 이러한 신재생에너지 중 태양광, 풍력 같이 발전량 제어가 힘든 재생에너지를 기존 전력망에 연계하기 위해서는 BESS와 같이 에너지 충전과 방전이 가능한 에너지 저장 시스템이 필요하다. 또한, BESS는 계통과 연계시 뿐 아니라, 계통에 사고 발생시 또는 도서 산간지역과 같이 전력망이 없는 경우에도 재생 에너지와 연계되어 지속적인 충방전을 통해 부하에 안정적인 전력을 공급할 수 있어야 한다.

대용량의 BESS를 운용하기 위한 병렬운전의 제어 목표는 인버터 간의 순환전류를 제거하고, 부하 분담이 균등하게 이루어지는 것이다. 대표적인 제어 방법으로는 Centralized Control, Circular Chain Control, Average Load Sharing, Master-Slave 방식 등의 통신을 이용한 병렬제어기법^[1]과 Wireless 방식으로 주파수 및 출력전압 수하 특성을 이용한 병렬제어 방식이 있다.

본 논문은 BESS가 계통과 연계되지 않고 독립된 계통에서 전압원 소스로 동작하며 병렬운전을 수행한다. 병렬운전 기법 중 Master-Slave 방식에 대하여 과도상태 성능 향상을 위한 알고리즘을 제안한다. 제어 알고리즘의 타당성을 확인하기 위하여 Psim 시뮬레이션을 통하여 BESS를 4병렬로 구성하여 성능을 검증하였다.

2. 병렬운전 제어기법

다음 그림1은 기본적인 BESS 구성도를 나타낸 것이다.

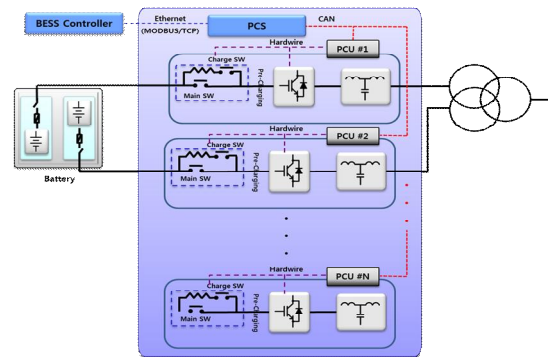


그림1. BESS 구성도

BESS는 인버터와 초기 충전 회로 등 전장품을 제어하는 PCU(Power Conversion Unit)와 병렬 구성된 PCU를 통합적으로 관리하는 PCS(Power Conditioning System), 그리고 상위 제어기인 BESS Controller와 배터리를 관리하고 모니터 하는 BCS(Battery Control System)으로 구성되어 있다.

Master-Slave 병렬운전 기법은 병렬 구성된 PCU 중 하나가 전압제어(Master)를 수행하여 기존 전력망을 대체하는 역할을 수행하고, 다른 나머지 PCU는 Master에서 출력되는 전압을 기준으로 위상과 주파수를 동기화 하여 전류 제어(Slave)를 수행한다. 여기서 전류제어를 수행하는 Slave의 역할은 부하분담을 위한 것으로 Master를 포함한 전체 PCU에서 출력되는 전력량이 CAN 통신을 통해 PCS에 전달되고, PCS는 이 값들을 합하여 BESS가 출력 해야 하는 전체 총합을 계산한 후 적절한 부하를 분담 위하여 이를 전류 지령치로 환산하여 통신을 통해 Slave에 전달하게 된다.

이상적인 경우 BESS에 부하가 연결되는 순간 Slave에 부하 분담을 위한 전류 지령치가 전달 되지만, 실제 시스템에서는 통신 지연과 연산 시간으로 인하여 짧은 시간이나마 Slave는 부하가 투입되어도 반응하지 못하는 시간이 존재하게 된다. 이 시간 동안에는 Slave가 동작하지 않기 때문에 Master에서 전체 부하에 해당하는 전력을 공급해야 한다. 예를 들어 4병렬 구성인 경우 정격의 25%의 스텝부하가 연결될 경우 Master는 100%의 출력을 내야하고, 25% 이상의 부하가 연결될 경우 정격보다 큰 전력을 출력 해야 하기 때문에

과전류가 발생한다. 이 과전류는 전장품을 손상을 가져 올 수 있을 뿐 만 아니라, 과전류 고장 검출 레벨 이상이 감지될 경우 BESS는 시스템 보호를 위해 동작을 멈추게 된다. 그렇게 되면 BESS를 통해서 전력을 공급 받고 있는 모든 부하에는 정전상태가 된다. 이를 해결하기 위하여 출력전류를 감지하여 PCU 출력 전압에 반영하는 Droop Controller를 개발하였다. Master는 전압제어, Slave는 전류 제어를 수행하다가 각각의 PCU 출력전류가 설계해 놓은 기준치를 초과 하게 되면 그 값을 인버터 제어 기준치에 반영하여 즉각적으로 출력 전압을 감소시켜 실제 출력에는 과도한 전류가 발생하지 않도록 제어하는 알고리즘이다. 다음은 제한한 알고리즘의 제어 블록도를 전력회로와 같이 나타낸 것이다.

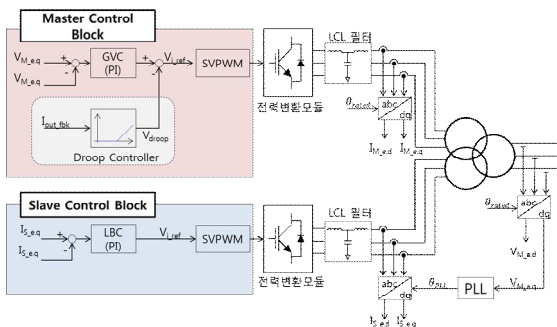


그림2. 제어 블록도

다음은 출력 전류에 따른 Droop 전압을 그래프로 나타낸 것으로 출력전류가 0.5pu 이상부터 Droop Controller가 동작하고 1.0pu에서 전압을 0.12pu 만큼 감소시킨다. 이는 계통 허용 전압 변동률 범위 안에 있는 수치이다. 출력 전류가 1.0pu를 넘어가면 BESS fault를 방지하기 위해 출력 전압을 급격하게 낮추는데 이는 선택사항이기는 하지만 독립운전에서 BESS가 동작을 멈추면 정전이 발생하기 때문에 fault를 회피 할 수 있도록 알고리즘을 적용하였다.

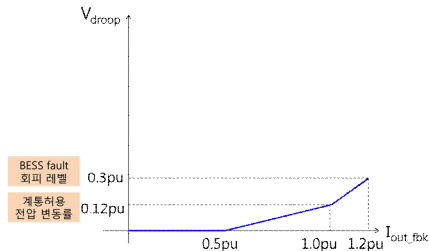


그림3. Droop Voltage 그래프

다음은 시뮬레이션 결과로써 시스템에 통신 지연이 없을 경우 부하 투입 후에도 과전류 발생 없이 안정적인 동작을 보이지만 실제 시스템과 같이 통신 지연요소를 반영하면 Master는 과전류를 출력하게 된다.



부하투입 & 전류지령시점



그림3. 통신지연이 없는 시스템



그림4. 통신지연을 반영한 시스템

다음은 통신 지연이 있는 상태에서 정격부하를 투입한 시뮬레이션으로 Droop Controller를 이용하면 통신지연이 있다 하더라도 시스템에 과전류 없이 안정적인 동작을 보이는 것을 확인 하였다.

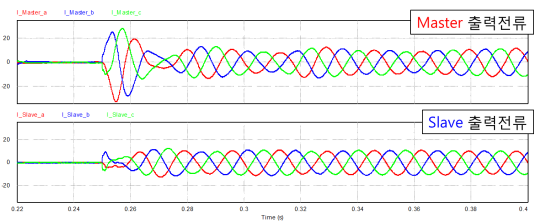


그림5. 기존의 Master-Slave방식 출력전류

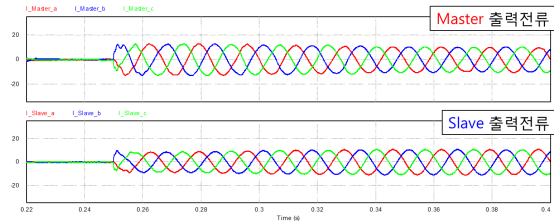


그림6. 제안한 Master-Slave방식 출력전류

3. 결론

본 논문은 병렬로 구성된 BESS가 독립운전중 스텝부하가 연결 되었을 때 과전류 발생 없이 안정적으로 병렬운전이 가능함을 확인 하였다. 이로써 시스템 안정성이 향상되고 정격부하를 동작시에 필요한 용량 과설계가 불필요하게 되어 가격 경쟁력을 가질 수 있게 된다.

참고 문헌

[1] Gurrero, J.M, de Vicuna, L.G. ; Uceda, J “Uninterruptible power supply systems provide protection” IEEE Ind. Electron. Mag., vol. 1, no. 1, pp. 28–38, 2007