

DC 급전용 100[kW]급 분산 제어기반 모듈형 ESS 개발

윤여영, 김홍성, 정재기
한빛이디에스(주)

Development of 100[kW] Decentralized Control-Based Modular ESS for DC distribution system

Yeo Young Yoon, Hong Sung Kim, Jae Kee Jeong
Hanbit EDS CO., Ltd

ABSTRACT

최근 환경 문제 및 화석 에너지의 고갈과 맞물려 신재생 에너지를 사용하는 DC 출력형 분산전원 시스템이 증가 일로에 있으며, 이에 따라 교류 급전시스템보다 에너지 변환 효율이 높은 직류 급전 시스템에 대한 연구개발이 활발히 이뤄지고 있다. 본 논문에서는 유지 보수의 용이성을 확보한 Hot Swap 구조형식의 DC 급전용 100[kW]급 분산 제어기반 모듈형 ESS[Energy Storage System]의 개발에 관한 것이다. 실제 33[kW]급 모듈 3대로 구성된 100[kW]급 시스템을 제작하여 전압제어 실험, 병렬운전실험 및 Hot Swap 안정성 실험 등을 수행하였다.

1. 서론

지구 온난화 및 환경문제와 맞물려 DC 출력형 분산전원 시스템의 수요 증가 및 최근 일본 경제산업성의 조사에 따르면 IT기기 전력소비량이 현 5%에서 2025년 12.5% 2050년에는 50%로 증가가 예상된다.^[1] 이러한 현상들에 대응하는 해결책으로 전력을 직류로 공급하는 DC 급전시스템이 주목을 받으며, DC 급전시스템 도입이 활발하게 진행되고 있다. AC 급전시스템에 비해 DC 급전시스템이 갖는 장점으로는 신재생 에너지와 간단한 연계 가능, AC 급전시스템이 갖고 있는 문제점인 동기화, 안정도, 무효전력 소모 등을 해결할 수 있는 장점, DC 급전시 AC/DC 변환 회수의 감소로 인해 AC 급전 계통에 비해 약 4~15[%]대의 전력 손실 감소 기대 효과 등이 있다. 일반적인 DC 급전 시스템은 단방향 DC 출력형 분산전원시스템인 태양광 PCS, 연료전지 PCS와 배터리 및 슈퍼캐패시터를 양방향 전력원으로 하는 ESS로 구성된다. DC 급전시스템에서 ESS는 단방향 DC 출력형 태양광 PCS와 부하의 전력의 균형을 맞춰주는 Power Equation 측면에서 필요하다.^{[2][3][4]}

분산제어기반 모듈형 ESS는 각각 모듈이 직류 급전시스템의 직류 전압을 제어함에 있어서, 센서의 오차, 제어기의 오차 및 선로 임피던스에 의해서 제어하는 직류 전압에 오차가 발생하게 된다. 이에 따라 필연적으로 직류 급전망에 순환전류가 흐르게 되어 시스템 전체에 손실을 주며, 또한 연계되는 기기에 여러 가지 악영향을 줄 수 있다. 개발한 DC 급전용 100[kW]급 분산제어기반 모듈형 ESS는 이러한 문제점을 해결하기 위해 Droop 제어기법을 사용하여 전압제어를 수행한다. Droop 제어기법 장점으로는 각 모듈간 통신이 필요하지 않으며, DC 급전

시스템에 발생하는 순환전류를 억제해 주므로 높은 안정성과 신뢰성 확보가 가능하다. 또한 DC 급전시스템에 다른 전원이거나 부하가 추가 되어도 영향을 받지 않으며, AC 계통 연계 상태인 경우 AC 계통에 사고 발생시에도 안정적인 전력 운용이 가능한 장점이 있다.^[5] 또한 Hot Swap 기능이 가능한 구조형식으로 제작하여 시스템 유지보수 용이성을 확보하였다.

2. 본론

2.1 시스템 전력 회로 구성

DC 급전용 100[kW]급 분산 제어기반 모듈형 ESS 전력회로 구성을 그림 1에 나타내고 있다. 전력회로는 2상한 초퍼를 이용하여 모듈 형태로 구성 하였으며, 각각 모듈의 용량은 33[kW] 급으로 총 3대로 구성되어 있다. 양방향 전력원으로는 배터리를 사용하였다.

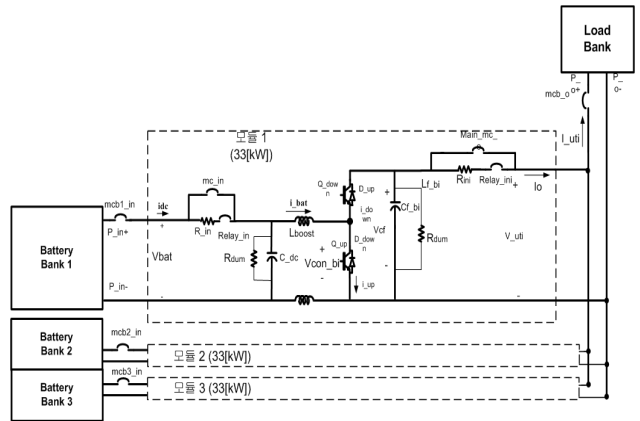


그림 1 DC 급전용 분산 제어기반 모듈형 ESS 전력회로
<math>V_{uti_nominal} : 510[V]>

2.2 시스템 디지털 제어기 구성

본 논문에서는 DC 급전 계통에 전력을 공급하는 시스템의 출력전압(그림1에서 V_{uti})을 제어하기 위해 그림 2와 같이 Droop Controller, PI제어기, Power Balance Equation, Modulator로 구성된 제어기를 설계하였다. 모듈별로 전압 제어 시 여러 요인에 의해 발생하는 순환전류에 의한 문제점을 Droop Controller를 사용해 해결 하였다. 제어기 H/W는 TI사의 TMS320F28335로 제작하여, 입출력 과전류 및 과전압 보호 기능 등을 구현하였다.

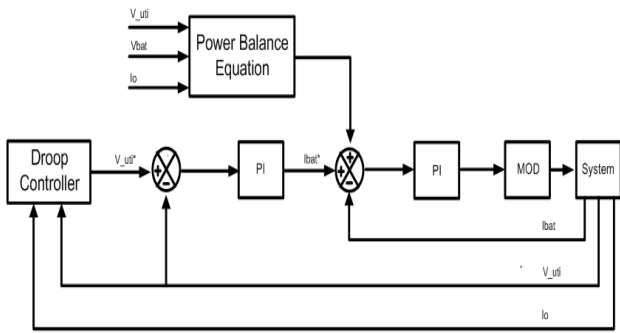


그림 2 DC 급전용 분산 제어기반 모듈형 ESS 제어 블록선도

2.3 Hot Swap 기능구현

시스템 동작중인 상태에서 시스템 각각 모듈에 이상 발생시 시스템 전원을 차단하지 않고 각 모듈별로 전원을 차단하여 이상이 발생한 모듈을 교체 및 제거 할 수 있는 Hot Swap 기능이 구현 가능하도록 시스템 H/W를 설계하였다.

3. 실험결과

표 1은 실험에 사용된 시스템 파라미터 값 들을 나타낸다.

표 1 시스템 파라미터 값

System Parameter	Value
Lboost	400[uH]
C_dc	3300[uF]
Cf_bi	6600[uF]
f_s : 스위칭 주파수	10[KHz]



그림 3 DC 급전용 분산 제어기반 모듈형 ESS 병렬운전 실험 파형

$V_{uti}[100V/div], I_{uti}[50A/div], I_o[50A/div]$

그림 3은 DC 급전용 분산 제어기반 모듈형 ESS 병렬운전 실험 파형이다. Point A부터 Point B까지 순차적으로 부하를 증가시킨 실험 파형이다. V_{uti} 는 분담하는 Power가 증가함에 따라 순차적으로 감소함을 확인 할 수 있으며, I_{uti} 와 I_o 파형을 확인해 보면 각 모듈별로 부하 분담이 균등하게 이뤄지고 있음을 확인 할 수 있다. Point B와 Point C에서는 부하를 100% > 0%, 0% > 100%로 변화시키면서 과도상태 특성을 확인하였다. 실험결과 오버슈트는 12V(2.36%)였으며, 언더슈트는 8V(1.71%)로 측정되었다.

그림 4는 시스템 Hot Swap 기능 안정성 실험 파형이다. V_{uti} 는 DC 급전 시스템 계통 전압이며, I_{uti} 는 시스템에서 부하로 흐르는 전체 전류를 나타내며, I_o 는 모듈 1대의 출력 전류를 나타낸다. 그림 4의 Point A는 부하 상태가 0[kW] >

52[kW](전압 510[V] 기준)로 변하는 시점이다. V_{uti} 는 P가 증가함에 따라 감소함을 확인 할 수 있으며, 전체 시스템 출력전류 I_{uti} 와 모듈 1대당 출력 전류 I_o 를 비교해 보면 부하 분담이 1/3 씩 균등하게 잘 이뤄지고 있는 것을 확인 할 수 있다. 그림 4에 Point B는 모듈 1대가 운전 중 정지하는 시점이다. V_{uti} 파형을 확인 하면 각 모듈이 분담하는 Power량이 증가함에 따라 V_{uti} 전압 감소 및 오버/언더 슈트가 거의 없음을 확인 할 수 있다.



그림 4 Hot Swap 기능 실험 파형
 $V_{uti}[100V/div], I_{uti}[50A/div], I_o[50A/div]$

4. 결론

본 논문에서는 DC 급전시스템에서 태양광, 풍력, 연료전지와 같은 신재생 에너지원이 갖고 있는 문제점을 해결하여 DC 급전시스템의 안정성을 확보 할 수 있는 DC 급전용 100[kW]급 분산 제어기반 모듈형 ESS를 제안하였다. 각 모듈별로 전압 제어시 발생 하는 순환전류로 인한 문제점을 보완하기 위하여 Droop Controller를 포함한 제어기를 설계하여 시스템의 각 모듈 출력전압을 제어하였으며, TI사 DSP TMS320F28335를 이용하여 디지털 제어기를 구현하였다. 병렬 운전실험을 통해 부하 변동시 각 모듈별로 부하 분담이 균등히 일어남을 확인 하였으며, 과도 상태시 오버/언더슈트가 5[%] 이내임을 확인 하였다. 또한 Hot Swap 기능 안정성도 실험을 통해 확인 하였다. 실험 결과를 통해 개발한 DC 급전용 분산 제어기반 모듈형 ESS가 직류 급전시스템에 적용 가능함을 확인 하였다.

이 논문은 중소 기업청(S1059426) 기술 혁신 개발 사업의 연구비 지원에 의하여 연구 되었음

참고 문헌

- [1] 전준영, 김종수, 최규영, 신승민, 김동희, 우동균, 이병국, 진현철 “ 5kW급 가정용 DC 급전 시스템 Test Bed 설계” 전력 전자학회 2010년도 추계 학술대회 논문집 2010.11
- [2] “分散電源による特定區域への直流多端子配電システム構成の研究開発,” 株式会社日立製作所 보고서, 2004.
- [3] 한병문, 이지현 “DC 마이크로그리드의 동작해석 시뮬레이션 모델” 전력전자 학회지 2010.04.
- [4] 정재현, 노의철, 김홍근, 전태원 “마이크로그리드의 에너지 저장장치” 전력전자학회지, 제15권 제2호 2010.04
- [5] 이지현, 정종규, 차민영, 오승진, 김종원, 한병문 “분산전원과 에너지저장을 사용한 직류급전 시스템의 Autonomous Operation을 위한 Droop 제어” 대한전기학회 전기기기 및 에너지 변환시스템 부문회 추계 학술대회 논문집 2010.10.