

Hot-Swap 가능한 모듈라 ESS용 DC-DC 컨버터의 과도 상태 분석

노준호, 이광운
목포해양대학교 전자공학과

Transient-State Analysis of DC-DC Converter for Modular ESS Supporting Hot-Swap

Jun Ho Noh, Kwang Woon Lee

Department of Electronic Engineering, Mokpo National Maritime University

ABSTRACT

본 논문에서는 Hot Swap 가능한 모듈라 ESS용 DC DC 컨버터에서 ESS 모듈의 Hot Swap 과정에서 발생하는 과도상태에 대해 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 분석을 하고, 과도상태에서 과전류를 저감할 수 있는 방법에 대해 제시하고자 한다.

1. 서론

신재생 에너지의 보급이 확대됨에 따라 계통시스템에 안정적으로 전력을 공급할 수 있는 BESS(Battery Energy Storage System)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 신재생 에너지 발전의 단점인 불안정한 전력 공급을 보완할 수 있는 BESS는 전력 생산 시에는 배터리에 전력을 저장하고, 계통시스템에 전력을 공급할 시에는 배터리를 통하여 일정한 전력을 공급함으로써 전력 공급의 안정성을 확보할 수 있다.^[1] 최근에는 BESS에서 안정적으로 전력을 공급 받을 수 있는 Hot Swap 가능한 BESS에 관심이 모아지고 있다. Hot Swap을 지원하는 BESS는 운전 정지 없이도 내부 모듈을 교체할 수 있어 유지 보수의 용이성 확보라는 장점을 가진다.^[2,3]

Hot Swap을 지원하는 BESS는 용량에 따라 그 구성이 다르다. 일반적으로 대용량 BESS에서는 배터리와 컨버터로 구성된 전력 저장 및 변환 모듈을 병렬로 구성하고, 저용량 BESS에서는 직렬로 구성한다. 직렬형 Hot Swap BESS의 경우 Hot Swap 과정(배터리 및 전력 변환 모듈이 추가 또는 제거되는 과정)에서 계통 연계 인버터의 직류 단과 모듈라 컨버터 사이에 전압 차가 순간적으로 발생하여 과전류를 발생시키며, 이 과전류에 의해 BESS의 운전이 정지될 수도 있다. 따라서 본 논문에서는 직렬형 Hot Swap BESS에서 Hot Swap 시에 발생하는 과도 상태를 시뮬레이션을 통해 분석하고 과도 상태에서 발생하는 문제점을 보완할 방법을 제시하고자 한다.

2. Hot-Swap 가능한 직렬형 모듈라 ESS

2.1 Hot-Swap 가능한 직렬형 모듈라 ESS의 구성

Hot Swap 가능한 직렬형 모듈라 ESS의 구성은 그림 1과 같다. 배터리를 포함하는 양방향 DC DC 모듈라 컨버터를 직렬방식으로 연결하여 계통 연계 인버터와 전력을 주고받는 구조이다. 각각의 모듈라 컨버터에는 그림 1과 같이 Hot Swap 스위치 모듈이 연결되어 있다. Hot Swap 스위치 모듈의 상위

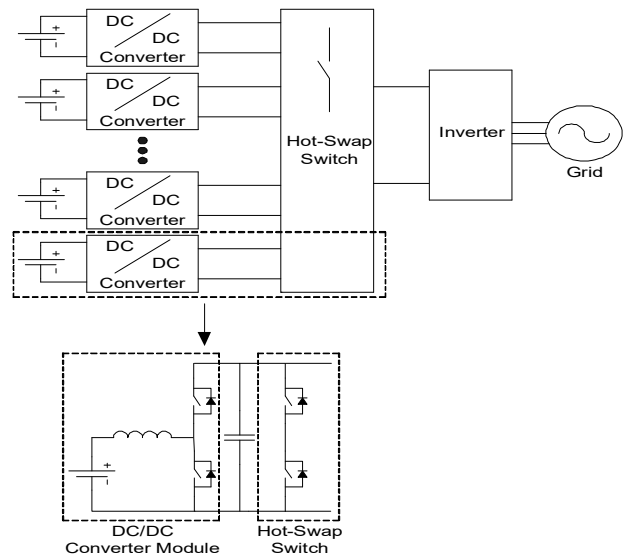


그림 1 Hot-Swap 가능한 직렬형 모듈라 ESS의 구성
Fig. 1. Configuration of serial modular ESS supporting Hot-Swap

스위치가 켜지면 해당되는 모듈라 컨버터가 연결이 되고 하위 스위치가 켜지면 해당되는 모듈라 컨버터가 제거된다. 특정 모듈라 컨버터에 연결된 배터리의 교체가 필요한 경우 전체 시스템의 정지 없이도 Hot Swap 스위치 모듈을 통해 해당되는 모듈을 교체할 수 있다.

3. Hot-Swap 과도 상태 분석

3.1 Hot-Swap 과정

Hot Swap 과정에 발생하는 과도 상태를 분석하기 위해 그림 2와 같이 PSIM 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였고 시뮬레이션에 필요한 제어 상수들은 표 1과 같다. 각각의 배터리의 출력 전압은 33[V]이고, 각각의 DC DC 컨버터는 배터리를 방전시키는 Boost모드로 동작하며 출력 전류는 2[A]이다. Hot Swap 과정에 발생하는 돌입전류를 억제하기 위해서 인버터 DC Link 단에 인덕터를 추가하였고, DC Link 커패시터는 470[uF], 전압은 240[V]로 제어하였다. Hot Swap은 $t = 0.1[s]$ 에 4번째 DC DC 컨버터 모듈을 방전 중에 Hot Swap 스위치 모듈의 하위 스위치를 Turn On하여 수행하였다.

표 1 시뮬레이션에 사용된 파라미터 값
Table 1 The values of parameters used in simulation

Rated Voltage of Battery Module	33 [V]
Discharging Current of Battery Module	2 [A]
DC-Link Capacitor (DC/DC)	470 [uF]
DC-Link Capacitor (Inverter)	470 [uF]
Bandwidth of Current Controller (DC/DC)	628 [rad/s]

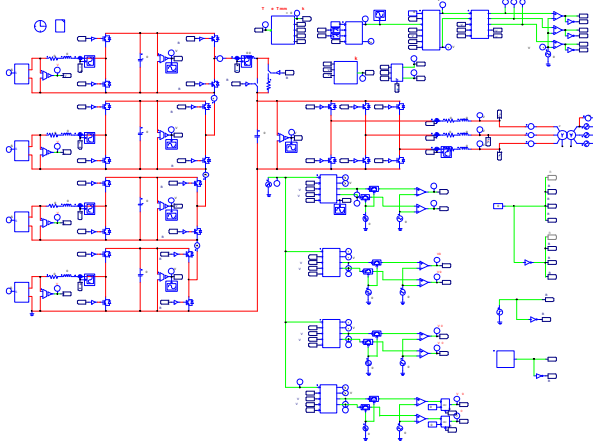


그림 2 시뮬레이션 회로 구성
Fig. 2. Circuit configuration for simulation

3.2 Hot-Swap 시뮬레이션 결과

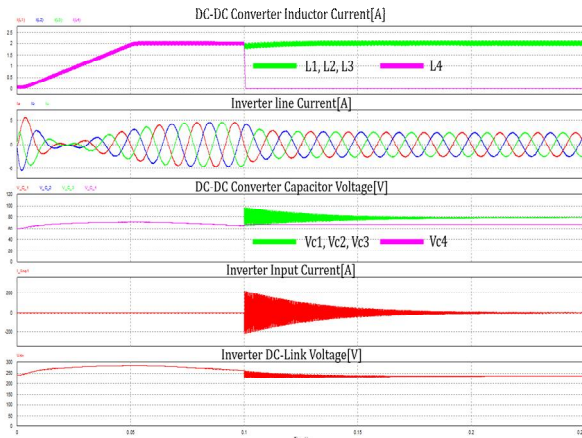


그림 3 Hot-Swap 시뮬레이션 결과
Fig. 3. Hot-Swap simulation results

그림 3은 그림 1의 Hot Swap BESS에서 배터리가 방전 동작을 하고 있을 때 4번째 DC DC 컨버터 모듈이 순간적으로 시스템에서 제거되는 경우에 대한 시뮬레이션 결과 파형이다. 그림 3으로부터 순간적인 전압 변동으로 인해 DC DC 모듈라 컨버터와 계통 연계 인버터 사이의 L과 C 회로에 공진이 발생함으로 알 수 있다. 이러한 공진은 과도한 전류를 발생시켜 시스템의 동작을 멈추게 하는 요인이 된다.

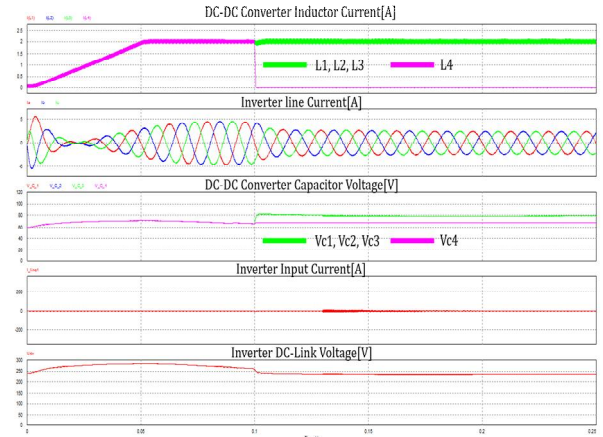


그림 4 제안된 방식의 Hot-Swap 시뮬레이션 결과
Fig. 4. Hot-Swap simulation result of the proposed method

3.3 제안하는 Hot-Swap 수행 방식 및 시뮬레이션 결과

Hot Swap시 발생하는 DC DC 모듈라 컨버터와 계통 연계 인버터 사이의 LC 공진을 억제할 목적으로 Hot Swap 과도 구간에서만 양방향 스위치를 이용하여 저항이 회로에 추가되도록 시스템을 구성하였다. 그림 4는 Hot Swap 과도 상태에서만 저항이 추가되는 경우에 대한 시뮬레이션 결과로서, 그림 3의 경우에 비해 공진으로 인한 과전류가 발생하지 않음을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 직렬형 BESS의 Hot Swap 과정을 시뮬레이션 하였고, Hot Swap 시에 발생하는 과도 상태의 문제점들을 분석하였다. 이에 대해 본 논문에서는 Hot Swap시 발생하는 문제점들을 보완할 수 있는 Hot Swap 수행 방식을 제시하였다. 제안된 방식은 저항을 이용하기 때문에 저항의 손실로 인하여 전력 손실이 발생하기 때문에 단점이 존재하며, 앞으로 이에 관한 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 20162010104490)

참고 문헌

- [1] 윤용범, "에너지저장장치(ESS)의 전력계통 적용", 전기의 세계, Vol. 63, No. 10, pp. 20 25, 2014.
- [2] Mukherjee, Nilanjan, Dani Strickland, and Mina Abedi Varnosfaderani. "Adaptive control of hybrid battery energy storage systems under capacity fade", EPE Journal, Vol. 25, No. 4, pp. 25 33, July 2017.
- [3] N. Mukherjee and D. Strickland, "Modular ESS with second life batteries operating in grid independent mode," in 2012 3rd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), 2012, pp. 653 660, June 2012.