

병렬 연결된 대용량 리튬 배터리 모듈의 기동전류 예측 연구

이성준¹, 김종훈², 박종후³, 하미림⁴, 송현철⁴

조선대학교 기계시스템·미래자동차공학부¹, 충남대학교², 숭실대학교³, 한화테크윈⁴

Starting current estimation of the parallel connected large capacity battery modules

Seongjun Lee¹, Jonghoon Kim², Joung-hu Park³, Mirim Ha⁴ and Hyun-Chul Song⁴
Chosun University¹, Chungnam National University², Soongsil University³, Hanwha Techwin⁴

ABSTRACT

본 논문에서는 대용량 배터리 모듈이 병렬 연결되어 있는 에너지 저장장치 시스템의 초기 기동 조건시 투입 초기의 전류를 추정할 수 있는 방법을 제시한다. 제안된 방법은 배터리 모듈을 구성하고 있는 리튬 배터리 모듈의 단자 전압 및 배터리 모듈 저항 데이터를 이용하여 병렬 연결하고자 하는 배터리의 전류를 예측하는 방법으로써 배터리 모듈의 기동 투입 가능 여부 등 온·오프 시퀀스 로직에 적용할 수 있다.

1. 서론

환경오염 및 에너지의 효율적인 사용을 위해 신재생 에너지 및 친환경 전기자동차가 활성화되고 있어, 이에 따른 대용량 에너지 저장장치의 사용이 지속적으로 증가되고 있다. 이러한 대용량의 리튬 배터리는 일반적으로 그림 1과 같이 배터리 단위 셀이 직렬 연결된 고전압 배터리 모듈이 병렬 연결된 구조로 제작되고 있다. 그러나 고전압 대용량 배터리 모듈을 DC 링크에 연결하기 위해서는 배터리 모듈간의 에너지 충전 상태가 특정 범위에 있어야 병렬 연결을 위한 고전원 릴레이를 온(On) 시킬 때 과도한 순환 전류가 발생하지 않게 된다. 또한 배터리를 사용하는 도중에 기존 차단되어 있던 배터리 모듈을 신규로 투입하거나 교체하고자 하는 경우(Hot-swap)에 부하 전류의 크기 및 배터리 모듈의 현재 상태를 고려하여 배터리 모듈의 투입 시기가 결정되어야 한다.

따라서 본 논문에서는 고전원 릴레이가 포함된 배터리 모듈을 DC 링크에 연결할 때 배터리 및 릴레이의 최대 전류 사양 내에서 연결할 수 있는 부하 조건에 따른 배터리의 전압 범위에 대해서 연구한다.

2. 배터리 모델링 및 전류 예측

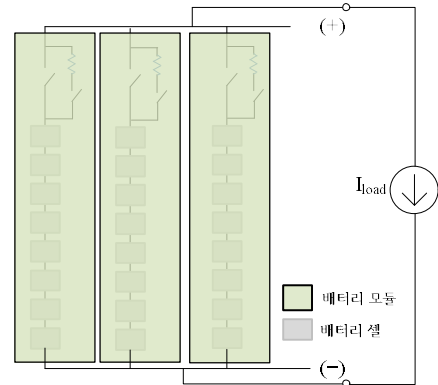


그림 1. 고전압 대용량 리튬 배터리 뱅크 구조

Fig.1 Structural configuration of the high voltage and large capacity lithium battery bank

2.1 배터리 모델링

리튬 배터리의 배터리 셀은 그림 2와 같이 전기적 등가회로로 모델링된다^[1]. 배터리가 안정화되어 있는 상태에서 배터리가 DC 링크에 연결되는 경우 그림 2의 빨간색 점선(Starting)의 경로를 따라 전류가 흐르기 때문에 기동 전류의 피크값을 예측하기 위해서는 그림 2의 직렬 저항(R_i)에 대한 정보가 필요하다.

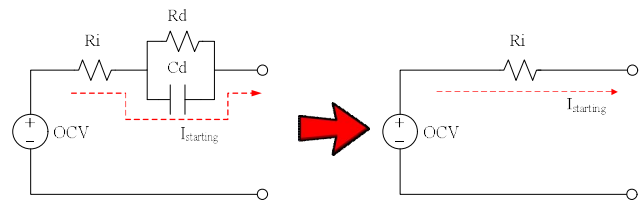


그림 2. 배터리 셀의 전기적 등가 모델링 및 초기 기동전류 흐름

Fig.2 Electrical modeling of the battery cell and starting current of the battery

2.2 배터리 뱅크 등가 모델링

배터리 모듈 $N+1$ 개가 병렬 연결된 에너지 저장장치 시스템에서 배터리 모듈 1개가 DC링크(DC-버스)에서 차단되어 있고 나머지 배터리 모듈들은 DC링크에 연결되어 있는 경우를 고려한 전기적인 등가회로는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.

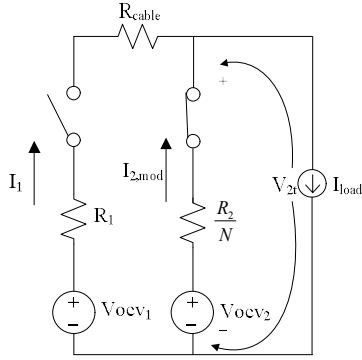


그림 3 배터리 모듈 1개가 배터리 뱅크에 연결되는 경우의 등가회로
Fig.3 Electrical circuit for connecting a new battery module

N개의 배터리 모듈이 병렬 연결된 등가회로는 그림 3의 가운데 브랜치로서 Vocv2와 R2의 회로로 모델링할 수 있고, 신규 추가되는 배터리 모듈은 왼쪽 브랜치로서 Vocv1과 R1의 회로로 모델링할 수 있다. 배터리 모듈 1이 차단된 상태에서는 가운데 브랜치가 부하전류 전체를 부담하지만, 배터리 모듈 1이 연결되는 경우에는 배터리 모듈간 에너지 충전상태에 따른 충전 순환전류 외에 부하 전류를 전체 배터리 뱅크가 부담해야 한다. 따라서 배터리 모듈 1이 연결되는 경우 부하전류의 크기 및 에너지 충전상태의 차이에 따라 배터리 모듈 자체 또는 고전압 릴레이의 전류 사양을 초과하는 피크 전류가 순간 흐를 수 있기 때문에 기동 전류를 예측하여 안전한 범위에서 운용될 수 있도록 관리할 필요가 있다.

배터리 모듈 1이 연결되는 순간의 기존 연결된 배터리의 단자 전압 크기, 신규로 연결되는 배터리 모듈의 전류 크기는 (1)-(4)의 식으로 예측할 수 있다. 따라서 식 (5)의 조건과 같을 때 배터리 모듈을 신규로 연결 가능하게 된다. 이때, I_{max}는 식 (6)과 같이 배터리 모듈 자체 및 릴레이의 전류 사양을 고려한 피크 전류 제한값이다.

$$v_{ocv2} = v_{2r} + \frac{R_2}{N} I_{load} \quad (1)$$

$$I_1 = \frac{(v_{ocv1} - v_{ocv2}) + \frac{R_2}{N} I_{load}}{R_1 + \frac{R_2}{N} + R_{cable}} \quad (2)$$

$$I_{2,mod} = I_{load} - I_1 \quad (3)$$

$$I_2 = I_{2,mod} / N \quad (4)$$

$$\text{if } (fabs(I_1) \leq I_{max}) \&\& (fabs(I_2) \leq I_{max}) \{ \\ \text{Flag_Hot_Swap} = 1; \\ \} \quad (5)$$

$$I_{max} = \min(I_{bat,max}, I_{relay}) \quad (6)$$

3. 시뮬레이션 결과

배터리 모듈 10개가 뱅크를 이루는 구조의 대용량 에너지 저장장치를 대상으로 제안된 방법을 모의 실험한다. 배터리 뱅크의 시뮬레이션 모델은 그림 4와 같이 구성하였다.

그림 5는 배터리 모듈 2~10번 모듈이 부하전류를 공급하고 있는 도중에 배터리 모듈 1을 2초 ('릴레이 On 시점')에 연결한 경우에 대한 모의 실험 결과를 나타낸다. 이때 배터리 모듈의 I_{max}는 50A로 설정되어 있고, 식 (5)로부터 모듈이 연결

가능한 조건으로 판정되어졌다. 모의 실험 결과로부터 배터리 모듈의 최대 전류 설정값인 50A 전류크기 이내에서 모든 배터리 모듈이 동작하는 것을 확인할 수 있다.

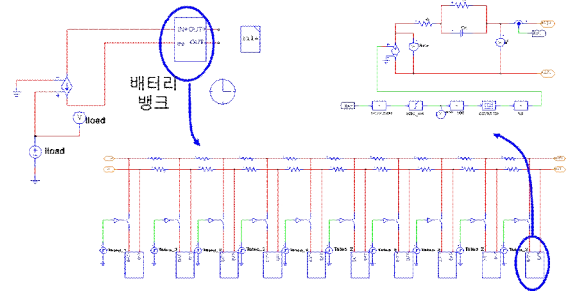


그림4 배터리 뱅크 시뮬레이션 모델 구성

Fig.4 Simulation model of the Li-Battery bank

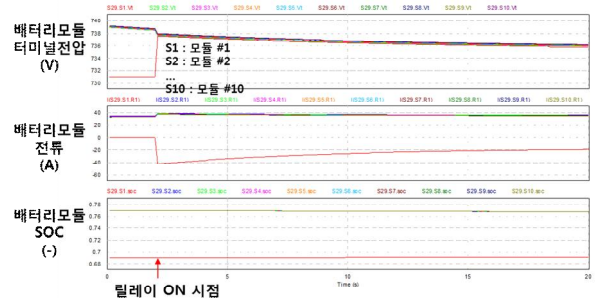


그림5 배터리 모듈 1의 릴레이 On 시점에서 배터리 모듈의 전류분포

Fig.5 Current distribution of the battery modules

4. 결론

본 논문에서는 대용량 배터리 모듈이 병렬 연결되어 있는 에너지 저장장치 시스템의 초기 기동 전류 추정 방법을 제시하였다. 제안된 방법은 배터리 뱅크의 초기 충전 시퀀스 및 핫스왑(hot-swap) 등의 배터리 관리장치 로직 알고리즘으로 적용될 수 있다.

참고 문헌

- [1] Seongjun Lee, Jonghoon Kim, and B.H.Cho, "Maximum pulse current estimation for high accuracy power capability prediction of a Li-Ion battery", Microelectronics Reliability, Vol. 55, No. 3-4, pp. 572-581, 2005, Feb.