

LTO 배터리 팩 기반 수동 셀 밸런싱을 이용한 모듈 밸런싱 방안 연구

배영민*, 이평연, 백인수, 김종훈*
 충남대학교 에너지저장변환연구실*

Research on module balancing using passive cell balancing of LTO Battery pack

Young-Min Bae, Pyeong-Yeon Lee, Insu Baek, Jonghoon Kim*
 Energy Storage Conversion Lab., Chungnam National University*

ABSTRACT

본 논문은 기존 수동 셀 밸런싱 회로와 배터리 관리 시스템의 구조를 통하여 수 많은 셀들로 이루어진 배터리 팩의 밸런싱을 맞추는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 각 모듈 배터리의 전압을 제어할 수 있는 제어기를 포함시켜, 이를 통한 셀 밸런싱 동작을 가능하게 하였으며, CAN통신을 이용하여 전체 셀을 원하는 전압 레벨로 맞추는 동작을 가능하게 하는 프로토콜을 구성하였다. 이를 통해 실제 배터리 팩의 불균형을 인위적으로 모사하여 제안하는 밸런싱 동작에 대한 테스트를 진행하였다. 제안한 방법의 검증 결과로써 셀 레벨에서 약 115mV의 전압 차이가 1mV로 줄어들었다. 이를 통해 모듈간의 밸런싱 동작을 확인하였다.

1. 서론

리튬이온 배터리는 높은 용량과 에너지 밀도, 낮은 자가 방전의 특징을 가지고 있어, 다양한 어플리케이션 영역에서 에너지원으로써 사용된다. 전기자동차(EV; Electric Vehicle)와 에너지저장장치(ESS; Energy Storage System)와 같은 어플리케이션은 높은 전압과 고용량의 에너지 밀도를 요구한다. 따라서, 단일 배터리 셀을 직렬 및 병렬 연결하여 모듈을 만들고 최종적으로 배터리 팩을 만들어 사용한다. 수 많은 셀로 이루어진 배터리 팩은 지속적인 충전 및 방전이 진행되면서 제조 공정상의 오차, 내부 임피던스의 편차, 구조에 따른 열 불균형 등과 같이 다양한 이유로 셀 간 편차가 나타나게 된다. 이러한 셀간 편차로 인해 배터리 팩 내 셀들은 서로 다른 전압 레벨을 가진다^[1]. 배터리 팩 셀 간의 전압 차이는 배터리가 충전 및 방전할수록 증가하며, 이는 배터리의 유효 수명과 가용 용량에 상당한 악영향을 미친다. 따라서 배터리 팩을 구성하는 모든 셀 간의 전압을 동일하게 유지하기 위해 배터리 팩 내의 각 배터리 셀 전압을 지정된 작동값 내로 유지하기 위한 전압 이퀄라이저가 필수적으로 포함되어야 한다^[2].

이러한 셀간 불균형을 해소하기 위한 이퀄라이저는 저항을 이용하여 다른 셀보다 높은 에너지를 갖는 셀의 초과에너지를 열로 발산하여 동작시키는 수동 셀 밸런싱 방법(Passive cell equalizer)과 동일하게 초과에너지를 이용하여 낮은 배터리로 전달하는 능동 셀 밸런싱 회로(Active cell equalizer)로 나누어진다^[3]. 현재까지는 회로를 구성하는 비용의 문제와 어플리케이션에서의 공간의 협소함으로 인하여 주로 수동형 셀 밸런싱이 사용되고 있다.

ESS에서는 배터리 셀을 묶어 모듈로 구성하고, 모듈을 묶어 배터리 랙으로 제작한다. 제작된 배터리 랙의 구성을 통해 ESS가 설치되며, 모듈간 혹은 랙간의 불균형이 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 추가적인 회로를 구성하여 모듈 혹은 랙 간의 전압 편차 문제를 해결할 수 있지만, 이는 비용의 증가를 야기한다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 기존 밸런싱 회로와 추가적인 CAN통신 프로토콜을 이용하여 전체 모듈 혹은 랙의 불균형을 해소하는 방식의 시스템을 구성하고 실험을 수행하였다.

2. 지정 전압 기반 모듈 명령 밸런싱

2.1 배터리 관리 시스템의 하드웨어 구성

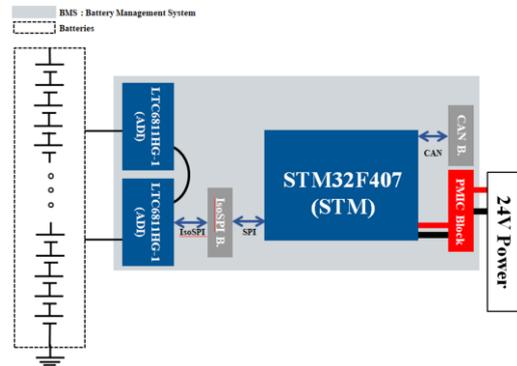


그림 1 배터리 관리 시스템의 블록다이어그램

Fig. 1 Block diagram of battery management system

배터리 관리 시스템은 배터리 팩 내부의 셀 전압, 온도, 전류와 같은 측정 정보를 수집하고 이를 기반으로 배터리 팩을 안전하게 사용할 수 있도록 도와준다. 해당 시스템을 구성하기 위해 그림 1의 블록 다이어그램과 같이 회로를 구성하였다. 사용된 MCU는 STM의 STM32F407이고, BMC는 ADI의 LTC6811HG-1을 사용하였으며, 이를 제어하기 위해 IsoSPI transceiver인 LTC6820를 사용하였다. LTO배터리의 낮은 전압 레벨에 맞추어 밸런싱 FET는 Vgs(th)가 낮고, Rds(on)이 낮은 Infineon의 IRLML6401로 구성하였고, 에너지를 소비하는 저항은 1W급의 33옴의 저항을 사용하여 회로를 구성하였다. 외부와의 통신을 위해 ADI의 CAN isolation transceiver인 ADM3053BRWZ를 이용하여 통신 회로를 구성하였다. PCB별 CAN Address를 다르게 구성하기 위해 8채널의 DIP타입 스위치를 사용하여 최대 256개의 주소를 설정할 수 있도록 회로를 구성하였다.

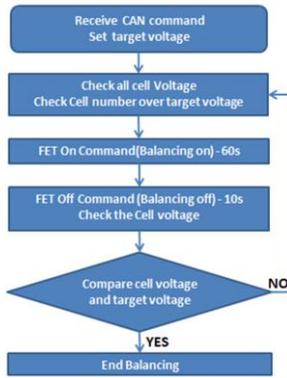


그림 2 명령 밸런싱 동작 플로우차트

Fig. 2 The flowchart of command-balancing

2.2 제안하는 모듈 명령 밸런싱의 동작 및 테스트 환경

그림 2는 수동 셀 밸런싱의 동작에 대한 플로우 차트를 나타낸다. CAN통신 프로토콜을 통해 지정 PCB에서 측정하는 배터리의 정보를 얻을 수 있고, 지정 전압과 명령 밸런싱을 진행할 수 있다. CAN 통신을 통하여 명령 밸런싱을 송신하였을 때, 각 셀의 전압과 목표 전압을 비교하고 전압이 높은 셀의 위치를 기억한다. 해당 위치 데이터를 활용하여 BMIC인 LTC6811의 밸런싱 FET를 켜 수동 셀 밸런싱이 동작하도록 명령한다. 해당 동작에서 BMIC의 내부 타이머가 존재하여 이를 설정한 시간만큼 밸런싱이 진행되고 타이머가 0이 되었을 때, 밸런싱 FET을 끄고 셀 밸런싱을 멈춘다. 이후, 배터리의 전압 데이터를 다시 읽어 배터리 전압과 목표 전압을 비교하고 밸런싱 동작을 계속할지 결정한다. 최종적으로 지정된 전압까지 에너지를 소모하여 목표 전압값과 측정 오차를 포함한 전압값이 되도록 밸런싱 동작을 반복하며, 결과적으로 해당 배터리 팩 내부의 단 셀의 전압 레벨이 동일하게 된다.

표 1 테스트에 사용된 주요 자재

Table. 1 Critical components of test

구분	품명	제조사
LTO Battery	E20, 20Ah, 2.35V	Grinergy
BMIC	LTC6811HG-1#PBF	ADI
MCU	STM32F407VG	STM

Table 1은 테스트에 사용된 주요 소자를 나타낸다. 테스트는 5개의 직렬 셀로 연결된 모듈 4개를 이용하여 총 20개의 셀로 이루어진 배터리 팩을 모사하였으며, 각 모듈의 전압은 11.276V, 11.865V, 11.869V, 11.276V이다. 가장 높은 전압을 갖는 셀의 전압 2.374V이고, 가장 낮은 전압의 셀의 전압은 2.255V이다.

2.3 모듈 명령 밸런싱 테스트 결과

그림 3은 제안된 플로우차트를 이용한 명령 밸런싱에 대한 20개의 셀의 전압값을 보여준다. 119mV의 전압 차이가 밸런싱 후에는 1mV로 줄어들었으며, 밸런싱에 소요 시간은 약 24시간이다. 그림 4는 동일한 테스트에서의 4개의 모듈 전압을 나타낸다. 최대 593mV의 높은 전압을 갖는 배터리 모듈은 명령 밸런싱을 수행하여 최종적으로는 전압 편차가 5mV로 감소되었으며, 해당 결과를 통하여 모듈간의 불균형이 해소되었음을 확인할 수 있다.

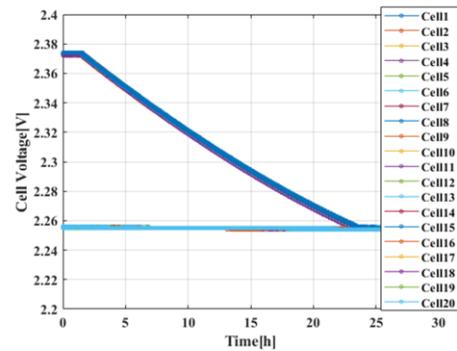


그림 3 커맨드 밸런싱 테스트 결과 - 셀 전압,

Fig. 3 Results of Command-balancing experiment-Cell voltage

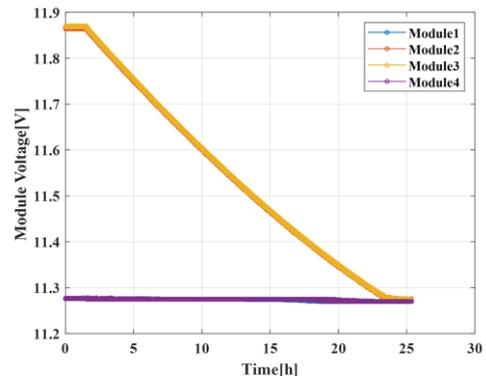


그림 4 커맨드 밸런싱 테스트 결과 - 모듈 전압

Fig. 2 Results of Command-balancing experiment-Module voltage

3. 결론

본 논문에서는 상용 BMIC의 수동 셀 밸런싱 회로와 CAN 통신상의 지정 전압 밸런싱에 관련된 프로토콜을 추가하여 모듈 및 랙간의 전체 셀을 원하는 전압으로 맞추주는 BMS를 설계하고, 이를 5개의 직렬 셀로 연결된 4개의 모듈로 구성하여 테스트를 진행하였다. 인위적인 불균형을 모듈별로 모사하고 이를 해소하기 위한 목표 전압을 외부의 명령을 받아 밸런싱을 동작시켜 모듈 간 전압 불균형을 해소하였다. 향후, 이러한 밸런싱에 소요되는 시간을 감소시키기 위해 테스트 할 예정이다.

본 논문은 유라코퍼레이션의 지원(Rigid PCB Pattern Fuse 설계사양 기반 제품설계 및 설계가이드 도출)과 산업기술평가관리원의 지원으로 인지컨트롤스(No. 20015572, 전기차 급속 충전 및 고효율 운전 대응을 위한 상변화 물질 적용 배터리 팩 열관리 기술 개발)의 지원을 받아 수행되었음.

참고 문헌

- [1]Daowd, Mohamed, et al. "Passive and active battery balancing comparison based on MATLAB simulation." 2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. IEEE, 2011.
- [2]Song, Lingjun, et al. "Lithium-ion battery pack equalization based on charging voltage curves." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 115 (2020): 105516.
- [3]Das, Utpal Kumar, et al. "Advancement of lithium-ion battery cells voltage equalization techniques: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 134 (2020): 110227.