

리튬이온배터리의 셀 균등 제어방법 연구

배준우, 신현주, 전형준
현대 중공업

The Study on active cell balancing of lithium ion batteries

Jun Woo Bae, Hyun Joo Shin, Hyung jun Jeon
Hyundai Heavy industries Co., Ltd.

ABSTRACT

기본적으로 많은 인자들에 의해 영향을 받는 배터리 시스템은 일반적으로 사용 용도에 따라 단위 배터리 셀을 직렬 또는 병렬로 연결하여 하나의 배터리 모듈을 형성하고 있다. 다수개의 단위 배터리 셀을 연결하여 하나의 배터리 모듈로 사용하는 경우, 개별 셀의 활물질 및 전해액의 미소 변동, 충방전 사이클 차이, 온도의 영향에 따라 배터리 특성이 다르게 나타난다. 이러한 특성으로 인해 충전 및 방전이 진행됨에 따라 셀간의 전압 불균형 현상이 발생하고 이로 인해 배터리 수명은 급격하게 감소하여 배터리 교체와 같은 경제적 손실을 초래한다.

본 논문에서는 배터리의 성능과 안전성을 확보하기 위해 배터리 밸런싱에 관한 연구를 수행하였다. 기존의 수동적 밸런싱의 단점을 보완한 능동적 밸런싱을 사용하였고 제한한 회로의 기능 및 성능의 검증을 위해 배터리 관리 장치 보드를 설계 및 제작하여 시험한 결과 개선된 기능이 원활히 수행됨을 확인하였다.

1. 서론

급격한 산업화에 따른 석유 소비량의 증가로 기존의 내연기관의 차량을 대체하는 전기 자동차 및 에너지 운송과 관련된 에너지 저장장치에 관한 요구가 날로 커져가고 있다. 이 장치들의 동력원인 배터리의 관리 장치(Battery Management System)는 배터리의 잔존용량을 정확히 파악하고 분석함으로써 과 충전이나 과 방전과 같이 배터리에 손상을 줄 수 있는 상황을 미연에 방지하여 배터리를 최적의 동작상태로 유지시켜 배터리 수명을 연장시키기 위한 장치이다.

이번연구의 목적은 배터리 관리장치의 기능 중 셀 전압을 균등하게 하기 위한 셀 밸런싱 제어기능을 개선하는 것이다. 일반적으로 팩을 구성하는 각 배터리간 상이한 전기화학적 특성으로 인해 셀간의 전압차가 발생한다. 그 결과, 각 셀들은 상태에 따라 과충전 및 과방전이 발생하여 배터리의 노화 및 성능을 저하시키는 원인이 된다. 이러한 문제점으로 인해 배터리는 잔존량을 관리 예측하여 안정된 영역에서 사용하고 셀간의 전압편차가 발생하였을 경우 셀 전압편차를 밸런싱하여 특정 셀의 과충/과방전으로부터 배터리 관리하는 것이 무엇보다 중요해졌다.^[1] 본 연구에서는 셀 밸런싱 회로의 기능 및 성능의 검증을 위해 배터리 관리 장치 보드를 설계 및 제작하여 실험하였고 그 결과 개선된 기능이 원활히 수행됨을 확인 하였다.

이번 연구를 통해 배터리 관리장치의 핵심 기술을 확보하여 향후 수요가 예상되는 전기 자동차 및 에너지 저장장치의 시장 수요에 대처할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 본론

2.1 BMS의 목적 및 역할

BMS는 배터리 상태를 모니터링을 하여 충방전 시 과충전 및 과방전을 방지하고 셀간의 전압을 균일하게 해줌으로써 에너지 효율 및 배터리의 수명을 높여준다.

BMS는 크게 네 가지 기능을 가지고 있다. 첫째, 배터리 보호기능. 둘째, 전지 상태 측정(State Of Charge)기능, 셋째, 셀 균형화 기능(Cell Balancing), 넷째, 시스템 호환기능 및 배터리 관리시스템 상태 확인 기능(State Of Health)이다.

위 네 가지 기능을 기반으로 BMS는 대용량 배터리 또는 다량의 셀 묶음을 사용하는 여러 종류의 기기들의 정확한 에너지 상태를 측정하고 온도, 습도, 등에 대한 다양한 조건하에서 안전 확보 및 배터리 사용시간 증가와 유지비 절감을 하는 역할을 수행한다.

2.1.1 배터리 밸런싱 제어 설계 필요성

배터리의 정확한 잔존용량 추정을 위해서는 배터리의 셀 전압을 균등하게 해주는 배터리 셀 밸런싱 과정이 필요하다. 배터리는 제조공정이나 그 외의 환경적인 요소들로 인해 배터리 전압간의 셀의 불균등이 존재한다. 이런 셀전압간의 불균등으로 인해 충전과정에서 다른 셀들이 완충되기전에 가장 높은 전압의 셀이 먼저 완충됨으로써 배터리의 사용영역이 줄어들거나 과충전의 문제가 생기기도 하며, 반대로 방전과정 중에는 낮은 전압의 셀이 먼저 저 전압으로 떨어지는 경우가 생겨 전체 배터리의 수명을 저하시키게 된다. 따라서 배터리 밸런싱으로 셀 전압을 균등하게 하여 배터리의 수명저하를 방지하고 셀 잔존용량추정을 보다 용이하도록 해야한다.^[2]

2.1.2 배터리 밸런싱 회로도

셀 균등화는 크게 패시브 셀 밸런싱과 액티브 셀 밸런싱으로 나누어진다. 그림1은 셀 밸런싱 방식의 두 가지 종류의 회로도를 나타낸다. 패시브 셀 밸런싱 방식은 낮은 전압셀을 기준으로 높은 전압의 셀 전압을 감소시킨다. 이 방식은 제어가 쉽고 저가형인 반면, 전력의 회생이 불가능하여 효율이 떨어지고 밸런싱 과정에서 열이 발해하는 단점이 있다.^[3] 액티브 셀

밸런싱의 경우 전압이 가장 높은 셀로부터 전하를 받아 축적하여 전압이 가장 낮은 셀로 재분배를 하여준다. 전하의 축적과 재분배에는 콘덴서, 인덕터, 트랜스포머를 사용해서 상황에 따라 전하를 축적하고 방전 또는 재분배 하여 준다. 이 방식은 패시브 밸런싱에 비해 빠르고 에너지 효율이 좋다는 장점을 가지고 있지만 시스템의 비용이 증가하고 복잡하다는 단점을 가지고 있다.^{[4][5]}

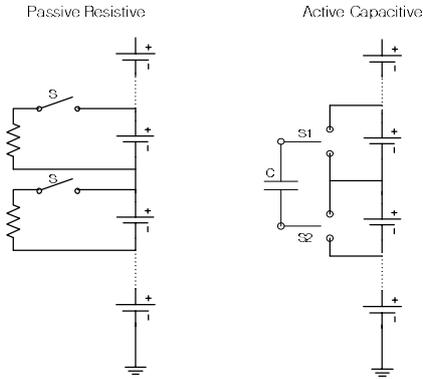


그림 1 셀 밸런스 방식
Fig. 1 Cell balance method

그림2는 본 논문에서 제안한 액티브 밸런싱 회로이다. 각각의 배터리에 병렬로 연결된 트랜스포머와 플라이백 컨버터를 사용하여 배터리 전압을 승압시켜 전체전압으로 에너지를 옮기는 방식으로 에너지 손실이 거의 없고 BMS IC의 제어선을 사용함으로써 별개의 CPU I/O라인이 필요없어 셀 균등 제어가 용이하고 셀 밸런싱이 기존 방식에 비해 빠른 특징을 나타낸다.

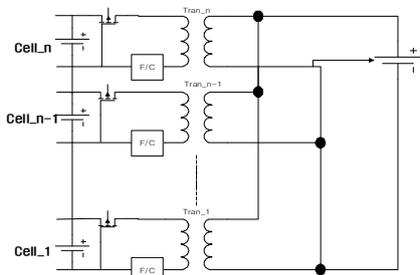


그림 2 액티브 밸런싱 회로
Fig. 2 A active balancing circuit

그림 3과4는 실제 실험에 사용된 패시브 및 액티브 밸런싱 회로를 적용한 PCB이다. 총 6개의 셀을 연결하여 실험가능하도록 하였으며 밸런싱 경과 및 결과를 PC화면에서 볼 수 있도록 하였다.



그림 3 패시브 밸런싱 PCB
Fig. 3 Passive balancing PCB



그림 4 액티브 밸런싱 PCB
Fig. 4 Active balancing PCB

2.2 실험 결과

설계한 패시브 밸런싱회로는 충전 시 특정 셀의 전압이 다른 셀들의 전압보다 클 경우, 셀과 병렬로 연결된 저항을 MOSFET로 연결하여 충전 전류를 일정부분 소모시켜 균등하게 충전시킬 수 있고 시스템이 동작 중이지 않을 경우에도 제어기만의 전원공급으로 전체 셀의 전압을 일정하게 유지시켜준다. 패시브 밸런싱 방식은 먼저 배터리 모듈의 최저 셀 전압을 구하고, 이 전압을 기준으로 다른 셀의 전압편차를 계산한다. 이 전압편차가 실험에서 기준으로 삼은 30mV이상일 경우 해당 셀의 전류를 저항으로 우회시켜 에너지를 소모하고 그 이하가 되면 밸런싱 작업을 중지하게 되어있다. 그림 5는 액티브 밸런싱이 적용된 PCB에 배터리를 직접 연결하여 밸런싱이 필요한 셀을 제어기 신호에 따라 수행하는 것을 보여준다. 두 방식 모두 그림5와 같이 밸런싱을 수행하는 셀에 대해 LED가 켜지도록 설계하였다.



그림 5 셀 밸런싱 시험
Fig. 5 Cell balancing test

셀 밸런싱 동작 조건은 패시브 밸런싱과 동일하게 셀의 평균전압 대비 30mV보다 높은 상태의 배터리를 능동적방식을 이용하여 밸런싱을 하도록 설정하였고 밸런싱 동작 시 오실로스코프를 사용하여 배터리의 전압을 확인하였다. 액티브 밸런싱 회로가 적용된 BMS는 Flyback 컨버터에 의해 1차측 트랜스포머의 V_i 는 식1이 되고

$$V_i dT_s = \frac{N_1}{N_2} V_0 (1 - D) T_s \quad (1)$$

이 식으로부터 출력 전압 V_0 은 식2로 구해진다.

$$V_0 = \frac{N_2}{N_1} \times \frac{D}{1 - D} \cdot V_i \quad (2)$$

V_0 는 출력전압, N 은 권선비, D 는 시비율, V_i 는 입력전압이다. 식 2에서 볼 수 있듯이 트랜스포머의 권선비와 시비율에 의해서 출력전압이 결정된다. 본 연구에서는 권선비 1:4를 사용

하고 시비율 0.6으로 스위칭하여 약 23V로 셀 전압을 상승시켜 밸런싱이 필요한 셀에 분배하는 방식으로 이루어진다.

또한 그림6은 밸런싱 과정 중 가장 높은 전압의 셀과 밸런싱이 필요한 가장 낮은 전압셀의 스위치 양단의 전압 파형을 나타낸 그림이다. 밸런싱을 하는 과정에서 전압이 높은 셀이 가장 낮은 셀에 비해 1차측 권선에 더 높은 전압이 유기되는 것을 볼 수 있고 이것은 높은 전압셀에서 낮은 전압셀로 에너지가 이동하는 하나의 현상으로 볼 수 있다. 실제 셀 밸런싱 동작 전후의 전압의 상태를 확인하기 위해 PC MMI(Man Machine Interface)프로그램을 사용 하였다. 화면 구성으로 상단을 배터리 뱅크전압, 중간은 각 셀의 전압 및 최대/최소전압의 편차로 구성되어있다.

실험 결과, 그림7과8에서 밸런싱 동작 후 두 방식 모두 배터리의 최고 전압과 최소 전압차이가 30mV안으로 들어온 결과를 확인 할 수 있었고 액티브 방식은 기존의 저항을 사용한 수동적 밸런싱에 비해 밸런싱 완료 시간을 5배 이상 단축시킨 결과를 얻을 수 있었다.

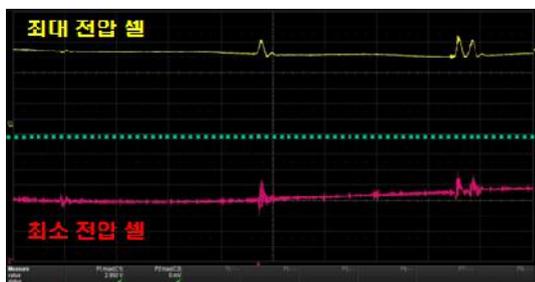


그림 6 셀 밸런싱 전압 부스트
Fig. 6 Cell balancing voltage boost

Battery Voltage		Battery Current		SOC	
22		0		0	
Cell1	Cell2	Cell3	Cell4	Cell5	Cell6
3829	3802	3801	3543	3805	3811
			3829	3543	286
					22
			0	0	0

그림 7 밸런싱 전 상태
Fig. 7 The state before balancing

Battery Voltage		Battery Current		SOC	
22		0		0	
Cell1	Cell2	Cell3	Cell4	Cell5	Cell6
3763	3763	3763	3741	3763	3763
			3763	3741	22
					22
			0	0	0

그림 8 밸런싱 후 상태
Fig. 8 The state after balancing

3. 결론

최근 수년 간 파워 톨, 전기 자동차를 비롯해 가정 및 산업용 에너지 저장장치 배터리 수요가 증가하고 있다. 이러한 장비를 만족하기 위해서는 보다 높은 파워, 보다 높은 용량 및 견고한 배터리 팩이 필요하다. 배터리 팩들이 보다 대형화되어 감에 따라 셀들은 전압을 높이기 위해 직렬로 추가되거나 용량을 늘리기 위해 병렬로 추가되었다. 그 결과 열관리, 팩 신뢰성, 수명 및 셀 밸런싱과 같은 배터리 관리 시스템이 중요한 문제로 대두되었다.

본 논문에서는 앞선 문제의 일환으로 배터리의 성능과 안전성을 확보하기 위해 배터리 밸런싱에 관한 연구를 수행하였다. 기존의 수동적 밸런싱의 단점인 에너지 손실 및 밸런싱 완료 시간을 보완하기 위해 능동적 밸런싱을 사용하였고 제한한 회로의 기능 및 성능의 검증을 위해 배터리 관리 장치 보드를 설계 및 제작하여 실험하였다. 그 결과 수동적 밸런싱 방식보다 에너지 손실이 거의 없고 밸런싱 속도 또한 5배 이상 향상되어 밸런싱 기능이 원활히 수행됨을 확인 하였다.

이 논문은 현대 중공업(주)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Automotive Electronics Magazine, pp.9, 2008, Mar.
- [2] S.W. Moore, P.J. Schneider, "A Review of Cell Equalization Methodes for Lithium Ion and Lithium Polymer Battery Systems", 2001 Society of Automotive Engineers, 2001.
- [3] "그린카 전기동력 시스템" 전력전자학회 기술 보고서, pp. 115 129, 2010, July
- [4] N.H. Kutkut, D.M. Divan, "Dynamic Equalization Technicques for Series Battery Stacks", IEEE Telecommunications Energy Conference, pp. 514 521, 1986.
- [5] A.C. Baughman, M. Ferdowsi, "Double Tiered Switched Caapcitor Battery Charge Equalization Technique", IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 55, pp. 2277 2285, 2008.