

다수의 FET를 이용한 2차 전지의 셀 밸런스에 관한 연구

임근욱[†] · 조현찬 · 김종원 · 김광선* · 이정수* · 유상길** · 강희선**

[†]한국기술교육대학교 전자공학과, *한국기술교육대학교 메카트로닉스공학과, **넥스콘테크놀로지(주)

Cell Balance of Secondary Battery by Using The Majority FET

Geun Wook Lim[†], Hyun Chan Cho, Jong Won Kim, Kwang Sun Kim*, Jung Su Lee*, Sang Gil Yoo** and Hee Sun Kang**

[†]Dept of Electrical and Electronics Eng, Korea University of Technology and Education.

*Dept of Mechatronics Eng, Korea University of Technology and Education.

**NEXCON TECHNOLOGY Co., Ltd.

ABSTRACT

In this paper, the cell balance of secondary battery using a large number of MOSFETs is discussed. We can balance the cells by controlling battery charging current with help of MOSFETs. If the cells are not balanced, we can not use the whole energy of the battery while charging and discharging, therefore, the energy efficiency is decreased. To increase the energy efficiency, we propose the MOSFET control algorithm which will perform cell balancing by controlling the charging current.

Key Words : Battery cell, Balance, MOSFET, Impedance

1. 서 론

디스플레이 패널을 이용한 휴대 장치를 사용하는데 있어 소비자들이 가지는 가장 큰 불만은 전지의 수명이다. 노트북, 핸드폰, 전기 제품 등은 소비자들이 충족할만한 충분한 전지의 수명을 가지지 못한다. 이러한 문제를 2차 전지가 해결해 주지만 2차 전지의 정밀 상태 측정 및 용량 예측, 제어 관리가 어렵기 때문에 폭발 및 전지가 가지고 있는 100%의 에너지를 쓰지 못하므로 최근 중요한 연구 대상이 되고 있다.

오늘날 이런 전지의 관리를 위해 가스 게이지 기술을 많이 사용하는데 이 기술은 전지의 잔여 용량을 99%의 정확도로 계산할 수 있지만 스스로 전지의 수명을 늘리지 못하는 단점이 있다. 따라서 전지의 관리를 위해 가스 게이지 기술과 전지의 셀 전압 밸런스를 이용하여 전지의 수명을 향상시킨다[1].

전지 관리의 방법으로는 일반적으로 정전류 충전을 실시함으로써 충전 시간의 단축을 꾀하고, 만충전 전

압에 도달한 시점에서 정전류 충전을 정지하고 정전압 충전으로 전환하는 정전류/정전압(CVCC) 충전을 사용한다. 이 방식은 대전류에 대해서는 전류의 손실 및 발열의 문제를 가진다[2].

이 논문에서는 여러 개의 셀들로 구성되어 있는 전지의 셀을 드레인 전류가 다른 다수의 FET를 이용하여 각 셀에 유입되는 충전 전류량을 조절하여 대전류에도 대응 가능한 충전 방식을 소개한다. 충전 전류를 조절하게 되면 전지의 각 셀들의 충전 속도를 제어할 수 있어 동일 시간에 전지의 모든 셀들이 같은 성질을 가지게 되고 이를 통하여 에너지의 효율성을 증가시킬 것이다.

2. 문제의 정의

전지의 셀 밸런스는 만 충전 또는 방전 하는 동안 전지 팩에서 모든 셀들이 전압당 같은 성질을 가질 때 전지 팩 셀들은 밸런스 되었다고 한다. 만약 전지 팩에 있는 셀이 하나 또는 그 이상의 양이 불균형을 이룬다면 전지 팩의 셀들은 밸런스 되어 있지 않다고 한다.

전지의 셀들이 불균형 일 때, Fig. 1처럼 충전하는 동

[†]E-mail : geunwook@kut.ac.kr

안 직렬 접속 되어진 셀 중 가장 작은 용량의 셀은 만 충전 되어진 셀 때문에 최대 충전 레벨로 도착하지 못하므로 전지 팩은 이용 가능한 용량을 가지지 못한다.

방전하는 동안에 만 충전 되지 않은 셀들은 만충전 레벨에 있는 셀이 방전하기도 전에 방전하여 방전 되지 않는 셀이 생겨 전지가 낼 수 있는 에너지를 충분히 낼 수 없어 에너지의 효율성이 떨어진다.

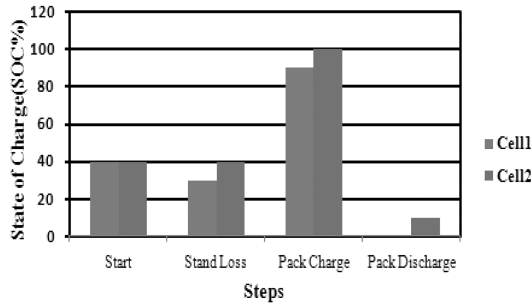


Fig. 1. Pack capacity loss due to soft sort – No balancing.

셀이 밸런스 되면 것은 Fig. 2처럼 충전하는 동안 모든 셀들이 최대 충전 레벨에 같은 시간에 도달하여 전지가 가질 수 있는 최대 에너지를 가질 것이고 방전 하는 동안 역시 같은 시간에 모든 셀들이 동시에 방전하여 전지의 최대 출력 레벨을 가질 것이다. 이와 같이 전지가 낼 수 있는 에너지를 모두 소모할 수 있어 효율성이 좋게 된다[2].

따라서 전지의 셀 밸런스는 전지의 수명과 전지가 낼 수 있는 최대의 에너지를 사용할 수 있어 전지를 관리하는데 매우 유용하다.

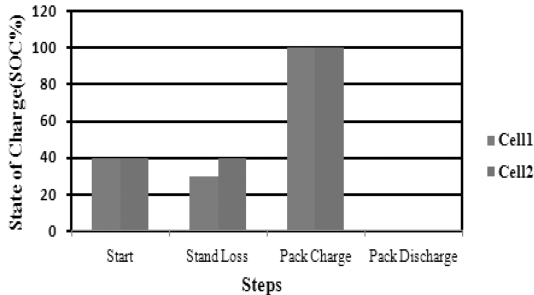


Fig. 2. Pack capacity loss due to soft sort – balancing.

예를 들어 전지의 용량이 2000mAh(2Ah)고4S1P(전지 4개가 직렬로 연결 되어진 전지 팩)로 연결되어있고 충전 시간 동안에,

$$Q = I \times t = C \times V \quad (1)$$

$$C = I \times t / V \text{ [F]} \quad (2)$$

전지의 전압이 3.0V~4.2V일 때, Capacitance $C = 2 \times 3600 / 1.2 = 6000 \text{ [F]}$ 이다.

만약에 100 mV의 불균형이 생긴다면 $Q = CV = 6000 \times 0.1 = 600 \text{ Coulombs}$ 이 되고 이것은 전지의 이용 가능한 총 용량의 5.9%의 손실을 가져 온다. 이것은 선형적인 방전 곡선에서 구할 수 있다. 이것은 평균 1A를 소비하는 노트북등 에서 셀 밸런싱을 이용하게 되면 10분을 더 지속 시킬 수 있다는 것이다. 실제 셀 용량 손실은 최대 레벨의 전압 범위에서 좀더 효과적인 용량을 가지기 때문에, 만 충전시 5.9%보다 클 것이다.

다른 예로 전압의 범위가 4.1V~3.9V일 때 200 mV의 차이는 24%의 용량 손실을 가져온다.

따라서 100mV보다 낮은 전압의 오차율로 셀을 밸런싱 하여야 하고 이는 셀들이 최대 용량이 88%~94% 이내로 유지 할 것이다[1,3].

3. 전지의 셀 밸런스

3.1. 셀의 충전 속도 제어

같은 시간에 셀 밸런스를 하기 위하여 Drain current가 다른 다수의 FET를 이용하는 것은 전지의 각 셀에 충전되는 전류의 량을 조절하여 충전 속도를 제어하기 위함이다.

다수의 FET를 이용하여 셀들을 밸런스 하기 위한 기본 회로의 예는 Fig. 3과 같다.

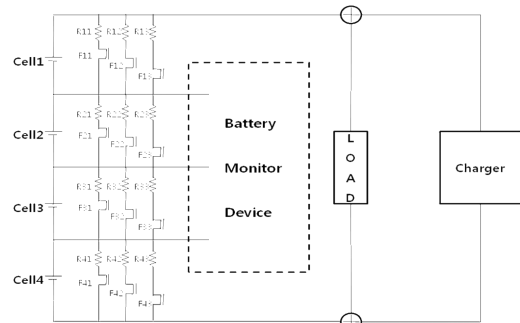


Fig. 3. Battery cell balance circuit.

Fig. 3에서 4개의 셀들 중 Cell1의 충전 량이 가장 크다고 가정했을 때 Cell1의 충전 속도를 느리게, 나머지 셀들은 충전 속도를 빠르게 할 필요가 있다. 따라서 주위의 셀들을 고려하여 미리 설정된 FET중 드레인 전류가 가장 큰 FET를 ON 시켜 전류를 분기 시켜 Cell1에 유입되는 충전 전류를 작게 하여 충전 속도를 제어한다.

전지가 충전 위상 동안에 셀 밸런싱을 한다면, Fig. 4처럼 charger는 전지에 I_{charge} 를 흘려 보낼 것이고

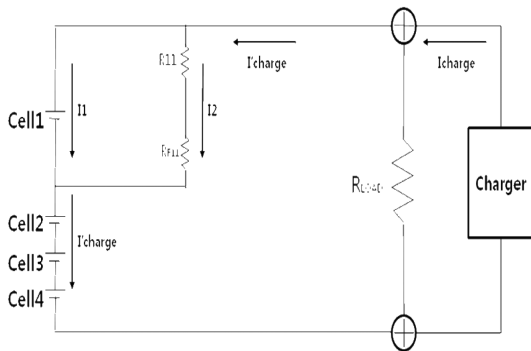


Fig. 4. Battery cell balance Method.

Cell1에 유입되는 $I_{charge} = I_{charge} + I_{load}$ 가 된다. 전지를 충전하는 실제 전류는 I_{charge} 이고 부하 저항이 끊어질 때 최대 전류가 된다.

전지를 충전하는 동안, $I_{charge} = I1 + I2$ 가 된다.

따라서 Cell1의 충전 속도는 I1에 의해 느려지게 될 것이고 나머지 셀들은 I_{charge} 에 의해 원래의 충전 속도를 가질 것이다[1,2].

3.2. 전지의 셀 밸런스

충전을 시작하기 전에 전지의 모든 셀들의 정보를 BMS(Battery Management System)에서 수집한다. BMS에서는 모든 전압 값을 Sort알고리즘을 써서 작은 값에서 큰 값으로 정렬을 하게 된다.

충전 전류를 분기시킬 FET를 선정하기 위하여 전지의 평균값을 이용하여 전지의 모든 셀을 전지의 평균값과 맞추게 제어를 한다.

정렬된 셀들의 전압 값의 총합을 구하고 그것의 평균값을 구한다.

$$\sum Vi / Vn = Vavg \tag{3}$$

식(3)로 부터 셀 밸런스의 에러값(V_e)을 구한다.

$$Vi - Vavg = V_e \tag{4}$$

식(4)로 부터 구해진 에러값(V_e)를 이용하여 FET를 제어한다.

FET의 제어는 다음 Table 1과 같이 4가지의 경우로 나타낼 수 있다.

4. 컴퓨터 시뮬레이션 결과

Battery management system의 블록도는 Fig. 5와 같이 Charger, BMS, Cell Balance Module로 구성 되어진다.

Cell balance Module에서는 전지의 셀과 셀 밸런싱

Table 1. Battery cell balance by using the FET

조건문	셀 밸런스 방법
$V_e >$ 밸런스 허용-전압	전지 각 셀 전압들이 가장 큰 것 충전 전류 가장 작게, FET3 ON
$0 < V_e \leq$ 밸런스 허용-전압	전지 각 셀 전압들이 큰 것 충전 전류 작게, FET2 ON
$V_e = 0$	전지 각 셀 전압들이 평균값 유지 충전 전류 중간, FET1 ON
$V_e < 0$	전지 각 셀 전압들이 가장 낮은것 충전 전류 크게, 모든 FET OFF

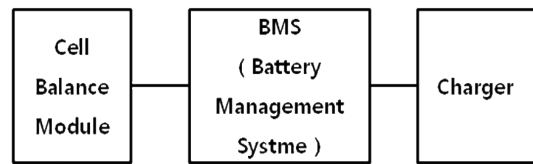


Fig. 5. Battery management system for Battery balance.

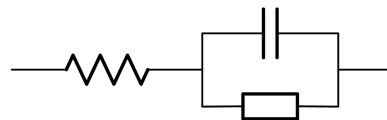


Fig. 6. Battery modeling.

을 위한 다수의 FET로 구성되어 있고 BMS에서는 셀의 정보를 받아 FET를 제어할 알고리즘이 적용되어 있는 CPU로 구성되어 있다. Charger는 전지를 충방전시킬 충전 전류와 전압 그리고 부하로 구성되어 있다.

실제 전지의 셀을 맞추기 위해 Fig. 6과 같이 전지의 전기화학적 모델링을 이용하였다[4,5].

컴퓨터 시뮬레이션은 그림 Fig. 7과 같고 구성은 charger, CPU, 배터리 모델링, Drain current가 서로 다른 FET, 통신 모듈로 구성 되어있다.

배터리 모델링은 2개를 사용하고 충전 전류는 0.9A로 충전한다.

그림 Fig. 8은 처음 셀의 전압 값을 센싱한 것을 통신창으로 보여준 것이다. 화면에서 셀1의 전압 값이 다른 셀 보다 큰 것을 확인할 수 있다.

이 경우 배터리 밸런싱이 필요하다.

그림 Fig. 9은 배터리 셀 밸런스가 된 화면을 보여준 것이다. 밑줄 친 부분에서 배터리의 셀이 밸런스 되었다는 것을 확인할 수 있다.

그림 Fig. 10은 15초간 셀 밸런스를 관찰한 데이터이다. 10초 이후로는 셀이 안정화게 되게 밸런스 되어 있는 것을 확인 할 수 있다[6].

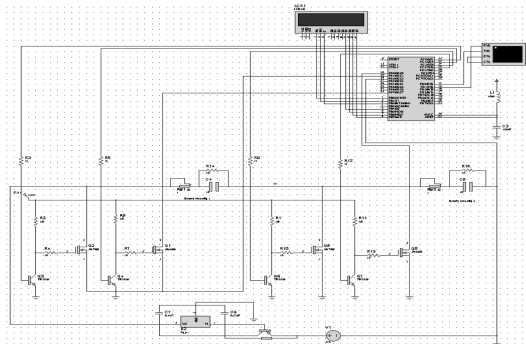


Fig. 7. Simulation of Battery management system.



Fig. 8. Using FET the cell balance.

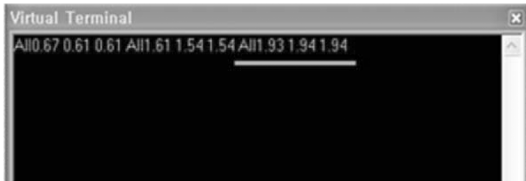


Fig. 9. Battery cell balance.

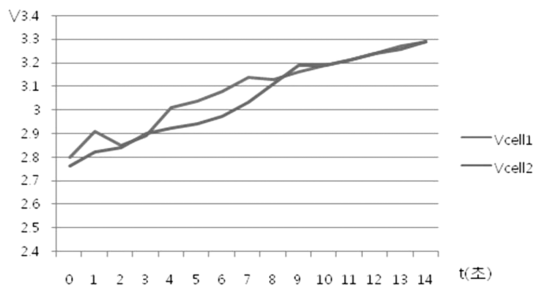


Fig. 10. Battery cell balance graph.

5. 결 론

2차 전지의 셀 밸런싱에 있어 다수의 FET를 이용하여 충전 속도를 제어하는 방법으로부터 동일한 시간에 모든 셀들이 같은 성질로 밸런싱 되는 것을 확인하였다. 하지만 지금의 시뮬레이션 결과는 전지의 전압만을 가지고 밸런싱 하였다. 전지의 전압이 만충전 전압이

되었더라도 전지의 용량이 Full Capacity가 되었다고 보기가 어렵다. 또한 전지의 노후화에 따른 전지에 대한 변화를 고려하지 않았다. 전지의 노후화는 선형적이지 않고 비선형적 이어서 전지의 충전 속도와 전지의 용량에 많은 영향을 끼친다. 전지의 노후화는 전지의 내부 임피던스에 의해서 그 성질이 변화한다.

전지 셀의 내부 임피던스가 크게 되면 셀의 용량이 작게 되어 셀의 충전 속도는 빠르게 된다. 이러한 전지 내부 임피던스는 제조회사나 노후화에 따라 제 각각 변화게 된다.

전지의 셀 밸런스를 위해 비선형적으로 변화는 전지의 내부 임피던스를 고려해야 한다. 노후화에 따라 변화 하는 임피던스와 밸런스를 위한 에러값을 이용한 지능형 시스템이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

1. By Yossi Drori and Carlos Martinez, "The Benefits of Cell Balancing," 2000.
2. (주)동역메카트로닉스연구소 기술정보분석팀, "2차전지와 배터리 충전장치 설계," 국제테크노정보연구소, pp. 29-37, 2006.
3. Carlos MartineZ, Dave Sorlien, Raymond Goodrich, Lance Chandler and Doug Magnuson, "Using Cell Balancing to Maximize the Capacity of Multi-cell Li-Ion Battery Packs," 2005.
4. Proc. Indian Acad. Sci. (Chem. Sci), Vol. 113, No 5 & 6, pp. 527-537, 2001.
5. Jong Won Kim, Hyun Chan Cho, Kwang Sun Kim, Jang Gun Jo, Jung Su Lee, Bin Hu, "The Study on Thermal Modeling and Charge Capacity Estimation for Lithium Secondary Battery" KSDET, Vol. 6, No.1, pp. 55-57, 2007.
6. Byung-woo Jung, Intelligent Start Module Design for Lithium-ion Battery, FIP2003, ISSN7-302-06299-4, 2003.

접수일: 2008년 4월 8일, 심사일: 2008년 4월 24일
 게재확정일: 2008년 5월 30일