

다중셀에 적용된 전압안정회로로 설계

황호석, 남종하, 장대경, 최진홍, 신익수
(주)파워로직스

Design of Voltage Balancing Circuit applied to Multiple Cells

H.S. Hwang, J.H. Nam, D.K. Jang, J.H. Choi, and I.S. Sin
Powerlogics. Co., Ltd.

ABSTRACT

For a power source of usual electronic devices such as PDA, smart phone, UPS and electric vehicle, the battery made of serially connected multiple cells is generally used. In this case, if there are some unbalanced among cell voltages, the total lifetime and the total capacity of the battery are limited to a lower value. To maintain a balanced condition in cells, an effective method of regulating the cell voltage in indispensable. In this paper introduced a method for battery balancing system using dissipation in the resistance.

1. 서 론

충전을 통한 재사용이 가능한 2차 전지는 노트북 PC, 휴대전화, 캠코더 등 거의 대부분의 휴대용 통신 기기 및 컴퓨터에 채용되는 핵심부품이다. 과거에는 니켈-카드뮴, 니켈-수소 배터리 등이 사용되었으나 최근 들어 리튬-이온, 리튬-고분자 배터리 등이 사용된다. 2차 전지 가운데 현재 가장 많이 사용되고 있는 리튬-이온 배터리는 양극과 음극 사이에 유기 전해질을 넣어 충전과 방전을 반복하는 구조를 가지며, 무게가 가벼운 데다 고용량의 전지를 만드는 데 유리해 휴대전화기 등에 많이 사용되고 있다. 배터리의 발달로 휴대용 가전기기 시장은 급속한 발전을 거듭하게 되었고, 휴대용 기기의 적용범위가 넓어지면서 배터리도 1개가 아닌 다중셀을 연결하여 사용하게 되었다. 그러나 배터리의 특성상 화학적인 에너지와 전기적인 에너지의 변환에서의 비선형적인 특성으로 인해 모두가 동일한 조건의 용량을 가질 수 없다. 따라서 여러 개의 배터리를 사용할 경우에는 미소한 용량의 차이로

인해 셀간 전압차가 발생하게 된다. 이러한 셀간 전압의 언밸런스(Unbalance)는 충전시 전압이 낮은 셀에 무리한 충전(과충전)이 가해져 셀의 용량이 급격히 저하되는 현상과 함께 노화현상을 촉진시키는 원인이 되어 셀의 실제 용량 및 사용 시간이 줄어드는 결과를 가져오게 된다.^{[1][2][3]}

따라서, 본 논문에서는 다중셀 적용시 발생하는 용량 불균형 현상을 해소하기 위해 마이크로 프로세서를 사용하여 각 셀 간의 전압 편차를 줄여 주는 안정화 회로를 구현하였으며, 실험을 통해 배터리의 용량 및 수명이 증대됨을 확인하였다.

2. 전압안정회로

다중셀이 적용되는 리튬-이온 배터리팩 시스템은 그림 1과 같다. 기본적인 구성을 살펴보면, 배터리팩 보호를 담당하는 보호 IC, 충·방전 제어용 파워 MOSFET, 셀간의 전압차를 해소하기 위한 전압안정회로부 외에도 메모리나 마이크로프로세서를 내장하게 된다.

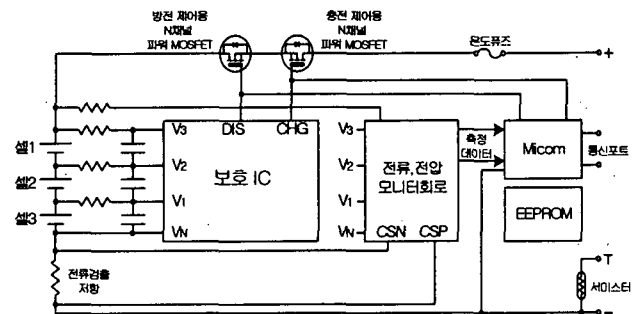


그림 1 리튬-이온 배터리의 전압안정회로
Fig. 1 Cell voltage balancing circuit of Li-ion

2.1 리튬-이온 배터리의 보호회로

1992년 일본의 Sony사에서 개발되어 소형 2차

전지 시장에 진입하기 시작한 리튬-이온 배터리는 안전성에 대한 논의가 일부 제기되었으나, 전압이 3.6~3.7[V]로 니켈-카드뮴이나 니켈-수소 배터리의 3배나 되며, 높은 에너지 밀도와 메모리효과(Memory Effect)가 없다는 여러 가지 장점과 미국 UL 안전규격 등의 제도적 보안을 거치면서 가장 널리 사용되고 있는 2차 전지중 하나이다. 하지만, 리튬-이온 배터리의 사용시에는 다음의 사항에 주의해야 한다.

- 과충전, 과방전시 열화의 발생이 쉽고, 간혹 발열에서 발화에 이르는 경우가 있기 때문에 과충·방전 방지회로가 필요
- 충전 회로측의 정확한 충전전압 제어 필요
- 만충전 상태에서 고온 방치시 용량의 열화
- 2개 이상의 셀 직렬연결 사용시 주위온도가 균일하지 않으면 셀 사이의 용량 언밸런스가 발생, 방전용량이 저하됨.

2.1.1 과충전 보호(Over-charging Protection)

리튬-이온 배터리의 전압이 충전에 의해 만충전 전압 이상으로 되면 충전제어용 파워 MOSFET를 OFF하여 충전전류를 차단한다. 수백 [mV]의 히스테리시스를 가지고 셀 전압이 저하되었다는 것을 검출하고 충전제어용 MOSFET를 ON하여 충전할 수 있게 한다. 예로서 그림 2와 같이 과충전 전압 (V_{OV})을 초과하여 약 1초(t_{OV}) 정도 경과를 하게 되면 보호회로가 동작하여 충전을 방지하고 회복전압(V_{OVR})에 도달하게 되면 정상 동작모드로 동작하게 된다. 일반적으로 과충전 전압은 4.2~4.35[V]를 적용한다.

2.1.2 과방전 보호(Over-discharging Protection)

배터리 전압이 방전에 의해 방전금지 전압 (V_{UV}) 이하로 되면 방전제어용 MOSFET를 OFF하여 방전전류를 차단한다. 차단상태를 유지하는 도중 충전이 되어 배터리 전압이 히스테리시스를 가지고 상승하여 과방전 회복전압(V_{UVR})에 도달하게 되면 방전제어용 MOSFET를 ON하여 방전할 수 있게 한다. 그림 3은 과방전 보호회로의 동작의 예를 보여주고 있다.

2.1.3 과전류(Over-current Protection)

배터리팩의 양극과 음극이 단락 되었을 경우 대전류가 흘러 배터리의 열화나 보호회로가 파괴되는 것을 방지하기 위해서 방전전류를 검출하고 규격 외의 전류가 흘렀을 경우에 방전 및 충전제어용 MOSFET를 동시에 OFF한다. 리튬-이온 배터리팩

은 앞에서 말한 보호기능을 가지고 있지만 안전성을 확보하기 위해 보호회로 등이 배터리의 사용금지영역으로 빠지지 않도록 해야 한다. 그림 4는 과전류 보호회로의 동작에 대한 예를 나타내고 있다.

2.1.4 열보호(Thermal Protection)

리튬-이온 배터리팩에는 서미스터(Thermistor)가 내장되어 있어 충전 중인 배터리팩 내부의 온도상태를 본체측에서 모니터하는 기능도 지니고 있다. 또한 고온시에 회로를 차단하기 위한 온도푸즈나 PTC (Positive Temperature Coefficient)도 내장하고 있다.

2.1.5 기타

최근에는 해외 등에서 제 3자에 의해 배터리팩이 무단으로 사용되거나 복제되어 사용되는 경우도 발생되고 있으며, 이는 보호회로의 기능 이상시 리튬-이온 배터리의 특성상 매우 위험하다. 따라서 이들의 무단 사용이나 복제를 방지하기 위해 배터리팩 내부의 메모리에 고유의 정보를 기억시켜 본체가 그 정보를 배터리팩에 액세스하는 키로 이용하는 예도 있다. 이들 복제방지용 시큐리티 메모리 IC는 일반적으로 용량, 제조년월일, ID 등을 기억할 수 있는 EEPROM을 내장하고 있다.

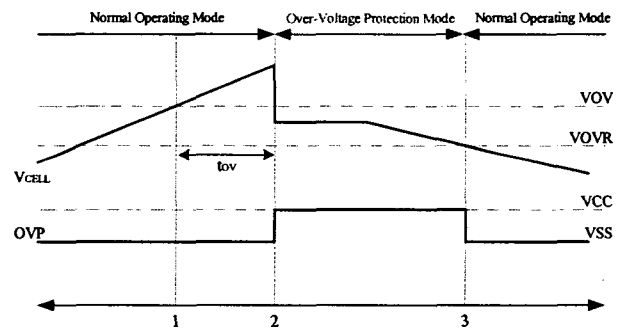


그림 2 과충전 보호 동작 모드
Fig. 2 Over-charging protection mode

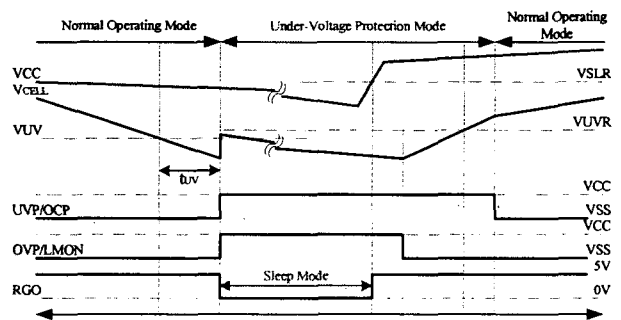


그림 3 과방전 보호 동작 모드
Fig. 3 Over-discharging protection mode

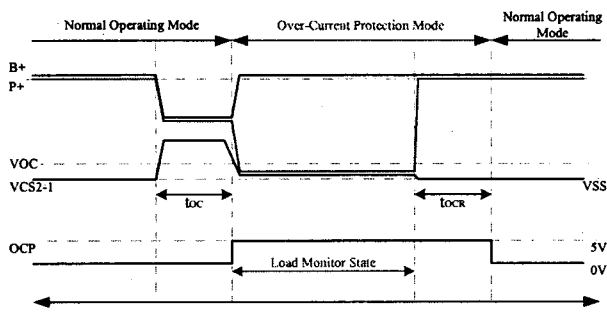


그림 4 과전류 보호 동작 모드
Fig. 4 Over-current protection mode

2.2 전압안정화회로

전기자동차를 비롯한 2차 전지를 직·병렬 모듈로 사용하는 모든 시스템은 배터리 자체의 미소한 특성차이 등으로 인해 셀 상호간의 전압불균형 현상이 발생하게 된다. 만일 직렬로 연결된 모든 셀이 동일한 조건이라면 식 1과 같고, 이를 용량 및 전압으로 나타내게 되면, 식 2와 같이 나타낼 수 있다. 하지만, 각 셀은 개별특성차이로 인해 동일한 조건이 될 수 없고, 이러한 미소한 특성차이로 인해 식 3과 같이 각 셀의 용량 및 전압이 다르게 나타나게 된다.

$$Q_{cell1} = Q_{cell2} = \dots = Q_{celln} \quad (1)$$

$$Q = It = CV$$

$$C_{cell1} V_{cell1} = C_{cell2} V_{cell2} = \dots = C_{celln} V_{celln} \quad (2)$$

$$\therefore C_{cell1} V_{cell1} \neq C_{cell2} V_{cell2} \neq \dots \neq C_{celln} V_{celln} \quad (3)$$

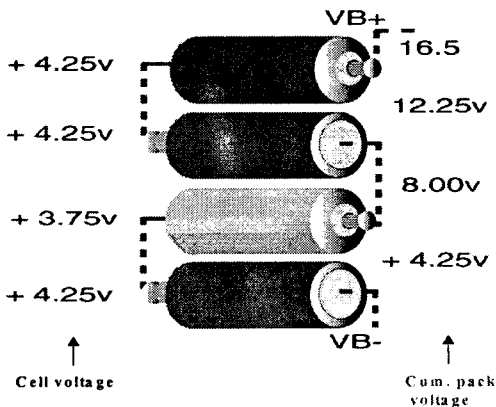


그림 5 셀 전압의 불균형 현상
Fig. 5 Unbalanced battery pack

그림 5를 예를 들어 살펴보면 셀 전압이 4.25[V] 인 전지에서 전압불균형이 발생되어 특정 셀이 3.75[V]로 전압이 낮게 나타나는 현상이 발생되는

것을 볼 수 있다. 셀 밸런스가 붕괴되면 전압이 가장 높은 셀 전압에서 보호회로가 충전을 금지함으로써 다른 셀은 만충전이 되지 않은 상태에서 충전이 중지된다. 완전히 충전되지 않았던 셀은 다음 회에 방전되었을 때 가장 빨리 방전 금지전압에 도달하여 보호회로가 방전을 금지해버린다. 따라서, 다른 셀은 완전히 방전되지 않게 된다. 이 사이클이 반복됨으로써 셀 자체의 수명보다 빠르게 용량이 저하된다. 이러한 전압불균형 현상이 일어나는 원인은 다음과 같다.^[2]

- 개별 셀 화학물의 미소 변동
- 초기 충전량의 차
- 방전을 및 방전 사이클의 차
- 시스템에서의 전력손실
- 시스템에서 배터리의 위치에 따른 온도의 영향

3. 실험

본 논문에서는 그림 6과 같이 완전 충전된 셀을 저항을 통해 방전하는 방식을 채택하여 2셀과 3셀을 대상으로 시스템을 제작 및 실험하였다. 2셀의 경우는 저가의 시스템을 구현하기 위해 별도의 마이크로컨트롤러를 사용하지 않고, 보호 IC를 추가하여 전압을 안정화하였으며, 3셀의 경우에는 Atmel사의 8-Bit 마이크로 컨트롤러인 ATmega 128을 사용하여 시스템을 제어하였다.

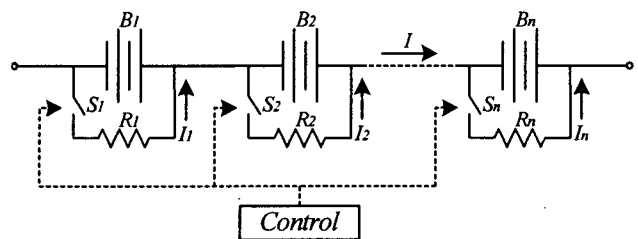
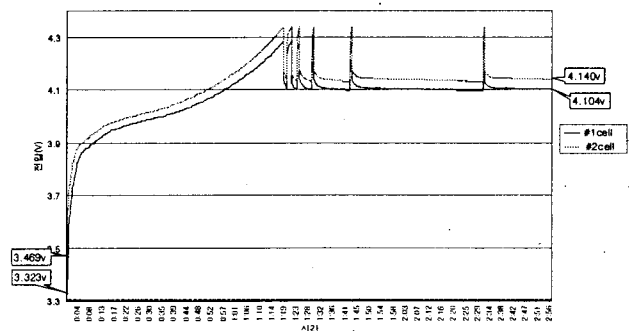
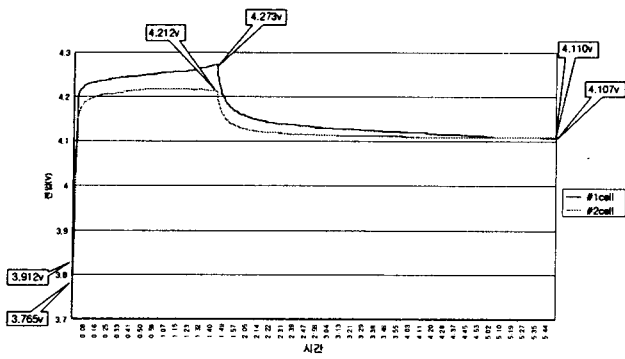


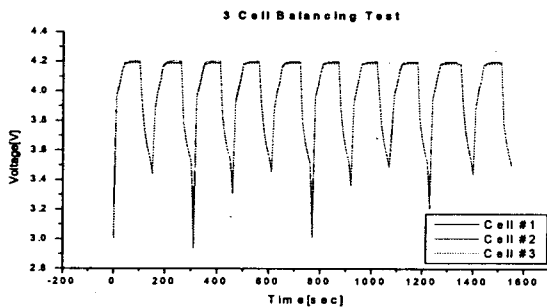
그림 6 병렬 저항 방식
Fig. 6 Bypass with resistance



(a) 보호회로(2 Cell)



(b) 보호회로 + 전압안정화회로(2 Cell)



(c) 보호회로 + 전압안정화회로(3 Cell)

그림 7 실험결과

Fig. 7 Experimental results

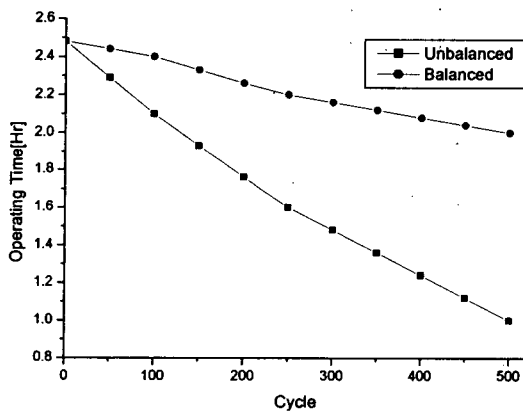


그림 8 셀 밸런싱의 효과

Fig. 8 Effect of balanced cells

그림 7의 (a)는 2셀의 배터리팩에서 보호회로 기능만 수행하였을 때의 실험결과를 보여주고 있다. 충전 초기 각 셀간의 전압편차는 약 0.146[V]의 차이를 보이고 있으며, 충전이 진행되면서 전압편차의 폭이 다소 감소되기는 하였지만 0.036[V]의 편차를 가지며 유지되는 것을 볼 수 있다. 반면에 (b)의 경우와 같이 보호회로와 전압안정화회로를 모두 적용하였을 때에는 충전 초기시점에서 0.147[V], 충전 종료시점에서 0.003[V]로 전압이 안

정화됨을 볼 수 있다. 또한 (c)에서 적용된 3셀의 경우에는 모든 구간에서 동일한 전압을 유지함을 알 수 있다. 그림 8에서는 전압안정화회로를 채택한 경우와 채택하지 않은 경우 배터리의 총·방전 횟수별 사용시간의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 전압안정화회로를 채택하지 않은 경우보다 채택한 경우 100 사이클 시점에서 14.3%, 300 사이클 시점에서 46%, 500 사이클 시점에서 100%의 총·방전 횟수별 동작시간이 증가함을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 노트북 PC, 휴대전화, PDA, 디지털 카메라 등 최근 모바일 기기의 급속한 발전에 큰 역할을 담당하고 있는 2차 전지 중 리튬-이온 배터리를 대상으로 다중셀의 적용시 나타나는 전압 불균형 현상에 대해 살펴보았으며, 이러한 전압 불균형 현상으로 초래되는 셀의 용량감소 및 수명단축 등을 방지하기 위해 마이크로 컨트롤러 및 Protection IC를 사용한 전압 안정화 회로를 설계하였다. 또한 2셀 및 3셀을 대상으로 실험을 통해 기존 보호회로만 채용한 방식과 비교하여 전압 안정화 회로의 필요성 및 타당성을 입증하였다.

참고 문헌

- [1] Yao C. Hsieh, Chin S. Moo, I S. Tsai, "Balance Charging Circuit for Charge Equalization", IEEE PCC-Osaka, 2002, pp. 1138-1143.
- [2] Stephen W. Moore, Peter J. Schneider, "A Review of Cell Equalization Methods for Lithium Ion and Lithium Polymer Battery Systems", 2001 Society of Automotive Engineers, 2001.
- [3] J.Calvente, L. Martinez-Salamero, P. Garces, R. Leyva, "Dynamic Optimization of Bidirectional Topologies for Battery Charge/Discharge in Satellites", IEEE, pp. 1994-1999.
- [4] Philip T. Krein, Robert Balog, "Life Extension Through Charge Equalization of Lead-Acid Batteries", 2002 INTELEC, 2002.
- [5] Nasser H. Kutkut, "Life Cycle Testing of Series Battery Strings with Individual Battery Equalizers".
- [6] Philip T. Krein, Sean West, Cory Papenfuss, "Equalization Requirements for Series VRLA Batteries", IEEE, 2001, pp. 125-130.
- [7] N.H. Kutkut, D.M. Divan, D.W. Novotny, "Charge Equalization for Series Connected Battery Strings," IEEE IAS Annual Meeting, October 1994, pp. 1008-1015.