

리튬이온전지의 셀균등화 방법에 관한 연구

최원석, 서병설
한양대학교 전기공학부

A Study on Cell Equalizing for Lithium Ion Battery

Won-Suk Choi, Byung-Suhl Suh
Department of Electrical Engineering, Hanyang University

Abstract - Lithium ion battery is required to balance cells in order to minimize the electric capacity difference between the batteries. This paper proposes a cell balancing method by using inductor. Simulation and experimental results are presented.

1. 서 론

리튬 이온배터리는 에너지 밀도가 높고 마스킹효과가 없어서 기타 전지에 비하여 뛰어난 특성을 가지고 있으나 충전과 방전시에 설정범위 이상 및 이하의 상태가 되면 폭발 및 내부적인 기형이 발생한다.^[1] 그래서 이를 방지하기 위하여 셀균등화가 필요하다.

셀균등화는 배터리 사이에 전압편차를 같게 해주는 방법으로서 배터리 관리시스템에 의한 저항을 이용한 강제적인 방법과 인덕터, 트랜스포머를 이용한 자발적인 방법이 있다. 저항을 이용한 강제적인 방법은 Lindemark^[2]가 제안한 방법으로 충전중에 셀균등화를 이루려고 하였으나 발열문제가 있어서 부가적인 시스템을 필요시 되어 가격적인 문제가 발생한다. 발열문제를 해결하기 위하여 Nishijima,Sakamoto^{[3][4]}가 제안한 자발적인 방식이 창출되었는데 인덕터를 이용하는 방법과 변압기를 이용하는 방법이 있다. 인덕터를 이용하는 방법은 인덕터를 배터리와 병렬로 연결하여 펄스폭변조 제어에 의하여 셀균등화를 이루려 하였으나 충전중에는 셀균등화가 가능하지만 방전중에는 불가능하다는 문제점이 있다. 이를 개선하기 위해 방전중에도 셀균등화를 이루기 위하여 변압기를 이용하는 방식이 연구되었으나 1차측과 2차측사이에 정확한 결합을 필요로 하며 변압기의 내부저항 때문에 제한된 용량만 전달할 수 있다는 단점이 지적될 수 있다.

본 연구에서는 Nishijima, Sakamoto^[3]가 제안한 인덕터 방식을 발전시켜서 충방전시에 인덕터를 배터리와 병렬회로를 구성하여 방전중에도 균등화를 이루기 위하여 지속적으로 스위치를 on/off하여 각스위칭 동작 시 인덕터에 저장된 에너지의 차이 만큼 높은 배터리에서 낮은 배터리로 에너지를 계단식으로 전달하는 새로운 인덕터 셀균등화 방법을 제안하고자 한다.

2. 셀균등화

셀균등화는 다수의 배터리가 직렬로 연결되어 있을 때 고려 되어야 한다. 배터리가 병렬로 연결될 시에는 자체 균등화가 이루어지기 때문에 배터리 균등화가 필요하지 않다. 배터리의 충전 혹은 방전시에 단위 팩의 모든 셀이 단위 셀당 같은 전압의 상태를 유지하는 것이 균등화되었다고 한다. 만일 하나 혹은 보다 많은 셀이 같지 않으면 배터리 팩은 균등화되어있는 것이 아니다. 배터리 팩의 모든 셀들이 불균등화되어 있으면 배터리 팩은 유용한 용량을 가질 수 없다. 왜냐

하면 직렬연결한 것 중에서 가장 낮은 전압셀의 용량이 전체 팩의 용량을 결정 짓을 수 있기 때문이다. 또한 불균형화된 배터리를 충전과 방전시 설정범위 이상으로 충, 방전이 이루어지면 배터리에 폭발 및 내부적인 기형이 발생하므로 보호회로를 사용하는 것이 일반적이다.

보호회로는 리튬이온배터리의 안전을 위하여 동작을 한다. 그래서 보호회로의 설정범위는 다음과 같이 취하고 있다^[5].

과충전 역치 전압: $V_{ov} > 4.25V$

과방전 역치 전압: $V_{uv} < 2.3V$

사용가능전압범위: $2.4V < V < 4.24V$

여기서 V_{ov} 는 과충전 역치전압(Overvoltage)이고

V_{uv} 는 과방전역치전압(Undervoltage)을 나타낸다

충전과 방전시에 보호회로는 상기의 설정범위를 자체 감지하여 다음 그림 2.1의 보호회로의 스위치를 구동시켜 배터리와 전류원, 부하사이를 차단하여서 배터리를 보호한다.

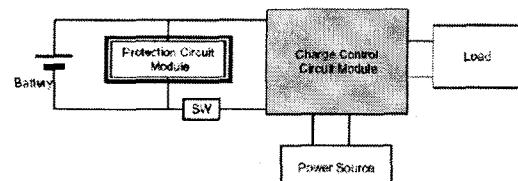


그림 2.1 보호회로 블록도

보호회로를 사용하여서 안전성은 확보하였으나 직렬연결한 배터리는 균등하게 충전 및 방전을 할 수 없어 셀균등화 방법이 이용된다.

기존의 인덕터를 이용한 셀균등화 방법은 Nishijima, Sakamoto^[3]가 제안한 방법으로 배터리 관리시스템에서 각 셀의 전압을 검출하여 용량이 높은 셀에 병렬로 연결되어 있는 인덕터에 전류를 유기시키고 이를 낮은 배터리쪽 스위치로 연결하여 전류가 충전되어 균등화를 이루는 방식이다.

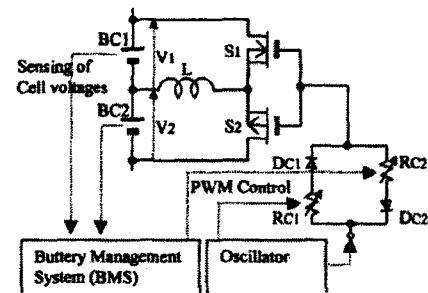


그림 2.2 인덕터를 이용한 균등화 방법

충전중에 배터리 관리시스템이 각각의 배터리 전압을

검출하여 배터리 BC_1 의 전압이 높으면 S_1 을 구동 하므로서 L에 전류를 축적되어 전압이 낮은 배터리 BC_2 로 충전하기 위하여 스위치 S_2 를 동작시켜 인덕터에 축적된 전류를 충전하는 방법이다.

방전중에도 셀균등화를 이루기 위하여 인덕터회로에 지속적으로 펄스를 공급하여 셀균등화를 이루려 한다. 이에 대한 구체적인 동작원리와 수학적 모델링을 소개하려 한다.

3. 제안된 방법

3.1 동작원리

제안하고자 하는 회로는 그림 3.1과 같다.

그림 3.1의 동작원리는 인덕터를 이용한 셀균등화 방법으로 여러 개의 배터리가 조합되어 하나의 팩을 형성하는 배터리 모듈의 직렬 연결된 배터리 회로에서 각각의 전압에 비례한 전류를 인덕턴스에 충전하여 순간적으로 스위치를 끊어 낮은 전압의 배터리 회로에 전류가 흐르도록 하면 자연적으로 높은 전압이 충전되어 있는 배터리의 전류가 낮은 배터리로 이동하도록 하는 원리로 구성되어 있다.

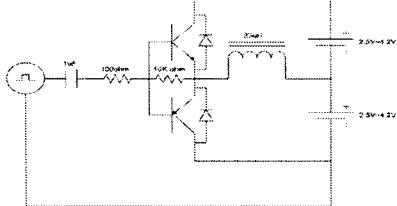


그림 3.1 회로도

스위치가 교대로 동작시 동작원리를 다음과 같이 소개하려 한다. 그림 3.2와 같이 구성된 회로에 단일펄스를 스위치(SW2)에 가하면 스위치(SW2)가 on 되는 순간 "i1"의 경로를 통해 전류가 흐른다. 이 때 그 전류는 인덕턴스(L)에 자화되어 충전되는데 스위치(SW2)가 on 되어있는 시간과 배터리(B2)의 전위에 따라 인덕턴스(L)의 충전량이 결정된다. 이때 순간적으로 SW2를 off 시키면 L에 충전되었던 전류가 인덕턴스의 특성에 따라 기전력이 발생하여 방전하는데 그 때 전류의 경로가 "i2"를 따라 흐르게 되므로 배터리(B2)에 의해 발생된 기전력이 배터리(B1)에 전달되는 현상이 발생한다. 같은 방법으로 그림 3.3과 같이 단일 펄스를 스위치(SW1)에 인가하면 배터리(B1)에 의해 발생된 기전력이 배터리(B2)에 전달되는 현상이 발생한다.

그래서 그림 3.2와 그림 3.3의 동작을 교대로 동작하게 제어 해주면 각각의 배터리에서 발생한 기전력이 상대편 배터리에 충전되는 현상이 발생하는데 이때 각각의 스위치 on 펄스를 동일한 폭(50%)으로 제어하게 되면 각각의 배터리 전위에 따라 상대편으로 전달되는 에너지가 변동되는데 이는 전위가 높은쪽에서 많이 발생되고 낮은 쪽에서 적게 발생되므로 자연 높은쪽의 에너지가 낮은쪽으로 전달되어 지속적으로 가동될 경우 두 배터리의 전위가 같아질때까지 에너지 이동이 이루어지게 된다.

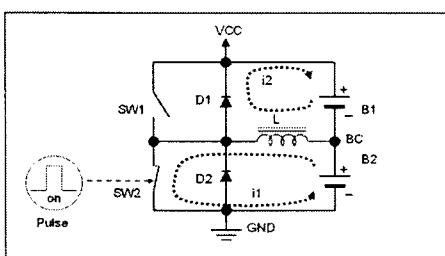


그림 3.2 단일펄스 동작 설명(SW 2 on시)

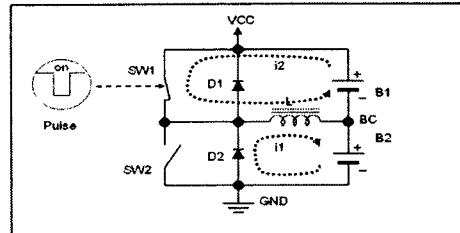


그림 3.3 단일펄스 동작 설명(SW 1 on시)

3.2 수학적 모델링

인덕터를 이용한 균등화기 수학적 모델링

L값 선정

$$L \frac{di}{dt} = v \quad (1)$$

$$Ldi = vdt \quad (2)$$

양변을 적분하면

$$\int Ldi = \int_0^t vdt \quad (3)$$

$$L = \frac{v}{i} DT \quad (4)$$

(4)의하여 L값 선정

$$V_{B1} > V_{B2}$$

Switch 1이 동작하면

$$i_2 = \frac{V_1}{L} DT \quad (5)$$

$$E = \frac{V_1^2 D^2 T^2}{2L^2} \quad (6)$$

(6)식의 에너지가 switch off 와 함께 battery 1의 path로 에너지가 전달 된다.

Switch 2가 동작하면

$$i_1 = \frac{V_2}{L} DT \quad (7)$$

$$E = \frac{V_2^2 D^2 T^2}{2L^2} \quad (8)$$

(8)의 에너지가 switch off 와 함께 battery 2의 path로 에너지가 전달 된다.

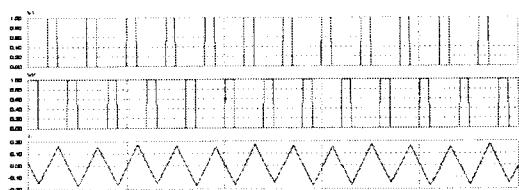
결국 Switch 동작에 의하여 전달되는 에너지는

$$\Delta E = \frac{D^2 T^2}{2L} (V_1^2 - V_2^2) \quad (9)$$

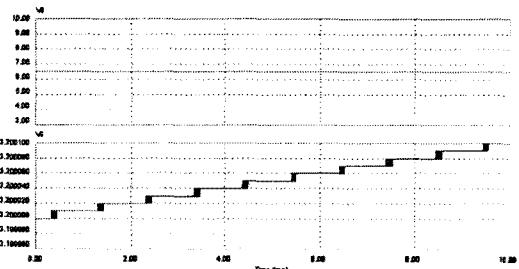
(9)식에서 ΔE 만큼 높은 곳에서 낮은 곳으로 충전이 된다. 상기의 동작원리와 수학적 모델링을 증명하고자 다음 장에서는 시뮬레이션을 통하여 입증하려 한다.

4. 시뮬레이션

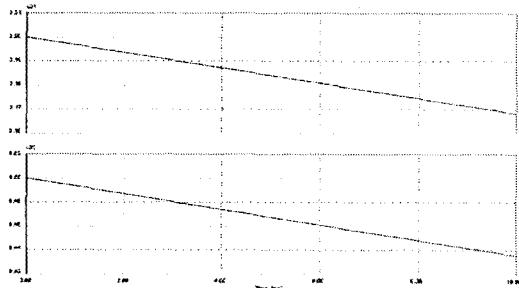
검증하기 위하여 P-sim을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 하였으며 그 결과는 그림 4.1에 나타내었다. 배터리는 커패시터를 이용하여 셀균등화를 확인하였으며 전압은 커패시터의 초기 전압의 차이를 두어서 셀균등화를 확인하였다. 초기전압은 3.3V와 3.2V의 차이를 두었으며 방전시에는 저항(6Ω)을 연결하여 방전시에도 균등화됨을 보였다.



(a) 분주회로의 파형과 인덕터에 걸리는 전류 파형



(b) 무방전시(3.2V:3.3V)



(c) 방전시(3.2V:3.3V)

그림 4.1 제안된 인덕터방식의 시뮬레이션 결과

그림 (a)는 분주회로의 동작을 위하여 전원 공급파형과 인덕터에 공급되는 전류의 파형을 나타내고 있다. 그림(b)는 무방전시에 배터리의 셀균등화를 나타내고 있다. 그림(c)는 방전시에 셀균등화 과정을 나타내고 있다. 다음 장에서는 실험을 통해서 셀균등화를 증명 하려 한다.

5. 실험 결과

본 연구에서 제안한 인덕터를 이용한 셀균등화 특성을 검토하기 위하여 아래 표1과 같은 사양의 회로를 구성하여 실험을 하였다. 3.1회로에서 입력전압은 신호발생기에서 Peak Voltage 10V,Duty 50%,스위칭주파수는 100KHz이다.

3.1회로에서 출력단은 정격3.6V리튬이온 배터리2개를 3V와 3.3V의 차이를 두고 직렬로 연결하였고 배터리와 배터리 사이의 인덕터는 $33 \mu H$ 의 두었으며 스위칭off시 인덕터에 축적된 에너지를 전달하기 위하여 다이오드를 두었으며, 분주회로를 구성하기 위하여 pnp tr과 npn tr을 두어 신호발생기의 펄스에 반응하도록 하였다.

표 1. 실험 회로의 설계사양

항 목	기호	값	단위
입력 전압	V _s	10	V
전지 전압 범위	V _o	2.5~4.2	V
스위칭 주파수	f _s	100	KHz
Duty ratio		50	%
인덕터 값		$33 \mu H$	

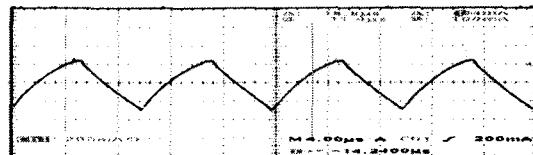


그림 5.1 무방전시 균등화 중 인덕터의 전류 파형

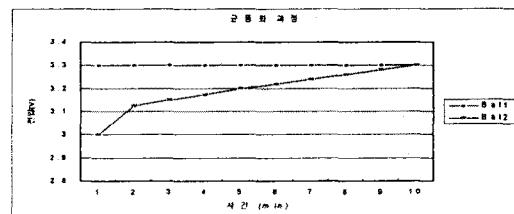


그림 5.2 무방전시 균등화

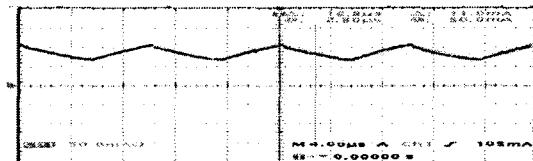


그림 5.3 방전중 인덕터에 걸리는 전류 파형

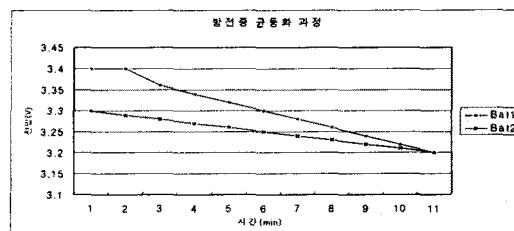


그림 5.4 방전중 균등화 과정

실험은 신호발생기에서 발생하는 (+)극성에 구동하도록 pnp tr을 구동하도록 하였으며 (-)극성에서 구동하도록 npn의 tr을 구동하도록 하였다. 그림5.1은 무방전시 3V와 3.3V의 전압의 차이를 두고 스위치가 on/off시에 인덕터에 걸리는 전류파형을 나타내었다. 이 때 인덕터에 걸리는 전류의 파형을 비교해 보면 상위 240mA가 나오고 하위 파형의 전류값은 280mA값이 나오므로 40mA가 충전이 되어서 균등화를 이룬다. 그림 5.2는 스위치 on/off시 무방전시 셀균등화를 실제 측정하여서 나타낸 그림으로 3.3V와 3.0V의 전압차이를 두고 그림 5.2에서 인덕터의 전류차이 만큼 셀균등화를 하는 과정을 전압을 추적 하여 그래프로 도시한 것이다. 여기서 3V에서 3.3V로 셀균등화를 이루었다. 그림 5.3은 방전중에 인덕터에 유기되는 전류를 나타내며 4mA의 차이로 방전 중에 균등화를 나타낸다. 그림5.4는 6Ω 저항을 배터리에 연결하고 그때 배터리의 전압변화는 3.4V와 3.3V차이를 두고 방전중에 균등화를 나타내는데 3.2V에서 셀균등화를 이루고 있다.

6. 결 론

충전중 뿐만 아니라 방전중에도 셀균등화를 이루기 위하여 직렬 연결한 배터리에 병렬로 인덕터를 연결 하여 스위치를 지속적으로 on/off하여 인덕터에 유도

되는 유도기전력의 차이만큼 높은 전압의 배터리에서 낮은 전압의 배터리로 단계적으로 충전하여 셀 사이의 균등화시키는 방법을 제안하였다.
본 논문에서 제안한 회로는 간단하여 구성하기 편하며 충전과 방전중에도 균등화를 이를 수 있다는 장점이 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] Seung-wook Eom,Seong-in Moon,"Safety/Abuse Evaluation of LI Polymer Batteries for Hybrid Electric Vehicles",EVS 19,pp.1910-1918,Oct 19~23,2002.
- [2] B.Lindemark,"Individual cell voltage equalizers (IEC) for reliable battery performance", Conf, Ref, INTELEC, pp.196-201, 1991.
- [3] K.Nishijima,H.Sakamoto,K.Harada,"A magnetic Coupled Simple and High Efficient Battery Management", Conf.Ref. INTERMAG,April,2000.
- [4] K.Nishijima, H. Sakamoto,K.Harada,"Balanced Charging of Series Connected Battery Cells",in Conf.Ref.INTELEC '98,pp.311-315,October4-8,1998.
- [5] D.Salerno,R.Korsunsky, "Practical Considerations in the design of Lithium-Ion Battery Protection System "IEEEConf.Ref.APEC'98,Vol.2,pp.700-707 ,Sept.1998.