J Korea Industr Inf Syst Res Volume 18 Number 5
http://dx.doi.org/10.9723/jksiis.2013.18.5.073

리튬-이온 배터리 시스템을 위한 전압안정화 회로†

(Voltage Balancing Circuit for Li-ion Battery System)

박 경 화*, 이 강 현**
(Kyung Hwa Park and Kang Hyun Yi)

요 약 최근 인공위성의 에너지 저장 매체로서 리튬-이온 배터리가 각광을 받는 추세이다. 리튬-이온 배터리는 다른 화학적 특성을 가지는 배터리들에 비해 높은 작동 전압과 큰 용량을 가지면서 부피도 작기 때문에 위성의 eclipse 기간 동안 위성에 전력을 공급하는 데에 매우 효과적이다. 위성에 전력을 공급하기 위한 에너지 저장 장치로서 리튬-이온 배터리를 사용하기 위해서는 하나의 cell이 아닌 다중 cell을 직렬 연결해서 사용해야 한다. 그러나 cell 간의 미소한 내부저항 차이 때문에 cell 전압의 언밸런스 (Unbalance)가 야기되고 충전 시 저항이 낮은 cell이 과 충전 되어 전지 용량이 급격히 저하되고 이로 인해 배터리의 수명이 줄어들게 된다. 따라서 본 논문에서는 Fly-back topology를 이용하여 다중 cell을 직렬 연결할 때 각 cell간의 전압 편차를 줄여주는 전압안정화 회로를 구현하였으며, prototype 제작 및 시험을 통해 배터리의 전압이 균일해지는 것을 확인하였다.

핵심주제어 : 전압 안정화 회로, 리튬 이온 배터리, 플라이백 컨버터

Abstract Recently, Li-ion battery is regarded as a potential energy storage device in the lime light and it can supply power to the satellite very effectively during eclipse. Because it has better features as high voltage range, large capacity and small volume than any other battery. Generally, multi cells are connected in series to use Li-ion batteries in satellite application. Since the internal resistance of cells is different each other, voltage in some cells can be overcharged or undercharged, so capacity of the cell is reduced and the life of whole battery pack is decreased. Therefore, a voltage balancing circuit with Fly-back converter is proposed and the voltage equalization of each cell is verified the prototype in this paper.

Key Words : Voltage Balancing Circuit, Li-ion Battery, Fly-back Converter

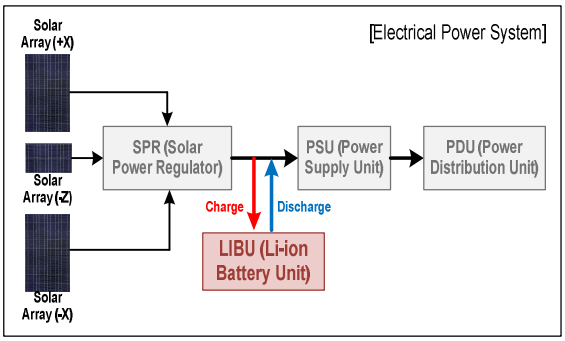
1. 서 론

과거에는 소형인공위성의 배터리로서 Ni-Cd 또는 Ni-H2 배터리가 주로 사용되어 왔다. 그러나 최근에는 높은 충전 전압과 에너지 밀도, 그리고 메모리 효과가 없다는 등의 이유로 항공우주 분야에서 리튬-이온 배터리가 각광을 받고 있다 [1-3].

<그림 1>에는 태양전지판, 태양전력조절기, 전원공급기, 전원분배기로 구성되는 일반적인 소형인공위성 전력계 시스템을 나타내었다. 그림 1에서 알 수 있듯이 인공위성은 daylight 기간 중에는 SPR(Solar Power Regulator)을 통해 태양전지판(Solar Array)로부터 에너지를 얻어 위성에 전력을 공급하고 남은 에너지를 배터리에 저장하였다가 eclipse 동안이나 위성이 태

* 국방 기술 품질원 연구원, 제1저자
** 대구대학교 전자전기공학부, 교신저자(khyi@daegu.ac.kr)

양전지판의 최대 생성 전력보다 많은 에너지를 필요로 할 경우, 전력의 부족분을 배터리를 통해 충당하게 된다[4-5]. 이러한 인공위성은 고도의 최신기술들을 이용하는 여러 종류의 탑재체(Payload)를 구동하기 위해 큰 전력량을 요할 뿐 만 아니라 부피도 점차 늘어나고 있는 추세이기 때문에 고용량의 위성에 높은 에너지 밀도와 긴 수명을 갖는 리튬-이온 배터리를 사용하게 되면 위성의 전력 밀도를 더욱 향상시킬 수 있다.

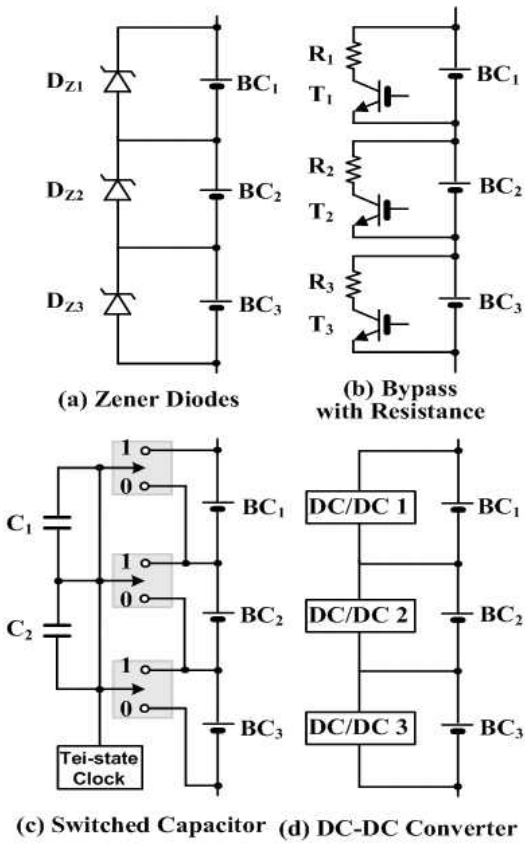


<그림 1> 소형 위성의 전력 시스템

일반적으로 인공위성의 배터리 모듈은 여러 개의 셀이 직렬 연결된 구조를 가진다. 이 때 각 셀들은 내부저항의 차이 때문에 약간씩 다른 셀 전압을 나타낸다. 이는 셀 전지용량의 차이를 의미하고 이러한 셀 간 전압의 불균형은 충전 시 저항이 낮은 셀에 무리한 충전이 가해져 셀의 용량이 급격히 저하되도록 만든다. 따라서 비교적 과 충전된 특정 셀의 성능이 나빠지게 되고 전체 배터리 모듈의 성능은 가장 나쁜 셀의 영향을 받게 되므로 결국 배터리 모듈의 성능 및 수명이 저하된다. 이러한 문제를 해소하기 위해서는 셀의 충전 및 방전 기간 동안 각각의 셀 전압을 균일하게 유지 시켜줄 수 있는 부가적인 회로가 필요하다[6-9].

본 논문에서는 기존의 전압안정화 회로를 소개하고 개량된 Fly-back 컨버터를 각 셀마다 연결하여 셀 전압을 균일하게 유지시켜주는 새로운 능동형 전압안정화 회로를 제안한다. 그리고 제안된 회로의 설계 방법과 전압안정화 회로를 수식으로 도출해 보았으며 회로의 성능을 검증하기 위해서 소형인공위성을 위한 8개 리튬-이온 셀이 직렬 연결된 배터리 모듈용 전압안정화 회로의 prototype 제작 및 시험을 통해 초기값이 다른 특정 셀의 전압이 직렬 연결된 다른 셀 전압으로 수렴하는 결과를 확인하였다.

2. 전압 안정화 회로



<그림 2> 기존 전압 균일화 회로

배터리의 전압안정화 회로는 직렬 연결된 배터리의 수명을 연장시키고 신뢰도를 증가시키기 위해 사용된다. 리튬-이온 배터리의 경우, 다른 전지에 비해 충전 완료 전압에 매우 민감한 특성을 가지기 때문에 만약 셀 간의 전압 불균형이 생겨서 셀 전압이 요구조건에 주어진 충전 완료 전압(End of Charge Voltage)보다 2~300㎷만 높아져도 셀이 파괴되는 결과를 초래할 수 있고 이는 리튬-이온 배터리 시스템 전체의 수명에 영향을 주어 궁극적으로는 위성의 임무 수행 기간을 단축시키는 주원인이 된다. 따라서 직렬 연결된 리튬-이온 배터리를 사용하는 경우, 전압안정화 회로는 필수적이다.

2.1 기존의 전압안정화 회로

지금까지 배터리의 전압안정화를 위한 여러 가지 회로가 연구되어 왔다. <그림 2>는 이들 회로 중 가장 대표적인 4가지 방법을 나타내었다.

2.1.1 Zener Diode

전압안정화 회로를 위한 여러 가지 회로 배터리 중에는 셀과 병렬로 Zener 다이오드를 달아주는 방법으로 <그림 2>의 (a)와 같은 회로이다 [9]. 이 방법은 셀이 과 충전되어도 셀 전압은 Zener 전압으로 유지된다. 그러나 과 충전되어서 Zener 다이오드가 도통되게 되면 배터리 전류가 모두 Zener 다이오드로 흐르기 때문에 다이오드에서 발생하는 전력 손실이 커지게 되고 다이오드 자체의 발열이 상당하기 때문에 수십 Ah의 용량을 가지는 배터리를 사용하는 소형인공위성용 전압안정화 회로로는 적합하지 않다.

2.1.2 Bypass with Resistance

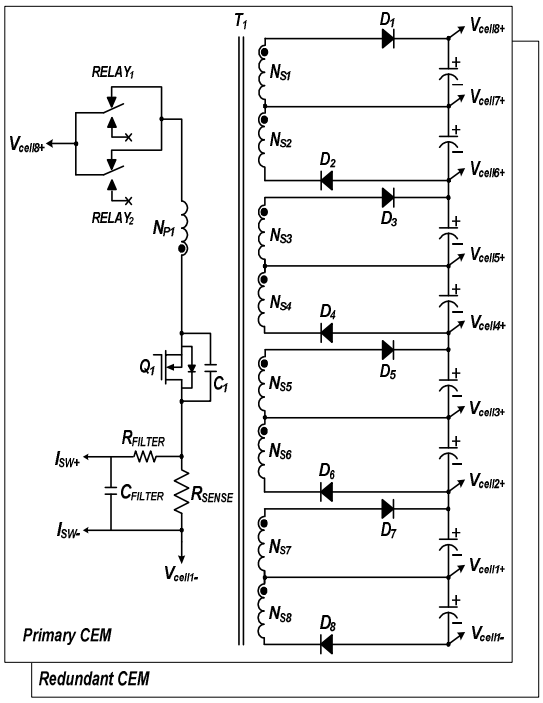
두 번째 방법은 <그림 2> (b)와 같이 스위치와 저항을 셀과 병렬로 달아주는 방법이다[11-12]. 셀 전압이 기준 전압보다 높을 경우에는 스위치가 켜져서 저항을 통해 전류를 흘려 셀 전압이 더 이상 높아지지 않게 해주고 기준전압보다 낮을 경우에는 스위치가 켜지지 않기 때문에 계속해서 충전회로에 의해 셀이 충전 된다. 그러나 스위치가 켜져서 전압안정화 회로가 작동하는 경우에는 충전 전류가 모두 저항을 통해 흐르기 때문에 큰 전력 손실이 발생하게 되어 회로의 효율이 낮아진다는 단점이 있다.

2.1.3 Switched Capacitor

세 번째 전압안정화 회로의 기법은 <그림 2>의 (c)에서와 같이 각 배터리 셀에 병렬로 스위치와 커패시터를 달아주는 방법이다[13-15]. 총 N개의 셀 전압을 안정화 시켜주려면 N-1개의 스위치와 커패시터 pair가 필요하게 된다. 모든 스위치는 동기화되어 있고 스위치가 모두 1의 위치에 붙게 되면 각 셀의 전압만큼 커패시터가 충전되고 스위치가 0의 위치에 오게 되면 저장되어 있던 커패시터의 전압이 다음 셀 전압보다 큰 경우, 에너지를 다음 셀로 넘겨주게 된다. 이러한 과정을 셀 전압이 모두 같아 질 때까지 반복하여 전압안정화가 이루어진다. 이 방법은 비교적 간단하지만 커패시터의 전압 충전 및 방전이 계속 반복되며 전압안정화가 이루어지므로 셀 간의 전압차가 커지게 되면 안정화되는데 걸리는 시간이 길어진다는 단점이 있다.

2.1.4 DC-DC Converter

마지막으로 셀에 병렬로 직접 DC-DC 컨버터를 연결하여 배터리 전압을 직접 제어해 주는 방법으로 각 셀마다 <그림 2> (d)와 같이 DC-DC 컨버터가 위치하게 된다. [16-18]. passive 소자가 사용되지 않기 때문에 전력 손실이 매우 적으므로 소개된 방법 중 효율이 가장 높다. 그리고 직접 셀 전압을 제어할 수 있기 때문에 전압안정화에 걸리는 시간이 비교적 짧다. 본 논문의 소형인공위성을 위한 전압안정화 회로는 이러한 DC-DC 컨버터를 이용한 방법으로 구현하였다.



<그림 3> 제안된 전압 균일 회로

2.2 제안된 회로

<그림 3>은 Fly-back 컨버터를 전압 안정화 회로에 맞게 보완한 회로이다. Fly-back 컨버터를 전압안정화 회로에 그대로 적용할 경우, 각각의 셀마다 컨버터가 연결되어야 하므로 복잡도 및 임무 실패의 확률

이 증가하게 된다. 따라서 1차 측에는 하나의 MOSFET 스위치만을 사용하였다. 만약 2차 측에 개별의 Fly-back 컨버터를 연결할 경우에는 트랜스포머에 연결되는 노드의 수가 많아 bobbin 선정에 제약이 있다는 단점이 있는데 트랜스포머 bobbin의 필요 핀 수를 줄이기 위해 4쌍의 multi-winding 구조를 사용하여 구현하였다. 이러한 회로는 10개 미만의 셀들이 직렬로 연결된 구조의 배터리 팩의 전압안정화 회로 구현에 있어 별도의 제어장치(PWM 등) 없이 주스위치의 On/Off 작동만을 제어함으로써 일정 duty를 사용하는 전압안정화회로를 구현할 수 있다. 또한 추가적으로 회로의 신뢰성 확보를 위해 primary 회로와 redundant 회로를 갖는 병렬 구조를 채택하였다. 또한 주 스위치 전류 감지를 통해 컨버터에 과전류가 흐르는 경우 회로를 차단하여 배터리 시스템을 보호하고, 스위치 손상이 감지되었을 때에는 배터리와 전하 균일 컨버터를 단락시키는 릴레이 구동을 통해 전체 시스템을 보호한다. <표 1>에는 이러한 기능을 가지는 8cell 직렬의 소형인공위성용 리튬-이온 배터리를 위한 전압안정화 회로의 요구조건을 나타내었다.

<표 1> 전압 균일 회로 설계 사양

Item	설계 값
$V_{IN}(V_{cell8+}-V_{cell1-})$	28.8V (24V~32.8V)
Vout(각 컨버터 출력)	4V
$I_{out,RMS}$(전압안정화전류)	0.5A
Efficiency	80% 이상

2.2.1 회로 설계

소형인공위성의 Nominal 전압인 28.8V를 구현하기 위해서는 8개의 배터리 셀이 직렬로 연결된다. 각 배터리 셀은 내부 임피던스 등의 특성이 각각 다르기 때문에 충/방전이 진행되면서 서로 다른 전압을 가지는 현상이 나타난다. 이때 8개 셀 중 최대 전압을 가지는 셀과 최소 전압을 가지는 셀의 전압 차가 100mV 이상이 되면 전압 안정화 기능을 수행한다. 배터리가 가질 수 있는 최대 전압은 4.1V이고, 따라서 최대 32.8V의 전압이 전압안정화회로 1차 측 입력 전압이 될 수 있다. 모든 배터리 셀이 4.1V로 완전히 충전되어 있는 상태라고 가정한 상황에서 하나의 셀에 대해 0.5A의 충전 전류가 흐른다고 가정하였다. 이를 통해 하나의 셀에 충전되는 에너지는 2W 정도라고 볼 수 있고, 8개의 셀이 존재하므로 손실이 없는 이상적인 상황에서는 총 16W의 에너지를 primary 측에서 제공하여야 한다는 것을 알 수 있다. 실제 상태에서는 Fly-back 컨버터 자체의 효율을 고려하여야 하므로 이를 80%로 가정하고 설계하였다.

$$P_{IN}=\frac{P_{OUT}}{\eta}=\frac{(V_{OUT}\times I_{OUT})\times N_{Cell}}{\eta}=\frac{4\times 0.5\times 8}{0.8}=20(W) \quad (1)$$

<표 2> 변압기 코어 설계 파라미터

Item	단위	설계 값
Magnetic flux density	B_{MAX}	0.2T(VSec/㎡)
Current density	J	6A/㎟
Window utilization factor	Ku	0.1
Frequency	f	100㎑
Output power	Po	16W
Efficiency	η	80%

(1) 위의 식을 통해, 모든 배터리 셀이 완전히 충전되어 있는 상태에서 입력전력은 20W임을 알 수 있다. 배터리 팩의 전압은 24V부터 32.8V까지 변화한다. Nominal 전압 28.8V에서 최대 Duty를 갖도록 설계하고 최대 Duty를 0.45로 설정하였다. Fly-back 컨버터의 전압 입출력비 (Voltage Conversion Ratio)는 아래와 같이 표현된다.

$$\frac{V_O}{V_{IN}}=\frac{N_S}{N_P}\frac{D}{1-D} \quad (2)$$

위의 식을 통해 NS와 NP사이의 비율을 구할 수 있고 이 비율을 기준으로 core의 1차 측과 2차 측 권선의 감는 횟수를 결정할 수 있다. 24V의 최저 전압을 가지는 경우에도 20W의 에너지를 제공해야 하므로 입력 RMS 전류는 최대 약 0.75A의 값을 갖는다. Fly-back Converter를 BCM(Boundary Conduction Mode)으로 설계하였을 때, Switch ON 시에 Lm에 build up 되는 전류 식으로부터 Lm의 관계식을 구해보면 아래와 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$L_m = \frac{V_{IN}D}{f_s 2 I_{IN,RMS}} \quad (3)$$

Core선정을 위해 필요한 요소들의 값은 아래의 <표 2>에 정리하였다. Core 선정에 Area Product를 이용하면 아래와 같은 수식으로 Core를 결정할 수 있다.

$$A_P = \frac{P_O + \frac{P_O}{\eta}}{K_u f_S J 2 B_{Max}} \quad (4)$$

스위칭 주파수를 100kHz로 설정하였으므로 권선으로 사용할 수 있는 와이어의 최대 단면적은 0.13mm2이다. 전류 밀도를 6A/mm2로 설계하면 Core의 1차측 권선 수는 0.4mm 지름의 권선 한 가닥임을 알 수 있다. 만약 7개의 셀이 같은 전압을 가지고 하나의 셀이 100mV 낮은 전압을 가지는 경우, 즉 전압안정화회로의 동작이 시작되는 초기에 Core의 2차 측 전류는 1.2A까지 상승한다. 따라서 Core의 2차 측은 0.4mm 지름의 권선 두 가닥으로 구성되어야 한다. 위의 과정들을 통해 트랜스포머를 제작하기 위한 core는 PQ2020S을 선정하였고 위에서 구한 A_P 수식인 수식(4)에 값들을 대입하면 3750의 값을 얻을 수 있다. PQ2020S의 AP값은 4079로써 전압안정화회로의 트랜스포머 제작의 core로 적합함을 검증하였다. PQ2020S core의 AL값은 3000nH/N2이므로 요구되는 Lm값 105uH를 만족시키기 위해서는 6 turn이 필요하다. Faraday 법칙을 이용하면 아래와 같은 수식을 얻을 수 있고 이를 통해 구한 1차측 권선의 턴수는 11 turn이 된다.

$$N_P = \frac{V_{IN}D}{A_e B_{Max} f_S} \quad (5)$$

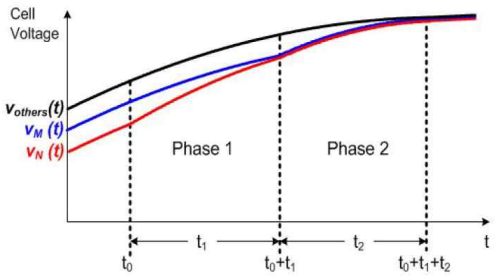
2.2.2 셀 전압안정화 기능 분석

세부적인 전압안정화회로의 작동은 기존의 Fly-back와 유사하다. 스위치가 ON되는 동안에 Lm에 저장된 에너지는 스위치가 OFF되는 동안부하측으로 전달된다. 스위치가 OFF되는 동안의 자화인덕턴스의 전류 변화인 전하량(ΔILM)open은 다음과 같이 표현가능하다.

$$(\Delta I_{L_m})_{open} = \frac{-V_O(1-D)}{f_S L_m}\frac{N_2}{N_1} \quad (6)$$

정상상태에서 한 주기 동안 인덕터의 전하량 변화는 0이어야 하므로 Multi-winding Fly-back 컨버터에서 각각의 다른 출력 전압 값 즉, 각 셀의 전압에 따라 각기 다른 2차 측 출력 전압이 나타나게 된다. 따라서 이러한 전하량의 차이는 각각의 셀 전압을 동일하게 만들어주게 된다. 전압안정화회로의 최적의 전력용량을 구하기위해서는 아래의 2개의 수식 (7) 및 (8)을 동시에 만족해야 한다. 셀 전압안정화 회로의 분석을 위해 사용되는 기호들의 설명을 다음에 나타내었다.

$Q_n(t)$: n번째 셀의 전하량
$v_n(t)$: 시간 t에서의 n번째 셀의 전압
I_n : n번째 셀의 입력전류
I_{in}, I_{out} : 전압안정화회로 입력전류 및 출력전류
$P_{in}(t)$, $P_{out}(t)$: 시간 t에서 전압안정화회로의 입력 및 출력 전력
$P_{in,avg}$, $P_{out,avg}$: 전압안정화회로의 평균 입력 및 출력전력
η : 전압안정화회로의 효율



<그림 4> 셀 전압 안정 동작

C : 리튬이온 셀의 커패시턴스

$$\frac{1}{7}\sum_{n=2}^{n=8} Q_n(t) = Q_1(t) \quad (7)$$

$$P_{out,avg} = \eta P_{IN,avg} \quad (8)$$

위의 수식에 의해 전압안정화가 완료되는 시점인 t에서의 첫 번째 셀의 전하량은 다른 셀들의 평균전하량과 같아야 한다는 것을 알 수 있다. 여기서 η는 전압안정화회로의 효율을 의미한다. 한 예로, 전압안정화

회로에서 M번째와 N번째 셀이 다른 셀들과 전압이 다를 경우, 수식을 유도하기위해 다음과 같이 가정을 할 수 있다.

- 트랜스포머의 Leakage 인덕턴스 값은 무시할만하다.
- 전압안정화회로에 쓰이는 반도체 소자들은 이상적이다.
- $V_{others}(t) > V_M(t) > V_N(t)$

초기에는 다른 전압을 가지는 M번째와 N번째 셀이 전압 안정화 기능에 의해 시간에 따라 다른 셀들과 전압이 같아지게 되는 그래프를 <그림 4>에 나타내었다. 전압안정화회로의 출력 전력은 밸런싱 전류의 형태로 전력이 낮은 쪽으로 들어가게 된다. 전압 안정화는 2단계에 걸쳐서 이루어지는데 첫 번째 단계는 N번째 셀의 전압이 M번째 셀의 전압과 같아지는 단계이고 두 번째 단계는 M번째 셀과 다른 셀들의 전압이 같아지는 단계이다. 첫 번째 단계에서 N번째 셀의 전압 안정화를 위해서는 N번째 셀의 평균전하량인 $Q_N(t)$과 전압 안정화 회로의 출력 전력인 $P_{Nout,avg}$은 같은 각각 아래의 수식과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_N(t_1) = Q_N(0) + (I_{out} - I_{in})t_1 \tag{9}$$

$$P_{N_{out.avg}} = \frac{1}{t_1}\int_0^{t_1} P_{N_{out}}(\tau)d\tau \tag{10}$$

$$= \frac{1}{t_1}\int_0^{t_1} V_N(\tau)(I_{out} - I_{in})d\tau$$

$$= \frac{1}{t_1}\int_0^{t_1}\left(V_N(0) + \frac{(I_{out} - I_{in})\tau}{C}\right)(I_{out} - I_{in})d\tau$$

$$= \left(V_N(0) + \frac{1}{2C}(I_{out} - I_{in})t_1\right)$$

$$Q_N(t_2) = Q_N(0) + (I_{out} - I_{in})t_2 \tag{11}$$

$$P_{M_{out.avg}} = \frac{1}{t_2}\int_0^{t_2} P_{M_{out}}(\tau)d\tau \tag{12}$$

$$= \frac{1}{t_2}\int_0^{t_2} 2V_M(\tau)(I_{out} - \frac{I_{in}}{2})d\tau$$

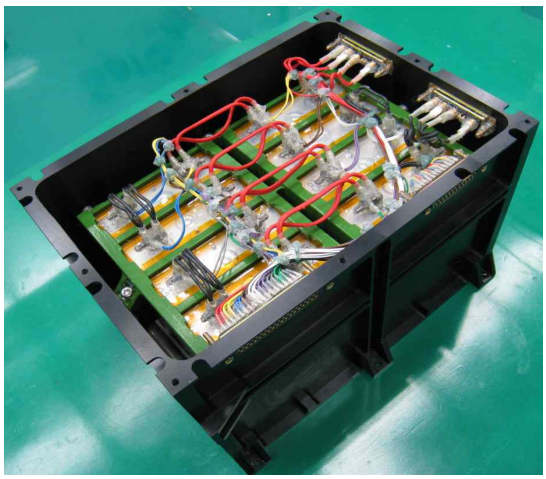
$$= \frac{1}{t_2}\int_0^{t_2}\left(V_M(0) + \frac{(I_{out} - \frac{I_{in}}{2})\tau}{C}\right)(I_{out} - \frac{I_{in}}{2})d\tau$$

$$= \left(V_M(0) + \frac{1}{2C}(I_{out} - \frac{I_{in}}{2})t_2\right)(I_{out} - \frac{I_{in}}{2})$$

M번째 및 N번째 셀이 다른 높은 전압을 가지는 셀들과 같아지기 위한 2번째 단계에서의 평균전하량 $Q_N(t)$, $Q_M(t)$ 및 전압안정화회로의 출력 전력인 $P_{Nout,avg}$, $P_{Mout,avg}$을 다른 셀들과 전압이 같아지는 시간 t_2에 대해 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 식 (9)~(12)에 사용된 t1과 t2를 구해서 더하게 되면 전압안정화회로에서 모든 셀이 동일해지는 시간이 된다.

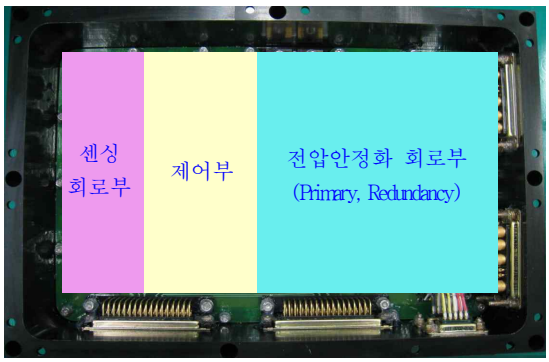
2.3 실험 결과

제안된 인공위성용 전압안정화 회로의 성능을 검증하기 위하여 위에서 설계된 소자 값을 가지고 prototype을 제작하여 실험을 하였다. 제작된 배터리와 전압안정화 회로의 prototype 형상을 <그림 5>와 <그림 6>에 나타내었다. 실험을 위해 30Ah의 용량을 가지는 리튬-이온 배터리 셀을 직렬로 8개 연결하여 배터리 팩을 구성하였다. 전압안정화 회로를 동작시키기 위해 2번째 셀과 8번째 셀의 전압을 다른 셀들과 달리하였는데, 2번째 셀은 다른 셀들의 평균전압보다 100㎷정도 낮게 방전을 하였고 8번째 셀은 다른 셀들의 평균전압보다 100㎷정도 높게 충전을 하였다. 실험결과, <그림 7>과 같이 136분의 전압안정화 동작에 의해 방전하였던 2번째 셀 전압은 50㎷ 정도 상승하였고 충전하였던 8번째 셀 전압은 50㎷ 정도 하강한 것을 확인하였다. 따라서 전압안정화 회로의 동작 전에는 셀 간 최대 전압 격차가 200㎷이었으나 136분의 전압 안정화 동작 이후에는 96㎷ 정도로 감소하였다.



<그림 5> 리튬 이온 배터리 팩

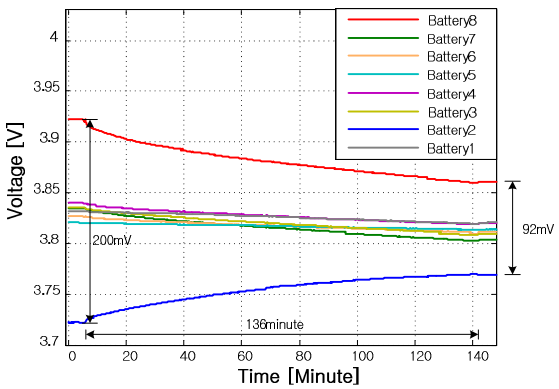
30Ah용량의 리튬-이온 배터리의 경우, 수천 시간 이상 운용했을 때 100㎷ 정도의 전압 격차가 발생한다는 제작사의 코멘트를 고려할 때, 2시간 안에 100㎷ 이상의 전압안정화가 이루어진 것은 위성의 운용측면에서 효과적이라고 말할 수 있다.



<그림 6> 제안된 회로 Prototype 사진

3. 결 론

본 논문에서는 소형인공위성을 위한 리튬-이온 배터리를 충 방전 하는 데에 따른 전압 불균형 문제를 해결하기 위하여 개선된 Fly-back 컨버터를 적용한 셀 전압 안정화 회로를 제안하고 작동 원리를 살펴보았다. 제안된 회로는 모든 셀 전압이 같아질 때까지 셀 간 전압 차를 줄여주어 전압 안정화가 이루어지게 하는데 보완된 Fly-back 구조를 가지고 있기 때문에 높은 효율로 인해 발열은 최소화 하면서 셀 전압을 빠르게 regulation 할 수 있다. Prototype 회로를 설계하고 실험결과를 통해 셀 전압이 안정화 회로의 동작을 검증하여 보았다. 따라서 제안된 회로를 리튬-이온 배터리를 에너지 저장 장치로 인공위성에 사용할 경우 배터리의 신뢰성을 향상시키고 배터리 전압을 안정화함으로써 궁극적으로 위성의 긴 수명을 보장하는 것이 가능하다.



<그림 7> 셀 전압 안정화 동작

References

[1] Gonai T., Kiyokawa T., Yamazaki H., Goto M., "Development of the Lithium Ion Battery System for Space: Report on the Result of Development of the Lithium Ion Battery System for Space", Telecommunications Energy Conference, 2003. INTELEC '03. The 25th International 19-23 Oct. 2003 PP. 234 - 240

[2] Kelly C.O., Friend H.D., Keen C.A., "Lithium-ion Satellite Cell Development: Past, Present and Future", Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE Volume 13, Issue 6, June 1998 PP. 21 - 25

[3] Koehler U., Kruger F.J., Kuempers J., Maul M., Niggemann E., Schoenfelder H.H., "High Performance Nickel-Metal Hydride and Lithium-ion Batteries", Energy Conversion Engineering Conference, 1997. IECEC-97. Proceedings of the 32nd Intersociety Volume 1, 27 July-1 Aug. 1997 PP. 93 - 98

[4] Sung-Woo Park, Jae-Seung Lee, Joing-In Lee and Jung-Oh Yun "다목적 실용위성 전력조절기 모듈화 구현을 위한 새로운 전원단 설계 및 해석", 한국 산업 정보학회 논문지, Volume 8, Issue 2, June 2003, pp. 84~91

[5] Il-Song Kim, Jun-Young Lee, Myung-Joong Youn, "과학위성 1호 전력계 설계", 전력전자 학회지, Volume 5, Issue 5, October 2000, pp. 475~483

[6] N.H.Kutkut, "Non-dissipative Current Driver Using a Centralized Multi-winding Transformer", Power Electronics Specialist Conference, PESC 97, IEEE 28th annual, Vol.1 pp. 648-654

[7] N.H.Kutkut, "A Modular Non-dissipative Current Driver for EV Battery Charge Equalization",

Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC 98, Conference proceedings, 13th annual, Vol.2 pp. 686-690
[8] H. Sakamoto, K. Murata, K. Nishijima, S. Taniguchi, K. Yamasaki, G. Ariyoshi, "Balanced Charging of Series Connected Battery Cells", Telecommunications Energy Conference, INTELEC. 20th international, 1999, pp. 311-315
[9] Z. Zhang, S. Cŭk, "A High Efficiency 1.8 kW Battery Equalizer", Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC 93, Conference Proceedings, IEEE 8th annual, pp. 221-227
[10] V. V. Hàrri and E. Egger, "All-purpose Circuitry Concept "SAM" Applications and Networking for Supercapacitors," 2nd Boostcap Meeting, Fribourg, Switzerland, Mar. 29, 2001.
[11] B. Lindemark, "Individual Cell Voltage Equalizers (IEC) for Reliable Battery Performance", Conference Rec. INTELEC, Kyoto, Japan, 1991, pp. 196-201
[12] "A New Energy Storage Device for Peak Power Applications", EPCOS, UltraCapTM Double Layer Capacitors, Product Profile 2002
[13] C.Pascual, P.T. Krein, "Switched Capacitor System for Automatic Series Battery Equalization", Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC 97, Conference Proceedings, 12th annual, Vol.2 pp. 848-854
[14] T. Shmpo, H. Suzuki, "Development of Battery Management System for Electric Vehicle", EVS 14, December 15-17, 1997, Orlando, Florida USA.
[15] Kobzev, G.A., "Switched Capacitor Systems for Battery Equalization", Modern Techniques and Technology, 2000. MTT 2000. Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientists, 28 Feb.-3 March 2000 pp. 57 - 59
[16] K. Nishijima, H. Sakamoto, K. Harada. "A PWM Controlled Simple and High Performance Battery Balancing System", Power Electronics Specialist Conference, PESC 00, IEEE 31th annual, Vol.1 pp. 517-520
[17] W. Wang, G. Dunford, K. Mauch, "Modified Boost Converter with Continuous Inductor Current Mode and Ripple Free Input Current", Power Electronics Specialist Conference, PESC 96, IEEE 27th annual, Vol.1 pp. 390-396
[18] P. Barrade, S. Pitter, A. Rufer, "Energy Storage System Using Series Connection of Super Capacitors, with an Active Device for Equalizing the Voltages", Swiss Federal Institute of Technology Lausanne, Ch-1015 Lausanne EPFL, Switzerland

박 경 화 (Kyung Hwa Park)

- 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학 석사
- 국방 기술 품질원 연구원
- 관심분야 : 군사 및 인공위성 전력 시스템, Battery Management System(BMS), 통신 기기 전력 시스템

이 강 현 (Kang Hyun Yi)

- 한양대학교 전자전기공학부 공학사
- 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학석사
- 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학박사
- 대구대학교 정보통신대학 전자전기공학부 조교수
- 관심분야 : 전력전자, 디스플레이 구동 회로, 무선 전력 전송

논 문 접 수 일 : 2013년 08월 09일
1차수정완료일 : 2013년 08월 23일
게 재 확 정 일 : 2013년 09월 02일