

전하 제어법을 이용한 배터리 균등화 회로

전창윤, 신종원, 김종훈, 조보형
서울대학교 전기 컴퓨터 공학부

Battery Equalization Circuit using Charge Control Scheme

Chang Yoon Chun, Jong-Won Shin, Jonghoon Kim, Bo Hyung Cho
School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University

ABSTRACT

직렬 연결된 배터리는 각 셀의 내부 화학적 특성 차이로 인해 동일 전류로 충전 및 방전 과정을 진행하여도 셀 간에 미세한 전압 차이가 발생한다. 이러한 셀 간 전압 불균형은 배터리 셀에 해로운 영향을 끼치게 되는데, 2차 전지의 경우 배터리 용량의 변화를 야기한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 배터리 운용 범위를 제한하는 보호회로가 있지만 보호회로는 직렬 연결된 배터리 셀 중 가장 전압이 높거나 가장 낮은 셀을 기준으로 충전과 방전 사이클을 종료시키므로 배터리 팩의 용량을 최대한으로 사용하지 못하게 하는 문제를 발생시킨다. 배터리 균등화 회로는 셀 간의 전압 차이를 줄여 배터리의 최대 용량을 사용하고자 하는 목적을 가진다. 저항을 기반으로 하는 수동적인 방법과는 달리 스위칭 소자를 이용하는 능동적인 방법에서는 스위칭으로 인해 입력력 전압 변동이 발생하여 컨버터 내부에 흐르는 전류가 수시로 변하는 문제가 생긴다. 위 문제를 해결하기 위한 방법으로 본 논문에서는 배터리 균등화 회로에 전하 제어(Charge control)기법을 제안하고, 그에 따른 회로 설계 요소를 제시한다.

1. 서론

최근 들어 EV, HEV의 발전의 힘입어 2차전지에 대한 수요가 크게 증가하고 있다. 기존의 소용량 배터리와 달리 이런 대용량 배터리들은 한 개의 셀로 전체 시스템이 필요로 하는 에너지를 공급할 수 없기에 직렬 또는 직병렬 구조로 셀을 연결되어 있다. 이러한 직렬 연결된 배터리들은 빈번한 충, 방전 과정을 거치거나, 급속충전과 같이 짧은 시간 내에 큰 전류를 인가하게 되면 각 셀 간의 전압차이가 쉽게 발생한다. 특히 DC/DC 컨버터를 이용하는 경우에는 각 셀이 직접적으로 느끼는 전류의 크기를 쉽게 알 수 없고 전류의 변화로 인해 셀 전압이 급격하게 변하는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 급격한 전류 변화로 인해 발생한 전압 변화는 현재 배터리의 사용가능한 용량(SOC)을 판단하는데 큰 장애가 된다.

본 논문에서는 배터리 균등화 회로의 역할을 하면서도, SOC 추정에 중요한 정보로 사용될 수 있는 전류정보를 함리적으로 얻을 수 있는 방법을, 배터리 균등화 회로에 적용한 전하 제어법을 이용해 제안하였으며 이를 실제 균등화 회로의 적용하여 타당성을 검증한다.

2. 제안한 배터리 균등화 회로

2.1 배터리 균등화 회로 및 설계 고려 요소

제안된, 배터리 균등화 회로의 전하 제어법은 노이즈에 강한 장점이 있으면서도 일정한 입력 전류의 양을 설정해 줄 수 있으므로 각 셀에 들어가는 전류의 양을 파악하는데 도움이 된다.^[1] 또한 입, 출력전압이 변하는 시스템에서 부하를 산출해 내는데 이용할 수 있다. 이러한 입력 전류를 제어하는 방식은 부하가 배터리와 같이 정전압원일 경우에는 그 동작 모드를 결정해주는 역할까지 할 수 있다.

본 논문에 사용된 회로는 기본적으로 selector bus 구조를 이용한 Flyback 컨버터로 그림 1과 같다. 이 균등화 회로는 특정 배터리 셀의 전압이 높다면 그 셀에서 전력을 빼내어서 전체 팩으로 보내주는 것으로, 기본적으로 한 개의 컨버터를 사용하기 위해 bus구조를 사용한 것이 특징이다.^[2] 이 컨버터의 입력전압을 셀 하나의 전압 V_g 라고 할 때, 출력전압은 전체 배터리 팩의 전압 V_{pack} 이다. Bus를 통해 특정 셀이 컨버터에 연결 되면 그림 1의 회로도들 그림 2처럼 동작시킬 수 있다. 그림 3은 그림 1 회로의 동작과형이다. 일반적인 전하 제어와 같이 V_{ct} 의 전압이 V_c 까지 커지면 V_{gs1} 에는 off신호를, V_{gs2} 에는 on신호를 주게 된다. 전하 제어법을 사용할 시에 입력 전류가 동일하게 유지되면서, 출력 전류도 일정한 값을 갖게 되므로 출력전압 V_{pack} 을 알게 되는 경우 입력전압, 입력 전류,

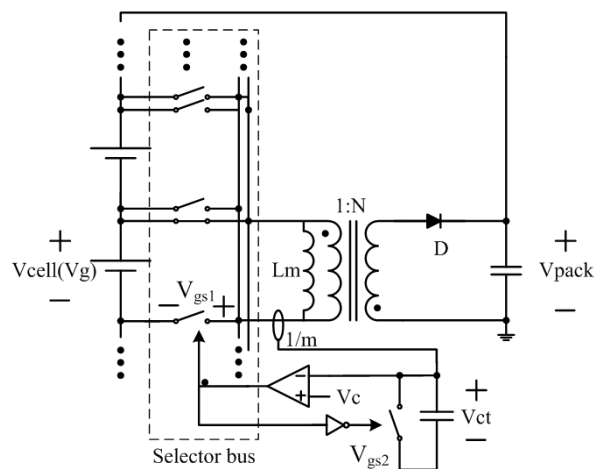


그림 1 제안한 전하 제어법을 이용한 배터리 균등화 회로
Fig. 1 Proposed battery equalization circuit using charge control scheme

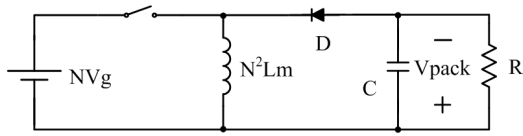


그림 2 배터리 균등화 회로의 등가회로 및 등가부하
Fig. 2 Equivalent circuit and equivalent load of battery equalization circuit

효율 η 를 통해 등가부하를 식 (1)과 같이 구할 수 있다. 이때 I_s 는 스위치에 흐르는 평균전류이다.

$$R = \frac{V_{pack}^2}{\eta V_g I_s} \quad (1)$$

위 분석을 바탕으로 그림 3의 회로의 전류 파형에 고주파 왜곡이 없기 위해서는 식 (2)을 만족시켜야 한다.

$$\frac{N^2 L_m F_s}{R} \geq \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi}\right) \frac{1}{4} \geq \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi}\right) D D' \quad (2)$$

N 은 변압기의 권선비, L_m 은 자화인덕턴스, D 는 시비율, F_s 는 스위칭 주파수이다.

2.2 설계 및 결과

1장에서 언급한 전류 제어법을 사용하여 Flyback converter를 연속전류모드(CCM)로 구동하였다. 연속전류모드로 컨버터를 구동하면, 동일한 전력을 처리하는 데 있어서 전류의 peak를 줄일 수 있고 이는 배터리 전압 변동을 줄이는 효과를 가져다준다. 식 (2)의 조건을 충족시키는 범위 내에서 연속전류모드 구동조건인 식 (3)을 이용하면, L_m 에 흐르는 평균전류 I_M 과 V_{ct} 의 관계를 가진 전체 시스템을 설계할 수 있다.

$$\frac{V_{pack}}{V_g} = N \frac{D}{D'}, \quad \frac{1}{2} \frac{V_g D}{L_m F_s} \leq I_M, \quad V_{ct} = \frac{I_M D}{C_t m F_s} \quad (3)$$

이에 따라 $L_m=50\mu\text{H}$, $F_s=120\text{kHz}$, $N=10$, $\eta=0.7$, 전류 검출 이득으로 $m=140$ 으로 설정하였고, 14Ah의 LiFePO_4 배터리를 사용하여 Flyback회로에 전하 제어법을 구현한 후 V_{ct} 를 변화시키면서 안정적으로 동작하는지를 확인하였다. 그림 4에서는 전하 제어법에서 발생할 수 있는 문제점인 고주파 왜곡이 나타나지 않으면서 안정된 전류 파형이 나오게 됨을 확인할 수 있었다. 그림 5에서는 입력으로 들어가는 셀 전압의 변동과는 상관없이 거의 일정한 전류가 컨버터에 들어간다는 사실을 통해 전하 제어법의 장점을 확인할 수 있다.

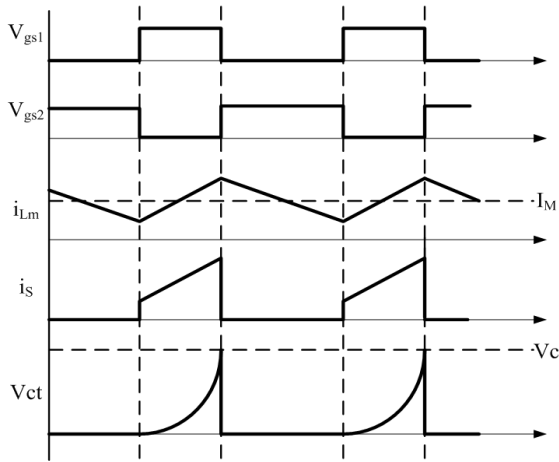


그림 3 전하 제어법을 이용한 Flyback 컨버터 동작파형
Fig. 3 Key waveforms of flyback converter using charge control scheme

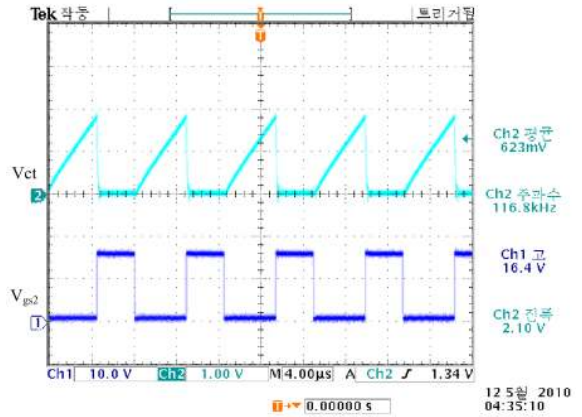


그림 4 Vgs2의 파형과 Vct의 파형
Fig. 4 Experimental waveforms of Vgs2 and Vct

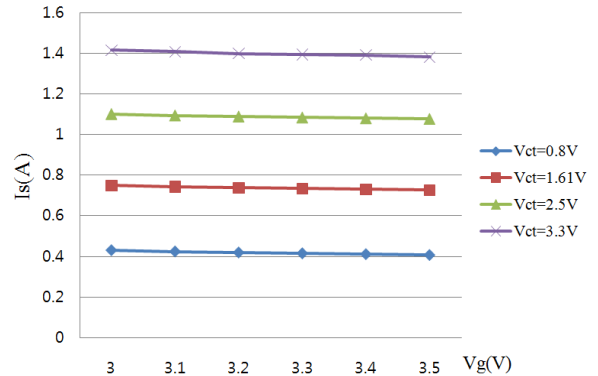


그림 5 입력전압(V_g)에 따른 평균입력전류(I_s)
Fig. 5 Input voltage and average input current

3. 결론

DC/DC 컨버터를 이용하는 능동적인 배터리 균등화 회로에서는 전하 제어법을 이용할 시에 전류정보를 구동의 안정성과 구동 모드, 그리고 배터리의 상태를 판단할 수 있는 척도로 사용할 수 있다. 본 논문에서는 전하 제어법과 구동 모드를 결정하여 설계하는 방법을 제안하였다. 제안된 전하 제어법을 실험결과를 토대로 검증하였다.

이 논문은 삼성테크윈의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] W. Tang, F. C. Lee, R. B. Ridley, and I. Cohen, "Charge Control: Modeling, Analysis and Design", IEEE Trans. Power Electronics, vol. 8, issue 4, pp. 396-403, Oct. 1993.
- [2] J. W. Shin, G. S. Seo, C. Y. Chun, and B. H. Cho, "Selective Flyback Balancing Circuit with Improved Balancing Speed for Series Connected Lithium-ion Batteries," Proceedings of International Power Electronics Conference - ECCE Asia, 2010.