

전기자동차에 적용되는 새로운 배터리 전압 밸런싱 시스템

김헌희*, 이희준*, 이정효*, 신수철*, 김진홍**, 원충연*
성균관대학교*, 전자부품연구원**

A Novel Battery Voltage Balancing System for EV

Heon Hee Kim*, Hee Jun Lee*, Jung Hyo Lee*, Soo Chul Shin*, Jin Hong Kim**, Chung Yuen Won*
Sungkyunkwan University*, Korea Electronics Technology Institute**

ABSTRACT

본 논문에서는 소형 전기자동차에 적용되는 새로운 배터리 전압 밸런싱 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 양방향 전력 변환장치와 보조배터리를 연결하여 에너지의 회생이 가능하도록 설계하였다. 본 논문에서는 제안된 시스템의 회로에 대해 설명하고 배터리 상태에 따른 조건을 분류하여 제어 방법을 설명하였다. 배터리 상태에 따른 제어모드를 설명하고 제안된 시스템의 타당성을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

1. 서 론

전기자동차는 직렬로 연결된 배터리에 충전된 전력을 전동기로 전달하여 차량을 구동하는 구조이다. 배터리는 개별 셀 화학물의 미소 변동, 초기 충전량의 차이, 충전전 사이클 차이, 전력 손실, 온도 영향에 따라 임피던스 특성이 모두 다르다. 이러한 임피던스 특성 때문에 충전 및 방전을 반복하면 배터리 상호간 전압 불균형 현상이 발생하게 된다.^[1]

전압이 균일하지 않은 배터리를 충전하면 전압이 가장 높은 셀은 완충전 이상의 전압까지 충전이 되며, 전압이 낮은 셀은 완충전이 안된 상태에서 충전이 중지된다. 이로 인해 배터리의 수명을 단축되고 전력의 손실이 발생한다. 또한 과충전시 폭발의 위험성을 가진다. 따라서 배터리의 성능을 유지하고, 안전성을 확보하기 위해서는 배터리 밸런싱을 이루는 것이 중요하다.^[2]

기존의 배터리 밸런싱 방법은 높은 전압 레벨의 배터리에서 열로 소모시켜 밸런싱을 이루었지만 본 논문에서 제안된 새로운 배터리 밸런싱 시스템은 전압이 높은 배터리에서 낮은 배터리로 전력이 회생 및 분배되도록 제어한다. 이로 인해 배터리의 성능과 수명을 보장하고 안전성을 확보할 수 있으며 에너지 손실을 절감하는 효과가 있다.

2. 제안하는 배터리 밸런싱 회로도

그림1은 기존의 저항(Resistance) 셀 밸런싱 방식이다. 이 방식은 수동적인 방법으로, 전압이 높은 배터리에서 저항을 통해 방전하는 방식으로서, 제어가 쉽고 저가형인 반면, 밸런싱 과정에서 전력의 회생이 불가능하다. 그리고 밸런싱 과정에서 발생하는 열에 대한 대책이 필요하다.^[1]

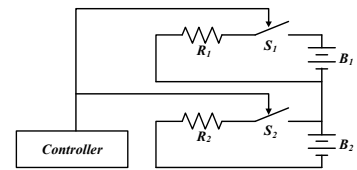


그림 1 저항 배터리 밸런싱 방식(Charging Shunting)
Fig. 1 Resistance Battery Balancing System

그림 2는 본 논문에서 제안한 배터리 밸런싱을 위한 양방향 DC/DC컨버터의 회로이다. 양방향 풀브리지 컨버터를 병렬로 연결하여 1차측에는 12V의 보조배터리 1개를 연결하고 각 컨버터의 2차측에는 배터리를 직렬로 연결하여 24V가 되도록 구성하였다.

제안한 양방향 컨버터를 이용하여 배터리를 밸런싱 하기 위해 컨버터의 2차측 배터리의 전압과 1차·2차측 전류를 센싱 받아 전압제어와 전류제어를 수행한다. 이 때 높은 전압 배터리측의 컨버터는 2차측 스위치를 작동시켜 보조배터리로 전력을 전달하고 낮은 전압 배터리측의 컨버터는 1차측 스위치를 작동시켜 보조 배터리로부터 전력을 공급받는다.

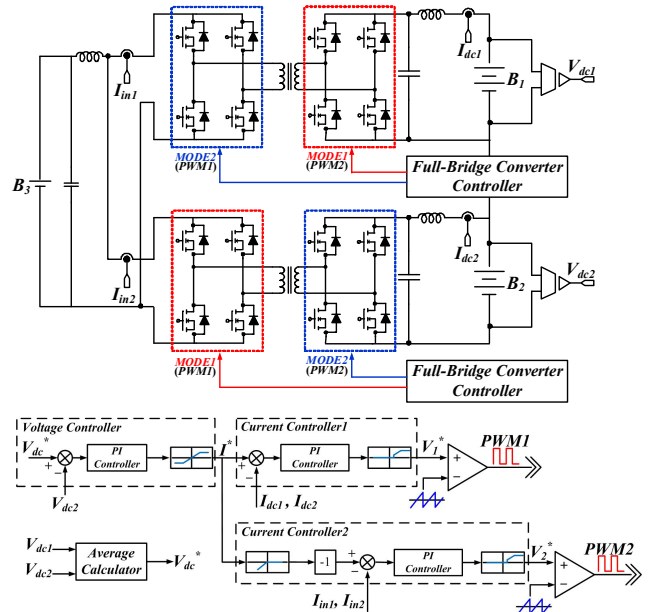


그림 2 양방향 DC/DC컨버터를 이용한 배터리밸런싱 제어 방식
Fig. 2 Battery Balancing System using Dual Bi-Directional DC/DC Converter

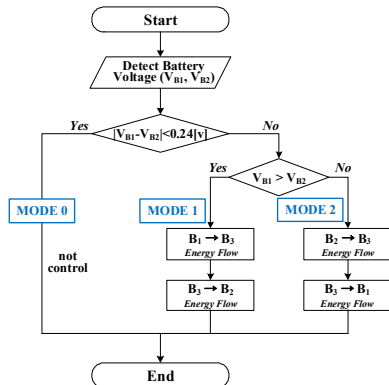


그림 3 배터리 전압 조건에 따른 제어 순서도
Fig. 3 Flow Chart of Control

그림 3은 배터리 전압 조건에 따른 제어과정을 순서도로 나타낸 것이다. 두 배터리의 전압을 센싱하여 각 배터리의 전압 상태를 고려하면 3가지 모드로 나눌 수 있다. 두 배터리의 전압 차이가 정격전압(24V)의 1%(0.24V)이상이면 두 배터리의 전압이 같아지도록 제어한다. 전압차이가 0.24V이하일 때, 배터리 전압 밸런싱이 되었다고 가정하여 제어하지 않는다.

그림 4는 각 모드별 전력의 흐름을 나타낸다.

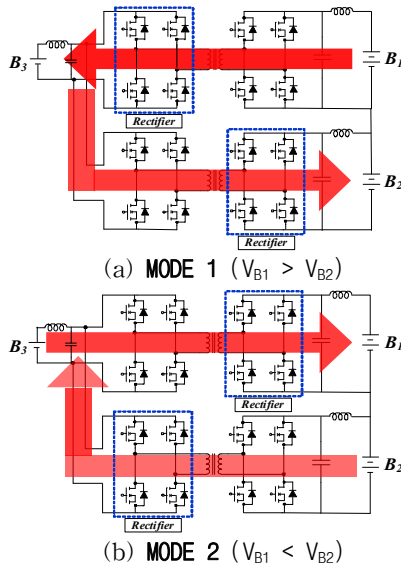


그림 4 배터리 전압 상태에 따른 동작모드(전압조건)
Fig. 4 Energy Flow for Each Mode(Voltage Condition)

- **MODE 0** ($V_{B1} = V_{B2}$) 두 배터리의 전압이 같아서 동작하지 않는 모드. 이 모드에서는 스위치를 제어하지 않는다.
- **MODE 1** ($V_{B1} > V_{B2}$) 배터리1의 전압이 배터리2의 전압보다 높은 모드. 이 모드에서는 배터리1의 전력을 보조배터리로 전달하고 동시에 배터리2로 전력을 전달하여 전압을 밸런싱 한다. 이 때 상부 컨버터의 1차측과 하부 컨버터의 2차측은 스위치가 다이오드로 동작하여 정류기의 역할을 한다.
- **MODE 2** ($V_{B1} < V_{B2}$) 배터리2의 전압이 배터리1의 전압보다 높은 모드. 이 모드에서는 모드1과는 반대로 배터리2의 전력을 보조배터리로 전달하고 동시에 배터리1로 전력을 전달하여 전압을 밸런싱 한다. 이 때 상부 컨버터의 2차측과 하부 컨버터의 1차측은 스위치가 다이오드로 동작하여 정류기의 역할을 한다.

3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안한 배터리 밸런싱 방식의 타당성을 증명하기 위해 Powersim사의 PSIM을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 그림1과 같은 회로도를 구성하여 컨버터의 2차측 배터리의 전압과 1차·2차측 전류를 센싱 받아 전압제어와 전류제어를 수행한다. 제어기는 PI제어기를 사용하였다.

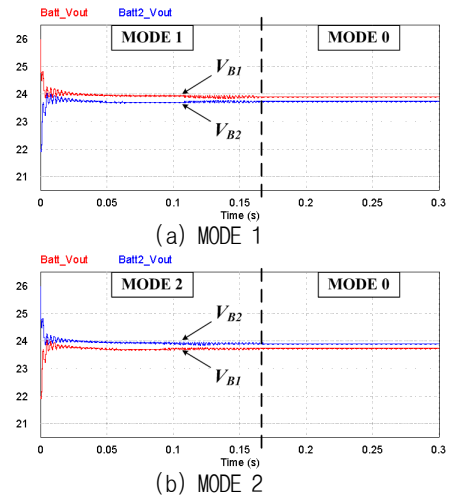


그림 5 모드별 각 배터리 전압 파형
Fig. 5 Voltage Waveform of Each Battery

그림 5의 (a)는 배터리1과 배터리2의 전압을 각각 26V와 22V로 맞추어 밸런싱이 이루어지지 않은 초기상태를 구성하였다. 이 조건은 모드 1로써 배터리1에서 배터리2로 전력이 전달되도록 제어한다. 두 배터리의 전압차이가 0.24V(정격전압의 1%) 이하가 되면 두 배터리의 밸런싱이 이루어진 상태로 가정하여 더 이상 제어하지 않는다.

그림 5의 (b)는 배터리1과 배터리2의 전압이 각각 22V와 26V로 맞추었다. 이 조건은 모드 2로써 배터리2에서 배터리1로 전력이 전달되도록 제어한다. 전압차이가 0.24V 이하가 되면 밸런싱이 이루어져 더 이상 제어하지 않는다.

4. 결론

본 논문에서는 양방향 DC DC컨버터와 보조배터리를 이용하여 배터리를 밸런싱하는 방식을 제안하였다. 제안된 시스템은 두 배터리가 서로 전력을 전달 하여, 동등한 전압 레벨을 유지하도록 제어하는 것을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 20104010100630 11 1 000)

참고 문헌

[1] “그린카 전기동력 시스템”, 전력전자학회 기술 보고서, pp. 115~129. July. 2010.
[2] H. S. Kim, K. B. Park and M. J. Youn, “Flyback Battery Equalizer with Voltage Doubler Rectifier”, ICPE ECCE, pp. 164~166, June. 2011.