

# 다여자 구조에 의한 배터리 밸런싱 회로

박성미<sup>1</sup>, 이원진<sup>2</sup>, 고재하<sup>2</sup>, 박성준<sup>2\*</sup>  
 한국승강기대학교 메카트로닉스과<sup>1</sup>, 전남대학교 전기공학과<sup>2</sup>

## The battery balancing circuit by using multi-exciter structure

Seong Mi Park<sup>1</sup>, Won Jin Lee<sup>2</sup>, Jae Ha Ko<sup>2</sup>, Sung Jun Park<sup>2\*</sup>

Dept. of Mechatronics Engineering Korea Lift College<sup>1</sup>, Dept. of Electrical Engineering Chonnam National University<sup>2</sup>

### ABSTRACT

제안된 토폴로지의 특징은 각 모듈에 연결된 모든 DC/DC 컨버터 출력이 변압기 1개에 연결하는 구조를 취하고 있다. 이러한 구조는 배터리의 전압 밸런싱용 모든 컨버터가 하나의 고조파 변압기를 통하여 자속을 공유하는 형태를 취함으로써 모든 컨버터의 입력 전압이 자동으로 같아지는 전압으로 수렴하게 된다. 특히 본 구조는 직렬로 연결된 여러 개의 배터리 전압을 한 개의 전압검출만으로 추적이 가능하여 BMS 관리를 위한 다수의 전압센서를 제거할 수 있는 특징을 갖고 있다.

### 1. 서론

본 연구에서는 배터리에서 전압 불평형을 제거하기 위해 새로운 자속공유형 DC/DC 컨버터 토폴로지를 제안한다. 제안된 토폴로지의 특징은 직렬로 연결된 각 배터리에 연결된 DC/DC 컨버터 출력을 1대 1 권선비를 갖는 절연형 변압기 1개에 공통으로 연결하는 구조를 취하고 있다. 이러한 구조는 배터리 밸런싱용 모든 컨버터가 하나의 고조파 변압기를 통하여 자속을 공유하는 형태를 취함으로써 모든 컨버터 전압이 자동으로 같아지는 전압으로 수렴하게 된다<sup>[1][4]</sup>. 특히 본 구조는 직렬로 연결된 여러 개의 배터리 전압을 한 개의 전압검출만으로 추적이 가능하여 BMS 관리를 위한 다수의 전압센서를 제거할 수 있는 특징을 갖고 있고, 모든 모듈 간 전력변환이 1차 전력변환이 가능한 장점이 있다.

### 2. 전압 밸런싱 회로

제안된 토폴로지는 N개의 권선을 가진 하나의 고조파 변압기에 N개의 직렬로 연결된 배터리 모듈을 소스로 하여 N개의 DC/DC 컨버터가 연결된 구조이다. DC/DC 컨버터는 하프브리지 컨버터, 풀브리지 컨버터, 2 스위치 포워드 컨버터, 플라이백 컨버터 등 다양한 컨버터로 구성할 수 있다. 이러한 하나의 고조파 변압기를 이용한 N개의 DC/DC 컨버터 구조는 밸런싱용 모든 컨버터가 하나의 고조파 변압기를 통하여 자속을 공유하여 동기된 신호에 의해 변압기 단자전압에 다수의 여자전압을 인가하는 형태를 취함으로써 모든 컨버터의 전압이 자동으로 같아지는 전압으로 수렴하게 된다. 이때 컨버터는 전류불연속 모드로 동작하는 것이 바람직하다. 그림 1은 제안된 전압 밸런싱 구조 중 2 스위치 포워드 컨버터를 사용한 경우의 토폴로지

회로도이다. 그림에서 변압기는 이상적인 1대1 변압기에 누설 인덕터와 여자인덕터로 구성된 등가회로로 표현하였다. 이때 변압기의 설계 시 누설인덕터의 크기를 최소화하여 전압 밸런싱 전압을 최소화 하여야 한다.

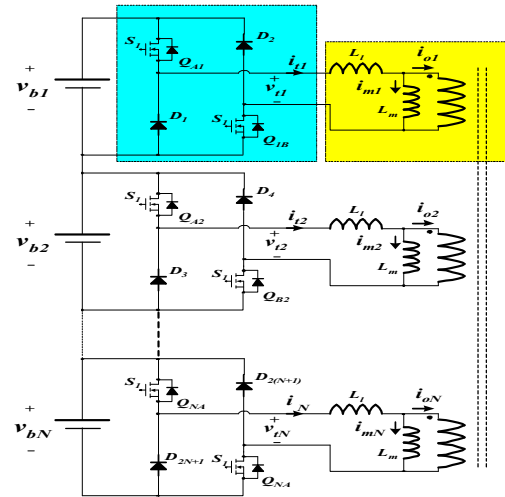


그림 1 제안된 전압 밸런싱 회로  
 Fig. 1 The proposed voltage balancing circuit

본 컨버터에서 전류불연속모드로 동작하기 위해 컨버터의 시비율은 0.5 이하로 제한하였으며, 순시 전압방정식은 아래식과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} v_{b1} &= L_l \frac{d}{dt} i_1 + L_m \frac{d}{dt} \sum_{k=1}^N i_k \\ v_{b2} &= L_l \frac{d}{dt} i_2 + L_m \frac{d}{dt} \sum_{k=1}^N i_k \\ v_{bN} &= L_l \frac{d}{dt} i_N + L_m \frac{d}{dt} \sum_{k=1}^N i_k \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)로부터 각 컨버터의 전류해를 구한 후 라플라스 영역을 시간영역으로 표현하면 아래 (식)과 같이 주어진다.

$$i_1(t) = \left( \frac{1}{L_l} V_{b1} - \frac{L_m}{L_l(L_l + L_m)} \sum_{k=1}^N V_{bk} \right) t$$

$$i_2(t) = \left( \frac{1}{L_l} V_{b2} - \frac{L_m}{L_l(L_l + L_m)} \sum_{k=1}^N V_{bk} \right) t \quad (2)$$

$$i_N(t) = \left( \frac{1}{L_l} V_{bN} - \frac{L_m}{L_l(L_l + L_m)} \sum_{k=1}^N V_{bk} \right) t$$

### 3. 실험결과 및 결론

제안된 전압 밸런싱 토폴로지의 타당성을 검증하기 위한 시험용 시스템 구성은 그림 2에 나타내고 있다. 시험 시스템은 시뮬레이션과 동일하게 구성하였으며 콘덴서 충전용으로 AC/DC 차저를 추가 하였으며, 게이트 신호 발생을 위해서 DSP(TMS320F028)로 구성하였다.

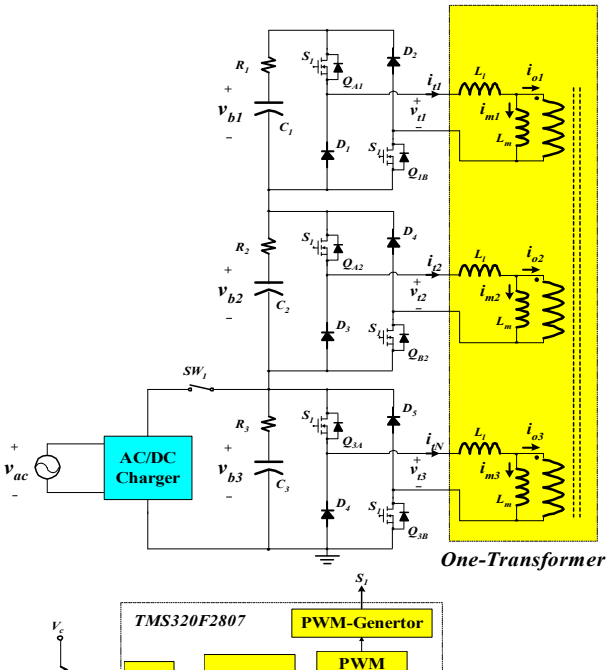


그림 2 시험용 시스템 구축  
Fig.2 Building a system for testing

그림 3은 밸런싱 동작시 특성을 관찰하기 위한 실험 결과이며 게이트 신호와 3개의 콘덴서 전압 및 컨버터의 전류를 나타내고 있다. 콘덴서 C1, C2, C3의 초기 전압은 시뮬레이션과 동일하게 0[V], 4[V], 12.5[V]로 설정하였다. 콘덴서 C3, C2 및 C1 전압은 시뮬레이션과 동일하게 최종적으로는 동일하게 되었다. 그림 4는 플로팅 충전 시 전압 밸런싱 특성을 관찰하기 위한 실험 결과이며, 3개의 전압 및 각 컨버터의 전류를 나타내고 있다. C3에 전압원 13[V]가 연결된 것으로 가정하고 C1, C2, C3의 초기 전압을 0[V], 4[V]로 설정하였다. 실험 결과 시뮬레이션과 유사하게 동일 시정수로 전압이 거의 13[V]로 수렴하였다. 본 실험 결과 플로팅 충전시 직렬로 연결된 모듈 중 1개에만 충전을 구성하여도 전체 모듈에 대한 전압밸런싱을 유지하면서 충전할 수 있음을 알 수 있다. 특히 본 회로의 특징은 다수의 배터리가 연결되어 있는 경우 과충전 부족충전의 배터리 위치에 관계없이 1개의 전력변환기를 이용하여 에너지를 전달할 수 있는 장점을 갖고 있다.

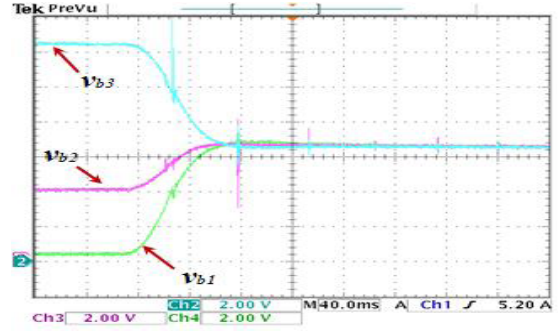


그림 3 전압 밸런싱 실험결과  
Fig. 3 Result of voltage balancing

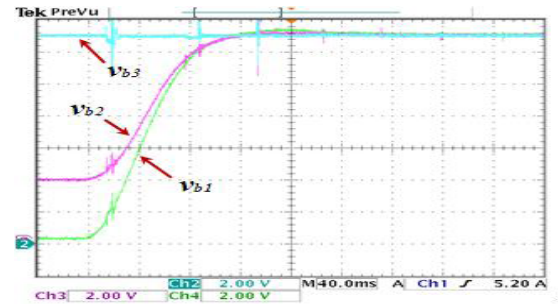


그림 4 플로팅 충전 시 실험결과  
Fig. 4 Result of Floating charging

본 연구는 전지모듈의 직렬연결에 의해 충방전 시 발생할 수 있는 전압 불평형을 제거하기 위해 새로운 자속 공유형 DC/DC 컨버터 토폴로지를 제안하고 시뮬레이션 및 실험을 한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다. 직렬로 연결된 배터리 모듈에 개별 DC/DC컨버터 출력을 1개 변압기에 연결하는 구조를 취함으로써 전압검출 없이 수동적으로 전압 밸런싱을 이룰 수 있었다. 또한, 다수의 배터리 모듈이 연결되어 있는 경우 과충전 부족충전의 배터리 위치에 관계없이 1개의 전력변환기를 이용하여 에너지를 전달할 수 있었다. 그리고 본 토폴로지를 사용하여 플로팅 충전을 할 경우 낮은 전압인 배터리 한 개 모듈의 전압으로도 플로팅 충전이 가능함을 확인하였다.

이 논문은 한국승강기대학교의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

### 참고 문헌

- [1] W. F. Bentley, "Cell balancing considerations for lithium-ion battery systems," in *Proc. 12th Annu. Battery Conf. Appl. Adv.*, Jun. 12-17, 1997, pp.223-226..
- [2] Y. S. Lee and M. W. Cheng, "Intelligent Control battery equalization for series connected lithium-ion battery strings," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 52, pp. 1297-1307, Oct. 2005.
- [3] A. M. Imtiaz, F.H. Khan, H. Kamath, "A Low cost time shared cell balancing technique for future lithium-ion battery storage system featuring regenerative energy dsitribution," 26th Applied Power Electronics Conference, APEC, March 2011.
- [4] J. Rouillard, C. Comte, R. A. Hagen, O. B. Knudson, A. Morin, and G. Ross, "Equalizer system and method for series connected energy storing devices," U.S. Patent 5 952 815, Sep. 14, 1999.