

# 확장된 다권선 변압기를 이용한 모듈화된 배터리 셀 전압 균등화 회로

백일권, 김태훈, 임창순, 김래영  
한양대학교

## Modularized Battery Cell Voltage Equalization Circuit using Extended Multi-winding Transformer

Il Kwon Baek, Tae Hoon Kim, Chang Soon Lim, Rae Young Kim  
Hanyang University

### ABSTRACT

본 논문은 배터리 셀 전압의 균등화에 대한 새로운 회로를 제안한다. 제안한 회로는 확장된 다권선 변압기를 이용한 회로로 변압기 사이에 있는 권선을 연결하여 모듈 간의 밸런싱 동작이 이루어지게 하는 회로이다. 밸런싱 성능을 분석하기 위하여 Cantilever 변압기 모델을 사용하였는데 이 모델을 통하여 모듈 간의 밸런싱 편차를 도출하였다. 기존의 회로와는 대조적으로 이 제안된 회로는 모듈화 및 제어가 쉽고 무엇보다도 배터리 수에 제한이 없다는 점이 장점이다. 이것은 고전압을 요구하는 하이브리드 전기 자동차(HEV)와 같은 어플리케이션에서의 밸런싱된 많은 직렬 연결된 배터리 셀 전압에 중요한 이점들이 될 수 있다. 본 논문에서는 이 회로의 타당성을 검증하기 위하여 이론적으로 분석하고 6개의 배터리 셀들을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다.

### 1. 서론

최근 전기 자동차(EV)와 HEV 그리고 UPS(Uninterrupted Power Supply)와 같은 많은 어플리케이션에서 직렬 연결된 배터리 셀이 많이 사용되고 있다. 그러나 배터리가 충·방전하는 동안 셀 내부저항, 셀 용량 그리고 주위 온도 변화 등의 차이로 인하여 셀 전압 불균형이 발생할 수가 있다. 이러한 현상은 배터리 수명의 단축 및 총 저장용량의 감소로 이어지게 된다. 그러므로 배터리 수명을 연장하고 총 저장용량을 유지시키기 위해서 직렬 연결된 배터리 셀에 대한 균등화가 필요하다. 밸런싱 회로의 주된 추세 중 하나는 변압기 커플링을 이용하는 것이다<sup>[1]</sup>. 이 회로는 매우 간단하고 제어하기 쉽지만 배터리 셀에 제한이 있다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 본 논문에서는 배터리 셀에 제한이 없고 모듈화 및 제어를 쉽게 할 수 있는 방법을 제안하였다. 이 회로를 검증하기 위하여 동작 원리를 분석하고 한 모듈에 6개의 셀로 된 회로를 구성하여 시뮬레이션을 실시하였다.

### 2. 제안된 배터리 균등화 방법

#### 2.1 배터리 셀 전압 균등화 회로의 동작 원리

그림 1은 N개의 배터리 셀들을 적용한 제안된 균등화 회로를 나타낸다. 확장된 변압기 형태를 통하여 모듈간의 배터리 균등화가 가능해진다. 이 회로에서 같은 모듈에서의 배터리 셀

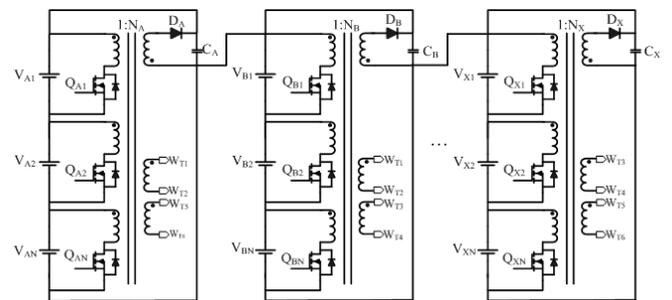


그림 1 제안된 균등화 회로  
Fig. 1 Proposed the equalization circuit

전압은 같고 모듈 간의 전압은 다르다고 가정한다. 스위치가 turn off 되었을 때 변압기의 자화 전류는 다이오드를 통하여 배터리 셀로 흘러 방전되므로 에너지가 회복되고 또한 변압기 reset이 이루어지게 되어 셀 전압이 균등화가 되는 방법이다. 이 때 회복된 에너지의 크기는 변압기의 자화 인덕턴스에 의해 결정된다.

#### 2.2 모드 분석

그림 2는 3단계로 나뉜 동작 원리를 나타내고 그림 3은 제안된 회로의 파형을 나타내고 있다. 이 때 누설 인덕턴스와 기생 성분은 없다고 가정한다.

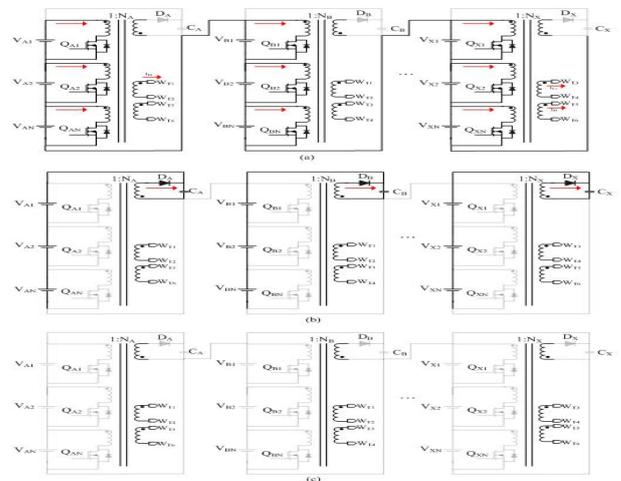


그림 2 동작 원리  
Fig. 2 Operation Principles

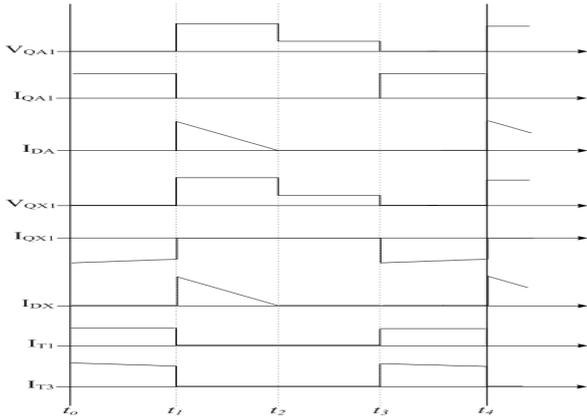


그림 3 회로 파형  
Fig. 3 Waveform of the circuit

모드 1은 모듈 내의 모든 스위치가 동시에 turn on 되는 구간인데 이 때 배터리 셀들 사이에 자화 전류와 밸런싱 전류가 스위치를 통하여 흐르게 된다. 모드 2는 모든 스위치가 동시에 turn off 되는 구간으로 자화 전류가 0이 되고 reset 전류는 C로 흐르게 된다. 그리고 C에 있는 에너지는 배터리 셀로 흘러 회복되게 된다. 모드 3은 스위치 및 다이오드가 turn off가 되는 구간으로 밸런싱 전류 및 reset 전류가 0으로 떨어지는 구간이다.

그림 4는 변압기 누설 인덕턴스를 분석하기 위한 확장된 Cantilever 모델이다.<sup>[2]</sup> 그림 5는 모듈 간의 밸런싱의 테브난 등가회로를 나타낸다. 여기서  $V_{WTX}$ 와  $V_{WTY}$ 는 각각 모듈 X와 Y의 테브난 등가 전압을 나타낸다. 밸런싱이 끝난 후 두 전압은 같아지게 된다. 그러므로 모듈 사이의 밸런싱 전압 오차를 다음과 같이 정의를 내릴 수 있다.

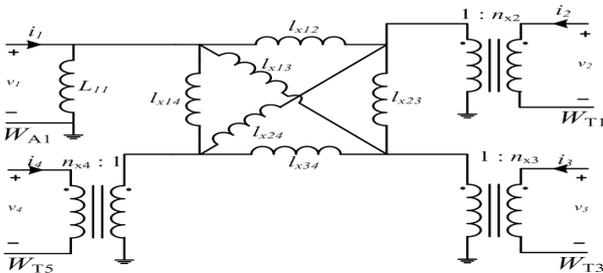


그림 4 변압기 누설 인덕턴스  
Fig. 4 Transformer leakage inductance

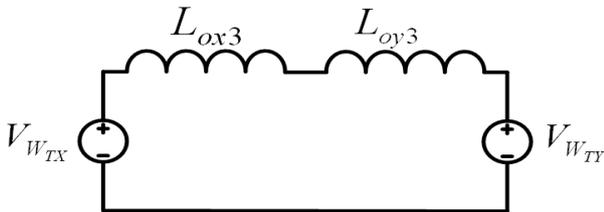


그림 5 테브난 등가 회로  
Fig. 5 Thevenin equivalent circuit

$$\frac{v_x}{v_y} = \left( \frac{n_{x2}n_{x3}n_{x4}}{n_{y2}n_{y3}n_{y4}} \right) \cdot \left( \frac{n_{y4}b_{14k} + n_{y2}b_{12k} + n_{y2}n_{y4}b_{24k}}{n_{x4}a_{14k} + n_{x2}a_{12k} + n_{x2}n_{x4}a_{24k}} \right) \quad (1)$$

여기서  $v_x$ 와  $v_y$ 는 배터리 셀 전압의 평균값이다. 또한  $L_{ox3}$ ,

$L_{oy3}$ 은 테브난 출력 임피던스이고  $n_x, n_y$ 는 변압기의 실제 권선비이다. 또한  $a_{uvk}$ 와  $b_{uvk}$ 에 관한 식을 정의하면 다음과 같다.

$$a_{uvk} = \frac{l_{xuk}l_{xvk}}{l_{x1k}l_{x2k} + l_{x2k}l_{x3k} + l_{x3k}l_{x4k}} \quad (2)$$

$$b_{uvk} = \frac{l_{yuk}l_{yv k}}{l_{y1k}l_{y2k} + l_{y2k}l_{y3k} + l_{y3k}l_{y4k}} \quad (3)$$

식 1은 밸런싱 성능을 높이기 위해서 1의 값을 가져야 하고 변압기의 누설 인덕턴스는 최소화되어야 한다.

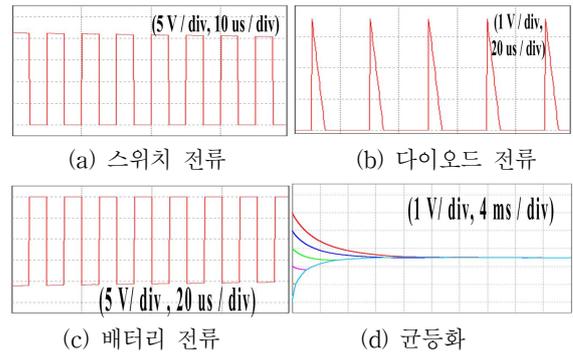


그림 6 시뮬레이션 결과  
Fig. 6 Simulation results

### 3. 시뮬레이션 결과

한 모듈에 2개의 배터리 셀인 3개의 모듈로 회로를 구성하여 시뮬레이션을 실시하였다. 그림 6에서 보이듯이 배터리 셀 전압 균등화가 잘 이루어진다는 것을 알 수 있다.

### 4. 결론

본 논문은 확장된 다권선 변압기를 이용하여 모듈화된 셀 전압 균등화 방법을 제안하였다. 이 방법은 모듈화가 쉽고 배터리 수에 제한이 없다. 본 논문에서 동작원리를 분석하였고 밸런싱 성능 목표치를 달성하기 위하여 변압기 설계값을 도출하였다. 또한 제안된 방법을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 실시하였다. 향후 prototype 보드를 설계하고 실제 시험 파형을 통해 회로를 검증하여 기존의 회로와 비교할 것이다.

### 참고 문헌

- [1] N. H. Kutkut, "Non dissipative current diverter using a centralized multi winding transformer", in *Proc. 28th IEEE Power Electron. Spec. Conf.*, St. Louis, MO, Jun. 1997, pp. 648-654.
- [2] R. W. Erickson, D. Maksimovic, "A Multiple Winding Magnetics Model Having Directly Measurable Parameters", *IEEE PESC Conference Record*, Fukuoka, Japan, May 17-22, 1998, Volume II, pp. 1472-1478.