

# 플라이백 다권선 트랜스포머 균등화 회로에서의 누설 인덕턴스 영향 보상

김진웅, 하정익  
서울대학교 전기·컴퓨터공학부

## Compensation of leakage inductance effect in multi-winding cell balancing circuit

Jin Woong Kim, Jung Ik HA

School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University

### ABSTRACT

여러 개의 셀을 직렬 연결하여 사용하는 대용량 리튬 이온 배터리 사용이 많아지면서 각 셀 간의 전압 평형문제가 중요해지고 있다. 직렬 연결된 각 셀들의 전압이 평형을 이루지 않게 되면 그 배터리의 용량을 충분히 활용하지 못하게 되고 배터리 수명 또한 줄게 된다. 셀들 간의 전압 불균형을 바로 잡기 위해선 별도의 셀 전압 균등화 회로가 필요 하다. 본 논문에서는 플라이백 다권선 변압기를 이용한 셀 균등화 회로에서 2차측의 누설 인덕턴스에 의해 생길 수 있는 출력 전압의 차이를 LC 필터를 통해 보상하여 셀을 일정한 전압으로 평형을 이룰 수 있도록 하는 회로를 제안하고 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 검증 한다.

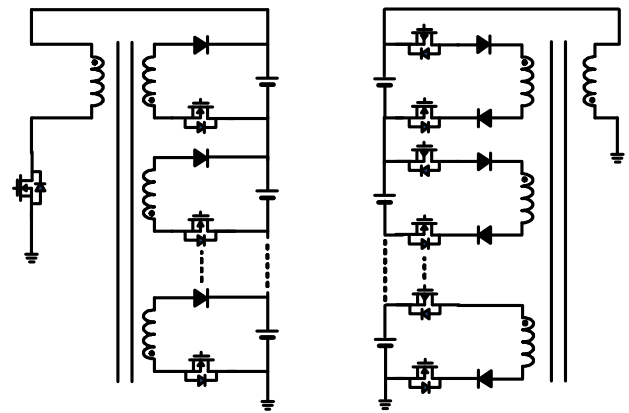
### 1. 서론

최근 높은 전압의 배터리를 필요로 하는 어플리케이션이 늘어나면서 직렬로 연결된 리튬이온 배터리가 많이 쓰이고 있다. 여러 개의 셀을 연결하여 직렬로 사용하게 되면 각 셀들의 특성이 다름으로 인해서 충전과 방전을 하는 과정에서 셀들 간의 전압 불균형이 생기게 된다. 한번 생긴 불균형을 그대로 두면 점점 커져 배터리 정격용량 대로 사용 못 할뿐만 아니라 안전성에도 문제가 생기게 된다. 이를 방지하기 위하여 배터리 셀 간의 전압을 균등하게 유지할 필요가 있다.

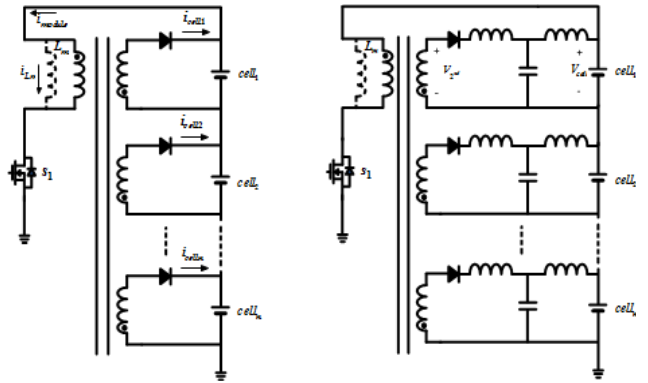
균등화 방식은 크게 패시브 방식과 액티브 방식으로 나눌 수 있다. 패시브 방식은 저항을 이용하여 높은 전압의 셀을 따로 방전시켜주기만 하면 되기 때문에 회로 구성이 간단하지만 에너지를 열로 소비한다는 단점이 있다. 액티브 방식은 다른 셀의 전압을 이용하여 균등화를 하기 때문에 효율이 좋지만 회로 구성이 복잡해지고 제어 또한 단순하지가 않다. 본 논문에서는 균등화를 위한 여러 액티브 방식 중 플라이백 다권선 (multi winding) 변압기를 이용하는 회로의 이차측 스위치를 제거한 방법에서 LC필터를 추가하여 누설 인덕턴스에 의한 2차측 출력 전압 차이를 보상하는 방식을 제안하고 이를 모의시험을 통하여 확인한다.

### 2. 제안하는 회로

액티브 균등화 방식중에서 플라이백 다권선 변압기를 이용하는 방식에는 ‘모듈에서 셀(module to cell)’ 충전방식과



(a) 모듈에서 셀(module to cell) (b) 셀에서 셀(cell to module)  
그림 1. 플라이백 다권선 변압기를 이용한 기존 균등화 방식



(a) 기존 회로도 (b) LC필터를 추가한 제안하는 회로  
그림 2. 스위치를 제거한 플라이백 균등화 방식

‘셀에서 모듈(cell to module)’ 충전방식이 있다. module to cell 방식은 그림1(a)와 같이 플라이백 트랜스포머를 이용하여 module 전압을 다운시켜 평균전압이하의 셀에 충전시켜주는 방식이다. cell to module 방식<sup>[1]</sup>은 그림1(b)와 같이 가장 높은 전압의 셀을 이용하여 배터리 모듈 전체를 충전하는 방식이다. 이 두 가지 방식 모두 셀의 개수만큼 스위치가 필요하기 때문에 셀이 많아질수록 스위치가 많아질 뿐만 아니라 스위치를 위한 게이트 드라이버도 늘어나기 때문에 회로가 복잡해지게 된다.

그림 2(a)와 같이 기존의 module to cell 방식에서 스위치를 전부 제거하여 주면 스위칭 손실을 줄일 뿐만 아니라 각 스위치를 위한 부가적인 소자들도 필요가 없기 때문에 회로를 간단하게 구성할 수 있다.<sup>[2]</sup> 불평등 상태일 때의 동작특성을 살펴보면 스위치 S1이 켜져 있는 동안은 Lm에 모듈전압이 걸리고 2차측에는 역전압이 걸려 다이오드에 의해 전류가 흐르지 않게 된다. 이 경우 모듈로부터 에너지가 나와 Lm에 저장된다. 스위치 S1이 꺼지게 되면 1차측에는 전류가 흐르지 않고 2차측에 셀들의 평균전압이 걸리기 때문에 Lm으로부터 셀로 전류가 흐르게 된다. 이 과정에서 전압이 낮은 셀에 전류가 흘러 충전이 이루어져 균등화를 이루게 된다.

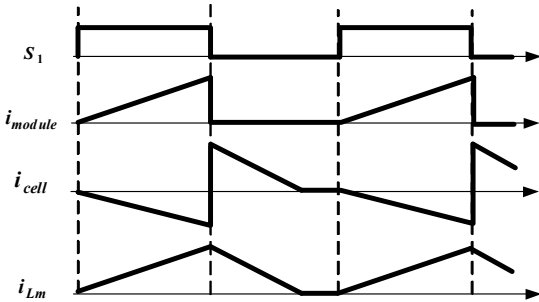


그림 3 제안하는 회로에서의 동작특성

그러나 다권선 트랜스포머의 특성상 누설 인덕턴스로 인해 2차측 출력전압이 각 셀마다 일정하지가 않기 때문에 균등화시에 최종 셀 전압이 조금씩 다를 수가 있다. 이를 보상하기 위해 제안하는 회로가 그림 2 (b)의 회로이다. 각 셀의 앞단에 C 값을 다르게 하여 LC필터를 추가 하면 아래 식(1)과 그림4에 의한 전달 함수에 의해서 출력이 나오게 된다. 주파수와 C값에 따라서 magnitude가 바뀌기 때문에 이를 이용하면 셀에 가해지는 전압의 균형을 맞춰줄 수가 있다.

$$\frac{V_{cell}}{V_{2^{nd}}} = \frac{1}{L_1 L_2 C_1 C_2 S^4 + (L_1 C_1 + L_1 C_2 + L_2 C_2) S^2 + 1} \quad (1)$$

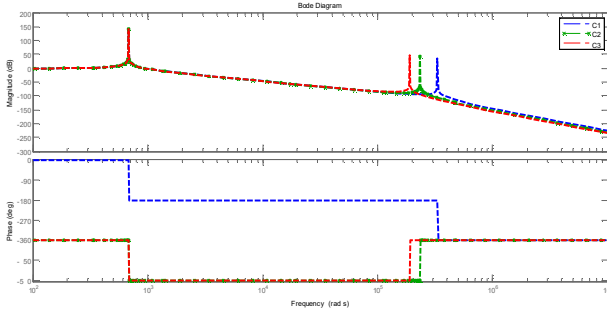


그림 4 전달함수의 bode plot

### 3. 시뮬레이션 결과

제안하는 회로의 타당성을 검증하기 위해 8개의 셀로 이루어진 배터리 모듈에 대해서 LC필터가 없는 회로로 실험을 진행하여 누설인덕턴스에 의한 전압차이를 확인하고 시뮬레이션을 통해서 제안하는 방식으로 누설인덕턴스의 영향을 보상할

수 있음을 확인 하였다. 그림 5는 8개의 셀 중 두 개의 셀을 방전을 시켜 불평등 상태를 만들어 균등화 실험을 하였다. 누설 인덕턴스의 영향에 의해 정상상태에 도달한 전압에 차이가 있음을 알 수 있다. 그림6은 제안한 방식을 적용하여 누설인덕턴스의 영향을 보상해준 시뮬레이션 결과로 적용하기 전에 비해서 전압차이가 적어졌음을 확인 할 수 있다.

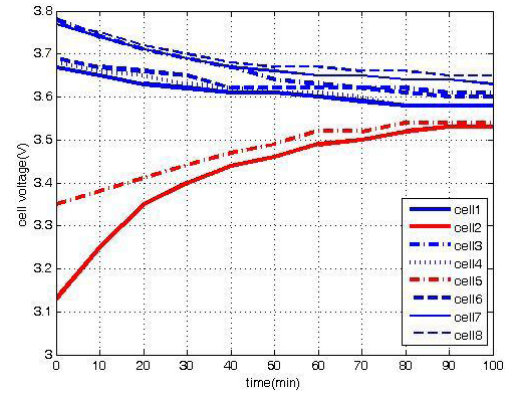


그림 5 8개의 셀에 대한 셀 균등화 실험

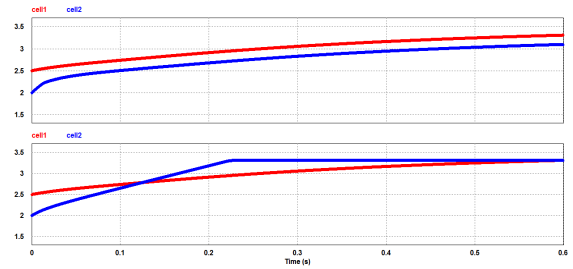


그림 6 2차측 전압이 다른 셀에 LC 필터를 적용

## 4. 결론

본 논문에서는 기존의 플라이백 다권선 변압기를 이용한 균등화 회로에서 생기는 누설 인덕턴스의 영향을 LC 필터를 이용하여 보상하는 방법을 제안한다. 이 방법은 이차측에 스위치가 없는 플라이백 균등화 회로에 사용되어 기존 회로보다 간단하게 하면서도 누설 인덕턴스로 인해 전압차가 생기는 것을 보상한다. 제안된 방법을 검증하기 위해 2차측전압이 다른 셀에 LC필터를 적용하여 두 셀에 충전되는 전압차가 작아지는 것을 확인하였다.

## 참고 문헌

- [1] 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", Power electronics conference, pp. 1180-1184, 2010.
- [2] N. H. Kutkut and D. M. Divan, "Design considerations for charge equalization of an electric vehicle battery system", IEEE Trans. Ind. Applicat, vol 35, pp28-35, Jan./Feb. 1999.