

폐배터리를 위한 병렬형 분산형 충전전기의 LLC 공진형 컨버터

김경탁, 박중후
승실대학교

LLC resonant converter in Distributed Parallel-cell Charging-discharging System for Retired Battery.

Kyoung-tak Kim, Joung-hu Park
Soongsil University

ABSTRACT

전기자동차 보급 확대에 의해 2018년부터 전 세계적으로 폐배터리가 다량으로 배출될 것으로 예상되어 폐 배터리를 에너지 저장장치(ESS)로 재활용하는 방안이 연구되고 있다. 하지만 배터리간 규격이나 수명, 상태의 차이가 존재하기 때문에 셀밸런싱 시스템이 필수로 요구된다. 기존에는 이러한 시스템으로 직렬형 시스템을 채용하고 있지만 모듈화나 신뢰성 등 시스템이 요구하는 조건을 만족시키기 어렵다. 이에 따라 본 논문에서는 기존 시스템과 차별화 된 분산 충전 병렬 시스템을 제안하고 그에 사용되는 전력조절기를 소개하고자 한다.

1. 서론

전기자동차의 활발한 보급으로 인하여 2018년부터 전 세계적으로 전기자동차에서는 사용할 수 없는 폐 배터리가 다량 배출 될 것으로 내다보고 있다. 이러한 배터리를 재활용하고자 ESS로 사용하려는 목적으로 현재는 그림 1과 같은 직렬형 방식으로 활발히 연구되고 있다.^{[1][2]}

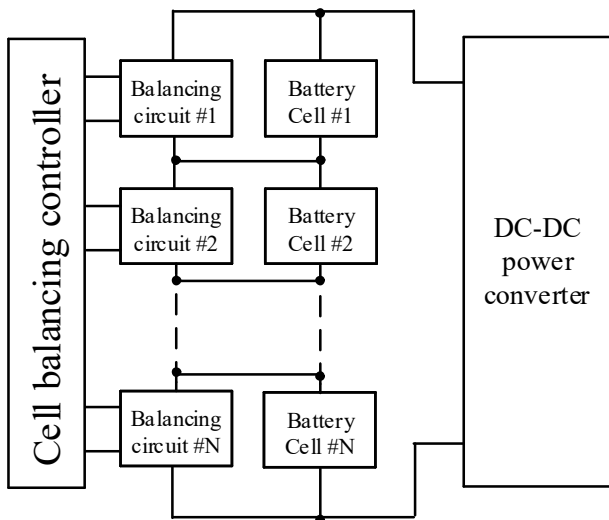


그림 1 기존의 배터리 에너지 저장 시스템 전력계 구조 개요

하지만 직렬형 방식은 배터리 간의 편차가 클 경우에는 추가로 셀밸런싱 시스템을 필요로 하고 한 개의 셀 혹은 모듈이

고장 시 시스템 전체가 멈추게 되는 신뢰성의 문제, 그리고 시스템 확장에 따른 확장성의 문제 등이 단점으로 꼽히고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위한 방안으로 기존의 직렬형 방식과 달리 분산형이며 셀 병렬형인 충전 방전 시스템을 제안하고자 한다.

2. 본론

2.1 분산형 셀 병렬 충전 시스템 아키텍처

그림 2는 제안하는 분산형 병렬 모듈 아키텍처의 개념도를 나타낸다.

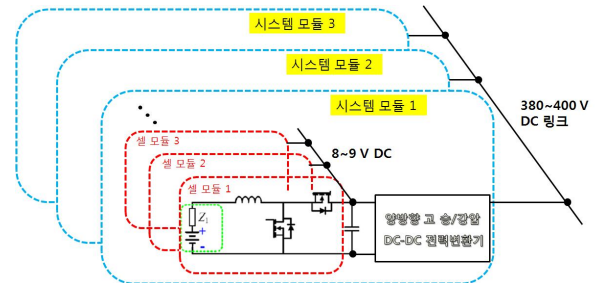


그림 2 제안하는 분산형 병렬모듈 충전전기 아키텍처

각 배터리 셀은 벡/부스트 컨버터와 연결되어 모듈화 한 후 병렬로 연결되어 있으며(셀 모듈화), 이러한 셀 모듈은 양방향 고 승/강압 직류 전력변환기를 거쳐 DC 링크로 병렬 연결되어 있다(시스템 모듈화). 기존의 직렬구조인 그림 1과 비교해 보면 가장 큰 차이점으로서 배터리 셀 편차를 보상하기 위한 셀 밸런싱 회로와 그 제어 회로가 필요로 하지 않는 구조를 가지고 있다. 이는 제안하는 구조가 다양한 종류나 수명을 가진 배터리 셀 간의 조합을 가질 수 있어 범용성을 지니게 한다. 또한 한 개의 모듈이 고장 난다 하여도 전체 시스템에는 지장을 주지 않으며 단순히 하나의 모듈을 떼어내어 새 모듈로 교체하기만 하면 되기 때문에 신뢰성을 갖추고 있으며 모듈화에 따른 추가적인 전력 요구에 부응하여 저장 장치의 확장 및 제거가 용이하다는 장점을 가지고 있다.

2.2 제안하는 시스템의 양방향 고 승/강압 DC-DC 전력변환기의 조건

그림 2의 제안하는 시스템의 선결 과제는 양방향 고 승/강압 DC-DC 전력변환기의 효율의 문제로 볼 수 있다. 380-400V의 고압 DC 링크에서 최대 8-9V로 승/강압하는 극단적인 이득을 가짐과 동시에 높은 효율을 가져야 한다. 이를 가능하게 하는 토폴로지로 저전압-고전류에서 고전압 저전류로 연계 가능한 공진형 푸시풀-(하프/풀)브리지 하이브리드 혹은 공진형(하프/풀)브리지-(하프/풀)브리지, LLC 공진형 컨버터

등을 생각해 볼 수 있다. 여러가지 토폴로지를 시험해보기에 앞서 이번 논문에서는 제안하는 시스템의 극단적인 이득을 위한 양방향 DC-DC 전력변환기로서 LLC 공진형 컨버터를 사용하였다. 그림 3은 제안하는 시스템에 사용한 하프브릿지 양방향 LLC 공진형 컨버터를 나타내고 있다.

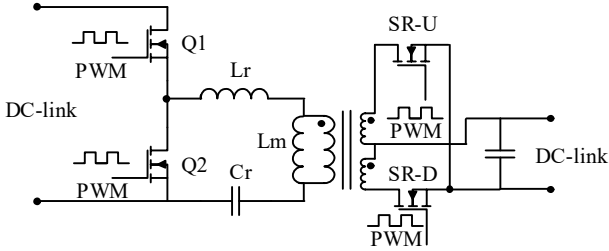


그림 3 제안하는 시스템에 사용하는 양방향 LLC 공진형 컨버터

LLC 컨버터는 입력전압인 DC-link의 전압변동을 감안하고 일정한 출력전압을 요구하는 시스템에서 사용되도록 통상 주파수 제어를 사용한다. 하지만 그림 2에서 볼 수 있듯이 380~400V로 DC링크의 전압이 변동함에 따라 시스템 모듈 내의 DC링크가 8~9V로 변화하도록 유연하게 설계한다고 가정한다면 그림 3의 LLC 공진형 컨버터는 제어회로가 필요 없이 고정 주파수, 고정 시비율인 오픈 루프 상태로 동작할 수 있음을 의미한다. LLC 공진형 컨버터의 특성 상 최대한 공진점 근처의 점을 동작점으로 삼아 설계한다면 높은 효율을 기대할 수 있을 것이다. 단방향 LLC 공진형 컨버터에서 사용되는 2차측의 다이오드 부분은 쇼트키 다이오드를 사용하는 등 효율을 최대한 끌어올릴 수도 있지만 양방향 토폴로지를 적용하고 온저항이 낮은 MOSFET등을 이용하는 동기 정류기(Synchronous Rectifier, SR)기법을 사용하였다.

2.3 제안하는 시스템에 사용한 양방향 LLC 컨버터 프로토타입 하드웨어 파형

표 1 프로토타입 하드웨어의 제원

입력 전압	400V	Lr	71.25uH
출력 전압	24V	Cr	22nH
출력 전력	200W	Lm	400uH
주파수	120KHz	공진주파수	127.1KHz

표 1은 제안하는 시스템에서 사용한 양방향 LLC 공진형 컨버터의 제원을 나타낸다. 그림 4는 프로토타입 양방향 LLC 공진형 컨버터에 사용 된 PWM 파형을 나타낸다.

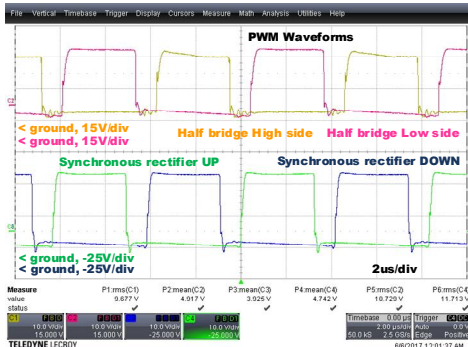


그림 4 프로토타입 하드웨어 파형; CH1,2: 하프브릿지 PWM 파형, CH3,4: 동기정류기 MOSFET PWM 파형

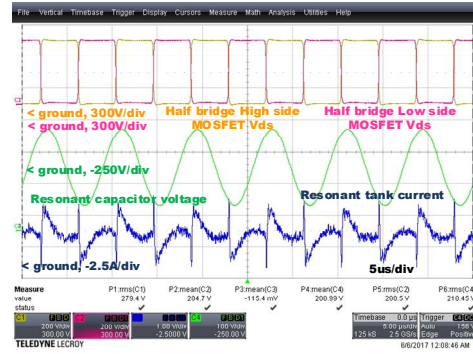


그림 5 프로토타입 하드웨어 파형; CH1,2: 하프브릿지 MOSFET Vds 파형, CH3: 공진 탱크 전류 파형,CH4: 공진커패시터 파형

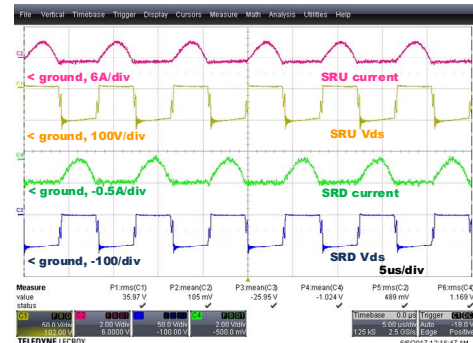


그림 6 프로토타입 하드웨어 파형; CH1,2: 위쪽 동기정류기 전류 파형/MOSFET Vds 파형, CH3,4: 아래쪽 동기정류기 전류 파형 /MOSFET Vds 파형

그림 5와 6은 표 1은 제안하는 시스템에서 사용한 양방향 LLC 공진형 컨버터 주요 소자에서 측정할 수 있는 파형이다. PWM 파형은 DSP를 이용하여 공급했고 프로토타입 하드웨어에서 96.5%의 효율을 확인할 수 있었다.

3. 결론

기존의 직렬형의 폐배터리를 재활용한 시스템은 규격이나 수명과 같은 배터리간 상태가 다르기 때문에 셀밸런싱 회로가 필요로 한다. 제안하는 병렬구조의 시스템은 셀밸런싱 회로가 필요 없는 분산형 충전전기의 형태를 가지고 있다. 이 시스템에서 손실을 최소화 하기 위해 극단적인 이득과 고효율을 가지는 전력조절기가 필요로 하고 그 토폴로지로서 양방향 LLC 공진형 컨버터를 테스트하였다.

참고 문헌

- [1] 이현준, 박종후, 김종훈 “리튬이온 폐배터리의 효율적인 재활용을 위한 발전된 SOC 추정방법의 필요성 연구”, 전력전자학회, 전력전자학술대회논문집, 2014. 11, 56-5
- [2] Wen-Chen Lih, Jieh-Hwang Yen, Fa-Hwa Shieh, Yu-Min Liao, “Second Use of Retired Lithium-ion Battery Packs from Electric Vehicles: Technological Challenges, Cost Analysis and Optimal Business Model”, 2012 International Symposium on Computer, Consumer and Control, 2012. 06, 381-384.