

재제조 저전압 배터리를 이용한 가정용 ESS를 위한 다중레벨 인버터 구성

김민성¹, 송광석², 임상길³, 박성미⁴, 박성준¹
 전남대학교¹, (주)LTOP², 조선대학교³, 한국승강기대학교⁴

Multi-level Inverter Configuration for Home ESS using Remanufactured Low-voltage Batteries

Min-Seong Kim¹, Kwang-Seok Song², Sang-Kil Lim³, Seong-Mi Park⁴, Sung-Jun Park¹
 Chonnam National University¹, LTOP², Chosun University³, Korea Lift College⁴

ABSTRACT

전기자동차 관련 기술을 핵심 기술로 인식하고, 전기자동차 보급정책을 강력히 추진하고 있어 세계 자동차 시장의 패러다임이 내연기관 자동차에서 전기자동차로 변환되고 있으며, 이러한 전기자동차 보급 및 교체 수요 확대에 따라 사용 후 배터리 발생도 지속적으로 증가하고 있다. 전기자동차 리튬이온 배터리는 체계적 관리가 필요한 동시에 잔존용량을 재자원화 할 경우 ESS로 재사용, 사용 후 배터리 내 함유된 유기금속의 재활용 등 다양한 용도로 재활용 및 재사용이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 착탈식 재제조 저전압 배터리를 이용한 가정용 ESS를 위한 다중레벨 인버터 구성을 제안한다. 또한 제안된 방식의 타당성을 시뮬레이션으로 검증하였다.

1. 서론

배터리 사용에 대한 공급이 확대 정착되면서 사용 후 다양한 용량 및 전압 모듈 및 스택 재사용에 대한 관심이 증가하고 있다. 재사용 배터리의 보급이 활성화되기 위해서는 다중 목적을 갖는 시스템 구성이 절실하다. 예를 들어 동남아 미개발국에서는 가정용 ESS 시스템의 필요성과 더불어 선박 운행용 낮은 배터리 및 충방전 시스템이 요구되고 있으며, 캠핑 마니아는 시간요급제에 대응하기 위한 가정용 ESS 시스템의 필요성과 더불어 캠핑용 낮은 전압 배터리 및 충방전 시스템이 요구되고 있다. 또한 계통 안정화를 위한 ESS 시스템은 1000[V]급 ESS 시스템과 더불어 계통전압보다 높은 전압을 갖는 대용량 ESS 시스템에 대한 필요성이 대두되고 있다. 따라서 저전압 및 고전압 ESS를 동시에 만족시키려면 저전압 배터리 시스템을 이용한 다중레벨 전력변환기 개발이 절실히 요구된다.

2. 배터리 분리형 다중레벨 인버터

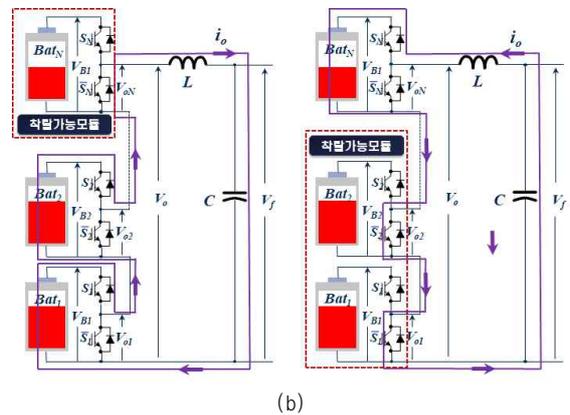
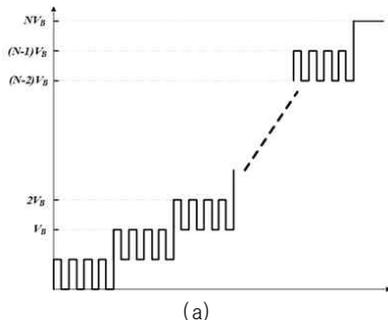


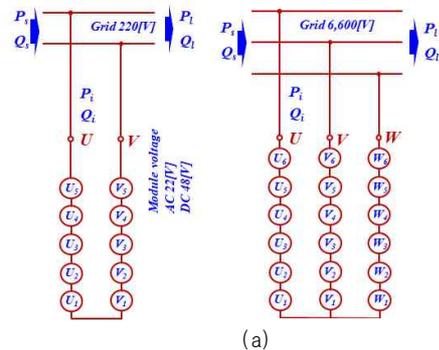
그림 1 배터리 스택 분리형 다중레벨 인버터

Fig. 1 Multilevel inverter with separate type of battery stack

그림 1과 같은 스택 분리형 다중레벨 인버터 시스템을 채용할 경우 출력전압은 식 1과 같이 다중레벨 PWM 형태를 취하여 인덕터의 사이즈를 줄일 수 있으며, 아래 암 스위치를 On 상태에서 배터리 스택을 분리하여 수리하거나 다른 용도의 ESS로 사용이 가능하며, SOC가 다른 스택인 경우에도 전류의 방향과 스택의 스위치 동작에 의해 스택 밸런싱을 행할 뿐만 아니라 SOC가 적은 스택을 충전할 수도 있다.

$$V_o = \sum_{k=1}^{N-1} S_k V_k + d V_N \quad (1)$$

그림 2는 단상 및 3상 시스템 구성을 나타내고 있다. 단상의 경우 현재 E-Mobility에서 가장 많이 사용하는 48[V] 배터리 모듈 10개를 사용하여 구성할 경우, 220[V]에 연계하기 위해서는 모듈 3개의 여유 전압이 있다.



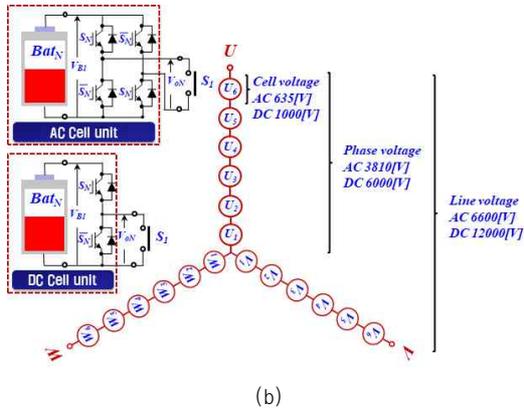


그림 2 전체 시스템 구성도
Fig. 2 System configuration diagram

따라서 여유 스택을 분리하여 다른 용도로 사용하는 리던던시 (redundancy)로 1개 이상의 스택을 보유할 수 있다.

3. 시뮬레이션 결과

그림 3은 제안된 방식의 타당성을 검증하기 위해 5개 스택의 전압이 가변하는 경우에도 멀티레벨 출력 안정성을 검증하기 위한 시뮬레이션 회로도를 나타내고 있다.

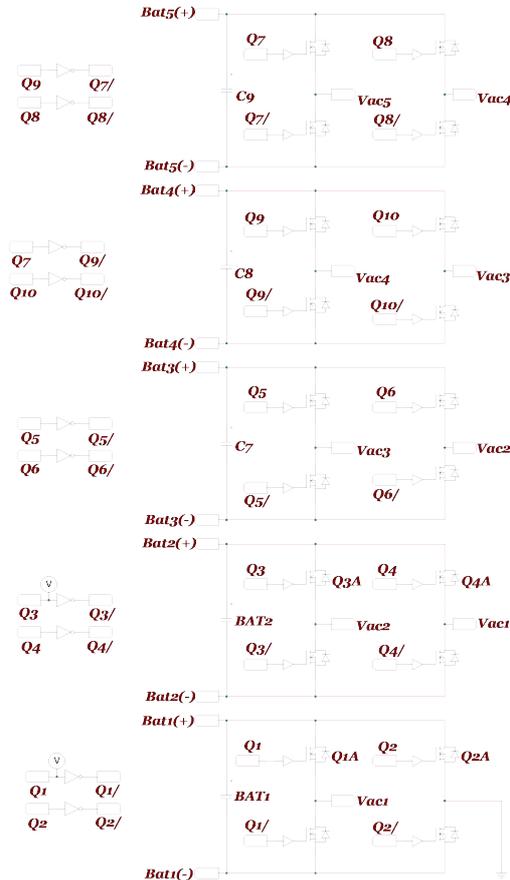


그림 3 시뮬레이션 회로도
Fig. 3 Simulation circuit diagram

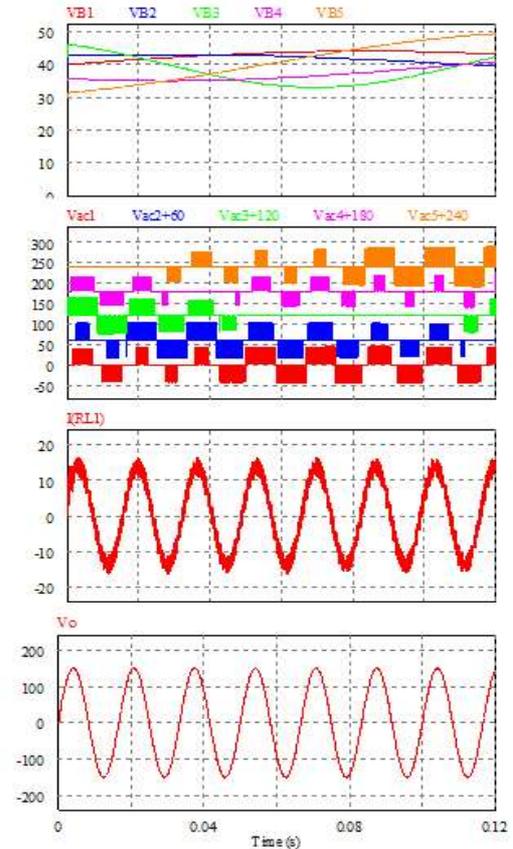


그림 4 제안된 방식의 특성 분석파형
Fig. 4 Waveform analysis of the proposed method

그림 4는 시뮬레이션 결과로 배터리 스택의 전압은 첫 번째 과형처럼 30~50[V]로 가변한다는 가정하에 5개의 각 스택 전압을 검출하여 최적의 발생 전압이 되도록 스위칭함수를 구현하여 동작하면 두 번째 과형이 된다. 다음 과형들은 이 결과로 나타난 인덕터 전류 및 출력전압을 나타내고 있다.

4. 결론

본 논문에서는 재제조 배터리와 같이 다양한 전압 및 용량의 모듈 또는 스택을 사용한 ESS 시스템에 적합한 다중레벨 인버터 시스템을 구성하고, 이를 동작시키기 위한 최적 스위칭함수를 구현하였다. 또한 시뮬레이션을 통하여 제안된 방식의 타당성을 검증하였다. 본 토폴로지는 저압 단상뿐만 아니라 고압 3상 시스템으로 확장이 용이한 장점이 있다.

본 연구는 2021년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2021400000560)

본 연구는 2024년도 중소벤처기업부의 재원으로 중소기업기술정보진흥원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. [S3400600]

참고 문헌

[1] G. Liang et al., "Analytical Derivation of Intersubmodule Active Power Disparity Limits in Modular Multilevel Converter-Based Battery Energy Storage Systems," in IEEE Transactions on Power Electronics.