

태양광-ESS 하이브리드 시스템에 적용되는 DAB 컨버터 리뷰

이 한우, 이 경수
한국산업기술대학교 에너지·전기공학과

Review of Dual Active Bridge Converter Applied to PV-ESS Hybrid System

HanWoo Lee, KyungSoo Lee

Department of Energy and Electrical Engineering, Korea Polytechnic University

ABSTRACT

최근, 에너지저장장치를 활용하여 태양광-ESS 하이브리드 시스템이 도입되고 있다. 태양광-ESS 하이브리드 시스템은 구성 방식에 따라 다양한 전력변환장치를 활용한다. 그중 DAB 컨버터는 절연형이며, 양방향 전력전달이 가능하므로 스위칭 기법, 토폴로지 개발 등 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 태양광-ESS 하이브리드 시스템에 적용되는 대표적인 벽-부스트 컨버터와 DAB 컨버터에 대해 리뷰한다.

1. 서 론

태양광-ESS 하이브리드 시스템에서 전력흐름이 PV에서 출력, ESS에서 입력과 출력으로 이루어지므로, 태양광 어레이는 단방향 컨버터가, ESS는 양방향 컨버터가 필요하다. 양방향 컨버터 중 비절연형인 양방향 벽-부스트 컨버터는 소자 개수가 적어 효율이 높고 제어가 쉽다는 장점이 있다. 하지만, 고승압비를 얻을 수 없으므로 ESS의 배터리 출력을 고전압으로 운용해야 하는데, 배터리의 전압이 높을수록 셀간 전압 불균형이 발생할 확률이 높아지므로 시스템이 불안정해질 수 있다. 또, 오늘날 점점 커지는 ESS의 용량으로 인한 대전력을 버틸 수 있는 컨버터가 요구된다. DAB 컨버터는 절연형, 양방향 H-bridge 구조이기 때문에 고승압이 요구되는 대용량 ESS에 적합한 컨버터다.

종래의 DAB는 충전 또는 방전 전류의 방향이 +와 -을 교차하는 불연속 전류가 흐른다. 리튬-이온 배터리는 충방전 특성이 충전 상태(SOC)에 따라 정전압 또는 정전류를 유지하는 등 비선형적이기 때문에 불연속 전류는 배터리 수명에 영향을 줄 수 있다. 이 문제를 보완해주는 DAB 컨버터는 3상 DAB 컨버터와 NEW DAB^[1] 등이 있다.

본 논문에서는 국내 논문 중 ESS를 고려해 연구한 양방향 컨버터 중 종래의 DAB 컨버터, NEW DAB와 양방향 벽-부스트 컨버터를 시뮬레이션을 통해 같은 용량의 배터리의 설치 가능한 직병렬 개수를 비교한다.

2. 본 론

2.1 컨버터 구조

그림 1은 각 컨버터의 회로를 나타낸다. DAB 컨버터는 양방향 절연형 컨버터 중 하나로, 입력단과 출력단이 full bridge

totem-pole 대칭 구조고, 스위치 신호의 위상천이를 통해 입출력 전력을 조절한다. 변압기의 누설 인덕턴스를 통해 전력을 전달한다. NEW DAB는 전류원 DAB이다. 기존 DAB 컨버터에서 배터리단에 커플링 인덕터를 설치한 구조로, 인덕터로 인해 배터리에서 정전류가 입출력된다. 본 논문에서 리뷰할 양방향 벽-부스트 컨버터는 벽 컨버터와 부스트 컨버터가 구조가 같다는 점을 이용한 컨버터로, 듀티비로 입출력 전력을 조절한다.

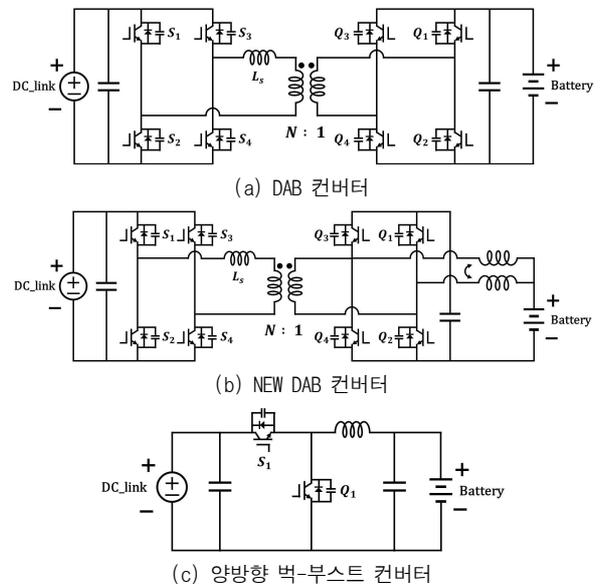


그림 1 양방향 컨버터 회로
Fig. 1 Bidirectional converter circuits

2.2 컨버터 설계

DAB 컨버터는 많은 스위치가 쓰이는 만큼 스위치 제어 기법과 소프트 스위칭을 위한 공진 탱크 설계를 위주로 연구가 진행되고 있다.^{[2][3]} 본 리뷰에서는 해석의 편의를 위해 DAB 컨버터의 가장 간단한 스위칭 기법인 SPS(single phase-shift)기법을 사용했다. 승압비를 DAB 컨버터는 1:5(고승압), 양방향 벽-부스트 컨버터는 1:2.5(저승압)으로 설정했다. DC link와 스위칭 주파수는 각각 370V, 50kHz 설정했다.

DAB 컨버터는 식 1과 같이 위상천이가각 ϕ 와 누설 인덕턴스

L_s 에 의해 전력이 결정된다. 적절한 전류를 얻어내기 위해 위상천이각과 누설 인덕턴스를 표 1과 같이 설계했다.

식 2~3은 벡-부스트 컨버터의 메인 스위치 S1이 켜져 있을 때와 꺼져있을 때 인덕터에 걸리는 전압을 나타낸다.

$$P_o = \frac{n V_{battery} V_{DClink}}{2\pi^2 f_{sw} L_s} \phi(\pi - \phi) \quad (1)$$

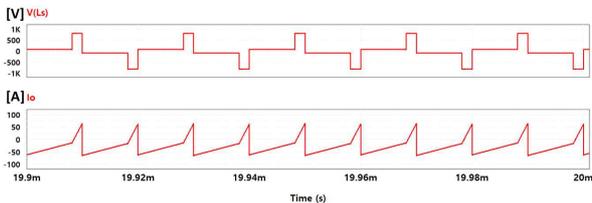
$$V_L = V_{Battery} \quad (2)$$

$$V_L = V_{Battery} - V_{DClink} \quad (3)$$

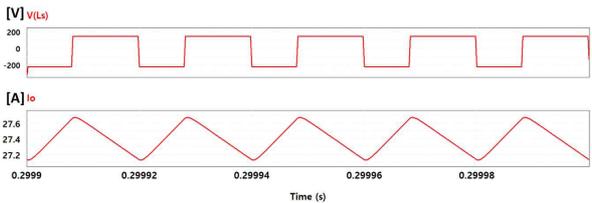
표 1 컨버터별 설계 파라미터
Table 1 the system parameters of converters

	n	$V_{battery}$	L_s	ϕ
DAB 컨버터	5	88.8V	100uH	33°
NEW DAB	5	88.8V	200uH	37°
벡-부스트	X	74V	3mH	145.8°

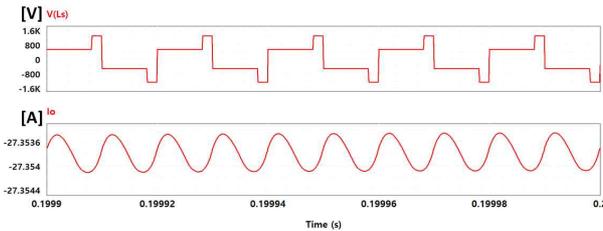
2.3 시뮬레이션 결과



(a) DAB 컨버터



(b) NEW DAB 컨버터



(c) 양방향 벡-부스트 컨버터

그림 2 시뮬레이션 결과 파형 (위: 인덕터 전압, 아래: 배터리 전류)

Fig. 2 Result of Simulation

그림 2는 배터리 충전 시 시뮬레이션 결과 파형을 나타낸다. 방전의 경우, DAB 컨버터는 스위치의 위상천이를 반대로 설정해주고, 양방향 벡-부스트 컨버터는 듀티비를 더 작게 설정해주면 된다. 정격전압 3.7V, 정격용량 4.054Ah을 가지는 배터리를 직병렬로 연결하여 총 9kWh의 용량을 갖고, 충전 전류는 한 스트링당 1.1A로 충전하도록 설계했다. open-loop 해석의

간편함을 위해 고전압 측은 태양광 어레이 대신 DC 전압원으로, 저전압 측은 실제 배터리가 아닌 DC 전압원으로 대체했기 때문에 실제 배터리의 용량을 고려하여 전류값을 조절했다.

3. 결론

표 2 컨버터별 가능한 배터리 셀 구성
Table 2 Battery cell configurations by converter

배터리 구성	DAB 컨버터	NEW DAB	벡-부스트
직렬 수(개)	24		40
병렬 수(개)		25	15

설계대로 배터리를 구성한다면 표 2와 같이 두 DAB 컨버터는 24직렬 25병렬로, 양방향 벡-부스트 컨버터는 40직렬 15병렬로 구성할 수 있다. 또한, NEW DAB 컨버터를 활용한다면 누설 인덕턴스를 기존 DAB에 비해 두 배로 증가시켜줘야 같은 전류를 얻을 수 있다는 것을 확인했다. 또, 양방향 벡-부스트 컨버터는 저전류를 얻어내야 하므로 인덕턴스 값이 DAB 컨버터에 비해 높아야 한다는 것을 확인했다.

추후 DC 전압원 대신 태양광 어레이와 배터리로 회로를 구성하여 연구를 진행하고자 한다.

이 논문은 한국에너지기술평가원의 연구비 지원으로 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.
(No. 20173030068990)

참고 문헌

- [1] 박해찬, & 김일송. (2016). 새로운 DAB 컨버터 설계. 예술인문사회융합멀티미디어논문지, 6, 377-384.
- [2] Zhao, B., Song, Q., Liu, W., & Sun, Y. (2013). Overview of dual-active-bridge isolated bidirectional DC-DC converter for high-frequency-link power-conversion system. IEEE Transactions on power electronics, 29(8), 4091-4106.
- [3] bin Ab Malek, M. H. A., & Kakigano, H. (2015, November). Fundamental study on control strategies to increase efficiency of dual active bridge DC-DC converter. In IECON 2015-41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (pp. 001073-001078). IEEE.
- [4] 김민수. (2019). ESS용 슈퍼커패시터의 급속 충전, 방전을 위한 5kW급 DAB 컨버터 설계에 관한 연구 (국내석사학위논문).
- [5] 노용수, 현병조, 박준성, 김진홍, & 최준혁. (2018). 3상 전류원 DAB 컨버터의 손실 저감을 위한 제어기법. 전력전자학회 학술대회 논문집, 310-311.