

가정용 ESS를 위한 고효율 공진형 양방향 DC-DC 컨버터 개발

박준성, 오세철, 이상혁, 김민재, 박찬수, 한국인, 최세완
서울과학기술대학교

Development of High Efficiency Bi-directional Resonant DC-DC Converter for Residential ESS

Junsung Park, Secheol Oh, Sanghyuk Lee, Minjae Kim, Chansoo Park, Kookin Han, Sewan Choi
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 가정용 ESS를 위한 직렬 공진형 양방향 DC-DC 컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터는 2단 방식으로 비절연 컨버터가 전압·전류 및 양방향 제어를 하며 절연부는 고정듀티와 고정주파수로 동작시켜 전 부하영역에서 ZCS 턴온·턴오프가 가능하다.^[1,2] 50kHz, 3kW 시차폭으로 제안한 방식의 타당성을 검증하였으며 강압시 최대효율 95.2 %, 승압시 최대효율 94.8%를 달성하였다.

1. 서론

최근 신재생 에너지와 자연재해로 인한 정전에 따른 비상시 전원 장치로 에너지 저장 장치(Energy Storage System)의 개발이 활발히 진행되고 있다. ESS란 전력 수요가 적을 때 전력을 저장해 두었다가 수요가 많을 때나 비상시 저장된 전력을 사용함으로써 에너지 효율 향상 및 전력 계통의 안정적 운영을 높이는 것을 말한다. 최근 스마트 그리드와 신재생에너지 보급 확대로 전력계통 효율화와 안정성이 강조됨에 따라 전력 공급·수요 조절 및 품질 향상에 용이한 ESS가 필수 장치로 떠오르고 있으며 현재 정부와 전력회사 주도로 실증 검토가 진행되고 있다. 일본에서는 원전사태 이후 제한송전을 대비한 가정용 “태양광+ESS”의 필요성이 제기되어 가정용 ESS의 기술 개발이 더욱 요구되고 있다.

ESS는 그림 1과 같이 인버터와 배터리 사이의 양방향 DC-DC 컨버터를 필요로 하는데 기존의 적용 가능한 양방향 DC-DC 컨버터로는 크게 위상제어를 하는 Dual Active Bridge(DAB)^[3] 방식과 PWM^[4] 방식이 있다. DAB 방식은 위상차에 의한 전력 흐름을 제어하는 방식으로 구성이 간단하나 입력 전압 변동 폭이 큰 응용에서는 무효전력에 의한 소자 전류 정격 및 리플전류가 크게 증가하는 문제가 있다. PWM 방식은 무효전력에 의한 문제는 없으나 충·방전 각각의 게이트 신호

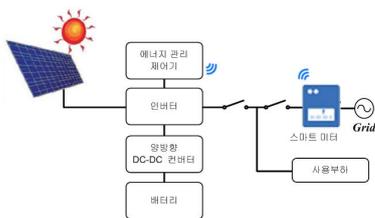


그림 1 에너지 저장 장치(Energy Storage System) 구성

발생 방식이 달라 모드전환에 따른 과도상태가 발생한다. 또한 스위치 턴오프 전류가 크고 별도의 클램프 회로가 필요하다.

본 논문에서는 입·출력 전압 변동이 큰 가정용 ESS 위한 2단 방식의 양방향 직렬 공진형 DC-DC 컨버터를 제안하였다. 제안한 컨버터는 소자수가 적고 제어가 간단하며 직렬공진 컨버터를 최적점에서 동작시켜 전 부하에서 ZCS 턴온 및 턴오프 스위칭을 하여 고효율을 달성할 수 있다.

2. 제안하는 방식

그림 2는 제안하는 공진형 양방향 DC-DC 컨버터를 나타낸다. 2단 구성이지만 스위치 수는 6개로 적으며 절연부 컨버터의 듀티(D=0.5)와 스위칭 주파수를 고정하여 변압기 및 스위칭 등 절연부를 최적화하였다. 절연부는 직렬 공진형 컨버터를 사용하며 그림 3과 같이 공진주파수와 스위칭 주파수가 같은 지점에서 사용해 그림 5와 같이 양방향 동작 모두 전부하 영역에서 ZCS 턴온 및 턴오프가 가능하다.

제안한 컨버터는 비절연 컨버터에서 전압·전류 및 양방향 제어하기 때문에 충·방전 각각의 게이트 신호 방식이 동일해 PWM 방식과 달리 모드전환에 따른 과도상태가 발생하지 않으며 그림 4와 같이 SRC의 전압 이득은 턴비 n에 의해 결정되는 것을 볼 수 있다.

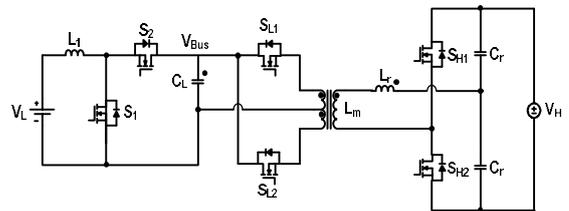


그림 2 제안하는 공진형 양방향 DC-DC 컨버터

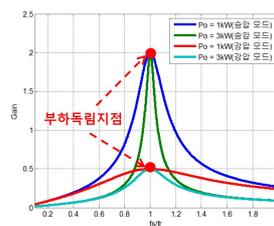


그림 3 SRC의 전압이득 곡선

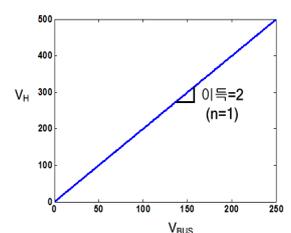
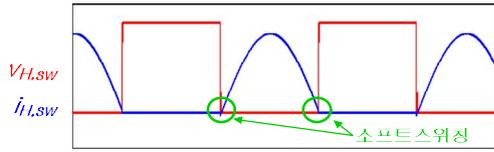
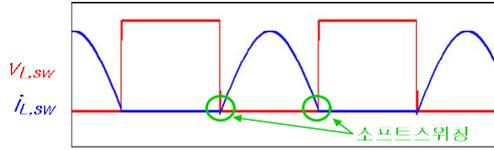


그림 4 부하독립지점 동작시 SRC의 입출력 관계



(a) 고전압측 스위치 총·방전시 시뮬레이션 파형



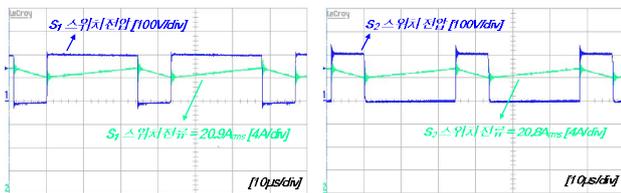
(b) 저전압측 스위치 총·방전시 시뮬레이션 파형

그림 5 공진형 컨버터 스위치 총·방전시 파형

3. 실험 결과

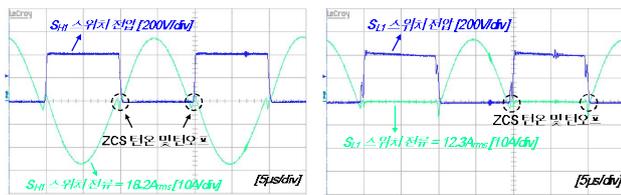
제한한 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 3kW급 시작품을 제작하였다. 그림 6은 강압시 실험파형으로 (a), (b)는 3 kW에서 비절연부 스위치 전압과 인덕터 전류이며 (c), (d)는 3 kW에서 절연부의 고전압측 스위치와 저전압측 스위치의 전압과 변압기 전류로 모든 스위치가 ZCS 턴온 및 턴오프가 되는 것을 확인할 수 있다. (e)는 CC-CV 배터리 충전 프로파일에 따른 실험파형이다.

그림 7은 제한한 컨버터의 승압 및 강압시 측정 (YOKOGAWA WT3000)한 효율로 900W 이상에서 승·강압시 모두 약 94 % 이상 효율 유지하며 강압시 1.8kW에서 최대 효율 95.2 %, 승압시 1.5kW에서 최대효율 94.8 %를 달성 하였으며 그림 8은 3kW급 시작품이다.



(a) S1 스위치

(b) S2 스위치



(c) 고전압측 스위치

(d) 저전압측 다이오드



(e) CC-CV 충전 시험 파형

그림 6 실험 파형

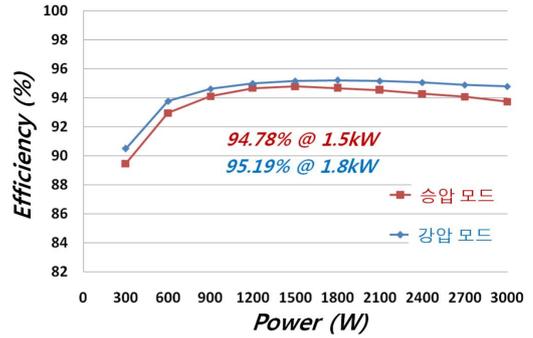


그림 7 제한한 컨버터의 측정효율

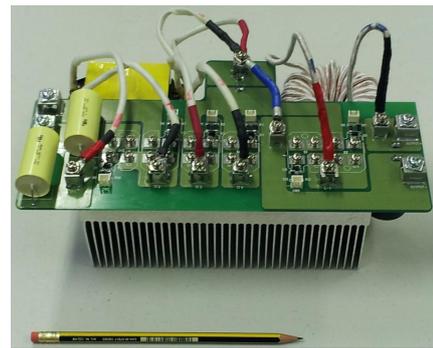


그림 8 3kW급 시작품

4. 결론

본 논문에서는 가정용 ESS 위한 양방향 직렬 공진형 DC-DC 컨버터를 제안하였다. 제안한 컨버터는 제어가 간단하고 직렬공진 컨버터를 최적점에서 동작시켜 전 부하에서 ZCS 턴온 및 턴오프 스위칭을 하여 고효율을 달성할 수 있다. 3kW급 시작품으로 시작품을 검증하였고 900W 이상에서 약 94 % 이상 효율 유지하며 1.8kW에서 강압시 최대효율 95.2 %, 1.5kW에서 승압시 최대효율 94.8 %를 달성 하였다.

참고 문헌

- [1] 김민재, 박준성, 최세완, “전부하영역에서 영전류 턴온 및 턴오프 스위칭을 하는 직렬공진 컨버터를 이용한 차량탑재형 충전기”, *전력전자학회 2011년도 하계학술대회 논문집*, pp.338-339
- [2] 2011 International Future Energy Challenge Web Site [Online]. Available: <http://www.energychallenge.org/>
- [3] Rik W. A. A. De Doncker, Deepakraj M. Divan, Mustansir H. Kheraluwala, “A Three-Phase Soft-Switched High-Power-Density dc/dc Converter for High-Power Applications”, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 27, pp. 63-73, Jan. 1991.
- [4] 윤창우, 김형준, 최세완, 강호성, 이현동, “연료전지 자동차 전장전원용 고효율 양방향 3상 DC-DC 컨버터”, *전력전자학회 논문집* pp. 209~212 2008년 6월.