

에너지 저장 시스템을 위한 비절연 양방향 ZVT DC-DC 컨버터

한기태, 임창순, 김래영, 현동석
한양대학교 전기공학과

Nonisolated Bidirectional ZVT DC-DC Converter for an Energy Storage System

Ji tai Han, Chang soon Lim, Rae young Kim, Dong seok Hyun
Department of Electrical Engineering, Hanyang University

ABSTRACT

The paper presents a non isolated bidirectional DC DC converter for use in renewable power generation, battery, electric vehicles (EV) and small scale DC UPS systems. In the propose design, the conventional interleaved operation of two inductor boost structure is modified to accommodate bidirectional operation, and zero voltage transition (ZVT) is applied, where both the switch and the rectifier diode achieve soft condition without increasing their voltage and current stresses. The proposed converter has the merits of simple circuitry, reduced size, low cost and high efficiency. The operation principle of the converter is analyzed and verified. Also, simulation results of the proposed bidirectional dc dc converter is shown.

1. 서론

에너지 저장 시스템(energy storage system, ESS)이 아직 기초적인 단계에 처해있기 때문에, 휴대용 소용량 저장 시스템이 보편화된 응용이지만, 최근 배터리 저장 시스템과 전기자동차에 대한 관심이 많아지면서 스마트 그리드의 실현을 위한 핵심 기술인 대용량 ESS에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있고 연구 및 실증사업이 활발히 진행되고 있다. 그림 1은 기본 에너지 저장 시스템의 블록도를 보여준다. 블록도는 주로 에너지 저장장치, 충·방전 DC DC 컨버터 회로와 양방향 DC AC 인버터 회로로 구성되고 있다.

본 논문에서는 ESS를 위한 새로운 비절연 ZVT 양방향 DC DC 컨버터에 대한 방안을 다루었다. 제안한 토폴로지는 단일 공진 인덕터를 이용하여 양방향 전력 전달에 모두 ZVT를 실현했다. 메인 스위치와 정류 다이오드에 모두 소프트 스위칭(soft switching)을 적용할 수 있으므로 전체 토폴로지는 ZVT를 수행하고 있다. 이런 특성으로 인해 ZVT 컨버터는 대용량 ESS의 어플리케이션에서 있어서 아주 이상적인 선택이다.

2. 제안한 비절연 양방향 ZVT 컨버터

2.1 토폴로지의 구성

그림 2는 제안한 비절연 양방향 ZVT DC DC 컨버터의 구

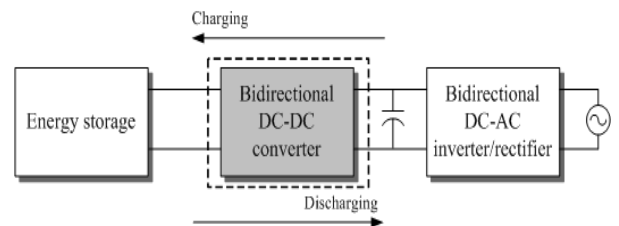


그림 1 기본 에너지 저장 시스템의 블록도
Fig. 1 Block diagram of the basic energy storage system

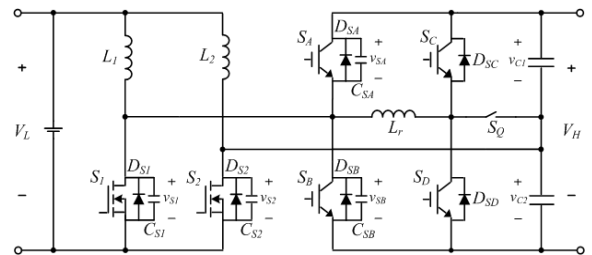


그림 2 제안한 비절연 양방향 ZVT DC-DC 컨버터
Fig. 2 Proposed nonisolated bidirectional ZVT DC-DC converter

조이다. 제안한 회로는 저 전압 측(low voltage side, LVS)와 고 전압 측(high voltage side, HVS)으로 나눌 수 있다. LVS에서는 두 개의 스위치 S_1 과 S_2 , 두 개의 인덕터 L_1 과 L_2 를 사용하였고 HVS에서는 주로 2개의 IGBT 스위치 S_A 와 S_B 와 공진 셀을 사용했다. 스위치 S_A , S_B 에는 안티 패러럴 다이오드 D_{SA} , D_{SB} 와 캐패시터 C_{SA} , C_{SB} 를 각각 달아준다. 공진 셀에서는 안티 패러럴 다이오드 D_{SC} , D_{SD} 를 각각 병렬해준 S_C 과 S_D , 공진 인덕터 L_r , 양방향 스위치 S_Q 로 구성됐다.

2.2 동작 특성

제안한 양방향 컨버터는 크게 충전모드와 방전모드로 나뉜다. 충전 및 방전시의 게이트 파형과 메인 전압 및 전류 파형은 그림 3과 그림 4에서 각각 보여주고 있다.

충전시 스위치 S_A 와 S_B 의 동작은 기본 벡 컨버터의 스위치의 동작과 동일하고 S_1 과 S_2 는 한 주기 동안 턴 오프 상태를 유지한다. 충전모드에서 S_1 과 S_2 의 바디 다이오드 D_{S1} 과 D_{S2} 는 정류 다이오드로 동작하게 된다. 스위치 S_A , S_B , S_C , S_D 와 S_Q 의 턴 온과 턴 오프에 대한 제어를 통해 메인 스위치와 정류 다이오드에 대한 소프트

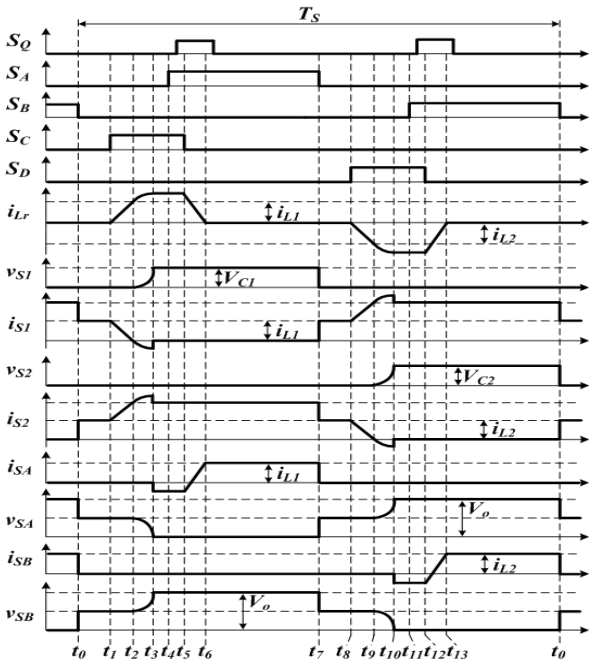


그림 3 양방향 컨버터의 벡 모드의 특성 파형
Fig. 3 Characteristic waveforms of the bidirectional converter in buck mode

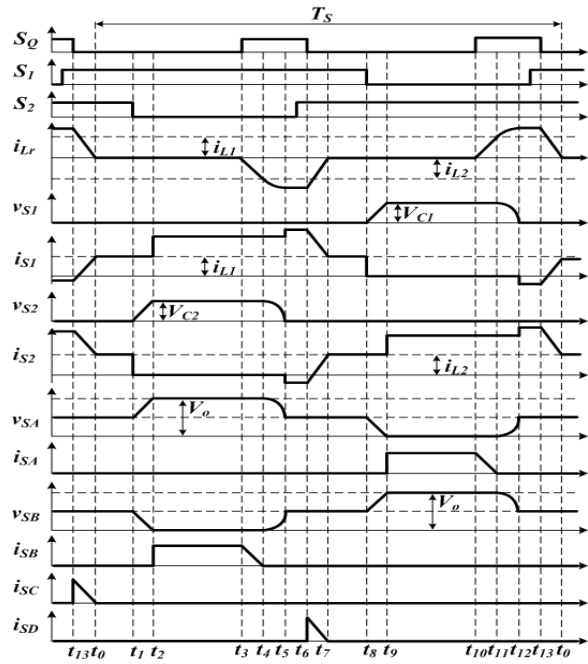


그림 4 양방향 컨버터의 부스트 모드의 특성 파형
Fig. 4 Characteristic waveforms of the bidirectional converter in boost mode

스위칭이 가능하다. 충전과정의 한 주기는 14개의 동작 모드로 나눌 수 있으며 이를 그림 3에 나타내었다.

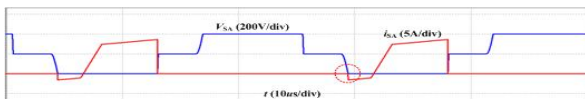
방전시 스위치 S_1 와 S_2 의 동작은 기본 부스트 스위치의 동작과 동일하고 스위치 S_A , S_B , S_C 와 S_D 는 한 주기 동안 항상 턴 오프 상태로 유지한다. 양방향 스위치 S_Q 의 게이트 신호는 독립적인 제어를 통해 동작한다. 마찬가지로 방전과정도 스위치에 대한 제어를 통해 소프트 스위칭이 실현된다. 방전과정의 한 주기는 14개의 동작 모드로 나눌 수 있으며 이를 그림 4에 나타내었다.

3. 시뮬레이션 결과

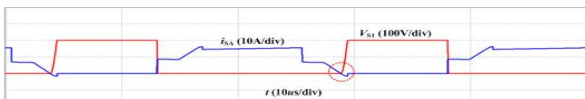
제안한 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계 사양으로 시뮬레이션을 진행하였다.

$$\cdot V_L=70V \cdot V_H=400V \cdot f_s=40kHz$$

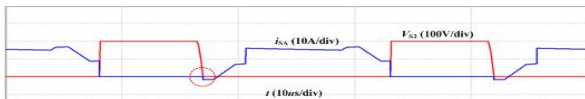
그림 5에서는 제안한 컨버터의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 각각의 파형은 충전시 주요 스위치 전압과 전류, 방전시 주요 스위치 전압과 전류를 나타낸다.



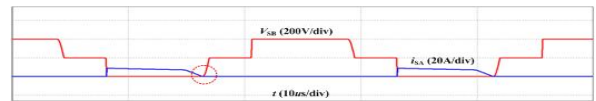
(a) 충전시 S_A 의 소프트 스위칭



(b) 충전시 D_{S1} 의 소프트 스위칭



(c) 방전시 S_2 의 소프트 스위칭



(d) 방전시 D_{S8} 의 소프트 스위칭

그림 5 충·방전시 주요 전압 및 전류
Fig. 5 Main voltage and current of charge-discharge

4. 결론

본 논문은 대용량 에너지 저장 시스템을 위해 비절연 양방향 ZVT DC DC 컨버터를 제안하였다. 제안한 토폴로지는 인터리브 구조를 응용하여 회로의 전류 및 전압 리플을 개선하였고 하나의 공진 인덕터를 통해 충전모드와 방전모드에서 모두 ZVT를 실현하게 하였으므로 회로의 사이즈와 무게를 줄일 수 있었다. 또한 고 전압 측에서 배전압 정류회로의 구조로 구성되어 같은 전압을 출력할 때 제안한 회로에서는 전류와 전압 스트레스가 작다. 이는 대용량 에너지 저장 시스템에 활용이 가능할 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] Huafeng Xiao and Shaojun Xie, "A ZVS Bidirectional DC DC Converter With Phase Shift Plus PWM Control Scheme", Proceedings of the IEEE, Vol. 23, No. 2, pp. 813-823, 2008, March.