

고 전력변환 비를 가지는 절연형 양방향 DC-DC 컨버터

이성호*, 김규태*, 권정민**, 권봉환*
포항공과대학교*, 한밭대학교**

Isolated bidirectional DC-DC converter with high power conversion ratios

Sung Ho Lee*, Kyu Tae Kim*, Jung Min Kwon**, Bong Hwan Kwon*
Pohang University of Science and Technology*, Hanbat National University**

ABSTRACT

본 논문에서는 저 전압원과 고 전압원간의 양방향 전력 변환에 적합한 절연형 양방향 DC DC 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 저압 측에 전류형 능동 클램프 푸시풀 컨버터 구조와 고압 측에 배전압 회로를 가지는 하프 브릿지 구조를 가진다. 저압 측의 전류형 컨버터의 적용은 별도의 필터 없이도 저압 측의 전류 리플의 저감 효과를 얻을 수 있으며, 고 주파수 변압기의 턴 비를 낮출 수 있다. 또한 배전압 회로를 통해 전류 대비 고압 측 소자의 전압 스트레스의 저감 효과를 기대할 수 있다. 최종적으로 제안하는 컨버터의 모의 실험결과를 통해 타당성을 검증한다.

1. 서 론

배터리, 슈퍼커패시터와 같은 저 전압 특성을 갖는 에너지 저장 장치의 충, 방전 동작을 계통 및 전기 자동차의 모터 구동과 연계시키기 위해선 양방향의 전력 변환을 수행하는 DC DC 컨버터가 요구된다. 이 경우, 양방향 DC DC 컨버터의 설계 과정에서 높은 전력 변환비와 저압 측의 전류 리플, 고압 측의 반도체 소자의 전압 스트레스등이 중요한 설계 파라미터로 작용한다.

기존의 저압 측에 전압형 컨버터를 적용한 양방향 DC DC 컨버터의 경우, 전류를 리플을 줄이기 위해 별도의 LC 필터가 요구되며, 고 주파수 변압기의 높은 턴비를 필요로 하여 전체 전력변환 효율을 낮춘다는 단점을 가진다 [1]. 이를 보완하기 위해, 저압 측에 전류형 푸시 풀 컨버터를 적용한 양방향 DC DC 컨버터가 소개되었다 [2]. 이 토폴로지의 경우, 저압 측 전류 리플 감소 및 전압형 컨버터 적용시에 비해 변압기의 낮은 턴 비에도 높은 전력 변환비를 얻을 수 있다 단 장점을 가진다. 하지만 변압기의 누설 인덕턴스에 의한 서지 전압 발생 및 고압 측 소자에 높은 전압 스트레스가 인가된다는 문제점이 존재한다.

따라서 본 논문에서는 기존의 절연형 DC DC 컨버터의 문제점을 개선하며 저 전압원과 고 전압원 간의 양방향 전력변환에 적합한 절연형 양방향 DC DC 컨버터를 제안한다.

2. 고 전력변환 비를 가지는 절연형 양방향 DC-DC 컨버터

2.1 구성 및 특징

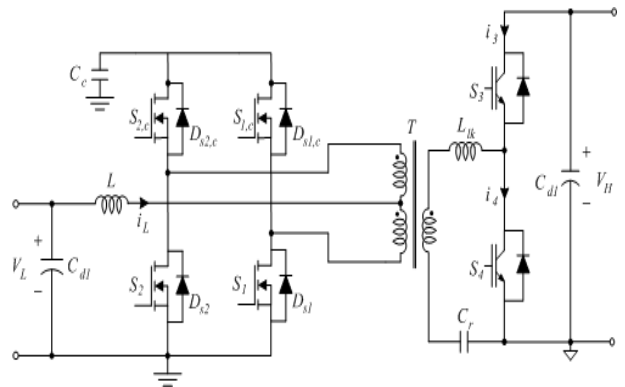


그림 1 제안하는 절연형 양방향 DC DC 컨버터

그림 1은 제안하는 절연형 양방향 DC DC 컨버터이며, 저 전압원 V_L 측에는 전류형 능동 클램프 푸시풀 컨버터 구조를 가진다. 인덕터 L 를 이용한 전류형 컨버터는 별도의 필터 설계 없이도 전류 리플의 저감 효과를 얻을 수 있으며, 낮은 턴 비에도 높은 전력변환 비를 획득할 수 있다. 능동 클램프 회로는 변압기 T 의 누설 인덕턴스 L_k 에 의한 서지 전압을 제거하여 저압 측 스위치의 전압 스트레스를 개선하고, L_k 에 저장된 에너지를 재사용할 수 있도록 돕는다. 고 전압원 V_H 측은 배전압 회로를 가지는 하프 브릿지 구조를 가진다. 배전압 회로를 통해 전력 변환비를 증가시켜 변압기의 턴 비를 감소효과를 획득하여 효율 증가를 기대할 수 있으며, 고압 측 소자의 전류대비 전압스트레스를 감소시킬 수 있다. 또한 승압 모드 (Boost mode)에서 L_k 와 커패시터 C_r 의 공진을 이용하여 IGBT S_3 와 S_4 의 ZCS 턴 오프를 획득할 수 있도록 돕는다.

2.2 동작 원리

2.2.1 승압 모드 (Boost mode)

저압 측에서 고압 측으로 전력전달 시, 스위치 S_1 과 S_2 는 180° 위상차를 가지며, 각각 S_{1c} , S_{2c} 와 상보적으로 동작한다. 스위치 S_3 와 S_4 는 정류 다이오드의 역할을 수행한다. 스위치 S_1 과 S_2 의 듀티비를 D_L 이라 할 때, $D_L > 0.5$ 경우의 S_1 과 S_2 의 게이트 신호가 겹치는 구간에서 L 에 저 전압원의 에너지가 저장되며, 전류 i_L 이 선형적으로 증가한다. S_1 (또는 S_2)가 턴 오프 시, 변압기의 1차 측에서 2차 측으로 에너지가 전달된다.

2.2.2 강압 모드 (Buck mode)

고압 측에서 저압 측으로 전력전달 시, 스위치 S_3 와 S_4 의 그림 3과 같이 대칭적으로 이루어진다. S_3 와 S_4 는 각각 $S_{1,a}$, $S_{2,a}$ 와 동기화되며 저압 측 스위치의 스위칭 패턴은 승압모드와 동일하다.

2.3 제안하는 컨버터의 설계

제안하는 컨버터의 승압 모드에선 고압 측 소자의 ZCS 턴 오프를 통해 다이오드 역 회복 문제에 의한 손실을 제거할 수 있다. 그림 2와 같이 S_1 (또는 S_2)가 턴 오프 되어 1차 측에서 2차 측으로 에너지 전달된다. 동시에 L_{lk} 와 C_r 에 의해 공진이 발생하며, 공진이 종료되는 시점에서 S_3 (또는 S_4)의 역방향 다이오드는 ZCS 턴 오프 하게 된다.

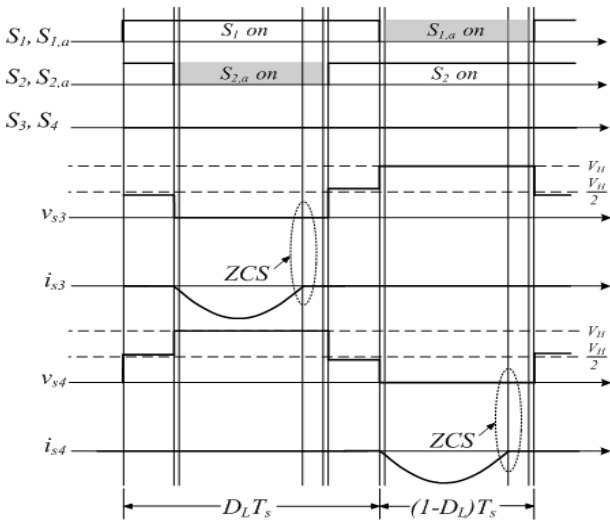


그림 2 승압 모드에서의 ZCS 동작 파형

ZCS 턴 오프 조건을 만족시키기 위해 식 (1)과 같이 L_{lk} 와 C_r 에 의한 공진 반주기는 S_1 (또는 S_2)의 턴 오프 시간보다 짧아야 한다.

$$\pi \sqrt{L_{lk} C_r} < (1 - D_L) T_s \quad (1)$$

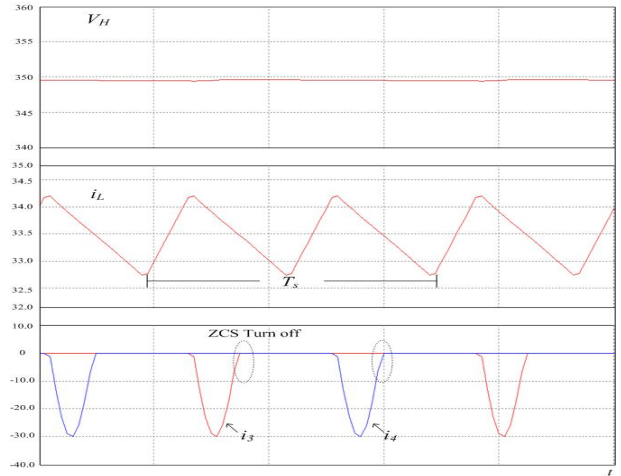
저압 측의 전류형 컨버터를 적용하므로써 별도의 필터 설계 없이 i_L 의 리플을 제한할 수 있다. L 은 허용 가능한 리플 ΔI_L 범위를 고려하여 설계되며, ΔI_L 은 수식 (2)와 같다.

$$\Delta I_L = \frac{V_H (1 - D_L) (D_L - 0.5)}{2n f_s L} \quad (2)$$

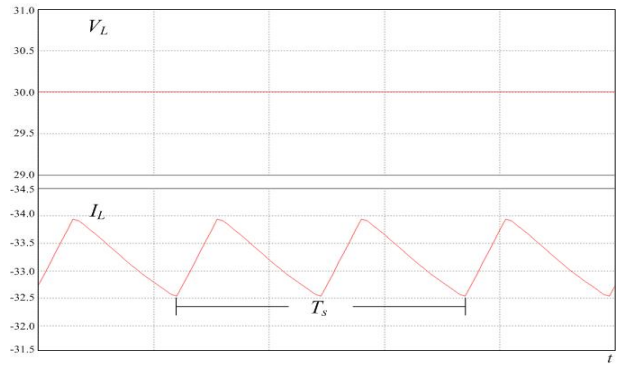
f_s 는 스위칭 주파수를 나타낸다.

3. 모의 실험 결과

제안하는 컨버터의 양방향 전력변환을 확인하기 위해 Psim 9.0을 이용하여 모의 실험을 수행하였다. 정격 전력 1kW, 저전압 V_L 30V와 고 전압 350 V로 스위칭 주파수는 20kHz로 동작한다. 변압기의 턴 비 n 은 16 : 4 : 4로 설계하였다. 제안하는 DC DC 컨버터의 양방향 전력 변환을 수행이 가능함을 확인할 수 있으며, 저압 측의 전류 리플의 주기는 스위칭 주기 T_s 의



(a)



(b)

그림 3 모의 실험 결과 (a) 승압 모드 (b) 강압 모드

2 배를 가짐을 확인하였다. 또한 승압 모드에서는 이론적 분석과 동일하게 고압 측 소자의 ZCS 턴 오프 됨을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 저 전압원과 고 전압원간의 양방향 전력변환을 수행할 수 있는 양방향 DC DC 컨버터를 제안하였다. 저압 측에는 전류형 컨버터의 설계를 통해 전류 리플과 변압기의 턴 비를 감소시킬 수 있다. 또한 고압 측에 배전압 회로를 사용하여 소자의 전류 대비 전압 스트레스 감소를 확보할 수 있으며, 누설 인덕턴스와의 공진을 통해 승압 모드에서 다이오드 역회복 문제에 의한 손실을 제거할 수 있다.

참고 문헌

- [1] J. M. Kwon, E. H. Kim, B. H. Kwon, and K. H. Nam, "High efficiency fuel cell power conditioning system with input current ripple reduction," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 56, No. 3, pp. 826–834, March. 2009.
- [2] E. Hiraki, K. Hirao, T. Tanaka, and T. Mishima, "A push pull converter based bidirectional dc dc interface for energy storage systems," *IEEE 13th European Conference on Power Electronics*, pp. 1–10, Sept. 2009.