

고효율 달성을 위한 개선된 양방향 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터

김대중, 박진혁, 이교범
아주대학교

Improved Bidirectional Three Phase Interleaved DC-DC Converter for High Efficiency

Dae Joong Kim, Jin Hyuk Park, and Kyo Beum Lee
AJOU UNIVERSITY

ABSTRACT

본 논문에서는 Zero Voltage Switching (ZVS)이 가능한 양방향 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터를 제안한다. 기존의 일반적인 하프 브릿지형 양방향 DC-DC 컨버터와 달리 ZVS를 만족시킴으로써 고효율을 달성하였고, 3상 인터리브드 방식을 적용함으로써 출력 전류 리플을 저감시키고 스위치의 정격을 낮출 수 있도록 하였다. 또한 제안하는 토폴로지는 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

1. 서론

최근 세계적으로 에너지 고갈 문제가 대두되고, 에너지에 대한 수요가 증가하면서 신재생 에너지, UPS (Uninterruptible Power Supply) 시스템, ESS (Energy Storage System), 친환경 자동차 등의 전력 활용 분야에서 배터리의 충 방전을 위하여 양방향 DC-DC 컨버터의 개발에 대한 요구가 증가하고 있다. 특히, 태양광 발전 계통 연계 시스템, 전기 자동차, 축전지 충 방전 시스템 등의 여러 분야에 양방향 DC-DC 컨버터가 사용되고 있다. 양방향 DC-DC 컨버터는 에너지 저장 시스템의 전력 변환 장치로 사용되며, 이러한 전력 변환 장치는 높은 안정성 및 효율성을 요구한다. 그러나 일반적으로 양방향 DC-DC 컨버터로 사용되고 있는 하프 브릿지 벡 부스트 컨버터는 하드 스위칭(Hard Switching) 동작으로 인하여 스위칭 주파수를 높이기 어렵고, 큰 스위칭 손실이 발생하여 고효율 달성이 어렵다는 문제점이 있다^[1]. 이에 따라 스위칭 손실과 EMI를 저감하고 고효율 달성을 위한 양방향 전력 전달이 가능한 DC-DC 컨버터의 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 Zero Voltage Switching (ZVS)을 통한 소프트 스위칭(Soft Switching)이 가능한 양방향 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터는 각 레그가 ZVS 동작을 함으로써 스위칭 주파수를 높일 수 있고, 스위칭 손실을 줄여 고효율을 달성할 수 있다. 또한 배터리의 수명은 온도와 과충전, 전류 리플 등에 의해 영향을 받기 때문에 DC 단에 사용될 배터리의 수명을 늘리기 위해 3상 인터리브드 방식을 사용하여 배터리 단 전류 리플을 저감시켰다^[2]. 또한, 인터리브 동작을 통해 스위치의 정격을 낮출 수 있도록 하였다. 제안하는 ZVS가 가능한 양방향 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터를 3 kW 정격 조건으로 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증한다.

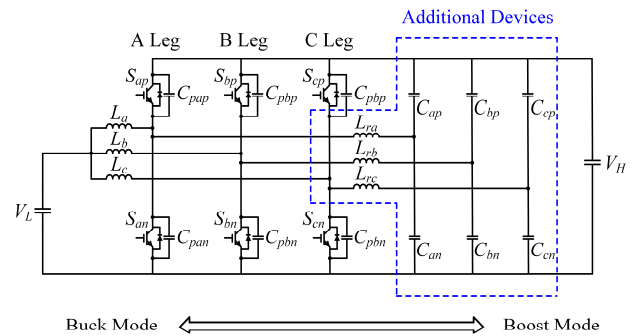


그림 1 제안하는 양방향 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터
Fig. 1 Proposed bidirectional 3 phase interleaved DC-DC converter

2. ZVS가 가능한 양방향 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터

그림 1은 본 논문에서 제안하는 ZVS가 가능한 양방향 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터를 나타낸다. 일반적으로 하프 브릿지 타입의 양방향 DC-DC 컨버터는 V_L 에서 V_H 로 전력이 전달되는 부스트 모드와 V_H 에서 V_L 로 전력이 전달되는 벡 모드로 구분하여 동작된다. 제안하는 ZVS가 가능한 양방향 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터는 기존의 하프 브릿지 타입의 양방향 DC-DC 컨버터의 각 레그에 공진 인덕터 L_r 를 추가하고, 출력단 V_H 에 커패시터 C 2개를 추가하여 구성하였다. ZVS를 달성하기 위해 추가된 출력단 커패시터 C 및 공진 인덕터 L_r 와 스위치 소자에 병렬로 나타나는 기생 커패시터 C_p 간의 공진을 이용한다. 각 레그 스위치의 상보 스위칭 동작을 위한 데드 타임 동안에 스위치의 기생 커패시터는 충 방전이 되고, 스위치 양단의 전압이 영전압이 된다. 따라서 스위치는 ZVS 조건이 충족되어 소프트 스위칭이 가능하다.

또한, 그림 1에서와 같이 추가 소자를 이용하여 ZVS가 가능한 양방향 DC-DC 컨버터를 단상으로 구성할 경우, 주 인덕터 L 과 공진 인덕터 L_r 의 전류가 더해져 큰 전류가 스위치 소자로 흐르기 때문에 스위치 소자의 정격이 높아야 할 필요가 있다^[3]. 그러나 3상 인터리브드 방식을 이용하여 전류를 인터리브 시킴으로써 스위치 소자의 전류를 분배시킬 수 있어 스위치 소자의 정격을 낮출 수 있다. 더불어, 기존의 양방향 단상 DC-DC 컨버터에 비해 입력 V_L 단의 전류 리플을 저감할 수

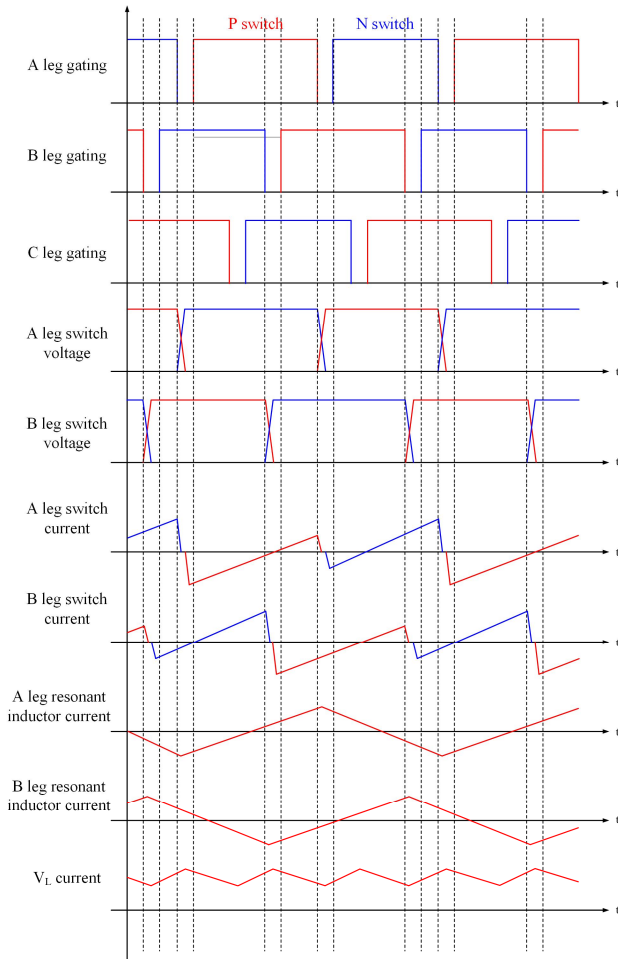


그림 2 제안하는 토폴로지의 게이팅, 전압 및 전류 파형
Fig. 2 Gating, voltage, current waveform of proposed topology

있다는 장점을 갖는다. 단상 방식과 비교하여, 인터리브드 방식은 레그가 추가되었기 때문에, 이를 위해서는 각 레그의 전류가 다른 레그의 스위칭 상태에 관계없이 독립적으로 동작해야 한다. 그림 2는 제안하는 토폴로지가 부스트 모드로 동작할 때의 게이팅, 전압, 전류 파형을 나타낸다. A 레그와 B 레그가 서로의 스위칭 상태에 간섭을 받지 않으며, 각 스위치가 스위칭 On 동작에서 ZVS로 소프트 스위칭 되는 것을 확인할 수 있다.

3. 시뮬레이션 결과

제안하는 ZVS가 가능한 양방향 3상 인터리브드 DC DC 컨버터의 시뮬레이션은 3 kW 정격으로 부스트 모드에서 진행하였다. V_L 은 200 V, V_H 는 370 V, 주 인덕터 L 은 1000 μ H, 스위치 소자의 기생 커패시턴스 C_p 는 3 nF, 추가 소자인 L_r 은 75 μ H, C 는 5 μ F으로 설정하였다.

시뮬레이션 결과는 그림 3과 같다. 각 레그는 서로의 스위칭 상태에 관계없이 ZVS를 만족하는 것을 확인할 수 있으며, 출력 전류의 리플 역시 저감되었다.

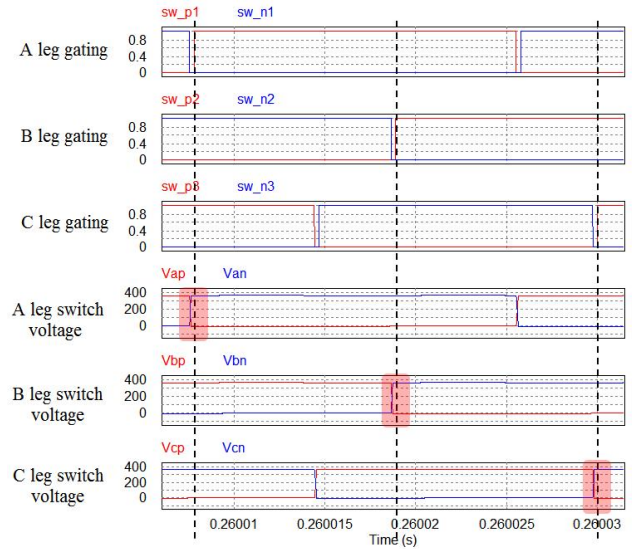


그림 3 제안하는 토폴로지의 게이팅, 전압 시뮬레이션 파형
Fig. 3 Gating, voltage simulation waveform of proposed topology

4. 결론

본 논문에서는 ZVS가 가능한 양방향 3상 인터리브드 DC DC 컨버터를 제안하였다. 기존의 양방향 인터리브드 DC DC 컨버터의 단점인 하드 스위칭으로 인한 효율 문제 및 스위칭 주파수 제한 문제를 추가 인덕터와 커패시터를 이용한 ZVS 동작을 통해 해결하였다. 또한 3상 인터리브드 방식으로 DC DC 컨버터를 동작시킴으로써, 단상 방식의 경우에서 발생하는 공진 전류로 인한 높은 스위치 정격 문제와, 배터리 단 전류 리플 문제를 해결하였다. 제안하는 토폴로지의 타당성은 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2013R1A1A2A10006090)

참고 문헌

- [1] J. Zhang, J. S. Lai, R. Y. Kim, and W. Yu, "High power density design of a soft switching high power bidirectional dc dc converter," IEEE Trans. Power Electron., Vol. 22, No. 4, pp. 1145–1153, 2007, Jul.
- [2] A. Ruddell, A. Dutton, H. Wenzl, C. Ropeter, D. Sauer, J. Merten, C. Orfanogiannis, J. Twidell, and P. Vezin, "Analysis of battery current microcycles in autonomous renewable energy systems," Journal of Power Sources, vol. 112, pp. 531–546, 2002, August.
- [3] K. Jun Gu, P. Seung Won, K. Young Ho, J. Yong Chae, W. Chung Yuen, "High Efficiency Bidirectional Soft Switching DC DC Converter", International Power Electronics Conference (IPCE), pp. 2905–2911, 2010, Jun.