

고승압비 컨버터를 위한 범용성 이 기능 회로 구조

공임보, 차시온, 김옥성
포항공과대학교

Bi-functional circuit structure for high voltage gain converters

Imbo Kong, Sion Cha, Wooksung Kim
Pohang University of Science and Technology (POSTECH)

ABSTRACT

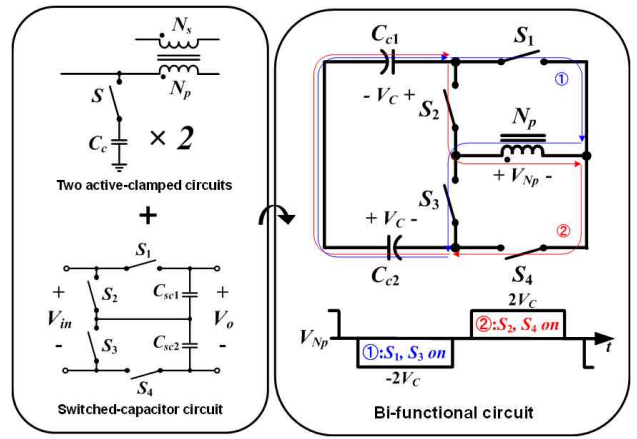
본 논문은 고승압비 전력변환회로에 적용될 수 있는 범용성 이 기능 회로 구조 (Bi-functional circuit)를 제안한다. 이 기능 회로 구조는 Switched capacitor 회로 동작과 Active clamp 회로 기능 두 가지를 수행하면서 절연형 컨버터의 승압비를 높이는 동시에 변압기 기생 공진을 완화하여 전압 전류 피킹 문제를 해결한다. 또한, 이 기능 회로 구조의 적용은 낮은 듀티비와 권선비 상황에 전력변환회로의 높은 승압비를 쉽게 달성하고, 낮은 스위치 내압과 완화된 입력전류리플을 보장한다. 본 논문에서는 Active Clamped Current Fed Half Bridge (ACCFHB) 컨버터에 이기능 회로 구조를 적용한 320W 시작품을 제작하고 실험적으로 성능 검증을 수행하였다.

1. 서론

탄소배출량 증가에 따라서 지구온난화 문제는 점점 심각해지고 지구의 평균 온도 감소를 위해서 각국과 여러 기업들에서 탄소중립 2050, RE100 등 신재생에너지 장려 정책을 펴고있는 상황이다. 신재생에너지원은 태양광 발전, 풍력 발전, 연료 전지 등 다양하고 최근 학계와 산업에서 다시금 각광받고 있는 상황이다.^{[1],[2]} 재생에너지는 탄소 배출이 없이 에너지를 생산할 수 있다는 강점이 있는 반면 간헐적 에너지 생산 문제로 안정적인 전력 공급에 문제를 겪는 경우가 빈번하다.

재생에너지원의 안정적인 전력 공급을 위해서는 적절한 전력변환회로의 활용이 필수적이다. 특히, 태양광 발전과 연료전지의 경우 출력 DC 전압이 낮고 가변성이 크기 때문에 DC-Grid로의 에너지 전송을 위해서는 프론트엔드에 적용되는 DC/DC 컨버터는 구조적 고승압비를 가짐으로 낮은 듀티비 및 낮은 트랜스포머 권선비 상황에서 동작할 수 있어야 한다.^[3] 또한, 재생에너지원의 수명을 고려하여 고효율 및 낮은 입력 전류 리플 특성을 필요로 한다.

본 논문에서는 인터리브드 Current-fed 타입의 고승압비 컨버터에 범용적으로 적용될 수 있는 이 기능 회로구조를 제안하였다. 이 기능 회로 구조는 Active clamp 동작과 Switched capacitor 동작을 동시에 수행함으로써 낮은 듀티비 및 낮은 트랜스포머 권선비 상황에서 컨버터의 승압비를 높여주고 메인 스위치의 정격 전압을 낮추어 준다. 또한, 인터리브드 컨버터의 낮은 듀티비 동작으로 줄어든 입력전류 리플을 확보할 수 있다. 제안한 구조를 검증하기 위해서 ACCFHB 컨버터에 이



1 이 기능 회로의 구조 및 동작

기능 회로를 적용하여 320 W 시작품을 제작하고 이를 실험적으로 검증하였다.

2. 본론

2.1 이 기능 회로의 구조 및 동작 원리

그림 1에서와 같이 이 기능 회로는 두 개의 커패시터와 4 개의 액티브 스위치 그리고 트랜스포머로 구성되어 있다. 4 개의 스위치 중 S1, S3 스위치의 게이트 신호와 S2, S4 스위치의 게이트 신호가 180도의 위상차로 On/off 되어 트랜스포머에 인가되는 전압을 두 커패시터의 직렬 연결 전압 즉 전압의 합으로 제어한다. 따라서 이 기능 회로는 Switched capacitor 동작과 동시에 두 개의 Active clamp 회로 동작을 동시에 수행할 수 있고 적용된 컨버터에 높은 승압비와 낮은 스위치 정격을 보장 할 수 있다.

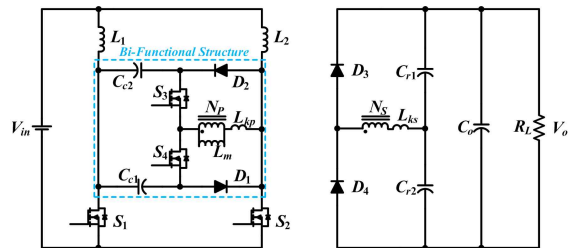


그림 2 제안 컨버터 회로도

2.2 이 기능 회로 ACCFHB 컨버터 적용

ACCFHB 컨버터 구조에 이 기능 회로를 적용하여 그림 2와 같은 고승압비 DC/DC 컨버터를 제안하였다. 제안 회로의 동작은 크게 세 가지로 나누어 설명할 수 있는데 인터리브 구조 동작, 이 기능 회로 동작, 그리고 Voltage doubler 동작이다. 첫 째로 인터리브 동작에서는 두 개의 인덕터 L_1 , L_2 에 저장된 자계 에너지를 1차측 커패시터 C_{c1} , C_{c2} 에 전계 에너지로 전환하는 동작을 수행한다. 그리고 두 번째 이 기능 회로 동작은 그림 1에서 설명한 것과 같이 스위치 S_3 , S_4 의 게이트 신호가 180도의 위상차로 On/off 되면 C_{c1} , C_{c2} 의 Switched capacitor 방전 동작으로 다시 한 번 전계 에너지를 트랜스포머의 자계 에너지로 변환하는 동작을 한다. 마지막으로 Voltage doubler는 트랜스포머의 자계 에너지를 Cr_1 , Cr_2 전계 에너지로 전환하면서 컨버터의 전압 승압비를 높인다. 이렇게 제안 회로는 낮은 듀티비 및 낮은 트랜스포머 권선비 상황에 구조적으로 높은 승압비를 갖는다.



3 320 W 시작품 이미지

2.3 실험 검증

이 기능 회로 및 제안 컨버터의 성능 검증을 위해서 320 W 시작품을 제작하여 실험을 수행하였다. 그림 3에 나타나있는 입력 전압 범위는 $26\text{ V} \leq V_{in} \leq 34\text{ V}$ 이고 출력 전압은 400 V 수준으로 검증하였다. 그림 4는 입력 전압 34 V, 출력 전압 400 V 상황에 최고 부하 조건에서 제안 회로의 효율 분석을 진행한 결과이다. 저항 성분에 의한 Conduction loss가 가장 높게 나타났고 각각의 소자들 중에는 스위치에 의한 손실이 가장 높게 나타났다. 그림 5는 입력전압이 각각 26 V, 30 V, 34 V 상황에 부하 변동에 따른 실제 효율을 측정한 결과이다. 최고 효율은 96 % 수준이고 최저 효율은 93% 이상으로 측정되었다.

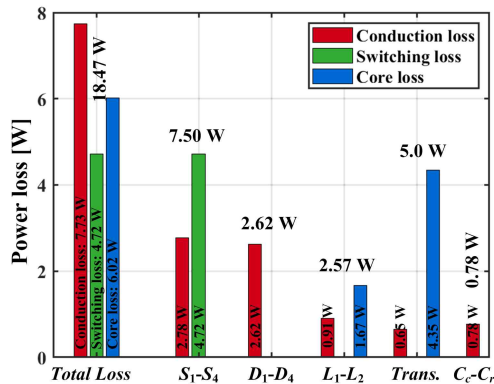


그림 4 320 W 조건 효율 분석

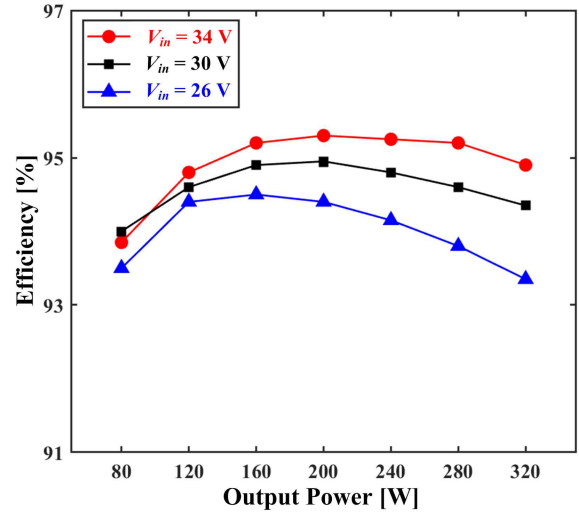


그림 5 입력전압 변화에 따른 효율 분석

3. 결론

본 논문에서는 재생에너지 어플리케이션을 위한 이 기능 회로를 갖춘 절연형 고승압비 DC-DC 컨버터를 제안하였다. 1차 측에서는 제안된 컨버터가 이 기능 회로와 인터리브 인터페이스를 사용하여 입력 전류 리플을 현저하게 감소시켰고 동시에 변압기 누출 에너지를 클램핑하며 반도체 소자들의 정격을 현저하게 낮추었다. 또한, 구조적으로 승압비를 높여 낮은 듀티비 및 권선비 상황에 높은 승압비를 확보하였다. 이를 실험적으로 검증하기 위해서 320 W 시작품을 제작하고 평가하였다.

This work was supported by the Korean Government under Grant NRF-2018M3A7B4089670 through the National Research Foundation (NRF) of Korea.

참 고 문 헌

- [1] O. Ellabban, H. Abu-Rub, and F. Blaabjerg, "Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology," *Renew. Sustainable Energy Rev.*, vol. 39, pp. 748–776, Nov. 2014.
- [2] Alkhawaldeh, Laith, et al. "An enhanced EPP-MPPT algorithm with modified control technique in solar-based inverter applications: Analysis and experimentation." *IEEE Access* 9 (2021): 8158–8166.
- [2] Kong, Im-Bo, Wook-Sung Kim, and Sang-Won Lee. "A Novel High-Voltage-Gain Quasi-Resonant DC-DC Converter With Active-Clamp and Switched-Capacitor Techniques." *IEEE Transactions on Power Electronics* 38.6 (2023): 7810–7820.