

입력 전류 리플이 없고 낮은 스위치 전압 스트레스를 갖는 고승압 부스트-세픽 DC-DC 컨버터

이신우, 도현락
서울과학기술대학교

Zero-Ripple Input Current High Step-Up Boost-SEPIC DC-DC Converter with Low Switch Voltage Stress

Sin Woo Lee, Do Hyun Lark
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문은 입력 전류 리플이 없고 낮은 스위치 전압 스트레스를 갖는 고승압 부스트-세픽 DC-DC 컨버터를 제안한다. 제안된 컨버터는 부스트 단의 보조회로에 의해 입력 전류 리플이 상당히 제거되었으며 세픽 단에 결합 인덕터를 적용하여 높은 전압 이득을 달성하였다. 또한 스위치 전압 스트레스는 클램핑 회로에 의해 감소되었으며 따라서 상대적으로 낮은 $R_{ds(on)}$ 갖는 MOSFET을 사용하여 컨버터의 효율이 개선되었다. 추가적으로 결합 인덕터의 누설 인덕터로 인하여 출력 다이오드의 역회복 손실이 완화되었다. 제안된 컨버터는 이론적 해석과 200[V]-200[W] 하드웨어 시작품을 제작하여 검증하였다.

1. 서론

매년 수많은 양의 이산화탄소를 배출시키는 화석연료의 사용으로 인한 지구 온난화는 전세계적으로 가장 큰 문제 중에 하나이다. 따라서 이산화탄소 배출량을 감소시키기 위해 태양광, 풍력, 수력, 지열, 파도 에너지 등 이와 같은 재생 가능 에너지가 다양한 산업 응용분야에 적용되고 있으며 연료 전지, 배터리, 슈퍼커패시터도 전기자동차에 전력공급원으로 사용된다. 하지만 이 에너지원들은 일반적으로 매우 낮은 전압을 발생시켜 이를 사용하기 위해선 고승압 DC-DC 컨버터가 요구된다. [1] 또한 이 전기 에너지원들의 수명은 높은 전류 리플에 의해 크게 감소된다. 따라서 DC-DC 컨버터의 입력 전류 리플은 제거되어야 한다. 일반적으로 부스트 컨버터에서 입력전류 리플을 줄이기 위해서 큰 입력 인덕터를 간단하게 사용할 수 있다. 그러나 이 방법은 컨버터의 크기와 무게를 증가시킨다. 인터리빙 기법은 종종 전류리플을 감소 시키는데 사용된다. 그러나 많은 부품과 복잡한 컨트롤러가 요구된다. [2]

그림 1은 제안하는 고승압 부스트-세픽 DC-DC 컨버터이다. 기존 직렬연결형 부스트-세픽 컨버터의 단점을 보완하기 위해 제안되었다. 부스트 단의 보조회로에 의해 입력 전류 리플이 상당히 제거되었으며 세픽 단에 결합 인덕터를 적용하여 높은 전압 이득을 달성하였다. 또한 스위치 전압 스트레스는 클램핑 회로에 의해 감소되었으며 따라서 상대적으로 낮은 $R_{ds(on)}$ 갖는 MOSFET을 사용하였다. 추가적으로 결합 인덕터의 누설 인덕터로 출력 다이오드의 역회복 손실이 완화되었다. 본 논문에서는 효율 향상을 증명하기 위하여 제안된 회로의 동작원리를 설명하고, 시작품의 실험 결과를 분석한다.

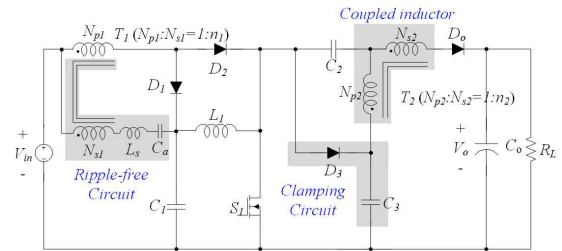


그림 1 제안하는 컨버터의 회로

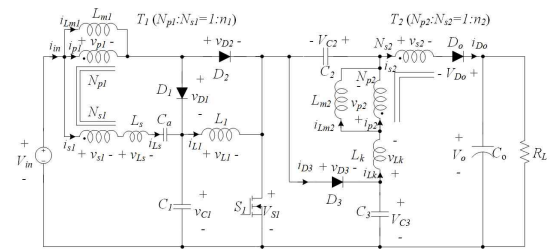


그림 2 제안하는 컨버터의 등가 회로

2. 이론적 해석

그림 2는 제안하는 컨버터의 등가회로이다. 제안하는 컨버터는 공유된 스위치를 가지는 기존 직렬연결형 부스트-세픽 컨버터에 기반을 두었다. 부스트 단은 결합 인덕터 T_1 과 공통 스위치 S_1 , 다이오드 D_1 과 D_2 , 커패시터 C_1 , 리플 제거 회로로 구성된다. 리플 제거 회로는 커플드 인덕터 T_1 과 보조 인덕터 L_s , 보조 커패시터 C_s 로 구성된다. 결합 인덕터 T_1 는 자화 인덕터 L_{m1} 그리고 $1:n_1(=N_{p1}:N_{s1})$ 의 턴비를 가지는 이상적인 트랜스포머로 모델링 하였다. 세픽 단은 인덕터 L_1 과 결합 인덕터 T_2 , 공통 스위치 S_1 , 커패시터 C_1 과 C_2 , 출력 다이오드 D_o , 클램핑 회로로 구성된다. 클램핑 회로는 커패시터 C_3 와 다이오드 D_3 로 구성된다. 결합 인덕터 T_2 는 자화 인덕터 L_{m2} 누설 인덕터 L_k , 그리고 $1:n_2(=N_{p2}:N_{s2})$ 의 턴비를 가지는 이상적인 트랜스포머로 모델링 하였다. 커패시터 C_1 , C_2 , C_3 와 출력 커패시터 C_o 는 각각 이상적인 전압원 V_{C1} , V_{C2} , V_{C3} , V_o 으로 가정한다.

모드 1 [t_0 , t_1] : 스위치 S_1 은 도통 상태이며 출력 다이오드는 D_o 는 역바이어스 상태이다. 자화 인덕터 L_{m1} , L_{m2} 와 인덕터 L_1 에 에너지가 저장된다. 결합 인덕터 T_1 에 의해 입력전압의

역전압이 보조인덕터 L_S 걸러 입력 전압 리플을 제거하기 위한 전류가 생성된다. 따라서 이 전류를 통해 입력 전류 리플이 제거 된다.

모드 2 [t_1, t_2] : t_1 에서 스위치 S_1 이 꺼지고 출력 다이오드 D_0 는 켜진다. L_{m1} 에 저장된 에너지는 D_1 를 통해 C_1 에 전달된다. 클램프 다이오드 D_3 는 누설인덕터 전류에 의해 켜지고 누설인덕터의 에너지는 C_2 에 전달된다. 따라서 스위치 전압에 V_{C3} 로 클램핑 된다. L_1 에 저장된 에너지는 D_3 를 통해 C_3 에 전달된다.

모드 3 [t_2, t_3] : 누설인덕터의 에너지가 모두 전달되면 D_3 는 꺼지게 되고 이 모드가 시작된다. 따라서 누설인덕터 양단 전압이 0되어 누설인덕터 전류는 일정하게 유지된다.

모드 4 [t_3, t_4] : t_3 에서 스위치 S_1 이 켜지거나 출력 다이오드 D_0 는 누설 인덕터 때문에 꺼지지 않는다. 출력 다이오드 전류는 누설 인덕터에 의해 제한된 기울기를 가지며 선형으로 감소한다. 따라서 역회복 문제가 완화된다.

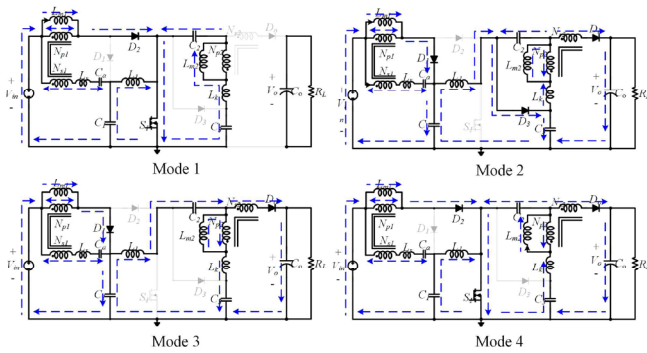


그림 3 제안하는 컨버터의 동작 모드

그림 4는 제안하는 컨버터의 전압이득을 나타낸다. 결합인덕터를 적용하여 기존 부스트-세픽 컨버터에 비해 높은 전압 이득을 얻을 수 있다. 전압이득에 대한 수식은 다음과 같다.

$$M = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1+D+n_2D}{(1-D)^2} \quad (1)$$

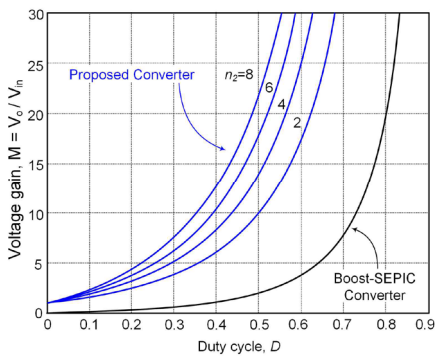
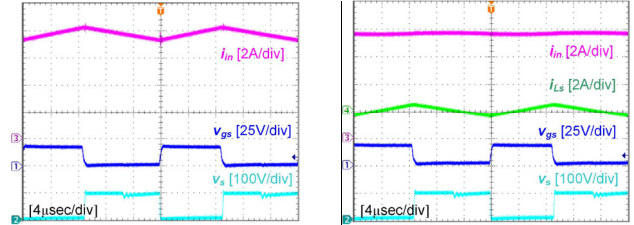


그림 4 제안하는 컨버터의 전압이득

3. 실험 결과

제안하는 컨버터의 설계 사양은 입력 전압 24~30[V], 출력 전압 200[V], 최대부하 200[W]이다. 그림 5와 그림 6은 입력전압 30[V]에서 주요 실험 파형을 측정할 것이다. 그림 5는 기존 컨버터와 제안된 컨버터와의 입력

전류 리플 비교이다. 입력 전압 리플이 거의 제거된 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 6을 통해 출력 다이오드의 역회복 문제가 완화된 것을 확인할 수 있다. 최대부하에서 제안하는 컨버터의 효율은 입력 전압 30[V]에서 91.5[%] 측정되었다.



(a) 기존 컨버터

(b) 제안된 컨버터

그림 5 기존 컨버터와 제안된 컨버터와의 입력 전류 리플 비교

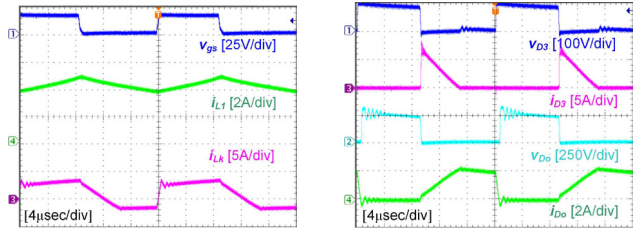


그림 6 최대 부하에서 $v_{in}=30[V]$ 일 때, 주요 실험 파형

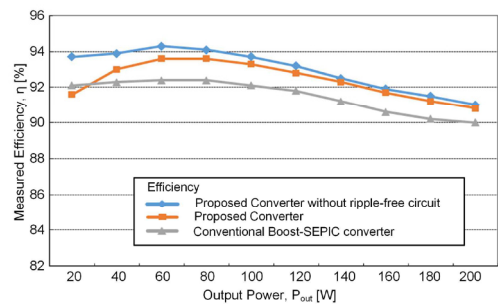


그림 7 측정된 효율 그래프

4. 결론

본 논문에서는 입력 전류 리플이 없고 낮은 스위치 전압 스트레스를 갖는 고승압 부스트-세픽 DC-DC 컨버터를 제안하고 동작특성과 성능을 실험을 통하여 알아보았다. 보조 회로에 의해 입력 전류 리플이 제거 되었고, 클램핑 회로에 의해 스위치의 전압 스트레스가 감소되었다. 또한 결합인덕터를 적용하여 높은 전압 이득을 얻을 수 있다.

참고 문헌

- [1] S.-M. Chen, T.-J. Liang, L.-S. Yang, and J.-F. Chen, "A cascaded high step-up DC-DC converter with single switch for microsource applications," IEEE Trans. Power Electron., vol. 26, no. 4, pp. 1146-1153, Apr. 2011.
- [2] H.-B. Shin, J.-G. Park, S.-K. Chung, H.-W. Lee and T.A. Lipo, "Generalised steady-state analysis of multiphase interleaved boost converter with coupled inductors," IEE Proc. Electr. Power Appl., vol. 152, no. 3, pp. 584-594, May 2005.