

결합 인덕터를 이용한 입력 전류 리플이 없는 고승압 캐스캐이드 부스트 DC-DC 컨버터

이신우, 도현락
서울과학기술대학교

High Step-Up Cascade Boost DC-DC Converter Using Coupled Inductor with Ripple-Free Input Current

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

컨버터의 동작원리를 설명하고, 시작품의 실험 결과를 분석한다.

ABSTRACT

본 논문은 결합 인덕터를 이용한 입력 전류 리플이 없는 고승압 캐스캐이드 부스트 DC-DC 컨버터를 제안한다. 기존 캐스캐이드 부스트 컨버터의 단점을 보완하기 위해 제안되었다. 제안된 컨버터는 1차 부스트 단의 보조회로에 의해 입력 전류 리플이 상당히 제거되었으며 2차 부스트 단계에 결합 인덕터를 적용하여 높은 전압 이득을 달성하였다. 제안된 컨버터는 이론적 해석과 200[V]-200[W] 하드웨어 시작품을 제작하여 검증하였다.

1. 서론

최근 고승압 컨버터에 대한 수요가 전력 시스템 분야에 급격하게 성장하고 있다. 특히 지구온난화 문제가 대두되면서 신재생 에너지에 대한 관심이 높아지고 있으나 이 에너지원들은 낮은 전압을 발생시기 때문에 고승압 컨버터가 필수적으로 요구된다. 따라서 태양광, 풍력, 수력, 지열, 파도 에너지 등 이와 같은 재생 가능 에너지가 다양한 산업 응용분야에 적용되고 있으며 연료 전지, 배터리, 슈퍼커패시터도 전기자동차에 전력공급원으로 사용된다.^[1]

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 캐스캐이드 부스트 DC-DC 컨버터이다. 기존 캐스캐이드 부스트 컨버터의 단점을 보완하기 위해 제안되었다. 기존 컨버터는 단순히 2개의 부스트 컨버터를 직렬로 연결하여 승압률이 향상되었으나 최근 요구되는 전력 시스템의 승압률을 만족시키기 어렵다. 기존 캐스캐이드 컨버터의 경우 승압률을 더 올리기 위해 추가 부스트 단이 요구되며 이는 컨버터의 부품수를 증가시켜 컨버터의 가격과 부피, 무게가 증가한다는 단점을 가지고 있다. 또한 입력 전류 리플을 줄이기 위해서 1차 부스트 단계에 높은 인덕턴스를 갖는 부스트 인덕터가 요구되며 이 또한 컨버터의 부피와 무게를 증가시킨다. 제안하는 컨버터는 1차 부스트 단의 보조회로에 의해 입력 전류 리플이 상당히 제거되었으며 2차 부스트 단계에 결합 인덕터를 적용하여 높은 전압 이득을 달성하였다. 본 논문에서는 높은 승압률과 효율을 증명하기 위하여 제안된

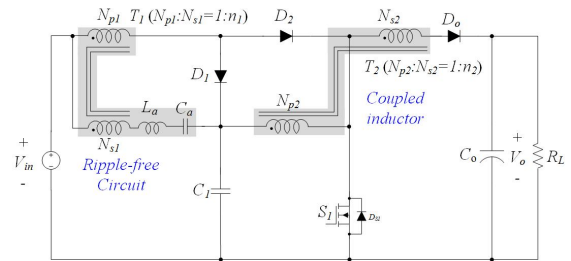


그림 1. 제안하는 컨버터의 회로

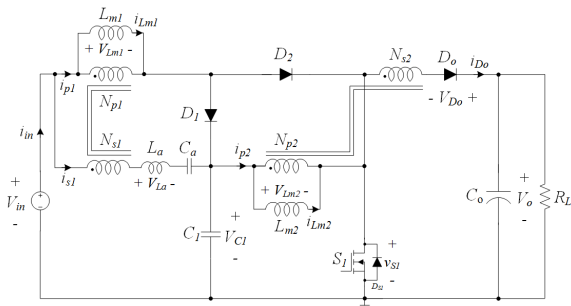


그림 2. 제안하는 컨버터의 등가 회로

2. 이론적 해석

그림 2는 제안하는 컨버터의 등가회로이다. 제안하는 컨버터는 공유된 스위치를 가지는 기존 캐스캐이드 부스트 컨버터에 기반을 두었다. 1차 부스트 단계는 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_a , 보조 커패시터 C_a 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. 2차 부스트 단계는 결합 인덕터 T_2 , 공통 스위치 S_1 , 출력 다이오드 D_o , 출력 커패시터 C_o 로 구성된다. 결합 인덕터 T_2 는 자화 인덕터 L_{m2} 누설 인덕터 그리고 $1:n_2(=N_{p2}:N_{s2})$ 의 턴비를 가지는 이상적인 트랜스포머로 모델링 하였다. 커패시터 C_1 과 출력 커패시터 C_o 는 각각 이상적인 전압원 V_{C1} , V_o 으로 가정한다.

모드 1 $[t_0, t_1]$: 스위치 S_1 은 도통 상태이며 출력 다이오드는

D_0 는 역바이어스 상태이다. 자화 인덕터 L_{m1} , L_{m2} 에 에너지가 저장된다. 결합 인덕터 T_I 에 의해 입력전압의 역전압이 보조 인덕터 L_a 걸쳐 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 보조 인덕터 L_a 에 흐르는 전류가 0에 도달하고 이 후 역으로 흐르게 된다. 모든 전압들은 변하지 않았기 때문에 전류는 모드 1과 동일한 기율기로 흐른다.

모드 3 [t_2 , t_3] : t_2 에서 스위치 S_I 이 꺼지고 출력 다이오드 D_0 는 켜진다. L_{m1} 에 저장된 에너지는 D_I 를 통해 C_I 에 전달된다. L_{m2} 에 저장된 에너지는 D_0 을 통해 C_0 에 전달된다.

모드 4 [t_3 , t_4] : t_3 에서 보조 인덕터 L_a 에 흐르는 전류가 0에 도달하고 이 후 역으로 흐르게 된다. 모든 전압들은 변하지 않았기 때문에 전류는 모드 3과 동일한 기율기로 흐른다.

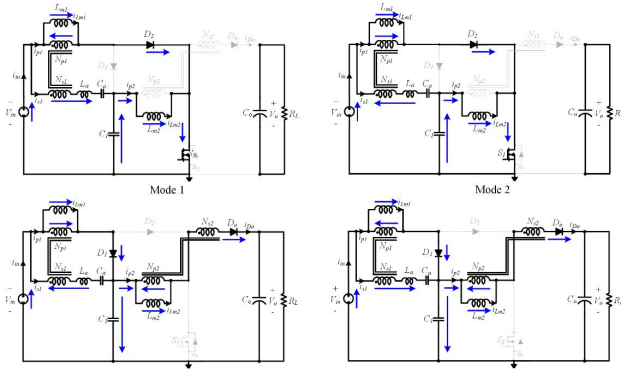


그림 3. 제안하는 컨버터의 동작 모드

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

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

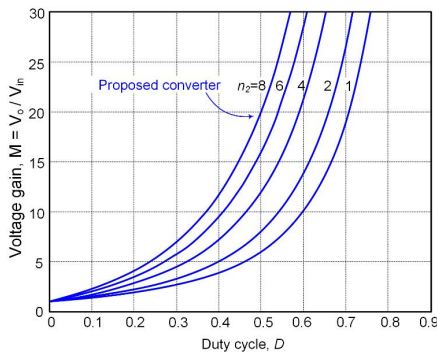
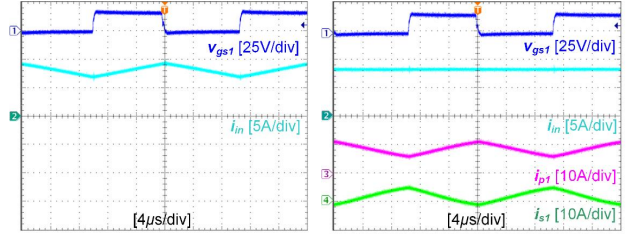


그림 4. 제안하는 컨버터의 전압이득

3. 실험 결과

제안하는 컨버터의 설계 사양은 입력 전압 24[V], 출력 전압 200[V], 최대부하 200[W]이다. 그림 5와 그림 6은 입력전압 24[V]에서 주요 실험 파형을 측정한다.

것이다. 그림 5는 기존 컨버터와 제안된 컨버터와의 입력 전류 리플 비교이다. 입력 전압 리플이 거의 제거된 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 6을 통해 이론해석과 동일하게 컨버터가 동작하는 것을 확인할 수 있다. 그림 7은 측정된 효율 그래프이다. 80[W]에서 최대 92.1[%]의 효율을 달성한 것을 확인할 수 있다.



(a) 기존 컨버터

(b) 제안된 컨버터

그림 5. 기존 컨버터와 제안된 컨버터와의 입력 전류 리플 비교

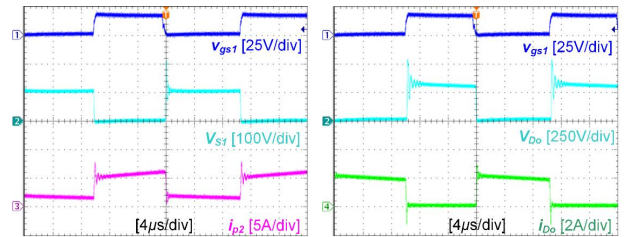


그림 6. 최대 부하에서 $V_{in}=24$ [v]일 때, 주요 실험 파형

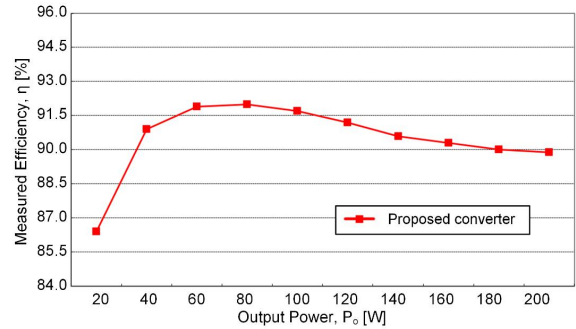


그림 7. 측정된 효율 그래프

4. 결론

본 논문에서는 결합 인덕터를 이용한 입력 전류 리플이 없는 고승압 캐스캐이드 부스트 DC-DC 컨버터를 제안하고 동작특성과 성능을 실험을 통하여 알아보았다. 보조 회로에 의해 입력 전류 리플이 제거 되었고, 결합 인덕터를 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.