

영전압 스위칭을 갖는 고승압 캐스캐이드 동기정류 부스트 컨버터

이신우, 도현락
서울과학기술대학교

High Step-Up Cascade Synchronous Boost DC-DC Converter with Zero-Voltage Switching

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

ABSTRACT

본 논문은 영전압 스위칭을 갖는 고승압 캐스캐이드 동기정류 부스트 컨버터를 제안한다. 제안된 컨버터는 캐스캐이드 부스트 컨버터 기반으로 고승압을 달성하기 위해 결합 인덕터를 적용하였으며 컨버터의 효율 향상을 위해 추가 회로와 동기정류방식을 적용하여 기존 출력 다이오드의 도통 손실이 감소하였으며 영전압 스위칭을 달성하였다. 제안된 컨버터는 이론적 해석과 200[W]급 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.^[1]

일반적으로 전압을 승압하기 위해 간단히 부스트 컨버터를 이용할 수 있지만 높은 승압률을 얻기 힘들다. 단순히 2개의 부스트 컨버터를 직렬로 연결하여 승압률을 향상시킬 수 있으나 최근 요구되는 전력 시스템의 승압률을 만족시키 어렵다. 절연형 컨버터는 일반적으로 결합 인덕터(또는 변압기)의 권선비를 이용하여 승압률을 증가시킬 수 있다. 하지만 높은 승압률을 얻기 위해서는 높은 권선비가 요구되며 이는 컨버터의 크기를 증가시키며 권선으로 인한 추가 도통 손실을 유발할 수 있다. 또한 누설 인덕턴스 성분에 의해 스위치에 높은 서지 전압이 발생할 수 있으며 효율이 크게 저감될 수 있다. 이를 해결 하기 위해 스위치에 스너버 회로 또는 클램핑 회로가 요구되며 다양한 연구들이 진행되고 있다.^[2]

그림 1은 제안하는 고승압 DC-DC 컨버터 회로이다. 제안하는 컨버터는 캐스캐이드 부스트 DC-DC 컨버터 기반으로 설계된다. 컨버터의 승압률을 향상시키기 위해 입력단의 부스트 인덕터를 결합 인덕터로 대체하였다. 동기정류방식을 적용하여 기존 부스트 컨버터의 출력 다이오드로 인한 도통손실이 감소되었으며 스위치 전압이 출력전압으로 클램핑된다. 또한 추가 회로를 통해 모든 스위치의 영전압 스위칭을 만족하여 컨버터 전체의 효율이 향상되었다. 본 논문에서는 높은 승압률과 효율 향상을 증명하기 위하여 제안된 컨버터의 동작원리를 설명하고, 시작품의 실험 결과를 분석한다.

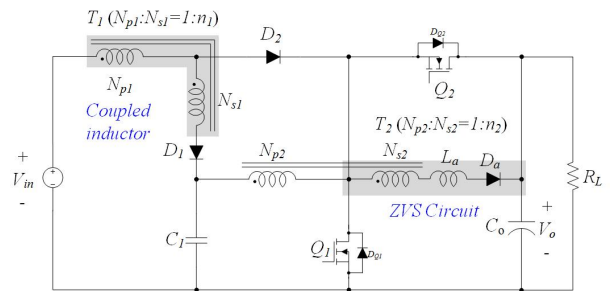


그림 1. 제안하는 고승압 DC-DC 컨버터 회로

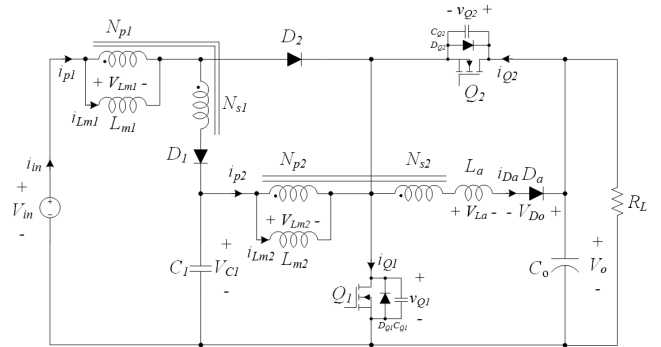


그림 2. 제안하는 컨버터의 등가 회로

2. 이론적 해석

그림 2는 제안하는 고승압 DC-DC 컨버터의 등가 회로이다. 제안하는 컨버터는 두개의 부스트 컨버터 모듈이 스위치 Q_1 를 공유하여 하나로 결합되어 있다. 결합 인덕터 T_1 과 T_2 는 각각 자화 인덕터 그리고 이상적인 변압기로 모델링 하였다. 스위치 Q_1 과 Q_2 는 기생 커패시터와 다이오드 그리고 이상적인 MOSFET으로 모델링 하였다. 영전압 스위칭을 위한 추가회로는 T_2 의 2차 권선과 보조 인덕터 L_a 그리고 보조 다이오드 D_a 로 구성된다. 나머지 소자는 기존 직렬연결형 부스트 컨버터와 동일하다. 커패시터 C_1 과 출력 커패시터 C_o 의 전압은 V_{C1} 와 V_o 로 가정한다.

모드 1이 시작하기전 Q_1 과 D_2 는 꺼져 있고 Q_2 과 D_1 , D_a 는 도통 상태이다.

모드 1 $[t_0, t_1] : t_0$ 에서 Q_2 가 꺼지면 Q_2 의 전압은 V_o 로 증가하고 Q_1 의 전압은 0으로 감소한다. 각 스위치의 기생

커패시터 값이 매우 작기 때문에 이 구간의 시간 간격은 매우 짧아 생략이 가능하다.

모드 2 [t_1, t_2] : i_{La} 에 의해 Q_1 의 내부 다이오드가 켜지게 되어 Q_1 양단 전압은 0이 된다. 이후 Q_1 이 켜지면 영전압 스위칭이 달성된다. L_{m1} 과 L_{m2} 에 걸리는 전압은 각각 V_{in} 과 V_{Cl} 이 되어 i_{Lm1} 과 i_{Lm2} 는 증가한다.

모드 3 [t_2, t_3] : i_{La} 가 0이되면 이 모드가 시작되며 D_a 는 영전류 조건에서 꺼지게 된다.

모드 4 [t_3, t_4] : t_3 에서 Q_1 가 꺼지면 Q_1 의 전압은 V_o 로 증가하고 스위치 Q_2 의 전압은 0으로 감소한다. 각 스위치의 기생 커패시터 값이 매우 작기 때문에 이 구간의 시간 간격은 매우 짧아 생략이 가능하다.

모드 5 [t_4, t_5] : i_{Lm2} 에 의해 Q_2 의 내부 다이오드가 켜지게 되어 Q_2 양단 전압은 0이 된다. 이후 Q_2 이 켜지면 영전압 스위칭이 달성된다. L_{m1} 과 L_{m2} 에 걸리는 전압은 각각 $-(V_{Cl} - V_{in})/(1+n_1)$ 과 $-(V_o - V_{Cl})$ 이 되어 i_{Lm1} 과 i_{Lm2} 는 감소한다.

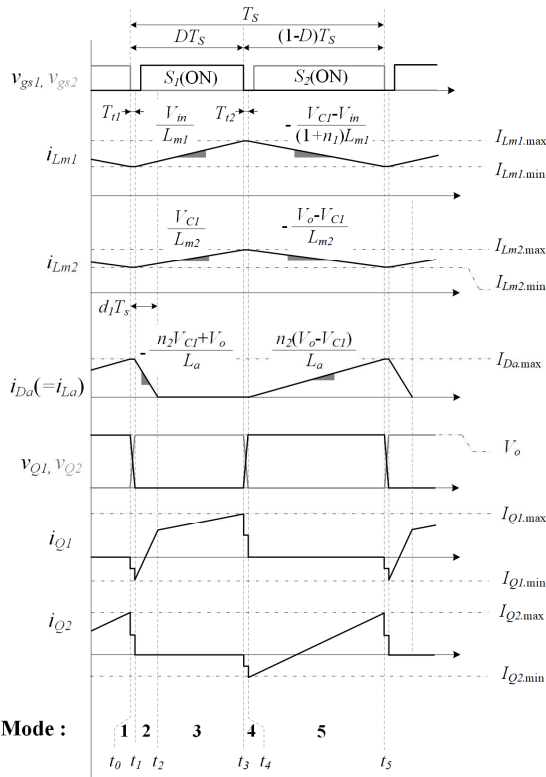


그림 3. 제안하는 컨버터의 이론적 파형

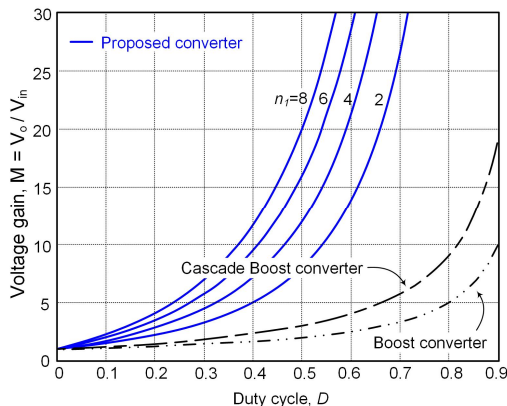


그림 4. 제안하는 컨버터의 승압률 비교

3. 실험 결과

표 1은 실험에 사용된 제안된 컨버터의 설계 사양이다. 그림 5는 최대 부하에서 각 스위치의 게이트 전압과 드레인-소스 전압과 전류파형을 나타낸 것이다. 스위치의 전류가 역방향으로 흘러 내부 다이오드가 켜져 영전압 스위칭이 만족됨을 확인할 수 있다. 그림 6은 측정된 효율 그래프이다. 최대부하에서 제안하는 컨버터의 최대 효율은 93.2% 이다.

표 1. 실험에 사용한 컨버터의 설계사양

V_{in}	24 [V]	V_o	48 [V]
f_{sw}	50 [kHz]	P_o	200 [W]
L_{m1}	115 [μ H]	L_{m2}	1.15 [mH]
n_1	2	n_2	0.33
C_o	1410 [μ F]	C_o	1410 [μ F]

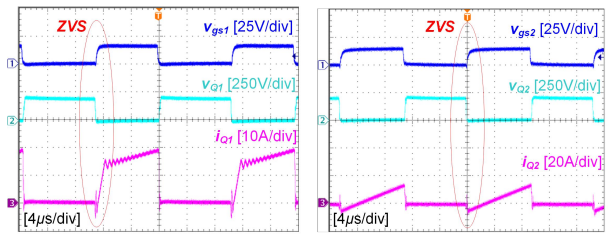


그림 5. 최대 부하에서 각 스위치의 주요 전압과 전류 파형

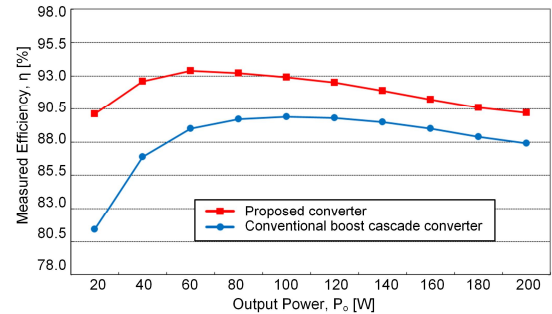


그림 6. 측정된 효율 그래프

4. 결론

본 논문에서는 영전압 스위칭을 갖는 고승압 캐스캐이드 동기정류 부스트 컨버터를 제안하고 동작특성과 성능을 실험을 통하여 알아보았다. 결합 인덕터로 인해 높은 승압률을 달성하였고, 동기정류방식 및 추가회로를 통해 영전압 스위칭을 달성하여 효율이 향상 되었다.

참고 문헌

- [1] N. W. Li, Member, and X. He, "Review of nonisolated high-step-up DC/DC Converters in Photovoltaic Grid-Connected Applications," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 58, no. 4, pp. 1239-1249, Apr. 2011.
- [2] T.-F. Wu, Y.-S. Lai, J.-C. Hung, and Y.-M. Chen, "Boost converter with coupled inductors and buck-boost type of active clamp," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 55, no. 1, pp. 154-162, Jan. 2008.