

소프트 스위칭 다상 부스트 컨버터의 특성 해석

이주혁*, 김재형*, 원중연*, 정용채**
성균관대학교*, 남서울대학교**

Characteristic Analysis of Soft Switching Multi-Phase Boost Converter

Joo-Hyuk Lee*, Jae-Hyung Kim*, Chung-Yuen Won*, Yong-Chae Jung**
Sungkyunkwan University*, Namseoul University**

ABSTRACT

Generation system using regenerative energy like photovoltaic, fuelcell is increased, PCS technology coming into the spotlight. The efficiency of DC-DC converter as part of the PCS is very important, multi-phase boost converter has more advantage than other topology. Input current of the multi-phase boost converter is divided into two inductor current because of parallel structure of the boost converters, thus it has features of decreasing input current ripple and output voltage ripple. Also multi-phase boost converter with soft switching can decrease switching loss using ZCS and ZVS. In this paper, simulation and experiment are performed to verify operation of the proposed converter, and efficiencies of the conventional and proposed converter are compared.

1. 서론

사회진반에 걸쳐 신재생에너지를 이용한 발전 시스템의 보급이 활발해짐에 따라 발전 시스템에 사용되는 전력변환장치에 관한 연구가 관심을 받고 있다. 대부분의 신재생에너지는 효율이 낮은 단점을 가지고 있기 때문에 관련 분야에 사용되는 전력변환장치는 고효율의 변환이 필수적이다.

일반적으로 직류전압을 승압하기 위해 사용하는 전력변환장치로서 부스트 컨버터와 다상부스트 컨버터가 있다. 부스트 컨버터는 승압비에 제한이 있다는 단점이 있지만 다른 절연형의 승압용 컨버터에 비해 효율이 높다는 장점을 가지고 있다. 다상부스트 컨버터는 부스트 컨버터를 병렬로 연결하여 인터리빙(interleaving) 기법을 적용한 전력변환 장치이다. 입력전류가 분배되기 때문에 병렬로 연결된 각각의 부스트 컨버터에 흐르는 전류의 크기가 작아지고, 그에 따라 인덕터의 크기가 작아지는 장점을 가지고 있다. 또한 입력전류리플 및 출력전압리플이 줄어들어 출력 커패시터의 크기를 줄일 수 있기 때문에 전체 전력변환 장치의 크기를 작게 할 수 있다는 장점을 갖는다. 하지만 부스트 컨버터가 병렬로 연결된 구조를 가짐으로써 스위칭 소자들의 개수가 늘어나게 되고, 높은 주파수로 하드 스위칭을 하는 경우, 스위칭 주파수에 비례하여 스위칭 손실이 증가하게 된다.^[1]

따라서 본 논문에서는 기존의 다상부스트 컨버터에 소프트 스위칭 기법을 적용하여 스위칭 손실을 저감할 수 있는 토폴로지를 제안한다. 제안된 컨버터는 1.2[kW]급으로 설계하였고, 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다. 그리고 기존의 다상부스트 컨버터와의 효율을 비교함으로써 소프트 스위칭에 의한 효율개선을 검증하였다.

2. 제안된 컨버터

2.1 회로구성

다상부스트 컨버터의 구조는 부스트 컨버터를 병렬로 연결시킨 형태를 가진다. 인터리빙 기법으로 제어하고, 각각의 PWM은 180° 위상차를 가진다. 그림 1은 기존의 다상부스트 컨버터와 제안된 다상부스트 컨버터를 비교하기 위해 나타낸 회로도이다.

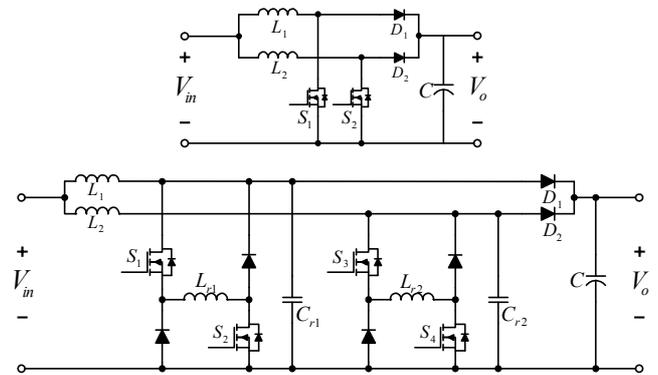


그림 1 기존의 컨버터와 제안된 컨버터
Fig. 1 Conventional and proposed converter

다상부스트 컨버터는 위의 회로도에 나타난 것과 같이 입력전류가 두 개의 인덕터로 분배되어 흐르게 되고, 각각의 인덕터에 흐르는 전류의 크기가 작아지므로 인덕터의 크기를 줄일 수 있다. 또한 입력전류는 각각의 인덕터에 흐르는 전류가 더해지므로 전류리플이 감소한다. 제안된 컨버터는 기존의 컨버터에 스위치, 다이오드, 공진 인덕터 및 공진 커패시터를 추가하여 구성되며, 2개의 다이오드는 공진 인덕터에 축적된 에너지가 2개의 스위치를 통해 환류하거나 출력 측으로 전달될 때 사용된다. 공진 인덕터와 공진 커패시터는 공진을 이용한 소프트 스위칭에 사용되는 소자로서, 공진모드를 포함한 각각의 동작모드는 2.2에서 설명한다.

2.2 동작모드

공진모드를 이용한 소프트 스위칭을 설명하기 위해서, 제안된 컨버터를 구성하고 있는 단일 부스트 컨버터의 동작모드를 설명한다. 동작모드는 그림 2에 나타난 것과 같이 6개의 모드로 나누어진다. 그림 3은 각각의 모드에 대한 주요 파형을 나타낸다.

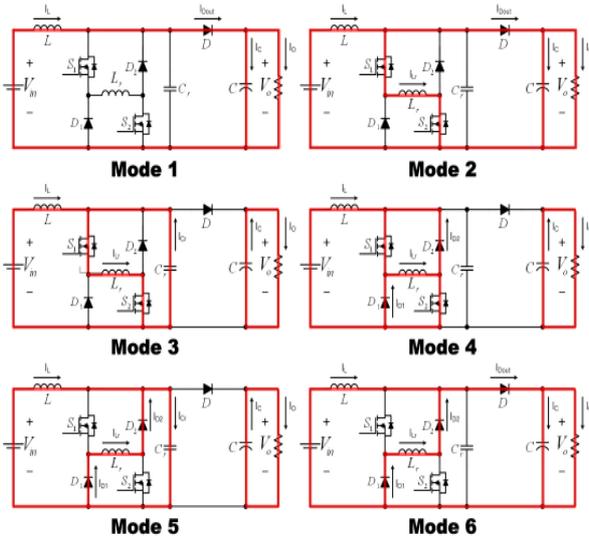


그림 2 단일 부스트 컨버터의 동작모드
Fig. 2 Operational modes of the single boost converter

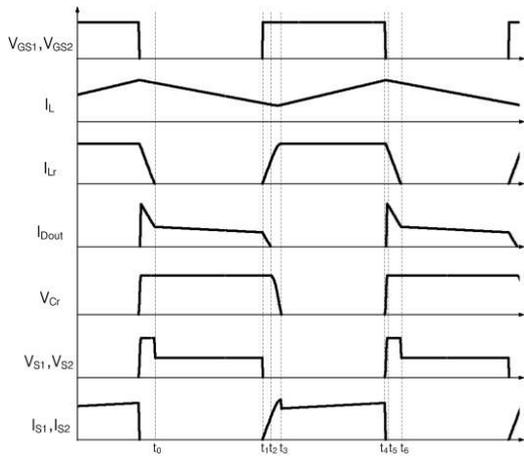


그림 3 주요 파형
Fig. 3 Key waveforms

Mode 1 ($t_0 \leq t \leq t_1$)

스위치가 모두 OFF상태인 구간으로써 스위치에는 전류가 흐르지 않고, 인덕터의 전류가 모두 출력 측 다이오드를 통해 출력 단으로 흐른다. 이 모드에서 공진 커패시터의 전압과 공진 인덕터의 전류는 다음과 같다.

$$V_{Cr} = V_o \quad (1)$$

$$I_{Lr} = 0 \quad (2)$$

Mode 2 ($t_1 \leq t \leq t_2$)

스위치가 모두 ON상태인 구간으로써 공진 인덕터 전류가 의 기울기를 갖고 선형적으로 증가한다. 출력 측 다이오드에 흐르던 전류가 0으로 감소하면서 인덕터에 흐르는 전류가 공진 인덕터에 흐르는 전류와 같아진다.

$$v_{Cr} = V_o \quad (3)$$

$$I_L = I_{Lr} + I_{Dout} \quad (4)$$

Mode 3 ($t_2 \leq t \leq t_3$)

공진모드로써 출력 측 다이오드에는 전류가 흐르지 않는다. 공진

인덕터와 공진 커패시터가 공진을 시작하고, 공진 커패시터의 전압이 출력전압에서 0으로 떨어진다.

$$I_{Lr} = I_L + I_{Cr} \quad (5)$$

Mode 4 ($t_3 \leq t \leq t_4$)

공진 인덕터 전류는 반으로 나누어져 2개의 환류 다이오드를 통해 흐른다. 입력 측 인덕터의 전류는 증가하고, 환류 다이오드를 통해 흐르는 전류는 감소한다.

$$V_{Cr} = 0 \quad (6)$$

$$I_{Lr} = I_L + I_{D1} + I_{D2} \quad (7)$$

Mode 5 ($t_4 \leq t \leq t_5$)

이 모드는 스위치가 OFF 상태로 되면서 시작된다. 입력 측 인덕터와 공진 인덕터에 흐르는 전류에 의해 공진 커패시터가 충전되어, 공진 커패시터의 전압이 다시 출력전압까지 상승한다.

$$I_{Cr} = I_L + I_{Lr} \quad (8)$$

Mode 6 ($t_5 \leq t \leq t_6$)

입력 측 인덕터와 공진 인덕터에 흐르는 전류가 출력 측 다이오드를 통해 출력 단으로 흐르면서 선형적으로 감소하게 된다. 이 모드는 공진 인덕터에 저장된 에너지가 모두 출력 단으로 전달되면서 0으로 떨어지면 끝나게 된다.

$$V_{Cr} = V_o \quad (9)$$

$$I_{Dout} = I_L + I_{Lr} \quad (10)$$

3. 실험 결과

본 논문에서 제안한 컨버터의 동작을 검증하기 위해서 표 1의 파라미터를 적용하여 실험을 수행하였다.

표 1 컨버터 파라미터
Table 1 Parameters of converter

Component	Value	Component	Value
입력전압	150~350[Vdc]	인덕터	500[μH]
출력전압	400[Vdc]	커패시터	680[μF]
용량	1.2[kW]	공진 인덕터	40[μH]
스위칭주파수	30[kHz]	공진 커패시터	10[nF]

그림 4는 입력전류 및 각각의 인덕터 전류 파형으로써, 앞서 설명한 것처럼 다상부스트 컨버터의 입력전류가 각각의 인덕터로 분배되는 것을 확인할 수 있다. 입력전류는 각각의 인덕터 전류의 합으로써 나타나고, 그에 따라 두 배의 주파수 성분을 가지면서 리플이 줄어든 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 스위치 양단의 전압 및 스위치에 흐르는 전류 파형을 나타낸다. 그림 6은 스위치 ON 시에 소프트 스위칭, 즉 ZCS 동작을 나타내는 스위치 전압 및 전류 파형을 보여준다. 그림 7은 기존의 다상부스트 컨버터와 제안된 소프트 스위칭 다상 부스트 컨버터의 효율비교를 나타낸다. 스위칭 손실을 저감함으로써 기존의 다상부스트 컨버터보다 높은 효율을 가지는 것을 확인할 수 있다. 또한 40% 부하 이상에서 90% 이상의 효율을 확인하였다.

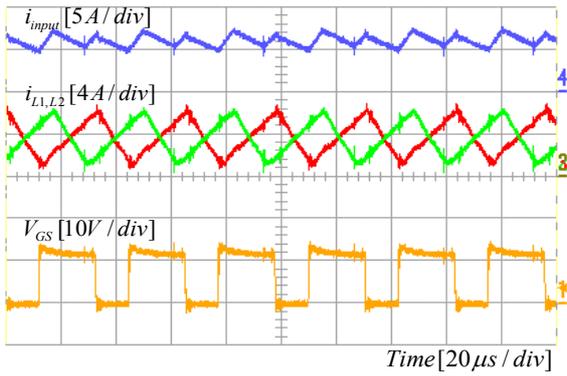


그림 4 입력전류, 인덕터 전류, 게이트 신호
Fig. 4 Input current, inductor current, gate signal

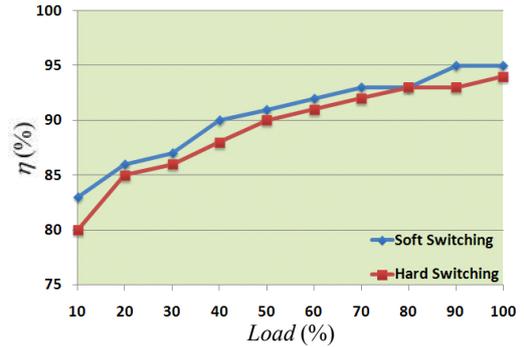


그림 7 기존의 컨버터와 제안된 컨버터의 효율 비교
Fig. 7 Efficiency comparison for conventional and proposed converter

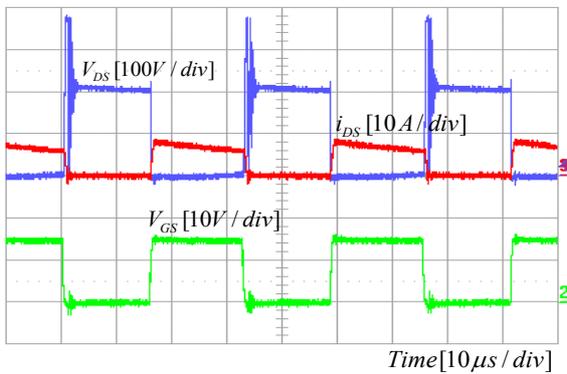


그림 5 스위치 전압, 스위치 전류, 게이트 신호
Fig. 5 Switch voltage, switch current, gate signal

4. 결론

본 논문에서는 소프트 스위칭 방식을 적용한 다상부스트 컨버터를 제안하였다. 입력전류가 분배되고, 입력전류 및 출력전압 리플이 저감되는 특징을 가지는 기존의 다상부스트 컨버터에 스위치, 다이오드, 공진 인덕터, 공진 커패시터를 사용하여 소프트 스위칭을 구현하였고, 하드 스위칭 시 발생하는 스위칭 손실을 저감하였다.

제안된 컨버터의 동작모드 분석을 통해 원리를 파악하였고, 실험 및 기존의 다상부스트 컨버터와의 효율비교를 통하여 타당성을 검증하였다.

이 논문은 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] 이주혁, 김재형, 장수진, 원충연, 정용채, "태양광 발전 시스템용 소프트 스위칭 다상 부스트 컨버터", 전력전자학술대회 논문집 pp.184-186, 2007.
- [2] 차길로, 원충연, 정용채, 김영렬, "고효율 태양광 발전을 위한 소프트 스위칭 부스트 컨버터", 전력전자학술대회 논문집 pp.37-39, 2007.
- [3] 김운호, 김운복, 정재용, "소프트 스위칭 보조 스위치를 가지는 ZVT-PWM 부스트 컨버터", 전력전자학술대회 논문집 pp.265-268, 1998.
- [4] Gang Yao, Alian Chen and Xiangning, "Soft Switching Circuit for Interleaved Boost Converters", IEEE Transactions On Power Electronics, Vol. 22, No. 1, pp.80-86, January 2007.

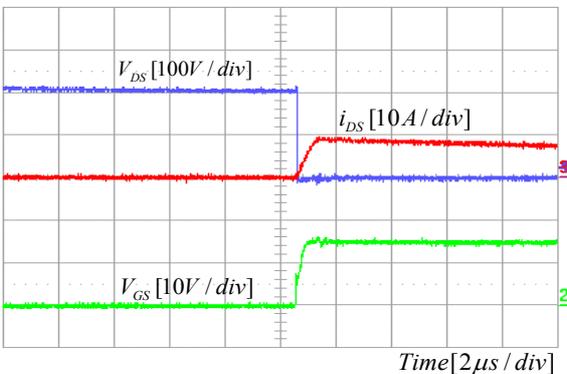


그림 6 ZCS 동작 <Turn-on>
Fig. 6 ZCS operation <Turn-on>