

고전압 적용을 위한 절연된 ZVT Interleaved 부스트 컨버터

김민섭, 이귀준, 김래영, 현동석
한양대학교

Isolated ZVT Interleaved Boost Converter for High Step-up Applications

Min-Sub Kim, Kui-Jun Lee, Rae-Young Kim, Dong-Seok Hyun
Hanyang University

ABSTRACT

An interleaved operation of isolated boost converter system has become a very attractive solution in order to convert from low input voltage (30 ~ 50V) of distributed power sources such as photovoltaic and fuel cells to high output voltage (380V/760V) required in grid-connected power conversion applications. In this paper, we have proposed zero voltage transition(ZVT) interleaved boost converter using a single resonant inductor.

1. 서론

최근에 에너지 고갈의 문제가 증대됨에 따라 태양전지나 연료 전지 등과 같은 분산 전원에 대한 관심이 증가 되고 있다. 이러한 경우 분산 전원에 의해 생산되는 낮은 전압 (30~50[V])을 계통 연계 운전을 위해서는 높은 전압 (380~760[V])으로 승압해야 된다. 기본적으로 고전압 증폭 비를 만족시킬 수 있는 부스트 토폴로지가 사용되며, 추가적으로 충분한 고전압 출력과 시스템의 안정성 확보에 대한 비용 증가의 균형을 고려하여 변압기가 결합된 토폴로지가 제안되었다.

기존의 Interleaved 부스트 컨버터에서 단일 공진 인덕터를 사용하고 CCM 동작을 하면서 일정 주파수 제어를 하는 방법이 제안되었지만^[1], 공진 셀이 입력 측에 존재하여, 입력 측 전류에 공진 전류에 해당하는 전류 리플이 더해져서 파워 손실을 야기하므로 분산전원 응용에 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 분산전원에 적합한 고전압 비가 요구되는 절연형 dc-dc converter 에서 ZVS 을 이루는 소프트 스위칭 Interleaved 부스트 컨버터를 제안한다. 기존의 Interleaved 스위칭 방식의 장점을 그대로 가지면서 변압기 2차 측에 하나의 공진 인덕터를 사용하는 공진 셀을 추가하여, 메인 스위치의 ZVS 턴 온을 만족시키고 정류 다이오드의 턴 오프 기를 제어함으로써 역 회복 효과에 의한 악영향을 최소화 하였다.

2. 제안된 절연된 Interleaved 부스트 컨버터

2.1 회로 구성

그림 1은 본 논문에서 제안한 절연된 ZVT Interleaved 부

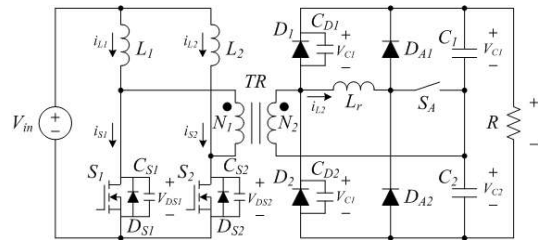


그림 1 제안된 Interleaved 부스트 컨버터의 회로도

스트 컨버터의 회로이다. 절연된 Interleaved 부스트 컨버터는 변압기 사이에 두고 입력측은 두 개의 부스트 인덕터 L_1 , L_2 , 두 개의 메인 스위치 S_1 , S_2 로 구성된다. 출력측은 컨버터 입출력 전압 비를 더욱 증폭시키기 위해 배전압 정류기의 형상처럼 두 개의 메인 다이오드 D_1 , D_2 , 두 개의 출력 커패시터 C_1 , C_2 로 구성된다. 여기에 출력 단에 공진 셀이 추가되었다. 공진 셀은 단일 공진 인덕터 L_r , 보조 다이오드 D_{A1} , D_{A2} , 보조 스위치 S_A 로 구성되며, 보조 스위치는 양방향 스위치로 나타내었다.

2.2 모드 분석

그림 2는 각 파형에 따른 모드 구분을 나타낸다. 그림 3은 제안된 컨버터의 동작모드를 나타낸다.

Mode 1 ($t_0 - t_1$) : t_0 이전에, 스위치 S_1 은 꺼져 있고, 스위치 S_2 는 켜져 있다. 따라서 부스트 인덕터 L_1 에 저장되어 있던 에너지는 메인 다이오드 D_1 을 통해 출력 측으로 전달되며, 스위치 S_2 에는 I_{L1} 과 I_{L2} 전류의 합이 흐르게 된다. t_0 에서 보조 스위치 S_A 가 켜지면 공진 전류 I_{Lr} 은 I_{L1} 에 도달할 때까지 V_{C1}/L_r 의 기울기를 가지면 선형적으로 증가하게 되며, 이때 D_1 은 전류가 선형적으로 감소하며 소프트 스위칭으로 턴 오프 된다. 모드 1에서 소요되는 시간은 다음과 같이 주어진다.

$$t_{01} = \frac{I_{L1}/N}{V_{C1}/L_r} \quad (1)$$

Mode 2 ($t_1 - t_2$) : 공진 인덕터 L_r 과 스위치 S_1 의 기생 커패시터 C_{S1} , 메인 다이오드의 기생 커패시터 C_{D1} , C_{D2} 의 공진으로 인해 공진 전류 I_{Lr} 은 계속해서 증가하

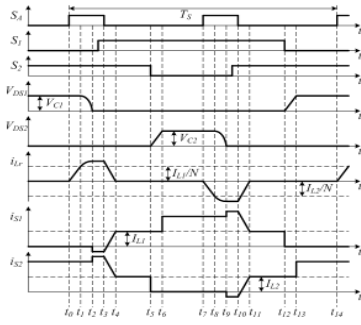


그림 2 제안된 컨버터의 동작 파형

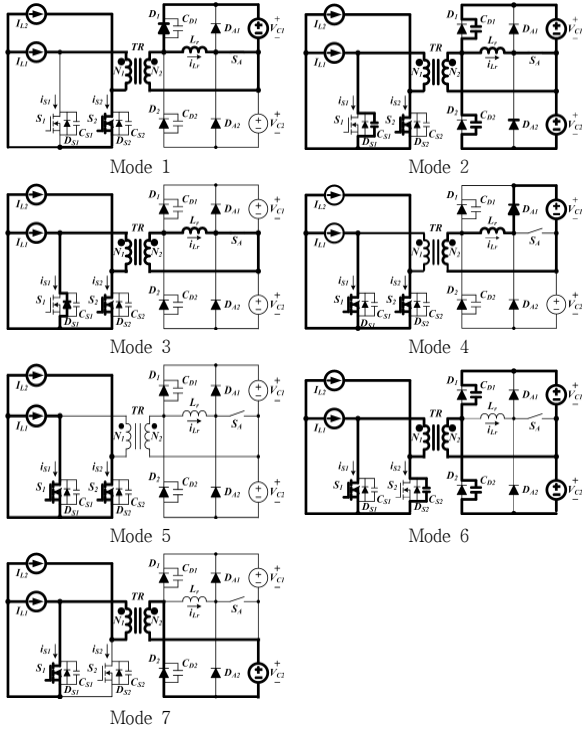


그림 3 제안된 컨버터의 동작 모드

게 되며, 스위치 S_1 양단의 전압은 0으로 감소하게 되고 역 병렬 다이오드 D_{S1} 이 도통한다. 공진 시간은 다음과 같다.

$$t_{12} = \frac{\pi}{2} \sqrt{L_r C_r} \quad (2)$$

여기서 $C_r = N^2 \times C_{S1} // C_{D1} // C_{D2}$ 이다.

Mode 3 ($t_2 - t_3$) : 스위치 S_1 의 역 병렬 다이오드 D_{S1} 이 도통하고 있을 때, 스위치 S_1 에 게이트 신호가 인가되어 ZVS 가 이루어진다. S_A 와 S_1 게이트 신호 사이의 시간 지연은 다음의 부등식을 만족시켜야 한다.

$$T_d \geq t_{01} + t_{12} = \frac{I_{L1}}{V_{C1}/L_r} + \frac{\pi}{2} \sqrt{L_r C_r} \quad (3)$$

Mode 4 ($t_3 - t_4$) : 보조 스위치 S_A 이 꺼지면 공진 인덕터에 충전되어 있던 에너지는 D_{A1} 을 통해 방전하면서 공진 전류는 선형적으로 0 으로 감소한다. 또한 I_{S1} 은 I_{L1} 으로 증가하며, I_{S2} 은 I_{L2} 로 감소하게 된다.

$$t_{34} = \frac{I_{Lr\ peak} \times L_r}{V_{C1}} \quad (4)$$

여기서 $I_{Lr\ peak}$ 는 공진 전류의 최대값이다.

Mode 5 ($t_4 - t_5$) : 보조 다이오드 D_{A1} 은 턴 오프가 되며, 기존의 부스트 컨버터의 충전 모드로 동작하게 된다.

Mode 6 ($t_5 - t_6$) : 스위치 S_2 가 턴 오프 되어 스위치 S_2 의 출력 커패시터와 D_1 과 D_2 의 출력 커패시터 C_{D1} , C_{D2} 가 선형적으로 충전, 방전을 한다.

Mode 7 ($t_6 - t_7$) : S_2 양단 전압이 V_{C2} 가 되며, 에너지가 D_2 를 통해 출력 단으로 전달된다. 기존의 부스트 컨버터의 방전 모드와 동일하다. 나머지 반주기는 앞선 반주기와 유사하게 동작한다.

3. 시뮬레이션 결과

그림 4는 스위치 전압, 스위치 게이트 신호, 공진 전류의 파형이다. 스위치 전압이 게이트 온 신호 시에 영전압이므로 ZVS 스위칭 조건을 만족한다.

그림 5는 입력 전압, 출력 전압, 메인 인덕터 전류를 나타낸다. 30[V] 입력과 380[V]의 출력을 나타냄을 확인하였다.

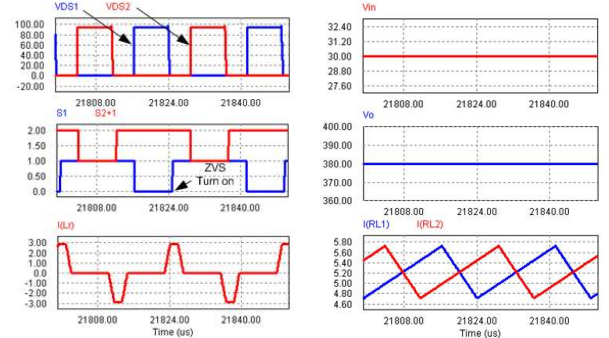


그림 4 스위치 전압, 스위치 게이트 신호, 공진 전류

그림 5 입력 전압, 출력 전압 메인 인덕터 전류

4. 결론

본 논문에서는 고전압 출력을 만족하는 절연된 Interleaved 부스트 컨버터를 제안하였다. 제안된 컨버터는 공진 셀을 통하여서 주 스위치의 ZVS가 가능하게 하였고, 정류 다이오드의 턴 오프 기을기를 제어함으로써 역 회복 효과에 의한 악영향을 최소화 하였다. 또한 공진 셀을 변압기의 이차 측에 추가함으로써 입력 측 전류에 공진 전류에 대한 변동을 가져오지 않는다. 이는 MPPT를 하는 분산전원에 적용하기 용이하다.

본 논문은 에너지기술평가원(2008-N-PV02-J-03-0-000) 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

[1] N. J. Park and D. S. Hyun, "IBC using a single resonant inductor for high-power applications," IEEE Trans. Industrial Electronics, vol. 56, pp. 1552-1530, May 2009.