

스위치 인덕터-스위치 부스터 Z-소스인버터 제어

Anh Vu Ho*, 전태원*, 이흥희*, 김흥근**, 노의철***
 울산대학교*, 경북대학교**, 부경대학교***

Control of Switched Boost Z-Source Inverter with Switched Inductor

Anh Vu Ho*, Tae Won Chun*, Hong Hee Lee*, Heung Gun Kim**, Eui Cheol Nho***
 University of Ulsan*, Kyungpook National University**, Pukyong National University***

ABSTRACT

본 논문에서는 Z 소스 인버터 (ZSI)의 임피던스 네트워크 내 인덕터 및 커패시터 등 수동소자 수를 감소시키면서 전압 증폭율을 증가시키기 위하여 1개의 스위칭소자를 더 사용하는 스위치 인덕터 구조를 가지는 회로를 제시한다. 이 제시한 회로에서 압단락시간과 첨가된 스위칭소자의 스위칭을 위한 PWM 제어방법을 기술한다. 시뮬레이션을 통하여 제시한 스위치 인덕터 스위치 부스터 ZSI의 동작 및 특성의 타당성을 확인한다.

1. 서 론

기존의 PWM인버터 교류 출력전압은 입력직류전압이하로 제한되어 있으므로 원하는 교류 출력전압을 얻기 위하여 추가적인 직류부스터회로가 필요하다. 이 기존 인버터의 문제점을 해결하기 위하여 직류부스터회로 없이 압단락 시간제어로 직류전압을 승압시킬 수 있는 1단 구조의 Z 소스 인버터 (ZSI)가 제시되었다. 이 ZSI의 장점 때문에 태양광발전시스템, 전동기 구동용 등에 적절하다. 그런데 이 ZSI는 무겁고 부피가 큰 2개의 인덕터 및 커패시터로 구성된 임피던스 네트워크를 가지고 있다는 문제가 있다.^[1]

이 문제를 해결하기 위하여 인덕터 및 커패시터를 감소시키는 대신 스위칭소자를 1개 더 사용한 스위치 부스터 인버터를 제시하였다.^[2] 그런데 부피가 크고 무거운 수동소자의 수는 감소시킬 수 있으나, 전압증폭율이 높지 않으므로 출력전압인 낮으면서 원하는 교류전압을 출력시켜야하는 연료전지 발전시스템이나 배터리 에너지 저장장치에 적용하기 힘들다.

따라서 본 논문에서는 인덕터 및 커패시터 등 수동소자 수를 감소시키면서 전압 증폭율을 증가시키기 위하여 스위치 인덕터 (Switched inductor, SL) 구조를 가지는 회로를 제시하고 이 회로를 제어하기 위한 PWM제어방법을 기술한다. 시뮬레이션을 통하여 제시한 스위치 인덕터 스위치 부스터 ZSI (SL/SB ZSI)의 타당성을 확인한다.

2. SL/SB-ZSI

2.1 스위치 부스터 ZSI

그림 1은 스위치 부스터 ZSI (SB ZSI)의 구조이다. 기존의 ZS에 있는 2개 인덕터와 커패시터로 구성된 임피던스 네트워크 대신 한 개의 인덕터 및 커패시터와 한 개의 스위칭소자 및

다이오드로 구성된다. 제시한 회로에서는 한 개의 스위칭소자가 더 필요하지만 커패시터와 인덕터 각 한 개씩 감소시킬 수 있으므로 크기 및 무게를 감소시킬 수 있다.

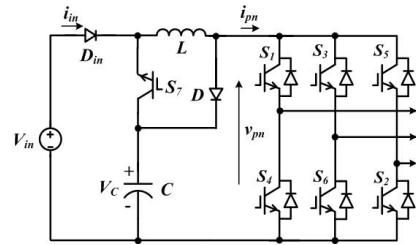


그림 1 스위치 부스터 ZSI
 Fig. 1 Switched boost ZSI.

이 SB ZSI의 전압증폭율 B 즉 직류입력전압에 대한 인버터 입력전압의 피크값의 비는 다음과 같다.

$$B = \frac{\hat{v}_{pm}}{V_{in}} = \frac{1 - D_{sh}}{1 - 2D_{sh}} \quad (1)$$

여기서 압단락 변조비 $D_{sh} = T_{sh}/T_s$ 이다

2.2 스위치 인덕터-스위치부스터 ZSI

SB ZSI에서 전압증폭율을 증가시키기 위하여 제시한 SL/SB ZSI는 그림 2와 같다. 이 회로의 임피던스 네트워크는 한개 커패시터 (C), 2개의 인덕터 (L_1, L_2), 5개 다이오드와 1개의 스위칭 소자 S_7 으로 구성되며, 그림 1의 스위치 부스터 ZSI에 인덕터 1개와 다이오드 3개가 더 첨가되었다. 이 두 인덕터는 S_7 의 스위칭상태에 따라 에너지를 저장 및 커패시터와 직류 링크 단에 에너지를 전달하는 역할을 한다.

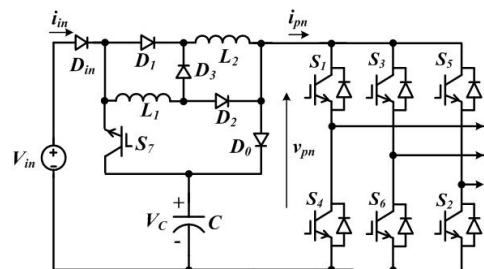


그림 2 스위치 인덕터-스위치 부스터 ZSI
 Fig. 2 Switched inductor-switched boost ZSI.

이 SL/SB ZSI의 전압증폭을 B 는 암단락 변조비 함수로 다음과 같이 유도된다.

$$B = \frac{\hat{v}_{pm}}{V_{in}} = \frac{1 - D_{sh}}{1 - 3D_{sh}} \quad (2)$$

그림 3은 식 (1)과 (2)를 사용하여 SB ZSI와 SL/SB ZSI의 전압 증폭율을 암단락 변조비로 표시한 것으로, 동일한 암단락 변조비에서 제시한 SL/SB ZSI의 전압증폭율이 상당히 더 높음을 알 수 있다.

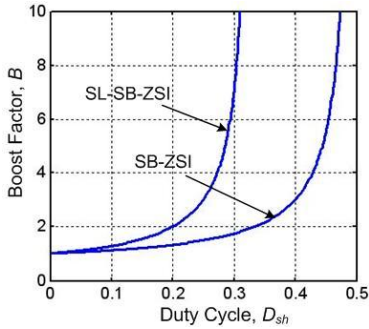


그림 3 전압증폭율
Fig. 3 Boost factor.

3. PWM기법

그림 4은 SL/SB ZSI를 제어하기 위하여 3상 기준전압 V_a^* , V_b^* , V_c^* 과 암단락시간 제어를 위한 전압 V_p , V_n 을 삼각파와 비교한 PWM파형을 보인 것이다. 전압 V_p , V_n 값이 증가할수록 암단락시간이 감소되며 스위칭소자 S_T 은 암단락 구간에서만 도통시킨다.

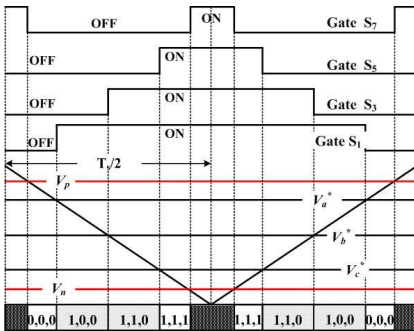


그림 4 PWM 패턴
Fig. 4 PWM pattern.

4. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제시한 회로의 타당성을 확인하기 위하여 PSIM으로 시뮬레이션을 실행한다. 입력 직류전압은 40V, 임피던스 네트워크의 파라미터 $L_1 = L_2 = 1\text{mH}$, $C = 1000\mu\text{F}$ 이다. 그림 5와 6은 암단락 변조비 $D_{sh} = 0.3$, 출력전압 변조비 $M = 0.7$ 인 경우 과도 응답 특성과 정상상태 파형을 각각 보인 것이다. 커패시터 전압이 약 280V로 7배정도 증폭되었으며 출력 교류전압 역시 선간전압이 120V_{rms}로 출력됨을 시뮬레이션 결과를 통하여 확인하였다. 그리고 암단락 구간에만 스위칭 소자 S_T 를 도통시켰으며, 비암단락 구간에서는 인버터 입력단 전압이 커패시터 전압과 같음을 알 수 있다.

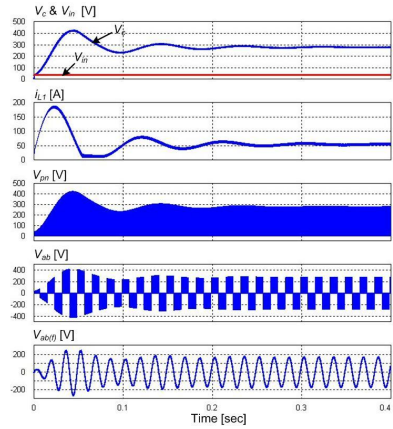


그림 5 과도응답 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulation result for transient responses.

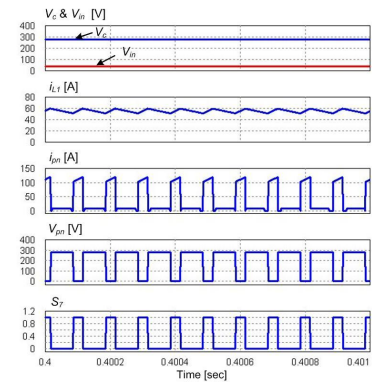


그림 6 정상상태 시뮬레이션 결과
Fig. 6 Simulation result for steady-state conditions.

3. 결론

본 논문에서는 ZSI의 임피던스 네트워크 내 인덕터 및 커패시터 등 수동소자 수를 감소시키면서 전압 증폭율을 증가시키기 위하여 1개의 스위칭소자를 더 사용하면서 스위치 인덕터 구조를 가지는 SL/SB ZSI회로를 제시하였다. 입력 직류전압이 40V에서 $D_{sh} = 0.3$, $M = 0.7$ 인 경우 커패시터 전압이 약 280V로 7배정도 증폭되었으며 출력 교류전압 역시 선간전압이 120V_{rms}로 출력됨을 시뮬레이션 결과를 통하여 확인하였다.

본 연구는 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. : 20111020400260)

참고 문헌

- [1] M. Harif, M. Basu, and K. Gaughan, "Understanding the operation of a Z source inverter for photovoltaic application with a design example," IET Power Electron., vol. 4, no. 3, pp. 278-287, Mar. 2011.
- [2] A. Ravindranath, S. K. Mishra, and A. Aoshi, "Analysis and PWM control of switched boost inverter," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 60, no. 12, pp. 5593-5602, Dec. 2013.