

새로운 ZVS 소프트 스위칭 H-Bridge 인버터

최광수*, 정두용*, 김재형*, 이수원*, 원충연*, 정용채**
 성균관대학교*, 남서울대학교**

A Novel ZVS Soft-Switching H-Bridge inverter

Kwang-Soo Choi*, Doo-Yong Jung*, Jae-Hyung Kim*,
 Su-Won Lee*, Chung-Yuen Won*, Yong-Chae Jung**

*School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

**Department of Electronic Engineering, Namseoul University

ABSTRACT

In this paper, we have proposed a novel zero-voltage-switching (ZVS) soft-switching H-bridge inverter. Because the conventional H-bridge inverter generates switching losses at turn on and off, the efficiency is reduced. The proposed inverter operates ZVS switching using an auxiliary switch and resonant circuit to improve the efficiency. In the DC-DC converter stage, it can reduce not only switching loss but also capacity and size of passive devices due to the resonant elements. DC-AC inverter stage supplies load with energy through the ZVS operation of 4 switches. A detail mode analysis of operating is in presented. We have presented the inverter topology, principle of operation and simulation results obtained from the PSIM simulator.

1. 서 론

세계 각국의 CO₂ 저감 노력과 더불어 신재생 에너지에 대한 관심이 높아지면서, 최근 태양광 에너지와 풍력 에너지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

기존의 전력변환시스템에서 널리 사용되는 하드 스위칭 인버터는 스위칭 과정에서 발생하는 전력 손실로 인해 시스템 전체 효율을 저감시킨다.^[1] 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 공진 회로를 포함하는 소프트 스위칭 인버터에 대한 집중적인 연구가 진행되고 있다.^[2~3] 그러나 기존의 소프트 스위칭 부스트 컨버터는 H-bridge 인버터를 적용 시 컨버터 단계에서는 소프트 스위칭 동작을 하는 반면, H-bridge 인버터 단계에서는 하드 스위칭을 하는 문제점을 가지고 있다.^[4]

본 논문에서는, 소프트 스위칭 부스트 컨버터를 이용한 ZVS H-bridge 인버터를 제안한다. 제안된 인버터는 공진을 이용함으로써 ZCS 모드에서 턴온 되고, ZVS 모드에서 턴 오프된다. 제안된 인버터의 타당성을 검증하게 위해, Psim software를 이용하여 시뮬레이션 하였다.

2. 제안된 소프트 스위칭 H-bridge 인버터

2.1 제안된 인버터 회로

그림 1은 기존의 소프트 스위칭 부스트 컨버터를 나타낸다. 이 컨버터는 H-bridge 인버터에 연결 시 ZVS 조건을 얻을 수 없다. 반면에, 그림 2는 ZVS 스위칭이 가능한 제안된 소프트 스위칭 인버터를 나타낸다. 제안된 인버터는 소프트 스위칭을 함으로써 수동소자의 크기와 스위칭 손실을 줄일 수 있다. 제

안된 인버터의 DC-DC컨버터 단의 스위치 S_2 는 기존의 소프트 스위칭 부스트 컨버터의 다이오드 D_3 를 대체하였고, 인버터 단의 스위치들은 특정 동작모드에서 기존의 부스트 컨버터의 주 스위치 역할을 대신한다. 공진인덕터 L_r 과 커패시터 C_{r1} , C_{r2} 간의 공진에 의한 소프트 스위칭에 의해 스위칭 손실을 줄일 수 있다.

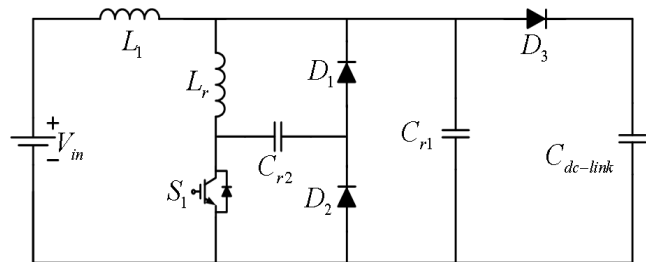


그림 1 기존의 소프트 스위칭 부스트 컨버터 회로도
 Fig. 1 Circuit diagram of the conventional soft switching boost converter

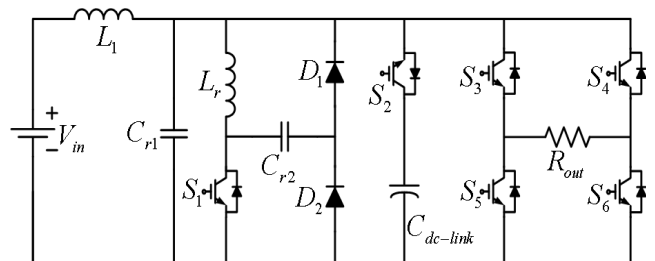


그림 2 제안된 소프트 스위칭 인버터 회로도
 Fig. 2 Circuit diagram of the proposed soft switching inverter

2.2 등가회로 분석

그림 3은 제안된 인버터의 각부 파형이다. S_1 은 주 스위치의 PWM 파형이고 S_2 는 공진 스위치의 PWM 파형이다. 또한 S_3 , S_4 , S_5 , S_6 는 H-bridge 인버터 스위치의 PWM 파형이다. 주 인덕터와 공진인덕터, 공진커패시터의 전류 혹은 전압파형은 그림 3에 나타내었다. 전류 경로에 따라 스위칭 한 사이클 동안 18개의 동작 모드가 있지만, 반 사이클동안의 다른 파형은 거의 같고, H-bridge 인버터의 PWM 신호와 부하 전류, 전압의 파형만이 다르다. 본 논문에서는 그림 4에 9개의 동작모드만을 나타내었다.

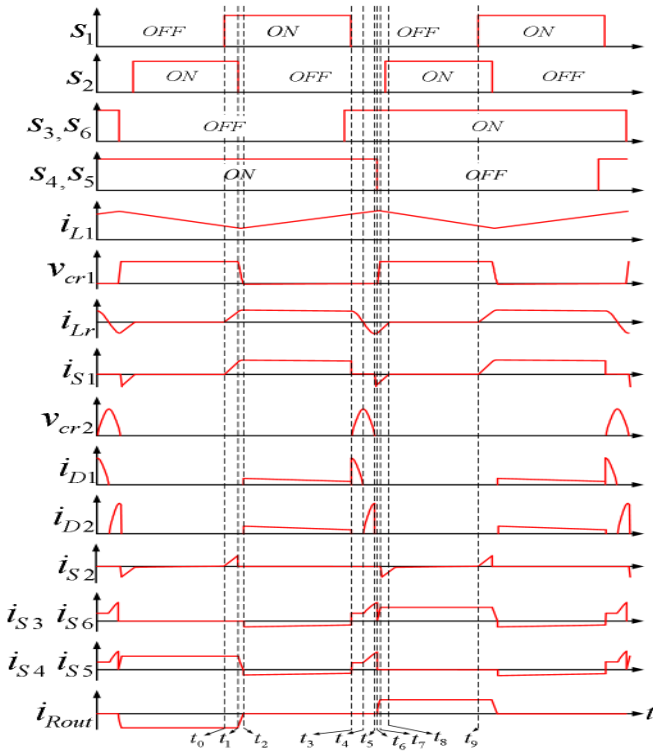


그림 3 제안된 인버터의 각부 파형
Fig. 3 waveforms of the proposed inverter

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

주 인덕터 전류는 선형적으로 감소한다. 그리고 공진인덕터 전류 i_{Lr} 이 주 인덕터 전류 i_{L1} 와 같아졌을 때, mode1은 종료 된다.

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

공진 인덕터 전류 i_{Lr} 와 주 인덕터 전류 i_{L1} 의 값이 같아졌을 때 mode2가 시작된다. C_{r1} 과 L_r 의 공진 path를 통해 공진 커패시터 C_{r1} 은 완전히 방전한다.

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

공진 커패시터 C_{r1} 이 완전히 방전된 후에, 다이오드 D_1, D_2 가 턴온 된다. 또한 H-bridge 인버터 스위치 S_3, S_4, S_5, S_6 의 역병렬 다이오드들이 턴온 된다. 그 후에 스위치 S_1 의 PWM신호가 영전압 상태에서 제거된다.

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

공진 인덕터 L_r 과 공진 커패시터 C_{r2} 가 공진을 시작하고 H-bridge 인버터부의 스위치들은 영전압 상태에서 턴 온 된다.

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

모드 5에서 공진 커패시터 C_{r2} 는 $D_2-C_{r2}-L_r$ 로 이루어 지는 공진 경로를 통해 공진 인덕터 L_r 에 에너지를 전달한다.

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

모드 6에서, 공진 인덕터 전류 i_{Lr} 은 스위치 S_1 의 역병렬 다이오드를 통해서 연속적으로 흐른다. 그리고 H-bridge 인버터의 스위치들은 영전압 상태가 된다.

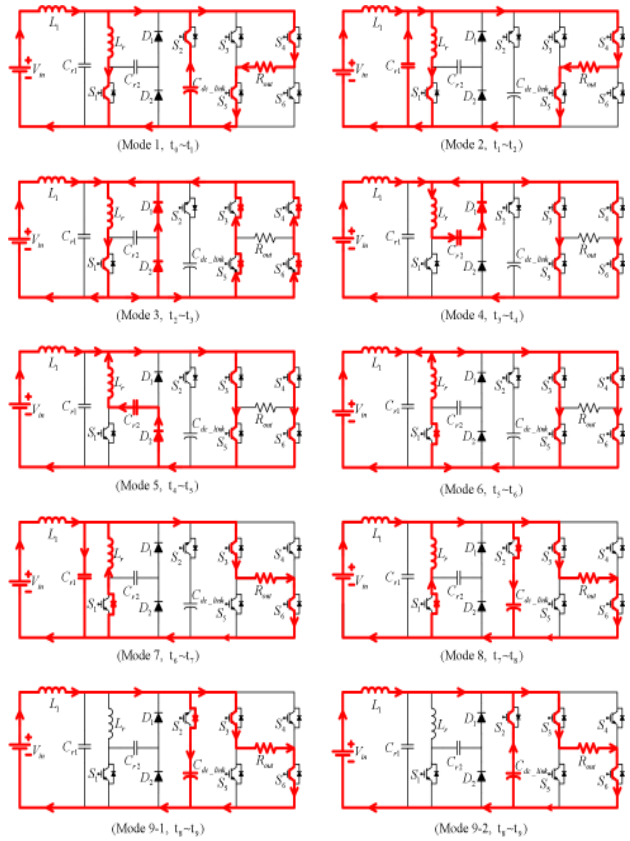


그림 4 반주기 동안의 등가회로
Fig. 4 Equivalent circuits during half switching period

Mode 7 ($t_6 \leq t < t_7$)

공진 커패시터 C_{r1} 은 공진 인덕터 L_r 과의 공진을 통해 충전된다. 인버터 stage의 환류모드가 끝나게 되면서 주 인덕터 L_1 은 부하에 에너지를 공급한다.

Mode 8 ($t_7 \leq t < t_8$)

이 모드에서 DC-link 커패시터 $C_{dc-link}$ 는 공진 인덕터 전류 i_{Lr} 과 주 인덕터 전류 i_{L1} 에 의해 충전되고 공진 인덕터 L_r 은 완전히 방전된다.

Mode 9 ($t_8 \leq t < t_9$)

모드 9의 초반 반 주기동안 주 인덕터 전류 i_{L1} 은 선형적으로 감소하고 DC-link 커패시터 $C_{dc-link}$ 와 부하에 에너지를 전달한다. 그러나 후반 반주기 동안은 DC-link 커패시터 $C_{dc-link}$ 가 방전하게 된다.

3. 시뮬레이션 결과

표 1은 시뮬레이션에 사용된 파라미터들을 나타낸다. 컨버터 단의 스위치 S_1, S_2 는 30[kHz]의 스위칭 주파수를 가지고 인버터 단의 스위치 S_3, S_4, S_5, S_6 는 15[kHz]의 스위칭 주파수를 가진다. 또한 DC-link 커패시터 $C_{dc-link}$ 는 초기 200V로 충전되어 있다.

$V_{G1} \sim V_{G6}$ 는 스위치 PWM 신호이고, i_{L1}, i_{Lr} 은 주 인덕터와 공진 인덕터의 전류 파형이다. V_{Cr1}, V_{Cr2} 는 공진 커패시터 1, 2에 대한 각각의 전압 파형이다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 파라미터 값

Table 1. Simulation parameters

입력 전압	Input voltage	200 [V]
컨버터 출력전압	Vdc-link	400 [V]
주 인덕터	L_1	560 [μH]
공진 인덕터	L_r	20 [μH]
공진 캐패시터	C_{r1}	50 [ηF]
	C_{r2}	50 [ηF]
DC-링크 캐패시터	Link-Capacitor	1000 [μF]
컨버터 스위칭 주파수	Con. Switching Freq.	30 [kHz]
인버터 스위칭 주파수	Inv. Switching Freq.	15 [kHz]

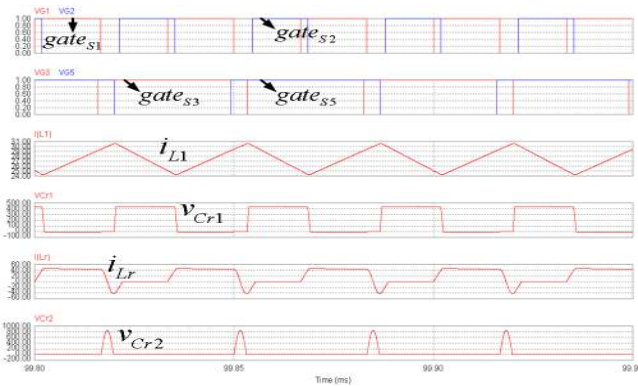


그림 5 스위치 PWM 신호와 공진 커패시터, 주 인덕터, 공진 인덕터의 전압·전류 파형

Fig. 5 The waveforms of switches PWM signal and voltage, current of resonant capacitor, inductor and main inductor

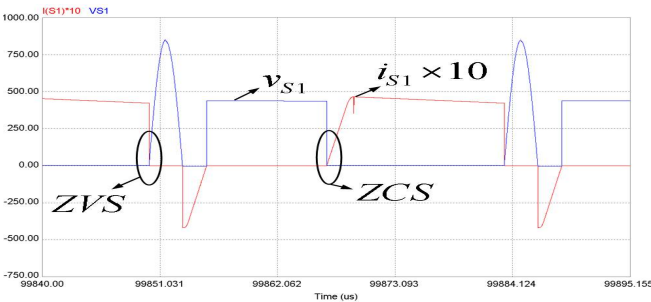


그림 6 주 스위치 S_1 의 턴 온, 오프시의 전압·전류 파형

Fig. 6 The waveforms of the voltage and the current of the main switch S_1 at turn on and off.

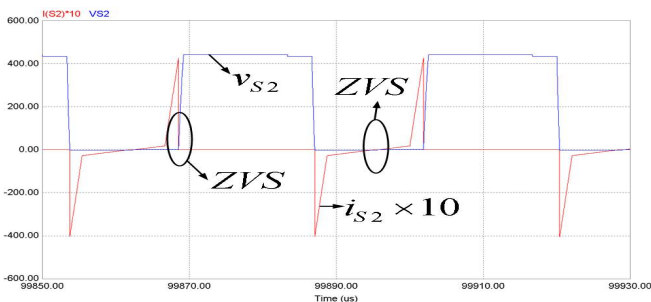


그림 7 공진 스위치 S_2 의 턴 온, 오프시의 전압·전류 파형

Fig. 7 The waveforms of the voltage and the current of the resonant switch S_2 at turn on and off.

그림 6은 스위치 S_1 의 턴 온, 오프시 스위치의 전압, 전류 파형을 나타낸다. 스위치 S_1 은 턴 온시 ZCS, 턴 오프시 ZVS 동작을 한다.

그림 7은 스위치 S_2 의 턴 온, 오프시 스위치의 전압, 전류 파형이다. 스위치 S_2 의 턴 온, 오프시 ZVS 동작을 확인할 수 있다.

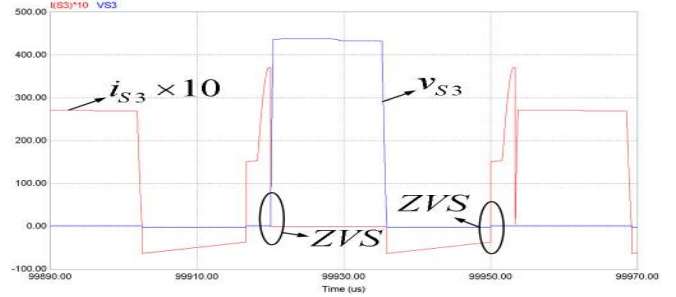


그림 8 H-bridge 인버터부 스위치 S_3 의 턴 온, 오프시의 전압·전류 파형

Fig. 8 The waveforms of the voltage and the current of the H-bridge inverter switch S_3 at turn on and off

그림 8은 스위치 S_3 의 턴 온, 오프시 스위치의 전압, 전류 파형이다. 스위치 S_3 의 턴 온, 오프시 ZVS 동작을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 새로운 소프트 스위칭 H-bridge 인버터를 제안하였다.

시뮬레이션 과정을 통하여, ZVS H-bridge 인버터의 스위치에서 공진 인덕터와 공진 커패시터, 그리고 스위치들의 역병렬 다이오드를 통하여 ZVS 동작이 이루어짐을 확인하였다.

향후 제안된 소프트 스위칭 H-bridge 인버터의 1kW급 시제품을 제작하여 실험 진행을 할 예정이며 계통연계를 통해 그 효율성을 검증할 것이다.

본 과제(결과물)는 지식경제부의 출연금으로 수행한 특성화 대학원 사업의 연구결과입니다.

References

- [1] Q. Jinrong, K. Aslam, and B. Issa, "Turn-off Switching Loss Model and Analysis of IGBT under Different Switching Operation Modes," IEEE IECON, Vol. 1 pp.240-245, Nov., 1995.
- [2] C. A. Canesin and I. Barbi, "Novel Zero-Current-Switching PWM Converters", IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 44, pp.372-381, June., 1997.
- [3] K. Wang, G. Hua, and F. C. Lee, "Analysis, design and ZCS-PWM boost converters," in Proc. IEEJ Int. Power Electronics Conf., pp.1202-1207, 1995.
- [4] D.Y. Jung, Y.H. Ji, J.H. Kim, C.Y. Won and Y.C. Jung "Soft Switching Boost Converter for Photovoltaic Power Generation System" EPE-PEMC, pp.1952-1956, Sep., 2008.