

소프트 스위칭 부스트 컨버터를 사용한 ZVS 공진형 DC-link 인버터

김영호* 김재형*, 박상훈*, 이수원*, 원중연*, 정용채**
 성균관대학교*, 남서울대학교**

ZVS Resonant DC-link Inverter using Soft Switching Boost Converter

Young-Ho Kim*, Jae-Hyung Kim*, Sang-Hun Park*, Su-Won Lee*, Chung-Yuen Won*,
 Yong-Chae Jung**

*School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

**Department of Electronic Engineering, Namseoul University

ABSTRACT

A ZVS resonant DC-link inverter using soft switching boost converter is proposed in this paper. The proposed inverter is capable of switching in zero voltage states during the zero-dc-link-voltage period. As a result, the proposed circuit can reduce the switching loss. Operational principles and detailed analysis are presented. Simulation results are also presented to verify the operation principle.

1. 서론

전 세계적으로 에너지 security의 확보, 친환경 에너지 생산 그리고 온실가스 저감 문제 등으로 화석연료를 대체할 신·재생에너지에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 중 태양광 발전시스템의 경우, 에너지 변환 효율이 낮기에 발전된 전력을 계통에 공급하기 위해서는 시스템의 고효율화가 요구된다.

기존의 태양광발전시스템에 적용되는 하드 스위칭 전력변환장치는 스위칭 손실 및 이에 따른 효율 저하의 문제점이 있다. 따라서 이를 개선하기 위한 공진형 인버터에 대한 많은 논문이 발표되고 있다. 하지만 기존의 공진형 인버터의 경우, 컨버터단의 스위칭은 소프트 스위칭 방식을 사용하지만, 인버터단의 스위칭은 하드 스위칭을 행함으로써, 시스템 전체효율을 저감시키는 단점을 가진다.^[1-3]

따라서 본 논문에서는 문제점을 개선하기 위해 소프트 스위칭 부스트 컨버터를 사용한 ZVS 공진형 DC-link 인버터를 제안한다. DC-link단 전위가 영전위 일 때 H-bridge단 인버터 스위치는 턴-온, 턴-오프시 ZVS 동작 한다. 결과적으로 컨버터단과 인버터단의 모든 스위치가 소프트 스위칭하여 스위칭 소자의 스위칭 손실을 경감시키고, 시스템 전체효율을 증가시킬 수 있다.

제안된 인버터의 타당성을 검증하기 위해 PSIM simulator를 이용하여 시뮬레이션 하였다.

2. 제안된 ZVS 공진형 DC-link 인버터

2.1 제안된 ZVS 공진형 DC-link 인버터의 구성

그림 1은 기존의 소프트 스위칭 부스트 컨버터이다. 이 컨버터를 H-bridge 인버터와 연결하여 인버터를 구성하게 되면, Stage 1 인 컨버터단의 스위치 S_1, S_2 는 소프트 스위칭을 하지만, 인버터 스위치 S_4, S_5, S_6, S_7 등은 하드 스위칭을 하여 스위칭 손실을 발생한다. 그림 2에서 제안된 공진형 인버터는 DC-link단의 스위치를 사용하여 인버터 스위치 S_4, S_5, S_6, S_7 를 턴-온, 턴-오프 시 ZVS 동작시킬 수 있다. 따라서 제안한 소프트 스위칭 인버터는 기존의 인버터의 하드스위칭으로 인한 손실발생을 줄일 수 있다.

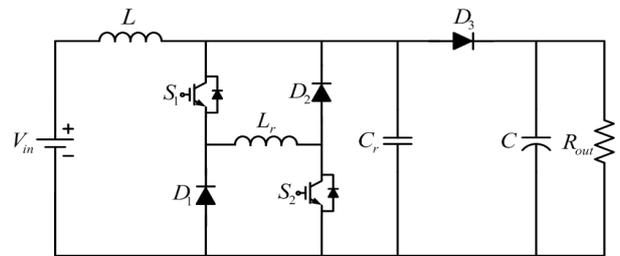


그림 1 기존의 소프트스위칭 부스트 컨버터

Fig. 1 The conventional soft switching boost converter

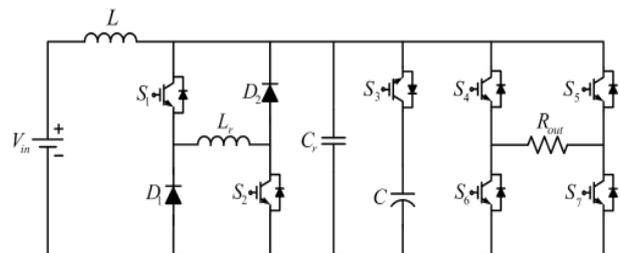


그림 2 제안된 소프트스위칭 컨버터를 사용한 ZVS 공진형 DC-link 인버터

Fig. 2 The proposed ZVS resonant DC-link inverter using soft switching boost converter

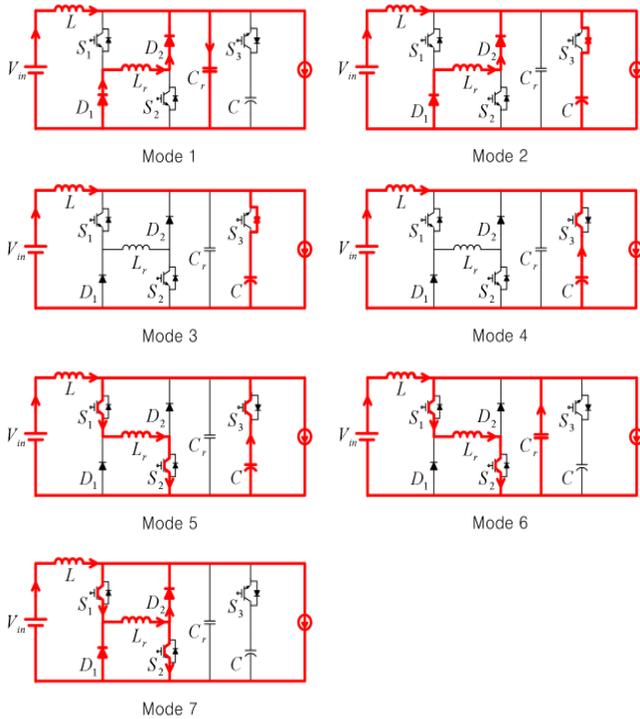


그림 3 제안된 ZVS 공진형 DC-link 인버터의 동작모드
 Fig. 3 Operation mode diagram of a ZVS resonant DC-link inverter using soft-switching boost converter

2.2 제안된 ZVS 공진형 DC-link 인버터의 동작 해석

제안된 회로의 동작을 살펴보기 위해 다음 사항을 가정한다.

- 모든 반도체 소자는 이상적이다.
- 회로는 정상상태에서 동작한다.
- 그림 4에서 보여지는 동작모드는 매우 짧은 시간이기 때문에 H-bridge 인버터를 전류원으로 구성하여 동작모드를 분석한다.

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

$t=t_0$ 이전구간에서는 스위치 S_1, S_2 가 도통되어있다. $t=t_1$ 에서 스위치가 ZVS 턴-오프 될 때, L 과 L_r 의 에너지로 인한 환류구간이 종료된다. 메인인덕터 L은 최대 전류 값에서 에너지를 선형적으로 방출을 시작하고, 공진인덕터 L_r 을 통해서 공진캐패시터 C_r 은 에너지를 충전하게 된다.

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

$t=t_1$ 에서 공진 캐패시터 C_r 은 완전히 충전되고, 메인인덕터 L과 공진인덕터 L_r 의 에너지 방출을 통해서 DC-link단 캐패시터 C 이 충전된다.

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

$t=t_2$ 에서 L_r 의 에너지는 모두 방출되어 D_1, D_2 는 턴-오프 되고, Mode3에서 DC-link단 캐패시터 C 는 완전 충전된다.

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

$t=t_3$ 에서, 스위치 S_3 는 ZVS 상태에서 턴-온한다. 스위치 S_3 의 턴-온과 동시에 DC-link단 캐패시터 C 는 방전을 시작한다.

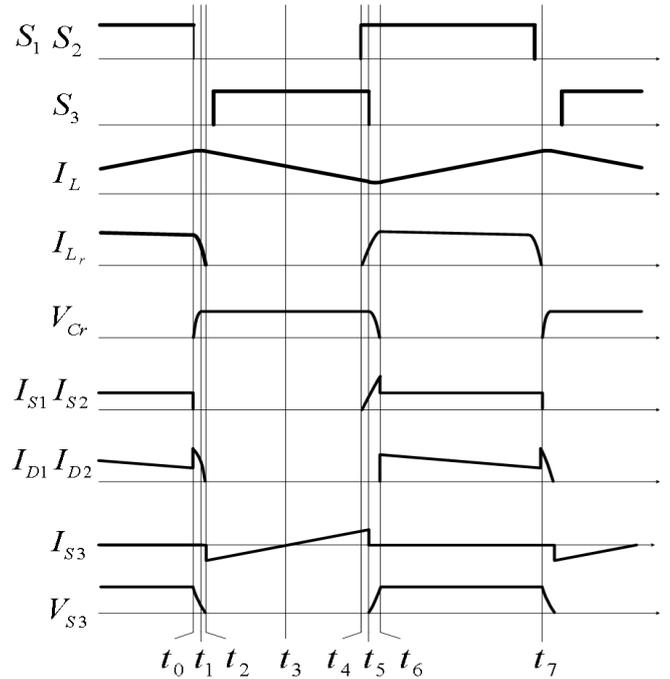


그림 4 제안된 ZVS 공진형 DC-link 인버터의 동작모드
 Fig. 4 The operation waveforms of ZVS resonant DC-link inverter using soft-switching boost converter

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

$t=t_4$ 에서 스위치 S_1, S_2 는 ZCS 상태에서 턴-온 한다. DC-link단 캐패시터 C 는 방전을 계속한다.

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

$t=t_5$ 에서 DC-link 캐패시터가 모두 방전된 후 스위치 S_3 가 ZVS 턴-오프 한다. 스위치 S_1, S_2 는 ZCS 턴-온하고, 공진인덕터 L_r 은 공진캐패시터 C 에서 방전되는 에너지에 의하여 축적을 시작한다. 이 모드는 공진 캐패시터 C 가 모두 방전 시 종료된다.

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

$t=t_6$ 에서의 공진모드가 끝나면, Mode7이 시작된다. 이 모드는 freewheeling 모드로, 메인인덕터 L과 공진인덕터 L_r 이 에너지를 방출하고, 방출된 에너지는 다이오드 D_1, D_2 를 통해서 환류한다. 이 모드가 종료되면 다시 Mode 1 ~ Mode 7의 7개의 동작모드가 반복되게 된다.

전류원으로 가정한 H-bridge 인버터의 스위치 S_4, S_5, S_6, S_7 는 DC-link단 전압이 0 [V]일 때, ZVS 턴-온 및 ZVS 턴-오프 동작한다. 따라서 모든 스위치가 소프트스위칭을 하는 것을 동작 해석을 통하여 확인할 수 있다.

3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 실행하였다. 표1은 시뮬레이션 파라미터 값을 나타낸다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 파라미터 값

Table 1 The simulation parameter

Input voltage	200 [V]
DC-link voltage	400 [V]
Main inductor	560 [μH]
Resonant inductor	10 [μH]
Resonant capacitor	30 [nF]
DC-link capacitor	1000 [μF]
Switching Freq. (stage1)	30 [kHz]
Switching Freq. (stage2)	15 [kHz]

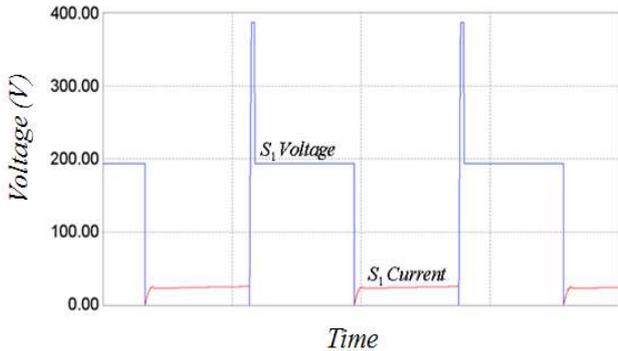


그림 5 스위치 S₁이 ZCS, ZVS 상태에서 턴-온, 턴-오프시 전압, 전류파형
Fig. 5 The waveforms of the voltage and the current of the Switch S₁ and S₂ at turn-on and off with ZCS and ZVS

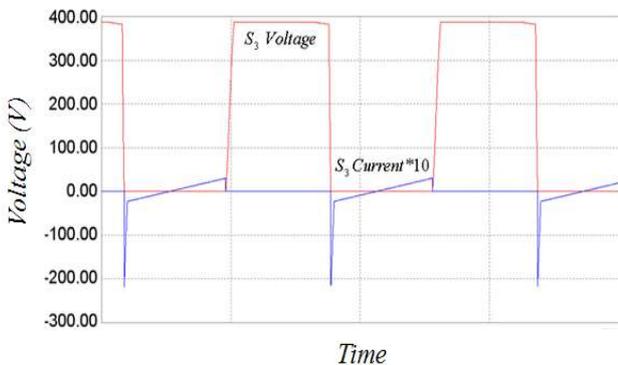


그림 6 스위치 S₃가 ZVS 상태에서 턴-온, 턴-오프시 전압과 전류 파형
Fig. 6 The waveforms of the voltage and the current of the Switch S₃ at turn-on and off with ZVS

그림 5는 Stage 1의 전압과 전류파형을 통해, 스위치 S₁, S₂가 턴-온시 ZCS, 턴-오프시 ZVS 동작을 하는 것을 나타낸다.

그림 6은 인버터의 ZVS 동작을 제어하는 DC-link단 스위치 S₃가 턴-온, 턴-오프시 ZVS 동작을 하는 것을 나타내며, 스위치 S₃의 전류값은 전압과의 비교를 위해 10배수 하였다.

그림 7은 DC-link단이 영전위일 때 ZVS 턴-온, 턴-오프 동작하는 인버터의 전류와 전압 파형을 나타내었다.

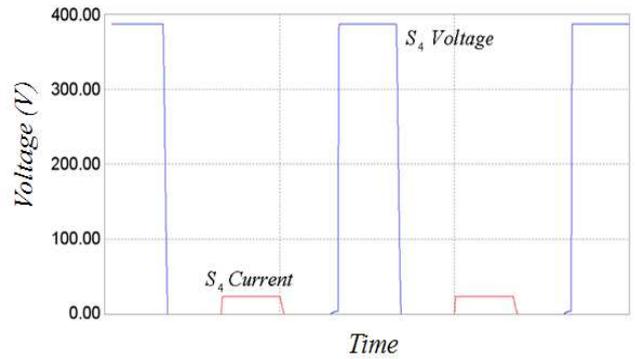


그림 7 인버터 스위치가 ZVS 상태에서 턴-온, 턴-오프시 전압과 전류파형
Fig. 7 The waveforms of the voltage and the current of the inverter switch turn-on and off with ZVS.

3. 결론

본 논문에서는 소프트 스위칭 부스트 컨버터를 사용한 ZVS 공진형 DC-link 인버터를 제안 하였다.

컨버터 스위치, DC-link단 스위치 그리고 H-bridge 인버터의 각 스위치들은 PSIM 시뮬레이션을 통하여 소프트스위칭 하는 것을 확인 하였다. 이를 검증하기 위하여 제안된 인버터의 동작 원리를 분석하고, PSIM 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 입증 하였다.

향후 연구계획은 제안된 토폴로지를 실험을 통하여 증명하고, 태양광발전용 계통 연계형 인버터에 적용할 예정이다.

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

참고 문헌

- [1] Jung, Y.C, Cho, J.G, Cho, G.H, "A new zero voltage switching resonant DC-link inverter with low voltage stress", Proceedings of the IECON 1991, Vol. 1, pp. 308-313, Oct1-Nov, 1991
- [2] Jia-You Lee, Yu-Ming Chang, Wen-Inne Tsai and York-Yih Sun, "A new soft switching transition PWM boost converter for power factor correction using parallel resonant tank", Proceeding of the IECON Vol. 2, pp. 942-947, Nov, 1993
- [3] Gil-Ro Cha, Sang-Hoon Park, Chung-Yuen Won, Yong-Chae Jung and Sang-Hoon Song, "High Efficiency Soft Switching Boost Converter for Photovoltaic System", Proceeding of IEEE EPE-PEMC 13th, pp. 391-395, Sep, 2008