

태양광용 새로운 소프트 스위칭 컨버터

원동조*, 박상훈*, 박소리*, 이수원*, 원충연*, 정용채**
성균관대학교*, 남서울대학교**

A New Soft Switching Converter for Photovoltaic System

Dong-Jo Won*, Sang-Hoon Park*, So-Ri 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

This paper presents a novel soft switching topology with resonant DC-DC converter and inverter. The resonant DC-DC converter consists of the auxiliary switch, resonant capacitor and inductor. All switches in the proposed topology is turn on at ZCS and turn off at ZVS operation. The proposed soft switching technology can be obtained the reduced switching losses and voltage and current stress of the power devices. Therefore, the resonant converter efficiency is higher than conventional boost converter. Simulation results on a 1kW soft switching converter are presented.

1. 서론

스위칭 전원 장치의 소형 경량화를 위하여 높은 스위칭 주파수가 요구된다. 그러나 스위칭 주파수가 높아짐에 따라 스위치 턴-온과 턴-오프 시 주기적으로 생기는 스위칭 손실 또한 증가하게 된다.

이러한 스위칭 손실을 줄이기 위해 기존의 승압형 컨버터에 추가적인 보조회로를 추가하여 컨버터와 인버터내의 모든 스위칭 소자들이 소프트 스위칭이 가능한 논문들이 발표되었다.^[1-2]

본 논문에서는 공진 인덕터와 공진 캐패시터 및 두 개의 스위칭 소자를 이용하여 보조회로를 구성하였다.

이러한 공진형 스위칭 전원장치는 기존의 하드 스위칭 방식보다 높은 스위칭 주파수에 적용되어 인덕터의 크기를 줄일 수 있으므로 전체 시스템의 소형 경량화를 이룰 수 있다.^[3]

따라서 최근 소프트 스위칭으로 인해 스위칭 소자들을 턴-온과 턴-오프 시 ZVS와 ZCS 하게 되면, 시스템 전체의 효율이 증가된다.^[4]

제안된 새로운 고효율 DC-AC 단상 인버터는 소프트 스위칭을 위한 보조회로의 구성이 간단하고 순환전류로 인한 손실이 적은 장점이 있다.

기존의 부스트 컨버터에 추가적인 소자들의 부분공진을 이용하여 컨버터용 스위치(Q_1, Q_2)와 인버터용 스위치(S_3, S_4, S_5, S_6)가 모두 소프트 스위칭을 하여 시스템의 효율이 증가 된다.

본 논문에서는 새로운 소프트 스위칭 방식의 단상 인버터 토

폴로지를 제안하였으며 시뮬레이션을 통해서 컨버터와 인버터가 함께 소프트 스위칭이 되는 것을 확인 하였다.

2. 제안된 소프트 스위칭 컨버터

2.1 태양광용 새로운 소프트 스위칭 컨버터의 구성

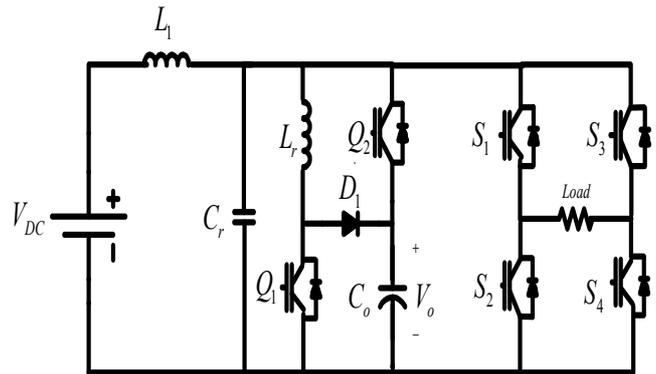


그림 1 제안된 새로운 소프트 스위칭 컨버터
Fig. 1 Proposed new soft-switching method converter.

그림 1은 본 논문에서 제안한 토폴로지의 기본 회로구성을 나타낸다.

직류전원을 입력으로 받아 소프트 스위칭 방식의 부스트 컨버터를 이용하여 승압을 한다. 그리고 DC-link 뒷단의 풀 브릿지 인버터 스위치 4개를 이용하여 DC 전압을 AC 전압으로 변환하게 된다.

컨버터 단의 보조회로는 보조 스위치 1개, 공진 인덕터 1개, 공진 캐패시터 1개로 구성되어 있으며 컨버터 단의 주 스위치와 보조 스위치 모두 소프트 스위칭 하여 토폴로지 전체의 효율을 증가 시킨다.

공진 인덕터와 공진 캐패시터의 공진 주기 시점에서 다이오드(D_1) 턴 온이 상태가 되면 DC-link 단에 에너지를 전달한다.

본 논문에서는 새로운 소프트 스위칭 방식의 DC-DC 컨버터와 인버터로 구성된 토폴로지를 제안하였다.

또한 시뮬레이션 과정을 통하여 컨버터와 인버터가 각각 소프트 스위칭이 이루어짐을 확인하였다.

2.2 동작모드 분석

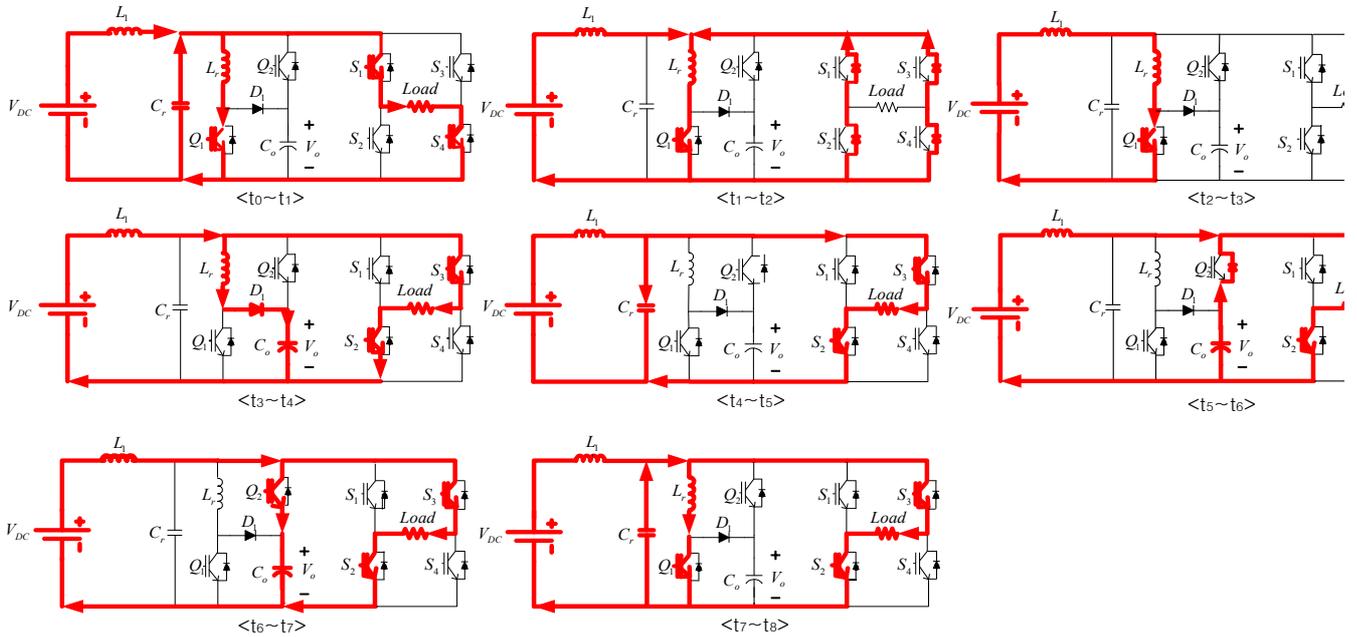


그림 2. 새로운 소프트 스위칭 컨버터의 동작모드

Fig.3 Operation mode diagram of a new soft-switching converter.

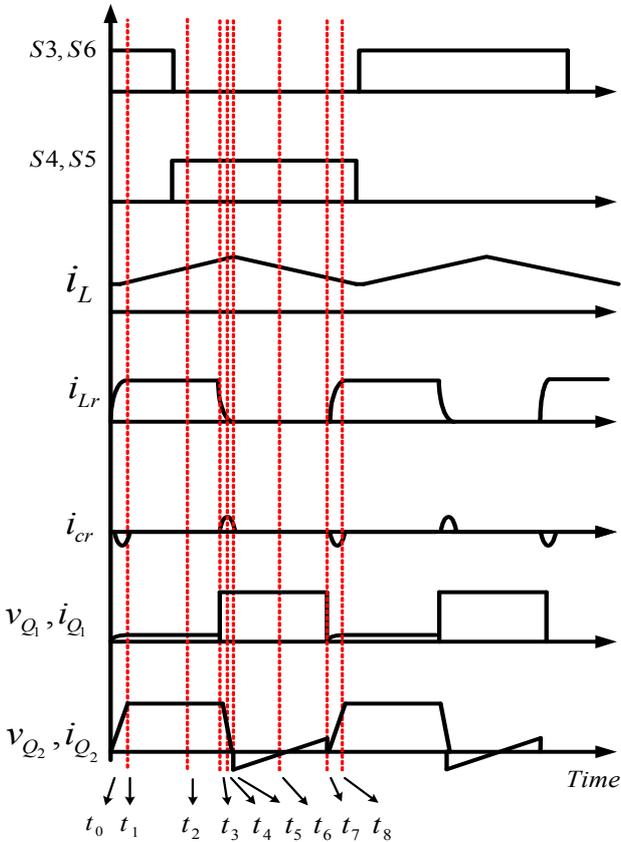


그림 2. 새로운 소프트 스위칭 컨버터의 동작파형

Fig.3 Operation waveform of a new soft-switching method of DC-AC single phase inverter.

- Mode 1 ($t_0 \leq t < t_1$) : 충전되어져 있던 공진 캐패시터가 공진 인덕터와의 공진으로 방전하고 전류 방향은 주 인덕터에서 공진 인덕터(L_r)와 주 스위치(Q_1), 인버터 스위치 S_1 와 S_4 에 흐르게 된다. 공진 캐패시터가 완전히 방전 한 후 다음 모드로 넘어간다.
- Mode 2 ($t_1 \leq t < t_2$) : Mode 1에서 공진 캐패시터(C_r)가 완전히 방전한 후, 인버터 역병렬 다이오드로 전류가 환류하여 주 인덕터의 에너지와 합쳐져서 Q_1 으로 흐르게 된다. 이때 부하에는 출력전압이 인가되지 않는다. 역병렬 다이오드로 흐르는 전류가 완전히 환류하면 다음 모드가 시작된다.
- Mode 3 ($t_2 \leq t < t_3$) : 인버터의 역병렬 다이오드로 전류가 전부 환류하면, 메인 인덕터와 공진 인덕터로만 흘러서 스위치 Q_1 으로 전류경로가 형성 된다. 스위치 Q_1 이 턴-오프 동작을 하기 전까지 이 모드는 지속된다.
- Mode 4 ($t_3 \leq t < t_4$) : 스위치 S_1 이 턴-오프 후, 공진 인덕터와 주 인덕터가 에너지를 방출하여, 다이오드 D_1 이 도통 되면 DC-link단 캐패시터가 충전되고 인버터 스위치 S_3 와 S_2 가 턴-온 되어서 부하에는 출력전압이 인가되기 시작한다.
- Mode 5 ($t_4 \leq t < t_5$) : 공진 캐패시터가 충전을 시작하면서 모드 5가 시작 된다. 공진 인덕터가 에너지를 방출 한 후, 다이오드가 턴-오프 된다. 공진 캐패시터를 완전히 충전 할 때까지 모드는 지속된다.
- Mode 6 ($t_5 \leq t < t_6$) : 공진 캐패시터를 완전히 충전하고, 주 인덕터의 에너지가 DC-link 단이 방전을 하면서 나온 에너지와 합

처져서 부하 단으로 공급한다. 보조 스위치 (Q_2)가 턴-온이 될 때까지 DC-link 캐패시터는 계속 방전하면서 모드가 지속된다.

- Mode 7 ($t_6 \leq t < t_7$) : 스위치 Q_2 가 턴-온이 된 후, DC-link 캐패시터가 충전을 시작하는 시점으로, 주 인덕터의 에너지가 부하로 공급이 되어 진다. 완전히 충전되어 있던 공진 캐패시터가 방전을 시작하기 전까지 모드가 계속 된다.
- Mode 8 ($t_7 \leq t < t_8$) : 공진 커패시터가 방전을 시작한 후 공진 인덕터와 서로 공진을 일으켜 스위치 Q_1 이 턴-온 되어 영전류 스위칭을 한다.

다음 주기에서 부터 인버터 스위치가 바뀌어서 턴 온 되는 부분으로서 언급된 모드가 다시 반복 된다.

3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 PowerSIM 사의 PSIM 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 표1은 실제 시뮬레이션 파라미터 값을 나타낸다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 파라미터 값
Table 1. Simulation parameters

입력 전압	200[V]
컨버터 출력전압	400[V]
주 인덕터(L_1)	560[μ H]
공진 인덕터(L_r)	10[μ H]
공진 캐패시터(C_r)	30[nF]
DC-링크 캐패시터	1000[μ F]
컨버터 스위칭 주파수	30[kHz]
인버터 스위칭 주파수	15[kHz]

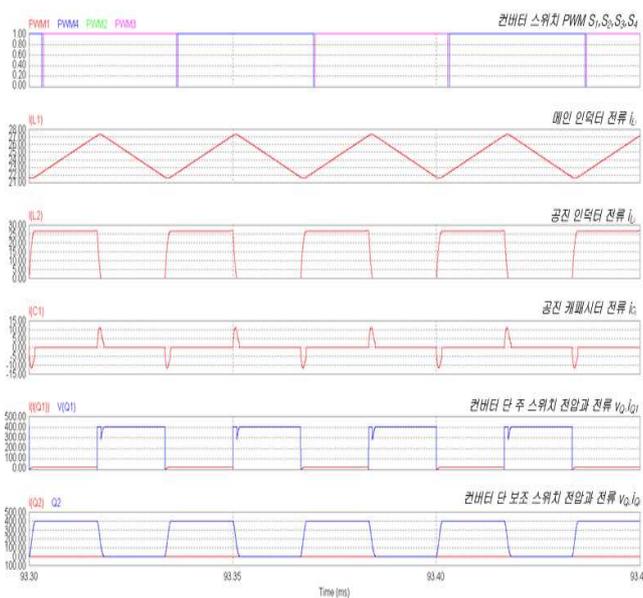


그림 4. 제안한 소프트 스위칭 방식의 컨버터의 시뮬레이션 파형.
Fig. 4 Simulation waveforms of a novel soft-switching converter.

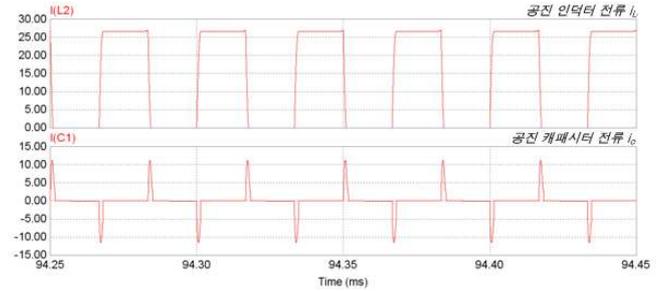


그림 5. 공진 캐패시터와 공진 인덕터의 시뮬레이션 전류 파형
Fig. 5 Simulation current waveforms of resonant capacitor and inductor

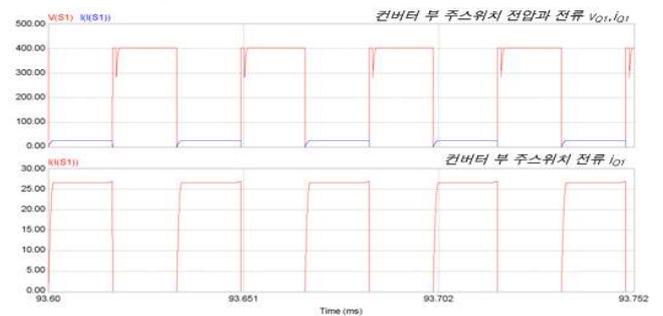


그림 6. 주 스위치 전압과 전류 파형
Fig. 6 Voltage and current waveforms of main switch

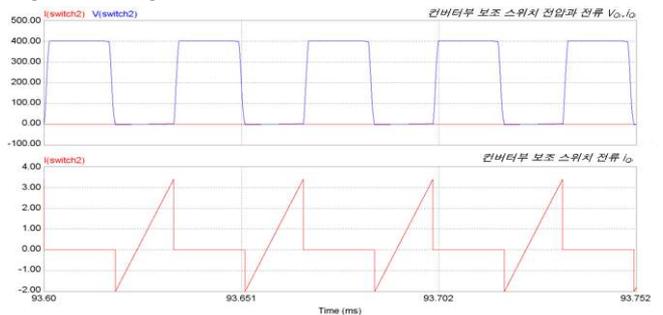


그림 7. 제안한 공진형 컨버터의 보조 스위치 전압과 전류 시뮬레이션 파형
Fig. 7 Auxiliary switch voltage and current waveforms of the proposed resonant converter

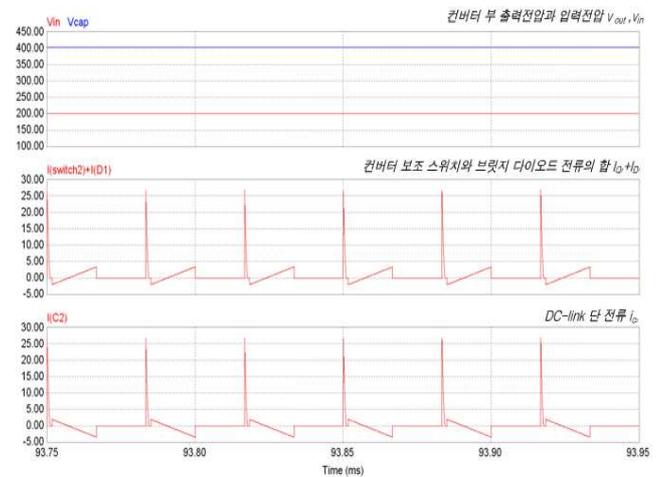


그림 8. 공진형 컨버터의 입력전압과 출력전압, DC-link 캐패시터 전류 파형, 보조 스위치와 브리지 다이오드 전류 파형.
Fig. 8 Input voltage and output voltage, DC-link capacitor current, auxiliary switch and bridge diode current waveforms of resonant converter

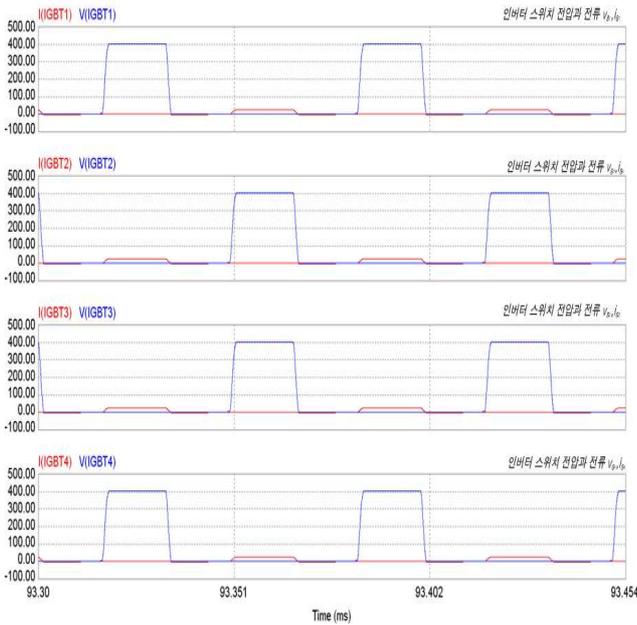


그림 9. 인버터 스위치의 전압과 전류 파형
Fig. 9 Voltage and current waveforms of inverter switch

그림 4는 본 논문에서 제안한 단상 인버터의 시뮬레이션 전체 파형을 나타내었다. 각각 단상 인버터의 게이트 신호, 주 인덕터의 전류파형, 공진 인덕터의 전류파형, 공진 캐패시터의 전류파형 그리고 단상 인버터의 출력 전압을 보여준다.

그림 5는 제안한 공진형 컨버터의 공진 인덕터와 공진 캐패시터에 흐르는 전류를 나타낸 파형이다. 공진 인덕터와 캐패시터 상호간에 에너지가 전달되는 공진시점에 주 스위치를 턴-온 또는 턴-오프 하여 영전압과 영전류 스위칭을 한다.

그림 6은 주 스위치 Q_1 이 ZCS 턴-온이 되고, ZVS 턴-오프 동작을 나타낸 시뮬레이션 파형이다.

공진 캐패시터의 에너지가 인덕터로 전달되는 시점에 턴-온을 하여 ZCS동작을 수행하고, 공진 인덕터의 에너지가 캐패시터로 전달되는 시점에 턴-오프 하여 ZVS동작을 한다.

그림 7은 보조 스위치 Q_2 의 전압과 전류 파형을 나타낸다. 스위치가 턴-온과 턴-오프 시 ZCS 와 ZVS 동작을 하는 것을 시뮬레이션 결과 파형으로 보여 주었다.

그림 8은 공진형 컨버터 입력 전압, 출력전압을 나타내며, DC-link 캐패시터에 흐르는 전류는 브릿지다이오드와 보조 스위치로 나누어 저서 흐르는 것을 시뮬레이션 결과에서 알 수 있다.

그림 9는 단상 인버터 스위치 4개의 전압과 전류 파형을 나타낸다. 인버터 스위치 S_1, S_4 와 S_2, S_3 는 서로 상보적으로 동작하면서 스위칭을 한다. 4개의 모든 스위치 또한 영전압과 영전류 스위칭을 하는 것을 시뮬레이션을 통하여 확인 하였다.

3. 결론

본 논문에서는 새로운 소프트 스위칭 방식의 DC-DC 컨버터를 제안 하였다. 제안한 토폴로지는 인덕터와 캐패시터의 서로 간의 공진 현상을 이용하여 모든 스위치를 소프트 스위칭 하므로 스위칭 손실을 줄일 수 있다.

본 논문은 고효율 승압용 인버터 또는 태양광 입력을 받아 계통 연계형 인버터 등에 적용할 수 있다.

향후에 인버터 단의 출력을 페 루프 제어를 통하여 6개의 스위치에 스위칭 신호를 인가하는 방법으로 직접 실험을 수행할 예정이다.

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

참고 문헌

[1] D. M. Divan, G. Skibinski, "Zero switching loss inverters for high power applications," IEEE IAS Rec., pp. 627 ~ 634, 1987.
 [2] D.W, Erning Hefner ,A.R.,Jr., "IGBT model validation for soft-switching applications", Industry Applications, IEEE Transactions on Volume 37, pp, 2001
 [3] S. R. Park, S .H. Park, C. Y. Won, Y. C. Jung, "Low loss soft switching boost converter", 2008 13th International Power Eletronics and Motion", 2008 Control Conference (EPE-PEMC 2008) pp. 181 ~ 186. 2008
 [4] 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.