

SiC MOSFET를 적용한 3.5kW급 단상 PV 인버터 개발

김재원, 김명기, 주동명, 최준혁, 김진홍
전자부품연구원 지능메카트로닉스 연구센터

Development of 3.5kW Single Phase PV Inverter using SiC MOSFET

Jae-Won Kim, Myeong-Gi Kim, Dongmyoung Joo, Jun-Hyuk Choi, Jin-Hong Kim
Korea Electronics Technology Institute (KETI)

ABSTRACT

본 논문에서는 SiC (Silicon Carbide) MOSFET 기반 Buck-Unfolder 토폴로지를 적용한 단상 태양광 인버터를 개발한다. 개발한 인버터의 성능 평가를 위해 3.5kW 급 prototype의 효율 및 전고조파 왜율(THD)을 분석한다.

1. 서 론

태양광발전은 비교적 장소에 구애받지 않고 효율적인 발전이 가능하며 소용량 발전 설비 설치가 용이하기 때문에 가정용 (~3kW급) 태양광 발전시스템 수요가 증가하고 있다.^[1] 태양광 발전의 효율은 PV cell 및 전력변환장치에 의해 결정된다. 그러나 PV cell의 효율 향상에는 기술적 및 비용적 한계가 있기 때문에 전력변환장치 측면에서의 효율 향상이 필요하다.^[2]

본 논문에서는 가정용 3.5kW 급 태양광 발전시스템의 효율 및 전력밀도 향상을 위해 차세대 전력반도체인 SiC(Silicon Carbide) MOSFET을 적용한 DC-AC 인버터를 개발한다. 또한 소자의 비용을 고려하여 고속 SiC MOSFET 및 저속 IGBT를 적용한 토폴로지를 적용한다. 이러한 태양광 인버터의 동작 특성을 확인하기 위해 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였고, 3.5kW급 시작품을 개발 및 부하 실험을 수행하여 개발품의 성능을 검증하였다.

2. 단상 태양광 PCS 설계

2.1 토폴로지 선정

본 논문에서 개발한 태양광 인버터는 그림 1과 같이 Buck-Unfolder 기반 토폴로지를 적용하였다. 입력단에는 MPPT 제어기를 위해 PV 어레이의 출력 전압과 전류를 제어하기 위한 Boost 컨버터로 구성하였으며, 인버터 부는 고주파 구동을 위한 Buck 컨버터와 Unfolding-bridge로 구성된다.

Buck 컨버터는 계통의 위상을 바탕으로 전류 혹은 전압을 정류된 사인파 형태로 제어하는 역할을 담당하며, Unfolding-bridge는 계통의 극성에 따라 계통 연계 제어를 수행한다. 따라서, 고주파 스위칭을 하는 스위치는 실제 전류/전압을 제어하는 Buck 컨버터에만 존재하기 때문에, 효율 향상을 위해 Buck 컨버터의 스위치를 SiC MOSFET과 SiC 다이오드를 적용하였다. 60Hz 저주파 구동을 하는 Unfolding-bridge의 스위치는 도통 손실이 적은 IGBT로 적용하였다.

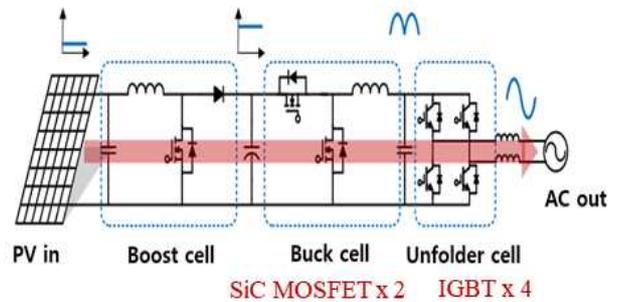


그림 1 Buck-unfolder 기반 태양광 인버터 토폴로지
Fig. 1 Buck-unfolder PV inverter topology

이와 같이 WBG 기반 전력반도체를 적용함으로써 필터의 인덕턴스를 크게 저감할 수 있으며, 기존의 Full-bridge 구조의 인버터보다 더 적은 수의 WBG 기반 전력반도체를 적용 가능하여 비용을 저감할 수 있는 장점이 있다.

2.2 하드웨어 설계

기존 20kHz 스위칭 주파수를 갖는 IGBT 기반 태양광 인버터의 Boost 인덕터 및 계통 필터 인덕터 대비 자성체의 부피를 저감하기 위하여 각 스위칭 주파수를 30kHz, 60kHz로 선정하고, 고주파 인버터 역할을 하는 Buck 컨버터 부의 스위칭 주파수는 60kHz로 선정하였다.

이러한 스위칭 주파수와 인덕터의 철손 및 전류제어 성능을 고려하여 설계한 각 부 인덕터의 주요사양은 표 1과 같다. 설계한 태양광 인버터 시작품은 그림 2와 같이 전원 공급을 위한 Flyback 컨버터 기반 SMPS, 입출력 필터 부, Boost 컨버터 부, Buck 컨버터 부 및 Unfolder 스위치로 배치하였다.

표 1 설계된 인덕터의 주요사양
Table 1 Specification of designed inductor

파라미터	Boost 인덕터	Buck 인덕터	계통 필터 인덕터
코어	HP571060	CM571026	CH270125
턴 수 및 권선	53T/2.0pi	53T/2.0pi	18T/1.5pi*2
전류 리플	8.75A	5A	0.5A
인덕턴스(무부하)	388uH	170uH	50*2uH
인덕턴스(전부하)	217uH	130uH	30*2uH

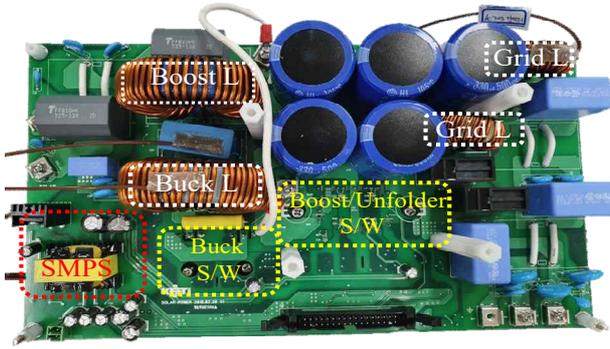


그림 2 3.5kW급 태양광 인버터 시작품
Fig. 2 Prototype of 3.5kW Solar Inverter

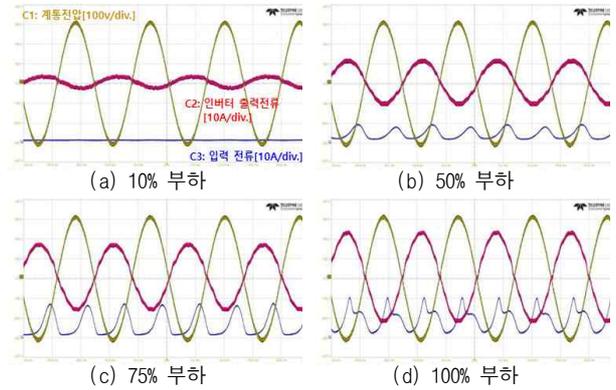


그림 4 태양광 인버터 시작품의 부하 별 주요 파형
Fig. 4 Key waveforms of developed prototype PV inverter

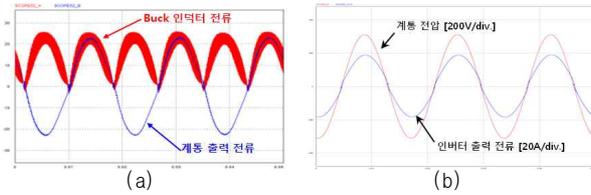


그림 3 (a) Buck 인덕터 및 계통 출력전류 (b) 계통 전압과 인버터 출력전류
Fig. 3 (a) Buck inductor and output current (b) Grid Voltage and Inverter output Current

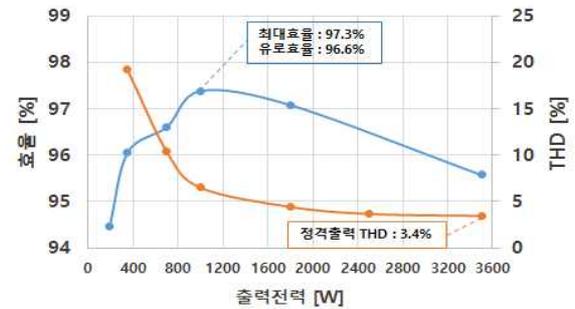


그림 5 태양광 인버터 시작품 효율 및 THD 곡선
Fig. 5 Efficiency and THD curve of prototype PV Inverter

Boost 컨버터의 스위치 및 Unfolder 스위치는 Vincotech社의 MOSFET 및 IGBT 조합의 모듈인 10-PZ07BIA030SM01을 적용하였으며, Buck 컨버터의 스위치는 스위칭 손실 및 도통 손실이 가장 작고, 전류 정격에 적합한 Cree社의 900V급 /65mohm C3M0065090D 스위치를 적용하였다.

3. 개발 인버터 성능 검증

3.1 시뮬레이션

태양광 인버터의 동작 특성을 확인하기 위해 PSIM을 통해 시뮬레이션을 구현하였다. 그림 3의 (a)와 같이 Buck 컨버터의 인덕터 전류는 정류된 Sine 파형을 나타내며, 스위칭 주파수 성분의 리플 전류를 갖고 있다. 이러한 리플 전류는 커패시터 및 계통 출력단의 필터를 거치면서 제거되고, Unfolding-bridge를 거쳐 AC 형태의 계통 출력 전류가 출력된다. 최종적으로 출력되는 전류는 그림 3의 (b)와 같이 계통 전압과 동상임을 확인하였다.

3.2 실험 및 성능 검증

태양광 인버터 시작품의 성능을 검증하기 위해 계통연계 부하시험을 진행하였다. 계통 전류 및 각 부 전압 파형은 CP150 전류 프로브와 HVD3102A 고전압 프로브를 이용하여 Lecroy社의 오실로스코프를 통해 파형을 확인하였다. YOKOGAWA社의 WT1800 전력 분석계를 이용하여 그림 4와 같이 부하별로 효율 및 THD를 측정하였다.

부하 시험 결과 태양광 인버터는 전 구간 부하에서 단위 역률로 전류를 출력하는 것을 확인하였으며 최대 효율은 약 30% 부하 지점에서 97.3%로 측정되었다. THD 또한 최대 부하에서 3.4%로 측정되어 계통연계 규격을 만족하는 것을 확인하였다.

$$\eta_{EU} = 0.03 \cdot \eta_{5\%} + 0.06 \cdot \eta_{10\%} + 0.13 \cdot \eta_{20\%} + 0.10 \cdot \eta_{30\%} + 0.48 \cdot \eta_{50\%} + 0.20 \cdot \eta_{100\%} \quad (1)$$

시작품의 부하별 효율 및 THD 곡선은 그림 5와 같다. 또한 유효효율을 계산하기 위해 식 (1)을 적용하였으며, 유효 효율은 96.6%로 계산되었다.

4. 결 론

본 논문에서는 전력밀도 및 효율 향상을 위해 SiC기반 전력반도체를 적용한 가정용 태양광 인버터를 설계하였다. SiC기반 전력반도체를 적용함으로써 인버터의 전력밀도는 281.9W/L, 최대효율은 97.383% 그리고 유효효율은 96.607%로 확인하였다.

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 경제협력관산업 육성사업으로 수행된 연구결과입니다. (P0006075)

참 고 문 헌

- [1] K. A. Kim et al. "Converter Rating Analysis for Photovoltaic Differential Power Processing Systems," IEEE Trans. Power Electron., vol. 30, no. 4, pp. 1987-1997, 2015.
- [2] Mohammad-Ali Rezaei, Hossein Iman-Eini, Shahrokh Farhangi, "Grid-Connected Photovoltaic System Based on a Cascaded H-Bridge Inverter," JOURNAL OF POWER ELECTRONICS, vol. 30, no. 4, pp. 578-586, 2012.