

SiC 전력반도체를 이용한 500kW급 UPS의 설계, 제작 및 성능평가

이태승, 김민성, 이동주
 국제통신공업(주)

Design, Manufacturing and Performance Evaluation of 500kW UPS Using SiC Power Semiconductors

Tae-seung Lee, Min-seong Kim, Dong-ju Lee
 Kukje Electric MFG. Co., Ltd.

ABSTRACT

본 연구에서는 SiC(Silicon Carbide) 전력반도체가 적용된 500kW급 UPS(Uninterruptible Power Supply)의 설계, 제작 및 성능평가를 다룬다. UPS 분야에서 최근까지 가장 빈번하게 사용되고 있는 실리콘 소재 IGBT 기반의 전력변환 방식이 아닌 Full SiC 소재 MOSFET 기반의 전력변환 방식으로써, UPS의 전장품 설계, 제작 및 성능평가를 진행하였으며 특별히 기존 스위칭 소자와의 주요 전기적인 특성 차이를 비교하였다.

1. 서론

본 연구에서서는 SiC 전력 반도체를 적용한 UPS를 소개하고자 한다. 먼저 시제품의 요구사항 및 단선도를 통한 시스템 구성을 공유하고, 설계, 제작 및 주요 전기적 성능시험을 통한 결과를 통해 전력 반도체 제질에 따른 주요 전기적 성능 및 전력변환 효율의 차이를 분석하고자 한다.^[1]

2. 요구사항 및 설계

2.1 요구사항

시료의 외형적, 주요 전기적 특성 요구사항은 상기 표1과 같다. SiC MOSFET 적용으로 주목할 항목은 최대 효율점이다.

표 1 500kW UPS 설계 목표 사양
 Table 1 Simplified Specification of 500kW UPS

항목	사양
정격 용량	500kW
정격 입력전압	3P4W 380/220V ±5%, 60Hz ±5%
정격 입력전류	759.6A
정격 출력전압	3P4W 380/220V ±2%, 60Hz ±1%
정격 출력전류	759.6A
정격 축전지전압	480V
정격 축전지전류	1041.6A
전력 밀도	≥ 160 W/L
최대 효율점	97% (@On-Line Double Conversion)
입력 역률	≥ 0.99
입력 전류 THD	≤ 3%
출력전압 불평형률	≤ 1%
출력전압 THD	≤ 3% (@선형부하), ≤ 8% (@비선형부하)
냉각방식	강제 풍냉식
크기	(W)1898 * (D)866 * (H)1890 mm

2.2 단선도 및 주요소자 설계

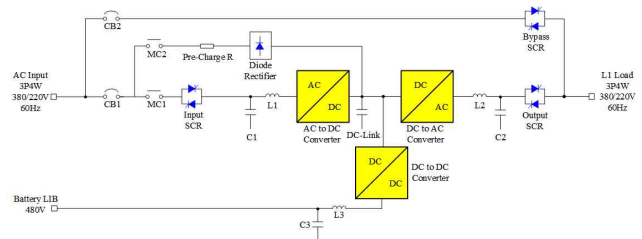


그림 2 500kW급 UPS의 단선도
 Fig. 2 One-Line Diagram of 500kW UPS

본 시스템은 AC/DC, DC/AC, DC/DC 컨버터부와 필터부, 초기충전부 및 각종 스위치로 이루어져있다. 각 컨버터부의 스위칭 소자로 SiC MOSFET 전력 반도체를 이용하여 전력 변환을 수행한다.

3. 제작 및 성능시험

3.1 시료 완성품

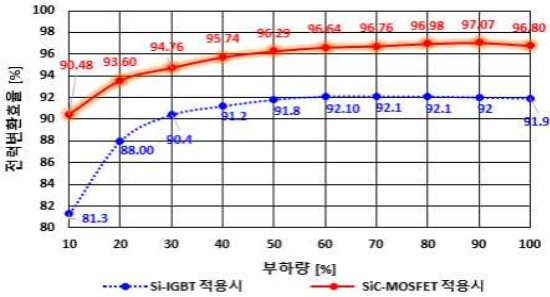
하기 그림 3은 500kW UPS 시제품이다. IP20 규격으로 설계 되었으며, 전면에 터치 조작부 및 냉각용 FAN이 설치되어 있다. 해당 시제품의 사이즈 및 목표 사양은 표 1과 같다.



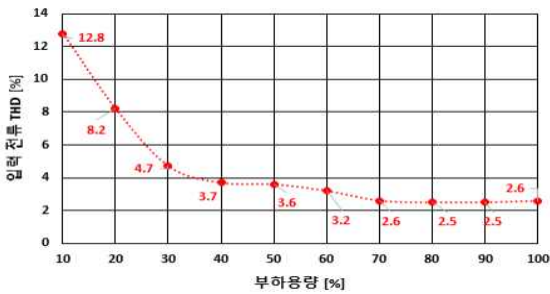
그림 3 500kW급 UPS 시제품
 Fig. Prototype of 500kW UPS

3.2 성능시험

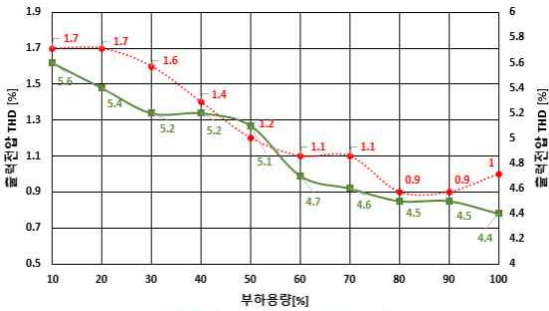
그림 3과 같이 SiC 전력 반도체가 적용된 UPS 시제품의 성능시험을 통해, 설계 목표 사양 및 성능을 검증하였다.^[5] SiC 전력반도체 적용의 주된 목적이 ‘초고효율 달성’이기 때문에, 효율 시험은 실리콘(Si) 기반 전력반도체(IGBT)와 비교하였다.



(a) 전력반도체별 부하량에 따른 전력변환 효율 비교



(b) 부하량에 따른 입력전류 THD



(c) 부하량 및 부하종류에 따른 출력전압 THD

그림 4 500kW급 UPS의 주요 전기적 성능
Fig. Electrical Performance of 500kW UPS

상기 그림 4는 (a)부터 각각 부하량에 따른 전력반도체의 종류별 전력변환 효율, 입력전류 THD 및 부하 종류에 따른 출력전압 THD의 시험 결과를 나타낸다. 해당 시험들은 UPS의 On-Line Double Conversion 효율을 포함한 주요 전기적 특성을 측정하기 위한 것으로써 DC-DC 컨버터의 특성은 고려하지 않았다.

상기 시험에서 Si기반 전력변환 효율과 SiC기반 전력변환 효율은 약 80% 부하에서 최대 4.8% 차이가 존재한다. 하지만 해당 결과 차이의 주된 요소가 스위칭소자의 변경은 맞지만, 그것 만으로 달성된 결과는 분명히 아니다.

상기시험 결과를 포함한 그 밖의 목표 사양 대비 달성 성능 지표는 하기 표 2와 같으며, 모든 항목의 목표 대비 결과를 달성 하였다.^{[4][5]}

표 2 500kW UPS의 목표 사양 대비 성능

Table 2 Performance versus target specifications of 500kW UPS

항목	목표 사양	결과
정격 용량	500kW	500kW
전력 밀도	≥ 160 W/L	160.7 W/L
최대 효율점	97%	97.07%
입력 역률	≥ 0.99	0.99
입력 전류 THD	≤ 3%	2.6%
출력전압 불평형률	≤ 1%	0.5%
출력전압 THD	≤ 3% (@선형부하) ≤ 8% (@비선형부하)	1% (@선형부하) 4.4% (@비선형부하)

4. 결론

본 연구에서는 당사가 설계 및 제작한 SiC MOSFET 기반의 UPS 설계, 제작 및 성능평가를 다루었다.

특히 전력반도체의 소자별로 효율을 비교하였을 때 가장 범용적인 Si소재의 IGBT와 SiC소재의 MOSFET을 적용한 각각의 효율은 80% 부하범위에서 4% 대역의 차이가 존재한다.

추가적으로 설계 단계에서 UPS의 시뮬레이션 모델을 구축하여 경향을 파악하였으며, 해당 시뮬레이션에서 이상적인 스위칭 소자의 라이브러리를 이용하지 않고, 사용할 스위칭 소자의 구체적 성능 데이터를 대입한 시뮬레이션을 수행하였다.

전력밀도 목표를 달성하기 위한 배경에는 전력변환 효율의 상승으로 인한 발열량의 감소로, 전력변환 모듈의 방열판의 사이즈 감소 및 모듈 수량의 축소, 코어류의 최적 설계를 통한 사이즈 감소 등의 시도가 있었다.

향후 전력변환 기술의 최적화를 통한 초고밀도 전력변환 모듈의 개발을 계획중이다.

이 논문은 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국 에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임.
(20212020800020. 통합형 최적설계 플랫폼 기반 초고효율 전력변환시스템 개발)

참고 문헌

- [1] 이학주, 채우규, 박중성, 김주용, 김찬영, “마이크로그리드용 10[kW] PCS 개발 및 성능시험”, 조병·전기설비학회 논문지 제 25권 제7호, pp.55-62, 2011.7
- [2] 최준영, 이진희, 이재홍, 김영욱, 손의권, 이정민, “에너지 저장 시스템을 위한 800kW 계통연계형 전력변환장치”, 전력전자학술대회 논문집, pp.324-325, 2011.7
- [3] 김영록, “태양광 발전 계통 연계형 PCS의 기술과 시험”, 전력전자학회지 제13권 제3호, pp.31-35, 2008.6
- [4] 이태승, 황동욱, 이동주, 백석민, “스마트 ESS 전력제어모듈용 3상 PCS 시제품 성능시험”, 전력전자학술대회 논문집, pp.532-534, 2015.7
- [5] 한국표준협회, “KS C IEC 62040-3 무정전 전원장치(UPS) -제3부 : 성능 및 시험방법”, 2019.12
- [6] 한국스마트그리드협회, “전기에너지저장시스템용 전력변환장치의 성능 요구사항 SPS-SGSF-025-4-1972 : 2019”, 2019.03