

EV추진 150kW급 인버터 적용을 위한 IGBT 및 SiC 전력모듈 스위칭 특성 비교

황대연, 박상민, 노용수, 현병조, 박준성
한국전자기술연구원 전력제어시스템 연구센터

Comparison of IGBT and SiC power module switching characteristics for EV propulsion 150kW inverter application

Dae Yeon Hwang, Sang Min Park, Yong-Su Noh, Byong Jo Hyon, Joon Sung Park
Korea Electronics Technology Institute (KETI)

ABSTRACT

본 논문은 EV 추진용 150kW급 인버터 적용을 위한 IGBT와 SiC 전력반도체 모듈의 스위칭 특성 및 손실을 비교한다. 특성 비교를 위해 1200V/600A 사양의 동일 패키지의 전력 모듈을 선정하였으며, Double Pulse Test를 통해 두 전력 모듈의 스위칭 특성을 분석하고 스위칭 손실을 비교한다. 비교 시험을 통해 각 모듈 별 스위칭 손실을 측정하고, IGBT 모듈 및 SiC 모듈의 스위칭 특성을 분석하였다.

1. 서 론

최근 전기자동차, PAV/UAV 드론과 같은 효율적이고 배출이 적은 운송수단에 대한 수요가 증가함에 따라 배터리 전력을 기반으로 하는 전기추진시스템의 연구 및 개발이 크게 증가하고 있다. 특히 전기자동차 분야에서는 배터리 충전 효율 향상 및 트랙션 전동기 구동 범위 확장을 위해 기존 배터리 전압 400V에서 800V로 증가하는 추세이며, 이에 따라 배터리의 DC 전력을 전동기를 구동하기 위한 AC 전력으로 변환시키는 인버터 시스템의 전력반도체의 전압 범위 또한 확장되고 있다.

기존 EV 인버터 시스템에서는 일반적으로 Si 계열의 전력 반도체인 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)를 활용하였으나, 최근 Si 계열 소자에 비해 고효율, 고출력밀도 등 우수한 장점을 갖는 WBG(Wide Band Gap) 소자 기반의 전력반도체의 공급과 연구가 활발히 진행됨에 따라 기존 IGBT에서 SiC 기반의 전력반도체를 EV 구동 인버터에 탑재하는 추세이다[1].

본 논문은 EV 추진용 150kW급 인버터에 적용하기 위한 IGBT와 SiC 전력반도체의 스위칭 특성 및 손실을 비교한다. 각 모듈의 특성을 비교하기 위해 1200V/600A 사양의 Econodual3 패키지의 전력모듈을 선정하고, Double Pulse Test를 통해 두 모듈의 스위칭 특성 및 손실을 비교 및 분석을 수행한다.

2. 전력반도체 모듈 선정

본 논문에서 선정한 EV 인버터 적용을 위한 전력반도체 모듈 및 게이트 드라이버 보드 장착 사진은 그림 1과 같이 나타나며, 표 1은 전력 모듈 및 게이트 구동부의 주요 사양을 나타낸다. 선정한 전력 모듈은 하프브릿지 타입으로 동일 패키지 및 동일 전압 전류 사양의 전력모듈로 선정하였다. 게이트 드

라이버의 경우 전력모듈의 게이트 전압 및 게이트 Turn-on/off 저항을 제외한 다른 특성은 동일하게 설정 하였다.



그림 1 선정 전력 모듈 및 게이트 드라이버, (a) SiC, (b) IGBT
Fig. 1 Selected Power Modules and Gate Drivers, (a) SiC, (b) IGBT

표 1 전력모듈-게이트드라이버 파라미터
Table 1 Power module-Gate driver parameters

Parameter	IGBT	SiC
형명	FF600R12ME4 (Infineon)	BSM600D12P3G001 (Rohm)
유형	Half-bridge	Half-bridge
Drain-Source Voltage/Current	1200V/600A	1200V/600A
Gate Voltage (Positive/Negative)	+15V/-15V	+18V/-2.5V
Gate Resistor (on/off)	0.5Ω/0.5Ω	1.5Ω/1Ω

3. 시험 결과

SiC 및 IGBT 전력모듈의 스위칭 특성 및 손실 분석을 위해 DPT(Double Pulse Test)를 수행하였다.[2]. 그림 2는 DPT 시험의 기본 회로 구성과 스위칭 모드에 따른 전류의 흐름을 나타낸다.

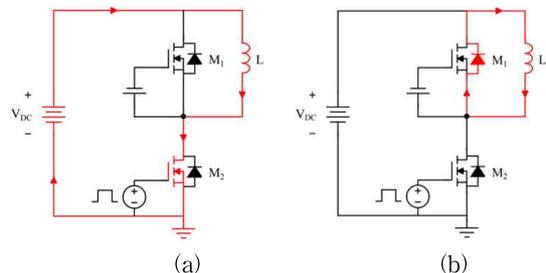


그림 2 DPT 시험 회로 구성 및 전류 경로, (a) Turn on, (b) Turn off
Fig. 2 DPT circuit and current path, (a) Turn on, (b) Turn off



그림 3 DPT 시험 환경
Fig. 3 DPT Experimental setup

DPT 시험 환경은 그림 3과 같으며 DPT 시험 조건은 DC-link 전압 600V, 인덕터 용량 100 μ H, DC 커패시터 용량 900 μ F에서 수행하였다. DPT 시험에서 첫 번째 펄스는 목표 전류까지 전류를 인가하는 역할을 하며 스위칭 특성 분석 및 손실 분석은 두 번째 펄스에서 나타난 파형을 토대로 분석을 수행한다. 그림 4와 그림 5는 IGBT와 SiC 전력 모듈의 두 번째 펄스에서의 스위칭 특성 및 스위칭 손실을 나타낸다. IGBT 모듈의 경우 게이트 전압은 +15V/-15V를 인가하였으며, SiC 모듈의 게이트 전압은 +18V/-2.5V를 인가한다. 게이트 저항은 시험을 통해 RBSOA 영역에 위치하도록 시험하여 선정하였다. 인덕터 전류 600A, DC link 전압 600V에서의 두 전력 모듈의 스위칭 특성과 스위칭 손실에 대한 결과는 표 2와 같이 나타난다.

표 2 IGBT - SiC 모듈 DPT 시험 결과 (@600A)
Table 2 IGBT - SiC module DPT Results

Parameter	IGBT	SiC
Ids-pk	821 A	892 A
Vds-pk	853 V	824 V
Eon	66.81 mJ	39.12 mJ
Eoff	36.24 mJ	33.99 mJ
Trise	87.05 ns	85.29 ns
Tfall	88.21 ns	77.92 ns

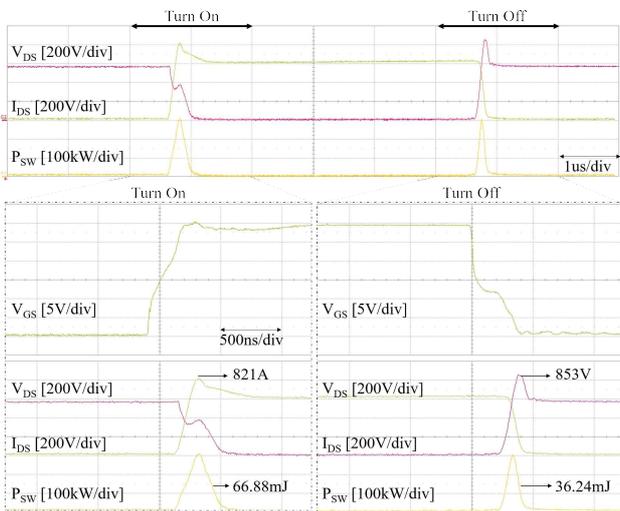


그림 4 IGBT 두 번째 펄스 파형
Fig. 4 Second Pulse waveform of IGBT

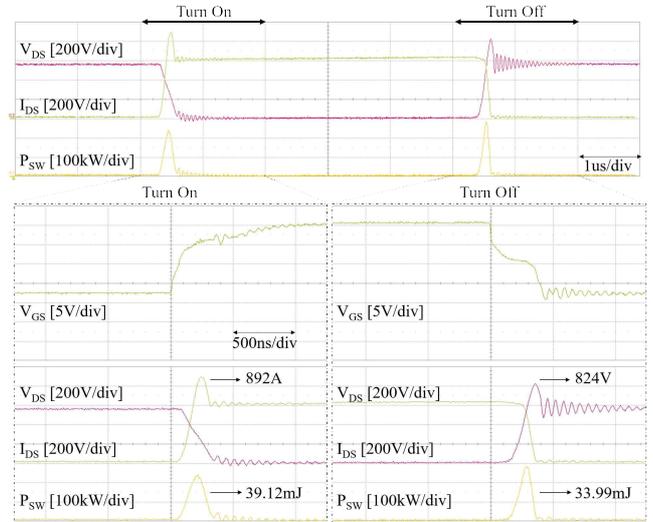


그림 5 SiC 두 번째 펄스 파형
Fig. 5 Second Pulse waveform of SiC

IGBT에 비해 SiC 전력 모듈의 di/dt는 더 빠르게 나타나고 Eon/Eoff 손실 성분 또한 작게 나타난다. 하지만 빠른 스위칭으로 인해 각 부 기생인덕턴스 성분에 민감하므로 전압과 전류의 링잉 성분이 나타나는 것을 확인 할 수 있으며, 다이오드의 리버스리커버리 성분의 전류 또한 IGBT에 비해 높게 나타나는 특성을 보인다.

4. 결 론

본 논문은 EV 추진용 150kW급 인버터 적용을 위한 IGBT와 SiC 전력반도체 모듈의 스위칭 특성 및 손실을 비교한다. 특성 비교를 위해 1200V/600A 사양의 동일 패키지의 전력 모듈을 선정하였으며, DPT를 통해 두 전력 모듈의 스위칭 특성을 분석하고 스위칭 손실을 비교하였다. IGBT에 비해 SiC 전력 모듈의 스위칭은 더 빠르며, 스위칭 손실 또한 적게 나타난다. 하지만 빠른 스위칭으로 인해 다이오드의 리버스 리커버리 전류와 V_{DS}전압의 링잉 성분이 나타나는 것을 확인하였다. 추후 연구 주제로 각 모듈을 결합한 인버터를 제작하여 효율 및 손실을 비교하는 것을 준비하고 있다.

이 논문은 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국 에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (20212020800020, 통합형 최적설계 플랫폼 기반 초고효율 전력변환시스템 개발)

참 고 문 헌

- [1] J. Millán, P. Godignon, X. Perpiñà, A. Pérez-Tomás and J. Rebollo, "A Survey of Wide Bandgap Power Semiconductor Devices," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 29, no. 5, pp. 2155-2163, May 2014.
- [2] S. S. Ahmad and G. Narayanan, "Double pulse test based switching characterization of SiC MOSFET," 2017 National Power Electronics Conference (NPEC), Pune, India, 2017, pp. 319-324.