

배터리팩 시험기를 위한 2단 구성 AC-DC 컨버터의 Si와 SiC의 손실 및 온도 비교 분석

성호재, 최형준, 홍석진, 현승욱, 원충연
성균관대학교

Analysis and Comparison of Switching Losses and Temperature using Si and SiC devices applied in Two Stage AC-DC Converter for Battery Pack Testing System

Ho-Jae Seong, Hyeong-Jun Choi, Seok-Jin Hong, Seung-Wook Hyun, Chung-Yuen Won
Sungkyunkwan University

ABSTRACT

This paper analyzes switching losses, efficiency and temperature depending on Si and SiC devices applied in two stage AC-DC converter. To evaluate the charge and discharge performance and stability of the battery pack, there is a need for a battery pack testing system. To do battery charge and discharge experiment used in battery pack test, A topology, two stage AC-DC converter, has been built. SiC devices more decrease switching losses than that of Si. Also, cooling system was applied in Si and SiC devices. When using SiC devices, it can be confirmed that the size of heat sink is reduced for small loss.

1. 서론

최근 ESS 및 친환경 자동차 시장의 확대에 의해 주목 받고 있는 배터리 팩의 고밀도화 및 고효율화를 위해 기존의 Si IGBT를 대신하여 차세대 전력 반도체라 불리는 SiC 스위치를 적용하였다. SiC 스위치는 Si 스위치 대비 스위칭 손실이 적기 때문에 높은 스위칭 주파수에서 낮은 손실이 발생하며, 낮은 R_{on} 에 비해 작은 chip size, 고온 동작 및 높은 열전도율로 냉각 기구의 소형화가 가능하다는 장점이 있다. 뿐만 아니라 고주파 스위칭으로 인한 절연 변압기 및 입출력의 필터 사이즈 저감이 가능하다는 장점으로 인해 최근 많은 연구가 진행되고 있다.

2. 본론

2.1. 2단 구성 AC-DC 컨버터의 제어 방법

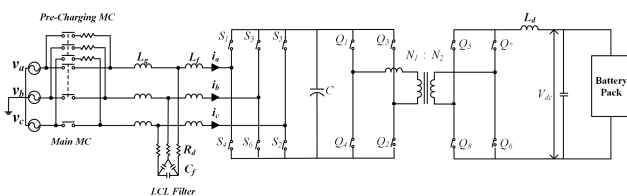


그림 1. 2단 구성 AC-DC PWM converter
Figure 1. Two stage AC-DC PWM converter

그림 1은 2단 구성 AC-DC 컨버터에서 Si와 SiC 기반 소자의 손실 및 온도 분석을 위한 회로도를 나타낸 것이다. 제어 방법은 선간 전압을 센싱 받아 좌표변환과 PLL 기법을 통해 θ 값을 추출 하고, 이를 i_a, i_b, i_c 의 위상과 동기화 시켜준다. 동기화 된 전류 값을 PI 제어기를 거쳐 SVPWM 방식을 사용하여 스위치 신호로 인가하였다. 출력 10kW에서 손실을 분석하기 위해 입력전압 AC380V_{LL}, $f_s=10kHz$, $L_g=120\mu H$, $L_f=500\mu H$, $C_f=5\mu F$, $R_d=0.09\Omega$ 값을 가지는 LCL 필터를 적용하였다. Si 스위치는 I社의 1200V, 100A의 Si IGBT를, SiC는 C社의 1200V, 90A 정격의 SiC MOSFET을 사용하여 비교하였다. 본 논문에서는 Thermal module IGBT를 적용하여 Si와 SiC의 스위치 손실을 시뮬레이션 하였다.

2.2. 2단 구성 AC-DC 컨버터의 제어 블록도

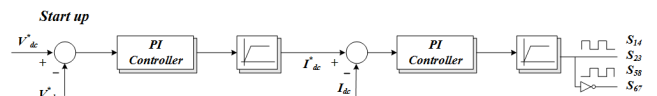


그림 2. AC-DC PWM converter 제어 블록도
Figure2. Control block for AC-DC PWM converter

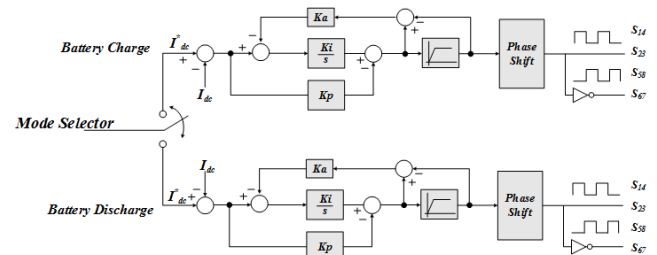


그림 3. Dual Active Bridge converter 제어 블록도
Figure3. Control block for Dual Active Bridge converter

표 1. AC-DC PWM converter 파라미터
Table 1. Parameters for AC-DC PWM converter

입력전압	AC380 V _{LL}	L _g	120μH
스위칭 주파수	10kHz	L _f	500μH
시스템 용량	10kW	C _f	5μF
출력전압	700V	R _d	0.09Ω

2.3 AC-DC 컨버터에서 Si와 SiC 소자의 손실 비교

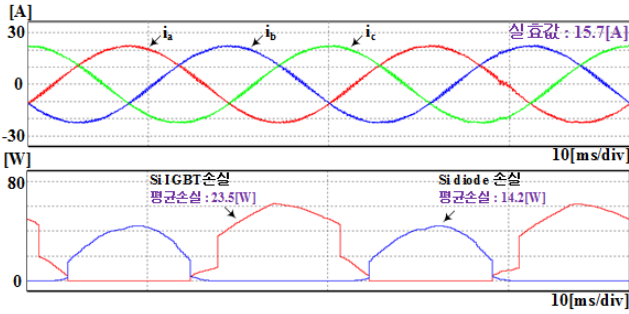


그림 4. Si 스위치 소자를 적용한 AC-DC 컨버터 손실 파형
Figure 4. Losses using Si device applied in AC-DC converter

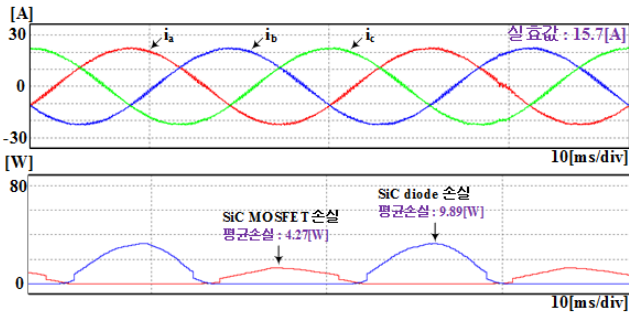


그림 5. SiC 스위치 소자를 적용한 AC-DC 컨버터 손실 파형
Figure 5. Losses using SiC device applied in AC-DC converter

그림 4와 그림 5는 그림 2와 그림 3과 같은 제어 방법을 통해 Si와 SiC 스위치 소자의 손실을 비교한 시뮬레이션 파형이다. SiC 스위치 하나당 Si 보다 스위칭 손실이 약 82% 감소, 다이오드 손실은 약 31% 감소된 것을 알 수 있었으며, 전체 손실은 SiC의 경우 84.96W로 Si의 경우 226.2W 이므로 SiC가 Si 보다 손실이 약 37.6% 감소된 것을 확인 할 수 있었다.

2.4 전력반도체 소자 효율 비교 분석

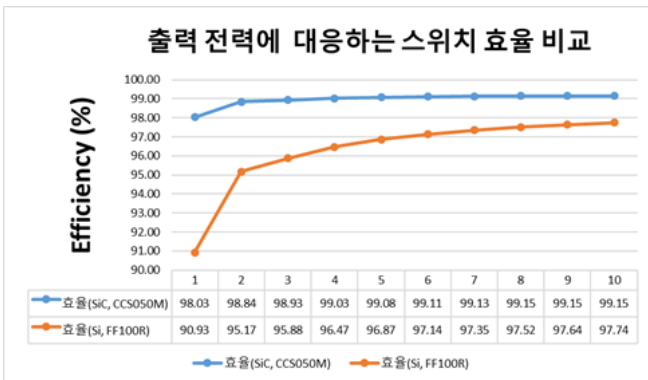


그림 6. 출력전력 변화에 따른 Si와 SiC 소자의 효율 분석
Figure 6. Efficiency analysis according to output power with Si and SiC devices

Si로 스위칭한 컨버터는 저전력 구간에서 스위칭 손실이 크게 작용하여 효율이 낮게 나타나지만, SiC로 스위칭한 컨버터는 시뮬레이션한 모든 출력 전력 구간에서 약 98% 이상의 효

율을 나타내고 있다. 또한 시뮬레이션한 10kW 부하에서 SiC의 효율이 Si 보다 1.41% 더 좋은 것을 알 수 있었다.

3. 전력 반도체 온도 시뮬레이션

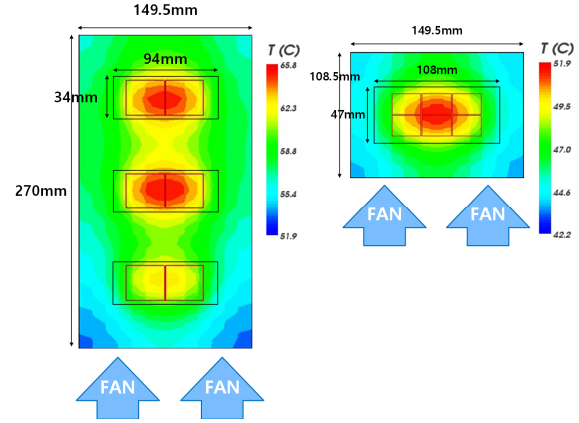


그림 7. Si, SiC 스위치의 온도 시뮬레이션
Figure 7. Temperature simulation with Si and SiC devices

Si 스위치의 경우 손실이 많이 발생하기 때문에 스위치 온도를 낮추기 위해 큰 방열판이 필요하며, SiC 스위치의 경우 상대적으로 손실이 적게 발생하기 때문에 크기가 작은 방열판이 필요한 것을 알 수 있었다. 실제 비슷한 동작온도에서 방열판 길이를 149.5mm로 선정할 경우, Si 스위치는 270mm, SiC 스위치는 108.5mm로 약 2.5배 사이즈 저감이 가능한 것을 확인 할 수 있었다.

4. 결론

본 논문은 Si IGBT와 SiC MOSFET 스위치의 손실 및 효율 분석과 그에 따른 온도 시뮬레이션을 진행하였다. 부하 10kW에서 SiC 소자의 손실이 Si 소자에 비해 36.7% 감소 하였으며, 결과적으로 효율이 약 1.41% 증가 되었다. 스위치 소자의 온도 시뮬레이션을 진행한 결과 비슷한 동작 온도에서 SiC 소자에 필요한 방열판 길이가 Si 소자에 필요한 방열판 길이보다 약 2.5배 사이즈 저감이 가능한 것을 확인할 수 있었다.

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지 기술 평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No.20152020105720)

참고 문헌

- [1] 임정우, 최종목, 조영훈, 최규하 “Si 및 SiC 소자를 이용한 벽 컨버터의 스위칭 손실 및 성능 분석” 전력전자학회 하계학술대회 논문집 2014. 7. p411-412
- [2] 박해찬, 오선호, 김재용, 김일송, “배터리 전력저장장치를 위한 새로운 양방향 컨버터에 대한 기술” 전력전자학회 하계학술대회 논문집 2015. 7. p29-30
- [3] 이용덕, 김수홍, 김병섭, 김형준, 권병기 “FB-PS-ZVS DC/DC converter의 스위칭 손실 분석 및 방열 설계” 전력 전자학회 하계학술대회 논문집 2009. 7. p18-20