

SiC MOSFET을 적용한 전기자동차용 LDC 개발

노용수, 주동명, 현병조, 김진홍, 최준혁
전자부품연구원 지능메카트로닉스 연구센터

Development of LDC for Electric Vehicle using SiC MOSFET

Yong-Su Noh, Dongmyoung Joo, Byong Jo Hyon, Jin-Hong Kim, Jun-Hyuk Choi
Korea Electronics Technology Institute

ABSTRACT

본 논문에서는 SiC MOSFET를 적용한 전기자동차용 LDC의 개발에 대해 다룬다. SiC MOSFET는 기존 Si 계열의 전력 반도체 소자에 비해 고주파 동작이 용이하며 스위칭 손실이 낮아 고효율, 고전력밀도 설계가 가능하다는 장점을 갖는다. 본 논문에서는 SiC MOSFET를 이용한 LDC의 설계에 대해 서술하고, 이를 시뮬레이션 및 실험을 통해 검증하였다.

1. 서론

최근 에너지 효율의 중요성에 대한 중요성이 증대하면서 고효율 전력변환시스템에 대한 요구와 전력변환시스템의 소형화 및 경량화에 대한 설계 이슈가 확산되고 있다. 최근 개발되고 있는 WBG(Wide Band-Gap) 소재의 전력반도체는 기존 Si(Silicon) 소재의 IGBT, MOSFET에 비해 스위칭 손실이 적고, 열 특성이 우수해 고주파 동작이 가능하다는 장점을 갖는다. 따라서 WBG 소재의 전력반도체를 활용해 전력변환시스템을 설계하는 경우, 기존의 Si 소재의 전력반도체에 비해 높은 주파수에서 동작이 가능하기 때문에 수동소자의 소형화가 가능하다. WBG 소재의 전력반도체 중 SiC(Silicon Carbide) 소재의 전력반도체는 높은 전압 정격을 가지고 있으며, 열전도 특성이 우수하고, 고온에서 동작이 가능하기 때문에 자동차 어플리케이션에 적합한 소자이다^[1].

본 논문은 SiC MOSFET를 활용한 전기자동차의 LDC(Low-Voltage DC/DC Converter) 개발에 대해 다룬다. SiC MOSFET의 효율성을 확인하기 위해 PSIM의 Thermal Modeling을 통한 시뮬레이션을 수행하였고, 이를 바탕으로 전력변환부를 설계하였다. SiC를 적용한 LDC 시제품은 실험을 통해 성능을 검증하였다.

2. SiC를 적용한 전기자동차용 LDC

2.1 전기자동차용 LDC

전기자동차용 LDC는 전기자동차의 고전압 배터리로부터 전원을 공급받아 차량 내 전장장비에 저전압 레벨의 전원을 공급해주는 역할을 수행한다. 일반적으로 LLC 공진형 컨버터와 위상천이 풀-브릿지 컨버터 토폴로지가 적용되며, 본 논문에서는 위상천이 풀-브릿지 컨버터를 적용하였다. 전기자동차용 LDC의 주요 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 전기자동차용 LDC의 주요 파라미터
Table 1 Parameter of LDC for Electric Vehicle

파라미터	값	단위
입력전압	V_{in}	700 V_{DC}
출력전압	V_{out}	28 V_{DC}
최대출력전류	$I_{out,max}$	200 A
최대출력전력	$P_{out,max}$	5.6 kW

2.2 하드웨어 설계

위상천이 풀-브릿지 컨버터의 1차 측의 스위치는 C2M0080120D (Wolfspeed)를 적용하였다. C2M0080120D의 정격전압 및 전류는 1200V, 36A($T_C=100^{\circ}C$)이며, 도통저항값은 80mΩ이다. 2차 측 다이오드는 현재 상용화된 100~200A급 다이오드가 없기 때문에 ISOTOP 타입의 STPS200170TVY (STMicroelectronics)를 적용하였다. STPS200170TVY는 2개의 다이오드가 병렬로 구성되어 있으며, 각 다이오드의 최대 순방향 전류는 100A, 정격 전압은 170V이다. 설계된 변압기의 턴-비는 15:1이며, 자화 인덕턴스는 2.2mH, 누설 인덕턴스는 11 nH이다. 선정된 소자를 바탕으로 그림 1(a)와 같이 PCB 아트웍을 진행하였으며, 제작된 사진은 그림 1(b)와 같다. 시제품 변압기 및 출력 필터 인덕터는 그림 2와 같다.

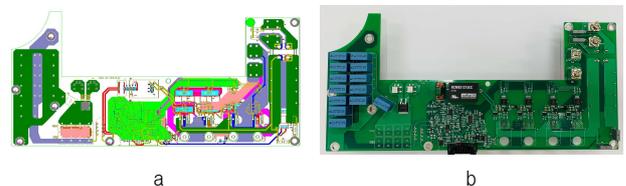


그림 1 kW급 전기자동차용 LDC PCB 아트웍 (a)와 시제품 (b) 사진
Figure 1 PCB artwork and prototype of kW LDC for electric vehicle



그림 2 변압기와 출력 필터 인덕터
Figure 2 Transformer and output Filter inductor

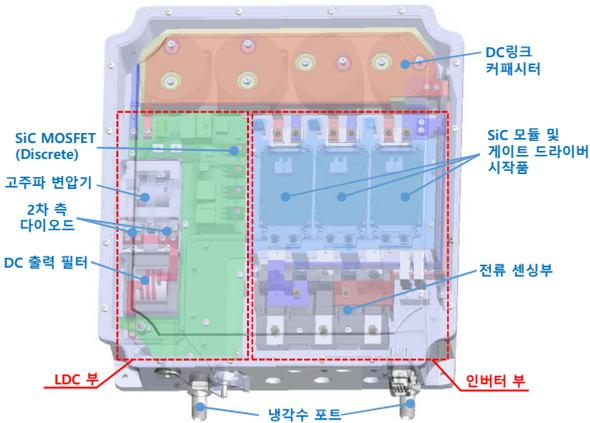


그림 3 버터 LDC의 하
Fi 3 ard are Con i uration o n enter and LDC

2.3 하드웨어 구성

LDC의 하드웨어 구성은 그림 3과 같다. 전체 시스템은 300kW급 인버터와 5.6kW급 LDC가 같은 외함에 구성되어 있는 형태로, DC 링크를 공유하는 구조이다. 5.6kW급 LDC는 인버터의 좌측에 위치하며, 변압기와 출력 필터 인덕터는 방열을 위해 물딩되도록 설계하였다.

3. 시뮬레이션

설계된 파라미터의 동작 및 전력변환 효율을 확인하기 위해 그림 4와 같이 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 PSIM 9.3을 사용하였으며, SiC MOSFET는 Thermal Modeling을 적용하였다. 시뮬레이션 결과, 설계된 변압기, 인덕터, 스위칭 주파수 조건에서 28V, 200A 출력을 확인하였다. 또한, 20% 부하 조건 이상에서는 1차 측 SiC MOSFET는 ZVS로 동작하며, 모델링에 의한 효율은 약 95.16%로 예측되었다.

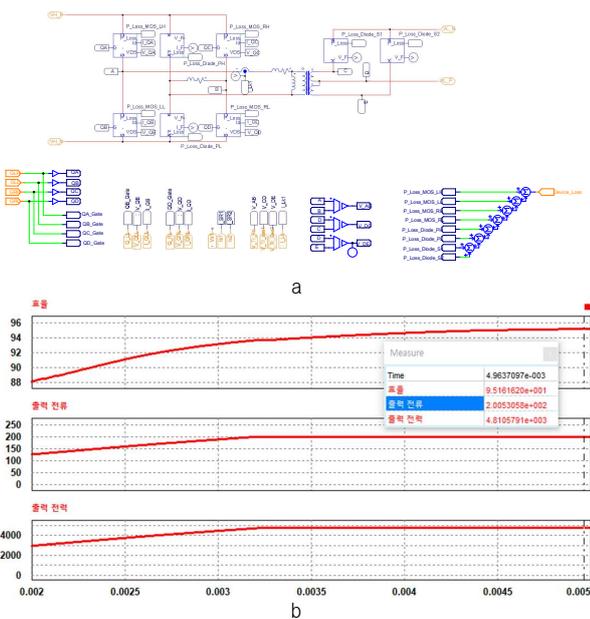


그림 4 a 시 b 파형
Fi 4 a Si ulation Con i uration and b re ult

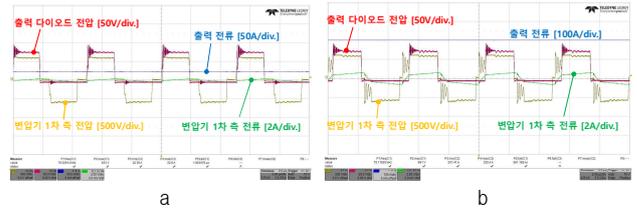


그림 LDC 컨버터 주요 동작 파형 a 2 부하, b 전부하
Fi e a e or o LDC a 2 Load and b Full load



그림 LDC 시작 의 부하
Fi icienc Cur e o LDC Protot pe

4. 실험

제작된 시작품의 성능을 검증하기 위해 실험을 수행하였다. 시스템 입·출력은 DC 전압원과 저항부하 및 전자부하로 구성하였다. 계측은 전력분석기(WT1800), 전류CT(CT1000), 오실로스코프(HDO6104)를 활용하였다. 실험 결과, 정격 10% 이상의 부하부터 93%의 효율을 계측하였고, 70% 부하조건에서 94.3%의 효율을 달성하였다.

5. 결론

본 논문에서는 전기자동차용 LDC의 설계와 하드웨어 구성에 다루고 이를 검증하기 위해 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다. 실험결과, 제작한 시작품은 20% 부하조건에서 ZVS를 만족하며 동작하고, 70% 부하조건에서 최대효율 94.3%를 달성하였다.

이 논문은 산업통상자원부와 한국산업기술평가관리원의 산업핵심기술개발사업 “부피 30%이상 축소가 가능한 초저손실 SiC 기반 그린카용 고밀도 전력변환시스템 기술개발 (No.10080329)”의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고 문헌

[1] Hui Zhang, Leon M. Tolbert, Burak Ozpineci, “Impact of SiC Devices on Hybrid Electric and Plug-In Hybrid Electric Vehicles”, IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 47, No. 2, pp.912-821, 2011, March-April.