

전동기 구동용 SiC MOSFET 인버터의 NEMA 규격 만족을 위한 출력 필터 구조에 관한 연구

백승훈, 조영훈, 조병극*, 홍찬욱*
 건국대학교 전력전자연구실, LS산전*

A Study on the Output Filter Design to meet NEMA Standard for a SiC MOSFET Inverter Fed Motor Drive Applications

Seunghoon Baek, Younghoon Cho, Byung Geuk Cho*, Chanook Hong*
 Power Electronics Lab., Konkuk Univ., LSIS*

ABSTRACT

본 논문은 전동기 구동용 SiC MOSFET 인버터의 NEMA(National equipment manufacturer's association) 규격 만족을 위한 출력 필터 구조에 따른 영향을 분석한다. 구조와 목적에 따라 정현파 필터와 dv/dt 필터를 적용하여 380V, 60Hz, 3.7kW급 유도 전동기를 대상으로 실험을 수행하여 설계한 필터가 NEMA 규격을 만족시킬 수 있을 뿐만 아니라 전동기 누설전류를 감소시켜 효율까지 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

1. 서론

최근 전력전자분야의 연구경향 중 하나는 SiC나 GaN과 같은 WBG(Wide band gap) 전력소자를 전력변환장치에 적용하여 고효율 및 소형화를 달성하는 것이다. 이러한 경향은 산업용 가변속 전동기 구동 분야에서도 동일하게 나타나고 있다.

그러나 WBG 전력소자의 빠른 스위칭으로 발생하는 높은 dv/dt는 전동기의 기생 커패시터를 통하여 누설 전류를 발생시키며 이는 EMI(Electro magnetic interference) 문제 및 전동기 베어링의 소손과 절연파괴를 일으킬 수 있다.^[1] 이에 따라 미국의 NEMA에서는 전동기에 인가되는 최대 전압과 Rise time의 한계값을 제한하고 있다.^[2]

본 논문에서는 WBG 전력소자 중 SiC MOSFET을 이용한 전동기 구동 시스템의 NEMA 규격 만족을 위한 출력 필터를 적용하고 또한 그 구조에 따른 영향을 분석하고자 한다.

2. 출력 필터의 구조

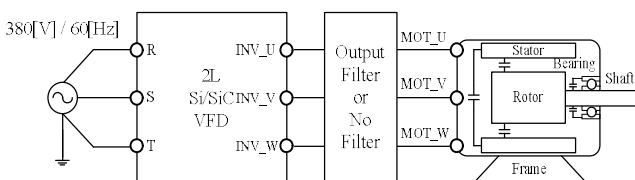


그림 1 인버터 구동 교류 전동기 시스템
 Fig. 1 Typical inverter fed AC motor drive system

그림 1은 본 논문에서 다루고 있는 전체 시스템 구조를 보여주고 있다. 그림에 나타난 것처럼 출력 필터는 인버터와 전

동기의 사이에 위치하게 된다. 본 논문에서 이용한 SiC 인버터의 경우 전동기에 인가되는 전압의 Rise time은 수십 ns의 값을 갖는다. NEMA 규격에서 600V 이하 전동기의 Rise time은 100ns 이상이 되도록 제한하고 있다.^[2] 이를 위한 출력 필터는 구조와 목적에 따라 정현파 필터와 dv/dt 필터로 구분할 수 있다.^[3]

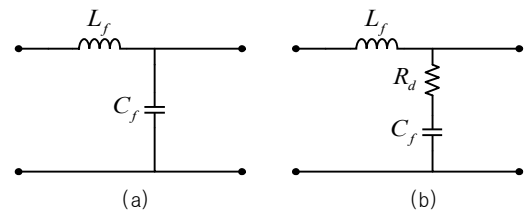


그림 2 (a) 정현파 필터 및 (b) dv/dt 필터 구조
 Fig. 2 Schematic of the (a) sine wave and (b) dv/dt filter

2.1 정현파 필터

그림 2(a)는 정현파 필터의 구조를 나타낸다. 정현파 필터의 공진 주파수는 전동기의 동작 주파수와 스위칭 주파수의 사이에 위치하게 된다. 따라서 인버터의 PWM 성분은 정현파 필터를 통해 제거되고 전동기에는 순수한 정현파만 인가된다. 이는 케이블 길이에 상관없이 전동기에 인가되는 최대 전압을 억제할 수 있을 뿐만 아니라 전동기의 기생 커패시터로 인한 누설 전류의 발생 억제 효과를 기대할 수 있다. 하지만 정현파 필터는 dv/dt 필터에 비해 상대적으로 큰 인덕턴스를 요구하므로 높은 스위칭 주파수를 갖는 시스템에 사용된다.^[3]

2.2 dv/dt 필터

그림 2(b)는 dv/dt 필터의 구조를 나타낸다. dv/dt 필터는 NEMA 규격의 Rise time 만족을 위하여 사용된다. 전동기의 동작 주파수에서 인덕터에 의한 전압 강하를 고려하여 인덕턴스를 선정하고 다음 식(1)과 같이 원하는 Rise time에 따라 커패시턴스를 선정할 수 있다.

$$\tau_{rise} \approx \sqrt{L_f C_f} \quad (1)$$

댐핑 저항에 의해 선정되는 댐핑 계수는 그 값이 커질수록 손실이 커지므로 시스템에 따라 적절한 값을 선정하는 것이 중요하다. 또한 dv/dt 필터의 경우 댐핑 저항으로 인해 스위칭 주파수와 비례하여 필터의 손실이 증가하므로 비교적 낮은 스

위칭 주파수에 사용하는 것이 유리하다.^[3]

표 1 정현파 필터 및 dv/dt 필터 제정수
Table 1 Sine wave and dv/dt filter parameters

정현파 필터 (스위칭 주파수 30 kHz)		dv/dt 필터 (스위칭 주파수 10kHz)	
L_f	280 μ H	L_f	64 μ H
C_f	1 μ F	C_f	2 nF
사용하지 않음		R_f	250 Ω

3. 실험 및 결과 분석

본 논문에서 사용한 SiC 전력소자는 Cree사의 CCS020M12CM2 모듈을 사용하였으며 Si IGBT 비교군으로 Vincotech사의 V23990 P589 모듈을 사용하였다. SiC 모듈의 경우 3상 브리지 다이오드 정류기가 내장되어 있지 않아 Si IGBT 비교군 모듈의 정격과 동일한 다이오드 정류기를 선정하여 파워보드를 구성하였다. 실험에 사용한 출력 필터의 제정수는 표 1과 같다. Si IGBT 모듈의 경우 Rise time은 NEMA 규격을 만족하므로 별도의 출력 필터를 고려하지 않았다. 실험 구성은 그림 3과 같다.

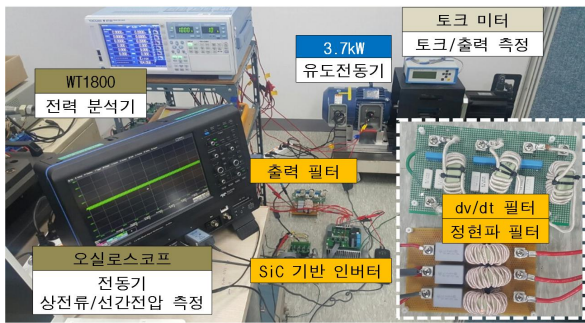
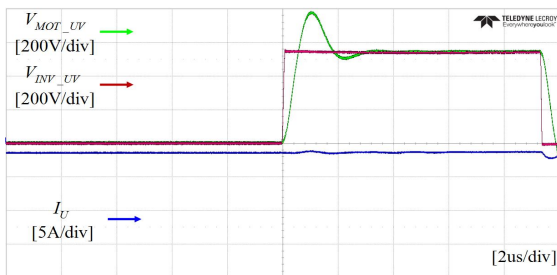
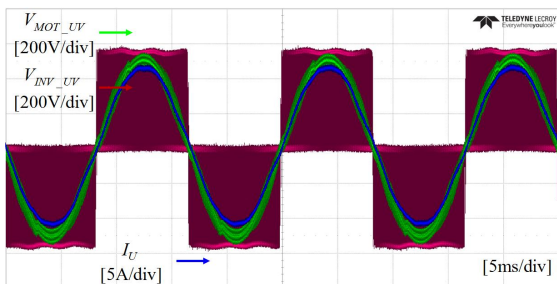


그림 3 실험 구성
Fig. 3 Experimental setup



(a)



(b)

그림 4 (a) dv/dt 필터 와 (b) 정현파 필터 실험 결과
Fig. 4 Experimental result of (a) dv/dt filter and (b) sine filter

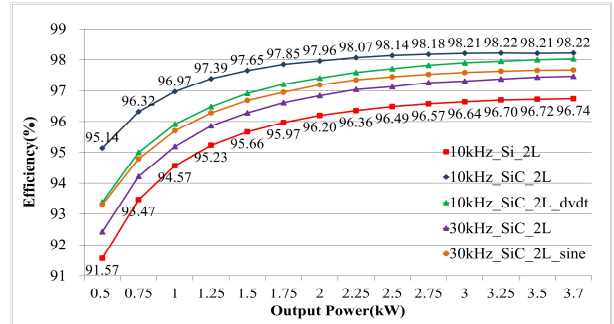


그림 5 Si IGBT 및 SiC MOSFET의 출력 필터에 따른 인버터 효율
Fig. 5 Efficiency results of Si IGBT with no filter and SiC MOSFET with output filter

그림 4(a)와 4(b)는 각각 dv/dt 필터와 정현파 필터를 적용하였을 경우 인버터의 출력 전압과 전동기의 입력 전압을 나타낸다. dv/dt 필터를 적용하였을 경우 전동기에 인가되는 Rise time은 약 37ns에서 약 383ns로 NEMA 규격을 만족한다.

정현파 필터를 적용하였을 경우 전동기에 인가되는 전압은 스위칭 성분인 소거된 기본과 성분만 인가되어 NEMA 규격을 만족하며 또한 케이블 길이가 길어질수록 악화되는 Voltage reflection도 억제할 수 있음을 예상할 수 있다.^[1]

그림 5는 출력 필터에 따른 인버터 효율을 나타내고 있다. SiC MOSFET 인버터는 최대 98.22%로 기존 Si IGBT에 비해 높은 효율을 가짐을 확인할 수 있다. 또한 정현파 필터를 적용하였을 경우 오히려 효율이 향상되었음을 보여준다. 이는 그림 1의 전동기 기생커패시터로 인한 누설 전류의 감소로 인해 효율 향상이 이루어졌음을 예상할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 SiC MOSFET 인버터의 NEMA 규격 만족을 위하여 정현파 필터와 dv/dt 필터를 적용하고 유효성을 검증하였다. 전동기 구동 분야에서 SiC MOSFET 인버터의 경우 짧은 스위칭 시간으로 높은 효율을 기대할 수 있으나 반대로 dv/dt 문제로 인해 누설 전류와 출력 필터의 손실을 간과할 수 없다. 따라서 시스템의 크기와 손실 최적화를 위하여 3레벨 토폴로지에 대한 연구가 진행될 예정이다.

이 논문은 LS 산전의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Erik Persson. "Transient Effect in Applications of PWM Inverters to Induction Motors", IEEE Trans. Industry Applications, Vol. 28, pp.1095-1101, 1992.
- [2] National Electrical Manufacturers Association, *Motors and Generators*, NEMA Standards Publication No. MG1 2003.
- [3] M. Swamy, K. Shirabe, and J. Kang, "Power loss, system efficiency, and leakage current comparison between Si IGBT VFD and SiC FET VFD with various filtering options," IEEE Trans. Industry Applications, Vol. 51, pp.3858-3866, 2015.