

소형 근거리 이동용 전기자동차(NEV)용 10kW급 BLAC 구동인버터 개발

이용균, 김은경, 김선일, 홍찬희, 방량*, 목형수**
브이씨텍, 한양대학교*, 건국대학교**

A development of 10kW BLAC drive inverter for neighborhood electric vehicle

Y.K LEE, E.K KIM, S.I KIM, C.H Hong, Liang Fang*, H.S Mok**
VCTech, Hanyang Univ*, Konkuk univ**

ABSTRACT

This paper deals with 10kW BLAC drive inverter for neighborhood electric vehicle. First it introduces about hardware structure of inverter driven using 72volts battery. Then it explains motor control algorithm. Also performance of BLAC drive system is confirmed through experiments.

는 저압 대전류의 소자가 많이 상용화 되어 있으므로, 가격과 제품의 크기를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 전류의 용량이 크고, 소자의 Rds(on)값을 줄여 인버터 효율을 증가하기 위하여 MOSFET를 병렬로 구성하였다. 또 방열효과를 개선하고 소자의 Lead선의 전류용량의 한계로 제약되는 package limit를 개선하기위해서 Die Product 상태의 MOSFET를 Metal PCB에 실장한 후 Wire Bonding 하는 방법으로 모듈을 제작하였다.

1.서론

국내 및 세계시장에서 무공해차량(Zero Emission Vehicle, ZEV)는 환경문제로 인해 고토협약이후 시장이 급진적으로 팽창하고 있으며, 2004년 이후 일본 도요타와 혼다를 중심으로 하이브리드 전기자동차(Hybrid Electric Vehicle, HEV)를 양산하기 시작하여 자동차시장에 새로운 전기를 마련하고 있다.

또한 지속적인 전기자동차 관련기술의 발달로 다양한 형태의 전기자동차 응용분야가 생성되고 있다. 그 중 약 48~75km/h 미만의 속도를 요하는 근거리용 전기자동차(Neighborhood Electric Vehicle, NEV)가 새로이 떠오르는 틈새시장으로 각광 받고 있다.

영구자석형 IPM 동기전동기 견인모터 시스템은 타 경쟁모터에 비해 회전자 발열이 없으며 효율이 높고 체적 및 중량에 있어 최적이어서 NEV용 견인모터로 적합하다. 영구자석형 IPM 동기전동기 견인모터를 장착한 NEV를 개발할 경우 견인 시스템의 고효율화가 가능해지므로NEV시장에 있어 기술선점 효과를 누릴 수 있다.

본 논문에서는 72V배터리를 사용하는 NEV차량을 위한 10kW급 영구자석형 동기전동기 구동을 위한 인버터의 하드웨어와 모터제어방법에 관하여 기술하였다. 먼저 인버터의 하드웨어에 특징에 관하여 서술하였다. 또 10kW급 영구자석형 동기전동기의 사양과 형상에 관하여 기술하였고, 모터제어 알고리즘에 관하여 설명하였다. 다이나모 부하시험을 통하여 제작된 제어기와 전동기의 성능을 검증 하였다.

2. 인버터 하드웨어

배터리 전압이 72V의 저압 이므로, 인버터 스위치는 저압 대전류에 유리한 소자를 선정하여야 한다. IGBT는 기본 내압이 높은 소자가 주류이기 때문에 전류용량을 만족하는 IGBT로 제작할 경우 제품의 크기와 가격이 상승하게 된다. MOSFET

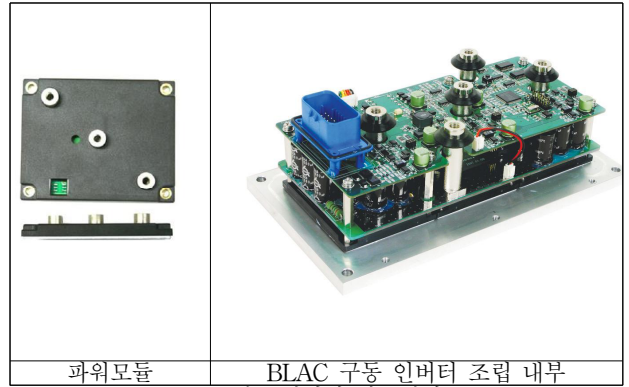


그림1. 인버터 하드웨어

커패시터는 작은 용량의 전해커패시터를 병렬로 구성하여 커패시터의 ESR를 최소화 하였다.

3. 영구자석형 동기전동기

본 논문에서는 정현파구동의 분포권방식의 10kW급 IPM Motor를 개발하였다. 스위칭 주파수를 고려하여 극수를 선정하였고, 극수/슬롯수 조합에 따른 Maximum Winding Factor(W.F.)를 검토하여 슬롯수를 선정하였다. 초기설계 및 전동기 모델링은 공간고조파법을 이용하였다. 자기회로의 최적화 설계를 위하여 표면반응법RSM (Response Surface Methodology)을 이용한 최적화 알고리즘을 사용하였다.

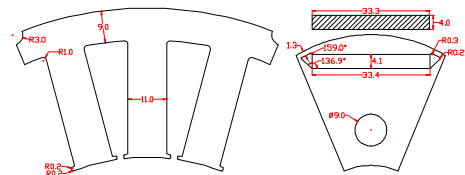


그림 2. 고정자와 회전자의 형상

그림2와 표1은 설계된 모터의 코어형상과 주요사항이다.

10kW급 8극 24슬롯 분포권 모델	
적층길이	120mm
회전자 직경	114mm
전류밀도	14.6Arms/mm ²
저항	4.54mΩ
선간역기전력	16.92V@1000RPM
최대토크	120Nm
최대속도	9000RPM
정격토크	32Nm
정격속도	3000RPM

표 1. 모터주요사항

4. 제어 알고리즘

PM모터를 효율적으로 제어하기 위해서는 MTPA제어와 약자속제어를 해야한다[1]. MTPA와 약자속제어를 하는 방법은 모터의 파라미터를 이용하여 수식을 계산하여 모터의 전류지령을 만드는 방식과 시험이나 해석값으로 제작한 테이블을 사용하여 모터의 전류지령을 만드는 방법이 있다. 그림3과 같이 모터의 Ld, Lq의 인덕턴스 변동이 전류와 위상각의 변화에 따라 변동하게 되므로 보다 정확한 제어를 위하여 인덕턴스의 변동을 반영한 테이블을 사용하였다. 그림4는 모터제어의 블록도이다.

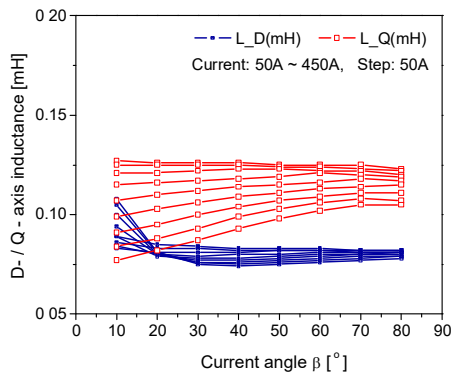


그림 3. 전류크기와 전류각에 따른 인덕턴스

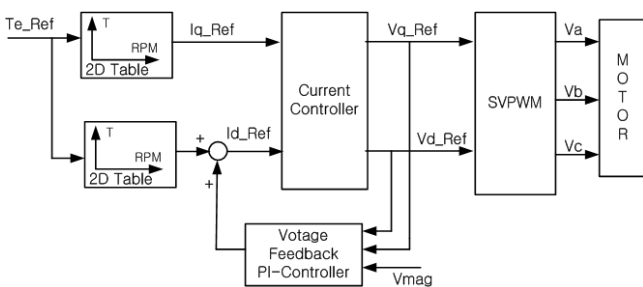


그림 4. 모터제어 블록도

2D Table은 모터설계 해석치를 사용하여 Y축을 토크 X축을 RPM으로 하여 현재 모터속도에서 토크지령을 내기위한 Id_Ref와 Iq_Ref를 가져올수 있도록 200RPM간격, 10Nm간격으로 테이블을 구성하였다. 테이블 사이의 중간 값은 2차선형보간법을 사용하여 테이블의 정확도를 높였다. 그림5는 이차선형보간법의 개념도 이고, 식(1)은 이를 구현하기위한 수식이다. 약자속 제어시에 테이블과 모터의 편차나 배터리 전압이 변동할 경우를 감안하여, 인버터 출력전압을 피드백하여 인버터출력전압이 인버터가 낼수 있는 최대 전압보다 상승되면 d축전류지령을 추가적으로 더해지도록 PI제어기를 구성하였다.

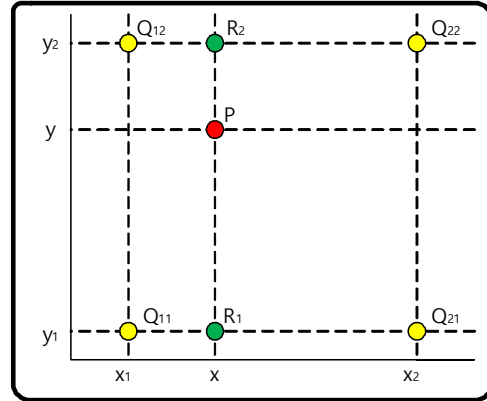


그림 5. 이차선형보간 개념도

$$f(R_1) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{11}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{21}) \quad (1)$$

$$f(R_2) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{12}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{22})$$

$$f(P) \approx \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} f(R_1) + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} f(R_2)$$

5. 실험 및 결론

설계된 모터와 제어기를 검증하기 위하여 다이내모 시험을 진행 하였다. 그림6은 시험세트의 사진이다. 먼저 정격에서 시험격과 3000RPM, 32Nm정격점에서 모터효율 94%를 달성하였다. 최대 토크 시험에서는 모터설계치와 유사하게 전류 439Arms에서 120Nm를 달성하였다. 본 논문에서는 NEV를 위한 10kW급의 모터와 제어기를 제작하였고, 제한한 제어 방법으로 모터를 제어하여 실험을 통하여 성능을 입증하였다. 향후 현재 2D Table이 배터리 전압 변동을 반영하지 못하므로 급격한 배터리 전압변동시 PI제어기의 출력이 커지며 과도특성에 영향을 주므로 테이블을 자속과 토크의 관계[2]로 변형하여 배터리 전압변동이 반영되는 테이블로 변경할 예정이다.

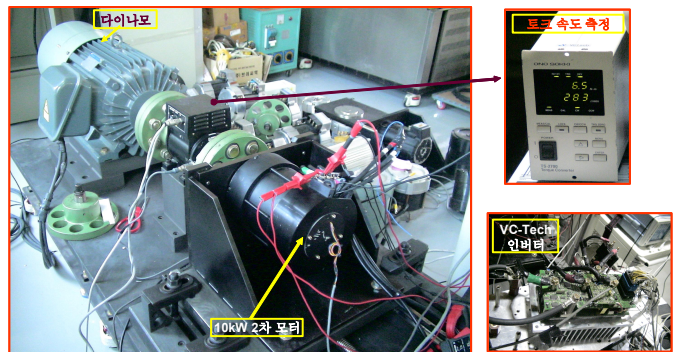


그림 6. 실험 환경

이 논문은 한국에너지자원기술기회평가원이 지원하는 에너지·자원기술개발사업의 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] Shigeo Morimoto, Keita Hatanaka, Yi Tong, Yoji Takeda & Takao Hirasawa "Serbo Drive System and Control Characteristics of salient Pole PMSM" IEEE Trans. On Industrial Applications. pp.338-343, March/April 1993.
- [2] 배본호 "돌극성이 큰 영구자석 교류전동기의 제어에 대한 연구". 서울 대학교 박사학위논문 2003.