

120kW급 하이브리드 전기 차량 구동용 IPMSM 제어기 개발

이재현* 목형수** 이지명* 박래관* 이진주*** 김상민***
 *(주)에이디티 중앙연구소, **건국대학교 전기공학과, ***삼성테크윈

A Development of 120kW Motor Control Unit for Hybrid Electric Vehicles

Jae-Hyun Lee*, Hyung-Soo Mok**, Ji-Myoung Lee*, Rae-Kwan Park*,
 Jin-Ju Lee***, Sang-Min Kim***
 *ADT Co., Ltd., **Konkuk Univ., ***Samsung Techwin

ABSTRACT

본 논문에서는 120kW급 하이브리드 전기 차량용 IPMSM 제어기 개발 사례를 소개 한다. 높은 출력 밀도를 요구하는 하이브리드 전기차량의 특성을 고려하여 개발된 IPMSM(매입형 영구자석 동기전동기)를 대상으로 대전류, 고효율 시스템 구성을 위해 수냉식 MCU(Motor Control Unit)를 개발 하였다. 또한 효율적인 차량 전원 배선 및 냉각 유로 구성을 고려한 전원 분배 기능 및 방열판 설계기법이 적용 되었다. 개발된 MCU를 모의 해석 및 실험을 통해 검증 하였다.

1. 서 론

하이브리드 전기 차량은 내연기관 및 전동기를 동시에 탑재하여 구동하는 동력전달장치를 가지도 있으며, 구동방식에 따라 직렬형과 병렬형으로 구분된다. 병렬형은 내연기관과 전동기로부터 나오는 동력이 차량의 요구동력을 만족하도록 병렬로 조합되며 직렬형은 단지 전동기만으로 차량을 구동시키며, 내연기관은 연료를 전기동력으로 변화시키는 역할을 한다.^[1] Heavy Duty Vehicle 하이브리드시스템의 경우 승용차에 비해 차량구동을 위해 큰 전류를 필요로 하기 때문에 시스템 전압이 크게 300V대와 500V~600V대 시스템이 사용되고 있다.^[2]

본 논문에서는 직렬형 하이브리드 전기 차량 구동을 위해 선정된 IPMSM을 대상으로 120kW급 MCU를 개발 하고 실험을 통해 성능 분석을 실시하였다.

2. 모터제어기의 설계

그림 1은 직렬형 하이브리드 시스템을 나타낸다. 직렬형 하이브리드 전기 자동차(Series Hybrid Electric Vehicle)는 배터리와 전동기에 의해 바퀴를 구동하는 전기자동차가 배터리 용량에 따라 한번 충전으로 주행 가능한 거리가 제한되는 문제를 해결하기 위해 발전기를 추가한 시스템을 말한다.^[2] 그림 1에서 나타난 것과 같이 개발 된 MCU는 각각 전륜과 후륜 차량 구동용 전동기의 운전을 위한 토크 제어를 수행 한다. 이때, 고전압을 배터리로부터 공급받고 순시 적으로 충전 및 방전이 일어나는 특성이 제어기 설계 시 반영 되었다. 또한 고전압에 의한 노이즈를 극복하기 위한 하드웨어 설계가 수행 되었다.

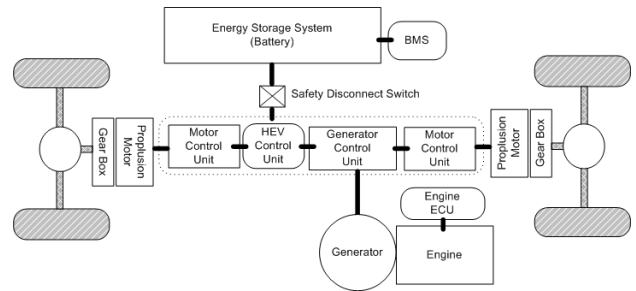


그림 1 직렬형 하이브리드 차량 시스템의 개략도
 Fig. 1 System structure of the series hybrid electric vehicle

2.1 모터제어기의 사양

표 1은 개발된 제어기의 사양을 나타 낸다

표 1 개발된 모터제어기의 주요사양
 Table 1 Specification of the developed MCU

항목	사양
입력전압	550 - 735[Vdc] 18 - 36[Vdc]
최대출력	120[kW] (주변온도 65℃ 기준)
최대운전주파수	800[Hz] (제어 주파수 10[kHz] 기준) 수냉식
냉각방식	(13 - 22[LPM])

2.2 모터 제어기의 구성

그림 2는 모터 제어기의 구성을 나타낸다.

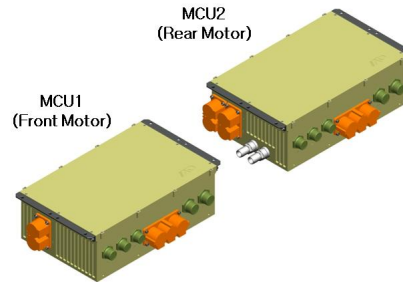


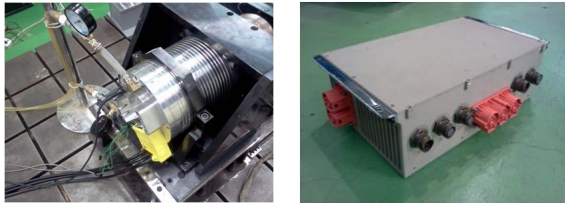
그림 2 모터 제어기의 구성
 Fig. 2 Configuration of MCU

그림 2에서와 같이 개발된 MCU는 차량 배선 및 냉각 라인 구조를 고려하여 2가지 타입으로 설계 되었다. 입력 고전압 및 냉각라인은 후륜 전동기 구동용 MCU에서 전륜 전동기 구동용 MCU로 분배된다.

3. 실험 결과

3.1 실험 세트 구성

그림 3은 실험 세트의 구성을 나타낸다. 개발된 MCU는 순시 120kW급 IPMSM을 대상으로 제어 시스템의 성능 검증을 위해 무부하 및 부하 시험을 수행하였다.



(a) HEV 구동용 IPMSM (b) 개발된 MCU 형상

그림 3 실험세트
Fig. 3 Experimental set

3.2 실험 결과

그림 4는 하이브리드 차량용 IPMSM의 상역기전력 파형을 나타낸다.

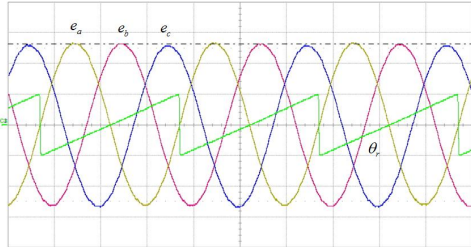


그림 4 1000[rpm]에서의 IPMSM 역기전력 파형
Fig. 4 Back EMF waveform at 1000[rpm]
(e_a, e_b, e_c [20V/div.], θ_r [π /div.])

개발된 MCU의 성능평가를 위해 전류 참조표를 이용한 진향 방식의 약자속 제어 알고리즘 및 최소 거리 파변조 기법이 사용되었으며, IPMSM의 제정수의 변동에 비교적 강인한 능동 저항과 안티 와인드업을 포함한 오차 적분형 비간섭화 전류제어기가 적용 되었다. 또한 고속 운전시 발생할 수 있는 디지털 시지연 보상 기법이 사용 되었다.^[3]

모의 해석은 VHDL-AMS와 C-interface 기능을 이용하여 알고리즘 개발의 신속한 적용 및 규격화, 확장성을 위해 Ansys社의 Simplorer 9.0이 사용 되었다.

그림 5는 전류 참조표 구성을 위해 사용된 전동기의 토크 축 자속 값과 자속 축 자속 값을 유한요소 해석기법으로 설계한 값 실험을 통해 추출한 자속 값을 비교한 것이다. 자속 값은 유사한 경향을 보이나 절대 값에는 다소 차이를 보였다. 이는, 실험 세트의 물리적인 제한 및 전동기 온도에 따른 고정자 저항 값의 변동의 고려가 정확히 반영 되지 않은 결과로 분석된다.

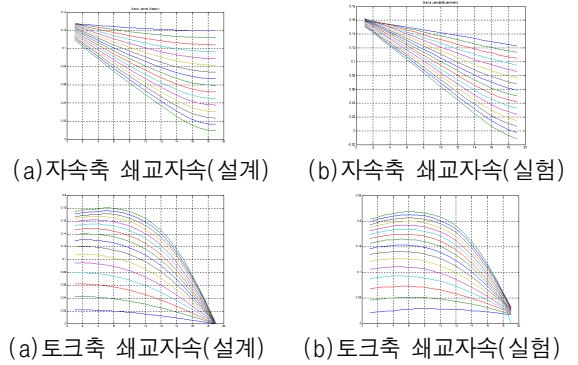


그림 5 쇠교자속값 비교
Fig. 5 Comparison of linkage flux

그림 6는 최대 주파수 운전시와 최대 출력 운전시의 A상 전류 파형을 나타낸다.

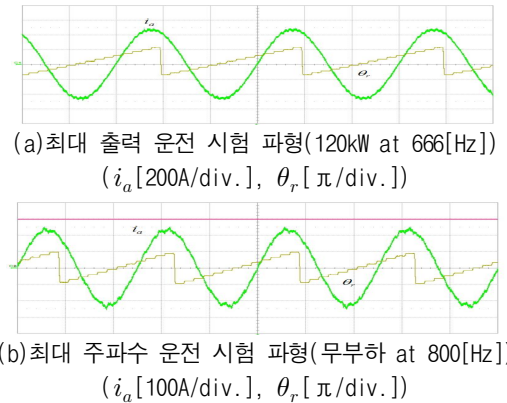


그림 6 최대 출력 및 최대 주파수 운전 시험 파형
Fig. 6 Maximum power and frequency drive experimental waveform

3. 결론

본 논문에서는 120kW급 직렬형 하이브리드 전기 차량 구동용 IPMSM 제어기 개발에 대해 소개하였다. 향후에는 실차 후 성능 평가가 이루어져야 할 것이다.

본 연구는 방위사업청/민군겸용기술센터의 민군겸용 기술개발사업의 일환으로 수행하였음.[09-DU-EN-02. 특수임무 차량용 고기동 하이브리드 추진시스템 개발]

참고 문헌

- [1] 함운영, 송승호, 민병문, 노태수, 이재왕, 이현동, 김철수, “직렬형 하이브리드 버스에서 보조동력장치의 고효율 작동을 위한 제어 알고리즘”, 한국자동차공학회 논문집, 제11권 제5호 pp. 170~175, 2003. 12.
- [2] 최옥돈, “Heavy duty(버스, 트럭) 하이브리드 전기자동차 차량의 기술동향”, 전력전자학회지 제12권 제5호, pp. 24~30, 2007.10.
- [3] 설승기, “전기기기제어론”, 홍릉과학출판사.