

근거리 전기자동차용 10kW BLDC 모터 제어기 개발

차대석^{***}, 김대경^{*}, 신덕식^{*}, 임영철^{**}
전자부품연구원^{*}, 전남대학교^{**}

The Development of 10kW BLDC Motor Controller for Neighborhood Electronic Vehicle

Dae-Seak Cha^{***}, Dae-Kyong Kim^{*}, Duck-Sick Shin^{*}, Young-Cheol Lim^{**}
Korea Electronics Technology Institute^{*}, Chonnam National Univ^{**}

ABSTRACT

최근 화석연료의 연소로 인해 발생하는 이산화탄소에 의한 환경오염이 크게 대두가 되고 있으며, 특히나 내연기관 자동차의 배출가스는 이산화탄소의 배출량이 매우 높은 실정이다. 따라서 정부에서는 친환경자동차 분야를 하나의 성장사업으로 선정하였으며, 이에 대한 많은 연구 개발이 진행 중에 있다. 본 논문에서는 출퇴근용으로 사용할 수 있는 근거리 전기자동차용 10kW급 BLDC 모터 제어기 개발에 대하여 제안을 한다. 제안된 근거리 전기자동차용 10kW급 BLDC 모터 드라이브 제어기는 한정된 공간 및 배터리 전원에서도 고평크, 고평출력, 고평효율, 경량화의 장점을 가지도록 개발을 하였다. 또한, BLDC 모터는 회전자 위치 정보가 필수적으로 요구되기 때문에 다양한 위치 센서를 사용할 수 있도록 홀센서, 엔코더, 레졸버를 사용할 수 있도록 모터제어기를 개발 하였다. 제안된 방식의 타당성 검증을 위해 PSIM을 이용하여 시뮬레이션 수행하였으며, 10kW급 BLDC 모터 드라이브 제어기를 제작하여 성능을 검증하였다.

1. 서론

본 논문에서는 일반 자동차와는 달리 직장인들이 일반적으로 출퇴근이 가능한 근거리용 전기자동차에 적합한 모터 제어기의 개발을 목표로 한다. 기존에 전기자동차용으로 주로 사용된 직류모터 대신에 고평효율이며, 유지보수가 적은 BLDC 모터를 적용하였다. 그러나 BLDC 모터는 직류 모터와는 달리 회전자의 위치 검출이 필수적으로 요구되며 홀센서나 엔코더등 위치검출 센서를 추가로 부착하여 사용해야 한다.^[1] 근래에는 재료의 원가 절약 및 위치 센서를 사용하지 못하는 경우에 일부 센서리스 구동 방식을 이용하고 있으나 저속 운전영역의 위치 검출의 문제, 초기 기동 시 강제 정렬의 문제, 동기 가속 후 센서리스로 전환시의 불안전 동작등 센서리스 운전의 여러 문제점으로 인해 자동차 분야와 같이 고신뢰성, 고성능이 요구되는 적용분야의 경우, 센서리스 구동 방식은 주로 적용하지 않고 있는 실정이다.^{[2][3]} 본 논문에서 제안한 근거리용 전기자동차 모터제어기의 경우도 센서리스 구동보다는 센서를 이용한 제어 방식을 채택하고 있다. 본 연구에서는 홀 센서, 엔코더, 레졸버를 사용할 수 있도록 회로를 구성하여 모터 드라이브 제어기의 성능을 평가하였다. 제안된 방식에 대하여 타당성의 검증을 위하여 PSIM을 이용한 시뮬레이션을 수행하였고 시뮬레이션 데

이터를 기반으로 실제 모터제어기의 설계 및 제작하여 효율 및 성능을 검증하였다.

2. 전기자동차용 BLDC 모터 제어기

2.1 하드웨어 구성

근거리 전기자동차용 10kW BLDC 모터 드라이브 제어기의 구성은 그림 1과 같이 나타낼 수 있으며 설계사양은 표 1과 같다.

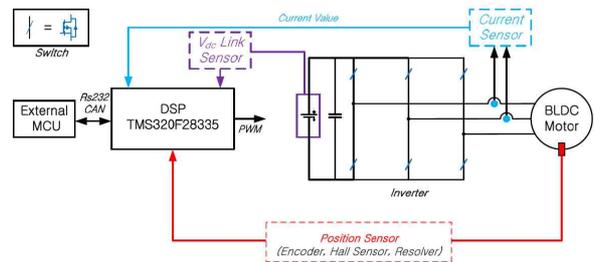


그림 1 BLDC 모터 제어기 시스템 구성
Fig.1 BLDC Motor Controller system composition

표 1 BLDC 모터 제어기 설계 사양
Table 1 BLDC Motor Controller Design Parameter

Parameter	Value
입력전압	DC 300V
순시/정격 전류	200A/100A
PWM 방식	10kHz/후단부 유니폴라 PWM
제어방식	구형파 제어
보호회로	과전류, 과전압, 저전압, 과열
Processor	DSP TMS320F28335
IPM	PM300CVA060 (Mitsubishi)

2.1.1 디지털 제어부 구성

디지털 제어부는 내부에 AD Converter, PWM, Timer를 적용하여 모터의 속도 제어 및 Feedback PI 제어를 구현하였고 부동 소수점 연산이 가능하도록 Floating-Point Unit이 탑재되어 있는 TI사의 TMS320F28335를 사용하였다.^[4] 회전자 위치 검출을 위해 홀센서, 엔코더, 레졸버 회로를 구성하였고 노이즈 특성의 개선을 위해 포토커플러를 사용하였다. 전압의 검출을 위해 DC Link단의 전압을 AD Converter에서 검출하도록 하였으며, 그 외에 인버터 회로부에서의 과전압, 과전류, 저전압, 과

열 등의 Fault 신호를 PDP 인터럽트로 입력 받아 BLDC 드라이브를 보호할 수 있도록 S/W를 구현했다.

2.1.2 인버터 회로부

BLDC 모터를 구동시키기 위한 인버터는 IGBT 및 보호회로가 적용되어 있는 Mitsubishi사의 PM300CVA060 IPM을 사용하였으며, IPM의 사양은 다음 표2와 같다.

표 2 Intelligent Power Module 사양
Table 2 Intelligent Power Module Specification

Parameter	Value
Peak 입력전압	DC 600V
Peak 전류	300A
최대 스위칭 주파수	20kHz
보호회로 기능 내장	과전류, 과전압, 저전압, 과열
동작온도	-20 ~ 150°C

2.1.3 시뮬레이션

BLDC 모터의 시뮬레이션은 Powersimtech사의 PSIM 을 이용하였다. 그림 2에서와 같이 IGBT 스위칭 소자 6개를 이용하여 Six-Step 인버터를 구성하였으며, PSIM 라이브러리에서 제공되는 BLDC 모터 블록 및 DLL 블록을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션의 파라메타 값은 표3과 같다.

표 3 시뮬레이션 파라메타
Table 3 Simulation Parameter

Parameter	Value	Unit
부하	정격	N·m
	24	
정격속도	4000	rpm
최대속도	5000	rpm
DC Link 전압	300	V _{dc-link}
역기전력상수	20/25	V _{rms} /V _{peak}
상 저항	9	mΩ
상 인덕턴스	0.245	mH
극 수	8	극

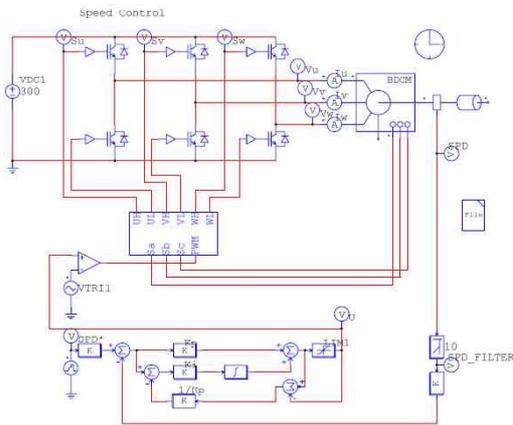


그림 2 PSIM을 이용한 BLDC 모터 제어기 시뮬레이션
Fig.2 BLDC Motor Simulation Using PSIM

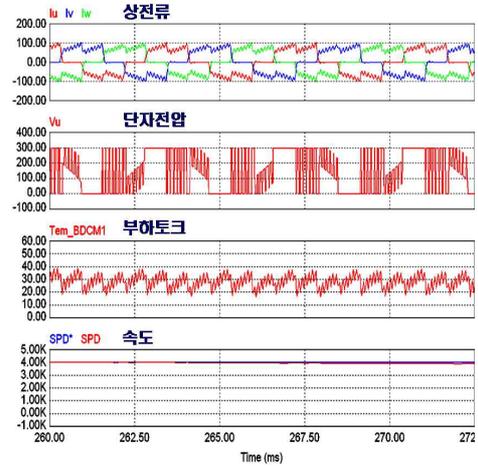


그림 3 정격부하(24N.m)의 시뮬레이션 결과
Fig.3 Simulation Result of rated Load

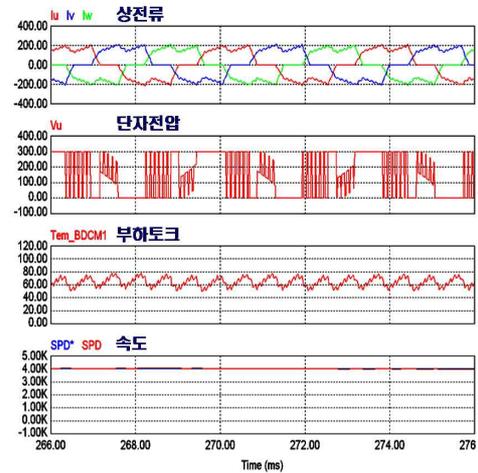


그림 4 최대부하 (61N·m)의 시뮬레이션 결과
Fig.4 Simulation Result of Maximum Load (61N·m)

그림 3은 정격속도 4000rpm, 24N·m 부하에서의 시뮬레이션 파형으로 모터의 상전류가 60A_{rms}임을 알 수 있다. 그림 4는 정격속도 4000rpm, 최대 부하 61N·m. 일 때의 시뮬레이션 파형이며 모터의 상전류가 135A_{rms}임을 알 수 있다.

2.3 시험 및 결과 고찰

그림 5는 제안된 근거리 전기자동차용 10kw BLDC 모터 제어기의 타당성 검증을 위한 부하시험을 나타낸다.

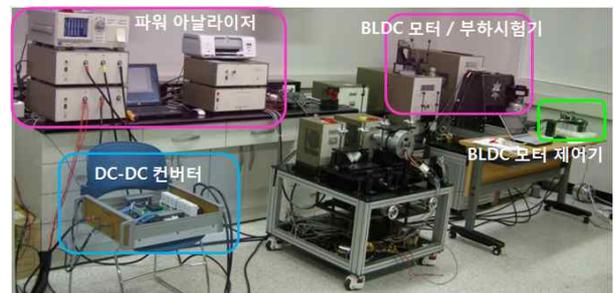


그림 5 10kw BLDC 모터 및 제어기 부하 시험
Fig.5 10kw BLDC Motor & Controller load test

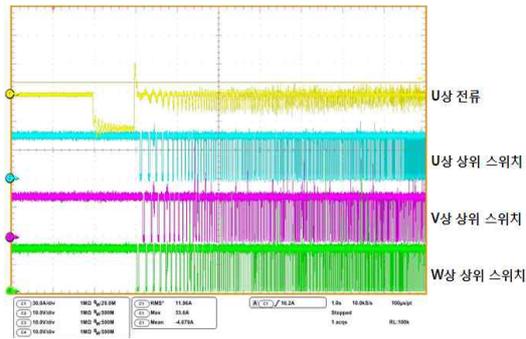


그림 6 기동전류 및 각 상 스위칭 파형
Fig.6 Starting Current & Phase switching waveform

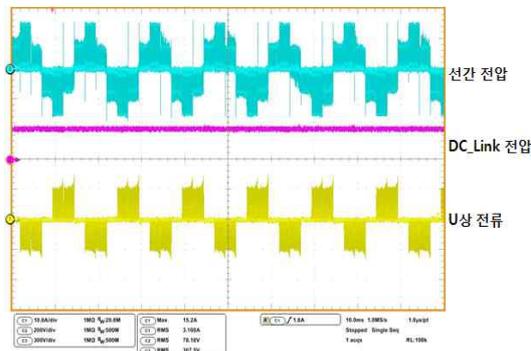


그림 7 선간 전압 및 상 전류(1000rpm, 무부하)
Fig.7 Line voltage, Phase current (1000rpm, No load)

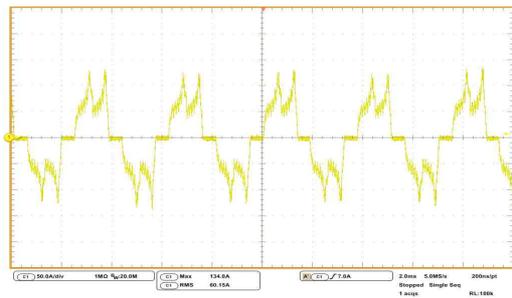


그림 8 제어기 상전류 (4000rpm, 25N·m)
Fig.8 Controller phase current (4000rpm, 25N·m)

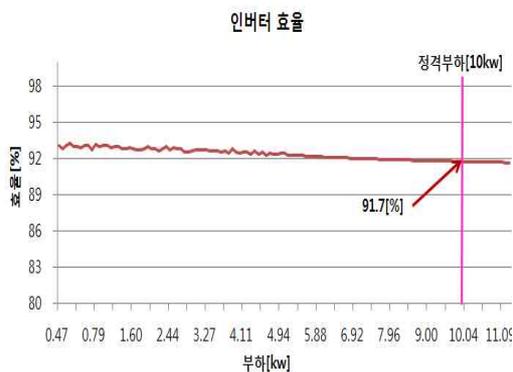


그림 9 BLDC 모터 제어기 효율 곡선
Fig.9 BLDC motor Controller efficiency curve



그림. 10 BLDC 모터 및 제어기의 토크, 속도, 효율 특성
Fig.10 Torque, speed, efficiency of BLDC Motor & Controller

그림 6에서 모터 초기 기동 시 기동전류와 각 상의 스위칭 파형을 나타내며 초기 강제 정렬 구간에서의 기동전류는 최대 33A_{rms}가 흐름을 알 수 있다. 그림 7에서는 1000rpm 무부하 운전 시의 DC-link단의 입력 전압과 선간 전압 및 상 전류 파형을 확인 할 수 있으며, 그림 8에서는 4000rpm의 속도로 구동 시 정격부하 25N·m의 모터 상전류 실험 파형을 나타낸다. 그림 9는 모터 제어기의 부하 시험을 통하여 효율을 측정된 결과로 최대출력 10kW부하조건에서 91.7% 임을 확인 하였다. 그림 10은 BLDC 모터 및 제어기의 토크, 속도, 효율특성을 나타낸 것으로 모터 제어기의 전체적인 특성을 알 수 있다.

3. 결론

근거리 전기자동차용 10kW 모터 제어기를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 알고리즘을 검증하였고 실제 제어기의 설계 및 제작을 수행하여 모터 제어기의 효율 및 성능의 우수함을 확인하였다. 향후 고정밀의 위치 검출과 속도 제어를 위해 레졸버로 대체하여 BLDC 모터를 구동시키는 연구가 좀더 필요하며, 기존의 BLDC 모터를 사용하던 것을 매입형의 BLAC 모터를 사용하여 고정밀 제어를 위한 벡터 제어 알고리즘 및 에너지를 재활용할 수 있는 회생 제동 시스템에 대한 연구가 좀더 필요하다.

본 논문은 지역전력기술개발사업의 "20kW급 다중 동력시스템용 매입식 전동모듈 구동을 위한 고효율 DC-DC컨버터 및 드라이버 개발" 과제의 지원으로 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] 이재환, 김호경, 문형태, 이성택, 공영문, 김기남, "전기자동차용 BLDC-MOTOR 제어기에 관한 연구", 한국자동차공학회 추계학술대회, 1994, pp. 255 - 260.
- [2] Guillermo A. Magallan, Cristian H. De Angelo, Guillermo Bisheimer and Guillermo Garcia, "Neighborhood Electric Vehicle with Electronic Differential Traction Control", Proceeding of the IEEE, 2008, pp. 2757 - 2763.
- [3] 최옥돈 "전기자동차 추진시스템 개발" 전력전자학회지, vol. 5, no. 2. April, 2000, pp. 27 - 33.
- [4] Texas Instruments, "TMS320F28XX DSP Controllers", Reference Guide, 2005