

전후륜 자동절환기능을 갖는 2륜 전기오토바이용 모터 드라이버 개발

논 문
59-4-9

Development of Automatic Transferring Motor Driver for a Two-Motors-Driven Electrical Scooter

정 대 원*
(Dae-Won Chung)

Abstract - We developed to have an automatic transferring function of a two-motors-driven electrical scooter for women or seniors to use conveniently it since it has been previously to operate it in manual only. The function would be implemented by using master and slave micro-control units(MCU) in the system with the given input and output signals. The simulation and test of the system results show that the transition conditions of either higher accelerating speed and/or higher torque are demonstrated at the worst conditions, which means that the transition points might be set either at the 70% of accelerating speed or from the 100% of load torque. The developed equipment is very useful and has good performance in the real test and would be used for top brand and might be applicable to any other types of green cars.

Key Words : Front-Rear Wheel Automatic Transferring, 2-Wheel Driven Motorcycle, Electrical Motor Driver, Bumpless Transfer, Master-Slave Controller

1. 서 론

최근에 세계 각국의 '저탄소 녹색성장' 정책추진과 대기 가스 배출 규제와 맞물려 화석 연료형 차량들은 그린카로 대표되는 '친환경적 전기자동차'로 변모하여 그린카 형태의 개발이 가속화되고 있다. 근래에 각광을 받고 있는 하이브리드형 전기자동차(HEV), 연료전지자동차(FCV), 전기자동차(EV)의 출현이 대표적인 예이며, 그린 카는 주로 4륜 승용차를 대상으로 비약적인 발전을 거듭하는 가운데 기존의 레저용 ATV 차량과 스쿠터, 오토바이 등도 덩달아 가솔린 엔진에서 전기 축전지(연료전지)를 이용한 전기 모터구동 전기차량으로 변모하고 있다. 특히, 고효율 영구자석 전동기의 등장으로, 유도전동기 및 벡터제어 컨트롤러와 함께 소형구동 운반 장치로서 자전거, 스쿠터, 골프 카, 휠체어 분야에도 많은 영향을 미쳐 이미 유럽을 비롯하여 세계 각국은 전동구동에 의한 제품시장이 형성되기 시작하고 있다. 이러한 기술은 전기자동차 기술을 활용함으로써 제품성능개선이 상대적으로 용이하여 자동차에 비해 빠른 속도로 기술개발이 이루어지고 있는 점에 비추어 급속도로 발전할 전망이다.[1]

2륜형 레포츠 차량은 기존 휘발유엔진과 달리 앞뒤 바퀴에 2대의 모터를 장착하여 모터 부하상태에 따라 평탄한 길

주행과 속도가 낮을 경우에는 1대의 후륜 모터로 구동한다. 이와 반대로 경사길 혹은 Off-Road와 같이 부하토크가 과중하거나 고속 주행시에는 전,후륜 2대의 모터를 동시에 구동함으로써 각 모터용량을 줄이고 축전지 전류소모량을 최소화 하고 있다. 그렇지만, 전후륜 모터의 선택은 운전자가 차량의 운전 상태에 따라 수동으로만 앞뒤 바퀴모터를 선택하고 있어 운전자에게는 불편함과 최적상태 운전이 어려운 상태로 이에 대한 개선이 요구되고 있다. 또한 2륜 레포츠 차량의 모터 드라이버 회로설계측면에서 큰 부하전류로 인해 드라이버(IPM) 소자의 발열처리 문제가 매우 어려운 애로기술 중의 하나이며, 특히 모터 1대 운전에서 2대로 전환시 기동전류의 증대로 인해 전력소자가 파괴되는 사례가 빈번히 발생하여 전기차량의 신뢰성 향상에 큰 예로사항으로 작용한다. 또한 Off-Road 상태에서의 자동차 축에 걸리는 토크의 변화가 매우 심하고 이로 인해 전동기 부하(차량의 구동 토크)의 상태변화가 매우 많아서 동적안정도를 찾기가 매우 어렵다. 즉, 전기차량에 비해 모터 드라이버에서 요구되는 성능조건은 훨씬 까다롭고 높은 신뢰성이 요구된다[2].

본 논문에서는 이와 같이 까다로운 설계조건을 만족시키고 노약자를 비롯한 여성운전자에게도 보다 편리한 기능을 부여함으로써 전기 스쿠터 사용의 편리성을 제공하기 위해 2륜구동 전기 스쿠터의 전후륜 자동절환 기능을 갖는 모터 드라이버 개발사례를 중심으로 주요 기술적 요소와 성능 평가결과에 대하여 제안한다.

* 정 회 원 : 호남대학교 전기공학과 교수

E-mail : dwchung@honam.ac.kr

접수일자 : 2010년 2월 25일

최종완료 : 2010년 3월 28일

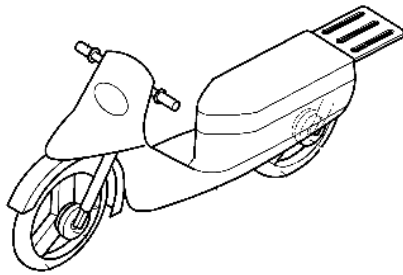


그림 1 전기 스쿠터 모형
Fig. 1 Figure of Electric Scooter

2. 모터 드라이버 주변회로 설계

2.1 전후륜 자동절체의 개념

전후륜 모터 자동절체 기능은 2륜 레포즈 전기차량 모터의 전 회전영역에서 최소한의 전력소모량으로 사용하기 위해 2대의 BLDC 모터를 사용한다. 다시 말해, 저속과 고속 주행용 2단 자동변속기를 내장시킴과 동시에 차량 주행에 적합한 변속 및 모터제어 시스템을 소프트웨어 적으로 구현하는 것으로, 2단 자동전환 시스템을 내장한 BLDC 모터 제어시스템을 갖는다. 그림 2에서 자동절체 기능의 개념을 나타내고 있다. 즉, 정상운전 중에 일정속도 이상이 요구되거나 일정 토크 이상이 요구될 경우에 부하 토크 및 부하 속도에 따라 자동적으로 후륜모터와 전륜 모터 상호간 절환이 자동적으로 이루어지게 한다. 이 때 두 바퀴 모터에서 기계적 요소와 전기적인 요소에서 Bumpless Transfer가 되도록 해야 한다.

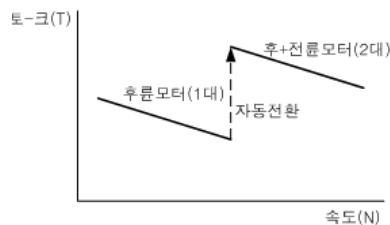


그림 2 자동절환 속도-토크 곡선
Fig. 2 Auto-Transferring Speed-Torque Curve

2.2 모터 및 드라이버의 성능요건

이를 위해 요구되는 각 부품별 성능요구 조건은 다음과 같이 정리된다.

(1) 모터 성능요건

- 36V, 500W급 BLDC 모터 2대로써 1,600rpm에서 20.0N.m 이상 토크 발휘
- 고효율(90%)화 모터 설계
- 스쿠터 앞뒀 바퀴(휠) 내부에 장착이 가능하도록 기존 모터에 비해 10%이상 축소된 외형과 Outer Rotor형 모터 채택
- 모터는 18슬롯, 24극의 BLDC 모터를 사용

(2) 모터 드라이버 성능요건

- 후륜 모터구동 ↔ 전륜 모터구동의 자동전환 기능에 의한 Bumpless Transferring와 순간적인 돌입전류 상승에 내구성이 있을 것
- 구동 안정성을 갖으면서 정격 전류 및 과부하 내력을 가질 것

(3) 컨트롤러 성능요건

- 모터제어 및 구동신호를 발생하는 고유기능
- 모터속도 제어를 위한 속도측정 신호를 홀센서 신호를 이용하여 소프트웨어적으로 처리
- 후륜 ↔ 전륜 모터구동의 자동절환 기능
- 회생 브레이크 동작을 위한 제어설정 최적화
- 모터의 전류를 측정하여 모터에 주어지는 부하 정도를 연산하고, 예정된 전류 값에서 자동 전환 시스템에 시그널을 전달
- 전동 시스템에 공용으로 사용되는 배터리 잔량 시그널, 회전수 인지, 브레이크 신호 인식, 악셀레이터 신호 인식 등 기능 내장

2.3 회로 설계의 주요 고려사항

이러한 성능요건을 만족시키기 위해 설계에서 고려된 주요한 기술요소는 다음과 같다.

- BLDC 모터의 영구자석 자성체로 출력밀도를 높이기 위해 잔류자속밀도가 높고 보자력이 크며, 온도계수가 낮은 희토류계의 네오디뮴(NdFeB) 자성체료를 사용한다.
- 모터의 철심재료는 모터 효율을 높이기 위해 3차원적으로 등방성이며 고주파 와전류손실이 적은 연자성분말 철심을 사용한다.
- 감속기를 사용하지 않고 차륜 바퀴를 직접 구동방식을 채택한다.
- BLDC 모터 드라이버 전용 마이콤(Microchip사 30F4012)[3]를 적용하며, 전용 소프트웨어 개발도구를 활용하여 개발한다. 필요시 사용자가 소스 프로그램을 손쉽게 변경 가능한 구조와 방법으로 설계한다.
- 부하 속도 및 토크 검출을 위해 전류센서 및 속도센서 루프를 설계하되, 속도센서는 홀소자 센서 입력신호를 활용하여 연산한다.

(1) MCU 하드웨어 설계 요소

전후륜 구동모터를 위해 2개의 마이콤 MCU를 사용하였으며, 토크 제어를 위해 전류센서를 사용하였으며, 모터 속도측정 신호와 BLDC 모터의 6-Step 스위칭을 위해 자극 위치검출 Hall Sensor를 사용한다. 마스터 MCU와 슬레이브 MCU간에는 UART 통신을 통해 상호 필요한 데이터를 교환한다. 그림 3에서 모터 드라이버의 주요 구성도를 나타내고 있다.

모터속도 검출을 별도의 속도센서를 사용하지 않고 인버터 스위칭소자에서 필요한 Hall 소자 신호를 이용함으로써 속도센서 소자를 줄이는 효과와 신호의 복잡성을 피하였다.

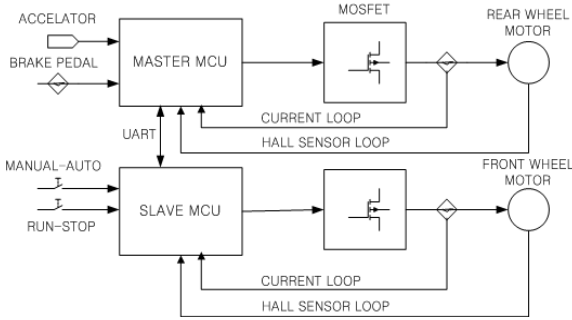


그림 3 2륜구동 모터 드라이버 구성도
 Fig. 3 Motor Driver Configuration of 2 Wheels Driven Electric Scooter

(2) 홀소자와 속도검출

홀센서의 기본구조는 그림 4에서 보여주는 바와 같다. 즉, 도전을 σ 인 물질을 자속밀도 \vec{B} 의 자장 내에 넣어 물질에 \vec{B} 와 수직으로 전류밀도 \vec{J} 를 흘리면 \vec{J} 및 \vec{B} 의 수직방향으로 전계 \vec{e} 이 발생한다. 그림에서와 같은 구조의 시편에 자계가 형성될 때 전자나 양공(hole)이 외부자기장에 의하여 로렌츠의 힘을 받게 되어 시편 양단에 전압(홀전압)이 발생하며, 홀전압 V_h 와 자기장 B 와의 관계는 $V_h = K I_c B$ 이며, K 는 감도상수[mV/mA/KG], I_c 는 제어전류[A], B 는 자속밀도[G]를 나타낸다[4].

홀소자 센서는 원래 브러시리스 전동기의 회전자 영구자석의 자극 위치를 검출하기 위해 사용된다. 즉 회전자의 회전에 따라 자극의 회전각의 변화를 홀소자 센서를 이용하여 검출한다. 회전자 이동에 따른 홀소자 센서 신호파형을 그림 5에서 나타낸다. 그림에서와 같이 A, B, C상으로 배치된 홀소자는 회전자의 회전각에 따라 전기각 360도의 주기로 1상(A상 기준)의 입력신호를 캡처하여 이 신호를 이용하여 회전자의 기계적 회전수를 연산한다. 즉,

$$\text{회전자 회전수(rpm)} = \text{홀소자 1상 캡처 카운터수} \times 120 \div \text{극수}$$

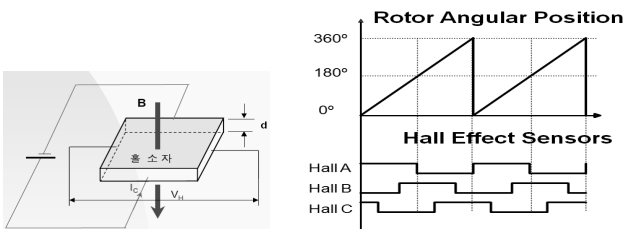


그림 4 홀센서 측정원리
 그림 5 회전각과 홀센서 파형
 Fig. 4 Hall Effect Sensor
 Fig. 5 Hall Sensors Signal with Rotor Angular Position

(3) 축전지 방전상태 측정회로

전기 스쿠터는 축전지에 저장된 전기 에너지를 이용하므로 축전지 잔류용량을 정확히 검출하여야만 축전지 수명을 연장하고 전기장치를 안정되게 사용할 수 있다. 이를 위해 축전지 잔류전압 측정에 의한 잔류용량의 예측이 필요하다.

그림 6에서 축전지 종류별로 축전지 방전에 따른 셀당 전압을 나타낸다. 그림에서와 같이 연축전지의 경우에 거의 95% 방전에 다가왔을 때 급격히 단자전압이 하강하고 100% 방전된 상태가 된다. 100%방전되기 이전에 반드시 재충전하여 사용하여야만 축전지 수명을 보장할 수 있다. 따라서 축전지 셀 전압 측정에 의한 방전상태를 정확히 예측하는 기술이 매우 중요하다.

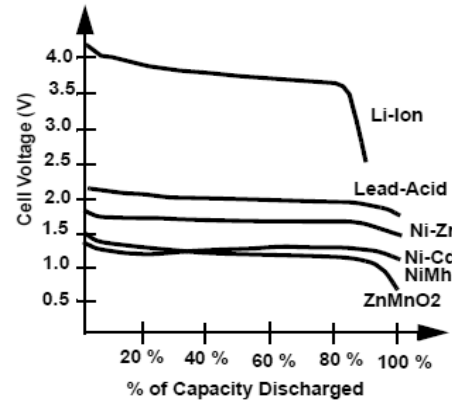


그림 6 축전지 종류별 방전량과 셀당 전압
 Fig. 6 Battery Discharge Characteristics

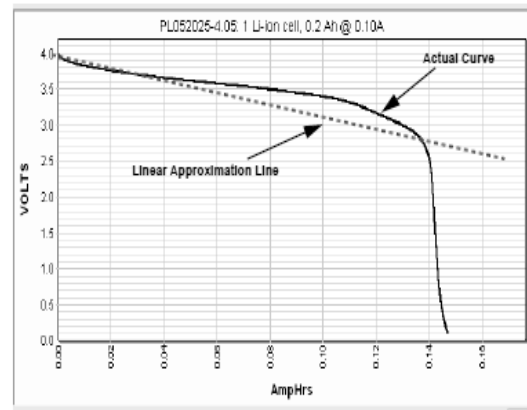


그림 7 연축전지의 방전량과 셀 전압측정
 Fig. 7 Battery Discharge Measurement Curve

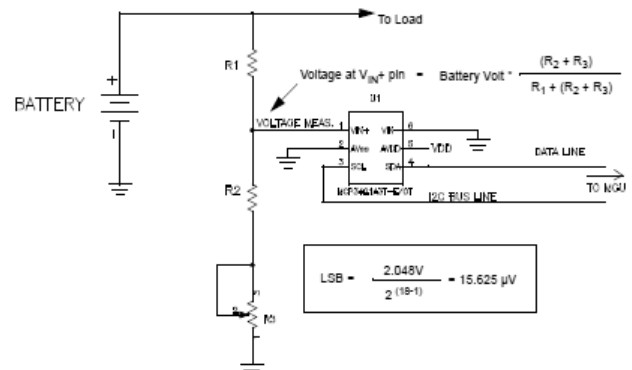


그림 8 축전지 전압측정 원리
 Fig. 8 Battery Discharge Voltage Measurement

이 회로를 이용한 셀 전압은 그림 7과 같이 선형화한 측정량을 사용하며, 셀 전압의 미소변화량을 측정함으로써 측정지 방전량을 보다 정확히 예측할 수 있다. 이를 위해 측정지 셀 단위 전압 측정을 위해 그림 8의 회로를 구성한다. 측정지 측정회로를 통해 누설되는 전류량을 최소화하기 위해 전압측정 저항을 가능한 큰 저항으로 선택하고 단자전압 측정 저항의 크기는 가능한 작은 용량으로 선정해야 한다.

3. 모터 드라이버 소프트웨어 설계

3.1 소프트웨어 모듈 구성 및 기능

모터제어용 마이크로는 dsPIC30F4012 (마이크로칩사)를 활용하여 BLDC 모터전용 MCU를 사용하였다. 이 IC 칩의 장점은 BLDC 모터 구동에 적합하도록 6-Step의 PWM 신호를 발생하여 소프트웨어 구조를 획기적으로 단순화하여 프로그램 개발이 매우 용이한 점이다. 그림 9에서 나타난 바와 같이 프로그램 모듈은 크게 속도제어루프 연산과 상태기계(Main State Machine) 및 비동기 통신상태 기계(UART Communication Machine) 루틴으로 구성되어 있으며, 단위 모듈로써 속도측정 연산모듈과 토크 연산모듈 및 측정지 잔량표시 모듈로 구성된다. 이 중에서 가장 중요한 역할을 수행하는 Main State Machine은 그림 10에서 나타난 바와 같이 전후륜 모터간 부하토크와 부하속도에 따라 자동 절체가 가능하도록 모드 비교 시퀀스와 State의 흐름으로 구성된다. 이러한 기본적인 State 변화와 함께 속도 측정에 의한 페루프 제어를 위한 PI 제어루프[14]를 구성한다. 속도제어기의 출력은 속도 가변을 위해 PWM 모듈로 입력되며, 6개로 구성된 인터티의 상위 3개 Arm스위치(A,B,C상)에 속도 가변량에 해당하는 PWM 펄스폭을 가변한다. 이밖에 마스터 MCU와 슬레이브 MCU간에 상호 통신을 위해 UART 통신모듈이 제공되며, 통신을 통해 주고 받는 신호는 자동 절환당시에 상대방 모터의 속도측정치이며, 이는 자동 절환 후에 동기화된 속도로 구동되어야만 2개 바퀴 휠에서 공회전 없이 Bumpless Transfer가 가능하기 때문이다.

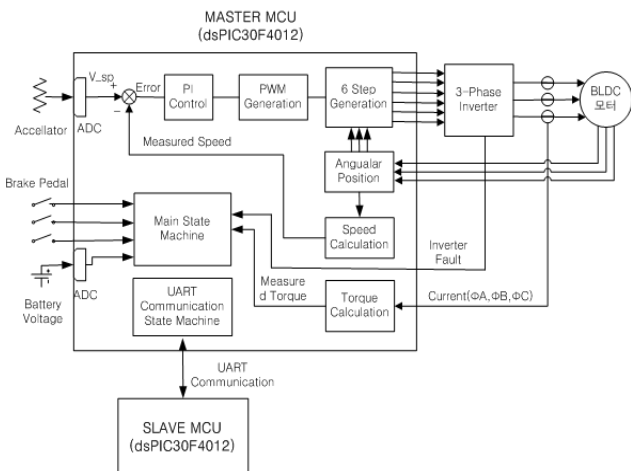


그림 9 소프트웨어 모듈의 구성도
Fig. 9 Software Module Configuration

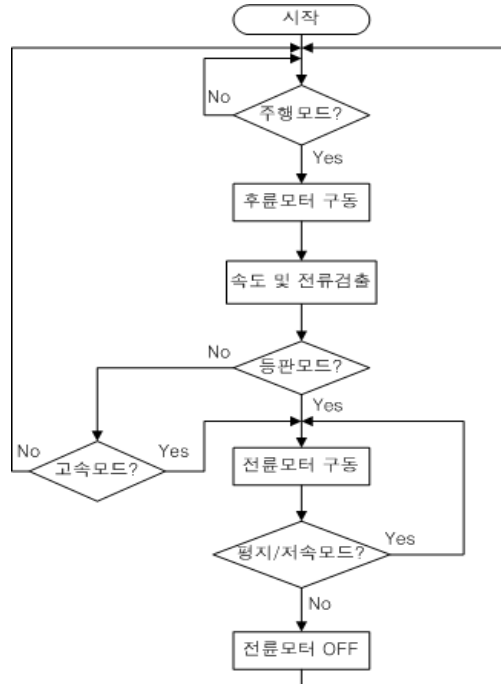


그림 10 Main State Machine 프로그램 흐름도
Fig. 10 Flow Diagram of Main State Machine

한편 BLDC 모터 인버터 구동을 위해 6개의 Arm 스위치를 구동해야 하고 특히 속도 가변을 위해 속도 오차에 해당하는 PWM 신호를 발생해야 한다. 이를 위해 MCU 모듈에 내장된 PWM과 6 스텝 스위칭 모듈을 활용한다. 속도변화에 따른 6 스텝 전류(Commutation) 인터럽트 루틴의 흐름도를 그림 11 및 12에 나타낸다.

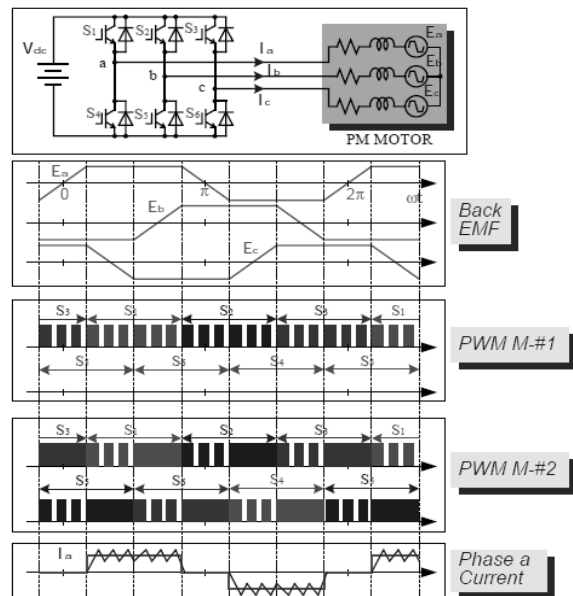


그림 11 속도제어를 위한 PWM 신호 발생
Fig. 11 PWM Generation for Speed Control

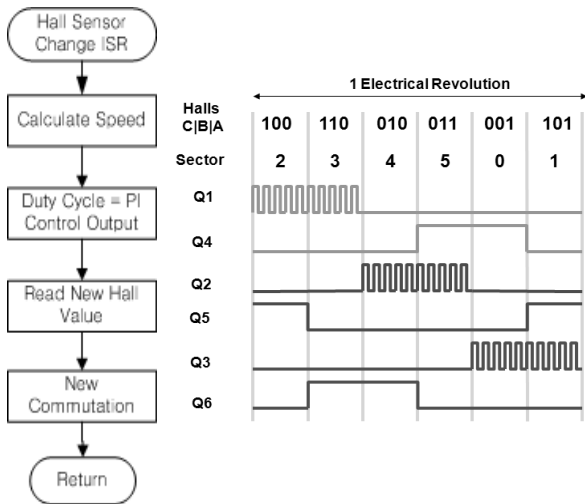


그림 12 인버터 전류와 6 스텝 스위칭 선도
Fig. 12 Inverter Commutation with 6-Step Switching Sequence Diagram

4. 시뮬레이션 및 시험결과

4.1 시뮬레이션 및 구동시험 결과분석

전후륜 모터 상호 절체에 따른 적절한 속도 및 토크를 찾아내기 위해 시스템 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 13은 모터 1대 운전시 스텝형태의 속도지정에 대한 속도 추종능력을 나타내고 있다. 그림 14에서는 모터 1대(후륜모터) 운전 상태에서 2대 운전(전륜모터 Off→Run 동작) 절환시 모터의 속도 추종과 Bumpless Transfer 기능을 시뮬레이션 하였다. 본 시뮬레이션을 통해서 자동절환을 위한 최적의 속도는 최대속도 60km/h(1,600rpm)를 정규속도로 잡고 이를 기준으로 이 속력으로 수초(10초) 이내로 급격히 상승해야 하는 경우에도 1대 →2대로 절환이 가능하며, 반대로 2대 → 1대로 절환도 동일한 속도에서 가능하다. 이 경우 앞뒤 바퀴의 회전 속도는 동일한 속도에서 Bumpless Transfer가 이루어지고 있음이 확인되었다. 이 시뮬레이션은 최악의 상태를 고려한 조건에서 수행된 것이므로 실제 상황에서는 이보다 다소 완화된 상태에서 운전하도록 하여도 속도 추종능력과 모터 부하전류측면에서 큰 무리가 없을 것으로 평가된다. 그러므로 실제 프로그램 설계에서는 이보다 낮은 42km/h (1,120rpm) 속도를 자동절환 기준속도로 설정하였다. 한편, 그림 15와 16에서는 모터 1대 및 2대 운전시 부하전류의 추종성과 절환에 필요한 정격 전류치를 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 본 시뮬레이션 결과에서 부하전류는 모터 1대 기준 최대 전류치(16.0A)에서도 큰 무리가 없으며, 2대 운전시에도 각 모터의 부하전류는 동일한 부하전류 크기를 나타내고 있다. 또한, 모터 1대→2대(혹은 2대→1대)로 절환에 따른 부하전류의 크기는 각 모터 1대 운전시에 비교할 때 동일한 부하전류 크기로 각각 부담을 하고 있음을 나타낸다. 이는 전후륜모터 절환시에 전후륜 모터 각각에 균등한 토크를 부담하며, 절환에 따른 모터 부하전류에서 돌입전류의 큰 부담 없

이 적절한 조건으로 동작하고 있음을 확인해 준다. 본 시뮬레이션은 최악의 상태를 고려하여 시뮬레이션한 것이므로 실제 상황에서는 이보다 다소 완화된 상태에서 운전하도록 하는 것이 속도 추종능력과 모터 전류측면에서 큰 무리가 없을 것으로 평가된다. 그리하여 전후륜 모터의 적절 절환 조건을 표 1과 같이 제시하였다. 본 시뮬레이션 결과를 통해 모터의 전류 추종능력은 모터 인버터의 전류용량(50A정격 선정) 범위 내에서 수용이 가능한 제량이며 부하전류 증가에 따라 구동소자 발열에 의한 소손현상을 방지할 크기로 제한되고 있음이 확인되고 있다.

한편 그림 17과 18에서는 모터 및 드라이버의 구동 시험을 수행결과를 나타내고 있다. 그림 17에서는 A상의 홀센서 신호의 측정 PWM 출력신호를 나타낸다. 그림 18에서는 각 상별의 모터입력전압 파형을 나타낸다.

표 1 전후륜 모터의 절환 조건

운전조건	속도		토크		비고
	정상속도	최고속도	정상운전	등판운전	
후륜모터	20~40km/h (600~1060 rpm)	60km/h (1,600 rpm)	100% (10.0N·m)	130% (13.0N·m)	Bumpless Transfer 기능 유지
후륜→전륜 모터	10초이내 속도 42.0 km/h(1,120rpm)		토크 경계 : 110%		
전륜→Off	40km/h		100%		

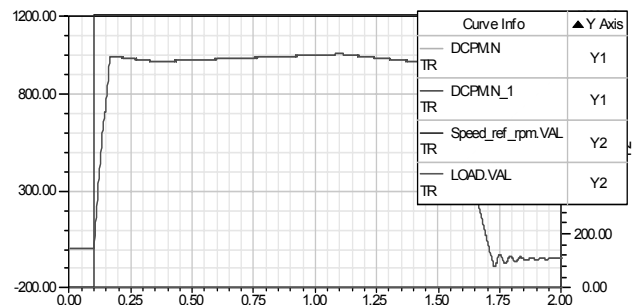


그림 13 모터 1대(후륜모터) 운전시 속도 응답
Fig. 13 Speed Response in case of 1 motor run

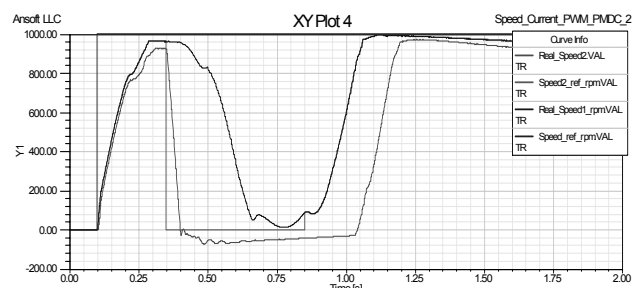


그림 14 모터 2대 운전 절환시 속도 응답
Fig. 14 Speed response in case of two motor transferring

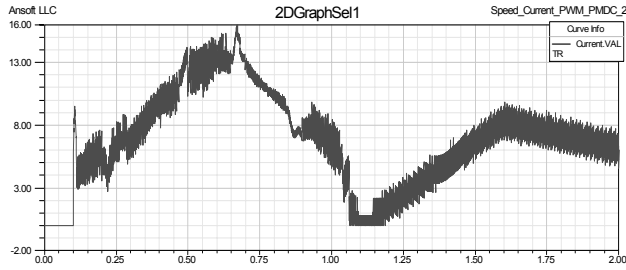


그림 15 모터 1대(후륜) 운전 속도가변시 모터전류
 Fig. 15 Load Current of rear motor running

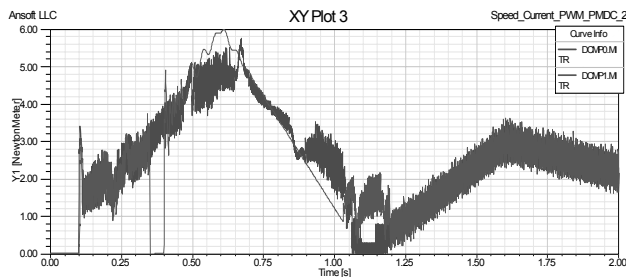


그림 16 모터 2대 운전시 모터 부하전류
 Fig. 16 Motor load current in case of both 2 motors

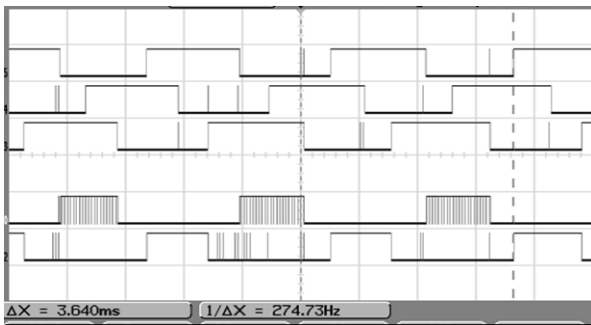


그림 17 홀센서 신호와 PWM 게이팅 측정 신호
 Fig. 17 Hall Sensor Signal and PWM Gating Signals

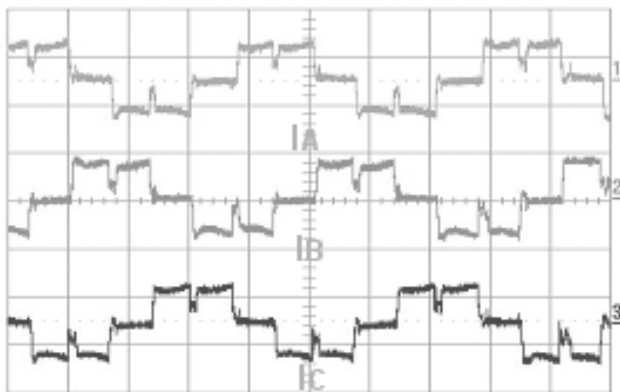


그림 18 각 상별 모터입력 전압 응답 측정 신호
 Fig. 18 Each Phases Motor Input Voltage Waveform

5. 결 론

후륜↔전륜 자동절환 기능을 갖는 2륜 휠 전기 스쿠터의 동력원 설계에서 요구되는 모터와 드라이버의 하드웨어 및 소프트웨어의 기능적인 설계요소의 고려사항을 제안하였다. 즉, 본 시스템 설계를 위해 전-후륜 모터 드라이버의 MU 보드는 마스터 MCU와 슬레이브 MCU를 설계하여 필요한 데이터를 상호 교환함으로써 최적의 상태에서 자동절환이 이루어진다. 또한 축전지 방전상태를 미리 모터구동 로직에 반영하여 축전지 수명을 연장하여 사용할 수 있도록 설계에서 고려하였다. 또한, 자동절환에 따른 앞뒤 바퀴간에 기계적인 충격과 모터전류의 전기적인 충격이 완화된 조건에서 Bumpless Transfer가 가능하도록 각 모터 회전속도와 두 모터의 부하전류 추종성을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 또한 실제 시스템의 동작시험을 통해서 그 추종성을 확인할 수 있었다. 본 시뮬레이션 평가를 통해 2대 모터의 자동절환 조건을 적절히 제안하였다.

본 연구를 통하여 개발된 장치는 전후륜 모터의 1대→2대 (혹은 2대→1대) 전환선택을 기존의 수동 전환방식에서 자동 전환 방식으로 개선함으로써 운전자의 수동조작 미숙에 따른 고장요소 부담을 줄이고 자동운전의 최적화로 자동차의 수명연장은 물론 고장요소를 배제하여 소비자의 신뢰를 높이고 상품의 고급화를 유도할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 전기 자동차를 비롯한 그린카 장치에 동일한 개념의 설계 개선을 적용하여 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 한국산업기술진흥원의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 기술개발과제 (과제명 : “전후륜 자동전환 기능을 갖는 레포츠 차량용 모터 및 드라이버(제어기) 개발”의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] 자동차 부품 연구원, “BLCD모터 적용 Sensorless 전기 스쿠터 개발”, 중소기업 기술혁신개발사업 최종보고서, 2002. 6
- [2] 정대원, “ 전후륜 자동전환 기능을 갖는 레포츠 차량용 모터 및 드라이버(제어기) 개발,” 기술개발과제 수행계획서, 한국산업기술진흥원2009. 7
- [3] dsPIC 30F4012 Data Sheets, Microchip Co.
- [4] 양형렬 외 3인, “비접촉식 자동차 전장용 신호 모니터 링 장치 개발,” 대한전기학회 광주전남지부 추계학술대회 논문집, 2009. 11
- [5] Amuliu Bogdan Proca, Ali Keyhani, “Analytical Model for Permanent Magnet Motors with Surface Mounted Magnets“, IEEE Transactions on Energy Conversion on Vol. 18, no. 3, p386-391, Sept. 2003
- [6] Youbok Lee, Ph.D., Battery Fuel Measurement Using Delta-Sigma ADC Devices, AN1156 Technical Notes, Microchip Technolgy Co. 2008

- [7] T. M. Jahns, "Improved Reliability in Solid-state AC Drives by Means of Multiple Independent Phase Driven Units," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. IA-16, pp. 321-331, May/June 1980
- [8] D. M. Erdman, H. B. Harms, J.L. Oldenkamp, "Electronically Commutated DC Motors for the Appliance Industry," Conf. Rec. 1984 IEEE Ind. Applicat. Soc. Ann. Mtg., pp. 1339-1345.
- [9] M. Lajoie-Mazenc, C. Villanueva, J. Hector, "Study and Implementation of Hysteresis Controlled Inverter on a Permanent Magnet Synchronous Machine," Conf. Rec. 1984 IEEE Ind. Applicat. Soc. Ann. Mtg., pp. 426-430.
- [10] A. Kusko, S. M. Peeran, "Brushless DC Motors Using Unsymmetrical Field Magnetization," Conf. Rec. 1986 IEEE Ind. Applicat. Soc. Ann. Mtg., pp. 774-780.
- [11] B. V. Murty, "Fast Response Reversible Brushless DC Drive with Regenerative Breaking," Conf. Rec. 1984 IEEE Ind. Applicat. Soc. Ann. Mtg., pp. 445-450.
- [12] G.J. Su, G. W. Ott, J. W. McKeever, K. S. Samons, R. L. Kessinger, "Development of a Sensorless Speed Control Inverter for an Automotive Accessory Permanent Magnet Motor", 2000 Future Car Congress, April 2000.
- [13] Gui-Jia Su and John W. McKeever, "Design of a PM Brushless Motor Drive for Hybrid Electrical Vehicle Application", <http://www.ornl.gov/~webworks/cpr/pres/107923.pdf>
- [14] 정대원, 양승학, 모션컨트롤, 대영사, 2003. 2

저 자 소 개



정 대 원 鄭大源)

1957년 8월 6일생. 1983년 부산대 공대 전기공학과 학사. 1996년 충남대 대학원 전기공학과 석사. 1999년 동 대학원 전기공학과 박사. 1982년 - 1990년 한국전력 기술 선임기술원. 1990년- 1997년 한국원자력연구소 선임연구원. 1997년 3월 - 현재 호남대학교 공대 전기공학과 교수
Tel : 062-940-5494
E-mail : dwchung@honam.ac.kr