

24V-500W급 소형전동차용 DC모터 속도 콘트롤러 개발

방준호¹, 이우춘^{1*}, 유재영¹
¹전북대학교 IT응용시스템공학과

Development of A DC Motor Controller for 24V-500W Small Electric Vehicle

Jun-Ho Bang¹, Woo-Choun Lee^{1*} and Jae-Young Yu¹

¹Dept. of IT Applied System Engineering, Chonbuk National University

요약 본 논문에서는 DC모터의 출력특성을 개선할 수 있는 새로운 구조의 DC모터 구동회로를 설계하였고 이 회로를 이용한 콘트롤러를 개발하였다. 설계된 구동 회로에 의하여 콘트롤러는 자체발진회로의 스위칭 신호를 갖는 트랜스포머를 이용하여 연속적으로 DC모터를 구동할 수 있다. 또한 최대속도시, 제어회로의 기준전압 값을 삼각파보다 높게 유지할 수 있고 모터 구동 FET를 항상 온 값을 가지도록 하여 최대출력을 얻을 수 있도록 한다. 제안된 구동회로를 활용하여 24V-500W급 DC모터속도 콘트롤러를 개발하였고 소형전동차를 제작하고 구동시험을 실시하였다. 구동 테스트 및 특성 측정결과, 구동전류 12A로써 DC모터의 전진 및 후진 속도를 연속 가변 할 수 있음을 보였다. 그 밖에 과전류 감시기능, 모터과열 감시기능의 정상동작을 확인하였으며, 배터리 잔량이 20~100%까지 6단계로 표시할 수 있음을 확인하였다.

Abstract In this paper, a new motor driving circuit is designed to improve the output performance of DC motor, and a controller is developed with the designed circuit. By the designed driving circuit, a controller can continuously drive DC motors by a transformer which has switching signals of a self-generated circuit to operate it. And while the DC motor have a maximum velocity, the reference voltage can be maintained higher value than that of triangle voltage and it makes the DC motor driving transistor ON and maximum power. A 24V-500W DC motor controller is developed with the proposed motor driving circuit, and also a small electric car is made and the driving test of it is executed. The test results shows that it can continuously control go and back speed of motor with 12A driving current. And also, it is verified that the over current and heat detecting function is operating correctly and the rest value of the used battery can be displayed as 6 step from 20 to 100%.

Key Words : DC motor controller, Driving circuit, Maximum power, Electric car

1. 서론

화석 연료의 사용에 따른 환경오염, 화석연료의 고갈 및 원가상승 등으로 친환경적인 전기에너지를 에너지원으로 사용하는 전동차에 대한 연구 및 개발이 더욱 활발하게 진행되고 있다[1]. 또한 장래 가솔린 및 디젤 자동차를 대체하게 될 일반 운송용 하이브리드 자동차 및 전기 자동차 뿐만 아니라 전동휠체어, 전동 스쿠터, 전동 청소

용차, 농업용 전동대차, 전동자전거 및 골프카 등 특수용도용 전동차에 대한 연구개발도 활발하게 진행되고 있고 그 활용이 점차 증대되고 있다[2,4]. 전동차를 구성하는 핵심 부품은 배터리를 주요 부품으로 하는 전원장치와 모터를 주요 부품으로 하는 구동장치이며, 전원장치와 구동장치 사이에 존재하는 DC모터를 제어하는 콘트롤러이다. DC모터 콘트롤러는 모터의 속도 및 전진 후진 동작 등, 다양하게 제어함으로써 모터의 구동능력을 향상시키

*Corresponding Author : Woo-Choun Lee

Tel : +82-10-4651-5221 e-mail: wclee@jbnu.ac.kr

접수일 11년 10월 25일

수정일 (1차 12년 02월 24일, 2차 12년 03월 19일)

게재확정일 12년 04월 12일

고 전동차 이용자에게 효율적이며 안전한 운전이 가능할 수 있도록 한다. 국내외적으로 전기 자동차 및 하이브리드 자동차용 DC모터 속도 콘트롤러에 대한 많은 기술이 축적되고 있으며 관련기술들을 이용한 제품들이 상품화되고 있다. 그러나 국내의 DC 모터 콘트롤러 제품 시장의 경우, 대기업을 중심으로 일반 전기 자동차용 대용량 제품의 개발에 주력하고 있기 때문에 값싸고 다양한 중 소형 제품군에 대한 연구 및 기술개발은 상대적으로 저조한 편이며 현재 상품화되고 있는 중 소형 DC 모터 콘트롤러 제품도 적은 편이다. 이러한 이유로 인하여 국산제품의 경우, 다양한 기능과 가격경쟁력을 가진 제품이 많지 않아 특수용도용 전동차에서 사용되는 DC모터 속도 콘트롤러 제품의 상당수는 대만이나 미국제품이 활용되고 있다[5].

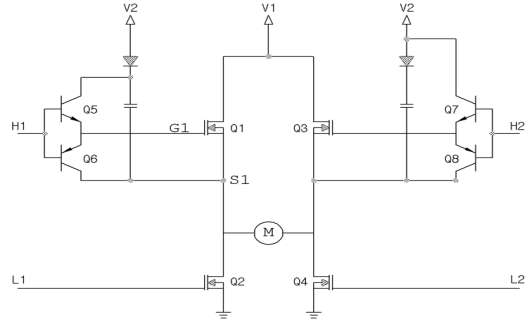
본 연구 논문에서는 국내의 중 소형 특수 전동차용 DC모터 속도 콘트롤러 제품의 가격대비 성능비 향상을 목표로 진행되었으며 연구과정에서 얻어진 새로운 방법의 DC 모터 콘트롤러 제어방법을 나타내었다. 전동차용 DC모터 속도 콘트롤러 방법으로 많이 활용되고 있는 방법이 차징펌프방식이다[6]. 그러나 차징펌프방식을 활용한 DC모터 제어장치는 DC모터의 출력을 100% 얻을 수 없어 최대 출력이 제한되는 단점을 가진다. 본 논문에서는 기존 차징펌프방식에 의한 DC모터제어 방법의 단점을 보완하여 최대출력이 제한되지 않은 특성을 가지는 DC모터 콘트롤러 방법을 제안한다. 제안된 DC모터 콘트롤러는 전원공급용 스위칭 소자 부를 포함하고, 독립구동방식에 의해 전원을 연속적으로 공급하는 특성을 가지고 있다. 또한 듀티비를 1을 가지도록 함으로써 DC모터가 100%의 출력을 가질 수 있도록 설계하였으며 개발된 DC모터 콘트롤러를 이용하여 실험용 전동차에 장착하고 시험운행을 통하여 그 성능을 검증하였다.

2. 듀티비를 개선한 DC모터 콘트롤러 회로 설계

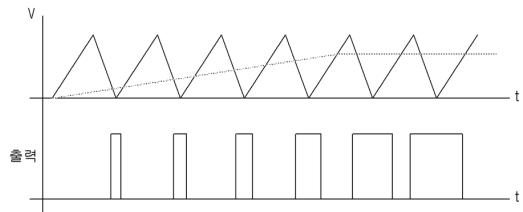
2.1 차징펌프 방식의 DC모터 콘트롤러

기존의 DC모터 제어방법으로 많이 활용되고 있는 방법중의 하나가 차징펌프방식을 이용한 제어방법이다 [7,8]. 이 방법은 전동기의 속도 및 방향의 제어하기 위하여 FET(Field Effect Transistor) 구동전원을 이용하여 FET를 일정한 간격으로 ON, OFF시키는 차징펌프방식을 적용한 회로를 이용한다. 그림 1은 차징펌프방식 회로중의 하나이다. DC모터 제어용 차징펌프방식 회로의 속도

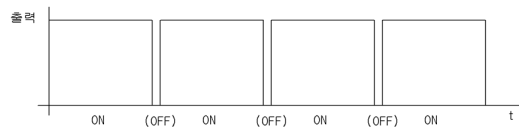
상승시의 PWM 신호에 대한 출력 증가파형을 도식화하여 나타낸 것이 그림 2와 같으며, 그림 3은 차징펌프방식 회로의 최대속도 구동출력을 도식화하여 나타낸 것이다.



[그림 1] DC모터 제어용 차징펌프 회로
[Fig. 1] Charging pump circuit to control DC Motor



[그림 2] 차징펌프 DC 모터 콘트롤러의 속도상승시 출력.
[Fig. 2] The output of the charging pump DC motor controller when the speed is rising.



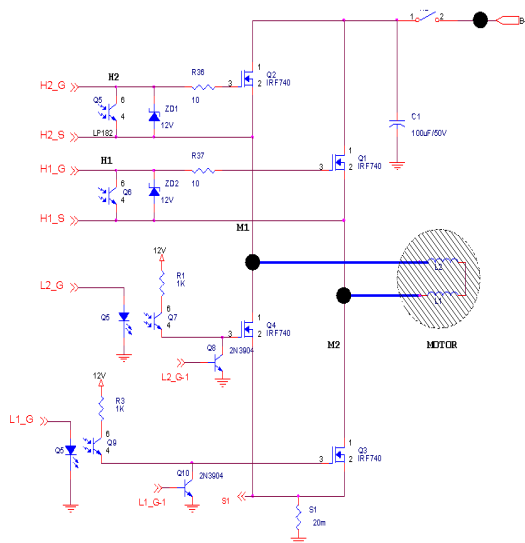
[그림 3] 차징펌프 DC 모터 콘트롤러의 최대속도 구동 출력의 도식화.
[Fig. 3] The figure of the maximum power of charging pump DC motor controller.

그림 1의 차징펌프 방식의 회로에서 트랜지스터 Q5, Q6, Q7, Q8를 ON, OFF시키는 것에 의해 트랜지스터 Q1, Q2, Q3, Q4가 반복적으로 ON, OFF되면서 캐패시터 C1과 C2를 충전전하게 되고 DC모터 M를 구동시킨다. 이러한 차징펌프 방식으로 DC모터의 구동을 제어하게 될 때, ON시간/(ON시간 + OFF시간) < 1으로 표현되는 듀티비(Duty ratio:출력비)를 1에 근접하게 하면, 즉 캐패시터의 충전이 충분하게 않아 FET를 충분히 ON시켜 주지 못해 DC모터가 구동되지 않는다. 따라서 차징펌프 방

식의 DC모터 제어장치를 이용한 DC모터 출력 파형은 그림 3과 같이 최소 OFF시간을 갖는 이산형(discrete) 출력이 발생되어, 듀티비는 항상 1보다 작게 된다. 결과적으로 차징펌프방식을 이용한 DC모터 제어장치는 DC모터의 출력을 100% 얻을 수 없어 최대 출력이 제한되는 점을 가진다.

2.2 듀티비를 개선한 DC모터 콘트롤러 회로 설계

본 논문에서는 기존의 차징펌프방식이 가지고 있는 출력제한의 문제점을 개선한 회로를 설계하였다. 설계된 DC모터 콘트롤러 회로를 통하여 기존 차징펌프방식이 최대출력을 얻을 수 없는 문제점을 개선하기 위해 듀티비, 1을 가지는 DC모터 제어장치 및 DC 모터 제어방법을 설계 및 적용함으로써 DC모터가 100%의 출력을 가질 수 있도록 하기 위한 것이다. 설계된 회로는 무한자재발진회로와 트랜스포머를 이용한 독립전원을 발생시켜 이 독립전원을 이용해 FET의 OFF 동작시간을 제거하고 연속으로 ON 시킴으로써 FET PWM 듀티비가 1이 될 수 있도록 하고 DC모터는 최대 출력을 얻을 수 있도록 하였다. 설계된 DC모터 제어장치 회로중 DC모터를 구동하는 구동회로 부분을 그림 4에 나타내었다.

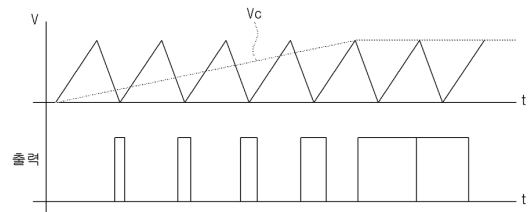


[그림 4] 듀티비가 개선된 DC모터 콘트롤러 회로
[Fig. 4] DC motor controller circuit with the improved duty ratio.

제안된 DC모터 콘트롤러를 구성하기 위한 회로는 자가발진에 의해 트랜스포머의 1차측에서 전류를 반복적으

로 공급차단하여 2차측에서 DC모터 전원공급용 스위칭 소자들을 온/오프시키는 구동전원을 충전하는 구동 전원 발생부, DC모터 출력제어를 위해 삼각파를 발생하는 삼각파발생부, DC구동모터의 회전 속도를 설정하는 속도 설정부, 그리고 PWM신호발생부와 DC모터전원공급용 스위칭 소자부로 구성된다. PWM신호 발생부는 DC모터의 정회전 또는 역회전에 따른 속도설정부에서 출력되는 속도설정전압과 삼각파를 이용하여 DC모터의 정회전 또는 역회전에 대응하는 PWM신호를 생성하며, DC모터전원공급용 스위칭소자부는 DC모터전원공급용 스위칭소자 구동신호에 의해 온/오프되어 정회전 또는 역회전을 위한 구동전원을 DC모터로 공급한다. 각 블록의 설계내용은 3장에 나타내었다.

그림 5는 설계된 DC모터 콘트롤러 회로의 속도 상승시의 DC모터의 출력 상태 파형을 도식화하여 나타낸 것이며 그림 6은 설계된 DC모터 콘트롤러 회로의 최대속도 구동 출력을 도식화하여 나타낸 것이다. 앞서 언급하였던 그림 2와 3의 차징펌프 DC 모터 콘트롤러의 최대속도 구동 출력특성의 경우 전영역에 걸쳐 듀티비가 1이 되지 않는 영역, 즉 그림 3의 출력특성이 OFF가 되는 영역이 존재하고 있는데 비하여 설계된 회로의 경우 그림 6과 보듯이 최대출력에서 출력특성이 OFF가 되는 영역은 사라질 수 있다. 다시말해서 모터가 최대로 구동되는 동안 듀티비가 1로 유지 될 수 있음을 알 수 있다.

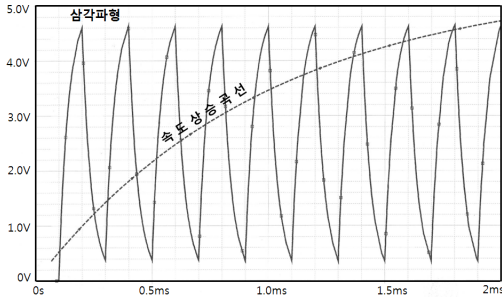


[그림 5] 설계된 DC 모터 콘트롤러 회로의 속도상승시 출력.
[Fig. 5] The output of the designed DC motor controller circuit when the speed is rising.



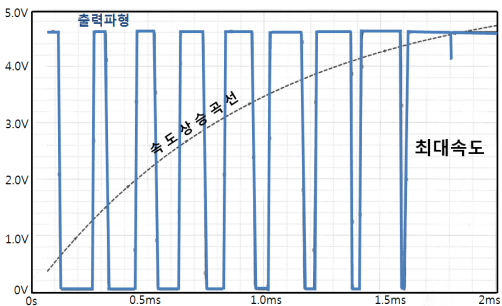
[그림 6] 설계된 DC모터 콘트롤러 회로의 최대속도 구동 출력의 도식화
[Fig. 6] The figure of the maximum power of the designed DC motor controller circuit.

제안된 DC모터 컨트롤러의 출력특성을 시뮬레이션을 통하여 확인한 결과를 그림 7과 그림 8 그리고 그림 9에 보였다.



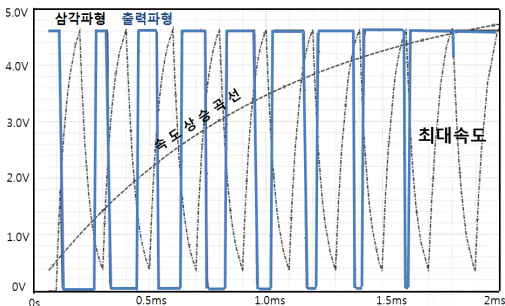
[그림 7] 설계된 DC 모터 컨트롤러 회로의 속도상승시 삼각파와 출력파형

[Fig. 7] The Triangle wave and output of the designed DC motor controller circuit when the speed is rising.



[그림 8] 설계된 DC 모터 컨트롤러 회로의 속도상승시 및 최대속도에서 출력파형

[Fig. 8] The output of the designed DC motor controller circuit when the speed is rising and maximum.



[그림 9] 설계된 DC 모터 컨트롤러 회로의 속도상승시 및 최대속도에서 삼각파와 출력파형

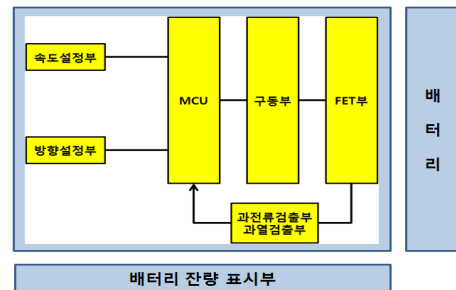
[Fig. 9] The triangle wave and output of the designed DC motor controller circuit when the speed is rising and maximum.

제안된 회로에 대한 속도상승시의 시뮬레이션 결과, 그림 8, 9와 같이 구동 회로의 동작이 되고 ON, OFF의 이산동작을 진행하다가 1.6ms이후부터 OFF동작이 없어지고 ON동작만이 수행된다. 즉, 구동회로의 동작후 1.6ms이후 최대구동전압이 연속적으로 공급됨으로 최대 속도를 얻을 수 있음을 확인하였다. 이것은 DC모터의 구동트랜지스터가 OFF되지 않고 연속적으로 ON을 유지하면서 DC모터를 최대 출력으로 구동하고 있음을 보여주는 결과이다.

3. DC모터 컨트롤러 개발

3.1 DC모터 컨트롤러 전체 블록 설계

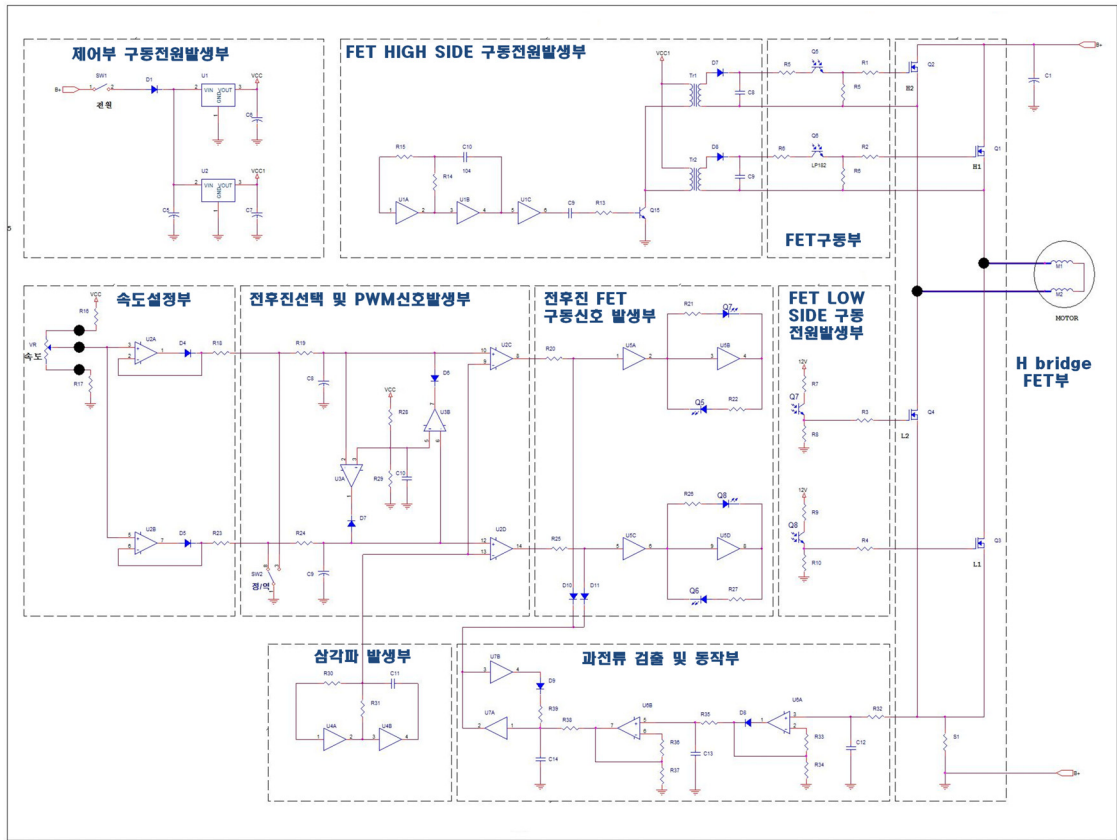
개발하고자 하는 DC 모터 속도 컨트롤러의 전체 블록도는 그림 10과 같고, 목표로 한 기능 및 특성은 표 1과 같다.



[그림 10] 개발하기 위한 DC모터 컨트롤러 블록도

[Fig. 10] Block diagram of the DC motor controller for development.

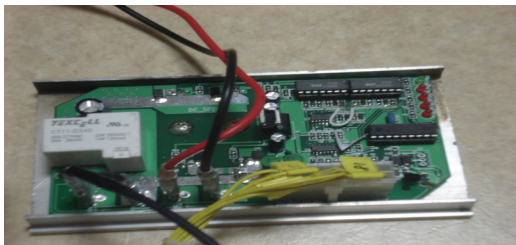
개발하고자 하는 DC모터 컨트롤러의 기능은 DC 24V 전원에서 500W급의 전원용량에 모터 속도를 0%~100% 까지 연속 가변하고, 전진 및 후진 방향을 방향 스위치 조작으로 변경 할 수 있으며, 또한 모터의 전류 상태를 감시하여 과전류에 대한 경고 및 배터리 잔량을 측정하여 LED로 표시 할 수 있는 기능을 가지도록 하였다. 이와 같은 기능을 갖도록 개발된 DC모터 컨트롤러 전체 회로를 그림 11에 보였다. 개발된 컨트롤러는 각각, 제어부 구동용 전원 발생부, FET HIGH SIDE 구동용 전원 발생부, FET HIGH SIDE 구동부, 속도설정부, 전진, 후진 선택 및 PWM 신호 발생부, 전후진 FET 구동용 신호 발생부, FET LOW SIDE 구동부, 삼각파 발생부, 과전류 검출 및 동작부, H bridge FET 부로 구성된다.



[그림 11] 개발된 DC모터 콘트롤러.
[Fig. 11] The developed DC motor controller.

3.2 시제품 제작 및 구동테스트

그림 12는 제작된 500W급 DC모터 컨트롤러이다.



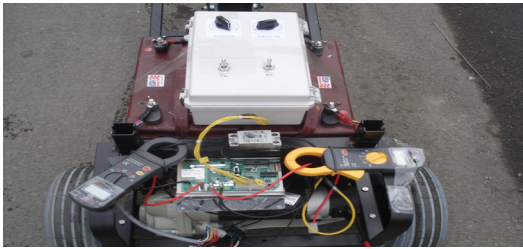
[그림 12] 개발된 500W급 DC모터 속도 컨트롤러
[Fig. 12] The developed 500W DC motor speed controller

그림 13은 DC모터 컨트롤러의 최대속도 및 방향 조절 기 테스트를 위해 모터와 연결한 모습이다.



[그림 13] 개발된 DC모터 컨트롤러의 전후진 속도 테스트
[Fig. 13] The test of for-backward speed of the developed DC motor controller.

그림 14는 제작된 DC모터 컨트롤러를 소형전동차와 연결하고 구동테스트를 실시한 모습이다. 개발된 DC모터 컨트롤러에 대한 구동테스트 및 특성 측정결과, 24V-500W급 모터를 전진속도 0%~100% 까지 연속 가변 할 수 있고 후진속도는 전진속도의 50%에서 연속적으로 가변할 수 있음을 확인하였다.



[그림 14] 개발된 DC모터 콘트롤러의 전동차 구동테스트
 [Fig. 14] The driving test of electric vehicle the developed DC motor controller.

또한 전동차의 최고속도 도달시간은 5초 이내, 그리고 연속사용 전류는 12A로 측정되었다. 그 밖에 과전류 감시기능, 모터과열 감시기능의 정상동작을 확인하였으며, 배터리 잔량표시는 20~100%까지 6단계로 나누어 그 잔량을 LED로 표시할 수 있음을 확인하였다. 개발된 DC모터 콘트롤러의 기능 및 측정결과를 표 1에 정리하였다.

[표 1] 개발된 DC모터 콘트롤러의 기능 및 측정결과.
 [Table 1] Functions and testing results of the developed DC motor controller.

평가 및 측정항목	기능 및 특성결과
모터 최대 용량	24V, 500W
전진 속도제어	최저~최고속도(0~100%)까지 연속 제어가능함
후진 속도제어	0~100% 연속 제어 전진속도의 50%이내에서 연속제어 가능함
전진 및 후진 시 속도 상승률	소형전동차의 최고속도 도달시간 : 5초이내
연속사용전류	12A로 측정됨
과전류 감시기능	정상동작 확인
모터과열감시기능	정상동작 확인
배터리잔량표시	20%~100% 6단계로 LED 잔량 표시 가능함

4. 결론

본 논문에서 FET 구동전원을 기존의 차징펌프방식에 의한 DC모터제어 방법의 단점을 보완하여 최대출력이 제한되지 않도록 독립전원 방식의 DC모터 콘트롤러 회로를 설계하였다. 설계된 DC모터 콘트롤러는 전원공급용 스위칭 소자 부를 포함하고, 독립구동방식에 의해 전원을 연속적으로 공급하는 특성을 가지고 있다. 또한 무한자제발전회로의 스위칭 신호를 트랜스포머를 이용한

독립전원으로 DC모터를 구동함으로써 DC모터의 최대출력을 최대로 활용할 수 있도록 설계하였다. 제안된 기술 활용하여 24V-500W급 DC모터속도 컨트롤러를 개발하였으며 소형전동차 시제품을 제작하고 구동시험을 실시하였다. 개발된 DC모터 콘트롤러에 대한 구동테스트 및 특성 측정결과, 24V-500W급 모터를 전진속도 0%~100% 까지 연속 가변 할 수 있고 후진속도는 전진속도의 50%에서 연속적으로 가변할 수 있음을 확인하였다. 소형전동차의 최고속도 도달시간은 5초 이내, 그리고 연속사용 전류는 12A로 측정되었다. 그 밖에 과전류 감시기능, 모터과열 감시기능의 정상동작을 확인하였으며, 배터리 잔량표시는 20~100%까지 6단계로 나누어 그 잔량을 LED로 표시할 수 있음을 확인하였다. 개발된 제품은 500W급 소형전동차에 활용할 수 있도록 상품화중이며 성능대비 가격이 비교 제품들에 비하여 경쟁력이 높아 농업용 이동대차, 청소용 전동차, 전기자전거, 장애인용 전동차 제조에 활용될 것으로 기대하고 있다.

References

- [1] Seong-Bae Kong, Jae-Hee Lee, Sung-Kwan Joo, Tae Yong Song, Yong-Jun Kim, "Effect of Electric Vehicle deployment on System Marginal Price(SMP)" KIEE Summer Conference Publications, 2010. 7.
- [2] Ministry of Knowledge Economy, Report "Power Purchase Agreement", 2008. 12.
- [3] Kevin Morrow, Donald Karner and James Francfort, "Plug-in Hybrid Electric Vehicle Charging Infrastructure" Idaho National LAB , 2008. 11.
- [4] Jin-Sung Kim, Ju-Hee Cho, Seong-Cheol Park, Byung-Taek Kim, Dae-Kyong Kim, "Design of Interior Permanent Magnet Synchronous Motor for AEV(Agricultural Electric Vehicle)", KIEE Electric Machine and Energy Conversion Systems Site, Spring Conference Publications, 2010. 4.
- [5] MO, Se-Jun "Overview and Outlook for Electric Vehicle Car Parts Companies, Industry Research Report, Hana Institute of Finacen 2009. 8.
- [6] Jinrong Qian, Lee, F. C. "Voltage-Source Charge-Pump Power Factor Correction AC/DC Converters" Power Electronics IEEE, Vol 14, pp350-358, 1999.
- [7] Jinrong Qian, Lee, F. C. "Charge-Pump Power Factor Correction Technologies Part I: Concept and Principle" Power Electronics IEEE, Vol 15, pp

121-129, 2000.

[8] Seok-Cheol Ko, Sung-Hun Lim, Byoung-Sung Han, "Design of a Bidirectional AC-DC Converter using Charge Pump Power Factor Correction Circuit", KIEE Electric Machine and Energy Conversion Systems Site, Spring Conference Publications, 2001. 4.

방 준 호(Jun-Ho Bang)

[정회원]



- 1989년 2월 : 전북대학교 전기공학과 졸업
- 1991년 2월 : 전북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사)
- 1996년 2월 : 전북대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 IT응용시스템공학과 교수

<관심분야>

아날로그 집적회로 설계, 통신용 필터 설계

유 재 영(Jae-Young Yu)

[준회원]



- 2009년 2월 : 군산대학교 전기전자제어공학과 졸업
- 2010년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 IT응용시스템공학과 재학(석사)

<관심분야>

아날로그 집적회로 설계, 통신용 필터 설계

이 우 춘(Woo-Choun Lee)

[정회원]



- 1977년 2월 : 단국대학교 전기공학과 졸업
- 1986년 2월 : 명지대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사)
- 1995년 2월 : 명지대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사)
- 1992년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 IT응용시스템공학과 교수

<관심분야>

전기기기, 전력변환