

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2021.21.4.129>

JIIBC 2021-4-19

UC3625 Controller IC를 이용한 전동 Driver용 BLDC 전동기 제어회로 설계

Design of BLDC Motor Control Circuit for Electric Driver using UC3625 Controller IC

정성인*

Sungin Jeong*

요 약 전동공구는 동력원인 모터를 이용하여 각종 구조물을 제조 가공하는데 사용되는 공구로 전기를 동력원으로 한 모터를 사용하여 감속장치, 동력전달 및 변환장치 기능을 내장시켜 도구에 회전, 왕복, 진동 운동을 시킴으로써 사용자의 동작기술을 보조하는 역할을 하도록 한 공작용 도구이다. 우리나라의 경우 전동공구 산업은 역사가 짧아서 독일이나 미국, 일본 등 선진국에 비하여 기술수준과 시장 점유율, 인지도 등이 뒤떨어지고 있다. 또한 국내에서 사용되는 전동 Driver는 미국, 유럽 나라의 해외제품으로 국내시장 또한 100% 해외업체 것을 선호하며 다국적 기업들이 국내 시장에 많은 투자를 하고 있는 실정이다. 따라서 국내 기술개발과 지속적으로 높은 시장점유율을 확보하기 위해서는 기술적인 개발이 뒤따라야 한다. 본 논문에서는 전동공구의 기본요구 성능에 맞춰 모터의 성능, 소형화, 고속도의 고출력 성능을 가지는 전동기 Driver를 설계하여 최종적으로 산업용 및 의료용에 적용할 수 있는 개발품을 연구하는데 목적을 두고 있다.

Abstract A power tool is a tool used to manufacture and process various structures using a motor that is a power source. Using a motor that uses electricity as a power source, a reduction device, power transmission and conversion device functions are built-in to make the tool rotate, reciprocate, and vibrate. It is a work tool designed to assist the user's movement skills. In the case of Korea, the power tool industry has a short history and is lagging behind advanced countries such as Germany, the United States, and Japan in terms of technology level, market share, and recognition. In addition, electric drivers used in Korea are foreign products from the US and European countries, and the domestic market also prefers 100% foreign companies, and multinational companies are investing a lot in the domestic market. Therefore, technological development must follow in order to develop domestic technology and secure a consistently high market share. The purpose of this thesis is to design a motor driver with high output performance of motor performance, miniaturization, and high speed in accordance with the basic performance requirements of power tools, and finally research developments that can be applied to industrial and medical applications.

Key Words : Power Tool, BLDC Motor, Electric Driver, High Speed and High Power, UC3625 IC

*정회원, 광주대학교 미래자동차공학과
접수일자 2021년 6월 27일, 수정완료 2021년 7월 27일
게재확정일자 2021년 8월 6일

Received: 27 June, 2021 / Revised: 27 July, 2021 /
Accepted: 6 August, 2021

*Corresponding Author: si.jeong@gwangju.ac.kr
Dept. of IT-Automotive Engineering, Gwangju University,
Korea

I. 서 론

전동공구는 동력원인 모터를 이용하여 각종 구조물을 제조 가공하는데 사용되는 공구로 전기를 동력원으로 한 모터를 사용하여 감속장치, 동력 전달 및 변환장치 기능을 내장시켜 도구에 회전, 왕복, 진동 운동을 시킴으로써 사용자의 동작 기술을 보조하는 역할을 하도록 한 공작용 도구이다.

이러한 공구는 구조적으로 조립제품의 특징을 갖고 있고, 소형, 경량인데다 견고한 제품속성과 함께 사양별로 규격과 종류가 다양하다. 가정에서부터 중공업에 이르기까지 폭넓게 사용되고 있으며 기계, 자동차, 조선, 항공, 전자 공업 등 첨단 산업의 핵심 분야로 우수한 전동공구의 사용이 관련 제품의 품질향상과 원가 절감, 생산성 제고에 지대한 영향을 미친다.

전동공구의 가장 중요한 요구조건은 사용 간편성과 우수성능이기에 장착 모터의 성능, 기어부의 정밀성, 내마모성 등이 전동공구의 품질을 좌우한다. 따라서 이러한 전동공구의 제품은 다음과 같은 특성이 요구된다^[1].

- (1) 가공된 제품의 정밀도는 작업한 전동공구의 정밀도와 상호 밀접한 관련이 있다.
- (2) 필요한 안전장치가 확보되어 있어야 한다. 특히 감전사고 예방을 위한 절연 장치가 완벽해야 한다.
- (3) 생산성을 증가시키기 위해서는 전동공구 전동기의 회전속도를 빠르게 해야 한다. 그 밖에도 전동공구에 요구되는 특성으로서는 내마모성이 커야 하고 소음이 적어야 한다.

기계공업의 일반 기계 분야에 속하는 전동공구 산업은 산업구조가 고도화되기까지는 시장 규모가 크지 않았지만 노동력 부족으로 임금이 상승하면서부터 현재는 급성장하는 특성을 보여준다. 특히 독일, 미국, 일본 등의 세계적인 유명 업체들의 신기술, 신제품에 따른 시장점유율과 성장률이 높아지고 있다. 반면에 우리나라의 경우 전동공구 산업은 역사가 짧아서 독일이나 미국, 일본 등 선진국에 비하여 기술 수준과 시장점유율, 인지도 등이 뒤떨어지고 있다. 또한 국내에서 사용되는 전동 Driver는 미국, 유럽 나라의 해외제품으로 국내시장 또한 100% 해외업체 것을 선호하며 다국적 기업들이 국내시장에 많은 투자를 하는 실정이다.

따라서 국내 기술개발과 지속해서 높은 시장점유율을 확보하기 위해서는 기술적인 개발이 뒤따라야 한다. 본 논문에서는 전동공구의 기본 요구 성능에 맞춰 모터의

성능, 소형화, 고속도의 고풍력 성능을 가지는 전동기 Driver를 설계하여 최종적으로 산업용 및 의료용에 적용할 수 있는 개발품을 연구하는 데 목적을 두고 있다.

II. BLDC 전동기를 이용한 전동 Driver 설계 요구사항

국내에서 사용되는 전동 Driver는 미국, 유럽 나라의 해외제품과 그리고 국내 기술개발의 지속적인 노력으로 몇 개의 국내업체들이 산업용 및 의료용 분야에서 사용되고 있다. 관련된 제품에 대해 국내외 전동 Driver의 사양과 본 논문에서 개발하는 제품의 사양을 표 1과 같이 비교하여 정리할 수 있다.

그림 1의 형상에서 보여주고 있는 산업용 전동 Driver의 경우 단상카본 브러쉬를 사용하여 모터 Driver가 없고 플라스틱 재질의 구조로 되어 있어 저가의 생산품으로 출시되고 있다. 반면에 의료용으로 사용되고 있는 수입품의 경우 BLDC (Brushless DC) 모터를 적용하여 전동기 특성에 따른 모드별 동작과 알루미늄, SUS 계열의 본체로 제작되어 수명이 긴 장점이 있지만 기존 산업용에 비해 고가이며 고장시 비용 및 시간이 소요될 수 있는 문제점을 가지고 있다.

표 1. 국내외 전동 Driver 및 연구개발품의 사양 비교
Table 1. Comparison of specifications of domestic and foreign electric drivers and R&D products

구분	기존 산업용	의료용 수입품	연구개발품
감염	모터 개방형 열 냉각팬 사용 (공기 유출)	모터 밀폐형	모터 밀폐형
구조	구동 Driver 없음	본체 Driver 일체형	본체 Driver 분리형
본체	플라스틱 사출	알루미늄, SUS 계열	알루미늄, SUS 계열
모터	단상카본 브러쉬 사용	BLDC 모터	BLDC 모터
수명	2~3년	4년~5년	4년~5년
가격	-	고가	-
A/S 비용	-	2~3 백만원	저렴

따라서 이러한 문제점을 해결 및 대체하기 위한 기능 및 성능적 요구사항으로 BLDC 전동기를 이용하여 속도 가변제어 및 정역회전, Oscillation 기능 등의 운전모드와 휴대성과 작업성을 고려한 Battery/Electric 병용의

표 2. BLDC 전동기를 적용한 전동 Driver의 세부 개발내용

Table 2. Detailed development of electric driver applying BLDC motor

구분		개발내용
기구	무단변속장치	1, 2단 변속 가능한 유성 감/변속장치 개발
	Attachment Instruments	드릴척, 리미터척 (Battery 형에 맞게 설계, 제작)
제어부	트리거(정역회전 포함)	무접점 S/W 사용한 속도가변
	제어기판	Size : 50×80mm 이하, 알고리즘 개발, 전원부 설계 제작, Battery pack 및 일반전원 공급장치 개발
	BLDC 모터	15,000 ~ 17,000rpm, 부하 : 0.3kgNm (Rpm, 발열, 토오크 성능향상)
	Trigger 및 자기센서설계/제작	속도 가변제어 및 정역회전, Oscillation
	연속작동시간	20분 ~ 25분
	전력변환회로	80Watt급 인버터
	드릴 최종 RPM	270rpm ~ 1,200rpm
전원공급장치	Battery/Electric 병용	

기능들이 적용되어야 한다. 본 논문에서는 BLDC 전동기를 이용한 전동 Driver의 세부연구내용으로 표 2와 같이 전동 Driver의 고출력 및 고토크 발생을 위한 기어부, 속도 가변제어 및 정역회전을 위한 전동기 제어부 Battery를 이용한 각 구성품의 전원공급을 위한 전원부 등을 설계한다.



그림 1. 전동 Driver 형상
 Fig. 1. Electric Driver Shape

III. UC3625 Controller IC를 이용한 BLDC

전동기 제어회로 설계^[2,3,4]

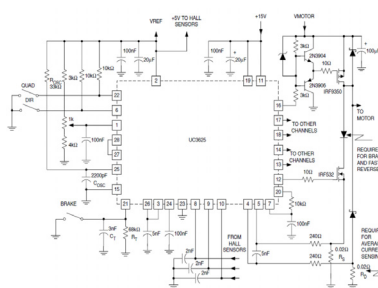


그림 2. UC3625 Controller IC 를 이용한 Application 회로
 Fig. 2. Application circuit using UC3625 controller IC

본 논문에서는 BLDC Motor Controller 전용 IC인 UC3625를 이용하여 BLDC Driver를 설계하였으며 그림 2와 같이 UC3625를 이용한 Application회로를 이용하여 회로설계를 적용하였다.

1. Application 회로를 이용한 속도제어기

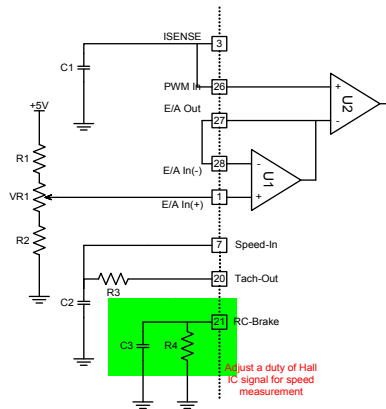


그림 3. Application 회로를 이용한 속도제어 회로
 Fig. 3. Speed control circuit using application circuit

속도 측정부의 신호를 Pin 7에 입력을 주면 Application 회로의 내부에 구성되어 있는 속도 제어기를 이용하는 것으로 해석이 되나 내부 블록을 확인한 결과 속도 제어기는 외부에서 별도의 R, C를 이용하여 구성하도록 되어 있다. 따라서 그림 3의 회로는 Open loop 방식으로 동작하는 결과를 보여준다.

2. 외부 속도제어기 추가 설계

그림 4는 외부 속도제어기를 적용한 회로로서 외부에

R, C를 추가하고 내부의 OP-AMP를 이용하여 전류 제어기(I controller)를 구성하였다. 이 회로는 초기에 구성한 방식과는 달리 closed loop로 구성되어 속도 기준에 적절히 반응하는 구조를 가지게 된다. 또한, 과전류 보호회로가 내장되어 있어 주 회로에서 측정된 전류에 대한 전압을 입력으로 받아들이며 보호회로가 동작하여 출력 파형을 차단시키는 기능을 가지고 있다.

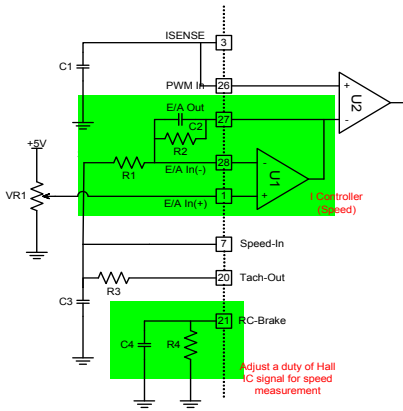


그림 4. 외부 속도제어기를 적용한 속도제어 회로
Fig. 4. Speed control circuit with external speed controller applied

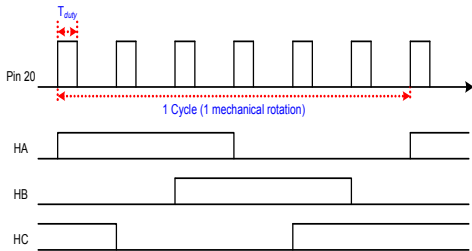


그림 5. 홀센서신호에 따른 Pin 20의 출력신호
Fig. 5. Output signal of Pin 20 according to Hall sensor signal

Pin 21의 회로는 속도 측정을 위해 사용되는 펄스의 폭을 조절하는 기능을 가지고 있다. 이는 Pin 20의 필터 설계와 밀접한 연관을 가지고 있으며 펄스폭을 너무 크게 할 경우 속도를 측정하는데 제한이 있게 되어 적절한 값을 선정할 필요가 있으며 Pin 21의 R_4 , C_4 를 이용하여 식 (1)을 통해 펄스폭을 선정할 수 있다.

그림 5는 BLDC 전동기 홀센서 신호 HA, HB, HC의 출력신호에 따른 속도 측정용 펄스가 설계된 Pin 20을 통해 생성되는 모습을 보여주고 있다.

$$T_{duty} = 0.67 \times R_4 C_4 \quad (1)$$

3. Carrier 주파수 설정

그림 6에서 Pin 25의 PWM CLOCK 발생을 위해 R, C값에 따른 Carrier 주파수를 발생시킬 수 있는 회로를 보여주고 있다. 그림 6의 회로에서 R, C값의 따른 Carrier 주파수를 계산하여 최종적으로 UC3625의 PWM CLOCK을 Pin 25를 통해 그림 7과 같이 만들 수 있다.

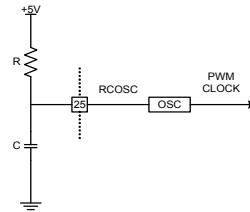


그림 6. Carrier 주파수 발생회로
Fig. 6. Circuit for generating carrier frequency

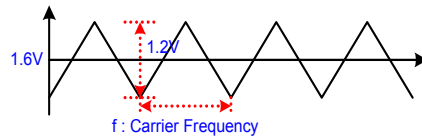


그림 7. Pin 25 신호
Fig. 7. Signal of pin 25

Carrier 주파수는 식 (2)를 통해 계산할 수 있으며 Pin 25에 사용되는 저항 : $10k\Omega \sim 100k\Omega$, 커패시터 : $1nF \sim 100nF$ 용량값을 이용하여 Carrier 주파수 : below $500kHz$ 값을 출력으로 얻을 수 있다.

$$f = \frac{2}{RC} \quad (2)$$

4. 전류 센싱 (Current Sensing)

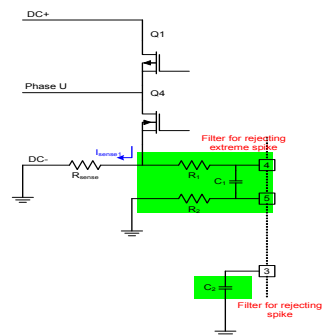


그림 8. 전류센싱 회로
Fig. 8. Current sensing circuit

그림 8은 3상 BLDC 전동기의 고출력 및 고토크를 발생시키기 위해 전류증가를 고려하여 추가로 외부에 설계된 인버터의 전류센싱 회로부분을 보여주고 있다. UC3625 Pin 3의 C_2 와 Pin 4~5의 C_1 , R_1 , R_2 는 R_{sense} 를 통해 센싱되는 전류의 정확한 값을 측정하기 위해 노이즈 제거용 필터로 사용되었다. 설계된 회로의 전류제한 범위 2.9V, 과전류 범위 3.1V로 과전류 fault 발생 후 재 기동 및 Fault 발생 후 재 기동하는데 걸리는 시간은 Pin 24(Soft start function)에 연결되어 있는 커패시터의 용량을 통해 재 기동시간을 설정할 수 있다.

5. Oscillation 기능

사용자에 의해 입력되는 아날로그 속도지령을 이용하여 연속적인 정역 회전을 위한 방향 전환신호 즉 Oscillation 기능의 회로를 설계하였다. 아날로그 형태로 입력되는 신호(입력전압 : 0 ~ 1V)를 그림 9의 V/f 컨버터 회로를 이용하여, 일정 주파수(출력 주파수 : 0 ~ 10Hz (0 ~ 0.1s))를 갖는 신호를 출력하도록 구성하였고 출력 주파수는 식 3을 통해 선정할 수 있다. 따라서 그림 9의 Pin 3의 R_T 값과 Pin 6-7의 C_T 값을 Example에 나타난 방법을 통해 설계회로에 적용하였다.

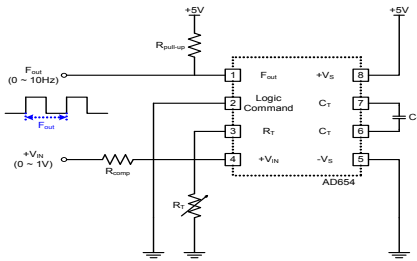


그림 9. V/f 컨버터 회로
 Fig. 9. V/f converter circuit

$$F_{out} = \frac{V_{in}}{10 \cdot R_T \cdot C_T} \quad (3)$$

Example)

입력 전압 : 1V, 출력 주파수 : 10Hz 경우

$$10 = \frac{1}{10 \cdot R_T \cdot C_T}$$

$$R_T \cdot C_T = \frac{1}{100} = 0.01$$

$$\therefore R_T = 10k\Omega, C_T = 1\mu F$$

IV. 시뮬레이션 및 실험 결과

그림 10은 본 연구에서 연구한 BLDC 전동기를 이용한 PWM 인버터 제어회로의 구성도를 보여주고 있다. BLDC 전동기의 Hall sensor 출력신호를 이용하여 사용자의 명령에 따른 속도제어기와 그에 따른 전류제어기가 동작되는 구조로 되어있다^[3].

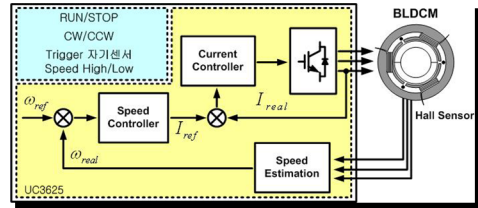


그림 10. 전동 Driver의 속도제어 및 Oscillation 기능을 위한 제어구조
 Fig. 10. Control structure for speed control and oscillation function of electric driver

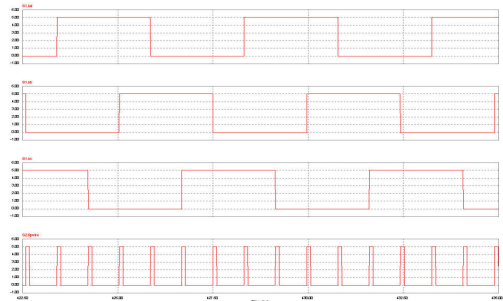


그림 11. Hall sensor신호 속도추정 신호
 Fig. 11. Modeling circuit designed for BLDC motor control

BLDC 전동기 제어를 위해 PSIM 프로그램에서 제공하는 BLDC library를 이용하여 인버터부, 제어부, 모터부 등의 전체 모델링회로를 설계하였다. 표 2 “BLDC 전동기를 적용한 전동 Driver의 세부 개발내용”의 주요 사양들을 모델링 설계에 반영하여 그림 11과 같이 BLDC 전동기 회전자 위치 검출신호 신호와 속도제어를 위해 사용되는 속도추정신호를 확인할 수 있다. 또한 경계속도와 각상에 흐르는 상전류의 결과를 그림 12에서 보여주고 있다.

또한 드릴척, 감속기, BLDC 전동기가 결합된 전동 Driver 형상과 UC3625 Controller IC를 이용한 제어회로와 Battery를 사용하여 구동할 수 있는 전원회로를 그림 13에서 보여주고 있다. 속도제어는 Trigger에 자기

센서를 부착하여 사용자의 명령에 따른 정역운전, 운전/정지, 속도가변(Oscillation)기능을 할 수 있도록 하였다 [5,6]

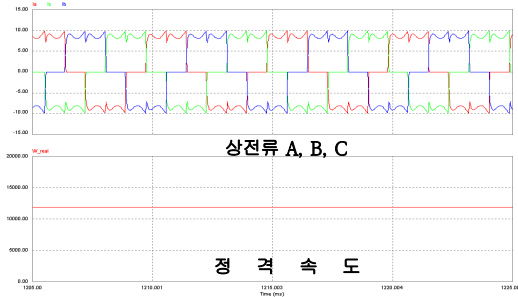


그림 12. BLDC 전동기의 상전류와 속도파형
Fig. 12. Phase current and speed waveform of BLDC motor

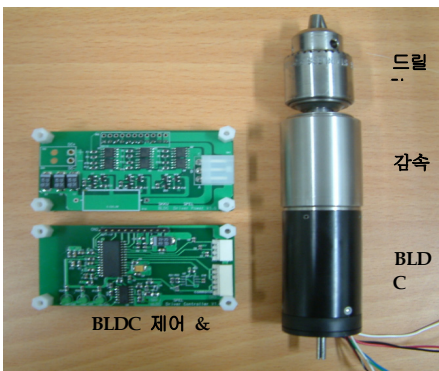


그림 13. 개발된 BLDC 전동기를 이용한 전동 Driver 형상
Fig. 13. Developed electric driver shape using BLDC motor

V. 결 론

본 논문에서는 전동공구의 기본 요구 성능에 맞춰 모터의 성능, 소형화, 고속도의 고출력 성능을 가지는 BLDC 전동기를 이용하여 전동 Driver를 설계하여 최종적으로 산업용 및 의료용에 적용할 수 있는 전동공구를 연구하였다. 따라서 연구결과물을 이용하여 국내 산업용 전동 Driver의 기술수준, 시장점유율, 인지도상승에 기여 할 것으로 사료된다.

References

- [1] S. Z. Chae, "A Comparative Study on Power Tool Manufacturers Products Spec. and Design Development Features", Journal of Korean Society of Design Science, Vol. 17, No. 1, pp. 383-392, 2004.
- [2] UC3625 Application Report, Texas Instruments Incorporated.
- [3] J. R. Hendershot and T. J. E. Miller, Design of Brushless Permanent-Magnet Motor, Oxford Science, 1994.
- [4] Y. H. Yoon, "Three Phase BLDC Motor Driving Control System with Rotor Position Detection and Low Cost Driving Circuit", Trans. KIEE. Vol. 68, No. 2, pp. 376-381, 2019.
DOI: <http://doi.org/10.5370/KIEE.2019.68.2.376>
- [5] G. S. Yoon, Y. H. Lee, Y. M. Heo and G. U. Choi, "Development of Air-Powered Handpiece for Surgical Operation", Journal of KSPE , Vol. 23, No. 3, pp. 188-193, 2004.
- [6] Markhsuda juraeva, B. H. Park, K. J. Ryu and D. J. Song, "Designing High-Speed Dental Air- Turbine Handpiece by Using a Computational Approach", International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 18, No. 10, pp. 1403-1407, 2017.
DOI: <http://10.1007/s12541-017-0167-4>

저 자 소 개

정 성 인(정회원)



- 2001년 : 동국대학교 전기공학과 (공학사)
- 2003년 : 한양대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2015년 : Technical University Braunschweig 전기정보물리공학과 (공학박사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 광주대학교 미래자동차공학과 조교수
- 주관심분야 : 전기구동 퍼스널 이-모빌리티 부품 및 시스템

※ 이 연구는 2021년도 광주대학교 대학 연구비의 지원을 받아 수행되었음.