

DSP를 이용한 BLDC 전동기의 속도제어에 관한 연구

황동원, 김경호, 허두석, 조윤희
동아대학교

A Study On The Speed Control of a BLDC Motor Using DSP

Dong-Won Hwang, Kyoung-Ho Kim, Du-Suk Heo, Yun-Hyun Cho
Dong-A University

Abstract - This paper presents the speed control of Brushless DC Motors using PI control. PI control is implemented by software using digital signal processor(DSP) TMS320F240 from Texas instruments. Considering the cost of BLDC Driver A. B. C phase hall IC's signal is used instead of incremental encoder. The present paper describes, how to control a speed of BLDC Drive

비례하게 되므로 아래의 식 (2)와 같이 토크를 나타낼 수 있다.

$$T = K_T I \quad (2)$$

여기서 K_T 는 토크상수이다.

2.1.2 BLDC 전동기의 운동방정식

BLDC 전동기의 운동방정식은 식(3)과 같다.

$$T = (J_M + J_L) \frac{d\omega}{dt} + D\omega + T_f + T_L \quad (3)$$

여기서

J_M : 전동기의 관성모멘트

J_L : 부하의 관성모멘트

T_f : 전동기의 마찰토크

T_L : 부하토크

$D\omega$: 마찰토크

이다.

2.2 PI 제어기

PI 제어기의 제어동작은 아래 식(4)와 같이 정의된다.

$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (4)$$

이의 전달함수는 다음과 같이 표시된다.

$$\frac{M(s)}{E(s)} = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (5)$$

여기서 K_p 는 비례감도 혹은 이득이며, T_i 는 적분시간을 나타낸다. 또한 아래 그림 1은 PI 제어기의 Block Diagram을 나타내고 있다.

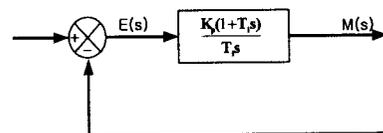


그림 1 PI 제어기의 Block Diagram

1. 서 론

산업이 발달함에 따라 단순 반복이나 여러 악조건 하의 일 등은 인간을 대신해서 기계가 수행하게 되었다. 이에 따라 구동부가 안정하고 가능한 소형이면서 토크가 상대적으로 큰 전동기가 요구되고 있는 실정이다. 여러 가지 전동기 중에서 영구자석형 BLDC 전동기는 일반 DC 전동기에 비해 제어가 간편하며 정류자가 없으므로 소음과 유지비가 적고 정류자에 의한 전력손실이 없으며 수명이 길고 신뢰성이 높아 산업용 및 가전제품의 구동 장치로 연구, 개발이 진행되어 지고 있다. 이에 본 논문에서는 고속스위칭이 가능한 TI사의 TMS320F240 DSP Controller 및 PI 제어기법을 사용하여 BLDC 전동기를 대상으로 속도 제어를 구현해 보았다. 일반적으로 빠른 응답특성과 높은 신뢰성을 보장하기 위해서 고가의 증분형 Encoder의 사용이 필수적이지만 본 논문에서 구성한 제어기는 최소의 비용으로 상대적으로 양호한 신뢰성을 가지는 제어기를 구성하기 위해 Hall 신호를 MC33039 Chip을 이용, 계수하여 전동기의 속도를 검출하였다. 속도 연산 방법은 고속에서 측정 정밀도가 높은 M-method를 사용하였다. 본 논문에서 적용한 BLDC 전동기는 정격출력 1.5Kw(약 2HP)급이며 최대 회전속도는 2500rpm이다.

2. 본 론

2.1 BLDC 전동기의 기본 특성 방정식

2.1.1 전압방정식

BLDC 전동기의 기본 전압방정식은 식 (1)과 같다.

$$V = L \left(\frac{dI}{dt} \right) + RI + E = L \left(\frac{dI}{dt} \right) + RI + K_E \omega \quad (1)$$

여기서 E : 역기전력, K_E : 역기전력 상수, ω : 각속도이다. 그리고 영구자석형 전동기의 공극에서의 자계가 일정하다고 가정한다면 전동기의 발생토크는 전류에

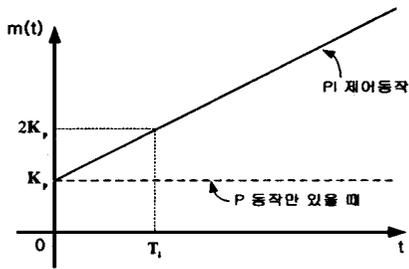


그림 2 PI제어기의 출력

2.3 제어기의 구성

본 논문에서 구성한 제어보드는 크게 전원부, 제어부, 3-Phase inverter로 구성되어 있다. 전원부에서는 제어기에 필요한 모든 전원을 생성하여 공급하고 있고, 출력 볼트는 +5V, ±15V, 및 +24V이다. 전원부의 회로 구성은 정류 및 평활부와 3-Phase inverter의 구동을 위한 inverter 드라이버 회로로 구성하였으며 제어부와 3-Phase inverter의 전기적 절연을 위해 Photo-coupler 를 사용하였다. 제어부에서는 BLDC 전동기에서 출력되는 3개의 Hall Signal을 정류하여 3-Phase inverter를 스위칭 하게 되고, 이러한 3개의 Hall Signal은 MC33039 closed loop brushless adapter로 입력되어 전동기의 속도를 연산하게 된다. 본 논문에서 적용한 전동기의 전기각은 1420° (8극)이므로 전동기 1회전 시 24개의 펄스가 발생되어진다. 속도 샘플링 시간은 25ms 이고 3-Phase inverter의 스위칭 2상 Hard-Chopping 방식을 사용하였다.

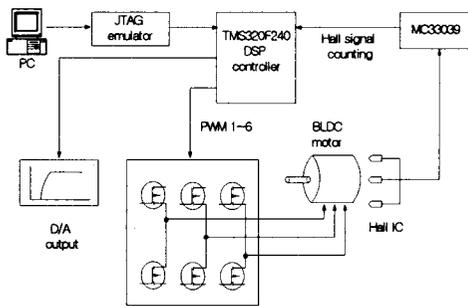


그림 3 DSP 제어보드의 구조

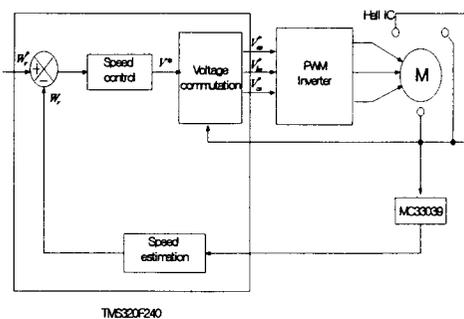


그림 4 BLDC 전동기의 제어 블록도

2.4 실험결과

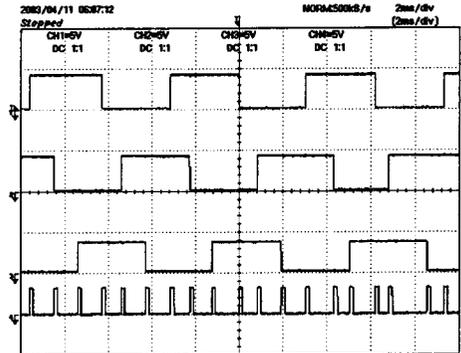


그림 5 Hall-Signal에 따른 MC33039 출력 파형 (Ch1,2,3: Hall-Signal A,B,C Ch4: MC33039출력 파형)

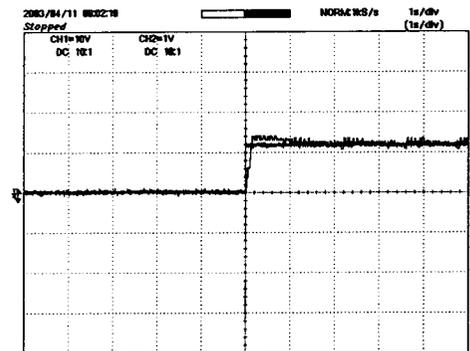


그림 6 무부하 속도응답 특성 (0rpm →1500rpm)

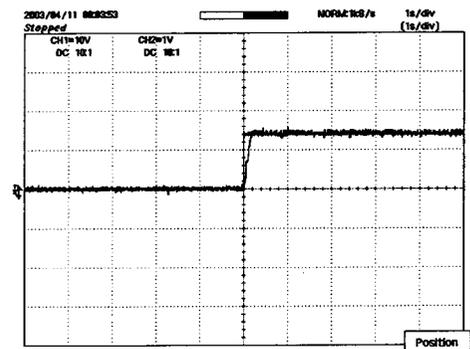


그림 7 무부하 속도응답 특성(0rpm →1800rpm)

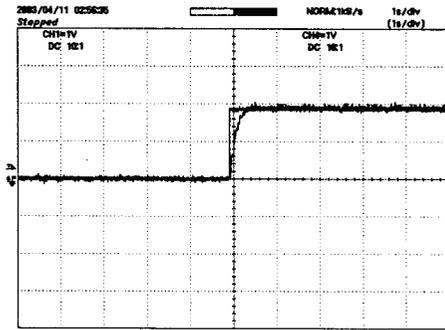


그림 8 무부하 속도응답 특성(0rpm → 2400 rpm)

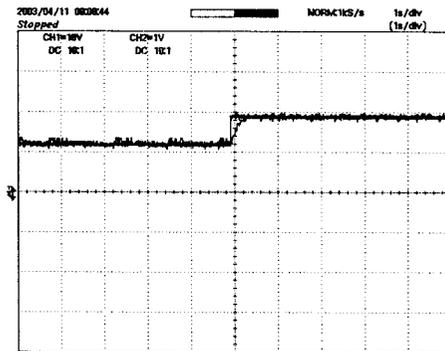


그림 9 무부하 속도응답 특성(1500rpm → 2400rpm)

위 실험결과로 알 수 있듯이 고속으로 갈수록 속도의 추종 신뢰성이 향상됨을 알 수 있다. 이는 앞에서 이미 언급한바와 같이 속도의 검출을 M-method로 실시하였기 때문이다. 즉, 고속에서는 MC33039를 통해 출력되는 Hall-Signal의 갯수가 저속에서 출력되는 Hall-Signal의 갯수보다 상대적으로 많기 때문에 측정 정밀도가 저속에 비해 상대적으로 우수해 짐을 알 수 있다. 그림 6에서 보이는 바와 같이 전동기를 저속으로 운전할 시 상당한 속도 리플이 발생함을 알 수 있다. 이를 극복하기 위해서 속도제어 주기(샘플링 시간)를 늘리든지, 혹은 1회전 당 출력 펄스수가 많은 Encoder의 사용함으로써 해결이 가능하다. 그러나 전자의 경우는 제어기의 성능이 저하될 수 있고, 후자의 경우는 경제적인 부담이 증가되어진다.

3. 결 론

본 논문에서 적용한 고전적인 PI 제어기법과 MC33039 closed loop brushless adapter를 이용한 BLDC 전동기의 속도제어는 제어 알고리즘이 간단하면서도 낮은 가격으로 상대적으로 높은 신뢰성의 제어기를 구성할 수 있다는 장점을 가진다. 또한 전동기를 구동하는데 필요한 대부분의 주변회로가 DSP Chip 내에 내장되어 있고 DSP 자체가 고속연산이 가능하므로 제어기의 소형화 및 신뢰성을 높일 수 있다는 장점 역시 가지고 있다. 그러나 본 연구에서 빠른 응답속도와 출력리플 감소를 위해서는 전동기 회전 당 출력펄스 수가 많은 Encoder의 사용이 절실히 부인할 수 없다.

향후, 본 연구를 바탕으로 최소의 비용으로 높은 신뢰성과 응답속도를 가지는 제어기의 연구가 필요로 되어진다.

[참 고 문 헌]

- [1] Texas Instrument, "DSP Solution for BLDC Motor part #BPRA055", 1997
- [2] Texas Instrument, "Implementation of a Speed Controlled Brushless DC Driver part #BPRA064", 1997
- [3] Texas Instrument, "TMS320F24X DSP Controllers Reference Set
- [4] T.J.E Miller "Brushless Permanent Magnet and Reluctance Motor Drivers", Oxford Science publications, 1993
- [5] 조규만, 김용, 백수현, "DSP를 이용한 BLDC 전동기의 디지털 제어기", 대한전기학회 하계학술대회, 2000.7.17
- [6] 노광호, 김용, 이은영, 조규만, "BLDC 전동기의 디지털 속도 제어기에 관한 연구", 대한전기학회 정기총회 및 하계학술대회, 2000.7.20