

BLDC 모터 제어보드 이상상태 검출에 관한 연구

Fault Detection of the BLDC Motor Control Board

조성오*, 조내수**, 권우현***, 임성운****, 윤경섭*****

Sung-o Cho, Nae-Su Cho, Woo-Hyun Kwon, Sung-Woon Lim, Kyung-Sub Yun

Abstract - DC motor is easy to control and can make torque easily. DC motor uses wide range. But DC motor have limited by using a brush and structural complexity. But, BLDC doesn't have brush, so that is more simple than DC motor, and the rotor of BLDC motor is made by permanent magnet that dose not need to make a fixed flux speed for flux current. BLDC motor is very efficiency, controllable, and reliable.

This paper presents an error detection with a BLDC motor current. Generally, BLDC motor current is used to current feedback, so that can make a critical fault in the system. this paper suggests to detect error by inspection of threshold current value both positive and negative.

Key Words :BLDC motor, fault detection, motor current, motor control board

1. 서 론

브러쉬가 없는 DC모터(Brushless DC motor: BLDC 모터)는 회전자가 영구자석으로 되어 있어서 일정한 자속을 위한 자화전류가 필요하지 않기 때문에 고정자 전류는 토크를 발생 하는 데만 사용되므로 역률과 효율이 유도모터보다 높다. 또한 BLDC모터는 DC 모터와 같은 특성을 가지며 속도는 입력전압에 비례하고 토크는 전기자 전류에 비례한다. 또한 특성이 DC 모터보다 더 선형적이어서 제어능력이 우수하고 DC 모터에서의 브러쉬를 제거함으로써 접촉에 의해서 일어나는 스파이크 등의 문제점이 해결되어 신뢰성이 향상되어 다양한 분야에 사용되고 있다.[1]

BLDC 모터를 구동시에 발생하는 이상상태는 모터불량과 제어보드 불량에 의해 발생 될 수 있다. 모터불량의 경우파라미터 추정[2]등의 방법으로 검출할 수 있다. 본 논문에서는 모터 제어보드가 불량인 경우 제어보드의 이상상태를 검출해 내는 연구를 수행하였다. 이를 위하여 제어보드의 입출력 관계와 인버터의 스위칭 동작을 분석하여 인버터가 비정상적인 스위칭을 하는 경우 이상 모터 전류가 발생됨을 시뮬레이션과 실험을 통하여 확인하였고 이상상태 검출 보드를 제작하여 이 이상상태를 검출됨을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 절 BLDC 모터의 수학적 모델

BLDC모터는 3상 교류를 고정자 권선에 인가하여 회전 자속을 얻고, 이 회전 자속과 회전자의 영구자석에 발생하는 자속과의 상호 작용에 의하여 회전자에 토오르를 발생시키는 원리로 구동된다.

2극 3상 BLDC 모터의 구조와 등가회로는 그림 2.1과 같다. 고정자 권선은 권선수가 N_s , 저항 R_s 로 Y결선 되어있고, 회전자는 영구자석으로 구성되어 있다.

먼저 Faraday 법칙에 의하면 상 전압 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} = R_s \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} + p \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{bmatrix}, \quad p = \frac{d}{dt} \quad (1)$$

여기서 v_1, v_2, v_3 는 a,b,c 상의 인가 전압을 각각 표시하고 R_s 는 고정자 권선 저항을 의미한다. 그리고 각 상의 자속 쇄교수를 $\lambda_j, j = 1, 2, 3$ 이라고 정의하면 전동기가 자기적으로 선형영역에서 동작하고 회전자의 와전류(eddy current)가 무시 가능하다는 가정을 하면 아래와 같다.

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_0 & L_c & L_c \\ L_c & L_0 & L_c \\ L_c & L_c & L_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \lambda_{1m}(\theta) \\ \lambda_{2m}(\theta) \\ \lambda_{3m}(\theta) \end{bmatrix} \quad (2)$$

저자 소개

- * 準 會 員 : 慶北大學 電子工學科 碩士課程
- ** 正 會 員 : 慶北大學 電子工學科 博士課程
- *** 正 會 員 : 慶北大學 電子工學科 正教授 · 工博
- **** 正 會 員 : 慶一大學 電子工學科 教授 · 工博
- ***** 正 會 員 : 居昌傳聞大學 電子工學科 教授 · 工博

여기서 θ 는 회전자 위치를 의미하고 L_0 와 L_c 는 각 상의 자기 인덕턴스(self inductance)와 각 상간의 상호 인덕턴스(mutual inductance)를 각각 나타내며 회전자 위치에 관계없이 일정하다고 가정하였다. 그리고 i_1, i_2, i_3 는 a, b, c 상의 고정자 전류를 각각 표시하며 회전자 위치의 함수인 $\lambda_{jm}, j=1,2,3$ 은 회전자 자석에 의하여 j상에 채교되는 자속수를 표시한다.

식(1)과 식(2)에 d-q 변환식을 적용시키면 다음과 같은 임의축 기준 좌표계(arbitrary reference frame)에서의 d-q축 전압 방정식이 유도된다.

$$v_{qs} = r_s i_{qs} + p \lambda_{qs} + \omega \lambda_{ds} \quad (3)$$

$$v_{ds} = r_s i_{ds} + p \lambda_{ds} - \omega \lambda_{qs} \quad (4)$$

$$\lambda_{qs} = L_q i_{qs} \quad (5)$$

$$\lambda_{ds} = L_d i_{ds} + \lambda_m \quad (6)$$

여기서, L_q 와 L_d 는 q상과 d상의 인덕턴스를 나타낸다. BLDC 모터의 d-q 좌표계에서 토크 방정식은 synchronous 모터의 토크식

$$T_e = \left(\frac{3}{2}\right)\left(\frac{P}{2}\right)(\lambda_{ds} i_{qs} - \lambda_{qs} i_{ds}) \quad (7)$$

식 (5), (6)을 대입하면 얻을 수 있다.

$$T_e = \left(\frac{3}{2}\right)\left(\frac{P}{2}\right)[\lambda_m i_{qs} + (L_d - L_q) i_{qs} i_{ds}] \quad (8)$$

그리고 토크와 회전자 속도의 관계는 다음과 같다.

$$T_e = J \frac{dw}{dt} + B_m w + T_L \quad (9)$$

J : 회전자 관성

B_m : 점성 마찰 계수

T_L : 부하 토크

$$w = \frac{2}{P} \omega_r, \quad P: \text{회전자 극수}$$

2.2 제어 보드의 이상상태

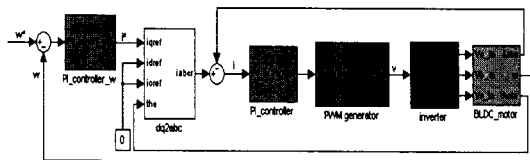


그림 1. BLDC 모터 구동회로의 블럭다이어그램

Fig. 1. The block diagram of BLDC motor control circuit

모터가 정상 동작한다고 가정하였을때 구동보드에서 입출력이 정상적으로 동작하지 않았을 경우 이상상태가 발생하게 된다. 그림 1.의 블럭다이어그램에서 나타나듯이 보드의 입력으로 모터의 위치와 각속도, 모터전류를 읽어들이고 출력으로는 인버터를 통하여 3상 전압을 출력하게 된다.

입력값이 정상적으로 들어오지 않는 경우 입력은 0이 되게 되고 이 경우에는 feedback이 이루어지지 않게된다. w 가 입력되지 않는 경우 이를 가지고 θ 를 구해내기 때문에 정상적인 출력이 이루어지지 않게 된다. w 가 정상적으로 입력이 되어지고 전류값의 입력이 이루어지지 않게 되는 경우에는 전류제어가 이루어지는 않으나 지령전류가 입력으로 사용되어 제어가 이루어지게 된다.

출력이 정상적으로 이루어지지 않는 경우에는 출력전압이 모터의 직접적인 입력으로 사용되기 때문에 모터 기동실패가 발생할 가능성이 높다. 이 경우 보드의 프로세서 유닛이나 제어프로그램의 오류가 아닌 제어보드상의 불량으로 인한 경우 인버터의 불량을 의심해 볼수 있다.

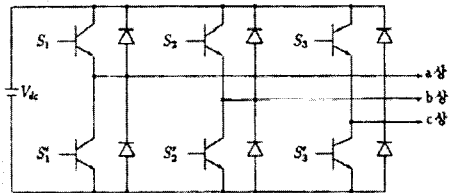


그림 2. 3상 인버터의 구조

Fig. 2. The structure of 3-phase Inverter

그림 2.의 3상 인버터에서 비정상적인 스위칭이 이루어지는 경우를 고려해보면 스위칭 신호에 관계 없이 하나 이상의 스위치가 항상 열려있거나, 항상 닫혀있는 경우가 있다. 이때 하나 이상의 스위치(S)가 항상 닫혀 있는 경우 스위치 제어 신호에 따라 반대편 스위치(S)가 닫히는 경우 단락되어 시스템이 치명적인 결과를 가져오게 된다. 3개의 스위치가 항상 열려 있는 경우에는 전류가 흐르지 않게 되어 모터로 입력전류가 흐르지 않게 된다. 하나의 상만 스위치가 하나 혹은 두개가 스위칭 신호가 입력이 되지 않고 항상 열려있는 경우 입력 전압값이 바뀌게 되어 전압과 전류값의 크기와 위상이 바뀌게 되어 비정상적인 동작을 하는 이상상태가 발생할 수 있다.

2.3 모의실험

J	0.0008
B	0.0001222
L_s	8.05
R_s	2.875
K_e	0.175
K_t	0.175

표 I. BLDC motor의 계수

Table. I. BLDC motor parameter

모의 실험에 사용된 BLDC 모터의 계수는 표 1. 과 같으며 MatLab을 이용하였다. 인버터는 6개의 스위치가 각각 입력과 개폐가 가능하도록 만들었다.

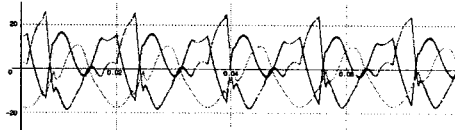


그림 3. S_2 가 항상 열려있는 경우 모터 전류파형
Fig. 3. Motor current signal when S_2 is always open.

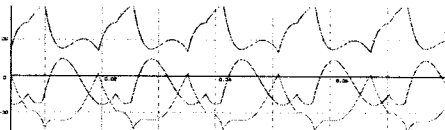


그림 4. S_2 과 S_3 가 항상 열려있는 경우 모터 전류파형
Fig. 4. Motor current signal when S_2 and S_3 is always open.

그림 3. 에서와 같이 인버터의 6개 스위치 중에서 어느 하나만 항상 열려있는 경우는 지령보다 입력전압이 줄어들고 항상 열려있는 상이 직류성분을 약간 가지게 되며 약간의 위상변화가 생기나 기본파는 큰 변화가 없다. 이는 어느 스위치에서나 거의 동일하게 나타난다. 그림 4. 의 경우는 두개의 스위치가 항상 열려 있는 경우인데 이 경우에는 스위치가 항상 열려있는 두 상의 경우 입력되는 전압이 $\pm V_{DCLink}$ 이거나 항상 0이기 때문에 직류 성분이 항상 열려있는 두 상에 걸리게 되어 모터의 이상동작을 발생시키는 주 원인이 된다.

2.4 실험결과

제어보드가 이상동작을 하는 경우 각 상의 최대치와 최소치를 검사하여 일정값 이상이 나왔을 때를 검출하여 제어보드의 이상유무를 가려낼 수 있다. 이를 위하여 이상 전류 검출 회로를 제작하여 이를 검출하였다. 그림 5.(a)는 모터의 제어보드이고 그림5. (b)는 이상 전류 검출 회로이다.

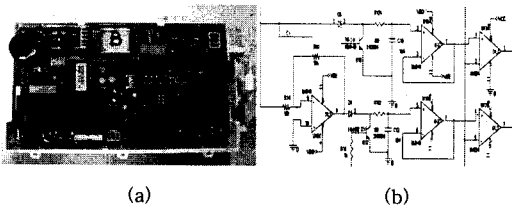


그림 5. 실험에 사용한 보드
(a)모터 제어 보드 (b)이상 전류 검출 회로
Fig. 5. Motor control Board and Fault detection circuit
(a)Motor control board (b)Current fault detection circuit

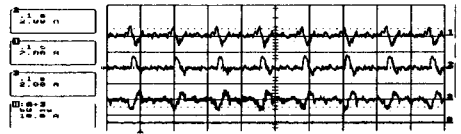


그림 6. 정상 전류 파형
Fig. 6. Correct motor current signal

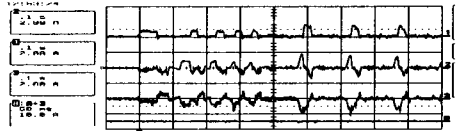


그림 7. 저속시 2번 전류 파형 이상
Fig. 7. Low speed second motor current signal fault

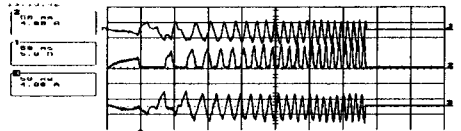


그림 8. 고속시 1번 전류 파형 이상
Fig. 8. High speed first motor current signal fault

3. 결 론

본 논문은 모터제어보드의 이상상태의 발생 원인과 이상상태 발생시 모터 전류가 이상출력이 됨을 확인하여 이를 검출하였다. 인버터가 정상 출력이 되지 않을 경우 모터 전류의 최대값과 최소값이 직류성분에 의해 음이나 양으로 쏠리는 현상에 의해 모터가 기동실패함을 모의실험을 통하여 확인하고 이를 실제 제어보드와 모터를 이용하여 이상상태를 검출하여 모터제어보드 불량을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] 최병태, BLDC 모터의 속도제어제어범위 확장, 석사학위논문, 경북대학교, 1994년 12월.
- [2] 서석훈, 유정봉, 우광준, 시리얼 통신 기반 파라미터 추정에 의한 BLDC 모터의 고정검출, 조명·전기설비학회 논문집, pp.45-52, 2002
- [3] 이육진, 위치 센서가 없는 소형 BLDC 전동기의 기동방법에 관한 연구. 석사학위논문, 서울대학교, 2004년 2월
- [4]Mohan, Undeland, Robbins, Power Electronics -converters, applications, and design, WILEY, 1997