

최대 출력 알고리즘을 이용한 견인용 BLDC 전동기 제어기

곽상현*, 송두영*, 송성근*, 조수억**, 박성준*
전남대*, 서일대**

Traction BLDC Motor Controller Based On Maximum Power Algorithm

Sang-Hyun Kwak*, Doo-Young Song*, Sung-Geun Song*, Su-Eog Cho**, Sung-Jun Park*
Chonnam University*, Seoil College**

Abstract - 본 논문은 3상 2여자 방식의 출력성능을 개선하기 위한 새로운 통전각 확장방식에 관한 연구이다. 제한된 토크제어 방식은 정격토크 이하에서는 기존의 120° 통전 PWM 방식으로 토크를 제어하고, 정격토크 이상에서는 출력 증대를 위해 통전각 확장을 통하여 토크를 제어하는 새로운 토크제어 알고리즘을 제안하였다. 또한 PSIM을 이용한 시뮬레이션을 통하여 제안된 방식의 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

최근 가전제품의 에너지 저감, 저소음 요구의 증가 및 전력전자 기술의 발전과 전력전자 부품 단가의 저가화에 따라 종래의 정속 운전모드에서 인버터 기술을 이용한 가변속 시스템의 개발 및 적용이 활발히 이루어지고 있다.[1] 이러한 가변속 시스템에 사용되는 BLDC 전동기는 직류 전동기의 속도제어가 용이하고, 고 효율성, 큰 기동토크, 소형·경량화가 가능한 장점을 가지고 있다. BLDC 전동기는 사다리꼴의 역기전력 파형을 가지며 일정한 토크 출력을 얻기 위해서는 각 상당 120°의 일정 전류를 흘려주어야 한다. 이와 같은 각 상 전류를 흘리기 위해서는 영구자석 회전자에 따라 항상 두상의 전류만 흐를 수 있도록 인버터의 스위치를 PWM 구동하고, 나머지 한 상은 개방된 상태를 유지하는 2상 여자방식을 사용한다. 이러한 2상 여자방식은 180° 구동 방식에 비하여 맥동 토크 면에서는 우수하나, 전동기 권선 이용률이 66.7%로 낮아 전체 시스템 출력증가에 단점을 갖고 있다.[2]

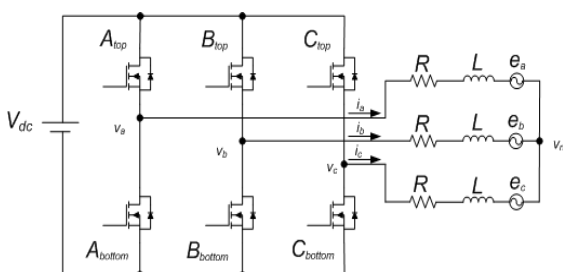
본 논문에서는 2상 여자방식의 출력감소의 단점을 보완하기 위해 정격토크 이하에서는 기존의 120° 통전 PWM 방법을 사용하고, 정격토크 이상에서는 통전각 확장을 통하여 토크를 제어하는 새로운 토크제어 알고리즘을 제안하였다.

2. 본 론

2.1 BLDC 전동기의 구동원리

<그림 1>과 같은 BLDC 전동기의 등가회로를 전압 방정식으로 표현하면 다음 식과 같다.

$$\begin{bmatrix} V_a - V_n \\ V_b - V_n \\ V_c - V_n \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + L \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (1)$$



<그림 1> BLDC 드라이브 구조

여기서 R, L은 각 상의 저항, 누설인덕턴스이고 V_a, V_b, V_c 는 각 상의 단자전압으로 DC 전압원의 기준에서 본 것이며, e_a, e_b, e_c 및 i_a, i_b, i_c 는 각 상의 역기전력 및 상전류이다.

V_n 은 DC 전압원의 기준에서 본 전동기 내부의 중성점 전압으로서 각 상의 저항과 누설인덕턴스가 동일하다면, 전동기의 중성점을 사용하지 않는 경우 각 상전류의 합이 항상 0이므로 식 (2)와 같이 표현된다.

$$V_n = \frac{\sum_k V_k - \sum_k e_k}{3}, \quad k = a, b, c \quad (2)$$

역기전력은 식 (3)으로 표현 가능하다.

$$\begin{aligned} e_a &= K_e \omega_m f(\theta) \\ e_b &= K_e \omega_m f(\theta - 120^\circ) \\ e_c &= K_e \omega_m f(\theta + 120^\circ) \end{aligned} \quad (3)$$

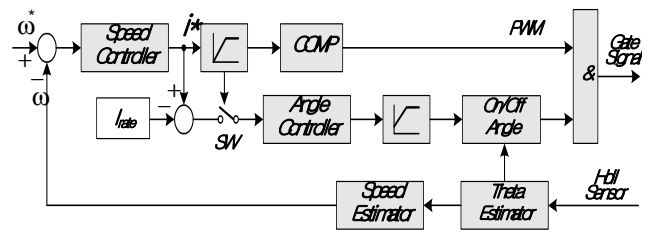
여기서 K_e 는 역기전력 상수이고, ω_m 은 영구자석 회전자의 각속도이다. $f(\theta)$ 는 각 상의 역기전력을 회전자의 위치에 따라 정규화한 함수이다. 각 상전류와 역기전력이 주어지면, BLDC 전동기에서 발생하는 전기적 토크식은 다음과 같다.

$$T_e = \frac{e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c}{\omega_m} \quad (4)$$

역기전력의 형태가 사다리꼴을 갖는 BLDC에서 이상적으로는 맥동토크가 없으나, 실제적으로는 전류에 의한 맥동토크가 발생한다.[3]

2.2 통전각 확장을 이용한 토크제어

120° 도통 방식에서는 식 (4)의 토크식 3항 중 항상 2항이 존재하게 되며, 각 항을 회전자 위치함수에 의한 유효 시비율로 나타내면 항상 2/3가 되고, BLDC 전동기의 토크를 제어하기 위해서는 전류의 크기를 제어하게 된다. 만일 통전각(θ_d)을 바꾸다면 각 상에 의한 토크항은 회전자 위치함수에 의한 유효 시비율로 나타내며 항상 θ_d/π 가 된다. 따라서 통전각을 제어함으로써 토크를 제어할 수 있다. 통전각을 크게하면 유효 시비율은 증대되나, 오히려 토크저감을 초래할 수 있다. 따라서 토크증가를 할 수 있는 최대 통전각 이하 영역내에서 통전각을 증가하는 것이 바람직하다. 또한 정격토크 이하에서 통전각을 확대하여 180°에 근접할수록 기존의 120°의 통전각보다 맥동토크가 크게 나타나며 동손 또한 크게 나타나게된다. 따라서 정격토크 이하에서는 120° 통전 PWM 방식으로 토크를 제어하고, 정격토크 이상에서 출력증대를 위해 통전각 확장을 통하여 토크를 제어하는 새로운 토크제어 알고리즘을 사용하였다. <그림 2>는 통전각 확장 개념을 이용한 토크제어 블록도를 나타내고 있다.

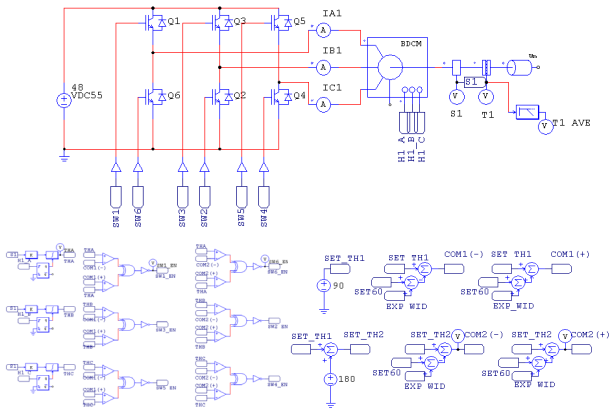


<그림 2> 통전각 확장개념을 이용한 토크제어 블록도

통전각 확장개념 제어기는 우선 홀센서로 60° 간격의 불연속 위치신호로부터 연속의 회전자 위치각 및 속도를 구현하고, 지령속도와 실제속도 정보를 기초로 한 속도제어기로부터 전류 지령치를 형성한다. 전류지령치가 정격전류 이하일 경우에는 120° 통전 PWM 방식 Gate신호가 발생되고, 정격전류 이상일 경우 정격전류와의 차를 예러로 한 통전각 제어가 동작하여 120° 이상에서 설정 최대 통전각 이하의 PWM 신호가 발생된다.

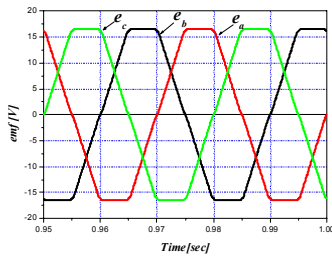
3. 시뮬레이션 결과

<그림 3>은 제안된 제어알고리즘의 타당성을 검증하기 위해 PSIM을 이용한 시뮬레이션용 회로도이다.



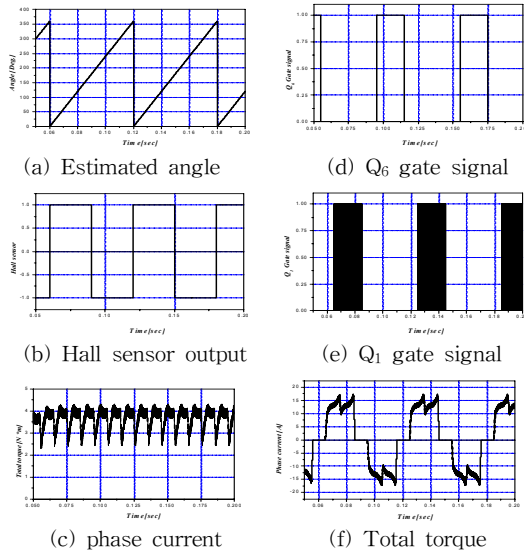
<그림 3> 시뮬레이션 회로도

<그림 4>는 건인용 BLDC에 적합한 시뮬레이션에 사용된 전동기의 역기전력 형태를 나타내고 있다. 역기전력은 평탄화부분이 120°이며, 최대치에 대한 실험비를 1.54로 하였다.

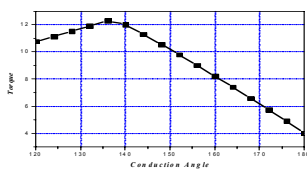


<그림 4> 1000[rpm]에서 역기전력 파형

<그림 5>는 500[rpm]에서의 제어특성으로 기존의 2상여자 방식과 동일하게 나타났으며, 평균 토크 3.67[N·m], 최대토크 4.22[N·m], 최저토크 2.8[N·m]로 토크 리플율은 34.5[%]로 크게 나타남을 알 수 있었다.



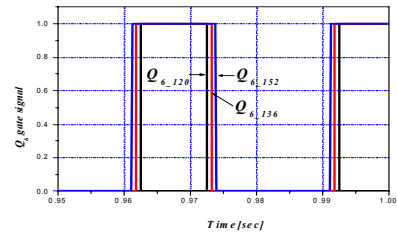
<그림 5> 500[rpm]에서 제어특성



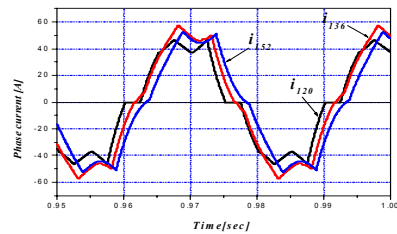
<그림 6> 통전각에 따른 토크

<그림 6>은 통전각 증대에 따른 발생토크를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 최대토크는 136°에서 120° 통전각에 비하여 28%의 토크 증가를 얻을 수 있었으며, 그 이상에서는 통전각이 증감함에도 불구하고 발생토크는 감소함을 알 수 있다. 특히 통전각 146° 이상에서는 오히려 120° 통전각보다 낮은 토크가 발생됨을 알 수 있었다. 본 연구에서는 최대 통전각을 136°로 설정하였다.

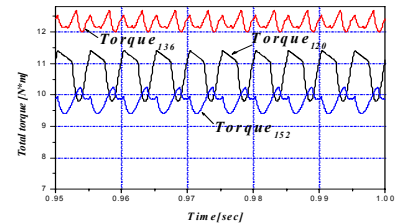
<그림 7>은 통전각에 따른 각부파형을 나타내고 있다. 그림 (a)는 통전각 신호를 나타내고 있으며, (b)는 상전류파형을 나타내고 있고, (c)는 순시토크 파형을 나타내고 있다. 토크의 리플율은 120° 통전각에서 14.95[%]인데 반하여 136°에서 28[%] 토크 증대 뿐만아니라 토크의 리플은 5.54[%]로 현저히 감소하였다. 그러나 152° 통전각에서는 전류의 실험치가 120° 통전각에 비하여 증대하였으나 토크는 오히려 감소함을 알 수 있었으며, 토크의 리플은 8.67[%] 감소하였다.



(a) Switching signal



(b) Phase current



(c) Total torque

<그림 7> 통전각에 따른 각부파형

4 결 론

본 연구는 통전각 확장을 통한 토크제어에 관한 것으로, 제안된 제어기법의 타당성은 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 또한 맥동토크에 대한 리플율을 분석하였다. 본 연구에서는 통전각 확장제어를 함으로써 기존의 2상 여자방식에 비하여 출력이 28% 증가함을 알 수 있었다. 만일 통전각 기준각을 가변한다면 출력이 좀 더 증대할 것으로 사료된다.

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임.
본 연구는 지식경제부의 에너지자원 인력양성 사업을 통한 지원으로 수행되었음.

[참 고 문 헌]

[1] Takeshi Furuhashi, "A Position-and-Velocity Sensorless Control for Brushless DC Motors Using an Adaptive Sliding Mode Observer", IEEE, Vol.39, No.2, pp.89~95 April 1992.
[2] Y.J. Kang, J.Y. Yoo, D.K. Kim, Lee, and T.D. Kim, "150° Electrical conduction Method of Sensorless BLDCM applied to Air conditioner compressor", KIPE, Vol.9, No.6, pp.517~524, December 2004.
[3] Y.S.Jeon, H.S.Mok, G.H.Choe, D.K.Kim, J.S.Ryu. "A New Simulation Model of BLDC Motor With Real Back EMF Waveform", IEEE, Digital Object Identifier 10.1109/CPIE.2000.904719, pp.217~220, July 2000.