

# 자율주행 수중운동체(Autonomous Underwater Vehicle)용 7상 BLDC 전동기 해석용 시뮬레이션 프로그램

□ 김태영, 권대용 / 넥스원퓨처(주) 수석연구원  
 □ 김영빈 / 넥스원퓨처(주) 상무  
 □ 이병국, 원충연 / 성균관대학교 교수

## I. 서 론

영구자석 브러시리스 직류전동기는 고 효율, 고 출력, 고 토크, 제어 용이성 및 낮은 고장율 등으로 인해 항공, 군사, 자동차 및 산업 제품에 사용이 증가하고 있다.

다상 브러시리스 직류전동기는 전통적인 3상 브러시리스 직류전동기보다 여러 가지 장점을 가지고 있다. 토크 리플을 줄이고, 효율을 증가시키고, 상당 전압 증가 없이 철손을 줄일 수 있다. 군사적 목적으로 응용되는 제품에서는 고장 배제 요소가 가장 중요한 고려 대상 중의 하나이다. 다상 전동기는 한 두 상이 고장 나더라도 작동할 수 있으므로 다상 브러시리스 직류전동기는 군사 응용 제품이나 에너지 절약을 위해서는 좋은 고려 요소가 된다 [1].

이러한 장점들에도 불구하고 브러시리스 직류전동기에 관련된 대부분의 연구들이 3상 브러시리스 직류전동기에 의존되어 왔으며 [2][3], 2000년대에 이르러 5상 브러시리스 직류전동기에 관한 연구들이 시작되고 있으나 [4][5], 불행히도 7상 브러시리스 직류전동기에 관한 연구는 어디에서도 찾아 볼 수가 없었다. 다상 브러시리스 직류전동기는 제어 복잡성 및 높은 가격으로 인하여 비평을 받아 왔다. 하지만, 디지털 신호 처리

컨트롤러의 발달로 인하여 이러한 문제들은 대다수 해결되었다. 게다가, 다상 구동 방식은 전체 시스템의 여러 가지 고려 요소 중에서 가격이 차지하는 비중이 낮은 분야 즉, 전기자동차, 항공, 선박 추진 및 고출력 군사 응용 제품 등의 고 성능 및 고 신뢰도가 요구되어지는 분야에 적용될 수 있다 [5].

자율 주행 수중운동체 하나인 어뢰용 전동기는 그 기술적 특성에 대해서는 거의 알려지지 않고 있으나, 적용체계의 특성으로 인하여 소형 경량화 및 고출력 에너지 밀도화가 필수적이며, 이것은 곧 1970년대에는 중량 당 출력비가 1.0[kW/kg] 정도이던 것이 1980년대에는 1.7 정도, 1990년대에는 2.1 정도, 최근에 와서는 약 3.0을 넘는 추세로 진행되고 있다 [6].

이러한 배경 하에서, 본 논문은 군사 목적의 자율 주행 수중운동체 (AUV : Autonomous Underwater Vehicle)에 사용되는 7상 브러시리스 직류전동기 드라이브 시스템을 모델링하여 시뮬레이션을 통하여 결과를 해석하고자 한다. 7상 브러시리스 직류전동기의 전기적 모델을 새로 제안하였으며, 드라이브 시스템을 기능 구조 블록을 기반으로 하는 개선된 시뮬레이션 기법 [7]을 통하여 MATLAB에 의한 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 해석하였다.

## II. 제안하는 7상 BLDC 전동기 드라 이브 시뮬레이션 프로그램

7상 BLDC 전동기는 그림 1과 같은 사다리꼴의 역기 전력과 전류파형을 가진다.

그림 2는 제안된 브러시리스 직류전동기 드라이브 모델의 전체 블록도를 보여준다. 그림 2에서 볼 수 있 듯이 제안된 모델은 역기전력 블록, 전류 제어 블록, 펄 스폭 변조 인버터 블록, 상 전류 블록 및 속도/토크 제 어기 블록 등 다섯 개의 기능 블록을 가진다. 각 블록 별 상세한 사항은 추후 논문에서 설명을 할 것이다.

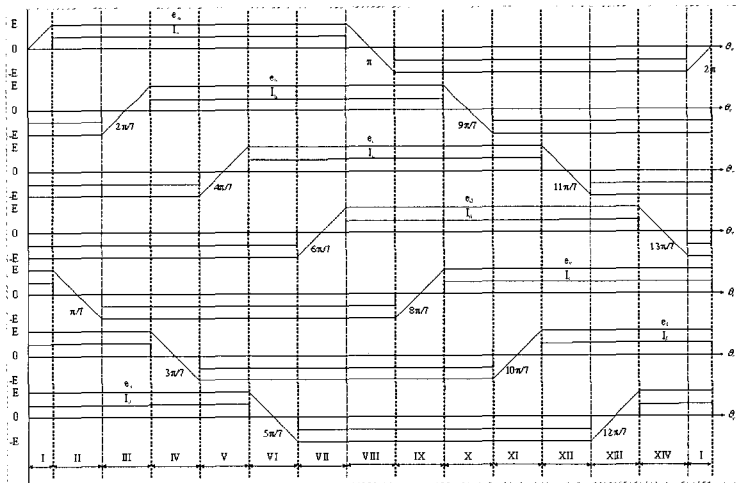


그림 1 7상 브러시리스 직류전동기의 역기전력과 상 전류 파형

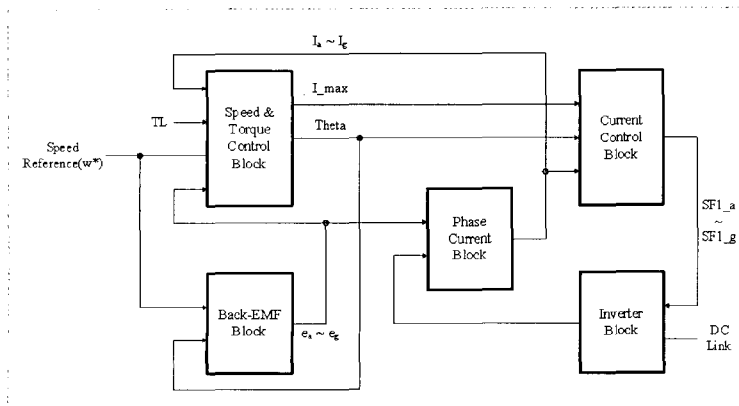


그림 2 7상 제안된 브러시리스 직류전동기 드라이브의 전체 블록도

## III. 시뮬레이션 결과

본 시뮬레이션에 사용된 BLDC Motor Parameter들은  $R = 0.476 \text{ ohm}$ ,  $L_s = 400\mu\text{H}$ ,  $M_1 = -21.87\mu\text{H}$ ,  $M_2 = -130.0\mu\text{H}$ ,  $M_3 = 78.73\mu\text{H}$ ,  $K_t = 0.2226\text{Nm}$ ,  $J = 0.00135\text{Kg}\cdot\text{m}^2$ ,  $T_L = 20\text{Nm}$ ,  $V_d = 300\text{Vdc}$ 이다. 그림 3은 속도 명령 2,500 rpm에 대한 속도응답, 토크 및 전류명 령을 보여준다. 그림 4는 7상 전류파형을 보여준다.

## IV. 결 론

본 논문에서 자율주행 수중운동체 용 7상 BLDC Motor Drive System을 위한 새로운 모델을 제안했고 기능 구조 블록을 기반으로 하는 개선된 시뮬레이션 기법을 통하여 MATLAB 에 의한 시뮬레이션을 수행하고 그 성능을 입증했다. 향후 다상 BLDC Motor Drive System을 해석하고 설계 할 경우나 새로운 제어 알고리즘을 개발할 경우 좋은 예제가 될 수 있을 것으로 생각된다.

## V. 참조문헌

[1] T. H. Kim, H. W. Lee and M. Ehsani, "Advanced Sensorless Drive Technique for Multiphase BLDC Motors," IEEE-IECON International Conference on Industrial Electronics Society, 2004.

[2] P. Pillay and R. Krishnan, "Modeling, Simulation and Analysis of Permanent-Magnet Motor Drives, Part II: The Brushless DC Motor Drive," IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 25, pp. 274-279, March/April 1989.

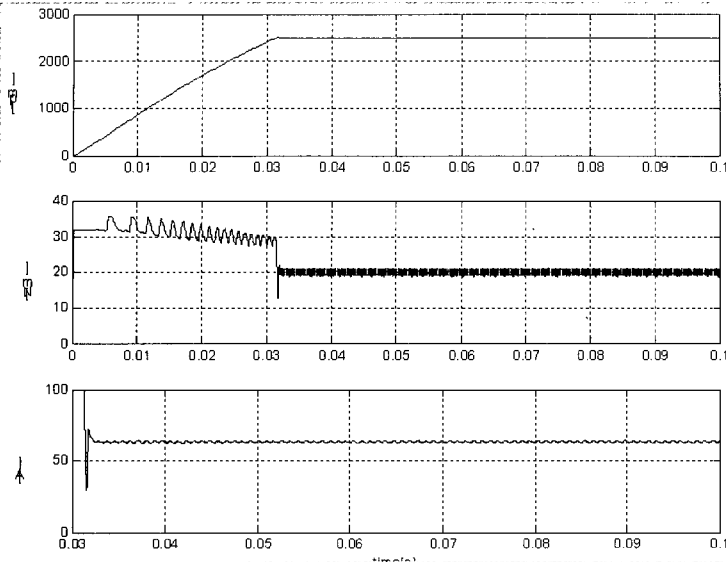


그림 3 속도 및 토크 제어기의 동적 응답

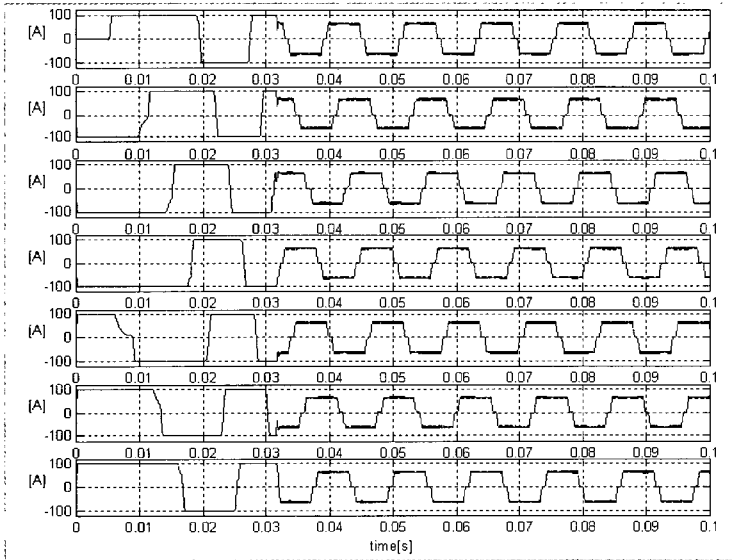


그림 4 7상 전류 파형

[3] S. K. Safi, P. P. Acarnley and A. G. Jack, "Analysis and simulation of the high-speed torque performance of brushless DC motor drives," Proc. of the IEE, vol. 142, no. 3, pp. 191-200, May 1995.

[4] N. N. Franceschetti and M. G. Simoes, "A New Approach for Analysis, Modeling and Simulation of Brushless Multiphase Machines," IEEE-IECON International Conference on Industrial Electronics Society, 2001.

[5] M. G. Simoes and P. Vieira Jr. "A High-Torque Low-Speed Multiphase Brushless Machine - A Perspective Application for Electric Vehicles," IEEE Trans. on Industry Electronics, vol. 49, no. 5, pp. 1154-1164, October 2002.

[6] Peter Mongeau, "High Torque/High Power Density Permanent Magnet Motors," Naval Symposium on Electric Machines, proceedings, July 28-31, 1997, The Hotel Viking, Newport, RI, U.S.A.

[7] B. K. Lee and M. Ehsani, "Advanced Simulation Model for Brushless DC Motor Drives," Electric Power Components and Systems, Taylor & Francis Inc., 2003, pp. 841-868.