

가전제품용 컴프레서 구동을 위한 SMO 기반 센서리스 제어의 속도에 따른 토크 변동 분석

최경민, 김태규
국립창원대학교

Analysis of Torque Fluctuation According to Speed of SMO Based Sensorless Control for Driving Compressor for Home Appliances

Gyeong-Min Choi, Tae-Kue Kim
Changwon National University

ABSTRACT

In this paper, we analyzed the problem of torque fluctuation due to phase delay of LPF and speed fluctuation, which appears in PMSM back electromotive force-based sensorless control system. For this purpose, we configured a sensorless control system for PMSM with the SMO observer using Matlab simulink. We modeled a PMSM motor and a sensorless control system, and to analyze its characteristics, we divided it into low-speed and high-speed regions and analyzed torque fluctuations according to speed fluctuations.

1. 서론

가전제품에 사용되는 컴프레서 구동을 위한 전동기로 영구자석 동기전동기가 널리 사용되고 있다. 전동기의 속도를 제어하기 위해서는 회전자의 속도와 위치 정보가 필요한데, 기존에는 엔코더(Encoder), 홀센서(Hall sensor)와 같은 물리적인 센서를 사용하여 제어하였다. 그러나 센서의 사용으로 인한 비용의 상승, 부피 증가 등의 단점이 있으며, 컴프레서 구조 특성상 센서를 설치하기 어려운 문제점이 있다. 이와 같은 이유로 컴프레서 구동용 영구자석 동기전동기에는 센서를 사용하지 않고 속도를 제어하는 센서리스 제어가 필수적이다. 센서리스 제어 방식에는 크게 모델 기반 센서리스 제어와 신호 주입 센서리스 제어로 구분할 수 있다. 그 중 모델 기반 센서리스 제어에는 Luenberger Observer, Model Reference Adaptive System(MRAS), Sliding Mode Observer(SMO) 등이 있다. SMO는 전동기 파라미터 변동, 외란 및 잡음에 강인하고 수학적 설계가 간단하다는 장점이 있다.^[1] 하지만 채터링을 유발하기 때문에 이를 제거하기 위해 LPF를 사용하게 되고, 그로 인해 속도가 높아지는 고속구간에서 역기전력과 고정자 자속의 위상 지연이 커지기 때문에 토크 변동이 발생한다. 본 논문에서는 슬라이딩 모드 관측기를 사용한 센서리스 제어에서 앞서 언급한 고속에서의 토크 변동을 분석하였으며, 시뮬레이션을 통해 그 결과를 분석하였다.

2. 슬라이딩 모드 관측기를 사용하는 PMSM 센서리스 제어

2.1 MATLAB 시뮬레이션 구성

영구자석 동기전동기의 전압 방정식은 식 (1), (2) 와 같이 모델링 할 수 있다.

$$v_d = R_s i_d + L_d \frac{di_d}{dt} - \omega_r L_q i_q \tag{1}$$

$$v_q = R_s i_q + L_q \frac{di_q}{dt} + \omega_r L_d i_d + \omega_r \phi_f \tag{2}$$

여기서 v_d, v_q 는 d-q축 전압, R_s 는 고정자 저항, i_d, i_q 는 d-q축 전류, L_d, L_q 는 d-q축 인덕턴스, ω_r 은 회전자 속도, ϕ_f 는 쇄교 자속을 나타낸다. 역기전력은 회전자 위치정보를 갖는 영구자석의 자속에 의해 발생하고, 역기전력을 추정함으로써 위치정보를 추정할 수 있다. SMO를 이용한 영구자석 동기전동기의 위치추정 알고리즘 또한 모터의 역기전력 추정을 통해 이루어지게 된다.^{[2][3]}

PMSM 센서리스 알고리즘의 전체적인 구성도는 그림 1과 같다.

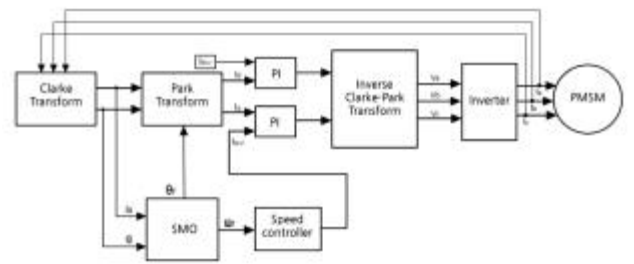


그림 1 슬라이딩 모드 관측기를 사용하는 PMSM 센서리스 모델의 전체적인 구성도

Fig. 1 A PMSM Sensorless model using a sliding Mode Observer(SMO)

$$\hat{i}_\alpha = -\frac{R}{L} i_{\alpha_{est}} + \frac{1}{L} v_\alpha - \frac{1}{L} E(i_{\alpha_{est}} - i_\alpha) \tag{3}$$

$$\hat{i}_\beta = -\frac{R}{L} i_{\beta_{est}} + \frac{1}{L} v_\beta - \frac{1}{L} E(i_{\beta_{est}} - i_\beta) \tag{4}$$

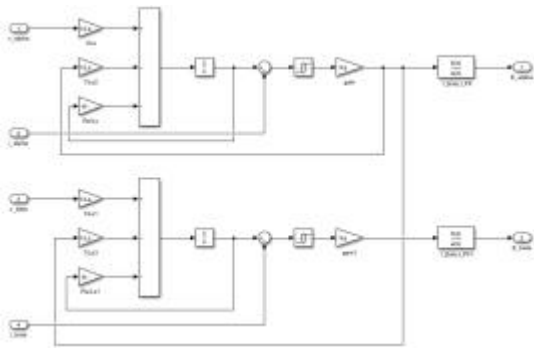


그림 2 슬라이딩 모드 관측기
Fig. 2 Sliding Mode Observer (SMO)

식 (3)과 (4)는 슬라이딩 모드 관측기 모델링이다. 이 식을 바탕으로 슬라이딩 모드 관측기는 그림 2와 같이 구성하였다. 그림 2에 나타난 바와 같이 슬라이딩 모드 관측기에는 LPF(Low Pass Filter)를 사용하기 때문에 고속구간에서 발생하는 위상 지연으로 인한 토크 맥동이 문제가 된다.

2.2 시뮬레이션 결과 및 분석

그림 3과 그림 4는 본 논문의 시뮬레이션 결과로 각각 500[rpm]의 저속과 1100[rpm]의 고속에서 토크를 나타낸다. 그림 3의 저속에서와 달리 그림 4의 고속에서 토크 변동이 크게 발생함을 시뮬레이션 결과로 확인할 수 있다.

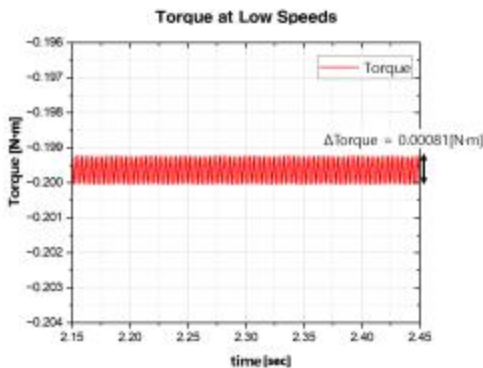


그림 3 저속(500[rpm])에서 토크
Fig. 3 Torque at low speeds(500[rpm])

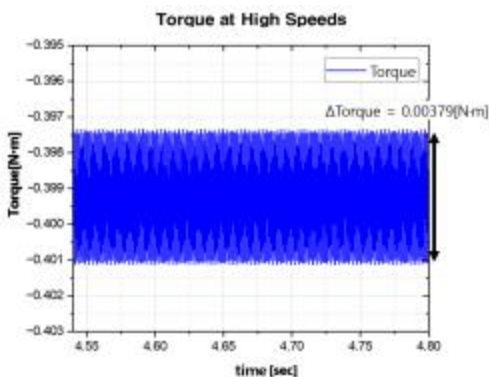


그림 4 고속(1100[rpm])에서 토크
Fig. 4 Torque at high speeds(1100[rpm])

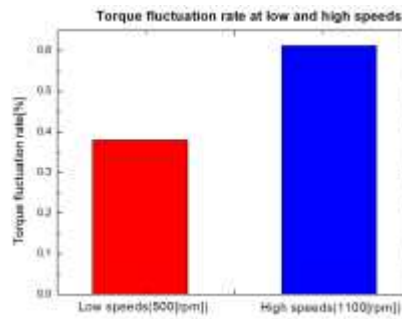


그림 5 저속과 고속에서 토크변동률
Fig. 5 Torque fluctuation rate at low and high speeds

그림 5는 저속(500[rpm])과 고속(1100[rpm])에서의 토크 변동률을 나타낸 그래프이다. 빨간색 막대는 저속에서, 파란색 막대는 고속에서의 토크 변동률을 나타내며, 이 값은 토크 지령값을 기준으로 변동되는 양에 대한 절댓값의 차이로 구한 값이다. 저속에서 토크 변동률은 0.38%이며, 고속에서 토크 변동률은 0.61%로 저속에 비해 고속에서 토크 변동률이 0.23% 더 큼을 확인했다.

3. 결론

컴프레서 구동용 영구자석 동기전동기의 경우 센서를 사용하기 어려운 특성으로 인해 센서리스 알고리즘을 사용하는 것이 필수적이다. 이러한 이유로 본 논문에서는 가전제품에 사용되는 컴프레서에 SMO 기반의 센서리스 제어를 하였을 때 속도에 따른 추정 성능과 토크 변동에 대해 MATLAB SIMULINK를 활용하여 시뮬레이션을 통해 결과를 비교하고 분석하였다. 그 결과 SMO 기반 센서리스 제어에서 위치와 속도의 안정적인 제어 성능을 보였지만 고속구간에서 토크 변동률이 저속구간에 비해 0.23%만큼 큼을 확인하였다. 이러한 토크 변동은 컴프레서 구동에 있어 성능을 저하시키고 모터의 정속적인 운전을 방해한다.

향후 연구에서는 컴프레서 구동에 있어 토크 변동을 줄이기 위해 SMO 관측기 기반의 센서리스 제어의 개선에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 성과물은 중소벤처기업부에서 지원하는 2022년도 산학연 플랫폼 협력기술개발사업(S3312688)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고 문헌

- [1] 이재민, "PMSM의 극 저속 Sensorless 제어를 위한 SMO 설계", 국내석사학위논문 부경대학교, 2018, August
- [2] 김상훈, 정영석, 권순재, 김만고, "슬라이딩 모드 관측기를 이용한 IPMSM의 센서리스 제어의 기동 특성에 관한 연구", 전력전자학회대회 논문집, Vol. 16, No. 1, pp. 38-43, 2011, July
- [3] 박완서, 조관열, 김학원, "영구자석 동기전동기의 확장 역기전력 기반 센서리스 제어와 자속기반 센서리스 제어의 파라미터 오차의 영향 분석", 한국산학기술학회논문지, Vol. 20, No. 3, pp. 8-15 2019, February