

MRAS(Model Reference Adaptive System)를 이용한 영구자석동기전동기의 관성 추정

송기영, 조관열, 김학원, 임병국
한국교통대학교

Inertia Estimation for a PM Synchronous Motor Based on MRAS(Model Reference Adaptive System) Observer

Ki Young Song, Kwan Yuhl Cho, Hag Wone Kim, Byung Kuk Lim
Korea National University of Transportation

ABSTRACT

일반적인 전동기 구동에 있어서 부하의 변화에 의해 관성이 변하는 경우 동일 속도 제어기 이득에서의 속도 응답은 오버슈트가 생기거나 진동하는 문제점이 있다. 따라서 정확한 속도제어가 필요한 응용분야에서 전동기의 관성 추정은 필수이다. 본 논문에서는 MRAS 관측기를 활용하여 영구자석동기전동기의 관성을 추정하고 추정된 관성으로 속도제어기의 제어이득을 선정할 경우의 속도 응답특성을 비교한다.

1. 서 론

부하의 변동이 큰 산업용 로봇을 제어하는 경우 로봇이 사람이나 물체에 충돌 하였을 때 빨리 정지시키기 위하여 속도 지령을 급격하게 감소 시켜야한다.^[1] 이 때 부하의 변동에 대해서 관성을 정확하게 알지 못한다면 속도의 오버슈트와 진동 및 제어시스템이 불안정해질 수 있다. 하지만 관성은 부하의 무게와도 관련이 있기 때문에 부하의 무게가 달라지는 응용분야에서는 실시간으로 관성을 계산하여 적용하는데 어려움이 있다.^{[2][3]}

본 논문에서는 MRAS(Model Reference Adaptive System) 관측기를 활용하여 관성을 추정하고 추정된 관성을 가지고 속도 제어를 하였을 때 개선된 속도 제어특성을 시뮬레이션으로 확인하고 검증한다.

2. 본 론

2.1 관성 추정을 위한 MRAS 관측기 모델링

일반적인 동기 전동기의 기계적인 토크 방정식은 다음 식 (1)과 나타낼 수 있다.

$$T_e = J_m \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m + T_L \quad (1)$$

여기서 T_e 는 구동토크, J_m 는 관성, ω_m 은 모터의 기계적 회전 각속도, B 는 마찰계수, T_L 은 부하토크를 나타낸다.

식 (1)을 이용하여 그림 1과 같이 속도 명령을 주었을 경우 각 구간마다의 토크는 식 (2), (3)과 같이 나타낼 수 있다.

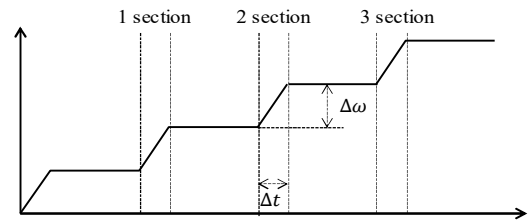


그림 1 속도 지령
Fig. 1 Speed reference

정속 구간에서의 토크를 T_c 라 하였을 때, 속도의 변화가 없다면 그 때의 토크는 정지마찰 계수 항과 부하토크 항의 합인 \hat{T}_L 로 나타낼 수 가 있다.

$$T_c = B\omega_{mo} + T_L = \hat{T}_L \quad (2)$$

또한 가속 구간에서의 토크를 T_a 라 하였을 때, 가속 시 속도 지령을 짧은 시간에 속도 변화를 작게 주었을 경우 $\Delta\omega_m$ 은 0으로 볼 수 있고, 정지마찰 계수 항과 부하토크 항은 식 (2)에서와 같이 \hat{T}_L 로 나타낼 수가 있으므로 T_a 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} T_a &= J \frac{d}{dt}(\omega_m + \Delta\omega_m) + B(\omega_m + \Delta\omega_m) + T_L \\ &= J \frac{d\omega_m}{dt} + \hat{T}_L \end{aligned} \quad (3)$$

관성의 차이에 의한 변화는 가속구간에서 나타나기 때문에 식 (1), (2), (3)을 이용하여 임의의 공칭파라미터 J_o 에 관한 Model식 (4)와 관성의 변화가 있는 Plant 식 (5)으로 각각 나타낼 수 있다.

$$T_{mo} = J_o \frac{d\omega_{mo}}{dt} + B\omega_{mo} + T_L = J_o \frac{d\omega_{mo}}{dt} + \hat{T}_L \quad (4)$$

$$T_r = (J_o + \Delta J) \frac{d\omega_r}{dt} + B\omega_r + T_L = (J_o + \Delta J) \frac{d\omega_r}{dt} + \hat{T}_L \quad (5)$$

위의 Model 식과 Plant 식의 차를 이산화 방정식으로 나타내고 전체 시스템 관성(J_{sys})과 임의의 공칭 관성파라미터(J_o)의 차이인 ΔJ 로 나타내면 다음과 같다.

$$\Delta J = J_o \frac{\omega_{mo}(kT) - \omega_r(kT)}{\omega_r(kT) - \omega_r(k-1)T} \quad (6)$$

식 (6)에서 모델 속도 $\omega_{mo}(kT)$ 는 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\omega_{mo}(kT) = \frac{T_{mo}(kT) - \hat{T}_L(kT)}{J_o} + \omega_r(k-1)T \quad (7)$$

2.2 모의 해석

관성 추정을 위한 모의 해석으로서 MATLAB/Simulink를 사용하여 시뮬레이션을 하였다.

다음 표 1은 시뮬레이션을 위한 영구자석 동기전동기의 파라미터이다.

표 1. 모터 파라미터

Table. 1 Motor parameters

Source voltage	220	V
Number of poles	8	
Phase resistance (R_s)	118	Ω
q axis inductance (L_q)	1.0062	H
d axis inductance (L_d)	0.6434	H
Magnet flux (λ_m)	0.6447	Wb
Moment of inertia (J)	0.00041	Nm^2

그림 2는 전동기의 관성을 관측하기 위한 MRAS 관측기를 갖는 영구자석동기전동기의 전체 제어 블록도를 나타낸다. 그림 3은 관성 추정을 위한 MRAS 관측기로 식 (6), (7)를 이용하여 임의의 공칭 관성파라미터(J_o)와 시스템 관성(J_{sys})의 차이인 ΔJ 를 계산하는 블록도를 나타낸다.

그림 4와 그림 5는 시스템 관성(J_{sys})이 모터 관성(J_m)의 50 배만큼 커졌을 경우 각각 임의의 공칭 관성파라미터(J_o)에 따른 MRAS 관측기로부터 계산된 관성을 나타낸다.

그림 4와 그림 5에서 시스템 관성 J_{sys} 는 $(J_m \times 50) + J_m$ 로서 $0.0209kgm^2$ 이며 공칭 관성파라미터(J_o)는 각각 $0.05kgm^2$ 와 $0.001kgm^2$ 의 값을 주었다.

그림 4와 그림 5의 ΔJ 는 위의 그림 1과 같이 속도 명령을 주었을 때 각 가속 구간마다의 시스템 관성과 공칭 관성파라미터의 차이인 값을 나타낸다.

그림 4와 5의 J_{ave} 는 각 가속 구간에서의 ΔJ 를 평균을 취하여 얻은 값이며, 각각 $0.0275kgm^2$, $0.0215kgm^2$ 로서 실제 ΔJ 인 $0.0291kgm^2$, $0.0199kgm^2$ 과 약 $0.0016kgm^2$ 의 오차를 갖는다.

그림 4와 5의 J_{sys} 는 시스템 관성이며 J_{ave} 와 공칭 관성파라미터(J_o)의 합을 나타낸 값이다.

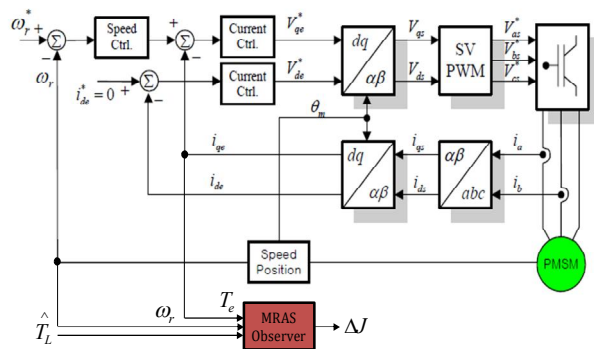


그림 2 영구자석동기전동기의 전체 제어블록도
Fig. 2 Overall block diagram of PMSM Controller

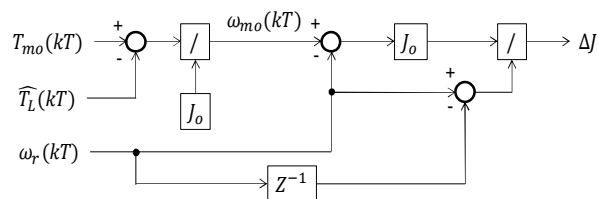


그림 3 MRAS 관측기 블록도
Fig. 3 Block diagram of MRAS observer

그림 4와 5에서의 추정된 시스템 관성 J_{sys} 은 각각 $0.0225kgm^2$ 로서 실제 시스템 관성 J_{sys} ($0.0209kgm^2$)와 약 $0.0016kgm^2$ 의 오차를 갖는다.

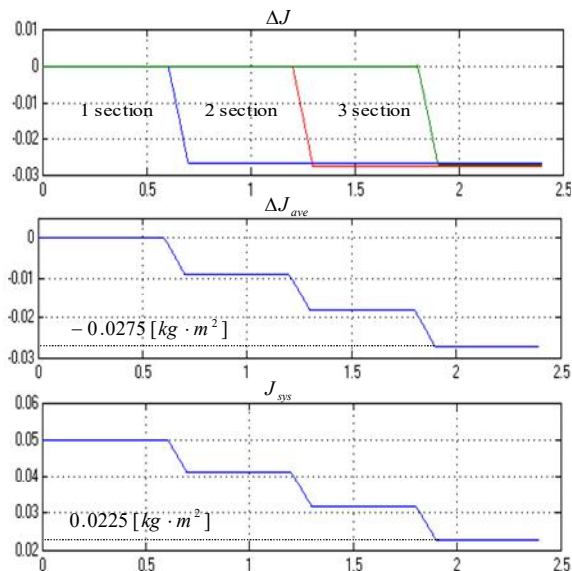


그림 4 $J_o=0.05kgm^2$ 에서의 추정 관성
Fig. 4 Estimated Inertia for $J_o=0.05kgm^2$

3. 결 론

본 논문에서는 전동기의 부하조건이 변함에 따라 관성의 변화를 추정하기 위하여 MRAS(Model Reference Adaptive System) 관측기를 이용해서 추정한 관성을 속도제어기에 적용시켰을 때 개선된 속도제어특성을 시뮬레이션으로 검증하였다.

이 논문은 (주)성암전기와 2011년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20114010203030)입니다.

참 고 문 헌

- [1] C. H. Choi, S. C. Shin, H. J. Lee, Y. R. Kim, C. Y. Won, "A Study on Collision Detection of Industrial Robots using the Mechanical Inertia Observer", Conference of the KIPE, pp. 65-66, Nov. 2012.
- [2] Yang, S. M., and Ke, S. J. "Performance Evaluation of a Velocity Observer for Accurate Velocity Estimation of Servo Motor Drives", IEEE Trans. Ind. Appl., 2000, 36, (1)
- [3] Kwon, T. J., and Hyun, D. S. "High Performance Speed Control of Electric Using Low Precision Shaft Encoder", IEEE Trans. Power Electron., 1999, 14, (5), pp.838-849

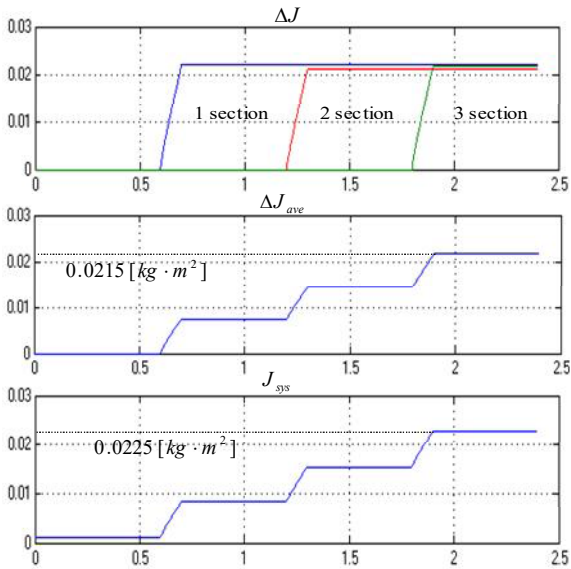
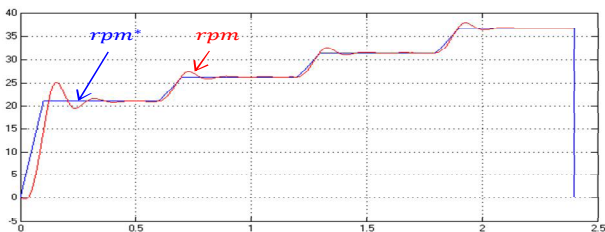


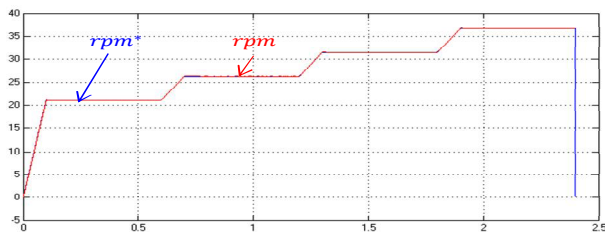
그림 5 $J_o=0.001kgm^2$ 에서의 추정 관성
Fig. 5 Estimated Inertia for $J_o=0.001kgm^2$

그림 6의 (a)는 그림 4의 조건에서 속도제어기 이득을 모터 관성만으로 하였을 때의 속도 응답이며, 속도 지령에 대해서 오버슈트 및 가속 시 응답이 느려짐을 알 수 있다.

반면에 그림 6의 (b)는 그림 4에서 추정한 시스템 관성을 속도제어기 이득에 적용시켰을 때의 속도응답을 나타내며, 지령 속도에 대해서 잘 추정하는 것을 알 수 있다.



(a) 기존 관성으로 속도제어기 이득 선정 시



(b) 추정된 관성으로 속도제어기 이득 선정 시

그림 6 기존 및 제안된 알고리즘의 속도응답

Fig. 6 Speed response for conventional and proposed algorithm

그림 4, 5의 조건 이외에도 시스템 관성과 공칭 관성과라미터 값을 바꾸어 가며 여러 번 시뮬레이션 해본결과 MRAS를 통해 관측한 관성과 실제 시스템 관성의 오차는 최소 $0.001kgm^2$ 에서 최대 $0.002kgm^2$ 를 넘지 않으며 관측된 관성을 이용하였을 때의 속도응답을 보면 위와 같은 오차는 무시할 만한 수준인 것으로 나타났다.