

선형 영구자석 동기전동기의 최소자승법을 적용한 질량 추정

이진우

두원공과대학 메카트로닉스과, jinwoo@doowon.ac.kr

Mass Estimation of a Permanent Magnet Linear Synchronous Motor by the Least-Squares Algorithm

Jin-Woo Lee

Dept. of Mechatronics, Doowon Technical College, jinwoo@doowon.ac.kr

ABSTRACT

In order to tune the speed controller in the linear servo applications the accurate information of a mover mass including a load mass is always required. This paper suggests the mass estimation method of a permanent magnet linear synchronous motor(PMLSM) by using the parameter estimation method of Least-Squares algorithm. First, the deterministic autoregressive moving average(DARMA) model of the mechanical dynamic system is derived. The application of the Least-Squares algorithm shows that the mass can be accurately estimated both in the simulation results and in the experimental results.

1. 서론

반도체 및 FDP(Flat Panel Display) 제조장비 등과 같은 서보 응용분야에 사용되는 선형 영구자석 동기전동기의 고정도 제어를 위해서는 속도제어기를 정밀하게 조정하는 것이 필요하며, 이를 위해서는 가동부의 질량을 정확히 아는 것이 필요하다.

상수 추정 방법으로 널리 적용되고 있는 최소자승법은 수렴특성이 우수하고 잡음에 강인한 특성을 갖고 있으며,^[1] 이를 적용한 유도전동기의 관성 추정에 대한 기존 연구가 발표되었다.^[2]

본 논문에서는 선형 영구자석 동기전동기의 가동부 질량을 추정하기 위하여 최소자승법을 채택하였으며, 최소자승법을 적용하기 위한 기계적 동적 시스템의 모델을 제시하고, 시뮬레이션 및 실험을 통하여 적절한 추정성능을 얻기 위한 방법에 대한 고찰과 결과를 제시하여 질량 추정을 위한 최소자승법의 적용가능성을 보이고자 한다.

2. PMLSM의 가동부 질량 추정

최소자승법을 적용한 PMLSM의 질량 추정을 위해서는 먼저 기계적 동적 시스템에 대한 DARMA 모델을 구하고, 모델에 최소자승법을 적용하여 질량을 추정한다.

2.1 기계적 동적 시스템에 대한 DARMA 모델
선형 영구자석 동기전동기의 기계적인 동적 시스템은 일반적으로 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = m \frac{dv}{dt} + B \cdot v + F_d \quad (1)$$

여기서, F : 전동기의 발생 추력, m : 가동부의 질량, v : 가동부의 속도, B : 마찰계수, F_d : 부하 추력을 포함하는 외란에 해당하는 추력이다.

식 (1)에서 추력 F_d 를 영이라고 가정하면 식 (2)와 같다.

$$F = m \frac{dv}{dt} + B \cdot v \quad (2)$$

입력에 ZOH(zero-order-hold)를 가진 식 (2)를 샘플링 주기 T_s 로 샘플링한 시스템은 식 (3)과 같으며,^[3] 최소자승법을 적용할 수 있는 DARMA 모델이다.

$$v(k) = -a \cdot v(k-1) + b \cdot F(k-1) \quad (3)$$

여기서, $a = -\exp(-T_s \cdot B/m)$

$$b = (1 - \exp(-T_s \cdot B/m))/B$$

2.2 최소자승법에 의한 질량 추정

식 (3)의 DARMA 모델에 최소자승법^[1]을 적용

하면 다음과 같다.

$$\theta(k) = \theta(k-1) + \frac{P(k-2)\phi(k-1)}{1 + \phi(k-1)^T P(k-2)\phi(k-1)} \cdot [v(k) - \phi(k-1)^T \theta(k-1)] \quad (4)$$

$$P(k-1) = P(k-2) - \frac{P(k-2)\phi(k-1)\phi(k-1)^T P(k-2)}{1 + \phi(k-1)^T P(k-2)\phi(k-1)} \quad (5)$$

여기서, $k \geq 1$, 초기치는 각각 $\theta(0) = [a_o, b_o]^T$, $P(-1) = P_o$: Positive Definite Matrix, $\phi(0) = [-v(0), F(0)]^T$ 이다.

최소자승법을 적용하여 추정한 상수 $\theta = [a, b]^T$ 를 이용하여 기계적 동적 시스템의 마찰계수와 질량을 식 (3)으로부터 구하면 식 (6) 과 같다.

$$B = \frac{1+a}{b}, \quad m = \frac{-T_s B}{\log(-a)} \quad (6)$$

상수 추정 수렴조건은 실험에 적용이 용이하도록 식 (4)에서 실제 출력속도와 추정된 출력속도의 오차 $[v(k) - \phi(k-1)^T \theta(k-1)]$ 가 일정범위내로 수렴하면 추정이 완료된 것으로 설정하였다.

3. 질량 추정 및 검토

제안한 PMLSM의 질량 추정 방법의 타당성을 검증하기 위하여 사용한 선형 영구자석 동기전동기의 사양은 표 1과 같으며, 전동기에 장착된 Linear Scale의 분해능은 $1[\mu\text{m}/\text{pulse}]$ 이다. TI사의 120MHz TMS320VC33 DSP를 사용한 제어장치는 M/T방법을 이용하여 속도를 측정하고, 전향보상과 Anti-Windup 기능을 가진 대역폭 5000[rad/s]의 동기좌표계 PI제어기로 전류를 제어하며, 제어기의 샘플링 주기는 $50[\mu\text{s}]$ 이다.

그림 1은 최소자승법을 적용한 상수추정 특성을 시뮬레이션하기 위한 MATLAB/Simulink 블록도

표 1 PMLSM의 사양

Table 1 Specifications of a PMLSM

정격추력	84.5[N]	Rs	3.79[Ω]
정격전류	2[Arms]	Ls	13.45[mH]
극수	8	가동자	3.2[kg]
추력상수	42.25[N/Arms]	극간격	12[mm]

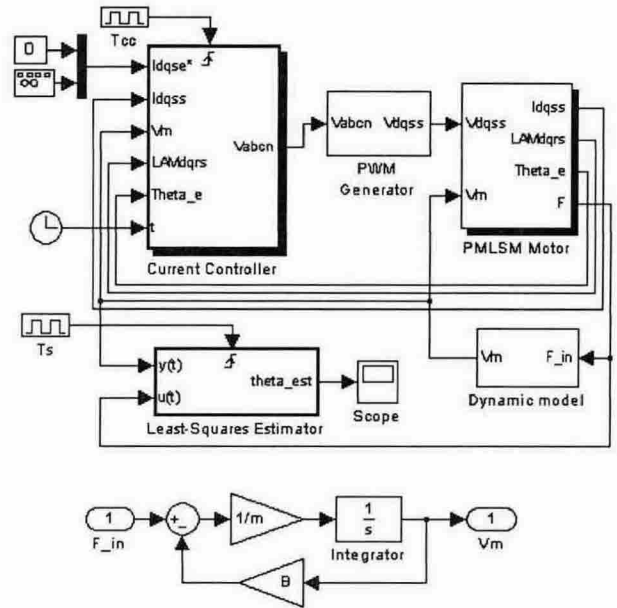


그림 1 최소자승법을 적용한 PMLSM의 질량 추정을 위한 Simulink 블록도

Fig. 1 Simulink Block Diagram for a mass estimation of a PMLSM by using the Least-Squares algorithm

이며, 기계적인 동적 시스템은 식 (2)를 기준으로 모델링 하였다. 상수추정기의 입력은 그림 1과 같이 정격추력의 구형과 지령치에 대한 출력 추력과 전동기의 속도이다.

그림 2는 가동자의 질량 추정에 대한 시뮬레이션 결과로서 가동자의 추정 질량과 전동기의 추력성분 전류와 속도를 나타낸 것이고, 그림 3은 3[kg] 부하 질량을 추가한 경우에 대한 것이며, 시뮬레이션에서 추정된 질량은 각각 3.2[kg], 6.2[kg]으로서 가동부 질량을 잘 추종함을 알 수 있다.

그림 4와 그림 5는 각각 그림 2와 그림 3에 대응하는 실험결과로서 추정된 질량은 각각 3.16[kg], 6.35[kg]으로서 시뮬레이션과 같이 가동부 질량을 잘 추종함을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 최소자승법을 적용한 선형 영구자석 동기전동기의 가동부 질량 추정방법을 제안하였으며, 기계적 동적 시스템에 대한 DARMA모델을 제시하고, 시뮬레이션과 실험 결과를 통하여 제안한 방법으로 가동부 질량을 정밀하게 추정할 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] Graham C. Goodwin and K. S. Sin, *Adaptive Filtering Prediction and Control*, Prentice-Hall Inc, pp.7-105, 1984.
 [2] Faa-Jeng Lin, "Application of EKF and RLS estimators

in induction motor drive", IEEE PESC Record, Vol. 1, pp.713-718, 1996, June.

- [3] Karl J. Astrom and B. Wittenmark, *Computer Controlled Systems - Theory and Design*, Prentice-Hall Inc, pp.34-64, 1984.

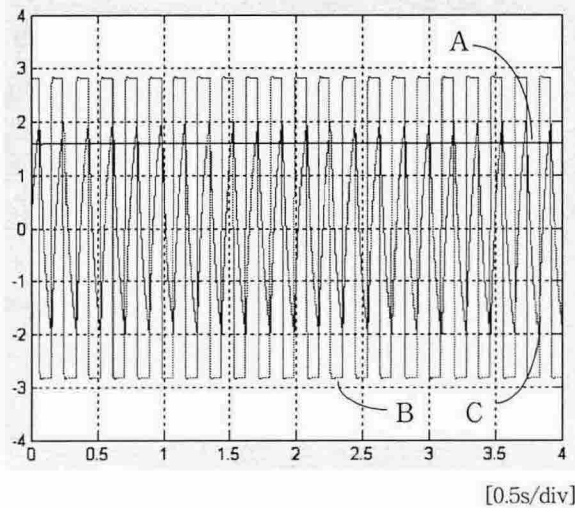


그림 2 PMLSM의 가동자 질량 추정 파형 (파형 A: 추정질량[2kg/div], 파형 B: 추력성분 전류[1A/div], 파형 C: 속도[0.5m/s/div])

Fig. 2 Mover mass estimation waveforms of a PMLSM (trace A: estimated mass[2kg/div], trace B: Force current component [1A/div], trace C: velocity[0.5m/s/div])

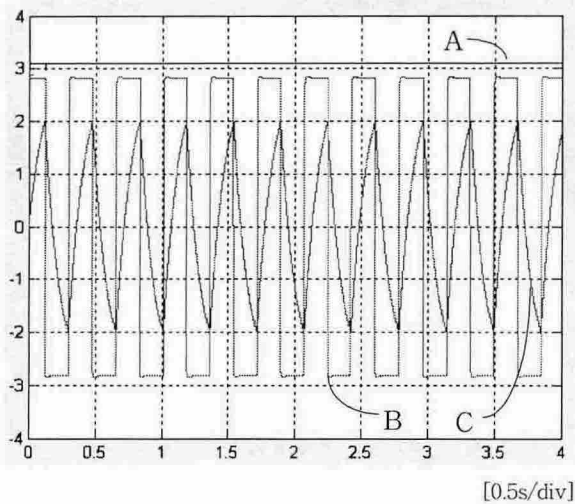


그림 3 PMLSM의 가동부 질량 추정 파형 (파형 A: 추정질량[2kg/div], 파형 B: 추력성분 전류[1A/div], 파형 C: 속도[0.5m/s/div])

Fig. 3 Mass estimation waveforms of a PMLSM at load (trace A: estimated mass[2kg/div], trace B: Force current component [1A/div], trace C: velocity[0.5m/s/div])

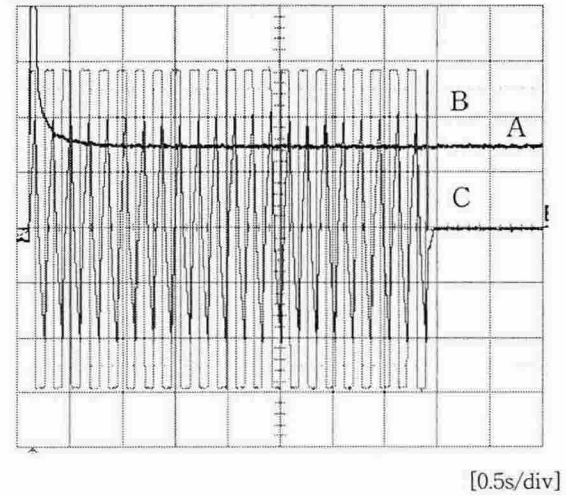


그림 4 PMLSM의 가동자 질량 추정 파형 (파형 A: 추정질량[2kg/div], 파형 B: 추력성분 전류[1A/div], 파형 C: 속도[0.5m/s/div])

Fig. 4 Mover mass estimation waveforms of a PMLSM (trace A: estimated mass[2kg/div], trace B: Force current component [1A/div], trace C: velocity[0.5m/s/div])

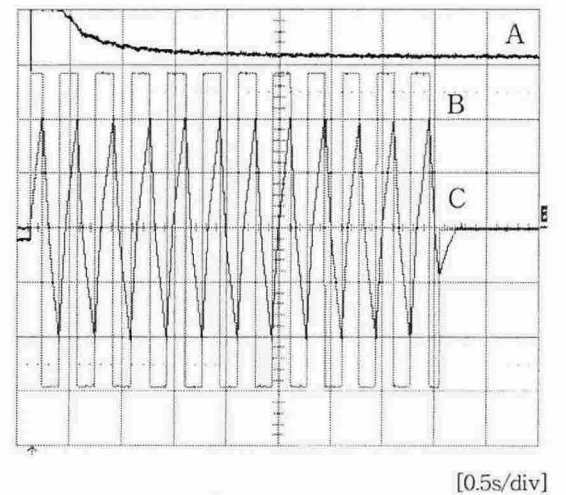


그림 5 PMLSM의 가동부 질량 추정 파형 (파형 A: 추정질량[2kg/div], 파형 B: 추력성분 전류[1A/div], 파형 C: 속도[0.5m/s/div])

Fig. 5 Mass estimation waveforms of a PMLSM at load (trace A: estimated mass[2kg/div], trace B: Force current component [1A/div], trace C: velocity[0.5m/s/div])