

적응적분바이너리 관측기를 이용한 위치 및 속도 센서없는 영구자석 동기전동기의 속도제어

이정흠*,최양광*,김영석*

*인하대학교 차세대 고전압 전력기술 연구센터

A Speed Control of Permanent Magnet Synchronous Motor using an Adaptive Integral Binary Observer without Speed and Position Sensors

*Joung-Hum Lee,*Yang-Kwang Choi,*Young-Seok Kim

*Reseach Center for Next-generation High Voltage and Power Technology, Inha University

Abstract - This paper presents a speed control of permanent magnet synchronous motors (PMSM) using an adaptive integral binary observer without speed and position sensors. In view of composition with a main loop regulator and an auxiliary loop regulator, the binary observer has a property of the chattering alleviation in the constant boundary layer. In order to improve the steady state performance of the binary observer, the proposed adaptive integral binary observer is formed by adding extra integral dynamics to the switching hyperplane equation. The effectiveness of the proposed system is conformed by the experimental results.

1. 서 론

원통형 영구자석 동기전동기는 단위 무게당 토크 비 율 및 효율이 다른 전동기에 비해 높다는 장점을 가지고 있어 산업용용분야에 폭 넓게 사용되고 있다. 그러나, 원통형 영구자석 동기 전동기는 회전자에 부착되어진 영구자석으로부터 자속을 공급받기 때문에 벡터제어를 위해서는 항상 회전자의 정확한 위치 정보를 알아야한다. 그러나 위치검출기는 일반적으로 가격이 고가일 뿐만 아니라 별도의 복잡한 하드웨어가 제어기에 구성되어야하는 단점이 있다. 또한 진동 및 습도 등의 주위환경에 대한 영향을 많이 받기 때문에 사용환경에 제한을 받는다. 따라서 원통형 영구자석 동기전동기의 제어상 큰 문제점인 회전자의 위치를 센서를 사용하지 않고 간접적으로 얻고자하는 센서리스 제어에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이러한 센서리스 제어법 중 제어이론을 이용하여 전동기의 속도 및 회전자의 위치를 추정하는 관측기를 적용한 방법에도 많은 연구가 행해지고 있다[1~3].

본 논문은 적응 적분 바이너리 관측기를 이용한 원통형 영구자석 동기전동기의 센서리스 속도제어를 제안한다. 주루프와 보조루프로 구성된 일반적인 바이너리 관측기는 슬라이딩모드 관측기의 단점인 떨림을 저감하는 특성을 갖는다[4]. 그러나 바이너리 관측기의 설정된 영역은 상태평면상 초평면과 평행하도록 설정되어, 추정되는 값은 영역에 머무르게 되지만 영으로 수렴할수 없게 되는 단점이 있다. 이런 바이너리 관측기의 정상상태 성능향상을 위해 스윙칭 초평면 방정식에 적분항을 추가하였다. 제안한 관측기의 타당성은 실험을 통해 증명하였다.

2. 본 론

2.1 바이너리 관측기

제안된 관측기를 설계시 이용한 고정자 좌표계

($\alpha - \beta$)에서 원통형 영구자석 동기전동기의 전압방정식은 식(1)과 같다.

$$\dot{i}_s = A i_s + B v_s + B E_s \tag{1}$$

여기서,

$$i_s = [i_\alpha \ i_\beta]^T : \text{고정자 전류}, E_s = [E_\alpha \ E_\beta]^T : \text{역기전력}$$

$$E_\alpha = K_E \omega_r \sin \theta_r, \ E_\beta = -K_E \omega_r \cos \theta_r,$$

$$A = (-R_s/L_s)I, \ B = (1/L_s)I, \ v_s = [v_\alpha \ v_\beta]^T$$

R_s : 고정자 저항, L_s : 고정자 인덕턴스, K_E : 역기전력상수

$$\omega_r : \text{회전자 각속도}, \ \theta_r : \text{회전자 위치}, \ I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

식(1)에서 시간에 대한 변수로서 전압, 전류 이외에도 위치에 대한 삼각함수와 속도항이 곱해진 형태로 나타나는 역기전력 성분이 있으며, 이로 인해 전체 시스템은 비선형이 된다. 따라서 이를 선형화 시키기 위해 한 제어주기 내에서는 속도가 일정함을 전제로하여, 측정할 수 있는 전류에 대한 관측을 행하는 바이너리 관측기를 식(2)와 같이 구성한다.

$$\dot{\hat{i}}_s = A \hat{i}_s + B v_s + B \hat{E}_s + K_1 v \tag{2}$$

여기서,

$$K_1 = \begin{bmatrix} k_1 & 0 \\ 0 & k_1 \end{bmatrix} : \text{상수}, \ \hat{i}_s = [\hat{i}_\alpha \ \hat{i}_\beta]^T : \text{고정자 추정전류}$$

$$\hat{E}_s = [\hat{E}_\alpha \ \hat{E}_\beta]^T : \text{추정 역기전력}$$

$$\hat{E}_\alpha = K_E \hat{\omega}_r \sin \hat{\theta}_r, \ \hat{E}_\beta = -K_E \hat{\omega}_r \cos \hat{\theta}_r,$$

$$v = [v_\alpha \ v_\beta]^T : \text{관측기 입력}$$

속도 센서리스로 벡터제어를 행하는 경우 전동기의 전류, 전압은 측정가능한 변수이고, 속도와 위치는 추정해야하는 변수이므로 바이너리 관측기의 초평면(hyperplane)을 다음과 같이 전류의 추정오차로 정의한다.

$$\sigma = (\sigma_\alpha, \sigma_\beta) = (\hat{i}_\alpha - i_\alpha, \hat{i}_\beta - i_\beta) = 0 \tag{3}$$

또한 바이너리 관측기의 경우, 정의되는 영역(boundary layer) G_δ 를 다음과 같이 설정한다.

$$G_\delta = x : \sigma^+ \cdot \sigma^- \leq 0 \tag{4}$$

$$\sigma^+ = \sigma(t) - \delta, \ \sigma^- = \sigma(t) + \delta$$

$$\delta : \text{상수} \ (0 \leq \delta < 1)$$

여기서, δ 는 G_δ 영역의 폭을 나타내는 임의의 설계 파라미터이다. 만약, 식(4)의 δ 를 매우 작게 하면 영역은 슬라이딩 면과 같아지게 되어 슬라이딩 모드 관측기와 같은 특성을 갖게된다. 식(2)의 바이너리 관측기에서 관측기의 스윙칭 함수는 연속관성형 보조루프 조정기(Continuous Inertial Auxiliary Loop Coordinate Operator Feedback)를 가지는 바이너리 제어에 의해 다음과 같이 정해진다.

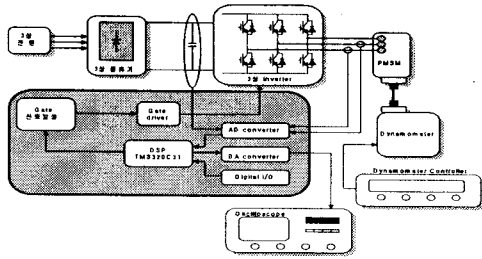


그림4 영구자석 동기전동기 전체 구성 시스템

2.4 실험 결과

그림 5, 6은 500rpm에서의 정역운전 특성이며, 속도의 급격한 변화에도 속도와 위치 추정이 잘 되고 있음을 알 수 있다.

그림 7은 1000rpm에서의 정격 스텝부하 인가시 부하 특성이며, 급변하는 부하의 변화에도 속도 추정이 잘 되고 있음을 알 수 있다.

그림 8, 9는 저속(정격속도의 1.67%)인 50rpm에서의 정역운전시 속도와 위치파형이며, 저속에서도 속도와 위치 추정이 안정적으로 잘되고 있음을 알 수 있다.

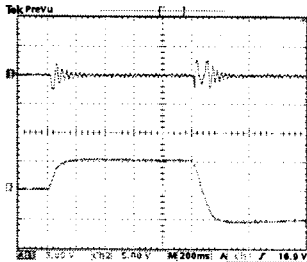


그림5 500[rpm] 정역운전시 선전류(상) 및 추정속도(하)

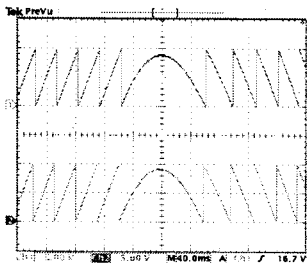


그림6 500[rpm] 정역운전시 실제위치(상) 및 추정위치(하)

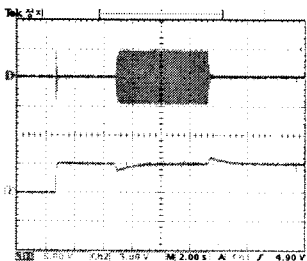


그림7 1000[rpm] 풀 부하인가시 실제전류(상) 및 추정속도(하)

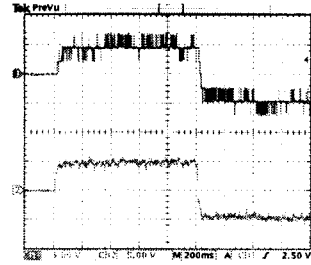


그림8 50[rpm] 정역운전시 실제속도(상) 및 추정속도(하)

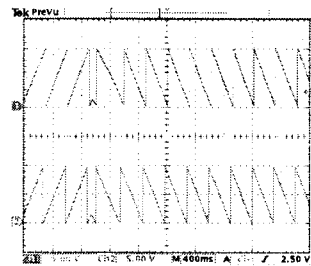


그림9 50[rpm] 정역운전시 실제위치(상) 및 추정위치(하)

3. 결 론

본 논문은 적응 적분 바이너리 관측기를 이용한 영구자석 동기전동기의 센서리스 속도제어 알고리즘을 제안하였으며, 알고리즘의 타당성은 실험을 통하여 증명하였다.

실험 결과 제안된 알고리즘은 다양한 속도 영역에서 속도 및 위치 추정이 정확히 수행되고 있음을 알 수 있으며, 운전중 정격 스텝부하의 인가에도 견실하게 동작함을 알 수 있다. 또한 제안된 알고리즘은 적응직을 이용하여 운동방정식을 사용함으로써 야기되는 파라미터의 계속 어려움이나 구동시의 미묘한 변화에 따른 관측기의 성능 저하와 같은 문제를 해결하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] L. A. Jones and J. H. Lang, "A State Observer for Permanent Magnet Synchronous Motor", IEEE Trans. IE, Vol.36, No.3, pp.374-382, 1989.
- [2] R. B. Sepe and J. H. Lang, "Real Time Observer-based(Adaptive) Control of Permanent Magnet Synchronous Motor without Mechanical Sensors", IEEE Trans. IA, Vol.28, No.6, pp.1345-1352, 1992.
- [3] J. Solona, M. I. Valla and C. Muravchik, "A Nonlinear Reduced Order Observer for Permanent Magnet Synchronous Motors", IEEE-IECON Conf. Rec, pp.38-43, 1994.
- [4] Y. C. Kim et al, "A Position Sensorless Control for Brushless DC Motor using Binary Observer", ICPE Conf. Rec, pp.546-551, 1995.