

적응관측기에 의한 유도전동기의 센서리스 속도제어

오상호, 김성환, 진대원, 권영안
부산대학교 전기공학과

Sensorless Speed Control of Induction Motor using Adaptive Observer

S. H. Oh, S. H. Kim, D. W. Jin and Y. A. Kwon
Pusan National University, email: yakwon@hyowon.pusan.ac.kr

Abstract - A sensorless drive of induction motor has several advantages: low cost and mechanical simplicity. This paper investigates a field-oriented control method without speed and flux sensors. The control strategy is to design an adaptive state observer for flux estimation and to estimate the rotor speed from the estimated rotor flux and stator current. The entire control algorithm including space vector PWM is implemented by software of the digital signal processor TMS320C31. The experimental results indicate good speed responses.

1. 서론

최근, 산업용용분야에서는 유도전동기에 의한 가변속 구동시스템 설계시 자속축 기준제어법인 벡터제어를 이용하는 경향이 증가하고 있다. 유도전동기의 벡터제어에는 위치 및 속도정보가 필수적이므로 센서리스 속도제어를 구현하기 위해서는 회전자자의 속도 및 위치를 추정하여야 한다. 센서리스 속도제어 방식으로는 고정자전압 및 전류값을 측정하여 전동기 전압방정식으로부터 자속 및 회전자속도를 추정하는 방식, 유도전동기의 두 모델에서 구한 추정치의 차이를 적응메카니즘에 적용시킴으로써 속도를 추정하는 방식, 관측기에 의해 회전자자속도를 추정하고 고정자전류 오차와 회전자자속도를 이용하여 속도정보를 얻는 방식, 입출력이 잡음의 영향을 받을 경우에 최적의 필터링 알고리즘인 칼만 필터를 이용하는 방식 및 회전자슬롯에 의한 릴리턴스 변화로 야기되는 고정자전압 및 전류고조파를 측정하여 속도를 추정하는 방식등이 연구되고 있다. [1]-[5] 본 논문에서는 상대적으로 양호한 센서리스 속도제어방식으로 알려져 있는 상태관측기를 이용하여 센서리스 속도제어를 구현한다. 본 알고리즘에서는 속도추정에 의하여 시스템 계수행렬을

가변하는 적응상태관측기를 설계하여 회전자자속도를 추정하고 추정된 회전자자속도와 고정자전류값을 이용하여 회전자속도를 추정한다. [6] 전체 제어 알고리즘은 디지털 프로세서 TMS320C31를 이용하여 소프트웨어적으로 구현하였으며 시뮬레이션 및 실험결과 양호한 속도응답을 나타내고 있다.

2. 자속관측기 설계

유도전동기의 회로방정식을 정지좌표계상의 상태방정식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_s \\ \lambda_r \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \\ \lambda_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 \\ 0 \end{bmatrix} v_s \\ &= Ax + Bu \quad (1) \end{aligned}$$

$$i_s = Cx \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{단, } i_s &= [i_{as} \ i_{bs}]^T : \text{고정자 전류} \\ \lambda_r &= [\lambda_{ar} \ \lambda_{br}]^T : \text{회전자 쇄교자속} \\ v_s &= [v_{as} \ v_{bs}]^T : \text{고정자 전압} \\ A_{11} &= -[R_s/(\sigma L_s) + (1-\sigma)/(\sigma \tau_r)]I \\ A_{12} &= M/(\sigma L_s L_r)[(1/\tau_r)I - \omega_r J] \\ A_{21} &= (M/\tau_r)I \\ A_{22} &= -(1/\tau_r)I + \omega_r J \\ B_1 &= 1/(sL_s)I \\ C &= [I \ 0] \\ I &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad J = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \\ R_s, R_r &: \text{고정자와 회전자의 저항} \\ L_s, L_r &: \text{고정자와 회전자의 자기인덕턴스} \\ M &: \text{상호인덕턴스} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma &= 1 - M^2/(L_r L_r) && : \text{누설계수} \\ r_r &= L_r / R_r && : \text{회전자의 시정수} \\ \omega_r & && : \text{회전자의 각속도}\end{aligned}$$

시스템의 출력과 관측기의 출력을 비교하여 그 오차가 영으로 수렴되도록 식(3)과 식(4)와 같이 폐루프 관측기를 구성한다.

$$\begin{aligned}\hat{x} &= \hat{A} \hat{x} + B v_s + k_p (i_s - \hat{i}_s) \\ &+ k_i \int (i_s - \hat{i}_s) dt\end{aligned}\quad (3)$$

$$\hat{i}_s = C \hat{x} \quad (4)$$

여기에서 “ $\hat{\cdot}$ ”는 추정값을 표시하며 k_p 및 k_i 는 비례·적분 이득상수이다.

식(3)에서 시스템 계수행렬 \hat{A} 는 시변계수인 회전자속도(ω_r)항을 포함하고 있기 때문에 전체 상태방정식이 비선형의 형태로 나타난다. 그러나 기계계의 동적움직임은 전기계에 비하여 매우 느리다고 가정할 수 있고 전동기제어가 이루어지는 제어주기를 기계계의 시정수보다 훨씬 작게 설정하면 제어주기내에서는 전동기의 속도가 거의 일정하다는 가정이 성립한다. 따라서 한 추정주기 내에서는 전동기속도가 일정하다고 보고 회전자속성분을 추정한다. 그리고 시스템 계수행렬 \hat{A} 를 속도추정기에 서 추정한 회전자속도 $\hat{\omega}_e$ 의해 가변하는 적용관측기를 구성한다.[6] 그림 1은 이상에서 기술된 속도추정 적용 자속관측기의 블록도이다.

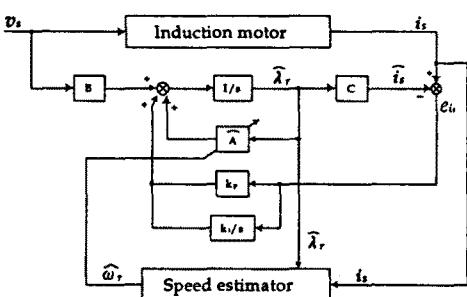


그림 1. 속도추정 자속관측기의 블록도

3. 속도추정

추정된 회전자의 자속벡터로부터 동기회전 전기각은 다음과 같이 추정된다.

$$\hat{\theta}_e = \tan^{-1} \left(\frac{\hat{\lambda}_{br}}{\hat{\lambda}_{ar}} \right) \quad (5)$$

회전자의 속도는 동기각속도 및 슬립각속도로부터 구해진다. 먼저 동기각속도 $\hat{\omega}_e$ 는 관측기에 의해 추정한 자속벡터의 전기각을 미분하면 식(6)과 같이 된다.

$$\hat{\omega}_e = p \hat{\theta}_e = \frac{p \hat{\lambda}_{br} \hat{\lambda}_{ar} - p \hat{\lambda}_{ar} \hat{\lambda}_{br}}{\hat{\lambda}_{ar}^2 + \hat{\lambda}_{br}^2} \quad (6)$$

단, $p (= \frac{d}{dt})$ 는 미분연산자이다.

동기각속도로 회전하는 $d-q$ 좌표계에서 d 축의 회전자속을 합성자속벡터 λ_r 과 일치시킨다면 유도전동기의 토오크는 식(7)과 같이 q 축전류에 비례하게되고 토오크와 슬립각속도의 관계식은 식(8)과 같이 된다.

$$T_e = \lambda_r i_{qr} = -\frac{M}{L_r} \lambda_r i_{qs} \quad (7)$$

$$\omega_s = -\frac{M}{L_r} R_r \frac{i_{qs}}{\lambda_r} = R_r \frac{T_e}{\lambda_r^2} \quad (8)$$

식(8)을 고정좌표계상의 성분(α, β)들로 나타내면

$$\hat{\omega}_s = \frac{R_r}{L_r} M \cdot \frac{\hat{\lambda}_{ar} i_{\beta s} - \hat{\lambda}_{br} i_{\alpha s}}{\hat{\lambda}_{ar}^2 + \hat{\lambda}_{br}^2} \quad (9)$$

회전자의 속도는 다음과 같으며 식(6)과 식(9)로부터 추정한다.

$$\hat{\omega}_r = \hat{\omega}_e - \hat{\omega}_s \quad (10)$$

4. 시스템 구성

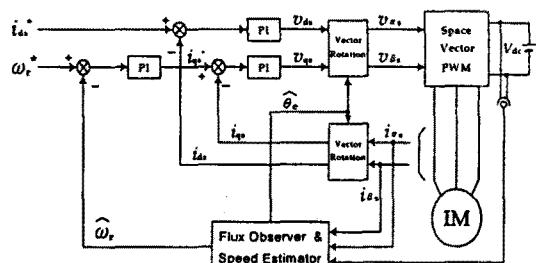


그림 2. 시스템의 전체구성도

그림 2는 본 논문에서 제안하는 유도전동기 센서리스 속도제어 시스템의 전체구성도를 나타낸다. 전체 제어 알고리즘은 디지털 프로세서 TMS320C31을 이용하여 소프트웨어적으로 구현하였다. 그림 3은 본 제어계의 하드웨어 구성을 나타낸다.

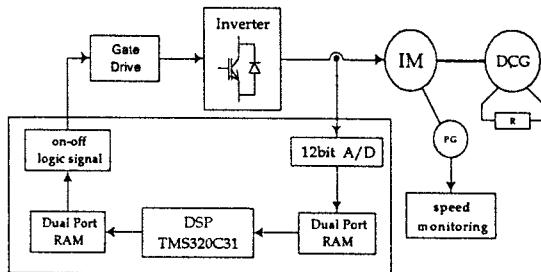
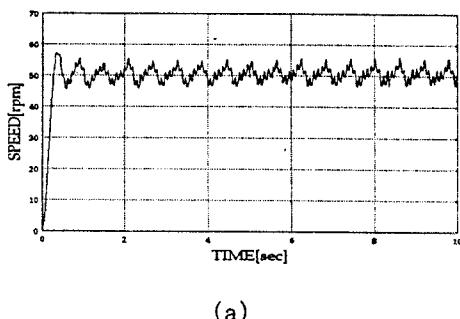


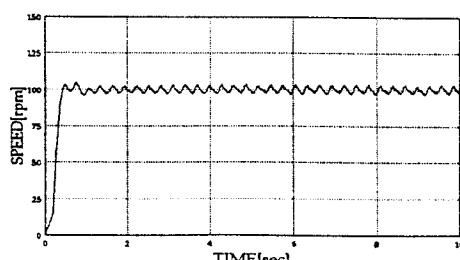
그림 3. 하드웨어 구성도

5. 실험결과 및 검토

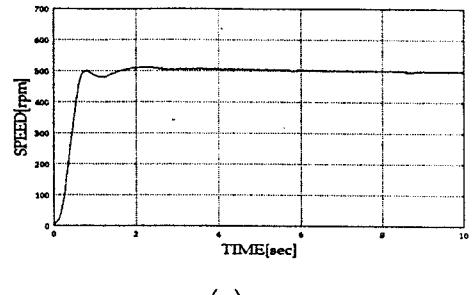
상기에서 제시한 실험장치로 부터 적응 관측기에 의한 센서리스 속도제어 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 유도전동기는 3상 4극, 3hp 전동기이다. 그림 4는 속도지령치를 50, 100 및 500(rpm)으로한 경우의 속도응답으로서 양호한 속도응답을 보여주고 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 4. 속도응답 실험결과
(a)50[rpm] (b)100[rpm] (c)500[rpm]

6. 결론

본 논문에서는 유도전동기의 센서리스 속도제어방식으로서 적응 상태관측기를 설계하여 회전자자속을 추정하고 추정된 회전자자속과 고정자전류값을 이용하여 속도를 구하는 방식을 구현하였다. 본 알고리즘은 TMS320C31를 이용하여 구현하였으며 실험결과 양호한 속도제어가 이루어졌다.

[참고문헌]

- [1] A. Fratta, A. Vagati and F. Villata, "Vector Control of Induction Motors without Shaft Transducers", IEEE/PESC, pp.839-846, 1988
- [2] B. K. Bose, M. G. Simoes, D. R. Crecelius, K. Rajashekara and R. Martin, "Speed Sensorless Hybrid Vector Controlled Induction Motor Drive", IEEE/IAS, pp.137-143, 1995
- [3] C. Schauder, "Adaptive Speed Identification for Vector Control of Induction Motors without Rotational Transducers", IEEE, IA-28, No.5, pp.1054- 1061, 1992
- [4] F. Z. Peng and T. Fukao, "Robust Speed Identification for Speed-Sensorless Vector Control of Induction Motors", IEEE, IA-30, No.5, pp.1234-1240, 1994
- [5] P. L. Jansen, R. D. Lorentz and D. W. Novotny, "Observer-Based Direct Field Orientation : Analysis and Comparison of Alternative Methods", IEEE, IA-30, No.4, pp.945-953, 1994
- [6] H. Kubota, K. Matsuse and T. Nakano, "DSP-Based Speed Adaptive Flux Observer of Induction Motor", IEEE, IA-29, No.2, pp.344-348, 1993