

속도추정기에 의한 유도전동기의 센서리스 속도제어

김종수*, 조시열*, 김성현*, 박진길*, 오상호**, 권영안**

*한국해양대학교, **부산대학교 전기공학과

Sensorless Speed Control of Induction Motor with a Speed Estimator

J. S. Kim*, S. Y. Zo*, S. H. Kim*, G. K. Park*, S. H. Oh**, and Y. A. Kwon**

*Korea Maritime University, **Pusan National University

Abstract - Several methods of induction motor drives, which use speed estimators instead of shaft encoders, have been reported. However, the sensorless field-oriented control employing stator voltages and currents has difficulty in estimating rotor flux in the low-speed range. This paper investigates the rotor flux estimator which replace integrators with two lag circuits. The experimental results indicate good speed responses.

한 옵셋 및 포화의 영향으로 정확한 자속정보를 기대하기 어렵다.

본 논문에서는 역기전력과 자속설정치를 두개의 지연회로에 각각 인가하여 그 합을 자속추정치로 이용한다.[7] 이 방식은 저속에서도 비교적 정확한 회전자속도의 제산이 가능한 방식으로서 실험을 통하여 그 유효성을 확인한다.

1. 서론

기계적 구조가 견고하고 보수 및 유지가 용이하며 가격이 저렴한 유도전동기의 순시토크제어를 위해 자속기준제어기법이 많이 적용되고 있다.

고성능 벡터제어를 실현하기 위해서는 전압, 전류값 뿐만 아니라 자속이나 속도정보가 필수적이다. 그러나 속도검출을 위해 엔코더 또는 레졸버 등을 사용하는데 이는 구동장치의 가격상승과 신뢰도 및 외란에 대한 강인성을 감소시킨다. 이러한 문제점을 해소하기 위하여 속도센서 없는 센서리스 구동방식에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다.[1]-[7]

속도추정기에 의한 센서리스 제어방식은 고정자 전압과 전류값에 의해 자속을 추정하고, 전류와 추정자속값을 이용하여 회전자속도를 얻어서 이를 속도정보로 사용하는 방식이다. 그러나 자속값을 구하기 위해서는 적분기가 요구되는데 저속에서는 인가전압 및 상저항 오차의 영향을 크게 받고 또

2. 속도추종 알고리즘

자속추종 기준 분리제어시 유도전동기의 발생토크는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_e = \frac{L_m}{L_r} |\Phi_r| i_{qs} \\ = \frac{L_m}{L_r} (\phi_{ar} i_{\beta s} - \phi_{\beta r} i_{as}) \quad (1)$$

단, L_r : 회전자인덕턴스

L_m : 상호인덕턴스

Φ_r : 회전자자속 (= $\phi_{ar} + j\phi_{\beta r}$)

$\phi_{ar}, \phi_{\beta r}$: 고정자에 고정된 α - β 축의 회전자 자속

$i_{as}, i_{\beta s}$: α - β 축의 고정자전류

토크전류는 식(1)에 의해 식(2)와 같다.

$$i_{qs} = \frac{\phi_{ar} i_{\beta s} - \phi_{\beta r} i_{as}}{|\Phi_r|} \quad (2)$$

벡터제어시 슬립각속도는 식(3)과 같다.

$$\omega_s = \frac{L_m}{T_r} \frac{i_{\alpha s}}{|\Phi_r|} \quad (3)$$

단, T_r : 회전자 시정수 (= L_r/R_r)

R_r : 회전자저항

식(2)를 식(3)에 대입하면 슬립각속도는 식(4)와 같이 된다.

$$\omega_s = \frac{L_m}{T_r} \frac{(\phi_{\alpha r} i_{\beta s} - \phi_{\beta r} i_{\alpha s})}{|\Phi_r|^2} \quad (4)$$

자속각은 식(5)와 같으므로 동기속도는 식(6)으로 나타낼 수 있다.

$$\theta_e = \tan^{-1} \left(\frac{\phi_{\beta r}}{\phi_{\alpha r}} \right) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \omega_e &= \frac{d\theta_e}{dt} \\ &= \frac{d\phi_{\beta r} \cdot \phi_{\alpha r} - d\phi_{\alpha r} \cdot \phi_{\beta r}}{|\Phi_r|^2} \end{aligned} \quad (6)$$

단, d : 미분연산자 (= $\frac{d}{dt}$)

식(4)와 식(6)에 의해 회전자속도는 식(7)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \omega_r &= \omega_e - \omega_s \\ &= \frac{d\phi_{\beta r} \cdot \phi_{\alpha r} - d\phi_{\alpha r} \cdot \phi_{\beta r}}{|\Phi_r|^2} - \frac{L_m}{T_r} \cdot \frac{\phi_{\alpha r} i_{\beta s} - \phi_{\beta r} i_{\alpha s}}{|\Phi_r|^2} \end{aligned} \quad (7)$$

식(7)을 이용하여 속도를 추정하기 위해서는 회전자 자속정보가 요구되는데 이는 식(8)에 의해 얻을 수 있다.

$$\phi_{\alpha r} = \int (v_{\alpha s} - R_s i_{\alpha s}) dt - \sigma i_{\alpha s} \quad (8)$$

$$\phi_{\beta r} = \int (v_{\beta s} - R_s i_{\beta s}) dt - \sigma i_{\beta s}$$

단, $v_{\alpha s}, v_{\beta s}$: $\alpha - \beta$ 축 고정자 전압

R_s : 고정자 저항

$$\sigma : \text{누설계수} \left(= L_s \left(1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r} \right) \right)$$

식(8)에 의해 자속값을 구하기 위해서는 적분기가 요구되는데 저속에서는 인가전압 및 상저항 오차의 영향을 크게 받고 또한 읍셋 및 포화의 영향으로 정확한 자속정보를 기대하기 어렵다.

본 논문에서는 두 개의 지연회로에 의해 저속에서도 비교적 정확한 자속값을 추정하는 방식을 사용한다. [7]

즉, 역기전력 e 를 지연회로 $T_L / (1 + T_L p)$ 에, 회전자 자속 설정치 ϕ_r^* 를 다른 하나의 지연회로 $1 / (1 + T_L p)$ 에 인가하여 그 합을 회전자자속 추정치로 이용하는 방식이다. 회전자 역기전력은 식(9)와 같으므로 자속추정치는 식(10)과 같이 나타낼 수 있다. “^”는 각 변수의 추정치를 표시한다.

$$e = v_s - (R_s + \sigma p) i_s \quad (9)$$

$$\widehat{\Phi}_r = \frac{T_L}{1 + T_L p} e + \frac{1}{1 + T_L p} \phi_r^* \quad (10)$$

단, e : 역기전력 (= $e_{\alpha} + j e_{\beta}$)

v_s : 고정자전압 (= $v_{\alpha s} + j v_{\beta s}$)

i_s : 고정자전류 (= $i_{\alpha s} + j i_{\beta s}$)

$\widehat{\Phi}_r$: 회전자자속 추정치 (= $\widehat{\phi}_{\alpha r} + j \widehat{\phi}_{\beta r}$)

ϕ_r^* : 회전자자속 설정치 (= $\phi_{\alpha r}^* + j \phi_{\beta r}^*$)

$|\Phi_r^*| = \phi_{\alpha r}^*$

T_L : 지연회로 시정수

그림 1은 상기에서 기술한 자속추정기의 블록도이다.

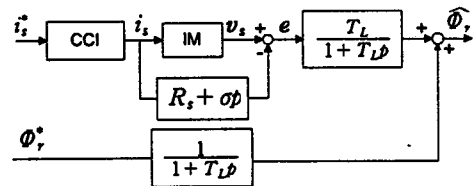


그림 1 자속추정기의 블록도

그림 2는 이상에서 기술한 센서리스 속도제어 시스템의 블록도를 나타낸다.

4. 결론

본 연구는 속도추정기에 의한 유도전동기의 센서리스 속도제어에 관한 연구이다. 자속정보를 위해 적분기를 사용하지 않고, 역기전력과 자속설정치를 각각 지연회로에 인가하여 그 합을 자속추정치로 취하는 알고리즘을 적용함으로써 저속 및 기동시에도 비교적 정확한 자속추정이 가능하였다. 본 실험장치에 의하여 실험을 수행한 결과, 양호한 속도응답이 이루어졌다.

[참고문헌]

- [1] A. Fratta, A.Vagati, F.Villata : "Vector Control of Induction Motors without Shaft Transducers". Conf.Rec.IEEE-PESC, pp.839-846, 1988
- [2] H.Nakano, I.Takahashi : "Sensorless Field Oriented Control of an Induction Motor Using an Instantaneous Slip Frequency Estimation Method". Conf.Rec.IEEE-PESC, pp.847-854, 1988
- [3] T.Kanamachi, I.Takahashi : "Sensorless Speed Control of an Induction Motor with no Influence of Secondary Resistance Variation" Conf.Rec.IEEE-IAS, pp.408-413, 1993
- [4] U.Baader, M.Dепенbrock, G.Gierse : "Direct Self Control of Inverter-fed Induction Machine, a Basis for speed Control without Speed-Measurements" Conf.Rec.IEEE-IAS, pp.486-492, 1989
- [5] C. Schauder, "Adaptive Speed Identification for Vector Control of Induction Motors without Rotational Transducers", IEEE, IA-28, No.5, pp.1054-1061, 1992
- [6] 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
- [7] N.Takada, K.Tanaka, T.Ohtani : "Vector Control of Induction Motor without Shaft Encoder" IEEE Trans. Indus. Appl., vol.28, no.1, pp157-164, 1992

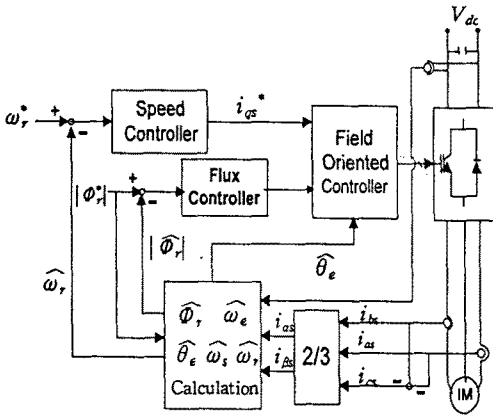


그림 2 센서리스 속도제어 시스템의 블록도

3. 실험결과 및 검토

제시된 알고리즘을 검증하기 위하여 실험장치를 제작하고 실험을 수행하였다. 본 연구에서 사용된 전동기는 3상 4극, 3hp 유도전동기이다.

그림 3과 그림 4는 무부하에서 속도지령치를 50, 200(rpm)으로 한 경우의 속도응답으로서 양호한 속도응답을 나타내고 있다.

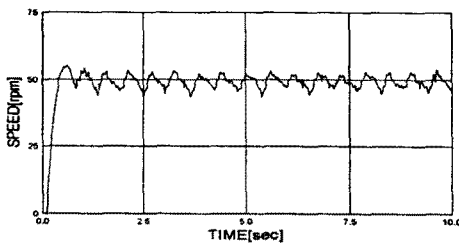


그림 3 속도지령치 50[rpm]에서 속도응답 실험결과

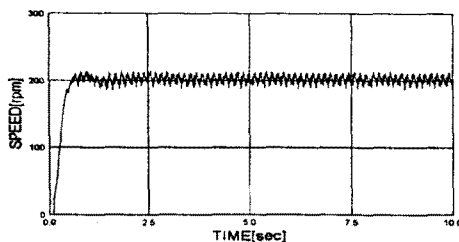


그림 4. 속도지령치 200[rpm]에서 속도응답 실험결과