

개선된 자속 추정기에 의한 유도 전동기의 센서리스 속도제어

김종수*, 조시열, 함형철, 박근오, 김성환
한국해양대학교 대학원

Sensorless Speed Control of Induction Motor with an Improved Rotor Flux Estimator

J.S.Kim, S.Y.Cho, H.C.Ham, G.O.Park, S.H.Kim
Korea Maritime University
E-mail : kksh@hanara.kmaritime.ac.kr

Abstract

A new method of induction motor drive, which requires not shaft encoder, is presented. This system has both torque and speed controls that are performed by vector control. The scheme is on the basis of a rotor flux speed control, which is performed by torque producing current and rotor flux, derived from the stator voltages and currents.

But, there is a problem with respect to the calculated rotor flux vector, which is an integrating operation by which the rotor induced voltage is converted into the rotor flux. The calculated rotor flux does not work so that it is unstable in initial operation, as motor speed approaches zero.

For the proposed rotor flux estimator, a lag circuit is employed, to which both the motor-induced voltage and rotor flux command are imposed, and it is possible to calculate even a low frequency down to standstill.

We show the validity of the proposed control method through several computer simulations.

1. 서론

유도전동기의 서보 운전기법으로서 최근에는 엔코더나 TG등을 사용하지 않는 센서리스 벡터제어가 많이 적용되고 있다. 벡터제어는 토크제어를 위하여 유도전동기의 고정자 전류를 자속각을 기준으로 자속성분 전류와 토크성분 전류로 분리시켜 독립적으로 제어하는 방법이다. 그러나 고성능의 벡터제어를 실현하기 위해서는 전압, 전류값 뿐만 아니라 회전자 자속이나 속도

정보가 필수적이다. 회전자 속도정보를 얻는 방법으로서는 자속 추정기에 의한 방법이 있는데 이는 고정자 전압과 전류값에 의해 자속값을 추정하고 전류와 추정자속값을 이용하여 속도를 구하는 방법이다.

하지만, 회전자 자속은 역기전력을 적분하여 구하는데 기동시나 저속 운전시에는 그 값이 미소하여 정확한 자속정보를 얻기가 어렵다.

본 논문에서 제안하는 개선된 자속추정기에 의한 유도전동기 센서리스 속도제어에서는 전동기의 역기전력 및 자속 설정치를 각각 지연회로에 인가하여 그 합을 자속 추정치로 이용함으로써 저속 및 기동시에도 보다 정확한 회전자 자속을 얻었고 이 추정 자속에 의해 구한 토크 발생 전류와 그 설정치의 오차에 의해 회전자 속도를 추정, 제어하였다.

컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 그 유효성을 확인하였다.

2. 제안된 시스템의 알고리즘

자속측 기준 분리제어시 유도전동기의 발생토크는 식 (1)과 같이 나타낼수 있다.

$$\begin{aligned} T_e &= \frac{L_m}{L_r} |\phi_r| i_{as}^c \\ &= \frac{L_m}{L_r} (\phi_{ar} i_{\beta s} - \phi_{\beta r} i_{\alpha s}) \end{aligned} \quad (1)$$

단, T : 발생 토크

L_r : 회전자 인덕턴스

L_m : 상호 인덕턴스

ϕ_r : 회전자 자속 ($= \phi_{ar} + j\phi_{\beta r}$)

$\phi_{ar}, \phi_{\beta r}$: 고정자에 고정된 $\alpha-\beta$ 축 회전자자속

$i_{as}, i_{\beta s}$: $\alpha-\beta$ 축 고정자 전류
 i_{qs}^c : 토크 발생 전류

자속 $\phi_{ar}, \phi_{\beta r}$ 는 식(2)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}\phi_{ar} &= \int (V_{as} - R_s i_{as}) dt - l i_{as} \\ \phi_{\beta r} &= \int (V_{\beta s} - R_s i_{\beta s}) dt - l i_{\beta s}\end{aligned}\quad (2)$$

단, l : 누설 인덕턴스 ($=L_s(1-M^2/L_s L_r)$)
 L_s : 고정자 인덕턴스

토크발생 전류를 계산하면 식 (3)과 같다.

$$i_{qs}^c = \frac{\phi_{ar} i_{\beta s} - \phi_{\beta r} i_{as}}{|\phi_r|}\quad (3)$$

슬립주파수 설정치는 식(4)에 의해 구할 수 있다.

$$w_s^* = \frac{1}{T_r} \cdot \frac{i_{qs}^*}{i_{ds}^*}\quad (4)$$

단, i_{qs}^* : 토크 발생 전류 설정치
 R_r : 회전자 저항
 T_r : 회전자회로 시정수 ($=L_r/R_r$)

회전자 속도는 식 (5)에 의해 추정한다.

$$w_r^c = K_p(i_{qs}^* - i_{qs}^c)dt + K_t \int (i_{qs}^* - i_{qs}^c) dt \quad (5)$$

K_p : 비례이득
 K_t : 적분이득

반면에, 자속각 (θ_e)은 식 (6)과 같이 구할 수 있으며, 동기속도 (w_e)는 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_e = \tan^{-1}\left(\frac{\phi_{\beta r}}{\phi_{ar}}\right)\quad (6)$$

$$\begin{aligned}w_e &= \frac{d\theta_e}{dt} \\ &= w_s^* + w_r^c\end{aligned}\quad (7)$$

저속에서 DC옴셋 및 포화의 발생을 초래하는 적분기 대신 정확한 자속정보를 얻기 위해 본 논문에서는 두개의 지연회로를 사용하여 저속에서도 비교적 정확한 자속값을 추정하는 방식을 사용하였다.

즉, 역기전력 \hat{e} 를 지연회로 $T_L / (1 + T_L p)$ 에, 회전자자속 설정치 ϕ_r^* 를 다른 하나의 지연회로 $1 / (1 + T_L p)$ 에 인가하여 그 합을 회전자자속 추정치로 이용하는 방식이다. 회전자 역기전력은 식(8)과 같으므로 자속추정치는 식(9)와 같이 나타낼 수 있다. “ $\hat{}$ ”는 각 변수의 추정치를 표시한다.

$$\hat{e} = V_s - (R_s + lp)i_s\quad (8)$$

$$\hat{\phi}_r = \frac{T_L}{1 + T_L p} \hat{e} + \frac{1}{1 + T_L p} \phi_r^*\quad (9)$$

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

V_s : 고정자전압 ($= V_{as} + jV_{\beta s}$)

i_s : 고정자전류 ($= i_{as} + ji_{\beta s}$)

$\hat{\phi}_r$: 회전자자속 추정치 ($= \hat{\phi}_{ar} + j\hat{\phi}_{\beta r}$)

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

T_L : 지연회로 시정수

p : 미분 연산자 ($= \frac{d}{dt}$)

그림 1.은 자속추정기의 블록도이다.

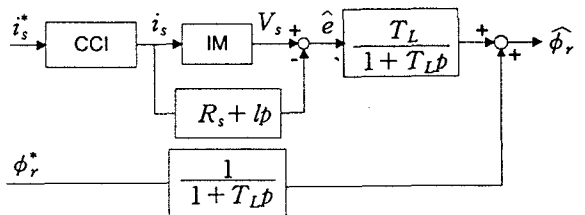


그림 1. 자속추정기의 블록도

다음 그림은 본 논문에서 제안한 개선된 센서리스 속도제어 시스템의 계통도를 나타내고 있다.

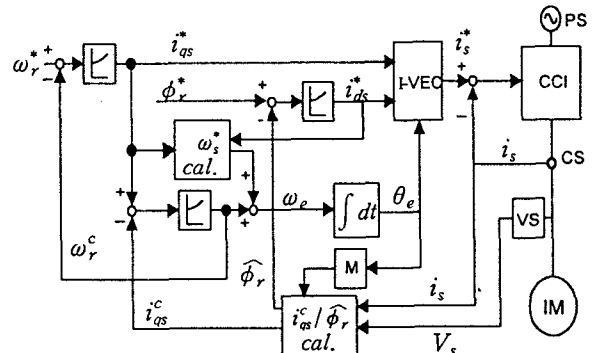


그림 2. 개선된 속도제어 시스템의 계통도

3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안된 알고리즘으로 컴퓨터 시뮬레이션을 실현해 보았으며 연구에 사용한 전동기의 모델은 3상 4극, 3HP 유도전동기이다.

시뮬레이션 결과는 다음의 그림3 ~ 그림6 과 같으며 그림3 은 0 → 50[rpm]의 계단 속도지령에 대한 무부하 운전의 속도 응답을 나타내고 있으며 저속에서도 양호한 제어특성을 보여주고 있다.

그림4 는 0 → 200[rpm]의 속도지령으로 운전중 $t = 5[\text{sec}]$ 에서 5[N·m]의 부하를 인가하였을 경우이며 시뮬레이션 결과 우수한 부하특성을 보여주고 있다.

그림5 는 0 → 500[rpm]의 계단 속도지령에 대한 무부하 운전의 속도 응답을 도시하고 있으며 중속에서의 속도제어가 양호한 결과를 나타내고 있다.

그림 6.은 0 → 1000[rpm]의 계단 속도지령으로 운전중, $t = 5[\text{sec}]$ 에서 5[N·m]의 부하를 인가하였을 경우의 부하특성을 나타내고 있으며 고속에서 우수한 제어특성을 보임을 알 수 있다.

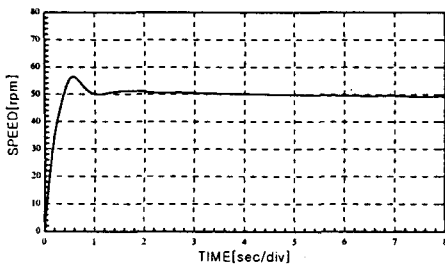


그림3. 속도지령치 50[rpm]에서 속도응답 시뮬레이션

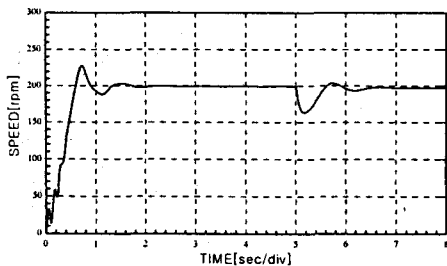


그림4. 속도 지령치 200[rpm]의 속도로 운전중 $t = 5[\text{sec}]$ 에서 5[N·m]의 부하에 대한 속도응답 시뮬레이션

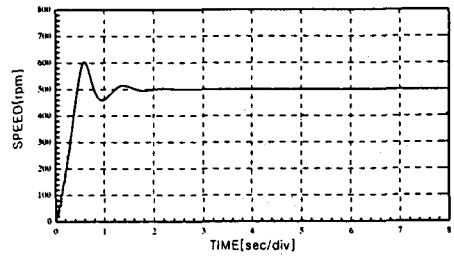


그림5. 속도지령치 500[rpm]에 대한 무부하 속도응답 시뮬레이션

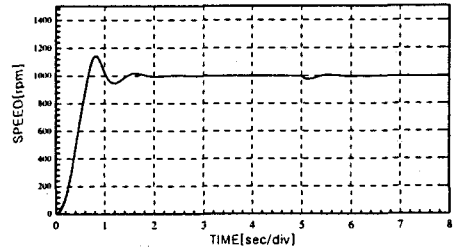


그림6. 속도 지령치 1000[rpm]으로 운전중 $t = 5[\text{sec}]$ 에서 5[N·m]의 부하에 대한 속도응답 시뮬레이션

4. 결론

본 연구에서는 개선된 자속 추정기에 의한 유도전동기의 센서리스 속도제어를 구현하였으며, 이는 회전자자속을 구하기 위해 사용되는 기존의 적분기 대신에 역기전력과 자속 설정치에 지연회로를 각각 인가하여 회전자자속값을 추정하였다. 토크전류 설정치와 위 추정 자속에 의해 얻은 실제 토크전류의 오차를 이용하여 회전자속도를 추정, 제어하는 알고리즘을 적용함으로써 저속 및 기동시에도 보다 정확한 자속추정 및 속도제어가 가능하였고 시뮬레이션으로 그 유효성을 확인하였다.

5. 참고문헌

- [1] A. Fratta, A.Vagati, F.Villata : "Vector Control of Induction Motors without Shaft Transducers". Conf.Rec.IEEE-PESC,'88, pp.839-846.
- [2] H.Nakano, I.Takahashi : "Sensorless Field Oriented Control of an Induction Motor Using an Instantaneous Slip Frequency Estimation Method", Conf.Rec.IEEE-PESC,'88, pp.847-854.
- [3] T.Kanamachi, I.Takahashi : "Sensorless Speed Control of an Induction Motor with no Influence of Secondary Resistance Variation" Conf.Rec. IEEE -IAS,'93,pp.408-413.
- [4] N.Takada, K.Tanaka, T.Ohtani : "Vector Control of Induction Motor without Shaft Encoder" IEEE Trans. Indus. Appl., vol.28, no.1, '92, pp157-164.