신경회로망을 이용한 유도전동기 회전자 시정수 추정

이중민*, 한우용**, 설남오***, 이창구*
*전북대 제어계측, **전주 공업대 전기과, ***서남대학교 전자전기

The Identification of Rotor Time Constant Using NeuralNetwork

Jung-Min Lee*, Woo-Yong Han**, Nam-O Seul***, Chang-Goo Lee*
*Chonbuk National Univ, **Jeonju Technical Collage, ***Seo-Nam Univ

Abstract - This paper presents the identification of rotor time constant using NeuralNetwork. The difference between the rotor time constant of a controller and the actual one causes the degradation of motor performance in indirect vector control scheme. The actual value is varied by heating of motor, so on-line tuning method is necessary. Therefore, the identification using NeuralNetwork is used in this paper. The simulation using Matlab/Simulink shows that the proposed method suitably identifies the rotor time constant in the steady state.

1. 서 론

유도전동기의 벡터제어 이론 중에서 간접벡터 제어는 제어시 자속의 직접적인 검출 또는 입력전압 및 입력전류로부터 자속의 연산을 필요로 하지 않으며 저속도 영역에서도 양호한 특성을 나타낸다. 그러나 자속각의 연산에 사용되는 슬립각의 계산시 전동기 매개변수가 필요하게 되므로 이의 변화에 따라 민감한 단점을 보인다.

전동기 매개변수 중 회전자 저항은 주위 온도에 따라 변하는 값이며, 회전자 인덕턴스는 자속의 포화정도에 따라 변화하는 값이다. 슬립 계산시 사용되는 유도전동기 매개변수 값과 실제 전동기 값이 일치하지 않으면 정상상태에서 전동기의 추가적인 손실 및 과도시 회전자 자속과 토오크의 진동으로 전동기의 양호한 동특성을 얻을 수 없다[1,2]. 따라서 매개변수의 변동에 따른 슬립각의 오차 보상이 간접벡터 제어에 있어 요구되는 점이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 슬립각의 오차로 인한 전동기 동특성 저하를 신경회로망을 통해 개선하고자 한다. 신경회로망은 정보의 외곡과 잡음에 강인한 특성을 가지고 있으며, 실시간으로 회전자 자속(Tr)을 추정하여 간접벡터 제어방식의 슬립계산에 사용될 수 있다. 시뮬레이션은 Matlab/Simulink로 수행하였으며 시뮬레이션 결과는 회전자 시정수 Tr이 양호하게 추정됨을 보인다.

2. 신경회로망 자속 추정기

2.1 회전자 시정수를 이용한 슬립계산

간접벡터 제어에서 측정 가능한 변수와 슬립식을 이용하여 간접적으로 자속의 위치정보를 얻을 수 있다. 유도전동기의 간접벡터제어의 기본이 되는 슬립과 자속각은 식 (1)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$\frac{L_r}{R_r}\frac{d\lambda_r}{dt}+\hat{\lambda}=L_m i_{ds}$$

$$W_{sl}=\frac{Lm}{\hat{\lambda}}\left(\frac{R_r}{Lr}\right)iqs = \frac{Lm}{Tr}\frac{i_{qs}}{\lambda_{dr}} \qquad (1)$$

$$\theta_e=\int_0^t w_e dt = \int_0^t (w_{sl}+w_r)dt$$

여기서 T_r = Lr/Rr으로 회전자 시정수를 나타낸다. 식 (1)에서 알수 있는 바와 같이 회전자 시정수의 변동이 슬립식에 직접적인 영향을 주는 것을 알 수 있다. 그림 1은 간접벡터제어에서 슬립과 속도를 이용하여 동기각을 계산하는 과정을 나타낸다.

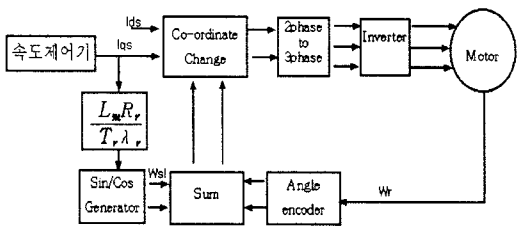


그림 1 간접 벡터 제어

2.2 신경회로망 모델

신경회로망을 이용하여 유도전동기의 속도를 추정하기 위하여 식 (2)와 (3)의 유도전동기의 전압식과 전류식을 근간으로 하는 자속 모델이 필요하며 유도전동기의 전압과 전류는 고정자측에서 측정되므로 고정자측 모델로 표현한다[4].

$$\lambda_{dr}=\frac{L_r}{L_m}\int_0^t (V_{ds}-R_s i_{ds})dt-(1/a_3)i_{ds}$$

$$\lambda_{qr}=\frac{L_r}{L_m}\int_0^t (V_{qs}-R_s i_{qs})dt-(1/a_3)i_{qs} \qquad (2)$$

$$\frac{d\lambda_{dr}}{dt}=\frac{L_m}{T_r}i_{ds}-w_r\lambda_{qr}-\frac{1}{T_r}\lambda_{dr}$$

$$\frac{d\lambda_{qr}}{dt}=\frac{L_m}{T_r}i_{qs}+w_r\lambda_{dr}-\frac{1}{T_r}\lambda_{qr} \qquad (3)$$

여기서 $a_3=\frac{L_s L_r L_m}{L_s L_r - L_m^2}$ 이다.

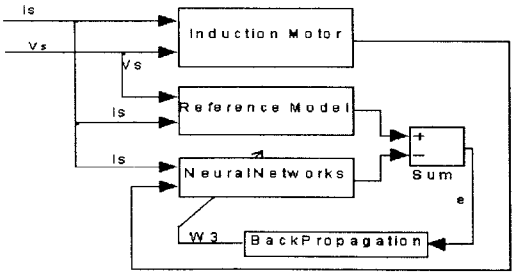


그림 2 신경회로망을 이용한 시정수 추정

그림 2는 신경회로망을 이용한 회전자 시정수 추정 과정을 도시화한 것으로 식 (2)을 기준모델로 하여 자속을 측정하고 식 (3)을 신경회로망 모델로 하여 기준자속을 추정한 다음 시정수 Tr을 추정한다. 식 (2)에서 나오는 신호와 식 (3)에서 나오는 신호가 정확하다면 L_m, i_s 와 w_r 의 값은 알고 있으므로 T_r의 값을 정확하게 추정할 수 있다. 따라서 기준모델과 신경회로망 모델에서 나오는 신호의 오차가 0이 되도록 역전파 알고리즘을 적용하여 가중치를 학습시킬 필요가 있다. 이를 위하여 식 (3)을 이산치 모델로 변환하여 식 (4)와 같이 신경회로망 형태의 모델로 변환한다.

$$\hat{\lambda}_{dr}[k+1] = W_1 \hat{\lambda}_{dr}[k] - W_2 \hat{\lambda}_{qr}[k] + W_3[L_m i_{ds}[k] - \hat{\lambda}_{dr}[k]].$$
$$\hat{\lambda}_{qr}[k+1] = W_1 \hat{\lambda}_{qr}[k] - W_2 \hat{\lambda}_{dr}[k] + W_3[L_m i_{qs}[k] - \hat{\lambda}_{qr}[k]]. \quad (4)$$

($W_1 = 1$, $W_2 = T_s \cdot w_r$, $W_3 = T_s / T_r$)

여기서 신경회로망의 입력과 가중치와의 관계는 식 (5)과 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{\lambda}_r(k) = W_1 X_1 + W_2 X_2 + W_3 X_3 \quad (5)$$

식 (5)에서 W_1과 W_2는 알고 있는 값이므로 W_3의 가중치만 조절한다. 기준모델과 신경회로망 모델 사이의 오차에너지 함수는 다음 식 (6)과 같다.

$$E = \frac{1}{2} \varepsilon^2 \quad (6)$$

따라서 W_3에 대한 가중치의 변화량을 구하면 식 (7)과 같다.

$$\delta_3 = -\frac{\partial E}{\partial W_3} = -\frac{\partial E}{\partial \hat{\lambda}_r} \cdot \frac{\partial \hat{\lambda}_r}{W_3} = (\lambda_r - \hat{\lambda}_r)^T \cdot X_3 \quad (7)$$

$$W_3(k+1) = W_3(k) + \eta \cdot \delta_3 + \alpha \cdot \triangle W_3(k) \quad (8)$$

식 (7)과 식 (8)에 따라 가중치를 구한 뒤 $\hat{T}_r = T_s / W_3$ 으로 유도전동기 회전자 시정수를 추정할 수 있다.

2.3 Matlab/Simulink에 의한 적용

신경회로망을 Matlab/Simulink에 적용하기 위해 먼저 식 (2)를 이용하여 자속 정보를 얻고 이를 IP 자속제어기에 의해 정격 자속으로 제어한다. 그리고 원하는 속도를 얻기 위해 속도제어부에서 IP 제어를 하였다. 속도제어기와 자속제어기에서 나오는 신호를 비간섭 시키기 위해 비간섭 제어기를 사용하였다. 전류제어기는 포화전류제어기를 사용하였고 명령전압을 유도전동기에 제공하기 위하여 전압형 인버터와 SVPWM 변조방식을 사용하였다. 그림 3은 유도전동기 전체 제어 시스템을 나타내고, 그림 4는 전체 제어시스템중 FeedBack제어부를 나타낸다.

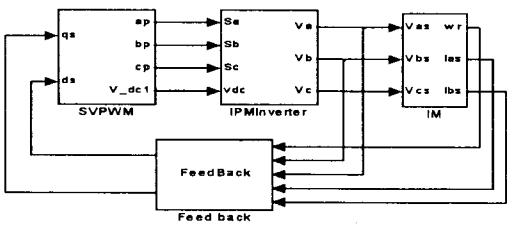


그림 3 전체제어 시스템

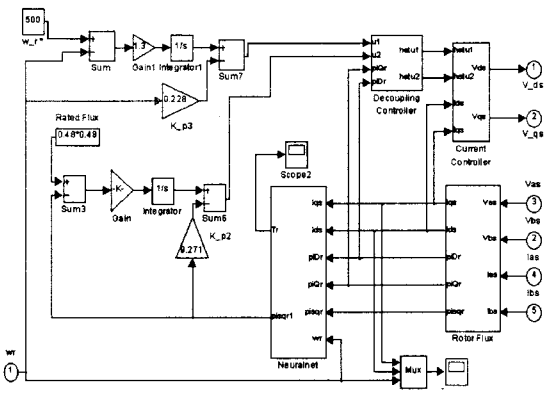


그림 4 Feed Back 제어부

그림 4의 자속추정부에서 나온 자속과 유도전동기의 속도정보 그리고 전류정보가 신경회로망의 입력으로 들어간다. 그림 5와 그림 6은 Matlab/Simulink를 이용한 신경회로망 모델을 나타내며, 추정 알고리즘은 S-function을 이용하였으며 실시간으로 유도전동기 시정수를 추정하도록 하였다.

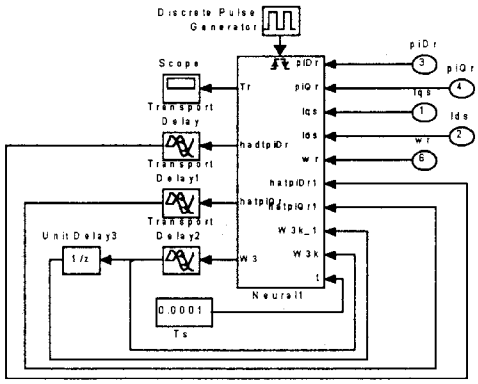


그림 5 신경회로망 모델부

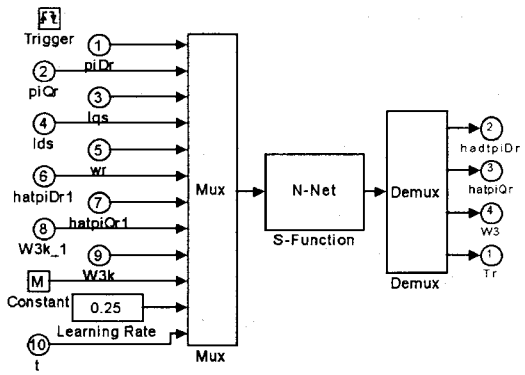


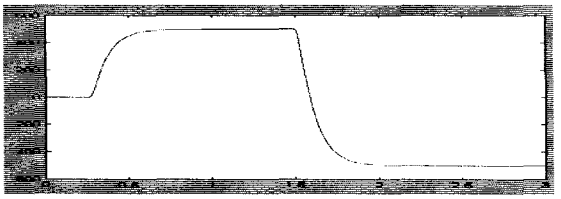
그림 6 신경회로망의 입,출력과 제어 알로리즘부

3. 시뮬레이션 결과

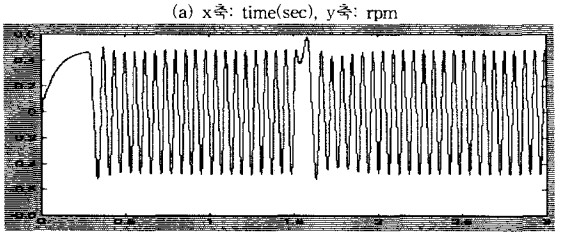
표1은 시뮬레이션에 사용된 유도전동기의 정격과 파라미터를 제시하였다. 이 시뮬레이션을 수행하기 위해 전체 제어 샘플링 타임은 10[μs], 추정 및 제어 알고리즘은 100[μs]로 수행하였으며 신경회로망 활성화 함수는 Bipolar Sigmoid 함수를 사용하였다.

[표1] 4극 유도전동기 정격 및 파라미터

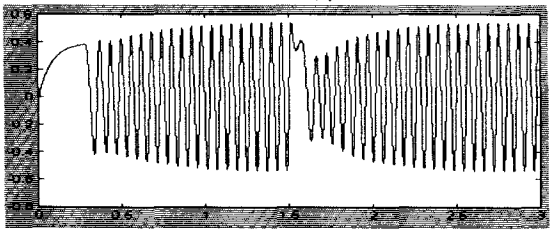
rated voltage	220[V]	R_s	0.687[Ω]
rated frequenc	60[Hz]	L_s	83.97[mH]
delta-connecte	3phase	L_r	84.28[mH]
rated power	2.2[kW]	M	81.36[mH]
rated speed	1750[rpm	J	0.03[Kgm^2/
rated rotor flu	0.48[wb]	B	0.01[Kgm^2/s
rated current	8.82[A]	R_r	0.842[Ω]



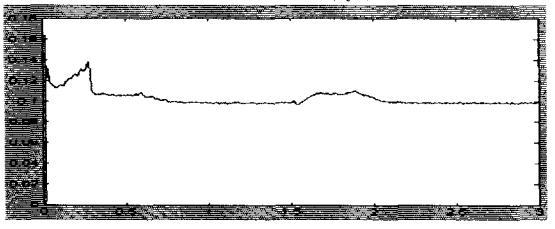
(a) x축: time(sec), y축: rpm



(b) x축: time(sec), y축: wb

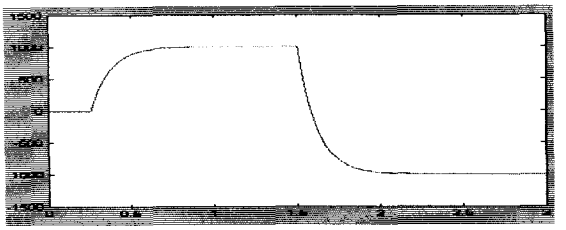


(c) x축: time(sec), y축: wb

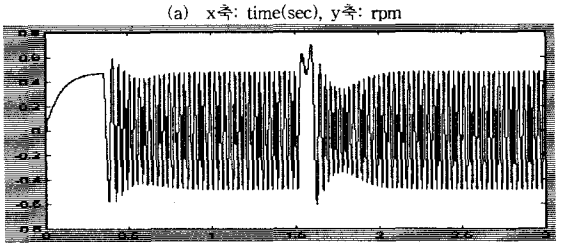


(d) x축: time(sec), y축: Tr
그림 7 ±500[rpm]
(a)속도 (b)기준자속 (c)추정자속 (d)추정한 회전자 시정수

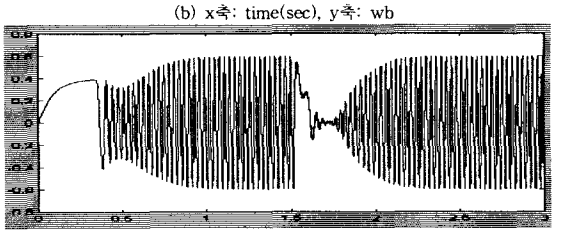
속도변화는 0.25[sec] 까지 0으로 유지한 후 1.5[sec]에서 역으로 변화 시켰다. 그림 7은 500[rpm]에서 -500[rpm]으로 속도 가변시 d축 자속의 추정과 회전자 시정수의 추정을 나타내며, 속도 변화시 자속의 위상이 변화되는 것을 알 수 있다. 그림 8은 1000[rpm]에서 -1000[rpm]으로 속도 가변시 회전자 자속과 시정수의 추정양상을 나타낸다. 그림 7, 8 모두 실제 자속과 추정자속이 일치함을 알 수 있으며 과도상태에서 시정수 추정값에 다소 오차가 있으나 곧 속도가 정상상태에 도달함에 따라 시정수 추정값 또한 안정한 상태로 추정하게 된다.



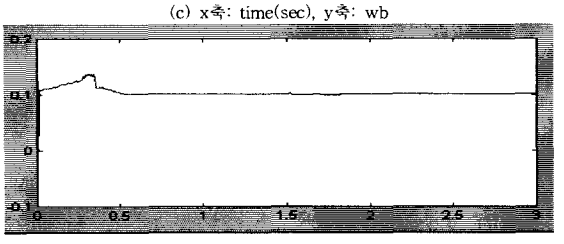
(a) x축: time(sec), y축: rpm



(b) x축: time(sec), y축: wb



(c) x축: time(sec), y축: wb



(d) x축: time(sec), y축: Tr
그림 8 ±1000[rpm]
(a)속도 (b)기준자속 (c)추정자속 (d)추정한 회전자 시정수

4. 결 론

본 논문에서는 간접벡터제어시 회전자 시정수를 이용한 슬립각 계산시 전동기 손실의 원인이 되는 회전자 시정수를 신경회로망을 이용하여 실시간으로 추정하였다. 신경회로망 추정이론은 Matlab/Simulink를 이용하여 구현하였으며 시뮬레이션 결과는 속도 변화시에도 양호한 특성을 얻었다. 향후 간접벡터제어를 이용한 유도전동기제어시 회전자 시정수를 실시간으로 계산하여 보상할 수
있다.

[참 고 문 헌]

[1]김성환, 박태식 "신경회로망 속도 추정 기법을 이용한 유도전동기의 속도 센서리스 벡터제어," 전력전자학회지 3권 4호 p346 .1998.

[2]김규식, " 단순화된 입출력 선형화기법에 의한 유도전동기의 강인한 속도 및 효율제어,"서울대학교 박사학위논문, 1990.

[3]이동명, "회전자 시정수 변동을 보상한 유도전동기 벡터제어," 전기학회지 45권 9호. p1259. 1996.

[4]B.K. Bose "POWER ELECTRONICS AND AC DRIVES," Prentice-Hall 1986.

[5]CHEE-MUN ONG "DYNAMIC SIMULATION of ELECTRIC MACHINERY," Prentice-Hall, 1998.