

지능형 속도 추정기를 이용한 유도전동기의 센서리스 속도제어

Sensorless Speed Control of Induction motor using the Intelligent Speed Estimator

박진수*, 최성대, 김상훈, 윤광호, 반기종, 남문현, 김낙교

Jin Su Park*, Sung Dae Choi, Sang Hoon Kim, Kwang Ho Yoon, Gi Jong Ban, Moon Hyon Nam, Lark Kyo Kim

Abstract - This paper proposes an Intelligent Speed Estimator in order to realize the speed-sensorless vector control of an induction motor. Intelligent Speed Estimator used Model Reference Adaptive System which has Fuzzy-Neural adaptive mechanism as Speed Estimation method. The Intelligent Speed Estimator estimates the speed of an induction motor with a rotor flux of a reference model and adjustable model in MRAS. The Intelligent Speed Estimator reduces the error of the rotor flux between the voltage flux model and the current flux model using the error and the change of error as input of the Estimator. The computer simulation is executed to verify the propriety and the effectiveness of the proposed speed estimator.

Key Words : Induction motor, MRAS, Sensorless Control, Intelligent Speed Estimator, Fuzzy, Neural Network

1장. 서론

유도 전동기의 고성능 속도 제어를 원활하게 실현하기 위해서는 회전자에 정확한 속도 정보가 필요하며, 이를 위해 Pulse generator나 encoder 등의 속도센서를 이용한다. 그러나 유도전동기에 속도 센서를 부착하는 것은 우선 유도전동기가 가지는 본래의 강인함을 약화시키고, 추가적인 센서의 부착으로 인하여 가격이 상승하며 전기적인 노이즈를 고려하여야 하는 단점을 가지게 한다. 따라서 이와 같은 사용상의 한계점을 극복하기 위해 속도 센서의 정보 대신 적합한 알고리즘에 의해 추정된 속도를 제어에 사용하는 속도 센서리스 제어에 대한 연구가 1980년대 후반에 들어 본격적으로 진행되기 시작했다.[1],[2]

유도 전동기의 여러 가지 속도 센서리스 제어 방식 중 모델 기준 적용 시스템은 물리적 해석이 간결하고 적용이 용이하며 비교적 폭넓게 사용되는 제어구조의 하나이다. 그러나 이 방식을 이용한 유도전동기의 속도 센서리스 제어에 사용되는 파라미터들이 모두 추정된 값 또는 비선형성을 가지는 값이므로 기존의 적용 규칙을 개선하려는 연구가 많이 시도되고 있으며 특히, 인공 지능을 이용한 분야의 연구가 활발히 진행되고 있다. [3],[4]

본 논문에서는 모델 기준 적용 시스템을 사용하였으며 적용규칙으로 퍼지-뉴럴 시스템을 사용하여 만족할 만한 속도 추정성능을 가지는 지능형 속도 추정기를 설계하고자 한다.

또한 센서를 사용하여 속도를 측정하는 시스템과의 비교를 통하여 제안한 알고리즘의 타당성과 유효성을 검증하고자 한다.

2장. 본론

2.1 퍼지제어

퍼지 제어 시스템은 전문가의 경험 및 지식에 근거한 언어 제어전략을 자동제어 전략으로 변환하는 기능을 수행하며, 퍼지 추론과 퍼지 명제의 개념이 결합된 언어 제어규칙의 집합으로 구성된다. 일반적인 퍼지제어기는 퍼지화(Fuzzification), 퍼지추론(Fuzzy Inference), 비퍼지화(Defuzzification)의 3단계로 구성된다. 그림 2.1에 일반적인 퍼지 제어기의 구조를 나타내었다. 본 논문에서는 비퍼지화 과정에서 다른 방법들에 비해서 우수한 성능을 보이며 일반적인 PI 제어기와 비슷한 특성을 나타내는 무게 중심법을 사용하였다.

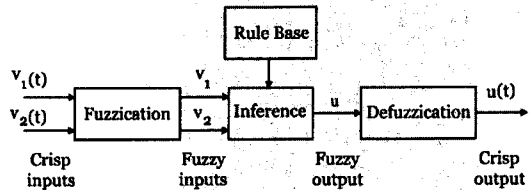


그림 2.1 일반적인 퍼지 제어기

2.2 오차 역전파 신경회로망

인공 신경회로망은 외부로부터 데이터를 입력받는 뉴런들로 이루어진 입력층과 신경회로망 내부의 신호를 주고받는 은닉층, 그리고 계산한 값을 외부로 출력하는 출력층의 3부분

저자 소개

- * 準會員 : 건국大學 전기공학科 碩士課程
- ** 正會員 : 건국大學 전기공학科 博士課程
- ***正會員 : 건국大學 전기공학科 助敎授·工博

으로 되어 있다. 각층의 뉴런들은 다음 층의 뉴런들과 각각 연결되어 있고, 이 연결고리에 가중치를 부여하고 또한 조정함으로써 학습의 효과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 출력층의 오차를 역으로 전파하여 중간층의 오차로 반영시키는 개념인 오차 역전파 알고리즘을 사용하였다. 그림 2.2은 역전파 알고리즘의 구조를 보이고 있다.

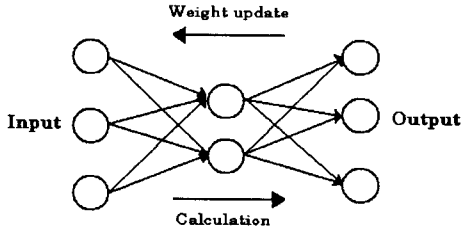


그림 2.2 역전파 알고리즘의 구조

2.3 지능형 속도 추정기의 설계

본 논문에서는 지능형 속도 추정기의 속도 추정 방식으로 모델 기준 적응 시스템을 이용하였으며, 기준 모델은 전압 방정식으로 하였고, 조정 모델은 전류 방정식으로 구성하였다. 제안한 MRAS를 이용한 속도 추정기는 그림 2.3에서와 같이 두 개의 독립적인 모델로 구성되고, ω_r 성분이 포함되지 않은 전압 방정식을 기준 모델로, ω_r 성분이 포함된 전류 방정식을 조정 모델로 정의한다. 여기에서 전압 방정식은 식 (2.1), 전류 방정식은 식 (2.2)을 의미한다. 두 모델에 의해 구한 추정치의 차이를 적응 메커니즘(Adaptation Mechanism)에 적용하여 조정 모델 및 제어를 위한 속도 추정 값을 구할 수 있다.

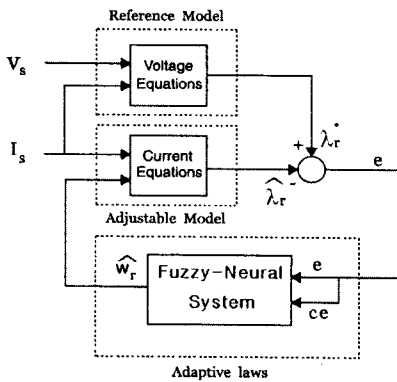


그림 2.3 지능형 속도 추정기의 구조

$$p \begin{bmatrix} \lambda_{dr}^s \\ \lambda_{qr}^s \end{bmatrix} = \frac{L_r}{L_m} \begin{bmatrix} v_{ds}^s \\ v_{qs}^s \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R_s + \sigma L_s p & 0 \\ 0 & R_s + \sigma L_s p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds}^s \\ i_{qs}^s \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$p \begin{bmatrix} \lambda_{dr}^s \\ \lambda_{qr}^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/T_r & -\omega_r \\ \omega_r & -1/T_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_{dr}^s \\ \lambda_{qr}^s \end{bmatrix} + \frac{L_m}{T_r} \begin{bmatrix} i_{ds}^s \\ i_{qs}^s \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

본 논문에서는 적응 메커니즘으로 퍼지-뉴럴 시스템을 이용하였으며, 추정된 자속의 오차와 그 오차의 변화를 지능형 속도 추정기의 입력으로 사용하여 회전자의 각속도를 추정하고, 이 값을 이용하여 기준 모델에서 추정된 자속과 조정 모델에서 추정된 자속이 서로 같아지도록 그 오차를 영(零)으로 만드는 기능을 수행한다. 그림 2.4에 퍼지-뉴럴 시스템의 구조를 나타내었다.

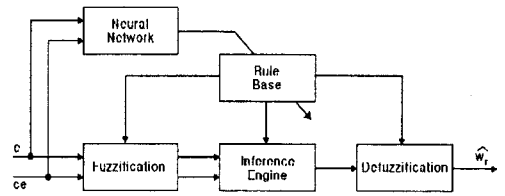


그림 2.4 퍼지-뉴럴 시스템의 구조

두 모델로부터 추정된 자속의 오차와 오차의 변화가 그림 2.4의 퍼지-뉴럴 시스템의 입력으로 사용되었으며, 퍼지화를 거쳐 추론과정을 거치고 다시 비퍼지화를 거쳐 속도 추정 값($\hat{\omega}_r$)이 출력되어진다. 이 과정에서 퍼지 제어기의 퍼지 규칙(Rule base)을 신경 회로망을 이용하여 최적화 하였다.

3장. 시뮬레이션

3.1 전체 시스템의 구성

본 논문에서 설계한 지능형 속도 추정기의 성능을 고찰하기 위하여 그림 3.1은 Matlab-simulink로 구성된 유도전동기 제어 시스템을 보이고 있다. 전체 시스템은 회전자 자속 기준 간접 벡터 제어 방식을 기반으로 하였으며, 일반적인 PI 제어기를 사용한 속도 제어기, 전류 제어기, 퍼지-뉴럴 시스템을 이용한 지능형 속도 추정기 등으로 구성되었다. 시뮬레이션에 사용된 유도전동기의 정격과 파라미터 값들은 표 3.1에 나타내었다.

표 3.1 유도전동기의 정격 및 파라미터

정격 전압	150 [V]	R_s	0.385 [Ω]
정격 주파수	50 [Hz]	R_r	0.342 [Ω]
정격 전류	14 [A]	L_s	0.03257 [H]
정격 속도	1500 [rpm]	L_r	0.03245 [H]
정격 토크	14 [Nm]	L_m	0.03132 [H]
극수	4	J	0.0088 [Kg m ²]

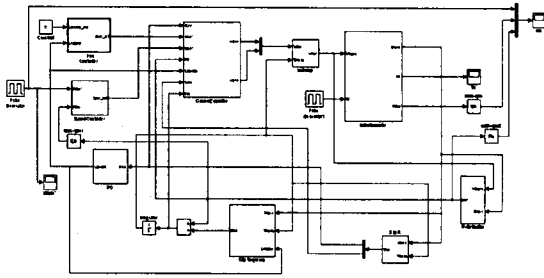


그림 3.1 시스템 구성도

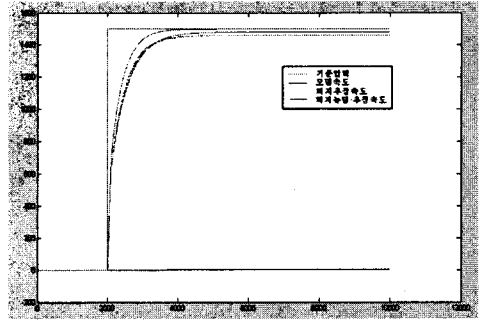


그림 3.3 부하 인가시 속도추정

3.2 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 지능형 속도 추정기의 성능을 고찰하기 위하여 기준 속도 1500rpm에 대하여 무부하시와 정격 부하시의 속도 응답을 시뮬레이션 하였다. 그림 3.2와 그림 3.3에는 무부하 및 정격 부하 인가시 퍼지 알고리즘만을 이용한 속도 추정성능 뉴럴 네트워크를 적용한 퍼지-뉴럴 네트워크의 속도 추정성능을 비교하여 나타내었다. 시뮬레이션 결과 퍼지만을 적용한 속도추정기는 무부하시 모델속도에 비해 1.7% 정도에 해당하는 잔류편차를 보이고 있으며 이는 퍼지 제어기가 마치 PD 제어기와 비슷한 문제점을 가진다고 할 수 있다. 이에 비해 퍼지-뉴럴 네트워크를 적용한 추정기는 0.7%정도의 잔류편차를 보이며 퍼지 추정기에 비해 추정 오차가 줄어든 것을 알 수 있다. 부하 인가시에는 퍼지 및 퍼지-뉴럴 네트워크 추정기 모두 무부하시에 비하여 잔류편차가 1% 및 0.5% 정도 늘어난 것을 볼 수 있다. 이상의 결과에서 볼 수 있듯이 본 논문에서 제안한 퍼지-뉴럴 네트워크를 적용한 속도 추정기가 퍼지-속도추정기에 비하여 오실레이션과 잔류오차도 적으며 만족할 만한 속도 추정성능을 나타냄을 알 수 있다.

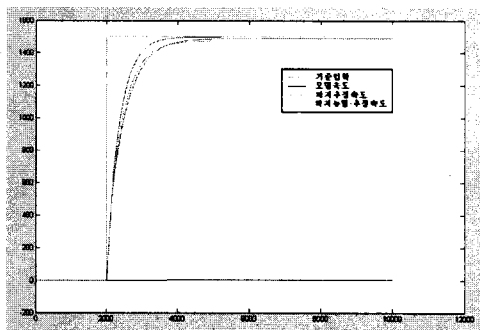


그림 3.2 무부하시 속도추정
Fig. 3.2 Speed Estimation with no load.

4. 결 론

본 논문에서는 유도 전동기 제어시 속도 센서를 사용함으로써 인해 발생하는 여러 가지 문제점을 해결하기 위해서 속도 센서를 사용하지 않고 속도를 추정하는 지능형 속도 추정기를 설계하였고, 설계한 지능형 속도 추정기에서 추정된 속도를 이용하여 유도 전동기의 속도 센서리스 제어를 수행하였다. 시뮬레이션 결과에서 보듯이 기준 입력으로 1500 rpm을 인가하여 무부하시와 부하시 모두 제안한 방식으로 추정한 속도가 퍼지 속도 추정기에 비하여 우수한 속도 추정성능을 보이며 모델 속도를 만족할 만한 수준으로 추정하는 것을 알 수 있다. 향후 연구 과제로는 정격 속도 뿐만 아니라 가변 부하시 및 전 속도 영역에 걸쳐 본 논문에서 제안한 지능형 속도 추정기의 성능을 검증하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- (1) S. Tamai, H. Sugomoto and M. Yano, "Speed-Sensorless Vector Control of Induction Motor with Model Reference Adaptive System", IEEE IAS, pp. 189-195, 1987.
- (2) J. Holtz, "Speed Estimation and Sensorless Control of AC Drives", Conf. Proc. of IECON, pp. 649-654, 1993.
- (3) 손재현, "동적 시스템을 위한 모델 기준 적용 퍼지 제어기의 설계, 건국 대학교 대학원 박사학위 논문, 1995.
- (4) K. S. Narendra and K. Parthasarathy, "Identification and Control of dynamical systems using neural networks", IEEE Trans. Neural Networks, vol. 1, pp.4-27, Mar 1990.
- (5) 임영도, 이상부, "퍼지.신경망.유전진화" pp.129-134, 1998.
- (6) 이광형, 오길록 공저, "퍼지 이론 및 응용", 홍릉과학출판사, pp. 5.1-5.7, 1992.
- (7) Seong-Hwan Kim., Tae-Sik Park., Ji-Yoon Yoo., "Speed-Sensorless Vector Control of an Induction Motor Using Neural Network Speed Estimation", Industrial electronics, IEEE Transactions on, Volume:48 Issue:3, June 2001., pp.609-614
- (8) 박태식, "MRAS를 이용한 유도전동기의 속도 센서 없는 벡터 제어", 고려대학교 대학원 석사학위논문, 1996.
- (9) Young Ahn Kwon.; Dae Won Jin.; "A Novel MRAS based Speed Sensorless Control of Induction Motor", Industrial Electronics Society, 1999. IECON '99 Proceedings. The 25th Annual Conference of the IEEE, Volume:2, 1999. pp.933-938 vol.2.