

MATLAB/SIMULINK를 이용한 유도전동기 퍼지PI제어기의 속도 제어

조항신* 이학주** 박주문*** 국정현* 성세진*

*충남대학교 전기공학과 **한전전력연구원 ***김천대학 전기과

Speed Control of Induction Machine with Fuzzy PI Controller using MATLAB/SIMULINK

*Jo, Hang-Shin **Lee, Hak-Ju ***Park, Ju-Mun *Kuk, Jung-Hyun *Seong, Se-Jin

*Chungnam Nat'l Univ. **Korea Electric Power Research Institute(KEPRI)

***KimChon College

ABSTRACT

The conventional PI controller has been widely used in industrial application due to the simple control algorithm. But, it is very difficult to find the optimal PI control gain. Therefore, in this paper, to obtain optimal performance, fuzzy proportional-plus-integral controller for the vector control system of an induction machine is presented. The simulation model is created in MATLAB/SIMULINK. The simulation results demonstrate the good performance of this system.

1. 서론

유도전동기에서 벡터제어 시스템에서 PI제어기는 상대적으로 간단, 강인하므로 속도제어기로 광범위하게 적용되고 있다. 그러나 PI 이득 조정기술을 이용하여 얻어진 이득값은 일정하기 때문에 과도응답을 해소하는 데에 한계가 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 몇가지의 방법이 개발되었으며, 양호한 결과를 발표하였다. 퍼지 알고리즘을 기반으로 한 퍼지제어는 이러한 우수한 기법의 하나이다. 퍼지제어는 비선형, 불확실한 시스템을 제어하고 심지어 제어시스템에서 수학적 모델을 필요로 하지 않고 추론에 의해 제어동작을 결정하기 때문에 많이 사용되고 있다. 본 논문은 퍼지 이론을 적용한 PI 제어기를 이용하는 유도전동기 속도제어 시스템을 Matlab/Simulink를 이용하여 제안하였다. 본 논문은 퍼지 PI 제어기를 구성하기 위해 퍼지추론에 대한 이론의 고찰과 제어기 설계에 대한 가이드를 나타내었으며, 전체 시스템

의 시뮬레이션을 통한 속도와 토크파형 등을 보여줌으로써 퍼지PI 제어기의 성능을 평가하고 있다.

2. 유도전동기 제어기 설계

2.1 유도전동기 제어시스템의 모델링^[2]

본 논문에서는 유도전동기의 간접 벡터 제어를 사용하였고, 샘플링 기간에서 속도제어기로서 PI제어기를 사용하였다. PI 제어기는 다음과 같은 토폰크 식에 의해 지령치를 발생한다.

$$T_e^*(m) = T_e^*(m-1) + K_p E_r(m) + K_i E_r(m) \quad (1)$$

여기서, K_p 와 K_i 는 비례이득과 적분이득 상수이다.

그림 1은 PI 제어기를 사용한 유도전동기의 벡터제어 시스템을 나타내고 있다.

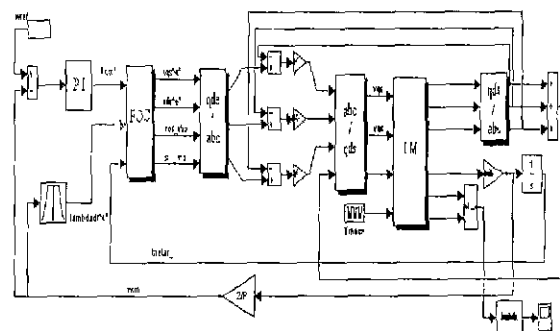


그림 1 유도전동기의 벡터제어 시스템

Fig.1 Vector control system of induction machine

3. 퍼지 PI 제어기의 설계

3.1 퍼지 PI 제어기의 입,출력 변수

퍼지 PI 제어기는 PI제어기의 응답특성을 향상

시킴을 위해 시스템의 속도 오차와 속도 오차의 변화에 따른 비례이득과 적분이득을 적절히 조절하여 급격한 부하토크 등의 외란에 대해 빠른 응답을 갖도록 구성한 제어기이다.

제어기의 입력변수로는 속도오차 $E_r(m)$ 과 전동기 속도오차 변화분인 $\dot{E}_r(m)$ 이다. 전동기의 속도 오차와 속도오차 변화분은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$E_r(m) = \omega_r^* - \omega_r(m) \quad (2)$$

$$\dot{E}_r(m) = E_r(m) - E_r(m-1) \quad (3)$$

여기서, ω_r^* 은 전동기 속도 지령치이고, ω_r 은 전동기의 실제속도이다. 출력변수는 PI 제어기의 입력을 보상해 주는 값이다.

3.2 퍼지변수와 제어규칙

많은 실제 시스템에서 수학적 모델을 구하는 것은 매우 어렵기 때문에, 퍼지 제어기의 사용이 확산되고 있다. 하지만, 우수한 제어결과를 얻기 위하여 적절한 퍼지변수의 이용과 적절한 제어규칙을 구성하는 것은 필수적이다.

그림 2는 속도 오차와 속도 오차의 변화율로 이루어지는 퍼지의 두 입력과 그에 따른 하나의 출력으로 이루어진 퍼지제어기 구조를 보여준다.

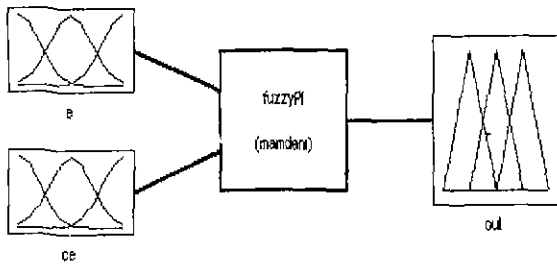


그림 2 퍼지 제어기 구조
Fig.2 Fuzzy Controller Architecture

본 논문에서는 언어적이 변수로 다음과 같은 7가지를 이용하고 있다.

- NB : Negative Big
- NM : Negative Medium
- NS : Negative Small
- ZE : Zero
- PB : Positive Big
- PM : Positive Medium
- PS : Positive Small

퍼지화는 외란의 영향을 많이 받아서 불확실하다고 간주될 때 입력값의 확실적인 특성을 적절히 퍼지 숫자로 변환시켜 주는 이등변 삼각형법을, 퍼지 추론법으로는 Mamdani의 최대-최소법을 사용한다. 비퍼지화는 가장 많이 쓰이고 있는 무게중심법이 사용된다.

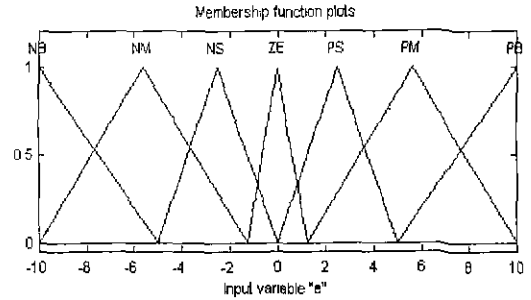


그림 3 멤버십 함수
Fig.3 Membership Functions

ce \ e	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	PS
NS	NB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB

표 1 퍼지 추론을 위한 룰베이스
Table.1 Rule-base for fuzzy inference

그림 3은 퍼지 제어기의 입력과 출력에 대해서 선택되어진 멤버십 함수를 나타낸다. 제어법칙은 2-입력 파라미터 멤버십 함수의 49개로 구성되고, 예를 들면 다음과 같다.

“속도 오차(e)가 매우 크고(PB), 속도 오차의 변화율(ce)도 매우 크면(PB) 출력은 매우 크다(PB)”
표 1은 모든 제어 법칙들을 간략화하여 만든 퍼지 추론을 위한 룰베이스이다.

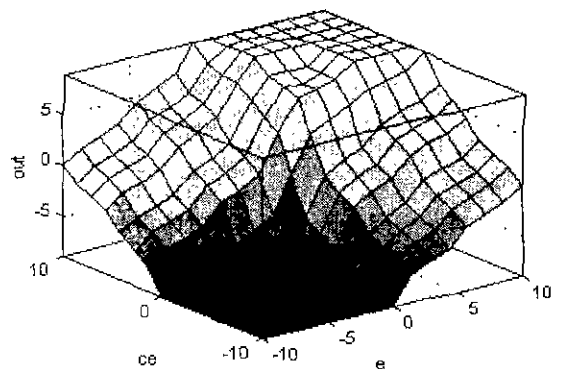


그림 4 퍼지 제어 법칙 Surface Contour
Fig.4 Fuzzy Control Law Surface Contour

그림 4는 3차원 제어 법칙 surface contour를 나타내고 있다. 속도 오차의 변화율(ce)이 0 근처에서 제어 법칙은 선형에 가깝다. 속도 오차의 변화율 크기가 증가할수록, 제어 법칙은 이등변 삼각형 멤버십 함수의 개별적인 선형 조각으로 변환한다.

3.3 MATLAB/SIMULINK를 이용한 제어기 구성

퍼지PI 제어기를 시뮬레이션 하기 위해 그림 1의 PI 제어기를 Fuzzy-PI Controller로 대체하였다. 본 논문에서 제안한 퍼지 PI 제어 시스템 블록도는 그림5와 같다. 퍼지 제어기는 속도 오차와 속도 오차의 변화분에 따라서 PI 제어기의 입력을 보상해 준다.

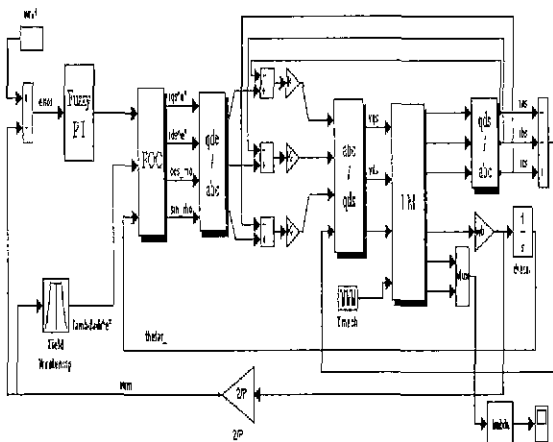


그림 5 퍼지PI Simulink 제어 시스템 모델
Fig.5 Fuzzy-PI Simulink Control System Model

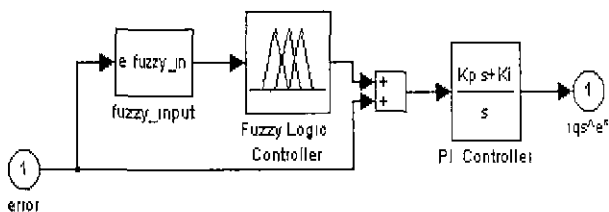


그림 6 퍼지 PI 제어기 모델
Fig.6 Fuzzy-PI Controller Model

그림 5의 Fuzzy PI 부분의 블록도는 그림 6으로 나타내어진다. 퍼지 입력블록은 속도오차의 gain을 곱하여 퍼지 입력의 범위가 너무 커지게 되는 것을 막기 위하여 리미트값에 의해 주어지는 속도 오차량과, 속도 오차 변화량의 gain을 곱한 후 리미트 값을 통해 들어가는 속도 오차의 변화량이 MUX에 맞물려 퍼지 툴박스로 들어가도록 설계되어져 있다. 퍼지로 보상되어진 PI 제어기의 출력은 전류 i_{qs} 의 값이 된다.

4. 시뮬레이션

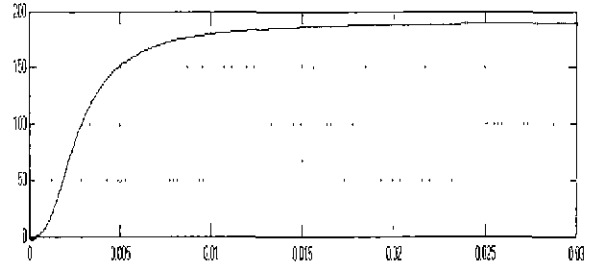


그림 7 PI 제어기의 속도 응답
Fig.7 The speed response of PI Controller

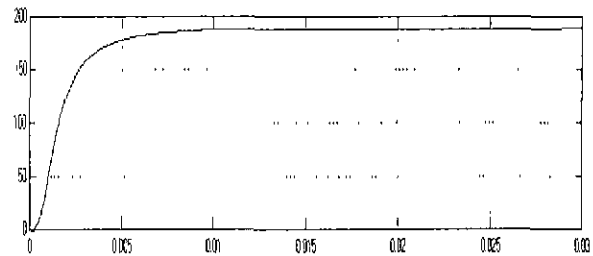


그림 8 퍼지 PI 제어기의 속도 응답
Fig.8 The speed response of Fuzzy-PI Controller

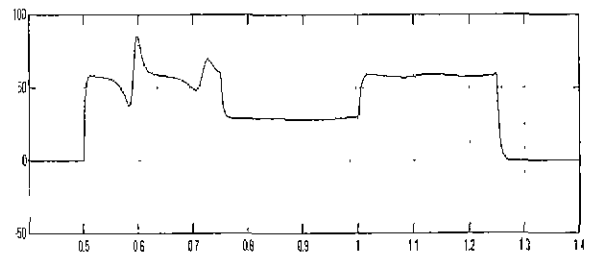


그림 9 PI 제어기의 부하 토크 응답
Fig.9 Load torque response of PI Controller

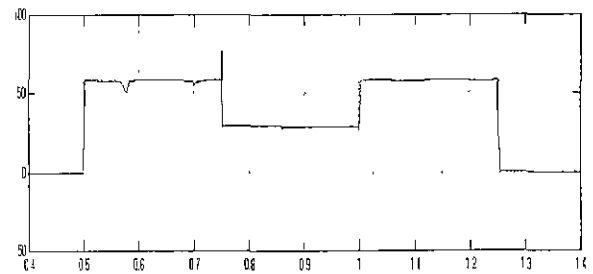


그림 10 퍼지 PI 제어기의 부하토크 응답
Fig.10 Load torque response of Fuzzy-PI Controller

일반적인 PI 제어기와 본 논문에서 제안한 퍼지 PI 제어기를 각각 시뮬레이션 해 보았다.

그림 7과 그림 8은 PI 제어기와 퍼지 PI 제어기의 속도파형이다. 그림에서 볼 수 있듯이 퍼지 PI 제어기가 더 빠른 응답을 보여주고 있음을 보여준다.

표 2에서 PI 제어기와 퍼지 PI 제어기의 rise time과 overshoot를 비교하였다.

	rise time	overshoot
PI 제어기	0.0058	0.6549
퍼지 PI 제어기	0.0032	0.1511

표 2 PI 제어기와 퍼지PI 제어기의 성능 비교
Table.2 Performance Comparison of PI Controller and Fuzzy-PI Controller

그림 9와 그림 10은 부하토크에 따른 응답을 비교하였다. 퍼지 PI 제어기가 부하 토크의 변화에 더 강인함을 볼 수 있다.

그러므로, 시뮬레이션 결과는 퍼지 PI 제어기의 높은 성능을 설명해 준다.

표 3은 시뮬레이션에 사용한 모터의 파라미터다.

유도전동기 파라미터	
정격용량	14.92[KW]
정격속도	250[rad/sec]
극수	4
정격전압 및 전류	220V/46A
고정자 저항	0.106[Ω]
회전자 저항	0.0764[Ω]
상호 인덕턴스	0.015[H]
고정자 인덕턴스	0.016[H]
회전자 인덕턴스	0.016[H]

표 3 전동기 파라미터
Table.3 Motor Parameter

5. 결 론

본 논문에서는 퍼지 PI 제어기를 이용하여 유도전동기의 속도 제어를 하였으며, 제안한 기법은 유도전동기 간접 벡터제어 시스템에 적용되었다. 시뮬레이션 결과 퍼지 PI 제어기의 사용이 일반적인 PI 제어기보다 더욱 강인하다는 것을 보여준다. 그러므로 제안한 퍼지 PI 제어기의 적합성이 증명되었다.

[1] Robert F Varley, "Fuzzy logic controller extends direct drive torque motor performance", *Proceedings of the Intelligent motion systems*, pp. 214-226, 1996, September.

[2] Joao L. Afonso etc. "Fuzzy logic techniques applied to the control of a three-phase induction motor", *ISIE '97*, pp. 1179-1184.

[3] F.Parasiliti etc, "An analytical approach to the derivation of fuzzy PI scaling factors", *IEEE 1997*, pp. 280-285.

[4] Ichiro Miki etc, "Vector control of induction motor with fuzzy PI controller", *IEEE 1991*,pp. 341-346

[5] Ned Gulley, J.-s.Roger Jang, "Fuzzy logic toolbox for use with MATLAB", *The MATH WORKS*.

[6] A.Catahotti, G.Poma, "Fuzzy-logic approach for easy and robust control of an induction motor", *TheEPE'97*. pp. 2.421-2.425, 1997

[7] D.W.Novotny, T.A.Lipo, "Vector Control and Dynamics of AC Drives",

[8] H.Henao,G.A.Capolino, "A New Structure of Fuzzy-Hysteresis Current Controller for Vector-Controlled Induction Machine Drive", *IEEE PESC'96*, pp. 708-712