

퍼지보상기를 이용한 유도전동기의 속도제어에 관한 연구

김연충*, 이상석**, 원충연*, 김영렬***

* 성균관대학교, ** 파워테크, *** 안양대학교

A Study on Speed Control of Induction Motor using the Fuzzy Modifier

Yuen-Chung Kim*, Sang-Suk Lee**, Chung-Yuen Won*, Young-Real Kim***

* Sung Kyun Kwan University, ** Power Tech, *** An Yang University

Abstract

The conventional PI controller has been widely used in industrial applications. If a PI control gain is selected suitable, the PI controller shows very good control performance. But it is very difficult to find the optimal PI control gain. Therefore, in this paper, the 4-rule based fuzzy logic modifier of the conventional PI controller are presented. The fuzzy logic modifier which exhibits a stabilizing effects on the closed-loop system, has good robustness regarding the improperly tuned PI controller. The simulation are performed to verify the capability of proposed control method on vector controlled induction motor drive system.

1. 서론

유도전동기는 직류전동기에 비하여 견고하고 브러시가 없으므로 유지·보수가 용이하고 출력에 비하여 소형·경량이어서 고속운전이 가능하며 관성이 작아 서어보 전동기로서의 조건을 만족할 수 있으나 광범위한 속도제어가 어렵기 때문에 오랫동안 정속도용 전동기로 주로 사용되었다. 그러나 전력용 반도체 소자의 출현과 함께 전력전자 기술의 발달은 유도전동기의 가변속 운전을 가능케 하였으며 제어기로는 제어알고리즘이 간단하고 구현하기가 용이한 PI 제어기가 널리 사용되고 있다[1-3]. 만일, PI 제어기의 제어이득이 적절히 조정될 경우에 좋은 제어 성능을 발휘할 것이다. 그러나, 최적의 PI 제어이득을 선정하는 것이 매우 어렵고 시스템의 파라미터 변동시 최적의 운전상태를 유지하기 위해서는 제어이득을 다시 선정해야하는 불편한 점이 존재한다. 이와 같이 운전중 시스템의 파라미터 변동시에도 최적의 운전상태를 유지하기 위한 보상기를 기존의 PI 제어기에 추가할 경우 PI 제어기의 제어이득을 새로이 선정하지 않고도 시스템의 파라미터 변동전과 유사한 최적의 운전상태를 이루게 할 수 있을 것이다. 따라서, 본 논문에서는 PI 제어기의 보상기로서 시스템을 모델링할 필요가 없으며 시스

템의 파라미터 변동에 대해서 강인하며 구현이 비교적 용이한 퍼지제어기를 유도전동기의 속도제어에 적용하여 제안한 보상기를 가진 PI 제어기의 성능을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

2. 속도제어를 위한 퍼지보상기의 구성

일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 PI 제어기의 경우 알고리즘이 비교적 간단하여 아날로그 제어기로도 쉽게 구현이 가능하고, 제어이득 값이 적절히 조정될 경우 좋은 운전특성을 지니는 등의 장점을 지니고 있으나, 운전점이 달라지거나 시스템의 파라미터가 변하는 경우 제어이득값을 조정해 주어야 하는 문제점이 발생한다. 이와 같은 단점을 극복하기 위하여 기존의 PI 제어기에 시스템의 파라미터가 변하는 경우에만 동작하는 보상기를 추가하면 시스템의 안정도와 제어성능을 향상시킬 것이다. 따라서, 보상기로서 1965년에 Zadeh교수에 의해 처음 제안된 퍼지 제어 알고리즘을 적용하고자 한다. 퍼지 제어 알고리즘은 외란에 강인하고, 시스템의 정확한 수학적 모델을 요구하지 않으면서도 우수한 제어성능을 나타낸다고 알려져 있다. 따라서 기존의 PI제어기와 퍼지 제어기를 결합한 제어기는 매우 효과적인 제어기가 될 수 있다. 본 논문에서는 기존의 PI 제어기에 간단한 4개의 규칙을 갖는 퍼지보상기를 추가함으로써 페루프 시스템에서 안정화 작용을 하며 부적절하게 설계된 PI 제어기에서도 강인한 제어성능을 갖도록 하였다[4,5].

퍼지보상기의 구성은 다음과 같다.

r 과 y 는 각각 시스템의 목표치와 실제 출력을 나타내며, 퍼지보상기를 통해 나오는 출력은 식 (1)과 같다.

$$u_{fuzzy} = K_f F_{fuzzy}(e, De) \quad (1)$$

여기서, e 는 오차($r-y$)이고, D 는 미분연산자($\frac{d}{dt}$)를 나타낸다. 그리고 K_f 는 퍼지보상기에서 조정되어지는 1개의 이득상수이다. 함수 $F_{fuzzy}(e, De)$ 는 다음과 같은 과정을 통해 크리프한 제어량을 출력하게 된다.

퍼지보상기는 2개의 크리스프한 입력 e 와 De 를 가진다. 이 입력값들은 먼저 영역 $[-1, 1]$ 로 정규화된다. 정규화된 값인 e_n 과 De_n 을 가지고 퍼지화 단계에 들어간다. 이 단계에서 e_n 과 De_n 값은 $[-1, 1]$ 의 영역에서 정의된 퍼지집합 P(Positive)와 N(Negative)에 사상된다. 퍼지집합 P와 N의 소속함수는 식 (2), (3)으로 표현되는 μ_P 와 μ_N 으로 나타낸다.

$$\mu_P(x) = \{1 + \exp(-10x)\}^{-1} \quad (2)$$

$$\mu_N(x) = \{1 + \exp(10x)\}^{-1} \quad (3)$$

여기서, x 는 e 와 De 이다.

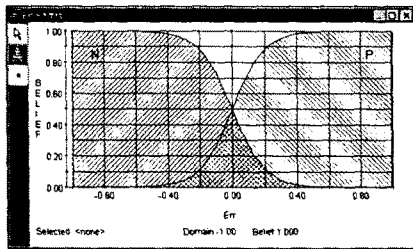


그림 1. e 의 소속함수

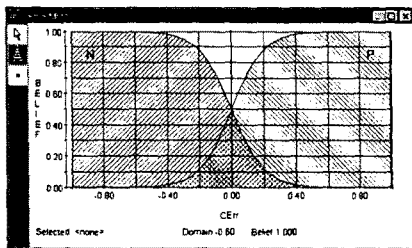


그림 2. De 의 소속함수

본 논문에서 사용된 4개의 퍼지규칙은 표 1과 같다.

표 1. FLM에 사용된 퍼지 규칙

	e	N	P
De		NB	PB
	N	NB	P
	P	N	PB

NB와 PB는 각각 Negative-Big과 Positive-Big을 나타낸다. 선택되어지는 퍼지규칙은 퍼지집합 NB, PB, N, P에 의해 결정되며, 이들의 소속함수 μ_{NB} , μ_{PB} , μ_N , μ_P 는 그림 3과 같다.

이들의 소속함수 역시 $[-1, 1]$ 의 영역에서 정의되며, 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\mu_{PB}(x) = \{1 + \exp[-6(x-0.3)]\}^{-1} \quad (4)$$

$$\mu_{NB}(x) = \{1 + \exp[6(x+0.3)]\}^{-1} \quad (5)$$

$$\mu_P(x) = \exp[-12.5(x-0.3)^2] \quad (6)$$

$$\mu_N(x) = \exp[-12.5(x+0.3)^2] \quad (7)$$

퍼지추론은 일반적으로 널리 사용되는 MAX-MIN법을 이용하고, 비퍼지화는 무게중심법을 사용하였다. 비퍼지화를 통해 얻어진 값은 실질적인 값으로 비정규화하여 사용한다. 따라서, 퍼지보상기를 갖는 PI 제어기는 식 (9)와 같이 기존의 PI 제어기에 퍼지보상항이 추가된 형태이다.

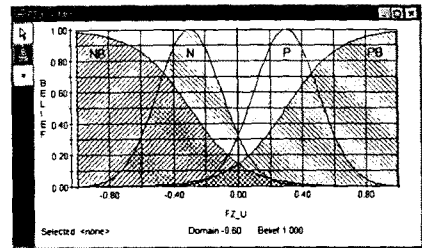


그림 3. F_{fuzzy} 의 소속함수

$$\begin{aligned} u(t) &= u_p(t) + u_i(t) + u_{fuzzy}(t) \\ &= K_p e(t) + K_i \int e(t) dt \quad (9) \\ &\quad + K_f F_{fuzzy}(e, De) \end{aligned}$$

3. 시스템 구성

퍼지보상기를 가진 새로운 형태의 PI 제어기는 유도전동기의 속도제어에 사용되며, 전체 시스템은 그림 4와 같다.

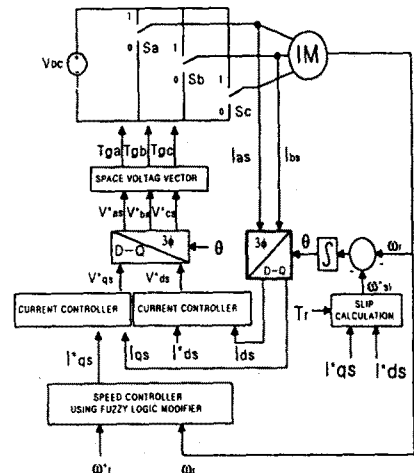


그림 4. 유도전동기 속도제어 시스템 블록도

기존의 PI제어기에 퍼지보상기를 추가하여 시스템의 파라미터 변동시에도 강인한 성능을 발휘할 수 있도록 구성하였다.

4. 시뮬레이션

본 논문에서는 퍼지보상기를 구성하여 기존의 PI 제어기의 제어성능을 향상시켰으며, 퍼지제어기의 구성부분은 퍼지 전용 소프트웨어인 TILSHELL'를 사용하였다.

퍼지보상기의 제어성능을 확인하기 위하여 적절하다고 생각되는 PI 제어이득이 선정되었을 경우와 PI 제어이득이 부적절하게 선정되었을 경우 퍼지보상기가 추가된 PI 제어기와 기존 PI 제어기의 속도응답을 비교하였다. 또한, 이때 속도지령치의 변화는 $-1000[\text{rpm}]$ 으로부터 $1000[\text{rpm}]$ 으로 가변하였다.

시뮬레이션 결과에서 보듯이 PI 제어기의 이득이 부적절하게 선정되었을 시에도 퍼지보상기가 추가된 PI 제어기는 강인하게 제어됨을 알 수 있다.

- 적절한 PI 제어이득이 선정되었을 경우
($K_p = 0.05, K_i = 0.5$)

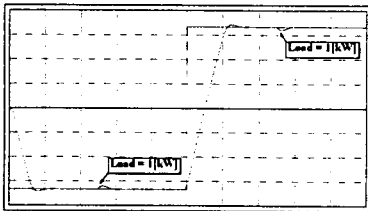


그림 5. 기존의 PI 제어기의 속도응답

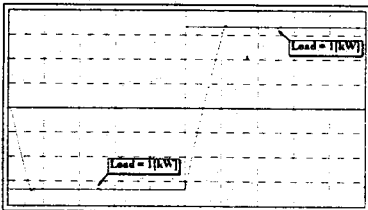


그림 6. 퍼지보상기가 추가된 PI 제어기의 속도응답

- 부적절한 PI 제어이득이 선정되었을 경우
($K_p = 0.005, K_i = 5.0$)

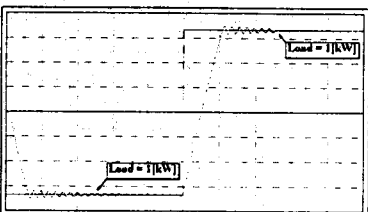


그림 7. 기존의 PI 제어기의 속도응답

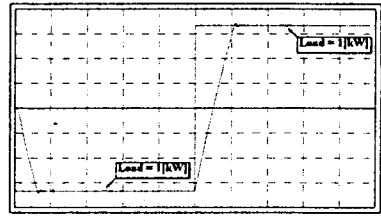


그림 8. 퍼지보상기가 추가된 PI 제어기의 속도응답

5. 결론

본 논문은 기존의 PI 제어기에 4개의 간단한 퍼지 규칙으로 이루어진 퍼지보상기가 추가된 새로운 형태의 PI 제어기를 제안하였다. 새로이 추가된 퍼지보상기는 유도전동기 속도제어 시스템의 제어 성능을 향상시켰다. 시뮬레이션 결과는 부적절한 PI 제어이득이 선정되었을 시에도 제안된 새로운 PI 제어기가 기존의 PI 제어기보다 더 우수한 성능을 발휘함을 보여주고 있다.

부록

유도전동기 파라미터

220[V], 60[Hz], 4 pole

$R_s = 0.687[\Omega]$ $R_r = 0.842[\Omega]$
 $L_s = 0.08397[H]$ $L_r = 0.08528[H]$
 $L_m = 0.08136[H]$ $J = 0.03[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$
 $B_m = 0.01[\text{N} \cdot \text{m/s}]$

참고 문헌

- [1] B. K. Bose, "Power Electronics and AC Drivers", 1996.
- [2] K. Kenzo, O. Tsutomu, and S. Taskashi, "Application Trends in AC Motor Drives", IEEE IECON'92 Proc, pp.31~36, 1992.
- [3] David M. Brod and Donald W. Novotny, "Current Control of VSI-PWM Inverters", IEEE Trans. on Ind. Appl. Vol. IA-21, No.4, pp.562~570, 1985.
- [4] Gilberto C. D. Sousa and Bimal K. Bose, "A Fuzzy Set Theory Based Control of a Phase-Controlled Converter DC Machine Drive", IEEE Trans. on Ind. Appl. Vol. IA-30, No.1, pp.34~44, Jan, 1994.
- [5] Vladmir B. Bajic, Alexander Rybalv, "Fuzzy Modifier of PID Control for Improvement of Tracking properties in Servo Systems", Proc. International Conference on Intelligent Technologies, pp.111~113, 1996.