

퍼지제어를 이용한 유도전동기의 자기동조 PI제어기

남수명, 이정철, 이홍균, 이영실, 정동화
 순천대학교 공과대학 정보통신공학부

Self Tuning PI Controller of Induction Motor using Fuzzy Control

Su-Myeong Nam, Jung-Chul Lee, Hong-Gyun Lee, Young-Sil Lee Dong-Hwa Chung
 School of Information & Communication Engineering, Sunchon National Univ.

Abstract - This paper presents a novel design of a self tuning PI controller of induction motor using fuzzy control. In this approach, the fuzzy tuning of a PI controller gains is achieved through fuzzy rules deduced from many robustness simulation tests applied to several induction motors, for a variety of operating conditions such as response to speed command from standstill, step load torque application and speed variations, with nominal parameters and an changed rotor resistance, self inductance and inertia. Simulation results on a speed controller of induction motor are presented to show the effectiveness of the proposed gain tuner. And this controller is better than the fixed gains one in terms of robustness, even under great variations of operating conditions and load disturbance.

1. 서 론

산업계에서는 최근에도 유도전동기의 드라이브 시스템을 제어할 경우에 일반적으로 종래의 PI 제어기를 많이 사용하고 있다. 이는 PI 제어기가 간단하게 구현할 수 있고 파라미터와 시스템의 응답설정 사이에 존재하는 관계가 명확하기 때문이다.[1] 또한 PI 제어기는 다양한 최신 제어 알고리즘과 기법을 개발하는데 기초가 된다. PI 제어기의 고정된 이득은 어떤 동작조건에 환경에서는 양호하게 수행된다. 그러나 이 제어기는 일반적으로 비선형과 불확실한 모델에 의해 복잡하고 시변이며 비선형일 경우에는 문제점이 나타난다.[2] PI 속도 제어기는 간접벡터에 의해 유도전동기를 제어할 경우에 부하 인가, 관성 증가 및 회전자 저항의 변화 등으로 인한 고성능 및 강인성에 주로 취약점으로 나타난다.[3]

산업 프로세서의 적용에는 부하 외란, 파라미터 변화 및 어떤 모델의 불확실성 등에 대하여 고성능과 강인성을 발휘할 수 있는 기법이 필요하다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 적응 퍼지제어[4], 파라미터 변동을 고려한 퍼지제어[5], 새로운 퍼지제어 및 적응 FNN (Fuzzy-Neural Network)[6] 등의 연구가 되었다. 이러한 연구들은 간접벡터에 의한 유도전동기의 드라이브 시스템에 적용하여 양호한 성능을 얻을 수 있었다. 그리고 이 연구들은 고속 및 저속의 속도변화, 부하 변동, 관성 변화 및 정역회전 운전 등 다양한 동작에도 우수한 특성을 얻을 수 있었다. 그러나 이러한 기법들은 종래의 PI 제어기를 대체하여 사용하였으며 PI 제어기 이득을 조절하여 양호한 성능을 얻을 수 있는 기법은 제시하지 않았다.

본 논문에서는 퍼지제어를 이용하여 유도전동기의 드라이브 시스템에 자기동조제어를 할 수 있는 PI 제어기를 제시한다. 본 논문에서 제시한 HBPI(Hybrid PI) 제어기를 종래에 많이 사용되었던 PI 제어기와 성능을

비교한다. 속도와 토크변화 등 다양한 파라미터의 변동에도 본 논문에서 제시한 PI 제어기의 양호한 성능을 확인한다. 다음은 ANN을 이용하여 유도전동기 드라이브의 속도 추정기법을 제시한다. 추정속도의 타당성을 입증하기 위하여 시스템을 구성하여 제어특성을 분석한다. 본 연구에서 제시한 알고리즘의 성능과 추정특성을 분석하고 그 결과를 제시한다.

2. HBPI 제어기

간접 벡터제어로 구동되는 유도전동기의 속도제어를 위한 HBPI 제어기의 설계는 그림 1과 같다.

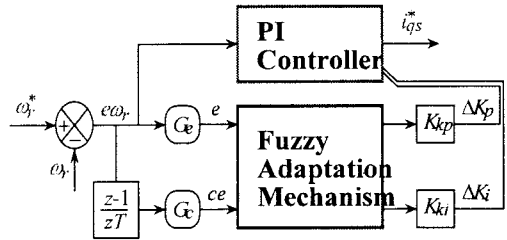


그림 1. HBPI 제어기의 구조

PI 제어기의 두 개의 이득이 잘 알려진 종래의 방법을 이용하여 초기화된다. 그러나 이 이득은 정격 동작조건에서 유도전동기의 추정모델에 의존한다.[2]

PI 제어기의 두 개의 이득을 동조하기 위한 퍼지 알고리즘은 파라미터가 변동할 경우에 양호한 성능을 유지하기 위하여 사용한다. 이는 ΔK_p 와 ΔK_i 를 발생시키기 위하여 퍼지 룰을 사용한다. 이 룰의 설계는 정량적인 지식에 기초하며 여러 동작조건에서 K_p 와 K_i 의 다양한 값을 위한 종래의 PI 제어기를 해석하여 구한다.

표 1. 이득 K_i 를 경신하기 위한 룰 베이스

$\frac{e\omega_r}{ce\omega_r}$	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL
NL	ZE	NS	NM	NL	NM	NS	ZE
NM	PS	ZE	NS	NM	NS	ZE	PS
NS	PM	PS	ZE	NS	ZE	PS	PM
ZE	PL	PM	PS	ZE	PS	PM	PL
PS	PM	PS	ZE	NS	ZE	PS	PM
PM	PS	ZE	NS	NM	NS	ZE	PS
PL	ZE	NS	NM	NL	NM	NS	ZE

표 2. 이득 K_p 를 경신하기 위한 룰 베이스

$e \omega_r$	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL
$ce \omega_r$	NL	NL	NL	NL	NM	NS	ZE
NM	NL	NL	NL	NM	NS	ZE	PS
NS	NL	NL	NM	NS	ZE	PS	PM
ZE	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL
PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PL	PL
PM	NS	ZE	PS	PM	PL	PL	PL
PL	ZE	PS	PM	PL	PL	PL	PL

퍼지적용 매카니즘에서 입력은 속도 오차 e 와 속도 오차의 변화 ce 이고 출력은 두 개의 이득 K_p 와 K_i 이다. K_p 와 K_i 를 경신하기 위한 퍼지 룰은 표 1과 표 2에 나타난다. 퍼지집합은 같은 쪽으로 중복된 삼각형 함수를 사용한다.

퍼지 동조기는 두 개의 출력 언어변수의 비퍼지화를 위하여 무게중심법을 사용하여 PI 제어기의 이득의 적절한 변화를 얻는다. 이 두 개의 이득은 다음과 같이 경신한다.

$$K_p = K_p + K_{kp} f_1(e_n, \Delta e_n) \quad (1)$$

$$K_i = K_i + K_{ki} f_2(e_n, \Delta e_n) \quad (2)$$

드라이브의 안정화를 위하여 이득 K_p 와 K_i 는 정상상태에 도달하면 제한하고 지령속도가 변화할 경우에는 초기화한다. 첫 번째는 추론 룰 표에서 이득 K_i 는 큰 정 또는 부의 속도 오차를 더욱 증가시키고 큰 정 또는 부의 속도 오차변화를 위하여 더욱 감소시킨다. 이는 속도의 상승시간이 개선되지만 오버슈트에 의한 속도응답이 지연된다. 두 번째는 이득 K_p 는 작은 정 또는 부의 오차의 경우에는 큰 정 또는 부의 속도 오차변화를 더욱 증가시킨다. 이는 속도의 오버슈트와 정상상태의 오차를 감소시킨다.

3. 시스템의 구성

그림 2는 HBPI 제어기에 의해 속도를 제어하고 ANN 제어기를 이용하여 속도를 추정할 수 있는 블록도를 나타낸다. ANN에 의해 속도를 추정하고 추정속도와 지령속도를 비교하여 오차를 구하고 그 오차는 HBPI 제어기에 입력된다. HBPI 제어기에서 지령 q 축 전류를 구한다. 전류제어에 의하여 지령전압을 구한다. 다음, SV PWM 인버터를 구동시켜 유도전동기를 제어한다.

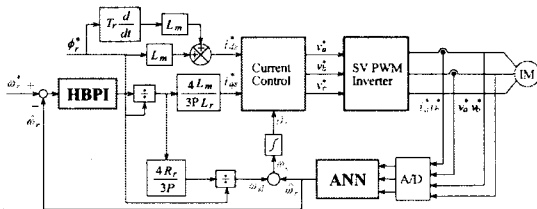


그림 2. 본 논문에서 제시한 유도전동기의 벡터제어 시스템

4. 시스템의 성능 결과

그림 3은 본 논문에서 제시한 HBPI 제어기에 스텝 지령 속도를 1800[rpm]으로 운전 할 경우 응답특성을 나타낸다. K_i 와 K_p 값이 과도상태에서 변하는 것을 볼 수가 있으며 HBPI제어기는 이득이 고정된 종래의 PI제어기보다 오버슈트, 안정화시간, 정상 및 과도상태 오차 등 응답특성이 양호한 성능으로 나타난다.

그림 4는 정격속도 1800[rpm]으로 운전 중 역회전 시켰을 때의 응답 특성으로 HBPI가 종래의 PI보다 양호한 응답특성을 나타낸다.

그림 5는 정격속도 1800 [rpm]으로 운전 중 0.5 ~ 0.8[sec] 동안 부하 5[Nm]를 인가 할 경우 응답특성을 나타낸다. 동일한 조건에서 부하토크의 변동에도 HBPI가 PI보다 속도변화가 적게 나타난다.

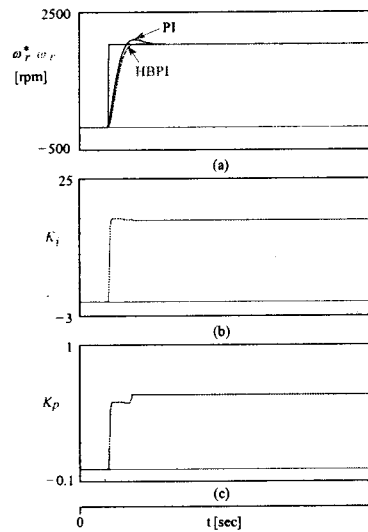


그림 3. PI, HBPI 제어기의 응답특성의 비교

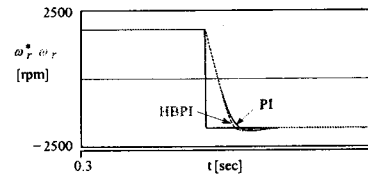


그림 4. 스텝 지령속도의 변화에 대한 응답비교

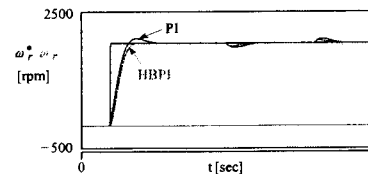


그림 5. 부하토크의 변화에 대한 응답비교

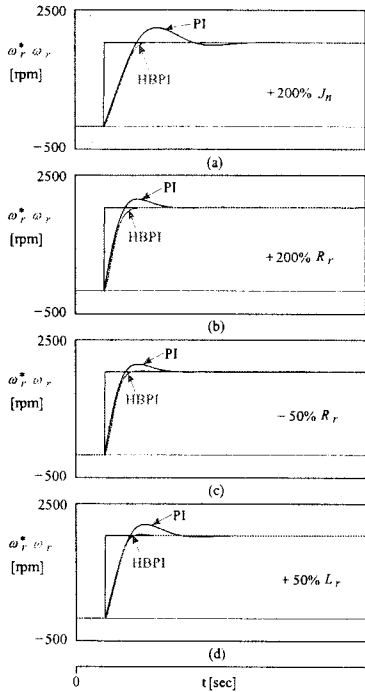


그림 6. 파라미터 변동에 대한 응답비교

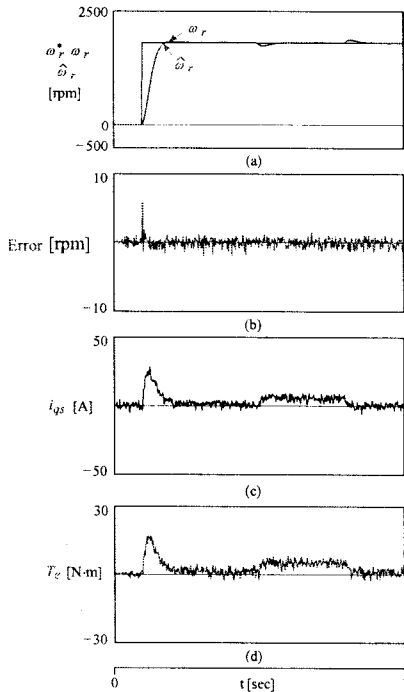


그림 7. 스텝 지령속도에 따른 속도 추정

그림 6은 파라미터 변동에 대한 응답 특성을 나타낸다. 그림 (a)는 관성을 정격의 2배, (b)는 회전자 저항을 정격의 2배, (c)는 정격의 0.5배 그리고 (d)는 회전자 인덕턴스를 정격의 1.5배로 하였을 경우의 응답특성

이다. 전동기의 파라미터 변화에도 HBPI제어기가 종래의 PI제어기보다 양호한 응답특성을 나타낸다.

그림 7은 그림 5와 같은 조건에서 운전하였을 경우의 응답특성이다. 그림(a)는 실제속도와 추정속도, (b)는 실제속도와 추정속도의 오차, (c)는 i_{qs} 전류, (d)는 발생토크를 나타낸다. 속도 오차가 1% 미만으로 ANN에 의한 추정성능도 양호하게 나타나 본 논문의 타당성을 입증할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 유도전동기 드라이브의 강한 제어를 위하여 퍼지제어를 이용한 유도전동기의 자기동조 PI제어기를 제시하였다. 퍼지논리와 PI제어기를 결합한 HBPI제어기는 종래의 PI제어기의 고정된 이득값을 퍼지 룰베이스를 이용하여 그 값을 상황 따라 변화시킴으로 PI제어에서의 부족한 강인성을 보완할 수 있었다. HBPI제어기를 유도전동기의 드라이브 시스템에 적용하여 파라미터의 변동, 정상상태 및 과도상태 등의 응답특성을 분석하였다. 속도, 부하토크 변화에도 HBPI제어기는 종래의 PI제어기보다 정상상태 도달 시간이 빠르게 나타났다. 또한 관성, 회전자 저항, 자기 인덕턴스와 같은 파라미터 변동에도 강인성을 보이며 양호한 응답특성을 나타냈다.

본 연구에서는 제시한 HBPI제어기는 파라미터의 변동 및 과도상태에서 드라이브의 응답특성이 양호하게 나타났으며 ANN을 이용한 속도의 추정도 만족할만한 결과를 얻을 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] M. Santos and J. M. de la Cruz, "Between fuzzy PID and PID conventional controllers," NAFIPS'96, Berkley, USA, June 1996.
- [2] Z. Ibrahim and E. Levi, "Comparative analysis of fuzzy logic and PI speed control in high performance AC drives using experimental approach," Proc. of IEEE IAS'2000, Rome, Italy, CD-ROM paper 46-3, 2000.
- [3] M. N. Uddin, T. S. Radwan and M. A. Rahman, "Performance of fuzzy logic based indirect vector control for induction motor drive," IEEE Trans. on IA, vol. 38, no. 5, pp. 1219-1225, 2002.
- [4] J. C. Lee and D. H. Chung, "MRAC fuzzy control for high performance of induction motor drive," The Trans. of KIEP, vol. 7, no. 3, pp. 215-223, 2002.
- [5] H. G. Lee, J. C. Lee and D. H. Chung, "Design of fuzzy controller induction drive considering parameter change," The Trans. of KIEE, vol. 51P, no. 3, pp. 111-119, 2002.
- [6] H. G. Lee, J. C. Lee and D. H. Chung, "Adaptive FNN controller for speed control of IPMSM drive," The Trans. of KIEE, vol. 41-SC, no. 3, pp. 39-46, 2004.