

유도전동기 드라이브의 속도제어를 위한 새로운 퍼지제어기

이정철, 이홍균, 정택기, 정동화
 순천대학교 공과대학 정보통신공학부

New Fuzzy Controller for Speed Control of Induction Motor Drive

Jung-Chul Lee, Hong-Gyun Lee, Tack-Gi Jung, Dong-Hwa Chung
 School of Information & Communication Engineering, Suncheon National Univ.

Abstract - This paper is proposed new fuzzy controller for speed control of induction motor drive. New fuzzy controller take out appropriate amounts of accumulated control input according to fuzzily described situations in addition to the incremental control input calculated by conventional direct fuzzy controller. The structures of the proposed controller is motivated by the problems of direct fuzzy controller. Proposed controller fuzzily clear out integrated quantities according to situation. This paper attempts to provide a thorough comparative insight into the behavior of induction motor drive with direct and new fuzzy speed controller. The validity of the comparative results is confirmed by simulation results for induction motor drive system.

1. 서 론

최근, 퍼지제어는 퍼지집합 이론을 이용하여 미래의 연구분야에 가장 유망한 기법으로 각광을 받고 있다. 유도전동기 드라이브를 위한 퍼지제어는 효율 최적화 제어 및 강인성 제어에 관하여 연구가 이루어졌다.[1] 퍼지제어에 의한 유도전동기의 벡터제어와 비선형 시스템을 위한 적응 퍼지제어에 관한 연구가 진행되었다.[2] 이러한 연구들은 파라미터가 일정한 시스템일 경우에 퍼지제어기의 효용성을 얻을 수 있다. 그러나 파라미터가 변화하는 시스템에 퍼지제어기를 적용할 경우에는 설계상의 어려움이 나타나고, 정상상태의 오차 및 채터링과 같은 문제점이 나타난다. 그리고 간단한 제어 시스템에서도 종래의 선형제어 알고리즘은 성능에서 한계가 나타난다.[3]

본 논문에서는 이러한 문제점을 감안하여 유도전동기 드라이브의 고성능 제어를 위한 새로운 퍼지제어기를 제시한다. 과도상태에서 나타나는 오버슈트와 상승시간을 고려하여 재설정 변화분을 퍼지제어기를 이용하여 결정한다. 재설정 변화분에 의해 수행되는 퍼지제어기를 종래의 직접 퍼지제어기에 추가하여 병렬형태로 구성된 새로운 퍼지제어기를 구성한다. 본 논문에서 제시한 새로운 퍼지제어기를 유도전동기 드라이브에 적용하여 응답 특성을 분석하고 직접 퍼지제어기와 성능을 비교한다.

2. 새로운 퍼지제어기

기술적인 관점에서 퍼지제어기는 두 적용분야에 사용된다. 첫째는 미지의 시스템을 위한 제어기 설계이며

퍼지제어기의 설계에 필요한 수학적인 모델링이 정의되지 않는 시스템에 적용할 수 있다. 둘째는 모델링 시스템을 위한 비선형 제어기에 적용되며 선형으로 동작하는 종래의 제어기의 성능을 개선하기 위하여 퍼지제어기의 비선형 특성을 이용한다.

2.1 직접퍼지제어기

Fig. 1는 퍼지제어기를 이용한 속도제어 시스템의 블록도를 나타낸다.

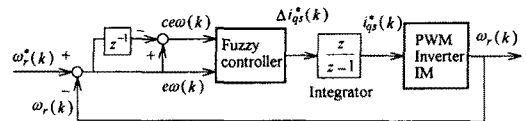


Fig. 1 Block diagram of Fuzzy speed controller for IM drive

퍼지제어기로 선정되어 입력되는 가장 중요한 변수는 속도오차와 속도오차의 시간 변화분이다. 퍼지제어기의 출력은 지령전류의 변화이다. 두 개의 입력변수 $e\omega_r(k)$ 와 $e\omega_r\omega(k)$ 이며 매 샘플링 순간에서 다음과 같이 계산된다.

$$e\omega_r(k) = \omega_r^*(k) - \omega_r(k) \tag{1}$$

$$e\omega_r\omega(k) = e\omega_r(k) - e\omega_r(k-1) \tag{2}$$

여기서 $\omega_r^*(k)$ 는 지령속도이며 $\omega_r(k)$ 는 실제 회전자 속도이다. 간접 벡터제어 시스템에 적용하는 지령전류 $i_{qs}^*(k)$ 는 다음과 같다.

$$i_{qs}^*(k) = i_{qs}^*(k-1) + \Delta i_{qs}^*(k) \tag{3}$$

2.2 새로운 퍼지제어기

종래의 직접 퍼지제어기에서 속도오차와 오차의 변화분에 의해 퍼지화되는 상황에 따라서 적분동작을 수행한다. 이 적분동작에 의해 축적되는 제어입력을 퍼지로 재설정하는 새로운 퍼지제어기를 제시한다. Fig. 2는 새로운 퍼지제어기의 구조를 나타낸다.

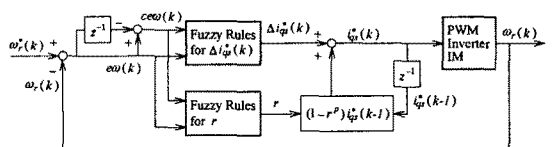


Fig. 2 New fuzzy controller

새로운 퍼지제어기의 구조는 직접 퍼지제어기에 재설정 변화분 r 를 퍼지로 구하고 이를 이용하는 재설정 동작을 추가한 형태이다. 재설정 변화분 r 를 계산하는 원리는 다음과 같다. 이상 변화분에 의해 설정된 값이 응답에 접근하면 측정 오차와 오차의 변화분에 의해 퍼지제어로 축적 제어입력을 재설정한다. 새로운 퍼지제어기에서 지령전류 $i_{qs}^*(k)$ 는 다음과 같다.

$$i_{qs}^*(k) = (1 - (r(k))^p) i_{qs}^*(k-1) + \Delta i_{qs}^*(k) \quad (4)$$

지수 p 는 재설정 동작에서 r 의 영향에 대한 비선형에 의해 결정되며 Fig. 3에 나타난다.

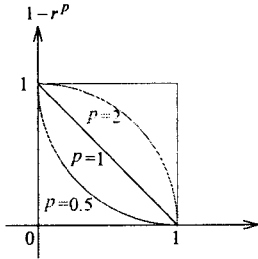


Fig. 3 The effect of P on the resetting operation

퍼지변수의 소속함수는 Fig. 4에 나타내며 (a)는 속도 오차, (b)는 속도오차의 변화분, (c)는 출력변수 및 (d)는 재설정 변화분을 나타낸다. 변수 $e\omega_r$ 와 $ce\omega_r$ 는 Table 1에서 $49(7 \times 7)$ 개의 규칙을 수행하는 추론에 의해 처리된다. 비 퍼지화 단계에서 출력변수 $\Delta i_{qs}^*(k)$ 를 얻는다. Table 2는 재설정 변화분을 결정하는 퍼지규칙을 나타낸다. 자속제어기도 퍼지제어기를 이용하며 제어원리는 속도제어기와 유사한 방법으로 구성하여 제어한다.

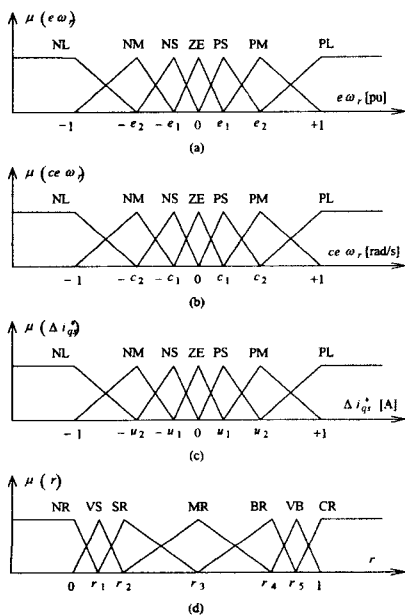


Fig. 4 Membership function of the fuzzy variables

Table 1 Rule base for speed controller

$\begin{matrix} e\omega_r \\ ce\omega_r \end{matrix}$	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL
NL	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

Table 2 Rule base determining resetting rate for the controller

$\begin{matrix} e\omega_r \\ ce\omega_r \end{matrix}$	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL
NL	NR	SR	LR	CR	LR	SR	NR
NM	NR	NR	MR	VL	MR	NR	NR
NS	NR	NR	VS	LR	VS	NR	NR
ZE	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
PS	NR	NR	VS	LR	VS	NR	NR
PM	NR	NR	SR	VL	SR	NR	NR
PL	NR	VS	MR	CR	MR	VS	NR

3. 해석결과

본 논문에서 제시한 새로운 퍼지제어기의 타당성을 입증하기 위하여 종래의 직접 퍼지제어기와 응답특성을 비교한다. 그리고 다양한 파라미터의 변동에도 제시한 퍼지제어기의 효율성을 분석하기 위하여 기동, 속도변화, 부하관성의 변화, 샘플링 시간의 변화 및 4상한 운전을 수행한다.

Fig. 5의 샘플링 시간은 $T_s = 1[msec]$ 이며 지령속도는 무부하에서 스텝으로 변화시켜 정격속도 1800[rpm]에 도달한다. 시간 1.3[sec]에서 지령속도를 1000[rpm]으로 감소시켰을 경우의 직접퍼지제어기와 새로운 퍼지제어기의 응답특성을 비교한 것이다.

Fig. 6은 관성을 3배로 증가시켰을 경우의 속도응답특성을 나타낸다. Fig. 6(a)는 지령속도와 실제속도를 비교한 결과이며 (b)는 q 축전류를 나타낸다. 관성을 증가하였을 경우에는 새로운 퍼지제어기의 성능효과가 더욱 양호하게 향상되고 있다. 관성의 변화에서도 새로운 퍼지제어기는 직접 퍼지제어기 보다 우수한 응답특성이 나타난다.

Fig. 7은 샘플링 시간을 감소시켜 $T_s = 0.2[msec]$ 로 변화했을 경우에 나타나는 응답성능이다. Fig. 7(a)는 지령속도와 실제속도를 비교한 결과이며 (b)는 q 축전류를 나타낸다. 샘플링 시간을 감소시킬 경우에는 두 퍼지제어기의 응답특성이 양호하게 나타난다. 그러나 샘플링 시간의 감소는 실제 적용할 경우 제한을 받게 된다. 이 경우에도 역시 새로운 퍼지제어기의 성능이 직접 퍼지제어기 보다 양호하게 나타난다.

Fig. 8과 9는 무부하 상태로 4상한 운전을 할 경우의 직접 및 새로운 퍼지제어기의 응답성능을 나타낸다. 그림(a)는 지령속도와 실제속도를 나타내고 (b)는 q 축 전

류, (c)는 d축 전류, (d)는 자속 및 (e)는 발생토크를 나타낸다. 전동기의 정역회전인 4상한 운전에서도 새로운 퍼지제어기가 종래의 직접 퍼지제어기 보다 응답특성이 양호하게 나타난다.

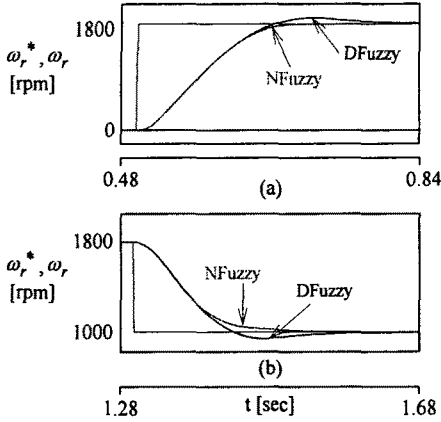


Fig. 5 Comparison of responses with new and direct fuzzy controller

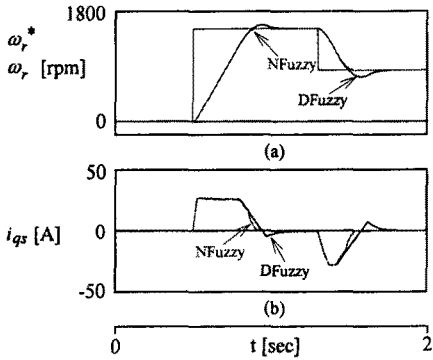


Fig. 6 Response comparison with new and direct fuzzy controller ($J = 3J_n$)

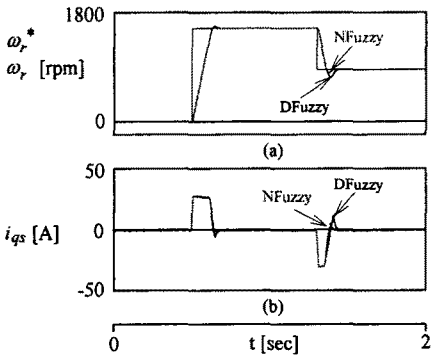


Fig. 7 Response comparison with new and direct fuzzy controller ($T_s = 0.2[msec]$)

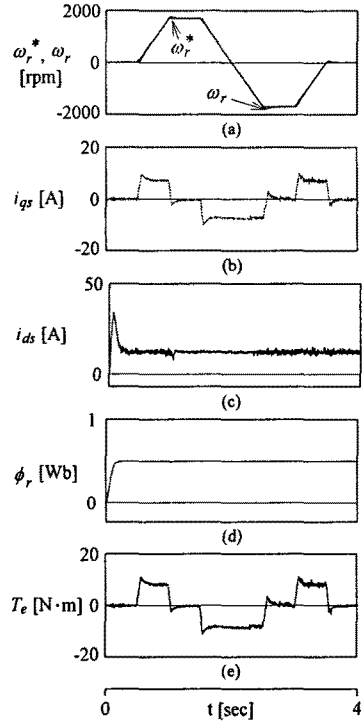


Fig. 8 Response characteristics of direct fuzzy controller in trapezoidal operation

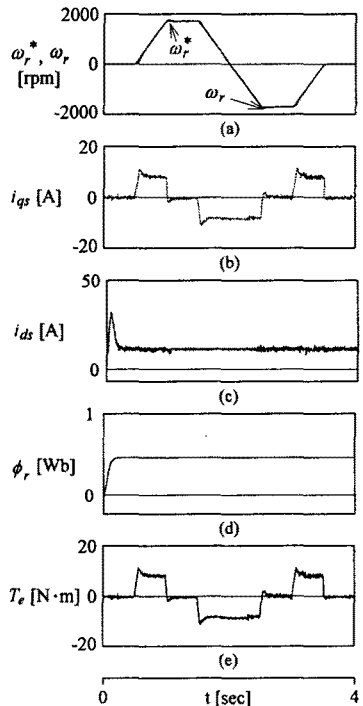


Fig. 9 Response characteristics of new fuzzy controller in trapezoidal operation

4. 결 론

본 연구는 유도전동기 드라이브의 고성능 제어를 위한 새로운 퍼지제어기를 제시하였다. 스텝 정격 지령속도에서 응답성능을 구하고 지령속도, 관성 및 샘플링 시간 등의 변화에 대한 응답성능을 구하였다.

본 연구에서 얻은 결과는 다음과 같다.

- (1) 스텝 지령속도가 정격으로 인가될 경우 새로운 퍼지제어기가 종래의 직접 퍼지제어기 보다 오버슈트도 작고 안정화 시간도 빠르게 나타났다.
- (2) 관성을 3배로 증가시켰을 경우, 스텝 지령속도에 추종하는 속도응답에서 새로운 퍼지제어기에서는 오버슈트가 거의 나타나지 않았으며 직접 퍼지제어기에서는 오버슈트가 크고 안정화 시간도 매우 길어졌다.
- (3) 샘플링 시간을 감소시켰을 경우에도 새로운 퍼지제어기가 직접 퍼지제어기 보다 약간 양호하게 나타났다.
- (4) 전동기의 정역회전인 4상한 운전에서도 새로운 퍼지제어기가 종래의 직접 퍼지제어기 보다 양호한 응답특성을 얻을 수 있었다.

따라서 본 연구에서 새로운 퍼지제어기의 성능이 다양한 운전조건에 변화에도 직접 제어기보다 매우 양호한 결과로 나타났으며 새로운 퍼지제어기의 타당성을 입증할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] M. Boussak and M. Bauer, "Robust speed and position control of the indirect oriented controlled induction motor drive using fuzzy logic regulator," Proc. ICEM, vol., pp. 219-224, 1996.
- [2] L. X. Wang, "Stable adaptive fuzzy control of nonlinear systems," IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 1, no. 2, pp. 140-155, 1993.
- [3] K. Tanaka and M. Sano, "A new tuning method of fuzzy controllers," Proc. IFSA'91, pp. 207-210, 1991.