

## FNPPI 제어를 이용한 유도전동기 드라이브의 고성능 제어

이진국\*, 고재섭\*, 강성준\*, 장미금\*\*, 김순영\* 문주희\*, 정동화\*  
 순천대학교\*, 전자부품연구원\*\*

### High Performance Control of Induction Motor Drive using FNPPI Controller

Jin-Kook Lee\*, Jae-Sub Ko\*, Seong-Jun Kang\*, Mi-Geum Jang\*\*, Soon-Young Kim\*, Ju-Hui Mun\*, Dong-Hwa Chung\*  
 Suncheon National University\*, Korea Electronics Technology Institute\*\*

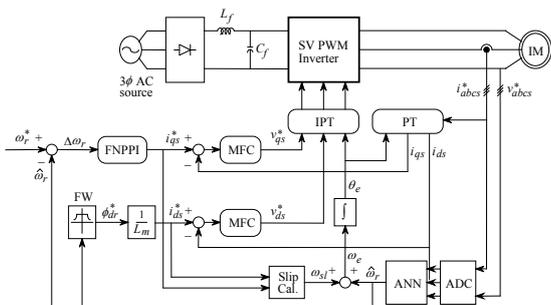
**Abstract** - This paper proposes high performance control of induction motor drive using fuzzy neural network precompensation PI(FNPPI) controller. To apply industrial processes, control methods is requested technique that can demonstrate high performance and robust about load disturbance, parameter variation and uncertainty of model, etc. The PI controller dose not show satisfactory performance due to fixed gain. Therefore, this paper proposes FNPPI which is adjusted input values of PI controller according to operating conditions of motor by FNN controller mixed neural network and fuzzy. And this paper proves validity of proposed control algorithm through result analysis.

#### 1. 서 론

다양한 교류전동기 중에서 유도전동기는 간단하고 강한 구조 때문에 산업 드라이브에서 거의 90% 정도 점유하고 있다. 그러나 유도전동기의 제어는 고유의 비선형성 및 동작조건에 따라 파라미터의 변동 때문에 매우 복잡하다. 최근에는 FC(fuzzy control), NN(neural network) 및 GA(genetic algorithm) 등에 의한 AIC(artificial intelligent control) 등을 이용한 제어기법 등이 등장하였다. AIC의 장점은 정확한 시스템의 수학적 모델이 필요하지 않고 강인성 및 고성능을 얻을 수 있는 특성이 다[1-2]. 그러나 FC는 고성능을 얻기 위하여 시행착오법에 의해 반복하여 찾는 과정이 필요하기 때문에 광범위한 동작영역을 처리하기 어렵다 [1]. 그리고 NN은 많은 학습 데이터를 필요로 한다[2]. 따라서 FC 또는 NN은 고유의 특성을 가지고 있으므로 이를 결합 또는 융합하는 방식으로 발전하게 되었다[3]. 하이브리드 AIC는 FC 및 NN 제어기의 문제점을 극복하고 AC 드라이브에 많이 적용되었다[4]. 그러나 산업프로세서는 대부분 PI 제어를 사용하고 있으며 PI 제어기의 성능을 개선하기 위하여 대부분 PI 제어기의 이득값을 조절하는 방법을 사용하였다. 그러나 PI 제어기의 이득값을 조절할 경우 각각의 이득값을 계산하기 때문에 연산이 많아지는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 FNPPI (Fuzzy Neural Network Precompensation PI) 제어를 이용하여 유도전동기 드라이브의 고성능 제어를 제시한다. FNPPI 제어기는 퍼지제어와 신경회로망을 혼합한 FNN 제어기를 통해 PI 제어기에 입력되는 입력변수를 동작상태에 맞게 조절하고 이 값을 이용하여 PI 제어기는 유도전동기 드라이브의 속도를 제어한다. 마지막으로 본 논문에서 제시한 제어기의 제어특성을 분석하고 그 결과를 제시한다.

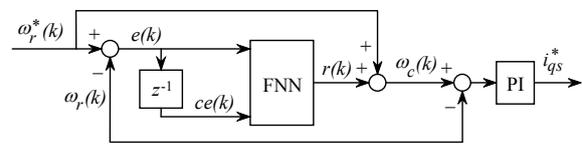
#### 2. FNPPI 제어기

FNPPI 제어를 이용하여 SynRM의 속도를 제어하는 드라이브 시스템은 그림 1과 같다.



<그림 1> FNPPI에 의한 IM 드라이브 시스템

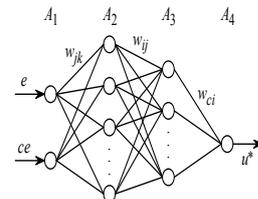
속도 오차와 오차의 변화분을 FNN(Fuzzy Neural Network)에 입력시켜 지령전류  $i_{qs}^*$ 를 출력한다.  $i_{qs}^*$ 와  $i_{ds}^*$ 는 실제전류  $i_{qs}$ 와  $i_{ds}$ 와 비교하여 MFC(Model Reference Adaptive Fuzzy Controller)에 의해 SV PWM 인버터를 제어한다. 제시한 FNPPI의 설계 구조는 그림 2와 같다.



<그림 2> FNPPI 제어기

##### 2.1 FNN 제어기

그림 3은 FNN의 구성을 나타내며 여기서 두 개의 입력변수는 오차  $e$ 와 오차의 변화분  $ce$ 이고 출력변수는 제어변수  $u$ 이다.



<그림 3> FNN의 구성

##### 2.1.1 제어기의 조건부의 구현

그림 3에서  $A_1$ 층에서  $A_3$ 층 사이에 신경회로망은 퍼지룰의 조건부의 구현을 나타낸다. 오차함수를 정의한 후, 오차를 최소화하기 위하여 오차 역전파 알고리즘에 의해  $A_1$ 층과  $A_3$ 층 사이에 가중치  $W_{jk}$ 와  $W_{ij}$ 를 조절한다.

$$W_{ij}(t+1) = W_{ij}(t) + \Delta W_{ij} + \alpha[W_{ij}(t) - W_{ij}(t-1)] \quad (1)$$

$$W_{jk}(t+1) = W_{jk}(t) + \Delta W_{jk} + \alpha[W_{jk}(t) - W_{jk}(t-1)] \quad (2)$$

##### 2.1.2 제어기의 결론부의 구현

그림 3에서  $A_3$ 층과  $A_4$ 층 사이의 신경회로망은 퍼지룰의 후반부의 구현을 나타낸다. 학습 동안 가중치  $W_{ci}$ 는 다음 오차 함수를 최소화하기 위하여 조절한다.

$$E^* = \frac{1}{2} \sum (U^* - U)^2 \quad (3)$$

여기서  $U^*$ 와  $U$ 는 퍼지와 신경회로망의 요구치와 실제치를 나타낸다. 일반적인 델타룰을 사용하여 가중치  $W_{ci}$ 의 변화  $\Delta W_{ci}$ 는 오차함수인 식 (3)을 최소화할 수 있고 퍼지룰의 후반부를 재 정의하여 다음 식을 결정한다.

$$\Delta W_{ci} = -\eta \frac{\partial E^*}{\partial W_{ci}} = -\eta \delta_c O_i \quad (4)$$

$$W_{ci}(t+1) = W_{ci}(t) + \Delta W_{ci} + \alpha[W_{ci}(t) - W_{ci}(t-1)] \quad (5)$$

여기서  $\delta_c$ 는 퍼지와 신경회로망의 출력에서 오차신호이다.

## 2.2 FNPPi 제어기

FNPPi 제어기의 속도 오차는 다음 식과 같다.

$$e(k) = \omega_r^*(k) - \omega_r(k) \quad (6)$$

FNPPi 제어기는 오버슈트 응답을 보상하기 위하여 지령속도를 수정한다. 수정 기준입력은 다음과 같다.

$$\omega_c(k) = \omega_r^*(k) + r(k) \quad (7)$$

여기서  $r(k)$ 는 FNN 제어기의 출력이다.

$$r(k) = F(e(k), ce(k)) \quad (8)$$

보상 항은 출력 속도의 과도응답을 개선하기 위하여 지령속도를 수정하는데 사용한다. FNN의 사전보상 지령속도  $\omega_c(k)$ 는  $i_q^*$ 를 얻기 위하여 PI 제어기를 적용한다.

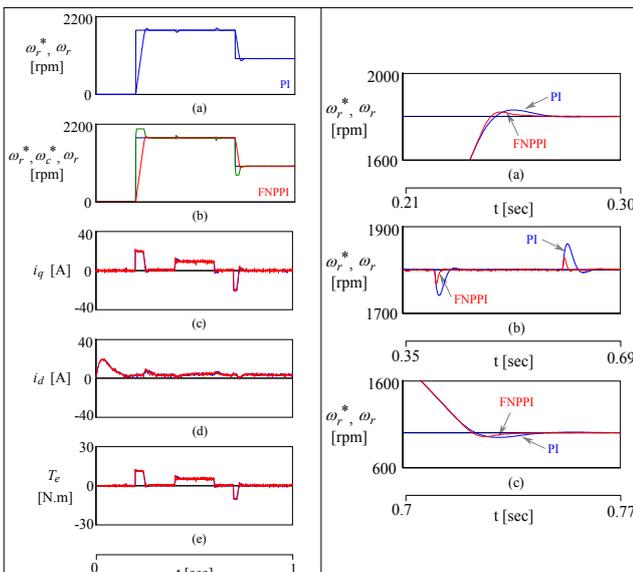
$$e_c(k) = \omega_c(k) - \omega_r^*(k) \quad (9)$$

$$ce_c(k) = e_c(k) - e_c(k-1) \quad (10)$$

$$i_{qs}^*(k) = i_{qs}^*(k-1) + k_p ce_c(k) + k_i e_c(k) \quad (11)$$

## 3. 시스템 성능결과

그림 4는 1800[rpm]으로 운전 중 0.4[sec]에서 0.6[sec]에 부하토크를 5[N.m] 인가하고 0.7[sec]에 1000[rpm]으로 운전하였을 때 응답특성을 나타낸다. 그림 4(a)는 PI 제어기, 그림 4(b)는 본 논문에서 제시한 FNPPi 제어기의 지령속도와 실제속도를 나타낸다. 그림 4(c)는 q축 전류, 그림 4(d)는 d축 전류, 그림 4(e)는 발생토크를 나타낸다. 그림 5는 그림 4의 과도상태 부분을 명확하게 분석하기 위해 확대한 나타낸다. 그림 5(a)는 속도상승부분, 그림 5(b)는 부하토크 변화부분, 그림 5(c)는 속도하강 부분을 나타낸다. 본 논문에서 제시한 FNPPi제어기가 종래의 PI 제어기보다 오버슈트가 작고, 안정화 시간이 빠르게 나타나고 있으며 더욱 우수한 응답특성을 나타낸다.

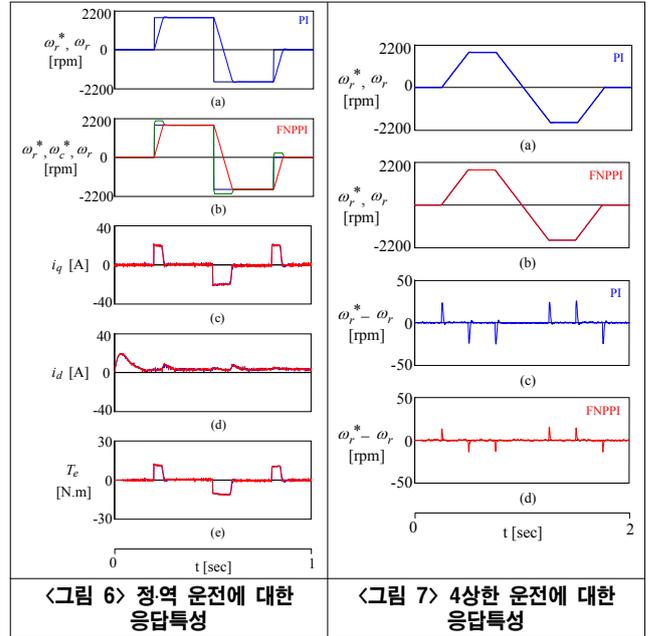


<그림 4> 지령속도 및 부하변화에 대한 응답특성

<그림 5> 지령속도 및 부하변화에 대한 응답특성(그림4확대)

그림 6은 정역 운전에 대한 응답특성을 나타낸다. 본 논문에서 제시한 FNPPi 제어기가 종래의 PI 제어기보다 오버슈트 없이 매우 양호하게 나타나고 있다.

그림 7은 4상한 운전에 대한 응답특성을 나타낸다. 그림 7(a), (b)은 PI 제어기와 FNPPi 제어기의 지령속도와 실제속도, 그림 7(c), (d)은 PI 제어기와 FNPPi 제어기의 속도오차를 나타낸다. 속도오차에서 본 논문에서 제시한 FNPPi 제어기가 종래의 PI 제어기보다 현저하게 작게 나타나고 있다.



<그림 6> 정역 운전에 대한 응답특성

<그림 7> 4상한 운전에 대한 응답특성

## 4. 결 론

본 논문은 FNPPi 제어기를 이용한 유도전동기 드라이브의 고성능 제어를 제시하였다. FNPPi 제어기는 과도상태의 응답특성을 개선하기 위하여 신경회로망과 퍼지제어를 혼합한 FNN 제어기를 통해 PI 제어기에 입력되는 입력변수를 수정한다. FNPPi 제어기는 종래의 PI 제어기와 지령속도, 부하토크 및 파라미터 변동에 대한 응답특성을 비교 분석하였다. 본 논문에서 제시한 FNPPi 제어기는 종래의 PI 제어기에 비하여 오버슈트가 작게 나타났으며 안정화 시간이 빠르게 나타났다. 또한 파라미터 변동에 대해서도 속도오차가 매우 작게 나타나 우수한 성능을 얻을 수 있으므로 본 논문의 타당성을 입증할 수 있었다.

## [참 고 문 헌]

- [1] N. B. Muthuselvan, S. S. Dash and P. Somasundaram, "A high performance induction motor drive system using fuzzy logic controller," IEEE Region 10 Conference TENCON 2006, pp. 1-4, 2006.
- [2] P. Grabowski, F. Blaabjerg, "Direct torque neuro-fuzzy control of induction motor drive, DSP implementation," IEEE IECON Proceedings, 1998, pp. 657-662.
- [3] S. Tunyasirirut, J. Ngamwiwit, T. Furuya and Y. Yamamoto, "Adaptive fuzzy-neuro controller for speed of wound rotor induction motor with slip energy recovery," Proceedings TENCON 2000, vol. 3, pp. 329-333, 2000.
- [4] J. S. Ko, J. S. Choi, J. H. Lee and D. H. Chung, "Hybrid PI controller of induction motor using fuzzy adaptive mechanism," Proceeding of ICMATE'06, Session B1, pp. 183-188, 2006.