

# LM-FNN 제어기에 의한 IPMSM 드라이브의 속도 추정 및 제어

남수명, 이홍균, 고재섭, 최정식, 정동화  
순천대학교 공과대학 정보통신공학부

## Speed Estimation and Control of IPMSM Drive with LM-FNN Controller

Su-Myeong Nam, Hong-Gyun Lee, Jae-Sub Ko, Jung-Sik Choi, Dong-Hwa Chung  
School of Information & Communication Engineering, Sunchon National Univ.

### ABSTRACT

This paper considers the design and implementation of novel technique of speed estimation and control for IPMSM using learning mechanism-fuzzy neural network(LM-FNN) and artificial neural network (ANN) control. The back propagation neural network technique is used to provide a real time adaptive estimation of the motor speed. This paper is proposed the theoretical analysis as well as the simulation results to verify the effectiveness of the new hybrid intelligent control

### 1. 서론

IPMSM은 토크 및 전력밀도가 높고 고 효율 및 역을 때문에 서보 드라이브의 적용분야에 광범위하게 사용되고 있다.<sup>[1]</sup> 최근에는 퍼지논리 제어기법이 고성능 전동기 드라이브의 제어에 적용되고 있다.<sup>[2],[3]</sup> 퍼지제어는 비선형 시스템에 효과적으로 적용할 수 있으며 간단하고 용이한 수학적인 설계 조건이 필요한 장점을 가지고 있다. 그러나 다양한 부하변동과 관성변화에 대하여 강인성의 응답특성을 기대하기가 어려우며 만족할만한 성능을 얻을 수 없다.<sup>[3]</sup> 본 연구에서는 LM-FNN 제어기를 이용하여 IPMSM 드라이브의 속도를 제어한다. PI 제어기에서 나타나는 문제점을 해결하기 위하여 신경회로망과 퍼지제어를 혼합 적용한 FNN을 설계한다. 신경회로망의 고도의 적응제어와 퍼지제어의 강인성 제어의 장점들을 접목한다. 더욱 성능을 개선하기 위하여 학습 메카니즘을 이용하여 LM-FNN 제어기의 파라미터를 갱신시킨다. 그리고 ANN을 이용하여 IPMSM 드라이브의 속도 추정기법을 제시한다. 2층 구조를 가진 신경회로망에 BPA를 적용하여 IPMSM 드라이브의 속도를

추정한다. 본 연구에서 제시한 LM-FNN과 ANN 제어기의 제어특성과 추정성능을 분석하고 그 결과를 제시한다.

### 2. FNN 제어기

FNN은 신경회로망과 퍼지제어를 혼합 구성하며 강력한 표현의 유연성과 수치 처리능력을 가지고 있다. FNN은 퍼지룰의 조건부와 결론부를 클러스터링 방법과 다층 신경회로망으로 구성한다. FNN은 신경회로망과 같은 고도의 적응제어의 능력 및 퍼지제어와 같은 강인성 제어의 장점을 가지게 된다.<sup>[4]</sup>

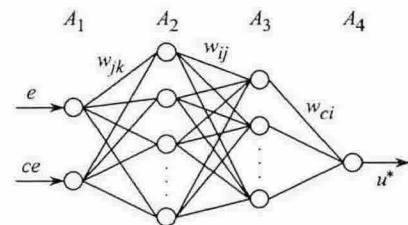


그림 1 FNN 제어기의 구성

그림 1은 FNN의 구성을 나타내며 여기서 두 개의 입력변수는 오차  $e$ 와 오차의 변화분  $ce$ 이고 출력변수는 제어변수  $u$ 이다.

### 3. LM-FNN 제어기

IPMSM 드라이브 시스템을 위한 LM-FNN 제어기 및 ANN은 그림 2와 같다. FNN 제어기는 드라이브 시스템의 동작을 관측하고 요구되는 지령치로 실제 성능을 비교한다. 학습 메카니즘은 요구되는 시스템 동작으로 거의 일치시키기 위하여 FNN 제어기를 수정한다. FNN의 입력은 속도오차  $e$  및 속도오차의 변화분  $ce$ 이다. FNN의 출력  $\Delta i_q^*$ 는 중심 비퍼지화 방법에 의해 계산한다. 이전 출력  $i_q^*(k-1)$ 에 출력  $\Delta i_q^*(k)$ 를 합하여 최종  $i_q^*(k)$

를 얻고 이를 전동기의 입력으로 한다.

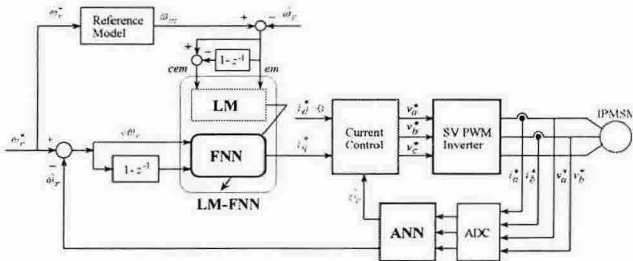


그림 2 LM-FNN 및 ANN 제어기

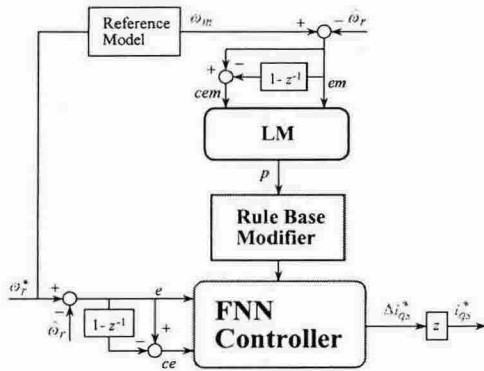


그림 3 학습 메카니즘에 의한 FNN 제어기

그림 3은 학습 메카니즘을 이용한 FNN 제어기의 구조를 나타낸다. 지식베이스의 수정자는  $p(kT)$ 에 따라서 FNN 제어기의 지식베이스를 변화시킨다. 이 변화는 FNN 제어기에서 출력의 멤버쉽 함수의 증앙을 수정하여 구현한다.

$$C_i(kT) = C_i(kT - T) + p(kT) \quad (1)$$

여기서 첨자  $i$ 는 역모델에 의해 동작하는  $i$ 번째 멤버쉽 함수를 나타낸다. 여기서 각 부분 변화는 각 시간에서 이루어진다. 이 방법에서 FNN 제어기는 요구되는  $i_{qs}^*(kT)$ 를 발생하기 위하여 강제화시킨다. 이는 기준모델과 같이 동작시키기 위하여 전동기를 강제화 시킨다.

#### 4. ANN에 의한 속도 추정

ANN을 이용한 시스템의 추정에서 구한 IPMSM의 최종 추정속도는 다음 식과 같다.<sup>[5]</sup>

$$\begin{aligned} \hat{\omega}_r(k+1) &= \hat{\omega}_r(k) + \Delta\hat{\omega}_r(k) \\ &= \hat{\omega}_r(k) - \frac{\Delta W_2(k)}{T} \\ &= \hat{\omega}_r(k) - \frac{\eta}{T} \{ [\phi_q(k) - \hat{\phi}_q(k)] [\hat{\phi}_d(k-1)] - [\phi_d(k) - \hat{\phi}_d(k)] [\hat{\phi}_q(k-1)] \} \\ &\quad - \frac{\alpha}{T} \Delta W_2(k-1) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $T$ 는 샘플링 주기를 나타내며  $\eta$ 는 학습계수이며 학습과정에서 학습율을 나타낸다. 이 계수가 크면 하중 변화가 크다. 실제 구현을 위하여 학습율은 진동이 유발되지 않는 범위에서 큰 값으로 선정한다. 계수  $\alpha$ 는 현재 하중에서 변동하는 과거 하중의 영향을 결정한다. 추정속도를 이용한 회전자 자속의 위치는 다음과 같다.

$$\hat{\theta}_r(k+1) = \hat{\theta}_r(k) + T \cdot \hat{\omega}_r(k) \quad (3)$$

#### 5. 시스템의 성능결과

그림 4는 0.2[sec]에서 스텝 지령속도를 1800[rpm]으로 운전 중, 0.6[sec]에서 0.8[sec]까지 부하토크를 3[N·m]로 인가하였을 경우의 응답특성이다. 이 경우 PI, FNN 및 LM-FNN 제어기의 응답특성을 비교하였다.

그림 5는 그림 4와 같은 조건에서 정격 관성을 2배로 하였을 경우에 나타나는 응답특성이다. 이 경우에도 LM-FNN 제어기의 성능이 양호하게 나타난다.

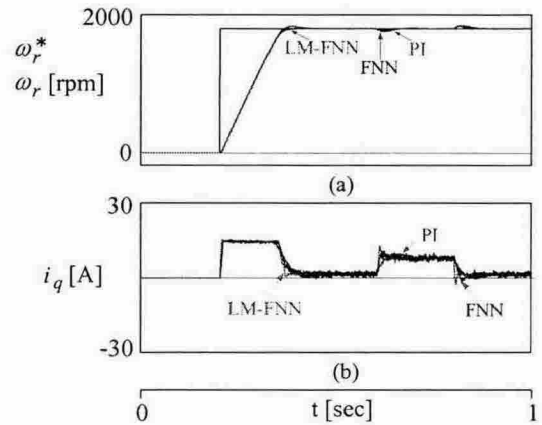


그림 4 PI, FNN 및 LM-FNN 제어기의 응답특성 비교

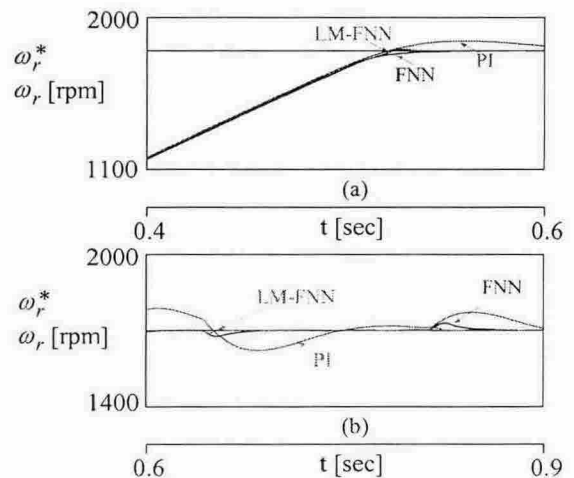


그림 5 관성 2배에 대한 응답특성의 비교

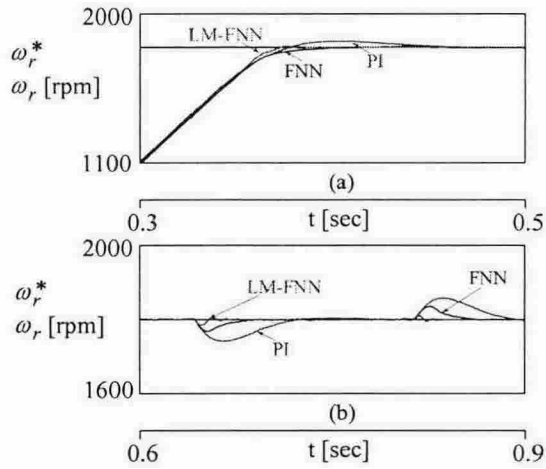


그림 6 저항 2배에 대한 응답특성의 비교

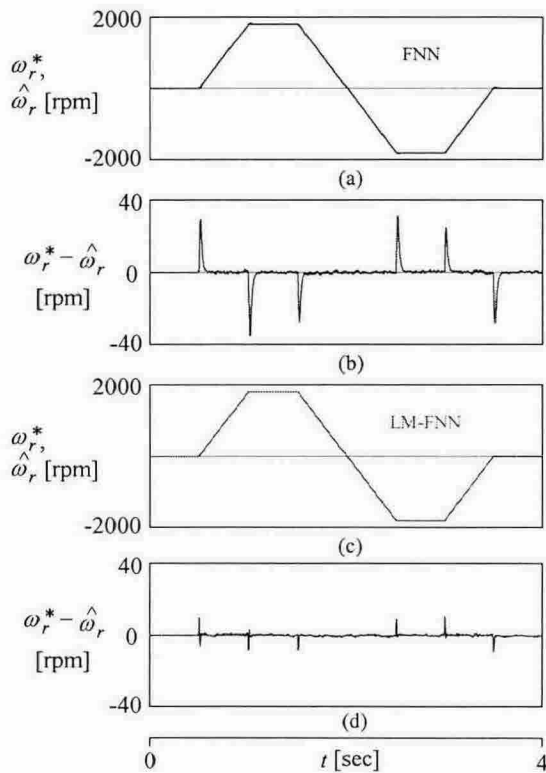


그림 7 관성 2배에 대한 4상한 운전의 응답특성

그림 6은 그림 4와 같은 조건에서 정격 저항을 2배로 하였을 경우에도 나타나는 응답특성이다. 이 경우에도 LM-FNN 제어기의 성능이 양호하게 나타난다. 따라서 LM-FNN 제어기는 관성과 저항 등 파라미터의 변동에 대하여 더욱 양호한 특성을 발휘할 수 있다.

그림 7은 2배의 관성에서 4상한 운전을 시켰을 경우의 응답특성이다. 그림 7(a)는 FNN 제어기의 지령속도와 추정속도이고 그림 (b)는 이 속도의 오차이다. 그림 7(c)는 LM-FNN 제어기의 지령속도

와 추정속도이며 그림 (d)는 이 속도의 오차이다. 그림 7(d)에서 LM-FNN 제어기의 오차가 그림 7(b)에서의 FNN 제어기의 오차 보다 매우 작게 나타나고 있다. 따라서 LM-FNN 제어기는 FNN 제어기 보다 성능이 매우 양호하다는 타당성을 알 수 있다.

## 6. 결론

본 연구에서는 LM-FNN과 ANN을 이용하여 IPMSM 드라이브의 속도 제어 및 추정을 제시하였다. LM-FNN 제어기를 이용하여 속도를 제어하였으며 ANN을 이용하여 속도를 추정하였다.

제시한 LM-FNN 제어기는 종래의 PI 및 FNN 제어기 보다 성능이 우수한 결과를 얻었으며 고성능 및 강인성 제어를 확인할 수 있었다. ANN을 이용하여 다양한 지령속도의 변화에도 추정속도는 실제속도에 양호하게 추정하였다. 지령속도를 4상한 운전시켰을 경우에도 추정속도는 실제속도에 양호하게 추정하였다. 그리고 부하토크를 인가할 경우에도 추정속도는 실제속도에 양호한 추정성능을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 제시한 LM-FNN과 ANN은 시스템의 응답특성이 양호하게 나타났으며 속도의 제어 및 추정에도 만족할만한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제시한 LM-FNN 제어기의 타당성을 입증할 수 있었다.

## 참고 문헌

- [1] G. R. Slemon, "Electric machines and drives," Reading, MA: Addison-Wesley, 1992.
- [2] D. H. Chung, "Fuzzy control for high performance vector control of PMSM drive system," KIEE, vol. 47, no. 12, pp. 2171-2180, 1998.
- [3] Y. Tang and L. Xu, "Fuzzy logic application for intelligent control of a variable speed drive," IEEE Trans. EC, vol. 9, pp. 679-685, 1994.
- [4] M. G. Simoes and B. K. Bose, "Neural network based estimation of feedback signals for a vector controlled induction motor drive," IEEE Trans. IA, vol. 31, no. 3, pp. 620-629, 1995.
- [5] J. C. Lee, H. G. Lee, Y. S. Lee and S. M. Nam, D. H. Chung, "Speed estimation and control of induction motor drive using hybrid intelligent control," International Conference ICPE'04, no. 3, pp. 181-185, 2004.

본 결과물은 교육인적자원부와 산업자원부의 출연금 및 보조금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구결과입니다.