

NNPI 제어를 이용한 IPMSM의 고성능 제어

고재섭, 최정식, 김길봉, 정동화
 순천대학교 공과대학 정보통신공학부

High Performance Control of IPMSM using NNPI Controller

Jae-Sub Ko, Jung-Sik Choi, Kil-Bong Kim, Dong-Hwa Chung
 School of Information & Communication Engineering, Suncheon National Univ.

Abstract - This paper presents self tuning PI controller of IPMSM drive using neural network. NNPI controller is developed to minimize overshoot, rise time and settling time following sudden parameter changes such as speed, load torque and inertia. Also, this paper is proposed speed control of IPMSM using neural network and estimation of speed using artificial neural network(ANN) controller.

The results on a speed controller of IPMSM 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

PI 제어기의 고정된 이득은 어떤 동작조건에 환경에서는 양호하게 수행된다. 그러나 이 제어기는 일반적으로 비선형과 불확실한 모델에 의해 복잡하고 시변이며 비선형일 경우에는 문제점이 나타난다.[1] 이러한 문제점을 해결하기 위하여 적응 퍼지제어, 파라미터 변동을 고려한 퍼지제어, 새로운 퍼지제어 및 적응 FNN(Fuzzy-Neural Network)[2-3] 등의 연구가 되었다.

본 논문에서는 IPMSM 드라이브의 속도제어를 위하여 신경회로망을 이용한 NNPI 제어를 제시한다. 이 방법은 IPMSM 드라이브의 부하 토크, 지령 q 축 전류 및 속도 오차를 신경회로망의 입력으로 한다. 그리고 역전과 알고리즘을 이용하여 하중을 조절한 후 이득을 구하고 PI 제어기의 이득을 갱신한다. 다음은 ANN을 이용하여 IPMSM 드라이브의 속도 추정기법을 제시한다. 2층 구조를 가진 신경회로망에 BPA(Back Propagation Algorithm)를 적용하여 IPMSM 드라이브의 속도를 추정한다. 추정속도의 타당성을 입증하기 위하여 시스템을 구성하여 제어특성을 분석하고 그 결과를 제시한다.

2. NNPI 제어기

신경회로망은 고도의 학습능력과 비선형 사상법에 의해 성공적으로 다양한 시스템의 동정과 제어에 적용할 수 있다. 종래의 PI 제어기의 강인성을 증가시키기 위하여 다양한 동작조건에 따라 제어 이득을 자기동조가 가능한 신경회로망을 이용한 NNPI 제어 시스템을 제시한다.

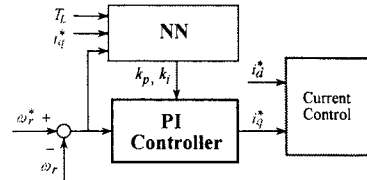


그림 1 신경회로망에 의한 PI 제어기

그림 1에서 NN(Neural Network)은 신경회로망의 파라미터 동조기이며 k_p 와 k_i 는 PI의 이득이다. 동작 조건에 따라 적합한 이득을 발생하여 신경회로망을 활성화하기 위하여 신경회로망의 입력 패턴은 전동기의 동작 조건을 나타낼 수 있는 적합한 변수가 포함되어야 한다.

NN은 지능 파라미터 동조기로서 사용하기 전에 학습 과정이 필요하다. NN의 출력이 적용분야로부터 선정된 각 학습패턴을 위하여 요구되는 출력과 일치되게 하는 효과적인 학습이 필요하다. 각 학습 패턴은 $e\omega_r = (\omega_r^* - \omega_r)$, i_q^* , T_L , k_p 및 k_i 의 5개 파라미터가 포함되도록 설계한다. 제시한 시스템에서는 입력은 $e\omega_r$, i_q^* 및 T_L 이며 출력은 k_p 와 k_i 이다. $e\omega_r$, i_q^* 및 T_L 의 구성은 각각 5개의 동일한 구간으로 나누어 성능지수 F 에 의해 평가된다. 성능지수 F 는 다음 식과 같이 정의한다.

$$F = F(\text{overshoot, rise_time, steady_state_error}) = k_1 \cdot \text{overshoot} + k_2 \cdot \text{rise_time} + k_3 \cdot \text{steady_state_error} \quad (1)$$

여기서 k_1 , k_2 및 k_3 는 하중 인자이며 각각 100, 5 및 100으로 선정한다. $e\omega_r$, i_q^* 및 T_L 의 다양한 구성에 따라 전체 125개의 학습패턴이 얻어진다.

각 입력벡터 $e\omega_r$, i_q^* 및 T_L 에 대하여 최적인 k_p 및 k_i 를 구하는 효율적인 방법을 제시한다. k_p 및 k_i 를 결정하는 과정은 다음과 같다.

단계 1) $k_p (k_{pmin} < k_p < k_{pmax})$ 및 $k_i (k_{imin} < k_i < k_{imax})$ 를 각각 7개의 구간으로 나눈다.

단계 2) 각 k_p 의 결정을 위하여 다음 단계가 필요하다.

- a) $F(t+1) < F(t)$ 의 조건 동안 한 구간에서 k_i 를 점차적으로 증가시킨다.
- b) $F(t+1) > F(t)$ 의 조건이 검출되면 $F(t+1) > F(t)$ 의 조건까지 1/2 구간까지 점차적으로 k_i 를 점차적으로 감소시킨다.
- c) $F(t+1) > F(t)$ 의 조건이 다시 검출될 때까지 1/4

구간까지 k_i 를 증가시킨다.

d) 선정된 k_i 에 대한 k_{iopt} 는 $k_{iopt} = (k_i(t) + k_i(t+1))/2$ 이다. 선정된 k_p 와 k_{iopt} 에 대한 F_{opt} 는 $F_{opt} = (F(t+1) + F(t))/2$ 이다.

단계 2)를 위한 과정은 그림 2과 같다.

단계 3) 단계 2)에서 구한 모든 k_p 및 k_i 중에서 최소 F_{opt} 을 가지는 최적치를 찾는다.

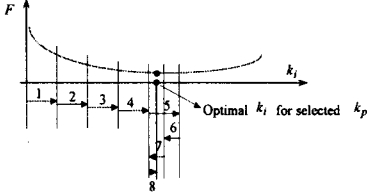


그림 2 k_i 의 결정 과정

NN의 구조는 입력, 은닉 및 출력 노드가 각각 3, 40 및 2인 3층 피드포워드 신경회로망이다.

빠른 응답에서 각 제어과정은 그림 3에서 2 단계로 나눈다.

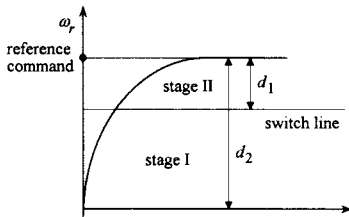


그림 3 스위칭 라인의 도식적 설명

단계 I에서는 NN에 의하여 이득을 구하고 단계 II에서는 NN에서 얻은 이득과 오버슈트, 상승시간 및 정상상태의 오차를 가장 최소화하는 이득의 최적값을 구한다. 여기서 구한 이득을 이용하여 IPMSM 드라이브를 운전시키고 고정 이득을 가진 PI 제어기의 성능과 결과를 비교한다.

3. ANN에 의한 속도 추정

ANN은 인간 두뇌의 간단한 모델에 의해 사고하는 구조로 이루어진 컴퓨팅 시스템이다. ANN은 비선형 동적 시스템의 파라미터를 추정 및 제어를 하는데 사용한다. ANN을 이용한 시스템의 추정에서 구한 IPMSM의 최종 추정속도는 다음 식과 같다. [4]

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

여기서 T 는 샘플링 주기를 나타내며 η 는 학습계수이며 학습과정에서 학습율을 나타낸다. 이 계수가 크면 하중 변화가 크다. 실제 구현을 위하여 학습율은 진동이 유발되지 않는 범위에서 큰 값으로 선정한다. 계수 α 는 현재 하중에서 변동하는 과거 하중의 영향을 결정한다. 그림 4은 본 연구에서 제시한 방식으로 ANN를

이용하여 속도를 추정하고 신경회로망에 의한 NNPI 제어기를 이용하여 속도를 제어한다. ANN에 의해 속도를 추정하고 추정속도와 지령속도를 비교하여 오차를 구하고 그 오차는 NNPI 제어기에 입력한다. NNPI 제어기에서 지령 q 축 전류를 구한다.

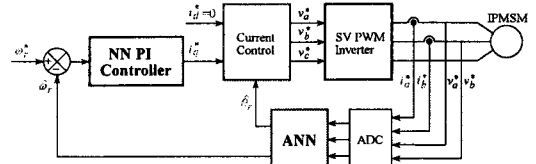


그림 4 제시한 IPMSM의 드라이브 시스템

4. 시스템의 성능결과

그림 5은 0.1[sec]에서 지령속도를 1800[rpm]를 주고 0.5[sec]에서 부하토크 5[N·m]으로 인가한 후, 0.7[sec]에서 지령속도를 -500[rpm]으로 감소시켰을 때 나타나는 응답특성이다. 속도와 부하 변화에도 NNPI 제어기는 PI 제어기 보다 성능을 양호하게 나타낸다.

그림 6은 0.1[sec]에서 지령속도를 1800[rpm], 0.7[sec]에서 부하토크 5[N·m]인가하고 관성을 정격의 2배로 증가시켰을 경우에 나타나는 응답특성이다.

그림 7는 0.1[sec]에서 지령속도를 1800[rpm], 0.7[sec]에서 부하토크 5[N·m]인가하고 전기자 저항을 정격의 2배로 증가시켰을 경우에 나타나는 응답특성이다. 관성과 전기자 저항의 파라미터의 변동이 있을 경우에는 NNPI 제어기의 성능이 더욱 양호하게 나타난다.

그림 8은 다양한 속도변화에 대한 ANN의 속도추정 성능을 나타내고 있다. 속도 오차는 2[%] 내로 추정 성능이 매우 우수하다.

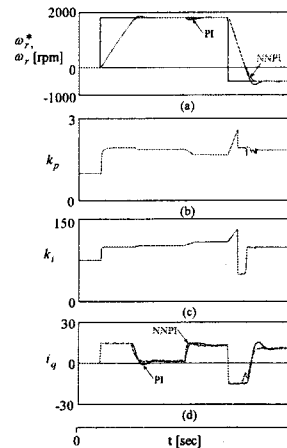


그림 5 속도와 부하의 변화에 대한 응답특성 비교

5. 결 론

본 논문에서는 IPMSM 드라이브의 고성능 제어를 위하여 신경회로망을 이용하여 NNPI 제어기를 제시하였다. NNPI 제어기는 종래의 고정 이득 PI 제어기의 강인성을 증가시키기 위하여 신경회로망에 기초하여 설계한다. 이 제어기는 부하토크, 지령 q 축 전류 및 속도 오차 등 피드백 동작조건에 따라 양호하게 학습된 신경회로망을 이용하여 적합한 이득을 제공한다.

NNPI 제어기를 IPMSM의 드라이브 시스템에 적용하여 파라미터의 변동, 정상상태 및 과도상태 등의 응답 특성을 분석하였다. 속도 및 부하토크 변화에서 NNPI 제어기는 종래의 PI 제어기 보다 오버슈트, 상승시간 및 안정화 시간이 양호하게 나타났다. 그리고 회전자 저항 및 관성 등과 같은 파라미터 변동에도 강인성 및 고성능이 나타났으며 양호한 응답특성을 얻을 수 있었다. 속도와 부하토크의 변화에 대한 ANN에 의한 추정성능도 양호하게 나타났으며 속도 오차가 1(%) 이내로 매우 우수한 추정성능을 보여 주었다.

본 논문에서 제시한 NNPI 제어기는 강인성과 고성능의 응답특성을 얻을 수 있었고 ANN에 의한 추정성능도 만족할만한 결과를 얻을 수 있었으므로 본 논문의 타당성을 입증할 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] Z. Ibrahim and E. Levi, "Comparative analysis of fuzzy logic and PI speed control in high performance AC drives using experimental approach," Proc. of IEE E IAS'2000, Rome, Italy, CD-ROM paper 46-3, 2000.
- [2] J. C. Lee and D. H. Chung, "MRAC fuzzy control for high performance of induction motor drive," The Trans. of KIPE, vol. 7, no. 3, pp. 215-223, 2002.
- [3] 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, p. 111-119, 2002.
- [4] 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.

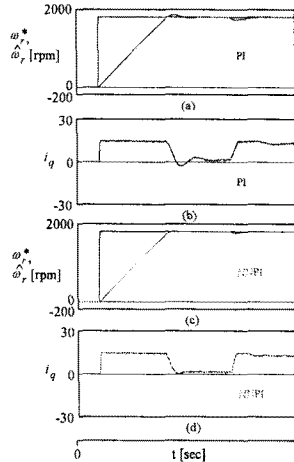


그림 6 속도와 부하의 변화에 대한 응답 비교 [$J=2J_n$]

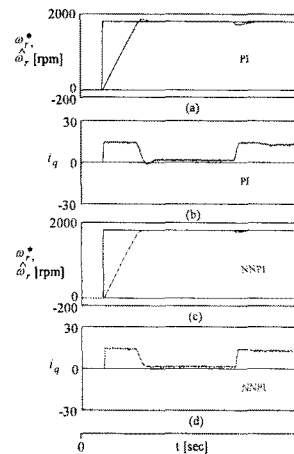


그림 7 속도와 부하의 변화에 대한 응답 비교 [$R=2R_n$]

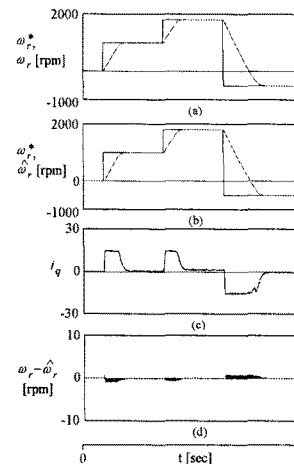


그림 8 스텝 지령속도 변화 따른 속도 추정