

신경회로망 속도설정에 의한 유도전동기의 속도제어

권양원, *윤양웅, **강학수, *안태천,
*원광대학교 전기·전자 공학부, **전주공업대학 전기과

Speed Control of Induction Motor by Neural Network Speed Estimator

Yangwon Kwon, *Yangwoong Yoon, **Haksu Kang, *Taechon AHN
*School of Electrical & Electronics Eng., Wonkwang University, Iksan, Chonbuk
**Electrical Eng., Jeonju Technical College, Jeonju, Chonbuk

Abstract - In this paper, the DSP implementation of induction motor drive is presented on the viewpoint of the design and experiment. The speed estimation of control system for induction motor drive is designed on the base of neural network speed estimator. This neural network speed estimator is experimentally applied to the induction motor system. This system provides the satisfactory results.

1. 서 론

전동기 제어는 요즘 산업분야에서 매우 활동적인 분야이며, 3상 유도전동기는 견고하며 신뢰성이 높고, 직류전동기에 비해서 고속 운전이 가능하여 전동기의 크기를 작게 할 수 있고, 영구자석형 전동기에 비해 가격도 싸므로 최적이라고 생각할 수 있다[1].

유도전동기 구동을 위한 제어기를 설계하고 시뮬레이션하여 이론적으로 성능을 Test 하는 연구[2]는 활발히 진행되어있으나 실질적으로 플랜트에 직접 적용하여 성능을 Test 하게 된 것은 극히 최근의 일이다. 특히 비선형성이 강한 플랜트에는 아직까지 제대로 적용하지 못하고 있는 실정이다. 대표적으로 비선형성의 플랜트는 Ziegler-Nichols 방법[3]에 의해 파라미터를 구하는 PID 제어기에 의해 제어되어 왔다. 이 방법은 비교적 나쁘지 않은 성능을 얻을 수 있지만 고도로 정밀한 제어를 요하는 경우에는 많은 문제점과 한계를 드러내고 있다. 이러한 요소들로 인해 더욱 강화된 알고리즘이 필요하게 되고, 이러한 알고리즘을 적용해 고성능으로 제어하기 위해 DSP 기술이 활용되고 있다.

DSP의 사용에 의해 비선형 제어이론과 파라미터의 온라인 튜닝과 같이 실시간 구현이 힘들었던 고성능 제어 및 추정 알고리즘의 구현이 가능하고, 복잡한 추정 알고리즘을 빠른 주기로 수행할 수 있어 전류제어 및 전압변조를 빠른 주기로 수행함으로써 추정성능의 향상, 소음제거를 포함한 전체적인 드라이브 시스템의 성능 향상을 꾀할 수 있다.

본 논문에서는 DSP 마이크로 컨트롤러를 이용하여 유도전동기 구동 드라이브를 설계하여 벡터제어가 가능하게 하였다. 설계된 구동드라이브의 속도설정을 위해 신경회로망을 적용하였으며, 구현된 속도설정을 3상 유도전동기에 적용함으로써 3상 유도전동기를 능률적으로 제어할 수 있도록 하였다.

2. 본 론

유도전동기의 벡터제어는 크기뿐만 아니라, 변수들의 위상도 고려되어야 하고, 행렬과 벡터가 제어에 사용되어진다. 이 방법은 안정적인 정상상태 뿐만 아니라, 전동기 자신을 실제 수학적으로 묘사한 방정식을 사용하고, 제어 결과는 넓은 속도 영역에서 토크의 변화에 좋은 동적 특성을 가진다.

2.1 3상 유도전동기의 동특성 모델

유도전동기의 제어나 해석[4]을 위하여 동특성을 고려해야 하는데, 유도기의 동특성은 고정자와 회전자 사이의 상호 인덕턴스 때문에 복잡해져 시변 계수를 갖는 미분방정식으로 표현되어 토크나 속도를 고성능으로 제어하기가 어렵기 때문에, 시변 계수를 소거하기 위하여 3상→2상 변환인 d-q변환을 하여 유도전동기의 동적 모델을 얻게되며, 시간에 따라 변하는 매개변수를 제거해 줌으로써 전압방정식과 토크방정식을 간단한 형태로 만들어 벡터제어를 한다.

유도전동기의 동특성 모델링은 Reference Frame 정리와 선형화 기술에 의해 수행되며, 다음과 같이 표현된다.[5]

$$T_e = T_L + J \frac{d\omega_r}{dt} + B\omega_r = K \dot{\theta}_{as} \tag{1}$$

라플라스 변환에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$\omega_r(s) = \frac{K \dot{\theta}_{as}(s) - T_L(s)}{Js + B} \tag{2}$$

여기서, ω_r 는 전동기 속도, J 는 관성계수, B 는 마찰계수, T_e 는 전기적 토크 그리고 T_L 은 부하토크 이다.

2.2 DSP에 의한 벡터제어 시스템

3상 유도전동기의 성능은 전동기의 제어에 많은 의존을 하고 있으며, DSP 제어기는 제어에 있어서 실시간으로 알고리즘을 수행할 수 있도록 한다.

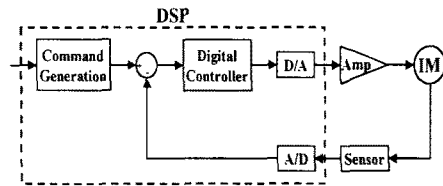


그림 1 DSP를 이용한 제어 시스템

디지털 벡터제어 시스템[6]은 유도전동기를 실시간으로 구동을 위해 TMS320F240 DSP 제어기를 사용하여 설계되어 졌으며, PWM은 공간벡터 조합에 의한 방법에 의해 수행되었다.

DSP를 이용한 제어시스템은 계산에 따른 시간을 해결할 수 있고, 더욱더 향상된 동적 동작을 수행할 수 있으며, 넓은 속도 영역에서 각각의 동작영역에 대한 고효율을 지니며, 토크와 자속의 분리된 제어를 할 수 있는 장점을 지니고 있다.

3. 신경회로망에 의한 파라미터 동적

신경회로망이란 신경의 구조를 이용하여 지능을 인간의 뇌가 아닌 임의의 장치에서 구현한 것으로 뇌의 물리적 구조를 바탕으로 지능을 구현할 주체를 모델링하고 학습시킴으로써 모델이 지능적으로 행동할 수 있도록 하는 것이다.

유도전동기의 속도제어를 위해 PI 제어기가 사용되었

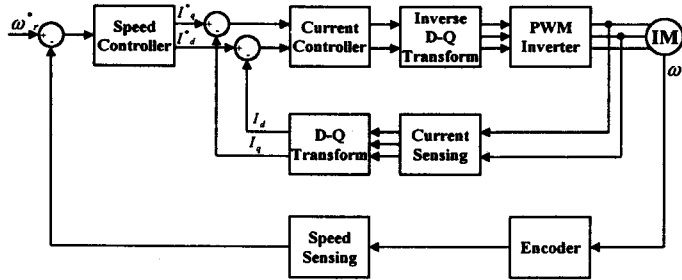


그림 2 DSP에 의한 벡터제어 시스템

으며, PI 제어기의 파라미터를 동정하기 위한 부하토크 관측기와 신경망 설정을 가진다.

3.1 부하토크 관측기

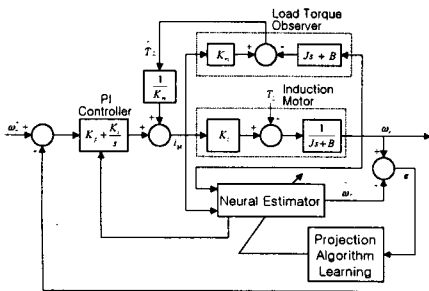


그림 3 토크 관측기와 신경망 설정에 의한 PI 제어기의 자동동조

일반적인 제어기에서 부하의 외란은 관측할 수 없으나, 그림 3과 같은 부하 관측기의 설계[7]에 의해 부하의 란을 관측할 수 있다.

T_L 을 다음 식과 같이 가정하면,

$$\frac{dT_L}{dt} = 0 \quad (3)$$

다음과 같은 상태방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{\omega}_r \\ \dot{T}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -B/J & -1/J \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_r \\ T_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_t/J \\ 0 \end{bmatrix} i_{qs} \quad (4)$$

$$y = [1 \ 0] \begin{bmatrix} \omega_r \\ T_L \end{bmatrix} \quad (5)$$

상태변수 ω_r 과 T_L 이 설정되어야 하는데, T_L 이 Ghopinath's design method[8]방법에 의해 설정되어진다.

$$\begin{aligned} \hat{T}_L &= \frac{1}{t_0s+1} (K_m i_{qs} - J_n s \omega_r - B_n \omega_r) \\ &= \frac{1}{t_0s+1} T_L \end{aligned} \quad (8)$$

여기서, K_m , J_n , B_n 은 시스템 파라미터의 값이고, $s = -1/t_0$ 는 관측기의 극이다.

3.2 신경회로망에 의한 파라미터 동정

Zero order holder에 의해 식 (2)을 표현하면 다음과 같다.

$$\omega_r(z) = \frac{d_1 i_{qs}(z) + d_2 T_L(z)}{z - c_1}$$

$$= \frac{d_1 z^{-1} i_{qs}(z) + d_2 z^{-1} T_L(z)}{1 - z^{-1} c_1} \quad (9)$$

여기서 $d_1 = K_t(1 - c_1)/B$, $d_2 = -(1 - c_1)/B$, T_s 는 샘플링주기, 그리고 $c_1 = e^{-T_s B/J}$ 이다.

식(3)을 차분방정식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \omega(k) &= c_1 \omega_r(k-1) + d_2 [-K_t i_{qs}(k-1) + T_L(k-1)] \\ &= \phi^T(k-1) \theta(k-1) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서, $\theta(k-1)$ 은 $[c_1, d_2]^T$ 그리고 $\phi(k-1)$ 은 $[\omega_r(k-1), -K_t i_{qs}(k-1) + T_L(k-1)]^T$ 이다.

식 (10)을 풀기 위해, 다음그림과 같이 신경 회로망이 구성되어 수행된다.

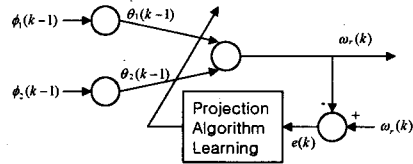
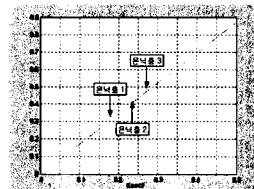
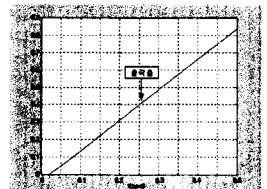


그림 4 신경망 설정에 따른 모델

신경 회로망은 각각 입력층 1층, 은닉층 10층, 출력층 3층으로 구성했으며, 신경회로망의 수행에 따른 각각의 파라미터를 다음 그림에 보인다.

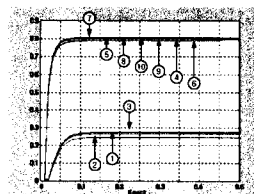


5.1 입력층과 은닉층

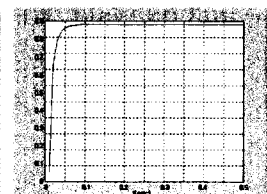


5.2 은닉층과 출력층

그림 5 연결가중치



6.1 은닉층



6.2 출력층

그림 6 문턱값

3. 실험 결과

표 1. 유도전동기의 제정수

정격 출력	37 [Kw]
최대 정격 속도	2800 [rpm]
Rs	8.9 [Ω]
Rr	26.4 [Ω]
정격 전부하 전류	4 [A]
정격 Id	1.7 [A]
정격 전압	400 [V]
Lm	1.26 [H]
P	4
관성능률 J	3.5×10^{-4} [Kgm ²]
기동전류	14.5[A]
마찰계수 Bm	1.464 [kgm ⁻²]
Te	0.23 [kgm]
기동 토오크	210 [%]

제안된 알고리즘을 평가하기 위해 Ziegler-Nichols 방법에 의해 설정된 PI 파라미터와, 제안된 알고리즘에 의해 설정된 PI 파라미터를 DSP에 의해 설계된 제어기에 적용하였으며, 속도와 전류의 응답특성을 비교한다.

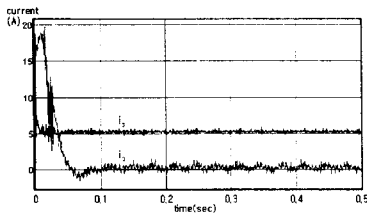


그림 7.1 Ziegler-Nichols 방법

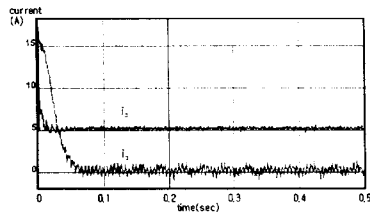


그림 7.2 제안된 방법

그림 7 전류(Current)

그림 7에서 전류의 특성을 보면 제안된 방법이 Ziegler-Nichols 방법에 비해 i_d 와 i_q 의 특성에서 모두 뛰어난 특성을 나타냄을 볼 수 있다.

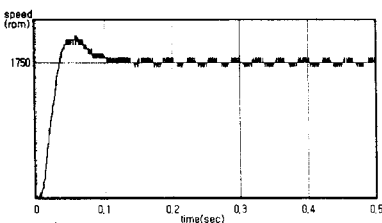


그림 8.1 Ziegler-Nichols 방법

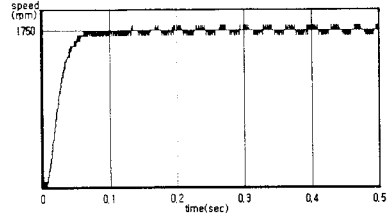


그림 8.2 제안된 방법

그림 8 전류(Current)

그림 8에서 보면 Ziegler-Nichols 방법보다 제안된 방법에 의해 설정된 파라미터를 적용하여 유도전동기를 구동함으로써 상승시간은 느리나, 오버슈트가 적고 정정 시간이 빨라 더욱 더 뛰어난 특성을 보임을 알 수 있다. 속도응답에서의 최대오버슈트와, 상승시간 그리고 정정 시간에 대한 데이터를 표 2에 나타낸다.

표 2. 속도응답 특성

Method	Evaluation		
	Rise Time(s)	Maximum Overshoot(%)	Setting Time(s)
Ziegler-NicholsPID	0.019	2100	0.074
제안된 방법	0.022	1808.33	0.052

4. 결론

본 논문에서는 유도전동기를 실시간으로 제어하기 위하여 DSP를 사용하여 구동 드라이브를 설계하였으며, 신경회로망을 사용하여 PI 제어기의 파라미터를 동정하여 적용함으로써, 유도전동기를 좀 더 고성능으로 제어할 수 있도록 하였다. 그 결과를 일반적으로 널리 사용되는 Ziegler-Nichols 방법에 의해 파라미터를 동정하여 적용했을 때 보다 더욱더 좋은 성능을 나타냄을 알 수 있고, 유도전동기를 효과적으로 제어할 수 있었다. 이상의 결론에 의해 제안된 방법에 의한 파라미터의 동정 방법이 비선형에 더욱더 강인하고, 향상된 지능형 알고리즘을 적용함으로써, 유도전동기의 제어에 최적의 성능을 갖는 제어기를 설계할 수 있을 것이다.

[참고 문헌]

- [1] B. K. Bose, "Power Electronics and AC Drivers", Prentice Hall, 1986.
- [2] J. Cleland and W. Turner, "Fuzzy Logic Control of AC Induction Motor", IEEE Reserch Tringle Institute, pp. 843-850, 1992.
- [3] J. G. Ziegler and N. B. Nichols, "Optimum settings for automatic contro- llers", Trans. ASME, Vol. 65, pp. 433-444, 1942.
- [4] B. K. Bose, "Power Electronics and AC Drivers", Prentice Hall, 1986.
- [5] T. T. Sheu and T. C. Chen, "Self-tuning Control of Induction Motor Drive Using Neural Network Identifier", IEEE Trans. vol 14, No. 4, 1999.
- [6] P. Vas, "Vector Control of AC Mach- ines", Clarendon Press. Oxford, 1990.
- [7] J. S. Meditch and G. H. Hostetter, "Observer for systems with unkwon and inaccessible inputs", Int. J. Control, Vol. 19, No. 3, pp. 473-480, 1974.
- [8] B. Gopinath, "On the control of linear multiple input-output systems", The Bell System Technical Journal, vol. 50, No. 3, pp. 1063-1081, 1971.