

Б.Л. Тишевич, к.т.н., доц., **Д.Д. Мугенов**, магістрант (НТУУ «КПІ»)

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ НА БАЗІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ З СИНХРОННИМ ДВИГУНОМ З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ

B.L. Tyshevych, D.D. Mugenov (National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnical Institute»)

INTELLIGENT SPEED CONTROL SYSTEM BASED ON A NEURAL NETWORK FOR THE ELECTRIC DRIVES WITH SYNCHRONOUS MOTORS AND PERMANENT MAGNETS

Пропонується інтелектуальна система управління швидкістю електропривода з синхронним двигуном з постійними магнітами, на базі штучної нейронної мережі. В такій системі управління пропонується використати контролер - нейронну мережу разом з контролером - нейромережевою еталонною моделлю. Наявність двох контролерів - одного у прямому каналі, іншого у зворотному зв'язку, які навчаються в режимі "онлайн" забезпечать поліпшення динамічних характеристик системи електроприводу.

Ключові слова: електропривод; синхронний двигун з постійними магнітами; інтелектуальна система управління; штучна нейронна мережа.

Предлагается интеллектуальная система управления скоростью электропривода с синхронным двигателем с постоянными магнитами, на базе искусственной нейронной сети. В такой системе управления предлагается использовать контроллер - нейронную сеть вместе с контроллером - нейросетевой эталонной моделью. Наличие двух контроллеров - одного в прямом канале, другого в обратной связи, которые обучаются в режиме "онлайн" обеспечат улучшение динамических характеристик системы электропривода.

Ключевые слова: электропривод; синхронный двигатель с постоянными магнитами; интеллектуальная система управления; искусственная нейронная сеть.

In this article offers intelligent control system of the drive speed of an synchronous motor with permanent magnets, based on artificial neural network. In such a control system it is proposed to use the controller - a neural network with the controller - neural network reference model. Having two controllers - one in the direct channel, a different feedback, who are trained in "online" mode, provide improved dynamic characteristics of the drive system.

Keywords: electric drive; synchronous motor with permanent magnets; intelligent control system; artificial neural network.

Вступ. В останні роки, електропривод на базі синхронного двигуна з постійними магнітами (СДПМ) почав відігравати важливу роль у промисловості, завдяки досягненням у дослідженні магнітних матеріалів, напівпровідникових силових пристроях і теорії управління [1,2]. СДПМ широко застосовуються у вискоєфективних електроприводах завдяки компактному розміру, високій потужності, великому повітряному зазору, щільності потоку, високому відношенню крутного моменту до моменту інерції, високої

енергоєфективності [3]. При використанні векторного управління, момент на валу СДПМ може змінюватись лінійно, а максимальний крутний момент на одиницю струму досягає аналогічного як для двигуна постійного струму з незалежним збудженням. Для підвищення продуктивності і вирішення проблем, пов'язаних з нелінійностями і невизначеностями динамічної моделі СДПМ, було розроблено декілька алгоритмів управління з використанням нейронних мереж [4,5].

Ціль та завдання. Розробити інтелектуальну систему управління швидкістю для електроприводу з СДПМ. Синтезувати систему управління з використанням контролера - нейронної мережі (КНМ) разом з контролером - нейромережевою еталонною моделлю (КНЕМ). Забезпечити навчання КНЕМ та КНМ в режимі "онлайн" для поліпшення динамічних характеристик системи електроприводу. Компенсувати помилку між еталонною моделлю і реальним приводом при наявності збурень навантаження і невизначеності параметрів електроприводу. Дослідити динамічні характеристики системи електроприводу з СДПМ і запропонованою інтелектуальною системою управління, при зміні навантаження і варіації параметрів.

Результати дослідження. Вхідними сигналами до КНМ є сигнал похибки e_{ω}^{fb} (1), та похідна (2) від дійсної швидкості обертання ротора ω_r . Аналогічно, вхідними сигналами КНМЕ, у зворотному зв'язку, є сигнал похибки e_{ω}^{mf} (3) та похідна від швидкості обертання ротора (4), яка використовується для навчання вагових коефіцієнтів нейронної мережі в режимі "онлайн".

$$e_{\omega}^{fb} = (\omega_r^* - \omega_r); \quad (1)$$

$$\dot{\omega}_r^{fb} = k_{\omega}^{fb} \frac{d\omega_r}{dt}; \quad (2)$$

$$e_{\omega}^{mf} = (\omega_r^{mf} - \omega_r); \quad (3)$$

$$\dot{\omega}_r^{mf} = k_{\omega}^{mf} \frac{d\omega_r}{dt}. \quad (4)$$

У зворотному зв'язку, КНМЕ використовується для підвищення точності при відстеженні заданого сигналу швидкості, а КНМ для регуляції навантаження при зміні збурення.

Нейронні мережі, які застосовані у КНМ і КНМЕ складаються з трьох шарів кожна - вхідного шару i^{th} , прихованого шару j^{th} та вихідного шару k^{th} . Структурна схема системи управління показана на рис. 1.

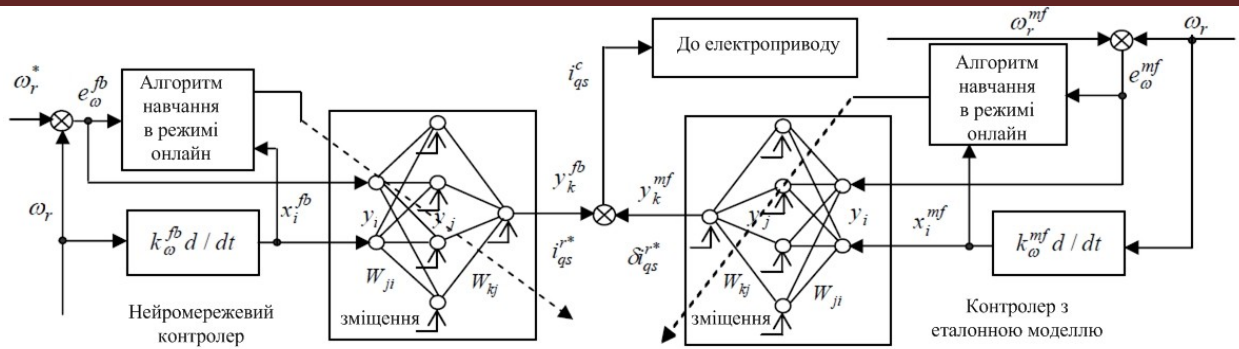


Рис. 1. Інтелектуальна система управління електроприводом з СДПМ

Розповсюдження сигналу і функції активації для обох контролерів вводяться наступним чином:

- для кожного вузла i у вхідному шарі, вхідні x_i та вихідні y_i сигнали визначаються:

$$nn_i = x_i; \quad (5)$$

$$y_i = f_i(nn_i), i = 1, 2; \quad (6)$$

$$x_1^{mf} = e_{\omega}^{mf}(t), x_2^{mf} = k_{\omega}^{mf} \frac{d\omega_r}{dt}; \quad (7)$$

$$x_1^{fb} = e_{\omega}^{fb}(t), x_2^{fb} = k_{\omega}^{fb} \frac{d\omega_r}{dt}, \quad (8)$$

- входи та виходи прихованого шару до вузла j вводяться, відповідно, в такий спосіб:

$$nn_j = \sum_i (W_{ji} y_i) + \varphi_j; \quad (9)$$

$$y_j = f_j(nn_j), j = 1, m; \quad (10)$$

$$f_j(nn_j) = \frac{1}{1 + e^{-nn_j}}, \quad (11)$$

- вхід та вихід вихідного шару до вузла k визначається за формулою:

$$nn_k = \sum_i (W_{kj} y_j) + \varphi_k, \quad (12)$$

і відповідний вихід

$$y_k = f_k(nn_k) = \frac{1}{1 + e^{-nn_k}}, \quad (13)$$

$$y_k^{fb} = i_{qs}^{r*}, y_k^{mf} = \delta i_{qs}^{r*}. \quad (14)$$

Для навчання КНМ и КНМЕ застосовано алгоритм зворотного розповсюдження помилки, призначений для мінімізації середньоквадратичної помилки між фактичним вихідним сигналом мережі і заданим значенням. Це рекурсивний алгоритм, який змінює вагові коефіцієнти нейронної мережі, починаючи з вихідних нейронів і опрацьовує мережу назад до прихованого і вхідного шару.

Для того, щоб збільшити швидкість навчання в режимі "онлайн" величин вагових коефіцієнтів, пропонується використовувати закон управління, який можна представити, як:

$$\left. \frac{\delta E_{\omega}}{\delta y_k} \right\}^{fb} = e_{\omega}^{fb} + k_{\omega}^{fb} \dot{\omega}_r; \quad (15)$$

$$\left. \frac{\delta E_{\omega}}{\delta y_k} \right\}^{mf} = e_{\omega}^{mf} + k_{\omega}^{mf} \dot{\omega}_r. \quad (16)$$

Результати моделювання інтелектуальної системи управління електроприводом з СДПМ представлені для перевірки якості роботи запропонованої схеми управління. Графіки перехідних процесів для заданій швидкості 377 рад/с і навантаженні 3,6 Н·м показано на рис. 2.

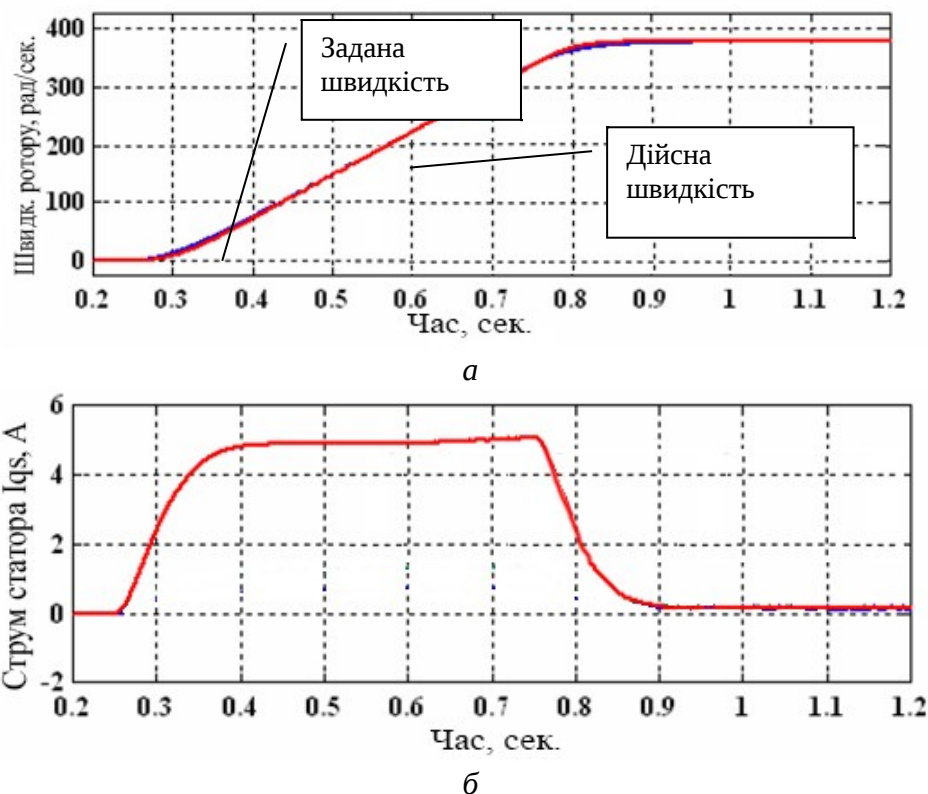


Рис. 2. Графіки зміни швидкостей (а) і струму статора (б) для електропривода з СДПМ

Висновки

Застосування інтелектуальних систем управління, з використанням нейромережевого контролера управління швидкістю на додачу до контролера з еталонною моделлю у зворотному зв'язку, забезпечує стійке управління електроприводом з СДПМ. Запропонована система дозволяє контролювати реальну швидкість ротора для виконання точного відслідковування сигналів еталонної моделі в широкому діапазоні експлуатаційних умов. Використання похибки між вихідними сигналами швидкості еталонної моделі та реального електродвигуна забезпечує зміну вагових коефіцієнтів та коефіцієнтів опорних сигналів зміщень при надійній взаємодії нейронних мереж КНМ та КНМЕ.

Результати моделювання показали, що запропонована інтелектуальна система управління, яка складається з КНМ і КНМЕ, забезпечує надійний контроль швидкості і стійкі характеристики регулювання при невизначеності параметрів СДПМ і зовнішнього навантаження.

Список використаних джерел

1. Faa-Jeng, A Permanent-Magnet Synchronous Motor Servo Drive Using Self-Constructing Fuzzy Neural Network Controller [Text] / Faa-Jeng, Chih-Hong Lin // IEEE Trans., Energy Conversion, EC-19, No. 1, 2004, pp. 66-72.
2. Fayez, F. El-Sousy Fuzzy Adaptive Neural-Network Model-Following Speed Control for PMSM Drives [Text] / F. Fayez El-Sousy, N. Maged Nashed // WSEAS Transactions on Systems, Issue 4, Vol. 4, April, 2005, pp. 265-261.
3. Fayez, F. El-Sousy, Intelligent Model-Following Position Control for PMSM Servo Drives [Text] / F. Fayez El-Sousy, N. Maged Nashed // 6th WSEAS International Conference on Neural Networks, Lisbon, Portugal, June 16-18, 2005, pp. 230-238.
4. Narendra, K. Identification and control of dynamical systems using neural networks [Text] / K. Narendra, K. Parthasarathy // IEEE Trans., Neural Network, NN-1, 1990, pp. 4-27.
5. Fukuda, T. Theory and applications of neural networks for industrial control systems [Text] / T. Fukuda, T. Shibata // IEEE Trans., Ind. Electr., IE-39, 1992, pp. 472-491.

Стаття надійшла до редакції 11.04.2016 р.

УДК 621.313.3

Б.Л. Тишевич, к.т.н., доц., **М.В. Орлов**, студ. (НТУУ «КПІ»)

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ В ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ З СИНХРОННИМИ ДВИГУНАМИ

B.L. Tyshevych, M.V. Orlov (National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnical Institute»)