

УДК 681.5.013

## КОРИГУВАННЯ НЕЛІНІЙНОСТІ СЕРВОПРИВОДУ РУКИ РОБОТА

О.В. Івахів, М.В. Наконечний, Т.М. Пенетилло

Національний університет „Львівська політехніка”,  
вул. С. Бандери, 13, м. Львів, 79013, e-mail: oresti@polynet.lviv.ua

*В роботі розглянуто схему коригування нелінійності сервоприводу руки робота для забезпечення керування за заданим еталоном без використання нейронних мереж. Порівняно ефективність такої схеми і схеми з нейронним контролером.*

*Ключові слова: нейронні мережі, контролер, сервопривід, нелінійні об'єкти.*

*В работе рассмотрена схема корректировки нелинейности сервопривода руки робота для обеспечения управления по заданному эталону без использования нейронных сетей. Проведено сравнение эффективности такой схемы и схемы с нейронным контроллером.*

*Ключевые слова: нейронные сети, контролер, сервопривод, нелинейные объекты.*

*The circuit for the correction of of the robot arm servo to control it without neural networks has been considered in this paper. It was compared the effectiveness of such circuit and the circuit with neural controller.*

*Key words: neural networks, controller, servo, nonlinearity object.*

**Вступ.** На сьогодні добре розвинута теорія керування лінійними об'єктами [1, 2], водночас більшість об'єктів керування є нелінійними, в тому числі й сервопривід руки робота [3].

В роботі [4] зосереджено увагу на побудові нейронного контролера для керування рукою робота за заданим еталоном, оскільки, завдяки притаманній нейронній мережі власній не лінійності, вона добре надається до керування нелінійними об'єктами [5, 6]. Попри позитивне вирішення поставленої задачі [4], недоліком такого підходу можна вважати потребу попереднього навчання нейронного контролера, через що забезпечення його режиму роботи в реальному масштабі часу (on-line) є ускладнене. Водночас, використання доробку класичної теорії керування до нелінійних об'єктів вимагає лінеаризувати характеристики об'єкта, що спричиняє появу похибки лінеаризації й негативно впливає на якість керування.

Тому є актуальним дослідження можливості керування нелінійними об'єктами за заданим еталоном без використання нейронних мереж на прикладі сервоприводу руки робота шляхом введення коректора.

**Основна частина.** Рух руки робота описується нелінійним диференціальним рівнянням другого порядку [7]:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + a \frac{dy}{dt} + b \sin y_0 = cu(t), \quad (1)$$

де  $y_0$  - реакція об'єкта керування (кут повороту руки робота) на вхідний сигнал керування;  $u$  - напруга, що подається на якор сервоприводу руки робота;  $a=2$ ,  $b=10$ ,  $c=1$  - коефіцієнти, що залежать від конструктивних особливостей сервоприводу.

Для розв'язання цього рівняння використаємо середовище Simulink (рис.1).

В задачі керування із заданим еталоном [4] було побудовано динамічну нейронну мережу, що виконувала функції контролера з пропорційно-інтегрально-диференціальним законом керування. Від створюваного нейронного контролера вимагалось максимально наблизити поведінку (динаміку) системи (сервопривід з нейронним контролером) до поведінки (динаміки) еталона.

Для вивчення можливості покращення швидкодії системи було досліджено процедуру навчання з використанням еталонів з різними фронтами перехідного процесу - крутішим (прискорений еталон) та плавнішим (сповільнений еталон), які задавалися рівняннями (2) та (3), відповідно [8]. А саме: для прискореного еталона (із збільшеними коефіцієнтами при першій похідній та вільному членові) рівняннями

$$\begin{cases} \frac{d^2 y_r}{dt^2} + 10 \frac{dy_r}{dt} + 20 y_r = 20r, \\ \frac{d^2 y_r}{dt^2} + 11 \frac{dy_r}{dt} + 30 y_r = 30r, \\ \frac{d^2 y_r}{dt^2} + 15 \frac{dy_r}{dt} + 50 y_r = 50r. \end{cases} \quad (2)$$

Для сповільненого еталона (із зменшеними коефіцієнтами при першій похідній та вільному членові) рівняннями

$$\begin{cases} \frac{d^2 y_r}{dt^2} + 6 \frac{dy_r}{dt} + 5 y_r = 5r, \\ \frac{d^2 y_r}{dt^2} + 6 \frac{dy_r}{dt} + 3 y_r = 3r. \end{cases} \quad (3)$$

Порівняння сигналів на виходах еталона та об'єкта, керованого нейронними контролерами, що сформовані на основі наведених вище рівнянь еталона, дає підстави стверджувати, що

якість керування процесами в об'єкті за допомогою синтезованих нейронних контролерів тим гірша, чим більше рівняння еталона відрізняється від початкового.

Враховуючи вимоги до бажаної швидкодії системи було вибрано [7] відповідний еталон (рис. 2):

$$\frac{d^2 y_r}{dt^2} + 6 \frac{dy_r}{dt} + 9 y_r = 9u(t), \quad (4)$$

де  $y_r$  - реакція еталона на вхідний сигнал керування  $u$ .

Використовувались дві альтернативні структури нейронного контролера: з розділеним і з розділеними входами. За результатами моделювання встановлено, що структура з розділеними входами (рис.3, б) має кращі динамічні характеристики, ніж структура з нерозділеним входом (рис.3, а). Максимальне відносне відхилення вихідного сигналу системи, керованої нейронним контролером, від еталона для першої структури складає 7,1% і 14,3% - для другої.

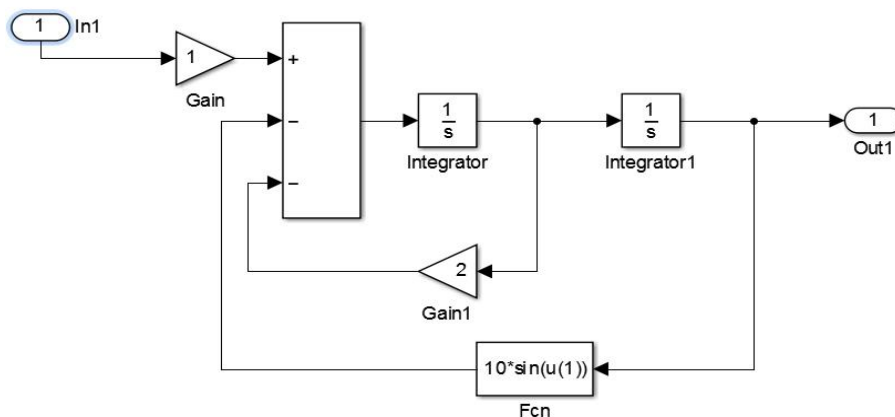


Рисунок 1- Модель сервоприводу в середовищі Simulink

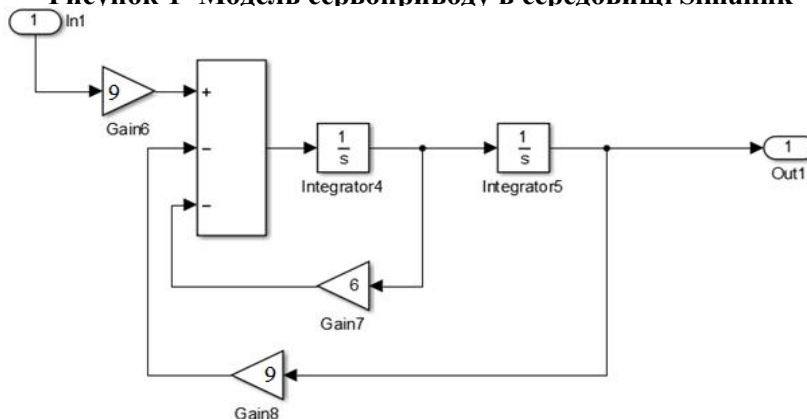
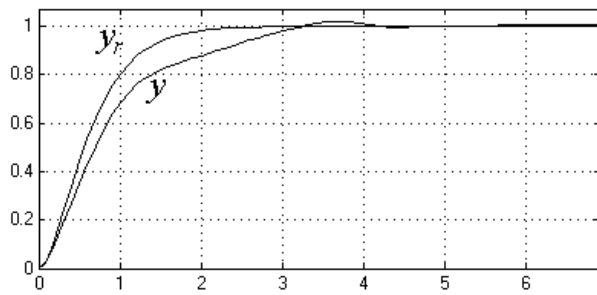
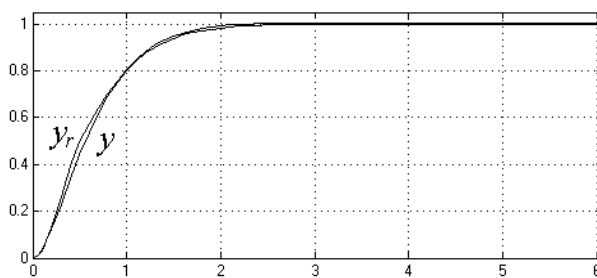


Рисунок 2 - Модель еталону в середовищі Simulink



а)



б)

а – структура з нерозділеним входом,  
б – структура з розділеним входом

**Рисунок 3 - Вихідні сигнали еталона  $y_r$  та системи  $y$ , керованої нейронним контролером, при подачі на їх входи одиничного стрибкоподібного сигналу**

Для уникнення потреби в навчальній процедурі, а отже, для прискорення роботи контролера, введемо замість нейронного контролера коректор нелінійності передавальної функції сервоприводу.

Такий коректор повинен забезпечувати компенсування нелінійності сервоприводу, не погіршуючи динаміку попередньої системи

керування з нейронним контролером. Для

побудови такого коректора доцільно використати послідовну схему структурної лінеаризації [9], реалізуючи метод взаємообернених перетворень. Для цього необхідно ввести послідовно перед нелінійним об'єктом (сервоприводом) коригуючу ланку з відповідною передатною функцією, збіжною з оберненою функцією нелінійного об'єкта [9], а саме:

$$\Phi[Y] = kF^{-1}(Y), \quad (5)$$

де  $k$  - лінійний коефіцієнт пропорційності.

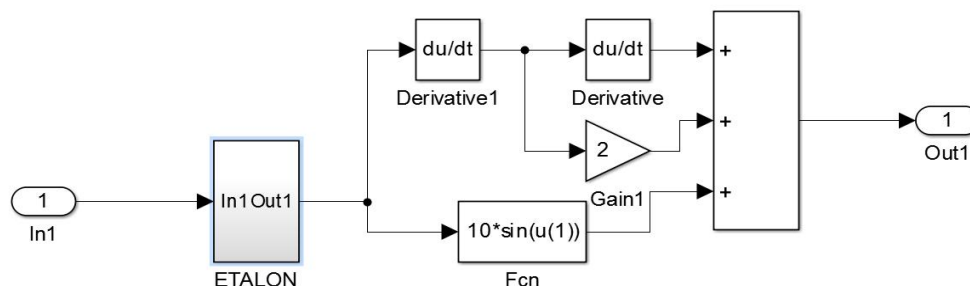
Отримати обернену передатну функцію сервоприводу можна двома способами:

- шляхом розв'язку диференціального рівняння сервоприводу відносно вхідної змінної;

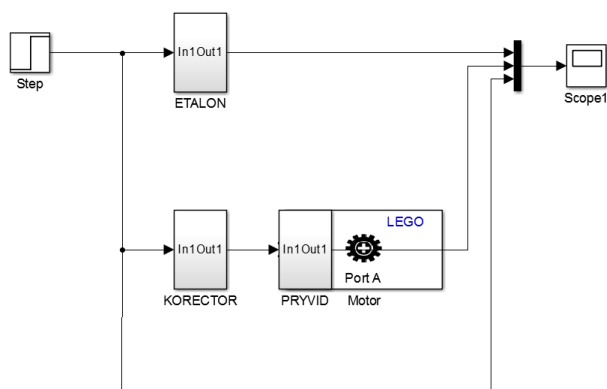
- побудувавши обернену модель в середовищі Simulink.

Для забезпечення коригування нелінійності в статичному режимі коефіцієнт  $k$  може бути незмінною сталою, а для коригування в динамічному режимі він повинен забезпечити таку ж динамічну характеристику, яку має сервопривід. Це завдання виконується за допомогою еталона, який необхідно увімкнути послідовно перед коригуючою ланкою (рис.4).

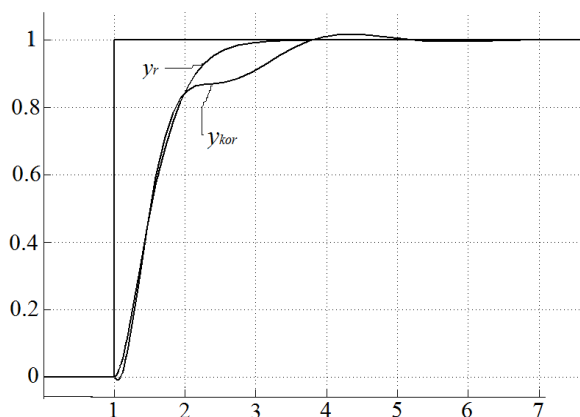
Змодельємо структуру цього коректора в середовищі Simulink (рис. 5). Порівнюючи результати цього моделювання (рис. 6) із отриманими попередньо (рис.3), можна зробити висновок, що схема з коректором забезпечує кращу динаміку системи в порівнянні із схемою із нейронним контролером з нерозділеним входом, але гіршу, ніж схема з нейронним контролером з розділеними входами. Максимальне відносне відхилення вихідного сигналу системи з коректором від еталона складає 7,7%.



**Рисунок 4 - Загальна структура коректора**



**Рисунок 5 - Схема моделювання ефективності застосування коректора**



**Рисунок 6 - Порівняння вихідних сигналів –  $y_r$  та  $y_{kor}$  - відповідно еталона і системи з коректором при подачі на їх входи одиночного стрибкоподібного сигналу**

## ВИСНОВКИ

Схема з коректором забезпечує кращу динаміку системи в порівнянні із схемою з нейронним контролером з нерозділеним входом, але гіршу, ніж схема з нейронним контролером з розділеними входами. Максимальне відносне відхилення вихідного сигналу системи з коректором від еталона складає 7,7%, а системи з нейроконтролерами – 14,3% і 7,1%, відповідно. Крім цього, схема з коректором, на відміну від схеми з нейронним контролером, не потребує навчальної процедури.

*Kuo B.C. Automatic Control Systems / Kuo B.C. // 7th ed Upper Saddle River. – NJ: Prentice*

*Hall, 1996. 2. Гоголюк П.Ф. Теорія автоматичного керування: навч. посібник / П. Ф. Гоголюк, Т.М. Гречин. - Львів : Вид - во НУ "Львівська політехніка", 2009. – 280 с. 3. Fu K. S. Robotics: Control, Sensing / K. S. Fu, R. C. Gonzalez, C. S. G Lee. – India : Vis. McGraw-Hill Education Pvt Limited, 1988. - 580 p. 4. Hirnyak Yu. Control system of robot movement / Yu. Hirnyak, O. Ivakhiv, M. Nakonechnyi, T. Repetylo // Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS), 2013 IEEE 7th International Conference, 12-14 sep 2013, Berlin, Germany. - P.- 334 – 337. 5. Norgaared M. Neural Networks for Modelling and Control of Dynamic Systems / M. Norgaared, O.Ravn, N. Poulsen, L. Hansen. - London : Springer , 2000. 6. Omatu S. Neuro-Control and its Applications (Advances in Industrial Control). / S.Omatu, B. Khalid Marzuki, R.Yusof . - New York : Springer Verlag, 1996. - 255 p. 7. Наконечний М.В. Ідентифікація об'єктів керування та синтез контролерів з використанням штучних нейронних мереж : автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук : 05.13.05 - комп'ютерні системи та компоненти / Наконечний Маркіян Володимирович ; Національний університет "Львівська політехніка". - Львів, 2013. - 41 с. 8. Наконечний Маркіян. Проектування нейроконтролерів для керування нелінійними об'єктами другого порядку / М.Наконечний, Ю. Гірняк, О. Івахів, Т. Репетило // «Вимірювальна техніка та метрологія». - вип.75. – 2014. - С. 102-106. 9. Поліщук Є. С. Засоби та методи вимірювань неелектричних величин / Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, Б. І. Стадник, О. В. Івахів, Т. Г. Бойко, А. Ковальчик. - Львів : «Бескид-БІТ», 2008. – 296 с.*

**Поступила в редакцію 11.12.2015р.**

**Рекомендували до друку: докт. техн. наук, проф. Заміховський Л. М., докт. техн. наук, проф. Горбійчук М. І.**