

УДК 007:681.516.4

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ ПРИ СИНТЕЗІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ НЕЛІНІЙНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

А. О. Лозинський, Л. І. Демків

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна. E-mail: lozynsky@polynet.lviv.ua, demkivl@gmail.com.

Запропоновано підхід до апроксимації нелінійностей в електромеханічних системах. Даний підхід передбачає синтез нечіткого регулятора, що забезпечує перемикання між векторами керуючих впливів залежно від значення сигналу на вході в нелінійність, що апроксимують. Пропонований підхід апробовано на прикладі нелінійної моделі дугової сталеплавильної печі. Проведено порівняння запропонованого підходу з класичними, а саме з випадком застосування лінійних регуляторів, що синтезовані для лінійної та нелінійної моделей дугової сталеплавильної печі, та зроблено висновки про доцільність їх застосування. Одержані якісні та кількісні результати свідчать про доцільність застосування запропонованого підходу, адже він забезпечує не лише належну апроксимацію нелінійностей, а й бажані перехідні процеси як у вихідному сигналі системи, так і в проміжних, що дозволяє покращити основні показники функціонування досліджуваної системи.

Ключові слова: нечітка логіка, нечіткий регулятор, динамічна система, апроксимація нелінійностей, дугова сталеплавильна піч.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. На сьогодні при дослідженні електромеханічних систем актуальними є задачі максимальної відповідності досліджуваної моделі системи реальному об'єкту. Це дозволяє синтезувати регулятори, що забезпечують бажані перехідні процеси в системі. У багатьох роботах, зокрема [1], використовується модальний регулятор, але при цьому не враховуються можливі наявні в системі нелінійності, тому характеристики такого регулятора будуть відрізнятися від бажаних.

Часто нелінійні системи синтезуються на основі методів нелінійної теорії, які забезпечують стійку роботу, не формуючи якісних показників. Це, наприклад, методи систем зі змінною структурою [2], методи на основі теорії Ляпунова, теорії збурень [3] тощо. Сучасні методи, такі як feedback лінеаризація [4], методи геометричної теорії керування [5], у багатьох випадках складно застосувати, тому вони не набули значного поширення. Останнім часом все частіше застосовують нечіткі регулятори [6, 7].

Метою даної роботи є запропонування підходу до апроксимації нелінійностей в електромеханічних системах, який передбачає синтез нечіткого регулятора, що забезпечує перемикання між векторами керуючих впливів залежно від значення сигналу на вході в нелінійність, що апроксимують.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. У роботі запропоновано підхід до апроксимації нелінійностей у системі за допомогою апарату нечіткої логіки, який дозволяє синтезувати нечіткий регулятор, що

- враховує існуючі нелінійності в системі;
- забезпечує бажані перехідні процеси;
- має базу правил невеликого розміру (розмір бази правил визначається, в першу чергу, характером нелінійності).

Традиційно в електротехнічних системах для апроксимації нелінійностей функцію наближають прямою $f(x) \approx f_1(x) = K_p^1 x$, розкладаючи цю нелінійну функцію в ряд Тейлора на початку координат та нехтуючи доданками вище другого порядку.

Однак таке наближення справедливе лише в невеликій області зміни аргумента вхідної напруги.

Для апроксимації функції запропоновано застосовувати апарат нечіткої логіки, а саме наближати функцію не однією прямою, а кількома:

$$f_i(x) = K_p^i x, i = \overline{1, n}, K_p^i > K_p^{i+1}.$$

Залежно від значення вхідного сигналу в нелінійності, що апроксимують, відбувається перемикання між цими функціями. У такому випадку

$$f(x) \approx \sum_{i=1}^n \mu_i(x) f_i(x), \text{ де } \mu_i(x) - \text{функція належності.}$$

Застосування апарату нечіткої логіки забезпечує плавне перемикання між функціями, що наближають нелінійну функцію в різних точках. У роботі розглянуто лінеаризацію типових нелінійностей типу насичення, крива намагнічення, зміщення (рис. 1).

Для реалізації запропонованого підходу було застосовано нечіткий регулятор типу Такагі-Сугеноз лінійними функціями належності.

База правил має вигляд

$$IF (x \text{ in } U_i) THEN \bar{u}(t) = g_i(\bar{x}),$$

де $g_i(\bar{x})$ – відповідні функції вектора станів системи, U_i – області розбиття. Для кожної з функцій $g_i(\bar{x})$ синтезовано відповідний регулятор за певним вектором станів, який має такий вигляд:

$$g_i(\bar{x}) = K_i \bar{x}(t), \quad i = \overline{1, n},$$

де K_i визначає налаштування на ту чи іншу стандартну лінійну форму. При такому підході фазифікують лише одну змінну, а тому кількість правил дорівнює кількості областей розбиття. Дефазифікацію проводимо спрощеним гравітаційним методом. Тоді

$$u(\bar{t}) = \sum_{i=1}^n \mu_i(x) g_i(\bar{x}).$$

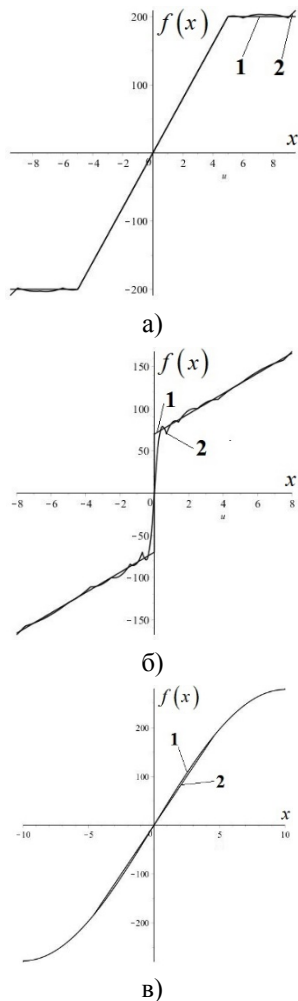


Рисунок 1 – Наближення функції а) насичення, б) змiщення, в) намагнічення за допомогою апарату нечіткої логіки; 1 – крива, яку апроксимують; 2 – результат апроксимації

Запропонований підхід розглянуто на прикладі системи з типовою нелінійністю – нелінійний тиристорний перетворювач. Дослідження проводилось на прикладі нелінійної двомасової моделі системи

керування переміщення електрода. Цю систему можна описати системою диференціальних рівнянь першого порядку [1].

Традиційно таку систему лінеаризують і для неї синтезують регулятор, але синтезовані таким чином коефіцієнти не забезпечують бажаних перехідних процесів у нелінійній системі. Неврахування нелінійності тиристорного перетворювача призводить до спотворення перехідних процесів у системі.

Дослідження проводилось для випадку, коли тиристорний перетворювач моделюється за допомогою рівняння (1)

$$f(U_{ip}(p)) = K_p \cos\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{20} U_{ip}(p)\right), \quad (1)$$

де $U_{ip}(p)$ – напруга на вході тиристорного перетворювача.

Запропоновано застосовувати нечіткий регулятор (рис. 2), який забезпечує адекватну поведінку системи при насиченні входньої напруги тиристорного перетворювача.

При дослідженні нелінійної системи для апроксимації нелінійної моделі тиристорного перетворювача було застосовано підхід, що полягає в перемиканні між регуляторами, що синтезовані для різних значень коефіцієнтів підсилення лінеаризованого тиристорного перетворювача.

Було проведено порівняння проведеного підходу з класичним. При моделюванні значення середньгеометричного кореня було покладено рівним $\omega_0 = 12$. Одержані результати (рис. 3) свідчать, що застосування запропонованого підходу дозволяє одержати перехідні процеси, які відповідають реальній системі. Крім того, у випадку застосування нечіткого регулятора, тобто при максимальній відповідності моделі реальній ДСП, відсутні перерегулювання довжини дуги, відсутня статична похибка в усталеному режимі, швидший вихід вихідного сигналу системи на задане значення. При цьому в проміжних координатах системи також відсутні неприпустимі перерегулювання тощо.

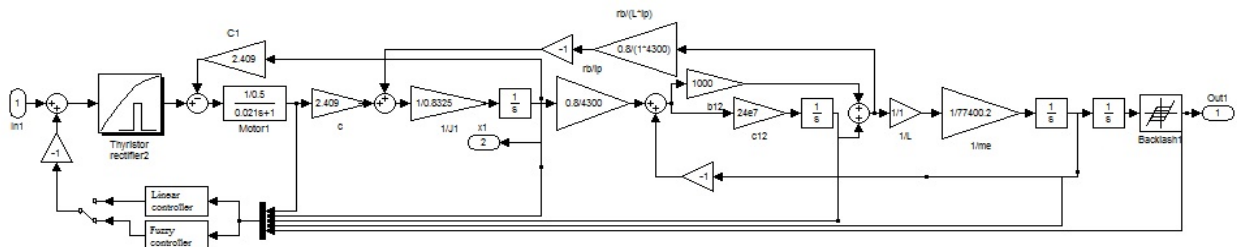


Рисунок 2 – Модель досліджуваної системи з чітким та нечітким регуляторами

Наведені дані свідчать про перевагу при застосуванні нечіткого регулятора, адже в цьому випадку вихідні сигнали всіх досліджуваних координат вектора стану системи близькі до бажаних.

ВИСНОВКИ. Отже, запропонований підхід до апроксимації нелінійностей дозволяє одержати адекватну модель системи та синтезувати регулятор із використанням класичної теорії керування, щоб забезпечити бажані перехідні процеси в системі.

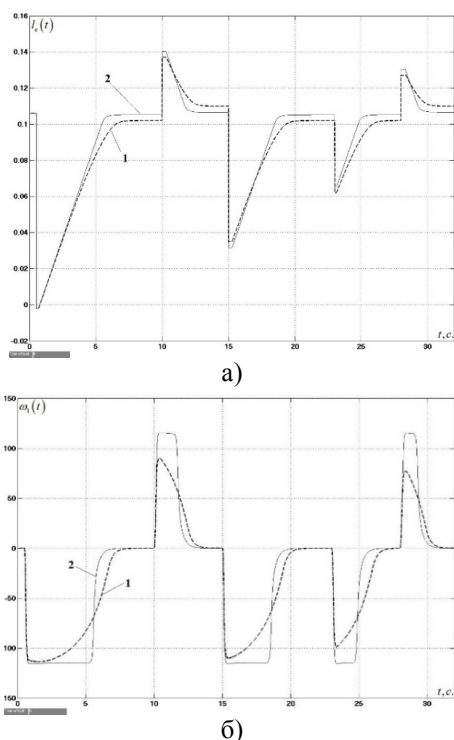


Рисунок 3 – Залежності від часу а) довжини дуги електрода; б) вихідного сигналу тиристорного перетворювача від часу для випадків: 1) лінійний регулятор; 2) нечіткий регулятор

ЛІТЕРАТУРА

1. Марущак Я.Ю., Лозинський А.О., Кушнір А.П. Динаміка двомасових систем стабілізації режиму в електродугових печах. – Львів: Видавництво «Львівської політехніки», 2011. – 224 с.
2. Емельянов С.В., Уткин В.И., Таран В.А. та ін. Теория систем с переменной структурой. – М.: Наука, 1970. – 592 с.
3. Гельднер К., Кубик С. Нелинейные системы управления. – М.: Мир, 1987. – 368 с.
4. Isidori A. Nonlinear control systems. – Springer-Verlag, 1995. – 550 с.
5. Краснощеченко В., Крищенко А. Нелинейные системы. Геометрические методы анализа и синтеза. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Баумана, 2005. – 520 с.
6. Лозинський А.О., Паранчук Я.С., Демків Л.І. Дослідження системи переміщення електродів дугової сталеплавильної печі з нечітким регулятором // Технічна електродинаміка. – 2014. – Вип. 2. – С. 73–77.
7. Лозинський О.Ю., Паранчук Я.С., Мороз В.І., Паранчук Р.Я. Дослідження режимів електромеханічної системи регулювання потужності дуг дугової сталеплавильної печі з нечітким паралельним коректором // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2012. – Т. 3. – С. 524–525.

FUZZY MODELS APPLICATION FOR SYNTHESIS OF SYSTEMS OF NONLINEAR OBJECTS AUTOMATIC CONTROL

A. Lozynskyy, L. Demkiv

National University "Lviv Polytechnic"

vul. S. Bandery, 12, Lviv, 79013, Ukraine. E-mail: lozynsky@polynet.lviv.ua, demkivl@gmail.com.

An approach to the approximation of nonlinearities in electromechanical systems is proposed. This approach involves the synthesis of fuzzy controller, which provides switching between the vectors of control actions depending on the value of the signal at the input of non-linearity, which is approximated. The proposed approach is tested on the example of nonlinear model of the electric arc furnace. A comparison of the proposed approach with classical, namely the cases of linear regulators, synthesized for linear and nonlinear models of electric arc furnace are held and conclusions about the appropriateness of their use is made. Qualitative and quantitative results which indicate the feasibility of its application are obtained. They indicate the feasibility of the proposed approach, because it provides not only a proper approximation of nonlinearities, but also allows your transients in the output signal of the system and in the interim, thereby improving key performance indicators of it.

Key words: fuzzy logic, fuzzy controller, dynamical system, approximation of nonlinearities, electric arc furnace.

REFERENCES

1. Marushchak, Ja., Lozynskyy, A. and Kushnir, A. (2011), *Dynamika dvomasovykh system stabilizatsii rezhymu v elektrodugovykh pechakh* [Dynamics of two-mass systems for regime stabilization in electric arc furnaces], Lvivska Polytechnica, Lviv. (in Ukrainian)
2. Emelyanov, S.V., Utkin, V.I., Taran, V.A. and others (1970), *Teoriya system s peremennoy strukturoy* [The theory of systems with variable structure], Nauka, Moscow. (in Russian)
3. Heldner, K. and Kubik, S. (1987), *Nelyneinye systemy upravleniya* [Nonlinear control systems], Mir, Moscow. (in Russian)
4. Isidori, A. (1995), *Nonlinear control systems*, Springer-Verlag.
5. Krasnoshechenko, V. and Kryshchenko, A. (2005), *Nelyneinye systemy. Heometrycheskye metody analiza i synteza* [Nonlinear systems: a geometric method for the analysis and synthesis], Publ. MGTU im. N. Bauman, Moscow. (in Russian)
6. Lozynskyy, A., Paranchuk, J. and Demkiv, L. (2014), "Survey on moving electrode arc furnace with a fuzzy controller", *Tekhnichna elektrodynamika*, Vol. 2. pp. 73–77. (in Ukrainian)
7. Lozynskyy, O., Paranchuk, J., Moroz, V. and Paranchuk, R. (2012), "Arcs power control mode of electromechanical system of arc furnace with fuzzy parallel proof reader investigation", *Elektromekhanichni i enerhozberihaiuchi systemy*, Vol. 3, pp. 524–525. (in Ukrainian)