

УДК 681.515

СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ІЗ СПРОЩЕНОЮ ВЕРСІЄЮ НЕЧІТКОГО П-РЕГУЛЯТОРА

М. М. Луцків

Українська академія друкарства. вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

Проведено аналіз системи автоматичного керування із спрощеною версією нечіткого П-регулятора для інерційного об'єкта другого порядку, подані результати імітаційного моделювання.

Ключові слова: *нечіткий регулятор, об'єкт, фузифікація, інференція, схема моделі, денормалізація, управління, якість регулювання, точність.*

Вступ. Сучасні вимоги щодо якості готової продукції та зменшення затрат на її виготовлення ставлять нові задачі при проектуванні систем автоматичного керування технологічними процесами і об'єктами. Значним резервом стосовно задоволення цих вимог є розробка нечітких систем автоматичного керування, які забезпечують необхідні характеристики технологічного обладнання в різних режимах роботи за наявності значних змін параметрів об'єкту і дії різних впливів. Розв'язання цих задач традиційними методами і засобами істотно ускладнюються при неповній інформації про об'єкт та зміні його параметрів у часі. Зреалізувати перелічені вимоги можна шляхом створення системи на основі принципів інтелектуального керування [1]. Проте створення таких систем, які базуються на формуванні стратегії керування об'єктом за допомогою якісних логічних правил вибору сигналу керування мають ряд недоліків, зокрема: складність формування структури регулятора і її технічна реалізація, велика кількість параметрів, що можуть бути змінені, ускладнює розв'язання задачі параметричної оптимізації, що обмежує їх застосування для простих об'єктів регулювання. Отже, опрацювання спрощеної версії нечіткого П-регулятора, моделювання і аналіз властивостей при їх роботі з об'єктами другого порядку, які функціонують в умовах дії зазначених параметричних збурень є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Розрахунок системи автоматичного керування технологічного параметра полягає у виборі регулятора (точніше, алгоритму управління) і визначенні параметрів налагодження цього регулятора згідно з вимогами до якості регулювання під час експлуатації системи. Для вибору типу традиційного регулятора і розрахунку значень його параметрів налагодження необхідно знати параметри об'єкта регулювання (необхідна модель об'єкта). Пропорційний регулятор (П-регулятор) застосовують на об'єктах із середньою ємністю, з невеликим запізненням і у випадку плавних змін навантаження. Пропорційні регулятори є прості, однак переважно їх використовують для одноємнісних об'єктів регулювання, що значною мірою обмежує його можливості і застосування [1,4]. Пропорційно-інтегральні регу-

лятори (ПІ-регулятори) застосовують на об'єктах із будь-якою ємністю із будь-яким запізненням і можливими великими, але повільними змінами навантаження, отож найчастіше застосовуються в інженерній практиці [1,4].

Існують різні методи та спрощені методики, розрахункові формули і таблиці для визначення параметрів регулятора для заданих показників чи критеріїв якості для заданої моделі об'єкта, або за перехідною чи імпульсною характеристиками об'єкта регулювання [1,4]. Основним недоліком систем автоматичного керування з традиційними регуляторами є чутливість до зміни параметрів об'єкта (коефіцієнта передачі і сталих часу), що викликає значну коливальність виходу системи (регульованого параметра), що погіршує якість готової продукції.

Для забезпечення якості регулювання при варіації параметрів об'єкта застосовують адаптивні та робастні системи [5]. Однак такі системи є складні та дорогі, що обмежує їх застосування.

Інтенсивний розвиток нечіткої логіки у кінці минулого століття призвів до її застосування в системах автоматичного керування. Основи теорії моделювання і нечіткого керування викладені в монографії [5], де подані різні версії нечітких регуляторів, бази правил, структурні схеми різноманітних регуляторів та їх аналіз. Натомість в монографії [4] подано лінгвістичний опис, структурні схеми в Simulink типових нечітких (П, ПІ, ПІД) регуляторів і результати імітаційного моделювання у вигляді графіків перехідних характеристик нечітких систем побудованих із застосуванням нечіткого контролера (Fuzzy Logic Controller) у вигляді «чорного прямокутника». Однак, невідома схема контролера, блоків фузифікації та висновкування та їх параметри, що унеможливило їх практичну реалізацію і застосування.

Мета роботи. Опрацювати математичну модель і структурну схему спрощеної версії нечіткого ПІ-регулятора і його основних блоків (фузифікації та висновкування) для інерційного об'єкта другого порядку і методом імітаційного моделювання у Simulink проаналізувати його властивості, необхідні для практичних застосувань.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для формування управління у нечіткому регуляторі застосовують нечіткі перетворення похибки регулювання (відхилення регульованої величини від заданого значення) відповідно до прийнятого алгоритму управління, зокрема фузифікацію похибки та інференцію. Застосування нечітких множин в регуляторах обумовлює перехід від кількісного до якісного описання регулювання, яке не вимагає докладних знань динаміки процесу (моделі об'єкта), що необхідне для класичних методів розрахунку параметрів регулятора.

Нечіткий регулятор є статичним регулятором. Застосовуючи різні форми функцій належності нечітких множин, можна отримати різні характеристики регулятора та їх нечіткі версії. Якщо класичний алгоритм ПІ-регулятора подати виразом

$$U=k_p e, \quad (1)$$

де u -управління, k_p -коефіцієнт передачі, e -похибка регулювання, та його нечітка інтерпретація може бути подана наступною базою правил у загальному вигляді [5]:

$$\begin{aligned} R_1: & \text{ЯКЩО } (e = A_1), \text{ то } (U = B_1) \\ R_2: & \text{ЯКЩО } (e = A_2), \text{ то } (U = B_2) \\ R_3: & \text{ЯКЩО } (e = A_3), \text{ то } (U = B_3) \\ & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ R_n: & \text{ЯКЩО } (e = A_n), \text{ то } (U = B_n), \end{aligned} \tag{2}$$

де A_i – вхідні, а B_i – вихідні нечіткі множини.

Розглянемо нечіткий регулятор оснований на знаннях стану процесу регулювання, застосувавши у правилах (2) лінгвістичні змінні: якщо \langle стан процесу (похибка) додатня/від’ємна, то \langle управління додатнє/від’ємнє \rangle , одержимо спрощену версію нечіткого П-регулятора з обмеженою базою правил:

$$\begin{aligned} R_1: & \text{ЯКЩО } (e = D), \text{ то } (U = D) \\ R_2: & \text{ЯКЩО } (e = B), \text{ то } (U = B), \end{aligned} \tag{3}$$

де D і B - нечіткі множини типу ліва і права зовнішня.

Для побудови нечіткого регулятора застосуємо нечіткі множини типу $V=L$ -ліву і $D=P$ -праву зовнішні множини. Для прикладу на рис.1 подані графіки функцій належності простого нечіткого П-регулятора.

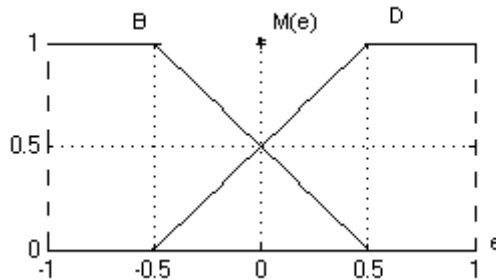


Рис.1 Функції належності нечіткого П-регулятора

Основними параметрами нечіткого П-регулятора є центр функцій належності та ширина вікна. Найчастіше застосовують симетричні функції належності : широке вікно функції належності відповідає малому підсиленню регулятора. Натомість вузьке вікно підвищує чутливість регулятора. Алгоритм управління регуляторами сформульований у легко зрозумілих лінгвістичних правил (3), яким відповідає рис.1, а не в математичному описанні (1). На основі бази правил (2) і вибраних функцій належності (рис.1) опрацьована структурна схема системи автоматичного керування інерційним об’єктом регулювання другого порядку з спрощеною версією нечіткого П-регулятора у Simulink (рис.2).

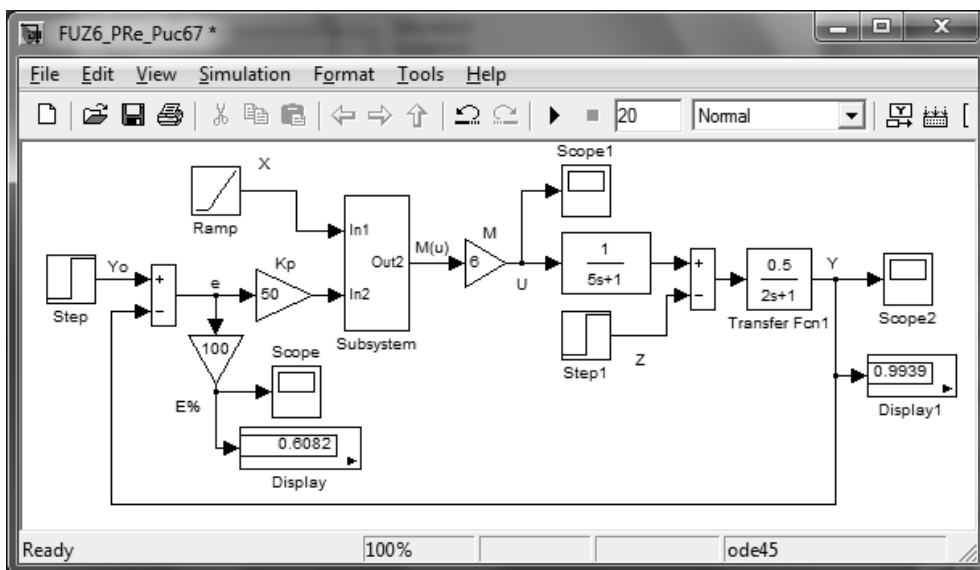


Рис.2 Вікно системи автоматичного керування з простим нечітким П-регулятором

Нечіткий регулятор замаскований у субблоці Subsystem. Праворуч розташована модель об'єкта регулювання, подана передавальною функцією (блоки Transfer Fcn). Блоки Step генерують одиничне ступеневе завдання y_0 на вході системи збурення Z на об'єкт. Операційні блоки Scope служать для графічної візуалізації регульованої величини, управляючої дії на об'єкт і похибки регулювання. Блок Ramp активізує нечіткі моделі лінійнонаростаючим сигналом x .

У склад простого нечіткого регулятора входять два основні блоки (рис.3) – фузифікації та висновкування, замасковані у субблоці.

Блок фузифікації здійснює розмивання підсиленого вхідного сигналу похибки регулювання, натомість блок висновкування обчислює вихідну результуючу функцію належності управляючого сигналу. Вхідні задані множини B і D генеруються операційними блоками Triangular MF, які формують функції належності нечітких множин, у діалогових вікнах яких задаються параметри множин (див. рис.1). Згенеровані функції належності подаються на вхід блока висновкування у якому здійснюється модифікація функцій належності методом Мамдани шляхом перетину вхідних функцій множин B і D до висоти обмеження U_p для заданого вхідного сигналу похибки, який подається на входи блоків обмеження Saturation Dynamic, що формує модифіковані функції належності множин B^* і D^* , які подаються на вхід операційного блоку MinMax(max) на виході якого одержується результуюча функція належності, яка є виходом нечіткого регулятора $\mu(u)$. Оскільки вихід нечіткого регулятора є нормалізований і знаходиться в межах $[0,1]$, то для створення фізичної регулюючої дії на об'єкт його слід денормалізувати шляхом множення на коефіцієнт M , номінальне значення якого обернено пропорційне коефіцієнту передачі об'єкта.

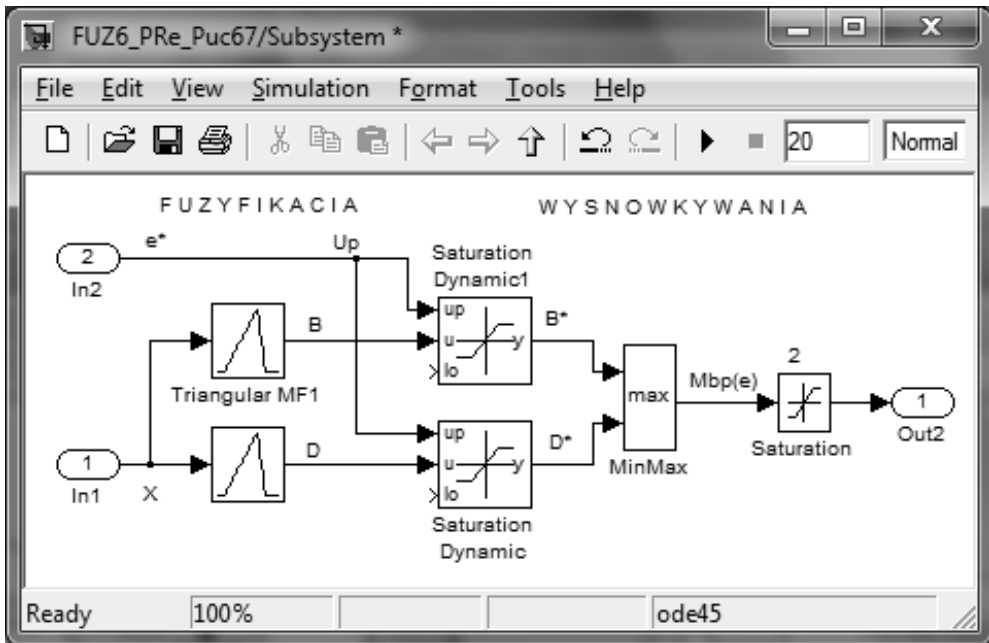


Рис.3 Вікно блоків фузифікації та висновкування

Досліджували властивості системи автоматичного керування з нечітким П-регулятором методом імітаційного моделювання в панелі Matlab: Simulink. У вікні моделі системи автоматичного керування, опрацьованої на основі рис.2. Задали параметри об'єкта регулювання другого порядку ($\kappa_0=0.5$, $T_1=5$, $T_2=2$ с) і подали на вхід системи одиничне ступеневе завдання. Добирали коефіцієнт передачі регуляторів $\kappa_p=20$ і 3.2 , щоб забезпечити 20% пере регулювання процесу. Результати імітаційного моделювання у вигляді перехідних характеристик подані на рис.4.

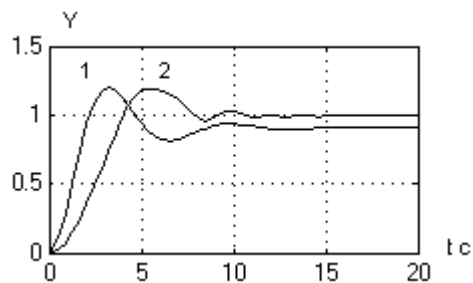


Рис.4 Перехідні характеристики системи при налагодженні на 20% пере регулювання: 1-із традиційним П-регулятором, 2-у системі із нечітким регулятором

Перехідний процес у системі з нечітким П-регулятором є близький до апериодичного, час регулювання становить 8 с, статична похибка $0.6\div 0.8\%$. Натомість у системі із традиційним регулятором перехідний процес коливний, статична похибка 9.521% . Отже, точність системи з нечітким П-регулятором

на порядок вища ніж у системі із традиційним регулятором.

Для підвищення статичної точності системи збільшили коефіцієнти передачі регуляторів до 50. Результати імітаційного моделювання подані на рис.5.

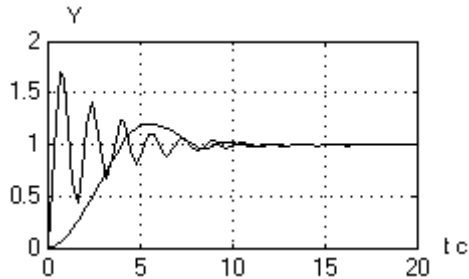


Рис.5 Перехідні характеристики системи при збільшеному коефіцієнті передачі

Перехідна характеристика системи із нечітким П-регулятором практично не змінилася. Натомість перехідний процес в системі з традиційним регулятором має значну коливальність, а перерегулювання більше 70% і не відповідає технологічним вимогам до якості регулювання.

Зазвичай П-регулятор є лінійним [1] і формує управління пропорційне похибці (1). Натомість для формування управління у нечітких регуляторах застосовуються нечіткі перетворення, зокрема, розмивання сигналу похибки і висновкування. Отже, формування управління здійснюється різними методами. На рис.5 подані результати імітаційного моделювання регулюючої дії на об'єкт для різних типів регуляторів при подачі на вхід одиничної ступеневої дії.

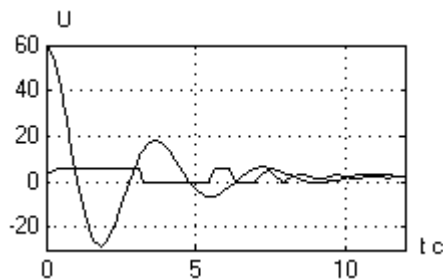


Рис.5 Регулююча дія на об'єкт

Оскільки традиційний П-регулятор є лінійний, тому створює неперервну регулюючу дію на об'єкт. Початкове управління є максимальне і становить $u = +60$, поступово зменшується, змінює знак до $u = -25$, поступово затухає і прямує до $u \approx 2$. Натомість нечіткий П-регулятор спочатку формує два прямокутні імпульси управління $u = 6$, які переходять у коливні затухаючі і прямує до $u = 2$. Отже, нечіткий П-регулятор є нелінійним. Перший імпульс управління $u = 6$ переводить об'єкт в окіл режиму рівноваги, після чого короткими імпульсами доводить об'єкт до усталеного режиму роботи.

Список використаних джерел

1. Пістун Є. П. Основи автоматики та автоматизації: Навч. посібн./ Євген Пістун, Іван Стасюк. – Львів: Вид. Львівської політехніки. 2014.-336с.
2. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6, 1/6.5.Simulink 4.5. Основы применения: Полное руководство пользователя. М.:Салон – Прес. 2002.-242с.
3. Луцків М. М. Математичне моделювання і комп'ютерне симулювання електромеханічних та стрічкопровідних систем: монографія | М. М. Луцків, І. М. Хмельницька. – Львів: Укр. акад. друкарства, 2010. – 172с.
4. Jerze Brzozka. Regulatory i układy automatyki: - Warszawa: Wydawnictwo MIKOMA. 2004 – 342s.
5. Andrzej Piegat. Modelowanie i sterowanie rozmyte: - Warszawa: Wydawnictwo EXIT. – 2003. – 678s.

REFERENCES

1. Pistun Ye. P. (2014). Osnovy avtomatyky ta avtomatyzatsiyi: Navch.posibn./ Yevhen Pistun, Ivan Stasyuk. – L'viv: Vydavnytstvo L'vivs'koyi politekhniki. 336s. (in Ukrainian).
2. D'jakonov V. P. (2002). MATLAB 6/6, 1/6.5.Simulink 4.5. Osnovy primenenija: Polnoe rukovodstvo pol'zovatelja. M.:Salon – Pres. 242s. (in Russian).
3. Lutskiv M. M. (2010). Matematyчне modelyuvannya i komp'yuterne symulyuvannya elektromekhanichnykh ta strichkoprovodnykh system: monohrafiya | M. M. Lutskiv, I. M. Khmel'nyts'ka. – L'viv: Ukr. akad. drukarstva– 172s. (in Ukrainian).
4. Jerze Brzozka. (2004). Regulatory i układy automatyki: - Warszawa: Wydawnictwo MIKOMA. – 342s. (in Polish).
5. Andrzej Piegat. (2003). Modelowanie i sterowanie rozmyte: - Warszawa: Wydawnictwo EXIT. — 678s. (in Polish).

UDC 681.515

**SYSTEMS OF AUTOMATIC CONTROL WITH THE SIMPLIFIED
VERSION OF FUZZY P-REGULATOR**

M. M. Lutskiv

*Ukrainian Academy of Printing, Pid Holoskom St, 19, Lviv, 79020, Ukraine
lutolen@i.ua*

The analysis of the automatic control system with the simplified version of the fuzzy P-regulator for the inertial object of the second order has been carried out; the results of simulation modeling have been presented.

Key words: *fuzzy regulator, object, fuzzification, inference, scheme of a model, de-normalization, control, quality of regulation, accuracy.*

Стаття надійшла до редакції 14.02.2017

Received 14.02.2017