

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБКИ МЕТОДУ ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ
ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ FUZZY-КОНТРОЛЕРІВ

Кузьменко А.С., Коломіц Г.В., Сушенцев О.О.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Розробка методології синтезу інтелектуальних АСУ ТП виконувалась в рамках держбюджетної наукової теми № ДЗ/30-2004 5.04.3 - Розроблення методології синтезу та обґрунтування доцільності впровадження інтелектуальних гібридних систем автоматичного управління технологічними процесами на основі нейромережових структур та методів нечіткої логіки.

Проведений аналіз принципів синтезу і результатів функціонування традиційних і інтелектуальних АСУ ТП [1] дозволив зробити висновки про перспективні напрямки та актуальні науково-технічні задачі в області синтезу сучасних інформаційних АСУ ТП: розробка інтелектуальних систем управління, структура представлення знань в яких, базується на основі ситуаційно-фреймових мереж; розробка гібридних інтелектуальних систем управління котрі використовують динамічну базу знань для перетворення концептуальних понять; розробка адаптивних структур систем автоматичного керування складними технологічними процесами на основі нечіткої логіки, нейромережових структур і генетичних алгоритмів; розробка методів аналітичного дослідження інтелектуальних систем автоматичного керування; розробка ефективних алгоритмів чисельного моделювання і дослідження систем керування які базуються на нечітких технологіях; розробка методології синтезу інтелектуальних гібридних систем автоматичного керування складними технологічними процесами.

В статті наведено результати розробки методу еквівалентування fuzzy контролера для подальшого застосування при аналізі якості та стійкості інтелектуальних систем автоматичного керування (ІнСАК) складними технологічними об'єктами.

В якості об'єкту дослідження обрана математична модель системи автоматичного регулювання двигуном постійного струму ЭТ6-Р-11-25 ($U_n = 220$ В, $P_n = 11$ кВт, $I_{ном} = 56.2$ А, $n_n = 1500$ об/хв, $L_{я} = 3.7$ мГн, $J = 0.3$ кг·м²) зі змінним навантаженням на валу (рис.1).

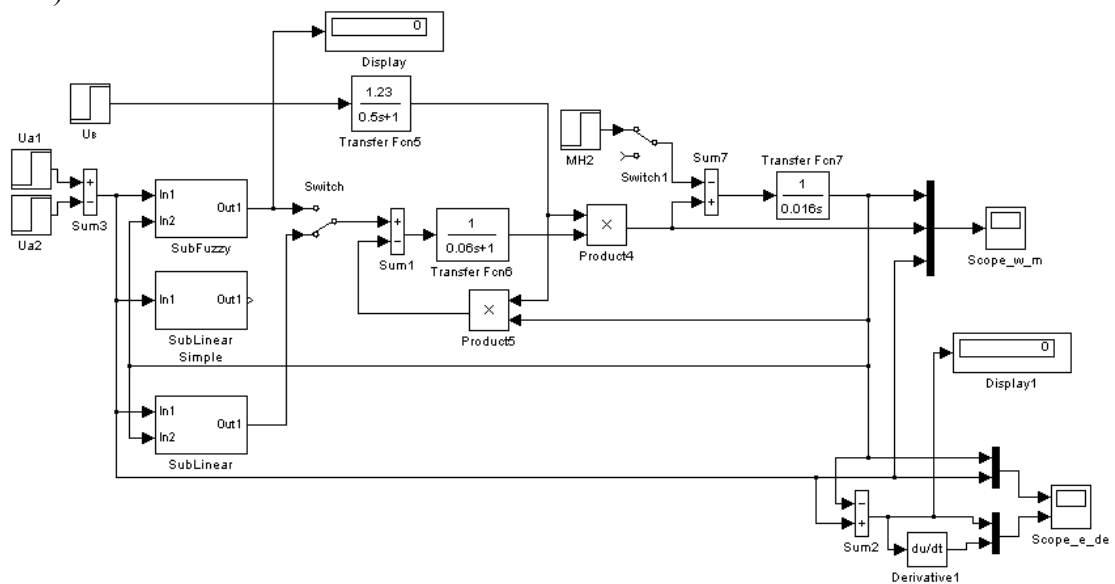


Рис.1 Математична модель ІнСАК ДПС в програмному пакеті MatLab

Предмет дослідження – інтелектуальна САР двигуном постійного струму ЭТ6-Р-11-25.

Методи дослідження – системний, структурний та функціональний аналіз для розробки алгоритму функціонування і математичної реалізації методу еквівалентування САК на базі fuzzy контролерів з метою подальшого комплексного аналізу ІнСАК.

Аналіз останніх досліджень і публікацій за даною проблемою.

Задачам аналізу характеристик розроблених інтелектуальних САК присвячена значна кількість наукових робіт, однак питання розробки узагальненої методики аналізу стійкості автоматичних систем керування з блоками нечіткого висновку (БНВ) детально розглянуто лише в роботі [2]. Слід зазначити, що розроблена методика [2] ґрунтується на лінійному наближенні функціонального зв'язку вхід/вихід БНВ, отже може бути застосована лише для грубої оцінки діапазону зміни вхідних параметрів при якому система знаходиться в межах стійкості.

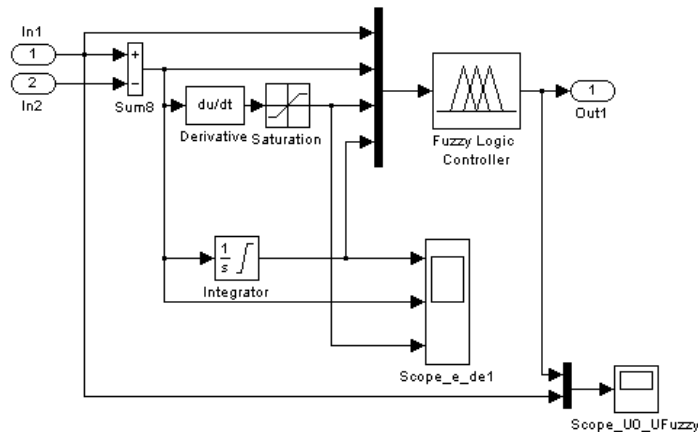


Рис.2 Структура блоку SubFuzzy

Питання аналітичного дослідження інтелектуальних САК з умовою еквівалентування блоків нечіткого логічного висновку в сучасній науковій літературі не розглядалося.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.

В результаті аналізу останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання проблеми аналітичного дослідження інтелектуальних САК виділені наступні невирішені питання загальної проблеми:

- відсутній системний підхід до аналізу інтелектуальних САК в структурі яких використовуються блоки нечіткої логіки, нейромережеві технології та генетичні алгоритми;
- відсутні ефективні методики еквівалентування інтелектуальних блоків САК з метою проведення комплексного аналітичного аналізу роботи.

Формулювання цілей статті.

При розробці алгоритму та методу еквівалентування нечіткого контролера повинні бути вирішені наступні задачі:

- розробка еквівалентної моделі на базі інформації про параметри fuzzy контролера (вид та параметри функцій приналежності, параметри фазифікації, набір і структура правил);
- розробка векторно-матричної моделі з урахуванням багатовимірного векторного входу.

Розглянемо нечіткий контролер, який побудований за принципом розгрупування вхідних впливів з метою створення ієрархічної структури дерева висновку [3].

Загальний вид елементарного об'єкта:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \tag{1}$$

де $x_i, i = \overline{1, n}$ - n-мірний вектор $\underline{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ котрим представлені параметри об'єкта, що контролюються; y - вихідний параметр об'єкта.

Для даної системи вважається відомим:

- траєкторії варіації параметрів стану системи: $\forall x_i \in [\underline{x}_i, \overline{x}_i], x_i \in \mathfrak{R}$ та $\forall y \in [\underline{y}_i, \overline{y}_i]$;

- базовий об'єм нечітких продукційних правил $R^j, j = \overline{1, m}$, які пов'язують лінгвістичні оцінки факторів впливу $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ та цільовий вихід y ;
- багаторівневий формат нечітких продукційних правил - "IF-AND -OR-THEN";
- масив ($t = \overline{1, s}$) навчальних кортежів: $\text{teach}^t : \langle x, d \rangle$.

Для ефективного функціонування нечіткої системи запропоновано [1] метод динамічного настроювання параметрів функцій приналежності. Даний метод ґрунтується на застосуванні модифікації генетичного алгоритму для проведення параметричного синтезу асимптотично-стійких, інтелектуальних систем керування технологічними процесами. Дана модифікація включає обґрунтований перехід до схеми простого кодування дискретного діапазону параметрів функцій приналежності зі штучним динамічним зменшенням бітності коду.

При використанні в якості контролера, блоку нечіткого логічного висновку з алгоритмом Такагі-Сугено-Канга (TSK) значення вихідної змінної розраховується згідно формули:

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^M \alpha_i \cdot c_i}{\sum_{i=1}^M \alpha_i} \quad (2)$$

В загальному випадку вихідний сигнал нечіткого контролера визначається співвідношенням:

$$u = \underline{\lambda}^T \zeta(x) \quad (3)$$

де $\underline{\lambda}$ - вектор параметрів нечіткого контролера.

Для того, щоб синтезувати модель еквівалентного контролера, спочатку розглянемо математичний апарат нечіткого висновку та алгоритми роботи контролера.

Сигнал кожного параметра, який поступає на вхід контролера, фазифікується, тобто знаходиться нечіткий аналог величини сигналу. Еквівалент визначається шляхом математичного обчислення при використанні інформації про форму відповідних функцій приналежності і параметрів, якими вони описуються. Форми функцій приналежності в нечіткому контролері мають трикутну форму і описуються наступною формою:

$$\text{trimf}(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{if } a < x < b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{if } b < x < c \\ 0 & \text{if } c < x \end{cases} \quad (4)$$

де a, b, c - параметри трикутної функції приналежності.

Вид функцій приналежності для трьох вхідних величин (сигналу завдання, інтегралу помилки, похідної помилки) показані на рис.3,4,5.

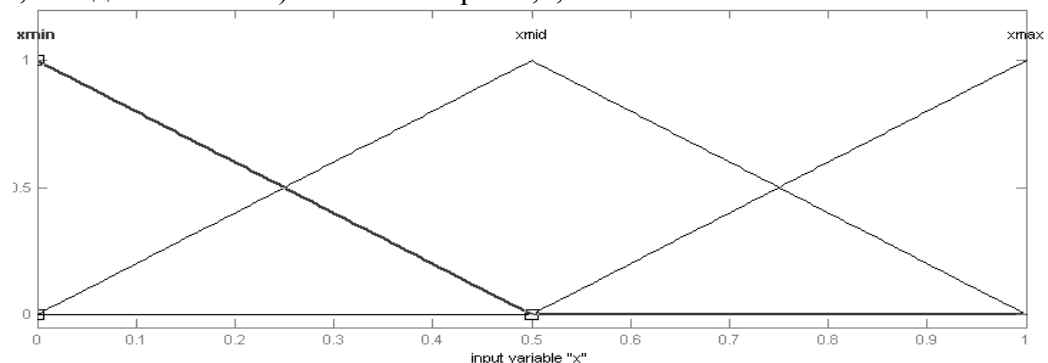


Рис.3 Функції приналежності сигналу завдання x

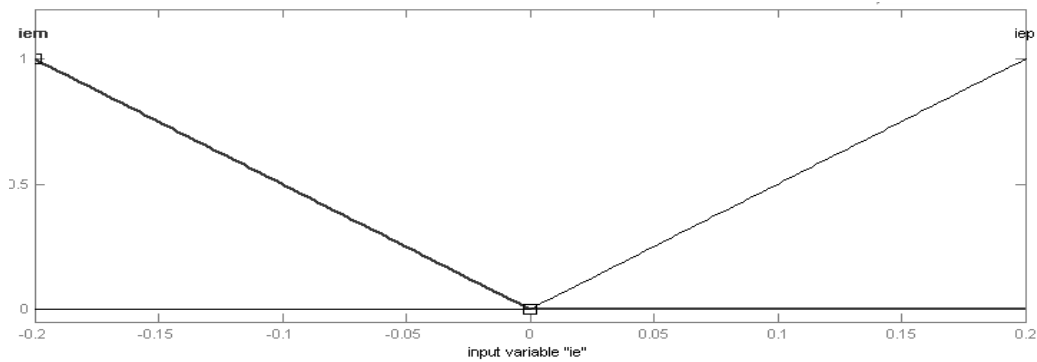


Рис.4 Функції приналежності інтегралу похибки ie

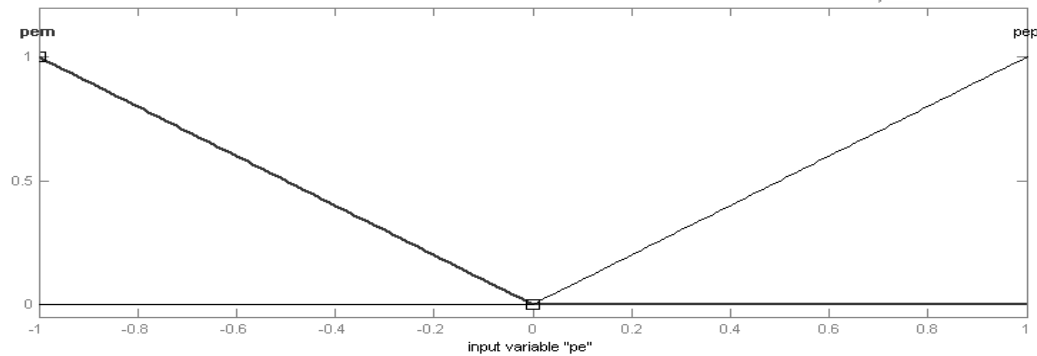


Рис.5 Функції приналежності похідної похибки pe

Згідно правилам відбувається дефазифікація величини, тобто знаходиться реальна величина вихідного сигналу за його нечітким значенням. Причому на цьому етапі дефазифікація відбувається для кожного правила окремо.

База правил контролера має наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned}
 &\text{if } (x \text{ is } x_{\min}) \text{ then } (y \text{ is } y_{\min}) \quad w = 0.8 \\
 &\text{if } (x \text{ is } x_{\text{mid}}) \text{ then } (y \text{ is } y_{\text{mid}}) \quad w = 0.8 \\
 &\text{if } (x \text{ is } x_{\max}) \text{ then } (y \text{ is } y_{\max}) \quad w = 0.8 \\
 &\text{if } (ie \text{ is } iem) \text{ then } (y \text{ is } y_{\min}) \quad w = 1 \\
 &\text{if } (ie \text{ is } iep) \text{ then } (y \text{ is } y_{\max}) \quad w = 1 \\
 &\text{if } (pe \text{ is } pem) \text{ then } (y \text{ is } y_{\min}) \quad w = 0.3 \\
 &\text{if } (pe \text{ is } per) \text{ then } (y \text{ is } y_{\max}) \quad w = 0.3
 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

де x , ie , pe - вхідні величини (сигнал завдання, інтеграл помилки, похідна помилки), x_{\min} , x_{mid} , x_{\max} - нечіткі числа, які описують сигнал завдання (мінімальний сигнал, середній сигнал, максимальний сигнал); iem , iep - нечіткі числа, які описують інтеграл помилки (негативне значення, позитивне значення); pem , per - нечіткі числа, які описують похідну помилки (негативне значення, позитивне значення); w - вага відповідного правила.

На наступному кроці знайдемо середньозважене (залежно від вибору формули дефазифікації) значення вихідного сигналу з урахуванням ваги кожного правила.

Алгоритм синтезу еквівалентного контролера

1. Знаючи вид функції приналежності вхідного сигналу, його параметри і правило згідно якого визначається залежність вихідного сигналу від вхідного ($f(x)$, $f(ie)$, $f(pe)$), проведемо наближення кожного правила в базі знань використовуючи метод найменших квадратів.

В результаті апроксимації і групування правил по вхідному сигналу отримуємо наступні залежності для fuzzy-контролера:

Залежність вихідної величини від сигналу завдання:

$$f_{xline}(x) = 1.248x + 0.16 \quad (6)$$

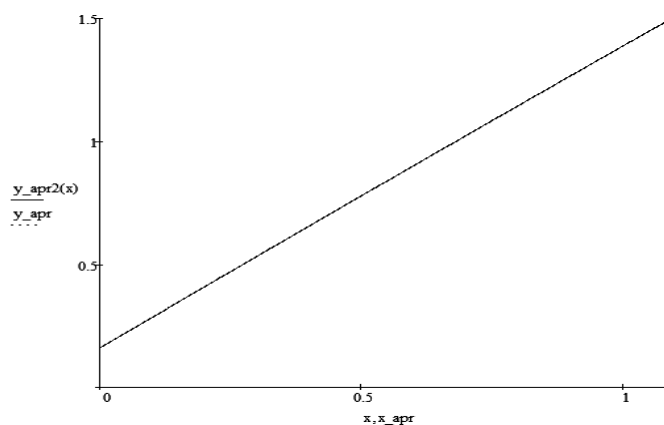


Рис.6 Залежність вихідної величини від сигналу завдання

Залежність вихідної величини від сигналу похідної похибки:

$$fpe_{line}(pe) = -9.85 \cdot pe^7 + 19.85 \cdot pe^5 - 12.9 \cdot pe^3 + 3.6 \cdot pe + 0.88 \quad (7)$$

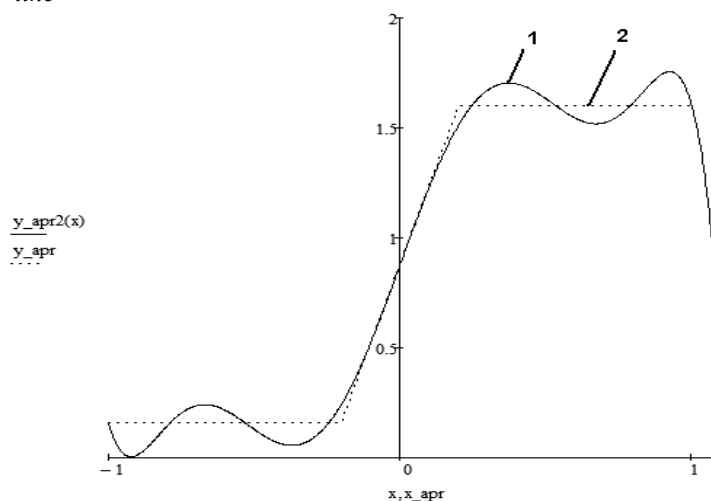


Рис.7 Залежність вихідної величини від сигналу похідної похибки

1 – апроксимаційна функція; 2 – залежність визначена правилами та формою функції приналежності

Залежність вихідної величини від сигналу інтеграла похибки:

$$fie_{line}(ie) = -769400 \cdot ie^7 + 62040 \cdot ie^5 - 1617 \cdot ie^3 + 18.25 \cdot ie + 0.88 \quad (8)$$

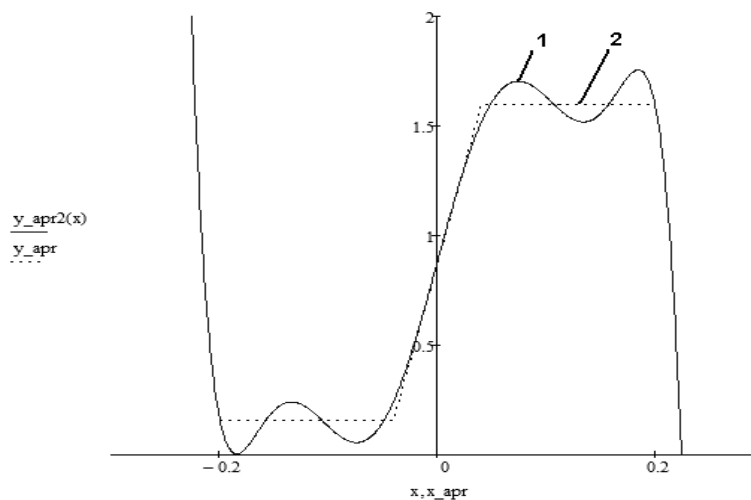


Рис.8 Залежність вихідної величини від сигналу інтеграла похибки

1 – апроксимаційна функція; 2 – залежність визначена правилами та формою функції приналежності

Висока ступінь поліномів, які описують залежність вихідного сигналу від похідної та інтеграла похибки обумовлена складним видом залежності відповідних величин. При зменшенні ступені апроксимації знижується точність еквівалентної моделі.

2. Знаючи еквівалентну модель кожного правила знайдемо середньозважене значення вихідної величини за формулою:

$$y(x, ie, pe) = \frac{fx(x) \cdot w_x + fie(ie) \cdot w_{ie} + fpe(pe) \cdot w_{pe}}{w_x + w_{ie} + w_{pe}} \quad (9)$$

Реалізувавши дані залежності у вигляді функціональних блоків у системі моделювання Matlab отримаємо еквівалентну модель нечіткого контролера, яка може бути проаналізована відомими методами [4].

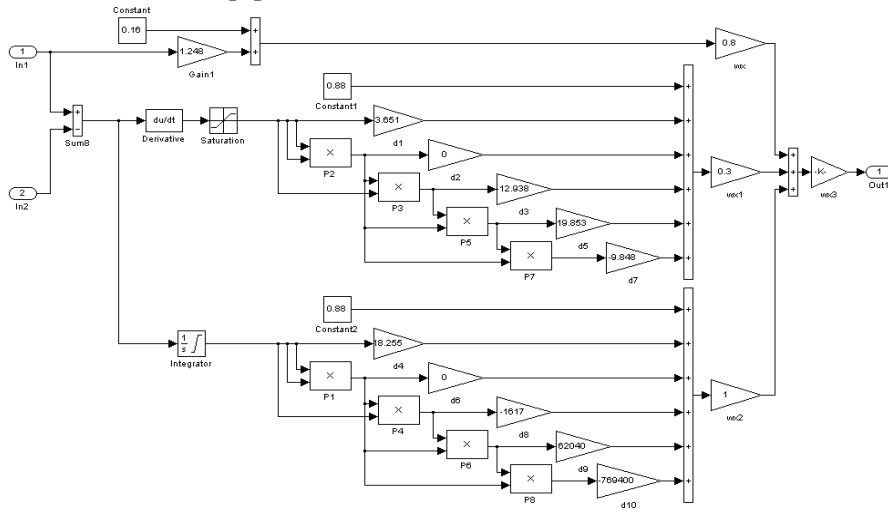


Рис.9 Структура еквівалентної моделі нечіткого контролера

Результати моделювання еквівалентної САЕП наведено на рис.10-11. На рис.10 наведена перехідна функція сигналу завдання, вихідного сигналу при управлінні нечітким контролером і вихідного сигналу при управлінні синтезованим еквівалентним контролером.

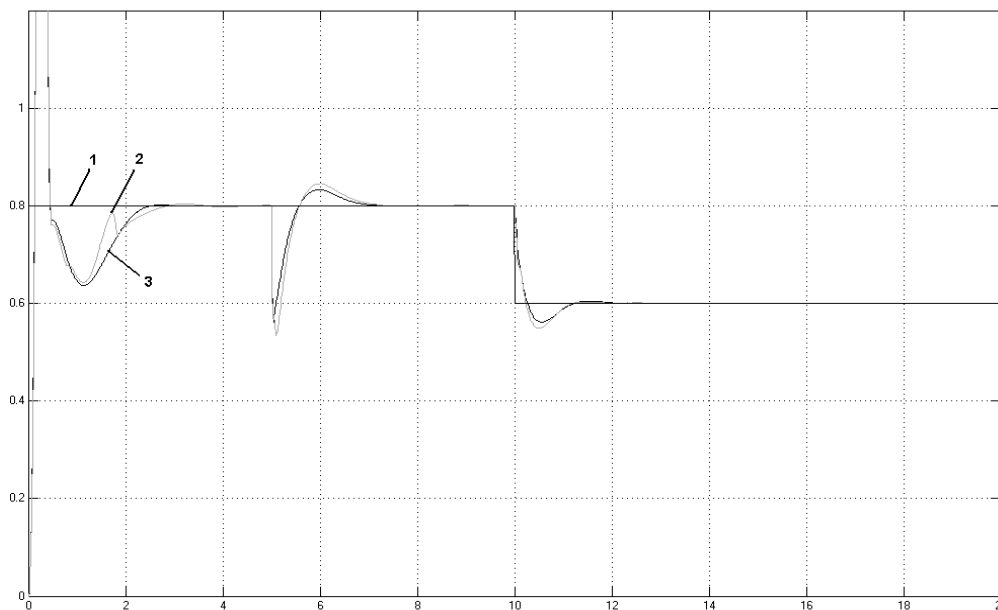


Рис.10 Результати моделювання

1 – сигнал завдання; 2 - вихідний сигнал при управлінні синтезованим еквівалентним контролером; 3 – вихідний сигнал при управлінні нечітким контролером

Похибка управління САЕП з нечітким контролером та еквівалентним контролером показана на рис. 11.

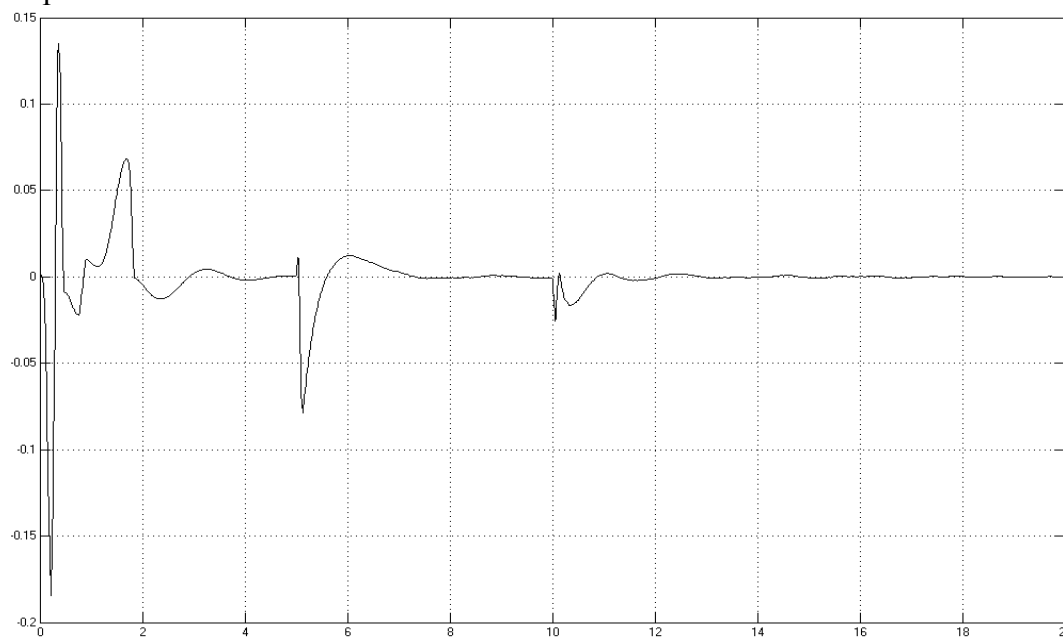


Рис.11 Похибка управління (в.о) САЕП еквівалентного контролеру в порівнянні з fuzzy-контролером

Висновки з даного дослідження та перспективи подальших робіт. Розглянута методика еквівалентування блоків нечіткого логічного висновку дозволяє проводити комплексний аналіз якості автоматичних систем керування відомими методами класичної теорії автоматичного управління, що в свою чергу дозволяє аргументовано стверджувати про ефективність застосування варіантів досліджуваних систем, а також уникнути грубих помилок, які можуть виникнути на етапі чисельного аналізу.

Подальша робота в даному напрямку буде спрямована на експериментальне підтвердження ефективності аналітичного дослідження ІнСАК з використанням розробленої методики еквівалентування.

Results of method design of fuzzy-controller functional features equivalent.

The synthesis of fuzzy controller equivalent structure is considered on the base of information about his structure and setting of defuzzification. An equivalent is use for the complex analysis of intellectual control the system quality.

1. Розроблення методології синтезу та обґрунтування доцільності впровадження інтелектуальних гібридних систем автоматичного управління технологічними процесами на основі нейромережових структур та методів нечіткої логіки: Звіт з НДДКР/ Криворізький техн. університет. – 5.04.3 № ДР0104U004720. – Кривий Ріг, 2005.-250 с.

2. Усков А.А., Круглов В.В. Интеллектуальные системы управления на основе методов нечеткой логики. – Смоленск: Смоленская городская типография, 2003.

3. Ротштейн О.П. Интеллектуальні технології ідентифікації: нечіткі множини, генетичні алгоритми, нейронні мережі. - Вінниця: "УНІВЕСУМ-Вінниця", 1999 - 320с

4. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. -М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. -464с.