

С.І. КОНДРАШОВ, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри НТУ «ХПІ»
І.В. ГРИГОРЕНКО, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ»

РОЗРАХУНОК ДИНАМІЧНОЇ ПОХИБКИ АСТАТИЧНИХ КОМПЕНСАЦІЙНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

Запропоновано використання теорії нечітких множин для оцінки метрологічної ситуації на об'єктах, що містять у своєму складі астатичні компенсаційні перетворювачі. Зроблено рекомендації, що до оцінки динамічної похибки таких перетворювачів за допомогою теорії нечітких множин, та пошуку мінімуму динамічної похибки астатичної системи.

Possibility of use of the theory of indistinct sets for an estimation of a metrological situation on objects which contain astatic compensatory converters in the structure is considered. Recommendations are made according to a dynamic error of such converters by means of the theory of indistinct sets, and search of a minimum of a dynamic error of astatic system.

Постановка проблеми. Розвиток інформаційно-виміральної техніки потребує впровадження сучасних методів обробки інформації для підтримки процесів прийняття рішень у інформаційно – вимірвальних системах. На першому рівні автоматизованої інформаційної системи контролю та керування (АІСКК) стає задача призначення відповідних допусків для кожного параметра, що контролюється. Це дає можливість визначити необхідні засоби вимірювань і значення їх граничних похибок, які необхідно контролювати у робочих режимах. На другому рівні АІСКК стає можливим сформувати як технологічний, так і метрологічний «образ» об'єкта контролю з урахуванням дії зовнішніх та внутрішніх факторів. Метрологічний образ об'єкта є комплексним і багатовимірним. Це означає, що вимірювальний перетворювач (ВП) АІСКК розглядається як «простий» об'єкт, який достатньо повно описується математичними статистичними методами. Система ВП і блок управління і координації метрологічного стану розглядаються як «складна» система, у якій значну частину інформації, необхідної для здійснення задач метрологічної координації [2], надано у вигляді рекомендацій спеціалістів-технологів і метрологів. Такий підхід дозволяє поєднати теорії статистичних методів оцінки стану астатичних вимірвальних перетворювачів з теорією нечітких розмитих множин (системи *FUZZY logic*) для побудови системи ситуаційного реагування, що стежить за метрологічною ситуацією.

Аналіз літератури. У [3] було встановлено, що на динамічну похибку астатичної замкнутої системи впливають два параметри: нестабільність сталої часу ΔT й нестабільність коефіцієнта перетворення ланок Δk . При аналізі динамічних характеристик астатичних систем доцільно використовувати інтегральний критерій помилки, що у свою чергу зручно представити за допомогою апарата теорії нечітких множин. Нечіткий аналіз

визначається в часовій області й не має ніяких обмежень, у той час як традиційний аналіз придатний тільки в межах певних частотних границь.

Мета статті – довести можливість та доцільність використання теорії нечітких множин для оцінки метрологічної ситуації на об'єктах, що містять у своєму складі астатичні компенсаційні перетворювачі.

Оцінки динамічної похибки астатичних компенсаційних перетворювачів. Для того щоб характеризувати величину відхилення від бажаного значення при моделюванні розкиду параметра системи введемо функцію належності.

Відхилення параметрів k – коефіцієнт перетворення і T – стала часу характеризується відповідно функціями належності $\mu_k(k)$ й $\mu_T(T)$, які утворюють векторну функцію належності. Нечітка змінна на виході $y(t)$ характеризується функцією належності $\mu_y(y, t)$, що може бути функцією від t , інтервалом або просто скалярною функцією [4].

Нечіткі вхідна x і вихідна змінна у суб'єктивно характеризується функціями належності $\mu_x(x)$ й $\mu_y(y)$ відповідно. Константи \tilde{x}_i й A_i призначаються розроблювачем системи суб'єктивно, а константи \tilde{y} , B і C визначаються об'єктивно за допомогою детермінованої математичної моделі або цільової функції й виступають як необхідні обмеження. Константи A_i , B і C устанавлюють область зміни нечітких змінних x і y являють собою кутове значення або кутову функцію. Константи \tilde{x} й \tilde{y} – це ідеальні значення. Функція на вході й виході математично виражається в такий спосіб [4]:

$$\mu_x(x_i) = \begin{cases} 1 - (a_i / A_i)^{\beta_i} = 1 - (|x_i - \tilde{x}_i| / A_i)^{\beta_i}, & \text{де } a_i \leq A_i, \\ 0 & \text{у інших випадках} \end{cases} \quad (1)$$

Розглянемо лінійну інваріантну за часом систему з наступною передатною функцією:

$$H(p; T, k) = \frac{k}{Tp + 1}, \quad (2)$$

де T – стала часу ланки,

k – коефіцієнт перетворення ланки.

Обидві нечіткі змінні T і k мають вигляд функції належності. Для спрощення аналізу параметр $T = \tilde{T}$ якийсь час будемо вважати постійним. Тоді

$$h(t; \mu_k(k), \mu_T(\tau) = 1) = \begin{cases} \tilde{h}(t) + \frac{[1 - \mu_k(k)] A_1}{\tilde{T}} \cdot e^{-\frac{t}{\tilde{T}}} & \text{для } k \geq \tilde{k} \\ \tilde{h}(t) - \frac{[1 - \mu_k(k)] A_1}{\tilde{T}} \cdot e^{-\frac{t}{\tilde{T}}} & \text{для } k < \tilde{k} \end{cases}, \quad (3)$$

$$\text{де } \tilde{h}(t) = \frac{\tilde{k}}{\tilde{T}} \cdot e^{-\frac{t}{\tilde{T}}}.$$

Якщо система з передатною функцією виду:

$$H(p; T, k) = \frac{k}{Tp}, \quad (4)$$

$$\text{тоді } h(t; \mu_k(k), \mu_\tau(\tau) = 1) = \begin{cases} \tilde{h}(t) + \frac{[1 - \mu_k(k)] A_1}{\tilde{T}} & \text{для } k \geq \tilde{k} \\ \tilde{h}(t) - \frac{[1 - \mu_k(k)] A_1}{\tilde{T}} & \text{для } k < \tilde{k} \end{cases}$$

Основне завдання полягає в тому, щоб максимально зменшити інтегральну динамічну похибку, що виникає при відпрацьовуванні системою вхідного впливу.

Для системи з передатною функцією (2) інтегральна динамічна похибка буде мати вигляд [5]:

$$\varepsilon(k, \tau) = \int_0^\infty |k - y(t)| dt = \int_0^\infty k \cdot e^{-\frac{t}{T}} dt = k \cdot T. \quad (5)$$

Параметри системи повинні бути стабільні в часі, установлюємо, що обидві нечіткі змінні повинні приймати позитивні значення. Надалі будемо припускати, що для k і T визначені можливі припустимі інтервали (зміни) A_1 і A_2 відповідно. Вибираємо лінійні функції належності для параметрів k і T , які характеризують значення можливого відхилення параметрів:

$$\mu_k(k) = 1 - \frac{|k - \tilde{k}|}{A_1}, \quad (6)$$

$$\mu_T(T) = 1 - \frac{|T - \tilde{T}|}{A_2}. \quad (7)$$

Окремими випадками функції $\varepsilon(k, \tau)$ будуть максимум і мінімум динамічних похибок ε_{\max} і ε_{\min} .

$$\varepsilon_{\max} = \varepsilon_1 \cdot (\mu_k(k) = 0, \mu_T(T) = 0) = (\tilde{k} + A_1) \cdot (\tilde{T} + A_2), \quad (8)$$

$$\varepsilon_{\min} = \varepsilon_4 \cdot (\mu_k(k) = 0, \mu_T(T) = 0) = (\tilde{k} - A_1) \cdot (\tilde{T} - A_2). \quad (9)$$

Номінальна інтегральна помилка визначається в інтервалі $\varepsilon_{\min} < \tilde{\varepsilon} < \varepsilon_{\max}$ й дорівнює $\tilde{k} \cdot \tilde{T}$.

Зв'язок зміни нечітких змінних k і T з вихідною цільовою функцією можна представити у вигляді [4]:

$$\mu_B(\varepsilon) = \begin{cases} 1 & \text{для } \varepsilon \leq \varepsilon_{\min} \\ \frac{\varepsilon_{\max} - \varepsilon}{\varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\min}} & \text{для } \varepsilon_{\min} < \varepsilon < \varepsilon_{\max} \\ 0 & \text{для } \varepsilon \geq \varepsilon_{\max} \end{cases} \quad (10)$$

Нова функція належності $\mu_B(\varepsilon)$ визначається суб'єктивним, але певним способом [5] – функція належності будується у вигляді лінійної функції із зонами насичення. Модель (10) має місце при оцінці динамічної інтегральної похибки для аперіодичного процесу, яка визначається як

$$\Delta_{\text{дин}} = \Delta k \cdot \Delta t ,$$

де Δk і Δt – абсолютні значення похибок коефіцієнта передачі та сталої часу відповідно.

Висновки: 1. Найгірший випадок (максимум динамічної похибки) має місце, коли змінні k і T приймають найбільші значення: $k \geq \tilde{k}$, $T \geq \tilde{T}$.

2. Запропонований підхід являє собою одну з форм методу нормалізації й може бути застосований для визначення мінімуму динамічної похибки астатичної системи.

Список літератури: 1. Кондрашов С.І. Підвищення точності вимірювальних перетворювачів з формуванням у реальних умовах тестових впливів: дис. на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук: 05.11.05 / С.І. Кондрашов– Харків, 2004. – 412 с. 2. Диденко К.И. Метрологический наблюдатель в системах контроля и управления / К.И. Диденко, С.И. Кондрашов // Український метрологічний журнал. – 1997. – №. 2. – С. 44 - 47. 3. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с. 4. Рональд Р. Ягера. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / под ред. Рональда Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. 5. Григоренко І.В. Розвиток тестових методів підвищення точності електричних компенсаційних вимірювальних перетворювачів у динамічних режимах: дис. на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.11.05 / І.В. Григоренко– Харків, 2010. – 224 с.

Поступила в редакцію 23.11.2010