

УДК 536.5

МЕТОДИКА БЕЗДЕМОНТАЖНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКІВ ТЕМПЕРАТУРИ

К.т.н. С. О. Поляков, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Запропонована методика наближеного визначення динамічної характеристики датчика температури. Встановлено вимоги до запропонованої методики. Оцінено похибки визначення коефіцієнтів динамічної характеристики з використанням наближеної методики.

Предложена методика приближенного определения динамической характеристики датчика температуры. Установлены требования к предлагаемой методике. Оценены погрешности определения коэффициентов динамической характеристики с использованием приближенной методики.

The technique of approximate determine of the temperature sensors dynamic characteristics is presented. The requirements for the proposed methodology are established. Errors of dynamic characteristics coefficients determination using approximate methods are estimated.

Ключові слова: динамічні характеристики датчиків, метод корекції за допомогою двох датчиків, бездемонтажне визначення динамічних характеристик датчиків, генетичний алгоритм.

Вступ

Температурні вимірювання є важливою частиною багатьох технологічних операцій. Від точності отриманих результатів вимірювання може залежати не тільки якість виготовлення продукції, а і комфорт і безпека людини. На сьогоднішній день традиційним способом оцінки похибки засобів вимірювальної техніки є їх калібрування.

Зростаючі з розвитком технологій вимоги до точності вимірювання вхідних сигналів первинними вимірювальними перетворювачами в сукупності з необхідністю тривалої безперервної роботи датчиків у складі автоматизованих систем контролю і управління ускладнюють застосування традиційних методів метрологічного забезпечення.

Контроль метрологічних характеристик первинних вимірювальних перетворювачів в реальних умовах експлуатації стає все актуальнішою задачею. Цей факт обумовлює, в свою чергу, необхідність розробки методів бездемонтажного контролю і корекції метрологічних характеристик датчиків.

При використанні традиційних методів визначення динамічних характеристик датчиків температури на вхід подається відомий сигнал, який неможливо відтворити, не знімаючи датчик з об'єкту, тобто, з'являється задача контролю динамічної характеристики датчика при відсутності інформації про вхідний вплив [1]. Даний тип задач отримав широке розповсюдження в світі і має назву «сліпої задачі» [2]. Одним з варіантів її розв'язання для датчиків температури є метод «двох датчиків».

Сліпий метод корекції динамічних характеристик датчиків температури

Даний метод дозволяє проводити складні вимірювання швидкозмінного сигналу з використанням пари датчиків з різними невідомими динамічними характеристиками [3].

Математична модель процесу динамічного вимірювання описується за допомогою звичайних диференціальних рівнянь першого порядку, що складаються в залежності від часу $f(t)$ першої похідної сигналу датчика температури $x(t)$ [4]. Другий вимірювальний канал характеризується диференціальним рівнянням ідентичної структури в складі $g(t)$ і $p(t)$. Шукана оцінка $u(t)$ загальна для обох рівнянь. Тому його зручно переписати у систему з цих двох рівнянь (1). Кожне диференціальне рівняння повинно бути доповнене початковими умовами для того, щоб зробити їх розв'язуваними [5], у цьому випадку ми не шукаємо розв'язок пари рівнянь відносно $x(t)$ і $p(t)$, так як ці величини доступні через вимірювання. Таким чином, рішенням задачі є визначення невідомих змінних $f(t)$, $g(t)$ і $u(t)$:

$$f(t) \frac{dx(t)}{dt} + x(t) = u(t) = g(t) \frac{dp(t)}{dt} + p(t), x(t), p(t). \quad (1)$$

Для розв'язання такої системи рівнянь необхідно додати ще рівняння, яке описує залежність між двома з цих трьох невідомих. Враховуючи той факт, що немає ніякої "ап'юріорної" інформації про те, що вимірюваний сигнал $u(t)$ – відомий, єдина доступна інформація – це залежності, що зв'язують динамічні властивості двох використовуваних датчиків.

Рішення задач ідентифікації динамічних коефіцієнтів за методом двох датчиків з використанням пропорційного відношення між ними відоме в літературі [6]. Визначення динамічного коефіцієнта $f(t)$, зводиться до рівняння (2).

$$f(t) = \frac{p(t) - x(t)}{(dx(t)/dt) - C(dp(t)/dt)}. \quad (2)$$

В даному рівнянні невідома $u(t)$ зникає, що говорить про відсутність залежності від інформації про вхідний сигнал.

Важливо, що коефіцієнт пропорційності C визначається на місці та на момент проведення вимірювань шляхом «сліпого» методу. Це є цінною властивістю, так як значення C , визначене в лабораторних умовах, може не збігатися з фактичним значенням цього коефіцієнта на ділянці, де використовуються датчики [3].

Для знаходження коефіцієнта C використовують різноманітні підходи, включаючи експериментальне визначення і фільтрацію Калмана. Результати мають застосування у світовій практиці.

Можна зробити висновок, що запропонований метод дозволяє визначити динамічні характеристики, не вимагаючи інформації про вхідний сигнал датчика. При використанні інших відомих методів розв'язання «сліпих» задач наявність даної інформації обов'язкова.

Проведений аналіз методу «двох датчиків» виявив деякі недоліки, що можуть вплинути на якість визначення динамічної характеристики.

Мета і постановка задачі

Визначено, що запропонована вище методика корекції динамічних характеристик датчиків температури має обмеження, обумовлені наступним:

- відомо, що підключені одночасно однотипні датчики можуть мати відмінні динамічні характеристики, які не в повній мірі можна описати запропонованим математичним апаратом, окрім того, коефіцієнт C може бути важко або неможливо визначити експериментально з достатньою точністю, що вплине на якість розв'язання «сліпої» задачі;

- можлива наявність шумів різної потужності у вимірюваному сигналі, що може мати значний вплив на точне розв'язання «сліпої» задачі і привести до знаходження «фантомного» рішення [2];

- можлива наявність різноманітних джерел похибок при побудові вимірювальних інформаційних систем, що може негативно впливати на якість розв'язку [7].

Отже, необхідно вдосконалити зазначений метод, щоб зменшити вплив даних недоліків, що можна здійснити, використовуючи неточне або наближене розв'язання [2] рівняння (1). Для цього можна використати відомі методи випадкового пошуку (наприклад, генетичний алгоритм).

Методика бездемонтажного визначення динамічних характеристик датчиків температури

Використання наближеного розв'язку рівняння дозволить окрім зменшення залежності від джерел невизначеності (обумовлених структурою вимірювального каналу, шумами тощо) зменшити залежність від апріорної інформації [2] (обумовлену, наприклад, вимогами до точності визначення коефіцієнта C). Розв'язок рівняння можна звести до мінімізації функціоналу (3).

$$J(a_1, b_1, a_2, b_2) = \left[\left(a_1 \frac{dx(t)}{dt} + b_1 x(t) \right) - \left(a_2 \frac{dp(t)}{dt} + b_2 p(t) \right) \right]^2. \quad (3)$$

де $x(t)$, $p(t)$ – відомі вихідні сигнали датчиків;

a_1 , b_1 , a_2 , b_2 – коефіцієнти, що визначають динамічні характеристики першого та другого датчиків відпо-відно.

Таким чином, в результаті мінімізації зазначеного функціоналу, отримуємо шукані коефіцієнти a_1 , b_1 , a_2 , b_2 , за допомогою яких розраховувалися динамічні характеристики.

Слід зазначити, що використання методики наближеного визначення динамічних характеристик датчиків вимагає встановити наступні припущення [8]: коефіцієнти a_1 , b_1 , a_2 , b_2 є незмінними в часі, метод використовується для лінійної ділянки динамічної характеристики, диференціальне рівняння повністю

відображає інерційні властивості датчика (фізичний принцип вимірювання).

Таким чином, дана методика дозволяє визначити динамічну характеристику датчиків, що описуються диференціальним рівнянням першого порядку тобто для всіх лінійних інерційних датчиків, при відсутності інформації про вхідний сигнал.

Оцінювання ефективності роботи методу

Для оцінювання ефективності роботи методу на основі реальних вимірювальних сигналів температури була побудована математична модель, що представляє собою детермінований сигнал з шумом (рис.1).

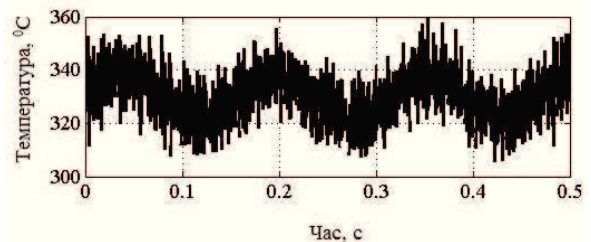


Рис. 1. Математична модель вхідного сигналу

Була написана програма в математичному пакеті Matlab, де за допомогою генетичного алгоритму визначались коефіцієнти рівняння (3). Результати відтворення вхідного сигналу за допомогою розрахованих з використанням зазначеної методики коефіцієнтів динамічної характеристики датчиків температури приведені на рисунку 2. Отримані похибки розрахунку коефіцієнтів не перевищують одного відсотка.

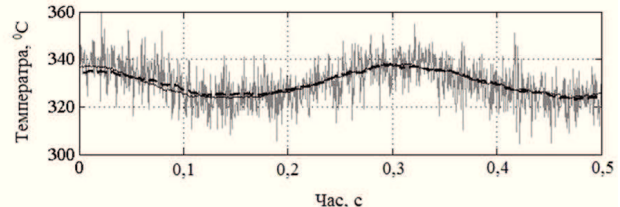


Рис. 2. Результат розрахунку динамічних характеристик датчика температури (сірий – модель вхідного сигналу, суцільна лінія і пунктир – розраховані вхідні сигнали з першого та другого датчиків)

Через специфіку використаного методу випадкового пошуку з'являється нове джерело похибок – «похибки наближеного розв'язання», що обумовлені налаштуванням генетичного алгоритму. Визначено, що найбільший вплив на точність рішення мають кількість генерацій і розмір популяції генетичного алгоритму. Побудовано залежності похибок визначення коефіцієнтів від налаштувань генетичного алгоритму. Результати розрахунків приведені на рисунку 3. При збільшенні параметрів генетичного алгоритму якість визначення коефіцієнтів знижується. Зростає ймовірність появи фантомних рішень.

Були проведені дослідження точності визначення коефіцієнтів динамічної характеристики при різних рівнях шумів вихідного сигналу (рис. 4). Метод можна вважати ефективним при відношенні сигнал-шум менше 0,1.

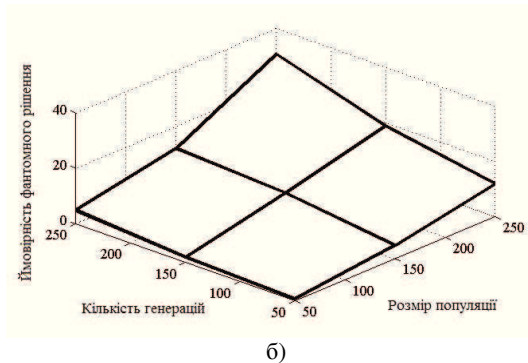
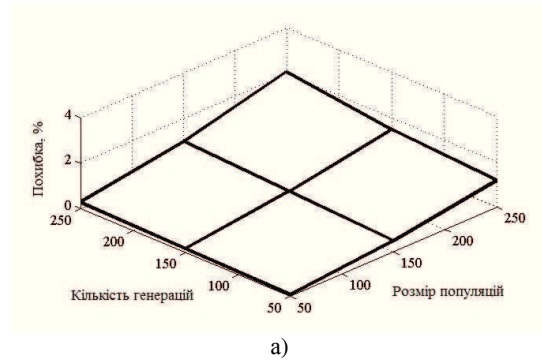


Рис. 3. Залежність похибок визначення коефіцієнтів (а) і ймовірності виникнення фантомних рішень (б) від налаштувань генетичного алгоритму

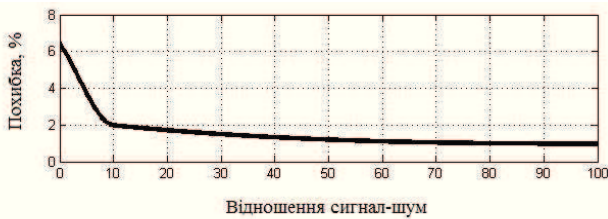


Рис. 4. Залежність похибок визначення коефіцієнтів від відношення сигнал-шум

Для порівняння були проведені розрахунки динамічної характеристики класичним методом (2) при різних рівнях шуму (рис. 5).

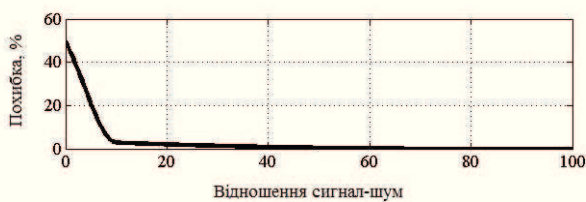


Рис. 5. Залежність похибки визначення динамічної характеристики від відношення сигнал-шум

Можна зробити висновок, що запропонована в роботі методика має перевагу при наявності відношення сигнал-шум менше 10 %.

При використанні запропонованої методики також необхідні апіорні дані, наприклад, про діапазон значень шуканих коефіцієнтів, що в реальних умовах присутні.

Побудовано залежність похибок визначення коефіцієнтів від апіорних даних про можливий діапазон значень зазначених коефіцієнтів. Результати розрахунків приведені на рисунку 6.

Оптимальним значенням можна вважати 50-70 %, що є достатньо широким діапазоном.

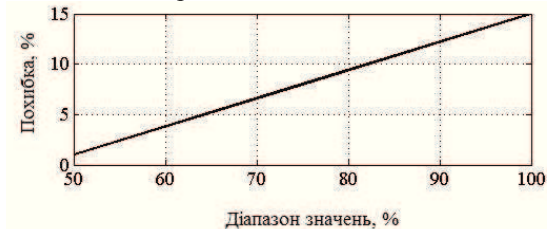


Рис. 6. Залежність похибок визначення коефіцієнтів від апіорних даних про можливий діапазон значень зазначених коефіцієнтів

Висновки

Таким чином, використання методики наближеного визначення динамічних характеристик датчиків вимагає встановити наступні припущення:

- коефіцієнти динамічних характеристик є незмінними в часі;
- метод використовується для лінійної ділянки динамічної характеристики;
- диференційне рівняння повністю відображає інерційні властивості датчика.

Отримані похибки розрахунку коефіцієнтів, що проводились з допомогою зазначеного методу, не перевищують одного відсотка.

При збільшенні кількості генерацій і розміру популяції генетичного алгоритму якість визначення коефіцієнтів знижується, зростає ймовірність появи фантомних рішень.

Визначено, похибка апіорних даних про значення коефіцієнтів динамічних характеристик не має перевищувати приблизно 50-70 %.

Запропонована в роботі методика має перевагу перед точним методом при наявності відношення сигнал-шум менше 10 %.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Захаров И. П. Метрологическая идентификация динамических характеристик средств измерительной техники / И. П. Захаров, М. П. Сергиенко. – Х.: Компания СМІТ, 2012. – 232 с.
2. Полярус О. В. Наближене розв'язання оберненої задачі вимірювань та його метрологічне забезпечення : монографія / О. В. Полярус, Є. О. Поляков. – Харків : Видавництво «Лідер», 2014. – 116 с.
3. M. Tagawa and Y. Ohta, Two-thermocouple probe for fluctuating temperature measurement in combustion—Rational estimation of mean and fluctuating time constants, *Combustion and Flame* 109, Elsevier Science Inc., pp. 549–560, 1997.
4. Грановский В. А. Динамические измерения: Основы метрологического обеспечения / В. А. Грановский. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1984. – 224 с.
5. P. Jamróz, Investigation of polynomial models of the dynamic properties of temperature sensors in case of unsteady flow, *Przegląd Elektrotechniczny*, pp. 196–203, 2008.
6. P. Jamróz, Relationship between dynamic coefficients of two temperature sensors under nonstationary flow conditions, *IEEE Sensors J.*, 11(2), 335–340, 2011.
7. J. Nabielec, An outlook on the DSP dynamic error blind correction of the analog part of the measurement channel, *Proceedings of the 16th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Venice, Vol. 2*, pp. 709–712, 1999.
8. Пат. 95482 Україна, МПК (2015.01) G01D 21/00. Спосіб відновлення сигналу на вході датчика в умовах завад/ Полярус О. В., Поляков Є. О., Коваль А. О. ; власник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. № и 2014 07577 ; заявл. 07.07.2014; опубл. 25.12.2014, Бюл. № 24, 7 с.