

УДК 621.3.089

ВИМОГИ ДО ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ СИГНАЛІВ НА ВИХОДІ ДАТЧИКІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКІСНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ВХІДНОГО СИГНАЛУ

О.В. Полярус, професор, д.т.н., Є.О. Поляков, аспірант,
Ю.В. Марущенко, студент, ХНАДУ

Анотація. Обґрунтовано вимоги щодо точності вимірювання сигналів на виході датчика в інтересах забезпечення високої якості реконструкції сигналу на вході.

Ключові слова: датчик, обернена задача, відновлення сигналів, генетичний алгоритм.

ТРЕБОВАНИЯ К ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СИГНАЛОВ НА ВЫХОДЕ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВХОДНОГО СИГНАЛА

А.В. Полярус, профессор, д.т.н., Е.А. Поляков, аспирант,
Ю.В. Марущенко, студент, ХНАДУ

Аннотация. Обоснованы требования к точности измерения сигналов на выходе датчика в интересах обеспечения высокого качества реконструкции сигнала на входе.

Ключевые слова: датчик, обратная задача, восстановление сигналов, генетический алгоритм.

REQUIREMENTS FOR ACCURACY OF SENSORS OUTPUT SIGNAL MEASURING FOR QUALITY RECONSTRUCTION OF INPUT SIGNAL

A. Poliarus, Professor, Doctor of Technical Science, E. Poliakov, postgraduate,
Yu. Marushchenko, student, KhNAHU

Abstract. The demands for measurement accuracy of signals at the sensor output are examined in order to ensure a high quality of the input signal reconstruction.

Key words: sensor, inverse problem, signal reconstruction, genetic algorithm.

Вступ

При випробуваннях машин для вимірювання їх параметрів в якості первинних перетворювачів сигналів використовуються різні типи датчиків, які спотворюють вхідні сигнали. Частково це зумовлено інерційністю первинних перетворювачів і в деяких випадках може привести до неправильного прийняття рішення і до появи сумнівів щодо достовірності отриманої інформації. В цьому випадку доцільним є відновлення сигналу, що надійшов на вхід датчика. Проте для розрахунку сигналу на вході датчика потрібно знати вихідний сигнал із високою точністю. Реально

вихідний сигнал датчика визначається з деякими похибками. Тому потрібно оцінити, при яких похибках якісне відтворення сигналу на вході датчика стає неможливим.

Аналіз публікацій

Проблема відновлення сигналу на вході датчика відноситься до обернених задач [1–3]. В публікації [4] розглянуто різні способи опису сигналів і характеристики оптимальних систем їх обробки. Способи застосування генетичних алгоритмів для розв'язання інженерних задач – в [5]. В публікації [6] викладено питання теорії випадкових функцій.

Мета і постановка задачі

Маємо на меті – визначення вимог до точності вимірювання сигналів датчиками при використанні вихідних сигналів для розв'язання оберненої задачі. Задачею роботи є побудова моделі системи відновлення сигналу на вході датчика на основі генетичного алгоритму з урахуванням похибок.

Розв'язання задачі

Для розв'язання даної задачі необхідною вимогою є наявність інформації про характеристики первинного перетворювача, зокрема імпульсної характеристики датчика. Реально характеристики датчика залежать від багатьох чинників: типу датчика, умов його установки на об'єкти, умов роботи (температура, вібрації, вологість тощо). Тому заздалегідь приписати датчику конкретні характеристики не завжди вдається. У випадку, якщо імпульсна характеристика не відома, задача відновлення сигналу на вході датчика не може бути розв'язана відомими методами сліпої обробки. Обов'язковою умовою є наявність будь-якої апріорної інформації (навіть неповної) про форму імпульсної характеристики.

Нехай ми маємо приблизне уявлення про форму імпульсної характеристики, що задається, наприклад, у вигляді розподілу Накагамі

$$h(t) = \frac{2}{\tilde{A}(m)} \left(\frac{m}{l} \right)^m t^{2m-1} \exp \left(-\frac{mt^2}{l} \right), \quad (1)$$

$$t > 0, \quad l > 0, \quad m \geq 0,5,$$

де m, l – невідомі параметри, які характеризують форму імпульсного відгуку. На вході датчика розкладемо сигнал в ряд Карунена-Лосева [4]

$$x(t) = \sum_{i=1}^n a_i \psi_i(t), \quad (2)$$

де випадкові коефіцієнти a_i ряду невідомі, а функції $\psi_i(t)$ є ортонормованими базисними і вибираються дослідником. Вихідний сигнал датчика визначається з рівняння згортки

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) x(t-\tau) d\tau + n(t), \quad (3)$$

де $h(t)$ – імпульсна характеристика датчика, яка представляється формулою типу (1), а $n(t)$ – адитивний випадковий процес (шум), який ми приймаємо як білий гаусівський шум. Введемо функціонал, який містить різницю між вимірним сигналом на виході датчика $y(t)$ і розрахованим аналогічним сигналом з урахуванням розкладання вхідного сигналу в ряд (2). Функціонал залежить від $n+2$ змінних, де n – кількість членів ряду (2), а дві змінні характеризують форму імпульсної характеристики (2)

$$J(a_1, \dots, a_n, m, l) = \int_{-\infty}^{\infty} [y(t) - \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \sum_{i=1}^n a_i \psi_i(t-\tau) d\tau - n(t)]^2 dt. \quad (4)$$

Мінімізуємо функціонал (4) за допомогою генетичного алгоритму і знаходимо коефіцієнти випадкового процесу на вході датчика і параметри (m, l) імпульсної характеристики.

Інтегральною характеристикою достовірності отриманих результатів будемо вважати кут між модельним $x(t)$ (тобто відомим сигналом, що нами задавався) і перерахованим сигналом $x_r(t)$.

$$\varphi = \arccos \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x(t) x_r(t) dt}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt} \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} x_r^2(t) dt}}. \quad (5)$$

Після знаходження глобального мінімуму (4) визначаємо коефіцієнти ряду Карунена-Лосева і параметри імпульсної характеристики (1), а потім реалізацію вхідного сигналу за формулою (2). Отже, можна визначити кут (5) між заданим і перерахованим сигналами.

Приклад перерахунку сигналу на вхід датчика приведений на рис. 1.

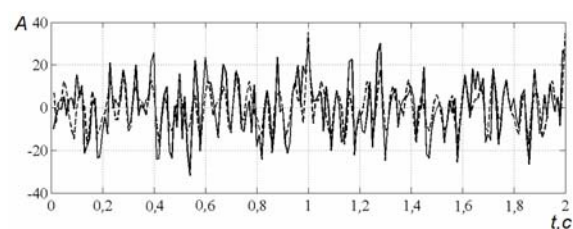


Рис. 1. Вхідний (суцільна лінія) і перерахований на вхід (пунктир) сигнал

Для оцінки точності відновлення сигналу розраховувався також коефіцієнт кореляції.

На рис. 2 приведено залежність кута φ і коефіцієнта кореляції K між реалізаціями вхідного і перерахованого сигналів від співвідношення сигнал-шум. При співвідношенні сигнал-шум 5 коефіцієнт кореляції майже рівний 1, кут – приблизно 10 градусів, що вказує на високу точність відновлення сигналу.

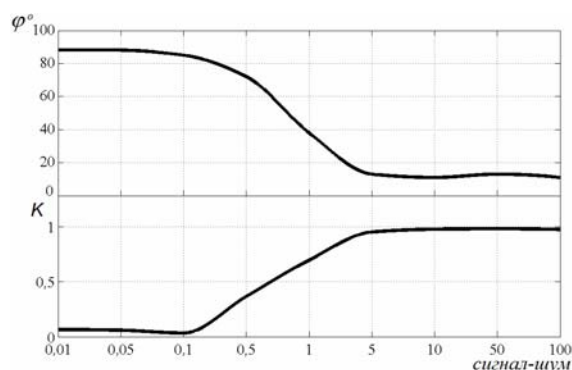


Рис. 2. Залежність кута φ і коефіцієнта кореляції K між реалізаціями вхідного і перерахованого сигналів від співвідношення сигнал-шум

На рис. 3 представлено графік, що описує зв'язок між розрахованими значеннями кута φ і коефіцієнта кореляції K .

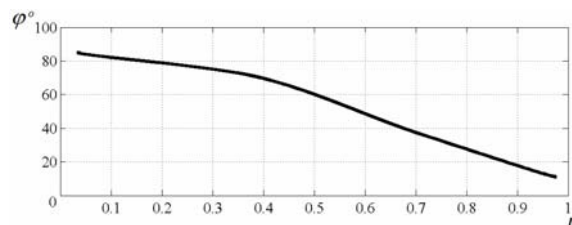


Рис. 3. Залежність коефіцієнта кореляції між реалізаціями вхідного і перерахованого сигналів від кута у функціональному просторі між цими випадковими процесами

Під впливом умов, в яких працює датчик, і зміни його характеристик з часом можуть з'являтися похибки вихідного сигналу, що не спричинені характеристиками випадкового процесу, який потрапляє на його вхід. Дані умови можуть впливати на дисперсію і математичне сподівання вихідного сигналу, що знижує точність роботи системи, тому похибки датчика необхідно враховувати при визначенні границь застосування методу.

Для дослідження впливу їх величини на точність розрахунку було проведено моделювання.

На рис. 4 приведено залежність коефіцієнта кореляції від величини похибки математичного сподівання вихідного сигналу датчика, що представлена у відсотках як відношення величини похибки сподівання до амплітуди сигналу. При розмірі похибки, більший за 10 відсотків точність починає різко зменшуватись і після досягнення 50 % відновлення сигналу стає практично неможливим.

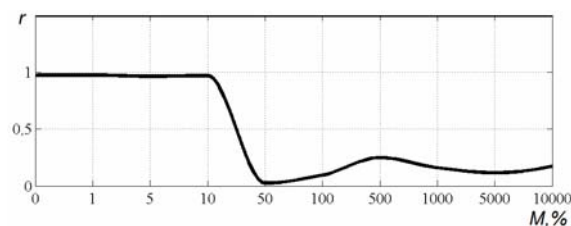


Рис. 4. Залежність коефіцієнта кореляції K між реалізаціями вхідного і перерахованого сигналів датчика від величини похибки математичного сподівання вихідного сигналу датчика

Зниження точності, подібне до даного, відбувається і при розрахунку коефіцієнтів імпульсної характеристики (рис. 5).

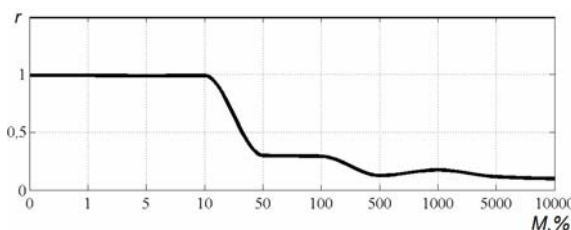


Рис. 5. Залежність коефіцієнта кореляції K між відомою і перерахованою імпульсною характеристикою датчика від величини похибки математичного сподівання вихідного сигналу датчика

Похибка дисперсії D також представлена в процентах як відношення до квадрата амплітуди сигналу. На рис. 6 представлено залежність точності відновлення вхідного сигналу від похибки дисперсії. Зниження точності відбувається при D , більший за 20 відсотків, а при 100 % відновлення неможливе.

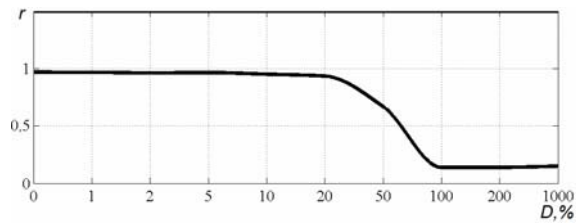


Рис. 6. Залежність коефіцієнта кореляції K між реалізаціями вхідного і перерахованого сигналів від величини похибки дисперсії

В представленій на рис. 7 залежності, як і у випадку перерахунку вхідного сигналу, точність за величини похибки дисперсії, більшої 20 %, зменшується, проте складності зі знаходженням імпульсної характеристики з'являються вже після того, як похибка досягає приблизно 50 %.

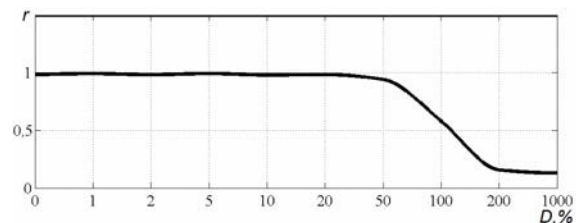


Рис. 7. Залежність коефіцієнта кореляції K між відомою і перерахованою імпульсною характеристикою датчика від величини похибки дисперсії

Висновки

Результати моделювання показують високий рівень точності реконструкції вхідного сигналу та імпульсної характеристики датчика за умови, що величина похибок математичного сподівання і дисперсії вихідного сигнала

датчика не перевищують відповідно 10 і 20 відсотків. Це вказує на обмеження щодо застосування методу відновлення вхідних сигналів для датчиків, точність яких не відповідає зазначеним вимогам.

Література

1. Чинков В.Н. Оптимальный метод дискретизации сигналов по минимуму погрешности восстановления / В.Н. Чинков // Украинський метрологічний журнал. – 2010. – № 1. – С. 22–30.
2. Горячкин О.В. Методы слепой обработки сигналов и их применение в системах электросвязи / О.В. Горячкин // Электросвязь. – 2006. – № 7. – С. 22–24.
3. Abed-Meraim K. Blind System Identification / K. Abed-Meraim, W. Hua, Y. Liu // IEEE Proceeding. – 1997. – Vol. 85. – P. 1308–1322.
4. Френкс Л. Теория сигналов / Л. Френкс. – М.: Сов. радио, 1974. – 344 с.
5. Mitsuo G. Genetic algorithms and engineering optimization / Mitsuo Gen, Runwei Cheng. – New York: A Wiley-Interscience Publication, 2000. – 495 p.
6. Гихман И.И. Введение в теорию случайных процессов / И.И. Гихман, А.В. Скороход. – М.: Наука, 1965. – 568 с.

Рецензент: Л.І. Нефьодов, професор, д. т. н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 10 червня 2011 р.