

Обґрунтовані вимоги щодо точності відтворення тестових сигналів в інтересах забезпечення високої якості корекції динамічних похибок вимірювань методом наближеного розв'язання оберненої задачі

Ключові слова: метрологічне забезпечення, тестові сигнали, обернена задача, відновлення сигналів, генетичний алгоритм

Обоснованы требования к точности воспроизведения тестовых сигналов в интересах обеспечения высокого качества коррекции динамических погрешностей измерений методом приближенного решения обратной задачи

Ключевые слова: метрологическое обеспечение, тестовые сигналы, обратная задача, восстановление сигналов, генетический алгоритм

ВИМОГИ ДО ВІДТВОРЕННЯ ТЕСТОВИХ СИГНАЛІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МЕТОДУ КОРЕКЦІЇ ПОХИБОК

Є.О. Поляков

Асистент

Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет

вул. Петровського, 25, м. Харків, Україна, 61002

Контактний тел.: 097-712-90-03

E-mail: Eug_P@mail.ru

1. Вступ

Отримання точних результатів динамічних вимірювань ускладнюється умовами, в яких працюють датчики [1]. Виникнення спотворювань при вимірюваннях вихідного сигналу може бути обумовлено, наприклад, розгодуванням амплітудно-частотної характеристики датчика зі спектром вхідного сигналу. Отже, в окремих ситуаціях з'являється необхідність визначення сигналу на вході датчика. Задача відновлення вхідного сигналу є класичним методом корекції динамічних похибок і широко відома науці на сьогоднішній день. Дана стаття є продовженням [2, 3], в яких запропоновано метод наближеного розв'язання оберненої задачі і встановлені вимоги до його метрологічного забезпечення.

До основних завдань метрологічного забезпечення належать [1]:

- передача розмірів одиниць від еталонів робочим засобам вимірювань;
- нормування і визначення динамічних характеристик засобів вимірювання;
- оцінювання і корекція похибок вимірювань.

В [3] проведений аналіз першого та третього завдання. Детальніше розглянемо друге. Найчастіше динамічна характеристика визначається по реакції засобу вимірювань на відомий випробувальний сигнал.

В роботі [2] застосовуються опосередковані методи визначення динамічних характеристик, які в загальному випадку є некоректними. Ці методи дозволяють визначати імпульсну характеристику по відомому нехарактеристичному випробувальному сигналу. В опосередкованих методах [1] використовуються випробувальні сигнали типових форм, що створюються за допомогою спеціальних генераторів.

Для теоретичної перевірки якості роботи методу наближеного розв'язання оберненої задачі на вхід системи необхідно подати промодельований тестовий

сигнал відомої форми. В якості тестового обрано сигнал синусоїдальної форми, що обумовлено його універсальністю і зручністю використання для запропонованого методу.

В реальних умовах форма сигналу на виході генератора може спотворюватись. Таким чином, на практиці буде відновлюватись вже не заданий вхідний сигнал, а інший, змінений.

Отже, необхідно оцінити вплив похибок відтворення вхідного сигналу на точність його відновлення. Якісною автор вважає корекцію з відносною динамічною похибкою не більше 10% і коефіцієнтом кореляції, що перевищує 0,9. Перерахунок вихідного сигналу на вхід датчика запропонованим методом розв'язання оберненої задачі вимірювань автор називає відновленням, а генерування вхідного сигналу за допомогою спеціальних приладів – відтворенням.

Мета роботи – визначення вимог до точності відтворення тестових сигналів на виході датчика в інтересах забезпечення високої якості корекції динамічних похибок вимірювань методом наближеного розв'язання оберненої задачі.

2. Розв'язання задачі

Суть запропонованого автором методу наближеного розв'язання оберненої задачі [2] наступна.

Нехай ми маємо приблизне уявлення про форму імпульсної характеристики датчика, що задається у загальному вигляді, наприклад,

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

$$t > 0, l > 0, m \geq 0.5$$

де m, l - невідомі параметри, які характеризують форму імпульсного відгуку.

На вході датчика маємо сигнал, який розкладається в ряд Карунена-Лоева [4]:

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

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

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

де $h(t)$ – імпульсна характеристика датчика, яка представляється формулою типу (1), а $n(t)$ – адитивний випадковий процес (шум). Введемо функціонал [2], який містить різницю між виміряним 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)

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

Мінімізація функціоналу (4) виконувалась за допомогою генетичного алгоритму [5] і знаходились коефіцієнти випадкового процесу на вході датчика і параметри (m, l) імпульсної характеристики.

Після знаходження глобального мінімуму (4) визначались коефіцієнти ряду Карунена-Лоева і параметри імпульсної характеристики (1), а потім знаходилась реалізація вхідного сигналу за формулою (2).

Прийнято, що тестовий сигнал типової форми, що використовувався в роботі має вигляд:

$$y(t) = A \sin(\omega t) + n(t); \tag{5}$$

де A , ω - амплітуда і частота сигналу, $n(t)$ - шум. Далі буде проведений аналіз результатів математичного моделювання для випадків неточного відтворення частоти, амплітуди сигналу і наявності шумової складової

У випадку появи похибок відтворення вхідного сигналу генератором, необхідно оцінювати вже не тільки точність розв'язання оберненої задачі вимірювань, а загальну похибку, що спричинена обома складовими.

На рис. 1 зображено узагальнену схему методу корекції динамічних похибок датчиків на основі оберненої задачі вимірювань з урахуванням генератора сигналів. Блок розв'язання оберненої задачі позначений тут як «обернений оператор», на виході якого є відновлений сигнал $x'(t)$. За допомогою блоків порівняння оцінюється точність відновлення. Відносна похибка розраховувалась як відношення амплітуди динамічної похибки до амплітуди вхідного сигналу. При розв'язанні оберненої задачі вихідний сигнал $y(t)$ формується в результаті надходження на вхід датчика генерованого $x_2(t)$. Похибка $\delta_1(t)$ розраховується

як різниця реального сигналу $x(t)$ і відновленого $x'(t)$, тоді як відновлюється сигнал з виходу генератора $x_1(t)$ з похибкою $\delta_2(t)$. Блок порівняння 2 реально побудувати важко і тому він на схемі зображений умовно для пояснення проведених в статті розрахунків з визначення впливу похибок генерування сигналу на точність запропонованого методу корекції динамічних похибок датчиків.

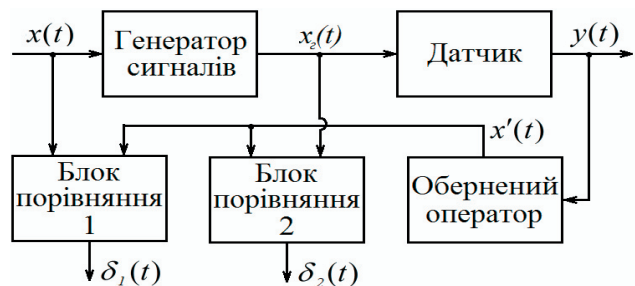


Рис. 1. Структурна схема методу корекції динамічних похибок на основі розв'язання оберненої задачі вимірювань

В статті розраховувались:

- похибка корекції вхідного сигналу $\delta_1(t)$ між реальним вхідним $x(t)$ сигналом і перерахованим $x'(t)$;
- похибка розв'язання оберненої задачі вимірювань $\delta_2(t)$ між відтвореним генератором $x_1(t)$ і перерахованими сигналами $x'(t)$;
- похибка генерування $\delta_{ген}(t)$ між реальним вхідним $x(t)$ і відтвореним $x_1(t)$ сигналами.

Результати розрахунку при наявності похибок генерування частоти приведені на рис. 2. З рисунку випливає, що запропонованим методом при наявності похибок відтворення сигналу відновлюється спотворений генератором сигнал, що вказує на значну чутливість методу до похибок, які обумовлені спотворенням частоти вхідного сигналу. Вони не повинні перевищувати 2-3%.



Рис. 2. Залежність похибки корекції сигналу (суцільна лінія), його генерування стендом (пунктир) і розв'язання оберненої задачі (штрихпунктир) від величини похибки відтворення частоти тестового сигналу

Розрахунки для наявності похибок генерування амплітуди сигналу наведені далі на рис. 3. Результати можна вважати допустимими при похибках відтворення амплітуди 10-15%.

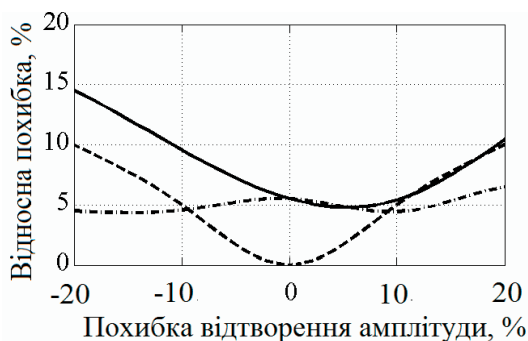


Рис. 3. Залежність похибки корекції сигналу (суцільна лінія), його генерування стендом (пунктир) і розв’язання оберненої задачі (штрихпунктир) від величини похибки відтворення амплітуди тестового сигналу

Для випадку наявності шумів при відтворенні вхідного сигналу (рис. 4) корисними є фільтруючі властивості методу наближеного розв’язання оберненої задачі вимірювань. Похибка корекції сигналу не перевищує 2-3% і не залежить від даного параметра. Звісно, як впливає з попередніх досліджень, дана умова справедлива тільки для шумів, що не перевищують 100% від амплітуди вхідного сигналу, проте, такий їх рівень не властивий генераторам тестових сигналів.

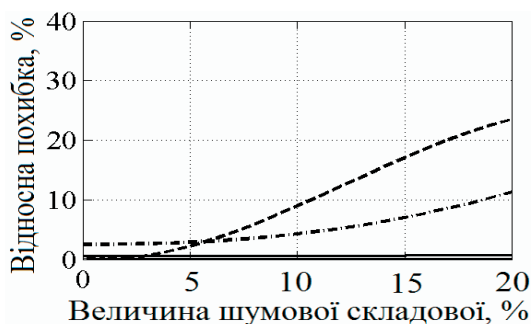


Рис. 4. Залежність похибки корекції сигналу (суцільна лінія), його генерування стендом (пунктир) і розв’язання оберненої задачі (штрихпунктир) від величини похибки, що спричинена наявністю шумів при відтворенні тестового сигналу

Abstract

Determination of the dynamic characteristics of sensors is the important problem in metrology. To solve this problem the approximate method of input signal reconstruction is used. The impulse characteristics and parameters of input signals are evaluated while using the proposed method. Usually sensor characteristics are identified by means of a special experiment in which a test signal comes to the sensor input. Deterministic test signals are more accurately reproduced compared to the random ones. The influence of errors of a harmonic test signal reproduction on the accuracy of an input signal reconstruction is considered in the article. The analytical results indicate a good quality of test signals reconstruction

Keywords: metrological support, test signals, inverse problem, signal reconstruction, genetic algorithm

3. Висновки

В статті отримано наступні вимоги до тестових сигналів при використанні методу корекції динамічних похибок на основі наближеного розв’язання оберненої задачі:

- похибки відтворення частоти істотно впливають на корекцію сигналу і не повинні перевищувати 2-3%;
- похибки відтворення амплітуди не повинні перевищувати 10-15%;
- наявність шумів при відтворенні вхідного сигналу не впливає на точність відновлення реального вхідного сигналу через фільтруючі властивості методу.

Отже, за результатами проведених в статті розрахунків випливає, що існують вимоги до параметрів тестових сигналів, які повинні бути враховані при підготовці таких процедур, як, наприклад, калібрування датчиків запропонованим методом з використанням генераторів сигналів.

Література

1. Грановский, В. А. Динамические измерения: Основы метрологического обеспечения [Текст] / В. А. Грановский. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1984. – 224 с.
2. Полярус, О. В. Метод відновлення сигналу на вході датчика [Текст] / О. В. Полярус, Є. О. Поляков // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков : НТУ «ХПИ», 2011. № 57. – С. 142-147.
3. Полярус, О. В. Метрологічне забезпечення при відновленні сигналів на вході лінійних інерційних датчиків [Текст] / О. В. Полярус, Є. О. Поляков / Системи обробки інформації. – Харків : ХУПС, 2011. С. 99-101.
4. Френкс, Л. Теория сигналов [Текст] / Френкс Л. – М.: Сов. радио, 1974. – 344с.
5. Mitsuo, G. Genetic algorithms and engineering optimization [Текст] / Mitsuo Gen, Runwei Cheng. – New York: A Wiley-Interscience Publication, 2000. – 495 p.