УДК 621.3.088.7

М.А. Дороніна, В.І. Корсун

ДВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ

ВИКОРИСТАННЯ ЗБУРЕНЬ ХВИЛЬОВОЇ СТРУКТУРИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВІДТВОРЕННЯ ВХІДНОГО СИГНАЛУ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАННЯ

Запропоновано новий підхід до розв'язання оберненої задачі динаміки – визначення оцінки сигналу на вході засобу вимірювання. Для підвищення точності вимірювань використовується теорія збурень хвильової структури. Останнє реалізується за рахунок представлення невідомого сигналу приладу у вигляді суми двох складових: детермінованої та випадкової, що має хвильову структуру. Далі за допомогою спостерігачів стану знаходиться оцінка другої складової. Об'єднання знайденої оцінки з детермінованою складовою дає оцінку вхідного сигналу приладу. Наведено результати обчислювального експерименту.

Ключові слова: *точність вимірювання, детермінована та випадкова складові, збурення хвильової структури.*

Вступ

У своєму розвитку теорія і практика динамічних вимірювань пройшла ряд етапів, серед яких слід виділити етап пов'язаний з використанням мікропроцесорної вимірювальної техніки. Під час реалізації цього етапу знайшли подальший розвиток не тільки апаратні частини вимірювальних засобів, але й було суттєво удосконалено та створено нове їхнє математичне та програмне забезпечення. При створенні математичного забезпечення використовувались сучасні математичні методи, в тому числі і методи розв'язання обернених задач динаміки [1].

Класичний підхід до розв'язання оберненої задачі полягає у знаходженні сигналу на вході датчика за умови, що відомими є його оператор та вихідний сигнал. Вихідний сигнал датчика при цьому являє собою результат згортки його відомої імпульсної перехідної функції та вхідного сигналу. Останній знаходиться шляхом розв'язання інтегрального рівняння згортки. До недоліку зазначеного методу слід віднести необхідність знання точної математичної моделі датчика (імпульсної перехідної функції). Якість відновлення вхідного сигналу в значній мірі тут залежить від якості апріорної інформації і може суттєво знижуватись навіть при незначних неточностях в моделі імпульсної характеристики об'єкта [2].

Вимірювальний засіб повинен забезпечити високу якість своєї роботи при наявності різних збурень, які діють на нього в умовах експлуатації.

Збурення, які мають місце в реальних процесах вимірювань або оцінки параметрів та сигналів об'єктів можна поділити на дві великі групи:

- збурення типу шуму;
- збурення хвильової структури.

Реалізації шумових збурень мають хаотичний характер. Для їх опису використовуються такі числові характеристики, як математичне очікування, дисперсія, кореляційні функції тощо. Вони надають інформацію про середнє значення, розмах збурень, швидкість зміни стохастичних процесів, зв'язок між ними. Цей вид збурень знайшов найбільше відображення у роботах з теорії автоматичного керування, теорії зв'язку та класичній метрології. Що ж стосується збурень хвильової структури, то вони, як правило, мають кусково-детермінований характер і можуть змінюватись у випадкові моменти часу:

$$w(t) = c_1 f_1(t) + c_2 f_2(t) + \dots + c_n f_n(t), \qquad (1)$$

де $f_i(t)$ – відомі функції; c_i – випадкові коефіцієнти $(i = \overline{1, n})$.

Інформація, яку надають збурення хвильової структури суттєво відрізняється від інформації, що передається традиційними числовими характеристиками стохастичних процесів, заснованих на довгострокових вибірках. Представлення процесів хвильової структури у відповідності до роботи Джонсона дозволяє синтезувати за допомогою них дієздатні вимірювальні системи, що здатні оцінювати не тільки невідомі збурення на вході, виході та в середині досліджуваного об'єкта, але й вимірювати часові затримки, що здійснюються оператором останнього.

Мета статті – розроблення алгоритму відновлення невідомого сталого сигналу на вході вимірювального засобу при повній інформації про математичний оператор останнього і невідомих початкових умовах.

Виклад основного матеріалу

Під час створення системи оцінки вхідного сигналу вимірювального засобу було використано теоретичний апарат збурень хвильової структури. При цьому збурення були представлені у вигляді вихідних сигналів моделей в змінних стану вільних динамічних систем з невідомими початковими умовами, які випадково змінюються [3]. В подальшому здійснювалась оцінка змінних «стану збурення» та моделі засобу вимірювання.

Відтворення невідомого нам вхідного сигналу об'єкта продемонструємо на наступному прикладі. Про об'єкт відомо, що він описується рівнянням:

$$y^{(2)}(t) + 2y^{(1)}(t) + 26y(t) = 26u(t), \qquad (2)$$

де початкові значення $y(0)$ та $y^{(1)}(0)$ невідомі, вихідний сигнал $y(t)$ вимірюється, а про вхідний сигнал $u(t)$ відомо, що він є сталою величиною.

Для розв'язання задачі представимо сигнал $u(t)$ наступним чином:

$$u(t) = 1[t] = 0{,}9 \cdot 1[t] + w . \qquad (3)$$

У (3) присутня складова w, значення якої є невідомим. Вона ж сама може бути розглянута як збурення хвильової структури. З урахуванням (3) диференціальне рівняння (2) запишемо у вигляді моделі в змінних стану:

$$x_1^{(1)}(t) = x_2(t); \quad x_2^{(1)}(t) = -26x_1(t) - 2x_2(t) + \\ +26x_3(t) + 26 \cdot 0{,}9 \cdot 1[t]; \; x_3^{(1)}(t) = 0; \; x_1(0) = 0{,}5; \qquad (4)$$

$$x_2(0) = -0{,}2\,, \; x_3(0) = w = 0{,}1\,, \; y(t) = x_1(t),$$

яку також запишемо у векторно-матричній формі:

$$dx(t)/dt = Ax(t) + Bu(t), \; x(0) = x_0, \; y(t) = Cx(t),$$

де $x(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix}$, $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -26 & -2 & 26 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$, $x_0 = \begin{bmatrix} 0{,}5 \\ -0{,}2 \\ 0{,}1 \end{bmatrix}$,

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 23{,}4 \\ 0 \end{bmatrix}, \; C = [1 \quad 0 \quad 0], \; u(t) = 1[t].$$

Оскільки мова йде про оцінку значення ω, то знайдемо ранг матриці відтворюваності

$$Q = \begin{bmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -26 & -2 & 26 \end{bmatrix}.$$

Тут $\det(Q) = 26 \neq 0$, тому $\mathrm{rang}(Q) = 3$. Тобто ранг матриці відтворюваності дорівнює числу рівнянь системи (4)).

Останнє означає, що невідома величина ω може бути оцінена будь-яким з відомих методів.

Оцінку ω знайдемо за допомогою спостерігача Р. Калмана, який у даному випадку описується векторно-матричним рівнянням

$$d\hat{x}(t)/dt = (A - LC)\hat{x}(t) + Bu(t) + Ly(t), \; \hat{x}(0) = 0. \qquad (5)$$

Тут $\hat{x}(t) = [\hat{x}_1(t) \quad \hat{x}_2(t) \quad \hat{x}_3(t)]^T$ є вектором складових, які оцінюють складові вектора $x(t)$ стану моделі (4), а вектор $L = [l_1 \quad l_2 \quad l_3]^T$, що входить до матриці $A - LC$ визначається у такий спосіб. Записуємо характеристичне рівняння матриці $A - LC$:

$$\det[\lambda E - (A - LC)] = \lambda^3 + (l_1 + 2)\lambda^2 + \\ +(2l_1 + l_2 + 26)\lambda + 26l_3 = 0 . \qquad (6)$$

З метою забезпечення необхідної динаміки зміни складових вектора $\hat{x}(t)$ при оцінці змінних стану моделі (4) розташуємо корені знайденого характеристичного рівняння за біноміальною формою [4]. Виберемо його корені рівними

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = -3 .$$

Усі вони задовольняють кубічному рівнянню

$$(\lambda + 3)^3 = \lambda^3 + 9\lambda^2 + 27\lambda + 27 = 0 . \qquad (7)$$

Оскільки реальне характеристичне рівняння (6) повинно співпадати з бажаним характеристичним рівнянням (7), то маємо систему рівнянь

$$\begin{cases} l_1 + 2 = 9; \\ 2l_1 + l_2 + 26 = 27; \\ 26l_3 = 27, \end{cases}$$

розв'язком якої є: $l_1 = 7, \; l_2 = -13, \; l_3 = 27/26$.

Підставивши вектор $L = [7 \quad -13 \quad 27/26]^T$ до (5), отримаємо систему диференціальних рівнянь, які описують процес оцінки змінних стану $x_1(t), x_2(t)$ і $x_3(t)$

$$\begin{cases} \hat{x}_1^{(1)}(t) = 7x_1(t) - 7\hat{x}_1(t) + \hat{x}_2(t); \\ \hat{x}_2^{(1)}(t) = 13x_1(t) - 12\hat{x}_1(t) - 2\hat{x}_2(t) + \\ \qquad +26\hat{x}_3(t) + 26 \cdot 0{,}9 \cdot 1[t]; \\ \hat{x}_3^{(1)}(t) = 27\left(x_1(t) - \hat{x}_1(t)\right)/26, \end{cases} \qquad (8)$$

де $\hat{x}_1(0) = 0, \; \hat{x}_2(0) = 0, \; \hat{x}_3(0) = 0$.

Далі наведемо результати обчислювальних експериментів з розробленим алгоритмом оцінки вхідного сигналу u(t) при рівні завади ω = 0,1 (рис. 1 – 3). Змінивши значення завади (ω = – 0,2), отримаємо результати відтворення сигналу u(t) на рис. 4 – 6.

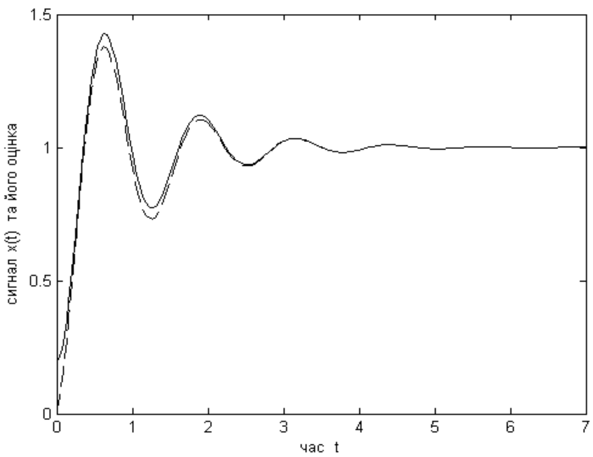

Рис. 1. Графіки вихідного сигналу x(t) та його оцінки $\hat{x}(t)$ при заваді ω = 0,1

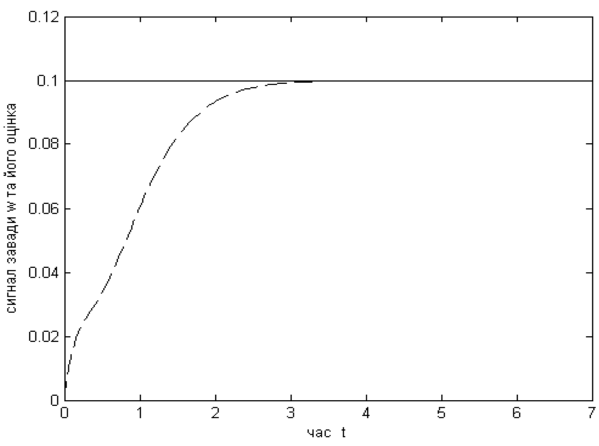

Рис. 2. Графіки завади ω = 0,1 та її оцінки

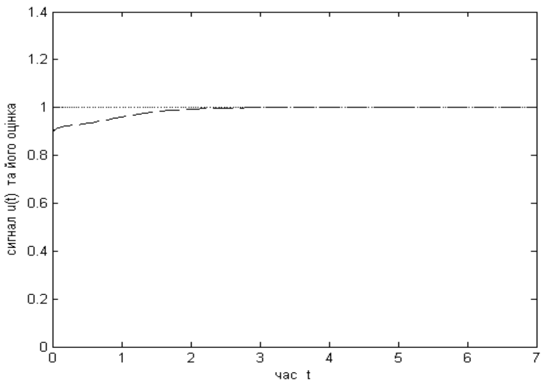

Рис. 3. Графіки вхідного сигналу u(t) = 1[t] та його відтвореної оцінки при заваді ω = 0,1

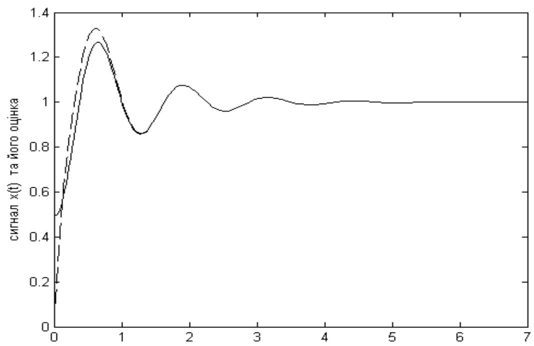

Рис. 4. Графіки вихідного сигналу x(t) та його оцінки $\hat{x}(t)$ при заваді ω = – 0,2

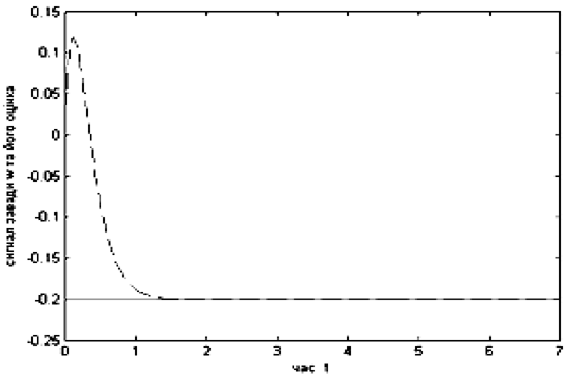

Рис. 5. Графіки завади ω = – 0,2 та її оцінки

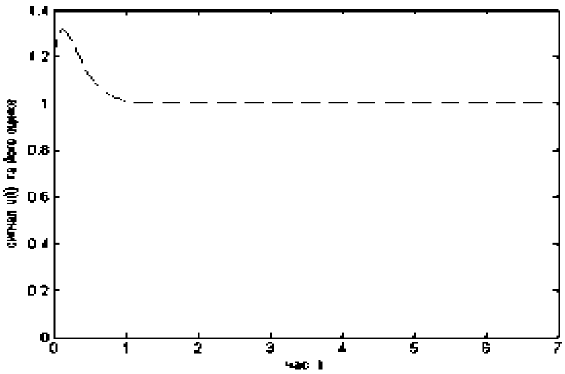

Рис. 6. Графіки вхідного сигналу u(t) = 1[t] та його відтвореної оцінки при заваді ω = – 0,2

Висновки та перспективи подальших досліджень

Запропонований алгоритм відтворення вхідного сигналу засобу вимірювання продемонстрував свою ефективність при роботі зі сталим сигналом. Проте, подібний алгоритм може бути створений і для більш складних вхідних сигналів. Якщо ж скористатись принципом дуалізму понять сигналу і системи, то розглянутий підхід можна запропонувати і для засобів вимірювання з відомими структурами, але невизначеними параметрами.

Список літератури

1. Василенко Г.И. Теория восстановления сигналов: о редукции к идеальному прибору в физике и технике / Г.И. Василенко. – М.: Сов. радио, 1979. – 272 с.

2. Френкс Л. Теория сигналов / Л. Френкс; пер. с англ. Под ред. Д.Е. Вакмана.- М.: Сов. радио, 1974. – 344 с.

3. Андреев Ю.Н. Управление конечномерными линейными объектами / Ю.Н. Андреев. – М.: Наука, 1976. – 424 с.

4. Квакернаак Х. Линейные оптимальные системы управления / Х. Квакернаак, Р. Сиван. – М.: Мир, 1977. – 652 с.

Надійшла до редколегії 24.03.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Михальов, ДВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ ВОЛНОВОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ВХОДНОГО СИГНАЛА СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

М.А. Доронина, В.И. Корсун

Предложен новый подход к решению обратной задачи динамики – определению оценки сигнала на входе средства измерения. Для повышения точности измерений используется теория возмущений волновой структуры. Последнее реализуется посредством представления неизвестного сигнала прибора в виде суммы двух составляющих: детерминированной и случайной. Далее при помощи наблюдателей состояния находится оценка другой составляющей. Объединение найденной оценки с детерминированной составляющей дает оценку входного сигнала прибора. Приведены результаты вычислительного эксперимента.

Ключевые слова: *точность измерения, детерминированная и случайная составляющие, возмущения волновой структуры.*

USING PERTURBATION WAVE PATTERNS TO IMPROVE THE ACCURACY OF THE INPUT SIGNAL OF MEASUREMENT MEANS

M.A. Doronina, V.I. Korsun

A new approach to solving the inverse problem of dynamics – the measurement of the input signal of measurement means. To improve the accuracy of measurement the theory of wave patterns perturbation is used. The latter is realized by presenting the unknown signal device as the sum of two components deterministic and random. , that has the wave structure. Next, using state observers the evaluation of the second component is found. Combining this evaluation with the deterministic component leads to the evaluation of the input device. The results of computational experiment are given.

Keywords: *measurement accuracy, determined and random components, perturbation wave structure.*