

УЗАГАЛЬНЕННЯ МЕТОДУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЛІНІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ ІМПУЛЬСНОГО СИГНАЛУ

Пропонується модифікація методу ідентифікації лінійних систем за імпульсною характеристикою, що розширює область його застосування. Наведено результати досліджень на прикладі лінійної динамічної стаціонарної дискретної системи.

Предлагается модификация метода идентификации линейных систем по импульсной характеристике расширяющая область его использования. Приведены результаты исследований на примере линейной динамической стационарной дискретной системы.

The modification of identification method for linear systems by pulse response that extends its use area is offered. The research results on example of a linear dynamic stationary discrete system are presented.

Вступ

Добре відомі методи ідентифікації, які основані на застосуванні сигналів спеціальної форми [1]. Часто у випадках, коли це можливо, доцільним є використання спеціальних тестових сигналів, що подаються на об'єкт ззовні [2]. Ці методи передбачають ідентифікацію поза процесом керування, звужуючи область застосування методів ідентифікації за спеціальними сигналами за рахунок неможливості ідентифікації об'єктів, які не можуть бути вимкнені з експлуатації. Додатковою проблемою є генерація тестових сигналів [2].

Метою роботи є розширення області застосування методів ідентифікації за спеціальними сигналами для лінійної динамічної стаціонарної дискретної системи шляхом приведення вхідного сигналу, який недостатньо точно апроксимує обраний спеціальний сигнал, до виду обраного спеціального сигналу. За основу взятий метод ідентифікації за імпульсною характеристикою (ІХ), спеціальний сигнал – дельта-функція Дірака за означенням.

Застосування методу корекції спектрів до алгоритму ідентифікації за імпульсною характеристикою

Математичний апарат методу корекції спектрів (МКС) наданий у [3]. Об'єктом вимірювання є цифровий фільтр, створений за аналоговим прототипом коливальної ланки з параметрами, вказаними в [3]. За чисельну оцінку похибки прийняте середньоквадратичне відхилення (див. [3]).

Дискретний аналог ступеневої дії [4]:

$$1[nT] = \begin{cases} 1, & \text{при } n \geq 0; \\ 0, & \text{при } n < 0, \end{cases} \quad (1)$$

де n – ціле число; T – інтервал дискретизації.

Дискретним аналогом дельта-функції є одинична імпульсна решітчаста функція [4]:

$$\delta[nT] = \begin{cases} 1, & \text{при } n = 0; \\ 0, & \text{при } n \neq 0. \end{cases} \quad (2)$$

Домовимося, що під терміном «ІХ, отримана прямим методом (ПМ)» будемо розуміти вихідний сигнал, при вхідній дії виду (1) (за означенням). ІХ, отримана ПМ – за означенням, вихідний сигнал, при вхідній дії виду (2). Амплітудно-частотна (АЧХ) та фазочастотна (ФЧХ) характеристики, отримані ПМ, – це вирази (3) та (4), відповідно, які отримані з (5) [5]. Характеристики, отримані ПМ, вважатимемо еталонними.

$$A(\omega) = |W(j\omega)|; \quad (3)$$

$$\varphi(\omega) = \arg(W(j\omega)); \quad (4)$$

$$W(j\omega) = F\{p(t)\};$$

$$p(t) = F^{-1}\{W(j\omega)\}, \quad (5)$$

де $W(j\omega)$ – частотно передатна функція; $j = \sqrt{-1}$ – уявна одиниця; $\omega = 2\pi f$ – циклічна частота; F^{-1} – оператор зворотного перетворення Фур'є; $p(t)$ – ІХ системи.

Під терміном «ІХ, отримана за псевдопрямим методом (ППМ)» розумітимемо вихідний

сигнал, при будь-якій вхідній дії, не обов'язково виду (2). Відповідно при вхідній дії виду (2) результати ППМ та ПМ є тотожно рівними. Під «ПХ, отриманою за ППМ» розумітимемо характеристику, знайдену за ІХ, отриманою ППМ, згідно виразу

$$h(t) = \int p(t) dt, \quad (6)$$

замінивши неперервну операцію інтегрування її дискретним аналогом [4].

АЧХ та ФЧХ, отримані ППМ, обраховуються за дискретними аналогами виразів (5), (3) та (4) для ІХ ППМ.

Застосуємо МКС до даного ППМ ідентифікації за ІХ. Вхідним сигналом є сигнал виду (2). Взірцевим сигналом встановимо сигнал виду (2). Не очікується змін у вхідному та вихідному сигналах і відповідно у системних характеристиках.

Використаємо для вирішення даної задачі програмний продукт, ядро якого відображає алгоритм, наведений у [3].

Зведемо в таблицю оцінку похибки для характеристик, отриманих за ППМ та ПМ при однаковому вхідному сигналі виду (2) залежно від застосування МКС.

Таблиця 1

Похибка ідентифікації різними методами		
Системна характеристика	ППМ (без МКС)-ПМ	ППМ (з МКС)-ПМ
ІХ	0	1,25E-16
ПХ	2,08E-16	4,78E-15
АЧХ	0	3,48E-15
ФЧХ	0	1,47E-11

В табл. 1 значення 0 для ІХ в колонці «ППМ (без МКС)-ПМ» очевидне (див. вище за текстом). Ненульове значення оцінки похибки в ПХ виявляє помилку, яка з'являється при обчисленні за допомогою ЕОМ. В колонці «ППМ (з МКС)-ПМ» з'являються ненульові значення помилки, які викривають помилку округлення (в основному через алгоритм дискретного перетворення Фур'є) при обчисленні за допомогою ЕОМ. Дані табл. 1 можна прийняти за зразкові, за найвищу точність ідентифікації системних характеристик за ППМ.

Для демонстрації ефекту застосування МКС додамо до вхідного сигналу адитивну перешкоду, що підкоряється нормальному закону розподілу випадкових величин. Задамо параметри нормального закону розподілу: математичне

сподівання 0, середньоквадратичне відхилення 1. В якості датчика випадкових чисел з нормальним законом розподілу використаємо пакет **stats** субпакет **random** програми **Maple** [6] (використовується той самий зразок перешкоди, що й у [3]).

За допомогою МКС скорегуємо вхідний та вихідний сигнали з адитивною перешкодою. Взірцевим сигналом для шуканого фільтру оберемо вхідний сигнал до підмішування шуму, тобто сигнал виду (2). Очікується, що вихідний зашумлений сигнал набере форми вихідного сигналу без шуму, як відгук на вхідну імпульсну дію без шуму, тобто, отримаємо ІХ за ПМ. Застосовуючи програмний продукт, ядро якого відображає алгоритм, наведений у [3], отримуємо вхідні та вихідні сигнали:

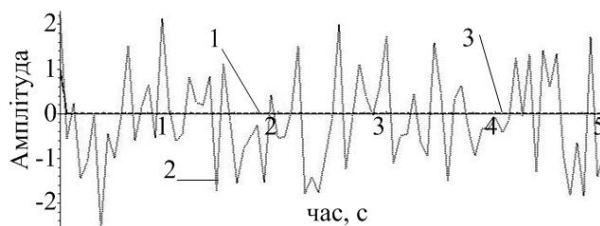


Рис. 1. Вхідні сигнали на інтервалі 0...5 с:
1 – без перешкоди без корекції; 2 – з перешкодою без корекції; 3 – з перешкодою з корекцією

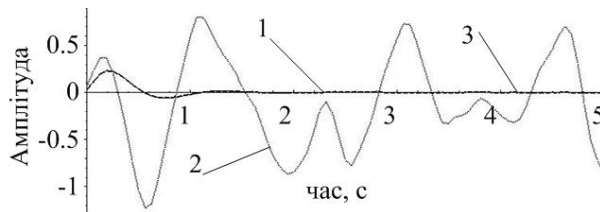


Рис. 2. Вихідні сигнали на інтервалі 0...5 с:
1 – без перешкоди без корекції; 2 – з перешкодою без корекції; 3 – з перешкодою з корекцією

Як видно з рис. 1, вхідний зашумлений сигнал (крива 2) після корекції (крива 3) дійсно прийняв форму до зашумлення (крива 1). Значного покращення зазнала форма вихідного сигналу (крива 3 на рис. 2), отримана після застосування МКС до кривої 2 на рис. 2, порівняно до вихідного сигналу (крива 1 рис. 2) як реакція на криву 1 рис. 1.

Наведемо системні характеристики, отримані за допомогою спеціально розробленої програми (рис. 3 – 5).

Відповідні імпульсні характеристики співпадають з рис. 2.

З табл. 2 видно, що при застосуванні МКС до ідентифікації за ІХ при зашумленому вхідному сигналі відбулося значне покращення якості ідентифікації, оцінюваного за середньоквадратичним відхиленням [3]: ІХ в 343,5 разу;

ПХ в 3168,7 разу; АЧХ в 432,7 разу; ФЧХ в 1,05 разу. Найменшого покращення якості ідентифікації зазнала ФЧХ через неврахування в чисельній оцінці похибки особливостей представлення графіка ФЧХ [7].

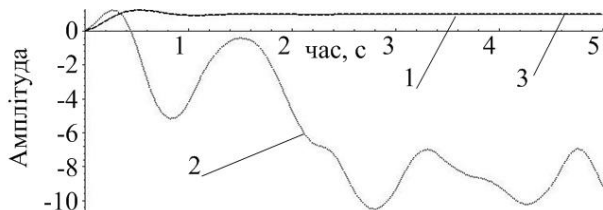


Рис. 3. ПХ на інтервалі 0...5 с:

1 – без перешкоди без корекції (ППМ); 2 – з перешкодою без корекції (ППМ); 3 – з перешкодою з корекцією (ППМ)

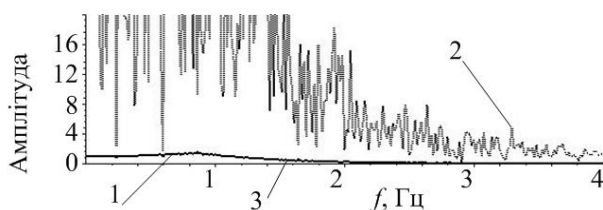


Рис. 4. АЧХ на інтервалі 0...4 Гц:

1 – без перешкоди без корекції (ППМ); 2 – з перешкодою без корекції (ППМ); 3 – з перешкодою з корекцією (ППМ)

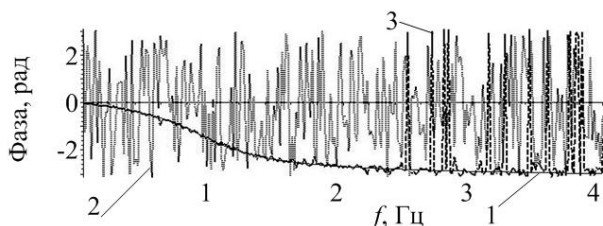


Рис. 5. ФЧХ на інтервалі 0...4 Гц:

1 – без перешкоди без корекції (ППМ); 2 – з перешкодою без корекції (ППМ); 3 – з перешкодою з корекцією (ППМ)

Таблиця 2

Похибка ідентифікації різними методами в залежності від застосування корекції

Системна характеристика	ППМ (без МКС)-ПМ	ППМ (з МКС)-ПМ
ІХ	0,4809	0,0014
ПХ	23,7654	0,0075
АЧХ	15,0131	0,0347
ФЧХ	2,8418	2,7143

З проведеного моделювання видно, що при застосуванні МКС до методу ідентифікації за ІХ відсутній недолік, притаманний застосуванню МКС до методу ідентифікації за ПХ, пов'язаний з особливістю представлення вхідного тестового сигналу виду ступеневої дії у дискретному перетворенні Фур'є, описаний у [3].

Висновки

Застосування МКС до методу ідентифікації за ІХ дозволило розширити область застосування методу ідентифікації за ІХ на вхідні сигнали, форма яких недостатньо точно апроксимує форму імпульсного сигналу на вході. Як і в [3], вводиться обмеження на відсутність нульових компонентів у амплітудному спектрі вхідного сигналу. Через застосування інакшого тестового сигналу, ніж в методі ідентифікації за ПХ, відсутня помилка ідентифікації, вказана в [3].

Як правило, робочий вхідний сигнал є детермінованим і займає вузьку смугу частот. Для виконання вимоги МКС пропонується під час вимірювання додати до робочого вхідного сигналу перешкоду, спектр якої не містить нульових компонент на необхідному діапазоні частот. Перешкода може бути малої енергії для того, щоб не пошкодити ідентифіковану систему та не ввести її в область нелінійності. Це розширює область застосування методу ідентифікації за ІХ і на об'єкти, які не можуть бути вимкнені з експлуатації.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Гроп, Д. Методы идентификации систем [Текст] / Д. Гроп. – М.: Мир, 1979. – 302 с.
2. Эйкхофф, П. Основы идентификации систем управления. Оценивание параметров и состояния [Текст] / П. Эйкхофф. – М.: Мир, 1975. – 680 с.
3. Рибалка, Р. В. Узагальнення методу ідентифікації лінійних динамічних систем за допомогою ступеневого сигналу [Текст] // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 26. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 154-159.
4. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического регулирования [Текст] / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – 3-е изд., испр. – М.: Наука, 1975. – 768 с.
5. Попов, Е. П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления [Текст] : учеб. пособие для вузов / Е. П. Попов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 304 с.
6. Дьяконов, В. Maple 7: учебный курс [Текст] / В. Дьяконов. – СПб.: Питер, 2002. – 672 с.
7. Smith, S. W. The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing [Electron. resource] / Steven W. Smith – Режим доступу: <http://www.dsppguide.com>

Надійшла до редколегії 02.09.2009.

Прийнята до друку 15.09.2009.