

ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ В КОРЕЛЯЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

На основі розробленої імітаційної моделі та проведеного моделювання показано, що як за відсутності, так і за наявності шуму сигнал виду синус, поділений на власний аргумент, не має переваг над сигналом виду дельта-функції в системі вимірювання системних характеристик кореляційним методом ідентифікації.

На основе разработанной имитационной модели и проведенного моделирования показано, что как при отсутствии, так и при наличии шума сигнал вида синус, деленный на собственный аргумент, не имеет преимуществ над сигналом вида дельта-функции в системе измерений системных характеристик корреляционным методом идентификации.

On the basis of the developed imitating model and realized modeling it is shown that at both noise absence and presence a signal of kind of sine divided on its own argument has no advantages above a signal of delta function kind in the system characteristic measurement system by correlation method of identification.

В автоматизованих системах вимірювання системних характеристик лінійних об'єктів намагаються відмовитись від прямих методів вимірювання, які потребують декілька видів вимірювальних сигналів [1, 2]. Як відомо, прямим методом імпульсна характеристика (ІХ) вимірюється за допомогою короткого імпульсу, перехідна характеристика (ПХ) – за допомогою довгого імпульсу (ступеневого сигналу), а вимірювання амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) і фазово-частотної характеристики (ФЧХ) відбувається в усталеному режимі і потребує послідовної подачі на об'єкт синусоїдальних сигналів різних частот.

В непрямих методах використовують один вимірювальний сигнал, адекватний вибраному методу, і всі системні характеристики одержують за допомогою математичної обробки сигналів на вході і виході об'єкта [1, 2, 3]. Як правило, застосовують сигнал виду $\sin(t)/t$ [2], який вважають більше захищеним від шуму порівняно з сигналом виду $\delta(t)$. Серед непрямих добре відомий кореляційний метод вимірювання системних характеристик [4, 5]. Суть методу в тому, що вимірювана взаємнокореляційна функція $R_{xy}(\tau)$ об'єкта дає оцінку імпульсної характеристики $p(t)$ вимірювального об'єкта при умові, що автокореляційна функція $R_{xx}(\tau)$ вимірювального сигналу $x(t)$ дельта-подібна, тобто може бути описана функцією $\delta(t)$. Дійсно, взаємна кореляційна функція між сигналом $x(t)$ на вході і сигналом $y(t)$

на виході об'єкта з імпульсною характеристикою $p(t)$ визначається таким виразом:

$$\begin{aligned} R_{xy}(\tau) &= \int_0^{\infty} y(t)x(t-\tau)d\tau = \\ &= \int_0^{\infty} R_{xx}(\tau-\theta)p(\theta)d\theta. \end{aligned} \quad (1)$$

З виразу (1), відомого в кібернетиці як формула Вінера-Хопфа, при $R_{xx}(\tau-\theta) = \sigma_x^2 \delta(\tau-\theta)$, де σ_x^2 – середня потужність вхідного сигналу, одержуємо

$$R_{xy}(\tau) = \int_0^{\infty} \sigma_x^2 \delta(t-\tau)p(\theta)d\theta = \sigma_x^2 p(\tau), \quad (2)$$

звідки імпульсна характеристика визначається з виразу

$$p(\tau) = \frac{1}{\sigma_x^2} \cdot R_{xy}(\tau). \quad (3)$$

Перехідну характеристику об'єкта одержують з (3) інтегруванням, а для обчислення частотних характеристик прямим перетворенням Фур'є імпульсної характеристики визначають спочатку частотну передатну функцію об'єкта

$$W(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} p(t)\exp(-j\omega t)dt, \quad (4)$$

а потім одержують АЧХ і ФЧХ наступними операціями:

$$A(\omega) = |W(j\omega)|, \quad \varphi(\omega) = \arg W(j\omega). \quad (5)$$

Як видно з (3), основу алгоритму вимірювання імпульсної функції складає корелометр для вимірювання взаємно-кореляційної функції вхідного і вихідного сигналів об'єкта. Для одержання перехідної характеристики алгоритм потрібно доповнити операцією інтегрування імпульсної характеристики, а для одержання частотної передатної функції потрібен обчислювач прямого перетворення Фур'є імпульсної

характеристики. Повна структурна схема приладу для дослідження кореляційного методу вимірювання системних характеристик кореляційним методом показана на рис. 1. В схемі передбачена можливість дослідження точності вимірювання шляхом порівняння виміряних характеристик з обчисленими точними (еталонними) характеристиками об'єкта.

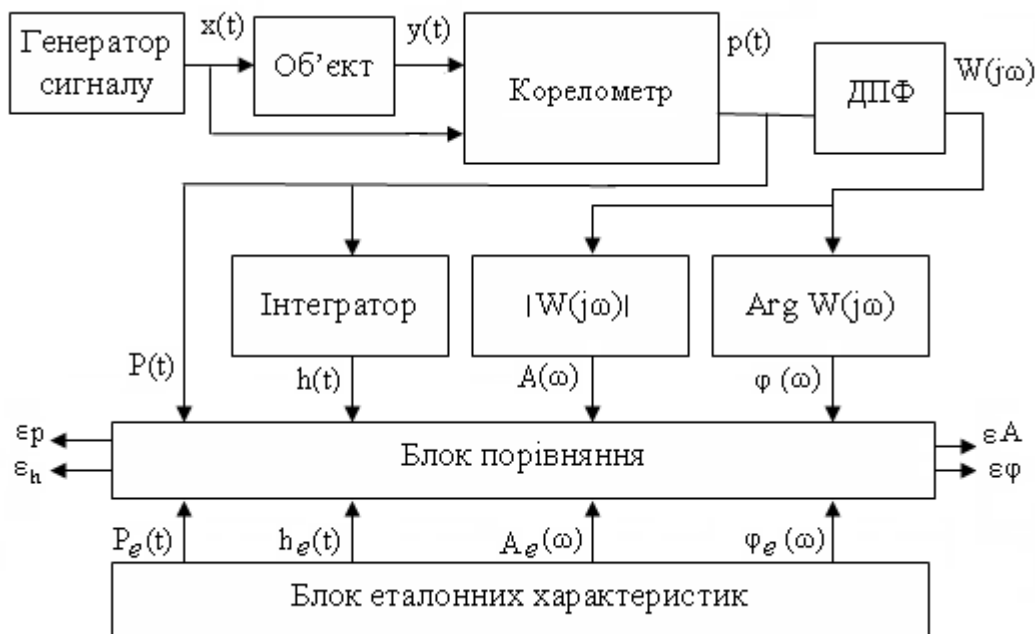


Рис. 1. Структурна схема алгоритму для дослідження кореляційного методу

Основна вимога до вимірювального сигналу кореляційного методу – це забезпечення дельта-подібної автокореляційної функції. З детермінованих сигналів таку вимогу забезпечують короткі імпульси будь-якої форми, якщо їх тривалість значно менша практичної тривалості перехідного процесу вимірювального об'єкта. Серед випадкових сигналів можна використати шумоподібний сигнал, відомий як двійкова псевдовипадкова М-послідовність (ПВП), генерована регістровим датчиком із зворотним зв'язком з певних елементів регістра через суматор за модулем два [6]. Але оскільки на етапі попередніх досліджень було виявлено [8], що точність вимірювання псевдовипадковою послідовністю імпульсів суттєво поступається точності вимірювання детермінованими сигналами, то дослідження проводилось тільки для двох стандартних детермінованих вимірювальних сигналів.

Дослідження точності і перешкодостійкості кореляційного методу виконувалось на імітаційній програмній моделі вимірювальної системи, яка реалізує алгоритм, показаний на

рис. 1. В якості об'єкта вимірювання вибрана коливальна ланка з передатною функцією [7]

$$W(s) = \frac{k_1}{T_1^2 s^2 + 2\xi T_1 s + 1}, \quad 0 < \xi < 1, \quad (6)$$

де k_1 – коефіцієнт підсилення;
 T_1 – постійна часу;
 ξ – коефіцієнт демпфірування.

Випишемо аналітичні вирази для точних системних характеристик ланки, які відіграють роль еталонних:
імпульсна функція

$$p(t) = \frac{k_1}{T_1 \sqrt{1-\xi^2}} e^{-\frac{\xi}{T_1} t} \sin \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T_1} t, \quad t \geq 0; \quad (7)$$

перехідна характеристика

$$h(t) = k_1 \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\frac{\xi}{T_1} t} \sin \left(\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T_1} t + \varphi_1 \right) \right], \quad (8)$$

де $\varphi_1 = \arctg \sqrt{1-\xi^2} / \xi, \quad t \geq 0;$

АЧХ

$$A(\omega) = k_1 / \sqrt{(1 - T_1^2 \omega^2)^2 + 4\xi^2 T_1^2 \omega^2}; \quad (9)$$

ФЧХ

$$\varphi(\omega) = -\arctg \left[2\xi T_1 \omega / (1 - T_1^2 \omega^2) \right]. \quad (10)$$

В програмному експерименті параметрам об'єкта надані такі значення: коефіцієнт підсилення $k_1 = 1$; коефіцієнт демпфірування $q = 0,4$; постійна часу $T_1 = 1/(2\pi)$, звідки частота спряження (близька до резонансної) $F_1 = 1$.

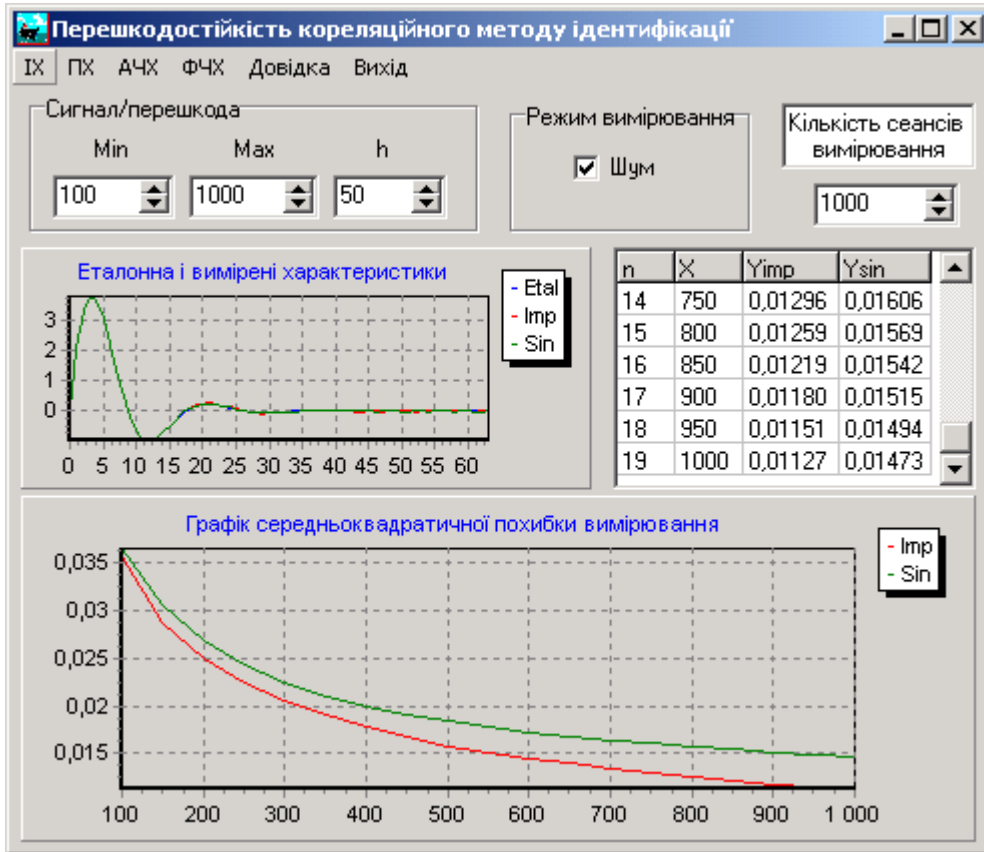


Рис. 2. Вікно програми для дослідження кореляційного методу

Вікно програми для дослідження кореляційного методу наведено на рис. 2, з якого видно, що програма дозволяє користувачеві вибрати з меню вид досліджуваної характеристики, задати режим вимірювання з шумом або без шуму, задати інтервал значень $[min, max]$ відношення V_{sp} сигнал/шум, задати кількість q сеансів вимірювання.

Імпульсна, перехідна, амплітудно-частотна і фазово-частотна характеристики вимірюються при дії гаусівського шуму, який накладається на вихідний сигнал об'єкта. Розбіжність між вимірними і точними аналітично визначеними характеристиками оцінюється величиною середньоквадратичного відхилення Y_{imp} для імпульсного вимірювального сигналу і величиною Y_{sin} для сигналу $\sin(x)/x$. На екран виводяться таб-

лиця і графіки залежностей $Y_{imp}(V_{sp})$ і $Y_{sin}(V_{sp})$ похибки вимірних характеристик від відношення сигнал/перешкода, а також графіки вимірних характеристик.

Виходячи з практичних міркувань, будемо виконувати дослідження, в основному, в діапазоні V_{sp} від 100 до 10000, що відповідає захищеності сигналу від шуму в діапазоні від 20 до 40 дБ.

Кількість сеансів вимірювання q кожним сигналом візьмемо рівним 1000, що дозволить з достатньою статистичною надійністю визначати середнє значення виміряної величини.

Інтервал спостереження вибраний рівним $524T$, де T – інтервал дискретизації. Сигнал виду $\delta(t)$ діє на одному інтервалі дискретизації. Сигнал виду $\sin(t)/t$ взятий з мінімально короткою тривалістю. Він описується функцією

$$y(nT) = \begin{cases} \frac{\sin(n\frac{\pi}{2})}{n\frac{\pi}{2}}, & n \neq 0 \\ 0, & n = 0 \end{cases} \quad (11)$$

В цьому випадку кожний півперіод синусоїди відповідає одному інтервалу дискретизації T і довжина головного пелюстка сигналу $\sin(t)/t$ складає всього $2T$. Загальна довжина сигналу $\sin(t)/t$ взята рівною $64T$. Частота дискретизації F вибрана рівною 16 Гц.

Спочатку для описаних сигналів в режимі вимірювання без перешкоди були визначені методичні похибки вимірювання, наведені в табл. 1. З таблиці видно, що методичні похибки вимірювання системних характеристик дещо менші при їх вимірюванні імпульсним сигналом. При цьому імпульсна характеристика сигналом $\delta(t)$ вимірюється практично безпомилково.

Методичні похибки вимірювання системних характеристик коливальної ланки

Сигнал	ІХ	ПХ	АЧХ	ФЧХ
δ -імп.	0,0000	0,0024	0,0115	0,0246
$\sin(t)/t$	0,0066	0,0025	0,0160	0,0330

Оскільки різниця між методичними похибками незначна, то вимірювальні сигнали $\delta(t)$ і $\sin(t)/t$ за відсутності перешкоди можна вважати рівноцінними. Залишається вивчити властивості цих сигналів в системі вимірювання за наявності перешкоди.

Результати дослідження показані графіками на нижченаведених рисунках. Графіки на рис. 3 і 4 показують залежність похибок вимірювання імпульсної характеристики від відношення сигнал/шум в діапазоні значень V_{sp} від 100 до 100000. З рисунків видно, що похибки вимірювання поступово наближаються до значень їх методичних похибок.

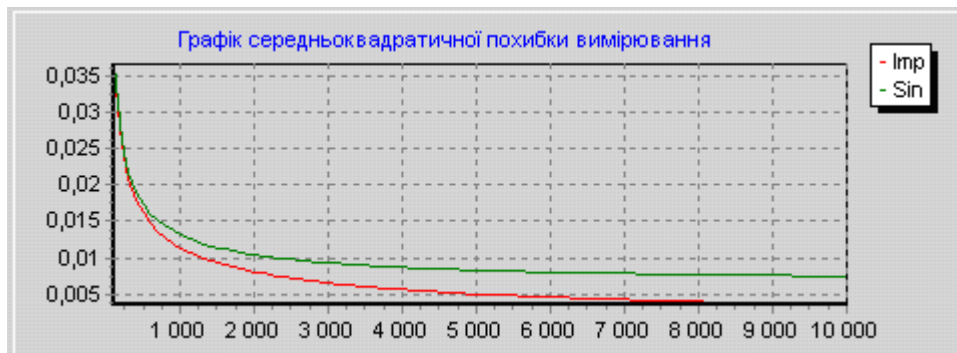


Рис. 3. Залежність похибки вимірювання імпульсної характеристики від відношення сигнал/шум в діапазоні V_{sp} від 100 до 10000

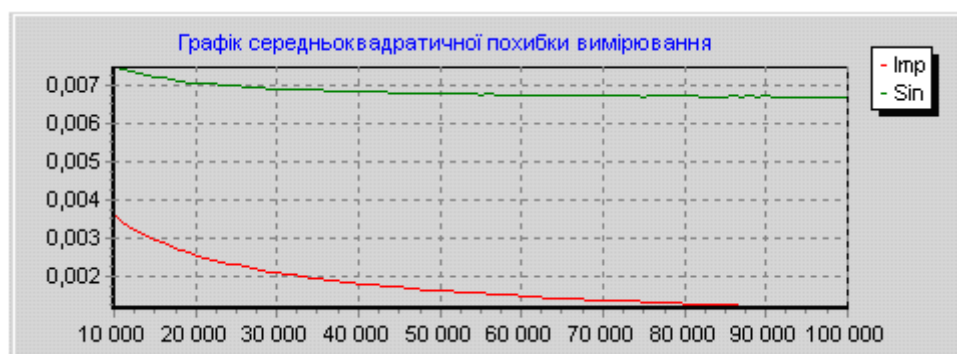


Рис. 4. Залежність похибки вимірювання імпульсної характеристики від відношення сигнал/шум в діапазоні V_{sp} від 10000 до 100000

Характер залежності похибки вимірювання від V_{sp} для усіх інших системних характеристик, одержаних з імпульсних, виявились аналогічним характеру залежності похибки вимірю-

вання від V_{sp} для імпульсних характеристик. Про це свідчать графіки помилок для перехідних характеристик (рис. 5), для характеристик АЧХ (рис. 6) і для характеристик ФЧХ (рис. 7).



Рис. 5. Залежність похибки вимірювання перехідної характеристики від відношення сигнал/шум



Рис. 6. Залежність шумової похибки вимірювання АЧХ від відношення сигнал/шум



Рис. 7. Залежність шумової похибки вимірювання ФЧХ від відношення сигнал/шум

З одержаних даних порівняльного дослідження перешкодостійкості стандартних вимірювальних сигналів виду $\delta(t)$ і $\sin(t)/t$ в системі ідентифікації кореляційним методом можна зробити такі висновки:

1. За відсутності шуму вимірювальні сигнали виду $\delta(t)$ і $\sin(t)/t$ можна вважати рівноцінними, хоча методичні похибки для сиг-

налу виду $\delta(t)$ дещо менші від методичних помилок для сигналу виду $\sin(t)/t$.

2. Імпульсна характеристика сигналом $\delta(t)$ за відсутності шуму вимірюється точно.
3. В діапазоні значень відношення V_{sp} від 100 (і менше 100) до 1000 похибки вимірювання системних характеристик обома сигналами

- значно перевищують відповідні методичні помилки.
4. Швидкий спад похибки вимірювання для всіх характеристик і для обох сигналів спостерігається в діапазоні значень V_{sp} від 100 (і менше 100) до 1000.
 5. В діапазоні значень V_{sp} від 1000 до 10000 похибки вимірювання системних характеристик обома сигналами поступово наближаються до значень методичних похибок.
 6. Графіки похибок в області слабкого шуму для обох сигналів досягають методичних похибок практично за однакових значень V_{sp} .

Виконане порівняльне дослідження перешкодостійкості сигналів виду $\sin(t)/t$ і $\delta(t)$ не виявило переваг сигналу $\sin(t)/t$ перед сигналом виду $\delta(t)$.

Зазначені особливості досліджувальних сигналів можуть бути корисними при виборі вимірювального сигналу для реальної системи вимірювання системних характеристик лінійних об'єктів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Строев П. С. Система автоматизированного контроля параметров каналов связи // Автоматика, телемеханика и связь, 1995. – № 12. – С. 14-16.
2. Кочеров Ф. В. Новые возможности анализа систем связи в полосе частот до 4 кГц // Автоматика, телемеханика и связь, 1998. – № 2. – С. 30-31.
3. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М.: Мир, 1985. – 540 с.
4. Современные методы идентификации систем / Под ред. П. Эйкоффа. – М.: Мир, 1983. – 347 с.
5. Бессонов А. А. Методы и средства идентификации динамических объектов. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 280 с.
6. Варакин Л. У. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
7. Солодовников В. В. и др. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования. – М.: Машиностроение, 1985. – 536 с.
8. Гаврилюк В. І. Порівняльне дослідження опосередкованих методів вимірювання часових і частотних характеристик лінійного об'єкта на імітаційній моделі / В. І. Гаврилюк, В. В. Безруков, Р. В. Рибалка // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Вип. 19. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007.

Надійшла до редколегії 22.05.2008.