

УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ ВИХІДНИХ СИГНАЛІВ ГЕНЕРАТОРІВ ХАОТИЧНИХ КОЛИВАНЬ

А. Ю. Трунов¹, С. М. Куц¹

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Анотація

В роботі проведено дослідження моделей генераторів хаотичних коливань та сигналів, отриманих з їх виходу. Зміною коефіцієнтів системи нелінійних диференціальних рівнянь одержані характеристики вихідних сигналів, які більш наближені до білого шуму.

Ключові слова: система Ресслера, динамічний хаос, показник Херста

Вступ

В сучасних системах передачі інформації використовують широкопasmові сигнали (ШСС), які забезпечують заводо захищеність сигналів.

Для підвищення структурної та інформаційної скритності ШСС застосовують розширюючі сигнали: псевдовипадкові М-последовності, последовності Голда, Кассамі. Їх недоліком є можливість визначення структури сигналу по частині елементів последовності.

В роботі [1] запропоновано використання нелінійних динамічних последовностей – динамічного хаосу (ДХ) [2]. Динаміка системи в такому випадку характеризується нерегулярним, хаотичним розвитком динамічних змінних в часі, проте в такому хаотичному режимі існують деякі закономірності та залежності, що відрізняє ДХ від класичних випадкових процесів.

Сигнали генераторів хаотичних коливань (ГХК) повинні мати характеристики найбільш наближені до характеристик білого гаусівського шуму (БГШ). Але параметри вихідних сигналів існуючих ГХК суттєво відрізняються від ідеальних. Для наближення параметрів хаотичних коливань до БГШ використовуються різні підходи. Наприклад, розроблені системи ГХК [3], для яких вибирається сума рішень системи нелінійних диференціальних рівнянь (СНДР) як одного, так і різних типів; лінійне і нелінійне перетворення хаотичних последовностей.

В роботі розглянуто випадок формування хаотичних коливань, параметри яких наближені до характеристик БГШ, за рахунок зміни значень коефіцієнтів СНДР системи Ресслера.

1. Дослідження системи Ресслера при стандартних коефіцієнтах

Система Ресслера (СР) це система з трьох нелінійних диференціальних рівнянь, що має вигляд [3]:

Табл. 1. Порівняння статистичних характеристик сигналів СР (розв'язки x, y, z) з БГШ при стандартних коефіцієнтах

Параметр	x	y	z	БГШ
H	0,9674	0.6746	0.4456	0,5
M	0.8852	-0.3540	1.3449	0
D	27.6428	24.3062	12.2497	1
K_A	0.2172	-0.3271	3.7183	0
K_E	-0.9547	-0.9555	14.7566	0

$$\begin{cases} x' = -y - z \\ y' = x + ay \\ z' = b - cz + xz \end{cases} \quad (1)$$

де x, y, z – змінні системи; a, b, c – константи.

Стандартні значення коефіцієнтів системи 1 [3]:

$$a = 0, 2; b = 0, 2; c = 5, 7 \quad (2)$$

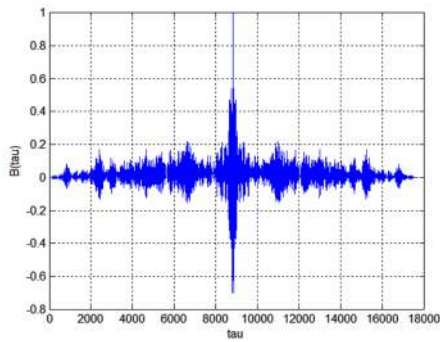
В табл. 1, наведено характеристики сигналів з виходу системи 1 при стандартних значеннях коефіцієнтів (2) [4], де: H – показник Херста, – математичне очікування, D – дисперсія, – коефіцієнт асиметрії, – коефіцієнт ексцесу.

Автокореляційні функції (АКФ), для кожного з розв'язків (вихідних сигналів ГХК), при значеннях коефіцієнтів (2), зображено на рис. 1.

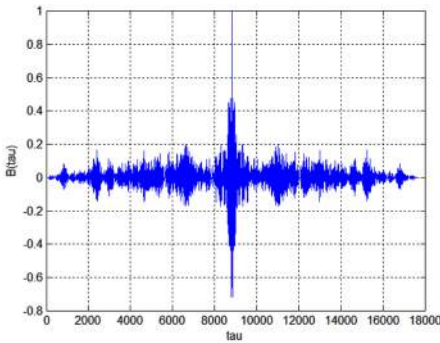
З рис. 1 та табл. 1 видно, що характеристики та АКФ отриманих сигналів значно відрізняються від параметрів БГШ.

2. Методика покращення характеристик сигналів з виходу ГХК

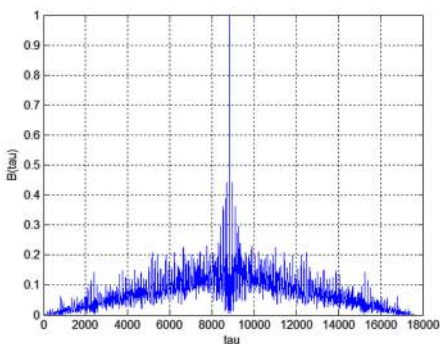
Для наближення параметрів хаотичних коливань до БГШ, в роботі проведено пошук оптимальних значень коефіцієнтів СНДР. Задача в такій постановці раніше не розв'язувалась. Визначимо цільову



(a)



(b)



(c)

Рис. 1. Автокореляційна функція вихідних сигналів системи 1: (a) – сигнал x ; (b) – сигнал y ; (c) – сигнал z .

функцію наступним чином [5]:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n (0,5 - H_i)^2 + (K_A(i))^2 + (K_E(i))^2. \quad (3)$$

Шляхом варіації значень коефіцієнтів СНДР, будемо шукати ті, для яких ця функція буде мати мінімум ($f(x) \rightarrow \min$) [6]. Цикли визначаються наступними параметрами:

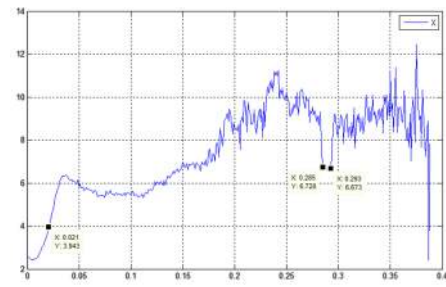
- $a = 0, \dots, 4$ з кроком 0.01;
- $b = 0, 1, \dots, 5, 7$ з кроком 0.1;
- $c = 0, 3, \dots, 20$ з кроком 0.1.

Залежності $f(x)$ від коефіцієнту a для кожного із рішень СР, при $b = 0.2$ і $c = 5.7$ представлені на рис. 2.

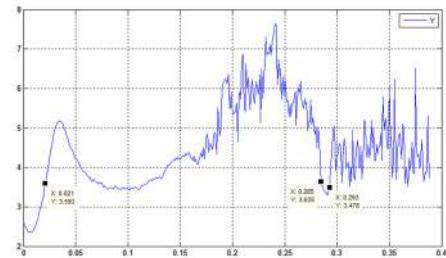
З рис. 2 бачимо що цільова функція для кожного з розв'язків системи 1 має мінімуми на проміжках $a = 0, \dots, 0,021$ та $a = 0,285, \dots, 0,293$.

В результаті розрахунків отримано наступний набір коефіцієнтів для СР:

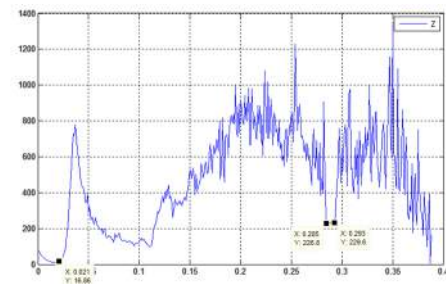
$$a = 0,29; b = 0,2; c = 18.$$



(a)



(b)



(c)

Рис. 2. Зображення цільової функції для розв'язків системи 1: (a) – розв'язок x ; (b) – розв'язок y ; (c) – розв'язок z .

Проведемо дослідження параметрів системи для них.

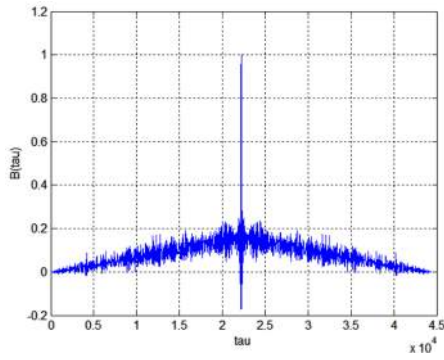
3. Результати досліджень

На основі одержаних значень коефіцієнтів для кожного розв'язку СНДР, розраховані АКФ, спектральні щільності потужності, параметри хаотичних коливань і побудовані фазові портрети. Автокореляційні функції, для кожного з розв'язків (вихідних сигналів ГХК) приведені на рис. 3

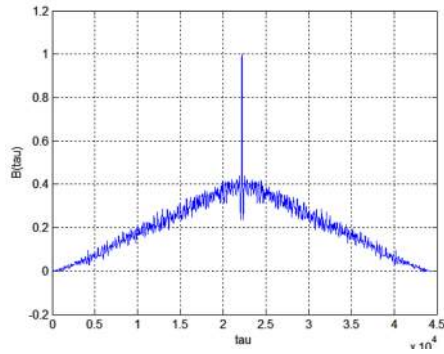
Статистичні характеристики вихідних сигналів наведено в табл. 2.

Табл. 2. Порівняння статистичних характеристик сигналів СР (розв'язки x, y, z) з БГШ при знайдених коефіцієнтах

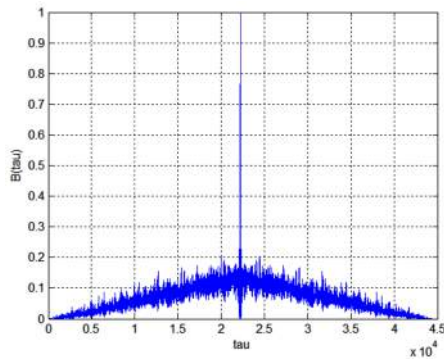
Параметр	x	y	z	БГШ
H	0,5174	0.5756	0.4955	0,5
M	6.4193	-11.312	15.3252	0
D	276.323	320.973	300.143	1
K_A	-0.1607	0.0805	4.0709	0
K_E	-0.5172	-0.963	18.25	0



(a)



(b)



(c)

Рис. 3. Зображення цільової функції для розв'язків системи 1: (a) – розв'язок x ; (b) – розв'язок y ; (c) – розв'язок z .

З табл. 2 бачимо, що у порівнянні зі стандартним випадком, покращились показник Херста, коефіці-

єнти асиметрії та ексцесу більш наближені до параметрів БГШ, математичне очікування і дисперсія мають великі значення, але це зумовлено ростом амплітуди вихідних сигналів.

Наявність бокових піків у АКФ при деяких зміщеннях свідчать про нерівномірність спектральної щільності потужності в області низьких частот, що характерно для хаотичних сигналів такого типу [7].

Висновки

В результаті проведених досліджень ГХК на основі СР показано, що характеристики сигналів на виході системи, при визначених коефіцієнтах більш наближені до БГШ, ніж при стандартних коефіцієнтах.

Перелік використаних джерел

1. Ипатов В. П. Широкополосные сигналы — Техносфера, 2007. — 488 с.
2. Кузнецов С. П. Динамический хаос — Издательство Физико-математической литературы, 2001. — 296 с.
3. Анищенко В. С. Сложные колебания в простых системах. Механизмы возникновения, структура и свойства динамического хаоса в радиофизических системах. — Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1990. — 312 с.
4. Маєвська В. Ю., Куц С. М. Оцінка статистичних характеристик вихідних сигналів систем генераторів хаотичних коливань на основі ДАЛ. — XI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених. "Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики". 2013. — с.170.
5. Рудаков П.И., Сафонов В.И. Обработка сигналов и изображений Matlab 5.x. — Диалог-МИФИ. 2000.
6. Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт Практическая оптимизация. — Москва. "Мир". 1985.
7. Деревянко А.И., Михалев А.И. 7. Моделирование хаотических режимов в системах управления — АСАУ 6 (26)-2003.