

УДК 621.313

МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НА ОСНОВІ ГЕНЕРАТОРА ХАОТИЧНИХ КОЛИВАНЬ*Кучерук В.Ю., Маньковська В.С., Дудатьєв І.А.*

Анотація: Розглянуто основні принципи параметричних вимірювань на основі генератора хаотичних коливань. Проведено моделювання аттрактора в середовищі MultiSim.

Аннотация: Рассмотрены основные принципы параметрических измерений на основе генератора хаотических колебаний. Проведено моделирование аттрактора в среде MultiSim.

Abstract: The basic principles of parametric measurement based on the generator of chaotic oscillations. Simulation attractor among MultiSim.

Вступ

В багатьох областях науки та промисловості постає задача вимірювання фізичних величин з високою точністю. Існуючі методи та засоби практично вичерпали потенціал підвищення своєї чутливості до змінення вимірюваної фізичної величини [1,2]. Таким чином, постає задача створення методів та засобів вимірювання фізичних величин з підвищеною точністю.

Значним науковим відкриттям останніх десятиліть є відкриття детермінованого хаосу в динамічних системах. Суть цього відкриття полягає в тому, що повністю визначена (детермінована) динамічна система при відсутності будь-яких випадкових впливів на неї, починає вести себе непередбаченим (хаотичним) чином. Проте у цієї непередбачуваності (хаотичності) при більш ретельному розгляді вдається виявити ряд закономірностей у поведінці системи, що відрізняє дане явище від класичних випадкових процесів.

Незважаючи на хаотичний характер, коли на практиці передбачити стан системи в заданий момент часу можна лише статистично, процес в таких системах суттєво відрізняється від звичайного статистичного шуму. Останній характеризується тим, що точки траєкторії рівномірно заповнюють певний об'єм фазового простору, а суцільний спектр шуму не має чітко виражених ліній. Фазові портрети систем із детермінованим хаосом володіють складною нерівномірною просторовою структурою та деякими загальними властивостями, причому в неперервному спектрі присутні явно виражені гармоніки. До фундаментальних властивостей таких систем відноситься надзвичайно висока чутливість хаотичного процесу до зміни параметрів генератора хаотичних коливань (ГХК) [3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В [1,2] розглядається метод вимірювання параметричних фізичних величин, в основу якого покладене використання ГХК.

В його основі лежить використання в якості вимірювального кола нелінійної електричної схеми в режимі хаотичних коливань, тобто ГХК. Сенсор вимірювальної фізичної величини підключається до схеми ГХК таким чином, щоб його вихідне значення змінювало значення одного з параметрів ГХК.

Вимірювальною інформацією в методі ГХК є дискретна реалізація хаотичного процесу, яка знімається з генератора ХК, яка далі поступає на опрацювання в обчислювальний блок.

Для отримання оцінки параметра ГХК можна використовувати будь-яку стійку характеристику структури системи із детермінованим хаосом (амплітуду коливань по всім змінним фазового простору, розмірність Хаусдорфа, інформаційну і кореляційну розмірності, ентропію Колмогорова, показники Ляпунова, середній час передбачуваності хаотичної системи) [3]. Алгоритм визначення параметра в методі генератора ХК полягає в отриманні за знятою хаотичною реалізацією числової оцінки вибраної характеристики.

Засіб вимірювання, створений на базі методу генератора ХК, буде мати функцію перетворення в вигляді сильної (експоненціальної) залежності характеристики аттрактора ГХК від вимірювальної фізичної величини (так як вона однозначно визначається параметром ГХК).

Основною перевагою методу ГХК є можливість побудови на його основі більш точних порівняно з існуючими засобами вимірювання. Методична похибка методу залежить від точності числової оцінки характеристики ГХК, яка визначається заданням потрібних довжини і кроку дискретної реалізації хаотичного процесу. Як показали теоретичні та експериментальні дослідження, при використанні хаотичної реалізації процесу довжиною більше 10 періодів нижньої гармоніки ГХК методична похибка буде меншою, ніж похибка від нестабільності параметрів, яку можна реально забезпечити на сучасному рівні розвитку електроніки.

Перевагою методу є його універсальність. Метод придатний для вимірювання будь-якої параметричної фізичної величини, якщо існує сенсор цієї величини з вихідним сигналом у вигляді електричної напруги чи струму, а також параметричні датчики, в яких вимірювальна фізична величина перетворюється в відповідну зміну його опору, ємності чи індуктивності.

Мета роботи

В даній роботі вирішується задача дослідження ГХК на предмет його використання в структурі вимірювальних каналів параметричних фізичних величин.

Виклад основного матеріалу

Для реалізації методу датчик вимірюваної фізичної величини підключається до вимірювальної схеми ГХК таким чином, щоб його вихідна величина змінювала свій один з параметрів нелінійної хаотичної схеми. З неї дискретизований та оцифрований хаотичний сигнал поступає на вхід обчислювального пристрою, де визначається відхилення параметра генератора і на основі закладеної градуйованої характеристики обчислюється значення вимірюваної фізичної величини.

Існують технічні проблеми створення схеми, яка забезпечувала б необхідні допуски на параметри схеми і прийнятну їх стабільність (прецизійність). Для забезпечення прецизійності засоби вимірювання на основі ГХК повинні володіти властивостями:

- збереження сукупності хаотичних мод і переходів між ними від зразку до зразку;
- відтворення хаотичних режимів при заміні будь-якого елемента на аналогічний;
- низька чутливість до зміни зовнішніх умов;
- відповідність між результатами моделювання (математична модель, схемо технічне моделювання) і фізичним експериментом.

Дані вимоги можливо забезпечити, якщо вимірювальні канали будувати з використанням принципу заміщення (непряме вимірювання з багаторазовим порівнянням до повного зрівноваження вихідних величин вимірювального перетворювача з почерговим перетворенням ним вимірюваної величини та вихідної величини регульованої міри) [5]. При цьому систематична похибка, яка пов'язана із непрецизійністю ГХК, виключається.

Існують відносно прості електронні схеми з хаотичними режимами роботи [3,4]. Властивості хаотичних систем, які мають ці електронні схеми, дозволяють їх використовувати в якості вимірювальних кіл.

При виборі практичної реалізації ГХК враховувався ряд обставин, а саме: простота реалізації, наявність діапазону зміни параметрів, які забезпечують хаотичний режим, наявність математичної моделі, яка дозволяє достатньо просто моделювати хаотичний процес.

В якості ГХК для подальших досліджень вибрана схема, що генерує хаотичний сигнал типу «згорнутий тор» [4]. Схема (рис.1) складається всього із чотирьох елементів, із яких нелінійний лише один: кусково-лінійний резистор з характеристикою, зображеною на рис.1. Лінійні елементи L та C_2 пасивні, а зовнішня ємність $-C_1$ має від'ємний знак. Динаміка описується системою рівнянь:

$$\begin{cases} C_1 \frac{dV_{C1}}{dt} = -g(V_{C2} - V_{C1}); \\ C_2 \frac{dV_{C2}}{dt} = -g(V_{C2} - V_{C1}) - i_L; \\ L \frac{di_L}{dt} = V_{C2}, \end{cases} \quad (1)$$

де через V_{C1} , V_{C2} , i_L позначені відповідно напруга на конденсаторі C_1 , напруга на конденсаторі C_2 і струм через L . Функція $g(\dots)$ описує вольт-амперну характеристику нелінійного резистора і має вигляд:

$$g(V) = -m_0 V + 0.5(m_0 + m_1)[|V + E_1| - |V - E_1|]. \quad (2)$$

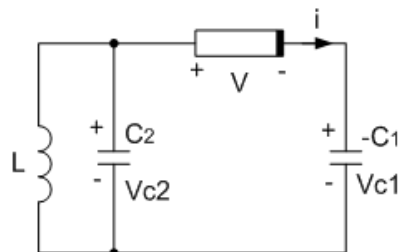


Рисунок 1 – Автономна схема третього порядку із властивостями системи типу «згорнутий тор»

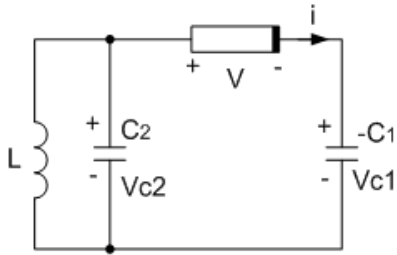


Рисунок 2 – Автономна схема третього порядку із властивостями системи типу «згорнутий тор»

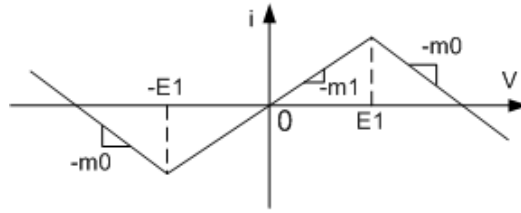


Рисунок 2 – Вольт-амперна характеристика нелінійного резистора

На рис. 2 представлена реалізація схеми в пакеті схемотехнічного моделювання MultiSim. Нелінійний опір реалізований на елементах U1, U2, D1, D2, R1-R6. Хоча ємність C1 позитивна, завдяки впливу перерахованих вище елементів вона діє як від'ємна ємність.

Переходячи від рівнянь (1) до безрозмірних змінних, можна отримати таку систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = -\alpha \cdot f(y(t) - x(t)); \\ \frac{dy(t)}{dt} = -f(y(t) - x(t)) - z(t); \\ \frac{dz(t)}{dt} = \beta \cdot y(t), \end{cases} \quad (3)$$

де $x = \frac{V_{C1}}{E_1}$, $y = \frac{V_{C2}}{E_1}$, $z = \frac{i_L}{C_2 E_1}$, $\alpha = \frac{C_2}{C_1}$, $\beta = \frac{1}{LC_2}$, $a = \frac{m_0}{C_2}$, $b = \frac{m_1}{C_2}$,
 $f(x) = -ax + 0.5(a + b)[|x + 1| - |x - 1|]$.

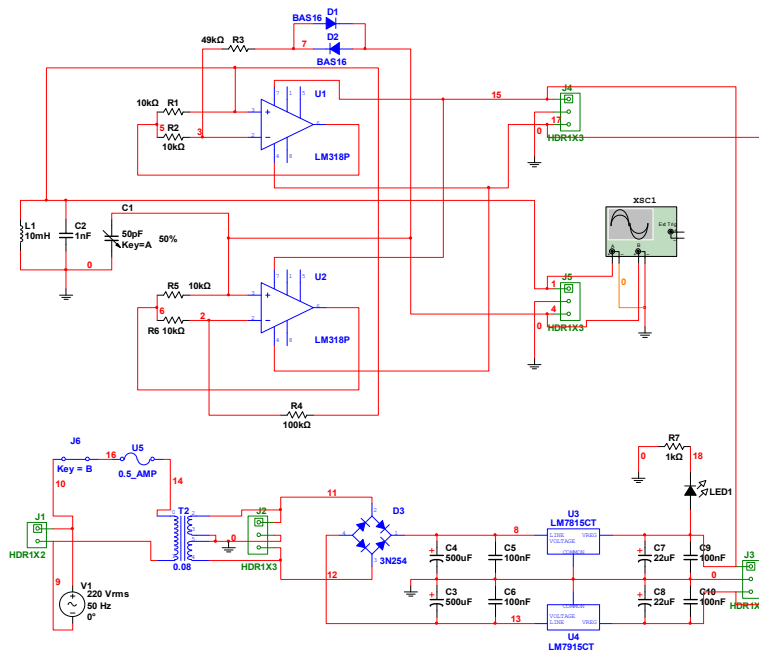


Рисунок 3 – Реалізація схеми (рис.1) в пакеті схемотехнічного моделювання MultiSim

Переходячи від рівнянь (1) до безрозмірних змінних, можна отримати таку систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = -\alpha \cdot f(y(t) - x(t)); \\ \frac{dy(t)}{dt} = -f(y(t) - x(t)) - z(t); \\ \frac{dz(t)}{dt} = \beta \cdot y(t). \end{cases} \quad (3)$$

де $x = \frac{V_{C1}}{E_1}$, $y = \frac{V_{C2}}{E_1}$, $z = \frac{i_L}{C_2 E_1}$, $\alpha = \frac{C_2}{C_1}$, $\beta = \frac{1}{LC_2}$, $a = \frac{m_0}{C_2}$, $b = \frac{m_1}{C_2}$,
 $f(x) = -ax + 0.5(a+b)[|x+1| - |x-1|]$.

Перераховані параметри, що відповідають представленій схемі (рис.4), мають величини $a = 0.07$, $b = 0.1$, $\beta = 1$. На рис. 4-6 представлені результати моделювання хаотичної системи (3).

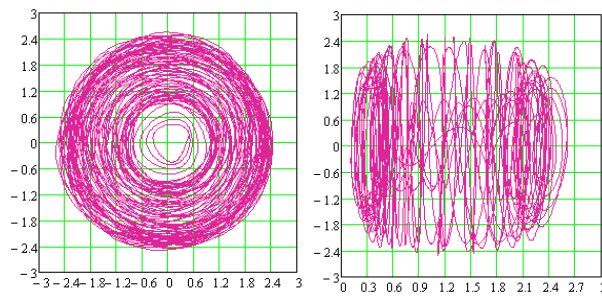


Рисунок 4 – Проекція на площину $\{V_{C1}, V_{C2}\}$ при $\alpha = 2$

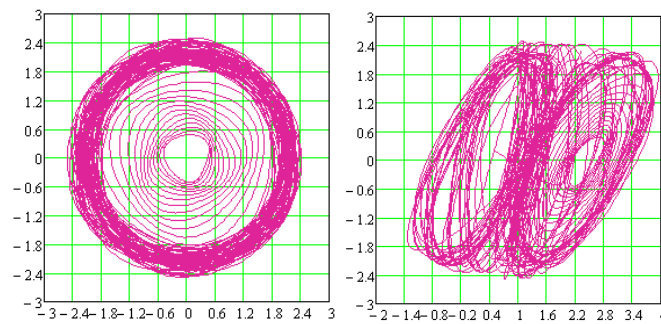


Рисунок 5 – Проекція на площину $\{V_{C1}, V_{C2}\}$ при $\alpha = 15$

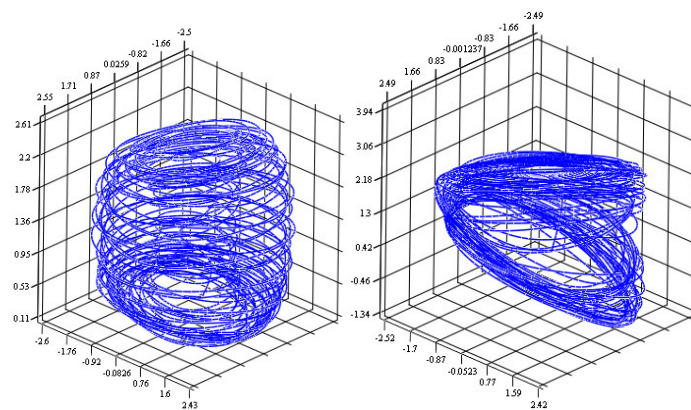


Рисунок 6 – Тривимірні зображення на площині $\{x, y, z\}$ при $\alpha=2$ та $\alpha=15$ відповідно

Результати моделювання показують, що представлена на рис. 6 схема ГХК є чутливою до змінення параметра α , тобто при використанні замість конденсатора C_1 або C_2 ємнісного сенсора можливо здійснювати вимірювальне перетворення його сигналу.

Висновки

Розглянутий метод вимірювання має високу параметричну чутливість. У зв'язку з цим змінення будь-якого параметра схеми ГХК змінює характер хаотичних коливань. Висока чутливість до змінення параметрів схеми, на перший погляд, робить неможливим використання ГХК для безпосередніх вимірювань, так як розділити вплив на хаотичний процес зміни параметрів схеми, зумовлених коливаннями зовнішніх умов і викликаних впливом вимірюваної фізичної величини, неможливо. Але використовуючи метод заміщення, тобто отримуючи оцінки параметрів хаотичного генератора із впливом вимірюваної фізичної величини та без неї, можна перебороти даний недолік.

Список літератури

1. Воронов С.С., Колпакова Л.В., Кузнецов В.А. Метод измерения с использованием свойств нелинейных динамических систем. //Измерительная техника.-1996.-№12.-С.16-18.
2. Воронов С.С., Колпакова Л.В., Кузнецов В.А. Метод хаотического генератора: подходы к диагностированию параметров нелинейных хаотических систем. //Измерительная техника.-2000.-№4.-С.19-21.
3. Паркер Т.С., Чжуа Л.О. Введение в теорию хаотических систем для инженеров. //ТИИЭР.-1987.-Т75.- №8.-С.6-40.
4. Мацумото Т. Хаос в электронных схемах. //ТИИЭР.-Т.75.-1987.-№8.-С.76.
5. Кухарчук В. В., Кучерук В. Ю., Долгополов В. П., Грумінська Л. В. Метрологія та вимірювальна техніка. Навчальний посібник. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. — 252 с.

Відомості про авторів

Кучерук Володимир Юрійович – д.т.н., професор кафедри метрології та промислової автоматики. Вінницький національний технічний університет; 21021 м.Вінниця, Хмельницьке шосе, 95; тел. (0432)598672; e-mail: kucheruk@mail.ru

Маньковська Вікторія Сергіївна – аспірант кафедри метрології та промислової автоматики. Вінницький національний технічний університет; 21021 м.Вінниця, Хмельницьке шосе, 95; тел. (0432)598672; e-mail: torichka_m@mail.ru

Дудатьєв Ігор Андрійович – студент кафедри метрології та промислової автоматики. Вінницький національний технічний університет; 21021 м.Вінниця, Хмельницьке шосе, 95; тел. (0432)598672; e-mail: dudatiev@mail.ru