

Метод параметричних вимірювань з використанням генератора хаотичних коливань

Кучерук В.Ю., Маньковська В.С.

Кафедра метрології та промислової автоматики, Вінницький національний технічний університет, Україна,
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, E-mail: Kucheruk@mail.ru, Torichka_M@mail.ru

Abstract – The method of measuring of parameters is considered on the basis of chaotic generator. The attractor design in the Mathcad environment is conducted.

Ключові слова – the method of measuring, chaotic generator, Chua's circuit, «strange attractor», sensitivity, dynamical chaos.

I. Вступ

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

Останні роки стали періодом бурхливого розвитку синергетики – області знань, що пов'язана із вивченням процесів в нелінійних системах. Після того, як було доказано, що поведінка нелінійних детермінованих динамічних систем може нести нерегулярний хаотичний характер, настав етап вивчення динамічного хаосу – хаотичних режимів в детермінованих системах і використання отриманих результатів в різних прикладних областях.

Не дивлячись 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 («дивні аттрактори») володіють складною нерівномірною просторовою структурою та деякими загальними властивостями, причому в неперервному спектрі присутні явно виражені гармоніки. До фундаментальних властивостей «дивних аттракторів» відноситься надзвичайно висока чутливість хаотичного процесу до зміни параметрів генератора хаотичних коливань [2, 3].

II. Основа методу

Розглянемо метод вимірювання фізичних величин, в основу якого покладене використання генератора хаотичних коливань. Метод призначений для вимірювання різних фізичних величин з підвищеною в порівнянні з традиційними методами точністю і, як правило, більш високою швидкістю вимірювальних процедур.

В його основі лежить використання в якості вимірювального кола нелінійної електричної схеми в режимі хаотичних коливань, тобто генератора хаотичних коливань. Сенсор вимірювальної фізичної

величини (чи безпосередній сигнал цієї величини) підключається до схеми генератора хаотичних коливань таким чином, щоб його вихідне значення змінювало значення одного з параметрів генератора хаотичних коливань.

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

Для отримання оцінки діагностичного параметра генератора хаотичних коливань можна використовувати будь – яку стійку характеристику структури «дивного аттрактора» (амплітуду коливань по всім змінним фазового простору, розмірність Хаусдорфа, інформаційну і кореляційну розмірності, ентропію Колмогорова, показники Ляпунова, середній час передбачуваності хаотичної системи). Алгоритм визначення параметра в методі генератора хаотичних коливань полягає в отриманні за хаотичною реалізацією числової оцінки вибраної характеристики.

Засіб вимірювання, створений на базі метода генератора хаотичних коливань буде мати функцію перетворення в вигляді сильної (експоненціальної) залежності характеристики аттрактора генератора хаотичних коливань від вимірювальної фізичної величини (так як вона однозначно визначається діагностичним параметром хаотичного генератора).

Основною перевагою метода генератора хаотичних коливань є можливість побудови на його основі більш точних порівняно з існуючими засобами вимірювання. Методична похибка метода залежить від точності числової оцінки характеристики генератора хаотичних коливань, 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 генератора хаотичних коливань методична похибка буде меншою, ніж похибка від нестабільності параметрів, яку можна реально забезпечити на сучасному рівні розвитку електроніки.

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

Використання динамічних хаотичних систем дає можливість створити вимірювальні пристрої, які мають унікальні властивості детермінованого хаосу.

Однією з головних властивостей хаотичної системи є структурна стійкість аттрактора такої системи при високій чутливості хаотичного процесу до параметрів системи. Швидкість зміни хаотичного процесу при зміні параметра системи оцінюється, як експоненціальна.

Ця властивість дозволяє значно збільшити чутливість метода вимірювання при використанні в якості вимірювальних схем нелінійних генераторів хаотичних коливань.

Друга фундаментальна властивість хаотичних систем – висока чутливість до варіацій початкових умов – дозволяє прогнозувати сталі значення параметра нелінійних хаотичних систем на початковій ділянці траєкторії хаотичного процесу. Таким чином, чутливість такого вимірювального пристрою практично не буде залежати від розрядності АЦП, а його динамічні характеристики – від частоти дискретизації.

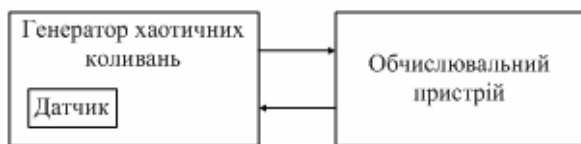


Рис. 1. Структурна схема вимірювального пристрою на базі метода генератора хаотичних коливань

Додатковими областями використання хаотичних систем є вимірювання з використанням сильно інерційних датчиків, а також вимірювання параметрів швидкозмінних процесів.

Найпростіша структурна схема вимірювального пристрою на базі хаотичного генератора хаотичних коливань (рис.1), складається з двох частин: нелінійної вимірювальної схеми, до якої підключений датчик вимірювальної фізичної величини, і обробляючого обчислювального пристрою, в якому реалізовані алгоритми діагностування параметра вимірювального генератора.

Схема вимірювального пристрою дозволяє здійснити варіант метода генератора хаотичних коливань, оснований на властивості структурної стійкості аттрактора хаотичної системи.

Датчик вимірювальної фізичної величини підключається до вимірювальної схеми генератора хаотичних коливань таким чином, щоб його вихідна величина змінювала свій один з параметрів нелінійної хаотичної схеми. З неї дискретизований і оцифрований хаотичний сигнал поступає на вхід обчислювального пристрою, де діагностується відхилення параметра вимірювального генератора і на основі закладеної градуйованої характеристики обчислюється значення вимірювальної фізичної величини.

Таким чином, принципово новою частиною вимірювального пристрою, який реалізує метод генератора хаотичних коливань, є нелінійна вимірювальна схема в режимі хаотичних коливань. Тому вивчення складних явищ, які виникають в електронних колах,

які відповідають умовам виникнення в них хаотичних коливань, являє собою велике поле діяльності, як для практичної метрології, так і її наукових основ.

Не приймаючи до уваги технічні проблеми створення схеми, яка забезпечувала б необхідні допуски на параметри схеми і прийнятну їх стабільність, відзначимо, що існують прості електронні схеми з хаотичними режимами роботи, добре теоретично і експериментально досліджені [3-7]. Властивості хаотичних систем, які мають ці електронні схеми, дозволяють їх використовувати в якості вимірювальних кіл, параметром, який являється значенням параметра датчика, включеного в це коло.

При виборі практичної реалізації генератора хаотичних коливань 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.

Мінімальна складність генератора хаотичних коливань, яка визначається теоремою Пуанкаре – Бендіксона, значить обов'язкову наявність в нелінійній схемі генератора, як мінімум, двох реактивних елементів (C, L) і незалежного від часу джерела напруги або струму або трьох реактивних елементів.

III. Схема генератора хаотичних коливань

В якості такої найпростішої схеми генератора хаотичних коливань вибрана схема Чуа (рис. 2).

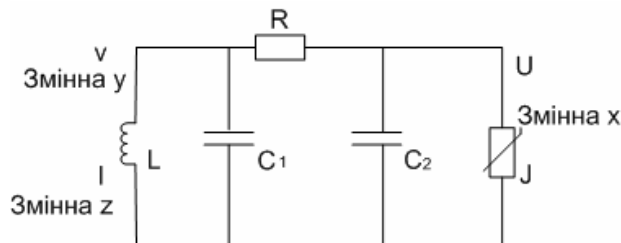


Рис. 2. Схема Чуа

Схема Чуа складається з індуктивності L, двох ємностей c_1 і c_2 , резистора R і елемента з кусково-лінійною вольт – амперною характеристикою $J(U)$. Безрозмірні змінні, які фігурують в рівняннях, x , y , z , пропорційні, відповідно, напрузі на нелінійному елементі, напрузі на індуктивності і струму через індуктивність.

Записуючи рівняння Кірхгофа для схеми Чуа і переходячи до безрозмірних змінних, можна отримати наступну систему рівнянь:

$$\dot{x} = \alpha(y - h(x)), \quad \dot{y} = x + y - z, \quad \dot{z} = -\beta y$$

де α і β – параметри, а функція $h(x)$ визначається характеристикою нелінійного елемента і традиційно задається у вигляді

$$h(x) = \begin{cases} \frac{2x+3}{7}, & x \leq -1 \\ -\frac{x}{7}, & -1 < x \leq 1 \\ \frac{2x-3}{7}, & x \geq 1 \end{cases}$$

В залежності від параметрів, схема Чуа може демонструвати різні регулярні і хаотичні режими. Потрібно мати на увазі, що через кусково-лінійну характеристику біфуркація народження граничного циклу виявляється не типовою (втрата стійкості не рухомої точки відразу приводить до появи автоколивальної кінцевої амплітуди). В іншій біфуркації і перехід до хаосу виявляється таким самим, як і в багатьох інших системах. В той самий час через те, що в трьох областях фазового простору $x < -1$, $-1 < x < 1$ і $x > 1$, рівняння лінійні, динаміка допускає теоретичний аналіз.

Завдяки симетрії, яка спостерігається в вибраній нелінійній характеристиці, дивний аттрактор системи Чуа може бути симетричним, подібно аттрактору Лоренца.

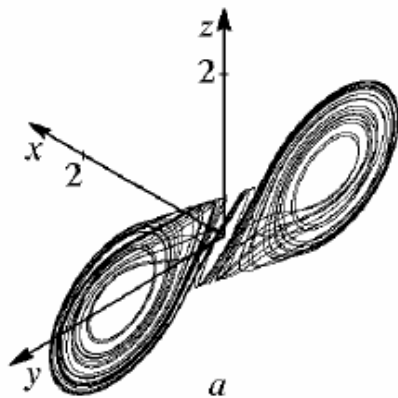


Рис. 3. Симетричний аттрактор в системі Чуа при $\alpha = 6.8$, $\beta = 10$.

IV. Висновок

Розглянутий метод вимірювання має високу параметричну чутливість. У зв'язку з цим змінення будь-якого параметра схеми хаотичного генератора змінює характер хаотичних коливань.

Висока чутливість до змінення параметрів схеми, на перший погляд, робить неможливим використання хаотичних генераторів 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 диференціальний метод вимірювання, тобто отримуючи оцінки параметрів хаотичного генератора із впливом вимірюваної фізичної величини та без неї, можна перебороти даний недолік.

- [1] Браславский Д.А., Петров В.В. Точность измерительных устройств.-М.: Машиностроение, 1976.-312с.
- [2] Паркер Т.С., Чжуа Л.О. Метод измерения с использованием свойств нелинейных динамических систем. – 1987. – Т75. - №8. – с.6.
- [3] Шустер Г. Детерминированный хаос. Пер. с англ. – М.: Мир, 1988.
- [4] Ермолаев Ю.Л., Санин А.Л. Электронная синергетика. – Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1989.
- [5] Чернухо Е.В. Измерительная техника. Метод измерения с использованием свойств нелинейных динамических систем – 1994. - №9. – с.17.
- [6] Воронов С.С., Колпаков Л.В., Кузнецов В.А. Разработка измерительных устройств на базе метода хаотического генератора. Измерительная техника. – 1996. - № 12. – с.16.
- [7] Мацумото Т. Разработка измерительных устройств на базе метода хаотического генератора. – 1987. – Т75. - №8. – с.66.