

напрузі  $U_1 = 3 \text{ В}$  ділянка від'ємного опору наявна при напрузі  $U_2 = 1,75...3,25 \text{ В}$ . Тому найбільш оптимальною є керуюча напруга  $U_1 = 3 \text{ В}$ .

#### Висновок

Отримано аналітичний вираз вольт-амперної характеристики перетворювача магнітного поля з частотним виходом на основі біполярного двоколекторного магнітотранзистора та елемента Холла. Показано наявність ділянки від'ємного диференційного опору на вольт-амперній характеристиці, яка при значенні керуючої напруги  $U_1 = 3 \text{ В}$  існує при напрузі живлення  $U_2 = 1,75...3,25 \text{ В}$ . Вибір робочої точки перетворювача на цій ділянці забезпечує компенсацію втрат енергії в коливальному контурі, що є необхідною умовою автогенерації.

#### Література

1. Мікроелектронні сенсори фізичних величин: Науково-навчальне видання в 3-х томах / Вуйцик В., Готра З.Ю., Григор'єв В.В., Каліта В., Мельник О.М., Потенці Є.; за ред. З.Ю. Готри. – Львів: Ліга-Прес, 2003. – Т.2. – 595 с.
2. Новицький П.В. Цифровые приборы с частотными датчиками / Новицький П.В., Кноринг В.Г., Гутников В.С. – Л.: Энергия, 1970. – 424 с.
3. Осадчук В.С. Напівпровідникові перетворювачі інформації: Навчальний посібник / Осадчук В.С., Осадчук О.В. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 208 с.
4. Осадчук В.С. Сенсори тиску і магнітного поля: Монографія / Осадчук В.С., Осадчук О.В. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 207 с.
5. Пат. 59007 Україна, МПК H01L29/82, H01L 43/00, G01R 33/06. Мікроелектронний пристрій для виміру магнітної індукції / Осадчук В.С., Осадчук О.В., Стовбчата О.П.; заявник і патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т – № u201015634; заявл. 24.12.2010; опубл. 26.04.2011, Бюл № 8.
6. Разевиг В.Д. Применение программ P-CAD и PSpice для схемотехнического моделирования на ПЭВМ: в 4 выпусках / Разевиг В.Д. – М.: Радио и связь, 1992. – Вып.2: Модели компонентов аналоговых устройств. – 72 с.

Надійшла до редакції  
16.10.2011 р.

УДК 621.3.082

**В.Ю. КУЧЕРУК, В.М. СЕВАСТ'ЯНОВ, В.С. МАНЬКОВСЬКА**

Вінницький національний технічний університет

### ПРО ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕНЕРАТОРІВ ХАОТИЧНИХ КОЛИВАНЬ

В статті розглянуто принципи створення вимірювальних пристроїв з використанням генераторів хаотичних коливань. Проведенні макетні випробування схеми генератора Чуа.

**In the article the principles of measuring devices using generators chaotic oscillations. Conducting test generator circuit Chua.**

Ключові слова: генератор хаотичних коливань, детермінований хаос, чутливість, аттрактор.

#### Вступ

У вимірювальній техніці досить часто виникає питання підвищення чутливості засобів вимірювань до малої зміни вимірювального параметра. Зовсім недослідженою областю є застосування властивостей хаотичних систем у вимірювальній техніці. Використання генератора хаотичних коливань для отримання вимірювальної інформації дозволяє суттєво підвищити чутливість засобів вимірювань, так як в нелінійних хаотичних системах найбільш сильна залежність процесу від параметрів системи виникає саме в режимі хаотичних коливань. Тому дана тема є актуальною.

Теоретичні аспекти використання теорії детермінованого хаосу в вимірюваннях наведено в [1]. Показано, що використання динамічних хаотичних систем дозволяє створювати пристрої з унікальними властивостями детермінованого хаосу.

Однією з головних властивостей хаотичної системи є структурна стійкість атракторів - малі зміни параметра системи міняють структуру атрактора безперервно, причому чутливість хаотичного процесу до параметра здійснюючої його системи надзвичайно висока. Швидкість зміни хаотичного процесу при малій зміні параметра системи оцінюється як експоненціальна [2].

Ця властивість дозволяє значно збільшити чутливість методу 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 (при наявності двох траєкторій: з “збуреними” і “не збуреними” початковими умовами). Таким чином, чутливість такого вимірювального пристрою практично не буде залежати від розрядності АЦП, а його динамічні характеристики – від частоти дискретизації.

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

#### Мета роботи

Створення вимірювальних пристроїв на основі генераторів хаотичних коливань.

#### Виклад основного матеріалу

Найпростіша структурна схема вимірювального пристрою на базі генератора хаотичних коливань (рис. 1), складається з двох частин: нелінійної вимірювальної схеми, до якої підключений ПВП вимірювальної фізичної величини, і вторинного вимірювального перетворювача.

Так схема вимірювального пристрою дозволяє здійснити варіант метода генератора хаотичних коливань, оснований на властивості структурної стійкості атратора хаотичної системи.

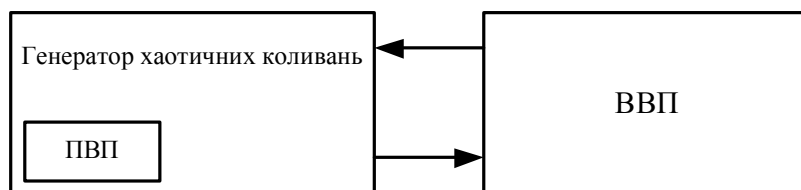


Рис. 1. Структурна схема вимірювального пристрою на базі метода генератора хаотичних коливань

Первинний вимірювальний перетворювач (ПВП) фізичної величини, що вимірюється під’єднується до вимірювальної схеми генератора хаотичних коливань таким чином, щоб його вихідна величина змінювала свій один з параметрів нелінійної хаотичної схеми. З неї дискретизований та оцифрований хаотичний сигнал поступає на вхід комп’ютера, де визначається відхилення параметра вимірювального генератора і на основі закладеної градуированої характеристики обчислюється значення вимірювальної фізичної величини.

Таким чином, принциповою 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. 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.

Як найпростішої схеми генератора хаотичних коливань вибрана схема Чуа (рис. 2).

Схема Чуа являє собою звичайну автоколивну систему з 1,5 степенями вільності. Вона містить коливальний контур  $rLC$  з втратами, інерційний контур  $RC_1$  і активний нелінійний елемент у вигляді нелінійної провідності.

Якщо в паралельному  $RLC$ -контурі просто замінити лінійний опір на нелінійний, то хаосу в системі спостерігатися не буде. Наявність нелінійності не є гарантією виникнення хаосу. Щоб отримати хаотичний сигнал, потрібно використати теорему Шильнікова, виконання умов якої є доведенням хаотичної поведінки.

Паралельне з’єднання  $C_2$  і  $L$  (коливальний контур) утворює один основний осцилюючий механізм, тоді як опір  $R$  забезпечує взаємодію між осцилюючим елементом і активним нелінійним резистором, з’єднаним з конденсатором  $C_1$ . Дія цього активного резистора і пояснює поведінку схеми. Як би цей резистор був лінійним, то всі розв’язки асимптотично прямували б до стану стійкої рівноваги. Так як для нелінійної функції, яка описує резистор, вірне співвідношення  $U_R I_R < 0$  для всіх точок, окрім початку координат, то в зовнішнє коло постійно подається енергія. Атрактивний характер хаотичних траєкторій обумовлений розсіюванням енергії в пасивному елементі  $R$ , що стримує її наростання. Однак баланс енергії виявляється досить “тонким”, і він неперервно змінюється в часі, ніколи не повторюючись як періодичне явище [3].

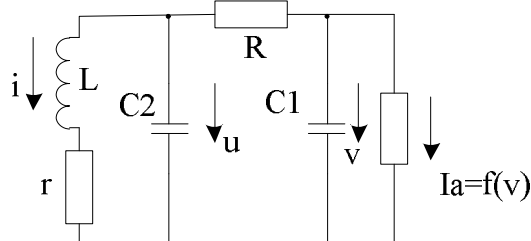


Рис. 2. Схема генератора Чуа

Використовуючи перший і другий закон Кірхгофа, запишемо систему трьох диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} L \frac{di}{dt} = -ri - u; \\ C \frac{du}{dt} = i + \frac{v-u}{R}; \\ C_1 \frac{dv}{dt} = \frac{u-v}{R} - f(v). \end{cases} \quad (1)$$

В безрозмірних змінних система рівнянь (1) прийме вигляд:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = a[y - x - f(x)]; \\ \frac{dy}{dt} = x - y + z; \\ \frac{dz}{dt} = -by, \end{cases} \quad (2)$$

де  $a = 9$ ,  $b = 14,87$ , а  $f(x) = bx + 0,5(a-b)(|x+1| - |x-1|)$  – безрозмірна характеристика активного елемента ( $a = -8/7$ ,  $b = -5/7$ ).

Не дивлячись на простоту, ця схема має в порівнянні з іншими нелінійними хаотичними схемами ряд переваг: по-перше, схема дозволяє реалізувати широкий спектр режимів хаотичних коливань, характерних для нелінійних динамічних систем, по-друге, для схеми Чуа проводились, як числові, так і теоретичні дослідження, і нарешті, легко здійснюється регулювання режимів в схемі за рахунок підбору параметрів генератора.

Схема Чуа легко моделюється в Multisim. Головна задача при моделюванні – правильно моделювати нелінійний резистор. На рис. 3 представлена схема генератора Чуа.

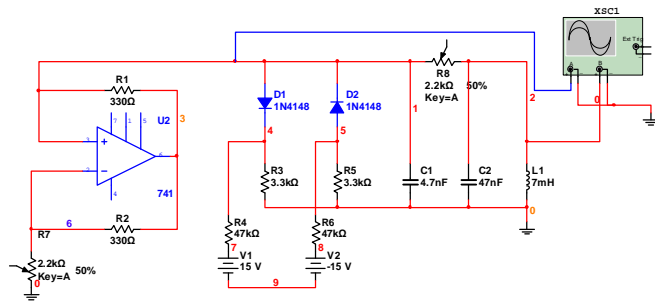


Рис. 3. Схема генератора Чуа

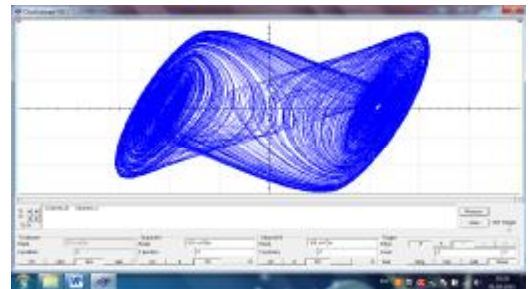


Рис. 4. Фазовий портрет системи Чуа

При створенні макету (рис. 5) вимірювальної схеми на базі генератора хаотичних коливань Чуа були вирішені дві головні задачі:

підібрані такі реальні значення параметрів схеми, для яких існує деяка область, в середині якої схема працює в хаотичному режимі з аттрактором, типу “подвійний завиток”, оптимальним для вимірювань;  
вирішена задача подачі вхідного впливу (сигналу з ПВП вимірювальної фізичної величини) на вимірювальний генератор хаотичних коливань.

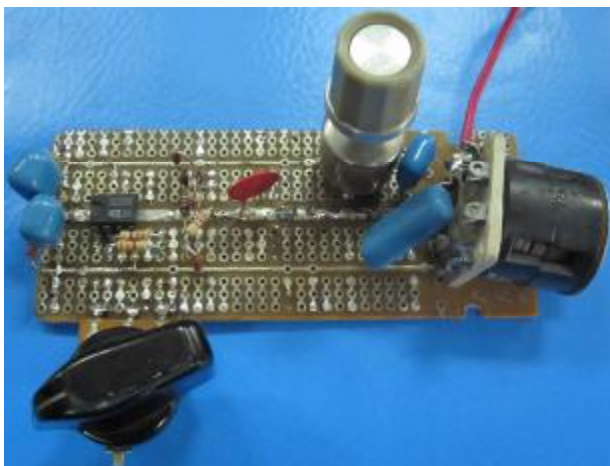


Рис. 5. Макет вимірювальної схеми

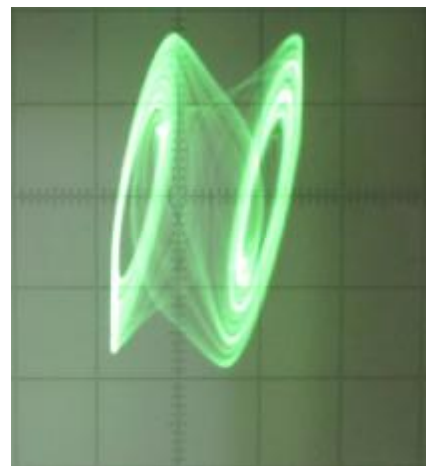


Рис. 6. Фазовий портрет

Не дивлячись на те, що вплив на генератор хаотичних коливань можна здійснювати безпосередньо змінюючи будь-який її параметр (зміну опору ємності чи індуктивності), краще для цього використовувати початкове зміщення негативного нелінійного опору. Останній параметр має найбільшу чутливість до зміни атрактора і зручний з точки зору реалізації електронної схеми.

#### **Висновок**

Таким чином, отримана позитивна відповідь на питання про перспективності використання нелінійних хаотичних систем в вимірюваннях. Проведенні макетні випробування схеми генератора хаотичних коливань Чуа і його численного моделювання підтвердили основні теоретичні припущення про вказані вище можливості нового метода вимірювання.

#### **Література**

1. Воронов С.С. Метод измерения с использованием свойств нелинейных динамических систем / Воронов С.С., Колпаков Л.В., Кузнецов В.А. // Измерительная техника – 1996. – № 12. – С.16 -18.
2. Паркер Т.С. Введение в теорию хаотических систем для инженеров / Т.С. Паркер, Л.О. Чуа [Электронный ресурс] // ТИИЭР, 1987. – Т.75, №8. – С. 6 – 40.
3. Шахтарин Б.И. Генераторы хаотических колебаний / Шахтарин, П.И. Кобылкина, Ю.А. Сидоркина, А.В. Кондратьев, С.В. Митин. – М.: Гелиос АРВ, 2007. – 248 с. I

Надійшла до редакції  
27.6.2011 р.