

**В.Ю.Кучерук, д.т.н., проф;**

**М.В. Глушко, студент**

## **ДЕТЕРМІНОВАНИЙ ХАОС У RL – ДІОДНИХ КОЛАХ ВИСОКОЧАСТОТНОГО СИНУСОЇДАЛЬНОГО СТРУМУ І ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ В МЕТРОЛОГІЇ**

Вінницький національний технічний університет

### ***Анотація***

*В даній роботі розробляється спосіб вимірювання резистивних величин за допомогою генератора детерміновано-хаотичних коливань (ГДХ) та проводиться аналіз наявності детермінованого хаосу RL-діодних колах високочастотного синусоїдального струму при певних параметрах. Також наявні схеми, графіки та фазові портрети, які випливають з використання програмно-інженерських пакетів, які були використані в роботі для досліджень.*

**Ключові слова:** детермінований хаос, хаотичність, генератор, ємність, індуктивність, діод, сигнал, коливання, аттрактор.

### ***Abstract***

*This paper developed a way of measuring resistive values by a deterministic chaos generator (HDC) and analyzes the presence of deterministic chaos RL-diode circuits high-frequency sinusoidal current under certain parameters. Also available schemes, schedules and phase portraits arising from the use of software and Engineering packages that were used in the research*

**Keywords:** deterministic chaos, chaotic, generator, capacitance, inductance, diode, signal fluctuations attractor.

Ускладнення технологічних процесів призводить до необхідності визначення великої кількості фізичних величин. Автоматизація складних виробничих процесів пов'язана із застосуванням різних вимірювальних перетворювачів (ВП), що забезпечують отримання оперативної вимірювальної інформації в належному обсязі і ефективно управління технологічним процесом. Найбільш розповсюдженими є параметричні резистивні ВП.

Значним науковим відкриттям останніх десятиліть є відкриття детермінованого хаосу в динамічних системах [1]. Суть цього відкриття полягає в тому, що повністю певна (детермінована) динамічна система, при відсутності будь-яких випадкових впливів на неї, починає поводитися непередбачуваним (хаотичним) чином. Однак у цій непередбачуваності (хаотичності) при більш ретельнім розгляді вдається виявити ряд закономірностей в поведінці системи, відрізняє дане явище від класичних випадкових процесів. Незважаючи на хаотичний характер, коли на практиці передбачити стан системи в заданий момент часу можна тільки статистично, процес в таких системах істотно відрізняється від звичайного статистичного шуму. До фундаментальних властивостей таких систем відноситься досить високу чутливість хаотичного процесу до зміни внутрішніх параметрів генератора детермінованого хаосу (ГДХ).

Розглянемо метод вимірювання фізичних величин з використанням ГДХ. У його основі лежить вимірювальне коло нелінійної електричної схеми в режимі детерміновано-хаотичних коливань. ВП підключається до схеми ГДХ таким чином, щоб його початкове значення змінювало значення одного

з параметрів ГДХ. Вимірювальною інформацією в даному методі є реалізація хаотичного процесу, що знімається з ГДХ, яка надходить на обробку в обчислювальний блок.

Засіб вимірювання, створений на базі ГДХ, матиме функцію перетворення у вигляді залежності характеристики атрактора ГДХ від вимірюваної фізичної величини. Основною перевагою даного метода є можливість побудови на його основі засобів вимірювання, більш чутливих в порівнянні з існуючими. Узагальнена структурна схема вимірювального пристрою складається з двох частин: ГДХ, до якого підключений ВП, і обчислювального пристрою, в якому реалізовані алгоритми визначення параметра ГДХ.

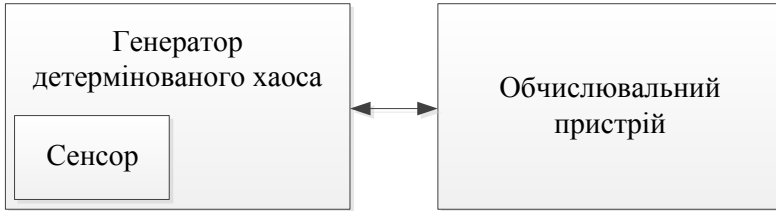


Рисунок 1 - Узагальнена структурна схема вимірювального пристрою на основі ГДХ

Сенсор вимірюваної фізичної величини підключається до вимірювальної схеми ГДХ таким чином, щоб його вихідна величина змінювала один з параметрів ГДХ.

При виборі практичної реалізації ГДХ потрібно врахувати ряд обставин: простота реалізації, наявність діапазону зміни

параметрів, які забезпечують хаотичний режим, наявність математичної моделі, яка дозволяє досить просто моделювати хаотичний процес.

Як подальший об'єкт дослідження обрано ГДХ на основі високочастотного RL-діодного кола, наведений на рис. 2. Це неавтономний генератор, так як схема, яка складається з лінійного RL-кола, з'єднана послідовно з діодом  $D$  і джерелом змінної напруги. У цій простій системі виникнення нелінійних хаотичних коливань визначається параметрами ланцюга.

Здійснимо аналіз причин і умов виникнення хаотичних коливань в RL-діодному колі. Для цього спочатку розглянемо схему заміщення діода. Схема заміщення діода в режимі малого сигналу (у найбільш загальному випадку) представлена на рис. 3. Згідно з цією схемою діод являє собою паралельне з'єднання нелінійного резистора  $R_d$  і двох нелінійних ємностей - бар'єрної  $C_j$  і дифузійної  $C_d$ .

Бар'єрна ємність визначається за формулою

$$C_j = C_{j0} / \left(1 - \frac{U}{U_D}\right)^n, \quad (1)$$

де  $C_{j0}$  - бар'єрна ємність при нульовій напрузі діода;  $U$  - напруга діода;  $U_D$  - дифузійна напруга діода;  $n$  - технологічний коефіцієнт, що лежить в діапазоні (1/3...2/3).

Дифузійна ємність визначається як

$$C_d = \frac{\tau_B I_S}{m U_T} \exp\left(\frac{U}{m U_T}\right), \quad (2)$$

де  $I_S$  - тепловий струм діода;  $\tau_B$  - час життя неосновних носіїв заряду;  $U$  - напруга діода;  $U_T$  - теплова напруга діода;  $m$  - коефіцієнт емісії.

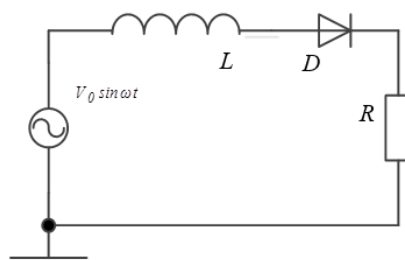


Рис. 2. Схема генератора детерміновано-хаотичних коливань на основі RL-діодного кола

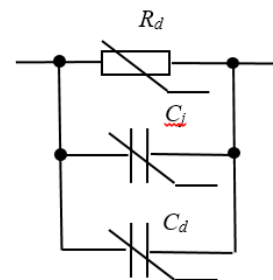


Рис. 3. Схема заміщення діода в режимі малого сигналу

Після розрахунку операторного зображення струму ланцюга та ітераційного алгоритму була побудована залежність  $U_2 = f(U_1)$ , де  $U_2 = IR$ .

Графік цієї залежності зображений на рис. 4. З цього графіка видно, що при вищенаведених параметрах схеми її режим являє собою хаотичні коливання. Були також проведені розрахунки режиму

ланцюга, при інших значеннях індуктивності і частоти, з метою оцінити вплив цих параметрів на характер хаотичних коливань. Графіки залежностей  $U_2 = f(U_1)$  показані, відповідно, на рис. 5-6.

Аналіз атракторів, представлених на рис. 4-6 показує, що в  $RL$ -діодних ланцюгах синусоїдального струму, якщо період коливань порівняємо з постійною часу перехідного процесу, може виникнути ситуація, коли в кінці періоду струм в колі не загасає до нуля і новий період починається з ненульових початкових умов. При цьому, внаслідок суттєвої нелінійності параметрів схеми заміщення діода, в ланцюзі має місце практично незатухаючий перехідний процес, який набуває форми хаотичних коливань. При збільшенні індуктивності ланцюга розмах атрактора збільшується. У разі збільшення частоти вхідної напруги спостерігається тенденція деякого зміщення атрактора в напрямку негативних напруг [4].

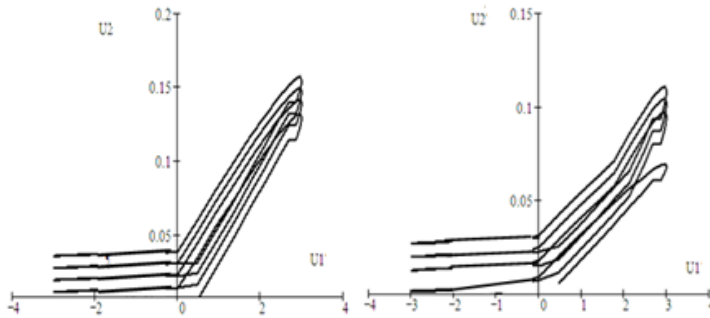


Рис. 4. Графік залежно  $U_2=f(U_1)$ , при  $f = 10$  [кГц],  $L = 50$  [мГн],  $R = 2$  [кОм]

Рис. 5. Графік залежності  $U_2=f(U_1)$ , при  $f = 10$  [кГц],  $L = 100$  [мГн],  $R = 2$  [кОм]

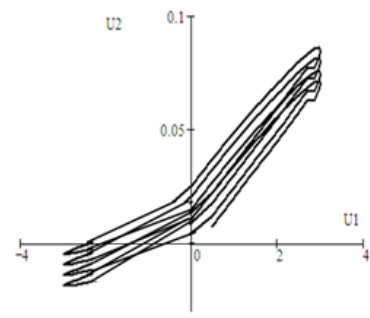


Рис. 6. Графік залежності  $U_2=f(U_1)$ , при  $f = 20$  [кГц],  $L = 50$  [мГн],  $R = 2$  [кОм]

З ГДХ хаотичний сигнал надходить на вхід обчислювального пристрою, де визначається відхилення певного параметра ГДХ і на основі закладеної градуїрованої характеристики обчислюється значення вимірюваної фізичної величини. У роботі досліджена можливість вимірювання резистивної фізичної величини за допомогою ГДХ. Показано, що ГДХ на основі  $RL$ -діодного ланцюга має достатньо високу чутливість вихідної напруги до зміни опору в діапазоні до 250 Ом [2, 3], що може бути використано при створенні вимірювальних пристроїв. Для дослідження була створена схема в програмно пов'язаних між собою пакетах Multisim (рис. 7) та LabView (рис. 8), спостерігався детермінований хаос в вигляді фазового портрета схеми з певними заданими параметрами.

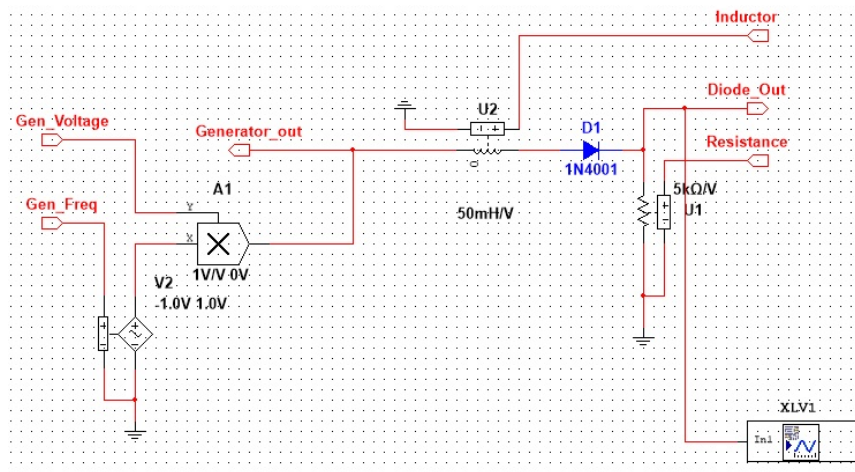


Рисунок 7 – Реалізація  $RL$ -діодного генератора детермінованого хаосу в пакеті Multisim

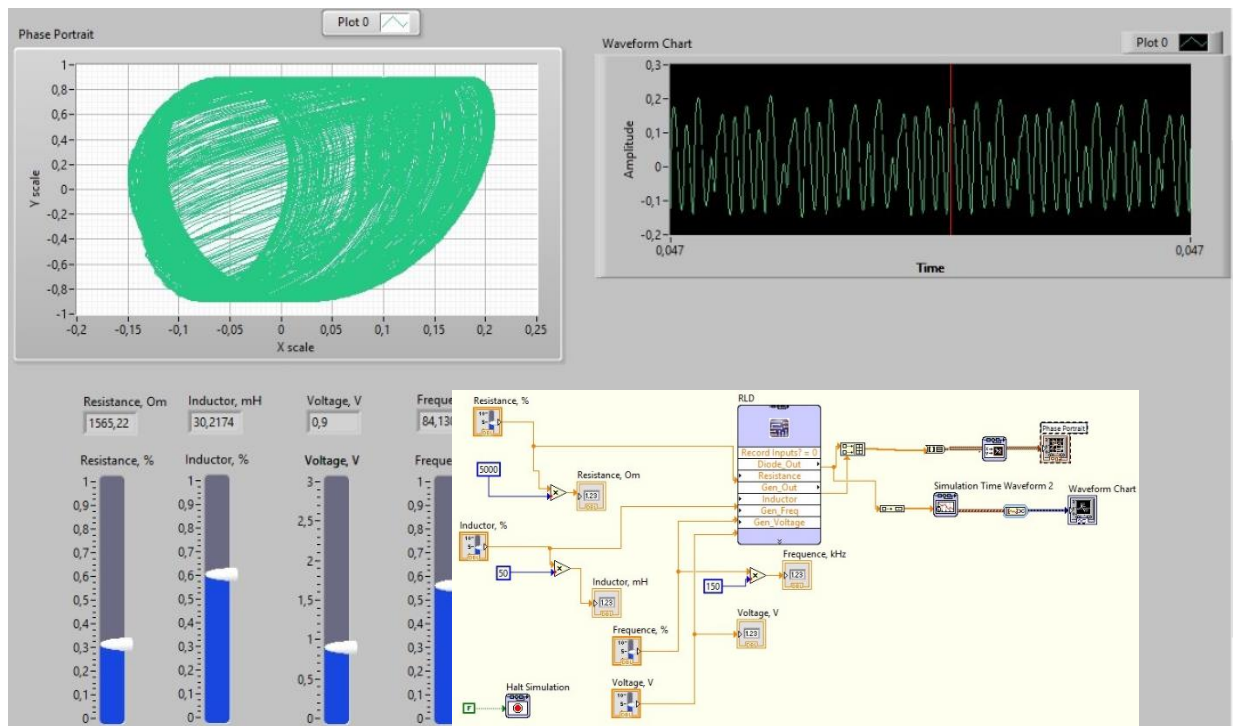


Рисунок 8 – Реалізація фазового портрету в пакеті LabView

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. W. Kucheruk, Z. L. Warsza, W. Sewastyanow, W. Mankowska Generator oscylacji chaotycznych o układzie RL-diody jako przetwornik rezystancja-napięcie. // Przegląd Elektrotechniczny, 2013, V. 10, p. 266-269.
2. V. Kucheruk, S.Sh. Katsyv, V.S. Mankovska, M.V. Mykhalko Research of the “Determined Chaos” phenomenon in the RL-Diode electric circuit of sinusoidal current // Proceeding the Sixth World Congress “Aviation in the XXI-st Century”, volume 1, September 23-25, Kyiv, 2014, p. 1.10.20-1.10.24.
3. Кучерук В.Ю., Маньковська В.С., Глушко М.В. Детермінований хаос у RL-діодних колах високочастотного синусоїдального струму і його застосування в метрології // 5-та науково-практична конференція студентів і молодих учених «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання». – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ. -2015. – С.116
4. Кучерук В.Ю., Глушко М.В. Резистивний перетворювач фізичних величин на основі генератора детерміновано-хаотичного сигналу [Електронний ресурс] : за даними наукової конференції 2016 р. / Національний університет «Львівська політехніка» ; ЛЬВІВ :CD-вид-во «Інфодиск»,2016. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM) : кольор. ; 12 см. – (Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених у царині метрології «Technical Using of Measurement – 2016»). – Систем. вимоги: Pentium-266 ; 32 Mb RAM ; CD-ROM Windows 98/2000/NT/XP/7. – Назва з титул. екрана.

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ:

**Кучерук Володимир Юрійович** – доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри «Метрології та промислової автоматики»,

Вінницький національний технічний університет

**Глушко Михайло Васильович** – студент, група МІТ-126