

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

**МАНЬКОВСЬКА ВІКТОРІЯ СЕРГІЇВНА**



УДК 621.317.73

**РЕЗИСТИВНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН НА ОСНОВІ  
ГЕНЕРАТОРІВ ДЕТЕРМІНОВАНО-ХАОТИЧНОГО СИГНАЛУ**

05.11.05 - прилади та методи вимірювання електричних та магнітних величин

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів – 2015

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Кучерук Володимир Юрійович**,  
завідувач кафедри метрології та промислової  
автоматики Вінницький національний технічний  
університет, м. Вінниця

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Походило Євген Володимирович**,  
професор кафедри метрології, стандартизації та  
сертифікації Національного університету  
“Львівська політехніка”, м. Львів

кандидат технічних наук, доцент  
**Кочан Володимир Володимирович**,  
професор кафедри інформаційно-обчислювальних  
систем і управ Тернопільського національного  
економічного університету, м. Тернопіль

Захист відбудеться «28» грудня 2015 року о 12<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.21 у Національному університеті “Львівська політехніка” (79013, м. Львів-13, вул. С. Бандери, 28 а, ауд. 713 п'ятого навчального корпусу).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” (79013, Львів, вул. Професорська, 1)

Автореферат розісланий «\_\_» листопада 2015 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради, д.т.н., доц.



Т. З. Бубела

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** З ускладненням технологічних процесів зростає потреба визначення великої кількості параметрів і фізичних величин. Автоматизація складних виробничих процесів пов'язана із застосуванням різноманітних вимірювальних перетворювачів, що забезпечують одержання оперативної вимірювальної інформації в належному обсязі й ефективно керування технологічним процесом.

Під час вимірювання параметрів технологічних процесів, таких як температура, тиск, механічні переміщення широко використовуються первинні резистивні перетворювачі (реостатні, контактного опору, фоторезистивні, електрохімічні резистивні, терморезистивні, тензорезистивні, магніторезистивні).

У багатьох з них для забезпечення необхідних для практики метрологічних характеристик (розрізнявальної здатності зокрема) необхідно перетворювати досить малі зміни вихідного опору, наприклад, при термометричних вимірюваннях (для досягнення потенційної розрізнявальної здатності термосенсора  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  і при використанні 12-розрядного АЦП необхідний підсилювач з коефіцієнтом підсилення 125). Це в свою чергу призводить до підсилення випадкових завад на корисний сигнал, внаслідок чого збільшується випадкова похибка вимірювань. Таким чином, постає задача підвищення чутливості резистивних вимірювальних перетворювачів із одночасним забезпеченням низького рівня випадкових шумів.

Недостатньо дослідженою областю є застосування властивостей хаотичних систем у вимірюваннях. Використання генератора детерміновано-хаотичних коливань як вимірювального перетворювача 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.

Одним із самих значних наукових відкриттів 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. Більше того, на відміну від класичних випадкових процесів, явище детермінованого хаосу може бути багаторазово відтворене в натурних і лабораторних експериментах. Найбільш істотним є те, що детермінований хаос не є якимось винятковим режимом поведінки динамічних систем, навпаки, такі режими спостерігаються в дуже багатьох динамічних системах, які розглядаються в математиці, фізиці, хімії, біології, медицині та економіці. Такі детерміновані хаотичні режими інколи є більш типовими режимами, ніж повністю передбачувані (регулярні) режими. Тому дослідження

з хаотичної динаміки є одним з магістральних шляхів розвитку сучасного природознавства. Варто виділити дослідження В.С. Анищенка, В.І. Арнольда, Г. Бенеттіна, Г.М. Заславського, Д. Йорка, Д. Каплана, А.П. Кузнецова, С.П. Кузнецова, П. Манневілья, В.В. Мелешка, В.К. Мельнікова, Ю.В. Міхліна, Ю.І. Неймарка, І. Помо, Д. Рюеля, Я.Г. Сіная, С. Смейла, Ф. Такенса, М. Фейгенбаума, Л. Чуа, М. Ено, О.М. Шарковського, Л.П. Шильнікова. Над створенням перетворювачів на основі генераторів детерміновано-хаотичних коливань (ГДХК) працюють Т.В. Патрушева, Є.М. Патрушев.

Незважаючи на досягнення, невирішеною залишається задача створення резистивних вимірювальних перетворювачів з підвищеною чутливістю.

Отже, актуальним є розробка резистивного перетворювача на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань, що дозволить підвищити чутливість вимірювального перетворення резистивних фізичних величин. Цього можна досягти шляхом використання генератора детерміновано-хаотичних коливань як вимірювального перетворювача для отримання вимірювальної інформації.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Основний зміст роботи складають результати досліджень, які протягом 2011-2013 років відповідно до наукового напрямку кафедри метрології та промислової автоматики Вінницького національного технічного університету (ВНТУ) за держбюджетною роботою “Розробка теоретичних засад побудови високочутливих засобів вимірювання та контролю з використанням генераторів хаотичних коливань” № 42-Д-328 (державна реєстрація теми №0111U001109, 2011р.). Дисертаційна робота виконувалась відповідно до тематичних планів науково-дослідних робіт на кафедрі метрології та промислової автоматики Вінницького національного технічного університету у відповідності з пріоритетним напрямком у приладобудуванні 1.2.8.3 “Розробка нових інформаційних технологій на основі вимірювань електричних, магнітних і оптичних сигналів та їх аналіз”, затвердженому НАН України (наказ 1066/609 від 26.11.2009 р.) “Про затвердження основних наукових напрямів та найважливіших проблем фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук на 2009-2013 роки”.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення чутливості резистивних перетворювачів фізичних величин за рахунок використання генератора детерміновано-хаотичного сигналу як вторинного перетворювача.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати існуючі методи та засоби вимірювання резистивних вимірювальних перетворювачів;
- проаналізувати існуючі методи та засоби технічної реалізації генераторів детерміновано-хаотичних коливань;
- обґрунтувати доцільність використання генераторів детерміновано-хаотичних коливань в засобах вимірювання;
- дослідити генератори детерміновано-хаотичних коливань;

- дослідити чутливість RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань;
- дослідити явище “детермінованого хаосу” в RL-діодному електричному колі синусоїдального струму;
- розробити схемну реалізацію вторинного вимірювального перетворювача на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань;
- дослідити метрологічні характеристики розробленого засобу вимірювання.

**Об’єкт дослідження** – процеси перетворення інформаційних сигналів, що протікають у вторинному резистивному вимірювальному перетворювачі на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань.

**Предмет дослідження** – чутливість резистивних перетворювачів фізичних величин.

**Методи дослідження.** Використано теоретичні та експериментальні методи досліджень, що ґрунтуються на загальній теорії вимірювання, теорії вимірювальних сигналів, методах імітаційного моделювання, теорії детермінованого хаосу, методів розв’язання диференціальних рівнянь, теорії електричних кіл та сигналів.

**Наукова новизна одержаних результатів.** В роботі отримані наступні наукові результати:

1. Вперше запропоновано метод перетворення вихідного сигналу резистивних вимірювальних перетворювачів, який базується на використанні генератора детерміновано-хаотичного сигналу, що дозволяє підвищити чутливість резистивних вимірювальних перетворювачів.

2. Удосконалено математичну модель процесів, що перебігають в RL-діодному генераторі детерміновано-хаотичних коливань, яка, на відміну від існуючих, дає можливість врахувати вплив ємності рп-переходу діода, що дозволяє підвищити точність моделювання процесів, що протікають у детерміновано-хаотичному резистивному вимірювальному перетворювачі.

3. Вперше запропоновано використати синхронний детектор для вимірювального перетворення вихідного сигналу генератора детерміновано-хаотичних коливань, що дозволило зменшити вплив випадкових завад на перетворювач.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає, насамперед, у створенні детерміновано-хаотичного резистивного вимірювального перетворювача з підвищеною чутливістю.

Математичні моделі, що отримані в роботі, можуть бути використані для інженерного розрахунку функції вимірювального перетворення та чутливості резистивних перетворювачів.

Розроблено структуру та принципову схему вимірювального перетворювача опору в напругу на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань.

Окремі практичні результати дисертаційних досліджень (розроблено терморезистивний перетворювач, що застосований у цифровому регуляторі

температури, зокрема були використанні принципи побудови вимірювального перетворювача, які базуються на використанні генератора детерміновано-хаотичного сигналу, метод вимірювання фізичних величин з використанням властивостей динамічного хаосу) впроваджено на ТОВ, НВН “Енергоефект” (акт від 27 вересня 2015р.), а теоретичні та практичні положення роботи (дослідження резистивного вимірювального перетворювача на основі генератора детерміновано-хаотичних коливань; вимірювальні перетворювачі на основі генератора детерміновано-хаотичних коливань) впроваджено у навчальний процес кафедри метрології та промислової автоматики (МПА) Вінницького національного технічного університету у матеріалах лекцій з дисципліни «Вимірювальні перетворювачі» та «Сенсори для випробувальних систем» (акт від 2 вересня 2015 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати, які відображають суть дисертаційної роботи автор отримав особисто. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, безпосередньо автору належить наступне: [1] – вдосконалено модель динаміки генератора детерміновано-хаотичних коливань з урахуванням властивостей нелінійного резистора; [2] – розроблено математичну модель генератора детерміновано-хаотичних коливань на основі схеми Чуа; [3] – проведено моделювання атрактора в середовищі Multisim; [4] – розглянуто основні підходи визначення параметрів нелінійних динамічних систем по реалізації хаотичного процесу; [5] – досліджено генератор детерміновано-хаотичних коливань на предмет використання в структурі вимірювальних каналів параметричних фізичних величин; [6] – розглянуто принципи створення вимірювальних пристроїв з використанням генераторів детерміновано-хаотичних коливань, проведені макетні випробування схеми генератора Чуа; [7] – проведено аналіз використання прецизійних генераторів детерміновано-хаотичних коливань в вимірювальній техніці, проведено моделювання в середовищі Multisim прецизійних генераторів детерміновано-хаотичних коливань; [8] – розглянуто перспективу створення перетворювачів опору в напругу на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань для підвищення чутливості засобів вимірювання, проведено дослідження схеми RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань, побудовано графіки залежності вихідної напруги від опору та графіки чутливості; [9] – розглянуто основні принципи створення вимірювальних пристроїв з використанням генераторів детерміновано-хаотичних коливань; [10] – розроблено резистивний вимірювальний перетворювач на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань; [11] – розроблено тензорезистивний перетворювач на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань; [12] – розроблено перетворювач опору в напругу на основі RL-діодного генератора хаотичних коливань; [13] – розроблено ємнісний перетворювач на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань, проведено моделювання в середовищі Multisim; [14] – проведено аналіз причин і умов виникнення хаотичних коливань в нелінійному RL-діодному електричному ланцюгу синусоїдального струму.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати виконаних в дисертації досліджень доповідалися та обговорювалися на міжнародних та регіональних конференціях: IX міжнародній конференції “Контроль і управління в складних системах” (КУСС-2008); III міжнародній конференції молодих вчених “Комп’ютерні науки та інженерія” (CSE-2009); II міжнародній науково-практичній конференції “Інтегровані інтелектуальні роботехнічні комплекси” (ІПРК-2009); IV міжнародній науково-практичній конференції “Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування” (СПРТП-2009); IV міжнародній науково-практичній конференції “Інтегровані інтелектуальні роботехнічні комплекси” (ІПРК-2011); I міжнародній науковій конференції, присвяченій пам’яті професора В.О. Поджаренка “Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах” (ВКДТС-2011); XI міжнародній науково-технічній конференції “Приладобудування: стан і перспективи” (2012 р.); XI міжнародній конференції “Контроль і управління в складних системах” (КУСС-2012); International Ukrainian-Japanese Conference on Scientific and Industrial Cooperation (2013 у); II міжнародна наукова конференція “Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах” (ВКДТС-2013); Proceeding the Sixth World Congress “Aviation in the XXI-st Century”; XII міжнародній конференції “Контроль і управління в складних системах” (КУСС-2014).

**Публікації.** Основний зміст роботи опублікований у 24 друкованих працях, в тому числі 6 статей у наукових журналах, що входять до переліку фахових видань України, 1 стаття у науковому журналі, що входить до наукометричної бази даних Scopus, 2 патенти України на корисну модель, 15 тез доповідей на науково-технічних конференціях різного рівню.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається з переліку умовних скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який містить 74 найменувань та 4 додатків. Основний зміст дисертації складає 134 сторінок. Загальна кількість - 150 сторінок, робота містить 82 рисунка.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, та зв’язок з науковими планами та темами, сформульовано мету і задачі досліджень, викладено наукову новизну й практичне значення отриманих результатів. Наведено дані про кількість публікацій та апробацій за тематикою виконаних досліджень.

**У першому розділі** проведено огляд існуючих резистивних перетворювачів, аналіз методів та засобів реалізації генераторів детерміновано-хаотичних коливань. Проведений аналіз показав, що у багатьох резистивних перетворювачів для забезпечення необхідних для практики метрологічних характеристик необхідно перетворювати досить малі зміни вихідного опору, це в свою чергу призводить до підсилення випадкових завад на корисний сигнал, внаслідок чого збільшується випадкова похибка вимірювань. Використання ГДХК як вимірювального перетворювача для отримання вимірювальної

інформації дає змогу суттєво підвищити чутливість засобів вимірювань, оскільки в нелінійних хаотичних системах найбільш сильна залежність процесу від параметрів системи виникає саме в режимі хаотичних коливань.

Тому було запропоновано розробити резистивний перетворювач фізичних величин на основі ГДХК, що дало б змогу підвищити чутливість резистивних вимірювальних перетворювачів із одночасним забезпеченням низького рівня випадкових шумів.

**В другому розділі** проведено аналіз використання прецизійних генераторів детерміновано-хаотичних коливань в вимірювальній техніці. Моделювання схеми в середовищі Multisim показало, що у випадку вибору однакових параметрів усі генератори демонструють ідентичні за структурою і основними характеристиками хаотичні коливання. Заміна операційних підсилювачів або пасивних елементів (в межах вказаної точності) не призводить до порушення хаотичних режимів. Більш того, вітчизняні операційні підсилювачі КР1401УД2Б, що являються аналогом підсилювачів серії LM324А, забезпечують ідентичні результати.

Розробка прецизійних генераторів детерміновано-хаотичних коливань і використання їх в вимірювальній техніці дозволяє створювати високочутливі засоби вимірювання.

Проведено дослідження генератора Чуа, підібрані такі реальні значення параметрів схеми, для яких існує деяка область, в середині якої схема працює в хаотичному режимі з атрактором, типу “подвійний завиток”, оптимальним для вимірювань, таким чином, отримана позитивна відповідь на питання про перспективності використання нелінійних хаотичних систем в вимірюваннях. Проведенні макетні випробування схеми генератора Чуа і його численного моделювання підтвердили основні теоретичні припущення.

Проведено дослідження чутливості RL-діодного ГДХК.

Для цього проведено математичне моделювання процесів, що виникають у ньому. RL-діодний ГДХК (рис. 1) буде поводитись по-різному в двох різних режимах: перший режим – коли струм через діод протікає в прямому напрямку, другий режим – коли струм через діод протікає у зворотному напрямку.

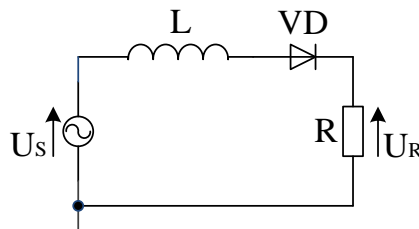


Рисунок 1 – Схема RL-діодного ГДХК ( $U_s$  - напруга живлення;  $L$  - індуктивність;  $R$  - опір;  $VD$  - діод;  $U_R$  - напруга на опорі)

Протягом часу протікання струму через діод у прямому напрямку діод діє як фіксоване зміщення напруги. За законом Кірхгофа для напруги записується перше диференціальне рівняння



$$L \frac{dI}{dt} + R \cdot I = V_0 \cdot \sin \omega t + V_f, \quad (1)$$

де  $I$  - струм;  $V_0$  - пікова амплітуда змінної вхідної напруги;  $\omega = 2\pi f$ ;  $V_f$  - пряме падіння напруги діода.

Протягом часу протікання струму через діод у зворотному напрямку діод поводить ся як конденсатор із ємністю, рівною його ємності переходу ( $c_j$ ). Використовуючи закон Кірхгофа для напруг, можна отримати друге диференціальне рівняння

$$L \cdot \frac{d^2 I}{dt^2} + R \cdot \frac{dI}{dt} + \frac{1}{c_j} \cdot I = V_0 \cdot \omega \cdot \sin \omega t, \quad (2)$$

де  $c_j$  - ємність переходу.

Рівняння (1) та (2) можна розв'язати також відносно напруг  $U_R$ . При цьому (1) і (2) запишуться відповідно як

$$\begin{cases} \frac{L}{R} \cdot \frac{dU_R}{dt} + U_R = V_0 \cdot \sin(\omega t) + V_f; & (3) \\ \frac{L}{R} \cdot \frac{d^2 U_R}{dt^2} + \frac{dU_R}{dt} + \frac{U_R}{c_j R} = V_0 \cdot \sin(\omega t) \omega. & (4) \end{cases}$$

Розв'язавши рівняння при нульових початкових умовах, коефіцієнти в експонентах приймають великі значення, а самі експоненти прямують до нуля, можна знехтувати відповідними компонентами. Тоді рівняння (3), (4) запишуться:

$$\begin{aligned} U_{R1}(t) &= \frac{1}{z_a^2} [V_f^2 (R^2 + \omega^2 L^2) + R V_0 (\omega L \cos(\omega t) + R \sin(\omega t))] = \\ &= \frac{1}{z_a^2} [V_f^2 z_a^2 + R V_0 (\omega L \cos(\omega t) + R \sin(\omega t))] = \\ &= V_f^2 + \frac{R V_0}{z_a^2} (\omega L \cos(\omega t) + R \sin(\omega t)); \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} U_{R2}(t) &= \frac{V_0 \omega c_j (-R c_j \omega \cos(\omega t) + \sin(\omega t)(1 - \omega^2 c_j L))}{1 - 2L c_j \omega^2 + \omega^4 c_j^2 L^2 + \omega^2 c_j^2 R^2} = \\ &= \frac{V_0 \omega c_j (\sin(\omega t)(1 - \omega^2 c_j L) - R c_j \omega \cos(\omega t))}{1 + \omega^2 c_j (c_j R^2 - 2L) + \omega^4 c_j^2 L^2}, \end{aligned} \quad (6)$$

де  $U_{R1}$ ,  $U_{R2}$  - напруги на опорі, відповідно протягом часу протікання струму через діод у прямому і зворотному напрямках;  $z_a = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$  - опір прямого зміщення електричного кола.

Чутливість рівнянь перетворення (5) і (6) відносно вхідного параметру  $R$  визначиться:

$$\frac{dU_{R1}}{dR} = \frac{V_0}{R^2 + \omega^2 L^2} \cdot [\omega L \cos(\omega t) + R \sin(\omega t) - 2R^2(\omega L \cos(\omega t) + R \sin(\omega t)) + R \sin(\omega t)] + \frac{V_0}{R^2 + \omega^2 L^2} \cdot [(\omega L \cos(\omega t) + R \sin(\omega t)) \cdot (1 - 2R^2) + R \sin(\omega t)]. \quad (7)$$

$$\frac{dU_{R2}}{dR} = -V_0 \omega^2 c_j^2 \cdot \left[ \frac{\cos(\omega t)}{1 + \omega^2 c_j (R^2 c_j - 2L) + \omega^4 c_j^2 L^2} + \frac{2\omega c_j R((1 - Lc_j \omega^2) \sin(\omega t) - Rc_j \cos(\omega t))}{(1 + \omega^2 c_j (R^2 c_j - 2L) + \omega^4 c_j^2 L^2)^2} \right]. \quad (8)$$

Порівняльний аналіз амплітудних значень напруг отриманих рівнянь чутливості (7) і (8) показав, що  $\frac{dU_{R1}}{dt} > \frac{dU_{R2}}{dt}$ , тому для подальших досліджень вибране рівняння (7).

Результат чисельного моделювання функції перетворення (5) при роботі схеми генератора детерміновано-хаотичних коливань при прямому напрямку струму через діод представлено на рис. 2.

Аналіз даного графіку показує, що амплітудне значення напруги на резисторі  $U_{R1}(t)$  змінюється практично лінійно від величини резистора  $R$ . Тому, застосувавши амплітудний (піковий) детектор до коливального сигналу  $U_{R1}(t)$ , можна розробити лінійний перетворювач опору в напругу.

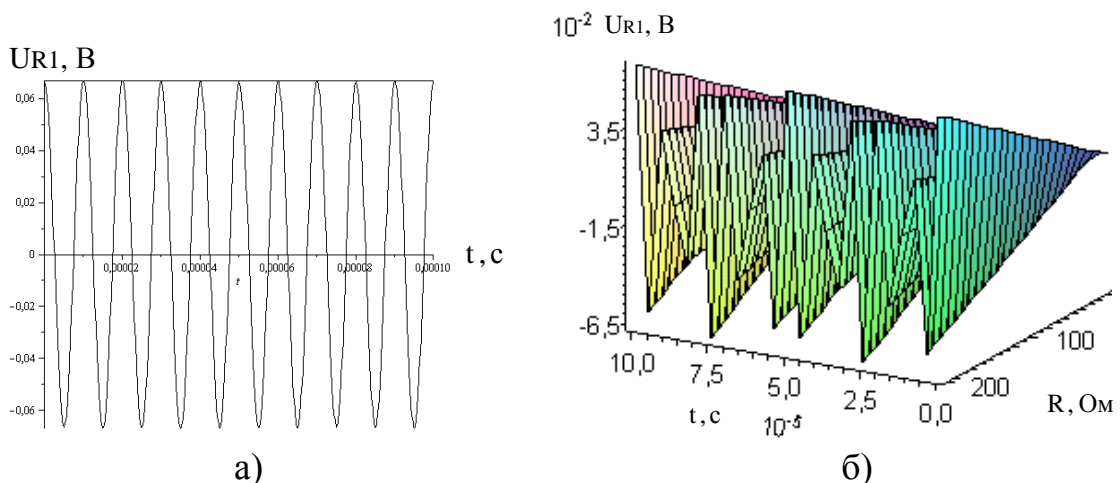


Рисунок 2 – Результат чисельного моделювання функції перетворення: а) осцилограма  $U_{R1}$  і огинаюча сигналу; б) залежність  $U_{R1}$  від  $R$  та  $t$

Проведено дослідження явища «детермінованого хаосу» в RL-діодному електричному колі синусоїдального струму з використанням схеми заміщення діода. Результат даного дослідження показує, що в RL-діодних колах

синусоїдного струму, якщо період коливань є сумірним зі сталою часу перехідного процесу, може виникнути ситуація, коли в кінці періоду струм в колі не згасає до нуля і новий період починається з ненульових початкових умов. При цьому, внаслідок суттєвої нелінійності параметрів діода, в колі має місце практично незгасаючий перехідний процес, який приймає форму хаотичних коливань.

**В третьому розділі** розроблено метод та засіб вимірювання резистивних вимірювальних перетворювачів.

Визначено, що перетворювач опору в напругу на основі ГДХК з використанням амплітудного детектора обмежує використання пристрою в умовах підвищеного рівня завад, оскільки при амплітудних вимірюваннях чутливість вимірювального перетворення обмежується флуктуаційними завадами, які збільшують випадкову похибку вимірювань. За рахунок використання синхронного детектора досягається значне зменшення випадкової похибки вимірювання.

Розроблено перетворювач опору в напругу з використанням RL-діодного ГДХК та синхронного детектора (рис. 3).

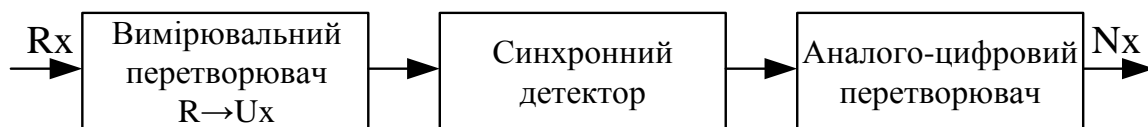


Рисунок 3 – Структурна схема перетворювача опору в напругу на основі ГДХК

Вимірювальний перетворювач, в основі якого лежить ГДХК, є коливальною системою зі складною динамікою. Різноманітні коливальні режими, які демонструє така система, потребують детального розгляду для вибору оптимальних режимів роботи вимірювального перетворювача.

Схема включає в себе всього два лінійні елементи (опір  $R$  і індуктивність  $L$ ) і один нелінійний елемент (діод  $D$ ). При виборі величин елементів схеми перетворювача на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань необхідно враховувати не тільки можливість попадання в зону хаосу, але також сусідство з іншими коливальними режимами.

В програмному середовищі Multisim була виконана схема RL-діодного детерміновано-хаотичного генератора ( $R = 2 \text{ кОм}$ ,  $L = 50 \text{ мГн}$ ,  $D - 1N4531$ ), а також схема амплітудного детектора. Схема RL-діодного ГДХК наведена на рис. 4. Для реалізації перетворення опору в постійну напругу на вихід генератора детерміновано-хаотичних коливань підключений амплітудний детектор. Як первинний вимірювальний перетворювач використаний змінний резистор  $R1$ .

На рис. 5 наведено атрактор вихідного сигналу RL-діодного ГДХК.

На рис. 6, 7 побудовані графіки залежності вихідної напруги від опору та чутливості напруги до змінення опору.

З графіків чутливості напруги до змінення опору видно, що при зменшенні опору чутливість збільшується.

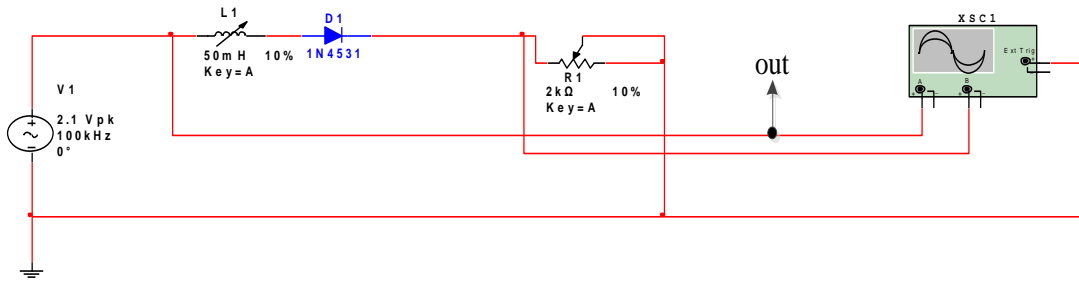


Рисунок 4 – Вимірювальна схема RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань (пакет Multisim)

Виявлено, що чутливість вимірювального перетворення схеми RL-діодного ГДХК вища за чутливість порівнюваної схеми.

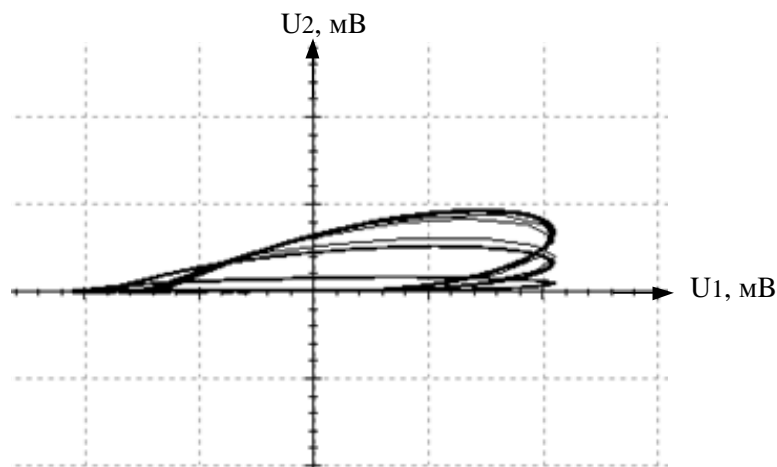


Рисунок 5 – Атрактор RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань

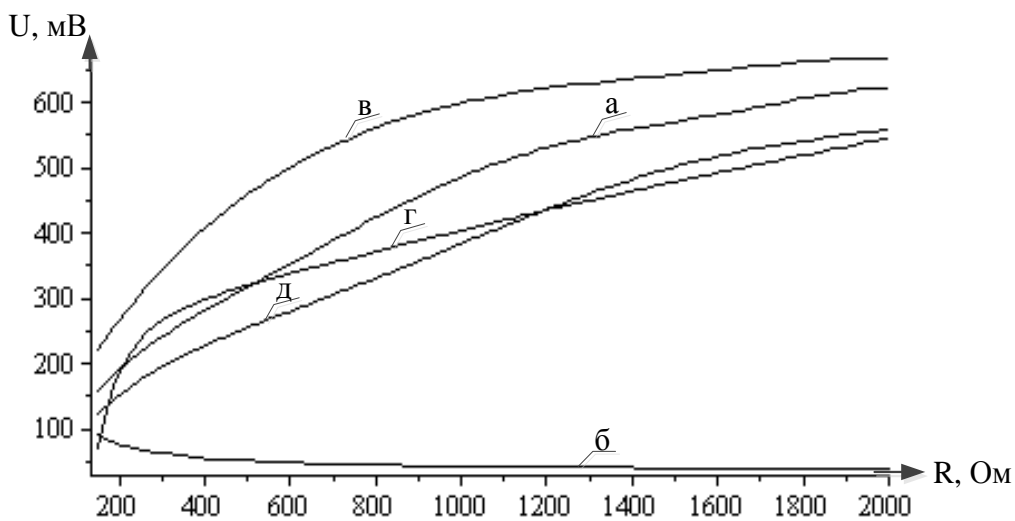


Рисунок 6 – Залежності вихідної напруги від опору: а – при  $L=1500$  мкГн, б – при  $L=1000$  мкГн, в –  $L=800$  мкГн, г – при  $L=500$  мкГн (RL-діодного ГДХК); д – мостова вимірювальна схема

Встановлено, що використання вимірювального перетворювача на основі RL-діодного ГДХК дозволяє збільшити чутливість при вимірюванні малих значень опорів. Значне підвищення чутливості відбувається при вимірюванні опорів менше 200 Ом.

Розроблено структурну та електричну принципову схеми резистивного вимірювального перетворювача на основі RL-діодного ГДХК з використання синхронного детектора для вимірювального перетворення вихідного сигналу генератора детерміновано-хаотичних коливань, що дозволило зменшити вплив випадкових завад на перетворювач.

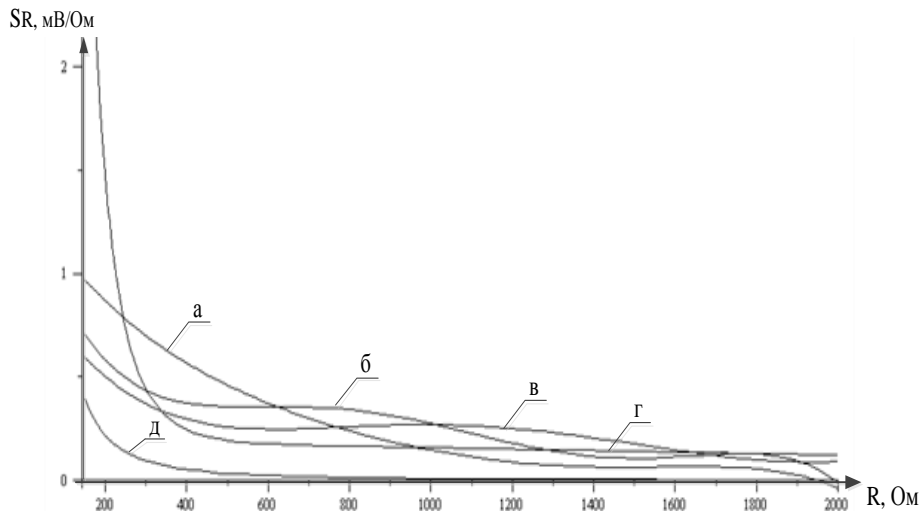


Рисунок 7 – Графіки чутливості: а – при  $L=1500$  мкГн, б – при  $L=1000$  мкГн, в –  $L=800$  мкГн, г – при  $L=500$  мкГн (RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань); д – мостова вимірювальна схема

У четвертому розділі оцінено основні статичні метрологічні характеристики резистивного перетворювача на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань (без амплітудного детектування). Рівняння перетворення

$$N_x = \frac{\frac{2}{\pi} \left( V_f^2 + \frac{RV_0}{R^2 + \omega^2 L^2} (\omega L \cos(\omega t) + R \sin(\omega t)) \right)}{U_0} (2^n - 1), \quad (11)$$

де  $N_x$  – двійковий код;  $U_0$  – опорна напруга;  $n$  – розрядність аналого-цифрового перетворювача.

Знайдено такі статичні метрологічні характеристики (рис. 8-12): номінальну функцію перетворення, чутливість, похибку нелінійності, адитивну і мультиплікативну складові похибок.

Вимірювальний перетворювач здійснює функціональне перетворення інформативного параметра  $R$  у двійковий код  $N_x$ . Крім інформативного сигналу на нього діють впливні величини, до яких відносяться всі інші

параметри, які мають безпосередній зв'язок з вихідною величиною  $N_x$  і спричиняють виникненню неінформативної складової перетворення.

Виконано експериментальні дослідження, що підтверджують адекватність розроблених теоретичних моделей, ефективність запропонованих методів і створеного на цій основі засобу вимірювання параметрів резистивних перетворювачів.

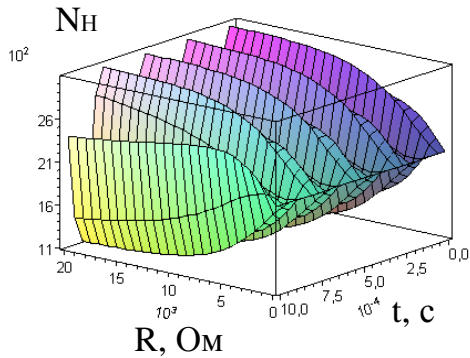


Рисунок 8 – Номінальна функція перетворення

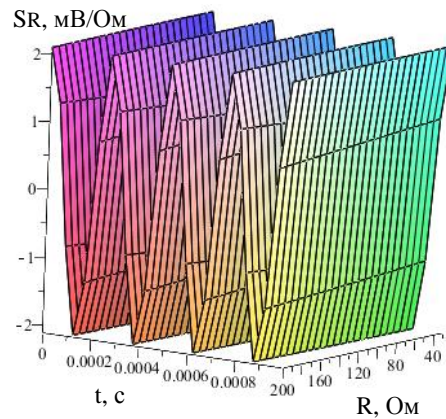


Рисунок 9 – Зміна чутливості в діапазоні зміни інформативного параметру

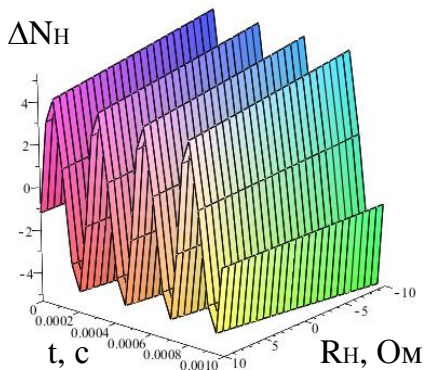


Рисунок 10 – Абсолютна похибка нелінійності  $\Delta N_H(R_H, t)$

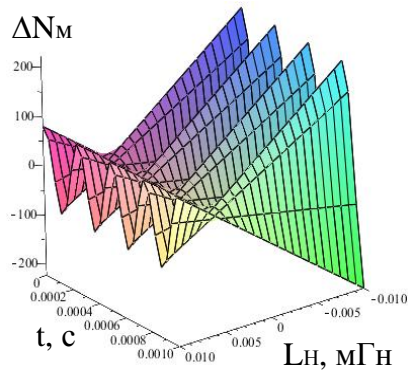


Рисунок 11 – Абсолютна мультиплікативна похибка  $\Delta N_M(L_H, t)$

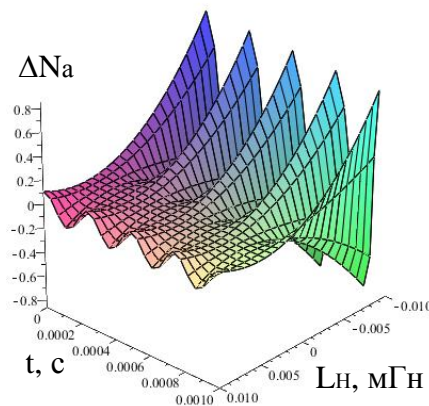


Рисунок 12 – Абсолютна адитивна похибка  $\Delta N_a(L_H, t)$

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У дисертаційній роботі теоретично узагальнено та вирішено наукову задачу, яка спрямована на створення детерміновано-хаотичного резистивного вимірювального перетворювача з підвищеною чутливістю.

В загальному по роботі можна зробити такі висновки:

- вдосконалено модель генератора детерміновано-хаотичних коливань з урахуванням властивостей нелінійного резистора, що на відмінну від існуючих, враховує нелінійність його вольт-амперної характеристики і підвищує адекватність моделі;

- вперше запропоновано використати нелінійний генератор детерміновано-хаотичних коливань типу “згорнутого тора”, як вторинного вимірювального перетворювача фізичних величин, що дозволяє підвищити чутливість засобів вимірювань;

- вперше запропоновано метод перетворення вихідного сигналу резистивних вимірювальних перетворювачів, який базується на використанні генератора детерміновано-хаотичного сигналу, що дозволяє підвищити чутливість резистивних вимірювальних перетворювачів;

- розроблено класифікацію неперервних генераторів детерміновано-хаотичних коливань;

- досліджено математичні моделі генераторів детерміновано-хаотичних коливань;

- реалізовано схеми генераторів детерміновано-хаотичних коливань в пакеті схемотехнічного моделювання MultiSim та досліджено їх характеристики;

- досліджено параметри прецизійних генераторів детерміновано-хаотичних коливань, кільцевого генератора хаотичних коливань з 1,5 степенями вільності, Чуа;

- проведено дослідження RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань та його параметрів. Створено макетний зразок. Побудовано графіки залежності вихідної напруги від опору та графіки чутливості RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань. Встановлено, що значне підвищення чутливості відбувається при вимірюванні малих опорів;

- проведено аналіз функцій чутливості RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань. Проведено експериментальне дослідження макету RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань;

- розроблено перетворювач опору в напругу на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань. Створено його макетний зразок. Проведено аналіз функцій чутливості перетворювача опору в напругу на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань;

- розроблено метрологічне забезпечення засобу вимірювання на основі генератора детерміновано-хаотичних коливань;

- вдосконалено математичну модель процесів, що перебігають в RL-діодному генераторі хаотичних коливань, яка, на відміну від існуючих, дає можливість врахувати вплив ємності рп-переходу діода, що дозволяє підвищити

точність моделювання процесів;

- вперше запропоновано використати синхронний детектор для вимірювального перетворення вихідного сигналу генератора детерміновано-хаотичних коливань, що дозволило зменшити вплив випадкових завад на перетворювач;

- проведено експериментальні дослідження розробленого резистивного вимірювального перетворювача.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Статті у наукових фахових виданнях*

1. Метод параметричних вимірювань з використанням генератора хаотичних коливань/ Кучерук В.Ю., Маньковська В.С.// Вісник Інженерної академії України. – 2009. - №1. – С. 116-120.

2. Метод генератора хаотичних коливань: контроль параметрів нелінійних хаотичних систем/ Кучерук В.Ю., Маньковська В.С.// Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія “Обчислювальна техніка та автоматизація” збірник наук. праць. випуск 19(169) Донецьк, ДонНТУ 2010. – С. 223-227.

3. Параметричні вимірювання з використанням генератора хаотичних коливань / Кучерук В.Ю., Маньковська В.С., Дудатьєв І.А.// Міжнародний науково-технічний журнал “Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія” № 1(17) 2010. – С. 99-103.

4. Про основні принципи створення вимірювальних пристроїв з використанням генераторів хаотичних коливань / Кучерук В.Ю., Маньковська В.С., Севастьянов В.М.// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах № 2' 2011. – С. 101-104.

5. Використання прецизійних генераторів хаотичних коливань у вимірювальній техніці / Кучерук В.Ю., Маньковська В.С., Севастьянов В.М.// Вісник Інженерної академії України. - 2011. - №3-4. – С. 152-156.

6. Кучерук В.Ю. Перетворювач опору в напругу з використанням RL-діодного генератора хаотичних коливань / Кучерук В.Ю., Севастьянов В.М., Маньковська В.С. // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2012. № 6(82). – С. 129-133.

### *Статті у міжнародних виданнях, що входять до наукометричних баз даних*

7. V. Kucheruk Generator oscylacji chaotycznych o układzie RL- dioda jako przetwornik rezystancja - napięcie / Volodymyr Kucheruk, Zygmunt L. Warsza, Volodymyr Sevastyanow, Wiktorija Mankowska // Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 89 NR 10/2013. – P. 266-269.

### *Патенти*

8. Кучерук В.Ю., Севастьянов В.М., В.С. Маньковська/ Перетворювач опору в напругу на основі RL-діодного генератора хаотичних коливань / Патент України на корисну модель №76973, G 01 R 27/00. - u201207808; заявл. 25.06.2012; опубл. 25.01.2013, бюл. №2.



9. Кучерук В.Ю. Севастьянов В.М., В.С. Маньковська, Овчинников К.В./ Перетворювач опору в напругу на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань/ Патент України на корисну модель №88493, G 01 R 27/00. - u201306533; заявл. 27.05.2013.; опубл. 25.03.2014, бюл.№6.

#### *Тези наукових доповідей*

10. Метод вимірювання з використання хаотичного генератора [Електронний ресурс] / В.Ю. Кучерук, В.С. Маньковська// Контроль і управління в складних системах: IX Міжнародна конференція КУСС-2008, 21-24 жовтня, 2008 р.: тези доповіді. – Вінниця, 2008. – С. 45.

11. Кучерук В.Ю. Метод параметричних вимірювань з використанням генератора хаотичних коливань/ В.Ю. Кучерук, В.С. Маньковська// Комп'ютерні науки та інженерія: III Міжнародна конференція молодих вчених CSE-2009, 14-16 травня, 2009р.: тези доповіді. – Львів, 2009. – С. 341.

12. Кучерук В.Ю. Параметричні вимірювання на основі генератора хаотичних коливань/ В.Ю. Кучерук, В.С. Маньковська// Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси: Друга міжнародна науково-практична конференція, 25-28 травня, 2009р.: тези доповіді. – Київ, 2009. – С. 72-74.

13. Кучерук В.Ю. Метод вимірювання на основі генератора хаотичних коливань/ Кучерук В.Ю., Маньковська В.С.// Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування: IV Міжнародна науково-технічна конференція СПРТП-2009, 8-10 жовтня, 2009р.: тези доповіді. – Вінниця, 2009. – С. 75.

14. Кучерук В.Ю. Обґрунтування доцільності використання генераторів хаотичних коливань у приладах контролю фізичних величин/ Кучерук В.Ю., Севастьянов В.М., Маньковська В.С.// Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси: Четверта міжнародна науково-практична конференція, 23-25 травня, 2011р.: тези доповіді. – Київ, 2011. – С. 172-174.

15. Кучерук В.Ю. Про основні принципи створення вимірювальних пристроїв з використанням генераторів хаотичних коливань/ Кучерук В.Ю., Севастьянов В.М., Маньковська В.С.// Перша міжнародна наукова конференція пам'яті професора Володимира Поджаренка “Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах” (ВКДТС-2011), 18-20 жовтня, 2011р.: тези доповіді. – Вінниця, 2011. – С. 91.

16. Кучерук В.Ю. Резистивний вимірювальний перетворювач на основі RL-діодного генератора хаотичних коливань/ Кучерук В.Ю., Маньковська В.С.// Одинадцята Міжнародна науково-технічна конференція “Приладобудування: стан і перспективи” 24 - 25 квітня 2012 р.: тези доповіді. – Київ, 2012. – С. 86-87.

17. Кучерук В.Ю. Тензорезистивний перетворювач на основі RL-діодного генератора хаотичних коливань/ Кучерук В.Ю., Севастьянов В.М., Маньковська В.С.// Контроль і управління в складних системах: XI Міжнародна конференція КУСС-2012, 9-11 жовтня, 2012 р.: тези доповіді. – Вінниця, 2012. – С.59.

18. Kucheruk V.Y. Resistance-to-voltage converter based on RL-diode generator of chaotic oscillations/ Kucheruk V.Y., Sevastyanov V.M., Mankovska V.S. // International Ukrainian-Japanese Conference on Scientific and Industrial Cooperation; 24 – 25 October 2013. – Odessa: ONPU, 2013. – P. 109-111.

19. Кучерук В.Ю. Ємнісний перетворювач на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань/ Кучерук В.Ю., Севастьянов В.М., Маньковська В.С., Трачук М.О.// 2-а Міжнародна наукова конференція “Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах” (ВКДТС-2013), 29-31 жовтня, 2013р.: тези доповіді. – Вінниця, 2013. – С. 96-97.

20. Kucheruk V.Y. Research of the «determined chaos» phenomenon in the RL-diode electric circuit of sinusoidal current/ Katsyv S.Sh., Mykhalko M.V., Kucheruk V.Y., Mankovska V.S.// 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.

21. Кучерук В.Ю. Хаотичні коливання в RL-діодних колах високочастотного синусоїдного струму/ Кучерук В. Ю., Каців С. Ш., Маньковська В.С.// Контроль і управління в складних системах: XII Міжнародна конференція КУСС-2014, 14-16 жовтня, 2014 р.: тези доповіді. – Вінниця, 2014. – С. 65.

22. Кучерук В.Ю. Ємнісний перетворювач рівня на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань/ Кучерук В.Ю., Маньковська В.С., Трачук М.О.// Контроль і управління в складних системах: XII Міжнародна конференція КУСС-2014, 14-16 жовтня, 2014 р.: тези доповіді. – Вінниця, 2014. – С. 64.

23. Кучерук В.Ю. Перетворювач ємності в напругу на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань/ Кучерук В.Ю., Севастьянов В. М., Маньковська В.С., Трачук М. О.// Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених у царині метрології «Technical Using of Measurement -2015» 2-6 лютого, 2015 р.: тези доповіді. Славське, 2015. – С. 66-67.

24. Кучерук В.Ю. Дослідження чутливості RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань/ Кучерук В.Ю., Маньковська В.С.// Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи: II Міжнародна науково-практична конференція, 28-30 травня, 2015 р.: тези доповіді. – Львів, 2015. – С. 206-207.

## АНОТАЦІЯ

**Маньковська В.С. Резистивні перетворювачі фізичних величин на основі генераторів детерміновано-хаотичного сигналу.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.05 - прилади та методи вимірювання електричних та магнітних величин. – Національний університет “Львівська політехніка” Міністерства освіти і науки України, Львів, 2015.

В роботі розглянуті існуючі резистивні перетворювачі фізичних величин, а також обґрунтована доцільність використання генераторів детерміновано-

хаотичних коливань у засобах вимірювання фізичних величин. На основі теоретичних досліджень було запропоновано метод перетворення вихідного сигналу резистивних вимірювальних перетворювачів, який базується на використанні генератора детерміновано-хаотичного сигналу, що дозволяє підвищити чутливість резистивних вимірювальних перетворювачів, удосконалено математичну модель процесів, що перебігають в RL-діодному генераторі детерміновано-хаотичних коливань, яка, на відміну від існуючих, дає можливість врахувати вплив ємності рп-переходу діода, що дозволяє підвищити точність моделювання процесів, що протікають у детерміновано-хаотичному резистивному вимірювальному перетворювачі, запропоновано використати синхронний детектор для вимірювального перетворення вихідного сигналу генератора детерміновано-хаотичних коливань, що дозволило зменшити вплив випадкових завад на перетворювач.

Розроблено перетворювач опору в напругу з використанням RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань.

**Ключові слова:** генератор детерміновано-хаотичних коливань, аттрактор, детермінований хаос, чутливість, резистивний перетворювач.

### АННОТАЦИЯ

**Маньковская В.С. Резистивные преобразователи физических величин на основе генераторов детерминировано-хаотического сигнала. - На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.05 - приборы и методы измерения электрических и магнитных величин. - Национальный университет “Львівська політехніка” Министерства образования и науки Украины, Львов, 2015.

В работе рассмотрены существующие резистивные преобразователи физических величин, а также обоснована целесообразность использования генераторов детерминировано-хаотических колебаний в средствах измерения физических величин. На основе теоретических исследований был предложен метод преобразования выходного сигнала резистивных измерительных преобразователей, основанный на использовании генератора детерминировано-хаотического сигнала позволяет повысить чувствительность резистивных измерительных преобразователей, усовершенствована математическая модель процессов, протекающих в RL-диодном генераторе детерминировано-хаотических колебаний, которая, в отличие от существующих, дает возможность учесть влияние емкости рп-перехода диода, позволяет повысить точность моделирования процессов, протекающих в детерминировано-хаотичном резистивной измерительном преобразователе, предложено использовать синхронный детектор для измерительного преобразования выходного сигнала генератора детерминировано-хаотических колебаний, что позволило уменьшить влияние случайных помех на преобразователь.

Разработан преобразователь сопротивления в напряжение с использованием RL-диодного генератора детерминировано-хаотических колебаний, проведено моделирование в программной среде Multisim,

установлено, что использование измерительного преобразователя на основе RL-диодного генератора детерминировано-хаотических колебаний позволяет увеличить чувствительность при измерении малых значений сопротивлений. Значительное повышение чувствительности происходит при измерении сопротивлений менее 200 Ом.

Разработана структурная и электрическая принципиальная схемы резистивного измерительного преобразователя на основе RL-диодного генератора детерминировано-хаотических колебаний с использованием синхронного детектора для измерительного преобразования выходного сигнала генератора детерминировано-хаотических колебаний, что позволило уменьшить влияние случайных помех на преобразователь.

**Ключевые слова:** генератор детерминировано-хаотических колебаний, аттрактор, детерминированный хаос, чувствительность, резистивный преобразователь.

### ABSTRACT

**Mankovska V.S. Resistive transducers of physical quantities determined based generators-the chaotic signal.** – A manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science by speciality 05.11.05 - devices and methods for measurement of electrical and magnetic sizes. - National University "Lvivska Politechnika" Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2015.

In this work the existing resistive transducers of physical quantities, and also proved the feasibility of using generators, deterministic chaotic fluctuations in mass measurement of physical quantities. Based on theoretical studies have proposed a method of converting the output resistive measuring transducers, based on the use of the generator deterministic-chaotic signal, which improves sensitivity resistive measuring transducers, improved mathematical model of the processes occurring in the RL-diode generator deterministic-chaotic oscillations, which, unlike the existing ones, provides an opportunity to consider the impact of capacitance pn-junction diode, which improves the accuracy of simulation processes occurring in deterministic-chaotic resistive measuring transducers suggested to use a synchronous detector for measuring conversion output signal generator deterministic-chaotic oscillations allowed reduce the impact of random noise on the converter.

Developed resistance to voltage converter using RL-diode generator-deterministic chaotic oscillations.

**Keywords:** image processing, optical coherence tomography, a method of analysis of images, membership functions, eye bottom scans, eye.

Підписано до друку 23.11.2015 р. Формат 29,7×42 ¼

Наклад 100 прим. Зам. № 2015-125.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі

Вінницького національного технічного університету

м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-87-38

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

серія ДК №3516 від 01.07.2009 р.