

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»



Еліяшів Олег Миронович

УДК 621.391.01

**МОДИФІКУВАННЯ ГЕНЕРАТОРІВ ДЕТЕРМІНОВАНОГО ХАОСУ
ДЛЯ СИСТЕМ ОБРОБЛЕННЯ ТА ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ**

05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Політанський Леонід Францович,
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича,
завідувач кафедри радіотехніки
та інформаційної безпеки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Козловський Валерій Валерійович,
Національний авіаційний університет
завідувач кафедри засобів захисту інформації

кандидат технічних наук, доцент
Пивовар Олег Сергійович,
Хмельницький національний університет
кафедри радіоелектронних
апаратів та телекомунікацій

Захист відбудеться “3” липня 2015 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.10 у Національному університеті «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12)

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий “ ____ ” _____ 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук, професор



А.П. Бондарєв

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Вивчення явища детермінованого хаосу призвели до перегляду багатьох звичних уявлень у різних галузях науки і техніки. Уже наприкінці 50-х років минулого століття почало виникати розуміння того, що теорія інформації не є аксіоматично замкнутою, а допускає і навіть вимагає введення нових елементів, які більш повно відображають інформаційні процеси в природних і штучних системах. Одночасно з теоретичними дослідженнями велика увага приділялася пошуку прикладних аспектів застосування детермінованого хаосу, перш за все в галузі радіотехніки. У середині 80-х років, після виявлення явищ хаотичної синхронізації та хаотичного синхронного відгуку стало зрозуміло, що нелінійна динаміка може знайти своє місце в теорії зв'язку і теорії інформації. Існує велика кількість практичних задач, позитивний розв'язок яких можливий шляхом використання процесів детермінованого хаосу. Зокрема, до цього класу задач можна віднести зменшення впливу чутливості генераторів детермінованого хаосу до початкових умов, хаотичну синхронізацію генераторів детермінованого хаосу в приймально - передавальних трактах, модифікування генераторів детермінованого хаосу для використання їх у мікропроцесорних і комп'ютерних системах. Це ставить завдання пошуку нових рішень на методичному, структурному та алгоритмічному рівнях при створенні аналогових і цифрових засобів приймання та оброблення інформації.

У наш час над проблемами формування та використання детермінованого хаосу в системах передавання інформації активно працюють зарубіжні вчені О.С. Дмитрієв, А.А. Короновський, С.О. Старков, А.І. Панас, А.Е. Храмов, М.Ф. Рульков, В.С. Аніщенко, Б.І. Шахтарін, С.П. Кузнецов, Л. Чуа. Серед українських учених проблемами нелінійної динаміки та використання детермінованого хаосу в інформаційних системах займаються М.В. Захарченко, Я.М. Матвійчук, Л.О. Кіриченко, К.С. Васюта, С.І. Сиващенко та ін.

Цей інтерес пов'язаний з тим, що генератори хаотичних коливань мають набір специфічних властивостей, які роблять їх привабливими з погляду процесів обробки, побудови схем передавання та відновлення інформації. До цих властивостей належать:

- можливість вкладення, зберігання та вилучення великої кількості корисної інформації з використанням детермінованого хаосу;
- генерування складних, у тому числі неперіодичних, коливань за допомогою відносно простих за структурою пристроїв;
- різноманіття хаотичних режимів, сформованих за допомогою одного джерела
- ефективне управління хаотичними режимами шляхом малих змін параметрів пристрою;
- можливість застосування нетрадиційних методів мультиплексування та демультиплексування.

Поряд із тим зазначимо, що розв'язанню конкретних практичних задач з використанням хаотичних систем присвячена незначна кількість праць, що зумовлено значними труднощами їх розв'язання. До таких можна віднести генерування і синхронізацію сигналів більш складної структури, генерування

псевдовипадкових послідовностей та створення порівняно нескладних пристроїв для втілення таких можливостей.

Отже, актуальною науковою задачею є спрощення процесу синхронізації та підвищення прихованості обміну інформацією шляхом практичної реалізації нових підходів у використанні генераторів детермінованого хаосу в аналогових і цифрових системах зв'язку.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася відповідно до наукового напрямку кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича та в межах науково-дослідної роботи: “Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв та засобів телекомунікацій і інформаційних технологій” (держ. реєстр. №: 0111U000183), у якій здобувач брав участь як виконавець.

Мета і задачі дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає в модифікуванні генераторів хаотичних сигналів, їх практичної реалізації та дослідженні можливості використання в системах передавання інформації.

Відповідно до поставленої мети необхідно було вирішити наступні *задачі дослідження*:

- модифікувати нелінійні елементи генераторів Чуа для спрощення процесу входження ведучого та веденого генераторів у синхронізм, дослідити властивості спектрів модифікованих генераторів;
- установити закономірності та умови забезпечення імпульсної синхронізації у модифікованих генераторах Чуа;
- дослідити особливості коливних режимів, що мають місце в розроблених та модифікованих генераторах детермінованого хаосу на основі схеми Чуа, та встановити кількісні параметри ефективності застосування еквіваленту індуктивності у коливному контурі;
- розробити спосіб передавання інформації по радіоканалу з її хаотичним маскуванням на сучасній елементній базі програмованих логічних інтегральних мікросхем і радіомодулів ZigBee.
- розробити розрахункові програми для дослідження автокореляції, та піксельного відображення псевдовипадкових бінарних послідовностей, що генеруються хаотичними системами;
- реалізувати макет системи зв'язку на основі використання детермінованого хаосу, провести експериментальне дослідження процесу передавання та відновлення інформації;
- модифікувати генератори детермінованого хаосу для використання їх у аналогових і цифрових системах оброблення та передавання інформації;

Об'єктом дослідження є процеси передавання інформації з аналоговими та цифровими методами маскування та кодування інформації, у яких використовують генератори детермінованого хаосу.

Предметом дослідження є генератори детермінованого хаосу та засоби передавання інформації на їх основі.

Методи дослідження. При виконанні поставлених у дисертації задач використовувалися числові методи Монте-Карло з постійним розміром досліджуваної послідовності бітів, методи нелінійної динаміки для дослідження

особливостей реалізацій хаотичних процесів і методи статистичного аналізу даних, математичне та комп'ютерне моделювання електронних кіл, осцилографічні методи дослідження та мікропроцесорна обробка сигналів.

Наукова новизна одержаних результатів. Основні результати, що визначають новизну дисертаційної роботи, полягають у наступному:

1. Показано, що реалізація нелінійних елементів генераторів Чуа реалізованих на активних чотириполюсниках забезпечує розширення спектру хаотичних сигналів з рівномірним розподілом спектра густини потужності з 2 до 5 кГц. При цьому синхронізація між ведучим та веденим генератором забезпечується при 3% розкиду номіналів радіо компонентної бази (при 0,2% розкид параметрів для нелінійних елементів генератора Чуа на зустрічно ввімкнених діодах). Це уможливорює використання модифікованих генераторів Чуа у системах передавання мовної інформації.

2. Уперше встановлено закономірності та умови забезпечення імпульсної синхронізації у модифікованих генераторах Чуа. Показано, що запропоноване схемотехнічне рішення пристрою ключування забезпечує формування двополярної напруги імпульсів синхронізації при співвідношенні тривалості імпульсів стробування до їх періоду, який дорівнює 3,75%, що забезпечує передавання інформаційних повідомлень протягом інтервалу більше 95% періоду імпульсу синхронізації.

3. Установлено, що заміна котушки індуктивності в коливному контурі схеми Чуа еквівалентом на операційних підсилювачах забезпечує підвищення добротності контуру в діапазоні частот до 10 кГц більш ніж у три рази у порівнянні з котушкою індуктивності, що зумовлено зменшенням розсіювання енергії на активному опорі. Крім того усунення розкиду активного опору котушки значно спрощує процес входження в синхронізм генераторів Чуа.

Практичне значення одержаних результатів. У ході виконання дисертаційної роботи отримано такі практичні результати:

1. Запропонований спосіб передавання інформаційних повідомлень за допомогою протоколу IEEE.802.15.4 із їх кодуванням бінарними псевдовипадковими послідовностями генерованими генератором детермінованого хаосу, математичною моделю якого є логістичне відображення. Двостороннє передавання інформації між приймачем і передавачем здійснюється по радіоканалу на частоті 2,4 ГГц;

2. Проведено дослідження бінарних псевдовипадкових послідовностей генерованих за логістичним відображенням на псевдовипадковий характер методом Монте-Карло та реалізацією візуального представлення у растровій формі.

3. На основі одержаних результатів моделювання запропоновано конкретні інженерні рішення, алгоритми та структурні схеми, що дозволяють забезпечити підвищення прихованості при передаванні інформації маскованою детермінованим хаосом у порівняно з існуючими системами;

4. На базі розроблених робочих зразків генераторів хаотичних сигналів і макета системи зв'язку проведені дослідження режимів хаотичної динаміки, та процесів передавання інформації з хаотичним маскуванням сигналів у режимі реального часу;

5. Проведено модифікування генератора псевдовипадкових послідовностей на основі логістичного рівняння, що забезпечує його адаптування у приймально-передавальних трактах мікропроцесорних систем.

Отримані в ході виконання дисертаційної роботи результати можна використовувати для побудови систем передавання та відновлення інформації з використанням хаотичного маскування сигналів та її кодування інформації детермінованим хаосом.

Представлені в дисертації наукові та практичні результати використані при дослідженні впливу завад на якість цифрового телефонного зв'язку в мережах Чернівецької області (ПАТ "Укртелеком"), та при дослідженні процесів збудження потужних МОН-транзисторів у пускорегулювальних пристроях енергозберігальних люмінесцентних (ОКБ "Рута"). Результати, що отримані в дисертаційній роботі, впроваджено в навчальний процес на кафедрі радіотехніки та інформаційної безпеки у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича. Всі результати впровадження підтверджено відповідними актами.

Достовірність отриманих результатів підтверджується узгодженістю результатів математичного моделювання хаотичних систем та їх схемотехнічних рішень з результатами експериментальних досліджень робочих зразків і відомими в літературних джерелах даними.

Особистий внесок здобувача. Усі результати дисертації, що виносяться на захист, отримані здобувачем особисто. У працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача такий: [1] – розробка системи для передавання інформації що використовує хаотичну модуляцію сигналу, моделювання схемотехнічного рішення генератора хаотичних коливань, здійснений розрахунок електричної схеми та реалізація робочого зразка генератора хаотичних коливань на основі хаотичної системи Спрота; [2] – розробка Місто Сар моделі генератора хаотичних коливань для дослідження динамічних режимів в хаотичній системі Чуа, проведення експериментального дослідження нелінійного елемента передавача хаотичної системи зв'язку; [3] – удосконалено схему імпульсної синхронізації генераторів детермінованого хаосу, проведено експериментальне дослідження однонапрямленої та імпульсної синхронізації; [4] – експериментальне дослідження схеми Лю для різних режимів коливань; [5] – здійснено моделювання семотехнічного рішення заміни коливальної ланки у схемі Чуа, експериментальне дослідження поведінки схеми; [6,13] – аналіз ефективності гіперхаотичної схеми генератора детерміновано хаосу на основі схеми Чуа; [7,12] – постановка задачі та розробка програмного забезпечення; [8] – розробка програмного забезпечення для моделювання логістичного відображення; [9] – здійснено моделювання хаотичної схеми Чуа для різних режимів коливань, що в ній можуть виникати; [10] – розробка Місто Сар моделі неавтономних імпульсних генераторів хаотичних сигналів на основі схеми Чуа; [11] – постановка задачі, побудова математичної моделі способу застосування мови програмування VHDL для систем зв'язку.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: наукових семінарах кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича (Чернівці, 26 травня 2014р.); науковому семінарі "Системи

детермінованого хаосу в телекомунікаціях” в інституті телекомунікацій, радіоелектроніки, та електронної техніки Національного університету “Львівська політехніка”(Львів, 14 лютого, 2013р.); Дванадцятою міжнародною науково-практичною конференцією “Современные информационные и электронные технологии” (Одесса, 23-27 мая 2011г.); V-тій міжнародній конференції CSE-2011 “Комп’ютерні науки та інженерія” (Львів, 24-26 листопада 2011 р.); Десятій ювілейній науковій конференції “Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики” (Київ, 19-20 квітня 2012 р.); XVI-th international conference “Dynamical system modeling and stability investigation” (Kiev, 29-31 may 2013); I-шій Всеукраїнській науково-практичній конференції “Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки” (Чернівці, 13-15 жовтня 2011р.).

Публікації. Результати, отримані у ході дисертаційних досліджень опубліковані в 13 працях, у тому числі 6 працях у наукових фахових виданнях [1-6], 1 стаття у закордонному журналі [7], 1 патент України [8], 5-ти тезах міжнародних і всеукраїнських наукових конференцій та симпозіумів [9-13].

Структура та обсяг дисертації. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, бібліографічного списку використаних джерел, який нараховує 130 позицій. Загальний обсяг дисертації – 139 сторінок машинописного тексту, що містить 105 сторінок основного тексту, 89 рисунків та 4 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі роботи, визначено об’єкт і предмет дослідження, наукову новизну результатів та їх практичне значення, зазначено особистий внесок здобувача, а також дані щодо публікацій за темою дисертації і апробацій роботи.

У першому розділі наведено аналіз літературних джерел з дослідження теоретичних і прикладних аспектів використання детермінованого хаосу в системах зв’язку, висвітлено основні положення теорії детермінованого хаосу. Детально розглянуто властивості хаотичних сигналів, які зумовлюють переваги їх використання у системах передавання інформації.

Під детермінованим хаосом розуміють складні неперіодичні коливання, що породжуються нелінійними динамічними системами з однозначним визначенням еволюції стану системи в часі при відомій передісторії. При цьому нелінійність системи є необхідною, але недостатньою умовою для виникнення хаосу. Можливість застосування генераторів детермінованого хаосу в системах передавання інформації зумовлена перш за все існуванням певного алгоритму, за допомогою якого можна забезпечувати відтворюваність хаотичних коливань безмежну кількість разів.

Наведено огляд існуючих принципів побудови найбільш відомих систем передавання інформації, в яких використовують детермінований хаос.

У результаті проведеного огляду встановлено, що відомі схеми генераторів детермінованого хаосу містять індуктивні елементи та потребують окремих джерел живлення ключів, що погіршує їх масогабаритні показники. Крім того, мають місце

досить жорсткі обмеження щодо розкиду параметрів компонентів, а процес передавання інформації легко виявляється сучасними програмами декодування.

На основі аналізу літературних джерел сформульовані завдання дисертаційних досліджень.

Другий розділ присвячений модифікуванню генераторів детермінованого хаосу з метою уможливлення їх застосування у пристроях формування та оброблення інформаційних сигналів.

Проаналізовано принципи побудови аналогових генераторів хаотичних коливань і сформульовано вимоги до них з погляду їх використання в системах передавання інформації.

Схема Чуа, що є однією із найпростіших систем з хаотичною поведінкою і являє собою автоколивальну систему з 1,5 степенями свободи. Схема складається з коливного контуру з утратами $rLC2$, інерційної ланки $RC1$ і активного нелінійного елемента, зображеного на схемі у вигляді нелінійної провідності (рис.1,*а*). Генеруючий резонансний коливний контур $rLC2$ зв'язаний з активним нелінійним елементом через інерційну ланку $RC1$

Проведено числове моделювання та експериментальне дослідження атракторів іперехідних процесів у генераторах Чуа, нелінійні елементи яких реалізовані на двох зустрічно ввімкнених діодах (рис.1,*б*) та на активних чотириполосниках (рис.1,*в*).

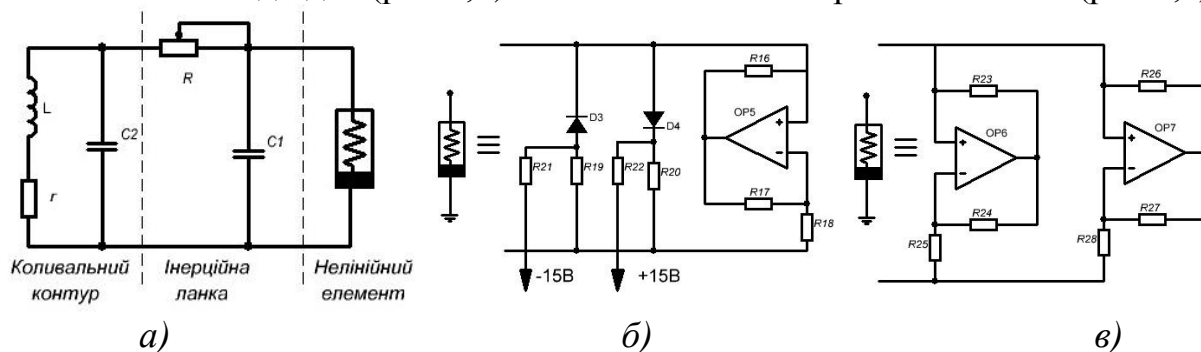


Рис.1. Схема Чуа (*а*), нелінійний елемент на зустрічно ввімкнених діодах (*б*), модифікований нелінійний елемент на активних чотириполосниках (*в*)

Експериментальні вольт-амперні характеристики нелінійного елемента отримані поданням на нелінійні елементи сигналу синусоїдальної форми, наведені на рис.2, (*а*), (*б*).

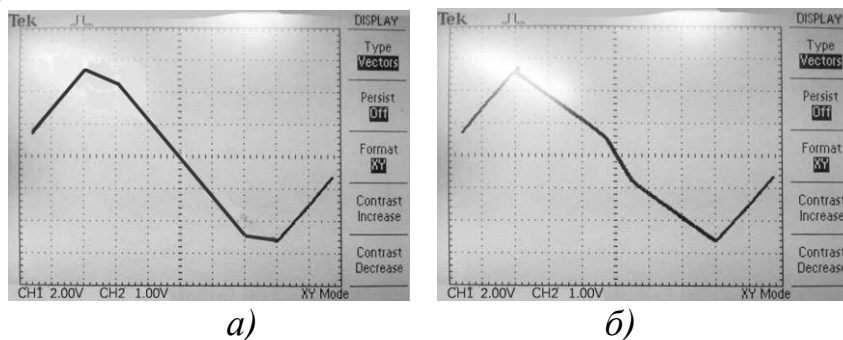


Рис.2. Експериментальні вольт-амперні характеристики нелінійного елемента схеми Чуа, реалізованого на зустрічно ввімкнених діодах (*а*) і активних чотириполосниках (*б*)

Експериментально отримані значення від'ємних провідностей та напруг у точках перегину вольт-амперних характеристик $m_0 = -0,599 \text{ мСм}$, $m_1 = -0,695 \text{ мСм}$, $B_{p1} = \pm 6,9 \text{ В}$, $B_{p2} = \pm 4,3 \text{ В}$ для нелінійного елемента Чуа на зустрічно ввімкнених діодах, та $m_0 = -0,409 \text{ мСм}$, $m_1 = -0,757 \text{ мСм}$, $B_{p1} = \pm 6,1 \text{ В}$, $B_{p2} = \pm 0,9 \text{ В}$ для нелінійного елемента Чуа на активних чотирьох полюсниках при напрузі сигналу синусоїдальної форми $U = 8,5 \text{ В}$.

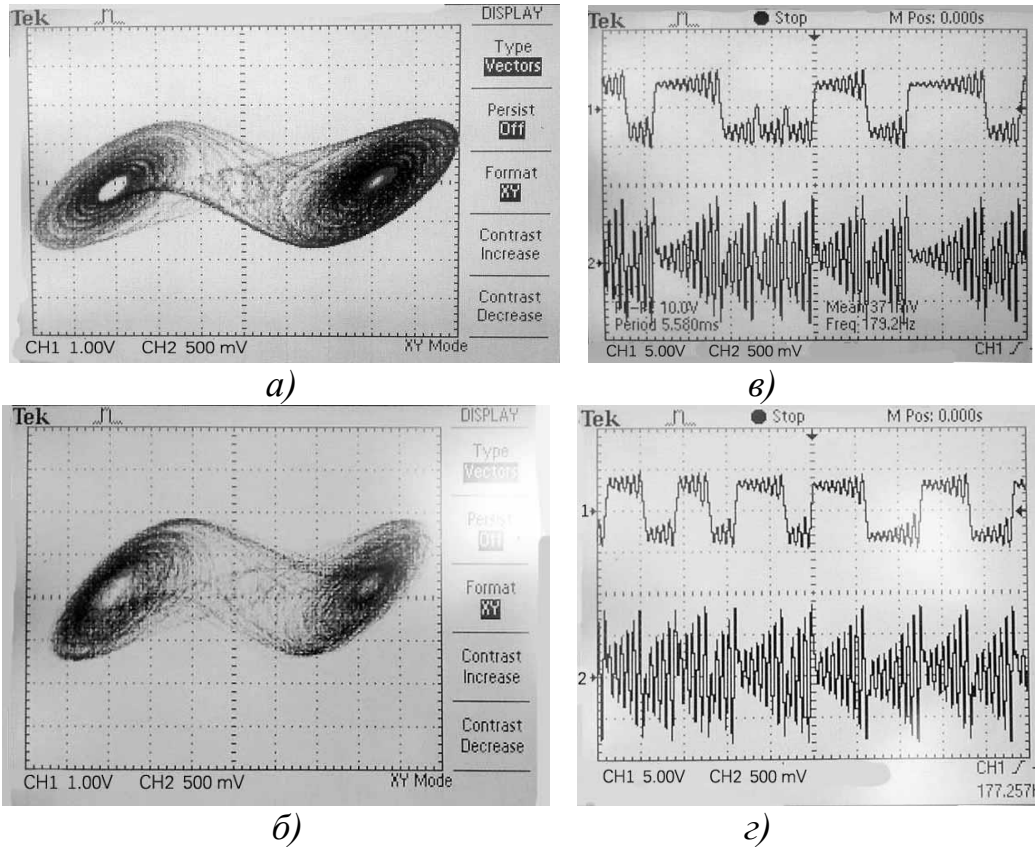


Рис.3. Експериментальні хаотичні атрактори генераторів Чуа з нелінійним елементом на зустрічно ввімкнених діодах (а), активних чотирьох полюсниках (б) і часові діаграми генерованих ними сигналів V_{C2} (в) та V_{C1} (г)

На рис.3 наведені експериментальні хаотичні атрактори генераторів Чуа з нелінійним елементом на зустрічно ввімкнених діодах, активних чотирьох полюсниках і часові діаграми генерованих ними сигналів V_{C2} та V_{C1}

З метою зменшення впливу розкиду внутрішнього опору котушки індуктивності досліджено два варіанти реалізації індуктивності коливної ланки генератора Чуа на операційних підсилювачах і операційних підсилювачах зі зворотним зв'язком по струму.

При реалізації індуктивності на операційних підсилювачах значення номіналів компонентів у еквівалентній схемі на рис.4 (а) становили $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1 \text{ кОм}$, $C_1 = 22 \text{ нФ}$. При цьому значення еквівалентної індуктивності $L_{екв} = \frac{R_1 R_3 R_4 C_1}{R_2}$ становило 22 мГ .

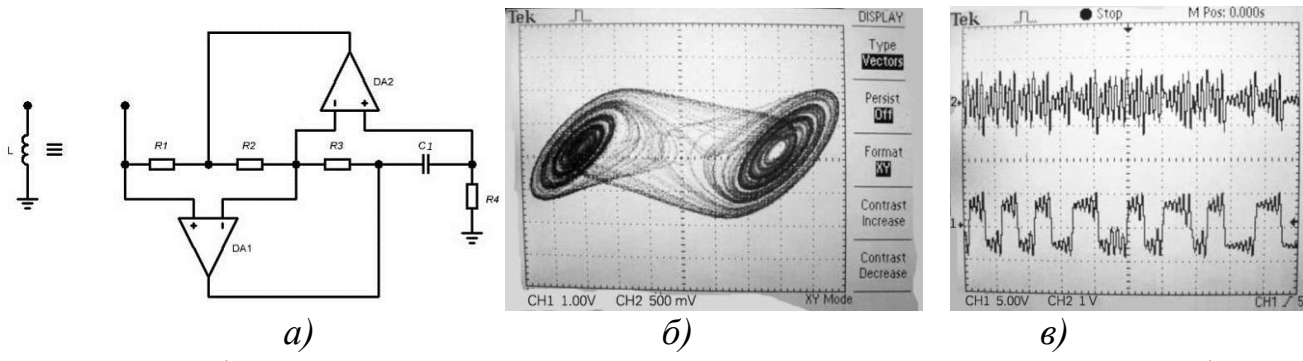


Рис.4. Еквівалентна схема коливного контура генератора Чуа на операційних підсилювачах (а), експериментальний хаотичний атрактор (б) і часові діаграми сигналів V_{C1} та V_{C2} (в)

При реалізації індуктивності на операційних підсилювачів зі зворотним зв'язком по струму значення номіналів у еквівалентній схемі на рис.5 (а) становили $R_1=R_2 = 1 \text{ кОм}$, $C_1=22 \text{ нФ}$. При цьому значення еквівалентної індуктивності $L_{екв} = C_1 R_1 R_2$ також становило 22 мГ .

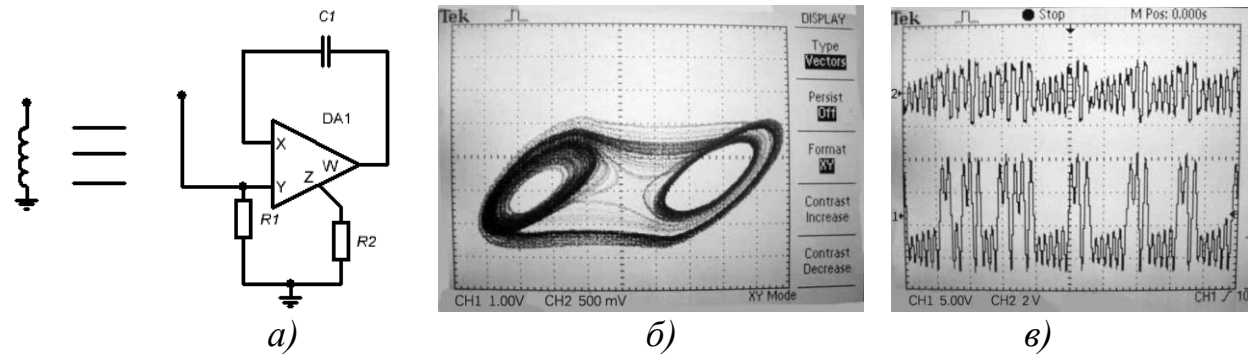


Рис.5. Еквівалентна схема коливного контуру на операційних підсилювачів зі зворотним зв'язком по струму(а), експериментальний хаотичний атрактор системи(б), та часові діаграми сигналів V_{C1} та V_{C2} , (в)

Атрактори та часові діаграми генерованих сигналів при реалізації коливної ланки на операційних підсилювачах наведені на рис.4 (б), (в) а при реалізації індуктивності на операційних підсилювачах зі зворотним зв'язком по струму на рис.5 (б),(в).

Із експериментально отриманих атракторів і часових діаграм сигналів випливає, що генеровані коливання генератором Чуа з вище наведеними варіантами реалізації коливних контурів хаотичні. Експериментальні дослідження добротності контурів коливних ланок генератора Чуа, реалізованих на котушці індуктивності, операційних підсилювачах і операційних підсилювачах зі зворотним зв'язком по струму, показали, що реалізація індуктивності коливної ланки на операційних підсилювачах забезпечує значення добротності контуру в три рази більше у порівнянні з реалізацією контуру на індуктивній котушці, що зумовлено зменшенням розсіювання енергії на активному опорі. Крім того усунення розкиду значень активного опору котушки значно спрощує процес уходження в синхронізм генераторів Чуа.

Порівняння добротності коливних конурів генераторів Чуа, реалізованих на операційних підсилювачах і операційних підсилювачах зі зворотним зв'язком по струму, показали, що добротність коливного контуру при реалізації на операційних підсилювачах більша, ніж при реалізації на операційних підсилювачах зі зворотним зв'язком по струму. Крім того, при реалізації коливної ланки на операційних підсилювачах зі зворотним зв'язком по струму мають місце спотворення (рис.5,б). Отже, незважаючи на те, що схемотехнічне рішення коливної ланки на операційних підсилювачах зі зворотним зв'язком по струмові можливе при мінімальній кількості пасивних елементів, використання коливної ланки на операційних підсилювачах більш ефективне.

Експериментально отримані спектри сигналів, генерованих генератором Чуа з нелінійним елементом на зустрічно ввімкнених діодах і на активних чотириполосниках наведені на рис.6, (а),(б).

Спектри хаотичних сигналів, генерованих генераторами Чуа з нелінійним елементом на активних чотириполосниках більш рівномірні в діапазоні частот до 5 кГц у порівнянні зі спектрами сигналів генерованих генератором Чуа з нелінійним елементом на зустрічно ввімкнених діодах. Це уможливорює його використання для маскування мовних сигналів (рис.6, в,г).

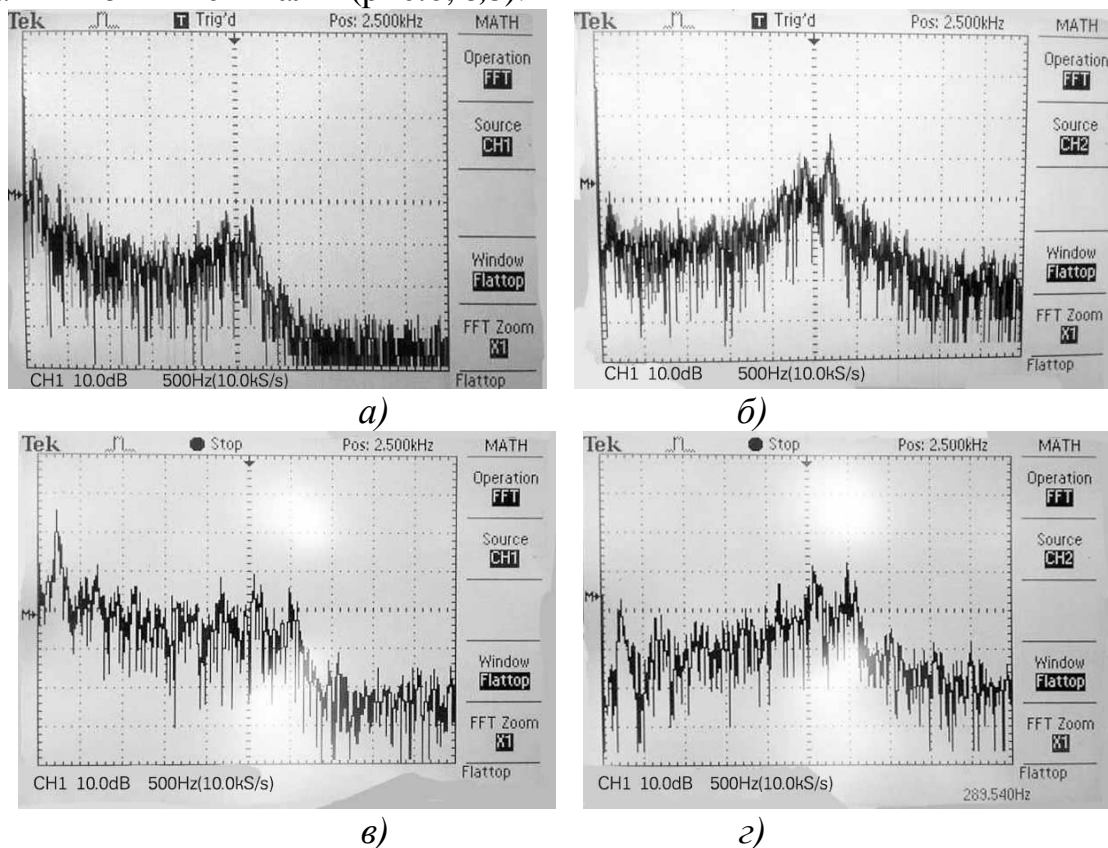


Рис.6. Спектри хаотичних сигналів V_{C1} (а) та V_{C2} (б), генерованих генератором Чуа з нелінійним елементом на зустрічно ввімкнених діодах, і спектри сигналів V_{C1} (в) і V_{C2} (г), генерованих генератором Чуа з нелінійним елементом на активних чотириполосниках

У третьому розділі досліджено способи та режими синхронізації генераторів хаосу схеми Чуа, що можуть використовуватися для прихованого передавання інформації.

Синхронізація двох хаотичних систем проблематична, оскільки вони мають високу чутливість до початкових умов. Унаслідок цього дві ідентичні хаотичні системи, що стартують з однакових початкових умов, еволюціонують у фазовому просторі по траєкторіях, які з часом утрачають корельованість.

У роботі експериментально показана можливість синхронізації двох генераторів хаотичних коливань і встановлення між ними режиму повної синхронізації при однонаправленому зв'язку ведучої та веденої системи. Як елемент розв'язки використаний буферний каскад на операційному підсилювачі.

Удосконалена схема імпульсної синхронізації генераторів Чуа приймальної та передавальної сторін за рахунок формування часових вибірок з використанням ключа напруги, керованого генератором імпульсів стробування. Показано що запропоноване схемотехнічне рішення пристрою ключування забезпечує формування двополярної напруги імпульсів синхронізації при співвідношенні тривалості імпульсів стробування до їх періоду, який дорівнює 3.75%, що забезпечує передавання інформаційних повідомлень протягом інтервалу більше 95% періоду імпульсу синхронізації.

На рис.7, (а),(б) наведені експериментальні результати синхронізації генераторів Чуа при їх однонаправленому зв'язку.

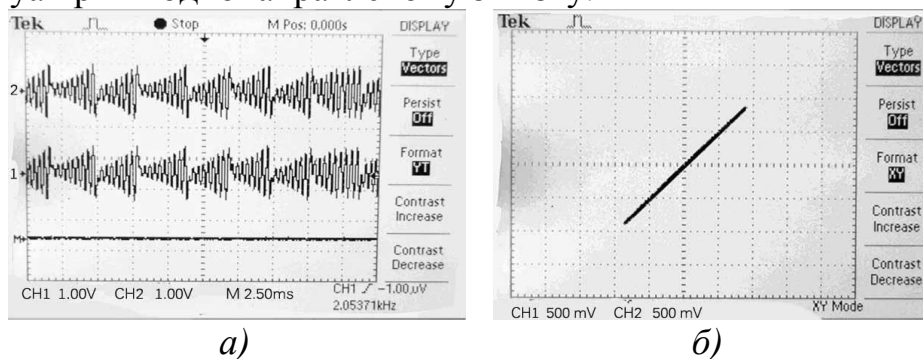


Рис 7. Експериментальні осцилограми сигналів V_{C2} , V_{C2}' , генерованих ведучим і веденим генераторами, та їх різниця (а), залежність сигналу V_{C2}' від сигналу V_{C2} при непервній синхронізації сигналом V_{C1} (б)

Із отриманих результатів випливає, що різниця між ведучим і веденим генераторами дорівнює нулю, а залежність сигналу, генерованого веденим генератором V_{C2}' від V_{C2} , є прямолінійною з кутом нахилу до осі абсцис $\pi/4$, що вказує на встановлення повної синхронізації між генераторами.

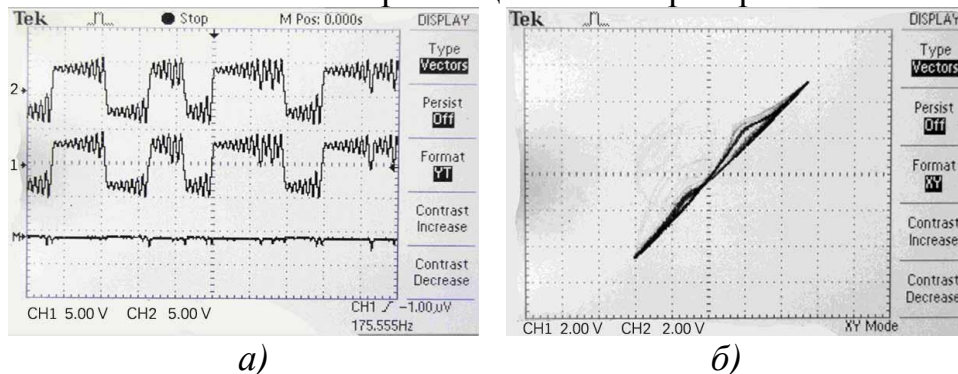


Рис 8. Часові залежності сигналів V_{C1} , V_{C1}' , їх різниця (а) і залежність V_{C1}' от V_{C1} при непервній синхронізації сигналом V_{C2} (б)

При синхронізації генераторів Чуа ведучого та веденого генераторів сигналом V_{C2} має місце нестійка синхронізація, зумовлена слабким рівнем сигналу V_{C2} (рис. 8 б).

Установлено, що процес синхронізації хаотичних генераторів Чуа з нелінійним елементом на активних чотирьохполюсниках менш чутливий до розкиду номіналів параметрів компонентної бази. Допуск на розкид номіналів генераторів Чуа з нелінійним елементом на активних чотирьохполюсниках становить 3%, тоді як для генераторів Чуа з нелінійним елементом на зустрічно ввімкнених діодах не перевищує 0,2%.

Дослідження процесу імпульсної синхронізації генераторів Чуа здійснювалося за функціональною схемою, наведеною на рис. 9. Генератори Чуа 1 і 2 є ведучим і веденим, відповідно. Експериментальна реалізація імпульсної синхронізації двох хаотичних систем ускладнена в силу наявності зовнішніх перешкод і шуму в каналі, а також розкиду параметрів у компонентній бази хаотичних систем у передавачеві та приймачеві, що призводить до зростання часу тривалості синхроімпульсів.

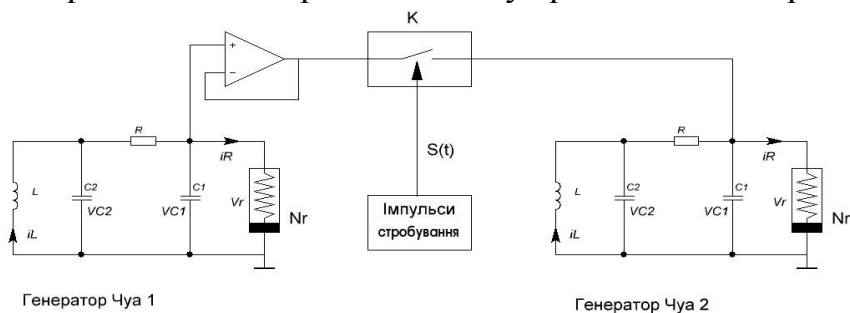


Рис.9. Функціональна схеми імпульсної синхронізації

Вибірки імпульсів формуються за допомогою ключа напруги К реалізованого на мікросхемі КР590КН5, що керується генератором імпульсів стробування. Послідовності імпульсів стробування та формування синхроімпульсів наведені на рис. 10. Оскільки мікросхема КР590КН5 нормально замкнута, то імпульси стробування подаються з зворотною шпаруватістю.

При низькорівневих імпульсах керування ключ знаходиться в замкнутому стані і імпульси стробування не подаються на вхід веденого генератора. При подачі на вхід ключа імпульсів високої напруги ключ переходить у відкритий стан, що забезпечує встановлення електричного зв'язку між генераторами.

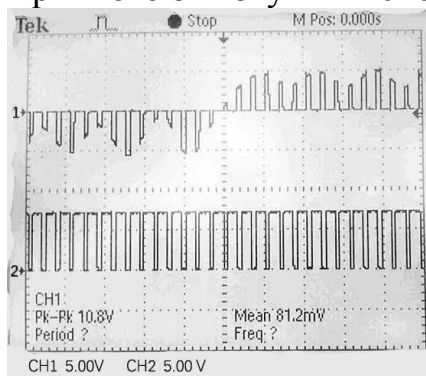


Рис 10. Осцилограма послідовності імпульсів синхронізації та імпульсів стробування

На рис. 11 наведені експериментально отримані часові діаграми сигналів V_{C2}' і V_{C2} ведучого та веденого генераторів і залежності сигналів при дослідженні процесу імпульсної синхронізації генераторів Чуа. Із V_{C2}' від V_{C2} отриманих результатів випливає, що різниця між сигналами дорівнює нулю, а залежність сигналу V_{C2}' від V_{C2} є прямою лінією під кутом нахилу до осі абсцис, що дорівнює $\pi/4$, це вказує на встановлення синхронізації між генераторами при використанні імпульсів синхронізації формованих запропонованим методом (рис.11).

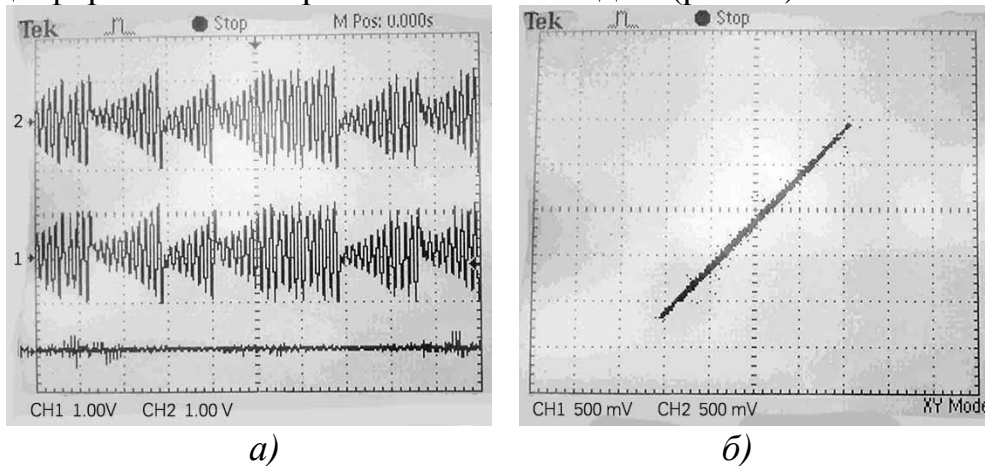


Рис 11. Часова залежність сигналів V_{C2} V_{C2}' та різницевого сигналу $V_{C2}-V_{C2}'$ (а), залежність V_{C2}' від V_{C2} (б) при імпульсній синхронізації сигналом V_{C1}

На основі отриманих експериментальних результатів дослідження імпульсної синхронізації можна зробити висновок про доцільність її використання у системах зв'язку на основі детермінованого хаосу, оскільки тривалість імпульсів синхронізації становить $\tau=0.83 \times 10^{-6}$ с при періоді послідовності часових вибірок $T=23 \times 10^{-6}$ с ($\tau/T=0,0375$). Це означає, що більше 95% періоду синхронізуючих імпульсів використовується для передавання інформації.

У четвертому розділі проведені результати дослідження псевдовипадкових бінарних послідовностей генерованих генератором хаотичних сигналів реалізованим на ПЛІС на основі логістичного відображення із синтезацією на програмний код. Логістичне рівняння має наступний вигляд :

$$x_{n+1} = rx_n(1 - x_n) \quad (1)$$

де x_{n+1} – наступне значення динамічної змінної; n – крок ітерації ; r –параметр керування; x_n – поточне значення динамічної змінної .

Для дослідження застосовувався метод Монте-Карло. Досліджувана послідовність складалась із наступного масиву $x = \{x_i\}$, де $i = 1 \dots 252000$, розділеного на дві рівні частини по $k=126000$, $y_k = \{x_1 \dots \dots x_{126000}\}$, $z_k = \{x_{126001} \dots \dots x_{252000}\}$. Формування суми масивів одиниць і нулів здійснювалось за наступним співвідношенням:

$$n_1 = \sum_{k=1}^N \sigma(y_k^2 + z_k^2 - 1) \quad (2)$$

$$n_2 = \sum_{k=1}^N \sigma(1 - y_k^2 - z_k^2) \quad (3)$$

де, σ –функція Хевісайда, n_1 –сума одиниць у генерованій послідовності, n_2 –сума нулів у генерованій послідовності.

Оцінка сформованих послідовностей на псевдовипадковість проводилася за значенням коефіцієнта l , що дорівнює:

$$l = 4 \cdot \frac{n_1}{n_1 + n_2} \quad (4)$$

Згідно з даним методом, послідовність вважається псевдовипадковою, якщо значення коефіцієнта l наближено дорівнює значенню числа π з десятима знаками після коми 3,1415926535. Для визначення відсотка наближення коефіцієнта l до значення числа $\pi \approx 3,1415926535$ використовувався наступний вираз:

$$R = \begin{cases} \left| \frac{l}{\pi} \cdot 100 \right|, & \text{при } l < \pi \\ \left| \frac{\pi}{l} \cdot 100 \right|, & \text{при } l > \pi \end{cases} \% \quad (5)$$

Результати дослідження характеру генерованих псевдовипадкових послідовностей на основі логістичного відображення методом Монте-Карло наведені в табл.1

Таблиця 1. *Значення коефіцієнта l для послідовностей генерованих на основі логістичного відображення, і відсоток наближення його значення до числа π при різних значеннях параметра керування r .*

№	r	l	$R, \%$
1	3,57	3,1495555562	99,74
2	3,58	3,1192380954	99,29
3	3,575	3,1794285713	98,81
4	3,55	5,1082807376	61,22
5	3,54	5,1543767908	60,95
6	3,53	5,1408814492	61,11

Із отриманих результатів випливає, що при значеннях $r \geq 3.57$ генеровані послідовності псевдовипадкові.

Для візуальної оцінки бінарних псевдовипадкових послідовностей генерованих генератором логістичного відображення, що реалізовані на ПЛІС на псевдо випадковість, було проведено моделювання растрового зображення пікселів, які являють собою один інформаційний біт

Процес формування піксельного зображення полягає у відповідності логічному нулю білого кольору пікселя, а для логічної одиниці – чорного кольору пікселя та їх розташуванні діагональним способом (рис. 12). Для послідовності $x_i = \{x_1 \dots x_{252000}\}$, $i = 252000$, формування наступних послідовностей відбувається шляхом виділення перших 160 000 біт для графічного представлення $x_k = \{x_1 \dots x_{160000}\}$.

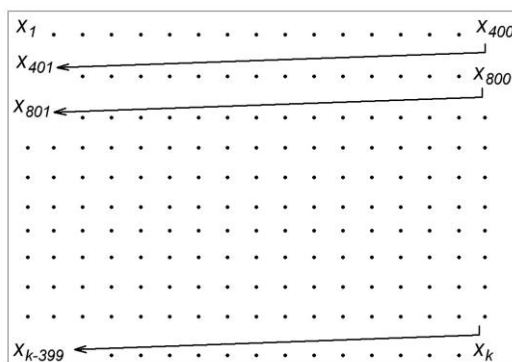


Рис. 12 Формування піксельного відображення

На рис 13,*а* зображено сформоване піксельне відображення перших 160 000 біт псевдовипадковипадкової послідовності хаотичного генератора схеми логістичного відображення та автокореляційна функція (рис 13,*б*) при значенні параметра керування $r=3.57$.

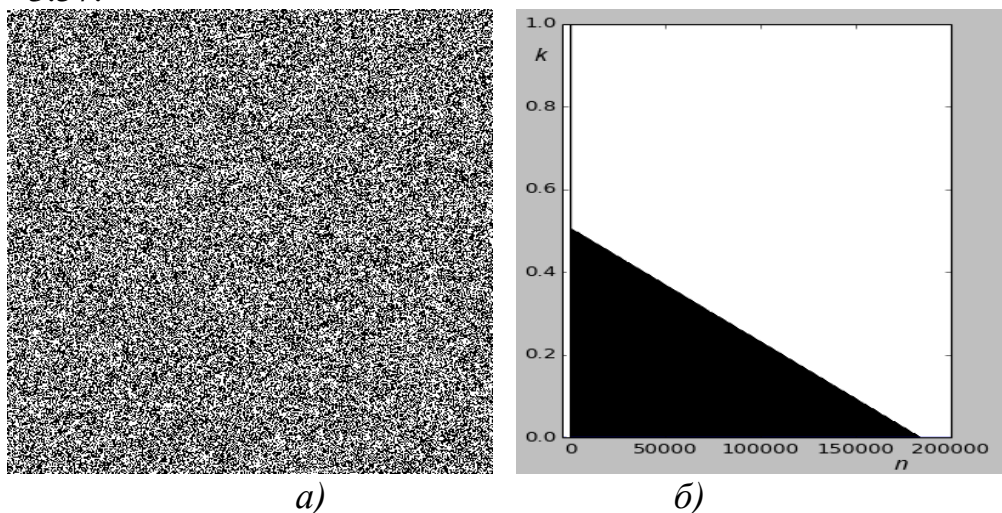


Рис. 13 Піксельне відображення бінарної псевдовипадкової послідовності генератора логістичного відображення(*а*) та автокореляційна залежність коефіцієнта кореляції від довжини послідовності (*б*)

На основі генератора псевдовипадкових послідовностей реалізованого на ПЛІС запропонована система передавання інформації в радіодіапазоні на частоті 2.4 ГГц.

Фізичне передавання інформації між вузлами реалізоване з використанням технології бездротового зв'язку за стандартом IEEE 802.15.4, що визначає апаратну основу та принципи керування доступом до середовища для бездротових персональних мереж з низькою швидкістю передавання інформації. Завдяки вбудованому програмному забезпеченню мережам на основі специфікації мережевих протоколів верхнього рівня ZigBee притаманна самоорганізація та самовідновлення. Це уможливує знаходження вузлами зв'язку один одного і переформування мереж у випадку виходу з ладу одного із них з наступним установленням маршруту для передавання повідомлень.

Суть запропонованого способу полягає у виділенні з потоку вхідних даних шляхом послідовно-паралельного перетворення восьми бітової інформаційної

послідовності надісланої джерелом інформації. Генерування восьми бітової псевдовипадкової послідовності, що генерована генератором детермінованого хаосу на основі логістичного відображення відбувається після подання стартового імпульсу. Стартовий імпульс слугує для введення відліку ітерацій при формуванні хаотичної послідовності. У блоці виключної диз'юнкції інформаційні біти кодується хаотичною послідовністю з додатковим формуванням біту для ініціалізації процесу послідовно – паралельного перетворення. Зауважимо, що у блоці генератора логістичного відображення міститься регістр зберігання початкового значення, що задається при програмуванні ПЛІС.

Структурна схема способу кодування та декодування інформації наведена на рис.14. Для забезпечення передавання інформації між персональними комп'ютерами або іншими пристроями використовується стандарт інтерфейсу обміну даними шляхом послідовного передавання даних RS-232, що визначає тип конектора для з'єднання двох пристроїв, які обмінюються даними.

Реалізація алгоритму логістичного відображення здійснюється з використанням ПЛІС (програмована логічна інтегральна схема), функціональні властивості яких задаються безпосередньо програмним методом з використанням мови опису апаратних засобів *VHDL (VHSIC Hardware Description Language)*.

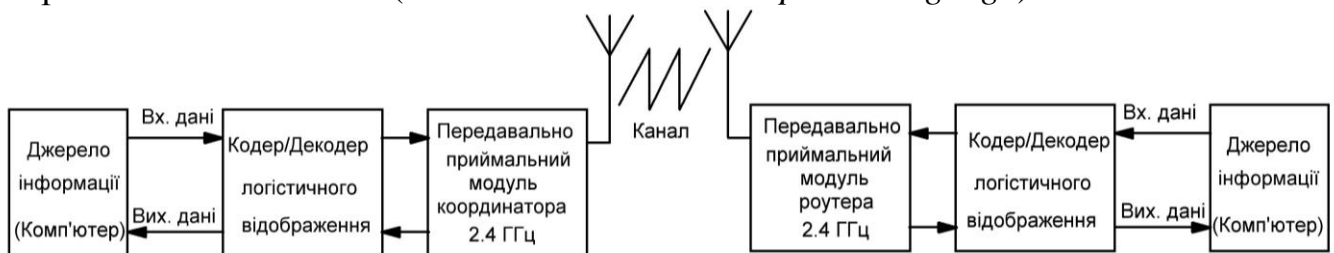


Рис.14. Структурна схема способу кодування та декодування інформації

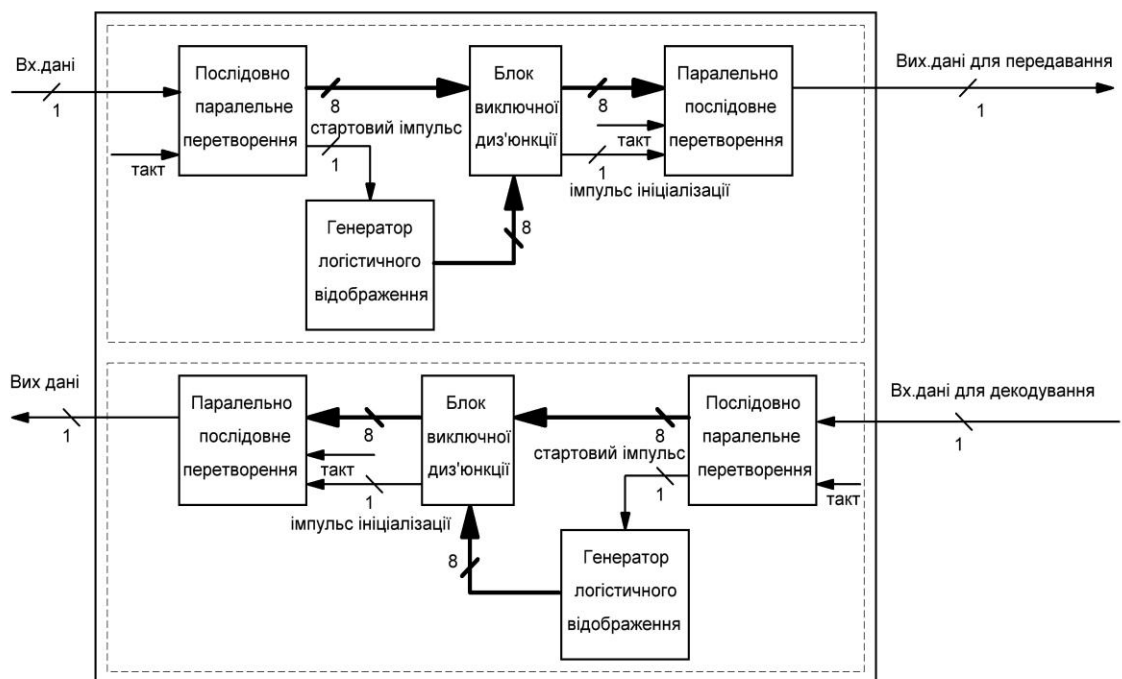


Рис. 15. Блок–схема програмноапаратної реалізації кодера\декодера генератора хаотичних коливань на базі логістичного відображення

Вихідна послідовність надходить на передавач, який працює в діапазоні радіохвиль 2.4 ГГц. Для забезпечення коректного передавання та приймання інформації, кодер і декодер розміщені в одному модулі (рис. 15). Процес декодування обернений до процесу кодування інформації.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково–технічну задачу спрощення процесу синхронізації та підвищення прихованості обміну інформацією шляхом практичної реалізації нових підходів у використанні генераторів детермінованого хаосу в аналогових і цифрових системах зв'язку. Узагальнені результати роботи приведені у наступних висновках.

1. Показано, що реалізація нелінійних елементів генераторів Чуа реалізованих на активних чотирьохполюсниках забезпечує розширення спектру хаотичних сигналів з рівномірним розподілом спектра густини потужності з 2 до 5 кГц. При цьому синхронізація між ведучим та веденим генератором забезпечується при 3% розкиду номіналів радіокомпонентної бази(при 0,2% розкид параметрів для класичних варіантів нелінійних елементів генератора Чуа). Це уможливило використання модифікованих генераторів Чуа у системах передавання мовної інформації.

2. Вперше встановлено закономірності та умови забезпечення імпульсної синхронізації у модифікованих генераторах Чуа. Показано, що запропоноване схемотехнічне рішення пристрою ключування забезпечує формування двополярної напруги імпульсів синхронізації при співвідношенні тривалості імпульсів стробування до їх періоду, що дорівнює 3.75 %, що забезпечує передавання інформаційних повідомлень протягом інтервалу більше 95% періоду імпульсу синхронізації.

3. Установлено, що заміна котушки індуктивності в коливному контурі схеми Чуа еквівалентом на операційних підсилювачах забезпечує підвищення добротності контуру в діапазоні частот до 10 кГц більш ніж у три рази у порівнянні з котушкою, що зумовлено зменшенням розсіювання енергії на активному опорі. Крім того, усунення розкиду активного опору котушки значно спрощує процес входження в синхронізм генераторів Чуа.

4. Запропонований спосіб передавання інформації з кодуванням детермінованим хаосом за допомогою протоколу IEEE.802.15.4. Кодування інформаційних послідовностей бітів здійснюється бінарними псевдовипадковими послідовностями генерованими на основі генератора детермінованого хаосу математичною моделю якого є логістичне відображення. Двохстороннє передавання інформації між приймачем і передавачем здійснюється по радіоканалу на частоті 2.4 ГГц;

5. Проведено дослідження бінарних псевдовипадкових послідовностей, генерованих генератором хаотичних коливань, на основі логістичного відображення з використанням ПЛІС на псевдовипадковий характер методом Монте-Карло та реалізацією візуального представлення у растровій формі.

6. На базі розроблених робочих зразків генераторів хаотичних сигналів і макета

системи зв'язку забезпечено можливість дослідження режимів хаотичної динаміки, процесів передавання інформації з хаотичним маскуванням сигналів у режимі реального часу;

7. Модифікація генератора псевдовипадкових послідовностей на основі логістичного рівняння з використанням ПЛІС забезпечує його адаптування в приймально-передавальних трактах мікропроцесорних систем.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Еліяшів О.М. Багатокористувальницька система зв'язку з використанням хаотичної частотної модуляції /Л.Ф. Політанський, М.Я. Кушнір, Р.Л. Політанський, О.М. Еліяшів, О.О. Невельський, С.В. Величко // Східно-Європейський журнал передових технологій.-2010. –№ 1/5(43).-С.44-47.

2. Еліяшів О.М. Дослідження властивостей нелінійного елемента передавача хаотичної системи зв'язку /О.М. Еліяшів, В.Б. Русин, Л.Ф. Політанський, М.Я. Кушнір, Р.Л. Політанський //Радиоэлектроника и информатика.-2011.-№2(53).-С.12-16.

3. Элияшив О.М. Непрерывная и импульсная синхронизация работы генераторов Чуа / О.М. Элияшив, С.Д. Галюк, Л.Ф. Политанский, Н.Я. Кушнир, В.С. Танасюк // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2012.-№1.-С.22-27.

4. Элияшив О.М. Безындуктивные генераторы хаотических колебаний по схеме Чуа/ О.М.Элияшив, Л.Ф. Политанский, // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. -2012.-№3.-С.3-11.

5. Элияшив О.М. Хаотическое маскирование сигналов с использованием генератора на базе системы Лю /П.В. Иванюк, Л.Ф. Политанский, Р.Л. Политанский, О.М. Элияшив //Технология и конструирование в электронной аппаратуре. -2012.-№2.-С.12-16.

6. Еліяшів О.М. Генератор гіперхаотичних коливань на основі схеми Чуа/О.М. Еліяшів, С.М. Храпко, Л.Ф. Політанський//Фізика. Електроніка Вісник Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.-2011.-Том1Випуск1.-С.52-57.

7. Eliiashiv O. Software implementation of multi-user text messaging system using logistic map/ O. Eliiashiv, L. Politanskii, N. Hladun, R. Politanskii // Eastern European Scientific Journal –2014. -№3.-P 238-243.

8. Пат. UA 88618 U, МПК H04W 92/18, H04L 9/20 Спосіб передавання інформації із кодуванням детермінованим хаосом за допомогою протоколу IEEE.802.15.4/ Л.Ф. Політанський, О.М. Еліяшів, Н.Г. Гладун; власник Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича.-u2013 11798; подання заявки 07.10.2013; опубліковано 25.03.2014, Бюл.№6

9. Еліяшів О.М. Гібридні хаотичні генератори Чуа/М.Я. Кушнір, В.Б. Русин, О.М. Еліяшів, В.І. Сторощук, Л.Г. Іволга// Двенадцатая международная научно-практическая конференция “Современные информационные и электронные технологии”, 23-27 мая 2011г.: тезисы докл.-Одесса. 2011. С33

10. Еліяшів О.М. Неавтономний імпульсний хаотичний генератор на основі схеми Чуа/О.М. Еліяшів, Л.Ф.Політанський//V-та міжнародна конференція CSE-

2011 “ Комп’ютерні науки та інженерія”, 24-26 листопада 2011 р.: тези доповіді – Львів, 2011. С. 224-225

11. Еліяшів О.М. Використання мови програмування VHDL для програмно-апаратної реалізації криптосистем/О.М. Еліяшів, П.М. Шпатар, Л.Ф. Політанський//Десята ювілейна наукова конференція “Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики”, 19-20 квітня 2012 р.: тези доповіді – Київ, 2012.-С.242-244.

12. Еліяшів О.М. Програмно-апаратна реалізація логістичного відображення для конфіденційного передавання інформації/ Л.Ф.Політанський, О.М Еліяшів, Н.Г. Гладун//XVI International Conference “Dynamical system modeling and stability investigation”.,29-31 May 2013: thesis-Kiev,Ukraine 2013,-p.122

13. Еліяшів О.М. Дослідження генератора гіперхаотичних коливань/О.М. Еліяшів, С.М. Храпко, В.С. Танасюк// I-а Всеукраїнська науково-практична конференція “Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки”., 13-15 жовтня 2011р.: тези доповіді-Чернівці, 2011.-С.111-114.

АНОТАЦІЯ

Еліяшів О.М. Модифікування генераторів детермінованого хаосу для систем оброблення та передавання інформації. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій. – Національний університет “Львівська політехніка” Міністерства освіти і науки України, Львів, 2015.

Робота присвячена вирішенню важливої науково–практичної задачі - модифікування генераторів хаотичних сигналів, з метою уможливлення їх використання у аналогових та цифрових системах зв’язку.

Дослідження проведені в межах цієї роботи, дозволили забезпечити можливість синхронізації генераторів хаотичних коливань за схемою Чуа при більш значних показниках номінальних значень компонентів у порівнянні з схемою Чуа на зустрічно ввімкнених діодах. Реалізація безіндуктивного коливного контура генераторів дозволили підвищити його добротність більш ніж в три рази.

На прикладі одно направленої на імпульсної синхронізації генераторів детермінованого хаосу, показано можливість використання їх для систем передавання інформації.

Ключові слова: детермінований хаос, одно направлена синхронізація, імпульсна синхронізація, псевдовипадкові послідовності, маскування та кодування інформаційних сигналів.

АННОТАЦИЯ

Элияшив О.М. Модифицирование генераторов детерминированного хаоса для систем обработки и передачи информации. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – радиотехнические устройства и средства

телекоммуникаций. – Национальный университет “Львовская политехника”
Министерство науки и образования Украины, Львов, 2015.

Работа посвящена решению важной научно-практической задачи - модификации генераторов хаотических сигналов, с целью сделать возможным их использование в аналоговых и цифровых системах связи.

Исследования, проведенные в рамках этой работы, позволили обеспечить возможность синхронизации генераторов хаотических колебаний схемы Чуа при более значительных показателях номинальных значений компонентов по сравнению со схемой Чуа на встречно включенных диодах. Реализация безиндуктивного колебательного контура генераторов позволила повысить его добротность более чем в три раза.

Проведено исследование нелинейных элементов генератора Чуа, которые реализуются на двух параллельно соединенных нелинейных управляемых напряжением резисторах, в качестве которых служили встречно включенные диоды и активные четырехполюсники.

На примере однонаправленной на импульсной синхронизации генераторов детерминированного хаоса показана возможность использования их для систем передачи информации.

Предложен способ передачи информации с кодированием детерминированным хаосом с помощью протокола IEEE.802.15.4, заключающийся в кодировке информационной последовательности битов, используя бинарную псевдослучайную последовательность, образованную при помощи генератора детерминированного хаоса, математической моделью которого является логистическое отображение. Двухсторонняя передача информации между приемником и передатчиком осуществляется по радиоканалу на частоте 2.4 ГГц

Ключевые слова: детерминированный хаос, однонаправленная синхронизация, импульсная синхронизация, псевдослучайные последовательности, маскировки и кодирования информационных сигналов.

ABSTRACT

Eliashiv O.M. Modification of deterministic chaos generators for systems processing and transmission of information. – Manuscript.

Ph.D. thesis in Engineering Science, Major Option 05.12.13 – Radio and telecommunication equipment. – National University Lviv Polytechnic of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2015.

Dissertation is devoted to the important scientific problem - modifying generators chaotic signals, their practical implementation and construction of analog and digital data transmission systems based on them.

Research presented in this paper are conducted to improve the quality of existing systems and develop new ways of using chaotic carriers to transmit information. For the first time the method of implementation of the encoding and transmission of information in radio band at a frequency of 2.4 GHz using deterministic chaos generator logistic display a numeric representation which is executed in binary form.

Based on the results of the numerical modeling and experimental investigation of attractors and transients generators Chua, implemented as a classic option and using as nonlinear element op amps found that:

1. shown that the implementation of nonlinear elements Chua generators sold in the quadrupole provides active expansion of random signals with uniform spectral power density of 2 to 5 kHz. This synchronization between the driving and driven generator provided with a 3% spread denominations radio component base (at 0.2% variation of parameters for non-linear elements Chua generator to forward connected diodes). This enables the use of modified Chua generators in transmission systems of voice information.

2. first set patterns and the condition of the pulse synchronization in the modified Chua generators. It is shown that the proposed circuit solutions klyuchuvannya device ensures the formation of bipolar voltage pulses at a ratio sync gating pulse duration equal to the period of 3.75%, providing transmission of information messages during the interval of more than 95% of the period pulse synchronization

3. Established that the replacement inductor in the circuit oscillating circuit Chua equivalent to the operational amplifier circuit enhances the quality factor in the frequency range of 10 Hz for more than tripled compared with the coil, due to the reduction of energy dissipation in active resistance. Besides the elimination of active resistance coils spread greatly simplifies the process of entering the matching generators Chua. Computer simulation and experimental study of the properties of chaotic behavior of Chua oscillator in which inductor is replaced by the equivalent on operational amplifiers. Established that non-inductive implementation enables the coil to eliminate the influence of the internal resistance of the generator and to simplify the synchronization of chaotic oscillators. Thus there is a complete repetition of the chaotic behavior of the system;

For example, one aimed at synchronizing pulse generator deterministic chaos, the possibility of using them for data transmission systems.

Were further development of the scheme synchronization pulse generators Chua receiving and transmitting sides due to the formation time samples using key voltage controlled pulse generator gating.

Obtained in the course of the dissertation results can be used for the construction of transmission and recovery using chaotic masking signal and coding information deterministic chaos.

Key words: deterministic chaos, continuous time chaotic system, discrete-time chaotic system, chaotic signal generator, simulation, complete synchronization, chaotic signal masking.

Підписано до друку __.__.2015. Формат 60 x 84/16.
Папір офсетний. Друк різнографічний. Ум.-друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100. Зам. А-017.
Видавництво та друкарня Чернівецького національного університету
58012, Чернівці, вул. Коцюбинського, 2
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №891 від 08.04.2002 р.