

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Русина Володимира Богдановича

на тему: « Моделювання методів управління динамічним хаосом  
та їх практичне застосування»,

поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю  
01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

### АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ.

Дослідження складного, неавтономного поведіння нелінійних динамічних систем знаходиться в центрі уваги дослідників уже протягом досить довгого часу. Інтенсивний розвиток теорії динамічного хаосу та обчислювальної техніки викликало новий інтерес до розроблення генераторів хаотичних сигналів на основі дискретних та неперервних динамічних хаотичних систем як радіотехнічних засобів телекомунікацій.

Протягом останнього десятиліття цей напрямок наукових досліджень є затребуваним широким колом теоретиків і експериментаторів. Однак технічна реалізація більшості відомих схем і пристроїв представляється досить складним завданням. Одним з важливих моментів при цьому є вивчення проблем, пов'язаних з контролем та управлінням хаотичними системами. Також невирішеними залишаються проблеми створення та дослідження роботи зразків генераторів на основі нових хаотичних систем, що генерують сигнали більш складної структури, та їх застосування для передавання інформації.

Все це обумовлює актуальність комп'ютерного моделювання, чисельного аналізу та керування коливаннями хаотичних систем та генераторів хаосу, їх практичної реалізації та дослідження можливості використання в системах передавання та приймання інформації.

Про актуальність теми досліджень свідчить також те, що вона виконувалась відповідно до планів науково-дослідницьких робіт кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича: “Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв та засобів телекомунікацій і інформаційних технологій” (держ. реєстр. №: 0111U000183).

Таким чином, актуальність дисертаційної роботи не визиває сумніву.

### СТРУКТУРА, ЗАДАЧІ ТА КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Робота складається з вступу, чотирьох основних розділів, висновків і списку

використаних джерел. Метою роботи є розроблення та практичне застосування методів математичного моделювання для генерування, дослідження та керування хаотичними коливаннями, а також розвиток програмно-апаратних систем моделювання хаотичних захищених систем зв'язку.

Для досягнення поставленої мети в роботі були вирішені такі задачі: розроблені методи побудови програмних систем для генерування хаотичних коливань різновимірних хаотичних систем та дослідження їх властивостей; досліджено поведінку хаотичних атракторів при різних початкових умовах та системних параметрах і встановлено діапазон значень системних параметрів, при яких можливе керування хаотичними коливаннями, яке полягає у виділенні окремих орбіт атрактора; проведено моделювання захищеної хаотичної системи передавання та приймання інформаційного носія; розроблено апаратну реалізацію генераторів хаотичних коливань; запропоновано та виконано практичне застосування методів керування хаотичними коливаннями.

У **першому розділі** дисертації детально розглянуто основні поняття і математичні моделі детермінованого хаосу, здійснено аналіз літературних джерел, присвячених дослідженню теоретичних та прикладних аспектів використання детермінованого хаосу. Розглянуто та проаналізовано основні методи управління хаосом. На основі аналізу літературних джерел сформульовані завдання дисертаційних досліджень.

У **другому розділі** представлено результати моделювання на основі програмного середовища LabView для хаотичних систем Арнеодо, Пехлівана, мульти-виткової системи типу Jerk. Для системи типу Jerk було вперше знайдено та приведено коефіцієнти для керування хаотичними коливаннями. Показано, що значення коефіцієнтів можуть бути застосовані як ключі для маскуванню та відновлення інформації. Наведено значення коефіцієнтів керування та приклади їх застосування для керування хаотичними системами.

У **третьому розділі** представлено дослідження математичної моделі системи Реслера та схеми генератора цієї хаотичної системи, розробленої за допомогою програми для схемотехнічного моделювання MultiSim. За допомогою програмного середовища LabView розроблено систему маскуванню та відновлення інформаційного носія. Проведено керування хаотичними коливаннями, які генеруються системою Реслера.

У **четвертому розділі** дисертації змодельовано та практично реалізовано хаотичний генератор Ван-дер-Поля-Дюфінга, наведено практичні результати керування хаотичною схемою генератора. Досліджено хаотичну систему типу

„jerk”. Спроектовано хаотичний генератор Чуа з кубічною нелінійністю. Здійснено керування хаотичними коливаннями пороговим методом в схемі Чуа, приведено результати практичного дослідження.

Наведені у **висновках** результати досить повно відображають суть дисертаційної роботи і мають практичне втілення.

## НАУКОВА НОВИЗНА РЕЗУЛЬТАТІВ, ЩО ОТРИМАНІ У ДИСЕРТАЦІЙНІЙ РОБОТІ

Аналіз дисертаційної роботи дозволяє зробити висновок, що автором у процесі досліджень отримані такі нові основні результати:

– Вперше на основі моделі хаотичної системи типу multi-Jerk знайдено коефіцієнти для керування її хаотичною динамікою. Показано, що значення коефіцієнтів можуть бути застосовані як ключі для маскуванню та / або відновлення інформації.

– Вперше запропоновано схмотехнічну модифікацію хаотичного генератора Ван-дер-Поля-Дюфінга заміною виду нелінійного елемента з метою стабілізації нестійких періодичних орбіт. Експериментально встановлено діапазон номіналів опору для керування хаосом в межах 2,10 кОм – 2,21 кОм.

– Модифіковано схмотехнічне рішення заміною котушки індуктивності на гіратор для зменшення впливів навколишнього середовища та покращення чіткості виділення контрольованих орбіт для генератора Чуа. Експериментально підтверджено пороговий метод для керування хаотичними коливаннями схеми Чуа.

## РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Результати роботи доцільно використовувати при розробленні та аналізі систем передавання інформації на основі динамічного хаосу. Отримані в ході виконання дисертаційної роботи результати можуть використовуватися для проектування генераторів сигналів типу “детермінований хаос”, що описуються системами нелінійних диференціальних рівнянь.

Представлені автором в дисертаційній роботі наукові та практичні результати вже використовуються в радіоелектронній промисловості та впроваджуються у виробництво. Зокрема, результати роботи використовуються при дослідженні передавання інформації на основі динамічного хаосу з використанням всесвітньої мережі INTERNET (ПАТ „Укртелеком”, Чернівецька

філія), при дослідженні умов виникнення та застосування методів керування та усунення хаотичних коливань в телефонних комунікаторах типу БСКТ-1 і БСКТ-2 (ПП „Артон”).

## ОБГРУНТОВАНІСТЬ ТА ДОСТОВІРНІСТЬ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ, ВИСНОВКІВ І РЕКОМЕНДАЦІЙ

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується коректним застосуванням методів теоретичного та якісного аналізу при обробці експериментальних даних, методів теорії нелінійних систем для побудови моделей генераторів хаотичних коливань. Достовірність отриманих результатів підтверджується узгодженістю результатів математичного моделювання хаотичних систем та моделювання їх схемотехнічних рішень з результатами експериментальних досліджень робочих зразків та відомими в літературних джерелах даними.

Обґрунтованість та оприлюдненість наукових результатів роботи підтверджено достатньою кількістю публікацій у фахових виданнях та виступів на наукових конференціях національного та міжнародного рівня. Основні результати дослідження досить повно опубліковані в спеціалізованих виданнях, широко апробовані на наукових конференціях і семінарах (19 друкованих праць, з них 7 статей у наукових фахових журналах, які входять до переліків ВАК України, одна з них одноосібна, 12 публікацій у збірниках тез доповідей та матеріалах науково-технічних конференцій).

## НЕДОЛІКИ ТА ЗАУВАЖЕННЯ ЩОДО РОБОТИ.

1. У першому розділі проведено детальний огляд методів управління хаотичними системами, багато методів розглянуті на прикладах. Було б доречним провести порівняльний аналіз переваг і недоліків, зробити класифікацію та описати, які методи найбільш підходять для застосування в управлінні хаотичними коливаннями в різних випадках.

2. У другому розділі (стор. 64) вводиться поняття «керуючі коефіцієнти» без будь-якого визначення. В огляді методів управління хаотичними системами не було використано поняття «керуючий коефіцієнт», тільки «коефіцієнт посилення», але зв'язок між цими коефіцієнтами не відображено.

3. У роботі не наведено визначення, що розуміється під керуванням хаотичними системами в розглянутих випадках. При практичному використанні

методів управління немає відсилання до розглянутих в огляді методів і відповідних формул. У розділах відсутні докладні описи, як були знайдені керуючі коефіцієнти.

4. У третьому розділі приведено описи основ синхронізації даних, протоколів синхронізації, технології DataSocket і т.д., що доцільніше було б винести в перший розділ. У той же час, в розділі відсутній опис методів практичного знаходження числа витків періодичного атрактора, що є ключовим для визначення значень керуючих коефіцієнтів.

5. У четвертому розділі експериментально реалізований пороговий метод для керування хаотичними коливаннями схеми Чуа. Оскільки опис цього методу відсутній в першому розділі, було б доцільно описати метод більш детально. Також не розглянуто які змінні (величини) і чому слід вибирати в якості керованих, які порогові значення є оптимальними і т.д.

6. Текст дисертації та автореферат не вільні від деяких некоректних визначень та формулювань. Так, наприклад, у таблицях 2.1 і 3.1 дисертаційної роботи використано поняття «Кількість витків хаотичного атрактора». Це не є коректним, тому що хаотична траєкторія не має кінцевого числа витків, а мова йде про відповідні періодичні атрактори.

Проте, надані зауваження не впливають суттєво на загальну характеристику дисертаційної роботи, не зменшують її актуальність, наукову цінність та практичну значущість.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розглянувши дисертаційну роботу Русина Володимира Богдановича «Моделювання методів управління динамічним хаосом та їх практичне застосування», автореферат, опубліковані наукові праці та додаткові матеріали, можна зробити такі висновки:

- дисертація відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – Математичне моделювання та обчислювальні методи;
- тематична спрямованість роботи є актуальною, суспільно корисною й перспективною у плані продовження розпочатих досліджень;
- зміст автореферату відповідає основним положенням дисертаційної роботи;
- дисертація є цілісною, завершеною, оригінальною, самостійною кваліфікаційною науковою працею.

Вважаю, що дисертаційна робота є завершеною науково-дослідницькою роботою, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності

вирішують актуальну наукову-технічну задачу комп'ютерного моделювання, чисельного аналізу та керування коливаннями хаотичних систем та генераторів хаосу, їх практичної реалізації та дослідження можливості використання в системах передавання та приймання інформації, та відповідає вимогам п. п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», які висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор, Русин Володимир Богданович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент  
професор кафедри прикладної математики  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки,  
доктор технічних наук, професор

Кіріченко Л. О.

Підпис проф. Кіріченко Л. О. засвідчую.

Учений Секретар  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки



І.В. Магдаліна

« 24 » 04 2017 р.