

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

ДИПЛОМНА РОБОТА

Другий (Магістерський)

Освітній рівень

Галузь знань 17 Електроніка та телекомунікації

Шифр і назва спеціальності

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Шифр і назва спеціальності

на тему Синтез хаотичної системи прихованого зв'язку із
нелінійним каналом передачі

ДРМТР 22188.01.06ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група ТР_м-22


підпис

Р.О. Остапчук

Ініціали, прізвище

Керівник: к.т.н., доц.


підпис

О.С. Пивовар

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри: д-р техн. наук, проф.


підпис

С.К. Підченко

Ініціали, прізвище

12 12 2023 р.

Хмельницький, 2023

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій (ТМІТ)
Освітній рівень другий (магістерський)
Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
Освітня-професійна програма Телекомунікації та радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ТМІТ

С.К. Підченко

« 1 » 09 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Остапчуку Роману Олександровичу

1 Тема роботи: Синтез хаотичної системи прихованого зв'язку із нелінійним каналом передачі

Керівник роботи Пивовар Олег Сергійович, к.т.н, доцент.

Затверджено наказом по університету від «15» серпня 2023р. № 30.

2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 01.12.2023р.

3 Вихідні дані (характеристика об'єкта, умов дослідження та ін.)

Мета роботи: покращення рівня прихованості дії під час передачі інформації із використанням хаотичних принципів обробки сигналів.

Об'єктом дослідження є процес передачі інформації із забезпеченням підвищеного рівня прихованості дії.

Предметом дослідження є методики синтезу хаотичної системи прихованого зв'язку із урахуванням нелінійних властивостей ліній передачі.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

1. Аналіз принципів та особливостей застосування хаотичних принципів обробки. 2. Нелінійні канали та нелінійні лінії передачі. 3. Аналіз конструктивного та деструктивного впливу завад в нелінійних хаотичних каналах передачі. 4. Синтез та дослідження каналів прихованого зв'язку в умовах нелінійності лінії передачі. 5. Аналіз та генерація рекомендації до функціонування нелінійних каналів в умовах хаотичного прихованого зв'язку.

Завдання отримав Ост - Р.О. Остапчук

Науковий керівник П О.С. Пивовар

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Вибір тематики	до 5.09.23	обрано
2	Аналіз початкових даних	5.09. 23-14.09. 23	проаналізовано
3	Написання вступу та 1 розділу (аналіз)	15.09. 23-30.09. 23	виконано
4	Написання 2 розділу (аналоги та моделі)	1.10. 23-14.10. 23	виконано
5	Оформлення та подання публікації	10.10. 23-21.10. 23	подано
6	Написання 3 розділу (розробка моделей)	15.10. 23-30.10. 23	виконано
7	Імітаційне моделювання та аналіз результатів	1.11. 23-14.11. 23	виконано
8	Обробка експериментальн. даних, оформлення графічної частини (4 розділ)	10.11. 23-21.11. 23	виконано
9	Оформлення текстової частини, синтез доповіді	21.11. 23-30.11. 23	виконано
10	Виправлення зауважень, помилок , підготовка до захисту	17.11. 23-23.11. 23	враховано
11	Антиплагіат та опонування	21.11. 23-1.12. 23	пройдено
12	Подання готового проекту	1.12. 23	виконано

Студент

Підпис



Р.О. Остапчук
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис



О.С. Пивовар
Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра 2-го курсу гр. ТРМ-22-1 Остапчука Романа Олександровича на тему «Синтез хаотичної системи прихованого зв'язку із нелінійним каналом передачі» виконана на кафедрі «Телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій» Хмельницького національного університету у 2023р. Керівник роботи к.т.н, доц. каф. ТМІТ Пивовар Олег Сергійович.

Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків по роботі, переліку із 45 джерел посилання та 4 додатків (14 сторінок). Загальний обсяг роботи в якому викладено основний зміст складає 88 сторінок і містить 52 рисунків на 46 сторінках по тексту та 37 аналітичних залежностей. Повний обсяг роботи - 118 сторінок.

Дипломна робота присвячена розгляду одночасного впливу нелінійностей каналу передачі на роботу системи прихованого зв'язку із наявністю завад в каналі передачі. Проведено синтез структури цифрової системи прихованого зв'язку із використанням способу ідентифікації наявності або відсутності хаотичної синхронізації за допомогою основного та допоміжного хаотичного генераторів. Обґрунтовано місце та тип локальних нелінійних блоків в каналі зв'язку. В середовищі Matlab/Simulink синтезована імітаційна модель для досліджень. Визначено критерії для ідентифікації цифрових логічних рівнів в синтезованій системі прихованого зв'язку. Проведена симуляція моделі за різних типів нелінійностей, рівнів нелінійності та рівнів завад, що діють в каналах прихованого зв'язку.

Ключові слова: прихованість дії, нелінійні спотворення, детермінований хаос, хаотична синхронізація.

ABSTRACT

Master's thesis proposal «Synthesis of a chaotic secure communication system with a nonlinear transmission channel» written by Ostapchuk Roman Oleksandrovysh, a 2nd-year student of group TPM-22-1 at the Department of Telecommunications, Media and Intellectual Technologies of Khmelnytskyi National University in 2023. Academic advisor – Pyvovar Oleh Serhiyovych, Ph.D., Associate Professor at the TMIT Department.

The thesis proposal consists of an introduction, 4 sections, the main scientific findings, a list of works cited (45 bibliographic references), and 4 additional materials (14 pages). The total volume of the thesis in which the main content is stated is 88 pages; it contains 52 figures on 46 pages of text and 37 analytic dependencies. The full volume of the thesis is 118 pages.

The thesis investigates the simultaneous influence of nonlinearities of the transmission channel on the operation of the secure communication system with the presence of nonlinearities in the transmission channel. The synthesis of the structure of the digital secure communication system was carried out via applying the method of identifying the presence or absence of chaotic synchronization using the main and auxiliary chaotic generators. The location and type of local nonlinear blocks in the communication channel were substantiated. A simulation model for research was synthesized in the Matlab/Simulink environment. The criteria for identifying digital logic levels in the synthesized secure communication system were determined. A simulation with different types of nonlinearities, levels of nonlinearities, and levels of interference operating in hidden communication channels was carried out.

Keywords: secure transmission, nonlinear distortions, deterministic chaos, chaotic synchronization.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	8
ВСТУП	9
1 ПРИХОВАНІСТЬ ДІЇ ЕЛЕКТРОННИХ КОМУНІКАЦІЙ	14
1.1 Радіоелектронна розвідка	14
1.1.1 Різновиди радіоелектронної розвідки	14
1.1.2 Особливості радіоелектронної розвідки	16
1.2 Радіопротидія та прихованість дії	18
1.2.1 Класифікація радіопротидії	18
1.2.2 Забезпечення прихованості дії	20
1.3 Пристрої реалізації прихованості дії	24
1.3.1 Засоби в умовах прихованості дії	24
1.3.2 Енергетичний виявник як розвідувальний приймач	27
2 НЕЛІНІЙНІ ЯВИЩА І ПЕРЕДАЧА СИГНАЛІВ	30
2.1 Концепція нелінійності	30
2.1.1 Філософія нелінійностей	30
2.1.2 Хаос та самоорганізація нелінійних систем	32
2.2 Нестохастичні флуктуації	33
2.2.1 Універсальна роль детермінованого хаосу	33
2.2.2 Точки біфуркації як основа нелінійних явищ	35
2.2.3 Атрактори під час хаотичної поведінки	36
2.3 Нелінійні явища під час передачі сигналів	38
2.3.1 Відмінність лінійних та нелінійних кіл	38
2.3.2 Апроксимація нелінійних характеристик	39
3 СИНТЕЗ СИСТЕМИ ПРИХОВАНОГО ХАОТИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ ІЗ НЕЛІНІЙНИМ КАНАЛОМ	43
3.1 Генератори детермінованого хаосу	43
3.1.1 Електричні моделі детермінованого хаосу	43
3.1.2 Умови появи хаотичної поведінки	45

	7
3.2 Хаотична синхронізація	47
3.2.1 Різновиди хаотичної синхронізації	47
3.2.2 Стійкість хаотичної синхронізації	54
3.3 Модель хаотичного прихованого зв'язку	58
3.3.1 Хаотичний прихований зв'язок	58
3.3.2 Вибір біфуркаційних параметрів	61
3.4 Критерії неідентичності ведених генераторів	63
3.4.1 Візуальні критерії рівня синхронізації	63
3.4.2 Кількісні критерії рівня синхронізації	66
4 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИНТЕЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ІЗ ВПЛИВОМ НЕЛІНІЙНОСТЕЙ	75
4.1 Моделі нелінійних динамічних систем	75
4.1.1 Односпрямована хаотична синхронізація	75
4.1.2 Імітаційна модель хаотичної синхронізації	78
4.2 Імітаційна модель системи	80
4.3 Результати імітаційного моделювання	84
4.3.1 Вихідні дані імітаційного моделювання	84
4.3.2 Вплив нелінійності типу двобічне обмеження	85
4.3.3 Вплив нелінійності типу сходинок	89
4.3.4 Апертура атракторів ведених генераторів	93
ВИСНОВКИ	98
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	100
ДОДАТОК А	105
ДОДАТОК Б	107
ДОДАТОК В	108

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АПА- апертура атрактора

ВАХ – вольт-амперна характеристика

ВХГ – ведений хаотичний генератор

ГДХ – генератор детермінованого хаосу

КОР – кореляційна обробка (корелятор)

НЕЛ – нелінійний елемент

ОФ – оптимальна фільтрація

ОХГ – опорний хаотичний генератор

ПХД – прихованість дії

РЕР – радіоелектронна розвідка

РПД – радіоелектронна протидія

СДХ – сигнал детермінованого хаосу

СКВ – середньоквадратичне відхилення

СЗВ – середньозважене відхилення

ФТР – фазова траєкторія

ФПР – фазовий простір

ШПС – шумоподібний сигнал

ХСХ – хаотична синхронізація

ЦБС – цифровий бінарний сигнал

SNR – відношення сигнал шум

ВСТУП

Суто по термінології власне «нелінійність» походить із галузі алгебри та відбиває певний вид математичних співвідношень або функцій, ступінь яких складає більше за одиницю, а пошукувана величина, тобто ту, що треба знайти, міститься в цьому ступені [1-4].

Вивчення практичних нелінійних ефектів – як спрощених нелінійних математичних моделей – добре відоме в фізиці, соціології, екології, гідравліці, економіці, механіці, тощо. З поступовим накопиченням наукових знань суттєво розширилося і розуміння концепції “нелінійності” у загальному світоглядному та методологічному сенсах.

Значний сенс в рамках досліджень нелінійних у сучасній науці є різноманітні конструктивні явища, серед яких одним із найважливіших є синергетичні ефекти, що слід розглядати в широкому розумінні, в різних галузях наукової думки. Провідними фахівцями нелінійних досліджень займалися і продовжують займатись, висвітлюючи різноманітні аспекти такі вчені як: , мають праці відомих вітчизняних і зарубіжних учених, таких як О. Князева, Г. Рузавін, Л. Бевзенко, В. Буданов, В. Цикін, М. Каган, К. Майнцер, Н. Г. Хакен, Л.Чен, тощо [4-6].

Особливу зацікавленість для розкриття багатьох гносеологічних аспектів нелінійної взаємодії та нелінійного впливу поза межами постнекласичних практик дозволив розширити глибинне розуміння тотального синергетичного впливу на рівні фізичних полів і не тільки .

Незважаючи на велику кількість математичних лінійних моделей та теорій, загалом навколишній світ, що описується відомими законами, є нелінійним завжди, адже в складі теорій гравітаційної, ядерної та електрослабких взаємодії присутні нелінійні рівняння. Отже нелінійні явища природи з точки зору сучасної науки мають вважатись закономірністю, а не частинними випадками серед лінійного океану знань [7-19].

Такий підхід до розгляду без спрощення до лінійних моделей є важливою концепцією сучасної науки. Це дозволяє зробити перехід людства в комп'ютерну епоху, де потужність людського мозку посилюється через застосування продуктивної обчислювальної техніки, без якої попереднім поколінням приходилось задовольнятися в більшості випадків лійними та квазілійними моделями.

Сьогодення електронних комунікацій характеризується для особистості тим, що більш складно знаходити все нові і нові факти що торкається досліджуваних питань, бо це потребує величезних зусиль, щоб впоратися з гігантськими інформаційними потоками. Через це виникає необхідність розгляду отримання та осмислення інформації як системотворчого явища [20].

Як показали численні моделювання в галузі електронних комунікацій та радіотехніки запропоновані нелінійні схеми передачі та обробки сигналів функціонують у багатьох заводових ситуаціях набагато ефективніше, а їх застосування є більш гнучким за використання класичних методів, крім того такі нелінійні конструкції часто мають властивості, що споріднюють їх із біологічними об'єктами, наприклад, здатність самонавчання та самовдосконалення, можливість адекватно реагувати на непередбачувані умови зовнішнього навантаження та впливу, можливість навіть впливати на дію збудника, тощо.

Одним із найважливіших втілень нелінійних теорій є нейромережева обробка, що ґрунтується на використанні штучних нейронів, а ті в свою чергу не підкоряються принципу суперпозиції та обов'язково мають у центральній секції нелінійний елемент (НЕЛ) (модуль, модель якого є суттєво нелінійною). Тобто саме нелінійність лежить в основі функціонування як природи загалом, так і людського мозку, що в кінцевому результаті і генерує цей унікальний текст [21].

Важливо усвідомити, що «нелінійний світ» має закономірності, що суттєво відмінні від класичних та вимагає нелінійного цілісного мислення,

побудова нелінійних моделей потребує більш комплексного підходу, для розуміння якими чином складні структури генеруються із малих флуктуацій, побудова із частини складної системи і навіть розуміння фундаментального поняття симетрії в рамках фрактальності.

Хоча всі розуміють, що нелінійний підхід до розгляду процесів та явищ є коректним і необхідним, але недостатність знань та теорій про нелінійності навколишнього світу часто відлякують фахівців від практичного застосування, тому системи із хаотичної поведінкою наразі людство використовує слабо, спираючись на добре зарекомендовані класичні підходи. Частково це пов'язано із суттєвим впливом НДС самої на себе, де параметри та характеристик системи залежать в внутрішніх процесів, що там відбуваються, тобто від поточного стану системи і навпаки.

Із філософської точки зору саме такий факт призводить до багатоваріантності рішень та необоротності динаміки розвитку, з наукової позиції – забезпечує стрілу часу, а людської – формує віртуальну реальність. Такі висновки є парадоксальними, але глибокі спостереження за суттю реальності схиляються до того, щоб визнати їх вірними.

Застосування високопродуктивних кластерних обчислень та використання в них новітніх методів швидкого розв'язання нелінійних систем нелінійних диференційних рівнянь високого порядку дозволило знайти ті зони застосування де класичні методи обробки значно програють в ефективності застосуванню комплексних нелінійних підходів[22].

Одна із таких зон та завдань електронних комунікацій – робота із слабкими сигналами і потужними завадами, що повністю відповідає основним розділам та завданням комплексного вирішення проблеми прихованості дії, тому і є актуальним завданням на сьогодні.

Метою роботи є: покращення рівня прихованості дії під час передачі інформації із використанням хаотичних принципів обробки сигналів..

Для досягнення вказаної мети в слід розв'язати наступні завдання:

1. Аналіз досягнень теорії та практики використання нелінійних динамічних систем в галузі електронних комунікацій та радіотехніки для побудови каналів зв'язку із підвищеною прихованістю дії.

2. Формалізація проблематики синтезу хаотичних систем із нелінійним каналом передачі, розробка та перевірка адекватності математичної моделі системи на базі нелінійних диференційних рівнянь.

3. Розробка методики інтеграції нелінійностей в односпрямований канал передачі цифрової інформації через використання спільної зони атракції основного та допоміжного ведених хаотичних генераторів на приймальному боці;

4. Перевірка ефективності запропонованих рішень через використання імітаційного моделювання та апробація результатів.

Об'єктом дослідження є процес передачі інформації із забезпеченням підвищеного рівня прихованості дії.

Предметом дослідження є методики синтезу хаотичної системи прихованого зв'язку із урахуванням нелінійних властивостей ліній передачі.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Запропоновано критерій ідентифікації наявності хаотичної синхронізації в однобічній системі хаотичного зв'язку, що полягає у визначенні максимуму відношень різницевої до сумарної енергії основного та допоміжних генераторів та дозволяє зменшити нерівномірність часової залежності результатів ідентифікації на 10..20дБ, забезпечити однозначність встановлення максимуму ідентифікації та збільшити інформаційну пропускну спроможність системи в 1,5..2рази.

2. На основі побудови та аналізу імітаційної моделі показано, що запропонована система прихованого зв'язку спроможна забезпечувати функції передачі інформації в умовах суттєвих нелінійностей каналу передачі та збереженням мінімального рівня ідентифікації цифрових логічних рівнів 2дБ за умови відношень сигнал-шум до -20дБ, рівня енергетичних спотворень до -10 дБ, що різко підвищує енергетичну прихованість дії.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Запропонована методика вибору біфуркаційних параметрів хаотичних генераторів в системі цифрової передачі інформації прихованого зв'язку із врахуванням нелінійностей та значного рівня шумів, що дозволяє сформувати групи пар параметрів нелінійної динамічної системи Rucklidge для забезпечення передачі цифрової інформації шляхом модуляції біфуркаційних параметрів цифровим інформаційним повідомленням.

2. Проведено практичний аналіз із використанням імітаційного моделювання для визначення та вибору критерію ідентифікації логічних рівнів, що полягає у визначенні рівня відношення рівнів критерії десинхронізації ведених хаотичних генераторів під час передачі різних логічних рівнів, що дозволяє однозначно та швидко визначити факт передачі певного логічного рівня із запасом завадостійкості близько 5дБ.

3. Розроблена імітаційна модель системи хаотичного прихованого зв'язку в середовищі Matlab/Simulink, що складається із сукупності функціональних субблоків. Проведено синтез структури субблоків на основі раніш запропонованих та відомих принципів обробки хаотичних сигналів для визначення їх параметрів та характеристик та можливості організації прихованого зв'язку загалом.

4. Розроблена методика досліджень імітаційної моделі хаотичної схеми прихованого зв'язку, досліджено працездатність моделі за умови впливу потужних нелінійних спотворень та адитивних завад білого гаусівського шуму, визначено умови динамічного діапазону для приймальної частини.

Апробація результатів досліджень. Результати синтезу моделей хаотичної системи прихованого зв'язку із урахуванням нелінійностей каналу зв'язку та технічні ідеї щодо можливостей практичної реалізації проведених досліджень обговорювались на науково-практичній конференції «Військова освіта і наука:сьогодення та майбутнє, яка відбулась у м.Київ (МОН України, Військовий інститут Київського національного університету Т. Шевченка), 10 листопада 2023р.

1 ПРИХОВАНІСТЬ ДІЇ ЕЛЕКТРОННИХ КОМУНІКАЦІЙ

1.1 Радіоелектронна розвідка

1.1.1 Різновиди радіоелектронної розвідки

Радіоелектронна розвідка це частина розвідки загалом, де інформація про об'єкт розвідки добувається за допомогою радіохвиль без безпосереднього контакту із об'єктом розвідки (рис.1). На даний момент більшість первинної інформації про конкурента, а у військовий час – ворога, добувається за допомогою такого типу розвідки. Інформація про способи та засоби радіоелектронної розвідки має високий рівень секретності, але загальні підходи і принципи можливо легко визначити фахівцеві. Також радіоелектронна розвідка є першим етапом радіоелектронної боротьби [4].

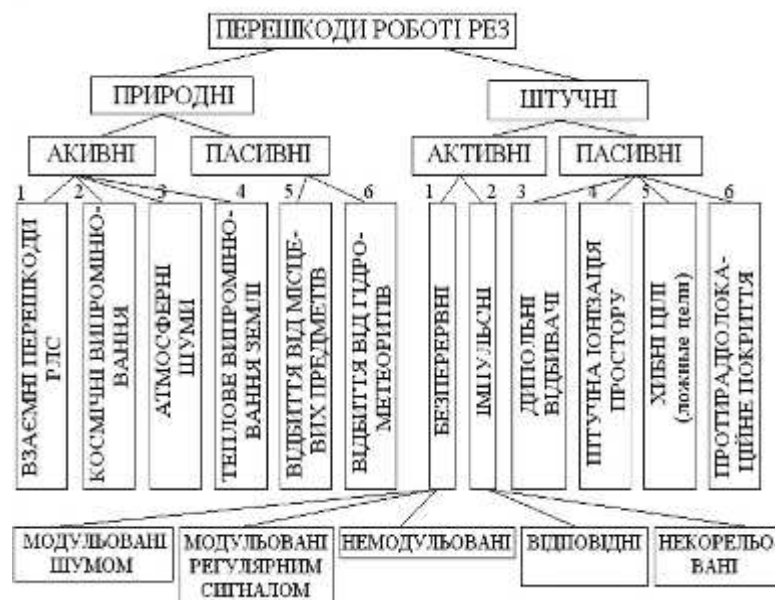


Рисунок 1 – Класифікація можливих перешкод для роботи радіоелектронних засобів

За своєю суттю радіоелектронна розвідка відноситься до засобів добування інформації різноманітним чином через аналіз радіохвиль на вході

приймача (рис.2). За важливістю для суб'єктів радіоелектронної розвідки поділяють стратегічну та тактичну.

Стратегічна радіоелектронна розвідка проводиться з боку держави непевно та спрямована на добування всебічної інформації, що необхідна для існування та розвитку держави загалом. Конкурентом в даному різновиді розвідки є урядові органи та спецслужби інших держав. Також на даний різновид розвідки покладається накопичення бази даних можливостей дешифрування, завадостійкі коди, засоби розвідки конкурентів, тощо. Найбільш потужний та коштовний сегмент стратегічної розвідки – космічний.



Рисунок 2 – Класифікація способів технічної розвідки

Тактична радіоелектронна розвідка є найважливішим різновидом розвідки під час проведення або планування проведення військових операцій через радіоелектронне стеження за театром військових дій. На даний час у в армії США радіоелектронна розвідка стоїть на третьому місці по важливості після фізичної та вогневої підготовки військовослужбовців [3].

За способами та засобам використання можливостей поширення сигналів радіоелектронну розвідку поділяють на радіотехнічну розвідку, радіорозвідку та розвідку фізичних полів.

Радіотехнічна розвідка займається в першу чергу виявленням та обробкою сигналів радарів, командних систем, систем телеметрії із метою виявлення їх розташування. Іншими словами радіотехнічна розвідка протидіє засобам добування інформації конкурента.

Радіорозвідка, в свою чергу займається засобами передавання інформації конкурента, і в даній роботі ми маємо по можливості забезпечити неможливість проведення радіорозвідки хаотичної системи передачі інформації, що розробляється. Радіорозвідка має мати більше можливості щодо аналізу змісту повідомлень що передається, але це не виключає таких завдань як ідентифікація місцезнаходження випромінюючих засобів конкурента.

Особливе місце та особливі засоби має розвідка фізичного поля. В даному контексті фізичним полем будемо вважати стан завантаження ефіру радіосигналами та відшукування серед них сигналів конкурента та визначання параметрів передавача різноманітних систем як добування так і передавання інформації.

Засоби розвідки можуть базуватись як близько поверхні землі так і в космічному просторі, тобто там де можуть поширюватись радіохвилі. Наприклад, підводної радіоелектронної розвідки не буває

1.1.2 Особливості радіоелектронної розвідки

Радіоелектронна розвідка (РЕР) в рамках розвідки загалом має такі характерні риси:

1. Відсутність механічного, гальванічного, тощо дотику або контакту із розвідувальним об'єктом.

2. Носить глобальний характер на значних ділянках Землі, зона охоплення залежить від особливостей поширення радіохвиль та використаних засобів РЕР.

3. Практична незалежність від кліматичних умов, та частини часу доби.

4. Реалізує високий рівень вірогідності інформації, завдяки безпосередньому надходження її від випромінюючих засобів конкурента.

5. Інформаційний потік від РЕР надзвичайно великий та включає в себе інформацію різного роду та інформаційного навантаження.

6. Реалізує отримання розвідувальної інформації в реальних ділянках часу.

7. Має власний високий ступінь прихованості дії завдяки використанню переважно приймальних засобів в каналах передачі конкурента.

Основні системні вимоги до РЕР можливо подати наступним чином:

8. Цілеспрямованість - полягає в жорсткій відповідності меті розвідки, що досягається коректним визначенням напрямків, зон, об'єктів, а також використання комплексного плану заходів розвідки та розсосередження зусиль та концентрації уваги на головних проблемах.

9. Активність – або агресивність є наполегливістю у виконанні поставлених завдань через застосування різноманітних засобів перехоплення, нових методів та методик, гнучкого використання частотних діапазонів, а також використання попередньої інформації, отриманої іншими різновидами розвідки про конкурента.

10. Неперервність - полягає в застосуванні устаткування різних діапазонів, способів модуляції, часових проміжків, різних поляризаційних властивостей, різних типів приймачів, тощо.

11. Прихованість дії – поділяють на технічну та організаційну, з технічної точки зору це застосування приймачів та ретельне дотримання мінімізації паразитних випромінювань, а з організаційної – дотримання суворого регламенту розвідки персоналом.

12. Оперативність – своєчасність добування та інтерпретації інформації та доставка її командним структурам для прийняття оперативних рішень. Досягається широким застосуванням комп'ютерних засобів та цифрових алгоритмів обробки. Останнім часом також суттєву частину обробки інформації покладено на засоби штучного інтелекту, нейронні мережі, тощо.

13. Точність – характеризує рівень помилок визначення розташування та помилок дешифрування інформації що добувається засобами розвідки.

14. Вірогідність – реалізується правильними алгоритмами оцінювання правильності або хибності дій конкурента і досягається комплексним порівнянням результатів від різних засобів розвідки різних діапазонів від різних джерел, а також адаптивного проведення до розвідки з метою підвищення рівня вірогідності.

1.2 Радіопроти́дія та прихованість дії

1.2.1 Класифікація радіопроти́дії

Прихованість дії (ПХД) електронних телекомунікацій (ЕТК) - це сукупність методів та засобів їх реалізації, що є властивістю ЕТК які унеможливають або ускладнюють проведення РЕР. Для забезпечення прихованості дії слід мати інформацію про методи та засоби РЕР конкурента. Таким чином первинним завданням як прихованості дії так і РЕР є забезпечення виявлення факту наявності сигналу, а далі вимірювання його характеристик та параметрів (рис.3).

Головними параметрами радіосигналів [1-4] після виявлення є: значення несівної частоти, напрямок (пеленг) випромінювання, дальність до точки випромінювання або фазового центру сигналу; вид та параметри модуляції несівної або несівних; часова та спектральна структура сигналу,

закони зміни всіх вище перерахованих величин, якщо вони не залишаються стаціонарними.

Проблематика забезпечення прихованості дії залишається натеper однією з актуальних завдань сучасних електронних комунікацій. Визначення прихованості дії це визначення процесу, що не дає кількісних характеристик. Оцінювання прихованості можливе тільки комплексне, подібне до визначення тактико-технічних характеристик будь-якого технічного засобу в рамках системного підходу із урахуванням технічних можливостей РЕР.



Рисунок 3 – Завади та технічні методи зменшення їх впливу

Для кількісної оцінки прихованості дії ЕТК поділяють на ряд окремих напрямків досліджень [4,5]:

- 1) Прихованість самого факту випромінювання електромагнітної енергії, параметрів та характеристик радіосигналів.
- 2) Прихованість інформації під час передачі по ЕТК, а також її збереження для подальшої обробки.
- 3) Окремо виділяють ПХД під час прийому радіосигналів по основному каналу прийому.

4) Прихованість випромінювань по додатковим каналам, в тому числі і неелектричного характеру (акустичним, механічним, термальним) тощо;

5) Прихованість перевипромінювання або зменшення радіолокації (зниження радіолокаційної помітності об'єкта).

ПХД разом із завадостійкістю є базовою частиною забезпечення роботи ЕТК. Своїм комплексом заходів вона ускладнює виявлення сигналів, визначення їх параметрів та процесу постановки навмисних активних завад, прицільних до параметрів радіосигналу за часом, частотою та напрямком випромінювання або діаграмою спрямованості.

ПХД по факту наявності випромінювання ЕТК поділяють на часову, частотну, структурну та енергетичну.

1.2.2 Забезпечення прихованості дії

Часова, частотна, просторова прихованість може бути об'єднана як прихованість по монументальним ортогональним параметрам навколишнього простору. Конкретно ПХД у часі, сукупність методів та засобів, що забезпечують утруднення виявлення факту випромінювання через наперед невідомість та короткочасність процесу передачі сигналів (рис.4).

Основним методом забезпечення прихованості у часі є застосування короткодійних імпульсних радіосигналів [4] або інших видів короткотривалого випромінювання, наприклад, солітонних сигналів, із великою квазіфлуктуаційною шпаруватістю та зміні параметрів короткотривалого сигналу під час роботи [22,25].

Основним способом отримання високого рівня часової прихованості дії є зменшення тривалості випромінювання та квазічастоти випромінювання без зменшення рівня інформаційного навантаження, що призводить до розширення спектру сигналу. Сучасні засоби електронних комунікацій, що мають надширокий спектр сигналу та оперують короткочасними імпульсами

називають імпульсним радіо. Така передача настільки важлива, що підтримується стандартами на передачу радіо даних.

Частотна ПХД ускладнює визначення (вимірювання) засобом розвідки несучої частоти (частоти повторення, сканування) РТС сигналу. Частотна ПХД еквівалентна часовій, тільки у частотній області. Вона реалізується через перебудову несівної або основної частоти за якимось псевдовипадковим наперед відомим на обох боках лінії передачі законом.

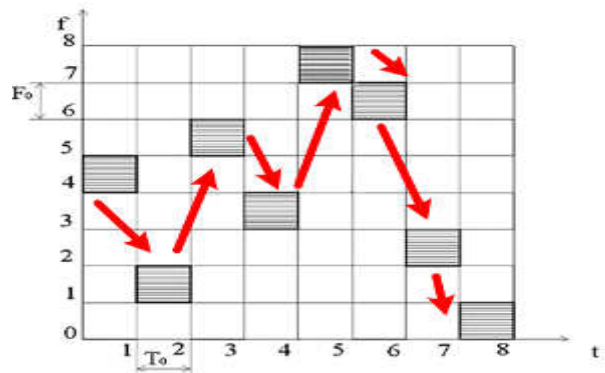


Рисунок 4- Застосування частотно-часової матриці переходів (стрибків) несівної для забезпечення частотно-часової прихованості дії

Структурна ПХД передбачає забезпечення таких властивостей випромінюваного радіосигналу, що ускладнюють виділення із нього інформаційного повідомлення. Тобто це ПХД, яка еквівалентна класичному шифруванню, але ключем шифрування служать параметри сигналу.

Найбільш широко структурна ПХД забезпечується через застосування складних сигналів або складних комплексних законів модуляції або потужних сигнально-кодкових конструкцій.

Методика структурного підвищення прихованості дії полягає у використанні складаних багатопараметричних способів модуляції радіосигналів сигналами із великою базою, для цифрових систем передачі найбільш доцільним є застосування псевдовипадкових послідовностей (ПСП) та програмованої їх зміни в процесі передачі сигналів.

Наприклад, доволі широко застосовують цифрові рекурентні послідовності максимальної довжини (М-послідовності)[3,6]. Демодуляція такого складного сигналу із великою базою реалізується методами оптимальної обробки та узгодженої фільтрації. Робота цих методів неможлива без наперед відомого закону модуляції, який є фактично ключем шифрування. В такому випадку конкуренту не тільки складно дешифрувати повідомлення але випромінювати прицільні завади. Структурна ПХД чисельно можливо оцінити через використання поняття ймовірності визначення структури сигналу $P_{стр}$ або інтервалом часу, який витрачається на цей процес.

Енергетична ПХД характеризується аналогічно теорії оптимального виявлення ймовірністю достовірного виявлення факту випромінювання - D , за умови зафіксованої ймовірності хибної тривоги F , а також частиною простору (зоною дії), в якій за заданими D і F можливе виявлення сигналів із боку конкуруючої системи РЕР. Імовірність невиявленої засобами РЕР роботи систем добування та передавання інформації конкурента, що враховує весь комплекс вжитих заходів підвищення прихованості дії, визначається виразом:

$$P_{прих} = 1 - P_{рер} = 1 - D \quad (1)$$

де $P_{рер}$ - ймовірність успішного проведення РЕР.

Енергетична ПХД передбачає створення несприятливих умов, за яких конкурент має значні складнощі виявлення через недостатність енергетики сигналів на вході приймачів РЕР. Найбільш вживаним на даний час є амплітудний та просторовий способи досягнення вказаної мети.

Просторова прихованість від виявлення реалізується через використання досконалих антен та антенних систем, що мають високий рівень спрямованості дії та гранично малий рівень небажаних

випромінювань, в першу чергу малий рівень бічних пелюсток на діаграмі спрямованості. Поширення сигналів в таких умовах відповідає квазілазерному характеру доставки інформації в точку прийому, де вся передавана енергія переважно концентрується на вході приймача, а супутні втрати миттєво переходять в неструктуроване теплове або радіовипромінювання.

Передача інформації за просторовим способом отримання прихованості дії має максимально здійснюватись територією, де неможливе розташування конкурента, в противному випадку ймовірність виявлення конкуруючими засобами РЕР буде залежати від ширини діаграми спрямованості, якщо передбачати що конкуруюча РЕР розташовано рівномірно навколо точки передачі.

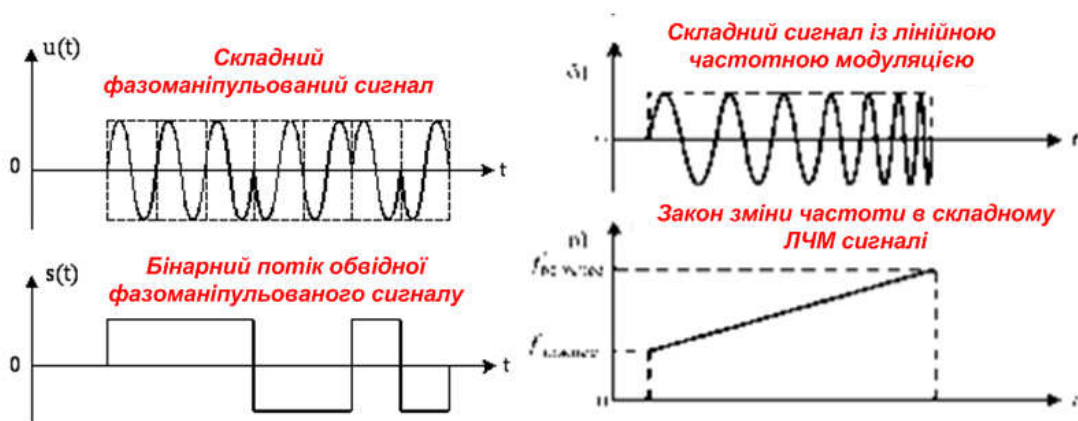


Рисунок 5 – Приклади сигналів із великою базою

Амплітудна методика підвищення прихованості полягає у якомога більшому зменшенні рівня сигналу на вході приймача РЕР, за умови збереження мінімально необхідного рівня сигналу на вході приймача, що канал передачі якого слід максимально приховати.

Амплітудний спосіб реалізується шляхом максимізації реальної та потенційної чутливості приймача із одночасним зменшенням потужності передавача до межі чутливості. Крім того значний ефект дає вибір оптимальної форми сигналів (див. рис.5) із одночасним застосуванням

узгодженої фільтрації, де суть ефекту полягає в енергетичному виграшу оптимальної обробки над неоптимальною з точки зору відношення сигнал-завада після прийому кванту повідомлення. Необхідність застосування неоптимальної обробки у приймачі РЕР витікає через невідомість форми обраного сигналу конкурента, тому сучасні РЕР здійснюють пошук сигналу, та під час роботи поступово переходять від неоптимальної обробки до оптимальної, інтервал часу, що необхідний для цього процесу оцінюється часом, або ймовірністю пошуку форми сигналу..

1.3 Пристрої реалізації прихованості дії

1.3.1 Засоби в умовах прихованості дії

Для дослідження проблем забезпечення прихованості розглянемо слід розглянути узагальнену структуру систем цифрових електронних комунікацій(РТСПД) із застосуванням сигналів із великою базою (див. рис.5) із використанням псевдовипадкових цифрових послідовностей.

Джерело цифрової інформації (ДІ) (рис. 6) генерує бітовий потік швидкістю V (біт/с), де бітовий інтервал складає $T_0 = 1/V$. Генератор псевдовипадкової послідовності налаштовується таким чином, щоб забезпечити мінімальні можливості для розкриття конкурентом структури його генерації. Наприклад, для М- послідовностей це характерні зворотного зв'язку регістра генерації, що в даному випадку є ключем шифрування.

За умови здійснення відповідної синхронізації бітового потоку та чіпового інтервалу псевдовипадкової послідовності сигнали з виходів обох джерел об'єднуються у цифровому модуляторі, що фактично є керованим інвертором побудованим на елементі «Виключне АБО».

Чіповий інтервал сигналу ГПСП має дорівнювати:

$$\tau = T_0/N, \quad (2)$$

де N – Кількість елементів використовуваної ПСП.

По іншому під час логічного множення на елементі «Виключне АБО» один період (квазіперіоду) ПСП заповнює один бітовий інтервал. Отже підвищується загальна тактова частота, через використання чіпових інтервалів значно меншої тривалості, що дає можливість говорити про отримання складного сигналу на виході МД [1-6].

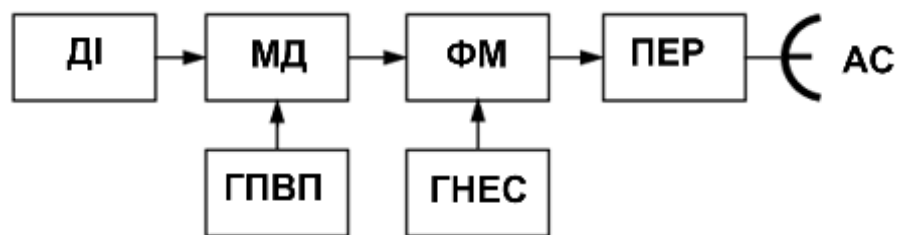


Рисунок 6 – Узагальнена структура передавача сучасних електронних комунікацій із використанням складних сигналів:

ДІ – джерело інформації; МД- цифровий модулятор; ГПВП – генератора псевдовипадкової послідовності, ФМ – фазовий модулятор, або амплітудно-фазовий модулятор, ПЕР – передавач, або адаптер лінії передачі; АС – антенна або напрямна системи

Для забезпечення досконалої енергетики та високий ККД використання засобів передачі в сучасних системах використовують фазові різновиди модуляції, що реалізують мінімальний пік-фактор сигналу в каналі зв'язку. Для цього отриманий бітовий потік із МД надходить на фазовий модулятор, що живиться ГНЕС ще більшої частоти і надалі підсилюється до мінімально необхідного рівня потужності в ПЕР та потрапляє в напрямний пристрій – антенну систему або іншу лінію передачі.

Приймач РТСПД (рис.7) містить АС, потужний лінійний тракт для забезпечення чіткої селекції та підсилення сигналу, синхронний демодулятор для отримання відеосигналу із чіповою швидкістю, демодулятор ПВП (ДМД)

де сигнал множиться із опорною, вже синхронізованою ПСП, для отримання інформаційного повідомлення, що надалі в пороговому пристрої перетворюється у бітовий потік інформаційного повідомлення. ПСП в приймачі прихованої системи зв'язку має бути жорстко синхронізована за часом та циклом із ПСП передавача та збігатись за формою. На схемах рис.1 та рис.2 елементи забезпечення синхронізації умовно не показано.

Фільтр інформаційного сигналу призначений для пригнічення вищих спектральних складових та очищення форми сигналу від артефактів обробки [1,4]. Компаратор ПРП проводить бінарне квантування сигналу використовуючи передавальну характеристику із петлею гістерезису для додаткового захисту від можливих спотворень.

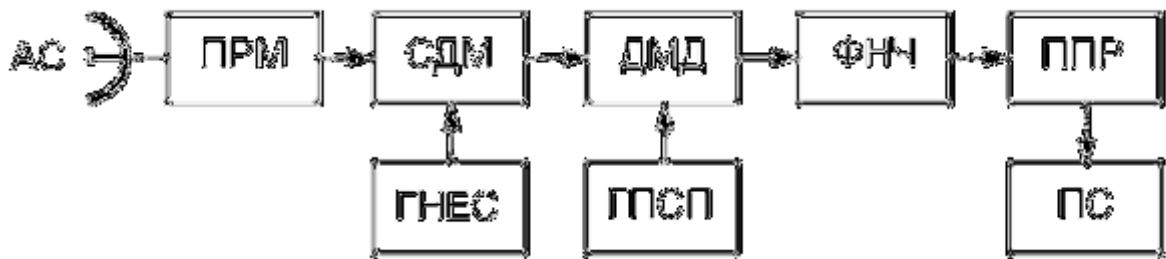


Рисунок 7 – Узагальнена структура приймача сучасних електронних комунікацій із використанням складних сигналів:

АС – антенна або напрямна система; ПРМ -лінійний тракт приймача; СДФ- синхронний фазовий демодулятор; ГПВП – генератора псевдовипадкової послідовності, ДМД – демодулятор інформаційного повідомлення, ФНЧ – фільтр низьких частот або фільтр гармонік; ПС – приймай сигналу або адреса інформації

Таким чином в схемах прихованості дії використовуються складні сигнали. Складними сигналами вважають сигнали, що мають добуток тривалості на ширину спектру набагато більшою за одиницю. Ширина спектру радіосигналу, модульованого ПСП, дорівнює:

$$f_0 = \frac{1}{\tau} \quad (3)$$

де τ – чіповий інтервал ПВП.

За (1), його база ПВП в даному випадку відповідає кількості елементів N . Звідки постає проблема розширення спектру сигналу за умови незмінної швидкості інформаційного повідомлення, що призводить до необхідності застосовувати вищі частоти та ускладнює технічну реалізацію.

Енергетична ПХД такого приймача ґрунтується на властивостях кореляційної функції деяких ПВП, що дозволяє отримати високе відношення сигнал-завада на виході приймача за умови оптимальної кореляційної обробки (КОР) якщо на приймальному боці відомий закон модуляції.

Під час оптимальної обробки відбувається згортка сигналу у часовій або частотній зоні, відповідно корелятором або узгодженим фільтром. Якщо ПВП має властивості кодів Баркера то на виході, через бітовий інтервал інформаційного повідомлення генерується короткий імпульс із тривалістю близьким до чіпового інтервалу τ із амплітудою в N разів більше ніж амплітуда на вході. Шум під час такої обробки вважається не корельованим та його потужність сумарна зростає теж в N разів, але відношення сигнал-шум за потужністю має значення в N разів більше, ніж на вході, за рахунок того, що потужність пропорційна квадрату амплітуди. Якщо синхронізація проведена точно, то в цей момент часу і треба фіксувати наявність або відсутність сигналу, власне фіксується полярність сигналу через інваріантність КОР до форми оброблюваного імпульсу.

1.3.2 Енергетичний виявник як розвідувальний приймач

Для засобів РЕР конкурента параметри сигналу, що переносить користе повідомлення є апріорі невідомим, тому використати КОР або узгоджену фільтрацію для виділення інформаційного повідомлення є неможливим. В

такому випадку залишається виявляти факт наявності повідомлення через застосування чутливих енергетичних приймачів, що визначають наявність стороннього випромінювання як випромінювання що має випадковий закон розподілу, тобто як шумовий процес. Типова узагальнена структура такого енергетичного приймача, який часто називають радіотеплолокатором передбачає обчислення енергії сигналу на досить тривалому інтервалі часу та порівнянні із наперед відомою енергією сигналу навколишнього середовища.

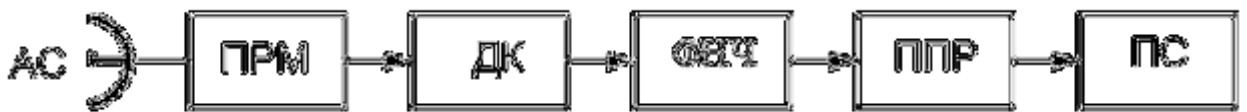


Рисунок 8 – Узагальнена структура енергетичного приймача:

АС – антенна або просторовий селектор; ПРМ -лінійний тракт приймача або частотно-часовий селектор; ДК – детектор квадратичний; ФНЧ – фільтр низьких частот або фільтр гармонік; ППР – пороговий пристрій; ПС – приймач сигналу або адресат розвідувальної інформації інформації

В схемі (рис.8) селекція напрямку відбувається в спеціалізованій високо спрямованій адаптивній антенній системі, що разом із лінійним трактом приймача ПРМ утворює пристрій лінійної селекції за чотирма параметрами: часом, частотою, азимутом та кутом місцевості. Діапазони селекції задаються через використання або передбачення можливостей конкурента встановлювати певні параметри під час електронних комунікацій.

Для обчислення енергії сигналу використовують квадратичний детектор, що разом із ФНЧ утворює корелятор. В даному випадку ФНЧ виконує функцію інтегратора [2,3].

Під час процесу вимірювання енергетичний приймач працює наступним чином у 2 етапи. На першому етапі селекція налаштовується на зону простору де заздалегідь відсутня дія електронних комунікацій конкурента, але параметри навколишнього простору сильно наближені до

умов зони дії конкурентної телекомунікаційної системи. На другому етапі проводиться пошук радіовипромінювань електронних комунікацій конкурентних засобів через порівняння отриманого випромінювання із пороговим рівнем, визначеним на першому етапі.

Недоліком такого способу радіоелектронної розвідки є можливість незначного перевищення порогу через структурну ПХД та неможливість передбачення, чи таке перевищення відповідає природній флуктуації, або воно є результатом роботи електронних засобів конкурента.

2 НЕЛІНІЙНІ ЯВИЩА І ПЕРЕДАЧА СИГНАЛІВ

2.1 Концепція нелінійності

2.1.1 Філософія нелінійностей

На передньому фронті нелінійних уявлень завжди виступала філософія, та дедалі більше філософів застосовують типове нелінійне поняття синергетики для підтвердження тих чи інших думок, але у філософії статус понять лінійності та нелінійності має ряд протиріч та розмовностей. Більшість фахівців схиляється до того, що відмінності між лінійними та нелінійними моделями та теоріями зводиться до використання певного математичного апарату та аналітичних співвідношень, тим не менше, не тільки застосування певного математичного апарату визначає відмінності між лінійним та нелінійним явищем (рис.9) [5].



Рисунок 9 – Використання принципу суперпозиції в радіотехніці

У телекомунікаціях та радіотехніці розділити лінійні та нелінійні явища на якісному рівні дозволяє принцип суперпозиції [1], або накладання без взаємного впливу. На основі цього принципу побудована теорія лінійних

кіл, спектральний аналіз, теорія ортогональних перетворень, лінійна фільтрація, теорія оптимальної обробки, тощо.

В явищах та процесах, що підкоряються принципу суперпозиції, ми можемо із набору лінійних ортогональних елементів, що прості для застосування та розуміння синтезувати та аналізувати більш складні явища, з певною мірою достовірності. В такому випадку суперпозиція представляється як властивість де складне явище або процес дорівнює адитивній сумі його частин із точністю, що нескінченно наближається до нуля, а також адитивність збурень відповідає попарній адитивності реакцій.

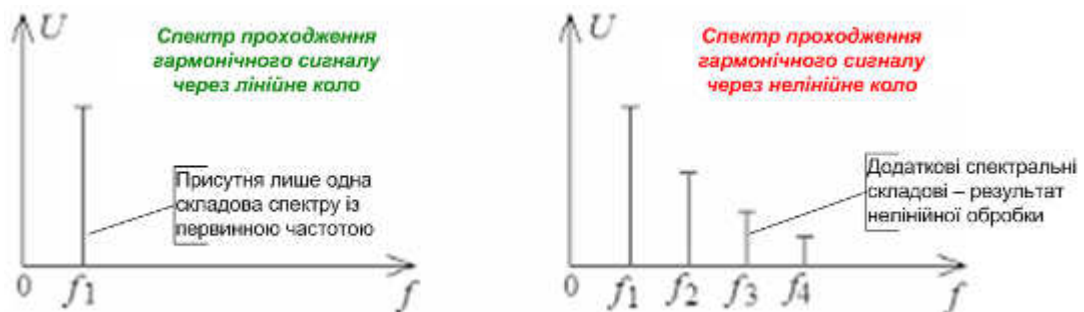


Рисунок 10 – Зміна спектру під час нелінійної обробки

В нелінійних явищах та процесах відбувається в більшій або меншій мірі порушення принципу суперпозиції (рис.10), в результаті чого ми можемо спостерігати суттєво різний результат впливу того самого збурення за умови наявності іншого, супутнього процесу, що з ним взаємодіє. Це розширює простір можливих варіантів аж до непередбачуваності залежно від консерватизму використовуваних систем та налаштування параметрів нелінійності.

Таким чином, складно представити узагальнені рішення нелінійних рівнянь, що підтверджує складність, наприклад, отримання рішення загальної теорії відношення А.Ейнштейна. Але через наявність потужного апаратного та програмного забезпечення доступний багатопараметричний аналіз поведінки нелінійних систем, в тому числі пов'язаних нелінійних систем із заданою точністю налаштування для прогнозування стабільної роботи, а також

визначання умов, за яких ця стабільна роботи підтримується на інтервалі життєвого циклу реального виробу.

Отже самоорганізація системи неможлива без внутрішньої нелінійної взаємодії і дослідження різноманітних аспектів під час реалізації такого явища є актуальним завданням, що має важливі перспективи в тому числі і під час побудови сучасних систем електронних комунікацій [26,27]. Це підтверджується тим, що, як відомо, однією з центральних умов розвитку технократичного людства є вдале задоволення вимог різноманітних напрямків науки, техніки та технологій через застосування комплексного та системного аналізу зовнішніх та внутрішніх збурень щодо оточуючого нас соціального і природного навколишнього світу. Все це має бути не тільки складовою частиною, але й домінуючою суспільною необхідністю.

2.1.2 Хаос та самоорганізація нелінійних систем

Розглядаючи із різних боків нелінійні процеси під час прояву механізмів самоорганізації, особливо в зонах біфуркації, констатують зростання темпів внутрішньої трансформації поведінки системи на структурному рівні. Це відбувається під час зміни параметрів нелінійної динамічної системи (НДС) в хаотичному режимі [27-37]. Саме наявність хаотичних режимів спонукає до руйнування минулих структур та побудови інших із хаосу, або формування, відокремлення, виділення впорядкованості із структур, що із класичних позицій розглядаються як деструктивні елементи.

Завдяки проява вам нелінійності є можливість передбачити роботу внутрішніх механізмів поведінки багатоелементних систем із нелінійної взаємодією, що надають нові властивості в рамках самоорганізації. Найбільш важливими поняттями НДС (рис.11) є часто незрозумілі для широкого загалу фрази, як “хаотична поведінка”, “атрактор”, “нестійкість”, “фрактальність”, “дисипація”, “відкритість”, тощо.

Зміст поняття “хаос” зазвичай визначається рівнем розвитку особистості в рамках культурного розвитку як протилежність поняття «порядок». Внутрішньо, або генетично, кожна людина намагається подолати некерованість, незрозумілість, непередбачуваність та перейти до сталості, наперед визначеності, впорядкованості [35].

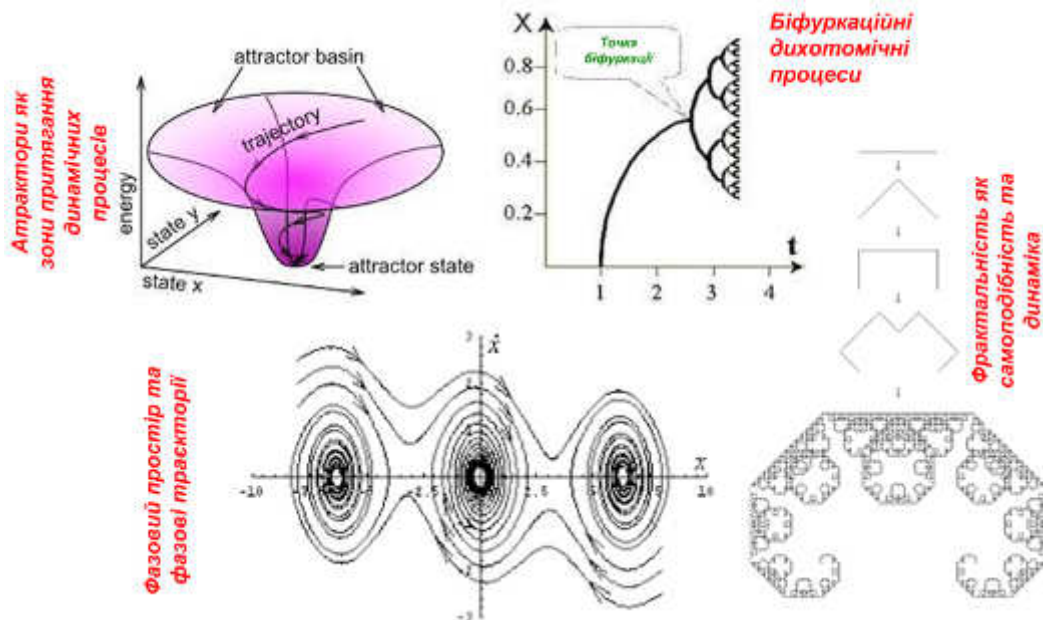


Рисунок 11 – Особливі поняття нелінійної обробки

З протилежного напрямку розгляду, перехід від впорядкованості до хаотичності (шумоподібності, непередбачуваності) загалом підтримується статистичними законами, що є основним підґрунтям квантових теорій. Кожен закон природи, який називають статистичним, розглядає значну кількість елементів та результат їх сукупної дії, та не заперечує можливі відступи від закону, хоча і констатує їх малу ймовірність на практиці.

2.2 Нестохастичні флуктуації

2.2.1 Універсальна роль детермінованого хаосу

Універсальну роль детермінованого хаосу можливо окреслити не тільки з точки зору природних процесів, але і з точки зору соціального

розвитку людства як відкритої синергетичної дії, де хаос характеризує не безлад, а навпаки – генератор розвитку. Тобто в рамках такого підходу безсистемний рух та випадковість поведінки та виносяться на перший план як рушійний елемент розвитку. Наприклад, таким елементом є ринковий механізм економіки, що незважаючи на ряд недоліків, пов’язаних із кризами, стагнаціями та ін. показав свою глобальну доцільність та переважальність над багатьма іншими економічними системами.

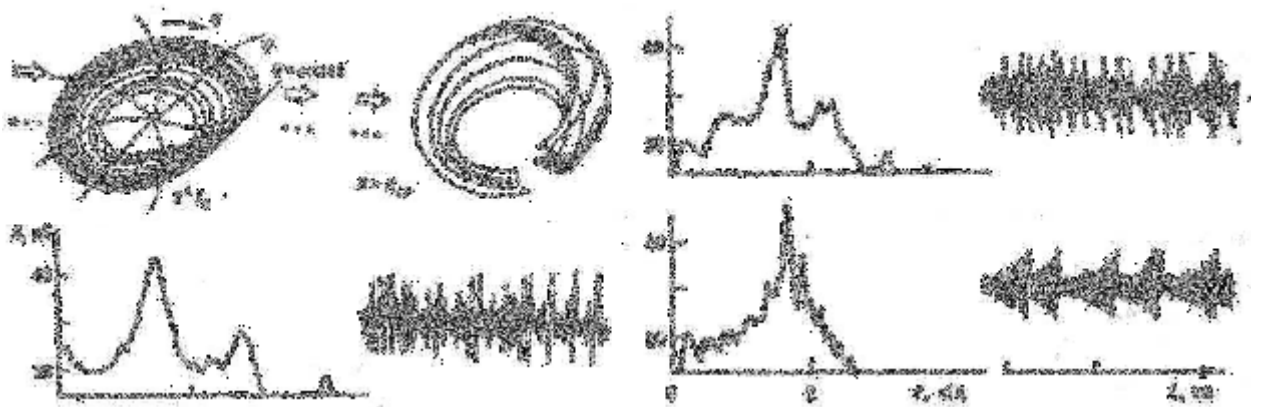


Рисунок 12 – Форма дивного атратора, спектри та форма сигналів фазових змінних характерні для радіотехнічних хаотичних генераторів

Крім того важливим елементом хаосу є обов’язкова необхідність флуктуацій [34], хитання із боку в бік, або з точки зору радіотехніки - шуму (рис.12), в результаті яких виникають синергетичні процеси самоорганізації, власні дивні атратори і навіть синхронізація та симетрія, що не може існувати в інших умовах. Тобто тривале існування і природних, і технічних, і соціальних структур є різноманіття, про що природа задалегідь подбала, використовуючи закони взаємного впливу.

Досягнення теорії НДС із філософської точки зору демонструє нове бачення загальної єдності світу у всіх проявах, яке полягає в тому, що існує обмежена кількість синергетичних сценаріїв руху в напрямку “порядок – хаос”, що відбуваються у відкритих НДС із дисипацією (розсіюванням енергії). Такі сценарії реалізуються однотипно та можуть бути описані

однаковими моделями як для соціуму, так і для техніки. Результати цих сценарії подібні, що часто використовують популісти та літераторі для публікацій.

Хаотизуючий, розсіювальний, дисипативний чинник відповідно другому закону термодинаміки діє у всіх системах постійно, але за наявності певної нелінійності кожної системи окремо такий чинник діє вибірково, знищуючи одні структури та посилює інші, що в результаті динамічного розвитку призводить до стабілізації нових локальних утворень системної організації. В таких умовах детермінований хаос навіть можливо наділити віртуальним розумом, або деяким інтелектом із творчим підходом. А Всесвіт як розумну істоту, що одночасно і руйнує, і створює. В цьому полягає діалектичний аспект хаотичної поведінки. Правильне застосування конструктивних елементів хаосу для потреб людини є головним завданням теорії та практики нелінійних динамічних систем [32].

2.2.2 Точки біфуркації як основа нелінійних явищ

Ще одне практичний висновок із зазначених положень вище полягає в тому, що розвиток неможливий без біфуркаційних зон, або нестійких станів, що характеризуються обмеженістю прогнозування та складністю контролю ситуації. Але позитивний момент полягає в тому, що таким провалам відповідає наступний етап самоорганізації, етап принципово нової якості, яку часто ще тільки намагаються усвідомити. Таким чином, стани стабільності та нестійкості природно змінюють один одного, із швидкістю, залежно від глобальності розвитку. Тобто людині здається, що все навколо є стійким під час її життя, а на більш тривалих ділянках часу все змінюється. Тобто стійкість та нестійкість є відносною і залежать також від динаміки відкритості системи [27].

Цікаво розглянути власне точку переходу – точку біфуркації (рис.13), точку кризового стану, що призводить до руйнування зв'язків між

елементами структур та формування нових. Саме тут зосереджений феномен нелінійної природи всесвіту пов'язаний із генерацією квантових ефектів, що описують стрибкоподібність в природних явищах або дискретизацію шляхів еволюції нелінійних систем. Така дискретизація – невідемний фактор моделювання нелінійних процесів, де всі розрахунки проводяться хоча із величезною, але обмеженою точністю. Взаємний вплив дискретизованості також призводить до нелінійних взаємодій в яких генеруються нові, досі нечувані структури, і цей факт ще потребує подальшого розгляду із різних боків.



Рисунок 13 – Фазова траєкторія та точки біфуркації

З практичної точки зору для передачі та обробки інформації важливий факт нелінійної резонансної дії слабких збурень, тобто узгоджені із НДС дії можуть бути набагато більш ефективними ніж в рамках класичних теорій [31]. Наприклад, можливо виділення слабого сигналу певної форми на тлі завад, що багаторазово перевищують корисний сигнал із ймовірністю, що

2.2.3 Атрактори під час хаотичної поведінки

Слід розуміти, що розуміння хаосу з точки зору фахівців та звичайних людей часто діаметрально протилежне. Більшість фахівців схиляється до думки, що хаос є більш високою формою організації матерії і

підтвердженням цього може служити генерація дивних атракторів (рис.14), різноманіття яких надзвичайно велике і складне, а результат надзвичайно схожий із невпорядкованою дією великої кількості різноманітних факторів, як в статистичних теоріях. Тобто хаос слід вважати більш високою формою порядку, і щоб не плутатись із поняттями з технічної точки зору вживають оксиморон «детермінований хаос», підкреслюючи цей факт [29].

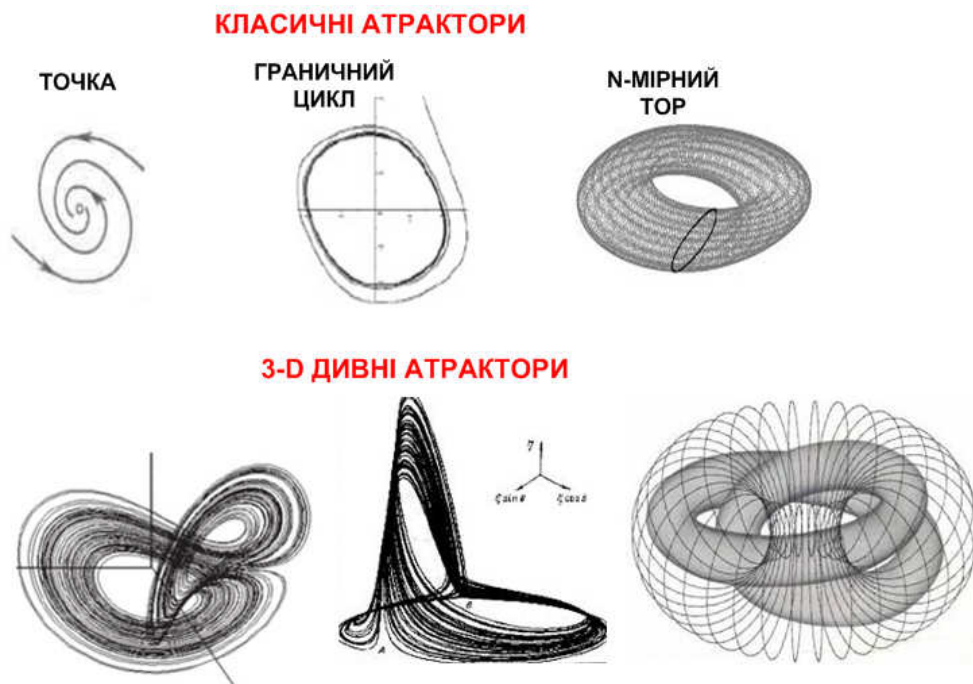


Рисунок 14- Типи атракторів в динамічних системах

Також підтверджується вищий рівень впорядкованості хаотичних систем взаємодія із зовнішнім середовищем, то спостерігається факт більшої стійкості таких станів, в яких менше симетрії. Цей факт вступає у протиріччя із другим законом термодинаміки систем в стані рівноваги, де ентропія не може зменшуватись, забезпечуючи кінцевий стан і будь яка флуктуація повертає систему до статистично стаціонарного стану. Однак такий механізм діє для замкненої системи, що не обмінюється енергією із навколишнім середовищем.

Виходячи із сучасних уявлень про Всесвіт замкнених систем не існує, все навколо нелінійне, а отже кожна окрема флуктуація може привести до

зменшення ентропії системи через побудову нових структур, нових атракторів в широкому розумінні як на макрорівні так і на макрорівні. Можливо одна із таких флуктуацій і створила Всесвіт таким, як ми маємо нагод спостерігати та вивчати тепер вже на основі методологічної бази нелінійних динамічних перетворень [27-37].

Подібні флуктуації реалізують свій потенціал в точках біфуркації, перехід до яких можливий лише в нелінійних системах. Навіть мікроскопічні збурення та спонтанні флуктуації переводять систему в невірноважений стан, кількість яких нескінченно велика, які згодом в результаті динамічного рециклінгу переростають в макроструктури вищого порядку в раніш впорядкованій макроскопічній систем. Однією із таких структур можливо вважати і людину.

Таким чином структури вищого порядку які утворюються в рамках детермінованої динамічної хаотичної поведінки можна розглядати як результат природної невірноваженості і нелінійності, що безперечно присутня в усіх природних явищах та системах, в рамках розгляду таких систем як відкритих до взаємодії або з технічної точки зору обміну енергією, як універсальною формою і джерелом самоорганізації.

2.3 Нелінійні явища під час передачі сигналів

2.3.1 Відмінність лінійних та нелінійних кіл

Природно, що всі радіотехнічні кола є в широкому розумінні нелійними, але з точки зору моделювання за певних умов можливо побудувати моделі лінійних кіл, а отже поділити їх на лінійні та нелінійні. Особливістю лінійних кіл є чітке дотримання принципу принципу суперпозиції під час взаємодії декількох радіотехнічних процесів.

Принцип суперпозиції або адитивного накладання за умови забезпечення стаціонарності формує ряд наслідків, які значно спрощують

аналіз та синтез лінійних пристроїв. Одним із таких важливих наслідків є те, що синусоїдальний сигнал, проходячи через лінійний пристрій, не змінює гармонічної форми, змінюється лише параметри амплітуди та початкової фази.

Гармонічний сигнал – приклад детермінованого періодичного сигналу, але і під час проходження шумоподібного сигналу (ШПС) через лінійні кола наслідком є те, що флуктуаційний сигнал із гаусівським законом розподілу, проходячи через лінійні кола не змінює характеру розподілу, а в даному випадку змінюються параметри розподілу: математичне сподівання, дисперсія, тощо.

Однак лінійна і стаціонарна система під час взаємодії з сигналом нездатна змінювати спектральний склад вхідного сигналу, наприклад, реалізувати модулятор виключно на лінійних схемах неможливо. Значно ширші можливості обробки сигналів мають нелінійні пристрої. Нелінійність як раз і можливо охарактеризувати появою додаткових спектральних складових, які були відсутні у вхідному стимулі.

Такий ефект забезпечується елементом нелінійного пристрою, в якому між вхідним сигналом $v_{ex}(t)$, та реакцією нелінійного пристрою $v_{вих}(t)$ забезпечується певною функціональною нелінійною залежністю. Характер цієї залежності і визначає загальні закономірності, а також методики їх дослідження.

2.3.2 Апроксимація нелінійних характеристик

Для радіотехнічних компонент ВАХ отримують експериментально, через дослідження в рамках лабораторного тестування вибіркової партії. Стабільність характеристик ВАХ забезпечується стабільністю технологічних процесів виготовлення. Як і будь яку залежність однієї фізичної величини від іншої можливо представити різними способами, наприклад, у вигляді таблиці пар значень, тобто через формування двовимірного масиву чисел, що легко

запам'ятовується в пам'яті ЕОМ та надалі обробляється в САПР через використання інтерполяції проміжних значень [38].

Для аналітичних досліджень слід за даними двомірних таблиць ВАХ слід таку функцію апроксимації моделі нелінійності, що була б зручною для подальших розрахунків та обчислень із достатньою мірою достовірності. Крім того ця залежність має бути досить простою та універсальною для відтворення внутрішньої фізики процесів. Найбільшої популярності для опису нелінійностей в радіотехніці набули три різновиди апроксимації: експоненційна, степенева та кусково-лінійна апроксимація (рис.15).

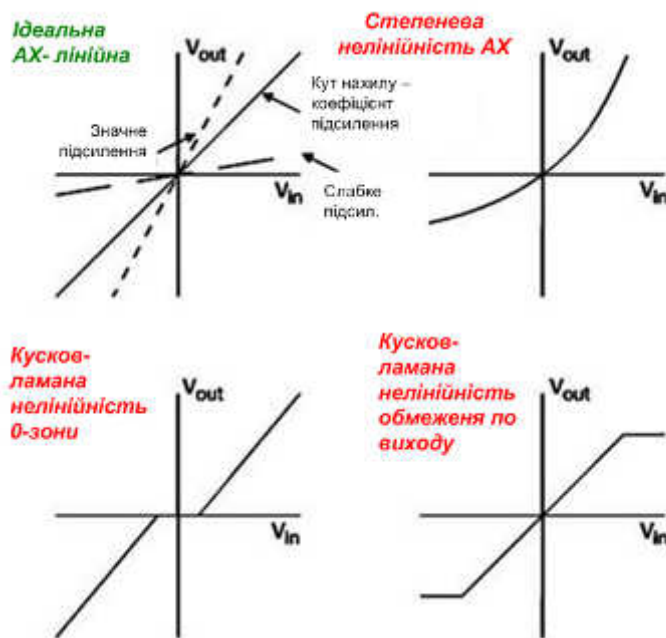


Рисунок 15 – Різновиди нелінійностей амплітудної характеристики (АХ) підсилювача хаотичного сигналу передавача

Застосування показникової апроксимації найбільш доцільно для напівпровідникових пристроїв, що працюють в слабкосигнальному режимі, наприклад, напівпровідникових діодів та транзисторів. Через складність цифрових обчислень, результати аналізу нелінійних кіл за допомогою САПР ускладнюються, а вихідний спектр – збагачується.

Експоненційна апроксимація є частинним випадком показникової апроксимації, що при великих значеннях струмів через напівпровідниковий

прилад переходить до лінійної апроксимації. Такий різновид апроксимації гарно відбиває факт лавиноподібного зростання струму через напівпровідниковий елемент із зростанням напруги де об'ємний опір напівпровідника відіграє все більший та більший внесок в загальний характер нелінійності.

Основу ступеневої апроксимації складає математична операція розкладення нелінійної залежності в околиці певної точки функції у ряд Тейлора, де ВАХ представляється у вигляді поліному із нескінченною кількістю членів:

$$i(v) = a_0 + a_1[v - V_0] + a_2[v - V_0]^2 + \dots + a_n[v - V_0]^n, n \in Z, \quad (4)$$

де, a_n - коефіцієнти поліному;

V_0 - точка в околиці якої проводиться розкладання по ряду Тейлора.

Вибір кількості складових поліному або максимальна ступінь апроксимації визначається пошукуванню точністю розрахунків. Ступенева апроксимація (рис.16) як і показникові використовується в слабкосигнальних режимах, тобто із малими рівнями стимулів на вході нелінійного елемента. В переважній більшості випадків застосовують ступень апроксимації не більше 3, що може відтворювати як однозначні так і неоднозначні характеристики завдяки властивостям кубічного поліному[1-5].

Під час знаходження аналітичної залежності для ступеневої апроксимації застосовують методи регресії первинного точкового набору даних ВАХ для отримання коефіцієнтів поліному. Використовувати ступеневу апроксимацію доцільно лише в межах невеликих відхилень від центральної точки - V_0 .

Кусково-лінійна апроксимація (див.рис.15) є найбільш універсальним способом апроксимації і одночасно найбільш простим для проведення обчислень. Основа способу – заміна аналітичної кривої залежності сукупністю ліній прямої пропорційності із різними кутами нахилу. Таким

чином під час кусково-лінійної апроксимації утворюються точки розриву. Якщо попередні способи використовують для слабких сигналів, то кусково-лінійну апроксимацію застосовують для сигналів значної потужності із великими амплітудами стимулів нелінійних елементів, наприклад, передавачів, компараторів, підсилювачів, тощо.

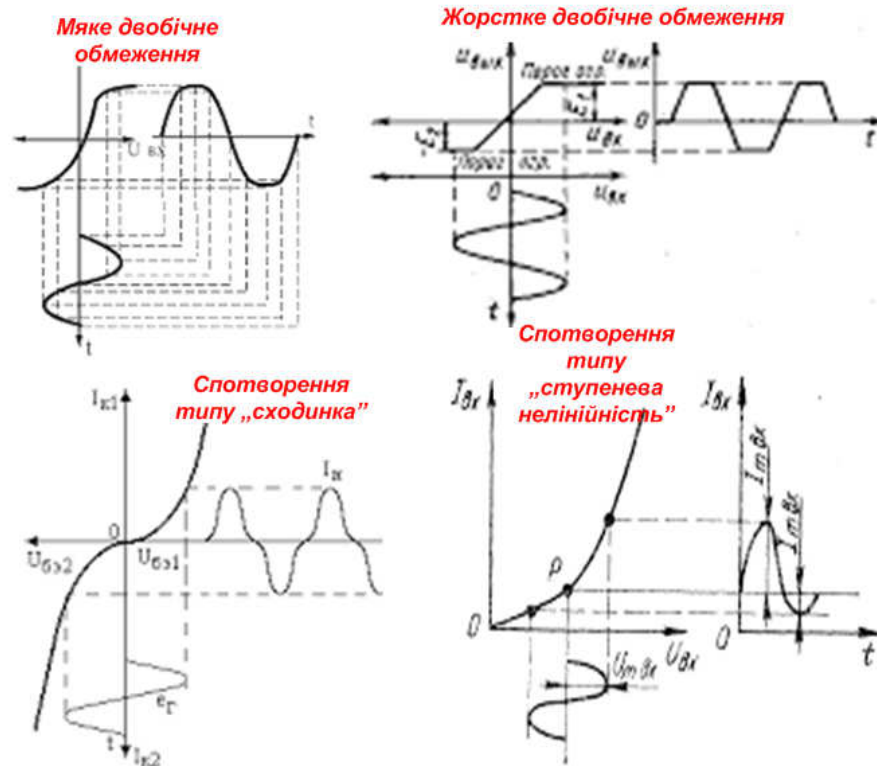


Рисунок 16 – Вплив «гладких» нелінійностей каналу передачі на форму гармонічного сигналу

Існують також і інші способи апроксимації, наприклад, комбіновані способи із вищезазначених, де різні ділянки ВАХ відтворюються різними способами. Останнім часом застосовується ще один цікавий спосіб апроксимації, що має безпосереднє відношення до хаотичної динаміки – фрактальна апроксимація.

3 СИНТЕЗ СИСТЕМИ ПРИХОВАНОГО ХАОТИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ ІЗ НЕЛІНІЙНИМ КАНАЛОМ

3.1 Генератори детермінованого хаосу

3.1.1 Електричні моделі детермінованого хаосу

Першопрохідцем у галузі детермінованого хаосу вважають А Пуанкаре (Франція), що працював на межі минулого та позаминулого сторіч. Саме йому належать первинні ідеї, що відокремлювали детермінований хаос від часто спостережуваних шумів, що пов'язували із хаосом інженери радіотехніки [29-33].

Тільки через півсторіччя інженер і вчений Б.В. Чириков звернув увагу на те, що ознакою перебування в нелінійній динамічній системі детермінованого хаосу є поява суцільного спектру, а не просто деяких гармонічних складових. А от першу математичну модель нелінійної динамічної системи із хаотичним режимом запропонував Е. Лоренц у 1963р [20], що має вигляд системи диференціальних рівнянь із змінними x, y, z та параметрами a, b, c :

$$\begin{aligned} \dot{x} &= -a(x + y), \quad a > 0, \\ \dot{y} &= -y + bx - xz, \quad b > 0, \\ \dot{z} &= -cz + xy, \quad c > 0. \end{aligned} \tag{5}$$

Е. Лоренц не тільки запропонував загальний вигляд системи, але і знайшов діапазон параметрів, за яких система перебуває в хаотичному режимі, а фазові траєкторії утворюють дивні атрактори. Також вченим зазначено суть появи хаотичних режимів – ефект метелика, або чутливості до незначних змін початкових умов. З математичної точки зору – зроблено

висновок, що нестійкість фазових траєкторій призводить до появи детермінованого хаосу у нелінійних динамічних системах.

Поступово до теперішнього сторіччя дослідники сформулювали умови для появи хаотичної поведінки системи [39-43]:

А) наявність нелінійності, в нашому випадку нелінійність вольтамперної характеристики (ВАХ);

Б) відкритість системи – або зовнішній приплив енергії, джерело енергії;

В) мати більше 1,5 ступенів свободи, або мінімум 3-вимірний простір для побудови фазових траєкторій, що не перетинаються;

Г) припускати можливість появи сукупних, одночасних, кооперативних процесів: періодичні процеси можуть перемежовуватись із хаосом.

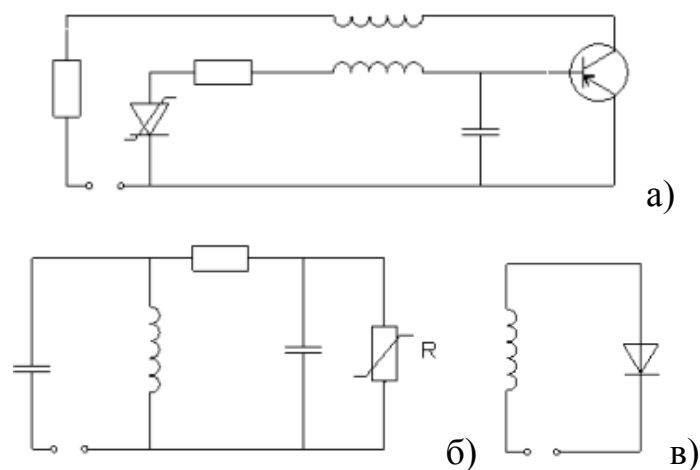


Рисунок 17 – Приклади простих схем із можливістю появи хаотичних коливань: а) підсилювач із нелінійним діодом; б) схема із нелінійним відємним опором; в) схема із індуктивністю і нелінійним діодом

Із розгляду рис.17 можливо зробити важливий висновок про структури генераторів хаосу: генератор хаотичних сигналів має обов'язково складатись із безінерційного нелінійного елемента, лінійного фільтра й елемента часової затримки. Модель такого пристрою проста та описується рівнянням:

$$\dot{\zeta} + \zeta = W(\zeta - t), \quad (6)$$

$W(\zeta - t)$ - функція нелінійності безінерційного нелінійного елементу;

Таким чином, навіть у простих структурах маємо нагоду навмисне, або непередбачувано отримати хаотичну поведінку що загалом може бути як конструктивним явищем для пристрою, що розробляється так і деструктивним, особливо з точки зору квазілінійних теорій обробки радіотехнічних сигналів. На даний час більшість хаотичних режимів використовується як генератори ШПС практично в усіх діапазонах радіочастот.

3.1.2 Умови появи хаотичної поведінки

Одним із найбільш значних моментів для можливості практичного втілення в системах телекомунікації на межі тисячоліть є відкриття власне явища появи хаотичної поведінки в нелінійності динамічних системах

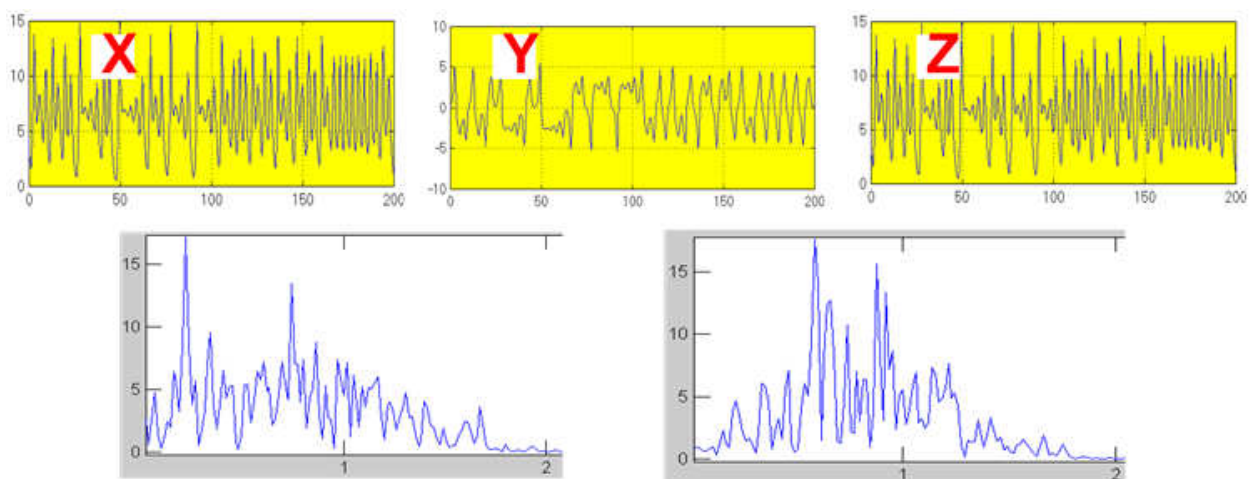


Рисунок 18 – Типові сигнали фазових змінних (вверху) та їх спектри для нелінійних динамічних систем в хаотичному режимі

Таким чином, наявність можливості розвитку – динаміки і нелінійність є головними умовами для побудови хаотичних генераторів, але не достатніми. Іншими словами в такій нелінійній детермінованій системі без якогось зовнішнього випадкового впливу, виникають динамічні процеси (рис.18), що генерують сигнали детермінованого хаосу (СДХ), тобто система переходить в хаотичні режим[28].

Однак, на відміну від шумових коливань в СДХ (рис.21) вдається відокремити ряд факторів, що відрізняє дане явище генерації хаотичного сигналу від отримання шумоподібних випадкових процесів. Перше, що слід відмітити, це можливість багаторазового відтворення сигналу під час моделювання і в лабораторії.

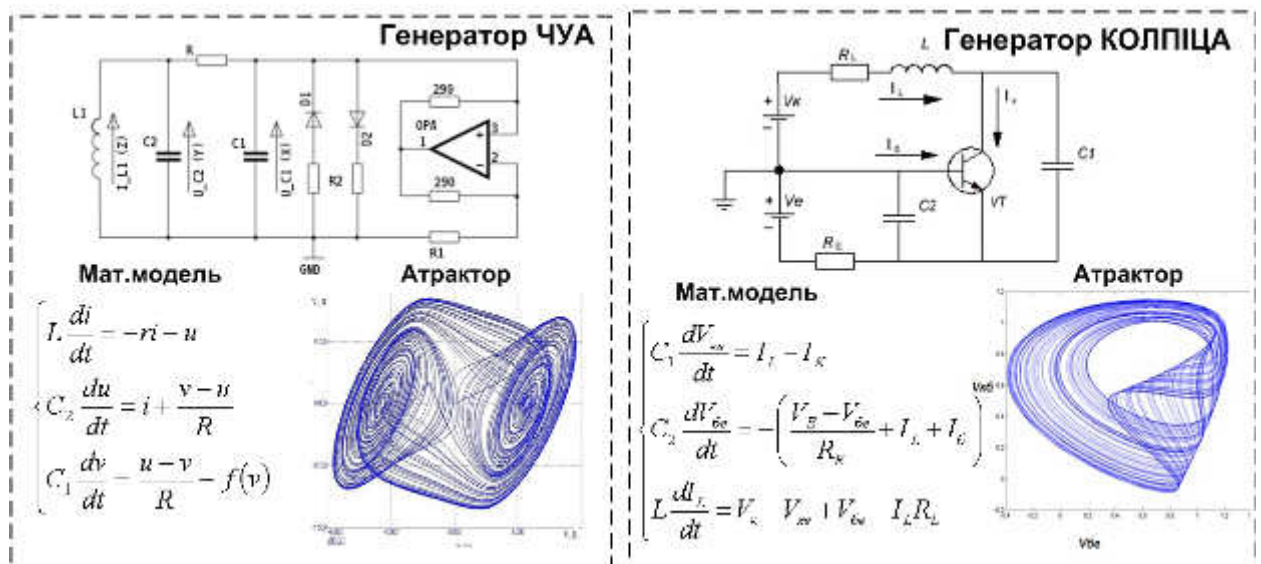


Рисунок 19 – Електричні та математичні моделі аналогових генераторів детермінованого хаосу

Під час зростання зацікавленості наукового товариства було показано що поява хаосу в динамічних системах є повсякденним та поширеним явищем природи і іноді більш поширеним типовим та необхідним режимом, ніж генерація сигналів регулярної природи. І навіть сигнали регулярної природи несуть в собі часточку хаотичної динаміки, наприклад, планетарні орбіти. Отже ідеологія розгляду навколишнього світу на даний час суттєво

змінилась, матеріальні(фізика, техніка) і нематеріальні процеси (філософія, економіка) все більш розглядаються через призму «хаотичних законів» із отриманням більш адекватних результатів, що більше відповідають дослідам.

Умова забезпечення динаміки – відповідає умові зворотного зв'язку, або наявності ітераційної процедури, а значить і елементів затримки, що є об'єднуючою для хаосу та криптографії (показано вище). Крім нелінійності, ніхто не забороняє мати в складі структури генератора також і лінійні елементи, що можуть забезпечувати певну концентрацію енергії в заданих ділянках спектра[33-37].

Кожен аналоговий генератор детермінованого хаосу (ГДХ) (рис.19) має мати щонайменше три незалежні змінні та один параметр для керування встановленням хаотичного режиму. Змінним можуть відповідати напругам та струмам в деякому колі, а параметр – значенням або комбінації значень елементів – складових генератора, наприклад, номінали резисторів та котушок індуктивності.

Характеристикою роботи генераторів хаосу є форма атрактора в фазовій площині. Атрактор – зона притягання або концентрації фазових траєкторій. Наразі є 4 типу атракторів із топологічної точки зору – точка, коло, тор, дивний аттрактор. Усі хаотичні генератори створюють дивні аттрактори, якщо вони знаходяться в режимі генерації детермінованого хаосу.

3.2 Хаотична синхронізація

3.2.1 Різновиди хаотичної синхронізації

Основною усіх систем електронних комунікацій є забезпечення синхронізації інформації на виходах передавача та приймача. В усіх подібних системах існує явним або неявним чином канал синхронізації, від достовірності роботи якого залежить робота усієї системи зв'язку. Особливо надійним має бути канал синхронізації в багатоканальних системах де від

його правильного функціонування залежить транспортування інформації на відстань для усіх абонентів [40].

Приблизно до кінця минулого століття методи передачі інформації ґрунтувались на застосуванні періодичних сигналів (імпульси, синусоїда, тощо) як каналних піднесівних. Відповідно і канал синхронізації використовував подібні сигнали. Лише на початку нового сторіччя була твердо обґрунтована можливість синхронізації віддалених хаотичних генераторів, де ситуація ускладнювалась неможливістю встановлення параметрів та початкових умов генерації СДХ, а також з точки зору наявності показників Ляпунова, які «запускають» експоненційну розбіжність фазових траєкторій під час намагання хоч якось узгодити дії двох віддалених генераторів хаосу в телекомунікаційній системі на боці приймача та передавача. Отже синхронізація вважалась неможливою через неможливість забезпечення або втрату кореляції [32].

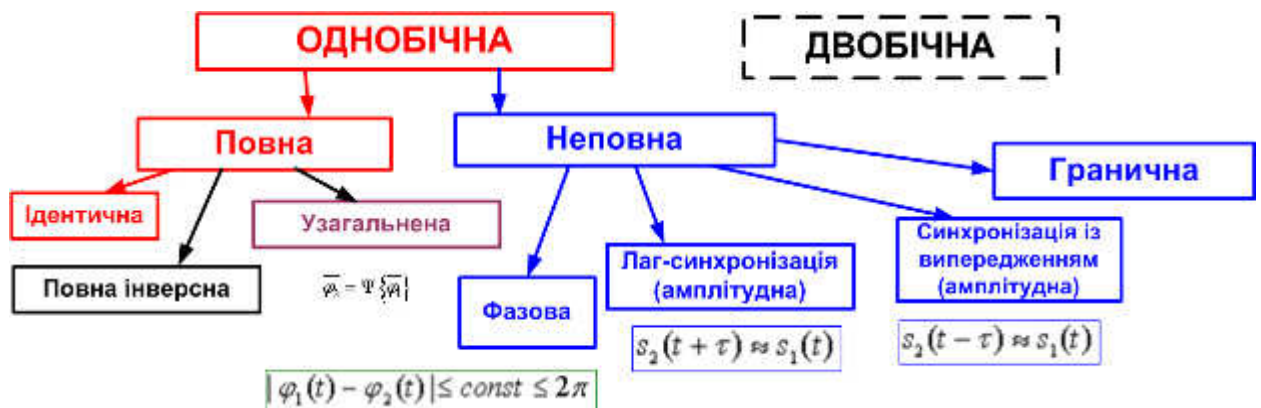


Рисунок 20 – Класифікація варіантів синхронізації опорного та веденого хаотичних генераторів

Але факт детермінованості обумовив розробників систем зв'язку все наполегливіше вишукувати способи побудови нелінійних динамічних систем, які забезпечують узгодженість дії на обох боках лінії зв'язку.

На даний момент чіткої класифікації як способів введення інформаційного сигналу в хаотичну піднесівну так і способів синхронізації

хаотичної піднесівної не існує. Але власне із глибини теорії зв'язку зрозуміло, що має бути опорний генератор (ОХГ) та ведені хаотичні генератори (ВХГ), що синхронізуються ОХГ. Такий зв'язок під час синхронізації, що має ієрархічний порядок називають односпрямованим (див.рис.26). В результаті односпрямованого зв'язку аналітична модель хаотичного генератора на приймальному боці ускладнюється, в неї необхідно вводити структуру та параметри ОХГ.

Теоретично можлива система із двобічним зв'язком, де ВХГ впливають на ОХГ, але через складність та непередбачуваність ситуації в такому випадку, подібні моделі в літературі слабо опрацьовані для реальних електронних комунікацій. Подібний спосіб ХСХ називають двобічним або двоспрямованим. Фактично термін «спрямованість» означає напрямок перекачування енергії хаотичного сигналу синхронізації по хаотичному каналі синхронізації.

Якщо лінія зв'язку, що з'єднує два хаотичні генератора на обох боках системи прихованого зв'язку примусово або природно забезпечують обмін енергією хаотичних сигналів, то ці генератори утворюють єдиний хаотичний генератор із рознесеними параметрами, де може суттєво змінитись форма дивного атрактора, спектральні характеристики і навіть розмірність простору фазових змінних.

Зрозуміло, що для забезпечення синхронізації, як і в класичних системах, структура хаотичного генератора має бути однаковою як на приймальному так і на передавальному боці. І навіть за умови однакової структури, зовсім не факт, що під час роботи системи синхронізації обидва генератори намагатимуться узгодити власні процеси через відмінність параметрів та стартових умов. Тобто наявність однакової спільної зони «притягання» фазових траєкторій не гарантується, але численими дослідженнями і моделюванням наявність такого способу синхронізації можливо вважати доведеним, при цьому така синхронізація характеризується жорстко детермінованою залежністю векторів станів ОХГ та ВХГ:

$$\vec{\varphi}_2 = \Psi \left\{ \vec{\varphi}_1 \right\}, \quad (7)$$

де $\vec{\varphi}_2$ та $\vec{\varphi}_1$ – вектори фазових змінних відповідно ВХГ та ОХГ.

Математичне формулювання $\Psi \{ \}$ функціональної залежності векторів станів фазових змінних ОХГ та ВХГ під час повної синхронізації часто відшукати проблематично, функція може виглядати як функціонал, в тому числі і фрактал, головне, щоб по мірі закінчення перехідних процесів відмінності між ОХГ та ВХГ асимптотично прямували до нуля.

Для контролю наявності такої повної синхронізації за наразі запропоновано декілька способів:

1. Спосіб метрики суміжних траєкторій, що за заданою метрикою фазового простору спостерігає асимптотику руху до нуля різниці між функціями векторів станів або власне векторами станів як під час ідентичної синхронізації.
2. Спосіб обчислення умовних показників Ляпунова [19], які мають бути однаковими для веденої та опорної хаотичної системи
3. Спосіб застосування допоміжного хаотичного генератора із однаковою структурою щодо опорного та веденого, що є найбільш перспективним з точки зору практичної реалізації [40].

В останньому випадку може бути забезпечення ідентична синхронізація (див.рис.20) через вибір розташування параметрів та початкових даних ініціалізації генераторів хаосу в одній атракторній зоні, тобто забезпечення одного і того ж функціонального зв'язку під час процесу синхронізації обох ВХГ:

$$\begin{cases} \vec{\varphi}_2 = \Psi \left\{ \vec{\varphi}_1 \right\}; & \vec{\varphi}_2 \rightarrow \vec{\varphi}_1; \\ \vec{\varphi}_3 = \Psi \left\{ \vec{\varphi}_1 \right\}; & \vec{\varphi}_3 \rightarrow \vec{\varphi}_1 \end{cases} \quad (8)$$

Таким чином, критерієм узагальненої синхронізації є асимптотичне наближення обох ВХГ до функціональної залежності (7) із закінченням перехідних процесів. Або еволюції траєкторій у фазовому просторі двох ведених систем мають співпадати, власне тоді і маємо узагальнену синхронізацію та її різновид – ідентичну синхронізацію (рис.20), де похибка між векторами станів прямує до нуля [31].

Зазвичай такий режим ідентичної синхронізації виникає за умови перекачування значної частини енергії від ОХГ до ведених, або за умови так званого сильного зв'язку (рис.21), тобто під час переважального впливу ОХГ в системі зворотного нелінійного зв'язку ВХГ (більше 50%).

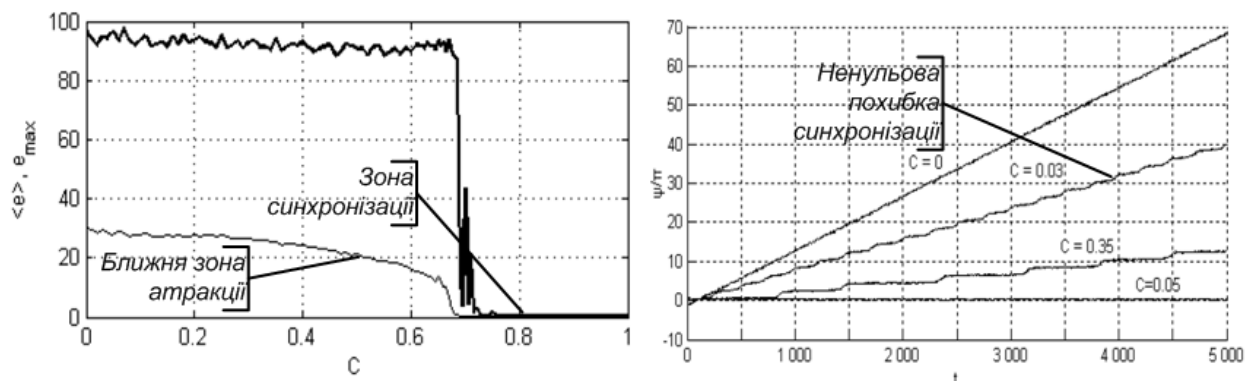


Рисунок 21 – Похибки під час ідентичної та неповної фазової синхронізації за умови різних значень «сили зв'язку» між хаотичними генераторами

Найбільш тривіальним випадком повної синхронізації є ідентична синхронізація (рис.21), де функція зв'язку між векторами станів (8) дорівнює 1, тобто рівняння переходить у тотожність, а фазові траєкторії в кінцевому рахунку повністю співпадають - ідентичні.

Іншим цікавим варіантом повної ХСХ є інверсна повна синхронізація або протифазна хаотична синхронізація (ХСХ), що має місце в ряді хаотичних генераторів, наприклад, в системах зв'язку на хаотичних генераторах Чуа:

$$\begin{cases} \vec{\varphi}_2 \rightarrow -\vec{\varphi}_1; \\ \vec{\varphi}_3 \rightarrow -\vec{\varphi}_1 \end{cases} \quad (9)$$

Слід пам'ятати про точність синхронізації в хаотичних системах, що пов'язано із тривалістю перехідних процесів, де встановити повну синхронізацію на 100% теоретично неможливо, та дослідження часу встановлення за припустимої точності є актуальним та важливим завданням для практичної реалізації систем прихованого зв'язку на основі хаотичних принципів обробки сигналів.

В основі варіантів неповної ХСХ лежить апріорі ненульова, але обмежена похибка синхронізації по закінченні перехідних процесів взаємодії ОХГ та ВХГ [23].

Фазова синхронізація (див.рис.21), як варіант неповної синхронізації (рис.26) має місце в генераторах із слабо хаотичним режимом, де часто присутня одна або декілька потужних спектральних гармонічних складових, і можливо це факт відобразити як деяку зміну фази. Подібні хаотичні генератори мають фазові траєкторії, що нагадують спіраль, по іншому репеллер або фазово-когерентна система.

Для репеллерних систем вводять поняття повної та миттєвої фази, та визначають ненульову похибку як:

$$|\varphi_2 [t] - \varphi_1 [t]| \leq 2\pi \leq C \quad (10).$$

Умова (10) має досить широкі межі застосування, припускається навіть варіація похибки, але за умови не перевищення константи $-C$!

Цікавими випадками неповної синхронізації є наявність особливої додаткової часової затримки, значення якої не є сталим, але відшукуваним таким чином, щоб рівень кореляції між амплітудами сигналів фазових змінних ОХГ та ВХГ був менше деякого значення, що відповідає неповній

синхронізації. До таких різновидів синхронізації за критерієм кінцевого ефекту на хаотичну синхронізовану систему є лаг-синхронізація та синхронізація із випередженням:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left| \vec{\varphi}_2 [t \pm \tau] - \vec{\varphi}_1 [t] \right| \rightarrow \min \quad (11).$$

В обох останніх різновидах ХСХ еволюції мають в ідеалі збігатись, але із деякою часовою затримкою або випередженням. Часто такі різновиди синхронізації виникають на межі появи повної синхронізації, тобто на межі простору параметрів, що відповідають дальній зоні атракції обох ВХГ. В переважальній частині випадків під час подальшого налаштування ВХГ і лаг синхронізація і синхронізація із випередженням переходить в один із варіантів повної синхронізації, наприклад, для системи із хаотичними генераторам Реслера [40].

Підкреслимо, що в обох випадках плаваючої синхронізації власне значення часової затримки встановити складно, переважно вона о хаотично змінюється, що ви систем лише наближаються із ненульовою похибкою – неповною синхронізацією.

Особливим випадком ХСХ, що спостерігався на практиці є гранична синхронізація (див.рис.20), під час якої фазова траєкторія ВХГ розташовується у зоні, що розташовано далеко від зони атрактора ОХГ, але деяка синхронність процесів може бути прослідковано, наприклад, до такої синхронізації відноситься ХСХ масштабування, де під час синхронізації змінюється апертура атрактора (АПА), без суттєвих змін типу атрактора, але фазові траєкторії не відповідають умові узагальненої синхронізації.

Для досліджень, пов'язаних із тематикою даної роботи цікавий випадок граничної синхронізації, де АПА різко зростає, або він переміщується в зону із проявляються нелінійні ефекти, за умови практичної реалізації через нестачу динамічного діапазону амплітуд, або частот реального пристрою.

Таким чином, для досліджень нелінійних ефектів слід обрати систему хаотичних генераторів із режимом ідентичної (тотожної) синхронізації як головний частинний випадок повної ХСХ. Ідентифікацію наявності – відсутності синхронізації можливо використати як спосіб введення та прийому цифрових сигналів в системах прихованого зв'язку. Декодування введеної цифрової інформації найбільш доцільно проводити за допомогою способу №3 – способу допоміжного ВХГ, параметри якого розташовані на межі зони атракції ОХГ на передавальному боці [40-43].

3.2.2 Стійкість хаотичної синхронізації

Режим повної синхронізації може встановлюватись в хаотичних системах як і із дисипативним, так і недисипативним характерами взаємодії систем, що синхронізуються [26]. Для хаотичних систем із дисипативним зв'язком узагальнені співвідношення, що описують поведінку процесу синхронізації в умовах завад (шумів), представляють у вигляді системи рівнянь [1]:

$$\begin{cases} \frac{d\{v_1(t)\}}{dt} = F_1\{v_1(t); [A]\} \\ \frac{d\{v_2(t)\}}{dt} = F_2\{v_2(t); [B]\} + \varepsilon C\{v_1(t) - v_2(t) + D\xi(t)\} \end{cases} \quad (12)$$

де $v_1(t)$ і $v_2(t)$ – вектори фазових змінних опорної та веденої хаотичної системи відповідно;

$\xi(t)$ – сигнал флуктуаційної завади;

$F_1\{ \}$, $F_2\{ \}$ – векторні оператори еволюції опорної та веденої хаотичної системи відповідно;

$[A]$ і $[B]$ – комплекс біфуркаційних параметрів (параметрів еволюції) опорної та веденої хаотичної системи

$[C]$ – матриця, що характеризує характер передачі синхросигналу між опорною та веденою хаотичною системами;

ε - потужність або відносна «сила» зв'язку, що забезпечує синхронізацію;

$\xi(t)$ - реалізація процесу флуктуаційної завади;

D - рівень або потужність завади.

Ситуація появи режиму повної синхронізації, як вже вказувалось виявляються через застосування допоміжної хаотичної системи (зв'язаного хаотичного генератора). Також виявлення такого режиму може реалізовуватись на основі методу модифікованої системи. За алгоритмом останнього, система на приймальному боці розглядається як деяка модифікована система:

$$\frac{d\{v_3(t)\}}{dt} = F_3\{v_3(t); [D]; \varepsilon\}, \quad (13)$$

що під дією зовнішнього впливу опорної та завад, що записується як:

$$\frac{d\{v_3(t)\}}{dt} = F_3\{v_3(t); [D]; \varepsilon\} \quad (24)$$

$$\frac{d\{v_3(t)\}}{dt} = F_3\{v_3(t); [D]; \varepsilon\} + \varepsilon C\{v_1(t) + D\xi(t)\} \quad (15)$$

де $F_3\{v_3(t)\} = F_2\{v_2(t)\} - \varepsilon D v_2(t)$ модифікація, останньою складовою якої є внесення дисипації в модифіковану систему (13).

Таким описом режим повної синхронізації, що встановлюється в системі пов'язаних генераторів, розглядається як результат перехресної взаємодії двох процесів, і зовнішнього флуктуаційного впливу. Тобто

взаємодії хаотичних процесів та зовнішніх флуктуацій, дестабілізуючих роботу системи. Всі вказані процеси об'єднує явна залежність від параметра сили зв'язку і вони не є незалежними один від одного, що значно ускладнює аналіз, наприклад, через зростання кількості рівнянь, що описує динаміку роботи такої системи.

Спрощення розгляду поведінки може бути реалізовано через введення сильної дисипації (розсіювання енергії, затухання). Високий рівень дисипації загалом обумовлює втрату хаотичної поведінки та перехід до добре відомих стаціонарних станів або квазіперіодичних коливань. Збільшення дисипації в модифікованій системі (15) призводить до спрощення її поведінки і переходу від хаотичних коливань до періодичних (або до стаціонарного стану).

Однак сильна дія сторонніх завад та шумів, під час дії на ведену систему або в каналі зв'язку навпаки, намагається ускладнити характер поведінки запропонованої модифікованої системи і «нав'язати» їй власну динаміку протікання процесів. Таким чином, поява режиму повної (ідентичної, інверсної, узагальненої) синхронізації відбувається в тому випадку, коли власний характер хаотичної еволюції в веденій системі хаотичних генераторів пригнічується через дисипацію.

Відповідно і стійкість режиму повної синхронізації в першу чергу залежить від внутрішніх властивостей модифікованої системи [31]. Через це, поріг, або сила зв'язку між генераторами практично має не залежати від рівня зовнішнього впливу $D\xi(t)$ - завади яка діє під час процесу синхронізації. Це є конструктивним явищем щодо проектування реальних хаотичних систем із одностороннім зв'язком під час синхронізації.

Крім методів допоміжної та модифікованої системи, виявлення режиму повної синхронізації можливо і через розрахунок умовних показників Ляпунова. Але це можливо коли генератори описуються диференціальними рівняннями та є аналоговими структурами не менш як тривимірного простору фазових змінних. В рамках Ляпуновського розгляду опорна та ведена хаотичні системи під час процесів повної синхронізації можливо розглядати

як дві системи із однаковими операторами еволюції і близькими параметрами і початковими даним в зонах притягання одного атрактора.

В рамках застосування Ляпуновського розгляду до стабільності синхронізації визначається різниця станів:

$$\Delta(t) = [v_1(t) - v_2(t)] \quad (16)$$

Під час наявності або відсутності впливу зовнішніх завад, через схожість випадкових флуктуаційних сигналів та СДХ, різниця (16) може бути записана як:

$$\dot{\Delta}(t) = \{ \|J\| F_3 \{v_3(t) - \varepsilon C\} \} \Delta(t) \quad (17)$$

$\|J\|$ - матриця перетворень Якобі.

З точки зору математичного аналізу вираз (17) розглядається як рівняння в варіаціях, що необхідно для Ляпуновських умовних експонент. Проведені численні аналітичні та практичні дослідження дозволяють сформулювати висновок, про те, що старші показники Ляпунова (Ляпуновські умовні експоненти) сам визначають поріг появи режиму повної синхронізації під час зміни параметрів в зоні притягання певного хаотичного атрактора будуть поводитись практично однаково як під час наявності та і за відсутності зовнішніх завад [32,33].

Глибинний висновок вищесказаного полягає в тому, що взаємодіючі системи можуть забезпечити високий рівень стійкості як до зовнішніх завад, так і до внутрішніх шумів, що є дуже привабливим під час проектування систем прихованого зв'язку, де виявлення факту передачі інформації конкурентом вельми утруднено, чим і забезпечується високий рівень прихованості дії.

3.3 Модель хаотичного прихованого зв'язку

3.3.1 Хаотичний прихований зв'язок

Забезпечення прихованості дії за допомогою застосування хаотичних принципів обробки сигналів можливо пояснити через застосування понять та особливостей властивих нелінійним динамічним системам із повною синхронізацією для цифрових систем у бінарному каналі зв'язку.

Застосування цифрового криптографічного захисту забезпечує підвищену структурну ПХД, а застосування хаотичного сигналу як підносівного – одночасно структурну та енергетичну ПХД. Під час передавання по такому прихованому каналу зв'язку деяке, наприклад, аналогове інформаційне повідомлення $x(t)$ за допомогою АЦП перетворюється у цифровий бінарний потік (рис.22).

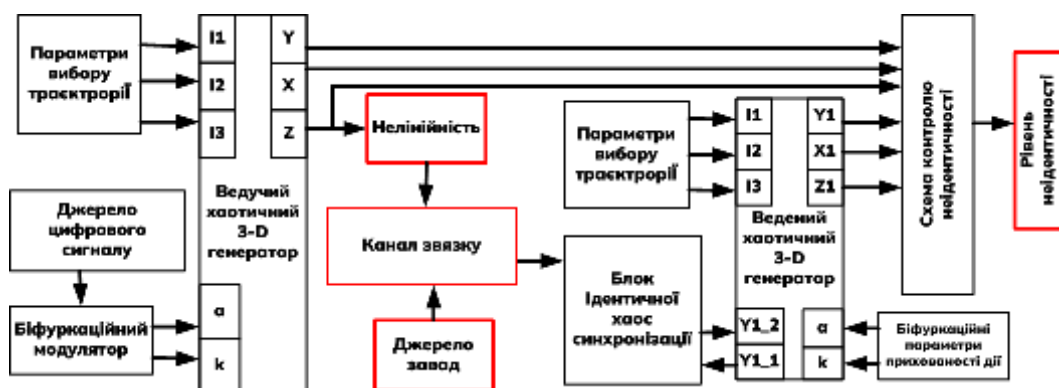


Рисунок 22 – Структурна схема модема із використанням ідентифікації рівня синхронізації хаотичних генераторів

Цей бінарний потік (рис.28) використовується для керування значеннями одного або декількох керуючих параметрів (параметрів біфуркації) передавального хаотичного генератора $y(t)$. ПХД передбачає вибір значень керуючих параметрів таким чином, щоб усі характеристики та параметри СДХ в тому чи іншому випадку змінювались в дуже незначній

мірі. Таким чином, перехід від логічного нуля до логічної одиниці під час модуляції виявити на боці РЕР буде суттєво утруднено.

Отриманий за допомогою введення інформаційного сигналу в хаотичний генератор на основі модуляції параметра біфуркації сигнал спрямовується в канал зв'язку. Залежно від структури та властивостей ГДХ цей канал може бути як проводимим, під час широкосмугової відео структури СДХ, або радіоканалом. В двох випадках на виході може бути розташований передавач, що розрахований на передачу ШПС із великим пік-фактором, якому властива кусково-лінійне нелінійність через природне обмеження амплітудної характеристики з боку джерела живлення.

Хаотичний сигнал передається по каналу передачі і його структурна ПХД на основі великої бази сигналу разом із енергетичною прихованістю дії забезпечує «занурення» його під рівень навколишніх природних шумів в такому випадку він і поширюється по каналу передачі. Вважатимемо, що завади в каналі передачі носять випадковий флуктуаційний характер і ніяк не корельовано із СДХ.

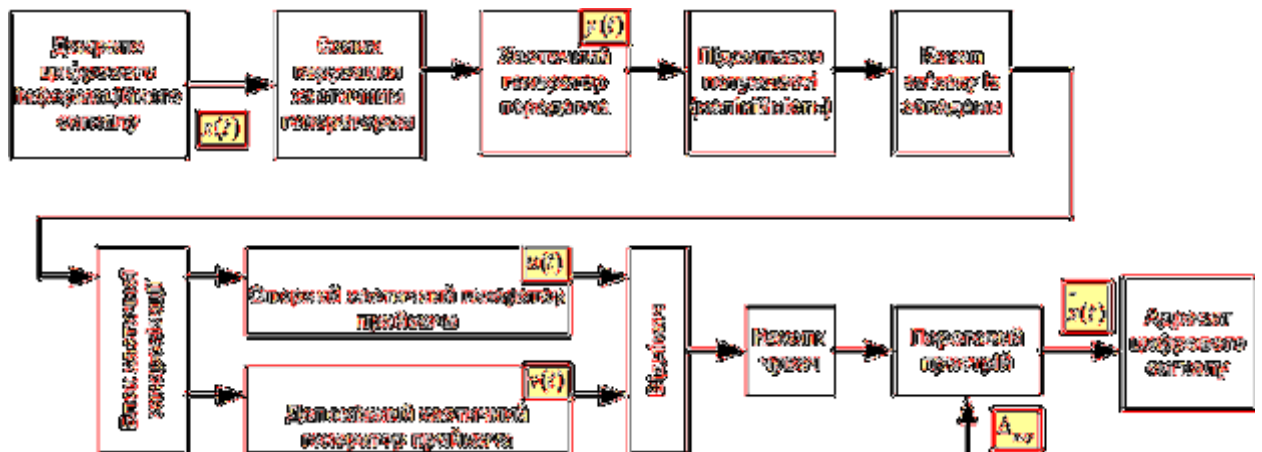


Рисунок 23 – Структурна схема застосування методу узагальненої системи для забезпечення прихованого зв'язку

Як вже вказувалось, для прийому повідомлення хаотична система (рис.23) обробки складається із двох ГДХ – які умовно називають основним і допоміжним $u(t)$ та $v(t)$ структура яких ідентична структурі передавальної

нелінійної системи $y(t)$. Однаковість структура говорить про те, що приймальні хаотичні генератори можливо синхронізувати із генератором на передавальній частині, якщо забезпечити умови для синхронізації. Такий метод детектування на називають методом узагальненої системи. Принцип роботи приймача ґрунтується на порівнянні динаміки синхронізації двох приймальних хаотичних генераторів із дещо відмінними біфуркаційними параметрами. Під час передачі бінарного сигналу то основний то допоміжний хаотичний генератори входять в більший або менший рівень синхронізму із генератором на передавальному боці, що і забезпечує діагностування наявності фронтів цифрового сигналу. Отже для отримання інформаційного повідомлення слід основний та допоміжний генератори порівняти за якимось критерієм, наприклад, обробити енергетичним корелятором та відняти один від одного, в результаті позитивне значення буде відповідати одному логічному рівню, а негативне – іншому.

Часто віднімач реалізується в межах побудови КОР із накопиченням та опосередненням результатів роботи основного та допоміжного генератора на приймальному боці.

У найпростішому випадку, модуляція одного біфуркаційного параметра передавального хаотичного генератора має бути реалізована так, щоб під час передачі лог.1 між передавальним та приймальним генераторами існував режим повної синхронізації, а в протилежному випадку був відсутнім.

Якщо режим повної ХСХ спостерігається, то основний та допоміжний приймальні генератори будуть створювати після перехідних процесів синхронізації будуть генерувати сигнали дуже близькі за формою, із мінімальною різницею, що може бути ознакою лог.1.

Навпаки, під час передачі лог.0 повна синхронізація має не спостерігатись для обох ВХГ, їх хаотичні коливання із часом швидко розу згоджуються, а модуль різниці різко зростає, що і є індикатором передачі рівня лог.0 в нашому прикладі.

3.3.2 Вибір біфуркаційних параметрів

Із умов забезпечення ХСХ слід виділити правильний вибір біфуркаційних параметрів (див. додаток А) для передачі двох бінарних станів цифрового сигналу під час модуляції за біфуркаційним(и) параметром(и), під час такого вибору слід врахувати наступні умови:

1. Під час введення інформаційного сигналу в хаотичний із застосуванням модуляції по біфуркаційному параметру має забезпечуватись хаотичний режим роботи ведучого та веденого генераторів, таким чином в прихованому каналі передачі будуть забезпечені умови енергетичної прихованості дії.

2. Структура, форма і спектр каналного сигналу для забезпечення високого рівня прихованості дії мають бути максимально близькими, щоб приховати факт модуляції інформаційним повідомленням.

3. Критерій ідентичності сигналів основного та допоміжного генераторів під час синхронізації має забезпечувати максимально швидке та достовірне виявлення різниці в рівнях синхронізації під час передачі логічного нуля та логічної одиниці.

Найбільш простим та інтуїтивно зрозумілим є кореляційний критерій синхронізації, або міра ідентичності сигналів за рівнем різницевої енергії сигналів, що виглядає як:

$$\delta_{y\Sigma} = \frac{1}{T_A} \int_0^{T_A} (y_{s1} - y_{s2})^2 dt \quad (18)$$

де T_A - час аналізу рівня синхронізації основного та допоміжного ВХГ;

$y_{s1}; y_{s2}$ - сигнали на виході хаотичних генераторів по одній (канальній) фазовій змінній.

В попередніх роботах з питань подібної ХСХ за цим критерієм встановлено певні межі змін параметрів біфуркації для НДС Rucklidge (див.

додаток А). В рамках таких значень передбачається, що виконання умови 1 (див.вище) реалізується для всіх пар значень біфуркаційних змінних цього хаотичного генератора. Таким чином зону пар значень можливо представити у вигляді двовимірної площини (рис.24), охоплену умовним колом.

Діаграма побудована таким чином, щоб середньоарифметичні значення діапазонів можливих змін біфуркаційних параметрів опинились на перетині координатних вісей (центрування).

На рис.24. зона припустимих значень параметрів біфуркації для всіх хаотичних генераторів в системі являє собою умовний еліпс (коло) позначене зеленим кольором. В межах цього кола слід забезпечити вибір 4-х пар значень параметрів, що задовольнятимуть всім 3-м умовам (див. вище).

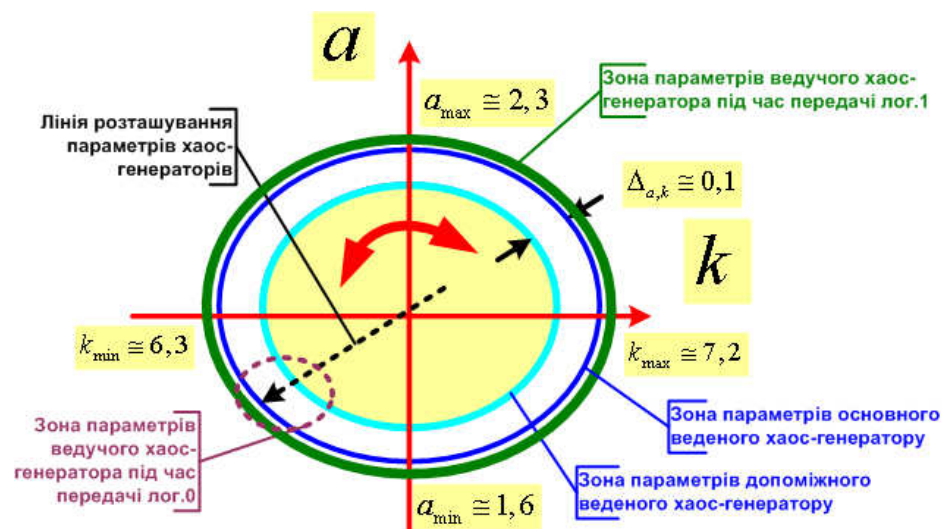


Рисунок 24 – Діаграма вибору пар значень для забезпечення умов хаотичної синхронізації ведених генераторів в бінарному каналі передачі

Завдання вибору з точки зору моделювання є досить складним і багатопараметричним, для спрощення такого вибору запропоновано обирати їх за наступною методикою (див. рис.24):

1. Близько зовнішньої межі кола припустимих параметрів окреслити коло параметрів основного ВХГ (позначено синім кольором).

2. На деякій відстані $\Delta_{a,k}$ із внутрішнього боку попереднього кола окреслити коло параметрів допоміжного ВХГ. Відстань $\Delta_{a,k}$ має бути приблизно на порядок меншою за діапазон можливої зміни біфуркаційних параметрів, в нашому випадку доцільно обрати $\Delta_{a,k} \cong 0,1$.

3. На діаграмі біфуркаційних параметрів провести пряму лінію через центр (перетин координатних осей).

4. Параметри ведучого генератора є координатами точки перетину цієї прямої із зовнішнім (зеленим) колом для передачі логічного нуля та логічної одиниці відповідно (2 пари значень).

5. Параметри ВХГ обираються як перетин прямої із внутрішніми різними колами (2 пари значень, перетинів із синім та блакитним колами). Через наявність 4- перетинів в цьому випадку обирають будь-які пари значень із мінімальною метричною відстанню $\Delta_{a,k}$ між ними.

За таких умов під час передачі логічної 1 реалізується близькість параметрів ведених та ведучого генератора, що забезпечує більш швидку синхронізацію та еволюцію ВХГ до сигналу ведучого генератора, а у випадку передачі логічного нуля через велику відстань, а отже і значну відмінність в еволюціях, ВХГ «розбігаються» між собою та їх різницева енергія зростає.

3.4 Критерії неідентичності ведених генераторів

3.4.1 Візуальні критерії рівня синхронізації

Для виявлення рівня синхронізації в системі Simulink для хаотичних генераторів можливо використовувати не лише аналітичні критерії як (1), але і інші, що передбачено можливостями системи імітаційного моделювання. Система Simulink має досить розгалужену систему визначення рівня ідентичності двох процесів.

Наприклад, візуальний, або осцилографічний, або метод незалежної розгортки, або метод плаского графопобудовника, полягає у подачі на вхід горизонтальної розгортки одного порівнювального сигналу, а на вхід вертикальної розгортки – другого (рис.25). Якщо масштаби розгортки по ортогональним напрямкам обрати однаковими, то у випадку ідентичності сигналів на площині відтворення маємо пряму лінію (відрізок) під кутом 45 градусів.

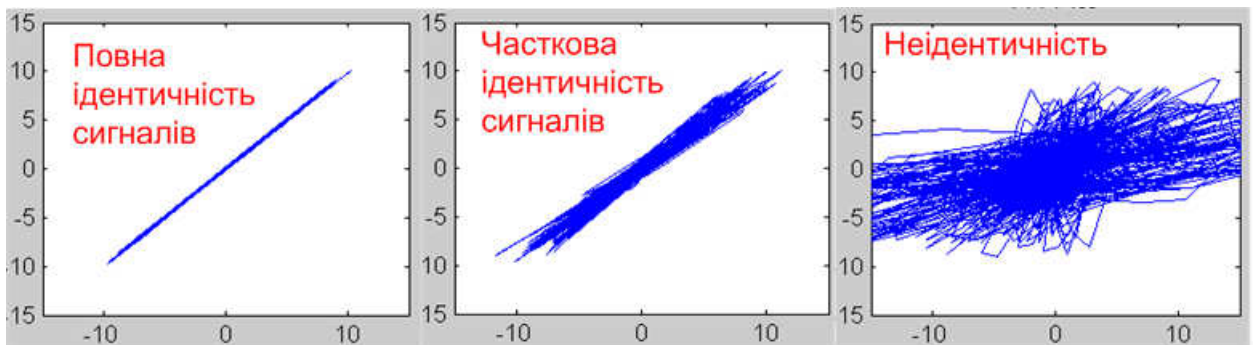


Рисунок 25 – Візуалізація осцилографічного методу якісного визначення рівня ідентичності сигналів

Неідентичність сигналів приводить до «розмивання» відрізка відносно повної ідентичності. За умови використання осцилографічного методу для двох декорельованих випадкових процесів та використання досить великих інтервалів часу на екрані графопобудовника (запам'ятовуючого осцилографа) маємо суцільне заповнення прямокутника, діагоналлю якого є відрізок як у випадку повної ідентичності.

В випадку застосування осцилографічного методу для визначення рівня синхронізації ВХГ можливо швидко оцінити доцільність використання обраних параметрів біфуркації та константи однобічного зв'язку між генераторами визначення для працездатності системи. Крім того за таким методом також проводиться оцінка апертури атрактора, або динамічного діапазону рівнів, що має «витримати» апаратна реалізація такого хаотичного каналу передачі.

Також вбудовані засоби Simulink дозволяють застосовувати кореляційний критерій неідентичності сигналів. Для систем із дискретною динамікою автокореляційна функція визначається наступним чином []:

$$R(i) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_k - \bar{x})(x_{k+i} - \bar{x}), \quad (19)$$

де \bar{x} – середньоарифметичне значення вибірок процесу, i – дискретний часовий зсув.

За умови правильного вибору виходів хаотичного генератора для аналізу сигналів середнє значення близьке до 0. Для НДС із хаотичною поведінкою АКФ близька до АКФ стохастичних процесів. Аналіз АКФ можливо використати для підтвердження наявності хаотичного режиму під час керування параметрами біфуркації (під час модуляції).

Також візуальним критерієм ідентичності сигналів є відтворення за допомогою засобів Simulink взаємокореляційної (ВКФ) функції (крес кореляції двох сигналів).

Кореляційна функція фактично обчислює рівень взаємної залежності двох процесів (в нашому випадку - процесів на виходах основного та допоміжного хаотичних генераторів під час подачі певного логічного рівня за умови синхронізації з боку ведучого хаотичного генератора), що відрізняються певним параметром. Дискретна функція ВКФ для випадку системи зв'язку, що розглядається має вигляд:

$$K(i) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_{s1} - \bar{x})(x_{s2+i} - \bar{x}), \quad (20)$$

В умовах застосування такого методу чим більше значення ВКФ функції в максимумі тим більший рівень неідентичності ШПС, адже шум має і автокореляційну функцію (АКФ) і ВКФ близьку до дельта-імпульсну

(кнопкоподібну) із головним максимумом за умови нульового часового зсуву (рис.26).

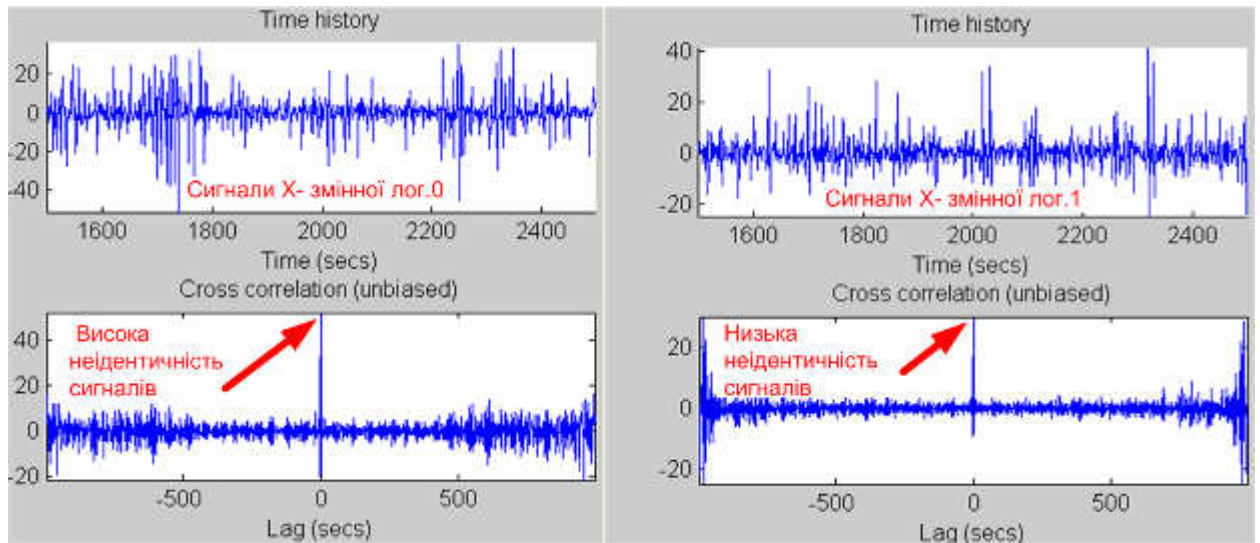


Рисунок 26 – Результати аналізу неідентичності сигналів основного та допоміжного хаос генераторів під час передачі різних логічних рівнів

По відношенню до попереднього методу можливо отримати не тільки якісний, але і кількісний результат, але подальша обробка значень через особливості Simulink викликає труднощі, тому і цей метод слушно віднести до візуальний та методів попереднього налаштування системи, що важко застосовувати в автоматизованому вигляді.

3.4.2 Кількісні критерії рівня синхронізації

Аналітичні критерії рівня відмінності ґрунтуються на різних способах обрахунку рівня неідентичності і дозволяють отримати чисельні значення, що підлягають подальшому порівнянню і обробці. Найпростішим із них є вищезгаданий критерій рівня різницевої енергії сигналів [5], що в дискретних системах обчислюється як:

$$\delta_{1x} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_{s1_k} - x_{s2_k})^2, \quad (21)$$

де $x_{s1_k} - x_{s2_k}$ - поточна різниця між вибірками сигналу однієї фазової змінної.

Реалізація такого обрахунку в системі Simulink (рис.27) складається із суматора, перемножувача і дискретного інтегратора.

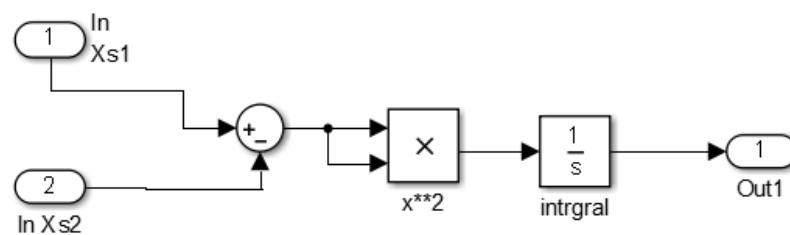


Рисунок 27 – Реалізація обрахунку рівня неідентичності за критерієм різницевої енергії в системі Simulink

Для порівняння результатів неідентичності роботи основного та допоміжного ВХГ та визначення факту передачі певного логічного рівня під час моделювання аналізувались одночасно два канали. Параметри першого каналу налаштовані таким чином, щоб відповідати максимальному рівню синхронізації, а другого – мінімальному. Це відповідає передачі рівнів лог.1 та лог.0 відповідно.

В результаті маємо 2 значення рівня неідентичності сигналів, відношення яких може служити критерієм правильного або неправильного прийому переданого логічного рівня або ідентифікації логічних рівнів:

$$A_r(1/0) = \frac{\delta_{1x}(1)}{\delta_{1x}(0)} \quad (22)$$

де $\delta_{1x}(1/0)$ - значення критерію неідентичності основного та допоміжного ВХГ під час передачі рівнів лог.1 та лог.0 відповідно.

Алгоритм роботи пристрою ідентифікації логічних рівнів за критерієм (1) можливо представити у вигляді:

$$\begin{array}{r}
 \text{лог."1"} \\
 10\lg(\Delta_1(1/0)) > 0(\text{дБ}) . \\
 < \\
 \text{лог."0"}
 \end{array} \quad (23)$$

Перевагою застосування такого способу ідентифікації логічних рівнів є швидкість та простота обчислень, а суттєвим недоліком – суттєва залежність значень у часі, що утруднює вибір інтервалу аналізу для різних значень біфуркаційних параметрів, що встановлюватимуться на ведучому та ВХГ системи прихованого зв'язку. Крім того, в окремих випадках спостерігалось неправильний прийом логічних рівнів через зменшення критерію до негативного значення та декілька максимумів.

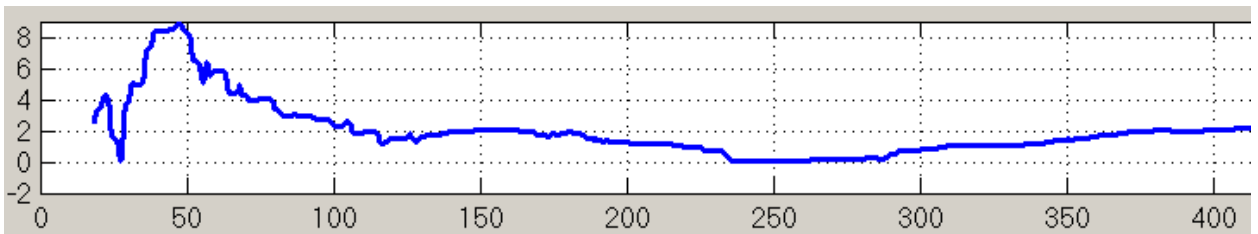


Рисунок 28 – Значення критерію ідентифікації логічних рівнів у часі

Для поліпшення графіку залежності рис.28 під час ідентифікації логічних рівнів можливо скористатись вбудованими засобами обчислення поточного середньоквадратичного значення системи Simulink, в результаті алгоритм обчислення рівня ідентичності має аналітичний вигляд:

$$\delta_{2x} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left(RMS \{ x_{s1_k} - x_{s2_k} \} \right)^2, \quad (24)$$

та фактично є процедурою подвійного інтегрування поточних значень вибірок сигналу, що реалізуються на виходах хаотичних генераторів, що синхронізуються.

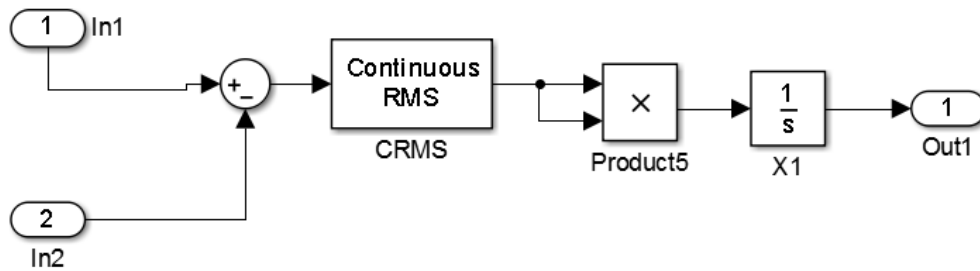


Рисунок 29 – Реалізація обрахунку рівня неідентичності за критерієм різницевої енергії із подвійним інтегруванням в системі Simulink

Результати обрахунку рівня ідентифікації логічних рівнів (рис.29,30) за однакових вихідних умов за критерієм (24) підтверджують припущення про «згладжування» залежності у часі. Крім того, із збільшенням часу значення стабілізуються, що дозволяє зробити висновок про необхідність використання більших інтервалів часу, тобто недоліком такого способу ідентифікації є зменшення інформаційної пропускнуєї спроможності системи загалом через збільшення необхідного бітового інтервалу.

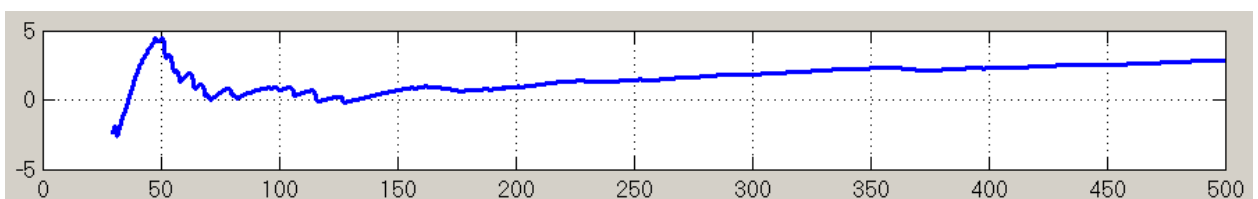


Рисунок 30 – Значення критерію ідентифікації логічних рівнів у часі під час використання критерію із подвійним інтегруванням

Для усунування недоліків використання критерію ідентичності (24) запропоновано визначати ідентичність не за однією фазовою змінною, а декількома. Численими дослідженнями встановлено, що різні фазові змінні

синхронізуються однаково, та використання критерію може дати кращі результати за попередній.

$$\delta_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^3 (\xi_{i1} - \xi_{i2})^2, \text{ де } \xi \rightarrow x, y, z; \quad (25)$$

Симуляція ідентифікації логічних рівнів у часі за умови використання лише двох логічних рівнів дозволив ще більш покращити результати (рис.30) та сформулювати ідею ідентифікації за максимумом, завдяки наявності лише одного максимуму на початковому етапі ідентифікації, що дозволить скоротити час аналізу та збільшити пропускну спроможність.

Для результатів симуляції критерій неідентичності мав наступний вигляд:

$$\delta_3 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left[(x_{s1_k} - x_{s2_k})^2 + (y_{s1_k} - y_{s2_k})^2 \right] \quad (26)$$

а його реалізація в середовищі Simulink показана на рис.31

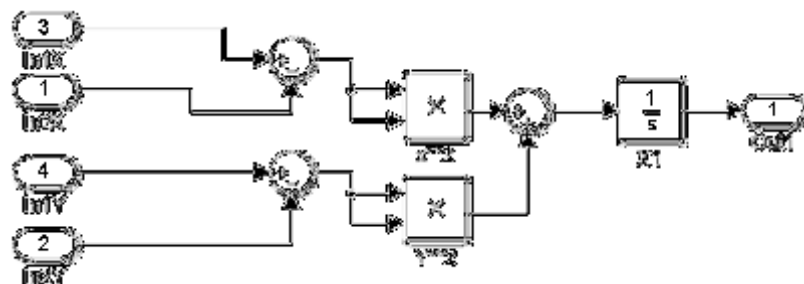


Рисунок 31 – Реалізація обрахунку рівня неідентичності за критерієм різницевої енергії двох фазових змінних із подвійним інтегруванням в системі Simulink

З практичної точки зору максимум легко визначити за допомогою пікового вольтметра і це не призведе до невиправдано великих апаратурних

витрат на кінцеву обробку та прийняття рішення про прийом того чи іншого логічного рівня.

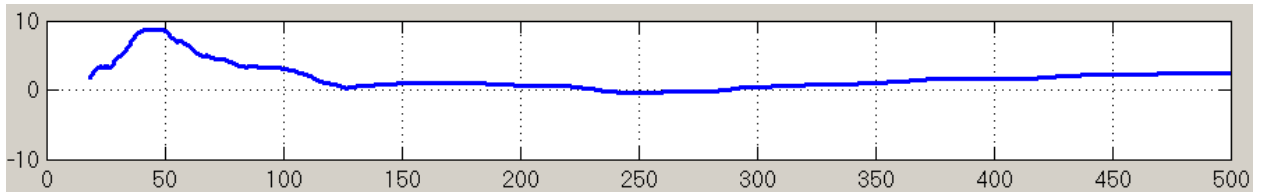


Рисунок 32 – Значення критерію ідентифікації логічних рівнів у часі під час використання критерію із обробкою 2-х фазових змінних ($i=2$)

Об'єднуючи дві останні ідеї можливо удосконалити критерій через використання вбудованої функції поточного визначення середньоквадратичного значення (RMS) за двома фазовими змінними, як:

$$\delta_4 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left[\left(RMS \{ x_{s1_k} - x_{s2_k} \} \right)^2 + \left(RMS \{ y_{s1_k} - y_{s2_k} \} \right)^2 \right] \quad (27)$$

де реалізація (27) в системі Simulink показана на рис.33., а результат ідентифікації логічних рівнів на рис.34.

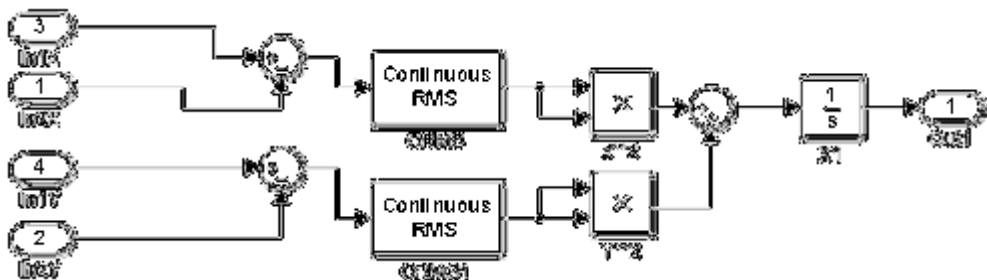


Рисунок 33 – Реалізація обрахунку рівня неідентичності за критерієм різницевої енергії двох фазових змінних із подвійним інтегруванням в системі Simulink

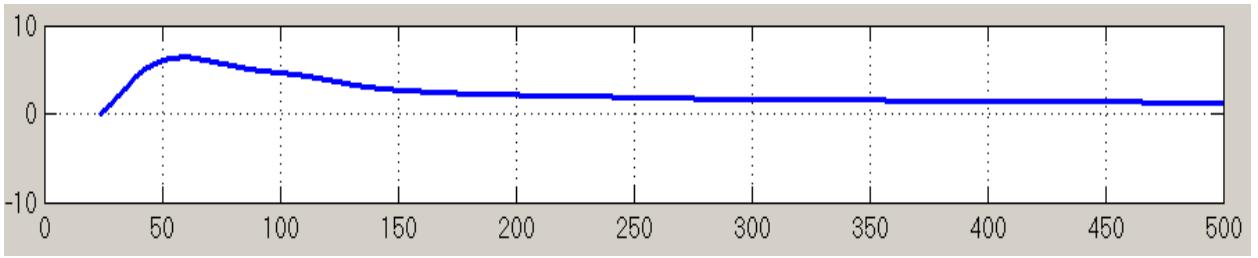


Рисунок 34 – Значення критерію ідентифікації логічних рівнів у часі під час використання критерію із обробкою 2-х фазових змінних ($i=2$) та обрахунком середньоквадратичного значення

Такий спосіб обробки виявився найбільш доцільним (рис.34) Завдяки постійному додатному значенню, що відповідає правильній ідентифікації логічних рівнів та слабкій залежності результату ідентифікації від часу.

Ще більш удосконалити критерій неідентичності можливо зваживши на те, що основний та допоміжний ВХГ загалом формують різні хаотичні процеси, хоча і обидва намагаються синхронізуватись із ведучим. Тому в критерій доцільно ввести розрахунок поточного значення енергій сигналів, що буде враховувати цю відмінність. За таких умов критерій за умови застосування лише двох змінних виглядатиме як:

$$\delta_5 = \sum_{k=1}^N \left(\frac{RMS\{x_{s1_k} - x_{s2_k}\} + RMS\{y_{s1_k} - y_{s2_k}\}}{RMS\{x_{s1_k}\} + RMS\{x_{s2_k}\} + RMS\{y_{s1_k}\} + RMS\{y_{s2_k}\}} \right), \quad (28)$$

а для випадку хаотичних генераторів із більшою розмірністю D , узагальнений критерій неідентичності виглядатиме як:

$$\delta_{5D} = \frac{\sum_{i=1}^D (RMS\{\xi_{iS1} - \xi_{iS2}\})^2}{\sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^2 RMS\{\xi_{iSj}^2\}}, \text{ де } D = 3, 4, 5... \quad (29)$$

Реалізація критерію δ_5 для одного із ВХГ показана на рис.35., а результат його використання під час ідентифікації логічних рівнів на основі логарифмічної обробки на рис.36.

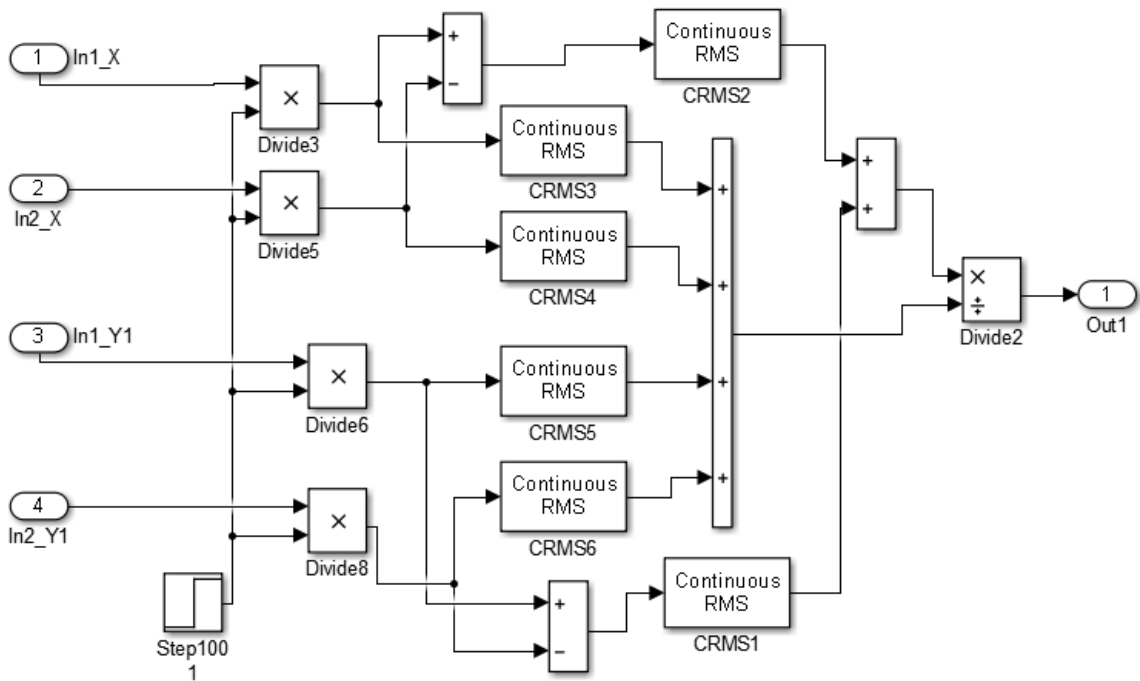


Рисунок 35 – Реалізація обрахунку рівня неідентичності за критерієм різницевої енергії двох фазових змінних із подвійним інтегруванням в системі Simulink та нормуванням до сукупної енергії

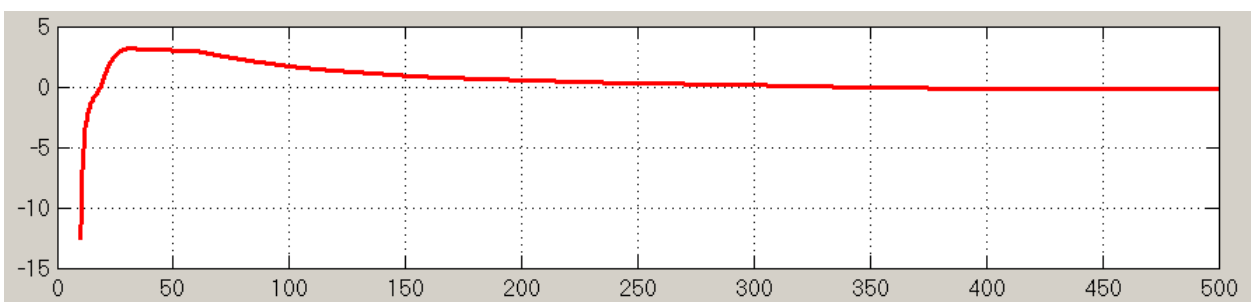


Рисунок 36 – Значення критерію ідентифікації логічних рівнів у часі під час використання критерію із обробкою 2-х фазових змінних ($i=2$) та обрахунком відносного середньоквадратичного значення

Розглядаючи поступовий синтез критерію можливо зробити наступні висновки:

1. Використання останнього із запропонованих критеріїв рівня неідентичного основного або допоміжного ведених генераторів дозволяє отримати залежність що має один яскраво виражений максимум.

2. Максимум залежності реалізується на інтервалі 20..150 елементарних циклів аналізу, що говорить про різну швидкість синхронізації основного та допоміжного ведених генераторів, яку доцільно використовувати для ідентифікації логічних рівнів.

3. Після набуття максимуму залежність поступово зменшується до рівня 0, що фізично означає схожість еволюції ведених генераторів із зростанням часу.

4 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИНТЕЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ІЗ ВПЛИВОМ НЕЛІНІЙНОСТЕЙ

4.1 Моделі нелінійних динамічних систем

4.1.1 Односпрямована хаотична синхронізація

За теоремою Пуанкаре - Бендіксона автономна аналогова модель стану НДС має бути як мінімум тривимірною, отже вибрана система для синхронізації має мати три фазових змінних і відповідно три початкові параметри їх ініціалізації, крім того, для забезпечення синхронізації практичного втілення моделі, така НДС має підлягати декомпозиції для введення енергії синхросигналу в певну точку[29].

На даний час найбільш популярними для теоретичних досліджень є математичні моделі НДС на базі диференціальних рівнянь, що мають назви їх винахідників, а саме: Pehlivan and Uyaroglu (2010p),. Sprott (1994p.); Ashwin and Rucklidge (1998p.); Lü (2004p.); Chen (1999p.); Soliman and Elwakil (1999p.); Madhekar, 2006; Chandra (2001p.), але не всі вони повністю відповідають вимогам що накладаються з боку систем електронних комунікацій під час використання їх фазових змінних як нанальних піднесівних.

В роботі [26] показано, що за сукупністю спектрально-часових телекомунікаційних параметрів для створення системи прихованого зв'язку є модель, що запропонована Ракліджем А.К шу у 1992р. Система рівнянь, що описує генератор є НДС із квадратичною нелінійністю, можливістю декомпозиції та невеликою кількістю параметрів, що спрощує моделювання має наступний вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = -kx + ay - yz; \\ \frac{dy}{dt} = x; \\ \frac{dz}{dt} = -z + y^2, \end{array} \right. \quad (30)$$

де x, y, z – фазові змінні; a, k – біфуркаційні параметри.

Імітаційна модель НДС Rucklidge для ведучого генератора в середовищі Simulink може бути представлена як сукупність перемножувачів, суматорів-віднімачів та інтеграторів (рис.37). В моделі рис.37. фазова змінна як зовнішній сигнал піднесівної, або сигнал індикації синхронізації не використовується.

Квадратичність нелінійної залежності по одному із параметрів дозволяє під час синхронізації таких хаотичних генераторів Rucklidge саме по цій змінній ефективно веденому генератору «захоплювати» сигнал ведучого генератора як під час позитивних так і негативних значень хаотичних реалізацій.

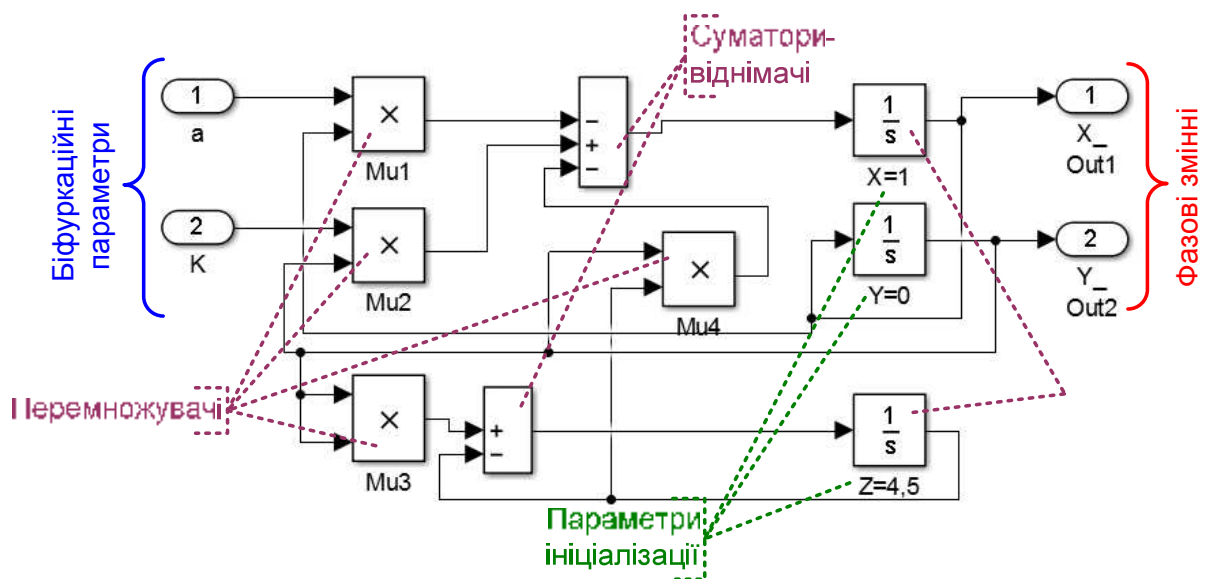


Рисунок 37 – Субмодель хаотичного генератора Rucklidge в середовищі Simulink та призначення функціональних блоків

Для забезпечення хаотичного режиму, що підтверджується розрахунком коефіцієнтів Ляпунов необхідно встановити параметри ініціалізації фазових змінних як: $x_0 = 1; y_0 = 0; z_0 = 4,5$; під час вибору біфуркаційних параметрів як $a \approx 2 \pm 0,3; k = 6,7 \pm 0,4$ [1]. Можливість

маніпуляції вищевказаними параметрами дозволяє забезпечити різні аспекти прихованості дії, від шифрування, через невідомість цих параметрів конкуренту, до забезпечення «занурення» сигналу із інформаційною складовою під рівень завад.

В нелінійних системах як не всі генератори «зручно» застосовувати для побудови систем телекомунікацій, так і не всі фазові змінні зручно використовувати як піднесівні коливання для реалізації введення інформаційного сигналу в хаотичний, наприклад, сигнал з генератора Rucklidge одно полярний, тому синхронізаційний аналіз краще проводити по двом решта сигналам [44].

Математична модель, що описує роботу зв'язаних однобічним зв'язком веденого та ведучого (основного та допоміжного) генератора описується в форматі диференціальних рівнянь як:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_{m1}}{dt} = -k_{m1} \cdot x_{m1} + a_{m1} \cdot y_{m1} - y_{m1} \cdot z; \quad \frac{dy_{m1}}{dt} = x_{m1}; \quad \frac{dz_{m1}}{dt} = -z + y_{m1}^2; \\ \frac{dx_{s1}}{dt} = -k_{s1} \cdot x_{s1} + a_{s1} \cdot (y_{m1} \cdot (1-b) + y_{s1} \cdot b) - (y_{m1} \cdot (1-b) + y_{s1} \cdot b) \cdot z_{s1}; \\ \frac{dy_{s1}}{dt} = x_{s1}; \quad \frac{dz_{s1}}{dt} = -z_{s1} + (y_{m1} \cdot (1-b) + y_{s1} \cdot b)^2; \\ \frac{dx_{s2}}{dt} = -k_{s2} \cdot x_{s2} + a_{s2} \cdot (y_{m1} \cdot (1-b) + y_{s2} \cdot b) - (y_{m1} \cdot (1-b) + y_{s2} \cdot b) \cdot z_{s2}; \\ \frac{dy_{s2}}{dt} = x_{s2}; \quad \frac{dz_{s2}}{dt} = -z_{s2} + (y_{m1} \cdot (1-b) + y_{s2} \cdot b)^2, \end{array} \right. \quad (31)$$

де x_{m1}, y_{m1}, z_{m1} - фазові змінні ведучого генератора;

x_{s1}, y_{s1}, z_{s1} - фазові змінні основного веденого генератора;

x_{s2}, y_{s2}, z_{s2} - фазові змінні допоміжного веденого генератора;

b - рівень однобічного зв'язку між ведучим та веденим генераторами (синхронізація спостерігається за умови сильного зв'язку $b \approx 0,9$)

Під час попередніх досліджень, встановлено, що за умови вибору усіх параметрів ведучого та ведених генераторів у вказаних діапазонах в системі

спостерігається ідентична повна синхронізація, але час захвату синхронізації для основного та допоміжного генераторів суттєво різняться, що використовується для прихованого передавання повідомлення в умовах нелінійних спотворень, що характерні для телекомунікаційних каналів та є предметом даної роботи.

4.1.2 Імітаційна модель хаотичної синхронізації

Як вже було зазначено раніше, синхронізація між хаотичними генераторами можлива лише за певних умов:

1. однаковість структури приймальних та передавальних хаотичних генераторів (рис.38);
2. наявність сильного однобічного зв'язку між веденими та ведучим хаотичним генератором;
3. розташування параметрів ініціалізації в межах припустимих значень;
4. розташування біфуркаційних параметрів в певних однакових зонах притягання, характерних для розширеної НДС із багатьма генераторами;
5. відповідність рівня спотворень та завад в каналі передачі.

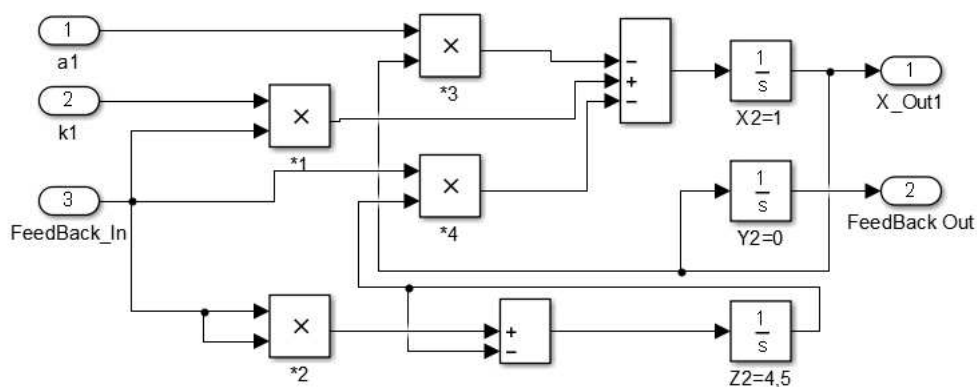


Рисунок 38 – Субмодель хаотичного генератора Rucklidge в середовищі Simulink із розімкненим зв'язком по фазовій змінній Y для забезпечення введення сигналу хаотичної синхронізації

Блок синхронізації (рис.39) забезпечує зв'язок між ведучим та веденим генераторами, для кожного веденого генератора застосовується свій блок синхронізації. Рівень синхронізуючого сигналу регулюється по першому (верхньому входу) у відсотках, та для забезпечення ідентичної синхронізації має бути обраний на рівні 85..95% (у всіх випадках моделювання застосовано значення 90%).

На другий вхід блоку синхронізації (рис.39) потрапляє сигнал із каналу зв'язку із завадами та спотвореннями, властивими будь яким системам передачі, в даному випадку такі завади розглядаються як навмисний вплив конкурентних систем РЕБ. На останній вхід блоку синхронізації потрапляє сигнал від виходу веденого генератора по однойменній фазовій змінній із ведучим генератором (найбільш раціонально застосовувати фазову змінну X).

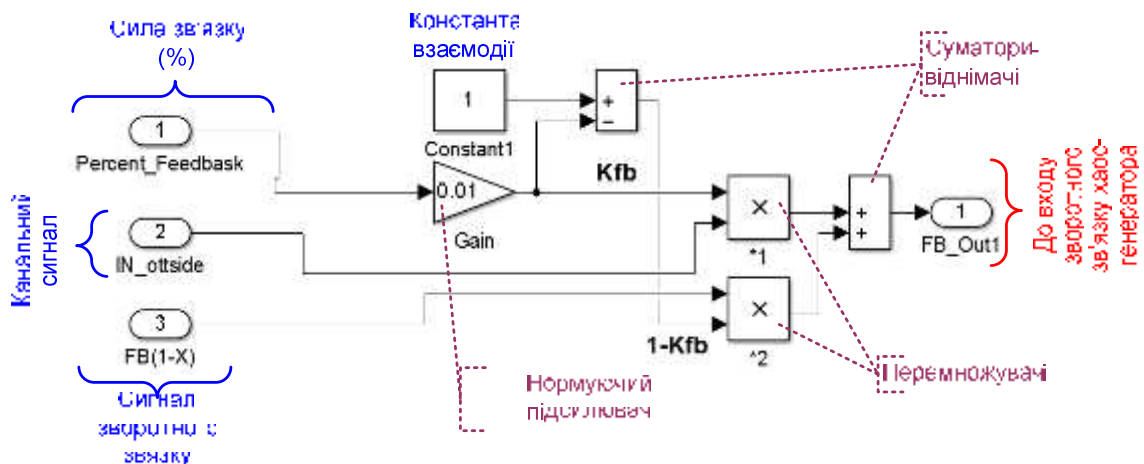


Рисунок 39 – Субмодель блоку хаотичної синхронізації в середовищі Simulink

Останні два сигнали адитивно об'єднуються із урахуванням сили зв'язку, встановленому по першому входу таким чином, щоб сумарний коефіцієнт зв'язку максимально точно дорівнював 100% (див.рис.39):

$$K_M = (1 - K_S) \quad (32)$$

де K_M - сила зв'язку ведучого генератора (0..1);

K_S - сила зв'язку веденого генератора (0..1);

Усі 5 умов синхронізації забезпечують наявність ідентичної синхронізації із урахуванням розгляду нескінченно великих ділянок часу. На значно менших ділянках, важливим постає питання швидкості синхронізації, або рівня синхронізації основного та допоміжного ведених хаотичних генераторів. Для цього слід ввести критерій рівня синхронізації за умови обмеженого часу аналізу, що еквівалентний бітовому інтервалу в бінарному цифровому каналі передачі.

4.2 Імітаційна модель системи

Імітаційна модель в середовищі Simulink складається із певної сукупності елементів взятих із стандартної бібліотеки функціональних модулів, частина із яких об'єднана в субмодулі із явним функціональним навантаженням. Для зручності найважливіші однотипні субмодулі (рис.40) позначені одним кольором. Для спрощення на схемі не показано допоміжні елементи візуалізації (графопобудовники, осцилографи), що використовувались під час налагоджування та тестування.

Для реалізації процедури ідентифікації логічних рівнів одночасно проводився імітаційний аналіз передачі двох логічних рівнів, що ускладнило схему майже вдвічі, але дозволило використати критерій ідентифікації логічних рівнів. На рисунку 1 верхня частина схема імітує передачу лог.1, а нижня – лог.1., склад каналів різних логічних рівнів відокремлено пунктиром.

Передавальна частина кожного із каналів логічних рівнів хаотичної системи прихованого зв'язку складається із блоків ведучого генератора, каналних блоків, блоків веденого генератора та блоків результатів моделювання.

До блоків ведучого генератора відносять субмодуль схеми хаотичного генератора, режим якого встановлюється за допомогою двох біфуркаційних параметрів, значення яких подаються на субмодуль хаотичного генератора через встановлення значень констант-блоків. Вихідними сигналами субмодуля схеми хаотичного генератора є сигнали фазових змінних X та Y .

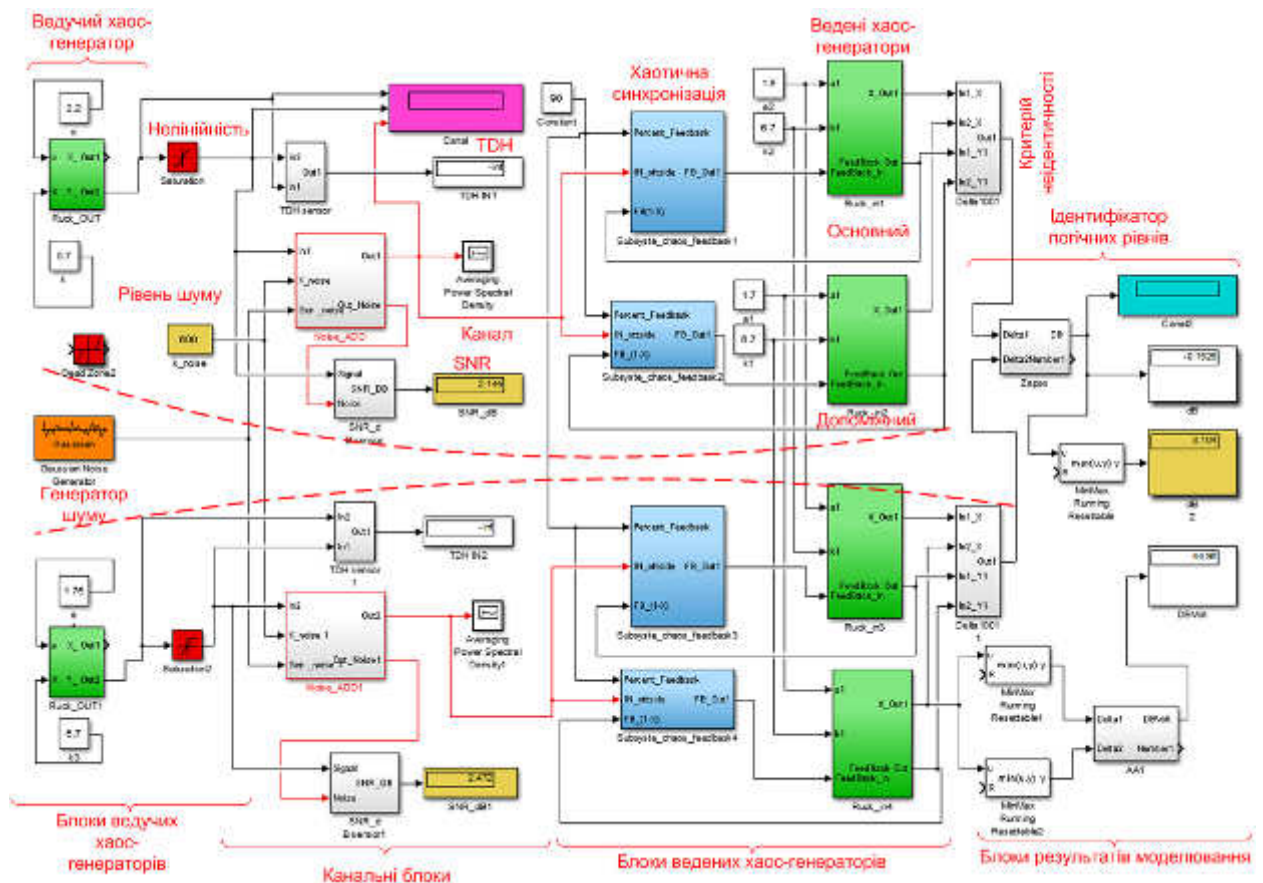


Рисунок 40 – Імітаційна модель роботи хаотичної системи прихованого зв'язку

З метою дослідження впливу нелінійності до виходу субмодуля хаос-генератора підключено імітатор нелінійності. В якості імітатора нелінійності використовується двобічний симетричний обмежувач і ідеальний обмежувач типу «сходи́нка».

Також до блоків ведучих генераторів відноситься генератор завад. В якості генератора завад використовується генератор білого гаусівського шуму. Можливо також підключення інших генераторів завад, але це

виходить за рамки цієї роботи. Рівень завад регулюється за допомогою блоків регульованого підсилення. Завади до хаотичного каналного сигналу додаються адитивно.

Канальні блоки (рис.40) призначені для формування каналного сигналу, що спотворено впливом нелінійності із певним рівнем завад в каналі. Крім того, на канальні блоки покладена функція визначення рівня нелінійності (TDH) та відношення сигнал-завада в каналі (SNR) в логарифмічних одиницях, як це прийнято в телекомунікаціях. Імітаційні моделі цих канальних субблоків представлені у додатку В.

Рівень нелінійних спотворень визначається як відношення різницевого середньоквадратичного значення до сумарного середньоквадратичного значення спотвореного та неспотвореного сигналів:

$$TDH = 20 \lg \frac{\sum_{k=1}^N \left(RMS \{ x_{m0_k} - x_{mD_k} \} \right)}{\sum_{k=1}^N \left(RMS \{ x_{m0_k} \} + RMS \{ x_{mD_k} \} \right)}, \quad (33)$$

де x_{m0_k} - вибірки хаотичного сигналу неспотвореного нелінійністю;

x_{mD_k} - вибірки хаотичного сигналу після обробки нелінійністю.

Рівень відношення сигнал завада визначається традиційним способом як відношення енергії сигналу до енергії завади:

$$SNR = \frac{\sum_{k=1}^N \left(x_{sD_k} \right)^2}{\sum_{k=1}^N \left(n_k \right)^2}, \quad (34)$$

де n_k - вибірки завади.

Також до каналних блоків додано модулі Simulink, що дозволяють отримати осцилограми каналних сигналів та їх енергетичних спектрів, як для тракту обробки під час передачі лог.1 так і під час передачі лог.0.

Сукупність блоків (див.рис.40) ведених хаотичних генераторів складаються із схеми хаотичних генераторів із розімкненим зворотним зв'язком по обраному каналному сигналу (Y), схеми синхронізації із пропорційним введенням каналного сигналу та блоків констант, що задають «глибину» зворотного зв'язку та значення біфуркаційних параметрів. Структура блоків та призначення окремих їх елементів розглянута раніше.

В правій частині схеми (рис.40) розміщено модулі та субблоки що дозволяють отримати значення критеріального ідентифікатора логічних рівнів та аперттури атрактора одного із ведених генераторів. Структура блоків визначення рівня неідентичності та призначення окремих модулів також розглянуто в попередньому підрозділі даної роботи.

Апертура атрактора для спрощення аналізу оцінюється за логарифмічною шкалою по одній із фазових змінних одного із обраних ведених генераторів за мінімаксним критерієм як:

$$AA = 20 \lg \left(\max(x_{s_k}) - \min(x_{s_k}) \right), \quad (35)$$

де x_{s_k} - вибірки сигналу однієї із фазових змінних одного із ведених хаотичних генераторів.

Функціональні субмодулі Simulink для допоміжних завдань оцінювання якості каналу зв'язку також представлені в додатку Б. Середній час моделювання для отримання результату в залежності від потужності застосованого обчислювального засобу та рівня деталізації кроку дискретної обробки в Simulink складав до 30 хвилин. Апробація результатів моделювання представлена в додатку В.

4.3 Результати імітаційного моделювання

4.3.1 Вихідні дані імітаційного моделювання

Під час встановлення початкових та вхідних даних слід користуватись зауваженнями, наведеними вище, також слід відмітити, що більш докладні дослідження потребують значних обчислювальних ресурсів та ресурсів часу.

Таблиця 1 – Загальні параметри налаштування імітаційної моделі

№	Назва	Тракт	За умови	Парметр	Значення
1	Біфуркаційний параметр передавача	лог.1		a1	2,1
2	Біфуркаційний параметр передавача	лог.1 та лог.0		k1=k2	6,7
3	Біфуркаційний параметр передавача	лог.0		a2	1,69
4	Біфуркаційний параметр приймача	лог.1 та лог.0	Основний генератор,	a3=a5	1,8
5	Біфуркаційний параметр приймача	лог.1 та лог.0	Допоміжний генератор	a4=a6	1,7
6	Біфуркаційний параметр приймача	лог.1 та лог.0	Основний та допоміжний генератори	k3=k4=k5-k6	6,7
7	Рівень однобічного «сильного» зв'язку між ведучим та веденими генераторами	лог.1 та лог.0	Основний та допоміжний генератори	fb=0,9	90%
8	Кількість кроків моделювання	лог.1 та лог.0	Основний та допоміжний генератори	Ta	500
9	Параметр ініціалізації фазової змінної	лог.1 та лог.0	Основний та допоміжний генератори	X0	1.0
10	Параметр ініціалізації фазової змінної	лог.1 та лог.0	Основний та допоміжний генератори	Y0	0.0
11	Параметр ініціалізації фазової змінної	лог.1 та лог.0	Основний та допоміжний генератори	Z0	4.5
12	Діапазон вхідних рівнів відношення сигнал завада	лог.1 та лог.0	-	SNR	- 20...+40дБ
13	Діапазон рівнів обмеження	лог.1 та лог.0	Кусково-лінійна нелінійність	A - амплітуда	A/2
14	Кількість кроків пропуску аналізу перехідних процесів	лог.1 та лог.0	Основний та допоміжний генератори	T0	20

Отже, із компромісної точки зору для проведення досліджень були встановлені наступні (див.Табл.1) значення змінних та параметрів синтезованої імітаційної моделі.

Моделювання проводилось в середовищі Simulink 2023 із використанням 4-ядерного процесора корпорації Intel. Обробка та візуалізація кінцевих результатів проводилась в основному середовищі Matlab 2023.

4.3.2 Вплив нелінійності типу двобічне обмеження

Загальний вплив нелінійності типу двобічне обмеження найбільш типовий випадок в системах передачі інформації в точці передавального тракту на виході передавача (рис.41). Воно обумовлене обмеженістю енергетичних характеристик забезпечення живлення, а також амплітудною характеристикою кінцевого підсилювального елемента.

В класичних системах наявність нелінійності типу обмеження може бути м'яким та жорстким. Відмінності полягають в наявності або відсутності гладких спряжень між квазілінійними ділянками передавальної характеристики. В нашому випадку аналізується жорсткий тип обмеження на основі використання двобічного компаратора із регульованим значенням обмеження.

Наявність обмеження, крім спотворень сигналу призводить до появи цілого ряду негативних факторів, серед яких можливо виділити:

1. Збільшення рівня бічних та позасмугових випромінювань в передавачах.
2. Поява додаткових каналів прийому в приймачах.
3. Спотворення спектрів та інших характеристик сигналів.
4. Поява додаткових перехресних (інтермодуляція) завад в групових трактах багатоканальних систем.

5. Поява суто нелінійних ефектів під час взаємодії із нелінійностями лінії передачі

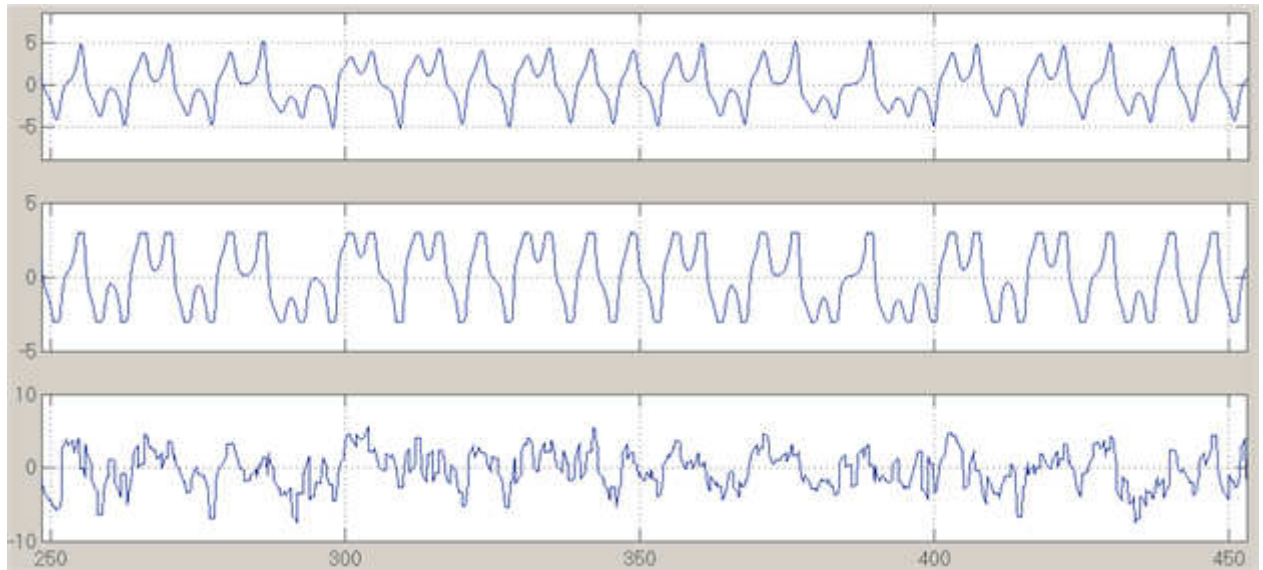


Рисунок 41 – Часові діаграми сигналів: на виході хаотичного передавача (вверху), спотворений нелінійністю двобічного обмеження (по центру); на вході приймача під впливом завад (знизу)

Слід зазначити, що сукупна дія нелінійностей та завад (АБГШ) в нелінійних системах є явищем в великій мірі непередбачуваним та результати моделювання, на перший погляд можуть показатись неадекватними.

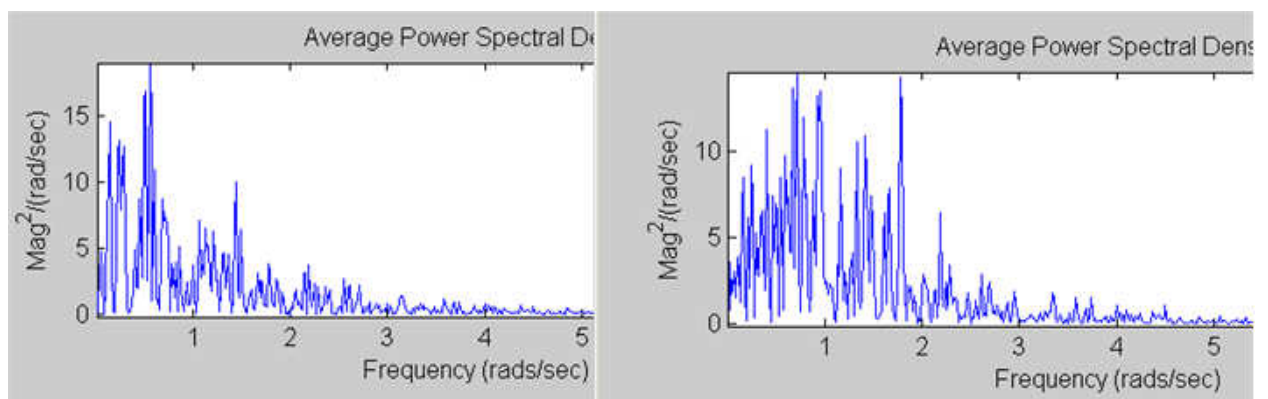


Рисунок 42 – Спектри хаотичних каналних сигналів: під час передачі логічної одиниці (ліворуч) та логічного нуля (праворуч)

Відповідно поставленому завданню синтезована імітаційна модель системи прихованого зв'язку забезпечує виконання більшості завдань захисту інформації:

1. З точки зору шифрування – формування складних сигналів реалізується через широкосмуговість спектру сигналу (рис.42) та непередбачуваність значень сигналу.

2. Із точки зору шифрування – початковим вибором типу генератора та значень декількох параметрів ініціалізації; значень декількох біфуркаційних параметрів; технології розділення логічних рівнів; часу аналізу, тощо.

3. Із точки зору прихованості дії можлива динамічна зміна практично всіх параметрів налаштування, що фактично унеможливорює доступ до інформації з боку ворога або конкурента.

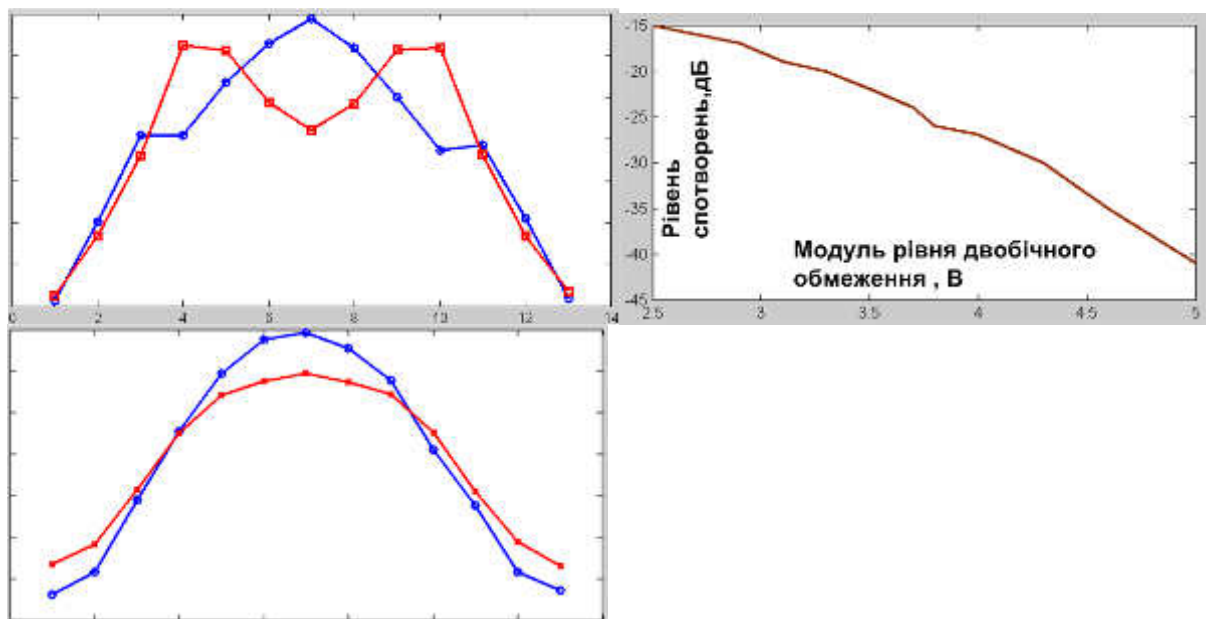


Рисунок 43 – Гістограми (13 інтервалів) хаотичних сигналів під час передачі різних логічних рівнів (ліворуч вверху), каналного сигналу за умови $TDH = -10$ дБ, $SNR = 2$ дБ та залежність логарифмічного рівня нелінійних спотворень типу двобічне обмеження від абсолютного значення двобічного обмеження за критерієм різницевої енергії (праворуч)

4. Через випадкову структуру завад, інформаційного повідомлення (рис.41) та статистики хаотичного сигналу (рис.43) каналний сигнал сильно наближається до статистики природних завад, що утруднює реалізацію відокремлення один від одного та виявлення факту передачі з боку конкурента

5. Енергетична ПХД може бути реалізована комплексно, на основі просторового приховування, а також можливості адекватної роботи системи на порядок менше рівня шуму що і підтверджує неможливість виявлення факту передачі сигналу з боку конкурента.

Інтегральною залежністю, що отримується для сукупності даних результатів моделювання є залежність критеріального ідентифікатора логічних рівнів від рівня спотворень, де рівень спотворень визначається як подано у (1).

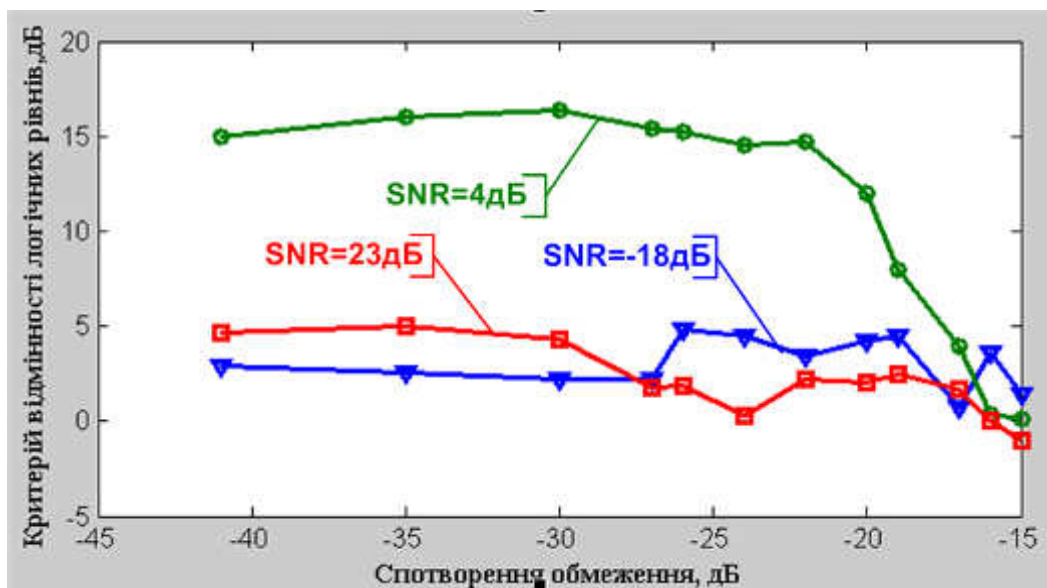


Рисунок 44 Значення критерію ідентифікації логічних рівнів залежно від рівня спотворень типу двобічне симетричне обмеження

Аналіз отриманих результатів (рис.44) дозволив зробити ряд висновків щодо синтезованої системи прихованого зв'язку та можливості її роботи за складних умов наявності нелінійності та природних завад одночасно:

1. Ідентифікація логічних рівнів за запропонованим критерієм неідентичності хаотичних сигналів основного та допоміжного хаос –

генераторів є практично сталою величиною (± 1 дБ) відносно рівнів нелінійності від -50дБ до -10дБ, що визначається відповідно (1) та рис.43.

2. В зоні рівнів SNR , що відповідають приблизно однаковим рівням завади та сигналу спостерігається посилення відмінності логічних рівнів (рис.1 зелена залежність), що обумовлено нелінійним ефектом синхронізації за допомогою шуму. Тобто основний генератор в присутності шуму синхронізується значно швидше, чим і обумовлює великі відмінності від сигналу допоміжного генератора.

3. В усіх досліджуваних випадках працездатність системи зберігається із запасом не менше 2 дБ і враховуючи при цьому значний рівень шуму до -20дБ та нелінійних спотворень, до -15дБ, працездатність системи можливо вважати підтвердженою.

Деякі зміни в залежностях для значного рівня спотворень та рівня завад можливо і необхідно компенсувати за допомогою цифрового завадостійкого кодування, що дозволить ще більше посилити ПХД, рівень шифрування та захисту від несанкціонованого доступу.

4.3.3 Вплив нелінійності типу сходинка

Спотворення типу сходинка з'являються через намагання забезпечити для потужних вихідних каскадів передавальних систем максимальний коефіцієнт корисної дії (максимальну енергетичну ефективність). Для цього підсилювальний елемент (транзистор) працює в режимі із кутом відсікання 90 градусів (для синусоїдального сигналу). Такий режим підсилення називають клас В. Використовуючи транзистори із різним типом провідності можливо побудувати послідовний двотактний каскад, де для позитивних та негативних сигналів будуть працювати різні транзистори (рис.1), але для такого каскаду через наявність окремого падіння напруги на переході з'являється діапазон вихідних значень, де за умови наявного вхідного

значення вихідний сигнал (рис.45) дорівнює нулю, що і відповідає спотворенням типу «сходинка».

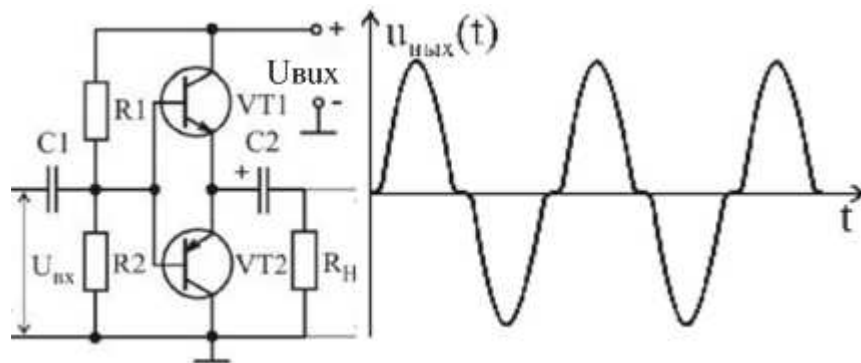


Рисунок 45 Схема послідовного двотактного підсилювача (ліворуч) та спотворення типу «сходинка» (праворуч)

Спотворення типу «сходинка» також відносяться до спотворень із жорсткою характеристикою нелінійності, наприклад, для транзисторного підсилювача на базі біполярних транзисторів рівень обмеження складає $\pm 0,7\text{В}$, що призводить до нелінійних спотворень, що за характером впливу на сигнал не менш шкідливі, за спотворення обмеження. Більш того, зважаючи на статистику сигналу (див. рис.47) спотворення типу «сходинка» діють в зоні слабких сигналів і разом із завадами, можуть сприяти погіршенню ситуації із правильною ідентифікацією логічних рівнів.

Для виявлення рівня нелінійних спотворень під час дії завад типу сходинка для ШПС із виходу хаотичного генератора також застосовується методика відношення різницевої до сумарної енергії сигналів до і після нелінійного блоку, що дозволяє в кінцевому рахунку порівняти стійкість системи прихованого зв'язку до подібних спотворень.

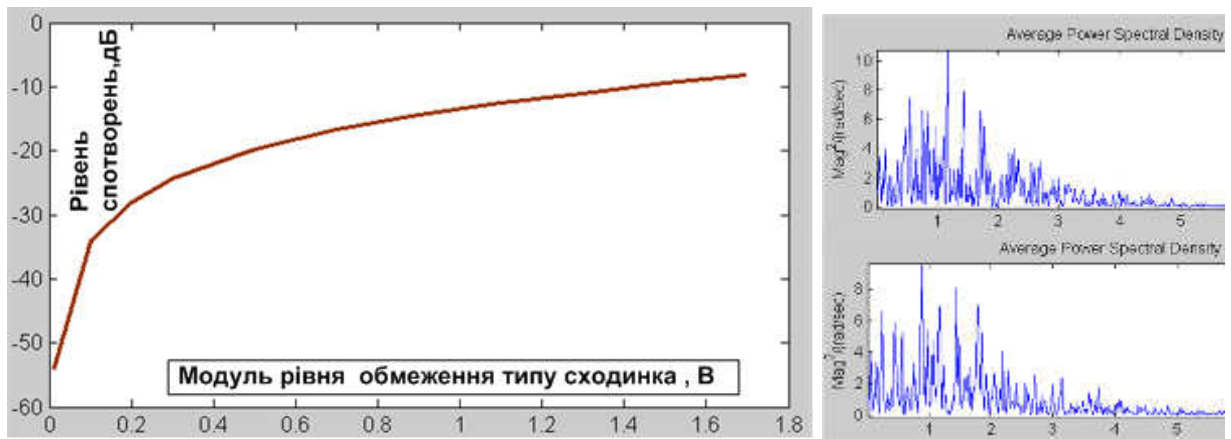


Рисунок 46 – Залежність логарифмічного рівня нелінійних спотворень типу «сходи́нка» від абсолютного значення нуль- обмеження за критерієм різницевої енергії(ліворуч) та енергетичні спектри каналних сигналів для різних логічних рівнів (праворуч)

Якщо логарифмічний рівень нелінійних спотворень для спотворень типу «двобічне обмеження» практично лінійно залежить від абсолютного рівня обмеження, то для спотворень типу «сходи́нка» характер такої ж залежності суттєво відрізняється.

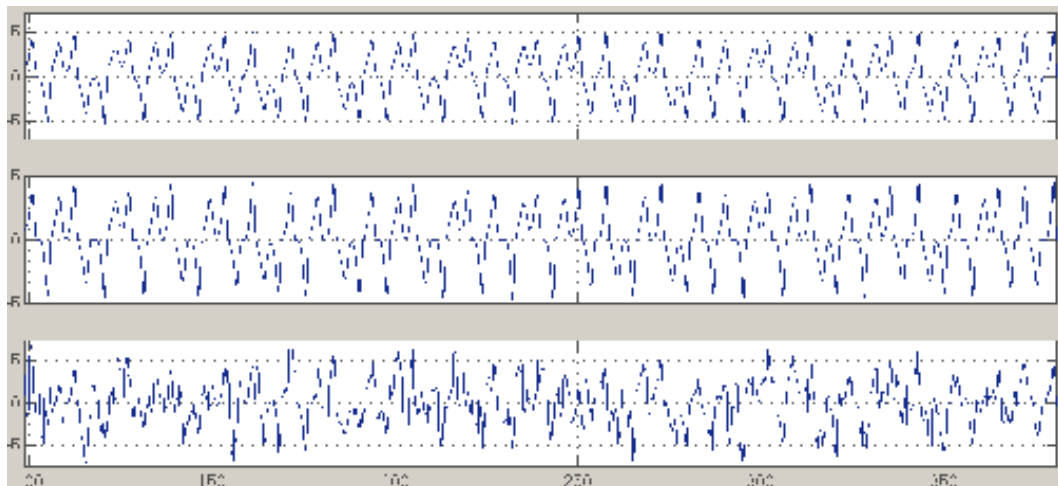


Рисунок 47 – Часові діаграми сигналів: на виході хаотичного передавача (вверху), спотворений нелінійністю типу «сходи́нка» (по центру); на вході приймача під впливом завад (знизу)

Аналіз гістограм (рис.48) сигналів говорить про ще більший збіг гістограм сигналів під час передачі логічного нуля та логічної одиниці відносно нелінійностей типу «двобічне симетричне обмеження», що говорить про більшу стійкість з точки зору прихованості дії до систем РЕР.

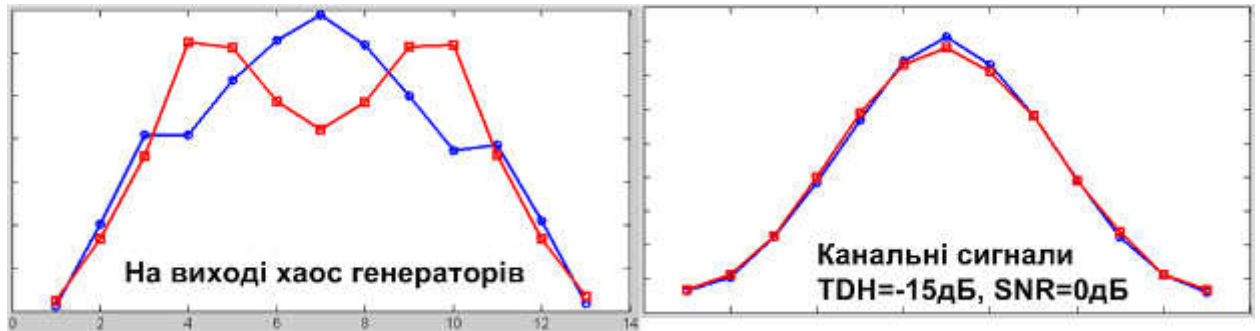


Рисунок 48 – Гістограми сигналів хаос-генераторів та каналних сигналів для різних логічних рівнів

За результатами розгляду отриманих значень рівня ідентифікації логічних рівнів можливо зробити наступні висновки:

1. Характер впливу нелінійності типу обмеження та типу сходинок на результат роботи систему прихованого зв'язку приблизно однаковий, тобто рівень ідентифікації залишається сталим і позитивним до рівнів спотворень та завад, що сягають -20дБ.

2. Разом із тим спостерігається більша стійкість системи хаотичного прихованого зв'язку до завад типу «сходинок» на рівні 1-2дБ.

3. Прояв синхронізації ініційованої шумом як і для випадку обмеження типу сходинок актуальний для приблизно однакових рівнів сигналу та завад та спричиняє покращення рівня ідентифікації логічних рівнів за умови малих спотворень на 7...10дБ.

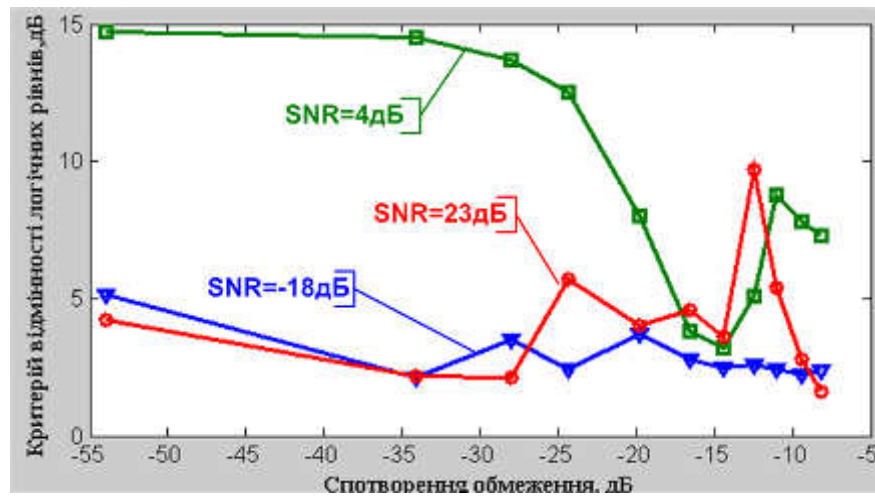


Рисунок 49 - Значення критерію ідентифікації логічних рівнів залежно від рівня спотворень типу «симетрична сходинка»

Таким чином вплив обраних для розгляду нелінійностей на роботу системи прихованого зв'язку схожий, але дещо вища стійкість спостерігається для нелінійності типу сходинка.

4.3.4 Апертура атракторів ведених генераторів

Завади під час впливу на системи передачі інформації є головним чинником погіршення її тактичних характеристик. Найбільш потужний вплив на систему мають завади подібні до сигналу, але в прихованих системах телекомунікацій для створення такої завади необхідно попередньо визначити із характером сигналу, що є утрудненим завданням та таким, що займає значні інтервали часу, за якого актуальність інформації, що передається втрачається.

В класичних системах наявність сторонніх сигналів в каналі передачі завжди є деструктивним фактором, саме завади призводять до спотворення інформаційного повідомлення та втрати частини інформації. В хаотичних системах зв'язку, як це не дивно, завади, за певних умов можуть виступати як позитивний фактор, що було показано в попередніх пунктах досліджень цієї кваліфікаційної роботи магістра.

Для запропонованої хаотичної системи прихованого зв'язку вплив завад зосереджується в аспекті встановлення режиму ідентичної синхронізації основного та допоміжного хаотичних генераторів з боку ведучого хаотичного генератора передавача.

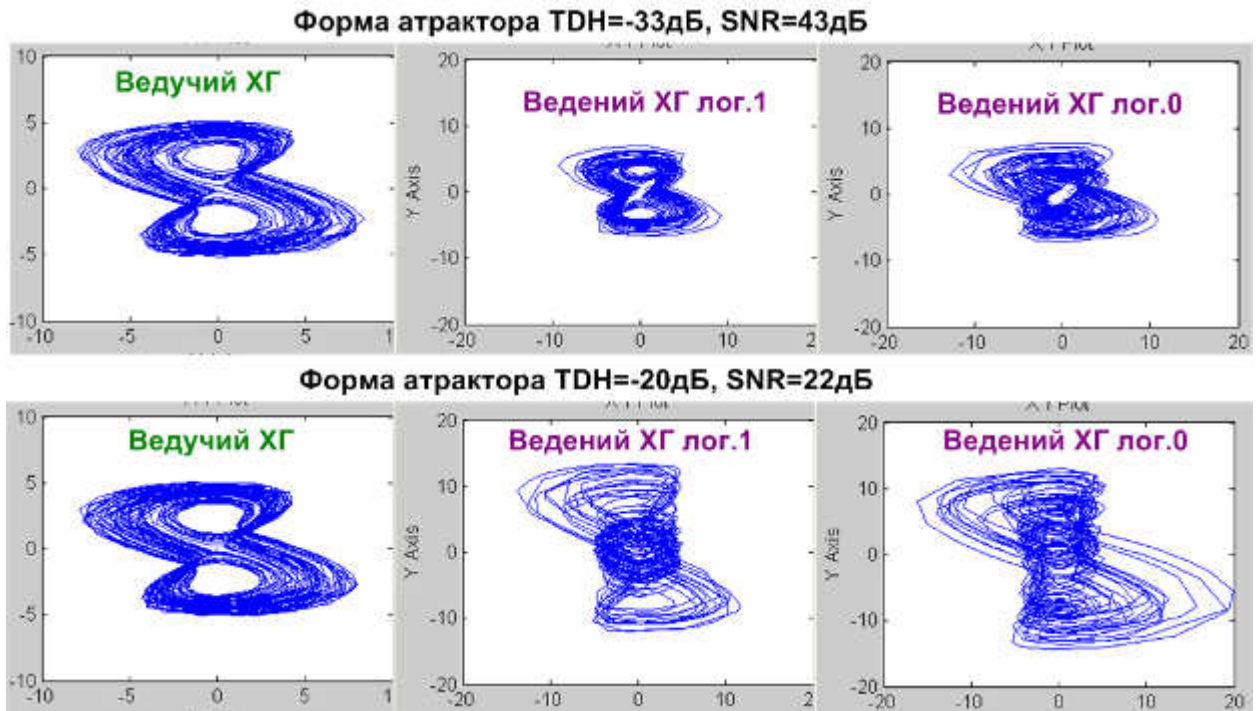


Рисунок 50 – Візуалізація збільшення апертури атратора за умови дії слабких нелінійних спотворень та слабких завад в хаотичному каналі зв'язку

Механізм дії завад та спотворень на ведені хаотичні генератори полягає у суттєвому зрушенні фазових траєкторій та зміні форми та апертури атратора. Наприклад потужні «викиди» стохастичних завад призводять до різкої зміни фазової траєкторії, що може набагато перевищувати миттєвого значення діючої завади.

Ці зміни запропоновано кількісно оцінювати розмірами габаритного боксу атратора – апертури атратора веденої НДС, одна із визначень якого представляється як [45]:

$$A_{1\text{год}} = \max \{ \varphi_1(t), \varphi_2(t) \dots \varphi_M(t) \} - \min \{ \varphi_1(t), \varphi_2(t) \dots \varphi_M(t) \}. \quad (36)$$

де $\varphi_M(t)$ - деяка фазова змінна НДС із розмірністю M .

Також АПА може визначатись як величина діагоналі прямокутного габаритного боксу в який вписано всі траєкторії фазових змінних:

$$A_{2вед} = \sqrt{\sum_{i=1}^M [\max\{\varphi_i(t)\} - \min\{\varphi_i(t)\}]^2}. \quad (37)$$

На практиці зростання аперттури атрактора однаково відбивається на різних фазових змінних (див.рис.50) тому в першому наближенні аперттуру атрактора можливо аналізувати лише по одній фазовій змінній як просту різницю між максимальним та мінімальним значенням. Якщо в системі присутня велика кількість ведених генераторів то АПА визначається як найбільша з них.

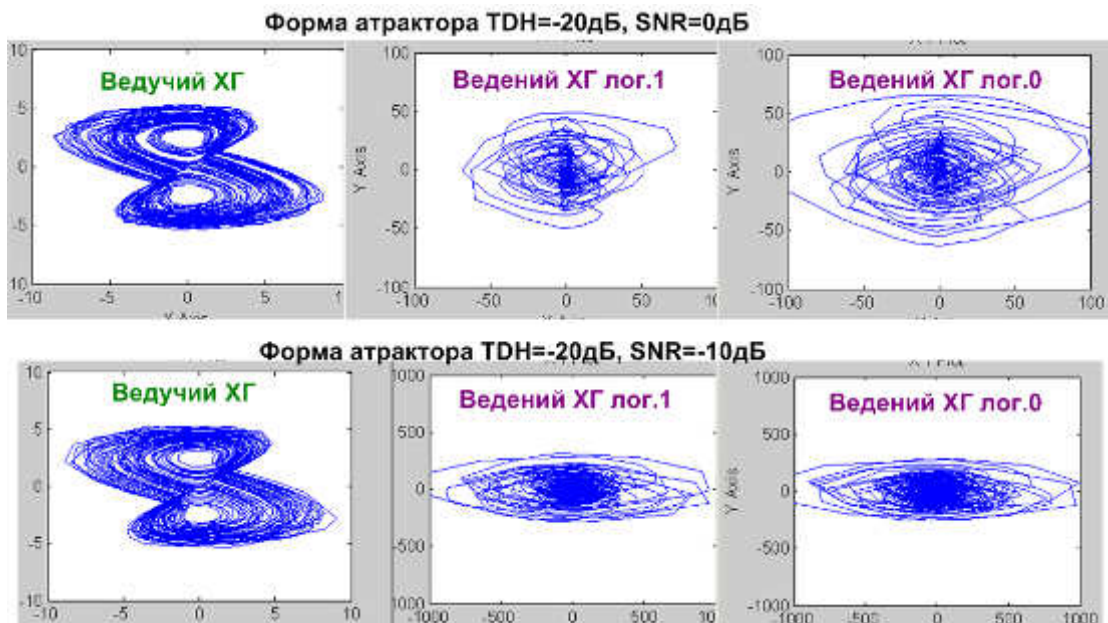


Рисунок 51 – Візуалізація збільшення аперттури атрактора за умови дії потужних нелінійних спотворень та потужних завад в хаотичному каналі зв'язку (зверни увагу на масштаби)

Поняття апертури атрактора важливо для хаотичних систем передачі із двох точок зору, по перше вплив шуму призводить до суттєвого зростання міри неідентичності сигналів основного та допоміжного хаотичних генераторів на боці приймача і отримання великих чисельних значень, аналізувати яких незручно, в такому випадку значення апертури атрактора може виступати як елемент нормування критерію неідентичності, таким самим чином, як в запропонованих вище критеріях використовується опосереднена енергія сигналів фазових змінних хаотичних ведених генераторів.

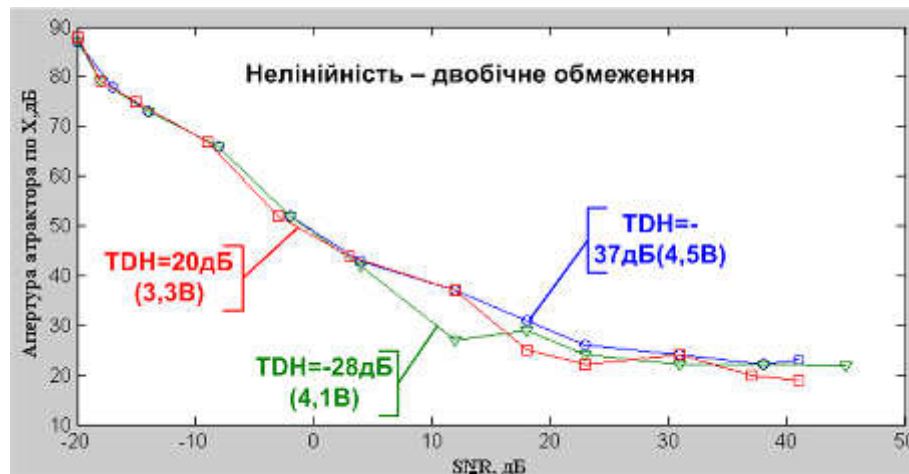


Рисунок 52 – Залежність апертури атрактора від відношення сигнал-шум в хаотичній системі прихованого зв'язку

По друге, зростання апертури атрактора ускладнює практичну реалізацію через необхідність реалізовувати радіотехнічні тракти із значним динамічним діапазоном, що потребує, наприклад, використання високовольтного живлення. В класичних системах такий прояв еквівалентний зростанню пік-фактора сигналу та появі системних завад, пов'язаних із його штучним обмеженням. Найбільш потужно ефект збільшення апертури атрактора із зростанням рівня завад, а також нелінійних спотворень (рис.51).

Під час дії потужних завад та потужних спотворень (рис.51) форма атрактора суттєво відмінна від форми атрактора ведучого генератора, але неконтрольоване збільшення енергії сигналу не реалізується, весь атрактор знаходиться в межах великого, але обмеженого багатовимірного простору, що говорить про неповну синхронізацію на початкових етапах взаємодії веденого та ведучого генераторів. Можливо на нескінчених ділянках часу еволюція веденого та ведучого генератора буде однаковою, але це потребує додаткових досліджень та досить тривалого моделювання.

Визначення аперттури атрактора важливе із наукової точки зору порівняння еволюції різних хаотичних систем через нормування до приблизно однакового габаритного боксу їх фазових портретів.

Імітаційне моделювання значення аперттури атрактора за фазовою змінною X одного із ведених генераторів (рис.52) в умовах нелінійності типу двобічне обмеження дозволило зробити наступні висновки:

1. Апертура атрактора в цифровій хаотичній системі зв'язку слабо залежить від рівня нелінійних спотворень, а визначається переважно рівнем завад.
2. Для рівня завад, що не перевищують рівні діючого в каналі хаотичного сигналу необхідний динамічний діапазон обробки має складати не менше 40дБ, для слабких завад достатньо динамічного діапазону лише у 20 дБ.
3. Для рівня завад що перевищують рівень сигналу спостерігається значне зростання аперттури атрактора та більш слабкий вплив нелінійних спотворень. Для межі правильної ідентифікації логічних рівнів (SNR =-20дБ, або сторазове перевищення потужності завад на потужністю сигналу!!!) необхідний динамічний діапазон обробки складає 90дБ.

ВИСНОВКИ

1. Рівень технічної підтримки всіх аспектів безпечної передачі інформації зростає із року в рік через потужні вимоги до конфіденційності з боку кожного без виключення абонента. Основними методами боротьби із навмисними завадами в умовах жорсткої конкуренції або війни, є використання прихованості дії та радіоелектронної розвідки. Найбільш раціонально в умовах дії навмисних завад та РЕР для безпечної передачі інформації застосовувати принцип мінімізації енергії, або не виявлення факту передачі з боку конкурента.

2. Нелінійні явища є природними проявами усіх без виключення процесів штучного характеру. Основними проявами нелінійних явищ є самоорганізація, фрактальність, чутливість до мінімальних впливів, біфуркація, тощо. На даний час в техніці електронних комунікацій створено умови для використання властивостей нелінійних динамічних систем як хаотичної поведінки в системах прихованого зв'язку для забезпечення енергетичної прихованості дії.

3. Використання принципів генерації сигналів детермінованого хаосу та обробки таких сигналів під час синхронізації дозволяє більш як на порядок «занурити» сигнал під рівень шуму, чим забезпечується енергетична (амплітудна) прихованість дії із одночасною реалізацією криптографічного захисту через вибір параметрів налаштування генераторів детермінованого хаосу на передавальному та приймальному боці. Запропоновано методику встановлення цих параметрів для використання в системах прихованого зв'язку із застосуванням однобічної хаотичної синхронізації та запропонованим критерієм неідентичності ведучого та веденого генераторів на приймальному боці.

4. Проведено синтез структурної та аналітичної моделі системи хаотичного прихованого зв'язку для передачі цифрових сигналів в середовищі Matlab/Simulink, що включає в себе канали передачі цифрових

рівнів, що працюють паралельно та схеми ідентифікації правильності прийому цифрових рівнів за запропонованим критерієм. Проведено налагоджування та дослідження властивостей хаотичних сигналів в рамках синтезованої імітаційної моделі.

5. Імітація роботи системи прихованого хаотичного зв'язку із однобічної синхронізацією та ідентифікацією десинхронізації за допомогою допоміжного хаотичного генератора проводилась для ряду біфуркаційних параметрів хаотичних генераторів, із нелінійностями з кусково-лінійною апроксимацією передавальних характеристик типу «двобічне обмеження» та «симетрична сходинка» за умови відношення сигнал-завада від 40 до -30 дБ. Рівень нелінійності змінювався як зміна ділянки «зламу» передавальної характеристик нелінійного елемента відносно амплітуди хаотичного сигналу на вході. Запропоновано як критерій правильної ідентифікації логічних рівнів взяти максимум відношення критеріїв неідентичності основного та допоміжного хаотичних генераторів по двом каналам цифрових рівнів, що дало можливість зменшити час аналізу та збільшити інформаційну пропускну спроможність системи.

6. Проведені дослідження роботи системи цифрового хаотичного зв'язку на основі критерію ідентифікації логічних рівнів показало високий рівень нечутливості системи до нелінійностей типу «двобічне обмеження» та «симетрична сходинка» де рівень зламу кусково-лінійної апроксимації досягав половини амплітуди, при цьому забезпечувалась впевнена ідентифікація логічних рівнів із запасом 2-5дБ для рівнів завад, що на порядок перевищували рівні хаотичних сигналів в каналі передачі.

7. Проведено дослідження апертури атрактора ведених хаотичних генераторів в синтезованій цифровій хаотичній системі прихованого зв'язку, показано, що апертура атрактора відповідає необхідному динамічному діапазону для реалізації пристроїв обробки на приймальному боці та становить для низьких спотворень та завад близько 40дБ, для значних спотворень – 90дБ.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Основи теорії кіл: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. Ч.2. / Ю.О. Коваль, Л.В. Гринченко, І.О. Милютченко, О.І. Рибін / За загальною редакцією В.М. Шокала та В.І. Правди.— Харків, ТОВ «Компанія СМІТ», 2008, 560с.
2. Андреев О.В. Пристрої генерування та формування радіосигналів: навч. посібник [електронне видання] / О.В. Андреев, В.В. Ципоренко, В.Г. Ципоренко, І.І. Полещук – Житомир: ЖДТУ, 2018. – 138 с.
3. Шинкарук О.М. Приймання та оброблення сигналів : навчальний посібник / О.М. Шинкарук, В. І. Правда, Ю. М. Бойко. – Хмельницький : ХНУ, 2013. – 365 с.
4. Гайдук О. В. та ін. Радіотелекомунікаційні технології: Радіопередавальні та радіоприймальні пристрої. - Ніжин: ТОВ “Видавництво “Аспект-Поліграф”, 2007. - 320 с.
5. В. М. Кичак В. М. Телекомунікаційні системи передачі : підручник /В.М. Кичак, О. М. Шинкарук, Г. Г. Бортник, І. І. Чесановський, О. В.Стальченко. – Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2016. – 424 с.
6. Прикладне застосування теорії хаотичних систем у телекомунікаціях: монографія / Ю. Я. Бобало, С. Д. Галюк, М.М. Климаш, Р. Л. Політанський; Нац. ун-т «Львів. політехніка».— Львів: Коло, 2015. – 178 с.
7. Sprott J C. Simple chaotic systems and circuits. American Journal of Physics , 2000, 68(8): 758-763.
8. Zhuo Chen, Qinye Tong" Guang Li. Study of signal parameters sensitivity of chaotic circuit detection method based on sensor technology[J]. Sinica, 2005, 18 (4)
9. Stewart I. The Lorenz attractor exists. Nature. 2000. 406: 948-949.
- 10.]Chen G R, Ueta T. Yet another chaotic attractor. International Journal of Bifurcation and Chaos, 1999 , 9(6): 1465-1466.

- 11.]Lii J H, Chen G R. A new chaotic attractor coined. International Journal of Bifurcation and Chaos, 2002 , 12(3): 659-66L
- 12.Sprott J C. A new class of chaotic circuit. Physics Letters A, 2000, 266(1): 19-23.
- 13.Celikovsk35 S , Chen G R. On the generalized Lorenz canon-ical form .Chaos , Solitons and Fractals, 2005, 26(5): 1271 - 1276.
- 14.Liu L , Liu c X , Zhang Y B . Experimental confirmation of a modified Lorenz system .Chinese Physics Letters, 2007. 24(10): 2756-2759.
- 15.Liu C x , Liu T , Liu K, et al. A new"chaotic attractor. Chaos, Solitons and Fractals, 2004, 22(5): 1031-1038.
- 16.Bao B c. Li C B, Xu J P'et al. New robust chaotic system with exponential quadratic term .Chinese Physics,2008. 17(11): 4022-4026. 64
- 17.Jia Q. Hyperchaos generated from the Lorenz chaotic system and its contrOl. Physics Letters A, 2007, 366: 217-222.
- 18.Bao B C. Liu Z. A hyperchaotic attractor coined from chaotic Lii system . Chinese Physics Letters 2008, 25(7): 2396-2399.
- 19.Liu Z , Zhu X H , Hu W , et al. Principles of chaotic signal radar. International Journal of Bifurcation and Chaos,2007, 17(5): 1735_1739.
- 20.Lorenz E.N. Deterministic nonperiodic flow / E.N. Lorenz // J. Atmospheric Science. – 1963. – Vol. 20, № 2. – P. 130 – 141.
- 21.Бондар П. М. Вимірювальні перетворювачі, прилади та системи [Електронний ресурс] : конспект лекцій / П. М. Бондар // Кафедра ПСОН ; НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського». – 2009. – Режим доступу : <http://kafpson.kpi.ua/Arhiv/Bondar/lecture1.pdf>
- 22.Abel A , Schwarz W . Chaos communications-principles, schemes, and system analysis. Proc. of the IEEE,2002, 90(5): 691-710.
- 23.Mao Y. A Chip Performing Chaotic Stream Encryption / Y. Mao, W. Liu, Z. Li, W.A. Halang // Contributions to Ubiquitous Computing. Studies in Computational Intelligence. – 2007. – Vol. 42. – P. 307 – 332.

24.Pyvovar, O.S., Polikarovskikh, O.I.A System of Secure Communication with Chaos Masking Based on Rucklidge Generators, 2018 IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology, ELNANO 2018 - Proceedings DOI: 10.1109/ELNANO.2018.8477566.

25.Cong Ling, Songgeng Sun. A frequency hopping sequence for chaotic CDMA communication[J]. Acta electronica Sinica, 1999, 27 (1).K. Elissa, "Title of paper if known," unpublished. Chen Gongxing was born in 1981.

26.Digital Communications Using Chaos and Nonlinear Dynamics / [Editors: Larson L.E., Liu J. – M., Tsimring L.S. – New York : Springer. – 2006. – 382 p.

27.Політанський Р.Л. Оцінки чисельних характеристик систем детермінованого хаосу / Р.Л. Політанський, П.В. Іванюк // I-а Всеукраїнська науково-практична конференція “Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки”, 13–15 жовтня 2011 р.: тези доп. – Чернівці, 2011. – С. 107 – 110.

28.Голевич О. Б. Впорядкування ансамблів хаотичних сигналів та способи їх використання в надширокосмугових телекомунікаційних системах / О. Б. Голевич, О. С. Пивовар, І. В. Троцишин // Цифрові технології : зб. наук. пр. / Одес. нац. акад. зв'язку ім. О. С. Попова. – Одеса, 2015. – Вип. 17.– С. 181-191.

29.Nunez R. An optimal chaotic bidirectional communicator for hidden information, based on synchronized Lorenz circuits / R. Nunez // Journal of Applied Research and Technology. – Vol. 2, № 1. – P. 5 – 20.

30.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 // Радиоелектроника и информатика. – 2011. – №2 (53). – С. 12 –16.

31.Прикладне застосування теорії хаотичних систем у телекомунікаціях: монографія / Ю. Я. Бобало, С. Д. Галюк, М.М. Климаш, Р. Л. Політанський; Нац. ун-т «Львів. політехніка».– Львів: Коло, 2015. – 178 с.

32.Li, S., Shang, Q., Yin, C., Qi, Y., Practical methods to identifying chaotic characters // IEEE International Conference Neural Networks & Signal Processing. Nanjing, China, December 14-17, 2003. pp. 764 – 767.

33.Li, Y., Yang, B., Deng, X-Y., Jin, L., Du, L-Z., Physical mechanism of the detection of the unknown frequency of weak harmonic signal and effects of damping ratio on the detection results // Chinese Physics, Vol. 13, No. 9, September, 2004. pp. 1386 – 1390.

34.Zheng, S., Guo, H., Li, Y., Wang, B., Zhang, P., A new method for detecting line spectrum of ship-radiated noise using Duffing oscillator // Chinese Science Bulletin, Vol. 52, No. 14, July, 2007. pp. 1906 – 1912.

35.Xie, T., Wei, X., Yu, R., Noise immunity analysis in external excitation chaotic oscillator detecting system // International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application, ISDEA 2010. pp.

36.Chapeau-Blondeau, F., Rousseau, D., Constructive action of additive noise in optimal detection // International Journal of Bifurcation and Chaos, Vol. 15, No. 9, 2005. pp. 2985 – 2994.

37.Voss H.U. Real–time anticipation of chaotic states of an electronic circuit/H. U Voss // Int. J. Bifurcation and Chaos–2002. – Vol. 12. – No 7.–P. 1619–1625

38.Рябенський В.М. Основи моделювання систем і процесів в електротехніці (Використання пакету прикладних програм MATLAB/Simulink). Навчальний посібник / Під редакцією проф. В.М. Рябенського. – Львів: новий Світ – 2000, 2008. – 385 с.

39.1Golevych.O, Puvovar. O. Dumenko.P "Synchronization of non-linear dynamic systems under the conditions of noise action in the channel", Latvian Journal of Physics and Technical Sciences Открытый доступ Volume 55, Issue 3, 1 June 2018, Pages 70-76 DOI: <https://doi.org/10.2478/lpts-2018-0023>.

40.Пивовар О.С. Моделювання методу нелінійної реакції у сегментованих кабельних лініях/О.С. Пивовар, В.Д. Бидюк, Я.В.Вержбицький// Вісник ХНУ. - 2019. - №5 – С.147-152.

41.Пивовар О.С. Застосування сигналів детермінованого хаосу для систем ближньої навігації мобільних роботів/О.С. Пивовар, О.О. Михальчук, І.О. Веремійчук// Вісник ХНУ. - 2019. - №6 – С.149-154.

42.Пивовар О.С.Варіант структурної будови широкосмугової аналогової системи прихованого зв'язку на основі застосування сигналів детермінованого хаосу/ - Вісник ХНУ, №6, 2017 – С.110-116.

43.Пивовар, О. С. Моделювання генераторів хаосу для використання в UWB системах обробки [Текст] / О. С. Пивовар, С. Р. Павлінський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2012. – № 6. – С. 207-211.

44.Остапчук Р.О., Пивовар О.С. Вплив нелінійностей каналу на хаотичну систему прихованого зв'язку // Військова освіта і наука:сьогодення та майбутнє : матеріали ХІХ Міжнар. наук.- практ. конф., (Київ 10 листоп. 2023 р.) / МОН України, Військ. ін-т Київ. нац. ун-ту ім. Т. Шевченка. – Київ, 2023. – С. 54

45.Зернюк І. В. Апертура атрактора під час виявлення логічних рівнів в хаотичній системі зв'язку / І. В.Зернюк, С. К. Підченко, О. С. Пивовар // Актуальні проблеми комп'ютерних наук : зб. наук. пр. за матеріалами ХІІІ Всеукр. наук.-практ. конф. «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2021». – Хмельницький : ХНУ, 2021. – С. 101-103.(<http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/11057>)

ДОДАТОК А
ІДЕНТИФІКАЦІЯ ХАОТИЧНОЇ ПОВЕДІНКИ В НЕЛІНІЙНИХ
ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМАХ



Рисунок А.1 – Класифікація способів ідентифікації режиму динамічного хаосу в поодиноких та зв'язаних нелінійних динамічних системах

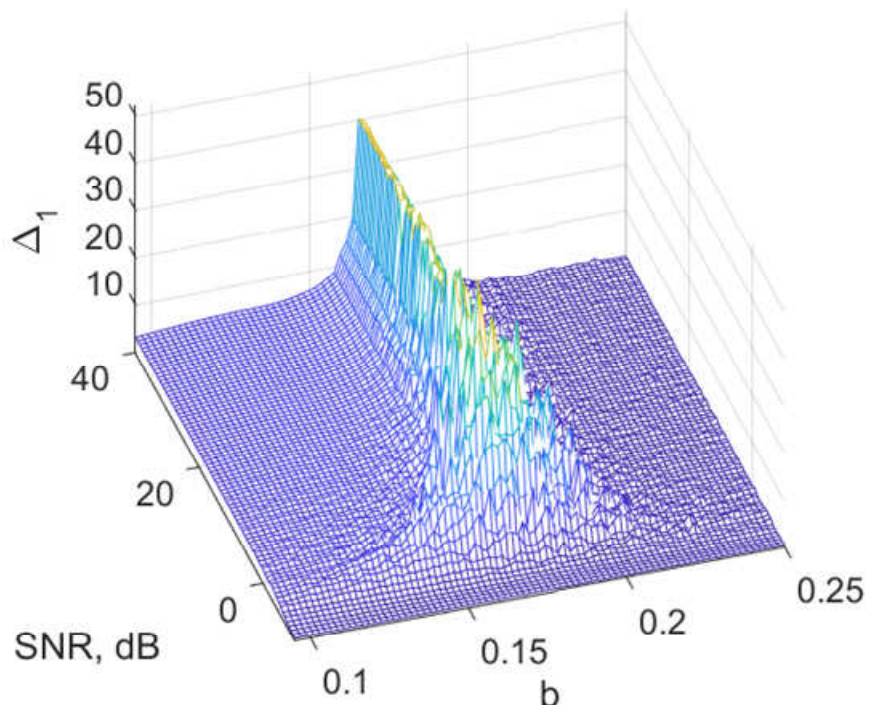


Рисунок А.2 – Характерна залежність критеріального параметру ідентифікації синхронізації за методом допоміжного генератора від зміни біфуркаційного параметра та відношення сигнал-завада

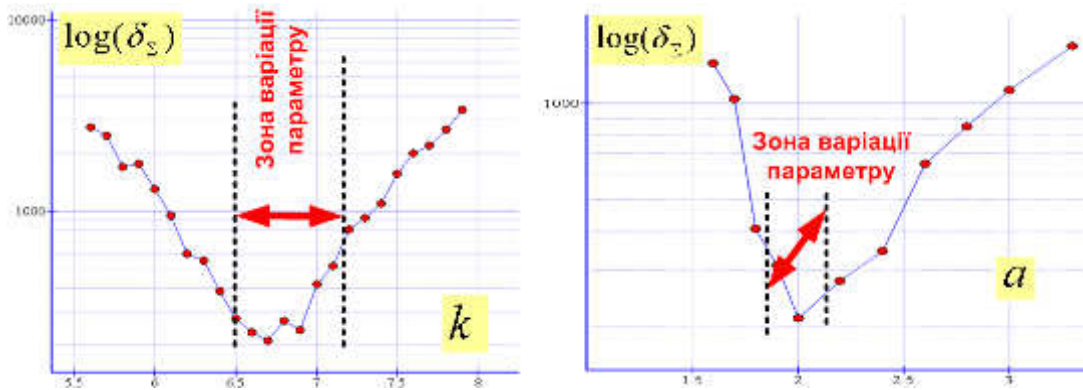


Рисунок А.3 – Діапазон значень біфуркаційних параметрів для встановлення хаотичного режиму генератора Rucklidge та похибки синхронізації системи на базі використання допоміжного генератора ідентифікації наявності-відсутності хаотичної синхронізації

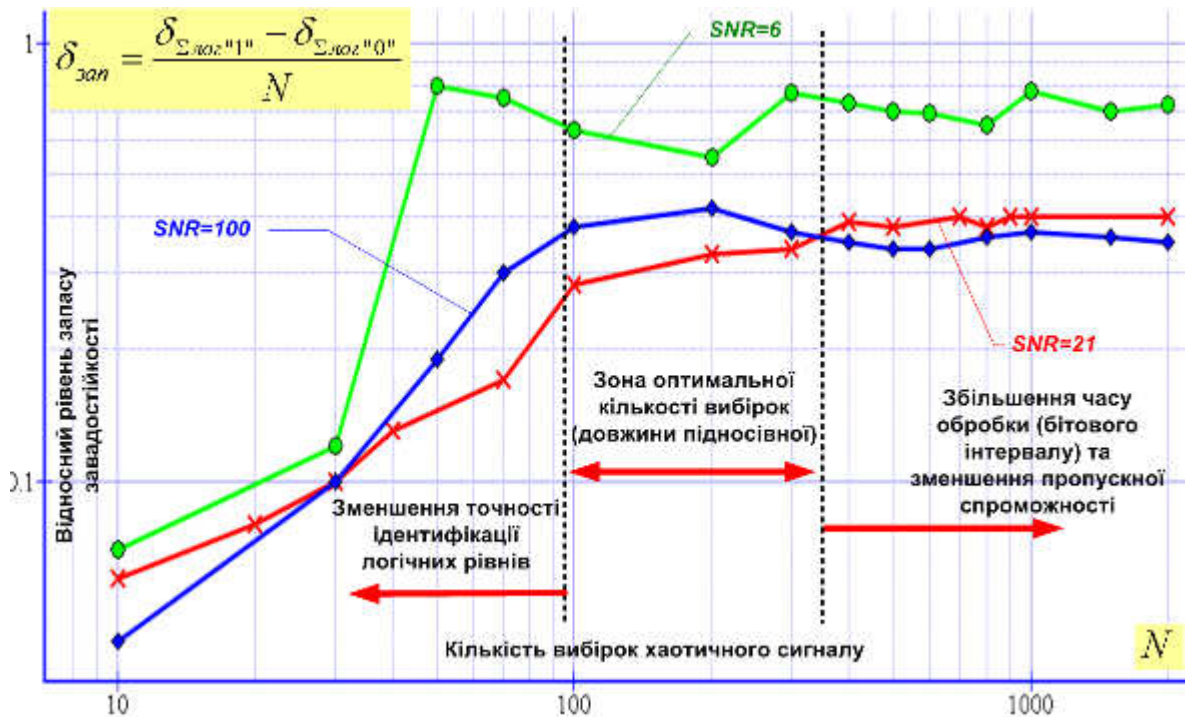


Рисунок А.4 – Залежність відносного запасу запас завадостійкості або цифрової хаотичної системи прихованого зв'язку під час ідентифікації логічних рівнів від тривалості обробки імітаційної моделі

ДОДАТОК Б
СУБМОДЕЛІ MATLAB\ SIMULINK

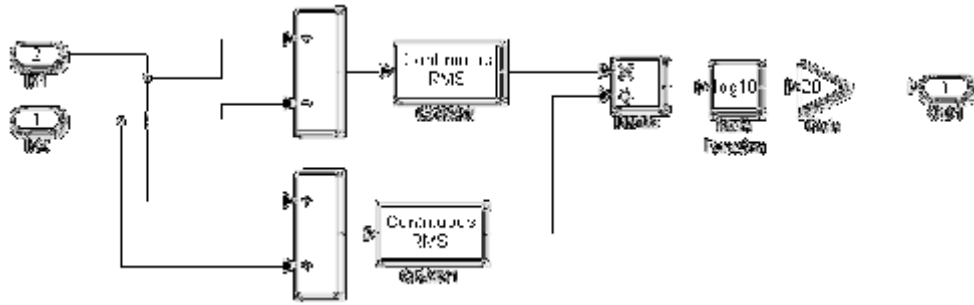


Рисунок Б.1 – Імітаційна субмодель визначення логарифмічного рівня нелінійних спотворень (TDH)

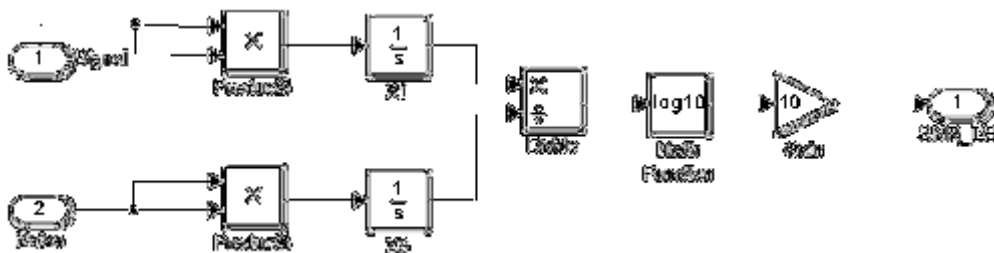


Рисунок Б.2 – Імітаційна субмодель визначення логарифмічного рівня відношення сигнал-завада (SNR)

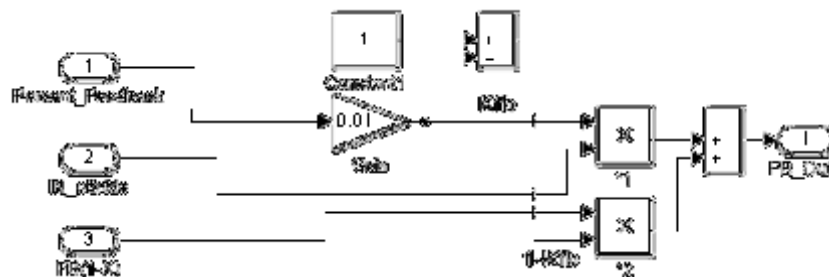


Рисунок Б.3 – Імітаційна субмодель блоку розподілу сигналів синхронізації ведених генераторів

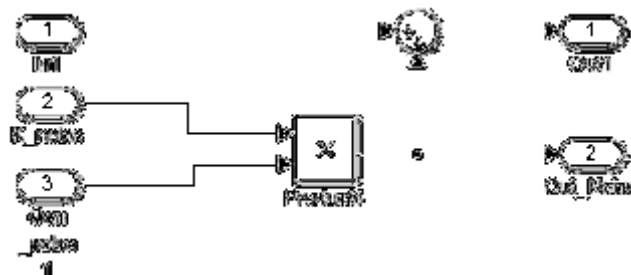


Рисунок Б.4 – Імітаційна субмодель реалізації нормованої адитивної взаємодії сигналу та завади

ДОДАТОК В

ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє : зб. тез доповідей XIX Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 10 листопада 2023 р. Київ : Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2023. 406 с.

ВІЙСЬКОВИЙ ІНСТИТУТ
КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Рекомендовано до друку Вченою радою Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка
(*протокол від 16.11.2023 № 3*).

Редакційна колегія:

Шевченко А.М., бригадний генерал, **Попков Б.О.**, п-к, к.військ.н., с.н.с., **Лойшин А.А.**, п-к, д-р філософії, **Пампуха І.В.**, п-к, к.т.н., доц., **Гончарук Л.М.**, п-к, к.філол.н., **Сафін О.Д.**, д.психол.н., проф., **Жарков Я.М.**, к.і.н., доц., **Позняков О.П.**, п-к, к.філол.н., доц., **Мась Н.М.**, п-к, к.психол.н., **Коронатнік І.М.**, п-к, д.ю.н., проф., **Рижиков В.С.**, прац. ЗСУ, д.пед.н., проф.

У збірнику тез доповідей друкуються матеріали виступів наукових і науково-педагогічних працівників, курсантів (студентів) Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка та інших вищих військових та закладів вищої освіти України.

У публікаціях розглядаються: технічні проблеми озброєння і військової техніки та технології подвійного призначення; актуальні проблеми лінгвістичного забезпечення Збройних Сил України; актуальні питання військової психології та соціальної роботи; інформаційно-психологічна боротьба у воєнній сфері; інформаційно-медіане забезпечення МОУ та ЗСУ в умовах правового режиму воєнного стану; фінанси; актуальні проблеми військового права в умовах воєнного стану; актуальні проблеми геополітичної підтримки військ в умовах ведення російсько-української війни; наукові проблеми військової політології та морально-психологічного впливу

XIX Міжнародної науково-практичної конференції

**«Військова освіта і наука:
сьогодення та майбутнє»**

10 листопада 2023 року

© Військовий інститут Київського
національного університету
імені Тараса Шевченка

Київ – 2023

ЗМІСТ

Секція 1. Технічні проблеми озброєння і військової техніки та технології подвійного призначення.....	19
Бахаалов В.Б. Радіолокаційна фазово-доплерівська система. Супровід повітряної цілі.....	19
Бельська О.А., Черних Ю.О. Обслуговування силових газотурбінних установок за станом 20	
Бондар В.Ю. Створення боеприпасів для безпілотних літальних апаратів.....	22
Боровик Л.В., Боровик Д.О. Підвищення інформаційної ефективності виявлення	
недостовірної інформації в інтернеті.....	23
Шваб В.К., Браун В.О. Основні правила та рекомендації з кібернетичної безпеки під час	
ведення бойових дій.....	24
Гапоненко Г.М., Гапоненко Н.П. Безпілотні літальні апарати подвійного призначення.....	26
Гахович С.В., Жиров Г.Б. Керований комутатор цифрових і аналогових сигналів.....	26
Гахович С.В., Кеньо Г.В., Савченко Т.В. Архітектура технології захисту пристроїв ІІОТ у	
контексті industry 4.0.....	28
Глухов С.І., Семеха С.М. Обрунтування розрахунку коефіцієнтів готовності об'єктів	
радіоелектронної техніки.....	30
Грох А.О., Чешун В.М. Оцінка ризиків кібербезпеки автоматизованих систем об'єктів	
критичної інфраструктури.....	31
Гунченко Ю.О., Пасенченко Т.О., Стукалов С.А., Зуй О.М. Візуальна одночасна локалізації	
та картографування для мобільних пристроїв.....	32
Гунявий Д.А., Чешун В.М. Аналіз протоколів консенсусу у блокчейн-технологіях: вплив	
доказу роботи (PoW) та доказу частоти (PoS) на ефективність, безпеку та стійкість.....	33
Джуклій В.М., Димбовський М.В. Дослідження актуальних загроз безпеки конфіденційної	
інформації.....	33
Джуклій В.М., Кучерявий Є.І. Методи класифікації зашифрованих даних засобами	
запобігання та виявлення витоку інформації.....	34
Джуклій В.М., Майор Є.В. Методи виявлення DDoS-атак на основі глибоких згорткових	
нейронних мереж.....	35
Жидков Д.В. Актуальні проблеми автоматизації БПЛА з використанням штучного інтелекту	
.....	36
Жирний В.А., Нікіфоров Г.С., Чередніков О.М. Технічні проблеми використання трофейної	
броне техніки.....	37
Жиров Г.Б., Ольховиков Д.С. Комплекс заходів безпеки для мережевої системи	
віддаленого управління пристроями.....	38
Зайцев І.П. Сучасні реалії озброєння і військової техніки для підрозділів морської піхоти 39	
Клепа В.В. Актуальні питання навантажувально-розвантажувальних робіт в системі логістики	
Збройних Сил України.....	40
Коваль М.О., Шамрай Н.М. Основні види та застосування сенсорних мереж в умовах	
ведення бойових дій.....	41
Кононенко А.А., Жиров Г.Б., Фелінський Г.С. Розподілений підсилювач оптичних сигналів	
в активних волокнах для телекомунікацій.....	42
Красильников С.Р., Овдо О.А. Інструменти для видалення фону із зображень.....	43
Ленков С.В., Джуклій В.М., Брітов О.В. Засоби захисту операційної системи Android.....	44
Ленков С.В., Муляр І.В., Чемерис О.Ю. Аналіз захищеності вузлів мережі в умовах впливу	
атак.....	45
Лось А.М., Роженок А.М. Випробування навігаційних антен з контрольованою діаграмою	
направленості для БПЛА.....	46
Маліцький Т.Б., Чешун О.В., Чешун В.М. Критерії довіри безпеки корпоративних мереж 47	
Михайленко В.С., Гунченко Ю.О., Мартинович Л.Я. Інтелектуальний аналіз даних з	
допомогою спеціалізованої програми Orange.....	47
Михайленко В.С., Чепок А.О., Стукалов С.А. Аналіз роботи програми Orange на прикладі	
класифікації даних методом k-середніх.....	50
Мірошніченко О.В., Проценко Я.М., Савчинська Н.Ю. Аналіз системи адаптивної	
компенсації помилок пеленгів в пасивних каналах пеленгації джерел активних шумових	
завад.....	50
Муляр І.В., Матвійчук А.В. Оцінка інформаційної загрози та управління простором	
віртуальних груп.....	51
Гайдак І.Г., Нікітченко А.О. Сучасні технології діджиталізації у військовій сфері.....	52
Остапчук Р.О., Пивовар О.С. Вплив нелінійностей каналу на хаотичну систему прихованого	
зв'язку.....	54
Пантохін С.В., Германенко Л.М. Проблемні питання ремонту військової техніки.....	55
Савченко Т.В., Власенко Л.О., Луцька Н.М. Використання цифрових двійників у технології	
захисту пристроїв промислового ІІОТ.....	56
Слюсарчук В.П., Францішко В.В. Напрямки вирішення окремих технічних проблем при	
застосуванні роботизованих комплексів.....	59
Стцюк О.О. Забезпечення технічного обслуговування нових зразків озброєння.....	59
Толопа С.В., Шевченко А.М. Принципи забезпечення стійкості критичної інфраструктури	
.....	61
Толопа С.В., Штаненко С.С., Кулько А.А. Комплексна інтелектуальна система підтримки	
прийняття рішень для виявлення вторгнень в інформаційну систему.....	62
Шамрай Н.М., Охрамович М.М., Коваль М.О. Особливості збору, обробки та видачі	
інформації про радіаційну хімічну обстановку.....	65
Шамрай Н.М. Метод сегментування оптико-електронних зображень на основі мурашиного	
алгоритму для відпрацювання завдань екологічного моніторингу тимчасово окупованих	
територій.....	66
Охрамович М.М., Шваб В.К., Шевченко В.В. Основні правила кібернетичної безпеки	
в соціальних мережах.....	68
Секція 2. Актуальні проблеми лінгвістичного забезпечення Збройних Сил України.....	70
Балабін В.В., Лук'яничук М.М. Теоретична складова усного послідовного перекладу	
англомовних воєнно-політичних текстів.....	70
Глуценко О.Ю. Importance of preparing for actual act of interpreting.....	71
Гребенюк Л.В. The sound symbolism hypothesis and typology for language evolution.....	72
Зарицька А.І. Місце термінів у військовій сфері.....	72



ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

XIX Міжнародної науково-практичної конференції

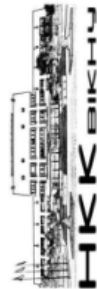
«Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє»

Тексти тез представлено у авторській редакції. Автори несуть повну відповідальність за зміст, добір, точність наведених фактів, цитат, власних імен, дат та інших відомостей.

Збір, технічне редагування та комп'ютерна верстка – Бадрук О.О.
Оригінал-макет та обкладинка – Халіманенко С.М.

Підписано до друку 16.11.2023. Формат 60x84^{1/6}.
Гарнітура Times. Папір офсетний. Друк ризограф. Тираж 10.
Умов. друк. аркушів 18. Заказ № 41-16.

Надруковано в навчальному картографічному комплексі ВІКНУ
03189, Київ, вул. Юлії Здановської, 81
521-32-89



ВПЛИВ НЕЛІНІЙНОСТЕЙ КАНАЛУ НА ХАОТИЧНУ СИСТЕМУ ПРИХОВАНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Відкриття явища детермінованого хаосу (ДХ) та способів обробки хаотичних сигналів (ХС) в телекомунікаційних системах на основі хаотичної синхронізації та хаотичного синхронного відкату дозволило спрямувати практичні зусилля фахівців на побудову систем прихованого зв'язку (ПЗ), де в якості несвівних сигналів виступають саме сигнали ДХ. Шумоподібність ХС дозволяє в каналах ПЗ імітувати властивості супутніх природних завад і тим самим утруднює сам факт передачі інформації в каналі ПЗ.

Найбільші можливості щодо практичної реалізації мають системи електронних комунікацій на основі нелінійних консервативних параметричних взаємодіючих ХС із можливістю деконструкції структури хаотичної системи із явним виділенням приймальної та передавальної частини та мінімум трьох зв'язаних генераторів ХС. Прихований інформаційний потік виділяється на приймальному боці через встановлення ступеня ідентичності основного та допоміжного хаотичних генераторів із сигналом інформаційного каналу.

Зважаючи на основну особливість ДХ – суттєву нелінійність обробки, має сенс проаналізувати роботу подібних систем за умов дії суттєвої нелінійності в каналі передачі. Важливість розв'язання цих питань виникає через ряд вагомих факторів, такі як використання ліній передачі із активним нелінійним підсиленням сигналу, наявність нелінійних ефектів під час поширення радіосигналу в середовищі, наявність нелінійностей вихідних кіл передавача та вхідних кіл приймача каналу ПЗ, а особливо через появу властивого лише ХС ефекту збільшення апертури дивного атрактора (АДА) в зв'язаній динамічній системі на приймальному боці. Останній ефект призводить до необхідності застосування набагато більш широкого динамічного діапазону у випадку «занурення» інформаційного хаотичного сигналу під рівень навколишніх шумів, що для реальних пристроїв різко збільшує і рівень нелінійності.

Поняття АДА та вперше введена його числова характеристика для моделювання багатомірного фазового простору адекватно реалізує порівняння можливостей використання різних режимів та структур хаотичних генераторів через приведення об'єму атрактора до одного габаритного багатомірного боксу, де контроль збігу ХС на приймальному боці проводиться співставно, особливо в умовах швидкісних цифрових потоків передачі, де процесура виявлення логічних рівнів спрощується та пришвидшується. Моделювання та дослідження проводилось в середовищі Matlab для каналів зв'язку із ступеневною та кусково-ламанною нелінійністю.



**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
МАГІСТРА**
спеціальності "Телекомунікації та радіотехніка"
ОПП - "Телекомунікації та радіотехніка"

1

Тема: **СИНТЕЗ ХАОТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ ІЗ
НЕЛІНІЙНИМ КАНАЛОМ ПЕРЕДАЧІ**

Студент: Остапчук Роман Олександрович, гр. ТРМ-22
Керівник: Пивовар Олег, к.т.н., доц. каф. ТМІТ, ФІТ, ХНУ

Мета роботи: покращення рівня прихованості дії під час передачі інформації із використанням хаотичних принципів обробки сигналів.

Об'єкт дослідження: процес передачі інформації із забезпеченням підвищеного рівня прихованості дії

Предмет дослідження: методики синтезу хаотичної системи прихованого зв'язку із урахуванням нелінійних властивостей ліній передачі

Апробація (тези):

Остапчук Р.О., Пивовар О.С. Вплив нелінійностей каналу на хаотичну систему прихованого зв'язку // Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє : матеріали ХІХ Міжнар. наук.- практ. конф., (Київ 10 листоп. 2023 р.) / МОН України, Військ. Ін-т Київ. нац. ун-ту ім. Т. Шевченка. – Київ, 2023. – С. 54

Хмельницький, 2023 р



**ЗАВАДИ ТА ТЕХНІЧНІ МЕТОДИ
ЗМЕНШЕННЯ ЇХ ВПЛИВУ**

2





НЕЛІНІЙНІ СПОТВОРЕННЯ ТА АПРОКСИМАЦІЯ ПЕРЕДАВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

3

Нелінійність активних елементів

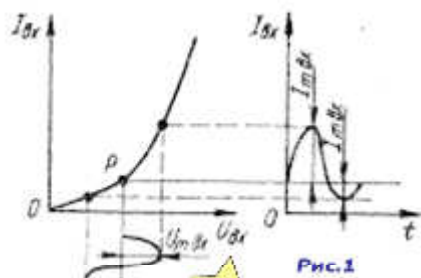


Рис.1

Ступенева апроксимація

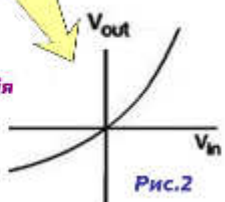


Рис.2

Апроксимація ВАХ в околиці V_0

$$i(v) = a_0 + a_1[v - V_0] + a_2[v - V_0]^2 + \dots + a_n[v - V_0]^n$$

Двобічне обмеження

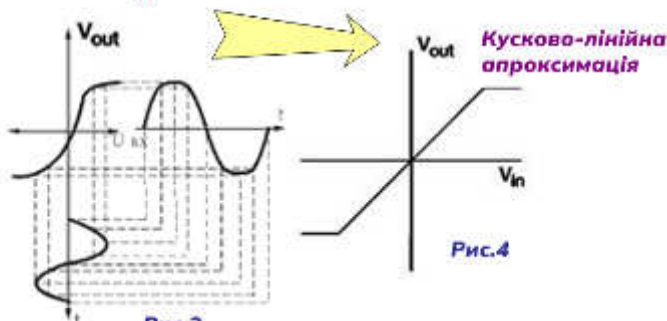


Рис.3

Рис.4

Спотворення типу „сходінка“

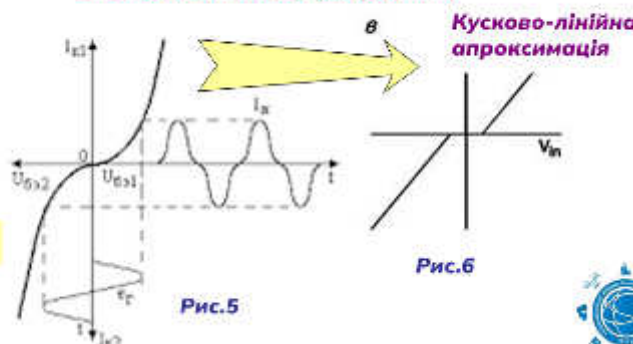


Рис.5

Рис.6



НЕЛІНІЙНІ ДИНАМІЧНІ СИСТЕМИ

4

Схема - проста

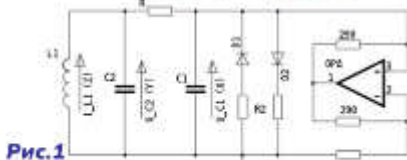


Рис.1

Мат. модель - система диф. рівн.

$$\begin{cases} L \frac{di}{dt} = -i - u \\ C_1 \frac{du}{dt} = 1 + \frac{v - u}{R} \\ C_2 \frac{dv}{dt} = \frac{u - v}{R} - f(v) \end{cases}$$

Атрактор - дивний

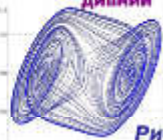


Рис.2

Сигнал - шумоподібний хаотичний

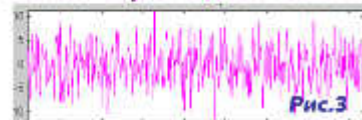


Рис.3

Спектр - суцільний, широкопasmовий

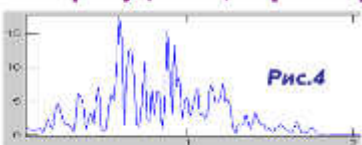


Рис.4

Варіація номіналів (біфуркаційних параметрів) - різні спектри

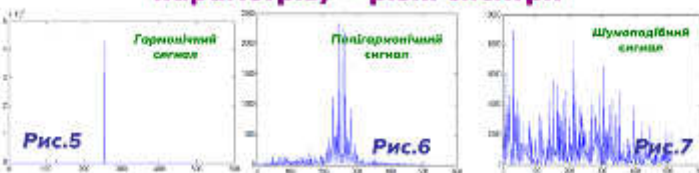


Рис.5

Рис.6

Рис.7

Особливості опису хаотичного режиму

Атрактори як зони притягання динамічних процесів

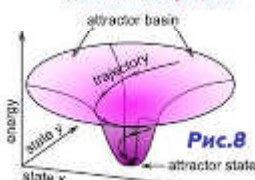


Рис.8



Рис.9

Фазовий простір та фазові траєкторії - опис динаміки хаотичної поведінки

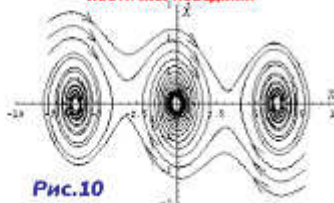


Рис.10

Фрактальність - рух в зоні атрактора



Рис.11



ХАОТИЧНА СИНХРОНІЗАЦІЯ

5



Рис.1 Тип хаотичної синхронізації для побудови хаотичної системи прихованого зв'язку

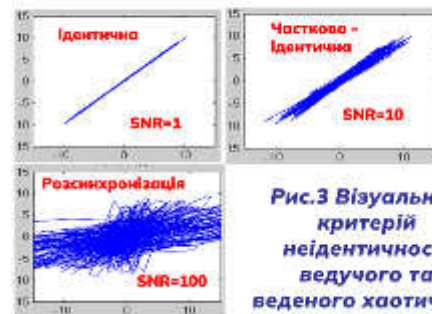


Рис.3 Візуальний критерій неідентичності ведучого та веденого хаотичних генераторів

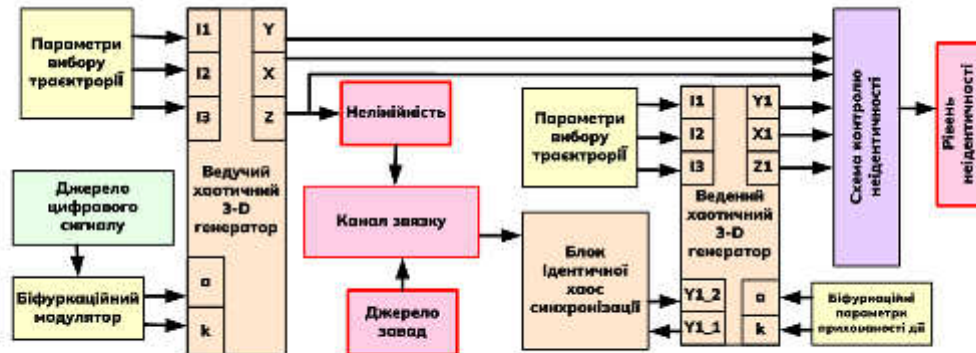


Рис.2 Взаємодія ведучого та веденого генераторів із забезпеченням прихованості дії

КРИТЕРІЇ НЕІДЕНТИЧНОСТІ ЕВОЛЮЦІЇ ГЕНЕРАТОРІВ ПІД ЧАС ХАОТИЧНОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ

6

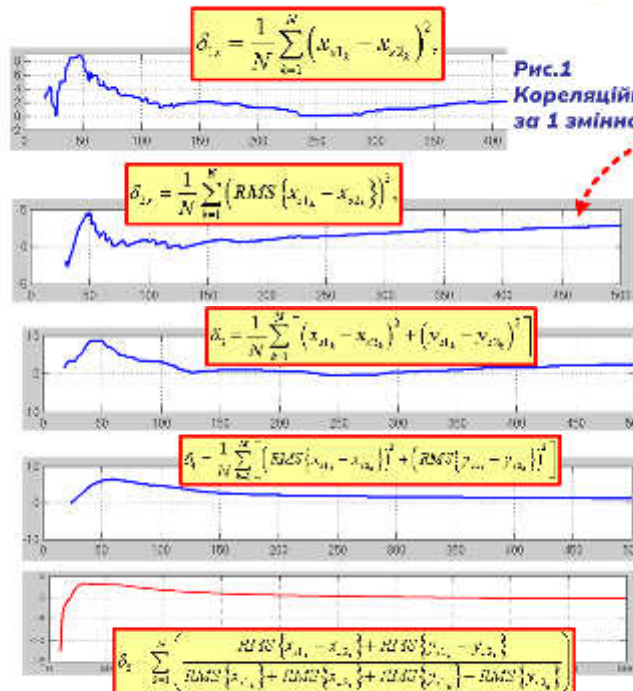


Рис.1 Кореляційний за 1 змінною

Критерій ідентифікації логічних рівнів

$$10 \lg \left(\frac{\delta(1)}{\delta(0)} \right) > \alpha(\delta\delta)$$

$$10 \lg \left(\frac{\delta(1)}{\delta(0)} \right) < \alpha(\delta\delta)$$

Рис.2 Кореляційний за 1 змінною подвійного інтегрування

Рис.3 Кореляційний за 2 (N) змінними

Рис.4 Кореляційний за 2 (N) змінними подвійного інтегрування

Рис.5 Кореляційний за 2 (N) змінними поточним нормуванням



ВИБІР БІФУРКАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ



7

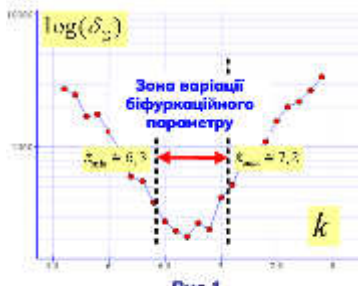


Рис.1

Зона хаотичної синхронізації по „k“



Рис.2 Діаграма вибору параметрів для забезпечення ідентифікації рівня синхронізації



Рис.3

Зона хаотичної синхронізації по „a“

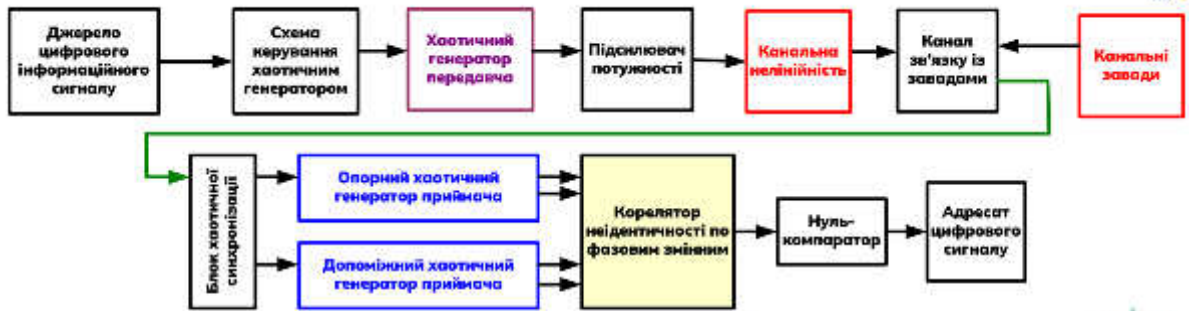


Рис.4

Структурна схема хаотичної системи цифрового прихованого зв'язку



МОДЕЛІ ХАОТИЧНОЇ ОБРОБКИ



8

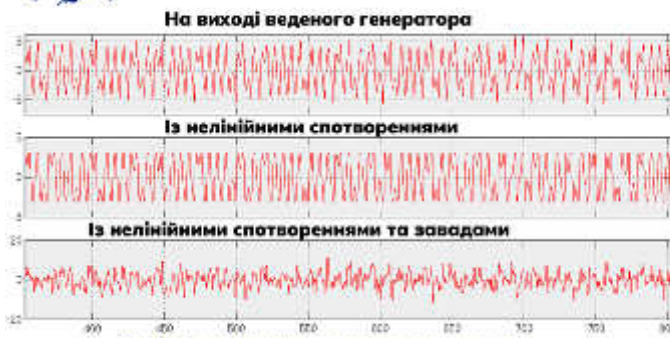


Рис.1 Часові діаграми каналних сигналів

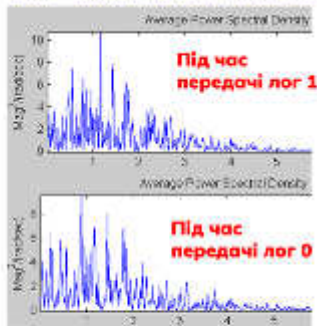


Рис.2 Спектри каналних сигналів

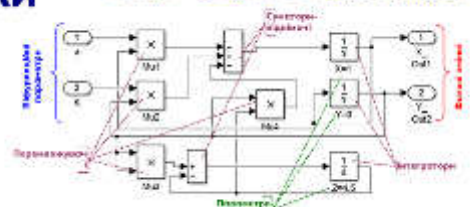


Рис.3 Імітаційна модель хаотичного генератора Ruckledge (Simulink)

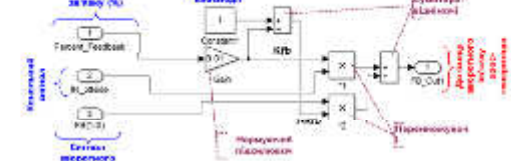


Рис.4 Імітаційна модель хаотичного синхронізатора (Simulink)

Математична модель хаотичної синхронізації веденого та ведучого хаотичних генераторів

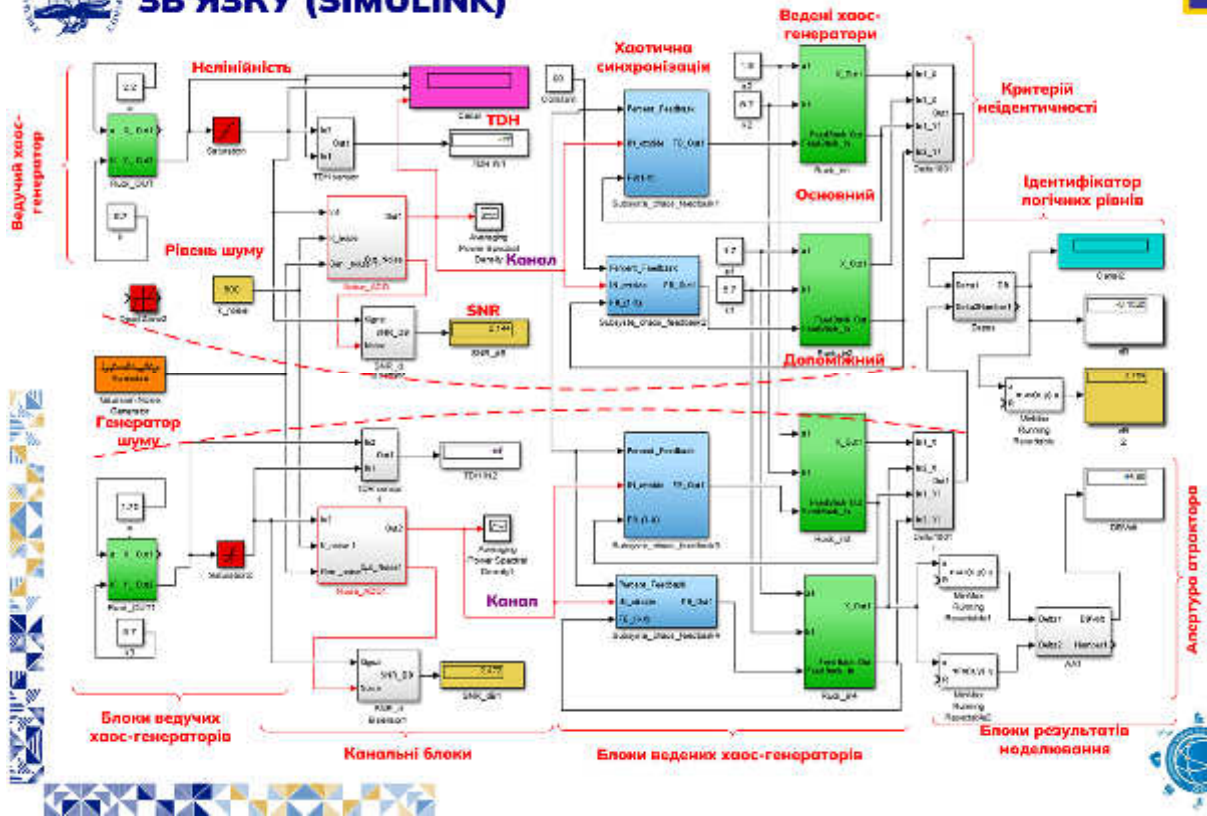
$$\begin{cases} \frac{dx_{m1}}{dt} = -k_{x1} \cdot x_{m1} - a_{x1} \cdot y_{m1} - y_{m1} \cdot z_1; & \frac{dy_{m1}}{dt} = x_{m1}; & \frac{dz_{m1}}{dt} = -z_1 + y_{m1}^2; \\ \frac{dx_{s1}}{dt} = -k_{x2} \cdot x_{s1} - a_{x2} \cdot (y_{m1} \cdot (1-b) + y_{s1} \cdot b) - (y_{m1} \cdot (1-b) + y_{s1} \cdot b) \cdot z_{s1}; \\ \frac{dy_{s1}}{dt} = x_{s1} + \frac{dz_{s1}}{dt} = z_{s1} \cdot (y_{m1} \cdot (1-b) + y_{s1} \cdot b)^2; \\ \frac{dx_{s2}}{dt} = -k_{x2} \cdot x_{s2} + a_{x2} \cdot (y_{m1} \cdot (1-b) + y_{s2} \cdot b) - (y_{m1} \cdot (1-b) + y_{s2} \cdot b) \cdot z_{s2}; \\ \frac{dy_{s2}}{dt} = x_{s2}; & \frac{dz_{s2}}{dt} = z_{s2} \cdot (y_{m1} \cdot (1-b) + y_{s2} \cdot b)^2; \end{cases}$$





ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ (SIMULINK)

9



РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ НЕЛІНІЙНОСТІ ТИПУ ОБМЕЖЕННЯ (SIMULINK)

10

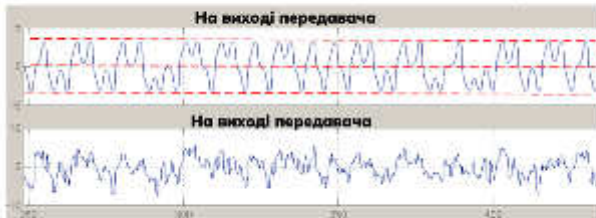


Рис.1 Часові діаграми каналних сигналів

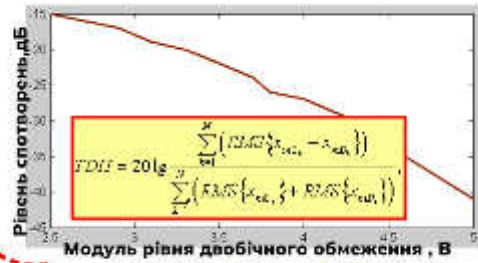


Рис.3 Залежність рівня нелінійних спотворень від рівня обмеження

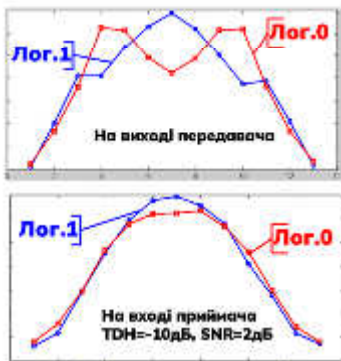


Рис.2 Гістограми розподілу миттєвих значень

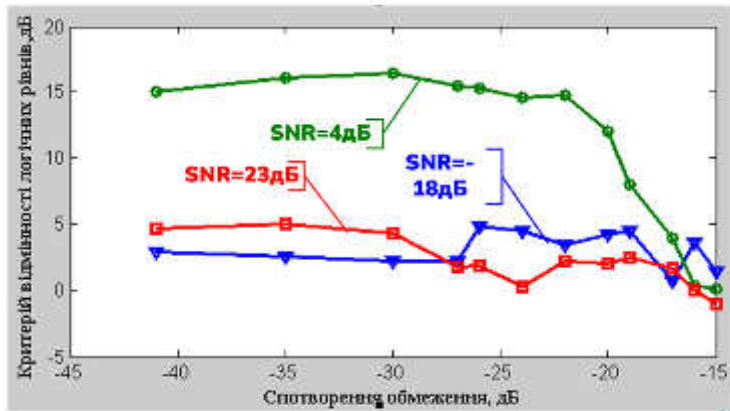


Рис.4 Залежність рівня ідентифікації правильного виявлення інформаційного сигналу від рівня нелінійних спотворень



РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ НЕЛІНІЙНОСТІ ТИПУ СХОДИНКА (SIMULINK)



11

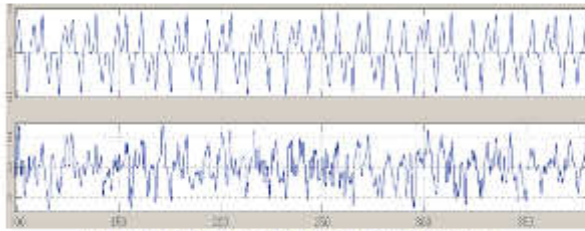


Рис.1 Часові діаграми каналних сигналів

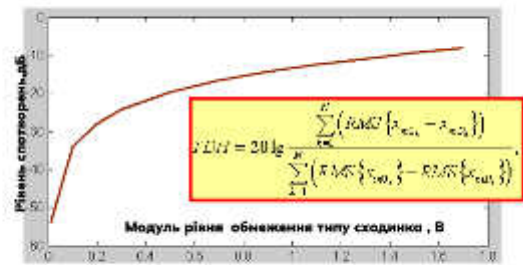


Рис.3 Залежність рівня нелінійних спотворень від рівня „сходінки“

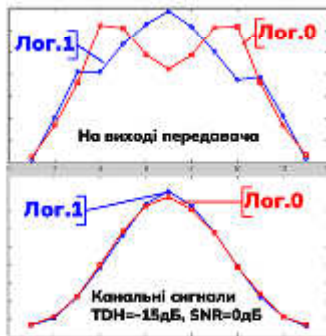


Рис.2 Гістограми розподілу миттєвих значень

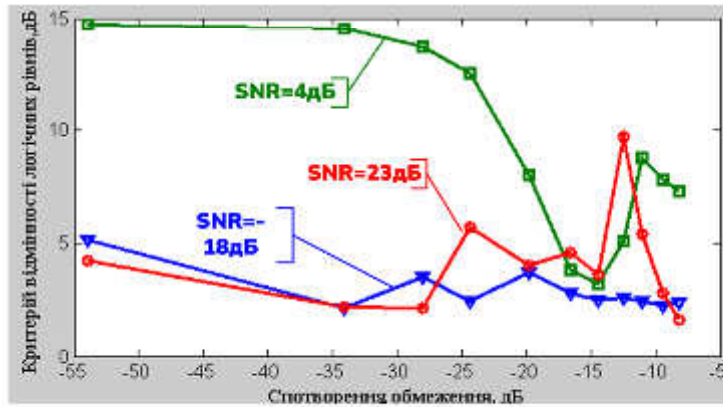


Рис.4 Залежність рівня ідентифікації правильного виявлення інформаційного сигналу від рівня нелінійних спотворень



РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ АПЕРТУРИ АТРАКТОРА (SIMULINK)



12

Рис.1 Атрактор НДС Ruckledge та його проєкції на ортогональні площини

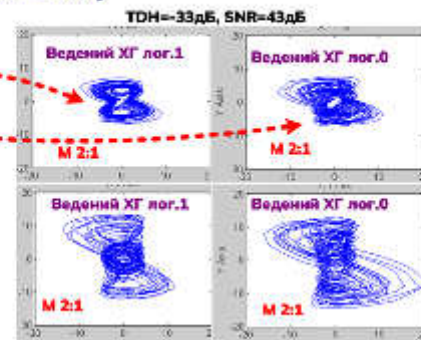
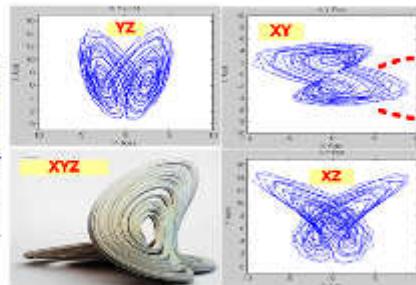


Рис.2 Форми атракторів ведених генераторів для слабких спотворень та завод

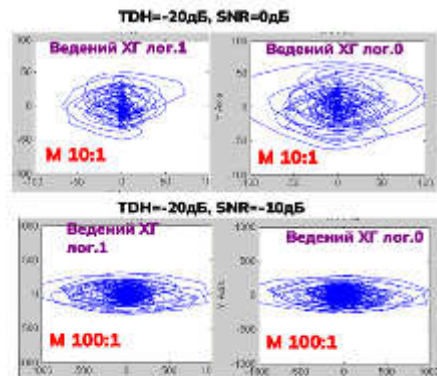


Рис.3 Форми атракторів ведених генераторів для потужних спотворень та завод

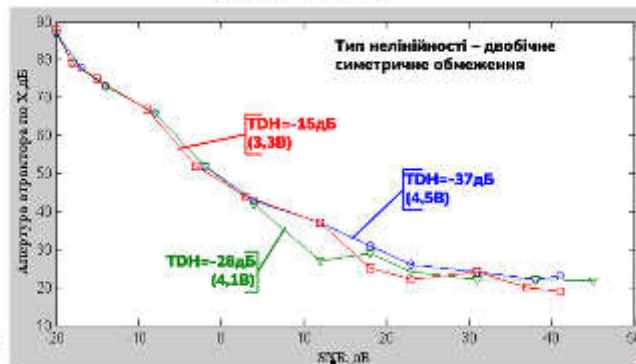


Рис.4 Залежність аперттури атрактора ведених генераторів від відношення сигнал-завада для різних рівнів нелінійних спотворень



ВИСНОВКИ



13

НАУКОВА НОВИЗНА

1. Запропоновано критерій ідентифікації наявності хаотичної синхронізації в однобічній системі хаотичного зв'язку, що полягає у визначенні максимуму відношень різницевої до сумарної енергії основного та допоміжних генераторів та дозволяє зменшити нерівномірність часової залежності результатів ідентифікації на 10..20дБ, забезпечити однозначність встановлення максимуму ідентифікації та збільшити інформаційну пропускну спроможність системи в 1,5..2рази.

2. На основі побудови та аналізу імітаційної моделі показано, що запропонована система прихованого зв'язку спроможна забезпечувати функції передачі інформації в умовах суттєвих нелінійностей каналу передачі та збереженням мінімального рівня ідентифікації цифрових логічних рівнів 2дБ за умови відношень сигнал-шум до -20дБ, рівня енергетичних спотворень до -10 дБ, що різко підвищує енергетичну прихованість дії.

ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

1. Запропонована методика вибору біфуркаційних параметрів хаотичних генераторів в системі цифрової передачі інформації прихованого зв'язку із врахуванням нелінійностей та значного рівня шумів, що дозволяє сформувати групи пар параметрів нелінійної динамічної системи Rucklidge для забезпечення передачі цифрової інформації шляхом модуляції біфуркаційних параметрів цифровим інформаційним повідомленням.

2. Проведено практичний аналіз із використанням імітаційного моделювання для визначення та вибору критерію ідентифікації логічних рівнів, що полягає у визначенні рівня відношення рівнів критерії десинхронізації ведених хаотичних генераторів під час передачі різних логічних рівнів, що дозволяє однозначно та швидко визначити факт передачі певного логічного рівня із запасом завадостійкості близько 5дБ.

3. Розроблена імітаційна модель системи хаотичного прихованого зв'язку в середовищі Matlab/Simulink, що складається із сукупності функціональних субблоків. Проведено синтез структури субблоків на основі раніш запропонованих та відомих принципів обробки хаотичних сигналів для визначення їх параметрів та характеристик та можливості організації прихованого зв'язку загалом.

4. Розроблена методика досліджень імітаційної моделі хаотичної схеми прихованого зв'язку, досліджено працездатність моделі за умови впливу потужних нелінійних спотворень та адитивних завад білого гаусівського шуму, визначено умови динамічного діапазону для прийнятної частини.



14

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!



Факультет інформаційних
технологій



Завідувачу кафедри
телекомунікацій, медійних та
інтелектуальних технологій (ТМІТ)
Підченко С.К.
здобувача вищої студента
2 курсу, гр. ТРМ-22-1
Остапчука Романа Олександровича

ЗАЯВА

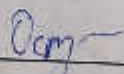
З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оновіщена та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

1.12.23

дата


підпис

Остапчук Р.О.

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломну роботу студента групи ТРМ-22-1

Остапчука Романа Олександровича

«Синтез хаотичної системи прихованого зв'язку із нелінійним каналом передачі»

Кваліфікаційна робота магістра присвячена питанням розробки системи прихованого зв'язку із застосуванням хаотичних принципів обробки сигналів та аналізу можливостей її використання за умови суттєвих нелінійностей в каналі передачі.

Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків по роботі, переліку із 45 джерел посилання та 4 додатків (14 сторінок). Загальний обсяг роботи в якому викладено основний зміст складає 88 сторінок і містить 52 рисунків на 46 сторінках по тексту та 37 аналітичних залежностей. Повний обсяг роботи - 118 сторінок.

У вступі підкреслюється актуальність тематики роботи особливо в умовах військового стапу під час боротьби українського народу із агресією з боку Росії. Визначено мету, завдання, наукову новизну та практичну цінність роботи.

Перший розділ роботи присвячено аналізу методів забезпечення прихованості дії та технічних рішень для її реалізації.

Другий розділ присвячено розгляду можливостей використання нелінійних динамічних систем та їх хаотичних режимів за умови суттєвих нелінійних спотворень в каналах.

В третьому розділі обрано спосіб реалізації технічного рішення на основі застосування хаотичної синхронізації для побудови каналу зв'язку стійкого до сукупної негативної дії нелінійних спотворень та шумових завад.

Четвертий розділ охоплює синтез імітаційної моделі та окремих її субмодулів в середовищі Matlab\Simulink. Розроблені критерії оцінювання якості передачі, методики вибору вхідних параметрів та методики

дослідження. Проведено імітаційне моделювання, отримані нові результати та рекомендації до використання в системах прихованого зв'язку.

Процес висвітлення головних позицій щодо завдань досліджень є логічно пов'язаним. Наведені у роботі припущення мають достатнє обґрунтування. Оформлення пояснювальної записки знаходиться на рівні, що відповідає стандарту університету.

Серед позитивних сторін магістерської роботи слід відмітити наступне:

- актуальність тематики в умовах військового стану;
- запропоновані критерії та методики хаотичної обробки є доцільними;
- отримані результати підтверджують загальні теоретичні припущення;
- розроблена імітаційна модель може використовуватись для подальших досліджень даної галузі.

Серед недоліків слід відмітити:

- деякі пункти тексту мають слабе відношення до тематики досліджень;
- частина нетрадиційних скорочень застосована для традиційних термінів;
- результати моделювання отримані лише для однієї групи вхідних параметрів ситеми, варто було провести ширше моделювання із представленням результатів.

Загалом дипломна робота магістра Остапчука Романа Олександровича є актуальною, під час роботи отримані вагомні результати, робота заслуговує на оцінку "відмінно".

Рецензент: Ксаоц Ю.П., К.Т.Н. факульт,

Зав. кафедрою кібербезпеки ХКес

12.12.2023

РІШЕННЯ КАФЕДРИ
**ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, МЕДІЙНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ**

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованою системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Синтез хаотичної системи зв'язку із нелінійним каналом передачі

Автор: **Остапчук Роман Олександрович**

Спеціальність: **172 Телекомунікації та радіотехніка**

Освітня програма: Телекомунікації та радіотехніка

Науковий керівник: **к.т.н., доц. Пивовар Олег Сергійович**

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту.	<u>Відповідає</u>
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються деталі та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження: Запозичення у розмірі 3,39% є випадковими збігами переважно із бібліографічним записом джерел посилань та типовими бланками, та не є плагіатом.

Відповідальний за контроль

плагіату за системою Unicheck та антиплагіатизм (ХНУ):

29.11.23р.



Олег ПИВОВАР

Зав. каф. ТМІТ



Сергій ПІДЧЕНКО

1.12.23р.

Имя пользователя:
Kafedra TMIT KhNU

Дата проверки:
29.11.2023 18:17:17 EET

Дата отчета:
29.11.2023 18:27:05 EET

ID проверки:
1015953180

Тип проверки:
Doc vs Internet + Library

ID пользователя:
100005557

Название файла: **Осташук ТРм_22**

Количество страниц: 140 Количество слов: 17265 Количество символов: 137345 Размер файла: 2.46 МВ ID файла: 1015629226

Обнаружены модификации текста (могут влиять на процент совпадений)

3.39%

Совпадения

Наибольшее совпадение: 1.02% с Интернет-источником (<http://elar.khmnu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/10679/1/>).

3.32% Источники из Интернета

368

Страница 112

1.85% Источники из Библиотеки

81

Страница 115

0% Цитат

Не найдено ни одной цитаты

Не найдено ни одной ссылки

0% Исключений

Нет исключенных источников

Модификации

Обнаружены модификации в тексте. Подробная информация доступна в онлайн-отчете.

Замененные символы 4

Подозрительное форматирование 16 страниц

Thu Nov 30 00:04:33 EET 2023, Стецюк Виктор Иванович, Хмельницький національний університет, ХНУ

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 0.0%

Словари проверки: en_US, ru_RU, ua_UA. Ошибок в документах: 9%

ID: 121441 Название: Синтез хаотичної системи прихованого зв'язку із нелінійним каналом передачі Добавлено в БД: 2023-11-30 Авторы: Осташук Роман Олександрович Руководители: Пивовар Олег Сергійович Консультанты: Опоненты:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	110665	1702	623 (1%)	15 (1%)

Источник плагиата

ID	Описание	Надпись плагиата в документе	
		Символы	Лексемы