

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра радіотехніки

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка
до магістерської кваліфікаційної роботи

«Магістр»

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **АВТОГЕНЕРАТОРНІ ХАОТИЧНІ ПРИСТРОЇ ВИЯВЛЕННЯ
СЛАБКИХ ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ ЗА УМОВИ ДІЇ НЕСТАЦІОНАРНИХ
ЗАВАД**

Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-18м
спеціальності 172 – Телекомунікації та радіоте-

хніка Освітня програма: Радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Сесь Р. О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор каф. РТ

Семенов А. О.

(прізвище та ініціали)

« » _____ 2019 р.

Рецензент: к.т.н., проф., зав. каф. ТКСТБ

Бортник Г. Г.

(прізвище та ініціали)

« » _____ 2019 р.

Вінниця ВНТУ - 2019 рік

Вінницький національний технічний університет

Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем

Кафедра Радіотехніки

Освітньо-кваліфікаційний рівень Магістр

Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри РТ

д.т.н., професор О.В. Осадчук

“ ___ ” _____ 201_ року

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА**

Сеся Ростислава Олексійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Автогенераторні хаотичні пристрої виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад»

керівник роботи Семенов Андрій Олександрович, д.т.н., професор кафедри РТ (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “02” 10 2019 року №254

2. Строк подання студентом роботи 17 грудня 2019 року.

3. Вихідні дані до роботи: частота генерації хаотичних коливань – 5..25 кГц; максимальна амплітуда – 200 мВ; вид сигналів – хаотичний; ширина спектру сигналів 100 кГц; напруга живлення – двополярна ± 15 В; вид нестационарних завад – білий гаусів шум, з рівномірним та бімодальним розподілом

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити: Вступ. Аналіз сучасного стану пристроїв виявлення слабких сигналів на основі хаотичних динамічних систем. Практична реалізація пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса. Моделювання роботи радіоелектронного пристрою виявлення слабких сигналів. Дослідження властивостей пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса. Економічна частина. Охорона праці. Висновки. Перелік посилань. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Математична модель автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких сигналів; Результати математичного моделювання; Структурна схема пристрою; Електрична схема пристрою; Результати комп'ютерного схемотехнічного моделювання; Результати дослідження завадостійкості.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	д.т.н., професор Семенов А.О.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	к.т.н., доцент Березюк О. В.		
Економічна частина	к.т.н., доцент Адлер О. О.		

7. Дата видачі завдання 04 жовтня 2019 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд літературних джерел. Вибір та узгодження теми МКР	02.09.2019-15.09.2019	
2.	Аналіз літературних джерел. Попередня розробка основних розділів	16.09.2019-22.09.2019	
3.	Затвердження теми. Розробка технічного завдання	23.09.2019-02.10.2019	
4.	Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми	03.10.2019-20.10.2019	
5.	Електричні розрахунки. Експериментальне дослідження	21.10.2019-29.10.2019	
6.	Розділ моделювання	30.10.2019-03.11.2019	
7.	Розробка графічної частини МКР	04.11.2019-10.11.2019	
8.	Аналіз економічної ефективності розробки	11.11.2019-15.11.2019	
9.	Охорона праці (ОП)	16.11.2019-22.11.2019	
10.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	23.11.2019-27.11.2019	
11.	Нормоконтроль	28.11.2019-29.11.2019	
12.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР	02.12.2019-06.12.2019	
13.	Захист МКР ЕК	18.12.2019-19.12.2019	

Студент

(підпис)

Сесь Р.О.

Керівник роботи

(підпис)

Семенов А.О.

РЕФЕРАТ

УДК 621.396

Сесь Р. О. Автогенераторні хаотичні пристрої виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад. Магістерська кваліфікаційна робота / Вінниця: ВНТУ, 2019. – 149 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 107 назв; рис.: 64, табл. 20.

Задачею магістерської кваліфікаційної роботи є розробка та дослідження автогенераторних хаотичних пристроїв виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад.

У роботі було проведено аналіз сучасного стану пристроїв виявлення слабких сигналів на основі хаотичних динамічних систем. Розроблено математичну модель радіоелектронного пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса. Отримано результати математичного моделювання. Виконано електричні розрахунки та здійснено практичну реалізацію пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса.

Проведено моделювання радіоелектронного пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса.

У роботі проведено розрахунки економічної частини, які показали, що його впровадження у виробництво є економічно ефективним. Оскільки термін окупності коштів, вкладених в наукову розробку автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад становить 2 роки.

В розділі охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях розглянуті такі питання, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення допустимої сили струму в провіднику (антені), при якій напруженості ЕМВ на робочому місці знаходяться в межах норми.

Зроблено відповідні висновки по роботі, виконана графічна частина, яка складається з 6 плакатів.

Ключові слова: осцилятор, рівняння Дуффінга-Холмса, випадковий сигнал, детермінований хаос, електричні коливання.

ABSTRACT

Ses R.O. Chaotic self-generating devices for detecting weak periodic signals under conditions of unsteady interference. Master's thesis / Vinnitsa: VNTU, 2018. – 149 p.

By Ukrainian language. Refers. 107 names; fig. 64; tab. 20.

The task of the master's qualification work is the development and study of random chaotic devices for detecting weak periodic signals under the influence of unsteady interference.

In the work, an analysis of the current state of devices for detecting weak signals on the basis of chaotic dynamic systems was carried out. A mathematical model of a radio-electronic device for detecting weak signals based on the chaotic Duffing-Holmes system was developed. The results of mathematical modeling are obtained. The electrical calculations are carried out and the practical realization of the case of detecting weak signals on the basis of the chaotic Duffing-Holmes system is carried out.

The simulation of a weak electronic signal detection device based on the chaotic Duffing-Holmes system is simulated.

The economic calculations have been made in the work, which showed that its introduction into production is cost effective. Because the payback period of the funds invested in the scientific development of the autogenerational chaotic device for detecting weak periodic signals under the condition of non-stationary interference is 2 years.

The section on occupational safety and health in emergencies addresses such issues as technical solutions for occupational hygiene and industrial sanitation, determining the allowable current in a conductor (antenna) at which EMF voltages in the workplace are within normal limits.

The relevant conclusions are drawn from the work and made a graphic part consisting of 6 posters.

Keywords: oscillator, Duffing-Holmes equation, random signal, deterministic chaos, electric oscillations.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	6
ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ АВТОГЕНЕРАТОРНИХ ХАОТИЧНИХ ПРИСТРОЇВ ВИЯВЛЕННЯ СЛАБКИХ ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ	10
1.1 Основи теорії хаотичних пристроїв виявлення слабких сигналів	10
1.2 Огляд робіт в області хаотичного виявлення сигналів	21
1.3 Висновки до розділу і постановка завдань дослідження	41
2 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ХАОТИЧНОГО ВИЯВЛЮВАЧА	43
2.1 Розробка моделі радіоелектронного пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса	43
2.2 Дослідження впливу зовнішнього шуму на динаміку генератора Дуффінга- Холмса	48
2.3 Вибір параметрів генератора Дуффінга-Холмса.....	54
3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИСТРОЮ ВИЯВЛЕННЯ СЛАБКИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ ХАОТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДУФФІНГА-ХОЛМСА.....	61
3.1 Розробка електричної схеми пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса	61
3.2 Електричні розрахунки пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса	64
3.3 Комп'ютерне схемотехнічне моделювання пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса.....	67
3.4 Висновки до розділу.....	71
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИСТРОЮ ВИЯВЛЕННЯ СЛАБКИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ ХАОТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДУФФІНГА-ХОЛМСА.....	72
4.1 Дослідження завадостійкості радіоелектронного пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса	72
4.2 Дослідження робастності радіоелектронного пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса.....	74
4.3 Висновки до розділу.....	80
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	82

5.1 Аналіз комерційного потенціалу розробки (технологічний аудит розробки) автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад	82
5.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної, дослідно-конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи	89
5.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації автогенераторно-го хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад	96
5.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності	99
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	102
6.1 Виробнича санітарія та гігієна праці	102
6.2 Технічні рішення щодо промислової та пожежної безпеки під час проведення дослідження	110
6.3 Дослідження безпеки роботи автогенераторного хаотичного пристрою в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій	112
6.4 Висновки до розділу	117
ВИСНОВКИ	118
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	120
Додаток А (обов'язковий). Технічне завдання	130
Додаток Б (обов'язковий). Математична модель хаотичного генератора Дуффінга-Холмса	138
Додаток В (обов'язковий). Структурна схема автогенераторного хаотичного виявника сигналів	140
Додаток Д (обов'язковий). Електрична схема автогенераторного пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса	142
Додаток Е (обов'язковий). Результати теоретичних досліджень автогенераторного пристрою на основі ОП для реалізації динамічної системи Дуффінга-Холмса	144
Додаток Ж (обов'язковий). Результати комп'ютерного схемотехнічного моделювання автогенераторного пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса	146
Додаток К (обов'язковий). Результати дослідження завадостійкості автогенераторного пристрою виявлення слабких сигналів	148

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АКФ	- автокореляційна функція
БГШ	- білий гаусівський шум
БД	- біфуркаційна діаграма
БПЛА	- беспілотний літальний апарат
ВП	- випадковий процес
ГШ	- гаусів шум
ДР	- диференціальне рівняння
ІС	- ідентифікатор стану
КАМ	- квадратурна амплітудна модуляція
КВ	- когерентний виявник
РП	- розв'язувальний пристрій
С/Ш	- відношення «сигнал/шум»
СКВ	- середньоквадратичне відхилення
СЩП	- спектральна щільність потужності
ФП	- фазовий портрет
ХГ	- хаотичний генератор
ХО	- хаотичний осцилятор
ШПФ	- швидке перетворення Фур'є
ШСЗ	- штучний супутник Землі
ЩРІ	- щільність розподілення імовірності
ASK	- (amplitude shift keying) амплітудна змінна маніпуляція
BER	- (bit error rate) бітова помилка
BPSK	- (binary phase shift keying) бінарна фазова зсувна маніпуляція
FSK	- (frequency shift keying) маніпуляція зміщення частоти
MEMS	- (micro electro-mechanical systems) мікроелектромеханічні системи
QPSK	- (quadrature phase shift keying) квадратурна фазова зсувна маніпуляція
ROC	- (receiver operating characteristic) приймальна робоча характеристика

ВСТУП

Актуальність теми.

Впродовж останнього десятиріччя характеризується зростаючим інтересом дослідників до пошуку нових методів прийому сигналів, заснованих на високій чутливості систем з хаотичною динамікою до зовнішніх впливів. Незважаючи на велику кількість публікацій в цій області однозначні висновки про перспективність напрямку зробити складно, оскільки відомі роботи часто суперечливі. Більш того, ряд результатів має явно спекулятивний характер, не відповідаючи положенням існуючої теорії потенційної завадостійкості.

Разом з тим, деякі заявляються результати не можуть бути просто проігноровані без відповідної перевірки - до таких, наприклад, відносяться твердження про слабкої чутливості ряду хаотичних систем до законів розподілу діючих на них шумів, що, в разі підтвердження, може бути використано для створення робастних пристроїв виявлення слабких сигналів.

Вітчизняні дослідження в області хаотичного виявлення практично не відомі, що робить актуальним дослідження властивостей хаотичних пристроїв виявлення слабких сигналів і визначення можливих областей їх практичного використання.

Аналіз останніх досліджень.

Виявлення періодичних сигналів в умовах відношення сигнал/шум менше одиниці є одним із важливих питань сучасної радіотехніки. На даному етапі розвитку радіотехніки розроблено значну кількість методів виявлення таких сигналів як у частотній, так і у часовій області [1].

У 1990-х роках були розроблені принципово нові методи виявлення слабких сигналів на основі застосування систем із хаотичною динамікою. Доведено, що слабкі сигнали певної форми можуть суттєво впливати на коливання хаотичних систем. Завдяки такій особливості хаотичні системи можуть використовуватися для побудови пристроїв виявлення слабких сигналів [2,3]. На даний час на основі вказаного підходу розроблені методи та системи, які дозволяють виявити періодичний сигнал в умовах співвідношення сигнал/шум значно меншого від одиниці. Так, наприклад,

модифікована система Дуффінга-Холмса дозволяє виявляти періодичний сигнал в умовах співвідношення сигнал/шум близько -91дБ [4].

В той же час, в останні роки ведуться розробки нової елементної бази радіоелектронних засобів на основі елементів та пристроїв, які реалізують операції інтегрування дробового порядку [5, 6]. Застосування таких елементів дозволяє значно розширити можливості обробки сигналів.

Сьогодні відомі аналогові пристрої дробового порядку у вигляді елементів із розподіленими параметрами (ЕРП) [6] та цифрові – у вигляді спеціальних алгоритмів, які можуть виконуватися цифровими сигнальними процесорами [7].

Останнім часом активно проводяться дослідження можливості підвищення ефективності пристроїв обробки слабких сигналів із застосуванням елементів дробового порядку. Проте, розглядаються лише можливості їх використання як малошумлячих елементів та елементів із постійним фазовим зсувом [6].

В радіотехнічній літературі останніх років описуються можливості застосування системи Дуффінга-Холмса дробового порядку для організації захищених каналів зв'язку із хаотичною несучою. У публікаціях [8-10] показано, що генератори хаотичних коливань дробового порядку можуть створювати сигнали із складнішою структурою та більшою кількістю інформативних параметрів, ніж генератори цілого порядку, що підвищує захищеність інформації, яка передається.

Проте у вказаних публікаціях в основному розглядаються питання синхронізації хаотичних систем з метою організації захищених каналів зв'язку, і не висвітлюються можливості застосування таких систем для виявлення слабких сигналів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота проводилася згідно з напрямками дослідження в рамках прикладних держбюджетних науково-дослідних робіт 32-Д-389 «Методи та пристрої формування, оброблення й вимірювання сигналів радіоінформаційних систем промислових і військових об'єктів» (номер державної реєстрації 0117U007139), а також у відповідності із планами наукових досліджень по кафедрі радіотехніки Вінницького національного технічного університету на 2017 і 2018 календарні роки.

Метою роботи є підвищення завадостійкості та чутливості прийому гармонійних сигналів на фоні адитивних шумів за допомогою автоколивних систем з хаотичною динамікою.

Об'єкт дослідження – процеси генерування та формування сигналів у автогенераторному пристрої виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса за умови дії нестационарних завад.

Предмет дослідження – часові та частотні параметри і характеристики сигналів автогенераторного пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса за умови дії нестационарних завад.

Основними завданнями роботи є:

- розробка комп'ютерної моделі хаотичного пристрою виявлення слабких сигналів за умови дії нестационарних завад;
- визначення параметрів детектора, що забезпечують його стійкість до шуму;
- дослідження завадостійкості хаотичного пристрою виявлення слабких сигналів за умови дії нестационарних завад;
- дослідження робастності хаотичного пристрою виявлення слабких сигналів;
- порівняльний аналіз характеристик хаотичного і рангового пристроїв виявлення слабких сигналів за умови дії нестационарних завад;
- визначення перспективних областей застосування хаотичних пристроїв виявлення слабких сигналів за умови дії нестационарних завад;
- проведення розрахунків економічної частини та розділу охорони праці.

Апробація результатів роботи. Основні ідеї роботи доповідалися та обговорювалися на XLVII регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області (м. Вінниця, 9-10 березня 2018).

Публікації результатів наукових досліджень. За темою досліджень автором опубліковано 3 статті в збірнику праць I Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (СПРН-2019)» (Вінниця, ВНТУ, 14-16 листопада 2019 р.) [11].

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ АВТОГЕНЕРАТОРНИХ ХАОТИЧНИХ ПРИСТРОЇВ ВИЯВЛЕННЯ СЛАБКИХ ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ

1.1. Основи теорії хаотичних пристроїв виявлення слабких сигналів

Протягом більш ніж півстоліття аксіомою для багатьох поколінь радіотехніків є положення про те, що потенційна завадостійкість прийому повністю відомих сигналів на тлі білого гауссівського шуму (БГШ) забезпечується когерентним лінійним детектором, реалізованим у вигляді узгодженого фільтра або корелятора з граничним пристроєм [12, 13]. Незважаючи на це, коло «винахідників вічного двигуна», які намагаються поліпшити потенційну стійкість перед перешкодами прийому, все більше шириться, включаючи в свої ряди вчених, яких важко звинуватити в незнанні основ теорії зв'язку - зокрема, професора університету Род-Айленд Стівена М. Кея, автора відомого підручника зі статистичної теорії виявлення [14].

Серед представляють практичний інтерес напрямків робіт в цій області можна виділити три - підвищення завадостійкості прийому на базі відомої теореми Д. Слєп'яна [15], імовірно доводить можливість виявлення сигналів як завгодно малої тривалості зі як завгодно великою ймовірністю правильного виявлення при як завгодно малу ймовірність помилкового прийому [16], підвищення завадостійкості на основі ефекту стохастичного резонансу [17-21] і підвищення завадостійкості за допомогою систем з хаотичною динамікою.

В рамках цієї роботи розглядаються пристроїв виявлення слабких сигналів на базі систем з хаотичною динамікою – хаотичні виявники (ХВ). В основі концепції хаотичного виявлення лежить висока чутливість ряду нелінійних систем з хаотичною динамікою, що знаходяться в критичному режимі, до впливу слабких гармонійних сигналів при практично повній індиферентності до впливу шуму [22-24]. Під критичним режимом тут розуміється нестійкий стан системи на границі нерівновісного фазового переходу «хаос-цикл» або «цикл-хаос». В якості системи з хаотичною динамікою можуть бути використані автономні хаотичні генератори (ХГ) Лоренца,

Ресслера і Чуа або неавтономні генератори Дуффінга-Холмса, Ван-дер-Поля та ін. [25]. Вихідні коливання цих ХГ в критичному режимі являють собою реалізації динамічного хаосу, що визначаються початковими умовами (ПУ). При впливі на них шуму хаотичний характер вихідних коливань зберігається. Подача гармонійного викликає фазовий перехід ХГ - біфуркацію - результатом якого є зміна характеру його вихідних коливань - вони стають гармонійними. Таким чином, будь-який ХВ включає в себе ХГ і ідентифікатор його стану (ІС) по виходу (рисунок 1.1).

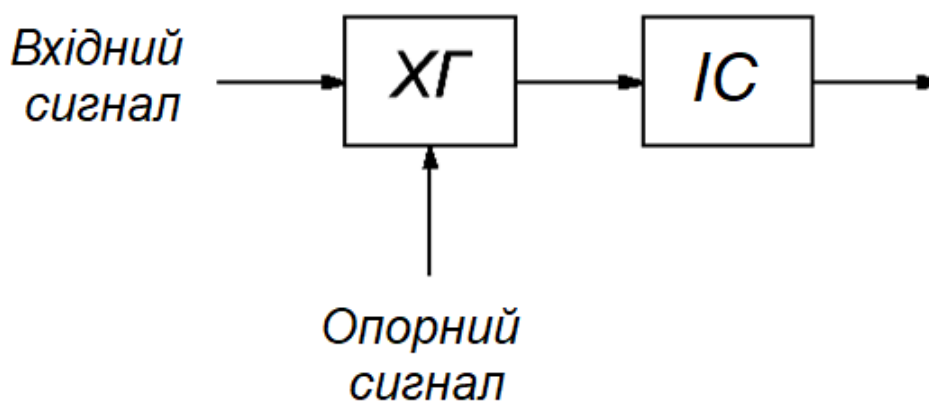


Рисунок 1.1 - Структурна схема хаотичного виявника сигналів:

ХГ – хаотичний генератор, ІС – індикатор стану

Інтерес наукового співтовариства до ХО обумовлений двома обставинами: теоретично можливою реакцією ХГ на сигнали з надзвичайно малою амплітудою і теоретично однаковою реакцією ХГ на вплив шумів з різними законами розподілу. Це відкриває потенційні можливості до підвищення завадостійкості та робастності виявлення [26].

Як ХГ, як правило, використовується неавтономний генератор Дуффінга-Холмса і його модифікації, що відрізняються ступенем змінних диференціального рівняння (ДУ) і способом введення зовнішнього сигналу. Класичне ДР ХГ Дуффінга-Холмса має вигляд [26]

$$\frac{d^2x}{dt^2} + k \frac{dx}{dt} - x + x^3 = \gamma_c \cos(t) + \xi(t), \quad (1.1)$$

де k - коефіцієнт загасання; γ_c - амплітуда сигналу збудження, що задає критичний режим; $\xi(t)$ - зовнішній сигнал (в загальному випадку суміш корисного сигналу і шуму).

Модифікація ХГ Дуффінга-Холмса за ступенем змінних ДН може мати вигляд

$$\frac{d^2x}{dt^2} + k \frac{dx}{dt} - x^3 + x^5 = \gamma_c \cos(t) + \xi(t). \quad (1.2)$$

Модифікація ХГ Дуффінга-Холмса за ступенем змінних ДР може мати вигляд

$$\frac{d^2x}{dt^2} + k \frac{dx}{dt} - x^3 + (1 + \xi(t))x^5 = \gamma_c \cos(t), \quad (1.3)$$

аналогічно, параметричне введення може бути використаний і в ДР з іншими ступенями $x(t)$.

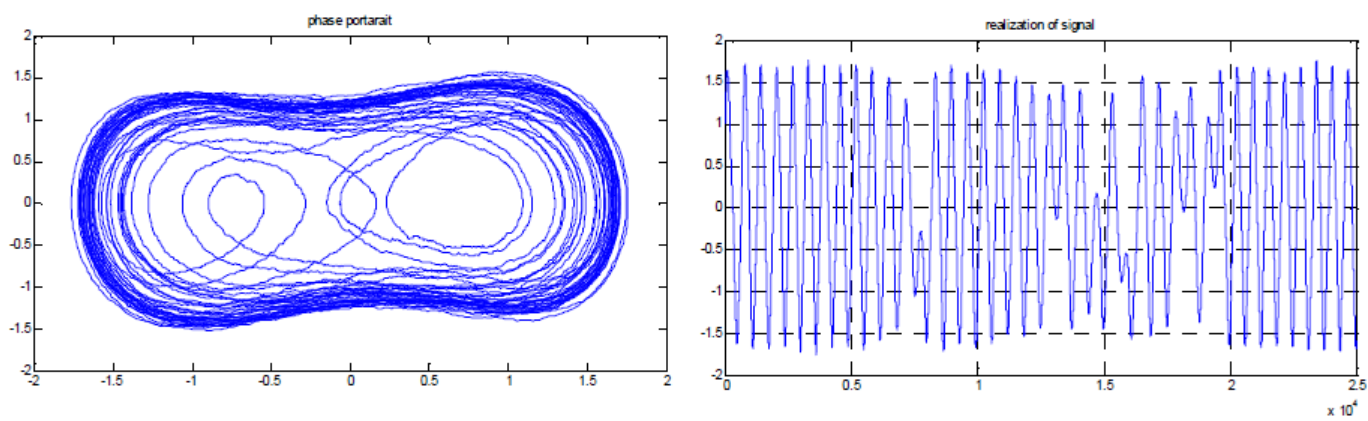
Динаміка поведінки ХГ Дуффінга-Холмса при роздільній подачі сигналу і шуму, представлена фазовими портретами (ФП) і видами реалізацій вихідних коливань, наведена на рисунку 1.2.

При адитивному додаванні у вхідній гармонійний сигнал білого гаусівського шуму (БГШ) динаміка поведінки ХГ зберігається навіть при низьких відношеннях «сигнал-шум» (С/Ш). Фазовий портрет злегка «розпливається», вихідний сигнал залишається періодичним (рисунок 1.3).

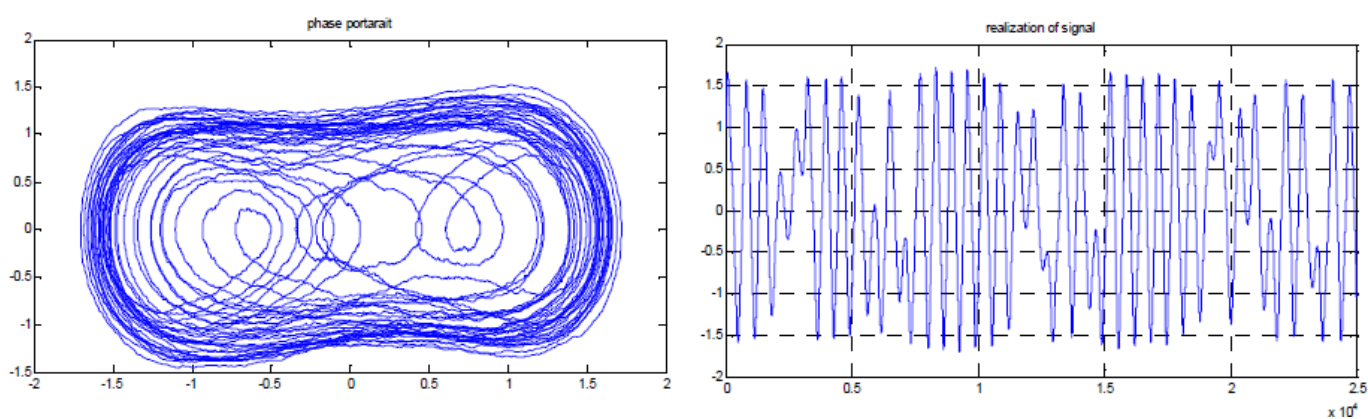
Характер поведінки ХГ зберігається при переході від одиничної частоти сигналу збудження до довільної. Формула переходу ДР до довільної частоти має вигляд [26]

$$\frac{1}{\omega^2} \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{\omega} \frac{dx}{dt} - x + x^3 = \gamma_c \cos(\omega t) + \xi(t), \quad (1.4)$$

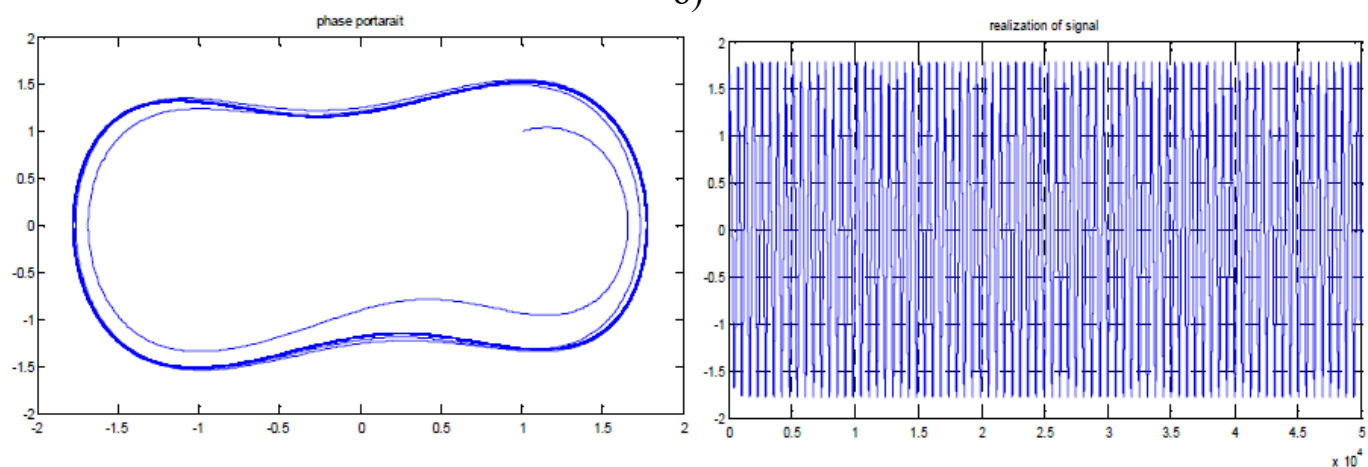
$$\xi(t) = a \cdot \cos \omega t + n(t). \quad (1.5)$$



а)



б)



в)

Рисунок 1.2 - Вихідні коливання і ФП ХГ Дуффінга-Холмса в критичному режимі (а), при подачі шуму (б) і при подачі гармонійного сигналу (в)

Важливою умовою чутливості ХГ Дуффінга-Холмса до зовнішнього гармонійного сигналу є його синфазність з сигналом збудження генератора. Дійсно, при синфазності вхідний сигнал можна розглядати як позитивний приріст амплітуди сигналу збудження, що виводить генератор з критичного стану.

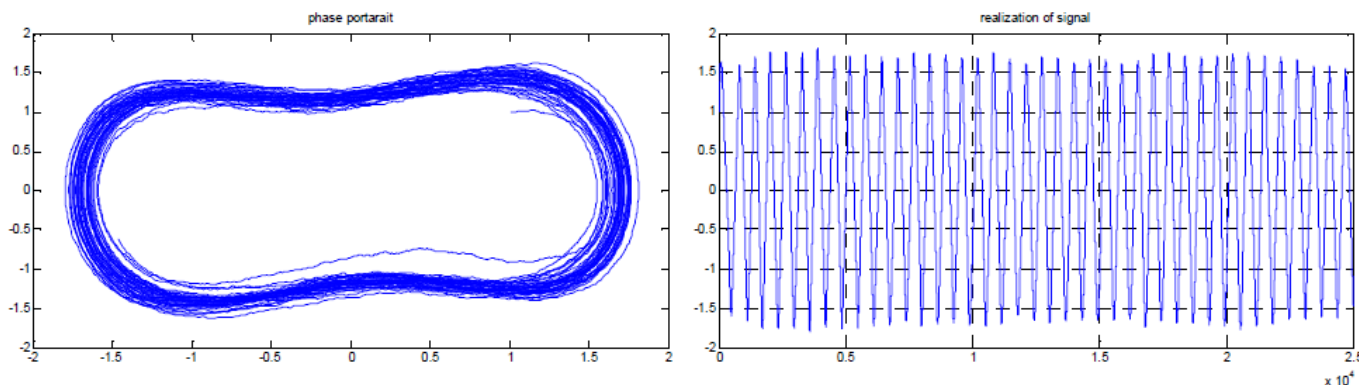


Рисунок 1.3 - Вихідні коливання і ФП ХГ Дуффінга-Холмса при подачі на вхід адитивної суміші сигналу і шуму з С/Ш мінус 25 дБ

При наявності частотних і фазових відмінностей $\Delta\omega$ і φ амплітуда сумарного сигналу збудження стає функцією часу [26]

$$A(t) = \gamma(t) \cdot \cos(\omega t + \theta(t)), \quad (1.6)$$

де

$$\gamma(t) = \sqrt{\gamma_c^2 + 2\gamma_c \cdot \cos(\Delta\omega t + \varphi) + a^2}, \quad (1.7)$$

$$\theta(t) = \arctg \frac{a \cdot \sin(\Delta\omega t + \varphi)}{\gamma_c + a \cdot \cos(\Delta\omega t + \varphi)}. \quad (1.8)$$

Очевидно, що при $\Delta\varphi = 0$ амплітуда сумарного сигналу збудження завжди буде менше критичної в разі (ХО перестане працювати), якщо фазовий зсув φ лежатиме в межах

$$\pi - \arccos(a/2\gamma_c) \leq \varphi \leq \pi + \arccos(a/2\gamma_c). \quad (1.9)$$

Якщо матиме місце ненульова різниця між частотами корисного сигналу і сигналу збудження, амплітуда сумарного сигналу збудження буде періодично перевищувати критичне значення, що призведе до появи на виході ХГ перемежованого хаосу (рисунок 1.4). Період чергування хаотичних і періодичних (ламінарих) ділянок

вихідних коливань ХГ буде дорівнює $T = 2\pi/\Delta\omega$. Таким чином, ХГ можна використовувати не тільки для виявлення слабких сигналів, але і для оцінки частоти сигналу. Очевидно, що при збільшенні $\Delta\omega$ період чергування ділянок буде зменшуватися, що знизить час аналізу стану генератора ІС і, в кінцевому підсумку, теж призведе до припинення роботи ХО.

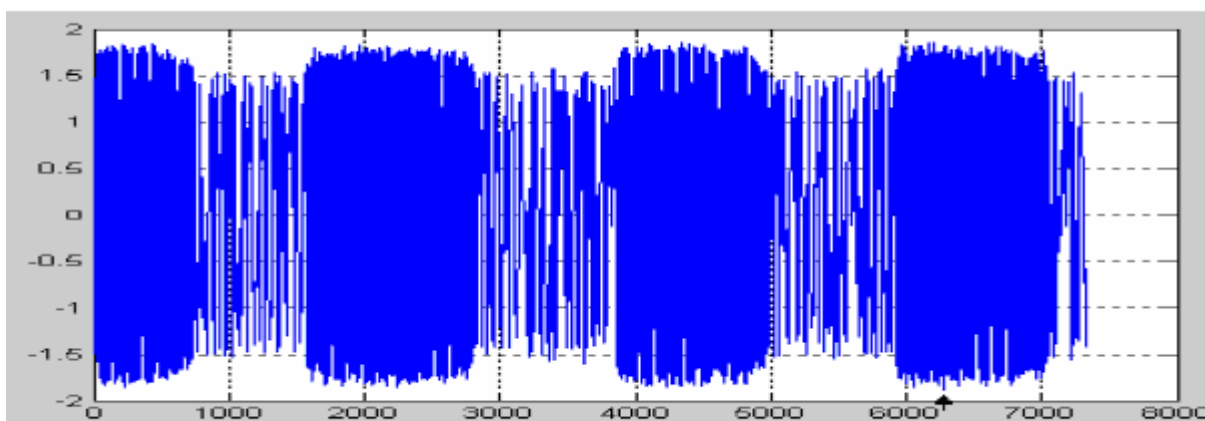


Рисунок 1.4 – Хаос, що перемежовується, на виході ХГ при наявності $\Delta\omega$

Найважливішим показником, який визначає чутливість ХГ до зовнішніх сигналів є критична величина амплітуди сигналу збудження γ_c , яка переводить генератор в стан нестійкої рівноваги. Теоретично, при як завгодно точним наближенні γ_c до порогу біфуркації можна домогтися чутливості ХГ до як завгодно слабкого вхідного сигналу. На практиці точність наближення γ_c до кордону біфуркації обмежується розрядністю представлення чисел і кроком інтегрування ДР ХГ методом Рунге-Кутта [26].

У більшості випадків для розрахунку області знаходження γ_c використовується функція Мельникова, дозволяє безпосередньо обчислювати критичну амплітуду [25]

$$\gamma_c \approx \frac{4 \cosh(\pi\omega/2)}{3\sqrt{2}\pi\omega} \quad (1.10)$$

або підбір γ_c по нулю старшого показника Ляпунова (рисунок 1.5) [25].

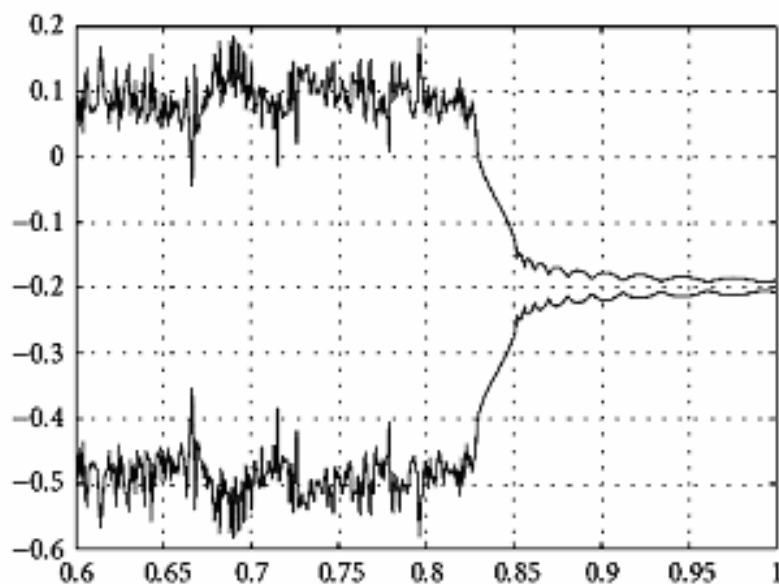
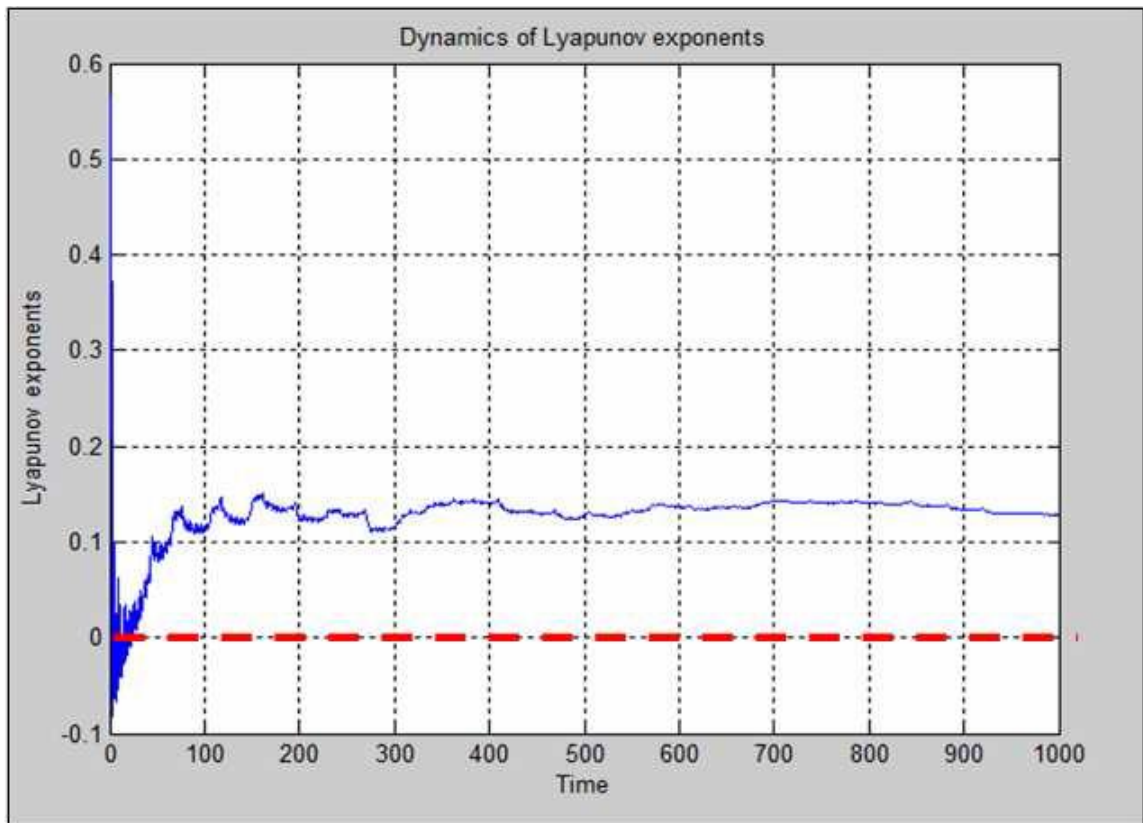


Рисунок 1.5 - Залежність показників Ляпунова від амплітуди сигналу збудження ХГ

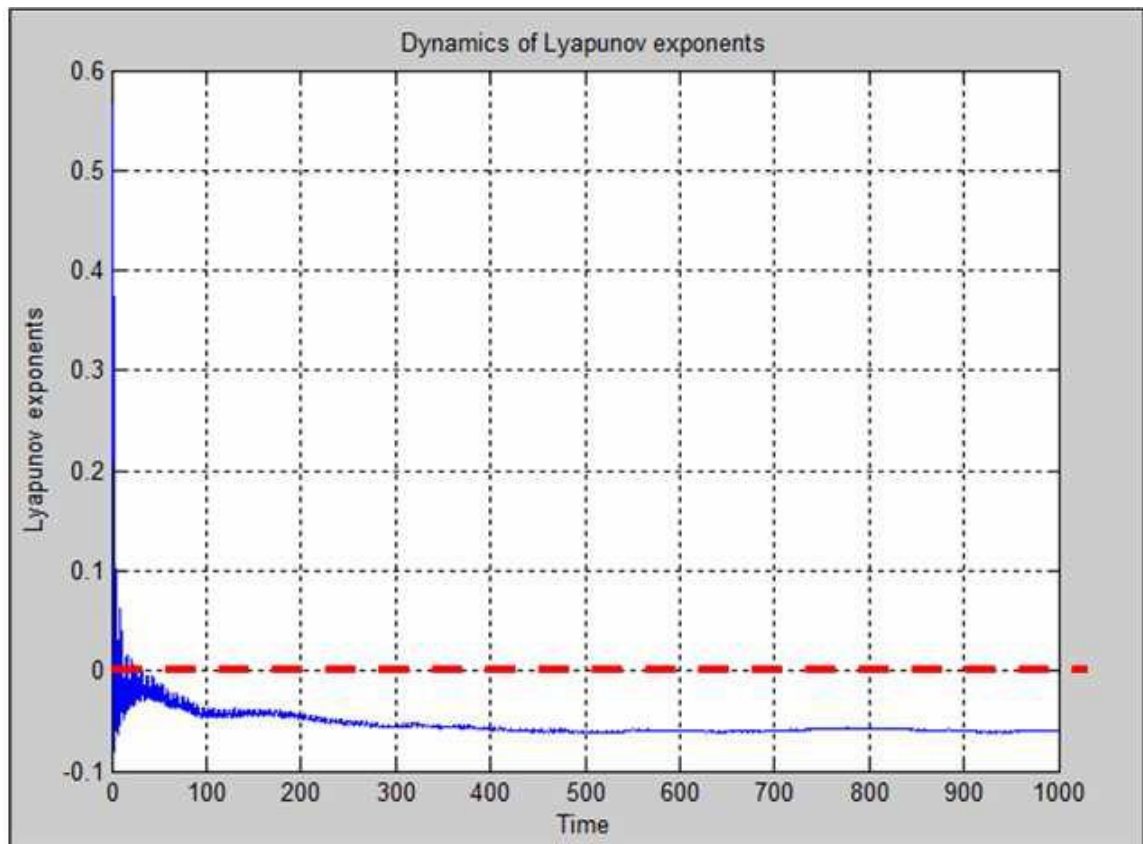
Здібності виявляти ХО багато в чому визначаються способом ідентифікації стану ХГ, які покладено в основу алгоритму функціонування ІС. Візуальна ідентифікація по вигляду ФП непридатна для автоматичної роботи ІС в режимі квазіреальності часу.

Ідентифікація стану ХГ може здійснюється досить великим числом способів [25], однак для технічної реалізації найбільш зручні обчислення старшого показника Ляпунова, спектральний аналіз, низькочастотна фільтрація обчислення числа Ейлера для ФП і знаходження СКО різниць відліків вихідного коливання, взятих з періодом $T = 2\pi/\omega$.

Розрахунок старшого показника Ляпунова полягає в обчисленні приросту відстані між двома траєкторіями атрактора на малому інтервалі часу й усередненні цих відстаней по атрактору. Позитивний знак показника свідчить про хаотичний стан ХГ, негативний - про стан періодичних коливань, тобто наявності сигналу (рисунок 1.6).



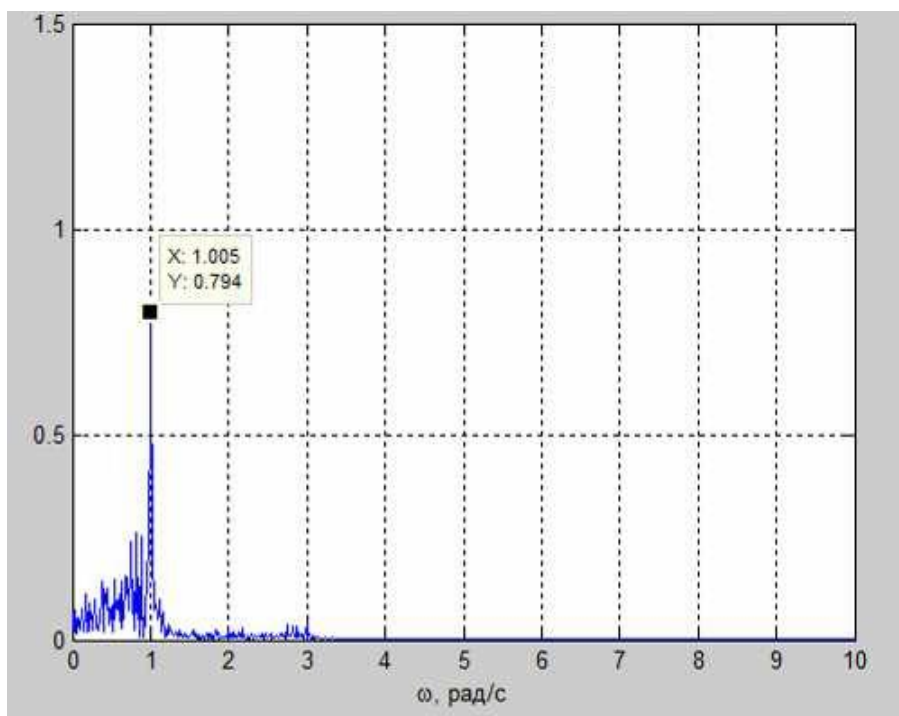
a)



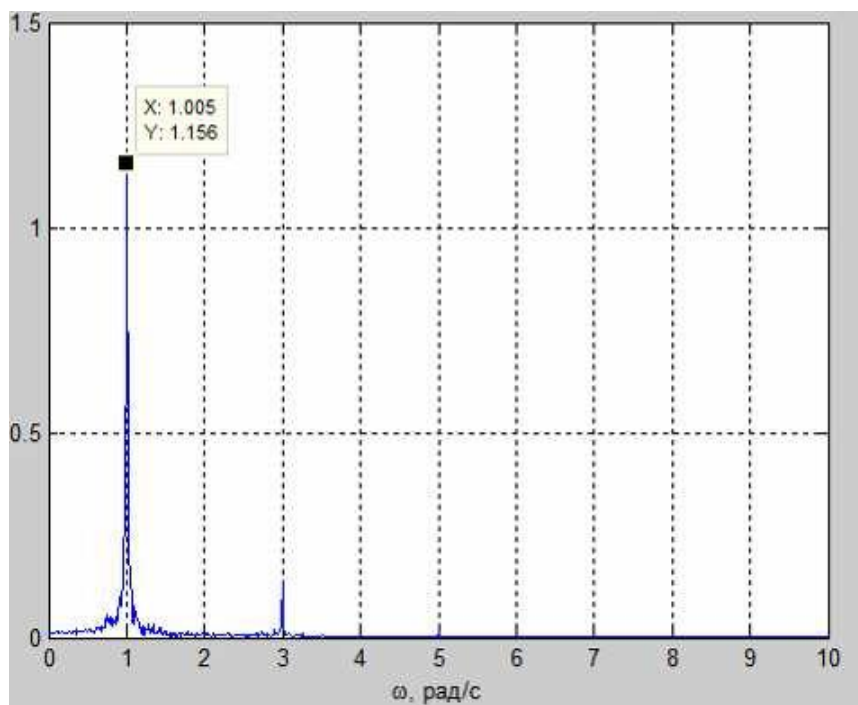
б)

Рисунок 1.6 - Показник Ляпунова при впливі шуму (а) і при впливі суміші сигналу і шуму з С/Ш мінус 25 дБ (б)

Спектральний аналіз полягає в проведенні ШПФ і дозволяє визначати стан ХГ за величиною піку спектра вихідних коливань на частоті сигналу збудження (рисунок 1.7).



а)



б)

Рисунок 1.7 - Спектр вихідного сигналу ХГ при впливі шуму (а) і при впливі суміші сигналу і шуму з С/Ш мінус 25 дБ (б)

Для хаосу характерна наявність низькочастотних складових, енергія яких зосереджена нижче частоти сигналу збудження, що дозволяє використовувати в якості характеристик стану ХГ матожидание або СКО його вихідних коливань після низькочастотної фільтрації.

Аналіз по Ейлера полягає в обчисленні числа незаповнених областей на ФП - при впливі на ХГ сигналу воно буде дорівнює 1, при впливі шуму - більше 1. Для обліку розмиття ФП при впливі сигналу і шуму застосовуються алгоритми «нарощення» і «закриття» (рисунок 1.8).

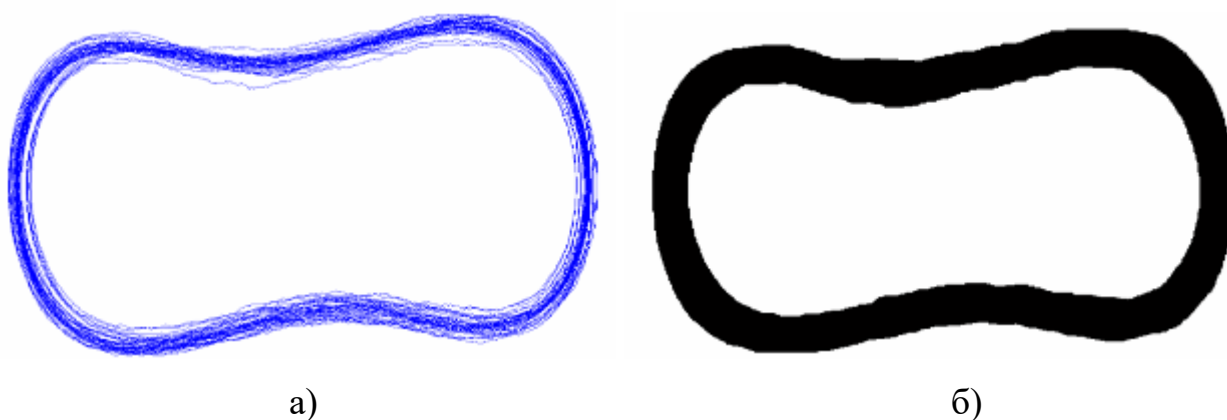


Рисунок 1.8 - Застосування операції «нарощення» до ФП при С/Ш мінус 17 дБ

Бінарні ФП і відповідні значення числа Ейлера представлені на рисунку 1.9.

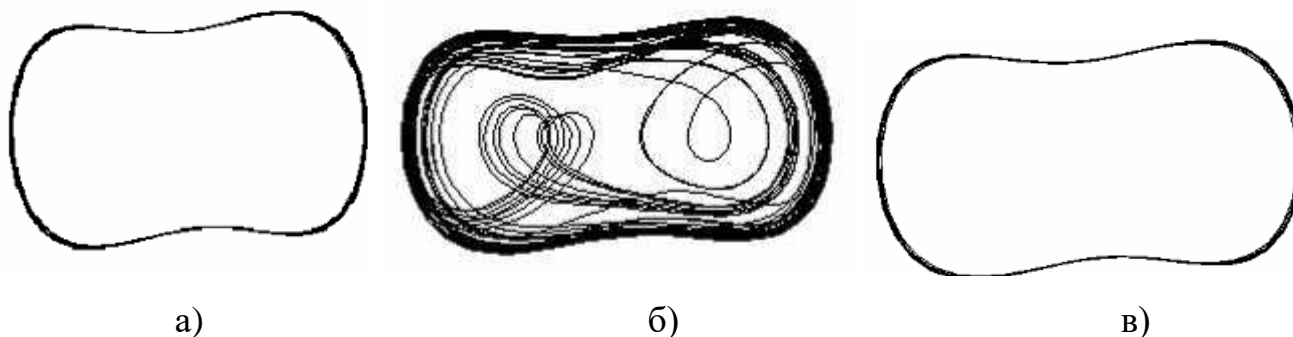
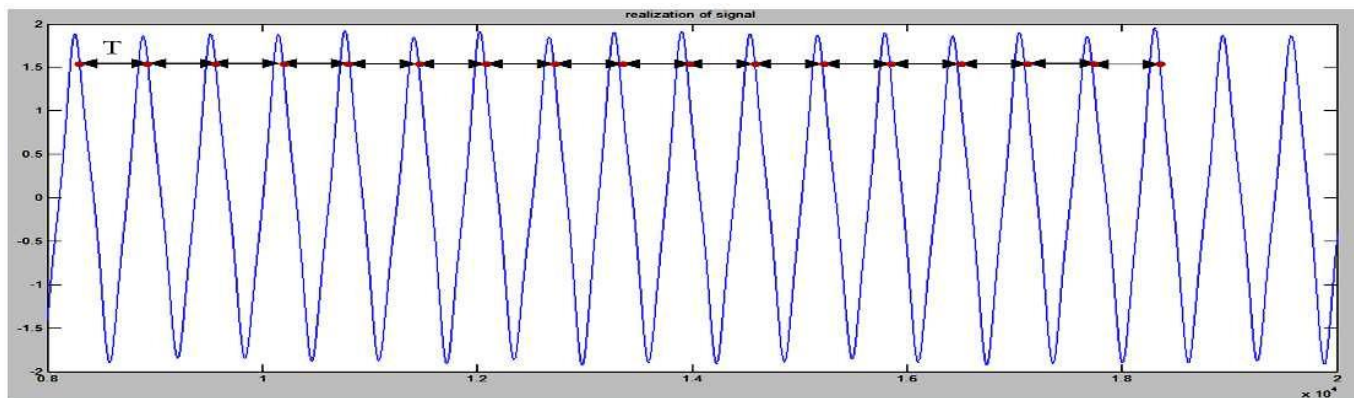
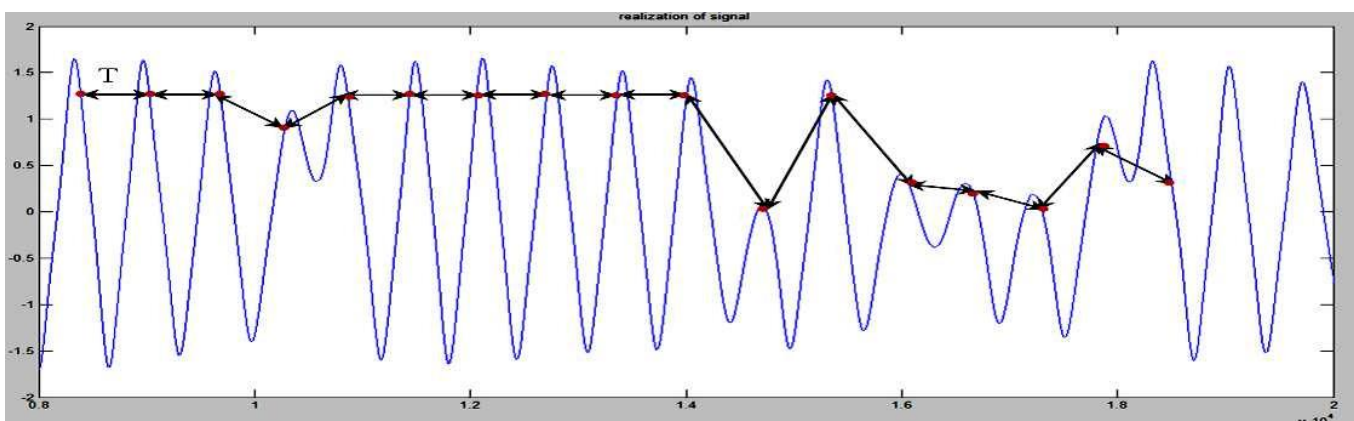


Рисунок 1.9 - Бінарні зображення ФП: а) сигналу, б) шуму в) сигналу і шуму при С/Ш мінус 25 дБ)

Аналіз по СКВ різниць відліків вихідного коливання ХГ, взятих з періодом $T = 2\pi/\omega$ (метод вибірки) заснований на тому, що для періодичного коливання величина СКВ різниць завжди буде менше, ніж для хаотичного (рисунок 1.10).



а)



б)

Рисунок 1.10 - Різниця сусідніх відліків при періодичному (а) і хаотичному (б) коливаннях

З використанням програмного комплексу [28] проведено оцінку ефективності перерахованих алгоритмів ІС, на підставі якої можна зробити висновок про те, що алгоритм ІС також є одним з факторів, що визначають стійкість ХО (рисунок 1.11).

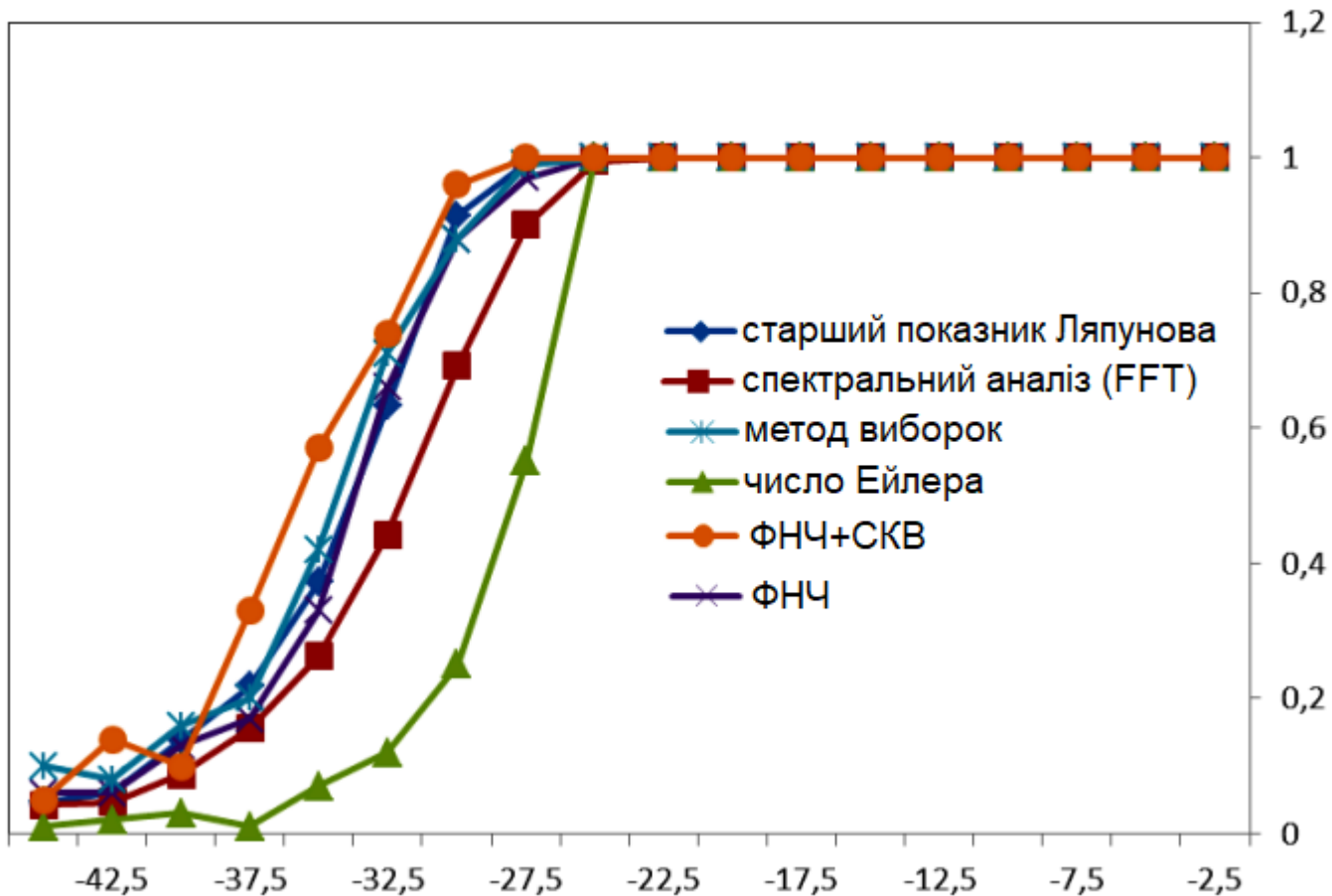


Рисунок 1.11 - Характеристики виявлення ХО при різних алгоритмах ІС

1.2 Огляд робіт в області хаотичного виявлення сигналів

Першою роботою, в якій була озвучена концепція хаотичного виявлення, по всій видимості, слід вважати статтю [17]. Базуючись на відкритому на той час явищі високої чутливості ХГ до змін керуючого параметра, автори запропонували концепцію нового типу детектора слабких гармонійних сигналів у вигляді чутливого елемента (в якості якого виступав ХГ) і аналізатора його стану - в даному випадку, багатосарової нейронної мережі, яка аналізувала ФП виходу ХГ. За задумом авторів, неавтономний ХГ, що знаходиться в стані нестійкої рівноваги на межі переходу аттракторів «хаос-цикл» або «цикл-хаос», під впливом сигналу, синфазного з сигналом збудження, зробить фазовий перехід, що відповідним чином позначиться на ФП його вихідного колювання, а аналізатор стану по вигляду ФП прийме рішення про наявність чи відсутність сигналу у вхідному випадковому процесі (ВП). На підтвер-

дження спроможності концепції автори представили результати чисельного моделювання роботи детектора при низьких відношеннях С/Ш. В якості моделі ХГ було використано рівняння нелінійного маятника, що збуджується гармонійним коливанням і зовнішньої сумішшю сигналу й шуму, інтегрування отриманого стохастичного диференціального рівняння проводилося методом Рунге-Кутта 4-го порядку. Було показано, що з вигляду ФП вихідного коливання ХГ можна візуально визначити наявність або відсутність сигналу при відношеннях С/Ш до мінус 15 дБ, при тому, що по вигляду реалізації вхідного ВП і за результатами її спектрального аналізу однозначного рішення не можна прийняти вже при відношеннях С/Ш порядку мінус 9...10 дБ. Для автоматичного аналізу стану ХГ на вхід нейронної мережі подавалися координати точок ФП з часової децимації, що забезпечує зниження обсягу вибірки до 34 точок на реалізацію ВП. За результатами чисельного моделювання запропонований ХО виявляв сигнал при відношеннях С/Ш мінус 6 дБ в 100% експериментів, при мінус 9 дБ - в 92%, при мінус 12 дБ - в 67%. Було наголошено на чутливість детектора до фази вхідного сигналу - при її відмінності від фази сигналу збудження більш ніж на 45° ХО припиняв роботу. Також було відкрито обставину, що зводить нанівець всі переваги ХО - при подачі на його вхід одного шуму виявник у 58% випадків фіксував сигнал через індукований шумом переходів між атракторами ХГ, що знаходиться в стані нестійкої рівноваги [18].

Підсумки першої роботи, таким чином, виявилися неоднозначними - з одного боку, була показана висока чутливість ХГ до наявності сигналу у вхідному ВП, з іншого - ймовірність помилкової тривоги перевершувала всі допустимі межі. Природним рішенням стала б заміна моделі ХГ на більш стійку до шуму, однак на момент написання статті адекватних методик підбору таких моделей не існувало - емпірична спроба авторів використовувати модель ХГ у вигляді однієї з різновидів релаксаційного генератора успіхом не увінчалася. Проте, в роботі [17] була вперше запропонована структура ХО, що стала згодом канонічною - поєднання неавтономного ХГ в критичному режимі та аналізатора його стану.

Наступна робота в цій області формально не стосувалася теми хаотичного виявлення і була присвячена питанню підвищення відносини С/Ш на основі стохастич-

чного резонансу [19]. До цього часу був відкритий ефект посилення слабких гармонійних сигналів в ряді бістабільних систем, порушуваних шумами певної інтенсивності (так званий «стохастичний резонанс»), і досліджувалися можливості застосування цього ефекту для нелінійної фільтрації. Для ряду кольорових і негауссівських шумів ефект стохастичною фільтрації був отриманий, але в разі БГШ зростання відносини С/Ш не спостерігалось. В роботі [19] було запропоновано використовувати в якості бістабільної системи ХГ Дуффінга-Холмса, збуджуваний гармонійним коливанням замість шумового. Відношення С/Ш пропонувалося визначати як відношення висоти піку енергетичного спектра сигналу до висоти спектра шумового п'єдесталу на частоті сигналу. Були представлені результати чисельного моделювання, що показують можливість збільшити відношення С/Ш адитивної суміші сигналу і БГШ після проходження через ХГ. Легко помітити, що фактично в статті була запропонована схема ХО на базі ХГ Дуффінга-Холмса з обчислювачем енергетичного спектра в якості аналізатора стану. У порівнянні зі схемою, запропонованою в роботі [17], вона була більш практичною - генератор Дуффінга-Холмса значно перевищував нелінійний маятник по стійкості до шуму, а спектральний аналіз вихідного коливання ХГ був простіше нейромережного аналізу його ФП. Таким чином, автори роботи [19], з самого початку не ставлячи перед собою такої мети, запропонували одну з найбільш популярних в подальшому схем практичної реалізації ХО.

В період 1996-1997 рр. премії SBIR (Small Business Innovation Research) були вручені компанії Chaotic.com за дослідження на замовлення Військово-морського флоту США на тему «Exploiting chaos to improve signal detection». З 1998 р публікації по хаотичного виявлення в США були практично повністю припинені, хоча самі роботи, по всій видимості, тривали. Непрямим підтвердженням цього є той факт, що в квітні 2001 р фахівці компанії Chaotic.com за допомогою «нового методу виявлення, заснованого на теорії хаосу», відновили втрачений зв'язок з міжпланетним космічним зондом «Піонер-10», що знаходиться на відстані 7,3 млрд. км від Землі, після чого сигнали із зонда приймалася до початку січня 2003 року, коли відстань між ним і Землею досягло 12,8 млрд. км [20].

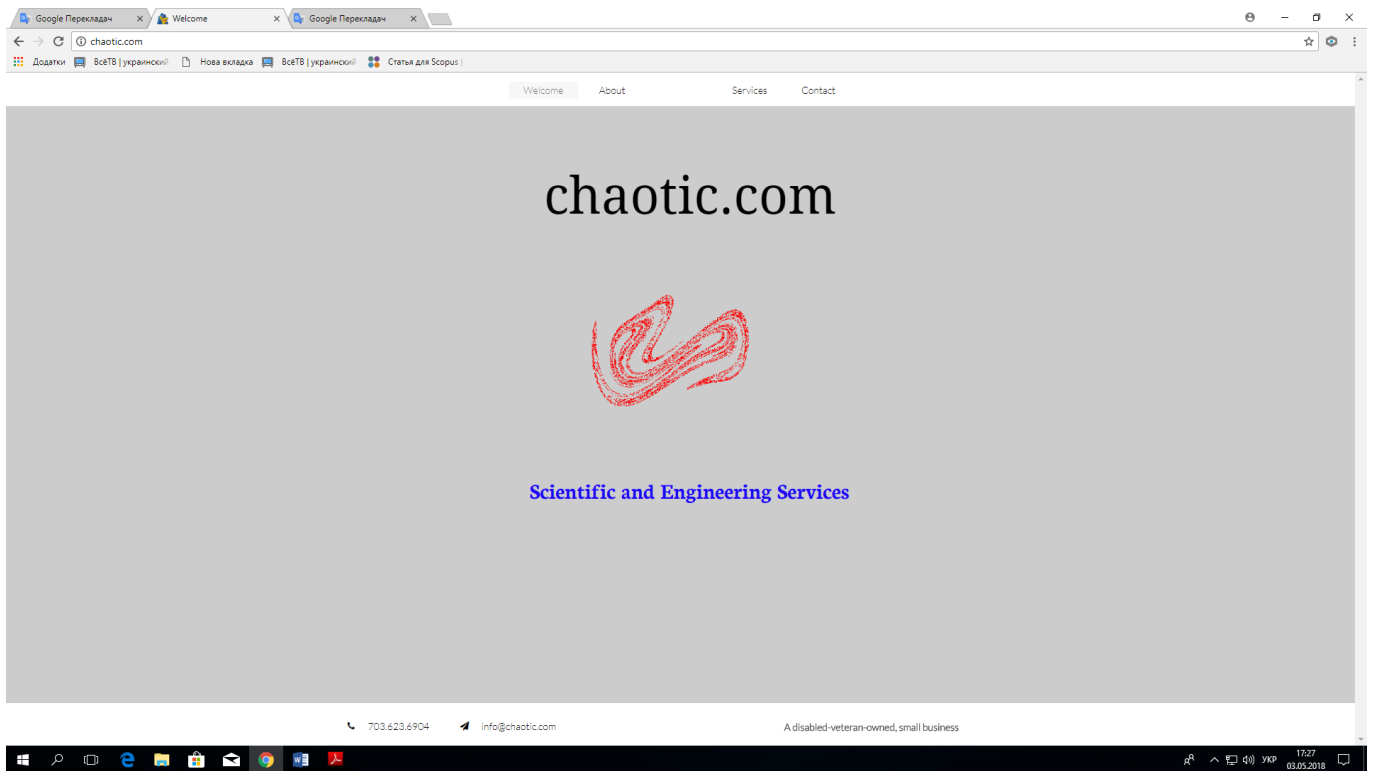


Рисунок 1.11 – Головне вікно сайту Chaotic.com

Основні положення теорії хаотичного виявлення (див. П.1.1) вперше були систематично викладені в [16]. За результатами моделювання впливу адитивної суміші сигналу і БГШ на ХГ Дуффінга-Холмса (1.1) з візуальним аналізом ФП вихідних коливань автори показали можливість виявлення сигналів при відношенні С/Ш до мінус 68 дБ. Були визначені основні напрямки досліджень в області хаотичного виявлення - вибір моделей і параметрів ХГ, методів ідентифікації стану та визначення амплітуди сигналів збудження, вивчення впливу частотних і фазових відмінностей між сигналами і опорою на стійкість ХО та ін. Подальші дослідження продовжилися, в основному, в рамках цих напрямків.

Перспективні для роботи в ХО моделі ХГ і їх параметри, що забезпечують найкращі показники завадостійкості ХО, досліджувалися в роботах [21, 24, 28-31, 45, 47, 49, 68, 79].

У роботі [21] на базі Simulink-моделі модифікованого ДУ ХГ Дуффінга-Холмса вигляду:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + k \frac{dx}{dt} - x^3 + (1 + s(t)) \cdot x^5 = \gamma \cdot \sin(t) \quad (1.11)$$

і візуального аналізу ФП вихідних коливань була показана можливість виявлення гармонійного сигналу на тлі БГШ при відношенні С/Ш до мінус 91 дБ.

У роботах [24, 28] було проведено дослідження впливу численних коефіцієнтів перед dx/dt (k), x і x^3 (a і b) на які виявляють здібності ХО Дуффінга-Холмса. При фіксованому $k = 0,5$ було визначено найбільш вдале поєднання коефіцієнтів ДР ($a = 0,7$; $b = 1$), при якому виявлення сигналу на тлі «кольорового» шуму проводилося при відношенні С/Ш мінус 80 дБ.

У роботі [29] на базі Simulink-моделі модифікованого ДР ХГ Дуффінга-Холмса вигляду

$$\frac{d^2x}{dt^2} + k\omega \frac{dx}{dt} - \omega^2 x^3 + \omega^2 (1 + s(t)) \cdot x^5 = \omega^2 \gamma \cdot \sin(\omega t) \quad (1.12)$$

і аналізу вихідних коливань за знаком старшого показника Ляпунова була показана можливість виявлення гармонійного сигналу на фоні БГШ при відносинах С/Ш до мінус 71 дБ.

В роботі [30] проведено порівняльний аналіз чутливості до слабкого гармонійного сигналу ХГ Дуффінга-Холмса 5-й і 7-й ступенів

$$\frac{d^2x}{dt^2} + k \frac{dx}{dt} - x^3 + x^5 = \gamma \cdot \sin(\omega t) + s(t) + \sigma n(t) \quad (1.13)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + k \frac{dx}{dt} - x^5 + x^7 = \gamma \cdot \sin(\omega t) + s(t) + \sigma n(t) \quad (1.14)$$

Ідентифікація стану ХГ проводилася візуально за виглядом ФП вихідних коливань, вплив шуму не враховувалося (СКВ шуму на 14 порядків менше амплітуди

сигналу). Показано, що ХГ з ДР 7-го ступеня більш чутливий до впливу сигналу і перспективний для ХО.

В роботі [45] було запропоновано вводити зовнішній сигнал не в сигнал збудження і не параметрически, як в (1.3), а в коефіцієнт загасання k . Показано, що ХГ знаходиться в критичному стані при $k/y = 1,667$. Відомостей про переваги методу, на жаль, не наведено.

В роботі [31] проведено аналіз завадостійкості ХО на базі ХГ Лоренца і Дуффінга-Холмса. Отримані за результатами моделювання робочі характеристики ХО показали явну перевагу ХГ Дуффінга-Холмса по здібностям виявлення і стійкості до завади (рисунок 1.12).

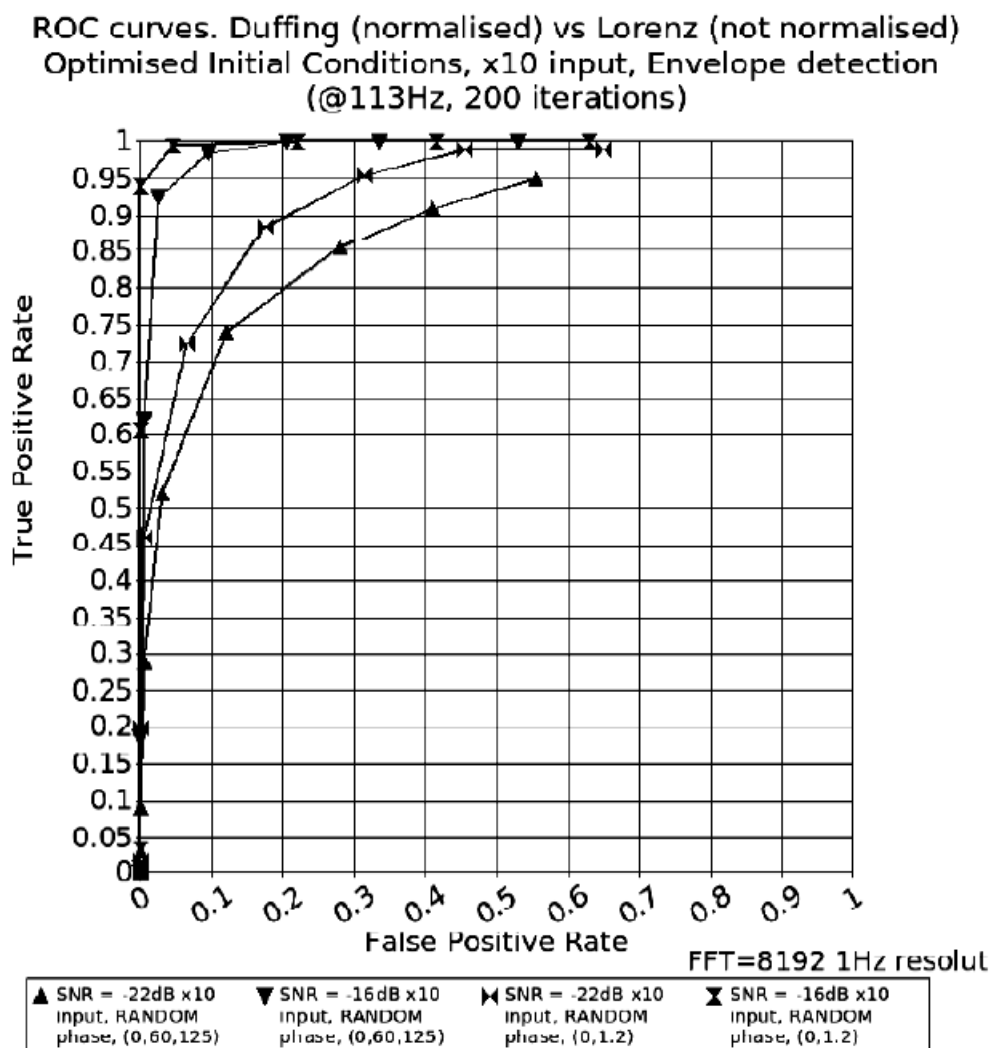


Рисунок 1.12 - Робочі характеристики ХО на базі ХГ Дуффінга-Холмса і Лоренца

На противагу статті [31] в роботі [47] пропонується використовувати в якості чутливого елемента ХО саме ХГ Лоренца. За результатами моделювання стверджується, що ХГ Лоренца забезпечує виявлення сигналу при відношенні С/Ш до мінус 83 дБ з ймовірністю помилки 5,8%, в той час як ХГ Дуффінга-Холмса вже при мінус 70 дБ дає ймовірність помилки 15,8%.

В роботі [49] представлена схемотехнічна модель ХГ Дуффінга-Холмса 5-го ступеня в пакеті МіНБіт, що дозволяє працювати як на низьких, так і на високих частотах вхідного сигналу.

В роботі [68] представлена модель ХО на базі ХГ ван дер Поля-Дуффінга вигляду

$$\frac{d^2x}{dt^2} - k(1-x^2)\frac{dx}{dt} + x + ax^3 = \gamma \cdot \sin(\omega t) \quad (1.15)$$

За результатами моделювання впливу на ХО адитивної суміші гармонійного сигналу з БГШ при візуальному аналізі ФП вихідного коливання показана можливість виявлення сигналу при відносинах С/Ш до мінус 45 дБ.

В роботі [79] в якості неавтономного ХГ пропонується використовувати ланцюг MLC (Murali-Lakshmanan-Chua). За результатами Simulink-моделювання впливу на дане коло адитивної суміші гармонійного сигналу з БГШ при візуальному аналізі вихідного коливання показана можливість виявлення сигналу при відносинах С/Ш до мінус 30 дБ.

Перспективні способи визначення амплітуди збудливого сигналу, забезпечуючого перебування ХГ в критичному режимі, досліджувалися в роботах [22, 25, 29, 33, 38, 59].

У роботах [22, 29] запропоновано перейти від емпіричного підбору амплітуди критичного режиму до більш точного методу - на основі розрахунку показників Ляпунова.

У роботах [25, 33] запропоновано розраховувати амплітуду критичного режиму за функцією Мельникова і оцінені кордону похибки такого визначення, що вимагають додатково пошуку.

В роботі [38] вперше пропонується визначати амплітуду критичного режиму ХГ з урахуванням рівня зовнішнього шуму, з самого початку розглядаючи його як частину сигналу збудження.

В роботі [59] пропонується новий спосіб визначення опори за показниками Флоке - для критичного режиму принаймні один з двох показників Флоке має дорівнювати нулю.

Перспективні для використання в ХО методи ідентифікації стану ХГ пропонувалися і досліджувалися в роботах [23, 29, 31, 34, 36, 44, 48, 51, 56, 65, 69].

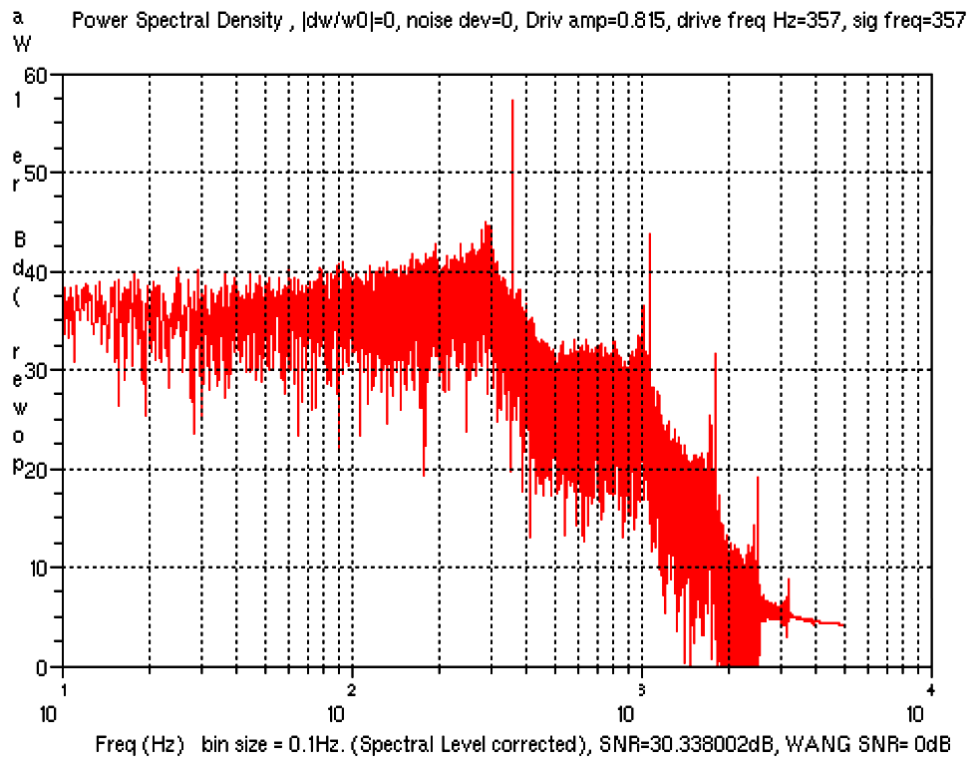
В [23] було запропоновано методи аналізу по числу Ейлера і спектру вихідного сигналу.

У роботах [29, 34] запропоновано використовувати для ідентифікації стану ХГ знак старшого показника Ляпунова (більш ранні пропозиції були опубліковані на китайській мові).

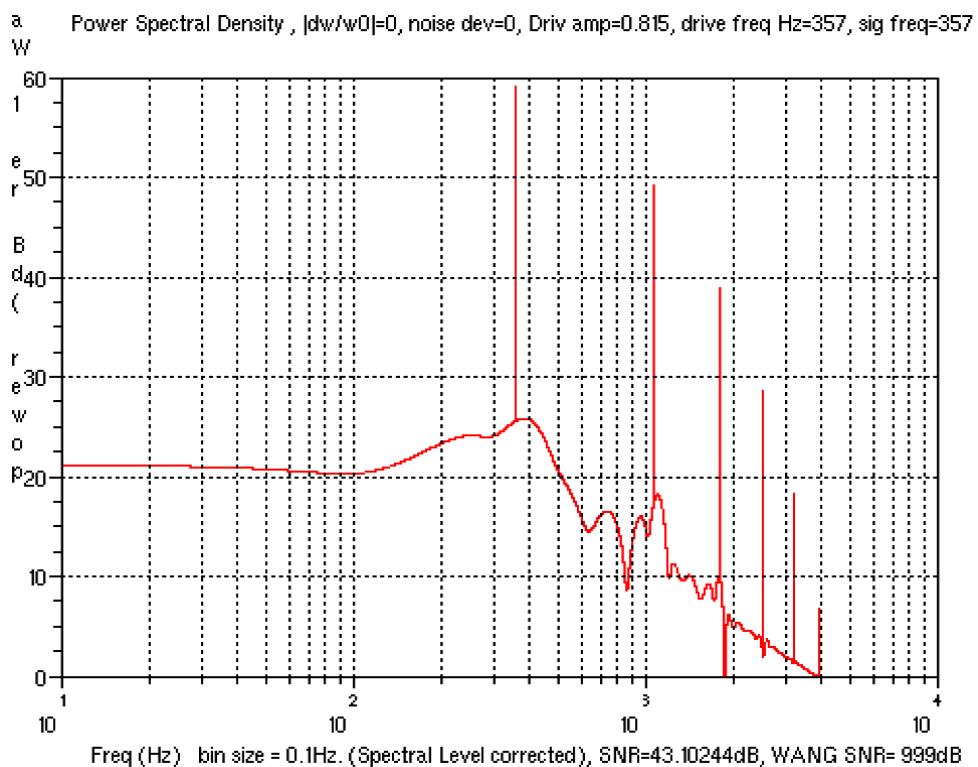
В роботі [36] було запропоновано метод ідентифікації стану ХГ по дисперсії різниці відліків його вихідного сигналу, взятих з періодом опорного колювання

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \left(x_i - \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \right)^2}{N}. \quad (1.16)$$

В роботі [31] запропонований ІС на основі спектрального аналізу - при впливі на ХГ корисного сигналу пік гармоніки на частоті збудження збільшується на 2,5 дБ (рисунок 1.13).



a)



б)

Рисунок 1.13 - Ідентифікація стану ХГ по піку гармоніки на частоті збудження [31]

В роботі [44] запропонований метод ідентифікації, заснований на наявності в спектрі хаотичного сигналу складових, що лежать нижче частоти сигналу збуджен-

ня. Запропоновано поставити на виході ХГ фільтр низьких частот (ФНЧ) і оцінити СКО вихідних коливань - СКО циклу має бути менше СКО хаосу приблизно на порядок. За результатами моделювання на ХГ Дуффінга-Холмса 3-го ступеня в роботі показано, що даний ІС ефективний при С / ШДО мінус 21 дБ.

В роботі [48] запропонований метод ідентифікації по дисперсії вихідного коливання ХГ, за результатами моделювання показана можливість виявлення при С / Ш до мінус 23 дБ.

В роботі [51] запропоновано в ФП «з сигналом» вписати коло радіусом R, і якщо в його межі потрапляють траєкторії ФП $\left(\sqrt{x^2 + \dot{x}^2} \leq R\right)$, то на виході генератора хаос, якщо немає - то цикл.

В роботі [56] запропонований метод ідентифікації ХГ на базі диференціального енергетичного оператора Тігер, що дозволяє враховувати частоту сигналу при розрахунку його енергії. Для цього обчислюються і піддаються порогової обробки коефіцієнти вигляду

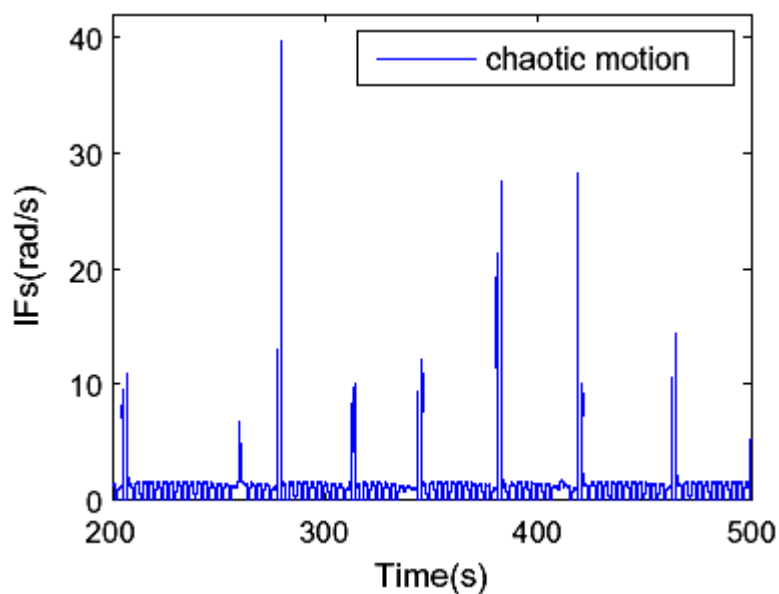
$$\psi_c[x(t)] = \left(\frac{dx(t)}{dt}\right)^2 - x(t) \left(\frac{d^2x(t)}{dt^2}\right). \quad (1.17)$$

При відсутності і наявності сигналу дані коефіцієнти істотно різні (рисунок 1.14).

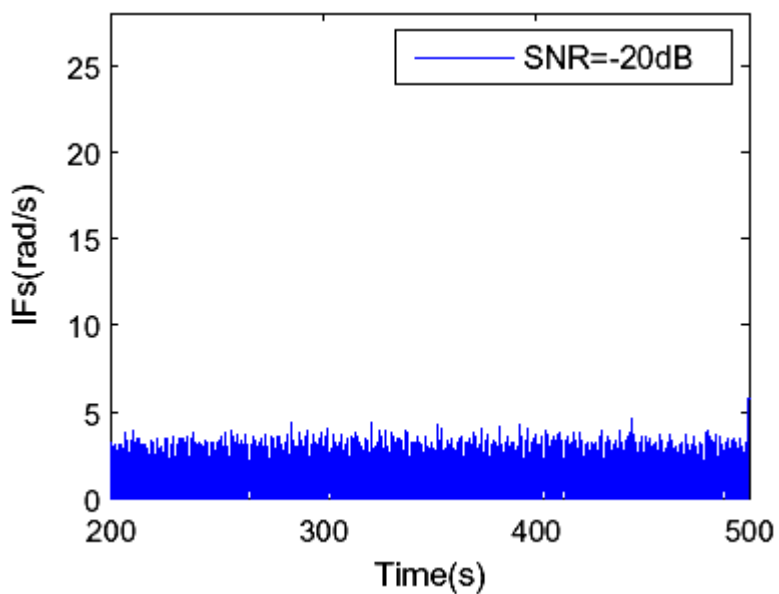
Перевагою запропонованого способу ідентифікації є виняткова простота його реалізації - для дискретного сигналу формула (1.5) набуває вигляду

$$\psi_c[x(n)] = x^2[n] - x[n-1] \cdot x[n+1]. \quad (1.18)$$

У роботі [65] для усунення залежності РЛТ від СКО шуму запропоновано новий оригінальний алгоритм ІС, для якого не потрібна наявність переходу «хаос-цикл» - ХГ залишається в хаосі, а ідентифікація проводиться шляхом аналізу фрактальної структури перетину Пуанкаре.



a)



б)

Рисунок 1.14 - Ідентифікація стану ХГ за допомогою оператора Тігера [56]

У роботі [69] пропонується ідентифікувати стан ХГ шляхом обчислення взаємної кореляційної функції (ВКФ) траєкторії ФП з попередньою траєкторією - при циклі її пік буде вище, ніж при хаосі. ХО на такому ІС і ХГ Дуффінга-Холмса 3-го ступеня реалізований в ПЛІС.

Особливості використання ХО при прийомі модульованих сигналів розглядалися в роботах [25, 26, 32, 36, 50, 51, 56-58, 60].

В роботі [25] розглянуто виявлення ЛЧМ-сигналу шляхом зняття модуляції на базі перетворення Радону-Вінера з подальшою подачею на ХГ. При візуальній ідентифікації по ФП мінімальне відношення С / Ш, при якому виявлявся сигнал, склало мінус 27 дБ.

В роботі [26] розглянуто використання ХГ Дуффінга-Холмса в пристрої відновлення несучої приймача BPSK сигналу - приймається сигнал зводиться в квадрат, відфільтрований сигнал на подвоєною частоті подається на ХГ 5-го ступеня, що порушується сигналом з подвоєною частотою. При наявності корисного сигналу ХГ видає на виході коливання подвоєною частоти, яка далі ділиться на два і використовується як опора когерентного демодулятора. Проведено детальний аналіз залежності виявляють здібностей ХО від фазового зсуву корисного сигналу і сигналу збудження, отримана крива залежності мінімального ОСШ, при якому сигнал виявляється, від величини фазового зсуву, яка апроксимована формулою

$$SNR(\varphi) = \begin{cases} -0,818\varphi^4 + 2,38\varphi^2 - 38,5711, & \varphi \in [-5\pi/12; 5\pi/12] \\ 622,3\varphi^2 - 1717,7\varphi + 1145,8, & \varphi \in [5\pi/12; 191\pi/383] \cup \varphi \in [-191\pi/383; -5\pi/12] \end{cases} \quad (1.19)$$

Використання ХГ для безпосередньої демодуляції BPSK в припущенні про синфазності сигналу збудження до отриманого сигналу розглянуто в роботах [51, 56].

Спосіб компенсації впливу фазового зсуву запропонований в роботі [27]. Автори пропонують використовувати 4 паралельно включених ХГ Дуффінга-Холмса, сигнали збудження яких зрушені на $0, \pi / 2, \pi$ і $3\pi / 2$ відповідно. Стверджується, що даний пристрій виявляє сигнал довільної фази в БГШпрі мінімальному відношенні С/Ш до мінус 90 дБ.

У роботах [32, 58] пропонується використовувати ХГ Дуффінга-Холмса як чутливий елемент при прийомі FSK сигналів. На основі Simulink-моделі проведена оцінка завадостійкості ХО, показана можливість ефективної роботи при відносно С/Ш до мінус 25 дБ.

В роботі [50] пропонується використовувати ХГ Дуффінга-Холмса для модуляції MSK сигналів. Динаміка ХГ оригінально трактується з позицій теорії стохастичного резонансу, за результатами моделювання досягнуто значення BER = 0,1 при відношенні С/Ш мінус 26 дБ.

В роботі [57] пропонується використовувати ХГ Дуффінга-Холмса для частотного аналізу ЛЧМ в умовах впливу БГШ. Проаналізовано використання гармонійного і лінійно частотно-модульованого сигналів збудження, показано виявлення при С/Ш до мінус 20 дБ.

В роботі [60] пропонується використовувати ХГ Дуффінга-Холмса в класифікаторі методу модуляції КАМ сигналів. На моделях показана успішна класифікація сигналів КАМ 8, 16, 32 і 64.

Практичне використання на базі ХВ розглянуті в роботах [34-36, 41, 42, 46, 61, 66].

У роботах [34, 41, 42] розглядається можливість використання ХО для прийому сигналів GPS, в [35] - для виявлення слабких сейсмічних сигналів в геологорозвідці, в [36] - для вимірювання та компенсації доплерівського зсуву при стисненні зондируючих ФКМ сигналів в РЛС, в [46] - для прийому телеметричної інформації, що передається по металевих трубах бурів сигналами ASK, в [66] - для прийому QPSK сигналів в провідних системах слаботоочної зв'язку.

Вплив шуму на режими роботи ХГ і можливі способи компенсації цього впливу розглянуті в роботах [38-40, 43, 52-54, 64, 67].

В роботі [38] було вперше заявлено про помилковість тези про несприйнятливості ХГ до впливу шуму - за результатами чисельного моделювання було показано, що вплив БГШ на ХГ може привести до його переходу в режим періодичних коливань або перемежованого хаосу - поведінка ХГ стає випадковим, що відбивається на достовірності виявлення.

В роботі [39] було вперше досліджено вплив шуму на параметри критичного режиму ХГ. Як інструмент дослідження були використані біфуркаційні діаграми (БД). Показано, що межа переходу «хаос-цикл» БД, яка визначає критичну амплітуду сигналу збудження ХГ, «розмивається» під впливом шуму, і глибина області ро-

змиття визначається інтенсивністю шумового впливу. Були проаналізовані БД ХГ Дуффінга-Холмса 3-й і 5-го ступеня -прінципальної різниці в ступені розмиття шумом критичної межі БД не виявлено. Зроблено висновок про неминучість помилкових тривог при роботі ХО на базі ХГ даного типу.

В роботі [40] було розглянуто інший випадок недостовірного виявлення - пропуск сигналу. За результатами статистичного моделювання впливу суміші БГШ і сигналу на ХГ Дуффінга-Холмса з параметричних введенням і ІС по Ляпунову було показано, що вже при відносно С / Ш мінус 23 дБ в 72 випадках з 100 випробувань не спостерігалось переходу ХГ в стійке періодичне стан. Було запропоновано застосувати попередню вейвлет-очищення вхідного СП перед подачею на ХВ - показано, що при цьому в 87 випадках з 100 ХГ відразу переходить в цикл.

В роботі [43] на базі Simulink-моделі ХГ Дуффінга-Холмса порядку і візуального аналізу ФП досліджено вплив на стійкість ХО 3-х видів шумів: БГШ, кольорового (смугового) ГШ і кольорового не гауссівського шуму (телеграфного сигналу). Показано, що при додаванні всіх видів шумів ХГ стійко тримається в критичному стані. При впливі БГШ і кольорового ГШ мінімальне відношення С / Ш стійкого виявлення склало мінус 108 дБ; для кольорового не гауссівського шуму - мінус 88 дБ. Даний результат може пояснюватися тим, що при моделюванні величина СКО шумів була на 7 порядків менше амплітуди сигналу збудження.

В роботі [52] відзначається, що шум впливає на фазовий перехід «хаос-цикл», обмежуючи надійність детектування, і для зниження цього впливу амплітуда сигналу збудження повинна вибиратися нижче критичної величини («заглиблення в хаос»).

В роботі [53] пропонується метод, що обмежує вплив шуму на перехід «хаос-цикл» - використання двох паралельно включених ХГ, вихідні коливання яких віднімаються, а амплітуди опорних коливань незначно.

В роботі [64] на основі моделювання ХГ Дуффінга-Холмса з ІС по Ляпунову показано зростання Рлт: при СКВ шуму 0,0001 мінімальне відношення С/Ш, що забезпечує задану якість прийому, так само мінус 69 дБ, а при СКВ шуму 0,001 - вже

мінус 27 дБ . Пропонується попередньо знижувати СКО шуму шляхом взяття ВКФ вхідного ВП і опорного сигналу - тобто ХО обробляє ВКФ.

У роботах [54, 67] пропонується вейвлет-очищення вхідного ВП перед подачею на ХВ. За результатами моделювання показано, що мінімальне відношення С/Ш, що забезпечує задану якість прийому, становить мінус 43 дБ.

Кількісні оцінки завадостійкості ХО, отримані за результатами статистичного моделювання, наведені в роботах [31, 32, 34, 50, 51, 56].

В роботі [31] проведено побудова робочих характеристик (ROC) ХО, досліджені можливості їх поліпшення і проведено порівняння завадостійкості ХО і когерентного детектора. Вивчено такі способи поліпшення ROC: а) підсилення вхідного ВП; б) вибір початкових умов (ПУ); в) вибір ІС; г) вибір ХГ. Показано, що посилення СП і вибір НУ практично не впливає на стійкість ХО, заміна спектрального аналізу на аналіз обвідної вихідного сигналу також нічого не дала, заміна ХГ Дуффінга-Холмса на ХГ Лоренца тільки погіршила ROC. Порівняння завадостійкості ХО і когерентного детектора показало перевагу останнього (рисунок 1.15).

В роботі [32] на Simulink-моделі досліджена стійкість детектора FSK сигналів на базі ХГ Дуффінга-Холмса з алгоритмом ІС по обвідної вихідних коливань ХГ. Наведено залежності ймовірності бітової помилки (BER) від відносини С/Ш, що показують істотну перевагу ХО перед когерентним і некогерентним детекторами FSK сигналів (рисунок 1.16).

В роботі [34] за результатами статистичного моделювання прийому GPS-сигналу на тлі БГШ методом Монте-Карло побудовані характеристики виявлення для ХО з ІС по Ляпунову (рисунок 1.17). Проведено порівняння завадостійкості хаотичного виявлення з завадостійкістю використовуваних сьогодні методів прийому слабких GPS сигналів.

В роботі [50] за результатами статистичного моделювання прийому ХО MSK-сигналів на фоні БГШ методом Монте-Карло побудовано залежності BER від відношення С / Ш (рисунок 1.18).

ROC curves. Improved Duffing vs FFT alone. ($s=113\text{Hz}$, $\text{drive}=104\text{Hz}$)

8192 point FFT, 1Hz bin resolution.

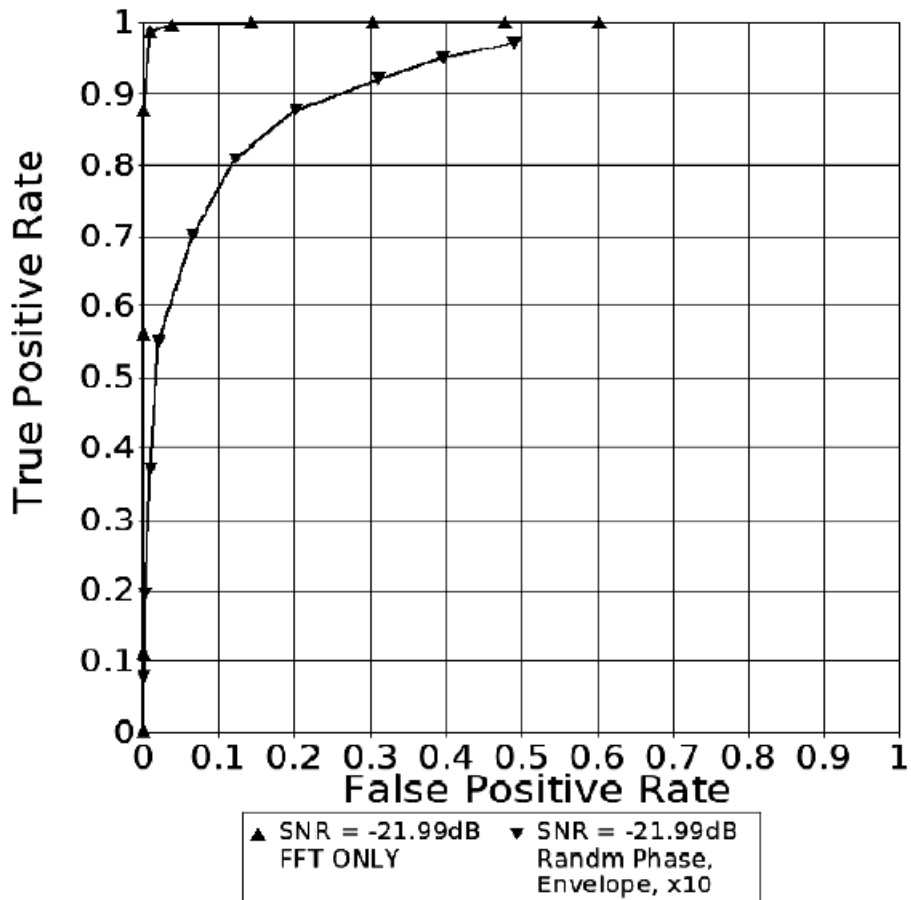


Рисунок 1.15 - Робочі характеристики ХВ і когерентного детектора [31]

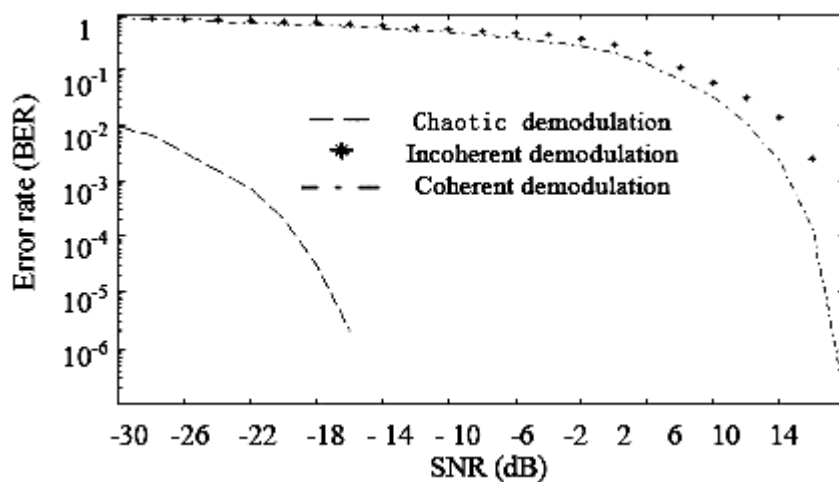


Рисунок 1.16 – Залежність BER від відношення С/Ш при детектуванні FSK сигналів

[32]

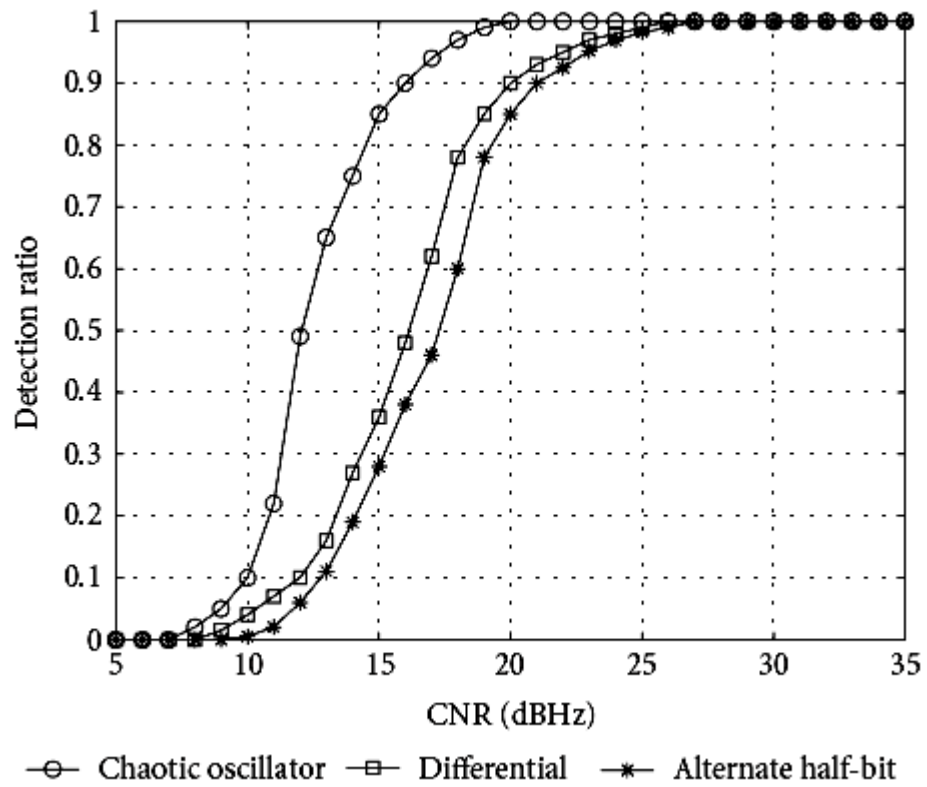


Рисунок 1.17 - Характеристики виявлення GPS сигналу [34]

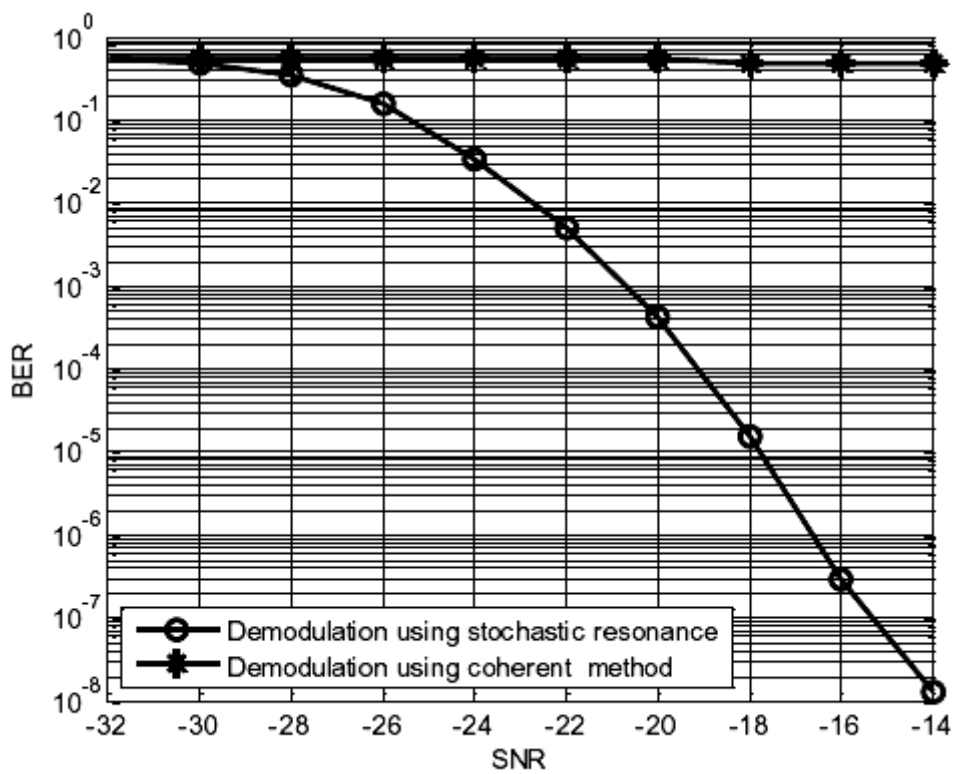


Рисунок 1.18 - Залежність BER від відношення С/Ш при детектуванні MSK сигналів

[50]

В роботі [51] за результатами статистичного моделювання прийому XO DPSK-сигналів на тлі БГШ побудовані залежності BER від відношення С/Ш (рисунок 1.19).

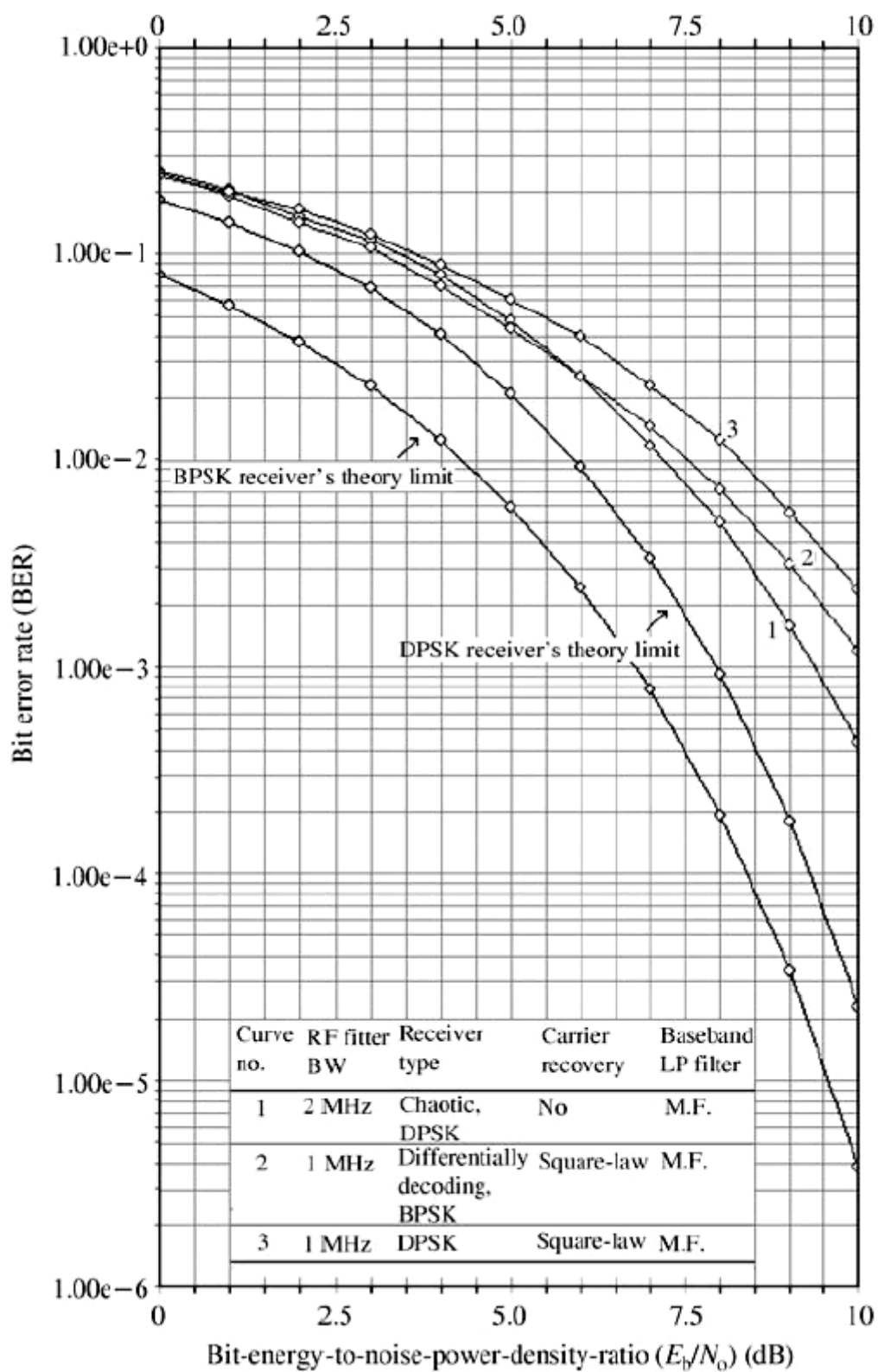


Рисунок 1.19 - Залежність BER від відношення С/Ш при детектуванні DPSK сигналів [51]

В роботі [56] за результатами моделювання прийому BPSK-сигналів на фоні БГШ ХО з ІС методом оператора Тігера побудовані залежності BER від відношення $C / Ш$ (рисунок 1.20).

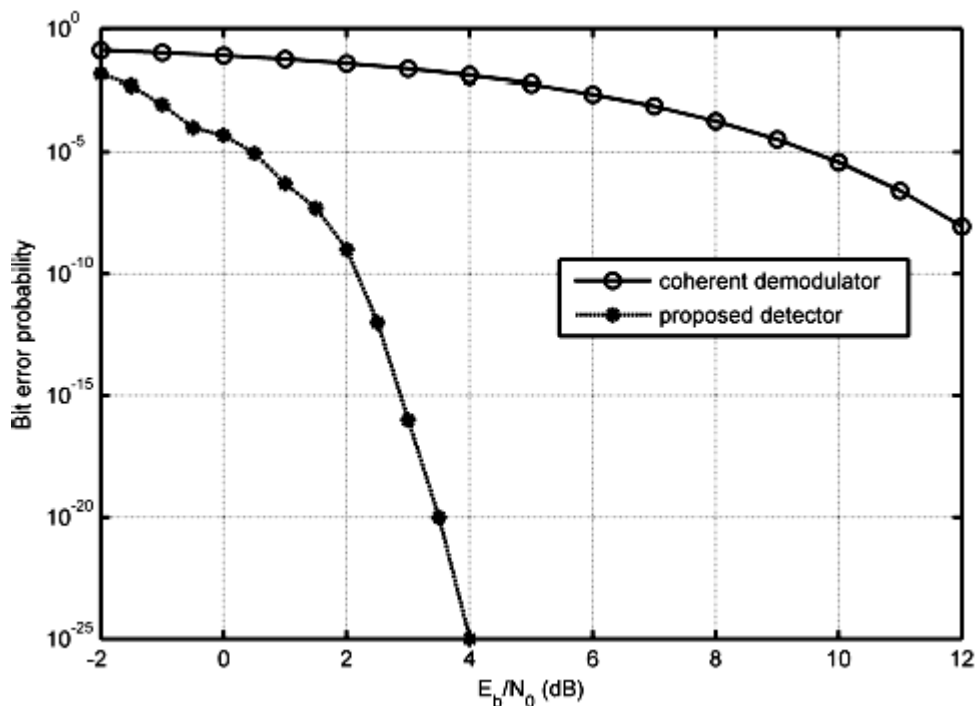


Рисунок 1.20 - Залежність BER від відношення $C/Ш$ при детектуванні BPSK сигналів [56]

В роботі [63] показано, що мінімальне відношення $C / Ш$, при якому можливе достовірне виявлення за допомогою ХО, залежить від частоти дискретизації сигналу (рисунок 1.21). Отриманий результат досить цікавий, оскільки, відповідно до теорему Котельникова, підвищення частоти дискретизації вище деякої граничної величини не забезпечує нової інформації про сигнал і не впливає на характеристики завадостійкості.

Вітчизняні дослідження із застосування динамічного хаосу в радіотехніці зосереджені, в основному, на питаннях використання хаотичних сигналів в якості перешкод, переносників інформації в зв'язкових додатках і зондуючих сигналів в радіолокації [70-74].

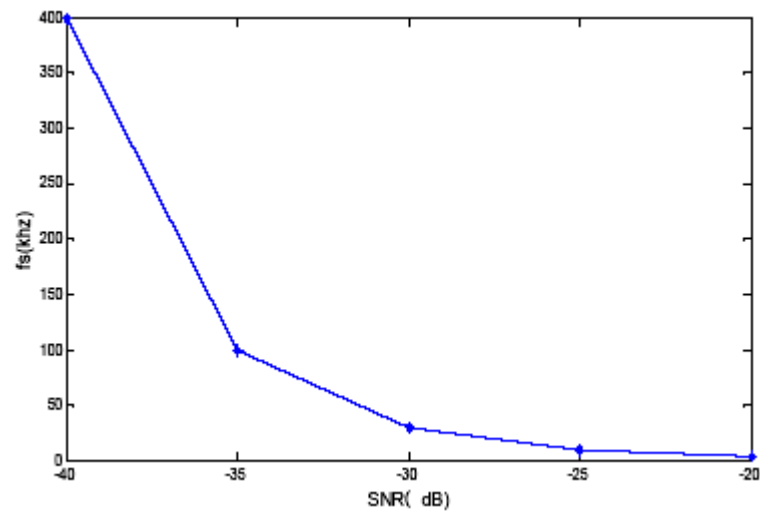


Рисунок 1.21 - Залежність мінімального С / Ш від частоти дискретизації сигналу [63]

У 2011-2012 рр. роботи по хаотичного виявлення гармонійних сигналів були розпочаті на кафедрі радіотехніки та телекомунікацій радіофізичного факультету СПБГПУ [75-77].

У 2012-2013 рр. цикл робіт по хаотичного виявлення був проведений в Алтайському державному технічному університеті ім. І.І. Ползунова (м Барнаул) [79-81]. «Механічна» специфіка вузу, безумовно, наклала свій відбиток на використовувану авторами термінологію і предметну область (так, ХО називається «амплітудним вимірювальним перетворювачем», а в якості області його застосування автори розглядають різного роду датчики), проте варто відзначити ґрунтовність підходу до досліджуваної проблеми і реалізації результатів.

В роботі [79] пропонується нова конструкція ХГ на базі неавтономної хаотичної системи MLC (Murali-Lakshmanan-Chua) кола. Для вибору параметрів цього кола, що забезпечують знаходження ХГ в критичному режимі, вперше використані одно- і двопараметричного БД.

У роботах [80, 81] на базі Simulink-моделі ХГ проведено аналіз завадостійкості ХО на базі MLC-кола. Для зниження РЛТ амплітуда сигналу збудження задавалася на 0,1% менше критичної. Досягнуто виявлення сигналу при відношенні С / Ш до мінус 30 дБ. Досліджено залежність завадостійкості ХО від смуги шуму. Встановлено, що тривалість перехідного процесу «хаос-цикл» має випадковий характер і зай-

має від 5 до 50 періодів. Досліджено можливість використання критичного переходу «цикл-хаос» для виявлення сигналів [81].

1.3 Висновки до розділу і постановка завдань дослідження

Огляд джерел з хаотичного виявлення дозволяє зробити такі висновки:

- в останні роки в світі ведуться пошуки нових методів прийому сигналів, засновані на високій чутливості до зовнішніх впливів ряду систем з хаотичною динамікою;

- авторами декларуються високі показники завадостійкості ХВ і перспективність їх використання в супутникової навігації, радіолокації, телекомунікаційних додатках, геологорозвідці, медицині та інших областях, де присутні завдання виявлення сигналів;

- незважаючи на велику кількість публікацій в цій області однозначні висновки про перспективність даного напрямку зробити складно, що в чималому ступені пояснюється відсутністю аналітичного обґрунтування теорії хаотичного виявлення через неможливість вирішення нелінійних стохастичних ДУ ХГ. Усі надані в роботах результати отримані шляхом чисельного моделювання, що пов'язує їх достовірність з адекватністю використаних комп'ютерних моделей, яку не завжди можливо перевірити. Ряд результатів має явно спекулятивний характер, суперечачи положенням існуючої теорії потенційної завадостійкості;

- разом з тим, деякі заявлені результати не можуть бути просто проігноровані без відповідної перевірки - до таких, наприклад, відносяться твердження про слабкої чутливості ряду ХГ до законів розподілу ймовірностей діючих на них шумів, що, в разі підтвердження, може бути використано для створення робастних виявлювачів;

- вітчизняні дослідження в області хаотичного виявлення практично не відомі, що пов'язано, ймовірно, з деякою інерційністю мислення фахівців-радіотехніків. Досить сказати, що саме явище динамічного хаосу, відоме у всьому світі з 80-х років

минулого століття, в російських радіотехнічних колах досі визнається не всіма [73, 74].

Виходячи з вищесказаного, дослідження властивостей хаотичних виявлювачів і визначення можливих областей їх практичного використання буде актуально.

Метою роботи є підвищення завадостійкості та робастності прийому гармонійних сигналів на фоні адитивних шумів за допомогою систем з хаотичною динамікою.

Для досягнення поставленої мети в роботі повинні бути вирішені наступні завдання:

- 1) Розробка комп'ютерної моделі хаотичного виявлювача на базі ХГ Дуффінга-Холмса.
- 2) Визначення параметрів ХГ і ІС, що забезпечують найбільшу стійкість до шуму.
- 3) Дослідження завадостійкості ХО шляхом побудови і аналізу його ROC.
- 4) Дослідження робастності ХО шляхом побудови і аналізу його ROC.
- 5) Порівняння завадостійкості та робастності ХО і рангового виявлювача.
- 6) Визначення перспективних областей застосування ХО.

Запропонована методика дослідження характеристик ХО, що враховує показники достовірності виявлення (ймовірності правильного виявлення і помилкової тривоги при різних, відносинах С/Ш) і закони розподілу шумів, дозволить провести об'єктивний всебічний аналіз завадостійкості та робастності ХО, чого до теперішнього часу практично не було зроблено ні в однію з відомих робіт. Це дозволить не тільки покласти край будь-якого роду спекуляцій на тему хаотичного виявлення, а й виявити сильні сторони ХО, які можуть бути в подальшому використані для підвищення обороноздатності.

2 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ХАОТИЧНОГО ВИЯВЛЮВАЧА

2.1 Розробка моделі радіоелектронного пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса

Хаотичний виявлювач складається з ХО і ІС, комбінації яких визначають показники його завадостійкості та робастності. Для проведення досліджень розроблено три моделі ХГ Дуффінга-Холмса, що відрізняються ступенем рівнянь генератора

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 0,5 \frac{dx}{dt} - x + x^3 = \gamma \cdot \sin(t), \quad (2.1)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 0,5 \frac{dx}{dt} - x^3 + x^5 = \gamma \cdot \sin(t), \quad (2.2)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 0,5 \frac{dx}{dt} - x^5 + x^7 = \gamma \cdot \sin(t). \quad (2.3)$$

Чисельне рішення рівнянь проводилось методом Рунге-Кутта 4 порядку (додаток 1).

Критичні значення амплітуд сигналу збудження визначаються з БД (рисунки 2.1 -2.3). По осі абсцис БД відкладається амплітуда сигналу збудження, по осі ординат - амплітуди максимумів реалізації вихідного коливання ХГ. Розмиті області на БД відповідають хаотичним режимам, області, що мають вид кривих - періодичним режимам. Критичним станам відповідають кордону переходів «хаос-цикл» і «цикл-хаос». З огляду на, що таких переходів на БД може бути кілька, як амплітуди сигналу збудження вибирається величина, відповідна крайньому правому переходу «хаос-цикл», оскільки з роботи [79] відомо, що внутрішні області циклів БД при впливі сильного шуму зникають.

Адекватність моделей ХГ перевірена шляхом порівняння їх ФП в основних режимах з ФП аналогічних генераторів з робіт [5, 7, 8]. На рисунках 2.4 - 2.6 наведені ФП для ХГ (2.1).

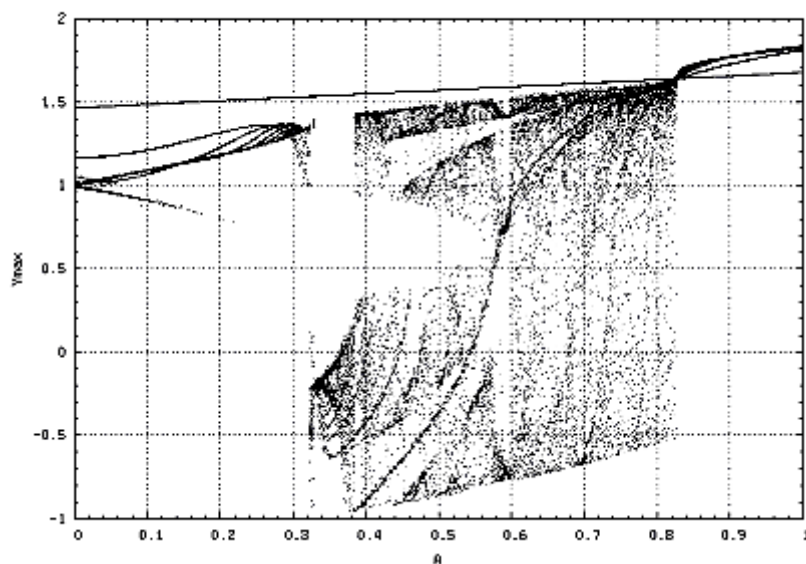


Рисунок 2.1 - Вид БД ХГ (2.1) без шуму

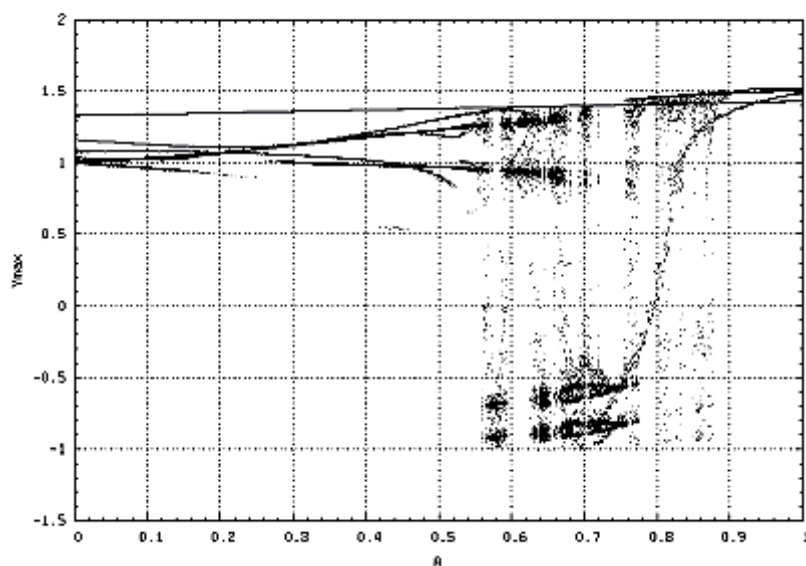


Рисунок 2.2 - Вид БД ХГ (2.2) без шуму

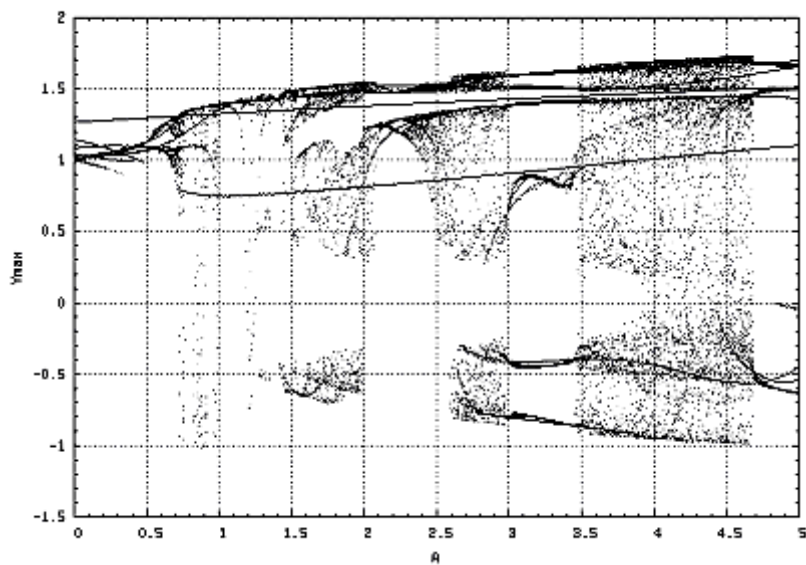
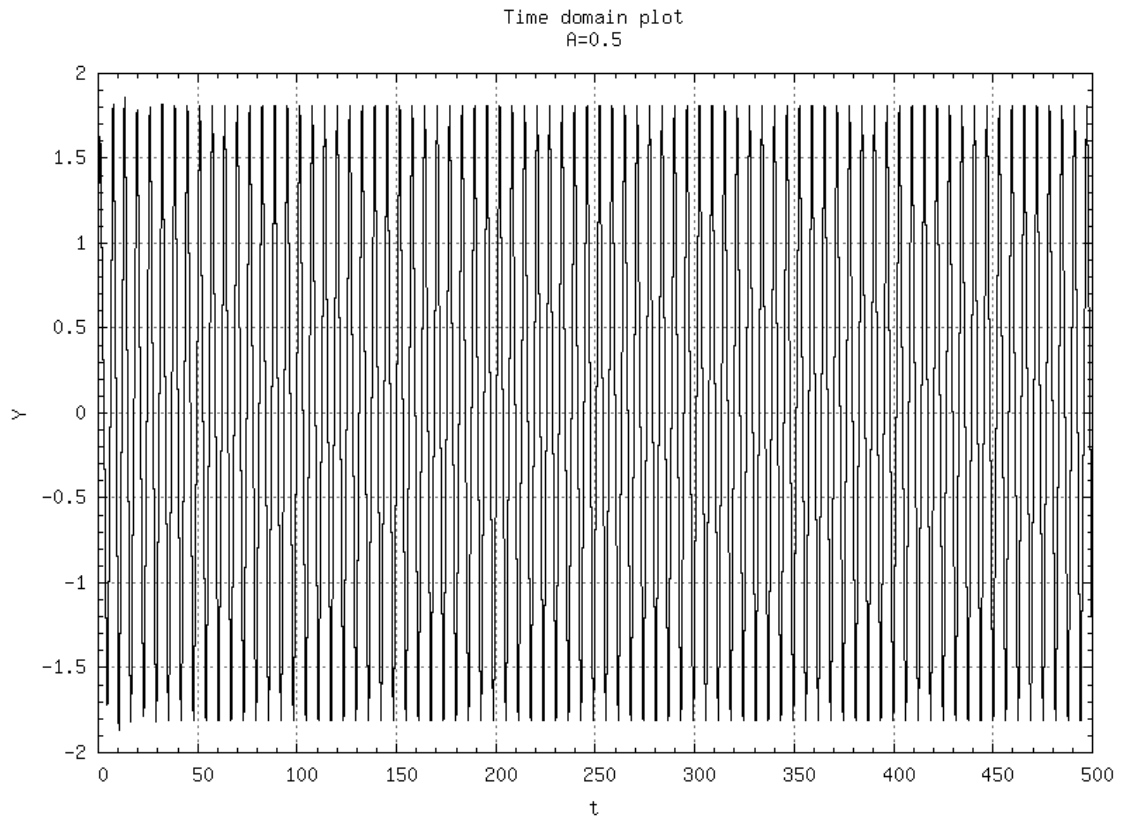
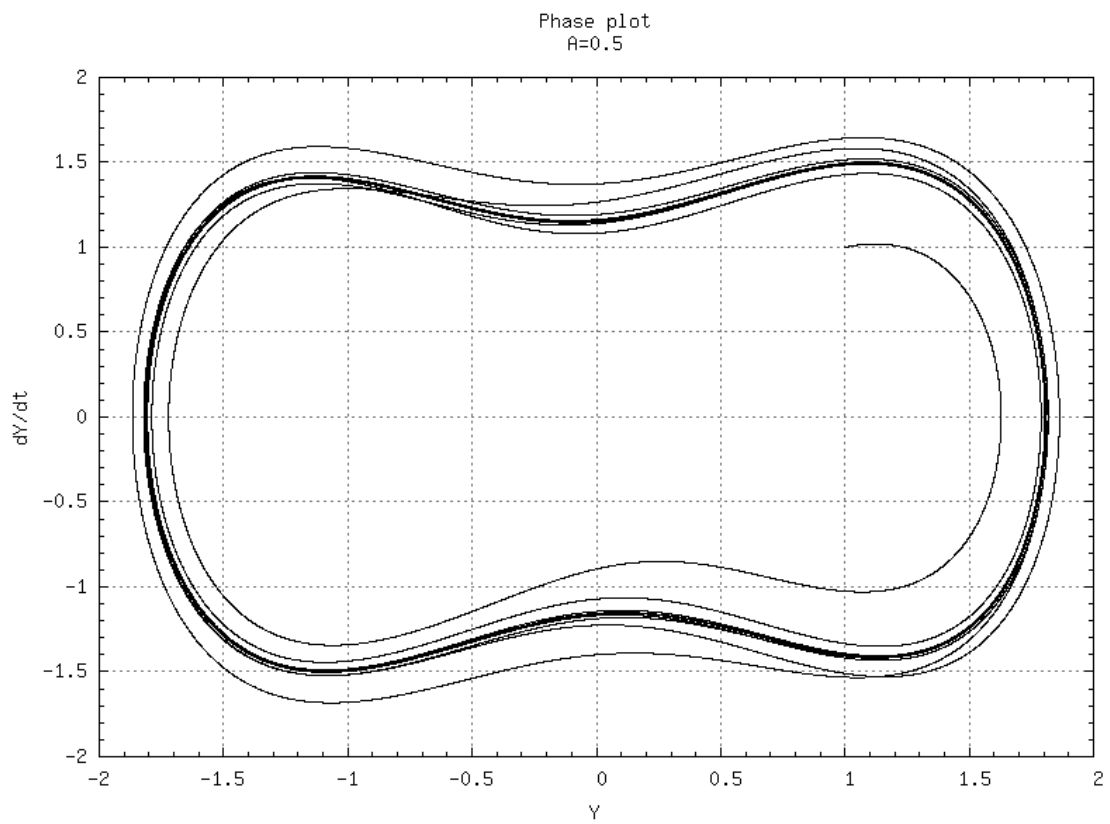


Рисунок 2.3 - Вигляд БД ХГ (2.3) без шуму

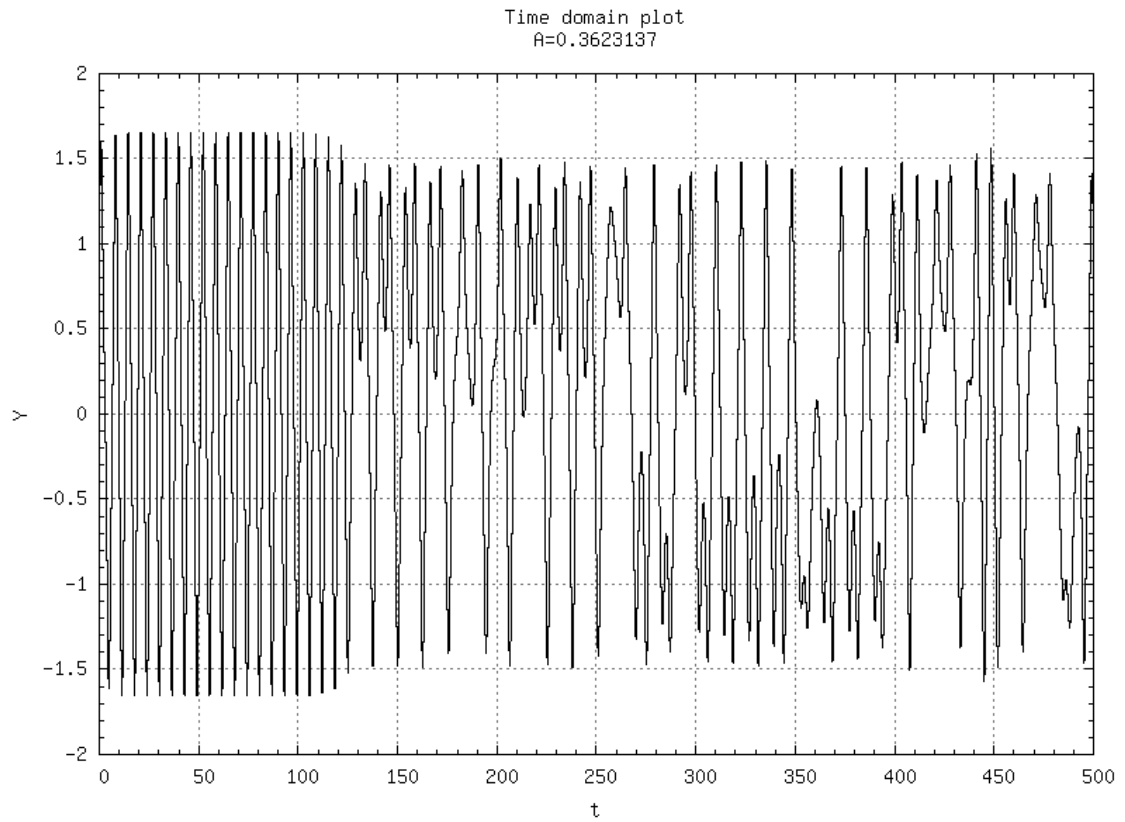


a)

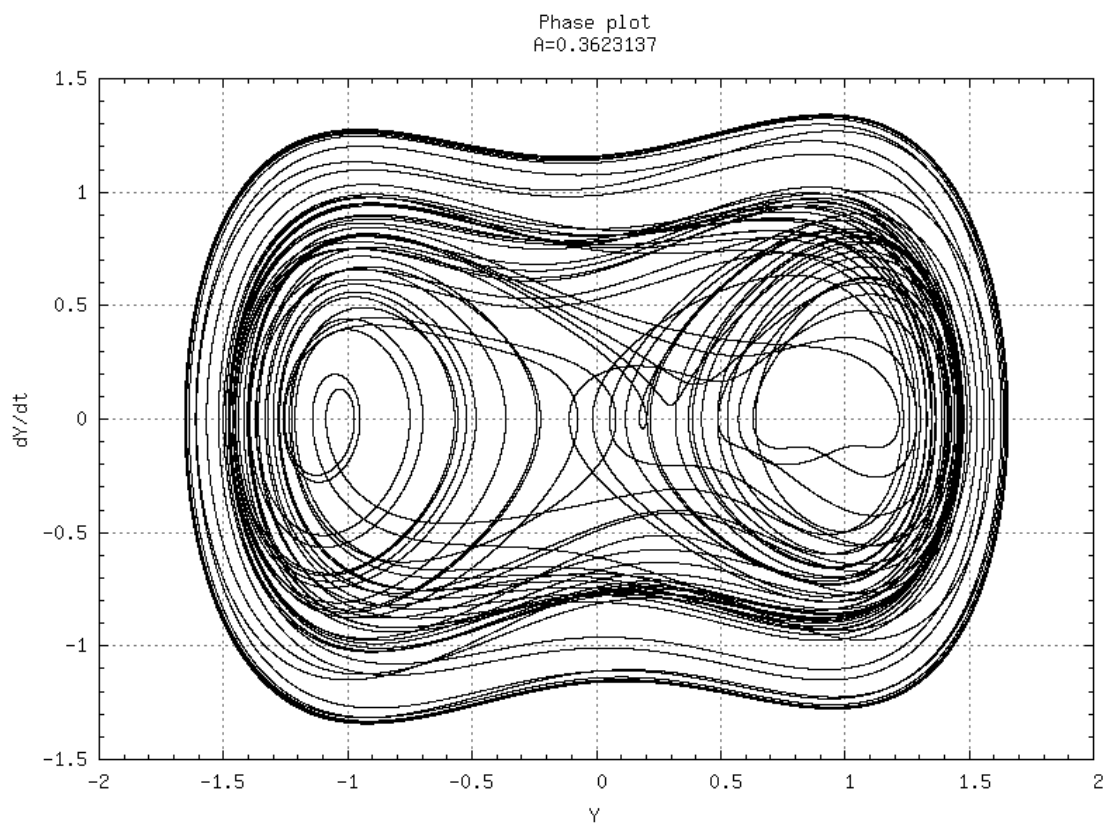


б)

Рисунок 2.4 - Вигляд ФП ХГ (2.1) в періодичному режимі

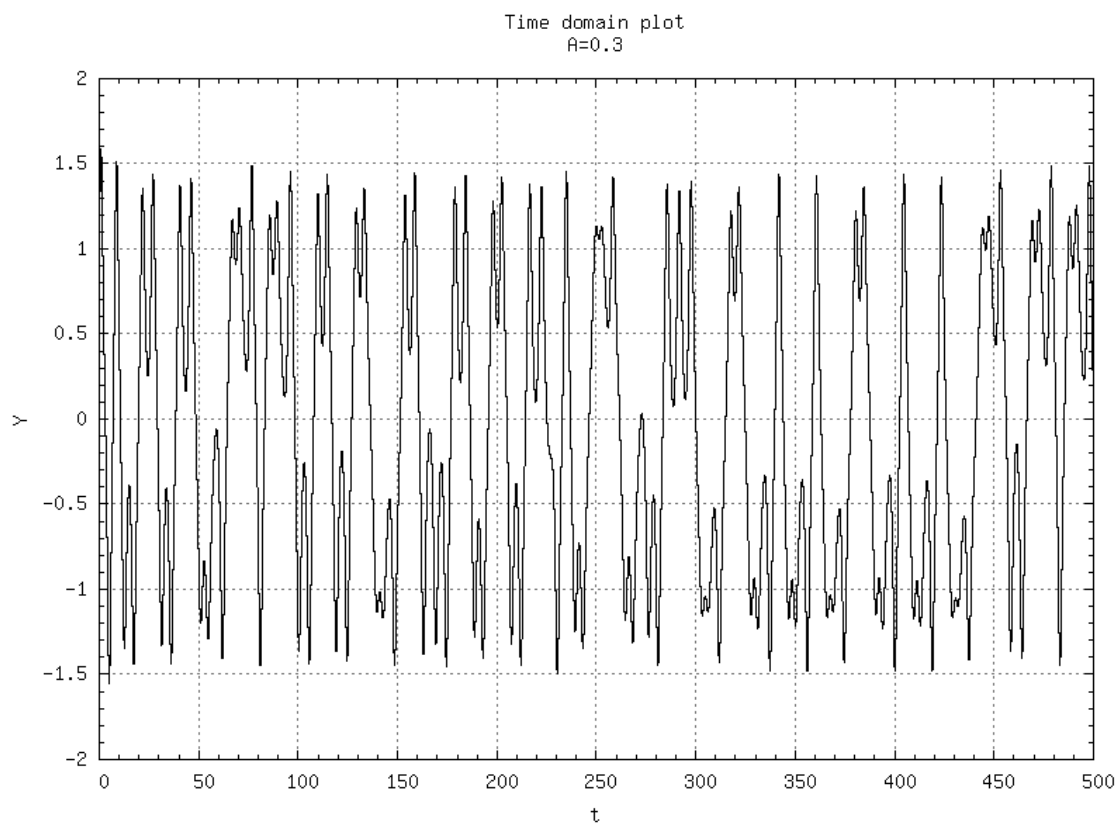


а)

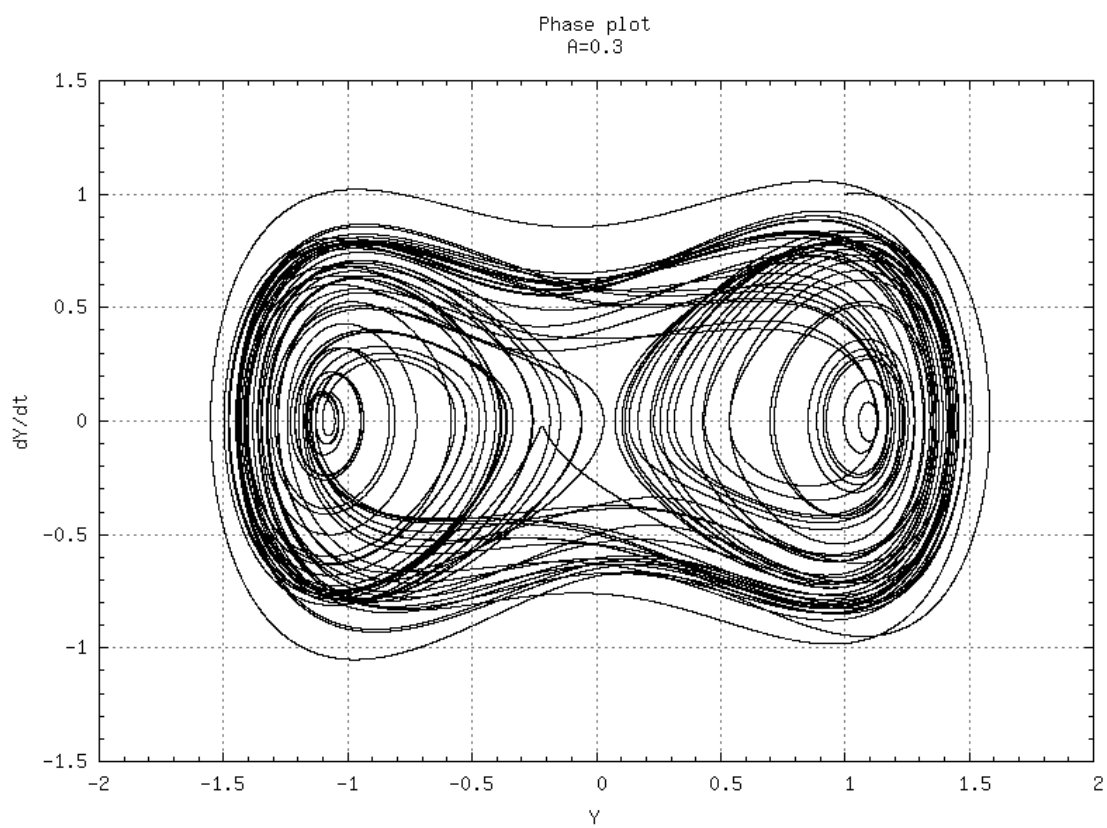


б)

Рисунок 2.5 - Вигляд ФП ХГ (2.1) в критичному режимі



а)



б)

Рисунок 2.6 - Вигляд ФП ХГ (2.1) в хаотичному режимі

При моделюванні ІС ХГ враховувалася можливість його простої технічної реалізації і здатність ідентифікувати стан ХГ по обмеженому числу періодів вихідного сигналу. З огляду на, що більшість способів ідентифікації, розглянутих в п.1.1, не задовольняють цим умовам і не придатні для роботи в режимі реального часу, був запропонований оригінальний спосіб аналіз елемента БД. Кожен «стовпець» БД (безліч точок, розташоване на прямій $A = \text{const}$) представляє сукупність локальних максимумів вихідний реалізації. Для періодичного коливання розкид цих точок буде малий, для хаотичного - великий. При підсумовуванні локальних максимумів реалізації і порівняно суми з порогом: менше значення буде відповідати хаосу. Блок-схема алгоритму ІС ХГ представлена на рисунку 2.7.

2.2 Дослідження впливу зовнішнього шуму на динаміку хаотичної системи Дуффінга-Холмса

Для дослідження впливу зовнішнього шуму на динаміку поведінки ХГ і, відповідно, вірогідність виявлення, розроблена модель БГШ, заснована на центральній граничній теоремі. Черговий відлік БГШ виходить підсумовуванням (з наступною нормалізацією) вибірок генераторів псевдовипадкових чисел, що мають рівномірний розподіл (лістинг 2.1).

```
function gen_noise_sample()
local n=0;
local nsamp=0;
while n<12 do
nsamp = nsamp + math.random();
n = n + 1;
end;
nsamp = ((nsamp / 12.0) - 0.5) * NOISE_K + DC_OFFSET;
return nsamp;
end;
```

Лістинг 2.1 - Підпрограма генерації БГШ

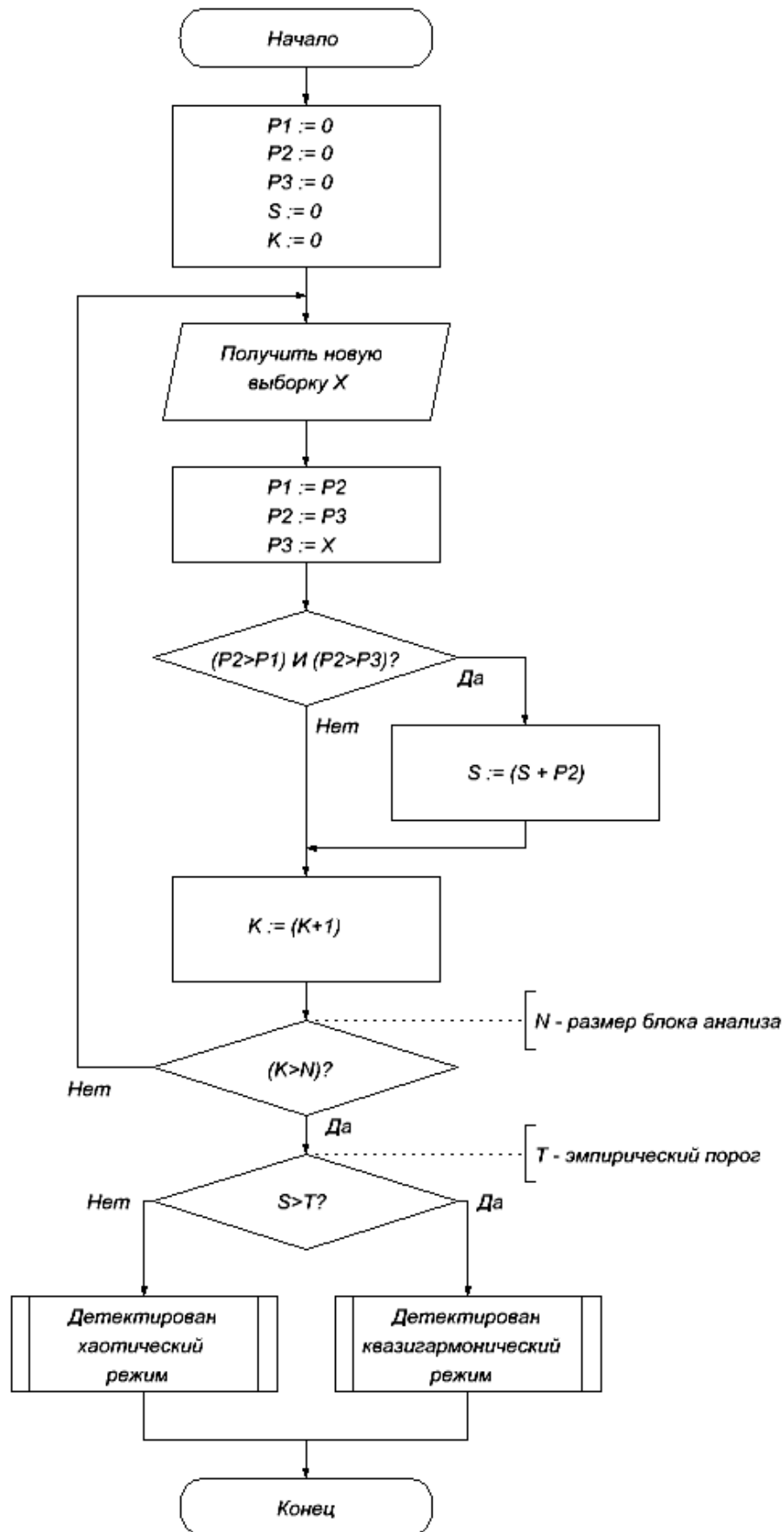


Рисунок 2.7 - Блок-схема алгоритму ідентифікації стану

Вигляд реалізації отриманого БГШ наведено на рисунку 2.8.

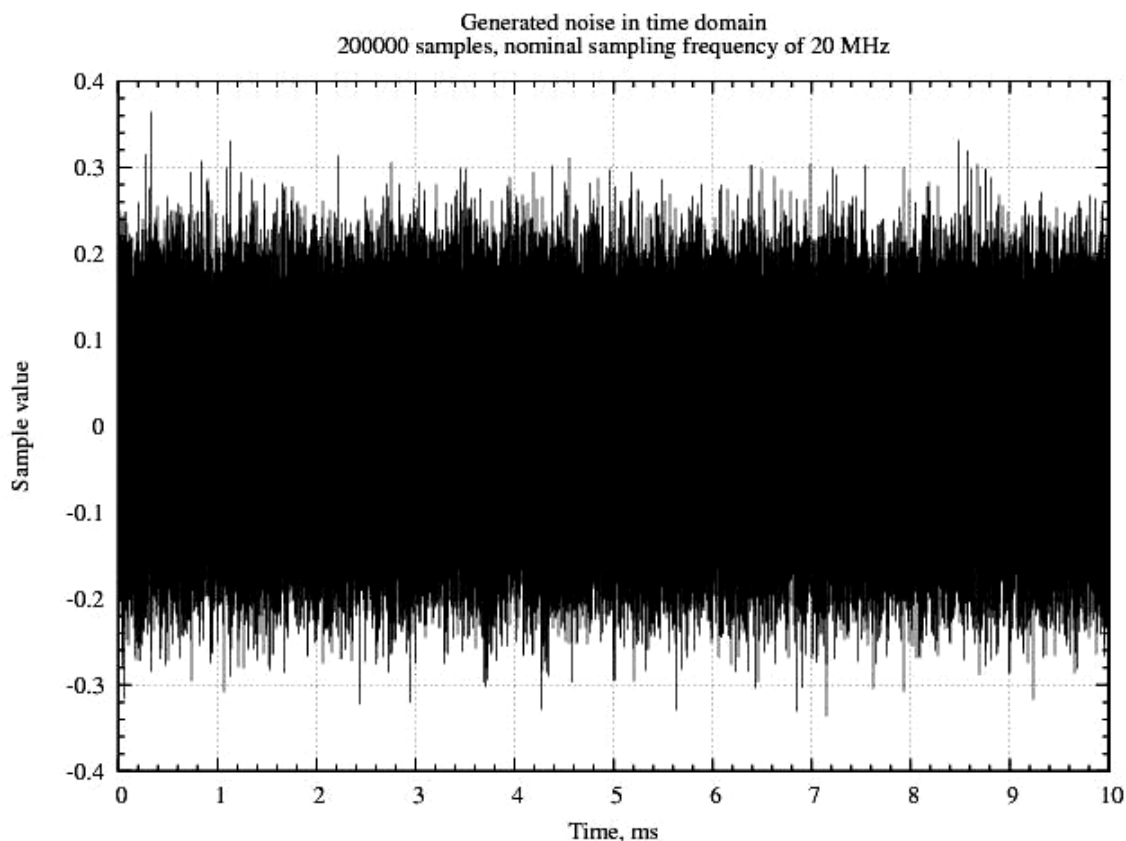


Рисунок 2.8 - Вигляд реалізації моделі БГШ

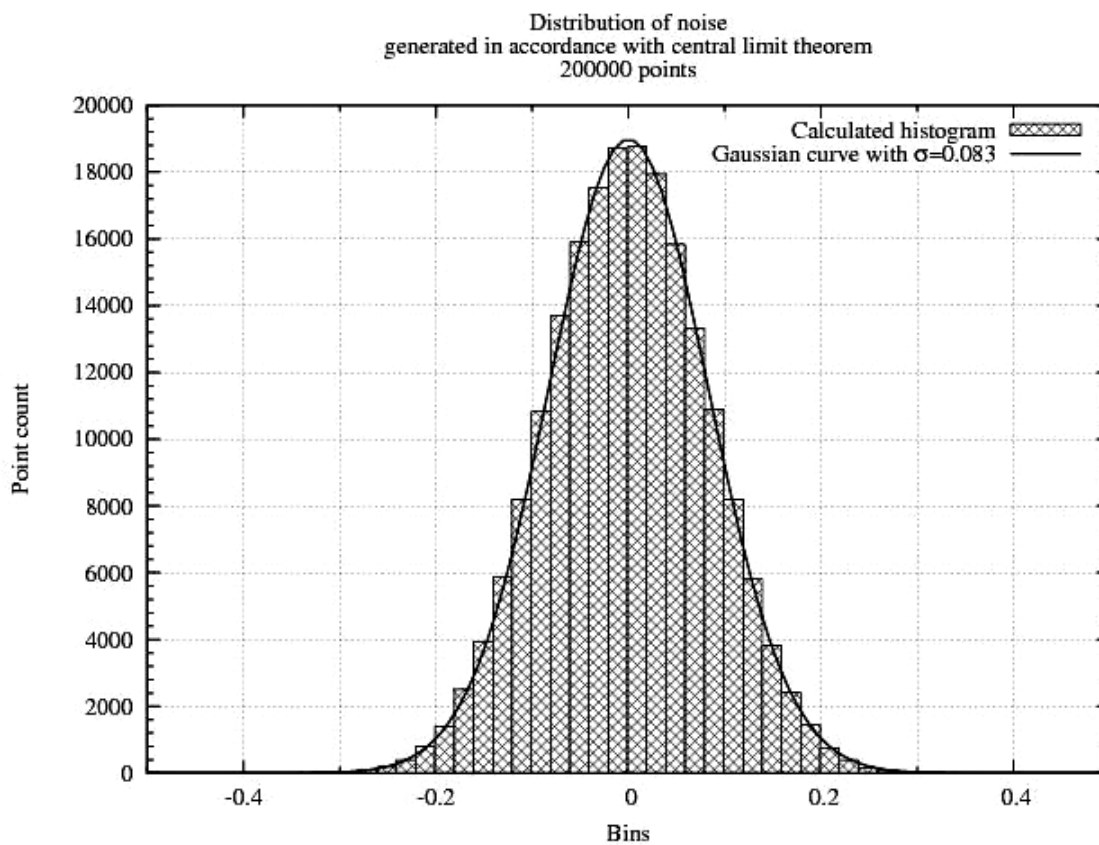


Рисунок 2.9 - Гістограма розподілу моделі БГШ

Гістограма розподілу, кореляційна функція і спектральна щільність середньої потужності (СПМ) БГШ, усереднені по 100 реалізацій, наведені на рисунках 2.9 - 2.11.

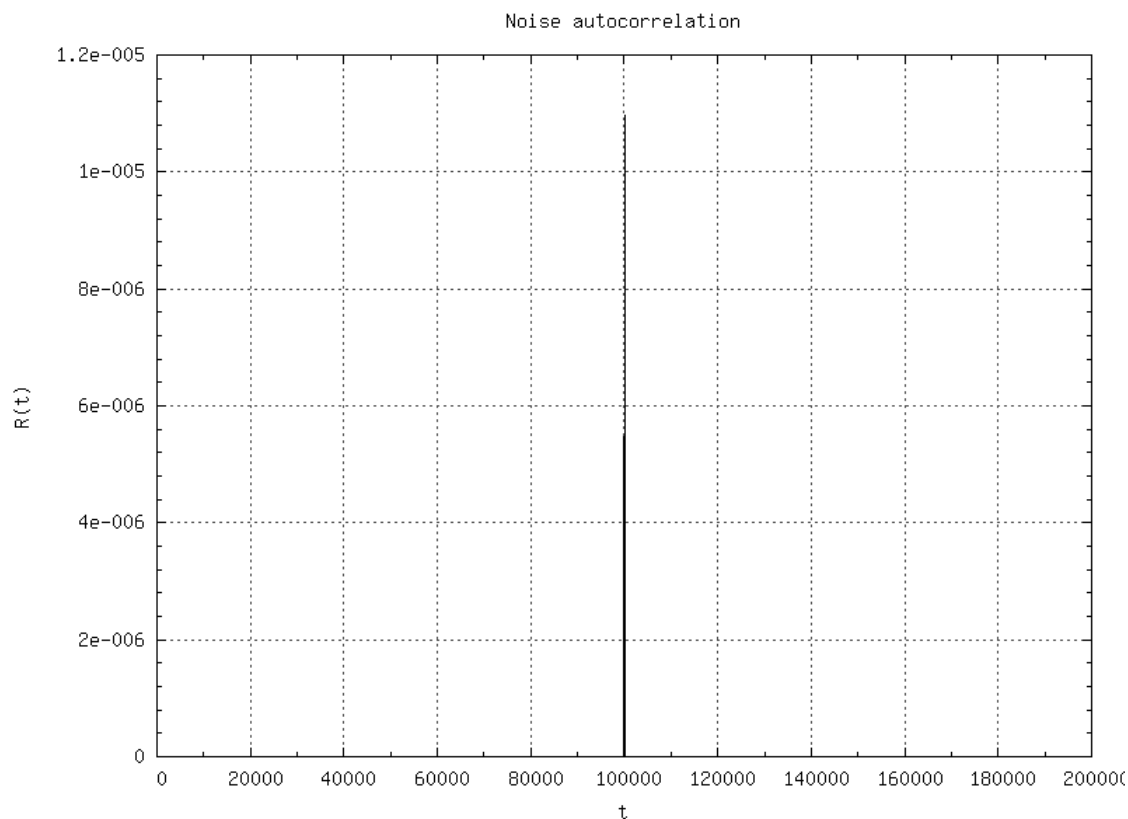


Рисунок 2.10 - Автокореляційна функція моделі БГШ

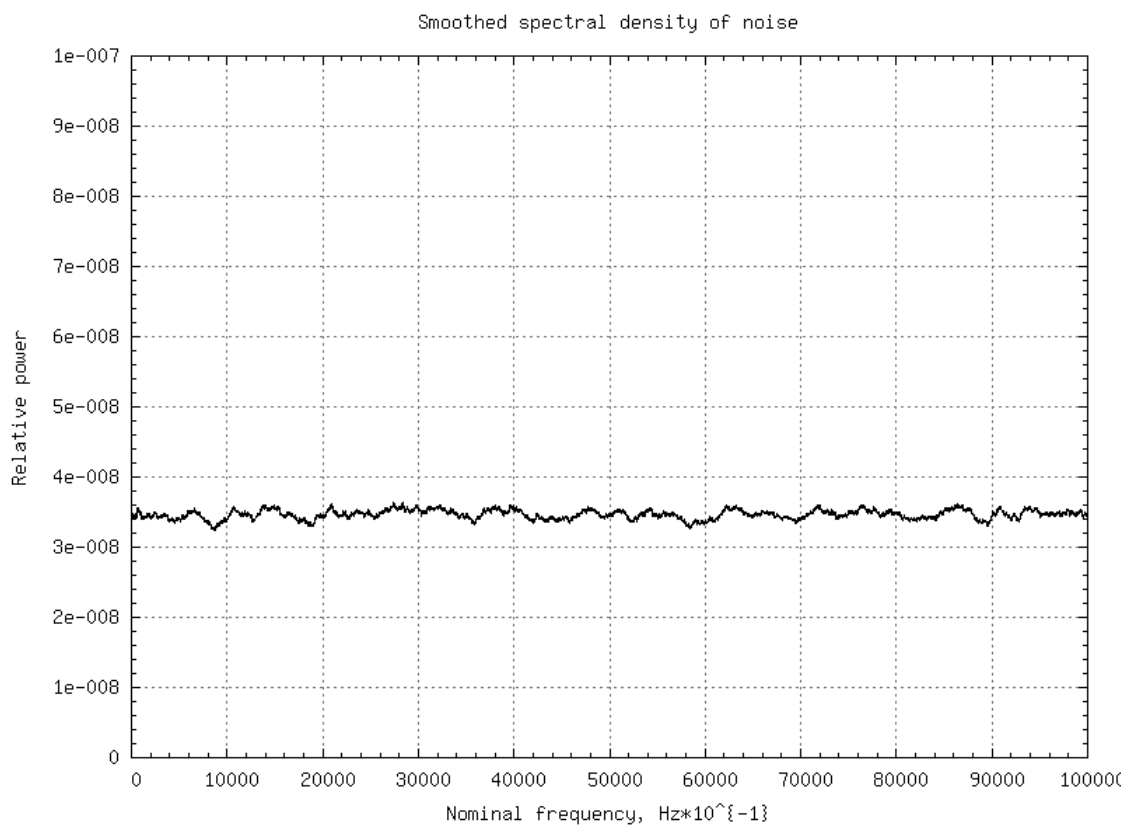


Рисунок 2.11 - СПМ моделі БГШ

З рисунків 2.9 - 2.11 видно, що розроблена модель видає реалізації СП, досить близькі за характеристиками до БГШ.

Оцінка впливу шуму на ХГ проводилася на основі візуального аналізу ступеня розмиття кордонів критичних переходів їх БД. Біфуркаційні діаграми, отримані в умовах впливу БГШ на ХГ (2.1), (2.2), наведені на рисунках 2.12, 2.13. Дослідження ХГ (2.3) не проводилося, тому що він не має переходу «хаос-цикл», придатного для побудови ХО (див. рисунок 2.3).

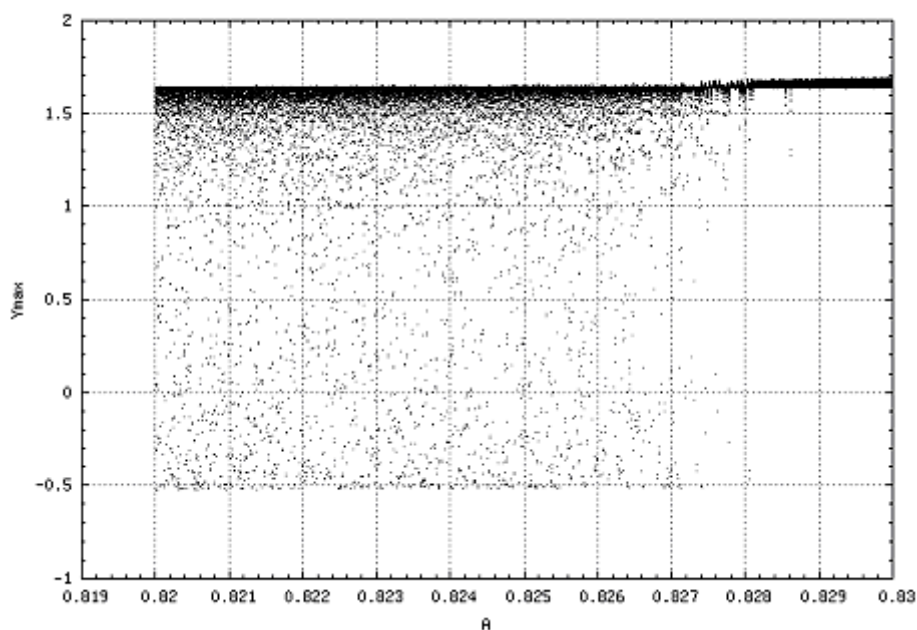


Рисунок 2.12 - Розмитість критичної межі БД ХГ (2.1) при БГШ з СКВ 0,15

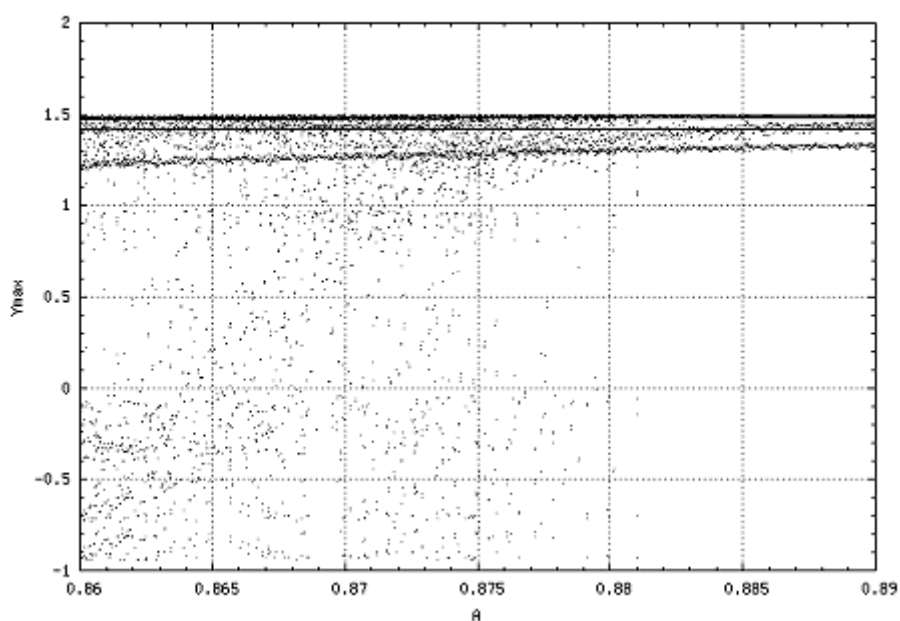


Рисунок 2.13 - Розмитість критичної межі БД ХГ (2.2) при БГШс СКО 0,15

За результатами аналізу БД біля кордонів критичного режиму встановлено, що ХГ не є повністю індиферентним до впливу шуму, як стверджується в ряді джерел - вплив шуму проявляється в розмиття кордонів і зміщення зон переходу «цикл-хаос» і «хаос-цикл», що тягне за собою зниження вірогідності виявлення сигналу. Під дією одного шуму ХГ в критичному режимі може перейти з хаотичного режиму в режим періодичних коливань, в результаті чого ІС прийме рішення про наявність сигналу, що призведе до помилкової тривоги. Аналогічно, при впливом шуму і сигналу недостатньо великої амплітуди ХГ може зберігати на виході режим хаотичних коливань або перебувати в режимі перехідного процесу досить довго, щоб ІС прийняв рішення про відсутність сигналу, що призведе до пропуску сигналу.

Завадостійкість ХГ визначається глибиною розмиття критичної межі БД, тому що вона визначає рівень сигналу, який зможе перевести ХГ з однозначно хаотичного в однозначно періодичне стан. Очевидно, що чим менше глибина розмиття критичної межі БД при впливі шуму даної інтенсивності, тим до слабшого сигналу чутливий ХГ і, відповідно, тим вище стійкість ХО на базі цього генератора.

З рисунків 2.12 - 2.13 видно, що зі збільшенням ступеня нелінійного члена ДУ область розмиття критичної межі його БД під дією шуму розширюється. У зв'язку з цим для подальших експериментів вибирається ХГ типу (2.1) як найбільш стійкий до впливу шуму.

Відповідно до проведеного аналізу джерел (див. П.1.2) подальше підвищення завадостійкості ХГ може бути досягнуто шляхом відповідного підбору його основних характеристик - початкових умов (НУ), коефіцієнта k перед похідною першого порядку ДУ, частот сигналу збудження і дискретизації при моделюванні. Дослідження впливу перерахованих параметрів на вигляд БД ХГ при впливі на нього БГШ і вибір оптимальних параметрів, що забезпечують найменшу ступінь розмиття кордонів БД, проводиться в п.2.3.

2.3 Вибір параметрів практичної реалізації хаотичної системи Дуффінга-Холмса

Для визначення параметрів ХГ, що визначають найкращу стійкість ХО, проведено аналіз впливу (НУ) моделювання, коефіцієнта k , частот сигналу збудження і дискретизації на ступінь розмиття кордону «хаос-цикл» БД в околицях критичного режиму.

Вибір НУ. Як НУ при моделюванні ДУ ХГ в роботі розглядалися початкові значення змінної x ДУ ХГ (2.1) і її похідної. Досліджено вплив на ступінь розмиття БД симетричних НУ (1, 1), (0, 0) і несиметричних НУ (1, 0), (0, 1). Вигляд околу критичної межі БД для перерахованих випадків моделювання наведено на рисунках 2.14 - 2.16. Ступеня розмиття при несиметричних НУ (1, 0) і (0, 1) виявилися практично ідентичними.

За результатами аналізу встановлено, що несиметричні НУ призводять до радикального погіршення характеристик завадостійкості генератора. При нульових симетричних НУ з'являється паразитний квазіхаотичний процес в періодичній області, який передбачає погіршення стану достовірності прийняття рішень ІС. Найбільш чітка межа переходу «хаос-цикл» при впливі шуму спостерігається при одиничних симетричних НУ, які і приймаються за оптимальні.

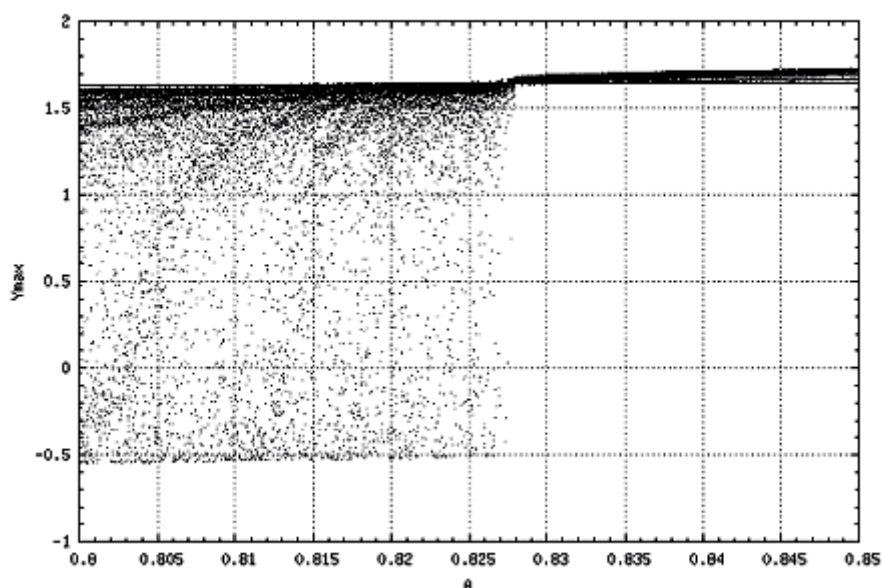


Рисунок 2.14 - Розмитість критичної межі БД при ПУ (1, 1) і СКВ БГШ 0,15

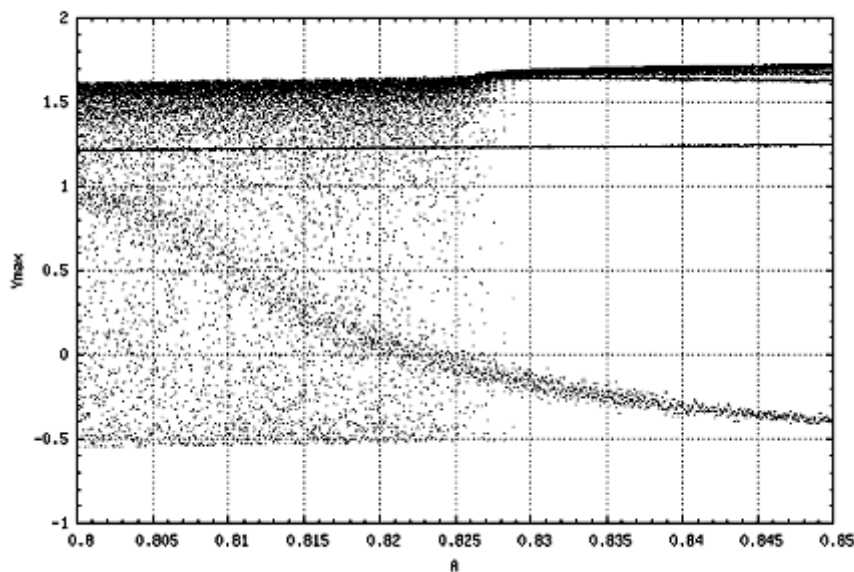


Рисунок 2.15 - Розмитість критичної межі БД при ПУ (0, 0) і СКВ БГШ 0,15

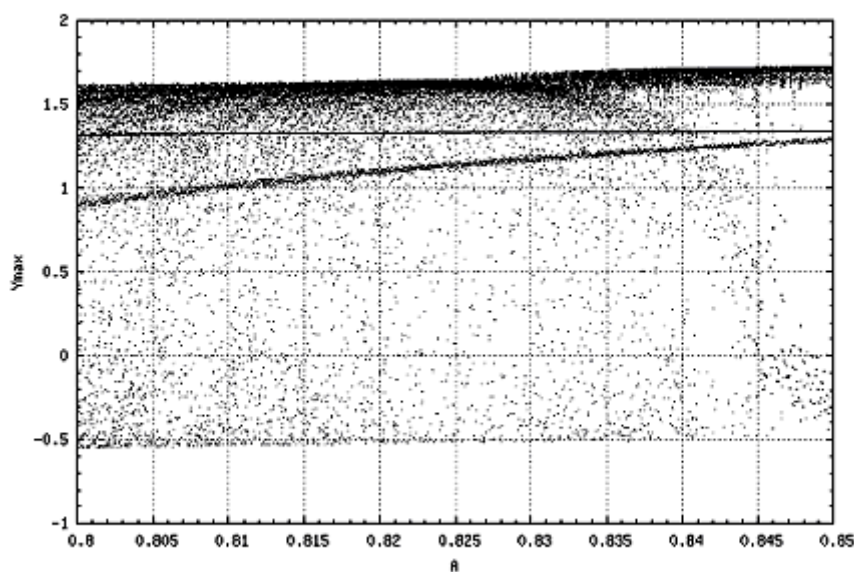


Рисунок 2.16 - Розмитість критичної межі БД при ПУ (1, 0) і СКВ БГШ 0,15

Вибір коефіцієнта k . Коефіцієнт k визначає вплив ступеня нелінійності ДУ на поведінку ХГ. Вигляд БД ХГ при $k = 0,2$, $k = 0,5$ і $k = 0,8$ наведено на рисунках 2.17 - 2.19. З урахуванням встановленого факту впливу величини k на амплітуду критичного режиму на рисунках використаний великий масштаб, який дозволить безпосередньо спостерігати розмиття критичної межі БД, проте дозволяє зробити не менш важливі висновки по завадостійкості ХГ.

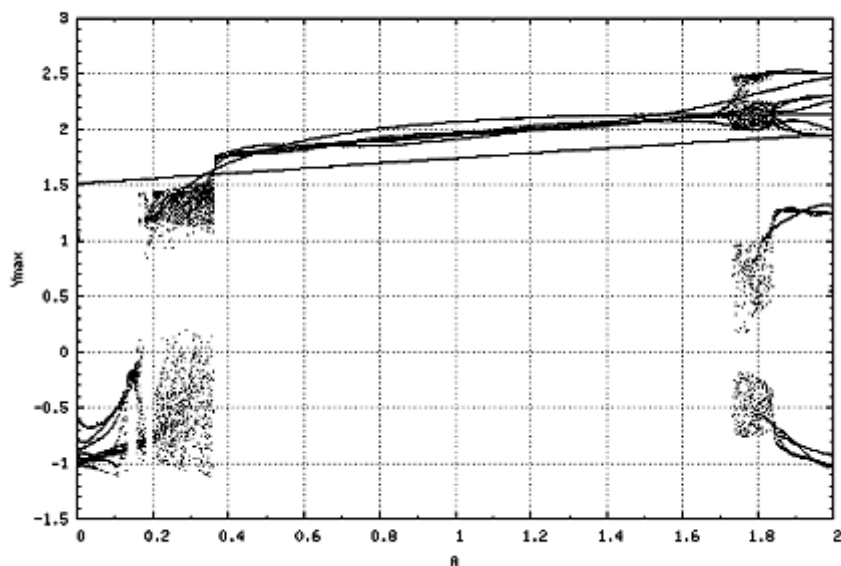


Рисунок 2.17 - Вигляд БД ХГ при $k = 0,2$ і СКВ БГШ 0,15

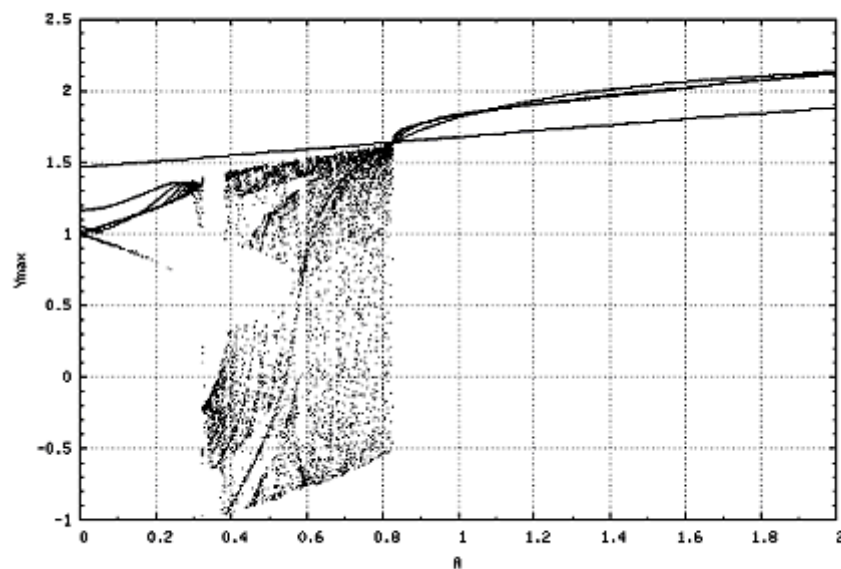


Рисунок 2.18 - Вигляд БД ХГ при $k = 0,5$ і СКО БГШ 0,15

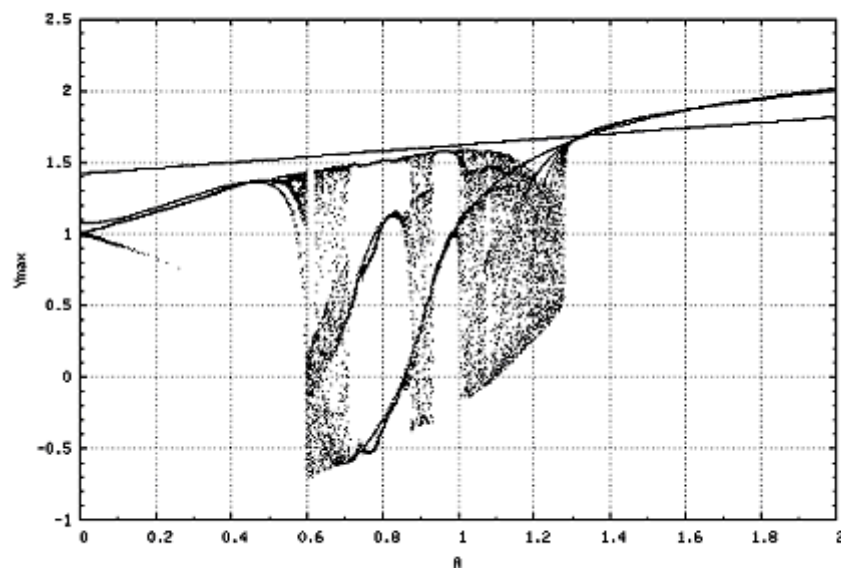


Рисунок 2.19 - Вигляд БД ХГ при $k = 0,8$ і СКО БГШ 0,15

За результатами аналізу встановлено, що збільшення k , крім зсуву БД, призводить до викривлення кордону переходу «хаос-цикл», що відображає збільшення тривалості перехідного процесу. Це може стати причиною пропуску сигналу. З іншого боку, при малих k , незважаючи на збільшення різкості кордону переходу, збільшується кількість ліній періодичного процесу, що також може знизити вірогідність роботи ІС. Прийнятий в роботі алгоритм ІС, заснований на оцінці розкиду амплітуд вихідного сигналу ХГ, буде оцінювати розкид амплітуд одночасно існуючих періодичних коливань, який може бути таким же значним, як і в разі хаотичного коливання, що також може привести до пропуску сигналу.

Таким чином, в якості оптимального приймається значення $k = 0,5$ як розумний компроміс між різкістю кордону переходу і багатомодових періодичного процесу.

Вибір частоти сигналу збудження. До теперішнього моменту оцінка завадостійкості ХГ проводилася для гіпотетичної одиничної частоти сигналу збудження ХГ. У базовій роботі по теорії ХО [16] стверджується, що характер поведінки ХГ не змінюється при переході від одиничної частоти до довільної - досить врахувати зміну частоти відповідно до (1.4). З огляду на численні протиріччя в результатах досліджень, в роботі проаналізовано вплив частоти сигналу збудження на БД. Вигляд отриманих БД наведено на рисунках 2.20 - 2.22.

З рисунків випливає, що автори [16] мають рацію, і зміна частоти сигналу збудження ніяк не позначається на якісному вигляді БД навіть в присутності шуму. Зміна «густоти» точок БД в хаотичних зонах пояснюється збільшенням кількості квазіперіодов вихідного сигналу ХГ, що припадають на одну реалізацію, при збільшенні частоти сигналу збудження ХГ.

Вибір частоти дискретизації. Відповідно до теореми Котельникова підвищення частоти дискретизації сигналу ніяк не позначається на завадостійкості виявника, проте в роботі [63] стверджується, що це правило не виконується для ХО, в зв'язку з чим проведено аналіз впливу частоти дискретизації на БД ХГ в умовах впливу БГШ (рисунки 2.23, 2.24).

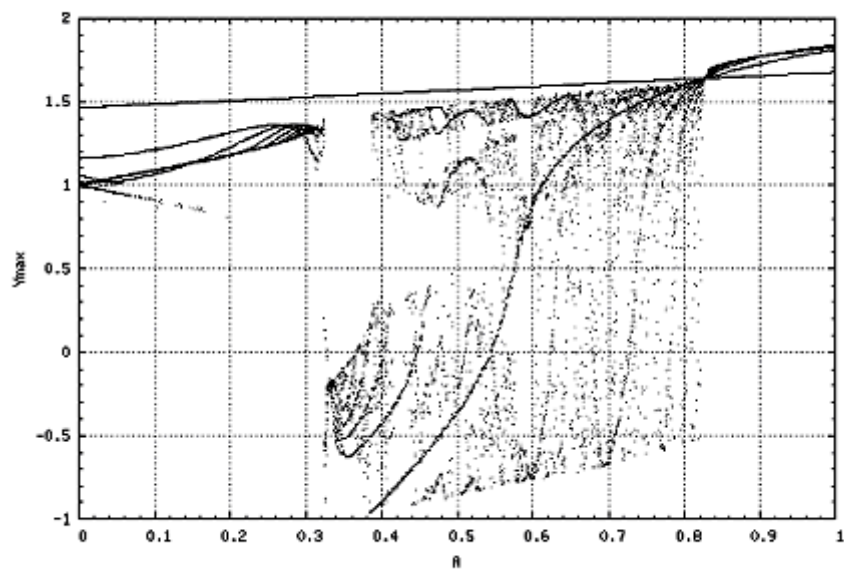


Рисунок 2.20 - Вигляд БД ХГ при $\omega = 0,5$ рад/с і СКВ БГШ 0,15

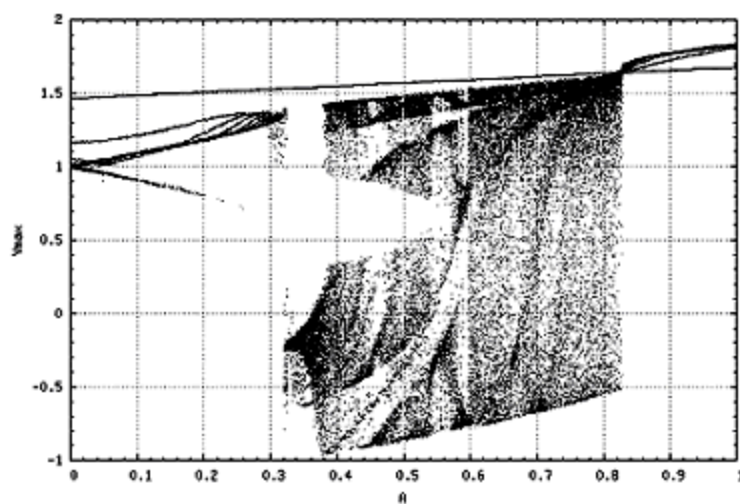


Рисунок 2.21 - Вигляд БД ХГ при $\omega = 3,0$ рад/с і СКВ БГШ 0,15

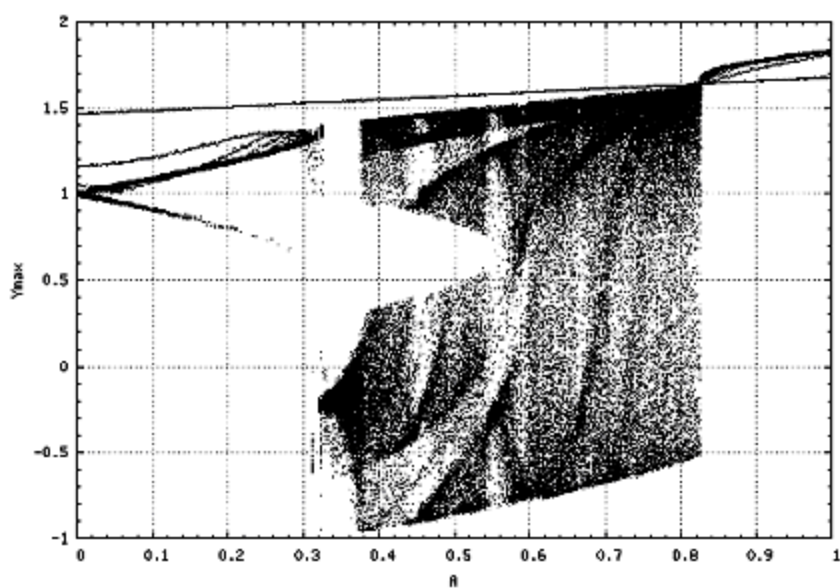


Рисунок 2.22 - Вигляд БД ХГ при $\omega = 7,0$ рад / с і СКО БГШ 0,15

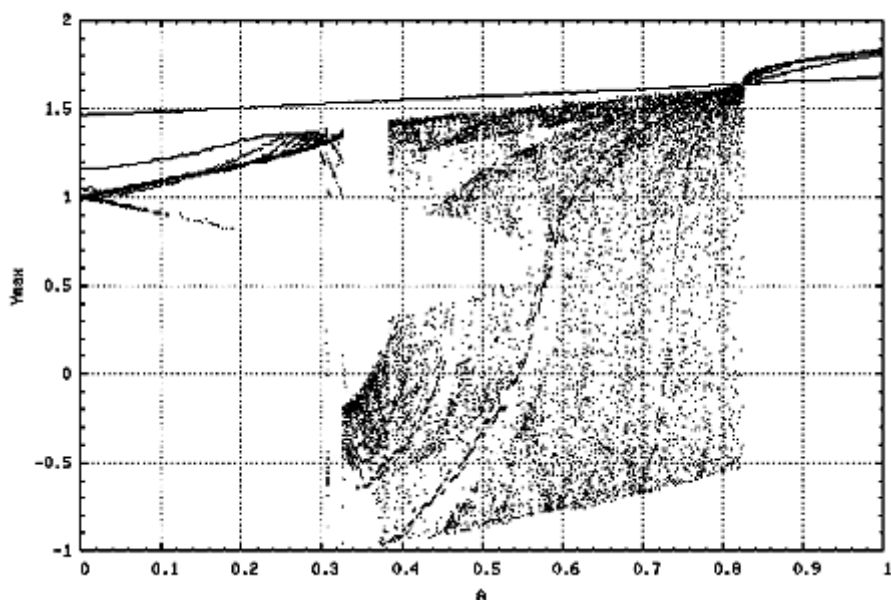


Рисунок 2.23 - Вигляд БД ХГ при $f_d = 200$ Гц і СКО БГШ 0,15 (великий масштаб)

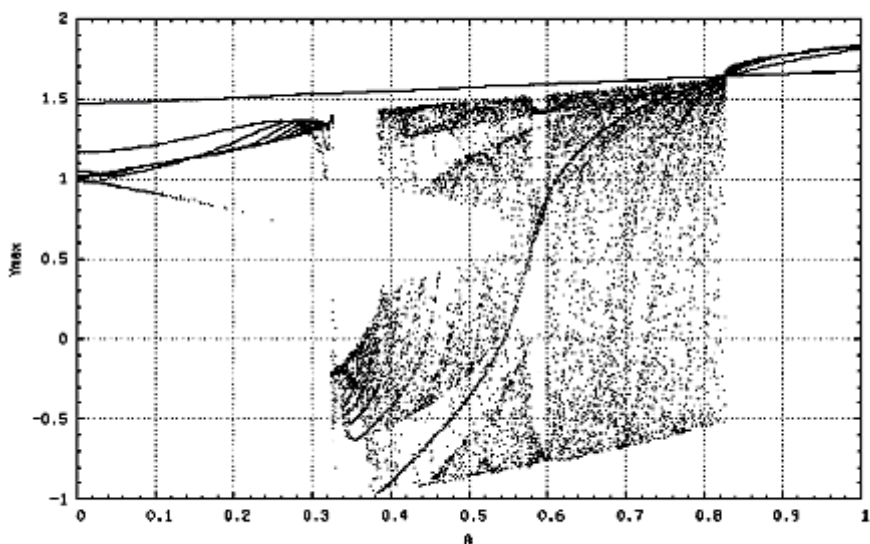


Рисунок 2.24 - Вигляд БД ХГ при $f_d = 2$ кГц і СКВ БГШ 0,15 (великий масштаб)

Моделювання проведено для одиничної частоти сигналу збудження і частот дискретизації 200 Гц і 2 кГц (відмінність на порядок). При цьому побудовані БД не тільки в великому, але і в дрібному масштабах, щоб візуально оцінити ступінь розмиття критичної межі БД при впливі БГШ (малюнки 2.25, 2.26). Аналіз результатів показує, що частота дискретизації дійсно впливає на характеристики завадостійкості ХГ, оскільки призводить до суттєвого розмиття зони переходячи «хаос-цикл» при впливі шуму. Теоретично це явище ще належить осмислити, з практичної точки зору це викликає інтерес до аналогових ХГ.

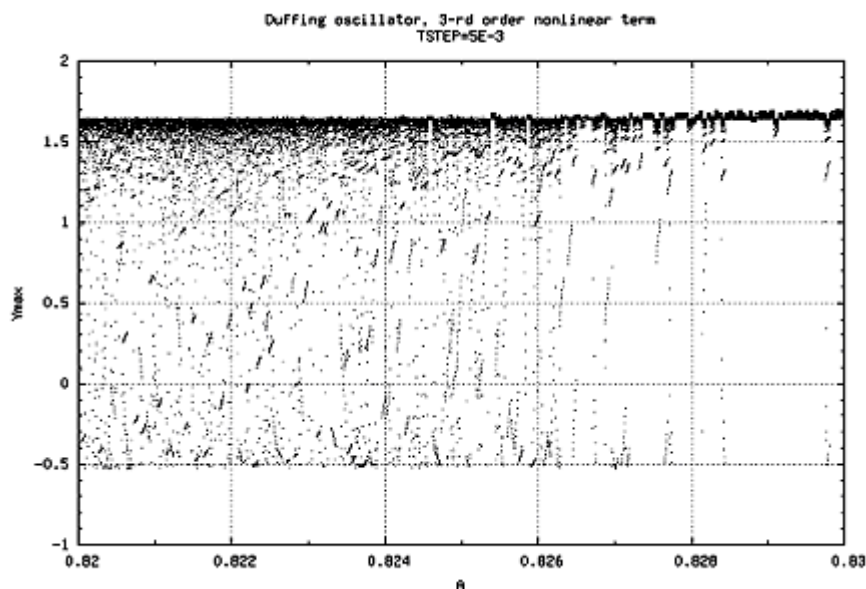


Рисунок 2.25 - Вигляд БД ХГ при $f_d = 200$ Гц і СКВ БГШ 0,15 (дрібний масштаб)

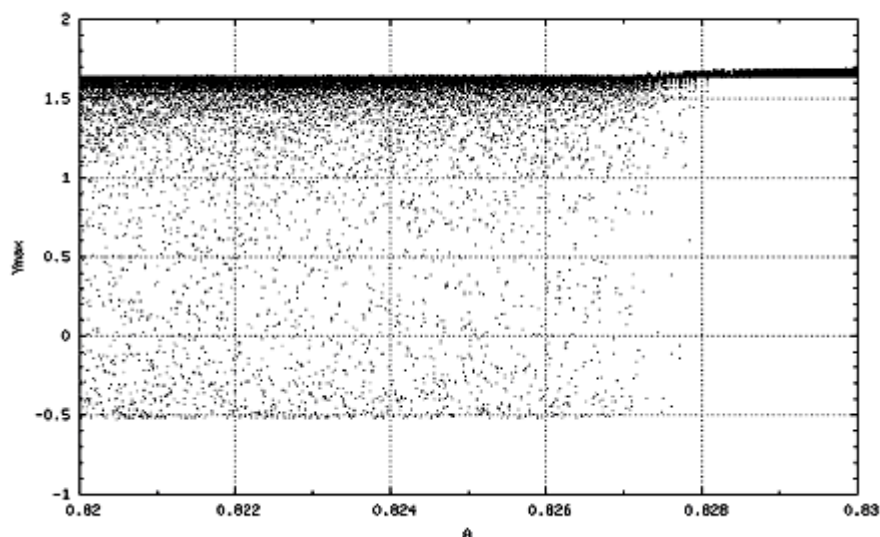


Рисунок 2.26 - Вигляд БД ХГ при $f_d = 2$ кГц і СКВ БГШ 0,15 (дрібний масштаб)

2.4 Висновки до розділу

У розділі здійснено розробку математичної моделі виявника хаотичних сигналів на базі хаотичної системи Дуффінга-Холмса, отримано результати математичного моделювання. Здійснено вибір параметрів генератора Дуффінга-Холмса та досліджено вплив зовнішнього шуму на його динаміку.

3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИСТРОЮ ВИЯВЛЕННЯ СЛАБКИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ ХАОТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДУФФІНГА-ХОЛМСА

3.1 Розробка електричної схеми пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса

Нелінійна динамічна система Дуффінга-Холмса математично описується диференціальним рівнянням другого порядку вигляду [9, 10]

$$\frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} - x + x^3 = a \sin \omega t \quad (3.1)$$

або системою диференціальних рівнянь першого порядку [9, 10]

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = F_1(x_1) - bx_2 + a \sin \omega t, \end{cases} \quad (3.2)$$

де

$$F_1(x_1) = x_1 - x_1^3. \quad (3.3)$$

У рівняннях (3.1) та (3.2) b , a та ω – це відповідно коефіцієнт згасання, амплітуда та частота зовнішньої періодичної дії. Регулюючи будь-які параметри керування, а саме a , ω або b , можна спостерігати періодичні та хаотичні коливання. Числові результати хаотичного режиму, отримані з диференціального рівняння (3.1) за допомогою програмного пакета MathCad 15.0 показані на рис. 3.1.

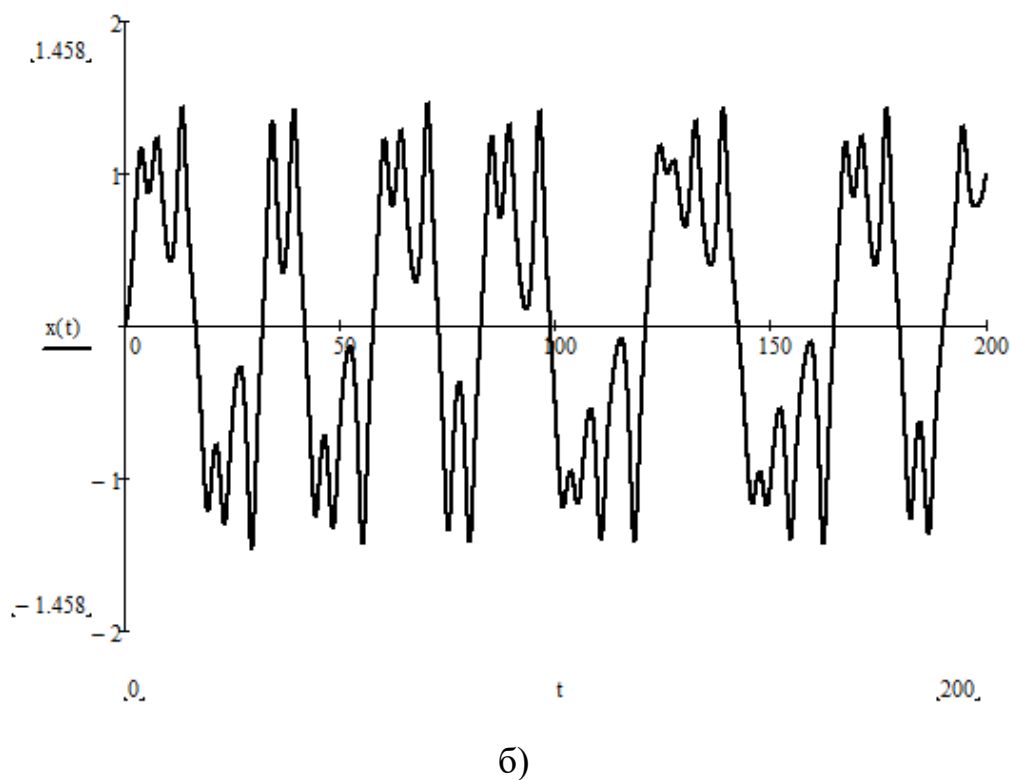
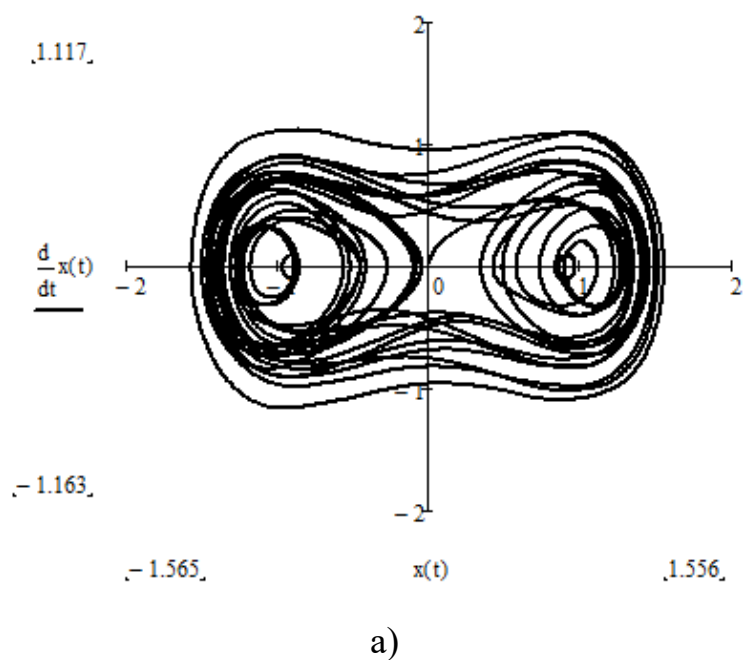


Рисунок 3.1 – Фазовий портрет (а) та форма сигналу $x(t)$ (б) динамічної системи Дуфінга-Холмса при $a=0.25$, $b=0.1$, $\omega=1.0$

Електрична схема радіоелектронного пристрою формування сигналів детермінованого хаосу [10] з вимірювальним обладнанням у пакеті програм схемотехнічного моделювання NI Multisim 10.0, подана на рис. 3.2.

Структурно пристрій складається з таких блоків: 1) підсилювального каскаду на основі ОП DA1.2 на інвертувальний вхід якого подається сигнал зовнішньої синусоїдальної дії; 2) послідовного коливального контуру на елементах R, L і C на виході підсилювального каскаду; 3) нелінійного елемента на основі ОП DA1.1, який включений в коло додатного зворотного зв'язку, що охоплює підсилювальний каскад на основі ОП DA1.2. Математична модель пристрою на рис. 2 побудована на основі скороченою системи диференціальних рівнянь, отриманих за законами Кірхгофа

$$C \frac{dU_C}{dt} = I_L, \quad (3.3)$$

$$L \frac{dI_L}{dt} = F_E(U_C) - I_L R + A \sin(\omega t - \pi), \quad (3.4)$$

де U_C – напруга на конденсаторі C , а I_L – струм через індуктивність L . У рівнянні (3) було зроблено припущення про те, що $R_2 \gg \rho = \sqrt{L/C}$. Постійна фаза π у зовнішній силі $A \sin(\omega t - \pi)$ може бути опущена, оскільки вона не впливає на динаміку системи.

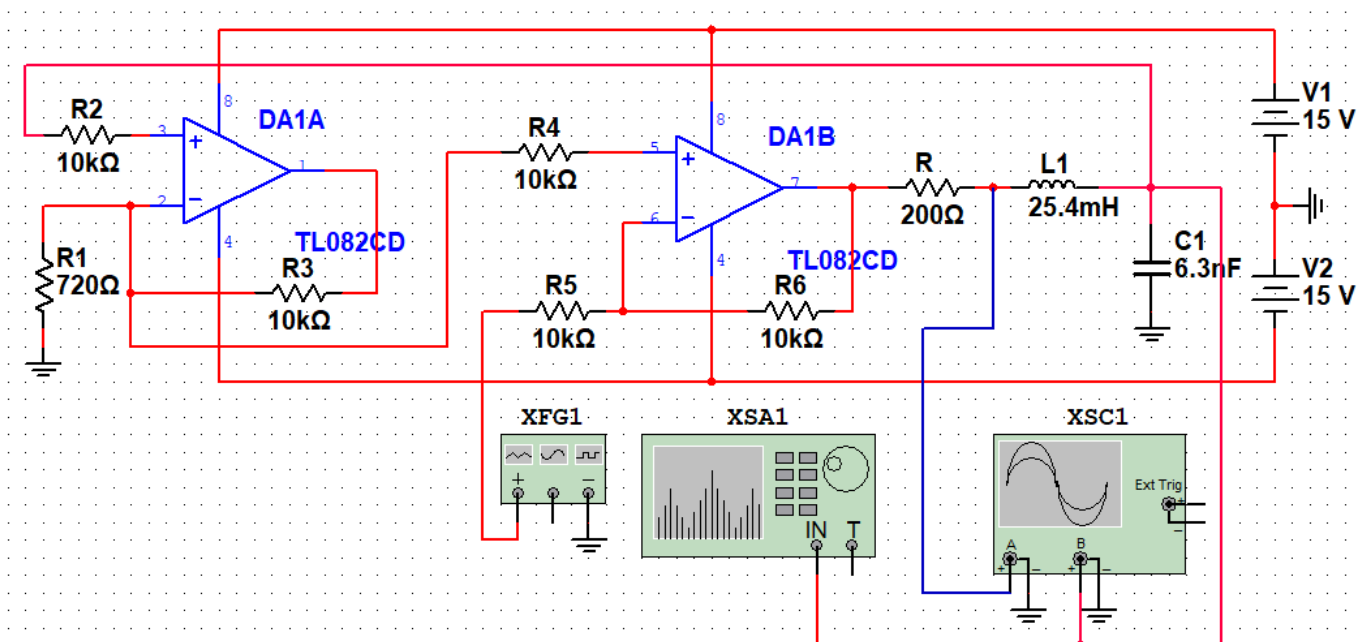


Рисунок 3.2 – Електрична схема радіоелектронного пристрою на основі ОП для реалізації динамічної системи Дуффінга-Холмса в програмі NI Multisim 10.0

3.2 Електричні розрахунки пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса

Каскад на основі ОП DA1.1 працює в режимі обмеження струму та регулює напругу насичення шляхом зміни величини резистора R_1 . Нелінійна функція $F_E(U_C)$ може бути задана трисегментною кусково-лінійною апроксимацією [9, 10]

$$F_E(U_C) = \begin{cases} -(U_C + kU^*), & U_C < -U^*, \\ (k-1)U_C, & -U^* \leq U_C \leq U^*, \\ -(U_C - kU^*), & U_C > U^*, \end{cases} \quad (3.5)$$

де $k = R_6/R_5 + 1$ – коефіцієнт підсилення каскаду підсилення по неінвертуючому входу (коефіцієнт підсилення каскаду підсилення по інвертувальному входу відносно до джерела синусоїдального сигналу $k' = -R_6/R_5$), U^* – напруга насичення. Зручно вибрати $k = 2$, встановивши $R_6 = R_5$. Шляхом введення безрозмірних змінних

$$\begin{aligned} x_1 = \frac{U_C}{2U^*}, x_2 = \frac{\rho I_L}{2U^*}, \tau = \frac{t}{\sqrt{LC}}, \omega = \omega_0 \sqrt{LC}, \\ a = \frac{A}{2V^*}, b = \frac{R}{\rho}, \rho = \sqrt{\frac{L}{C}}, \end{aligned} \quad (3.6)$$

у роботах [9, 10] отримано математичну модель генератора вигляду

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = F_2(x_1) - bx_2 + a \sin \omega t, \end{cases} \quad (3.7)$$

де нормована функція апроксимації [9]

$$F_2(x_1) = \begin{cases} -(x_1 + 1), & x_1 < -0.5, \\ x_1, & -0.5 \leq x_1 \leq 0.5, \\ -(x_1 - 1), & x_1 > 0.5. \end{cases} \quad (8)$$

Як видно, системи диференціальних рівнянь (2) і (7) однакові та відрізняються лише нормованими функціями апроксимації (3) і (8). На рис. 3 наведені отримані автором результати математичного моделювання системи диференціальних рівнянь (7) з урахуванням кусково-лінійної функції апроксимації ВАХ (8) у програмі MathCad 15.0 при таких значеннях коефіцієнтів $a=0.25$, $b=0.1$, $\omega=1.0$. Систему диференціальних рівнянь (7) вирішено за допомогою стандартної функції *rkfixed()*, в основу якої покладено метод Рунге-Кутти 4-го порядку. Порівняння результатів моделювання динамічної системи (7) при різних функціях нелінійного елемента (3) і (8) підтверджує зберігання динаміки хаотичних коливань у цілому, але при різних коефіцієнтах a , b за умови постійної ω .

Результати комп'ютерного схемотехнічного моделювання подані на рис. 4 при таких параметрах сигналу генератора: вид сигналу – синусоїдальний, частота – 12,581 кГц, амплітуда – 200 мкВ.

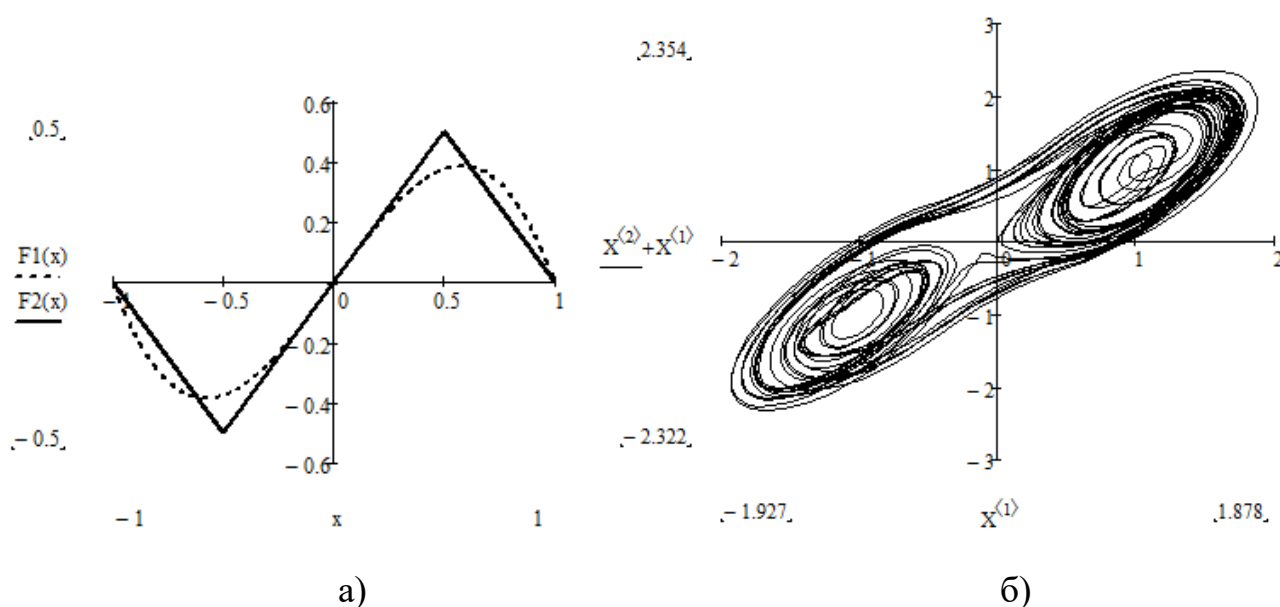
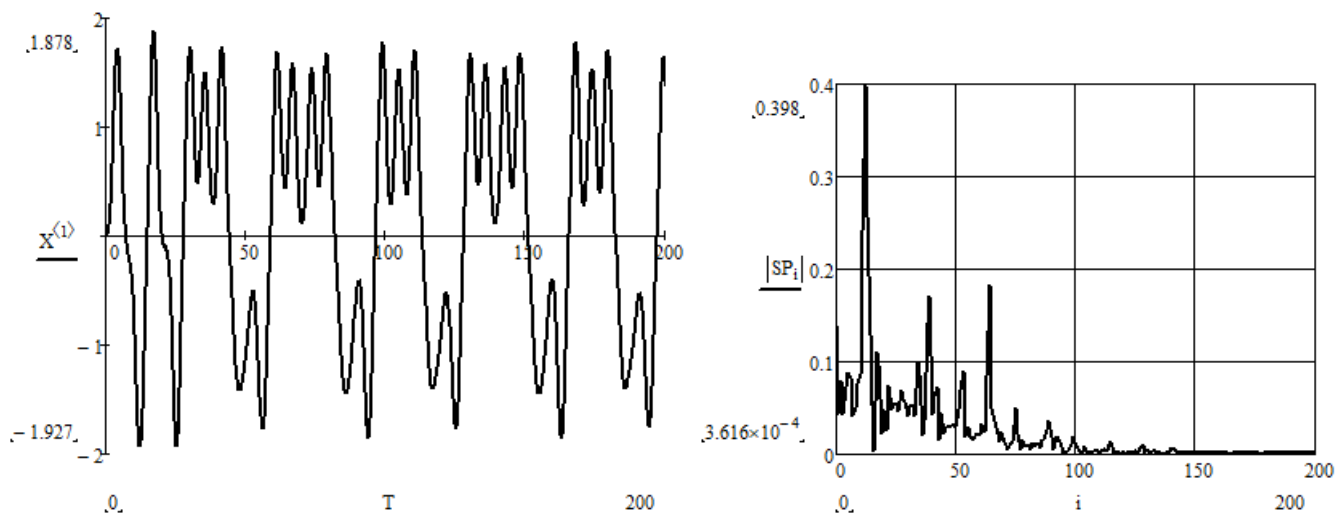
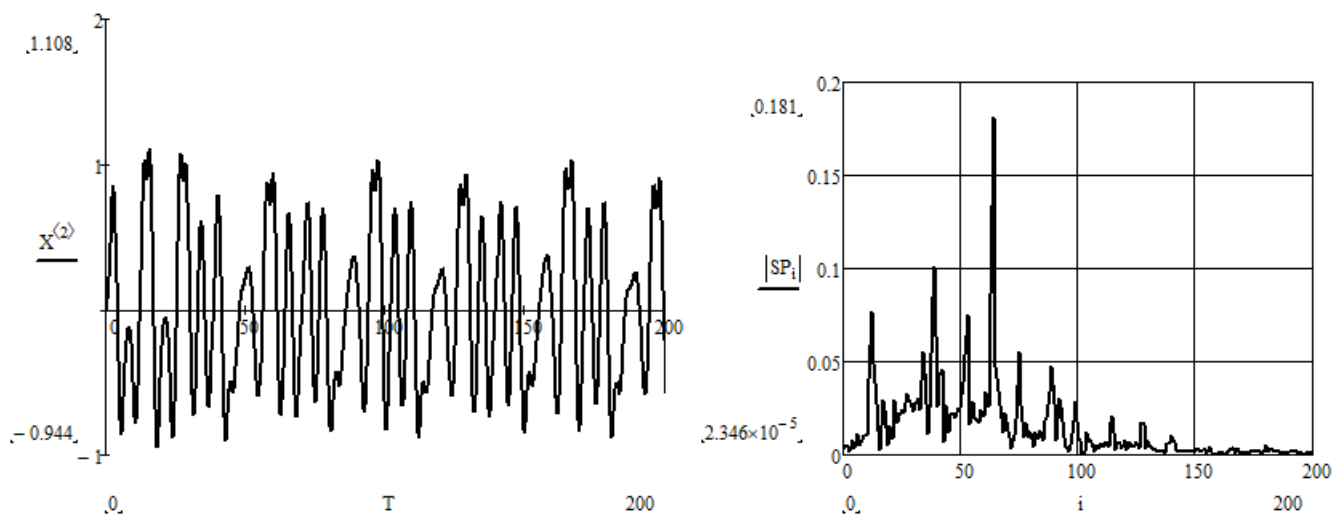


Рисунок 3.3 – Результати математичного моделювання: графіки нормованих функцій апроксимації ВАХ нелінійного елемента (а), фазовий портрет динамічної системи (б)



B)



Г)

Продовження рисунку 3.3 – Результати математичного моделювання: графіки нормованих функцій апроксимації ВАХ нелінійного елемента (а), фазовий портрет динамічної системи (б), часова діаграма та амплітудо-частотний спектр нормованих змінних x_1 (в) та x_2 (г)

3.3 Комп'ютерне схемотехнічне моделювання пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса

Пакет програм National Instruments Multisim 10.0 створює віртуальні лабораторні умови для дослідження радіоелектронних пристроїв з можливістю їх фізичної реалізації. Взаємозв'язок віртуальних і реальних приладів дозволяє створити нові підходи до проектування, дослідження та пошуку несправностей радіоелектронних схем. При цьому середовище Multisim дозволяє виконувати різні за складністю експериментальні дослідження. Це значно спрощує дослідницьку діяльність і мінімізує затрати при проектуванні радіоелектронних пристроїв на фізичному рівні.

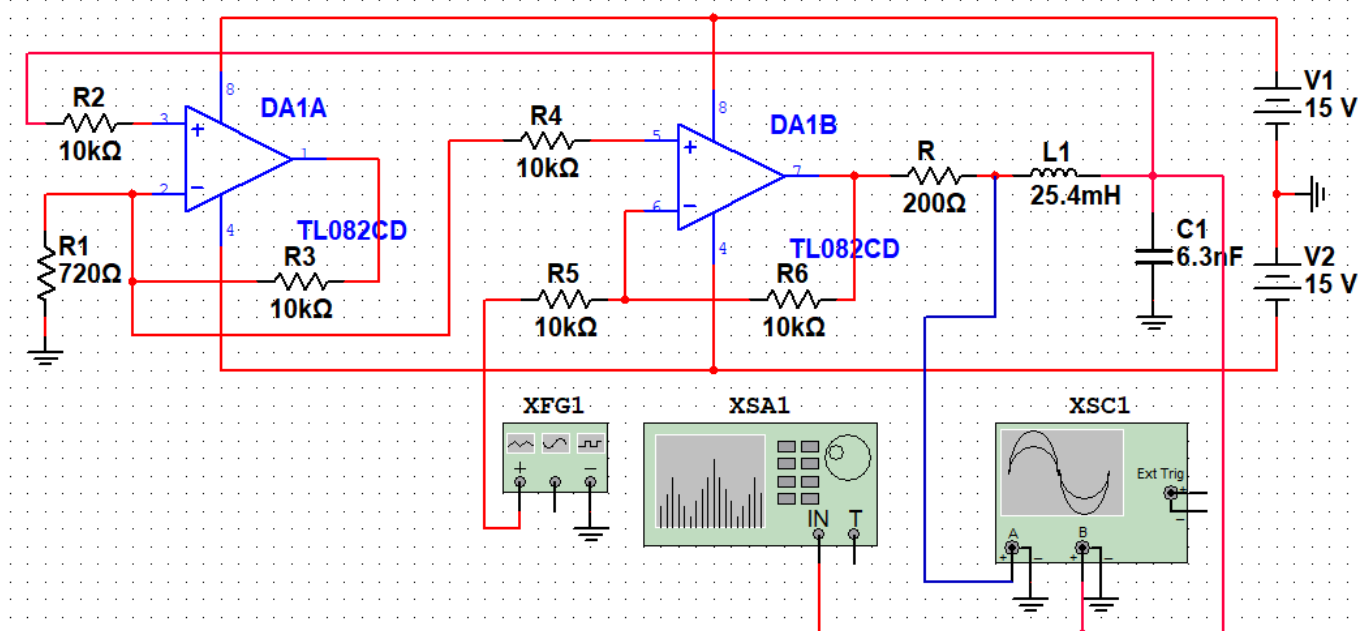
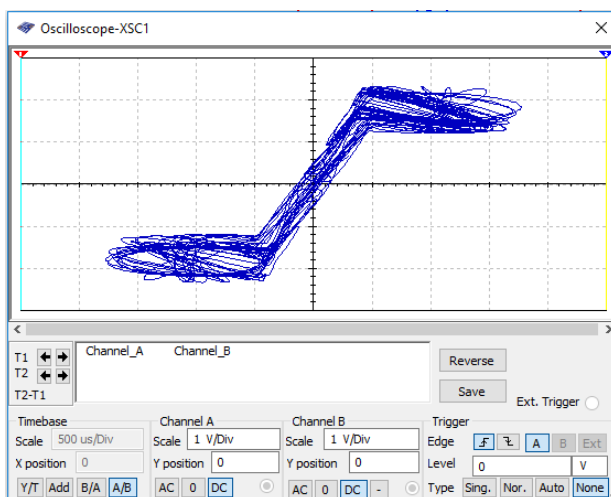
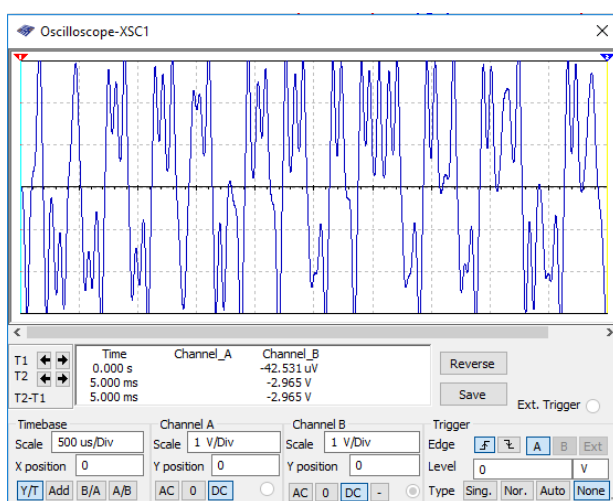


Рисунок 3.4 – Електрична схема радіоелектронного пристрою на основі ОП для реалізації динамічної системи Дуффінга-Холмса в програмі NI Multisim 10.0

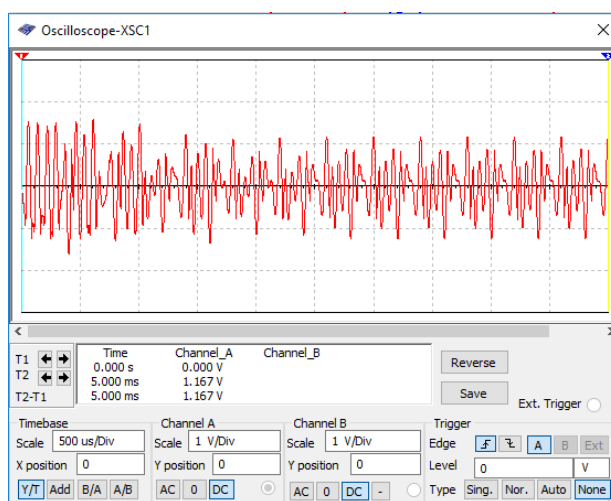
При зазначених на рис. 3.2 параметрах радіокомпонентів коефіцієнти системи диференціальних рівнянь становлять $a=0.2514$, $b=0.0996$, $\omega=1.00004$.



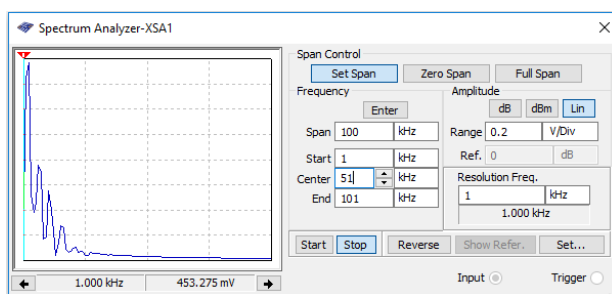
а)



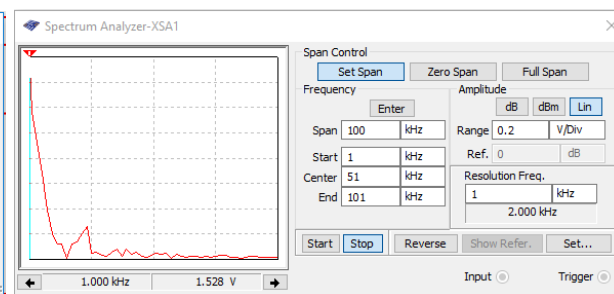
б)



в)



г)



д)

Рисунок 3.5 – Результати комп'ютерного схемотехнічного моделювання: а) фазовий портрет пристрою в площині генерованих напруг U_C і $U_C + U_L$, б) осцилограма коливань напруги на конденсаторі U_C , в) осцилограма коливань напруги на котушці індуктивності I_L , г) амплітудо-частотний спектр коливань напруги на конденсаторі U_C , д) амплітудо-частотний спектр коливань напруги на котушці індуктивності I_L

Модельне дослідження стійкості хаотичного режиму динамічної системи Дуффінга-Холмса на основі рівнянь (6)-(8) здійснено по методу Ляпунова за допомогою програми DEREK [12]. Як кількісні характеристики були оцінені ляпуновські показники атракторів. Для динамічної системи другого порядку спектр ляпуновських показників атракторів повинен задовольняти двом вимогам [12]: 1) сума усіх показників системи повинна бути від'ємною, 2) обов'язково повинен бути хоча б один нульовий показник. Програма DEREK обчислює частину спектрів показників Ляпунова (не більше перших 4-х) використовуючи чисельний ітераційний алгоритм Бенеттіна [12]. Для динамічної системи Дуффінга-Холмса було обраховано два старші показники Ляпунова

$$L1= 2.9153389E-0001 \text{ і } L2= -3.9153908E-0001.$$

Також за допомогою програми DEREK було отримано графіки залежностей показників Ляпунова від коефіцієнтів a , b і ω (рис. 3.6 – рис. 3.8).

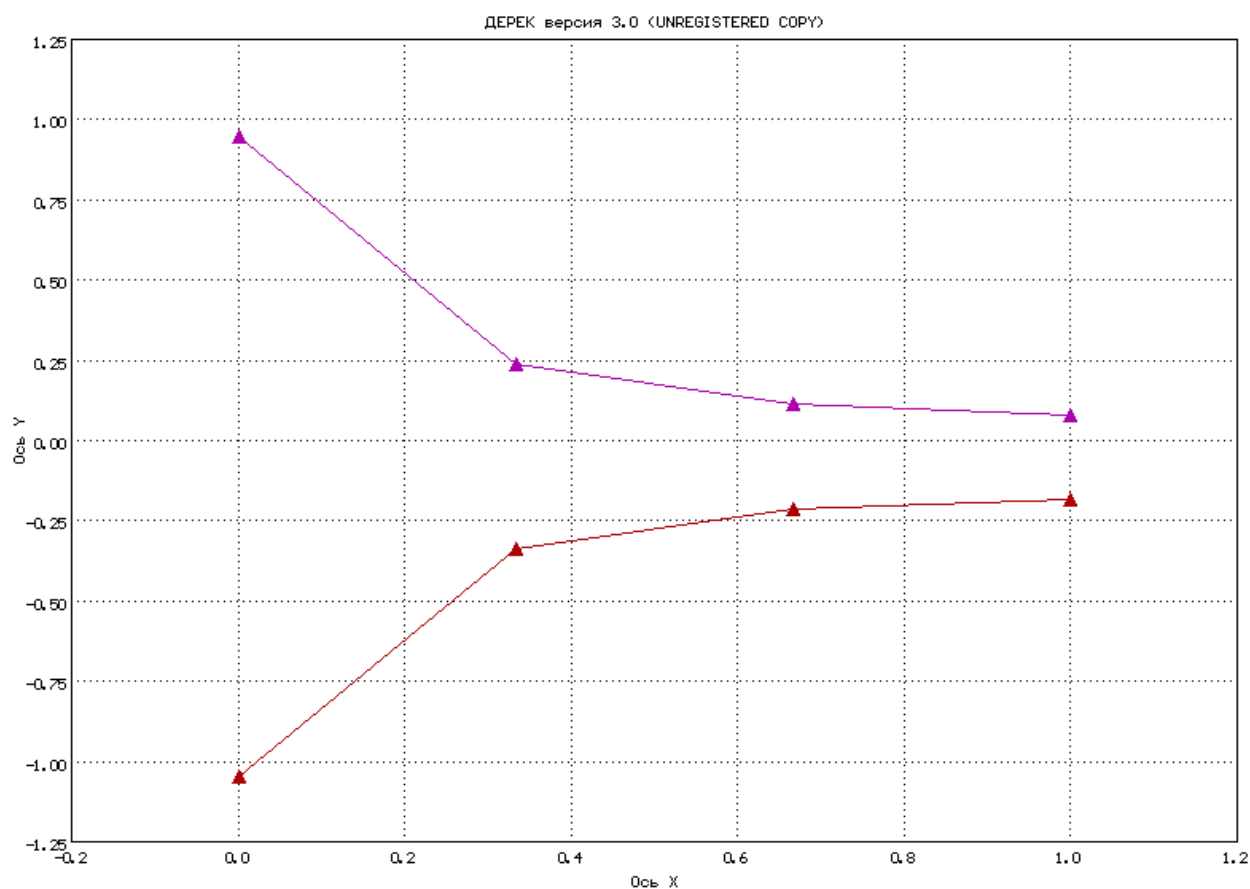


Рисунок 3.6 – Графік залежності L1 і L2 (вісь y) від коефіцієнта $a=0,05..0,75$ (вісь x)

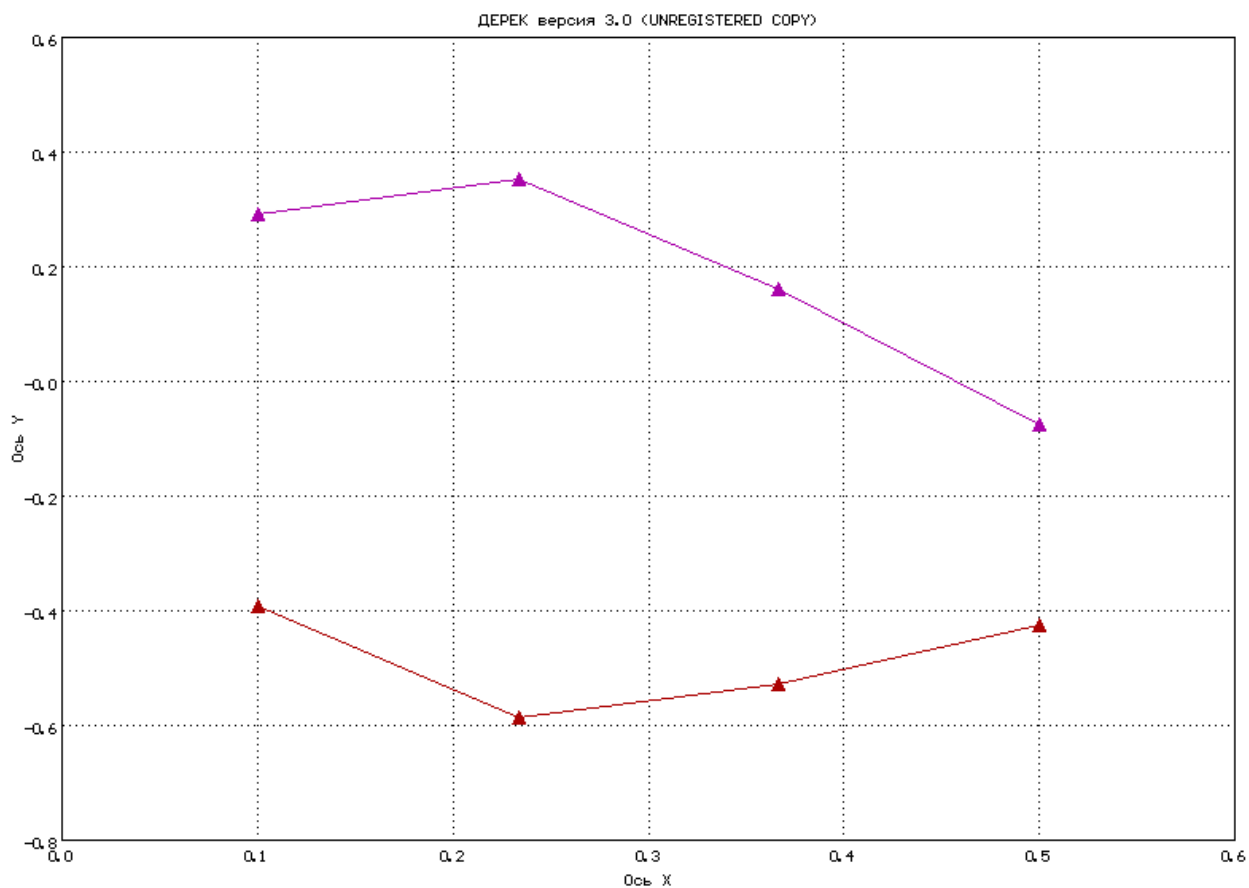


Рисунок 3.7 – Графік залежності L1 і L2 (вісь y) від коефіцієнта $b=0,1..0,5$ (вісь x)

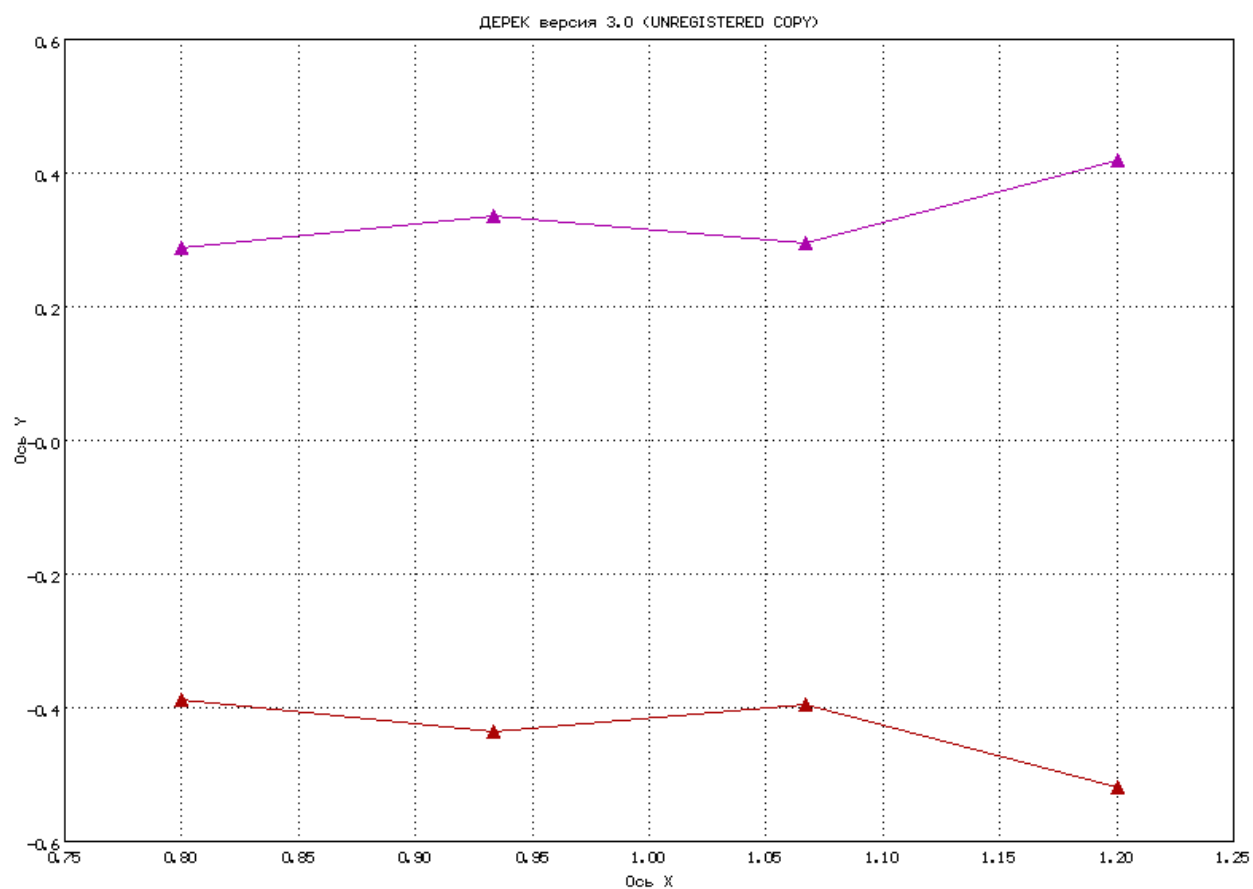


Рисунок 3.8 – Графік залежності L1 і L2 (вісь y) від коефіцієнта $\omega=0,8..1,2$ (вісь x)

3.4 Висновки до розділу

У роботі отримано результати теоретичних досліджень, математичного та комп'ютерного схемотехнічного моделювання пристрою формування сигналів детермінованого хаосу на основі нелінійної динамічної системи Дуфінга-Холмса. Досліджено динаміку режиму розвинутого хаосу при параметрах системи Дуфінга-Холмса $a=0.25$, $b=0.1$, $\omega=1.0$. Показано, що при дії зовнішнього синусоїдального коливання з частотою, рівною резонансній частоті коливальної системи радіоелектронного пристрою на основі інвертувального підсилювача до неінвертувального входу якого підключений нелінійний елемент виникає стійкий хаотичний режим. Параметрами хаотичних коливань можна ефективно керувати шляхом зміни опорів резисторів у колах зворотного зв'язку операційних підсилювачів, або шляхом зміни амплітуди та/або частоти зовнішнього синусоїдального сигналу.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИСТРОЮ ВИЯВЛЕННЯ СЛАБКИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ ХАОТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДУФФІНГА-ХОЛМСА

4.1 Дослідження завадостійкості радіоелектронного пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса

Дослідження завадостійкості ХО проводилося шляхом порівняння його характеристик з характеристиками когерентного виявника (КВ). Такий вибір обумовлений тим, що КО є оптимальним для БГШ. Говорити про перспективність ХО можна тільки в тому випадку, якщо його характеристики завадостійкості на БГШ не будуть занадто поступатися КВ.

Для порівняльного дослідження була розроблена модель КВ. Структурна схема моделі показана на рисунку 4.1.

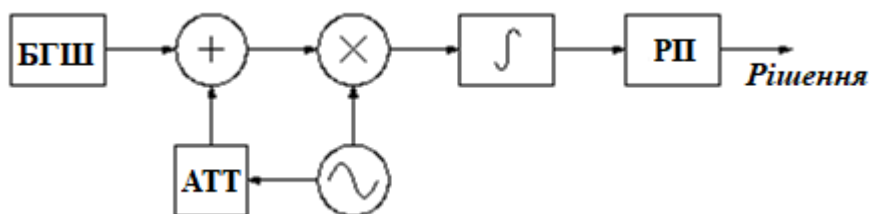


Рисунок 4.1 - Структурна схема моделі когерентного виявника КВ:

БГШ - білий гаусівський шум; АТТ – атенюатор; РП – розв’язувальний пристрій

Вихідний код моделі когерентного детектора наведено в додатку 2. Порівняння завадостійкості ХО і КВ проводилося шляхом побудови і аналізу т.зв. робочих характеристик (ROC, receiver operating characteristic). ROC є графік, по осі абсцис якого відкладена ймовірність помилкової тривоги, а по осі ординат ймовірність правильного виявлення. Стосовно до задачі оцінки завадостійкості ROC мають найбільшу інформативність, оскільки дозволяють зіставляти ймовірності правильного виявлення і помилкової тривоги. При цьому зробити попередній висновок про властивості детектора можна вже по загальному вигляду кривої - Г-подібна крива відповідає ідеальному випадку (ймовірність правильного виявлення тотожно дорівнює

одиниці вже при нульовій ймовірності помилкової тривоги), пряма виду $y = x$ відповідає найгіршим нагоди (ймовірності правильного виявлення і помилкової тривоги збігаються).

Побудова ROC для КО проводиться в такому порядку:

1. зафіксувати співвідношення «сигнал / шум»;
2. зафіксувати значення порога виявлення;
3. отримати ймовірність правильного виявлення;
4. отримати ймовірність помилкової тривоги;
5. повторювати п.2 - 4 до отримання бажаної кількості точок;
6. нанести точки на графік.

Побудова ROC для ХО проводиться в такому порядку:

1. зафіксувати співвідношення «сигнал / шум»;
2. зафіксувати значення амплітуди опорного сигналу;
3. отримати ймовірність правильного виявлення;
4. отримати ймовірність помилкової тривоги;
5. повторювати п.2 - 4 до отримання бажаної кількості точок;
6. нанести точки на графік.

Для порівняння завадостійкості КВ і ХО на БГШ були побудовані характеристики виявлення при наступних параметрах: співвідношення «сигнал / шум»: мінус 30 і мінус 40 дБ; частота сигналу: 1 кГц; частота дискретизації: 10 кГц; довжина реалізації: 100 мс.

Співвідношення «сигнал / шум» визначалося як логарифміровать відношення амплітуди сигналу до СКО шуму. У всіх дослідах СКО шуму становило 0,1 при смузі 5 кГц.

Вид отриманих ROC для ХО і КО при впливі БГШ наведено на рисунку 4.2.

За результатами моделювання встановлено, що програш ХО в порівнянні з КВ становить близько 5 дБ і має тенденцію до зменшення до 2 дБ при зниженні відносини «сигнал / шум», що дозволяє вважати ХО досить перешкодостійким для подальшого вивчення.

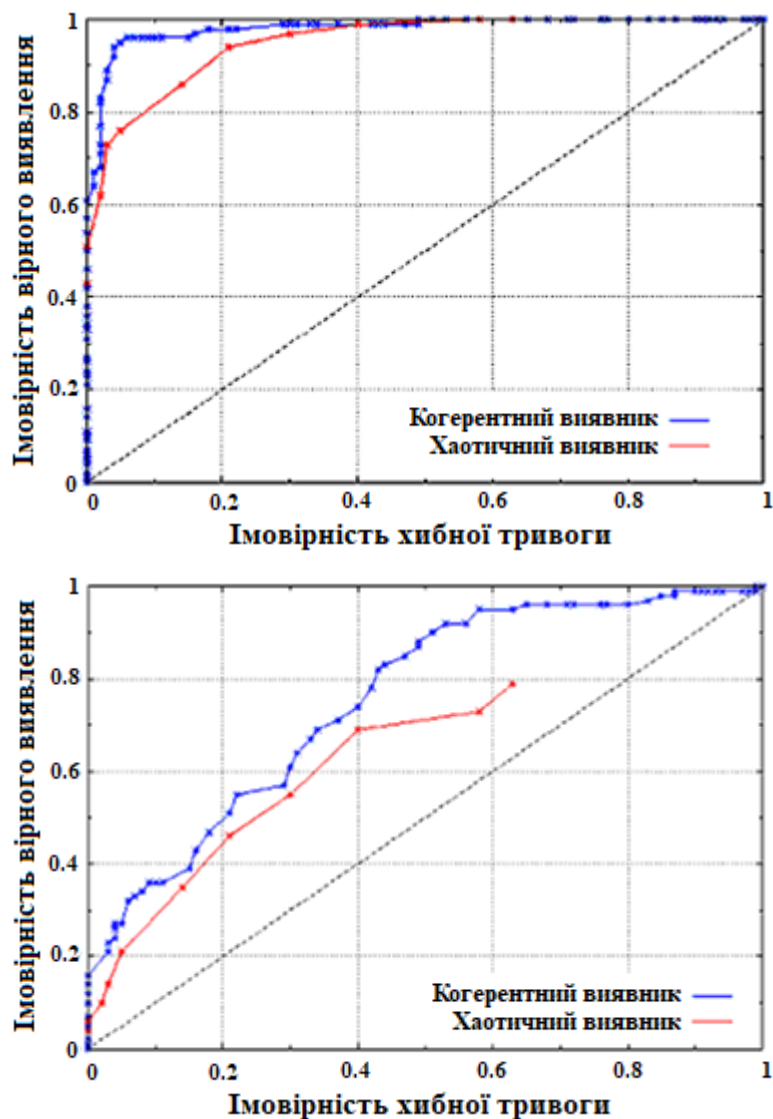


Рисунок 4.2 - ROC XO і KB на БГШ

4.2 Дослідження робастності радіоелектронного пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса

Відомо, що шум, що впливає на виявник сигналу в реальних умовах, не завжди може бути задовільно наближений моделлю БГШ. Це призводить до неоптимальною роботі КО в реальних умовах, що змушує шукати інші типи об'єктивних детекторів, нечутливі до вигляду розподілу шуму, звані робастний детектора. Вони можуть будуватися або по адаптивної схемою, або на основі методик, що забезпечують початкову нечутливість до вигляду розподілу шуму. Адаптивні виявники можуть демонструвати відмінні результати, однак їх застосування стає недоцільним у випадках,

коли розподіл перешкоди може змінюватися за короткий проміжок часу, наприклад, при прийомі системами літального апарату сигналу, відбитого від земної або водної поверхні [82].

Для дослідження робастності ХО була розроблена універсальна програмна модель шуму, здатна генерувати СП з гаусівським, рівномірним і полігаусівським розподілами (полігаусівський розподіл представляє особливий інтерес, тому що подібний вид перешкоди характерний для сигналу, відбитого від водної поверхні при наявності хвиль). Вихідний код універсальної моделі шуму приведений в лістингу 4.1.

```
function gen_noise_sample(t)
local n=0;
local nsamp=0;
if NOISE_TYPE=="GAUSSIAN" then
while n<12 do
nsamp = nsamp + math.random();
n = n + 1;
end;
nsamp = ((nsamp / 12.0) - 0.5) * GNOISE_K + DC_OFFSET;
end;
if NOISE_TYPE=="UNIFORM" then
nsamp = FNOISE_K*(math.random()-0.5) + DC_OFFSET;
end;
if NOISE_TYPE=="POLY" then
while n<12 do
nsamp = nsamp + math.random();
n = n + 1;
end;
nsamp = ((nsamp / 12.0) - 0.5) * PNOISE_K + DC_SPACING;
DC_SPACING=-DC_SPACING;
end;
return nsamp;
end;
```

Лістинг 4.1 - Універсальна модель шуму

Характеристики шумів, що генеруються моделлю, представлені на рис. 4.3 – рис. 4.5.

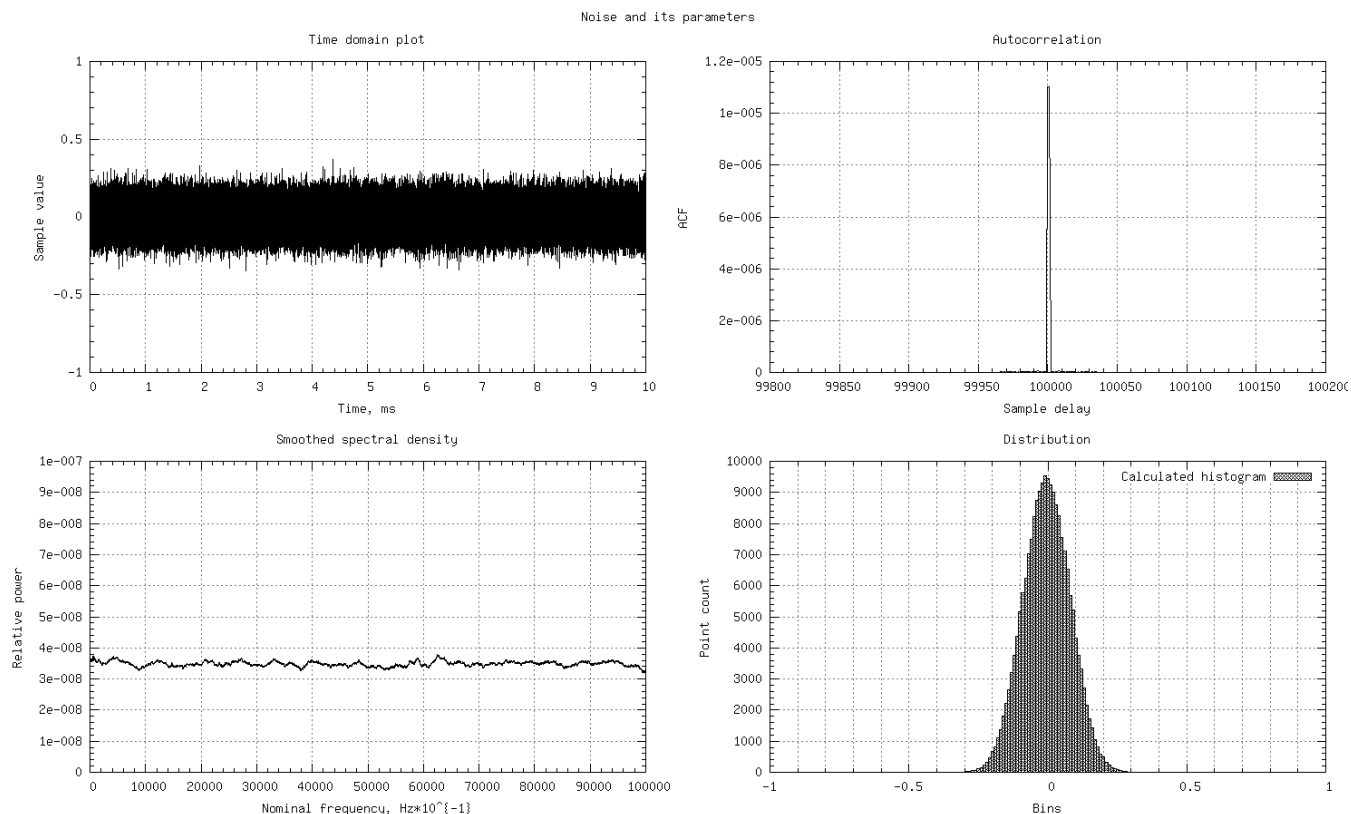


Рисунок 4.3 - Часова реалізація, АКФ, СПМ і гістограма розподілу БГШ

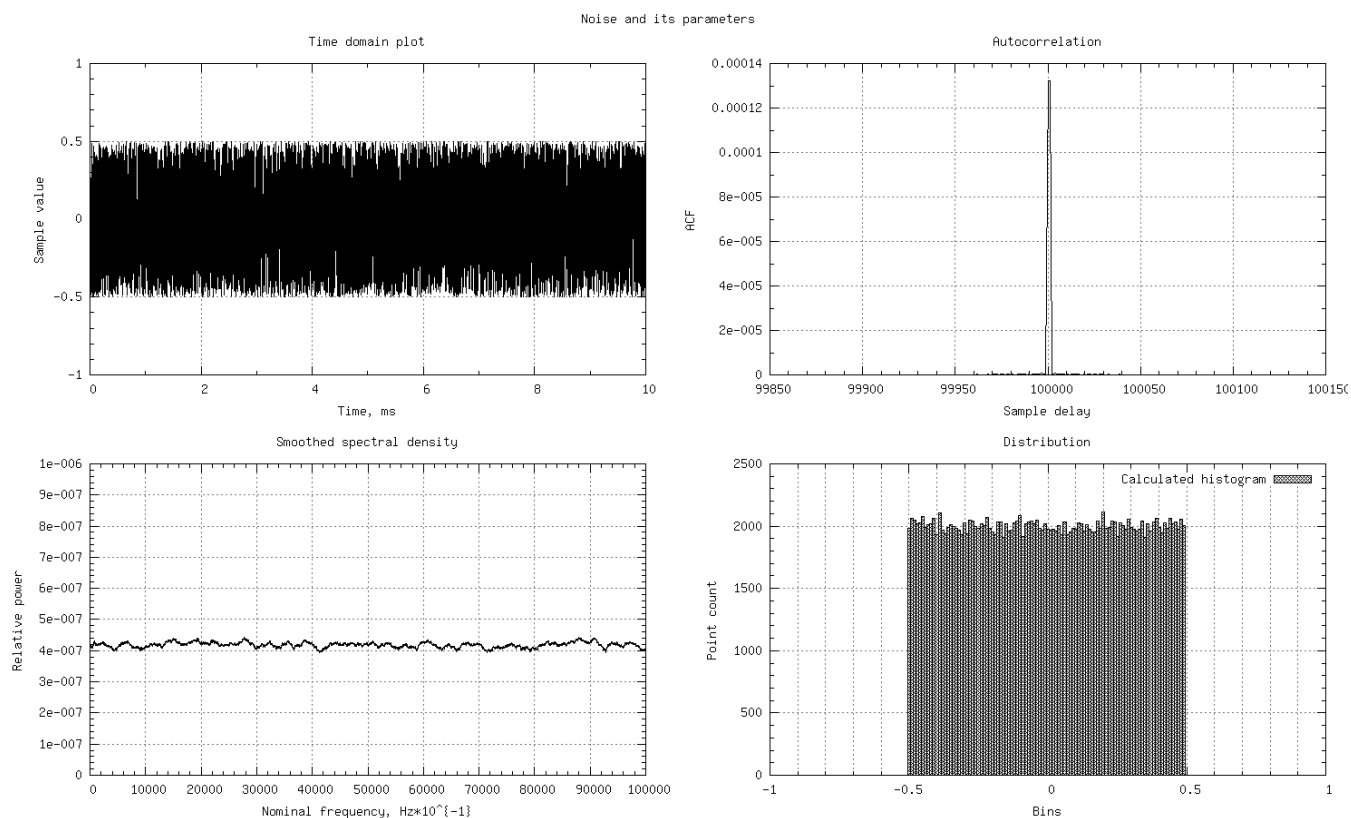


Рисунок 4.4 - Часовий реалізація, АКФ, СПМ і гістограма розподілу шуму з рівномірним розподілом

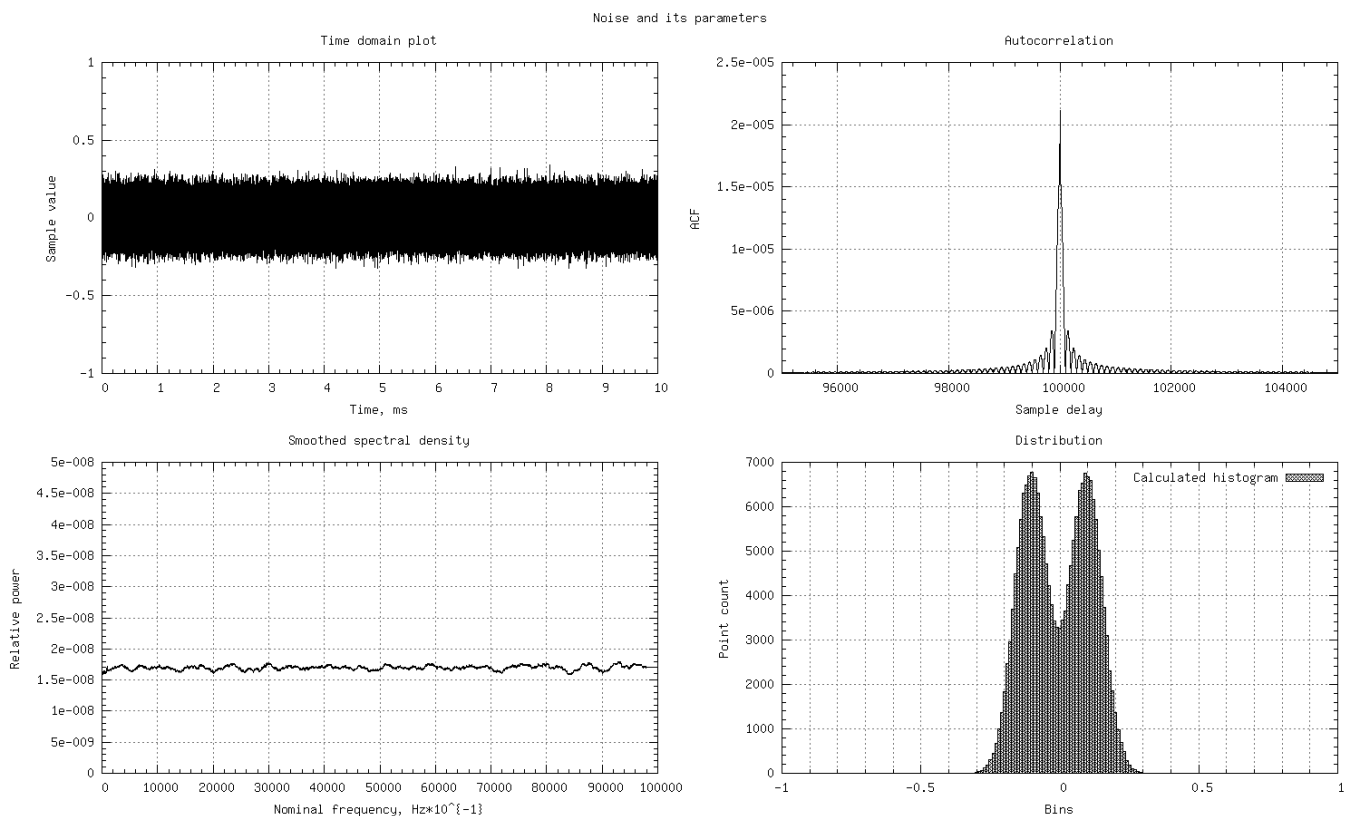


Рисунок 4.5 - Часова реалізація, АКФ, СПМ і гістограма розподілу шуму з полігау- сівським (бімодальним) розподілом

Дослідження робастності ХО проводилося шляхом його порівняння з ранго- вим виявником Вілкоксона, що є класичним представником робастних виявлювачів [82].

Принцип роботи непараметричного рангового виявника Вілкоксона заснова- ний на розрахунку так званого рангового вектора для вибірок прийнятого сигналу і подальшої кореляційної обробці його значень. Структурна схема детектора Вілкок- сона приведена на рис. 4.6.

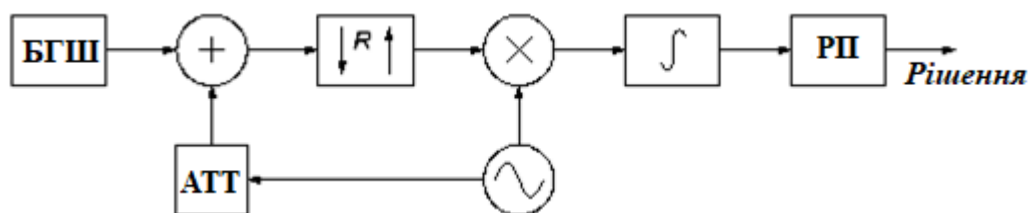


Рисунок 4.6 - Структурна схема детектора Вілкоксона

Відмінність виявника Віллоксона від КВ полягає в тому, що множення опорного коливання проводиться не безпосередньо з вибіркою сигналу, а з т.зв. рангових вектором.

Ранговий вектор формується за наступним правилом: нехай ϵ вибірка сигналу

$$\vec{X} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_N), \quad (4.1)$$

де N - кількість елементів у векторі. Тоді ранговий вектор має вигляд

$$\vec{R} = (r_1, r_2, r_3, \dots, r_N), \quad (4.2)$$

де r_i - ранг елемента x_i .

Рангом елемента називається кількість елементів у вибірці, менших або рівних йому. Таким чином, рангові вектор являє собою вектор, розміром рівний вектору вхідних вибірки, елементи якого являють собою ранги відповідних по номеру елементів вхідної вибірки.

Прямий розрахунок рангового вектора має складність порядку $O(n^2)$ і вимагає великих обчислювальних ресурсів. Для прискорення процесу обчислень рангового вектора в роботі застосована оптимізація шляхом класифікації. Формування рангового вектора цим методом проводиться в такій послідовності:

1. створити копію вхідній вибірки;
2. впорядкувати копію вибірки шляхом застосування будь-якої стандартної сортування;
3. замінити елементи вхідної вибірки їх номерами в відсортованому масиві.

Описаний підхід дає вигреш в швидкості виконання, приблизно рівний вигрешу, даваному сортуванням. Слід зазначити, що методи оптимізації угруповань є досить добре розробленим розділом теорії алгоритмів, що, як наслідок, дає широкі можливості для оптимізації розрахунку рангового вектора.

Вихідний код моделі детектора Віллоксона, що використовує оптимізований розрахунок рангового вектора, представлений в додатку 3.

На рисунках 4.7 - 4.9 наведені ROC для КВ, виявника Вілкоксона і ХО, отримані при різних розподілах перешкоди при відношенні С / Ш мінус 30 дБ.

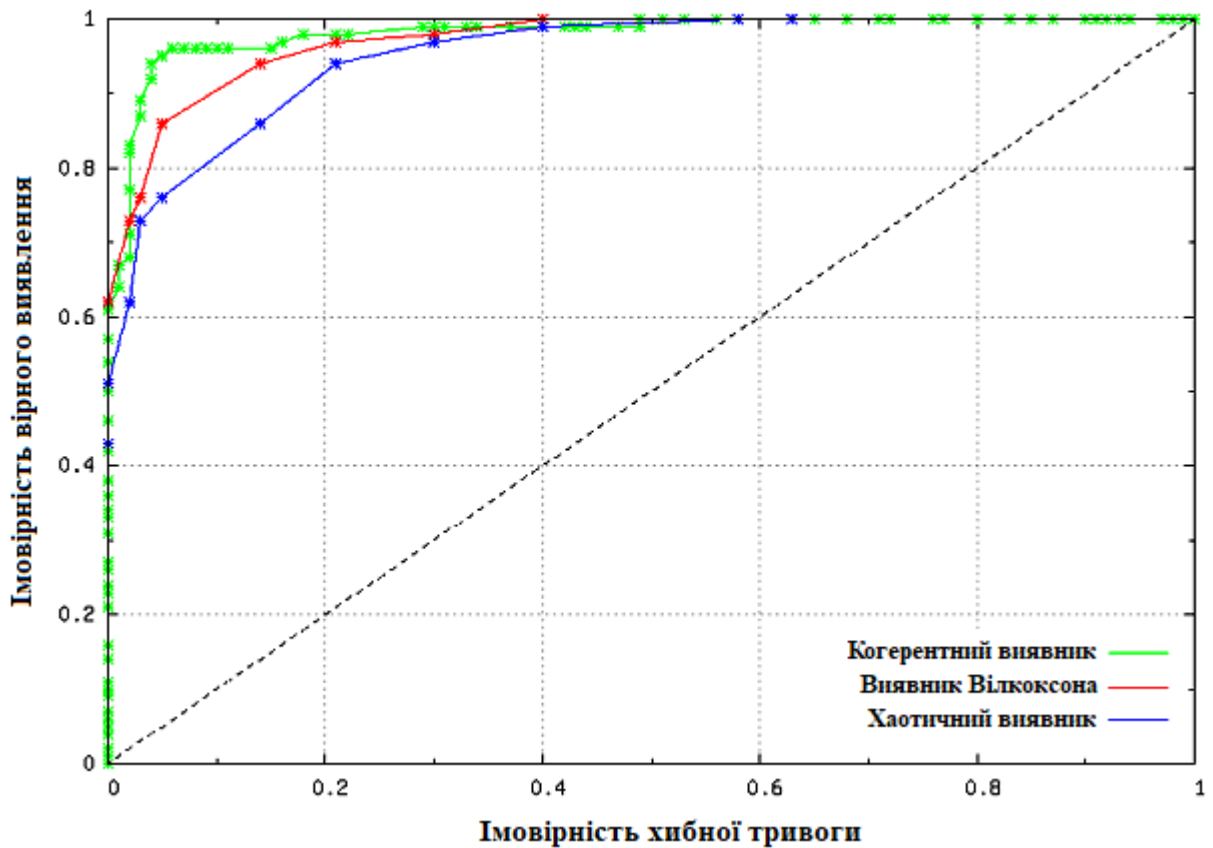


Рисунок 4.7 - ROC при БГШ

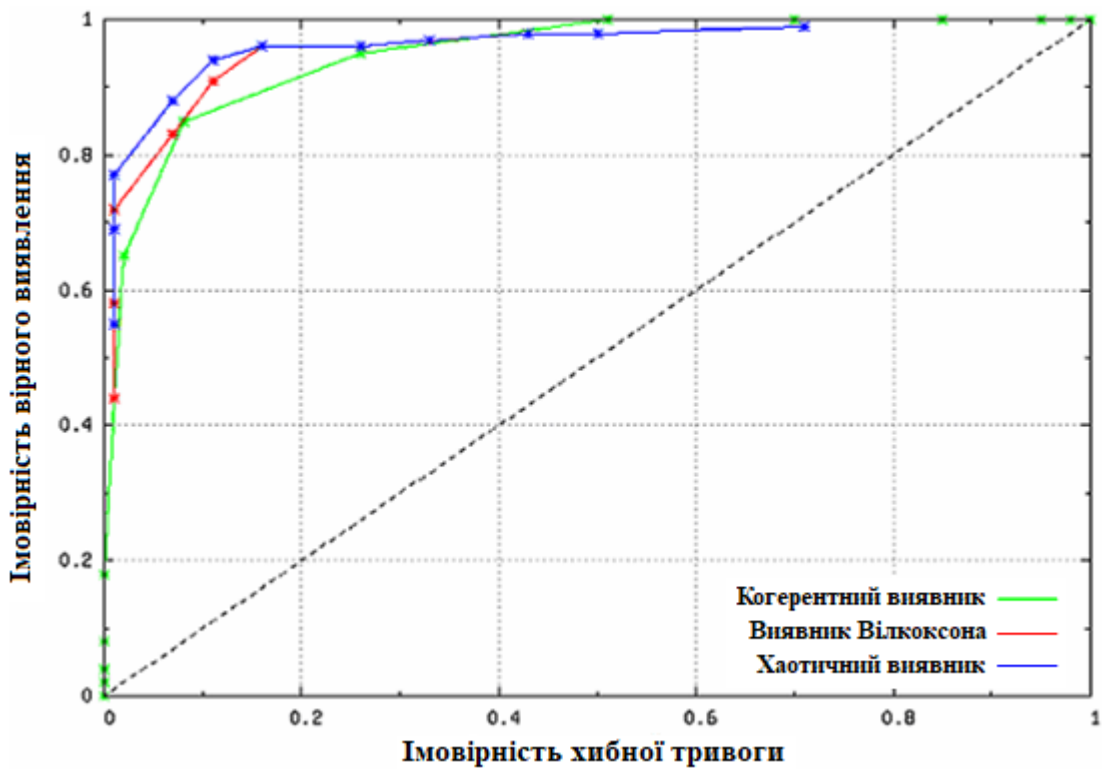


Рисунок 4.8 - ROC при впливі шуму з рівномірним розподілом

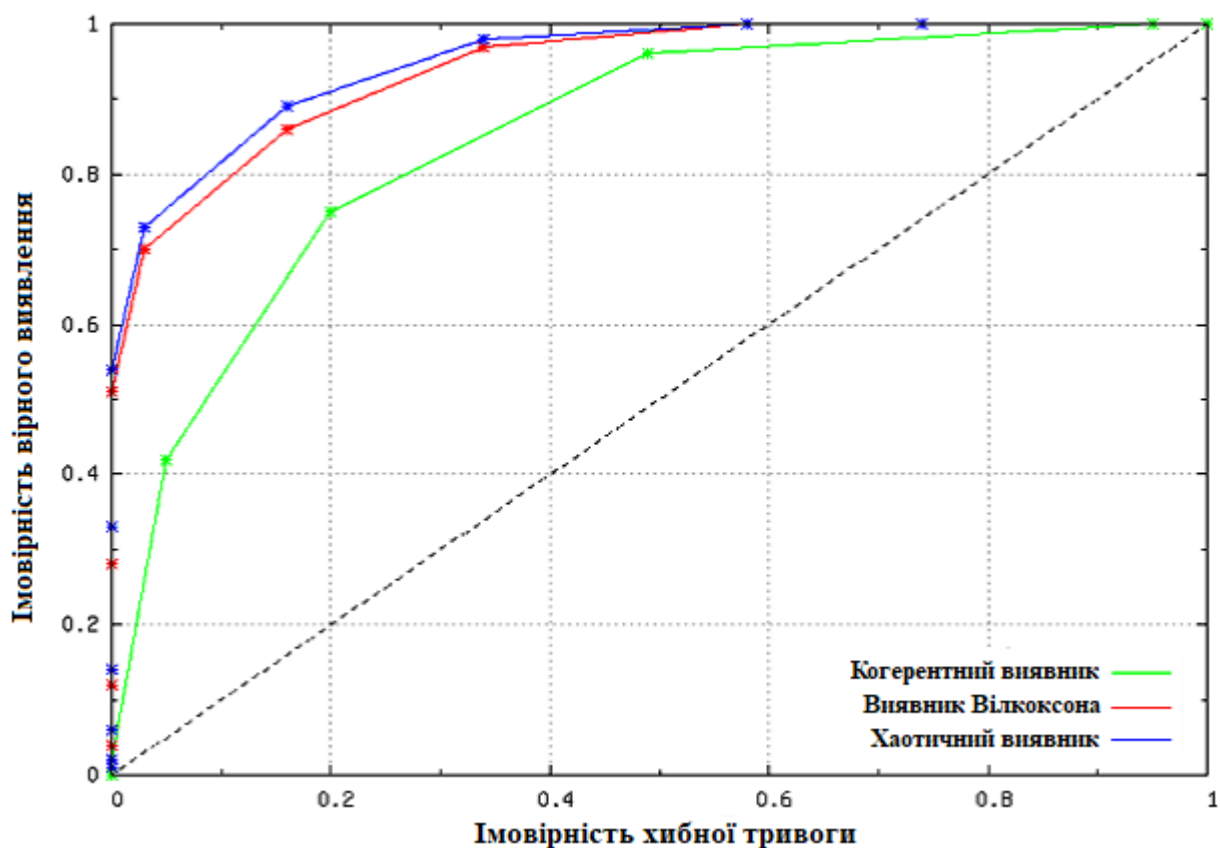


Рисунок 4.9 - ROC при впливі шуму з полігауссовським розподілом

Результати моделювання показують, що зміна закону розподілу шуму надає на рангові і хаотичний Виявлювач має істотно менший вплив, ніж на когерентний. За завадостійкості ХО перевершує рангові виявлювач на 1,5 ... 2,0 дБ, маючи значну перевагу перед КВ при негауссівських шумах.

Важливою перевагою ХО перед рангових є можливість апаратної його реалізації з мінімальними енергетичними та обчислювальними витратами на базі мікроелектромеханічного (МЕМС) хаотичного генератора [83]. Це відкриває можливості для використання ХО в радіоприймальних пристроях систем з низькою енергетикою, що функціонують в умовах зміни закону розподілу зовнішніх перешкод в часі.

4.3 Висновки до розділу

Висока стійкість перед перешкодами і хороша робастність ХО при впливі негауссівських завад в поєднанні з можливістю виготовлення його на базі МЕМС ви-

значає досить широкий спектр додатків, в яких може бути використаний даний тип детектора.

Найбільш перспективним є застосування ХО в складі бортових радіоприймальних пристроїв літальних апаратів широкого класу - від безпілотних літальних апаратів (БПЛА) до штучних супутників Землі (ШСЗ). Особливістю даного класу носіїв є жорсткі вимоги до масогабаритні характеристиками і енергоспоживанню бортової апаратури, а в разі ШСЗ - ще й до її радіаційної стійкості. Всім цим вимогам добре відповідають МЕМС-системи, на базі яких можуть бути реалізовані ХО. Іншим важливим аспектом є характер прийнятих сигналів. Літальні апарати, як правило, виконують функції радіолокації і радіомоніторингу, при цьому рух на високій швидкості щодо підстильної поверхні і розташованих на ній об'єктів (лісів, водойм, будівель та інших антропогенних виробів) обумовлює швидку зміну законів розподілу вхідних перешкод. Основна складова перешкод в цьому випадку визначається не власними шумами приймача, а відбитками зондуючих сигналів від підстильної поверхні, і має розподіл відмінне від гауссівського (наприклад, відображенням від морської поверхні найкраще відповідає полігауссівський розподіл, причому кількість мод визначається напрямом польоту носія щодо хвиль). Такий характер перешкод і швидка зміна їх негауссівських розподілів як не можна краще підходить для ХО, як було показано в дослідженні.

Висока чутливість ХО до відмінності частоти і фази вхідного сигналу від частоти і фази опорного коливання і можливість реалізації лінійки з сотень ХО на ПЛІС може бути використана в системах радіомоніторингу для визначення частоти і методу модуляції.

Таким чином, рекомендованою сферою застосування ХО є радіоприймальні пристрої бортових систем радіолокації і радіомоніторингу літальних апаратів - в тому числі працюючих в умовах іонізуючих випромінювань.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Аналіз комерційного потенціалу розробки (технологічний аудит розробки) автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад

5.1.1 Визначення рівня комерційного потенціалу розробки автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу розробки автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад, створеної в результаті науково-технічної діяльності. В результаті оцінювання можна буде зробити висновок щодо напрямів (особливостей) організації подальшого її впровадження з врахуванням встановленого рейтингу.

Для проведення технологічного аудиту залучимо 3-х незалежних експертів. У нашому випадку такими експертами будуть керівник магістерської роботи та провідні викладачі випускової та споріднених кафедр.

Оцінювання комерційного потенціалу розробки автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад будемо здійснювати за 12-ю критеріями згідно рекомендацій.

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад заносимо до табл.5.1.

За даними табл. 5.1 робимо висновок щодо рівня комерційного потенціалу розробки автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад. При цьому користуємося рекомендаціями, наведеними в табл.5.2.

Таблиця 5.1 – Результати оцінювання комерційного успіху розробки автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад

Критерії	Експерти		
	д.т.н., професор Семенов А.О.	д.т.н., професор Осадчук О.В.	к.т.н., доцент Гаврілов Д.В.
	Бали, виставлені експертами		
1	2	2	3
2	3	3	2
3	4	4	3
4	4	2	3
5	4	3	3
6	4	4	3
7	3	3	2
8	3	3	3
9	3	4	4
10	2	3	3
11	3	3	3
12	2	3	3
Сума балів	37	37	35
Середньоарифметична сума балів, СБ	36		

Таким чином, робимо висновок, щодо рівня комерційного потенціалу нашої розробки автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад – вище середнього.

Таблиця 5.2 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 – 10	Низький
11 – 20	Нижче середнього
21 – 30	Середній
31 – 40	Вище середнього
41 – 50	Високий

5.1.2 Визначення рівня якості розробки автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад

Оцінювання рівня якості автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад проводиться з метою порівняльного аналізу і визначення найбільш ефективного, з технічної точки зору, варіанта інженерного рішення.

Рівень якості – це кількісна характеристика міри придатності певного виду продукції для задоволення конкретного попиту на неї при порівнянні з відповідними базовими показниками за фіксованих умов споживання.

Абсолютний рівень якості розробки автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад знаходимо обчисленням вибраних для її вимірювання показників, не порівнюючи їх із відповідними показниками аналогічних виробів. Для цього необхідно визначити зміст основних функцій, які повинні реалізовувати розробка, вимоги замовника до неї, а також умови, які характеризують експлуатацію, визначають основні параметри, які будуть використані для розрахунку коефіцієнта технічного рівня виробу. Система параметрів, прийнята до розрахунків, повинна достатньо повно характеризувати споживчі властивості інноваційного товару (його призначення, надійність, економічне використання ресурсів, стандартизація тощо).

Далі визначаємо величину параметрів якості в балах та встановлюємо граничні його значення (кращі, гірші, середні). Всі ці дані для кожного параметра заносимо в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Основні параметри автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад

Параметри	Абсолютне значення параметра			Коефіцієнт вагомості параметра
	Краще +5...+4	Середнє +3	Гірше +1...+2	
Амплітуда вихідного сигналу, В			2	0,4
Коефіцієнт перекриття по частоті			2	0,25
Інструментальна похибка, %		3		0,1
Напрацювання на відмову, год		3		0,15
Масо-габарити, кг		3		0,1

Із врахуванням коефіцієнтів вагомості відповідних параметрів можна визначити абсолютний рівень якості інноваційного рішення за формулою:

$$K_{\text{я.а.}} = \sum_{i=1}^n P_{ni} \cdot a_i, \quad (5.1)$$

де P_{ni} – числове значення i -го параметра інноваційного рішення,

n – кількість параметрів інноваційного рішення, що прийняті для оцінювання,

a_i – коефіцієнт вагомості відповідного параметра (сума коефіцієнтів вагомості всіх параметрів повинна дорівнювати 1).

Отже, абсолютний рівень якості автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад становитиме – 1,95 бали.

Одночасно визначаємо відносний рівень якості автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад, що виробляється (проекується), порівнюючи її показники з абсолютними показниками якості найліпших вітчизняних та зарубіжних аналогів (товарів-конкурентів) (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Основні параметри автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад та товару-конкурента

Параметри	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (конкурент)	Новий		
Амплітуда вихідного сигналу, В	15	20	1,33	40%
Коефіцієнт перекриття по частоті	25	35	1,4	25%
Інструментальна похибка, %	5	4	1,25	10%
Напрацювання на відмову, год	3000	5000	1,67	15%
Масо-габарити, кг	2,5	2,2	1,14	10%

Відносний рівень якості автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад визначаємо за формулою:

$$K_{\text{я.в.}} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot a_i, \quad (5.2)$$

За розрахунками відносний рівень якості автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад становитиме – 1,37. Це означає, що наша розробка краща за якістю на 37% від товару-аналога.

5.1.3 Визначення конкурентоспроможності розробки автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад

У найширшому розумінні конкурентоспроможність товару – це можливість його успішного продажу на певному ринку і в певний проміжок часу. Водночас конкурентоспроможною можна вважати лише однорідну продукцію з технічними параметрами і техніко-економічними показниками, що ідентичні аналогічним показникам уже проданого товару. Для того, щоб високоякісний товар був одночасно і конкурентоспроможним, він має відповідати критеріям оцінювання споживачів конкретного ринку в конкретний час.

Дані для розрахунку загального показника конкурентоспроможності розробки необхідно занести до табл.5.5.

Загальний показник конкурентоспроможності розробки (К) з урахуванням вищезазначених груп показників визначаємо за формулою:

$$K = \frac{I_{\text{т.п.}}}{I_{\text{е.п.}}} = \frac{1,37}{0,9} = 1,52, \quad (5.3)$$

де $I_{\text{т.п.}}$ – індекс технічних параметрів (відносний рівень якості інноваційного рішення);

$I_{\text{е.п.}}$ – індекс економічних параметрів.

Таблиця 5.5 – Нормативні, технічні та економічні параметри автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад і товару-конкурента

Параметри	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (конкурент)	Новий		
Амплітуда вихідного сигналу, В	15	20	1,33	40%
Коефіцієнт перекриття по частоті	25	35	1,4	25%
Інструментальна похибка, %	5	4	1,25	10%
Напрацювання на відмову, год	3000	5000	1,67	15%
Масо-габарити, кг	2,5	2,2	1,14	10%
Ціна за продукт, тис. грн.	950	850	0,9	-

$$I_{e. п.} = \frac{P_{Hei}}{P_{Bei}} = \frac{850}{950} = 0,9, \quad (5.4)$$

де P_{Hei} , P_{Bei} – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

Згідно розрахунків загальний показник конкурентоспроможності – 1,52. Це означає, що наша розробка автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад більш конкурентна на 52% від товару-аналога.

5.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної, дослідно-конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи

5.2.1 Розрахунок витрат, що стосуються виконавців розробки автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад

Основна заробітна плата кожного із розробників (дослідників) Z_0 , якщо вони працюють в наукових установах бюджетної сфери:

$$Z_0 = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (5.5)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн.

У 2019 році величини окладів (разом з встановленими доплатами і надбавками) рекомендується брати в межах (5000...10000) грн. за місяць; T_p – число робочих днів в місяці; приблизно $T_p = (21...23)$ дні; t – число робочих днів роботи розробника (дослідника).

Зроблені розрахунки зводимо до табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Заробітна плата розробників

Посада	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Керівник	7000	318	10	3180
Інженер	4700	214	22	4700
Технік	4200	191	22	4200
Всього:				12080

Основна заробітна плата робітників Z_p , якщо вони беруть участь у виконанні даного етапу роботи і виконують роботи за робочими професіями у випадку, коли вони працюють в наукових установах бюджетної сфери, розраховується за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n t_i \cdot C_i, \quad (5.6)$$

де t_i – норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин;

n – число робіт по видах та розрядах;

C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує дану роботу. C_i визначається за формулою:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i}{T_p \cdot T_{zm}}, \quad (5.7)$$

де M_m – розмір мінімальної заробітної плати за місяць, грн.; в 2019 році мінімальна заробітна плата становить – 4173 грн.,

K_i – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду,

T_p – число робочих днів в місяці; приблизно $T_p = 21 \dots 23$ дні;

T_{zm} – тривалість зміни, зазвичай $T_{zm} = 8$ годин.

Величина заробітної робітників наведена в таблиці:

Розряд	1	2	3	4	5	6	7	8
K_i	1,00	1,09	1,18	1,27	1,36	1,45	1,54	1,64

Величина заробітної робітників наведена в табл. 5.7.

Додаткова заробітна плата Z_d всіх розробників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховується як (10...12)% від суми основної заробітної плати всіх розробників та робітників, тобто:

$$Z_d = 0,1 \cdot (Z_p + Z_o) = 0,1 \cdot (12080 + 176,1) = 1225,6 \text{ грн.} \quad (5.8)$$

Таблиця 5.7 – Заробітна плата робітників

Найменування робіт	Трудомісткість, н-год.	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка	Тариф. коеф.	Величина, грн.
Підготовчі	1	4	30,1	1,27	30,1
Монтажні	1	4	30,1	1,27	30,1
Складальні	2	3	27,9	1,18	55,8
Налагоджувальні	1	5	32,2	1,36	32,2
Випробувальні	1	3	27,9	1,18	27,9
Всього					176,1

Нарахування на заробітну плату Нзп розробників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$\begin{aligned} \text{Нзп} &= 0,22 \cdot (\text{Зр} + \text{Зо} + \text{Зд}) = 0,22 \cdot (12080 + 176,1 + 1225,6) = \\ &= 2966 \text{ грн.} \end{aligned} \quad (5.9)$$

де Зо – основна заробітна плата розробників, грн.;

Зр – основна заробітна плата робітників, грн.;

Зд – додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.;

β – ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, % (приймаємо для 1-го класу професійності ризику 22%).

Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень А, які використовувались під час (чи для) виконання даного етапу роботи.

Дані відрахування розраховують по кожному виду обладнання, приміщенням тощо.

У спрощеному вигляді амортизаційні відрахування А в цілому бути розраховані за формулою:

$$A = \frac{Ц \cdot N_a}{100} \cdot \frac{T}{12},$$

де Ц – загальна балансова вартість всього обладнання, комп'ютерів, приміщень тощо, що використовувались для виконання даного етапу роботи, грн.;

N_a – річна норма амортизаційних відрахувань. Для нашого випадку можна прийняти, що $N_a = (10...25)\%$;

T – термін, використання обладнання, приміщень тощо, місяці.

Таблиця 5.8 – Амортизаційні відрахування

Найменування	Ціна, грн.	Норма амортизації, %	Термін використання, м.	Сума амортизації
Комп'ютер	8000	20	1	133
Осцилограф	3100	20	1	52
Лабораторний стенд	9000	20	1	150
Всього	335			

Витрати на матеріали M, що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$M = \sum_1^n N_i \cdot C_i \cdot K_i, \text{ грн}$$

де N_i – кількість матеріалу і-го виду, шт.;

C_i – ціна матеріалу і-го виду, грн.;

K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1,1...1,15)$;

n – кількість видів матеріалів.

Таблиця 5.9 – Матеріали, що використані на розробку

Найменування матеріалу	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість, грн.
Склотекстоліт СТФ 2 – 1.5 ДЕСТ 102-78	35,2	0,12	4,2
Припой ПОС-61 ДЕСТ 21931-86	64	0,11	7,04
Флюс ФКСП ОСТ	102	0,14	14,3
Клей	16	0,005	0.08
Ізольований провідник	7,2	0,1	0,72
Лак	96	0,18	17,3
Провід монтажний	64	0,1	6,4
Всього, з урахуванням коефіцієнта транспортних витрат	55		

Витрати на комплектуючі К, що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$K = \sum_1^n N_i \cdot C_i \cdot K_i, \text{грн}$$

де N_i – кількість комплектуючих i -го виду, шт.;

C_i – ціна комплектуючих i -го виду, грн.;

K_i – коефіцієнт транспортних витрат,

$K_i = (1,1 \dots 1,15)$;

n – кількість видів комплектуючих.

Таблиця 5.10 – Комплектуючі, що використані на розробку

Найменування матеріалу	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість, грн.
Операційний підсилювач	8,0	2	16
Мікроконтролер	35	1	35
РКІ індикатор	60	1	60
Транзистори	2,5	6	15
Резистори	1,2	19	22,8
Конденсатори	1,9	11	21
Семистори	5,4	2	11
Діоди	2,1	5	10
Всього, з урахуванням коефіцієнта транспортних витрат	210		

Витрати на силову електроенергію Ve , якщо ця стаття має суттєве значення для виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$Ve = V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_p, \text{ грн}$$

де V – вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2019 р. $V \approx 8,45$ грн./кВт;

P – установлена потужність обладнання, кВт;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин,

K_p – коефіцієнт використання потужності; $K_p < 1$.

Потужність обладнання складає – 0,4 кВт.

Кількість годин роботи складає – 700 годин.

Коефіцієнт викор. потужності – 0,9.

$V_e = 2129$ грн.

Інші витрати V_{in} охоплюють: витрати на управління організацією, оплата службових відряджень, витрати на утримання, ремонт та експлуатацію основних засобів, витрати на опалення, освітлення, водопостачання, охорону праці тощо.

Інші витрати I_v можна прийняти як (100...300)% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які були виконували дану роботу, тобто:

$$I_v = 1 \cdot (Z_o + Z_p) = 1 \cdot (12080 + 176,1) = 12256 \text{ грн.} \quad (5.10)$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає витрати на виконання даної частини (розділу, етапу) роботи – V .

$$V = 31432 \text{ грн.}$$

5.2.2 Розрахунок загальних витрат на розробку автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад

Загальна вартість всієї наукової роботи визначається за V_{zag} формулою:

$$V_{zag} = \frac{I_v}{\alpha} = \frac{12256}{0,7} = 17509 \text{ грн,} \quad (5.11)$$

де α – частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даного етапу роботи, у відн. одиницях.

5.2.3 Прогнозування витрат на виконання та впровадження автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад

Прогнозування загальних витрат ЗВ на виконання та впровадження автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад здійснюється за формулою:

$$ЗВ = \frac{Взаг}{\beta} = \frac{17509}{0,5} = 35017 \text{ грн,} \quad (5.12)$$

де β – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної роботи.

Так, якщо розробка знаходиться: на стадії науково-дослідних робіт, то $\beta \approx 0,1$; на стадії технічного проектування, то $\beta \approx 0,2$; на стадії розробки конструкторської документації, то $\beta \approx 0,3$; на стадії розробки технологій, то $\beta \approx 0,4$; на стадії розробки дослідного зразка, то $\beta \approx 0,5$; на стадії розробки промислового зразка, $\beta \approx 0,7$; на стадії впровадження, то $\beta \approx 0,9$.

5.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад

З метою прогнозування комерційних ефектів від реалізації автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад складемо таблицю вихідних показників, за рахунок яких і відбуватиметься отримання комерційного ефекту.

Таблиця 5.11 – Вихідні дані для прогнозування комерційного ефекту від реалізації автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад

Рік реалізації розробки	1	2	3
Кількість од. реалізації, шт.	200	500	700

Величина зростання ціни реалізації автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад, грн. – 100 грн.

Кількість продукції, що випускалась до впровадження автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад – 300 шт.

Збільшення чистого прибутку підприємства Π_i для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, розраховується за формулою:

$$\Delta \Pi_i = \sum_1^n (\Delta \text{Ц}0 \cdot N + \text{Ц}0 \cdot \Delta N) i \cdot \rho \cdot \gamma \cdot \left(1 - \frac{v}{100}\right) \quad (5.13)$$

де $\Delta \Pi_0$ – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Зазвичай таким показником може бути ціна одиниці нової розробки;

N – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

ΔN – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки;

$\text{Ц}0$ – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки;

λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. У 2018 р. ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт – 0,8333. З 2014 року ставка податку на додану вартість встановлена на рівні 17%, а коефіцієнт – 0,8547;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати – 0,2...0,3;

v – ставка податку на прибуток. У 2018 році – 21%, у 2013 році – 19%, а з 2014 року – 16%.

Збільшення чистого прибутку підприємства Π_1 протягом першого року складе:

$$\Delta\Pi_1=13499 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства Π_1 протягом другого року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе:

$$\Delta\Pi_2=59530 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом третього року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе:

$$\Delta\Pi_3=89060 \text{ грн.}$$

5.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності

5.4.1 Визначення абсолютної ефективності вкладених інвестицій у розробку автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад

Для цього користуються формулою:

$$E_{абс} = (ПП - PV), \quad (5.14)$$

де ПП – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство (організація) від реалізації результатів наукової розробки, грн.;

PV – теперішня вартість інвестицій $PV = ЗВ$, грн.

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків ПП розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_1^t \frac{\Delta\Pi_i}{(1+r)^t} \quad (5.15)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, грн.;

t – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, роки;

r – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1;

t – період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки „0”.

$$ПП = 121779 \text{ грн.},$$

$$E_{абс} = 121779 - 35017 = 86762 \text{ грн.}$$

Оскільки $E_{абс} > 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, але це також ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлений у фінансуванні розробки автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад.

5.4.2 Розрахунок відносної ефективності вкладених коштів в НДДКР автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад

Для цього користуються формулою:

$$E_B = \sqrt[\tau]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 \quad (5.16)$$

де $E_{абс}$ – абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн.;

PV – теперішня вартість інвестицій $PV = 3B$, грн.;

$Tж$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_B = 0,5$$

Далі, розрахована величина E_B порівнюється з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування, що дорівнює:

$$\tau = d + f, \quad (5.17)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2018 році в Україні $d = (0,14...0,2)$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05...0,1)$, але може бути і значно більше.

$$E_B = 0,5 \geq \tau = 0,2 + 0,1 = 0,3.$$

Оскільки величина $E_B > \tau$ мін, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

5.4.3 Розрахунок терміну окупності коштів, вкладених в наукову розробку автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій $T_{ок}$ можна розрахувати за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_B} = \frac{1}{0,5} = 2 \text{ роки.} \quad (5.18)$$

Оскільки $T_{ок} < 3 \dots 5$ -ти років, то фінансування даної наукової розробки автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад є доцільним.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Захист працюючих під час трудового процесу від небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що негативно впливають на життя, здоров'я, а також працездатність людини, гарантування належних умов праці є основними аспектами безпеки життєдіяльності у виробничому середовищі.

У цьому розділі проводиться розгляд шкідливих, небезпечних [94] та уражаючих для людини і навколишнього середовища факторів, що утворюються під час проведення дослідження автогенераторних хаотичних пристроїв виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад. Тут висвітлюються, зокрема, технічні рішення з виробничої санітарії та гігієни праці, визначення допустимої сили струму в провіднику (антені), при якій напруженості ЕМВ на робочому місці знаходяться в межах норми, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення дослідження, безпека у надзвичайних ситуаціях.

6.1 Виробнича санітарія та гігієна праці

6.1.1 Склад повітря робочої зони та мікроклімат

Визначаємо для приміщення для проведення дослідження автогенераторних хаотичних пристроїв виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад, категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Іа.

Згідно із [95] допустимі параметри мікроклімату в робочій зоні для теплого та холодного періодів року наведені в табл. 6.1.

При опроміненні менше 25% поверхні тіла працівника, допустима інтенсивність теплового опромінення складає 100 Вт/м^2 .

Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК) в повітрі робочої зони та підлягає систематичному контролю з метою запобігання можливості перевищення ГДК, значення яких для роботи з ЕОМ наведено в табл. 6.2.

При роботі з ЕОМ джерелом забруднення повітря є також іонізація молекул речовин, що містяться в повітрі. Рівні додатних та від'ємних іонів повинні відповідати [95] та приведені у табл. 6.3.

Таблиця 6.1 – Нормовані допустимі параметри мікроклімату в приміщенні

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С для робочих місць		Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
		постійних	непостійних		
Холодний	Іа	21-25	18-26	75	≤0,1
Теплий		22-28	20-30	55 при 28°С	0,1-0,2

Таблиця 6.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин [97]

Назва речовини	ГДК, мг/м ³	Агрегатний стан	Клас небезпеки
Озон	0,1	Пара	4
Оксиди азоту	5	Пара	2
Пил	4	Аерозоль	2

Таблиця 6.3 – Кількість іонів в 1 см³ повітря приміщення при роботі на ЕОМ

Рівні	Мінімально необхідні	Оптимальні	Максимально допустимі
позитивний	400	1500-3000	50000
негативний	600	3000-5000	50000

Для встановлення нормованих параметрів мікроклімату і складу повітря робочої зони передбачено:

1) в приміщенні повинна бути встановлена система опалення для холодного і кондиціонування для теплого періодів року;

2) застосування вентиляції, яка видаляє забруднення або нагріте повітря з приміщення, а також за допомогою неї контролюється швидкість руху повітря і вологість.

6.1.2 Виробниче освітлення

Для забезпечення гігієнічних раціональних умов на робочих місцях значні вимоги висуваються щодо кількісних та якісних параметрів освітлення.

З точки зору задач зорової роботи в приміщенні, в якому проводиться робота з дослідження автогенераторних хаотичних пристроїв виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестаціонарних завад, відповідно до [3] знаходимо, що вони відносяться до IV розряду зорових робіт. Приймаємо контраст об'єкта з фоном – великий, а характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд g .

Нормовані значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) і мінімальні значення освітленості для штучного освітлення приведені в табл.6.4.

Таблиця 6.4 – Нормовані значення КПО та мінімальні освітленості для штучного освітлення

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Освітленість при штучному освітленні, лк			КПО для бокового освітлення, %	
						комбіноване		загальне	Природного	Суміщеного
						всього	у т. ч. від загального			
Середньої точності	0,5-1	IV	г	великий	середній	300	150	150	1,5	0,9

Оскільки приміщення знаходиться в місті Вінниця (друга група забезпеченості природним світлом), а вікна розташовані за азимутом 90° , то за таких умов КЕО визначатиметься за виразом [3, 4]

$$e_N = e_H m_N [\%], \quad (6.1)$$

де e_H – табличне значення КЕО для бокового освітлення, %;

m_N – коефіцієнт світлового клімату;

N – порядковий номер групи забезпеченості природним світлом.

Підставляючи відомі значення одержимо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

$$e_{N.6} = 1,5 \cdot 0,85 = 1,28 (\%);$$

$$e_{N.c} = 0,9 \cdot 0,85 = 0,77 (\%).$$

Для встановлення нормованих значень параметрів освітлення передбачено такі заходи:

1) за недостатнього природного освітлення у світлу пору доби доповнення штучним завдяки використанню люмінесцентних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення;

2) застосування загального штучного освітлення в темну пору доби.

6.1.3 Виробничі віброакустичні коливання

Зважаючи на те, що при використанні пристроїв крім усього іншого устаткування використовується обладнання, робота якого генерує шум та вібрацію, потрібно передбачити захист від шуму та вібрації.

Визначено, що приміщення, де відбувається робота з дослідження автогенераторних хаотичних пристроїв виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад може мати робочі місця із шумом та вібрацією, що створюється вентиляторами блоку живлення ЕОМ і кулерами мікропроцесора, відеокарти.

З метою запобігання травмуванню працюючих від дії шуму він підлягає нормуванню. Головним документом стосовно промислового шуму, що діє в нашій країні, є [98], згідно з яким нормовані рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні шуму на робочих місцях в виробничих приміщеннях не мають

перевищувати значень, які наведено в табл. 6.5. Норми виробничих вібрацій наведені в табл. 6.6 для локальної вібрації.

Таблиця 6.5 – Допустимі рівні звукового тиску і еквівалентні рівні звуку

Рівні звукового тиску в дБ в октавних полосах із середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Таблиця 6.6 – Допустимі рівні вібрації [99]

Гранично допустимі рівні віброприскорення, дБ, в октавних полосах із середньо-геометричними частотами, Гц								Коректовані рівні віброприскорення, дБА
8	16	31,5	63	125	250	500	1000	
73	73	79	85	91	97	103	109	76

З метою покращення віброакустичного клімату у приміщенні запропоновано такі заходи:

- 1) постійне змащування підшипників вентиляторів блоку живлення комп'ютера та кулерів відеоадаптера та мікропроцесора;
- 2) передбачено використовувати в приміщенні штори із щільної тканини.

6.1.4 Виробничі випромінювання

Проведений аналіз умов праці показав, що приміщення, де проводиться робота з дослідження може містити електромагнітні випромінювання.

Гранично допустимі рівні електромагнітних полів наведені в табл. 6.7.

Для забезпечення захисту і досягнення нормативних рівнів випромінювань потрібно використовувати екранування робочого місця і скорочення часу опромінення за рахунок перерв на відпочинок.

Визначимо допустиму силу струму в провіднику (антені) довжиною $L = 5$ м, при якій напруженість електромагнітного поля на робочому місці, віддаленому на $r = 0,4$ м, знаходиться в межах норми, якщо частота поля $f = 45$ МГц.

Таблиця 6.7 – Гранично допустимі значення електромагнітних полів на робочих місцях згідно [14]

Параметри та одиниці вимі- рювання	Граничні значення в діапазонах частот						
	1-10 кГц	10-60 кГц	0,06-3 МГц	3-30 МГц	30-50 МГц	50-300 МГц	
$E_{ГД}$, В/м	1000	700	500	300	80		
$E_{N_{ГД}}$, (В/м) ² ·год	120000	40000	20000	7000	800		
$H_{ГД}$, А/м	75	57	50	–	3,0	–	
$E_{N_{H_{ГД}}}$, (А/м) ² ·год	675	390	200	–	0,72	–	

Допустиму силу струму в провіднику (антені) будемо визначати як найменшу із допустимих сил струму для джерел електричної та магнітної складових ЕМВ, відповідно

$$I = \min\{I_E, I_H\} \text{ [A]}, \quad (6.2)$$

де I_E – допустима сила струму в провіднику (антені) для джерела електричного поля, А;

I_H – допустима сила струму в провіднику (антені) для джерела магнітного поля, А.

Біля джерела ЕМВ виділяють ближню зону (зону індукції), що знаходиться на відстані $r \leq \lambda / 2\pi$, і далеку зону (зону випромінювання), для якої $r > \lambda / 2\pi$, де λ – довжина хвилі, м.

Довжину хвилі можна визначити за формулою

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ [м]}, \quad (6.3)$$

де c – швидкість світла в вакуумі, м/с ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с);

f – частота електромагнітного поля, Гц.

Після підстановки відомих значень у формулу (6.3), одержимо:

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{45 \cdot 10^6} = 6,67 \text{ (м)}.$$

Оскільки $r = 0,4 \text{ м} < \lambda / 2\pi = 6,67 / 2\pi = 1,0621 \text{ м}$, то допустиму силу струму I_E в провіднику (антені) для ближньої зони можна визначити з формули

$$E_{\text{бл}} = \frac{I_E L}{4\pi^2 f \varepsilon r^3} \text{ [В/м]} \quad (6.4)$$

Звідки

$$I_E = \frac{E_{\text{бл}} 4\pi^2 f \varepsilon r^3}{L} \text{ [А]}, \quad (6.5)$$

де $E_{\text{бл}}$ – напруженість електричного поля для ближньої зони, В/м;

ε – діелектрична проникність середовища, Ф/м (для повітря $\varepsilon = 1$ Ф/м);

L – довжина провідника (антени), м.

Допустиму силу струму в провіднику (антені) від джерела магнітного поля для ближньої зони можна визначити з формули

$$H_{\text{бл}} = \frac{I_H L}{4\pi r^2} \text{ [A/м]}, \quad (6.6)$$

звідки

$$I_H = \frac{4\pi r^2 H_{\text{бл}}}{L} \text{ [A]}, \quad (6.7)$$

де $H_{\text{бл}}$ – напруженість магнітного поля ближньої зони, А/м;

r – віддаленість робочого місця, м;

L – довжина провідника (антени), м.

Для діапазону частот 30...50 МГц $E_{ГД} = 80$ В/м, $H_{ГД} = 3$ А/м.

Після підстановки відомих значень у формули (6.5, 6.7, 6.2), одержимо:

$$I_E = \frac{80 \cdot 4 \cdot 3,14^2 \cdot 45 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 0,4^3}{5} = 1817321472 \text{ (A)};$$

$$I_H = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 0,4^2 \cdot 3}{5} = 1,21 \text{ (A)};$$

$$I = \min\{1817321472; 1,21\} = 1,21 \text{ (A)}.$$

Таким чином, допустима сила струму в провіднику (антені) в умовах дії ЕМВ складатиме 1,21 А.

6.2 Технічні рішення щодо промислової та пожежної безпеки під час проведення дослідження

Сучасний етап розвитку техніки, автоматизації розробок та досліджень характеризується широким використанням на робочому місці ЕОМ. Велика кількість прикладних програм перетворює ЕОМ на основне знаряддя праці радіоінженера.

6.2.1 Безпека щодо організації робочих місць

Оснащені відеодисплейним терміналом робочі місця повинні розташовуватись на відстані не менше як 1,5 м від стіни з вікнами, від інших стін – на віддалі 1 м, одне від одного на відстані не менше ніж 1,5 м. При розміщенні робочих місць потрібно виключити ймовірність прямого засвічування екрану джерелом природного освітлення. Робоче місце доцільно розташовувати таким чином, щоб природне освітлення знаходилось збоку, переважно з лівого [100].

Розташовувати відеодисплейний термінал на робочому місці необхідно так, щоб поверхня екрана має розташовуватись на відстані 400-700 мм від органів зору користувача. Висота робочої поверхні столу під час виконання роботи сидячи має регулюватися в межах 680-800 мм. Робочий стіл повинен мати простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною не менше ніж 500 мм, глибиною на рівні колін не менше 450 мм та на рівні витягнутої ноги не менше як 650 мм [101].

6.2.2 Електробезпека

Основними причинами ураження електричним струмом в цьому приміщенні можуть бути: робота під напругою при ремонтних роботах, несправність устаткування, випадкове торкання до струмоведучих частин або металевих частин, які опинилися під напругою. У відповідності до [102] дане приміщення відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом в наслідок

наявності значної (понад 75 %) вологості. Тому безпека експлуатації електрообладнання має забезпечуватись комплексом заходів, що передбачають застосування ізоляції струмовідних частин, захисного заземлення, захисних блокувань та ін [103].

6.2.3 Пожежна безпека

Згідно [104] приміщення, в якому проводиться робота з дослідження автогенераторних хаотичних пристроїв виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад, відноситься до категорії пожежної небезпеки В. Дане приміщення відноситься до 3-го ступеня вогнестійкості, в якому приміщення знаходяться в будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1, Г2. До елементів покриттів не висовуються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку.

Мінімальні межі вогнестійкості конструкцій приміщення, що розглядається наведені в табл. 6.8 В табл. 6.9 приведено протипожежні норми проектування будівель і споруд.

Таблиця 6.8 – Мінімальні межі вогнестійкості приміщення [104]

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Східчасті майданчики	Плити та інші несучі конструкції	Елементи покриття	
	Несучі та східчасті клітки	Самонесучі	Зовнішні несучі	Перегородки				Плити, прогони	Балки, ферми
3	REI 120	REI 60	E 15	EI 15	R 120	R 60	REI 45	нн	нн
	М0	М0	М0	М1	М0	М0	М1	нн	нн

Примітка. R – втрати несучої здатності; E – втрати цілісності; I – втрати теплоізоляційної спроможності; M – показник здатності будівельної конструкції поширювати вогонь (межа поширення вогню); M0 – межа поширення вогню дорівнює 0 см; M1 – $M \leq 25$ см – для горизонтальних конструкцій; $M \leq 40$ см – для вертикальних і похилих конструкцій; M2 – $M > 25$ см – для горизонтальних конструкцій; $M > 40$ см – для вертикальних і похилих конструкцій, нн – не нормується.

Таблиця 6.9 – Протипожежні норми проектування будівель і споруд [106]

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія пожежної небезпеки	Ступінь вогнестійкості	Відстань, м, для щільності людського потоку в загальному проході, осіб/м ²			Кількість людей на 1 м ширини евакуйоводу	Протипожежні розриви, м, при ступені їх вогнестійкості			Найбільша кількість поверхів	Максимально допустима площа поверху, м ² , для кількості поверхів		
			до 1	2-3	4-5		I,II	III	IV,V		1	2	3 і більше
до 15	В	3	100	60	40	110	9	12	15	3	5200	3500	2600

Примітки: н.о. – не обмежується, н.н. – не нормується.

Вибираємо, що приміщення, де проводиться робота з дослідження, має бути оснащено двома вогнегасниками, пожежним щитом, а також ємністю з піском [105].

6.3 Дослідження безпеки роботи автогенераторного хаотичного пристрою в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

В даній частині розділу необхідно провести дослідження безпеки роботи автогенераторного хаотичного пристрою в умовах дії іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу так як саме ці фактори можуть вивести з ладу пристрій, чи порушити його роботу.

Вплив радіації призводить як до оборотних, так і необоротних змін електричних властивостей твердотільних приладів і інтегральних схем. Оскільки такі зміни

можуть приводити до відмов електронних блоків, значні зусилля останнім часом направляються на розробку методів, що дозволяють уникнути погіршення параметрів мікроелектронного обладнання при опроміненні. У багатьох випадках вирішувати цю проблему доцільно шляхом створення радіаційно-стійких приладів і інтегральних схем [107].

До часток, які при влученні в прилади й схеми можуть викликати небажані наслідки, відносяться електрони, протони, фотони, альфа-частинки, важкі іони. Основні наслідки впливу опромінення на електронні пристрої – іонізація і зсув атомів. Вони викликають різні зміни в напівпровідникових приладах.

При бомбардуванні кремнію фотони й заряджені частинки можуть викликати зсув атомів з положення рівноваги. У випадку фотонів цей процес реалізується за рахунок появи комптоновських електронів з досить великою енергією, які потім взаємодіють із ядрами мішені. Поки ядрам передається мінімальна енергія (для кремнію 21 еВ), буде відбуватися зсув атомів. Відсутність атома у своєму нормальному положенні – це перший вид радіаційного дефекту.

В опроміненому кремнії можуть зустрічатися різні типи дефектів. Елементарні дефекти іноді називають точковими або ізольованими. Можливе виникнення областей з більшим числом досить близько розташованих дефектів. Така область називається кластером дефектів або каскадом зсувів. Згідно з фізикою напівпровідників, атоми домішок в решітках кремнію мають дискретні рівні енергії, які лежать у забороненій зоні між мінімумом зони провідності й максимумом валентної зони. Порушення періодичності атомної решітки може привести до виникнення деяких рівнів енергії в забороненій зоні. До їхньої появи призводять, зокрема, радіаційні дефекти, і саме ці дефектні стани або центри впливають на електричні властивості напівпровідникових приладів. Тому є необхідним провести дослідження стійкості роботи автогенераторного хаотичного пристрою саме при впливах іонізуючих випромінюваннях та електромагнітному імпульсі.

6.3.1 Дослідження безпеки роботи автогенераторного хаотичного пристрою в умовах дії іонізуючих випромінювань

За критерій безпеки роботи автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів в цих умовах приймається таке максимальне значення дози опромінення елементної бази (D_{epi}, P), при якому в елементній базі можуть виникнути зміни, але РЕА ще буде працювати з необхідною якістю.

В якості критерію по стійкості роботи можна використати граничне значення дози радіації :

$$D_{ep} = k \cdot D_{ze} \cdot k_{nosl}, \quad (6.8)$$

де k – коефіцієнт надійності (приймається $k = 0,92$);

D_{ze} – доза, яка відповідає початку зворотних змін в елементах;

k_{nosl} - коефіцієнт послаблення радіації (приймається $k_{nosl} = 5$).

Доза, яка відповідає початку зворотних змін в елементах, що дорівнює мінімальному значенню D_{epi} . Оскільки дана мережа міститиме в своїй будові мікросхеми, тому допустима експозиційна доза цих елементів РЕС становитиме $D_{epi} = 10^3$ (Р). Отже подальші розрахунки проводяться відповідно до цього значення.

Шляхом підстановки числових значень в (6.8) розраховується D_{ep} :

$$D_{ep} = 0,92 \cdot 10^3 \cdot 5 = 4600(P).$$

Отже, працездатність автогенераторного хаотичного пристрою в умовах дії іонізуючих випромінювань можлива при значеннях $D_{ep} < 4600P$.

6.3.2 Дослідження безпеки роботи автогенераторного хаотичного пристрою в умовах дії електромагнітного імпульсу

Початкові дані: напруга живлення: $U_{жс} = 12В$; максимальна довжина горизонтальної струмопровідної частини електричної принципової схеми: 3,5 м.

В якості показника стійкості елементів автогенераторного хаотичного пристрою до дії електромагнітного імпульсу використовують коефіцієнт безпеки [20]:

$$K_{\sigma} = 20 \lg \frac{U_{\sigma}}{U_{B(\Gamma)}} \geq 40 \text{ [дБ]}, \quad (6.9)$$

де U_{σ} - допустиме коливання напруги живлення;

$U_{B(\Gamma)}$ - напруга наведена за рахунок електромагнітного імпульсу у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних системах.

Спочатку визначається допустиме коливання напруги живлення:

$$U_{\sigma} = U_{жс} + \frac{U_{жс}}{100} \cdot N, \quad (6.10)$$

де N - допустимі коливання (приймається $N = 5\%$)

Шляхом підстановки числових даних в (6.10) отримується:

$$U_{\sigma} = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6(В).$$

Визначається максимально очікувана напруга в горизонтальних лініях:

$$U_B = \frac{U_{\sigma}}{10^{\frac{K}{20}}} \quad (6.11)$$

Після підстановки числових даних:

$$U_B = \frac{12,6}{\frac{40}{10^{20}}} = 0,126(B).$$

З формули визначається горизонтальна складова напруженості електричного поля:

$$U_B = E_\Gamma \cdot l_B. \quad (6.12)$$

Отже, E_Γ визначається:

$$E_\Gamma = \frac{U_B}{l_B}. \quad (6.13)$$

Після підстановки числових даних в формулу (6.13):

$$E_\Gamma = \frac{0,126}{3,5} = 0,036(B / м).$$

Вертикальна складова напруженості електричного поля визначається з формули:

$$E_\Gamma = 10^{-3} \cdot E_B. \quad (6.14)$$

Тоді E_B буде:

$$E_B = 0,036 \cdot 1000 = 36(B / м).$$

Це значення вертикальної складової напруженості електромагнітного поля можна вважати граничним, до якого гарантується безпечна робота автогенераторного хаотичного пристрою.

6.4 Висновки до розділу

В результаті виконання цього розділу було опрацьовано такі питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення допустимої сили струму в провіднику (антені), при якій напруженості ЕМВ на робочому місці знаходяться в межах норми, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення дослідження автогенераторних хаотичних пристроїв виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад, безпека в надзвичайних ситуаціях.

Згідно з виконаними розрахунками безпека роботи автогенераторного хаотичного пристрою в умовах дії електромагнітного імпульсу можлива при напруженості вертикальної складової електричного поля в значеннях $E_B < 36 \text{ В/м}$.

ВИСНОВКИ

У роботі було досягнуто мету роботи - підвищення завадостійкості та робастності прийому гармонійних сигналів на тлі адитивних шумів за допомогою систем з хаотичною динамікою. Визначено структуру побудови і параметри хаотичного генератора Дуффінга-Холмса, що забезпечує найбільш високу стійкість до шуму за результатами емпіричного аналізу БД.

Розроблено новий алгоритм ідентифікації стану хаотичного генератора, що відрізняється простотою виконання і можливістю апаратної реалізації на логічних елементах. За результатами імітаційного моделювання роботи ХО в умовах впливу БГШ встановлено, що він поступається по завадостійкості когерентного детектора на 2...5 дБ.

За результатами імітаційного моделювання роботи ХО в умовах впливу негауссівських шумів встановлено, що ХО перевершує КО на 5...10 дБ в залежності від ПРВ шуму. При зміні ПРВ шуму - в тому числі при істотних якісних відмінностях у властивостях шумів - стійкість ХО змінюється в межах 2 дБ, що дозволяє зробити висновок про досить хорошу робастність ХО як непараметричного виявника.

За результатами порівняльного аналізу завадостійкості ХО і рангового виявника Вілкоксона, що є одним з кращих в класі непараметричних виявників, встановлено, що ХО перевершує рангові на 1,5 ... 2 дБ в залежності від ПРВ шуму.

За результатами аналізу можливих областей застосування хаотичних виявників періодичних сигналів на фоні нестаціонарних завад рекомендовано використовувати даний тип детектора в бортових радіоприймальних пристроях радіолокації і моніторингу.

Також у магістерській кваліфікаційній роботі було здійснено розрахунки розділу Економічної частини. Розрахунок терміну окупності коштів, вкладених в наукову розробку автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестаціонарних завад становить 2 роки. Тому фінансування даної наукової розробки автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестаціонарних завад є доцільним.

У результаті виконання розділу Охорони праці та безпеки життєдіяльності було опрацьовано такі питання, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення допустимої сили струму в провіднику (антені), при якій напруженості ЕМВ на робочому місці знаходяться в межах норми, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення дослідження автогенераторних хаотичних пристроїв виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестационарних завад, безпека в надзвичайних ситуаціях. Згідно з виконаними розрахунками безпека роботи автогенераторного хаотичного пристрою в умовах дії електромагнітного імпульсу можлива при напруженості вертикальної складової електричного поля в значеннях $E_B < 36 \text{ В/м}$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Dai Y. The Weak Signal Detection Method and Instrument / Y. Dai; Beijing: The National Defence Industrial Publishing House, 1994. – p. 265–278.
2. Birx D. I. Chaotic oscillators and CMFFNS for signal detection in noise environments / D. I. Birx // IEEE International Joint Conference on Neural Networks. – 1992. – 22: p. 881–888.
3. Liyun S. Noise Immunity of Duffing Oscillator and its Applications in Weak UWB Signal Detection / S. Liyun, Y. Qian, Z. Yuli, L. Jiaojun // Journal of Networks. – 2012. – V.7. – №.3. – p. 540–546.
4. Li Y. Chaotic system for the detection of periodic signals under the background of strong noise / Y. Li, B. Yang // Chinese Science Bulletin. – 2003. – V.48. – №5. – p. 508–510.
5. Hu S. Fractional Processes and Fractional-Order Signal Processing. Techniques and Applications / S. Hu, Q.-C. Yang, S. Q. Tian // Springer-Verlag London Limited 2012. – 295 p. – ISBN 978-1-4471-2232-6.
6. Ушаков П. А. Методы анализа и синтеза многослойных неоднородных RC-элементов с распределенными параметрами и устройств на их основе / П. А. Ушаков // диссертация на соискание ученой степени д.т.н. – Ижевск. – 2008. – 379 с.
7. Chien-Cheng T. Design of Fractional Order Digital FIR Differentiators / T. Chien-Cheng // IEEE Signal Processing Letters. – 2001. – V.8. – №.3. – p. 77–79.
8. Gui-tian H. Dynamic behavior of fractional order Duff chaotic system and its synchronization via singly active control / Guitian H. Maokang L. // Appl. Math. Mech. – Engl. Ed. – 2012. – V.33. – №5. – p. 567–582.
9. Мартинюк В.В. Виявлення слабких періодичних сигналів із застосування модифікованої системи Дуффінга-Холмса дробового порядку / Мартинюк В.В., Федула М.В. // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2013. – №53. – С. 13-22.
10. Семенов А.О. Радіоелектронний пристрій формування сигналів детермінованого хаосу на основі нелінійної системи Дуффінга-Холмса / Семенов А.О. // Вчені

записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2018. – Том 29 (68). № 2. – С.

11. Семенов А. О., Пінаєв Б. О., Сесь Р. О. Радіовимірювальні перетворювачі електричних величин на основі генераторів детермінованого хаосу. Матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (СПРН-2019)». 14-16 листопада 2019, м. Вінниця. 2019. Вінниця: ВНТУ. С. 59-60.

12. Соколов, А.В., Филиппов, Л.Т. Теория потенциальной помехоустойчивости как основа статистической радиотехники // Радиотехника, № 8, 1998. С. 48 – 56.

13. Финк, Л.М. Сигналы, помехи, ошибки... (Заметки о некоторых неожиданных, парадоксах и заблуждениях в теории связи). – М.: Связь, 1978. – 272 с.

14. Kay, S., Fundamentals of statistical signal processing, Vol. II: Detection theory. Prentice-Hall PTR, 1998. 672 p.

15. Slepian, D., Some comment on the detection of Gaussian signals in Gaussian noise // IRE Transactions on Information Theory, No. 2, 1958. pp. 65 – 68.

16. Ильин, А.Г. Повышение потенциальной помехоустойчивости на базе теоремы Слепяна // Электромагнитные волны и электронные системы, № 2, т. 12, 2007. С. 68 – 72.

17. Galdi, V., Pierro, V., etc., Evaluation of stochastic-resonance-based detectors of weak harmonic signals in additive white Gaussian noise // Physical Review E, Vol. 57, No. 6, 1998.

18. Kay, S., Can detectability be improved by adding noise? // IEEE Signal Processing Letters, Vol. 7, No. 1, January, 2000.

19. Zozor, S., Ambland, P-O., On the use of stochastic resonance in sine detection // Signal Processing, Vol. 82, 2002. pp. 353 – 367.

20. 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.

21. Chen, H., Pramod, K., Kay, S., Michels, J., Theory of stochastic resonance effect in signal detection: Part I – Fixed detectors // *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 55, No. 7, July, 2007. pp. 3172 – 3184.

22. Паркер, Т.С., Чуа, Л.О. Введение в теорию хаотических систем для инженеров // *ТИИЭР*, Том 75, № 8, август 1987, С. 6 – 40.

23. Мун, Ф. Хаотические колебания. – М.: Мир, 1990. – 311 с.

24. Анищенко, В.С. Сложные колебания в простых системах. – М.: Наука, 1990. – 312 с.

25. Шахтарин Б.И. и др. Генераторы хаотических колебаний: Учебн. пособие / Б.И. Шахтарин, П.И. Кобылкина, Ю.А. Сидоркина, А.В. Кондратьев. – М.: Гелиос АРВ, 2007 – 248 с.

26. Wang, G., Chen, D., Lin, J., Chen, X., The application of chaotic oscillators to weak signal detection // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 46, No. 2, April, 1999. pp.440 - 444.

27. Birx, D.L., Pipenberg, S.J., Chaotic oscillators and complex mapping feed forward networks (CMFFNS) for signal detection in noisy environments // *International Joint Conference on Neural Networks*. Vol. 2, 1992. pp.881 - 888.

28. Хорстхемке, В., Лефевр, Р. Индуцированные шумом переходы: Теория и применение в физике, химии и биологии: Пер.с англ. - М.: Мир, 1987. - 400 с.

29. Franaszek, M., Simiu, E., Stochastic resonance: A chaotic dynamics approach // *Physical review E*, Vol. 54, No.2, August, 1996. pp. 1298 - 1304.

30. Walverton, M., *The Depths of Space: The Story of the Pioneer planetary probes*. The National Academies. 2004. 256 p.

31. Li, Y., Yang, B., Chaotic system for the detection of periodic signals under the background of strong noise // *Chinese Science Bulletin*, Vol. 48, No. 5, March, 2003. pp. 508 - 510.

32. Li, Y., Yang, B., Du, L., Yuan, Y., The bifurcation threshold value of the chaos detection system for a weak signal // *Chinese Physics*, Vol. 12, No. 7, July, 2003. pp. 712 - 720.

33. 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.
34. 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.
35. Le, B., Liu, Z., Gu, T., Chaotic oscillator and other techniques for detection of weak signals // IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol. E88-A, No. 10, October, 2005.
36. Jin, H., Wang, K., Carrier detection method of binary-phase-shift-keyed and direct-sequence-spread-spectrum signals based on Duffing oscillator // 6th International Conference on ITS Telecommunications Proceedings, June, 2006. pp. 1338 - 1341.
37. Gao, H., Ouyang, G., Zhu, S., Shao, L., Detection of weak simple harmonic signal in strong noise based by use of chaotic oscillator // The Eight International Conference on Electronic Measurements and Instruments, ICEMI, 2007. pp. 287 - 290.
38. Li, Y., Yang, B-J., Yuan, Y., Liu, X-H., Analysis of a kind of Duffing oscillator system used to detect weak signals // Chinese Physics, Vol. 16, No. 4, April, 2007. pp. 1072 - 1076.
39. 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.
40. Qing, S., Tao, J., Yong, S., Wan, P., Analyses to signal detecting capability of two chaotic oscillator systems // Wireless Communication Networking and Mobile Computing, WICOM 2008, 12-14 October, 2008 pp. 1 - 4.
41. Deeks, J., White, P., Investigation of a novel nonlinear detector of weak acoustic signals in noise // Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 123, No. 5, 2008. pp. 3431 - 3448.
42. Huang, Y., Yin, C., Liu, L., Bi, H., A method of 2FSK signal detection using Duffing oscillator //International Colloquium on Computing, Communication, Control and Management, ISECS, 2008. pp. 510 - 513.

43. Wang, J., Zhou, J., Peng, B., Weak signal detection method based on Duffing oscillator // *Kybernetes*, Vol. 38, No. 10, 2009. pp.1662 - 1668.
44. Huang, P., Pi, Y., Zhao, Z., Weak GPS signal acquisition algorithm based on chaotic oscillator // *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Volume 2009, Article ID 862618, 6 pages.
45. Li, Y., Yang, B., Badal, J., Zhao, X., etc., Chaotic system detection of weak seismic signals // *Geophysical Journal International*. Vol. 178, No. 3, 2009. pp. 1493 -1522.
46. Lu, C., Tan, Y., Zhu, B., Zhou, L., Doppler processing for PRC-CW radar in strong-clutter background using Duffing oscillator // *Radar Conference, 2009 IFT International, 20-22 April 2009*.
47. Chen, W., Meng, C., Wang, C., Zhang, Z., Summary on weak signal detection methods based on chaos theory // *The Ninth International Conference on Electronic Measurement & Instruments, ICEMI2009*. pp. 430 - 435.
48. Liu, D., Yao, L., Influence of Gauss white noise on weak signal detection based on chaotic oscillator // *WiCOM Proceedings, 2010*.
49. 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.
50. Ke, D., Lu, Z., Mao-Kang, L., Wavelet threshold method of resolving noise interference in periodic short-impulse signals chaotic detection // *Chinese Physics B*. Vol. 19, No. 3, 2010.
51. Honglei, Q., Xingli, S., Tian, J., Weak GPS signal detect algorithm based on Duffing chaos system // *Atlantis Press, 2010*
52. Chen, H., Zhang, X., The study of weak GPS signal acquisition based on Duffing chaotic oscillator // *Information Engineering and Applications Lecture Notes in Electrical Engineering Volume 154, 2012, pp 86-94*
53. Yang, X., Song, S., Chaotic oscillator detection characteristic properties and its noise effect // *Second International Conference on Communication Systems, networks and Applications. ICCSNA 2010*. pp. 403 - 405.

54. Jalilvand, A., Fotoohabadi, H., The application of Duffing oscillator in weak signal detection //ECTI Transactions on Electrical Eng. Electronics and Communications. Vol. 9, No. 1, February 2011.
55. Zhang, M., Liu, Z., Cao, Y., etc., Research and simulation on weak signal detection based on Duffing oscillator and damping ratio perturbation // Journal of Measurement Science and Instrumentation. Vol. 2, No. 2, June 2011. pp. 161 – 163.
56. Liu, X., Liu, X., Weak signal detection research based on Duffing oscillator used for downhole communication //Journal of Computers. Vol. 6, No. 2, February 2011. pp. 359 - 367.
57. Xu, Y., Qu, X., Yang, C., The study of novel chaotic oscillator detecting weak signal amplitude //WiCOM Proceedings, 2010
58. Chang, Y., Li, C., Hao, Y., Variance based identification of phase transition in Duffing oscillator for weak signal detection // Applied Mechanics and Materials. Vols. 128-129. 2011. pp. 354 -358.
59. Hu, W., Liu, Z., Li, Z., The design of improved Duffing chaotic circuit used for high-frequency weak signal detection //Electronics and Signal Processing, Springer, Berlin, 2011. pp. 831 - 838.
60. Wei, S., Zhang, T., Gao, C., Tan, F., The united detection of weak MSK signal using Duffing oscillator and stochastic resonance // Journal of Technology and Science, 2011-06-26.
61. Fu, Y., Wu, D., Zhang, L., Li, X., A circular zone partition method for identifying Duffing oscillator state transition and its application to BPSK signal demodulation //Science China: Information Sciences. Vol. 54, No. 6, June 2011. pp. 1274 - 1282.
62. Chen, X., Yang, X., Wang, J., Han, W., Reliability analysis of weak signal detection based on Duffing oscillator //Hindawi, Co. - Mathematical Problems in Engineering — An Open Access Journal
63. Zhang, R., Chu, F., Li, R., Guo, J., Weak signal detection method under the strong noise background //Advances in Intelligent and Soft Computing Volume 110, 2012, pp 417-425.

64. Sun, Y., Zhan, X., Shi, J., Hu, Z., Based on wavelet denoising and Duffing oscillator to detect weak signal // Electronics, Communications and Control (ICECC), 2011 International Conference, pp. 1917 – 1920.
65. Jin, T., Zhang, H., Statistical approach to weak signal detection and estimation using Duffing oscillators // Science China: Information Sciences. Vol. 54, No. 11, November 2011. pp. 2324 - 2337.
66. Zhang, S., Rui, G., Chaotic detector for BPSK signals in very low SNR conditions // International Journal of Bifurcation and Chaos. Vol. 22, No. 6, 2012.
67. Bermudez-Gomez, C., Enriquez-Caldera, R., Martinez-Carballido, J., Chirp signal detection using Duffing oscillator // Electrical Communications and Computers (CONIELECOMP), 2012, pp. 344-349.
68. Shi, S., Xu, L., Gu, X., Wang, E., A demodulation method of 2FSK signal based on Duffing oscillator // Advanced Materials Research Vols. 403-408 (2012), pp. 1700 - 1703.
69. Cheng, F., Yan, Z., A new method to determine the bifurcation threshold value of the Duffing chaos detection system // The 7th International Conference on Computer Science & Education. ICCSE 2012, July 14-17, 2012. pp. 1143 - 1146.
70. Ji, A., Zhu, C., Mao, L., Qian, L., QAM modulation classification based on Duffing oscillator // Frontiers in Applied Information Technology, 2012 (1), 12-18, 2012, pp. 12 - 18.
71. Su, L., Yang, Q., Zhang, Y., Noise immunity of Duffing oscillator and its applications in weak UWB signal detection // Journal of networks, Vol. 7, No. 3, March 2012. pp. 540 - 546.
72. Deng, X., Liu, H., Long, T., A new complex Duffing oscillator used in complex signal detection // Chinese Science Bulletin. Vol. 57, No. 17, June 2012. pp. 2185 - 2191.
73. Su, Y., Gao, Z., Liu, X., Zheng, N., Study on the performance of chaotic oscillator in weak signal detection // Applied Mechanics and Materials. Vols. 263-266, 2013. pp. 516 - 520.
74. Ji, C., Guo, W., Ji, H., Liu, M., Unknown weak signal detection based on Duffing oscillator // Sensors & Transducers. Vol. 162, Issue 1, January 2014. pp. 190 - 196.

75. Martynyuk, V., Fedula, M., Balov, O., Periodic signal detection with using Duffing system Poincare map analysis // *Advances in Science and Technology Research Journal*. Vol. 8, No. 22, June 2014. pp. 26 - 30.

76. Wu, Y., Huang, S., Xie, W., QPSK carrier signal detection based on double Duffing oscillators // *Sensors & Transducers*. Vol. 165, Issue 2, February 2014. pp. 195 - 202.

77. Zhang, G., Wang, Y., Weak signal detection based on united denoising and frequency modulation // *Journal of Information & Computational Science*. Vol. 12, No. 1, January 2015. pp. 89-100.

78. Zhao, Z., Yang, S., Application of van der Pol-Duffing oscillator in weak signal detection // *Computers and Electrical Engineering*. Vol. 41. 2015. pp. 1 - 8.

79. Rashtchi, V., Nourazar. M., FPGA implementation of real-time weak signal detector using a Duffing oscillator // *Circuits Systems and Signal Processing*, No. 2, 2015.

80. Дмитриев, А.С., Панас, А.И., Старков, С.О., Динамический хаос как парадигма современных систем связи // *Успехи современной радиоэлектроники*, № 10, 1997. С. 4 - 26.

81. Андреев, Ю.В., Дмитриев, А.С., Куминов, Д.А., Хаотические процессоры // *Успехи современной радиоэлектроники*, № 10, 1997. С. 50 - 79.

82. Дмитриев, А.С., Панас, А.И., Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. - М.: Издательство Физико-математической литературы, 2002. - 252 с.

83. Залогин, Н.Н., Кислов В.В., Широкополосные хаотические сигналы в радиотехнических и информационных системах. - М.: Радиотехника, 2006. - 208 с.

84. Дмитриев, А.С., Ефремова, Е.В., Максимов, Н.А., Панас, А.И., Генерация хаоса / Под общ. ред. А.С. Дмитриева. - М.: Техносфера, 2012. - 424 с.

85. Ветринский, Ю.А., Корзунов, Д.Ю., Об использовании хаотического осциллятора в качестве чувствительного элемента робастного обнаружителя. XXXIX Международная научно-практическая конференция «Неделя науки СПбГПУ»: материалы лучших докладов. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. С. 24 - 28.

86. Климов Е.К. Синтезирование апертуры антенны по отраженным сигналам ГЛО-НАСС/GPS на базе анализа динамики хаотических осцилляторов // XVI Санкт-

Петербургская ассамблея молодых ученых и специалистов: Сборник работ по результатам конкурса персональных грантов для студентов, аспирантов, молодых ученых и молодых кандидатов наук. СПб: Изд-во ЦОП РГГМУ, 2011. С. 127-128.

87. Ветринский, Ю.А., Гладкова, Е.О., Исследование устойчивости хаотического обнаружителя к изменению распределения помехи // Фундаментальные исследования и инновации в национальных исследовательских университетах: материалы Всероссийской научно-методической конференции, Санкт-Петербург. Т. 1. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. С. 71 - 75.

88. Свидетельство № 2013661765 от 16.12.2013 г. о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа расчета рабочих характеристик хаотического обнаружителя радиосигналов». Автры: Ветринский Ю.А., Ильясова О.С.

89. Патрушева, Т.В., Выбор оптимальных режимов работы амплитудного измерительного преобразователя на основе генератора хаоса // Ползуновский альманах. № 2. 2012. С. 104 - 107.

90. Патрушева, Т.В., Патрушев, Е.М., Седалищев, В.Н., Численный анализ помехоустойчивости измерительного преобразователя на основе генератора хаоса // Вестник Югорского государственного университета. Выпуск 2 (29). 2013. С. 90 - 95.

91. Патрушева, Т.В., Патрушев, Е.М., Численное моделирование процесса обнаружения периодических сигналов на фоне преобладающих шумов в приборах контроля, основанных на использовании генераторов хаоса // Ползуновский альманах. № 1. 2013. С. 59 - 64.

92. Левин, Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники Т. 3. - М.: Советское радио, 1976. - 288 с.

93. Shi, H., etc., Study of weak vibration signal detection based on chaotic oscillator in MEMS resonant beam sensor //Mechanical Systems and Signal Processing. No. 50-51, 2015. pp. 535 - 547.

94. ГОСТ 12.0.003-74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

95. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

96. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.

97. Пособие по расчету и проектированию, естественного, искусственного и совмещенного освещения НИИСФ – М.: Стройиздат. 1985. – 384 с.

98. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

99. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.

100.ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

101.Методичні вказівки до опрацювання розділу "Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях" в дипломних проектах і роботах студентів спеціальностей, що пов'язані з функціональною електронікою, автоматизацією та управлінням / Уклад. О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 64 с.

102.Правила улаштування електроустановок. 2-е вид., перероб. і доп. – Х: "Форт", 2009. – 736 с.

103.ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд.

104.ДБН В.1.1.7-2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.

105.НАПБ Б.03.001-2004. Типові норми належності вогнегасників.

106.СНиП 2.09.02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.

107.ДСанПіН 3.3.6-096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів.

Додаток А
(обов'язковий)

Міністерство освіти та науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. каф. РТ, д.т.н., проф.
_____Осадчук О.В.
" ____ " _____ 2019 р.

АВТОГЕНЕРАТОРНІ ХАОТИЧНІ ПРИСТРОЇ ВИЯВЛЕННЯ СЛАБКИХ
ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ ЗА УМОВИ ДІЇ НЕСТАЦІОНАРНИХ ЗАВАД

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на дипломне проектування

08-36.МКР.010.00.000 ТЗ

Керівник роботи:
_____ д. т. н., професор Семенов А. О.
" ____ " _____ 2019 р.

Розробив студент гр. РТ-18м
_____ Сесь Р. О.
" ____ " _____ 2019 р.

1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету № 254 « 02 » 10 2019 р. та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: “ 02 ” вересня 2019 р.

Дата закінчення: “17” грудня 2019 р.

2. МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

Метою роботи є підвищення завадостійкості та чутливості прийому гармонійних сигналів на фоні адитивних шумів за допомогою автоколивних систем з хаотичною динамікою.

Об'єкт дослідження – процеси генерування та формування сигналів у автогенераторному пристрої виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса за умови дії нестационарних завад.

Предмет дослідження – часові та частотні параметри і характеристики сигналів автогенераторного пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса за умови дії нестационарних завад.

Основними завданнями роботи є:

- розробка комп'ютерної моделі хаотичного пристрою виявлення слабких сигналів за умови дії нестационарних завад;
- визначення параметрів детектора, що забезпечують його стійкість до шуму;
- дослідження завадостійкості хаотичного пристрою виявлення слабких сигналів за умови дії нестационарних завад;
- дослідження робастності хаотичного пристрою виявлення слабких сигналів;
- порівняльний аналіз характеристик хаотичного і рангового пристроїв виявлення слабких сигналів за умови дії нестационарних завад;
- визначення перспективних областей застосування хаотичних пристроїв виявлення слабких сигналів за умови дії нестационарних завад;

- проведення розрахунків економічної частини та розділу охорони праці.

Запропонований автогенераторний пристрій виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса, що враховує показники достовірності виявлення (ймовірності правильного виявлення і помилкової тривоги при різних, відносинах С/Ш) і закони розподілу шумів, дозволить провести об'єктивний всебічний аналіз завадостійкості та робастності хаотичного виявника, чого до теперішнього часу практично не було зроблено ні в однією з відомих робіт. Це дозволить не тільки покласти край будь-якого роду спекуляцій на тему хаотичного виявлення, а й виявити сильні сторони хаотичного виявника, які можуть бути в подальшому використані для підвищення обороноздатності України.

3. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

1. Dai Y. The Weak Signal Detection Method and Instrument / Y. Dai; Beijing: The National Defence Industrial Publishing House, 1994. – p. 265–278.
2. Birx D. I. Chaotic oscillators and CMFFNS for signal detection in noise environments / D. I. Birx // IEEE International Joint Conference on Neural Networks. – 1992. – 22: p. 881–888.
3. Liyun S. Noise Immunity of Duffing Oscillator and its Applications in Weak UWB Signal Detection / S. Liyun, Y. Qian, Z. Yuli, L. Jiaojun // Journal of Networks. – 2012. – V.7. – №.3. – p. 540–546.
4. Li Y. Chaotic system for the detection of periodic signals under the background of strong noise / Y. Li, B. Yang // Chinese Science Bulletin. – 2003. – V.48. – №5. – p. 508–510.
5. Hu S. Fractional Processes and Fractional-Order Signal Processing. Techniques and Applications / S. Hu, Q.-C. Yang, S. Q. Tian // Springer-Verlag London Limited 2012. – 295 p. – ISBN 978-1-4471-2232-6.
6. Ушаков П. А. Методы анализа и синтеза многослойных неоднородных RC-элементов с распределенными параметрами и устройств на их основе / П. А. Ушаков // диссертация на соискание ученой степени д.т.н. – Ижевск. – 2008. – 379 с.

7. Мартинюк В.В. Виявлення слабких періодичних сигналів із застосування модифікованої системи Дуффінга-Холмса дробового порядку / Мартинюк В.В., Федула М.В. // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2013. – №53. – С. 13-22.

8. Семенов А.О. Радіоелектронний пристрій формування сигналів детермінованого хаосу на основі нелінійної системи Дуффінга-Холмса / Семенов А.О. // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2018. – Том 29 (68). № 2. – С.

9. Котельников, В.А. Теория потенциальной помехоустойчивости. – М.: Госэнергоиздат, 1956. – 152 с.

10. Финк, Л.М. Сигналы, помехи, ошибки... (Заметки о некоторых неожиданностях, парадоксах и заблуждениях в теории связи). – М.: Связь, 1978. – 272 с.

11. Kay, S., Fundamentals of statistical signal processing, Vol. II: Detection theory. Prentice-Hall PTR, 1998. 672 p.

12. Slepian, D., Some comment on the detection of Gaussian signals in Gaussian noise // IRE Transactions on Information Theory, No. 2, 1958. pp. 65 – 68.

13. Ильин, А.Г. Повышение потенциальной помехоустойчивости на базе теоремы Слепяна // Электромагнитные волны и электронные системы, № 2, т. 12, 2007. С. 68 – 72.

14. Шахтарин Б.И. и др. Генераторы хаотических колебаний: Учебн. пособие / Б.И. Шахтарин, П.И. Кобылкина, Ю.А. Сидоркина, А.В. Кондратьев. – М.: Гелиос АРВ, 2007 – 248 с.

15. Козловський В. О. Основи підприємництва. Курс лекцій. Част. 1 / В. О. Козловський – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 196 с.

16. Козловський В. О. Основи підприємництва. Курс лекцій. Част. 2 / В. О. Козловський – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 184 с.

17. Методичні вказівки до опрацювання розділу "Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях" в дипломних проектах і роботах студентів спеціальностей, що пов'язані з функціональною електронікою, автоматизацією та управлінням / Уклад. О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 64 с.

18. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

19. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.

20. ДБН В.1.1.7-2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.

4. ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра радіотехніки, студент групи РТ-18м Сесь Р. О.

5 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується реалізувати .

5.1 Електричні параметри:

- частота генерації хаотичних коливань – 5..25 кГц;
- максимальна амплітуда – 200 мВ;
- вид сигналів – хаотичний;
- ширина спектру сигналів 100 кГц;
- напруга живлення – двополярна ± 15 В.

5.2 Кліматичні умови:

- | | |
|--|-----------|
| 5.2.1 Атмосферний тиск на висоті до 2500 м над рівнем моря, не вище, кПа | 75. |
| 5.2.2 Температура навколишнього середовища, °С | -10..+50. |
| 5.2.3 Відносна вологість повітря при 20°С, % | 80. |

5.3 Експлуатаційні параметри:

- | | |
|---|----------|
| 5.3.1 Використовувати за призначенням; | |
| 5.3.2 Час напрацювання на відмову, не менше ,год | 100 тис. |
| 5.3.3 Час неперервної роботи, не більше, год/добу | 24. |

6. ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документація
1.	Огляд літературних джерел. Вибір та узгодження теми МКР	02.09.2019	15.09.2019	Проведено огляд літературних джерел. Вибрана тема	Узгодження теми МКР по кафедрі РТ
2.	Аналіз літературних джерел. Попередня розробка основних розділів	16.09.2019	22.09.2019	Проведений аналіз літературних джерел по даній тематиці. Підготовлений матеріал основних розділів	Вступ
3.	Затвердження теми. Розробка технічного завдання	23.09.2019	02.10.2019	Розроблене ТЗ	Наказ ВНТУ про затвердження тем Додаток А
4.	Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми	03.10.2019	20.10.2019	Проведений аналіз. Розроблені схеми пристрою	Вступ Розділ 1- 2 Звіт по переддипломній практиці
5.	Електричні розрахунки. Експериментальне дослідження	21.10.2019	29.10.2019	Проведені розрахунки та дослідження	Розділ 3
6.	Розділ моделювання	30.10.2019	03.11.2019	Проведено моделювання	Результати моделювання
7.	Розробка графічної частини МКР	04.11.2019	10.11.2019	Плакати. Структурні та електричні схеми	Графічна частина
8.	Аналіз економічної ефективності розробки	11.11.2019	15.11.2019	Економічна частина	Розділ 4
9.	Охорона праці (ОП)	16.11.2019	22.11.2019	Частина БЖД	Розділ 5
10.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	23.11.2019	27.11.2019	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина
11.	Нормоконтроль	28.11.2019	29.11.2019	Підпис нормоконтроля	Оформлена ПЗ та графічна частина
12.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР	02.12.2019	06.12.2019	Позитивні відзиви	Відзив. Рецензія
13.	Захист МКР ЕК	09.12.2019	17.12.2019	Позитивний захист	Протокол ЕК

7. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи буде зроблено:

- Розроблено схему електричну принципову радіоелектронного пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса.
- Розроблено математичну модель радіоелектронного пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса.
- Розроблено комп'ютерну схемотехнічну модель радіоелектронного пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса.
- Отримано результати комп'ютерного моделювання радіоелектронного пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса.

Очікуваний економічний ефект. При впровадженні результатів досліджень та розробки очікується покращення характеристик розроблюваного пристрою.

8. МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ДЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, відзив і рецензія.

9. ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ДЕК.

10. ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання роботи повинна містити:

- схему електричну радіоелектронного пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса;
- проведення комп'ютерного моделювання радіоелектронного пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса;

- плакати із результатами комп'ютерного моделювання радіоелектронного пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса;

- дослідження питань охорони праці.

11. ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

У зв'язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються.

Додаток Б
(обов'язковий)

АВТОГЕНЕРАТОРНІ ХАОТИЧНІ ПРИСТРОЇ ВИЯВЛЕННЯ СЛАБКИХ
ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ ЗА УМОВИ ДІЇ НЕСТАЦІОНАРНИХ ЗАВАД

Математична модель хаотичного генератора Дуффінга-Холмса

Математична модель хаотичного генератора Дуффінга-Холмса

4

Класичне ДР ХГ Дуффінга-Холмса має вигляд

$$\frac{d^2x}{dt^2} + k \frac{dx}{dt} - x + x^3 = \gamma_c \cos(t) + \xi(t) \quad (1)$$

де k - коефіцієнт загасання;

γ_c - амплітуда сигналу збудження, що задає критичний режим;

$\xi(t)$ - зовнішній сигнал (в загальному випадку суміш корисного сигналу і шуму).

Модифікація ХГ Дуффінга-Холмса за ступенем змінних ДС може мати вигляд

$$\frac{d^2x}{dt^2} + k \frac{dx}{dt} - x^3 + x^5 = \gamma_c \cos(t) + \xi(t) \quad (2)$$

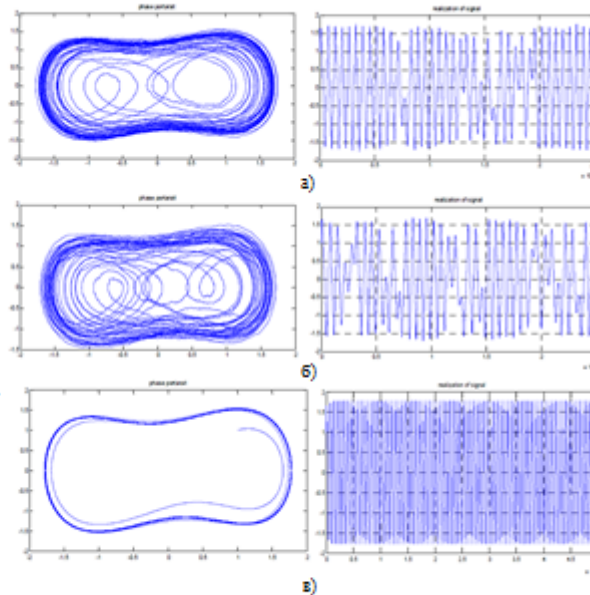
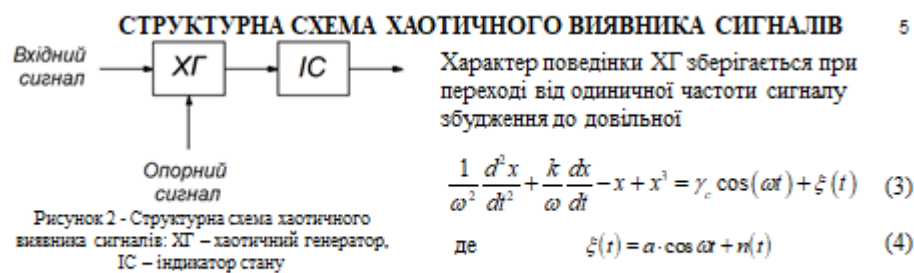


Рисунок 1 - Вихідні коливання і фазові портрети хаотичного генератора Дуффінга-Холмса в критичному режимі (а), при подачі шуму (б) і при подачі гармонійного сигналу (в)

Додаток В
(обов'язковий)

АВТОГЕНЕРАТОРНІ ХАОТИЧНІ ПРИСТРОЇ ВИЯВЛЕННЯ СЛАБКИХ
ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ ЗА УМОВИ ДІЇ НЕСТАЦІОНАРНИХ ЗАВАД

Структурна схема автогенераторного хаотичного виявника сигналів



$$\frac{1}{\omega^2} \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{k}{\omega} \frac{dx}{dt} - x + x^3 = \gamma_c \cos(\omega t) + \xi(t) \quad (3)$$

де $\xi(t) = a \cdot \cos \omega t + n(t)$ (4)

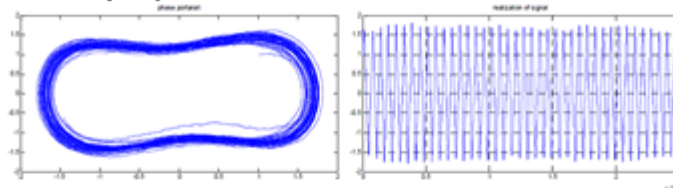


Рисунок 3 - Вихідні коливання і ФП ХГ Дуффінга-Холмса при подачі на вхід адитивної суміші сигналу і шуму з С/Ш мінус 25 дБ

При наявності частотних і фазових відмінностей $\Delta\omega$ і φ амплітуда сумарного сигналу збудження стає функцією часу

$$A(t) = \gamma(t) \cdot \cos(\omega t + \theta(t)) \quad (5)$$

$$\gamma(t) = \sqrt{\gamma_c^2 + 2\gamma_c \cdot \cos(\Delta\omega t + \varphi) + a^2} \quad (6) \quad \theta(t) = \arctg \frac{a \cdot \sin(\Delta\omega t + \varphi)}{\gamma_c + a \cdot \cos(\Delta\omega t + \varphi)} \quad (7)$$

Додаток Д
(обов'язковий)

АВТОГЕНЕРАТОРНІ ХАОТИЧНІ ПРИСТРОЇ ВИЯВЛЕННЯ СЛАБКИХ
ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ ЗА УМОВИ ДІЇ НЕСТАЦІОНАРНИХ ЗАВАД

Електрична схема автогенераторного пристрою виявлення слабких сигналів на ос-
нові хаотичної системи Дуффінга-Холмса

Електрична схема радіоелектронного пристрою на основі ОП для реалізації динамічної системи Дуффінга-Холмса

10

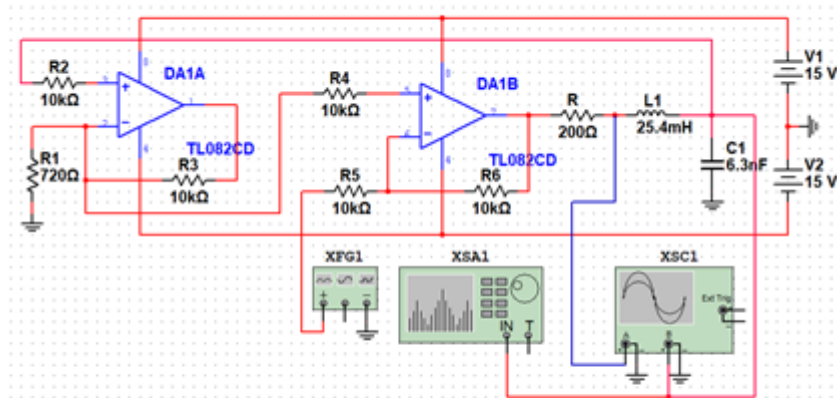


Рисунок 13 – Електрична схема радіоелектронного пристрою на основі ОП для реалізації динамічної системи Дуффінга-Холмса в програмі NI Multisim 10.0

Додаток Е
(обов'язковий)

АВТОГЕНЕРАТОРНІ ХАОТИЧНІ ПРИСТРОЇ ВИЯВЛЕННЯ СЛАБКИХ
ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ ЗА УМОВИ ДІЇ НЕСТАЦІОНАРНИХ ЗАВАД

Результати теоретичних досліджень автогенераторного пристрою на основі ОП для
реалізації динамічної системи Дуффінга-Холмса

Результати теоретичних досліджень радіоелектронного пристрою на основі ОП для реалізації динамічної системи Дуффінга-Холмса 11

Математична модель

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = F_2(x_1) - bx_2 + a \sin \omega t, \end{cases} \quad (12)$$

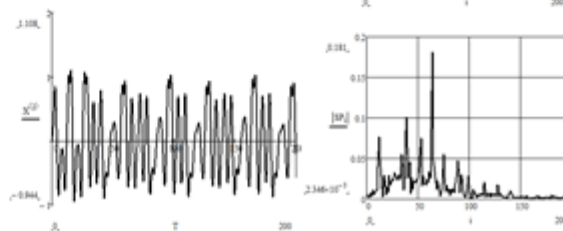
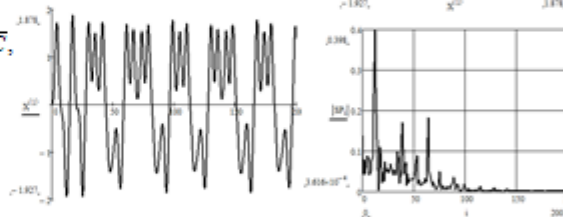
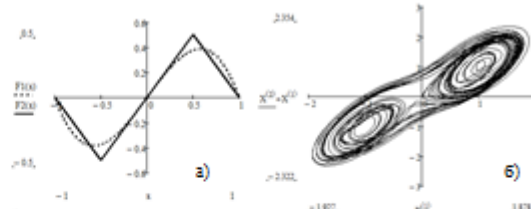
Рівняння нормованих змінних і коефіцієнтів

$$x_1 = \frac{U_C}{2U}, x_2 = \frac{\rho I_s}{2U}, \tau = \frac{t}{\sqrt{LC}}, \omega = \omega_0 \sqrt{LC},$$

$$a = \frac{A}{2U^2}, b = \frac{R}{\rho}, \rho = \sqrt{\frac{L}{C}},$$

нормована функція апроксимації

$$F_2(x_1) = \begin{cases} -(x_1 + 1), & x_1 < -0.5, \\ x_1, & -0.5 \leq x_1 \leq 0.5, \\ -(x_1 - 1), & x_1 > 0.5. \end{cases} \quad (13)$$

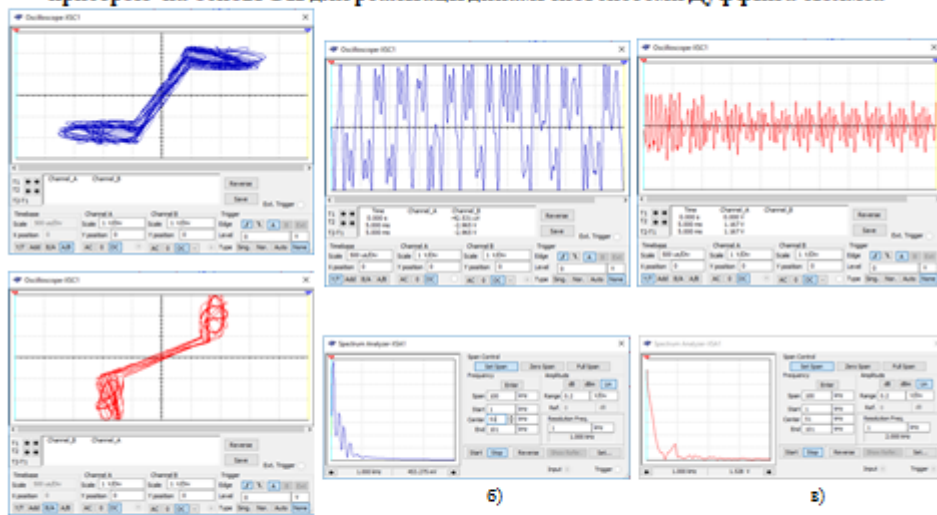


Додаток Ж
(обов'язковий)

АВТОГЕНЕРАТОРНІ ХАОТИЧНІ ПРИСТРОЇ ВИЯВЛЕННЯ СЛАБКИХ
ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ ЗА УМОВИ ДІЇ НЕСТАЦІОНАРНИХ ЗАВАД

Результати комп'ютерного схемотехнічного моделювання автогенераторного пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса

Результати комп'ютерного схемотехнічного моделювання радіоелектронного пристрою на основі ОП для реалізації динамічної системи Дуффінга-Холмса 12



а) фазові портрети пристрою в площині генерованих напруг U_C і U_C+U_L
 б) осцилограма і амплітудо-частотний спектр коливань напруги на конденсаторі U_C
 в) осцилограма і амплітудо-частотний спектр коливань напруги на котушці індуктивності U_L

Додаток К
(обов'язковий)

АВТОГЕНЕРАТОРНІ ХАОТИЧНІ ПРИСТРОЇ ВИЯВЛЕННЯ СЛАБКИХ
ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ ЗА УМОВИ ДІЇ НЕСТАЦІОНАРНИХ ЗАВАД

Результати дослідження завадостійкості автогенераторного пристрою виявлення
слабких сигналів

Результати дослідження завадостійкості радіоелектронного пристрою виявлення слабких сигналів

ROC (receiver operating characteristic) - це графік, по осі абсцис якого відкладена ймовірність помилкової тривоги, а по осі ординат ймовірність правильного виявлення. Стосовно до задачі оцінки завадостійкості ROC мають найбільшу інформативність, оскільки дозволяють зіставляти ймовірності правильного виявлення і помилкової тривоги.

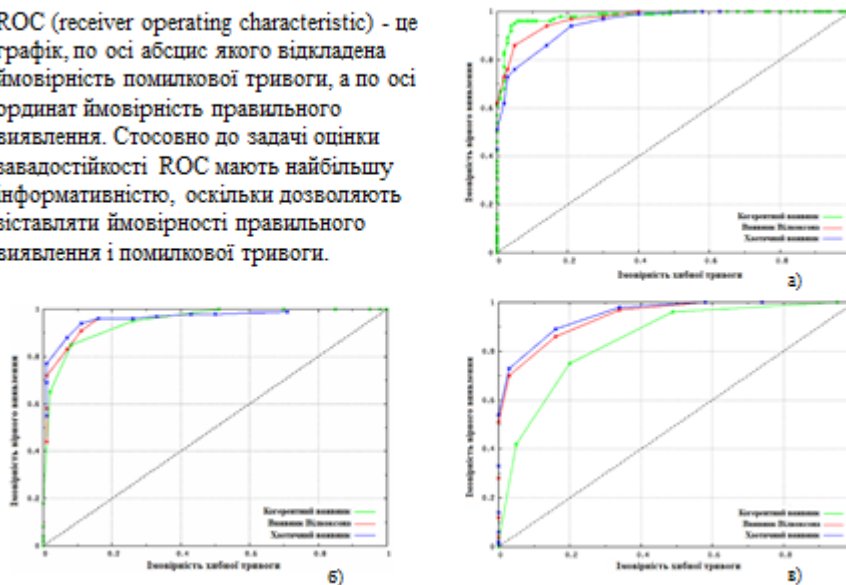


Рисунок 15 - ROC при впливі: а) білого гаусівського шуму, б) шуму з рівномірним розподілом; в) шуму з полігаусівським (бімодальним) розподілом