

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем

Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

ДИПЛОМНА РОБОТА

Другий (Магістерський)

Освітній рівень

Галузь знань 17 Електроніка та телекомунікації

Шифр і назва спеціальності

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Шифр і назва спеціальності

на тему Метод та пристрій динамічного магнітного детектування в системах розподілених сенсорів охоронних кабельних систем

ДРМТР 2020014.00.00

Виконав: студент 2 курсу, група ТР_м-19-1

підпис

В.Ю. Грищенко

Ініціали, прізвище

Керівник: к-т техн. наук, доц.

підпис

О.С. Пивовар

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри: д-р техн. наук, доц.

підпис

С.К. Підченко

Ініціали, прізвище

3 грудня 2020 р.

Хмельницький, 2020

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ТМІТ

 С.К. Підченко
« 2 » вересня 2020 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ
Грищенко Владиславу Юрійовичу

1 Тема роботи: Метод та пристрій динамічного магнітного детектування в системах розподілених сенсорів охоронних кабельних систем

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

Затверджено наказом по університету від «1» вересня 2020р. № 118.

2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 01.12.2020р.

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

Мета роботи: вдосконалення структури металодетекторів охоронних систем на основі хаотичних способів обробки для досягнення підвищеної чутливості.

Об'єкт дослідження: процеси вимірювання параметрів магнітного поля.

Предмет дослідження: металодетектори комплексних охоронних систем.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)
1. Аналіз принципів та методів вимірювання магнітних величин. 2. Способи застосування магнітометрів в складі систем охорони. 3. Розробка методу підвищення чутливості металодетекторів у складі охоронної системи периметрів споруд та територій, що ґрунтуються на хаотичних принципах обробки сигналів. 4. Імітаційне моделювання розробленого методу, представлення структури пристрою магнітного детектування із підвищеною чутливістю.

Завдання отримав  В.Ю Грищенко

Науковий керівник  О.С. Пивовар

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Вибір тематики	до 1.09.20	обрано
2	Аналіз початкових даних	5.09. 20-14.09. 20	проаналізовано
3	Написання вступу та 1 розділу (аналіз)	15.09. 20-30.09. 20	виконано
4	Написання 2 розділу (аналогії та моделі)	1.10. 20-14.10. 20	виконано
5	Оформлення та подання публікацій	10.10. 20-20.10. 20	подано 2 публ.
6	Написання 3 розділу (розробка моделей)	15.10. 20-30.10. 20	виконано
7	Моделювання та аналіз результатів	1.11. 20-14.11. 20	виконано
8	Обробка експериментальн. даних, оформлення графічної частини	10.11. 20-20.11. 20	виконано
9	Оформлення текстової частини, доповіді	20.11. 20-30.11. 20	виконано
10	Корекція зауважень, підготовка до захисту	17.11. 20-23.11. 20	виконано
11	Рецензування, антиплагіат	20.11. 20-1.12. 20	виконано
12	Подання готового проекту	1.12. 20	виконано

Студент

Підпис

В.Ю. Грищенко

Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

О.С. Пивовар

Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра на тему «Метод та пристрій динамічного магнітного детектування в системах розподілених сенсорів охоронних кабельних систем» виконана студентом 2-го курсу гр. ТРМ-19-1 Грищенко Владиславом Юрійовичем на кафедрі «Телекомунікацій, медійні та інтелектуальних технологій» Хмельницького національного університету у 2020р. Керівник роботи доц.каф. Пивовар Олег Сергійович.

Робота складається із вступу, 3 розділів, основних висновків по роботі, переліку джерел посилання (39 бібліографічних посилання, 4 сторінки) та 6 додатків (19 сторінок). Загальний обсяг роботи в якому викладено основний зміст складає 87 сторінок і містить 54 рисунки на 50 сторінках по тексту та 25 формул. Повний обсяг роботи - 120 сторінок.

Дипломна робота присвячена розробці методу та пристрою для магнітометричного детектування із використанням нелінійних методів обробки на основі ідентифікації фазового переходу між режимами нелінійної динамічної системи. Метод та пристрій рекомендується для застосування в магнітометричних охоронних системах із розподіленими кабельними сенсорами. Запропоновано структурну схему приладу та розроблено імітаційну модель для підтвердження коректності отриманих результатів.

Ключові слова: магнітометрія, генератор детермінованого хаосу, індуктивний баланс, фазовий перехід.

ABSTRACT

Master's thesis proposal «The method of adjusting the dynamical magnetic detection in the systems of electrical sensors in security cable systems» written by Grischenko Vladislav Yuriyovich, a 2nd year student of group TRM-19-1 at the Department of Telecommunications, Media and Intellectual Technologies of Khmelnytskyi National University, 2020. Academic advisor - Pyvovar Oleg Serhiyovych, Associate Professor.

The thesis proposal consists of an introduction, 3 sections, main scientific findings, a list of works cited (39 bibliographic references on 4 pages) and 6 appendices (19 pages). The total volume of the thesis in which the main content is stated is 87 pages; it contains 54 figures on 50 pages of text and 25 equations. The full volume of the thesis is 120 pages.

The aim of the thesis proposal is to develop a method and a device for magnetometric detection using nonlinear processing methods based on the identification of the phase transition between the modes of a nonlinear dynamic system. The method and the device are recommended for use in magnetometric security systems with distributed cable sensors. The structural scheme of the device is offered and the simulation model for confirmation of correctness of the results is developed.

Key words: magnetometry, deterministic chaos generator, inductive balance, phase transition.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	9
ВСТУП	10
1 ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МАГНІТНИХ ПОЛІВ	15
1.1 Вимірювання магнітних полів	15
1.1.1 Історичні аспекти появи детекторів магнітних полів	15
1.1.2 Параметри матеріалів пов'язаних із магнетизмом	18
1.1.3 Класифікація матеріалів за магнітними властивостями	22
1.1.4 Принципи роботи магнітометрів	24
1.2 Методи роботи металодетекторів	26
1.2.1 Принципи роботи металодетекторів	26
1.2.2 Структури металодетекторів та їх порівняльний аналіз	29
1.3 Магнітні сенсори в охоронних кабельних системах	32
1.3.1 Особливості та класифікація розподілених магнітних сенсорів	32
1.3.2 Побудова систем охорони із дискретними магнітними сенсорами	33
1.3.3 Системи із розподіленими магнітними сенсорами	36
1.3.4 Підводні магнітні сенсорні системи охорони периметрів	41
2 МОДЕЛІ НЕЛІНІЙНИХ ПРОЦЕСІВ І МАГНІТНЕ ДЕТЕКТУВАННЯ	42
2.1 Моделі індуктивного балансу	42
2.1.1 Моделі кіл із магнітним зв'язком	42
2.1.2 Принцип роботи магнітного градієнтометра	45
2.2 Градієнтна феромагнітна магнітометрія	46
2.2.1 Засіб магнітного градієнтного вимірювання на ферозондах	46

	7
2.2.2 Диференційний феромагнітометр	48
2.3 Неавтономні динамічні хаотичні системи.....	51
2.3.1 Поняття детермінованого хаосу	51
2.3.2 Моделі вимушених коливань в нелінійній динамічній системі	52
2.3.3 Нелінійний резонанс.....	55
3 ХАОТИЧНІ ВИЯВНИКИ ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ В МАГНІТОДЕТЕКТОРАХ.....	59
3.1 Нелінійні методи хаотичного виявлення сигналів	59
3.1.1 Оптимальна обробка сигналів нелійними методами	59
3.1.2 Ідентифікація режимів роботи хаотичних виявників.....	61
3.2 Практичні схеми хаотичних виявників.....	64
3.2.1 Неавтономний генератор Дуфінга як основа хаотичного виявника	64
3.2.2 Неавтономний генератор із кусково-лінійною апроксимацією.....	69
3.2.3 Амплітудний хаотичний виявник на основі MLC генератора	71
4 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХАОТИЧНОГО МАГНІТНОГО ДЕТЕКТОРА	74
4.1 Режими роботи хаотичного генератора із кубічною нелінійністю.....	74
4.2 Низькочастотна фільтрація хаотичного сигналу	77
4.3 Схема досліджень та біфуркаційні робочі зони.....	81
4.4 Результати імітаційного моделювання впливу шуму	88
4.5 Пристрій для охоронного магнітного детектування на основі хаотичної обробки.....	90

	8
ВИСНОВКИ.....	94
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	96
ДОДАТОК А МАГНІТНІ ПАРАМЕТРИ РЕЧОВИН ТА ЗАСОБИ ЇХ ВИМІРЮВАННЯ	100
ДОДАТОК Б КАБЕЛІ ДЛЯ МАГНІТОМЕТРИЧНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ СЕНСОРІВ	102
ДОДАТОК В СИСТЕМИ ОХОРОНИ НА ОСНОВІ РОЗПОДІЛЕНИХ ПРОВОДОВИХ ЛІНІЙ ПЕРЕДАЧІ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА.....	104
ДОДАТОК Г СТРУКТУРА СУБМОДУЛІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ SIMULINK	105
ДОДАТОК Д ПЛАКАТИ ДЛЯ ДОПОВІДІ.....	107
ДОДАТОК Е ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ.....	114

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

- БГШ – білий гаусівський шум
ГДХ – генератор детермінованого хаосу
ЕРС – електрорушійна сила
ІНБ – індукційний баланс
МД – магнітний детектор
НДС – нелінійна динамічна система
НХГ – неавтономний хаотичний генератор
ПС – періодичний сигнал
РКС – розподілена кабельна система
СКВ – середньоквадратичне відхилення
СФЗ – синфазна завада
СФС – синфазний сигнал
ХВК – хаотичний виявник
ХС – хаотичний сигнал
ФНЧ – фільтр низьких частот
ФПР – фазовий простір
ФТР – фазова траєкторія
SNR – відношення сигнал-шум

ВСТУП

Вимірювальна інформація про стан магнітних явищ та магнітне поле Землі є вельми важливою для більшості галузей науки та техніки, наприклад, наявність великої кількості моніторингових обсерваторій по всьому світу, підтверджує цей факт. Понад 70 країн світу мають більш як 200 спеціалізованих центрів контролю магнітного поля Землі [1], результати роботи яких безпосередньо впливають як на глобальне моделювання кліматичних умов, так і на будови та розвиток локальної магнітометрії для прикладних завдань.

Основними прикладними завданнями вивчення магнітного поля є: глобальна та локальна навігація, пошуки родовищ корисних копалин, дослідження внутрішньої будови Землі, контроль наземного та підводного несанкціонованого доступу, геологічні дослідження під час будівництв, магнітна локація археологічних споруд, тощо [2,3]. Ці завдання активно стимулюють енергійний розвиток методів та засобів магнітометрії.

Вимірювання та обробка магнітних величин невід'ємно пов'язана із електричними сигналами. У переважній більшості випадків під час дослідження деякої магнітної величини насправді вимірюється певна електрична величина, функціонально пов'язана із магнітною [4]. До недавнього часу для вимірювання магнітних величин застосовували електромеханічні прилади (компас), на даний час більшу перевагу для масового використання мають мікроелектромеханічні прилади та системи (МЕМС) [6].

В рамках зони діяльності людства (тропосфера, літосфера) усі прилади поділяють на магнітометри, що призначені для визначення глобального магнітного поля або його варіацій та магнітодетектори (металодетектори) що призначені для вимірювання локальних магнітних полів об'єктів, як правило співрозмірних із людиною [7].

Раніше зазвичай вважалося, що метало детектори потрібні лише військовим у вигляді міношукачів, але сучасні міни можуть бути виготовлені і із неметалевих предметів і виявити їх металошукачем практично неможливо. Натепер металодетектори знаходять широке застосування в будівельній промисловості, в техпроцесах контролю магнітних вкраплень, вторинній переробці відходів, пошуку прихованої електричної проводки, контролю трубопроводів, тощо. Всі ці зони застосування потребують удосконалення методів вимірювання магнітних величин та розробки нових способів і засобів функціональних перетворювачів для забезпечення покращення тактичних характеристик металодетекторів [8].

Головним параметром металодетектора є чутливість, а особливістю роботи – великий рівень завад та спотворень, так як вимірювання проводяться за наявності інших магнітних об'єктів навколо в тому числі і магнітного поля Землі. Крім того величезна кількість електромагнітних сигналів, що штучно створені людиною навмисно або ненавмисно призводять також і до магнітних впливів, зменшуючи відношення сигнал – шум під час процесу вимірювання [9].

Класичні методи обробки сигналів в таких умовах не дозволяють оперативно здійснити вимірювання та не забезпечують достатню чутливість приладів. Вирішення цих проблем можливо на основі розробленої останнім часом теорії нелінійної динаміки та взаємодії неавтономних систем, що оперує сигналами детермінованого хаосу [10-14].

Основою застосування хаотичних сигналів (ХС) під час вимірювань є явище високої чутливості генератора детермінованого хаосу (ГДХ) до змін керуючого параметра, що відкриває можливості для виявлення слабких періодичних сигналів (ПС). В такому випадку нелінійна динамічна систем виступає у вигляді чутливого елемента, де неавтономний хаотичний генератора (НХГ), що знаходиться у стані нестійкої рівноваги і під впливом зовнішнього сигналу, когерентного (або частково-когерентного) із опорним

зробить різкий фазовий перехід [15-17]. Зафіксувати фазовий перехід можливо за допомогою аналізу стану ГДХ.

Основи теорії хаотичного виявлення послідовно висвітлені в [16], де за результатами симуляції адитивної взаємодії сигналу і білого гаусівського шуму (БГШ) на ГДХ Дуфінга із візуальним аналізом режиму роботи ГДХ автори показали можливість виявлення за рівня сигнал -шум (СШ) мінус 68 дБ і краще. Різноманітні перспективні для роботи в хаотичних виявниках (ХВК) періодичних сигналів (ПС) моделі ГДХ та їх варіації їх керуючих параметрів, що забезпечують найкращі характеристики виявлення ХВК, досліджувалися в роботах [17-20].

Завдяки прямій необхідності визначення слабких сигналів магнітного поля, на фоні потужних завад, що реалізується диференційними методами обробки із застосуванням повної симетрії вимірювальної системи та тестових гармонічних сигналів в пристроях та засобах контролю та вимірювання магнітного поля, розробка питань використання ХВК для забезпечення підвищення чутливості та завадостійкості магнітних вимірювань слід вважати актуальним завданням.

Метою роботи: вдосконалення структури металодетекторів охоронних систем на основі хаотичних способів обробки для досягнення підвищеної чутливості.

Для досягнення поставленої мети в дипломній роботі магістра слід вирішити наступні **завдання:**

1. Провести аналіз принципів та методів вимірювання магнітних величин, виділити методи, що є найбільш перспективними для застосування в охоронних системах.

2. Провести дослідження обмежень та недоліків виділених в п.1 методів вимірювання магнітних величин, уточнити способи та можливості їх використання в системі розподілених сенсорів периметричних систем охорони об'єктів.

3. Розробити метод підвищення чутливості металодетекторів у складі охоронної системи периметрів споруд та територій, що ґрунтуються хаотичних принципах обробки сигналів.

4. Розробити структуру та зв'язок складових частин пристрою хаотичного магнітного детектування в системах охорони периметрів об'єктів, провести імітаційне моделювання роботи пристрою для підтвердження працездатності та виявлення особливостей під час хаотичної обробки.

Об'єктом дослідження є процеси вимірювання параметрів магнітного поля.

Предметом дослідження є металодетектори комплексних охоронних систем.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Запропоновано метод підвищення чутливості металодетекторів у складі охоронної системи периметрів споруд та територій, що ґрунтується нелінійній обробці сигналів та дозволяє забезпечити на порядок більшу чутливість за умови відношення сигнал-завада до мінус 20дБ.

2. Запропоновано метод оптимізації вибору робочих зон біфуркаційних параметрів хаотичного виявника на основі неавтономних нелінійних генераторів, що дозволяє підвищити ймовірність правильного виявлення хаотичних режимів за допомогою низькочастотної фільтрації гармонік порівняно із спектральним складом періодичного сигналу нелінійного генератора в граничних режимах.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Встановлено, що найбільш перспективним методом вимірювання магнітних параметрів об'єктів в складі охоронних систем є група індукційних методів вимірювання, серед яких із нелінійною обробкою найбільш повно узгоджуються металодетектори на основі індуктивного балансу (ІНБ) та диференційної обробки сигналів.

2. Визначено, що основною проблемою систем магнітного детектування порушень із розподіленими сенсорними елементами є високий

рівень навколишніх шумів та слабкий рівень сигналу розбалансування, а також необхідність роботи в реальних ділянках часу. Запропоновано для усунення цих недоліків застосувати пристрій нелінійної обробки – хаотичний виявник.

3. Запропонована структура пристрою для динамічного магнітного детектування в системах розподілених сенсорів охоронних кабельних систем, що складається із градієнтного магнітометра індуктивного балансу та хаотичного виявника із ідентифікацією режимів роботи на основі фільтрації низькочастотних гармонік хаотичного сигналу. Висока чутливість забезпечується різким переходом нелінійного генератора від періодичного режиму в хаотичний.

4. Запропонована методика побудови імітаційних моделей хаотичного виявника, що дозволяє проводити дослідження через зміну біфуркаційних параметрів, відношень сигнал-завад, різниці фаз, часових інтервалів в системах ідентифікації хаотичних режимів неавтономних генераторів різної структурної будови.

Апробація результатів досліджень. Результати досліджень представлені в збірнику наукових праць молодих науковців і студентів «Інтелектуальний потенціал – 2020» м. Хмельницький та у тезах доповідей XVI міжнародної науково-практичної конференції «Військова освіта і наука: сьогодні і майбутнє» м. Київ 2020 (додаток Е).

1 ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МАГНІТНИХ ПОЛІВ

1.1 Вимірювання магнітних полів

1.1.1 Історичні аспекти появи детекторів магнітних полів

Теорія поведінки електромагнітних явищ вперше була продемонстрована у США Джоозефом Генрі, а також незалежно від нього Майклом Фарадеєм у 1831 році. Незабаром американець Д. Генрі провів ряд успішних експериментів для підтвердження явищ індукції та самоіндукції. Відкриття та теоретичне обґрунтування цих явищ стали основою для розробки перших телеграфних телекомунікаційних систем, а далі і телефону та радіозв'язку [1,2].

Перші дослідники магнітних явищ у своїх дослідах застосовували плоскі спіралі ізольованого проводу – котушки індуктивності, що мали значні габарити та вагу. Електромагнітне поле від таких котушок поширювалось на відстані декілька десятків сантиметрів, а його детектування залежало від чутливості магнітних детекторів (МД), в якості яких на первинних етапах розвитку виступала магнітна стрілка звичайного компаса [2].

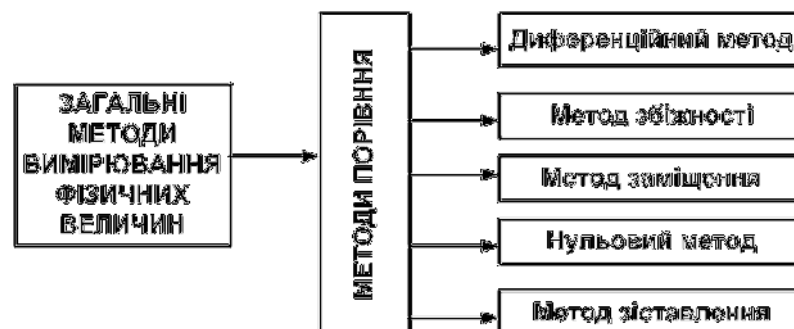


Рисунок 1.1 – Загальні методи вимірювання, придатні для визначення слабких магнітних полів

Велика кількість натурних експериментів, поставлених різноманітними дослідниками, все більш докладно вивчали вплив металевих предметів на індуктивність та способи визначення цього впливу. Ці дослідження лягли в основу теорії та практики магнітних властивостей речовин та сформували групу методів вимірювання (рис.1.1), що загалом відносяться до компенсаційних (балансних), що дозволило вимірювати найменші магнітні поля та їх відхилення [3].

Магнітні детектори (МД) [4] є одними із найбільш чутливих серед детекторів інших фізичних величин, а також одними із самих надійних, наприклад, на космічному апараті Вояджер 1 та Вояджер 2 МД працюють вже більш як 40 років в умовах глибокого вакууму!!!

В більшості випадків для МД застосовують методи, що відносяться до групи методів порівняння, що обумовлено наявністю навколо Землі власного, досить потужного магнітного поля, що обумовлює необхідність визначення слабких, локальних його відхилень в умовах потужного магнітного впливу Землі. Через такі умови експериментів, розроблені численні методи урівноваження індуктивних ефектів на одну частину електричного кола рівними і протилежними ефектами на іншу частину, тобто створення індуктивного балансу (ІНБ) [4,7].

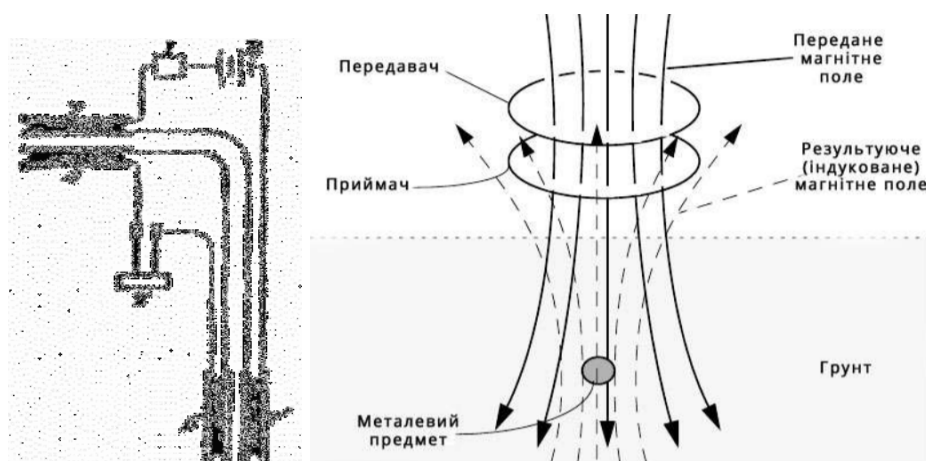


Рисунок 1.2 – Схема історично першої конструкції для компенсавання магнітних полів(ліворуч) та схема взаємодії ІНБ котушок індуктивності для виявлення спотворень магнітних полів від локальних неоднорідностей (праворуч)

Найбільш перші пропозиції щодо організації методу ІНБ були запропоновані в Німеччині професором Н. W. Dove у сорокових роках позаминулого сторіччя (рис.1.2) та продовжують розвиватись у наш час, завдяки широкому вжитку магнітних матеріалів, в першу чергу заліза (залізний вік!!!) у всіх напрямках діяльності людства загалом [1,4].

На деякий час про МД практично забули, але значно пізніше, у 1976 професор О. Грехем з фірми "Bell" спрямував свою увагу на ІНБ через появу проблеми суттєвих шумів в динамічних головках телефонних апаратів через сторонній вплив від телеграфних ліній передачі та ліній енергопостачання. Телефонні сигнали спотворювались завдяки впливу наведень телеграфної апаратури передачі даних на лініях, що пролягають поруч з телефонними дротами [4].

Такі завади були усунені через використання двох провідників замість одного, тобто застосування диференційного методу [21] передачі електричного інформаційного сигналу замість однопровідної технології (рис.1.3).

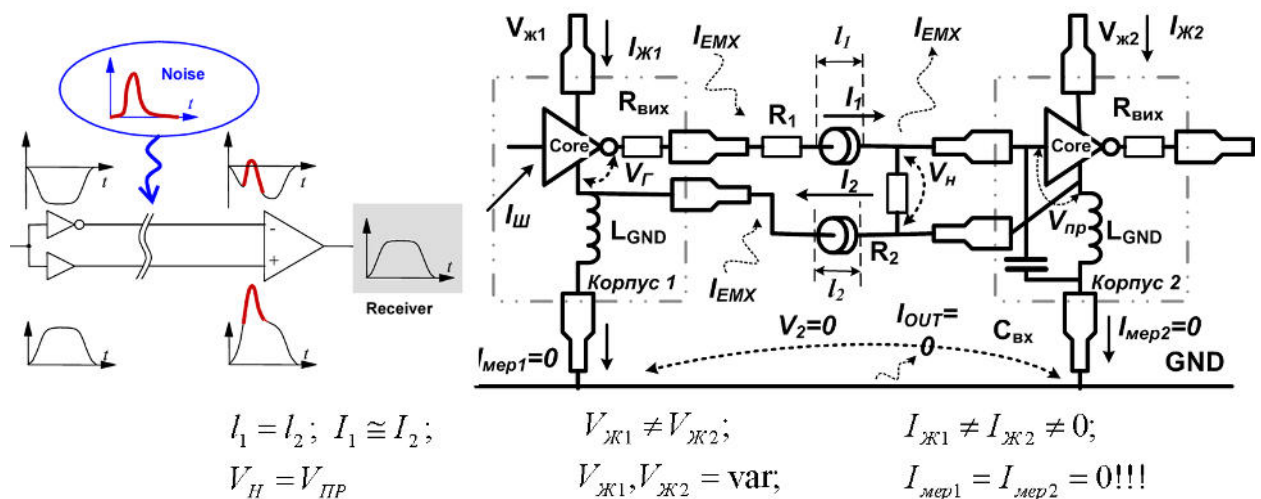


Рисунок 1.3 – Індуктивно збалансована схема передачі сигналів: схема компенсації завад (ліворуч) та функціональна схема компенсації зовнішніх впливів (праворуч)

Струми, індуковані зовнішнім впливом (рис.1.3) в одному провіднику лінії передачі точно дорівнювали один одному і мали протилежне значення, відносно індукованих в іншому провіднику. Отже утворювався ІНБ, і на виході схеми від дії зовнішніх електричних факторів електромагнітні впливи не виявлялися. Чим краще балансування лінії відбувалося, тим менше виявлявся вплив завад і шумів що діють одночасно на два провідники лінії передачі – синфазної завади (СФЗ) [22].

Надалі цей метод набув назви диференційна передача (ДПР) - такий спосіб передачі, згідно якому інформація передається на основі електромагнітних коливань із протилежними фазами відносно земляного проводу по двох спарених провідниках, що називають диференційною парою. Оскільки зовнішні завади розташовані відносно провідників далеко, то вони впливають на обидва дроти диференційної пари (синфазні завади) разом, а через те, що корисне повідомлення міститься в різниці між диференційними сигналами, то в приймальному пристрої завади компенсуються, що поліпшує відношення сигнал-завада в системі, разом із тим покращуючи усі тактичні характеристики.

24 жовтня 1881 О.Белл в Парижі успішно продемонстрував спосіб ІНБ безболісного виявлення провідникових об'єктів в людському тілі, а у 1882 році Белл реалізував експеримент з котушкою індуктивності для виявлення металевих жил телеграфних кабелів під поверхнею ґрунту, так чином розпочавши еру МД на принципі ІНБ [9], що продовжується і по нині.

1.1.2 Параметри матеріалів пов'язаних із магнетизмом

Ще у стародавньому світі, ще до Нашої Ери допитливими людьми встановлена властивість намагнічених продовгуватих предметів (магнітної стрілки) закріплених на тонкому підвісі розташовуватись довгим боком вздовж Земного меридіану. Так з'явився примітивний компас із стрілкою,

той кінець магнітної стрілки, що повертався на північ, дістав назву північного магнітного полюса, а інший кінець – південного. Одночасно було також підмічено властивості взаємодії магнітних – відштовхування однойменних та притягання різнойменних.

В 1820 році Г-Х. Ерстед відкрив явище взаємодії електричного струму та магнітів. Надалі А-М. Ампер виявив взаємодію між паралельними провідниками із електричним струмом та обґрунтував однакову природу магнітного поля провідника із струмом та постійного магніту [1-4]. Також Ампер висунув припущення про існування елементарних мікрострумів які обумовлюють ефекти намагнічування постійних магнітів, яка надалі підтвердилась відкриттям руху електронів у атомах. Отже, магнетизм – це різновид матеріального світу у вигляді поля, що створюється рухомими зарядженими частками і діє на рухомі заряджені частки в певних середовищах. Залежно від природи руху заряджених часток магнітне поле породжують або макроструми або мікроструми (рис.1.4).

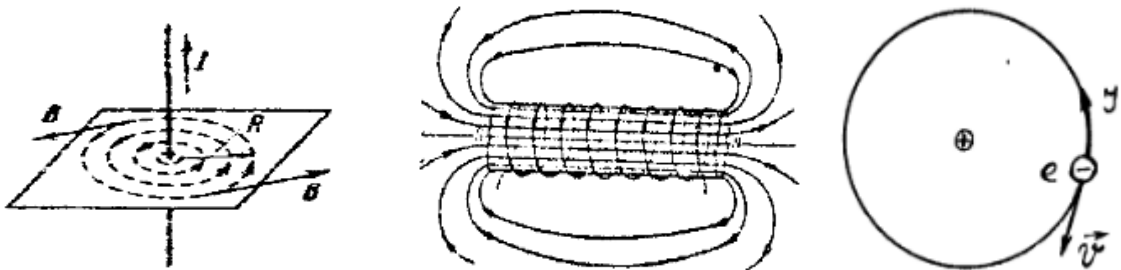


Рисунок 1.4 – Силкові лінії магнітної індукції поодинокого провідника (ліворуч), силкові лінії мікрострумів (посередині), утворення мікрострумів у атомі речовини(праворуч)

Найбільш важливими параметрами магнітного поля є магнітна індукція, напруженість магнітного поля, магнітна напруга, магнітний потік, магніторушійна сила [3]. Магнітне поле характеризується інтенсивністю та напрямком, отже точкові параметри магнітного поля є векторними величинами. Модуль вектора магнітного поля в деякій точці визначається його магнітною індукцією, а напрямком магнітного поля визначається

напрямок магнітних силових ліній за правилом «буравчика» (правого гвинта).

Магнітна індукція це силова характеристика поля, що встановлює напрям та модуль вектора дії сили на рухома заряджену частку або їх сукупність. Із шкільного курсу відомо, що для елементарного провідника довжиною l та струмом I та силою дії F вона становить:

$$B = \frac{F}{I \cdot l}, \quad (1.1)$$

Важливою властивістю для магнітних полів різних джерел є принцип лінійності або суперпозиції: індукція магнітного поля, створеного кількома джерелами, дорівнює векторній сумі магнітних індукцій полів, створених в конкретній точці кожним макро або мікрострумом окремо [4].

Різнманітні середовища по різному взаємодіють із магнітним полем через наявність мікрострумів. Величина та напрямок мікрострумів обумовлює різні властивості магнітного поля в різних середовищах, що характеризується магнітною проникністю (див.табл.А.1). Значення магнітної проникності залежить від побудови метрологічної системи одиниць, в системі СІ абсолютна магнітна проникність вакууму становить $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ (Гн/м)}$. Відмінність магнітної проникності від значення у вакуумі називають безрозмірним коефіцієнтом $\mu = \mu_a / \mu_0$ – відносна магнітна проникність (див. таб.А.1). Якщо середовище нелінійне, то магнітна проникність тензорна величина. Для речовин також вводиться термін «магнітна сприйнятливість», що в системі одиниць СІ є безрозмірною величиною, та характеризує надлишкові властивості взаємодії магнітного поля із речовиною, порівняно із вакуумом : $\chi_m = \mu_a / \mu_0 - 1$ [5].

Маючи абсолютну магнітну проникність матеріалу легко визначити напруженість магнітного поля, що дорівнює відношенню магнітної індукції (1.1) до абсолютної магнітної проникності :

$$H = \frac{B}{\mu \mu_0} \quad (1.2)$$

Зв'язок між струмом та генерованим магнітним полем, визначається за законом Біо і Савара-Лапласа. Напруженість магнітного поля – точкова характеристика поля, що як і магнітна індукція є векторною величиною. Об'ємною характеристикою магнітного поля є магнітний потік.

Магнітний потік Φ визначає кількість магнітних силових ліній, що проходять через площу S , що в загальному випадку становлять:

$$\Phi = \int_S B_H dS, \quad (1.3)$$

де B_H – нормальна складова вектора магнітної індукції.

Усі наслідки взаємодії струмів та магнітного поля (1.1-1.3) можуть бути виведені із рівнянь Максвелла, тому, системи електромагнітного моделювання також можуть бути застосовані для аналізу магнітної взаємодії, в тому числі для статичних полів [2,3].

Для мікрострумів набуло поширеного вжитку поняття індуктивності провідника або системи провідників яка характеризує здатність накопичувати та зберігати енергію магнітного поля, що дорівнює відношенню магнітного потоку Φ через контур певної конфігурації (найчастіше котушка) до величини струму, тобто $L = \Phi/I$. Індуктивність визначається тільки геометрією зони протікання електричного струму [5,21].

Якщо струм у електричному колі змінюється то він створює змінний магнітний потік, розташований поблизу інший провідник відповідно закону Біо-Савара генерує на своїх кінцях електрорушійну силу (ЕРС), тобто провідники взаємодіють. Це явище називають взаємною індукцією, а коефіцієнти пропорційності, що характеризують таку взаємодію називають взаємними індуктивностями. У взаємодіючих індуктивних системах із нелінійністю взаємна індуктивність є тензором [21]. Взаємна індуктивність це властивість геометрії протікання струму у просторі, що також може буди промодельована на основі застосування САПР електродинамічного тривимірного моделювання.

1.1.3 Класифікація матеріалів за магнітними властивостями

Так як усі речовини складаються із заряджених часток – протонів та електронів, що знаходяться у безперервному русі то всі речовини більш або менш взаємодіють із електромагнітним полем. Ті речовини що більш активно взаємодіють називають магнетиками (рис.1.5). Навколо магнетиків утворюється вторинне магнітне поле, яке може залишатись після закінчення дії первинного магнітного поля. Прийнято магнетики поділяти на три великі групи: діамагнетики, парамагнетики та феромагнетики [4]. Перші дві групи мають відносну магнітну проникність близьку до одиниці.

Діамагнетики поділяють на класичні, аномальні і надпровідники. До перших відносять інертні гази, деякі метали (цинк, золото, ртуть і ін), елементи типу кремнію і фосфору, багато органічні сполуки.

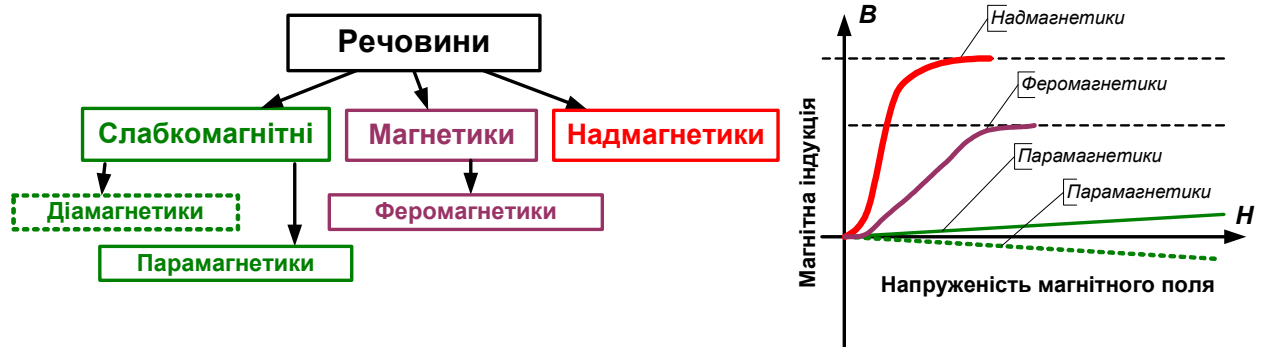


Рисунок 1.5 – Класифікація речовин за магнітними властивостями (ліворуч) та якісна залежність намагніченості речовини від дії зовнішнього магнітного поля (праворуч)

Діамагнетики і парамагнетики різняться по тому, як дослідний зразок поводить ся в зовнішньому магнітному полі. Тонкий стрижень із діамагнітного матеріалу розташовується в однорідному зовнішньому магнітному полі перпендикулярно лініям магнітної індукції, а в градієнтному

магнітному полі виштовхується в зону меншого градієнту. Парамагнетики поводять себе у магнітному полі навпаки. Ріднить їх те, що вторинне магнітне поле не залишається після відключення первинного (немає ефекту пам'яті). Така особливість пов'язана із тим що діамагнетики складються із структурних одиниць, що не мають магнітного моменту, а парамагнетики – мають (мікромагніти). До діамагнетиків відносяться інертні гази, деякі метали, прості сполуки, більшість неметалів, органічні сполуки, тощо. Прикладами парамагнетиків є: марганець, кисень, хром, платина, багато органічних сполук (див. табл.А.1) [1].

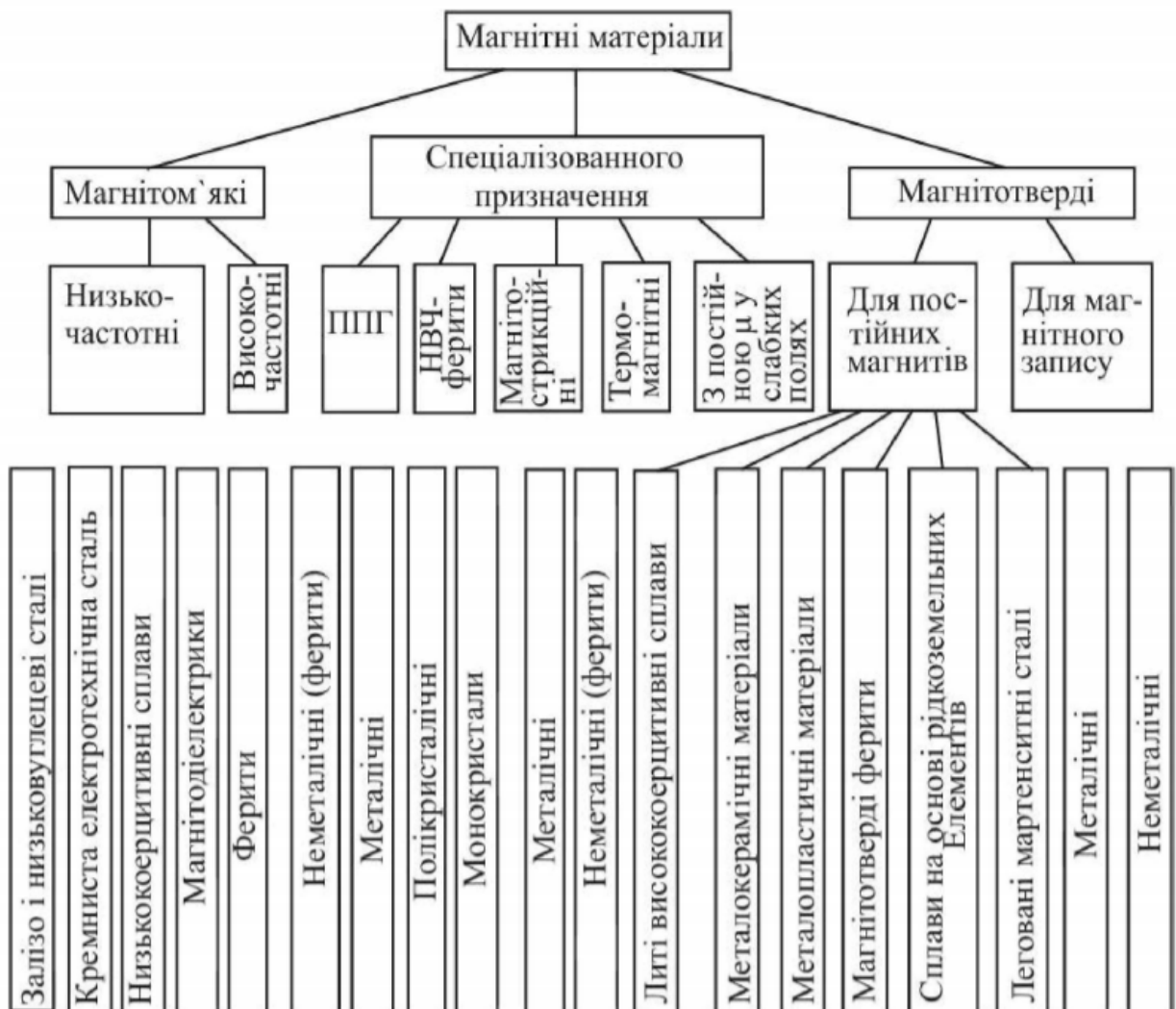


Рисунок 1.6 – Класифікація феромагнітних матеріалів

Головна особливість феромагнетиків наявність спонтанної намагніченості, тобто вони зберігають магнітне поле після припинення дії

зовнішнього поля, а також мають відносну магнітну проникність що набагато більше одиниці (рис.1.6). Під час намагнічування феромагнетика відбувається зміна геометрії зразка – проявляється магнітострикційний ефект. Феромагнетики можливо вважати нелінійними парамагнетиками, причому нелінійність проявляється як в насиченні, так і чутливості до зовнішніх впливів, наприклад, за температури Кюрі феромагнетик втрачає свої магнітні властивості [1-4].

З точки зору сучасної фізики дія магнітного поля на речовини є релятивістським ефектом, тобто пропорційна відношенню швидкості електронів до швидкості світла. Це мала величина, тож парамагнітна сприйнятливість теж мала. Власні магнітні моменти молекул речовини зумовлені орбітальним рухом електронів (кутовим моментом) або неспареними спінами електронів [1].

1.1.4 Принципи роботи магнітометрів

Магнітометри відносяться до великого класу перетворювачів фізичних величин. Призначення магнітометрів – визначення параметрів та характеристик магнітних полів не залежно від природи їх появи. Особливе місце серед магнітометрів займають пристрої для вимірювання магнітного поля Землі, що застосовують у геодезичних, геологічних, геофізичних досліджень глибинних та поверхневих шарів ґрунту. За допомогою магнітометрів досліджують також залишкову намагніченість в гірських породах, магнітні властивості біологічних об'єктів, проводять неруйнівний контроль речовин та споруд, тощо [4].

За принципом дії магнітометри поділяють на три базових класи: індукційні, магнітостатичні та квантові (рис.1.7). Кожен клас реагує на зовнішнє магнітне поле, використовуючи певне перетворення фізичних величин.



Рисунок 1.7 – Приклади конструкцій магнітостатичних, індукційних та квантових магнітометрів (зліва направо)

Індукційні магнітометри [5] обов'язково устатковані котушкою індуктивності, яка може бути вбудованою або виносною у вигляді щупа (рис.1.7). Живлячись від джерела живлення котушка створює власне магнітне поле, що взаємодіє із зовнішніми магнітними полями (струмами, що їх генерують). Залежно від принципу фізичного перетворення чутливі сенсори реагують на зміну стану котушки під дією зовнішнього магнітного поля. Наприклад, під дією магнітного поля змінюється геометрія котушки, або вона переміщується у просторі, або змінюється магнітна проникність осердя тестової котушки, тощо. Незалежно типу змін у котушці [5], в кінцевому рахунку магнітометр вимірює показники магнітних полів, а надалі по ним встановлюється розташування, розмір, віддаленість, склад речовини об'єкту, тощо.

Усередині магнітостатичного магнітометра завжди знаходиться невеликий постійний тестовий магніт, що реагує на зовнішнє магнітне поле, з яким контактує. Магніт розташовують на пружній підвісці в підвішеному стані, що дозволяє йому зміщуватись і обертатись в різні боки практично без механічного опору. Така система підвіски складна та коштовна, а також має значні габарити, хоча останнім часом використовують мікромініатюрні конструкції, виготовлені за інтегральною технологією всередині мікросхем. В результаті дії зовнішнього поля тестовий магніт починає обертатися, що фіксується сенсорами у трьох вимірах, тобто так вимірюється сила та напрямок магнітного поля впливу [4].

Квантовий магнітометр найбільш складний та коштовний прилад, що реагує мікроструми в середовищі, частіше на магнітний момент електронів, під впливом зовнішніх магнітних полів. Основне призначення таких приладів - наукові лабораторні дослідження, а також спеціальні зони складних пошуків прихованих об'єктів. Квантовий магнітометр дозволяє виміряти напруженість дуже слабких магнітних полів, в тому числі і тих, що перебувають в космічному просторі (вакуумі). Саме це обладнання встановлюється на космічних апаратах та літаках для глибинного пошуку корисних копалин під поверхнею ґрунту[2].

Магнітометричні прилади (див.табл.А.2) відрізняються наявністю дисплею, кількістю сенсорів, наявністю звукового та світлового індикаторів, основною та додатковою похибкою вимірювання, тощо. Магнітометр може відобразити результати вимірювання в числовому або графічному вираженні. Оптимальним варіантом магнітометрії є комбіновані пристрої, які візуалізують показники в цифровому та графічному форматі. Інтегральні магнітометри встановлено в практично усіх сучасних смартфонах широкого вжитку.

Найбільш доцільним для застосування для заданої розробки є магнітометр індуктивного типу де за тестову котушку індуктивності правитиме лінія передачі, що має певну конфігурацію провідників.

1.2 Методи роботи металодетекторів

1.2.1 Принципи роботи металодетекторів

Для виявлення металевих речей, що приховано в неметалевому (слабко провідному) середовищі застосовують особливі різновиди магнітометрів, що називають металодетекторами (МД). Найчастіше метало детектори використовують як металошукачі під шаром ґрунту (води). МД широко

застосовуються як у військовій галузі, так і в цивільній практиці, наприклад, під час будівництва (див.табл.А3).

Серед методів виявлення металевих об'єктів, на даний час активно застосовуються лише три методи метод биття, метод імпульсного локатора та метод ІНБ [5-7].

Метод биття або метод взаємодії синусоїдальних генераторів із близькими частотами (BFO - Beat Frequency Oscillator). Так метод називається завдяки тому, що биття є пульсації амплітуди результуючого сигналу під час додавання гармонічних сигналів із близькими частотами та близькими (однаковими) амплітудами. Основою BFO- методу є вимірювання значення частоти биття від двох генераторів. Перший генератор із стабільною частотою, часто стабілізований кварцом, а другий має у складі резонансної системи котушку індуктивності значних розмірів – пошукову котушку. Перевагою методу є простота і схеми і пошукової котушки індуктивності, а недоліками є в першу чергу низька чутливість, неможливість визначати тип металевих предметів.



Рисунок 1.8 – Конструкція пошукових котушок металодетекторів за методом биття (ліворуч) та методом індуктивного балансу (праворуч)

Метод ІНБ [9,22] (TR/IB - Transmitter Receiver - Induction Balance). Відмінністю цього методу є наявність двох котушок індуктивності значних розмірів, розташованих поряд (рис.1.8) у пошуковому елементі конструкції. Перша котушка випромінююча, друга – приймальна. За відсутності металевих предметів котушки налаштовують таким чином, щоб на робочій

частоті індуктивності були збалансовані із протилежними ЕРС. В такому випадку сигналу на виході приймальної котушки не буде. Наявність металевих об'єктів між котушками змінює баланс індуктивного зв'язку між ними, через це в приймальній котушці отримаємо сигнал детектора.

TR/IB металошукачі можуть розділяти парамагнітні та діамагнітні метали (кольорові або чорні) через те, що кольоровий метал змінює фазу прийнятого сигналу на протилежну. Фаза прийнятого сигналу відбитого від чорного металу не змінюється (рис.1.9). Такі прилади працюють в діапазоні дуже низьких частот (VLF). Перевагами методу ІНБ є висока чутливість, наявність селекції по типу металу в об'єктах, можливість підлаштування під навколишнє середовище, де виявляється металевий об'єкт. Однак, схемотехнічно таких металошукач достатньо складний, особливо в сенсі точності виготовлення та балансування приймальної та передавальної пошукових котушок. Такі металошукачі найбільш представлені у промислових зразках різних фірм [23].

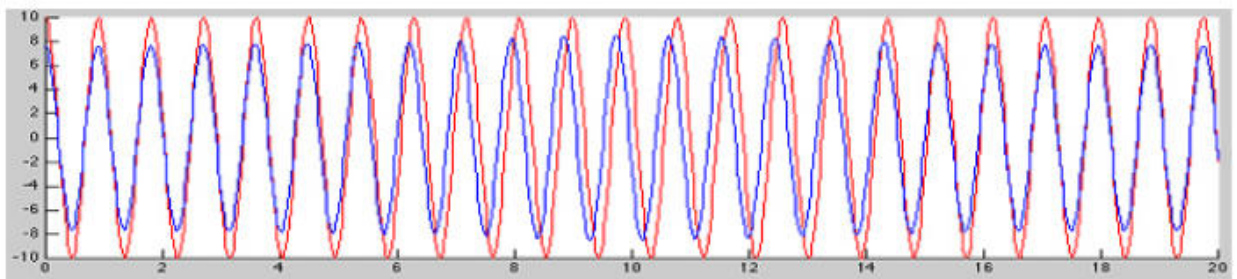


Рисунок 1.9 – Часова діаграма роботи TR/IB металошукача в момент виявлення металевих предметів

Метод імпульсної індукції (PI - Pulse Induction) вважається більш науковим методом, через те, що потребує більш докладних аналізів сигналу. Робота методу подібна до функціонування радіолокатора. Зондуючим сигналом є послідовність мілісекундних коротких імпульсів, що випромінюється в бік цілі пошуковою котушкою індуктивності. Імпульси магнітної індукції поширюються в просторі і в перервах між їх передачею

аналізуються електронною схемою, зазвичай аналізується задній фронт відбитих імпульсів. Головною перевагою даного методу є слабка чутливість до типу середовища оточення (ґрунту), а також велика глибина виявлення. Недоліком є невелика чутливість до предметів малих розмірів і слабка селективність за типом металів , завдяки чому такі метало детектори застосовуються для виявлення великих предметів.

Для виявлення металевих предметів також використовують комбіновані принципи, що покращують розрізнявальну спроможність та дальність дії. Найбільших успіхів досягнуто за допомогою нелінійної параметричної комбінованої локації [23].

1.2.2 Структури металодетекторів та їх порівняльний аналіз

Найбільш простим та історично першим МД є пристрій, що працює на основі методу биття [9]. Його структура (рис.1.7) складається із опорного та вимірювального генераторів. Частота опорного генератора стабільна та фіксована, а частота вимірювального генератора залежить від параметрів елементів коливального LC- контуру. Електромагнітне поле від котушки індуктивності LC- контуру поширюється в зоні, що приблизно дорівнює апертурі котушки. Внесення в зону впливу магнітного поля котушки предметів, особливо магнетиків змінює індуктивність котушки, а отже і частоту вимірювального генератора (рис.1.10).

Різницю частот між вимірювальним та опорним генератором визначають за допомогою змішувача та детектора обвідної (рис.1.10). В якості індикатора МД найчастіше застосовують акустичні пристрої, хоча можливе також застосування аналогових, цифрових та світлових індикаторів. Частоти опорного та вимірювального генераторів розташовані в діапазоні сотен кілогерц одиниць мегагерц, та залежать від навколишнього середовища в якому проводиться детектування металевих предметів.

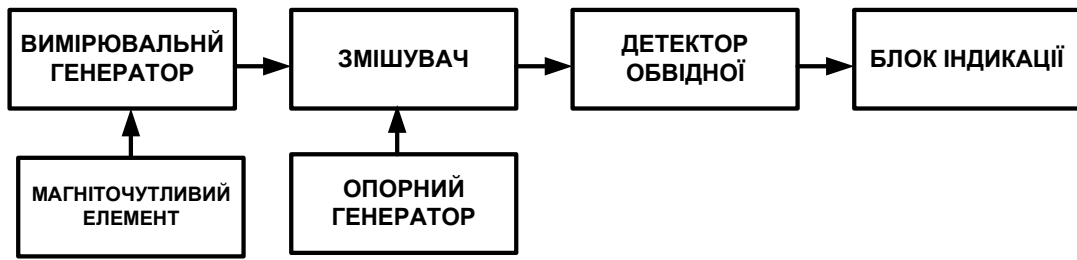


Рисунок 1.10 – Структурна схема метало детектора на основі методу биття

Діамагнетики викликають збільшення частоти биття відносно деякої опорної, що часто встановлюється відповідно максимуму чутливості людського вуха, а парамагнетики та феромагнетики зменшення частоти биття, тому такий прилад може застосовуватись для диференціації речовин за магнітною проникністю [9]. Розрізнявальна спроможність в такому випадку визначається розрізнявальною спроможністю людського вуха, однак чутливість таких МД низька. Перевагою таких приладів є простота в налагоджуванні, дешевизна елементів, можливість інтеграції. Останнім часом застосовують методи комп'ютерної обробки сигналу для визначення частоти биття, що значно покращує як чутливість, так і розрізнявальну спроможність методу (FM-варіація методу биття).

Пристрої на основі методу биття аналізують тільки частоту, а металошукачі на методі ІНБ і амплітуду і фазу, що дозволяє робити чітку диференціацію по різновиду металів. Чутливість таких пристроїв залежить від якості балансу передавальної та приймальної котушки індуктивності (рис.1.11) [9,23].

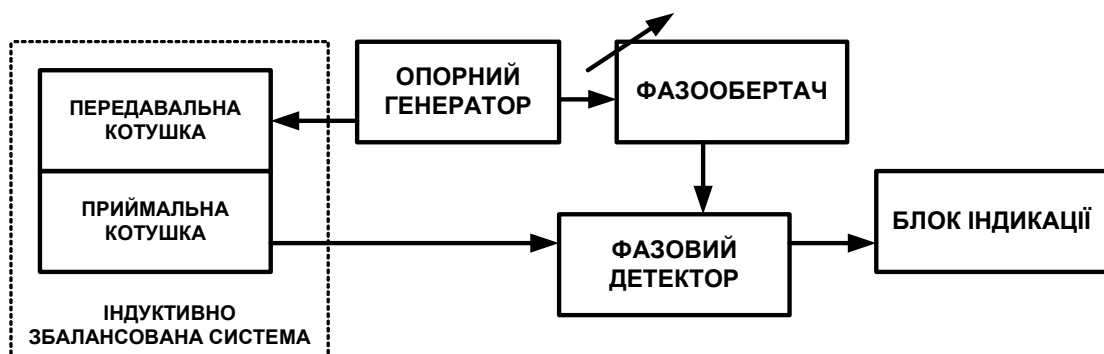


Рисунок 1.11 – Структурна схема метало детектора на основі методу биття

Частота опорного генератора зазвичай розташована в зоні частот , що легко поширюються в заданому навколишньому середовищі, для ґрунту значення частоти становить одиниці десятки кілогерц. Процес пошуку металевих предметів таким приладом здійснюється у два етапи. Спочатку проводиться балансування та налаштування на тип навколишнього середовища (ґрунту) до мінімальної амплітуди сигналу на виході фазового детектору.

На другому етапі вимірювання під час руху пошукової головки над зоною розташування металевого предмету ІНБ тимчасово порушується, що приводить до появи сигналу на виході фазового детектора, характер сигналу визначається рухом пошукової головки та її геометрією. Фазовий зсув в момент розбалансування змінюється залежно від характеру провідності металу (чорний, кольоровий) , чим і реалізується вибіркова дискримінація металів. Серед всіх переваг у такого пристрою є суттєвий недолік – виготовлення вимагає прецизійного виготовлення та дотримання вимог стабільності ІНБ пошукової головки.

У приладах (рис.1.12) на основі радіолокаційного методу (імпульсної індукції) передавальна котушка використовується для випромінювання імпульсів із частотою 50... 400 Гц. Параметром, по якому проводиться магнітне детектування є час закінчення перехідного процесу в пошуковій приймально-передавальній котушці після закінчення дії імпульсу. Перевагою пристрою є простота виготовлення пошукової системи та відсутністю періодичного переналаштування, але пристрій характеризується високим споживанням енергії та слабкою диференціацією металів.

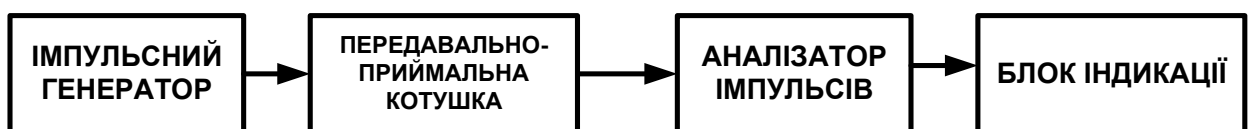


Рисунок 1.12 – Структурна схема метало детектора на основі методу биття

Велика потужність випромінюваних імпульсів дозволяє проводити метало детектування на більших відстанях за інші методи, а також робота пристрою слабо залежить від характеру ґрунту. Найбільш частот такі пристрої використовують в підводних приладах [23].

Слід зазначити, що існують ще ряд пристроїв для детектування металів, наприклад, прилади на основі зриву резонансу під зовнішнім впливом магнітного поля, або появу резонансу. Але такі прилади базуються на амплітудних перетвореннях, що не забезпечує високих тактико-технічних характеристик.

Проведений розгляд МД показує, що розвиток техніки МД неможливий без застосування нових методів комп'ютерної обробки та сигналів. Найбільш перспективним для застосування в цій роботі є метод індуктивного балансу.

1.3 Магнітні сенсори в охоронних кабельних системах

1.3.1 Особливості та класифікація розподілених магнітних сенсорів

Всі магнітометричні системи охоронних сигналізації базуються на загальному принципі застосування магнітних сенсорів: вони реєструють мікрозміни магнітного поля Землі [23-26], які спричинені переміщеннями феромагнітних об'єктів: інструменту, транспорту, військової техніки та зброї, амуніції на формі, тощо.

Серед загальних властивостей магнітометричних систем можливо виділити наступні:

А) в переважній більшості об'єктами виявлення магнітометричних систем є люди, які мають при собі феромагнітні предмети та транспортні засоби, що зазвичай виготовлені із високим відсотком феромагнітних матеріалів;

Б) способи застосування магнітометричних систем охорони відносяться до пасивних, тобто не реалізують випромінювання енергії по основному

каналу обробки, і тому важко виявляються з боку передбачуваного порушника периметру;

В) магнітометричні системи практично завжди приховані від візуального спостереження в елементах будівлі, ґрунті, парканах, тощо.

За ознакою локального розташування усі магнітометричні охоронні системи поділяють на два великих класи: лінійні та дискретні.

Для реєстрації та вимірювань аномалій магнітного поля зараз використовуються найрізноманітніші перетворювачі, що базуються на різних фізичних принципах. Однак лише кілька з них знайшли практичне застосування в системах охорони периметрів.

1.3.2 Побудова систем охорони із дискретними магнітними сенсорами

Системи з дискретними магнітними сенсорами в цивільних охоронних системах переважно використовуються для охорони невеликих важливих ділянок охоронного периметра, наприклад, пішохідних доріжок, брам, воріт, тощо. Також дискретні сенсори встановлюють під автомобільними трасами із метою контролю руху, на пунктах прикордонного контролю, в аеропортах і театрах, а також на інших різноманітних об'єктах, де є необхідність виявлення речей із феромагнітних матеріалів. Одним із подібних дискретних сенсорів може бути градієнтометр на основі ферозондів, розглянутий раніше, також усіма дискретними магнітними сенсорами є мікроелектронні сенсори [26].

Найпростіший, найзрозуміліший і найчастіше вживаний в охоронній практиці дискретний магнітометричний сенсор складається із котушки індуктивності або петлі із металевого дроту. Через взаємодію із динамічним магнітним полем, по закону Фарадея в такому сенсорі наводиться ЕРС, що призводить до появи вимірювальної напруги. Напруга пропорційна числу

витків дроту у обмотці котушки (N), площі її поперечного перерізу (S) і швидкості зміни магнітного потоку через перетин такої обмотки (рис.1.14). Це універсальний принцип побудови магнітних сенсорів [4,23], його перевагою є те, що він може бути побудований і як дискретний сенсор, і як розподілений сенсор. В першому варіанті такі сенсори вже практично витіснені із вжитку мікроелектронними сенсорами.

На заміну вже застарілим індукційним сенсорам, в системах охорони периметрів для реєстрації магнітного поля в локальних точках застосовуються також сенсори магнітної індукції або магнітного потоку і мікроелектронні багат шарові перетворювачі із «гігантським магнітоопором», що виготовляються за тонко плівковою технологією, та можуть бути інтегровані разом із функціональними блоками мікросхеми на одному кристалі [28].

Однак для побудови дискретних здавачів охоронних систем, де необхідно виявляти досить великі феромагнітні об'єкти, в переважній більшості застосовують ферозонди, робота яких розглянута раніше. Сенсор такої ферозондової системи виконується у вигляді стрижня до декількох десятків сантиметрів у довжину і розташовується в герметизованому пластиковому корпусі для захисту від агресивного навколишнього середовища, в тому числі і води. Подібний сенсор, встановлений під автомобільною трасою, дозволяє зафіксувати наявність транспортного засобу на відстані до 10м, за умови точного калібрування та налаштування системи обробки [23,28].

Наприклад, мініатюрний дискретний сенсор [28] магнітного потоку Mag670 (рис.1.13), що випускається англійською компанією Bartington застосовується, для виявлення прихованих металевих предметів на прикордонних пунктах контролю. Він має наступні технічні характеристики: діапазон вимірювань магнітного поля датчика – 100-1000 мкТл, що співмірно із значенням магнітного поля Землі; смуга частот реєстрації - до 3 кГц; габарити чутливого елемента у корпусі щупу - 80x35x15 мм. Такі сенсори

застосовують на ближніх відстанях в ручному режимі завдяки його відносно невеликій чутливості.

Сенсори магнітного потоку дозволяють реєструвати зміни магнітного поля в багатьох напрямках, відповідно їх діаграмі спрямованості. Вони є більш чутливими і універсальними за «одномірні сенсори» і вирішують проблему виявлення навіть невеликих металевих предметів в складних умовах навколишнього оточення. Наприклад, «тривимірний» сенсор магнітного потоку Mag643 тієї ж фірми Bartington дозволяє не тільки встановлює факт наближення озброєної людини до зони контролю периметру, але і визначити місце на тілі людини, яким чином ця зброя утримується чи зафіксована [27].

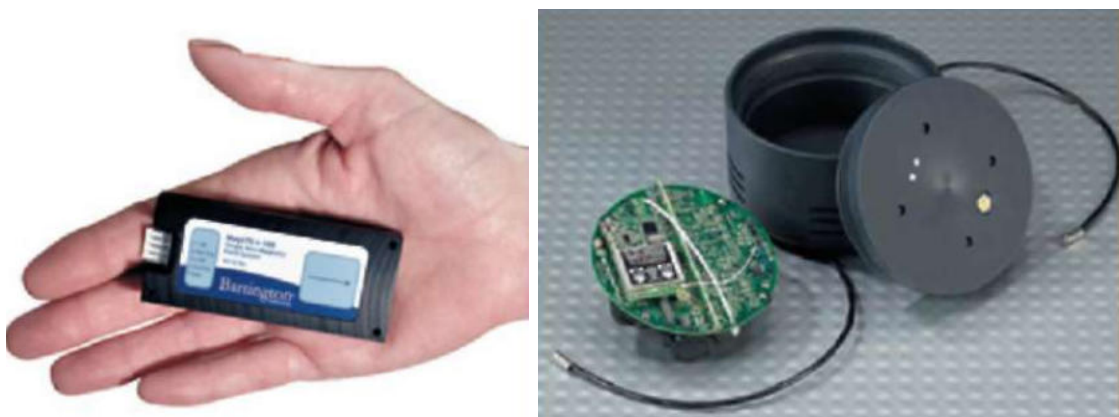


Рисунок 1.13 - Сенсор магнітного потоку Mag670 компанії Bartington (ліворуч) та датчик магнітного поля TCP500 фірми Vaisala (праворуч)

Усі сенсори магнітного потоку призначені для виявлення невеликих феромагнітних об'єктів. Для виявлення феромагнітних об'єктів метрових розмірів (автомобілів, важкого озброєння, прихованих мас металу, тощо) найбільш частот використовують дискретні сенсорні системи, що працюють на основі «гігантського магнітоопору» (рис.1.13). Сенсори цих систем розміщуються під поверхнею ґрунту в місці можливого перміщення великих мас металу.

Сенсорна система TCP500 розташована в герметичному міцному пластиковому корпусі у вигляді циліндру діаметром 152 мм і висотою 83 мм. Ресурс внутрішньої батареї живлення забезпечують неперервну роботу такого автономного сенсора тривалістю у 3 роки. Вбудований тривожний радіопередавач забезпечує зв'язок із пунктом контролю на відстані до 1 км. Існують подібні здавачі які призначені для монтування безпосередньо у верхній шар дорожнього покриття, наприклад, сенсор NC200 тієї ж фірми виконаний в плоскому міцному корпусі розмірами 181x118x13 мм і призначений для розміщення на полотні дороги. Він, що витримує тиск від проїжджаючих автомобілів на швидкості до 190 км / год [27].

Отже дискретні сенсори в системах контролю застосовують для точкового контролю особливо важливих місць, їх розрізнявальна спроможність невелика, а вартість значна, особливо в умовах перекриття усього периметру охоронного об'єкту такими дискретними сенсорами.

1.3.3 Системи із розподіленими магнітними сенсорами

Для охорони протяжних периметрів важливих об'єктів застосовують також магнітометричні лінійні протяжні сенсорні структури, що складаються із ізольованих і захищених сенсорних елементів [26]. Такі структури можливо застосовувати на неогороджених рубежах охорони пасивного типу.

Чутливими елементами розподілених магнітометричних систем охорони є спеціальні кабелі (див.табл.Б.1), що зазвичай встановлюються під ґрунтом. Переважно кабелі розташовують як дві протяжні розподілені петлі довжиною до тисячі метрів, вздовж периметра. Іноді кабелі розміщують у вигляді ряду послідовних петель довжиною до сотні метрів, що перекриваються та з чергуються за напрямками, утворюючи структури для компенсації впливу різноманітних зовнішніх наведень та завад.

Виробники охоронного устаткування (див. додаток В) випускають широку номенклатуру комплексних підземних систем із розподіленими сенсорами [28]. Часто магнітометричні сенсори об'єднуються із сейсмічними сенсорами (див.рис.Б.2), наприклад (рис.1.14), у периметричній охоронній системі «Дуплет-Р» сенсорним розподіленим елементом є тонкий двопровідний кабель КТПЕДЕП 10х2х0.5, який розміщується уздовж периметра об'єкта охорони в три паралельні траншеї через 1 м один відносно одного (рис.1.15). Сенсорний кабель заглиблюють в землю на глибину до 30-40 см, таким чином забезпечується радіус зони контролю навколо системи до 2 м.

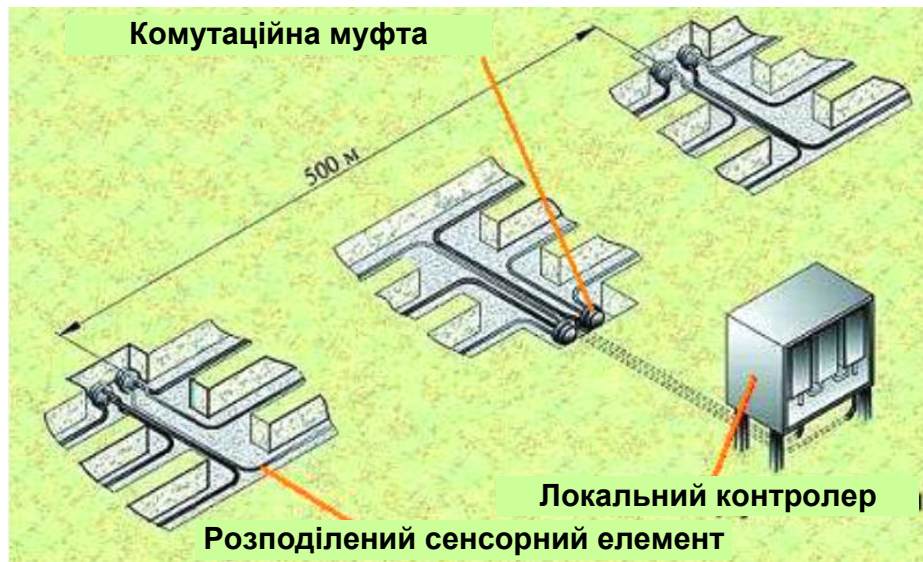


Рисунок 1.14 – Просторове розміщення чутливих елементів системи охорони із розподіленими магнітометричними сенсорами

Система периметричної охорони із розподіленими сенсорами «Дуплет-Р» дозволяє одночасно реєструвати зміни магнітного поля, так і сейсмічні коливання ґрунту які генеруються порушником ділянки охоронної зони. Повністю укомплектований поодиноким комплект обладнання «Дуплет-Р» дозволяє захистити ділянку довжиною до 250 м, крім того така сейсмамагнітна система дозволяє визначати і напрямком переміщення порушника в зоні чутливості, а також розрізнявати об'єкти за об'ємом, масою, кількістю феромагнітного матеріалу, габаритами: озброєний або

неозброєний порушник, транспортний засіб, худоба, свійська тварина, домашні улюбленці, тощо).

Блоки локального керування такими системами часто також розміщують у ґрунті поряд із кінцівками розподілених сенсорних елементів, автономне або стаціонарне живлення системи забезпечує роботу радіопередавача сигналів тривоги до центрального обладнання до 30км, що охоплює за радіусом дії навіть великі міста України.

Ще одним прикладом магнітометричної системи охорони із розподіленими сенсорними елемента є система «Дукат-Р» в якості чутливого елемента використовується загальноживаний польовий кабель П-274М (див. рис.Б.1), що також, як і в попередньому випадку укладається в ґрунті трьома паралельними лініями на відстані близько 1 м та глибині до 30 см. Застосування дешевого кабелю П-274М дозволяє на порядок знизити вартість обладнання і суттєво спростити монтаж, налагоджування, а також ремонт такої охоронної структури [28].



Рисунок 1.15 – Зони розташування розподілених елементів охоронної системи у ґрунті та зони виявлення порушників у вертикальній площині

Максимальна довжина однієї зони охорони - 500 м (дод.В), максимальний радіус зони виявлення до 3 метрів . Конструкція, розміщення та склад системи як на рис.1.14, однак система «Дукат-Р» відрізняється

мізерними енергоспоживанням (0,03 Вт) і зберігає працездатність в широкому діапазоні температур навколишнього середовища: -50 до + 50 ° С.

Магнітометрична система Multigard-2000 фірми G-Max (Galdor Secotec) із розподіленими сенсорами була розроблена як засіб для охорони периметру без огорожі від озброєних порушників ще в 70х роках минулого сторіччя, застосовується та удосконалюється натеper. Як і в попередньому випадку чутливим елементом системи є сигнальний кабель із сталевим або алюмінієвим армуванням.

Сенсорний кабель (див. додаток В) системи Multigard-2000 із подвійною щільною пластиковою ізоляцією можна встановлювати в різноманітних ґрунтах, а також під штучними покриттями автомобільних доріг. Припускається розміщувати такий сенсорний кабель і під водою. Такий кабель під час прокладання конфігурується у ряд послідовних петель, що дозволяє реалізувати захист від сторонніх наведень та забезпечити розрізнявальну спроможність для винайдення точки перетину периметру порушником (рис.1.16). Для дотримання геометрії петель під час розміщення кабель закріплюється на пластиковій сітці, що виконує роль армування та спрощує прокладання петель кабелю, а також реалізує довготривале дотримання геометрії петель без потреби калібрування.



Рисунок 1.16 - Сенсорний кабель системи Multigard-2000 та спосіб його прокладання для охорони периметру за допомогою сітки

Особливістю системи Multigard-2000 є те, що сенсорні елементи можуть бути реалізовані як жорсткі сегменти, в межах яких реалізований чутливий магнітометр. Такий жорсткий розподілений сенсор систем отримав назву «Pole», як правило, довжина кожного сегменту не перевищує 2м, діаметром до 0,3м. Сегменти сполучаються за допомогою герметичних муфт, така технологія прокладання дозволяє спростити доставку сегментів. Довжина зони периметру, що складена з жорстких сегментів становить до 150 м. Один контролер може обслуговувати декілька зон охорони. Радіус чутливості для розподілених жорстких сенсорних сегментів складає до 1,5 м, зазвичай радіус чутливості феромагнетиків для жорстких сегментів дещо менше, ніж для ряду кабелів, що уздовж периметра (рис. 1.16).

Сенсорні кабелі [24] системи Multigard-2000 створюють сигнал від чутливих елементів з рівнем порядку декількох нВ, що крізь кола захисту від електромагнітних наведень надходять до системи фільтрації та підсилення, і надалі до компараторів, що визначають поріг спрацьовування. Поріг спрацьовування можливо регулювати дистанційно. Блок зв'язку Multigard-2000 забезпечує керування процесором, що може розміщуватись також під землею близько до сенсорної системи

Процесор цієї та інших подібних систем має калібрувальний режим в якому імітуються сигнали перетину периметра і це дозволяє дистанційно перевіряти працездатність всієї системи. Конструктивно процесор має жорсткий герметичний (IP67) корпус, що дозволяє встановлювати його під рівнем ґрунту, що затоплюється водою. Енергоживлення відбувається на основі джерел постійного струму із напругою 15...28В, та потужністю 5Вт. Для живлення системи використовується джерело постійного струму з напругою 15-28 В (або 20-72 В). Споживана процесором потужність - 5 Вт. Процесор має ряд зовнішніх стиків та інтерфейсів. та зберігає працездатність в діапазоні температур від -30 до + 70 ° С.

Отже, система Multigard-2000 є пасивною прихованою модульною конструкцією, що дозволяє створювати периметр загальною довжиною до декількох кілометрів та віддаленим до 10км центром керування.

1.3.4 Підводні магнітні сенсорні системи охорони периметрів

Охорона підводних рубежів має ряд особливостей пов'язаних із поширенням сигналів та розміщенням апаратури і є складним технічним завданням для розробників охоронних систем. Вибір ефективних засобів для побудови сенсорів порушень периметру в підводному варіанті досить обмежений. На щастя магнітометричні системи як раз дозволяють реалізувати всі свої переваги [24-27].

Наприклад, магнітометрична система «Нептун» призначена спеціально для підводного захисту периметру ділянки водної поверхні. Система виявляє підводних плавців, що мають феромагнітні предмети, найчастіше зброю та телеметри підводного дихання.

Чутливий елемент системи «Нептун» як і в наземному варіанті подібних систем являє собою три ряди герметичного кабелю СМПЕВГ-60 що укладаються по периметру водойми на глибині до 4м на відстані 2 м між рядами. Підводні розподілені сенсори найкраще монтувати на пластикову сітку, що надалі надійно фіксується на дні водойми за допомогою вантажів, щоб запобігти зміщенню розподілених або жорстких сенсорів і появи помилкових спрацьовувань системи.

Ширина максимальна дальність виявлення системи «Нептун» - 4 м, довжина поодинокі охоронної зони до 250 м. Канал зв'язку процесор – пункт контролю – проводовий, споживана потужність дещо більша, пов'язана із більшим випромінюваним сигналом до 100Вт. Система дозволяє виявляти також виявляти наводні об'єкти, наприклад, моторні човни.

2 МОДЕЛІ НЕЛІНІЙНИХ ПРОЦЕСІВ І МАГНІТНЕ ДЕТЕКТУВАННЯ

2.1 Моделі індуктивного балансу

2.1.1 Моделі кіл із магнітним зв'язком

Якщо зміна електричного струму в одному з елементів електричного кола призводить до появи ЕРС в іншому елементі кола, то вважають, що такі два елементи електричного кола пов'язані магнітним шляхом (індуктивним), а та напруга, що виникає називається ЕРС взаємної індукції [21].

На рис. 2.1 схематично показана картина розташування магнітних струмів за умови наявності струму i_1 в першій котушці (ліворуч). Обмотка котушки №1 зчеплена з магнітним потоком самоіндукції Φ_{L1} , а обмотка другої котушки індуктивності із потоком взаємної індукції Φ_{M21} , що є відмінним від Φ_{L1} . Очевидно, що $\Phi_{L1} > \Phi_{M21}$.

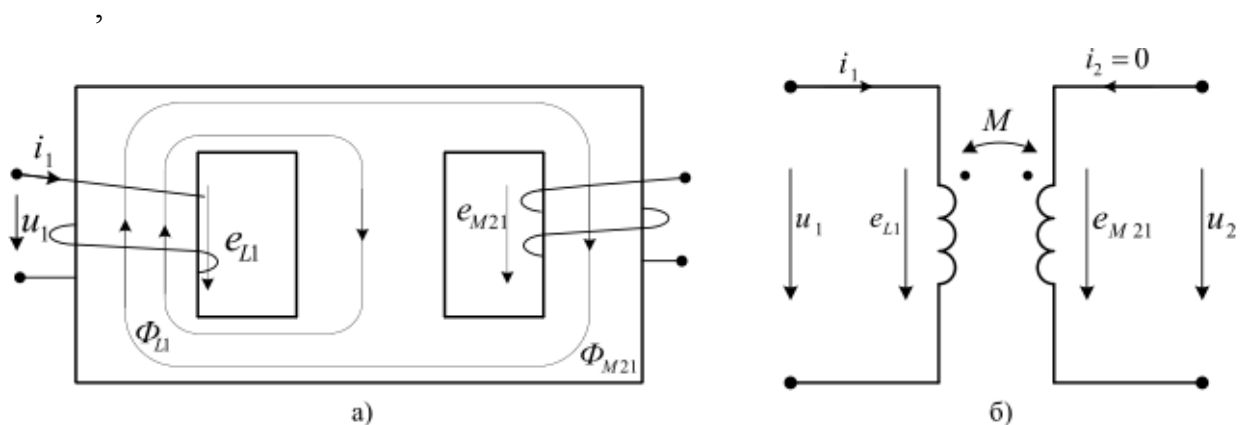


Рисунок 2.1 – Взаємна індукція в осерді (а) та еквівалентна схема взаємодії двох котушок індуктивності (б) для випадку протікання струму лише в першій обмотці

Потік самоіндукції Φ_{L1} утворює потокозчеплення самоіндукції $\Psi_{L1} = L_1 \cdot i_1$, де L_1 - індуктивність першої обмотки. Потік взаємної індукції Φ_{M21}

генерує потокозчеплення взаємної індукції $\Psi_{M21} = M_{21} \cdot i_1$, де M_{21} - взаємна індуктивність між першою та другою обмоткою на магнітному осерді.

Якщо в електричному колі діє синусоїдальний струм (рис.2.2), то відповідно усім законам електромагнітної індукції величина Ψ_{L1} генерує в первинній обмотці ЕРС самоіндукції, що дорівнює: $e_{L1} = d\Psi_{L1}/dt$. Напряга на цій обмотці чисельно дорівнює ЕРС, але має протилежний знак $u_1 = -e_{L1} = L_1 di_1/dt$. Аналогічно отримаємо той факт, що потокозчеплення взаємної індукції другої обмотки, що викликано струмом першої обмотки індукує ЕРС, яка становить: $e_{M21} = -d\Psi_{M21}/dt = -M_{21} di_1/dt$, а напряга на другій обмотці становить: $u_2 = u_{M21} = -e_{M21} = M_{21} di_1/dt$.

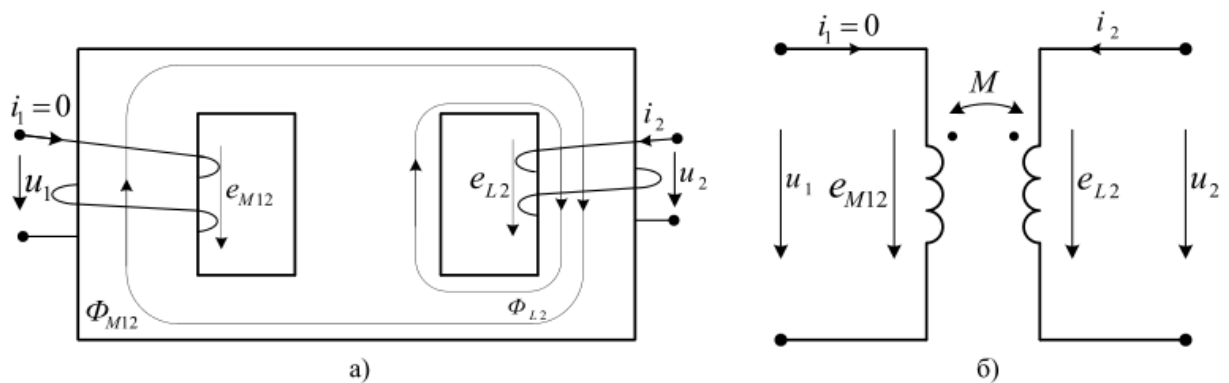


Рисунок 2.2 – Взаємна індукція в осерді (а) та еквівалентна схема взаємодії двох котушок індуктивності (б) для випадку протікання струму лише в другій обмотці

Аналогічно попереднім міркуванням можливо утворити рівняння, якщо струм протікає лише у другій обмотці (рис.2.2):

$$\begin{aligned}
 e_{L2} &= d\Psi_{L2}/dt = L_2 di_2/dt = u_2, \\
 e_{M12} &= -d\Psi_{M12}/dt = -M_{12} di_2/dt, \\
 u_1 &= u_{M12} = -e_{M12} = M_{12} di_2/dt.
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

Відповідно універсальному принципу взаємності справедливо рівняння $M_{12} = M_{21} = M$. Параметр взаємна індуктивність двох котушок або двох обмоток не залежить від струмів в обмотках, а визначається тільки їх геометрією розташування та властивостями середовища, де вони розташовані (в нашому випадку – осердя).

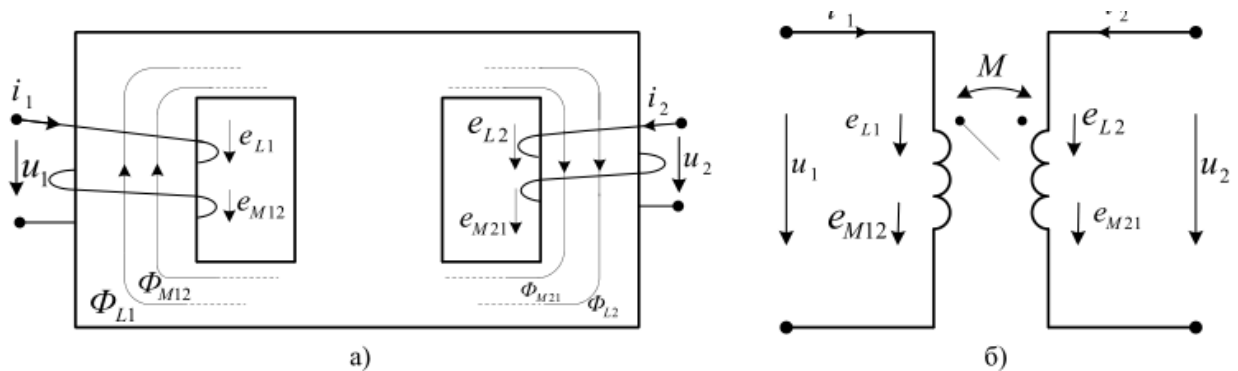


Рисунок 2.3 – Взаємна індукція в осерді (а) та еквівалентна схема взаємодії двох котушок індуктивності (б) для випадку протікання струмів у двох обмотках спільного осердя

Якщо обидва струми обмоток (рис.2.3) відмінні від нуля то потокозчеплення таких обмоток, що взаємодіють індуктивним чином, утворюються магнітними потоками взаємної індукції та самоіндукції. Залежно від просторової орієнтації обмоток та напрямків струму, що в них протікають, магнітні потоки індукції та самоіндукції можуть або відніматися, або додаватися. На рис.2.3 умови побудови моделі встановлено таким чином, що вони додаються, звідки справедливі рівняння:

$$\begin{cases} e_1 = -L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} \\ e_2 = -L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt} \end{cases}, \quad (2.2)$$

і для компенсації цих ЕРС необхідно прикласти напруги:

$$\begin{cases} u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \\ u_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} \end{cases}. \quad (2.3)$$

Якщо напрямок протікання другого струму змінити на протилежний, то магнітні потоки індукції та самоіндукції обмоток будуть відніматися один від одного і в результаті система рівнянь (2.1) запишеться у вигляді:

$$\begin{cases} e_1 = -L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \\ e_2 = -L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} \end{cases} \quad (2.4)$$

а система рівнянь (2.3) в наступній формі:

$$\begin{cases} u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} \\ u_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt} \end{cases} \quad (2.5)$$

часто для такої системи рівнянь вживають матричне представлення.

На відміну від власної індуктивності, взаємна індуктивність M може приймати як додатні так і від'ємні значення, а також може дорівнювати нулю. Можливість компенсації взаємної індуктивності через розташування та конфігурацію обмоток у простоті є основою МД, робота яких базується на методі ІНБ [7].

2.1.2 Принцип роботи магнітного градієнтометра

Як вже мовилось, магнітометри в першу чергу застосовуються для вимірювання магнітного поля Землі, також для подібних вимірювань застосовують і більш вдосконалені прилади – градієнтометр [29]. Найбільша магнітна буря, яка обумовила зміну магнітного поля Землі у 2мкТ, за умови середнього значення у 17 мкТл складає всього 10% відхилення. Тобто магнітне поле Землі досить стає в локальній місцевості. Його зміни проходять досить повільно, регулярна сонячно-добова варіація магнітної індукції Землі складає близько 30-40 нТл, тобто 0,05%. Середні магнітні бурі спричиняють відхилення 200-300 нТл, тобто, не більше 0,5%.

Звідси зрозуміло, що прилад спостереження за збуреннями магнітного поля Землі є вельми чутливим сенсором з електронною реєстрацією та накопиченням даних, а також періодичним калібруванням. Також

професійний магнітомер має мати світлову і звукову індикацію показчиків магнітного поля, що дозволяє оперативно досліджувати аномалію та приймати рішення на предмет її подальшої перспективності у дослідженнях.

Вимогам більш потужного магнітометра великої дальності відповідають магнітометри-градієнтометри, що фактично є двома рознесеними магнітометрами, що працюють разом. Градієнтометр диференційний прилад, що дає власнику інформацію не абсолютну інформацію про значення індукції магнітного поля, а про її різницю між суміжними точками - градієнт.

Оскільки градієнт магнітного поля Землі [1], геологічних структур і різноманітних варіацій через природні фактори впливу – величина другого порядку малості, то градієнтометр просто його ігнорує – що є еквівалентом синфазної завади на диференційну лінію передачі (див. вище). А ось зміна магнітного поля, пов'язана із діяльністю людини, навпаки, значна. Магнітне поле від співмірних із людиною штучних предметів невелике, але зменшується із відстанню настільки швидко, що такий градієнт досить легко фіксує градієнтометр.

Вловити невелику зміну магнітного поля, звичайно може і поодинокий магнітометр [4], але для цього оператор має в кожній точці проводити два прецизійних вимірювання із відстанню декілька метрів, що вельми незручно. Крім того, в кожній точці поверхні слід зупинятися та проводити два вимірювання, тому застосування градієнтометра значно пришвидшує пошук металевих предметів в середовищі.

2.2 Градієнтна феромагнітна магнітометрія

2.2.1 Засіб магнітного градієнтного вимірювання на ферозондах

Основу практичної конструкції градієнтометра для магнітних полів складають два ідентичні рознесені ферозонди (рис.2.4) 1 та 2, що мають по

три обмотки як описано вище [30]. Структурна схема (рис.2.4) складається із передавальної та приймальної частини.

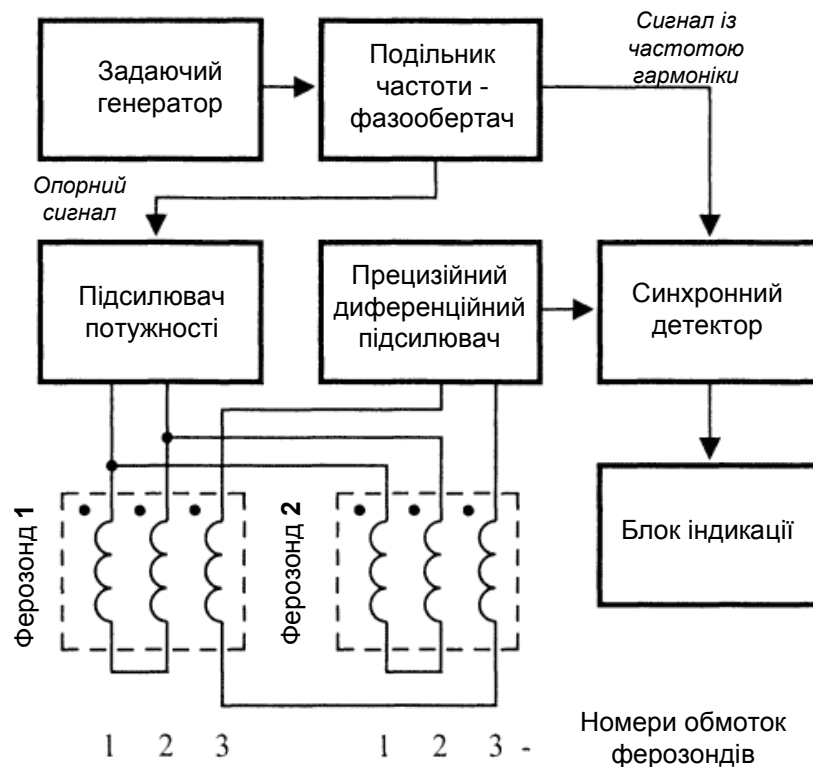


Рисунок 2.4 – Структурна схем градієнтного магнітометра

Передавальна частина складається із задаючого генератора, зазвичай стабілізованого кварцовим резонатором та призначеного для роботи на заданій частоті, що залежить від навколишнього середовища та типу феромагнітного осердя; подільника частоти, що формує сигнал із частотами, що відповідають субгармонікам задаючого генератора, найнижча із яких використовується як опорний сигнал, а вищі – як сигнали для синхронного детектування. Форма сигналу із виходів подільника частоти – максимально синусоїдальна; підсилювача потужності, що необхідний для забезпечення роботи феромагнітного осердя в режимі близькому до насичення (нелінійної зони).

Приймальна частина складається із прецизійного диференційного підсилювача, на вхід якого подано сигнали із третіх обмоток ферозондів; синхронного детектора, що забезпечує виявлення слабких сигналів із

кратними частотами та блоку індикації, що візуалізує результати вимірювання градієнту магнітного поля.

Під час роботи приладу кожен із ферозондів генерує сигнал пропорційний зовнішньому магнітному полю, якщо поля в точках розташування ферозондів різняться, то ця різниця відповідає появи сигналу на виході прецизійного диференційного підсилювача приймальної частини пристрою, що випрямляється та фільтрується від спотворень та вищих гармонік у синхронному детекторі. Необхідні фазові співвідношення для синхронного детектора встановлюються подільником-фазообертачем у передавальній частині пристрою.

Отже такий засіб можливо застосовувати також для охоронних систем [27], де виявлення озброєної людини можливе на відстані до 10м, залежно від характеру озброєння.

2.2.2 Диференційний феромагнітометр

Будь-який штучний предмет із металів із нелінійними властивостями спотворює природне магнітне поле Землі. Переважно до таких предметів відносяться речі виготовлені із заліза, чавуну і сталі, також вплинути на деформацію навколишнього магнітного поля може і власна намагніченість речей, що також часто має місце.

Зафіксувавши подібні невеликі відхилення магнітної індукції від фонового опорного значення, можна зробити чіткий висновок про наявність поблизу предмета із феромагнітного матеріалу. Тобто метало детектування оцінюється по різниці вимірювань від декількох віддалених сенсорів. Найбільшого поширення в градієнтометрах набули феромагнітні сенсори і сенсори на основі магнітної прецесії протонів – протонні магнітометри.

Основою феромагнітного сенсора (феррозонду) [30] є котушка індуктивності із феромагнітним осердям із заданою кривою намагнічування (рис.2.5).

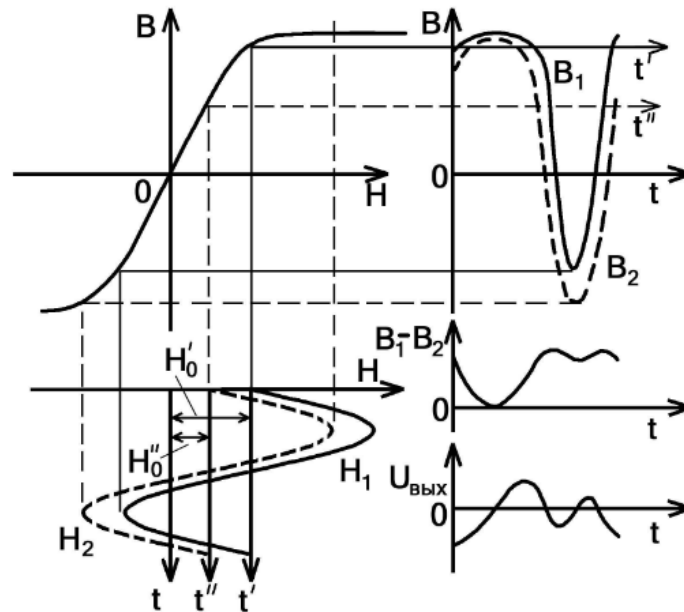


Рисунок 2.5 – Діаграма спотворень синусоїдального сигналу під час обробки на нелінійній ділянці намагнічування феритів

Типова залежність перемагнічування феритів добре відома. Під час вимірювання котушка індуктивності збуджується змінним синусоїдальним сигналом опорної частоти. Зміщення кривої намагнічування феромагнітного осердя зовнішнім магнітним полем Землі [1] призводить до того, що вихідна напруга втрачає симетрію (рис.2.5 праворуч).

В переважній більшості, під час дії синусоїдального струму вихідний сигнал буде відрізнятися від ідеальної синусоїди наявністю плоских верхівок напівхвиль, це означає появу в спектрі вихідної напруги вищих гармонік, значення амплітуди яких пропорційно індукції магнітного поля підмагнічування. Для диференційного сенсора (рис.2.6) такими є парні гармоніки, що слід точно визначити.

Для виявлення вищих гармонік зазвичай застосовують синхронний детектор із опорною частотою, що дорівнює пошукуваній гармоніці, але

можливі і інші варіанти нелінійної обробки, наприклад, на основі явища хаотичної синхронізації [31,32].

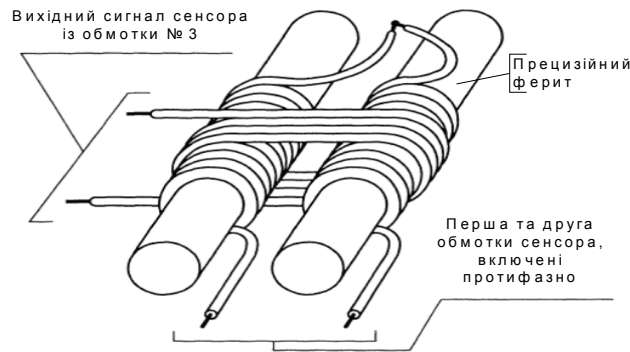


Рисунок 2.6 – Конструкція обмоток ферозонда для магнітного градієнтометра

Традиційний диференційний ферозонд для магнітного градієнтометра складається із двох ідентичних паралельних продовгуватих осердь, на яких розташовано три обмотки (рис. 2.6). Перші дві обмотки, є ідентичними обмотками збудження та відносно опорного синусоїдального сигналу включені зустрічно. Обмотка третьої котушки охоплює два осердя із намотаними первинними обмотками разом.

За умови відсутності зовнішнього магнітного поля електричні сигнали першої та другої обмоток симетричні та ідеально протифазні, через це вихідний сигнал на виході третьої (спільної) обмотки відсутній, завдяки повній компенсації магнітних потоків від протифазних обмоток збудження.

За умови появи зовнішнього магнітного поля ситуація в симетрії сигналів змінюється. Якщо рівні збуджуючих сигналів розташовано на межі лінійної та нелінійної ділянок кривої намагнічування, то одне, то інше осердя на в максимумі намагнічування переходить у нелінійну зону більше, ніж зазвичай, тому на виході третьої спільної обмотки з'являється сигнал розузгодження із подвоєною частоти, а також вищими гармоніками, а сигнал основної частоти повністю компенсуються. Для підвищення чутливості первинні обмотки включають у коливальні контури, налаштовані в резонанс із опорною частотою, а вихідну обмотку у контур із подвоєною частотою.

Ферозонд показаний на рис.2.6 має спрямовані властивості. Його діаграма спрямованості максимальна за умови розташування вісі феритових осердь (вісі котушок) вдовж силових ліній діючого ззовні магнітного поля. У випадку перпендикулярного розташування сенсора вздовж магнітного поля вихідний сигнал дорівнює нулю [30].

На основі таких ферозондів завдяки спрямованим властивостям легко побудувати електронний компас, в тому числі і в інтегральному виконанні. До переваг феромагнітометрів відноситься технічна та конструкторська простота приладу, до недоліків відноситься не технологічність та трудомісткість виготовлення та калібрування ферозондів - крім акуратності потрібно реалізувати абсолютно точний збіг числа витків відповідних обмоток, їх геометрії та положення на осерді. Похибка навіть не невелику частину одного витка може радикально знизити можливу чутливість до магнітного поля.

Також недоліком є неможливість повної компенсації поля Землі відніманням сигналів від двох віддалених ферозондів, це призводить до помилкових сигналів під час руху сенсора навколо вісі, що перпендикулярна максимуму діаграмі спрямованості ферозонда.

2.3 Неавтономні динамічні хаотичні системи

2.3.1 Поняття детермінованого хаосу

Одним із самих значущих для практичного втілення наукових відкриттів останніх десятиліть є відкриття явища детермінованого хаосу в нелінійних динамічних системах (НДС): повністю детермінована НДС, під час відсутності будь-яких стохастичних впливів на неї, починає вести себе непередбаченим (хаотичним) чином. Проте у цій хаотичній поведінці вдається виділити ряд закономірностей, що відрізняє дане явище від

шумоподібних випадкових процесів, наприклад, сигнал детермінованого хаосу може бути багаторазово відтворений в під час моделювання і в лабораторіях [31].

Виянилось, що хаотичний режим НДС не є якоюсь унікальною ситуацією поведінки НДС, а навпаки, є більш типовим режимом, ніж повністю генерація ПС або квазіперіодичного сигналу. На основі сучасних уявлень слід стверджувати, що навколишній світ, як матеріальний так і нематеріальний працює на основі «хаотичних законів» як в матеріальній площині, так і нематеріальній сфері (філософії, історії, економіки, соціології, тощо).

Зазначимо ряд особливостей хаотичної поведінки [34]. По перше, явище детермінованого хаосу виникає тільки в нелінійних системах, що одразу відкидає лінійні моделі всесвіту на вторинні позиції. По друге – фазовий простір (ФПР) НДС представлено дивними атракторами – складними граничними множинами у багатомірному просторі (більше 3-х). По третє, кожна НДС із хаотичною поведінкою має хоча б один керуючий параметр, від значення якого залежать зони хаотичної поведінки. По четверте – структура фазових траєкторій (ФТР) для хаотичної поведінки НДС носить фрактальний порядок дробової розмірності. По – п'яте, дійсно хаотичну поведінку реалізує лише система із трьома незалежними змінними.

2.3.2 Моделі вимушених коливань в нелінійній динамічній системі

Як і класичні осцилятори, нелінійні динамічні системи можуть бути автономними (автогенератори) та неавтономними (генератори із зовнішнім збудженням). Якщо розглядати НДС як окремий модуль із хаотичною поведінкою, то можливо розміщувати його в складі структури інших систем та проводити структурний та системний аналіз, наприклад, розгляд самоорганізації структур із таких елементів.

Вважатимемо, що зовнішній вплив на елементарну НДС (рис.2.7) є гармонічним, наприклад дія зовнішньої синусоїдальної сили на кульку на пружині безпосередньо на центр мас кулі. Диференційне рівняння для такого випадку записується у вигляді:

$$m \left(\frac{d^2 x}{dt^2} \right) + f(x) = F \sin(\omega t) \quad (2.6)$$

де m - маса кульки; функція $f(x)$ характеризує механічні параметри пружності, а ω та F задають частоту та амплітуду зовнішнього збудження.

Другим варіантом впливу зовнішньої сили є зміна якогось параметру системи, наприклад, величину сили тяжіння в полі якого рухається маятник. Диференціальне рівняння, що описує динаміку параметричного впливу на механічний маятник виглядатиме як:

$$\left(\frac{d^2 x}{dt^2} \right) + \frac{g}{l} \left[(1 + a \sin(\omega t)) \sin(x) \right] = 0 \quad (2.7)$$

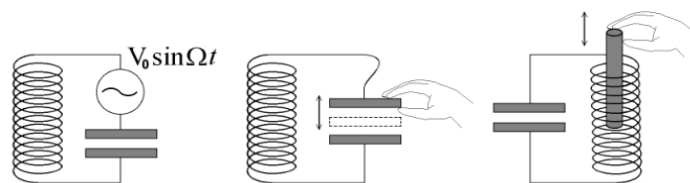


Рисунок 2.7 – Осцилятори, що збуджуються зовнішнім впливом

Аналогічним способом прямий та параметричний способи впливу на осцилятор можливо реалізувати і в електричних колах, наприклад, для реалізації параметричного збудження можна помістити в між обкладинками конденсатора нелінійний діелектрик і подавати змінну напруженість на нього, або подати на нелінійний магнітопровід котушки індуктивності через додаткову

обмотку зовнішнє періодичне підмагнічування!!! Що є перспективним для побудови сенсорів магнітного поля [35].

За умов додавання зовнішньої дії, динаміка такої електричної системи описується системою диференціальних рівнянь першого порядку:

$$\frac{dx}{dt} = f(x, y, t); \quad \frac{d^2x}{dt^2} = g(x, y, t) \quad (2.8)$$

де x і y - динамічні змінні; функції g і f – періодичні функції часу t . За умови незалежного вибору періодичних функцій часту ця модель універсальна. Наявність в моделях (2.6)...(2.8) часової змінної говорить про неавтономність НДС і для однозначного прогнозу поведінки системи потрібно обов'язково вказувати до якого моменту часу вони відносяться, звідки фазовий стан [10, 11] (фазовий простір) коливальної системи (2.8) тривимірний (x, y, t) .

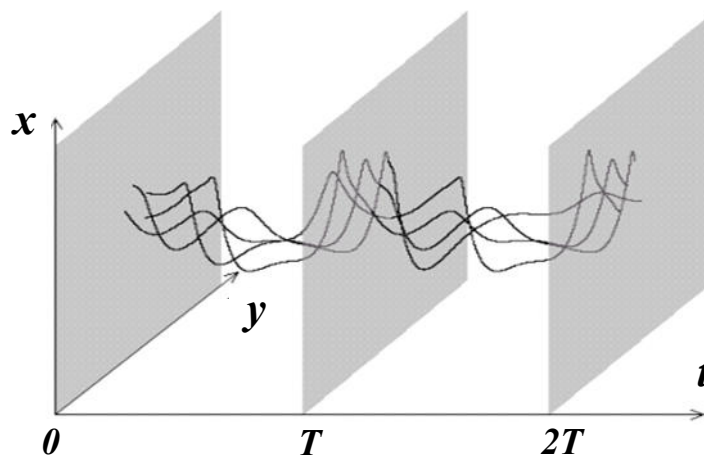


Рисунок 2.8 – Модель фазового простору нелінійної неавтономної динамічної системи

В силу періодичності функцій збудження f і g по аргументу часу, ФПР має структуру, що періодично повторюється вздовж вісі часу (рис.2.8). Тому можна обмежитися розглядом частини фазового простору між площинами $[t = 0$ і $t = T]$, де T – період зовнішнього збудження.

2.3.3 Нелінійний резонанс

Явище резонансу універсальне [21], воно оточує нас всюди якщо частота зовнішнього впливу близька до власної частоти системи. Для лінійного НХГ (3.3) рішення диференційного рівняння шукають у вигляді гармонічної функції $x=A\cos(\omega t)$, та підстановка рішення в диференціальне рівняння дає нам рівняння для амплітуди результуючого коливання $|A| = \frac{f}{|\omega^2 - \omega_0^2|}$, що дає нескінченне значення на резонансній частоті для відсутності дисипації в системі і обмежене значення якщо розсіювання енергії присутнє.

У випадку наявності нелінійного елементу в осциляторі частота вільних коливань в системі залежить від амплітуди [21]. Наприклад, для осцилятора із кубічною нелінійністю $d^2x/dt^2 + \omega_0^2x + \beta x^3 = 0$ коливання малої амплітуди наближено гармонічні та реалізуються на частоті, що зсунута на величину $\Delta\omega(A) \approx \frac{3\beta A^2}{8\omega_0}$ [36-38].

Якщо проводити грубий аналіз то амплітуду мало сигнального режиму можливо оцінити як:

$$|A| = \frac{f}{|\omega^2 - (\omega_0 + \Delta\omega)^2|} \approx \frac{f}{|\omega^2 - \omega_0^2 - 3\beta A^2/4|}. \quad (2.9)$$

На характер поведінки функції (2.9) суттєво впливає параметр нелінійності β . Якщо частота вільних коливань в системі збільшується із зростанням амплітуди A (під час $\beta > 0$), то резонансні криві нахилені праворуч, якщо ж зменшується (під час $\beta < 0$), то ліворуч.

Слід зауважити, що на відміну від лінійного випадку, амплітуда вимушених коливань ніколи не прямує в нескінченність (рис.2.9). Причина такого факту полягає в неізохронності власних коливань НДС: із

збільшенням амплітуди зростає нелінійне зміщення значення частоти і резонансні умови порушуються, через це і обмежується зростання амплітуди.

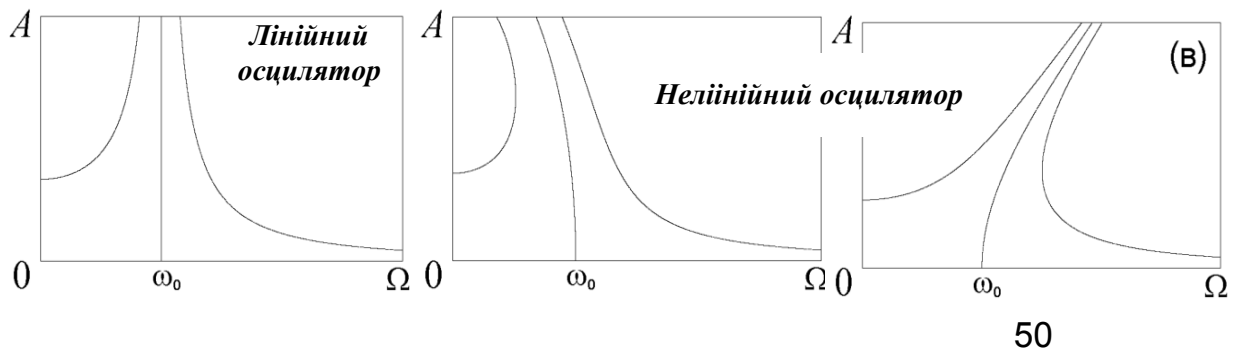


Рисунок 2.9 – Амплітуда вільних коливань осциляторів за відсутності дисипації

Крім складної залежності частоти від амплітуди, слід завжди пам'ятати, що для нелінійного осцилятора вона фактично є ще й неоднозначною. Це є надзвичайно важливий факт, що впливає в кінцевому рахунку на діапазон налаштувань хаотичного виявника для вимірювання слабких значень зрушень магнітного поля або магнітної індукції об'єктів.

Сукупність явищ, які спостерігаються в НДС (нелінійному осциляторі) під час зовнішнього періодичного впливу і проявляються в зміні якісної природи і кількісних характеристик вихідного сигналу НДС в залежності від параметрів зовнішнього впливу називають нелінійним резонансом. Саме явище нелінійного резонансу перспективне для застосування у пристроях вимірювання магнітних величин [35,38].

Консервативна коливальна система має властивість «пам'ятати» свій початковий стан нескінченно, отже, динамічний рух системи у фазовому просторі буде завжди містити залежну від початкових умов складову. Ця складова відповідає за «власні» коливання із деякою характеристичною частотою і амплітудою. Друга складова – вимушена, визначається періодом дії зовнішніх сил.

Поведінка системи буде залежати від співвідношення цих частот. Якщо значення обох складових частот знаходяться в раціональному відношенні, то рух буде періодичним. У випадку різних частот коливальний рух виявляється квазіперіодичним. Тільки за певних початкових умов вимушені коливання (рис.2.9) реалізуються «в чистому вигляді».

Для систем із дисипацією рівняння (2.8) записується в вигляді:

$$d^2x/dt^2 + \omega_0^2 x = -2\gamma dx/dt - \beta x^3 + f \cos(\omega_0 t) \quad (2.10)$$

де параметри змінної в правій частині відповідають за дисипацію, нелінійність та зовнішню дію, якщо ними знехтувати то модель перетворюється в модель гармонічного осцилятора, якщо вважати ці параметри малими, то можливо отримати рівняння для амплітуди коливань a_0 на виході системи як функцію амплітуди та значення частоти зовнішнього збудження:

$$(\gamma a_0)^2 + a_0^2 \left[\delta - \frac{3\beta a_0^2}{8\omega_0} \right]^2 = \frac{f^2}{4\omega_0^2}. \quad (2.11)$$

Якщо ввести наступні умовні позначення $P = 3\beta f^2 / (32\gamma^3 \omega_0^3)$, $X = 3\beta a_0^2 / (8\gamma \omega_0)$, $\Delta X = \delta / \gamma$, що є безрозмірними величинами, то вираз (2.11) матиме простий і наглядний вигляд:

$$X = \frac{P}{(X - \Delta)^2 + 1}. \quad (2.12)$$

Графік залежності (2.12) показаний на рис.2.10 має вигляд дзвоноподібної кривої, що відома під назвою «контур лоренца», де максимуму резонансних кривих $X=P$ мають місце за $X=\Delta$, або коли справедливо рівняння:

$$\delta = \Delta\omega(a_0) = \frac{3\beta a_0^2}{8\omega_0} \quad (2.13)$$

Тобто за заданої наперед амплітуді зовнішньої сили амплітуда вимушених коливань буде максимальна, коли розлаштування власної та збурюючої частот буде нульовим.

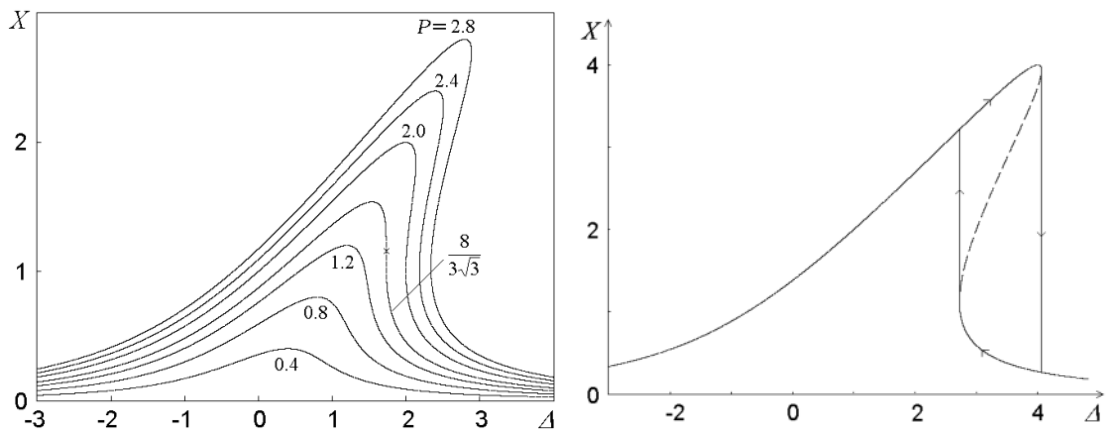


Рисунок 2.10 – Сімейство резонансних кривих нелінійного осцилятора із дисипацією в безрозмірних координатах (ліворуч) та поява гістерезису за умов великих різниць частот (праворуч)

За умови достатньо великих амплітуд, так само як у випадку відсутності дисипації залежність амплітуди від різниці частот збурення та власних стає неоднозначною, що приводить до появи біфуркацій та початку хаотичної поведінки в системі. Тобто відбувається фазовий перехід, що застосовується для побудови хаотичних виявників [38.39].

3 ХАОТИЧНІ ВИЯВНИКИ ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ В МАГНІТОДЕТЕКТОРАХ

3.1 Нелінійні методи хаотичного виявлення сигналів

3.1.1 Оптимальна обробка сигналів нелінійними методами

Після появи робіт Н.Вінера більшість науковців-радіотехніків вважали, що найкращий спосіб обробки сигналу на тлі БГШ забезпечується через кореляційну обробку суміші та правильне встановлення порогу компаратора [21].

Оптимізація відношення сигнал-завада для класичної обробки на тлі БГШ реалізується або за допомогою кореляторів, що складається із перемножувача та інтегратора або на базі побудови узгодженого фільтра із певною передавальною характеристикою. Обидва різновиди є класичними рішеннями, а пристрої, що реалізують такі способи обробки як правило працюють із поодинокими сигналами заданої форми, або із пакетами сигналів однакової форми (рис.3.1). Рівень техніки класичної оптимальної обробки набув настільки значного рівня, що в інтегральному цифровому виконанні реалізовано переналаштовуваний трансверсальний фільтр практично для будь якого із практично застосованих сигналів [21].

Але вже в цьому сторіччі виділено три напрямки, що суперечать обмеженням теорії кореляційного прийому [20]:

1. Нейроподібна (нейронна) обробка, що полягає у використанні нейронних мереж, попередньо налаштованих на ладаний тип сигналу і завад.

2. Підвищення завадостійкості на основі ефекту стохастичного резонансу, що описує підсилення сигналу в нелінійних системах БГШ певної амплітуди [33].

3. Підвищення завадостійкості за допомогою НДС із хаотичними режимами роботи із різкими переходами між режимами [33] або так званого хаотичного виявника (ХВК).



Рисунок 3.1 – Способи оптимізації завадостійкості обробки сигналів

Щодо практичного втілення, то для побудови магнітних детекторів більш придатні системи із ХВК періодичних сигналів.

Концепція роботи ХВК полягає у високій чутливості деяких НДС з хаотичними режимами, що перебуває в критичному стані, до впливу слабких ПС і нечутливості до впливу стохастичних завад [18,19]. Під критичним станом НДС будемо нестійкий стан системи на межі фазового переходу простий атрактор – дивний атрактор.

Такими НДС для побудови ХВК можуть виступати ГДХ Лоренца, Реслера і Чуа або НХГ Дуфінга, Ван-дер-Поля, тощо. [33]. *Загальний принцип роботи ХВК* полягає у наступному. Вихідні коливання подібних ГДХ в критичному стані являють собою реалізації детермінованого хаосу, що визначаються початковими параметрами та умовами. Під час впливу на ГДХ

шумового сигналу хаотичний характер його сигналу зберігається, а під час надходження навіть слабкого ПС виникає фазовий перехід - біфуркація - результатом якої є різка зміна характеру сигналу - він стає гармонічним.

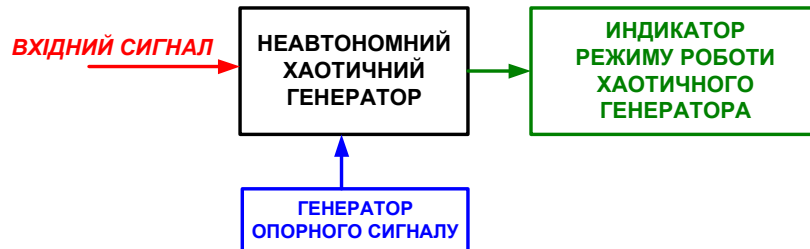


Рисунок 3.2. – Узагальнена структура хаотичного виявника періодичних сигналів

Таким чином узагальнена схема ХВК (рис.3.2) включає в себе хаотичний генератор із опорним генератором та індикатор режиму роботи хаотичного генератора (індикатор стану). Отже два значних моменти, що відокремлюють розробки із ХВК це: теоретична можливість реакції ГДХ на ПС з надзвичайно малою амплітудою різної форми і теоретично однакова реакція ГДХ на вплив шумів із різноманітними законами розподілу миттєвих значень.

3.1.2 Ідентифікація режимів роботи хаотичних виявників

На результат роботи ХВК також впливає спосіб або алгоритм ідентифікації стану ГДХ (рис.3.3). Візуальна ідентифікація по вигляду фазового портрету може застосовуватись, але непридатна для автоматичної роботи в режимах реального часу.

Існує велика кількість способів ідентифікації стану НХГ [31], серед яких для практичного втілення у пристрої найбільш придатні такі, що вказано на рис.3.3.

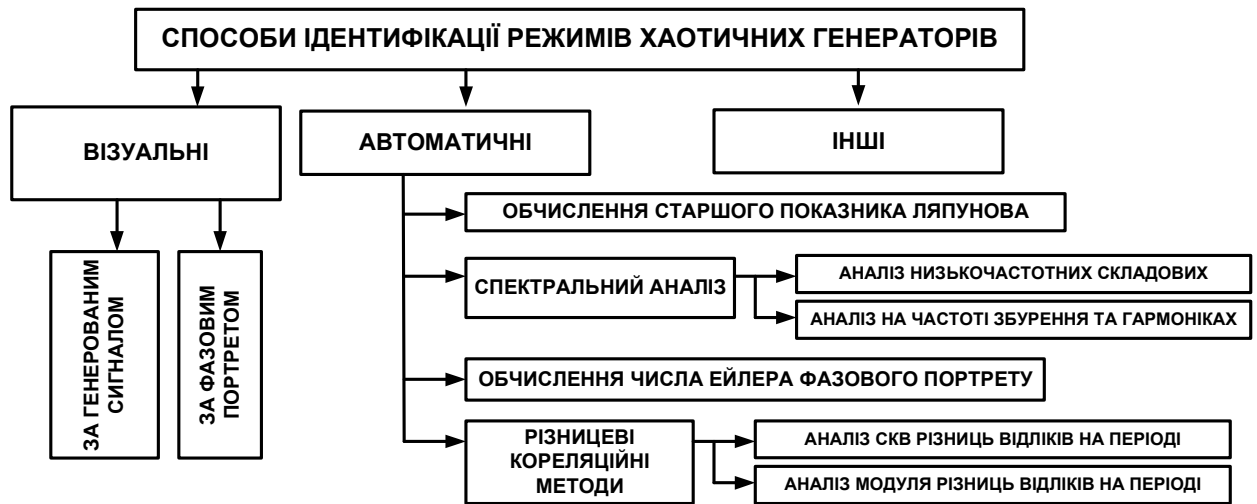


Рисунок 3.3 – Класифікація способів ідентифікації режимів найбільш придатних для практичного застосування в хаотичних виявниках

Розрахунок старшого показника Ляпунова полягає в розрахунку приросту відстані між двома суміжними ФТР на малому інтервалі часу та опосередненні цих значень по атрактору. Якщо старший показник Ляпунова позитивний (рис.3.4 ліворуч) то ГДХ знаходиться в хаотичному режимі, якщо негативний (рис.3.4 праворуч) то у періодичному.

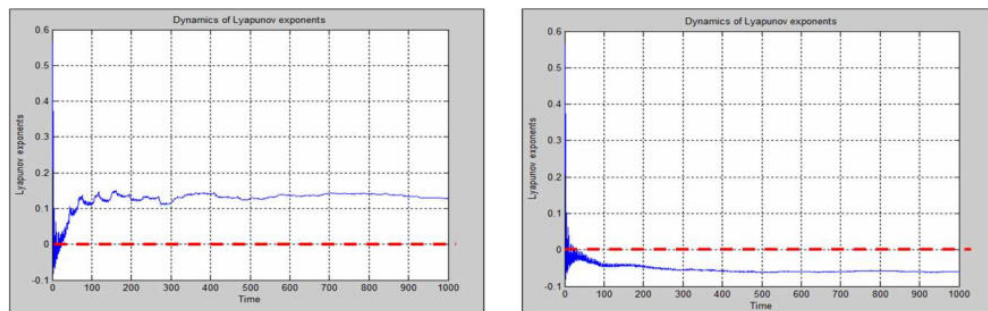


Рисунок 3.4– Показника Ляпунова неавтономного хаотичного генератора за умови дії шуму (ліворуч) та суміші сигналу із шумом (праворуч)

Спектральний аналіз полягає в обчисленні швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) та визначенні спектрального максимуму на частоті сигналу збурення. В спектрі хаотичного сигналу завжди присутні низькочастотні складові (рис.3.5), енергія яких зосереджена нижче сигналу збурення, що також дозволяє застосовувати індикатором стану математичне сподівання

низькочастотних складових, або їх енергію у вигляді еквіваленту середньоквадратичного відхилення.

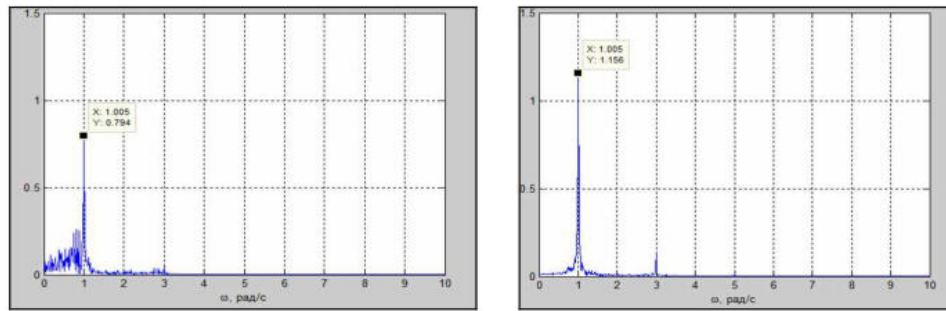


Рисунок 3.5 – Спектри сигналів хаотичного генератора у хаотичному режимі (ліворуч) та квазіперіодичному режимі (праворуч)

Аналіз стану по Ейлеру полягає в обчисленні числа незаповнених зон на фазовій площині, що еквівалентно завданню розпізнавання образів, при цьому можуть застосовуватись топологічні алгоритми «нарощування» та «закриття». Якщо кількість зон буде наближатись до 1 (рис.3.6) то ГДХ працює в періодичному режимі, якщо їх більше 1 то в хаотичному і ПС на вході ХВК не виявлено.



Рисунок 3.6 – До пояснення методу обрахунку кількості незаповнених зон за Ейлером

Кореляційні методи, або методи суміжних вибірок полягають в аналізі по заданому критерію різниць відліків вихідного коливання ГДХ, взятих точно з періодом опорного коливання НХГ $T = 2\pi/\omega$. Для періодичного

коливання вибірки через значення періоду мають низьке значення СКВ а для хаотичного коливання – високе (рис.3.7).

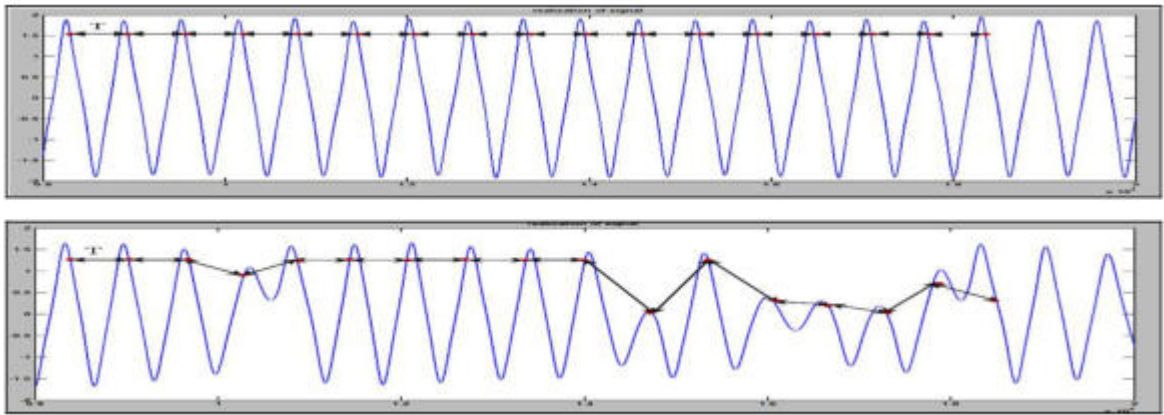


Рисунок 3.7 – Відмінності сусідніх відліків за умов періодичного (зверху) та хаотичного (знизу) коливань

Як відомо, оцінка роботи хаотичного виявника виконується на основі характеристик виявлення – тобто залежності ймовірності правильного виявлення від відношення сигнал – шум. Під час проведеного аналізу виявлено, що найбільш придатним для застосування у засобах магнітного детектування є метод ФНЧ, що характеризується простотою, ефективністю, мінімальними обчислювальними ресурсами та високою швидкістю.

3.2 Практичні схеми хаотичних виявників

3.2.1 Неавтономний генератор Дуфінга як основа хаотичного виявника

Про можливості застосування неавтономного ГДХ Дуфінга вже згадувалось, як одного із головного претендента для побудови систем виявлення слабких гармонічних сигналів у магнітних детекторах. Існує ряд модифікацій ГДХ Дуфінга [16], які відрізняються ступенем нелінійності для

змінних в диференційному рівнянні і способом введення зовнішнього сигналу – повним або параметричним, про що вже йшлося раніше.

Зазвичай в моделях неавтономних ГДХ (рис.3.8) застосовують або поліноміальні нелінійності (до 5 ступеня) або кусково-лінійні нелінійності (до 5 зламів на вольт амперній характеристиці) [11].

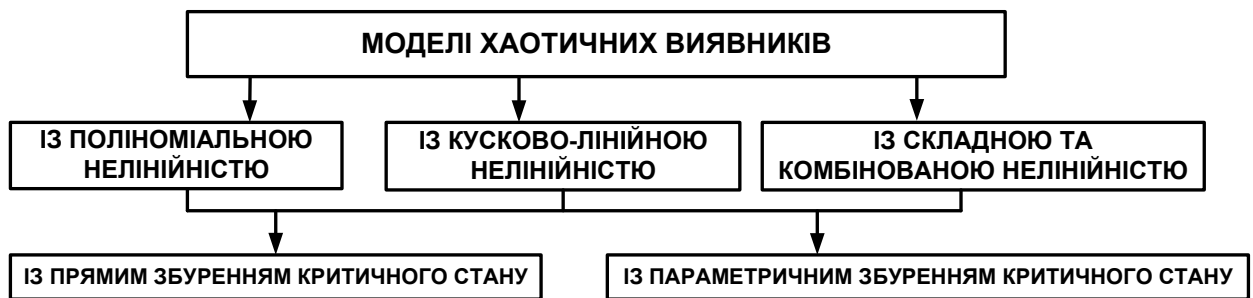


Рисунок 3.8 – Класифікація моделей для хаотичних виявників на базі неавтономних хаотичних генераторів

Класичне диференційне рівняння ГДХ Дуфінга має вигляд [14]:

$$d^2x/dt^2 + k dx/dt - x + x^3 = \xi(t) + \gamma_c \cos(\omega_0 t), \quad (3.1)$$

де k - коефіцієнт дисипації; γ_c - амплітуда зовнішнього сигналу збудження для досягнення критичного режиму; $\xi(t)$ – узагальнена функція вихідного сигналу, що в загальному випадку відповідає суміші корисного сигналу і шуму. Підвищення ступеня змінної у лівій частині (3.1) реалізує модифікацію ГДХ Дуфінга та його диференційне рівняння має вигляд:

$$d^2x/dt^2 + k dx/dt - x^3 + x^5 = \xi(\omega_0, t) + \gamma_c \cos(\omega_0 t) \quad (3.2)$$

а перехід до параметричного збудження ГДХ Дуфінга у диференційному рівнянні (3.2) виглядає як:

$$d^2x/dt^2 + k dx/dt - x^3 + (1 + \xi(\omega_0, t))x^5 = \gamma_c \cos(\omega_0 t) \quad (3.3)$$

Подібним способом можливо провести модифікації і інших неавтономних ГДХ за умови різних способів збудження.

Для розуміння суті роботи ХВК [15,17,18] найбільш зручно розглядати фазові портрети у фазовій площині (рис.3.9). Для генератора Дуфінга можливо виділити дві фазові змінні одна із яких є похідної іншої, в такому випадку рівняння представляються в формі системи диференціальних рівнянь.

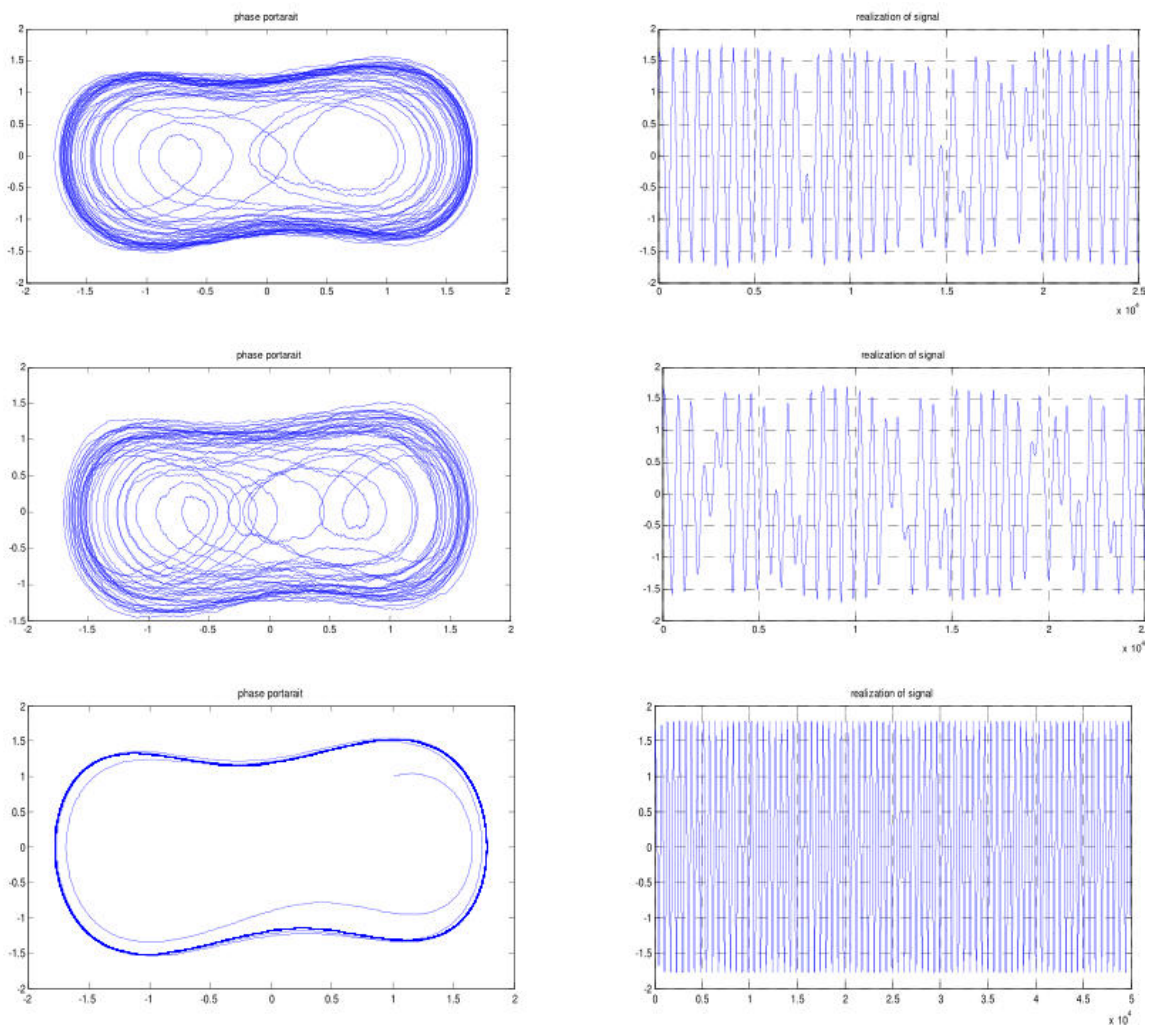


Рисунок 3.9 – Фазові портрети хаотичного генератора Дуфінга в критичному, хаотичному, та періодичному режимах (зверху вниз)

Результати чисельного моделювання такої системи підтверджують принцип роботи ХВК : під час встановлення критичного стану в вихідному сигналі переважно діє хаотична мода, що поглиблюється під час подачі шуму та здійснює фазовий перехід у звичайний колоподібний атрактор під час наявності у вхідній суміші гармонічної складової (рис.3.9).

За умови адитивної суміші синусоїдального сигналу із БГШ загальна динаміка поведінки ГДХ зберігається навіть при низьких відносинах СШ до 100дБ!!! Звичайно, фазовий портрет у ФПР дещо «ромивається», але вихідний сигнал залишається періодичним.

Зазвичай, через нелінійність поведінки ГДХ не масштабуються відносно значень параметрів, але характер поведінки ГДХ Дуфінга зберігається під час переходу від одиничної частоти сигналу збурення до довільного значення. Формула переходу диференційного рівняння Дуфінга до довільної частоти має вигляд [19]:

$$\frac{1}{\omega^2} d^2 x / dt^2 + \frac{k}{\omega} dx / dt - x + x^3 = [a \cos(\omega t) + n(t)] + \gamma_c \cos(\omega_0 t) \quad (3.4)$$

Умовою високої чутливості ГДХ Дуфінга (3.4) до зовнішнього гармонійного впливу є його когерентність із внутрішнім сигналом збудження генератора. За умов когерентності вхідний сигнал можна розглядати як приріст амплітуди сигналу збурення, що виводить ГДХ з критичного стану. За умови часткової когерентності $\Delta\omega$ і ϕ амплітуда сумарного сигналу збудження стає досить складною функцією часу [19]:

$$\begin{aligned} A(t) &= \gamma(t) \cos(\omega t + \theta(t)), \quad \partial e \\ \gamma(t) &= \sqrt{\gamma_c^2 + 2\gamma_c a \cdot \cos(\Delta\omega t + \phi) + a^2}, \\ \theta(t) &= \arctg \left[\frac{a \cdot \sin(\Delta\omega t + \phi)}{\gamma_c + a \cdot \cos(\Delta\omega t + \phi)} \right]. \end{aligned} \quad (3.5)$$

Із (3.3) зрозуміло, що за умови однаковості частот внутрішнього та зовнішнього збудження та якщо фазовий зсув ϕ буде лежати в межах:

$$\pi - \arccos\left[\frac{a}{2\gamma_c}\right] \leq \phi \leq \pi + \arccos\left[\frac{a}{2\gamma_c}\right]$$

амплітуда сумарного сигналу збудження

завжди буде менше критичної, та ХВК не буде працювати.

Якщо ж буде мати місце деяка різниця частот збудження то амплітуда сукупного сигналу збудження буде періодично перевищувати критичне значення, що призведе до появи на виході ГДХ хаотичного сигналу із двома ділянками(рис.3.10). Період чергування хаотичних і квазіперіодичних ділянок результуючих коливань складатиме $T = 2\pi/\Delta\omega$.

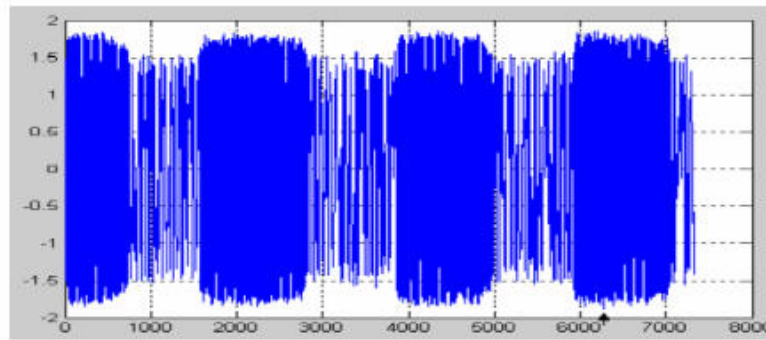


Рисунок 3.10 – Форма сигналу генератора детермінованого хаосу за умови хаосу із перемежуванням

Отже, такі НХГ можна застосувати не тільки для контролю наявності слабких сигналів, але і для оцінювання їх частоти. Під час збільшення різниці частот $\Delta\omega$ період чергування ділянок буде зменшуватися, що зменшує необхідний час аналізу стану у ХВК і, в кінцевому підсумку, теж призведе до припинення його роботи.

Критична величина амплітуди сигналу збудження, яка переводить ГДХ в стан нестійкої рівноваги є базовим показником, що визначає чутливість ГДХ до зовнішніх впливів. Із теоретичної точки зору можливо добитись чутливості до якого завгодно слабого вхідного сигналу, але під час моделювання цей параметр залежить від розрядності представлення чисел в

САПР, а у реальних приладах – точністю підтримання параметрів радіоелектронних компонент [20].

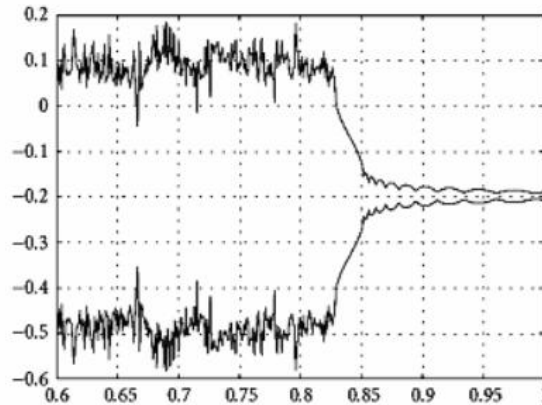


Рисунок 3.11 – Залежність показників Ляпунова неавтономної динамічної системи від нормованого сигналу збурення хаотичного генератора

Для більшості випадків розрахунок областей знаходження критичних амплітуд γ_c можливий за функцією Мельникова:

$$\gamma_c \approx \frac{4 \cosh(\pi \omega/2)}{3\sqrt{2}\pi\omega} \quad (3.6)$$

або підбирання значення відносної амплітуди γ_c за наближенням до нуля старшого показника Ляпунова (рис.3.11).

3.2.2 Неавтономний генератор із кусково-лінійною апроксимацією

Під час побудови структури магнітного детектора за основу може бути взята деяка НХГ, що підлягає практичному втіленню. Річ у тому, що деякі математичні моделі під час переходу до практичної конструкції генераторів спряжені із появою нефізичних елементів, наприклад, від'ємних індуктивностей, ємностей тощо, крім того шукана неавтономна НДС має описуватися нелінійним рівнянням не більше другого порядку, а також мати в ФПР як мінімум одну нестійку точку, поведінку в околицях якої слід використати для встановлення критичного режиму.

Моделі генераторів хаосу на типом нелінійності можливо поділити на 3 великих класи:

- 1) Із поліноміальною нелінійністю, наприклад ГДХ Дуфінга, Чена, Лоренца.
- 2) Із нелінійністю що описується кусково-лінійними функціями, наприклад, хаотичний генератор Murali-Lakshmanan-Chua (MLC)
- 3) ГДХ із складними або комбінованими типами нелінійностей.

Найбільш технічно просто створити генератор із нелінійностями, що задані кусково-лінійними функціями. Із практичної точки зору такі функції легко створити за допомогою операційних підсилювачів із зворотими зв'язками.

Неавтономний ГДХ MLC (3.6) із математичної точки зору описується наступною системою диференціальних рівнянь [36]:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = y - h(x) \\ \frac{dy}{dt} = \beta y - \beta x + f \sin(\omega t) + [d \sin(\omega t) + \sigma \cdot n(t)] \end{cases} \quad (3.7)$$

де x, y - безрозмірні змінні ФПР;

t – поточний безрозмірний час;

β – головний та єдиний біфуркаційний параметр неавтономної НДС;

$h(x)$ - кусково-лінійна функція апроксимації нелінійності;

ω - частота зовнішнього та внутрішнього збудження;

$n(\tau)$ – деяка реалізація нормованого та центрованого гаусівського випадкового процесу;

σ – амплітуда випадкового процесу;

d - амплітуда гармонічного сигналу зовнішнього збудження.

Якщо зважити на те, що в системі (3.7) присутні лише три можливих параметра впливу зовнішнього збурення: по амплітуді, частоті (фазі) та

параметру біфуркації, то для системи MLC можлива побудова трьох типів виявників: амплітудного, частотного та біфуркаційного.

Перші два відносяться до виявників прямої дії, останній до виявника параметричної дії. Звичайно, можливі також і комбіновані варіанти побудови виявників. Формула (3.1) описує як раз амплітудний ХВК.

Судячи із механізму виявлення слабких вимірювальних сигналів магнітодетекторів із жорсткою частотою, для застосування у таких приладах більш доцільно обрати амплітудний ХВК, що розглянуто нижче.

3.2.3 Амплітудний хаотичний виявник на основ MLC генератора

Амплітудний ХВК складається із неавтономного ГДХ та індикатору режимів роботи [18,36]. Сигнал, що підлягає детектуванню подається від джерела зовнішнього збудження разом із супутнім адитивним БГШ ($[d \sin \Omega t + \sigma \cdot n(t)]$ за (3.3)) подається на об'єднуючий вхід неавтономного MLC ГДХ, де адитивно та синфазно додається до сигналу опорного генератора внутрішнього збудження (рис.3.10). Якщо амплітуда сигналу зовнішнього збудження достатня, ГДХ переходить в режим генерації ПС навіть за високого рівня зовнішніх завад та шумів.

Математичною моделлю роботи амплітудного ХВК на базі MLC хаотичного генератора є:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = y - h(x) \\ \frac{dy}{dt} = \beta y - \beta x + A \sin(\omega_0 \tau) + [B \sin(\omega_0 t) + \sigma \cdot n(t)] \end{cases} \quad (3.8)$$

Якщо $B < B_{нор}$ (хаос), якщо $B > B_{нор}$, (періодичний режим)

де, A та B амплітуди внутрішнього та зовнішнього гармонічного збудження відповідно.

Раніше встановлено, що розпізнавання слабких гармонічних сигналів на фоні потужних БГШ у ХВК для мети магнітного детектування найбільш доцільно реалізувати на основі індикатора режиму роботи ГДК на основі використання ФНЧ (рис.3.10). Можливість на необхідність застосування ФНЧ для розпізнавання режимів роботи базується на появі низькочастотних (субгармонічних) складових під час існування в неавтономній системі хаотичного стану.

Спектральний склад вихідного хаотичного сигналу неавтономного НДС, має у своєму складі ряд субгармонічних коливань різних періодів та нагадує спектр шумового сигналу. В спектрі можуть бути присутні також і гармоніки опорного генератора. В той же час спектр сигналу періодичного режиму роботи НДС складається із поодиноких спектральних складових, що першій і всім вищим гармонікам сигналу опорного генератора.

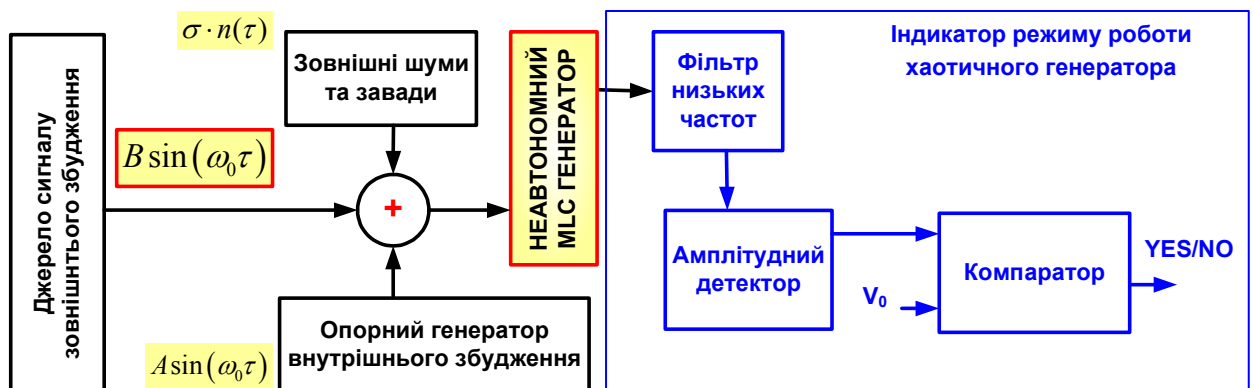


Рисунок 3.12 - Структура амплітудного хаотичного виявника

Для ефективної роботи виявника частота зрізу ФНЧ (рис.3.12) має становити $0,3 \dots 0,5$ від значення частоти опорного генератора. Крім того, для досягнення більш якісних характеристик виявлення ХВК, на частоті опорного генератора та його гармонік у смузі пригнічення ФНЧ має реалізовуватись якомога значне придушення сигналу.

Оброблений ФНЧ сигнал детектується в амплітудному детекторі, де фактично визначається його СКВ (квадратичний детектор) або середньо випрямлене значення (лінійний детектор). Результат детектування подається

порівнюється із пороговою величиною, що визначає чутливість та ймовірнісні характеристики ХВК.

Отже в індикаторі режимів ХВК реалізується контроль енергетичного стану НДС, де в хаотичному енергія перерозподіляється більш рівномірно в межах припустимого діапазону (рис.3.13), а в періодичному зосереджується в гармоніках опорного внутрішнього сигналу збудження. Можливість простої ідентифікації переходу між якісними станами НДС та висока чутливість до такого переходу є головними перевагами амплітудних ХВК.

Головним недоліком амплітудного виявника є необхідність точного встановлення та подальшого підтримання параметрів синусоїдальних відповідно математичній моделі роботи .

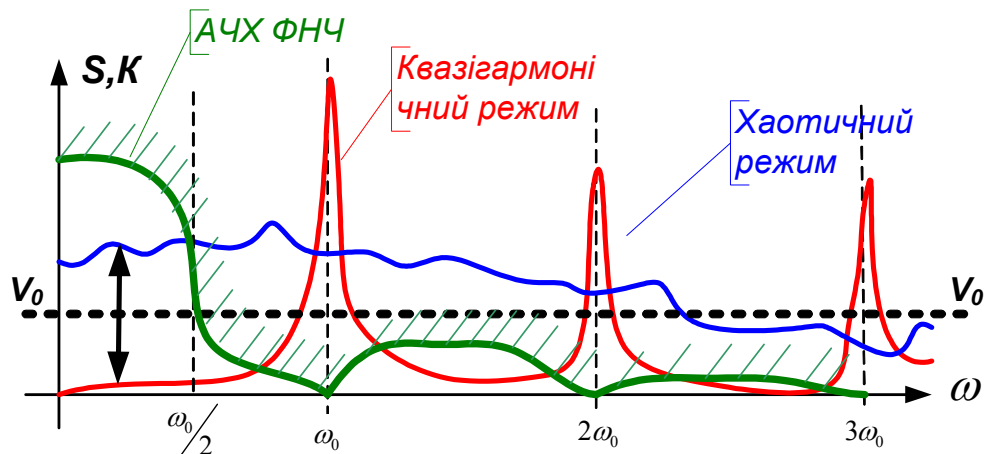


Рисунок 3.13 – До пояснення принципу розділення хаотичного та квазігармонічного режимів у амплітудному хаотичному виявнику

У магнітометричних системах внутрішній генератор збудження також може виступати в якості задаючого генератора пара фазного сигналу для диференційної вимірювальної системи, що спрощує структурну та схемотехнічну будову системи магнітометричного контролю за допомогою розподілених сенсорів загалом.

4 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХАОТИЧНОГО МАГНІТНОГО ДЕТЕКТОРА

4.1 Режими роботи хаотичного генератора із кубічною нелінійністю

Імітаційні моделі реалізуються в середовищі Simulink як сукупність аналогових модулів та субмодулів (рис.4.1), що в цілому забезпечують рішення диференціальних рівнянь роботи НХГ Дуфінга [33]. Осцилятори або генератори Дуфінга (Duffing oscillator 1918) є найпростішою одномірною нелінійною системою, яка є відображення руху одновимірної частки в полі нелінійного потенціалу.

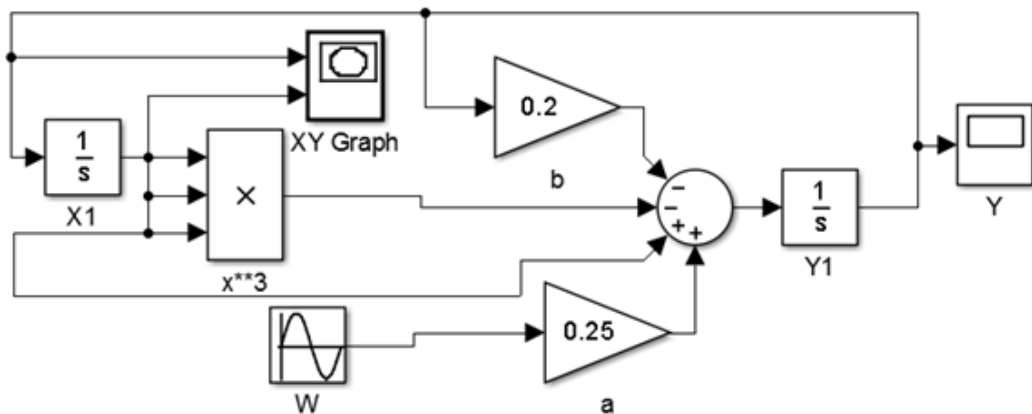


Рисунок 4.1 – Імітаційна модель неавтономного генератора із кубічною нелінійністю в середовищі Simulink

В складі імітаційної моделі (рис.4.1) присутні два масштабних підсилювача, значення підсилення яких відповідає значенню біфуркаційних параметрів керування, два інтегратора, що вказують на другий порядок диференціального рівняння, перемножувач та генератор синусоїдального коливання із нормованою частотою у 1 рад за секунду. Також до складу моделі входять графопобудовник, що відтворює форму атратора, осцилограф, що показує форму сигналу, та спектроаналізатор, який досліджує спектр сигналу на виході такої НДС.

Диференційні рівняння генератора Дуфінга часто представляють у різних формах, що застосовані вище. Різні форми рівняння Дуфінга можуть вдало застосовуватись для опису багатьох різних НДС: від механічного нелінійного маятника до нелінійної поведінки ізоляторів, механічних конструкцій, систем енергоспоживання і, звичайно, електричних кіл в системах нелінійної фільтрації.

Диференційними рівняннями Дуфінга можливо описувати такі системи, як нелінійні оптичні волокна, мікроскопічні та наномеханічні структури, топологічні ізолятори, ротори, турбуленцію в потоках рідини, літальні апарати комах, електрогенератори силового живлення, тощо.

Структурна схема відповідає системі диференційних рівнянь (4.1):

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = y; & \frac{dy}{dt} = F(x) - bx + a \sin(\omega_0 \tau), \\ F(x) = x - x^3. \end{cases} \quad (4.1)$$

Для якої критичний режим спостерігаються за умови $b=0,2$ та $a=0,25$.

Періодичні вимушені коливання, що описуються рівнянням Дуфінга, демонструють широкий спектр нелінійних явищ, характерних для поведінки НДС: регулярний та хаотичний рух, дивні атрактори, регулярні і фрактальні структури, глобальна та локальна біфуркація, тощо.

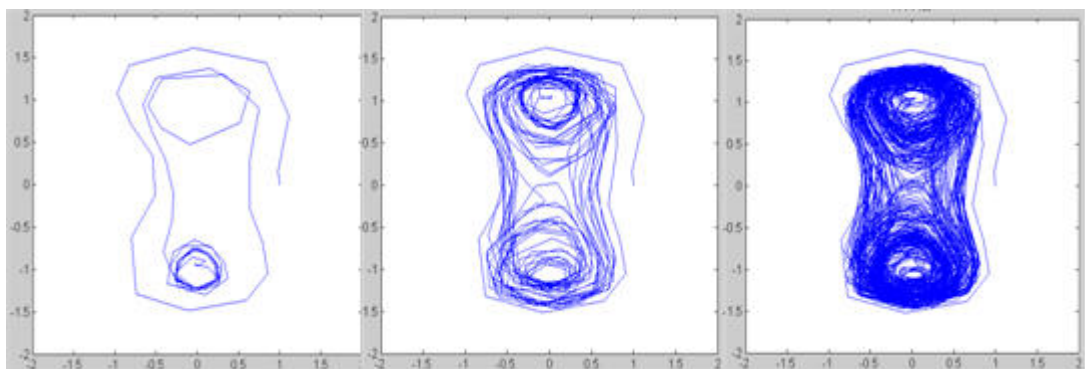


Рисунок 4.2 – Форма атракторів генератора Дуфінга для змінної та її похідної для $a=0,22; 0,245; 0,26$ зліва направо, за умови $b=0,2$

Особливістю осцилятора Дуфінга [34] є можливість отримання хаотичної динаміки (рис.4.1) під час збільшення амплітуди неавтономного синусоїдального сигналу. Наприклад, за умови $a = 2.75$ і $b = 0.15$ осцилятор Дуфінга має хаотичну поведінку. Відображення Дуфінга (відображення Холмса) для вимушених коливань осцилятора Дуфінга - динамічна система з дискретним часом, тому може мати в хаотичному режимі менше трьох фазових змінних.

Під час формування атракторів (рис.4.2) забезпечувалися параметри ініціалізації за допомогою встановлення початкових значень аналогових інтеграторів. Тому для досягнення форми дивного атрактора має пройти декілька фазових циклів стабілізації даних, що надалі не слід враховувати під час розгляду роботи системи Дуфінга для магнітодетекторів.

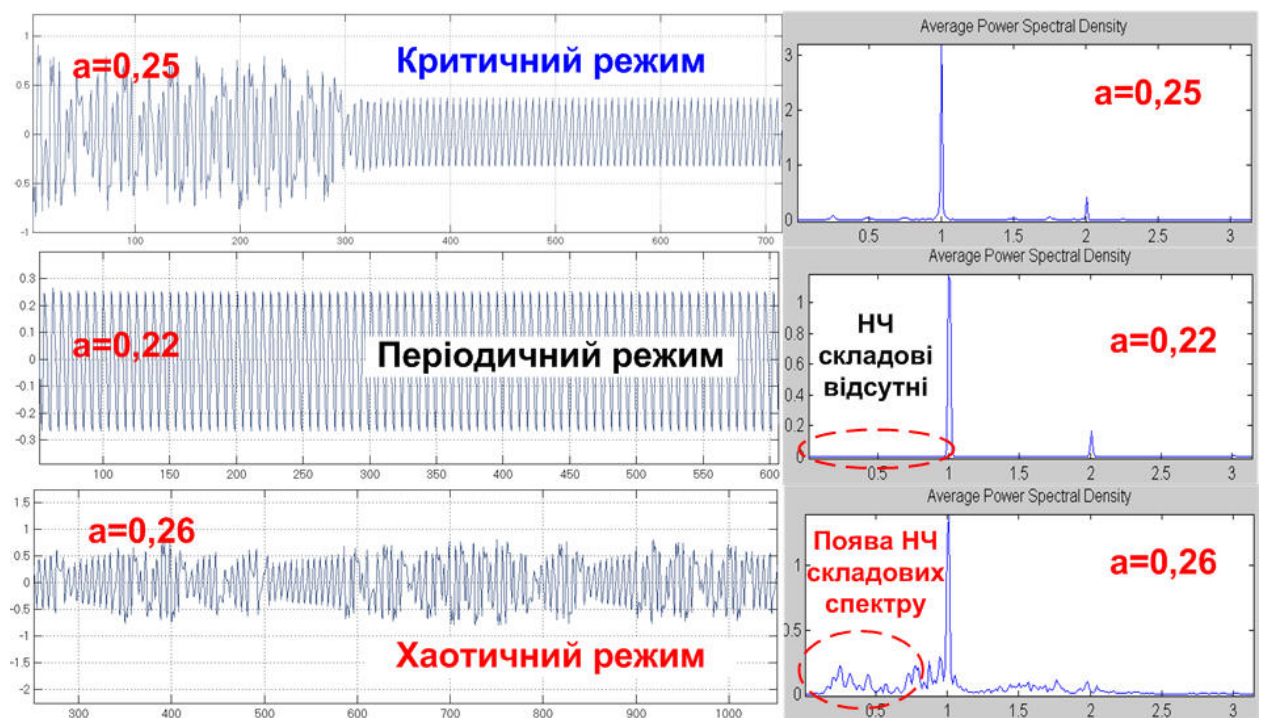


Рисунок 4.3 – Часові діаграми (ліворуч) та енергетичні спектри (праворуч) сигналу генератора Дуфінга в різних режимах

За умови значень параметру a менше критичного в системі спостерігається стійка періодична поведінка, із частотою синусоїдального генератора, хоча вихідний сигнал не є синусоїдальним, в складі його спектру

присутні і вищі гармоніки. В критичному режимі (рис.4.3) система знаходиться на межі переходу від періодичних коливань до хаотичних. Загалом цей стан нестійкий, через певний час, режим зведеться або до періодичного або хаотичного, як і у всіх НДС .

Якщо параметр біфуркації a більше за критичне значення, то спостерігається тільки хаотичний режим, який характеризується непередбачуваністю та появою у спектрі низькочастотних складових із частотами набагато меншими за основну частоту (рис.4.3).

В хаотичному режимі (див. рис.4.3) спектр за структурою є подібним до спектру класичної амплітудної модуляції. Тобто присутні складові вище та нижче основної частоти. Ці факти можуть використовуватись для ідентифікації режимів за допомогою частотної фільтрації.

Із технічної точки зору більш доцільно застосовувати фільтри низьких частот із передавальною функцією, що має нуль на основній частоті. Таким чином буде реалізовано більш ефективний фільтр виділення НЧ складових із урахуванням наявності або відсутності у спектрі сигналу основної частоти, що значно переважає НЧ складові спектру.

4.2 Низькочастотна фільтрація хаотичного сигналу

Для перевірки працездатності, визначення діапазону робочих біфуркаційних параметрів та можливостей щодо ідентифікації хаотичного режиму розроблена імітаційна модель дослідження можливостей виділення низькочастотних складових спектру під час появи хаотичного сигналу генератора Дуфінга. Нагадаємо, що поява складових спектру, із частотою що менше та набагато менше за основну частоту внутрішнього синусоїдального генератора є індикатором хаотичного режиму. Перехід від синусоїдального режиму до хаотичного відбувається через підвищення амплітуди синфазного

зовнішнього сигналу, наявність або відсутність якового слід виявити на основі застосування методу хаотичного генератора в магнітодетекторах.

Перехід від синусоїдального режиму до хаотичного відбувається надзвичайно різко, що говорить про можливість збільшення чутливості щодо виявлення слабких зашумлених періодичних сигналів, які і фігурують під час диференційного магнітного детектування методом ІНБ через застосування розподілених структур у вигляді дротяних петель.

Схема (рис.3.15) складається із генератора Дуфінга, пускової частини, фільтра НЧ, та вимірювача ефективного значення сигналу. Також до схеми додано пристрої індикації у вигляді двомірних графопобудовників Simulink, осцилографів, спектроаналізаторів та індикатора середнього значення.

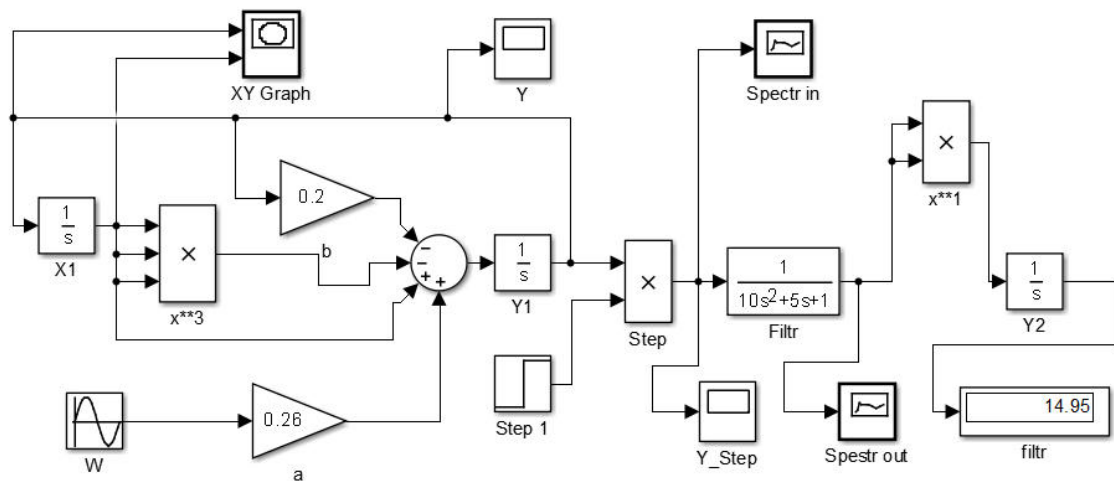


Рисунок 4.4 – Структурна схема дослідження можливостей фільтрації низькочастотних спектральних складових генератора Дуфінга

Фільтр НЧ реалізований у вигляді інтегруючого фільтру другого порядку [21]. Передавальна функція (рис.4.5) такого фільтру із скінченим підсиленням на нульовій частоті має вигляд монотонно спадаючої функції. Звичайно, можливе застосування і інших передавальних функцій ФНЧ, але глобальних відмінностей при цьому не має спостерігатись, окрім збільшення часу аналізу.

Для демонстрації роботи схеми фільтрації хаотичного сигналу під час імітаційного моделювання розглядалися форми та енергетичні спектри

сигналів до і після фільтрації (рис.4.6), що наочно показує процес фільтрації набагато меншого рівня рівню низькочастотних складових та явного виділення спектральних складових хаотичного сигналу.

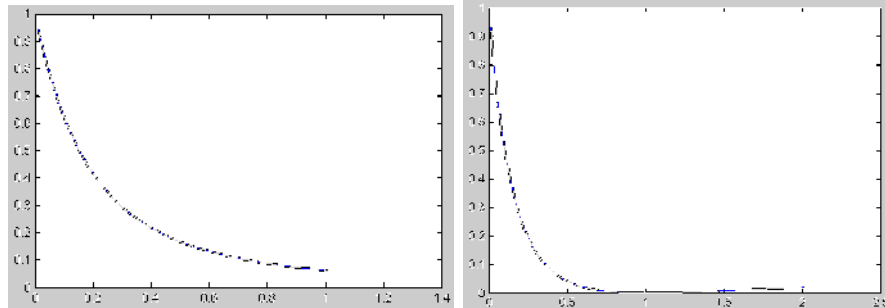


Рисунок 4.5 Передавальна функція фільтру – інтегратора другого порядку для виділення низькочастотних складових хаотичного сигналу без подавлення (ліворуч) та із подавленням опорної частоти(праворуч)

Залежно від форми передавальної функції частота зрізу ФНЧ ідентифікації режиму може бути різною. Якщо порядок фільтру високий, то пригнічення гармонік основної частоти відбувається сильніше, та частота зрізу може розташовуватись ближче до основної частоти, щоб охопити більшу кількість субгармонік основної частоти. Але високий порядок фільтру сильно обмежує оперативність під час виявлення та подальшої обробки сигналу МД від порушників.

Якщо ж порядок фільтру низький, то частота зрізу фільтру має бути далі від основної частоти, щоб реалізувати найбільше пригнічення сигналу основної частоти (рис.4.6) із одночасним виділенням сигналу низькочастотних субгармонік. Тому і частота зрізу ФНЧ ідентифікатора режимів має в середньому розташовуватись від 0,2 до 0,4 від значення основної частоти.

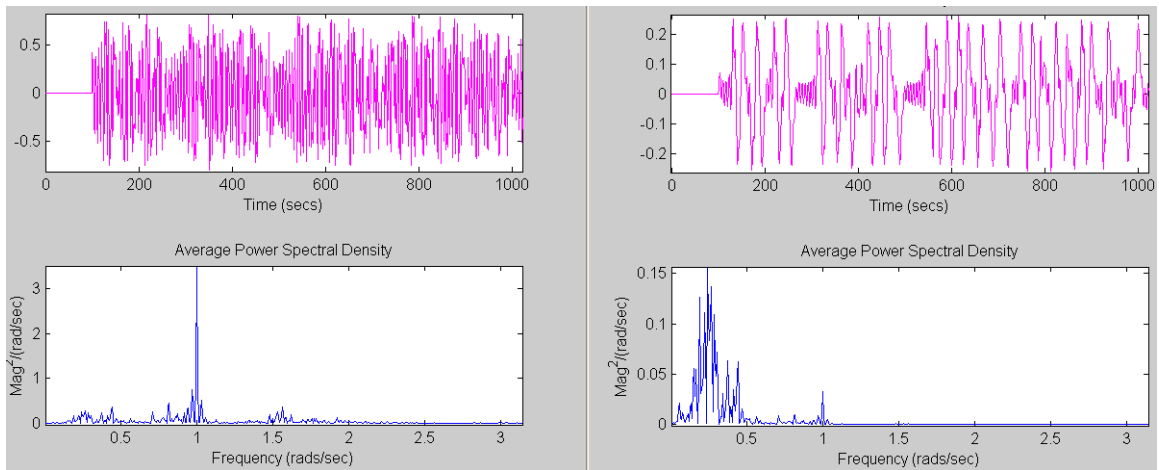


Рисунок 4.6 – Результат (часові залежності та енергетичні спектри) фільтрації хаотичного сигналу генератора Дуфінга (ліворуч) інтегруючим фільтром другого порядку (праворуч)

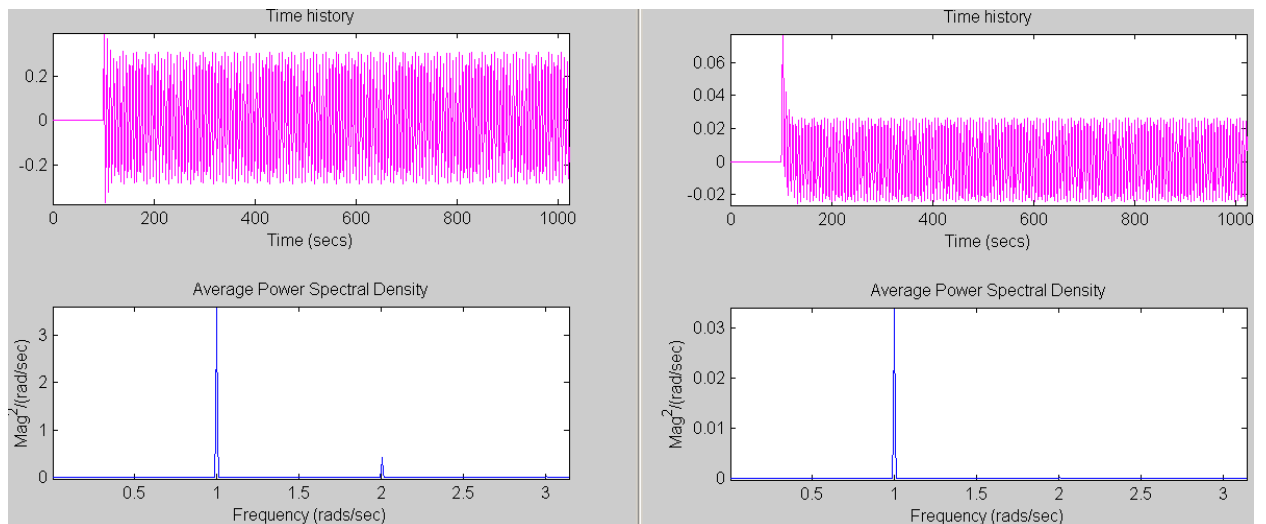


Рисунок 4.7 – Результат (часові залежності та енергетичні спектри) фільтрації періодичного сигналу генератора Дуфінга (ліворуч) інтегруючим фільтром другого порядку (праворуч)

Використання запропонованого інтегруючого фільтру дозволило ослабити значення амплітуди першої гармоніки приблизно у 100 разів (див. рис.4.7), тобто похибка впливу на результат фільтрації та подальшого визначення середньоквадратичного значення сигналу за таких умов складає близько 1%.

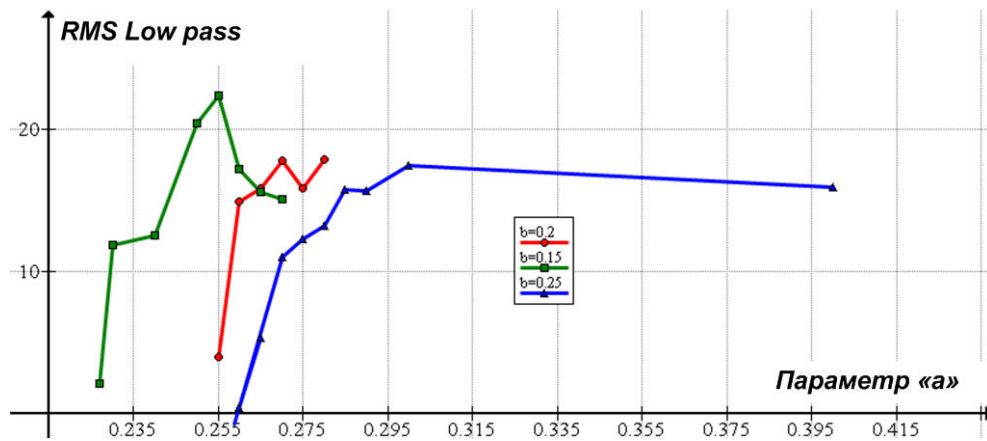


Рисунок 4.8 – Залежність ефективного значення напруги на виході ФНЧ від значення керуючого параметра під час ідентифікації хаотичного режиму генератора Дуфінга

Імітаційні дослідження рівня відфільтрованого сигналу (рис.3.19) залежно від значення імітаційних параметрів дозволило вибрати такі значення для подальшого шумового імітаційного моделювання.

Аналіз залежностей, показаних на рис.4.8 дозволяє зробити наступні висновки:

1. Значення сигналу-критерію для ідентифікації хаотичного режиму практично не змінюється через зміну параметру «в» та складає приблизно 15 за умови наявності субгармонікальних складових. Це говорить про можливість застосування різних значень для ідентифікації.

2. Найбільш різке перемикання із періодичного в хаотичний режим відбувається за значення $v=0,2$, та за такого параметру одночасно найменший розкид значень середньоквадратичного відхилення в межах 16..18 умовних вольт.

4.3 Схема досліджень та біфуркаційні робочі зони

Нелінійні динамічні системи характеризуються непередбачуваністю поведінки навіть за умови незначної зміни параметрів системи. Тому так

важко визначити серед параметрів певні діапазони, що відповідають за хаотичну поведінку, зони періодичних сигналів та перехідні зони, де існує перемежування хаотичної та періодичної поведінки [34].

Для дослідження процесу виявлення слабких сигналів від магнітного диференційного сенсора в системах охорони об'єктів із використанням індуктивного методу контролю за допомогою розподілених сенсорів складена імітаційна модель в середовищі Simulink (рис.4.9), що ґрунтується на застосуванні властивостей генератора Дуфінга із кубічною нелінійністю.

Головним вихідним параметром імітаційної моделі є відношення ефективних значень сигналу на виході двох каналів обробки та оцінки режиму генератора Дуфінга на основі використання спектрального методу ідентифікації стану за допомогою ФНЧ. Чим більше це відношення, тим більше ймовірність ідентифікації або розрізнення хаотичного та нехаотичного станів.

Принцип ідентифікації хаотичного режиму полягає у фіксації наявності спектральних складових у вихідному спектрі фазової змінної або проміжної змінної, значення частоти яких хоча б у два рази менше за значення основної частоти генератора опорного гармонічного сигналу, що входить до внутрішньої структури генератора Дуфінга. Такий метод обраний завдяки простоті та надійності апаратної реалізації для практичних досліджень, наприклад, у високочутливих металошукачах.

Імітаційна модель (рис.4.9) складається із двох майже однакових частин (показані зверху та знизу). Кожна із частин являє собою ХВК на основі хаос-генератора Дуфінга, генератора шуму, ФНЧ із блоками обчислення середньоквадратичного значення та індикаторних елементів.

Імітація шумового стану на вході реалізується за допомогою двох генераторів БГШ, початкові налаштування яких відмінні для декореляції генерованих послідовностей значень. Математичне сподівання шумового процесу дорівнює нулю, а дисперсія регулюється наданням значення зовнішньому параметру – константі одночасно для двох генераторів.

Головним детекторним елементом пристрою є ФНЧ із частотою зрізу вдвічі – втричі менше за опорну частоту генератора Дуфінга. Можливе застосування фільтрів від першого порядку, але зважаючи на майбутнє професійне застосування магнітного детектора, розумно вибрати більш високий порядок фільтру.

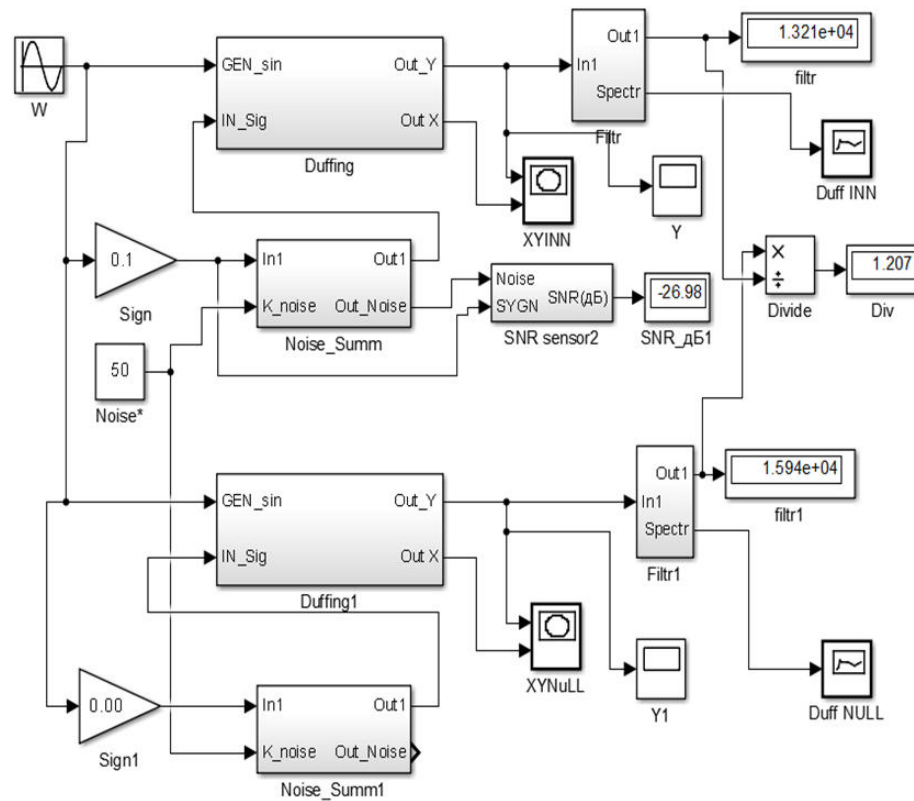


Рисунок 4.9 – Імітаційна модель Simulink для дослідження виявлення слабкого періодичного сигналу серед завад на основі нелінійної обробки в генераторі Дуфінга

Крім того, слід зауважити, що практична реалізація генераторів хаосу спряжена завжди із необхідністю застосування та підтримання високої точності обробки, що вимагає застосування як коштовних та точних елементів, так і субсистем підтримання режимів роботи, наприклад, в плані температурної стабілізації.

Загальні високі вимоги до точності обумовлюють застосування точних технологій, що забезпечують підтримання стабільності на рівні менше за

0,1%. Такий рівень точності та стабільності елементної бази дозволяє легко реалізувати в інтегральному виконанні ФНЧ за допомогою схем на комутованих конденсаторах, що широко поширені в сучасних технологіях для подібних завдань фільтрації та відмовитись від пристроїв інтегральної електроніки, на зразок фільтрів на поверхневих акустичних хвилях. Крім того, подібний рівень точності дозволяє реалізовувати структуру фільтрів на операційних підсилювачах до 5 порядку.

Тому, для підтвердження високих характеристик виявника на основі хаотичних генераторів в імітаційній моделі застосовано ФНЧ 4 порядку. Структура фільтру обрана на основі поліноміальної теорії апроксимації передавальної функції фільтру на основі нулів та полюсів передавальної функції. Вибір фільтру достатньо високого порядку надалі дозволив отримати значні різниці значень відношень основного досліджуваного параметру імітаційної моделі.

Функціональне завдання верхньої частини схеми (імітація сигналу на вході генератора Дуфінга), якщо сигнал є, то має сенс встановлювати та міряти відношення сигнал шум, за якого можливе адекватне виявлення хаотичного та періодичного режимів за допомогою ФНЧ. Нижня частина імітаційної моделі відповідає за встановлення певного режиму, за наявності тільки шуму у вхідному сигналі для виявлення.

Слід відмітити, що в нелінійних дисипативних системах шум може відігравати не тільки деструктивну роль, але і конструктивну, наприклад, за наявності шуму забезпечується можливість синхронізації двох хаотичних генераторів, це явище називається синхронізацією індукованою шумом. Отже нижня частина імітаційної моделі рис. 4.9. не має блоку вимірювання відношення сигнал – шум але ФНЧ, аналогічний до верхньої частини присутній.

Генератор Дуфінга в моделі рис.4.9 передбачає наявність тільки двох керуючих параметрів, названих a та b . Зміна керуючих параметрів

проводиться в межах субблоку генераторів Дуфінга із метою можливої заміни на інший НХГ, наприклад, MLC – неавтономний генератор [36].

Імітаційна модель та її складові (див. додаток Г) перевірялись за умови зміни біфуркаційних параметрів, рівня зовнішнього сигналу та рівня адитивного БГШ із фіксацією відношення сигнал-шум за потужністю. Інтервал вимірювання обраний таким чином, щоб за час ідентифікації наявності – відсутності хаотичного режиму генератор Дуфінга опрацьовував близько сотні фазових циклів. На типових частотах індукційного методу ІНБ із розподіленими індуктивностями на частоті 10 кГц це відповідає часу реакції систем не більше як 0,1 с, що достатньо для виявлення порушника периметру об'єкту охорони в реальних ділянках часу.

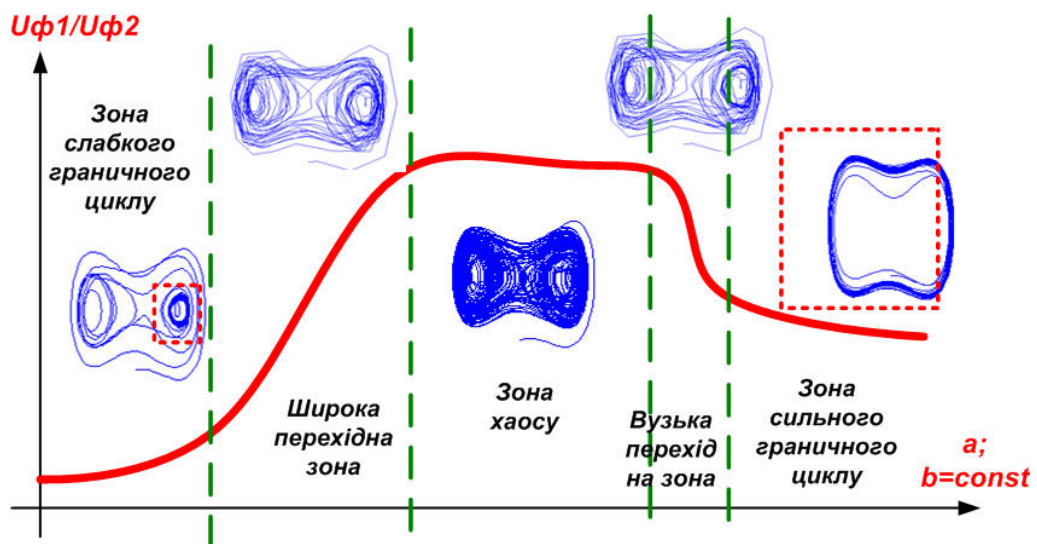


Рисунок 4.10 - Залежність відношення середньоквадратичних значень сигналів на виході ФНЧ від керуючого параметру генераторів Дуфінга під час ідентифікації хаотичних режимів

Під час перевірки імітаційної моделі для різних значень біфуркаційних параметрів генератора Дуфінга та різних SNR спостерігалась типова картина для значення основного досліджуваного параметру імітаційної моделі – відношення рівнів сигналу на виході ФНЧ у випадку наявності та відсутності сигналу для вимірювання за певних умов спостереження. При цьому

спостерігалась наступна загальна ситуація під час поступової зміни параметрів, що показана на рис. 4.10.

В таких умовах визначена наявність загалом 5 робочих зон:

1. Зона *слабкого граничного циклу* характеризується граничним циклом за формою близьким до кола. Фазовий портрет являє собою спіральну структуру, що наближається до колоподібного атрактора. Ця зона відповідає за формування періодичного монохроматичного сигналу із частотою, що дорівнює опорній частоті та формою сигналу, що дуже сильно наближається до синусоїдальної. Цей режим спостерігається в найбільшій кількості випадків тестового контролю імітаційної моделі, а отже і є основним для генератора Дуфінга. Його також можливо охарактеризувати як малосигнальний режим.

2. Зона *сигналу детермінованого хаосу* (зона хаосу) характеризується неперервним спектром, наявністю спектральних складових, значення частоти яких як вище, так і нижче значення основної частоти, але генерація основної частоти не припиняється і за амплітудою вона займає домінуюче положення серед інших складових спектру, в тому числі і серед гармонік основної частоти. Форма сигналу являє собою спалахи на фронтах основної частоти із різними фазами та відмінними амплітудами.

3. Зона *сильного граничного циклу* одночасно і схожа і відмінна від зони слабкого граничного циклу. Схожість проявляється в тому, що формується квазіперіодичний сигнал із домінуючою частотою в спектрі, що дорівнює основній частоті. Тобто сигнал є фактично періодичним. Відмінність полягає у збільшенні загальної амплітуди та енергії сигналу фазової змінної в зоні сильного граничного циклу, а також негармонічному характері форми сигналу. Форма сигналу нагадує синусоїду із «проваленими вершинами» за рахунок суттєвої відмінності вищих гармонік основної частоти від нуля рис.4.11.

Періодичні зони та хаотична зона є основними зонами генератора Дуфінга під час зміни біфуркаційних параметрів, але між ними присутні ще

доволі широкі перехідні зони в яких періодичні сигнали та сигнали та сигнали детермінованого хаосу існують по черзі. Такі зони названо перехідними зонами, або зонами перемежування. Зони перемежування характеризуються формою сигналу близькою до хаотичної, але низькочастотні та високочастотні складові не так яскраво виражені, як в хаотичній зоні. Тобто рівень сигналу низькочастотних складових значно менший за рівень сигналу низькочастотних складових під час хаотичного та гіперхаотичного режимів.

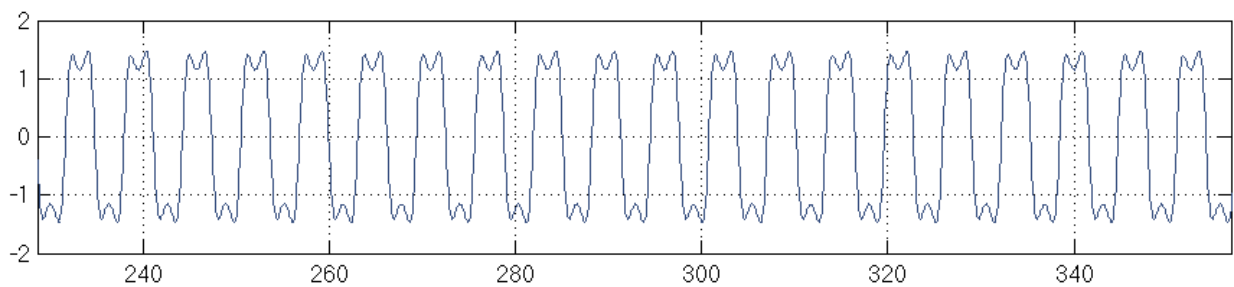


Рисунок 4.11 – Форма сигналу генератора Дуфінга в зоні сильного граничного циклу

Широка перехідна зона характеризується тим, що значення рівнів сигналів на виході ФНЧ в хаотичній зоні та в зоні параметрів слабого граничного циклу можуть відрізнятись в декілька сотен разів, а додавання зовнішнього синхронного періодичного сигналу разом із внутрішнім опорним сигналом створюють умови для появи хаотичного режиму.

В вузькій перехідній зоні ситуація змінюється на протилежну, додавання зовнішнього сигналу переводить генератор детермінованого хаосу Дуфінга із хаотичного режиму в режим сильного граничного циклу. В результаті відношення рівнів сигналів на виході ФНЧ складає тільки до десяти разів, що цілком достатньо для впевненого виявлення такого переходу.

Отже детектор магнітного поля може застосовувати і вузьку і широку перехідну зону для детектування слабких періодичних сигналів та

визначення фазових співвідношень між ними для забезпечення розпізнавання типу магнітних речовин.

4.4 Результати імітаційного моделювання впливу шуму

Для більш повного аналізу проведено ряд досліджень виявлення слабких сигналів на фоні завад для різних робочих зон та різних значень біфуркаційних параметрів (рис.4.12 – рис.4.14).

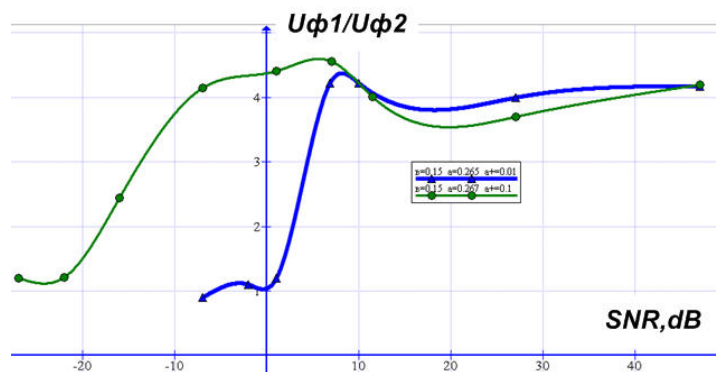


Рисунок 4.12 – Залежність відношення середньоквадратичних значень сигналів на виході ФНЧ для вузької перехідної зони

Як і передбачалось попередніми точковими дослідженнями зон біфуркаційних параметрів відповідальних за режими роботи відмінність у значеннях хаотичного та квазіперіодичного режиму (див. рис.4.12) складає для робочих відношень сигнал – шум близько 4 (рис.4.12) тобто рівень сигналу на виході ФНЧ для режиму сильного граничного циклу лише декілька разів більше за сукупний рівень впливу низькочастотних складових в хаотичному режимі.

Але для користувачів, що обрали роботу охоронної системи магнітного детектування є і позитивний момент: у вузькій перехідній зоні можливо так підібрати значення біфуркаційних параметрів, щоб забезпечувалась можливість роботи за умови десятикратного перевищення рівня завад над рівнем сигналу (див. рис.4.13). Але встановлення цих параметрів і

підтримання їх значень потребує стабілізації та ряду заходів для забезпечення довготривалої точності.

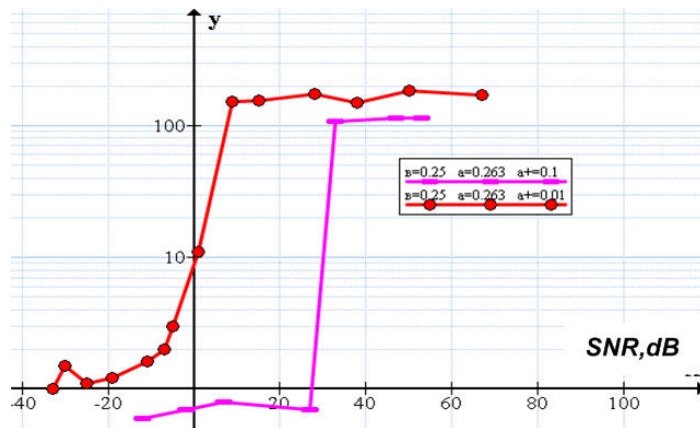


Рисунок 4.13 – Залежність відношення середньоквадратичних значень сигналів на виході ФНЧ для широкої перехідної зони

Найбільш вдалим виявилось розташування біфуркаційних параметрів для забезпечення критичного режиму у широкій перехідній зоні ближче до зони хаосу (див.рис.4.13). Найбільш оптимальні значення виділено червоною рамкою на рис.4.14. Робота під час встановлення саме таких значень забезпечує найбільш впевнену ідентифікацію хаотичного режиму, якщо раніше був режим слабого граничного циклу.

Оптимальні параметри забезпечують впевнене виявлення низькочастотних складових сигналу в реальному часі в умовах завад якщо відношення сигнал-шум складає до мінус 10дБ. Тобто можлива робота «під рівнем шумів», коли завада значно переважає періодичний сигнал (ПС) (рис.4.14). Це є першою позитивною якістю оптимального режиму.

Другим позитивним моментом вибору параметрів генератора Дуфінга для магнітного детектування в охоронних системах є стабільність відношення рівнів сигналів на виході ФНЧ. Тобто адитивний БГШ однаково впливає на генератор Дуфінга як в режимі хаосу, так в режимі генерації ПС до відношень сигналу шум більше 100дБ. Хоча слід зазначити, що під час зміни первинних параметрів ініціалізації (параметри неконсервативності)

можливо переміщення атрактору без суттєвої зміни масштабу на декілька апертур атрактора вздовж однієї із координатних осей.

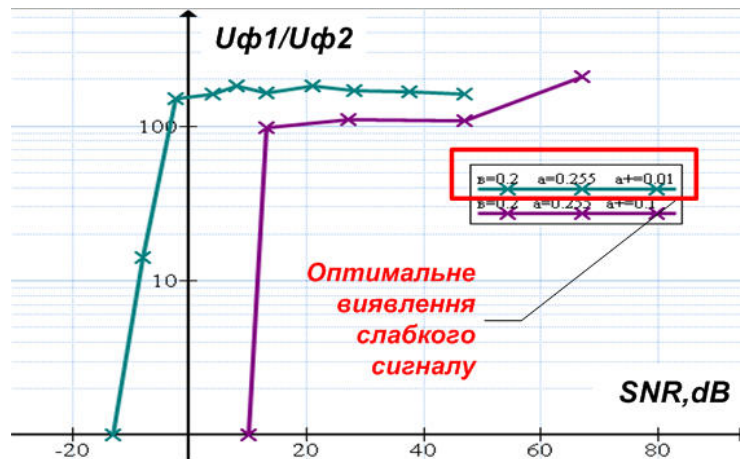


Рисунок 4.14 – Оптимальна залежність відношення середньоквадратичних значень сигналів на виході ФНЧ для широкої перехідної зони

Третім позитивним моментом оптимального режиму (рис.4.14) є висока чутливість до зміни амплітуди вхідного сигналу. Що і є основним завданням розробки методу магнітного детектування для охоронних систем, що реалізується в цій магістерській роботі.

Таким чином, після імітаційного моделювання можливо зробити наступні висновки:

1. Вузька перехідна зона хаос - великий граничний цикл має низький запас завадостійкості, хоча дозволяє працювати в більшому діапазоні SNR.
2. Знайдено оптимальні параметри для генератора Дуфінга, що відповідають чіткому встановленню режиму (більш як в 100разів) за допомогою ФНЧ 4-го порядку

4.5 Пристрій для охоронного магнітного детектування на основі хаотичної обробки

Пристрій для охоронних систем детектування магнітного поля від металевих предметів на основі хаотичної обробки сигналів може

застосовуватись як елемент комплексної охоронної системи периметрів об'єктів цивільного та військового призначення.

Структурно, всю схему пристрою (рис.4.15) можливо поділити на декілька функціональних сукупностей блоків:

1. блоки передавання та синхронізації;
2. блоки приймання та дискримінації металів;
3. блоки хаотичної обробки;
4. блоки налаштування параметрів виявлення порушника;
5. інтерфейсні та індикаторні блоки.

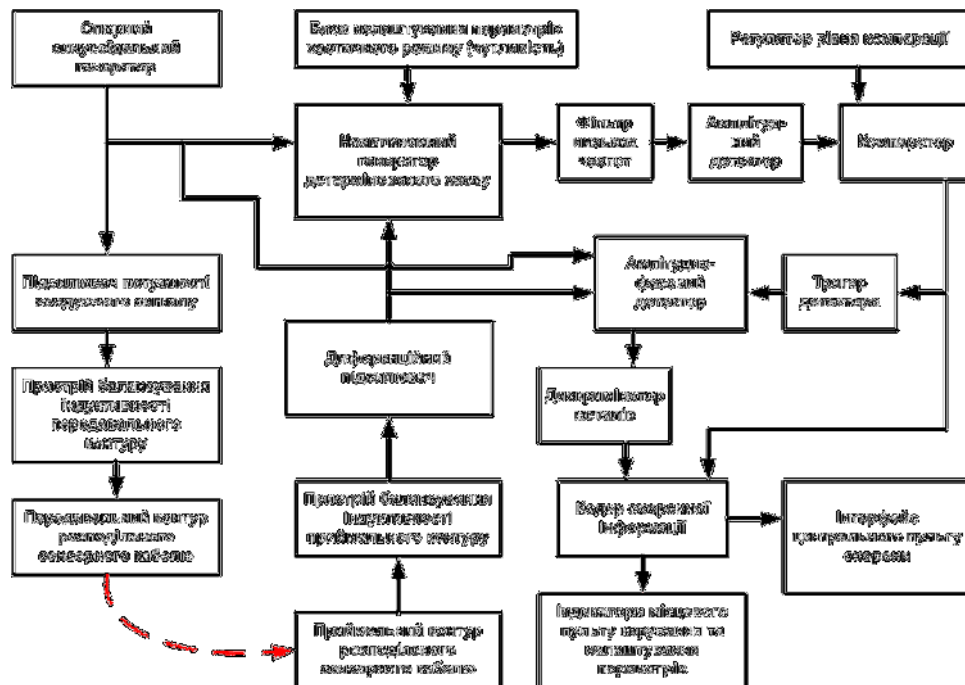


Рисунок 4.15 – Структурна схема пристрою магнітного детектування об'єктів для охоронних систем на базі хаотичної обробки сигналів індуктивно збалансованих розподілених сенсорів

Розглянемо перелік окремих блоків функціональних сукупностей та порядок їх функціонування під час налаштування та робочого режиму виявлення порушників периметральної системи охорони.

Основним елементом системи (рис.4.15) є опорний синусоїдальний генератор, що працює в діапазоні дуже низьких частот та створює зондуєчий

сигнал для розподіленої системи індуктивностей охоронного контуру. Сигнал опорної частоти через підсилювач потужності надходить на передавальний контур розподіленого сенсорного кабелю, що збалансовано із приймальним контуром за допомогою пристрою балансування індуктивностей передавального контуру, а також і приймального контуру. Баланс полягає у такому взаємному налаштуванні та підключенні контура, за якого в приймальній системі не створюється сигнал від передавального контуру. Балансування здійснюється на основі додаткових котушок індуктивності та прокладання спеціальних сенсорних кабелів.

Під час появи порушника в зоні сенсорного елемента системи сукупний індуктивний баланс порушується, в результаті чого на виході приймального контуру розподіленого сенсорного кабелю в блоці приймання та дискримінації сигналів з'являється сигнал опорної частоти, що підсилюється диференційним підсилювачем та надходить на фазовий детектор. Другий вхід фазового детектора підключено до опорного синусоїдального генератора. Якщо тригер амплітудно-фазового детектора дозволяє йому робити, то наслідки вимірювання амплітуди та фазового зсуву між опорним та прийнятим сигналом надходять на дискримінатор металів, що приймає рішення про характер металевого предмету, що має порушник периметру та його кількість (вагу, об'єм).

Дискримінатор може бути складним блоком, устаткований спеціалізованою ЕОМ або навіть нейронною системою виявлення. Адекватність роботи дискримінатора металів визначає загальну реакцію охоронної системи на конкретного порушника.

Особливостями пристрою є застосування блоку хаотичної обробки на основі НХГ (рис.4.15). Першим опорним сигналом НХГ є сигнал від передавача, а саме від блоку опорний синусоїдальний генератор, цей сигнал має бути певного рівня, що встановлюється блоком налаштування параметрів хаотичного режиму і суттєво впливає на результуюче значення чутливості до де балансування приймального та передавального контурів. Другим сигналом

для реалізації процесу роботи хаотичного виявника за запропонованим у цій роботі методом є сигнал з виходу диференційного підсилювача, що фактично є вхідним сигналом для хаотичного виявлення.

За умови достатнього рівня сигналу з виходу диференційного підсилювача НХГ частково або повністю змінює режим роботи, що викликає зміну спектру, яка, в свою чергу фіксується за допомогою фільтру низьких частот та амплітудного квадратичного детектора. Якщо рівень сигналу на виході амплітудного детектора вищий за рівень, що встановлено регулятором рівня компарації, то компаратор в блоці хаотичної обробки запускає тригер детектора і амплітудно-фазовий детектор визначає параметри для дискримінатора металів.

Система охорони периметрів будується за модульним принципом, де пристрій для магнітного детектування (рис. 4.15) є тільки одним із елементів що пов'язані із центральним пультом охорони надійними інтерфейсними структурами передачі даних на досить значні відстані (до десятків кілометрів). Тому, окремі елементи мають мати власні місцеві пульти, що встатковано індикаторними елементами та елементами, що дозволяють провести первинне калібрування та налаштування системи, а також і індикатори дискримінатора металів.

Всі зібрані дані через інтерфейс центрального пульта охорони надходять до чергового по системі охорони, або центрального пристрою прийняття рішення на запуск сповіщувачів та адекватну реакцію на порушення периметру.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз вимірювальних параметрів магнітних величин, розглянуто класифікації речовин за магнітними властивостями, проаналізовано верхній рівень класифікації методів вимірювання магнітних величин, показано, що для практичного застосування в системах охорони найбільш доцільно використовувати індуктивні магнітометри.

2. Розглянуто принципи роботи окремого класу магнітометрів – метало детекторів для застосування в сучасних системах охорони периметрів. На основі аналізу параметрів та характеристик метало детекторів різних типів показано доцільність застосування метало детекторів, робота яких ґрунтується на встановленні ІНБ чутливих елементів.

3. Проведено аналіз конструкцій систем охорони на основі дискретних та розподілених сенсорних магніточутливих елементів. Встановлено, що системи на основі розподілених сенсорних елементів мають простіше виконання, дешевше обслуговування, а також можуть застосовуватись в широкому спектрі середовищ, в тому числі і під водою.

4. Запропоновано за основу магніточутливої частини пристрою обслуговування розподілених сенсорів використати елементи структурної будови градієнтного ферозондового магнітометру, що побудовано на основі способу індуктивного балансу та подальшої диференційної обробки.

5. Запропоновано для забезпечення високої чутливості магнітометричних вимірювань для детектування слабких сигналів на фоні потужних завад застосувати нелінійний спосіб обробки на основі хаотичного режиму неавтономних генераторів. Розглянуто особливості, можливості та перспективи застосування методів нелінійної динаміки для забезпечення підвищення тактико-технічних показників магнітодетекторів із розподіленими сенсорами.

6. Проведено аналіз можливостей використання хаотичних виявників в рамках оптимальної обробки сигналів. Встановлено, що для досягнення

високої чутливості в рамках обраного способу вимірювання параметрів магнітного поля на основі градієнтного магнітометра, доцільно застосовувати хаотичні виявники на основі амплітудно-фазової обробки зовнішнього керуючого сигналу. Запропонована класифікаційна схема можливих варіантів оптимальної обробки сигналів магнітометрів, на схемі виділено обраний напрямок розробки.

7. Запропоновано як спосіб ідентифікації режимів хаотичних генераторів в складі хаотичного виявника використовувати аналіз спектральних складових, значення частоти яких менше значення опорної частоти роботи магнітодетектора. Виділення пошукуваних значень проводиться на основі фільтра низьких частот 4 порядку. Запропоновано класифікаційну схему способів ідентифікації хаотичних режимів, показано місце обраної схеми серед аналогів та прототипів.

8. Проведено імітаційне моделювання роботи хаотичного неавтономного генератора Дуфінга із кубічною не лінійністю у складі хаотичного виявника із ідентифікацією режимів за допомогою низькочастотної фільтрації. Результати імітаційного моделювання (див додаток Д) дозволили визначитись із необхідним порядком та типом фільтру, та зонами значень біфуркаційних параметрів, що забезпечують оптимальну роботу по ідентифікації періодичного та хаотичного режимів.

9. Запропоновано структурну схему пристрою для магнітного детектування в складі охоронних систем із розподіленими сенсорами, проведено імітаційне моделювання виявлення сигналів від випромінюючої системи кабелів на основі хаотичного виявника під час наявності та відсутності сигналів для різних зон детектування за умови різних відношень сигнал – завад. Встановлено, що можливості хаотичного виявника дозволяють визначати факт порушення периметру охорони навіть за перевищення потужності шуму над потужністю сигналу у 20 дБ (100р). Такий значний результат може бути реалізований тільки за умови високої точності та стабільності елементів хаотичного виявника.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Стащук В.С., Сухорада А.В., Гузій М.І. Основи магнетизму (навчальний посібник для студентів I-II курсів геофізичної спеціальності. Вид. КДУ, 2004.-120с.
2. Создание и измерение магнитного поля / Киров С.А., Салецкий А.М., Харабадзе Д.Э. Учебное пособие. М.: ООП Физ. фак-та МГУ, 2010. - 155 с.
3. Заболотнов В. Н. Средства измерений магнитных величин: аналитический обзор / В. Н. Заболотнов, В. Т. Минлигареев // Мир измерений. – 2013. – № 4. – 63 с.
4. Козлов М. Г. Принципы, лежащие в основе магнитных измерений. Метрология и стандартизация / М. Г. Козлов. – М., СПб.: изд. «Петербургский ин-т печати», 2001. – 372 с.
5. Схеми ввімкнення та основні розрахункові співвідношення індукційних магнітометрів / Нічога В. О., Проненко В. О., Салдан О. В., Стефанишин І. В. // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Радіоелектроніка та телекомунікації : збірник наукових праць. – 2015. – № 818. – С. 25–31.
6. Мікроелектронні сенсори фізичних величин: Науково навчальне видання. В 3 томах. Том 1/ За ред. З.Ю. Готри. Львів: Ліга-Прес, 2002. – 475с.
7. Саулов А. Ю. Металлоискатели для любителей и профессионалов. - СПб.: Наука и Техника, 2004.-224 с.: ил.
8. Залогин, Н.Н., Кислов В.В. Широкополосные хаотические сигналы в радиотехнических и информационных системах. – М.: Радиотехника, 2006. – 208 с.
9. Щедрин А. И. Новые металлоискатели для поиска кладов и реликвий. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Горячая линия-Телеком, 2003. - 176 с, ил.
10. 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.

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

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. 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.

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

19. Патрушева, Т. В. Качественный анализ динамики измерительного преобразователя на основе неавтономного генератора хаоса / Т. В. Патрушева, Е. М. Патрушев // Ползуновский альманах. – 2011. – № 1. – С. 10-13.

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

21. Основи теорії кіл: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. Ч. 2. / Ю. О. Коваль, Л. В. Гринченко, І. О. Милютченко, О. І. Рибін / За загальною редакцією В. М. Шокала та В. І. Правди.— Харків, ТОВ «Компанія СМІТ», 2008, 560с.

22. Федотов, А. В. Теория и расчет индуктивных датчиков перемещений для систем автоматического контроля: монография / А. В. Федотов. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. – 176 с.

23. Арбузов С. О. Магниточувствительные поисковые приборы // Специальная техника. – 2000. – № 6. – С. 12-19.

24. Груба И. И. Системы охранной сигнализации. Технические средства обнаружения / И. И. Груба. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2012. – 220с.

25. Магауенов Р. Г. Системы охранной сигнализации: Основы теории и принципы построения. – М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 493 с.

26. Введенский Б. С. Оборудование для охраны периметров. М.: Мир безопасности, 2002. – 112 с.

27. Рыкунов В. Д. Охранные системы и технические средства физической защиты. – М.: Security Focus, 2011. – 288 с.

28. Звежинский С. С., Иванов В. А., Гомонов А. Н. Средства обнаружения для территориально распределенных систем охраны // БДИ. – 2006. – № 3. – С. 54-57.

29. Бондар П. М. Вимірювальні перетворювачі, прилади та системи [Електронний ресурс] : конспект лекцій / П. М. Бондар // Кафедра ПСОН ; НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського». – 2009. – Режим доступу : <http://kafpson.kpi.ua/Arhiv/Bondar/lecture1.pdf>

30.Власкин К.И. Разработка электромагнитных систем малогабаритных прецизионных преобразователей феррозондового типа: диссертация канд. физ.-мат. наук. – Ижевск, 2014. – 150 с.

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

32.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.

33.Патрушева, Т. В. Синтез возможных путей построения измерительных преобразователей на основе генераторов хаоса [Текст] / Т. В. Патрушева // Ползуновский альманах. – Барнаул, 2012. – № 2. – С. 96–98.

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

35.Прищепов С.К., Власкин К.И. Магнитометрический прибор для обнаружения скрытых подземных объектов // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – № 1. – С. 111-113.

36.K. Murali, M. Lakshmanan, L .O. Chua, The simplest dissipative nonautonomous chaotic circuit/ IEEE Trans. Circuits Syst, 1994.Vol.41, pp462-463.

37.Мачехин Ю. П. Физические основы метрологии нелинейных динамических систем / Ю. П. Мачехин, Ю. С. Курской // Украинский метрологический журнал - 2017 - N 1 - с. 8-10.

38.Шахарин, Б.И. Исследование режимов генераторов хаоса / Б.И. Шахарин, Ю.А. Сидоркина, В.Ю. Аливер, П.И. Кобылкина // Радиотехника и электроника. – 2003. – Т. 48. – № 12. – С. 1471–1483.

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

ДОДАТОК А
МАГНІТНІ ПАРАМЕТРИ РЕЧОВИН ТА ЗАСОБИ ЇХ ВИМІРЮВАННЯ

Таблиця А.1 – Абсолютна та відносна проникності речовин

Вещество	↔	Абсолютная μ [Гн/м]	Относительная μ/μ_0
Метглас (англ. <i>Metglas</i>)		1,25	1 000 000
Наноперм (англ. <i>Nanoperm</i>)		10×10^{-2}	80 000
Мю-металл		$2,5 \times 10^{-2}$	20 000
Мю-металл			50 000
Пермаллой		$1,0 \times 10^{-2}$	8000
Электротехническая сталь		$5,0 \times 10^{-3}$	4000
Феррит (никель-цинк)		$2,0 \times 10^{-5} — 8,0 \times 10^{-4}$	16-640
Феррит (марганец-цинк)		$>8,0 \times 10^{-4}$	640 (и более)
Сталь		$1\ 26 \times 10^{-4}$	100
Никель		$1,25 \times 10^{-4}$	100 — 600
Неодимовый магнит			1.05
Платина		$1,2569701 \times 10^{-6}$	1,000265
Алюминий		$1,2566650 \times 10^{-6}$	1,000022
Дерево			1,00000043
Воздух			1,00000037
Бетон			1
Вакуум		$1,2566371 \times 10^{-6} (\mu_0)$	1
Водород		$1,2566371 \times 10^{-6}$	1,0000000
Тефлон		$1,2567 \times 10^{-6}$	1,0000
Сапфир		$1,2566368 \times 10^{-6}$	0,99999976
Медь		$1,2566290 \times 10^{-6}$	0,9999994
Вода		$1,2566270 \times 10^{-6}$	0,9999992
Висмут			0,999834
Сверхпроводники		0	0

Таблиця А.2 – Магнітометри та їх порівняльна характеристика

Тип магнітометра	Особливості	Застосування	Переваги	Недоліки
1. Індукційні магнітометри	- можливість мінімізації вимірювальної апаратури; - малі динамічні похибки	- космічні дослідження; - геофізичні дослідження	Одержання інформації в цифровому вигляді	Високі вимоги до вимірювача складових напруженості та кутів нахилу об'єкта
2. Подвійні трьохкомпонентні магнітометри	- висока надійність; - оптичне калібрування напрямків; - низька потужність, що споживається; - режим перевірки працездатності в умовах експлуатації	В системах орієнтації супутників	- цифровий дубльований інтерфейс; - прилад розроблений за принципом «холодного» резервування	-
3. Обсерваторні магнітометри	Високоточні громіздки апарати	Космічні дослідження	Висока точність	Великі розміри, складність
4. Акселерометри	- регулювання діапазону чутливості; - використовується в цифрових компасах; - побудований на мікросхемах (наприклад, MMA7260Q); - живлення 5 В [4]	Вимірювання кутів нахилу (крену), тангажу і нилання	Реагує на прискорення, на рівнодіючу силу, прикладену до датчика	-
5. Прості електронні компаси (на трьох осях)	- магніторезистивний принцип роботи; - побудований на мікросхемах (наприклад, HMC5883L); - живлення мікросхеми 3,3 В [5]	Вимірювання напряму силових ліній і величини магнітного поля Землі	Має інтерфейс I ² C	-
6. Магнітометри Холла на основі датчиків Холла	- діапазон вимірювань 1000 мТл (НВ1200.3А) і 2000 мТл (НВ1200.5А) зі збільшеною до 140 мм довжиною штока	Призначені для вимірювання величини магнітної індукції на основі перетворення її величини у вихідну напругу	Можливість передачі результатів вимірювань на комп'ютер через інтерфейс RS-232	-
7. Електронні компаси	- побудовані на мікросхемах (наприклад, LSM303DLH [6]); - чутливість до 1,5 Гс; - живлення мікросхеми 3,3 В	Вимірювання напряму силових ліній і величини магнітного поля Землі	-	Плаваючі результати по осі в межах 10 °

Таблиця А.3 – Тактико-технічні характеристики металодетекторів

Фірма – виробник	Назва моделі	Дальність виявл. на повітрі (монети діаметром 25мм / металевого відра), см	Принцип, за яким працює	Баланс ґрунта (компенсація впливу мінералізації ґрунта): ручна / автоматична/ фіксована
АКА	Юніор	40/180	TR/IB	+/-/-
Minelab	Musketeer	30/80	TR/IB	+/+/-
Garrett	ACE 250	20/60	TR/IB	-/-/+
Tesoro	Compadre	17/100	TR/IB	-/+/-
Fisher	1270	25/75	TR/IB	-/+/+
PULSE STAR	II PRO	-/120	PI	+/+/-

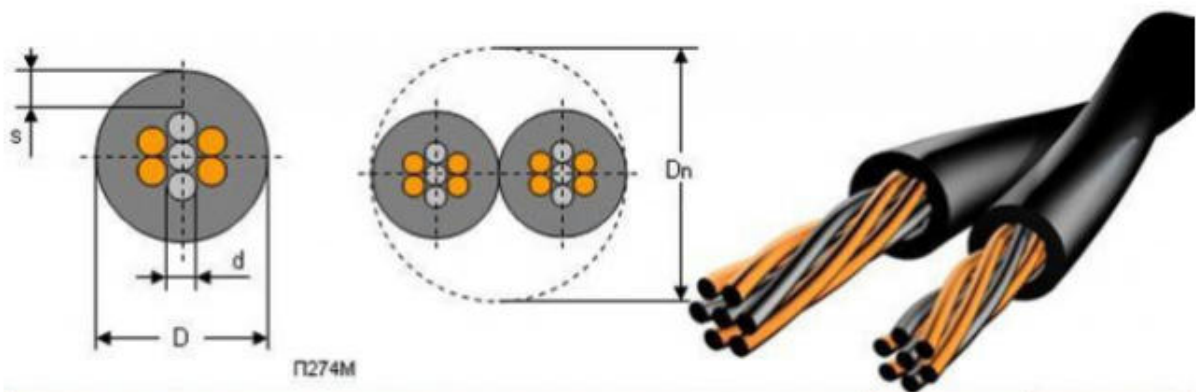
ДОДАТОК Б

КАБЕЛІ ДЛЯ МАГНІТОМЕТРИЧНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ СЕНСОРІВ

Таблиця Б.1 – Розрахунок діаметру жил кабеля для використання у сповіщувачх охоронних систем

Потребляемый ток, ампер	Протяженность линии СОУЭ, метр													
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	130	140	160	180
0,05	0,16	0,2	0,2	0,23	0,25	0,28	0,28	0,3	0,32	0,34	0,36	0,37	0,39	0,42
0,1	0,2	0,25	0,28	0,32	0,34	0,37	0,39	0,42	0,44	0,47	0,51	0,52	0,55	0,59
0,15	0,25	0,3	0,34	0,39	0,42	0,45	0,48	0,52	0,54	0,57	0,61	0,64	0,68	0,73
0,2	0,28	0,34	0,39	0,44	0,48	0,52	0,55	0,59	0,62	0,65	0,71	0,73	0,78	0,83
0,25	0,32	0,39	0,44	0,49	0,54	0,58	0,62	0,66	0,7	0,73	0,79	0,82	0,88	0,93
0,3	0,34	0,42	0,48	0,54	0,59	0,64	0,68	0,73	0,76	0,79	0,86	0,9	0,96	1,02
0,35	0,38	0,45	0,52	0,58	0,64	0,69	0,73	0,78	0,82	0,86	0,93	0,97	1,04	1,1
0,4	0,39	0,48	0,55	0,62	0,68	0,73	0,78	0,83	0,88	0,92	1	1,04	1,1	1,17
0,45	0,42	0,52	0,59	0,66	0,73	0,78	0,83	0,88	0,93	0,97	1,06	1,1	1,17	1,25
0,5	0,44	0,54	0,62	0,7	0,76	0,82	0,88	0,93	0,98	1,03	1,12	1,15	1,24	1,31
0,55	0,47	0,57	0,65	0,73	0,79	0,86	0,92	0,97	1,03	1,07	1,17	1,21	1,31	1,37
0,6	0,48	0,59	0,68	0,76	0,83	0,9	0,96	1,02	1,07	1,12	1,22	1,27	1,35	1,44
0,65	0,51	0,61	0,71	0,79	0,86	0,93	1	1,06	1,12	1,17	1,27	1,32	1,41	1,49
0,7	0,52	0,64	0,73	0,82	0,9	0,97	1,04	1,1	1,15	1,21	1,32	1,37	1,46	1,55
0,75	0,54	0,66	0,76	0,85	0,93	1	1,07	1,14	1,2	1,26	1,36	1,41	1,51	1,61
0,8	0,55	0,68	0,78	0,88	0,96	1,04	1,1	1,17	1,24	1,3	1,41	1,46	1,56	1,66
0,85	0,58	0,7	0,81	0,91	0,99	1,07	1,14	1,21	1,28	1,33	1,45	1,51	1,61	1,71
0,9	0,59	0,73	0,83	0,93	1,02	1,1	1,17	1,25	1,33	1,37	1,49	1,55	1,66	1,76
0,95	0,61	0,74	0,85	0,95	1,04	1,13	1,2	1,28	1,34	1,41	1,54	1,59	1,7	
1	0,62	0,76	0,88	0,98	1,07	1,15	1,24	1,31	1,38	1,45	1,57	1,63	1,75	
1,05	0,64	0,78	0,9	1	1,1	1,19	1,27	1,34	1,41	1,48	1,61	1,68		
1,1	0,65	0,79	0,92	1,03	1,12	1,21	1,3	1,37	1,45	1,52	1,65	1,71		
1,15	0,67	0,82	0,94	1,05	1,15	1,24	1,33	1,41	1,48	1,55	1,69	1,75		
1,2	0,68	0,83	0,96	1,07	1,17	1,27	1,35	1,44	1,51	1,59	1,72			
1,25	0,7	0,85	0,98	1,09	1,2	1,29	1,38	1,46	1,54	1,62				
1,3	0,71	0,86	1	1,12	1,22	1,32	1,41	1,49	1,57	1,65				
1,35	0,73	0,88	1,02	1,14	1,25	1,34	1,44	1,52	1,61	1,68				
1,4	0,73	0,9	1,04	1,15	1,27	1,37	1,46	1,55	1,63	1,71				
1,45	0,75	0,91	1,05	1,16	1,29	1,39	1,49	1,58	1,66	1,74				
1,5	0,76	0,93	1,07	1,2	1,31	1,41	1,51	1,61	1,69	1,77				
1,55	0,78	0,95	1,09	1,23	1,33	1,44	1,54	1,63	1,72					
1,6	0,78	0,96	1,1	1,24	1,35	1,46	1,56	1,66	1,75					
1,65	0,79	0,97	1,12	1,26	1,37	1,48	1,59	1,68	1,77					

- цвет для диаметра 0,5мм.
 - цвет для диаметра 0,64мм.
 - цвет для диаметра 0,8мм.
 - цвет для диаметра 0,97 мм.
 - цвет для диаметра 1,13мм.
 - цвет для диаметра 1,36мм.
 - цвет для диаметра 1,78мм.
U 75П = 20,5 В
U мин. оповещения * 18 В



ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ		ЕД. ИЗМ	П 274 М
Электрическое сопротивление жилы	T=20°C	Ом/км	< 65
Асимметрия жил, по сопротивлению	MAX	Ом	< 3
Сопротивление изоляции	1 час в воде	Мом/км	> 1000
Количество проволок в жиле	медных	шт.	4
	стальных	шт.	3
Максимальный диаметр изолированной жилы	MAX [D]	мм	2,3
	MIN [D]	мм	1,9
Минимальная толщина изоляционно-защитной оболочки	[s]	мм	0,5
Наружный размер провода	MAX [Dn]	мм	4,6
Кратность шага скрутки эл. жилы	x d	мм	20
Шаг скрутки изолированных жил в пару		мм	80
Медная проволока МТ, диаметром	d	мм	0,3
Стальная проволока, диаметром	d	мм	0,3
Защитное покрытие стальной проволоки			Цинк

Рисунок Б.1 – Конструкція та основні параметри кабелю П274М, що застосовуються для магнітометричних розподілених систем охорони периметрів

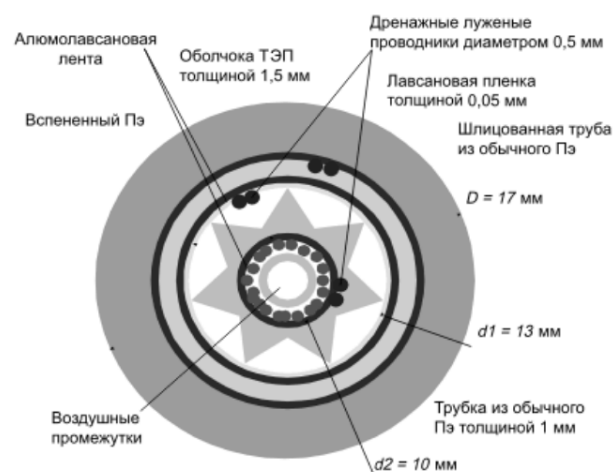


Рисунок Б.2 – Внутрішня будова магнітосейсмометричного сенсорного кабелю для периметричних охоронних систем

ДОДАТОК В

СИСТЕМИ ОХОРОНИ НА ОСНОВІ РОЗПОДІЛЕНИХ ПРОВОДОВИХ
ЛІНІЙ ПЕРЕДАЧІ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Название и фирма изготовитель	Внешний вид	Основные тактико-технические характеристики
Извещатели серии «Импульс-20» НТЦ «Электронная аппаратура»		Двухфланговый; Протяженность зоны обнаружения 5-350 м; Напряжение питания 20-36В; Ток потребления не более 50 мА; Диапазон рабочих температур от -50°С до +65°С; Работоспособность при скорости ветра до 30 м/с; Степень защиты корпусов блоков - IP65; Вероятность обнаружения не менее 0,98; Срок службы блоков изделия не менее 10 лет.
Извещатели серии «Импульс-мини» НТЦ «Электронная аппаратура»		Двухфланговый; Объемная чувствительная зона обнаружения протяженностью от 2×5 до 2х250 м (от 5 м до 250 м), сечением 2 х 2 м.; Напряжение питания 20-36 В; Ток потребления не более 30 мА (60 мА на два фланга); Диапазон рабочих температур от -50°С до +50°С; Степень защиты корпусов блоков - IP65; Вероятность обнаружения не менее 0,98; Срок службы блоков изделия не менее 10 лет.
«ПАРАЛЛЕЛЬ» ЗАО «ЮМИРС»		Длина зоны обнаружения (ЗО): - для козырькового варианта 50-250м; - для приземного варианта 50-200м; Ширина ЗО (козырьковый вариант) не менее 0,7 м; Высота ЗО (приземный вариант) не менее 2 м; Номинальное напряжение 10-30 В; Потребляемый ток (при напряжении 24 В) 15 мА; Время технической готовности 90с; Температура окружающего воздуха -50...+50°С; Средний срок эксплуатации 8 лет.
РЕЛЬЕФ ЗАО «Охранная техника»		Длина зоны обнаружения: при установке «козырьком» от 25 до 250 м; при установке «приземным» типом от 25 до 200 м; Вероятность обнаружения нарушителя не менее 0,98; Напряжение питания 10-30 В; Ток потребления не более 0,045 А; Время готовности после подачи питания не более 60 сек; Время готовности после выдачи тревожного извещения не более 10 сек; Длительность тревожного извещения не менее 3 сек; Выходной сигнал: исполнительное реле (ток до 0,1 А, напряжение — до 37 В); интерфейс RS-485.
РЕЛЬЕФ-2 ЗАО «Охранная техника»		Длина зоны обнаружения при установке «козырьком» 25-500 м; Длина зоны обнаружения при установке «приземным» типом 25-400 м; Расстояние между консолями 3-9 м; Напряжение питания 10-30 В; Ток потребления 0,09 А; Рабочая температура от -40 до +80 °С.
«Газон-24» СОГО «НИКИРЭТ»		Максимальная длина блокируемого рубежа 500 (2 х 250) м; Длина каждого блокируемого участка от 10 до 250 м; Допустимый уровень травяного/снежного покрова до 1 м; Электропитание 10-30 В; Ток потребления (при Uпит =24 В) не более 85 мА; Диапазон рабочих температур, от - 50 до + 55°С.

Рисунок В.1 – Діючі системи із розподіленими кабельними сенсорами та їх зовнішній вигляд та характеристики

ДОДАТОК Г
СТРУКТУРА СУБМОДУЛІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ
SIMULINK

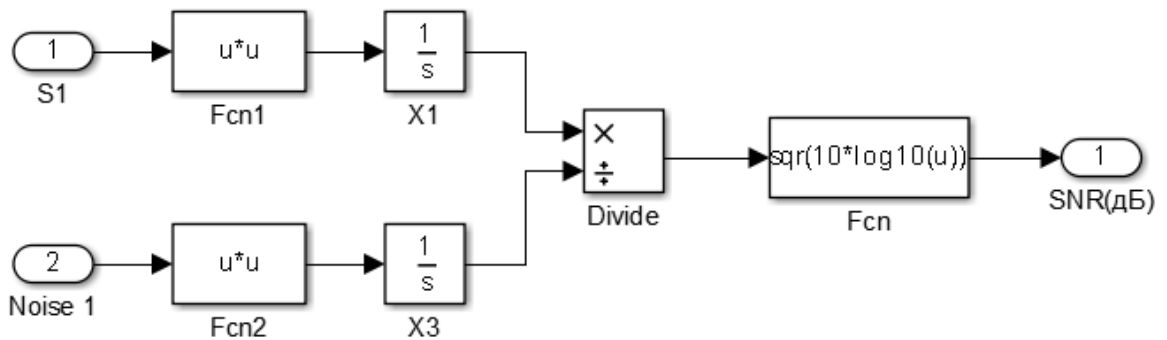


Рисунок Г.1 – Схема субмодуля обрахування відношення сигнал шум у каналі металодетектора

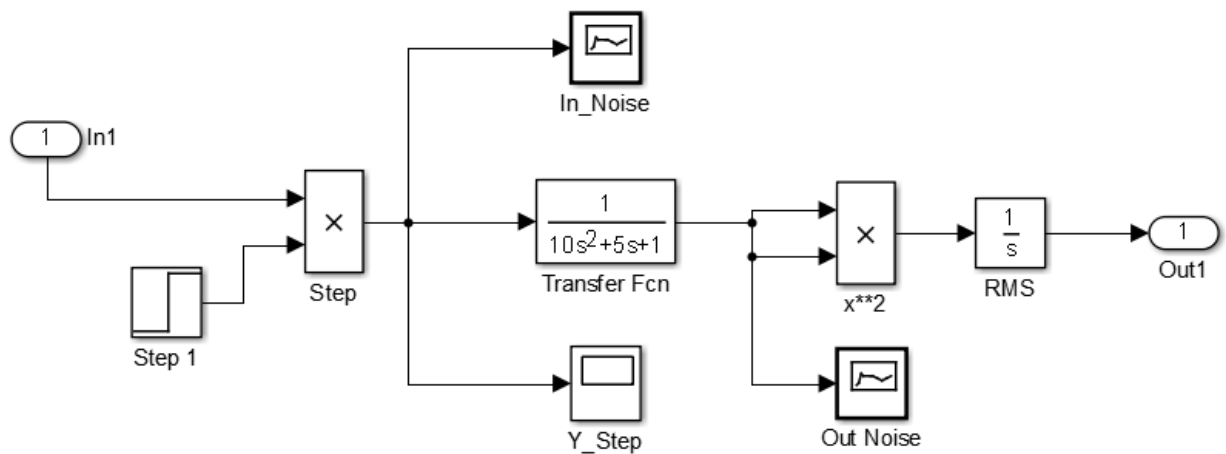


Рисунок Г.2 – Схема субмодуля низкочастотної фільтрації хаотичного сигналу

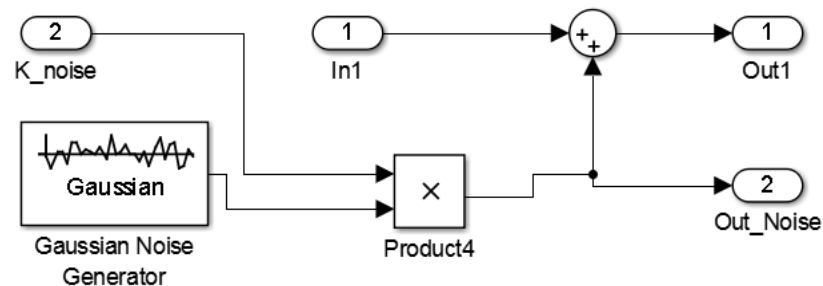


Рисунок Г.3 – Схема субмодуля встановлення рівня адитивного шуму

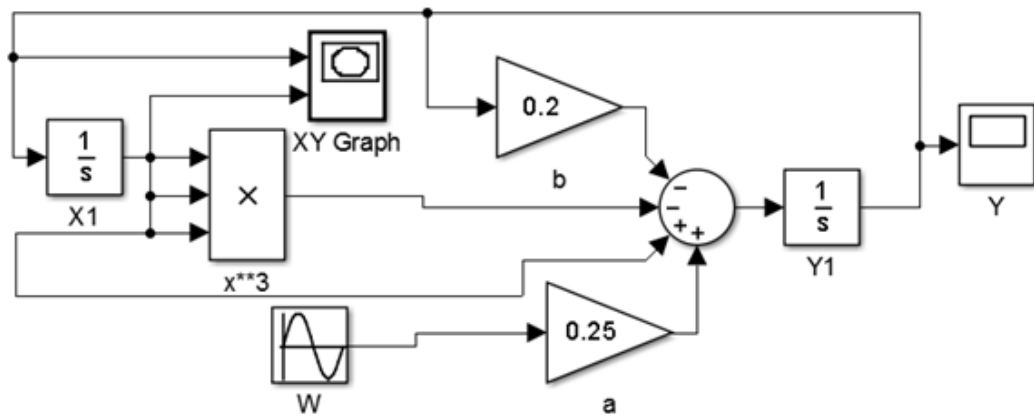


Рисунок Г.4 – Повна схема генератора Дуффінга в критичному режимі

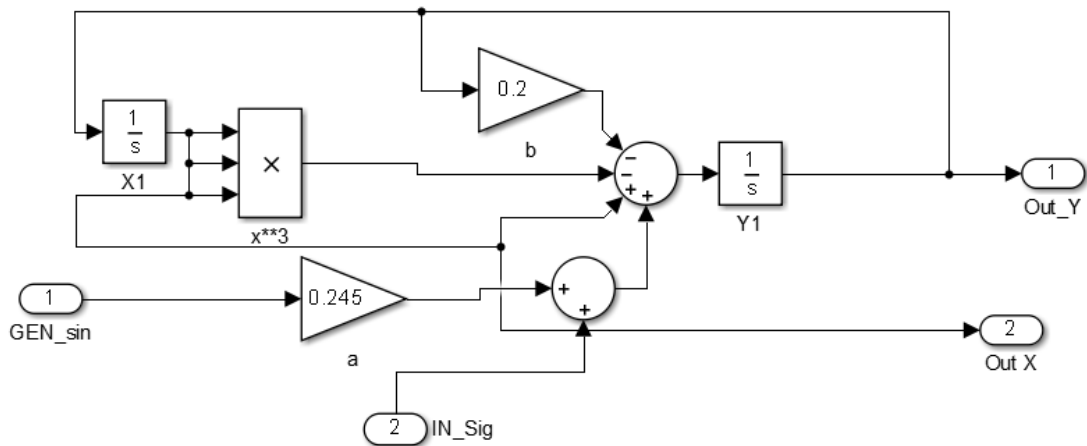


Рисунок Г.5 – Схема субмодуля неавтономного генератора Дуффінга із зовнішніми входами синусоїдального та зовнішнього сигналів

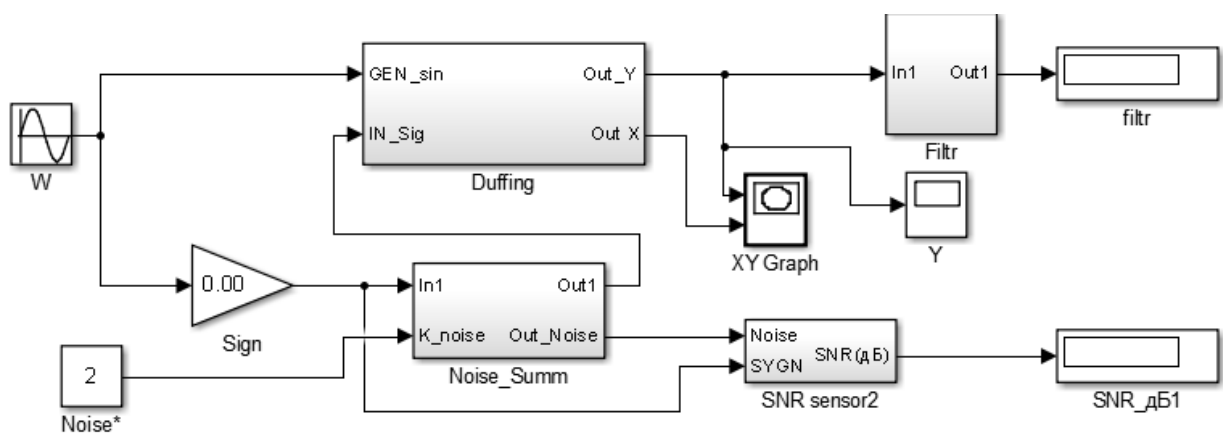


Рисунок Г.6 – Схема дослідження можливостей виявлення слабких періодичних сигналів на тлі адитивних гаусівських завад

ДОДАТОК Д

ПЛАКАТИ ДЛЯ ДОПОВІДІ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА зі спеціальності "Телекомунікації та радіотехніка"

1

Тема: **Метод та пристрій динамічного магнітного детектування в системах розподілених сенсорів охоронних кабельних систем**

Студент: Грищенко Владислав Юрійович , гр. ТРМ-19-1

Керівник: Пивовар Олег Сергійович, доц. каф. ТМІТ

Об'єкт дослідження: процеси вимірювання параметрів магнітного поля

Предмет дослідження: металодетектори комплексних охоронних систем

Мета роботи: **вдосконалення структури металодетекторів охоронних систем на основі хаотичних способів обробки для досягнення підвищеної чутливості**

Задачі дослідження:

1. Провести аналіз принципів та методів вимірювання магнітних величин, виділити методи, що є найбільш перспективними для застосування в охоронних системах.
2. Провести дослідження обмежень та недоліків виділених в.п.1 методів вимірювання магнітних величин, уточнити способи та можливості їх використання в системі розподілених сенсорів периметричних систем охорони об'єктів.
3. Розробити метод підвищення чутливості металодетекторів у складі охоронної системи периметрів споруд та територій, що ґрунтуються хаотичних принципах обробки сигналів..
4. Розробити структуру та зв'язок складових частин пристрою хаотичного магнітного детектування в системах охорони периметрів об'єктів, провести імітаційне моделювання роботи пристрою для підтвердження працездатності та виявлення особливостей під час хаотичної обробки.

МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ РЕЧОВИН

2

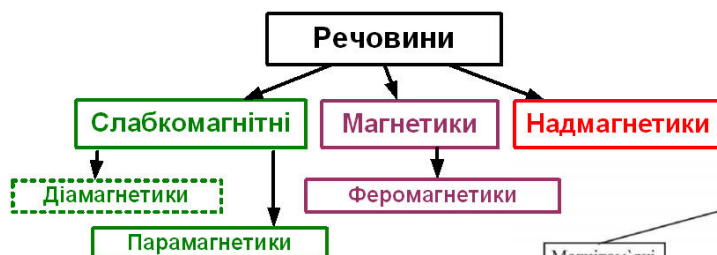


Рисунок 1 – Загальний поділ речовин за магнітними властивостями

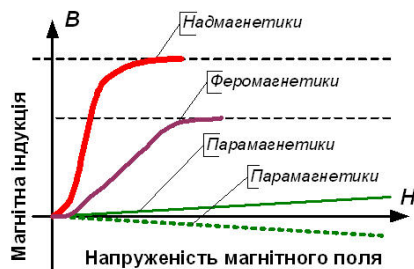


Рисунок 2 – Характеристики намагнічування речовин



Рисунок 3 –
Класифікація
магнітних
матеріалів

Всі речовини мають більші або менші магнітні властивості через елементарні рухи заряджених часток в атомах

ВИМІРЮВАННЯ МАГНІТНИХ ПАРАМЕТРІВ

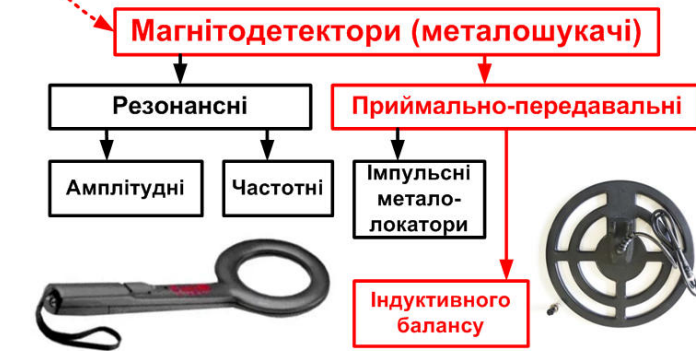
3



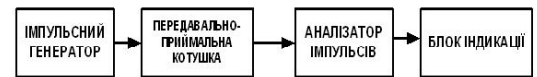
Рисуюнок 1 – Класифікація магнітометрів за принципом перетворення



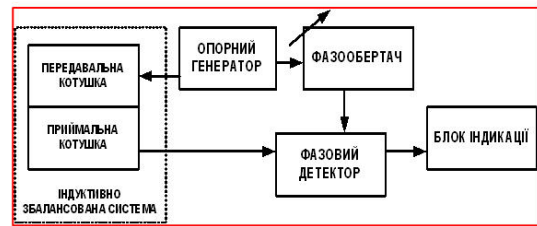
Рисуюнок 3 – Структурна схема резонансного частотного металодетектора (метод биття частот)



Рисуюнок 2 – Класифікація основних різновидів індуктивних магнітодетекторів



Рисуюнок 4 – Структурна схема імпульсного металолокатора



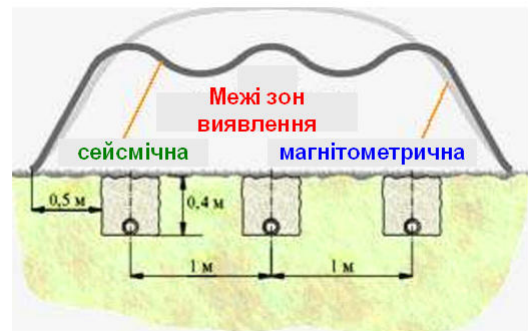
Рисуюнок 5 – Структурна схема металолокатора на основі індуктивного балансу

СИСТЕМИ ОХОРОНИ НА ОСНОВІ МЕТАЛОДЕТЕКТОРІВ ІЗ РОЗПОДІЛЕНИМИ СЕНСОРАМИ

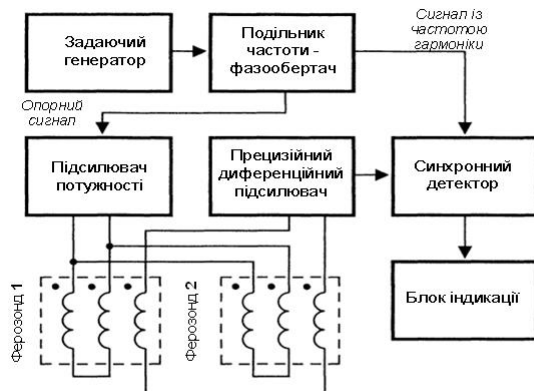
4



Рисуюнок 1 – Схема розташування елементів магнітодетектора системи охорони



Рисуюнок 3 – Схема розташування розподілених сенсорів у ґрунті



Рисуюнок 2 – Структурна схема обробки сигналів баналансно – індуктивного металодетектора



Рисуюнок 4 – Зони виявлення за допомогою розподілених магнітних сенсорів

КЛАСИФІКАЦІЯ СПОСОБІВ ОПТИМАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ МАГНІТОМЕТРІВ

5



ХАОТИЧНІ ВИЯВНИКИ ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ

6



Рисунок 1 – Узагальнена схема роботи хаотичного виявника

АНАЛІТИЧНІ МОДЕЛІ ХАОТИЧНИХ ВИЯВНИКІВ:

Хаотичний виявник Дуфінга із кубічною нелінійністю

$$d^2x/dt^2 + k dx/dt - x + x^3 = \xi(t) + \gamma_c \cos(\omega_0 t)$$

Хаотичний виявник Дуфінга із нелінійністю 5-го порядку

$$d^2x/dt^2 + k dx/dt - x^3 + x^5 = \xi(\omega_0, t) + \gamma_c \cos(\omega_0 t)$$

Хаотичний виявник Дуфінга із нелінійністю 5-го порядку та параметричним збуренням стану

$$d^2x/dt^2 + k dx/dt - x^3 + (1 + \xi(\omega_0, t))x^5 = \gamma_c \cos(\omega_0 t)$$

Хаотичний виявник Дуфінга із кубічною нелінійністю та прямим збуренням стану для довільної частоти

$$\frac{1}{\omega^2} d^2x/dt^2 + \frac{k}{\omega} dx/dt - x + x^3 = [a \cos(\omega t) + n(t)] + \gamma_c \cos(\omega_0 t)$$

Хаотичний MLC виявник із прямим збуренням стану та кусково-лінійною нелінійністю

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = y - h(x) \\ \frac{dy}{dt} = \beta y - \beta x + f \sin(\omega t) + [d \sin(\omega t) + \sigma \cdot n(t)] \end{cases}$$

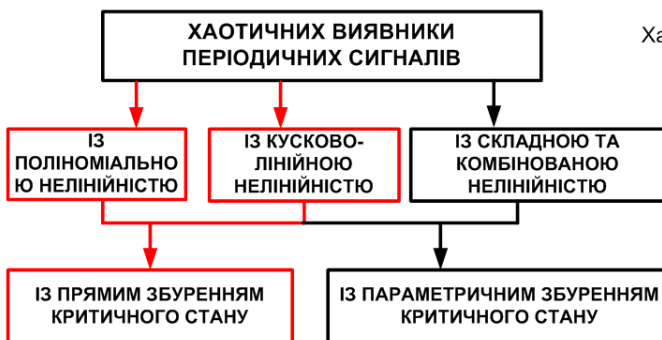


Рисунок 2 – Класифікація хаотичних виявників

АМПЛІТУДНИЙ ХАОТИЧНИЙ ВІЯВНИК

7

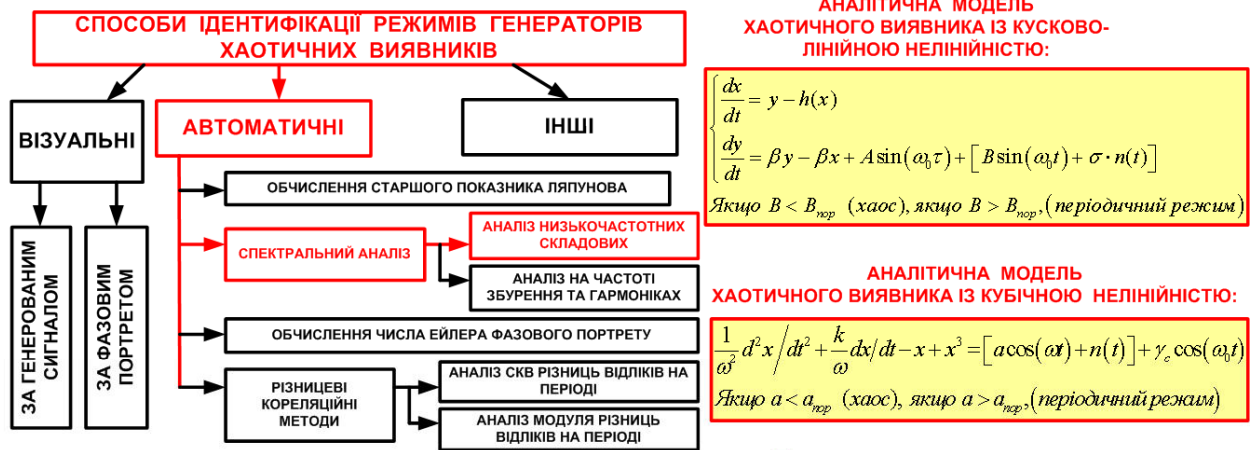


Рисунок 1 – Класифікація способів ідентифікації хаотичних режимів

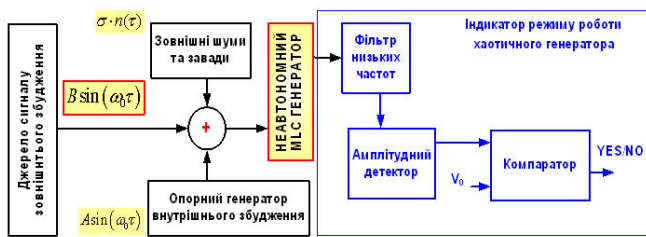


Рисунок 2 – Структурна схема амплітудного хаотичного виявника із аналізом низькочастотних складових

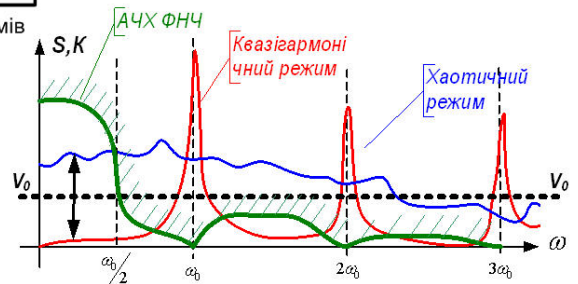


Рисунок 3 – Схема роботи амплітудного хаотичного виявника із аналізом низькочастотних складових

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГЕНЕРАТОРА ДУФІНГА

8

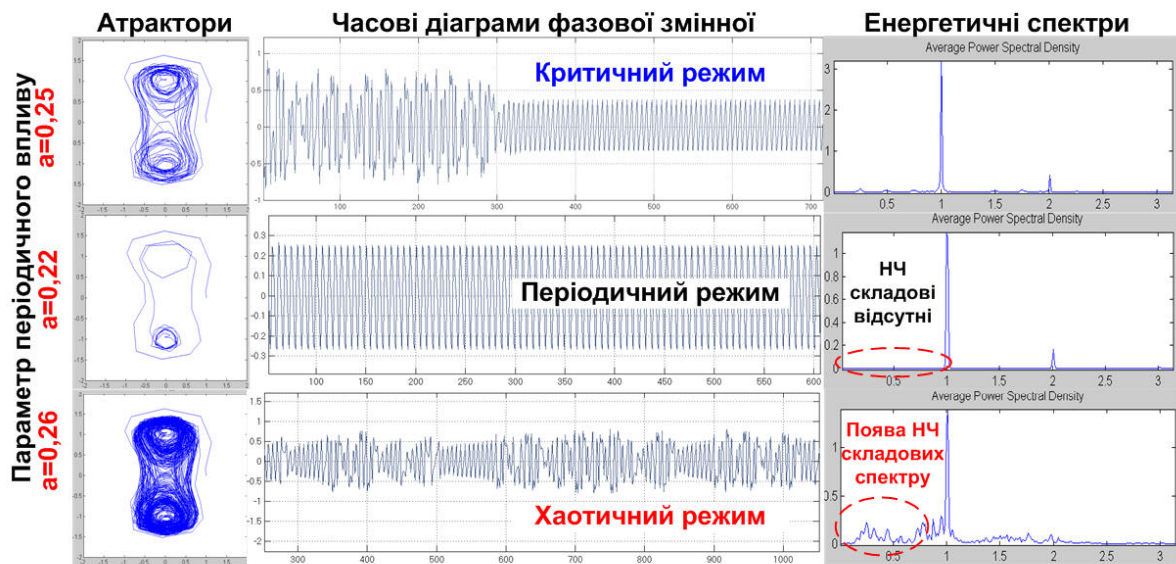


Рисунок 1 – Характеристика режимів роботи генератора Дуфінга

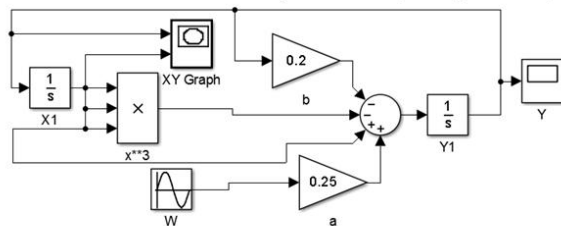


Рисунок 2 - Імітаційна модель генератора Дуфінга

Робоча аналітична модель генератора із кубічною нелінійністю

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = y; \quad \frac{dy}{dt} = F(x) - bx + a \sin(\omega_0 \tau), \\ F(x) = x - x^3. \end{cases}$$

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ХАОТИЧНОГО РЕЖИМУ ГЕНЕРАТОРА ДУФІНГА ЗА ДОПОМОГОЮ ФНЧ

9

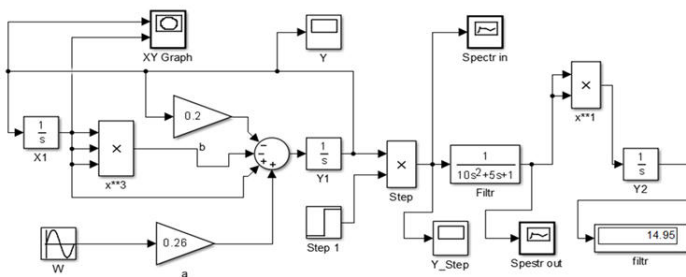


Рисунок 1 – Схема виявлення хаотичного режиму фільтром НЧ

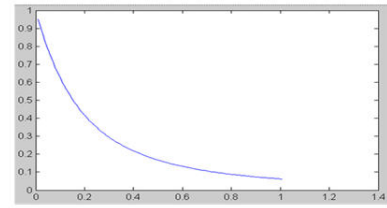


Рисунок 3 – Нормована передавальна функція ФНЧ другого порядку

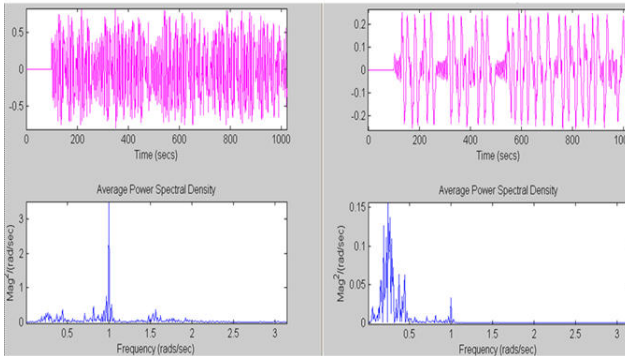


Рисунок 2 – Форма та спектр хаотичного сигналу до і після фільтрації

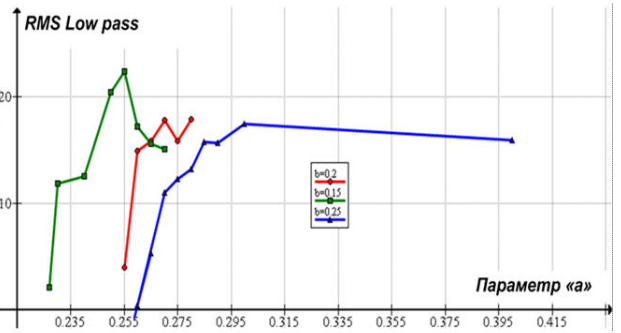


Рисунок 4 – Результати імітаційного моделювання сигналу на виході ФНЧ від значення параметрів керування генератора Дуфінга

СХЕМА ТА БІФУРКАЦІЙНІ РОБОЧІ ЗОНИ

10

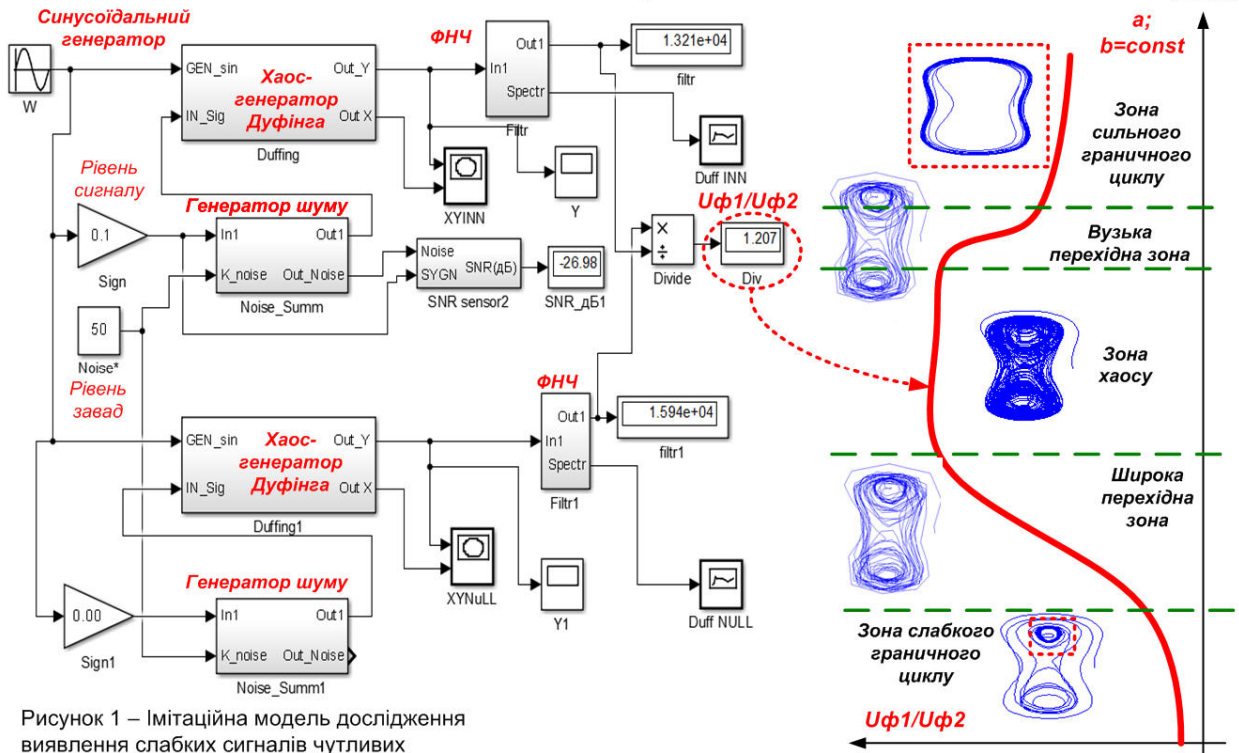


Рисунок 1 – Імітаційна модель дослідження виявлення слабких сигналів чутливих елементів магнітодетекторів на основі нелінійної обробки в генераторі Дуфінга

Рисунок 2 – Залежність відношення середньоквадратичних значень сигналів на виході ФНЧ від керуючого параметру

РЕЗУЛЬТАТИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

11

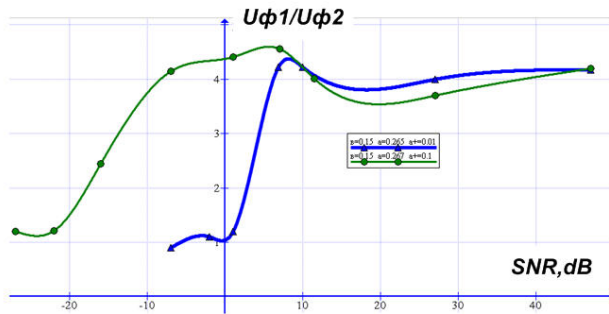


Рисунок 1 – Залежність відношення середньоквадратичних значень сигналів на виході ФНЧ для вузької перехідної зони

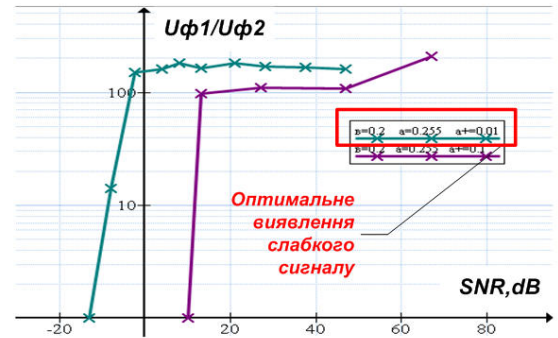


Рисунок 3 – Оптимальна залежність відношення середньоквадратичних значень сигналів на виході ФНЧ для широкої перехідної зони

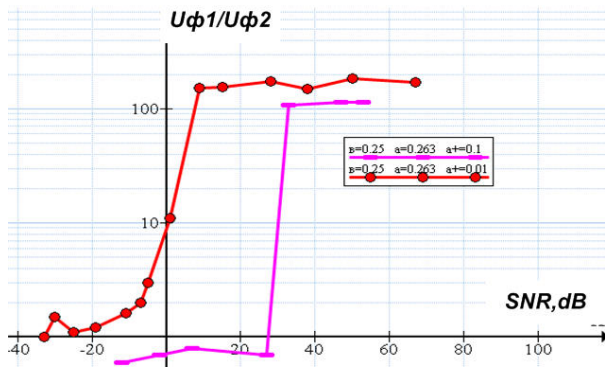


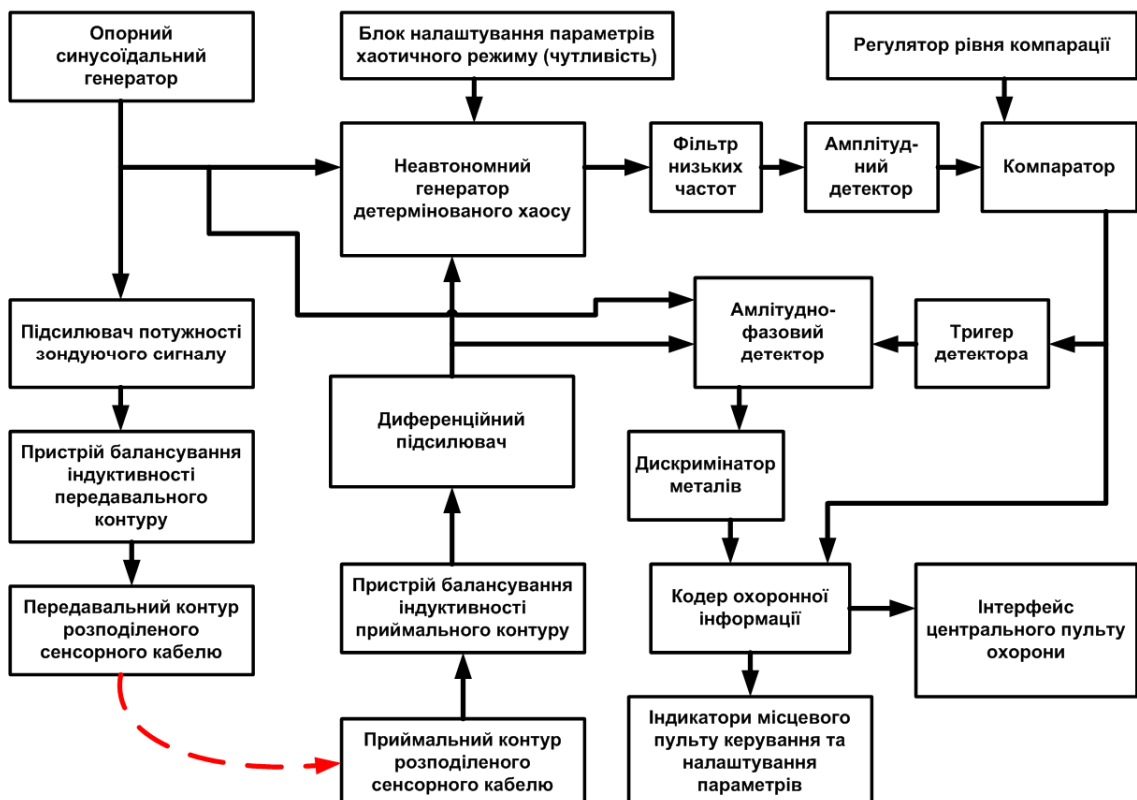
Рисунок 2 – Залежність відношення середньоквадратичних значень сигналів на виході ФНЧ для широкої перехідної зони

Висновки імітаційного моделювання:

1. Вузька перехідна зона хаос- великий граничний цикл має низький запас завадостійкості, хоча дозволяє працювати в більшому діапазоні SNR.
2. Знайдено оптимальні параметри для генератора Дуфінга, що відповідають чіткому встановленню режиму (більш як в 100разів) за допомогою ФНЧ 4-го порядку

ПРИСТРІЙ ДЛЯ МАГНІТНОГО ДЕТЕКТУВАННЯ

12



ВИСНОВКИ З ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

13

Наукова новизна:

1. Запропоновано метод підвищення чутливості металодетекторів у складі охоронної системи периметрів споруд та територій, що ґрунтується нелінійній обробці сигналів та дозволяє забезпечити на порядок більшу чутливість за умови відношення сигнал-завада до мінус 20дБ.

2. Запропоновано метод оптимізації вибору робочих зон біфуркаційних параметрів хаотичного виявника на основі неавтономних нелінійних генераторів, що дозволяє підвищити ймовірність правильного виявлення хаотичних режимів за допомогою низькочастотної фільтрації гармонік порівняно із спектральним складом періодичного сигналу нелінійного генератора в граничних режимах.

Практичне значення:

1. Встановлено, що найбільш перспективним методом вимірювання магнітних параметрів об'єктів в складі охоронних систем є група індукційних методів вимірювання, серед яких із нелінійною обробкою найбільш повно узгоджуються металодетектори на основі індуктивного балансу та диференційної обробки сигналів.

2. Визначено, що основною проблемою систем магнітного детектування порушень із розподіленими сенсорними елементами є високий рівень навколишніх шумів та слабкий рівень сигналу розбалансування, а також необхідність роботи в реальних ділянках часу. Запропоновано для усунення цих недоліків застосувати пристрій нелінійної обробки – хаотичний виявник.

3. Запропонована структура пристрою для динамічного магнітного детектування в системах розподілених сенсорів охоронних кабельних систем, що складається із градієнтного магнітометра індуктивного балансу та хаотичного виявника із ідентифікацією режимів роботи на основі фільтрації низькочастотних гармонік хаотичного сигналу. Висока чутливість забезпечується різким переходом нелінійного генератора від періодичного режиму в хаотичний.

4. Запропонована методика побудови імітаційних моделей хаотичного виявника, що дозволяє проводити дослідження через зміну біфуркаційних параметрів, відношень сигнал-завад, різниці фаз, часових інтервалів в системах ідентифікації хаотичних режимів неавтономних генераторів різної структурної будови.

ДОДАТОК Е

ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

ВІЙСЬКОВИЙ ІНСТИТУТ
КІЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

УДК 355(477)37
ББК 32.26.8-68.49

Рекомендовано до друку Вченою радою Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка (протокол від 10.11.2020 № 4).

Т30 Тези доповідей XVI Міжнародної науково-практичної конференції "Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє" Том 1 [Текст] / за заг. редакцією Ігоря Толока. – К. : ВІКІНУ, 2020. – 293 с.

Опубліковано тези доповідей вчених, науковців і науково-педагогічних працівників Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, інших вищих військових та вищих навчальних закладів України, вітчизняних закордонних фахівців із технічних проблем оборони і військової техніки та технологій подвійного призначення; актуальних проблем лінійністичного забезпечення Збройних Сил України; актуальних питань гуманітарного та соціального розвитку Збройних Сил України; інформаційно-психологічної боротьби у воєнній сфері; сучасних інформаційно-комунікаційних технологій сектору безпеки і оборони України; фінансів; актуальних проблем військового права; актуальних проблем геостратегічної підтримки військ; наукових проблем військової політології та морально-психологічного впливу; основних засад, принципів та технологій забезпечення кібербезпеки у воєнній сфері

Редакційна колегія:

Толок І.В., ген.-майор, к.пед.н., доц.
Попков Б.О., п-к, к.військ.н., с.г.с.
Прохоров О.А., п-к, к.пед.н., доц.
Памуха І.В., п-к, к.т.н., доц.
Гончарук Л.М., п-к, к.фіз.н.
Сафін О.Д., д.психол.н., проф.
Жарков Я.М., к.і.н., доц.
Політков О.П., п-к, к.фіз.н., доц.
Мась Н.М., п-к, к.психол.н.
Сидюв А.І., п-к, к.с.н.
Королюк І.М., п-к, д.ю.н., доц.
Савков П.А., п-к, к.т.н., доц.
Рижков В.С., прор. ЗСУ, д.пед.н., проф.
Лонков С.В., прор. ЗСУ, д.т.н., проф.

© Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2020

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

XVI Міжнародної науково-практичної конференції

"Військова освіта і наука:
сьогодення та майбутнє"

ТОМ I

27 листопада 2020 року

За загальною редакцією
к.пед.н., доц., заслуженого працівника освіти України
генерал-майора Ігоря ТОЛОКА

Київ – 2020

обробки та укладення апаратури реалізацію, однак забезпечує вищий рівень контролю та покращує чутливість охоронної системи загалом, що ґрунтується на реактивному впливі стороннього об'єкту на електромагнітне поле такої системи розподіленого контролю.

Запропонований метод динамічного магнітного детектування полягає у застосуванні омега-подібних ділянок ліній передачі, що перекриваються, та використанні сигналів детермінованого хаосу для виявлення слабких порушень електромагнітного поля в рамках наявності індуктивного балансу між омега-подібними ділянками сегментів ліній. Індуктивний баланс омега-подібних ділянок дозволяє реалізувати безконтактний контроль наявності динамічних об'єктів в охоронній зоні виключаючи вплив стаціонарного навколишнього оточення, а застосування хаотичних сигналів реалізує локалізацію місця порушення та забезпечує високу чутливість системи загалом.

Моделювання та дослідження умов застосування методу проводилось у середовищі Nurefynx та Matlab. Результати моделювання підтвердили правильність запропонованого підходу в тому числі і для диференціальних ліній передачі із омега-подібними сегментами в якості неоднорідностей.

Список використаних джерел:

1. Груба І.І. Системи охоронної сигналізації. Техніческие средства обнаружения /И.И.Груба. – М.:СОЛОН-ПРЕСС, 2012.-220с.

к.т.н., доц. Пивовар О.С. (ХиНУ)
к.т.н., доц. Браун В.О. (ВІКНУ)
Ковбасовська Н.В. (ХиНУ)

Використання режимів синхронізації хаотичних генераторів високої розмірності

Останнім часом різко зросла зацікавленість фахівців способами застосування генераторів детермінованого хаосу для потреб створення чутливих сенсорів електродинамічної природи, що обумовлено властивостями сигналів детермінованого хаосу щодо широкосмутовості, кореляційних характеристик та можливостей синхронізації таких генераторів на віддалених об'єктах. Висока криптографічна стійкість та прихованість дії систем на основі застосування таких сигналів в першу чергу відноситься до військової галузі.

У хаотичній динаміці традиційно намагаються використати математичні моделі генераторів детермінованого хаосу з мінімальним числом диференціальних рівнянь. Такий підхід безумовно виправданий при вивченні фундаментальних біфуркаційних явищ, проте він виявляється недостатнім при розробці генераторів хаосу на базі високочастотних активних елементів. В цьому випадку розмірність математичної моделі генератора визначається числом і способом з'єднання пасивних елементів. В таких випадках модель активного елемента описується системою диференціальних рівнянь високої розмірності, що приводить до появи високих розмірностей в цілому для

сейсмічного моніторингу окремим пунктом спостереження. Тому виникає необхідність провести аналіз існуючих методів виявлення сейсмічних сигналів з метою визначення пріоритетних напрямків досліджень та надання рекомендацій щодо удосконалення існуючих та розробки нових методів виявлення сейсмічних сигналів. Ідентифікації їх складових, визначення місцезонаження осередку сейсмічної події та оцінки її параметрів[2].

Вирішення завдань сейсмічного моніторингу складається з наступних етапів: виявлення сейсмічного сигналу, ідентифікація складових сейсмічного запису (встановлення типів сейсмічних хвиль), локація осередку сейсмічної події, оцінка параметрів сейсмічного джерела. При однопозиційних спостереженнях останні два етапи вирішуються за умови виведення вирішення задачі виявлення та визначення основних складових сейсмічного запису.

Тому, при аналізі існуючих методів виявлення та обробки сейсмічних даних основна увага приділятиметься вирішенні задачі розробки нових та удосконалення існуючих методів виявлення сейсмічних та акустичних сигналів с актуальною.

Список використаних джерел:

1. Сочетание датчиков: улучшение ситуационной осведомленности. Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах его выявления // серия: "Техническое оснащение спецслужб зарубежных государств". - 2013. - № 1.
2. Гасниова Л.А., Петухов Ю.В. 1999. К теории поверхностных волн, распространяющихся вдоль разных границ раздела в атмосфере. Известия АН Физика атмосферы и океана, том 35, №1, с. 14-23.

к.т.н., доц. Памлуха І.В. (ВІКНУ)
к.т.н., доц. Пивовар О.С. (ХиНУ)
Гриценко В.Ю. (ХиНУ)

Динамічне магнітне детектування в системах розподілених сенсорів охоронних кабельних систем

Під час побудови охоронних кабельних систем зазвичай застосовують сегментами ліній передачі. Часто лінії передачі використовуються одночасно як система доставки живлення сенсорів та транспортування сигналів ліній і для контролю станів, не виключено також застосування ліній і для службового зв'язку між диспетчерськими пунктами.

Намагання розширити функціональні властивості елементів охоронних кабельних систем викликало появу численних способів сумісного використання ліній передачі як середовища поширення і безконтактного сенсора електродинамічного впливу з боку порушника системи контролю периметрів об'єктів охорони. Розширення функціонального застосування кабельних систем призводить до необхідності застосування нових методів



ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

XVI Міжнародної науково-практичної конференції

"Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє"

ТОМ I

За загальною редакцією к.пед.н., доц.
генерал-майора Ігоря Толока

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

Збір, первинна обробка, технічне редагування – Бадрук О.О.
Комп'ютерна верстка, оригінал-макет та обкладинка – Халіманенко С.М.

Надруковано до друку 10.11.2020. Формат 60x84.¹⁶
Гарнітура Times. Папір офсетний. Друк ризограф. Тираж 50.
Умов. друк. аркушів 18. Заказ № 41-16.

Надруковано в навчальному картографічному комплексі ВКНУ
03189, Київ, вул. Ломоносова, 81
521-32-89



моделей генератора хаотичних сигналів. Система просторової обробки має мати у своєму складі декілька хаотичних генераторів охолоплених системою синхронізації, що ще більше ускладнює аналіз та збільшує розмірність математичних моделей загальною.

Аналіз кореляційних характеристик запропонованих генераторів високої розмірності (N) показав, що класиків фазових змінних, придатних для використання в системах просторового (N=3) обслуговування, охолоплених синхронізацією складає не більше ніж N-1. Отже для побудови систем, що здатні працювати в тривимірному просторі слід застосовувати генератори хаосу із розмірністю не менше 4, для яких створено моделі та проведено симуляцію роботи під час синхронізації по різним фазовим змінам, що мають високі кореляційні характеристики. Результати моделювання підтверджують можливість одночасної синхронізації за різними фазовими змінами із ефектам типу «синхронізація, ініційована шумом», де рівень синхронізації зростає під час зростання рівню шуму, що можливо лише в нелінійних системах обробки.

Список використаних джерел:

1. Генератор хаотичних сигналів на основі системи диференційних рівнянь з чотирма змінними / П.В. Іванюк, Л.Ф. Політанський, Р.Л. Політанський// Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. – 2012. Том 11. № 3. – С. 347–353.

к.т.н., доц. *Романішина О.В. (ХвНУ)*
Бадрук О.О. (ВКНУ)

Комп'ютерні технології навчання працівників з охорони праці

Однією з основних умов зниження виробничого травматизму на підприємствах є вдосконалення технології навчання працівників питанням без-пекки і охорони праці. Комп'ютерні програми «Наочна безпека продукції та охорона праці», розроблені у Петербурзькому державному університеті шляхів (ПГУПС) містять у собі близько десятка тисяч малюнків, фотографій, схем і комплексів зі звуковим супроводом, і навіть фрагменти відеофільмів і анімації. Традиційна форма навчання, включаючи інструктажі, найчастіше, являє люду. Причому, важко згадувати щому інженера з охорони праці, або інших, які проводять навчання, оскільки дуже багато зусиль і часу піде на організації таких занять. Це досягти шляхом застосування мультимедійних комп'ютерних технологій навчання. З отриманням інформації у вигляді зображень "включається" праця піквула мозку, який відповідає за формування образного мислення, який сприяє перекладу інформацією під-свідомо пам'яттю. м. Кожна із програм серії, що отримала назву «Наочна безпека продукції та охорона праці», є комплексним навчальним посібником та у містить лі у собі два основні компоненти: електронний посібник (блок вивчення матеріалу) і системи самоконтролю знань (блок, до складу якого входять: контрольні питання, оцінка правильності відповідей та пояснення,

БК 74.480.278
С.88

«Інтелектуальний потенціал – 2020» - збірник наукових праць молодих науковців і студентів / Колектив авторів – Хмельницький: ПВНЗ УЕП, 2020. – Частина 2. – ___ с.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Хмельницький національний університет

Військовий інститут Київського національного університету
ім.Тараса Шевченка

ПВНЗ “Університет економіки і підприємництва”

Вінницький національний технічний університет

Західноукраїнський національний університет

Відповідальний редактор: Желавська Н.В.

Відповідальний за випуск: Чешун В.М.

Редакційна колегія:

Желавський О.Б.

Кльоц Ю.П.

Чешун В.М.

Тимофєєва Л.В.

Інтелектуальний потенціал - 2020

збірник наукових праць молодих науковців і студентів

сформовано за матеріалами
Всеукраїнської науково-практичної конференції
молодих науковців і студентів
«Інтелектуальний потенціал – 2020»

9-10 листопада 2020 р.

Частина 2

Хмельницький
2020

© Університет економіки і підприємництва

Імітаційна модель для дослідження хаотичної синхронізації нелінійних динамічних систем

Ковбасовська Н.В., Грищенко В. Ю.
 Науковий керівник: к.т.н. доц. Пивовар О.С.
 Хмельницький національний університет

До недавнього часу в рамках дослідження синхронізації розглядалися в основному процеси взаємного впливу гармонічних осциляторів. Із розвитком теорії динамічного хаосу (ДХ) було знайдено велику кількість нелінійних динамічних систем (НДС) що демонструють хаотичну синхронну поведінку у зв'язаних системах – хаотичну синхронізацію (ХС) [1].

Особливу роль під час дослідження ХС відіграють діючі на систему шуми – стохастичні завади. В класичних системах шум відіграє деструктивну роль та приводить до втрат інформації, а базовий спосіб боротьби з такою завадою – кореляційна обробка. В НДС шум може відігравати не тільки деструктивну, але і конструктивну роль, наприклад, загальний шум може призвести до ХС НДС систем, що слабо взаємодіють між собою. Такий різновид називають ХС, індукованою шумом.

Під час розгляду ХС також вживають термін «хаотичний синхронний відгук», що застосовується для хаотичних осциляторів (ХО) які можуть бути представлені у вигляді кільцевої структури (рисунок 1), де кільце зворотного зв'язку ХО розривається і в певній пропорції додається сигнал ведучого ХО. При цьому виділяють ряд режимів ХС: повну, лаг, узагальнену, частотну, фазову, часткову, масштабування (рисунок 1) [2].

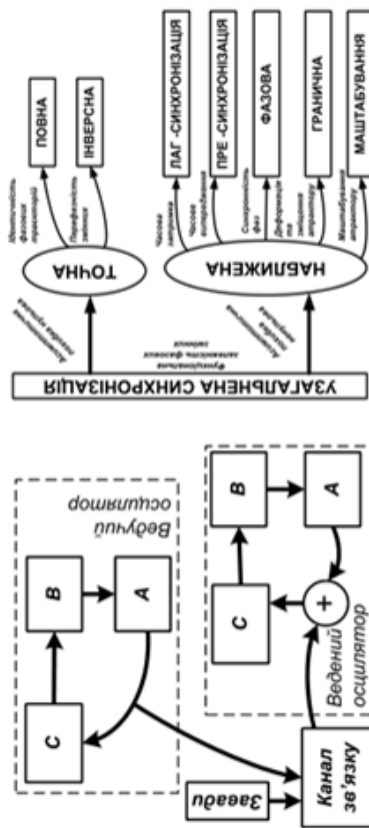


Рисунок 1 – Декомпозиція хаотичних генераторів для отримання хаотичного синхронного відгуку (ливоруч) та класифікаційні ознаки та варіанти узагальненої хаотичної синхронізації

ЗМІСТ

Атаманюк А.В., Джулій В.М., Кльоц Ю.П. Дослідження проблем інформаційної безпеки в інформаційно-телекомунікаційних мережах 5

Бабич І.Р., Яшина О.М. Модель тренувального процесу та метод обробки музичних даних програмної системи генерування музичних творів із використанням штучного інтелекту 9

Гавронський В.С., Муляр І.В., Яцків В.В. Метод тестування на проникнення як засіб забезпечення безпеки корпоративної мережі 18

Гончар Р.М., Орленко В.С., Чешун В.М. Оптиміальне кодування як засіб підвищення захищеності передачі шифрованих даних 21

Гулечко М.С., Джулій В.М., Тітова В.Ю. Аналіз поточного стану дій в області захищеної IP- телефонії 30

Дашенко В.С., Тітова В.Ю., Шевчук І.М. Інформаційна модель захисту інформації 34

Дашко Р.М., Муляр І.В. Метод приховування великого об'єму даних в файлах формату JPEG 37

Джулій В.М., Лукін В.С., Чешун В.М. Метод створення віртуальних полігонів на основі технологій хмарних обчислень системи управління базами даних 42

Казіміров В.О., Мостовий С.В., Орленко В.С. Метод захисту від загрозливих програм, заснований на реалізації контролю доступу до файлових об'єктів 45

Ковбасовська Н.В., А.М., Грищенко В.Ю., Пивовар О.С. Імітаційна модель для дослідження хаотичної синхронізації нелінійних динамічних систем 49

Машевський В.О., Яшина О.М. Модель програмного комплексу для реалізації методу інтерактивного групового навчання 52

Мілер В.М., Орленко В.С. Вдосконалення методу проскування вебдодагків на основі об'єктно-реляційного перетворення 56

Мозолок В.О., Джулій В.М. Дослідження проблем ідентифікації об'єктів в базах даних 60

Присянок В.В., Андрощук О.С. Проблеми та перспективи побудови систем управління ресурсами інформаційних комунікаційних мереж 64

3 точки зору математичної моделі без впливу шуму, під час запуску динаміки, обидва ведені HO мають демонструвати ідентичну хаотичну поведінку. На практиці ж ми маємо ситуацію неможливості забезпечення однаковості функціонального опису та початкових параметрів HO і під час відсутності сигналу синхронізації фазові траєкторії ведених HO розбігаються, що призводить до декореляції їх часових залежностей.

Для фіксації рівня розбіжності фазових траєкторій можливо застосувати міру [2]: метричної або абсолютної відстані, фазового співпадіння, об'єму атратора, Ляпунова, модифікованої системи, тощо. В переважній більшості в практичних схемах XC застосовують міру середньоквадратичного відхилення однієї фазової змінної.

Ідентифікація режиму XC в імітаційній моделі може відбуватись на основі аналізу часового ряду однієї фазової змінної, а синхронізація відбуватись по іншій фазовій змінній. Не виключена можливість також роботи по якійсь одній фазовій змінній, або паралельна як синхронізація та аналіз по декільком фазовим змінним.

Імітаційна модель (рисунок 2) має у своєму складі субмодулі, що забезпечують: формування типу каналу зв'язку, генерацію завад певного типу, вимірювання відношення сигнал-завада, підключення HO із різними операторами еволюції та використання різних алгоритмів встановлення режиму хаотичної синхронізації.

Розроблена імітаційна модель під час використання дозволила зробити ряд висновків та рекомендацій щодо процесу XC для НДС, що описується системою диференціальних рівнянь:

1. Чутливість появи XC до зміни біфуркаційних параметрів різко зростає із зростанням кількості рівнянь в системі від 5% для системи 3-го порядку до 0,1% для системи 4 порядку.

2. Чутливість появи XC зростає із зростанням порядку нелінійності для НДС із поліноміальною нелінійністю.

3. Поява XC індукованої шумом для НДС високого порядку різко обмежує можливість застосування методу допоміжної системи для виявлення XC .

4. Під час використання HO із великою кількістю біфуркаційних параметрів, найбільш доцільно для встановлення XC застосовувати одночасну варіацію декількох параметрів.

Перелік посилань

1. Прикладне застосування теорії хаотичних систем у телекомунікаціях: монографія / Ю. Я. Бобало, С. Д. Галюк, М. М. Климан, Р. Л. Політанський; Міністерство освіти і науки України, Національний університет "Львівська політехніка". – Львів; Дрогобич: Коло, 2015. – 184 с.
2. Boccaletti S. The synchronization of chaotic systems / S. Boccaletti, J. Kurths, G. Osipov, D. L. Valladares, and C. S. Zhou // Physics Report. – 2002. – Vol. 366. – № 1–2. – P. 1–101.

Режим узагальненої синхронізації означає, що після завершення перехідних процесів між станами ведучої та веденої НДС в режимі генерації хаотичних сигналів між ними встановлюється певний чіткий аналітичний зв'язок, виявити який іноді досить важко, а іноді зв'язок може бути і фрактальним. Із загальної точки зору всі різновиди XC зводяться до узагальненої XC , в залежності від того, в якому аспекті розглядати функціональну залежність між фазовими змінними ведучої та веденої НДС.

Якщо розглядати функцію в узагальненій XC в аспекті забезпечення асимптотичної точності синхронізації в реальних дільниках часу, то всі різновиди XC можливо поділити на точні та наближені (рисунок 1). Для практичного втілення найбільш часто застосовують режим повної синхронізації, що забезпечує тотожність змінних ГДХ на обох боках системи (одинаривна функція зв'язку).

Діагностувати наявність узагальненої XC можливо способом допоміжної системи [3], імітаційна модель якої розроблена авторами в середовищі Simulink (рисунок 2). Для реалізації такого способу ідентифікації наявності повної XC між двома HO застосовують дві НДС із однаковими операторами еволюції та початковими параметрами, що називають веденими HO із декомпозицією (рисунок 1), сигнал на які від ведучого HO подається одночасно та в однаковій пропорції із власним сигналом зворотного зв'язку.

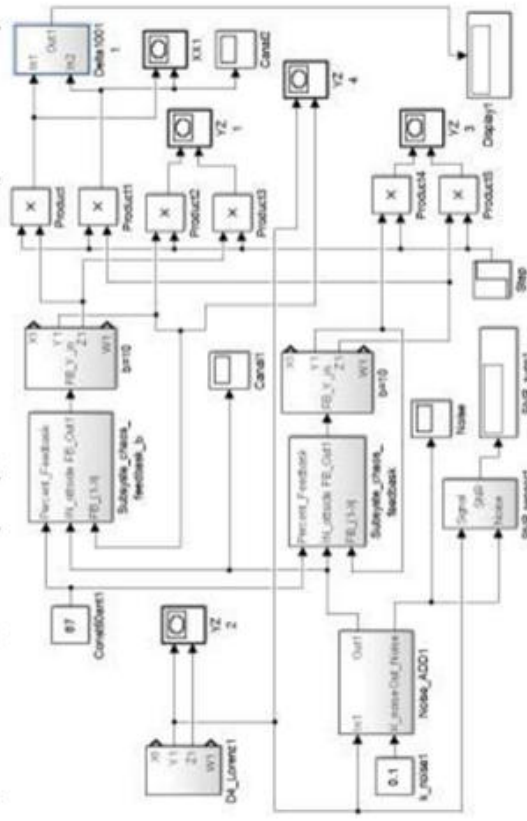


Рисунок 2 - Модель Simulink для дослідження способів хаотичної синхронізації генераторів високої розмірності

3. Галюк С. Д. Особливості синхронізації хаотичних систем (огляд) // С. Д. Галюк., Л. Ф. Політанський, М. Я. Кушнір, Р. Л. Політанський // Складні системи і процеси. – 2011. – №2. – С. 3–29.

«Інтелектуальний потенціал – 2020» - збірник наукових праць молодих науковців і студентів / Колектив авторів – Хмельницький: ПВНЗ УЕП, 2020. – Частина 2. – ___ с.

Модель програмного комплексу для реалізації методу інтерактивного групового навчання

Машевський В. О.

Науковий керівник – к.т.н., доцент Яшина О. М.
Хмельницький національний університет

В сучасних умовах бурхливо розвиваються інтерактивні технології, зокрема й в освіті, що надає більших можливостей ефективно і якісно організовувати освітній процес. Враховуючи сучасні виклики та реалії, які постають перед освітою в період пандемії COVID-19, питання створення та реалізації методів інтерактивного групового навчання в різних галузях науки в цілому, та з програмування зокрема, стає дедалі актуальнішим.

Поява різноманітних спеціалізованих додатків для навчання останнім часом стала розглядатись, як можливість використання таких мобільних засобів в загальноосвітньому процесі. Аналіз та оцінка сучасних світових тенденцій демонструє життєву необхідність застосування в навчальній діяльності мобільних засобів для вирішення різноманітних педагогічних задач, організації віддаленого доступу до загальномережевих і спеціалізованих ресурсів та сервісів.

Об'єктом даного дослідження є інтерактивне навчання із застосуванням мобільних технологій. Предмет дослідження – моделі та механізми створення зручного методу групового навчання основ програмування.

З психологічної точки зору інтерактивним навчанням називають спеціальний тип організації освітнього процесу, який здійснюється у форматі спільної діяльності студентів, що дає можливість всім учасникам взаємодіяти один з одним, обмінюватися інформацією, спільно вирішувати проблеми, моделювати ситуації, оцінюють дії інших, занурюватися в атмосферу так званого ділового співробітництва з вирішенням поставлених викладачем проблем. Проте саме поняття «інтерактивність» прийшло з лексикони комп'ютерних технологій.

На даний момент не представлена єдина класифікація інтерактивних технологій, однак, розглядаючи їх з позиції форм навчання, можна виділити наступні типи:

- а) кооперативне навчання;
- б) колективно-групове навчання;
- в) ситуативне моделювання;

Відповідальність за зміст текстів і якість редагування матеріалів покладена на авторів і наукових керівників.

Комп'ютерна верстка: Чешун В.М.
Комп'ютерна верстка: Чешун В.М.
Дизайн Хмельовський В.Р.

Здано до складання 09.11.20. Підписано до друку 09.11.20. Формат 60x84/16. Папір друкарський. Тираж 50 прим. Умовних друкованих аркушів – 7,5.
Редакційний відділ ПВНЗ УЕП 29016, м. Хмельницький, вул. Львівське шосе, 51/2.

ББК 74.480.278
С.88

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 0.0%

Словари проверки: en_US, ru_RU, ua_UA. Ошибка в документах: 8%

ID: 82022 Название: Метод та пристрій динамічного магнітного детектування в системах розподілених сенсорів охоронних кабельних систем Добавлено в БД: 2020-12-02 Авторы: Грищенко Владислав Юрійович Руководители: Пивовар Олег Сергійович Консультанты: Оponentы:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	102128	1602	567 (1%)	9 (1%)

Источник плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы



Имя пользователя:
Kafedra TMIT KhNU

ID проверки:
1005320507

Дата проверки:
01.12.2020 20:14:25 EET

Тип проверки:
Doc vs Internet + Library

Дата отчета:
01.12.2020 20:16:35 EET

ID пользователя:
100005657

Название файла: !Грищенко_ТРм_19-1_антиплаг

Количество страниц: 88 Количество слов: 16101 Количество символов: 122750 Размер файла: 1.56 MB ID файла: 1005443338

1.19% Совпадения

Наибольшее совпадение: 0.49% с источником из Библиотеки (ID файла: 1005393162)

0.7% Источники из Интернета | 54 Страница 90

0.49% Источники из Библиотеки | 26 Страница 90

0% Цитат

Исключение цитат выключено

Исключение списка библиографических ссылок выключено

0% Исключений

Нет исключенных источников

Модификации

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

Замененные символы | 11

РЕЦЕНЗІЯ
на дипломну роботу студента групи ТРМ-19-1
Грищенко Владислава Юрійовича

«Метод та пристрій динамічного магнітного детектування в системах розподілених сенсорів охоронних кабельних систем»

Дипломна робота присвячена розгляду питань використання нелінійних способів обробки для забезпечення покращення тактико-технічних характеристик охоронних систем, що ґрунтуються на вимірюванні магнітного поля.

Актуальність теми підтверджується численними наявними застосуваннями нелінійних детекторів, що ґрунтуються на використанні різких фазових переходів між режимами роботи нелінійних динамічних систем в різних галузях науки та техніки.

В дипломній роботі формулюються та виконуються ряд технічних завдань, серед яких:

- проаналізовано принципи та методи вимірювання магнітних величин та виділено перспективні методи для застосування в охоронних системах;

- розроблено метод підвищення чутливості металодетекторів у складі охоронної системи периметрів споруд та територій, що ґрунтується на нелінійних засадах обробки сигналів;

- розроблено структуру пристрою магнітного детектування та взаємодію його складових частин в складі системи охорони периметру об'єкту та проведено їх імітаційне моделювання, що підтверджує працездатність прийнятих рішень.

Робота складається із вступу, 3 розділів, основних висновків по роботі, переліку джерел посилання (39 бібліографічних посилання, 4 сторінки) та 6 додатків (19 сторінок). Загальний обсяг роботи в якому викладено основний зміст складає 87 сторінок і містить 54 рисунки на 50 сторінках по тексту та 25 формул. Повний обсяг роботи - 119 сторінок.

Перший розділ роботи присвячено аналізу магнітних матеріалів, величин, та принципів роботи магнітометрів та металодетекторів в охоронних та сенсорних системах цивільного та військового призначення.

Другий розділ присвячено розробці моделей детектування магнітного поля та магнітного впливу об'єктів на основі вимушених коливань в нелінійній динамічній системі.

Третій розділ є найбільшим та присвячений імітаційному моделюванню неавтономних систем для досягнення підвищеної чутливості до змін у магнітному полі, що ґрунтується на різких фазових переходах у нелінійних системах під зовнішнім впливом періодичного сигналу та потужним впливом адитивного гаусівського шуму.

Дипломна робота містить загалом більше 100 сторінок тексту з ілюстраціями, висновки із проведеної роботи сформовані чітко та грамотно. Процес висвітлення основних позицій є логічно пов'язаним, присутня значна кількість ілюстрацій та кольорових додатків. Наведені у роботі формули, припущення та висновки мають достатнє обґрунтування та детальне пояснення. Мова викладення роботи є технічно грамотною, зрозумілою та не перенасиченою спеціальними термінами. Оформлення пояснювальної записки знаходиться на рівні, що відповідає стандарту університету.

Серед позитивних сторін магістерської роботи слід відмітити наступне:

- запропоновано метод побудови вимірювального перетворювача, що дозволяє виявляти слабкі сигнали на тлі завад до мінус 20дБ;
- розроблена структура пристрою, що реалізує метод нелінійної обробки у складі розподілених сенсорів магнітодетекторів систем охорони периметрів об'єктів, що дуже актуально на даний час;
- введено поняття широкої та вузької перехідної зони біфуркаційних параметрів для хаотичних виявників із ідентифікацією режимів на основі фільтрів низьких частот, що дозволяє здійснити обґрунтований вибір робочої точки нелінійного неавтономного генератора для досягнення високої чутливості щодо вимірювальної величини.

Серед недоліків слід відмітити:

- присутнє вживання різних термінів для позначення одних і тих самих понять, наприклад, «хаотичний сигнал», «сигнал детермінованого хаосу», «хаос-сигнал», або «керуючий параметр», «біфуркаційний параметр», «параметр біфуркації».
- недостатньо висвітлена робота неамплітудних хаотичних виявників та методів ідентифікації їх режимів;
- недостатньо висвітлені способи та методи досягнення індуктивного балансу в системах із розподіленими сенсорами;
- присутня незначна кількість граматичних помилок та опісок.

Загалом дипломна робота Грищенко Владислава Юрійовича “Метод та пристрій динамічного магнітного детектування в системах розподілених сенсорів охоронних кабельних систем ” повністю відповідає вимогам до кваліфікаційних дипломних робіт магістрів «Телекомунікації та радіотехніка».

Автор дипломної роботи заслуговує присвоєння кваліфікаційного рівня МАГІСТР зі спеціальності 172 – “Телекомунікації та радіотехніка”, а дипломна робота заслуговує на оцінку “відмінно”,

Рецензент:

д.т.н., проф., зав.каф. АКІТТ



Мартинюк В. В.

Завідувачу кафедри
телекомунікацій, медійних та
інтелектуальних технологій (ТМІТ)
Підченко С.К.
здобувача вищої студента
Грищенко Владислава Юрійовича

2 курсу, гр. ТРМ-19-1

ЗАЯВА

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

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

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

2.12.20

дата

підпис

Грищенко В.Ю.

РІШЕННЯ КАФЕДРИ

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, МЕДІЙНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

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

Назва: метод та пристрій динамічного магнітного детектування в системах розподілених сенсорів охоронних кабельних систем

Автор: **Грищенко Владислав Юрійович**

Спеціальність: **172 Телекомунікації та радіотехніка**

Освітня програма: Телекомунікації та радіотехніка

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


Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

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

Підтвердження: Запозичення у розмірі 1,19% є мінімальними та є випадковими співпадиннями та текстовими позначеннями стандартних бланків та не є плагіатом.

3.12.2020р.

Науковий керівник роботи:



О.С. Пивовар

Зав. каф. ТМІТ



С.К.Підченко