

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Приладобудівний факультет**

**Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ А.Г. Протасов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології**

**на тему: «Система контролю методом вищих гармонік»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ПК-71мп  
Рацбарський Сергій Станіславович \_\_\_\_\_

Керівник:

Доцент, кандидат технічних наук  
Баженов В.Г. \_\_\_\_\_

Консультант з розділу «Розробка стартап-проекту»:

Доцент, кандидат економічних наук  
Бояринова К. О. \_\_\_\_\_

Рецензент:  
  
\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних посилань.  
Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Приладобудівний факультет**

**Кафедра приладів і систем неруйнівного контролю**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології (комп'ютерно-інтегровані технології та системи неруйнівного контролю).

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис) Протасов А.Г.  
(ініціали, прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**  
**Рацебарському Сергію Станіславовичу**

1. Тема дисертації «Система контролю методом вищих гармонік», науковий керівник дисертації Баженов Віктор Григорович, к.т.н., затверджені наказом по університету від «05» листопада 2018 р. №4078-с

2. Термін подання студентом дисертації 14 грудня 2018

3. Об'єкт дослідження: математичний метод виділення характеристик вищих гармонік вихрових струмів

4. Вихідні дані: метод контролю вихрострум; гармоніки вихідного сигналу – 1, 3, 5, 7, 9; тип перетворювача – трансформаторний; кількість котушок – дві;

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: розглянути методи виділення вищих гармонік з полігармонічного сигналу, провести математичне моделювання обраного методу, дослідити залежності між характеристиками моделі та точністю роботи, провести статистичний аналіз процесу, зробити висновки щодо актуальності методу.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 4 плакати

1 – Метод вищих гармонік

2 – Моделювання роботи системи

3 – Зображення приладу, результату його роботи

4 – Статистичний аналіз результатів

7. Орієнтовний перелік публікацій:

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проектів	Бояринова Катерина Олександрівна		

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Формулювання завдання дисертації	07.09.2018	
2	Проведення аналітичного огляду	28.09.2018	
3	Створення математичної моделі	15.10.2018	
4	Дослідження математичної моделі	05.11.2018	
5	Статистичний аналіз практичних даних	24.11.2018	
6	Розробка стартап-проекту	31.11.2018	
7	Аналіз результатів і написання висновків	09.12.2018	

Студент

Рацбарський С.С.

Науковий керівник дисертації

Баженов В.Г.

## Реферат

Дана магістерська дисертація складається з 60 сторінок, 24 ілюстрацій, 24 таблиць, 10 формул, 10 літературних джерел.

**Ключові слова:** вихрострумний контроль, трансформаторний перетворювач, цифрова обробка сигналу, ортогональність, статистичний аналіз

В магістерській дисертації було проведено дослідження можливості реалізації контролю методом вищих гармонік з інформаційними параметрами характеристиками непарних гармонік до дев'ятої.

Досліджені можливі методи обробки сигналів. Запропоновано метод ортогональної обробки як основний робочий алгоритм. Створено математичну модель та досліджено залежності точності вимірювання параметрів сигналу від його характеристик. Після отримання практичних даних було використано методи статистичної обробки для визначення типу отриманого процесу.

В результаті дослідження було виявлено що метод ортогональної обробки потребує окремих умов структури сигналу, які значно ускладнюють схему системи. Статистичний аналіз практичних даних показав, що процес вимірювання некерований, проте ця некерованість невелика і було запропоновано шляхи її усунення.

**Мета роботи** полягає в дослідженні можливості побудови системи для контролю методом вищих гармонік, яка має більшу кількість інформаційних параметрів, розгляді сучасних методів цифрової обробки сигналів, які можуть використовуватися в вихрострумному контролі та розробці математичного апарату для реалізації в приладі.

**Об'єкт дослідження** – процес вихрострумової діагностики методом вищих гармонік

**Предмет дослідження** – методи підвищення точності вимірювання фази при цифровій обробці сигналів

**Наукова новизна** – новітній метод цифрової обробки інформації, який дозволяє отримати інформаційні параметри вищих ніж звичайно гармонік

## Abstract

This master's thesis consists of 60 pages, 24 illustrations, 24 tables, 10 formulas, 10 literary sources.

**Keywords:** eddy current testing, transformer transducer, digital signal analysis, orthogonality, statistical analysis

In the master's thesis was carried out research of possibilities of creating a method of non-destructive testing using parameters of eddy current's higher odd harmonics up to ninths.

Possible methods of signal analysis were investigated. The orthogonal method of analysis is proposed as primary algorithm. The mathematical model was created and used to investigate dependencies of measurement accuracy from signal parameters. After getting practical data, methods of statistical analysis were used to determine the type of used process.

The study found that orthogonal method of signal analysis demands particular characteristics from signal's structure, which makes system's plan more complicated. Statistical analysis shows that process of measurement has assignable cause, but it is not severe and methods of dealing with it were proposed.

The purpose of the work in the study is to study the feasibility of building a system for the eddy current control using more informational parameters, research of signal analysis methods which can be used in eddy current control and development of math core to use in future devices.

The **object of research** is the process of eddy current diagnostics using higher harmonics

The **subject of research** is the methods of increasing accuracy of phase measurements with digital signal processing

The **scientific novelty** of study is the method of signal analysis which can be used to get informational parameters of higher than usual harmonics.

# ЗМІСТ

Вступ.....	12
1. Аналітичний огляд .....	14
1.1 Структуроскопія .....	14
1.2 Аналіз вихрострумів методів .....	15
1.3 Аналіз методу вищих гармонік.....	17
1.4 Використання ортогональної обробки сигналу .....	19
1.5 Реалізація алгоритму.....	22
1.6 Висновки до розділу 1 .....	23
2. Моделювання методу.....	24
2.1 Побудова моделі.....	24
2.2 Використання моделі для дослідження методу. ....	30
2.2.1 Дослідження залежності точності від формату вхідного сигналу .....	30
2.2.2 Дослідження залежності точності від неповноти кількості періодів. ....	33
2.2.3 Дослідження залежності похибки від кількості розрядів АЦП .....	35
2.3 Висновки до розділу 2 .....	36
3. Статистичний аналіз процесу .....	37
3.1 Необхідність статистичного аналізу .....	37
3.2 Отримання експериментальних даних.....	37
3.3 Використання карт Шухарта для аналізу керованості процесу .....	39
3.3 Розрахунок карти Шухарта .....	41
3.4 Аналіз карт Шухарта побудованих на базі практично отриманих даних .....	44
3.5 Висновки до розділу 3 .....	47

4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «Система для контролю методом вищих гармонік».....	48
4.1 Опис ідеї проекту .....	48
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	49
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту .....	51
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	59
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	61
4.6 Висновки до розділу 4 .....	64
Висновки .....	65
Список використаної літератури .....	66

## ВСТУП

Вихроструміві методи неруйнівного контролю – одні з найбільш поширених на великих підприємствах методів. Це пов'язано з можливістю проводити контроль за допомогою котушок без безпосереднього фізичного контакту з об'єктами контролю, що дозволяє вбудувати систему в виробничу лінію не порушуючи її швидкодії. Проте, більшість вихрострумівих методів контролю мають малу кількість інформаційних параметрів, які, в свою чергу, можуть бути пов'язані з великою кількістю характеристик контрольованих об'єктів та середи, що не дасть можливості проводити надійний контроль за цими параметрами. [1]

Метод вищих гармонік – один з вихрострумівих методів, який вводить нові інформаційні параметри – значення фази та амплітуди більш високих гармонік, які утворюються у вторинній ЕДС вихрових струмів при їх наведенні в феромагнітних матеріалах. Введення цих нових параметрів дозволяє збільшити кількість інформації кожного вимірювання, а також отримати характеристики контрольованих об'єктів, які не проявляються на першій гармоніці генератору.

Зазвичай метод вищих гармонік використовує третю гармоніку як інформаційну. Малі амплітуди більш високих гармонік не дозволяють надійно проводити вимірювання фази, а саме в значеннях фази знаходиться більше інформації щодо характеристик об'єкта контролю. Система, яка дозволить надійно та вірогідно вимірювати більш високі гармоніки та знаходити їх амплітуди та фази з великою точністю відкриє нові можливості в дефектоскопії та структуроскопії феромагнітних матеріалів.

Підвищення точності вимірювання фаз високих гармонік (в даному випадку це 5, 7, 9 гармоніки) можливе за рахунок використання ортогональної обробки сигналу – сучасного цифрового методу, що базується на властивостях полі гармонічних сигналів складатися з декількох незалежних сигналів, кожен з яких можна відокремити простими математичними операціями.



Підвищення точності розрахунку дозволяє більш глибоко зазирнути в глибини структури матеріалів, знаходити значно менші ніж звичайно дефекти та вивести нові закономірності між характеристиками контрольованих об'єктів та вимірними значеннями фаз та амплітуд гармонік. Враховуючи, що розмір хвиль вихрових струмів більш високих гармонік набагато ближче до розмірів структурних елементів феромагнетиків, їх характеристики пов'язані між собою набагато ближче ніж з нижчими гармоніками. Виведення та розуміння цих зв'язків дозволить значно знизити похибки вимірювань, підвищити надійність дефекто- та структуроскопії та підняти знання в сфері матеріалознавства на новий рівень.

# 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

## 1.1 Структуроскопія

В тому розмаїтті задач, які стоять перед методами неруйнівного контролю, структуроскопія має досить важливу роль. На відміну від дефектоскопії, яка працює з готовими деталями та оцінює їх якість через параметри існуючих дефектів у виробах, структуроскопія займається оцінкою структурних характеристик матеріалів, знаходженням змін в цих характеристиках та прогнозуванні утворення дефектів через ці зміни.

Структуроскопія найчастіше виконується акустичним або електромагнітним полем. Електромагнітні методи оцінюють параметри об'єктів контролю за рахунок визначення їх електричних та магнітних параметрів. Обов'язковою умовою роботи електромагнітного методу є наявність у об'єкта контролю магнітних або провідних властивостей. Через затухання змінних хвиль вони проникають в об'єкт контролю на 1-3 мм за умови роботи до 10 МГц, що досить важливо, бо саме в приповерхневих шарах зароджуються дефекти.[2]

Акустичні методи використовують пружні хвилі для зондування матеріалів та визначають фізичні характеристики через їх зміну після проходження через об'єкт контролю. Перевагою цього методу є можливість виконувати контроль великих габаритів. Недоліком є необхідність акустичного контакту та наявність мертвої зони, яка не дозволяє контролювати приповерхневу частину об'єкту контролю, що нераціонально через причини, описані вище.

Сучасна електромагнітна структуроскопія поділяється на два види: вихрострумова та магнітна. Обидва методи створюють відповідне поле в об'єкті контролю та вимірюють його характеристики. Зазвичай вихрострумові методи більш інформативні через більшу кількість робочих параметрів.

## 1.2 Аналіз вихрострумів

Вихрострумові методи неруйнівного контролю досить різноманітні. В залежності від того, який саме параметр вихрових струмів використовується як інформативний параметр матеріалу розрізняють такі види вихрострумового контролю як: контроль за магнітною проникністю, метод вищих гармонік, метод спектрального аналізу, тощо.

Всі вихрострумові методи базуються на аналізі взаємодії наведених вихрових струмів в об'єкті контролю з зовнішнім. Струм в котушці перетворювача створює змінне електричне поле, яке збуджує вихрові струми в електромагнітному об'єкті. Вплив електромагнітного поля наведених струмів на параметри перетворювача несе інформацію щодо природи вихрових струмів, що дозволяє зробити висновки про структуру матеріалу, в якому вони були наведені.[3]

Контроль за магнітною проникністю використовує годографи, зображення залежності сигналу параметричного вихрострумового перетворювача від робочої частоти та зазору між перетворювачем та об'єктом контролю, та питомої магнітної проникності в комплексній площині.[4] Приклад умовних годографів зображено на рис.1.1

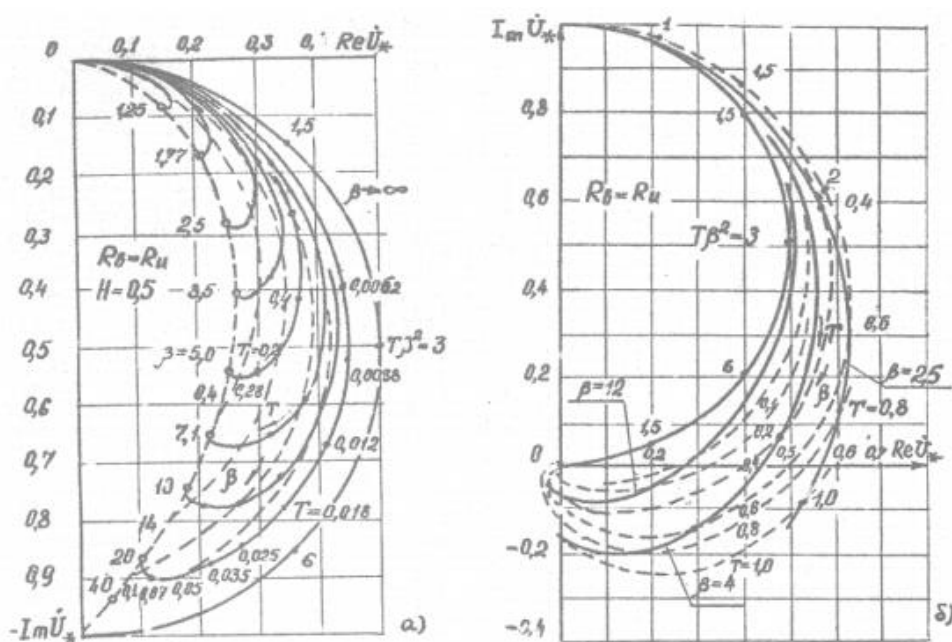


Рис.1.1 Приклад годографів

Залежність зміни положення робочої точки на годографі від зміни параметрів вимірювання є інформаційним параметром цього методу.

Модуляційний метод використовує властивість вихрострумів методів проводити контроль без безпосереднього фізичного контакту. Якщо перетворювач та об'єкт контролю взаємно рухаються то зміна сигналу в часі буде нести інформацію про структуру об'єкту. Отриманий таким чином детектується та аналізується

Метод вищих гармонік використовує збуджувальні струми високої амплітуди для виклику в об'єкті контролю складного сигналу, який вміщує в собі вищі гармоніки. Такий метод можливий лише з феромагнітними матеріалами.

Метод спектрального аналізу схожий на метод вищих гармонік тим, що інформаційним параметром є характеристики складові частот, що відрізняються від першої гармоніки генератора, проте замість виділення окремих частот інформація здобувається за допомогою комплексних перетворень, наприклад перетворення Фур'є для побудови спектрів сигналу. Недоліком цього методу є те, що побудувати таким чином фазовий спектр з достатньою точністю майже неможливо.

Всі ці методи також можна підрозділити за робочим положенням та типом вихрострумів перетворювача (прохідні або накладні), типом перетворення сигналу (трансформаторні або параметричні), кількістю та типом підключення котушок, кількістю інформаційних параметрів, тощо.

Отже кількість можливих методів контролю дуже велика. В якості методу контролю для поставленої задачі було обрано метод вищих гармонік. Цей вибір пов'язаний з тим, що наявність в сигналі частотних складових, що відрізняються від першої гармоніки генератора дозволяє отримати більше інформаційних параметрів. Через те, що отриманий сигнал необхідно буде оцифрувати та аналізувати, тип перетворення сигналу буде трансформаторним, що в свою чергу також зумовлює наявність двох котушок, одна збуджуюча, друга вимірююча.

### 1.3 Аналіз методу вищих гармонік

Контроль магнітних виробів призводить до появи у вторинній ЕДС вищих гармонічних складових. Вхідним сигналом в такому методі буде або повна вторинна ЕДС, або деяка кількість її гармонік. Важливою перевагою методу є те, що на третю гармоніку не впливає змінний магнітний потік в зазорі між об'єктом контролю та котушкою. Це важливо при вимірюванні в сильних магнітних полях або при контролі тонких об'єктів, наприклад магнітних плівок.

Також дуже важливою перевагою є те, що вищі гармоніки вторинної напруги більш тісно зв'язані з структурними параметрами об'єкту, аніж перша, та зазвичай пов'язані не з одним, а з декількома параметрами, всі з яких можуть бути використані для аналізу внутрішньої структури феромагнетика.

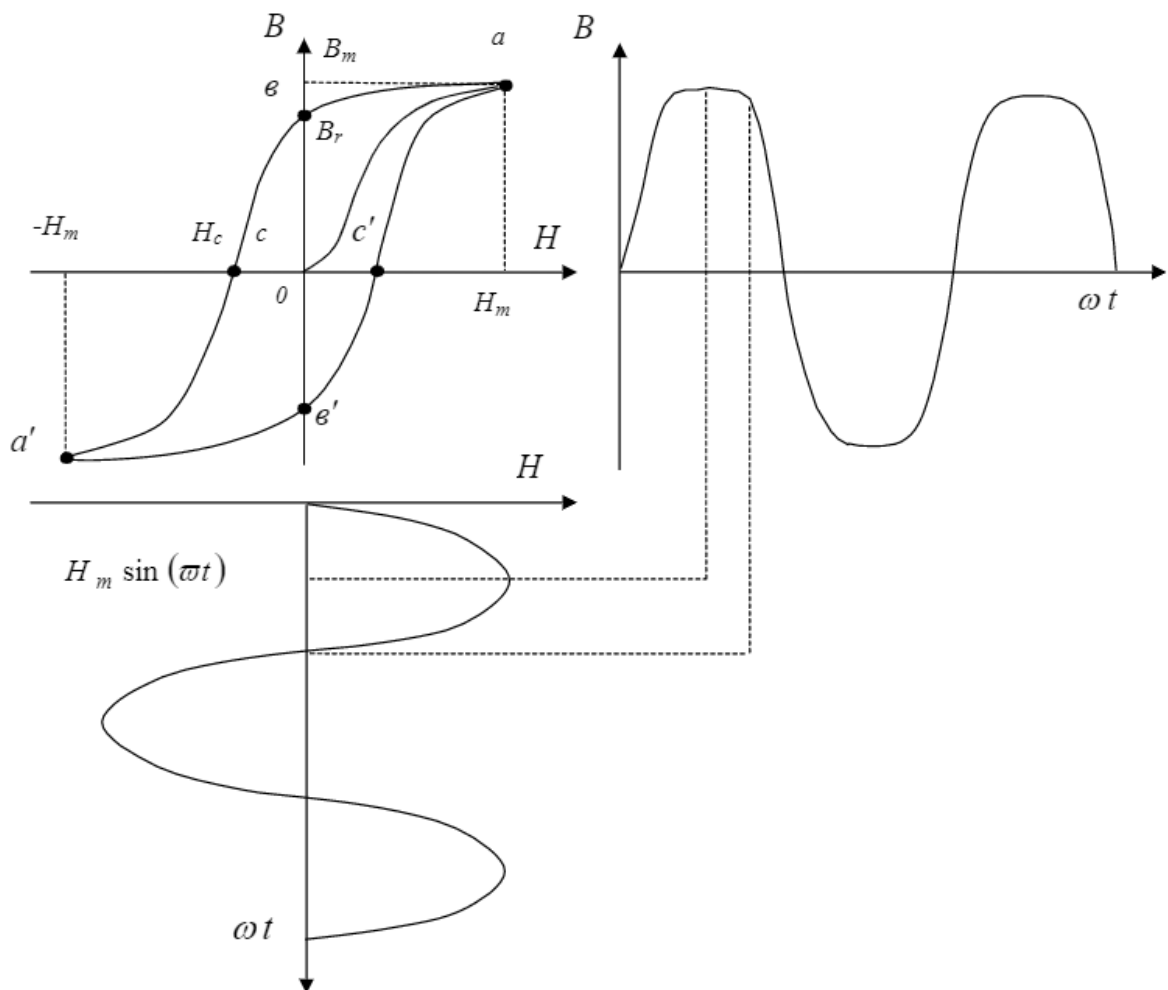


Рис.1.2 Поява вищих гармонік в феромагнітному об'єкті

Як видно з 1.2, наявність петлі гістерезису для намагнічування та її форма мають прямий вплив на вигляд отриманого сигналу. Малі зміни технології термообробки змінюють цю петлю, а отже змінюють і отриманий сигнал. При цьому зміна параметрів петлі гістерезиса значно більше вплине на вид вищих гармонік, що і дозволяє так пов'язувати параметри об'єкта до параметрів гармонік сигналу.

Виокремлення цих гармонік для окремого аналізу є дуже важливим кроком, адже лише відокремлення необхідних гармонік та їх окремих аналіз, без впливу на них інших складових сигналу, може дати інформацію щодо структури об'єкта. Також використання вищих гармонік дозволяє іноді визначити магнітні параметри, наприклад магнітну жорсткість, проте найбільш широке використання методу лежить в області контролю структури, наприклад величини зерна, внутрішніх напружень, твердості, тощо.

Також важливим моментом є залежність форми вторинного сигналу від амплітуди та частоти намагнічуючого - осциляції. Амплітуда та фаза першої гармоніки змінюються монотонно, в той час як зміна вищих гармонічних складових буде немонотонна, що також може нести інформацію щодо структури об'єкта. Це явище виникає у зв'язку з опором феромагнітної середовища руху доменної границі, підвищуючи необхідну на перемагнічування енергію.

Сама наявність цих осциляцій може виступати інформаційним параметром в деяких видах неруйнівного контролю, проте виведення залежностей буде досить складним.

Наявність в об'єкті контролю дефектів також спотворює сигнал. Підвищення затрат енергії на перемагнічування доменів навколо дефекту змінює форму петлі гістерезису, що дозволяє порівняти сигнали бездефектного та дефектного об'єкта і розділити їх.

Поблизу дефектної ділянки неоднорідність поля сильно зростає, тому зростає доля вищих гармонік в полі розсіювання дефекту, що буде видно під час аналізу, а також значно зростає відношення сигнал/шум.

## 1.4 Використання ортогональної обробки сигналу

Використання методу вищих гармонік потребує методу обробки сигналу, який дозволяє виділити з необхідного сигналу лише ті гармоніки, які необхідні для отримання їх параметрів в даний момент часу. Таким методом є метод ортогональної обробки сигналу, який дозволяє виділяти зі складного полігармонічного сигналу окрему гармоніку, використовуючи властивості ортогональності сигналів.[5]

Основна властивість ортогональності, яку використовує цей метод:

$$\int_{-\infty}^{\infty} x_1(t)x_2(t)dt = 0 \quad (1.1)$$

Де  $x_1(t)$  та  $x_2(t)$  – гармонічні сигнали. Ця умова виконується якщо сигнали ортогональні та скінечні. У випадку коли сигнали періодичні, формула змінюється:

$$\int_0^T x_1(t)x_2(t)dt = 0 \quad (1.2)$$

Де  $T$  – період добутку сигналів. Це є основною властивістю, яка використовується для виділення складових гармонік.

Ортогональні сигнали за означенням це сигнали, які незалежні один від одного. Це дозволяє використовувати іншу властивість ортогональних сигналів: два сигнали з різними частотами завжди ортогональні.

Проте, цієї властивості недостатньо для виділення з сигналу окремої гармоніки. Для цього необхідно звернутися до формул добутку тригонометричних функцій:

$$\sin(\alpha t) * \sin(\beta t) = \frac{1}{2} (\cos((\alpha - \beta)t) + \cos((\alpha + \beta)t)) \quad (1.3)$$

Використавши властивість добутку тригонометричних функцій можна виділити одну з частот з сумарного умовного сигналу. Обравши перший сигнал

як умовний сумарний, а другий як ідеальний, то на частоті яка відповідає частоті ідеального отримуємо, за умови відсутності фаз:

$$\sin(\alpha t) * \sin(\alpha t) = \frac{1}{2} (\cos(0) + \cos(2\alpha t)) \quad (1.4)$$

У випадку коли в умовному сумарному сигналі на цій частоті присутній зсув за фазою отримуємо:

$$\sin(\alpha t + \varphi) * \sin(\alpha t) = \frac{1}{2} (\cos(\varphi) + \cos(2\alpha t + \varphi)) \quad (1.5)$$

Як відомо з іншої властивості ортогональних сигналів:

$$\int_0^T K x_1(t) dt = 0 \quad (1.6)$$

Де  $K$  – будь який коефіцієнт. Тобто постійна величина та деякий гармонічний сигнал також будуть ортогональні. В такому випадку інтеграл від (1.5) буде виглядати так:

$$\int_0^T \frac{1}{2} (\cos(\varphi) + \cos(2\alpha t + \varphi)) dt = \frac{1}{2} \cos(\varphi) \quad (1.7)$$

Таким чином, отриманий сигнал після інтеграції буде мати лише постійну частину добутку (1.5). Аналогічним чином використовуючи косинус а не синус як другий ідеальний сигнал отримуємо:

$$\sin(\alpha t) * \cos(\beta t) = \frac{1}{2} (\sin((\alpha - \beta)t) + \cos((\alpha + \beta)t)) \quad (1.8)$$

Зробивши обидві частоти однаковими та додавши до першої деяку фазу маємо:

$$\sin(\alpha t + \varphi) * \cos(\alpha t) = \frac{1}{2} (\sin(\varphi) + \cos(2\alpha t + \varphi)) \quad (1.9)$$



Та взявши інтеграл від (1.9) отримаємо:

$$\int_0^T \frac{1}{2} (\sin(\varphi) + \cos(2\alpha t + \varphi)) dt = \frac{1}{2} \sin(\varphi) \quad (1.10)$$

Отже, використовуючи властивість (1.2) всі гармоніки крім співпадаючої за частотою з ідеальним сигналом після інтеграції дають нуль. Використовуючи властивості тригонометричних функцій (1.3) та (1.8), перемноження вхідного сигналу на ідеальний з частотою гармоніки, параметри якої необхідно знайти, надає можливість отримати після інтеграцій (1.7) та (1.10) деякі значення  $\frac{1}{2} \sin(\varphi)$  та  $\frac{1}{2} \cos(\varphi)$ .

Тоді якщо використати тригонометричну формулу:

$$\sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha) = 1 \quad (1.11)$$

Нескладно зробити висновок що:

$$\sqrt{\left(\frac{1}{2} A \cdot \sin(\varphi)\right)^2 + \left(\frac{1}{2} A \cdot \cos(\varphi)\right)^2} = \frac{1}{2} A \quad (1.12)$$

Тобто використовуючи результати виділення постійної складової з добутку умовного сигналу та гармонічного можна отримати значення амплітуди однієї з гармонік несучого сигналу, яка відповідає частоті гармонічного.

Також використовуючи визначення тангенсу:

$$\frac{\sin(\varphi)}{\cos(\varphi)} = \operatorname{tg}(\varphi) \quad (1.13)$$

Тоді якщо підставити в цю формулу постійні частини:

$$\frac{\frac{1}{2} A(\sin(\varphi))}{\frac{1}{2} A(\cos(\varphi))} = \frac{\sin(\varphi)}{\cos(\varphi)} = \operatorname{tg}(\varphi) \quad (1.14)$$

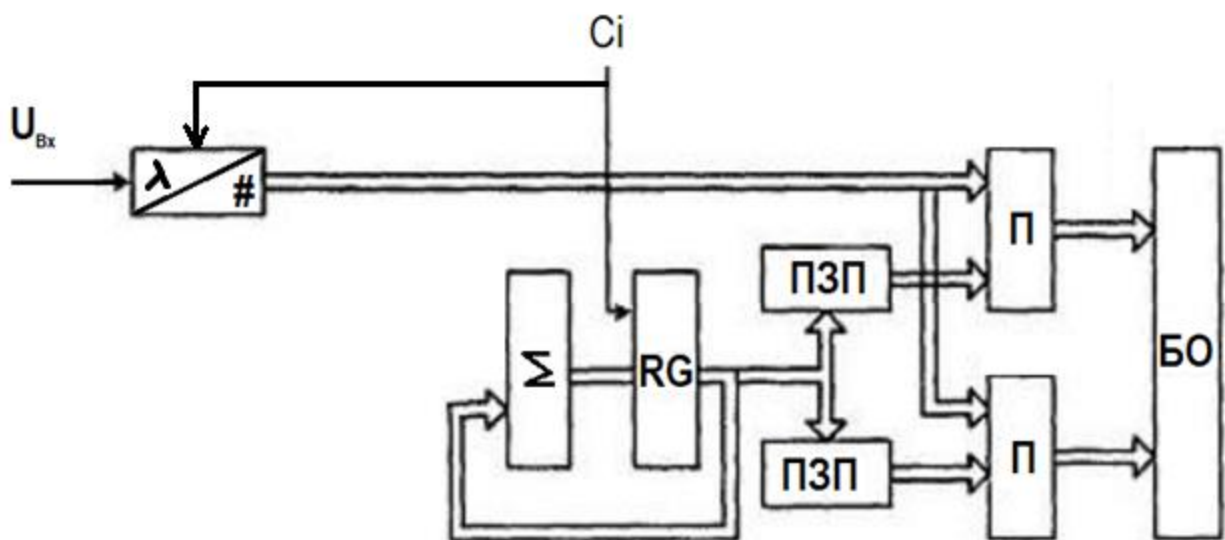
В такому випадку, взявши від цього відношення арктангенс можливо отримати значення фази цієї гармоніки:

$$\arctg\left(\frac{\frac{1}{2}A(\sin(\varphi))}{\frac{1}{2}A(\cos(\varphi))}\right) = \arctg(\operatorname{tg}(\varphi)) = \varphi \quad (1.15)$$

Аналогічним чином можна розрахувати амплітуди та фази інших гармонік, змінивши частоту ідеального сигналу, на який множиться вхідний і отримавши всі необхідні для аналізу об'єкту контролю параметри.

### 1.5 Реалізація алгоритму

Для реалізації роботи даного алгоритму є багато шляхів, один з яких зображено на рис.1.3 – інтегровані схеми.



1.3 Структурна схема реалізації методу інтегрованими схемами

За цією схемою вхідний сигнал надходить на АЦП, який передає оцифровані значення сигналу на перемножувачі  $П$ . Одночасно на них подаються значення косинусу та синусу з пам'яті  $ПЗП$ , яка керується схемою з регістра та суматора, на які надходять значення синхроімпульсів для вибору значення, яке знаходиться на виході  $ПЗП$ .

Подібна схема може бути реалізована в цифровому вигляді на ПК або в мікропроцесорі або ПЛІС, або ж складена з окремих інтегрованих елементів.[6] Різні реалізації схеми дозволяють мати різну кількість налаштувань та свободи модифікації. Про реалізацію цього алгоритму більш докладніше буде розказано в розділі 2.

### **1.6 Висновки до розділу 1**

В розділі 1 було розглянуто необхідність структуроскопії, проведено огляд методів вихрострумowego контролю та обрано метод вищих гармонік. Цей метод має такі переваги як більшу кількість інформаційних параметрів, більшу залежність параметрів від структурних характеристик об'єкту контролю, можливість використовувати метод не тільки для структуроскопії, але й для дефектоскопії, тощо.

Необхідність виділяти окремі гармоніки та визначати їх характеристики зумовлює використання методу ортогональної обробки сигналу – цифрового або аналогового методу, який використовує властивості тригонометричних функцій та ортогональних сигналів для отримання амплітуди та фази окремих гармонік, отримуючи їх абсолютно незалежно від інших. Також було приведено схему реалізації алгоритму за допомогою інтегрованих схем.

## 2. МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДУ

### 2.1 Побудова моделі

В якості основного інструмента дослідження методу було обрано програмний пакет MATLAB, який дозволяє легко проводити складні розрахунки та спеціалізований на векторних та матричних операціях.[7][8]

В цьому програмному пакеті було створено модель, яка дозволяє генерувати довільні сигнали та використовувати математичну реалізацію методу ортогональної обробки сигналу для отримання значень фаз та амплітуд необхідних гармонік.

Першим кроком в побудові робочої моделі є генерація довільного сигналу. Для цих цілей створюється масив, що вміщує в собі  $N$  оцифрованих періодів першої гармоніки, масив такої ж довжини, що вміщує в собі  $3N$  періодів третьої гармоніки,  $5N$  періодів п'ятої,  $7N$  періодів сьомої та  $9N$  періодів дев'ятої. Амплітуди цих гармонік обираються з експериментальних даних і літератури та становлять 1; 0.3; 0.06; 0.01; 0.01. Фази цих сигналів обираються користувачем або генеруються випадково. Після цього масиви поелементно складаються і отримується деякий умовний вхідний сигнал (рис.2.1).

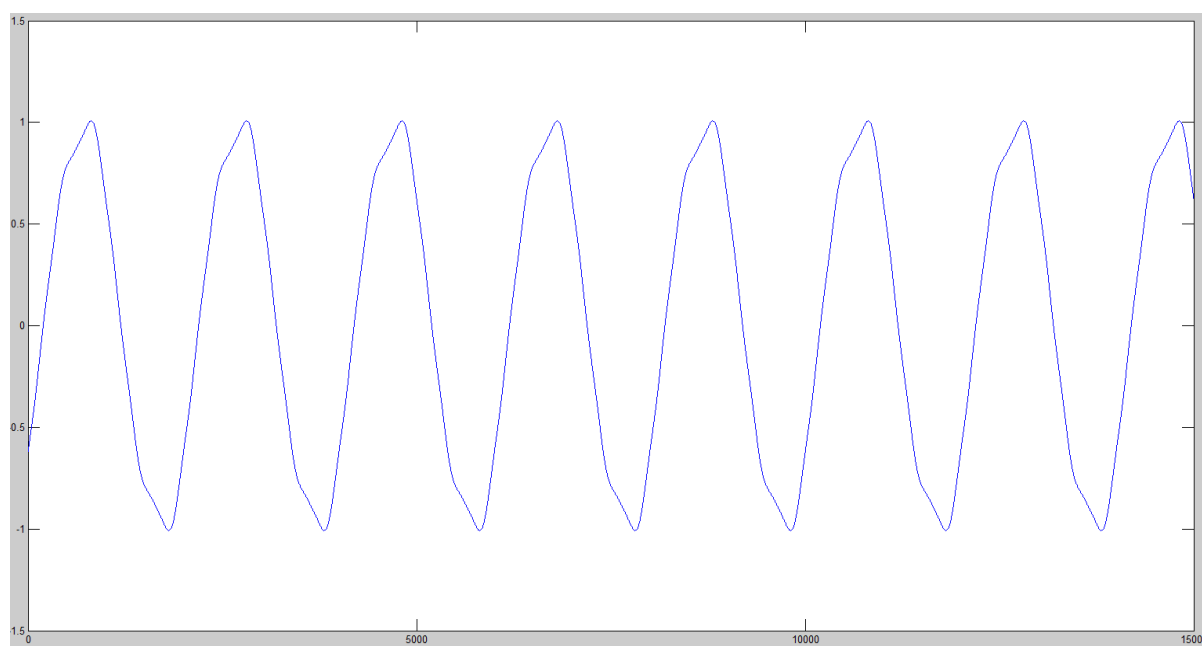


Рис.2.1 Модель випадкового сигналу

Після цього цей сигнал, який таким чином генерується з надзвичайно великою точністю, проходить через модель АЦП з  $Q$  розрядів, що дозволяє виконувати розрахунки з оглядом на похибки квантування АЦП.[9]

Після цього генеруються синусоїдальний та косинусоїдальний сигнали такої ж довжини та частоти, як ті, що складала умовний вхідний сигнал, але з нульовими фазами. Ці сигнали використовуються для того, щоб визначити амплітуди та фази умовного сигналу з тригонометричної формули (1.3)

Після цієї операції отримуємо деякий сигнал-проекцію на косинус, в якому присутня постійна частина за рахунок косинусу від сталої величини. Моделювання підтверджує цю теорію (рис.2.2), показуючи деякий сигнал зсунутий по осі  $Y$ . Це говорить про те, що сигнал має постійну складову.

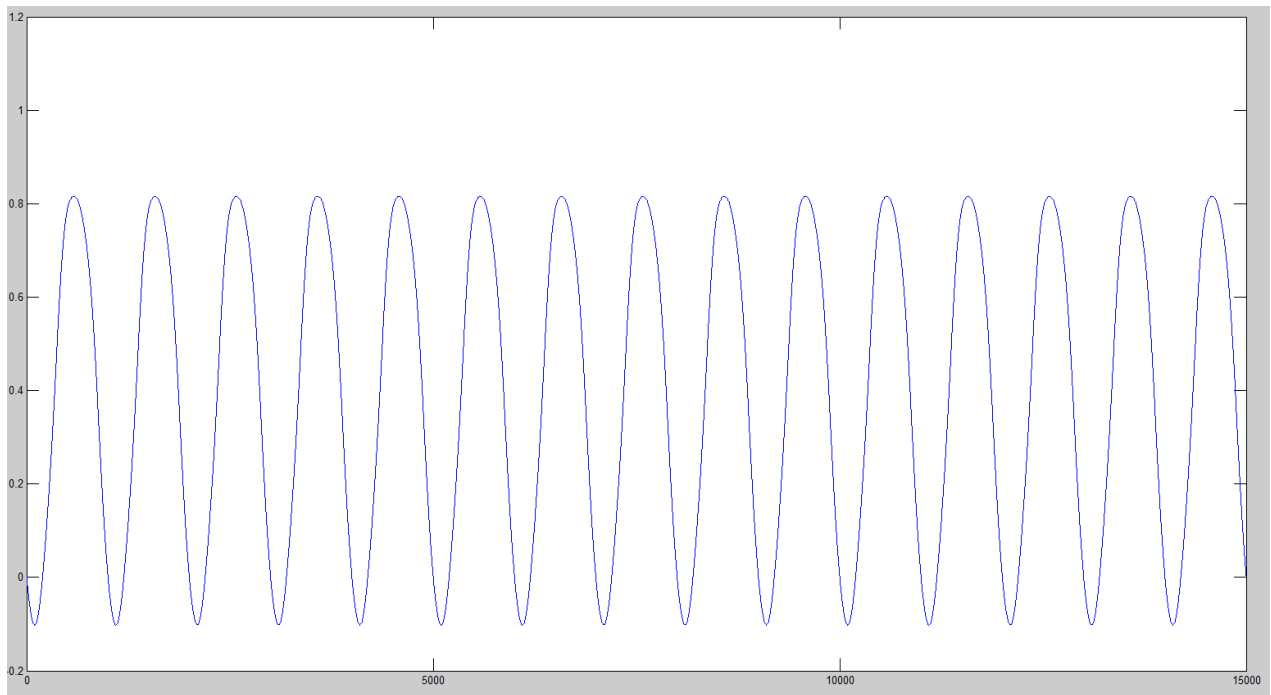


Рис.2.2 Модель випадкового сигналу помножена на ідеальний синус з частотою першої гармоніки випадкового сигналу

З аналогічної формули добутку тригонометричних величин, тепер синуса та косинуса (1.8), помноживши вхідний умовний сигнал на ідеальний косинус

отримуємо деякий сигнал-проекцію на синус зі сталою величиною за рахунок синуса від сталої величини (рис.2.3.)

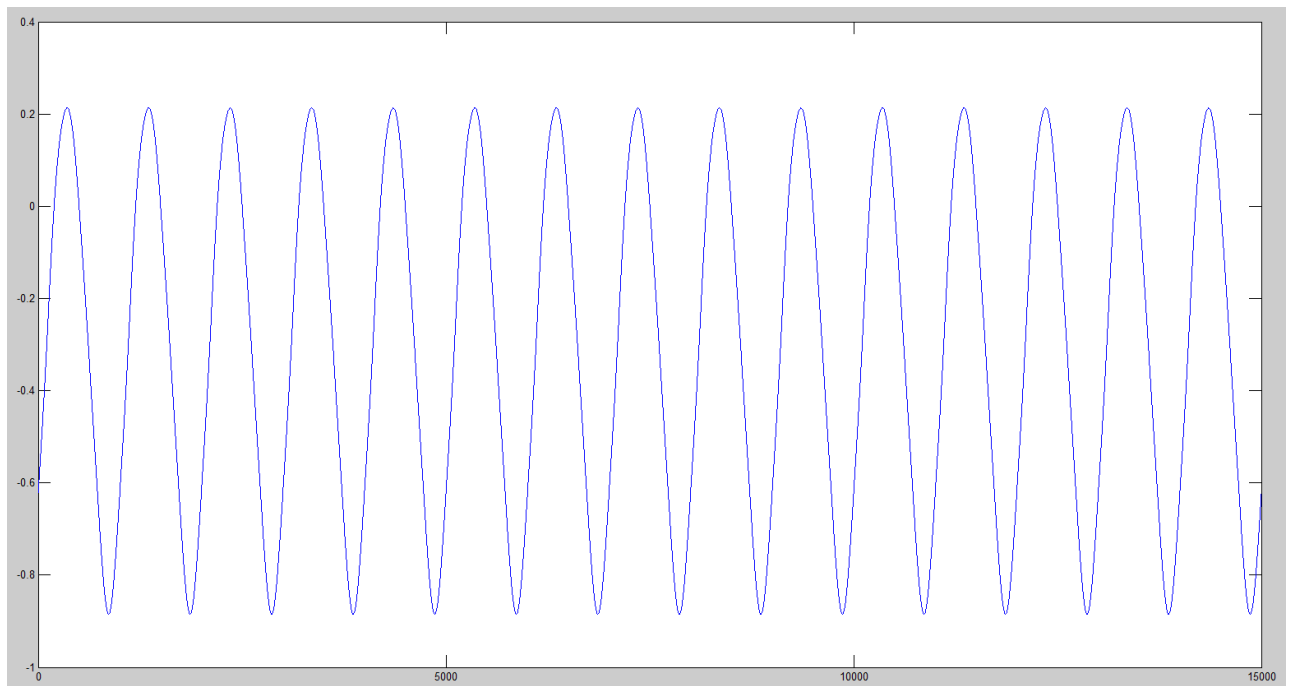


Рис.2.3 Модель випадкового сигналу помножена на ідеальний косинус з частотою першої гармоніки випадкового сигналу

Враховуючи, що синус та косинус в системі комплексних координат розташовані під прямим кутом, можна вважати що така операція прив'язує вектор умовного вхідного сигналу до нових координат, які обертаються навколо початку з такою ж частотою як і сам сигнал. Отримавши таким чином проекції сигналу, є можливість виділити постійні частини та отримати ізольовані величини, які залежать лише від частоти, яку необхідно дослідити і з якою було згенеровано сигнал, на який було помножено умовний випадковий.

Таким чином якщо отримані величини залежать лише від однієї з частот умовного то є можливість зв'язати характеристики отриманих величин з характеристиками лише однієї з гармонік полігармонічного сигналу та визначити їх.

Якщо використовувати ортогональну обробку для розрахунку більш високих гармонік то вхідні сигнали помножені на програмно сгенерований ідеальний синус або косинус можуть бути досить складними.

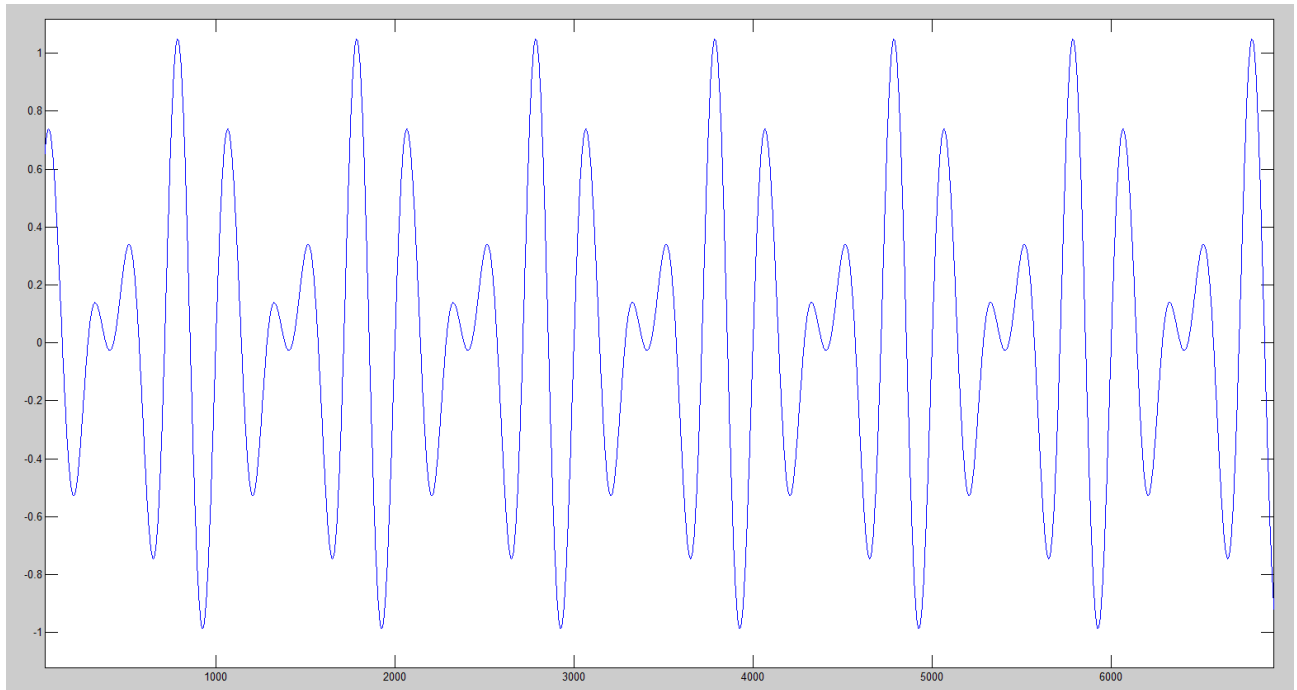


Рис.2.4 Проекція вхідного сигналу на косинус з частотою сьомої гармоніки

Виділення постійної складової з сигналу може бути виконано декількома шляхами. Перший, найбільш очевидний – цифрова фільтрація отриманого сигналу. Цей метод простий якщо використовувати розрахунок засобами математичних пакетів на ПК, проте якщо необхідно створити прилад, який всі операції виконує на вбудованій схемі, виникають проблеми. Як видно з рис 2.5 типовий цифровий фільтр з безкінечною імпульсною характеристикою буде мати 45 порядок. Це надзвичайно складна система, яку важко виконати на інтегрованій мікросхемі. Необхідність перебудовувати фільтр для різних частот дискретизації сигналу, різних робочих частот, тощо, робить цей шлях виділення постійної складової нераціональним.

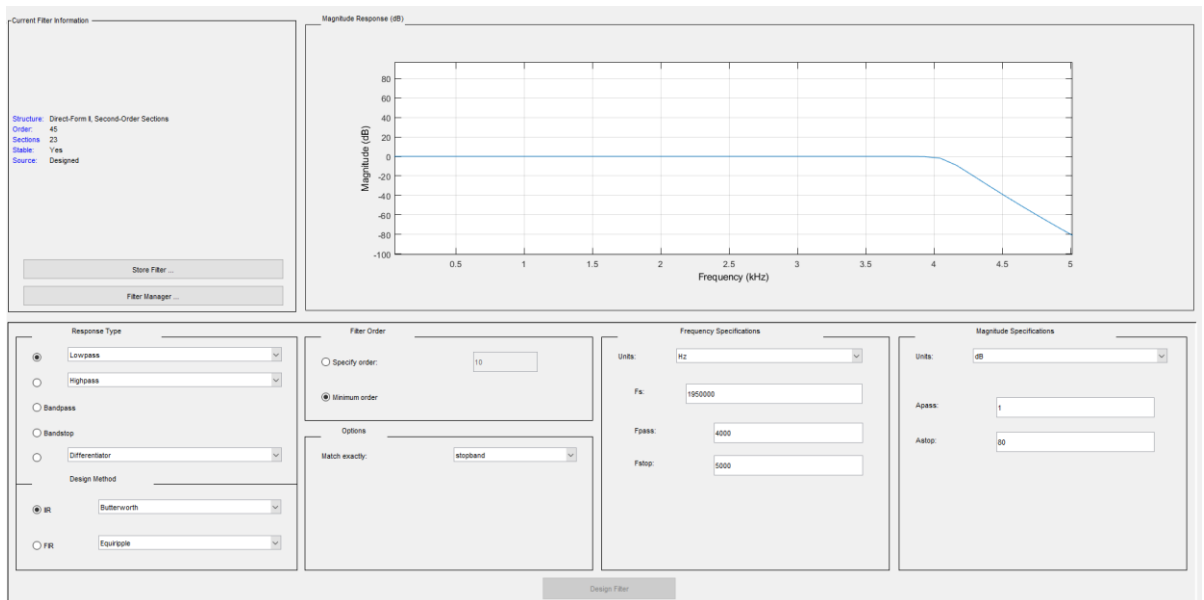


Рис.2.5 Типовий фільтр нижніх частот для виділення постійної складової з сигналу частотою 9 кГц

Як видно з рис.2.6 також проблемою цифрової фільтрації є те, що для отримання необхідного значення потрібно багато періодів та часу. У випадку з радіоімпульсним збудженням подібний метод не актуальний та сильно сповільнює розрахунки.

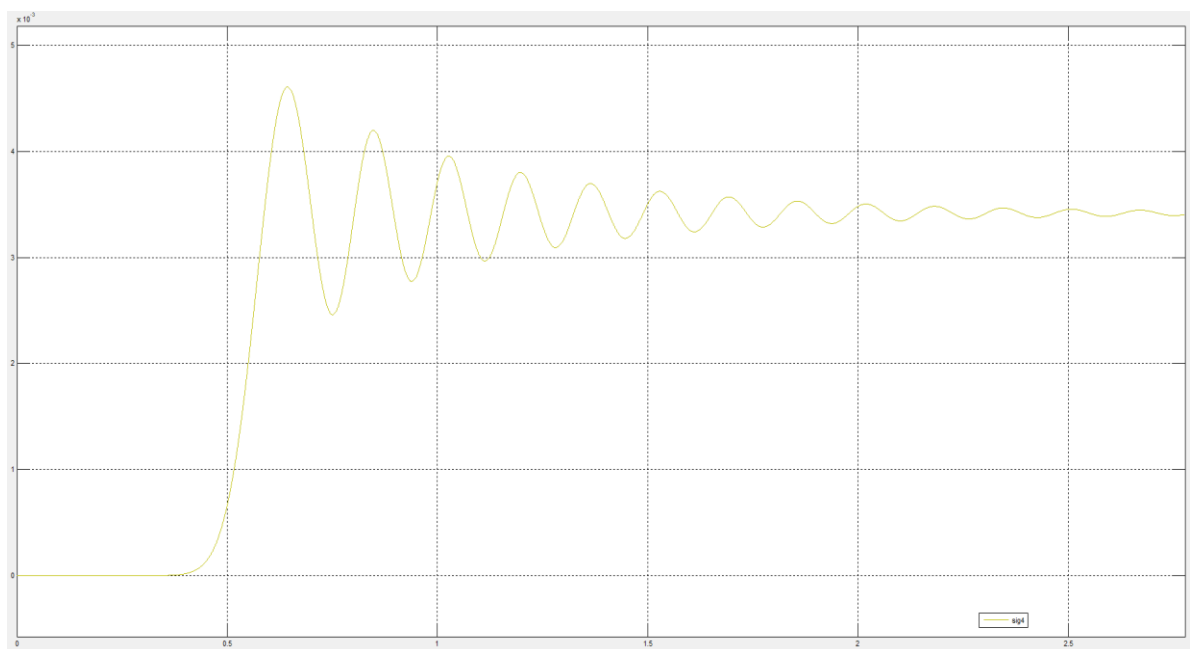


Рис.2.6 Цифрова фільтрація проєкції вхідного сигналу на косинус з частотою сьомої гармоніки



Іншим, більш актуальним методом виділення постійної складової є інтегрування. Синусоїдальний полігармонічний сигнал завжди періодичний. Якщо проінтегрувати такий сигнал за досить великою кількістю періодів то похибка знаходження постійної частини може бути значно знижена. Якщо ж проінтегрувати сигнал за цілою кількістю періодів (формули 1.7 та 1.10) першої гармоніки буде отримано точну величину постійної частини, проте реалізація такого алгоритму також складна, хоча і не настільки як реалізація змінних цифрових фільтрів під кожні умови.

Модель було побудовано саме з розрахунку на те, що такий алгоритм, дозволяючий отримати цілу кількість періодів, буде можливо створити та реалізувати. Код моделі приведено нижче.

```
N = 2048;
K = 8
A = 1;
F = 9000;
T = 1/F;
dt = T/N;
Ang = deg2rad(45);
T = 0:dt:K*N-1*dt;
Ph1 = rand*2*pi;
Ph2 = rand*2*pi;
Ph3 = rand*2*pi;
Ph4 = Ang;
Ph5 = rand*2*pi;

Nacd = 14;
Q = 2*A/(2^Nacd);

Sin0 = A*sin(2*pi*7*F*t);
Cos0 = A*cos(2*pi*7*F*t);

Sin1 = A*sin(2*pi*F*t+Ph1);
Sin3 = A/16*sin(2*pi*3*F*t+Ph2);
Sin5 = A/30*sin(2*pi*5*F*t+Ph3);
Sin7 = A/100*sin(2*pi*7*F*t+Ph4);
Sin9 = A/100*sin(2*pi*9*F*t+Ph5);
```

```

SinIn = Sin1 + Sin3 + Sin5 + Sin7 + Sin9;
SinIn = round(SinIn./Q).*Q;

SinM = SinIn.*Sin0;
CosM = SinIn.*Cos0;

Amp = sqrt(mean(SinM)^2+mean(CosM)^2);
Ph = rad2deg(atan2(mean(CosM),mean(SinM)));

```

Побудована модель створює деякий сигнал, в якому  $K$  періодів сигналу, в кожному з яких  $N$  точок, з відомими амплітудами та випадковими фазами всіх гармонік окрім сьомої. Дослідження проводиться відносно сьомої гармоніки через те, що таким чином досліджується найгірший варіант, при якому похибка розрахунків буде максимальною. Якщо похибка сьомої гармоніки буде допустимою то похибки інших гармонік будуть такими ж або меншими.

## 2.2 Використання моделі для дослідження методу.

Цикли в програмному середовищі MATLAB дозволяють проводити розрахунки поступово змінюючи одну чи декілька змінних та записуючи отримані дані в багатовимірний масив.

Головною методикою розрахунку похибки буде встановлення сьомої гармоніки як сталої, встановлення кожної іншої гармоніки рівній випадковому значенню від  $0$  до  $2\pi$  та запис в масив модулю різниці між встановленим та отриманим значенням фази гармоніки. Обрав однією з осей масиву деяку кількість повторень одного експерименту отримуємо можливість використати середнє значення за цією віссю, таким чином отримавши більш точну закономірність, яка значно менше залежить від випадкових величин.

### 2.2.1 Дослідження залежності точності від формату вхідного сигналу

Одним з найважливіших параметрів методу є мінімальна кількість інформації, необхідна для достовірності вимірювання. Враховуючи, що кількість пам'яті в системі може бути обмеженою, дуже важливим рішенням

буде формат вхідного сигналу. Формат сигналу це відношення між кількістю періодів та кількістю точок на період. Приймавши змінними величинами кількість точок на один період вхідного сигналу та кількість періодів в сигналі, можна провести перше дослідження.

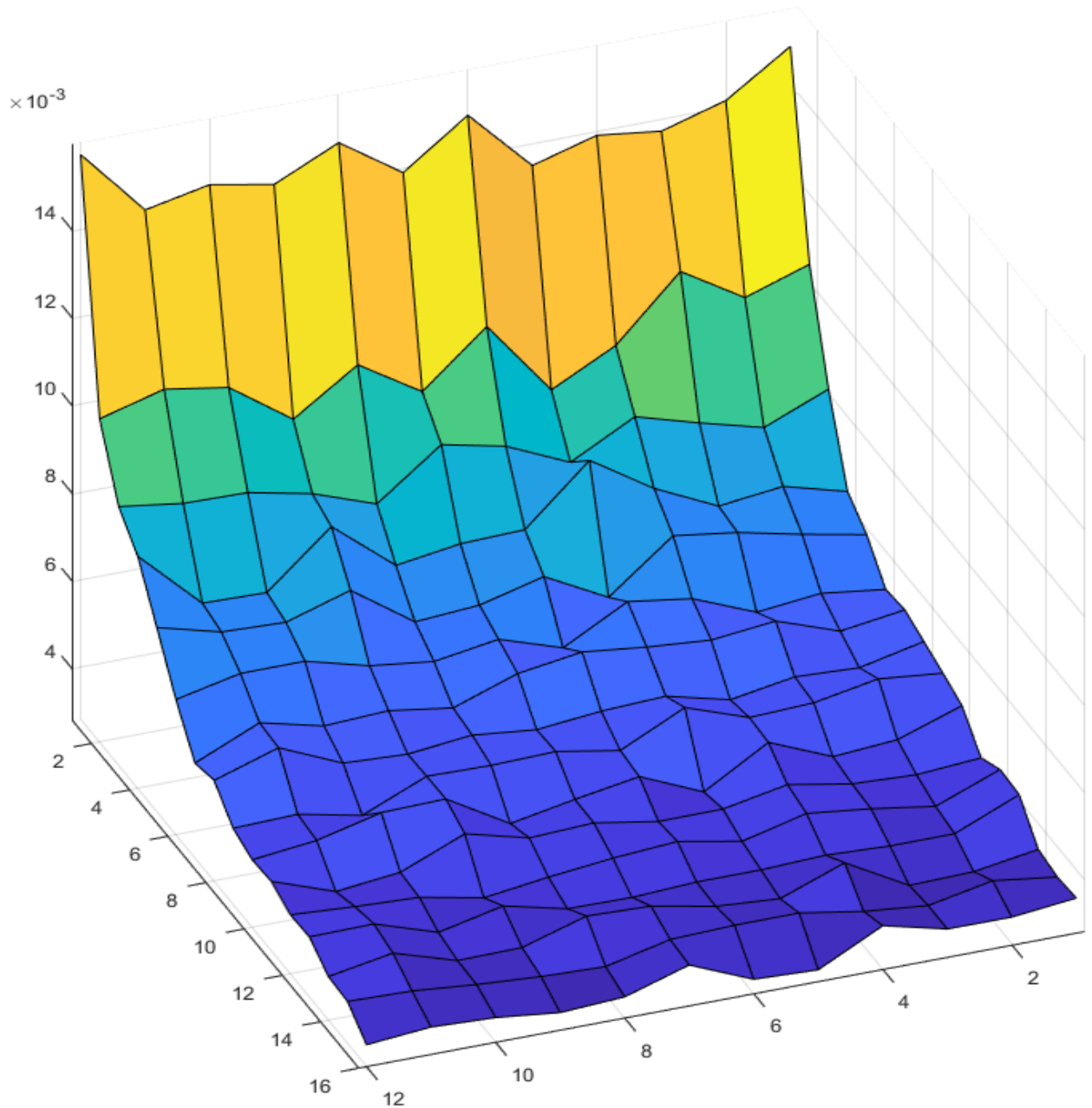


Рис.2.7 Залежність похибки від формату вхідного сингалу для великих сигналів

На рис.2.7 зображено тривимірний графік, який показує залежність похибки вимірювання сьомої гармоніки в градусах від кількості періодів за

віссю X, за інтервалом 1-12 періодів, та кількості точок в одному періоді сигналу за віссю Y, за інтервалом  $(1-16) \times 512$  точок. Для кожної точки графіку розрахунок було проведено 200 разів і отримане значення за віссю Y є середнім значенням модулю різниці обрахованого значення та заданого.

Як видно з графіку, значно більшу важливість для точності має кількість точок на період. За малих значень кількості точок підвищення кількості періодів значно зменшує точність вимірювання. Враховуючи те, що якщо система використовує ультразвуковий імпульсний метод то сигнал буде мати 3-5 дуже коротких періодів, необхідно також провести розрахунок для малих значень довжини періоду та їх кількості.

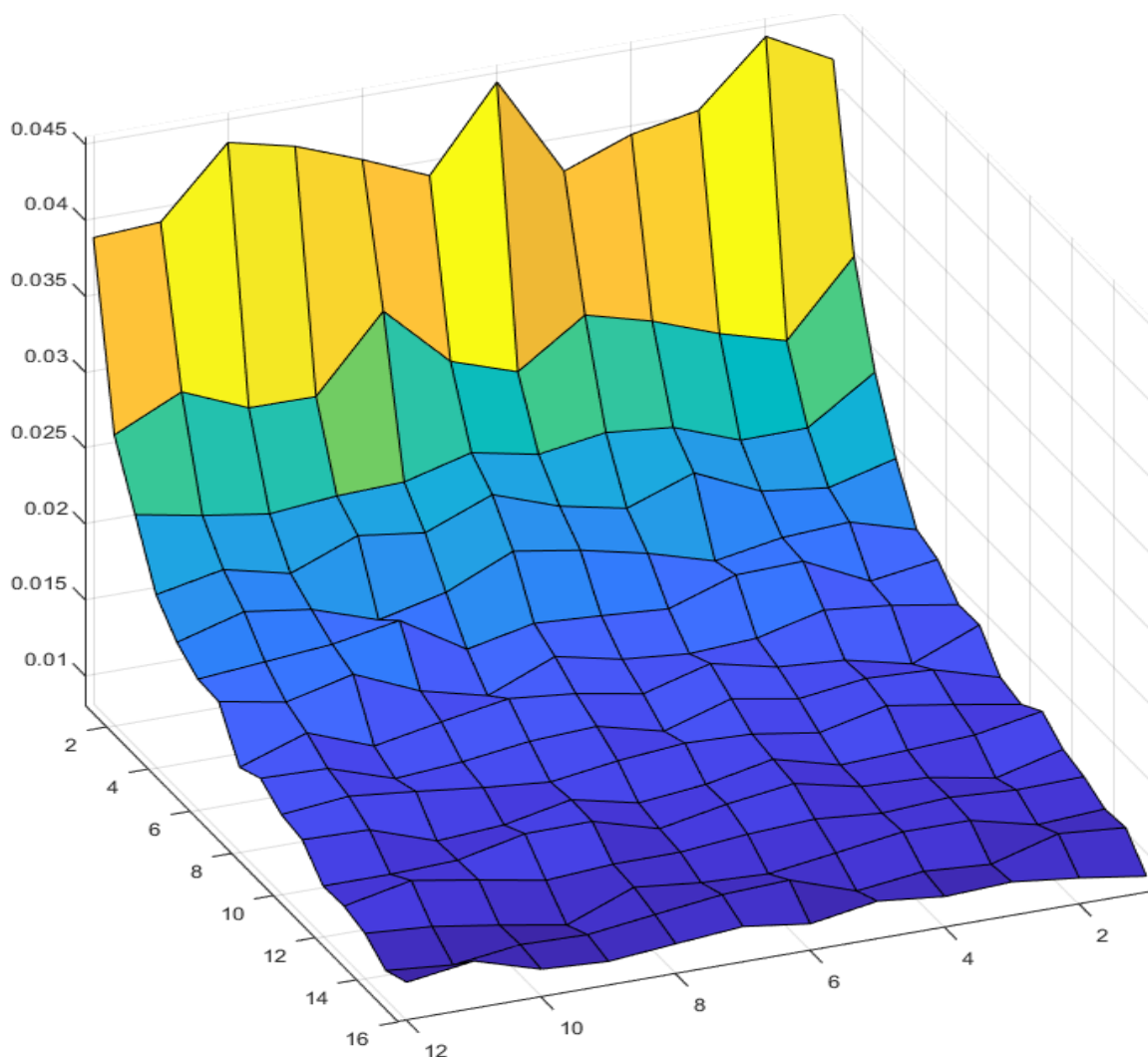


Рис.2.8 Залежність похибки від формату вхідного сигналу для малих сигналів

На рис. 2.8. зображено тривимірний графік, який побудовано за тими ж принципами, але інтервали за віссю Y мають крок не 512 а 64 точки. Отримана залежність майже не відрізняється від отриманої для великих сигналів, відрізняючись лише модулем похибки. Ці результати показують необхідність підвищувати дискретизацію сигналу для підвищення точності визначення фази сигналу, та вказують на те, що підвищення кількості періодів в сигналі майже не підвищує точність вимірювання.

### 2.2.2 Дослідження залежності точності від неповності кількості періодів

Найбільша точність вимірювання досягається за тих умов, коли вхідний сигнал має в собі точно цілу кількість періодів. Через те, що під час інтегрування проекції зайві частини періоду додають різні частини до обох проекцій, тим самим змінюючи їх відношення, що спотворює розрахунок кута, змінюючи арктангенс. Така неkratність має тим більший вплив, чим меншу кількість періодів має вхідний сигнал, отже на високих частотах є можливість зменшити похибку за рахунок підвищення часу вимірювання або підвищення робочої частоти. На рис.2.9 зображено залежність похибки за фазою від неkratності відносно одного періоду, а на рис.2.10 відносно восьми.

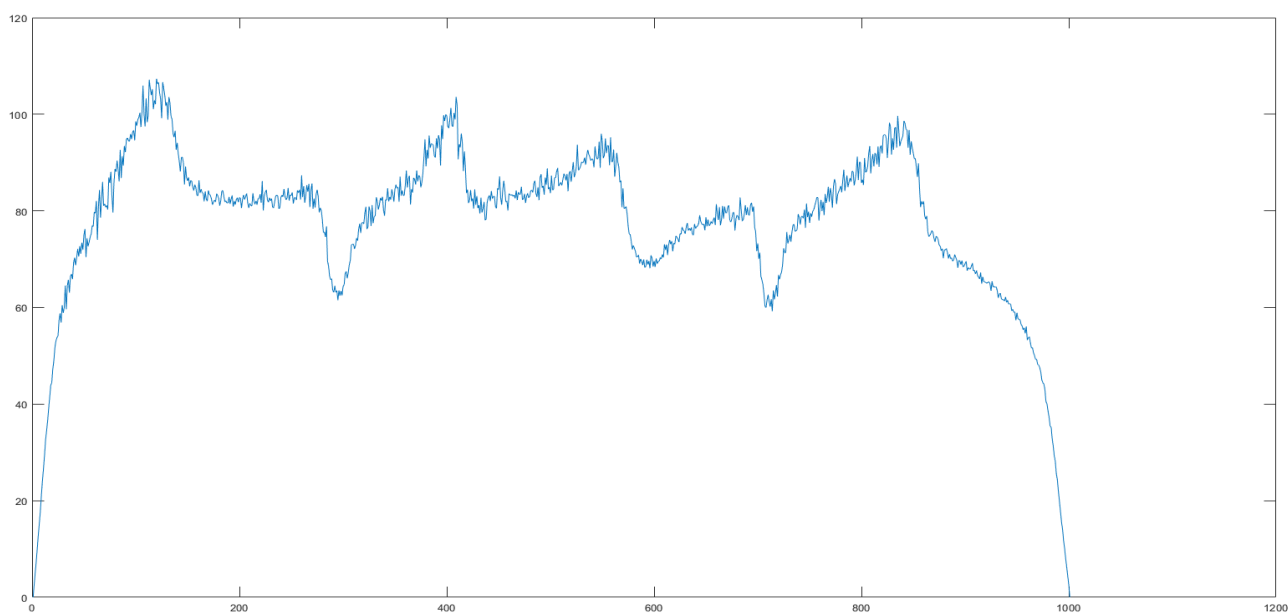


Рис.2.9 Залежність похибки від надлишкової частини періоду в розрахунках для одного періоду

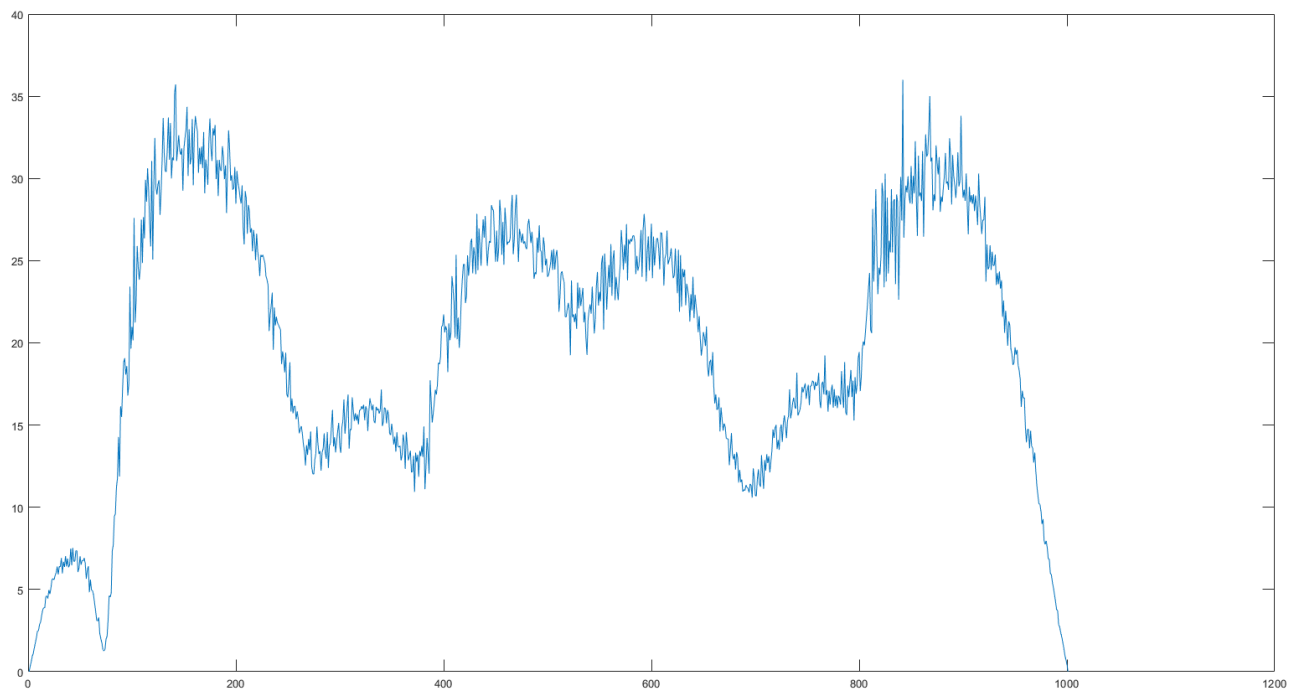


Рис.2.10 Залежність похибки від надлишкової частини періоду в розрахунках для восьми періодів

По осі X на цих графіках обрано половину періоду вхідного сигналу. Як видно з графіків, за наявності рівно половини періоду похибка за фазою стає мінімальною. Це пов'язано з тим, що обидві проекції, що використовуються при розрахунках, за такої умови змінюються з тією ж пропорцією, що й за ідеальної кратності, але спотворюється значення амплітуди, що не дозволяє використовувати цей випадок при вимірюваннях.

На рис.2.11 Зображено залежність похибки від кількості повних періодів у вхідному сигналі. Враховуючи обмежену кількість пам'яті в реальних приладах, та додатковий час, необхідний для обробки великих сигналів, набагато доцільніше використовувати алгоритми або схеми, які гарантують, що в сигналі буде ціла кількість періодів, ніж намагатися збільшити масив даних.

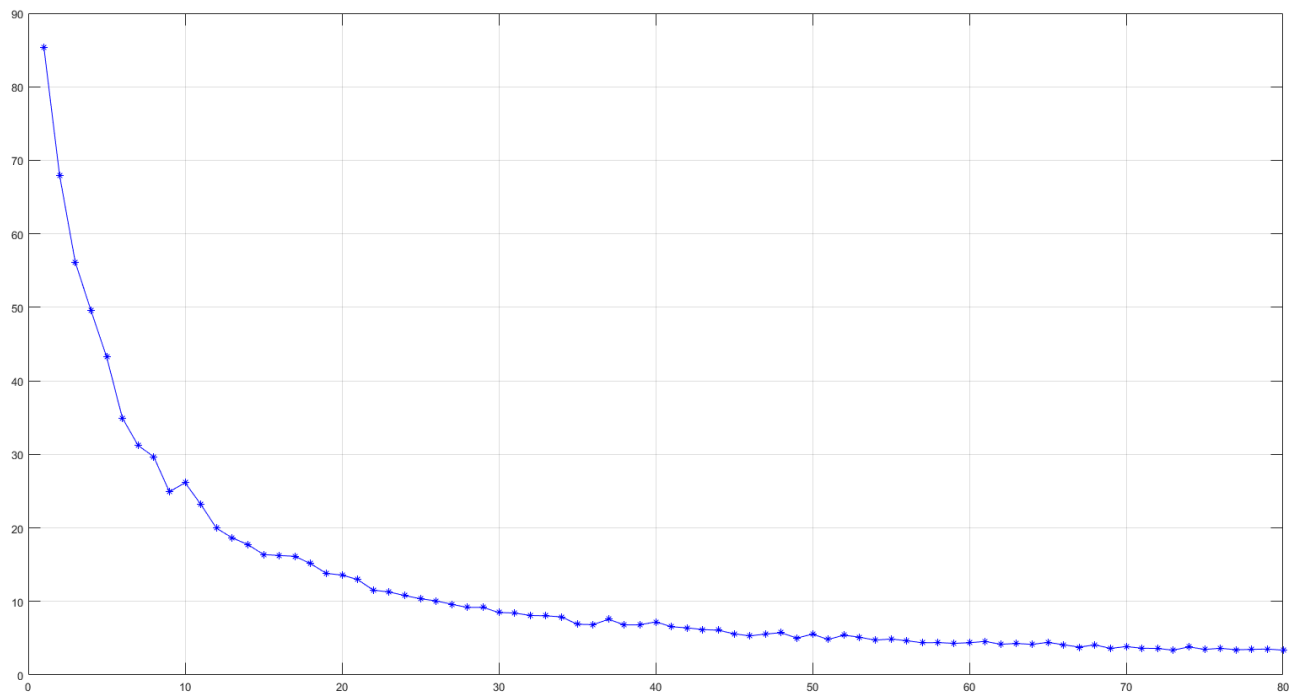


Рис.2.11 Залежність похибки від кількості цілих періодів вхідного сигналу при надлишковості 0.1

### 2.2.3 Дослідження залежності похибки від кількості розрядів АЦП

Одним з найважливіших елементів будь якої цифрової системи є аналогово-цифровий перетворювач. Від його якості та характеристик залежить те, наскільки достовірним є отриманий вхідний сигнал, що є дуже важливою характеристикою, бо недостовірний сигнал не несе достатньо інформації для достовірних розрахунків. Отже дослідження розрядності та її впливу на точність вимірювання несе важливу роль в дослідженні моделі. Для цього було використано циклічні вимірювання зі зміною розрядності моделі АЦП. Для кожної розрядності з 1 до 20 моделювання було проведено 1000 разів та взято середній результат похибки.

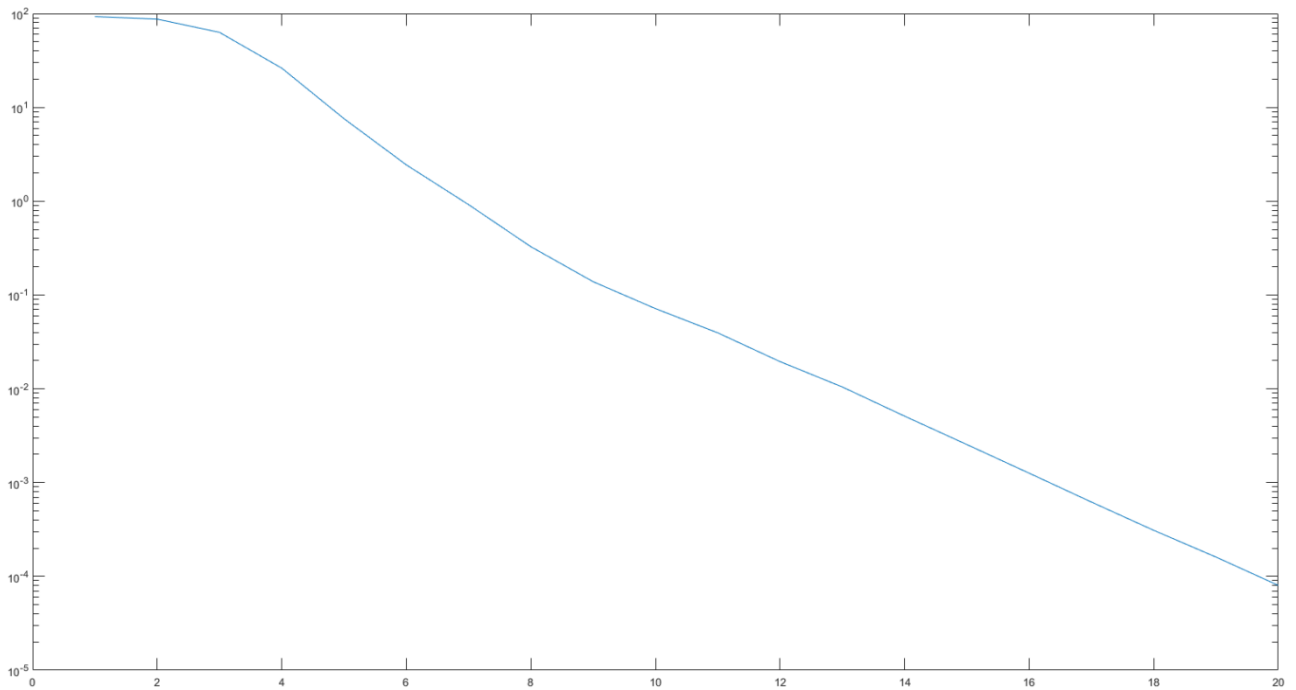


Рис.2.12 Логарифмічний графік залежності похибки від розрядності АЦП

Як видно з рис.2.12, похибка знижується вдвічі з кожним розрядом. З міркувань точності, розрядності АЦП в 10 достатньо для правильного функціонування приладу.

### 2.3 Висновки до розділу 2

В розділі 2 було побудовано модель методу вищих гармонік та ортогональної обробки інформації та використано для знаходження робочих характеристик, необхідних для повноцінної роботи приладу. Виходячи з отриманої інформації було встановлено що похибка квантування АЦП прямо впливає на точність та 10 розрядів – достатня характеристика; що кількість відліків в кожному періоді сигналу більш важлива ніж кількість періодів в масиві даних а також те, що для досягнення актуальної точності необхідно або обробляти масив довжиною, кратній цілому періоду, або набирати достатньо довгий масив для того, щоб за рахунок властивостей інтегрування похибка не кратності була мінімізована. Також було встановлено що отримання постійної складової зі складного сигналу більш доцільно виконувати інтеграцією.



## **3. СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ**

### **3.1 Необхідність статистичного аналізу**

Будь-які процеси несуть в собі деяку варіабельність. Неможливість ідеального повторення процесу зумовлює необхідність аналізу на предмет того, за яким законом варіабельність розподілена при повторенні одних й тих самих процесів. Лише за умови розуміння джерел варіабельності процесу можна змінити процес для підвищення його однорідності та її усунення.

Одним з найбільш ефективних методів статистичного аналізу процесів є методи розроблені Уолтером Шухартом, які дозволяють легко класифікувати варіабельність процесу, що є першим кроком до її зменшення.[10]

Шухарт розглядав варіабельність процесу з точки зору того, чи знаходиться вона в деяких межах, які залежать від випадковості, або знаходиться за ними. Якщо варіабельність виходить за межі випадковості то на процес існує деякий зовнішній вплив який можна таким чином знайти та виключити або зменшити. З його точки зору будь які процеси мають деяку варіабельність, але деякі з них мають керовану, а інші некеровану варіабельність. Визначення типу варіабельності є основним рішенням що зумовлює подальший розвиток процесу.

У випадку коли процес має керовану варіабельність, ця варіабельність відображає лише те, що присутнє самому процесу, і основний спосіб її зниження – зміна процесу. Керований процес є деякою межею, яку можна досягти знаходячи та виключаючи джерела некерованості, не змінюючи при цьому основи процесу.

### **3.2 Отримання експериментальних даних**

На базі математичної моделі, описаної в розділі 2, було побудовано прилад, який виконує вимірювання вихрових струмів, оцифровує сигнал за допомогою 14-розрядного АЦП та надсилає інформацію на ПК через Ethernet

кабель. Використовуючи трохи модифіковану модель розділу 2 отриманий сигнал оброблюється, з нього отримуються значення фаз та амплітуд гармонік, та записуються в файли, що дозволяє проводити статистичний аналіз.

Побудований прилад складається з керованого ЦАП, який може посилювати на вихід гармонічні коливання, підсилювача та АЦП. Прилад керується через Ethernet кабель за допомогою інтерфейса, побудованого на базі MATLAB.

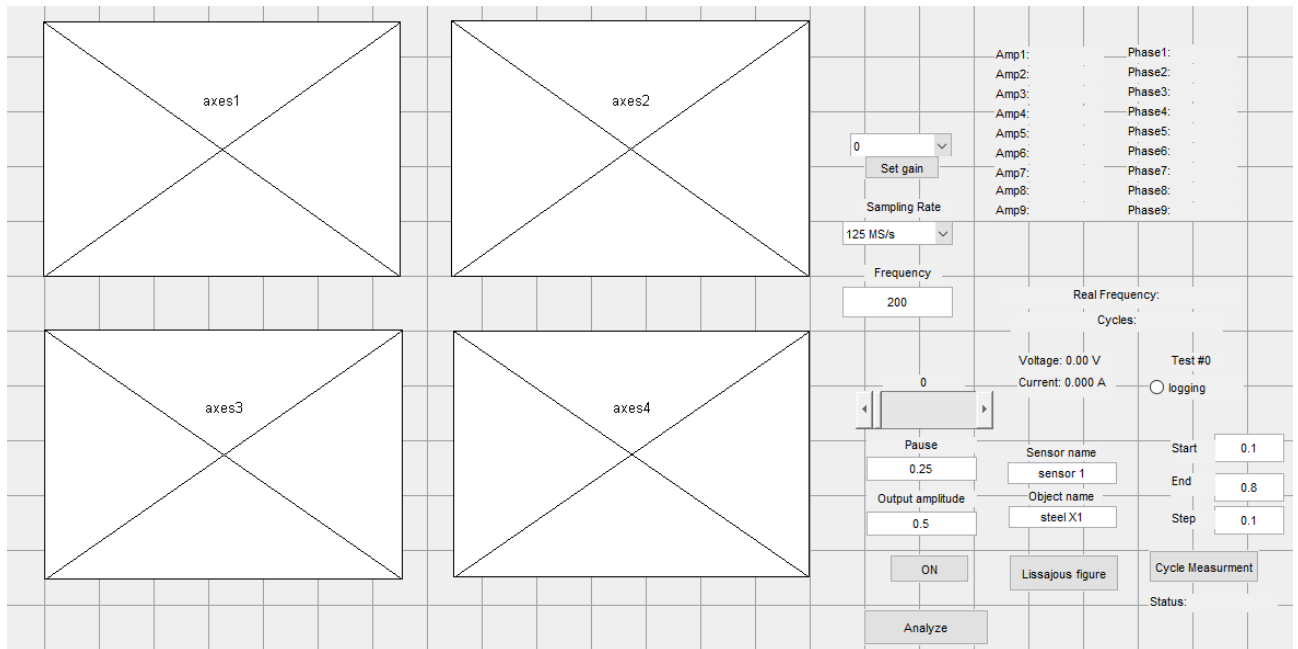


Рис.3.1 Інтерфейс програми для вимірювання

На рис.3.1 зображено вигляд програми. Елементи керування дозволяють обрати робочу частоту, частоту дискретизації з можливих для АЦП, амплітуду та крок вимірювання. Отримані сигнали та їх спектри зображаються на графіках зліва.

Також було побудовано програму, що може дешифрувати записані в файл вимірювання та зобразити їх графічно.

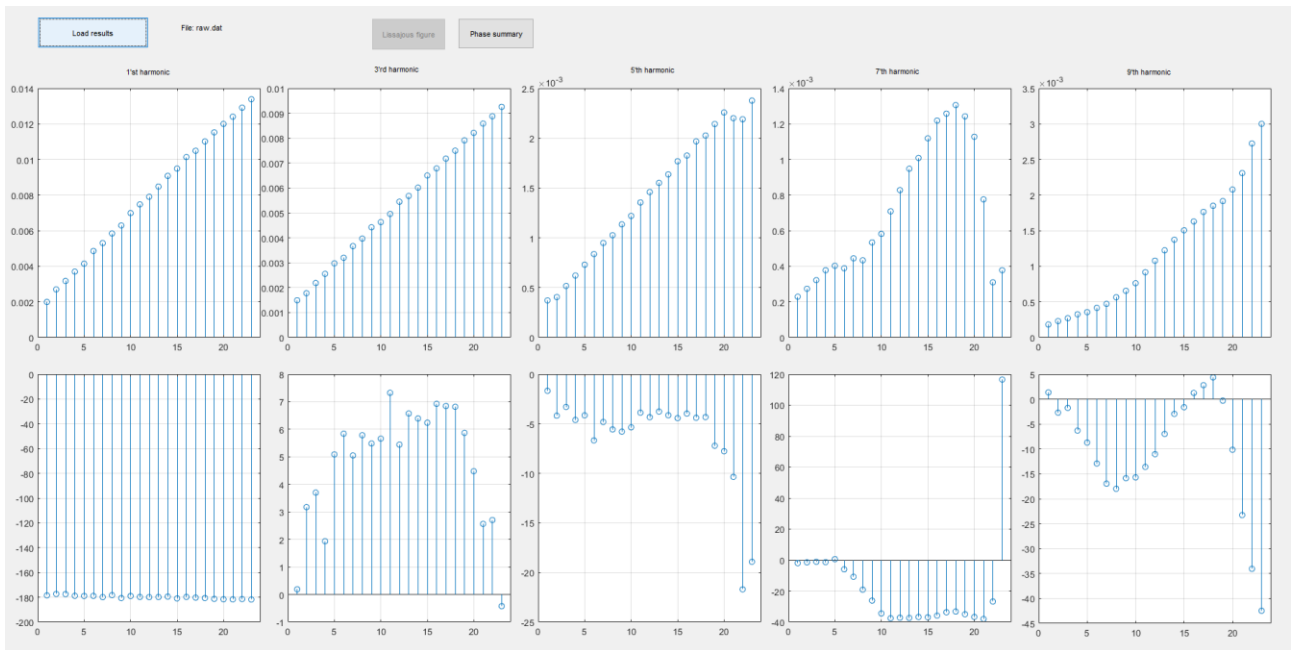


Рис.3.2 Інтерфейс програми для візуалізації інформації

Таким чином отримані графіки можуть бути проаналізовані як графічно, так і чисельно, отримавши значення напряму з файлів.

### 3.3 Використання карт Шухарта для аналізу керованості процесу

Уолтер Шухарт запропонував використовувати графіки ходу процесу як одне з основних джерел розуміння процесів. Такі графіки мають переваги в тому, що на відміну від гістограм та схожих числових графіків вони зберігають часову послідовність. Це важливо через те, що в більшості процесів послідовність з якою дані отримуються несуть не менше інформації ніж значення цих даних.

Графік ходу процесу це графік, в якому за вертикальною віссю відкладаються значення що спостерігаються, а за горизонтальною – послідовність їх появлення. Такий графік дозволяє слідкувати за випадковим процесом в часі, висвітлюючи закономірності та залежності.

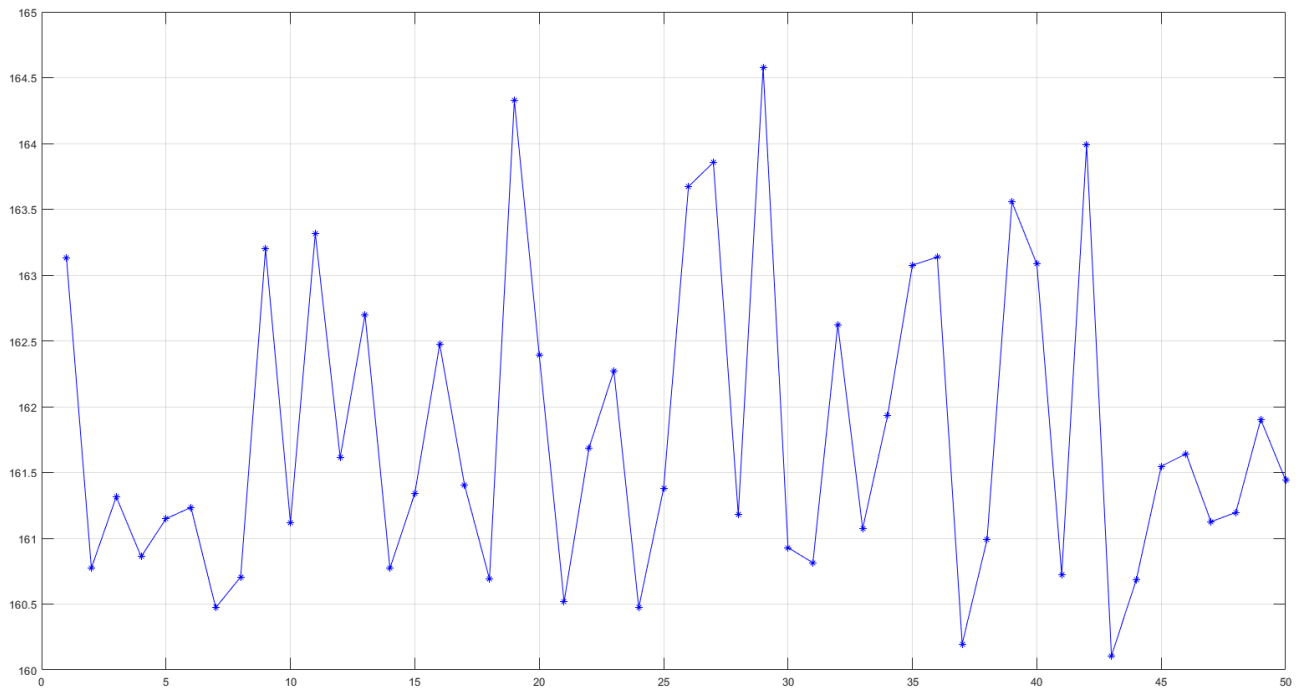


Рис.3.3 Графік ходу процесу для набору вимірювань фази

Відмінність карти Шухарта від часового графіку в тому, що карта включає в себе лише обмежену кількість елементів, та на ній зображаються додаткові горизонтальні лінії, які відмічають середнє значення та межі допуску. Ці лінії розраховуються через окремі константи, виведені Шухартом емпірично, та середні та середнє середніх значення вхідних даних. Вихід за межі допуску говорить про те, що процес некерований.

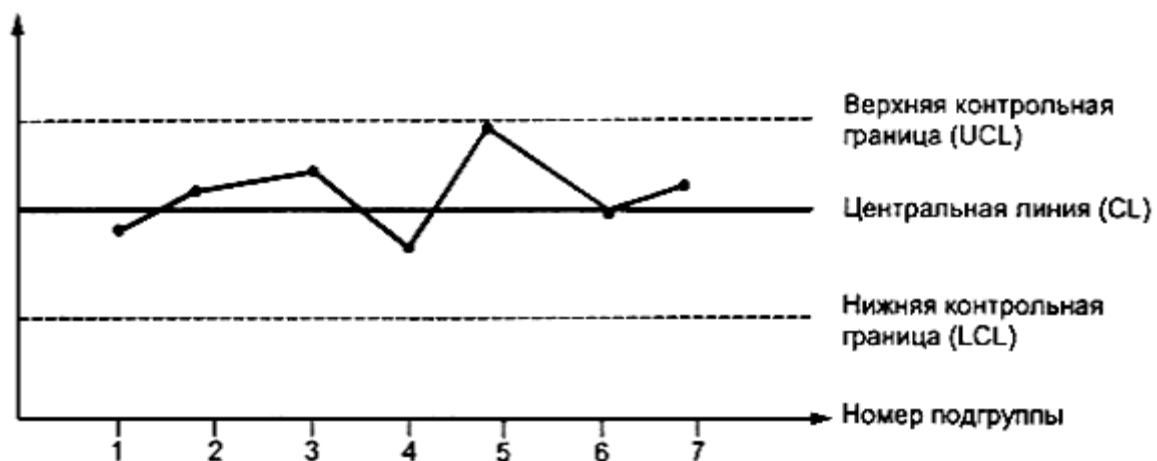


Рис.3.4 Вид контрольної карти Шухарта

Побудова контрольної карти Шухарта базується на використанні періодичного виділення підгруп даних та використання середніх значень та розмахів цих груп як точок на карті а також як основ для розрахунку меж.

Розглянемо процес розрахунку та побудови карти Шухарта на прикладі з емпіричних даних.

### 3.3 Розрахунок карти Шухарта

Отримані дані представлені в виді таблиць значень фази. В якості розрахункових даних оберемо п'ятдесят значень фази за сьомим вимірюванням четвертої гармоніки з масиву.

Таблиця 3.1- Дані для прикладу розрахунку

Номер підгрупи	Значення	Середнє	Розмах
1	-19.63; -21.61; -20.41; -17.00; -21.53	-20.04	4.61
2	-20.96; -18.39; -20.81; -21.83; -22.87;	-20.97	4.47
3	-21.91; -19.15; -19.59; -21.11; -20.74	-20.50	2.76
4	-20.26; -20.45; -17.18; -21.36; -21.07	-20.06	4.17
5	-19.66; -17.52; -19.34; -21.45; -20.98	-19.79	3.92
6	-21.83; -21.89; -22.81; -20.82; -19.66	-21.40	3.14
7	-21.93; -19.09; -22.90; -22.02; -16.73	-20.54	6.17
8	-20.08; -21.03; -21.87; -21.25; -20.85	-21.02	1.78
9	-20.54; -21.68; -16.46; -21.78; -17.45	-19.58	5.32
10	-19.77; -21.63; -21.47; -22.59; -20.65;	-21.22	2.82

Таким чином ми маємо k підгруп з n елементів в кожній. Контрольні границі для таких даних розраховуються таким чином:

1. Розраховується середнє та розмах для кожної з підгруп.
2. Розраховується середнє середніх:  $\bar{X}_m = -20.51 +$
3. Розраховується середній розмах:  $R_m = 3.92$

4. З таблиці констант для контрольних карт обираються значення  $A_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$ .

Таблиця - 3.2 Константи для контрольних карт

n	$A_2$	$D_3$	$D_4$
2	1.88	-	3.268
3	1.023	-	2.574
4	0.729	-	2.282
5	0.577	-	2.114
6	0.483	-	2.004
7	0.419	0.076	1.924
8	0.373	0.136	1.864
9	0.337	0.184	1.816
10	0.308	0.223	1.777

5. Розраховується добуток  $A_2 \times R_m = 2.65$
6. Розраховується верхня контрольна межа карти середнього:  $X_u = X_m + A_2 \times R_m = -18.25$
7. Розраховується нижня контрольна межа карти середнього:  $X_l = X_m + A_2 \times R_m = -22.78$
8. Розраховується верхня контрольна межа карти розмаху:  $R_u = R_m \times D_4 = 8.29$
9. Розраховується нижня контрольна межа карти розмаху:  $R_l = R_m \times D_3 = 0$

За отриманими даними будуються контрольні карти середнього та розмаху, зображені на рис. 3.3 та рис. 3.4

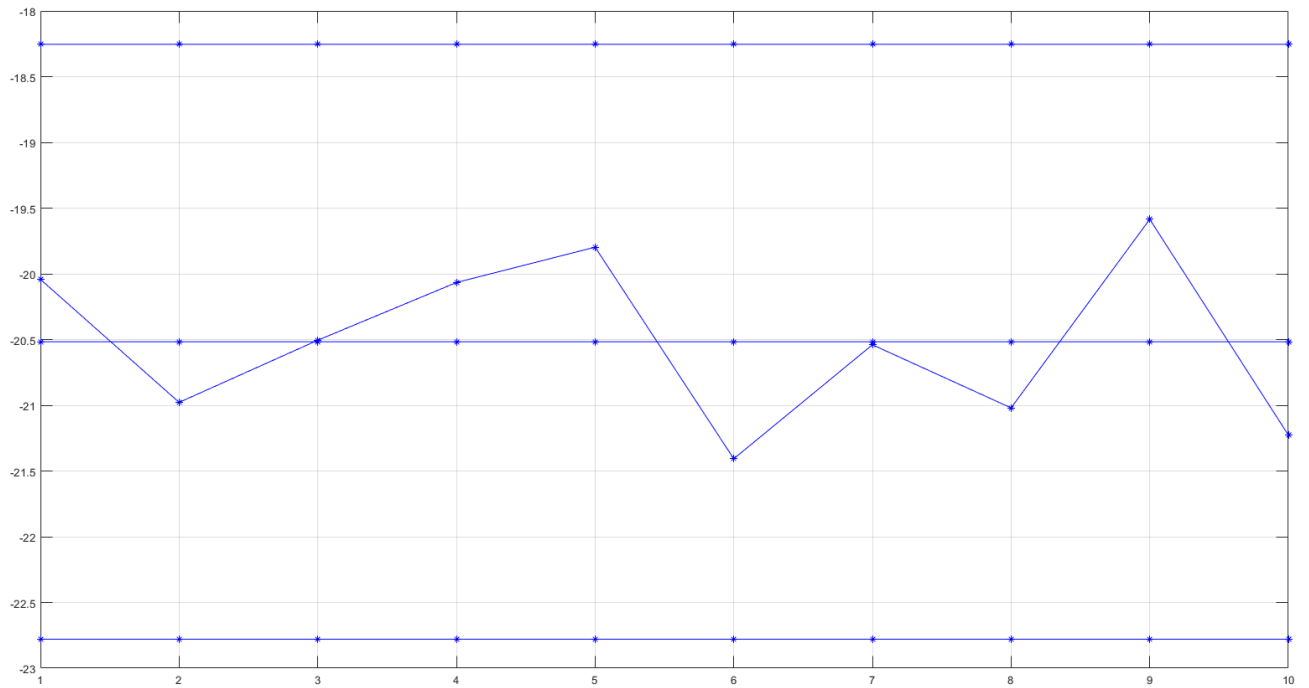


Рис.3.5 Контрольна карта середнього для даних з таблиці 3.1

Як видно з рис. 3.3, дані з прикладу задовольняють умови керованості Шухарта за середнім. Всі значення лежать в межах, розрахованих за методикою статистичного аналізу, отже процес є керованим.

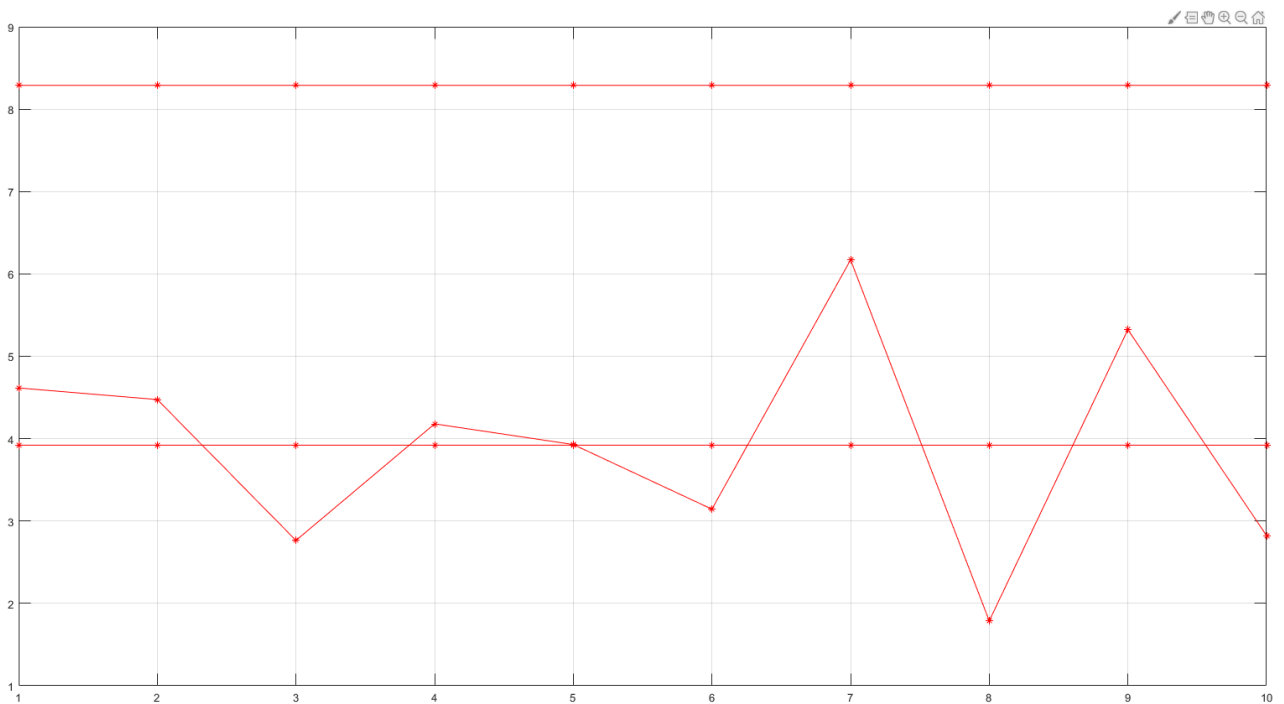


Рис. 3.6 Контрольна карта розмаху для даних з таблиці 3.1

Карта розмаху також задовольняє умови. Отже, процес вимірювання фази для цих умов є керованим.

### 3.4 Аналіз карт Шухарта побудованих на базі практично отриманих даних

Після автоматизації процесу було побудовано карти для всіх гармонік та всіх точок вимірювання, яких 9. Аналіз отриманих карт показує декілька цікавих закономірностей.

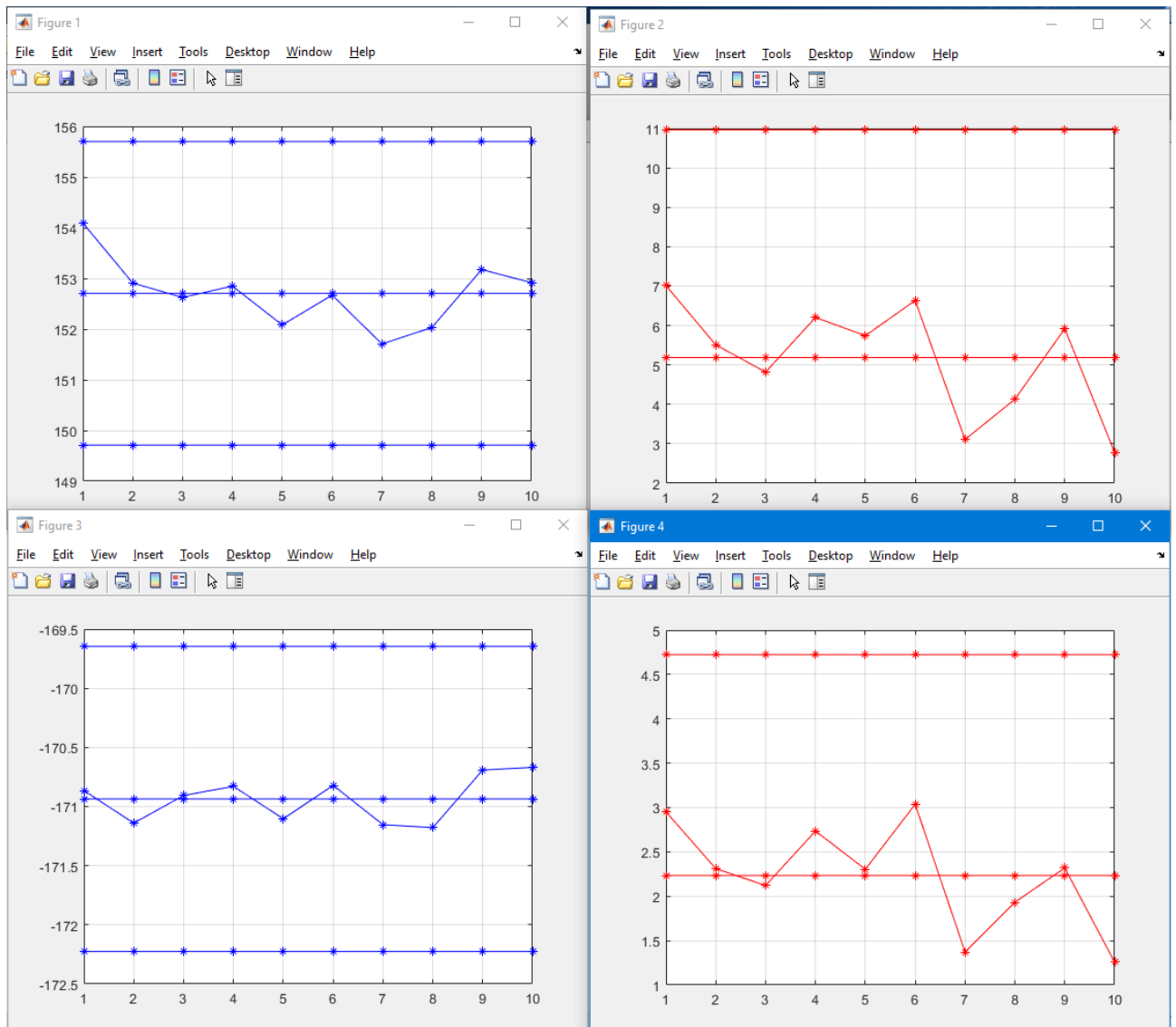


Рис.3.7 Карты Шухарта для двух різних гармонік

Як видно з рис.3.7, карти Шухарта для двох різних гармонік але одних і тих самих вимірювань дуже схожі. Вони відрізняються розміром та значенням фази, але тенденція та форма залишається однаковою. Аналіз графіків ходу



процесу показав, що процес за часом на всіх гармоніках практично однаковий, відрізняючись лише значенням фази та величиною розмаху.

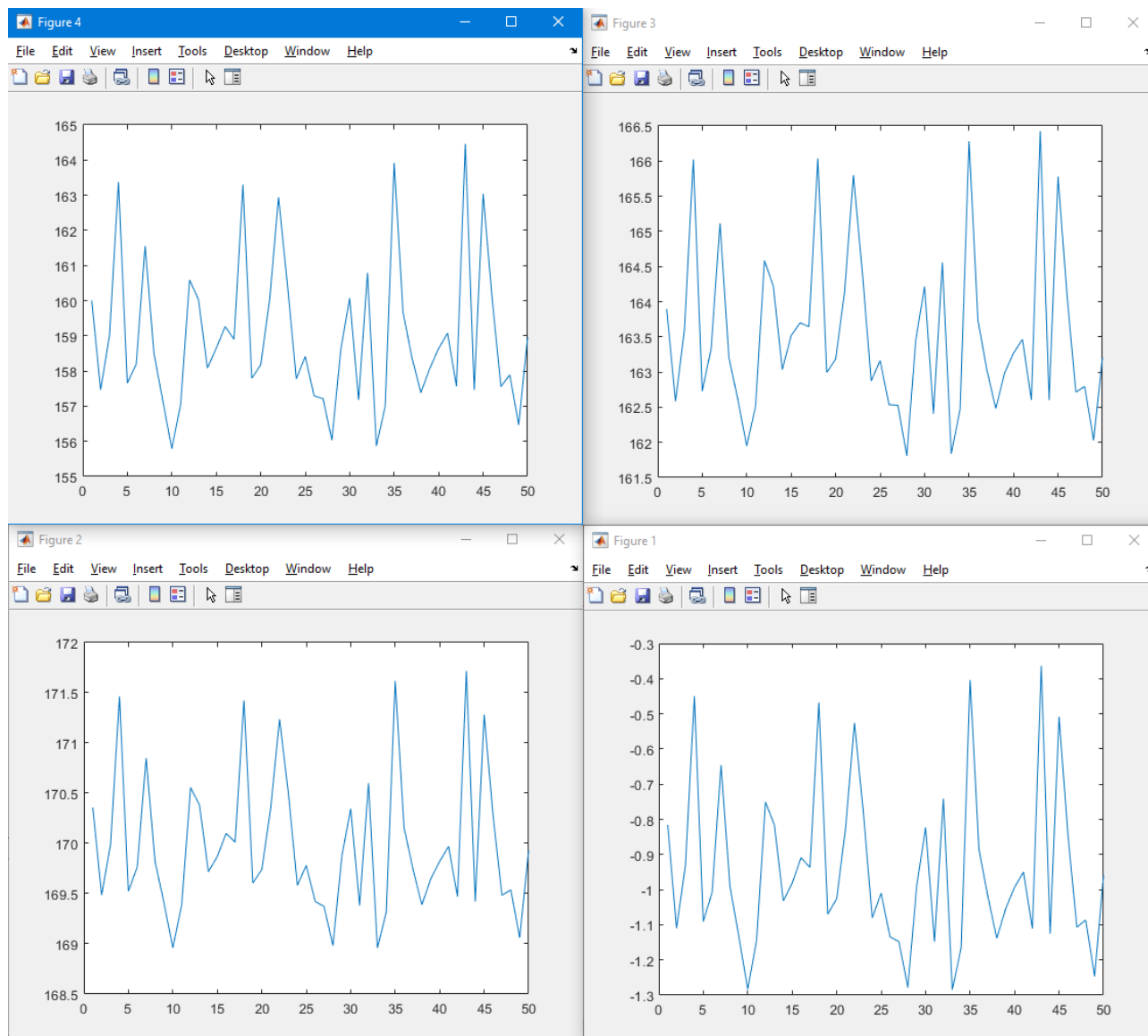


Рис.3.8 Графіки ходу процесу для різних гармонік

Це пов'язано з тим, що похибки вимірювання спотворюють вхідний сигнал, який потім використовується для розрахунку всіх гармонік. Через те, що вхідний сигнал для кожного розрахунку однаковий, похибки сигналу також будуть пропорційні. Розмах фази на першій гармоніці складає близько 1 градуса, на третій близько 2.5 градусів, на п'ятій близько 4 градусів, а на дев'ятій близько десяти. Така точність у порівнянні з аналогічними приладами для вимірювання фази досить велика, що вигідно відрізняє побудований прилад

від аналогів. Проте, наявність такої «плаваючої похибки» є сигналом про те, що вимірювання не таке незалежне, як необхідно.

Аналіз карт Шухарта для різних точок вимірювання також показав що деякі з них виходять за межі керованості, як показано на рис.3.9

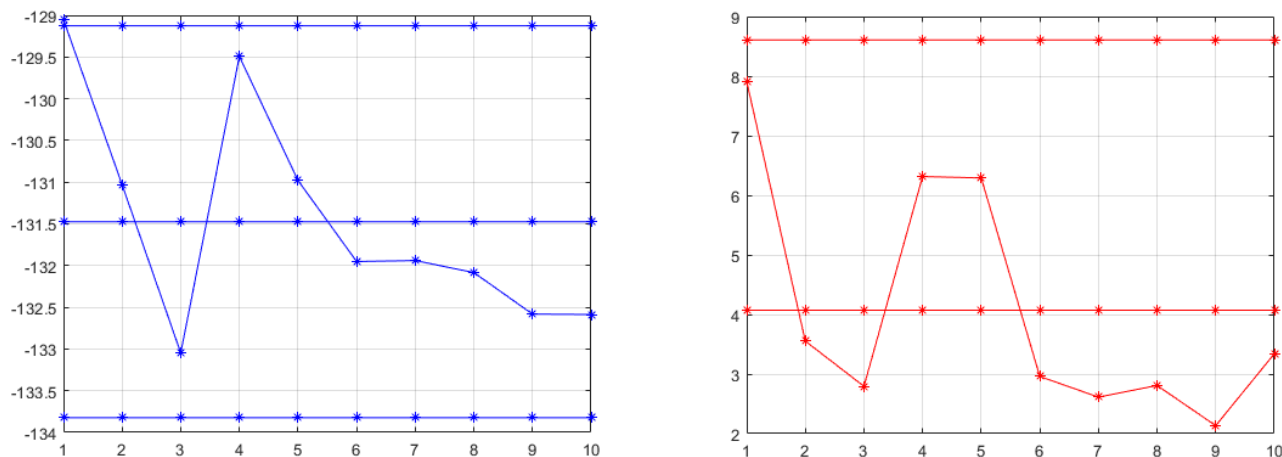


Рис.3.9 Карти Шухарта з виходом за межі керованості

Цей вихід трапляється лише один раз, але цього достатньо для того, щоб вважати процес некерованим. Виходячи з інформації, яку ми маємо, цей вихід найвірогідніше пов'язаний з перехідними процесами на початку вимірювання та плаваючою похибкою. Обидві ці проблеми можна вирішити модифікацією методу або зміною характеристик. Зміна характеристик це використання інших елементів приладу, що дозволить підняти точність та уникнути таких розмахів за часом, проте модифікація методу більш доцільна в цьому випадку.

Перехідні процеси таким чином долаються додаванням до вимірювання обов'язкової паузи перед початком отримання інформації. За цієї паузи перехідні процеси скінчаться і оцифрований сигнал буде нести лише корисну інформацію. Плаваюча похибка ж долається переходом вимірювання від абсолютних значень фази до відносних, змінивши інформаційну складову на різницю фаз з першою. Така зміна методу зробить значення фази першої гармоніки неінформативною величиною, таким чином зменшуючи кількість параметрів системи, але дає більш точний та керований процес.

### 3.5 Висновки до розділу 3

В розділі 3 було оглянуто необхідність проведення статистичного аналізу експериментально отриманих даних, структуру побудованого приладу та оглянуто метод статистичного аналізу на базі карт Шухарта.

Використовуючи цей метод, було детально розглянуто побудування цих карт, було побудовано графіки ходу процесу для набору експериментальних вимірювань та проаналізовані закономірності. Було побудовано карти Шухарта для всіх гармонік та вимірювань, було знайдено виходи за межі керованості. Виходи за межі керованості було пояснено та запропоновано методи їх вирішення, як методичні так і характеристичні, обґрунтовано вибір шляху вирішення.

## 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЮ МЕТОДОМ ВИЩИХ ГАРМОНІК»

### 4.1 Опис ідеї проекту

Розглянувши в попередніх розділах роботу методу та статистичний аналіз, в цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту на базі розробленого приладу

Ідея проекту полягає в інноваційного методу структуроскопії, що уточнено наведено в табл.1

У таблиці 4.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1 - Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення сучасного приладу для контролю новітнім методом вищих гармонік	Структуроскопія	Полегшення процесу структуроскопії, підвищення його точності
	Дефектоскопія	Підвищення надійності контролю якості, зменшення збитків через неякісну продукцію, брак.

Отже, пропонується новий спосіб вимірювання

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

– визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;

– визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

– проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.2).

Таблиця 4.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристик и ідеї	Концепції конкурентів(потенційних)				W	N	S
		Моя система	Nortec 600	Hocking Vector 2d	Verimet M4900C			
1.	Загальна вартість, грн	28000	200000	140000	35000			+
2.	Робочі частоти	50Гц-2.5МГц	10Гц – 12МГц	10кГц-2МГц	50Гц-5МГц		+	
3.	Час одного вимірювання, с	0.4	0.01	0.5	1		+	
4.	Точність вимірювання фази, градуси	±0.03	±0.01	±0.1	±1.8		+	

В таблиці 4.2 визначено основних конкурентів та проведено порівняльний аналіз характеристик, виділено слабкі, нейтральні та сильні сторони проекту. З цих даних можна зробити висновок, що не дивлячись на те, що система має досить нейтральні відносно інших систем характеристики, ціна її значно менша, що дозволяє зайняти місце на ринку таких систем.

#### 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології (мови програмування), за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Розробка системи контролю методом вищих гармонік для дефектоскопії та структуроскопії	Виготовлення печатних плат на замовлення	Наявна	Доступна
		Замовлення компонентів для виготовлення схеми власноруч	Наявна	Доступна
		Використання програмних методів системи MATLAB для обробки інформації	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: В якості оптимальної технології реалізації проекту обрано замовлення виготовлення печатних плат та деталей для схем, виготовлення робочих плат власноруч та використання математичних систем для обробки зібраної інформації.				

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що наш проект потребує лише доступні технології, проте деяку частину роботи для створення робочих схем буде необхідно робити власноруч. Це дозволить знизити кошти на виробництво, але обмежує швидкість їх створення. При зростанні об'ємів продажу буде необхідно прийняття нових технологій для більш масового виробництва друкованих плат.

### 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Це дозволяє спланувати напрямок розвитку проекту та обрати найбільш ефективну стратегію входу на ринок.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.4).

Таблиця 4.1 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	190000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Патент на модель
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Перевірка відповідності стандартам вихрострумowego контролю
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	35%

З таблиці можна зробити висновок, що ринок є досить привабливим та не має занадто жорстокої конкуренції.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.2 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Потреба в швидкій та надійній системі дефектоскопії та структуроскопії для контролю виробництва та під час експлуатації	Підприємства, приватні компанії, фізичні особи	Надання переваги структуроскопії чи дефектоскопії	Низька ціна, висока точність, швидкість роботи

Визначена цільова аудиторія – будь-які підприємства, що виготовляють деталі або експлуатують механізми, виготовлені з провідних та феромагнітних матеріалів. Різні вимоги потенційних клієнтів можуть бути виконані досить невеликими модифікаціями системи, та вимоги споживачів співпадають з сильними сторонами розроблюємої системи.

При застосуванні даної технології існують певні загрози. (таблиця 4.6). Будь який бізнес, який базується на використанні послуг інших підприємств має деякі ризики. Також будь-який бізнес має ризики щодо конкуренції та економіки. Фактори загроз розглянуто в табл.4.6



Таблиця 4.3 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Вихід на ринок конкурента	Знизити ціну за рахунок більш дешевих джерел живлення
2	Економічний фактор	Зростання цін на компоненти	Пошук нових постачальників, та можливий перехід на інші компоненти
3	Технічний фактор	Збої в вимірах, обробці або візуалізації інформації	Наявність кваліфікованої технічної підтримки, максимальна автоматизація процесу
4	Постачання	Невчасне постачання компонентів	Пошук нових постачальників, формування резерву компонентів
5	Інфляція	Зростання ціни на компоненти, і відповідно дорожчання системи	Прив'язка ціни виробу до міжнародної валюти

Виходячи з таблиці 4.6, більшість факторів мають шляхи їх пом'якшення. Своєчасна реалізація запропонованих шляхів реакції на загрозу дозволяє максимально зменшити збитки від них.

Поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 4.7).

Таблиця 4.4 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Можливість підвищення точності вимірювання	Позиціонування системи в якості допоміжної, вдосконалення програмної та компонентної частин системи
2	Економічний	Зменшення податків на даний вид виробництва	Збільшення обсягів виробництва та зменшення ціни на продукцію
3	Технічний	Можливість використання більш сучасних систем обробки інформації	Впровадження нових алгоритмів розрахунку координат в програмну частину системи
4	Ринок збуту	Можливість виходу на міжнародний ринок	Розробка та виготовлення системи у відповідності з закордонними стандартами якості.
5	Попит	Збільшення попиту на даний вид товару	Збільшення виробництва та розширення ринку

Отже, виходячи з таблиць 4.6 та 4.7, існує низка факторів, на які у проекта повинні бути готові відповідні реакції. Правильні реакції на різноманітні ситуації, які виникають під час розвитку проекту – дуже важливий крок в його створенні, яким не можна нехтувати. Далі проведемо аналіз конкуренції на ринку.

Таблиця 4.5 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції: олігополія	Існування невеликої кількості компаній, що працюють в даній сфері	Якісна продукція, правильна цінова політика, висока якість обслуговування
2. Рівень конкурентної боротьби: міжнародна	Представники в різних країнах	Вихід на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою-міжгалузева	Підприємства працюють в межах декількох галузей	Пропозиція товару за більш низькою ціною

Продовження табл.4.8

4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Пропонують товари одного виду	Реклама, простота в користуванні
5. Конкуренція за характером конкурентних переваг: цінова	Вартість залежить від ціни на матеріали та комплектуючі елементи	Вибір оптимального варіанту ціна/якість комплектуючих елементів
6. Конкуренція за інтенсивністю: не марочна	Відомі виробники володіють більшими ресурсами і аудиторією клієнтів	Отримання держзамовлення й подальше розширення ринку

Отже характеристики конкуренції диктують деякі умови, яких необхідно дотримуватися якщо проект планує бути успішним. Враховуючи низьку собівартість системи та високий загальний обсяг продаж, дуже актуальним буде вхід на ринок через бюджетні варіанти системи та підвищення цін, якості та функціоналу пізніше.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 4.6 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Olympus Intertek Verimet Ультракон	Економія на масштабах Доступ до ресурсів	Значення розміру поставок для постачальників	Контроль якості	Лояльність споживачів
Висновки:	Середня конкуренція	Є можливість виходу на ринок за рахунок державних замовлень	Постачальники впливають на умови роботи на ринку	Клієнти вимагають якісної та точної системи	Більш відомі компанії захоплюють ринок

Проаналізувавши дані з таблиці, можна зробити висновок що головним фактором для вихода на ринок є вибір правильного балансу між точністю й надійністю системи та її ціною. Ринок неруйнівного контролю має системи з дуже високою ціною. Можливість зайняти нішу дешевих, але якісних систем може бути першим кроком до розширення бізнесу в більш спеціалізовані, серйозні та дорогі системи.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Ці фактори напряму впливають з аналізу конкуренції через те, що саме

Таблиця 4.7 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Наявність патентів	Патенти захищають авторське право та дають можливість користуватися розробленою системою без ризику втратити прибуток при копіюванні ідеї
2	Кількість постачальників	Наявність великої кількості джерел отримання деталей для систем дозволяє не бути залежним від незручного партнера, маючи можливість змінити джерело, таким чином підвищуючи якість та швидкість роботи.
3	Точність вимірювання	Точність – одна з найбільш важливих характеристик систем неруйнівного контролю. Велика точність системи є незмінною потребою будь-якого користувача-клієнта.
4	Технічна підтримка	Технічна підтримка проекту – надання технічної допомоги клієнтам. Дозволяє уникнути повернень проданих одиниць, здобути довіру клієнтів та отримувати постійних клієнтів за високої якості підтримки.
5.	Ціна	Ціна системи – дуже важливий важіль в рішенні про купівлю тієї чи іншої системи. Мати перевагу за цим фактором значить отримати клієнтів, які просто хочуть купити максимально дешеву систему.

Таблиця 4.8 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін системи

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з розробленою системою						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Наявність патентів	8			+				
2	Кількість постачальників	9				+			
3	Точність вимірювання	13					+		
4	Технічна підтримка	14						+	
5.	Ціна	20							+

З таблиць 5.10 та 5.11 бачимо, що на даний момент у розробленої системи є проблеми в сфері авторського права та постачальників елементів. Ці фактори можуть зумовити повільний старт проекту, що в свою чергу несе за собою ризик відстати від конкурентів технологічно. Точність вимірювання розробленої системи на рівні найкращих та найдорожчих систем конкурентів, що є сильним аргументом на користь системи. Простота системи зумовлює також простоту технічної підтримки, а ціна є основною сильною стороною всього проекту.

Наступним кроком аналізу є побудова SWOT-матриці сильних сторін, слабких сторін, можливостей та загроз.

Таблиця 4.9 - SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1. Низька ціна 2. Висока точність 3. Простота системи	Слабкі сторони: 1. Нестандартний діапазон частот 2. Швидкість роботи системи 3. Залежність цін від постачальників
Можливості: 1. Вихід на міжнародний ринок 2. Швидка адаптація та модифікація системі під окремих замовників 3. Робота з державою 4. Попит на інноваційний метод контролю	Загрози: 1. Нестабільність економіки 2. Прив'язка цін на компоненти від курсу долара 3. Відсутність репутації під час виходу на ринок 4. Недосконалість математичного ядра системи

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової стратегії проекту які зможуть закрити слабкі сторони та зменшити ризики загроз, та які

зможуть підсилити сильні сторони та максимізувати користування можливостями.

Таблиця 4.10 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Прив'язка ціни системи до курсу долара	Ресурси не потрібні	Немає
2	Безкоштовна співпраця з малим бізнесом та заводами до виходу на ринок	Велика	2-4 міс.
3	Налаштування зв'язків з закордонним бізнесом	Мала	5-9 міс.
4	Максимізація модульності системи	Велика	3-5 міс.
5	Реклама інноваційності методу контролю	Мала/Середня	1-3 міс.

Зазначені альтернативи ринкового впровадження проекту дозволяють знизити фактори ризику та максимізувати можливості, що буде мати проект. З цих альтернатив найбільший потенціал має співпраця з малим бізнесом та заводами, що дозволить перевірити математичне ядро системи, підтвердити його роботоздатність, набрати інформацію для аналізу роботи системи та здобути зв'язки та репутацію серед клієнтів. Максимізація модульності системи дозволить модифікувати систему під кожного клієнта набагато легше, що не тільки буде аргументом на користь вибору нашого проекту перед конкурентами, але й полегшить технічне обслуговування.

#### 4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.11 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Заводи	Дуже велика затребуваність продукту	Високий	Висока	Середня
2	Малий бізнес	Велика затребуваність продукту	Високий	Середня	Висока
3	Фізичні особи	Середня затребуваність продукту	Низький	Низький	Висока

Які цільові групи обрано: малий бізнес та фізичні особи  
Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати із малим бізнесом та фізичними особами, адже саме ці групи найбільш цінуть сильні сторони розробленої системи.

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи для яких буде пропонуватися система контролю методом вищих гармонік. Заводи – великий ринок, більшість якого контролюється державою, що робить роботу на ньому досить складною. Фокусування на малому бізнесі та фізичних особах, навіть не дивлячись на дещо нижчий попит, дозволяє увійти на ринок простіше та швидше почати роботу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувавши базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.12 - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Підтримка та удосконалення унікальної системи НК	Диференційована стратегія	Якісний дешевий продукт з якісною технічною підтримкою та індивідуальним підходом до реалізації контролю системою	Стратегія розвитку товару

Запровадження інноваційної системи на ринок це привнесення нового товару на існуючий ринок. Також те, що цільовою групою не було обрано великих клієнтів, які мають контракти з серйозними гравцями ринку, надає можливості знайти свою нішу ринку та розширитися з неї. Підлаштування товару під вимоги клієнтів роблять стратегію охоплення диференційованою.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.13 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	Забирати існуючих	Ні	Наступальна

Проект не є першопрохідцем на ринку, хоча має унікальні характеристики та методи роботи. Ці два фактори, та той фактор, що клієнти, які вже працюють з іншими гравцями ринку, будуть розглядати нову систему з точки зору інноваційності, означає що в стратегії будуть присутні елементи боротьби за клієнтів. Це робить стратегію наступальною.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект



Таблиця 4.14 - Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Ціна, точність, надійність, швидкість роботи	Стратегія розвитку товару	Висока точність системи, низька ціна, індивідуальний підхід до клієнтів, що створює репутацію	Ціна Точність Технічна підтримка

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку

#### 4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 4.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.15 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Низька ціна	Продаж за нижчою ніж у конкурентів ціною	Значно нижча ціна, що дозволяє більш масове обладнання виробничих потужностей або експлуатаційних точок.
2	Швидкість роботи	Швидкість роботи висока, але не є найкращою серед конкурентів	Збільшення швидкості роботи за рахунок більш сучасної елементної бази та програмного забезпечення.
3	Технічна підтримка	Якісна технічна підтримка	Якісне обслуговування системи дозволяє мінімізувати неробочий час, підвищуючи ефективність.
4	Точність	Висока точність за рахунок інноваційних методів	Висока точність розрахунків дозволяє не втратити клієнтів, які прагнуть до максимальної точності вимірів та мати тверду позицію серед конкурентів.

Отже ключові переваги потенційного товару вже реалізовані на даний момент – точність та низька ціна. Задоволення потреби в технічній підтримці буде легким з огляду на те, що система значно простіша за аналоги, а швидкість роботи можна пришвидшити за рахунок більш сучасної реалізації рішення.

Таблиця 4.16 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Система контролю методом вищих гармонік		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Точність вимірювання	0.03 град (М)	Тх
	2. Час контролю	0.4 с (М)	Тл
	3. Зберігання інформації	Наявне (НМ)	Тл
	4. Наявність інтерфейсу	Наявний (НМ)	Тл
	5. Можливість модифікування системи	Наявна (НМ)	Вр
Якість: відповідає нормам ISO 6790, ISO 9001, ISO 27001			
Пакування: програмне забезпечення записане на компакт диск, прилад в пластиковому корпусі.			
Марка: «Вихрокон»			
III. Товар із підкріпленням	До продажу консультація щодо індивідуальної структури системи		
	Після продажу гарантійний ремонт, налаштування, гарантія повернення грошей		

Отже модель за трьома рівнями демонструє всі характеристики товару, його пакування, орієнтовну марку та підкріплення, яке планується надавати. В порівнянні з аналогами конкурентів, модель показує більш глибокий фокус на здобуття особистої репутації та лояльності серед клієнтів, що є несумнівним плюсом.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.20).

Таблиця 4.17 - Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	40-200 тис. грн.	40-500 тис. грн.	200-800 тис. грн.	35-150 тис. грн..

Великий рівень доходів цільової групи споживачів та велика середня ціна товарів неруйнівного контролю дозволяють встановити низьку нижню границю

цін та високу верхню, яка формується можливістю модульно розширити та покращити систему.

Таблиця 4.18 - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Покупки через інтернет	Консультація щодо структури системи, продаж, оформлення та перевезення системи, встановлення та налаштування.	Низька	Оптова

Прилади неруйнівного контролю зазвичай виготовляються та продаються на замовлення. Специфіка таких приладів в тому, що вони потрібні лише при розширенні або модернізації виробництва, але масово, отже попит не постійний, надходить хвилями. Це робить розничний продаж неактуальним, отже необхідно формувати оптову систему.

Таблиця 4.19 - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Спостереження за новинками на ринку через інтернет	Публікації, наукові статті, форуми та виставки.	Ціна Точність Обслуговування	Заслужити довіру клієнтів	Індивідуальний підхід до кожного клієнта

Отже маркетингова концепція фокусується на індивідуальному підході до кожного клієнта, що є дуже ефективним засобом заслуження довіри від клієнтів. Маркетинг системи як недорогої системи для малого бізнесу та фізичних осіб треба буде проводити засобами мережі інтернет та публікацій в тематичних збірниках, реєструватися на виставки та форуми.

## 4.6 Висновки до розділу 4

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок що проект має великий потенціал для ринкової комерціалізації. Це обумовлено необхідністю систем неруйнівного контролю на будь-якому виробництві, що створює попит, низькою ціною відносно систем конкурентів та використанням інноваційних методів контролю, які можуть значно збільшити можливості дефекто- та структуроскопії.

В ході аналізу було підтверджено рентабельність проекту виходячи з собівартості системи та рівня цін на аналогічні товари. Наявність конкуренції не дає відразу увійти на ринок серйозних виробництв, проте ринок малого бізнесу та фізичних осіб має аудиторію, яка зацікавиться проектом.

Аналоги, присутні на ринку на даний момент зазвичай використовують параметричні методи вимірювання. Проект пропонує використання трансформаторних датчиків для отримання значно більшої кількості інформаційних параметрів, що може значно підвищити кількість інформації, отриманої під час вимірювань, що може допомогти обігнати товари конкурентів.

Головними перевагами проекту, які будуть виділяти його серед конкурентів під час виходу на ринок, є низька ціна системи та можливість її особистого налаштування під кожного клієнта. Такий підхід дозволяє здобути лояльних клієнтів та отримати необхідну репутацію на ринку, що стане плацдармом для розширення проекту в більш потужний ринок серйозних виробництв.

Також в подальшому є можливість виходу на світовий ринок. Переваги приладу дозволять йому знайти та зайняти певну нішу навіть в насиченому світовому ринку. Можливим наступним кроком розвитку проекту буде створення максимально автоматизованої системи з використанням нейронних мереж, яка дасть можливість значно зменшити необхідність в технічній підтримці.

## ВИСНОВКИ

В даній магістерській дисертації було розглянуто систему контролю методом вищих гармонік, що використовує ортогональний метод обробки сигналу для отримання точних значень фази та амплітуди третьої, п'ятої, сьомої та дев'ятої гармонік.

Перший розділ дисертації присвячений огляду методів вихрострумowego контролю, обґрунтування вибору методу вищих гармонік для отримання контрольованих параметрів, опису методу ортогональної обробки сигналів, демонстрації однієї з можливих схем реалізації методу.

Другий розділ присвячений побудові математичної моделі на основі описаних в першому розділі математичних формул для ортогональної обробки та використанню цієї моделі для дослідження методу, знаходження закономірностей та вирішенні найбільш оптимальної побудови приладу.

Третій розділ присвячений обробці експериментальних даних, отриманих за допомогою приладу, створеного на базі математичної моделі з другого розділу. Обґрунтовується необхідність використання методів статистичного аналізу, приведення методу карт Шухарта, його аналіз та використання для прийняття рішення про керованість процесу вимірювання.

Четвертий розділ присвячений розробці стартап проекту на базі виконаної роботи.

Важливими висновками другого розділу були рішення про достатню розрядність АЦП та обґрунтування важливості підвищення кількості точок в кожному періоді вимірюваного сигналу. Статистичний аналіз в третьому розділі ж показав, що процес в решті решт некерований, і було запропоновано зміни методу вимірювання для зменшення зовнішніх впливів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Герасимов В.Г. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 3. Электромагнитный контроль: Практик. Пособие / В.Г. Герасимов, А.Д. Покровский, В.В. Сухоруков; Под ред. В.В. Сухорукова. – М.: Высш. шк., 1992. – 312с.
2. Дорофеев А.Л., Ершов Р.Е. Физические основы электромагнитной структуроскопии. – Новосибирск: Наука, 1985. – 172с.
3. Клюев, В.В. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник в 2-х т. Т.2 Вихретоковый контроль / под. ред. В.В. Клюев. – М.: Машиностроение, 2003. – 688с.
4. Білокур І. П. Основи дефектоскопії : підручник./ І.П. Білокур – К.: Азимут-Україна, 2004. – 495 с
5. Пат. 75746 Україна, МПК G04F 10/00. Цифровий спосіб вимірювання фазового часу проходження радіоімпульсних сигналів / В.Г. Баженов Г.А. Богдан, С.В. Грузін; власники В.Г. Баженов Г.А. Богдан, С.В. Грузін – № u201206916; заявл. 06.06.2012 ; опублік. 10.12.2012, Бюл. № 23. – 5 с.
6. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) / П. П. Орнатский. — К.: Высшая школа, 1986. — 604 с.
7. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB / Ю. Лазарев Ю. – К.: Издательская группа BHV, 2005. – 512 с.
8. Мэтьюз Д. Численные методы. Использование MATLAB / Д. Мэтьюз, К. Финк. – М.: Вильямс, 2001. – 720 с.
9. Оппенгейм А. Цифровая обработка сигналов: Пер. с англ. / А. Оппенгейм, Р. Шафер – М.: Техносфера, 2006. – 856 с.
10. Уилер Д. Статистическое управление процессами: Оптимизация бизнеса с использованием контрольных карт Шухарта / Дональд Уилер, Дэвид Чамберс; Пер. с англ – М.: Альпина Бизнес Букс, 2009. – 409с