

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

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«___» _____ 2023 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Роботизовані і автоматизовані
системи неруйнівного контролю та діагностики»**

**спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»**

**на тему: «Автоматизований вихрострумний дефектоскоп на базі
мікросхем вимірювачів імпедансів»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ПК-91

Коваль Назарій Васильович _____

Керівник:

Доцент, к.т.н., доцент

Баженов Віктор Григорович _____

Рецензент:

д.т.н., проф.

Шевченко Костянтин Леонідович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2023 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ	Пояснювальна записка	50	
3	A3	ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 Е1	Структурна схема	1	
4	A3	ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 Е2	Функціональна схема	1	
5	A1	ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 Е3	Електрична принципова схема	1	
6	A1	ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 СК	Складальний кресленик	1	

				ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Коваль Н.В.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Баженов В.Г.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК Гр. ПК-91	
Н/контр.						
Зав.каф.	Киричук Ю.В.					

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизований вихрострумний
дефектоскоп на базі мікросхем вимірювачів імпедансів»

Київ – 2023 року

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

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Роботизовані і автоматизовані системи неруйнівного контролю та діагностики»»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«___» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Ковалю Назарію Васильовичу

1. Тема проєкту «Автоматизований вихрострумовий дефектоскоп на базі мікросхем вимірювачів імпедансів», керівник проєкту Баженов Віктор Григорович, доцент, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «30» травня 2023 р. № 2057-с.

2. Термін подання студентом проєкту _____

3. Вихідні дані до проєкту: матеріал ОК – алюміній, радіус збуджуючої обмотки ВСП - 6 мм, робоча частота - $100 \cdot 10^3$ Гц.

4. Зміст пояснювальної записки:

- 1) Аналітичний огляд;
- 2) Розрахункова частина;
- 3) Розробка функціональної схеми
- 4) Розрахунок принципової схеми
- 5) Висновок
- 6) Список літератури

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) : структурна схема, функціональна схема, електрична принципова схема, складальний кресленик, .

6. Дата видачі завдання 24.03.2023

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Аналіз особливостей об'єкта контролю	24.03.2023	
2	Обґрунтування вибору методу дефектоскопії	05.04.2023	
3	Постановка завдання	15.04.2023	
4	Вибір структурної схеми	30.04.2023	
5	Розрахунок всіх елементів	07.05.2023	
6	Проектування дефектоскопа	16.05.2023	
7	Оформлення дипломного проєкту	28.05.2023	
8	Підбиття підсумків	03.06.2023	

Студент

Назарій КОВАЛЬ

Керівник

Віктор БАЖЕНОВ

Анотація

Дипломний проєкт студента IV курсу, групи ПК-91 приладобудівного факультету Ковалю Назарія з теми: “Автоматизований вихрострумний дефектоскоп на базі мікросхем вимірювачів імпедансів”.

Дипломний проєкт складається з 50 сторінок, 4 рисунків, 16 літературних джерел.

В дипломний проєкті була поставлена і вирішена задача проєктування вихрострумного дефектоскопу. В проєкті приведені розрахунки: розрахунок вихрострумного перетворювача. В графічній частині дипломного проєкту приведена структурна схема дефектоскопа, виконана на аркуші формату А3, функціональна схема – на аркуші А3, складальний креслений ВСП – на аркуші формату А1, електрична принципова схема – на аркуші А1, та специфікація на електричну принципову схему.

Abstract

Diploma project of a fourth-year student, a group of PK-91 of the instrument-making faculty Koval Nazariy on the topic: "Automated eddy current flaw detector based on chips of impedance meters."

The diploma project consists of 50 pages, 7 drawings, 16 literary sources.

In the diploma project, the task of designing an eddy current flaw detector was set and solved. The project provides calculations: calculation of eddy current converter. The graphic part of the diploma project shows a structural diagram of the flaw detector, made on a sheet of A3 format, a functional diagram - on a sheet of A3, an assembly drawing of a eddy current converter- on a sheet of A1 format, an electrical circuit diagram - on a sheet of A1, and a specification for an electrical circuit diagram.

Зміст

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. Аналітичний огляд	11
1.1 Опис різних методів вихрострумової дефектоскопії.....	11
1.2 Вивчення принципів роботи вимірювачів імпеданса та їх застосування.....	15
1.3 Розгляд вихрострумової дефектоскопії та імпедансу.....	18
1.3.1 Подробний опис принципів роботи вихрострумової дефектоскопії.....	18
1.3.2 Розгляд теоретичних основ вимірювача імпеданса.....	23
1.4 Дослідження можливих блоків приладу.....	25
1.4.1 Опис апаратної архітектури вихрострумового дефектоскопа на базі вимірювача імпеданса.....	25
1.4.2 Вимірювач імпедансу.....	26
1.4.3 Система збору та обробки сигналів.....	27
1.4.4 Контроль та керування.....	29
1.4.5 Візуалізація та аналіз результатів.....	30
1.5 Розгляд схеми підключення та сенсорів.....	31
1.6 Опис процесу обробки сигналу та алгоритмів виявлення дефектів.....	32
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	34
2.1 Розрахунок вихрострумового перетворювача.....	34
РОЗДІЛ 3. ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ	37
3.1 Структурна схема.....	37
3.2 Опис обраного мікроконтролера.....	39
3.3 Мікросхема вимірювання імпедансу.....	41
3.4 Розробка плати.....	44
ВИСНОВКИ	46
ЛІТЕРАТУРА	49

ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Коваль Н.В.			Автоматизований вихрострумовий дефектоскоп на базі мікросхем вимірювачів імпедансів	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Баженов В.Г.					8	50
Н. Контр.					<i>ПБФ, ПК-91</i>			
Затверд.		Киричук Ю.В.						

ВСТУП

Вихрострумний дефектоскоп на базі вимірювача імпеданса - це пристрій, який використовує вихрострумний метод для виявлення дефектів інспектованих матеріалів. Цей тип дефектоскопа заснований на принципі, що вихрострум, що генерується в матеріалі при зміні магнітного поля, залежить від його імпедансу.

Вихрострумний дефектоскоп працює наступним чином: він створює змінне магнітне поле, направлене на інспектований об'єкт. При проходженні цього поля через матеріал виникають вихроструми, що індукуються внутрішнім опором матеріалу. Індуковані вихроструми відрізняються залежно від наявності дефектів, таких як тріщини, пори або металеві включення. Ці дефекти знижують ефективність провідності матеріалу та змінюють характеристики вихроструму.

Вимірювач імпеданса використовується для визначення залежності між змінним магнітним полем, що створюється дефектоскопом, і вихрострумом, що генерується в матеріалі. Вимірювач імпеданса вимірює параметри вихроструму, такі як амплітуда, фаза та частота, і аналізує їх залежність від часу.

За допомогою аналізу отриманих даних вихрострумний дефектоскоп може виявити наявність дефектів в інспектованому матеріалі. Він може використовуватись для перевірки стану металевих деталей, складних з'єднань, трубопроводів, електричних проводів та інших об'єктів, де важко провести візуальний огляд або традиційні методи контролю недостатньо ефективні.

Вихрострумні дефектоскопи на базі вимірювачів імпеданса мають перевагу високої чутливості до дефектів, можливості безконтактного виявлення, швидкого сканування великої площі та здатності працювати з різними типами матеріалів. Вони широко використовуються в промисловості для якісного контролю, неруйнівного тестування та моніторингу стану матеріалів.

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
						9
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Проблеми проекту:

- Виявлення дефектів в матеріалах є важливим завданням у багатьох галузях, таких як виробництво, будівництво та технічне обслуговування.
- Традиційні методи виявлення дефектів можуть бути обмеженими, складними у використанні або неефективними для певних типів матеріалів чи дефектів.
- Необхідно розробити ефективний та зручний інструмент, який дозволить швидко та точно виявляти дефекти різного типу і розміру.

Мета проекту:

- Розробити вихрострумний дефектоскоп на базі вимірювача імпеданса для ефективного виявлення дефектів в різних матеріалах.
- Створити пристрій, який буде працювати на основі принципу вихрострумової дефектоскопії, де зміна імпедансу матеріалу буде використовуватись для виявлення дефектів.
- Забезпечити точність, швидкість та надійність виявлення дефектів за допомогою розробленого пристрою.
- Дослідити можливості використання вимірювача імпеданса для покращення процесу виявлення дефектів та забезпечення більш ефективного контролю якості матеріалів.
- Порівняти результати розробленого вихрострумного дефектоскопу з існуючими методами виявлення дефектів та оцінити його переваги та обмеження.

Успішне виконання проекту дозволить покращити процес виявлення дефектів у різних матеріалах та сприятиме забезпеченню вищої якості та надійності виробництва та конструкцій.

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
						10
Зм.	Аркуш	№ док.м.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. Аналітичний огляд

1.1 Опис різних методів вихрострумової дефектоскопії.

Вихрострумова дефектоскопія є методом неруйнівного контролю, який використовує взаємодію між змінним магнітним полем і провідним матеріалом для виявлення дефектів. Цей метод може застосовуватися для різних матеріалів, включаючи метали, композити та провідники.

Основні методи вихрострумової дефектоскопії включають:

Метод змінного магнітного поля

Метод змінного магнітного поля є одним із основних методів вихрострумової дефектоскопії. Він базується на створенні змінного магнітного поля, яке проникає через досліджуваний матеріал. Взаємодія цього змінного магнітного поля з провідним матеріалом генерує вихроструми в матеріалі. Зміни вихрострумів, що виникають внаслідок наявності дефектів, можуть бути виявлені та аналізовані.

Основні етапи методу змінного магнітного поля включають:

1. Створення змінного магнітного поля: За допомогою збудника, такого як котушка з обмотками, створюється змінне магнітне поле, яке проникає через досліджуваний матеріал.
2. Генерація вихрострумів: Зміна магнітного поля створює зміни вихрострумів у провідному матеріалі. Вихроструми виникають як реакція на зміни магнітного поля та залежать від електричних властивостей матеріалу.
3. Вимірювання змін вихрострумів: За допомогою датчиків, які знаходяться поруч з матеріалом, вимірюються зміни вихрострумів, які відбуваються внаслідок наявності дефектів. Ці зміни можуть бути реєстровані в реальному часі та аналізовані.
4. Аналіз сигналів вихрострумів: Отримані сигнали вихрострумів аналізуються для визначення наявності дефектів та їх характеристик, таких як розмір, форма, глибина тощо. Це може вимагати використання алгоритмів

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
						11
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

обробки сигналу та порівняння з базовими даними для калібрування та класифікації дефектів.

Метод змінного магнітного поля дозволяє виявляти різноманітні дефекти, такі як тріщини, корозійні пошкодження, неправильності в структурі матеріалу тощо. Він широко використовується в промисловості для неруйнівного контролю та оцінки якості матеріалів і конструкцій.

Метод статичного магнітного поля

Метод статичного магнітного поля є ще одним з основних методів вихрострумової дефектоскопії. Він використовує постійне магнітне поле для виявлення дефектів у провідних матеріалах. У цьому методі не використовується змінне магнітне поле, як у методі змінного магнітного поля.

Основні етапи методу статичного магнітного поля включають:

1. Створення статичного магнітного поля: За допомогою постійних магнітів або електромагнітів створюється постійне магнітне поле, яке прикладається до досліджуваного матеріалу.

2. Взаємодія з матеріалом: Прикладене статичне магнітне поле викликає зміни вихрострумів у провідному матеріалі. Дефекти або нерегулярності в матеріалі призводять до змін вихрострумів, що можуть бути виявлені.

3. Вимірювання змін вихрострумів: За допомогою датчиків або зондів, розташованих близько до матеріалу, вимірюються зміни вихрострумів, що виникають у результаті взаємодії зі статичним магнітним полем. Ці зміни можуть бути реєстровані та аналізовані для виявлення дефектів.

4. Аналіз сигналів вихрострумів: Отримані сигнали вихрострумів аналізуються для визначення наявності дефектів та їх характеристик. Аналіз може включати порівняння з базовими даними, алгоритми обробки сигналу та класифікацію дефектів.

Метод статичного магнітного поля використовується для виявлення різних дефектів, таких як тріщини, дірки, включення металу, корозійні ушкодження тощо. Він може бути ефективним у випадках, коли

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		12

досліджуваний матеріал не може бути підданому змінам магнітного поля або вимагається висока чутливість до малих дефектів.

Метод часової диференційованої вихрострумової дефектоскопії

Метод часової диференційованої вихрострумової дефектоскопії є одним з розширених методів вихрострумового контролю, який поєднує змінне магнітне поле та часову диференціацію сигналів вихрострумів. Цей метод дозволяє досягти високої чутливості та роздільної здатності при виявленні дефектів.

Основні етапи методу часової диференційованої вихрострумової дефектоскопії включають:

1. Створення змінного магнітного поля: За допомогою збудника створюється змінне магнітне поле, яке проникає через досліджуваний матеріал. Це поле може бути створене, наприклад, за допомогою змінного струму, що протікає через котушку.

2. Генерація вихрострумів: Зміна магнітного поля викликає генерацію вихрострумів у провідному матеріалі. Вихроструми протікають у матеріалі внаслідок взаємодії зі змінним магнітним полем.

3. Запис сигналів вихрострумів: Сигнали вихрострумів, що генеруються у матеріалі, записуються за допомогою датчиків або зондів. Запис включає інформацію про амплітуду і фазу сигналу вихроструму.

4. Часова диференціація сигналів: Записані сигнали вихрострумів піддаються часовій диференціації, що дозволяє визначити швидкість зміни вихрострумів у часі. Це дозволяє отримати додаткову інформацію про характеристики дефектів.

5. Аналіз сигналів: Отримані сигнали після часової диференціації аналізуються для виявлення та характеристикації дефектів. Алгоритми обробки сигналу та порівняння можуть бути використані для класифікації дефектів та визначення їх розмірів та положень.

Метод часової диференційованої вихрострумової дефектоскопії дозволяє отримати високу роздільну здатність та точність виявлення дефектів, а також

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		13

забезпечує можливість визначення їх глибини та форми. Він застосовується в різних галузях, включаючи авіаційну, автомобільну, нафтогазову промисловість та інші, де важливо забезпечити неруйнівний контроль та оцінку якості матеріалів та конструкцій.

Метод використання резонансних характеристик

Метод використання резонансних характеристик є одним з ефективних методів вихрострумової дефектоскопії. Цей метод базується на вимірюванні змін вихрострумів при резонансній частоті, що відповідає дефекту чи особливості в матеріалі.

Основні етапи методу використання резонансних характеристик включають:

1. Введення змінної частоти: Змінна частота вводиться у систему, наприклад, шляхом зміни частоти змінного струму або напруги, що використовується для генерації змінного магнітного поля.

2. Реєстрація сигналів вихрострумів: Під час зміни частоти реєструються сигнали вихрострумів, які виникають у матеріалі. Ці сигнали можуть бути виміряні за допомогою датчиків або зондів, розташованих близько до матеріалу.

3. Аналіз резонансних характеристик: Отримані сигнали вихрострумів аналізуються для виявлення резонансних характеристик. Резонансна характеристика відображає зміни амплітуди та фази сигналу вихроструму при резонансній частоті, що пов'язана з дефектом чи особливістю в матеріалі.

4. Визначення дефектів: Аналіз резонансних характеристик дозволяє визначити наявність та характеристики дефектів. Порівняння отриманих характеристик з базовими даними або знаннями про типові дефекти може допомогти в класифікації та розпізнаванні дефектів.

Метод використання резонансних характеристик є чутливим до навіть малих дефектів і здатним до виявлення широкого спектру дефектів, таких як тріщини, включення, корозійні ушкодження тощо. Він знаходить застосування

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
Зм.	Аркуш	№ док.м.	Підпис	Дата		14

у контролі якості матеріалів, оцінці їх стану та виявленні дефектів у різних галузях, включаючи металургію, авіацію, автомобільну промисловість та інші.

1.2 Вивчення принципів роботи вимірювачів імпеданса та їх застосування.

Вимірювач імпеданса є пристроєм, призначеним для вимірювання імпедансу електричних систем. Імпеданс представляє собою комплексне число, що відображає взаємозв'язок між напругою та струмом у взаємодіючій електричній системі. Вимірювання імпедансу є важливим у різних областях, включаючи електроніку, комунікації, медицину, фізику та інші.

Принцип роботи вимірювачів імпеданса базується на створенні змінних сигналів, що проходять через систему, та вимірюванні параметрів цих сигналів для визначення імпедансу. Існує кілька методів вимірювання імпедансу, включаючи:

Метод амплітудної спектроскопії

Метод амплітудної спектроскопії є одним з методів вимірювання імпедансу, що базується на аналізі амплітудного спектру сигналу, що проходить через систему. Цей метод дозволяє визначити імпеданс на різних частотах та виявити зміни в електричних характеристиках системи.

Процес вимірювання імпедансу за допомогою методу амплітудної спектроскопії включає наступні кроки:

1. Створення змінного сигналу: Генерується змінний сигнал зі змінюваною частотою, який подається на вхід системи. Частотний діапазон може бути широким або обмеженим залежно від конкретної задачі.

2. Вимірювання амплітудного спектру: Сигнал, що проходить через систему, ампліфікується та подається на аналізуючий пристрій, такий як спектральний аналізатор чи аналізатор частоти. Аналізатор розкладає сигнал на спектральні складові та вимірює їх амплітуду.

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
Зм.	Аркуш	№ док.м.	Підпис	Дата		15

3. Обробка та аналіз спектра: Отриманий амплітудний спектр піддається подальшій обробці та аналізу. Частоти та відповідні амплітуди можуть бути використані для побудови імпедансної характеристики системи.

4. Визначення імпедансу: Імпеданс визначається шляхом обробки амплітудних даних та врахування фазових зсувів між вхідним та вихідним сигналами. Це може включати використання математичних алгоритмів, моделей чи порівняння зі стандартними значеннями.

Метод амплітудної спектроскопії використовується в різних галузях, таких як електроніка, фізика матеріалів, електрохімія та біомедична інженерія. Він дозволяє досліджувати електричні властивості матеріалів, виявляти зміни у системах та визначати їх параметри для контролю якості, діагностики та наукових досліджень.

Метод фазової спектроскопії

Метод фазової спектроскопії є одним з методів вимірювання імпедансу, що базується на вимірюванні фазового зсуву між вхідним та вихідним сигналами у системі при різних частотах. Цей метод дозволяє визначити імпеданс і залежність фазового зсуву від частоти.

Процес вимірювання імпедансу за допомогою методу фазової спектроскопії включає наступні кроки:

1. Генерація змінного сигналу: Створюється змінний сигнал зі змінюваною частотою, який подається на вхід системи. Частотний діапазон може бути широким або обмеженим залежно від потреб дослідження.

2. Вимірювання фазового зсуву: Вихідний сигнал з системи фазово зміщується відносно вхідного сигналу. Цей фазовий зсув вимірюється за допомогою фазового аналізатора або фазового детектора.

3. Залежність фазового зсуву від частоти: Залежність фазового зсуву від частоти вимірюється у заданому діапазоні частот. Це дозволяє встановити залежність фазового зсуву від частоти і виявити особливості в імпедансі системи.

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
Зм.	Аркуш	№ док.м.	Підпис	Дата		16

4. Визначення імпедансу: Залежність фазового зсуву від частоти використовується для визначення імпедансу системи. Зазвичай використовуються математичні моделі або алгоритми для обробки даних та визначення імпедансу.

Метод фазової спектроскопії знаходить застосування у багатьох галузях, таких як електроніка, фізика, біомедична інженерія та інші. Він використовується для аналізу електричних характеристик систем, виявлення змін у поведінці системи та вимірювання параметрів для контролю, діагностики та наукових досліджень.

Метод часової доменної аналізу

Метод часової доменної аналізу є одним з методів вимірювання імпедансу, який базується на аналізі сигналів у часовій області. Цей метод дозволяє вивчати динаміку зміни електричних величин у системі і визначати її імпеданс.

Процес вимірювання імпедансу за допомогою методу часової доменної аналізу включає наступні кроки:

1. Підготовка сигналу: Генерується змінний сигнал, який подається на вхід системи. Це може бути синусоїдальний сигнал або імпульсний сигнал з відомою формою.

2. Запис сигналу: Записується вихідний сигнал, який проходить через систему. Це може бути здійснене за допомогою вимірювального приладу, такого як осциллограф або аналізатор часової області.

3. Аналіз сигналу: Отриманий сигнал аналізується у часовій області для визначення динаміки зміни електричних величин. Це може включати вимірювання амплітуди, часової тривалості, фронту сигналу та інших параметрів.

4. Визначення імпедансу: За допомогою обробки отриманих даних у часовій області, визначається імпеданс системи. Це може бути здійснене шляхом розрахунку відношення напруги до струму або застосування математичних алгоритмів.

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
Зм.	Аркуш	№ док.м.	Підпис	Дата		17

Метод часової доменної аналізу широко використовується у багатьох галузях, таких як електроніка, електроенергетика, сигналізація, медицина та інші. Він дозволяє досліджувати електричні характеристики систем у реальному часі та виявляти аномалії або дефекти в системі.

1.3 Розгляд вихрострумової дефектоскопії та імпедансу

1.3.1 Подробний опис принципів роботи вихрострумової дефектоскопії

Вихрострумова дефектоскопія є методом неруйнівного контролю, що використовує електромагнітні вихроструми для виявлення дефектів у провідних матеріалах. Принцип роботи вихрострумової дефектоскопії базується на взаємодії змінного магнітного поля із провідним матеріалом, що дозволяє виявити та характеризувати різноманітні дефекти.

Вихрострумова дефектоскопія використовується в різних галузях, таких як авіація, нафтогазова промисловість, металургія, машинобудування та інші, де важливо виявлення та оцінка дефектів у провідних матеріалах без їх пошкодження.

Збуджуюча котушка ВСП може розташовуватися поблизу ОК (рис. 1.1, а) - накладний ВСП або охоплювати його (рис. 1.1, б) - прохідний ВСП.

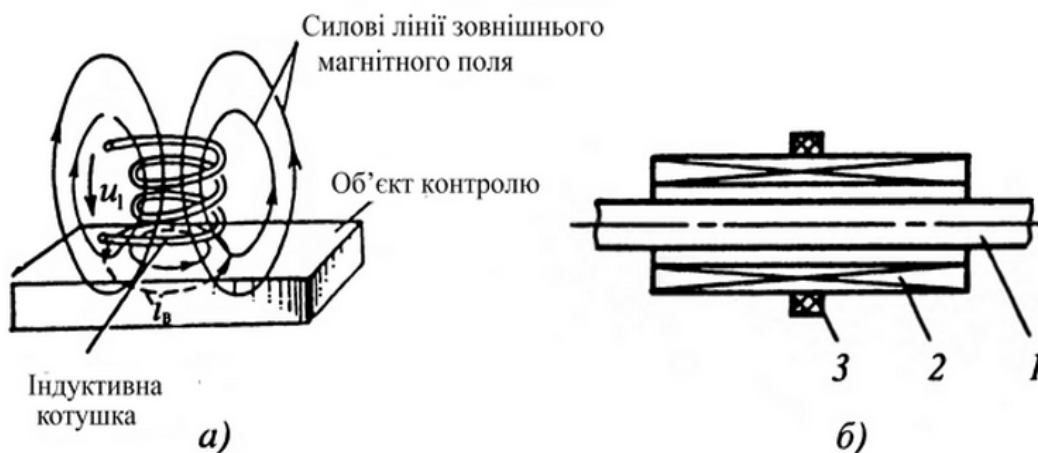


Рис. 1.1 Накладний (а) та прохідний (б) ВСП;

Основні принципи роботи вихрострумової дефектоскопії:

Взаємодія змінного магнітного поля:

Взаємодія змінного магнітного поля є основним принципом роботи вихрострумової дефектоскопії. При проходженні змінного магнітного поля через провідний матеріал виникають електромагнітні вихроструми. Ці вихроструми створюють власне магнітне поле, що протидіє змінному магнітному полю, що їх породило. Принцип роботи вихрострумового дефектоскопа наведено на рисунку 1.2.

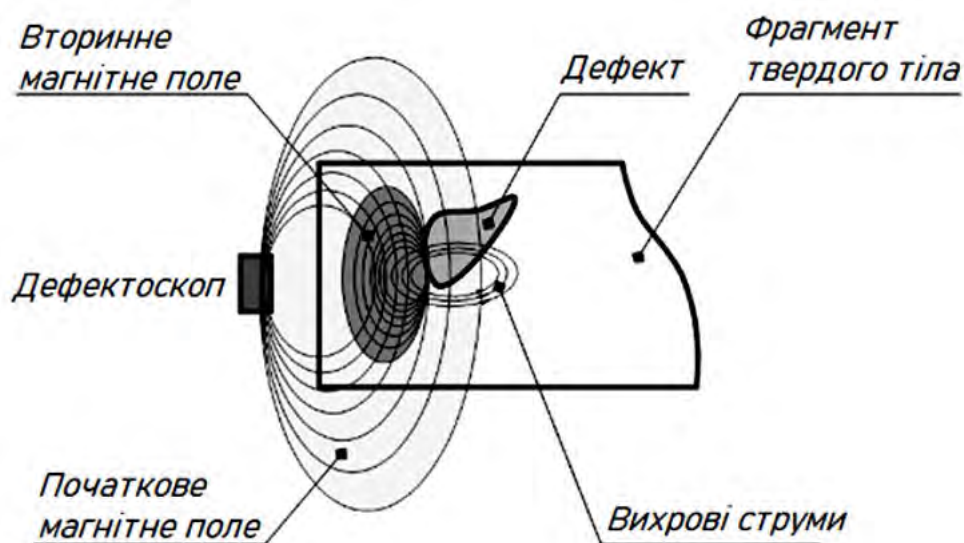


Рис. 1.2 – Принцип роботи вихрострумового дефектоскопа

Основні аспекти взаємодії змінного магнітного поля вихрострумів з провідним матеріалом включають:

1. Виникнення вихрострумів: Змінне магнітне поле проникає у провідний матеріал і створює вихроструми. Цей процес ґрунтується на законі Фарадея, що встановлює, що зміна магнітного поля породжує індуковані струми в провідних матеріалах.

2. Закони Ленца: Вихроструми, що утворюються, генерують магнітне поле, що протидіє змінному магнітному полю, яке їх породило. Це впливає з законів Ленца, які вказують на те, що індуковані струми створюють магнітне поле, спрямоване таким чином, щоб зменшити зміну магнітного поля.

3. Вплив дефектів: Дефекти у провідному матеріалі, такі як тріщини, недоліки, включення, змінюють розподіл вихрострумів. Це може призводити до зміни амплітуди, фази, розподілу або імпедансу вихрострумів, що можна виявити та інтерпретувати як дефект.

4. Детекція та аналіз змін: За допомогою спеціальних датчиків або детекторів, зміни в параметрах вихрострумів вимірюються та реєструються. Ці зміни можуть бути інтерпретовані як ознаки наявності дефектів у матеріалі.

Взаємодія змінного магнітного поля з провідним матеріалом у вихрострумовій дефектоскопії надає можливість виявити різноманітні дефекти, оцінити їх розміри, глибину та інші параметри, що дозволяє проводити неруйнівний контроль та оцінку стану матеріалів.

Зміна параметрів вихрострумів

У вихрострумовій дефектоскопії зміна параметрів вихрострумів відіграє важливу роль у виявленні та характеризації дефектів у провідних матеріалах. Дефекти впливають на розподіл вихрострумів, що в свою чергу призводить до зміни параметрів цих вихрострумів. Основні параметри вихрострумів, що можуть бути зміненими, включають:

1. Амплітуда: Дефекти у матеріалі можуть призводити до зміни амплітуди вихрострумів. Зазвичай, дефекти, такі як тріщини, недоліки або включення, зменшують амплітуду вихрострумів порівняно з амплітудою вихрострумів у відсутності дефектів.

2. Фазовий зсув: Дефекти також можуть призводити до зміни фазового зсуву між змінним магнітним полем і вихрострумами. Це зміщення фази може бути виміряне та використане для виявлення та характеризації дефектів.

3. Імпеданс: Дефекти у матеріалі можуть впливати на електричний опір, індуктивність або ємність вихрострумів, що відображається у зміні їх імпедансу. Вимірювання та аналіз зміни імпедансу дозволяють виявити та оцінити дефекти.

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		20

4. Розподіл вихрострумів: Дефекти можуть впливати на розподіл вихрострумів у провідному матеріалі. За допомогою спеціальних датчиків або детекторів можна виміряти та аналізувати зміни в розподілі вихрострумів, що допомагає виявити та характеризувати дефекти.

Детекція та аналіз змін вихрострумів

Детекція та аналіз змін вихрострумів є ключовими етапами вихрострумової дефектоскопії, оскільки це дозволяє виявити та оцінити наявність дефектів у провідних матеріалах. Для цього використовуються спеціальні датчики, детектори та методи аналізу. Основні кроки в детекції та аналізі змін вихрострумів включають:

1. Вимірювання вихрострумів: За допомогою вимірювачів імпедансу або спеціальних датчиків здійснюється збір сигналів вихрострумів, які генеруються внаслідок взаємодії змінного магнітного поля з провідним матеріалом.

2. Запис сигналів: Отримані сигнали вихрострумів записуються для подальшого аналізу. Це може включати цифрову обробку сигналів та зберігання даних для подальшого використання.

3. Обробка сигналів: Отримані сигнали вихрострумів піддаються обробці для виділення корисної інформації та відокремлення від шумів та перешкод. Це може включати фільтрацію сигналів, відшумлення, амплітудну та фазову корекцію тощо.

4. Аналіз параметрів: Оброблені сигнали піддаються аналізу параметрів, таких як амплітуда, фаза, частота, імпеданс тощо. Це дозволяє виявити зміни у вихрострумах, які можуть бути пов'язані з наявністю дефектів у матеріалі.

Обробка та інтерпретація даних

Обробка та інтерпретація даних вихрострумової дефектоскопії на базі вимірювача імпедансу є важливим кроком у визначенні наявності та характеристик дефектів. Основні етапи обробки та інтерпретації даних включають:

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
Зм.	Аркуш	№ док.м.	Підпис	Дата		21

1. Збір сигналів: Зареєстровані сигнали від датчиків вихрострумової дефектоскопії передаються до системи збору даних, де вони фільтруються та підготовляються для подальшої обробки.

2. Калібрування: Перед обробкою сигналів необхідно здійснити калібрування системи для забезпечення точності вимірювань. Це включає встановлення базових параметрів, вимірювання опору та калібрування сенсорів.

3. Попередня обробка: Після калібрування сигнали піддаються попередній обробці, яка включає фільтрацію шумів, видалення артефактів та підсилення сигналу. Це допомагає знизити вплив шумів та покращити якість сигналу.

4. Аналіз спектра: Сигнали після попередньої обробки піддаються аналізу спектра, де визначаються характерні частоти та амплітуди. Цей аналіз дозволяє ідентифікувати відповідні характеристики дефектів, такі як їх розмір, форма та глибина.

5. Визначення параметрів дефектів: За допомогою алгоритмів інтерпретації сигналів визначаються параметри дефектів, такі як розмір, тип, орієнтація та розташування. Ці параметри допомагають встановити відповідність між виміряними сигналами та конкретними дефектами.

6. Класифікація дефектів: За допомогою навчених моделей або алгоритмів класифікації проводиться визначення типу дефектів. Це дозволяє розрізнити різні види дефектів і встановити їх категорії, наприклад, тріщини, включення, корозія тощо.

7. Візуалізація та аналіз результатів: Отримані результати можуть бути візуалізовані у вигляді графіків, зображень або теплових карт, що дозволяє оператору аналізувати та оцінювати виявлені дефекти. Додатковий аналіз може включати порівняння з референсними даними, статистичний аналіз та визначення важливих параметрів.

В цілому, процес обробки та інтерпретації даних вихрострумової дефектоскопії базується на алгоритмах, статистичних методах та експертному

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
						22
Зм.	Аркуш	№ док.м.	Підпис	Дата		

аналізі. Важливо розробляти ефективні та надійні алгоритми для точного виявлення та аналізу дефектів, що сприятиме покращенню якості контролю та надійності системи.

1.3.2 Розгляд теоретичних основ вимірювача імпеданса

Вимірювач імпедансу є пристроєм, який використовується для вимірювання електричного опору, індуктивності та ємності електричних компонентів або систем. Основним принципом роботи вимірювача імпедансу є вимірювання відношення між прикладеним струмом і викликаного ним напругою на досліджуваному об'єкті.

Теоретично вимірювач імпедансу базується на законах Ома і Ленца. Закон Ома стверджує, що струм, що протікає через провідник, прямо пропорційний напрузі, прикладеній до нього, і зворотно пропорційний опору провідника. Закон Ленца вказує, що зміна магнітного поля, яке проникає через провідник, викликає індукований струм, відомий як вихрострум, який залежить від електричних властивостей провідника та параметрів змінного магнітного поля.

Вимірювач імпедансу може використовувати різні методи і технології для вимірювання імпедансу. Деякі з них включають:

1. Метод амплітудної спектроскопії: Цей метод полягає в вимірюванні амплітуди сигналу при різних частотах змінного струму або напруги. За допомогою цього методу можна отримати амплітудно-частотну характеристику імпедансу об'єкта.
2. Метод фазової спектроскопії: Цей метод вимірює зміщення фази між струмом і напругою при різних частотах. За допомогою цього методу можна отримати фазово-частотну характеристику імпедансу.
3. Метод часової доменної аналізу: Цей метод використовує аналіз часового відгуку об'єкта на стимулюючий сигнал змінного струму або

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
						23
Зм.	Аркуш	№ док.м.	Підпис	Дата		

напруги. За допомогою цього методу можна отримати імпульсну відповідь імпедансу.

4. Метод використання резонансних характеристик: Цей метод заснований на виявленні резонансних частот, при яких імпеданс досягає максимального або мінімального значення. За допомогою цього методу можна визначити резонансні частоти та пов'язані з ними параметри імпедансу.

Вимірювачі імпедансу можуть бути реалізовані як аналогові або цифрові пристрої. Аналогові вимірювачі використовують аналогові схеми та прилади для вимірювання імпедансу, тоді як цифрові вимірювачі перетворюють аналогові сигнали у цифрову форму для обробки і аналізу за допомогою цифрових сигнальних процесорів (ЦСП) або комп'ютерів.

Основна ідея застосування вимірювачів імпедансу у вихрострумівій дефектоскопії полягає в тому, що вихроструми, що виникають внаслідок взаємодії змінного магнітного поля з досліджуваним об'єктом, створюють зміну імпедансу. Вимірювання цієї зміни імпедансу дозволяє виявити та аналізувати наявні дефекти в матеріалі або об'єкті.

Для досягнення високої точності і надійності вимірювань вимірювачі імпедансу можуть включати компенсацію впливу паразитних параметрів, калібрування, автоматичне керування та інші технічні функції. Крім того, розробка спеціалізованого програмного забезпечення для обробки та аналізу даних є важливим аспектом вимірювачів імпедансу.

Узагальнюючи, вимірювач імпедансу використовується для вимірювання електричних властивостей об'єктів шляхом визначення їх імпедансу. Вимірювання проводяться за допомогою різних методів, таких як амплітудна та фазова спектроскопія, часовий доменний аналіз та використання резонансних характеристик. Апаратна архітектура вимірювача імпедансу може включати різні компоненти, такі як генератори сигналів, вимірювальні канали, засоби обробки сигналів та програмне забезпечення для аналізу даних.

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
						24
Зм.	Аркуш	№ док.м.	Підпис	Дата		

1.4 Дослідження можливих блоків приладу

1.4.1 Опис апаратної архітектури вихрострумового дефектоскопа на базі вимірювача імпеданса

Апаратна архітектура вихрострумового дефектоскопа на базі вимірювача імпеданса може включати наступні компоненти:

Генератор змінного магнітного поля наведений на рисунку 1.3

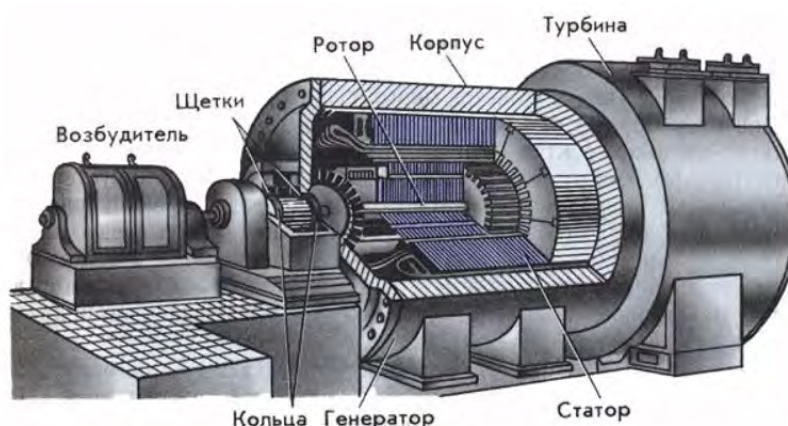


Рис. 1.3 - Генератор змінного магнітного поля

Генератор змінного магнітного поля є ключовим елементом вихрострумової дефектоскопії, оскільки він створює змінне магнітне поле, яке взаємодіє з досліджуванним об'єктом і спричиняє виникнення вихрострумів. Генератори змінного магнітного поля можуть бути реалізовані за допомогою різних технологій та принципів роботи. Декілька типових генераторів змінного магнітного поля, що використовуються в вихрострумовій дефектоскопії, включають:

1. Генератори на основі постійних магнітів: Ці генератори використовують постійні магніти для створення магнітного поля. Вони зазвичай складаються з магнітного сердечника зі спеціальними магнітами, які забезпечують постійне магнітне поле. Змінне магнітне поле може бути отримане шляхом переміщення або руху генератора.

2. Генератори на основі електромагнітів: Ці генератори використовують електричні обмотки, що генерують магнітне поле при подачі

змінного струму через них. Полярність та інтенсивність магнітного поля можуть контролюватися зміною амплітуди та частоти змінного струму.

3. Генератори на основі індукції: Ці генератори використовують принцип електромагнітної індукції для створення змінного магнітного поля. Вони складаються з обмоток, що змінюють магнітне поле шляхом зміни струму або напруги через них. Індукційні генератори можуть мати різні конструкції, такі як рухомі котушки, які створюють зміну магнітного поля шляхом руху, або стаціонарні котушки зі змінним струмом.

4. Генератори на основі електронних схем: Сучасні генератори можуть бути реалізовані з використанням електронних схем, таких як генератори функцій або синтезатори сигналів. Ці схеми забезпечують точне контролювання амплітуди, частоти та форми змінного сигналу, що використовується для генерації магнітного поля.

У кожного типу генератора є свої переваги та обмеження, які можуть впливати на ефективність та точність вимірювань вихрострумової дефектоскопії. Вибір конкретного генератора залежить від вимог щодо потужності, частоти, стабільності сигналу та інших факторів, які можуть бути важливими для конкретних досліджень та застосувань.

1.4.2 Вимірювач імпедансу

Вимірювач імпедансу - це пристрій, який використовується для вимірювання електричного імпедансу об'єкта. Імпеданс представляє собою комплексну характеристику, яка включає опір, реактивний опір і ємнісність або індуктивність.

Основним принципом роботи вимірювача імпедансу є використання змінного струму або напруги, які подаються на об'єкт для створення відповідного електричного поля. При цьому вимірюються параметри цього струму або напруги і на їх основі розраховується значення імпедансу.

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
						26
Зм.	Аркуш	№ док.м.	Підпис	Дата		

Вимірювачі імпедансу можуть мати різні архітектури та методи вимірювання, такі як:

1. Метод амплітудної спектроскопії: Вимірювач здійснює збір і аналіз амплітудних змін струму або напруги відповідно до змін частоти стимулюючого сигналу. Це дозволяє визначити резонансні частоти, амплітуди та фазові зміни імпедансу об'єкта.

2. Метод фазової спектроскопії: Вимірювач аналізує фазові зміни між стимулюючим сигналом і відповіддю об'єкта. Це дозволяє визначити фазову характеристику імпедансу, що може бути використана для визначення параметрів об'єкта.

3. Метод часового домену: Вимірювач використовує аналіз часового відгуку об'єкта на стимулюючий сигнал змінного струму або напруги. За допомогою цього методу можна отримати імпульсну відповідь імпедансу, що дозволяє виявляти різні дефекти або аномалії.

4. Метод використання резонансних характеристик: Вимірювач аналізує резонансні явища, які виникають при зміні частоти стимулюючого сигналу. Це дозволяє визначати параметри резонансної частоти, які пов'язані з імпедансом об'єкта.

Вимірювачі імпедансу можуть бути реалізовані як окремі пристрої, або вони можуть бути вбудовані в більш складні системи аналізу даних. Вони знаходять широке застосування в різних галузях, таких як електроніка, медицина, матеріалознавство та інженерія, для вимірювання і аналізу електричних характеристик об'єктів.

1.4.3 Система збору та обробки сигналів

Система збору та обробки сигналів у вихрострумовій дефектоскопії на базі вимірювача імпедансу грає важливу роль у здійсненні вимірювань, отриманні даних та аналізі результатів. Основні компоненти такої системи включають:

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		27

1. Генератор сигналу: Цей компонент генерує стимулюючий сигнал, який подається на досліджуваний об'єкт. Генератор може бути реалізований за допомогою генератора змінного струму або напруги, як описано раніше.

2. Датчики: Датчики вимірюють електричні сигнали, що виникають у результаті взаємодії стимулюючого сигналу з досліджуваним об'єктом. Ці сигнали можуть бути струмом, напругою або їх комплексними характеристиками, такими як амплітуда та фаза.

3. Предусилитель: Предусилитель використовується для підсилення слабких сигналів, отриманих від датчиків. Це допомагає забезпечити достатню чутливість та точність вимірювань.

4. Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП): АЦП виконує перетворення аналогових сигналів у цифровий формат, який може бути подальше оброблений комп'ютером або мікроконтролером. Цифровий сигнал забезпечує зручність збереження, передачі та обробки даних.

5. Мікроконтролер або комп'ютер: Ця частина системи відповідає за керування процесом вимірювання, збір та збереження даних, а також за обробку і аналіз результатів. Мікроконтролер може бути вбудованим у пристрій, в той час як комп'ютер може бути використаний для більш складних обчислень та візуалізації даних.

6. Програмне забезпечення: Відповідне програмне забезпечення використовується для керування системою, збору та обробки даних, відображення результатів, а також для реалізації алгоритмів аналізу та визначення дефектів.

Ці компоненти співпрацюють разом для забезпечення ефективного та точного збору, обробки та аналізу сигналів вихрострумової дефектоскопії. Кожен з компонентів може бути вибраний та налаштований відповідно до конкретних потреб і вимог дослідження або застосування.

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
Зм.	Аркуш	№ док.м.	Підпис	Дата		28

1.4.4 Контроль та керування

У системі вихрострумової дефектоскопії на базі вимірювача імпедансу важливим елементом є контроль та керування процесом вимірювання. Цей елемент забезпечує правильну послідовність операцій, контролює параметри вимірювання та забезпечує надійність та точність результатів.

Основні аспекти контролю та керування вихрострумовою дефектоскопією включають:

1. Керування генератором сигналу: Контролюється частота, амплітуда та форма сигналу, який генерується генератором змінного струму або напруги. Це може включати налаштування частотного діапазону, амплітуди сигналу та режимів роботи.

2. Синхронізація сигналу: Для точного вимірювання імпедансу важливо мати синхронізацію між стимулюючим сигналом та вимірюваним сигналом. Це досягається шляхом контролю фазового зміщення або використання спеціальних синхронізаційних сигналів.

3. Керування датчиками: Датчики, які вимірюють електричні сигнали, повинні бути правильно налаштовані та калібровані. Контролюються параметри підсилення, фільтрації та чутливості датчиків для забезпечення оптимальної якості сигналу.

4. Керування АЦП: Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) вимірює сигнали від датчиків та перетворює їх у цифровий формат. Контролюються роздільна здатність, швидкість дискретизації та інші параметри АЦП для забезпечення точного та надійного перетворення сигналу.

5. Керування обробкою даних: Після отримання цифрових даних, їх необхідно обробити для визначення параметрів імпедансу та виявлення дефектів. Це може включати використання алгоритмів обробки сигналів, фільтрації, калібрування та інші методи аналізу даних.

6. Моніторинг та відладка: Важливим аспектом контролю є можливість моніторити процес вимірювання, виявляти можливі проблеми або помилки та здійснювати відладку системи при необхідності.

Контроль та керування вихрострумовою дефектоскопією забезпечують високу точність, надійність та повторюваність вимірювань, а також дозволяють забезпечити оптимальні умови для виявлення дефектів та отримання вірогідних результатів.

1.4.5 Візуалізація та аналіз результатів

Візуалізація та аналіз результатів є важливими етапами вихрострумової дефектоскопії на базі вимірювача імпедансу. Ці процеси допомагають інтерпретувати отримані дані, виявляти дефекти та здійснювати подальший аналіз для прийняття рішень. Основні кроки візуалізації та аналізу результатів включають:

1. Графічне представлення: Одним з основних методів візуалізації результатів є графічне представлення даних. Це може бути відображення амплітудного спектра, фазових характеристик, часових діаграм, графіків імпедансу або інших візуальних представлень. Графіки дозволяють зрозуміти структуру сигналу та виявити зміни, що свідчать про наявність дефектів.

2. Аналіз спектральних характеристик: Імпедансний спектр та інші спектральні характеристики можуть бути використані для аналізу сигналу. Це включає виявлення пікових значень, частотних зміщень, ширини піків та інших параметрів, які можуть бути пов'язані з дефектами. Аналіз спектральних характеристик може здійснюватися за допомогою фур'є-аналізу, фільтрації частотного діапазону, порівняння зі стандартними шаблонами та інших методів.

3. Класифікація та ідентифікація дефектів: На основі отриманих даних можна розробити алгоритми класифікації та ідентифікації дефектів. Це включає порівняння зі зареєстрованими шаблонами дефектів, визначення

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		30

відхилень від нормальних параметрів та прийняття рішень щодо наявності та характеристик дефектів.

4. Візуалізація 3D-зображень: У деяких випадках можлива візуалізація даних у тривимірному просторі. Це дозволяє отримати детальну картину розташування та форми дефектів. 3D-візуалізація може бути корисною для більш точного аналізу та розуміння структури дефектів.

5. Автоматизований аналіз: Для забезпечення швидкості та ефективності обробки результатів вихрострумової дефектоскопії можна розробити автоматизовані методи аналізу. Це включає використання алгоритмів машинного навчання, штучного інтелекту та інших автоматизованих інструментів для виявлення та аналізу дефектів.

Візуалізація та аналіз результатів дозволяють отримати детальний інсайт щодо структури та характеристик дефектів, забезпечують можливість прийняття інформованих рішень щодо якості матеріалів та процесів.

1.5 Розгляд схеми підключення та сенсорів

Схема підключення та сенсорів в вихрострумовому дефектоскопі на базі вимірювача імпедансу може включати наступні компоненти:

1. Генератор змінного магнітного поля: Генератор забезпечує створення змінного магнітного поля, яке використовується для генерації вихрострумів у досліджуваному матеріалі. Генератор може мати вихідну потужність, частотний діапазон та інші параметри, які можуть бути налаштовані відповідно до вимог дослідження.

2. Котушка збудження: Котушка збудження розташована непрямо над або поруч з досліджуваним матеріалом і використовується для накладання змінного магнітного поля на нього. Котушка збудження може бути підключена до генератора змінного магнітного поля та мати налаштовувані параметри, такі як струм або напруга.

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
Зм.	Аркуш	№ док.м.	Підпис	Дата		31

3. Датчик вихроструму: Датчик вихроструму розташований непрямо над або поруч з досліджуваним матеріалом і використовується для вимірювання змін вихрострумів, які виникають внаслідок взаємодії змінного магнітного поля з матеріалом. Датчик вихроструму може мати властивості, такі як чутливість, діапазон вимірювання, роздільна здатність і специфікації швидкості зчитування, які впливають на точність та роздільну здатність вимірювання.

4. Записувальний пристрій: Записувальний пристрій використовується для збереження вимірюваних даних. Це може бути цифровий або аналоговий пристрій, який записує вихрострумові сигнали, отримані від датчика вихроструму, для подальшого аналізу та обробки.

5. Контрольна та керуюча система: Контрольна та керуюча система використовується для керування параметрами вимірювання, такими як частота генератора змінного магнітного поля, напруга на котушці збудження, зчитування датчика вихроструму та інші налаштування. Вона також відповідає за координацію роботи всіх компонентів системи та забезпечення правильного збору даних.

Ці компоненти можуть бути підключені до контрольної та оброблювальної системи за допомогою кабелів, інтерфейсів зв'язку або безпроводних технологій, залежно від конкретної реалізації системи.

1.6 Опис процесу обробки сигналу та алгоритмів виявлення дефектів.

Процес обробки сигналу та алгоритми виявлення дефектів у вихрострумовій дефектоскопії на базі вимірювача імпедансу можуть включати наступні кроки:

1. Зчитування сигналу: Сигнал вихроструму, отриманий від датчика вихроструму, зчитується за допомогою вимірювача імпедансу. Цей сигнал містить інформацію про взаємодію змінного магнітного поля з досліджуваним матеріалом.

2. Попередня обробка сигналу: Сигнал може бути підданий попередній обробці для покращення якості сигналу та підготовки його для подальшого аналізу. Це може включати фільтрацію шуму, видалення артефактів, підсилення сигналу тощо.

3. Виділення характеристик сигналу: Зі зчитаного сигналу виокремлюються характеристики, що відповідають дефектам. Це можуть бути амплітудні, фазові, спектральні чи інші параметри сигналу, які мають відмінності від сигналу, що виникає від бездефектного матеріалу.

4. Аналіз характеристик: Отримані характеристики сигналу піддаються аналізу для виявлення дефектів. Це може включати порівняння з еталонними шаблонами, пороговий аналіз, статистичні методи чи інші алгоритми. Метою аналізу є визначення наявності дефектів та їх характеристик, таких як розмір, форма, глибина тощо.

5. Визначення результатів: На основі аналізу характеристик сигналу визначаються результати дефектоскопії, які можуть бути представлені у вигляді дефектного профілю, картографії дефектів, числових значень тощо. Результати можуть бути подані у зручному для сприйняття форматі для подальшого використання та аналізу.

Цей процес обробки сигналу та алгоритми виявлення дефектів можуть бути реалізовані за допомогою програмного забезпечення, яке працює на обчислювальній пристрої, пов'язаному з вимірювачем імпедансу та іншими компонентами системи. Алгоритми можуть бути налаштовані та оптимізовані для конкретних типів дефектів та досліджуваних матеріалів.

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
						33
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок вихрострумів перетворювача

Розрахуємо накладний ВСП в послідовності, що описана в пункті 2.2. для не феромагнітного матеріалу, який буде представлений алюмінієм, та феромагнітного матеріалу – сталі. Розрахунки будуть проведені для різних робочих частот та зведені в таблицю 2.1.

Отже:

Матеріал ОК – алюміній. Це не феромагнітний матеріал, який широко використовується в промисловості.

Радіус збуджуючої обмотки ВСП D складає 6 мм.

Робоча частота f , складає $100 \cdot 10^3$ Гц.

$$\sigma = 37 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{См}}{\text{м}} \right)$$

$$\mu^* = 1$$

$$\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$$

Розрахуємо глибину проникнення електромагнітного поля δ .

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\mu_a \cdot \sigma \cdot \pi \cdot f}} = \sqrt{\frac{1}{1 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 37 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 10^3}}$$
$$= 2,616 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Розмірність:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\text{с}} \cdot \frac{\text{См}}{\text{м}} \cdot \frac{\text{Гн}}{\text{м}}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\text{с}} \cdot \frac{1}{\text{м} \cdot \text{Ом}} \cdot \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{м} \cdot \text{А}}}} = \text{м}$$

Тепер розрахуємо узагальнений параметр β .

$$\beta = D \cdot \sqrt{\omega \cdot \mu_a \cdot \sigma} = 6 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 37 \cdot 10^6}$$
$$= 32,43$$

Розмірність:

$$\beta = \text{м} \cdot \sqrt{\frac{\text{См}}{\text{м}} \cdot \frac{\text{Гн}}{\text{м}}} = \text{м} \cdot \sqrt{\frac{1}{\text{с}} \cdot \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}} \cdot \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{м} \cdot \text{А}}} = \text{м} \cdot \sqrt{\frac{1}{\text{м}} \cdot \frac{1}{\text{м}}} = \text{безрозмірна}$$

Робочу частота f , складає $50 \cdot 10^3$ Гц.

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\mu_a \cdot \sigma \cdot \pi \cdot f}} = \sqrt{\frac{1}{1 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 37 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 10^3}} = 3,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$\beta = D \cdot \sqrt{\omega \cdot \mu_a \cdot \sigma} = 6 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 37 \cdot 10^6} \\ = 22,931$$

Робочу частота f , складає $1 \cdot 10^3$ Гц.

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\mu_a \cdot \sigma \cdot \pi \cdot f}} = \sqrt{\frac{1}{1 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 37 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 10^3}} = 26,162 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$\beta = D \cdot \sqrt{\omega \cdot \mu_a \cdot \sigma} = 6 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 37 \cdot 10^6} = 3,243$$

Матеріал ОК – сталь. Питома електропровідність якої складає $\sigma = 7\,690\,000 \left(\frac{\text{СМ}}{\text{М}}\right)$, а відносна магнітну проникність $\mu^* = 100$.

Радіус збуджуючої обмотки ВСП D складає 6 мм.

Робоча частота f , рівна $100 \cdot 10^3$ Гц.

Отже:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\mu_a \cdot \sigma \cdot \pi \cdot f}} = \sqrt{\frac{1}{100 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 7,69 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 10^3}} \\ = 0,574 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$\beta = D \cdot \sqrt{\omega \cdot \mu_a \cdot \sigma} \\ = 6 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 7,69 \cdot 10^6} \\ = 147,845$$

Робоча частота f , складає $50 \cdot 10^3$ Гц.

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\mu_a \cdot \sigma \cdot \pi \cdot f}} = \sqrt{\frac{1}{100 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 7,69 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 10^3}} \\ = 0,812 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$\beta = 6 \cdot \sqrt{\omega \cdot \mu_a \cdot \sigma} = 2 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 7,69 \cdot 10^6}$$

$$= 104,542$$

Робоча частота f , рівна $1 \cdot 10^3$ Гц.

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\mu_a \cdot \sigma \cdot \pi \cdot f}} = \sqrt{\frac{1}{100 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 7,69 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 10^3}}$$

$$= 5,738 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$\beta = D \cdot \sqrt{\omega \cdot \mu_a \cdot \sigma} = 6 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 7,69 \cdot 10^6}$$

$$= 14,784$$

Результати розрахунків зведемо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1. Розрахунок параметрів ВСП.

Матеріал	D (мм)	σ $\left(\frac{\text{См}}{\text{м}}\right)$	μ^*	f (кГц)	δ (мм)	β
Не феромагнітний (Алюміній)	6	$37 \cdot 10^6$	1	1	2,616	3,243
				50	0,37	22,931
				100	0,261	32,43
Феромагнітний (Сталь)	6	$7,69 \cdot 10^6$	100	1	0,574	14,784
				50	0,081	104,542
				100	0,057	147,845

$$U_{\text{оп}} = \frac{\pi^2}{2} f W_1 W_2 I * \frac{D_{\text{еф}}^2}{l_1} = \frac{\pi^2}{2} * 1308 * 500 * 300 * 0,068 * \frac{0,0145^2}{0,04}$$

$$= 0,44 \text{ В;}$$

Висновок до розділу

В даному розділі було виконано розрахунок накладного ВСП, підірано за рекомендаціями геометричні розміри ВСП. Розраховано оснофні фізичні параметри перетворювача та граничий струм збудження.

РОЗДІЛ 3. ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

3.1 Структурна схема

Спочатку коротко опишемо та проаналізуємо основні недоліки приладів, що були обрані за аналог та найближчий аналог.

Аналогом є прилад, який складається з ВСП, включеного в робочий контур двоконтурного автогенератора, виконаного на транзисторному активному елементі, джерела живлення, що підключено до виходу автогенератора через блок регенерації коливань, і блоку звукової індикації, включеного між виходом автогенератора і виходом блока регенерації коливань, в якості активного елементу використаний польовий транзистор з ізольованим затвором. При цьому між затвором і стоком транзистора паралельно резистору автоматичного зміщення додатково включений діодний випрямляч. В робочий контур автогенератора може бути включений варикап, керований вхід якого підключений до керованого джерела постійної напруги. Постійна часу кола автоматичного зміщення може бути вибраною набагато більшою постійної часу робочого контуру.

Недоліком цього приладу є складність налаштування приладу, що вимагає значної кваліфікації дефектоскопіста.

Найближчим аналогом є прилад, що містить генератор синусоїдального сигналу, послідовно з'єднані опорний генератор і синтезатор частоти, а також другий синтезатор частоти, виконаний з можливістю перестройки частоти та фази, вхід якого зв'язаний з виходом опорного генератора, крім того додатково існує синхронний амплітудний детектор, фільтр нижніх частот, аналого-цифровий перетворювач, МК, причому один із входів синхронного амплітудного детектора з'єднаний з виходом другого синтезатора частоти, а другий вхід його з'єднаний з виходом підсилювача, а до його виходу підключено послідовно з'єднані фільтр нижніх частот, аналого-цифровий перетворювач, МК, до виходу якого підключено вхід запуску аналого-

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		37

цифрового перетворювача, а входи управління обох синтезаторів частоти з'єднані з виходами МК.

Недоліком цього приладу є апаратурна складність виконання та значні габаритні розміри.

В основу нашої корисної моделі поставлена задача удосконалення відомого дефектоскопу шляхом введення нових блоків, що дозволяє зменшити габаритні розміри приладу, спрощує створення приладу та його налаштування.

Поставлена задача вирішується тим, що цифровий вихорострумний дефектоскоп, що містить МК, високочастотний генератор тактових сигналів, ВСП, який відрізняється тим, що додатково містить мікросхему виміру імпедансу к сигнальному виходу якої підключено вхід ВСП. Вихід ВСП підключено до вимірювального входу мікросхеми виміру імпедансу, причому генератор тактових сигналів підключено до входу тактових сигналів МК і мікросхеми виміру імпедансу, а інформаційні виходи мікросхеми виміру імпедансу зв'язані з інформаційними входами МК, а також МК зв'язаний з пультом керування та дисплеєм.

Суть винаходу пояснюється кресленнями де на Рис. 2.1. зображено структурну схему ВД.

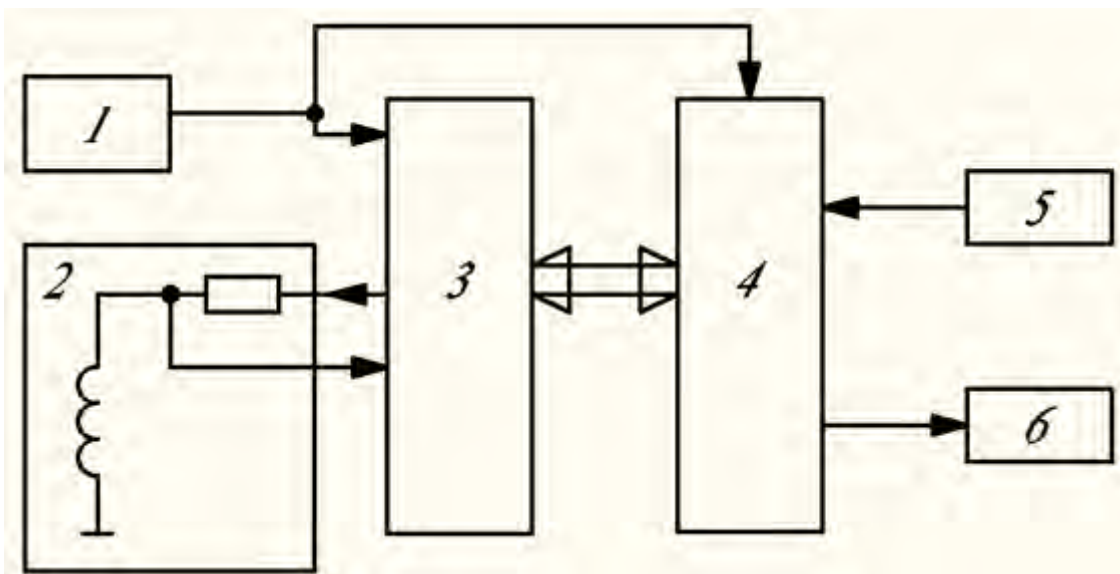


Рис. 3.1. - Структурну схему ВД.

Дефектоскоп містить опорний генератор тактових сигналів 1, ВСП 2, мікросхему виміру імпедансу AD5933 3, МК 4, пульт керування 5, дисплей 6.

ВД працює наступним чином. За допомогою МК 4 задаються сигнали із заданими частотами і подаються на мікросхему виміру імпедансу AD5933 3, яка в свою чергу за допомогою вбудованого синтезатора частоти подає сигнал відповідної частоти на ВСП 2, який взаємодіє з об'єктом контролю. AD5933 виміряє комплексний опір, прийнятий сигнал оцифровує за допомогою дванадцяти розрядного АЦП та проводить широкополосне перетворення Фур'є отриманих відліків, що дозволяє отримати реальну (R) і уявну (I) складові імпедансу які передаються для обробки в МК 4. Оброблені результати виводяться на дисплей 6. За допомогою пульта керування 5 проводиться калібровка приладу на певному об'єкті контролю.

3.2 Опис обраного мікроконтролера

В нашій роботі ми використовуємо МК ATmega32. Декілька слів про даний МК.

Atmega32 є КМОП 8 - бітним МК побудованим на розширеній AVR RISC архітектурі. Використовуючи команди які виконуються за один машинний такт, контролер досягає продуктивності в 1 MIPS на робочій частоті 1 МГц, що дозволяє розробнику ефективно оптимізувати споживання енергії за рахунок вибору оптимальної продуктивності.

AVR ядро поєднує розширений набір команд з 32 робочими регістрами загального призначення. Усі 32 регістра з'єднані з арифметико логічним пристроєм, що забезпечує доступ до двох незалежних регістрів на час виконання команди за один машинний такт. Завдяки вибраній архітектурі досягнута найвища швидкість коду і відповідно висока продуктивність в 10 разів перевершує швидкість відповідного CISC МК.

Блок-схема мікроконтролера зображена на Рис. 3.2.

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		39

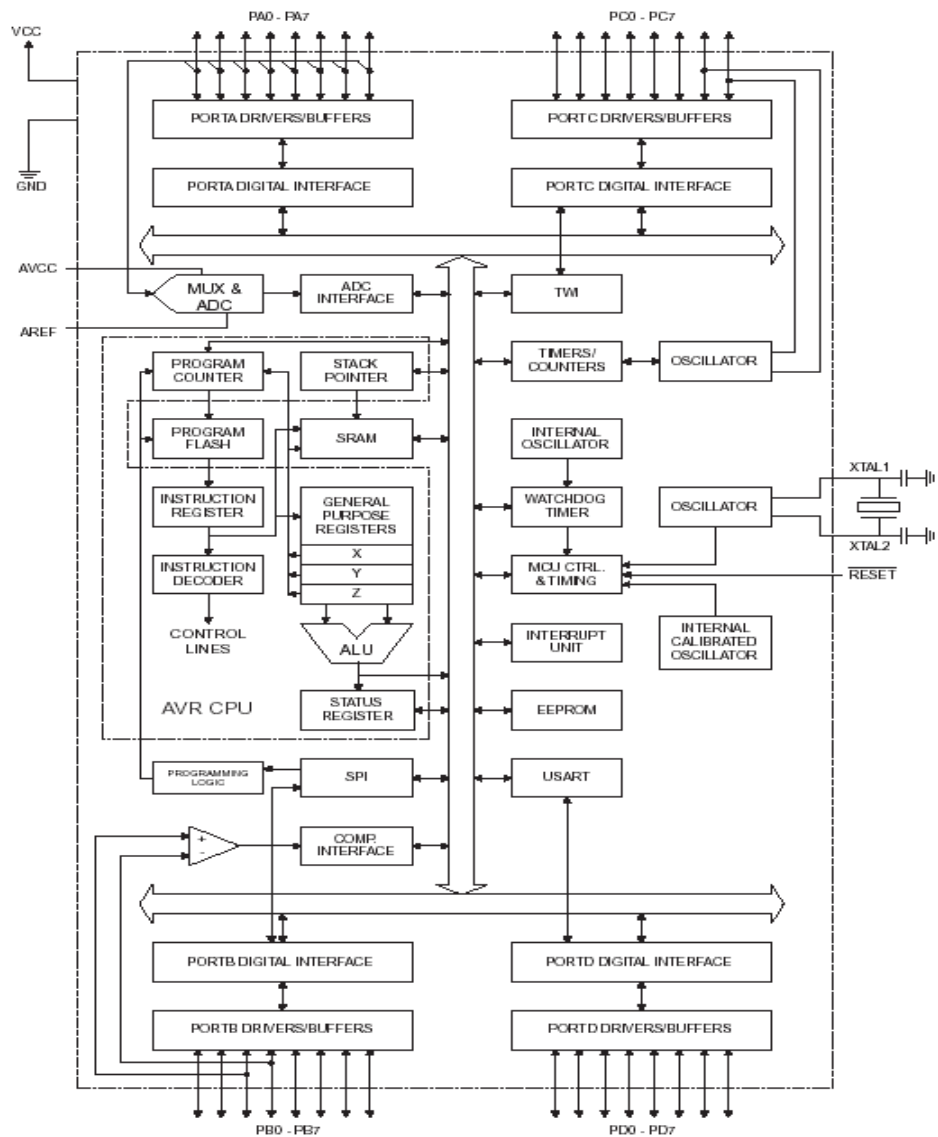


Рис. 3.2 - Блок-схема МК.

ATmega32 містить 32 Кбайт внутрішньо системної програмованої FLASH пам'яті програм, що допускає читання під час запису, 1024 байт EEPROM, 2К байт SRAM, 32 робочих регістра, JTAG інтерфейс сканування внутрішніх регістрів, вбудовану систему налагодження та програмування, три гнучких таймера-лічильника з модулем порівняння, внутрішні і зовнішні переривання, послідовний програмований інтерфейс USART, байт-орієнтований двохпровідний послідовний інтерфейс, восьми канальний, десяти бітний АЦП з диференціальним програмованим підсилювачем (тільки для TQFP), програмований Watchdog таймер з внутрішнім генератором, порт SPI і шість режимів заощадження енергії. У режимі Idle центральний процесор не функціонує в той час як функціонують USART, двохпровідний інтерфейс,

АЦП, SRAM, таймери-лічильники, SPI порт і система переривань. У Atmega32 існує спеціальний режим придушення шуму АЦП, при цьому в цілому в сплячому режимі функціонує тільки АЦП і асинхронний таймер для зменшення цифрових шумів перетворення. У режимі «Вимкнено» процесор зберігає вміст всіх регістрів, заморожує генератор тактових сигналів, призупиняє всі інші функції кристала до приходу зовнішнього переривання або надходження зовнішньої команди Reset. У режимі очікування працює один тактовий генератор, при зупинці інших функцій контролера. Завдяки швидкому переходу в нормальний режим роботи в тому числі і за зовнішнім переривання Atmega32 успішно пристосовується до зовнішніх умов роботи і вимагає менше енергії, частіше опиняючись в режимі Вимкнено. У розширеному режимі очікування в робочому стані знаходяться основний генератор і асинхронний генератор.

Мікросхеми випускаються при використанні Atmel технології енергонезалежній пам'яті високої щільності. Вбудована ISP FLASH пам'ять дозволяє перепрограмувати область програмної пам'яті внутрішньо системно через послідовний SPI інтерфейс стандартним програматором, або використовуючи завантажувальну програму з енергонезалежної пам'яті яка працює в AVR ядрі. Комбінація розширеної 8 - бітної RISC архітектури центрального процесора і твердотільної FLASH пам'яті забезпечують Atmega32 високу гнучкість і економічну ефективність у вбудованих системах правління [12].

3.3 Мікросхема вимірювання імпедансу

Основною частиною нашого дефектоскопа є мікросхема виміру імпедансу AD5933.

Опишемо мікросхему AD5933.

Блок-діаграма зображена на Рис. 3.3.

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
						41
Зм.	Аркуш	№ док.м.	Підпис	Дата		

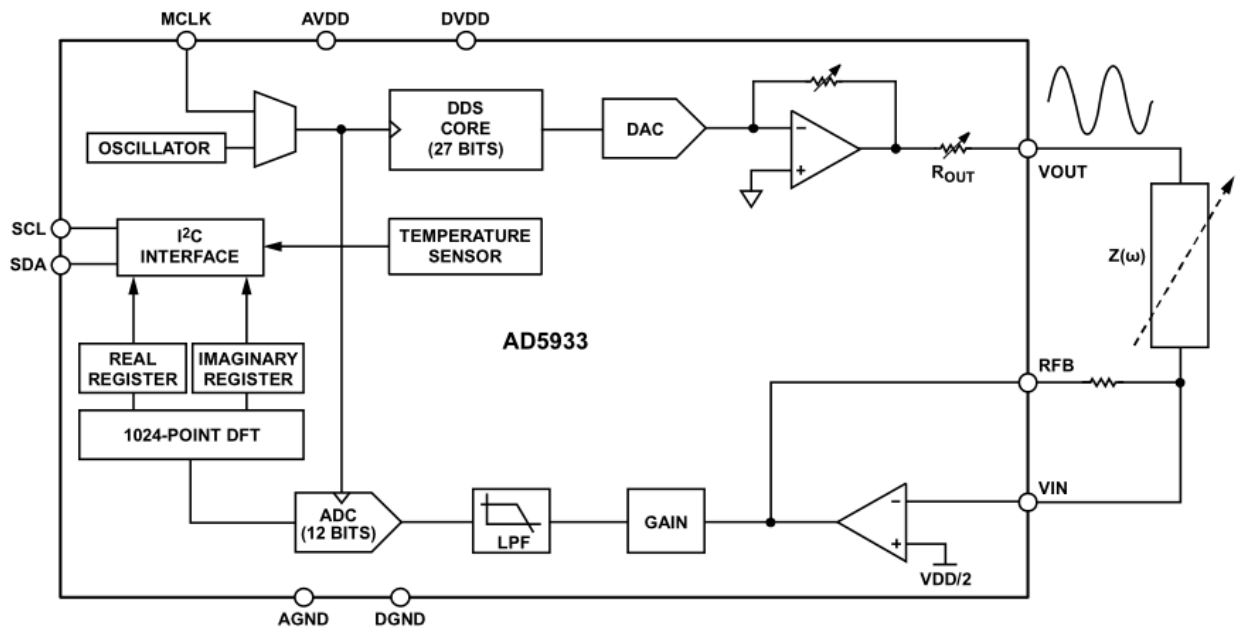


Рис. 3.3 - Блок-діаграма AD5933.

AD5933 представляє собою прецизійний інтегральний перетворювач імпедансу, в якому є вбудований генератор і 12-розрядний АЦП із частотою вибірки 1 МГц. Генератор призначений для подачі сигналу на вимірюваний ланцюг, що володіє комплексним імпедансом. Відповідний сигнал оцифровується вбудованим АЦП, а потім засобами вбудованого цифрового процесорного ядра проводиться широкополосне перетворення Фур'є отриманих відліків. Алгоритм широкополосного перетворення Фур'є на виході дає реальну (R) і уявну (I) складові імпедансу, що дозволяє перерахувати значення імпедансу в амплітуду і фазу за наступними формулами:

$$\text{Magnitude} = \sqrt{R^2 + I^2} \quad (3.1)$$

$$\text{Phase} = \text{arctg}\left(\frac{I}{R}\right) \quad (3.2)$$

Для визначення величини імпедансу на різних частотах $Z(\omega)$ зазвичай використовується розгортка по частоті. Імпеданс можна розрахувати для кожного значення частоти і потім побудувати графік за отриманими даними.

Мікросхема дозволяє запрограмувати сигнал з розмахом до 2 В (амплітуда від піку до піку). Також можна запрограмувати сигнал величиною 1 В, 500 мВ і 200 мВ. Сигнал синтезується за допомогою технології прямого

цифрового синтезу - DDS. Роздільна здатність відповідає розрядності 27 біт (крок сітки частот менш 0.1 Гц). Тактовий сигнал для синтезатора DDS може подаватися від зовнішнього джерела, генеруватися внутрішнім RC-ланцюжком або внутрішнім генератором, для роботи якого генератора необхідний зовнішній кварц (32 кГц).

Для здійснення сканування (розгортки) за частотою користувач повинен запрограмувати вихідні параметри: початкову частоту, діапазон частот, крок частоти і т.д. Потім подається команда запуску розгортки. При скануванні на кожній частоті АЦП буде оцифровувати 1024 відліку, процесор буде генерувати широкополосне перетворення Фур'є, щоб отримати дійсну і уявну частину імпедансу. Отримати ці значення можна через інтерфейс I2C.

Для вимірювання імпедансу навантаження на різних частотах $Z(\omega)$ вимірювальна система містить трансімпедансний вхідний каскад, підсилювач і АЦП. Коефіцієнт підсилення може змінюватися від 1 до 5.

АЦП представляє собою швидкодіючий (1 MSPS) перетворювач з малим рівнем шумів, що працює при напрузі живлення 3 В. Тактування як DDS, так і АЦП здійснюється сигналом MCLK.

AD5933 поставляється в 16-вивідному корпусі SSOP.

Особливості мікросхеми:

- Максимальна частота 100 кГц. ;
- Можливість зміни частоти за допомогою послідовного інтерфейсу I2C;
- Вимірювання повного опору в діапазоні від 1 кОм до 10 МОм. ;
- Внутрішній датчик температури ($\pm 2^\circ \text{C}$) ;
- Внутрішньо системний годинник;
- Можливість вимірювання фази;
- Системна точністю до 0,5%;
- Напруга живлення від 2,7 В до 5,5 В;
- Діапазон робочих температур: від -40°C до $+125^\circ \text{C}$ [13].

3.4 Розробка плати

При розробці плати необхідно пам'ятати наступні основні моменти і постійно дотримуйтесь їх при проектуванні та розводці:

- розмірковують про друковані плати як про компонент електричної схеми;
- зважайте на джерела шуму і завад;
- моделюйте і макетуйте схеми;
- використовуйте друковані плати тільки з якісного матеріалу;
- усвідомлюйте частотні обмеження, що вносяться пасивними компонентами і провідниками плати;
- намагайтеся уникати вертикального розміщення пасивних компонентів в високошвидкісних схемах;
- для високочастотних схем використовуйте компоненти, призначені для поверхневого монтажу;
- провідники повинні бути максимально короткими;
- якщо потрібна велика довжина провідника, то зменшуйте його ширину;
- розміщуйте аналогову схему поблизу елементів живлення;
- ніколи не розводьте провідники, що передають логічні сигнали, через аналогову область плати, і навпаки;
- не розводьте провідники під прямими кутами і згладжуйте вершини кутів, якщо це можливо.
- у важких випадках в ланцюгах живлення використовуйте послідовно включені резистори малого опору та індуктивності;
- розв'язують конденсатори аналогового живлення повинні підключатися тільки до аналогової землі, а не до цифрової [14].

На Рис. 10. зображена розводка плати. Вона була виконана в програмі .

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		44

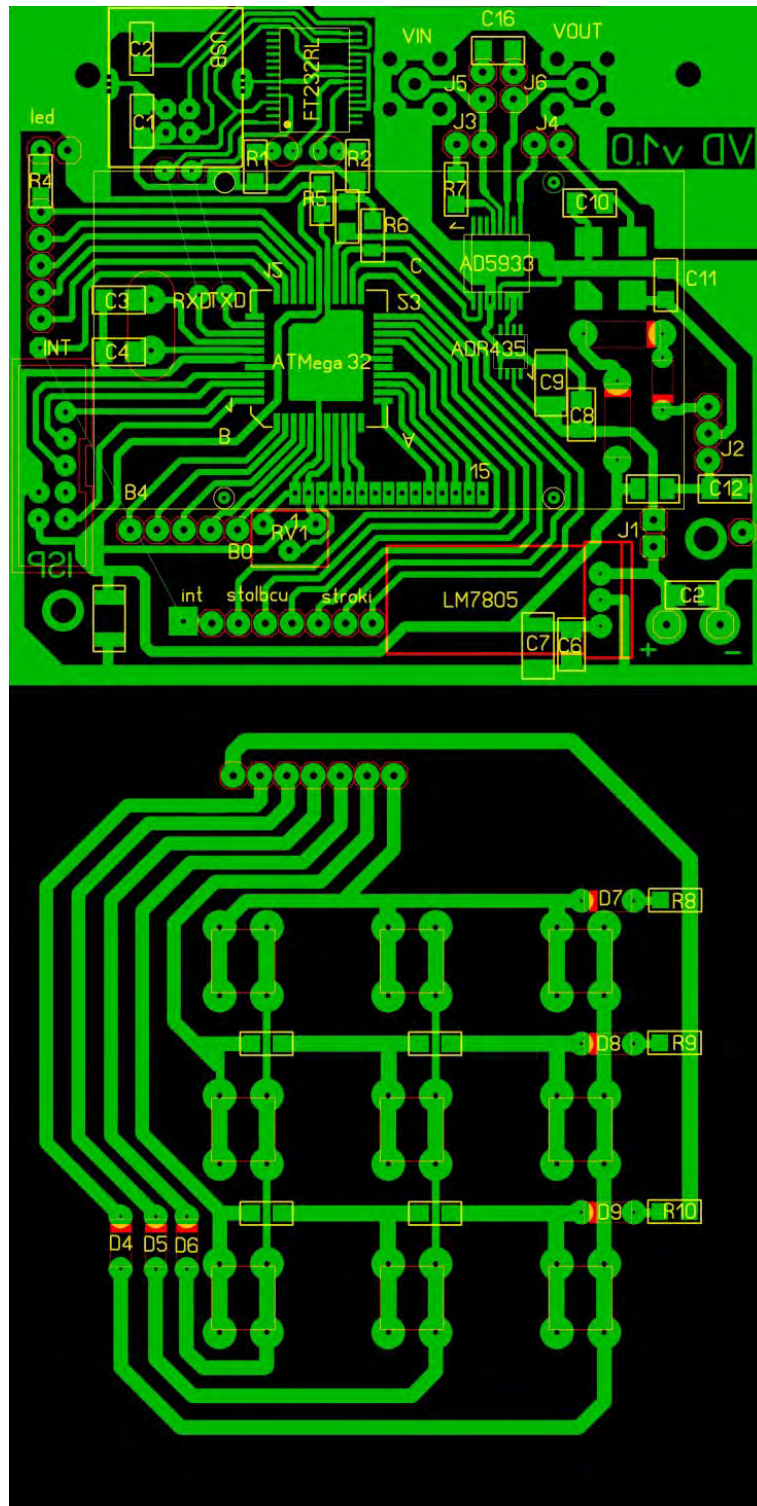


Рис. 2.4 - Розводка плати.

Висновок до розділу

В даному розділі було проведено аналіз подібних приладів на основі цих результатів було розроблено структурну схему. Було вибрано та зроблено опис обраного мікроконтролера та мікросхеми для вимірювання імпедансу. Також було розроблено плату приладу та наведено її розводку.

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
Зм.	Аркуш	№ док.м.	Підпис	Дата		45

ВИСНОВКИ

Після проведення досліджень та випробувань вихрострумової дефектоскопії на базі вимірювача імпедансу, можна зробити наступні висновки:

1. Ефективність методу: Дослідження показали, що вихрострумова дефектоскопія на базі вимірювача імпедансу є ефективним методом для виявлення дефектів у різних матеріалах. Вона дозволяє виявляти дефекти з високою чутливістю та точністю.

2. Висока роздільна здатність: Застосування вимірювача імпедансу дозволяє отримати високу роздільну здатність при вимірюванні параметрів вихроструму. Це дозволяє точно визначати характеристики дефектів, такі як їх розмір, форма та глибина.

3. Гнучкість застосування: Вихрострумовий дефектоскоп на базі вимірювача імпедансу може бути застосований для виявлення дефектів у різних матеріалах, включаючи метали, сплави, композити та ізоляційні матеріали. Це робить його універсальним інструментом для неруйнівного контролю.

4. Невторгнутість: Вихрострумова дефектоскопія на базі вимірювача імпедансу є невторгнутим методом контролю, оскільки не потребує фізичного контакту з досліджуваним матеріалом. Це дозволяє вимірювати дефекти на поверхні та утворення всередині матеріалу без пошкодження його цілісності.

5. Перспективи подальшого розвитку: Проведені дослідження вказують на потенціал для подальшого розвитку вихрострумової дефектоскопії на базі вимірювача імпедансу. Вдосконалення апаратної архітектури, алгоритмів обробки сигналу та розширення можливостей застосування можуть покращити її точність, швидкість та зручність використання.

Загальною висновком є те, що вихрострумова дефектоскопія на базі вимірювача імпедансу є потужним та перспективним методом для неруйнівного контролю дефектів у різних матеріалах. Її використання може

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
						46
Зм.	Аркуш	№ док.м.	Підпис	Дата		

призвести до поліпшення якості контролю, зниження витрат та покращення безпеки виробництва.

На основі проведених досліджень вихрострумової дефектоскопії на базі вимірювача імпедансу, можливими напрямками подальших досліджень можуть бути:

1. Розширення застосування: Варто розглянути можливість застосування вихрострумової дефектоскопії на базі вимірювача імпедансу для нових матеріалів та структур. Дослідження можуть бути спрямовані на виявлення дефектів у складних композитних матеріалах, електронних компонентах, медичних пристроях та інших областях.

2. Розвиток алгоритмів аналізу: Вдосконалення алгоритмів обробки сигналу та алгоритмів виявлення дефектів може поліпшити точність та надійність вихрострумової дефектоскопії. Дослідження можуть бути спрямовані на розробку нових алгоритмів, які враховують різноманітність дефектів, забезпечують автоматичне розпізнавання та класифікацію дефектів.

3. Вдосконалення апаратної архітектури: Розробка нових апаратних рішень та вдосконалення існуючих може поліпшити продуктивність та зручність використання вихрострумових дефектоскопів. Вивчення нових матеріалів для датчиків, оптимізація електронних схем, покращення інтерфейсів та введення бездротового зв'язку - це лише кілька можливих напрямків досліджень.

4. Інтеграція з іншими методами контролю: Вивчення можливостей інтеграції вихрострумової дефектоскопії з іншими методами неруйнівного контролю, такими як ультразвуковий, термографічний або рентгенівський контроль, може створити комплексні системи для більш точного та повного виявлення дефектів.

5. Розробка портативних пристроїв: Подальший розвиток вихрострумової дефектоскопії може включати створення портативних пристроїв, які можуть бути використані на місці роботи, в полі або в умовах

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
						47
Зм.	Аркуш	№ док.м.	Підпис	Дата		

обмеженого доступу. Це може розширити можливості застосування дефектоскопії і сприяти широкому впровадженню в різні галузі.

Ці напрямки досліджень можуть сприяти подальшому розвитку вихрострумової дефектоскопії на базі вимірювача імпедансу та розширенню її застосування у різних сферах промисловості та науки.

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		48

ЛІТЕРАТУРА

1. "Introduction to Nondestructive Testing: A Training Guide" - Paul E. Mix, 2017.
2. "Nondestructive Testing Handbook: Volume 7, Ultrasonic Testing" - American Society for Nondestructive Testing, 2012.
3. "Electromagnetic Nondestructive Evaluation (XI): Studies in Applied Electromagnetics and Mechanics" - Michael S. Zhdanov, 2011.
4. "Impedance Spectroscopy: Theory, Experiment, and Applications" - Evgenij Barsoukov, J. Ross Macdonald, 2005.
5. "Eddy current testing—Part II: Instrumentation and measurement techniques" - J. M. D. Coey, 1985.
6. "Review of Nondestructive Testing Techniques for Composite Materials - The Canadian Airworthiness Manual" - D. T. Robinson, 1995.
7. "Impedance Spectroscopy - Applications to Electrochemical and Dielectric Phenomena" - Vadim F. Lvovich, 2012.
8. "Eddy current non-destructive evaluation of materials and structures" - Tadeusz Stepinski, 2017.
9. Сайти виробників вимірювального обладнання, які спеціалізуються на вихрострумовій дефектоскопії та вимірювачах імпедансу.
10. Наукові дослідження та публікації, доступні в онлайн-бібліотеках та дослідницьких порталах.
11. Пестряков В. Б. Фазовые радиотехнические системы (основы статистической теории) / В. Б. Пестряков. – М. : Сов. Радио, 1968
12. АТmega32. Datasheet.: за станом на 18 листопада 2012 р.
[Електронний ресурс] / Режим доступу:
<http://datasheet.su/datasheet/Atmel/ATmega32-16MU>.
13. AD5933. Datasheet.: за станом на 19 листопада 2012 р.
[Електронний ресурс] / Режим доступу:
<http://www.datasheetarchive.com/AD5933-datasheet.html>.

					<i>ДПБ.ПК-91.05.1760.05.000 ПЗ</i>	Арку
Зм.	Аркуш	№ док.м.	Підпис	Дата		49

14. ТЕХНИКА РАЗВОДКИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ: за станом на 19 листопада 2012 р. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://interlavka.narod.ru/stats01/plat.htm>.
15. Вихрострумний амплітудно-фазовий спосіб неруйнівного контролю. Патент України на корисну модель No118164 МПК (2017.01) G01N27/01 від 25.07.2017. Бюл.No14 Баженов В.Г., Гльойнік К.А.
16. Bazhenov V. Increasing of operation speed of digital eddy current defectoscopes based on frequency synthesizer / V. Bazhenov, A. Protasov, K. Gloinik. // Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium (MRRS). – 2017. – No17262272.
17. Баженов В.Г. Електроніка. Лабораторний практикум: навчальний посібник / В. Г. Баженов, Є. Ф. Суслов, Ю. Ю. Лисенко, А.С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 70 с.
18. Куц Ю.В. Технології електромагнітного неруйнівного контролю: Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 63 с.
19. Мікропроцесорна техніка: лабораторний практикум. Частина 1. [Електронний ресурс] / А. С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 113 с.
20. Мікропроцесорна техніка: лабораторний практикум. Частина 2. [Електронний ресурс] / А. С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 76 с.