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

Кафедра автоматизації та системи неруйнівного контролю

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____Юрій КИРИЧУК_
(підпис) (ініціали, прізвище)
“___”_____2023 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою “Роботизовані і автоматизовані системи неруйнівного контролю та діагностики”
спеціальності 151 “Автоматизація та системи неруйнівного контролю”
на тему “Система автоматизованого вихрострумового контролю товщини алюмінієвого шару в процесі виробництва дзеркал”

Виконав:
студент IV курсу, групи ПК-91
Чарнош Андрій Іванович _____

Керівник:
д.т.н., професор
Куц Юрій Васильович _____

Рецензент:
к.т.н., доцент
Добролюбова Марина Валеріївна_____

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

Київ 2023

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту

на тему: “Система автоматизованого вихрострумового контролю товщини алюмінієвого шару в процесі виробництва дзеркал”

Київ 2023

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 системи неруйнівного контролю”

Освітньо-професійна програма“Роботизовані і автоматизовані системи неруйнівного контролю та діагностики”

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

(підпис) (ініціали, прізвище)

“___”_____2023 р.

Завдання

на дипломний проєкт студенту

Чарношу Андрію Івановичу

1. Тема проєкту“Система автоматизованого вихрострумового контролю товщини алюмінієвого шару в процесі виробництва дзеркал”, керівник проєкту Куц Юрій Васильович, доктор технічних наук, професор затверджені наказом по університету від “30” травня 2023 р. №2057-с
2. Термін подання проекту 15 червня 2023 року
3. Вихідні дані до проєкту: тип перетворювача – матричний датчик, об’єкт контролю – алюмінієве покриття дзеркал, товщина 20-100мкм,допуск на товщину покриття +-20%, максимальний розмір контрольованої поверхні 200мм/500мм.
4. Зміст пояснювальної записки:

Вступ

1. Аналіз завдання проєкту
2. Розрахункова частина
3. Вибір та розрахунок електричних схем системи
4. Висновки
5. Список використаних джерел
6. Перелік графічного матеріалу (4 листа А1): схема електрична структурна, схема електрична принципіальна блоку обробки сигналів, складальне креслення та деталювання одного елементу матричного вихрострумового перетворювача, плакат.
7. Дата видачі завдання 20 лютого 2023 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Формулювання завдання проєкту	12.03.2023	
2	Проведення аналітичного огляду	18.04.2023	
3	Розрахунок компонентів	15.05.2023	
4	Оформлення пояснювальної записки	30.05.2023	
5	Розробка графічної частини проєкту	03.06.2023	

Студент _____ Андрій ЧАРНОШ

Керівник _____ Юрій КУЦ

Анотація

Розроблена система автоматизованого вихрострумового контролю (АВК) товщини алюмінієвого шару в процесі виробництва дзеркал. Вихрострумовий метод використовує неконтактний спосіб вимірювання, що дає змогу забезпечити необхідну вірогідність і ефективність процесу контролю. Система АВК складається з матричного вихрострумового перетворювача,одно координатного скануючого пристрою, системи обробки сигналів, персонального компютерата програмного забезпечення. Вона забезпечує надійний і автоматизований моніторинг товщини алюмінієвого шару в технологічному процесі його нанесення на поверхню дзеркала. Результати вимірювання обробляються системою, що дозволяє оператору отримати вреальному час інформацію про якість світло відбиваючого шару і вчасно приймати рішення щодо коригування технологічного процесу виготовлення дзеркал. Застосування системи АВК дозволяє підвищити якість виробництва дзеркал, знизити відхилення від заданих параметрів і покращити ефективність процесу виробництва. Дана система може бути корисною для виробників дзеркал, де точна товщина алюмінієвого шару має критичне значення для якості та функціональності виробів.

Abstract

A system of automated eddy current control (AVK) of the thickness of the aluminum layer during the production of mirrors has been developed. The eddy current method uses a non-contact method of measurement, which makes it possible to ensure the necessary reliability and effectiveness of the control process. The AVK system consists of a matrix eddy current converter, a coordinate scanning device, a signal processing system, and a personal computer with software. It provides reliable and automated monitoring of the thickness of the aluminum layer in the technological process of its application to the surface of the mirror. The measurement results are processed by the system, which allows the operator to receive real-time information about the quality of the reflective layer and to make timely decisions regarding the adjustment of the technological process of manufacturing mirrors. Application of the AVK system allows you to improve the quality of mirror production, reduce deviations from specified parameters and improve the efficiency of the production process. This system can be useful for mirror manufacturers, where the exact thickness of the aluminum layer is critical to the quality and functionality of the products.

Зміст

Вступ..... 8

Розділ1:Аналіз завдання проєкту 9

1.1.Алюмінієве світловідбивне покриття дзеркал як об’єкт неруйнівного контролю. 9

1.2. Аналіз процесу виробництва дзеркал. 11

1.3. Особливості дзеркал як об’єкту вихрострумового контролю....**Ошибка! Закладка не определена.**

1.4.Особливості виробництва дзеркал в різних країнах світу. .....**Ошибка! Закладка не определена.**

1.4.1.Особливості виробництва дзеркал в Україні .....**Ошибка! Закладка не определена.**

1.4.2.Особливості виробництва дзеркал в інших країнах світу .....**Ошибка! Закладка не определена.**

1.5. Аналіз товщини алюмінієвого шару у дзеркал в оптиці, телескопах і науковому приладобудуванні .....**Ошибка! Закладка не определена.**

1.6.Мембранні дзеркала як новий тренд у створенні великих космічних телескопів .....**Ошибка! Закладка не определена.**

Висновки до розділу 1 .....**Ошибка! Закладка не определена.**

Розділ 2.Розрахунок вихрострумового перетворювача..... 30

2.1. Вибір типу вихрострумового перетворювача для матричного датчика... 32

2.2 Розрахунок робочої частоти ВСП та узагальненого параметру..... 34

2.3 Розрахунки електричних сигналів вихрострумового перетворювача 34

Висновки до розділу 2

Розділ 3.Розроблення електричних схем системи. 41

3.1. Структурна схема 41

3.2.Принципіальна схема блоку обробки сигналів..... 43

3.3.Вибір компонентів 44

Висновки до розділу 3 52

Висновки 53

Список використаної літератури .....**Ошибка! Закладка не определена.**

Вступ

Неруйнівний контроль (НК) – це методологія випробувань, що використовується для оцінювання стану матеріалів, виробів або систем без їх пошкодження або знищення. Він дає змогу виявляти дефекти структури матеріалу, відхилення геометричних розмірів виробів від норми, їх пошкодження, що можуть виникнути в результаті зношування, корозії, фізичних напружень або інших факторів, що діють під час експлуатації, оцінювати електрофізичні та механічні характеристики матеріалів та виробів.

НК використовує різні методи, які базуються на фізичних принципахі полях, таких як звукові хвилі, рентгенівські промені, магнітні поля, ультразвукові хвилі тощо. Відповідні методи НК можуть бути використані окремо або в комбінації для отримання більш надійної інформації про стан досліджуваного об'єкта.

До числа найбільш вживаних видів НК належать наступні.

Ультразвуковий контроль: використовує ультразвукові хвилі для виявлення внутрішніх дефектів, таких як тріщини чи порожнистість, у матеріалах. Рентгенівський контроль: застосовує рентгенівські промені для проникнення через матеріали і отримання зображення внутрішньої структури.

Магнітний контроль: використовує магнітні поля для виявлення дефектів, таких як тріщини або зміни магнітних властивостей, у металевих матеріалах.

Візуальний контроль: використовує огляд, оптичні прилади або камери для виявлення видимих дефектів, таких як тріщини, зношування або пошкодження поверхні.

Вихровий контроль: використовує зміни вихрових струмів, що виникають у провідних матеріалах під дією зовнішнього магнітного поля, для виявлення дефектів.

Розроблені в рамках цих видів НК методи контролю дають можливість

виявляти дефекти рано, що дозволяє проводити ремонтні роботи або заміни компонентів до того, як вони призведуть до аварії або великих втрат. НК широко використовується в промисловості, включаючи авіацію, нафтогазову галузь, будівництво, суднобудування та інші галузі, де безпека і надійність мають ключове значення.

РОЗДІЛ1.АНАЛІЗ ЗАВДАННЯ ПРОЄКТУ

1.1. Алюмінієве світло відбивне покриття дзеркал як об’єкт неруйнівного контролю

Автоматизований вихрострумовий контроль є широко використовуваним методом НК для вимірювання товщини електропровідних неферомагнітних матеріалів, включаючи шари алюмінію. Основний принцип випробування вихровими струмами передбачає створення високочастотного електромагнітного поля в досліджуваному матеріалі та вимірювання результуючих змін поля через присутність матеріалу.

Для реалізації автоматизованої системи вихрострумового контролю вимірювання товщини шарів алюмінію під час виробництва дзеркал можуть знадобитися наступні компоненти та етапи:

Датчик вихрових струмів: Датчик вихрових струмів – це датчик, який генерує високочастотне електромагнітне поле та виявляє зміни в полі, спричинені наявністю шару алюмінію. Зонд може бути розроблений так, щоб він мав певну форму та розмір, щоб відповідати геометрії об’єктів контролю процессу виробництва дзеркала.

Вихрострумовий прилад (рис.1.1.) – це пристрій, який генерує високочастотний струм і аналізує сигнал, отриманий від датчика. Інструмент можна запрограмувати за допомогою спеціальних налаштувань для товщини алюмінієвого шару та визначених допусків.

Калібрувальні стандарти: калібрувальні стандарти – це зразки дзеркал з покриттями відомої товщини, які можна використовувати для калібрування вихрострумового приладу та забезпечення точних вимірювань.

Скануючі пристрої та робототехнічні системи і комплекси [1]:ці засоби використовуються для переміщення як об’єктів контролю, так і вихрострумових перетворювачів по по поверхні останніх.

Рис.1.1. *Роботизована система неруйнівного вихрострумового контролю виробів*

Програмне забезпечення для аналізу даних: використовується для збору та аналізу вимірювальної інформації від приладу вихрострумового контролю. Програмне забезпечення можна запрограмувати на створення сигналів тривоги або активацію дій, спрямованих на корегування параметрів технологічного процесу, якщо товщина алюмінієвого шару виходить за межі заданих допусків.

Система контролю зі зворотним зв'язком:використовується як механізм регулювання товщини алюмінієвого шару на основі вимірювань, отриманих від системи контролю за вихровими струмами. Система контролю зі зворотним зв'язком може бути підключена до виробничого процесу та налаштована для підтримки бажаної товщини шару алюмінію.

Впровадивши автоматизовану вихрострумову систему контролю товщини шарів алюмінію під час виробництва дзеркал, виробники можуть забезпечити послідовне та високоякісне виробництво, одночасно знижуючи ризик появи дефектів у кінцевому продукті.

Систему керування потрібно запрограмувати на підтримку певного діапазону допуску по товщині алюмінієвого шару та автоматично регулювати

виробничі параметри, такі як швидкість осадження алюмінію або температура процесу, щоб підтримувати необхідну товщину шару алюмнію.

Автоматизований вихровий контроль товщини алюмінієвого шару під час виробництва дзеркал дає змогу відповісти на питання: чи відповідають вони необхідним специфікаціям щодо відбивної здатності та оптичної якості?Це також може допомогти зменшити кількість бракованого матеріалу і підвищити ефективність виробництва, звівши до мінімуму потребу в додатковому огляді готової продукції.

1.2.Аналіз процессу виробництва дзеркал

Процес виробництва дзеркал може варіюватися в залежності від конкретного типу дзеркала і виробничих технологій, які використовуються у певній компанії. Однак, основні кроки виробництва дзеркал залишаються загалом однаковими. Виконаємо загальний аналіз процесу виробництва дзеркал:

Вибір сировини. Перший крок у виробництві дзеркал - це вибір якісного скла як сировини. Скло повинно мати гладку поверхню, бути вільним від дефектів і механічних пошкоджень.

Нанесення металевого покриття. Скло, яке буде використовуватися для виготовлення дзеркал, покривають тонким шаром металу, зазвичай алюмінію або срібла. Цей процес виконується вакуумним осадженням, де металеві атоми випаровуються і осаджуються на поверхні скла, утворюючи дзеркальне покриття.

Нанесення захисного покриття. Деякі дзеркала можуть мати додаткове захисне покриття для запобігання подряпинам або вологовмісту. Це покриття наноситься на металеве покриття і зазвичай складається з тонкого шару лаку або плівки.

Різання і формування. Після нанесення покриття скло ріжуть на відповідні розміри та форму. Це може виконуватися за допомогою різальних інструментів або механічних пристроїв, які контролюють точність розмірів.

Полірування. Отримані дзеркала піддаються поліруванню для видалення будь-яких нерівностей або подряпин на поверхні. Цей процес забезпечує гладку, рівну поверхню дзеркала[2].

Інспекція якості. Після полірування дзеркала перевіряють на якість. Вони оглядаються на наявність дефектів, вимірюються розміри та перевіряються оптичні властивості, такі як рівність, роздвоєння та рефлективність.

Збірка і обробка країв. Завершальний крок - це збірка дзеркала в кінцевий вигляд. Краї дзеркала можуть бути оброблені для безпеки та естетичного вигляду. Наприклад, їх можуть шліфувати або закруглювати.

Це загальний аналіз процесу виробництва дзеркал. Варто зауважити, що у різних компаній можуть бути використані різні технології та методи виробництва, але основні етапи будуть подібні.

Нанесення металевого покриття є одним з важливих кроків у виробництві дзеркал. Цей процес виконується за допомогою технології вакуумного осадження, яка дозволяє нанести тонкий шар металу на поверхню скла.

Основні етапи процесу нанесення металевого покриття на дзеркало включають наступне:

Підготовка камери осадження. Спеціальна камера вакуумного осадження підготовлюється перед початком процесу. Камера очищається від будь-яких забруднень та забезпечується низький рівень тиску.

Завантаження скла. Скло, яке буде використовуватися для дзеркала, ретельно очищається, щоб видалити будь-які забруднення. Після цього його завантажують у камеру осадження.

Евакуація камери. Після завантаження скла камеру осадження евакуюють для створення вакууму. Зниження тиску в камері допомагає уникнути окислення металу під час осадження.

Осадження металу. Після досягнення потрібного рівня вакууму починається процес осадження металу. Для цього використовуються різні методи, включаючи електронно-променеве осадження (ЕПО) або магнетронне розпилення (МР).

Електронно-променеве осадження (ЕПО). У цьому методі металевий матеріал, зазвичай алюміній або срібло, нагрівається за допомогою електронного променя, який випаровує атоми металу. Випарувані атоми осідають на поверхні скла, утворюючи тонкий металевий шар.

Магнетронне розпилення (МР): У цьому методі використовується магнітне поле для розпилення металу у вигляді іонів або атомів. Іони або атоми металу розпилюються на поверхню скла, де вони осідають і утворюють металевий шар.

Моніторинг і контроль. Процес осадження металу контролюється і моніториться, щоб забезпечити однорідне покриття та відповідну товщину шару металу на поверхні скла. Використовуються різні методи контролю, такі як моніторинг рефлексії, оптичні вимірювання та інші.

Завантаження та розвантаження. Після завершення осадження металевого шару дзеркало видаляють з камери осадження. Застосовуються заходи безпеки, щоб запобігти пошкодженню покриття.

Важливо зазначити, що кінцева якість дзеркала залежить від декількох факторів, включаючи якість сировини, правильний вакуумний режим, контроль товщини покриття і процесу як контроль якості[3].

Це загальний опис процесу нанесення металевого покриття на скло. В реальному виробництві можуть використовуватися різні модифікації технологій та методики, щоб досягти певних вимог до якості та властивостей дзеркал.

Нанесення захисного покриття на дзеркало - це важливий крок у процесі виробництва, який має на меті покращити стійкість і тривалість експлуатації дзеркала. Захисне покриття може додаватися до металевого покриття, що забезпечує додатковий шар захисту.

Основні етапи процесу нанесення захисного покриття на дзеркало включають наступні.

Підготовка поверхні. Перед нанесенням захисного покриття поверхню дзеркала необхідно ретельно очистити, щоб видалити будь-які забруднення,

жири або сліди пальців. Це може включати процеси миття, використання розчинників або інших спеціальних засобів для очищення.

Нанесення захисного покриття. Захисне покриття наноситься на поверхню дзеркала після металевого покриття. Це покриття може бути в формі тонкого шару лаку, плівки або спеціального хімічного захисного покриття. Застосовуються різні методи, такі як розпилення, нанесення за допомогою валика або імерсійне нанесення.

Сушіння і затвердіння. Після нанесення захисного покриття дзеркало піддається процесу сушіння або затвердіння. Це може включати термічну обробку або використання ультрафіолетового випромінювання, щоб полімеризувати покриття і забезпечити його стійкість.

Перевірка якості. Після сушіння захисного покриття дзеркало проходить процес перевірки якості. Воно оглядається на наявність дефектів, таких як подряпини, бульбашки повітря або нерівності. Також перевіряються оптичні властивості покриття, включаючи прозорість, стійкість до зносу та відповідність вимогам.

Упакування. Після успішної перевірки якості дзеркало готується до упакування. Застосовуються відповідні заходи для захисту дзеркала від пошкоджень під час транспортування та зберігання. Це може включати використання захисних плівок, упаковочних матеріалів або спеціальних контейнерів.

Це загальний аналіз процесу нанесення захисного покриття на дзеркало. Варто зазначити, що в реальному виробництві можуть використовуватися різні матеріали та методи, в залежності від конкретних вимог до якості та властивостей дзеркал.

Різання і формування є одними з перших етапів у виробництві дзеркал і включають в себе наступні процеси.

Вибір скла. Перший крок - це вибір скляної сировини, яка буде використовуватися для виробництва дзеркала. Скло може бути вибране

залежно від різних факторів, таких як розміри, товщина, якість та застосування дзеркала[4].

Розрізання скла. На цьому етапі скляна плита розрізається на відповідні розміри дзеркала. Використовуються різні інструменти та техніки розрізання, такі як різаки скла або лазерне різання. Оператор здійснює розрізання по заданій формі та розмірах.

Формування країв. Після розрізання скла краї дзеркала піддаються формуванню. Це включає обробку країв для надання їм потрібної форми та гладкості. Застосовуються різні методи формування країв, включаючи шліфування, полірування або обробку алмазним інструментом.

Обробка поверхні. Після розрізання та формування країв проводиться обробка поверхні дзеркала. Це може включати шліфування або полірування поверхні, щоб забезпечити гладкість та рівність. Цей процес допомагає підготувати поверхню для подальших кроків виробництва.

Перевірка якості. Після обробки поверхні дзеркало проходить процес перевірки якості. Воно оцінюється на наявність дефектів, таких як подряпини, тріщини або нерівності. Також перевіряються розміри та форма дзеркала, щоб переконатися, що вони відповідають заданим специфікаціям.

Це загальний аналіз процесу різання і формування дзеркал. Варто враховувати, що в реальному виробництві можуть використовуватися різні методи та технології, залежно від конкретних вимог до дзеркал та обладнання, яке використовується на підприємстві[5].

Полірування є важливим етапом виробництва дзеркал, який має на меті досягнення високої якості поверхні дзеркала і його гладкості. Процес полірування може включати наступні кроки.

Вибір полірувального матеріалу: Полірувальний матеріал вибирається залежно від типу скла та вимог до якості дзеркала. Це може бути абразивна паста, діамантовий порошок, оксиди металів або інші спеціальні матеріали.

Підготовка полірувальної поверхні. Перед початком полірування поверхню дзеркала підготовляють шляхом видалення всіх залишків забруднень, пилу

або інших частинок. Для цього можуть використовуватися спеціальні розчини або очищувачі.

Полірування це процес полірування здійснюється шляхом нанесення полірувального матеріалу на поверхню дзеркала та його обробки. Це може включати використання ручних або автоматизованих полірувальних інструментів, таких як полірувальні шліфувальні круги, полірувальні диски або полірувальні машини. Процес включає рухи шліфування або полірування, які допомагають видалити нерівності та дати дзеркалу блискучу та гладку поверхню.

Контроль якості. Після полірування проводиться контроль якості дзеркала. Воно оцінюється на наявність дефектів, таких як подряпини, сліди полірування або нерівності. Також перевіряються оптичні властивості дзеркала, включаючи його рівність, гладкість та відсутність спотворень.

Чищення та завершення. Після полірування і контролю якості дзеркало піддається фінальному чищенню для видалення залишків полірувального матеріалу та інших забруднень. Далі воно може бути покрите металевим шаром або захисним покриттям для підвищення його тривалості та оптичних властивостей.

Це загальний аналіз процесу полірування дзеркал. Варто враховувати, що в реальному виробництві можуть використовуватися різні методи, матеріали та обладнання в залежності від конкретних вимог до дзеркал та їхніх розмірів.

1.3.Особливості дзеркал як об’єкту вихрострумового контролю.

Дзеркала – це об’єкти з високим відбиванням, які можна використовувати як поверхню для контролю вихрових струмів. Вихрострумовий контроль —

це метод неруйнівного контролю, який зазвичай використовується для виявлення поверхневих дефектів, вимірювання товщини та визначення характеристик матеріалів. Коли змінний струм пропускається через провідник, наприклад дзеркало, він створює магнітне поле, яке індукує вихрові струми в матеріалі. Ці вихрові струми, у свою чергу, створюють магнітне поле, яке

взаємодіє з первинним полем, що призводить до зміни електричних властивостей матеріалу[6].

Однією з головних особливостей дзеркал як об'єктів вихрострумового контролю є їх високовідбивна поверхня. Це означає, що будь-які невеликі дефекти або зміни на поверхні можуть викликати значні відбиття, які можуть заважати процессу тестування. Щоб вирішити цю проблему, на поверхню дзеркала можна нанести спеціальні покриття, щоб зменшити відбиття та підвищити точність результатів тесту.

Ще однією особливістю дзеркал є їх тонка і ніжна структура. Тестування вихровими струмами може призвести до нагрівання матеріалу, що перевіряється, що може спричинити спотворення або пошкодження поверхні дзеркала. Тому в край важливо ретельно контролювати силу струму, що використовується під час тестування, і стежити за температурою дзеркала протягом усього процесу, щоб запобігти будь-якому пошкодженню.

Нарешті, дзеркала часто використовуються в оптичних системах, де точність є критичною. Будь-яке спотворення або деформація поверхні дзеркала може спричинити значні проблеми в цих системах. Тестування вихровими струмами можна використовувати для виявлення будь-яких поверхневих дефектів або змін, які можуть вплинути на роботу дзеркала, і допомогти переконатися, що воно відповідає необхідним специфікаціям[7].

Таким чином, дзеркала представляють деякі унікальні проблеми при використанні вихрових струмів як метод контролю. Однак, за умови належної підготовки та ретельних процедур тестування, ці проблеми можна подолати, і ця техніка може надати цінну інформацію про цілісність і продуктивність дзеркала.

1.4.Особливості виробництва дзеркал в різних країнах світу

1.4.1Особливості виробництва дзеркал в Україні

Виробництво дзеркал в Україні має ряд унікальних характеристик, серед яких:

Сировина: Основною сировиною для виробництва дзеркал в Україні є високоякісне флоат-скло та імпортні відбиваючі покриття, такі як алюміній і срібло.

Методи виготовлення: Українські виробники дзеркал використовують як традиційні, так і сучасні методи виробництва. Техніка ручного сріблення все ще використовується в деяких невеликих майстернях, тоді як більші фабрики використовують сучасні методи вакуумного напилення для нанесення світло відбиваючого покриття на скло.

Контроль якості: українські виробники дзеркал приділяють велику увагу контролю якості, використовуючи суворі процедури тестування та перевірки, щоб переконатися, що дзеркала відповідають міжнародним стандартам прозорості, відбивної здатності та довговічності[8].

Індивідуалізація: Українські виробники дзеркал відомі своєю здатністю виготовляти дзеркала на замовлення в широкому діапазоні форм, розмірів і дизайнів. Вони часто тісно співпрацюють з архітекторами, дизайнерами інтер'єрів і власниками будинків, щоб виготовляти унікальні дзеркала, які доповнюють певні дизайнерські схеми.

Експорт: українські виробники дзеркал експортують свою продукцію до багатьох країн світу, включаючи США та держави Європи. Цей експортний ринок забезпечує значну частину доходів галузі.

Загалом галузь виробництва дзеркал в Україні характеризується поєднанням традиційної майстерності та сучасних технологій із сильним наголосом на контролі якості та персоналізації.

1.4.2 Особливості виробництва дзеркал в інших країнах світу

Виробництво дзеркал залежить від країни та регіону. Ось деякі особливості виробництва дзеркал у різних країнах:

Італія: італійські дзеркала відомі своєю високоякісною кустарною майстерністю. Дзеркала, як правило, виготовляються з використанням

традиційних технік, таких як ручне сріблення, і часто мають декоративні рами та декоративні елементи.

Виробництво дзеркал в Італії має кілька особливостей, які сприяють створенню високоякісних продуктів. Ось деякі з них:

Традиція та майстерність: Італія має довгу традицію виробництва скла, включаючи дзеркала. Майстерність та навички, передані з покоління в покоління, відіграють важливу роль у виробництві високоякісних дзеркал з відмінною оптичною якістю[9].

Використання високоякісних матеріалів: Виробництво дзеркал в Італії часто базується на використанні високоякісних матеріалів, таких як скло відомих виробників. Це дозволяє отримати дзеркала з високою прозорістю, стійкістю до зносу і довговічністю.

Художній дизайн та естетика: Італійські дзеркала часто відрізняються особливим художнім дизайном та естетикою. Вони можуть мати вишукані рамки, різноманітні декоративні елементи або бути частиною меблів чи інтер'єрів. Увага до деталей та дизайну додають особливого шарму італійським дзеркалам.

Висока технологічна оснащеність: Італійські виробники дзеркал використовують сучасне обладнання та передові технології для досягнення високої якості продукції. Це включає використання автоматизованих систем контролю, точного обробництва та нанесення покриття, а також вдосконалені методи полірування та обробки поверхонь.

Інноваційність: Італійські виробники завжди прагнуть до інновацій у виробництві дзеркал. Вони досліджують нові матеріали, технології та методи, щоб поліпшити якість та функціональність дзеркал. Інноваційний підхід сприяє створенню унікальних і високотехнологічних продуктів

Ці особливості роблять італійські дзеркала популярними як на внутрішньому ринку, так і за його межами. Вони відомі своєю високою якістю, естетикою і майстерністю виготовлення.

Німеччина: німецькі дзеркала відомі своєю точністю та технологічним підходом. Німецькі виробники дзеркал часто використовують сучасне обладнання та автоматизацію для виготовлення дзеркал із високим рівнем точності та стабільності.

Виробництво дзеркал в Німеччині також має свої особливості, які сприяють створенню високоякісних продуктів. Ось деякі з них:

Інженерна точність: Німецькі виробники дзеркал славляться своєю інженерною точністю та пристрасним підходом до деталей. Вони вкладають великий акцент на використання високоточного обладнання та технологій, що дозволяють досягнути високої якості та оптичної точності дзеркал.

Наукові дослідження та інновації: Німеччина відома своїми науковими дослідженнями та інноваційними розробками. У виробництві дзеркал німецькі компанії активно використовують передові технології та матеріали, щоб покращити якість, оптичні властивості та тривалість дзеркал.

Строгі стандарти якості: Німецькі виробники дзеркал дотримуються високих стандартів якості і безпеки. Вони встановлюють жорсткі контрольні процедури, щоб гарантувати, що кожне дзеркало відповідає вимогам щодо оптичних характеристик, міцності та тривалості.

Екологічна свідомість: Німецькі виробники активно працюють над зменшенням впливу виробництва на навколишнє середовище. Вони використовують екологічно чисті матеріали та процеси, а також впроваджують енергоефективні технології, щоб зменшити споживання енергії та викиди шкідливих речовин.

Захоплення деталями та дизайном: Німецькі виробники приділяють особливу увагу деталям та дизайну дзеркал. Вони розуміють важливість естетики та вигляду дзеркал у внутрішньому та зовнішньому дизайні, тому створюють продукти з унікальними формами, рамками та обробкою поверхні.

Ці особливості сприяють виробництву високоякісних та функціональних дзеркал в Німеччині, які користуються широким попитом на ринку.

Китай: Китай є одним із найбільших у світі виробників дзеркал, який зосереджується на масовому виробництві та економічній ефективності. Китайські виробники дзеркал часто використовують сучасні методи виробництва, такі як вакуумне осадження, щоб виготовляти дзеркала швидко та якісно[10].

Виробництво дзеркал в Китаї також має свої особливості, які варто відзначити:

Масштаб виробництва: Китай відомий своєю великою масштабністю виробництва і може похвалитися значною потужністю виробництва дзеркал. Велика кількість підприємств і заводів здатна задовольнити потреби як внутрішнього, так і зовнішнього ринків.

Конкурентоспроможна вартість: Китай відомий своєю конкурентоспроможністю в ціновому сегменті. Виробництво дзеркал у Китаї може бути більш доступним з точки зору вартості, що дозволяє покупцям отримати продукти за доступними цінами

Технологічний розвиток: В останні роки Китай активно вкладає в розвиток технологій і інновацій у виробництві дзеркал. Використання передового обладнання, автоматизація процесів та впровадження новітніх технологій дозволяють підвищити якість і точність дзеркал.

Гнучкість у виробництві: Китайські виробники можуть пристосовуватися до різних замовлень та вимог клієнтів. Вони можуть виробляти дзеркала різних розмірів, форм і стилів, щоб задовольнити різноманітні потреби ринк

Експортна орієнтація: Китай є одним з найбільших експортерів дзеркал у світі. Багато китайських виробників спеціалізуються на виробництві дзеркал для експорту, що сприяє їхній присутності на світовому ринку.

Ці особливості дозволяють китайському виробництву дзеркал займати значну нішу на світовому ринку та задовольняти потреби клієнтів з різних країн.

Франція: французькі дзеркала відомі своєю елегантністю та витонченістю. Французькі виробники дзеркал часто включають у свої дзеркала складні

малюнки та декоративні елементи, які часто використовуються в проектах дизайну інтер’єру високого рівня[11].

Виробництво дзеркал у Франції має кілька особливостей, які надають йому визначну репутацію і привабливість. Ось деякі з них:

Майстерність та традиції: Франція має багату спадщину у виробництві скла, включаючи дзеркала. Майстерність та навички, що передаються з покоління в покоління, є важливою складовою виробництва дзеркал в країні. Французькі майстри скла відомі своєю високою якістю та мистецтвом виготовлення дзеркал.

Ексклюзивність та дизайн: Французькі виробники дзеркал часто відомі своїм унікальним дизайном та ексклюзивними продуктами. Вони поєднують майстерність та інновації, щоб створювати дзеркала зі складними формами, розкішними рамками та вишуканими деталями. Французькі дзеркала часто стають предметом розкоші та елементом внутрішнього декору.

Висока якість матеріалів: Французькі виробники дбають про використання високоякісних матеріалів для виготовлення дзеркал. Вони використовують скло відомих виробників та високоякісні металеві покриття, щоб забезпечити відмінну оптичну якість та тривалість своїх продуктів.

Ручна робота та індивідуальний підхід: Французькі виробники часто ставлять акцент на ручну роботу та індивідуальний підхід до виготовлення дзеркал. Вони надають увагу деталям, використовують традиційні техніки ручного полірування та обробки, щоб забезпечити найвищу якість та унікальність кожного дзеркала.

Інноваційні технології: Франція також використовує інноваційні технології у виробництві дзеркал. Вона поєднує традиційну майстерність з передовими методами виробництва, такими як комп'ютерне моделювання, автоматизація та використання точних обробних машин, щоб досягти високої якості та ефективності виробництва.

Ці особливості дозволяють французькому виробництву дзеркал залишатися конкурентоспроможним і популярним як на внутрішньому, так і на міжнародному ринку.

Сполучені Штати: США мають велику галузь виробництва дзеркал, яка зосереджується на велико масштабному виробництві та економічній ефективності. Американські виробники дзеркал часто використовують передові технології та автоматизацію для швидкого та ефективного виготовлення дзеркал[12].

Виробництво дзеркал в США має кілька особливостей, які варто відзначити:

Висока якість та стандарти: США відомі своїми високими стандартами якості у виробництві. Виробники дзеркал в США дотримуються строгих норм і вимог щодо якості, що дозволяє виробляти високоякісні продукти з відмінною оптичною якістю та тривалим терміном служби.

Технологічний розвиток: США мають сильну інноваційну базу та розвинуті технології у виробництві. Використання передових технологій, автоматизація та точні обробні процеси дозволяють підвищити ефективність та точність виробництва дзеркал.

Налагоджений ланцюжок постачання: В США розвинена система постачання матеріалів та компонентів для виробництва дзеркал. Це дозволяє забезпечити стабільний доступ до якісних сировинних матеріалів і компонентів, що впливає на якість та надійність готових дзеркал.

Різноманітність виробництва: Виробництво дзеркал в США є досить розмаїтим. Від невеликих ремісничих майстерень до великих промислових компаній, в США представлені різні масштаби та спеціалізації виробників дзеркал. Це дозволяє задовольняти різноманітні потреби ринку та клієнтів.

Стратегічні партнерства та інновації: Виробники дзеркал в США активно співпрацюють зі спеціалізованими дослідницькими установами, університетами та іншими інноваційними організаціями. Це сприяє розвитку нових технологій, дослідженням і вдосконаленню процесів виробництва дзеркал.

Ці особливості сприяють розвитку виробництва дзеркал в США, забезпечують високу якість продукції та конкурентоспроможність на світовому ринку[13].

Індія: Індія є ще одним великим виробником дзеркал, який зосереджується на недорогому виробництві. Індійські виробники дзеркал часто використовують методи массового виробництва, такі як нанесення валиків, щоб виготовляти дзеркала за нижчою ціною.

Виробництво дзеркал в Індії має кілька особливостей, які варто відзначити:

Великий ринок і споживачі: Індія має великий внутрішній ринок і високий попит на дзеркала. Це стимулює розвиток виробництва і дозволяє виробникам працювати на широку аудиторію, що може бути важливим фактором для економічної ефективності та росту галузі.

Низькі витрати праці: Індія має доступ до дешевої робочої сили, що дозволяє знизити виробничі витрати. Це може стати перевагою в конкурентному середовищі, дозволяючи виробникам забезпечити доступні ціни на дзеркала[14].

Технологічний розвиток: Індія активно розвивається в галузі технологій та має компетентний науково-дослідний сектор. Виробники дзеркал використовують передові технології та інновації, щоб покращити якість продукції та ефективність виробництва.

Міжнародний експорт: Індія є важливим експортером дзеркал на світовому ринку. Виробники з Індії активно працюють на зовнішніх ринках і експортують свою продукцію в різні країни. Це свідчить про конкурентоспроможність і якість виробництва дзеркал у країні.

Використання традиційних методів: У деяких регіонах Індії виробництво дзеркал може включати використання традиційних методів та ручну працю. Це може надавати дзеркалам особливу художню цінність та унікальність, привертаючи покупців[15].

Ці особливості сприяють розвитку виробництва дзеркал в Індії і допомагають країні займати важливу позицію на світовому ринку.

Підсумовуючи викладене вище можна сказати, що виробництво дзеркал залежить від країни, причому кожен регіон має свій унікальний підхід і фокус. Італійські дзеркала відомі своєю ремісничою майстерністю, німецькі дзеркала – своєю точністю, китайські дзеркала – своїм масовим виробництвом, французькі дзеркала –своєю елегантністю, американські дзеркала – своїм великомасштабним виробництвом, а індійські дзеркала – своєю економічною ефективністю.

1.5.Аналіз товщини алюмінієвого шару дзеркал в оптиці, телескопах і науковому приладобудуванні

Аналіз товщини алюмінієвого шару у дзеркал в оптиці, телескопах і науковому приладобудуванні є важливим критерієм при виробництві та використанні цих приладів.

Алюмінієвий шар в дзеркалах використовується для відбивання світла. Чим товще цей шар, тим більше світла відбивається, але при цьому збільшується вага дзеркала та складність його виготовлення. Тому, зазвичай, використовують шари товщиною від кількох десятків нанометрів до декількох мікрометрів[16].

В телескопах алюмінієвий шар також використовується для відбивання світла, але його товщина може бути більшою, ніж у дзеркал. Це пов'язано з тим, що в телескопах важливо отримати якомога більше світла з об'єкта, тому шар може мати товщину в десятки мікрометрів або більше.

У науковому приладобудуванні товщина алюмінієвого шару може бути дуже різною в залежності від конкретного застосування. Наприклад, в деяких

приладах потрібно відбивати тільки певні діапазони світла, тому шар може бути дуже тонким. В інших приладах можуть вимагатися більші товщини шару для отримання оптимального результату.

Отже, визначення товщини алюмінієвого шару у дзеркал в оптиці, телескопах і науковому приладобудуванні залежить від конкретних потреб

виробника і використання приладу.

1.6.Мембранні дзеркала як новий тренд у створенні великих космічних телескопів

Мембранні дзеркала - це особливий тип дзеркал, що використовуються в деяких оптичних системах, зокрема в астрономії та деяких високоточних оптичних пристроях (рис.1.3.). Вони відрізняються від звичайних скляних дзеркал своєю конструкцією та здатністю до активної формозміни.

Мембранні дзеркала складаються з тонкої, гнучкої мембрани, яка покрита тонким шаром відбиваючого матеріалу, наприклад, алюмінію або срібла. Вони можуть мати різні форми, залежно від потреб застосування, включаючи плоскі, сферичні або параболічні форми.

Рис.1.3. *Науковий астрономічний телескоп*

Основна особливість мембранних дзеркал полягає в їх здатності активно змінювати форму, що дозволяє коригувати аберрації або формувати особливі поверхні для фокусування світла. Це досягається за допомогою системи підтримки та регулювання, яка контролює тиск або напругу на мембрані. Цей процес називається активним формоутворенням.

Використання мембрани дозволяє досягти високої точності форми дзеркала, а також коригувати її в режимі реального часу для компенсації будь-яких змін або спотворень. Це особливо корисно в астрономічних телескопах, де можуть виникати зміни в формі дзеркала через вплив гравітації або температурних

змін[17].

Мембранні дзеркала використовуються для досягнення високої роздільної здатності та точності в оптичних системах, де вимоги до якості зображення є критичними. Вони знаходять застосування в астрономії, спостереженнях з космосу, медичній техніці та інших високоточних оптичних пристроях, де потрібна гнучкість та коригування форми дзеркала.

Дослідники розробили новий спосіб виготовлення та формування великих високоякісних дзеркал для космічних телескопів. Ці нові дзеркала значнотонші за традиційні, що використовувалися раніше, і вони можуть бути згорнуті та компактно зберігатися всередині ракети-носія. Цей підхід вирішує проблеми ваги та розміщення дзеркал телескопів у космосі, дозволяючи створювати більші та більш чутливі телескопи[18].

Дослідники успішно створили прототипи параболічних мембранних дзеркал діаметром до 30 см. Вони використовували хімічне осадження з парової фази для вирощування мембрани дзеркал на рідині, що обертається, у вакуумній камері. Крім того, вони розробили метод адаптивного виправлення дзеркал після розгортання за допомогою тепла.

За допомогою цього нового методу можна створити більш компактні дзеркальні системи, що є менш дорогими. Він відкриває можливість створювати дзеркала діаметром 15 або 20 метрів для космічних телескопів, які будуть набагато більш чутливими. Розробка нового методу відбувалася під час пандемії COVID-19, коли дослідники мали більше часу для експериментів та пошуку нових концепцій.

Для формування точної форми дзеркала телескопа, використовувалася рідина, яку розташовували всередині вакуумної камери. Ця рідина утворювала ідеальну параболічну форму, на яку росли мембранні дзеркала з полімеру. Потім на верхню частину дзеркала наносився світловідбивальний металевий шар, а рідина змивалася[19].

Такий метод формування дзеркал є більш доступним і може бути легко масштабованим до великих розмірів. Він відрізняється від традиційних

методів, які вимагають складної оптичної обробки.

Розвиток нових мембранних дзеркал для великих космічних телескопів є активною галуззю досліджень у космічній оптиці. Мембранні дзеркала мають потенціал для створення великих і легких оптичних систем, які забезпечують високу роздільну здатність і зменшують масу телескопа.

Основною перевагою мембранних дзеркал є їх гнучкість і низька маса. Вони складаються з тонких плівок, зазвичай з матеріалів, таких як кремній або кераміка, які використовуються в оптичних системах. Ці плівки можуть бути вигнуті або натягнуті на підтримуючі структури, що дозволяє їм приймати форму дзеркала. Це дає можливість створювати дзеркала різних форм і розмірів, включаючи великі діаметри.

Одним з викликів, що виникають при розробці мембранных дзеркал, є досягнення необхідної точності форми та стабільності. Важливо забезпечити, щоб мембрана мала достатню точність форми для фокусування світла та мінімізувала деформації, спричинені зовнішніми впливами, такими як температурні зміни чи механічні напруження.

Дослідження в цій області охоплюють використання нових матеріалів, розробку нових методів виготовлення і обробки мембрани, а також розробку систем контролю форми та стабільності. Важливо також враховувати вимоги космічного середовища, зокрема радіаційного впливу та вакууму.

Успішний розвиток мембрани великих космічних дзеркал може відкрити нові можливості для космічних досліджень, забезпечуючи більшу роздільну здатність і зменшуючи масу космічних телескопів, що дозволить здійснювати більш точні та довготривалі спостереження у всесвіті[20].

У цій області стандартизації можуть використовуватися різні нормативні документи, такі як стандарти ASTM International (American Society for Testing and Materials), ISO (International Organization for Standardization), або відповідні стандарти, розроблені організаціями, що спеціалізуються на космічній оптиці, наприклад, NASA (National Aeronautics and Space Administration) або ESA

(European Space Agency).

Зазвичай, ці стандарти можуть включати такі аспекти:

Вимоги до оптичних характеристик мембранних дзеркал, таких як точність форми, роздільна здатність, аберації і відхилення від площинності.

Методи випробувань і контролю, які дозволяють оцінювати властивості мембранних дзеркал, такі як вимірювання форми, випробування стійкості до впливу зовнішніх факторів, контроль покриття тощо.

Вимоги до матеріалів, використовуваних у мембранних дзеркалах, зокрема щодо стійкості до радіаційного впливу, термальної стійкості і механічної міцності. Процедури виготовлення, монтажу та тестування мембрани і дзеркальних систем.

Це лише загальні принципи, і конкретні стандарти будуть залежати від специфічних вимог і потреб проекту космічного телескопа.

Висновки до розділу 1

Впровадження системи автоматизованого контролю товщини алюмінієвих шарів за допомогою вихроструму в процесі виробництва дзеркал є важливим технологічним рішенням. Ця система дозволяє покращити якість дзеркал шляхом надійного та точного контролю товщини шарів. Вона забезпечує виявлення відхилень від заданої товщини та можливість оперативно скоригувати технологічний процес. Використання автоматизованої системи контролю дозволяє вимірювати товщину шару алюмінію безконтактним шляхом, що дає змогу реалізувати динамічний режим роботи та забезпечити 100% контроль покриття дзеркал. В цілому, система автоматизованого вихрострумового контролю товщини алюмінієвих шарів є ефективним рішенням, що сприяє покращенню якості дзеркал, забезпечує точність вимірювань та ефективно використовує час виробничого процесу.

Розділ 2: Розрахунок вихрострумового перетворювача

Накладні вихрострумові перетворювачі, також відомі як накладні датчики вихруму, використовуються у вихрострумовому неруйнівному контролі для створення змінного електромагнітного поля, що взаємодіє з електропровідним об’єктом, і формування сигналу у вигляді комплексного опору (для перетворювачів параметричного типу) або комплексної електрорушійної сили (для перетворювачів трансформаторного типу), породжених дією наведених в об’єкті вихрових струмів. Ці струми залежать як від електрофізичних властивостей матеріалу об’єкта контролю (ОК), так і з його геометричними розмірами.

Основна методика розрахунку накладних вихрострумових перетворювачів включає наступні кроки:

Вибір датчика. Визначення параметрів вимірювання, таких як розмір провідника, потрібна чутливість, діапазон вимірювання тощо. Від цих параметрів залежить вибір підходящого датчика.

Взаємне розташування датчика і ОК. Датчик має бути встановлений над провідником таким чином, щоб він був достатньо близько до контрольованої поверхні, але не торкаючись його. Відстань між датчиком і провідником встановлюється якомога меншою.

Підключення датчика. Датчик підключається до електронної системи обробки сигналу, яка зчитує сигнал від датчика і перетворює його на вимірювану величину – змінну електричну напругу.

Калібрування. Перед використанням накладного вихрострумового перетворювача його зазвичай калібрують за допомогою відомих значень вихруму для перевірки та корекції функції вимірювання.

Вимірювання. Після налагодження і калібрування перетворювач готовий до вимірювання на ОК. Виміряний сигнал з датчика передається до електронної системи обробки сигналу.

Важливо враховувати, що точність вимірювань може залежати від різних факторів, таких як відстань до провідника, форма та матеріал провідника, вплив навколишнього електромагнітного поля тощо. Тому перед застосуванням накладного вихрострумового перетворювача слід ретельно дослідити його характеристики та врахувати можливі впливи зовнішніх факторів на точність вимірювань.

2.1.Вибір типу вихрострумового перетворювача для матричного датчика

Кожний елемент матричного перетворювача уявляє собою вихрострумовий перетворювач трансформаторного типу.

На рисунку 2.1 зображенозагальний вид системи з вихрострумовим перетворювачем трансформаторного типу, позначеної як «ВСП накладного типу – ОК».

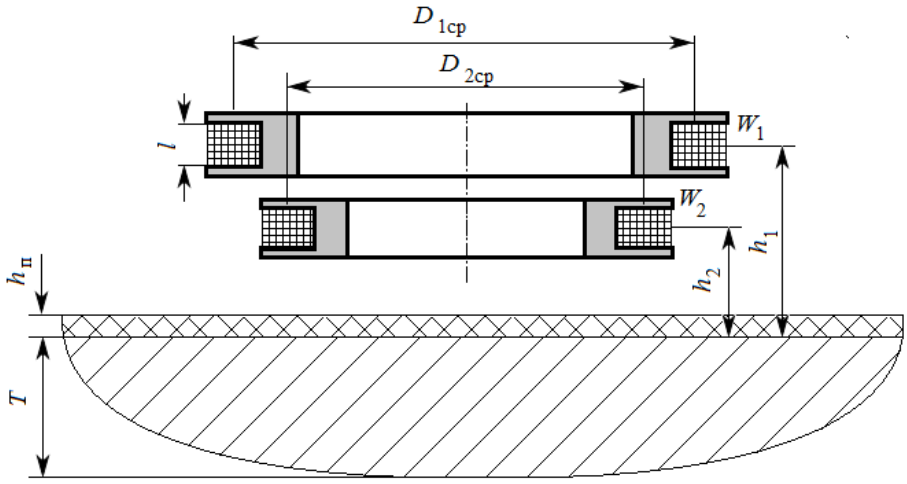

Рис. 2.1. Система «ВСП накладного типу – ОК»

За допомогою годографу (рис. 2.2)визначаються відносні внесені напруги (U*вн) для накладного вихрострумового перетворювача, розташованого над електропровідним немагнітним середовищем.

Годограф – це графічне зображення, яке відображає залежність руху об'єкту від часу. В математиці і фізиці годографи часто використовуються для вивчення руху тіл, електричних колів, систем керування та інших процесів.

Годограф може бути побудований у двовимірній або тривимірній системі координат, в залежності від кількості змінних, які відслідковуються.

Візуально годограф зазвичай представляється у вигляді кривих, ліній або графіків, які можуть мати різну форму, залежно від конкретного досліджуваного процесу.

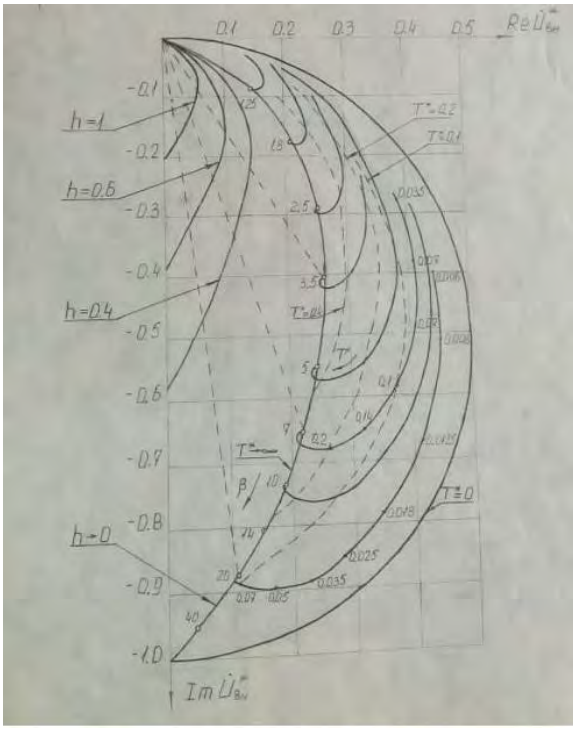

Рис.2.2. Годограф відносних внесених напруг для накладного ВСП, що розташований над поверхнею ОК з немагнітного електропровідного матеріалу

Певним вибором параметрів режиму контролю можна досягти максимальної чутливості накладних вихрострумових перетворювачів до товщини неферомагнітного листа або електропровідності металу шляхом оптимізації конфігурації та параметрів самого перетворювача. З метою збільшення чутливості до контрольованого параметра можуть використовуватись методи, такі як збільшення кількості витків вимірювальної обмотки, зменшення відстані між датчиком і об'єктом контролю тощо.

У той же час, для заглушення впливу основного перешкоджаючого параметра – зазору між поверхнею ОК і обєктом, можуть застосовуватись

методи, які спрямовані на зниження його впливу на вихрострумовий сигнал. До таких методів належать, наприклад, використання компенсуючих схем, шумозаглушення, фільтрація сигналів або коригування сигналу з врахуванням впливу перешкоди.

2.2. Розрахунок робочої частоти ВСП та узагальненого параметру

Максимальна чутливість накладних вихрострумових перетворювачів до товщини неферомагнітного листа або електропровідності металу досягається шляхом оптимізації параметрів режиму контролю з метою збільшення чутливості до контрольованого параметра та заглушення основного перешкоджаючого параметра.

При контролі товщини діелектричного покриття або параметрів вібрації рекомендується обирати частоту з урахуванням оптимальної реакції системи на зміни в цих параметрах. Це означає, що частоту вибирають так, щоб забезпечити максимальну чутливість до змін товщини покриття або вібрацій, а також зниження впливу небажаних шумів або перешкод. Для задачі вимірювання товщини шару ця умова дається таким наближеним рівнянням $T^*\beta^2 \approx TR_{cp1}\omega\gamma\mu_0 \approx 0.1 \times 10^{-3} \times 4 \times 10^{-3} \times 2 \times \pi \times f \times 37.7 \times 10^6 \times 4 \times\times \pi \times 10^{-7} \approx 3.$

З цієї формули визначимо робочу частоту

При розрахунку частоти прийнято, що середній радіус котушки збудження $R_{cp1} = 4$мм, а електропровідність алюмінію $\gamma = 37.7 \times 10^6$См/м.

Розрахунки частоти для граничних значень товщини покриття дали такий результат:

для товщини 100мкм маємо $f = 25$кГц;

для товщини 20мкм маємоf=126кГц.

Обираємо робочу частоту f=75кГц.

.

Визначимо наступні параметри системи “ВСП-ОК”:

1.Еквівалентний діаметр контура вихрових струмів

$D_e = D_{ср1} + 1{,}5h_1 = 2мм = 9 \times 10^{-3}м$;

2.Узагальнений параметр

$\beta = 0.5 \cdot D_e \sqrt{\omega \mu_0 \gamma} > 20$,

$\beta = 0.5 \times 9 \times 10^{-3} \times \sqrt{2\pi \times 75 \times 10^3 \times 4 \times \pi \times 10^{-7} \times 37.7 \times 10^6} \approx 21.25$;

3.Відносна товщина покриття завтовшки 20мкм

$T_1^* = \frac{0.02}{4} = 0{,}005$;

4.Відносна товщина покриття завтовшки 50мкм

$T_2^* = \frac{0.05}{4} = 0{,}0125$

5.Відносна товщина покриття завтовшки 100мкм

$T_3^* = \frac{T}{R_{ср1}} = \frac{0.1}{4} \approx 0{,}025$;

2.3. Розрахунок електричних сигналів вихрострумового перетворювача

Розрахунок сигналів вихрострумового перетворювача виконувався графоаналітичним методом, який ґрунтується на визначенні відносних внесених напруг вихрострумового перетворювача за годографом, а абсолютних напруг – шляхом аналітичних розрахунків. Нижче наведено результати розрахунку сигналів перетворювача.

1. Обрано трансформаторний тип ВСП і котушки круглої форми.
2. Згідно з розрахунками отримано значення узагальненого параметру 16.
3. Виберемо аксіальну довжину котушки ℓ=1мм.
4. Виберемо діаметр проводу для обмотки збудження 0.05 мм.
5. Розрахована з урахуванням конструктивних параметрів котушки збудження кількість витків становить W_1 = 90 дроту типу ПЕВ1(діаметр дроту з ізоляцією становить 0.062мм).
6. Розрахунок силу струму збудження I з умови відсутності перегріву котушки виконується за формулами. I = (0.85 ÷ 0.95) $I_{гр}$.

Площа охолодження котушки становить

$S_{ох} = S_{зовн.п.к.} + S_{внутр.п.к} = 14.137155 мм^2$.

Активний опір котушки збудження вираховується за формулою

$$R = 4\rho W_1 D_{ср} \div d_1^2 = (4 \times 0{,}0175 \times 10^{-6} \times 90 \times 8 \times 10^{-3}) \div$$

$$\div (0.0025 \times 10^{-6}) = 20 \text{ Ом}.$$

Значення граничного струму котушки збудження обчислюється за формулою

$$I_{гр} = \sqrt{\frac{\lambda S_{ox}[\emptyset]_д}{R}} = \sqrt{\frac{12 \times 21 \times 10^{-6} \times 10}{20}} = 0.011\text{A} = 11\text{мА}.$$

де λ - коєфіцієнт теплопередачі, $S_{ох}$ - площа поверхні охолодження котушки, [θ]д - допустима температура перегріву, R - активний опір котушки. Для міді значення питомого електричного опору становить $\rho = 0.0175 Ом мм^2/м$.

Таким чином робочий струм котушки збудження становить

$$I = 0.95 \times I_{гр} = 10.45 мА.$$

7. Обераємо діаметр проводу для вимірювальної котушки d_2 =0,02 мм.
8. Обераємо кількість витків вимірювальної котушки $W_2 = 90$.
9. Глибина проникнення вихрових струмів становить.

$$\delta = \sqrt{2/\omega\gamma\mu_o}$$

$$= \sqrt{2/2 \times \pi \times 75 \times 10^3 \times 37.7 \times 10^6 \times 4 \times \pi \times 10^{-7}} = 0{,}0003 = 0.3 мм.$$

10. Розраховуєм напругу холостого ходу Uоп за формулою

$$U_{оп} = 1.35\ \omega\mu_0 W_1 W_2 (m-0.3) I \sqrt{(D_{ср1} D_{ср2})} = 1.35 \times 2 \times \pi \times 75 \times 10^3 \times 4 \times \pi \times 10^{-7} \times 90 \times 90 \times (1 - 0.3) \times 10.45 \times 10^{-3} \times \sqrt{8 \times 10^{-3} \times 8 \times 10^{-3}} = 0{,}38B,$$

де $m = D_{ср1} / D_{ср2}$.

11. Відносну внесену напругу визначимо за годографом відносної комплексної чутливості накладного вихрострумового перетворювача при контролі тонких неферомагнітних електропровідних пластин(рис.2.3.).

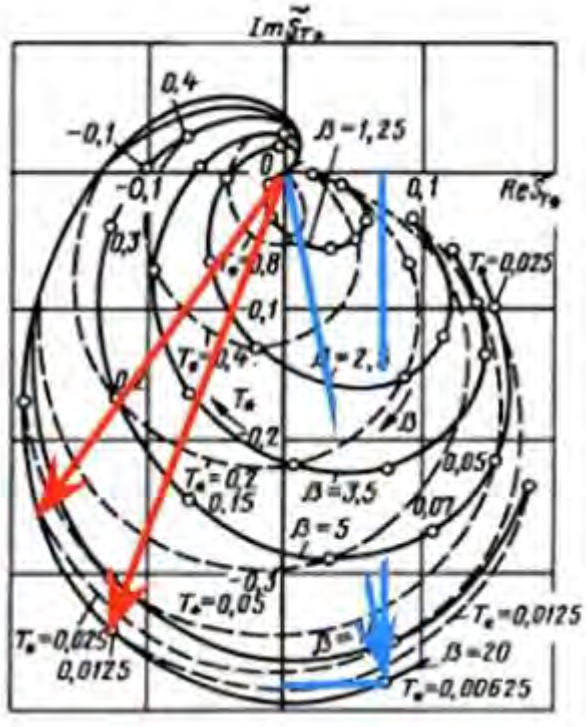

Рис.2.3.Годограф відносної комплесної чутливості

На рис.2.3. виконано побудову векторів комплексної чутливості перетворювача для трьох значень товщин шару алюмінієвого покриття. З огляду на те, що товщина об’єкту контролю змінюється в невеликому діапазоні відносних товщин, і відповідно модуль чутливості ВСП змінюється менше ніж на 25% у всьому діапазоні вимірювання, вважатимемо, що функція перетворення ВСП близька до лінійної. В цьому разі відносну комплексну внесену напругу визначаємо за наступною загальною формулою:

$$U_{\text{вн}}^{*} = T^{*} \times S_{T}^{*}.$$

Згідно рис. 2.3. визначаємо числові значення чутливості:

1)дляT_1= 20мкммаємоS_T^*= 0.075-j×0.38;

2)для T_2=50мкм маємо S_T^* = -0.125-j ×0.34;

3)для T_3=100мкм маємо S_T^* = -0.18-j ×0.26.

Тоді відносні значення внесених напруг

$U^*_{\text{вн1}} = 0.005 \times (0.075 - \text{j} \times 0.38) = 0.0004 - \text{j} \times 0.0019;$

$U^*_{\text{вн2}} = 0.0125 \times (-0.125 - \text{j} \times 0.34) = -0.000003 - \text{j} \times 0.0043;$

$U^*_{\text{вн3}} = 0.025 \times (-0.18 - \text{j} \times 0.26) = -0.0045 - \text{j} \times 0.0065.$

12. Визначаємо абсолютну внесену напругу Uвн з використанням формули

$$U_{вн} = U_{оп}(ReU^*_{вн} + jImU^*_{вн}) e^{-3\xi},$$

$$\xi = (h_1 + h_2) / D_e,$$

$$U_{\text{вн1}} = 0.38 \times (0.0004 - \text{j} \times 0.0019) \times e^{-1.62}$$

$$= 0.38 \times (0.0004 - \text{j} \times 0.0019) \times 0.2$$

$$= (0.00003 - \text{j} \times 0.00014)\text{В} = (0.03 - \text{j} \times 0.14)\text{мВ};$$

$$U_{\text{вн2}} = 0.38 \times (-0.000003 - \text{j} \times 0.0043) \times e^{-1.62} = 0.38 \times$$

$$(-0.000003 - \text{j} \times 0.0043) \times 0.2 = (-0.00023 - \text{j} \times 0.327)\text{мВ};$$

$$U_{\text{вн3}} = 0.38 \times (-0.0045 - \text{j} \times 0.0065) \times e^{-1.62} = 0.38 \times (-0.0045 -$$

$$\text{j} \times 0.0065) \times 0.2 = (-0.342 - \text{j} \times 0.494)\text{мВ}.$$

13. Визначаємо початкову вихідну напругу ВСП

$$E_0 = jU_{оп}\, e^{-3c/D1} = j0.38\text{В}, \qquad c = h_1 - h_2 = 0.$$

14. Визначаємо вихідні комплесні напруги для трьох значень товщин за загальною формулою:

$$U_{вих} = E_0 + U_{вн}$$

$$U_{вих1} = j380 + 0.03 - \text{j} \times 0.14 \approx - j379.86\text{мВ};$$

$$U_{вих2} = j380 - 0.00023 - \text{j} \times 0.327 \approx j379.67\text{мВ};$$

$$U_{вих3} = j380 - 0.342 - \text{j} \times 0.494 \approx j379.51\text{мВ}.$$

15. Оскільки товщина покриття впливає на амплітуду сигналів ВСП, обираємо амплітудний метод визначення товщини.

16. З метою підвищення чутливості приладу доцільно визначати товщину покриття не за абсолютною вихідною напругою, а за абсолютною внесеною напругою. З цією метою в приладі використовуємо ВСП з диференціальними включеннями вимірювальних обмоток. Перша з цих обмоток установлюється

безпосередньо на об’єкті контролю і її електрорушійна сила дорівнює векторній сумі початкової напруги і внесеної напруги. Друга вимірювальна обмотка розташована на значній

відстані від поверхні дзеркала, то електрорушійна сила цієї котушки дорівнює тільки початковій напрузі.

17. Визначемо модулі абсолютних внесених напруг і побудуємо орієнтовну градуювальну характеристику приладу.

$$|U_{вн1}| = \sqrt{0.03^2 + 0.14^2} \approx 0.143 мВ;$$

$$|U_{вн2}| = \sqrt{0.00023^2 + 0.327^2} \approx 0.327 мВ;$$

$$|U_{вн3}| = \sqrt{0.342^2 + 0.494^2} \approx 0.6 \text{ мВ}.$$

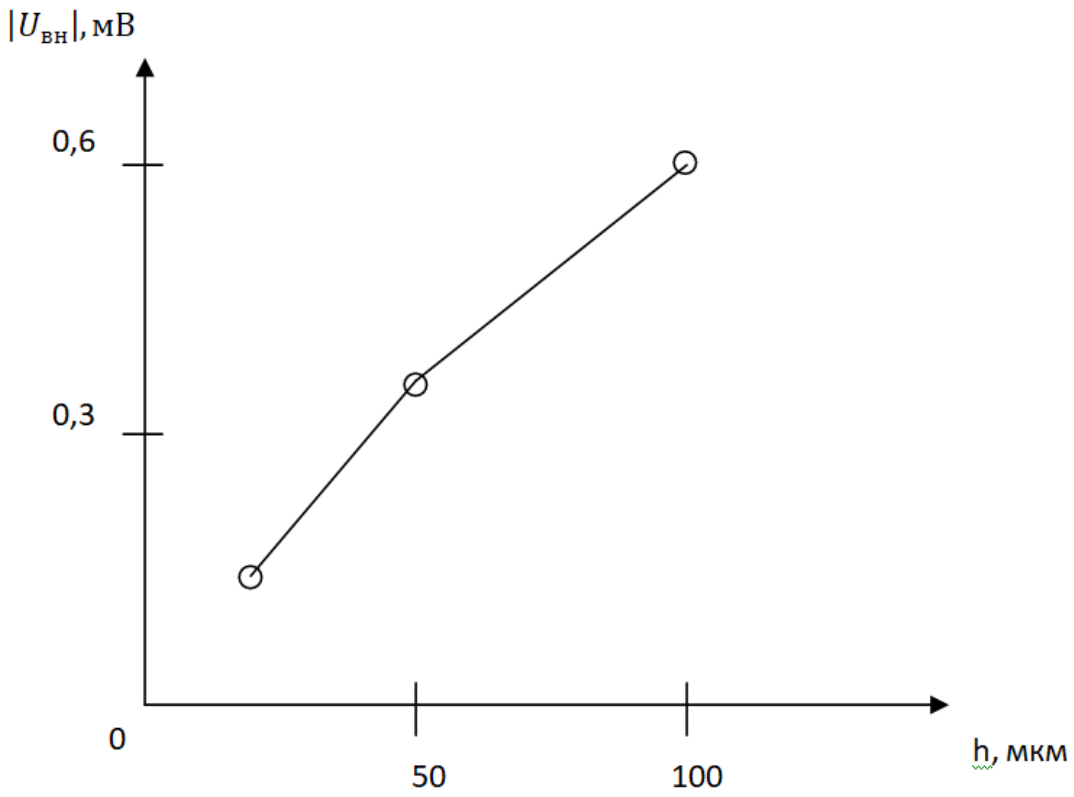

Рис.2.4.Графік орієнтовної градуювальної характеристики приладу

Ця характеристика може уточнюватись шляхом виконання вимірювання зразка дзеркал за допомогою контрольних зразків. Ця процедура повинна бути передбачена методикою проведення контролю.

Висновки до розділу 2

Розрахунок вихрострумового перетворювача (eddy current transducer) є важливим етапом проєктування систем неруйнівного контролю.

Перший крок у розрахунку вихрострумового перетворювача - це визначення геометричних параметрів датчика. Геометрія датчика – форма та розміри, впливають на розподіл магнітного поля іна його чутливість.

В ході виконаних розрахунків обрано розміри котушок перетворювача, визначено значення узагальненого параметра та робочої частоти, відносні значення овщини покриття для трьох точок в межах заданого діапазону контролю.

Для розрахунку сигналів перетворювача використано графо-аналітичний метод, які ґрунтувався на визначенні комплексної чутливості перетворювача за її годографом. Отримано абсолютні значення вихідних сигналів перетворювача, які необхідні для розрахунку електричної схеми опрацювання інформаційних сигналів.

.

Розділ 3: Розроблення електричних схем системи

3.1.Структурна схема

Структура системи (рис.3.1.) включає шість основних компонентів. Перший компонент - генератор сигналу - формує гармонічний сигнал. Цей сигнал потім поступає на підсилювачі потужності, які складають другий компонент. Третій компонент - перетворювачі ВСП - отримують інформаційні сигнали і передають їх до вимірювальних каналів, які включають підсилювач, аналого-цифровий перетворювач (АЦП), сканер, блок управління сканером та повторювач.

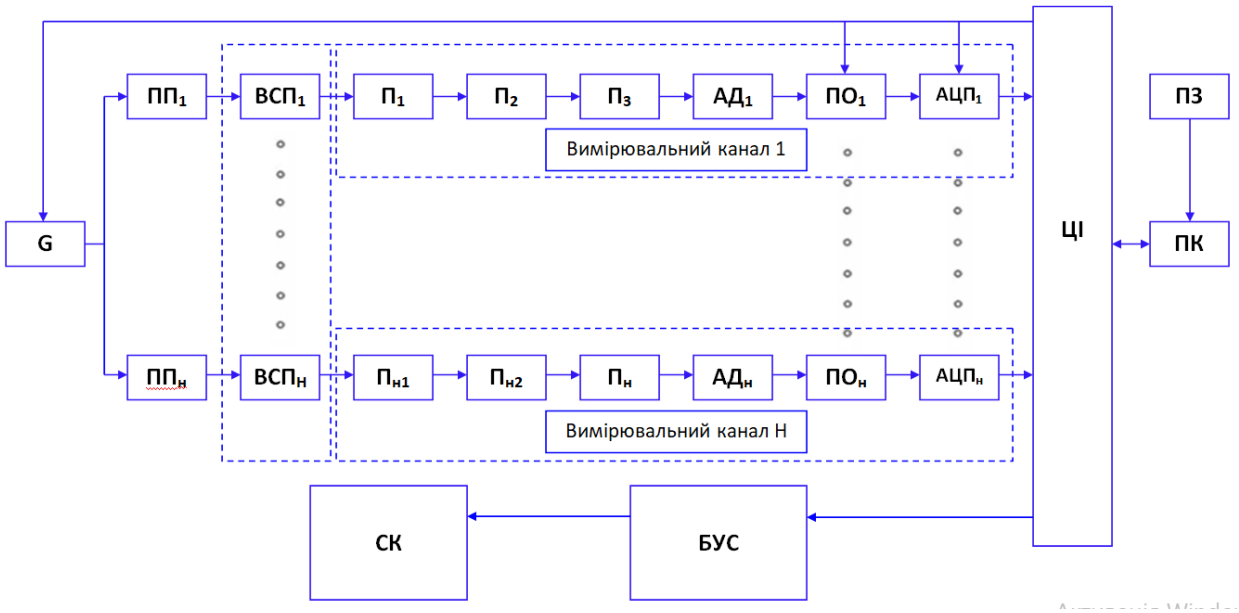

Рис.3.1. Структурна електрична схема з паралельною роботою елементів ВСП

G	Генератор
ПП	Підсилювачі потужності
ВСП	Вихрострумовий перетворювач
АЦП	Підсилювачі АЦП
АД	Амплітудний детектор
ЦІ	Цифровий інтерфейс
ПК	ПК
ПЗ	Програмне забезбечення
П	Підсилювач

СК	Сканер
БУС	Блок управління сканером
ПО	Повторювач

П’ятий компонент - цифровий інтерфейс - забезпечує зв'язок між цифровою частиною пристрою та комп'ютером. Обробка сигналів відбувається на комп'ютері за допомогою спеціального програмного забезпечення.

Переваги такої структури включають високу швидкість контролю і точність визначення координат дефектів завдяки однозначному позиціонуванню елементів ВСП на поверхні об'єкта контролю. Однак, основним недоліком є складність реалізації багатоканального електричного тракту та забезпечення ідентичності всіх електронних компонентів. Крім того, можуть виникати завади через електромагнітний зв'язок між окремими елементами ВСП.

З вимірювальної котушки кожного вихрострумового перетворювача, сигнал у вигляді змінної напруги, поступає на послідовне з’єднання: підсилювач, аналого цифровий перетворювач. Підсилювач повинен підсилити сигнал з коефіцієнтом підсилення порядка 2000.

Оскільки операція детектування сигналів та порівняння з граничними значеннями, які виконуються в ПК у цифровому виді, то АЦП повинен перетворювати миттєві значення сигналу. Для забезпечення високої точності вибираємо частоту АЦП 7.5мГц, який в 100 разів більший. ФНЧ на вході АЦП (антіелайзінговий фільтр) повинен мати частоту зріза вдвічі менше за граничну частоту АЦП.

Розрядність АЦП повинно забезпечити передачу амплітуди не менше ніж 10 двійковими розрядами. З урахуванням того, що перетворюється подвійна амплітуда та необхідно передбачити захист від перевищення розрядної сітки АЦП обираєм кількість двійкових розрядів не менше 12.

3.2.Принципіальна схема блока обробки сигналів

Загальний опис основних компонентів, які можуть бути присутніми у блоках обробки сигналів (рис.3.2.):

Вхідний інтерфейс: це вхідний порт, через який подається сигнал до блока обробки. Він може включати попередній підсилювач, фільтри або інші компоненти для підготовки сигналу.

Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП): цей компонент перетворює аналоговий сигнал у цифрову форму, що може бути подальше оброблено цифровими алгоритмами.

Цифровий сигнальний процесор (ЦСП): це ядро блока обробки сигналів, яке виконує різні операції над цифровим сигналом, такі як фільтрація, демодуляція, аналіз, обчислення параметрів тощо.

Пам'ять: ця складова використовується для зберігання даних, які можуть бути необхідні для обробки сигналу, включаючи проміжні результати, таблиці або налаштування.

Вихідний інтерфейс: це вихідний порт, через який оброблений сигнал подається до наступного етапу або зовнішнього пристрою. Він також може містити фільтри або підсилювачі для підготовки вихідного сигналу.

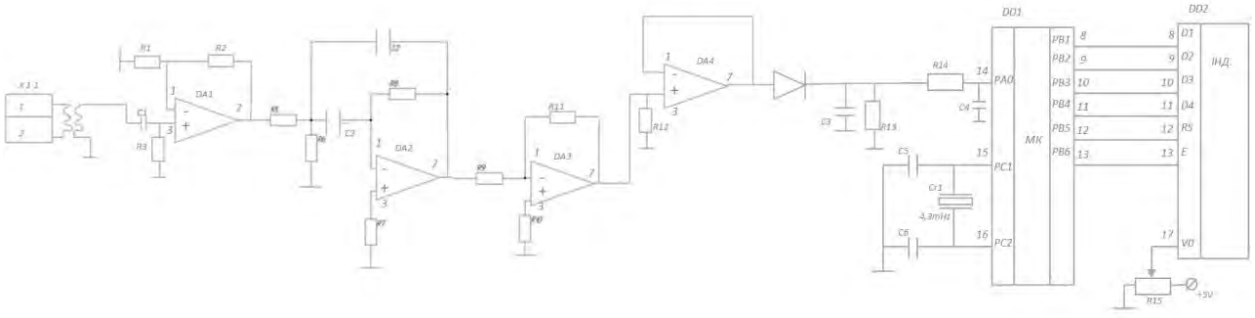

Рис 3.2. Принципіальна схема блока обробки сигналів

Перший підсилювач малошумний AD797, він є неедвертуючий підсилювач тому, що треба мати дуже великий вхідний опір. Далі фільтр другого порядку, полосовий фільтр, його полоса пропускання біля 500Гц, для того щоб зменшити шуми. Наступний підсилювач потужності DA3. Далі повторювач напруги, для того щоб зменшити вихідний опір.

Принциповна схема є графічним зображенням, яке показує основну структуру та зв'язки між компонентами в системі або пристрої. Вона надає візуальне представлення того, як компоненти взаємодіють між собою та які сигнали чи дані переходять між ними. Принциповна схема допомагає зрозуміти загальний принцип роботи системи або пристрою без деталізованого опису кожного компонента.

У принциповій схемі зазвичай використовують символи та схематичні зображення, щоб показати різні компоненти, такі як процесори, блоки пам'яті, сенсори, інтерфейси, фільтри, підсилювачі та інші елементи. Вони підключаються один до одного за допомогою стрілок або ліній, що представляють потік сигналу чи інформації між компонентами.

Принципова схема допомагає розібратися у загальному функціональному зв'язку системи або пристрою та встановити початковий зв'язок між його компонентами. Вона може бути використана для аналізу, проектування, комунікації та співпраці між різними спеціалістами, які працюють над розробкою або вдосконаленням системи.

Однак, важливо зауважити, що принципова схема не надає деталей про внутрішню структуру компонентів, а також не вказує на конкретні значення параметрів чи характеристик компонентів. Вона слугує лише загальним засобом візуалізації та розуміння системи або пристрою.

3.3.Вибір компонентів

Обираємо операційний підсилювач AD797:

Операційний підсилювач AD797 є одним з популярних і високоякісних операційних підсилювачів, вироблених компанією Analog Devices. Він має низький рівень шуму, високу точність та широкий діапазон робочих напруг, що робить його відповідним для багатьох додатків, включаючи аудіо-, медичні, інструментальні та вимірювальні пристрої.

Основні характеристики та властивості операційного підсилювача AD797:

1. Шумові характеристики: AD797 має низький рівень шуму, що дозволяє йому використовуватись в додатках, де важлива висока якість звуку або точність вимірювань.

2. Висока точність: Цей підсилювач має високу точність підсилення, вхідних та вихідних характеристик, що робить його придатним для прецизійних додатків.

3. Широкий діапазон робочих напруг: AD797 працює з великим діапазоном робочих напруг, що дає можливість використовувати його в різноманітних додатках з різними вимогами до напруги.

4. Висока швидкодія: Цей підсилювач має високу швидкодію, що дозволяє ефективно обробляти швидкозмінні сигнали і даних.

5. Низьке споживання енергії: AD797 має низьке споживання енергії, що робить його енергоефективним рішенням для додатків з обмеженими джерелами живлення.

6. Висока стійкість: Цей підсилювач має високу стійкість до шумів, переривань і зовнішніх впливів, що забезпечує стабільну та надійну роботу в різних умовах.

7. Великий вихідний струм: AD797 може постачати великий вихідний струм, що дозволяє йому приводити навантаження з низьким опором без втрати якості сигналу.

Загалом, операційний підсилювач AD797 є потужним і високоякісним компонентом, який використовується в різних областях, де вимагається висока точність, низький шум і стабільна робота.

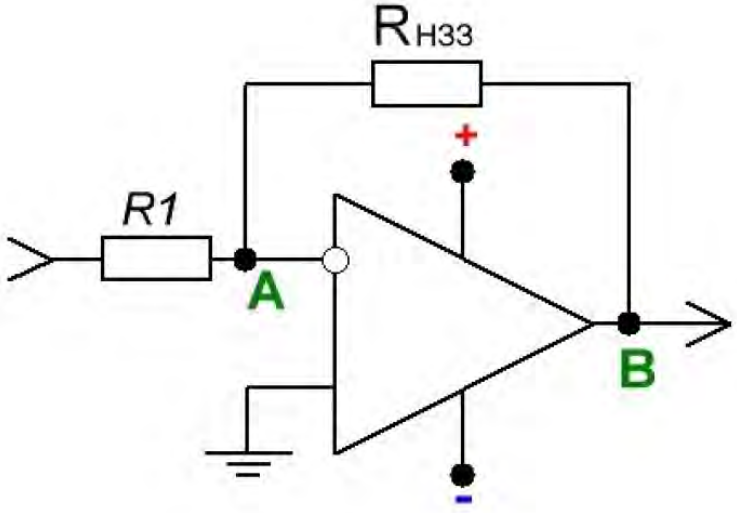

Рис 3.3.Електрична схема AD797

Ось загальна специфікація для операційного підсилювача AD797:

Вхідні характеристики:

1. Вхідний напруговий діапазон: ±17 В

2. Вхідний струм зміщення: 1 нА (макс.)
3. Вхідна напруга зміщення: 200 мкВ (макс.)
4. Вхідний опір: 10^13 Ом

Вихідні характеристики:

1. Вихідний напруговий діапазон: ±15 В
2. Вихідний струм: ±15 мА
3. Вихідний опір: 0,1 Ом (тип.)

Характеристики шуму:

1. Шумовий коефіцієнт (вхідний): менше 1 нВ/√Гц
2. Шумовий коефіцієнт (вихідний): менше 2 нВ/√Гц

Характеристики швидкодії:

1. Полоса пропускання (-3 дБ): більше 8 МГц
2. Час спаду (10%-90%): менше 5 мкс
3. Скважність (Slew Rate): більше 20 В/мкс

Характеристики джерела живлення:

1. Напруга живлення: ±4,5 В до ±18 В
2. Потужність споживання: 7 мВт

Температурні характеристики:

1. Робочий діапазон температур: -40°C до +85°C
2. Температурний коефіцієнт напруги зміщення: 1 μV/°C (макс.)

ADS1115(рис. 3.3.): Це 16-бітний, 4-канальний АЦП з високою точністю і низьким рівнем шуму. Він працює з напругою живлення 2,0-5,5 В і має програмовану роздільну здатність. Цей АЦП добре підходить для вимірювання невеликих аналогових сигналів з високою точністю.

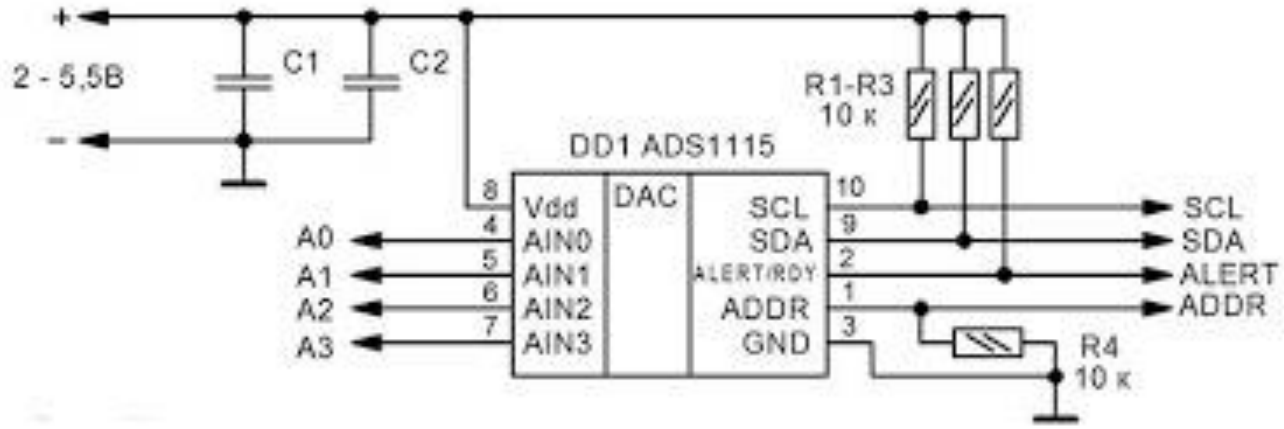

Рис 3.3.Електрична схема АЦПADS1115

Основні характеристики АЦП ADS1115 включають:

1. Розрядність: 16 біт.
2. Кількість каналів: 4 однофазових аналогових входи або 2 диференціальних аналогових входи.
3. Напруговий діапазон вхідних сигналів: ±6.144 В або ±4.096 В або ±2.048 В або ±1.024 В або ±0.512 В або ±0.256 В.
4. Інтерфейс зв'язку: I2C (TWI), з підтримкою швидкостей до 3.4 Мбіт/с.
5. Вхідний опір: > 1 МОм.
6. Роздільна здатність: програмована в діапазоні від 0,125 мВ до 8 мВ згідно з вибраним діапазоном вхідної напруги.
7. Максимальна швидкість зразка: до 860 зразків в секунду (SPS) при використанні одного каналу і до 150 зразків в секунду при використанні всіх чотирьох каналів.
8. Вбудований програмований посилювач: x1, x2, x4 або x8.
9. Захист від перевантаження вхідного сигналу: до ±VDD.
10. Діапазон робочих температур: -40°C до +125°C.

Ось загальна специфікація для АЦП ADS1115:

Кількість каналів:

1. Чотири одноканальних аналогових входи або два диференційних аналогових входи

Роздільна здатність:

1. 16 біт (перетворення від 0 до 65535)

Вхідні характеристики:

Вхідний напруговий діапазон: програмований

1. ±256 мВ
2. ±512 мВ
3. ±1 В
4. ±2 В
5. ±4 В
6. ±6,144 В (заводське налаштування)

Вхідний імпеданс: 5 кОм

Швидкість дискретизації:

1. Максимальна швидкість: 860 спостережень на секунду (SPS)
2. Налаштовувана швидкість: 8 SPS, 16 SPS, 32 SPS, 64 SPS, 128 SPS, 250 SPS, 475 SPS, 860 SPS

Інтерфейс:

1. I2C (до 400 кГц)

Вихідні характеристики:

1. Цифровий вихідний формат: два комплементарних 16-бітних слова
2. Інтегрований опорний напруговий джерело: внутрішній (2,048 В)

Точність:

1. Інтегральна нелінійність (INL): ±2 LSB (макс.)
2. Диференціальна нелінійність (DNL): ±1 LSB (макс.)

Температурні характеристики:

1. Робочий діапазон температур: -40°C до +125°C

Живлення:

1. Напруга живлення: 2,0 В до 5,5 В
2. Низькі споживання енергії: 150 мкА (тип.) в режимі звичайної роботи, 0,5 мкА (тип.) у режимі зупинки

Підсилювач INA128P

Основні характеристики підсилювача INA128P:

1. 1.Вхідна напруга: ±0,3 В до ±18 В.
2. Вхідний опір: 10^12 Ом.
3. Вихідний опір: 10 Ом.
4. Діапазон робочих температур: -40°C до +85°C.
5. Напруга живлення: ±2,25 В до ±18 В.
6. Потужність споживання: 725 мВт.
7. Підсилювання: програмований, можливі значення від 1 до 10000.
8. Гальмівний фактор (CMRR): 86 дБ.
9. Частотна характеристика: 0,1 Гц до 10 МГц.
10. Шум: 2,8 нВ/$\sqrt{\text{Гц}}$ при 1 кГц.

Підсилювач INA128P (рис.3.5.) є високоточним інструментом для підсилення слабких сигналів. Він знаходить широке застосування в біомедичній техніці та інших областях, де важлива висока якість збору даних.

Основні особливості і характеристики підсилювача INA128P включають наступне:

Висока точність: INA128P має високу точність підсилення сигналу, що дозволяє отримувати надійні і точні вимірювання.

Низький рівень шуму: Цей підсилювач має низький рівень шуму, що дозволяє отримувати чисті сигнали без додаткових спотворень.

Висока стійкість до перешкод: INA128P відзначається високою стійкістю до перешкод і електромагнітного впливу, що дозволяє отримувати стабільні вимірювання навіть у шумних середовищах.

Широкий діапазон підсилення: Він має широкий діапазон підсилення, що дозволяє зручно налаштовувати підсилення для різних типів сигналів та додаткових потреб.

Інтегрована схема: INA128P є інтегральною схемою, що спрощує його

використання та підключення до системи. Вона може працювати з різними джерелами живлення та має вбудовані захисні функції.

Для необхідного посилення сигналу перед його подальшою обробкою потрібно встановити коефіцієнт підсилення $K_П$ = 2000. Цього можна досягти, підібравши відповідні значення резисторів на схемі, як показано на рисунку 3.3. Треба обрати номінали резисторів так, щоб отриманий результат був рівним потрібному коефіцієнту підсилення для нашої роботи.
Формула:

$$К_{Псум} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \times \frac{R_{11}}{R_9};$$

$$К_{П1} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = \left(1 + \frac{R_2}{100кОм}\right) = 11;$$

Обираємо, що R_1=100кОм, тоді за формулою коефіцієнта підсилення першого підсилювача можемо порахувати R_2=1МОм.

Потім за формулою коефіцієнта підсилення другого підсилювача:

$$К_{П2} = \frac{R_{11}}{R_9} = \frac{R_{11}}{2кОм} = 200;$$

Обираємо R_9=2кОм, тоді можемо порахувати, що R_{11}=400кОм, так як такого потужного резистора немає в шкалі номіналів резистора, тому ми беремо R_{11}=390кОм.

Тоді,

$$К_{Псум} = \left(1 + \frac{1МОм}{100кОм}\right) \times \frac{390кОм}{2кОм} = 2000.$$

Отже підбір номіналів резисторів для підсилювачів був проведенийуспішно.

Загалом, підсилювач INA128P є потужним інструментом для підсилення слабких сигналів з високою точністю, низьким рівнем шуму та стійкістю до перешкод. Його використання розповсюджене в багатьох вимірювальних системах, особливо в біомедичних додатках, де точність і надійність є критичними.

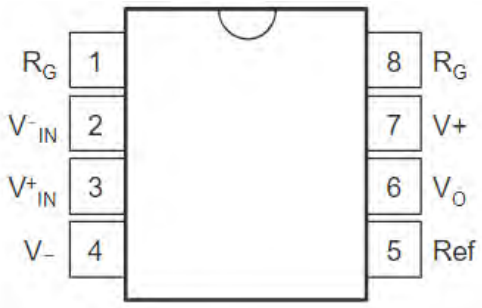

Рис 3.5.Загальний вид операційного підсилювачаINA128P

1,8	Піни для підключення зовнішніх резисторів
2,3	Негативний та позитивний напругові входи відповідно
6,7	Вихідні напруги
5	Вихідна клема заземлення

Електрична схема підсилювача INA128P (рис. 3.6.) включає наступні елементи:

Вхідний диференціальний підсилювач: Цей блок складається з двох вхідних транзисторів, які діють як диференціальний посилальний етап. Вхідний сигнал підсилюється і конвертується у вихідний диференціальний сигнал.

Операційний підсилювач: Диференціальний сигнал, отриманий на виході вхідного диференціального підсилювача, поступає на вхід операційного підсилювача. Цей блок виконує подальше підсилення та обробку сигналу.

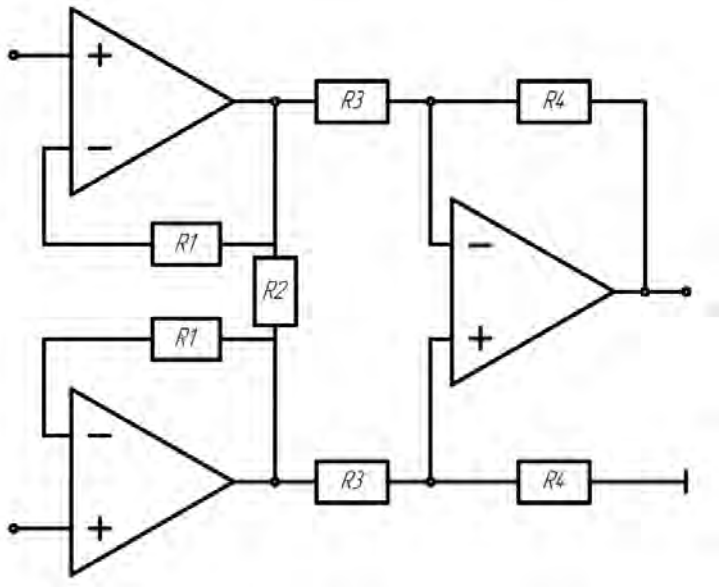

Рис 3.6.Електрична схема підсилювача INA128.

Зворотний зв'язок: Щоб забезпечити стабільність та точність підсилення, підсилювач INA128P використовує зворотний зв'язок. Частина вихідного сигналу подається на зворотний вхід операційного підсилювача, що дозволяє регулювати підсилення та компенсувати будь-які неточності.

Регулювання постійної складової: Деякі версії підсилювача INA128P можуть мати вбудований резистивний дільник, який дозволяє регулювати рівень постійної складової вхідного сигналу.

Вихідний буфер: Вихідний сигнал проходить через вихідний буфер, який забезпечує низький опір та здатність поставляти високострумовий сигнал на внутрішню або зовнішню навантажувальну опірну мережу.

Висновки до розділу 3

Структурна схема і принципова схема є двома різними, але взаємопов'язаними інструментами для аналізу та розуміння систем, процесів або концепцій.

Структурна схема дозволяє візуалізувати структурну організацію системи, виявити компоненти та їх зв'язки, і дає загальний огляд системи.

Принципова схема зосереджена на функціональному аспекті системи, показує послідовність операцій, взаємодію елементів та передачу сигналів, і дозволяє зрозуміти, як система виконує свої функції.

Структурна схема і принципова схема часто використовуються разом для повного розуміння системи. Структурна схема надає загальний огляд, тоді як принципова схема розкриває деталі функціонування.

Обидві схеми є важливими інструментами в розробці, аналізі та вдосконаленні систем, процесів або концепцій.

Використання структурних і принципових схем сприяє кращому розумінню системи, виявленню проблем та можливостей для вдосконалення.

Якщо планується робота зі складними системами або процесами, важливо використовувати структурні та принципові схеми для систематизації і аналізу даних, а також для спрощення комунікації між учасниками проекту.

Враховуючи ці висновки, можна стверджувати, що використання структурних і принципових схем є корисним і ефективним підходом до аналізу і розуміння різних систем та процесів.

Висновки

Система автоматизованого вихрострумового контролю товщини алюмінієвих шарів в процесі виробництва дзеркал є важливим технологічним рішенням, яке допомагає забезпечити якість та надійність дзеркал. На основі аналізу можна зробити наступні висновки:

Покращення якості виробництва: Система автоматизованого вихрострумового контролю дозволяє здійснювати надійний та точний моніторинг товщини алюмінієвих шарів на поверхні дзеркал. Це дозволяє виявляти відхилення від заданої товщини та вчасно втручатися для коригування процесу, що призводить до поліпшення якості вироблених дзеркал.

Ефективність та економія часу: Автоматизована система контролю вихроструму працює швидко та ефективно, дозволяючи проводити безконтактний вимір товщини алюмінієвих шарів на дзеркалах. Це зменшує необхідність у ручних перевірках та мінімізує час, витрачений на контроль процесу виробництва.

Забезпечення точності та надійності: Вихрострумовий метод контролю дозволяє досягти високої точності та надійності вимірювань товщини шарів на поверхні дзеркал. Це допомагає уникнути виробництва дзеркал з недостатньою або зайвою товщиною алюмінієвого покриття, що може вплинути на їхні оптичні властивості.

Автоматизація процесу: Використання автоматизованої системи контролю спрощує процес виробництва дзеркал та зменшує вплив людського фактору.

Це дозволяє забезпечити більш однорідну якість дзеркал та зменшити відхилення вимірювань товщини шарів.

Отже, система автоматизованого вихрострумового контролю товщини алюмінієвих шарів в процесі виробництва дзеркал є ефективним технологічним рішенням, що сприяє покращенню якості дзеркал, забезпечує точність вимірювань та економить час у виробничому процесі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1 Методичні рекомендації з вихрострумового контролю / Під ред. Ю.В. Головка. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2015.

2 Інформаційно-аналітична система вихрострумового контролю параметрів матеріалів / О.С. Литвиненко, В.М. Вінков, В.П. Маслов та інші. - Київ: ВПЦ "Київський університет", 2004.

3 Дослідження покриттів металевих дзеркал методом вихрострумового контролю / О.М. Комар, Ю.В. Головко, В.В. Лебедєв та інші // Наукові праці інституту електродинаміки НАН України. - 2013. - № 36. - С. 131-136.

4 Визначення товщини алюмінієвих покриттів на сталі методом вихрострумового контролю / В.В. Шляхтенко, І.В. Горбач, О.С. Литвиненко та інші // Науковий вісник НТУУ "КПІ". - 2015. - № 2. - С. 70-77.

5 Eddy Current Nondestructive Evaluation" by John Bowler, published by Kluwer Academic Publishers.

6 Eddy Current Inspection for Detecting Surface and Subsurface Flaws" by A. L. Eichenberger, published by NDT.net.

7 Величко, О. А. Неруйнівний контроль конструкцій: навчальний посібник. - Київ: КПІ, 2005.

8 Кравченко, М. В. Неруйнівний контроль технічних систем: навчальний посібник. - Харків: ХНАДУ, 2015.

9 Башков, І. В., Криницький, І. Г., Леонтійчук, О. М. та ін. Неруйнівний контроль: підручник. - Київ: Ліра-К, 2017.

10 Мартинюк, М. Я., Красілівець, І. В., Гуменюк, В. М. та ін. Методи неруйнівного контролю матеріалів та конструкцій: навчальний посібник. - Київ: НАУ, 2006.

11 Покидько, І. І., Вінниченко, М. І., Заковоротний, В. О. та ін. Неруйнівний

контроль конструкційних матеріалів: підручник. - Київ: Видавництво "Ельга-Н", 2013.

12 Данилюк, Ю. В. Вихрострумовий контроль металевих матеріалів: навчальний посібник. - Київ: КПІ, 2009.

13 Соловйов, І. В. Вихрострумовий контроль металевих матеріалів: навчальний посібник. - Харків: ХНУРЕ, 2012.

14 Башков, І. В., Криницький, І. Г., Леонтійчук, О. М. та ін. Вихрострумовий контроль: підручник. - Київ: Ліра-К, 2015.

15 Герус, І. І., Потапов, В. В., Стариков, С. В. та ін. Вихрострумовий контроль матеріалів: підручник. - Київ: ВПЦ "Київський університет".

16 Воронов, А. В., Жуков, В. П., Мещеряков, А. В. та ін. Особливості проектування мембранних дзеркал для космічних телескопів // Космічна наука і технологія. - 2011. - Т. 17, № 1. - С. 48-57.

17 Мещеряков, А. В., Заславський, В. І., Попов, В. М. та ін. Особливості розробки мембранних дзеркал для космічних телескопів // Проблеми космічної науки і технології. - 2013. - Вип. 2(92). - С. 57-62.

18 Жуков, В. П., Заславський, В. І., Кашин, І. В. та ін. Технологія виробництва мембранних дзеркал для космічних телескопів // Космічна наука і технологія. - 2014. - Т. 20, № 5. - С. 24-31.

19 Заславський, В. І., Жуков, В. П., Кашин, І. В. та ін. Переваги та особливості застосування мембранних дзеркал у космічних телескопах

20 Проблеми космічної науки і технології. - 2016. - Вип. 3(107). - С. 30-3для космічних телескопів: проблеми і перспективи // Космічна наука і технологія. - 2018. - Т. 24, № 4. - С. 16-22.

21 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.

22 Куц Ю.В. Спеціальні розділи математики. Курс лекцій: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 180 с.

23 Статистичні методи визначення залежностей між випадковими величинами: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 115 с.

24 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. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,5 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 63 с.

25 I. Lysenko, V. Uchanin, V. Petryk, Y. Kuts, A. Protasov and A. Alexiev, "Intelligent Automated Eddy Current System for Monitoring the Aircraft Structure Condition," *2022 IEEE 3rd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC)*, Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/SAIC57818.2022.9922968.

26 Застосування фазових характеристик сигналу в автоматизованій вихрострумовій дефектокопії / М. О. Редька, Ю. В. Куц, Є. В. Шаповалов, В. М. Учанін, Ю. Ю. Лисенко, О. Д. Близнюк // Технічна діагностика і неруйнівний контроль. – 2022. – №1. – С. 45-53.