

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

**Приладобудівний факультет**

**Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Протасов А.Г.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проект**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**з напрямку підготовки 6.051003 «Приладобудування»**

**на тему: «Вихрострумний дефектоскоп на базі синтезаторів частоти»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи ПК-51

Париходько Максим Сергійович \_\_\_\_\_

Керівник:

к.т.н доцент

Баженов В.Г. \_\_\_\_\_

Консультант з розділу «Графічний»

асистент

Богдан Г.А. \_\_\_\_\_

Рецензент: \_\_\_\_\_

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

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2019 року



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

**Приладобудівний факультет**

**Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки (програма професійного спрямування) – 6.051003  
«Приладобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Протасов А.Г.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**

**Приходько Максим Сергійович**

1. Тема проекту «Вихрострумовий дефектоскоп на базі синтезаторів частоти», керівник проекту Баженов Віктор Григорович, к.т.н, затверджені наказом по університету від «27» травня 2019 р. № 1384-с

2. Термін подання студентом проекту 10 травня 2019

3. Вихідні дані до проекту: метод контролю вихрострум; тип перетворювача – трансформаторний; кількість котушок – дві;

4. Зміст пояснювальної записки

Вступ

1. Аналітичний огляд

2. Огляд принципу роботи DDS синтезаторів

3. Постановка завдання

4. Розрахункова частина

5. Підбір компонентів

## 6. Симуляція DDS синтезатора у LabView

Висновок

Список використаної літератури

Додатки

7. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) 5 креслеників

1 – Схема електрична принципова

2 – Схема електрична функціональна

3 – Схема електрична монтажна

4 – Корпус

5 – Блок-схема

## 6. Консультанти розділів проекту\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Графічний	асистент Богдан Г.А.		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Формулювання завдання проекту	15.03.2019	
2	Проведення аналітичного огляду	10.04.2019	
3	Розрахунок компонентів	25.04.2019	
4	Розробка експериментальної моделі	15.05.2019	
5	Розробка креслеників	12.06.2019	

Студент

Приходько М.С.

Керівник проекту

Баженов В.Г.

\_\_\_\_\_

## Анотація

Даний дипломний проект складається з 65 сторінок, 29 ілюстрацій, 19 формул, 10 літературних джерел.

Ключові слова: вихрострумний контроль, вихрострумний перетворювач, цифрова обробка сигналу, DDS синтезатор частоти

В дипломному проекті було проведено дослідження різних способів вихрострумного контролю феромагнітних матеріалів.

В результаті дослідження була розроблена структурна та функціональна схеми дефектоскопу, в основі вимірювання якого лежать DDS синтезатори частоти. Для більш детального вивчення принципу роботи було розроблено та досліджено модель типового синтезатора у LabView, з метою максимального наближення до реального алгоритму роботи.

Мета роботи полягає у розробці дефектоскопу, який не буде поступатися в точності виміру сучасним серійним дефектоскопам, але буде дешевший у виготовленні і споживатиме менше енергії.

Наукова новизна – сучасний метод вихрострумної дефектоскопії

## **Abstract**

This diploma project consists of 65 pages, 29 illustrations, 19 formulas, 10 literary sources.

Keywords: eddy current control, eddy current converter, digital signal processing, DDS frequency synthesizer

In the diploma project, various methods of eddy current control of ferromagnetic materials were studied.

As a result of the study, the structural and functional schemes of the defectoscope were developed, the basis of which is the measurement of DDS frequency synthesizers. For a more detailed study of the principle of the work, the model of a typical synthesizer in LabView was developed and investigated in order to maximally approximate the real algorithm of work.

The purpose of the work is to develop a flaw detector, which will not yield to the accuracy of the measurement of modern serial flaw detectors, but will be cheaper to manufacture and consume less energy.

Scientific novelty - modern method of eddy current flaw detection

## Зміст

Вступ.....	2
1. Аналітичний огляд.....	5
1.1 Загальна характеристика вихрострумowego контролю.....	5
1.2 Розподіл вихрових струмів.....	12
1.3 Зміна амплітуди і фази струму.....	13
1.4 Глибина проникнення вихрових струмів.....	15
1.5. Класифікація вихрострумowych перетворювачів.....	17
1.6 Інформативні параметри вихрострумowego контролю.....	23
1.7 Методи виділення корисної інформації.....	25
1.8 Годографи на комплексній площині.....	27
1.8 Вплив властивостей матеріалів і параметрів об'єктів контролю на сигнал вихрострумowego датчика.....	31
1.9 Застосування дефектоскопів що реалізують вихроструміві методи.....	35
2. Огляд принципу роботи DDS синетезаторів.....	36
3. Постановка завдання.....	42
4. Розрахункова частина.....	45
5. Підбір компонентів.....	49
6. Симуляція DDS синтезатора у LabView.....	60
Висновок.....	63
Список використаної літератури.....	64

*ПК51.11.0000.000 ПЗ*

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
		Приходько М.С.			<i>Пояснювальна записка</i>	Лім.	Арк.	Акрушів
		Баженов В.Г.						
						<i>НТУУ «КПІ», ПБФ</i>		

## Вступ

Неруйнівний контроль (скорочено НК, з англійської Nondestructive testing (NDT)) – метод тестування, при якому можливе виявлення дефектів всередині об'єкту без його руйнування.

В наш час, однією з найголовніших складових перевірки якості виробу є неруйнівний контроль. Завдяки цьому забезпечується подальша можливість функціонування виробу без порушень.

Сучасна промисловість у тих масштабах, у яких ми зараз її маємо - атомні електростанції, морські бурові установи, хімічні комбінати, великі авіалайнери, тощо призвело до того, що у разі виходу їх зі строю наслідком можуть бути не лише великі вбитки, а й навіть техногенні катастрофи. Сучасна промисловість не може відмовитися від всього цього, але вона може запобігти виникненню ситуацій, які несуть загрозу людині, шляхом ефективного контролю обладнання та продуктів що випускаються за допомогою методів НК.

Дефекти виникають на деталях протягом всього періоду її експлуатації. Вони виникають на різних етапах: на стадії розробки заготовки (дефекти кування, лиття або прокатки); під час виготовлення (дефекти загартування, обробки); під час експлуатації (крихке і в'язке руйнування, утомні тріщини).

При цьому найчастіше до поломки деталі і в результаті простою устаткування або зупинок іншого роду мають відношення саме дефекти виготовлення, які не були вчасно виявлені.

Навіть крихке руйнування займає деякий час з моменту зародження дефекту і не відбувається миттєво. Саме через поступову природу виникнення дефектів ми маємо змогу виконувати контроль стану деталі за допомогою методів неруйнівного контролю. Завдяки використанню цих методів ми не

					ПК51.11.0000.000 ПЗ	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		2



тільки можемо знайти дефекти, але й оцінити небезпеку дефекту, через яку кількість часу деталей вийде з ладу та що стало причиною появи дефекту. Знаючи причини появи дефектів на деталях ми можемо виключити можливість появи подібних дефектів у майбутньому.

Для металургійної промисловості, наприклад, особливо важливим показником є наявність поверхневих дефектів. Такі дефекти на пряму впливають на якість металургійної продукції. Тріщини які не дозволяють виконувати наступні операції технологічного процесу або експлуатації металовиробів особливо небезпечні. Для неруйнівного контролю дефектів що мають таких характер використовують різні методи НК, але особливо серед них можна виділити методи вихрострумове контролю (ВСК).

Вихрострумові методи НК мають за основу аналіз взаємодії вихрострумове перетворювача (ВСП) із електромагнітним полем вихрових струмів, що наводяться збуджувальною котушкою в електропровідному ОК. ВСК надає змогу виявляти як дефекти що знаходяться на поверхні, так і підповерхневі дефекти. Цей метод НК можк бути застосований тільки для контролю виробів виготовлених з електропровідних матеріалів. Джерелом первинної інформації виступає ВСП.

Переваги ВСК методу над іншими методами НК: відсутність контактної рідини між ОК і приймачем; можливість проводити контроль із зазором до декількох міліметрів між ОК і приймачем; висока чутливість до мікроскопічних дефектів, розташованих безпосередньо на поверхні ОК або близько до його поверхні; висока точність виявлення дефектів; мінімальні вимоги до стану поверхні; висока швидкість контролю; можливість проводити контроль через захисні непровідні покриття; можливість проводити контроль об'єктів зі складною геометрією; можливість проводити контроль в місцях

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	ст
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		3

важкого доступу; вихрострумний контроль повністю безпечний для здоров'я оператора.

Актуальність роботи заключається в дослідженні можливостей розробки вихроструового дефектоскопа, що буде сзает виявити під поверхневі і поверхневі дефекти, зменшивши при цьому вартість дефектоскопу.

В ході цієї роботи було розглянуто особливості використання ортогональних методів для вимірювання параметрів різних сигналів при проектуванні дефектоскопів які в основі мають вихрострумний НК і базуються на мікроконтролерах. Проводиться аналіз запропонованої нової структури дефектоскопу, який має один вимірювальний канал, реалізує ортогональний метод вимірювання, має малі габарити, дуже мале енергоспоживання і відповідно не велику вартість.

					ПК51.11.0000.000 ПЗ	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		4

## 1. Аналітичний огляд

### 1.1 Загальна характеристика вихрострумowego контролю

Одним із найпоширеніших методів неруйнівного контролю у наш час є вихрострумний метод контролю. Ці методи базуються на аналізі взаємодій між зовнішнім електромагнітним полем та електромагнітним полем вихрових струмів, які в електропровідному об'єкті, що контролюється, збуджуються за допомогою котушки.

Щільність цих струмів в ОК (об'єкт контролю) залежить як від електромагнітних параметрів ОК так і від геометричних. Також щільність залежить від взаємного розташування ОК та ВСП (вихрострумний перетворювач) один відносно іншого. У якості ВСП використовують зазвичай одну чи декілька котушек індуктивності. Імпульсний (або синусоїдальний) струм що діє в котушках вихрострумних перетворювачів створює електромагнітне поле, що збуджує вихрові струми в ОК. Створене цим струмом поле вихрових струмів збуджує котушки ВСП, наводячи в ЕРС або шляхом змінення повного електричного поля. Інформацію про положення перетворювача і властивості ОК можна отримати через реєстрацію напруги на котушці або опір (рис. 1.1).

					ПК51.11.0000.000 ПЗ	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		5

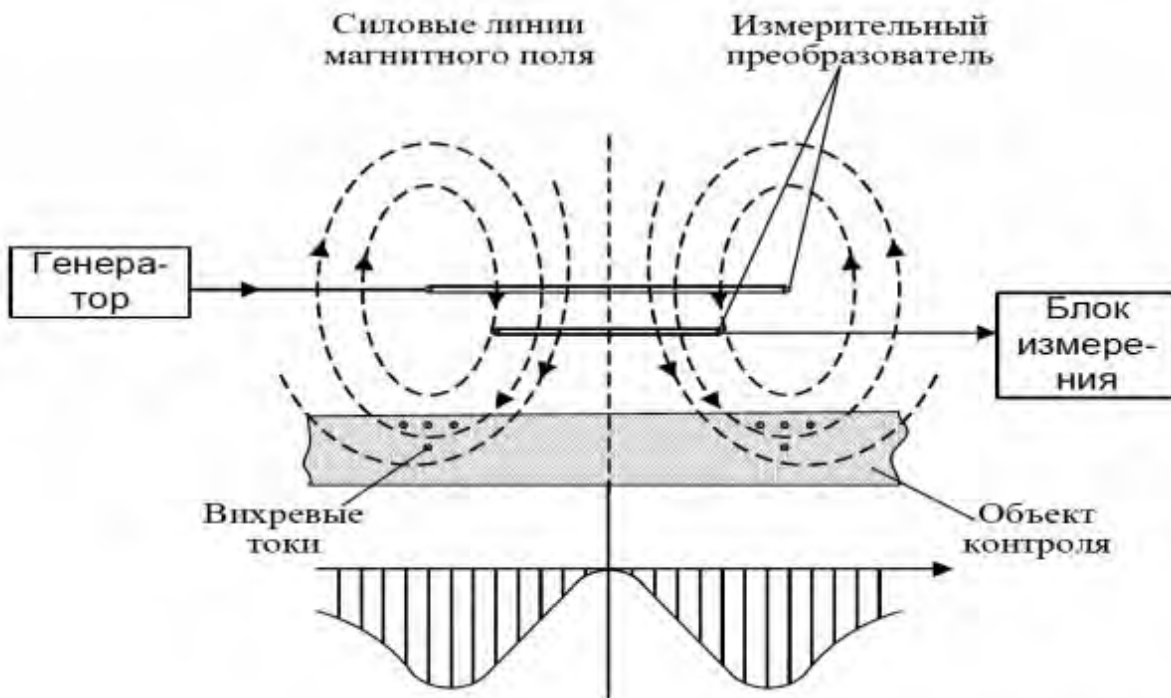


Рис. 1.1. Загальна схема вихрострумowego контролю

Інформація яка представляється сигналом ВСП являється багатопараметровою, тобто опір або ЕРС на ВСП залежить від багатьох параметрів ОК. В цьому полягають як переваги, так і недоліки у використанні та реалізації цих методів. Хоча і є потреба у використанні спеціальних прийомів для розподілу інформації про окремі параметри ОК вихрострумові методи контролю дозволяють здійснювати багатопараметровий контроль. При контролі одного параметру сигнал від інших параметрів може стати таким що почне створювати похибку для основного виміру, тому цей фактор потрібно враховувати.

Також іншою особливістю вихрострумових методів неруйнівного контролю є те, що його можна проводити за відсутності контакту між перетворювачем і об'єктом контролю. Взаємодія між ВСП і ОК в більшості випадків відбувається на відстані, достатній для вільного руху ВСП над об'єктом. Зазвичай ця відстань становить від долей міліметра до декількох

мілліметрів. Через цю особливість вихрострумів методи надають можливість отримувати непогані результати вимірів навіть за умови високої швидкості руху об'єкту контролю.

Широкі можливості автоматизації і висока продуктивність при використанні вихрострумів методу неруйнівного контролю можливі завдяки перерахованим вище якостям цього методу: висока продуктивність, безконтактність та отримання первинної інформації у вигляді електричних сигналів.

Також до особливостей вихрострумів перетворювачів можна віднести те, що на їх сигнали практично не мають впливу такі фактори навколишнього середовища, як: радіоактивне випромінювання, вологість, тиск, забрудненість середовища газами, забруднення поверхні ОК речовинами, що не є провідниками.

Ще однією перевагою вихрострумів перетворювачів є простота їх конструкції. Майже в усіх випадках це котушка залита компаундами та поміщена в запобіжний корпус. Через таку конструкцію вихрострумів перетворювачі можуть використовуватися в агресивних середовищах, в широкому інтервалі температури та тиску а також стійкі до більшості атмосферних і механічних дій.

Оскільки вихрострумів перетворювачі засновані на збудженні та реєстрації вихрових струмів вони в основному застосовуються при контролі якості електропровідних матеріалів, а саме різних металів, графіну, напівпровідників, сплавів. ВСП притаманна невелика глибина зони контролю, яку визначають глибиною проникнення електромагнітного поля в ОК. Попри зазначені вище обмеження вихрострумів перетворювачі здобули широкого використання для дефектоскопії, для визначення геометричних розмірів об'єктів та для структуроскопії різних виробів та матеріалів.

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	СТ
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

В області дефектоскопії вихроструміві перетворювачі використовуються для виявлення дефектів типу неоднорідностей, які знаходяться або на відносно невеликій глибині в об'єкті контролю або такі неоднорідності які виходять на поверхню. Прикладом таких дефектів є різні розшарування, неметалічні включення, тріщини тощо. Прикладом ОК можуть стати різноматінті електропровідні листи, прутки, дроти, труби, залізні рейки і так далі. При невеликому впливі факторів що вносять похибки та за сприятливих умов можна досягти точності визначення тріщин висотою 0.1 – 0.2 мм та довжиною 1 – 2 мм (за умови використання накладного ВСП) або тріщин довжиною приблизно 1 мм та висотою 1 – 5% від діаметру об'єкта, що контролюється, якщо це дріт, пруток або інці ОК подібної форми за умови використання прохідного вихрострумівого перетворювача.

Вихроструміві перетворювачі також можуть успішно використовуватися для контролю геометричних розмірів виробів. Такі методи вихрострумівого неруйнівного контролю використовують для вимірювання діаметрів труб, дроту і прутків. Також з їх допомогою можна вимірити товщину стін труб (за умови одностороннього доступу до ОК), товщину металевих листів, товщину діелектричних покриттів, товщину шарів багатшарової структури за умови електропровідності шарів. Чутливість таких вимірів складає від декількох мікрометрів до десятків міліметрів, при цьому похибка для більшості таких вихрострумівих перетворювачів складає 2 – 5%. Також є можливість зведення мінімальної площі контролю до 1 мм, завдяки цьому з'являється можливість вимірювати товщину покриттів на об'єктах невеликих розмірів та зі складною поверхнею. Також вихроструміві перетворювачів використовуються при контролі механізмів для вимірювання проміжків, переміщень і вібрацій.

На магнітні та електричні характеристики сплавів і металів суттєвий вплив має їх структурний склад. Завдяки цій особливості матеріалів у нас є

					ПК51.11.0000.000 ПЗ	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		8

можливість окрім однорідності хімічного складу контролювати також стан структури металів, можемо визначити їх механічну напругу. Також для сортування графіту та металевих матеріалів за хімічним складом (по маркам) широкого застосування здобули ВСП питомої електричної провідності та подібним їх прилади. Іншою сферою застосування вихрострумівих дефектоскопів став контроль якості хіміко-термічної і термічної обробки деталей.

В основі будь-якого вихрострумівого дефектоскопу знаходиться метод вихрових струмів. При контролі вихролструмовим метиодом виникає явище дуже схоже на індуктивно пов'язані контури. В данному випадку в якості першого іднуکتивно пов'язаного контуру виступає котушка вихрострумівого перетворювача а в якості іншого індуктивно пов'язаного контуру виступає об'єкт, який піддається неруйнівному контролю. В металі виникають вихрові струми створені ЕРС, що в свою чергу виникає під дією електромагнітного поля вихрострумівого перетворювача, які взаємодіють з контуром перетворювача і змінюють його комплексний опір.

Реєструючи зміни внесені дією визрових струмів отримують інформацію про різні властивості ОК. На вихрові стурми що збуджуються в металі впливає багато чинників, серед яких відстань між вихрострумівим перетворювачем і металом, вееличина електропровідності металу. Зміна електропровідності металу еквівалентна наявності в поверхневому шарі ОК дефекту.

Вектроні зміни напруги що виникають на котушці ВСП залежать від декількох чинників, таких як зазор, дефекти структури ОК мають сталі для окремих матеріалів сзуви фаз відностного струму. Існує алгоритм багатопараметровго вихрострумівого який дозволяє одночасно визначати як дефекти товщини покриття виробу, як і наявності дефектів структури матеріалів. На малюнку 1.1 зображена векторна діаграма напруги

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	ст
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		9





на тому місці об'єкту контролю який можна використовувати як опорний зразок (еталонний зразок).

опираючись на те, що вектори P1 та P2 існують з наперед заданими кутовими напрямками відносно вектору сруму вихрострумowego перетворювача або наперед задано фазу напруги генератора можливе роздільне вимірювання потенціальних дефектів в об'єкті контролю та тувщину.

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	СТ
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

## 1.2 Розподіл вихрових струмів

Вихровими струми представляють з себе замкнуті електричні струми які виникають через зміну магнітного потоку в середині матеріалу який являється струмопровідним. На відміну від струму що протікає в провідниках по визначених напрямках, струми вихрові являють собою індукційні струми що як правило замикаються в струмопровідних середовищах по вихрових ( у формі кільця) траекторіях. Їх основним параметром можна назвати щільність.

Магнітний потік який генерує вихрові струми завжди перпендикулярний напрямку площини вихрових струмів. Вихрові токи виникають в провіднику за умови пронизання магнітним потоком плоского провідника нормально до поверхні його площини, як показано на малюнку 1.2-а. І навпаки, вихрові струми не виникають якщо провідник пронизаний магнітним потоком вздовж його площини, як показано на малюнку 1.2-б.

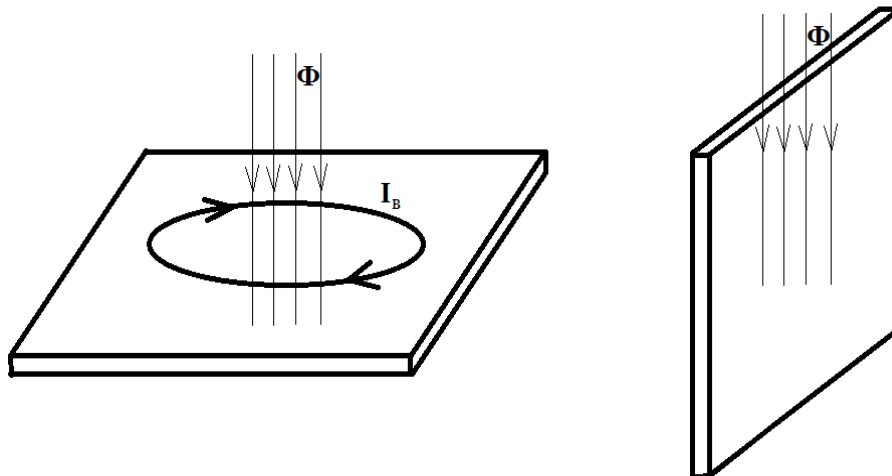


Рис. 1.2. Виникнення в плоскому провіднику вихрових струмів: нормальне спрямування магнітного потоку по площини провідника при якому виникають вихрові струми (а); спрямування магнітного потоку вздовж провідника, при цьому вихрові струми не виникають (б).

### 1.3 Зміна амплітуди і фази струму

В масиві струмопровідного матеріалу щільність вихрових струмів зазвичай не є рівномірною (малюнок 1.3). Через це виникає певний розподіл вихрових струмів по об'єкту в якому вони збуджуються який базується на обсязі струмопровідного середовища. Цей розподіл супроводжується зміною фази і амплітуди струму. Наприклад, якщо в металевому об'єкті контролю збуджити вихрові струми за допомогою котушки по виткам якої протікає струм в поверхневому шарі якого металевого об'єкту буде спостерігатися максимальна щільність вихрових струмів, до того ж безпосередньо під самою котушкою. Якщо почати віддаляти котушку, по виткам якої протікає струм який збуджує вихрові токи в середині об'єкта контролю, над поверхнею об'єкту контролю щільність збуджених вихрових струмів буде зменшуватися за законом близьким до експоненціального. Також слід зазначити що вихрові струми зі збільшенням глибини на яку вони арионкуать в об'єкт контролю збільшується їх відставання по фазі від вихрових струмів що збуджуються на поверхні об'єкта контролю.

					ПК51.11.0000.000 ПЗ	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

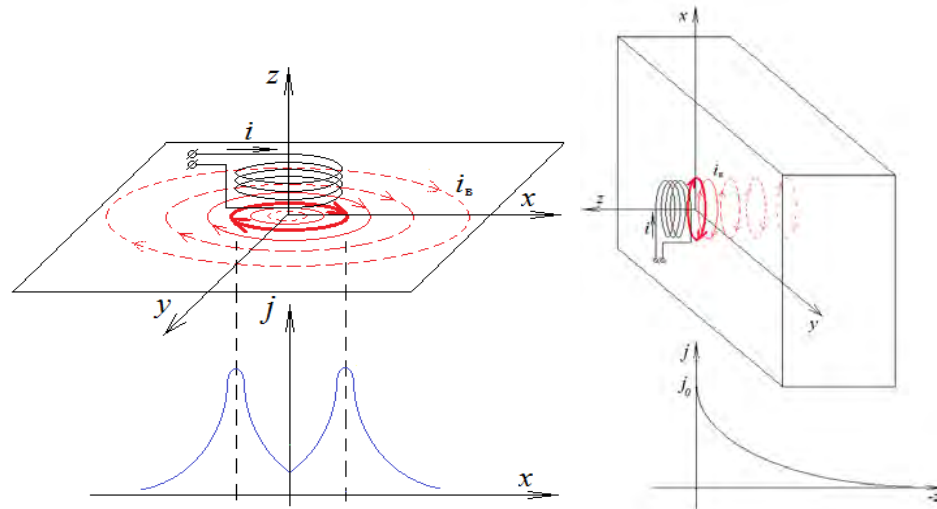


рис. 1.3. щільність вихрових струмів в середовищі: поверхневий шар (а);  
по глибині об'єкту контролю (б)

Якщо проаналізувати розподіл вихрових струмів що протікають в середині об'єкта по глибині їх залягання можна спостерігати явище зменшення амплітуди вихрових струмів зі зростанням глибини, на якій вони залягають по експоненціальному закону:

$$j = j_0 \cdot e^{-mz}$$

де  $j_0$  - щільність вихрових струмів збуджених на поверхні об'єкта, що контролюється:  $m$  - коефіцієнт загасання, який залежить від електромагнітних властивостей об'єкта, який контролюється та частоти струму який протікає на витках котушки. Окрім зменшення амплітуди також можна зафіксувати явище зміни фази вихрових струмів, яке полягає в тому що зі збільшенням глибини збільшується відставання фази вихрових струмів що звужуються в об'єкті контролю порівняно з вихровими що звужуються в об'єкті контролю на його поверхні.

## 1.4 Глибина проникнення вихрових струмів

Глибина, на яку вихрові струми, збуджені котушкою вихрострумowego перетворювача, можуть проникнути в об'єкт що контролюється визначається декількома факторами, такими як: частота збудження, величина магнітного потоку який збуджує вихрові струми, електромагнітні властивості матеріалу, що контролюється. На практиці була введена відносна величина, а саме умовна глибина проникнення вихрових струмів, яка дозволяє оцінити глибину на яку проникають вихрові струми в об'єкт контролю. Ця величина, умовна глибина проникнення вихрових струмів, представляє з себе відстань від шару в якому щільність струмів зменшується приблизно в 2,71 (e) до поверхні об'єкту який контролюється за допомогою вихрових струмів, а саме від місця де спостерігається найбільша щільність вихрових струмів.

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \mu_0 \sigma}}$$

де  $f$  – частота, струму збудження,  $\mu\mu_0$  – абсолютна магнітна проникність для матеріалу з якого вироблений ОК,  $\sigma$  - питома електрична провідність для матеріалу з якого вироблений ОК.

Такі фактори як геометричні розміри котушки вихрострумowego перетворювача, наявність феромагнітного сердечника, зазор між котушкою вихрострумowego перетворювача та об'єктом що контролюється не впливають на умовну глибину проникнення вихрових струмів. Проте глибина, на яку здатні проникнути вихрові струми в середині об'єкту контролю зменшується, якщо збільшувати частоту струму збудження. Це призводить до виштовхування вихрових струмів на поверхню об'єктів. Ідентичний ефект можна спостерігати при появі вихрових струмів в матеріалах що складаються з конструкційних сталей (феромагнітні матеріали), де на глибину проникнення вихрових струмів в багато разів сильніше впливає магнітна проникність, а не

					ПК51.11.0000.000 ПЗ	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

питома електрична провідність, яка як правило менша ніж у матеріалів виготовлених з таких металів як мідь, алюміній та сплавів на їх основі.

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	СТ
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16

## 1.5. Класифікація вихрострумівих перетворювачів

Вихроструміві перетворювачі можна поділити на параметричні та трансформаторні за способом, яким вони перетворюють інформативні параметри об'єкту контролю на вихідний сигнал. До переваг параметричних вихрострумівих перетворювачів можна віднести їх простоту, проте через це вони мають такий недолік як залежність сигналу, що створюється на виході вихрострумівого перетворювача від його температури. У трансформаторних вихрострумівих перетворювачах цей недолік виражений у значно меншій мірі ніж у параметричних. Також вихроструміві перетворювачі можна поділити за способом, яким з'єднуються котушки вихрострумівих перетворювачів – абсолютні або диференційні. До абсолютний вихрострумівих перетворювачів (рис 1.4 – а) відносять такі вихроструміві перетворювачі, сигнал на виході яких визначається через абсолютні значення параметрів об'єкту контролю в зоні проведення вихрострумівого неруйнівного контролю. До диференційних вихрострумівих перетворювачів відносять сукупність двох ВСП обмотки котушок яких з'єднані між собою так, щоб вихідний сигнал визначався різницею параметрів об'єкту контролю у відповідних зонах проведення НК (рис. 1.4 – б)

					ПК51.11.0000.000 ПЗ	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17

- 1 – збуджуюча обмотка;
- 2 – вимірювальна обмотка;
- 3 – об'єкт контролю.

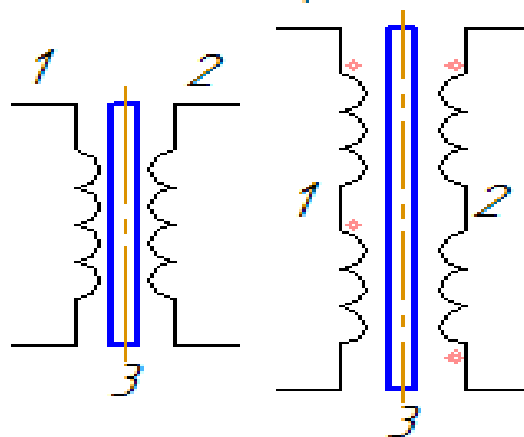


Рис. 1.4 Трансформаторні вихрострумові перетворювачі абсолютного (а, ліворуч) та диференційного типу (б, праворуч).

Ще одним параметром за яким можна класифікувати вихрострумові перетворювачі є їх розташування відносно до об'єкту контролю. За цим параметром їх поділять на три типи: комбіновані, накладні та прохідні.



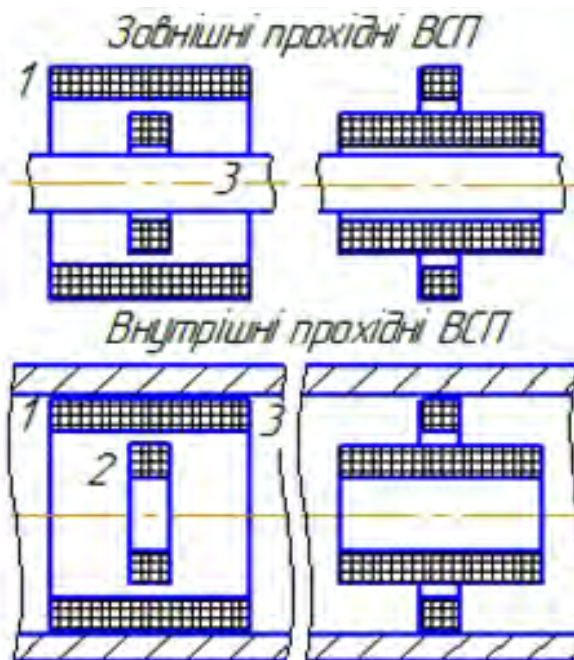


Рис. 1.5 Деякі конструкції прохідних вихрострумових перетворювачів.

В свою чергу можна поділи прохідні вихрострумові перетворювачі на внутрішні, зовнішні, занурені та екранні, що показані на рисунках 1.5 та 1.6. Зовнішні прохідні вихрострумові перетворювачі виділяються серед інших вихрострумових перетворювачів тим, що вони покривають об'єкт контролю повністю. Інший тип прохідних вихрострумових перетворювачів, внутрішні, мають особливу будову котушок, завдяки чому вводяться всередину об'єкту контролю. Завдяки цій особливості зазвичай використовуються для контролю труб та подібних деталей або виробів. Занурювальні прохідні вихрострумові перетворювачі розташовують безпосередньо у контрольованому середовищі, яке найчастіше являє собою рідке електропровідне середовище. Екранні прохідні вихрострумові перетворювачі котушки збудження та вимірювання розташовують по різні сторони від об'єкту контролю.

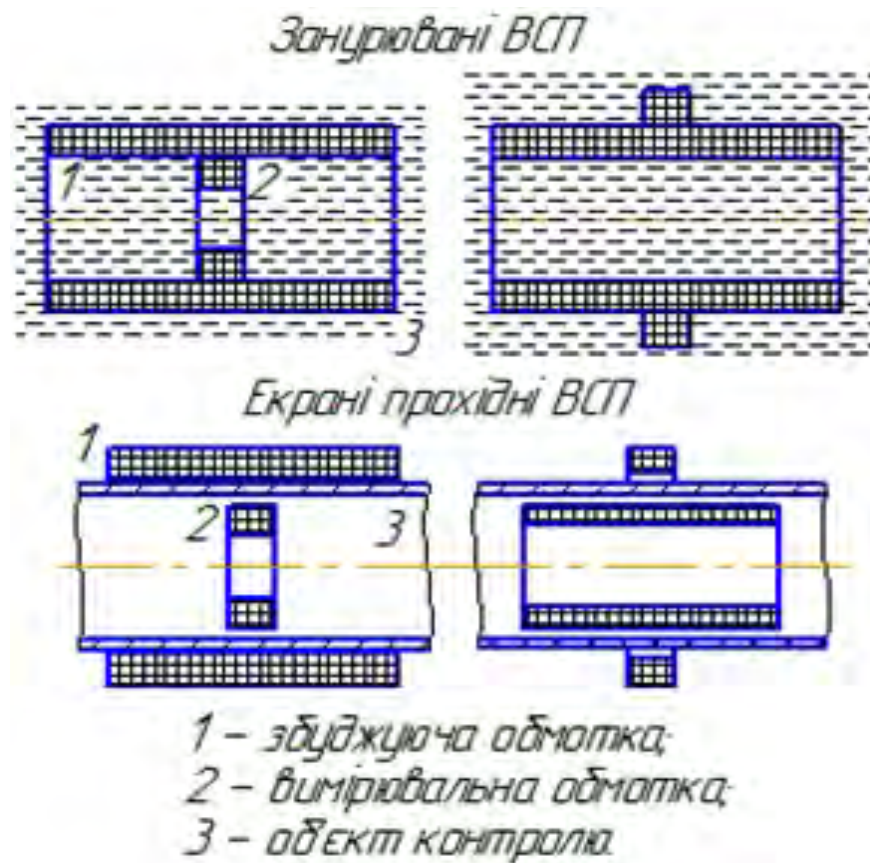


Рис. 1.6 Деякі конструкції прохідних вихрострумових перетворювачів.

Тип вихрострумових перетворювачів які розташовують на невеликій відстані від об'єкту контролю, мають одну або декілька обмоток називають накладними. Осі цих перетворювачів в більшості випадків розташовані нормально до поверхні об'єкту контролю. Також існує можливість поздовнього розташування декількох вихрострумових перетворювачів цього типу, коли котушки кожного з них направленні вздовж поверхні об'єкту контролю. Це робиться для того щоб отримати можливість контролювати електромагнітні параметри та геометричні розміри об'єктів контролю складної форми. Котушки таких вихрострумових перетворювачів можуть бути різної форми: круглими, прямокутними, хрестоподібними тощо.

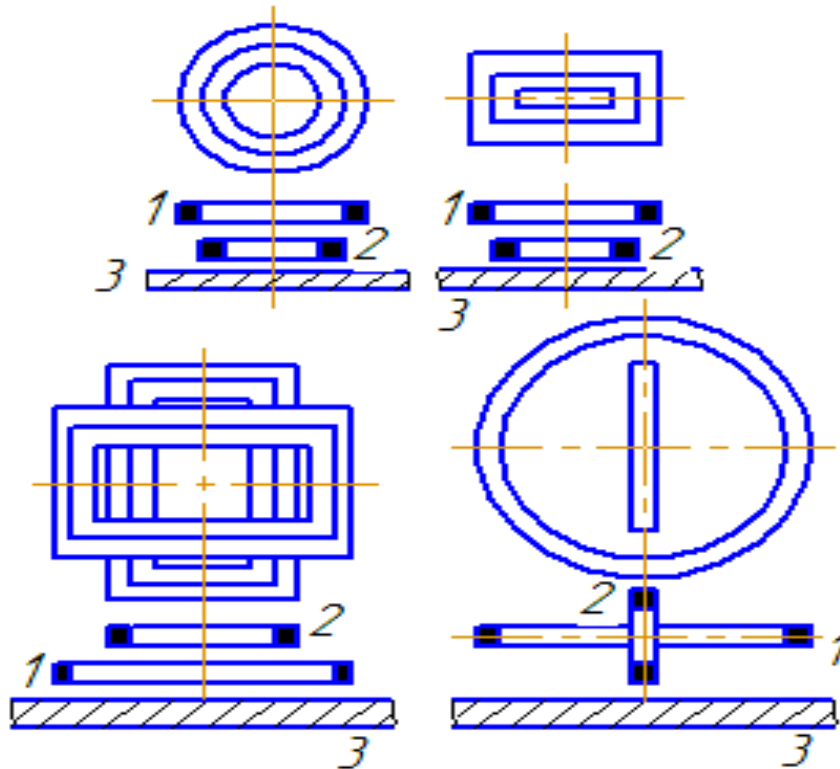
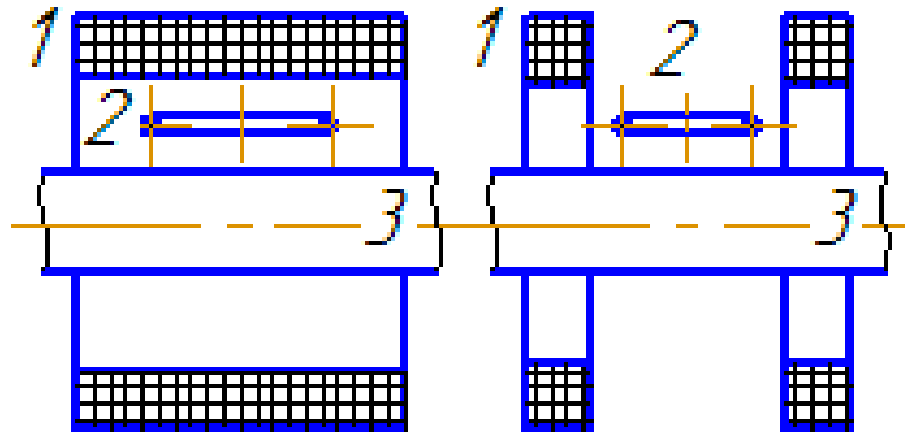


Рис. 1.7. Деякі конструкції комбінованих вихрострумових перетворювачів.

Комбінацією прохідної котушки, яка виконує роль збуджуючої, та накладної котушки, яка виконує роль вимірювальної (рисунок 1.7, 1 та 2 відповідно) називають комбінованим вихрострумовим перетворювачем.

Кожен із зазначених вище типів вихрострумових перетворювачів знайшов застосування у різних галузях для контролю різних деталей. Так, наприклад зовнішні прохідні вихрострумові перетворювачі зазвичай використовуються при контролі лінійно видовжених об'єктів, таких як дрiт, пруткок, труба тощо та здійснюється серійний контроль продукції невеликих розмірів. Внутрішні прохідні вихрострумові перетворювачі зайшли застосування при контролі поверхонь снінок різних виробів, наприклад труб або балонів, стінки різних отворів тощо.

Вихрострумові перетворювачі занурювального типу призначені для контролю рідин, а екранні прохідні вихрострумові перетворювачі в свою чергу широко застосовуються при контролі труб.



- 1 – збуджувача обмотка;*  
*2 – вимірювальна обмотка;*  
*3 – об'єкт контролю.*

Рис. 1.8 Деякі конструкції комбінованих вихрострумових перетворювачів.

Для об'єктів що мають плоску поверхню, або об'єктів що мають складну форму зазвичай використовую накладні вихрострумові перетворювачі. Інше застосування накладних ВСП – випадки коли необхідно забезпечити локальний контроль з високою чутливістю.

## 1.6 Інформативні параметри вихрострумовеого контролю

Зміна параметрів що контролюються або зміна умов проведення контролю в більшості випадків має зв'язок зі зміною сигналу вимірювальної обмотки вихрострумовеого перетворювача. Іншими словами, якщо хоча б один із параметрів змінюється, ця зміна призводить до зміни сигналу вихрострумовеого перетворювача.

Вихрострумові методи неруйнівного контролю відносяться до багатопараметричних методів. Це має як і свої переваги, так і недоліки. До переваг можна віднести те, що багатопараметровість виміру надає змогу вести контроль за різними параметрами контрольованого об'єкта. Недоліком який впливає з переваг є те, що кількість чинників які можуть вплинути на результат контролю збільшується і це призводить до ускладнення виділення якогось конкретного контрольованого параметра.

Фактори, які мають вплив на виміри можна розділити на дві категорії:

### 1. Геометричні:

- зазор, що виникає між вихрострумовим перетворювачем та об'єктом контролю;
- близькість до краю об'єкту контролю;
- перехід від одних до інших геометричних розмірів, наприклад зміна товщини стінки;
- шорсткість поверхні.

### 2. Структурні:

- контролю термообробка;
- магнітна проникність матеріалу об'єкту контролю;
- наклеп;
- зернистість;

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	ст
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		23

- електрична провідність матеріалу об'єкту;
- хімічний склад.

Через існування зазначених вище чинників виникає необхідність вирішення проблеми з виділенням окремої складової сигнала вихрострумowego перетворювача, що несе в собі необхідну інформацію. Для цього існує узагальнений параметр вихрострумowego контролю, що є величиною яка характеризує умови вихрострумowego контролю.

Це безрозмірна величина, що характеризує властивості перетворювача, об'єкта контролю, або умови контролю (ГОСТ24289 - 80):

$$\beta = R\sqrt{\omega\mu\mu_0\sigma},$$

де R - радіус еквівалентного витка обмотки вихрострумowego перетворювача,  $\omega$  - частота струму обмотки збудження,  $\mu\mu_0$  - абсолютна магнітна проникність середовища, в якому відбувається контроль,  $\sigma$  - питома електрична провідність середовища, в якому відбувається контроль.

На основі аналі наведеної формули можна зробити висновки про те, що питома електрична провідність має значно менший вплив на вихідний сигнал вихрострумowego перетворювача ніж магнітна проникність матеріалу з якого виготовлений ОК. Це можна пояснити тим, що при контролі феромагнітних матеріалів їх магнітна проникність напряму пов'язана з намагніченністю і може змінюватися в ширших межах, тоді як питома електропровідність навпаки має незначні зміни. З усього цього випливає, що істосним фактором що створює завади при проведенні контролю параметрів ОК що пов'язані з електпровідними властивостями і без компенсуваення якого проведення контролю неможливе є зміна магнітної проникності ОК.

## 1.7 Методи виділення корисної інформації

Одним з методів виділення корисної інформації є амплітудний метод, який застосовується якщо виміряти зміну фази не є доцільним рішенням або через її незначну зміну або через велику кількість заважаючих факторів. Якщо в приладі вирішено реалізувати цей метод, то до його складу необхідно включити амплітудний детектор який дозволить відслідковувати зміну амплітуди сигналу що пов'язаний з контролюємим параметром. Коли контрольований параметр досягне певного критичного значення, або іншими словами порогового рівня амплітуди спрацює сигнал дефекту на дефектоскопі (рис. 1.9). Зміна фази або частоти вимірюваного сигналу на показання приладу не впливає.

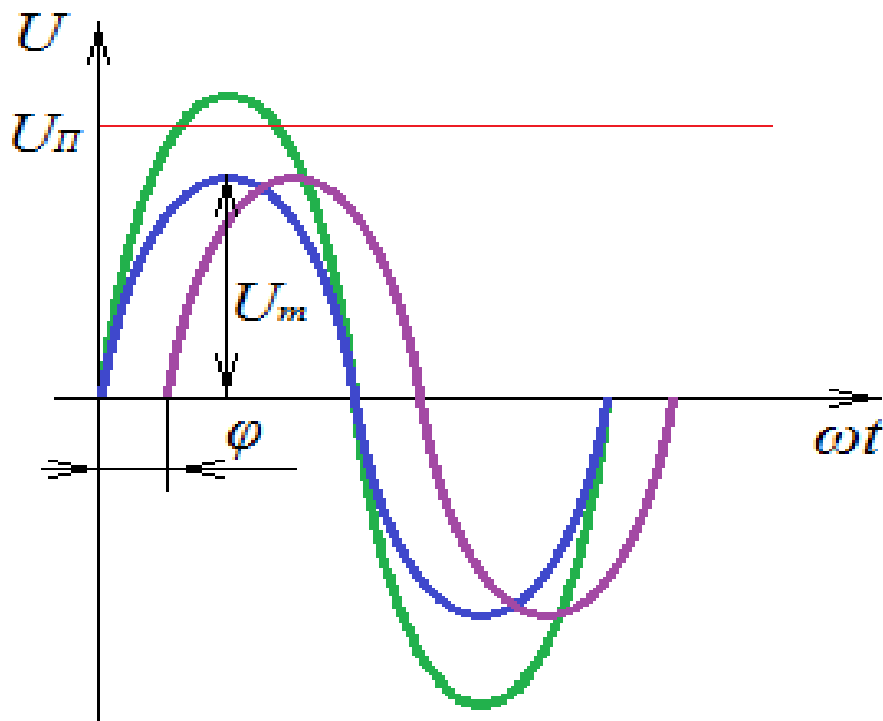


Рис. 1.9. Спосіб виділення інформації по амплітуді

Іншим методом виділення корисної інформації є фазовий спосіб, який застосовується якщо виміряти зміну амплітуди не є доцільним рішенням або через її незначну зміну або через велику кількість заважаючих факторів. Якщо в приладі вирішено реалізувати цей метод, то до його складу необхідно включити фазовий детектор який дозволить відслідковувати зміну фази сигналу що пов'язаний з контролюємим параметром.

Ще одним способом є частотний спосіб, для реалізації якого в схему дефектоскопа включають коливальний контур (рис. 1.10 - а). В основі функціонування такого контуру лежить збільшення індуктивного опору вихрострумів перетворювача і зменшення при цьому ємнісного опору конденсаторів, включених в цей контур при зменшенні або при збільшенні частоти (рис. 1.10 – б). Коли досягається резонансна частота амплітуда сигналу вихрострумів перетворювача різко збільшується. Таким чином у випадку використання найпростішого коливального контура ширина частоти резонансу і амплітуда струму, рис 1.10 – в, можна визначити через його добротність:

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

де R - активний опір, L – індуктивність вихрострумів перетворювача, C - ємність конденсатора.

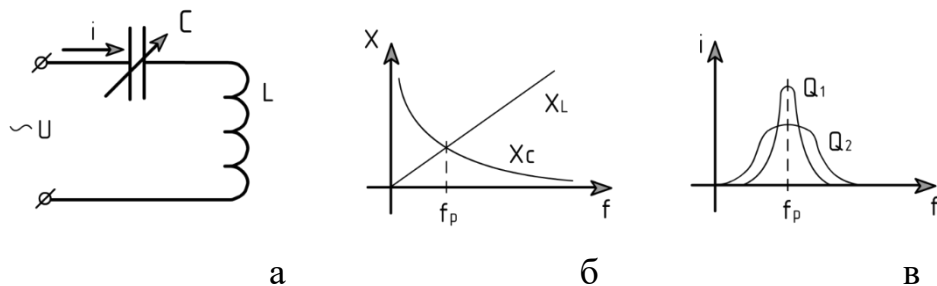


Рис. 1.10. Послідовний коливальний контур: електрична схема (а), визначення резонансної частоти (б), визначення ширини пропускання (в).



## 1.8 Годографи на комплексній площині

Зміна параметрів вихростумового контролю призводить до зміни фази або амплітуди, що в свою чергу викликає зміну положення вектора на комплексній площині. Траекторія руху кінця цього вектора на уомплексній площині при цьому може бути кривою абсолютно будь-якої форми. Отже, годограф на комплексній площині – траекторія руху кінця вектора (рис.1.11). На приведеному рисунку зображено зміну від  $U$  до  $U''$  послідовно.

Аналіз годографів дозволяє нам відрізнити вплив контрольованого параметра від впливу різноманітних перешкод, оскільки зміни різних параметрів ОК по різному впливають на різні параметри сигналу вихрострумowego перетворювача.

Розглянемо на прикладі накладного вихрострумowego перетворювача розміщеного над феромагнітним півпростором (об'єктом значної товщини) аналіз годографа. Під час аналізу під годографом вихрострумowego перетворювача будемо розуміти геометричне місце кінця вектора напруги або ЕРС на комплексній площині яке ми отримуємо в результаті зміни різних параметрів, таких як: зміна питомої електричної провідності, зміна частоти, зміна відносної магнітної проникності, зміна геометричних розмірів об'єкта контролю, зміна інших факторів що можуть вплинути на результати виміру.

					ПК51.11.0000.000 ПЗ	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

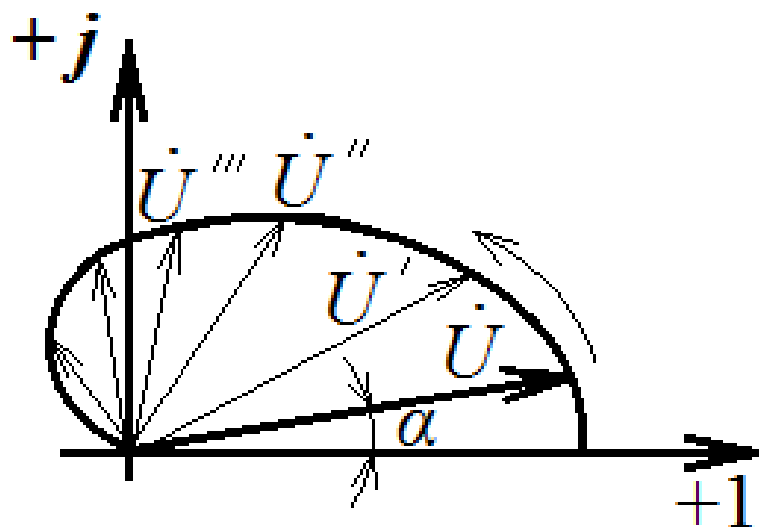


Рис. 1.11. Приклад годографа вектора.

В четвертому квадранті комплексної площини розташований годограф, який характеризує зміну внесеної напруги для неферромагнітних матеріалів. За внесеної напругу будемо приймати зріст напруги після виходу з вимірювальної котушки вихрострумowego перетворювача яке пояснюється внесенням в його електромагнітне поле ОК. Стрілкою тут показана зміна узагальненого параметра  $\beta$  яка пов'язана зі збільшенням питомої електричної провідності ОК.

Коли відбувається зміна відносної магнітної проникності стрілка годографа прагне в перший квадрант. На малюнку 1.12 зображено годограф для значень  $\mu = 2, 5, \rightarrow \infty$ . Напрямок зростання вказано стрілкою.

Слід зазначити що якщо орієнтуватися тільки на зміну амплітудного значення напруги що виникає на вимірювальній котушці вихрострумowego перетворювача роздільний контроль електропровідності і магнітної провідності не є можливим.

Таким чином припустивши що вихідним вектором напруги є  $a$  коли збільшується питома електрична провідність ( $\beta$  з 1.25 до 2.5) суттєво

підвищується довжина вектора в той час як фаза смінюється не дуже істотно. Коли збільшується магнітна проникність паралельно можна побачити значне підвищення амплітуди. Відповідно по зміні амплітуди можемо аналізувати яким саме фактором викликана зміна сигналу вихрострумowego перетворювача.

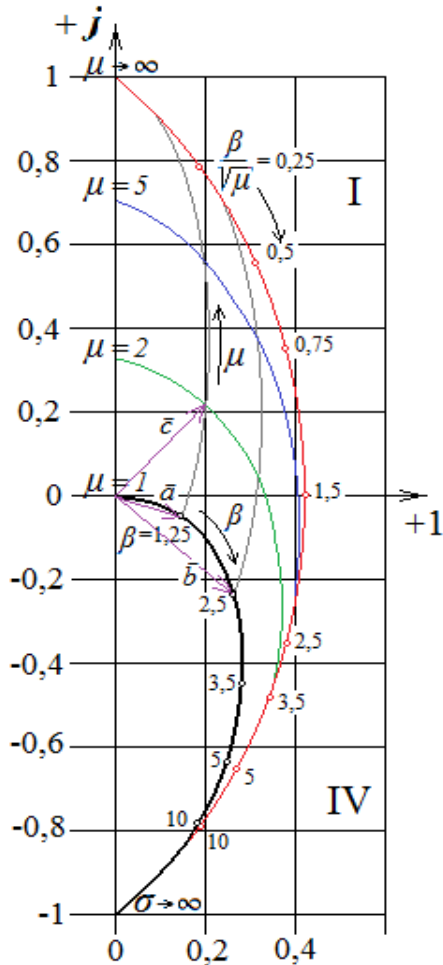


Рис. 1.12. Годограф для накладного вихрострумowego перетворювача що знаходиться над феромагнітним провідниковим півпростором на якому показано внесену напругу

Проте як наслідок спостерігаємо різку зміну фази причиною чого є зміна магнітної проникності. Як результат можна виконувати роздільний контроль двох інформативних параметрів об'єкту контролю аналізуючи зміну амплітуди і фази на годографі вихрострумowego перетворювача.

Рівень розвитку сучасної дефектоскопії дозволяє встановлювати на дефектоскопи екрани на які можна вивести комплексну площину. Це призводить до того що сучасні дефектоскопи мають більше можливостей для послаблення впливу факторів що вносять похибку ніж старі дефектоскопи зі стрілочними індикаторами які дозволяли оцінити тільки амплітудні значення сигналів вихрострумowego перетворювача.

Якщо значення магнітної проникності більше 30 роздільний контроль інформативних параметрів перестає бути можливим.

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	ст
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		30

## 1.8 Вплив властивостей матеріалів і параметрів об'єктів контролю на сигнал вихрострумовео датчика

Узагальнений параметр вихрострумовео контролю

На формування амплітуди і фази коливань, тобто на сформований хна вимсрювальній котушці сигнал, впливають декілька параметрів які зведені в узагальнений параметр контролю. Для накладних перетворювачів цей параметр має наступний вигляд:

$$\beta = r_{\text{BK}} \sqrt{2\pi f \mu \mu_0 \sigma},$$

де  $r_{\text{BK}}$  - радіус збуджуючої котушки.

Виходячи в цього маємо можливість забезпечити найкращу чутливість для контролю необхідного нам параметра і звести до мінімуму вплив сторонніх факторів завдяки тому, що ми знаємо магнітну проникність разом із питомою електричною провідністю і можемо підбирати частоту збуджуючого струму і радіус перетворювача.

Питома електрична провідність об'єкту контролю провідністю називають властивість провідника пропускати електричний струм. Це величина яка є зворотньою опору:

$$g = 1/R$$

Провідність щалежить від декількох чиників, серед яких гнеометричні розміри провідника і питомий опір матеріалу з якого він виготовлений:

$$g = \sigma \frac{s}{l}$$

де  $\sigma$  - питома електрична провідність,  $s$  - площа поперечного перерізу,  $l$  - довжина.

Температура непосредньо впливає на провідність матеріалу. Може виникнути явище зменшення питомої провідності причиною якого стає збільшення амлітуди і частоти коливань атомів в вузлах кристалічної решітки при нагріванні металів.

					ПК51.11.0000.000 ПЗ	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		31

За одиницю виміру провідності прийнято використовувати Сіменс. Питома провідність вимірюється у Сіменс поділений на метр.

Одним із найкращих провідників є мідь. Проте це доволі дорогий метал, тому в місцях де провідність відіграє не таку важливу роль мідь можуть замінити на більш дешевій аналог – алюміній.

#### Магнітна проникність

Магнітною проникністю називають властивість речовини сприяти розповсюдженню силових ліній магнітного поля. Виражається як коефіцієнт пропорційності між магнітною індукцією і напруженістю магнітного поля:

$$B = \mu H.$$

При переміщенні речовини у вакуум її здатність посилити чи послабити магнітне поле називають магнітною індукцією. Магнітна індукція є силовою характеристикою поля в точці середовища.

Здатність речовини посилювати чи послаблювати магнітне поле при заміщенні вакуумом цієї речовиною називається магнітною індукцією. Це силова характеристика поля в точці середовища. Таким чином якщо помістити в магнітне поле виробу зробленого, наприклад, зі сталі всі силові лінії намагатимуться скуонцентруватися в цьому виробі і будуть підсилюватися. Через цю їх особливість силові магнітні лінії які розповсюджуються в середині речовини також називають лініями магнітної індукції.

Намагніченість має прямий вплив на магнітну проникність феромагнетика. Графік на якому відображається залежність магнітної проникності феромагнетика до напруженості зовнішнього поля представляє з себе складну криву яка носить нелінійний характер (рис. 1.13).

					ПК51.11.0000.000 ПЗ	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		32

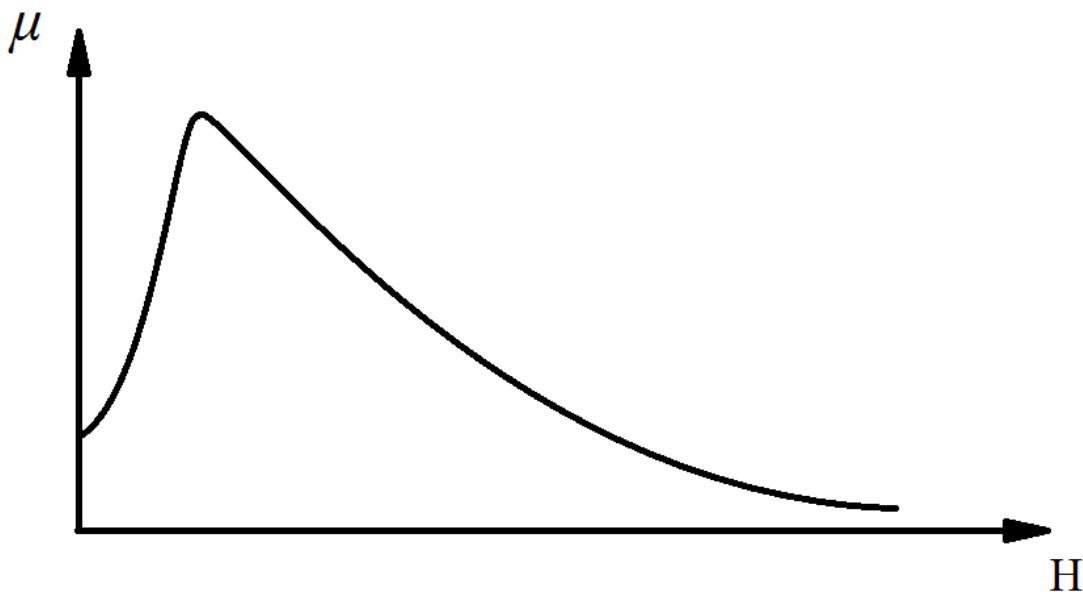


Рис. 1.13. залежність напруженості зовнішнього поля до магнітної проникності феромагнетика

При вихрострумовому неруйнівному контролі задля запобігання коливань значення магнітної проникності необхідно виконати наступні дії: або розмагнітити об'єкт контролю або намагнітити його таким чином, щоб проникність майже не змінювалася.

#### Хімічний склад металу

Термомобробка, режим закалення, розмір зерна та інші фактори впливають на структурний стан сплавів та металів. Від самого структурного стану залежать найважливіші показники металевого виробу – його міцність та електромагнітні властивості. До значних змін показань вихрострумових дефектоскопів можуть призвести навіть невеликі, на перший погляд, зміни хімічного складу сталі, які пов'язані з вмістом у сплаві легуючих елементів та вуглецю.

На взаємозв'язку між межею міцності металу та його питомої електричної провідності та його іншими механічними властивостями будується робота сучасних вихрострумових дефектоскопів.

					ПК51.11.0000.000 ПЗ	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		33

Прилади в основі яких апокладені ці принципи взаємозв'язку можуть використовуватися для розподілу продукції по маркам сталі, оцінювати якість покриваючого шару, контролювати якість термообробки, тощо. Проте не зважаючи на все вище зазначене необхідно пам'ятати про те, що при вирішенні подібних завдань сильно збільшується складність розділення інформативних параметрів контроль яких проводиться. Таким чином фактором що вводить похибку при контролі хімічного складу металу або сплаву можуть бути випадкові фактори, такі як намагніченість ОК, випадковість розміру зерна,

Однак за допомогою аналізу годографів на комплексній площині є можливість вирішення равдання роздільного контролю структурних параметрів об'єкту контролю.

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	ст
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		34



## **1.9 Застосування дефектоскопів що реалізують вихрострумові методи**

Використання у авіації – неруйнівний контроль техніки та відповідальних деталей, наприклад лопатки турбін, диски коліс, обшивка, тощо.

Використання у нафтогазовій промисловості – неруйнівний контроль труб та трубопроводів, контроль турбін ГРС.

Використання у хімічній промисловості – неруйнівний контроль труб та трубопроводів, промислових резервуарів, тощо.

Використання в енергетичній промисловості – неруйнівний контроль парогенераторів внутрішніми прохідними вихрострумовими перетворювачами, контроль колекторів.

Використання у машинобудівельній промисловості – неруйнівний контроль різноманітних пруткуів, дротів, виробів з металу тощо.

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	СТ
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		35

## 2. Огляд принципу роботи DDS синетезаторів

### Теорія механізму роботи

Генератори сигналів, які використовують DDS, генерують сигнали на заданих частотах через унікальний механізм доступу до пам'яті і механізм синхронізації, який відрізняється від традиційного методу виведення кожного зразка в порядку, в якому зберігається форма сигналу. Генератори сигналів (AWG) використовують традиційний метод генерації сигналу. AWG можуть виробляти складні форми сигналу, визначені користувачем, але обмежені в точності частоти, при якій генерується форма сигналу. Це пояснюється обмеженнями, які форма сигналу накладає на точку з пам'яті AWG, і тактові вибірки, які контролюють час між кожною згенерованою точкою, мають кінцеве число частот. Функціональні генератори, які використовують DDS, зберігають велику кількість точок для одного циклу періодичної форми сигналу в пам'яті. Технологія DDS надає генератору функції можливість вибирати, який зразок виводити з пам'яті. Оскільки генератор функції не обмежується вибором наступного зразка у формі сигналу, він може генерувати сигнали на більш точних частотах. На рис. 2.1 графічно представлено, як функціональний генератор може генерувати синусоїду частотою 21 МГц, частота якої не є кратною тактовій частоті в 100 МГц. Час вибірки 100 МГц як і раніше приводить швидкість оновлення виходу ЦАП; отже, чим швидше зразковий годинник, тим точніше формується створений сигнал.

					ПК51.11.0000.000 ПЗ	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

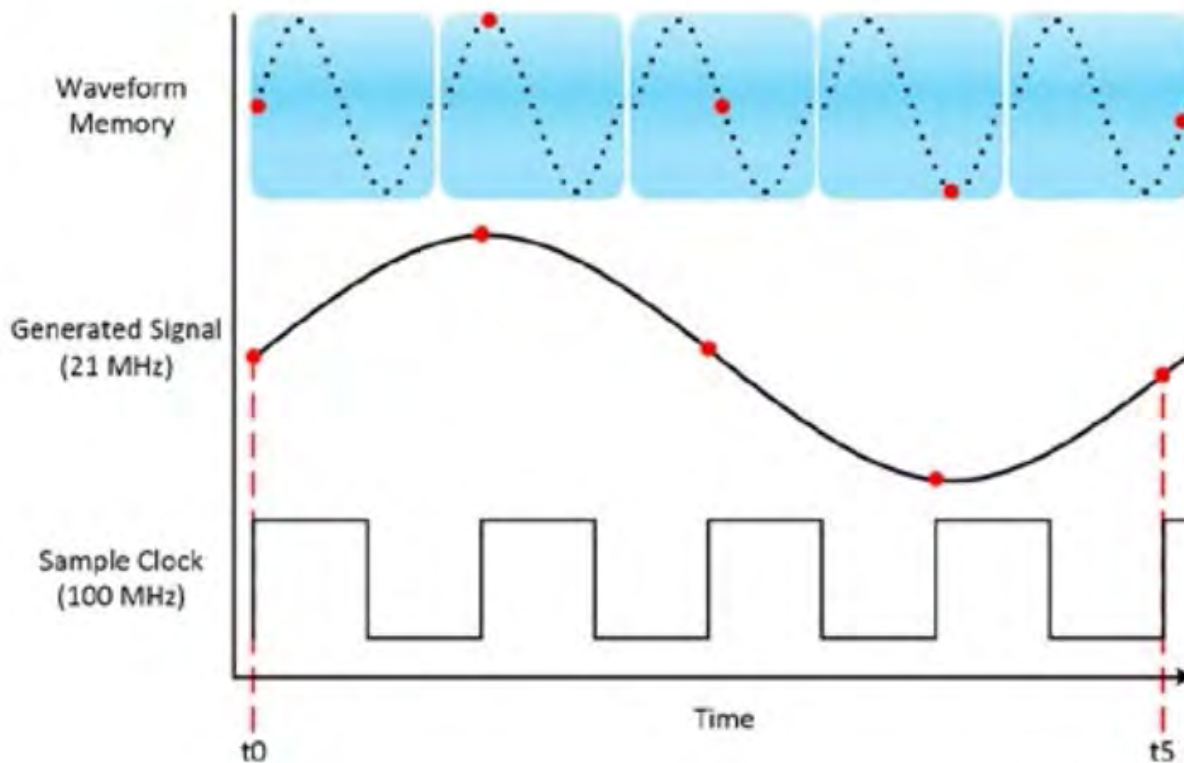


рис. 2.1 - У DDS-сумісному обладнанні зразки не обов'язково вибираються в тому порядку, в якому вони зберігаються в пам'яті. Це дозволяє тактовому зразку 100 МГц точно відтворити синусою хвилі 21 МГц.

У конкретному випадку вище, AFG використовує 100 МГц для керування ЦАП, але частота генерованого сигналу створюється методом, з якого вибірки вибираються з розташування у пам'яті сигналу. У наступних розділах обговорюються компоненти, які реалізують керуючу логіку вибору вибірки.

## Функціональний огляд

Реалізація DDS вимагає трьох основних апаратних будівельних блоків: (а) опорний годинник, (б) фазовий акумулятор і (с) таблиця пошуку, яка є реалізацією програмованої пам'яті тільки для зчитування. На малюнку 2 показаний потік більш високого рівня від апаратного блоку до апаратного блоку.

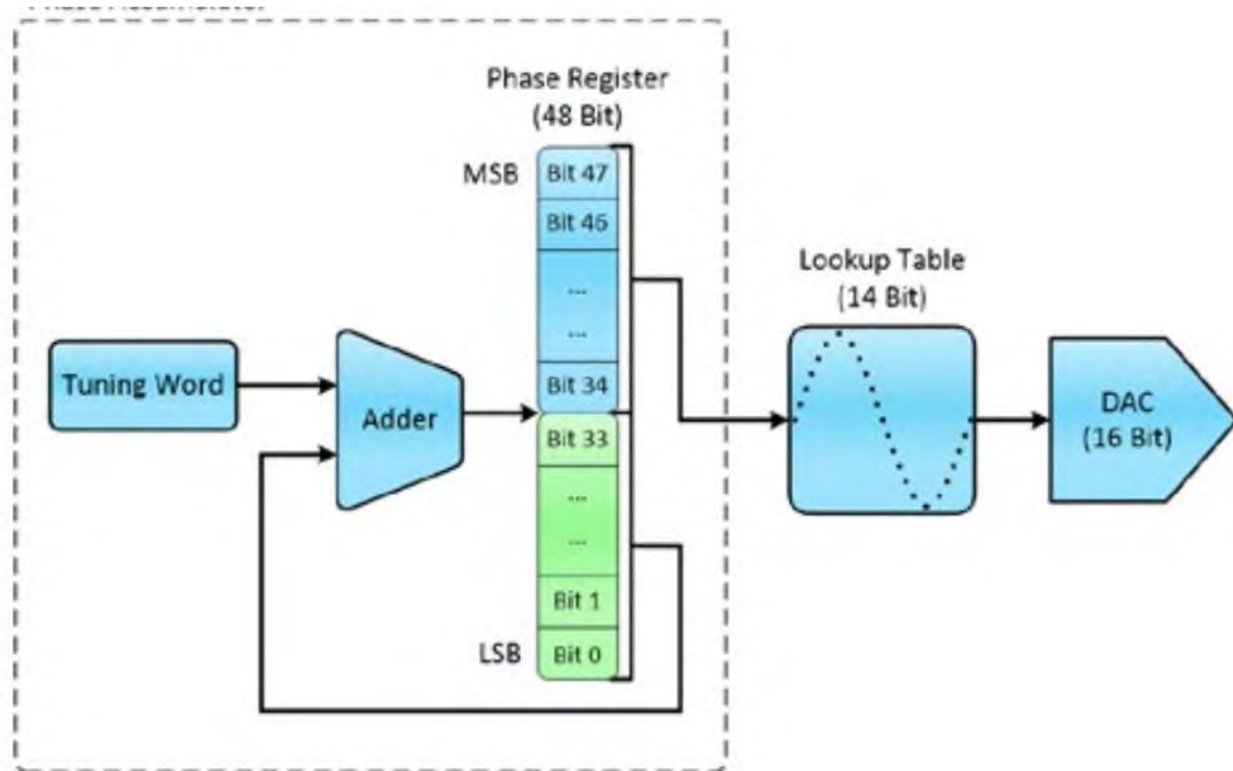


рис. 2.2 - Блок-схема обладнання для архітектури DDS

### а. Опорний годинник

Опорний або еталонний годинник використовується для створення налаштувань частоти, оновлення значення фазового акумулятора і керування цифро-аналоговим перетворенням. Опорний годинник визначає, коли зразок виводиться ЦАП, але він не визначає безпосередньо частоту вихідного сигналу.

## в. Фазовий акумулятор

Фазовий акумулятор являє собою набір компонентів, що дозволяє генератору функцій або AFG виводити сигнал з точною частотою. Для створення сигналу з точною частотою акумулятор фази використовує три загальні компоненти. Спочатку акумулятор фази використовує налаштування для визначення частоти сигналу. налаштування – це від 24 - до 48-біт завдовжки цифрове слово, яке вказує, скільки зразків має перейти в пам'ять форми сигналу. Другий компонент, суматор, приймає слово налаштування і підсумовує його для залишку регістра фази. Це нове цифрове значення виводиться в регістр фаз. Кінцевий компонент фазового акумулятора, регістр фаз, приймає нове цифрове слово і використовує його для визначення адреси пам'яті наступної точки вибірки, що виводиться в таблиці пошуку. Регістр фаз приймає решту найбільш значущих бітів, які не використовуються в адресі пам'яті таблиці пошуку, і забезпечує їх назад до суматора, щоб забезпечити точну частоту з плином часу.

## с. Таблиця пошуку

Вихідний сигнал фазового регістра виглядає як цифровий пандус, оскільки розмір адреси пам'яті збільшується з плином часу, що змінюється зі швидкістю, заданою словом налаштування. Таким чином, для виведення потрібної форми сигналу, вихід фазового регістра вказує на необхідну адресу вибіркової форми у таблиці пошуку. Таблиця пошуку потім надає цифрове слово на задану адресу пам'яті, яка є цифровим словом правильної амплітуди і фази для виробництва ЦАП. Частота спритність, або можливість змінювати частоту сигналу дуже швидко і безперервно, одна основних переваг архітектури DDS. AFG за допомогою DDS може дуже швидко змінювати частоту сигналу, оскільки для зміни частоти сигналу потрібно змінити лише слово налаштування

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	ст
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		39

## Загальний хід роботи

Як обговорювалося вище, технологія DDS забезпечує дві основні переваги. Однією з основних переваг технології DDS є частотна точність генерованого сигналу. Ця можливість відкриває двері до надзвичайно точного тестування компонентів, тому що можна покластися на точність частоти генератора функцій або сигналу, створеного АФГ. Це дозволяє проводити більш ефективно тестування компонентів на певних діапазонах, оскільки ви можете швидко реалізувати зміну частоти, а також пристрої для тестування на стрес, натискаючи на межі сигналу, який вони надають тесту. є точна характеристика фільтра. Характеристика фільтра є точною, якщо сигнал, що подається на фільтр, генерується саме АФГ, і якщо фільтрований сигнал точно вимірюється осцилографом. На малюнку 3 представлена типова установка для тестування характеристик фільтрів.

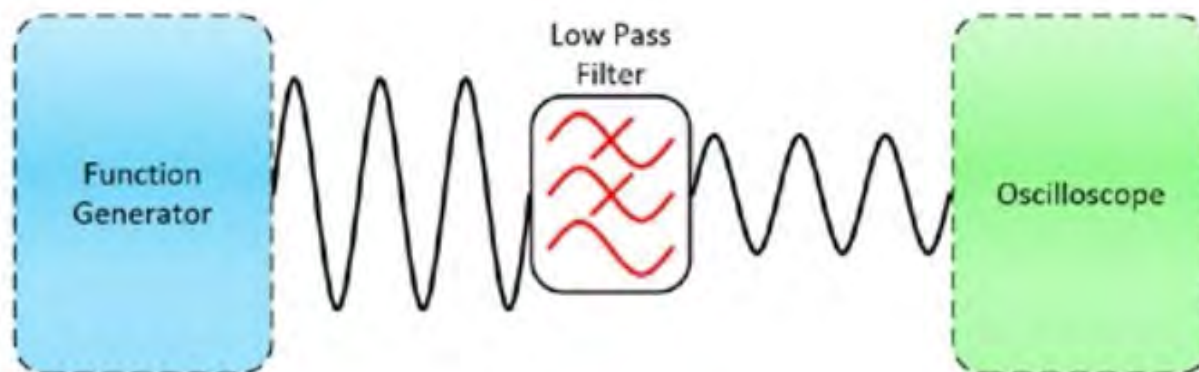


рис. 1.14 - Блок-схема діаграми використання прикладних характеристик фільтрів з функціональним генератором DDS, фільтром низьких частот і осцилографом

## Підсумок

Генератори сигналів без технології DDS виробляють сигнали шляхом виведення збереженої форми хвилі за точкою на частоті зразка годинника.

Генератори сигналів з технологією DDS можуть виробляти періодичні форми сигналу на багатьох частотах з екстремальною точністю частоти. Це пов'язано з унікальним доступом до пам'яті і механізмом синхронізації.

Технологія DDS реалізована з трьома апаратними блоками більш високого рівня: годинником зразка, акумулятором фази і таблицею пошуку.

Зразок годинника створює слово налаштування частоти, оновлює значення фазового акумулятора і спрацьовує швидкість виходу ЦАП

Фазовий акумулятор приймає слово налаштування частоти в якості вхідного сигналу і надає цифрову адресу пам'яті наступного зразка для виведення в таблицю пошуку.

Таблиця пошуку зберігає періодичні форми сигналу як цифрові вибірки. Таблиця пошуку приймає адресу пам'яті з фазового акумулятора і надає зразку цифрової форми сигналу на цю адресу пам'яті ЦАП.

Генератори сигналів з технологією DDS повинні використовуватися для додатків, які вимагають точної генерації частоти або швидкості частоти.

Програми, що вимагають надзвичайно великих, складних і визначених користувачем сигналів, можуть краще обслуговуватися генераторами сигналів довільної форми замість генераторів довільних функцій з технологією DDS.

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	ст
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		41

### 3. Постановка завдання

На сьогодні відомі серійні, багатофункціональні вихрострумові дефектоскопи, на базі сучасних DSP процесорів, але вони мають високу вартість, великі габарити та енергоспоживання.

Завданням цієї дипломної роботи є можливість створення вихрострумового дефектоскопу, точність якого не буде поступатися існуючим, але вартість та енергоспоживання будуть значно меншими. Був обраний накладний трансформаторний вихрострумний датчик, яким пропонується контролювати провідність сталевих матеріалів. Також у ході роботи виконати симуляцію всієї системи у середовищі LabView.

#### Розробка функціональної схеми

Функціональна схема ВД представлена на рис. 3.1

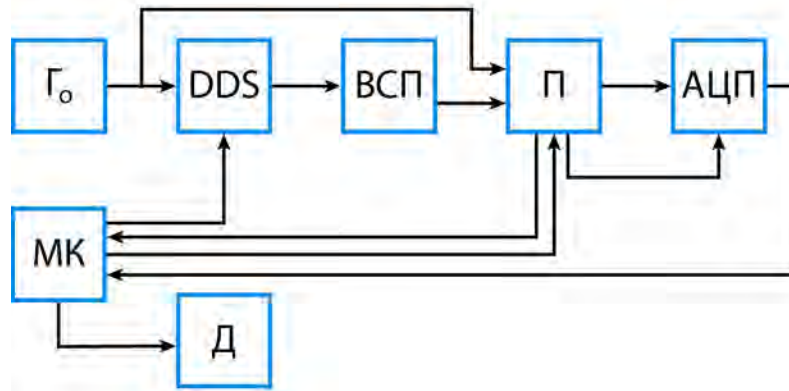


Рис.3.1. Схема вихрострумного дефектоскопу:  $\Gamma_0$  – опорний генератор, DDS – синтезатор частоти, ВСП – вихрострумний перетворювач, П - програмований синхронний демодулятор, АЦП - аналого-цифровий перетворювач, МК – мікроконтролер, Д - дисплей.

Вихрострумний дефектоскоп працює наступним чином. За допомогою мікроконтролера програмно задаються сигнали із заданими частотами та



фазами на виході синтезатора частоти та програмується синхронний демодулятор 5 так, щоб сигнал з його виходу був постійного

струму (був пропорційним і визначався фазою і амплітудою інформаційного сигналу на виході вихрострумowego перетворювача). Як програмований синхронний демодулятор може бути вибрана мікросхема ADA2200 фірми Analog Devices. Сигнал заданої частоти з виходу синтезатора частоти надходить на вихрострумовой перетворювач, який взаємодіє з об'єктом контролю. Амплітуда і фаза на виході вихрострумowego перетворювача буде залежати від параметрів об'єкта контролю, а також від наявності в ньому дефектів. Сигнал з виходу вихрострумowego перетворювача потрапляє до інформаційного входу програмованого синхронного демодулятора, на другий опорний імпульсний вхід програмованого синхронного демодулятора подається сигнал з виходу опорного генератора імпульсів 1 значно вищої але кратної частоти, яка за допомогою програми мікроконтролера формує відфільтрований високостабільний у вигляді послідовності 8ми (або 4) рівновіддалених в часі сходинок, формуючих синусоїдальний сигнал, який перемножується зі сформованим всередині синхронного демодулятора опорним сигналом такої ж частоти. І на виході отримуємо відфільтровану постійну складову пропорційну амплітуді і фазі вимірювального сигналу, а також вихідні синхросигнали з програмованою затримкою для запуску АЦП. За допомогою мікроконтролера здійснюється зміна початкової фази сигналу синтезатора частоти шляхом введення коду, у відповідний регістр цього синтезатора до того часу, поки значення амплітуди (значення коду) на виході аналого-цифрового перетворювача не буде максимальною. Максимальне значення амплітуди на виході аналого-цифрового перетворювача (АЦП) яке аналізується мікроконтролером, буде свідчити про повну компенсацію зсуву фаз сигналу на виході

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	ст
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		43

вихрострумowego перетворювача 4. Таким чином, за значенням максимальної амплітуди на виході аналого-цифрового перетворювача буде визначатись амплітуда інформаційного сигналу на виході вихрострумowego перетворювача , а код компенсації фази, що подається на синтезатор частоти , з мікроконтролера (при якому значення амплітуди досягає максимуму), буде визначати значення зсуву фаз інформаційного сигналу на виході вихрострумowego перетворювача при знаходженні дефекту. Як впливає з вищесказаного, фактично, при вимірюванні зсуву фаз в такому випадку реалізується компенсаційний метод виміру, який являється найбільш точним. При вимірюваннях амплітуди використовується програмований синхронний демодулятор , що дозволяє отримати на виході в час запуску АЦП сигнал постійної напруги, який є пропорційний лише першій гармоніці тестового сигналу, оскільки інші гармоніки відфільтровуються. Тобто використання програмованого синхронного демодулятора дозволяє суттєво підвищити завадостійкість і стабільність при вимірюванні амплітуди і фазового зсуву. Використання одного високостабільного опорного генератора синхроімпульсів як для синтезатора, так для програмованого синхронного демодулятора, а також синхронний запуск АЦП робить можливим прецизійне і не залежне від часу вимірювання фазового зсуву сигналів вихрострумowego перетворювача. Через дисплей виводимо і

Як синтезатор частоти може бути використана, наприклад: мікросхема AD9834, що реалізує метод DDS, яка має дуже малі розміри та вживає енергії менше 20 мВт, а як програмований синхронний демодулятор - мікросхема ADA2200, яка вживає енергії менше 5 мВт.

## 4. Розрахункова частина

### Розрахунок вихрострумowego перетворювача

Для розглянутого у цій роботі дефектоскопу було вирішено використовувати трансформаторний ВСП.

При піднесенні трансформаторного ВСП до ОК, окрім індуктивності та активного опору, також змінюється взаєміндуктивність  $M$  між обмотками і, як наслідок, змінюється модуль напруги на обмотках, а через затримку в часі змінюються і їх фази. За зміною цих параметрів і можна судити про властивості ОК, що обумовлює велику інформаційну цінність використання такого типу ВСП. До того ж, як правило, параметри трансформаторних ВСП мають більшу стабільність і менше залежать від сторонніх чинників.

Для практичних інженерних розрахунків зручно виділити дві складові частини напруги: початкова напруга котушки при відсутності ОК та вносима напруга, яка визвана появою ОК в вимірювальній зоні ВСП. Відомі параметри для розрахунків:

питома електропровідність  $\sigma = 59.75 \cdot 10^6$  См/м

магнітна стала:  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$

Розрахуємо узагальнений параметр  $\beta$

$$\beta = R \sqrt{\omega \mu \mu_0 \sigma}$$

де  $R$  - радіус еквівалентного витка обмотки ВТП,  $\omega$  - кругова частота струму обмотки збудження,  $\mu_0$  - абсолютна магнітна проникність середовища,  $\sigma$  - питома електрична провідність середовища.

$$\beta = 2.9805$$

За допомогою довідникової літератури дізнаємося табличні значення ефективної електропровідності  $\mu_{\text{еф}}$  для узагальненого параметра  $\beta$

$$\mu_{\text{еф}} = 0.499 - 0.36i$$

					ПК51.11.0000.000 ПЗ	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

Далі визначаємо відносну внесену напругу

$$U_{\text{вн}} = i * \eta(1 - \mu_{\text{эф}}) = -0.2088 + 0.2906i$$

$$|U_{\text{вн}}| = 0.3578 \text{ В}, \varphi = 125.7$$

Де  $\eta$  – коефіцієнт заповнення, який дорівнює 0.58

Тепер з конструктивних міркувань оберемо кількість витків збуджувальної та вимірювальної котушок а також діаметр проводу для цих котушок:  $W1 = 300$ ,  $W2 = 700$ .  $d1 = 0.120$  мм  $d2 = 0.075$  мм.

Визначимо опорну та абсолютну внесену напругу.

$$U_0 = 0.5 * \pi^2 * a * f * \mu_0 * W1 * W2 * I * \frac{D^2}{\eta * l * 10^{-3}} = 0.3045 \text{ В}$$

$$U_{ab} = U_{\text{вн}} U_0 = -0.0636 + 0.0885i$$

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	СТ
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		46

## 4.2 Розрахунок АЦП

Одією з найважливіших частин розробки пристрою є розрахунок АЦП. комп'ютери вимагають щоб інформація приходила до них у цифровому вигляді, тому якщо на вхід посилається аналоговий сигнал, як наприклад сигнал з ВСП, то необхідно використовувати аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Такі присторої можуть приймати на вході аналогові сигнали, як наприклад струм, а на виході оцифровувати цей сигнал і подавати його у в бінарному форматі зрозумілому для комп'ютера.

Для розрахунку АЦП в першу чергу необхідно визначитися з класом точності:

$$\frac{c}{d} = \frac{0.05}{0.02}$$

Після визначення класу точності розрахуємо розрядність АЦП

$$n = \left\lceil \log_2 \frac{c}{100} \right\rceil = 11$$

Рохрауємо частоту дискретизації, а для забезпечення надійності результатів введемо коефіцієнт замасу  $K_z = 1.85$

$$f = 2 * K_z * f_v$$

Де  $f_v$  – верхня частота обмеженого спектра вхідного сигналу.

звідси маємо частоту дискретизації  $f = 1000$  Гц а час циклу дискретизації 1мкс.

					ПК51.11.0000.000 ПЗ	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

### 4.3 Розрахунок похибок

Для приладу який розглянуто у цій роботі будек достатньо розрахунку середньоквадратичної похибки.

Розрахунок похибки для АЦП:

$$\sigma_A = \frac{\Delta}{U_H} * 100\% = 0.027\%$$

Похибка від генератора напруги:  $\sigma_\Gamma = 0.001\%$

Похибка від операційого підсилювача:  $\sigma_{ОП} = 0.01\%$

Похибка від вимірювального підсилювача:  $\sigma_{ВП} = 0.01\%$

Похибка фазового детектора:  $\sigma_\Phi = 0.6\%$

Середньоквадратича похибка дорівнює:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_\Gamma^2 + \sigma_{ОП}^2 + \sigma_\Phi^2 + \sigma_A^2} = 0.601\%$$

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	СТ
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		48

## 5. Підбір компонентів

Підбір компонентів для приладу був виконаний на основі проведених розрахунків та структурної схеми.

В основі приладу буде плата ARM Cortex-M3 STM32F103C8T6 STM32 Minimum System Development Board. Хоча і можна знайти більш дешевший варіант (ціна цього мікроконтролера складає 147 гривень, або 5.68 долларів США), проте цю модель легко дістати на території України а також він вже має вбудований USB порт, що значно спрощує експлуатацію приладу, його програмування та дозволяє підключати дефектоскоп на його основі безпосередньо до комп'ютера для подальшої обробки інформації.

Як синтезатор частоти може бути використана, наприклад: мікросхема AD9834, що реалізує метод DDS, яка має дуже малі розміри та вживає енергії менше 20 мВт.

Як програмований синхронний демодулятор - мікросхема ADA2200, яка вживає енергії менше 5 мВт.

У якості дисплея вибір пав на Arduino OLED дисплей 0.96" I2C 128x64

					ПК51.11.0000.000 ПЗ	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		49

**Огляд компонентів**  
**ARM Cortex-M3 STM32F103C8T6 STM32 Minimum System**  
**Development Board**



рис.5.1 – зовнішній вигляд плати

Плату ARM Cortex-m3 stm32f103c8t6 STM32 застосовують, коли потрібно створювати проекти з мікроконтролерами. Плата є гідною і навіть більш якісною альтернативою платформі Arduino, але для використання даної плати необхідно володіти більш високим рівнем початкових знань. Однак для досвідченого розробника цей товар безцінний.

Перш ніж приступити до використання контролера, його потрібно підключити до ПК кабелем USB-miniUSB (кабелю немає в комплекті поставки). Після підключення на платі контролера спалахне світлодіод D1 червоного кольору. Комп'ютер визначить контролер в якості сумісного HID-пристрою. Оскільки функція підтримки USB у контролера є виключно апаратної (до восьми ендпойнтів), Вам не доведеться ставити ніякі

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		50



драйвери. Як тільки Ви виявите наявність контролера в списку активного обладнання, куди його додасть сам ПК, потрібно установка лише комп'ютерної програми, яка дозволить працювати з контролером - наприклад, «EmBlok».

Скориставшись інтерфейсом UART або JTAG, Ви можете виробляти перепрограмування мікроконтролера.

Керують контролером через комп'ютер з використанням інтерфейсу USB і спеціалізованих програм. Кнопка S1, розташована на контролері, дозволяє перезавантажувати і скидати параметри, будучи аналогом Reset. Плата контролера обладнана також джампером P2, який включає і вимикає USB-інтерфейс. Крім цього, плата оснащена джамперами BOOT0 і BOOT1 - то, в якому становищі вони знаходяться, впливає на режим завантаження контролера і управляє входом в бутлоадер.

Плата ARM Cortex-m3 stm32f103c8t6 STM32 може похвалитися наявністю інтерфейсів і роз'ємів, що дозволяють підключити її не тільки до ПК, але і до отладочної платі та іншим периферійних пристроїв (дисплея, датчику, драйверу, модулю, реле і т.д.). Для підключення до ПК досить стандартного USB-інтерфейсу зі специфікацією USB 2.0 і роз'ємом mini-USB. А ось для під'єднання контролера до отладочної платі доведеться скористатися інтерфейсом JTAG зі стандартним десятипіновим роз'ємом JTAG / SWD. Підключення зовнішніх периферійних пристроїв з використанням портів введення і виведення здійснюється за рахунок основних інтерфейсів, розташованих з лівого і правого боків плати, а також за рахунок висновків GND і харчування. З лівого боку: два висновки 3.3, PA0-PA7, PB0-PB2, PB10-PB14, PA8, PB15, RX, TX, два висновки GND. З правого боку: два

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	ст
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		51

висновки 3.3, PD1, NST, PC15, PD0, PC13, PC14, PB9, VBAT, BT0, PB8-PB5, PA15, PB3, PA13, PA14, PA11, PA12, два висновки GND.

Наявність інтерфейсу USART дозволяє перепрограмувати мікроконтролер і підключати сумісні пристрої. Контакти позначені як 5V, TX, RX і GND.

Плата отримує харчування або від комп'ютерного порту USB, або від зовнішнього джерела. Напруга живлення становить від 2,7 до 3,6 В, але за рахунок встановленого на платі стабілізатора на 3,3 В допускається використання напруги живлення до 5 В.

Характеристики:

виробник: ST Microelectronics Ink .;

серія: STM32;

архітектура мікроконтролера: ARM® Cortex-M3™;

розрядність ядра: 32 біт;

швидкість: 72 МГц;

типи підключення: CAN, I<sup>2</sup>C, IrDA, LIN, SPI, UART / USART, USB;

периферія: DMA, Motor Control PWM, PDR, POR, PVD, PWM, Temp Sensor, WDT;

Піни загального призначення GPIO: 26 шт .;

Піни ШІМ: 12;

входи АЦП: 6 (12-бітний, 1 мкс);

обсяг програмованої пам'яті: 64 Кбайт;

тип програмованої пам'яті: флеш;

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	СТ
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		52

обсяг пам'яті (RAM): 20 Кбайт;

корпус мікроконтролера: LQFP48;

підключення до комп'ютера: USB 2.0 FS (FullSpeed - 12 Мбіт);

перепрограмування через: JTAG, UART;

напруга живлення мікроконтролера: від 2,7 до 3,6 В;

напруга живлення плати: від 2,7 до 5 В;

розміри (довжина, ширина і висота): 5,3 x 3,6 x 1,2 см;

вага: 15 м

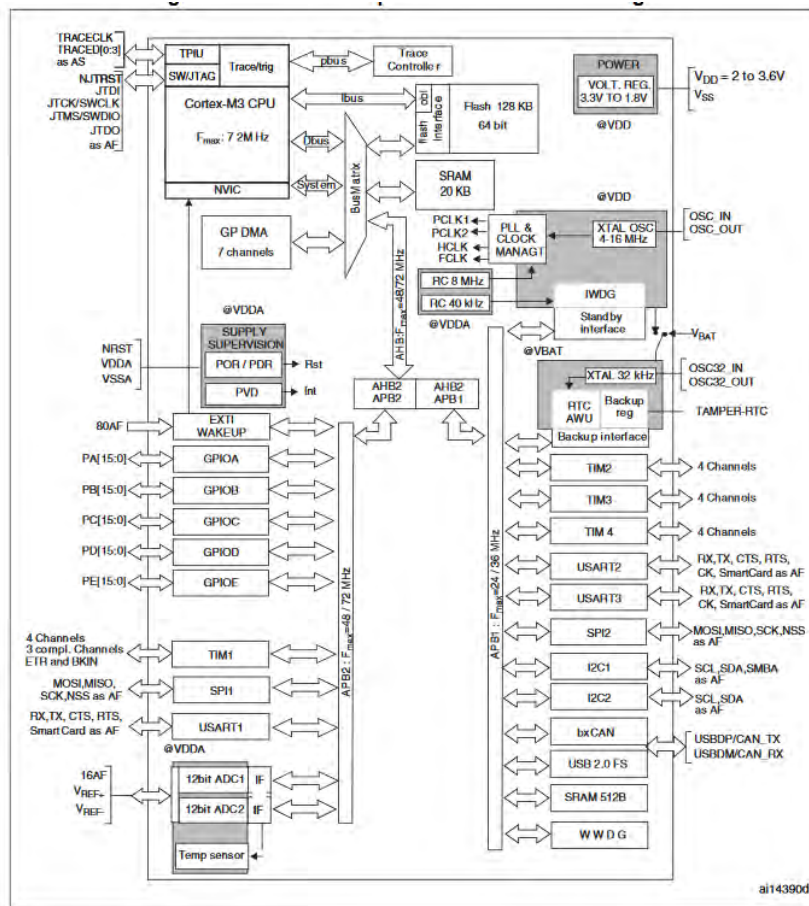
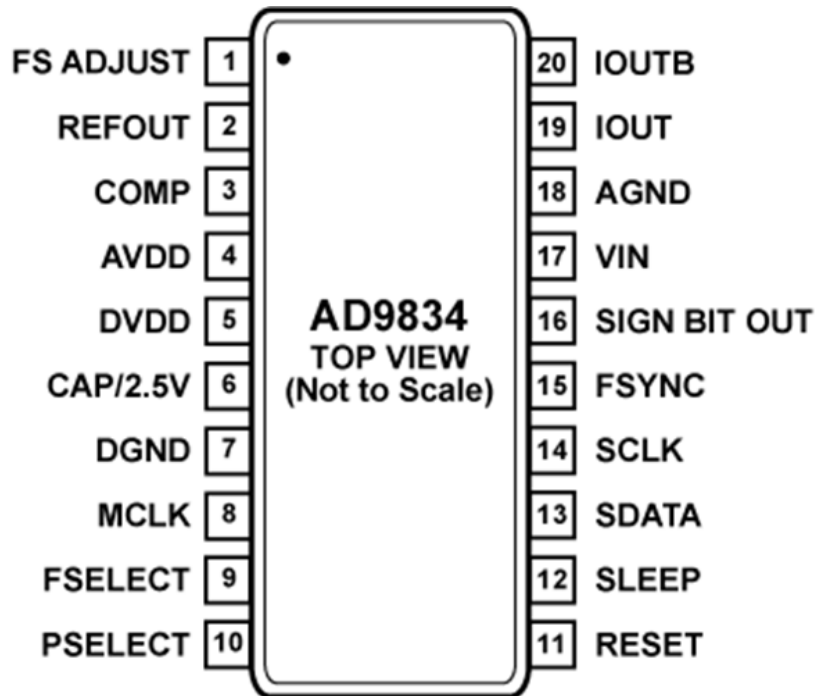


рис. 5.2 – принципова схема роботи мікроконтролера

## AD9834



02705-006

### 20-LEAD THIN SHRINK SMALL OUTLINE PACKAGE [TSSOP] (RU-20)

AD9834 - це малопотребляючий синтезатор прямого цифрового синтезу (DDS, direct digital synthesis), здатний формувати синусоїдальні і трикутні вихідні сигнали з високою якістю. Він також має інтегрований компаратор, який дозволяє формувати прямокутні коливання, які використовуються в якості тактових сигналів. AD9834 споживає всього 20 мВт при напрузі живлення 3 В, що робить його ідеальним кандидатом для додатків, де потрібно знижене енергоспоживання.

Компонент має можливість модуляції фази і частоти. Регістри частоти мають розрядність 28 біт; при частоті тактового сигналу 75 МГц може бути досягнуто дозвіл настройки по частоті 0.28 Гц. При частоті тактового сигналу 1 МГц дозвіл налаштування AD9834 становить 0.004 Гц. Модуляція частоти і фази здійснюється шляхом запису в регістри через послідовний

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		54

інтерфейс і перемикання активних регістрів програмно або за допомогою висновків FSELECT і PSELECT, відповідно.

Запис даних в AD9834 здійснюється через трехпроводний послідовний інтерфейс, який працює з частотою тактового сигналу до 40 МГц і сумісний зі стандартними портами цифрових сигнальних процесорів і мікроконтролерів.

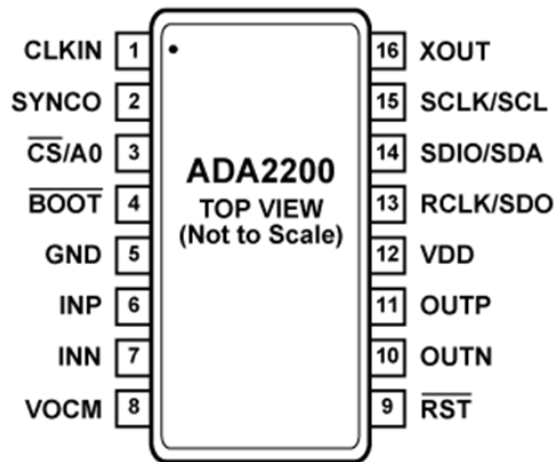
Компонент працює з напругою живлення в діапазоні від 2.3 В до 5.5 В. Аналогова і цифрова частини компонента незалежні і можуть працювати від різних напруг живлення: наприклад, AVDD може дорівнювати 5 В, а DVDD - 3 В.

AD9834 має висновок перемикання в режим зниженого енергоспоживання (SLEEP) зовнішнім сигналом. Харчування окремих частин компонента, які не використовуються в окремо взятий момент часу, може бути відключено для мінімізації струму, споживаного компонентом. Так, наприклад, при формуванні тактового сигналу можна відключити харчування ЦАП.

AD9834 випускається в 20-вивідному корпусі TSSOP.

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	ст
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		55

## ADA2200



### 16-LEAD THIN SHRINK SMALL OUTLINE PACKAGE [TSSOP] (RU-16)

ADA2200 є синхронним демодулятором і налаштованим аналоговим фільтром, призначеним для вимірювання величини та фази точністю при застосуванні сигналів малої потужності, сигналу сенсора та збору даних для промислового, медичного та комунікаційного ринків. Реалізована за допомогою аналогової технології (SAT), що знаходиться в стані очікуваної вибірки ADI, ADA2200 є аналоговим входом, аналоговим вихідним пристроєм, що включає аналоговий домен, фільтр нижніх частот 1 / 8х децимації кінцевих імпульсних характеристик (FIR), настроюваний нескінченний імпульсний відгук ( IIR) фільтр, змішувач з вибором фаз 0 ° / 90 °, вихідний годинник і вихідний драйвер АЦП. Використовуючи аналогову технологію вибірки, обробка сигналу виконується повністю в аналоговому домені за допомогою розподілу заряду між конденсаторами, що виключає вплив шуму квантування та помилок округлення і зменшує частоту дискретизації АЦП, а також вивантажує важливі завдання з цифрового процесора або мікро- контролера.

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	СТ
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		56

ADA2200 діє як фільтр точності, коли функція демодуляції відключена. Фільтр має програмовану смугу пропускання і настроювану центральну частоту. Характеристики фільтрів мають високу стабільність при температурі, подачі та відхиленні процесу.

Інтерфейси однофазного і диференціального сигналів можливі як на вхідних, так і на вихідних клеммах, що спрощує підключення до інших компонентів сигнального ланцюга. Низьке споживання електроенергії та експлуатація залізничних колій ідеально підходять для систем з батареєю та низькою напругою.

ADA2200 можна запрограмувати через свій SPI-сумісний послідовний порт або автоматично завантажувати з EEPROM через інтерфейс I2C. Генерація тактових частот виробляє сигнал змішування з програмованою частотою і фазою. Крім того, вихідний сигнал синхронізації ADA2200 полегшує взаємодію з іншими вибірконими системами, такими як перетворювачі даних і мультиплексори.

ADA2200 доступний у пакеті TSSOP з 16 напрямками. Його продуктивність визначається в промисловому діапазоні температур від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ . Зауважимо, що у всьому цьому технічному описі багатофункціональні штифти, такі як SCLK / SCL, називаються або повним назвою або однією функцією штифта, наприклад, SCLK, коли тільки ця функція є актуальною.

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	ст
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		57

## Arduino OLED дисплей 0.96" I2C 128x64

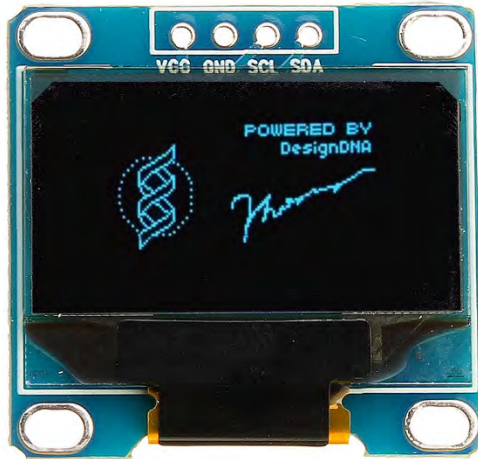


рис. 5.5 – зовнішній вигляд дисплея

Модуль компактного графічного OLED-дисплея на контролері SSD1306 для Arduino, AVR, PIC, STM32 і інших мікроконтролерів.

OLED-технологія дисплея - світлодіоди самі випромінюють світло без додаткового підсвічування: висока якість відображення, хороші кути огляду, мінімальне енергоспоживання

Діагональ екрану: 0.96 "

Дозвіл: 128 x 64

Колір відображення: синій + жовтий

Інтерфейс підключення: I2C

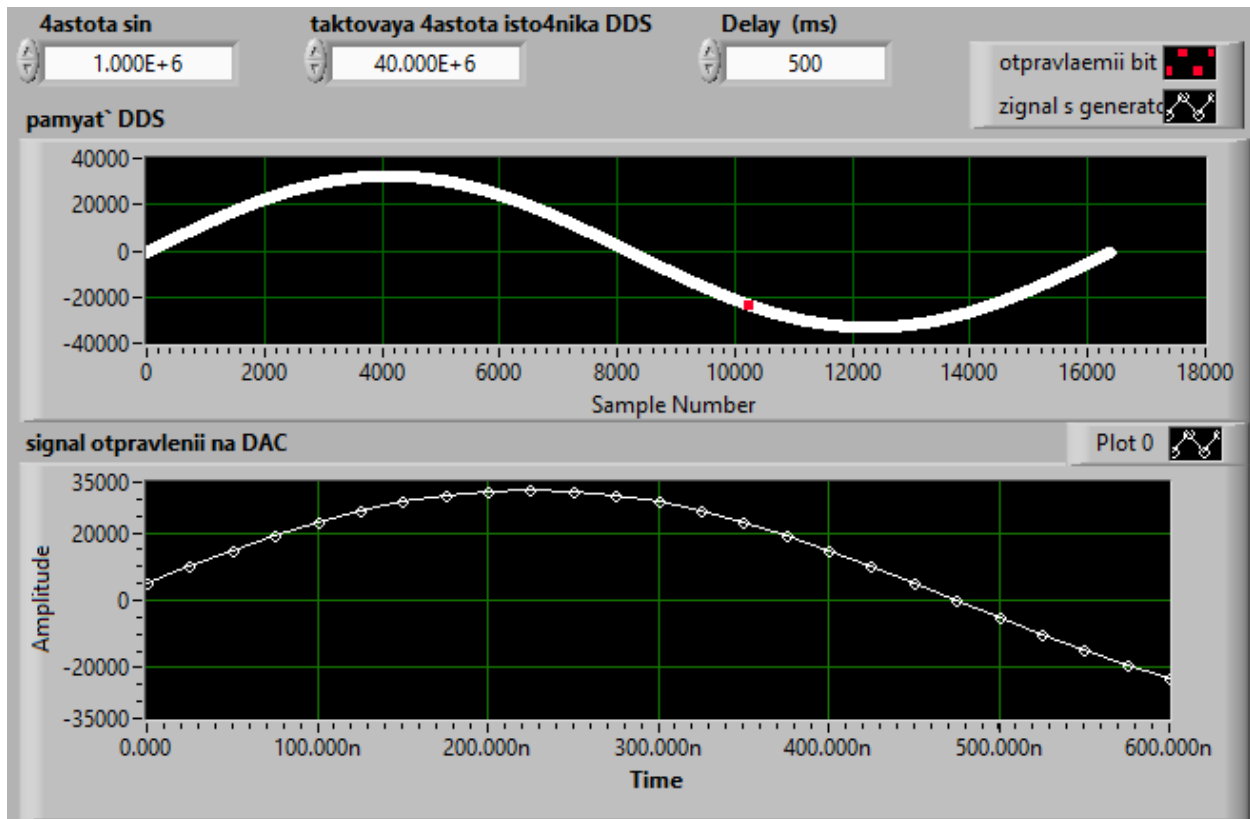
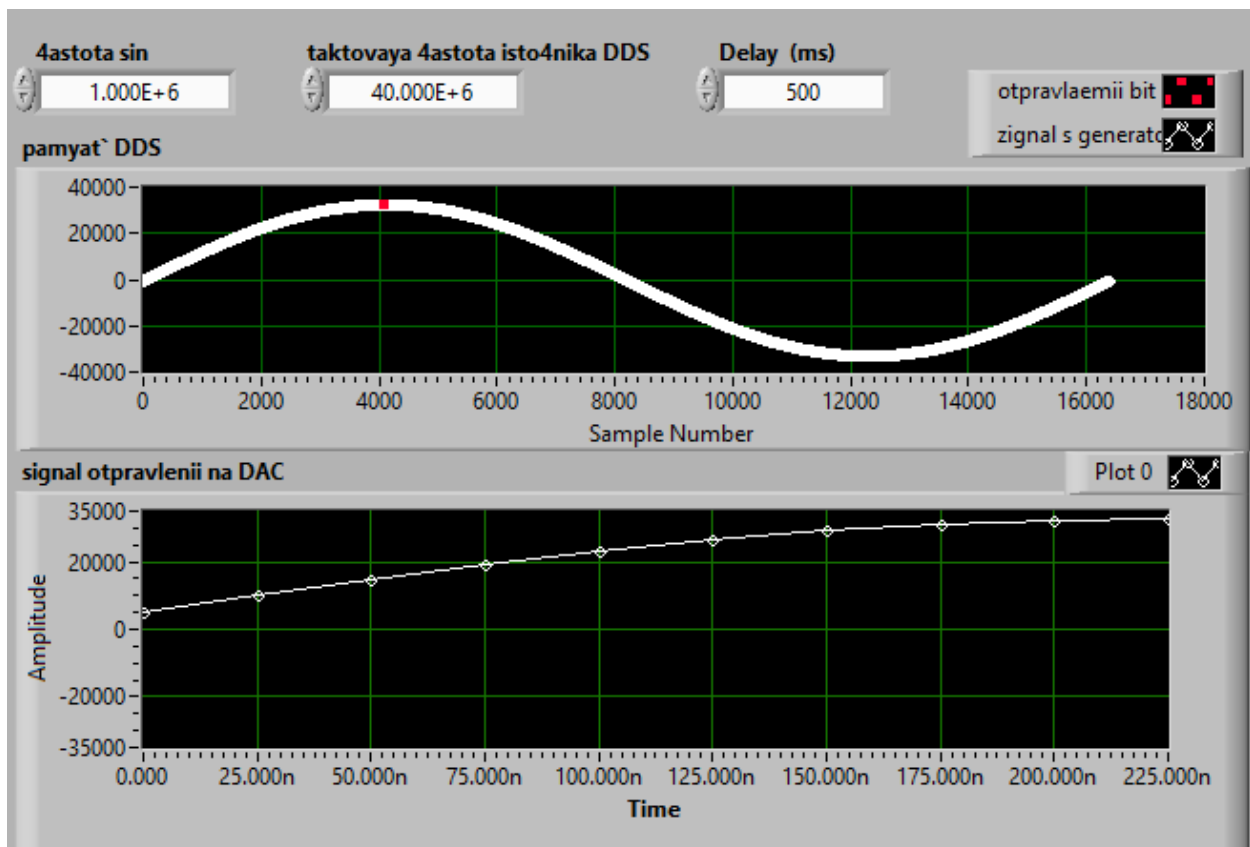
Напруга живлення: 3.3-5 В

Розмір плати: 2.7 x 2.8 см

					ПК51.11.0000.000 ПЗ	СТ
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		58







Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ПК51.11.0000.000 ПЗ

СТ

60

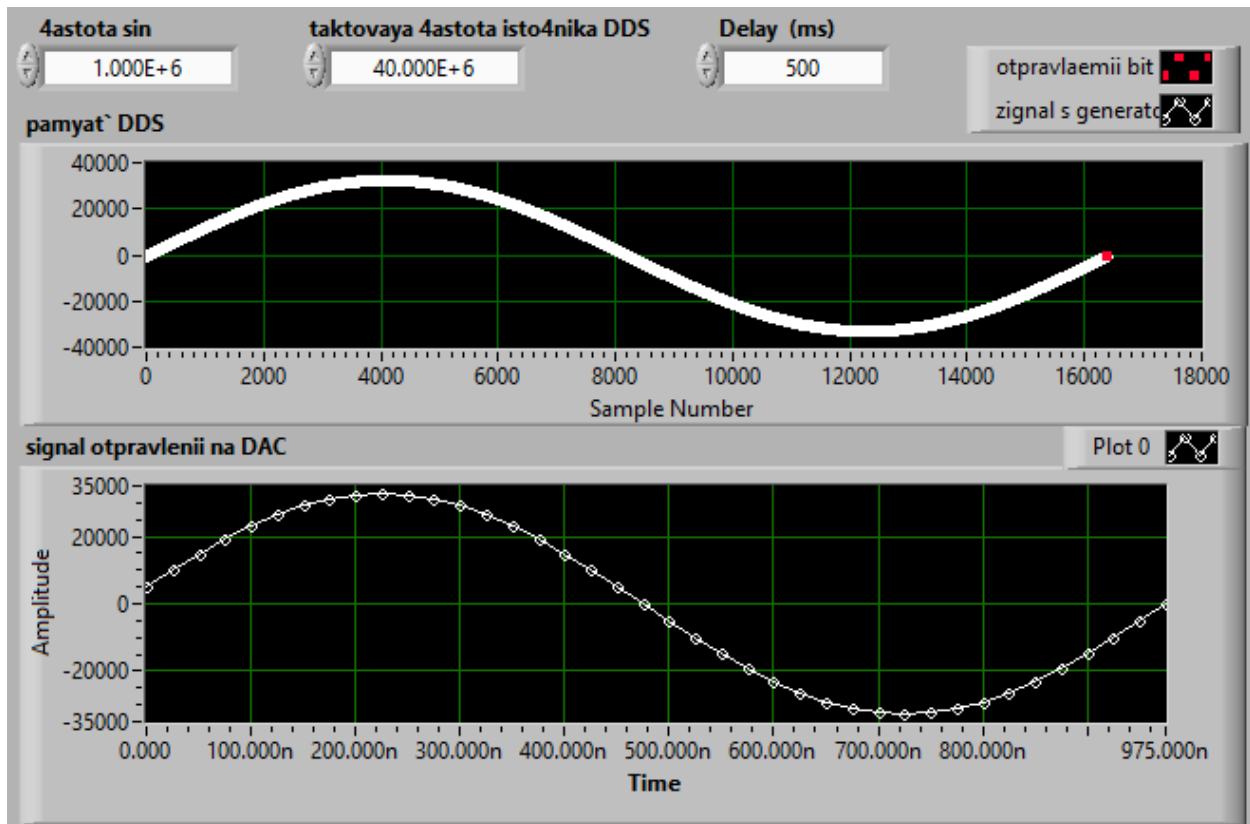


рис. 6.1 – хід роботи синтезатора

## Висновок

Під час ходу виконання цього дипломного проекту були досліджені різноманітні види вихрострумового контролю, його особливості, переваги та недоліки, найпоширеніші види конструкцій вихрострумових перетворбвачів та їх застосування, існуючі способи виділення корисної інформації із сигналу ща надходить з ВСП.

На основі цих даних було розроблено структурну та функціональну схеми дефектоскопу, який реалізує сучасний метод виділення корисної інформації при вихрострумовому контролі але при цьому майже не поступається характеристиками сучасним серійним аналогам маючи при цьому набагато меншу вартість та споживання енергії.

					ПК51.11.0000.000 ПЗ	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		62

### Список використаної літератури:

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В.Клюева. Т. 2: В 2 кн.: Вихретоковый контроль/ Ю.К.Федосенко, В.Г.Герасимов, А.Д.Покровский, Ю.Я.Останин. — М.: Машиностроение, 2003. — 688 с.: ил. Ермолов И. Н., Останин Ю. А. Методы и средства неразрушающего контроля качества. — М.: Высшая школа, 1988. — 368 с.
2. Герасимов В. Г., Клюев В.В., Шатерников В.Е. «Методы и приборы вихретокового контроля промышленных изделий». М.: Энергоатомиздат, 1983. 242с.
3. Власов К.В., Бобров А.Л. Основы вихретокового неразрушающего контроля, Учебное пособие. — Новосибирск: Сибирский государственный университет путей сообщения, 2015. — 54 с.
4. Троицким В.А. Вихретоковий контроль. Учебное пособие / В. А. Троицкий. -К.:— «Феникс». - 2011. - с. 148.
5. Цифровий багатofункціональний вихрострумoвий дефектоскоп. Патент України на корисну модель № 45908 МПК G01N27/00 від 25.11.2009. Бюл.№14 Баженов В.Г., Климашевская В. М., Гльойнік К.А..
6. Ева Мёрфи, Колм Слэттери. Всё о синтезаторах DDS “Компоненты и Технологии”, №1, 2005.
7. Неразрушающий контроль. В 5кн. Кн.3. Электромагнитный контроль: Практ. Пособие/ В. Г. Герасимов, А. Д. Покровский, В. В. Сухоруков; Под ред. В. В. Сухорукова, -М.; Высш. Шк.,1992.-312с.; ил.
8. Контроль неруйнівний. Терміни та визначення. – ДСТУ 2865-94. – К., 1994. – 55 с.

					ПК51.11.0000.000 ПЗ	ст
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		63

9. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник /Под ред. Клюева В.В.– М.: Машиностроение,2005. –656с.

10. Неразрушающий контроль: Справочник: в 8 т./Под общ.ред. В.В.Клюева. Т.2: В 2 кн. Кн.1: А.И.Евлампиев, Е.Д.Попов,С.Г.Сажин, Л.Д.Муравьева.

					<i>ПК51.11.0000.000 ПЗ</i>	СТ
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпис</i>	<i>Дата</i>		64

## ***ДОДАТКИ***

## **Технічне завдання**

### **1. Найменування приладу.**

„Вихрострумний дефектоскоп на базі синтезаторів частоти”.

### **2. Мета виконання дипломного проекту та призначення приладу.**

Розробка приладу для вимірювання параметрів феромагнітних матеріалів

### **3. Передумови для розробки приладу.**

Дана розробка виконується відповідно до тематики дипломного проектування, затвердженої кафедрою приладів та систем неруйнівного контролю приладобудівного факультету НТУУ „КПІ”.

### **4. Вимоги до технічних характеристик.**

Основні параметри:

Тип перетворювача - трансформаторний;

Границя допустимої основної похибки – не більше 2%;

### **5. Робочі умови експлуатації приладу.**

Номінальне значення кліматичних факторів відповідно до ДСТУ 12.005-88:

температура навколишнього середовища -10...40°C;

відносна вологість 65% при температурі навколишнього середовища 20±5°C;

атмосферний тиск 750±30 мм.рт.ст.

### **6. Вимоги до конструкції приладу.**



Система повинна зберігати працездатність й свої параметри відповідно до ДСТУ 17516-72.

6.1. Конструкція системи повинна забезпечувати зручний доступ до всіх елементів, вузлів та блоків, які потребують замін в процесі експлуатації.

6.2. Система повинна мати мінімальну необхідну кількість органів управління, регулювання та керування:

6.2.1. органи багаторазового або частого використання повинні знаходитись на передній панелі керування системою

6.2.2. органи, які використовуються для одноразового налагодження системи або зміна положення яких є небажаною, мають бути розташовані всередині загального корпусу системи або на задній малодоступній панелі.

6.3 використані покупні вироби та матеріали під час випробування системи повинні мати невикористаний ресурс, термін служби та термін схоронності яких не менше ресурсу й терміну служби системи.

## **7. Стандартизація та уніфікація.**

До системи повинна бути прикладена експлуатаційна документація відповідно до ДСТУ 25565-94.

## **8. Вимоги до техніки безпеки.**

10.1. Вимоги до безпеки конструкції, електробезпеки керування та обслуговування системи повинні відповідати ДСТ 122007-75 та ДСТУ 123019-80.

10.2. Середній час без відмовлень роботи системи, повинен бути не менше 500 годин

## **11. Строк зберігання, служби та технічний ресурс**

11.1. Прилад повинен витримувати зберігання протягом 3 років.

11.2. Строк служби 5 років.

11.3. Технічний ресурс 1000 год.