

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

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Киричук Ю.В.

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

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

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

**на тему: «Ультразвуковий прилад для автоматизованого контролю товщини
стальних листів»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ПК-91

Фартушний Владислав Сергійович _____

Керівник:

д.п.н., проф. Протасов Анатолій Георгійович _____

Рецензент:

д.т.н., проф. Володарський Євген Тимофійович _____

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

Студент _____

Київ – 2023 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	1	
2	A4	ПК91140. 00.000 ПЗ	Пояснювальна записка		
3	A1	ПК91140. 01.000 E2	Структурна схема	1	
4	A1	ПК91140. 02.000 ФЗ	Функціональна схема	1	
5	A1	ПК91140. 03.000 СК	П'єзоелектричний перетворювач	1	
6	A1	ПК91140. 03.000 ПЕ	Принципова електрична схема	1	

				ДП 911400 00.000.00				
	ПІБ	Підп.	Дата	Відомість дипломного проекту				
Розробник	Фаргушний В.С.						Лист	Листів
Керівник	Протасов А.Г.						1	1
Консульт.							КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК Гр.ПК-91	
Н/контр.								
Зав. каф.	Киричук Ю. В.							

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Ультразвуковий прилад для автоматизованого
контролю товщини сталевих листів»

Київ – 2023 року

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

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Фартушний Владислав Сергійович

1. Тема роботи «Ультразвуковий прилад для автоматизованого контролю товщини сталених листів», керівник роботи Протасов Анатолій Георгійович, доктор педагогічних наук, професор, затверджені наказом по університету від «30» травня 2023 р. № 2057-с.

2. Термін подання студентом проєкту 19 червня 2023 року.

3. Вихідні дані до проєкту: товщина сталевих листів – 80мм; характеристики сталі: $C_{ст}=6 \cdot 10^3$ м/с, $\rho_{ст}=8 \cdot 10^3$ кг/м³; характеристики перетворювача: $C_{цтс}=3,3 \cdot 10^3$ м/с, $\rho_{цтс}=7 \cdot 10^3$ кг/м³; частота перетворювача – 2.5 МГц; тип перетворювача – прямий суміщений, діаметр п'єзопластини -16 мм.

4. Зміст пояснювальної записки

Вступ

1. Аналітичний огляд

2. Проектування приладу

Висновки

Список використаних джерел

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) 4 креслиників

1 – Схема електрична структурна

2 – Схема електрична функціональна

3 – Схема електрична принципова

4 – Складальний кресленик

7. Дата видачі завдання 19 березня 2023 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Формулювання завдання проекту	12.02.2023	
2	Проведення аналітичного огляду	18.05.2023	
3	Розрахунок акустичного тракту	21.05.2023	
4	Підбір компонентів	28.05.2023	
5	Розробка креслеників	01.06.2023	

Студент

Владислав ФАРТУШНИЙ

Керівник

Анатолій ПРОТАСОВ

Анотація

В цьому дипломному проекті я розробив прилад автоматизований ультразвуковий товщиномір для контролю товщини сталевих листів.

В першій частині диплома викладено теоретичні основи неруйнівного контролю і ультразвукової товщинометрії. Методи контролю, види перетворювачів, як працює ультразвук і т.д.

В другій частині диплому ми провели розрахунки акустичного тракту, від якого ми могли далі відштовхуватися, для того щоби підібрати компоненти для нашого приладу і скласти структурну схему, функціональну і складальний кресленик.

Вкінці ми зробили висновки, і прийшли до того що на основі цих розрахунків і підібраних компонентів можна скласти реальний прилад.

Annotation.

In this thesis project, I have developed an automated ultrasonic thickness gauge for the thickness control of steel sheets.

The first part of the diploma describes the theoretical foundations of non-destructive testing and ultrasonic thickness measurement. Control methods, types of transducers, how ultrasound works, etc.

In the second part of the diploma, we calculated the acoustic path, from which we could further build on in order to select components for our device and draw up a structural diagram, functional and assembly drawings.

In the end, we drew conclusions and came to the conclusion that based on these calculations and the selected components, we could build a real device.

Оглавление

РОЗДІЛ 1. Аналітичний огляд	11
1.1. Що таке ультразвук.....	11
1.2. Основні параметри ультразвуку	11
1.2.1 Різновиди ультразвукових хвиль	13
1.3. Характеристики випромінювача ультразвуку.....	14
1.3.1 Звукове поле випромінювача.....	16
1.3.2 Випромінювачі ультразвуку	18
1.3.3 Конструкції ультразвукових п'єзоелектричних ПЕП	18
1.4. Методи УЗ товщинометрії	21
1.4.1 Лунаїмпульсний метод (ехо-метод).....	21
1.4.2 Резонасний метод.....	23
1.4.3 Налаштування ультразвукового обладнання	25
1.5. Вертикальні та кутові зонди.....	28
1.6. Зв'язок	29
1.7. Вимірювання товщини зразка.....	29
1.8. Для чого використовується ультразвуковий товщиномір?.....	30
1.8.1 Матеріали які можна виміряти за допомогою ультразвукового товщиноміра	31
1.8.2 Типи ультразвукових товщиномірів	33
Розділ 2. Проектування приладу	34
2.1. Розрахунок акустичного тракту.....	34
2.2. Розробка схеми приладу	38
2.3. Функціональна схема	40
2.4. Підбір компонентів	41
2.2.1 Підбір генератора синхронізуючих імпульсів	41
2.2.2 Підбір генератора зондуючих імпульсів	42
2.2.3 Підбір підсилювача – обмежувача	43
2.2.4 Підбір підсилювача з АРП.....	45
2.2.5 Підбір АЦП.....	46
2.2.6 Підбір мікроконтролера	47
2.2.7 Підбір дисплея.....	49
2.2.8 Підбір клавіатури.....	50

					ПК 91.140000.000ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Ар</i>	<i>№ до</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Фартушиний В.С</i>			Ультразвуковий прилад для автоматизованого контролю товщини сталених листів	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.реві</i>		<i>Протасов А.Г.</i>					8	
<i>Реценз.</i>						ПБФ, ПК-91		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Протасов А. Г.</i>						

Вступ

В сучасному промисловому виробництві якість і надійність матеріалів відіграють вирішальну роль у забезпеченні безпеки та оптимального функціонування конструкцій. Одним із найважливіших параметрів, який впливає на якість матеріалу, є його товщина. Точне вимірювання товщини сталі має особливе значення у багатьох галузях, включаючи виробництво суднобудівної, нафтогазової, енергетичної, автомобільної та будівельної промисловості.

Ультразвукова товщинометрія є одним з найпоширеніших методів неруйнівного контролю товщини матеріалів, оскільки вона забезпечує точність, швидкість та неушкодженість об'єкта вимірювання. Застосування автоматизованих систем контролю товщини сталі стає все більш актуальним і ефективним, сприяючи підвищенню якості та ефективності виробництва.

Метою даного дипломного проекту є розробка та реалізація приладу для автоматизованого контролю товщини сталі на основі ультразвукової технології. Використовуючи принципи ультразвукової товщинометрії, прилад буде здатен швидко та точно вимірювати товщину сталевих листів, пластин або труб, дозволяючи операторам здійснювати контроль без пошкодження матеріалу та забезпечувати відповідність встановленим стандартам товщини.

У роботі буде розглянуто принцип роботи ультразвукової товщинометрії, вибір та опис компонентів приладу, розробка апаратної та програмної частини системи, а також виконання випробувань та аналіз отриманих результатів. Крім того, будуть враховані технічні вимоги та стандарти, що встановлюються для вимірювальних пристроїв, зокрема стосовно точності, надійності та автоматизації процесу контролю товщини.

Розробка автоматизованого приладу для контролю товщини сталі відіграє важливу роль у підвищенні якості та ефективності виробництва, забезпечуючи точне та швидке вимірювання товщини матеріалів без необхідності здійснювати демонтаж або пошкодження об'єктів. Результати

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

даного дипломного проекту ПЗ можуть бути використані в різних галузях промисловості, де вимагається контроль товщини сталі з високою точністю та надійністю.

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
						10
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 1. Аналітичний огляд

1.1. Що таке ультразвук

Ультразвук - це звукові хвилі з високою частотою, які перевищують верхню межу яку може сприйняти людина, що зазвичай оцінюється близько 20 кілогерц. Ультразвукові хвилі мають частоту понад цей діапазон, зазвичай від 20 кілогерц до 1 гігагерца. Ультразвукові коливання поширюються у вигляді хвилі. Для того щоб ультразвук міг поширюватись йому потрібне пружне середовище, наприклад якесь тверде тіло, газ чи рідина.

1.2. Основні параметри ультразвуку

Основними параметрами хвилі є довжина хвилі та період. Число циклів, здійснених за одну секунду, називається частотою і вимірюється в Герцах (Гц). Час, необхідний, щоб здійснити повний цикл, називається періодом і вимірюється в секундах. Взаємозв'язок між частотою і періодом хвилі наведено у формулі(1.1):

$$f = \frac{1}{T}, \quad (1.1)$$

де, f - частота, Гц,

T – період, с

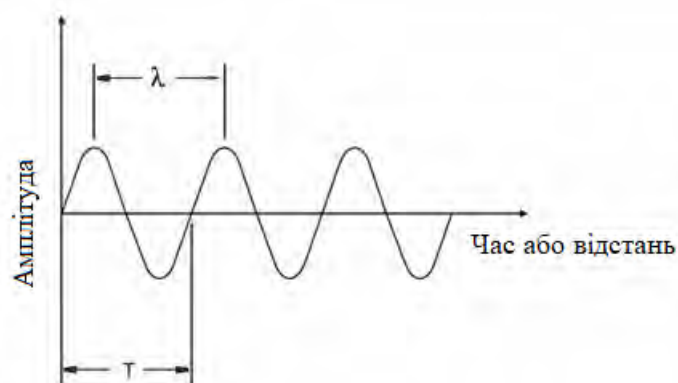


Рис.1 Основні параметри ультразвукової хвилі

Швидкість звуку в ідеальному пружному матеріалі за заданої температури й тиску є постійною. Зв'язок між швидкістю ультразвуку і довжиною хвилі можна знайти за формулою (1.2):

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (1.2)$$

де, λ - довжина хвилі, м,
 c - швидкість звуку, м/с

У твердих речовинах для поздовжніх хвиль швидкість звуку можна знайти за формулою (1.3):

$$c_l = \frac{E}{\rho} * \frac{1-\mu}{(1+\mu)*(1-2\mu)}, \quad (1.3)$$

де c_l - швидкість звуку для поздовжніх хвиль, м/с,
 E - модуль пружності, Па,
 μ - коефіцієнт Пуассона,
 ρ - густина, кг/м³

Для поперечних хвиль вона визначається за формулою (1.4):

$$c_t = \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \quad (1.4)$$

Де, c_t - швидкість звуку для поперечних хвиль, м/с,
 G - модуль зсуву, Па

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дисперсія звуку - це співвідношення між фазовою швидкістю одночастотних звукових хвиль та їхніми відповідними частотами. Вона відповідає за зміну форми хвилі (звукового імпульсу) під час проходження через середовище. Існують різні типи дисперсії звуку: один спричинений фізичними характеристиками середовища, інший - наявністю меж у середовищі, а третій - не пов'язаний з властивостями самого середовища.

1.2.1 Різновиди ультразвукових хвиль

Більша частина методів ультразвукового дослідження використовує або поздовжні, або поперечні хвилі. Також існують й інші форми поширення ультразвуку, включно з поверхневими хвилями і хвилями Лемба.

Поздовжні ультразвукові хвилі – ультразвукові хвилі, які поширюються в напрямку руху коливань частинок середовища. В цих хвилях молекули або частинки середовища коливаються у напрямку, паралельному до поширення хвилі.

Поперечні ультразвукові хвилі - хвилі, які коливаються перпендикулярно до напрямку їх поширення.

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

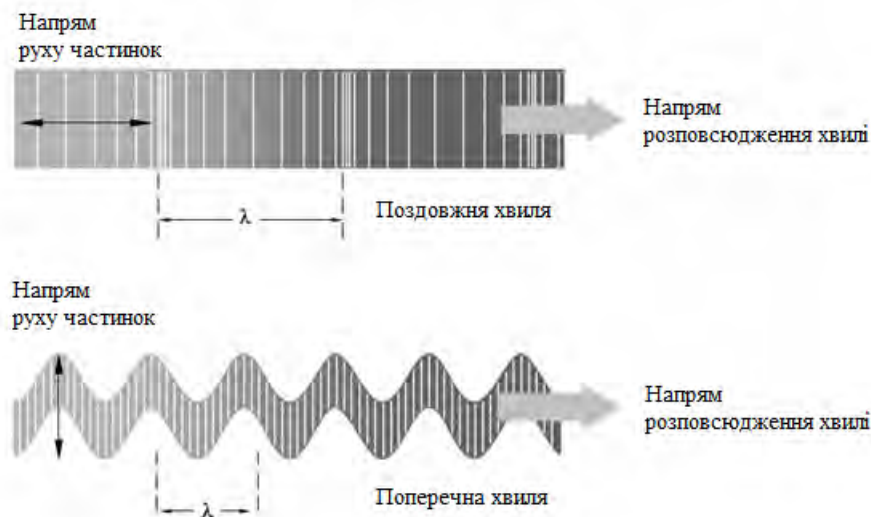


Рис.2 Рух частинок у поздовжніх і поперечних ультразвукових хвилях

Поверхневі (Релеєвські) ультразвукові хвилі мають еліптичний рух частинок і поширюються поверхнею матеріалу. Їхня швидкість приблизно становить 90% швидкості поширення поперечної хвилі, а їхнє проникнення вглиб матеріалу дорівнює приблизно одній довжині хвилі.

Хвиля Лемба - пружна хвиля, що поширюється в твердій пластині (шарі) з вільними границями, в якій коливальний зсув частинок відбувається як у напрямку поширення хвилі, так і перпендикулярно площині пластини. Лемба хвилі являють собою один із типів нормальних хвиль у пружному хвилеводі - у пластині з вільними границями. Оскільки ці хвилі мають задовольняти не тільки рівняння теорії пружності, а й граничні умови на поверхні пластини, картина руху в них і їхні властивості складніші, ніж у хвиль у необмежених твердих тілах.

1.3. Характеристики випромінювача ультразвуку

До основних характеристик випромінювачів ультразвуку належать їхній частотний спектр, випромінювана потужність звуку, спрямованість випромінювання. У разі моночастотного випромінювання основними характеристиками є робоча частота випромінювача ультразвуку і його частотна

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

смуга, межі якої визначають падінням випромінюваної потужності вдвічі порівняно з її значенням на частоті максимального випромінювання. Для резонансних електроакустичних перетворювачів робочою частотою є власна частота f_0 перетворювача, а ширина смуги Δf визначається його добротністю Q .

$$\Delta f = \frac{f_0}{Q}, \quad (1.5)$$

де, Δf – ширина смуги, f_0 – власна частота перетворювача, Q – добротність

Випромінювачі ультразвуку (електроакустичні перетворювачі) характеризуються чутливістю, електроакустичним коефіцієнтом корисної дії та власним електричним імпедансом.

Чутливість випромінювача ультразвуку - відношення звукового тиску в максимумі характеристики спрямованості на певній відстані від випромінювача (найчастіше на відстані 1 м) до електричної напруги на ньому або до струму, що протікає в ньому. Ця характеристика застосовується до випромінювачів ультразвуку, що використовуються в системах звукової сигналізації, у гідролокації та в інших подібних пристроях. Для випромінювачів технологічного призначення, що застосовуються, наприклад, під час ультразвукового очищення, коагуляції, впливу на хімічні процеси, основною характеристикою є потужність. Поряд із загальною випромінюваною потужністю, оцінюваною у Вт, випромінювачі ультразвуку характеризують питомою потужністю, тобто середньою потужністю, яка припадає на одиницю площі поверхні, що випромінює, або усередненою інтенсивністю випромінювання в ближньому полі, оцінюваною у Вт/м².

Ефективність електроакустичних перетворювачів, що випромінюють акустичну енергію в середовище, що озвучується, характеризують величиною їхнього електроакустичного коефіцієнта корисної дії, що є відношенням

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

акустичної потужності, що випромінюється, до електричної потужності, що витрачається. В акустоелектроніці для оцінки ефективності випромінювачів ультразвуку використовують так званий коефіцієнт електричних втрат, що дорівнює відношенню (в дБ) електричної потужності до акустичної.

Ефективність ультразвукових інструментів, що використовуються під час ультразвукового зварювання, механічного оброблення тощо, характеризують так званим коефіцієнтом ефективності, що являє собою відношення квадрата амплітуди коливального зсуву на робочому кінці концентратора до електричної потужності, споживаної перетворювачем. Іноді для характеристики перетворення енергії у випромінювачах ультразвуку використовують ефективний коефіцієнт електромеханічного зв'язку.

1.3.1 Звукове поле випромінювача

Звукове поле перетворювача поділяється на дві зони - ближню та дальню. Ближня зона представляє собою область безпосередньо перед перетворювачем, де амплітуда звукової хвилі проходить через серію максимумів та мінімумів. Ближня зона закінчується на останньому максимумі, який знаходиться на відстані N від перетворювача. Важливо зазначити, що розташування цього останнього максимуму виступає природним фокусом перетворювача. Дальня зона, у свою чергу, охоплює область за межею N , де тиск звукового поля поступово зменшується до нуля.

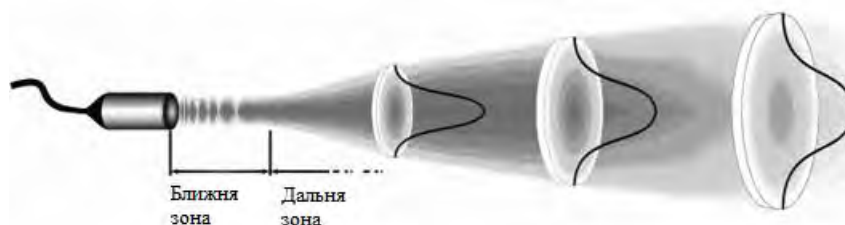


Рис.3 Звукове поле круглого випромінювача

Положення останнього максимуму N на акустичній осі залежить від діаметра і довжини хвилі і для дискового круглого випромінювача виражається формулою (1.6)

$$N = \frac{D^2 - \lambda^2}{4 * \lambda}, \quad (1.6)$$

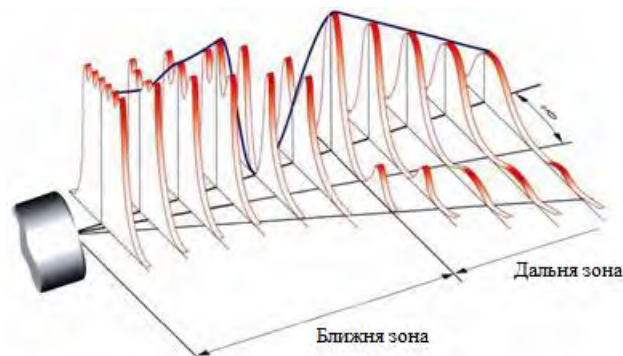
де, N - довжина ближньої зони, м,

D - діаметр випромінювача, м,

λ - довжина хвилі, м

Однак оскільки D зазвичай значно більший за λ , рівняння можна спростити (1.7)

$$N = \frac{D^2}{4 * \lambda}, \quad (1.7)$$



Поширення звуку в досліджуваній ділянці та чутливість датчика визначаються конструкцією ультразвукового перетворювача. Форма перетворювача впливає на характеристики звукового поля.

1.3.2 Випромінювачі ультразвуку

Ультразвукові випромінювачі є пристроями, які використовуються для генерації ультразвукових коливань і хвиль у різних середовищах, таких як газоподібні, рідкі і тверді. Випромінювачі ультразвуку перетворюють енергію з будь-якого виду в енергію звукового поля.

Електроакустичні перетворювачі є найбільш поширеними серед випромінювачів ультразвуку. У більшості випромінювачів цього типу, таких як п'єзоелектричні, магнітострикційні, електродинамічні, електромагнітні і електростатичні, електрична енергія перетворюється на енергію коливання твердих тіл (діафрагм, випромінювальної пластинки, стрижнів), які випромінюють акустичні хвилі у навколишнє середовище. Зазвичай ці перетворювачі є лінійними, тобто коливання відтворюють форму збуджувального електричного сигналу. Лише при дуже великих амплітудах коливань можуть виникати нелінійні спотворення близько до верхньої межі динамічного діапазону ультразвукового випромінювача.

Для перетворювачів, призначених для випромінювання монохроматичної хвилі, використовується явище резонансу.

Вони працюють на одному з власних коливань механічної системи, і генератор електричних коливань, який збуджує перетворювач, налаштований на цю частоту. Електроакустичні перетворювачі без твердотільної випромінювальної системи застосовуються менш часто, наприклад, ультразвукові випромінювачі, засновані на електричному розряді в рідині або на електрострикції рідини.

1.3.3 Конструкції ультразвукових п'єзоелектричних ПЕП

П'єзоелектричні перетворювачі знайшли широке застосування в різних галузях, починаючи від запальничок і закінчуючи медичними дослідженнями.

Рис.5 ілюструє конструкцію такого перетворювача, яка найчастіше

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зустрічається. Цей конкретний тип перетворювача зазвичай використовується для випромінювання ультразвукових хвиль у рідке або тверде середовище, а також для вимірювання витрати газу. Активним компонентом перетворювача є п'єзоелемент (п'єзокерамічний диск), що розташовується між узгоджувальним шаром і демпфером, як показано на рис. 5. На верхній і нижній поверхнях диска розташовані два електроди, які під'єднані до генератора сигналу. Відповідно до п'єзоелектричного ефекту, п'єзоелектричний диск буде коливатися, коли на його електроди подається синусоїдальна змінна напруга. Коливання диска визначаються частотою синусоїдальної напруги та розмірами диска.

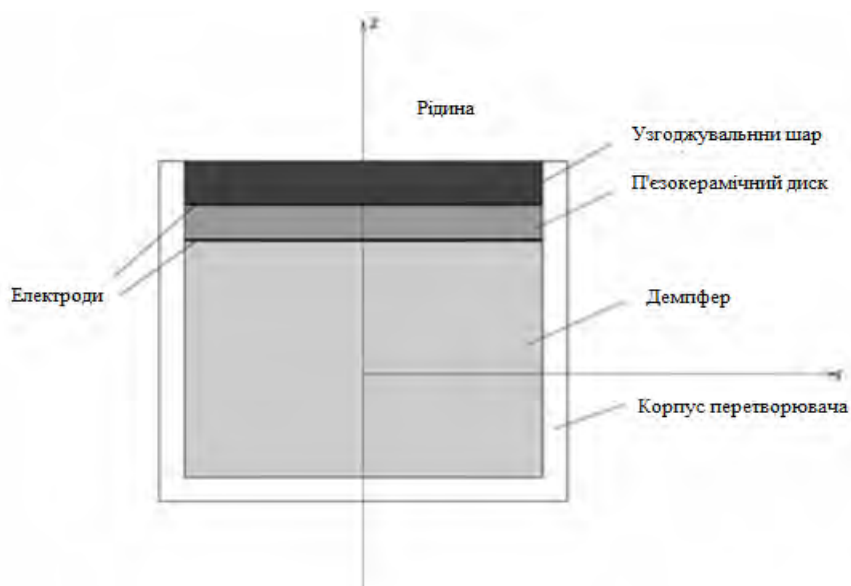


Рис.5 Конструкція п'єзоелектричного перетворювача

П'єзоелектричні матеріали з високим коефіцієнтом електромеханічного зв'язку зазвичай мають більший хвильовий опір порівняно з водою і повітрям, що призводить до меншої смуги пропускання частотної характеристики п'єзоелектричного диска.

Для подолання невідповідного хвильового опору між п'єзоелектричним диском і рідким середовищем вводять передній (узгоджувальний) шар і задній (демпферний) шар, як показано на рис. 5.

Задній шар зазвичай характеризується високим коефіцієнтом

загасання і щільністю матеріалу, які необхідні для ефективного контролю коливань датчика шляхом поглинання енергії, випромінюваної назад п'єзоелементом.

Коли акустичний імпеданс заднього шару вирівнюється з хвильовим імпедансом активного елемента (п'єзокераміки), виходить високодемпфований датчик з хорошою роздільною здатністю. Це пояснюється широкою смугою частот, яку забезпечує передавач, хоча він може мати меншу амплітуду сигналу.

Якщо акустичний імпеданс п'єзоелемента і заднього шару не збігаються, більше звукової енергії буде відбиватися вперед в досліджувану речовину. Отже, отриманий датчик має нижчу роздільну здатність через більшу тривалість осцилограми, але він може демонструвати вищу амплітуду сигналу і покращену чутливість.

Основна роль узгоджувального шару датчика полягає в тому, щоб захистити п'єзоелемент від впливу досліджуваної речовини.

Узгоджувальний шар повинен бути міцним і стійким до корозії, щоб протистояти досліджуваній рідині. Крім того, передній шар повинен встановлювати зв'язок між високим акустичним імпедансом п'єзокераміки і низьким акустичним імпедансом рідини. Товщина узгоджувального шару вибирається рівною чверті довжини хвилі, виходячи з концепції суперпозиції хвиль в одній фазі, що призводить до подвоєння амплітуди сигналу.

П'єзоперетворювач може функціонувати як в режимі передавача, так і в режимі приймача. У режимі передавача ультразвукова хвиля генерується шляхом подачі напруги на п'єзокераміку. У режимі приймача п'єзокераміка перетворює входні акустичні хвилі в електричні сигнали. У деяких випадках датчик використовується одночасно як приймач і передавач. Перетворювач може працювати в режимі безперервної синусоїдальної хвилі або в імпульсному режимі для збудження п'єзокераміки.

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

1.4. Методи УЗ товщинометрії

Ультразвукові товщиноміри використовуються для того щоб можна було виміряти товщину ОК, якщо ми маємо доступ до нього тільки з однієї сторони. Найчастіше щоб виміряти товщину використовують лунаїмпульсний та резонансний метод(зараз майже не використовують).

1.4.1 Лунаїмпульсний метод (ехо-метод)

Ультразвуковий ехо-метод, - це метод неруйнівного контролю, що використовує ультразвукові хвилі для пошуку дефектів у матеріалах.

Принцип ехо-методу показаний на рис. 6. Передавач (Т) генерує ультразвукову імпульсну хвилю, яка відбивається від неоднорідності, наприклад, дефекту або задньої стінки зразка, і приймається приймачем (R). Отриманий сигнал відображається на екрані, див. рис.7 .

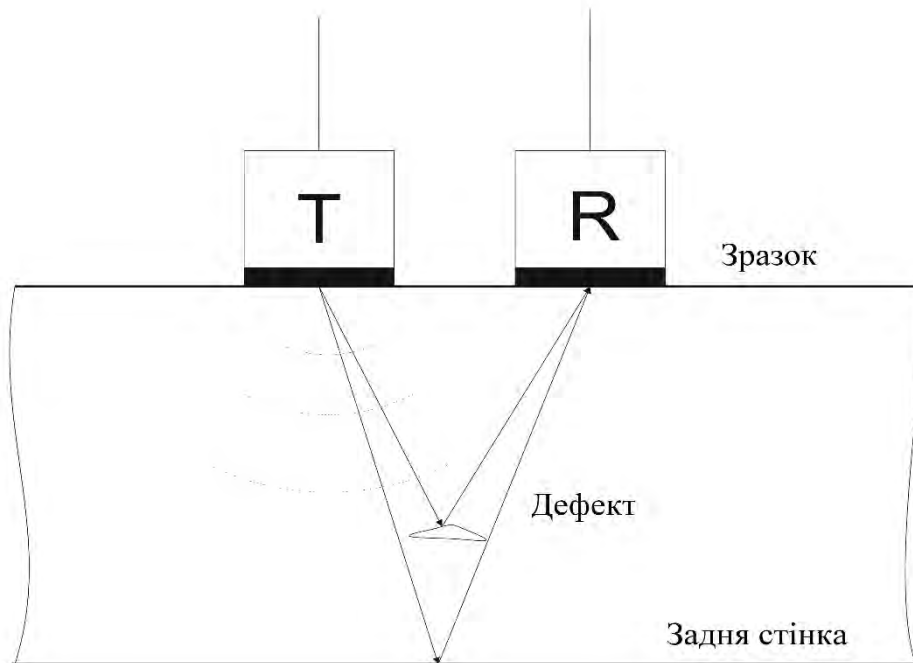


Рис.6 Принцип ультразвукового ехо-імпульсного методу

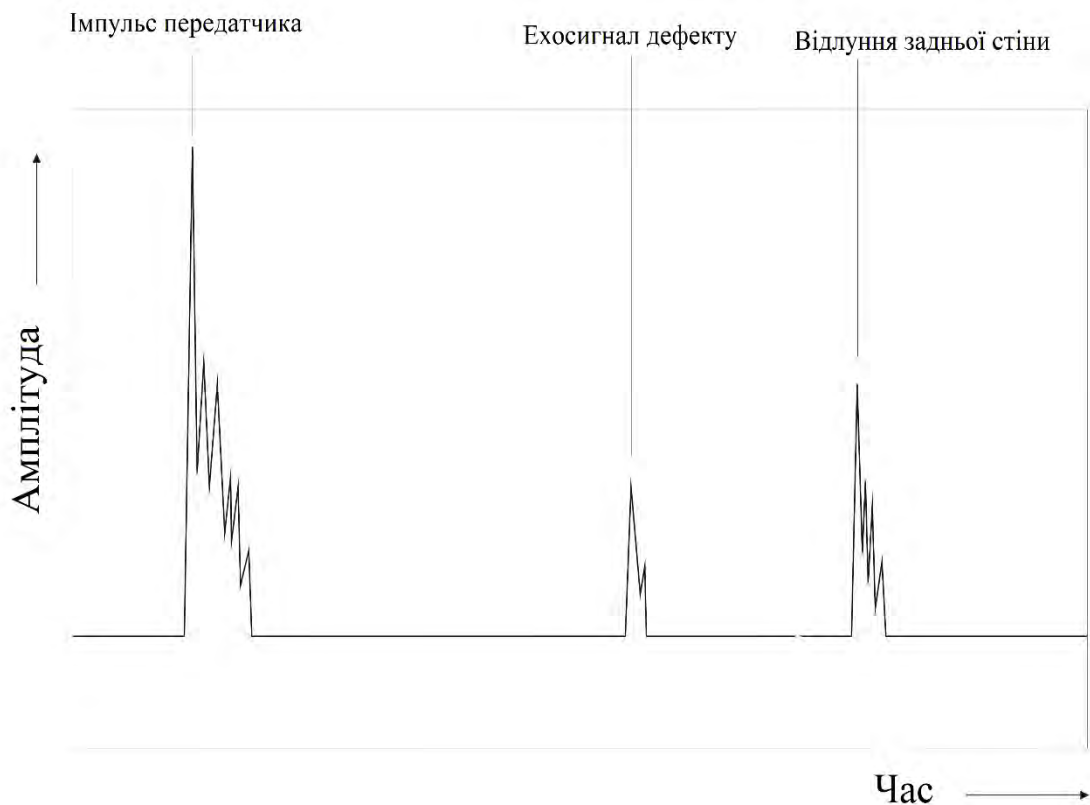


Рис.7 Відображення отриманого сигналу

Ехо метод використовує ультразвукову імпульсну хвилю. Ультразвукові хвилі є механічними коливаннями і мають частоту більше 20 000 Гц. Залежно від швидкості звуку в матеріалі і частоти можна розрахувати довжину хвилі за формулою (1.8):

$$\lambda = c * f, \quad (1.8)$$

λ : довжина хвилі [м], c - швидкість звуку [м/с] і f - частота [Гц].

Ультразвукова імпульсна хвиля є синтезом синусоїдальних хвиль з різними частотами та амплітудами.

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ультразвуковий ехо-метод використовує два типи хвиль: поздовжні та поперечні хвилі. У поздовжніх хвилях рух частинок відбувається в тому ж напрямку, що і рух хвилі. Якщо рух частинок відбувається під прямим кутом до напрямку руху хвилі, це називається поперечною хвилею, яка можлива тільки в твердих матеріалах. Поздовжні хвилі завжди швидші за поперечні. Швидкість звуку обох типів хвиль можна знайти для різних матеріалів.

Коли ультразвукова хвиля досягає межі між двома середовищами, одна частина енергії передається через межу, а інша частина відбивається. Відсоткове співвідношення енергії, що передається і відбивається, залежить від акустичного імпедансу (1.9):

$$Z = \rho * c, \quad (1.9)$$

Z - акустичний імпеданс [Н·с/м³], ρ - густина матеріалу [кг/м³] і c - швидкість звуку в матеріалі [м/с].

Відповідно, чи можна побачити межу при ультразвуковому дослідженні, залежить від різниці акустичного імпедансу матеріалів над і під межею.

1.4.2 Резонансний метод

Принцип роботи резонансного товщиноміра базується на збудженні в стінках ОК по товщині і визначенні резонансних частот цих коливнь.

Резонансний аналіз є ефективним методом контролю виробів з порівняно гладкою поверхнею. Вимірюється середня товщина, а не максимальне потоншення, і зміна товщини в області вимірювання не може перевищувати 8%.

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

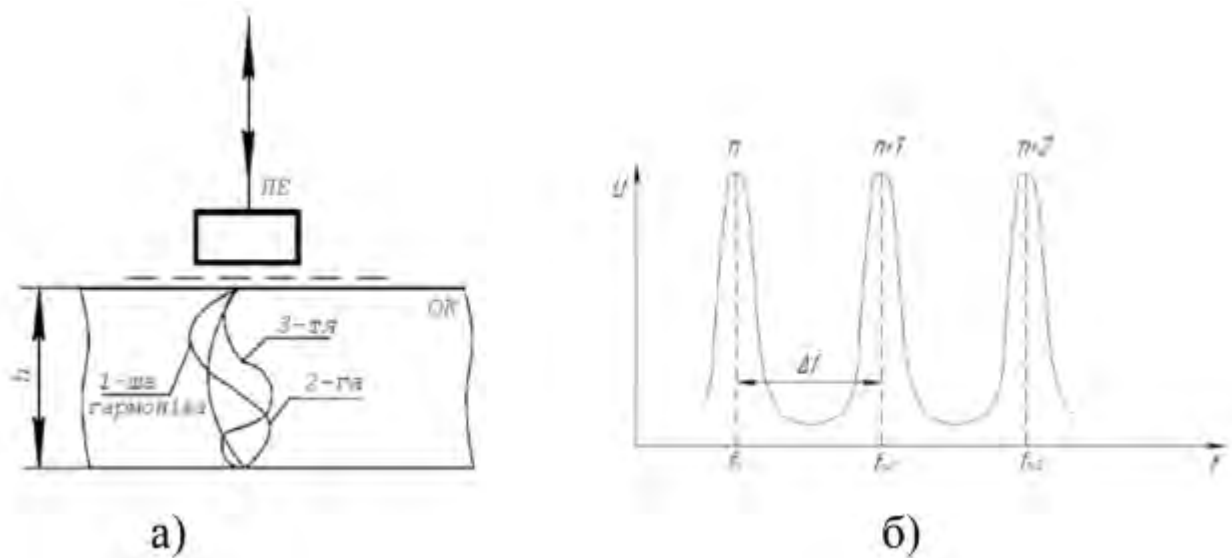


Рис. 10 – Принцип резонансної товщинометрії: формування стоячих хвиль на гармоніках в ОК (а) і відповідні їм резонанси (б)

В стінках ОК резонанс виникає за умови:

$$h = \frac{\lambda_n}{2} n, \text{ чи}$$

$$h = \frac{c}{2f_n} n, \quad (1.10)$$

n – ціле число, f_n – резонансна частота

Склавши ці два рівняння за допомогою сусідніх гармонік, отримаємо формулу:

$$h = \frac{c}{2\Delta f}, \quad (1.11)$$

Тепер коли ми знаємо різницю частот і швидкість звуку, можемо визначити товщину ОК.

Коли ми змінюємо частоту п'єзоелектричного перетворювача в межах 2-х, 3-х октав, виникають не менше 2-х резонансів. Корисним параметром підходу є різниця частот між двома сусідніми резонансами Δf .

З іншого боку, високе загасання звуку в матеріалі, а також нерівні або непаралельні поверхні притупляють різкість резонансу і точність стає гіршою.

Використовується лише діапазон частот вище частоти власного резонансу п'єзоелектричної пластини, щоб запобігти виникненню перешкод у роботі датчика. Перетворювач повинен забезпечувати необхідну чутливість

при створенні звукового тиску, який є максимально стабільним у всьому діапазоні. Як і у випадку з ехо-імпульсним методом, ця умова вимагає використання датчиків з помірним загасанням. Резонансний товщиномір повинен бути відкалібрований на швидкість звуку в матеріалі продукту.

Резонансні товщиноміри доступні з автоматичним вимірюванням, ручним регулюванням частоти збудження і візуальним відображенням резонансної частоти.

1.4.3 Налаштування ультразвукового обладнання

Налаштування аналогового ультразвукового обладнання показано на рис. 8. Генератор імпульсів посиляє електричний імпульс на датчик-передавач, який виробляє ультразвуковий імпульс. Ця ультразвукова хвиля поширюється в зразку і відбивається від приймача, який перетворює її в електричний сигнал. Потім цей сигнал надсилається на підсилювач, а звідти на електронно-променеву трубку (ЕПТ), яка відображає сигнал у вигляді піків. Горизонтальна вісь пропорційна часу t . Вертикальна вісь показує амплітуду сигналу. Генератор часової бази виробляє високочастотну хвилю і змушує пляму рухатися через електронно-променеву трубку.

Перший пік на дисплеї представляє згенерований ультразвуковий імпульс. Ультразвукова хвиля проходить через зразок до тих пір, поки не буде відбита або розсіяна поверхнею. Відбиту частину хвилі можна побачити у вигляді піку на КР-трубці. Інша частина хвилі продовжує рух до задньої стінки зразка і відбивається там.

Цей тип аналогової установки є застарілим. Сучасні установки є цифровими і не мають КР-трубки. Між установкою і дисплеєм використовується аналого-цифровий перетворювач (АЦП). У сучасних дисплеях можна ввести швидкість звуку, і дисплей показує вертикальну відстань до піку замість часу на осі X . Глибину дефекту або задньої стінки можна зчитувати безпосередньо з дисплея.

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дисплей показує на перший погляд стабільне зображення. Однак, якщо зразок має товщину 100 мм, ультразвукова хвиля проходить 200 мм, що займає в сталі 33 мкс. Це неможливо побачити на дисплеї. Тому імпульс повинен повторюватися багато разів на секунду. Зазвичай використовується частота повторення імпульсів PRF 500-2000 імпульсів в секунду.

Зазвичай можна побачити більше ехосигналів, які мають таку ж відстань, як і пік від задньої стінки. Ці відлуння виникають через те, що коли відбита хвиля досягає досліджуваної поверхні, лише частина енергії потрапляє в приймальний зонд, а інша частина відбивається назад до задньої стінки, де вона знову відбивається, див. рис. 9. Це можна спостерігати до тих пір, поки амплітуда не зменшиться до нуля.

Інтенсивність ультразвукової хвилі зменшується під час проходження через матеріал. Цей ефект залежить від матеріалу і базується на різних механізмах, включаючи розсіювання. Тому амплітуди піків на дисплеї зменшуються.

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

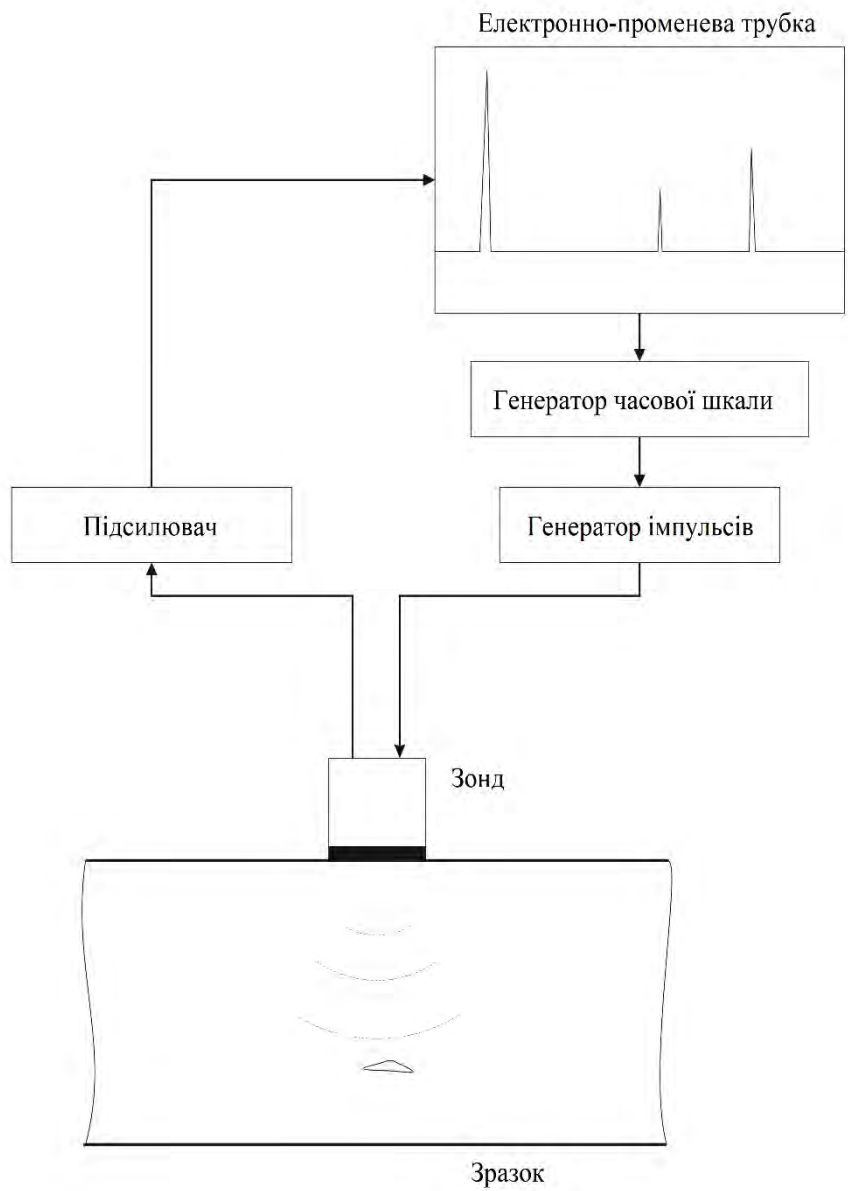


Рис.8 Налаштування аналогового ультразвукового обладнання

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

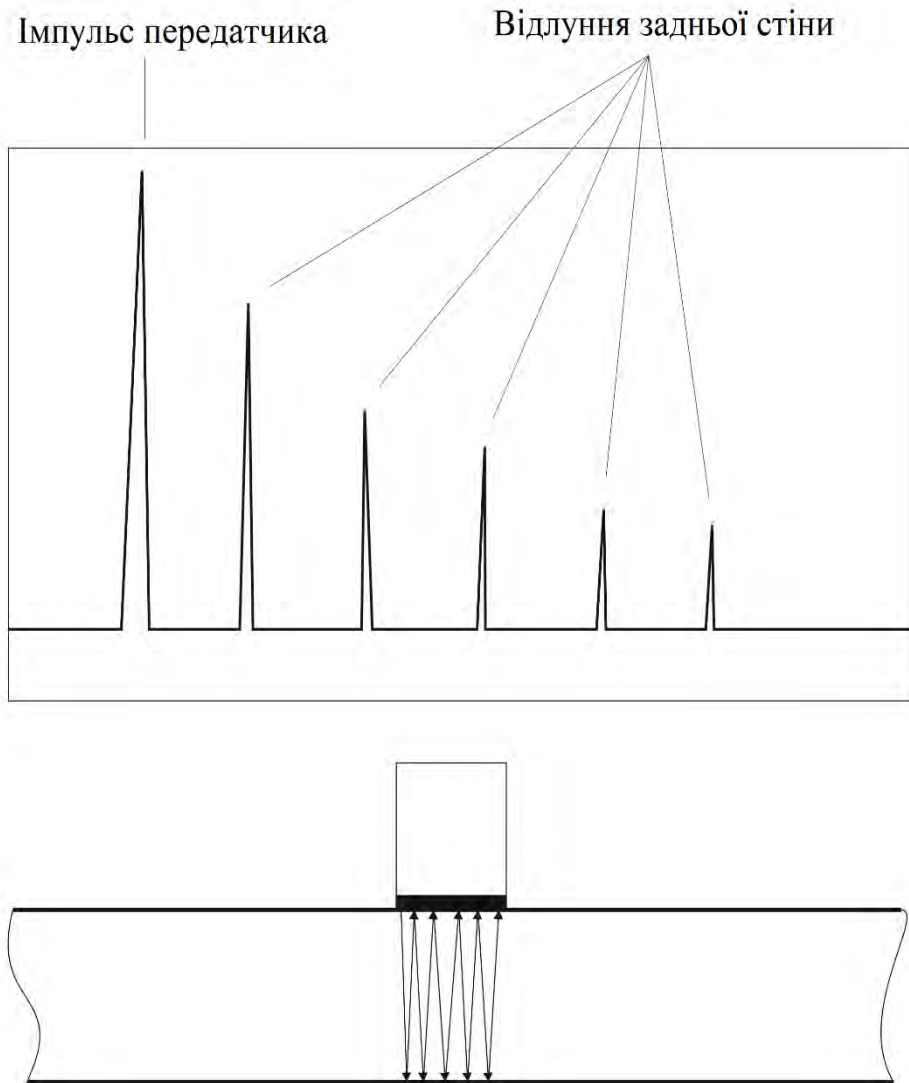


Рис. 9 Багаторазове відлуння від задньої стінки

1.5. Вертикальні та кутові зонди

Вертикальні датчики передають поздовжню хвилю в перпендикулярному напрямку до зразка. Приймач отримує відбиту поздовжню хвилю.

Кутові зонди мають клиноподібний блок між кристалом і зразком і передають поздовжню хвилю під кутом до зразка. На межі зі зразком хвиля заломлюється на поздовжню і поперечну хвилі. Кут поздовжньої хвилі більший, ніж кут поперечної хвилі. Кут нахилу зонда підбирається таким чином, щоб у зразок

потрапляла тільки поперечна хвиля. Стандартні кутові зонди виготовляються для кутів 35°, 45°, 60°, 70° і 80° поперечної хвилі для сталі, яка має швидкість звуку для поперечної хвилі $T = 3250$ м/с. Для інших матеріалів кут поперечної хвилі з цими зондами відрізняється в залежності від швидкості звуку.

1.6. Зв'язок

Для підтримки ультразвукового контакту між зондом і зразком використовується контактна рідина. Якщо є тільки крихітний повітряний зазор, ультразвукові хвилі повністю відбиваються. Існує два типи зчеплення - сухе зчеплення і зчеплення з рідиною. Найпростіший спосіб - з'єднання з водою.

Цей метод добре працює з композитними матеріалами. Для матеріалів, які піддаються корозії під час контакту з водою, як метали, або змінюються в інший спосіб, необхідно використовувати олію, жир, гліцерин або інші рідини. Хороша сполучна рідина повинна мати акустичний імпеданс, аналогічний імпедансу випробовуваного зразка, високу в'язкість і має бути некорозійною, нетоксичною і недорогою. Гліцерин має високий акустичний опір, але коштує дорого. Масло середньої в'язкості є найбільш поширеною мастильною рідиною, але воно сильно розтікається. Для сухого з'єднання між зондом і зразком використовується тонка гумова фольга. Він застосовний тільки для гладких поверхонь і частот нижче 1 МГц. Передача ультразвукових хвиль не така хороша з сухим зв'язком, як з рідинами.

1.7. Вимірювання товщини зразка

Якщо відома швидкість звуку в матеріалі, можна виміряти товщину зразка. Знаючи швидкість звуку c і час t між двома піками, можна розрахувати відстань d в матеріалі по формулі (2.1):

$$d = \frac{c * t}{2}, \quad (1.12)$$

Де, d – відстань, c – швидкість звуку, t – час між двома піками

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо швидкість звуку невідома, але відома товщина зразка, можна розрахувати швидкість звуку і оцінити висоту дефектів. Для композитних матеріалів для розрахунку швидкості звуку перед випробуванням інших зразків виготовляється еталонний зразок з тим самим складом.

1.8. Для чого використовується ультразвуковий товщиномір?

Однак ультразвукові товщиноміри зазвичай використовуються для вимірювання товщини матеріалу, коли фахівець з контролю якості не може отримати доступ до обох сторін компонента. Крім того, ультразвукові товщиноміри мають безліч важливих застосувань для визначення стану або цілісності деталей, які можуть піддаватися ерозії або корозії, таких як корпуси кораблів, котли, трубопроводи, танкери і посудини, що працюють під тиском. Будь то TM210 Plus або Edison 10, кожен сучасний ультразвуковий прилад для вимірювання товщини має різні сфери застосування. Деякі з найпоширеніших застосувань ультразвукових товщиномірів згадані нижче.

1. Вимірювання товщини стінки труби або металевої труби

Ультразвуковий товщиномір широко використовується для дослідження товщини стінки труби або трубки і допомагає визначити неминучі обставини на промисловому підприємстві. Неруйнівна оцінка товщини за допомогою товщиноміра не обмежується доступними кінцями труб або трубок. Він може автоматично вимірювати концентрацію труб або трубок без зупинки процесу або розрізання труб. Ультразвуковий товщиномір вимірює товщину по всій довжині труб або трубок, коли процес триває.

2. Перевірка стану корпусу судна

Це одне з найбільш важливих застосувань ультразвукового товщиноміра. Оскільки важко перевірити цілісність корпусу судна неозброєним оком, оскільки на зовнішню поверхню корпусу наноситься захисне покриття для

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продовження терміну його служби. Захисний шар ускладнює оцінку стану корпусу судна. Але товщиномір оцінює товщину металу і миттєво виявляє місце корозії без зняття захисного покриття. Інструмент визначає щільність металу, вимірюючи затримку ехосигналу.

Ультразвуковий товщиномір передає кілька відлунь для отримання точного зображення. Він вимірює і визначає товщину захисного покриття за першим відлунням. Прилад автоматично реєструє результати визначення, не враховуючи затримку матеріалу захисного покриття для наступних двох ехосигналів. Інспектори корпусу використовують ці дані для визначення стану судна, що дозволяє їм прийняти обґрунтоване рішення щодо технічного обслуговування судна.

3. Вивчення конструкцій зі сталі, що піддаються атмосферним впливам

Атмосферостійкі сталі зазнають постійного руйнування через тривалу корозію. Тому на промислових об'єктах використовують товстішу сталь і ретельно стежать за корозією. Ультразвуковий товщиномір вимірює залишки сталі крізь шар іржі. У цьому методі тестування датчики не потрібні для проходження звукових хвиль крізь сталь. Прилад вимірює не тільки товщину залишків сталі, але й товщину шару іржі.

1.8.1 Матеріали які можна виміряти за допомогою ультразвукового товщиноміра

Однак інші методи і способи мають обмеження, оскільки їх можна використовувати для вимірювання товщини певних матеріалів, а ультразвуковий товщиномір має різноманітне застосування для різних матеріалів для численних цілей. Деякі з них згадані нижче:

1. Ерозія

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ультразвуковий прилад для вимірювання товщини оцінює товщину матеріалу з покриттям, який наноситься на деталь внаслідок ерозії. Різні частини промислових конструкцій, ядерних реакторів, реактивних двигунів, водяних турбін і котлів схильні до ерозії.

2. Корозія

Коли метали піддаються впливу природних факторів, таких як атмосферна волога, вони часто піддаються корозії. Ультразвуковий товщиномір, з іншого боку, є точним інструментом неруйнівного контролю, який може визначити рівень корозії в прихованих внутрішніх металевих деталях через одну контрольну точку.

3. Метали

Ультразвукові товщиноміри часто використовуються для вимірювання дублікатів, механічно оброблених, порошкових, литих або екструдованих металевих деталей товщиною від 0,2 мм до 500 мм, в залежності від форми зерна.

4. Керамічні

Ультразвуковий товщиномір використовується для перевірки цілісності всієї конструкційної та електронної кераміки, включаючи керамічні труби і клапани, покриття, контейнери і лопаті турбін. Крім того, інструмент використовується для розрахунку абсолютного значення пружності шляхом вимірювання швидкості звуку.

5. Інші матеріали

Завдяки своїй здатності вимірювати загальні метали і пластмаси, ультразвукові датчики використовуються для вимірювання широкого спектру різних матеріалів, таких як еластичні полімери, порцеляна, кришталеві м'які контактні лінзи, воскові моделі і біологічні зразки, включаючи м'які тканини.

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.8.2 Типи ультразвукових товщиномірів

Ультразвукові товщиноміри бувають різних типів на основі їх використання та перетворювачів. Хоча, найбільш широко використовувані датчики - це

- **Корозійні датчики**

Це прилади, які використовуються для вимірювання корозії в металах за часом проходження звукових хвиль між двома сторонами стінки матеріалу. Також вони широко використовуються для визначення часу між двома послідовними звуковими хвилями.

- **Прецизійні датчики**

Окрім металів, прецизійні ультразвукові товщиноміри часто використовуються для таких матеріалів, як пластмаси, фарфор, кераміка, кристали та інші матеріали, що використовуються в промислових установках. Термін походить від того, що ці прилади можуть точно і безпомилково вимірювати широкий діапазон товщини стінок від 0,2 мм до 500 мм.

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ПРИЛАДУ

2.1. Розрахунок акустичного тракту

Акустичний тракт – це шлях який проходить ультразвуковий сигнал від випромінювача чи відбивача і до дефекту чи приймача коливань. Деякі моделі дефектів майже не можливі в реалізації і тому їх замінюють штучними відбивачами. Оскільки в нас ультразвуковий товщиномір з прямим суміщеним перетворювачем наша модель буде донною поверхнею. Матеріал перетворювача з конструктивних міркувань ми взяли ЦТС-19.

Для того щоб знайти акустичний тракт нам потрібно спочатку дізнатись в якій зоні в нас проводиться контроль, вона може бути або в дальній, або в ближній, для цього ми спочатку розрахуємо ближню зону, а для того щоб це зробити нам потрібно знайти довжину хвилі і товщину ПЕП:

Товщину ми розрахуємо за формулою:

$$h_{\text{ПЕП}} = \frac{\lambda_{\text{ПЕП}}}{2} = \frac{C_{\text{ПЕП}}}{2 * f} = \frac{3,3 * 10^3}{2 * 2,5 * 10^6} = 0,66 * 10^{-3} \text{ м}, \quad (2.1)$$

Тепер можемо знайти довжину хвилі:

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{ст}} &= 2 * h_{\text{ПЕП}} * \left(\frac{C_{\text{ст}}}{C_{\text{ПЕП}}} \right) = \\ &= 2 * 0,66 * 10^{-3} * \left(\frac{6 * 10^3}{3,3 * 10^3} \right) = 2,4 * 10^{-3} \text{ м}, \end{aligned} \quad (2.2)$$

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Оскільки ми знаємо довжину хвилі можемо розрахувати ближню зону еквівалентної глибини:

$$r_{\text{бл}} = \frac{R^2}{\lambda_{\text{ст}}} = \frac{8\text{мм}^2}{2.4\text{мм}} = \frac{64}{2.4} = 26,67\text{мм}, \quad (2.3)$$

Оскільки $r_{\text{бл}} < H$ і наш об'єкт контролю це сталевий лист то $S_{\text{відб}} > S_{\text{ПЕП}}$ то з цього ми можемо зробити висновок, що контроль проводиться в дальній зоні акустичного тракту.

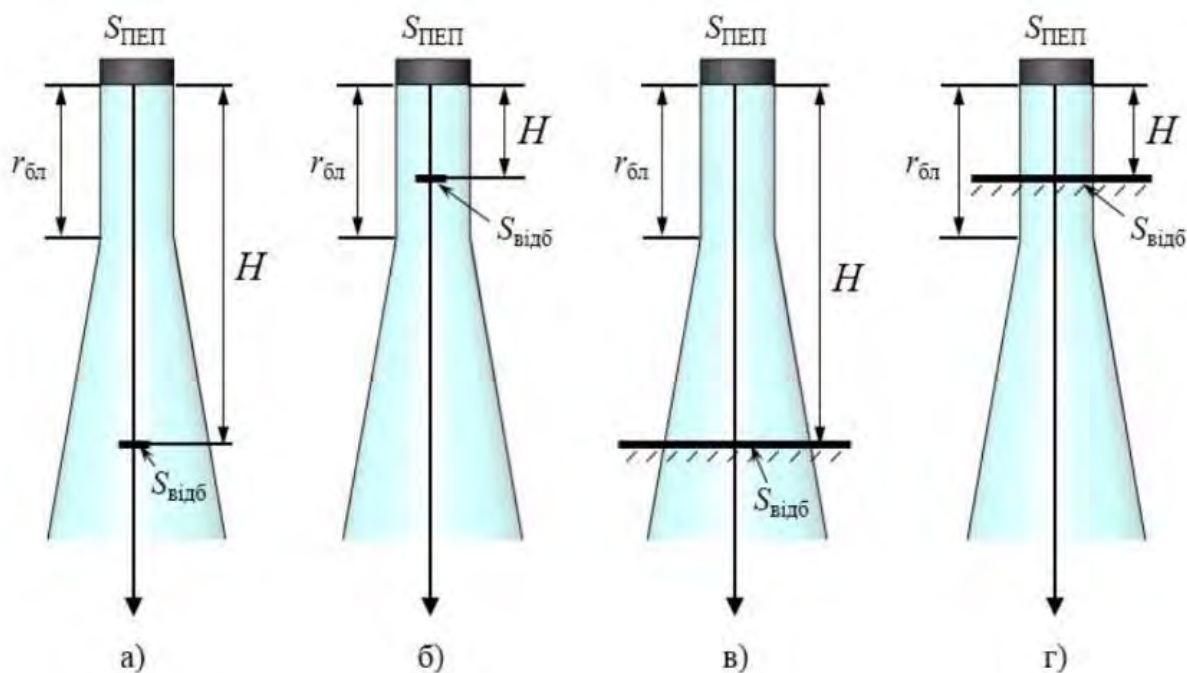


Рис. 2.1. Моделі для розрахунку акустичного тракту при нормальному введенні:

а) $r_{\text{бл}} < H$, $S_{\text{відб}} < S_{\text{ПЕП}}$; б) $r_{\text{бл}} > H$, $S_{\text{відб}} < S_{\text{ПЕП}}$;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

в) $r_{\text{бл}} < H$, $S_{\text{відб}} > S_{\text{ПЕП}}$; г) $r_{\text{бл}} > H$, $S_{\text{відб}} > S_{\text{ПЕП}}$, де $S_{\text{ПЕП}}$ – площа ПЕП, $S_{\text{відб}}$ – площа відбивача, $r_{\text{бл}}$ – глибина ближньої зони, H – глибина залягання відбивача

В такому випадку наша формула для розрахунку акустичного тракту має вигляд:

$$K_{\text{а.т.}} = \frac{S_{\text{ПЕП}}}{2 * \lambda * H} * T_1 * R_p * e^{-2 * H * \delta_p}, \quad (2.4)$$

Порахуємо площу ПЕП:

$$S_{\text{ПЕП}} = \pi * R^2 = \pi * 8^2 = 201,1 \text{ мм}^2, \quad (2.5)$$

Щоби знайти акустичний тракт нам не вистачає коефіцієнту проходження ультразвуку по інтенсивності, його можна порахувати за формулою:

$$T_1 = \frac{4 * z_{\text{ст}} * z_{\text{цтс}}}{(z_{\text{ст}} + z_{\text{цтс}})^2}, \quad (2.6)$$

$$z_{\text{ст}} = \rho_{\text{ст}} * c_{\text{ст}} = 8 * 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2} * 6 * 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 48 * 10^6, \quad (2.7)$$

$$z_{\text{цтс}} = \rho_{\text{цтс}} * c_{\text{цтс}} = 7 * 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2} * 3,3 * 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 23,1 * 10^6, \quad (2.8)$$

$$T_1 = \frac{4 * 48.6 * 10^6 * 23.1 * 10^6}{(48 * 10^6 + 23,1 * 10^6)^2} = 0,88$$

Тепер можемо порахувати акустичний тракт:

$$K_{a.t.} = \frac{S_{ПЕП}}{2 * \lambda * H} * T_1 * R_p * e^{-2 * H * \delta_p} =$$

$$= \frac{201,1}{2 * 2,4 * 80} * 0,88 * 1 * e^{-2 * 80 * 0.001} = 0,394$$

Знаючи коефіцієнт акустичного тракту можемо виміряти напругу випромінюваного сигналу її можна знайти за формулою:

$$U_{\Pi} = U_{\text{в}} * K_{a.t.} * K_{\text{ПП}}, \quad (2.9)$$

$U_{\text{в}}$ – напруга випроміненого сигналу, $K_{a.t.}$ – коефіцієнт акустичного тракту, $K_{\text{ПП}}$ – коефіцієнт подвійного перетворення.

Для матеріалу ЦТС – 19 коефіцієнт подвійного перетворення візьмемо 0,2:

$$K_{\text{ПП}} = 0.2$$

Виведемо формулу для $U_{\text{в}}$ напруги випроміненого сигналу з формули(2.9):

$$U_{\text{в}} = \frac{U_{\Pi}}{K_{a.t.} * K_{\text{ПП}}}, \quad (2.10)$$

Візьмемо $U_{\text{зав}} \approx 1$ мВ , для того щоб знайти U_{Π} у нас є відношення

Сигнал/Завада = 40 дБ:

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{U_{\Pi}}{U_{\text{зав}}} = 40 \text{ дБ}, \quad (2.11)$$

Нам потрібно поміняти дБ на рази, це можна зробити за допомогою \log :

$$20 \log_{10} \left(\frac{U_{\Pi}}{U_{\text{зав}}} \right) = 40 \text{ дБ}$$

$$\frac{U_{\Pi}}{U_{\text{зав}}} = 10^{\frac{40}{20}} = 100 \text{ (рази)}$$

Тепер можемо знайти U_{Π} :

$$U_{\Pi} = \frac{U_{\Pi}}{U_{\text{зав}}} * U_{\text{зав}} = 100 * 1 * 10^{-3} = 0.1 \text{ В}$$

Знаючи всі необхідні значення можемо знайти напругу випроміненого сигналу:

$$U_{\text{В}} = \frac{U_{\Pi}}{K_{\text{ПП}} * K_{\text{а.т.}}} = \frac{0.1}{0.2 * 0.394} = 1.27 \text{ В}$$

2.2. Розробка схеми приладу

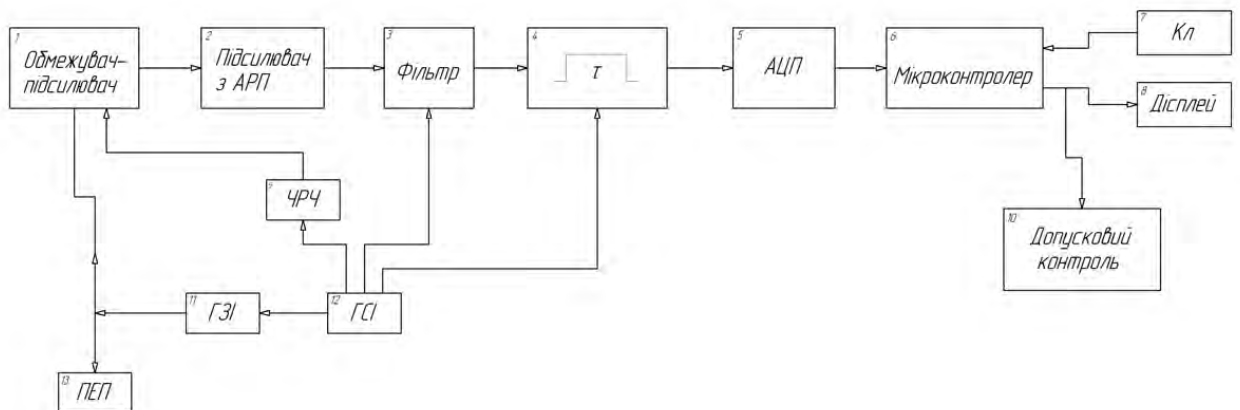


Рис. 2.2 Структурна схема ультразвукового товщиоміра

Схема працює за таким алгоритмом:

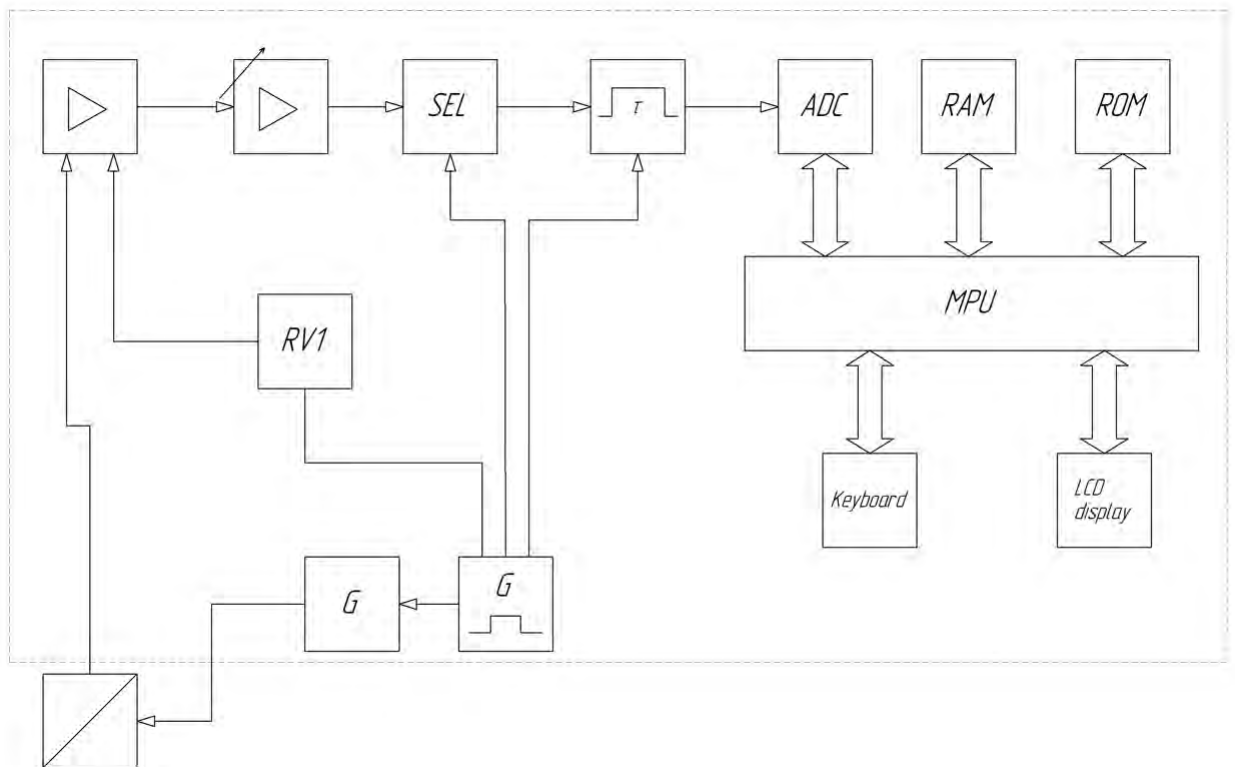
Генератор синхронізуючих імпульсів (12) генерує сигнали синхронізації для координації роботи всіх компонентів. Генератор зондувальних імпульсів (11) генерує ультразвукові імпульси. Ультразвукові імпульси надсилаються до п'єзоелектричного перетворювача (13), який перетворює їх у механічні коливання. Механічні коливання проходять через підсилювач з діодним обмежувачем (1), де вони підсилюються. Підсилені коливання потрапляють до підсилювача з автоматичним регулюванням чутливості (2), який автоматично регулює чутливість для оптимального збору сигналу. Після цього сигнал проходить через схему селекції (3), яка відсіює непотрібний шум і спотворення, залишаючи лише корисний сигнал. Сигнал піддається обробці в блоку формування вимірювального інтервалу (4), який встановлює потрібний інтервал для вимірювання товщини об'єкта. Потім сигнал проходить через аналогово-цифровий перетворювач (5), який перетворює аналоговий сигнал на цифровий формат, який може бути оброблений мікроконтролером. Цифрові дані передаються мікроконтролеру, який виконує обробку сигналу, включаючи вимірювання часової затримки та обчислення товщини об'єкта. Результати вимірювань піддаються допусковому контролю, де вони порівнюються з заданими допусками для визначення, чи відповідає об'єкт заданим вимогам.

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Функціональна схема

Після того як ми розробили структурну схему, можемо розробити функціональну схему. Вона показує, як різні компоненти працюють разом, як передаються дані, сигнали або управління між блоками.

Функціональна схема дозволяє отримати уявлення про те, як пристрій або система функціонуватимуть на високому рівні. Кожен блок представляє певну функцію або завдання, яке виконується системою, і має вхідні та вихідні параметри. Зв'язки між блоками показують, як дані або сигнали переміщуються між ними.



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2.4. Підбір компонентів

2.2.1 Підбір генератора синхронізуючих імпульсів

Ми взяли ГСІ CD4047 він може працювати як в моностабільному, так і в астабільному режимі. Для визначення ширини вихідного імпульсу в моностабільному режимі і вихідної частоти в астабільному режимі потрібен зовнішній конденсатор (між виводами 1 і 3) і зовнішній резистор (між виводами 2 і 3).

Астабільна робота забезпечується високим рівнем на астабільному вході або низьким рівнем на астабільному вході. Вихідна частота (при 50% робочому циклі) на виходах Q і \bar{Q} визначається компонентами синхронізації. На виході генератора доступна частота, що вдвічі перевищує частоту Q; 50% робочий цикл не гарантується.

Моностабільна робота досягається, коли пристрій запускається переходом від низького до високого рівня на вході + тригера або переходом від високого до низького рівня на вході - тригера. Пристрій може бути перезапущений одночасним переходом з низького рівня на високий як на вході + тригера, так і на вході ретригера. Високий рівень на вході Reset скидає виходи Q на низький рівень, а \bar{Q} на високий рівень.

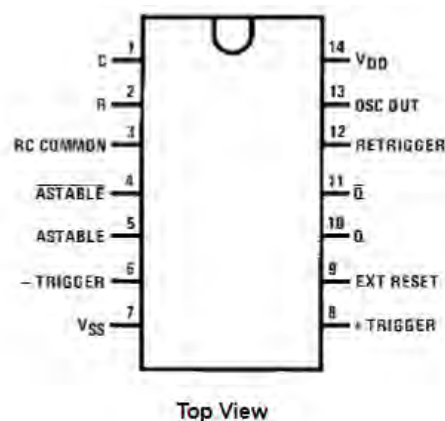


Рис.12 CD4047 призначення для виводів SOIC і DIP

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Особливості:

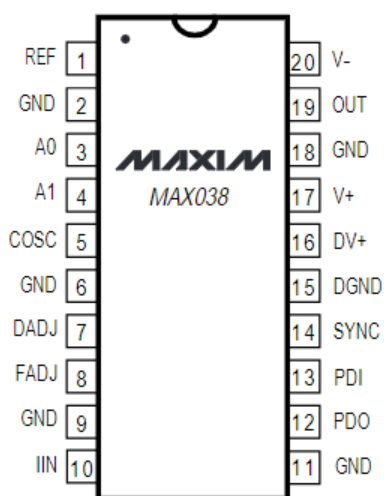
Широкий діапазон напруги живлення: від 3,0 В до 15 В

Висока завадостійкість: 0,45 VDD (тип.)

Сумісність з низьким енергоспоживанням TTL: Вентилятор з 2 драйверів 74L або 1 драйвера 74LS

2.2.2 Підбір генератора зондуєчих імпульсів

Ми обрали в ГЗІ MAX038 - це прецизійний генератор функцій, який працює на високих частотах. Він здатний генерувати точні трикутні, пилкоподібні, синусоїдальні, прямокутні та імпульсні форми сигналів з мінімальними зовнішніми компонентами. Використовуючи внутрішнє джерело опорної напруги 2,5 В, а також зовнішній резистор і конденсатор, вихідну частоту MAX038 можна регулювати в діапазоні від 0,1 Гц до 20 МГц. Робочий цикл, який забезпечує широтно-імпульсну модуляцію і генерацію пилкоподібних сигналів, можна регулювати в широкому діапазоні за допомогою керуючого сигналу $\pm 2,3$ В. І частотна модуляція, і частотна розгортка можуть бути досягнуті за допомогою одного і того ж методу. Важливо, що регулятори робочого циклу і частоти працюють незалежно.



DIP/SO

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Рис. 13 Конфігурація виводів МАХ038

Особливості:

- Діапазон робочих частот від 0,1 Гц до 20 МГц
- Трикутна, пилкоподібна, синусоїдальна, прямокутна та імпульсна форми сигналу
- Незалежне регулювання частоти і робочого циклу
- Діапазон розгортки частоти від 350 до 1
- Змінний робочий цикл від 15% до 85%
- Низькоомний вихідний буфер: 0.1Ω
- Синусоїда з низьким рівнем спотворень: 0,75%.
- Низький температурний дрейф $200 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$

2.2.3 Підбір підсилювача – обмежувача.

Ми обрали підсилювач AD8361.

AD8361 - це середньочастотний детектор потужності для використання у високочастотних сигнальних ланцюгах приймачів і передавачів до 2,5 ГГц. Його дуже легко застосовувати. У більшості застосувань йому потрібне лише одне джерело живлення від 2,7 В до 5,5 В, розділовий конденсатор джерела живлення і вхідний розділовий конденсатор. На виході виходить алінійна напруга постійного струму з коефіцієнтом перетворення 7,5 В/В середньоквадратичне значення.

Для збільшення постійної часу усереднення можна додати зовнішній конденсатор фільтра. AD8361 призначений для вимірювання істинної потужності простих і складних сигналів. Пристрій особливо корисний для вимірювання сигналів з високим коефіцієнтом гребеня (високим відношенням піку до середньоквадратичного значення), таких як CDMA і W-CDMA.

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

AD8361 має три режими роботи, щоб задовольнити різноманітні вимоги до аналого-цифрового перетворювача:

1. Режим з прив'язкою до землі, в якому початок координат дорівнює нулю;
2. Режим внутрішнього опорного сигналу, який зміщує вихід на 350 мВ над землею;
3. Режим опорного сигналу живлення, який зміщує вихід до $V_S/7.5$.

AD8361 призначений для роботи в діапазоні температур від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$ і доступний у 8-вивідних корпусах `micro_SOIC` Рис. і 6-вивідних корпусах `SOT`. Він виготовляється за запатентованим біполярним кремнієвим технологічним процесом з високим коефіцієнтом теплового переносу.

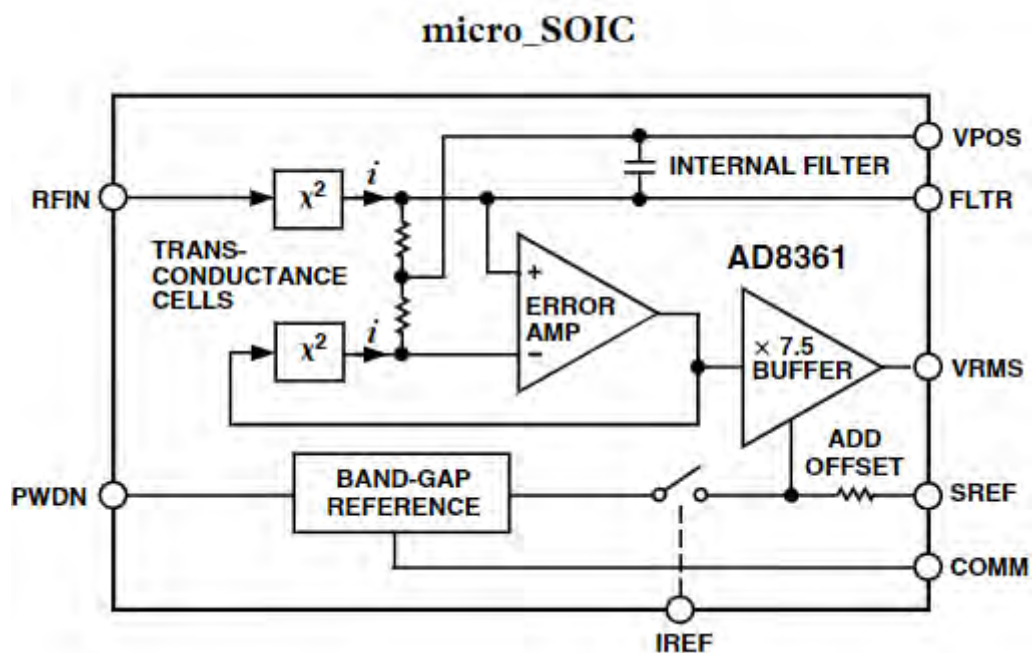


Рис.12 Функціональна схема AD8361 у 8-вивідному корпусі `micro_SOIC`

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

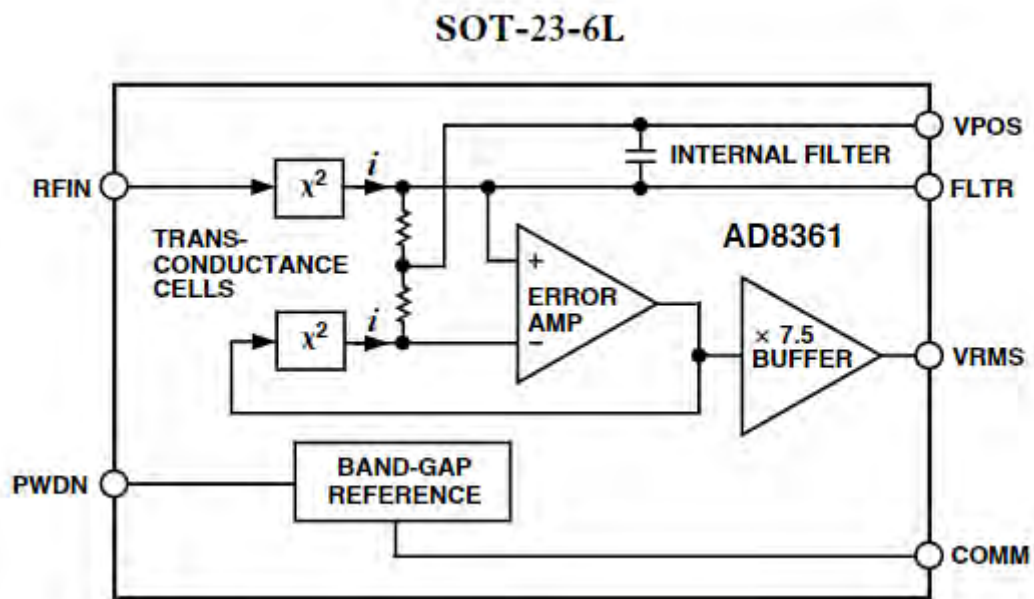


Рис.13 Функціональна схема AD8361у 6-вивідному корпусі SOT

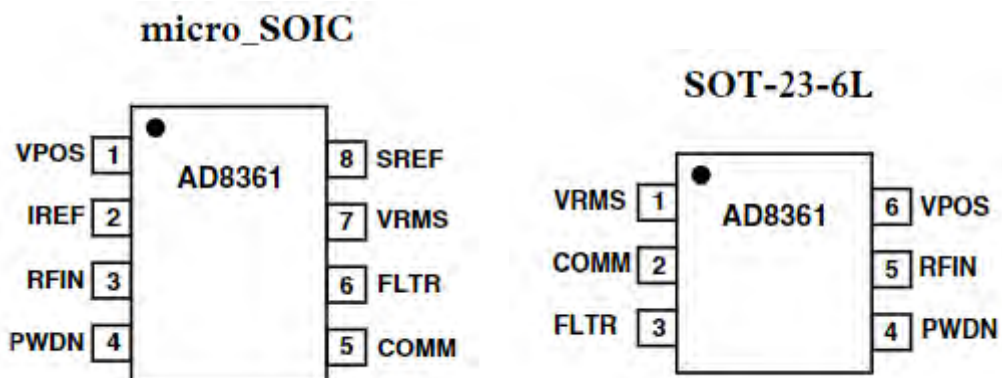


Рис.14 Конфігурація виводів

2.2.4 Підбір підсилювача з АРП

Ми обрали в якості підсилювача АРП PGA281.

PGA281 - це вимірювальний підсилювач, який забезпечує високу точність і має цифрове регулювання коефіцієнта підсилення та можливість тестування цілісності сигналу. У ньому використовується спеціальна технологія

автоматичного обнулення для досягнення низької напруги зсуву, мінімального дрейфу зсуву і коефіцієнта підсилення, високої лінійності та мінімального шуму $1/f$.

PGA281 спеціально розроблений для забезпечення виняткового відсікання синфазних перешкод, що перевищує 110 дБ ($G = 1$) в широкому діапазоні частот. Таке чудове відсіювання синфазних сигналів і шумів джерела живлення забезпечує високу роздільну здатність і точність вимірювань. Крім того, здатність працювати з живленням 36 В і широкий вхідний діапазон роблять його придатним для універсальних вимог до вимірювання сигналів.

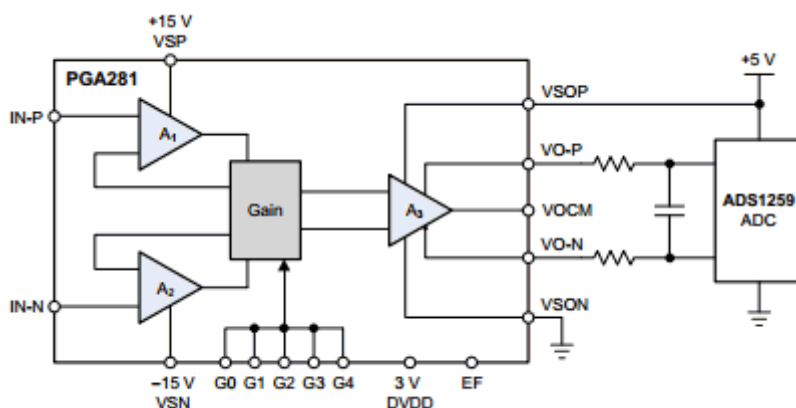


Рис. 15 Спрощене застосування PGA281

2.2.5 Підбір АЦП

В якості схеми АЦП ми обрали датчик ADS1115 (рис.16) , розроблений на основі відповідного чипа, є низькоспоживаючим і сумісним з I2C шиною. Він має розрядність 16 біт і оснащений програмованим підсилювачем і цифровим компаратором. Швидкість перетворення даних на датчику може досягати від 8 до 860 вибірок на секунду (SPS). У нього є 4 входи для перетворення аналогових сигналів. Вхідні сигнали можуть перебувати в діапазонах від ± 256 мВ до ± 6.144 В. Модуль датчика може житися від напруг 3,3 В або 5 В



Рис.16 Плата ADS1115

2.2.6 Підбір мікроконтролера

В ролі мікроконтролера ми обрали STM32F4. Плата STM32F407 є потужним інструментом для розробки різних пристроїв, включаючи ультразвукові товщиноміри. Вона оснащена мікроконтролером STM32F407ZGT6 з 32-бітною архітектурою ARM Cortex-M4, що забезпечує високу швидкість виконання програмного коду. Плата має вбудовану флеш-пам'ять об'ємом 1 МБ та 192 КБ оперативної пам'яті для зберігання програм та даних.

Для зчитування аналогових сигналів плата підтримує вбудовані аналого-цифрові конвертери (ADC) з до 24 каналами та роздільною здатністю до 12 біт. Це дозволяє отримувати точні виміри аналогових даних. Плата також підтримує широкий спектр комунікаційних інтерфейсів, таких як UART, SPI, I2C, CAN, USB та Ethernet.

Додатково, STM32F407 має розширений набір периферійних пристроїв, включаючи таймери, зберігання EEPROM, DMA-контролери та можливість генерації PWM-сигналів. Це дозволяє розширити функціональність плати та пристрою загалом.

Плата має також роз'єми та піни для підключення додаткових модулів та датчиків, що робить її дуже гнучким інструментом для розробки.

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47



Рис.17 Плата STM32F407

Основні характеристики:

- Мікроконтролер: STM32F407VGT6 з 32-бітовим ARM Cortex M4
- Корпус: LQFP100
- 168 МГц тактова частота
- 1 МБ об'єм Flash-пам'яті
- 192 КБ об'єм SRAM-пам'яті
- 80 портів введення-виведення
- 78 портів толерантних до 5 В
- АЦП: 3× 12 бітний на 24 канали
- ЦАП: 2× 12 бітний

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

- 17 таймери ШІМ
- Апаратні інтерфейси: 3× SPI, 3× I²C, 6× UART, 2× CAN, 1× SDIO
- 3,3 В номінальна робоча напруга
- 25 мА максимальний струм з піна або на пін

2.2.7 Підбір дисплея

Ми обрали LCD1604 (5V Blue Backlight)



Рис.18 Дисплей LCD1604 (5V Blue Backlight)

Будова дисплея: 16 символів * 4 рядки

Режим відображення: TN/STN

Тип дисплея: Позитивно-трансфлексивний

Підсвічування: LED/4.2VDC

Напрямок огляду: 6 годин

Робоча температура: У приміщенні

Напруга живлення: Однофазний

Метод керування: 1/16 дежурний, 1/4 зсув

Тип COB (Chip On Board)

Кількість лінійних даних: 8-біт паралельна

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Роз'єм: Pin / ZEBRA

2.2.8 Підбір клавіатури

В якості клавіатури обрали матричну клавіатуру Adafruit 4x4. Ця клавіатура має матричну організацію 4x4, тобто 16 кнопок усього. Вона працює за допомогою цифрових входів-виходів (GPIO) мікроконтролера.

Щоб підключити цю клавіатуру до STM32F4, нам потрібно буде використати всього 8 GPIO пінів.



Рис.19 Матрична клавіатура

					ПК 91.140000.000ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок:

Завданням дипломного проекту було розробити ультразвуковий товщиномір для автоматизованого контролю товщини сталевих листів. Ми розглянули теоретичну частину ультразвукової товщинометрії. Розглянули різні методи реалізації товщиноміра і визначились з методом. Для реалізації нашого приладу ми використали луна-імпульсний метод НК.

Було розраховано коефіцієнт акустичного тракту який дав нам можливість зрозуміти який повинен бути наш прилад. Далі ми розробили структурну схему приладу відштовхуючись від розрахунків. По структурній схемі ми зробили функціональну схему. Потім було підібрані компоненти для нашого приладу і зроблено принципову схему.

					<i>ПК 91.140000.000ПЗ</i>	Арк.
						51
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		