

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК
«__» _____ 2021 р.

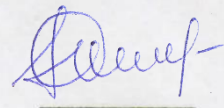
**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності**

**151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
на тему: «Комп'ютерно-інтегрована ультразвукова система
діагностики захворювань ока»**

Виконав:
Студент II курсу, групи ПК-01мп
Герасимчук Михайло Васильович



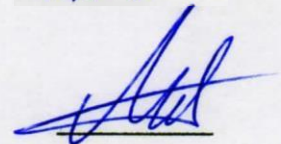
Науковий керівник:
Кандидат психологічних наук,
асистент кафедри АСНК
Лашко Олена Вікторівна



Консультант з розробки стартап-проекту:
Професор, доктор економічних наук
Бояринова Катерина Олександрів



Рецензент:
К.т.н., доцент
Мокійчук Валентин Михайлович



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

Київ – 2021 року

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

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Герасимчуку Михайлу Васильовичу

1. Тема дисертації «Комп'ютерно-інтегрована ультразвукова система діагностики захворювань ока», науковий керівник дисертації Лашко Олена Вікторівна, асистент кафедри АСНК, затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації

3. Об'єкт дослідження: процес діагностики захворювань ока людини за допомогою ультразвукових систем.

4. Вихідні дані: Робоча частота 10 МГц, вірогідність контролю 98%.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

- 1) Провести аналіз методів і засобів діагностики захворювань ока, пов'язаних із порушенням однорідності його структури;
- 2) Обґрунтувати вибір методу діагностування патологій ока;
- 3) Розробити структурну, функціональну та електричну схеми, розрахувати основні вузли системи та здійснити добір компонентів;
- 4) Провести моделювання та розробити конструкцію окремих структурних елементів розробленої схеми системи;

5) Розробити стартап-проект та проаналізувати отримані результати, зробити висновки

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: структурна, електрична і принципова схеми.

7. Орієнтовний перелік публікацій: 1 стаття.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проекту	Бояринова К.О., д.е.н., професор; професор кафедри менеджменту факультету менеджменту та маркетингу КПІ ім. Ігоря Сікорського		

9. Дата видачі завдання

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації (міс)	Примітка
1.	Проведення аналізу методів і засобів діагностики захворювань ока, пов'язаних із порушенням однорідності його структури	2	
2.	Обґрунтування вибору методу діагностики патологій ока	2	
3.	Розробка структурної, функціональної та електричної схеми, розрахунок основних вузлів системи та здійснення добору компонентів	3	
4.	Проведення моделювання та розробка конструкції окремих структурних елементів розробленої схеми системи	2	
5.	Розробка стартап-проект та аналіз отриманих результати, формування висновків	2	
6.	Оформлення пояснювальної записки, презентації та плакатів	1	

Студент
Науковий керівник

Михайло ГЕРАСИМЧУК
Олена ЛАШКО

Анотація

Магістерська дисертація студента групи ПК-01мп Герасимчука Михайла на тему «Комп'ютерно-інтегрована ультразвукова система діагностики захворювань ока» складається зі вступу, 6 розділів, висновків та списку використаної літератури. У вступі обґрунтовано актуальність та практичну цінність обраної теми, поставлено мету і завдання дослідження. В першому розділі був приведений огляд будови та захворювань ока; приладів та систем для діагностування захворювань ока. В другому розділі було розраховано акустичний та електроакустичний тракти, розраховані вузли схеми електричної принципової, розроблено структурну та функціональну схеми. В третьому розділі було виконано моделювання смугового фільтру. В четвертому розділі було проведено моделювання друкованої плати та розроблено в середовищі SolidWorks п'єзоелектричний перетворювач. В п'ятому розділі було розраховано вірогідність проведення діагностики. В шостому розділі розроблено стартап-проект за темою дисертації. У висновках підводиться підсумок проведеного дослідження та у списку використаної літератури подаються джерела, на основі яких було здійснене дослідження.

Ключові слова: п'єзоелектричний перетворювач, акустичний тракт, електроакустичний тракт, принципова схема, моделювання, друкована плата, діагностика, захворювання ока.

Annotation

The master's dissertation of students of the group PK-01mp Herasymchuk Mykhailo on the topic "Computer-integrated ultrasonic system for eye disease diagnostics" consists of an introduction, 6 chapters, conclusions and a list of references. The introduction substantiates the relevance and practical value of the chosen topic, sets the goal and objectives of the study. The first section provides an overview of the structure and disease of the eye; devices and systems for the diagnosis of eye diseases. In the second section the acoustic and electroacoustic paths were calculated, the nodes of the circuits of the electrical principle were calculated, the structural and functional schemes were developed. The third section simulates a bandpass filter. In the fourth section, the PCB was modeled and a piezoelectric transducer was developed in SolidWorks. In the fifth section, the probability of diagnosis was calculated. In the sixth chapter, a startup project for the topic of the dissertation was developed. The conclusions summarize the study and the list of references, the sources on the basis of which the study was conducted.

Key words: piezoelectric transducer, acoustic tract, electroacoustic tract, schematic diagram, modeling, printed circuit board, diagnostics, eye diseases.

Зміст

Перелік умовних позначень.....	7
ВСТУП.....	8
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	10
1.1. Будови ока.....	12
1.2. Різновиди захворювань ока.....	16
1.3. Прилади та системи для діагностування захворювань ока	22
1.3.1. Способи проведення офтальмоскопічної діагностики.....	22
1.3.2. Різновиди офтальмоскопічних приладів і систем.....	23
1.3.3. Ультразвукові методи офтальмологічної діагностики та складові системи ультразвукової діагностики	25
1.4. Обґрунтування вибору ультразвукового методу діагностування.....	33
1.5. Комп'ютерно-інтегровані системи та технології.....	34
Висновки до розділу 1.....	37
2. РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ.....	39
2.1. Розробка структурної схеми.....	39
2.2. Розробка функціональної схеми та опис часової діаграми.....	40
2.3. Розрахунок акустичного та електроакустичного трактів.....	42
2.4 Розробка та розрахунок електричної схеми, обґрунтування основних її елементів.....	48
2.4.1 Розрахунок генератора зондуючих імпульсів.....	48
2.4.2 Розрахунок схеми захисту.....	52
2.4.3 Розрахунок операційного підсилювача	53
2.4.4 Розрахунок смугового фільтру.....	54
2.4.5 Регульоване підсилення.....	55
2.4.6 Вибір та розрахунок АЦП	57
2.4.7 Вибір та розрахунок ОЗП.....	59
2.4.8 Вибір USB порту.....	61
2.4.9 Вибір клавіатури	62
2.4.10 Вибір мікроконтролера.....	63

Висновки до розділу 2.....	64
3. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ	65
Висновки до розділу 3	66
4. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	67
4.1. Розробка друкованої плати.....	67
4.2. Розробка конструкції первинного перетворювача.....	69
Висновки до розділу 4	70
5. РОЗРАХУНОК ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ.....	71
5.1 Похибка квантування АЦП.....	71
5.2 Похибка підсилювачів.....	72
Висновки до розділу 5	72
6. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ "КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА УЛЬТРАЗВУКОВА СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ ЗАХВОРЮВАНЬ ОКА"	73
6.1. Опис та технологічний аудит ідеї проекту	73
6.2. Аналіз ринкових можливості запуску стартап-проекту	75
6.3. Розробка ринкової стратегії проекту	82
6.4. Розробка маркетингової програми стартап-проекту.....	84
6.5. Організація реалізації стартап-проекту.....	87
Висновки до розділу.....	91
ВИСНОВКИ	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	95

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

КІТ – комп'ютерно-інтегровані технології

ГЗІ – генератор зондуючих імпульсів

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ОЗП – операційний запам'ятовувальний пристрій

ПЕП – п'єзо-електричний перетворювач

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач

МК – мікроконтролер

ОК – об'єкт контролю

НК – неруйнівний контроль

ПК – персональний комп'ютер

ВСТУП

Око є парним сенсорним органом людини, який може сприймати електромагнітні випромінювання у видимих діапазонах довжини хвилі і відіграє функцію зору. Через око люди сприймають майже 90% інформації з оточуючого світу. Очі ще називають зоровими аналізаторами, які складаються з трьох ланок: периферичної, провідникової і центральної. Очі людини є результатом довгого процесу вдосконалення світлових сенсорів нервової системи. Очне яблуко округленої форми, діаметр якої складає приблизно 23 мм, а маса 7-8 г. Стінки очей складаються з таких оболонок: зовнішньої (білкової), середньої (судинної), внутрішньої (сітківки). Очне яблуко містить стінку, внутрішнє ядро (кришталік, скловидне тіло), передню та задню камери ока (заповнені водянистою речовиною).

Хвороби ока є як і спадкові, так і набуті за життя, ось чому потреба у сучасному виявленні і діагностиці патологій грає велику роль в медицині.

Відносно недавно почали з'являтися прилади для діагностики ока, засновані на принципі пропускання через око ультразвукової хвилі певної частоти, та реєстрації параметрів цієї хвилі після проходження. Такі прилади мають значно менші габаритні розміри та вагу, а також більш якісніші результати контролю.

На сьогоднішній день існує чимало методів діагностики ока. Проте прилади якими виконується діагностика засновані переважно на законах геометричної оптики та містять в своїй конструкції велику кількість скляних деталей. За рахунок цього вони мають досить великі габаритні розміри та вагу. Також компоненти оптичної системи таких приладів інколи бувають досить дорогими у виготовленні.

Одним із важливих завдань виявлення патологій ока є дослідження однорідності структури цього органу. Серед перших пристроїв, що дозволяли виявляти неоднорідності ока людини, були ручні офтальмоскопи. Сьогодні виділяють такі види офтальмоскопів: бінокулярні, лазерні, з лінзою Гольдмана, прямої і зворотної дії. Основними недоліками цих приладів є низька інформативність щодо структури досліджуваного об'єкта, вузький спектр патологій, які можливо виявити, висока ймовірність помилкових діагнозів на основі досліджень.

Тому мета магістерської дисертації - розробка коп'ютерно-інтегрованої ультразвукової системи діагностики захворювань ока для виявлення патологій, пов'язаних з порушенням однорідності його структури.

Об'єктом роботи є процес діагностики захворювань ока людини за допомогою ультразвукових систем.

Предметом роботи є коп'ютерно-інтегрований ультразвуковий окулометр.

Завдання магістерської дисертації:

- Провести аналіз методів і засобів діагностики захворювань ока, пов'язаних із порушенням однорідності його структури
- Обґрунтувати вибір методу діагностування патологій ока
- Розробити структурну, функціональну та електричну схеми, розрахувати основні вузли системи та здійснити добір компонентів
- Провести моделювання та розробити конструкцію окремих структурних елементів розробленої схеми системи
- Розробити стартап-проект та проаналізувати отримані результати, зробити висновки

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1. Будова ока

Око є парним сенсорним органом людини, який може сприймати електромагнітні випромінювання у видимих діапазонах довжини хвилі і відіграє функцію зору. Через око люди сприймають майже 90% інформації з оточуючого світу.

Очі ще називають зоровими аналізаторами, які складаються з трьох ланок: периферичної, провідникової і центральної.

Периферична ланка складається з очей (очних яблук). Кожне око є сукупністю з оптичних й світлочутливих систем. Оптичні середовища утворюють оптичну систему. Головна роль оптичних середовищ: формування якісних зображень об'єктів, які розташовані в полі зору ока, а саме на сітківці, яка є зоною з світлочутливих елементів.[2, 4, 7, 14]

Внутрішні і зовнішні м'язи відіграють іншу функцію. Внутрішні розташовані всередині, в очному яблуці. Вони дають змогу зфокусувати зображення на сітківці об'єкту, що розташований на різній відстані до очей. Крім цього, ці м'язи, що можуть змінювати розміри отворів, крізь які в очі потрапляють світлові пучки, регулюють освітленість зображень на сітківці. Роль системи зовнішніх м'язів: керування просторового положення ока в очниці для суміщення візуальної осі в точках фіксації погляду.

Провідникова ланка – це зоровий нерв, який з'єднується окремим волокном світлочутливого елементу (фоторецептором) з проміжними зоровими центрами (колінчатими тілами) – секцією мозку, в яку йде передача фотоелектричних сигналів з фоторецептору для початкового опрацювання зорової інформації. Звичайним є суміщення нервових волокон в спеціальній зоні - хіазмі. Завдяки суміщенню сигналів з правої зони поля зору, які виробляються фоторецептором лівої сторони сітківки, потрапляють до лівої півкулі мозку, й відповідно з лівої зони – до правої півкулі.

Потім фотоелектричний сигнал потрапляє в кору головного мозку через так звані волокна Граціолі і досягає кінцевого зорового центру, розташованого в потилиці черепа (**центральна ланка**). Вони роблять остаточний аналіз того, що бачать очі. Провівши аналогію між оком і нервовою системою, їх, а точніше системи фоторецепторів, називають «частинами мозку, які винесені на периферію».[2, 4, 7, 14]

Око людини є результатом тривалих, протягом мільйону років, процесів вдосконалення світлових сенсорів нервової системи.

Очне яблуко округленої форми, діаметр якої складає приблизно 23 мм, а маса 7-8 г. Стінки очей складаються з таких оболонок: зовнішньої (білкової), середньої (судинної), внутрішньої (сітківки). Очне яблуко містить стінку, внутрішнє ядро (кришталік, скловидне тіло), передню та задню камери ока (заповнені водянистою речовиною). На рис. 1.1 показана будову очного яблука

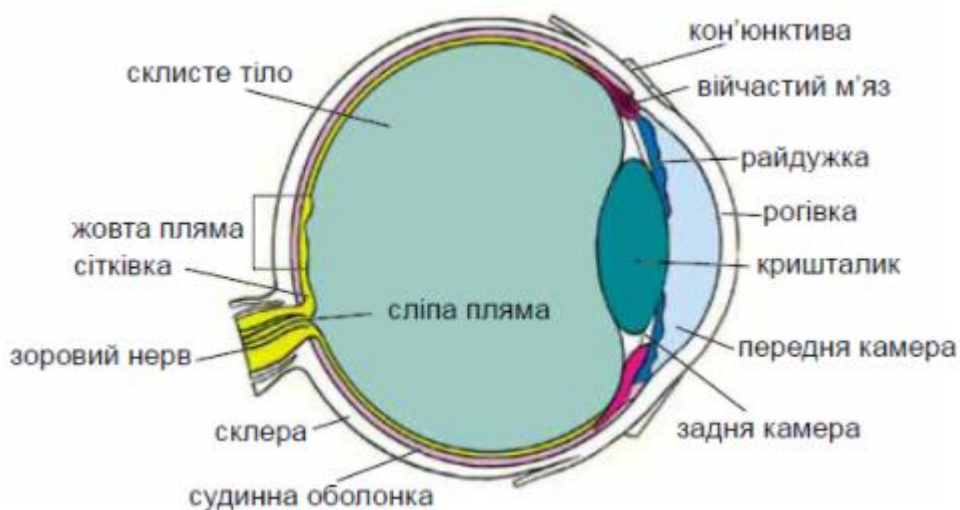


Рис. 1.1 Будова ока

Склера - зовнішня щільна білкова оболонка, має білий колір, складається з колагенових волокон. Нею зовні вкрите око.

Рогівка – тонка прозора оболонка, в яку переходить склера. Рогівка являє собою прозору оболонку діаметром 12 мм, яку утворили однотипні епітеліальні клітини, які складаються з води, що надає їм прозорості. Передня частина рогівки має опуклу форму, а задня навпаки має увігнуту форму, тому йде частке

заломлення світлових променів. Рогівка має механорецептор - дотики до неї спричиняють моргання.

Функції, які виконує зовнішня оболонка:

- підтримка (підтримка форми очей);
- захист (викликає потім сліз, виконує функцію захисту);
- заломлення променів світла.

Складові **середньої, або судинної, оболонки**: передня (райдужна оболонка), середня (війкове тіло) і задня (сама судинна оболонка).

Судинною оболонкою називають місце, в якому розгалужуються кровоносні судини, розташовані під склерою.

В передній частині (під рогівкою) судинна оболонка перетворюється на **райдужну оболонку** – дископодібну структуру, клітини якої складаються з пігментів меланіну (кількість меланіну показує колір ока — від сірих або блакитних до коричневих та чорних кольорів). Колір ока людей встановлюється генетикою (спадковістю). Райдужна оболонка поглинає світлові промені, що потрапляють до ока, тому не відбувається розсіювання і відбивання світла в очному яблуці. [2, 4, 7, 14]

Зіниці мають форму круглого отвору, через який світлові промені потрапляють в око, розташованого в центрі райдужки, вони грають роль діафрагм. Діаметри зіниць змінюються на рефлекторній основі узгоджено в обох очах. Внутрішня поверхня райдужної оболонки складається з двох непосмугованих кільцевих м'язів райдужки: радіального (скорочується через слабкі умови освітлення — зіниця розширяється) та колового м'язу (скорочується через надмірне освітлення – зіниця звужається); вони врегульовують надходження світла в око. М'язи, що звужують зіниці, іннервуються парасимпатичним нервом, і навпаки м'язи, які розширюють зіниці, — симпатичним нервом. За рахунок емоційної реакції змінюються діаметри зіниць: у стані страху зіниці розширюються, а в стані гніву – звужуються (як кажуть «У страху великі очі»). Завдяки цим реакціям райдужної оболонки йде відповідь на зміну освітленості в середовищі (дозволяючи

пропустити через зіниці достатньо світлових променів, щоб бачити, і не даючи занадто яскравому світлу пошкодити сітківку). [2, 4, 7, 14]

Зовнішній кінець райдужки переходить у **війкове тіло**, до складу якого входять: сполучні тканини, судини, м'язи, зв'язки. Основною частиною війкових тіл є внутрішні непосмуговані війкові м'язи, які утримуть прозорі капсули з кришталіками. Щоб розглянути предмет, що знаходиться далеко, війкові м'язи розслаблюються, для предмету що близько – напружуються. Функція, яка виконується війковими м'язами: пристосування (функція акомодатції) для регулювання кривизною кришталіка.

Функції, за які відповідає середня оболонка:

- забезпечення кровопостачання в око;
- утворення рідини в камерах, яку використовує війкове тіло;
- участь у обміні кінцевими продуктами речовин.

Кришталік розташовується зразу за зіницею. Поміщений в тонку еластичну капсулу, яка прикріплена зв'язками до війкового м'язу війкового тіла. Кришталіки відіграють роль еластичних прозорих тіл, утворених напіврідкою прозорою сумішшю і форми двовипуклих лінз діаметрами по 10 мм (беруть участь у пропусканні та заломленні світла), вони м'які та можуть змінювати значення кривизни. За автоматичну зміну опуклості кришталіка відповідають війкові м'язи: щоб роздивитись предмет який далеко, м'язи розслабляються, і навпаки, для предмету на відстані м'язки напружуються і роблять кришталік опуклим. Кришталік фокусує сонячні промені на сітківку ока. [2, 4, 7, 14]

Кришталік ділить очну ямку на дві частини: **передню і задню** (склисте тіло).

Передню формують **передня і задня вологі камери**. Передня волога камера розташована між рогівкою та райдужною оболонкою, а задня волога камера розташована між райдужкою та кришталіком. Вологі камери наповнені тканинною речовиною, водянистої вологи (виробляється циліарним тілом), поживними речовинами для функціонування кришталіка та рогівки, оскільки в них немає кровоносних судин. Цінність рідини: забезпечує обмін речовин в кришталіку,

рогівці та склоподібному тілі, які не мають власних судин, зволожує обидві сторони кришталіка.

Склоподібне тіло — це велика порожнина (за кришталіком), яка заповнена прозорим желеподібним розчином білка. Це кругле прозоре в'язке утворення займає головний обсяг очного яблука.

Функція склоподібного тіла: підтримка кулястої форми ока, забезпечення додаткового проходження променів світла до сітківки, підтримка тиску всередині ока.

Внутрішня поверхня очного яблука вкрита внутрішнім шаром - сітківкою. **Сітківка** — найтонший і майже прозорий шар ока, розташована між судинною оболонкою і прилеглим до неї склоподібним тілом. Фоторецептори сітківки, які складаються з паличок і колбочок, перетворюють світлові подразники у нервові імпульси.

Задня частина сітківки називається **дном** очного яблука. Фоторецептори сітківки розташовані нерівномірно, палички сітківки складають більшу частину за колбочки.

Ділянка сітківки, яка звернена до зіниці і має у структурі колбочки, які щільно розташовані, зветься **жовтою плямою**; найбільш чітке сприймання зображень забезпечує проникнення світлових променів в цю область.

Сліпа пляма - точка виходу зорових нервів (не містить фоторецепторів, тому не має чутливості до світлових променів і не дає зорових відчуттів).

Товщина сітківки відносно мала: 0,1 - 0,2 мм, але вона складається з безлічі різних клітинних шарів, які, з'єднуючись один з один відростками, переплітаються в перфоровану мережу: зовнішній шар пігментованих клітин, а потім шар фоторецепторів, і, нарешті, багат шарові нервові клітини..

Шар з пігментованих клітин приєднується до судинної мембрани. Він складається з епітелію, який має фіолетовий пігмент (поглинає світло, сприяє більш чіткому зображенню предметів).

Далі йде шар **фоторецепторів** - палички і колбочки, які перетворюють світлові подразники в імпульси.

Через те, що як в усіх хребетних, око людини перевернуте: два шари нервових клітин (біполярний і гангліонарний) розташовані над фоторецепторами, а не ззаду них. Світло має перейти через ці шари нервових клітин, щоб досягти паличок і колбочок.

За нею знаходиться шар, що містить **біполярні нейрони** і допоміжні клітини, які відповідають за обробку інформації, що надходить фоторецепторами.

Далі йде шар **гангліонарних нейронів**, які приблизно мають кількість 1 млн і знаходяться в сітківці, їх аксони суміщуються в центрі сітківки, де утворюють зоровий нерв..

Біполярні та гангліозні клітини організовані в зв'язки між собою, тому зоровий нерв має в 100 разів менше нервових волокон, ніж фоторецепторів.

Цей сигнал передається до біполярних нейронів, а потім до гангліозних клітин.

Нерв, який виходить від ока і крізь отвір орбіти надходить до порожнини черепа і переходить до мозку.

Сітківка — це свого роду периферична частина зорової сенсорної системи, яка сприймає світлові подразнення, робить первинну обробку та утворює нервові імпульси. [2, 4, 7, 14]

1.2. Різновиди захворювань ока

Новітня офтальмологія зробила великий прорив у методах діагностики та лікуванні багатьох хвороб. Найчастішу проблеми із зором пов'язуються з порушеннями рефракції, такими як короткозорістю, далекозорістю та астигматизмом. Такі захворювання на цей час добре лікуються та корегуються різноманітними методиками. Хвороб очей є досить велика кількість. Вони існують як вроджені так і спадковими, або через ті та інші фактори. У кожної людини захворювання очей проявляються по-інакшому, це залежить від індивідуальних особливостей організму, і поставити точний діагноз може тільки спеціаліст.

Катаракта - це захворювання, що характеризується повним або частковим помутнінням кришталика ока або його капсули. Патологія супроводжується зниженням або втратою зору. Найчастіше катаракта зустрічається в дорослих людей, старше 50 років, але все ж таки захворювання зустрічається в будь-якому віці. Розрізняються декілька видів катаракти. До них відноситься травматична, вроджена, ускладнена та променева катаракта. [2, 4, 7, 14]

Катаракта має декілька ступеню ураження та в залежності від цього варіюються симптоми, але, до основних відносять:

- Поява подвоєння в оці, у випадку, коли інше око на цей час закрите. Це перший симптом, того, як хвороба прогресує, після того він зникає.
- Нечіткі картини, розпливчасті образи, які не змінюються за допомогою контактних лінз чи окулярів. Також погано видно як близько, так і далеко певні предмети. Пацієнти дають характеристику такому зіру, як затуманений, або з утворенням пелени.
- Поява спалаху та відблиску, яке виникає найчастіше вночі.
- Збільшення світлочутливості очей в нічний час. Взагалі нічний зір стає гіршим. Всі джерела світла починаються здаватись пацієнту досить яскравими, також дратують очі.

- Оглядаючи джерела світла, люди з катарактою бачуть біля них ореоли. Людина із помутніннями в кришталіку не може управляти машиною, бо це є досить важко, так як його засліплюватимуть фари зустрічних транспортів.

- Сприйняття кольорів порушується, всі вони стають блідними. Зазвичай важко сприймати людині відтінки фіолетового та блакитного кольору.

- Покращення зору, має тимчасовий характер. Даний симптом характеризується тим, що людина, яка носила окуляри, із розвитком хвороби може не користуватись ними. Але, це має не довгий період, бо згодом зір знову погіршується.

- Якщо людині постійно треба змінювати окуляри для зору, то це є привід задуматися про катаракту, тому що це захворювання має властивість прогресувати та швидко знижувати зір.

Симптомом катаракти також є поява смужок та миготіння плям або різних кульок. Давні греки дали назву захворюванню водоспадом, тому що при катаракті в людини виникає відчуття, наче його очі покриваються пеленою, та він дивиться наче через запітніле скло. При катаракті ока важко читати, писати, працювати з малими деталями. В міру “дозрівання” катаракти колір зіниці змінюється з чорного на біле.

Глаукома («мутні блакитні очі») — це велика група захворювань очей, що характеризуються безперервним або періодичним підвищенням внутрішньоочного тиску з наступними типовими дефектами поля зору, зниженням зору та атрофією зорового нерва. Існує дві основні форми глаукоми: відкритокутова і закритокутова. Крім того, розрізняють вроджену глаукому у підлітків і різні форми вторинної глаукоми, включаючи глаукому, пов’язану з аномальним розвитком очей. Відкритокутова глаукома має більше 90% всіх випадків хвороби цією недугою. При даній формі глаукоми райдужно-рогівковий кут відкритий, це і дало їй таку назву. Причини до кінця не з’ясовані, порушення відтоку внутрішньоочної рідини. Це приводить до його поступового збільшення, але постійно підвищений тиск, який в кінці може зруйнувати зоровий нерв та призвести до втрати зору, якщо не виявити це завчасно, та не розпочати медикаментозне лікування під контролем лікаря.

Закритокутова глаукома - більш унікальна форма глаукоми, яка часто буває при далекозорості в людей віком старше 30 років. При даній формі глаукоми тиск в оці збільшується швидко. Все, це розширює зіницю, наприклад, тьмяне світло, певні медикаменти та навіть розширюють краплі для очей, які закачують перед обстеженням ока, може стати наслідком того, що в деяких людей райдужна оболонка заблоковує відтік внутрішньоочної рідини. Коли починається така форма захворювання, очне яблуко стрімко твердіє, та несподівано тиск викликає біль та затуманення зору. [2, 4, 7, 14]

Розвинення глаукоми призводить до незворотного процесу часткової або повної втрати зору. Перш за все починається погіршення периферійного зору. Потім зміни здійснюються по всьому полі зору. Якщо тиск зростає, а хворий не починає лікування, - зір з часом стає гіршим аж до сліпоти.

Якщо члени вашої сім'ї страждають глаукомою, сліпотою чи погіршенням зору, вам потрібно терміново сповістити про це лікареві.

Гострий напад глаукоми - напад, який виникає в наслідок різкого збільшення внутрішньоочного тиску (ВГД), та викликає порушення кровообігу ока, яке може призвести до повної сліпоти.

Напад може початись раптово. Починається біль в оці, у впевній половині голови, найчастіше на потилиці, нудота, часто блювота, загальна слабкість. Гострий напад глаукоми часто сприймають за мігрень, гіпертонічний кризис, отруєння, це призводить ще більш до тяжких наслідків, бо допомогу таким хворим потрібно надавати в перші часи захворювання. [2, 4, 7, 14]

Кератоконус - конусоподібне випинання в центрі рогівки, яке розвивається в період статевого дозрівання, викликаючи зміни анатомічної структури і топографії рогівки, що в свою чергу призводить до поступового зниження зору. Захворювання починається в молодому віці в працездатного населення, та питання лікування кератоконуса є одною із ключових тем у сучасній офтальмології.

Хвороба проявляється погіршенням зору через розвиток астигматизму та короткозорості. Пацієнти мають скаргу на необхідність частої зміни оптичної сили

окулярів та появу несприйняття м'яких контактних лінз. Характерною причиною є те, що ці скарги спочатку стосуються тільки одного ока.

Далі при розвитку кератоконуса астигматизм збільшується, та корекція зору є неможливою. Рогівка стає тоншою до критичних величин. Надалі товщина рогівки стає настільки малою, що не має змогу підтримувати баланс внутрішнього та зовнішнього тиску. Розвивається набряк рогівки, це є небезпечним наслідком для цілісності ока. [2, 4, 7, 14]

Початкова стадія захворювання до останнього часу важко діагностується та часто пропускається.

Останнім часом, завдяки появі новітніх технологій дослідження рогівки кератоконус діагностується частіш та на початкових стадіях. Новітні методи дослідження рогівки надають змогу отримувати повну топографічну карту передньої та задньої поверхні рогівки (що є досить важливо, тому що початкові зміни проявляються саме на задній поверхні), визначати їх товщину в будь-якій точці із точністю до 1 мікрона.

Астигматизм ока – дефект ока, який зумовлюється несферичною формою рогівки чи кришталіка, за яким промені світла не фокусуються в одній точці. При астигматизмі ока промінці світла, які виходять з однієї точки, по різному заломлюються в оці, на різних його меридіанах (правильний астигматизм ока), або на різних відрізках одного меридіана (неправильний астигматизм ока), внаслідок цього на сітківці відтворюється спотворене зображення.

Основними симптомами є нечіткий зір, за яким важко розгледіти дрібні деталі як близько, так і здалеку. Око, яке має астигматизм, чітко сприймає пряму лінію тільки в одному меридіані. [2, 4, 7, 14]

Астигматизм зумовлюється нерівномірною кривизною рогівки чи неправильною формою кришталіка, в залежності від чого розрізняють рогівковий та кришталіковий астигматизм.

Розрізняють дві форми рогівкового астигматизму: правильна, при якій рогівка має форму сфероїда, а світло заломлюється в різних меридіанах по-різному (зазвичай вроджений і виправлений); неправильний, через помутніння

астигматизму і рубцевої рогівки, не тільки має різну меридіанну заломлюючу силу, але й заломлюючу силу кожного меридіана (найпоширенішою є набута, некоригована). [2, 4, 7, 14]

Відповідно до положення сітківки щодо двох фокальних ліній:

- Складний короткозорий астигматизм - фокальна лінія перед сітківкою;
- Простий короткозорий астигматизм – одна вогнищева лінія на сітківці, інша – спереду;
- Змішаний астигматизм - сітківка між фокальними лініями;
- Простий гіперметропічний астигматизм – одна вогнищева лінія на сітківці, інша – позаду;
- Складний гіперметропічний астигматизм - фокальна лінія за сітківкою.

При сфероастигматизмі має місце не астигматизм, а сферична аберація, яка за своїми проявами подібна, оскільки за неї промені також не фокусуються в одній точці.

Короткозорість або **міопія** — недолік зору, коли людина чітко бачить тільки близько розташовані предмети, результат збільшення заломлювальної сили оптичних середовищ ока (кришталіка, рогівки) або досить великої довжини осі (при нормальній заломлювальній силі) очного яблука. Короткозорість є вроджена та набута. Набута — тоді коли збільшується кривизна кришталіка. Вроджена — зображення з'являється не на сітківці, а перед нею.

При короткозорості промені від віддалених предметів, що входять в очі паралельно, збираються не на сітківці ока, що потрібно для нормального зору, а перед нею. При великій прогресуючій короткозорості зір погано підправляється окулярами, важко при читанні, з'являється відчуття літаючих мушок перед очима, та іноді різке зниження зору через крововилив, або відшарування сітківки.

Далекозорість чи **гіперметропія** — недолік зору, який з'являється через зміну оптичної системи ока, це є симптомом нездатності сфокусувати зір на певному об'єкті. При цьому промені світла, які потрапляють після заломлення через лінзу ока (рогівку і кришталік) віртуально збирається за сітківкою

(світлосприймальний апарат ока), а на сітківці формується нечітке зображення. Далекозорість часто починає розвиватись після 50 років. [2, 4, 7, 14]

Більш важкими, та небезпечними та складними офтальмологічним захворювань є **відшарування сітківки**. Даний стан вимагає термінове оперативне втручання в лікування очей. В інших випадках воно може провокувати розвиток серйозних хвороб як катаракта, увеїт (хронічне запалення) та навіть повну втрату зору.

В здорових очах сітківка ока та судинна оболонка щільно прилягають один до одного. Через такий ряд причин (травми, внутріочні пухлини, діабетична ретинопатія, короткозорість) може відбуватись відшарування сітківки, іншим словом відділення сітківки від судинної оболонки. Відбувається це внаслідок натягу або розриву, порушення харчування та дистрофії сітківки. Результатом процесу руйнування тканин сітківки є досить велике погіршення зору. Якщо вражена центральна область сітківки – макули – погіршується центральний зір. Даний стан має назву макулодистрофію, та часто пов'язується із віковими змінами, тому зустрічається найчастіше в людей похилого віку. Незважаючи на погіршення зору та здоров'ю організму в цілому, яке несе відшарування сітківки, потрібно знати що все лікується. Новітні методи лікування надають змогу вберегти зір при своєчасному проведеному хірургічному втручанні (вітректомія). Потрібно пам'ятати, що в певній ситуації альтернативи операції немає і бути не може. Позитивний прогноз залежить від того, як швидко ви звернетесь до офтальмолога. Кваліфікована допомога та кваліфіковане лікування досвідчених хірургів допоможуть вам зберегти ваші очі здоровими. [2, 4, 7, 14]

1.3. Прилади та системи для діагностування захворювань ока

1.3.1. Способи проведення офтальмоскопічної діагностики

Офтальмоскопія ока є поширеним дослідженням в офтальмологічній практиці. Вона вважається найважливішим методом діагностики захворювань органів зору. Процедура безпечна і не доставляє пацієнтові неприємних відчуттів.

Офтальмоскопія передбачає огляд очного дна за допомогою спеціального приладу - офтальмоскопа. Обстеження дозволяє візуалізувати стан сітківки і розташованих в ній структур. Це неінвазивна процедура, яка проводиться на профілактичних оглядах у людей будь-якої вікової категорії.

Завдяки офтальмоскопії вдається виявити важкі патології органів зору в самому початку розвитку. Серед них: катаракта, новоутворення, ушкодження зорового нерва, відшарування сітківки, глаукома, макулодистрофія, меланома, цитомегаловірусний ретиніт, патології судин очей.[2, 3, 4, 7, 14]

Є кілька різновидів офтальмоскопії. Для кожної з них використовуються прилади різної модифікації і з різними технічними характеристиками. Лікар підбирає оптимальний варіант для хворого в залежності від конкретного клінічного випадку.

Зворотну офтальмоскопію проводять за допомогою високودیоптрійної збиральної лінзи. Її можна встановити в дзеркальний офтальмоскоп Гельмгольца. Трохи позаду пацієнта ставлять настільну лампу. Лікар бачить перевернуте зображення очного дна, збільшене до п'яти разів.

Переваги методу: безконтактність, швидкість проведення, широкий огляд, застосовується навіть при поганому освітленні.

З недоліків слід зазначити той факт, що неможливо сильно збільшити зображення.

Бінокулярна - це різновид непрямой офтальмоскопії. Але обстеження проводиться не одним оком, а відразу двома. Спосіб знайшов широке застосування в хірургії. Він незамінний при виконанні операцій на сітківці або очному яблуці. У

звичайних поліклініках використовується рідко через відсутність необхідного обладнання.

Пряма офтальмоскопія - метод дає можливість розглянути очне дно з більш високою точністю. Застосовуються дзеркальні офтальмоскопи, що збільшують зображення в 14-15 разів. Встановлювати настільну лампу не знадобиться, тому що у таких приладів є власне джерело світла. Відстань між оком і офтальмоскопом становить не більше чотирьох сантиметрів. Але відразу всю панораму побачити не вийде, доведеться розглядати невеликі ділянки очного дна окремо. Зате, можна виявити навіть мінімальні порушення в сітківці.

Пряма офтальмоскопія не інформативна в декількох випадках. Ось їх перелік: астигматизм високого ступеня, міопія, помутніння в склоподібному тілі або кришталику, біомікроскопія. [2, 3, 4, 7, 14]

Для її виконання використовується щілинна лампа-рухливий бінокулярний мікроскоп, вільно переміщуваний на предметному столі. Також, знадобиться збирає лінза. Ця методика є безконтактної і дозволяє вивчити склоподібне тіло і сітківку. У більш сучасних модифікаціях щілинних ламп є пристрої, які роблять фотознімки.

З лінзою Гольдмана - за допомогою даного способу можна оглянути очне дно від центральної частини до периферії в найдрібніших деталях. У приладі присутній трехзеркальна лінза, яка прикладається до рогівки оболонці.

Скануюча лазерна - сучасний спосіб обстеження органів зору, який заснований на застосуванні лазерного променя. Отримане зображення виводиться на комп'ютерний монітор, тому можна зробити відеозапис дослідження. Головним недоліком є тільки висока ціна процедури. [2, 3, 4, 7, 14]

1.3.2. Різновиди офтальмоскопічних приладів і систем

Офтальмоскопи та інші пристрої для діагностики дна ока розроблені по принципу зв'язності, тобто на принципі, що кожній точці предмета відповідає кожна точка в площині зображення.

Досліджувати дно ока можна розділити на 2 способи: з прямим та зворотним напрямком, що приведено на рис. 1.2 а, б.

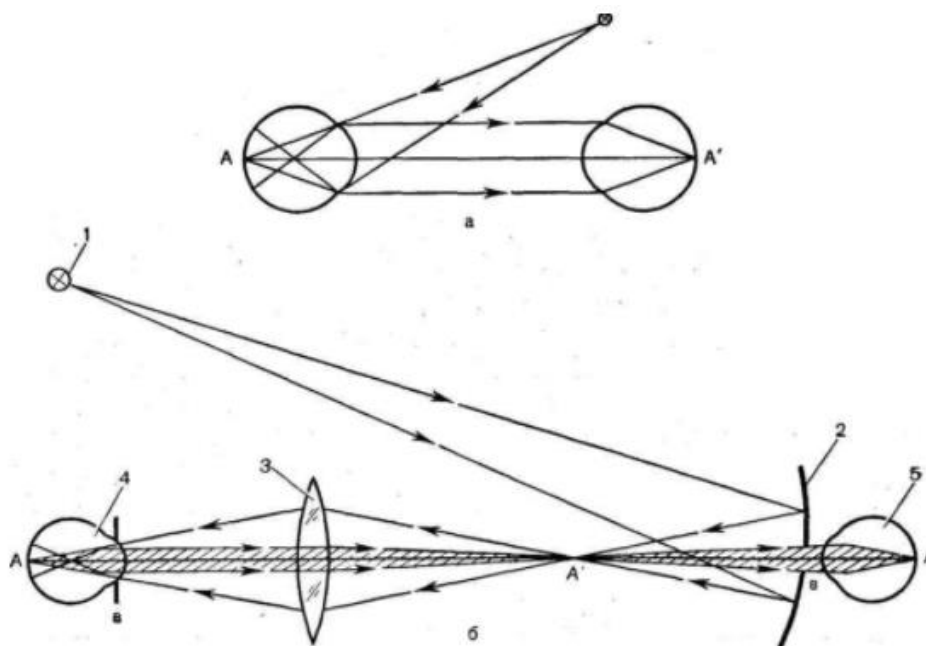


Рис. 1.2. Схема офтальмоскопічного дослідження у прямому (а) і зворотному (б) напрямках

При офтальмоскопічному дослідженні нормальних (еметропічних) очей у прямій формі, світлові промені після відбиття від досліджуваного дна ока та переході крізь оптичну систему офтальмоскопа паралельними променями надходять до ока спостерігача і на сітківці спостерігача утворюється пряме зображення дна ока. В еметропічного ока, коли фокусна відстань задається як 17 мм, збільшення, коли буде видно дно ока, буде дорівнювати $250/17 = 14,7$ крат, візьмемо 15 крат. Цей показник є позитивним аспектом цього виду діагностики.

Однак використання даного методу діагностики не завжди зручне, бо потрібно максимально близько розташувати око спостерігача до ока, яке діагностується. Це обумовлено тим, що лише на невеликій відстані між очима видимого поля зору буде достатньо, тому що зіниця діагностованого ока являє собою діафрагму, обмежуючи поле зору. Через невелику відстань, лице спостерігача дуже приближається до лиця діагностованої людини, спостерігач не має можливості використовувати одне око для діагностики обох очей людини, а змушений спостерігати лівим оком в ліве око людини та навпаки. Тому рідше використовують офтальмоскопію зворотнього напрямку. [2, 3, 4, 7, 14]

Схема проведення офтальмоскопічного дослідження у зворотньому напрямі виступає в ролі принципової оптичної схеми ручних дзеркальних офтальмоскопів, які широко застосовуються в нашій країні. Світлові промені від джерела (рис. 1.2 б) падають на ввігнуте дзеркало 2 із отвором B , яке відбиває його і перенаправляє на опуклу лінзу 3 (рис. 1.2 б). Перетнувши лінзу, світлові промені через оптичну систему діагностованого ока 4 освічують дно ока. Віддзеркалені від дна ока промені (у випадку нормального ока) виходять паралельними пучками і потрапляють на лінзу 3, на фокальній площині цієї лінзи будується зворотне зображення дна ока, яке пізніше обстежується крізь отвір у дзеркалі 2 оком людини 5, яка спостерігає. У цій ситуації точка A дна ока пов'язана із точкою зображення A , яка розташована у повітрі. Щоб її роздивитись, спостерігач має підлаштуватися так, аби точка A' була пов'язана із точкою A'' . Для того, аби зіниця B' не обмежувала поле зору, лупа має показувати зображення отвору в зіниці B' дослідженого ока. Потім зіниця B' зображується лінзою в отворі B дзеркала, позаду якого розташоване око спостерігача. [2, 3, 4, 7, 14]

1.3.3. Ультразвукові методи офтальмологічної діагностики та складові системи ультразвукової діагностики

Фізична основа УЗД-п'єзоелектричного ефекту. При зміні монокристалів певних хімічних сполук (кварц, титанат барію) під взаємодією ультразвукових хвиль, на поверхні кристалів з'являються інші за знаком електричні заряди - прямий п'єзоелектричний ефект. При передачі на них іншого електричного заряду, на кристалах з'являються механічні коливання та випромінювання ультразвукових хвиль. Отже, один такий же п'єзоелемент може бути змінюватись приймачем, та джерелом ультразвукових хвиль. Цей елемент в ультразвукових апаратах має назву акустичний перетворювач, трансдюсером чи датчиком. [1-2, 3-8, 14, 21]

Ультразвук розширюється на середовищі маючи вигляд чергуючих зон стиснення та поширювання речовини. Звукові хвилі та ультразвукові, визначається періодом коливання - час, через який молекула (частка) робить одне повне

коливання; частота - число коливань в одиницю часу; довжина - відстань поміж точок однієї фази та швидкістю розширення, головним якої є пружність та щільність середовища. Довжини хвилі так само пропорційні її частоті. Чим є менше довжина хвилі, тим більша роздільна здатність ультразвукового апарату. В системах медичної ультразвукової діагностики найчастіше використовуються частоти від 2 і до 10 М Гц. Роздільна здатність нових ультразвукових апаратів сягає 1-3 мм.[1-2, 3-8, 14, 21]

Будь-яке середовище, та тканини організму, перешкоджають поширенню ультразвуку, тобто мають різний акустичний опір, величина якого залежить від його щільності та швидкості поширення звукових хвиль. Чим вище ці параметри, тим вище акустичний опір. Цю загальну характеристику будь-якого пружного середовища позначають терміном «імпеданс». Досягнувши межі обох середовищ із не однаковим акустичним опором, пучки ультразвукових хвиль зазнають суттєві зміни: одна частина починає розширюватись в іншому середовищі, в певній мірі поглинаючи її, інша починає відбиватись. Коефіцієнти які відбиваються залежать від різниці величин акустичного опору тканин, які перетинаються один із одним: чим більша ця різниця, тим більше відображення та амплітуда зареєстрованого сигналу, це означає що світліше та яскравіше він виглядатиме на екранах апаратів. Повний відбивач є межею між тканиною та повітрям.

В простому варіанті реалізація методу надає змогу дати оцінку відстані до кордонів поділу щільності двох тіл, на основі часу через який пройде хвиля, відбитої від межі розділу. Більш складні методи дослідження (наприклад, на основі ефекту Доплера) покращують швидкість між роздільною здатністю за щільністю та різницею в силі, яка формує рамку. Ультразвукові коливання закону поширення підпорядковуються геометричній оптиці. В однорідному середовищі вони поширюються прямолінійним і постійним способом. На межі різних середовищ з різною акустичною щільністю одні промені відбиваються, а інші заломлюються, продовжуючи поширюватися прямолінійно. Чим більше градієнт акустичної щільності прикордонного середовища, тим більша частка ультразвукових коливань. Оскільки 99,99% коливань відбиваються на межі переходу

ультразвукового повітря до гранули, то УЗД пацієнта вимагає змащування поверхні шкіри водяним гелем, який виступає в якості перехідного середовища. Відображення залежить від кута падіння променя (в основному в перпендикулярному напрямку) і частоти ультразвукових коливань (якщо частота вища, більшість відбивається).

Особливі інтереси в діагностиці ефекту Доплера. Суть ефекту полягає в частоті зміни частоти звуку, що спостерігається при русі та прийомі звуку. Коли звук відбивається від рухомого об'єкта, частота сигналу відбивається (відбувається зсув частоти).[1-2, 3-8, 14, 21]

Якщо накласти первинні та відбиті сигнали виникає биття, яке можна прослухати з допомогою навушників чи гучномовця.

Складова систем діагностики ультразвуку

Генератор ультразвукових хвиль є передавач, який водночас грає роль приймача відбитих ехосигналів. Генератор працює в імпульсному режимі, та посиляє приблизно 1000 імпульсів за секунду. В проміжку між генеруванням ультразвукових хвиль п'єзодатчик зафіксує сигнал який відбивається.

Детектор чи трансдюсор застосовують як складний датчик, який має декілька сотень дрібних п'єзокристалічних перетворювачів, які працюють в такому ж режимі. В датчик вмонтовано фокусувальну лінзу, яка надає змогу створити фокус в певній глибині.[1-2, 3-8, 14, 21]

Всі датчики ультразвуку поділено на механічні та електронні. В механічних сканування працює за рахунок руху випромінювача (обертаючись або гойдаючись). В електронному розгортка виконується електронним шляхом. Дефектами механічних датчиків є шум, вібрація, яка виробляється при русі випромінювача, та значення роздільної здатності. Механічні датчики вважаються застарілими та в нових сканерах не застосовуються. Використовують три типи ультразвукового сканування: лінійний (паралельний), конвексний та секторний. Отже, датчики перетворювачів ультразвукових приладів бувають лінійними, конвексними та секторними. Підбір датчиків для кожного дослідження із засобом глибини та характеру положення тіла. Датчики лінійної частоти використовують 5-15 МГц.

Перевага лінійного датчика це повна відповідність досліджуваних органів положення самого трансдюсора на поверхнях тіла. Недолік лінійного датчика є складним через те що, забезпечення рівномірного прилягання поверхні трансдюсора до шкіри пацієнта, призводить до того, що йде викривлення отримуваних зображень по краях. Лінійний датчик за рахунок великої частоти може отримувати картинку досліджуваної зони із вищою роздільною здатністю, але глибина сканування є досить малою (не більше 11 см). Застосовуються найчастіше для дослідження поверхневих розташованих структур – щитовидну залозу, молочних залозу, маленькі суглоби та м'язи, та дослід судин.[1, 9, 11, 17, 18]

Конвексні датчики використовують частоту 1,8-7,5 МГц. Вони мають меншу довжину, тому досягти більш рівномірне прилягання до шкіри пацієнтів простіше. Але при застосуванні конвексних датчиків відображається зображення по ширині на декілька сантиметрів більше ніж розмір самого датчика. Для того щоб уточнити анатомічний орієнтир лікар повинен врахувати цю невідповідність. Через меншу частоту глибина сканування досягатиме 20-25 см. Часто використовують для того щоб дослідити глибоко розташовані органи - органи черевної порожнини та заочеревинного простору, сечостатеву систему, тазостегнові суглоби.

Секторний датчик працює з частотою 1,5-5 МГц, має більшу невідповідність поміж розмірів трансдюсора, та отримуваних зображень, тому застовується переважно тоді коли потрібно із маленької ділянки тіла отримати велике зображення на глибині. Найбільше доцільне використання секторного сканування при досліджуванні міжреберних проміжків. Типові застосування секторних датчиків є ехокардіографія - досліджування серця.[1, 9, 11, 17, 18]

Ультразвукові методики дослідження

Зображений ехосигнал надходить в підсилювач та спеціальні системи реконструкції, після цього відображаються на екрані телевізійного монітора під виглядом зображення зрізів тіла, які мають різний відтінок чорно-білого кольору. Допустимим є наявність не менше ніж 64 градієнтів кольорів чорно-білої шкали. Позитивним є максимальна інтенсивність ехосигналів які проявляються на екрані білим кольором (ехопозитивна ділянка), а мінімальна - чорним (ехонегативна

ділянка). При негативній ділянці зображується становище навпаки. Вибір позитивної або негативної ділянки не матиме значення. Зображення, яке отримане при дослідженні, може бути різним в залежності від режиму роботи сканера.

Є такі режими як:

- А-режим. Інформація у вигляді одновимірного зображення, де першою координатою - є амплітуда відбитого сигналу від межі середовищ із різним акустичним опором, а друга - відстань до цієї ж межі. Знаючи швидкість поширення ультразвуку в тілі людини, його можна розділити на цю область, (так як промінь ультразвуку проходитьиме цей шлях двічі) помножити час повернення імпульсу на швидкість ультразвуку.

- В-режим. Дана методика надає інформацію яка має вигляд двомірних сірошкальних томографічних зображень анатомічних структур, що дозволяє в реальному часі оцінити їх морфологічний стан.

- М-режим. Методика надає інформацію яка має вигляд одновимірного зображення, інша координата змінена тимчасовою. Відстань від датчика до вибраної конструкції відкладається вздовж вертикальної осі, а горизонтальна — по горизонтальній осі. Режим використовується в основному для вивчення серця. Пропорційна інформація про вигнуті криві, що відображає діапазон і швидкість руху серцевих структур. [1-2, 3-8, 14, 21]

Ультразвукове та кольорове доплерівське дослідження та офтальмологія

Ультразвук має бути безпечним для пацієнтів і має бути проведений з урахуванням біологічних впливів ультразвуку на структуру ока. За словами М. Б. Кодова, використання ультразвукових хвиль за допомогою імпульсної діагностики є абсолютно безпечним для пацієнта, в тому числі і при тривалих дослідженнях. Вплив ультразвуковості в діагностичному процесі у структурі значно менше прийнятних терапевтичних допустимих інтенсивностей та складатимуть 2-3 мілліВт / см² - 0,3 Вт / см² .

При розробці нових методів медичної візуалізації ультразвук може надати найбільш інформативний з цих методів в офтальмологічній практиці для оцінки, яка завжди об'єктивно оцінює внутрішньоочні структури. Найбільше актуально

при оцінці очного яблука, коли прозорість світло провідних структур різко знижена. Комплекс дослідження в поєднанні УЗД з КТ та МРТ надає змогу діагностичного пошуку оцінюючи вміст орбіти.[1-2, 3-8, 14, 21]

Для УЗД в офтальмології застосовують датчики з високою частотою (7,5-12,5 МГц). Пройшовши ультразвукові хвилі через структуру ока частина із них відбиватиметься та повертатиметься назад до джерел випромінювання як відбита хвиля, чи "відлуння". Вона змінюється в електричний сигнал, який в надалі застосовується для того щоб сформувати зображення. Особливість ультразвукових зображень внутрішньо-очних структур залежать від розміру, форми та структури поверхні, а також типу акустичного імпедансу.

В даний час застосовують три основні методики. Першою є - А-система (система одновимірних зображень). В даній системі для візуалізації діагностичної інформації застосовується одновимірний індикатор, його роль виконує електронно-променева трубка (ЕПТ) із горизонтальною тимчасовою розгортки. За отриманим на екрані ЕПТ зображені можна виміряти розмір ока, та його структурні елементи, визначити положення та величини чужорідних тіл та новоутворень (Рис. 1.3).

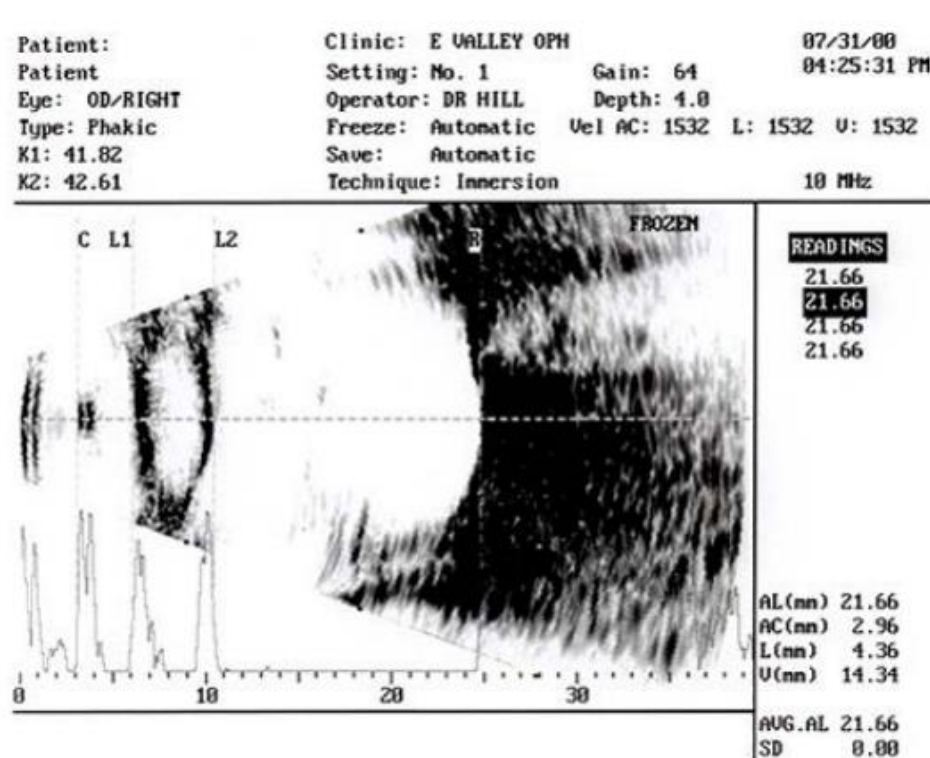


Рис. 1.3. Результат А-сканування (передньо-задній розмір - AL , розмір камери передньої - AC , розмір кришталика - L, розмір склоподібного тіла - V)

Інша методика - В-система (система двовимірних зображень) надає змогу розгледіти перетин ока в заданій площині сканувати його із його структурними змінами. Відбувається індикація за допомогою ЕПТ з пам'яттю. Данна трубка перетворює ехосигнал на відеозображення. В процесі досліджування відбувається сканування та послідовна реєстрація зображених ехосигналів, які разом дають картину на екрані монітора (відтворює обрис ока та його структурні компоненти). Це є великою перевагою двовимірної системи над одновимірною.

В- прилади сканування із цифровою обробкою зображення з високою чутливістю та інформативністю зображення. Вони дають змогу точно оцінити передній сегмент ока, визначити де локалізується, щільність, рухливість помутніння склоподібного тіла (а також сторонніх предметів) діагностувати крововиливи внутрішнього ока, шварти склоподібного тіла, розпізнати які А-методом та з допомогою традиційних променеви методик дуже важко. Патологічний процес, виявлений В-методом, підтверджуватиметься в 96% випадку по всім анатомічним параметрам. [1-2, 3-8, 14, 21]

Третя методика — використання Доплера в діагностичному ефекті ультразвуку, що дає змогу неінвазивним, безболісним та інформативним способом реєструвати та оцінити здоров'я ока. Дозволяють візуально використовувати моніторинг та оцінку кровотечі в оці та судини (швидкість). У літературі є чіткі вказівки на кровотечу в нормі і ряд патологічних процесів.

Використання УЗД та доплерівське картування має високу діагностичну цінність, але конкретні показники для дослідження ще повністю визначені. Висока інформативність кольорових доплерівських картувань в діагностиці каротидного-кавернозного анастомозу, порушення крововиливів у структури зорового нерва, неспроможність ускладнень запальних захворювань.

В літературі є інформація про змогу застосування УЗД в діагностиці збільшення кількості субарахноїдальної рідини та гідроцефалії із допомогою зміни ширини зорового нерва.

Основними показниками для того щоб провести УЗД є: пошкодження очного яблука, швидке зниження прозорості світло-провідних структур, відшарування

судинних оболонок та сітківки, присутність сторонніх внутрішньоочних об'єктів, пухлин, ушкодження зорового нерва, наявні ділянки звапніння на оболонках ока та області зорових нервів, стрімке спостереження за проведеним лікуванням, розглянувши характеристики кровотоку в судинах орбіти, перед МРТ чи КТ.

Безпека, неінвазивність та висока інформативність роблять цей метод дослідження найбільш доступним. Ультразвукове дослідження вимірює товщину рогівки, глибину передньої камери, товщину кришталика, товщину кришталика, РЗО (передня і задня) розмір очного яблука при аномалій рефракції, товщину інтими, висоту подібних структур очного яблука, можливість вимірювання товщини очного яблука нерв і окоруховий м'яз, Розмір стороннього тіла.

- Визначити положення кришталика при вивиху та підвивиху. Оцінити ступінь і характер дегенерації, запальних процесів, ретинопатії недоношених, змін склоподібного тіла при травмі.
- Виявлення вроджених аномалій розвитку органів зору та варіантів розвитку (ДЗН товстої кишки, судинної оболонки).

- Оцінити стан зорового нерва при папіліті, ретробульбарному невриті, нейрогенних пухлинах, глаукомі.

- Виявити пухлини в очниці та навколо ока.

- Оцінити сторонні тіла в очному яблуці та орбіті після проникаючої травми та виявити структурні зміни після контузії.

- Діагностувати ендокринні захворювання.

- Вивчати потрійну картину кровотоку в очних та орбітальних судинах при ішемічних захворюваннях зорового нерва (атеросклероз, цукровий діабет).

- Аналіз кровообігу пухлини в очних та орбітальних пухлинах, діагностика анастомозів сонної артерії, тромбоз орбітальних вен та судинних мальформацій.

- Діагностувати ураження слізної залози та слізного мішка. Особливої підготовки до УЗД очей не потрібно, єдина умова – відсутність макіяжу очей. Дослідження проводилося із закритими повіками, абсолютно безболісне і не викликає дискомфорту у пацієнта. [1-2, 3-8, 14, 21]

1.4. Обґрунтування вибору методу діагностування

Для діагностики захворювань ока вибрано ультразвуковий метод. Ультразвукові хвилі мають властивість поширюватися в середовищі прямолінійно, відома швидкість поширення ультразвукових коливань при проходженні через кожний шар структури ока, є можливість проводити діагностику при односторонньому доступі.

Також ультразвук безпечний на здоров'я людини, так як проводиться діагностика захворювань людського ока. Випромінюючи і приймаючи ультразвукові хвилі датчиком, людина яка проводить діагностику отримує повну інформацію щодо однорідності структури ока і його захворювання.

А ще до переваг можна віднести: високу роздільну здатність, інформативність, широкий спектр захворювань, які можна виявити, та можливість виявлення хвороб на ранніх стадіях.

1.5. Комп'ютерно-інтегровані системи та технології

Технологія комп'ютерної інтеграції-технологія виробництва реалізована за допомогою комп'ютерного керування.

Основна мета технології комп'ютерної інтеграції – створення та запуск комп'ютерно-інтегрованих систем управління. Він забезпечує вирішення проблем координації функцій підсистем та використання інтелектуальних підсистем підтримки прийняття рішень на основі баз даних і систем управління знаннями. Такий характер діяльності вимагає опанування спеціального програмного забезпечення. У той же час технологія комп'ютерної інтеграції тісно пов'язана з системами автоматичного керування та автоматизації процесів у різних галузях промисловості та виробництва.[22]

Комп'ютерно-інтегроване виробництво включає п'ять рівнів автоматизації:

- *I/O (input/output) - рівень зв'язку з пристроєм. Це гарантує, що зовнішні компоненти узгоджені з блоком управління.*



Рис 1.4. Рівні автоматизації комп'ютерно-інтегрованого виробництва

- *Control*-На рівні управління вбудований пристрій управління генерує команди для керування приводами-приводами, клапанами, світловими та звуковими сигналами на основі сигналів від датчиків стану механізму. Одночасно

з керуванням інформація про роботу обладнання передається на рівень узагальненого контролю та збору даних SCADA в режимі реального часу.

- *SCADA* (контрольний контроль та збір даних) – на рівні SCADA поточні дані класифікуються, перетворюються, зберігаються та відображаються в мнемоніці процесу. Для диспетчера відображається поведінка всіх вузлів обладнання: поточний стан і продуктивність машини, рух матеріального потоку, підсумкова інформація. Система *SCADA* дозволяє контролювати весь процес, відстежувати інформацію про аварії та тенденції часу та статистичні характеристики процесу. Якщо потрібно диспетчер передає узагальнені команду управління устаткуванням.

- Рівень планування ресурсів *MRP (Manufacturing Resource Planning)*. Це відомий варіант автоматизації офісної діяльності для цілей бухгалтерського обліку, управління фінансами та матеріально-технічним забезпеченням, а також документообігу. На цьому рівні керівник виробництва аналізує ринкову стратегію: динаміку ринкових цін на готову продукцію, рівні прибутку різних видів продукції, очікуваний попит.

- *MES (Manufacturing Execution System)* — це додатковий рівень виконання завдань, який пов'язує вище керівництво з поточним виробництвом. Тут інформація з SCADA перетворюється в інформацію MRP, оновлюється база даних, контролюється послідовність операцій, формується графік огляду та технічного обслуговування обладнання відповідно до тривалості фактичної експлуатації. Після аналізу цієї інформації з точки зору виробничої та ринкової політики компанії стратегічні рішення менеджера реалізуються на нижчому рівні.[22]

В 1990-х роках з'явилися програмні комплекси, які надають змогу отримувати інформацію з будь-яких п'яти рівнів комп'ютерно-інтегрованого виробництва. Менеджер верхнього рівня MRP може опуститись на рівень нижче автоматизації проаналізувати роботу будь-яких одиниць обладнання. Або навпаки налагоджувальник обладнань на низькому рівні може, вийшовши в Інтернет через вищий рівень, здобути в виробника з іншої точки планети інструкцію налагодження зламаних обладнань.

КІТ найкраще прилаштовані для автоматизації управління неперервними та дискретними процесами, та **використовуються в таких областях:**

- керування виробництвом;
- передача та розподіл електроенергії;
- промислове виробництво;
- водоочищення та водорозподіл;
- керування космічними об'єктами;
- транспортне керування(всіх видів транспорту: авіап перевезення, метро, залізничний, автомобільний, водний);
- телекомунікація;
- військова область.

Окрім цього, сприятливим є запровадженням КІТ в медицині. По всьому світі налічується не один десяток компаній, які діяльно займаються розробленням і впровадженням комп'ютерно-інтегрованих технологій. Програмний продукт окремих компаній представлені на ринку України.

КІТ на виробництві та підприємствах можна **поділити на три рівні:**

- *I рівень – початкова автоматика*
- *II рівень - рівень автоматизованого цеху*
- *III рівень - загальний рівень підприємства*

Задачі програмного керування які використовуються з комп'ютерно-інтегрованих технологій, поділили на:

- *геометричний* – управління формоутворенням;
- *логічний* - управління дискретною автоматикою верстата або виробництва;
- *технологічний*- управління робочими процесами, які характерні для адаптивних систем;
- *термінальний* – співдія із навколишнім середовищем: діалог, обмінювання інформацією із ЕОМ верхнього рівня.[22]

Головні плюси КІТ:

- Непричетність до дистанцій управління (завдяки технології Ethernet).

- Змога тотального керування на всьому рівні виробництва(підприємства)

- Зниження витрат на робочу силу, зменшення ймовірності помилок людей (людських факторів)

Мінуси КІТ:

- Вища вартість приладів та їх встановлення
- Висококваліфікований персонал
- Не всі процеси виробництва автоматизуються[22]

Висновки до розділу 1

В даному розділі освітлено актуальність теми магістерської дисертації. Приведено огляд будови ока, його основні захворювання.

Проведено аналіз приладів та систем діагностування ока.

Також представлено огляд ультразвукових методів офтальмологічної діагностики та складових систем ультразвукової діагностики.

Розглянуто поняття комп'ютерно-інтегрованих технологій та систем. Приведено основну мету КІТ, сфери використання і застосування КІТ, рівні організації КІТ, класифікацію рівнів апаратного забезпечення КІТ. Також розглянуто переваги і недоліки КІТ.

2. РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ

2.1. Розробка структурної схеми

На основі розглянутого в аналітичному розділі була розроблена структурна схема (рис.2.1)

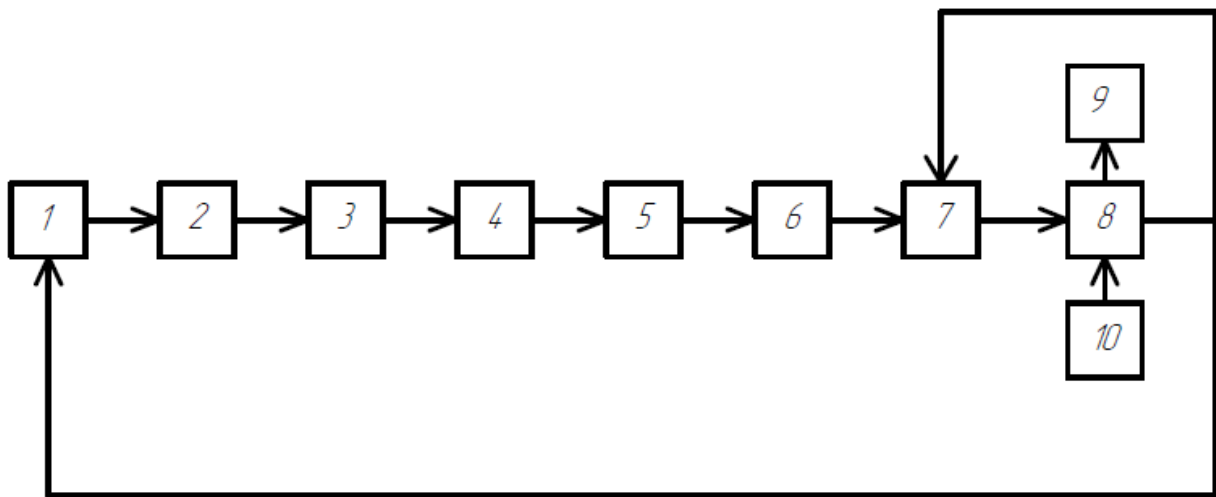


Рис.2.1. Структурна схема: 1 – ГЗІ; 2 – ПЕП; 3 – Схема захисту; 4 – Операційний підсилювач; 5 – Смуговий фільтр; 6 – Регульований підсилювач; 7 – АЦП; 8 – Мікроконтролер; 9 – USB порт; 10 – Клавіатура

Принцип роботи: мікроконтролер постійно виробляє тактові сигнали, які поступають на вхід генератора зондувальних імпульсів і запускають його. Генератор зондувальних імпульсів виробляє електричний імпульс, який надходить до первинного перетворювача. За рахунок зворотного п'єзоефекту у первинному перетворювачі виникають пружні коливання, які поширюються в об'єкті контролю. Коливання, відбиті від дефекту присутньому в ОК повертаються до перетворювача. За рахунок прямого п'єзоефекту відбиті коливання перетворюються в електричні імпульси, які потрапляють до попереднього підсилювача. З підсилювача сигнал іде

до смугового фільтру, який приглушує шуми і залишається тільки інформативний сигнал.

З фільтру сигнал потрапляє на регульований підсилювач в якому ми самостійно задаємо коефіцієнт підсилення для кращого вигляду вихідного графіку. Після цього підсилений сигнал потрапляє до аналого–цифрового перетворювач, де він оцифровується і потрапляє спочатку на ОЗП типу FIFO після чого на мікроконтролер, і потім з USB порту через провід на комп'ютер (ноутбук).[12, 23]

2.2. Розробка функціональної схеми та часової діаграми

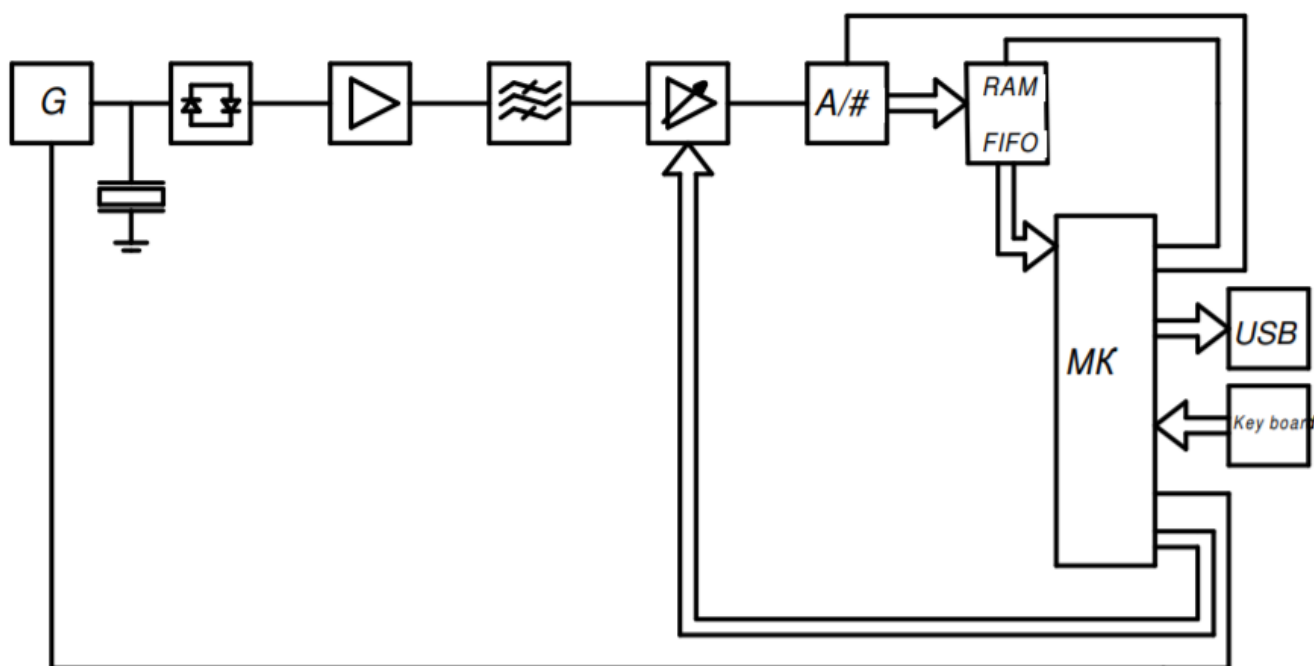


Рис. 2.2 Функціональна схема

Мікроконтролер постійно виробляє тактові сигнали, які поступають на вхід генератора зондувальних імпульсів і запускають його. Генератор зондувальних імпульсів виробляє електричний імпульс з амплітудою $A_{\text{зонд}}$, який надходить до первинного перетворювача. За рахунок зворотного п'єзоефекту у первинному перетворювачі виникають пружні коливання, які поширюються в об'єкті контролю. Коливання, відбиті від дефекту присутньому в ОК з амплітудою $A_{\text{деф}}$, повертаються до перетворювача. За рахунок прямого п'єзоефекту відбиті коливання перетворюються в електричні імпульси, які потрапляють до попереднього підсилювача. З підсилювача сигнал іде до двокаскадного смугового фільтру, який приглушує шуми і залишається тільки інформативний сигнал.

З фільтру сигнал потрапляє на регульований підсилювач в якому ми самостійно задаємо коефіцієнт підсилення для кращого вигляду вихідного графіку. Після цього підсилений сигнал потрапляє до аналого–цифрового перетворювач, де він оцифровується і потрапляє спочатку на ОЗП типу FIFO після чого на мікроконтролер, і потім з USB порту через провід на комп'ютер (ноутбук). [12, 23]

Спираючись на описане вище, було розроблено приклад часової діаграми (рис. 2.3), яка показує проміжки часу і поведінку зондуючого імпульсу та коливань, відбитих від неоднорідностей ока.

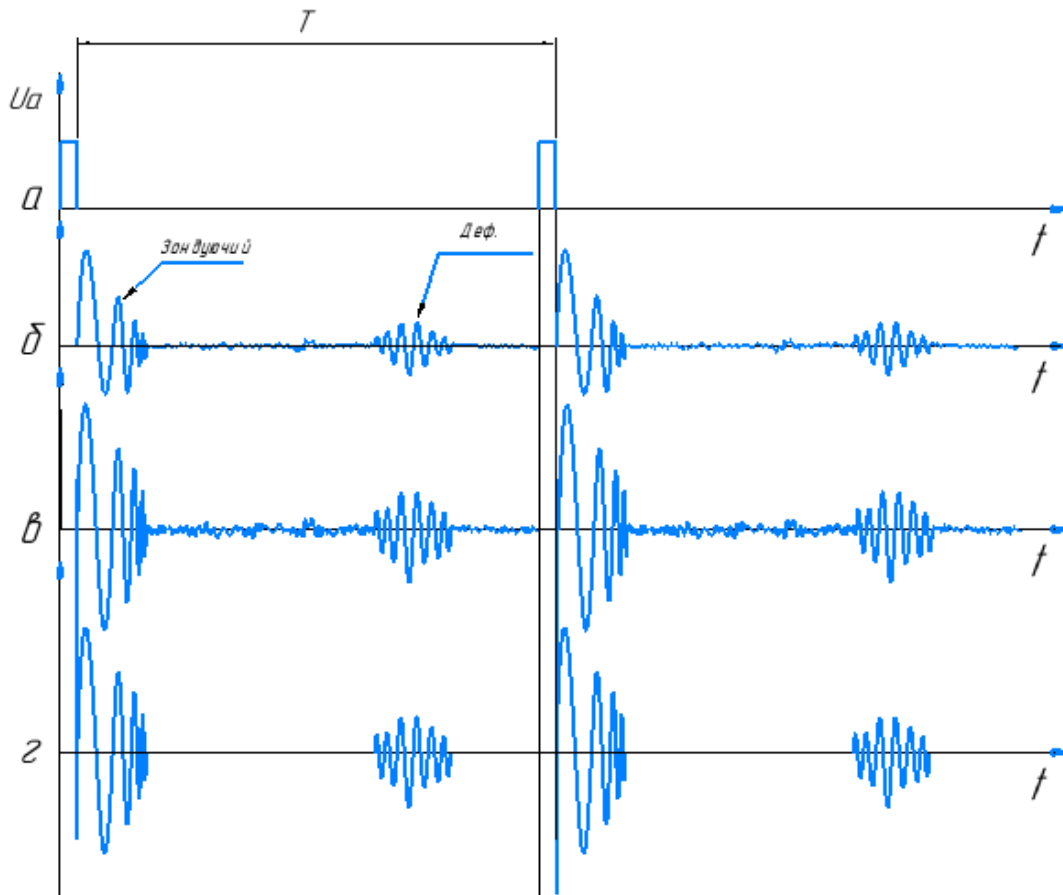


Рис. 2.3 Часова діаграма

2.3. Розрахунок акустичного та електроакустичного трактів

Акустичний тракт – це шлях ультразвукової хвилі від випромінюючого перетворювача до перетворювача-приймачі. У цей тракт включаються і власні перетворювачі – їх механічна сторона.

У схемі слід врахувати такі шари (середовища, в яких відбувається заломлення ультразвукових коливань):

- Імерсійна рідина
- Роговиця
- Передня камера
- Кришталік
- Скловидне тіло
- Сітківка
- Склера

Виходячи з вхідних даних магістерської дисертації, робоча частота розроблювального датчика має бути $f_p = 10$ (МГц). Вибір такої частоти дає нам досить високу роздільну здатність та достатньо невеликий коефіцієнт затухання. П'єзоелемент візьмемо із ЦТС-19 (цирконат-титанат свинцю), дуже поширеного матеріалу, з якого виготовляють подібні п'єзопластини. Швидкість поширення ультразвуку в такому матеріалі дорівнює 3300 м/с, його густина 7400 кг/м³, імпеданс $2,442 \cdot 10^7$ кг/м²с.[1, 5, 6, 8, 21]

Від геометричних розмірів залежить декілька досить важливих факторів, від яких залежить результат вимірювання або взагалі питання про працездатність приладу. Від площі перетворювача залежить довжина ближньої та дальньої зони. Від товщини перетворювача залежить його робоча частота, яка впливає на роздільну здатність приладів та на загальну похибку вимірювань в цілому. Від форми п'єзокерамічного кристалу залежать: форма збудженої хвилі яку необхідно обирати для досягнення тих чи інших результатів, роздільна здатність приладу яка може бути основним критерієм розробки. [1-2, 3-8, 14, 21]

Об'єкт контролю в нашому випадку – багатошарова структура, з незначними відмінностями по імпедансам. Тоді можна знехтувати рефракцією, оскільки швидкості ультразвуку в м'яких тканинах мало відрізняються. Схема акустичного тракту може бути приведена до базової розрахункової моделі як на рис 2.4.

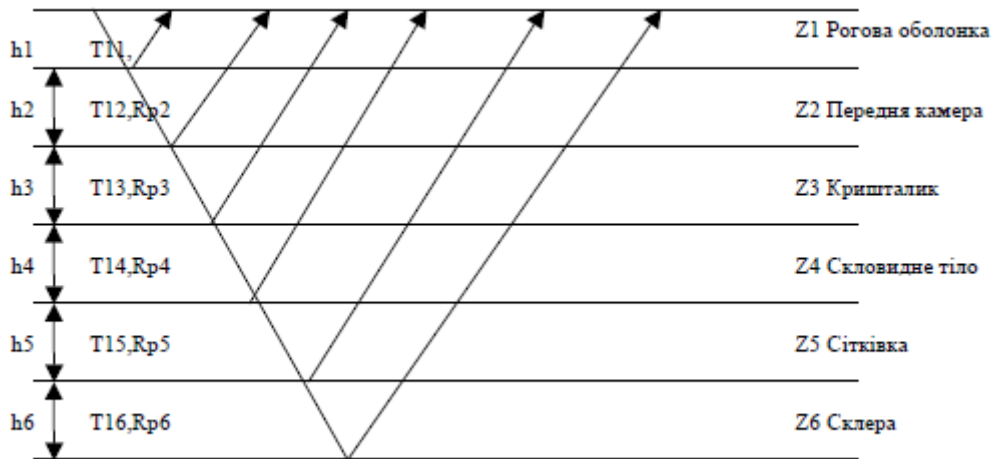


Рис. 2.4. Схема акустичного тракту:

h_i – товщини шарів; z_i – імпеданси шарів; T_i – коефіцієнти проходження по інтенсивності. R_p – коефіцієнти відбиття по тиску.

Швидкість ультразвуку, густина, імпеданс та товщина кожного з шарів наведено в табл. 1

Табл.1 Фізичні характеристики шарів ока

Середовище	Швидкість ультразвуку С, м/с	Густина середовища ρ , кг/м ³	Імпеданс середовища $Z = C \cdot \rho$, кг/м ² с	Товщина h, м
Імерсійна рідина	1930	1260	$2,432 \cdot 10^6$	$16 \cdot 10^{-3}$
Роговиця	1640	1007	$1,651 \cdot 10^6$	$550 \cdot 10^{-6}$
Передня камера	1610	1007	$1,621 \cdot 10^6$	$3,24 \cdot 10^{-3}$
Кришталік	1645	1007	$1,657 \cdot 10^6$	$4,25 \cdot 10^{-3}$
Скловидне тіло	1580	1007	$1,591 \cdot 10^6$	$16 \cdot 10^{-3}$
Сітківка	1620	1007	$1,631 \cdot 10^6$	$24,5 \cdot 10^{-6}$
Склера	1648	1007	$1,66 \cdot 10^6$	$435 \cdot 10^{-6}$

Оскільки у всіх прошарках ока людини приблизно однакова швидкість поширення ультразвуку та приблизно однакова структура то візьмемо для всіх прошарків однакову густина середовища, яка буде рівною середній густині ока людини. Всі дані в табл. 1 було взято усередненими. [1-2, 3-8, 14, 21]

Розрахунок коефіцієнту проходження за формулою 2.1:

$$T_{1,2} = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \quad (2.1)$$

де Z_1, Z_2 – імпеданс в 1 та 2 середовищі відповідно.

$$T_{\text{цтс-імерс.рід.}} = \frac{4 \cdot Z_{\text{цтс}} \cdot Z_{\text{імерс.рід.}}}{(Z_{\text{цтс}} + Z_{\text{імерс.рід.}})^2} = \frac{4 \cdot 2,442 \cdot 10^7 \cdot 2,432 \cdot 10^6}{(2,442 \cdot 10^7 + 2,432 \cdot 10^6)^2} = 0,329$$

$$T_{\text{імерс.рід.-рогов.}} = \frac{4 \cdot Z_{\text{рогов.}} \cdot Z_{\text{імерс.рід.}}}{(Z_{\text{рогов.}} + Z_{\text{імерс.рід.}})^2} = \frac{4 \cdot 1,651 \cdot 10^6 \cdot 2,432 \cdot 10^6}{(1,651 \cdot 10^6 + 2,432 \cdot 10^6)^2} = 0,963$$

$$T_{\text{рогов.-п.к.}} = \frac{4 \cdot Z_{\text{рогов.}} \cdot Z_{\text{п.к.}}}{(Z_{\text{рогов.}} + Z_{\text{п.к.}})^2} = \frac{4 \cdot 1,651 \cdot 10^6 \cdot 1,621 \cdot 10^6}{(1,651 \cdot 10^6 + 1,621 \cdot 10^6)^2} = 1$$

$$T_{\text{п.к.}-\text{криш.}} = \frac{4 \cdot Z_{\text{криш.}} \cdot Z_{\text{п.к.}}}{(Z_{\text{криш.}} + Z_{\text{п.к.}})^2} = \frac{4 \cdot 1,657 \cdot 10^6 \cdot 1,621 \cdot 10^6}{(1,657 \cdot 10^6 + 1,621 \cdot 10^6)^2} = 1$$

$$T_{\text{криш.}-\text{скл.тіло}} = \frac{4 \cdot Z_{\text{криш.}} \cdot Z_{\text{скл.тіло}}}{(Z_{\text{криш.}} + Z_{\text{скл.тіло}})^2} = \frac{4 \cdot 1,657 \cdot 10^6 \cdot 1,591 \cdot 10^6}{(1,657 \cdot 10^6 + 1,591 \cdot 10^6)^2} = 1$$

$$T_{\text{скл.тіло}-\text{сітківка}} = \frac{4 \cdot Z_{\text{сітківка}} \cdot Z_{\text{скл.тіло}}}{(Z_{\text{сітківка}} + Z_{\text{скл.тіло}})^2} = \frac{4 \cdot 1,631 \cdot 10^6 \cdot 1,591 \cdot 10^6}{(1,631 \cdot 10^6 + 1,591 \cdot 10^6)^2} = 1$$

$$T_{\text{сітківка}-\text{склкера}} = \frac{4 \cdot Z_{\text{сітківка}} \cdot Z_{\text{склкера}}}{(Z_{\text{сітківка}} + Z_{\text{склкера}})^2} = \frac{4 \cdot 1,631 \cdot 10^6 \cdot 1,66 \cdot 10^6}{(1,631 \cdot 10^6 + 1,66 \cdot 10^6)^2} = 1$$

Розрахуємо коефіцієнт відбиття ультразвуку $R_p = 0,024$ [14]

Визначимо геометричні розміри п'єзопластини.

Товщина п'єзоелементу:

$$h = \frac{\lambda_{\text{ПЕП}}}{2} = \frac{c}{2 \cdot f} = \frac{3300 \text{ (м/с)}}{2 \cdot 10 \cdot 10^6 \text{ (Гц)}} = 1,65 \cdot 10^{-4} \text{ (м)} \quad (2.2)$$

Визначимо середнє значення довжини хвилі в об'єкті контролю:

$$\lambda_{\text{сер}} = \frac{c_{\text{сер}}}{f} \quad (2.3)$$

$$c_{\text{сер}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i = 1624 \text{ м/с}$$

$$\lambda_{\text{сер}} = \frac{1624}{10 \cdot 10^6} = 1,624 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Оскільки нам необхідно проводити дефектоскопію в дальній зоні то задамося довжиною дальньої зони $r_{\text{дл}} = 25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

$$\text{Тоді } r_{\text{бл}} = \frac{r_{\text{дл}}}{3} = 0,83 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

З формули 2.4 визначимо радіус п'єзопластини а

$$r_{\text{бл}} = \frac{a^2}{\lambda_{\text{сер}}} \quad (2.4)$$

$$a = \sqrt{r_{\text{бл}} \cdot \lambda_{\text{сер}}} = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Для легшого виготовлення п'єзопластинио беремо $a = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Перерахуємо $r_{\text{бл}}$

$$r_{\text{бл}} = \frac{a^2}{\lambda_{\text{сер}}} = \frac{(1.2 * 10^{-3})^2}{1,624 * 10^{-4}} = 8,866 * 10^{-3} \text{ м}$$

Перерахуємо $r_{\text{дл}}$

$$r_{\text{дл}} = 3 * r_{\text{бл}} = 26,59 * 10^{-3} \text{ м}$$

Розрахуємо площу п'єзопластини. [9, 11, 17, 18]

$$S_{\text{ПЕП}} = \pi \cdot a^2 = 4,524 * 10^{-6} \text{ (м}^2\text{)} \quad (2.5)$$

Для розрахунку коефіцієнта акустичного тракту необхідно також задатися площею дефекту. [1-2, 3-8, 14, 21]

Нехай площа неоднорідності становить $S_{\text{д}} = 0,1 * 10^{-6} \text{ м}^2$

Розрахунок коефіцієнту послаблення акустичного тракту:

$$K_{\text{а.т.}} = \frac{S_{\text{ПЕП}} \cdot S_{\text{д}}}{\lambda_{\text{сер}}^2 \cdot h_{\text{заг}}^2} \cdot \prod_{i=1}^n T_{i1} \cdot R_P \cdot e^{-2 \cdot (h_{\text{заг}} \cdot \delta_p)} \quad (2.6)$$

$$h_{\text{заг}} = 40 * 10^{-3} \text{ м}$$

$$\delta_p = 10.36 \text{ Нп/м}$$

Оскільки в різних частинах ока людини коефіцієнт згасання майже однаковий то ми беремо усереднене значення для всього ока в цілому. [9, 11, 17, 18]

$$K_{\text{а.т.}} = 3,562 * 10^{-5}$$

Електроакустичний тракт – це частина електричної схеми, що включає і електричну сторону перетворювача, де відбувається електромеханічне пряме (або оборотне) перетворення.

Електроакустичний тракт визначає в більшості випадків резонансну (робочу) частоту випромінювання, форму зондуючого імпульсу і коефіцієнт перетворення електричної енергії в акустичну і навпаки. Розраховані значення коефіцієнту акустичного тракту дозволяють приблизно розрахувати напруги випроміненого та прийнятого сигналів, які задовольняють заданим вимогам. [1-2, 3-8, 14, 21]

Напруга випромінюваного перетворювачем луно-сигналу визначається за формулою :

$$U_{\text{в}} = \frac{U_{\text{пр}}}{K_{\text{а.т.}} \cdot K_{\text{п.п.}}} \quad (2.7)$$

Скориставшись формулою 2.7, маємо:

$$U_{\text{пр}} = K_{\text{а.т.}} \cdot K_{\text{п.п.}} \cdot U_{\text{в}} \quad (2.8)$$

де $U_{\text{в}}$ – напруга випроміненого сигналу, $K_{\text{п.п.}}$ – коефіцієнт подвійного перетворення (для ЦТС-19 приймаємо $K_{\text{п.п.}} = 0.25$).

Оскільки амплітуда прийнятого сигналу має бути набагато більше рівня завад, тобто $U_{\text{пр}} \gg U_{\text{шум}}$, задаємося рівнем завад $U_{\text{шум}} = 100$ (мкВ). Тоді:

$$\frac{U_{\text{пр}}}{U_{\text{в}}} > 10 \quad (2.9)$$

$$U_{\text{пр.}} = U_{\text{шум}} \cdot 10 = 1 \text{ (мВ)} \quad (2.10)$$

Знайдемо напругу зонduючого імпульсу:

$$U_{\text{в}} = \frac{U_{\text{пр.}}}{K_{\text{а.т.}} \cdot K_{\text{п.п.}}} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{3,562 \cdot 10^{-5} \cdot 0.25} = 112,281 \text{ (В)} \quad (2.11)$$

Приймаємо напругу зонduючого імпульсу рівну 115 (В). Підставивши значення у формулу, отримаємо:

$$U_{\text{пр.}} = 3,866 \cdot 10^{-5} \cdot 0.25 \cdot 115 = 1.11 \cdot 10^{-3} \text{ (В)}$$

Отримана напруга перевищує рівень шуму. [1-2, 3-8, 14, 21]

2.4 Розробка та розрахунок електричної схеми, обґрунтування основних її елементів

2.4.1 Розрахунок генератора зондуючих імпульсів

Генератор зондуючих імпульсів (рис.2.5) призначений для збудження п'єзoeлементa, який в свою чергу генерує ультразвукові коливання в об'єкт контролю.

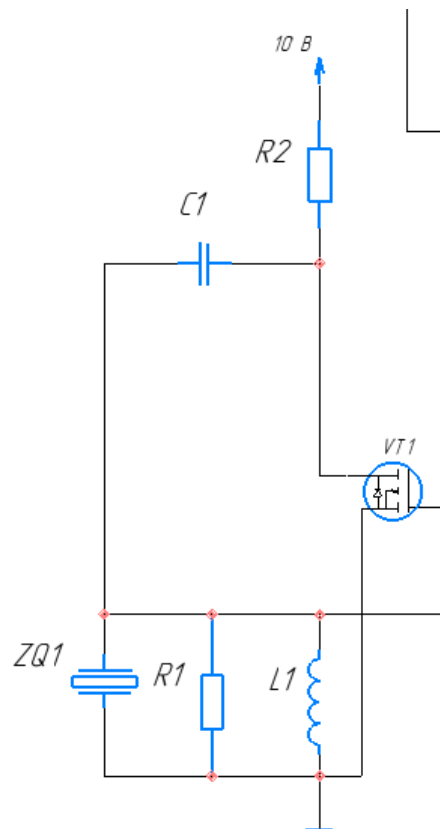


Рис.2.5 Генератор зондуючих імпульсів

Використано схему ГЗІ з n-канальним DMOS-польовим транзистором у якості ключа – IRFP4568. Перевага у використанні такої схеми у тому, що польовий транзистор у режимі ключа відкритий рівно на час наявності на його затворі додатної напруги певної величини, але для керування таким транзистором потрібен драйвер. Використаємо МАХ628 (рис.2.6).

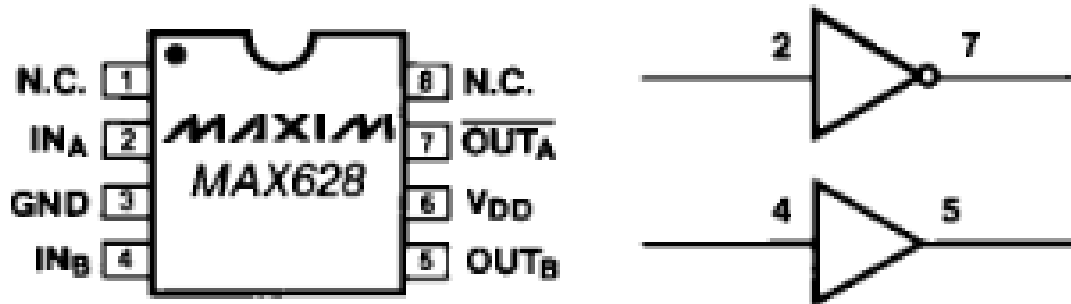


Рис.2.6. Драйвер для керування DMOS транзистором

Обираємо згідно з (рис.2.7):

$$C_3 = 4.7 \text{ (мкФ)}$$

$$C_4 = 0.1 \text{ (мкФ)}$$

$$C_2 = 10^3 \text{ (пФ)}$$

Генератор працює наступним чином: при відсутності імпульсу на управляючому електроді SW транзистора VT1, транзистор закритий і в цей час відбувається заряд конденсатора C_1 , до рівня $U_C = +E$. При надходженні імпульсу на управляючий електрод транзистора VT1 він відкривається, і конденсатор C_1 розряджається по контуру, викликаючи при цьому збудження резонансного контуру. При збудженні резонансного контуру, п'єзоелемент генерує акустичні коливання в ОК.[12, 23]

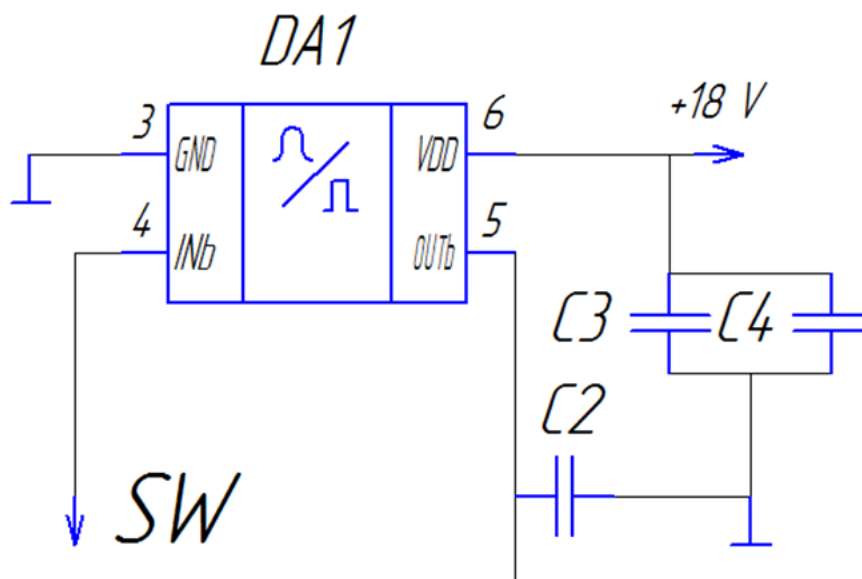


Рис.2.7. Драйвер на принциповій схемі

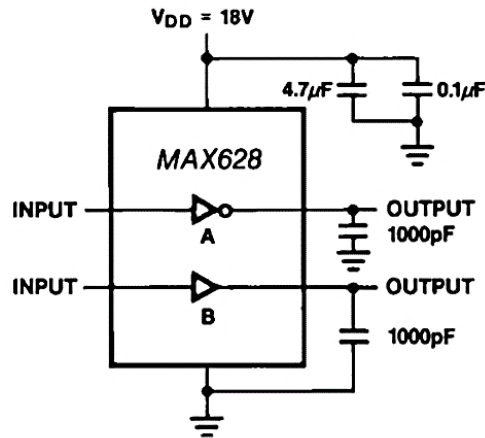


Рис.2.8 Схема підключення драйвера MAX628

Значення напруги, яке необхідно подавати на генератор ударного збудження, розраховується за формулою :

$$U_B \cong 0.9 \cdot E \quad (2.12)$$

Тому що частково напруга з конденсатора C_1 перерозподіляється між елементами ланцюга.

$$E = \frac{U_B}{0.9} = \frac{115}{0.9} = 128 \text{ (В)} \quad (2.13)$$

Для того, щоб можливо було проводити контроль на всю глибину ОК, період заряду конденсатора C_1 має бути не більшим, ніж період слідування імпульсів збудження. Розрахуємо час зарядки конденсатора:

$$\tau_{\text{заряд}} \leq 2 \cdot \frac{h_{\text{ок}}}{C_{\text{ок}}} = 2 \cdot \frac{40 \cdot 10^{-3}}{1624} = 2,46 \cdot 10^{-5} \text{ (с)} = 24,6 \text{ (мкс)} \quad (2.14)$$

$$C_{\text{сер}} = \lambda_{\text{сер}} \cdot f = 1624 \left(\frac{\text{М}}{\text{с}} \right) \quad (2.15)$$

Приймаємо: $\tau_{\text{заряд}} = 24 \text{ (мкс)}$.

Для того, щоб процес зарядки виконувався за необхідний час, потрібно розрахувати значення резистора R_2 . Значення ємності C_1 рекомендується приймати $C_1 = 1 \div 10 \text{ (нФ)}$. Призначимо $C_1 = 2 \text{ (нФ)}$.

$$R_2 = \frac{\tau_{\text{заряд}}}{3 \cdot C_1} = \frac{24 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 2 \cdot 10^{-9}} = 4 \cdot 10^3 \text{ (Ом)} = 4 \text{ (кОм)} \quad (2.16)$$

Повинна виконуватися умова:

$$\tau_{\text{розряд}} \ll \tau_{\text{заряд}}$$

Ємність п'єзоперетворювача розраховується за наступною формулою:

$$C_{\text{ПЕП}} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{\text{ЦТС}} \cdot \frac{S}{h} = 8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 1700 \cdot \frac{4.909 \cdot 10^{-6}}{1.65 \cdot 10^{-4}} = 0.37 \text{ (нФ)} \quad (2.17)$$

де $\varepsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ (Ф/м)}$ – електрична постійна; $\varepsilon_{\text{ЦТС}}$ – відносна діелектрична постійна (для ЦТС-19 $\varepsilon_{\text{ЦТС}} = 1700$); S – площа поверхні дискового перетворювача; h – товщина перетворювача. [9, 11, 12, 17, 18, 23]

Тоді загальна ємність:

$$C_{\text{заг}} = \frac{C_1 \cdot C_{\text{ПЕП}}}{C_1 + C_{\text{ПЕП}}} = \frac{2 \cdot 0.37}{2 + 0.37} = 0.312 \text{ (нФ)} \quad (2.18)$$

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	150	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.17	—	V/°C	Reference to 25°C, $I_D = 5mA$ ①
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	4.8	5.9	mΩ	$V_{GS} = 10V, I_D = 103A$ ②
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	3.0	—	5.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	20	μA	$V_{DS} = 150V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 150V, V_{GS} = 0V, T_J = 125^\circ C$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
R_G	Internal Gate Resistance	—	1.0	—	Ω	

Рис.2.9. Даташит транзистора

Опір транзистора у відкритому стані 5.9 (мОм), тоді:

$$\tau_{\text{розряд}} = C_{\text{заг}} \cdot R_{VT1} = 0.312 \cdot 10^{-9} \cdot 5.9 \cdot 10^{-3} = 1.84 \cdot 10^{-12} \text{ (с)} \quad (2.19)$$

що цілком задовольняє умову.

Робоча частота п'єзодатчика складає 10 МГц і відповідно дорівнює:

$$f_p \approx \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_{\text{ПЕП}}}} \quad (2.20)$$

Виражаємо індуктивність котушки L_1 для заданої частоти:

$$L_1 = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_p^2 \cdot C_{\text{ПЕП}}} = \frac{1}{4 \cdot 9.8596 \cdot 10^{14} \cdot 0.37 \cdot 10^{-9}} = 145.9 \text{ (мкГн)} \quad (2.21)$$

Тривалість імпульсу збудження перетворювача повинна дорівнювати приблизно півперіоду частоти коливання п'єзопластинки перетворювача, тобто:

$$\tau_{zi} = \frac{1}{2 \cdot f_p} = \frac{1}{2 \cdot 10 \cdot 10^6} = 0.05 \cdot 10^{-6} \text{ (с)} = 0.05 \text{ (мкс)} \quad (2.22)$$

2.4.2. Розрахунок схеми захисту

Діодний обмежувач (рис 2.10) необхідний для обмеження вхідної напруги при ударному збудженні перетворювача. Діоди VD1, VD2 обираємо однаковими – STPS10150C .

Параметри діодів: прямий струм - $I = 5$ А, зворотня напруга – 150 (В) швидкість переключення ≤ 35 (нс). Резистор перед діодним обмежувачем необхідний для обмеження вхідного струму. Розрахуємо за формулою (2.23.)

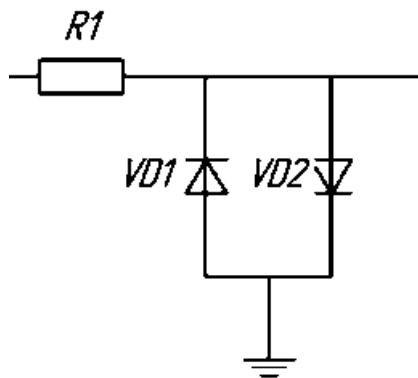


Рис.2.10. Діодний обмежувач

$$R_1 = \frac{U_{\text{вип.мах}}}{I} \quad (2.23)$$

де I – середній струм, що можуть пропустити діоди; $U_{\text{вип.мах}}$ – розрахуємо з формули (2.18)

$$U_{\text{вип.мах}} = 0.3 \cdot h \cdot E \quad (2.24)$$

де h – товщина п'єзоперетворювача, E – для ЦТС-19 дорівнює 3000 (В/мм)

$$U_{\text{вип.мах}} = 0.3 \cdot 0.165 \cdot 3000 = 148.5 \text{ (В)}$$

Повинна виконуватись умова $E < U_{\text{вип.мах}}$

Розрахуємо R_1 :

$$R_1 = \frac{128}{5} = 25.6 \text{ (Ом)}$$

Використовуємо два однакові діоди STPS10150C. [12, 23]

2.4.3. Розрахунок операційного підсилювача

Для підсилення прийнятого сигналу використаємо підсилювач на базі операційного підсилювача XR8054 (рис.2.11.)

Необхідно підсилити вхідну напругу, щоб напруга не перевищувала 5 В, приблизно в діапазоні від 0.1 В до 5 В. Також слід врахувати що в подальшому буде використовуватись регульований підсилювач тому коефіцієнт підсилення беремо довільно. Приймаємо $K = 50$.

Розрахуємо напругу, яка буде на вихід ОП, для $U_{пр}$.

$$U_{підс} = K \cdot U \quad (2.25)$$

де K – коефіцієнт підсилення;

U – напруга яка поступає на вхід ОП.

$$U_{підс} = 5 \cdot 0,7 = 3,5 \text{ (В)}$$

Така амплітуда після підсилення повністю задовольняє.

При такому коефіцієнті підсилення достатньо використати тільки 1 каскад підсилення. На вхід поступає сигнал, якій потрібно підсилити, на виході вже підсилений сигнал у 5 разів. [12, 23]

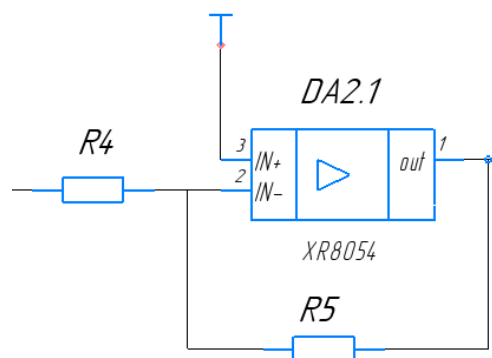


Рис.2.11. Підсилювач на базі ОП LMH6658

Резистори визначають коефіцієнт підсилення:

$$K_U = \frac{R_5}{R_4} \quad (2.26)$$

де K_U – коефіцієнт підсилення.

Підбираємо $R_5 = 5$ (кОм), $R_4 = 1$ (кОм).

2.4.4 Розрахунок смугового фільтру

Для того, щоб позбутися сигналів завад, необхідно використати смуговий фільтр, який відфільтрує усі зайві частотні гармоніки, що не є частинами інформативного сигналу. Для того, щоб визначити смугу пропускання фільтру, необхідно визначити частотну характеристику прийнятого сигналу з п'єзоперетворювача.

Відомо, що модель луна-імпульсного сигналу виглядає:

$$U(t) = A \cdot e^{-(g \cdot w \cdot t)^2} \cdot \sin(w \cdot t) \quad (2.27)$$

де A – амплітуда прийнятого сигналу; g – коефіцієнт швидкості затухання; w – частота перетворювача.

Змодельуємо цей сигнал в програмному середовищі Matlab (рис.2.12.)

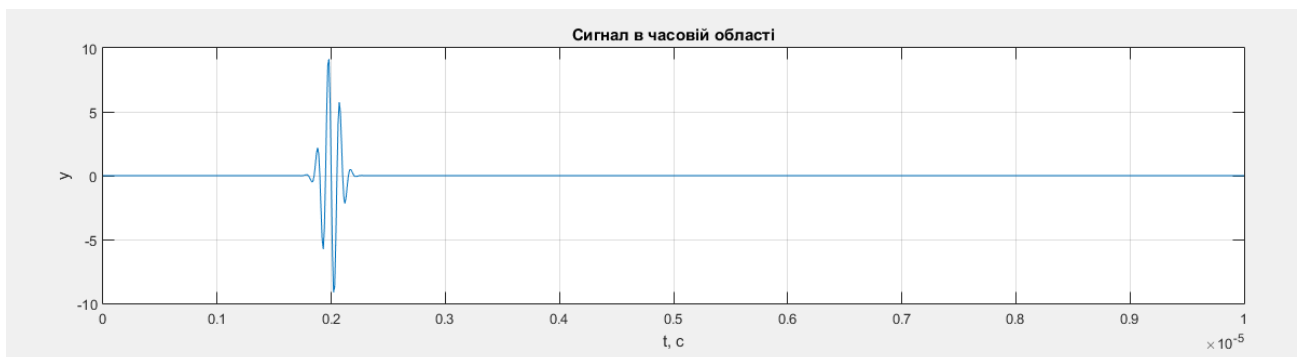


Рис.2.12. Вигляд змодельованого сигналу луна-імпульсу для $A=3$, (3 коливання):
по вісі абсцис – час, по вісі ординат – амплітуда

Тепер необхідно визначити полосу пропускання фільтру, для цього побудуємо частотну характеристику даного сигналу, і полосу пропускання визначимо як діапазон частот на рівні -20 дБ. [12, 23]

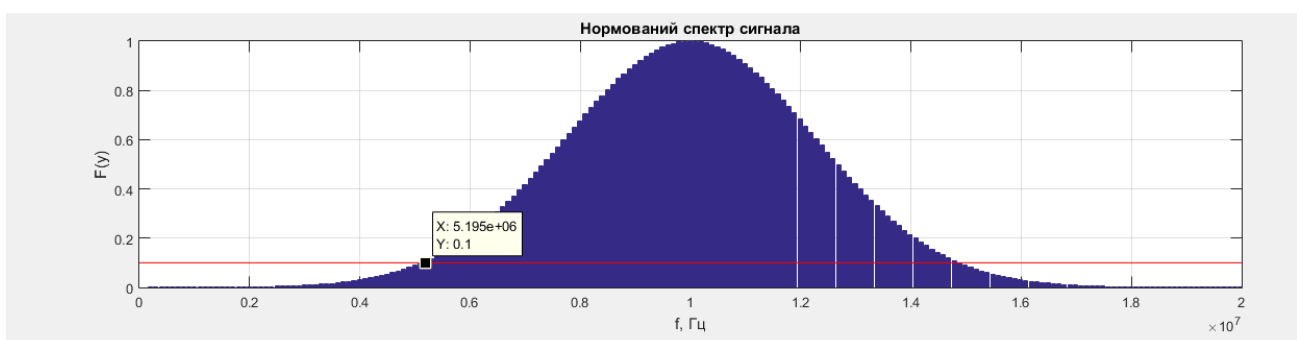


Рис.2.13. АЧХ луна-імпульсного сигналу

З рис. 2.13. випливає, що смуга пропускання фільтру дорівнює від 5.2 МГц до 14.8 МГц, тобто 9.6 МГц.

Спроекуємо двокаскадний фільтр за допомогою FilterPro фірми TexasInstruments (рис.2.14.).

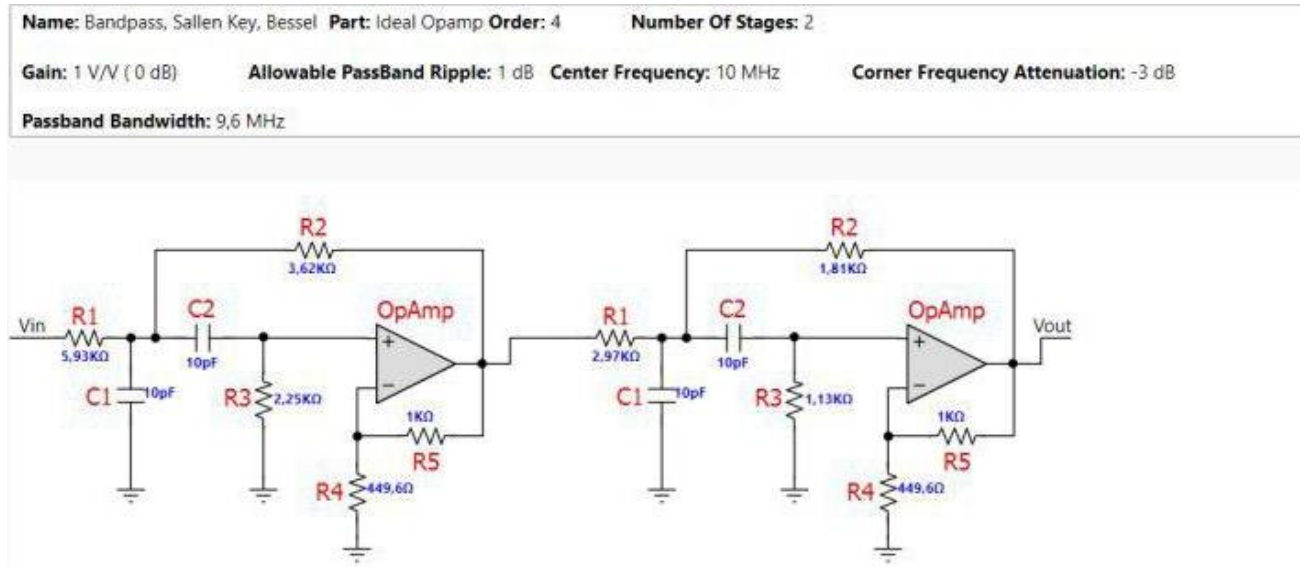


Рис.2.14. Електрична схема двокаскадного фільтра

2.4.5 Регульоване підсилення

У регульованих підсилювачах (РП) є можливість управління коефіцієнтом підсилення (рівнем вихідного сигналу) з метою запобігання перевантаження пристрою.

Регулювання може бути ручним або автоматичним, плавним або ступінчастим. Регулювання підсилення може здійснюватися як спеціальними ланцюгами, що включаються в схему підсилювача, так і окремими пристроями, аттенюаторами. Атенюатори, в свою чергу, можуть як вбудовуватися в підсилювач, так і підключатися до його входу. Виконуються атенюатори як на пасивних елементах, так і на активних. [12, 23]

Рівень максимального підсилення нашого сигналу на виході РП, 1.7 В.

Для реалізації автоматично-регульованого підсилювача використаємо схему AD8367. Щоб керувати за допомогою мікроконтролера даною схемою, необхідно використати зовнішній ЦАП з частотою роботи не менше частоти дискретизації

АЦП. Оберемо схему ЦАП AD9740. Максимальна частота перетворення цифрового сигналу в аналоговий становить понад 125 МГц, що являється достатнім з урахуванням верхньої частоти спектру сигналу (14.8 МГц). [12, 23]

Типова схема підключення AD8367 представлена на рис 2.15., типова схема підключення AD9740 на (рис 2.16.)

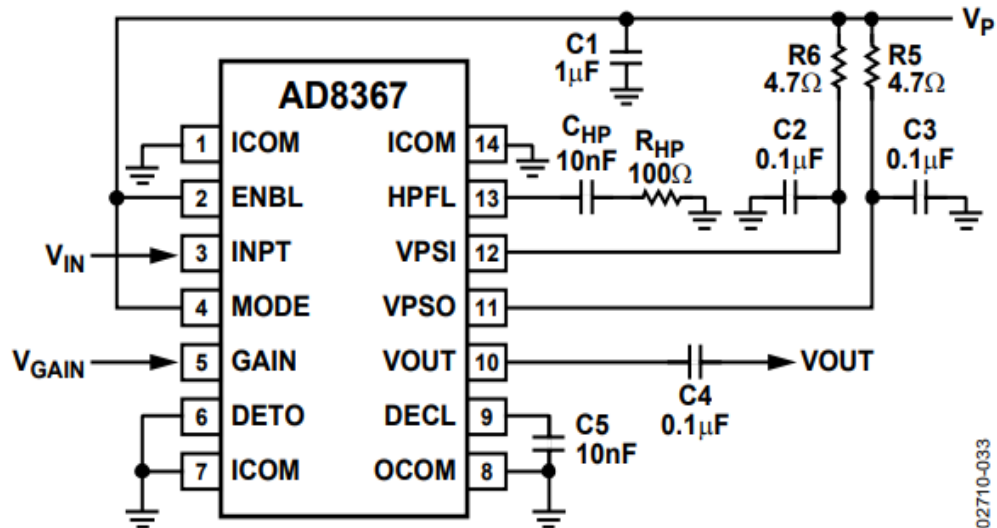


Рис. 2.15. Типова схема підключення AD8367

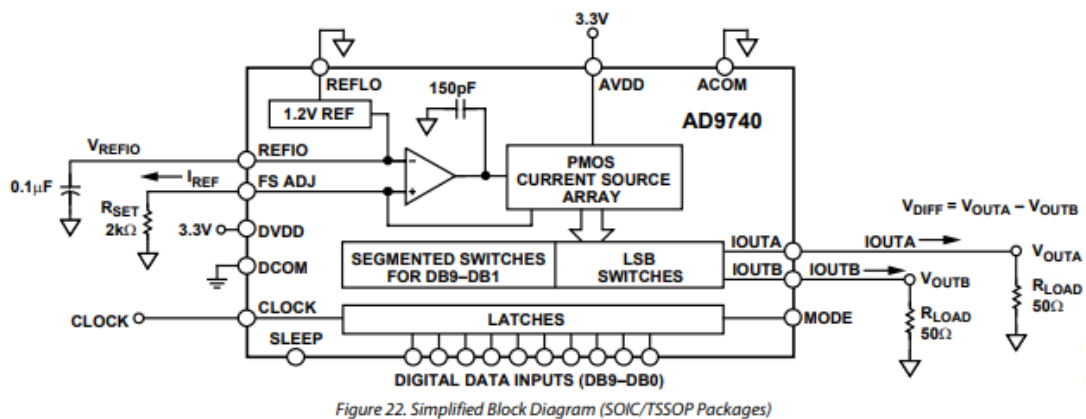


Рис. 2.16. Типова схема підключення AD9740

2.4.6. Вибір та розрахунок АЦП

Вибір АЦП проводимо виходячи з трьох умов:

- Частота дискретизації повинна бути як мінімум у 2 рази вищою за максимальну частоту вхідного сигналу;
- Розрядність АЦП повинна задовольняти вимогам точності;
- Вхідний сигнал повинен буди в межах динамічного діапазону.

Тобто при забезпеченні двох вибірок при максимальній частоті прийнятого сигналу 14.8 (МГц) необхідно обрати частоту дискретизації $f_d \geq 29.6$ (МГц).

Беремо

$$f_d = 40 \text{ МГц}$$

Розрахуємо розрядність АЦП,

$U_{\text{прийн}} = 1.7$ (В) – так як на цій межі РП обмежує напругу. [12, 13, 23]

Задаємося складовою похибки АЦП: похибка має бути не більшою за 5%

Розрахуємо крок квантування:

$$Q = U_{\text{прийн}} \cdot \delta_{\text{пр.мах}} = 1.7 \cdot 0.05 = 0.084 \text{ В} \quad (2.28)$$

Розраховуємо розрядність АЦП:

$$q_{\text{ацп}} = \left\lceil \log_2 \left(\frac{U_{\text{ацп}}}{Q} \right) \right\rceil + 1 = \left\lceil \log_2 \left(\frac{3,6}{0.084} \right) \right\rceil + 1 = 6 \quad (2.29)$$

Розрядність АЦП обираємо 10. [12, 13, 23]

Обираємо АЦП MAX1444 (рис.2.17).

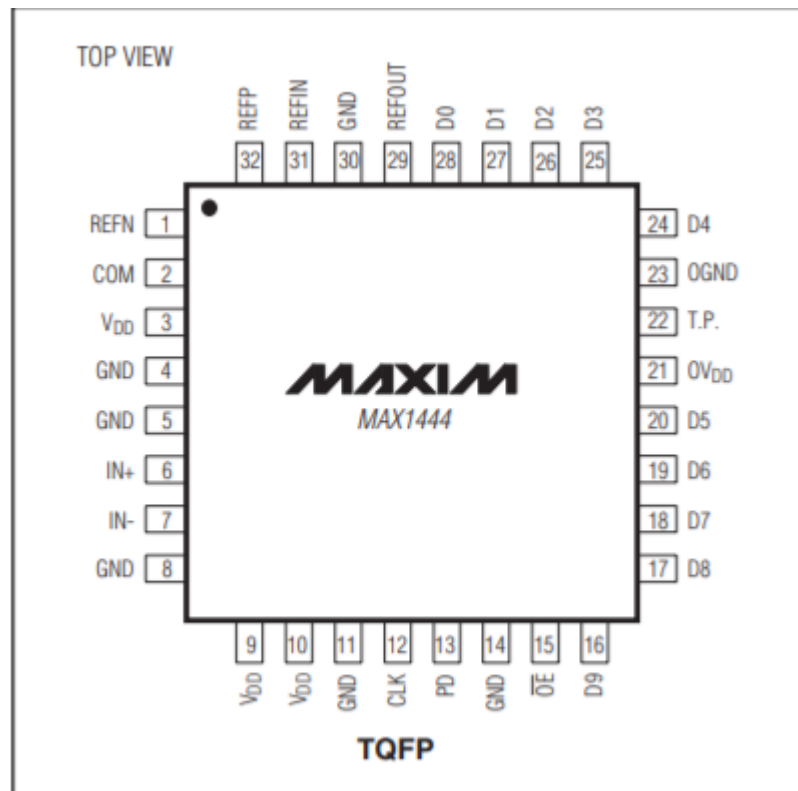


Рис.2.17. Розпінування АЦП MAX1444

Відмінні особливості:

- Однополярне живлення +3 В
- Відмінні динамічні характеристики:
- Сигнал / шум (SNR) 59.9 дБ при $f_{IN} = 20$ МГц
- Динамічний діапазон, обмежений шумами (SFDR) 74 дБс при $f(IN) = 20$ МГц
- Низький рівень споживання енергії:
- Робочий режим, 19 мА
- Режим відключення / shutdown, 5 мкА
- Повно- диференційний аналоговий вхід
- Однополярна напруга живлення від +2.7 В до +3.6 В
- Смуга вхідного сигналу 400 МГц, -3 дБ
- Вбудований, прецизійний +2.048 В ДОН
- CMOS- сумісні виходи з трьома станами
- Корпус 32-pin TQFP

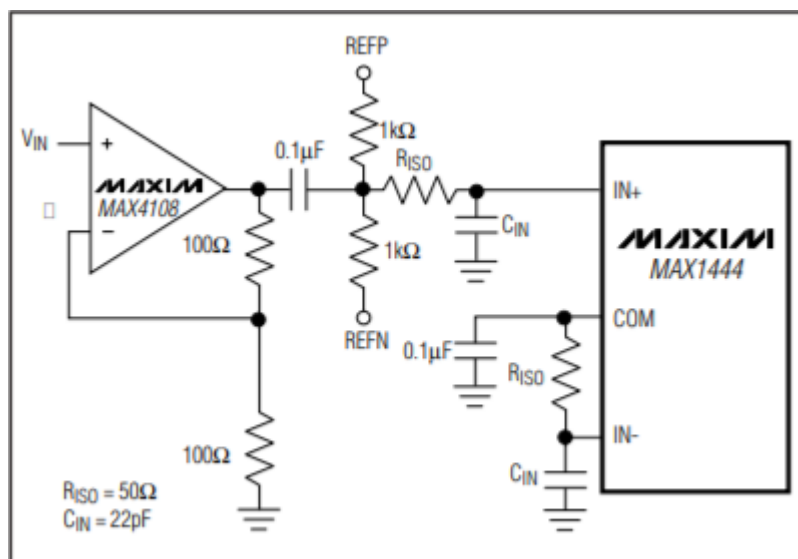


Рис.2.18 Загальна схема підключення

2.4.7 Вибір та розрахунок ОЗП

Особливості FIFO:

- Відсутність адресних ліній;
- Базова архітектура FIFO представлена у вигляді масиву RAM;
- Наявність окремого порту для читання і окремого порту запису даних.

Використання FIFO дає змогу виконувати передачу даних між окремими елементами, що працюють з різними тактовими частотами і різною розрядністю шини. [12, 23]

Розрахуємо час затримки між зондувальним і донним імпульсами з формули:

$$h_{\text{ок}} = \frac{C_{\text{ок}} \cdot \tau}{2} \quad (2.30)$$

Виразимо час затримки τ :

$$\tau = \frac{2 \cdot h_{\text{ок}}}{C_{\text{ок}}} = \frac{2 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{1777} = 45,02 \cdot 10^{-6} (\text{с}) = 45,02 (\text{мкс}) \quad (2.31)$$

Розрахуємо кількість вибірок:

$$N_{\text{в}} = \frac{\tau}{T_{\text{ацп}}} = \tau \cdot f_{\text{ацп}} = 45,02 \cdot 10^{-6} \cdot 40 \cdot 10^6 = 1800,8 \approx 1801 \quad (2.32)$$

Тоді розрахуємо об'єм даних:

$$\Delta(\text{б}) = 1801 \cdot 16 = 28816 \text{ біт} = 3602 \text{ байт} = 3,6 \text{ Кбайт} \quad (2.33)$$

Приймаємо $\Delta(\text{б}) = 128 \text{ Кб}$

Обираємо мікросхему CY7C4285V (рис.2.19)

Основні технічні характеристики мікросхеми:

- Напруга живлення 3.3 (В);
- Об'єм пам'яті 128 Кб;
- Високошвидкісна, малопотужна, FIFO пам'ять;
- 0,35-мкм CMOS для оптимальної швидкості та потужності;
- Висока швидкість роботи: 100 МГц (10 нс час читання/цикл запису).

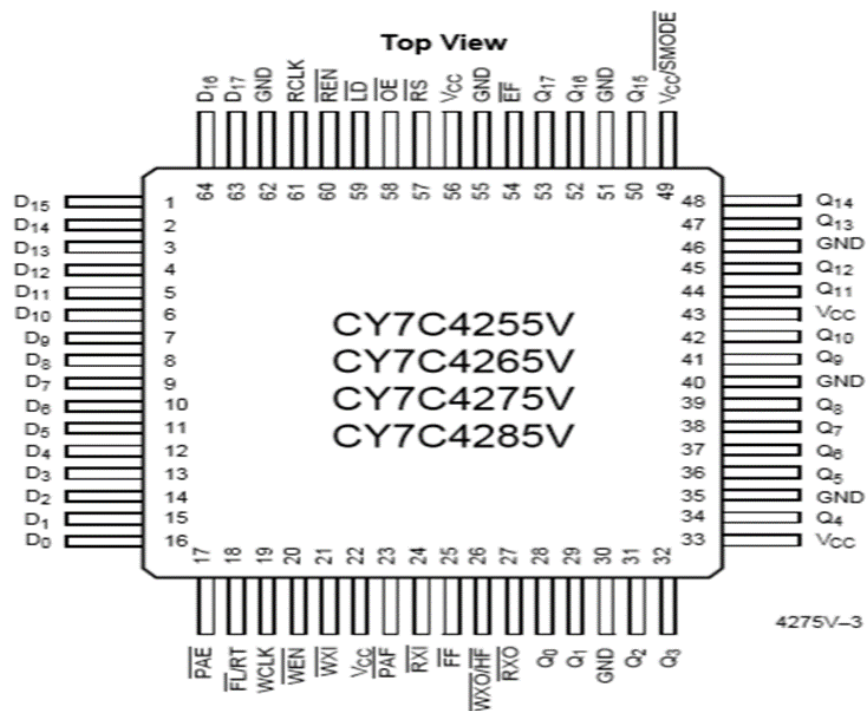


Рис.2.19. FIFO зовнішній вигляд мікросхеми

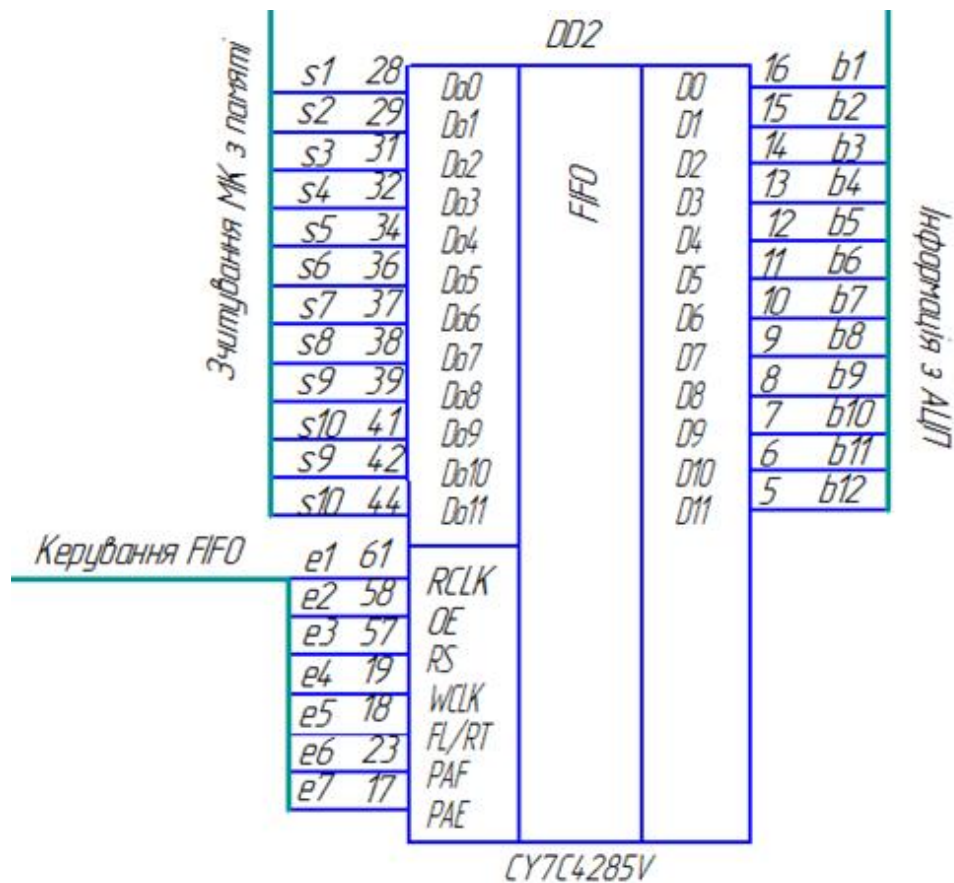


Рис.2.20. Підключення FIFO в електричній схемі

2.4.8. Вибір USB порту

Під час проведення діагностики необхідно виводити результат досліджуваного сигналу на зовнішній пристрій – комп'ютер чи ноутбук. В нашому випадку вирішальним фактором є швидкість передачі даних.

Взявши за увагу вище сказане обираємо USB порт ZX62D-AB-5P8, "Hirose Electric" (рис.2.21):

Основні характеристики USB порту:

- Напруга живлення до 100 В;
- Струм споживання до 1.8 А;
- Швидкість передачі даних 0.48 Gbps;
- Робоча температура від -30 до +85 ;
- Опір контакту 30 мОм;
- Матеріал – нержавіюча сталь;

- Тип передачі – USB2.0;
- Кількість контактів - 5;
- Кріплення – стандартне, що монтується на схему;
- Розмір модуля $8.65 \times 5.3 \times 2.5$ мм.

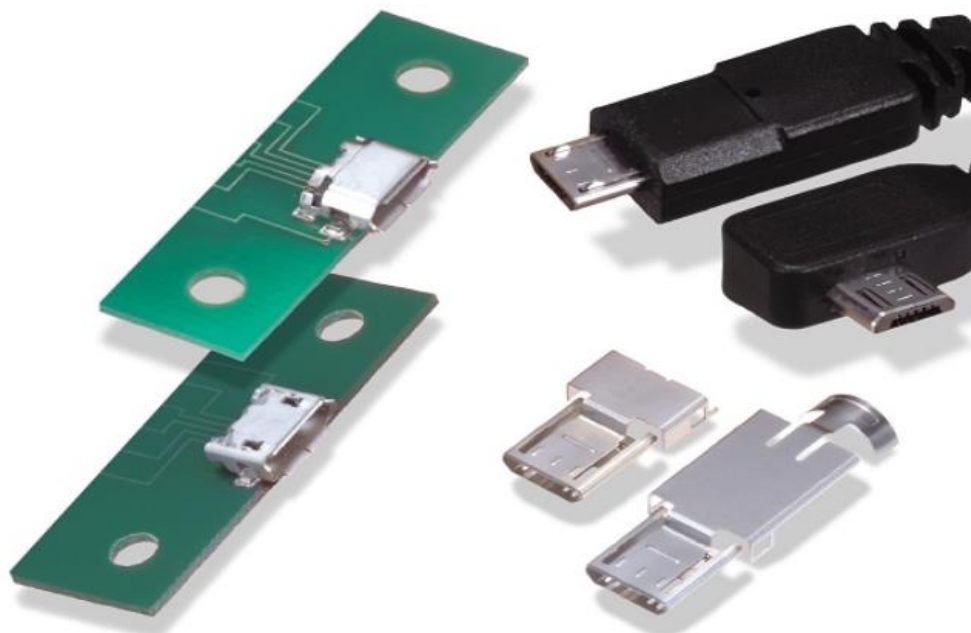


Рис. 2.21 Зовнішній вигляд ZX62D-AB-5P8

2.4.9. Вибір клавіатури

Для проведення контролю, потрібно ручне керування, для цього використаємо ряд кнопок В3S-1000Р (рис.2.22.) які підключені до МК у вигляді матричної клавіатури (рис.2.23.).

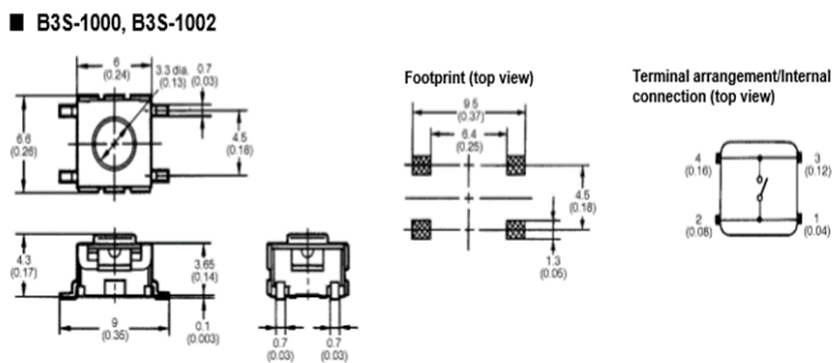


Рис. 2.22. Загальний вигляд кнопки В3S-1000Р

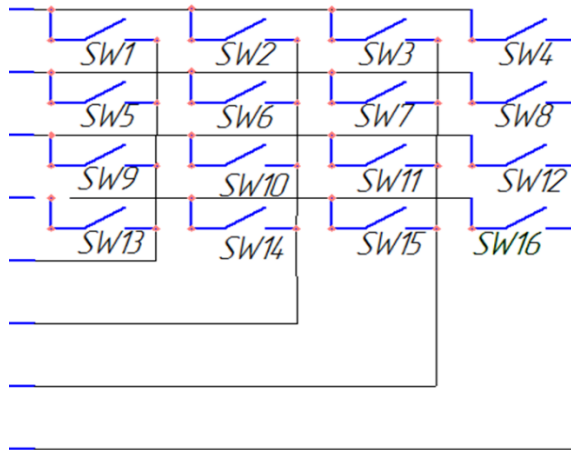


Рис. 2.23. Підключення кнопок до електричної схеми

2.4.10. Вибір мікроконтролера

Мікроконтролер або однокристальна мікро ЕОМ – виконана у вигляді мікросхеми спеціалізована мікропроцесорна система, що включає мікропроцесор, блоки пам'яті для збереження коду програм і даних, порти вводу-виводу і блоки зі спеціальними функціями (лічильники, компаратори, АЦП та інші). [12, 23]

Архітектура ARM – 32-бітна RISC архітектура процесорів, яку розробила компанія ARM Limited. Широко застосовується у розробці портативних пристроїв. Головною причиною цього є використання енергозберігаючих технологій. Саме тому ця архітектура домінує у пристроях, головною ідеєю яких є енергозбереження.

Використаємо мікроконтролер Atmel SMART SAM4LC на базі ядра Cortex M3 (рис. 2.24.) що має наступні характеристики:

- Частота до 48 МГц;
- Технологія «Ультра-низьке споживання електроенергії»;
- Висока продуктивність та ефективність;
- Вбудовані напруги лінійних та імпульсних стабілізаторів;
- USB вихід;
- Корпус TQFP (100 виводів);
- Прямий доступ до пам'яті і система обробки подій;

- До 512 КБ вбудованої флеш-пам'яті і до 48 Кб SRAM.

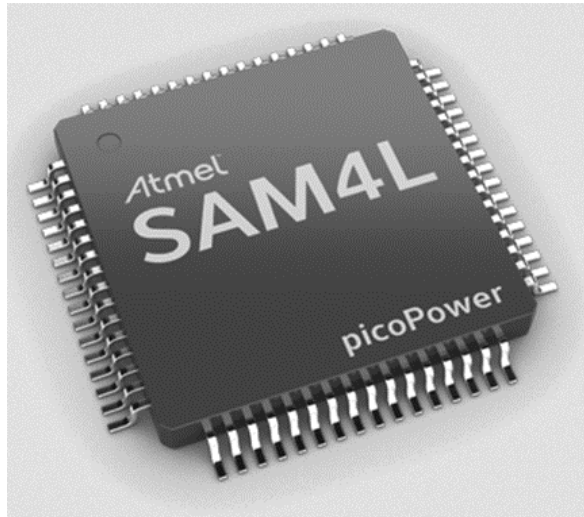


Рис.2.24. Зовнішній вигляд МК

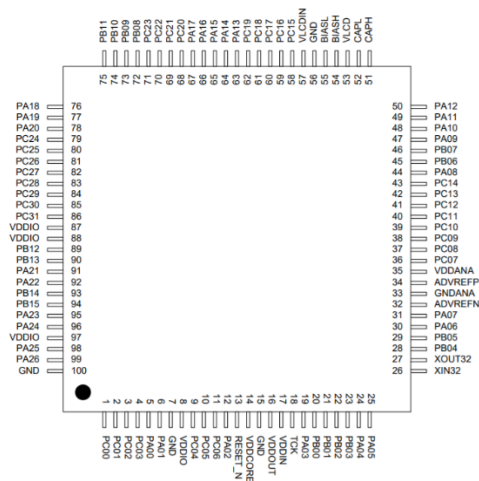


Рис.2.25. Розпінування мікроконтролера

Висновки до розділу 2

В даному розділі приведено розрахунки акустичного і електроакустичного трактів, розроблено структурну і функціональних схеми та часові діаграми.

Представлено розрахунки вузлів електричної схеми: генератора зондуючих імпульсів, схеми захисту, операційного підсилювача, смугового фільтру, регульованого підсилення.

Вибрано та розраховано АЦП, ОЗП, USB порт, клавіатуру, мікроконтроллер.

3. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ

Одним із завдань дослідження було провести моделювання роботи окремих вузлів розробленої комп'ютерно-інтегрованої ультразвукової системи діагностики захворювань ока. Процес моделювання реалізовувався за допомогою NI Multisim – потужного сучасного програмного продукту для реалізації SPICE-моделювання та аналізу електричних схем. Таким чином, було розроблено модель смугового фільтра, який використовується у системі (рис. 3.1), та проаналізовано результати моделювання.

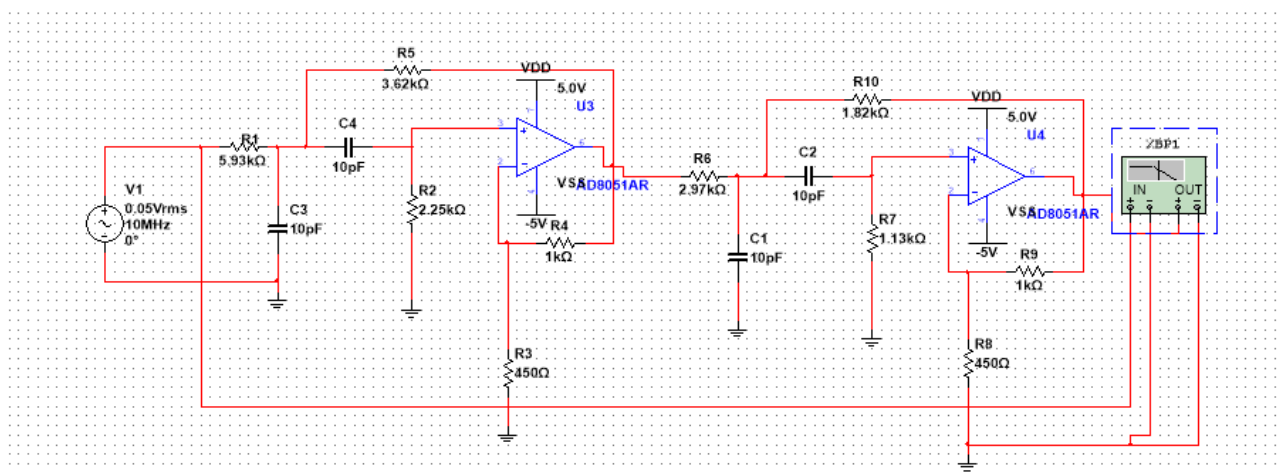


Рис. 3.1 Розроблена модель двокаскадного смугового фільтра

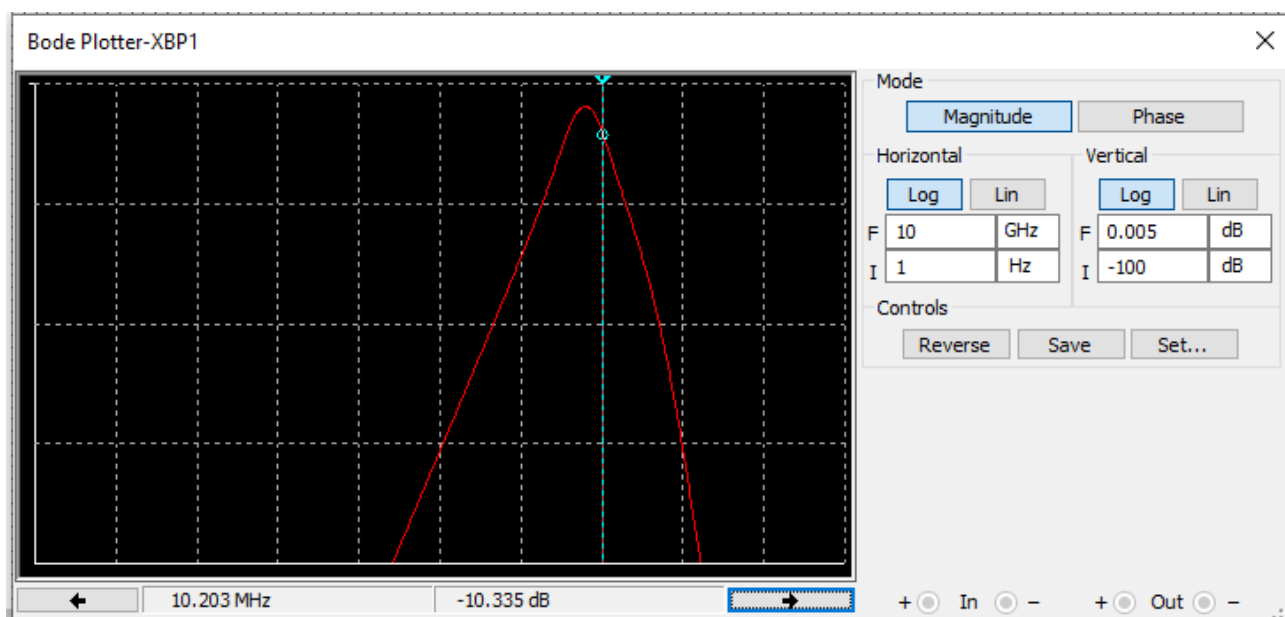


Рис.3.2 Вихідна характеристика фільтра

На рисунку 3.2 показано вихідну характеристику смугового двокаскадного фільтру. Основна задача фільтру: відфільтрувати усі зайві частотні гармоніки, що не є частинами інформативного сигналу. З вихідної характеристики випливає, що смуга пропускання фільтру дорівнює від 5.2 МГц до 14.8 МГц, тобто 9.6 МГц.

Висновки до розділу 3

З метою перевірки роботоздатності окремих вузлів розробленої системи ультразвукової діагностики захворювань ока, відповідно до завдань на магістерську дисертацію, за допомогою сервісу було здійснено моделювання роботи смугового двокаскадного фільтру. Для реалізації чого було використано метод SPICE-моделювання та аналізу електричних схем. Аналіз результатів моделювання показав, що для того, щоб позбутися сигналів завад, необхідно використати смуговий фільтр, який відфільтрує усі зайві частотні гармоніки, що не є частинами інформативного сигналу.

4. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

У цьому розділі представлено результати розробки друкованої плати окремих вузлів системи, а також результати розробки первинного перетворювача.

4.1. Розробка друкованої плати

Для реалізації процесу розробки друкованої плати окремих елементів системи було використано програмний продукт Altium Designer – комплексної системи автоматизованого проектування радіоелектронних засобів. Таким чином, було здійснено розведення друкованої плати окремого вузла схеми розробленої системи, а саме смугового двокаскадного фільтру (рис. 4.1). Спочатку з наявних електричних компонентів скомпонувано бібліотеку компонентів і розміщено на РСВ листі - зібрано електричну схему.

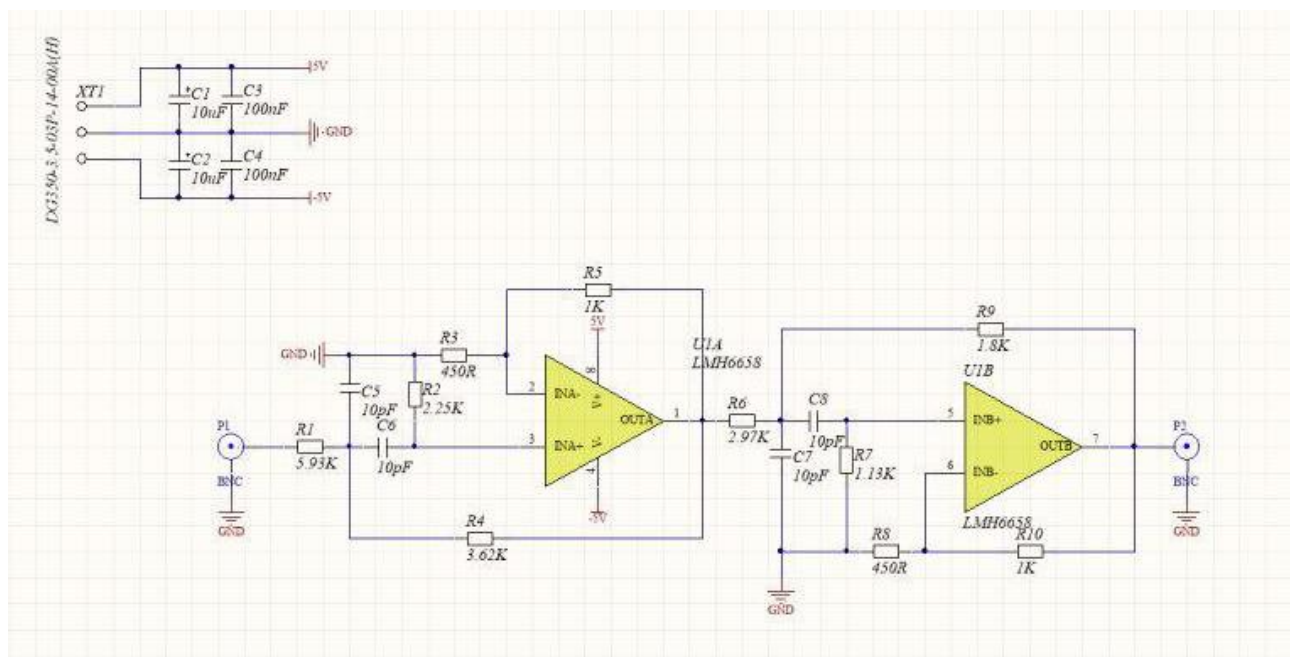


Рис.4.1 Схема розробки друкованої плати

Далі було здійснено розведення друкованої плати (рис. 4.2).

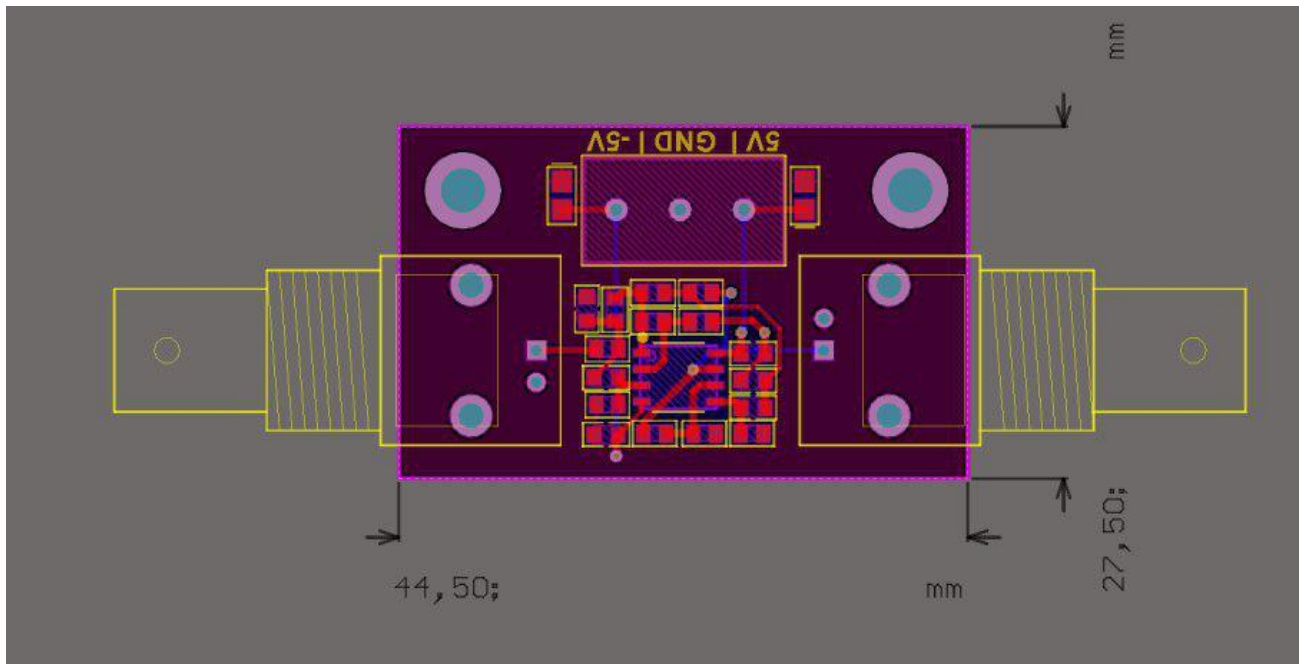


Рис.4.2 Розведена друкована плата

На підставі отриманих результатів розроблено 3D-модель друкованої плати (рис. 4.3.).

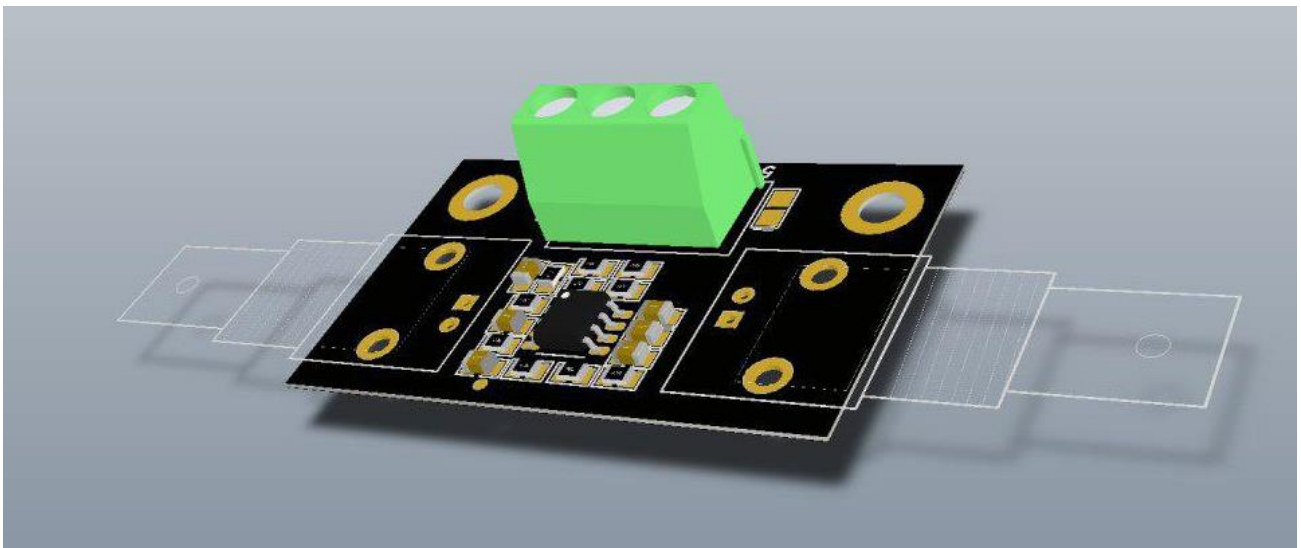


Рис.4.3 3D модель друкованої плати

4.2. Розробка конструкції первинного перетворювача

Від геометричних розмірів залежить декілька досить важливих факторів, від яких залежить результат вимірювання або взагалі питання про працездатність приладу. Від площі перетворювача залежить довжина ближньої та дальньої зони. Від товщини перетворювача залежить його робоча частота, яка впливає на роздільну здатність приладів та на загальну похибку вимірювань в цілому. Від форми п'єзокерамічного кристалу залежать: форма збудженої хвилі яку необхідно обирати для досягнення тих чи інших результатів, роздільна здатність приладу яка може бути основним критерієм розробки. [9, 11, 17, 18]

Об'єкт контролю в нашому випадку – багатошарова структура, з незначними відмінностями по імпедансам. Тоді можна знехтувати рефракцією, оскільки швидкості ультразвуку в м'яких тканинах мало відрізняються.

На підставі проведених розрахунків в розділі 2.3 та з урахуванням вибраних геометричних параметрів було розроблено конструкцію первинного п'єзоелектричного перетворювача (рис. 4.4).

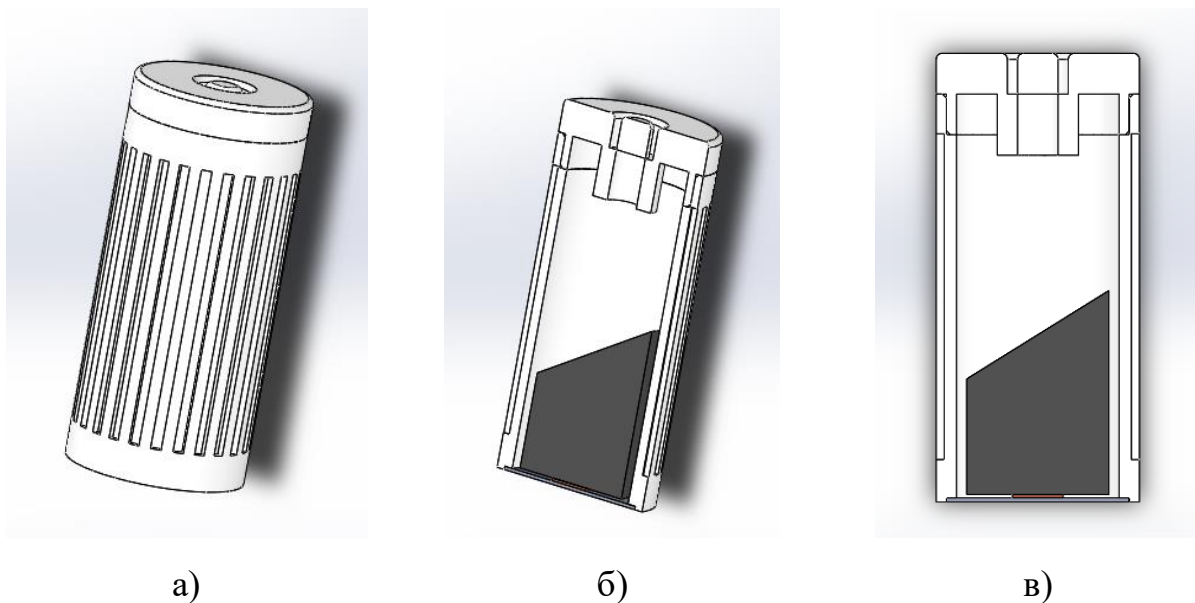


Рис. 4.4. Зовнішній вигляд первинного перетворювача (модель):

а – загальний вигляд; б і в – вигляд у розрізі

Розглянемо технологію виготовлення п'єзоелектричного перетворювача. На п'єзокерамічну заготовку з сегнетоелектрика після спікання наносяться електроди шляхом випалювання срібла із срібної пасти. Потім заготовка проходить стадію поляризації. Поляризаційні властивості кераміці додають поляризацією постійною напругою. Для міцного кріплення п'єзоелемента заливаємо на 2/3 об'єму епоксидною смолою. Кришку корпусу приклеюємо. [9, 11, 17, 18]

Висновки до розділу 4

Розроблено друковану плату системи ультразвукової діагностики захворювань ока. Слід зауважити, що розроблена плата має компактні габарити, що особливо важливо у розробці пристроїв для діагностики такого мініатюрного органу, як око людини. Крім того, було розроблено ергономічну конструкцію корпусу первинного перетворювача, описано технологію його виготовлення.

5. РОЗРАХУНОК ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ

За вихідними даними дипломного проекту, похибка повинна не перевищувати 2%. [10, 12, 19]

Виникнення приладових похибок зумовлене властивостями використовуваних вимірювальних приладів. Похибка кожного конкретного приладу є систематичною, але її значення звичайно невідомо, а значить, її неможливо виключити введенням в результат вимірювання відповідної поправки. У паспорті приладу прийнято вказувати межі допустимої похибки, що означає максимально можливу похибку при рекомендованих умовах роботи приладу. [10, 12, 19]

5.1 Похибка квантування АЦП

В АЦП сигнал є дискретизованим рівно. Тобто N – розрядне слово представляється одним з 2^N можливих сигналів, тому N – розрядний АЦП може видати лише 2^N різних значень двійкового коду. [10, 12, 19] Таким чином роздільна здатність АЦП розраховується за формулою (6.1) :

$$\Delta = \frac{3}{2^N} \cdot 100\% \quad (5.1)$$

Де N – розрядність вибраного АЦП

$$\Delta = \frac{3}{2^{10}} \cdot 100\% = 0,29\%$$

$$\Delta_{\text{Квантування}} = \frac{\Delta}{2} = 0,146\%$$

5.2 Похибка підсилювачів

Розрахуємо відносну похибку підсилювачів :

$$U_{cm} = 5 \text{ мВ}$$

$$K_U = 5$$

$$U_{вих} = 3,5 \text{ В}$$

$$\delta_M = \frac{U_{cm} \cdot K_U}{U_{вих}} \cdot 100\% = 0,7\% \quad (5.2)$$

Загальна похибка

Розрахуємо сумарну відносну похибку:

$$\Delta = \Delta_{\text{квантування}} + \delta_M = 0.846\% \quad (5.3)$$

Отже, в роботі дотримується необхідна точність вимірювання, оскільки розраховані значення похибки менші, ніж дані за технічним завданням. [10, 12, 19]

Висновки до розділу 5

Проведено розрахунок похибки квантування АЦП та похибки підсилювачів.

Отримане значення сумарної відносної похибки задовольняє умови технічного завдання.

6. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ "КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА УЛЬТРАЗВУКОВА СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ ЗАХВОРЮВАНЬ ОКА"

6.1. Опис та технологічний аудит ідеї проєкту

Беручи до уваги інформацію з попередніх розділів про існуючі системи для діагностики захворювань ока, було розроблено комп'ютерно-інтегровану ультразвукову систему діагностики захворювань ока людини. В даному розділі буде проведено аналіз стартап проєкту, що має на меті визначення можливості виходу на ринок і можливості конкуренції з вже існуючими приладами. Ідея проєкту описана в попередніх розділах та деякі уточнення наведено в таблиці 6.1 Також в таблиці 6.1 коротко відображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів. [15, 16]

Таблиця 6.1. Опис ідеї стартап проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка комп'ютерно-інтегрованої ультразвукової системи діагностики захворювань ока	Офтальмологічні центри	Підвищення якості діагностики Збільшення попиту на проведення діагностики Зменшення тривалості перевірки
	Обласні та районні лікарні	Низька ціна Простота в користуванні

Отже, пропонується нова система для діагностики захворювань ока, яка реалізована шляхом розробки та моделювання системи, що зменшує похибки та вірогідність проведеного контролю.

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

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик

ідеї;

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

- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 6.2). [15, 16]

Таблиця 6.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари / концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	МЧП «Медтехніка Сервіс»	«Ophthal»			
Торгівельна марка	немає	є	є	+		
Показники довговічності інструменту	Висока	Середня	Середня		+	
Показники надійності інструменту	Висока	Середня	Середня		+	
Патенти на продукти	немає	є	є			+
Економічність	Середня ціна	Висока ціна	Висока ціна		+	

Після порівняння характеристик проекту з конкурентами був визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик їхніх систем, що є підґрунтям для формування конкурентоспроможності розробленої системи.

В межах даного підрозділу проводимо **аудит технології**, за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту. [15, 16]

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз

складових які вказані в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Збільшення роздільної здатності приладу		Наявні	Доступні
2.	Збільшення інформативності діагностики		Наявні	Доступні
3.	Розширення спектру хвороб, що можна виявити на ранніх стадіях		Наявні	Доступні
4.	Вивід інформації на ПК або ноутбук		Наявні	Доступні

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок, що наша система може реалізуватися будь-якою технологією, але серед представлених найбільш серйозних змін в кращу сторону привносить саме застосування ультразвуку, що дасть змогу лікарю проводити діагностику і отримувати змістовну інформацію щодо наявності неоднорідностей структури ока, що свідчить про наявність захворювання навіть на ранній стадії. [15, 16]

6.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проєкту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проєкту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації. Це дозволяє спланувати напрями розвитку проєкту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проєктів-конкурентів. [15, 16]

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 6.4).

Таблиця 6.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	1
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	15000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Конкуренція як вітчизняних, так і зарубіжних фірм
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	40%

За попереднім оцінюванням ринок має зростаючу динаміку і хороший попит на запропонований нами продукт, тому робим висновок, що ринок є привабливим для входження, хоча на ньому вже існують вітчизняні та зарубіжні фірми, які працюють багато років і роблять прилади хорошої якості, але за рахунок нової технології і переваг, які вона надає, продукт є конкурентоспроможним. [15, 16]

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 6.5).

Таблиця 6.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Точна і недорога система	Офтальмологічні центри та лікарні	Надійність, точність, довговічність, ціна	Правильність експлуатації

Отже потенційною групою клієнтів продукту мають стати державні та приватні лікарні або центри діагностики зору, які побачать економічну вигоду у системі, виконаною за новою методикою. [15, 16]

При застосуванні даної технології існують певні загрози. Для попередження таких ситуацій необхідно дотримуватись правил експлуатації, а також працювати з такими системами повинні висококваліфіковані фахівці. Також, повинно своєчасне технічне обслуговування даної системи (таблиця 6.6).

Таблиця 6.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Асортимент продукції зарубіжних компаній	Доведення на практиці, що технологія буде економічно вигіднішою, ніж у конкурентів
2.	Старіння	Поява новіших систем	Моніторинг трендів, постійна модернізація згідно з вимогами ринку
3.	Відсутність попиту	Не бажання переходити на нові технології	Приведення аргументованих доказів, що зміна технології приведе до збільшення попиту на продукт.
4.	Постачання	Домовленості з фірмами постачальниками	Зміна політики розповсюдження продукту
5.	Технічний	Відсутність кваліфікованих кадрів для роботи над системою	Спрощення алгоритмів методики або впровадження постійної підтримки кваліфікованих техніків

В таблиці 7.6 ми визначили фактори загроз які перешкоджають ринковому впровадженню нашого проекту, а також можливу реакцію на ці фактори, щоб звести до мінімуму його вплив. [15, 16]

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 6.7).

Таблиця 6.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Науково-технічні	Зміниться технологія виготовлення	Впровадити технологію і змінити вартість
2.	Поява нової роздрібною мережі	Увійти до числа постачальників нової мережі	Зробити акцент на якості продукції
3.	Попит	Потреба збільшення надійності, точності та довговічності	Модернізація продукту, розробка нових ідей
4.	Політико правові	Може вплинути на купівлю/продаж товару.	Зміна напрямків імпорту
5.	Економічні	Політика протекціонізму; підтримка інноваційного виробництва.	Підвищення/пониження ціни на продукт; зменшення податкового тиску

В таблиці 6.7 визначили фактори можливостей, які сприяють ринковому впровадженню нашого проекту, та вигоди, які компанія може отримати відповідно від реакції на той чи інший фактор. [15, 16]

Таблиця 6.8 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Олігополія	В галузі домінує декілька конкуруючих фірм	Виготовлення вдосконаленого товару
Національний	Конкуренція фірм на міжнародному рівні	Приведення розрахунків про збільшення надійності і вірогідності діагностики
Внутрішньогалузева	Виробники виготовляють продукти, які задовольняють одну потребу	Створення системи відмінної в надійності, вірогідності, ціні.
Цінова	Використання ціни як засіб кращих умов збуту	Підвищення якості, за такою ж ціною, що і у конкурентів
Марочна	Вказує, яке підприємство відповідальне за готовий продукт	Створення власної марки

В даній таблиці ми проаналізували ринок збуту розробленої системи і визначили загальні риси конкуренції на ньому. [15, 16]

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Поки проект не впроваджено в життя, це важко зробити точно, можна дати лише попередню оцінку конкурентоспроможності.

Таблиця 6.9. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Надійність	Більша надійність продукту, ніж у конкурентів
2	Довговічність	Більша довговічність продукту, ніж у конкурентів
4	Якість	Вище перелічені фактори покращують якість діагностики, а це один із головних критеріїв пацієнтів
5.	Ціновий	Опрацювання відгуків клієнтів, вдосконалення відповідно до їх пропозицій.
6	Новизна	Нова технологія дозволяє продукту стати конкурентоспроможними на ринку

В таблиці 6.10 на основі аналізу проведеного в таблиці 8.9 визначили та обґрунтували фактори конкурентоспроможності нашого проєкту. [15, 16]

Таблиця 6.10. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «УЗ Око»

№п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з новою системою						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Надійність	15						+	
2	Довговічність	16					+		
4	Якість	20						+	
5	Ціна	13				+			
6	Новизна	17					+		

З таблиць 6.9 та 6.10 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні нових елементів. Основною перевагою та головним досягненням є висока якість системи та технічна підтримка на протязі всього терміну її використання. [15, 16]

Таблиця 6.11. SWOT- аналіз стартап-проєкту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> • краща надійність і довговічність; <ul style="list-style-type: none"> • краща точність системи; • ціна нижча, як і у конкурентів; 	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> • продукт який ще не зарекомендував себе на ринку; • за рахунок високої ціни клієнти обирають більш дешевий варіант, що призводить до втрати потенційного заробітку
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Зміниться технологія виготовлення; 2. Увійти до числа постачальників нової мережі 3. Потреба збільшення надійності, точності та довговічності 4. Може вплинути на купівлю/продаж товару 5. Політика протекціонізму; підтримка інноваційного виробництва 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Асортимент продукції зарубіжних компаній. 2. Поява новіших систем 3. Не бажання переходити на нові технології 4. Домовленості з фірмами постачальниками 5. Відсутність кваліфікованих кадрів для роботи над системою

В таблиці 6.12 проводимо перелік сильних та слабких сторін, а також ринкових загроз та ринкових можливостей, який складаємо на основі факторів загроз і можливостей, який ми склали раніше. Ринкові загрози та можливості на відміну від факторів ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів. [15, 16]

Таблиця 6.12. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	2 роки
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Середня	1 рік
3	Стратегія виходу з ринку	Низька	

З зазначених альтернатив обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

6.3. Розробка ринкової стратегії проекту

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

Таблиця 6.13. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Приватні лікарні	Готові	Середній	Висока	Середня
2	Державні лікарні	Готові	Високий	Низька	Просто
Які цільові групи обрано: Державні та приватні лікарні. Використовується стратегія диференційованого маркетингу.					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів обрані цільові групи, для яких будемо пропонувати свою ультразвукову систему для діагностики захворювань ока та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію диференційованого маркетингу, тому що працюємо із конкретним сегментом, розробляючи для нього програму ринкового впливу.

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

Таблиця 6.14. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок ринкових можливостей	Диференційований маркетинг	Краща надійність і довговічність Краща якість Ціна така, як і у конкурентів	Стратегія диференціації

За базову стратегію розвитку було взято стратегію диференціації, що передбачає надання товару важливих, з точки зору споживача, відмінних властивостей, які роблять систему, яка відрізняється від тієї, що є в конкурентів

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 6.15).

Таблиця 6.15. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

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

За базову стратегію конкурентної поведінки була прийнята стратегія зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру. Головне завдання компанії при цьому – це постійна підтримка та розвиток своєї конкурентної переваги. [15, 16]

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

Таблиця 6.16. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Висока надійність і довговічність	Стратегія диференціації	Краща якість ніж у конкурентів за такою ж ціною	Надійність Стабільність Якість Ціна

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки

компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

6.4. Розробка маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 6.17 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 6.17. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Комп'ютерна інтеграція системи для пришвидшення діагностики	Точність проведення діагностики, вивід інформації на ПК чи ноутбук	Постійна технічна підтримка та оновлення. Вдосконалення системи шляхом додавання нових можливостей.

За рахунок ключових переваг розробленої системи та стратегії диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей за такою ж ціною як і у конкурентів буде розроблено маркетингову програму стартап-проекту. [15, 16]

Таблиця 6.18. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Комп'ютерно-інтегрована ультразвукова система діагностики захворювань ока. Можна виділити наступні вигоди використання: - автоматизація процесу діагностики; - підвищення якості та точності; - зменшення похибок. - підвищена надійність і довговічність системи		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Довговічність (немає строку давності)	Нм	Вр
	2. Економічні	Нм	Вр
	3. Надійність	М	Тл
	4. Безпеки	М	Тх
5. Технологічні	М	Тх	
Якість: відповідає нормам ГОСТ 8.417-2002			

	Пакування: Картонна коробка із торгівельною маркою, назвою продукту і технічними характеристиками
III. Товар із підкріпленням	Розповсюдження реклами

В таблиці 7.18 ми створюємо трирівневу модель нашого проекту, що включає задум товару та його вигоди, основні характеристики та спосіб його пакування.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 6.19).

Таблиця 6.19. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	15000 грн	20000 грн	Середній	1000 – 2000 грн

В таблиці проаналізовано ринкові ціни на товари аналоги та замінники, а також середній рівень доходів споживачів. За отриманими даними буде встановлена верхня та нижня межа на нашу систему. [15, 16]

Таблиця 6.20. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Звична купівля з деяким змінами	Доставка товару покупцю, його встановлення та налаштування.	Канал нульового рівня	Власна система збуту. Виробник безпосередньо продає товар клієнту

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів було обрано власну систему збуту, коли виробник безпосередньо продає товар клієнту. Також за глибину каналу збуту було обрано канал нульового рівня, тому що

компанія хоче мати тісні контакти із споживачами на обмеженому цільовому каналі.

Таблиця 6.21. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Перегляд інформаційних ресурсів із потрібним якісним товаром за доступною ціною.	Інтернет ресурси, каталоги інструментів, виставки, рекламні статті.	Послідовність у реалізації обраної позиції. Доступність та об'єктивність інформації про фірму та товар. Послідовність при прийнятті рішень.	Інформаційне завдання про новий товар, та формування знань про марку та виробника.	Надійність і довговічність

Висока надійність, довговічність та точність системи є головною концепцією, за рахунок якої він є конкурентоспроможним на ринку.

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів було обрано власну систему збуту, коли виробник безпосередньо продає товар клієнту. Ціноутворення відбувається на основі аналізу товарів – аналогів і відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту з залученням експертів. [15, 16]

6.5. Організація реалізації стартап-проекту

Представимо команду стартап-проекту та її розвиток

Таблиця 6.22. Команда стартап-проекту

<i>Розвиток команди</i>	<i>Учасники</i>	<i>Завдання учасників в</i>	<i>Освіта</i>	<i>Досвід роботи</i>	<i>Спеціалізовані знання</i>	<i>Витрати, тис. грн.</i>
Мінімальна команда	Герасимчук Михайло	Керівник; розробни; бухгалтер	Бакалавр	Інженер; розробни; електрик	Наявні певні знання в розробці інтелектуальних систем, створенні різних інженерних рішень, знання електроніки та електрики	40000
Разом:	40000					

Дана таблиця представляє повну команду розробників системи, що являється мінімальною життєздатною командою, але дана команда без зволікань може повністю представляти інтереси стартап-проекту. [15, 16]

Розробимо календарний графік реалізації стартап-проекту

Таблиця 6.23. Календарний графік реалізації стартап-проекту

<i>Зміст етапу</i>	<i>Період реалізації, номер місяця з початку виконання робіт</i>													<i>Вартість етапу, грн.</i>	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Розробка системи															8000

Визначимо ціни на сировину, матеріали та комплектуючі виробу та визначимо постачальників. [15, 16]

Таблиця 6.24. Сировина, матеріали та комплектуючі виробу

№	Найменування видів сировини, матеріалів та комплектуючих виробів	Постачальники	Ціна за одиницю	Примітки (місцезнаходження постачальників, умови поставок тощо)
1.	Двигуни	Інвестори можуть бути постачальниками	10000	Постачальники знаходяться в Китаї; поставки виконуються за замовленням
2.	Дроти		800	
3.	Датчики		1500	
4.	Корпусні деталі		9000	
5.	Мотори		7000	
6.	Редуктори		5000	
7.	Плати		400	
8.	Лицьові панелі		3000	
Разом:			36700	

В даній таблиці прописані матеріали, що являються необхідними для розробки системи описаної даним стартап-проектом. Враховуючи те що в даній таблиці вказана роздрібна ціна, то при масовому виробництві матеріали будуть постачатись по оптовим цінам і в результаті затрати будуть декілька меншими.

Таблиця 6.25. Потреба в промислово-виробничому персоналі

№	Посада/виконувани завдання	Чисельність	Витрати на персонал, тис. грн.
1.	Керівник	1	13000

2.	Бухгалтер	1	10000
3.	Інженер	1	8000
4.	Маркетолог	1	9000
5.	Робітники на виробництво	2	18000
	Разом:	6	58000

Враховуючи те, що на самому початку виробництва кількість робочого персоналу не дуже велика, тому обов'язки керівника, бухгалтера, інженера та маркетолога будуть виконуватися однією людиною. В подальшому при стабільному розвитку стартап-проекту буде проводитися розширення персоналу. [15, 16]

Далі необхідно визначити початкові витрати необхідні для стартапу.

Таблиця 6.26. План витрат на запуск виробництва продукції

№	Найменування	Характеристика	Вартість, тис. грн.
1.	Закупівля обладнання та устаткування	Витрати на придбання обладнання	500000
2.	Сировина, основні матеріали та комплектуючі	Вартість сировини та матеріалів для забезпечення технологічного процесу	36700
4.	Паливо та електроенергія необхідна на технологічні цілі	Витрати на електроенергію, а також на паливо, необхідні для запуску проектної потужності	50000
5.	Оплата праці персоналу	Витрати на заробітну плату	58000
6.	Освоєння та запуск виробництва	Витрати на пускові роботи, запуск виробництва	60000

	Разом	704700
--	-------	--------

В даній таблиці було визначено початковий план витрат, необхідний для запуску виробництва.

Визначимо загальні обсяги інвестицій

Таблиця 6.27. Обсяги інвестицій

№	Вид інвестицій	Сума, грн
1.	Першо-початкові інвестиції	704700
2.	Інвестиції на стадії виробництва	1248000
3.	Інвестиції на просування стартапу	100000
Разом:		2052700

В даному підрозділі було визначено загальні обсяги інвестицій необхідних для запуску стартап-проекту, в які входять ціни на сировину, матеріали, комплектуючі, заробітна плата працівникам, просування та першо-початкові інвестиції. [15, 16]

Висновки до розділу 6

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок, що ринкова комерціалізація проекту опирається на наявний попит, динаміку ринку та рентабельність роботи на ринку. Клієнти зазвичай займаються звичною купівлею з деякими змінами, яка передбачає придбання дещо змінених товарів, або зміну ціни на товар, саме на це і розрахований даний стартап, так як за рахунок розробленої системи відбудеться покращення точності та вірогідності проведення діагностики захворювань ока людини, що являються кращими властивостями при контролі чи діагностуванні пацієнтів, в порівнянні із наявними системами у

конкурентів.

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів і розробивши власну систему збуту, є достатньо хороші перспективи впровадження даного продукту на ринок. Бар'єром входження на ринок є достатня кількість вітчизняних та зарубіжних систем-аналогів, але в порівнянні із ними дана система з використанням новітньої електроніки та оптичних елементів підвищує точність проведення діагностики та збільшує вірогідність виявлення неоднорідностей структури ока, внаслідок цього в системи більша надійність і довговічність, за рахунок чого вона може стати конкурентоспроможною на ринку.

За ринкову поведінку буде прийнята стратегія зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру. Головне завдання компанії при цьому – це постійна турбота про підтримку і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.

Впровадження на ринок розроблено на основі стратегії зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру.

Керуючись вище описаними конкурентоспроможними властивостями, нова розроблена комп'ютерно-інтегрована ультразвукова система діагностики захворювань ока буде користуватись попитом серед різних сегментів населення, а такий стартап-проект може зацікавити як державні обласні та районні лікарні, так і приватні лікарні чи офтальмологічні центри.

ВИСНОВКИ

Своєчасне виявлення патологій ока важливе для встановлення лікарського діагнозу. Сучасні ультразвукові прилади та пристрої діагностики захворювань ока підвищують ефективність виявлення відхилень від норми у його структурі.

У першому розділі представленої магістерській дисертації проведено аналіз методів і засобів діагностики захворювань ока, пов'язаних із порушенням однорідності його структури. Традиційні засоби офтальмології – офтальмоскопи – широко застосовуються у медичній діагностиці, проте мають низку недоліків. У порівнянні з ними особливої уваги заслуговують більш сучасні пристрої – ультразвукові окулометри. До їхніх переваг можна віднести: високу роздільну здатність, інформативність, широкий спектр захворювань, які можна виявити, та можливість виявлення хвороб на ранніх стадіях. Вдосконалення ультразвукових окулометрів, їх інтеграція до комп'ютеризованих систем обробки інформації, автоматизація процесу діагностування – перспективні напрямки розвитку вітчизняної медичної діагностики ока.

Другий розділ роботи містить розробку структурної, функціональної та електричної принципової схем комп'ютерно-інтегрованого ультразвукового окулометра. У цьому розділі також проведено розробку і розрахунки акустичного тракту, розроблено конструкцію первинного перетворювача. Здійснено розрахунки основних вузлів та добір компонентів електричної схеми системи.

Третій розділ присвячений моделюванню роботи смугового фільтру за допомогою NI Multisim – сучасного програмного продукту для реалізації SPICE-моделювання та аналізу електричних схем. За результатами аналізу проведеного моделювання можна зробити висновки про доцільність застосування смугового фільтру у схемі розробленої системи.

У конструкторсько-технологічному розділі представлено результати розробки конструкції первинного перетворювача, виходячи з розрахунків, отриманих у другому розділі роботи. Запропонована конструкція первинного перетворювача враховує анатомічні особливості органу, який діагностується, та

дозволяє підвищити ефективність процесу діагностики шляхом покращення ергономічності корпусу та зручності використання датчика. В процесі дослідження реалізовано розробку друкованої плати за допомогою комплексної системи автоматизованого проектування радіоелектронних засобів Altium Designer.

П'ятий розділ роботи описує стартап-проект з реалізації представленої розробки та аналіз економічних результатів його впровадження.

Таким чином, представлена магістерська дисертація містить готову інженерну розробку для діагностики захворювань ока типу неоднорідності його структури на ранніх стадіях виникнення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1]. Р. М. Галаган. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ [Електронний ресурс] / Р. М. Галаган. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/27002/1/Halahan_TOUNK_pidruchnyk.pdf.

[2]. Акоюн В. Б. Основи взаємодії ультразвуку з біологічними об'єктами / В. Б. Акоюн, Ю. А. Ершов. - М.: Видавництво МГТУ ім. Н. Е. Баумана, 2005. - 225с.

[3]. Сучасні методи діагностики [Електронний ресурс]. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.likar.info/travmatologiya-i-ortopediya/article-42751-osteoporoz-suchasni-metodi-diagnostiki/>

[4]. Мітьків В. В. Клінічне керівництво з ультразвукової діагностики. - М.: Відар, 1996. - 322с.

[5]. Цапенко В. К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / В. К. Цапенко, Ю. В. Куц. – К. : НТУУ «КПІ», 2010. – 448 с.

[6]. Догра В., Рубенс Д.Дж. «Секреты ультразвуковой диагностики»/ М: 2009 – 290с.

[7]. Брехтов Л.М., Голдин О.А. Акустика слоистых сред . – М.: Машиностроение, 1981 – 288с.

[8]. Ермолов И.Н. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т, Том 3. Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, ЮВ. Ланге; подред В.В. Ключева. М.: Машиностроение, 2004. 7 864 с.

[9]. Шарапов В.М. Пьезоэлектрические датчики / В,М' Шарапов, МЛ' Мусяенко, Е.В. Шарапова; под ред. В.М. Шарапова. * М.: Техносфера, 2006. 7 632 с.

[10]. Новицкий П.В., Заграф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. _ 2-е изд. перераб. и доп. / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. _ Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. _ 304 с.

[11]. Ультразвуковые преобразователи для неразрушающего контроля / подобщ. ред. И.Н. Ермолова. * М.: Машиностроение, 1986. 7 280 с.

[12]. Козлов В.В. Проверка средств неразрушающего контроля / В.В.Козлов. * М.: Издательство стандартов, 1989. 7 215 с.

[13]. Аналого-цифровое преобразование / Подред Уолта Кестера. *Москва: Техносфера, 2007. - 1016 с.

[14]. Терещенко Микола Федорович. Акустичні медичні прилади [Електронний ресурс] / Терещенко Микола Федорович, Тимчик Григорій Семенович, Яковенко Ірина Олександрівна. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://kafvr.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/03/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%BA%D0%B0-%D0%90%D0%9C%D0%9F.pdf>.

[15]. Гавриш, О. А., Бояринова К. О., Копішинська К. О. Розробка стартап-проектів. Конспект лекцій :навчальний посібник для студентів спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові данні (1 файл: 2,88 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 188 с. URL: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/29447>

[16]. Гавриш, О. А., Бояринова К. О., Копішинська К. О. Розробка стартап-проектів: практикум: навчальний посібник для студентів спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові данні (1 файл: 2,11 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 116 с. URL: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/29450>

[17]. «Ультразвуковые датчики (Часть 1). Устройство и работа. Особенности»
: [Электр. ресурс] – Режим доступа до ресурсу:
<https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/ultrazvukovye-datchiki/>

[18]. «Ультразвуковые датчики (Часть 2). Устройство и работа. Особенности»
: [Электр. ресурс] – Режим доступа до ресурсу:
<https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/ultrazvukovye-pribory/>

[19]. Поджаренко В. 0. ОЦІНКА ВІРОГІДНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГУМУСУ В ҐРУНТІ / В. 0. Поджаренко. – Вінниця, 2009. – 4 с.

[20]. Ультразвуковой контроль сварных соединений / В.А. Троицкий, В.Ю. Попов. — К.: Феникс, 2010. — 224 с. ISBN 978-966-651-804-3.

[21]. «Ультразвуковые датчики (Часть 1). Устройство и работа. Особенности»
: [Электр. ресурс] – Режим доступа до ресурсу:
<https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/ultrazvukovye-datchiki/>

[22]. «Ультразвуковые датчики (Часть 2). Устройство и работа. Особенности»
: [Электр. ресурс] – Режим доступа до ресурсу:
<https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/ultrazvukovye-pribory/>

[22]. Meudt, Tobias; Pohl, Malte; Metternich, Joachim (27 July 2017). [Modelle und Strategien zur Einführung des Computer Integrated Manufacturing \(CIM\) – Ein Literaturüberblick](#). *TU Prints*: 36

[23]. Ключев А.С. и др. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие. - М.: Энергия, 1980.