

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

**Приладобудівний факультет**

**Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи  
та технології в приладобудуванні»**

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

**на тему: «Металошукач»**

Виконав :

студент ІV курсу, групи ПК-01

Кузюк Данило Вікторович \_\_\_\_\_

Керівник:

к.т.н., доцент

Баженов Віктор Григорович \_\_\_\_\_

Рецензент:

к.т.н., доцент

Самарцев Юрій Миколайович \_\_\_\_\_

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

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2024 року

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	ПК 01.07.0107.000 ПЗ	Пояснювальна записка	50	
2	A1	ПК 01.07.0107.001 E1	Схема структурна	1	
3	A1	ПК 01.07.0107.002 E2	Схема функціональна	1	
4	A1	ПК 01.07.0107.003 E3	Схема принципова	1	
5	A1	ПК 01.07.0107.004	Розведення друкованої плати	1	
6	A1	ПК 01.07.0107.005	Алгоритм	1	

				<b>ДП ПК01 00.000.00</b>		
	ПІБ	Підп.	Дата	<b>Відомість дипломного проекту</b>	Лист	Листів
Розробник	Кузюк Д.В.				1	1
Керівник	Баженов В.Г.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК Гр. ПК-01	
Консульт.						
Н/контр.						
Зав. каф.	Киричук Ю.В.					

**Пояснювальна записка  
до дипломного проєкту  
на тему: «Металошукач»**

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Приладобудівний факультет**  
**Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту**

**Кузюк Данилу Вікторовичу**

1. Тема проєкту «Металошукач», керівник проєкту Баженов Віктор Григорович, д.т.н, доцент, затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом проєкту 30 травня 2024 року

3. Вихідні дані до проєкту : частота опорного генератора 50 МГц; фільтр низьких частот з використанням операційних підсилювачів; мікропроцесор STM32

4. Зміст пояснювальної записки:

Вступ

1. Аналітичний огляд

2. Проектування однокотушечного індукційного металошукача

3. Розробка друкованої плати

## Висновки

### Список використаних джерел

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

- 1 – Схема електрична структурна
- 2 – Схема електрична функціональна
- 3 – Схема електрична принципова
- 4 – Розведення друкованої плати
- 5 – Алгоритм

7. Дата видачі завдання 01 березня 2023 року

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Формування завдання проекту		
2	Проведення аналітичного огляду		
3	Підбір мікропроцесора та котушки		
4	Розробка металошукача		
5	Підбір елементів принципової схеми		
6	Розробка креслеників		

Студент

Данило КУЗЮК

Керівник

Віктор БАЖЕНОВ

## Анотація

Дипломна робота присвячена проектуванню металошукача для виявлення металевих об'єктів в ґрунтах.

У розділі 1 проведений аналітичний огляд різновидів металошукачів, проаналізовано кілька конкретних прикладів з вказанням їх недоліків та переваг. Висновок до 1 розділу містить підсумки та аналітичні заключення, отримані під час огляду та аналізу існуючих методів детекції металів.

У розділі 2 розглянуті етапи проектування металошукача. Спочатку сформульовано постановку завдання для даного розділу. Створено функціональну та структурну схеми. Подальше проектування включало розробку фільтра низьких частот, розрахунок потрібної котушки та основних електричних параметрів системи.

В розділі 3 обрано мікроконтролер для блоку керування, створено принципову електричну схему та реалізовано її розведення на друкованій печатній платі та створено 3-Д модель з усіма застосованими елементами.

Анотація представляє компактний огляд основного змісту дипломної роботи, включаючи проведений аналіз методів детекції металевих об'єктів, розробку функціональної схеми металошукача, та реалізацію її на практиці. Робота спрямована на вдосконалення та впровадження ефективного методу виявлення металевих предметів у ґрунтах різних типів.

## **Abstract**

The thesis is dedicated to the design of a metal detector for detecting metallic objects in soils.

In Chapter 1, an analytical review of various types of metal detectors is conducted, analyzing several specific examples with an indication of their advantages and disadvantages. The conclusion of Chapter 1 contains summaries and analytical conclusions obtained during the review and analysis of existing metal detection methods.

Chapter 2 examines the stages of designing the metal detector. Initially, the task for this chapter is formulated. Functional and structural diagrams are created. Further design included the development of a low-pass filter, the calculation of the required coil, and the main electrical parameters of the system.

In Chapter 3, a microcontroller for the control unit is selected, the principal electrical schematic is created, and its layout is implemented on a printed circuit board along with a 3-D model including all applied elements.

The abstract provides a concise overview of the main content of the thesis, including the analysis of metal detection methods, the development of the functional diagram of the metal detector, and its practical implementation. The work is aimed at improving and implementing an efficient method for detecting metallic objects in various types of soil.

## ЗМІСТ

Вступ.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД .....	10
1.1 Огляд методів детекції металевих об'єктів .....	10
1.2 Металошукач за принципом «Передача-Прийом» .....	11
1.3 Однокотушечний металошукач індукційного типу .....	14
1.4 Основні компоненти електромагнітного металошукача .....	15
1.5 Переваги та недоліки існуючих металошукачів .....	16
1.6 Сфери використання .....	21
1.7 Програмне забезпечення .....	22
1.8 Перспективи розвитку .....	23
Висновок 1 розділу .....	24
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ОДНОКОТУШЕЧНОГО ІНДУКЦІЙНОГО МЕТАЛОШУКАЧА .....	26
2.1 Розробка структурної схеми .....	26
2.2 Розробка функціональної схеми .....	29
2.3 Розрахунок основних параметрів котушки .....	29
2.4 Розрахунок параметрів живлення .....	31
2.5 Розрахунок ФНЧ .....	32
Висновок 2 розділу .....	33
РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ .....	34
3.1 Розробка принципової схеми .....	34
3.2 Розведення друкованої плати .....	46
3.3 3-Д модель друкованої плати.....	47
Висновок 3 розділу .....	48
ВИСНОВОК ДО ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ .....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	50

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>8</b>



## **ВСТУП**

### **Актуальність теми**

У сучасному світі металошукачі знаходять широке застосування в різних галузях: від археології до безпеки та промисловості. Зростаючі вимоги до точності та надійності цих пристроїв підкреслюють необхідність розробки нових методів і технологій для виявлення металевих об'єктів. В умовах постійного розвитку технологій і збільшення вимог до безпеки, дослідження в області металошукачів стають все більш актуальними.

### **Мета та завдання роботи**

Метою даної роботи є розробка та вдосконалення металошукача, який може забезпечити високу точність і надійність виявлення металевих об'єктів. Аналіз існуючих технологій металодетекції. Проектування друкованої плати, яку можна застосувати в виробництві сучасного металошукача.

### **Об'єкт та предмет дослідження**

Об'єктом дослідження є системи металодетекції, що використовуються для виявлення металевих об'єктів. Предметом дослідження є методи та технології, які застосовуються в металошукачах для підвищення їх точності та надійності.

### **Структура роботи**

Дана дипломна робота складається з вступу, окремих розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та додатків. У вступі обґрунтовуються актуальність теми, сформульовані мета і завдання роботи, визначаються об'єкт і предмет дослідження, методи дослідження, наукова новизна та практична значущість роботи. У першому розділі проводиться аналіз існуючих методів детекції металів, розглянуто кілька існуючих металодетекторів та проаналізовано їх переваги і недоліки. У другому розділі описано проектування індукційного металошукача. Третій розділ складається з проектування друкованої плати. Висновки містять загальний підсумок виконаної роботи.

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
						<b>9</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

## **РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД**

### **1.1 ОГЛЯД МЕТОДІВ ДЕТЕКЦІЇ МЕТАЛЕВИХ ОБ'ЄКТІВ**

Прилад призначений для детекції металів називають металошукачем. Методи детекції металів у ґрунтах включають кілька основних підходів, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Нижче наведено огляд найбільш поширених методів.

#### **Електромагнітні методи (ЕМ)**

- Індукційний метод: Заснований на індукції електромагнітного поля в ґрунті та вимірюванні зворотного сигналу від металевих об'єктів. Використовується у більшості сучасних металошукачів завдяки високій чутливості та точності.
- Метод FDEM (Frequency-Domain Electromagnetic Method): Використовує змінні частоти для створення електромагнітного поля, що дозволяє визначати різні типи металів. Підходить для детекції дрібних та середніх об'єктів.

#### **Метод імпульсної індукції (PI)**

Використовує короткі імпульси струму для створення магнітного поля та вимірює зворотні імпульси, що виникають при наявності металевих об'єктів. PI-металошукачі добре підходять для виявлення великих об'єктів на великій глибині, але менш ефективні для дрібних об'єктів і потребують більшої енергії.

#### **Магнітометричні методи**

Використовують зміни в магнітному полі для виявлення металів. Магнітометри можуть виявляти як феромагнітні, так і немагнітні метали, проте найбільш ефективні для феромагнітних об'єктів. Використовуються у геофізичних дослідженнях та археології.

#### **Методи візуалізації (GPR - Ground Penetrating Radar)**

Використовують високочастотні радіохвилі для створення зображення підземних об'єктів. GPR дозволяє визначити місцезнаходження та форму металевих об'єктів у ґрунті. Метод є досить точним, але обмежений у використанні на складних та глинистих ґрунтах.

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
						<b>10</b>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## **Акустичні методи**

Використовують звукові хвилі для виявлення металевих об'єктів. Акустичні методи мають обмежене застосування через низьку чутливість до дрібних об'єктів і складність в інтерпретації результатів.

### **Переваги та недоліки методів**

- Електромагнітні методи: Висока чутливість і точність, але можуть бути чутливими до електромагнітних перешкод.
- Метод імпульсної індукції: Добре підходить для великих об'єктів на великій глибині, але потребує більше енергії.
- Магнітометричні методи: Ефективні для феромагнітних металів, але менш ефективні для інших типів металів.
- GPR: Точний метод зображення підземних об'єктів, але обмежений на складних ґрунтах.
- Акустичні методи: Мають обмежене застосування через низьку чутливість і складність в інтерпретації.

Кожен з цих методів має свої специфічні області застосування та може бути обраний залежно від вимог до точності, глибини виявлення та типу металу.

## **1.2 МЕТАЛОШУКАЧ ЗА ПРИНЦИПОМ «ПЕРЕДАЧА-ПРИЙОМ»**

Металошукачем називають пристрій, що використовується для виявлення металевих об'єктів в ґрунтах, воді чи інших матеріалах. Принцип роботи найбільш поширеного металошукача базується на використанні електромагнітного поля для виявлення металевих об'єктів (рис. 1). Такий метод ще називають «передача-прийом». Основні компоненти металошукача включають передавальну котушку, приймальну котушку та електронний обчислювальний блок. Передавальна котушка генерує змінне електромагнітне поле, яке проникає в землю. Коли металевий об'єкт потрапляє в це поле, у ньому індукуються електричні струми (так звані вихрові струми), які створюють своє власне електромагнітне поле.

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>11</b>



Рис. 1.1. Принцип роботи електромагнітного виявлення об'єкта

Приймальна котушка (або система котушок) металошукача вловлює зміни в електромагнітному полі, спричинені наявністю металевих об'єктів. Електронний блок аналізує ці зміни і визначає наявність металу. Сучасні металошукачі можуть також визначати тип металу (наприклад, залізо, мідь, алюміній) та приблизні розміри об'єкта завдяки різниці в сигналах, які створюють різні метали.

Цей принцип роботи дозволяє металошукачам бути ефективними інструментами для виявлення металевих предметів у різних умовах, включаючи землю, воду та інші середовища.

Недоліком такого методу є відносна складність конструкції та розрахунків, оскільки потрібно спроектувати систему так щоб магнітне поле котушки-генератора сигналу не наводило нульовий сигнал в приймальній котушці. Спочатку може видатись що є лише 2 варіанти взаємного розташування двох котушок при яких їх електромагнітні поля не мають впливу одне на одне – котушки з перпендикулярними та перехресними осями (Рис. 1.2а та Рис. 1.2б) і обидва варіанти призводять до використання незручної конструкції. Але насправді подібних систем розташування може бути безліч, наприклад, встановивши котушку-джерело поміж 2 котушок-приймачів на виході системи приймальних котушок (Рис. 1.2в), наведена ЕРС компенсується.

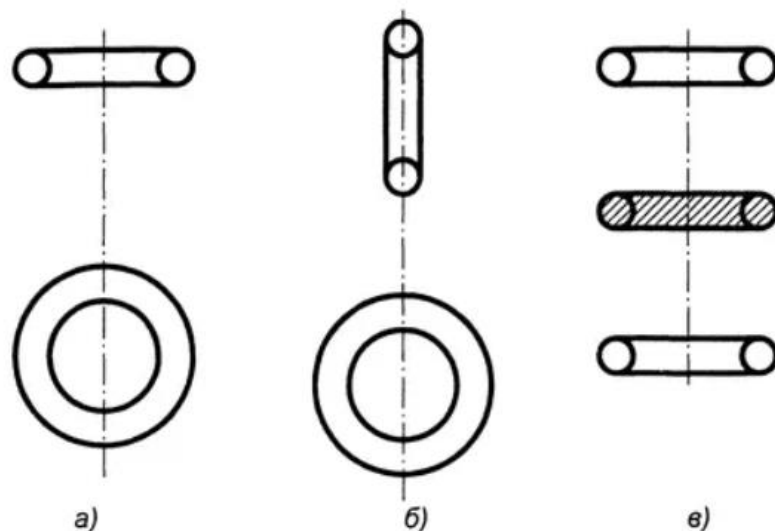


Рис. 1.2. Варіанти взаємного розташування котушок за принципом «передача-прийом»

Також можна розташувати котушки компланарно (розташовані в одній площині), такий варіант має сильну перевагу, оскільки дозволяє розташувати систему датчиків дуже близько до землі в плоскому корпусі. Основні варіанти взаємного розташування компланарних котушок наведені на рис. 1.3а і 1.3б. У схемі на рис. 1.3, а взаємне розташування котушок вибрано таким, щоб сумарний потік вектора магнітної індукції через поверхню, обмежену приймальною котушкою, дорівнював нулю. У схемі рис. 1.3б одна з котушок (приймальна) скручена у вигляді «вісімки», так що сумарна Е.Р.С., наведена на половині витків приймальної котушки, розташованих в одному крилі «вісімки», компенсує аналогічну сумарну Е.Р.С., наведеної в іншому крилі «вісімки». Можливі й інші різноманітні конструкції датчиків з компланарними котушками, наприклад з компенсацією наведеного ЕРС спеціальним трансформаторним пристроєм.

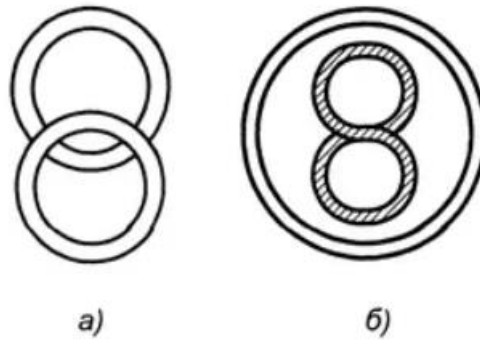


Рис. 1.3. Компланарні варіанти взаємного розташування котушок за принципом передача-прийом

### 1.3 ОДНОКОТУШЕЧНИЙ МЕТАЛОШУКАЧ ІНДУКЦІЙНОГО ТИПУ

Слово "індукційний" у назві металошукачів даного типу повністю розкриває принцип їх роботи, якщо згадати значення слова "inductio" (лат.) – наведення. Це слово точно відображає спосіб, за допомогою якого металошукачі цього типу виявляють металеві предмети. Індукційні металошукачі мають у своєму складі датчика одну котушку, яка може мати будь-яку зручну форму і збуджується змінним сигналом. Котушка створює навколо себе електромагнітне поле. Коли металевий предмет опиняється поблизу датчика, він впливає на це поле, викликаючи появу відбитого сигналу. Цей відбитий сигнал "наводить" у котушці додатковий електричний сигнал, який вказує на присутність металевих об'єктів. Основне завдання полягає у виділенні цього додаткового сигналу від основного.

Загальний принцип роботи індукційних металошукачів залишається подібним до принципу "передача-прийом". Однак, на відміну від деяких інших типів металошукачів, тут немає потреби розраховувати і налаштовувати дві або більше котушок. Це значно спрощує конструкцію приладу. У багатьох випадках спрощення розташування основних елементів дозволяє зменшити розміри і вагу металошукача, а також підвищити його мобільність і зручність у використанні. Це робить індукційні металошукачі особливо популярними для різних цілей, включаючи пошук скарбів, археологічні розкопки, а також промислові і безпекові застосування.

Індукційні металошукачі мають високу чутливість і здатність виявляти металеві об'єкти на різних глибинах. Вони добре працюють у різних умовах, включаючи ґрунт, пісок та інші типи середовищ. Ці прилади можуть бути налаштовані на різні частоти для покращення точності і зменшення впливу зовнішніх електромагнітних перешкод. Завдяки своїй надійності і простоті в експлуатації, індукційні металошукачі залишаються одним з найпоширеніших інструментів для виявлення металевих предметів.

#### **1.4 ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО МЕТАЛОШУКАЧА**

Електромагнітний металошукач складається з кількох основних компонентів, кожен з яких виконує важливу функцію в процесі виявлення металів. До основних компонентів належать:

1. Передавальна котушка (трансмiтер). Це ключовий елемент металошукача, який генерує змінне електромагнітне поле. Котушка складається з обмотки дроту, через яку протікає змінний струм, створюючи електромагнітні хвилі. Це поле проникає в ґрунт або інше середовище, де може знаходитися металевий об'єкт.

2. Приймальна котушка (ресивер). Приймальна котушка зазвичай розташована поруч з передавальною. Вона служить для виявлення змін у електромагнітному полі, спричинених наявністю металевих предметів. Коли метал потрапляє в поле, створене передавальною котушкою, у ньому індукуються вихрові струми, які створюють своє власне поле, яке потім вловлює приймальна котушка.

3. Електронний блок (процесор). Це "мозок" металошукача. Він обробляє сигнали, отримані від приймальної котушки, аналізуючи їх для визначення наявності, типу та приблизних розмірів металевого об'єкта. Сучасні електронні блоки можуть бути оснащені мікропроцесорами, що використовують алгоритми для покращення точності та чутливості приладу.

4. Фільтри сигналів від зовнішніх шумів. Ці фільтри допомагають відсіяти небажані сигнали, які можуть виникати через електромагнітні перешкоди від

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>15</b>

інших приладів або природних джерел. Фільтрація забезпечує більш точну і стабільну роботу металошукача, зменшуючи кількість хибних спрацьовувань.

5. Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП). Цей компонент перетворює аналогові сигнали, отримані від приймальної котушки, у цифрові дані, які можуть бути оброблені електронним блоком. АЦП забезпечує точність і швидкість обробки сигналів, що є критичним для ефективної роботи металошукача.

6. Живлення. Металошукачі зазвичай оснащені батареями або акумуляторами, які забезпечують енергією всі компоненти приладу. Важливою характеристикою є енергоефективність, оскільки вона визначає тривалість роботи пристрою без підзарядки.

7. Дисплей і система керування. Це інтерфейс користувача, який включає дисплей (аналоговий або цифровий) та елементи керування (кнопки, перемикачі). Дисплей відображає інформацію про виявлені об'єкти, рівень заряду батареї, налаштування приладу тощо. Система керування дозволяє користувачеві налаштовувати параметри пошуку, такі як чутливість, дискримінація металів та інші.

8. Корпус та ергономічні елементи. Металошукач має зручний корпус, який захищає внутрішні компоненти від пошкоджень та впливу зовнішнього середовища. Ергономічні елементи, такі як ручки та ремені, забезпечують комфортне використання приладу протягом тривалого часу.

Ці компоненти взаємодіють між собою, забезпечуючи ефективне виявлення металевих об'єктів у різних умовах і для різних застосувань.

### **1.5 ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ІСНУЮЧИХ МЕТАЛОШУКАЧІВ**

Порівняння популярних моделей металошукачів з вказанням їх переваг та недоліків дозволить краще зрозуміти, які пристрої найбільше підходять для різних завдань. Розглянемо кілька відомих моделей:

1. Garrett AT Pro

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>16</b>





Рис. 1.4. Фото металлошукача Garrett AT Pro

Переваги:

- Водонепроникний корпус, що дозволяє використовувати його під водою до глибини 3 метрів.
- Режим Pro Audio, що забезпечує високоточне визначення об'єктів.
- Висока чутливість до різних типів металів.
- Легкий та зручний у використанні.

Недоліки:

- Відносно висока вартість.
- Складні налаштування для новачків.

## 2. Minelab Equinox 800



Рис. 1.5. Фото металлошукача Minelab Equinox 800

Переваги:

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

- Мультичастотна технологія Multi-IQ, що дозволяє працювати на різних частотах одночасно.
- Висока швидкість відгуку та глибина виявлення.
- Водонепроникний до 3 метрів, підходить для підводного пошуку.
- Великий дисплей з підсвіткою, зручний для роботи в умовах низької освітленості.

Недоліки:

- Висока ціна.
- Складна система меню, яка потребує певного часу для освоєння.

### 3. Fisher F75



Рис. 1.6. Фото металошукача Fisher F75

Переваги:

- Легкий та ергономічний дизайн.
- Режим швидкого відгуку, що дозволяє знаходити об'єкти в сильно забруднених місцях.
- Великий вибір налаштувань для точного пошуку.
- Ефективний в різних умовах, включаючи мінералізовані ґрунти.

Недоліки:

- Не водонепроникний.

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>18</b>

- Може бути занадто складним для початківців через велику кількість функцій.

#### 4. Nokta Makro Simplex+



Рис. 1.7. Фото металошукача Nokta Makro Simplex+

#### Переваги:

- Відносно доступна ціна.
- Водонепроникний до 3 метрів.
- Простий у використанні, підходить для новачків.
- Вбудований бездротовий модуль для навушників.

#### Недоліки:

- Менша кількість функцій у порівнянні з більш дорогими моделями.
- Чутливість може бути недостатньою для професійного використання.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

*ПК 01.070000.000ПЗ*

Арк.

19

## 5. XP Deus



Рис. 1.8. Фото металошукача XP Deus

### Переваги:

- Бездротовий дизайн, що забезпечує зручність та мобільність.
- Висока швидкість обробки сигналу.
- Легкий і компактний, з можливістю складання.
- Розширені налаштування та можливість оновлення програмного забезпечення.

### Недоліки:

- Висока вартість.
- Вимагає регулярного заряджання всіх бездротових компонентів.

Ці моделі металошукачів демонструють широкий спектр можливостей та характеристик, що дозволяють вибирати пристрої відповідно до конкретних потреб користувача. Вибір моделі залежить від цілей використання, бюджету та рівня досвіду оператора.

					ПК 01.070000.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

## 1.6 СФЕРИ ВИКОРИСТАННЯ

Металошукачі мають широкий спектр застосування у різних сферах, що охоплює військову справу, археологічні дослідження, промисловість, безпеку та розваги. Кожна сфера має свої унікальні вимоги і специфіку використання металошукачів.

1. Військова справа. У військовій сфері металошукачі відіграють критичну роль у розмінуванні та виявленні вибухонебезпечних предметів. Вони використовуються для пошуку мін та нерозірваних снарядів у зонах конфліктів. Металошукачі допомагають саперам виявляти і знешкоджувати вибухівку, тим самим зберігаючи життя військових і цивільних. Також вони використовуються для пошуку прихованої зброї та інших металевих об'єктів, що можуть становити загрозу.

2. Археологічні дослідження. В археології металошукачі використовуються для виявлення старовинних артефактів, монет, прикрас та інших металевих предметів. Вони допомагають археологам локалізувати об'єкти, що знаходяться під землею, тим самим зменшуючи обсяг розкопок і збільшуючи ефективність досліджень. Наприклад, осушення Каховського водосховища надало археологам нові можливості для вивчення недосліджених територій.

3. Промисловість. У промисловості металошукачі використовуються для контролю якості та безпеки продукції. В харчовій промисловості вони допомагають виявляти металеві забруднення в продуктах, що може запобігти шкідливим наслідкам для споживачів. У фармацевтичній промисловості металошукачі забезпечують чистоту і безпеку ліків. Вони також використовуються в гірничодобувній промисловості для пошуку металевих руд і корисних копалин.

4. Безпека. Металошукачі широко використовуються для забезпечення безпеки на транспортних вузлах, зокрема в аеропортах, залізничних станціях та в урядових установах. Вони допомагають виявляти зброю та інші небезпечні предмети у багажі та на тілі пасажирів. Також вони використовуються на масових заходах для запобігання проносу заборонених предметів.

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>21</b>

5. Розваги та хобі. Металошукачі стали популярними серед аматорів та професіоналів, які займаються пошуком скарбів, монет та інших цінних предметів. Цей вид діяльності, відомий як металодетектинг, є захоплюючим хобі для багатьох людей. Воно дозволяє не тільки насолоджуватися пошуком, але й відкривати історичні знахідки.

6. Будівництво та ремонт. Металошукачі використовуються для виявлення прихованих металевих конструкцій, таких як арматура в бетоні або трубопроводи у стінах. Це допомагає будівельникам уникнути пошкоджень під час свердління або різання матеріалів.

7. Екологічні дослідження. Металошукачі застосовуються в екологічних дослідженнях для моніторингу забруднення ґрунтів та води важкими металами. Вони допомагають виявляти старі металеві контейнери з небезпечними речовинами, що можуть спричинити екологічну катастрофу.

Ці сфери застосування демонструють важливість металошукачів у різних галузях людської діяльності, від збереження життя і здоров'я до дослідження історичної спадщини і забезпечення безпеки.

### **1.7 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

Програмне забезпечення металошукачів грає важливу роль у функціональності та ефективності цих пристроїв. Сучасні металошукачі використовують складні програмні алгоритми для обробки сигналів, налаштувань та забезпечення точності виявлення металевих об'єктів. Ось кілька ключових аспектів програмного забезпечення металошукачів:

1. Обробка сигналів. Програмне забезпечення металошукачів аналізує сигнали, отримані від приймальної котушки, і визначає наявність металевих об'єктів. Це включає фільтрацію шумів, виділення корисного сигналу та ідентифікацію типу металу. Сучасні алгоритми дозволяють більш точно розрізняти різні типи металів і зменшувати кількість хибних спрацьовувань.

2. Налаштування чутливості та дискримінації. Програмне забезпечення дозволяє користувачам налаштовувати чутливість металошукача для виявлення об'єктів на різній глибині та розмірах. Функція дискримінації дозволяє

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>22</b>

виключати небажані метали (наприклад, залізо) і зосереджуватися на цінних металах (наприклад, золото, срібло).

3. Мультичастотність. Деякі сучасні металошукачі, такі як Minelab Equinox 800, використовують технологію мультичастотності, що дозволяє працювати на декількох частотах одночасно. Програмне забезпечення управляє цим процесом, забезпечуючи кращу чутливість та глибину виявлення в різних умовах ґрунту.

4. Оновлення програмного забезпечення. Багато сучасних металошукачів підтримують оновлення програмного забезпечення, що дозволяє користувачам отримувати нові функції та поліпшення без необхідності купувати новий пристрій. Це особливо важливо для тривалого використання металошукача і збереження його актуальності.

5. Інтерфейс користувача. Програмне забезпечення металошукача забезпечує зручний інтерфейс для користувача, включаючи меню налаштувань, дисплей інформації про знайдені об'єкти, рівень заряду батареї та інші параметри. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс спрощує процес налаштування та використання приладу.

6. Інтеграція з іншими пристроями. Деякі моделі металошукачів можуть синхронізуватися з мобільними додатками або комп'ютерами для аналізу даних, зберігання знайдених об'єктів та спільного використання інформації з іншими користувачами. Це відкриває нові можливості для досліджень та співпраці.

Програмне забезпечення металошукачів є ключовим фактором, що визначає їх ефективність, точність та зручність використання. Завдяки постійному розвитку технологій, сучасні металошукачі стають все більш потужними та універсальними інструментами для різних завдань.

### **1.8 ПЕРЕСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ**

Перспективи розвитку металошукачів є досить багатообіцяючими, зважаючи на швидкий прогрес у технологіях та зростаючий попит у різних сферах застосування. Основні напрямки розвитку включають:

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
						<b>23</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Інтеграція штучного інтелекту та машинного навчання. Використання алгоритмів машинного навчання дозволить значно покращити точність виявлення та дискримінацію металів. Металошукачі зможуть адаптуватися до різних умов середовища та автоматично налаштовувати параметри для максимізації ефективності пошуку.

2. Покращення мультимодальних технологій. Подальший розвиток мультимодальних металошукачів забезпечить кращу чутливість і глибину виявлення. Це дозволить більш точно визначати різні типи металів та їх розташування в складних умовах ґрунту.

3. Мініатюризація та зменшення ваги. Зменшення розмірів і ваги металошукачів зробить їх більш зручними для використання, особливо для тривалих польових робіт. Використання нових матеріалів та технологій дозволить створювати легкі та компактні пристрої без втрати функціональності.

4. Покращення енергоефективності. Розробка більш енергоефективних компонентів та оптимізація споживання енергії дозволить збільшити час роботи металошукачів без підзарядки. Це особливо важливо для професійних користувачів, які працюють у віддалених районах.

5. Інтеграція з мобільними додатками та хмарними сервісами. Металошукачі, що синхронізуються з мобільними пристроями, дозволять зберігати, аналізувати та ділитися даними про знайдені об'єкти. Хмарні сервіси нададуть можливість проводити детальний аналіз даних та отримувати консультації від спільноти користувачів.

Ці перспективи розвитку сприятимуть створенню більш інноваційних, точних та зручних у використанні металошукачів, що задовільнять потреби як професійних, так і аматорських користувачів.

### **ВИСНОВОК 1 РОЗДІЛУ**

Перший розділ цього звіту надає всебічний огляд існуючих металошукачів, що демонструє різноманіття та важливість цих пристроїв у багатьох сферах діяльності. Металошукачі, спираючись на принцип

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



електромагнітної індукції, стали незамінними інструментами у військовій справі, археології, промисловості, безпеці та розвагах.

Історичний розвиток технологій виявлення металів показує, як від простих механічних пристроїв еволюціонували до складних електронних систем з високою точністю і чутливістю. Сучасні металошукачі не тільки здатні виявляти металеві об'єкти, але й визначати їх матеріал, розміри та інші характеристики. Основні компоненти металошукачів, такі як передавальна і приймальна котушки, електронний блок, фільтри сигналів від зовнішніх шумів та аналогово-цифровий перетворювач, забезпечують ефективну роботу і точність виявлення.

Сфери застосування металошукачів надзвичайно широкі. У військовій сфері вони використовуються для розмінування та виявлення вибухонебезпечних предметів, зберігаючи життя військових і цивільних. В археології металошукачі допомагають відкривати та досліджувати старовинні артефакти, зменшуючи обсяг розкопок. У промисловості ці прилади забезпечують контроль якості та безпеки продукції, виявляючи металеві забруднення. Металошукачі також є важливим інструментом у забезпеченні безпеки на транспортних вузлах та масових заходах, а також популярним хобі серед аматорів.

Розвиток новітніх технологій, таких як використання штучного інтелекту та машинного навчання, обіцяє ще більше покращити можливості металошукачів, роблячи їх більш точними та ефективними. Однак існують і виклики, пов'язані з вартістю виробництва та екологічними питаннями.

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ОДНОКОТУШЕЧНОГО ІНДУКЦІЙНОГО МЕТАЛОШУКАЧА

### 2.1 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

На рис. 2.1. представлено узагальнену структурну схему вихрострумowego металошукача, зазначено основні його елементи та їх взаємодію.

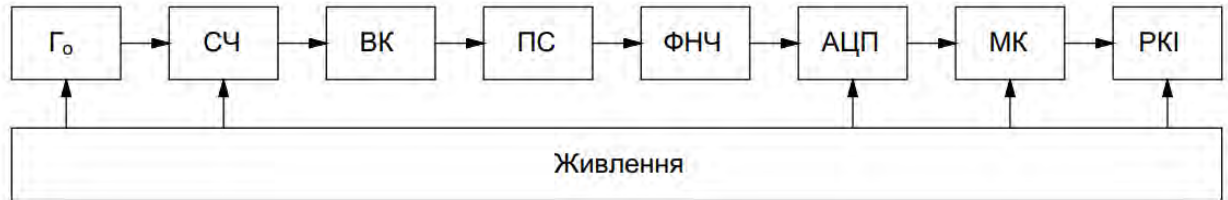


Рис. 2.1. Структурна схема вихрострумowego металошукача

$f$  – паразитний сигнал, зовнішні шуми.

Основні компоненти вихрострумowego металошукача

1. Генератор змінного струму (ГЗС)
2. Передавальна котушка (L1)
3. Приймальна котушка (L2)
4. Електронний блок обробки сигналів (ФНЧ + ПС + АЦП)
5. Мікропроцесорний блок (МП)
6. Набір ламп для відображення інформації про ОК користувачу (НЛ)
7. Блок живлення (БЖ)

Розглянемо компоненти та їх функції більш детально.

Генератор змінного струму (синусоїдального сигналу). Це пристрій, який генерує змінний струм певної частоти, зазвичай у діапазоні від кількох кілогерц до десятків кілогерц. Цей сигнал подається на передавальну котушку, створюючи змінне електромагнітне поле.

Передавальна котушка - котушка, через яку проходить змінний струм від генератора, створює змінне магнітне поле. Це поле проникає в середовище, де може бути присутній металевий об'єкт. Коли магнітне поле зустрічається з провідним металом, у ньому індукуються вихрові струми.

Приймальна котушка. Ця котушка розташована в безпосередній близькості від передавальної котушки. Вона вловлює зміни в магнітному полі, спричинені вихровими струмами у металевих об'єктах. Ці зміни викликають появу

вторинного магнітного поля, яке впливає на сигнал, отримуваний приймальною котушкою.

Електронний блок обробки сигналів. Отриманий від приймальної котушки сигнал проходить через електронний блок, який підсилює його і здійснює попередню обробку. Це включає фільтрацію небажаних шумів і посилення корисного сигналу для подальшого аналізу. Фільтри допомагають видалити шуми та перешкоди, що можуть виникати від інших електронних пристроїв або природних джерел. Це забезпечує більш точне та стабільне функціонування металошукача, зменшуючи кількість хибних спрацьовувань. Також варто зауважити, що у випадку використання пасивних ФНЧ (RLC ланцюги) немає необхідності підводити живлення до цього вузла. Після попередньої обробки сигнал переводиться в цифрову форму за допомогою АЦП. Це дозволяє мікропроцесору точно аналізувати сигнал і виконувати складні алгоритми обробки.

Мікропроцесорний блок. Це центральний компонент, який керує всіма функціями металошукача. Мікропроцесор аналізує цифровий сигнал, застосовує алгоритми дискримінації та чутливості, а також обробляє дані для виведення на дисплей. Сучасні мікропроцесори можуть використовувати алгоритми машинного навчання для покращення точності виявлення металів. Вибір мікропроцесора залежить від вимог до обчислювальної потужності та енергоспоживання. Сучасні мікропроцесори з низьким енергоспоживанням і високою обчислювальною потужністю, такі як STM32, ARM Cortex, є ідеальним вибором для металошукачів, хоча можна використати і старіші моделі, наприклад, мікропроцесори серії ATmega.

Дисплей та система керування. Базово відображення для користувача відбувається за рахунок набору ламп, але в більш сучасних системах інтерфейс користувача включає дисплей, який відображає інформацію про знайдені об'єкти, рівень заряду батареї та інші параметри. Кнопки та перемикачі дозволяють користувачеві налаштовувати параметри пошуку, такі як чутливість та дискримінація металів.

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Блок живлення. Металошукач отримує енергію від батарей або акумуляторів. Важливою характеристикою є енергоефективність, оскільки вона визначає тривалість роботи пристрою без підзарядки.

При розробці вихрострумowego металошукача важливо врахувати кілька ключових параметрів, які визначають його ефективність. По-перше, це частота генератора змінного струму. Оптимальна частота визначається типом об'єктів, які планується виявляти. Наприклад, для великих металевих об'єктів краще підходять низькі частоти (1-5 кГц), тоді як для дрібних об'єктів ефективніші високі частоти (10-20 кГц).

Індуктивність котушок повинна бути узгоджена для забезпечення максимальної чутливості. Це досягається підбором кількості витків та діаметру дроту.

Чутливість визначається конструкцією котушки та використаними матеріалами. Високоякісні матеріали та точна конструкція забезпечують краще виявлення слабких сигналів від вихрових струмів.

Іншим важливим параметром такої системи є фільтр від зовнішніх паразитних сигналів, шумів та наведень. Розробка фільтрів вимагає точних розрахунків для видалення небажаних частот та збереження корисного сигналу. Фільтри можуть бути активними або пасивними, з використанням компонентів, таких як резистори, конденсатори та операційні підсилювачі. Варто також врахувати паразитні внутрішні сигнали, які можуть виникнути при неправильному взаєморозташуванні котушок, їх теж потім доведеться прибирати окремими фільтрами чи програмою.

Вибір АЦП залежить від роздільної здатності та швидкості перетворення. Висока роздільна здатність (наприклад, 16 біт) дозволяє більш точно аналізувати сигнали, але вимагає потужнішого мікропроцесора для обробки даних. Для даного проекту достатньо досить простого АЦП, наприклад, на базі мікросхеми ADS1115.

Структурна схема вихрострумowego металошукача показує, як різні компоненти взаємодіють для забезпечення ефективного виявлення металевих

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

об'єктів. Правильний вибір параметрів та компонентів дозволяє створити надійний та точний прилад, який може використовуватися в різних умовах і для різних завдань. Розуміння принципів роботи та ретельні розрахунки є ключовими для успішної розробки та експлуатації металошукача.

## 2.2 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ

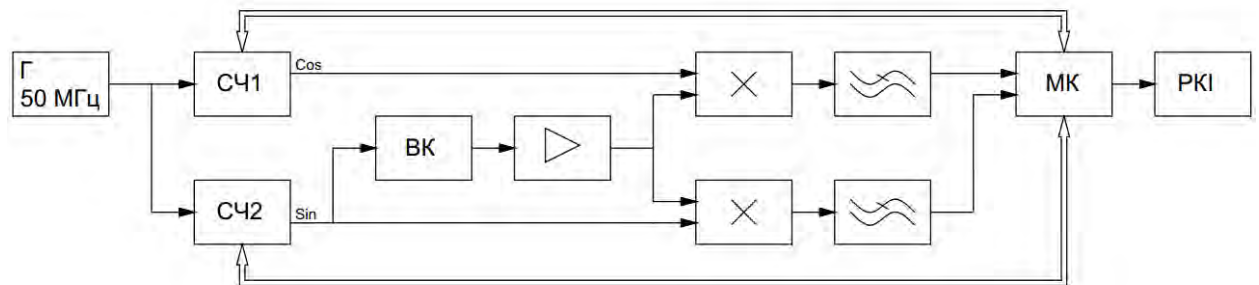


Рис. 2.2. Функціональна схема пристрою

Принцип роботи приладу: Г (генератор опорної частоти 50 МГц) створює імпульси для синхронної роботи двох синтезаторів частоти СЧ1 та СЧ2, їх синхронність забезпечується мікроконтролером МК – він на початку вимірів встановлює необхідні фазу та частоту вихідних сигналів СЧ. В перший запуск МК паралельно ініціалізує СЧ1 та СЧ2, встановлює різницю фаз 90°, тобто вихідні сигнали це sin та cos. Далі сигнал з СЧ2 подається на вимірювальний контур ВК, який складається з опору та котушки індуктивності. Отриманий сигнал потрапляє до підсилювача потужності який в свою чергу збільшує амплітуду сигналу до певного рівня. Далі йде множення з початковим синусом та косинусом за допомогою цифрового перемножувача. Наступний етап – фільтрування, за це відповідає фільтр низьких частот ФНЧ, який в даному проекті реалізовано за допомогою операційних підсилювачів. В результаті підсилені та відфільтровані сигнали потрапляють на аналогові входи мікроконтролера де проводяться всі розрахунки і за допомогою рідкокристалічного дисплею РКІ оброблена інформація потрапляє до користувача.

## 2.3 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ КОТУШКИ

Одним з найскладніших завдань є підбір котушки металошукача. Зазвичай в подібних невеликих проектах спочатку вираховуються теоретичні значення

і вже потім експериментальним чином підбираються потрібні. Тому далі наведено приклад такого розрахунку який можна взяти за основу при створенні прототипу.

Найбільш поширені частоти роботи котушок металодетекторів знаходяться в межах 10-30 кГц. Нехай робоча частота котушки  $f_k = 15$  кГц, діаметр котушки  $D = 25$  см = 0,25 м, площа котушки:

$$S = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \pi \left(\frac{0,25}{2}\right)^2 = 4,91 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$$

Довжина котушки обмежена тим що застосовуються металодетектори майже врівень з землею, занадто габаритний корпус буде незручним в використанні, тому прийmemo що довжина котушки  $l_k = 10$  мм = 0,01 м.

Для більшості металодетекторів значення індуктивності приймають у діапазоні від 1 мкГн до 1 мГн, прийmemo що  $L = 0,5$  мГн і тепер можемо розрахувати кількість витків  $N$ :

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot N^2 \cdot S}{l_k}$$

$$N = \sqrt{\frac{L \cdot l_k}{\mu_0 \cdot \mu \cdot S}}$$

$$N = \sqrt{\frac{0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,01}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 4,91 \cdot 10^{-2}}} = 9,002$$

Для реєстрування сигналу послідовно з котушкою ввімкнений резистор  $R$ , розрахуємо його номінал:

$$|R| = |\omega \cdot L|$$

$$R = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 31,4 \text{ Ом}$$

Для розрахунку маси скористаємось САПР SolidWorks. Побудуємо котушку з дроту діаметром 1,8 мм, матеріал мідь, розрахункова вага 160,25 гр.

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

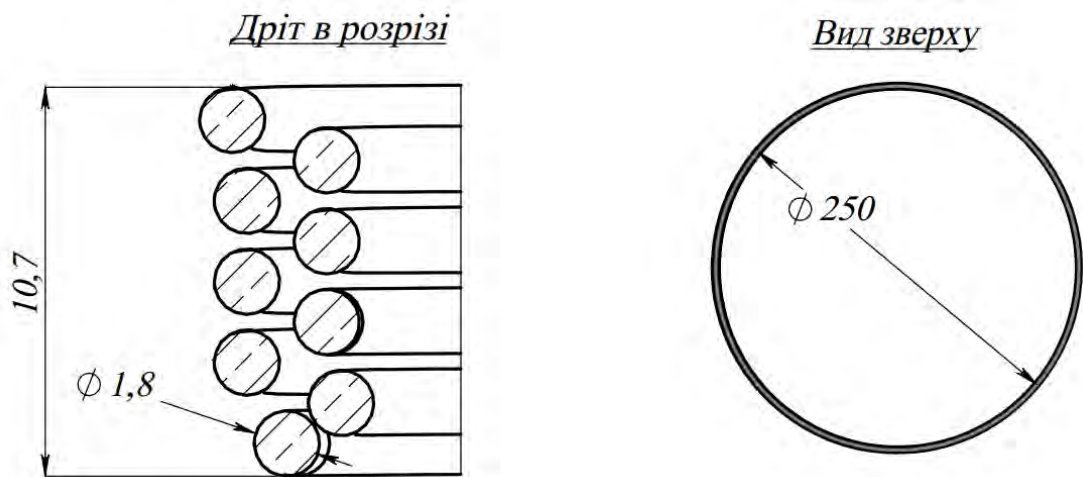


Рис. 2.3. Спрощена модель котушки

В підсумку маємо наступні параметри:

- кількість витків  $N = 9$ ;
- індуктивність  $L = 0,5$  мГн;
- діаметр котушки  $D = 250$  мм;
- довжина котушки  $l_k = 10$  мм;
- діаметр мідного дроту  $d = 1,8$  мм;
- опір допоміжного резистор  $R = 31,4$  Ом.

#### 2.4 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЖИВЛЕННЯ

Споживана потужність системи визначається сумою потужностей, споживаних генератором, синтезаторами частоти, РКІ дисплеєм та мікропроцесором. Припустимо, що кожен з компонентів споживає наступну потужність:

- Опорний генератор: 0,036 Вт
- Синтезатори частоти: 2 x 0,026 Вт
- РКІ дисплей: 0,007 Вт
- Мікропроцесор: 0,3 Вт

Загальна споживана потужність буде:

$$P_{\text{споживане}} = 0,036 + 0,052 + 0,007 + 0,3 = 0,395 \text{ Вт}$$

Для забезпечення тривалої роботи металошукача необхідно вибрати батарею з відповідною ємністю. Припустимо, що пристрій повинен

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

працювати протягом 8 годин без підзарядки. Тоді необхідна ємність батареї розраховується за формулою:

$$C = \frac{P_{\text{споживане}} \cdot t}{V}$$

, де:

- C – ємність батареї,
- $P_{\text{споживане}}$  – загальна споживана потужність,
- t – час роботи,
- V – напруга батареї.

Для живлення усієї плати підходить батарея з напругою 3,3 В. Тоді ємність батареї буде:

$$C = \frac{0,395 \text{ Вт} \cdot 8 \text{ год}}{3,3 \text{ В}} = 0,96 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Вибір батареї з ємністю 1-1,5 А·год забезпечить достатній запас для тривалої роботи пристрою.

## 2.5 РОЗРАХУНОК ФНЧ

Враховуючи що прилад чутливий до електромагнітних полів потрібно врахувати вплив зовнішніх завад та створити відповідний фільтр. Оскільки більшість сучасної електроніки працює на частоті 50 Гц було обрано фільтр низьких частот з частотою зрізу 30 Гц. Для простоти обчислень використаємо ФНЧ другого порядку Салена – Кея.

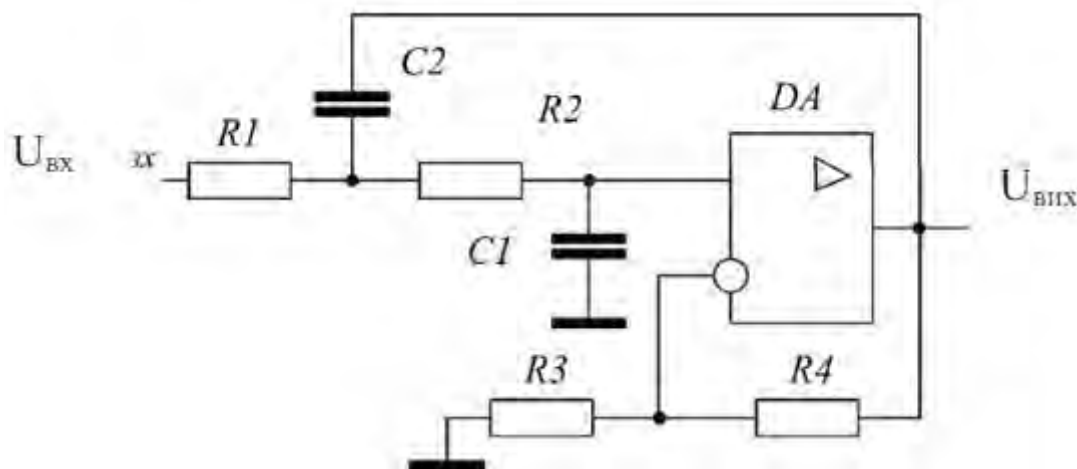


Рис. 2.4. ФНЧ другого порядку Салена - Кея



Слід врахувати що наша частота зрізу має дорівнювати частоті, на якій коефіцієнт підсилення  $k_u$  зменшиться на 3 дБ. Такі ФНЧ ще називають фільтрами Батерворта і для них застосовуються наступні розрахунки:

$$\frac{f_{3дБ}}{f_{зр}} = 1$$

$$f_{зр} = f_{3дБ} = 30 \text{ Гц}$$

$$f_{зр} = \frac{1}{2\pi RC}$$

Задаємо значення ємності  $C$  і обчислюємо опір  $R$ :

$$C_1 = C_2 = C = 0,47 \text{ мкФ}$$

$$R = R_1 = R_2 = \frac{1}{2\pi f_{зр} C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 30 \cdot 0,47 \cdot 10^{-6}} = 11293,3 \text{ Ом} \approx 11 \text{ кОм}$$

1. Величина затухання  $\alpha$  для ФНЧ типу Батерворта:

$$\alpha = 1,414$$

2. Резистори  $R_3$  та  $R_4$ , нехай  $R_3 = 10 \text{ кОм}$ , тоді  $R_4$  визначимо за формулою:

$$R_4 = (2 - \alpha) \cdot R_3 = (2 - 1,414) \cdot 10^4 = 5860 \text{ Ом}$$

3. Визначаємо коефіцієнт підсилення фільтра до полоси пропускання:

$$k_u = \frac{R_4}{R_3} + 1 = \frac{5860}{10^4} + 1 = 1.586$$

## ВИСНОВОК 2 РОЗДІЛУ

Висновок до 2 розділу дипломної роботи містить підсумки та результати проектування металошукача і розрахунку його основних параметрів.

Створено функціональну та структурну схеми, описано застосовані позначення та загальну логіку роботи системи. В ході роботи було представлено приклад розрахунку основної котушки індуктивності. З метою фільтрації шумів у системі було розраховано фільтр нижніх частот Салена - Кея. Також було приведено загальний розрахунок параметрів живлення всієї системи та визначено необхідну батарею для безперервної роботи приладу протягом 8 годин.

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
						<b>33</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

### 3.1 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

В даному підрозділі буде розглянуто всі елементи принципової електричної схеми, коротко обґрунтовано їх вибір та вказано їх підключення до інших частин електричної принципової схеми. Повна схема наведена в додатку 3.

#### Опорний генератор

Для даного проекту було задано як умову опорний генератор з частотою 50 МГц та мікропроцесор STM32, який живиться від постійної напруги 3,3 В. Така ж напруга живлення як у мікропроцесора дозволить зекономити на підключенні додаткового джерела живлення. Цей генератор має бути доступним на ринку та мати хороші відгуки від покупців. З врахуванням всіх цих вимог було вибрано кварцевий генератор КХО-V97Т. В мережі легко знайти його повний Datasheet, з якого ми і беремо його схему підключення.

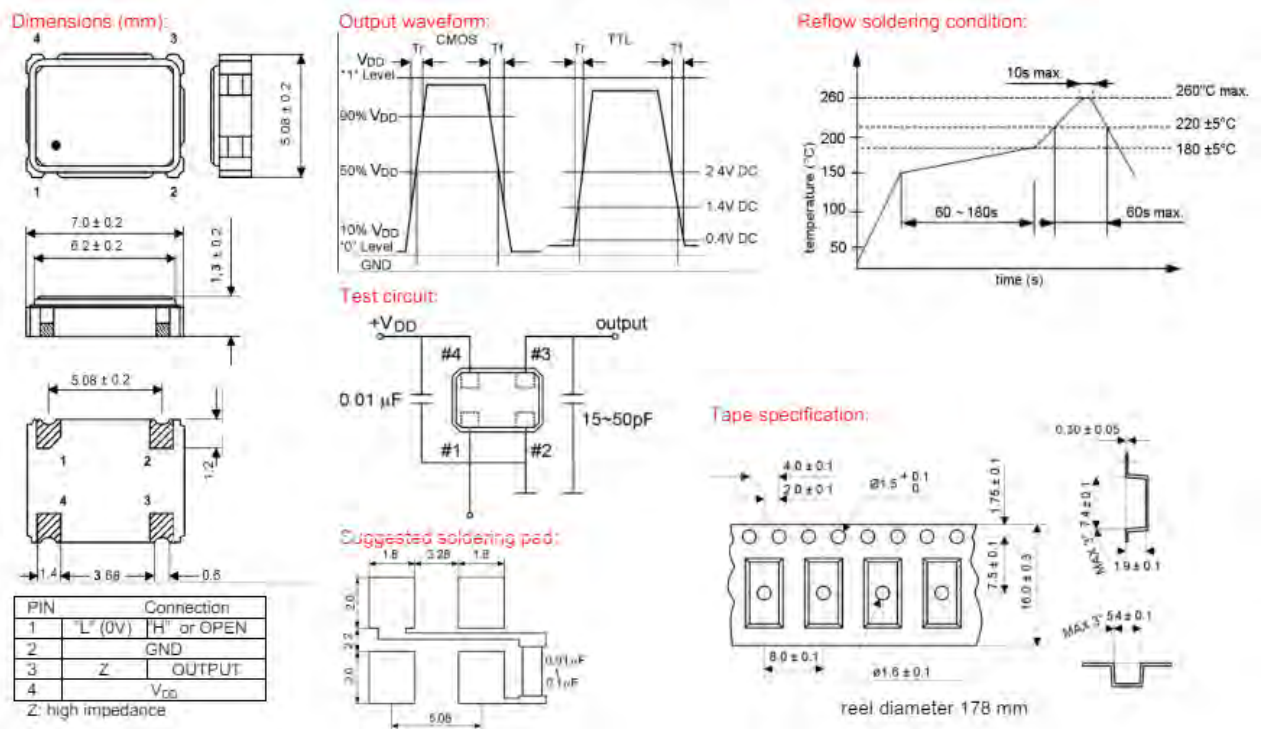


Рис. 3.1. Інформація про опорний генератор КХО-V97Т

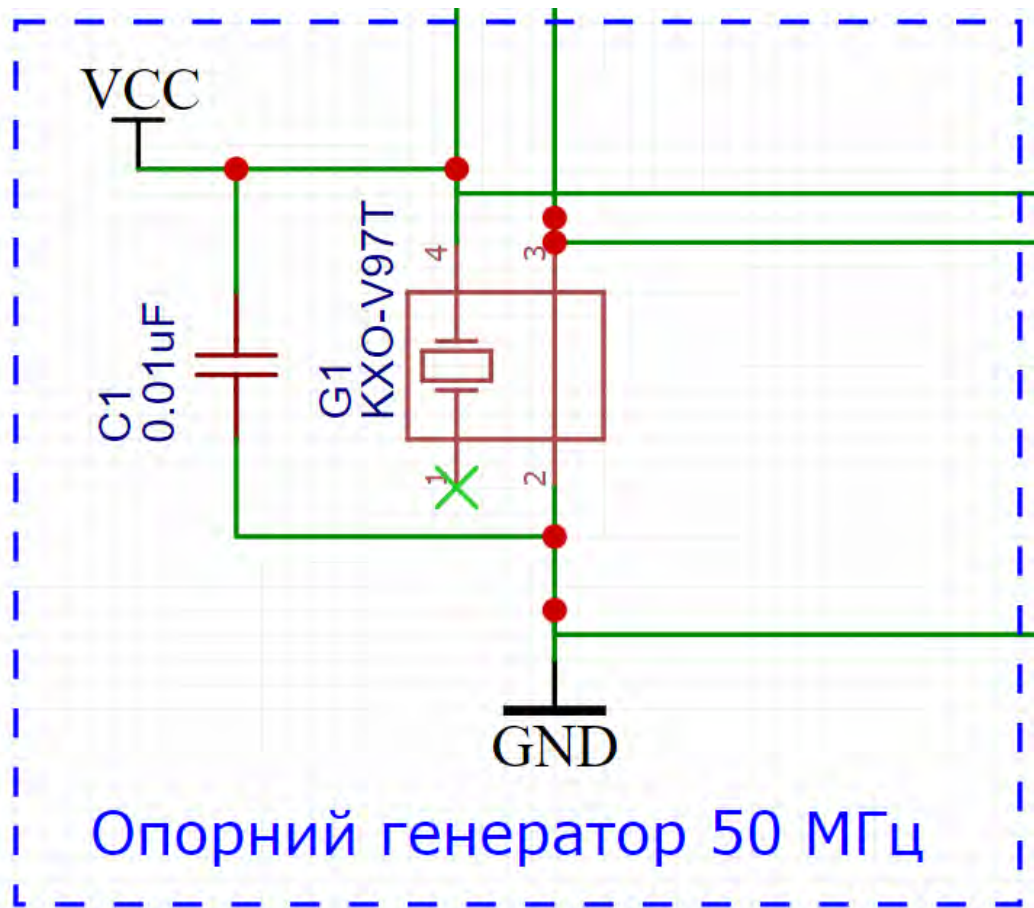


Рис. 3.2. Підключення опорного генератора в принциповій електричній схемі

### Синтезатори частоти

Наступний елементи – синтезатор частоти, їх в схемі 2, але схема включень ідентична. Єдина різниця в тому що мікроконтролер синхронізує їх таким чином, щоб вони на виході давали різні сигнали – синус та косинус відповідно.

В даному проєкті використано AD9835, який є числово-керованим осцилятором, що використовує фазовий акумулятор, таблицю COS і 10-бітний цифро-аналоговий перетворювач, інтегрований на одному CMOS-чіпі. Забезпечено можливості модуляції для фази та частоти. Підтримуються тактові частоти до 50 МГц. Точність частоти можна контролювати до одного з чотирьох мільярдів. Модуляція здійснюється шляхом завантаження регістрів через послідовний інтерфейс. Біт зниження потужності дозволяє користувачу вимкнути AD9835, коли він не використовується; споживання потужності

зменшується до 1,75 мВт. Враховуючи це все даний осцилятор є одним з найкращих варіантів для синтезу частоти.

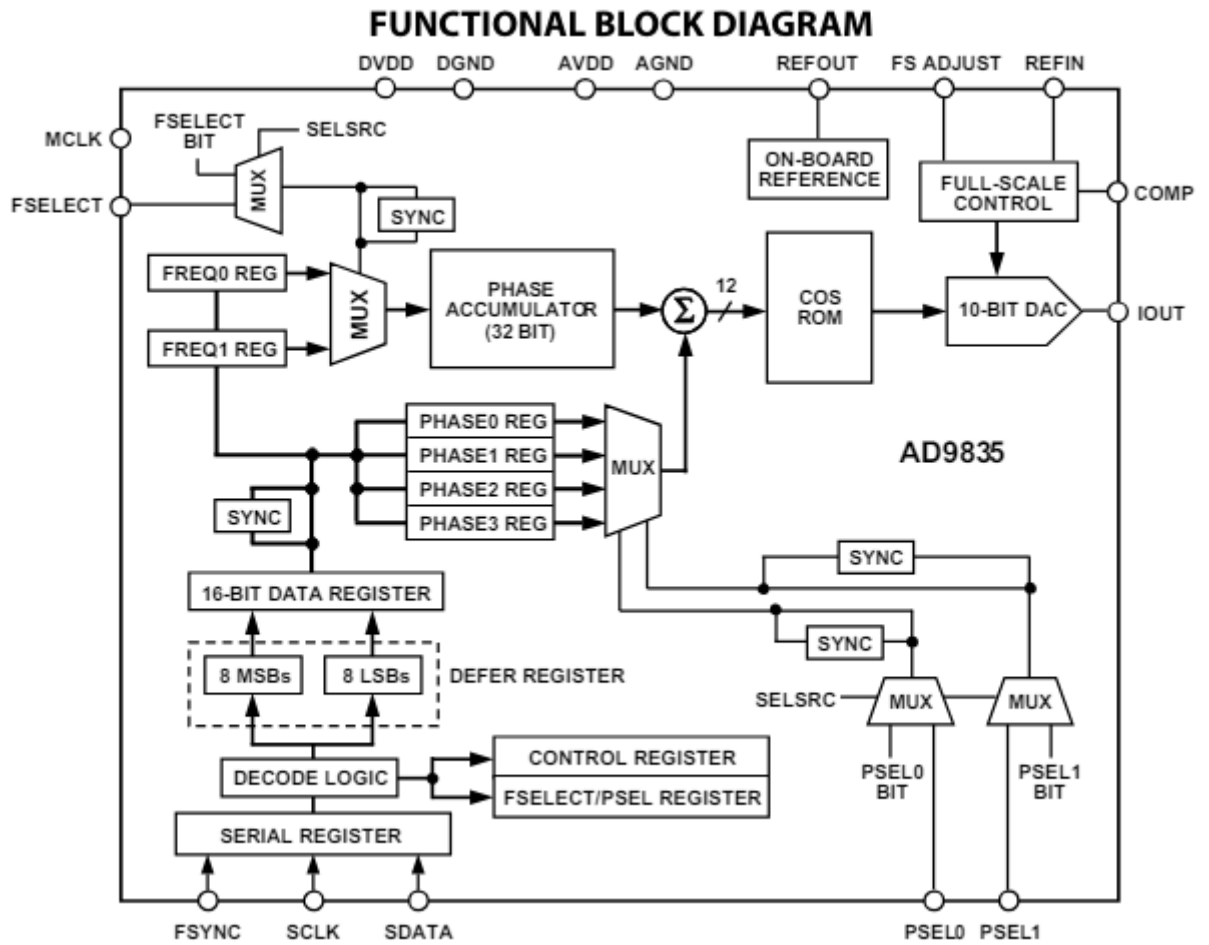


Рис. 3.3. Функціональна блок-діаграма AD9835

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

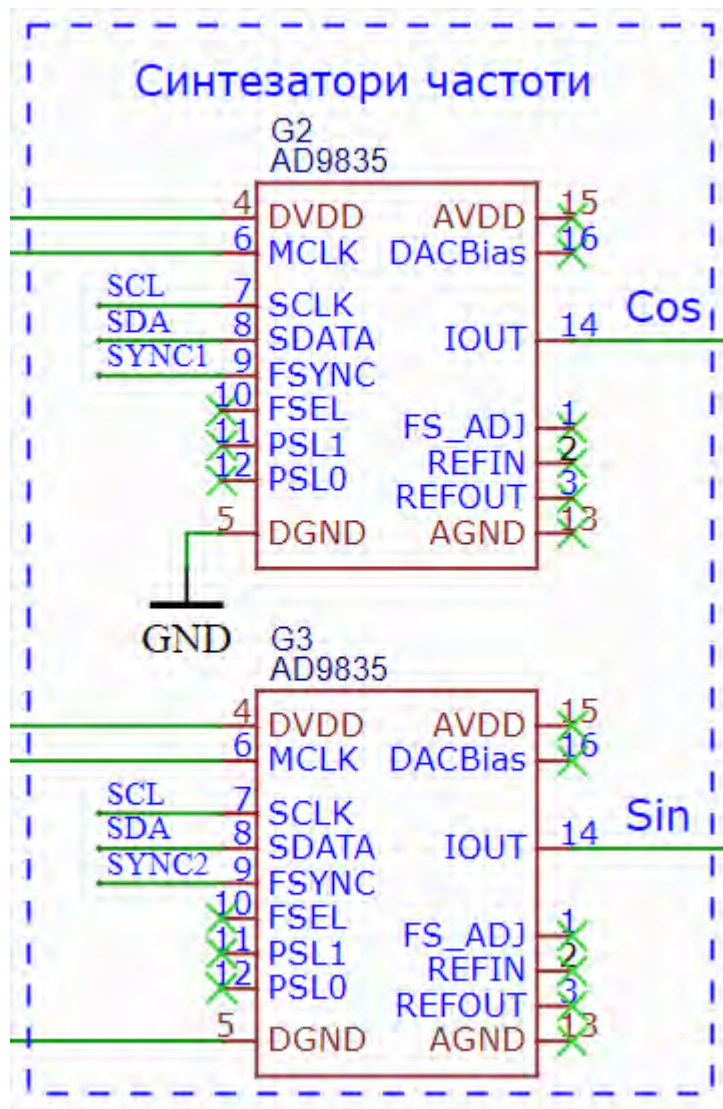


Рис. 3.4. Підключення синтезаторів частоти

### Вимірювальний контур

Оскільки котушки індуктивності підключається зовні та часто буває з'ємна для спрощення транспортування в платі слід передбачити місце підключення. Було обрано клемник DG300-5.0-0.2P, він легкодоступний та простий і водночас надійний у використанні завдяки гвинтовим з'єднанням.

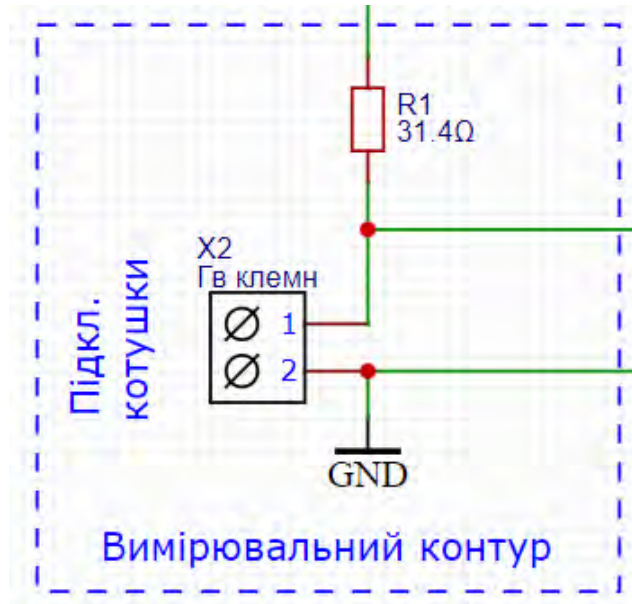


Рис. 3.5. Підключення вимірювального контуру

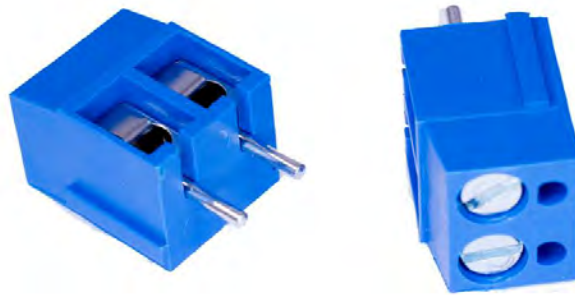


Рис. 3.6. Роз'єм DG300-5.0-0.2P

### Підсилення сигналу

Для підсилення зчитаного сигналу використано модуль AD8253. AD8253 є вимірювальним підсилювачем з можливістю запрограмувати коефіцієнти підсилення, що має вхідний опір у діапазоні гігаом (ГОм), низький рівень вихідного шуму та низькі спотворення, що робить його придатним для підключення до датчиків і керування високошвидкісними аналого-цифровими перетворювачами (АЦП).

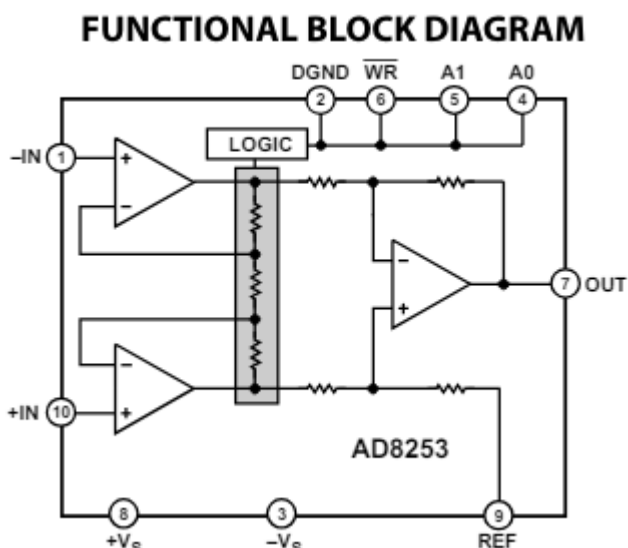


Рис. 3.7. Функціональна блок-діаграма



Рис. 3.8. Підключення опорного генератора в принциповій електричній схемі

### Множення сигналів

Реалізація множення сигналів виконана за допомогою модуля МРУ634, який є аналоговим множником чотирьох квадрантів з широкою смугою пропускання та високою точністю. Його характеристики множення, точно налаштовані за допомогою лазера, роблять його зручним для використання в широкому спектрі застосувань з мінімальною кількістю зовнішніх компонентів, часто усуваючи необхідність у зовнішньому налаштуванні. Диференційні входи X, Y та Z

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

дозволяють налаштування як множника, квадратора, дільника, кореневика та інших функцій, зберігаючи високу точність.

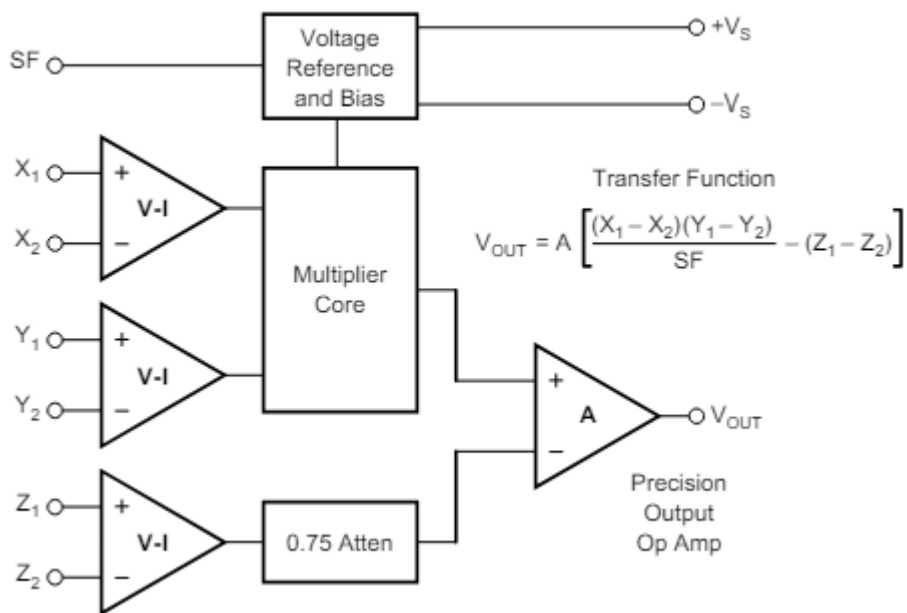


Рис. 3.9. Підключення МРУ634

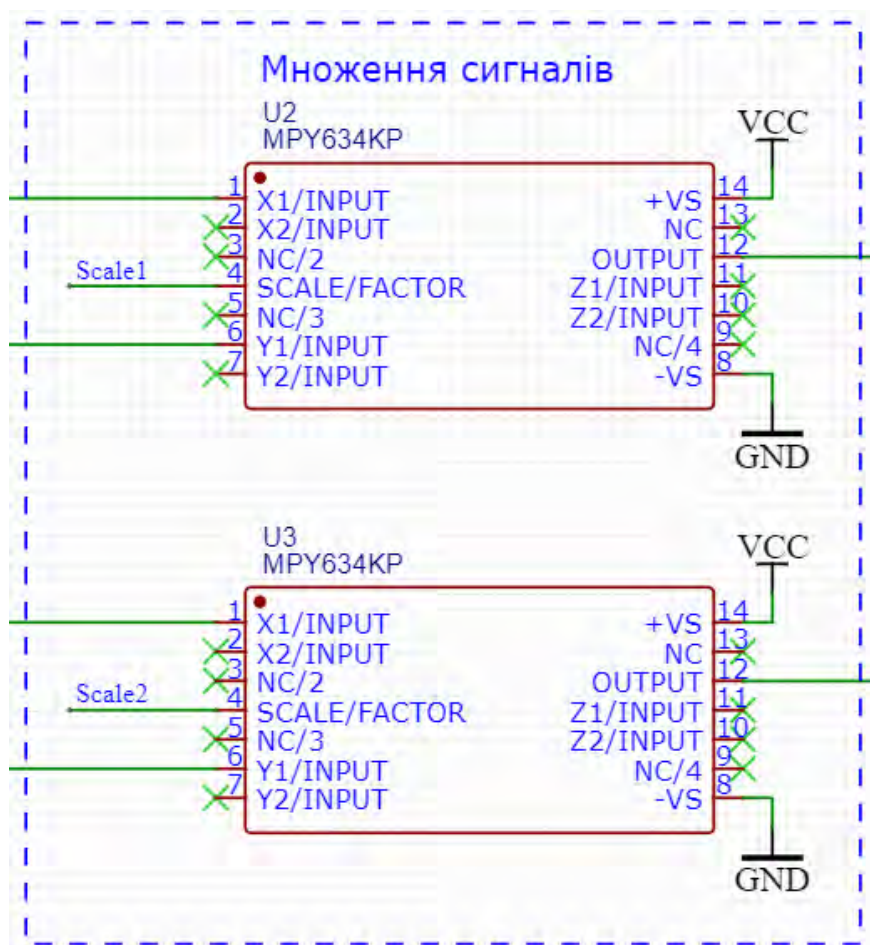


Рис. 3.10. Модулі множення сигналів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



## ФНЧ

Фільтр низьких частот реалізовано на базі резисторів, конденсаторів та операційних підсилювачів. В якості підсилювача було обрано КР1407Д608 (МС1456Р)

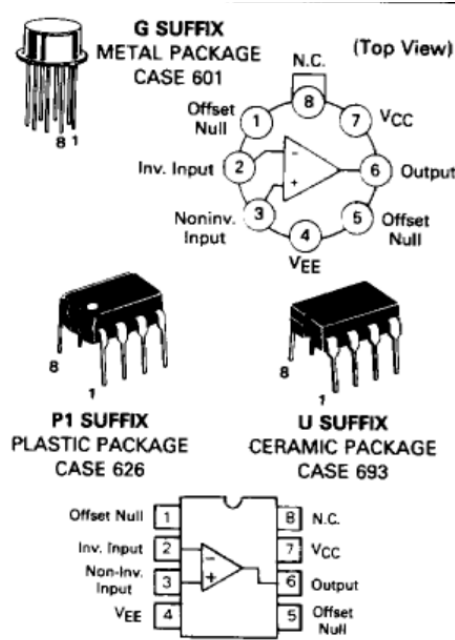


Рис. 3.11. Підключення МС1456Р

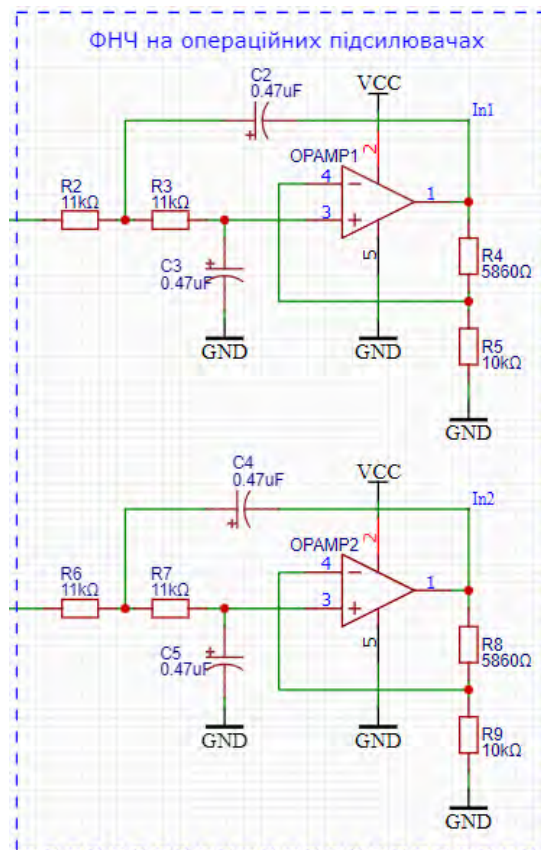


Рис. 3.12. Підключення ФНЧ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## РК-дисплей

Виведення інформації користувачу є невід'ємним для будь-якого сучасного приладу. Було обрано рідко-кристалічний дисплей LCD1604.



Рис. 3.13. Дисплей LCD1604

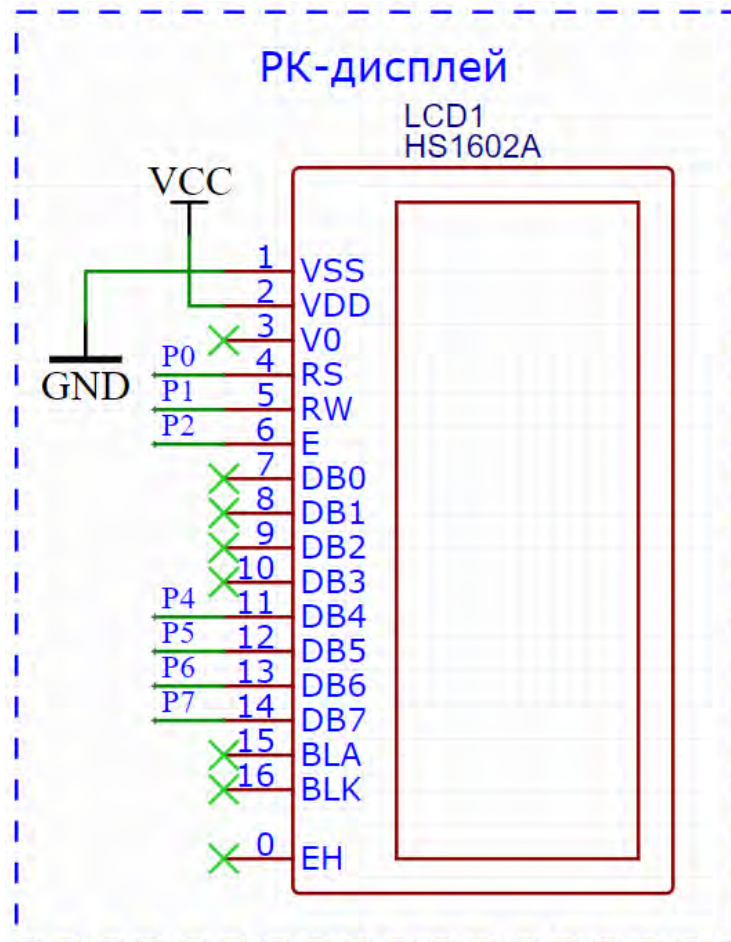


Рис. 3.14. Підключення РК-дисплею

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## Перехідник РК-дисплею

Для зручності і простоти підключення використано спеціальний модуль-перехідник який дозволяє підключити дисплей до мікроконтролера за допомогою послідовного порта I2C. Таким перехідником є PCF8574.

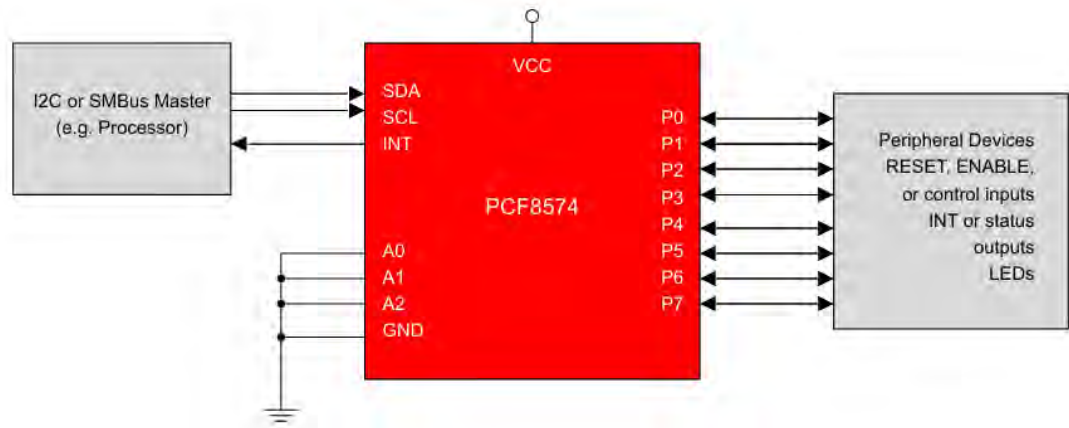


Рис. 3.15. Підключення PCF8574



Рис. 3.16. Підключення перехідника РК-дисплею

## Мікроконтролер

В даному проєкті в якості головного «мозку» системи виступає мікроконтролер STM32F401CC, який є популярним мікроконтролером з кількох причин, які роблять його хорошим вибором для різноманітних застосувань. Ось деякі з ключових особливостей та переваг цього мікропроцесора:

1. Висока продуктивність: STM32F401CC використовує 32-бітний процесор ARM Cortex-M4 з плаваючою точкою (FPU). Це забезпечує високу продуктивність при обробці числових та обчислювальних завдань.

2. Низьке енергоспоживання: Мікроконтролер має різні режими зниженого енергоспоживання, що дозволяє використовувати його в енергоефективних додатках, де важлива автономність.

3. Великий об'єм пам'яті: STM32F401CC має до 256 КБ флеш-пам'яті та 64 КБ оперативної пам'яті (SRAM), що дозволяє зберігати велику кількість коду та даних.

4. Багато периферійних модулів: Цей мікроконтролер оснащений різними периферійними модулями, такими як UART, SPI, I2C, ADC, DAC, таймери, і т.д. Це дозволяє легко інтегрувати його з іншими компонентами та системами.

5. Підтримка DSP інструкцій: ARM Cortex-M4 ядро підтримує інструкції цифрової обробки сигналів (DSP).

6. Розширюваність: Сімейство STM32 пропонує велику кількість моделей з різними характеристиками, що дозволяє легко переходити на більш потужні або економні моделі без значних змін у дизайні системи.

7. Широкий набір інструментів для розробки: STM32F401CC підтримується багатьма інструментами для розробки, включаючи STM32CubeMX для конфігурації периферії, а також різні середовища розробки (IDE), такі як STM32CubeIDE, Keil, IAR, та інші.

8. Наявність та підтримка: STM32 є широко поширеною платформою, що означає легку доступність компонентів, велику спільноту розробників та багато ресурсів, таких як приклади коду, бібліотеки, та документація.

Ці особливості роблять STM32F401CC надійним вибором для широкого спектру застосувань, від простих вбудованих систем до складних промислових та комерційних проектів.

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

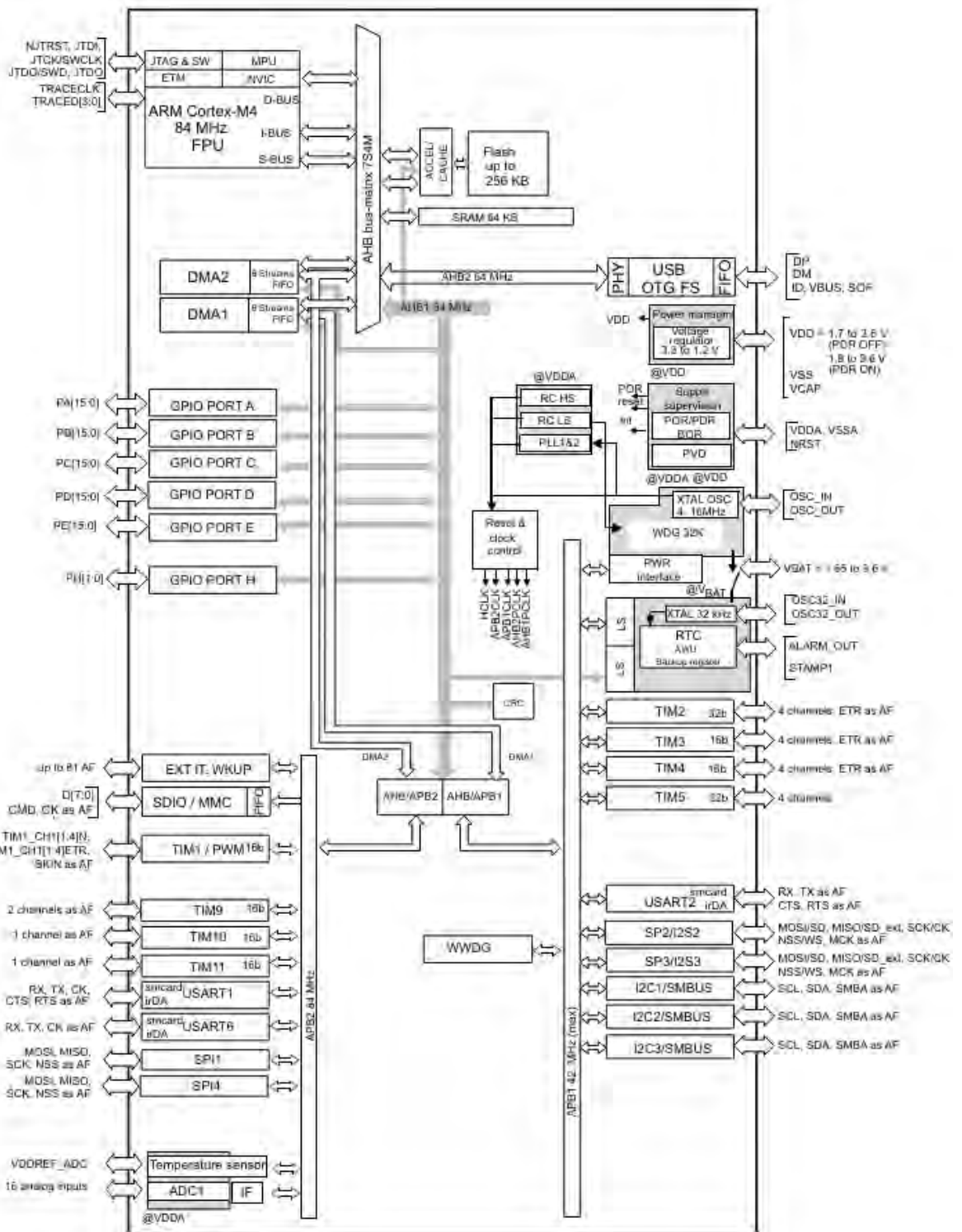


Рис. 3.17. Функціональна блок-діаграма STM32F401CC

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

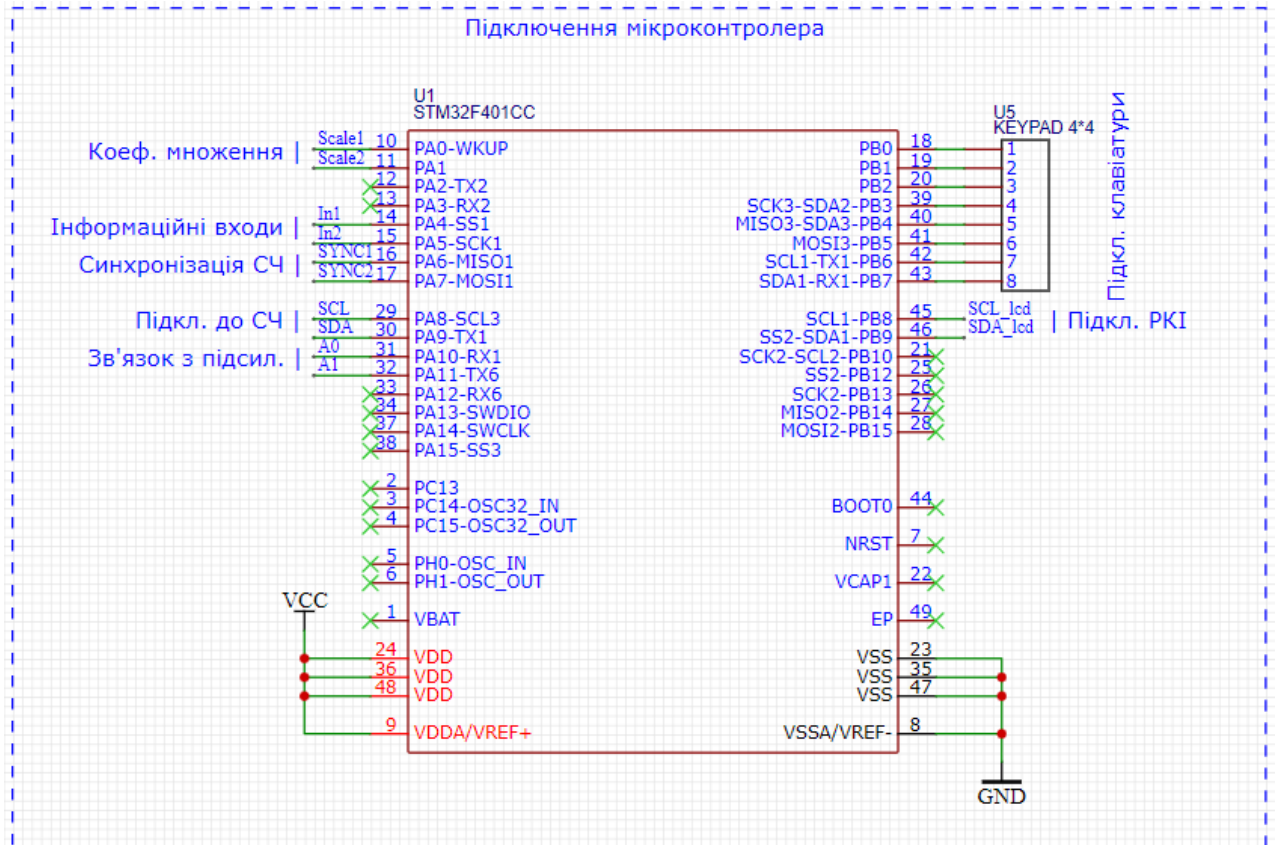


Рис. 3.18. Підключення STM32F401CC

### 3.2 РОЗВЕДЕННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

Плата розведена засобами САПР EasyEda, всі компоненти підключені, жодних обірваних чи закорочених доріжок немає. Також додані отвори кріплення діаметром 4,2 мм для застосування в майбутньому кріплення гвинтами M4. Всі SMD-модулі розміщені на одній стороні плати, що значно здешевлює загальну вартість плати та спрощує паяння. Всі елементи підписані, це не дасть помилитися в розташуванні елементів при наявності принципової схеми.

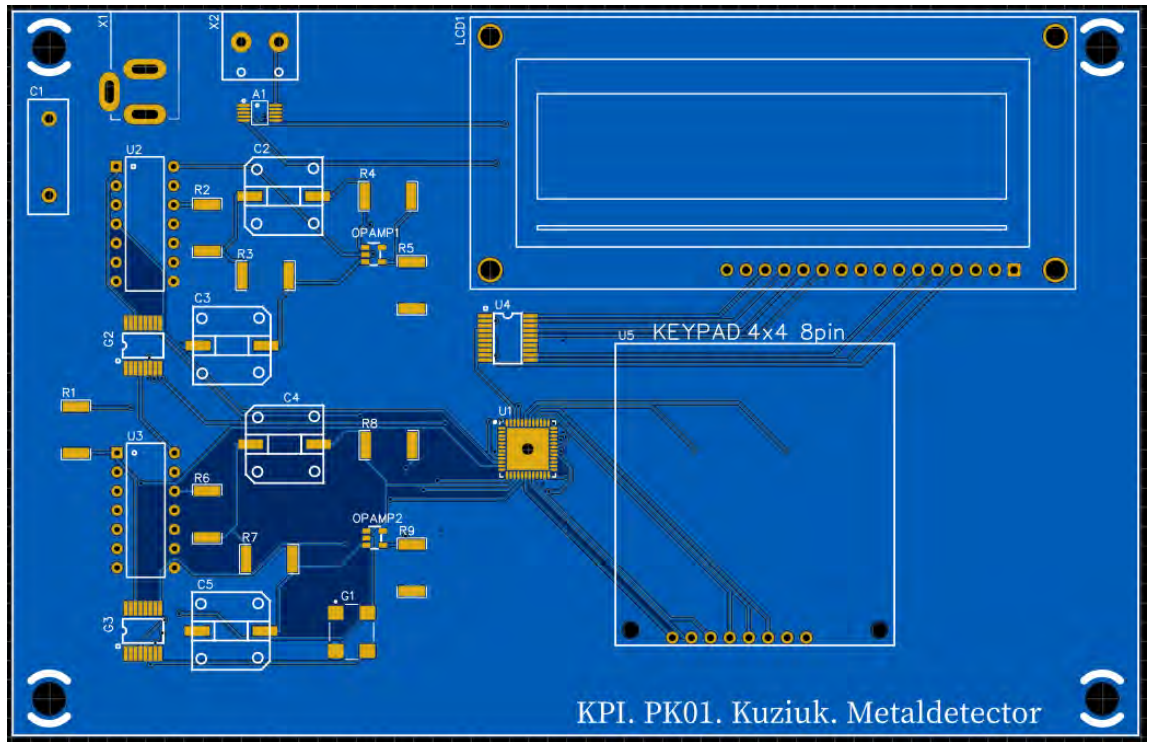


Рис. 3.19. Лицева сторона печатної плати

### 3.3 3-Д МОДЕЛЬ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

Було також створено 3-Д модель готової плати з розташованими на ній компонентами. Це дозволяє одразу уявити як плата виглядатиме в готовому виробі та побачити помилки розташування. Також таку модель можна експортувати в різні формати щоб додати до свого проєкту в іншому САПР, наприклад, для створення кріплення в корпусі приладу.

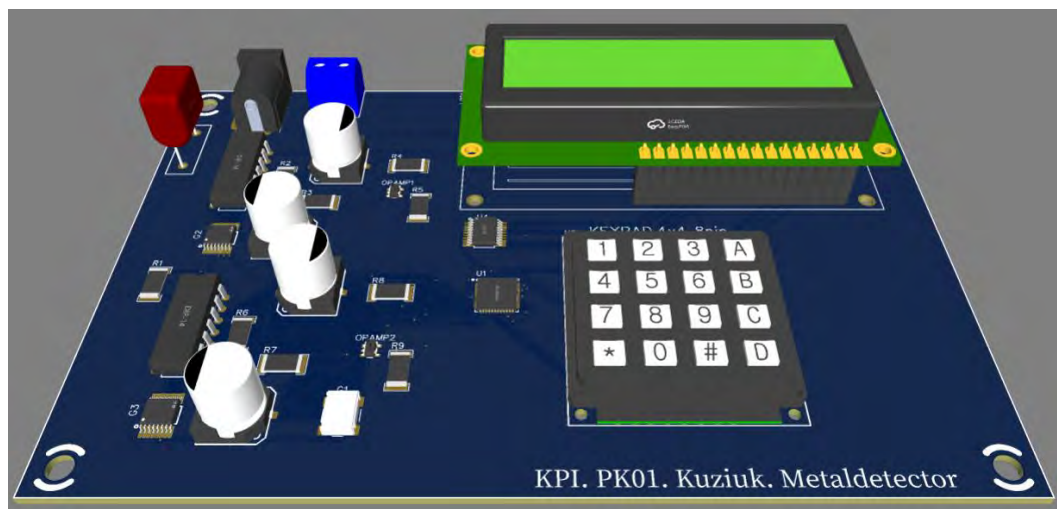


Рис. 3.20. 3-Д модель

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

### **ВИСНОВОК З РОЗДІЛУ**

У даному підрозділі детально розглянуто всі елементи принципової електричної схеми, зокрема, розглянуті їх функції та характеристики. Кожен компонент ретельно проаналізований, коротко обґрунтовано причини його вибору з урахуванням його електричних властивостей та відповідності вимогам проекту. Описано, як ці елементи підключені до інших частин електричної принципової схеми, включаючи сигнальні і живильні лінії, а також зв'язки між модулями.

Крім того, створено повну тривимірну модель готової печатної плати, на якій візуалізовані всі елементи та їх розташування. Модель включає підключення всіх модулів та розведення всіх доріжок. У процесі розробки одразу були враховані отвори для кріплення, щоб забезпечити надійність монтажу плати в кінцевому пристрої.

Також розглянуто можливі варіанти розташування компонентів для оптимізації простору на платі та зменшення довжини сигнальних шляхів, що покращує загальну продуктивність та надійність системи. Усі ці аспекти сприяють створенню ефективної та надійної електричної схеми, яка відповідає вимогам проекту та забезпечує стабільну роботу готового пристрою.

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
						48
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



## **ВИСНОВОК ДО ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ**

Дипломний проект на тему "Металошукач" присвячений розробці та дослідженню ефективного методу детекції металевих об'єктів (різноманітні уламки, міни, загублені прикраси та інше). Метою роботи є проектування та розрахунок основних параметрів системи металошукача, який базується на використанні котушки індуктивності як датчика.

У розділі 1 "Аналітичний огляд" проведений детальний аналіз методів детекції металів, розглянуто їх переваги та недоліки. Досліджено кілька популярних металошукачів та проаналізовано їх відмінності.

У розділі 2 "Проектування однокотушечного індукційного металошукача" проведений процес проектування металошукача. Розроблено функціональну та структурну схеми дефектоскопа та розраховано котушку, живлення та фільтр нижніх частот Салена - Кея.

У розділі 3 "Проектування друкованої плати" проведений процес розробки принципової схеми та перенесення її на друковану плату засобами САПР EasyEeda. Також створено 3-Д модель плати з використанням користувацьких бібліотек з використаними компонентами.

У висновках до розділів 1, 2 і 3 підсумовано отримані результати та сформульовано відповідні підсумки. Висновок до розділу 1 містить висновки щодо проведеного аналізу методів металодетекції. Висновок до розділу 2 містить підсумки проектування металошукача та результати проведених розрахунків. Висновок 3-го розділу включає аналіз проведеної роботи бо створенню та розведенню друкованої плати.

Отримані результати вказують на можливість ефективного використання цього пристрою в побутових умовах для виявлення різноманітних металевих об'єктів в ґрунтах.

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Долиненко, В. В. Роботизована система неруйнівного вихрострумового контролю виробів зі складною геометрією / В. В. Долиненко, Т. Г. Скуба, Ю.В. Куц, Р.М. Галаган та ін. // Журнал Автоматическая сварка. — 2017. — № 764. — С. 60-67.
- [2] Шукання скарбів і нумізматики : книга / Котляр Н.Ф. — К. : видання «Наукова Думка», 1974. — 128 с.
- [3] Магнітний неруйнівний контроль : навч. посіб. / Ю. В. Куц, А. Г. Протасов, Ю. Ю. Лисенко та ін. — К. : НТУУ «КПІ», 2012. — 139 с.
- [4] [https://www.researchgate.net/publication/273173639\\_Metal\\_Detector\\_Handbook\\_for\\_Humanitarian\\_Demining](https://www.researchgate.net/publication/273173639_Metal_Detector_Handbook_for_Humanitarian_Demining)
- [5] <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/mpy634.pdf?ts=1717531658305>
- [6] <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8253.pdf>
- [7] <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9835.pdf>
- [8] [https://imrad.com.ua/userdata/modules/productFiles/file\\_2h1ajsg.pdf](https://imrad.com.ua/userdata/modules/productFiles/file_2h1ajsg.pdf)
- [9] [https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/klemnyk-dg300-5-0-02p-12-00a-h-2kont-synii-shlits-degson\\_18210.html](https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/klemnyk-dg300-5-0-02p-12-00a-h-2kont-synii-shlits-degson_18210.html)
- [10] <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/128958/MOTOROLA/MC1456P1.html>
- [11] <https://cdn.soselectronic.com/productdata/7f/6b/5f682254/bc-1604a-bnheh-1.pdf>
- [12] <https://www.amazon.com/-/es/Character-Display-Module-Blacklight-Arduino/dp/B088TS84ZY>
- [13] <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcf8574.pdf>
- [14] <https://datasheetspdf.com/datasheet/STM32F401CC.html>
- [15] [https://m.media-amazon.com/images/I/41G5b6hbj-L.\\_AC\\_.jpg](https://m.media-amazon.com/images/I/41G5b6hbj-L._AC_.jpg)
- [16] <https://kamrad.ua/image/cache/catalog/minelab/equinox-product-800-1200px-850x530.jpg>
- [17] <https://m.media-amazon.com/images/I/81drDWiV6-L.jpg>
- [18] [https://kamrad.ua/image/cache/catalog/noktamakro/simplex\\_1-850x530.jpg](https://kamrad.ua/image/cache/catalog/noktamakro/simplex_1-850x530.jpg)
- [19] <https://m.media-amazon.com/images/I/71p6ZSpJaRL.jpg>
- [20] itc.ua / Міношукачі: історія створення, які вони бувають, для чого потрібні та як вибрати правильну модель / Павло Чуйкін — 04.05.2023 р. — Режим доступу : <https://itc.ua/ua/articles/minoshukach-prystrij-yakuj-ryatuye-zhyttna-na-vijni/>
- [21] Куц, Ю. В. Новітні системи та технології. Частина I. Загальні питання

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>50</b>

- побудови та опрацювання даних в комп'ютерно-інтегрованих системах НКТД [Електронний ресурс] / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко, А. С. Момот ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 123 с
- [22] Баженов В.Г. Електроніка. Лабораторний практикум: навчальний посібник / В. Г. Баженов, Є. Ф. Суслов, Ю. Ю. Лисенко, А.С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 70 с.
- [23] Lysenko, Iuliia, Kuts, Yurii, Uchanin, Valentyn, Mirchev, Yordan and Levchenko, Oleksandr. "Evaluation of Eddy Current Array Performance in Detecting Aircraft Component Defects" Transactions on Aerospace Research, vol.2024, no.2, 2024, pp.1-9.
- [24] Lysenko I, Kuts Y, Petryk V, Malko V, Melnyk A. Automated eddy current system for aircraft structure inspection. Transactions on Aerospace Research. 2023;4(273):33–40.
- [25] Lysenko, I., Kuts, Y., Uchanin, V., Mirchev, Y., Alexiev, A. (2023). Problems of Using Eddy Current Arrays NDT. In: Pawelczyk, M., Bismor, D., Ogonowski, S., Kacprzyk, J. (eds) Advanced, Contemporary Control. PCC 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 708. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35170-9\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35170-9_27)
- [26] Lysenko I. Analysis of formation processes of informative features in eddy current probes with pulsed excitation mode / I. Lysenko, Y. Kuts, V. Uchanin, A. Protasov // Proceedings of the 13th European Conference on Non-Destructive Testing 2023, NDT.net Issue: 2023-07. Access mode: <https://www.ndt.net/?id=28086> (last access: 10.07.23).
- [27] Lysenko, I. Advantages of Using Eddy Current Array for Detection and Evaluation of Defects in Aviation Components / Lysenko I., Mirchev Y., Levchenko O., Kuts Y., Uchanin V. // International Journal “NDT Days”. – BSNDT: Bulgaria, 2023. – Volume 6, Issue 2. – P. 84-88. 26.
- [28] Using the Red Pitaya platform in automated eddy current testing / Levchenko O., Aleksiev A., Kuts Y., Lysenko I. // International Journal “NDT Days”. - BSNDT: Bulgaria, 2023. - Volume 6, Issue 4. - P. 194-201 27.
- [29] Eddy Current Array Testing of Steel Tube Profiles / Y. Mirchev, I. Lysenko, Ts. Borisov, V. Kovtun, P. Chukachev // International Journal “NDT Days”. - BSNDT: Bulgaria, 2023. - Volume 6, Issue 3. - P. 137-147.
- [30] Lysenko I, Kuts Y, Uchanin V, Protasov A, Petryk V, Alexiev A. Using the Pulsed Eddy Current Techniques for Monitoring the Aircraft Structure Condition. Transactions on Aerospace Research. 2023;1(270):22–31. Available from: <https://doi.org/10.2478/tar-2023-0003>.
- [31] Zhong, M., Kuts, Y., Kochan, O., Lysenko, I., Levchenko, O., Vlach-Vyhrynovska, H.: Using signal phase in computerized systems of non-destructive testing. Measur. Sci. Rev. 22(1), 32–43 (2022).
- [32] Iuliia, Lysenko, Valentin, Uchanin, Valentyn, Petryk, Yurii, Kuts, Anatoliy, Protasov and Alexander, Alexiev. “Intelligent Automated Eddy Current System for Monitoring the Aircraft Structure Condition.” 2022 IEEE 3rd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC): pp. 1–5. Kyiv,

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
						<b>51</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ukraine, 2022, DOI 10.1109/SAIC57818.2022.9922968.

- [33] Куц Ю.В. Застосування фазових характеристик сигналу в автоматизованій вихрострумівій дефектокопії / М.О. Редька, Ю.В. Куц, Є.В. Шаповалов, В.М. Учанін, Ю.Ю. Лисенко, О.Д. Близнюк // Технічна діагностика і неруйнівний контроль, 2022, №1, стор. 45-53.
- [34] Kuts, Yu.V., Uchanin, V.M., Lysenko, Yu.Yu., Levchenko, O.E.: Application of Hilbert transform for analysis of signals of automated eddy current inspection. Part 1. Theoretical aspects of Hilbert transformation application at eddy current inspection. In: Technical Diagnostics and Non-Destructive Testing, №3, pp. 7–13 (2021).
- [35] Kuts, Yurii, Uchanin, Valentyn, Lysenko, Jully, Petryk, V.F., Bohdan, G.A. and Levchenko, Oleksandr. “Application of Hilbert Transform for Analysis of Signals of Automated Eddy Current Inspection. Part 2. Deriving secondary Diagnostic Features and Examples of Realization.” Technical Diagnostics and Non Destructive Testing No. 4 (2021) pp. 11–18.

					<b>ПК 01.070000.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>52</b>