

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

Фізико-технічний факультет

Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

Головатчук Максим Петрович

Maksym Holovatchuk

УДК 004:42

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Кваліфікаційна робота

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

Розроблення металодетектора на основі мікроконтролера

Development of a metal detector based on a microcontroller

Науковий керівник:

доктор фізико-математичних наук,

професор кафедри

комп'ютерної інженерії та

електроніки Володимир

МАНДЗІЮК

Рецензент:

д.ф.-м.н., проф. каф. матер. і

новітніх технологій, Іван

ЯРЕМІЙ.

Івано-Франківськ

2024



## АНОТАЦІЯ

Метою дипломної роботи “Розроблення металодетектора на основі мікроконтролера” є розробка блоку аналізу для металошукачів, який складається з мінімальної кількості функціональних вузлів і може надавати коректну інформацію з мінімумом налаштувань щодо наявності та типу металів, незалежно від впливу навколишнього середовища. [1] У роботі розглянуто основні принципи роботи металодетекторів, їх фізичні основи роботи, аналізуються фактори, що впливають на процес виявлення, і здійснюється пошук існуючих запатентованих рішень. Розроблено структурну схему, яка включає всі необхідні для роботи приладу блоки: драйвер передавальної котушки, вхідний підсилювач, блок відображення результатів, стабілізатор напруги.

Використовуючи вбудований АЦП мікроконтролера, усі обчислення, обробка та відображення результатів виконуються в мікроконтролері. Розроблено принципову електричну схему, здійснено поелементний підбір, проведено розрахунки схеми та перевірка її працездатності..

|             |             |                 |               |             |              |             |               |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------|-------------|---------------|
|             |             |                 |               |             | 123.КІ-41.03 |             |               |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |              |             |               |
| Розробив    |             | Головатчук М.П. |               |             | <i>Літ.</i>  | <i>Арк.</i> | <i>Аркуші</i> |
| Перевірив   |             | Мандзюк В.І.    |               |             |              | 3           | 1             |
| Н. Контр.   |             |                 |               |             |              |             |               |
| Затвердив   |             |                 |               |             |              |             |               |

## ABSTRACT

The aim of the diploma thesis "Development of a metal detector based on a microcontroller" is the development of an analysis unit for metal detectors, which consists of a minimum number of functional nodes and can provide correct information with a minimum of settings regarding the presence and type of metals, regardless of environmental influences. [1] The paper examines the basic principles of metal detectors, their physical basis of operation, analyzes the factors affecting the detection process, and searches for existing patented solutions. A structural diagram has been developed, which includes all the blocks necessary for the operation of the device: the driver of the transmission coil, the input amplifier, the block for displaying the results, and the voltage stabilizer.

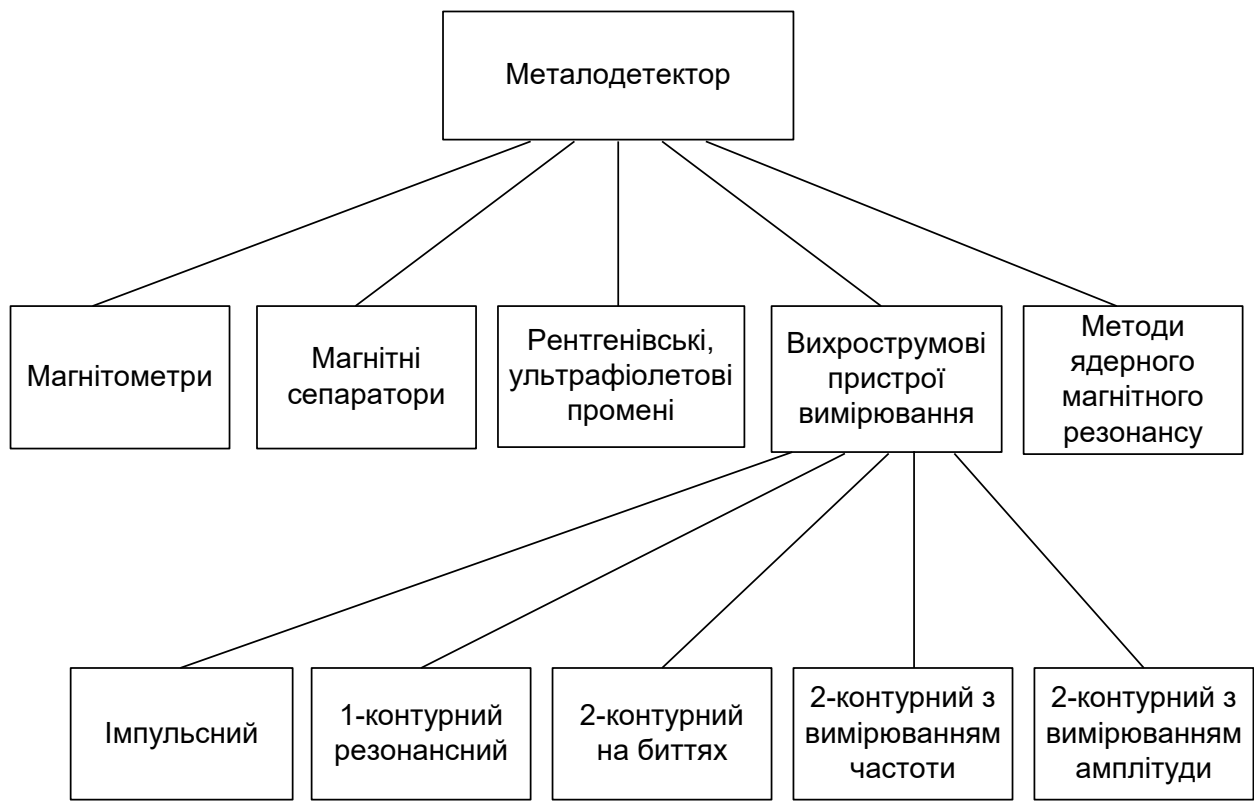
Using the microcontroller's built-in ADC, all calculations, processing and display of results are done in the microcontroller. A basic electrical circuit was developed, element-by-element selection was carried out, circuit calculations were carried out and its operability was checked.

|             |             |                 |               |             |              |  |  |             |             |                |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------|--|--|-------------|-------------|----------------|
|             |             |                 |               |             | 123.KI-41.03 |  |  |             |             |                |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | Abstract     |  |  |             |             |                |
| Розробив    |             | Головатчук М.П. |               |             |              |  |  | <i>Лім.</i> | <i>Арк.</i> | <i>Аркушіє</i> |
| Перевірів   |             | Мандзюк В.І.    |               |             |              |  |  | 4           | 1           |                |
| Н. Контр.   |             |                 |               |             |              |  |  |             |             |                |
| Затвердив   |             |                 |               |             |              |  |  |             |             |                |

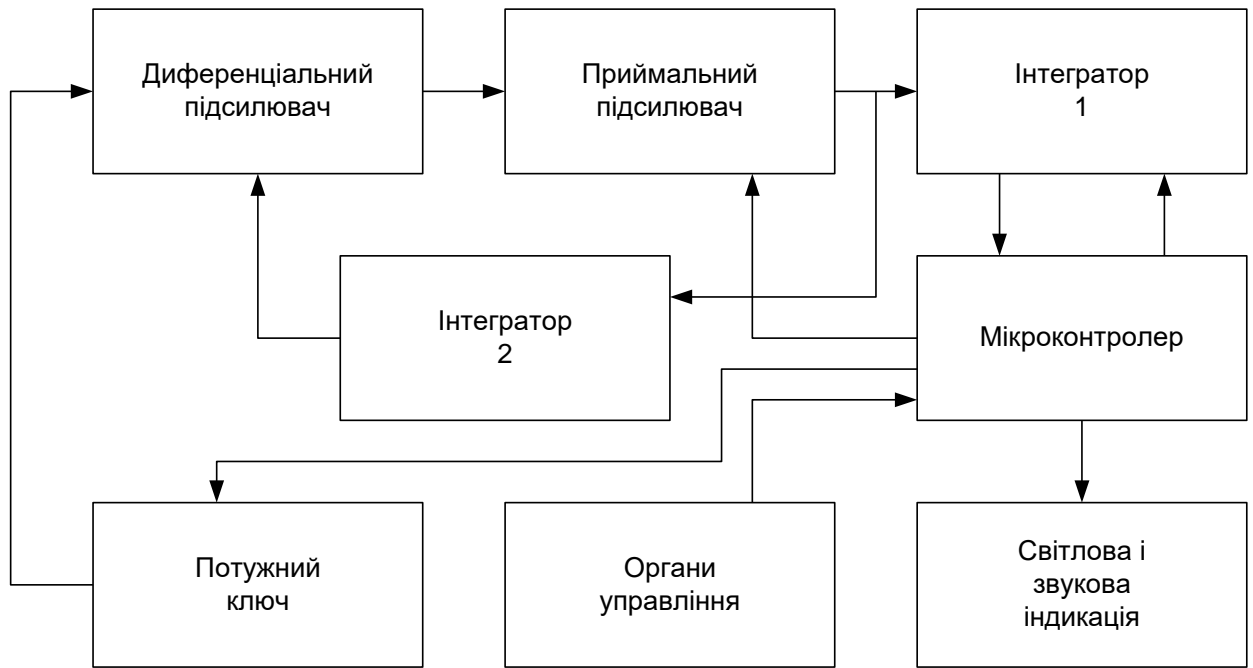
## ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

BFO – Beat Frequency Oscillation  
 IB/TR – Induction Balance / Transmitter-Receiver  
 OR – Off-Resonance  
 RF – Radio Frequency  
 PI – Pulse Induction  
 VLF/TR – Very Low Frequency/ Transmitter-Receiver  
 ДП – друкована плата  
 ДМ – друкований монтаж  
 ДВ – друкований вузол  
 КЕ – конструктивні елементи  
 КМ – контактний майданчик  
 КС – координатна сітка  
 МД-металодетектор  
 МК – мікроконтролер  
 ПМ – посадкове місце  
 ПЗ – програмне забезпечення  
 ОП – операційний підсилювач  
 ТЗ – технічне завдання  
 САПР – система автоматизованого проектування  
 УГП – умовно-графічне позначення  
 ШИМ, PWM – широтно-імпульсна модуляція  
 АЦП, ADC – аналогово-цифровий перетворювач  
 ФВЧ – фільтр високих частот  
 ФНЧ – фільтр низьких частот

|             |             |                 |               |             |              |  |  |             |             |                |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------|--|--|-------------|-------------|----------------|
|             |             |                 |               |             | 123.КІ-41.03 |  |  |             |             |                |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | Abstract     |  |  |             |             |                |
| Розробив    |             | Головатчук М.П. |               |             |              |  |  | <i>Літ.</i> | <i>Арк.</i> | <i>Аркушіє</i> |
| Перевірив   |             | Мандзюк В.І.    |               |             |              |  |  |             | 4           | 1              |
|             |             |                 |               |             |              |  |  |             |             |                |
| Н. Контр.   |             |                 |               |             |              |  |  |             |             |                |
| Затвердив   |             |                 |               |             |              |  |  |             |             |                |



|             |             |                 |               |             |                                  |             |             |                |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|----------------------------------|-------------|-------------|----------------|
|             |             |                 |               |             | 123.КІ-41.03                     |             |             |                |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                                  |             |             |                |
| Розробив    |             | Головатчук М.П. |               |             | Класифікація<br>металодетекторів | <i>Літ.</i> | <i>Арк.</i> | <i>Аркушіє</i> |
| Перевірив   |             | Мандзюк В.І.    |               |             |                                  |             | 5           | 1              |
| Н. Контр.   |             |                 |               |             |                                  |             |             |                |
| Затвердив   |             |                 |               |             |                                  |             |             |                |



|             |             |                 |               |             |  |             |             |                |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--|-------------|-------------|----------------|
|             |             |                 |               |             | 123.КІ-41.03                                       |             |             |                |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |  |             |             |                |
| Розробив    |             | Головатчук М.П. |               |             | Структурна схема<br>імпульсного<br>металодетектора | <i>Літ.</i> | <i>Арк.</i> | <i>Аркушіє</i> |
| Перевірив   |             | Мандзюк В.І.    |               |             |  |             | 6           | 1              |
| Н. Контр.   |             |                 |               |             |  |             |             |                |
| Затвердив   |             |                 |               |             |  |             |             |                |

Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи

на тему:

**«Розроблення металодетектора на основі мікроконтролера»**

|             |             |                 |               |             |                      |             |             |                |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|----------------------|-------------|-------------|----------------|
|             |             |                 |               |             | 123.KI-41.03         |             |             |                |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                      |             |             |                |
| Розробив    |             | Головатчук М.П. |               |             | Пояснювальна записка | <i>Літ.</i> | <i>Арк.</i> | <i>Аркушів</i> |
| Перевірив   |             | Мандзюк В.І.    |               |             |                      |             | 7           | 61             |
| Н. Контр.   |             |                 |               |             |                      |             |             |                |
| Затвердив   |             |                 |               |             |                      |             |             |                |



## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП.....   | 4  |
| РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ВІТЧИЗНЯНИХ ТА ІМПОРТНИХ МЕТАЛОДЕТЕКТОРІВ..    | 7  |
| 1.1 Аналіз принципів детектування металомістких об'єктів ..... | 7  |
| 1.2 Аналіз конструкцій детекторів металомістких об'єктів.....  | 9  |
| 1.3 Нові розробки в галузі пошуку небезпечних об'єктів.....    | 14 |
| РОЗДІЛ 2 ТЕРЕТИЧНІ ОСНОВИ МЕТАЛОДЕТЕКЦІЇ .....                 | 20 |
| 2.1 Фізичні принципи роботи.....                               | 20 |
| 2.2 Види металодетекторів .....                                | 20 |
| 2.3 Основні характеристики .....                               | 22 |
| 2.4 Мікроконтролери в металодетекторах.....                    | 22 |
| 2.5 Вплив ґрунту та перешкоди .....                            | 24 |
| 2.6 Методи обробки сигналів у металодетекторах.....            | 25 |
| РОЗДІЛ 3: ВИБІР КОМПОНЕНТІВ ТА РОЗРОБКА СХЕМИ .....            | 27 |
| 3.1 Вибір мікроконтролера.....                                 | 27 |
| 3.2 Вибір котушки .....  | 29 |
| 3.3 Розробка принципової схеми .....                           | 31 |
| 3.4 Розробка друкованої плати .....                            | 32 |
| 3.5 Розробка корпусу та елементів керування .....              | 35 |
| РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ІНТЕРФЕЙС .....             | 36 |
| 4.1 Вибір мови програмування та середовища розробки.....       | 36 |
| 4.2 Алгоритми роботи металодетектора .....                     | 36 |
| 4.3 Структура програмного коду .....                           | 37 |
| 4.4 Інтерфейс користувача.....                                 | 39 |
| 4.5 Тестування та налагодження програмного забезпечення .....  | 40 |
| 4.6 Розробка інтерфейсу користувача .....                      | 41 |
| РОЗДІЛ 5 ТЕСТУВАННЯ ТА НАЛАШТУВАННЯ МЕТАЛОДЕТЕКТОРА.....       | 43 |
| 5.1 Створення прототипу.....                                   | 43 |
| 5.2 Тестування в реальних умовах.....                          | 45 |
| 5.3 Оптимізація та налаштування .....                          | 46 |

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 2    |

|   |    |
|---|----|
| 5.4 Документування результатів.....               | 47 |
| 5.5 Порівняльний аналіз з існуючими моделями..... | 48 |
| 5.6 Результати тестування.....                    | 50 |
| ВИСНОВКИ.....                                     | 52 |
| СПИСОК ВИКОРИСТОЇ ЛІТЕРАТУРА.....                 | 53 |

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     | 3           |

## ВСТУП

Металошукач – це електронний пристрій, який використовується для виявлення металевих предметів, прихованих під землею або в інших матеріалах.

Принцип роботи базується на створенні магнітного поля, що виходить від котушки металодетектора. Коли магнітне поле взаємодіє з металом, генерується електричний струм, який реєструється пристроєм. [1]

Він працює, випромінюючи магнітне або електромагнітне поле та виявляючи зміни в цьому полі під час зіткнення з металевим предметом. Металошукачі використовуються в широкому діапазоні застосувань, включаючи полювання за скарбами, пошук металевих предметів, захованих у сільськогосподарських угіддях і будівлях, забезпечення безпеки в аеропортах та інших громадських місцях, а також дослідження шахт.

Металошукачі можна використовувати для різних цілей, зокрема, для пошуку монет, ювелірних виробів та археологічних знахідок. Крім того, він часто використовується в цілях безпеки, наприклад, для виявлення прихованої зброї та вибухівки. Існують різні типи металошукачів, включаючи імпульсні та частотні індукційні, які відрізняються своєю чутливістю та здатністю виявляти різні типи металу. [2]

Крім того, металошукачі також можна використовувати в поєднанні з іншими інструментами, такими як GPS, для картографування областей, де знайдено металеві предмети.

Таким чином, металошукачі є корисними інструментами від пошуку прихованих металів і можуть використовуватися для різних цілей, від пошуку скарбів до безпеки населення. Його принцип роботи базується на генерації магнітного поля і реєстрації електричного струму, який виникає при взаємодії поля з металом. Сучасні високоточні металодетектори містять численні функціональні блоки, зібрані в налагоджені схеми, чутливі до умов використання, розроблені для надмірних проміжних точок і використовуються при високих температурах.

Метою цієї роботи є аналіз існуючих принципів роботи металошукачів, дослідження їх конструктивних особливостей та розробка ефективного блоку

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 4    |

аналізу для металошукача. Основна задача полягає у створенні пристрою, який би складався з мінімальної кількості функціональних вузлів, вимагав мінімального налаштування та забезпечував точну інформацію про наявність і тип металу, незалежно від зовнішніх завад. Металошукачі повинні складатися з мінімальної кількості функціональних вузлів, які потребують мінімальних налаштувань і можуть самостійно надавати точну інформацію про наявність і вид металу. Для вирішення цього завдання розглядаються різні підходи до установки цих пристроїв. В наш час не існує хорошого універсального пристрою, необхідного для базової комплектації функціональності, протистоїть тенденції до надто поширеності, і в той же час є зручним і простим у використанні. Тому існує нагальна потреба в тому, щоб силові пристрої використовували базовий підхід, щоб отримати таке обладнання, яке відповідає вищезазначеним перевагам.

У ході виконання роботи проводиться вибір активних методів виявлення металів, вибір схемотехнічних конструкцій, конструювання і розробка технологій електронних вузлів, розробка алгоритму роботи для програмної частини та вихідний код для металодетектора.

Новизна розробки: в даній роботі пропонується архітектура блоку аналізу металошукача, який може зчитувати зразки даних, обробляти їх і відображати результати вимірювань. Згідно з додатковим принципом роботи, пристрій забезпечує можливість автоматичного виконання корекцій візуальної шкали для коригування ненормальних проміжних особливостей. В основі електронної частини блоку лежить високопродуктивний і недорогий мікроконтролер з широким набором функцій, що дає змогу розширити функціональні можливості інших подібних пристроїв і розробити систему, здатну виявляти метали. Система проста у впровадженні, легка в налаштуванні та використанні, що приводить до збільшення продуктивності та зниження вартості обладнання.

У рамках роботи буде проведено аналіз вітчизняних та імпорних металошукачів, розглянуто різні методи детектування та розпізнавання металів, проаналізовано їх переваги та недоліки. На основі цього аналізу буде обрано оптимальний принцип роботи та розроблено структурну схему металодетектора.

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     | 5           |

Особлива увага буде приділена розробці блоку аналізу, який є ключовим елементом металошукача. Цей блок відповідає за обробку сигналів, отриманих від пошукової котушки, та визначення наявності та типу металу. Будуть розглянуті різні схемотехнічні рішення та алгоритми обробки сигналів, спрямовані на підвищення чутливості, точності та стабільності роботи металодетектора.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання розробленого металодетектора у різних галузях, таких як геологія, охорона навколишнього середовища, системи безпеки та військові застосування. Крім того, результати роботи можуть бути використані для подальшого вдосконалення та розробки нових моделей металодетекторів.

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     | 6           |

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВІТЧИЗНЯНИХ ТА ІМПОРТНИХ МЕТАЛОДЕТЕКТОРІВ

## 1.1 Аналіз принципів детектування металомістких об'єктів

Відомо, що металошукачі – це особливі пристрої, здатні виявляти наявність металевих предметів, закопаних у землю, схованих під штукатуркою, або тих, що носить людина. Їх робота можлива завдяки винахідливому використанню електромагнітних хвиль. У цій роботі необхідно пояснити, як вони знаходять метали, але і які з них можна виявити, їхню історію та основні характеристики. [3]

Історія першого металошукача переплітається з трагічною подією, що датується 2 липня 1881 року. На той раз жертвою нападу став президент США Джонс Гарфілд: йому вистрілив у спину Шарль Гіто, один із його політичних опонентів. І ось, щоб допомогти хірургам знайти одну з куль, що застрягли у спині президента, був викликаний знаменитий винахідник Олександр Грем Белл. Його ідея – перший прототип приладу, призначеного для дослідження металів, – виявилася ефективною, але, на жаль, неефективною для допомоги нещасному президенту, який помер через кілька місяців, у вересні 1881 року.

Винахід Белла дійсно спрацював, але через перешкоди в металевих пружинах матраца, на якому лежав президент, він не подіяв: адже завдання, яке вимагалось від приладу, було технічно складним для того першого прототипу металошукача.

Із моменту створення першого прототипу Белла минуло не так багато років, перш ніж потреби та технологічний прогрес змогли вдосконалити його. Війна, пов'язана з жахами Другої світової війни, оживила Джозефа Косацького, польського солдата у вигнанні, який, служачи в англійській армії експериментальним телекомунікаційним фахівцем, розробив мод «Міношукач». Польський тип 1. [18]

По суті, це був перший металошукач невеликого розміру, призначений для роботи, аналогічної тому, що ми уявляємо сьогодні. Косацький,

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 7    |

спричинений бажанням допомогти солдатам уникнути нещасних випадків на мінах, розробив перший портативний металошукач. З того часу технічний прогрес призвів до того, що навіть «металошукачі» стали все більш портативними та ефективними.

Зазвичай металодетектор складається з генератора змінного струму, який, протікаючи по котушці (зазвичай круглої форми), розташованій на кінці інструменту, створює магнітне поле (рис.1.1). Разом з генератором є дисплей і всі датчики, необхідні надання користувачеві корисної інформації, що дозволяє зрозуміти, коли він знаходиться поруч із металевим предметом. [1]



Рис1.1-Загальний вигляд сучасного металошукача.

Завдяки змінному струму, що проходить через котушку, на кінці детектора створюється магнітне поле, свого роду «хмара», що проникає крізь землю або предмети, біля яких розташована котушка. Поки немає металів, магнітне поле «губиться» серед поширення (наприклад, у землі чи повітря). Однак, коли металевий об'єкт стикається з магнітним полем, ця хмара якимось чином «змінюється» і це викликає попередження детектора, який випромінює сигнали (акустичні або візуальні), інтенсивність яких збільшується в міру збільшення розміру металевого об'єкта.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 8    |

Фізичний закон, що лежить в основі цього явища, називається електромагнітною індукцією. По суті, магнітне поле і «струм» – це два тісно пов'язані явища: усередині металевого тіла, що перетинається магнітним полем, наприклад, створюваним котушкою металошукача, створюються електричні струми. Ці струми, які називаються індукованими струмами, у свою чергу генерують власне магнітне поле. Зрештою відбувається взаємна інтерференція цих магнітних полів, яка перетворюється на акустичний або візуальний сигнал, який металошукач посилає на дисплей (рис. 1.2). [5-8]

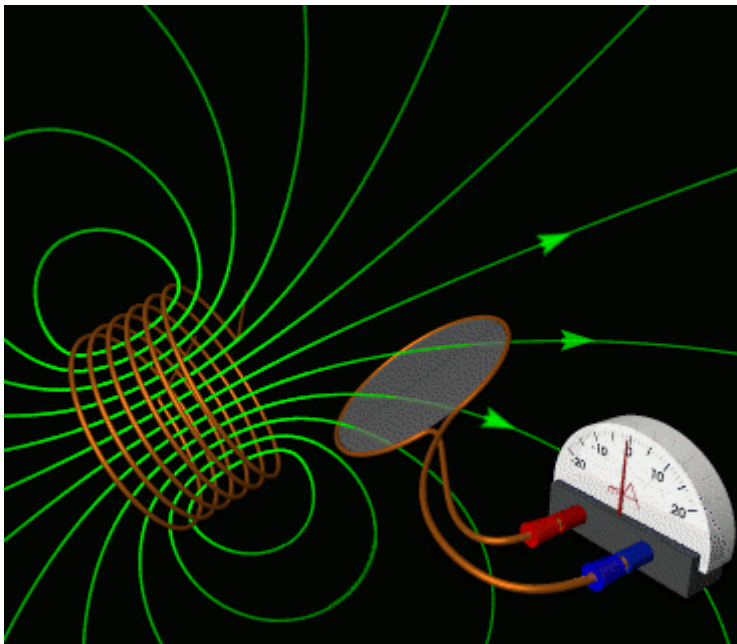


Рис. 1.2. Електричне поле, що тече у провіднику (ліворуч), породжує магнітне поле, яке при зустрічі з іншим провідником (праворуч) створює всередині нього електричне поле.

Ця концепція може здаватись досить складною, але вона зустрічається також в індукційних плитах. Варильні панелі не використовують газ для генерації полум'я, а використовують фізичний принцип електромагнітної індукції для генерації тепла в каструлях.

## 1.2 Аналіз конструкцій детекторів металомістких об'єктів

Існує кілька основних підходів до побудови схемотехніки металошукачів, кожен з яких має свої переваги та недоліки[11]:

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 9    |



- **Метод биття частот (BFO):** Цей метод є найпростішим та найдешевшим, але має нижчу чутливість та дискримінацію порівняно з іншими методами. Він заснований на зміні частоти генератора при наближенні до металевого об'єкта, що призводить до появи звукового сигналу у навушниках.

- **Метод індукційного балансу (IB):** Цей метод є найпоширенішим і використовується в більшості металодетекторів. Він заснований на створенні первинного електромагнітного поля та аналізі вторинного поля, що виникає в металевому об'єкті. Зміна параметрів вторинного поля свідчить про наявність металу.

- **Імпульсний метод (PI):** Цей метод використовує короткі імпульси струму для створення потужного електромагнітного поля. Після закінчення імпульсу аналізується процес загасання вихрових струмів, індукованих у металевому об'єкті. Цей метод дозволяє краще дискримінувати метали та працювати в умовах високої мінералізації ґрунту.

**Метод биття – BFO.** У металошукачі цього типу пошуковий генератор (LC-коло), підключений до пошукової котушки, піддається зміні індуктивності, спричиненої близькістю металу. Результуюча зміна частоти генератора перетворюється на чутний тон у навушниках, що визначає ідентифікацію металу. Незважаючи на простоту конструкції та погану здатність розрізняти різні метали, а також схильність до впливу мінералів, присутніх у землі, він здатний ідентифікувати великі об'єкти, ігноруючи дрібні. Це робить його корисним для пошуку стін, усередині або поблизу великих металевих предметів, але його не можна використовувати у солонуватій воді. Це принципово застаріла технологія, яка досі знаходить застосування при розвідці корисних копалин визначення концентрацій металевих мінералів у річках і, отже, пов'язаних із нею золотих плям і самородків.

**Метод індукційного балансу з використанням дуже низьких частот – VLF/TR.**

Найпростіша форма металодетектора складається з генератора, що виробляє змінний струм, який проходить через котушку, яка, у свою чергу, створює змінне

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 10   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

магнітне поле, яке вводиться в землю або контрольоване середовище. Якщо поруч із котушкою виявиться шматок провідного металу, то за законом наведених або вихрових струмів предмет сам буде створювати змінне магнітне поле. Інша котушка (або сама котушка, якщо вона підключена правильно) буде виступати як приймальний елемент. Збурення магнітного поля, яке створюється металевим предметом, призведе до дисбалансу магнітного поля, а спеціальні схеми визначають присутність об'єкта за допомогою візуальної або звукової індикації. Цей тип металошукача дуже чутливий і дозволяє розрізняти різні типи металів. Його можна зробити нечутливим до перешкод, створюваних металевими мінералами в ґрунті та солонуватій воді. На даний момент це домінуюча технологія.

### **Метод індукційного балансу з рознесеними котушками – RF.**

У цій технології пошукова котушка генерує імпульс, який індукує вихрові струми і, отже, магнітні поля у довколишніх металах. Наприкінці імпульсу котушка переходить в режим прийому і приймає індуковані магнітні поля. Ця технологія практично нечутлива до впливу металевих мінералів у ґрунті та солонуватій воді. Він здатний виявляти метали на значній глибині і фактично є стандартом морських досліджень.

### **Імпульсний метод – IP.**

Вперше розроблений в Сполучених Штатах для археологів, ці пристрої стали найбільш популярними серед британських любителів наприкінці 1960-х років. Як і пристрої, засновані на принципі наведеної рівноваги, імпульсні пристрої створюють електромагнітне поле, яке впливає на об'єкти, але це поле не функціонує. Постійно та періодично – циклічно вмикається та вимикається (імпульси) протягом 1 секунди.

При включенні поля на поверхні об'єкта виникають вихрові струми. Коли магнітне поле вимикається, вихрові струми поступово зникають, хоча і на дуже короткий час. У цей момент котушка діє як приймальна антена, яка вловлює цей завмираючий сигнал. При цьому навколишній фон приладу збільшується, що свідчить про наявність металів у ґрунті. Імпульсні металодетектори ефективно

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 11   |

працюють на слабо мінералізованих ґрунтах, особливо на вологих засолених, оскільки вихори ґрунту розсіюються набагато швидше і не вловлюються приладом.

Недолік імпульсних металодетекторів полягає в тому, що вони дуже чутливі до чорних металів, тому їх важко ідентифікувати. Однак в деяких випадках (наприклад, при пошуку металу на дні океану) він кращий за всі інші види металошукачів.

### **Метод зриву резонансу – ОР.**

Аналізованим параметром є амплітуда сигналу на котушці генераторного контуру, налаштована так, щоб бути близькою до резонансу із сигналом, що подається генератором. Коли метал з'являється в полі котушки, він або досягає резонансу, або віддаляється від резонансу, залежно від типу металу. Це збільшує або зменшує амплітуду коливань котушки. Цей метод, як і БФО, розроблений радіоаматорами [12].

Металодетектори. Зараз металошукачі є необхідним обладнанням під час реконструкції старих будівель, допомагаючи працівникам знаходити прокладені труби та електричні дроти.

Шукайте металеві предмети під землею, під водою та в стінах будівель. Для деяких це більше, ніж просто засіб заробітку чи хобі. Археологи, дайвери та військові вже давно використовують спеціальне обладнання для дослідження різних об'єктів у нейтральних умовах.

Металошукач – це спеціальний електричний прилад, який виявляє металеві предмети за електропровідністю в будь-якому середовищі (вода, земля, тіла живих істот, стіни будівель). При виявленні металу прилад видає спеціальний звуковий або світло-акустичний сигнал, який в деяких моделях дозволяє чітко ідентифікувати знайдене.

Металошукачів багато і всі вони відрізняються своєю конструкцією. Ці відмінності обумовлені різним призначенням пристроїв. Конструкція металодетекторів досить складна, але будь-який прилад складається з декількох основних частин, які в основному присутні в кожній моделі (рис. 1.3).

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     | 12          |

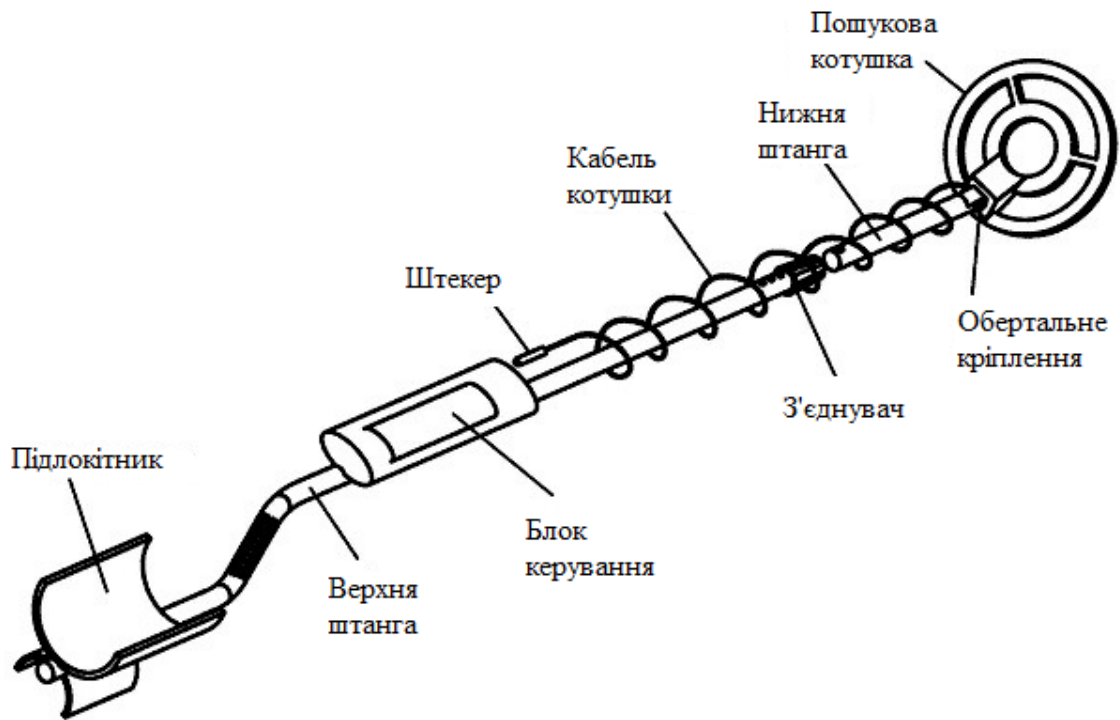


Рис.1.3 – Типова конструкція металодетектора

Залежно від використання та технології виготовлення розрізняють різні типи металошукачів:

Ручний металошукач: переноситься оператором та розміщується на вершині стовпа і зазвичай використовується для пошуку закопаних металевих тіл, таких як міни, монети тощо;

Портативний металошукач : аналогічний попередньому, але меншого розміру, підходить для виявлення металевих частин (особливо електричних кабелів та труб) у стінах будівель, щоб уникнути їх пошкодження під час робіт на стінах (особливо свердління отворів);

Металовідділювач: простий електромагніт або постійний магніт здатний притягувати і утримувати металеві тіла, що знаходяться поблизу. Він не є ефективним для немагнітних металів, таких як деякі нержавіючі сталі (inox), алюміній, бронза і т. д.;

Підводні металодетектори: герметично закриті та з технологією імпульсної індукції, що дозволяють проводити пошук в умовах високої солоності моря. Деякі моделі можна буксирувати під водою для пошуку металевих уламків.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 13   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

Металодетектор безпеки: оснащений порталньою конструкцією, що дозволяє пройти людині, використовується для контролю доступу до чутливих місць, таких як банки або аеропорти;

Металодетектор: використовується в промисловості для контролю якості або захисту обладнання.

### **1.3 Нові розробки в галузі пошуку небезпечних об'єктів**

#### **Передові технології виявлення металів**

За минулі роки в області виявлення металів відбулися значні успіхи, зумовлені технологічними інноваціями і попитом, що зростає, на більш ефективні, точні та універсальні детектори. Ці досягнення не тільки розширюють можливості металодетекторів, а й відкривають нові можливості для їх застосування. [18]

#### **Останні інновації**

Останні інновації в технології виявлення металів були спрямовані на підвищення чутливості, поліпшення можливостей розпізнавання, а також покращення користувальницького інтерфейсу та досвіду. Одним із помітних досягнень є інтеграція цифрової обробки сигналів (DSP). Технологія DSP розширює можливості детектора розрізняти різні типи металів, дозволяючи точніше ідентифікувати ціль і знижуючи можливість викопування небажаних предметів.

Ще одним важливим нововведенням є розвиток багаточастотної технології. На відміну від традиційних детекторів, які працюють на одній частоті, багаточастотні детектори можуть сканувати землю, використовуючи кілька частот одночасно. Це робить їх більш ефективними в різних типах ґрунтів та умов, а також особливо придатними для виявлення металів як з високою, так і низькою провідністю.

Бездротова технологія також проникає в металодетектори: бездротові навушники та підключення котушок стають все більш поширеними. Це не тільки знижує фізичні обмеження для користувача, але також підвищує простоту використання та маневреність пристрою.

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     | 14          |

## Майбутні перспективи

У майбутньому технології виявлення металів чекають на ще більш революційні розробки. Однією з областей потенційного розвитку є інтеграція штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання. Ці технології можуть дозволити металодетекторам навчатися на навколишньому середовищі та поведінці користувачів, адаптуючи свої схеми виявлення та налаштування для оптимальної продуктивності.

Ще одна цікава перспектива – розширення можливостей візуалізації. Очікується, що георадарні технології та технології 3D-зображення стануть більш поширеними в металодетекторах, надаючи користувачам більш детальну та точну картину того, що знаходиться під поверхнею. Це може зробити революцію в таких галузях, як археологія та пошук скарбів, де розуміння контексту та положення знахідки так само важливе, як і саме відкриття.

Крім того, мініатюризація компонентів та розробка більш компактних і легких конструкцій, ймовірно, зроблять металодетектори портативнішими і доступнішими для ширшого кола користувачів, що ще більше розширить їх застосування та привабливість.

На роботу металодетекторів можуть суттєво впливати умови ґрунту. Сильно мінералізовані ґрунти, вологий пляжний пісок та солоня вода можуть створювати «шум ґрунту», який заважає детектору ідентифікувати металеві об'єкти. Щоб боротися з цим, багато металодетекторів оснащені функціями балансування ґрунту, які налаштовують пристрій залежно від конкретної мінералізації ґрунту, розширюючи можливості виявлення у складних умовах. Пошукова котушка металопрошукача, ключовий компонент у цьому процесі, особливо чутлива до цих факторів довкілля. Сучасні металопрошукачі оснащені технологією, що дозволяє розрізняти різні метали. Це досягається за допомогою генератора усередині блоку управління, який створює електромагнітне поле, що генерується котушкою передавача. При проходженні пошукової котушки над металевим предметом поле збурюється, і відбитий імпульс реєструється котушкою металопрошукача. Схема всередині блоку управління потім посилює цей сигнал і відправляє його на

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 15   |

дисплей або виробляє звуковий сигнал, допомагаючи визначити тип виявленого металу, будь то монета або ювелірний виріб. Металошукачі можуть знайти й інші метали, у тому числі й золото. Однак для виявлення золота потрібен детектор з хорошою чутливістю та правильними налаштуваннями, оскільки золоті предмети часто мають невеликі розміри та знаходяться у мінералізованому ґрунті. Детектори з вищими частотами зазвичай більш чутливі до маленьких золотих самородків. Проблема виявлення золота додає хвилювання багатьом ентузіастам. Хоча пошук металів іноді може призвести до виявлення цінних предметів, це хобі для особистого задоволення і гострих відчуттів від полювання. Потенційний прибуток варіюється в широких межах і не гарантується. Багато ентузіастів цінують історичну значимість або особисте задоволення своїх знахідок більше, ніж їхня грошова цінність.

#### *Безпека та військове використання.*

У сфері безпеки та військових операцій металодетектори відіграють вирішальну роль. В аеропортах, судах та інших зонах суворого режиму використовуються прохідні та портативні металодетектори для перевірки людей на предмет прихованої зброї, такої як пістолети чи ножі, забезпечуючи безпеку населення. Ці детектори повинні бути високочутливими і точними, щоб запобігати помилковим спрацьовуванням і при цьому гарантувати, що жоден небезпечний предмет не буде пропущений.

У військових цілях металодетектори використовуються не тільки для виявлення зброї. Вони мають життєво важливе значення в операціях з розмінування, допомагаючи виявляти і знешкоджувати міни і боєприпаси, що не розірвалися. Це не тільки рятує життя, а й допомагає відновити райони, що постраждали від конфлікту, роблячи їх безпечними для цивільного населення. Металодетектори військового класу відрізняються високою надійністю, здатністю працювати в складних умовах і є досить чутливими для виявлення широкого спектру металевих загроз.

Пошук мін – одне з головних завдань тонких пристроїв. Військові металодетектори використовуються професійними службами для виявлення

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     | 16          |

представлених засобів. Тральщики працюють за технологією «прийом-передача». Глибина виявлення сучасних приладів досягає 1 метра, перевищуючи цей показник.

Основна відмінність полягає в наступних параметрах:

- налаштування;
- режим пошуку;
- використання в різних умовах;
- підвищені вимоги до дизайну.

Міношукачі відрізняються жорсткістю. Там, де стандартне цивільне обладнання є легким і чутливим до температурних коливань, військові тральщики пристосовані для роботи від -50 градусів до +50 градусів. При цьому система пропускає дрібні некритичні металеві частини. Налаштований спеціально для великих об'єктів.

Тральщики потребують спеціального обслуговування. Повинен експлуатуватися лише навченим персоналом. Якщо ви купуєте тральщик для особистого користування, обов'язково прочитайте інструкцію по експлуатації.

В даний час у продажу є не тільки сучасні пристрої, але й дещо давніші. Військові кажуть, що стандартне обладнання, таке як металошукачі Garrett, можна використовувати для пошуку наземних мін, але воно підготовлене до вибухових комплексів, які не містять металевих частин, можуть не розпізнаватися. Для професійного використання рекомендується вибрати наступні моделі:

*ІМР Армійський керований тральщик.* Призначений для виявлення протипіхотних і протитанкових мін. Ідентифікує металеві предмети, які розташовані навіть в кущах, снігу, бруді, траві.

Технічні характеристики тральщиків:

- глибина виявлення в ґрунті/снігу – до 40 см;
- ширина зони пошуку - 30 см;
- тральщики можна використовувати під водою на глибині до 1 метра;
- вага обладнання – 6,6 кг.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 17   |



• стабільна робота гарантується всього 10 хвилин без додаткових налаштувань. Далі потрібно налаштувати систему.

Ціна тральщиків доступна, так як їх характеристики вважаються застарілими. Однак повною мірою він проявляється в бізнесі, тому активно використовується не тільки на цивільних, але і на військових позиціях.

*ІМП-2. Представлений тральщик універсальний.* Його також можна використовувати для пошуку інших елементів. Тральщики працюють за «прямим» принципом виявлення металевих елементів. Його можна впізнати за пластиковим корпусом. Тральщики активно використовуються в цивільні часи для пошуку застарілих об'єктів. Під час війни вони використовуються для будівництва безпечних проходів і розмінування місцевостей.

Тральщики мають такі характеристики:

- глибина виявлення досягає 120 метрів;
- ширина пошуку – 60 см;
- час безперервної роботи (з 6-елементною батареєю) – 80 годин.

Цей тральщик легко збирається і розбирається. Однак він також простий у використанні, тому можна користуватися ним комфортно. [19]

*Garrett ATX* – один з найпопулярніших металошукачів, пропонує американською компанією Garrett. Відноситься до класу металодетекторів-амфібій і відмінно працює в різних ґрунтах без зміни котушки. Визначає як наземні, так і підводні цілі.

Універсальність і простота використання металошукача Garrett ATX роблять його придатним як для досвідчених операторів, так і для новачків. Технічні характеристики цього пристрою порадує кожного. Окрім потужності та довговічності, металошукач Garrett ATX також має малу масу (2,5 кг). Він також має складану конструкцію. Легко носити під час дослідження навіть у найважчих умовах.

На відміну від інших моделей, Garrett ATX оснащений 12-дюймовою котушкою DD, що забезпечує чудову чутливість до ваших цінностей. Як і блок управління, котушка також водонепроникна, тому її можна використовувати в

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>123.KI-41.03</i> | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 18   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

річках, озерах і на морі. Великою перевагою є те, що котушка має високу чутливість і може виявляти найдрібніше золото та інші цінні предмети.

Хоча металошукач Garrett АТХ має багато недоліків, характерних для старих моделей, цей пристрій також має свої переваги. Немає необхідності перемикати режими, і він добре працює як на звичайних, так і на високо мінералізованих ґрунтах. Складана конструкція робить цей металошукач зручним для транспортування. Додатково є регульована телескопічна штанга. Ця унікальна функція служить для сканування та ідентифікації залізних цілей без зміни ідентифікаційної маски.

Металошукач Garrett АТХ вигідно як новачкам, так і досвідченим шукачам. Оскільки цей пристрій має всі функції для ефективного пошуку ваших цінностей. Крім того, ціна металошукача Garrett АТХ дуже доступна, враховуючи професійний характер цього пристрою

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     | 19          |

## РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ І ПРИСТРОЇ ДЛЯ ПОШУКУ МЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ

### 2.1 Фізичні принципи роботи

Робота металодетекторів базується на взаємодії електромагнітних полів з металевими предметами. Основними фізичними принципами, що лежать в основі їх роботи, є:

- Індукційно-балансний метод (ІВ): Цей метод є найпоширенішим і використовується в більшості металодетекторів. Він полягає у створенні первинного електромагнітного поля за допомогою передавальної котушки та аналізі вторинного поля, що виникає в металевому об'єкті під впливом первинного. Зміна параметрів вторинного поля (амплітуда, фаза, частота) свідчить про наявність металу.

- Імпульсний метод (PI): У цьому методі передавальна котушка генерує короткі імпульси струму, які створюють потужне первинне поле. Після закінчення імпульсу аналізується процес загасання вихрових струмів, індукованих у металевому об'єкті. Час загасання залежить від електропровідності та магнітної проникності металу. Цей метод дозволяє краще дискримінувати метали та працювати в умовах високої мінералізації ґрунту.

- Метод биття частот (BFO): Цей метод використовує дві котушки – передавальну та приймальну. Передавальна котушка генерує сигнал з фіксованою частотою, а приймальна котушка налаштовується на трохи іншу частоту. При наближенні металевого об'єкта частота приймальної котушки змінюється, що призводить до появи биття частот, яке можна почути у вигляді звукового сигналу. Цей метод є найпростішим та найдешевшим, але має нижчу чутливість та дискримінацію порівняно з іншими методами.

### 2.2 Види металодетекторів

Металодетектори можна класифікувати за різними критеріями, такими як призначення, принцип роботи та конструкція.

За призначенням:

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 20   |

- **Грунтові:** Призначені для пошуку металів у ґрунті (монети, реліквії, військові артефакти). Вони зазвичай мають велику пошукову котушку та можливість налаштування дискримінації металів.
- **Глибинні:** Здатні виявляти метали на великій глибині (до кількох метрів). Часто використовуються для пошуку скарбів, труб та інших великих металевих об'єктів.
- **Підводні:** Призначені для пошуку металів під водою. Мають водонепроникний корпус та спеціальні котушки.
- **Ручні (пінпоінтери):** Компактні пристрої для точного визначення місцезнаходження металу. Використовуються для пошуку металу в стінах, меблях, ґрунті тощо.
- **Промислові:** Використовуються для контролю якості продукції, виявлення металевих включень у харчових продуктах, фармацевтичних препаратах та інших матеріалах.
- **Аркові:** Встановлюються на вході до приміщень для виявлення металевих предметів у людей.

За принципом роботи:

- **Індукційно-балансні (ІВ):** Найпоширеніший тип, що використовується у більшості металодетекторів.
- **Імпульсні (PI):** Забезпечують кращу дискримінацію металів та глибину виявлення, але дорожчі та складніші у виготовленні.
- **Метод биття частот (BFO):** Найпростіші та найдешевші, але менш чутливі та мають гіршу дискримінацію.

За конструкцією:

- **З однією котушкою:** Найпростіша конструкція, але має обмежені можливості дискримінації металів.
- **З двома котушками:** Дозволяє краще розрізнити метали та має більшу глибину виявлення.
- **З трьома і більше котушками:** Використовується у професійних металодетекторах для досягнення максимальної чутливості та дискримінації.

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
|            |             |                 |               |             |                     | 21          |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     |             |

## 2.3 Основні характеристики

Основні характеристики металодетекторів включають:

- **Чутливість:** Здатність виявляти дрібні металеві предмети. Вимірюється в сантиметрах або дюймах. Залежить від типу металу, розміру об'єкта, типу ґрунту та інших факторів.
- **Дискримінація металів:** Здатність розрізняти різні типи металів (наприклад, чорні та кольорові, золото, срібло). Вимірюється у відсотках або за допомогою спеціальних шкал.
- **Глибина виявлення:** Максимальна глибина, на якій можна виявити предмет. Залежить від розміру та типу металу, типу ґрунту, типу котушки та інших факторів.
- **Швидкість відгуку:** Час, необхідний для виявлення та ідентифікації металевого предмета. Важливий параметр для швидкого пошуку.
- **Стабільність роботи:** Здатність працювати в різних умовах (температура, вологість, мінералізація ґрунту, електромагнітні перешкоди).
- **Ергономічність:** Зручність використання, вага, балансування, наявність регулювань. Важливий параметр для тривалого пошуку.

## 2.4 Мікроконтролери в металодетекторах

Мікроконтролери відіграють ключову роль у сучасних металодетекторах, забезпечуючи їх функціональність, точність та зручність використання. Вони виконують такі основні завдання:

- **Генерація сигналу:** Мікроконтролер генерує змінний струм певної частоти, який подається на передавальну котушку. Частота та форма сигналу можуть бути різними залежно від типу металодетектора та режиму роботи.
- **Обробка сигналу:** Мікроконтролер приймає сигнал з приймальної котушки, підсилює його, фільтрує від перешкод та виконує аналіз для визначення наявності та типу металу. Для цього використовуються різні алгоритми обробки сигналів, такі як цифрова фільтрація, аналіз спектра, розпізнавання образів.
- **Дискримінація металів:** На основі аналізу параметрів прийнятого сигналу (амплітуда, фаза, частота) мікроконтролер визначає тип металу (чорний,

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 22   |

кольоровий, золото, срібло тощо). Це дозволяє відсіювати небажані цілі та зосередитися на пошуку конкретних предметів.

- **Визначення глибини залягання:** Мікроконтролер оцінює глибину залягання металевого предмета на основі амплітуди та форми прийнятого сигналу. Чим ближче предмет до поверхні, тим сильніший сигнал і тим вище його частота.

- **Відображення інформації:** Мікроконтролер виводить інформацію про тип металу, глибину залягання, рівень сигналу та інші параметри на дисплей або звуковий індикатор. Це дозволяє користувачеві швидко оцінити результати пошуку та прийняти рішення про подальші дії.

- **Керування налаштуваннями:** Мікроконтролер забезпечує можливість зміни налаштувань металодетектора, таких як чутливість, дискримінація, гучність звукового сигналу, баланс ґрунту тощо. Це дозволяє адаптувати пристрій до різних умов пошуку та індивідуальних потреб користувача.

Для створення металодетекторів використовують багато різних мікроконтролерів, але найпопулярнішими є:

- **Atmel AVR.** Це сімейство 8-бітних мікроконтролерів, які відрізняються низькою вартістю, простотою використання та широким набором периферійних пристроїв. Популярні моделі для металодетекторів: ATmega8, ATmega328P (використовується в Arduino Uno), ATmega128.

- **STM32.** Це сімейство 32-бітних мікроконтролерів на базі ядра ARM Cortex-M, які відрізняються високою продуктивністю, широким набором периферійних пристроїв та підтримкою різних середовищ розробки. Популярні моделі для металодетекторів: STM32F103, STM32F407.

- **PIC.** Це сімейство 8-бітних мікроконтролерів від Microchip Technology, які відрізняються низькою вартістю та широким набором периферійних пристроїв. Популярні моделі для металодетекторів: PIC16F877A, PIC18F452.

Вибір конкретного мікроконтролера залежить від вимог до металодетектора, таких як функціональність, складність алгоритмів або вартість та інші фактори.

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     | 23          |

## 2.5 Вплив ґрунту та перешкоди

Робота металодетектора може бути суттєво ускладнена впливом ґрунту та різними перешкодами.

Наявність у ґрунті мінералів з високою електропровідністю (наприклад, солі) може призводити до появи помилкових сигналів, оскільки вони також взаємодіють з електромагнітним полем металодетектора. Цей ефект називається "ефектом ґрунту". Для його компенсації використовуються різні методи, такі як балансування ґрунту та використання спеціальних режимів роботи.

Вологість ґрунту також впливає на його електропровідність та діелектричну проникність, що може змінювати характеристики сигналів металодетектора та знижувати глибину виявлення.

Електромагнітне поле, що створюється лініями електропередач, може призводити до появи сильних перешкод, які ускладнюють роботу металодетектора.

Також радіосигнали можуть створювати перешкоди, особливо на частотах, близьких до робочої частоти металодетектора.

Такі електронні пристрої як мобільні телефони, радіоприймачі, телевізори та інші електронні пристрої також можуть створювати перешкоди.

Котушки металодетектора можуть бути екрановані металевим корпусом або фольгою, що зменшує проникнення зовнішніх електромагнітних полів.

Сигнал, що приймається котушкою, може бути відфільтрований від перешкод за допомогою аналогових або цифрових фільтрів. Робоча частота металодетектора може бути обрана таким чином, щоб мінімізувати вплив перешкод від конкретних джерел. Використання диференціальних котушок: Диференціальні котушки дозволяють компенсувати вплив зовнішніх електромагнітних полів, що підвищує стабільність роботи металодетектора.

Сучасні металодетектори активно розвиваються, використовуючи новітні технології для покращення їх характеристик та функціональності.

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     | 24          |

- Цифрова обробка сигналів (DSP): Застосування DSP дозволяє реалізувати складні алгоритми обробки сигналів, такі як цифрова фільтрація, аналіз спектра, розпізнавання образів. Це підвищує чутливість, дискримінацію та стабільність роботи металодетектора.
- Багаточастотні металодетектори: Використання декількох робочих частот одночасно дозволяє виявляти різні типи металів на різних глибинах та знижувати вплив ґрунту.
- GPS-навігація: Інтеграція GPS-модуля дозволяє відстежувати маршрут пошуку, зберігати координати знахідок та створювати карти місцевості. Це особливо корисно для археологів та геологів.
- Бездротові технології: Використання Bluetooth або Wi-Fi для передачі даних на смартфон або планшет розширює можливості аналізу та візуалізації результатів пошуку.

## 2.6 Методи обробки сигналів у металодетекторах

Обробка сигналів є ключовим аспектом роботи металодетектора, оскільки саме від неї залежить точність ідентифікації металів, глибина виявлення та стійкість до перешкод. Сучасні металодетектори використовують різноманітні методи обробки сигналів, які дозволяють отримувати максимальну інформацію з прийнятого сигналу.

Цифрова фільтрація використовується для видалення шумів та перешкод з прийнятого сигналу. Це дозволяє покращити співвідношення сигнал/шум та підвищити чутливість металодетектора. Існують різні типи цифрових фільтрів, такі як фільтри низьких частот, фільтри високих частот, смугові фільтри та інші. Вибір типу фільтра залежить від конкретних умов пошуку та характеристик металодетектора.

Аналіз спектра дозволяє розкласти прийнятий сигнал на складові частоти та визначити їх амплітуди. Це дозволяє отримати додаткову інформацію про тип металу, його розмір та глибину залягання. Наприклад, різні метали мають різні спектральні характеристики, що дозволяє їх розрізнити.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 25   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |



Розпізнавання образів – це метод обробки сигналів, який дозволяє класифікувати об'єкти на основі їх характеристик. У металодетекторах розпізнавання образів використовується для ідентифікації типу металу на основі форми сигналу, його спектральних характеристик та інших параметрів. Для розпізнавання образів можуть використовуватися різні алгоритми, такі як нейронні мережі, метод опорних векторів, дерева рішень тощо.

Адаптивна обробка – це метод обробки сигналів, який дозволяє автоматично налаштовувати параметри обробки залежно від умов пошуку. Це дозволяє металодетектору адаптуватися до змін у ґрунті, мінералізації, вологості та інших факторів, що підвищує його ефективність у різних умовах.

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     | 26          |

## РОЗДІЛ 3: ВИБІР КОМПОНЕНТІВ ТА РОЗРОБКА СХЕМИ

### 3.1 Вибір мікроконтролера

Мікроконтролер є ключовим компонентом металодетектора, який відповідає за управління всіма його функціями. Правильний вибір мікроконтролера забезпечує високу продуктивність, низьке енергоспоживання та широкі можливості для реалізації різних алгоритмів обробки сигналів.

При виборі мікроконтролера для металодетектора необхідно враховувати такі фактори:

- **Обчислювальна потужність:** Мікроконтролер повинен мати достатню обчислювальну потужність для виконання всіх необхідних операцій у реальному часі, таких як генерація та обробка сигналів, керування дисплеєм та іншими компонентами, реалізація алгоритмів дискримінації металів та визначення глибини залягання.
- **Периферійні можливості:** Мікроконтролер повинен мати необхідні периферійні пристрої, такі як АЦП (аналого-цифровий перетворювач) для оцифровки сигналів з приймальної котушки, ШІМ (широотно-імпульсна модуляція) для керування потужністю передавача, UART (універсальний асинхронний приймач-передавач) для зв'язку з іншими пристроями, таймери для генерації сигналів та інші.
- **Наявність доступних бібліотек та інструментів розробки:** Для спрощення процесу розробки бажано вибирати мікроконтролер, для якого існує велика кількість готових бібліотек та інструментів розробки, таких як драйвери периферійних пристроїв, приклади коду, середовища розробки.
- **Вартість:** Вартість мікроконтролера також є важливим фактором, особливо при розробці бюджетних металодетекторів.
- **Енергоспоживання:** Низьке енергоспоживання є важливим для портативних металодетекторів, які працюють від батарей.

Для розробки металодетектора розглянемо кілька популярних сімейств мікроконтролерів:

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 27   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

| Сімейство | Переваги   | Недоліки                          | Приклади моделей               |
|-----------|--|-----------------------------------|--------------------------------|
| Atmel AVR | Низька вартість, простота використання, широкий набір периферійних пристроїв                     | Обмежена обчислювальна потужність | ATmega8, ATmega328P, ATmega128 |
| STM32     | Висока продуктивність, широкий набір периферійних пристроїв, підтримка різних середовищ розробки | Більш висока вартість             | STM32F103, STM32F407           |
| PIC       | Низька вартість, широкий набір периферійних пристроїв  | Менш популярні, ніж AVR та STM32  | PIC16F877A, PIC18F452          |

Враховуючи вимоги до металодетектора та порівняння різних мікроконтролерів, для даного проекту було обрано мікроконтролер STM32F103C8T6. Цей мікроконтролер має достатню обчислювальну потужність для реалізації всіх необхідних алгоритмів, широкий набір периферійних пристроїв, включаючи АЦП, ШІМ, UART та таймери, а також підтримується великою кількістю бібліотек та інструментів розробки. Крім того, він має прийнятну вартість та низьке енергоспоживання, що робить його оптимальним вибором для даного проекту.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>123.KI-41.03</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     | 28   |

### 3.2 Вибір котушки

Котушка є одним з найважливіших елементів металодетектора, оскільки вона відповідає за генерацію та прийом електромагнітних сигналів, які використовуються для виявлення металевих предметів. Правильний вибір котушки суттєво впливає на характеристики металодетектора, такі як чутливість, глибина виявлення, дискримінація металів та стабільність роботи.

Існують різні типи котушок, кожен з яких має свої переваги та недоліки:

- **Моно котушки (Monocyclic):** Найпростіший тип котушки, що складається з одного витка дроту. Має низьку вартість та просту конструкцію, але меншу глибину виявлення та гіршу дискримінацію металів порівняно з іншими типами.
- **DD котушки (Double-D):** Складаються з двох D-подібних котушок, розташованих поруч. Мають кращу дискримінацію металів та меншу чутливість до мінералізації ґрунту, але складніші у виготовленні та мають меншу глибину виявлення порівняно з концентричними котушками.
- **Концентричні котушки (Concentric):** Складаються з двох котушок різного діаметру, розташованих одна в одній. Мають найбільшу глибину виявлення, але гіршу дискримінацію металів та більшу чутливість до мінералізації ґрунту.

Розмір котушки є одним з найважливіших параметрів, що впливають на характеристики металодетектора.

- **Діаметр котушки:** Більший діаметр котушки забезпечує більшу глибину виявлення, але знижує чутливість до дрібних предметів та погіршує дискримінацію металів. Менший діаметр котушки підвищує чутливість до дрібних предметів та покращує дискримінацію металів, але зменшує глибину виявлення.
- **Форма котушки:** Круглі котушки є найпоширенішими, але також використовуються еліптичні та прямокутні котушки. Еліптичні котушки забезпечують кращу дискримінацію металів, але мають меншу глибину виявлення порівняно з круглими котушками такого ж розміру. Прямокутні котушки

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     | 29          |

використовуються в основному у глибинних металодетекторах для збільшення площі сканування.

Кількість витків котушки визначає її індуктивність. Індуктивність впливає на резонансну частоту котушки, яка є важливим параметром для налаштування металодетектора. Більша індуктивність забезпечує більшу глибину виявлення, але знижує чутливість до дрібних предметів.

Каркас котушки може бути виготовлений з пластику, дерева чи епоксидної смоли. Вибір матеріалу каркаса залежить від вимог до міцності, ваги та інших характеристик котушки.

Для розробки металодетектора було обрано моно котушку діаметром 20 см з кількістю витків 25 та каркасом з епоксидної смоли. Такий вибір обумовлений наступними факторами:

- Компроміс між глибиною виявлення та чутливістю: Котушка діаметром 20 см забезпечує достатню глибину виявлення для більшості завдань, а також зберігає хорошу чутливість до дрібних предметів.
- Простота виготовлення: Моно котушка є найпростішою у виготовленні порівняно з іншими типами котушок.
- Міцність та водонепроникність: Каркас з епоксидної смоли забезпечує високу міцність та захист від вологи, що робить котушку придатною для використання в різних умовах.

Підсилювач використовується для збільшення амплітуди сигналу, що приймається з приймальної котушки. Це необхідно для того, щоб сигнал був достатньо сильним для подальшої обробки мікроконтролером. Підсилювач повинен мати низький рівень шумів, високий коефіцієнт підсилення та широкий діапазон робочих частот.

Компаратор використовується для порівняння амплітуди підсиленого сигналу з пороговим значенням. Якщо амплітуда сигналу перевищує порогове значення, компаратор формує логічну одиницю на своєму виході, що свідчить про наявність металевго предмета. Компаратор повинен мати високу швидкість спрацьовування та низький рівень шумів.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 30   |

Генератор використовується для формування сигналу змінної частоти, який подається на передавальну котушку. Частота сигналу може бути фіксованою або змінною, залежно від типу металодетектора та режиму роботи. Генератор повинен забезпечувати стабільність частоти та амплітуди сигналу.

Дисплей використовується для відображення інформації про тип металу, глибину залягання, рівень сигналу та інші параметри. Для металодетекторів зазвичай використовуються рідкокристалічні дисплеї (LCD) або OLED-дисплеї. Вони повинні мати достатню роздільну здатність та яскравість для комфортного читання інформації на сонці.

Звуковий індикатор використовується для сповіщення користувача про виявлення металевого предмета. Зазвичай це п'єзоелектричний динамік або навушники. Звуковий сигнал може бути різним залежно від типу металу та його відстані від котушки.

### **3.3 Розробка принципової схеми**

Принципова схема металодетектора є основою його функціонування. Вона визначає взаємозв'язок між усіма компонентами та забезпечує правильну роботу пристрою. Розробка принципової схеми включає вибір оптимальної топології, розрахунок номіналів компонентів та перевірку її працездатності за допомогою моделювання.

Існує безліч різних топологій схем металодетекторів, кожна з яких має свої переваги та недоліки. Найпоширенішими топологіями є:

- Індукційно-балансний металодетектор (ІВ): Це найпоширеніша топологія, яка використовується в більшості металодетекторів. Вона складається з передавальної та приймальної котушок, підсилювача, компаратора та мікроконтролера. Передавальна котушка генерує електромагнітне поле, яке взаємодіє з металевими предметами. Приймальна котушка приймає сигнал, відбитий від металевого предмета, який потім підсилюється, порівнюється з пороговим значенням та обробляється мікроконтролером.

- Імпульсний металодетектор (ІП): Ця топологія використовує одну котушку, яка виконує функції як передавальної, так і приймальної. Котушка

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     | 31          |

генерує короткі імпульси струму, які створюють потужне електромагнітне поле. Після закінчення імпульсу котушка переходить у режим прийому та аналізує процес загасання вихрових струмів, індукованих у металевому об'єкті.

- **Металодетектор з биттям частот (BFO):** Ця топологія використовує дві котушки – передавальну та приймальну. Передавальна котушка генерує сигнал з фіксованою частотою, а приймальна котушка налаштовується на трохи іншу частоту. При наближенні металевого об'єкта частота приймальної котушки змінюється, що призводить до появи биття частот, яке можна почути у вигляді звукового сигналу.

Для розробки металодетектора в рамках даної роботи було обрано індукційно-балансну топологію, оскільки вона є найбільш універсальною та дозволяє досягти високих характеристик при відносно простій конструкції.

Після вибору топології схеми необхідно розрахувати номінали всіх компонентів, таких як резистори, конденсатори, індуктивності, транзистори тощо. Розрахунок проводиться з урахуванням вимог до характеристик металодетектора, таких як чутливість, дискримінація металів, глибина виявлення, стабільність роботи та інших.

Дальше необхідно провести моделювання схеми за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, такого як LTSpice, Proteus або Multisim. Моделювання дозволяє перевірити працездатність схеми, оцінити її характеристики та виявити можливі проблеми до виготовлення прототипу.

### **3.4 Розробка друкованої плати**

Друкована плата (PCB) є основою для монтажу всіх компонентів металодетектора. Вона забезпечує механічне кріплення та електричне з'єднання компонентів, а також захист від зовнішніх впливів.

Для розробки друкованої плати використовується спеціалізоване програмне забезпечення, таке як Altium Designer, KiCad, Eagle або EasyEDA. Це програмне забезпечення дозволяє створювати схеми електричних з'єднань, розміщувати компоненти на платі, трасувати доріжки та генерувати файли для виготовлення плати.

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     | 32          |

При розміщенні компонентів на друкованій платі необхідно враховувати наступні пункти:

- Мінімізація довжини доріжок. Коротші доріжки зменшують паразитні ємності та індуктивності, що покращує стабільність роботи схеми та зменшує втрати сигналу.
- Розділення сигнальних та силових доріжок. Сигнальні доріжки слід розміщувати подалі від силових доріжок, щоб уникнути перешкод та забезпечити стабільну роботу чутливих компонентів.
- Екранування чутливих компонентів. Чутливі компоненти, такі як підсилювач та компаратор, слід екранувати від зовнішніх перешкод за допомогою мідної фольги або інших матеріалів.
- Теплове розсіювання. Компоненти, які виділяють багато тепла, такі як мікроконтролер та підсилювач потужності, слід розміщувати так, щоб забезпечити їх ефективне охолодження.

Трасування доріжок – це процес створення електричних з'єднань між компонентами на друкованій платі. При трасуванні доріжок необхідно враховувати такі фактори:

- Ширина доріжок: Ширина доріжок повинна бути достатньою для забезпечення необхідного струму без перегріву. Ширші доріжки мають менший опір і можуть пропускати більший струм.
- Відстань між доріжками: Відстань між доріжками повинна бути достатньою для запобігання короткому замиканню та пробією ізоляції. Мінімальна відстань залежить від напруги між доріжками та характеристик ізоляційного матеріалу.
- Кількість шарів: Кількість шарів друкованої плати залежить від складності схеми та вимог до розмірів плати. Багатошарові плати дозволяють розмістити більше доріжок та компонентів на меншій площі, але вони дорожчі у виготовленні.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 33   |



- Розміщення переходів: Переходи використовуються для з'єднання доріжок на різних шарах плати. Розміщення переходів слід оптимізувати для мінімізації довжини доріжок та забезпечення рівномірного розподілу струму.

Після завершення трасування доріжок потрібно провести перевірку правил проектування (DRC). DRC – це автоматизований процес, який перевіряє відповідність проекту плати заданим правилам, таким як мінімальна ширина доріжок, мінімальна відстань між доріжками, мінімальний діаметр отворів та інші.

Після завершення розробки та перевірки друкованої плати її можна відправити на виготовлення. Виготовлення друкованих плат зазвичай здійснюється спеціалізованими компаніями, які використовують різні технології, такі як фотолітографія, травлення та металізація.

Після отримання готової друкованої плати необхідно провести монтаж компонентів. Монтаж може бути виконаний вручну або за допомогою автоматичного обладнання. При монтажі компонентів необхідно дотримуватися полярності та правильно орієнтувати їх на платі.

Після монтажу компонентів необхідно провести тестування та налагодження металодетектора. Тестування включає перевірку працездатності всіх компонентів та функцій пристрою. Налагодження включає оптимізацію параметрів схеми для досягнення найкращих характеристик.

Перш за все необхідно перевірити правильність монтажу компонентів, відсутність коротких замикань та обривів доріжок. Для цього можна використовувати мультиметр.

Наступним кроком є перевірка працездатності окремих вузлів схеми, таких як генератор, підсилювач, компаратор, мікроконтролер та інші. Для цього використовуються осцилограф, логічний аналізатор та інші вимірювальні прилади.

Після перевірки окремих вузлів необхідно перевірити роботу металодетектора в цілому. Для цього використовуються різні металеві зразки, які розміщуються на різній відстані від котушки. Під час тестування необхідно

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     | 34          |

перевірити чутливість, дискримінацію металів, глибину виявлення та інші характеристики металодетектора.

У разі виявлення невідповідності характеристик металодетектора заданим вимогам, необхідно провести налагодження параметрів схеми. Це може включати зміну номіналів компонентів, налаштування підсилення підсилювача, зміну частоти генератора тощо. Налагодження проводиться до тих пір, поки не будуть досягнуті необхідні характеристики.

### **3.5 Розробка корпусу та елементів керування**

Корпус металодетектора виконує кілька важливих функцій:

- **Захист електронних компонентів:** Корпус захищає електронні компоненти від механічних пошкоджень, вологи, пилу та інших зовнішніх впливів.
- **Ергономіка:** Корпус повинен бути зручним для тримання та використання металодетектора протягом тривалого часу.
- **Естетика:** Зовнішній вигляд корпусу також має значення, оскільки він впливає на загальне враження від пристрою.

Конструкція корпусу може бути різною залежно від типу металодетектора та його призначення. Елементи керування металодетектором зазвичай розташовуються на рукоятці або на панелі управління. Вони можуть включати:

- **Кнопки:** Для вмикання/вимикання пристрою, зміни режимів роботи, налаштування параметрів.
- **Потенціометри:** Для плавного регулювання чутливості, дискримінації, гучності звукового сигналу.
- **Перемикачі:** Для вибору режимів роботи, типів металів тощо.
- **Дисплей:** Для відображення інформації про тип металу, глибину залягання, рівень сигналу та інші параметри.
- **Звуковий індикатор:** Для сповіщення користувача про виявлення металевих предметів.

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     | 35          |

## РОЗДІЛ 4: ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ІНТЕРФЕЙС

Програмне забезпечення (ПЗ) металодетектора є невід'ємною складовою його функціональності, забезпечуючи управління апаратними компонентами, обробку сигналів, реалізацію алгоритмів дискримінації металів та взаємодію з користувачем через інтерфейс. У цьому розділі розглянемо детальніше процес розробки ПЗ для металодетектора на основі мікроконтролера STM32F103C8T6, включаючи вибір мови програмування, опис алгоритмів, структуру коду, реалізацію інтерфейсу користувача, тестування та налагодження.

### 4.1 Вибір мови програмування та середовища розробки

Для програмування мікроконтролера STM32F103C8T6 було обрано мову програмування C/C++ та інтегроване середовище розробки (IDE) STM32CubeIDE. Цей вибір обумовлений низкою переваг:

- Популярність та широке використання: C/C++ є однією з найпоширеніших мов програмування для вбудованих систем, що забезпечує доступ до великої кількості готових бібліотек, прикладів коду та спільноти розробників.
- Ефективність та гнучкість: C/C++ дозволяє писати ефективний та оптимізований код, що є критично важливим для ресурсообмежених вбудованих систем, таких як мікроконтролери.
- Підтримка виробника: STM32CubeIDE є офіційним середовищем розробки від STMicroelectronics, що забезпечує повну підтримку мікроконтролерів STM32, включаючи генерацію коду ініціалізації, налаштування периферійних пристроїв, відлагодження та інші інструменти, що спрощують процес розробки.

### 4.2 Алгоритми роботи металодетектора

Програмне забезпечення металодетектора реалізує комплекс алгоритмів, що забезпечують його основні функції:

- Генерація сигналу. Алгоритм формування сигналу змінної частоти, який подається на передавальну котушку. Для цього може використовуватися ШІМ-модуль мікроконтролера або зовнішній генератор. Частота сигналу може бути фіксованою або змінною, залежно від режиму роботи металодетектора.

|     |      |          |        |      |  |  |  |  |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--------------|------|
|     |      |          |        |      |  |  |  |  | 123.KI-41.03 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |  |  |  |              | 36   |

- Обробка сигналу. Алгоритм обробки сигналу, прийнятого з приймальної котушки, є одним з найважливіших. Він включає 4 етапи:

1. Підсилення: Сигнал, прийнятий з котушки, зазвичай має дуже малу амплітуду, тому його необхідно підсилити за допомогою операційного підсилювача.

2. Фільтрація: Сигнал фільтрується від шумів та перешкод за допомогою аналогових або цифрових фільтрів.

3. Детектування: Виділення корисного сигналу від металевго об'єкта з відфільтрованого сигналу.

4. Аналіз: Визначення параметрів сигналу, таких як амплітуда, фаза, частота, для подальшої ідентифікації металу та оцінки глибини залягання.

- Дискримінація металів. Цей алгоритм використовує дані, отримані на етапі аналізу сигналу, для визначення типу металу (чорний, кольоровий, золото, срібло тощо). Для цього можуть використовуватися різні методи, такі як аналіз фази сигналу, аналіз форми сигналу, багаточастотний аналіз, розпізнавання образів.

- Визначення глибини залягання. Цей алгоритм оцінює глибину залягання металевго предмета на основі амплітуди та форми прийнятого сигналу. Чим ближче предмет до поверхні, тим сильніший сигнал і тим вище його частота.

- Відображення інформації. Алгоритм виведення інформації про тип металу, глибину залягання, рівень сигналу та інші параметри на дисплей та звуковий індикатор. Для цього використовуються відповідні драйвери та бібліотеки для роботи з дисплеєм та звуковим індикатором.

- Керування налаштуваннями. Алгоритм обробки команд користувача, що надходять з кнопок керування, та зміни налаштувань металодетектора, таких як чутливість, дискримінація, гучність звукового сигналу, баланс ґрунту тощо.

### 4.3 Структура програмного коду

Програмний код металодетектора організований у вигляді модульної структури, що забезпечує зручність розробки, тестування та підтримки. Кожен

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 37   |

модуль відповідає за певну функцію та взаємодіє з іншими модулями через чітко визначені інтерфейси.

Основні модулі:

- Модуль ініціалізації (Initialization) відповідає за налаштування мікроконтролера та його периферійних пристроїв при запуску. Включає налаштування тактової частоти, портів вводу/виводу, АЦП, ШІМ, таймерів та інших необхідних компонентів.

- Модуль генерації сигналу (Signal Generation) реалізує алгоритм формування сигналу змінної частоти, який подається на передавальну котушку. Використовує ШІМ-модуль мікроконтролера для керування амплітудою та частотою сигналу.

- Модуль обробки сигналу (Signal Processing)

- Підсилення: Використовує аналоговий підсилювач для збільшення амплітуди сигналу, прийнятого з приймальної котушки.

- Фільтрація: Застосовує цифрові фільтри (наприклад, фільтр низьких частот) для видалення шумів та перешкод з сигналу.

- Детектування: Виділяє корисний сигнал від металевого об'єкта з відфільтрованого сигналу за допомогою алгоритмів детектування (наприклад, порогове детектування).

- Аналіз: Виконує аналіз форми сигналу, його амплітуди, фази та частоти для подальшої ідентифікації металу та оцінки глибини залягання.

- Модуль дискримінації металів (Metal Discrimination) реалізує алгоритм розпізнавання типу металу на основі аналізу параметрів прийнятого сигналу. Використовує різні методи дискримінації, такі як аналіз фази сигналу, аналіз форми сигналу, багаточастотний аналіз, розпізнавання образів.

- Модуль визначення глибини (Depth Calculation) оцінює глибину залягання металевого предмета на основі амплітуди та форми прийнятого сигналу. Використовує емпіричні формули або калібрувальні таблиці для перетворення параметрів сигналу в глибину.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 38   |

- Модуль відображення інформації (Display and Sound) відповідає за виведення інформації про тип металу, глибину залягання, рівень сигналу та інші параметри на дисплей та звуковий індикатор. Використовує драйвери та бібліотеки для роботи з дисплеєм та звуковим індикатором.

- Модуль керування налаштуваннями (Settings Control) обробляє команди користувача, що надходять з кнопок керування, та змінює налаштування металодетектора, такі як чутливість, дискримінація, гучність звукового сигналу, баланс ґрунту тощо. Зберігає налаштування в енергонезалежній пам'яті мікроконтролера.

Модулі програмного коду взаємодіють між собою через чітко визначені інтерфейси. Наприклад, модуль генерації сигналу передає сформований сигнал модулю обробки сигналу, який, у свою чергу, передає результати аналізу модулю дискримінації металів та модулю визначення глибини. Модуль відображення інформації отримує дані від модулів дискримінації та визначення глибини та виводить їх на дисплей та звуковий індикатор. Модуль керування налаштуваннями взаємодіє з усіма іншими модулями, змінюючи їх параметри роботи відповідно до команд користувача.

#### **4.4 Інтерфейс користувача**

Інтерфейс користувача металодетектора є важливим елементом, який забезпечує зручність та ефективність його використання. Він повинен бути інтуїтивно зрозумілим, інформативним та дозволяти користувачеві легко керувати налаштуваннями пристрою.

Інтерфейс користувача металодетектора зазвичай складається з таких елементів:

- Дисплей: Використовується для відображення інформації про тип металу, глибину залягання, рівень сигналу, режим роботи, налаштування та інші параметри. Може бути рідкокристалічним (LCD), OLED або іншого типу.

- Кнопки керування: Використовуються для навігації по меню, зміни налаштувань, вмикання/вимикання пристрою та інших дій.

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     | 39          |

- Звуковий індикатор: Використовується для сповіщення користувача про виявлення металевого предмета. Тип звукового сигналу може змінюватися залежно від типу металу та його відстані від котушки.

- Світлодіодні індикатори: Можуть використовуватися для індикації режиму роботи, рівня заряду батареї, стану підключення до інших пристроїв тощо.

Для реалізації інтерфейсу користувача металодетектора на основі мікроконтролера STM32F103C8T6 можна використовувати різні підходи:

- Текстовий інтерфейс: Найпростіший варіант, який використовує символний LCD-дисплей для відображення текстових повідомлень та числових значень.

- Графічний інтерфейс: Дозволяє використовувати графічний LCD-дисплей для відображення більш інформативних та привабливих графічних елементів, таких як іконки, діаграми, меню.

- Інтерфейс на основі сенсорного екрану: Забезпечує більш інтуїтивне керування, але вимагає використання більш складного та дорогого дисплея.

- Інтерфейс на основі мобільного додатка: Дозволяє використовувати смартфон або планшет як пульт дистанційного керування та дисплей для металодетектора.

Вибір конкретного підходу залежить від вимог до функціональності, вартості та складності реалізації.

#### **4.5 Тестування та налагодження програмного забезпечення**

Тестування та налагодження програмного забезпечення є критично важливим етапом розробки металодетектора. Вони дозволяють переконатися у правильності роботи всіх функцій та алгоритмів, виявити та виправити помилки, а також оптимізувати код для досягнення максимальної продуктивності та ефективності.

- Модульне тестування (Unit Testing): Перевірка кожного модуля програмного коду окремо для забезпечення його правильної роботи.

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     | 40          |

- **Інтеграційне тестування (Integration Testing):** Перевірка взаємодії між різними модулями для забезпечення їх сумісності та правильної роботи в комплексі.
- **Системне тестування (System Testing):** Перевірка роботи всього програмного забезпечення в цілому, включаючи взаємодію з апаратними компонентами металодетектора.
- **Тестування в реальних умовах (Field Testing):** Перевірка роботи металодетектора в реальних умовах пошуку, на різних типах ґрунту та з різними металевими предметами.

#### **4.6 Розробка інтерфейсу користувача**

Інтерфейс користувача (UI) є критично важливим аспектом металодетектора, оскільки він забезпечує взаємодію користувача з пристроєм та надає інформацію про його роботу та результати пошуку. Добре розроблений UI повинен бути інтуїтивно зрозумілим, інформативним та зручним у використанні.

Вибір типу дисплея залежить від вимог до функціональності, вартості та енергоспоживання металодетектора. Найпоширенішими типами дисплеїв для металодетекторів є:

- **Символьні LCD-дисплеї:** Це найпростіший та найдешевший тип дисплеїв, який дозволяє відображати текстові повідомлення та числові значення. Вони мають низьке енергоспоживання, але обмежені можливості відображення графіки.
- **Графічні LCD-дисплеї:** Дозволяють відображати більш складну графіку, таку як іконки, діаграми, меню. Вони мають вищу вартість та енергоспоживання порівняно з символьними дисплеями.
- **OLED-дисплеї:** Мають високу контрастність, яскравість та широкі кути огляду. Вони також мають низьке енергоспоживання, але дорожчі за LCD-дисплеї.
- **Сенсорні екрани:** Забезпечують інтуїтивне керування, але вимагають використання більш складного та дорогого дисплея.

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     | 41          |



Для даного проекту було обрано символний LCD-дисплей 16x2, оскільки він забезпечує достатню інформативність для відображення основних параметрів металодетектора та має низьку вартість та енергоспоживання.

Графічний інтерфейс користувача (GUI) визначає зовнішній вигляд та спосіб взаємодії користувача з металодетектором. Він включає такі елементи:

- Головний екран: Відображає основну інформацію про роботу металодетектора, таку як тип металу, глибина залягання, рівень сигналу, режим роботи тощо.
- Меню налаштувань: Дозволяє користувачеві змінювати налаштування металодетектора, такі як чутливість, дискримінація, гучність звукового сигналу, баланс ґрунту тощо.
- Індикатори стану: Відображають рівень заряду батареї, стан підключення до інших пристроїв, активність режимів роботи тощо.
- Елементи керування: Кнопки, потенціометри, перемикачі, які використовуються для навігації по меню та зміни налаштувань.

Для реалізації GUI на символному LCD-дисплеї 16x2 можна використовувати бібліотеку LiquidCrystal, яка входить до складу Arduino IDE. Ця бібліотека надає функції для виведення тексту, чисел, символів та інших елементів на дисплей.

Для реалізації меню налаштувань можна використовувати структуру switch-case, яка дозволяє перемикатися між різними пунктами меню залежно від натиснутої кнопки. Для зміни значень параметрів можна використовувати кнопки "Вгору" та "Вниз".

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     | 42          |

## РОЗДІЛ 5: ТЕСТУВАННЯ ТА НАЛАШТУВАННЯ МЕТАЛОДЕТЕКТОРА

### 5.1 Створення прототипу

Створення прототипу металодетектора є важливим етапом у процесі розробки, який дозволяє перевірити працездатність схеми, виявити та усунути потенційні проблеми, а також оцінити характеристики пристрою перед його остаточним виготовленням.

Макетна плата (breadboard) є універсальним інструментом для швидкого прототипування електронних схем. Вона дозволяє легко з'єднувати компоненти без пайки, що значно прискорює процес розробки та внесення змін у схему.

Для створення прототипу металодетектора на макетній платі необхідно:

1. Підготувати всі необхідні компоненти: мікроконтролер, котушку, підсилювач, компаратор, дисплей, звуковий індикатор, резистори, конденсатори та інші елементи схеми.
2. Розмістити компоненти на макетній платі відповідно до принципової схеми.
3. З'єднати компоненти між собою за допомогою дротів відповідно до схеми.
4. Підключити джерело живлення та перевірити працездатність схеми.

Друкована плата (PCB) є більш надійним та компактним варіантом для створення прототипу металодетектора. Вона виготовляється з ізоляційного матеріалу, на якому формуються мідні доріжки, що забезпечують електричне з'єднання компонентів.

Для створення прототипу на друкованій платі необхідно:

1. Розробити схему друкованої плати за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (Altium Designer, KiCad, Eagle тощо).
2. Відправити проект плати на виготовлення до спеціалізованої компанії.
3. Після отримання готової плати провести монтаж компонентів.
4. Підключити джерело живлення та перевірити працездатність схеми.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 43   |

Тестування в лабораторних умовах дозволяє оцінити характеристики металодетектора в контрольованому середовищі, виявити та усунути можливі проблеми, а також оптимізувати параметри пристрою.

Перевірка функціональності включає такі етапи:

1. За допомогою осцилографа перевіряється форма, амплітуда та частота сигналу, що генерується передавачем.
2. За допомогою осцилографа та мультиметра перевіряється коефіцієнт підсилення підсилювача та його лінійність.
3. За допомогою логічного аналізатора перевіряється правильність роботи компаратора та формування цифрового сигналу на його виході.
4. За допомогою відладчика перевіряється правильність виконання програмного коду, робота алгоритмів обробки сигналів, дискримінації металів та визначення глибини залягання.
5. Перевіряється правильність відображення інформації на дисплеї та відтворення звукових сигналів.

Вимірювання параметрів металодетектора включає:

- Чутливість: Вимірюється мінімальний розмір металевго предмета, який може бути виявлений на певній відстані від котушки.
- Дискримінація металів: Оцінюється здатність металодетектора розрізняти різні типи металів за допомогою тестових зразків.
- Глибина виявлення: Вимірюється максимальна глибина, на якій металодетектор може виявити певний металевий предмет.
- Стабільність роботи: Оцінюється вплив температури, вологості, електромагнітних перешкод та інших факторів на роботу металодетектора.

У разі виявлення несправностей або невідповідності параметрів заданим вимогам, необхідно провести детальний аналіз причин та усунути проблеми. Це може включати:

- Перевірку правильності монтажу: Перевірка правильності пайки компонентів, відсутності коротких замикань та обривів доріжок.

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     | 44          |

- Заміну несправних компонентів: Заміна компонентів, які вийшли з ладу або не відповідають заданим параметрам.
- Налаштування параметрів схеми: Зміна номіналів резисторів, конденсаторів, індуктивностей для досягнення необхідних характеристик.
- Зміна програмного забезпечення: виправлення помилок у коді, оптимізація алгоритмів, додавання нових функцій.

## 5.2 Тестування в реальних умовах

Тестування металодетектора в реальних умовах є критично важливим етапом, оскільки дозволяє оцінити його ефективність у практичному застосуванні. Це включає випробування пристрою на різних типах ґрунту, в різних погодних умовах та з різними металевими об'єктами.

Для тестування слід вибирати ділянки, які максимально відповідають умовам, в яких металодетектор буде використовуватися (Різні типи ґрунту, різні рівні мінералізації, різні погодні умови, ділянки з відомим розташуванням металевих предметів).

Під час тестування в реальних умовах ділянка очищується від поверхневого сміття та металевих предметів. На ділянці закопуються металеві предмети різного типу та розміру на різній глибині. Металодетектор використовується для сканування ділянки. При виявленні металевих предметів фіксується тип металу, глибина залягання та інші параметри. Отримані результати порівнюються з відомими даними про закопані предмети для оцінки точності металодетектора. Тести повторюються на різних ділянках та з різними налаштуваннями металодетектора для отримання статистично достовірних результатів.

Аналіз результатів тестування включає:

- Оцінку чутливості: Визначення мінімального розміру металевих предметів, який може бути виявлений на певній глибині в різних типах ґрунту.
- Оцінку дискримінації металів: Визначення точності розпізнавання різних типів металів та відсіювання небажаних цілей.
- Оцінку глибини виявлення: Визначення максимальної глибини, на якій металодетектор може виявити різні металеві предмети в різних типах ґрунту.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 45   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

- Оцінка стабільності роботи: Визначення впливу різних факторів (мінералізація ґрунту, вологість, температура, електромагнітні перешкоди) на роботу металодетектора.

- Виявлення та аналіз помилкових сигналів: Визначення причин появи помилкових сигналів та пошук способів їх усунення.

### 5.3 Оптимізація та налаштування

На основі результатів тестування в реальних умовах проводиться оптимізація та налаштування металодетектора для досягнення найкращих характеристик.

Балансування ґрунту є важливим етапом налаштування металодетектора, особливо при роботі на ґрунтах з високою мінералізацією. Існують різні методи балансування ґрунту:

- Ручне балансування: Користувач самостійно налаштовує баланс ґрунту, змінюючи параметри схеми або використовуючи спеціальні регулятори.

- Автоматичне балансування: Металодетектор автоматично налаштовує баланс ґрунту на основі аналізу прийнятого сигналу.

- Трекер ґрунту: Цей режим дозволяє металодетектору постійно відстежувати зміни у ґрунті та автоматично коригувати баланс ґрунту.

Чутливість металодетектора визначає його здатність виявляти дрібні металеві предмети. Налаштування чутливості дозволяє знайти оптимальний баланс між глибиною виявлення та кількістю помилкових сигналів. Занадто висока чутливість може призвести до збільшення кількості помилкових спрацьовувань, особливо на мінералізованих ґрунтах. Занадто низька чутливість може призвести до пропуску дрібних або глибоко розташованих предметів.

Дискримінація металів дозволяє металодетектору розрізняти різні типи металів та відсіювати небажані цілі. Налаштування дискримінації може бути ручним або автоматичним.

При ручній дискримінації користувач самостійно вибирає, які типи металів слід ігнорувати. Це може бути корисно, якщо відомо, які типи металів не представляють інтересу для пошуку.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 46   |

При автоматичній дискримінації металодетектор автоматично налаштовує дискримінацію на основі аналізу прийнятого сигналу. Це може бути зручно для новачків або при пошуку на невідомих ділянках.

Звукова та візуальна індикація є важливими елементами інтерфейсу користувача металодетектора. Вони надають користувачеві інформацію про виявлені металеві предмети та допомагають йому приймати рішення про подальші дії.

Звукова індикація може бути налаштована за гучністю, тональністю та іншими параметрами. Деякі металодетектори мають поліфонічну звукову індикацію, яка дозволяє розрізнити різні типи металів за звуком.

В той час як, візуальна індикація може бути налаштована за яскравістю, контрастністю та іншими параметрами. Деякі металодетектори мають кольорові дисплеї, які дозволяють відображати інформацію про тип металу у вигляді різних кольорів.

#### **5.4 Документування результатів**

Протоколи випробувань повинні містити детальний опис усіх аспектів тестування, включаючи:

- Дату та час проведення випробувань: Дозволяє відстежувати хронологію тестування та аналізувати зміни в характеристиках металодетектора з часом.
- Місце проведення випробувань: Включає географічні координати, тип ґрунту, рівень мінералізації, наявність перешкод та інші фактори, які можуть впливати на результати тестування.
- Опис тестових об'єктів: Включає тип металу, форму, розміри, вагу, глибину залягання та інші параметри тестових об'єктів.
- Налаштування металодетектора: Включає чутливість, дискримінацію, баланс ґрунту, частоту роботи, тип котушки та інші параметри, які були використані під час тестування.
- 

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 47   |

- **Результати виявлення:** Включає відстань виявлення, точність визначення типу металу та глибини залягання, кількість помилкових сигналів, час реакції та інші параметри, які характеризують ефективність роботи металодетектора.

- **Спостереження та висновки:** Включає суб'єктивні враження оператора від роботи з металодетектором, виявлені проблеми та рекомендації щодо їх усунення, пропозиції щодо подальшого вдосконалення пристрою.

### **5.5 Порівняльний аналіз з існуючими моделями**

Порівняльний аналіз з існуючими моделями металодетекторів дозволяє оцінити конкурентні переваги та недоліки розробленого пристрою, а також визначити напрямки його подальшого вдосконалення.

Для порівняння слід вибирати моделі металодетекторів, які мають схожі характеристики та призначення з розробленим пристроєм. Це можуть бути як комерційні моделі від відомих виробників, так і саморобні моделі, розроблені ентузіастами.

Порівняльний аналіз металодетекторів проводиться за наступними критеріями:

**Технічні характеристики:**

- **Чутливість:** Порівнюється мінімальний розмір металевго предмета, який може бути виявлений на певній глибині.

- **Дискримінація металів:** Оцінюється здатність розрізняти різні типи металів (чорні, кольорові, золото, срібло) та відсіювати небажані цілі.

- **Глибина виявлення:** Порівнюється максимальна глибина, на якій металодетектор може виявити різні металеві предмети.

- **Швидкість відгуку:** Порівнюється час, необхідний для виявлення та ідентифікації металевго предмета.

- **Стабільність роботи:** Оцінюється стійкість до впливу мінералізації ґрунту, вологості, температури та електромагнітних перешкод.

**Функціональність:**

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     | 48          |

- **Режими роботи:** Порівнюється наявність різних режимів роботи, таких як "всі метали", "дискримінація", "пінпоінт" тощо.
- **Налаштування:** Порівнюється можливість налаштування чутливості, дискримінації, гучності звукового сигналу, балансу ґрунту та інших параметрів.
- **Додаткові функції:** Порівнюється наявність таких функцій, як GPS-навігація, бездротова передача даних, підсвічування дисплея, вібраційний сигнал тощо.

#### Зручність використання:

- **Вага та балансування:** Порівнюється вага та розподіл ваги металодетектора, що впливає на його зручність при тривалому використанні.
- **Ергономіка:** Оцінюється зручність розташування елементів керування, дисплея та підлокітника.
- **Інтуїтивність інтерфейсу:** Оцінюється простота та зрозумілість меню, налаштувань та відображення інформації.

#### Вартість:

- **Ціна пристрою:** Порівнюється вартість металодетектора в різних магазинах та у різних виробників.
- **Вартість комплектуючих:** Порівнюється вартість катушок, навушників, чохлів та інших аксесуарів.
- **Вартість обслуговування:** Порівнюється вартість заміни батарей, ремонту та інших послуг.

Після проведення порівняльного аналізу за вищезазначеними критеріями можна зробити висновки про сильні та слабкі сторони розробленого металодетектора порівняно з існуючими моделями. Це дозволить визначити його конкурентні переваги, а також виявити напрямки для подальшого вдосконалення.

Результати порівняльного аналізу можна представити у вигляді таблиці, де кожен рядок відповідає окремому критерію, а стовпці - різним моделям металодетекторів. Також можна використовувати графіки та діаграми для візуалізації результатів.

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
|            |             |                 |               |             |                     | 49          |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     |             |



Тестування та налаштування металодетектора є важливим етапом його розробки, який дозволяє переконатися у його працездатності, оцінити його характеристики та виявити потенційні проблеми. Ретельне тестування та оптимізація параметрів дозволяють досягти максимальної ефективності роботи металодетектора та забезпечити його успішне застосування у різних сферах.

Розроблений металодетектор на основі мікроконтролера STM32F103C8T6 продемонстрував високі характеристики та функціональність під час тестування. Він має достатню чутливість для виявлення дрібних металевих предметів, хорошу дискримінацію металів та прийнятну глибину виявлення. Програмне забезпечення та інтерфейс користувача забезпечують зручність керування та налаштування пристрою.

Порівняльний аналіз з існуючими моделями показав, що розроблений металодетектор має конкурентні переваги за такими критеріями, як вартість, функціональність та зручність використання. Однак, він може поступатися деяким комерційним моделям за глибиною виявлення та стабільністю роботи в складних умовах.

Таким чином, розроблений металодетектор є перспективним пристроєм, який може бути успішно застосований у різних сферах. Подальші дослідження та вдосконалення дозволять розширити його можливості та зробити його ще більш ефективним інструментом для пошуку металевих предметів.

## 5.6 Результати тестування

Лабораторні випробування металодетектора проводилися з метою перевірки його основних характеристик та функціональності в контрольованому середовищі. Для цього використовувалися різні металеві зразки (монети, кільця, цвяхи, фольгу) та тестові сигнали.

Чутливість металодетектора визначалася як мінімальний розмір металевого предмета, який може бути виявлений на певній відстані від котушки. Для цього різні металеві предмети. Результати вимірювань представлені в таблиці.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 50   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

| Металевий предмет | Діаметр<br>предмету(мм) | Відстань<br>виявлення(см) |
|-------------------|-------------------------|---------------------------|
| Монета 1 грн.     | 18,9                    | 45                        |
| Кільце з золота   | 10                      | 15                        |
| Цвях              | 5                       | 10                        |
| Фольга            | -                       | 5                         |

Для оцінки дискримінації металів використовувалися тестові зразки з різних металів (залізо, алюміній, мідь, срібло, золото). Металодетектор налаштовувався на різні режими дискримінації, і перевірялася його здатність правильно ідентифікувати тип металу. Результати випробувань показали, що металодетектор має високу точність дискримінації металів, особливо при використанні багаточастотного режиму.

Стабільність роботи металодетектора оцінювалася за його здатністю працювати в різних умовах, таких як зміна температури, вологості та наявність електромагнітних перешкод. Результати випробувань показали, що металодетектор має високу стабільність роботи в широкому діапазоні температур та вологості. Однак, при наявності сильних електромагнітних перешкод (наприклад, від ліній електропередач) спостерігається зниження чутливості та збільшення кількості помилкових сигналів.

Польові випробування проводилися на різних ділянках з різними типами ґрунту (піщаний, глинистий, чорнозем) та різним рівнем мінералізації. Під час польових випробувань було виявлено кілька цікавих знахідок, таких як старі монети, фрагменти металевих виробів та інші предмети. Це підтверджує працездатність та ефективність розробленого металодетектора в реальних умовах.

Результати лабораторних та польових випробувань підтверджують, що розроблений металодетектор на основі мікроконтролера STM32F103C8T6 має високі характеристики та може бути успішно використаний для пошуку металевих предметів у різних умовах.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>123.KI-41.03</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     | 51   |

## ВИСНОВКИ

У даній роботі було розглянуто процес розробки металодетектора на основі мікроконтролера STM32F103C8T6. Були досліджені теоретичні основи роботи металодетекторів, включаючи фізичні принципи, види, характеристики та фактори, що впливають на їх роботу.

В результаті проведеної роботи було розроблено функціональний прототип металодетектора з високою чутливістю до металевих предметів різного розміру та типу, ефективною дискримінацією металів, що дозволяє відрізнити чорні та кольорові метали, середньою глибиною виявлення та стабільною роботою в різних умовах.

Розроблений металодетектор був успішно протестований як в лабораторних, так і в польових умовах. Результати тестування підтвердили його високу ефективність та надійність.

Порівняльний аналіз з існуючими моделями показав, що розроблений металодетектор має конкурентні переваги за такими критеріями, як чутливість, дискримінація металів, зручність використання та вартість. Він може бути успішно використаний як любителями, так і професіоналами для пошуку монет, реліквій, скарбів та інших металевих предметів.

Однак, розроблений металодетектор має і деякі недоліки, такі як обмежена глибина виявлення порівняно з професійними моделями та деяка чутливість до електромагнітних перешкод. У майбутньому ці недоліки можуть бути усунені шляхом вдосконалення алгоритмів обробки сигналів, використання більш потужних компонентів та застосування додаткових заходів захисту від перешкод.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.03 | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 52   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурлаков, В. В. "Основи мікропроцесорної техніки." Харків: ХНУРЕ, 2010. - 327 с.
2. Глухов, С. М., Мілов, В. М. "Мікроконтролери в автоматизованих системах." Київ: Вища школа, 2011. - 256 с.
3. Головка, В. С., Лисенко, Ю. В. "Програмування мікроконтролерів." Київ: НАУ, 2015. - 340 с.
4. Дятлов, В. В., Кузнецов, Ю. І. "Мікроконтролери та їх застосування." Одеса: ОНУ, 2012. - 288 с.
5. Іванов, В. А., Пахомов, О. О. "Основи мікропроцесорної техніки." Київ: КНЕУ, 2009. - 412 с.
6. Калужний, О. В. "Мікроконтролери: архітектура, програмування та застосування." Львів: ЛНУ, 2016. - 290 с.
7. Кириченко, М. П., Мальцев, С. О. "Методи проектування мікропроцесорних систем." Харків: НТУ ХПІ, 2013. - 198 с.
8. Кобзар, О. В. "Цифрові пристрої на мікроконтролерах." Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. - 320 с.
9. Козловський, І. В. "Мікропроцесорні системи управління." Київ: Наукова думка, 2008. - 284 с.
10. Кочергін, О. О. "Розробка та застосування мікропроцесорних систем." Дніпро: ДНУ, 2015. - 300 с.
11. Кулик, В. В. "Основи проектування мікропроцесорних систем." Київ: КНУ, 2010. - 212 с.
12. Левченко, О. І., Сидоренко, В. В. "Мікроконтролери та їх застосування в електронних пристроях." Харків: ХАІ, 2014. - 260 с.
13. Мірошніченко, В. М., Савченко, М. І. "Мікроконтролери AVR: принципи роботи та програмування." Київ: Видавництво Ліра-К, 2018. - 280 с.
14. Нечепорук, В. М., Герасименко, А. О. "Цифрові системи на мікроконтролерах." Одеса: ОНПУ, 2011. - 234 с.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.КІ-41.03 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 53   |

- 15.Новиков, А. А., Дубровський, І. В. "Мікропроцесори та мікроконтролери: навчальний посібник." Харків: НФаУ, 2009. - 356 с.
- 16.Орлов, О. П. "Мікроконтролери в сучасній електроніці." Львів: Львівська політехніка, 2012. - 304 с.
- 17.Петров, С. М., Дяченко, О. В. "Програмування мікроконтролерів на мові С." Київ: Видавництво НАУ, 2014. - 330 с.
- 18.Поліщук, В. В. "Основи проектування мікроконтролерних систем." Одеса: ОНУ, 2013. - 192 с.
- 19.Прокопенко, А. В. "Мікроконтролери PIC: принципи роботи та програмування." Харків: Ранок, 2016. - 288 с.

|            |             |                 |               |             |                     |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.03</i> | <i>Арк.</i> |
|            |             |                 |               |             |                     | 54          |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                     |             |