Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)
Кафедра Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

Розробка системи автоматизації керування металошукачем з використанням Arduino
(тема)

Виконав:
студент 4 курсу, групи АКТСІ-20-3
Решетняк М. С.

Спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології,
освітньої програми «Системна інженерія»
Тип програми Освітньо-професійна
Освітня програма Системна інженерія
Керівник Євсєєв В. В.

Допускається до захисту
Зав. кафедри КІТАМ _____ Невлюдов І. Ш.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Харків – 2024 року

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет АКТ
Кафедра КІТАР
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньої програми «Системна інженерія»
Тип програми Освітньо-професійна
Освітня програма Системна інженерія
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАР _____
(підпис)

«____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Решетняка Максима Сергійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи): Розробка системи автоматизації керування металошукачем з використанням Arduino

Затверджена наказом № 545 Ст по університету від 03.06.2024

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 14.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Arduino Uno, типи металів: залізо, сталь із нікелевим покриттям, нержавіюча сталь, діаметр котушки 150 мм, конфігурація передачі даних на бортовий комп'ютер мобільного робота.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: 4.1 Вступ; 4.2 Аналіз сучасних систем виявлення вибухонебезпечних предметів для мобільного Робота; 4.3 Розробка макета модуля виявлення вибухонебезпечних предметів для мобільного робота; 4.4 Розробка системи управління модулем виявлення вибухонебезпечних предметів для мобільного робота; 4.5 Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt). – с. Формату А4.

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літератури за темою кваліфікаційної роботи	от 02.05.2024 до 05.05.2024	Виконано
2	Аналіз методів пошуку вибухонебезпечних предметів	от 15.05.2024 до 18.05.2024	Виконано
3	Розробка макета модуля виявлення вибухонебезпечних предметів для МР	от 18.05.2024 до 22.05.2024	Виконано
4	Розробка системи управління модулем виявлення вибухонебезпечних предметів для МР	от 22.05.2024 до 24.05.2024	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	от 25.05.2024 до 28.05.2024	Виконано
6	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	14.06.2024	Виконано

Дата видачі завдання 12.04.2024 р.

Студент _____ Решетняк М. С.
(підпис) (прізвище, ім'я та по батькові)

Керівник роботи _____ проф. каф. КІТАР Євсєєв В. В.
(підпис) (прізвище, ім'я та по батькові)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 81 с., 26 рис., 2 дод., джерел.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕТАЛОШУКАЧЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ARDUINO, МІКРОКОНТРОЛЕРИ, СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.

Мета роботи – розробка макета металошукача для функції інтегрування їх у систему управління мобільним роботом та підвищити ефективність використання металошукача на різних платформах.

Об’єкт розробки – процес керування металошукачем.

Предмет розробки – методи та алгоритми реалізації системи керування металошукачем на базі мікроконтролера Arduino.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– аналіз сучасних систем виявлення металів;

– розробка макета системи керування металошукачем;

– розробка алгоритмів керування металошукачем;

– реалізація системи керування на мікроконтролері Arduino;

– проведення експериментів з металошукачем.

ABSTRACT

The explanatory note contains: 81 p., 26 fig., 2 app., sources.

DEVELOPMENT OF A METAL DETECTOR CONTROL SYSTEM USING ARDUINO, MICROCONTROLLERS, CONTROL SYSTEMS.

The purpose of the work is to develop a metal detector layout for the function of integrating it into the mobile robot control system and to increase the efficiency of using the metal detector on different platforms.

The object of development is the process of controlling the metal detector.

The subject of the development is methods and algorithms for implementing a metal detector control system based on an Arduino microcontroller.

To achieve the goal, the following tasks must be solved:

– analysis of modern metal detection systems;

– development of the layout of the metal detector control system;

– development of metal detector control algorithms;

– implementation of the control system on the Arduino microcontroller;

– carrying out experiments with a metal detector.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначення 7
Вступ 8
1 Аналіз сучасних систем виявлення вибухонебезпечних предметів для мобільного робота 10
1.1 Сучасний стан забруднення вибухонебезпечними об'єктами на Україні 10
1.2 Аналіз існуючих модулів виявлення вибухонебезпечних предметів для мобільного робота 13
1.3 Аналіз методів виявлення вибухонебезпечних предметів 15
1.4 Аналіз вибухонебезпечних предметів 25
2 Розробка макета модуля виявлення вибухонебезпечних предметів для мобільного робота 29
2.1 Розробка загальної структурної схеми 29
2.2 Вибір апаратних модулів 30
2.2.1 Arduino Uno 31
2.2.2 Arduino Nano 32
2.2.3 Black Pill STM32 33
2.3 Розрахунок індуктивності котушки 38
2.4 Моделювання динамічної схеми керування металошукачем 41
2.5 Розробка схеми підключення 46
2.6 Розробка макета 50
3 Розробка системи управління модулем виявлення вибухонебезпечних предметів для мобільного робота 53
3.1 Вибір середовища розробки 53
3.2 Розробка загального алгоритму 54
3.3 Розробка алгоритму виявлення вибухонебезпечних предметів 55
3.4 Реалізація головного циклу програми 61
3.5 Проведення експерименту 65
3.6 Розрахунок заземлення 69
Висновки 73
Перелік джерел посилання 75
Додаток А. Лістинг коду програми 78
Додаток Б. Демонстраційні графічні матеріали 80

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ВР – вибухова речовина;

ВНО – вибухонебезпечний об’єкт;

ВНП – вибухонебезпечний предмет;

ББІС – багатоцільова безпілотна інтелектуальна система;

БПЛА – безпілотний літальний аппарат;

IoT – інтернет речей;

МР – мобільний робот;

ООН – організація об'єднаних націй;

ОБСЄ – організація з безпеки та співробітництва в європі;

КМОП – комплементарна метал-оксид-напівпровідник.

ВСТУП

У сучасному світі технології невпинно розвиваються, проникаючи в різні сфери нашого життя. Одним з напрямків, де технології відіграють ключову роль, є пошук металевих об’єктів. Металошукачі використовуються в різних галузях, включаючи археологію, геологію, безпеку та інші. Вони допомагають виявляти металеві предмети, які можуть бути зариті під землею або знаходитися в складних для доступу місцях.

Ця робота включає в себе розробку системи керування металошукачем, яка базується на мікроконтролері Arduino. Arduino – це відкрита платформа, яка дозволяє легко розробляти електронні пристрої. Вона включає в себе апаратну частину – сам мікроконтролер, а також програмну частину - середовище розробки, яке дозволяє програмувати мікроконтролер.

Система керування металошукачем, розроблена в рамках цієї роботи, є модульною. Це означає, що металошукач може бути легко встановлений або знятий з різних пристроїв або систем. Це забезпечує велику гнучкість використання металошукача і дозволяє його використовувати в різних сценаріях.

Об’єкт розробки – процес керування металошукачем.

Предмет розробки – методи та алгоритми реалізації системи керування металошукачем на базі мікроконтролера Arduino.

Мета роботи – розробка макета металошукача для функції інтегрування їх у систему управління мобільним роботом та підвищити ефективність використання металошукача на різних платформах.

Для досягнення цієї мети буде вирішено такі завдання:

– аналіз сучасних систем виявлення металів та їх застосування. Це включає в себе дослідження різних типів металошукачів, їх принципів роботи, а також методів виявлення металів, які вони використовують;

– розробка концепції модульної системи керування металошукачем. Це включає в себе визначення основних вимог до системи, вибір апаратних та програмних компонентів, а також проектування архітектури системи;

– розробка алгоритмів для виявлення металевих об’єктів та їх інтеграція з апаратним забезпеченням Arduino. Це включає в себе розробку алгоритмів, які можуть виявляти металеві об’єкти з високою точністю та низьким рівнем помилок;

– реалізація системи керування на мікроконтролері Arduino. Це включає в себе програмування мікроконтролера для реалізації розроблених алгоритмів, а також інтеграцію з датчиками та дисплеями для введення та виведення даних;

– проведення експериментів з металошукачем для оцінки ефективності системи керування. Це включає в себе планування та проведення експериментів, аналіз результатів та використання цих результатів для подальшого вдосконалення системи.

Кваліфікаційна робота виконана згідно ДСТУ 3008 – 15 [1], та керуючись навчальним посібником з дипломного проекту [2] та методичними вказівками [3].

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

1.1 Сучасний стан забруднення вибухонебезпечними об'єктами на Україні

Оцінки міжнародних організацій, як організація об'єднаних націй (ООН) та організація з безпеки та співробітництва в європі (ОБСЄ), забруднені площі військових залишків вибухонебезпечних предметів (ВНП) у світі охоплюють мільйони квадратних кілометрів. Експертна група Асоціації саперів України вказує, що потенційно-небезпечні території, які можуть містити ВНП, становлять щонайменше 132 023 км^2 [4].

На рисунку 1.1 надано інформація жертв від ВНП з 2013 до 2020 років. З огляду на війну в Україні у 2022 році трагічні випадки зростають [5]. Також значний відсоток від ВНП несе цивільні населення. Дивлячись на статистику, жертви вибухів ВНП стають 10% військових і 90% цивільних осіб, з яких значна частина це діті. За роки кількість загиблих дітей тільки зростає рисунку 1.2.

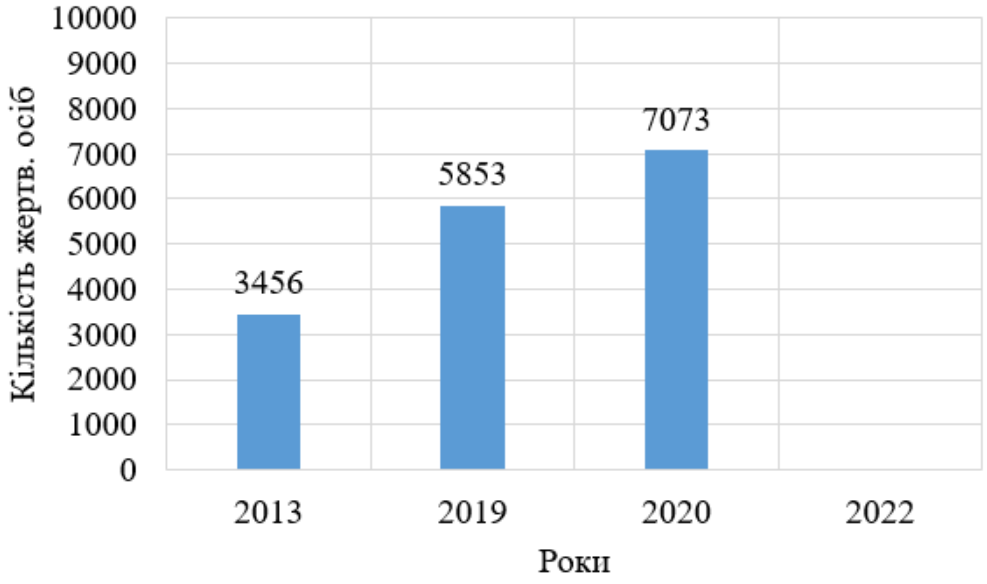

Рисунок 1.1 – Статистичні показники жертв від вибухів ВНП

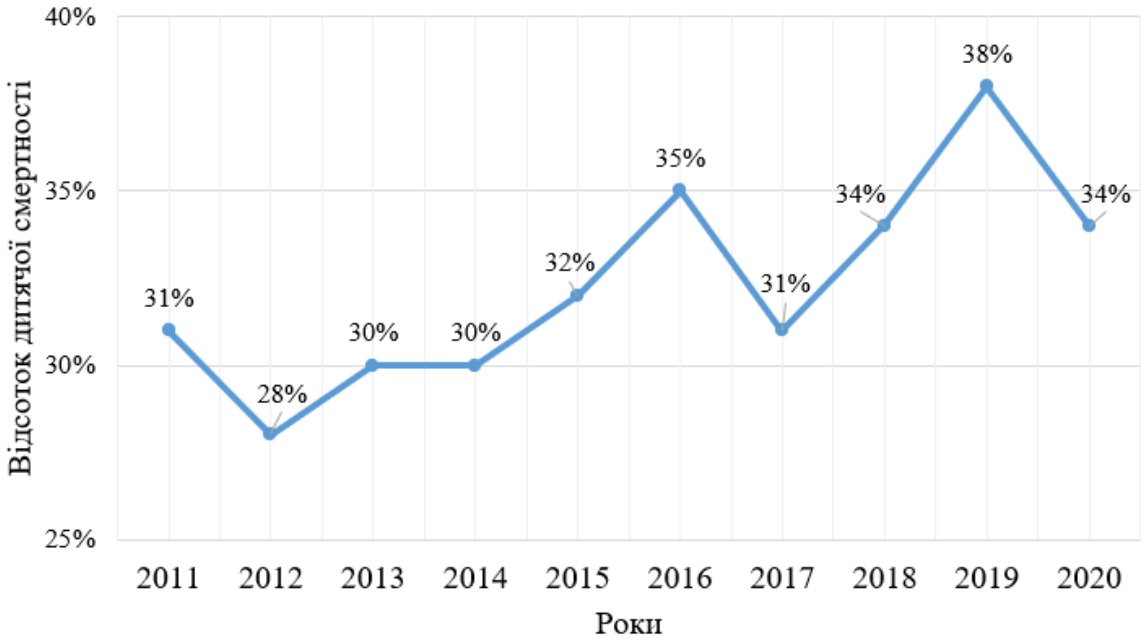

Рисунок 1.2 – Відсоток загиблих дітей протягом 2010–2020 рр.

Україна є однією з найбільш замінованих країн світу. Території, що забруднені військовими залишками, є вибухонебезпечними об’єктами (ВНО). Нещасні випадки, внаслідок вибуху ВНП, призводять до важких поранень і загибелі тисяч людей.

Для того, щоб розчистити територію від забруднення вибухонебезпечними об'єктами, потрібні великі фінансові витрати. Наприклад у 2020 році завершено розмінування території Фолклендських (Мальвінських) островів, які в результаті війни між Великою Британією та Аргентиною у 1982 році були забруднені ВНП.

Цей процес тривав 38 років, сердня швидкість розмінування становила трохи більше ніж 320 км² на рік. У Королівстві Камбоджа роботи з очищення території продовжуються понад 30 років, і вони оголосили, що повністю очистять свою територію лише у 2025 році.

Згідно з дослідженням [6], упродовж 2020–2021 років середні темпи знешкодження залишків касетних боєприпасів становили 63,39 км² та 61,07 км² відповідно (без урахування робіт в Україні). Показники очищення від ВНП територій України наведено в таблиці 1.1. Важливо продовжувати працювати над розмінуванням, щоб зменшити ризики для життя і здоров'я людей.

Таблиця 1.1 – Щорічні темпи очищення території України від ВНП

Період	Кількість залучень піротехнічних підрозділів	Кількість знешкоджених ВНП, од.	Площа очищеної території, кв. км
2014	7090	151100	30,30
2015	8081	50152	106,67
2016	10327	80011	81,53
2017	13167	112728	688,36
2018	10917	168812	867,20
2019	11891	67415	69,49
2020	14166	73375	49,39
2021	12909	89614	45,52

Проведення аналізу методів виявлення вибухонебезпечних об'єктів ураховує важливість звільнення територій від них. Для цього проводяться дослідження, включаючи аналіз і класифікацію наявних методів пошуку, використання сучасних та більш ефективних підходів, таких як комбіновані методи та використання безпілотних апаратів. Також досліджуються біологічні методи, які базуються на особливостях тварин, комах та мікроорганізмів.

Проте слід зауважити, що навіть при великій кількості досліджень класифікація методів часто проводиться без урахування демаскувальних ознак ВНП, фізичних принципів виявлення та розпізнавання, а також платформ, які використовуються для транспортування обладнання до місць пошуку. З аналізу випливає, що наявні методи мають обмеження в ефективності виявлення та не завжди забезпечують необхідний рівень продуктивності.

Тому потрібні подальші дослідження, спрямовані на розроблення методологій, моделей та інформаційних технологій для створення та використання багатоцільових безпілотних інтелектуальних систем (ББІС) для пошуку та усунення ВНП. При аналізі методів виявлення ВНП визначаються такі елементи системи: самі ВНП, перешкоди в середовищі, інформаційно-вимірювальні засоби

(сенсори), платформи для транспортування сенсорів та елементи інформаційних технологій.

Ефективність методів виявлення вибухонебезпечних предметів залежить від їхніх характеристик. Зараз існує понад 700 різних типів ВНП, що можуть бути транспортовані різними способами [7]. Розпізнавальні ознаки ВНП визначаються кількома основними факторами, включаючи:

– наявність вибухової речовини (ВР);

– присутність локально розташованої маси металу чи іншого матеріалу;

– характерна форма;

– порушення поверхні ґрунту чи інші неоднорідності покривного середовища, такі як зміни кольору рослинності чи снігового покриву.

Додатковими ознаками можуть бути:

– дротові лінії управління;

– механізми годинників або електронні таймери;

– сейсмічні, магнітні або оптичні датчики цілі;

– антени з радіоприймачем.

Ефективне виявлення вибухових пристроїв залежить від трьох факторів: наявності вибухових речовин, характеристики корпусу та порушень у грунті. Ці ознаки визначають методи виявлення за допомогою різних інформаційно-вимірювальних засобів. Для розробки нових методів важливо аналізувати існуючі підходи, враховуючи фізичні властивості ознак та сенсорів.

1.2 Аналіз існуючих модулів виявлення вибухонебезпечних предметів для мобільного робота

Аналізуючи технічних характеристик існуючих модулів виявлення вибухонебезпечних предметів для мобільних роботів з метою визначення їхньої ефективності та здатності забезпечувати надійне функціонування.

Чутливість та точність виявлення. Першочерговою характеристикою є чутливість модуля до вибухонебезпечних предметів та його точність виявлення.

Це ключово для забезпечення безпеки операторів та довкілля шляхом ефективного виявлення потенційно небезпечних об'єктів.

Швидкість реакції. Важливо, щоб модуль швидко реагував на виявлення вибухонебезпечних предметів, мінімізуючи час реакції та ризик можливих наслідків.

Дальність дії. Дальність дії модуля виявлення вибухоне- безпечних предметів, яка визначає відстань, на якій мобільний робот може виявляти небезпечні об'єкти.

Робочі параметри. Оцінюються робочі параметри модуля, такі як температурний діапазон, вологість та інші умови, в яких він може ефективно функціонувати.

Вага та розмір. Вплив ваги та розміру модуля на мобільність та маневреність робота, а також його можливості управління та розгортання.

Інтеграція з мобільним роботом. Легкість інтеграції модуля виявлення вибухонебезпечних предметів з мобільним роботом, включаючи сумісність з іншими системами та обладнанням.

Ефективність та надійність в реальних умовах. Перевіряється ефективність та надійність модуля під час реальних випробувань, що передбачають різні сценарії роботи мобільного робота.

Отриманий аналіз сприяє вибору найбільш підходящого модуля виявлення вибухонебезпечних предметів для використання з мобільним роботом, забезпечуючи оптимальну ефективність та безпеку використання. Наприклад робот TALON [8].

Робот TALON – це компактний робот завдовжки близько 90 см і висотою 40 см, і його вага коливається від 50 до 70 кг в залежності від установленого обладнання. Незважаючи на такі компактні розміри, він може буксирувати вантаж важкий аж до 680 кг. У робота TALON є активний режим роботи протягом принаймні трьох годин. Середня глибина виявлення ВНП за допомогою стандартного обладнання TALON складає 30-40 сантиметрів. На рисунку 1.3 представлення робот TALON.

Рисунок 1.3 – Робот TALON

Роботом керуйте оператором віддалено. Роботом також можно керувати через пидключення кабельню, але воно обмежене до 300 метрів або радіозв'язок, де дальність керування становить від 500 до 1000 метрів залежно від обладнання.

На робот TALON можно надіти різні засоби обладнання, такі як хімічні, оптико-електронні, інфрачервоні та радіаційні датчики. Також можно надіти кілька кольорових відеокамер зі збільшенням, а також інфрачервону камеру та нічний відеоприлад для забезпечення максимальної ефективності за різних умов.

1.3 Аналіз методів виявлення вибухонебезпечних предметів

В аналізі методів виявлення ВНП використовується підхід, що враховує їх фізичні принципи взаємодії з розпізнавальними ознаками, а також розрізняється їхня інформаційно-вимірювальна база та платформи, на яких ці методи реалізовані.

У таблиці 1.2 наведенно класифікацію, яка враховує ці підходи. При розгляді основних методів важливо враховувати параметри, які впливають на ймовірність виявлення та продуктивність [9-10].

Таблиця 1.2 – Класифікація методів виявлення за фізичними принципами

№	Метод	Характеристика
1	Механічний	Контактний
		Механізований
2	Електромагнітний	Радіохвильовий
		Оптичний
		Рентгенівський
		Гамма-випромінювання
3	Хімічний	Газоаналітичний
		Біофізичний
4	Магнітний	Магнітометричний
5	Акустичний	Сейсмоакустичний

Механічні методи виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів (ВНП) можна розділити на ручні та механізовані підходи. Ручний метод передбачає пошук та розмінування, виконувані безпосередньо людиною.

Механізований метод використовує спеціальні броньовані машини. Сучасні машини для розмінування є безпечнішими та ефективнішими у роботі з ВНП вагою до 15 кг, такими як міни, саморобні вибухові пристрої та касетні боєприпаси. Принцип дії цих методів полягає у механічному пошуку та знешкодженні ВНП за допомогою приводів з різними інструментами, такими як ціпки, фрези та культиватори. Для підвищення ефективності знешкодження використовуються комбіновані системи, які дозволяють застосовувати різні інструменти та системи пошуку та навігації. Наприклад, платформа MineWolf MW370 компанії Pearson

Engineering має такі технічні характеристики: вага 23 т, ширина очищення 2,75 м, глибина очищення до 350 мм, швидкість очищення до 2,3 км/год, продуктивність розмінування до 30 000 м²/день, витрати палива 40–50 л/год і можливість дистанційного керування на відстань до 1000 м [11]. Механічний метод виявлення та розмінування є простим, але забезпечує високу ймовірність виявлення та знешкодження ВНП. Потужний броньований захист і системи дистанційного керування зменшують ризик травмування технічного персоналу.

Недоліки цього методу включають низьку продуктивність та обмежене використання на деяких рельєфах, високу вартість обладнання та витрати на виконання робіт, а також певні негативні наслідки для екології.

Електромагнітні методи виявлення ВНП охоплюють широкий спектр технологій, які працюють на різних частотних діапазонах і широко використовуються для виявлення, побудови зображень та визначення властивостей об’єктів, зокрема тих, що знаходяться в оптично непрозорих середовищах, таких як ґрунт, бетон, цегла, асфальт, камінь, дерево та лід. Вони базуються на відмінності електромагнітних властивостей об’єкта та перешкод.

Електромагнітне випромінювання, залежно від використовуваних частот, поділяється на радіохвильове, оптичне і іонізуюче (рентгенівське та гамма-) випромінювання.

Системи, що ґрунтуються на цих методах, різняться за робочою частотою, смугою електромагнітного спектра, типом сигналів, що передаються, інтерпретацією відбитих сигналів, типом передавача та приймача, а також алгоритмами оброблення.

Радіохвильовий метод є найбільш поширеним для виявлення ВНП. На його основі розроблені металодетектори, георадари, мікрохвильові радари, радари міліметрового діапазону, радари електроімпедансної томографії.

Метод електромагнітної індукції використовується в металодетекторах і відрізняється відмінною здатністю виявляти металеві предмети різного розміру на значній глибині [12].

Недоліки включають нездатність виявляти ВНП із низьким вмістом металу, високий відсоток помилкових тривог та обмежену дистанцію пошуку.

Георадари та радіолокатори підповерхневого зондування застосовуються для побудови зображень і визначення властивостей об’єктів, що знаходяться в оптично непрозорих середовищах, таких як ґрунт, бетон, цегла тощо.

Для підвищення ефективності виявлення і мінімізації помилкових тривог застосовують поєднання методів, наприклад, георадара та високочутливого металодетектора.

Мікрохвильові радари використовують короткі радіоімпульси для визначення властивостей об’єктів на межах матеріалів з різною діелектричною проникністю.

Оптичні методи виявлення та розпізнавання ВНП використовуються за допомогою оптичного випромінювання в різних діапазонах (довжина хвилі 380 – 780 нм, частота $7{,}89 \cdot 10^{14}$ – $3{,}84 \cdot 10^{14}$ Гц), таких як ультрафіолетовий, видимий та інфрачервоний. Методи, що використовують фізичні властивості цього випромінювання, успішно застосовуються для виявлення та розпізнавання вибухонебезпечних предметів (ВНП).

Ультрафіолетове випромінювання, яке охоплює діапазон довжин хвиль від 100 до 400 нм, не дозволяє безпосередньо виявити ВНП, але певні зміни можуть виникнути при взаємодії з об'єктом, наприклад, якщо спеціальний штам бактерій розпиляється над забрудненою територією. Ці бактерії, які ростуть та світяться під ультрафіолетовим випромінюванням, можуть свідчити про наявність вибухових матеріалів у ґрунті [13].

Використання видимого випромінювання для виявлення ВНП передбачає захоплення світла у видимому діапазоні хвиль за допомогою оптичної системи для створення зображень. Сучасні багатоспектральні фотокамери дозволяють швидко обстежувати великі території. Наприклад, у системі SMAMD ВМС США використовується набір бортових оптичних датчиків на безпілотному літальному апараті MQ-8C Fire Scout.

Інфрачервоне випромінювання використовується для виявлення ВНП за різницею температур між похованими об'єктами та навколишнім ґрунтом. Цей температурний контраст вимірюється за допомогою термографічної камери.

Рентгенівське випромінювання використовується для виявлення ВНП за різницею у взаємодії між електричним квадрупольним моментом ядра та градієнтом електричного поля. Цей метод забезпечує однозначне виявлення та ідентифікацію вибухових речовин [14].

Гамма-випромінювання використовується у ядерно-фізичних методах для виявлення вибухових речовин, які розрізняються за типом та енергією джерела нейтронів, а також за видом та енергією вторинного гамма-випромінювання, що виникає при взаємодії нейтрона з азотом, вуглецем або киснем, що містяться у вибуховій речовині.

Однак ці методи не можуть вибірково виявляти вибухові або наркотичні речовини через їхню фізичну природу.

Хімічний метод полягає у виявленні та оцінці хімічних складових вибухових речовин та їх компонентів у навколишньому середовищі, дозволяючи виявити сліди вибухових речовин у ґрунті або в повітрі на місцях розташування вибухових матеріалів.

Газоаналітичні прилади з високою чутливістю дозволяють виявляти невеликі концентрації хімічних речовин вибухових матеріалів, особливо тротилу, гексогену.

Біофізичні методи використовують тварин для виявлення вибухових речовин, таких як собаки та гігантські мішкоподібні щури, які виявляють речовини за їхніми хімічними ознаками. Тварини виявляють вибухові речовини в низьких концентраціях з більшою ефективністю, оскільки мають кращі газоаналітичні здібності, ніж електронні газоаналізатори [15].

Магнітометричний метод ґрунтується на використанні магнітометрів для виявлення металевих предметів за допомогою виявлення спотворень у природному магнітному полі Землі, які викликані феромагнітними матеріалами, такими як залізо. Порівняно з іншими методами, магнітометри мають значно більшу здатність виявлення залізних предметів, оскільки вони реєструють аномалії, що виникають

через їх присутність. Цей метод розвивається з метою використання у відеоаналізі, що дозволяє виявляти приховані під поверхнею об'єкти за допомогою магнітометрів.

Основні переваги магнітометричного методу включають можливість виявлення у природних умовах та більшу глибину та швидкість пошуку. Проте цей метод має деякі недоліки, такі як невиявлення діелектричних матеріалів та низька вибірковість та стійкість до засмічення.

Акустичний метод використовує акустичні хвилі для виявлення та ідентифікації наземних мін. Він включає ультразвукові та сейсмічні методи, проте має низьку роздільну здатність та залежить від щільності ґрунту, що обмежує його ефективність, особливо у разі наявності різних перешкод.

Порівняльний аналіз методів виявлення та розпізнавання наземних мін дозволив визначити їхні основні характеристики та провести порівняння.

Результати цього порівняння представлені у таблиці 1.3.

Аналіз методів виявлення та розпізнавання вибухонебезпечних предметів ВНП виявив суперечність між необхідністю підвищення продуктивності обстеження територій для виявлення різних типів ВНП та відсутністю цілісної концепції та методів для створення надійних і безпечних інтелектуальних систем.

Для подолання цієї суперечності пропонується розробити концепцію, яка базується на математичних моделях та методах забезпечення надійності і безпеки мобільних розподілених систем для виявлення та розпізнавання ВНП.

Донавчання відповідних нейромережних структур упродовж виконання завдань на різних територіях.

Запропонована концепція гарантованого виявлення та розпізнавання ВНП передбачає розв’язання наступних завдань:

– розробка методології для створення та використання надійних і ББІС пошуку та знешкодження ВНП. Це включає концепцію, принципи та структуру взаємозв’язків моделей, методів, програмно-апаратних засобів та інформаційних технологій;

– розробка системних моделей та комплексу показників ефективності надійних і безпечних ББІС;

– вдосконалення методів пошуку та виявлення ВНП з використанням ББІС;

– розробка моделей та методів підвищення надійності ББІС та їхніх компонентів;

– створення структури та засобів інформаційних технологій для планування використання та забезпечення надійного функціонування ББІС;

– розробка моделі та методу аналізу та оцінювання ризику виникнення небезпечного стану, підрив на вибухонебезпечному предметі.

У таблиці 1.3 наведенно порівняння методів виявлення ВНП.

Таблиця 1.3 – Порівняння методів виявлення ВНП

Характеристика	Контактний	Механізований	Радіохвильовий	Оптичний	Рентгенівське випромінювання	Гамма-випромінювання	Газоаналітичний	Біофізичний	Магнітометричний	Сейсмоакустичн
Тип взаємодії з ВНП (А – активний, П – пасивний)	А	А	А	П	А	А	П	П	П	А
Тип платформи (Ст – стаціонарний, Моб – мобільний)	Ст	Моб	Моб	Моб	Моб	Моб	Моб	Моб	Моб	Ст

Продовження таблиці 1.3.

Характерис-тика	Контактний	Механізований	Радіохвильовий	Оптичний	Рентгенівське випромінювання	Гамма-випромінювання	Газоаналітичний	Біофізичний	Магнітометричний	Сейсмоакустичн
Потенційна продуктивність	Low	Medium	High	High	Medium	Medium	Medium	Medium	High	Low
Підтримка інформаційних технологій										
Оброблення даних та їхнє зберігання	–	–	+	+	+	+	–	–	+	+
Доступ до мережі та покриття	–	–	+	+	+	+	–	–	+	–
Передача даних у режимі реального часу	–	–	+	+	+	+	–	–	+	–
Параметри якості										
Безпека під час виконання робіт	Low	Medium	High	Low	High	High	High	High	Low	Medium

Продовження таблиці 1.3.

Характеристика	Контактний	Механізований	Радіохвильовий	Оптичний	Рентгенівське	Гамма-випромінювання	Газоаналітичний	Біофізичний	Магнітометричний	Сейсмоакустичн
Імовірність виявлення	High	High	Medium	Low	High	High	High	High	Medium	Medium
Роздільна здатність (вибірковість)	High	Low	Medium	Medium	High	High	High	Low	Low	Low
Надійність	High	High	High	High	High	High	Low	Low	Medium	Medium
Економічні показники										
Вартість	Low	Medium	Medium	Medium	High	High	Medium	Low	Medium	Medium

Розглянемо кожен із зазначених методів виявлення вибухонебезпечних предметів і проаналізуємо їх переваги та недоліки з більшою деталізацією.

Механічний метод має декілька переваг. По-перше, він дуже простий у застосуванні, оскільки не потребує складного обладнання або спеціальних навичок для використання. Крім того, цей метод відзначається надійністю, оскільки ґрунтується на фізичних принципах, і, отже, може вважатися стійким до впливу різних факторів. Найбільш ефективним виявленням предметів цього методу є ті, що мають велику щільність або масу, оскільки вони можуть викликати помітні зміни у механічних системах. Проте механічний метод має також свої недоліки. По-перше, він неефективний у виявленні малих або складних предметів, оскільки їхні зміни можуть бути менш помітними для механічних систем. Крім того, цей

метод вимагає прямого контакту з підозрілим предметом, що може бути небезпечним.

Електромагнітний метод також має свої переваги. Зокрема, він дозволяє виявляти предмети без потреби фізичного контакту, що підвищує безпеку персоналу. Також цей метод є ефективним на великих відстанях, оскільки електромагнітні хвилі можуть проникати через різні матеріали. Проте електромагнітний метод має певні недоліки. Зокрема, він підвищено схильний до помилкових спрацювань через зовнішні електромагнітні сигнали. Крім того, для досягнення оптимальних результатів він вимагає налаштування та калібрування.

Хімічний метод відзначається високою чутливістю до певних хімічних сполук, що дозволяє виявляти навіть невеликі кількості небезпечних речовин. Крім того, він дозволяє виявляти широкий спектр вибухонебезпечних речовин. Проте хімічний метод також має свої недоліки. Зокрема, висока вартість обладнання та підтримки системи, а також обмежена ефективність у виявленні предметів інших за їхнім хімічним складом.

Магнітний метод ефективний у виявленні металевих предметів, які часто використовуються у вибухонебезпечних пристроях, а також може працювати на великих відстанях від об'єкта виявлення. Проте магнітний метод має також свої недоліки. Зокрема, він не ефективний у виявленні неметалевих предметів, а також може спрацьовувати помилково через наявність інших магнітних об'єктів у навколишньому середовищі.

Акустичний метод також має свої переваги, зокрема можливість виявлення предметів на відстані без прямого контакту та висока чутливість до звукових коливань.

Проте акустичний метод має певні недоліки, такі як схильність до помилкових спрацювань через шумове середовище та потребу високого рівня налаштування та калібрування. Сумісний аналіз різних методів виявлення вибухонебезпечних предметів дозволяє глибше зрозуміти їхні можливості та обмеження. Кожен з використовуваних методів має свої унікальні переваги, але

разом з тим і потенційні недоліки. Важливо враховувати, що немає ідеального методу, який би був універсальним для всіх ситуацій.

Механічний метод, хоча й простий у застосуванні, може бути обмеженим у виявленні малих або складних предметів. Водночас, електромагнітні методи можуть працювати на великих відстанях, але їхню ефективність може погіршити вплив зовнішніх електромагнітних сигналів. Хімічний аналіз може бути надзвичайно чутливим, але вимагає спеціалізованого обладнання та знань.

Магнітні методи можуть виявляти металеві предмети, але вони неефективні у виявленні неметалевих матеріалів. Акустичний метод може працювати на відстані, але потребує уваги до шумового середовища та може бути вразливим до інтерференції.

Ефективний підхід до виявлення вибухонебезпечних предметів часто полягає в комбінації різних методів. Такий підхід не лише забезпечує більший охоплення виявлення, але і знижує ймовірність помилкових спрацювань. Комбінування механічних, електромагнітних, хімічних, магнітних та акустичних методів дозволяє створити комплексну систему виявлення, яка може бути ефективною в різних умовах та ситуаціях. Такий підхід забезпечує надійність та ефективність системи виявлення вибухонебезпечних предметів, що є критично важливим для забезпечення безпеки та захисту громадськості.

1.4 Аналіз вибухонебезпечних предметів

Внаслідок військових дій на території України виявляється значне забруднення території ВНО, площа якої становить 185 тисяч квадратних кілометрів. Серед найбільш поширених ВНО слід виділити: протипіхотні фугасні міни, міни-пастки, протитанкові фугасні міни, протипіхотні уламкові міни, протитанкові міни дистанційного мінування. Більш детальна інформація про матеріали цих ВНО представлена в таблиці 1.4. Це є серйозною загрозою для безпеки громадян і військових.

Таблиця 1.4 – Матеріали ВНП

Класифікація ВНП	Назва ВНП	Матеріал корпусу	Вибухова речовина	Принцип дії
Протипіхотні фугасні міни	ПМН-4	Пластмаса	(ТГ-40 – тротил 40%, гексоген 60%) – 0,05 кг	Натискна
Класифікація ВНП	Назва ВНП	Матеріал корпусу	Вибухова речовина	Принцип дії
Протипіхотні фугасні міни	ПМН	Пластмаса	(тротил) – 0,2 кг.	Натискна
Протипіхотні фугасні міни	ПФМ-1	Поліетилен	(ВС-6Д) – 0,04 кг	Натискна
	ПМН-2	Пластмаса	(ТГ-40 – тротил 40%, гексоген 60%) – 0,1 кг	Натискна
Міни пастки	Міна-пастка МЛ-7	Пластмаса	(30гр – ВР-5, 10гр – тетрил) – 0,04 кг	Розвантажувальна
Міни пастки	Мінасюрприз МС-3	Пластмаса	(тротил) – 0,2 кг	Розвантажувальна
Класифікація ВНП	Назва ВНП	Матеріал корпусу	Вибухова речовина	Принцип дії
Протипіхотні міни осколкової дії	ПОМ-2	Сталь	(ПВВ-4) – 0,14 кг	Натяжної, дистанційного мінування

Продовження таблиці 1.4.

Класифікація ВНП	Назва ВНП	Матеріал корпусу	Вибухова речовина	Принцип дії
Протипіхотні міни осколкової дії	МОН-50	Пластмаса	(ПВВ-4) – 0,7 кг	Керована спрямованої дії
	ПОМЗ-2М	Чавун	(тротил) – 0,075 кг	Натяжної дії
	МОН-90	Пластмаса	(ПВВ-4) – 6,2 кг	Керована спрямованої дії
Протипіхотні міни осколкової дії	МОН-100	Сталь	(тротил) – 2 кг	Керована спрямованої дії
	МОН-200	Сталь	(тротил) – 12 кг	Керована спрямованої дії
	ОЗМ-72	Чавун	(МС) – 0,66 кг	Кругова поразка, що вистрибує
Протитанкові міни дистанційного мінування	ПТМ-1	Поліетилен	(ПВВ-12С-1) – 1,1 кг	Натискна
	ПТМ-3	Сталь	(тротил, ТГА, МС) – 1,8 кг	Натискна

У таблиці надано інформацію про матеріали, що використовуються для виготовлення основних компонентів ВНП, та принципи їх роботи. Залежно від класифікації [16], матеріал корпусу може варіюватися. Наприклад, для фугасних мін зазвичай використовують пластмасу, а для осколкових мін – сталь. З цих даних можна висунути гіпотезу, що пластмаса є типовим матеріалом для виготовлення корпусу. Міни з пластиковим корпусом мають невеликий вміст металу, тому не всі

міношукачі можуть їх виявити через ряд причин, від швидкості помаху до технічних обмежень міношукача [17]. Пластмаси для ВНП виробляються методом лиття під тиском. Цей матеріал відрізняється високою удароміцністю, вологостійкістю, стійкістю до високих температур, при вибуху розсіюється на маленькі осколки.

Основний заряд складається з бризантних вибухових речовин, які можуть подрібнювати матеріали (сталь, чавун, пластмаса, дерево), що знаходяться поруч, під час вибуху. Найпоширенішою вибуховою речовиною є тротил (тринітротолуол) або його суміші. Чутливість тротилу до детонації залежить від його стану.

Пресований і порошкоподібний тротил надійно детонує від капсуля-детонатора, а литий, лускатий і гранульований тротил детонує лише від проміжного детонатора з пресованого тротилу або іншої бризантної ВР. Хімічна стійкість тротилу висока; тривале нагрівання при температурі до 130 °С мало впливає на його вибухові властивості, він не втрачає цих властивостей навіть після тривалого перебування у воді. Він використовується як окрема вибухова речовина, а також у різних вибухових сумішах (у сплавах з гексогеном, тетрилом тощо) [18].

Аналізуючи ВНП, які можуть бути на території України, можна зробити висновок, що для основного заряду вибухової речовини використовують тротил або його суміші, а для корпусу – пластмасу та різні металеві сплави. Це важливо для забезпечення безпеки рятув.

2 РОЗРОБКА МАКЕТА МОДУЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

2.1 Розробка загальної структурної схеми

Розробка загальної структурної схеми подано у вигляді структурної схему системи управління котушкою. Ця схема включає кілька ключових елементів, кожен із яких грає свою роль у роботі системи і взаємодіє коїться з іншими елементами. На рисунку 2.1 представленна схема загальної системи для пошуку ВП.

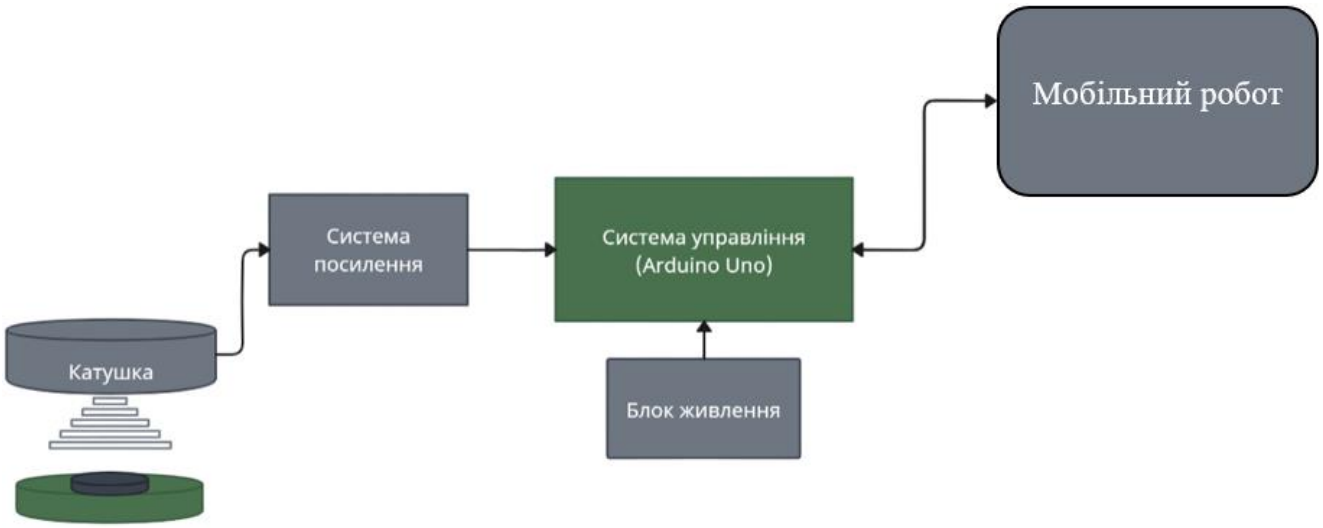

Рисунок 2.1 – Загальна структурна схема

Загально структурна схема включає в себе такі елементи як:

– котушка є основним робочим елементом системи, вона генерує магнітне поле для різних цілей, залежно від конкретного застосування. Пов'язана з системою посилення, яка контролює її роботу;

– система посилення служить для посилення сигналу від котушки, щоб забезпечити ефективне функціонування системи. Вона приймає сигнал від котушки, посилює його і передає в систему керування. Це сполучна ланка між котушкою та системою керування;

– система керування (Arduino Uno) відповідає за керування системою. Вона координує роботу всіх елементів, приймаючи сигнали від системи посилення та визначаючи роботу котушки. Також вона підключена до блока живлення, що забезпечує енергію;

– блок живлення забезпечує енергію всім елементам системи. Підключений до системи керування, він забезпечує її енергією, а також може живити інші елементи;

– мобільний робот приймає результати з системи керування.

Таким чином, всі елементи системи взаємодіють для забезпечення ефективної роботи. Кожен залежить від інших і впливає на них, що створює складну мережу взаємодій. Це забезпечує гнучкість та адаптивність системи, дозволяючи їй ефективно реагувати на зміни умов та вимог.

2.2 Вибір апаратних модулів

Під час розгляду апаратних модулів для проекту було необхідно вибрати платформу, яка відповідала б вимогам з точки зору функціональності, ефективності та вартості. Проаналізовано декілька популярних платформ. Детальніша інформація наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристик платформ Arduino

Плата	Мікроконтролер	Робоче напруга (В)	Цифрові входи/виходи	Виходи з ШІМ	Аналогові входи/виходи	Максимальний струм з піна вводу-виводу (мА)	Flash-пам’ять (КБ)	ОЗУ (КБ)	EEPROM-пам’ять (КБ)	Тактова частота (МГц)	Габарити (мм)
Arduino Uno	ATmega328P	5	14	6	6	40	32	2	1	16	69×53

Продовження таблиці 2.1.

Arduino Nano	ATmega328P	5	14	6	8	40	32	2	1	16	18×45
Black Pill STM32	STM32	3.3	37	17	10	25	128	20	2	72	33×16.5

Розглянемо кожну плату Arduino разом з її застосуванням, перевагами та недоліки.

2.2.1 Arduino Uno

Arduino Uno – це мікроконтролерна плата, розроблена компанією Arduino. Вона є основою для створення різноманітних електронних пристроїв та систем. Arduino Uno оснащена мікроконтролером ATmega328P, який забезпечує обробку вводу-виводу та керування підключеними компонентами. Ця плата має різні цифрові та аналогові порти вводу-виводу, а також можливість підключення до комп'ютера через USB-інтерфейс для програмування та завантаження коду. Arduino Uno широко використовується у прототипуванні, навчанні електроніці та програмуванні, автоматизації домашніх пристроїв, створенні робототехнічних систем, інтернету речей (IoT) та інших проектах. На рисунку 2.2 [19] зображена плата Arduino Uno.

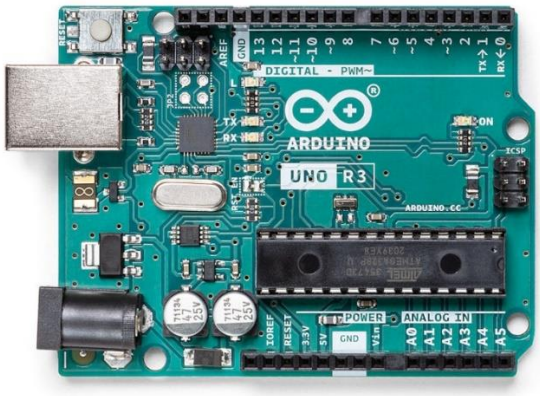

Рисунок 2.2 – Плата Arduino Uno

Arduino Uno широко використовується в проектах для навчання програмування, прототипування пристроїв, домашніх автоматизаційних системах, робототехніці та багатьох інших сферах. Ця плата є ідеальним вибором для створення простих електронних пристроїв, контролю різних пристроїв, від освітлення до систем поливу.

Переваги:

– ростота використання;

– широкий вибір доступних сенсорів та модулів;

– низька вартість.

Недоліки:

– обмежені можливості порівняно з деякими іншими платформами;

– обмежена кількість виводів та ресурсів.

2.2.2 Arduino Nano

Arduino Nano – це компактна мікроконтролерна плата, створена компанією Arduino на базі того самого мікроконтролера ATmega328P, який використовується в Arduino Uno. Arduino Nano надає ті ж функціональні можливості, що й Arduino Uno, але має компактніший розмір, що робить її ідеальним вибором для проектів з обмеженим простором. Плата Arduino Nano має цифрові та аналогові входи/виходи, а також вбудований USB-інтерфейс для програмування та завантаження коду. На рисунку 2.3 [20] зображена плата Arduino Nano.

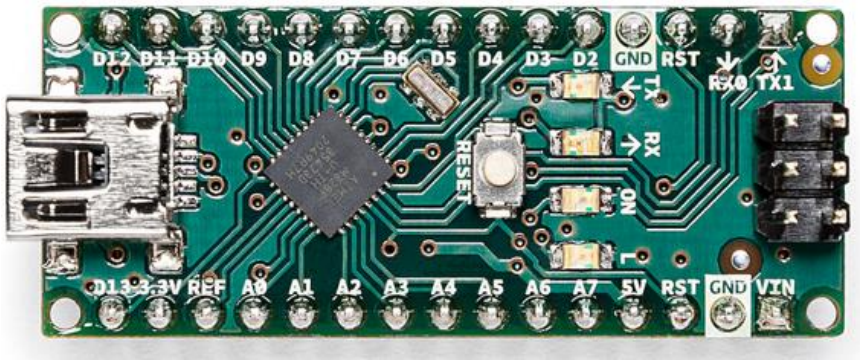

Рисунок 2.3 – Плата Arduino Nano

Arduino Nano часто використовується в проектах, де важливо зберегти місце, таких як носимі пристрої, датчики, IoT-проекти та інші проекти з обмеженим простором.

Переваги:

– компактний розмір, що робить його ідеальним для проектів з обмеженим простором;

– схожа функціональність до Arduino Uno.

Недоліки:

– обмежені можливості розширення;

– менша кількість доступних виводів порівняно з Arduino Uno.

2.2.3 Black Pill STM32

Black Pill STM32 – це мікроконтролерна плата на основі мікроконтролера STM32, яка забезпечує високу продуктивність та широкі можливості для розробки різноманітних проектів. Плата отримала свою назву через чорний кольоровий дизайн і компактний розмір, що робить її досить компактною для використання різних застосуваннях. На рисунку 2.4 [21] зображена плата Black Pill.

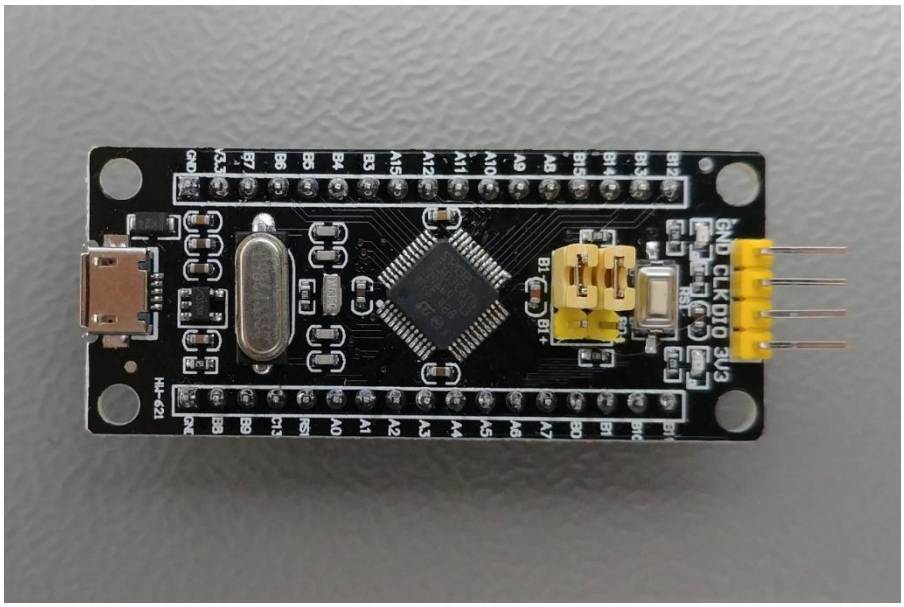

Рисунок 2.4 – Плата Black Pill

Black Pill STM32 має наступні характеристики:

– оснащений потужним мікроконтролером STM32, який забезпечує високу продуктивність та широкі можливості програмування;

– широкий спектр цифрових та аналогових вводів-виводів, які дозволяють підключати різноманітні сенсори, актуатори та інші пристрої;

– інтерфейси для зв'язку, такі як SPI, I2C, USART, що роблять його ідеальним вибором для проектів, які потребують обміну даними з іншими пристроями;

– підтримка програмування через USB-інтерфейс, що дозволяє легко завантажувати код та взаємодіяти з платою;

– широке спільнотне сприйняття та підтримка, яка дозволяє швидко знайти відповіді на питання та розв'язати проблеми.

Black Pill STM32 застосовується в різних областях, включаючи:

– розвиток електронних пристроїв та систем;

– робототехніка та автоматизація;

– проекти Інтернету речей (IoT);

– навчання програмування та робототехніки.

Переваги:

– висока продуктивність та широкі можливості;

– широкий спектр введено-виведеної функціональності;

– спільнотна підтримка та доступність ресурсів;

Недоліки:

– потребує додаткових знань для ефективного використання;

– деяка складність в програмуванні порівняно з більш простими платформами.

Black Pill STM32 – це потужна та гнучка плата, яка дозволяє створювати різноманітні електронні проекти з високою ефективністю та продуктивністю.

Вибір Arduino Uno обумовлений кількома ключовими причинами:

– Arduino Uno є стабільною в роботі та надійністю. Це довірена плата, яка забезпечує безперервну роботу навіть у важких умовах, що робить її привабливим вибором для багатьох проектів;

– одна з головних переваг Arduino Uno – це простота у використанні, її допомогою навіть користувачі-початківці можуть швидко освоїти основи програмування та електроніки. Простота інтерфейсу та доступність документації роблять цю плату ідеальним вибором для різноманітних проектів;

– Arduino Uno підтримується величезною спільнотою розробників та ентузіастів. Це означає, що ви можете легко знайти безліч прикладів коду, бібліотек та посібників, що значно спрощує процес розробки та налагодження;

– Arduino Uno сумісна з великою кількістю датчиків, модулів та розширень, що дозволяє легко розширювати її функціональність для реалізації різних проектів, тому це робить Uno універсальним інструментом для створення широкого спектру пристроїв від простих експериментів до складних автоматизованих систем;

– Arduino Uno доступна за відносно низькою ціною, що робить її доступною для широкого кола користувачів, включаючи школярів, студентів та хобі-розробників;

В цілому, Arduino Uno є надійним та простим у використанні та багатофункціональним пристроєм, саме тому вона була обрана для цього проекту.

Мікросхема К561ЛА7 належить до цифрових пристроїв серії комплементар метал-оксид-напівпровідник (КМОП) і містить чотири елементи логіки 2І-НЕ1. Її призначення - інтеграція у радіоелектронну апаратуру для різноманітних цілей.

Основні характеристики мікросхеми:

– максимальна вихідна напруга у стані низького рівня – не більше 2.9 В;

– мінімальна вихідна напруга у стані високого рівня – не менше 7.2 В;

– вхідний струм у стані низького та високого рівнів не перевищує 0.3 мкА;

– мінімальні вихідні струми у стані низького та високого рівнів – не менше 1.3 мА;

– діапазон напруги живлення від 3 до 15 В;

– діапазон робочих температур від -45 до +85 °С.

Мікросхема упакована в корпус із пластику з 14 висновками, розташованими у два ряди. Завдяки своїм компактним розмірам та низькому енергоспоживання вона підходить для використання у різних для металошукачів.

У контексті металошукачів мікросхема К561ЛА7 застосовуватися для розробки простих схем та пристроїв. На рисунку 2.5 [22] представлено логічна схема К561ЛА7.

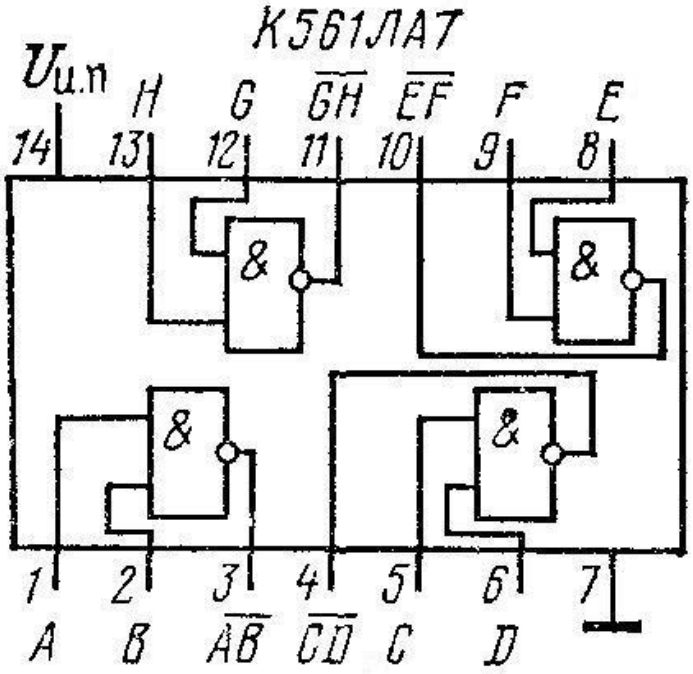

Рисунок 2.5 – Логічна схема К561ЛА7

WH148 10k – це тип потенціометра, який зазвичай має форму круглого регулятора із ручкою для регулювання. "10k" вказує на його номінальний опір, який становить 10 кілом. Це означає, що при використанні його як резистора його опір можна змінювати в межах від 0 до 10 кілоом.

Потенціометри використовуються для регулювання опору електричних ланцюгах. У металошукачах він використовується для налаштування чутливості пристрою до металевих об'єктів. Зміна опору допомагає настроїти чутливість металошукача залежно від умов пошуку.

У металошукачах використовується потенціометр для регулювання чутливості детектора до металу. Це дозволяє користувачеві налаштувати пристрій так, щоб він реагував на металеві предмети певного розміру чи складу. На рисунку 2.6 [23] представленно WH148 на 10k.

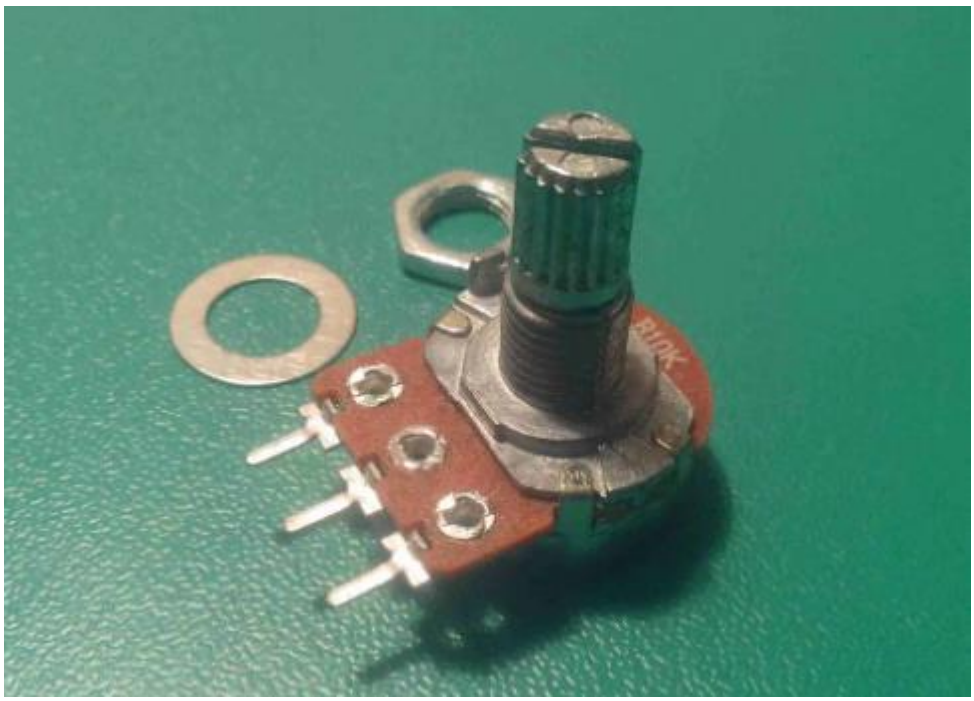

Рисунок 2.6 – WH148 10k

WH148 має такі характеристики:

– номінальний опір: 10 кілоом;

– тип: лінійний;

– максимальна потужність: зазвичай до 0.25 Вт.

WH148 10k – це поширений і надійний компонент, який широко використовується в електроніці, включаючи металошукачі, для точного налаштування та регулювання.

WH148 10k був обраний тому що:

– номінальний опір потенціометра впливає на діапазон регулювання чутливості металошукача, тому що якщо був обраний потенціометр з номінальним опором 20 кілом або 50 кілом, це б обмежело діапазон налаштування чутливості, роблячи його менш гнучким для різних умов пошуку;

– інші компоненти та параметри металошукача також впливають на вибір певного опору потенціометра, тому що чутливість датчиків, підсилювачів або фільтрів може бути оптимальною за певних значень опору;

– потенціометри з різними номінальними опорами можуть мати різні ціни та доступність на ринку, тому що вибір 10 кілометрового потенціометра обумовлений їх широким поширенням, надійністю та низькою вартістю.

Таким чином, вибір 10 кілометрового потенціометра для металошукача результат балансу між гнучкістю налаштування, електричними характеристиками пристрою та практичними міркуваннями.

2.3 Розрахунок індуктивності котушки

Розрахунок індуктивності котушки для металошукача. Для цього буде використанно наступні дані:

– діаметр котушки (D) = 0.15 м;

– довжина намотування котушки (l) = 0.0005 м;

– кількість витків котушки (n) = 70.

Вибір вхідних даних для розрахунку котушки металошукача залежить від декількох факторів, зокрема від конкретного застосування металошукача, вимог до його роботи та доступних матеріалів для виготовлення котушки:

– діаметр котушки (D) = 0.15 м. Діаметр котушки впливає на її індуктивність та глибину проникнення магнітного поля. Більший діаметр може забезпечити більшу глибину пошуку, але це також може збільшити вагу та розмір металошукача. В даному випадку, діаметр в 0.15 м є компромісом між глибиною пошуку та зручністю використання;

– довжина намотування котушки (l) = 0.0005 м. Довжина намотування котушки впливає на її індуктивність та сопротивление. Коротше намотування може зменшити сопротивление котушки, але це також може зменшити її індуктивність. В даному випадку, довжина намотування в 0.0005 м була обрана для оптимізації індуктивності та сопротивления котушки;

– кількість витків котушки (n) = 70. Кількість витків котушки впливає на її індуктивність. Більша кількість витків може збільшити індуктивність котушки, але це також може збільшити її сопротивление та вагу. В даному випадку, 70 витків було обрано як оптимальне значення для досягнення потрібної індуктивності при прийнятному рівні сопротивления.

На рисунку 2.7 предаствленна котушка з 70 вітками.

Рисунок 2.7 – Котушка

Ці вхідні дані були обрані на основі конкретних вимог до металошукача та доступних матеріалів для виготовлення котушки.

Розрахувати індуктивність L соленоїдальної котушки можна розрахувати за наступною формулою (формула 2.1):

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot A}{l}. \quad (2.1)$$

де: L – індуктивність котушки, Гн;

μ_0 – магнітна проникність вакууму ($4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м);

μ_r – відносна магнітна проникність матеріалу сердечника (для повітря μ_r≈1);

N – кількість витків;

A – площа поперечного перерізу котушки;

l – довжина котушки (метри).

Розрахуємо площу поперечного перерізу A:

$$A = \pi(\frac{D}{2})^2 = \pi(\frac{0.15}{2})^2 \approx 0.0177 \text{ м}^2 \quad (2.2)$$

Підставимо значення формулу для індуктивності:

$$\text{L} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 70^2 \cdot 0.0177}{0.0005}. \quad (2.3)$$

Тепер виконаємо розрахунок:

$$\text{L} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4900 \cdot 0.0177}{0.0005};$$

$$\text{L} = \frac{4 \cdot 3.14 \cdot 10^{-7} \cdot 4900 \cdot 0.0177}{0.0005};$$

$$\text{L} = \frac{1.22546 \cdot 10^{-4}}{0.0005};$$

$$\text{L} = 0.245 \text{ Гн}.$$

Таким чином, індуктивність котушки становить приблизно 0.245 Гн. Для котушки з діаметром 150 мм, довжиною намотування 0.5 мм та кількістю витків 70, індуктивність у діапазоні від 0.2 до 0.3 Генрі вважається гарним результатом. Цей діапазон відповідає очікуванням для котушок такого розміру та конфігурації, забезпечуючи ефективну роботу у відповідних додатках.

Порівняння з іншими металодетекторами:

а) Котушка Garrett AT Pro:

– діаметр: 8.5 дюймів (215.9 мм);

– індуктивність: близько 0.25 Генрі.

б) Котушка Minelab Equinox 800:

– діаметр: 11 дюймів (279.4 мм);

– індуктивність: близько 0.28 Генрі.

в) Котушка Fisher F75:

– діаметр: 10 дюймів (254 мм);

– індуктивність: близько 0.23 Генрі.

Отже, котушка з індуктивністю 0.245 Генрі для зазначених параметрів (діаметр 150 мм, довжина намотування 0.5 мм, кількість витків 70) знаходиться в межах гарного діапазону (0.2-0.3 Генрі). Вона можна порівняти з котушками відомих металодетекторів, що свідчить про її ефективність та придатність для використання в різних додатках.

2.4 Моделювання динамічної схеми керування металошукачем

Схема включає блоки $W_0(s)$, W_1(s), W_2(s), W_3(s), і W_4(s). На схемі також присутній негативний зворотний зв'язок через W_4(s).

Позначимо:

u(t) – вхідний сигнал;

h(t) – вихідний сигнал;

y_0, y_1, y_2, y_3, y_4 – проміжні сигнали.

Структурна схема має таку структуру:

– вхідний сигнал u(t) подається на перший блок W_0(s);

– вихід першого блоку $y_0 = W_0(s)\cdot u(t)$ подається на другий блок W_1(s);

– вихід другого блоку $y_1 = W_1(s)\cdot y_0$ подається на третій блок W_2(s) і на блок $W_3(s)$;

– вихід третього блоку $y_2 = W_2(s)\cdot y_1$ є вихідним сигналом системи h(t);

– вихід блоку W_3(s) подається на блок W_4(s);

– вихід блоку W_4(s) йде на суматор з негативним зворотним зв'язком, сумуючись з вхідним сигналом u(t).

На рисунку 2.8 представлена структурна схема металошукача.

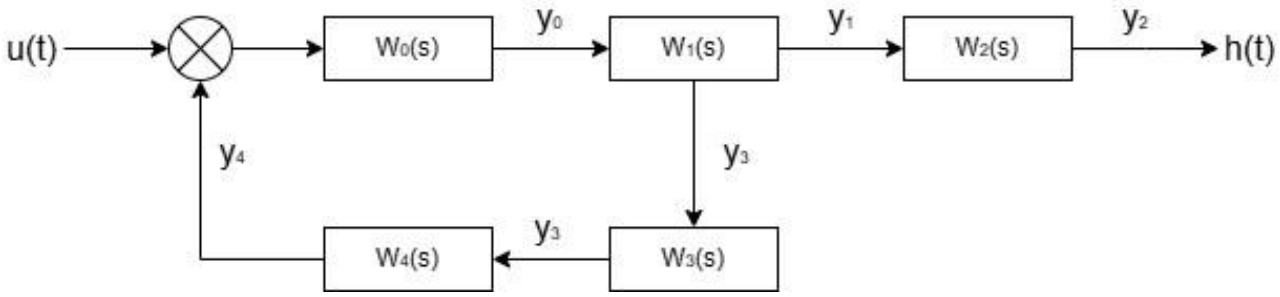

Рисунок 2.8 – Структурна схема металошукача

Структурна схема ілюструє взаємодію різних блоків і показує, як вхідний сигнал перетворюється на вихідний через систему, а також як здійснюється зворотний зв'язок. Це допомогає легко візуалізувати динаміку системи та зрозуміти вплив кожного блоку на загальну роботу металошукача.

Розгляд передавальних функції:

– блок W_0(s):

$$y_0 = W_0(s)\cdot u(t)\ . \qquad (2.4)$$

– блок W_1(s):

$$y_1 = W_1(s)\cdot y_0\ . \qquad (2.5)$$

– блок W_2(s):

$$y_2 = W_2(s)\cdot y_1\ . \qquad (2.6)$$

Вихід y_2 також є h(t):

$$h(t) = y_2 . \quad (2.6)$$

– блок $W_3(s)$:

$$y_3 = W_2(s) \cdot y_1 . \quad (2.7)$$

– блок $W_4(s)$:

$$y_4 = W_4(s) \cdot y_3 . \quad (2.8)$$

Зворотний зв'язок:

На виході y_4 подається на суматор з негативним знаком. З урахуванням зворотного зв'язку:

$$u(t) = u_{input}(t) - y_4 . \quad (2.9)$$

де $u_{input}(t)$ – зовнішній вхідний сигнал.

Отримаємо рівняння системи:

$$u(t) = u_{input}(t) - W_4(s) \cdot W_3(s) \cdot W_1(s) \cdot W_0(s) \cdot u(t). \quad (2.10)$$

Тепер висловимо u(t):

$$u(t) = u_{input}(t) \cdot \left(1 + W_4(s) \cdot W_3(s) \cdot W_1(s) \cdot W_0(s)\right)^{-1} \quad (2.11)$$

Загальна передатна функція системи:

Тепер знайдемо передатну функцію H(s) системи від $u_{input}(t)$:

$$h(t) = W_2(s)\cdot W_1(s)\cdot W_0(s)\cdot u(t). \quad (2.12)$$

Підставимо вираз для u(t):

$$h(t) = W_2(s)\cdot W_1(s)\cdot W_0(s)\cdot u_{\text{input}}(t)\cdot\left(1 + W_4(s)\cdot W_2(s)\cdot W_1(s)\cdot W_0(s)\right).^{-1} \quad (2.13)$$

Отримуємо передатну функцію:

$$H(s) = \frac{W_2(s)\cdot W_1(s)\cdot W_0(s)}{1 + W_4(s)\cdot W_3(s)\cdot W_1(s)\cdot W_0(s)}. \quad (2.14)$$

Передатна функція всієї системи буде мати вот такий вигляд:

$$H(s) = \frac{W_2(s)\cdot W_1(s)\cdot W_0(s)}{1 + W_4(s)\cdot W_3(s)\cdot W_1(s)\cdot W_0(s)}. \quad (2.15)$$

Ця функція визначає, як вхідний сигнал $u_{\text{input}}(t)$ перетворюється у вихідний сигнал h(t) в системі металошукача.

Для побудови графіків передавальної функції системи металошукача, необхідно задати конкретні вирази для передавальних функцій $W_0(s)$, $W_1(s)$, $W_2(s)$, $W_3(s)$, і $W_4(s)$. Припустимо, що маємо такі передатні функції:

$$W_0(s) = \frac{1}{s+1},$$

$$W_1(s) = \frac{1}{s+2},$$

$$W_2(s) = \frac{1}{s+3},$$

$$W_3(s) = \frac{1}{s+4},$$

$$W_4(s) = \frac{1}{s+5}.$$

Тепер підставляємо ці значення в загальну передатну функцію:

$$H(s) = \frac{W_2(s) \cdot W_1(s) \cdot W_0(s)}{1 + W_4(s) \cdot W_3(s) \cdot W_1(s) \cdot W_0(s)} \tag{2.16}$$

Підставляємо значення та отримаємо таке рівняння:

$$H(s) = \frac{\frac{3}{s+3} + \frac{2}{s+2} + \frac{1}{s+1}}{1 + \frac{5}{s^5} + \frac{4}{s^4} + \frac{2}{s^2} + \frac{1}{s+1}} \tag{2.17}$$

На рисунку 2.9 представлений графік АЧХ, що показує, як амплітуда вихідного сигналу змінюється залежно від частоти сигналу. Цей графік дозволяє зрозуміти які частоти посилюються, а які пригнічуються системою.

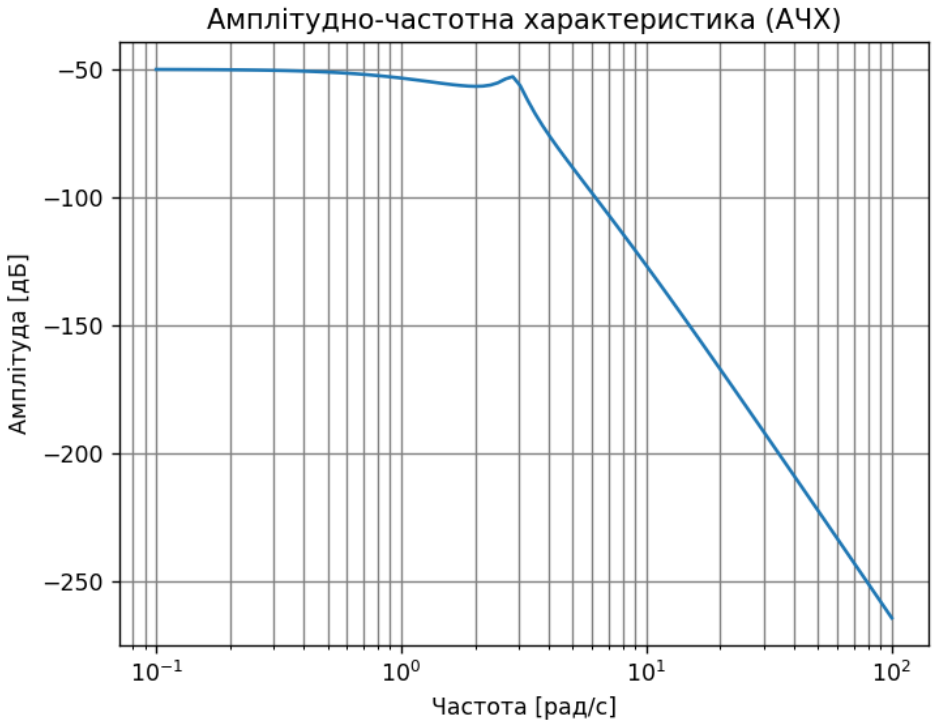

Рисунок 2.9 – Графік амплитудно-частотної характеристики

На рисунку 2.10 представлений графік ФЧХ, що демонструє зміну фази вихідного сигналу, залежно від частоти вхідного сигналу. Цей графік важливий для аналізу фазової стійкості та затримок у системі.

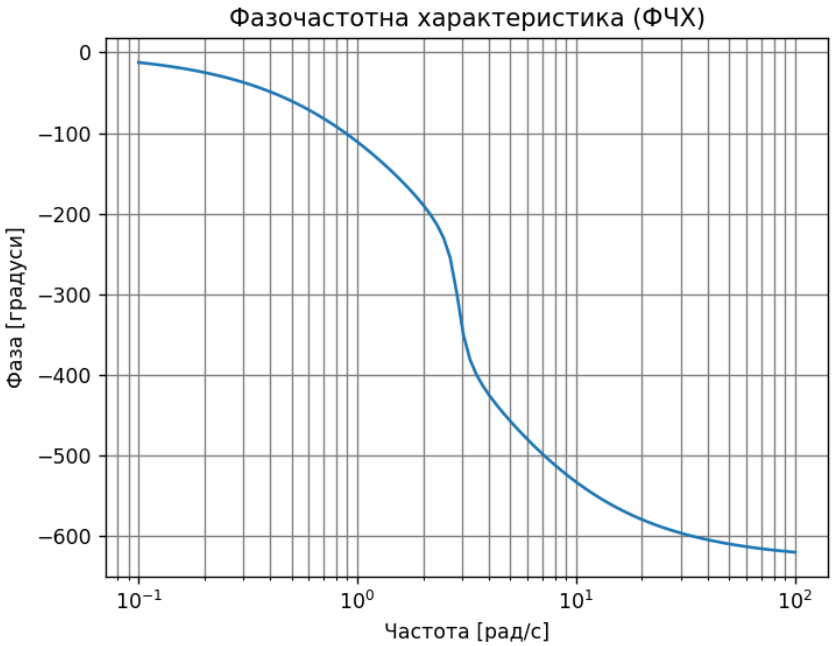

Рисунок 2.10 – Графік фазочастотної характеристики

Графік АЧХ показує, як система реагує різні частоти. Важливо звернути увагу до частоти, у яких відбувається резонанс чи суттєве придушення сигналу.

Графік ФЧХ дає змогу оцінити фазові зрушення, які можуть впливати на стійкість системи. Знання фазових характеристик допомагає запобігти можливим проблемам із фазовою стійкістю.

Ці графіки дають повне уявлення про динамічні властивості системи металошукача та є основою для подальшого аналізу та оптимізації параметрів системи.

2.5 Розробка схеми підключення

Центральним елементом схеми є LC-генератор, який ґрунтується на логічній мікросхемі. Ключовим датчиком у цьому генераторі служить котушка: коли поруч

з'являється метал, індуктивність змінюється злегка, що у свою чергу призводить до зміни частоти генерації. Ці зміни потім аналізуються "центральним процесором" схеми, що базується на платформі Arduino. На рисунку 2.11 представленна у вигляді схеми.

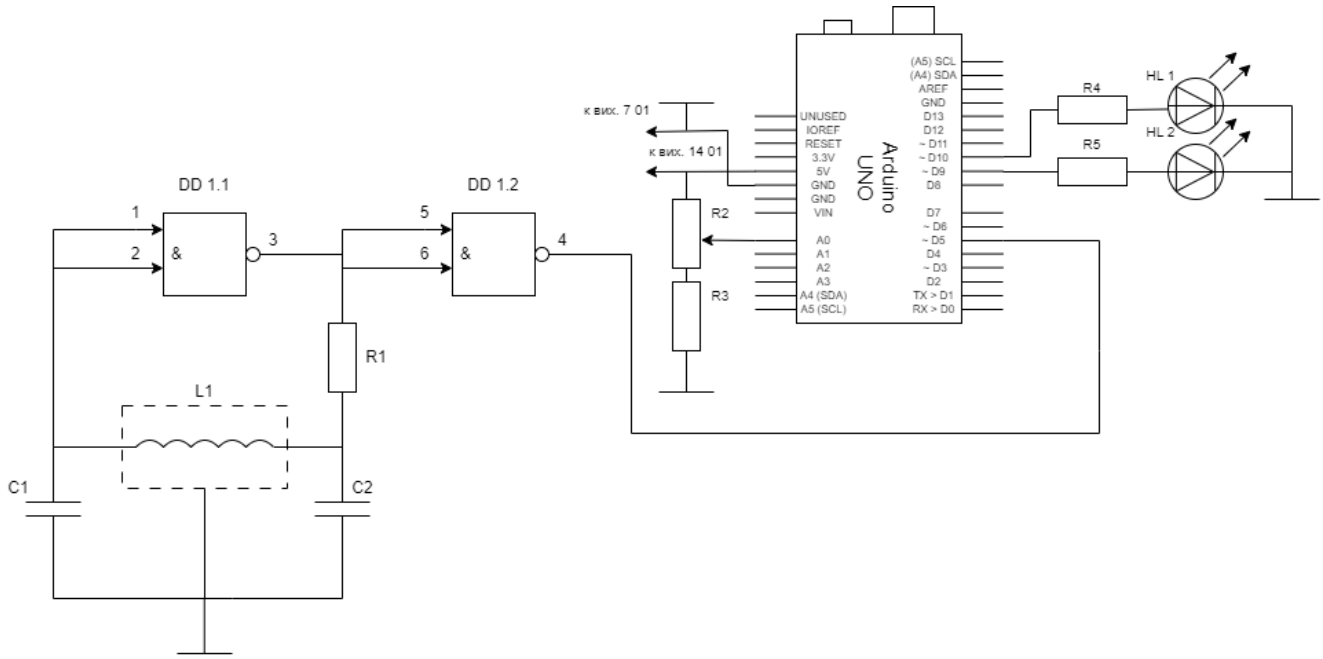

Рисунок 2.11 – Схематичний вигляд металошукача

Генератор для вимірювань побудований з використанням двох елементів типу 2І-НЕ та ґрунтується на мікросхемі К561ЛА7.

Дільник напруги R2-R3 підключений до аналогового входу A0, що дозволяє регулювати чутливість. Сигнал індикується через висновки 9 і 10, які пов'язані зі світлодіодами через резистори R4 та R5, що обмежують струм. Енергія для генератора надходить безпосередньо з плати Arduino.

Схема друкованої плати, що включає мікросхему К561ЛА7, потенціометр WH148 і Arduino Uno, є ключовим елементом в розробці електронних пристроїв. Ця схема забезпечує підключення та взаємодію між різними компонентами, що необхідні для правильної роботи пристрою.

Під час розробки такої схеми, окрім основних елементів, як мікросхема, потенціометр і платформа Arduino Uno, також необхідно враховувати інші компоненти, такі як конденсатори, резистори та котушки

На рисунку 2.12 представлена детальна схема з підключенням мікросхеми К561ЛА7, потенціометра WH148 і Arduino Uno. Ця схема включає в себе всі необхідні з'єднання та розподіл пінів для кожного з компонентів, що дозволяє ефективно організувати простір на друкованій платі та забезпечити правильне підключення.

Важливою частиною розробки схеми є також урахування електричних параметрів кожного компонента, специфікацій платформи Arduino Uno і можливостей мікросхеми К561ЛА7, щоб забезпечити сумісність та оптимальну роботу всього пристрою. Схема була зібрана у програмі EasyEDA.

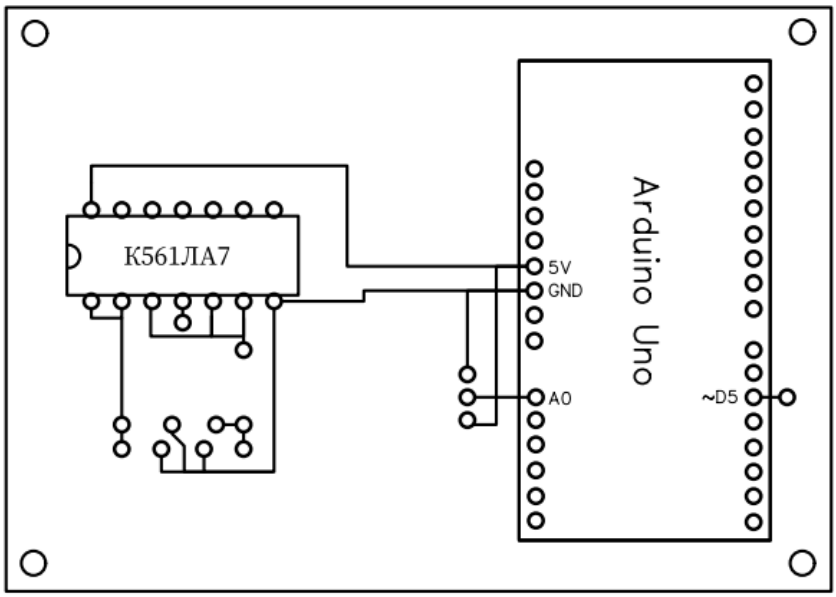

Рисунок 2.12 – Схема друкованої плати

На рисунку 2.12 показано схему підключення мікросхеми К561ЛА7 до плати Arduino Uno. Піни на К561ЛА7 з'єднані з пінами на Arduino Uno наступним чином:

– 5V на К561ЛА7 підключений до 5V на Arduino Uno;

– GND на К561ЛА7 підключений до GND на Arduino Uno;

– четвертий пін мікросхеми К561ЛА7 підключений до D5 на Arduino Uno.

Також Arduino Uno підключений пін A0 для роботи з потенціометром WH148, земля та живлення для потенціометра також підключені до плати Arduino Uno.

На рисунку 2.13 більш детально розглянуто з'єднання з мікросхемою К561ЛА7 та розпинування для підключення компонентів.

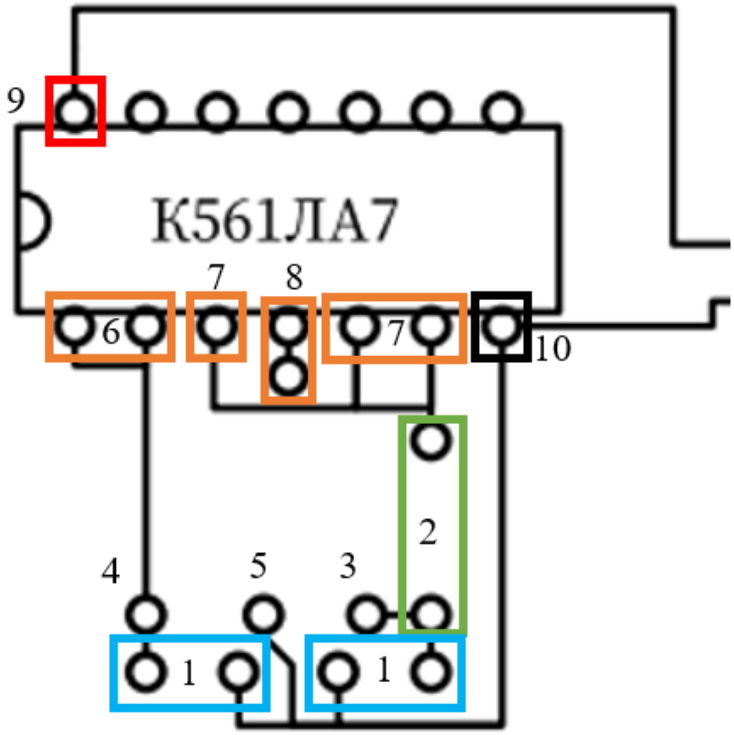

Рисунок 2.13 – З'єднання пінів з мікросхемою К561ЛА7 та розпинування для компонентів

– конденсатори (позначені синьою зоною (1)) підключені до пинів, де лівий з'єднуються з піном котушки, а правий з піном резистора;

– резистор позначений зеленою зоною (2), він підключений до піна 3 де підключається котушка і підключений до піна 6, 5 та 3 к мікросхемі К561ЛА7;

– (3) та (4) це піни для підключення котушки, також (4) підключен до пінів 1 та 2, (3) підключен до піна резистора;

– (5) земля кашутки;

– зона (6) це перший та дригий пін вони з'єднуються між собою;

– зона (7) це третій, п'ятий та шостий пін вони з'єднуються між собою;

– зона (8) це четвертий пін який підключається до піна D5 на платі Arduino Uno;

– зона (9) це чотирнадцятий пін, до якого підключається живлення від плати Arduino Uno;

– зона (10) це сьомий пін, до якого підключається земля від плати Arduino Uno.

2.6 Розробка макета

Макет складається з мідної котушки, яка підключена до макетної плати. На цій макетній платі розташована мікросхема К561ЛА7. Мікросхема К561ЛА7 з'єднана проводами між собою і підключена до співпінних мікросхеми і конденсаторів.

Мікросхема К561ЛА7 також підключена до плати Arduino Uno через 5-ий пін. Два світлодіоди підключені до плати Arduino Uno через 10-ий і 9-ий піни.

Також присутній резистор на 1.5 Ом який з'єднаний з котушкою і мікросхемою К561ЛА7.

Підключено синій і білий світлодіоди до пін 9 і 10 Arduino Uno, які включають використання резисторів з оптимальним опором для обмеження струму, тому було вибрано для синього світлодіоду опір близько 220 Ом, а для білого – близько 330 Ом.

Потенціометр WH148 10k використовується у металошукачі для регулювання рівня чутливості металошукача. Це дозволяє змінювати чутливість пристрою в залежності від умов пошуку і типу металевих об'єктів, які він намагається виявити.

На рисунках 2.14-2.15 представлений зібраний макет металошукача на базі Arduino Uno.

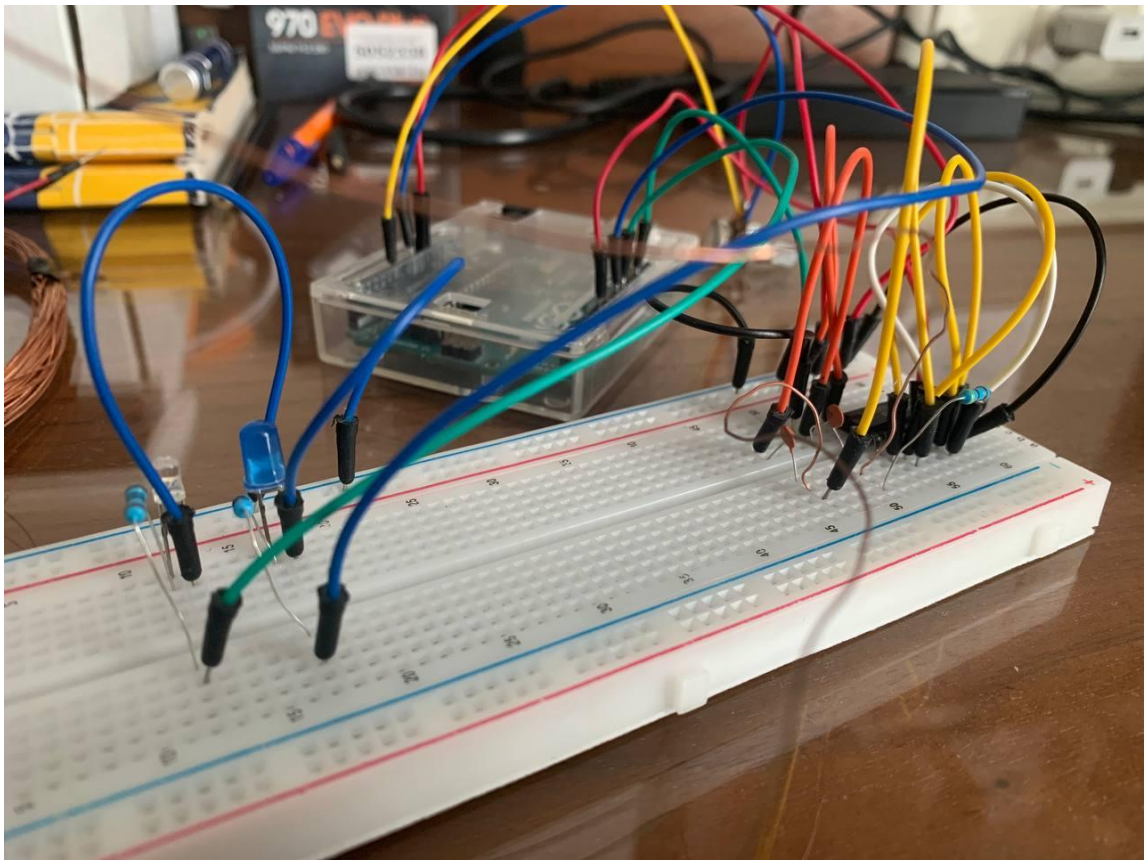

Рисунок 2.14 – Макет металошукача на базі Arduino Uno

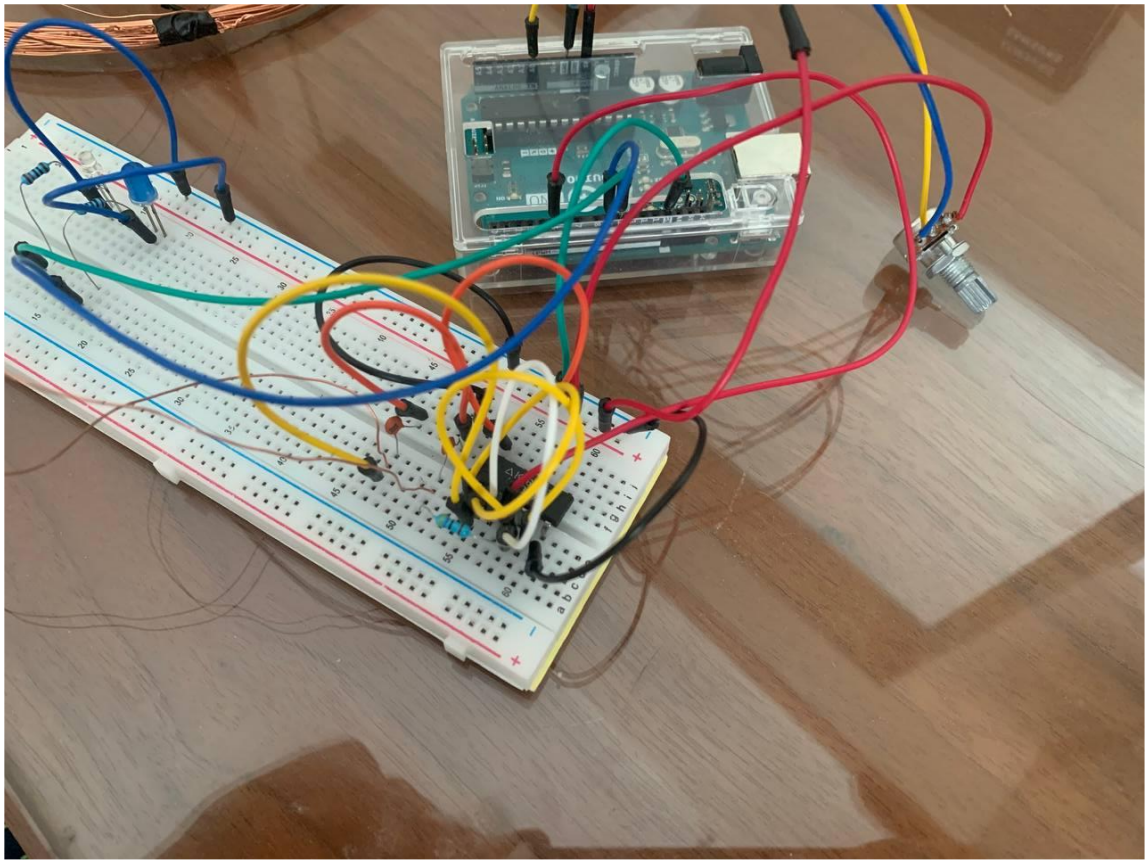

Рисунок 2.15 – Макет металошукача на базі Arduino Uno

На рисунках 2.14-2.15 можна побачити макетну плату на якій розташовуються всі компоненти: мідна котушка яка, підключена до макетної плати, на якій розташована мікросхема К561ЛА7. Мікросхема К561ЛА7 з'єднана з іншими компонентами за допомогою проводів і підключена до відповідних контактів мікросхеми та конденсаторів (2.22 пФ). До макетної плати підключено також резистор на 1.5 Ом, який з'єднує котушку з мікросхемою К561ЛА7.

Можна ще побачити синій та білий світлодіоди до яких підлючені ресзитори для обмеження струму з оптимальним опором 220 Ом для синього світлодіоду та 330 Ом для білого.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МОДУЛЕМ ВИЯВЛЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

3.1 Вибір середовища розробки

Arduino IDE (Integrated Development Environment) – це середовище розробки програмного забезпечення, спеціально призначене для програмування мікроконтролерів Arduino та сумісних з ними пристроїв.

Мова програмування, що використовується в Arduino IDE – Arduino Sketch, яка базується на мові C/C++. Arduino Sketch має простий синтаксис і спеціальні функції для роботи з платформою Arduino, що робить його досить доступним навіть для початківців.

Переваги використання Arduino IDE:

– простота використання та навчання яка має Arduino IDE в якій є зрозумілий інтерфейс, що дозволяє швидко навчитися програмувати пристрої Arduino;

– велика спільнота людей які використовують Arduino, що означає наявність багатьох ресурсів, підтримки та допомоги в Інтернеті;

– наявність багатьох бібліотек, що спрощує розробку проектів шляхом використання готових функцій та модулів.

Недоліки використання Arduino IDE:

– обмежені можливості Arduino IDE яка не є найбільш потужним середовищем розробки і може бути обмеженим у роботі з складними проектами або великими обсягами коду;

– швидкодія мови Arduino Sketch менш ефективна з точки зору швидкодії порівняно з нативними мовами програмування мікроконтролерів.

Arduino IDE була обрана для програмування Arduino Uno з ряду причин. По-перше, це простота використання. Інтерфейс Arduino IDE інтуїтивно зрозумілий, що дозволяє навіть початківцям швидко оволодіти навичками програмування

мікроконтролера. Це особливо важливо для тих, хто раніше не мав досвіду в програмуванні.

По-друге, Arduino IDE має широку підтримку. Велика спільнота користувачів надає безліч ресурсів, уроків та прикладів коду для використання. Це робить процес розробки простішим і доступнішим, особливо для новачків.

По-третє, Arduino IDE має велику кількість бібліотек, що містять готові функції та модулі для взаємодії з різними пристроями та сенсорами. Це дозволяє розробникам ефективно використовувати готові рішення замість писання коду з нуля.

Також, тому що, Arduino IDE є сумісним з Arduino Uno. Вона розроблена спеціально для використання з платформою Arduino, включаючи Arduino Uno, що гарантує повну сумісність та оптимальну роботу з цим конкретним мікроконтролером.Обрання Arduino IDE для програмування Arduino Uno є найкращим вибором з урахуванням його простоти використання, широкої підтримки спільноти, наявності бібліотек та повної сумісності з цільовою платформою.

3.2 Розробка загального алгоритму

На рисунку 3.1 представленно загальний алгоритм роботи системи для модуля металошукача. Процес починається із подачі харчування. Система перевіряє наявність живлення, і якщо його немає, вона постійно повертається до цієї перевірки. Якщо присутнє харчування, відбувається ініціалізація всіх необхідних бібліотек, що готує систему до подальшої роботи. Після ініціалізації система починає отримувати дані з котушки, яка використовується як сенсор для виявлення металу. Зібрані дані потім піддаються обробці, що включає фільтрацію, перетворення або аналіз даних визначення наявності металу.

Після обробки даних система перевіряє, чи було виявлено метал. Якщо метал не був виявлений, процес повертається до отримання даних із котушки, повторюючи цикл збору та обробки даних. Якщо метал виявили, відповідне

значення передається мобільному роботу. Це дозволяє роботу реагувати на виявлення металу та виконувати певні дії залежно від програмування. Цей процес повторюється, забезпечуючи безперервний цикл виявлення металу та передачі даних роботу для виконання завдань.

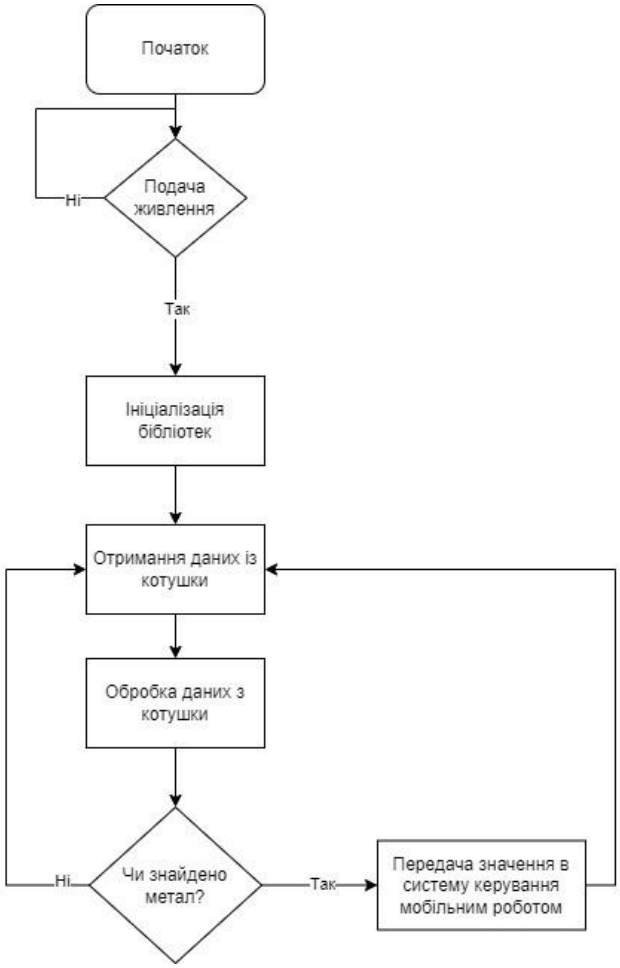

Рисунок 3.1 – Загальний алгоритм роботи системи для модуля металошукача

3.3 Розробка алгоритму виявлення вибухонебезпечних предметів

На рисунку 3.2 представлено алгоритм роботи програми для пошуку металу в автоматичному режимі.

Алгоритм працює на принципі аналізу частоти сигналу та аналогових даних для виявлення змін, що свідчать про наявність металевого об'єкта. Також алгоритм дозволяє програмі динамічно реагувати на зміни у вхідному сигналі та керувати

світлодіодами відповідно до цих змін, що робить його ефективним інструментом для пошуку металу в автоматичному режимі.

Крім того, алгоритм використовує принцип автокалібрування для постійного оновлення базового значення порівняння, що дозволяє забезпечити стабільну та точну реакцію на зміни вхідного сигналу від металевого об'єкта. Ця функція підстройки дозволяє адаптуватися до різних умов і змін, забезпечуючи надійність та ефективність роботи алгоритму. Також важливою особливістю цього алгоритму є його безперервний режим роботи, що дозволяє постійно моніторити ситуацію та реагувати на будь-які зміни у реальному часі. Це робить програму гнучкою та ефективною в різних умовах та ситуаціях пошуку металу. В результаті, цей алгоритм створює надійний та ефективний інструмент для автоматичного пошуку металевих об'єктів, який може бути успішно використаний у різних областях, включаючи промисловість та безпеку.

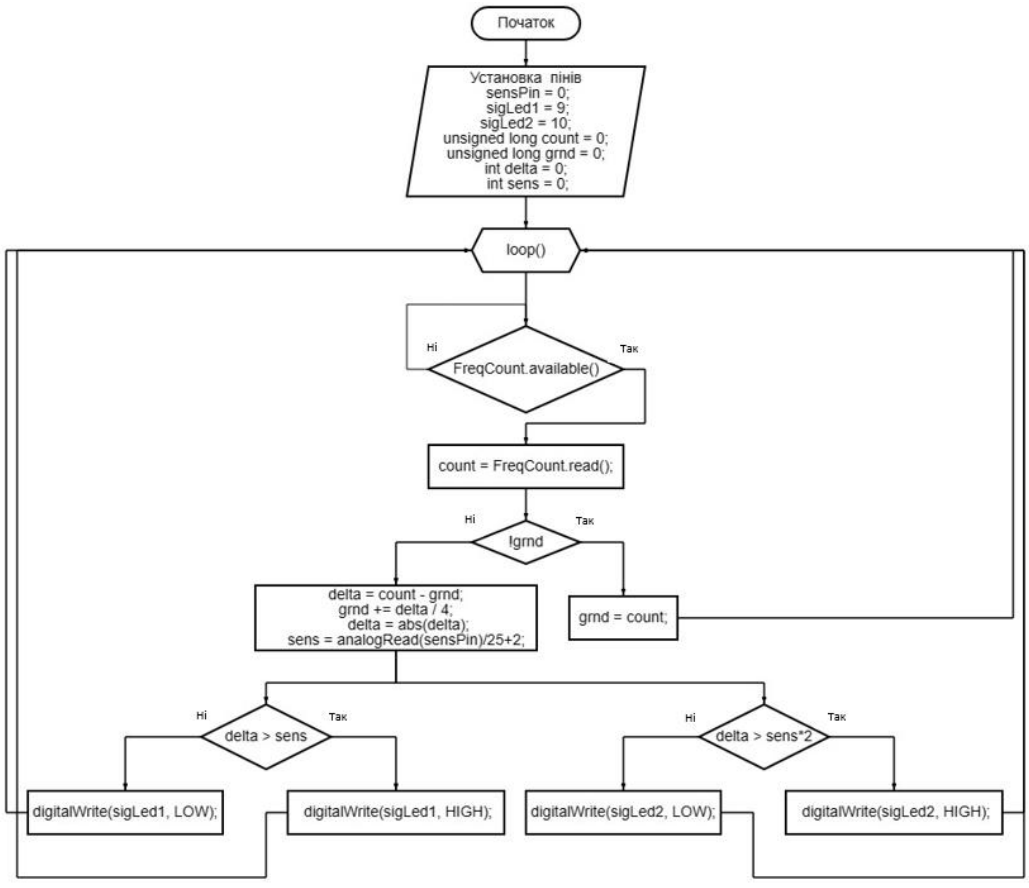

Рисунок 3.2 – Алгоритм роботи програми для пошуку металу в автоматичному режимі

На блок-схемі представлений алгоритм роботи програми. Етапи алгоритму:

– встановлення пінів визначаються початкові значення для змінних SENS_PIN, sigLed1, sigLed2, count, grnd, delta та sens;

– цикл запускається нескінченний цикл, у якому відбуваються наступні дії.

Перевірка доступності FreqCount: Перевірте, чи готове нове значення частоти від бібліотеки FreqCount;

– считання FreqCount якщо нове значення готове, воно зчитується до змінної count;

– обчислення дельти обчислюється різниця між поточним значенням count та попереднім значенням grnd. Це значення зберігається у змінній delta;

– автопідстроювання калібрування значення grnd коригується, додаючи до нього чверть значення delta;

– читання значення з аналогово піна значення з піна sensPin та множиться на 2.5. Отримане значення зберігається у змінній sens;

– управління світлодіодами залежіть від того, чи більше delta значення sens, встановлюються в HIGH або LOW стан світлодіоди sigLed1 та sigLed2.

Програмне забезпечення системи керування металошукачем розроблене на основі мікроконтролера Arduino та бібліотеки FreqCount. Нижче наведено детальний опис роботи програми.

На початку програми підключається бібліотека для вимірювання частоти FreqCount.h, а також визначаються основні змінні:

```
// Підключаємо бібліотеку для вимірювання частоти
#include <FreqCount.h>
// Опорне значення частоти, з яким порівнюватимемо поточну частоту
unsigned long grnd = 0;
// Задіяні номери входів-виходів
// FreqCount.h за замовчуванням вимірює частоту на виході #5, його ставити не потрібно
// Потенціометр установки чутливості
int sensPin = 0;
```

```
// Світлодіоди рівень 1,2
int sigLed1 = 9;
int sigLed2 = 10;
bool Parameter_response = 0;
```

– FreqCount.h – бібліотека для вимірювання частоти;

– grnd – змінна для зберігання опорного значення частоти;

– sensPin – аналоговий вхід для підключення потенціометра, який регулює чутливість. sigLed1 та sigLed2 – цифрові виходи для підключення світлодіодів, що індикують рівень сигналу;

– Parameter_response значення 0 – це означає, що нічого не знайдено, якщо 1 то було щось знайдено.

У функції setup() встановлюються режими роботи пінів та запускається вимірювання частоти:

```
 void setup() {
    // Встановлюємо світлодіодні піни в режим виходів
    pinMode(sigLed1, OUTPUT);
    pinMode(sigLed2, OUTPUT);
    // Запускаємо вимірювання частоти: протягом 100 мс вважаємо імпульси
    // Потім обчислюємо частоту
    FreqCount.begin(100);
    // Ініціалізуємо з'єднання з монітором портів
    Serial.begin(9600);
 }
```

– pinMode(sigLed1, OUTPUT) та pinMode(sigLed2, OUTPUT) – встановлення режиму роботи пінів для світлодіодів як виходів;

– FreqCount.begin(100) – запуск вимірювання частоти з інтервалом 100 мс;

– Serial.begin(9600) – ініціалізація серійного зв’язку з комп'ютером для виводу даних у монітор порту.

Основний цикл loop() виконує безперервне вимірювання частоти сигналу та керування світлодіодами залежно від рівня сигналу:

```
void loop() {
  // Вимірюємо поточне значення частоти
  // FreqCount.available поверне істину, якщо минуло 100 мс і значення готове
  // Інакше просто йдемо на наступний цикл, таким чином чекаємо на результат вимірювання
  if (FreqCount.available()) {
    // Зчитуємо частоту, тим самим звільняємо буфер
    // І відразу ініціюємо наступний 100 мс цикл вимірювання
    unsigned long count = FreqCount.read();
    // Виводимо поточне значення частоти у серійний монітор
    Serial.print("Current Frequency: ");
    Serial.println(count);
    // Якщо відсутня калібрування (тільки що включили прилад)
    // Запам'ятовуємо опорне значення частоти і йдемо на такий вимір
    if(!grnd){grnd = count;}
     else {
      // Працюємо в штатному режимі
      // Наскільки пішла частота від опорної?
      int delta = count - grnd;
      // Автопідстроювання калібрування
      // Додаємо чверть від дельти
      // Робити це потрібно до застосування abs()
      grnd += delta / 4;
      // Частота може відхилятися і плюс, і мінус,
      // Тому беремо за модулем
      delta = abs(delta);
      // Яка чутливість встановлена?
      // Перераховуємо в більш зручну шкалу
```

```
// На вході sensPin у нас від половини до повної напруги живлення (див. схему)
// Означає, відповідно до нижченаведеної формули
// Змінна sens прийме значення приблизно від 22 до 43
int sens = (analogRead(sensPin)) / 25 + 2;
// Залежно від співвідношення sens і delta запалюємо або гасимо
// Наші індикаторні світлодіоди
// Перевищили поріг, частота пішла більш ніж sens Гц
if (delta > sens) {
  digitalWrite(sigLed1, HIGH);
} else {digitalWrite(sigLed1, LOW);}
// Перевищили поріг удвічі
if (delta > sens * 2){
  digitalWrite(sigLed2, HIGH);
  Parameter_response = 1;
  Serial.print("Parameter_response: ");
  Serial.println(Parameter_response);
} else {digitalWrite(sigLed2, LOW);}
Parameter_response = 0;
Serial.print("Parameter_response: ");
Serial.println(Parameter_response);
}
// Виведемо значення з порту A0 в монітор портів
int sensorValue = analogRead(A0);
Serial.print("Analog A0 Value: ");
Serial.println(sensorValue);}}
```

– FreqCount.available() – перевірка наявності нового значення частоти;

– FreqCount.read() – читання поточного значення частоти;

– якщо grnd не ініціалізоване, воно отримує поточне значення частоти. delta обчислює відхилення поточної частоти від опорного значення;

– опорне значення (grnd) коригується на чверть від відхилення для врахування змін частоти sens визначає чутливість, яку можна налаштувати за допомогою потенціометра;

– світлодіоди sigLed1 та sigLed2 запалюються або гаснуть залежно від відхилення частоти (delta) від опорного значення та чутливості (sens);

– значення з аналогового порту A0 виводиться у монітор серійного порту для відладки та контролю.

Код забезпечує основні функції металошукача, використовуючи мікроконтролер Arduino для вимірювання та індикації частоти сигналу, також попередження інформації про те якщо метал був знайдений на інше пристрій. Програма дозволяє налаштовувати чутливість за допомогою потенціометра, а також забезпечує відображення рівня сигналу на світлодіодах та видом інформації в монітор порту значення на аналогово порта A0 та передачи інформації на інше прилад.

3.4 Реалізація головного циклу програми

У цьому розділі розглядається реалізація основних функцій пристрою, що виконує вимірювання частоти сигналу, порівнює отримані значення з опорними та, залежно від результатів порівняння, керує індикаторними світлодіодами. Програма також включає гнучкий механізм передачі даних на інші пристрої, такі як мобільні роботи. Код програми наведено нижче.

```
void loop() {
  // Вимірюємо поточне значення частоти
  // FreqCount.available поверне істину, якщо минуло 100 мс і значення готове
  // Інакше просто йдемо на наступний цикл, таким чином чекаємо на результат вимірювання
  if (FreqCount.available()) {
   // Зчитуємо частоту, тим самим звільняємо буфер
   // І відразу ініціюємо наступний 100 мс цикл вимірювання
```

```
unsigned long count = FreqCount.read();
// Виводимо поточне значення частоти у серійний монітор
Serial.print("Current Frequency: ");
Serial.println(count);
// Якщо відсутня калібрування (тільки що включили прилад)
// Запам'ятовуємо опорне значення частоти і йдемо на такий вимір
if(!grnd){
  grnd = count;
} else {
  // Працюємо в штатному режимі
  // Наскільки пішла частота від опорної?
  int delta = count - grnd;
  // Автопідстроювання калібрування
  // Додаємо чверть від дельти
  // Робити це потрібно до застосування abs()
  grnd += delta / 4;
  // Частота може відхилятися і плюс, і мінус,
  // Тому беремо за модулем
  delta = abs(delta);
  // Яка чутливість встановлена?
  // Перераховуємо в більш зручну шкалу
  // На вході sensPin у нас від половини до повної напруги живлення
  // Означає, відповідно до нижченаведеної формули
  // Змінна sens приймає значення приблизно від 22 до 43
  int sens = (analogRead(sensPin)) / 25 + 2;
  // Залежно від співвідношення sens і delta запалюємо або гасимо
  // Наші індикаторні світлодіоди
  // Перевищили поріг, частота пішла більш ніж sens Гц
  if (delta > sens) {
    digitalWrite(sigLed1, HIGH);
```

```
    } else { digitalWrite(sigLed1, LOW);}
    // Перевищили поріг удвічі
    if (delta > sens * 2){
      digitalWrite(sigLed2, HIGH);
      Parameter_response = 1;
      Serial.print("Parameter_response: ");
      Serial.println(Parameter_response);
    } else {digitalWrite(sigLed2, LOW);}
    // Скидаємо параметр відповіді
    Parameter_response = 0;
    Serial.print("Parameter_response: ");
    Serial.println(Parameter_response);
  }
  // Виведемо значення з порту A0 в монітор портів
  int sensorValue = analogRead(A0);
  Serial.print("Analog A0 Value: ");
  Serial.println(sensorValue); }}
```

Опис роботи коду:

а) Зчитування частоти:

– кожні 100 мс функція FreqCount.available перевіряє, чи готове нове значення частоти. Якщо значення готове, викликається функція FreqCount.read, яка зчитує поточну частоту і ініціює новий цикл вимірювання;

б) Виведення частоти:

– поточне значення частоти виводиться в серійний монітор для подальшого аналізу та контролю;

в) Калібрування:

– Якщо калібрування ще не проведено (при першому запуску пристрою), зчитане значення частоти встановлюється як опорне;

г) Обчислення відхилення:

– визначається відхилення поточної частоти від опорної. Виконується автокалібрування шляхом додавання четвертої частини відхилення до опорного значення;

г) Чутливість:

– рівень чутливості зчитується з аналогового входу sensPin і перетворюється в зручну шкалу;

д) Індикація:

– в залежності від відхилення частоти від опорного значення та встановленої чутливості, керуються індикаторні світлодіоди sigLed1 і sigLed2. При перевищенні порогу у sens або sens*2 рази відповідно, світлодіоди вмикаються або вимикаються;

е) Parameter_response:

– Parameter_response є змінною, яка приймає значення 1, якщо частота перевищує встановлений поріг (тобто був виявлений метал), і 0, якщо частота в межах норми (метал не виявлений) ;

– коли Parameter_response дорівнює 1, це значення передається на інший пристрій, наприклад, мобільний робот. Це означає, що виявлений метал;

– коли Parameter_response дорівнює 0, дані не передаються, що означає відсутність виявленого металу;

– така реалізація робить програму гнучкою для передачі даних на інші пристрої, забезпечуючи можливість інтеграції з іншими системами, наприклад, мобільними роботами для виконання специфічних завдань на основі результатів вимірювань.

Код демонструє ефективну реалізацію функцій вимірювання та обробки частоти, з можливістю адаптивного калібрування та наочної індикації результатів. Також підкреслює гнучкість системи передачі даних на інші пристрої, що робить цю програму придатною для інтеграції в складніші системи, такі як мобільні роботи.

3.5 Проведення експерименту

На рисунках 3.3-3.5 представлено роботу металошукача. Дивлячись на рисунок 3.3 можно побачити, що металошукач реагує на металеву виделку на відстані від 24 до 26 см.

На рисунку 3.4 можно побачити, що металошукач реагує на металеву викрутку на відстані від 23 до 25 см.

На рисунку 3.5 можно побачити, що металошукач реагує на металеву монету (номінал монети 2 грн.) на відстані від 16 до 20 см.

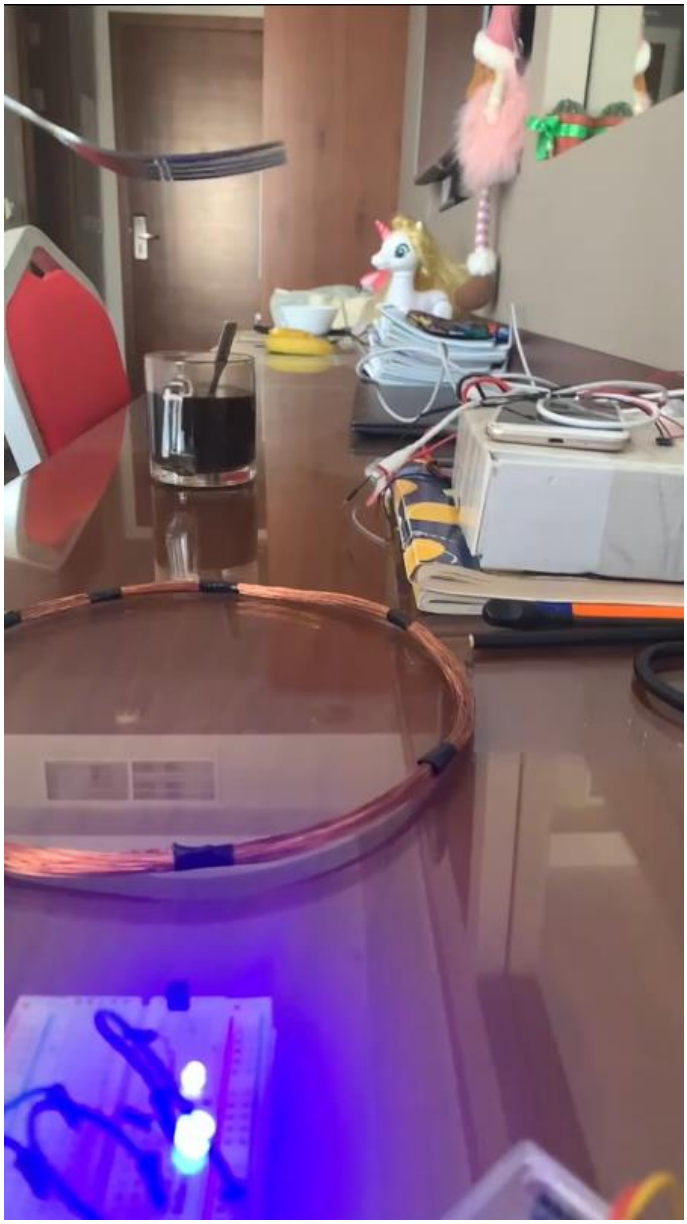

Рисунок 3.3 – Реакція на металеву виделку

Рисунок 3.4 – Реакція на металеву викрутку

Рисунок 3.5 – Реакція на металеву монету (номінал монети 2 грн.)

У таблиці 3.1 представлені дані діапазону реагування металошукача на метал.

Таблиця 3.1 – Діапазон реагування металошукача на метал.

Типи об'єктів	Діапазон реагування	Тип матеріалу
Монета (2 грн.)	від 16 до 20 см	Сталь із нікелевим покриттям
Викрутка	від 23 до 25 см	Хромованадієва сталь
Виделка	від 24 до 26 см	Нержавеющая сталь

На рисунку 3.6 представлен графік залежності поточної частоти від середнього діапазону реагування для різних об'єктів.

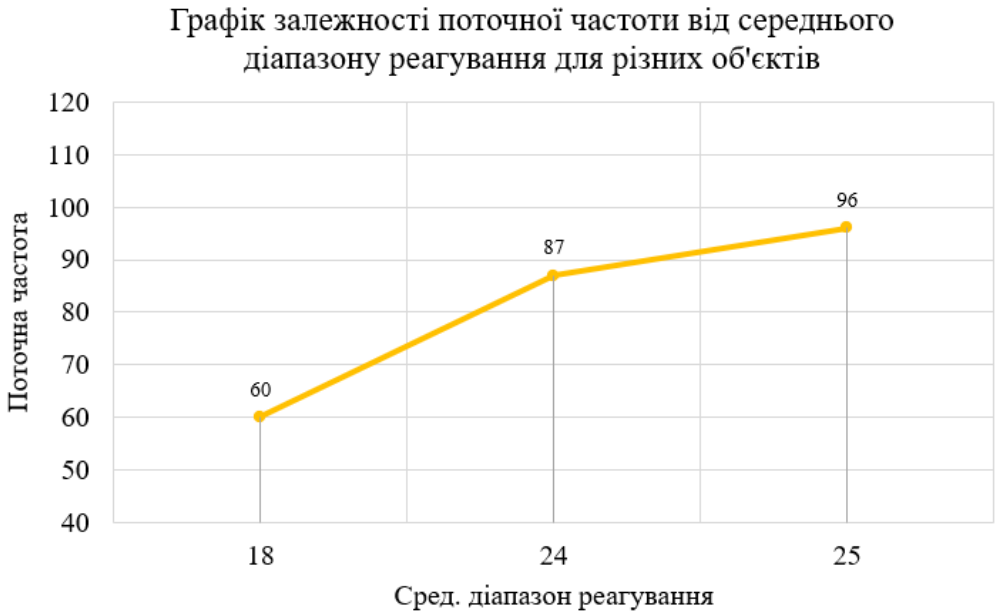

Рисунок 3.6 – Графік залежності поточної частоти від середнього діапазону реагування для різних об'єктів

Графік показує, що поточна частота металошукача залежить від середнього діапазону реагування для різних об'єктів. Зі збільшенням середнього діапазону реагування частота також зростає. Монета (2 грн.) зі сталлю з нікелевим покриттям середній діапазон реагування становить 18 см, а поточна частота – 60 Гц. Для викрутки з хромованадієвої сталі середній діапазон реагування становить 24 см, а

частота – 87 Гц. Для виделки з нержавіючої сталі середній діапазон реагування дорівнює 25 см, а частота – 96 Гц. Це вказує на те, що металошукач ефективніше реагує на об'єкти, які знаходяться на більшій відстані і мають більший розмір, що відображається у вищій частоті.

На рисунку 3.7 представленого вивід даних у монітор порту про поточну частоту (Current Frequency), значення, яке буде преданно для обробки події для мобільного робота (Parameter_response) та значення з потенціометра (Analog A0 Value).

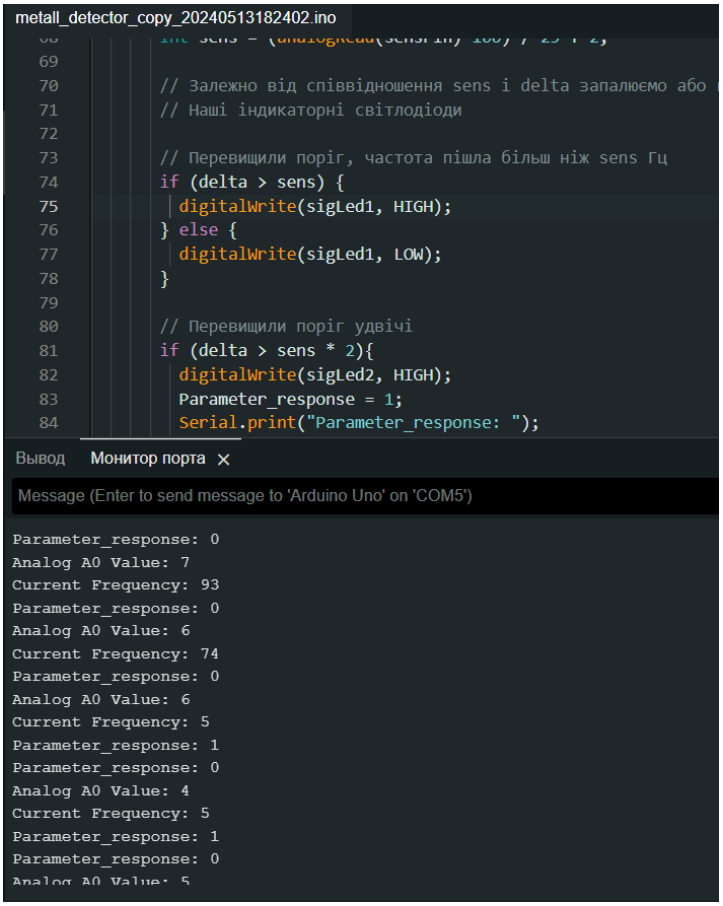

Рисунок 3.7 – Виведення даних у монітор порту

3.6 Розрахунок заземлення

Причини смерті від електричного струму можуть включати зупинку серця, дихальну недостатність та електричний шок. До причин ураження електрострумом відносяться наступні:

– контакт з неструмопровідними частинами електроустановок, які випадково опинилися під напругою через пошкодження ізоляції;

– випадковий дотик до струмоведучих частин, що перебувають під напругою;

– потрапляння під напругу під час проведення ремонтних робіт при недотриманні правил техніки безпеки.

Всі приміщення поділяються за ступенем ураження електричним струмом на три класи:

– без підвищеної небезпеки;

– з підвищеною небезпекою;

– особливо небезпечні.

Проектована ділянка згідно з правилами улаштування електричних установок ПУЕ-87 належить до особливо небезпечних, оскільки відповідає двом або більше ознакам:

– вологість 70% і більше;

– температура 30°С і більше;

– наявність струмопровідного пилу;

– можливість одночасного дотику до обладнання і заземлених частин.

Струмопровідний пил утворюється під час обробки сталі абразивним інструментом. Електропостачання ділянки здійснюється від трифазної чотирьохпровідної мережі із заземленою нейтраллю (220/380 В).

Для захисту від ураження електрострумом передбачені наступні заходи:

– забезпечення недоступності струмоведучих частин обладнання за допомогою ізоляції;

– розміщення струмоведучих частин на недоступних висотах;

– огородження струмоведучих частин;

– дотримання вимог техніки безпеки під час ремонту обладнання;

– розміщення попереджувальних табличок на вимикачах під час ремонту;

– недопускання до ремонту непідготовленого персоналу;

– занулення або заземлення металевих частин обладнання, які можуть виявитися під напругою.

Занулення – це навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих неструмопровідних частин обладнання, які можуть опинитися під напругою. Принцип дії занулення полягає в перетворенні замикання на корпус в однофазне коротке замикання, тобто замикання між фазою і нульовим провідником для створення великого струму, що забезпечує спрацьовування захисту і автоматичне відключення ушкодженої установки від мережі живлення.

Призначення нульового захисного провідника полягає в створенні ланцюга з малим опором для струму короткого замикання, щоб цей струм був достатнім для швидкого спрацьовування захисту. Швидкість відключення становить від 1 до 2 секунди при захисті автоматичними вимикачами.

Схема занулення представлена на рисунок 3.8.

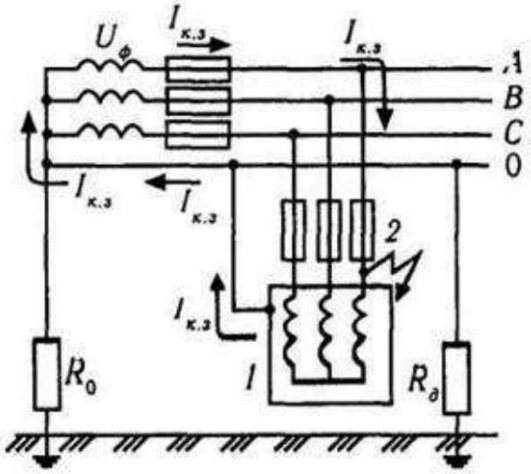

Рисунок 3.8 – Схема заземлення

На рисунку прийняті наступні позначення:

1 – корпус;

2 – плавкі запобіжники;

Ro – опір заземлення нейтралі джерела струму;

VA – фазна напруга.

Призначення заземлення нейтралі – зниження до безпечного значення напруги щодо землі нульового провідника при випадковому замиканні фази на землю. Призначення повторного заземлення нульового захисного провідника –

зниження небезпеки ураження людей струмом, що виникає при обриві цього провідника і замиканні фази на корпус у місці обриву.

Вимоги до заземлення включають наступні пункти:

– опір заземлюючого контуру повинен бути не більше 4 Ом;

– шина заземлення всередині будівлі має бути доступна для огляду;

– з'єднання шини із зовнішнім контуром повинно бути здійснено не більше ніж у двох місцях.

Окрім занулення обладнання, на проектованій ділянці розроблені додаткові заходи для захисту працівників від ураження електричним струмом:

– електрообладнання верстатів відповідає вимогам ГОСТ 12.2.009-90;

– виконання вимог ГОСТ 12.4.011-75 розділу "Засоби колективного захисту", згідно з якими на підприємстві застосовані основні заходи захисту від ураження електричним струмом: огороджувальні пристрої, пристрої автоматичного контролю і сигналізації, занулення, автоматичне відключення, запобіжні пристрої, знаки безпеки, блискавковідводи, використання знижених напруг, періодична перевірка (двічі на рік) стану ізоляції електрообладнання;

– для металорізальних верстатів відповідно до вимог ГОСТ 12.2.009-90 живлення рухомих світильників місцевого освітлення здійснюється напругою 24 В;

– забезпечення недоступності неізольованих струмоведучих частин шляхом застосування стаціонарних огороджень, блокувань і розміщення струмоведучих частин на недосяжній висоті;

– покриття струмоведучих частин або відділення їх від інших частин діелектричним шаром, що забезпечує безпечну роботу електроустановок;

– освітлювальна проводка має бути відкритою;

– силова проводка повинна бути прокладена під підлогою в металевих трубах;

– опір ізоляції проводів має бути не менше 1 МОм;

– контроль ізоляції здійснюється при напрузі 1000 В (ГОСТ 12.2.009-90).

ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи була розроблена модульна система керування металошукачем, що вирізняється гнучкістю та зручністю експлуатації. Ця система дозволяє без проблем монтувати та демонтувати пристрій на різних платформах, роблячи його придатним для застосування в широкому спектрі завдань та умов.

Основною метою роботи стало створення макета металошукача з можливістю його інтеграції в систему управління мобільного робота. Це дозволить значно розширити сферу застосування пристрою та підвищити його ефективність.

Проведено аналіз котушки з індуктивністю, який підтвердив її відповідність вимогам та продемонстрував її ефективність в різних умовах. Розрахунки показали, що індуктивність котушки діаметром 150 мм становить 0.245 Генрі, що є оптимальним значенням для даних параметрів.

Експерименти з різними металевими предметами підтвердили працездатність розробленої системи металошукача на основі Arduino. Її висока чутливість та надійний функціонал роблять цю систему перспективним рішенням для різноманітних задач, пов'язаних з пошуком металевих об'єктів.

Отримані результати свідчать про:

– ефективність та надійність розробленої модульної системи керування металошукачем;

– відповідність котушки з індуктивністю вимогам та її ефективність в різних умовах;

– працездатність системи металошукача та її перспективність для застосування в різних сферах.

Ці результати можуть бути використані для:

– подальшого вдосконалення системи металошукача та розширення її функціональних можливостей;

– розробки нових методів та алгоритмів пошуку металевих об'єктів;

– створення інтегрованих систем керування мобільними роботами з функцією пошуку металів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008: 2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с.

2. Невлюдов І. Ш. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Текст]: навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, О. В. Токарєва, Г. В. Пономарьова – Київ-58, пр. Космонавта Комарова, 1, 2016 – 320 с.

3. Методичні вказівки до Підготовки атестаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми: «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / упоряд.: І. Ш. Невлюдов, О. В. Токарєва, Г. В. Пономарьова. – Харків: ХНУРЕ, – 2019. – 36 с.

4. Ukraine: Mine Action – 5W Situation Report (as of 01 June 2022). URL: https://reliefweb.int/report/ukraine/ukraine-mineaction-5w-situation-report-01-june-2022 (дата звернення: 12.04.2024).

5. Kenny P. Landmines killed 7,073 in 2020, says UN institute. URL: https://www.aa.com.tr/en/world/landmines-killed-7-073-in2020-says-un-institute/2417253 (дата звернення: 12.04.2024).

6. Аналіз виконання робіт щодо очищення території України від вибухонебезпечних предметів у 2021 році. URL: https://dsns.gov.ua/uk/protiminna-diyalnist/gumanitarne-rozminuvannya (дата звернення: 12.04.2024).

7. Challenges for Mine Action due to russian aggression against Ukraine. URL: https://www.mineaction.org/sites/default/files/2.1.1_challenges_for_mine_action_in_ukraine.pdf (дата звернення: 12.04.2024).

8. Talon. URL: https://dynamo.kiev.ua/en/news/393148-war-in-ukraine-ukraine-will-receive-a-batch-of-talon-sappers-from-the-united-states-telling-and-showing-what-it-is (дата звернення: 14.04.2024).

9. Молочко С. М., Башинський В. Г., Каламурза О. Г., Журахов В. А. Аналіз сучасного стану, характеристик та перспектив розвитку датчиків виявлення вибухонебезпечних предметів, встановлених на БпАК. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. 2021. № 2 (8). С. 80–90. DOI: https://doi.org/10.37701/dndivsovt.8.2021.09 (дата звернення: 12.04.2024).

10. Fernandez M. G., Lopez Y. A., Arboleya A. A., Valdes B. G., Vaqueiro Y. R., Andres F. L. H., Garcia A. P. Synthetic aperture radar imaging system for landmine detection using a ground penetrating radar on board a unmanned aerial vehicle. IEEE Access. 2018. Vol. 6. P. 45100–45112. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2863572 (дата звернення: 12.04.2024).

11. The MW370 is a powerful mine and route clearance platform used for the effective clearance of landmines across large areas. URL: https://www.pearson-eng.com/product/mw370/ (дата звернення: 12.04.2024).

12. van Verre W., Podd F. J., Daniels D. J., Peyton A. J. A Review of Passive and Active Ultra-Wideband Baluns for Use in Ground Penetrating Radar. Remote Sensing. 2021. Vol. 13. Issue 10. DOI: https://doi.org/10.3390/rs13101899 (дата звернення: 13.04.2024).

13. Shemer B., Palevsky N., Yagur-Kroll S., Belkin S. Genetically engineered microorganisms for the detection of explosives' residues. Frontiers in Microbiology. 2015. Vol. 6. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01175 (дата звернення: 13.04.2024).

14. Вижва С. А., Онищук І. І., Черняєв О. П. Ядерна геофізика: підручник. Київ. Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2012. 608 с.

15. Field trials of the smart system and technical survey dogs in Cambodia: Final report 2021. URL: https://www.gichd.org/ fileadmin/GICHD-resources/rec-documents/SMART_Cambodia_v13__1__01.pdf (дата звернення: 13.04.2024).

16. Вибухонебезпечні боєприпаси: посібник / Ролі Еванс, Боб Седдон. 2-ге вид. Чергнігів, 2022. 224 с.

17. Глобалізація та політика національної безпеки: підручник / Т. В. Сокольська, Ю. С. Гринчук, О. А. Шуст та ін.; за заг. ред. д-ра екон. наук, проф. П. І. Юхименка. – Київ: Центр учбової літератури, 2021. – 408 с.

18. Інженерне забезпечення частин і підрозділів у бою: навчальний посібник / Стаховський О.В., Грабовець О.Ф., Дядькін І.А. Харків, 2015. 336 с.

19. Arduino Uno Rev3 [Електронний ресурс] // Офіційний інтернет-магазин Arduino. – Режим доступу: https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3

20. Arduino Nano [Електронний ресурс] // Офіційний інтернет-магазин Arduino. – Режим доступу: https://store.arduino.cc/products/arduino-nano

21. STM32F103C8T6 Black Pill [Електронний ресурс] // STM32 Base. – Режим доступу: https://stm32-base.org/boards/STM32F103C8T6-Black-Pill.html

22. Дуже простий саморобний сервотестер [Електронний ресурс] // Форум Modelka. – Режим доступу: http://forum.modelka.com.ua/threads/45419-%D0%9E%D1%87%D0%B5%D0%BD%D1%8C%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%%D1%81%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%BE%D1%82 %D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80

23. Перемінний резистор 10k [Електронний ресурс] // Ardi. – Режим доступу: https://ardi.in.ua/ua/p423171562-peremennyj-rezistor-10k.html

24. Невлюдов І. Ш. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» [Текст]: навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, О. В. Токарєва, Г. В. Пономарьова. – Київ: НАУ, – 2016. – 320 с.

25. Методичні вказівки до Підготовки атестаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» освітньої програми: «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» / упоряд.: І. Ш. Невлюдов, О. В. Токарєва, Г. В. Пономарьова. – Харків: ХНУРЕ, – 2019. – 36 с.

26. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» у випускних роботах ОКР «бакалавр» усіх форм навчання [Текст] / уклад. Б. В. Дзюнзюк, В. А. Айвазов, Т. Є. Стиценко. – Харків: ХНУРЕ, 2012. – 28 с.