МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ «ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

КУРСОВИЙ ПРОЄКТ

на тему:

«Виготовлення охоронного пристрою на платі Arduino з використанням модуля зв’язку GSM/GPRS, інфрачервоним датчиком руху і ультразвуковим далекоміром»

Виконав студент групи МТ-41
Андрій ЯЩЕВСЬКИЙ
Керівник проєкту:
Остап ЮНАК
Курсовий проєкт перевірений
і допущений до захисту
“___” _____2025 р.
Курсовий проєкт при захисті оцінений
_____

Львів 2025

ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ «ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні циклової комісії
«Фундаментальної підготовки»
Протокол № __ від _____ 2025 р.
Голова комісії
_____ Богдан ПЕЛЕЩАК

ЗАВДАННЯ

на курсовий проєкт

Яцевському Андрію Олеговичу
(прізвище, ім'я та по батькові)

навчальної дисципліни: ПРОГРАМНО-АПАРАТНІ ЗАСОБИ INTERNET-РЕЧЕЙ

Студент групи: МТ-41

1. Тема проєкту: Виготовлення охоронного пристрою на платі Arduino з використанням модуля зв’язку GSM/GPRS, інфрачервоним датчиком руху і ультразвуковим далекоміром

2. Дата видачі завдання: ”22” вересня 2025 р

3. Термін здачі курсового проєкту: ”15” грудня 2025 р.

4. Вихідні дані до проєкту:

4.1. Провести аналіз предметної галузі і вимог (огляд аналогів, функціональні й нефункціональні вимоги).

4.2. Скласти технічне завдання (ТЗ) з переліком функцій, інтерфейсів і обмежень(див. ДОДАТОК А).

4.3 Підібрати BOM (Bill of Materials) для виконання проекту (див. ДОДАТОК Б).

4.4 Розробити таблицю з’єднань пінів (Pin Connection Table) використаних компонентів для реалізації пристрою (див. ДОДАТОК В).

4.5 Реалізувати прошивку на Arduino (коментарі в коді, структура проекту, використані бібліотеки).

4.6. Зробити на монтажній платі безпаєчного монтажу прототип розробленого пристрою на базі Arduino.

4.7. Провести налаштування, калібрування і тестування.

4.8. Підготувати користувацьку інструкцію та технічний звіт (див. ДОДАТОК Г).

5 Перелік обов'язкових демонстраційних креслень:

5.1 Принципова електрична схема підключення.

6. Склад розрахунково – пояснювальної записки (перелік питань до розробки):

ВСТУП

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ/АНАЛОГІВ

2 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

3 АПАРАТНА ЧАСТИНА

4 ПРОГРАМНА ЧАСТИНА

5 ТЕСТУВАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

Календарний план

Назва етапів	Термін виконання	Примітка
Вступ		
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ/АНАЛОГІВ		
2 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ		
3 АПАРАТНА ЧАСТИНА		
4 ПРОГРАМНА ЧАСТИНА		
5 ТЕСТУВАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ		
Висновки		
Перелік посилань		

Студент			**Андрій ЯЩЕВСЬКИЙ**
	(підпис)	(ім'я та прізвище)	
Керівник проекту			**Остап ЮНАК**
	(підпис)	(ім'я та прізвище)	

ЗМІСТ

ВСТУП 3

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ/АНАЛОГІВ 5

2 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ 9

3 АПАРАТНА ЧАСТИНА 12

4 ПРОГРАМНА ЧАСТИНА 15

5 ТЕСТУВАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ 20

ВИСНОВКИ 22

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 24

ДОДАТОК 1 25

ВСТУП

Мета роботи:

Розробити згідно запропонованої теми апаратно-програмний пристрій на базі Arduino, що реалізує заданий набір функцій та підготувати звіт з техніко-конструкторською документацією та інструкцією з експлуатації.

Актуальність:

Актуальність цієї курсової роботи обґрунтовується високим попитом на інтеграцію апаратного та програмного забезпечення у сучасних інженерних рішеннях, а також зростаючою роллю мікроконтролерних платформ у навчальному процесі та індустрії.

- **Технологічна та Інженерна Актуальність**
  - **Поширеність IoT (Internet of Things):** Сучасні системи автоматизації, моніторингу та управління критично залежать від компактних, економічних та енергоефективних пристроїв. Платформа Arduino є де-факто стандартом для швидкого прототипування та створення пристроїв, що взаємодіють з фізичним світом, що відповідає глобальному тренду розвитку Інтернету речей;
  - **Демократизація розробки:** Arduino, як відкрита (Open-Source) апаратно-програмна платформа, значно знижує поріг входу для інженерів-початківців та сприяє створенню інновацій. Це дозволяє зосередитися на логіці проєкту та функціональності, а не на низькорівневому програмуванні та складному апаратному дизайні;

- **Міждисциплінарний характер:** Розробка апаратно-програмного пристрою вимагає інтеграції знань з електроніки, програмування мікроконтролерів (C/C++), теорії керування та проєктування інтерфейсів. Це забезпечує набуття комплексних інженерних навичок, які є критично важливими для працевлаштування у сферах робототехніки, автоматизації та вбудованих систем;

- **Прикладна та Практична Актуальність**
  - **Вирішення конкретної прикладної задачі:** Робота не обмежується теоретичним аналізом, а передбачає **с**творення працюючого фізичного прототипу (моніторинг параметрів, автоматизоване управління, збір даних). Це безпосередньо демонструє здатність автора перетворювати теоретичні знання на практичне інженерне рішення;
  - **Економічна ефективність:** Використання Arduino дозволяє створити функціональний пристрій з мінімальними витратами на компоненти та часом розробки. Це важливий аспект для інноваційних стартапів та освітніх проєктів;
  - **Можливість подальшого розвитку:** Розроблений прототип слугує надійною базою для подальшого масштабування, модернізації та переходу на промислові мікроконтролери, що забезпечує наукову перспективу для дипломної роботи чи комерціалізації.

Таким чином, розробка апаратно-програмного пристрою на базі Arduino є своєчасним, економічно обґрунтованим і високопрактичним дослідженням, що поєднує вивчення сучасних апаратних засобів та формування ключових інженерних компетенцій.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ/АНАЛОГІВ

1.1 Апаратно-програмна платформа Arduino

Arduino — це відкрита (open-source) платформа для створення прототипів електронних пристроїв, яка базується на простому у використанні апаратному та програмному забезпеченні. Платформа складається з фізичної друкованої плати (мікроконтролера) та середовища розробки (IDE) для написання коду.

Історія створення:

Проект Arduino був започаткований у 2005 році в Інституті проєктування взаємодії (Interaction Design Institute Ivrea) в місті Івреа, Італія. Його засновниками стали Массімо Банці (Massimo Banzi), Девід Куартільєс, Том Ігo, Джанлука Мартіно та Девід Мелліс. Основною метою створення платформи було забезпечення студентів дешевим та простим інструментом для створення інтерактивних проєктів, який би не вимагав глибоких знань у схемотехніці.

Причини вибору платформи:

Для даної курсової роботи обрано плату Arduino Uno R3, яка побудована на базі мікроконтролера ATmega328P2. Її популярність зумовлена наступними факторами:

- **Доступність:** Низька вартість компонентів;
- **Кросплатформеність:** Середовище розробки працює на Windows, macOS та Linux;
- **Простота:** Зручний інтерфейс програмування через USB без необхідності використання зовнішніх програматорів
- **Відкрита архітектура:** Схеми плат знаходяться у вільному доступі, що дозволяє легко інтегрувати різноманітні датчики та модулі;

1.2 Мова програмування C++ та середовище Arduino IDE

Програмування мікроконтролера здійснюється мовою **C++**. Середовище розробки Arduino IDE використовує спеціальний спрощений діалект (фреймворк) під назвою **Wiring**.

Фреймворк — це набір готових інструментів, бібліотек, шаблонів та правил, який надає структуру для створення програмного забезпечення, спрощуючи та прискорюючи процес розробки. Він допомагає розробникам уникнути написання стандартного коду з нуля, дозволяючи зосередитися на унікальній бізнес-логіці продукту. Фреймворки використовуються для різних типів проєктів, включаючи веб, мобільні та десктопні додатки.

C++ — це універсальна мова програмування високого рівня, яка підтримує об'єктно-орієнтовану парадигму. В контексті розробки під Arduino, C++ дозволяє ефективно керувати пам'яттю мікроконтролера та працювати з апаратними регістрами, зберігаючи при цьому зрозумілий синтаксис.

Програма для Arduino називається «скетчем» (sketch) і має дві обов'язкові функції:

- setup() — виконується один раз при запуску для налаштування конфігурації пінів;
- loop() — виконується циклічно, реалізуючи основний алгоритм роботи пристрою.

1.3 Принципи роботи використаних сенсорів

Інфрачервоний датчик руху (PIR - HC-SR501). Цей датчик працює за принципом вимірювання рівня інфрачервоного випромінювання, яке випромінюють усі живі істоти. Датчик має піроелектричний елемент, який реагує на *зміну* теплового поля. Коли людина проходить повз датчик, лінза Френеля фокусує інфрачервоне випромінювання на піроелементі, генеруючи електричний сигнал. Це дозволяє системі переходити з режиму очікування в режим активної тривоги.

Ультразвуковий датчик відстані HC-SR04. Робота датчика базується на принципі ехолокації (SONAR). Пристрій складається з двох п'єзоелементів: випромінювача та приймача.

1. Випромінювач генерує пачку ультразвукових імпульсів частотою 40 кГц;
2. Звукова хвиля відбивається від перешкоди та повертається назад до приймача;
3. Мікроконтролер вимірює час проходження сигналу і розраховує відстань.

GSM/GPRS модуль (SIM800L). Це мініатюрний стільниковий модуль, що дозволяє мікроконтролеру взаємодіяти з мобільною мережею. Він керується за допомогою АТ-команд через послідовний інтерфейс (UART). У проекті модуль відповідає за відправку SMS-повідомлення на номер власника у випадку фіксації порушення периметра.

2 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

2.1 Назва роботи

Виготовлення охоронного пристрою на платі Arduino з використанням модуля зв’язку GSM/GPRS, інфрачервоним датчиком руху і ультразвуковим далекоміром.

2.2 Мета роботи

Розробка та створення прототипу автономної охоронної системи на базі мікроконтролера Arduino, здатної виявляти несанкціонований рух та присутність об'єктів у зоні, що охороняється, з подальшим сповіщенням власника через GSM-канал зв'язку.

2.3 Завдання

- Проаналізувати існуючі рішення в галузі охоронних систем.
- Обґрунтувати вибір елементної бази (мікроконтролер, датчики, модуль зв'язку).
- Розробити електричну принципову схему пристрою.
- Створити програмний код (скетч) для обробки сигналів датчиків та керування GSM-модулем.
- Провести тестування макету та проаналізувати отримані результати.

2.4 Технічні вимоги

- 5 В постійного струму;
- Arduino Uno R3;
- Breadboard;
- Світлодіоди: Зелений, Червоний;
- Модуль GSM 850/900/1800/1900 МГц

- П'єзозумер — для звукового сигналу;
- З’єднувальні провідники типу «тато-тато» та «тато-мама».

2.5 Очікуваний результат

В результаті виконання роботи очікується створення повністю функціонального прототипу охоронної системи компактних розмірів. Пристрій має являти собою єдиний модуль, де на макетній платі об'єднані датчики та мікроконтролер.

Функціональність у режимі спокою: Після подачі живлення система повинна проходити етап ініціалізації (калібрування PIR датчика займає 30-60 секунд). У цей час світлодіоди можуть блимати. Після виходу в робочий режим повинен постійно горіти зелений світлодіод, сигналізуючи про те, що периметр під охороною і датчики активні. Енергоспоживання в цьому режимі має бути мінімальним.

Реакція на події: Головним очікуваним результатом є надійна диференціація подій.

- Якщо в зоні дії PIR датчика з'являється об'єкт, але він знаходиться далеко (поза зоною дії ультразвукового датчика, наприклад, далі 1 метра, якщо поріг встановлено на 50 см), система не повинна підіймати тривогу. Це важливо для ігнорування фонових перешкод.
- У випадку, якщо об'єкт наближається на критичну відстань (менше 50 см), система має миттєво відреагувати: зелений світлодіод гасне, вмикається червоний, лунає гучний переривчастий сигнал буззера.

- Протягом 10-15 секунд після спрацювання на телефон користувача повинно прийти SMS-повідомлення з текстом "Security Alert: Motion Detected!".

Стабільність GSM-зв'язку: Очікується, що модуль SIM800L буде стабільно тримати мережу. Критичним моментом є забезпечення достатнього струму при пікових навантаженнях (під час реєстрації в мережі та відправки SMS). Якщо схема живлення спроектована правильно, модуль не повинен перезавантажуватися (блимати часто світлодіодом) під час відправки повідомлення.

3 АПАРАТНА ЧАСТИНА

3.1 Підбір BOM

BOM (скорочення від Bill of Materials)- це список матеріалів і компонентів, потрібних для складання пристрою або виготовлення виробу, який може представлений як таблиця всіх деталей, які потрібно для проєкту

Таблиця 3.1.1 Перелік необхідних компонентів

№	Назва компонента	Кількість	Позначення на схемі	Характеристики	Примітка
1	Arduino Uno	1	U1	Мікроконтролер ATmega328P	ATmega328P, 5В логіка, 16 МГц
2	Плата breadboard	1	-	830 точок, безпайкова	Безпайна плата для створення конструкції
3	Модуль SIM800L	1	U2	GSM/GPRS модем	Quad-band, керування AT-командами, живлення 3.7-4.2В
4	Датчик HC-SR501	1	S1	PIR датчик руху	Дальність до 7м, живлення 4.5-20В
5	Датчик HC-SR04	1	S2	Ультразвуковий далекомір	Точність 3мм, кут 15°, живлення 5В

№	Назва компонента	Кількість	Позначення на схемі	Характеристики	Примітка
6	Світлодіод (Червоний)	1	LED1	5 мм, 2 В, 20 мА	Індикація тривоги
7	Світлодіод (Зелений)	1	LED2	5 мм, 2 В, 20 мА	Індикація режиму "Охорона"
8	П'єзозумер	1	SPK1	Активний, 5 В	Активний, 5В
9	Резистори	2	R1, R2	220 Ом, 0.25 Вт	10 кОм та 20 кОм (для RX SIM800)
10	Провідники	20	-	Dupont (Male-Male, Male-Female)	Електричні з'єднання

Таблиця 3.1.2 Таблиця з’єднань пінів

№	Компонент	Вивід компонента	З’єднано з піном Arduino	Примітка / Функція
1	HC-SR501 (PIR)	VCC	5V	Живлення датчика
		OUT	Digital Pin 2	Сигнал запуску
		GND	GND	Загальний мінус
2	HC-SR04	VCC	5V	Живлення
		Trig	Digital Pin 9	Сигнал тривоги
		Echo	Digital Pin 10	Вихід тривалості імпульсу
		GND	GND	Заземлення

№	Компонент	Вивід компонента	З’єднано з піном Arduino	Примітка / Функція
3	SIM800L	GND	GND	Заземлення
		VCC	Зовнішнє 4V (2A)	Живлення GSM
		TX	Digital Pin 8	Передача даних від SIM до Arduino (RX SoftSerial)
		RX	Digital Pin 7	Отримання даних
4	Світлодіод (Зелений)	Анод (+)	Digital Pin 12	Через резистор 220 Ом
		Катод (-)	GND	
5	Світлодіод (Червоний)	Анод (+)	Digital Pin 13	Через резистор 220 Ом
		Катод (-)	GND	
6	П'єзозумер	Плюс (+)	Digital Pin 11	Для імітації тривоги
		Мінус (-)	GND	

4 ПРОГРАМНА ЧАСТИНА

Програмне забезпечення мікроконтролера розроблено в середовищі Arduino IDE. Алгоритм роботи базується на циклічному опитуванні датчиків та реагуванні на порогові значення.

4.1 Ініціалізація системи: У блоці setup() відбувається налаштування пінів вводу/виводу. Піни, до яких підключені світлодіоди, буззер та тригер далекоміра, налаштовуються як виходи (OUTPUT). Піни датчика PIR та ехо-сигналу далекоміра налаштовуються як входи (INPUT). Також ініціалізується програмний послідовний порт (SoftwareSerial) для комунікації з GSM-модулем на швидкості 9600 бод, що є стандартом для SIM800L.

4.2 Основний цикл (Loop): Логіка роботи побудована за принципом енергоефективності та перевірки достовірності.

- Система постійно зчитує стан PIR датчика. Якщо руху немає, горить зелений світлодіод, система знаходиться в режимі очікування.
- При отриманні високого логічного рівня (HIGH) від PIR датчика, мікроконтролер переходить до другого етапу перевірки.
- Активується ультразвуковий далекомір. Він посилає імпульс і вимірює відстань до об'єкта перед собою.
- Якщо виміряна відстань менша за заданий пороговий рівень (наприклад, 50 см), це розцінюється як підтверджене проникнення.

4.3 Обробка тривоги: При підтвердженні проникнення виконується функція тривоги:

- Вмикається червоний світлодіод.
- Активується звуковий сигнал.

- Формується та відправляється SMS-повідомлення через GSM-модуль за допомогою AT-команд (AT+CMGF для текстового режиму, AT+CMGS для відправки).
- Система очікує певний час перед наступним циклом, щоб уникнути спаму повідомленнями.

4.1 Код програми

```
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial gsmSerial(8, 7); // RX, TX

const int pirPin = 2;
const int trigPin = 9;
const int echoPin = 10;
const int buzzerPin = 11;
const int ledGreen = 12;
const int ledRed = 13;

long duration;
int distance;
int pirState = LOW;
const int distanceThreshold = 50;

void setup() {
  pinMode(pirPin, INPUT);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  pinMode(buzzerPin, OUTPUT);
  pinMode(ledGreen, OUTPUT);
  pinMode(ledRed, OUTPUT);

  digitalWrite(ledGreen, HIGH);
  digitalWrite(ledRed, LOW);

  Serial.begin(9600);
  gsmSerial.begin(9600);

  delay(1000);
}

void loop() {
```

```
  pirState = digitalRead(pirPin);

  if (pirState == HIGH) {
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);

    duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
    distance = duration * 0.034 / 2;

    if (distance < distanceThreshold && distance > 0) {
      activateAlarm();
    }
  } else {
    digitalWrite(ledGreen, HIGH);
    digitalWrite(ledRed, LOW);
    noTone(buzzerPin);
  }
  delay(100);
}

void activateAlarm() {
  digitalWrite(ledGreen, LOW);
  digitalWrite(ledRed, HIGH);
  tone(buzzerPin, 1000);

  sendSMS();

  delay(5000);
  noTone(buzzerPin);
  digitalWrite(ledRed, LOW);
  digitalWrite(ledGreen, HIGH);
}
```

```
void sendSMS() {
  gsmSerial.println("AT+CMGF=1");
  delay(1000);
  gsmSerial.println("AT+CMGS=\"+380000000000\"");
  delay(1000);
  gsmSerial.print("Security Alert: Motion Detected!");
  delay(100);
  gsmSerial.write(26);
  delay(1000);
}
```

5 ТЕСТУВАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

5.1 Перевірка підсистеми живлення Першим кроком тестування було вимірювання напруги на контактах живлення всіх компонентів.

- На вході Arduino: 5.05 В (USB).
- На контактах VCC датчиків: 4.98 В.
- На клемах живлення SIM800L: 4.0 В (від зовнішнього лабораторного блоку живлення).
- *Результат:* Живлення в межах норми, падіння напруги при навантаженні незначне.

5.2 Тестування сенсорів Було проведено окреме тестування датчиків через монітор порту (Serial Monitor).

- **PIR датчик:** Перевірялася чутливість. Датчик впевнено фіксував рух руки на відстані до 4 метрів. Затримка спрацювання (Delay Time) була відрегульована потенціометром на платі датчика до мінімуму.
- **Ультразвуковий датчик:** Проведено серію вимірювань відстані до плоскої перешкоди. Похибка вимірювань на відстані 1 метр склала +/- 2 см, що є допустимим для охоронної системи.

5.3 Перевірка GSM-модуля Перевірка здійснювалася надсиланням ручних AT-команд через термінал. Команда AT повернула OK. Команда AT+CSQ показала рівень сигналу 18, що є достатнім для стабільного зв'язку. Було відправлено тестове SMS, яке надійшло на телефон протягом 8 секунд.

5.4 Комплексне тестування Систему було встановлено біля вхідних дверей.

- *Сценарій 1:* Прохід повз датчики на відстані 2 метри. *Результат:* Датчик руху спрацював, але тривога не увімкнулася (відстань > 50 см).
- *Сценарій 2:* Наближення до пристрою впритул. *Результат:* Спрацювала сирена, загорівся червоний індикатор, через 10 секунд отримано SMS.

5.5 Під час тестування було виявлено, що ультразвуковий датчик погано реагує на м'які поверхні (наприклад, одяг з вовни), оскільки вони поглинають звук. Також SIM800L втрачав мережу при живленні лише від USB комп'ютера, що підтвердило необхідність зовнішнього джерела живлення.

ВИСНОВКИ

У ході виконання курсової роботи було розроблено та протестовано макет охоронної системи на базі платформи Arduino.

Результати роботи: Було успішно реалізовано алгоритм подвійної перевірки: поєднання PIR-датчика (для виявлення теплового руху) та ультразвукового датчика (для визначення фізичної присутності об'єкта на близькій відстані). Це дозволило суттєво знизити ймовірність хибних спрацювувань, які є типовою проблемою дешевих систем сигналізації. GSM-модуль забезпечив надійний канал сповіщення, незалежний від наявності інтернету (Wi-Fi) у приміщенні.

Створений пристрій відповідає поставленим технічним вимогам: він автономний, має світлозвукову індикацію та функцію віддаленого сповіщення. Вартість компонентів значно нижча за промислові аналоги, що робить дану розробку економічно доцільною для домашнього використання, охорони гаражів або складських приміщень.

Перспективи розвитку: Даний проект має значний потенціал для модернізації:

- **Інтеграція камери:** Додавання модуля камери (наприклад, ESP32-CAM) дозволить не тільки отримувати SMS, але й фото зловмисника в Telegram або на пошту.
- **Автономне живлення:** Впровадження літій-іонних акумуляторів із модулем контролю заряду та сонячною панеллю для повної автономності.
- **Керування через додаток:** Заміна GSM на Wi-Fi модуль (NodeMCU) або використання GPRS для передачі даних на сервер (Blynk/IoT

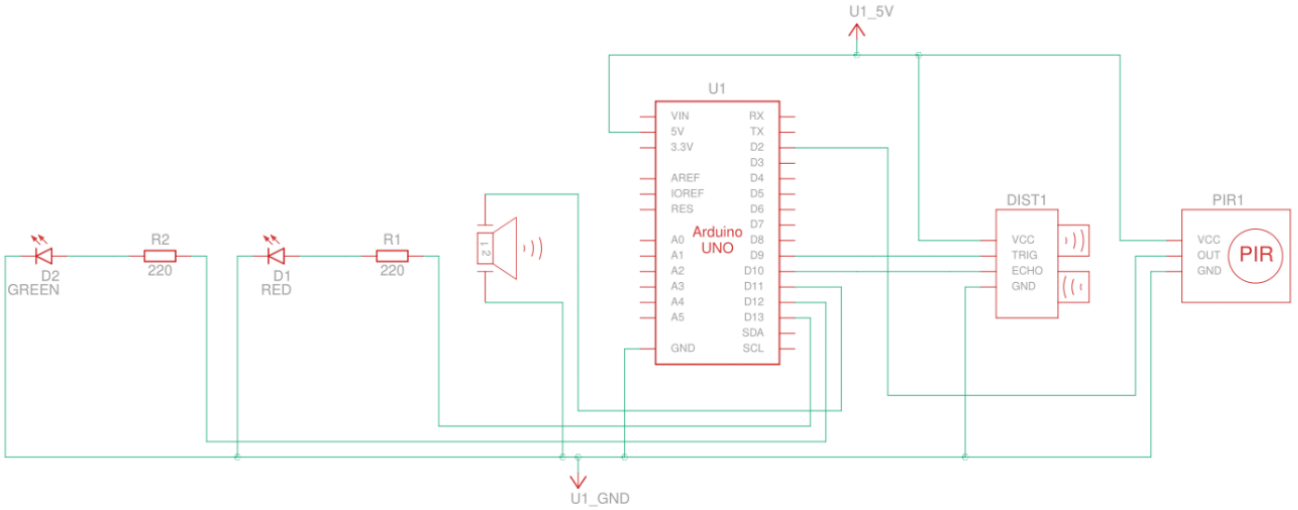
Cloud) дозволить керувати станом охорони зі смартфону, переглядати лог спрацювувань та рівень заряду батареї в реальному часі.

- **Корпусування:** Розробка 3D-моделі корпусу для захисту електроніки від вологи та пилу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- **Блум Д. Вивчаємо Arduino:** інструменти та методи технічного чарівництва / Джеремі Блум. — К.: БХВ, 2016. — 336 с.
- **Шилдт Г. C++:** базовий курс / Герберт Шилдт. — 3-тє вид. — М.: Вільямс, 2019. — 624 с.
- **Петренко А. І.** Основи мікропроцесорної техніки та програмування мікроконтролерів: навчальний посібник / А. І. Петренко. — К.: Каравела, 2020. — 288 с.
- **Рюмик С. М.** Мікроконтролери AVR: практикум для початківців / С. М. Рюмик. — Х.: Ранок, 2018. — 112 с.
- **Галкін В. І.** Промислова електроніка та мікросхемотехніка: підручник / В. І. Галкін. — К.: Вища школа, 2017. — 320 с.
- **Alvins, B.** Mastering Arduino Programming (2021). *Призначення: Програмування мікроконтролерів, синтаксис C/C++.*
- **Schwartz, M.** Arduino Electronics Blueprints (2019). *Призначення: Інтеграція компонентів, використання бібліотек, створення скетчів.*
- **Axelson, D.** Embedded Systems Design (2020). *Призначення: Фундаментальні основи проєктування вбудованих систем, архітектура.*
- **Marr, B.** Internet of Things (IoT) in Business (2022). *Призначення: Концепції IoT, мережеві протоколи та стандарти для пристроїв.*

ДОДАТОК 1



Принципова електрична схема підключення