

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

**Радіотехнічний факультет  
Кафедра прикладної радіоелектроніки**

«На правах рукопису»  
УДК 681.3

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Михайло Степанов  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології  
мікросистемної радіоелектронної техніки»**

**за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»**

**на тему: «Розумний датчик протікання води»**

Виконав:  
студентка 2 курсу, групи РІ-01мп  
Тарасюк Анастасія Олексіївна



Керівник:  
к.т.н., ст. викл.  
Зінгер Яна Леонідівна



Рецензент:  
к.т.н., ст.викл  
Товкач Ігор Олегович



Засвідчую, що у цій дипломній роботі  
немає запозичень з праць інших авторів  
без відповідних посилань.

Студентка \_\_\_\_\_



Київ – 2021 року

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

**Радіотехнічний факультет**

**Кафедра прикладної радіоелектроніки**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.зав. кафедрою

\_\_\_\_\_ Михайло СТЕПАНОВ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студента  
Тарасюк Анастасії Олексіївни**

1. Тема дисертації «Розумний датчик протікання води» науковий керівник дисертації к.т.н., ст. викл. Зінгер Яна Леонідівна, затверджені наказом по університету від «15» листопада 2021 р. №3744-с
2. Термін подання студентом дисертації 16 грудня 2021 року
3. Об'єкт дослідження бездротовий датчик протікання води, з реалізацією сповіщення користувача через мережу Wi-fi
4. Предмет дослідження удосконалення схемотехнічного рішення, створення макету та проведення до-сліджень
5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Провести огляд аналогів, визначити зміни і нові тенденції ринку. 2. Реалізувати виготовлення та дослідження чутливих елементів. 3. Удосконалити сземотехнічне рішення та корпус пристрою, провести симуляцію для корпусу.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Мультимедійна презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій X Міжнародна науково-технічна конференція "Радіотехнічні проблеми, сигнали, апарати та системи" 2021

9. Дата видачі завдання 1 вересня 2021 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Узгодження та аналіз ТЗ з науковим керівником;	01.09.2021	
2	Огляд існуючих рішень;		
3	Проведення експерименту;		
4	Аналіз результатів, висновки та рекомендації;		
5	Проектування схеми та корпусу пристрою;		
6	Дослідження корпусу пристрою;		
7	Стартап проект		
8	Представлення результатів	16.12.2021р	

Студент

Анастасія ТАРАСЮК

Науковий керівник

Яна ЗІНГЕР

## АНОТАЦІЯ

Обсяг пояснювальної записки магістерської дисертації становить 61 сторінку, що містить 4 розділи, 35 ілюстрацій, 21 таблицю та 34 посилання.

Проведено повторний аналіз існуючих аналогів, визначено тенденції зміни ринку. Встановлено актуальність розробки пристрою. Проведено огляд чутливих елементів, описано їх основні типи. Виготовлено власний чутливий до води елемент, проведено макетування та виміри. За результатами дослідження була представлена доповідь на конференції. Також проведено дослідження чутливих до вологи елементів, встановлено структуру ввімкнення такого елемента. Обрано процесор для пристрою ESP32-U4WDH, досліджено під нього меандрову інвертовану F-антену. Спроектовано корпус пристрою та проведено його аналіз.

Особливістю розробленого пристрою залишається можливість детектування води з верхньої частини приміщення, а також наявність усіх функцій пристроїв-аналогів.

Ключові слова: WI-FI, BLE, датчик, вода, вологість, протікання, сповіщення, сигналізація, затоплення, ESP, MIFA.

## **ABSTRACT**

The master dissertation consists of an explanatory note of 61 pages which include 35 illustrations, 21 tables and 34 references.

The analysis of existing analogues is carried out repetitively, the tendency of change of the market are defined. The relevance of device development has been established. The review of sensitive elements is carried out, their basic types are described. The own sensing elements for water are designed, made and their efficiency are researched. A report was presented at the conference based on the results of the study. Also, the study of humidity-sensitive elements was also carried out. Created a structure inclusion of element in the circuit. The processor for the ESP32-U4WDH device was selected and the meandered inverted F-antenna for it is designed. The device housing is designed and analyzed.

A main feature of the developed device is the ability to detect water from the upper part of the room, as well as the presence of all functions of similar devices.

Keywords: WI-FI, BLE, detector, water, humidity, leak, notification, alarm, flooding, TSP, MIFA.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	3
Вступ.....	4
1 Огляд існуючих рішень .....	5
1.1 Огляд аналогів на ринку.....	5
1.1.1 Розумний датчик Neptun SSW001 .....	5
1.1.2 Датчик протікання води Orvibo Water Leakage Sensor .....	6
1.1.3 Датчик контролю протікання води Hidrolock .....	7
1.1.4 Розумний датчик Tervix Pro Line ZigBee Flood Sensor Wireless	8
1.1.5 Датчик протікання води Xiaomi Aqara Water Sensor.....	9
Висновки за розділом .....	10
2 Датчики для виміру і детектування вологості та протікання.....	12
2.1 Датчики води .....	12
2.1.1 Пропозиції на ринку .....	12
2.1.2 Власний аналог.....	13
2.2 Датчики вологості .....	16
2.2.1 Пропозиції на ринку .....	16
2.2.2 Резистивні датчики вологості .....	18
2.2.3 Ємнісний датчик вологості .....	19
2.2.4 Датчик вологості на основі пасивних сенсорів на ПАХ.....	21
2.2.5 Структура.....	22
Висновки за розділом .....	25
3 Розробка приладу .....	26
3.1 Вибір модулів зв'язку .....	27

	2
3.2 Моделювання антени.....	30
3.3 Проектування друкованих вузлів .....	36
3.4 Проектування корпусів.....	38
Висновки за розділом .....	42
4 Розробка стартап–проекту.....	43
4.1 Опис ідеї проекту .....	43
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	44
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	45
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	52
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	55
Висновки .....	57
Перелік джерел посилань .....	59
ДОДАТОК А. Публікації за темою дисертації .....	63

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ**

WSN — Wireless sensor network

HS — Humidity Sensor

WS — Water Sensor

NTC — Negative Temperature Coefficient

RH — Relative Humidity

ПАХ — Поверхневі Акустичні Хвилі

TWLD — Top Water Leak Detector

BWLD — Bottom Water Leak Detector

BLE — Bluetooth Low Energy

PIFA — Inverted-F Antenna

MIFA — Meandered Inverted-F Antenna

TS — Time Solver



## ВСТУП

В сучасному світі питання автономної охорони приміщення достатньо розповсюджено. Створено не одну комплексну охоронну систему з широким функціоналом. Одним з параметрів подібних систем є виявлення води в невідповідних місцях. Для такої задачі використовуються датчики протікання води.

Сучасні датчики протікання, що стрімко розвиваються, спрямовані на детектування води на підлозі. Проте досі не існує рішення для виявлення води у верхній частині приміщення, а з такою проблемою стикається велика кількість користувачів.

**Актуальність теми** зумовлена переходом суспільства на сучасні технології в побуті та збільшенням інтересу до охоронної системи приміщення, особливо при захисті від води з верхньої частини приміщення. Розробка спрямована на реалізацію повноцінного рішення, в той час як на ринку наявні лише часткові.

**Метою даної роботи** є удосконалення пристрою, що розроблявся у дипломному проекті на здобуття ступеня бакалавра, оскільки представлене раніше рішення не мало можливості повноцінного заміщення існуючих пристроїв. А саме оптимізація давачів, розширення діапазону роботи та створення макету. Тобто створення самостійного датчика, котрий детектує появу води у будь-якій частині приміщення та сповіщає про це користувача через його смартфон за допомогою мережі Wi-fi.

**Об'єктом дослідження** є параметри та характеристики чутливих елементів та мікросмужкової антени.

**Предмет дослідження:** чутливі до води та вологості елементи, мікросмужкова антена.

**Методи дослідження:** експериментальне дослідження за допомогою макетування.

## 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Сучасні датчики можна розрізнити за двома основними характеристиками:

- Дротові або бездротові;
- Самостійні або частина охоронної системи.

В даному розділі розглянуто найбільш розповсюджені на ринку датчики, що з'явилися за останній рік.

### 1.1 Огляд аналогів на ринку

#### 1.1.1 Розумний датчик Neptun SSW001

Автономний компонент водопровідної системи звуковий датчик Neptun SSW001. Виявляє, фіксує, сигналізує про раптову появу води.



Рисунок 1.1 — Розумний датчик Neptun SSW001 [1]

Коли волога потрапляє на пристрій, відбувається замикання контактів, розташованих на нижній частині датчика. Контактими є дві пластини, розташовані на достатній відстані одна від одної. В результаті замикання надходить сигнал на контролер і, відповідно, вбудований зумер подає звуковий сигнал про появу води. Цей сигнал є досить гучним, щоб привернути увагу користувачів і відключитися тільки коли датчик приберуть від води і протруть насухо. У режимі оповіщення датчик може працювати безперервно близько 24 годин.

Рівень звукової сирени становить 80 дБ. Виробник гарантує час спрацювання не більше 2 с. Живлення 3 В від 2-х елементів живлення типу АА. Розміри датчика 95x60x30 мм [1].

Недоліки: звукове сповіщення, котре вимикається лише після протирання датчика насухо; завелика відстань між контактами, що зменшує вірогідність детектування; корпус не захищений від потрапляння води всередину, що негативно впливає на електроніку в корпусі; реагує на розтікання води по підлозі.

### ***1.1.2 Датчик протікання води Orvibo Water Leakage Sensor***

Розумний датчик, який швидко виявляє протікання і сповіщає про неї власника Orvibo Water Leakage Sensor.



Рисунок 1.2 — Датчик протікання води Orvibo Water Leakage Sensor [2]

Датчик складається з двох частин - верхнього модуля з транслятором сигналу, керуючим блоком і світловим індикатором, а також сенсора, приєднаного за допомогою гнучкого дроту. Принцип його роботи простий - пристрій передає дані про стан сенсора в реальному часі. Детектор опускається на підлогу, при попаданні води на сенсори пристрою відбувається замикання контактів і поява тривожного сигналу. Датчик здатний відправляти сигнал про небезпеку затоплення на контролер Orvibo Zigbee Mini Hub, який в свою чергу буде відправлено оповіщення на смартфон користувача, включить сирену або перекриє клапан подачі води, якщо такий функціонал налаштований. Датчик функціонує тільки при встановленому програмному забезпеченні HomeMate. Програма сумісна з Android і iOS. Джерелом енергії в датчику є батарейки CR2032, заряду яких достатньо на 1 рік експлуатації. Пристрій відстежує стан

батареї і показує, коли потрібно її замінити. Максимальна віддаленість від модуля — 80 м. Розміри передавача 60x30x12,5 мм, сенсор — 28.3x26.5x12.2 мм [2].

Недоліки: датчик має дротовий сенсор, що ускладнює його встановлення; працює лише з контролером, тобто не є самостійним пристроєм; реагує на воду на підлозі під сенсором.

### ***1.1.3 Датчик контролю протікання води *Gidrolock****

Радіодатчик *Gidrolock* є компонентом системи *GIDROLOCK RADIO* і використовується спільно з системами *GIDROLOCK PREMIUM* і *GIDROLOCK UNIVERSAL*.



Рисунок 1.3 — Датчик контролю протікання води *Gidrolock* [3]

Застосування системи *GIDROLOCK RADIO* дозволяє здійснювати віддалений контроль над станом інженерних систем водопостачання та опалення в тих випадках, коли установка стандартних (провідних) датчиків протікання важка або неможлива. При попаданні води на електроди радіодатчика, він передає по радіо каналу аварійне повідомлення до радіоприймача, підключеного до блоку управління. Після отримання аварійного повідомлення блок управління видає сигнал на шарові електроприводи для дистанційного перекриття подачі води. Передача аварійного повідомлення відбувається до отримання підтвердження прийому (функція «запит-відповідь») від радіоприймача. Радіодавач розташовуються на підлозі в місцях ймовірної появи води. Він повинен завжди розташовуватися електродами вниз. Також його можна кріпити до

підлоги за допомогою вхідного в комплект кріплення. Електроди представлені двома провідниками у формі дуги, розташованих у нижній частині датчика одна в одній. Габаритні розміри: діаметр 50, висота 12 мм. Дальність передачі радіосигналу в прямій видимості до 500 метрів та термін роботи від однієї батареї CR2450 до 2-х років [3].

Недоліки: працює лише з контролером; призначений для автономного перекриття води, а не сповіщенню користувача; реагує на розтікання води по підлозі.

#### ***1.1.4 Розумний датчик Tervix Pro Line ZigBee Flood Sensor Wireless***

Компактний безпроводний датчик запобігання потопу Tervix Pro Line ZigBee Flood Sensor Wireless. Розроблений для роботи з APP Tuuya Smart та Smart Life.



Рисунок 1.4 — Розумний датчик Tervix Pro Line ZigBee Flood Sensor Wireless [4]

Компактний безпроводний датчик запобігання потопу Tervix Pro Line ZigBee Flood Sensor Wireless призначений для вимірювання та передачі отриманих даних іншим пристроям, які знаходяться в одній загальній ZigBee мережі, реагує на наявність води. Датчик працює з безпроводним контроллером

Tervix Pro Line ZigBee Gateway. Коли між двома контактами датчика з'являється вода, тоді контакти замикаються, подається сингал на контролер і направляється повідомлення на телефон в APP TuYa Smart або Smart Life. Користувач може самостійно запрограмувати контролер на подальші дії — закриття відповідного моторизованого клапана або на виконання іншої попередньо запрограмованої дії. Контакти знаходяться в нижній частині датчика та розташовані на великій відстані один від одного. У верхній частині датчика знаходиться індикатор стану. Корпус діаметром 50 мм та висотою 18 мм, радіус дії до 40 м. Термін роботи на одній батарейці CR2032 до 2-х років [4].

Недоліки: працює лише з контролером; далеке розташування електродів, котрі має замикати між собою вода; детектує розтікання води по підлозі.

#### ***1.1.5 Датчик протікання води Xiaomi Aqara Water Sensor***

Датчик витоків води Aqara Water Sensor сповістить користувача сиреною і звуковим сигналом, надішле сповіщення на смартфон, якщо раптом з'явиться загроза затоплення.



Рисунок 1.5 — Датчик протікання води Xiaomi Aqara Water Sensor [5]

Xiaomi Aqara Water Sensor має два металевих контакти на своїй нижній поверхні, за допомогою яких він виявляє протікання. Датчик здатний відреа-

гувати на рівень води від 0.5 мм. Пристрій працює по протоколу ZigBee в сполученні зі шлюзом Xiaomi Mi Gateway 2, через який і віддаються команди іншим розумним приладам. Пристрій працює в системі Xiaomi Smart Home, що забезпечує синхронізацію сигналу спрацьовування датчика з іншими сумісними пристроями, завдяки чому він зможе включити сигналізацію, а також автоматично відключити пов'язані електричні прилади і запобігти короткому замиканню. Для цього необхідно встановити на телефон мобільний додаток Xiaomi Mi Home, який дозволить створювати і налаштовувати відповідні алгоритми дій. Окрім появи води датчик може визначити притік або відтік. Уся верхня частина датчик є індикатором стану. Габарити пристрою 50x50x15 мм, термін дії від одного елемента живлення типу CR2032 до 2-х років [5].

Недоліки: працює лише в сполученні з шлюзом; завелика відстань між контактами; реагує лише на розтікання води по підлозі.

### **Висновки за розділом**

В розділі були розглянуті найновіші датчики протікання води. Серед них спостерігається тенденція до розробки безпроводних пристроїв, оскільки їх легше встановлювати у приміщеннях.

Найпоширенішими чутливими елементами є два контакти. Оскільки для спрацювання датчика вода має їх замкнути, чутливість пристроїв з широко рознесеними контактами низька. Тобто використання провідних доріжок, що відповідає більшій площі чутливого елемента, є ефективнішим рішенням.

Спостерігається поява тенденції використання протоколу ZigBee у пристроях. Даний протокол включає в себе стандартний дизайн апаратного та програмного забезпечення для WSN (бездротової сенсорної мережі) та призначений для пристроїв, котрі користуються шлюзом для зв'язку. Він вимагає високої надійності, низької вартості, низької потужності, масштабованості та низької швидкості передачі даних [6]. Відповідно датчики, що працюють з цим

протоколом, не є самостійними, а функціонують лише з хабом. Оскільки метою роботи є розробка самостійного пристрою перевага залишається за Wi-fi зв'язком.

Також на ринку досі не з'явилися пристрої для вирішення головної проблеми — детектування появи води у верхній частині приміщення, що підтверджує актуальність даної теми.

Враховуючи результати аналізу метою даного проекту є удосконалення безпроводного датчика появи води з верхньої частини приміщення з чутливим елементом у вигляді пластини з провідними доріжками, котрий працює у мережі Wi-fi для сповіщення про появу води користувачу на смартфон.



## 2 ДАТЧИКИ ДЛЯ ВИМІРУ І ДЕТЕКТУВАННЯ ВОЛОГОСТІ ТА ПРОТІКАННЯ

Принцип роботи пристрою полягає в тому, що для детектування протікання будуть використовуватись два датчика. Перший реагує на появу води, а другий на зміну вологості середовища. Умовно їх можна позначити WS (Water Sensor) та HS (Humidity Sensor).

### 2.1 Датчики води

Детектування наявності води достатньо поширене завдання, оскільки воно зустрічається в домогосподарстві. Наприклад, виявлення води в ґрунті або детектування дощу для визначення часу поливу. Або автомобільні датчики дощу для регулювання роботи склоочисників. Останній реагує на світло, бо він являє собою світлодіод, що випускає інфрачервоне світло, і фотодатчик [7]. Подібна система нам не підходить, бо датчик протікання може знаходитись у темному приміщенні. Отже для проектуємого пристрою необхідний датчик води на іншому принципі. А саме замикання двох провідників водою.

#### 2.1.1 Пропозиції на ринку

Такі чутливі елементи є на ринку, вони являють собою виносний зонд з провідним малюнком [8, 9].

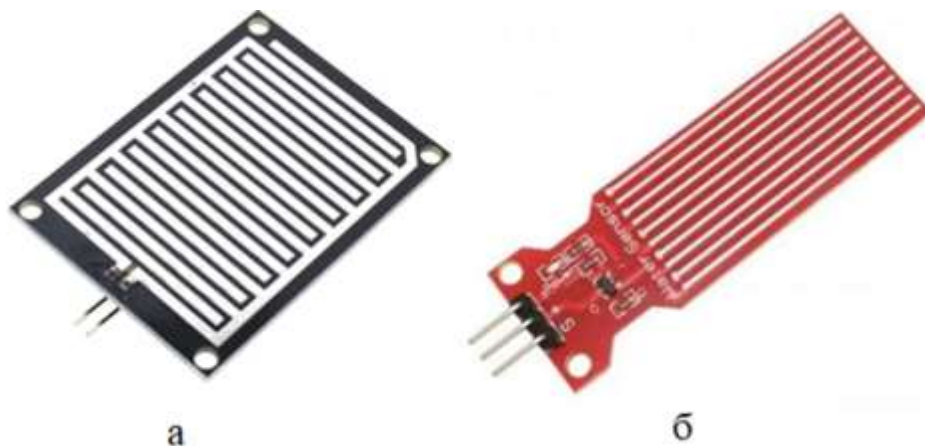


Рисунок 2.1 — Зовнішній вигляд датчиків рідини: а — давач МН–RD [8]; б — давач рівня рідини [9]

Такі датчики являють собою пластину з неізольованими провідниками. Принцип спрацювання заснований на тому, що каплі води, які потрапляють на

пластину, будуть закорочувати контакти між собою, відповідно змінюючи опір пластини. У дипломному проекті на здобуття ступеня бакалавра перевага була надана датчику МН–RD з огляду на можливість заміни модуля на менш енергозатратний, та наявність отворів для кріплення у корпус. Проте використання готового рішення створює обмеження по конструкції та ергономіці пристрою. Тому прийнято рішення виготовити чутливий до води елемент (зонд) самостійно.

### 2.1.2 Власний аналог

Для обрання оптимального рішення проведено дослідження залежності ефективності зонду від провідного малюнка та порівняння з вищенаведеним давачем МН–RD. Критерієм оптимальності є швидкодія спрацювання зонду на краплю води.

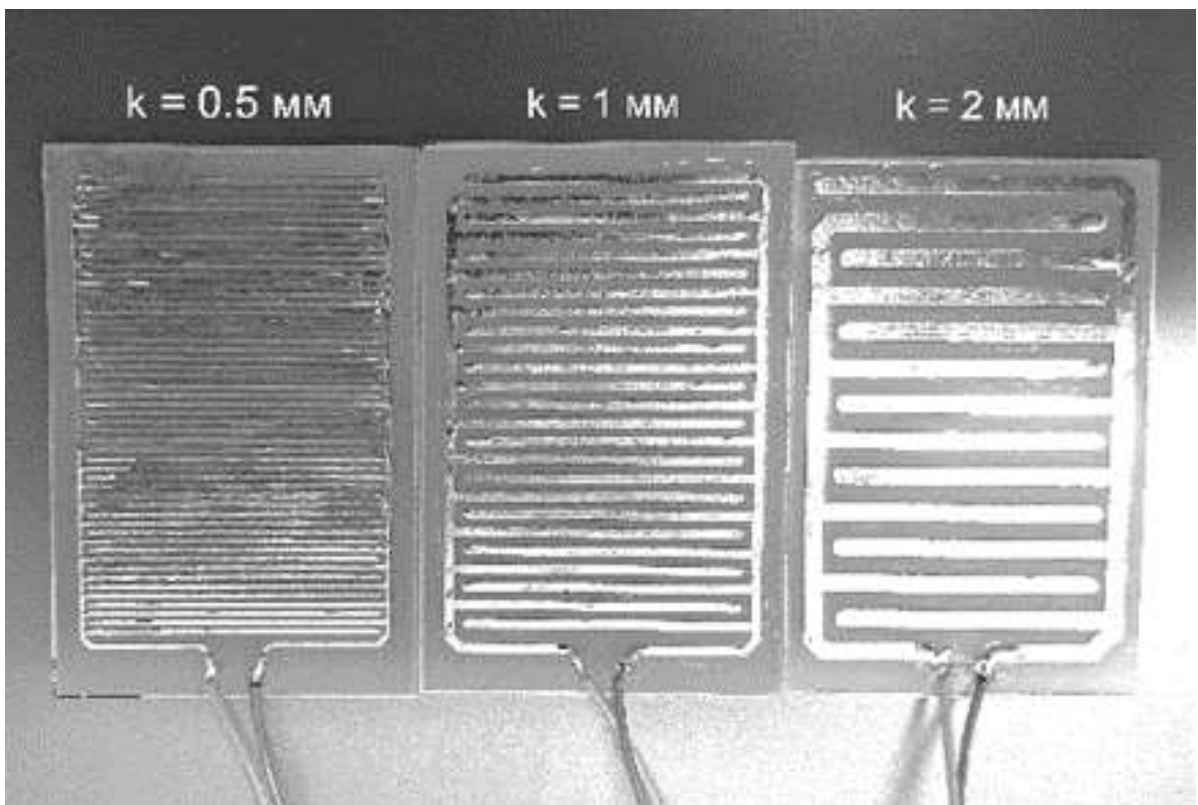


Рисунок 2.2 — Експериментальні виносні зонди WS, де  $k$  — крок провідного малюнка [10]

Розмір пластин зонда рівний 59 x 39 мм (відповідно до аналога). Ширина провідника та зазор між провідниками рівні кроку  $k$ .

На рис. 2.3 наведено фотографію експериментального макету. Він складається з виносних зондів, що реагують на воду, які паралельно підключені через модулі з компаратором LM393D до Arduino Uno з використанням аналогових входів. Модулі підключені до джерела живлення 3,3 В. Модуль LM393D (здвоєний компаратор напруги) являє собою пристрій, який порівнює між собою два електричних сигнали між інвертуючим та не інвертуючим входами та видає сигнал, який вказує на зміну одного вхідного сигналу відносно іншого, у вигляді розрахованого співвідношення сигналів.

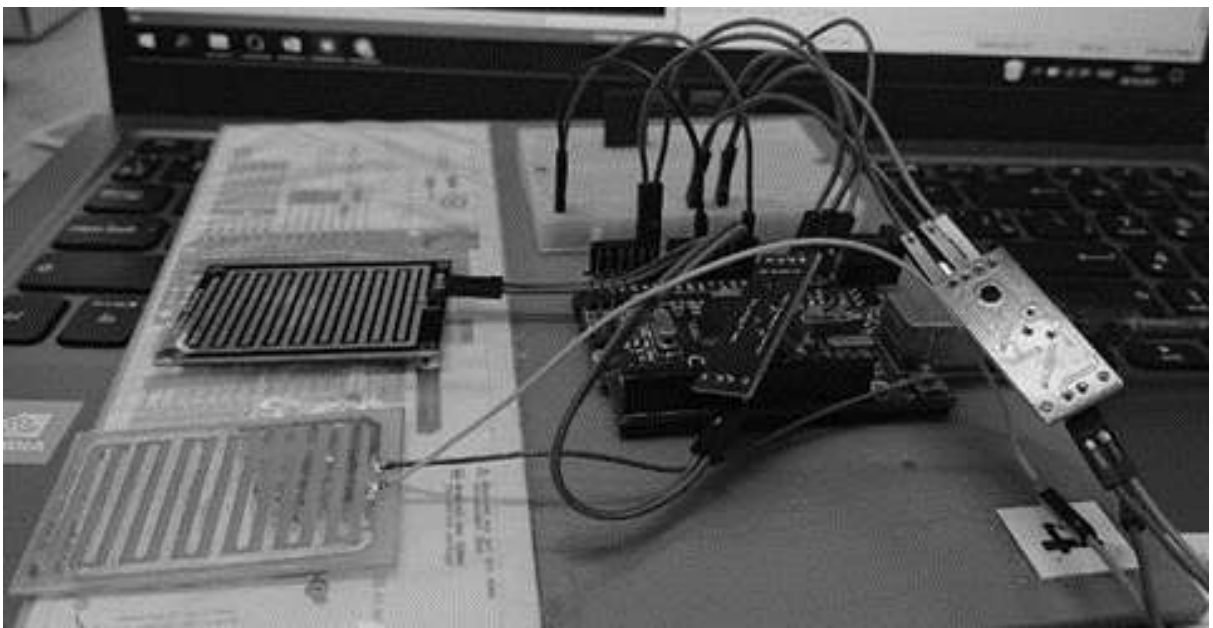


Рисунок 2.3 — Експериментальний макет [10]

У ході експерименту проводилось паралельне вимірювання вологості датчиками WS та покупним МН–RD шляхом поступового додання крапель води за допомогою піпетки на виносні зонди. Результати досліджень наведені на рис. 2.4 у вигляді залежності перетвореного значення різниці напруг  $\Delta U$  від часу  $t$ .

Пластини з провідним малюнком, де  $k = 1$  та  $2$  мм показали меншу чутливість ніж МН–RD. Але провідний малюнок з  $k = 0,5$  мм показав більшу ефективність.

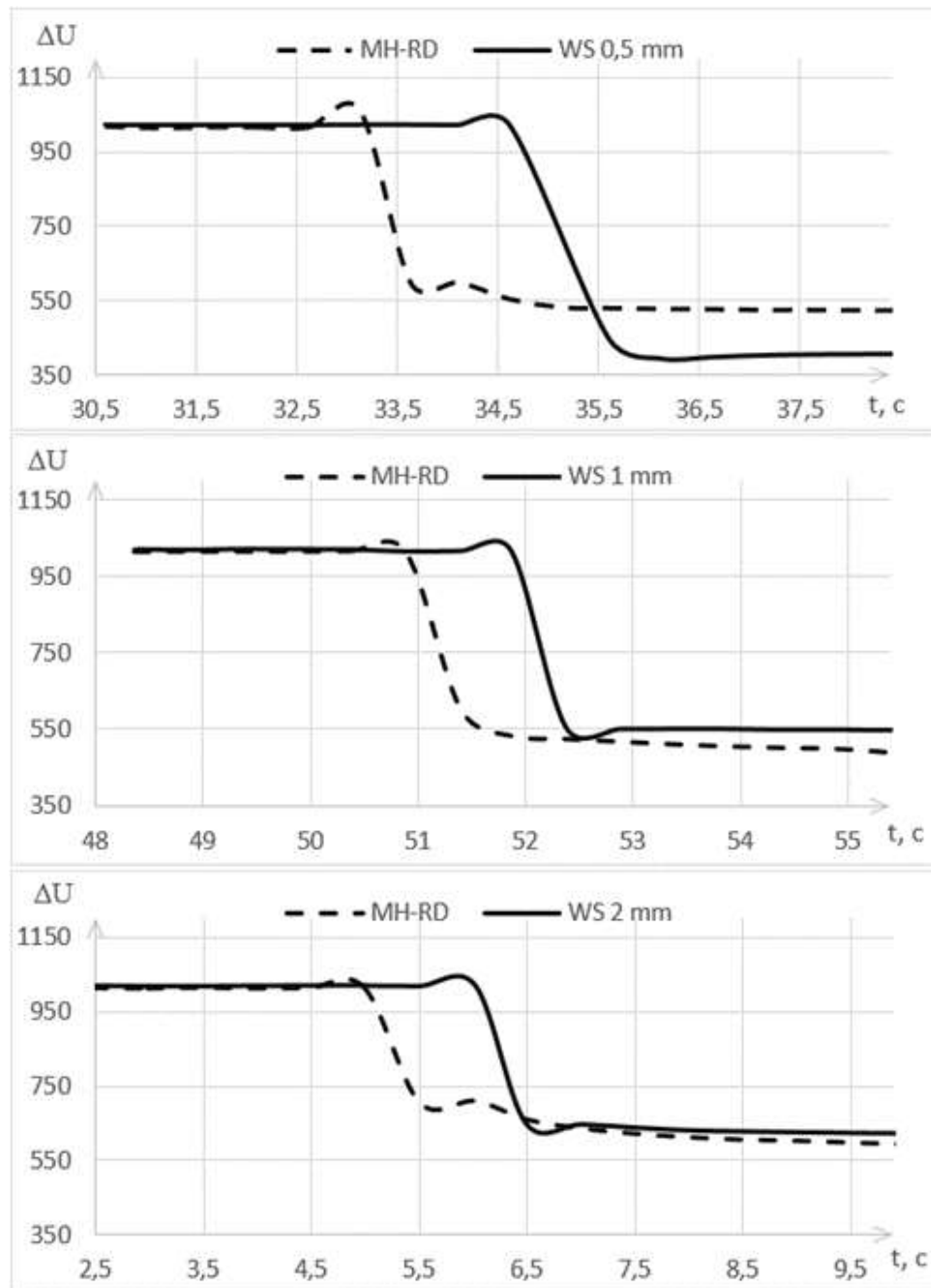


Рисунок 2.4 — Результати експерименту [10]

Дані результати пояснюються тим, що виготовлені пластини мають рівні ширину провідника та зазор між провідниками, а датчик МН–RD має ширину провідника  $\sim 2$  мм, а зазор  $\sim 0,7$  мм.

З одержаних результатів можна зробити висновок, що при меншому зазору між провідниками імовірність спрацювання більша, а також при меншій ширині провідників краплина води охоплює більше контактів, що теж підвищує чутливість зонду [10].




У ході експерименту було визначено, що для кінцевого пристрою у якості чутливого до води елемента необхідно буде виготовити пластину з довільним провідним малюнком, у якого зазор між провідниками буде рівний 0,5 мм, а ширина самих провідників може бути в межах 0,5...2 мм.



## 2.2 Датчики вологості

### 2.2.1 Пропозиції на ринку

Необхідність виміру вологи виникла давно, тому на ринку є достатня кількість пропозицій датчиків вологості з різними параметрами, які наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 — Порівняння датчиків вологості

Модель	Діапазон t, °C	Похибка t	Діапазон RH, %	Похибка RH	Живлення, В	Габарити, мм	Ціна, грн
 DHT11 [11]	0 ... 50	± 2	20 ... 90	± 5	3 ... 5	15,5 x 12 x 5,5	27
 DHT22 [12]	- 40 ... + 125	± 0.5	0 ... 100	± 5	3 ... 5	15,5 x 12 x 5,5	118.18
 AM2320 [13]	- 40 ... + 80	± 0.5	0 ... 100	± 3	3 ... 5	15,5 x 12 x 5,5	77

Модель	Діапазон t, °C	Похибка t	Діапазон RH, %	Похибка RH	Живлення, В	Габарити, мм	Ціна, грн
 HS1101 [14]	—	—	1 ... 99	± 2	5 ... 10	∅10 x 6	76
 АНТ15 [15]	-40 ... +85	±0.3	0 ... 100	±2	1,8 ... 3,6	17,7 x 5 x 2,2	~ 76

Більшість датчиків паралельно з виміром вологості також вимірюють температуру, оскільки відносна волога напряму залежить від температури. Усі сенсори придатні для виробів, що перебувають в приміщеннях з опаленням та мають високу чутливість.

Оскільки усі датчики виготовлені в корпусах, що ускладнює їх інтеграцію в друковану плату, було прийняте рішення виготовити чутливі елементи самостійно.

Наведені в таблиці давачі вимірюють вологість шляхом виміру електричного опору. Такий тип давачів виготовляється з гігроскопічних матеріалів, електричні властивості яких змінюються при поглинанні молекул води. Такі датчики вологості мають два підтипи: резистивні та ємнісні. Обидва підтипи характеризуються вимірюванням відносної вологості. Зазвичай вони мають форму малого виносного паличкоподібного зонду, що приєднується кабелем або безпосередньо з'єднаний з основною частиною інструменту. [16, 17].

Використання саме резистивних та ємнісних датчиків вологості є найбільш популярними для лабораторні дослідження або автоматизованої промисловості. Це пов'язано з тим, що їх структура є простішою, вільний вибір чутливих елементів, вартість, пристосованість до різних типів схем, простота виготовлення та налаштування вимірювань.

### 2.2.2 Резистивні датчики вологості

Принцип роботи резистивного датчика полягає в тому, що опір чутливого елемента змінюється у відповідності до зміни вологості. А зміна опору виділяється як електричний сигнал. Підвищення рівня вологості часто спричиняє посилення електропровідності чутливої плівки, водночас знижуючи питомий опір системи. Такі зміни імпедансу можуть бути в межах 1...100 кОм [18].

На рис. 2.5 наведена типова структура датчика. Металевий провідник у формі гребінця друкується на керамічній підкладці, потім його випалюють для формування електродів. Далі поверх електродів осаджується полімерний матеріал для утворення чутливої до вологи плівки.

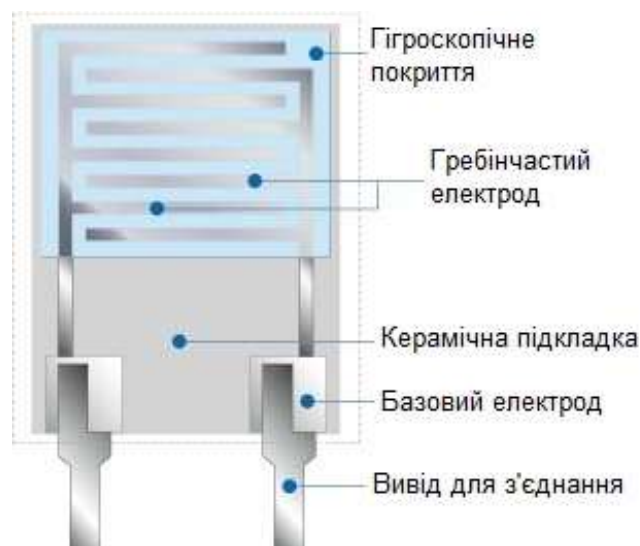


Рисунок 2.5 — Основна структура резистивного датчика вологості [19]

Для виготовлення давачів на основі плівки можуть бути застосовані як методи друку, наприклад, трафаретного або струменевого друку, так і методи нанесення покриттів, наприклад, хімічного осадження з парової фази (CVD),

нанесення покриття та занурення, або вакуумне напилення (PVD), методи термічного випаровування та холодного напилення [20].

Більшість резистивних датчиків вологості є електролітичними, полімерними або датчиками з оксиду металів.

Серед ринкових пропозицій резистивні датчики вологості використовуються, наприклад, в DHT11. Внутрішня будова цього датчика зображена на рис. 2.6.

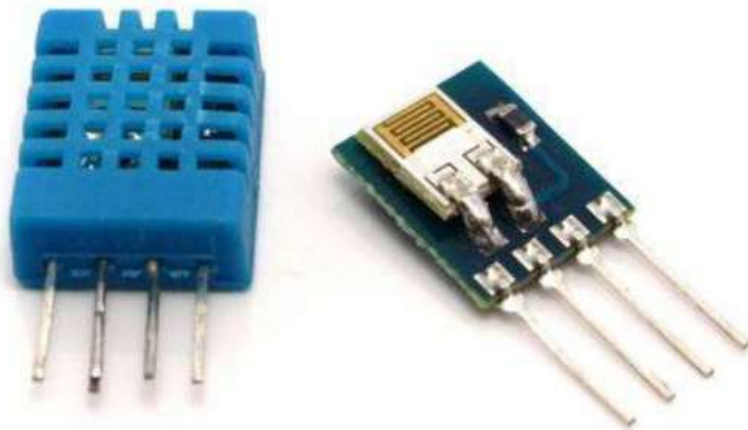


Рисунок 2.6 — Внутрішня будова DHT11 [21]

### 2.2.3 Ємнісний датчик вологості

Принцип дії ємнісного датчика заснований на зміні ємності між двома детектуючими електродами, змонтованими на напівпровідниковій підкладці. Цей механізм чутливості для датчиків ємнісного типу значною мірою залежить від значення діелектричної проникності активних шарів, що знаходяться між електродами.

На рис. 2.7 наведена типова структура ємнісного датчика. Вона складається з нижнього електроду, котрий формується на підкладці. Можуть використовуватись типові підкладки з кераміки, скла або кремнію. Поверх нижнього електроду нанесене гігроскопічне покриття, котрим є плівка з діелектричного полімеру або пористого керамічного оксиду металу, яка реагує на вологість, товщиною в кілька мкм. Верхній електрод формується поверх цього покриття шляхом нанесення тонкої плівки металу [18, 20].



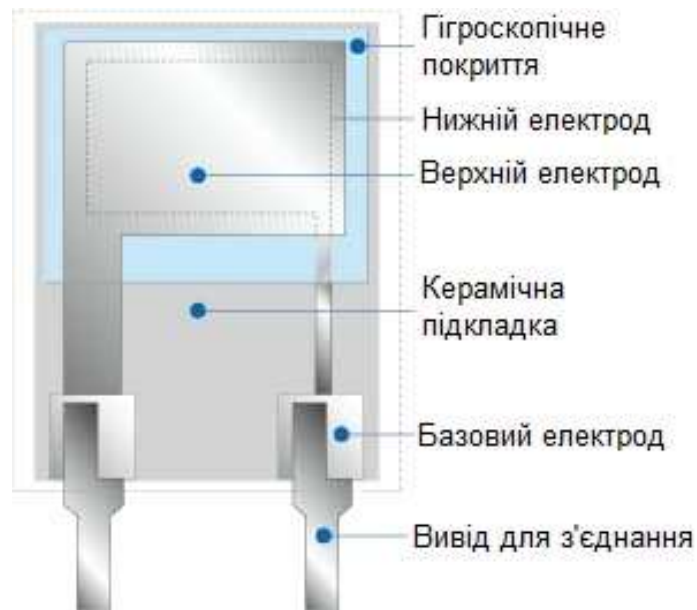


Рисунок 2.7 — Основна структура емнісного датчика вологості [19]

Час відгуку емнісного датчика вологості залежить суто від конструкції датчика, здатності матеріалу адсорбувати та десорбувати водяну пару, а також від температурного режиму роботи датчика.

З поміж наведених вище варіантів, емнісний датчик вологості можна зустріти в давачі DHT22, його внутрішня будова зображена на рис. 2.8.



Рисунок 2.8 — Внутрішня будова DHT22 [22]

Дизайн емнісних датчиків у вигляді «сендвічу» забезпечує датчик кращою надійністю, оскільки верхній електрод додатково виконує функцію захисту чутливого шару від забруднень. Проте структура резистивного давача має

перевагу у простоті виготовлення та кращу чутливість при низьких рівнях вологості [18].

#### 2.2.4 Датчик вологості на основі пасивних сенсорів на ПАХ

Окрім наведених вище двох основних типів давачів вологості була розглянута можливість проектування подібного давача за допомогою технології ПАХ на основі науково–дослідної роботи по пасивним сенсорам [23].

Отже подібний давач має представляти собою п'єзоелектричну підкладку, на якій має бути розміщено два ПАХ–перетворювача (вхідний/вихідний перетворювач та відбивач) та канал взаємодії з середовищем. У каналі мають бути розміщені лінії затримки радіосигналів, в яких поверхневі акустичні хвилі будуть отримувати індивідуальні фазові зсуви, пов'язані зі зміною вологості. Функціонально лінією затримки є сама підкладка, котра при впливі вологи буде вигинатись. Для забезпечення цього вигину необхідно нанести на підкладку гігроскопічне покриття, котре за рахунок вологи буде набухати та збільшувати свою масу, відповідно збільшуючи тиск на підкладку. Для більшого ефекту такий чутливий елемент має бути розташований на краю підкладки, а сама підкладка повинна мати консольне кріплення. Приблизна структура такого давача наведена на рис. 2.9.

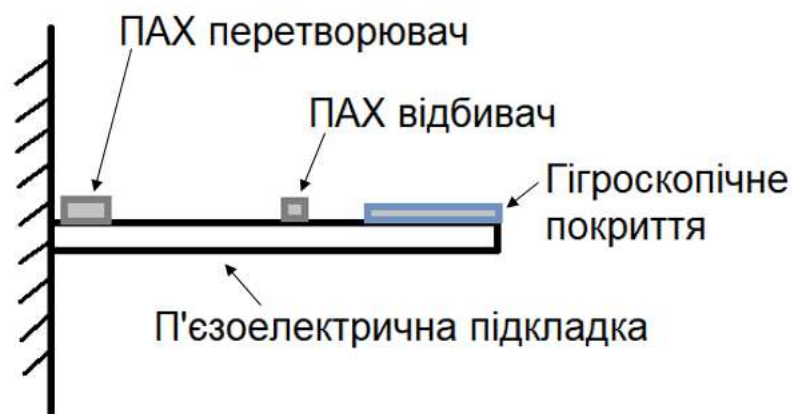


Рисунок 2.9 — Структура пасивного сенсора на ПАХ

Перевагою такого давача є робота без активних компонентів та живлення, ця перевага суттєва при його роботі на відстані від основного пристрою. Проте

передбачається розміщення чутливих елементів в одному корпусі з основними компонентами, тож надалі такий давач розглядатись не буде.

### 2.2.5 Структура

Оскільки більшість ринкових варіантів датчиків паралельно з вологістю також вимірюють температуру, необхідно у схему для власного датчика вологості інтегрувати чутливий до температури елемент. Для даної мети можна використати терморезистор NTC або термістор з негативним температурним коефіцієнтом, як у давачах DHT11 та DHT22. Ці термістори зазвичай виготовляються з напівпровідників, кераміки та полімерів. Опір пристрою обернено пропорційний температурі і йде по гіперболічній кривій [24].

Враховуючи переваги та недоліки надалі наведених вище давачів, зосередимось на резистивному датчику вологості. Якщо далі розглядати внутрішню структуру DHT11, то окрім чутливого до вологи елемента та термістора на платі ще наявна 8-розрядна інтегральна схема SOIC-14. Ця мікросхема вимірює та обробляє аналоговий сигнал із збереженими коефіцієнтами калібрування, виконує аналого-цифрове перетворення та видає цифровий сигнал із температурою та вологістю [24].

На рис. 2.9 наведена блок-схема для власного давача вологості.

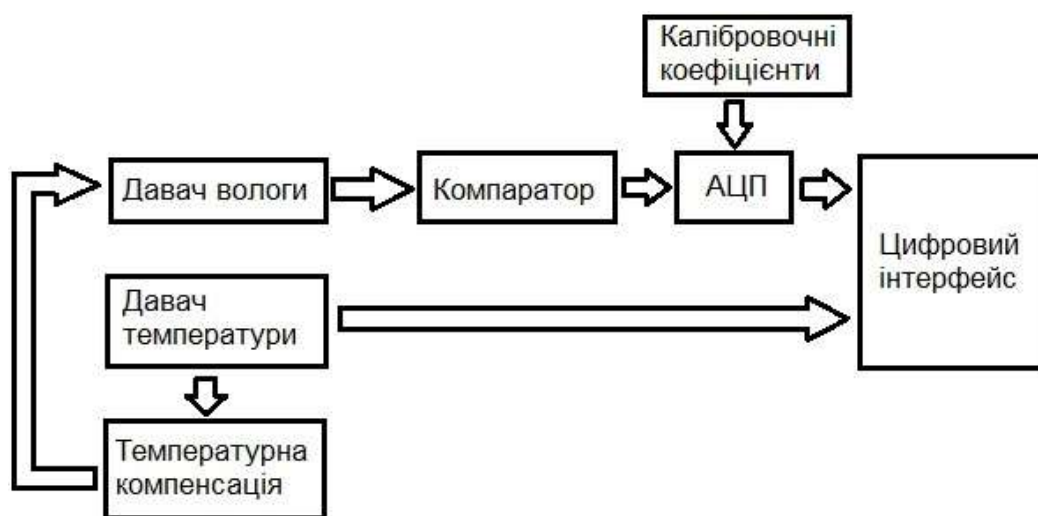


Рисунок 2.10 — Блок-схема давача вологи

Для зчитування інформації з резистивного давача вологості можна використати схему аналогічну до схеми заміни модуля LM393D для датчика води.

Тобто підключити давач вологості у схему дільника напруги, а калібрування проводити потенціометром. Надалі порівнювати сигнали за допомогою компаратора, який видаватиме розраховане співвідношення напруг, надалі програмно його переводячи у показники вологості. Оскільки LM393D є здвоєним компаратором, це дає можливість використати один елемент, тобто для реалізації модуля під давач вологи задіяти невикористані піни модуля для давача води. Блоки «АЦП», «Калібровочні коефіцієнти» та «Цифровий інтерфейс» можуть бути реалізовані в мікроконтролері, оскільки більшість мікроконтролерів мають вбудований АЦП та енергонезалежну пам'ять для зберігання коефіцієнтів.

Через обмеження, що створені умовами пандемії, не було реалізоване виготовлення власного чутливого до вологи елемента. Тому для макетного зразка було прийняте рішення взяти готовий чутливий елемент. Було розібрано давачі DHT11 та AM2320. Як зазначалось раніше, у першому резистивний чутливий елемент, котрий був випаяний з плати для проведення вимірів на макеті. У другому знаходиться ємнісний чутливий елемент, котрий не було можливість вийняти з технічних причин. Для порівняння у експерименті використовувався давач DHT22. Перераховані компоненти наведені на рис. 2.11.

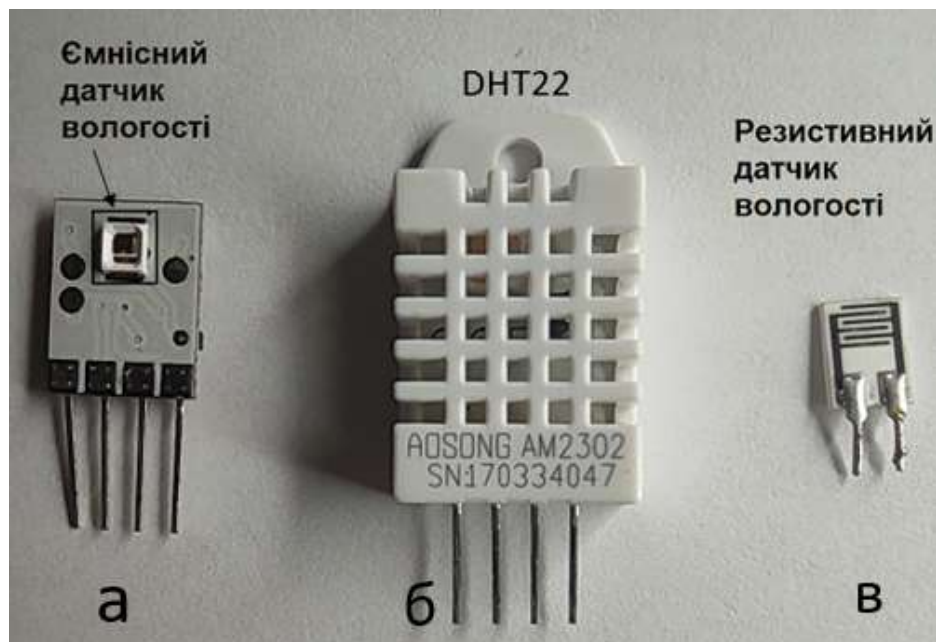


Рисунок 2.11 — Елементи, що використані у досліді: а – внутрішня схема AM2320; б – датчик DHT22; в – чутливий елемент з давача DHT11.

Для перевірки ефективності резистивного компоненту був зібраний експериментальний макет на базі Arduino Uno. Давач DHT22 був підключений за

стандартною схемою ввімкнення [25]. Отриманий резистивний давач (надалі HS), як було описано вище, вмикався за допомогою модуля LM393D, аналогічно до давача води у п. 2.1.2. Результати вимірів наведені на рис. 2.12.

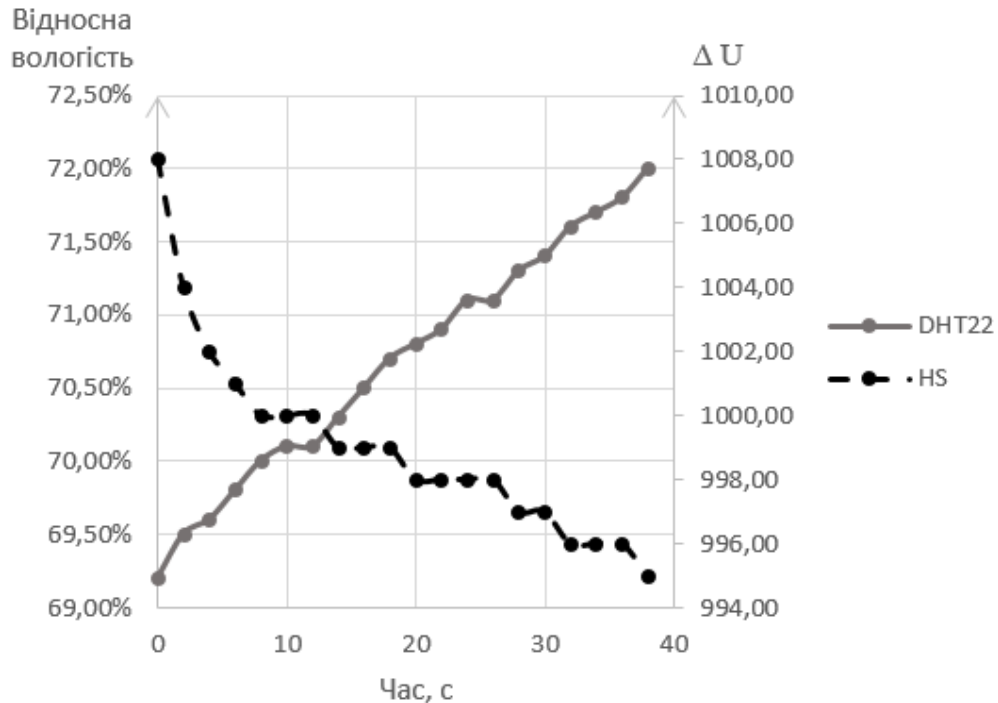


Рисунок 2.12 — Результати експерименту

Під час дослідження обидва датчики були поміщені у обмежений простір, де вони були розташовані над тканиною, що насичувалась водою. Дані з давача DHT22 відображені у вигляді значення відносної вологості у відсотках. З давача HS дані представлені у вигляді різниці напруг, обрахованої компаратором LM393. Як видно з результатів, модуль з давачем HS реагує на зміну вологості відповідно до давача DHT22. Проте зміна значення різниці напруг дуже мала для проведення пропорційного перетворення у значення вологості. Отже доцільно у майбутньому вимірювати зміну напруги на елементі HS напряму, використовуючи його у схемі подільника напруги.

Відповідно у майбутніх дослідженнях необхідно виготовити власний давач на основі полімеру. Встановити залежність значення імпедансу давача від значення відносної вологості з врахуванням впливу температури, провести калібрування.

Для виміру температури необхідно до мікроконтролера підключити ланку дільника напруги з терморезистором NTC. Та, відповідно, програмно розраховувати значення опору резистора з формули дільника напруги, а далі значення температури за формулою Стейнхарта–Харта:

$$\frac{1}{T} = A + B \ln(R) + C (\ln(R))^3, \quad (2.1)$$

де  $R$  — опір терморезистора при температурі  $T$  К;  $A$ ,  $B$ ,  $C$  — константи, що залежать від термістора та публікуються у даташитах.

Додатково терморезистор можна використовувати для проведення температурної компенсації, оскільки показники відносної вологості напряму залежать від значення температури у приміщенні. Це має бути врахованим при розрахунку вологості мікроконтролером за допомогою даних з обох давачів.

### **Висновки за розділом**

У даному розділі були розглянуті чутливі елементи для детектування води та виміру вологи. Наведено ринкові пропозиції та обґрунтування рішення самостійного виробу давачів.

Реалізовано чутливий до води елемент власного виготовлення. Проведено дослідження для встановлення його оптимальних параметрів.

Розглянуто давачі вологості та наведено основні типи чутливих до вологи елементів. Проведено дослідження працездатності окремого резистивного чутливого до вологи елемента.

Визначено структуру ввімкнення чутливих елементів для загальної схеми пристрою.

### 3 РОЗРОБКА ПРИЛАДУ

У попередньому варіанті пристрою, що представлявся в бакалаврському дипломі, він складався з основного корпусу та виносного зонду з давачем води. Вся попередньо представлена конструкція кріпилась на стіну та була спрямована лише на детектування води з верхньої частини приміщення. Це лишається перевагою перед ринковими рішеннями, але враховуючи імовірність невірно обраного місця встановлення датчика користувачем, прийнято рішення доповнити попередню розробку «підстраховуючим» пристроєм, що буде розташований на підлозі.

Отже головною метою є розробка комплексу з двох давачів. Умовно їх можна позначити як:

- TWLD — датчик, що буде розташований у верхній частині;
- BWLD — датчик, що буде розташований у нижній частині.

Таке рішення допоможе підвищити конкурентоспроможність розробляемого датчика, зберігаючи наявні переваги. У такому випадку основним виступатиме BWLD, котрий буде зв'язуватись з смартфоном користувача за допомогою мережі WI-FI та буде виступати у ролі проміжного хабу для всієї системи. Відповідно датчики TWLD будуть передавати дані спочатку до BWLD.




Для реалізації зв'язку між складовими комплексу доцільно обрати протокол BLE з двох основних причин: розташування датчиків комплексу передбачається на невеликій відстані один від одного; враховуючи автономність датчиків та необхідність у низькому споживанні енергії. Також за допомогою такого зв'язку можна реалізувати схему розміщення від 1 до 10 TWLD на один BWLD, чого достатньо для охоплення одного приміщення.

Надалі необхідно провести модернізацію схеми електричної принципової для двох пристроїв. В першу чергу необхідно підібрати модулі зв'язку з підтримкою WI-FI та BLE.



### 3.1 Вибір модулів зв'язку


У попередньому варіанті був обраний модуль ESP-12E, виконаного на базі процесору з ядром ESP8266 від компанії Espressif. На даний момент ця компанія досі є лідером на ринку серед недорогих та доступних чипів, тому надалі будуть розглядатись саме її продукти. Для мінімізації габаритів майбутньої плати прийняте рішення використовувати не готовий модуль, а чіп. Основні позиції ринку наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 — Порівняння чіпів ESP

Чіпсет	Опис	Пам'ять	Інтерфейси	Живлення, В	Габарити, мм	Ціна, €
 ESP32-D0WDQ6 [26]	Wi-Fi 802.11 b/g/n, 802.11 n (2.4 GHz), up to 150 Mbps; Deep sleep power < 150uA; Bluetooth v4.2 BR/EDR + BLE; Dual-core, up to 600 MIPS.	448 kB ROM; 520 kB SRAM; 16 kB SRAM in RTC;	34 GPIOs; 12-bit SAR ADC up to 18 channels; 2 × 8-bit DAC; 4 × SPI; 2 × I <sup>2</sup> S; 2 × I <sup>2</sup> C; 3 × UART.	2,3...3,6	5 x 5	2,54
 ESP32-D0WD [26]						
 ESP32-D2WD	Wi-Fi 802.11 b/g/n, 802.11 n (2.4 GHz),					2,71



Чіпсет	Опис	Пам'ять	Інтер- фейси	Жив- лення, В	Габарити, мм	Ціна, €
ESP32- D2WD [26]	up to 150 Mbps; Deep sleep power < 150uA; Bluetooth v4.2 BR/EDR + BLE; Dual-core, up to 400 MIPS.					
 ESP32- S0WD [26]	Wi-Fi 802.11 b/g/n, 802.11 n (2.4 GHz), up to 150 Mbps; Deep sleep power < 150uA; Bluetooth v4.2 BR/EDR + BLE;					2,12
 ESP32- U4WDH [26]	Deep sleep power < 150uA; Bluetooth v4.2 BR/EDR + BLE;					1,43

Чіпсет	Опис	Пам'ять	Інтер- фейси	Жив- лення, В	Габарити, мм	Ціна, €
	Dual-core, up to 200 MIPS.					
 ESP8266EX [27]	Wi-Fi 802.11 b/g/n, Deep sleep power < 10uA, Power down leakage cur- rent < 5uA, Single-core, Bluetooth co- existence	RAM < 50 kB, 80 kB DRAM, 64 kB ROM, 32 kB SRAM	17 GPIO, 1 I <sup>2</sup> C, 1 I <sup>2</sup> S, 2 UART, 10- bit preci- sion SARADC	2,5...3,6		1,36
 ESP8285 [28]	Wi-Fi b/g/n, Wi-Fi Direct (P2P), Miracast, SoftAP. Single Core, Deep sleep power < 20uA, Blue- tooth co-ex- istence	75 kB SRAM, 1 MB Flash		2,7...3,6		1,52

Серед наведених вище пропозицій був обраний чіп ESP32-U4WDH з врахуванням найкращих співвідношень між доступними функціями та ціною. Даний чіп підтримує можливість додатково розвести 16 Мбайт пам'яті.

Компанія Espressif надає у вільному доступі інструкцію з проектування апаратного забезпечення, тому є можливість розвести чіп самостійно не використовуючи у проекті покупних модулів. Схема розводки чіпа наведена на рис. 3.1.

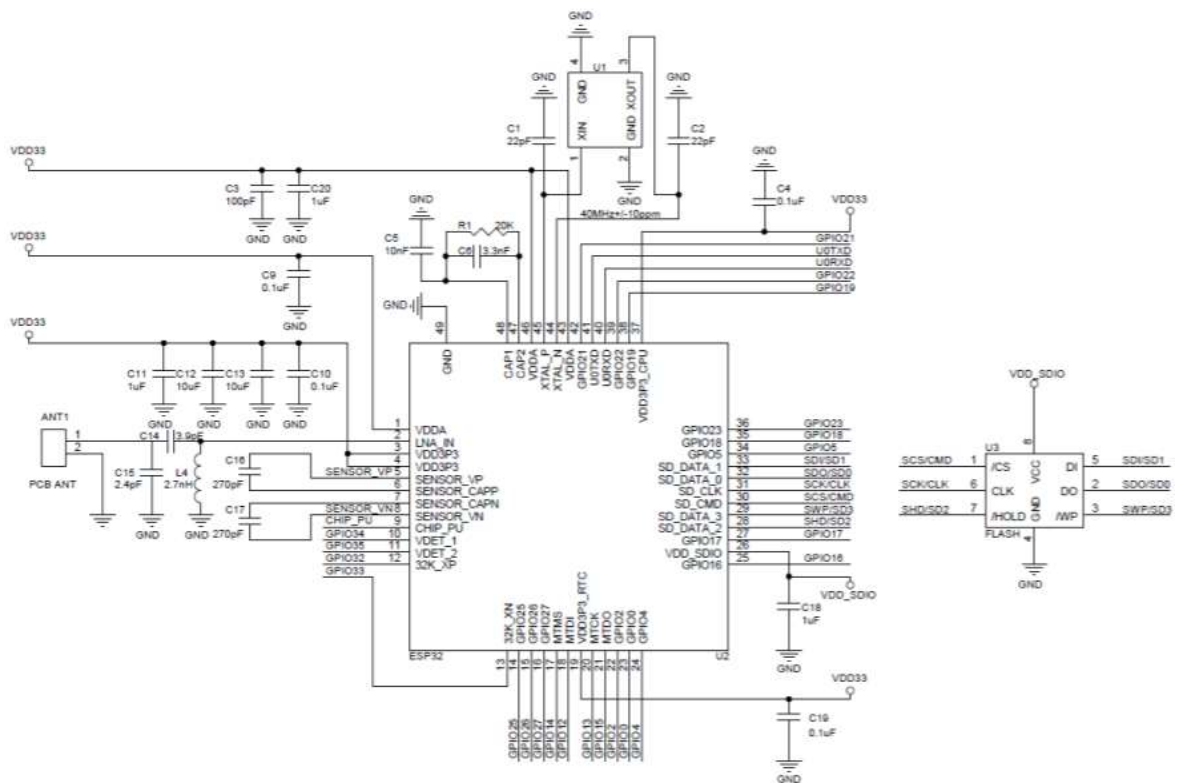


Рисунок 3.1— Схема електрично принципова об'язки до ESP32-U4WDH [29]

На платі необхідно розвести мікросмушкову антену, що буде під'єднана до 2-го піна чіпа. Схема узгодження антени  $\pi$ -типу утворена з елементів C14–C15 та L4. Оскільки вказівок стосовно провідного малюнку антени виробник не надає, необхідно провести її моделювання.

### 3.2 Моделювання антени

Мікросмушкові антени широко розповсюдження в різноманітних девайсах для підвищення продуктивності та мінімізації площі. Для досягнення такого результату було винайдено планарну інвертовану F-антену (PIFA) для

мобільного зв'язку в діапазоні нижче 1 ГГц [30]. Цей тип антени є різновидом монопольної антени і зазвичай використовується в портативних бездротових пристроях.

Структура PIFA складається із земляного полігону, земляного каналу антени, вхідного каналу та прямолінійного плеча (лінії електропередачі), який розміщується паралельно до полігону землі.

Модифікацією даної антени є меандрова інвертована F-антена (MIFA). Її структура відрізняється тим, що основний друкований провідник розводиться у вигляді меандру. Така модифікація дозволяє зробити антену ще більш компактною. Обидва варіанти структури наведені на рис. 3.2.

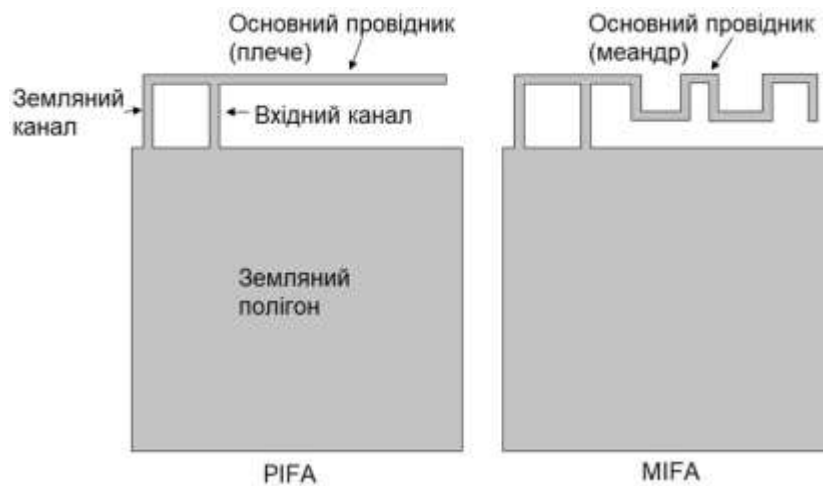


Рисунок 3.2 — Структури інвертованих F-антен

Основними конструктивними вимогами до інвертованих F-антен є наступні:

- Лінія електропередачі має бути якомога коротшою;
- Поверхня інвертованої F-антени повинна бути відкрита для повітря. Інакше покриття стримуватиме генерацію поверхневих хвиль. Підкладка в області антени не повинна мати маски.
- Земляний канал має бути з'єднаний з полігоном заземлення через перехідні отвори;
- Площина заземлення під антенною має бути видалена та має бути не меншою, за довжину плеча;

- Довжина контакту заземлення має бути не меншою ніж  $\frac{1}{4}$  довжини хвилі. Якщо довжина заземлення менша, пропускна здатність та ефективність зменшуються. [30, 31].

Поширеного застосування у модулях ESP останніх поколінь набула саме меандрова інвертована F-антена (MIFA). Діаграмою спрямованості такої антени є закритий тороїд з віссю обертання вздовж вхідного каналу. MIFA має вертикальну поляризацію паралельної осі обертання тороїда. Така антена підтримує зв'язок Wi-Fi і Bluetooth технології, що відповідає дійсним міжнародним стандартам зв'язку [32].

Перед початком моделювання необхідно встановити певні параметри. Характеристичний опір антени  $Z_0$  має бути рівний 50 Ом, частота передачі відповідати діапазону 2,4 ГГц, тобто бути в межах 2412 МГц — 2472 МГц [29]. Відповідно до попереднього проекту у якості підкладки буде використовуватись фольгований склотекстоліт FR-4 з діелектричною проникністю  $\epsilon_r = 4,5$ .

Висоту підкладки необхідно розрахувати за формулою:

$$h_s \leq \frac{0.3c}{2\pi f \sqrt{\epsilon_r}}, \quad (3.1)$$

де  $h_s$  — висота підкладки;  $c$  — швидкість світла.

$$h_s \leq \frac{0.3 \cdot 3 \cdot 10^8}{2\pi \cdot 2,4 \cdot 10^9 \cdot \sqrt{4,5}} = 2,81 \text{ мм.}$$

Отже доцільно буде надалі використовувати склотекстоліт з товщиною фольги 35 мкм та товщиною діелектрика 1,5 мм.

Головною метою проектування є відбиття менше ніж -10 дБ у діапазоні ISM 2,4 ГГц при підключенні до джерела 50 Ом. Таке відбиття гарантує, що більше 90% доступної потужності надходить до антени.

За основу для проектування було взято рекомендації компанії Texas Instruments щодо розведення MIFA для діапазону частот 2,4 ГГц [34]. На рис. 3.3 наведені структура та розмір антени.

Для проектування використовувався програмний пакет CST Studio Suit, а саме модуль Microwave Studio.

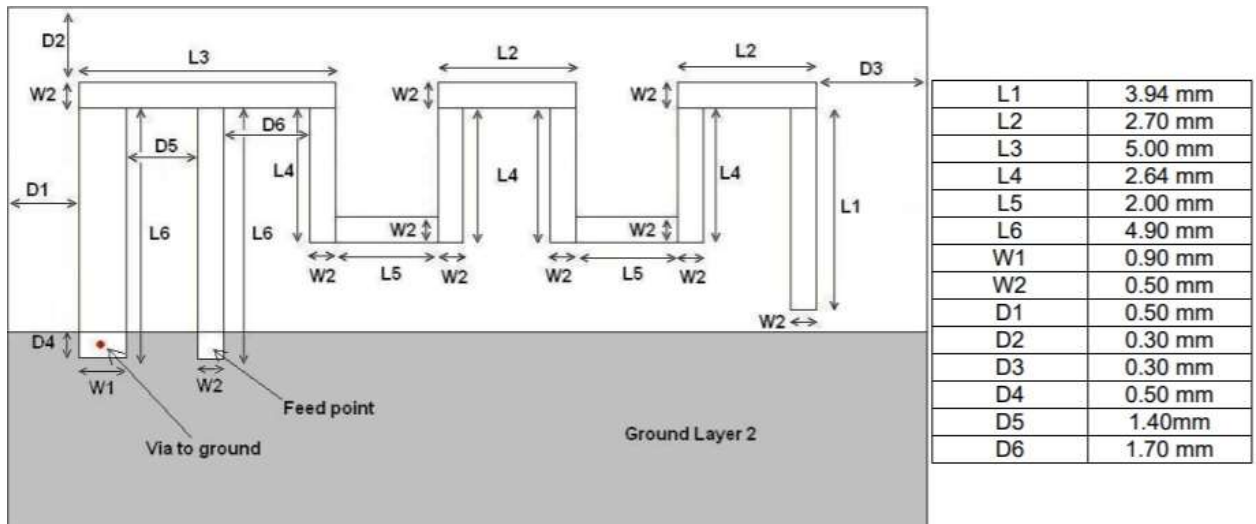


Рисунок 3.3 — Розміри антени запропоновані Texas Instruments [32]

У процесі проектування використовувався часовий розв'язувач (Time Solver, TS) з параметрами сітки розбиття 10 x 10 та найменшим кроком сітки 0,03. Симуляція відбувалась в умовах додання відкритого простору. Результат розрахунку запропонованої антени наведено на рис. 3.4.

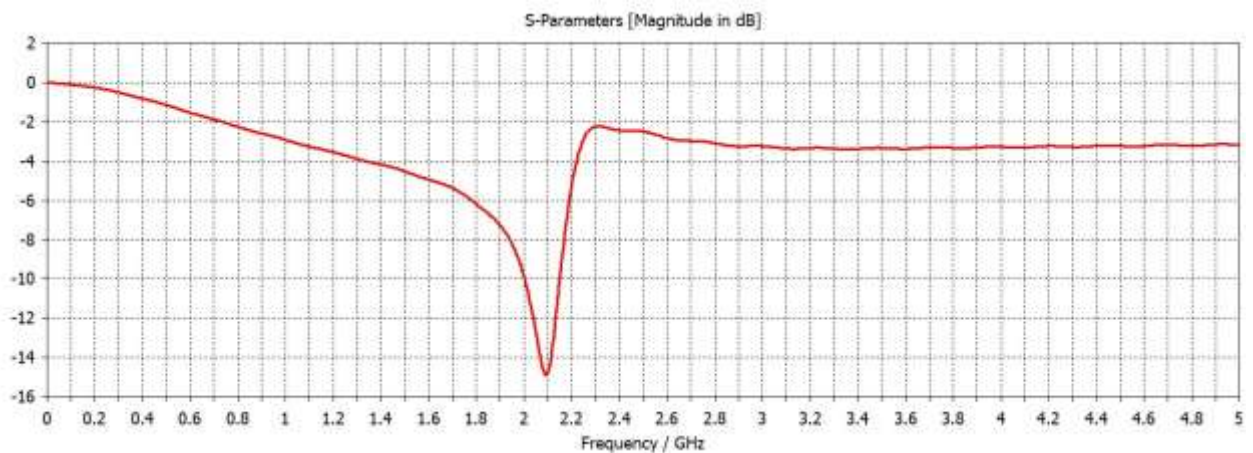


Рисунок 3.4 — Характеристика коефіцієнту відбиття антени

З отриманої характеристики видно, що резонансна частота антени зменшилась. Такий результат був очікуваним і пояснюється через не відповідність підкладки, товщини провідного шару і габаритів плати. Тому необхідно провести оптимізацію малюнку антени для підвищення резонансної частоти. Для такого налагодження можна відредагувати довжину основного провідника.

При зменшенні довжини останнього контакту на  $7 \cdot W2$  було отримано характеристику більш наближену до бажаної, її наведено на рис. 3.5, а на рис. 3.6 зовнішній вигляд такої антени.

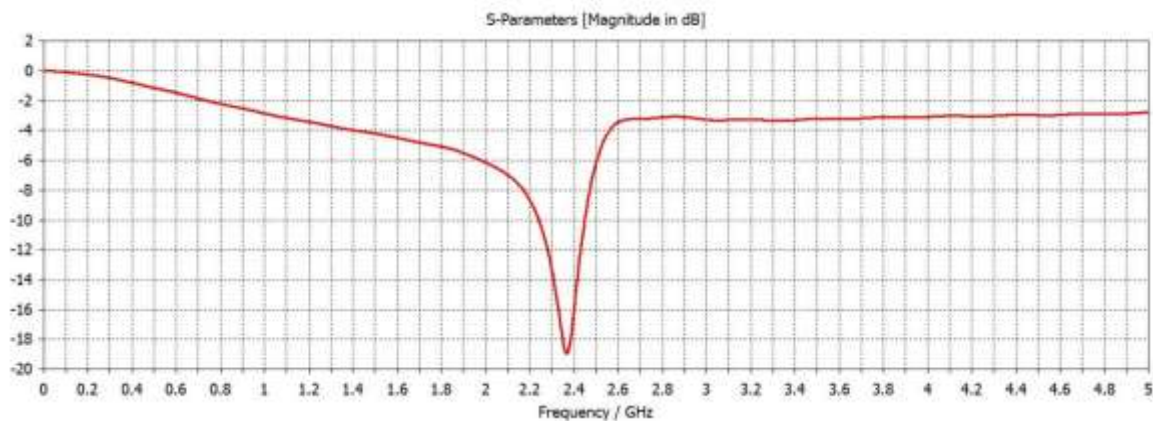


Рисунок 3.5 — Характеристика коефіцієнту відбиття антени з довжиною крайнього провідника  $L1-7 \cdot W2$

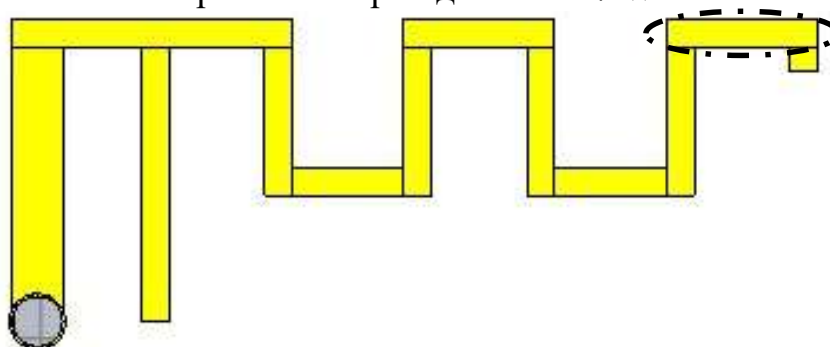


Рисунок 3.6 — Зовнішній вигляд антени з довжиною крайнього провідника  $L1-7 \cdot W2$

Тобто, як і передбачено, зменшення довжини призводить до зсуву резонансної частоти вгору, але зміни крайнього провідника недостатньо. Отже необхідно прибрати провідник  $L1$  та відрегулювати довжину провідника, що обведений штрих пунктиром на рис. 3.6.

Кінцеві характеристика та структура антени наведені на рис. 3.7, рис. 3.8 відповідно.

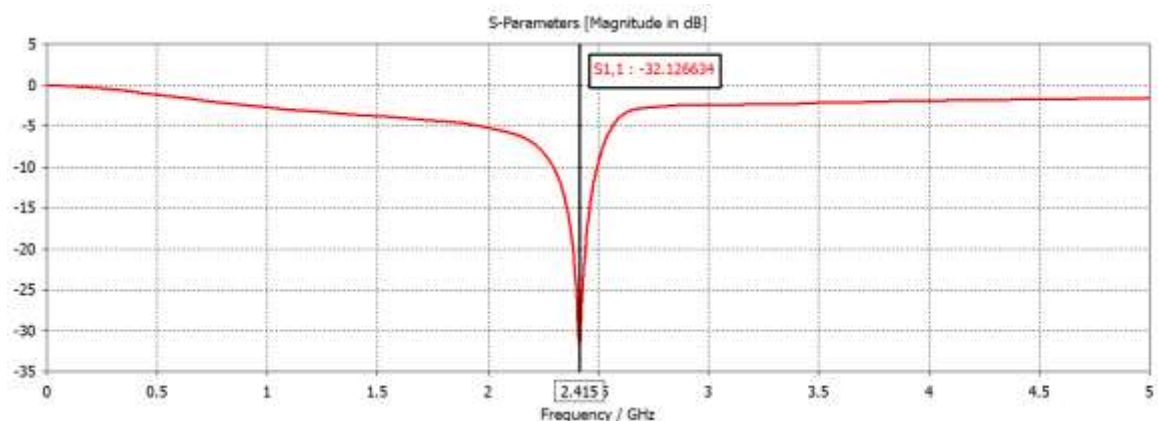


Рисунок 3.7 — Характеристика коефіцієнту відбиття кінцевої антени

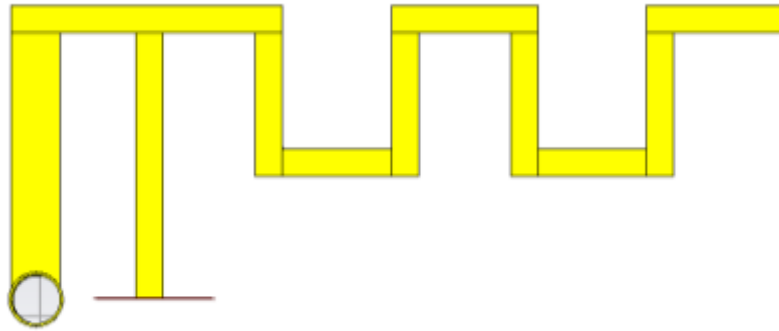


Рисунок 3.8 — Зовнішній вигляд кінцевої антени

З результатів дослідження отримано, що при довжині крайнього провідника рівній 2,95 мм, резонансна частота антени становить 2,415 ГГц і знаходиться в необхідному діапазоні. А коефіцієнт відбиття на резонансній частоті складає  $-32$  дБ. Діаграми направленості антени наведені рис. 3.9, рис. 3.10.

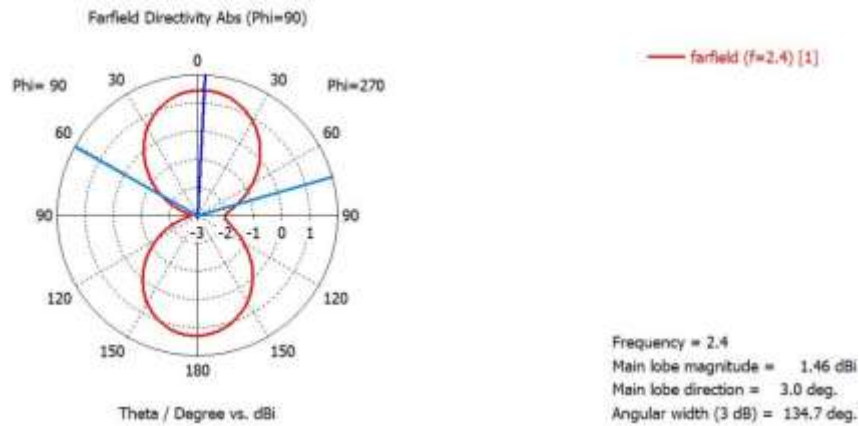


Рисунок 3.9 — Діаграма направленості антени в полярному виді

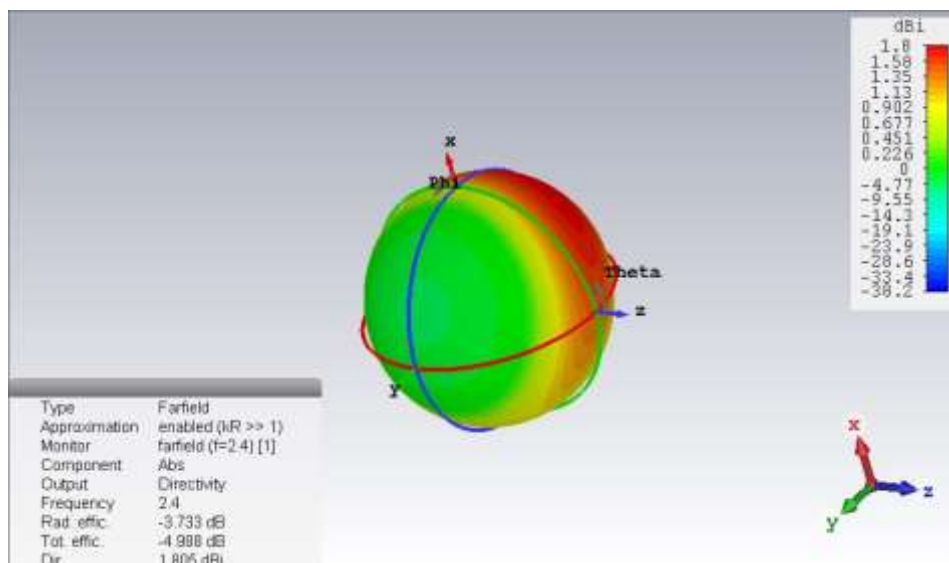


Рисунок 3.10 — Діаграма направленості антени в 3D



Даний результат є задовільним для вимог обраного мікропроцесора та умов використання пристрою, тому при проектуванні плати буде використовуватись антена з такими параметрами.

### 3.3 Проектування друкованих вузлів

У даному проекті розробляється комплект з двох датчиків. Функціонал обох схожий, тому вони мають ідентичні блоки на схемах електричних принципів. Самі схеми наведені на рис. 3.11, рис. 3.12.

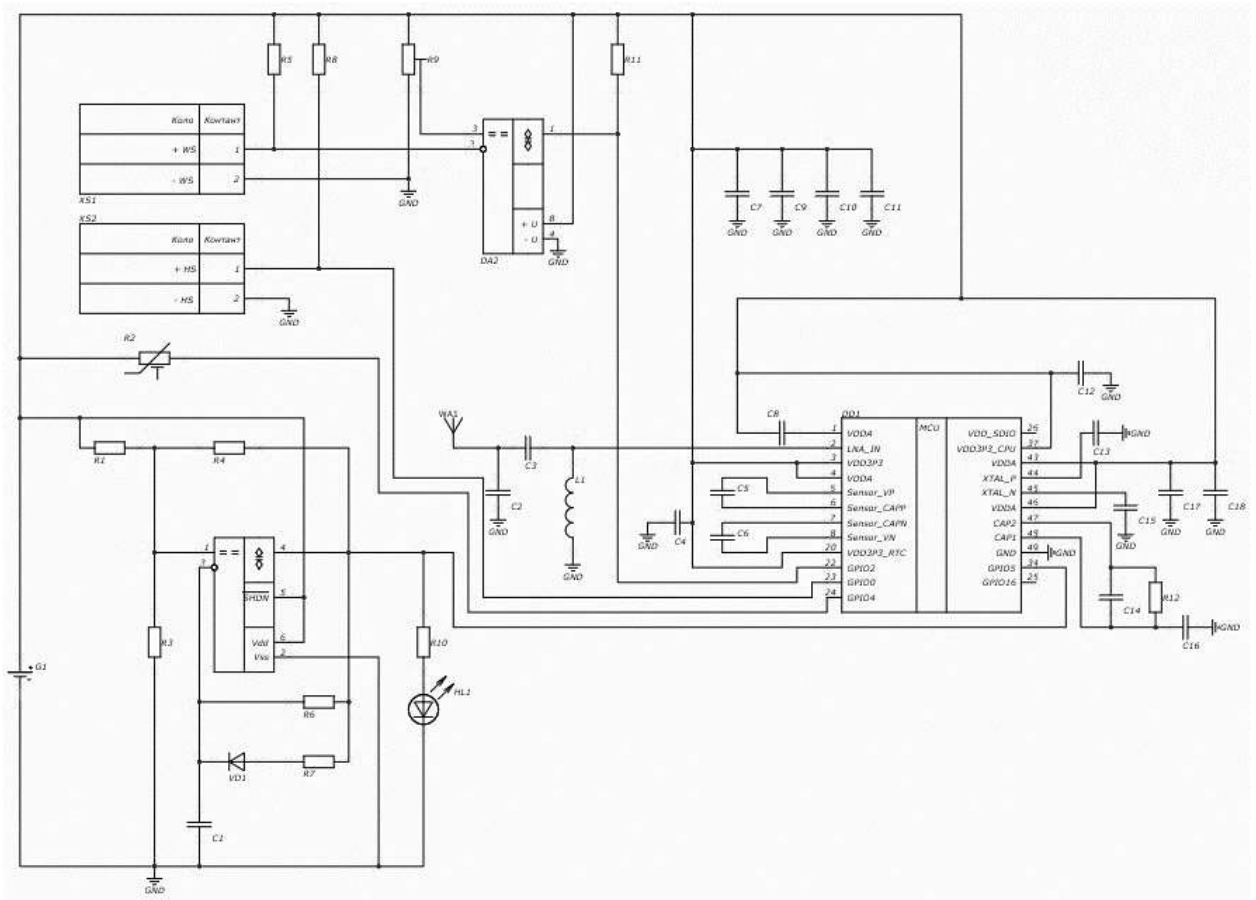


Рисунок 3.11 — Схема електрична принципова TWLD

Дана схема містить сигналізацію розряду, паралельно напруга на елементі живлення вимірюється мікропроцесором для передавання даних про її стан на смартфон користувача. Роз'єм XS1 для під'єднання чутливої до води пластини, надалі через компаратор підключений до процесора. Роз'єм XS2 призначений для чутливого до вологи елемента і напряму підключений до процесора у схемі дільника напруги. Також напряму до нього підключений терморезистор R2.

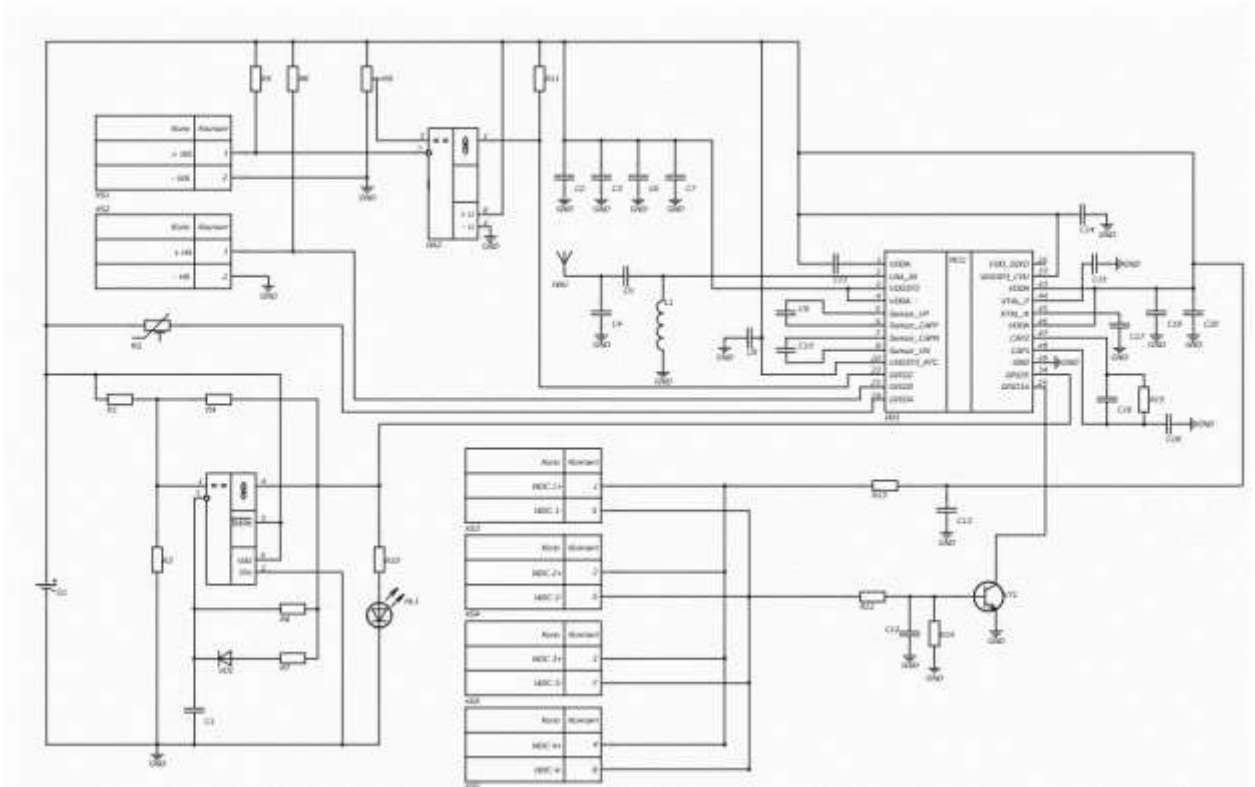


Рисунок 3.12 — Схема електрична принципова BWLD

Основні вузли схеми на рис. 3.12 аналогічні до попередньої. Додатково присутні роз'єми XS3—XS6 для вивідних штирьових контактів. Якщо одну з 4-х пар замкне водою, то спрацює ключ на транзисторі VT1 і на контакт процесора піде сигнал.

Трасування плат проводилось у програмному пакеті Altium Designer. Для розведення друкованих вузлів будуть використовуватись параметри друкованих плат, які може забезпечити компанія JLCPCB [33], оскільки на сьогоднішній день вона має переваги за доступністю, терміном виконання та ціною політикою.

Проведено розрахунок мінімальної ширини провідника в залежності від сили струму на ньому за формулою:

$$t_{minI} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \cdot h_S}, \quad (3.2)$$

де  $I_{max}$  — максимально можливий струм;  $j_{доп}$  — допустима щільність струму в провіднику ( $20 \frac{A}{мм^2}$ );  $h_S$  — товщина фольги.

Аналізуючи схему, максимальна сила струпу буде у колі живлення і складає 0,1 А. Підставивши це значення у формулу 3.2, отримаємо  $t_{\text{minI}} = 0,143$  мм.

Результати трасування плат наведені на рис. 3.13, рис. 3.14. Оскільки пристрої призначені для детектування води, необхідно забезпечити кінцеве покриття друкованих вузлів захисними шарами лаку, обов'язково захистити від покриття мікросмужкову антени, світлодіод, підстроювальну резистори, відсік для батарейки та роз'єми.

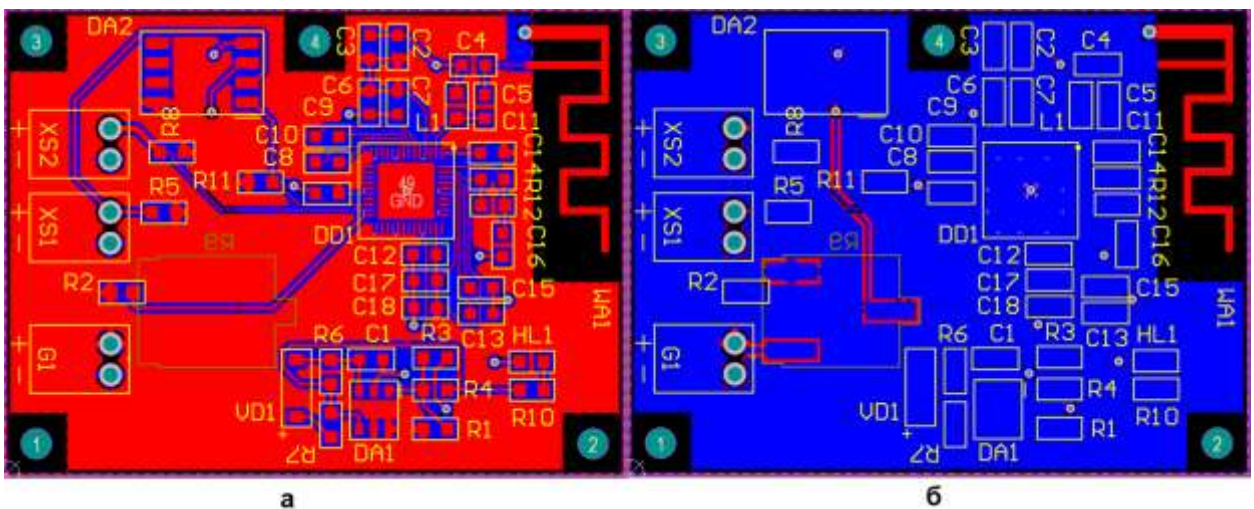


Рисунок 3.13 — трасування TWLD: а — у верхньому шарі; б — у нижньому шарі

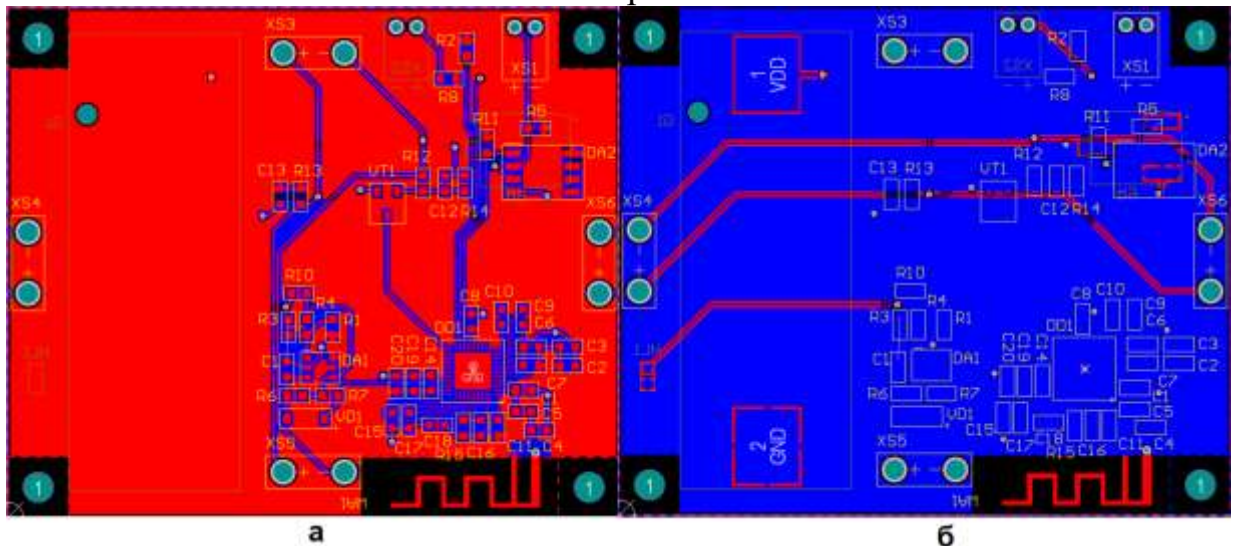


Рисунок 3.14 — трасування BWLD: а — у верхньому шарі; б — у нижньому шарі

### 3.4 Проектування корпусів

Для проектування використовувався програмний пакет SolidWorks. Основними вимогами до корпусів є невеликі габарити та вологозахист, при цьому

необхідно вивести WS назовні корпусу та забезпечити до нього доступ таким чином, щоб він спрацьовував протікання.. Вигляд корпусу TWLD наведений на рис. 3.15, рис. 3.16.



Рисунок 3.15 — Зовнішній вигляд TWLD



Рисунок 3.16 — Зовнішній вигляд TWLD з тильної сторони

Оскільки датчик вологості HS має покриття, котре насичується вологою, його не можна ізолювати в корпусі, а необхідно робити для нього перфорації

в корпусі. Для безпеки інших складових приладу передбачено виготовляти в корпусі нішу для HS, а накривати її з давачем всередині кришкою, що буде приклеюватись до ніші за допомогою вологостійкого клею. У задній кришці передбачено окрема кришка для батарейки, аби користувач міг її замінювати на маючи доступу до основного друкованого вузла. Кріплення стінки до корпусу кришки передбачено чотирма гвинтами.

Для перевірки захищеності внутрішніх компонентів було проведено дослідження за допомогою доповнення SolidWorks Flow Simulation. Це доповнення дозволяє проводити моделювання потоків води та газу. Оскільки пристрій може перебувати в області підвищеної вологості, необхідно провести аналіз потоку повітря, що може занести вологу всередину корпусу.

Отже необхідно розрахувати задачу зовнішнього типу, бо потік повітря буде початково спрямований на корпус. Проводитиметься симуляція в повітряному середовищі. Максимальна швидкість повітря в приміщенні сягає не більше 1 м/с. В параметрах адаптації сітки було встановлено максимальну допустиму кількість комірок 7500000, стратегії адаптації обрані періодичну з фізичним часом, період рівний 0,3 с. Глобальною метою розрахунку встановлено швидкість руху потоку повітря. Результати симуляції наведені на рис. 3.17.

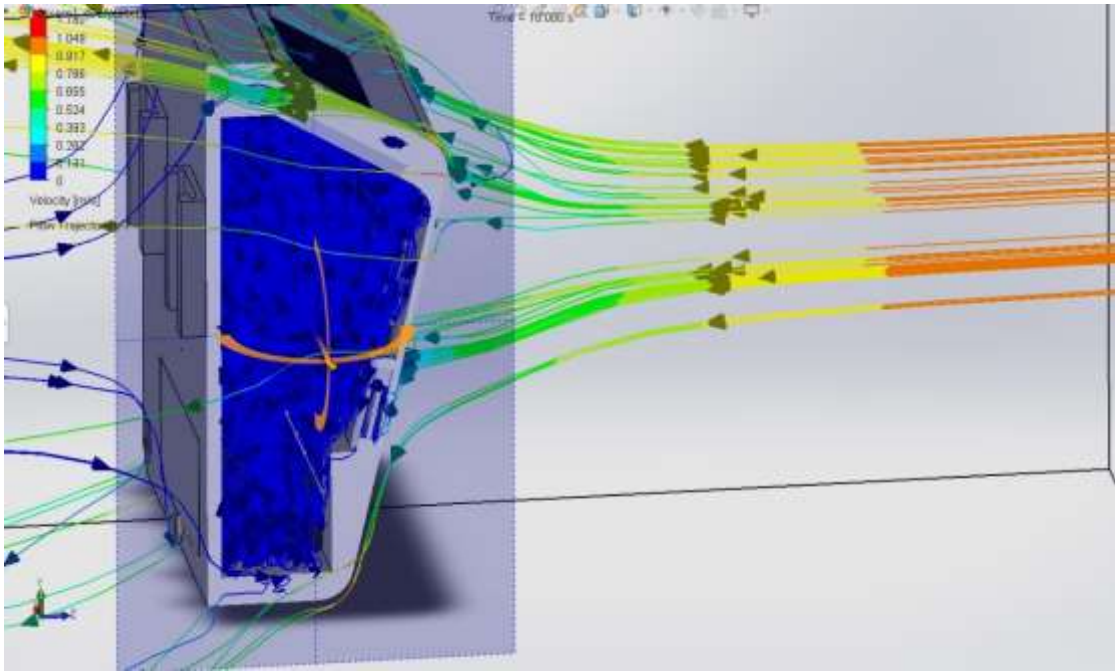


Рисунок 3.17 — Результат Flow Simulation з корпусом TWLD

З симуляції видно, що повітря потрапляє в корпус через відсік для датчика HS та через отвори для кріплення в задній частині корпусу. Тому додатково варто садити гвинти для кріплення на вологостійку фарбу, що додатково буде запобігати самовільному ходу. Також під час виготовлення для збільшення вологозахисту необхідно додатково виготовляти резинові вставки на місця з'єднань частин корпусу.

Усі зауваження для верхнього корпусу доцільно застосовувати і до нижнього. Вигляд корпусу BWLD наведений на рис. 3.15.





Рисунок 3.18 — Зовнішній вигляд BWLD

У верхній частині корпусу розміщено давач WS. В бокових частинах перфорації для HS та акрилова вставка. У нижній частині попарні вивідні контакти, що реагують на воду. Ці контакти мають силіконову оболонку, та оголені на кінцях для монтажу на плату, та з іншого кінця відкриті до води. Також в нижній частині знаходиться кришка для батарейки та ніжки, в котрих гвинти для з'єднання корпусу.

### **Висновки за розділом**

У цьому розділі проведено порівняння модулів зв'язку та обрано необхідний для даного пристрою. Проведено вибір та дослідження структури антени для використання протоколів WI-FI та BLE. Спроектовано схеми електричні принципів. Проведено трасування друкованих плат. Розроблено корпуси та проведено їх дослідження на герметичність.

## 4 РОЗРОБКА СТАРТАП–ПРОЕКТУ

### 4.1 Опис ідеї проекту

Цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розумний датчик протікання води	1. Жилі приміщення	Завчасне реагування на затоплення. Збереження майна.
	2. Офісні приміщення	

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів. Основними конкурентами являються датчики від компанії Grohe Sense 22505LN0, AJAX LeaksProtect, Tervix Pro Line ZigBee Flood Sensor Wireless.

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Товари конкуренти				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проєкт	Grohe Sense	AJAX LeaksProtect	Tervix Pro			
1.	Детектування води в нижній частині приміщення	+	+	+	+		+	



№ п/п	Техніко- економі- чні харак- теристики ідеї	Товари конкуренти				W (сла- бка сто- рона)	N (нейт- ра- льна сто- рона)	S (си- льна сто- рона)
		Мій про- ект	Grohe Sense	AJAX LeaksProtect	Tervix Pro			
2.	Детекту- вання води у верхній частині примі- щення	+	-	-	-			+
3.	Сигналіза- ція розря- дження	+	+	+	-		+	
4.	Само- стійне ви- корис- тання	+	+	-	-			+

Основними перевагами ідеї є детектування з верхньої частини приміщення та відсутність залежності від хаба.

#### 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Визначення технологічної здійсненності ідеї з аналізом основних складових наведених в табл. 4.3.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Розумний датчик про-ті-кання води	Технологія 1 (розробити пристрій самостійно та підібрати компонентну базу)	Наявна	Доступно
2		Технологія 2 (запозичення певних готових блоків та їх об'єднання)	Наявна	Доступно
3		Технологія 3 (удосконалення певної готової моделі конкурента)	Наявна	Доступно
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Технологія 1				

За результатами аналізу таблиці впливає, що проект можливо реалізувати і доцільно це робити через технологію 1, бо вона передбачає повний контроль підбраної компонентної бази та не залежить від готових сторонніх схемотехнічних рішень.

### 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту. Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку.

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5-6
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	До 700 грн/ум.од
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стала
4	Наявність обмежень для входу	На особистий пристрій встановлюється пароль користувачем
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	—
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	80

За результатами аналізу можна зробити висновок щодо привабливості для входження за попереднім оцінюванням.

Надалі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи.

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Детектування протікання	Власники приміщень	—	- зручна установка; - габаритні розміри; - оформлення; - надійність.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають.

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренти	Імовірність появи схожого або кращого продукту	Удосконалення власного продукту, заохочення акційними пропозиціями
2	Економічний	Підвищення цін в країні	Перегляд формування власної цінової політики
3	Партнери	Різке припинення постачання ресурсів	Завчасно робити мінімальний запас та контролювати імовірних нових партнерів на ринку

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Сезон	Сезонні роботи перед увімкненням опалення, дощовий сезон, сезон розпродажів електроніки	Робити активнішу рекламну компанію під час відповідного сезону
2	Співпраця з магазинами електроніки	Реклама товару людям, котрі використовують системи smart home	Впровадження рекламного агента від компанії на точку продажу

З аналізу випливає, що найбільшою загрозою є активізація конкурентів та випуск ними продукту–аналогу, а можливістю є відповідні сезони сезон.

Надалі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку.

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Вказати тип конкуренції - олігополія	Домінує достатня кількість конкуруючих пристроїв	Індивідуалізація своєї продукції, більші можливості продукту
2. За рівнем конкурентної боротьби - національний	Даний товар виробляється та постачається в багатьох країнах світу	Посилення роботи менеджменту і реклами по залученню клієнтів
3. За галузевою ознакою - внутрішньогалузева	Конкуренція в рамках однієї галузі	
4. Конкуренція за видами товарів - товарно-видова	Надання різних продуктів одного виду	
5. За характером конкурентних переваг - нецінова	Конкуренція в пропозиції, тобто конкуренція якістю, рекламою, функціональністю.	

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
6. За інтенсивністю - Марочна	Наявні відомі бренди	Створити власний бренд та його активне рекламування

Проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції у галузі.

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера).

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grohe Sense 22505LN0;</li> <li>- AJAX LeaksProtect;</li> <li>- Tervix Pro Line ZigBee Flood Sensor Wireless</li> </ul>	Виробники датчиків менш відомих брендів	Широка база постачальників	Платоспроможність, контроль якості	Невідомо
Висновки:	Інтенсивність конкурентної боротьби достатньо ви-	- є можливість входу в ринок	Постачальники не диктують умови роботи на ринку	Клієнти мають вплив на цінову політику	Невідомо

	сока, у конкурентів менший функціонал				
--	---------------------------------------	--	--	--	--

За результатами аналізу можна зробити висновок, що працювати на даному ринку можна. Для поширення продукту він має володіти не гіршими характеристиками і новим функціоналом.

На основі аналізу конкуренції, проведеного в табл. 4.9, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 4.2), вимог споживачів до товару (табл. 4.5) та факторів маркетингового середовища (табл. 4.6–4.7) визначаємо та обґрунтовуємо перелік факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Простота	Дана розробка не вимагає у користувача знань у галузі
2	Естетичність	Різноманітний дизайн для різних типів приміщення
3	Безпека	Товар не шкідливий для тварин та оточуючого середовища
4	Ефективність	Висока швидкодія та чутливість
5	Дистанціювання	Можливість віддаленого керування

За визначеними факторами конкурентоспроможності проведемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту.

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Розумна підстилка для домашніх тварин»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з розумною підстилкою для домашніх тварин						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Простота	18							
2	Естетичність	10							
3	Безпека	14							
4	Ефективність	15							
5	Дистанціювання	18							

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін.

Таблиця 4.12. SWOT-аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Функціонал;</li> <li>- Дистанціювання;</li> <li>- Ефективність;</li> <li>- Надійність;</li> <li>- Відповідність потребам споживачів;</li> <li>- Безпека.</li> </ul>	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Нова компанія;</li> <li>- Відсутність стартового капіталу.</li> </ul>
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Розширення функціоналу;</li> <li>- Нові технології.</li> </ul>	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Продукти-замінники;</li> <li>- Зміна тенденції попиту;</li> <li>- Активність конкурентів</li> </ul>

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації.



Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія проникнення на ринок (зайняти нову нішу серед існуючих продуктів)	Середня	6–7 місяців
2	Стратегія розвитку ринку (адаптувати та вивести продукт на новий ринок)	Висока	4-5 місяців
3	Стратегія розвитку товару (удосконаленого продукту для виведення на новий ринок)	Низька	1 рік
4	Стратегія диверсифікації (вихід принципово нового продукту на новий ринок)	Низька	1 рік

З аналізу випливає, що найбільш оптимальною є стратегія розвитку ринку, оскільки для неї необхідне удосконалення функціоналу, котре вже досягнене та строки реалізації – більш стислі.

#### 4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку.

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Власники жилих приміщень	Готові	Середній	Середня	Середня
2	Власники офісних приміщень	Готові	Середній	Середня	Середня
Основною є перша цільова група					

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Стратегія розвитку ринку	Стратегія концентрованого маркетингу	Новий функціонал, естетичність продукту, дистанційне керування продуктом	Стратегія диференціації

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є про-ект «пер-шопрхід-цем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових спо-живачів, або заби-рати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики то-вару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні	Так	Частково, детектування води у нижній частині приміщення, інформування користувача через смартфон	Заняття конкурентної ніші

На основі вимог споживачів до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розроблена стратегія позиціонування що полягає у формуванні ринкової позиції, за якою споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до то-вару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурен-тоспроможні пози-ції власного стар-тап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
- зручна установка;	Диференціації	Новий функціонал, естетичність продукту,	Захист майна, безпека, надійність
- габаритні розміри; - оформлення; - надійність.		дистанційне керування продуктом	

#### 4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач.

Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
Детектування небезпечної появи води	Повне задоволення потреби з високою надійністю та простотою керування	Детектування води з верхньої частини приміщення

Надалі розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів.

Таблиця 4.19. Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Невідома	Інтернет, соціальні мережі, сервіси	Детектування води, вимір	Донести інформацію про новизну	Неагресивне рекламне повідомлення,
	працюючі в телефонному режимі	вологи, сповіщення користувача	функцій та їх переваги для клієнта	що містить інформацію про продукт

З огляду на проведений аналіз для даної ідеї наявний попит на ринку, його динаміка стала тож наявна можливість ринкової комерціалізації.

Також наявні перспективи впровадження, оскільки значна потенційна група клієнтів, представлення нового функціоналу слугує додатковим фактором для отримання лідерства.

Обрано стратегію проникнення на ринок як найбільш оптимальну.

## ВИСНОВКИ

1. В результаті проведення аналізу нових ринкових пропозицій виявлено нові тенденції в розвитку датчиків протікання. Встановлено актуальність теми та необхідність реалізації нового рішення з додатковими функціями, у вигляді детектування води з верхньої частини приміщення.

2. Проведено аналіз наявних давачів вологи та води. Виготовлено власний аналог давача води та проведено дослідження ефективності виготовлених датчиків проти ринкового аналога. Проведено аналіз отриманих результатів. Встановлено, що у якості давача води доцільно виготовити пластину з довільним провідним малюнком, у якого зазор між провідниками буде рівний 0,5 мм, а ширина самих провідників може бути в межах 0,5...2 мм. За результатами досліджень представлена доповідь на X Міжнародній науково-технічній конференції «Радіотехнічні проблеми, сигнали, апарати та системи». Описано основні типи чутливих до вологи елементів. Розроблена структура ввімкнення чутливих елементів.

3. Розглянуто ринкові пропозиції мікроконтролерів та обрано відповідний варіант. Спроектовано мікросмужкову антену типу MIFA за допомогою модуля Microwave Studio програмного забезпечення CST Studio Suit. Встановлено резонансну частоту антени рівну 2,415 ГГц, що відповідає діапазону ISM 2,4 ГГц, і технічним характеристикам обраного мікроконтролера. Коефіцієнт відбиття на резонансній частоті рівний -32 дБ. Спроектовано схеми електричні принципові для двох давачів комплекту, котрі зорієнтовані на детектування у верхній та нижній частині приміщення відповідно. Проведено трасування друкованих плат. Спроектовано корпуси датчиків та проведено їх аналіз на герметичність за допомогою доповнення SolidWorks Flow Simulation.

4. Мета покращення попереднього варіанту пристрою виконана. Додані нові функціональні можливості, які забезпечують повну конкурентоспроможність спроектованого пристрою на ринку, враховуючі функції, які відсутні

у пристроїв–аналогів (детектування води у верхній частині приміщення, вимірювання вологості). Визначено напрямок майбутніх досліджень давача вологи для удосконалення можливостей пристрою, а саме точного виміру вологості.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Датчик-сповіщувач протікання води SSW001 — Neptun.ua [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [neptun.ua](http://neptun.ua) — Назва з екрану.
2. Датчик протікання води Orvibo ZigBee Water Leakage Sensor, білий (SW20-O) — MoYo.ua [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [MoYo.ua](http://MoYo.ua) — Назва з екрану.
3. Датчик контролю протікання води бездротовий GIDROLOCK — ROZETKA [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [rozetka.com.ua](http://rozetka.com.ua) — Назва з екрану.
4. Безпроводний датчик затоплення Tervix Pro Line ZigBee Flood Sensor Wireless — TERVIX [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [tervix.ua](http://tervix.ua) — Назва з екрану.
5. Датчик витoku води Xiaomi Aqara Water Sensor — MIoT (Mi.UA) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [miot.ua](http://miot.ua) — Назва з екрану.
6. Gonzalo Acosta. The ZigBee Protocol — Netguru [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [Netguru.com](http://Netguru.com) — Назва з екрану.
7. Датчики дощу і світла. Принцип роботи та міфи. — Glass express [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [glass-express.ua](http://glass-express.ua) — Назва з екрану.
8. Датчик дощу, вологи, снігу — Arduino.ua [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [arduino.ua](http://arduino.ua) — Назва з екрану.
9. Датчик рівня рідини — Arduino.ua [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [arduino.ua](http://arduino.ua) — Назва з екрану.
10. Датчик протікання води. / А. О. Тарасюк, Я. Л. Зінгер. // X Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні проблеми, сигнали, апарати та системи». Київ, 09 – 11 листопада 2021 р.: матеріали конференції — Київ, 2021. — с. 99–101.
11. Цифровий датчик температури та вологості DHT11 — Geekmatic [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [geekmatic.in.ua](http://geekmatic.in.ua) — Назва з екрану.



12. Цифровий датчик температури та вологості DHT22 — Geekmatic [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [geekmatic.in.ua](http://geekmatic.in.ua) — Назва з екрану.
13. Датчик вологості і температури AM2320 — Arduino.ua [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [arduino.ua](http://arduino.ua) — Назва з екрану.
14. Датчик вологості HS1101 — uAmper.com [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [uAmper.com](http://uAmper.com) — Назва з екрану.
15. АНТ15 temperature and humidity sensor module — smart-prototyping [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [smart-prototyping](http://smart-prototyping) — Назва з екрану.
16. A Guide to the Measurement of Humidity Published by the Institute of Measurement and Control, 1996, 68 pp, ISBN 0-904457-24-9.
17. A Beginner's Guide to Uncertainty in Measurement, Bell, S A, Measurement Good Practice Guide No. 11, March 2001.
18. Najeeb, M.A.; Ahmad, Z.; Shakoор, R.A. Organic thin-film capacitive and resistive humidity sensors: A focus review. Adv. Mater.Interfaces 2018,5, 1800969.
19. Humidity Sensors CHS Series [Електронний ресурс] // TDK. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://product.tdk.com/de/techlibrary/productoverview/humidity-sensors.html>.
20. Humidity Sensors Principle, Mechanism, and Fabrication Technologies: A Comprehensive Review [Електронний ресурс] // US National Library of Medicine National Institutes of Health. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4063076/>.
21. Poor Accuracy of DHT11 Temperature and Humidity Sensor, Not Recommend [Електронний ресурс] // Abestmeter Blog. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.abestmeter.com/dht11-temperature-and-humidity-sensor/>.
22. Narayan kalaburgi. Inside-DHT11-DHT22-AM2302-Temperature-Humidity-Sensor [Електронний ресурс] / Narayan kalaburgi // Nerdy Electronics. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://nerdyelectronics.com/working-of-dht-sensor-dht11-and-dht22/inside-dht11-dht22-am2302-temperature-humidity-sensor/>.

23. Коломейко А. В. 2008. Звіт з науково–дослідної роботи «Создание многоканального бытового счетчика затрат природного газа на основе пассивных сенсоров на поверхностных акустических волнах. Изучение возможности дистанционного управления пассивными сенсорами.». НИЛ АЭ НТУУ «КПИ». 46 с.

24. [How DHT11 DHT22 Sensors Work & Interface With Arduino](https://lastminuteengineers.com/dht11-dht22-arduino-tutorial/) [Электронный ресурс] // Last Minute Engineers. – 2021. – Режим доступа до ресурсу: <https://lastminuteengineers.com/dht11-dht22-arduino-tutorial/>.

25. Подключение датчика DHT11 или DHT22 к Ардуино — arduinomaster.ru [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://arduinomaster.ru/>

26. ESP32 Series Datasheet [Электронный ресурс] // Espressif Systems Copyright. – 2021. – Режим доступа до ресурсу: [https://eu.mouser.com/datasheet/2/891/Espressif\\_Systems\\_01292021\\_esp32-1991551.pdf](https://eu.mouser.com/datasheet/2/891/Espressif_Systems_01292021_esp32-1991551.pdf)

27. ESP8266EX Datasheet Version 4.3 [Электронный ресурс] // Espressif Systems IOT Team. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: [https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/2471/0A-ESP8266\\_Datasheet\\_EN\\_v4.3.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/2471/0A-ESP8266_Datasheet_EN_v4.3.pdf).

28. ESP8285 Datasheet [Электронный ресурс] // Espressif Systems Copyright. – 2021. – Режим доступа до ресурсу: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8285\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8285_datasheet_en.pdf).

29. ESP32 Hardware Design Guidelines [Электронный ресурс] // Espressif Systems. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: [https://cdn.hackaday.io/files/269911154782944/esp32\\_hardware\\_design\\_guidelines\\_en.pdf](https://cdn.hackaday.io/files/269911154782944/esp32_hardware_design_guidelines_en.pdf).

30. Johannes Steigert. Design and Simulation of a Planar Inverted-F Antenna // High Frequency Electronics – 2020. – № 2020-12 December.

31. BLE Antenna Design Guide [Электронный ресурс] // NXP Semiconductors. – 2018. – Режим доступа до ресурсу:

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewjy9sHkjsv0AhULvYsKHepKD1UQFnoE-CAcQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.nxp.com%2Fdocs%2Fen%2Fuser-guide%2FUM10992.pdf&usg=AOvVaw17gYVlyxJlktq5rOtfVeWX>.

32. European Telecommunications Standards Institute (ETSI) EN 300 328 v2.2.2 (2019-07). Wideband Transmission Systems; Data Transmission Equipment Operating in the 2,4 GHz Band; Harmonised Standard for Access to Radio Spectrum; ETSI: Sophia-Antipolis, France, 2019.

33. PCB Capabilities [Электронный ресурс] // JLCPCB. – 2021. – Режим доступа до ресурсу: <https://jlcpcb.com/capabilities/Capabilities>.

34. Application Note AN043 [Электронный ресурс] // Texas Instruments. – 2008. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.ti.com/lit/an/swra117d/swra117d.pdf>.

## ДОДАТОК А. ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Електроніка, нанотехнології, біомедичні системи, радіовимірювання*

### ДАТЧИК ПРОТІКАННЯ ВОДИ

*Тарасюк А. О., магістрант; Зінгер Я.Л., к.т.н., асистент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна*

В наш час, стрімкого розвитку набули системи Smart Home. Ці системи забезпечують швидке реагування на витік газу, води чи диму вдома, дають можливість економити на опаленні та електроенергії, забезпечують безпеку завдяки сучасним охоронним системами та підвищують комфорт вдома. Одна з важливих складових таких систем це датчики протікання води, оскільки протікання води може призвести до великих збитків.

Серед запропонованих на ринку пристроїв є багато варіантів датчиків. Проте їх об'єднує те, що вони спрямовані на виявлення води саме на підлозі. Оскільки протікання води може розпочатись не у квартирі користувача і початись з верхньої частини приміщення (наприклад від сусідів), необхідне рішення і для такого випадку. Для розробки такого пристрою необхідний чутливий елемент, що реагує саме на воду. Найпростішим рішенням є пластина з неізольованими провідниками. Принцип спрацювання заснований на тому, що краплі води, які потрапляють на пластину, будуть закорочувати контакти між собою, відповідно змінюючи опір пластини.

Такі чутливі елементи є на ринку, вони являють собою виносний зонд з провідним малюнком [1, 2].

Датчик МН–RD [1] має перевагу з огляду на можливість заміни модуля в разі його поламки, та має отвори для кріплення у корпус. Проте використання готового рішення створює обмеження по конструкції та ергономіці пристрою. Тому прийнято рішення виготовити чутливий до води елемент (зонд) самостійно. Для обрання оптимального рішення проведено дослідження залежності ефективності зонду від провідного малюнка та порівняння з вищенаведеним давачем МН–RD.

Критерієм оптимальності є швидкодія спрацювання зонду на краплю води.

Було виготовлено три варіанти зондів з кроком провідного малюнка  $k = 0,5; 1$  та  $2$  мм (рис. 1).

Розмір пластин зонда рівний  $59 \times 39$  мм (відповідно до аналога). Ширина провідника та зазор між провідниками рівні кроку  $k$ . На рис. 2, 3 наведено структурну схему макету та його фотографію. Для зондів на рис. 1

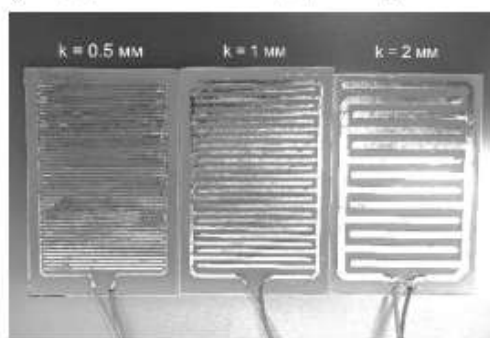


Рисунок 1. Експериментальні виносні зонди WS

прийняте умовне позначення WS (Water Sensor).



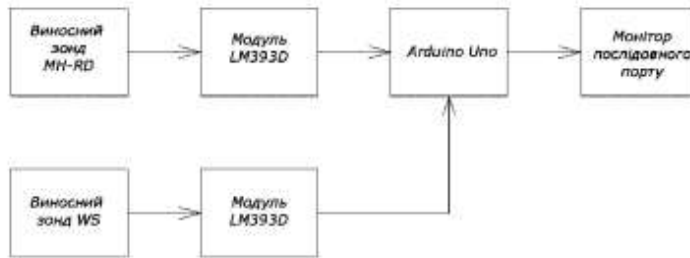


Рисунок 2. Структурна схема макету

Виносні зонди, що реагують на воду паралельно підключені через модулі з компаратором LM393D до Arduino Uno з використанням аналогових входів. Модулі підключені до джерела живлення 3,3 В. В залежності від опору датчика води на виході модуля змінюється напруга від 0 до 3,3 В. При подачі цього сигналу на аналоговий вхід Arduino, за допомогою вбудованого АЦП, котрий має розрядність 10 біт, перетворює число в діапазон значень від 0 до 1023, яке прямо пропорційне до аналогового входу напруги. Тобто нижнє значення на вході відповідає нулю, а верхнє  $2^n - 1$ , де  $n$  — розрядність вбудованого АЦП, 1 біт віднімається при перетворенні [3].



Рисунок 3. Макет

Відповідно програмно точність вимірювань розраховується як співвідношення максимальних значень  $U/2^n \sim 3,22$  мВ.

Модуль LM393D (здвоєний компаратор напруги) являє собою пристрій, який порівнює між собою два електричних сигнала між інвертуючим та не інвертуючим входами та виводить цифровий сигнал, який вказує на зміну одного вхідного сигналу відносно іншого, одночасно виробляючи розрахунок співвідношення [4].

Принципова схема модуля зображена на рис. 4 [4].

До не інвертуючого входу компаратора INA+ підключена ланка з підтягуючим резистором R1 та чутливим до води зондом MH-RD (або WS), котрі являють собою дільник напруги. Напруга на цьому вході є опорною для компаратора. До інвертуючого входу INA — підключений потенціометр R2. За допомогою R2 встановлюється поріг чутливості модуля. Також на модулі присутні два світлодіоди для індикації живлення та стану цифрового виходу.

Рисунок 4. Принципова схема модуля LM393 [4]

Під час дослідів на виносні зонди макету поступово додавались краплі



води за допомогою піпетки. Результати досліджень наведені на рис. 5 у вигляді залежності перетвореного значення різниці напруг  $\Delta U$  від часу  $t$ .

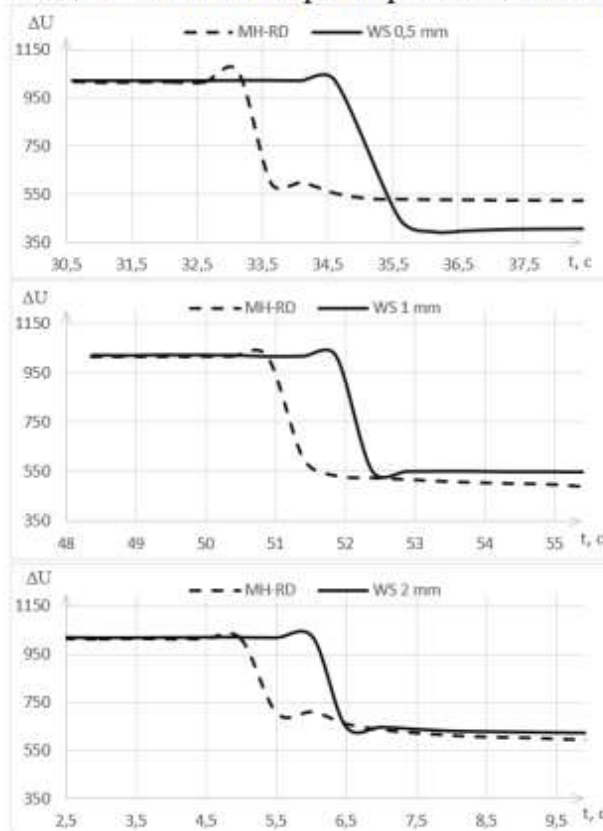


Рисунок 5. Результати експерименту

У експерименті використовувався програмний поріг спрацювання рівний 700. Різниця спрацювання по часу зумовлена людським фактором (оскільки точність вимірювання залежала від швидкості оператора).

Пластини з провідним малюнком, де  $k = 1$  та  $2$  мм показали меншу чутливість ніж MH-RD. Але провідний малюнок з  $k = 0,5$  мм показав більшу ефективність.

Дані результати пояснюються тим, що виготовлені пластини мають рівні ширину провідника та зазор між провідниками, а датчик MH-RD має ширину провідника  $\sim 2$  мм, а зазор  $\sim 0,7$  мм.

З одержаних результатів можна зробити висновок, що при меншому зазору між провідниками імовірність спрацювання більша,

а також при меншій ширині провідників краплина води охоплює більше контактів, що теж підвищує чутливість зонду.

#### Перелік посилань

1. Датчик дощу, вологи, снігу — Arduino.ua [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://arduino.ua/prod562-datchik-dojdya-vlazi-snega> — Назва з екрану.
2. Датчик рівня рідини — Arduino.ua [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://arduino.ua/prod644-datchik-yrovnya-jidkosti> — Назва з екрану.
3. ATmega328P. 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash. DATASHEET — Atmel, 2015. — 294 с.
4. LM193 / LM293 / LM393 / LM2903 Low Power Low Offset Voltage Dual Comparators — National Semiconductor, 2002 — 15 с.

#### Анотація

Розглянуто наявні технічні рішення чутливих елементів для детектування води, спроектовано власні чутливі елементи та проведено дослідження ефективності виготовлених датчиків проти ринкового.

**Ключові слова:** датчик протікання, детектування води, MH-RD.

#### Abstract

The available technical solutions of sensitive elements for water detection are considered. The own sensing elements are designed. The effectiveness of manufactured sensors against the analogue are researched.

**Keywords:** flow sensor, water detection, MH – RD.