

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

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

«На правах рукопису»
УДК 528.51

До захисту допущено:

В.о. зав. кафедри

 Євгеній НЕЛІН

«___» _____ 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: «Електронний вимірювач відстані»

Виконав (-ла):

студент (-ка) 2 курсу, групи РІ-91мп

Цветков Владислав Ігорович



Керівник:

Асист. Зінгер Яна Леонідівна



Рецензент:

Доцент, к.т.н. каф.РТПС Бичковський

Владислав Олексійович

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент (-ка) _____



Київ – 2020 року

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

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В о з а в і д у в а ч а к а ф е д р и

Е.Нелін Євгеній НЕЛІН

«02» вересня 2020 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студента
Цветкова Владислава Ігоровича

1. Тема дисертації «Електронний вимірювач відстані»
науковий керівник дисертації Зінгер Яна Леонідівна, асистент,
затверджені наказом по університету від «5» листопада 2020 р. №3223-с
2. Термін подання студентом дисертації 11 грудня 2020 року
3. Об'єкт дослідження датчики для вимірювання відстані та алгоритми фільтрації отриманих даних
4. Вихідні дані Дана робота є продовженням бакалаврської атестаційної роботи
Цветкова В.І. на тему «Ультразвуковий дальномір». Потужність: 0,3 Вт; напруга живлення: +5 В; додатковий функціонал: перемикач on/off, сенсори (приймач та передавач), екран.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1.Розробка конструкції макета для проведення вимірювання. 2.Розробка методики вимірювання для зменшення похибки вимірювання. 3.Проведення вимірювання з різними типами датчиків.
4. Аналіз результатів моделювання, висновки та рекомендації.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу мультимедійна презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій IX Міжнародна науково-технічна конференція

"Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи" 2020

9. Дата видачі завдання 02 вересня 2020 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз джерел інформації за напрямом дослідження	02.09.2020 30.09.2020	Виконано
2	Проведення експерименту	01.10.2020 31.10.2020	Виконано
3	Комп'ютерне опрацювання результатів	01.11.2020 20.11.2020	Виконано
4	Представлення результатів МД	21.11.2020 11.12.2020	Виконано
5	Захист МД	21.12.2020	

Студент

Владислав ЦВЕТКОВ

Науковий керівник

Яна ЗІНГЕР

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки становить 74 сторінки, який включає в себе 34 ілюстрації, 38 таблиць, 5 додатків, 20 джерел.

ЕЛЕКТРОННИЙ ВИМІРЮВАЧ ВІДСТАНІ, УЛЬТРАЗВУК, ДАТЧИК, МЕДІАННИЙ ФІЛЬТР.

Актуальність теми даного дослідження зумовлена переходом суспільства на сучасні технології в побуті. Розробка електронного вимірювального пристрою направлена на забезпечення більш комфортного та якісного вимірювання відстаней та передачею даних на сумісний пристрій для їх збереження та подальшого використання.

Мета і завдання дослідження — розробка електронного вимірювача відстані, а також проведення досліджень з різними типами датчиків та їх порівняння.

Об'єкт дослідження — датчики для вимірювання відстані та алгоритми фільтрації отриманих даних.

Предмет дослідження — характеристики датчиків. Абсолютна та відносна похибка результатів вимірів відстані.

Методи досліджень: експериментальне дослідження характеристик датчиків за допомогою макетування.

Оригінальна частина полягає в розробці конструкції та комбінації фільтрів медіанного та «рухоме середнє».

Практичне значення одержаних результатів. Отримані результати дослідження використані для вибору найбільш ефективного чутливого елемента пристрою серед датчиків, що досліджувались.

ABSTRACT

The master dissertation of 74 pages. Which includes 34 illustrations, 38 tables, 5 appendices, 20 sources.

ELECTRONIC RANGE METER, ULTRASOUND, SENSOR, MEDIAN FILTER.

Relevance. Due to the transition of society to modern technologies in everyday life. The development of an electronic measuring device is aimed at providing more comfortable and high-quality distance measurement and data transfer to a compatible device for their storage and further use.

The purpose and objectives of the study — development of an electronic distance meter, as well as research with different types of sensors and their comparison.

The object of research — distance sensors.

The subject of research — characteristics of sensors. Absolute and relative error of distance measurement results.

Research methods: experimental study of sensor characteristics using prototyping.

The **original part** is to develop the design and combination of median and "moving average" filters.

The practical significance of the research. The obtained research results were used to select the most effective sensitive element of the device among the studied sensors.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломної роботи (магістерської дисертації)
на тему «Електронний вимірювач відстані»

Київ — 2020 року

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначення	4
Вступ.....	5
1 Огляд існуючих рішень	6
Висновки за розділом.....	12
2 Розробка вимірювального макета.....	14
2.1 Розробка макета вимірювання.....	14
2.2 Розробка алгоритму фільтрації даних.....	15
2.3 Огляд датчиків для дослідження	17
2.3.1 Інфрачервоний датчик <i>Sharp GP2Y0A21YK0F</i>	17
2.3.2 Ультразвуковий датчик <i>HC-SR04</i>	18
2.3.3 Лазерний датчик <i>CJVL53L0XV2</i>	19
Висновки за розділом.....	19
3 Проведення вимірювання.....	20
3.1 Дослідження за допомогою ультразвукового датчика.....	20
3.2 Дослідження за допомогою інфрачервоного датчика.....	24
3.3 Дослідження за допомогою лазерного датчика	26
3.4 Аналіз результатів досліджень	28
Висновки за розділом.....	31
4 Розробка приладу	32
4.1 Аналіз схемотехнічних рішень.....	32
4.2 Розробка схеми електричної принципової	33
4.3 Параметри трасування плати	34

	3
4.4 Розробка корпусу	37
Висновки до розділу	39
5 Розробка стартап-проекту	40
5.1 Інформаційна карта проекту	40
5.2 Морфологічна карта.....	41
5.3 Приклад бізнес-моделі.....	45
5.4 Розробка ринкової стратегії проекту	46
5.1 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	50
Висновки	55
Перелік джерел посилань	57
Додаток А Технічне завдання	60
Додаток Б Публікації за темою дисертації.....	65
Додаток В Лістинг програми для ультразвукового датчика	68
Додаток Г Лістинг програми для інфрачервоного датчика	70
Додаток Д Лістинг програми для лазерного датчика	72

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

АЦП — аналого-цифровий перетворювач

UART — *universal asynchronous receiver/transmitter* — універсальний асинхронний приймач/передавач

I²C — *inter-integrated circuit* — послідовна шина даних

API — *application programming interface* — інтерфейс прикладного програмування

ПЗ — програмне забезпечення

PR — *public relations* — зв'язки з громадськістю

MVP — *minimum viable product* — мінімально життєздатний продукт

БЛА — безпілотний літальний апарат

ЦВЕТКОВ В.І. РІ-91МП, 2020

ВСТУП

З кожним роком в світі створюється все більше вимірювальних приладів та різноманітного електронного обладнання, що вирішують актуальні завдання на даному етапі розвитку людства. Технологічна складність виготовлення приладів також збільшується, збільшуються вимоги до числової інтелектуальної обробки даних та інформації, для забезпечення компактності обладнання, технологам доводиться постійно збільшувати кількість електронних компонентів що розміщуються на одиниці площі. Компонентами сучасного електронного обладнання є мікроконтролери, датчики фізичних величин, мікросхеми, транзистори, резистори, конденсатори, трансформатори, та інші вироби. Перед встановленням в прилад кожен компонент тестується виробником на відповідність своїм технічним характеристикам.

На даний час на ринку представлена велика кількість електронних вимірювачів відстані. Вони відрізняються принципом роботи, діапазоном відстаней вимірювання, точністю, живленням, наявністю можливості підключення до ПК, додатковими функціями, ціною тощо.

Метою даної роботи є розробка електронного вимірювача відстані. Так як точність приладу напряму залежить від точності датчиків вимірювання, тому також планується проведення досліджень з різними типами датчиків та порівняння їх характеристик.

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Вимірювачі відстані можна розділити на такі категорії:

- активні;
- пасивні.

Активні вимірювачі в свою чергу поділяються на:

- звукові;
- світлові;
- лазерні;
- радіо вимірювачі відстані;
- інші конструкції.

Пасивні поділяються на:

- вимірювачі відстані, що використовують оптичний паралакс;
- вимірювачі відстані, що використовують зіставлення об'єкта із зразком;
- інші конструкції.

В даному розділі розглянуто найбільш розповсюджені на ринку ультразвукові та лазерні вимірювачі відстані.

Лазерний вимірювач відстані *Stark LD-60*, що зображено на рис. 1.1 [1].



Рисунок 1.1 — Лазерний вимірювач відстані *Stark LD-60*

Характеристики даної моделі вимірювача наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 — Характеристики *Stark LD-60*

Характеристика	Значення
Тип	Лазерний
Клас лазера	2
Діапазон вимірювання	0,03–60 м
Захист	IP54
Похибка	±2 мм
Живлення	Дві батарейки типу «ААА»
Вага	0,104 кг
Додаткові функції	<p>Неперервне вимірювання</p> <p>Вимірювання довжини, площі, об'єму</p> <p>Функція «Піфагор»</p> <p>Функція «Піфагор трьох точковий вимір»</p> <p>Функція «Піфагор часткова висота»</p> <p>Додавання/віднімання довжини, площі, об'єму</p> <p>Функція розмітки</p> <p>Вибір точки відліку</p> <p>Запам'ятовування 20 останніх дій</p> <p>Вмикання/вимикання підсвічування</p> <p>Вмикання/вимикання звукового сигналу</p> <p>Регулювання потужності лазера</p> <p>Час вимірювання — 0.1–3 с</p> <p>Вихідна потужність лазера — <1 мВт</p> <p>Автоматичне відключення лазера — 60 с</p> <p>Автоматичне відключення живлення — 480 с</p> <p>Підсвічування – білий LED</p>
Ціна	1199 грн

Ультразвуковий вимірювач відстані *VOREL 81782*, що зображено на рис. 1.2

[2].



Рисунок 1.2 — Ультразвуковий вимірювач відстані *VOREL 81782*

Характеристики даної моделі вимірювача наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 — Характеристики *VOREL 81782*

Характеристика	Значення
Тип	Ультразвуковий
Діапазон вимірювання	0,91–15 м
Захист	<i>IP20</i>
Похибка	$\pm 0,5$ мм
Живлення	9 В (крона)
Вага	0,128 кг
Розміри	150 x 74 x 45 мм
Додаткові функції	Функція вимірювання площі та об'єму Функція додавання/віднімання для вимірів площ та об'ємів Неперервне вимірювання Збереження результатів в пам'яті трьох останніх вимірювань
Ціна	1055 грн

Лазерний вимірювач відстані *Bosch Professional GLM 40*, що зображено на рис. 1.3 [3].



Рисунок 1.3 — Лазерний вимірювач *Bosch Professional GLM 40*

Характеристики даної моделі вимірювача наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 — Характеристики *Bosch Professional GLM 40*

Характеристика	Значення
Тип	Лазерний
Клас лазера	2
Діапазон вимірювання	0,15–40 м
Захист	IP54
Похибка	$\pm 1,5$ мм
Живлення	Дві батарейки типу «AAA»
Вага	0,1 кг
Додаткові функції	Неперервне вимірювання Вимірювання довжини, площі, об'єму Додавання віднімання довжини, площі, об'єму Запам'ятовування 10 останніх дій Регулювання потужності лазера Час вимірювання — < 4 с Вихідна потужність лазера — <1 мВт Автоматичне відключення живлення — 5 хв Підсвічування – білий LED
Ціна	2990 грн

Лазерний вимірювач відстані *Einhell TC-LD 50*, що зображено на рис. 1.4 [4].



Рисунок 1.4 — Лазерний вимірювач *Einhell TC-LD 50*

Характеристики даної моделі вимірювача наведено в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 — Характеристики *Einhell TC-LD 50*

Характеристика	Значення
Тип	Лазерний
Клас лазера	2
Діапазон вимірювання	0,05–50 м
Захист	IP54
Похибка	±2 мм
Живлення	Дві батарейки типу «ААА»
Вага	0,12 кг
Додаткові функції	Вимірювання довжини, площі, об'єму Додавання віднімання довжини, площі, об'єму Функція «Піфагор» Запам'ятовування 20 останніх дій Автоматичне відключення живлення — 3 хв
Ціна	2700 грн

Лазерний вимірювач відстані *Stanley TLM 50*, що зображено на рис. 1.5 [5].



Рисунок 1.5 — Лазерний вимірювач *Stanley TLM 50*

Характеристики даної моделі вимірювача наведено в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 — Характеристики *Stanley TLM 50*

Характеристика	Значення
Тип	Лазерний
Клас лазера	2
Діапазон вимірювання	0,15–15 м
Захист	IP54
Похибка	±3 мм
Живлення	Дві батарейки типу «AAA»
Вага	0,1 кг
Додаткові функції	Неперервне вимірювання Час вимірювання — < 4 с Автоматичне відключення живлення — 3 хв
Цін	2063 грн

Висновки за розділом

Проаналізовано та порівняно характеристики електронних вимірювачів відстані що існують на ринку. Порівняння загальних характеристик наведено в табл. 1.6.

Таблиця 1.6 — Порівняння загальних характеристик

Назва	Тип	Діапазон відстаней	Похибка	Наявність додаткових функцій	Живлення	Ціна
Stark LD-60	Лазерний	0,03–60 м	±2 мм	+	2 x AAA (3 В)	1199 грн
VOREL 81782	Ультразвуковий	0,91–15 м	±0,5 мм	+	Крона (9 В)	1055 грн
Bosch Professional GLM 40	Лазерний	0,15–40 м	±1,5 мм	+	2 x AAA (3 В)	2990 грн
Einhell TC-LD 50	Лазерний	0,05–50 м	±2 мм	+	2 x AAA (3 В)	2700 грн
Stanley TLM 50	Лазерний	0,15–15 м	±3 мм	–	2 x AAA (3 В)	2063 грн

Із зазначених вище характеристик можна зробити висновок, що виробники лазерних вимірювачів відстані, незалежно від великої різниці в діапазонах вимірювань, декларують приблизно однакову похибку вимірювань $\pm 1,5$ – ± 3 мм. Найточніший лазерний вимірювач є найдорожчим з представлених. Більш точним виявляється ультразвуковий вимірювач, але водночас він має найменший діапазон вимірювань. Той факт, що на ринку більше представлено моделей з лазерним принципом вимірювання, можна пояснити зручністю роботи з ними, коли користувач візуально бачить точку до якої вимірюється відстань — світлову пляму від лазерного променю. Також помітно, що в основному виробники реалізують

широкий діапазон додаткових функцій, пов'язаних з математичною обробкою результатів, але є й моделі електронних вимірювачів відстані, які не мають жодних додаткових функцій, незважаючи на досить високу ціну.

ЦВЕТКОВ В.І. РІ-91МП, 2020

2 РОЗРОБКА ВИМІРЮВАЛЬНОГО МАКЕТА

2.1 Розробка макета вимірювання

Зазвичай навіть популярні виробники електроніки використовують платформу *Arduino* для створення макетів майбутніх приладів. Цю платформу обирають за її простоту та легкість у використанні.

Для проведення досліджень використано плату *Arduino Uno* до якої підключено датчик, що тестується, та смартфон для отримання розрахованого значення відстані, який підключено до порту універсальної послідовної шини (англ. *universal serial bus* — *USB*) та, одночасно, є джерелом живлення плати. Дана конструкція розміщена на рівній горизонтальній поверхні, що розміщена на опорах, зображена на рис. 2.1.

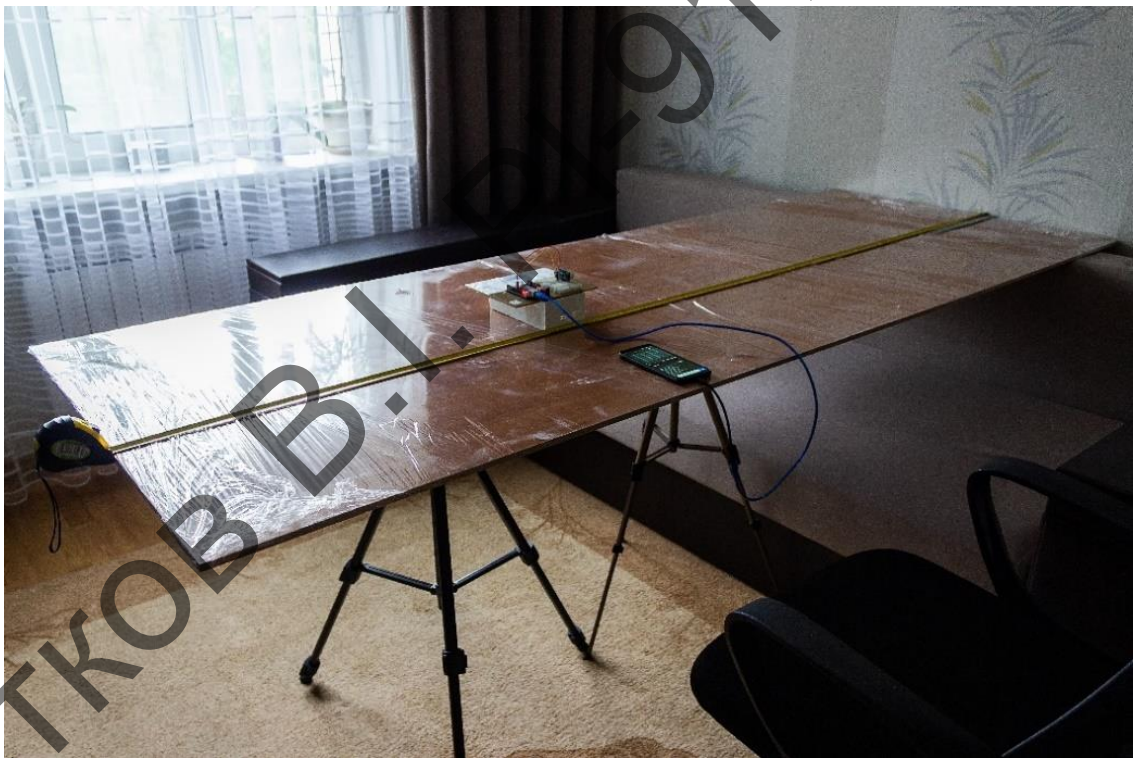


Рисунок 2.1 — Макет дослідження

Опціонально до плати може бути підключено широко використовуваний при роботі з платформою *Arduino Bluetooth* модуль *HC-05* (рис. 2.2), через який можна отримувати дані бездротовим способом [6].



Рисунок 2.2 — Bluetooth модуль HC-05

Керується цей модуль за допомогою універсального асинхронного приймача/передавача (англ. *universal asynchronous receiver/transmitter* — *UART*).

2.2 Розробка алгоритму фільтрації даних

Щоб отримати стабільне значення відстані, отриманий з кожного датчика сигнал необхідно відфільтрувати. Для цього вирішено використати медіанний фільтр та фільтр «Рухоме середнє».

Медіанний фільтр — цифровий фільтр, який часто використовується в цифровій обробці сигналів та зображень для зниження рівня шуму. Значення відділків в середині вікна фільтру сортуються в порядку збільшення, або зменшення значень. Медіанне значення, яке знаходиться по середині вікна фільтру, подається на його вхід [7].

Обрано медіанний фільтр розміром 3 елементи, так як реалізація алгоритму для більшої кількості елементів призведе до підвищення складності та збільшення самої програми. Нижче представлена написана мовою C++ функція, що реалізує даний алгоритм:

```
int middle_of_3(int a, int b, int c) {
    int middle;
    if ((a <= b) && (a <= c)) { // порівнюємо другий та перший елемент з
першим
        middle = (b <= c) ? b : c; // якщо другий елемент менший або дорівнює
третьому, то медіанне значення буде дорівнювати другому, інакше —
третьому
    }
}
```

```

else {
    if ((b <= a) && (b <= c)) { // порівнюємо перший та третій елемент з
другим
        middle = (a <= c) ? a : c; // якщо перший елемент менший або дорівнює
третьому, то медіанне значення буде дорівнювати першому, інакше —
третьому
    }
    else {
        middle = (a <= b) ? a : b; // якщо перший елемент менший або дорівнює
другому, то медіанне значення буде дорівнювати першому, інакше —
другому
    }
}
return middle;
}

```

«Рухоме середнє» за принципом роботи схоже на середнє арифметичне, але відрізняється тим, що він працює у часі і має можливість налаштування різкості фільтрації. Алгоритм роботи можна описати наступною формулою [8]:

$$a = yk + a_n(1 - k),$$

де: a — фільтрована величина; y — нова величина для фільтрації; k — коефіцієнт фільтрації (від 0 до 1, чим більша різниця між попереднім та наступним фільтрованим значенням, тим більший коефіцієнт); a_n — попередня фільтрована величина. Частина коду, яка реалізує цей алгоритм зображена нижче:

```

delta = abs(value_filtered - value); // знаходимо модуль різниці між попереднім
фільтрованим та новим значенням
if (delta > 0.1)
{
    k = 1; // якщо delta > 0,1, то k=1
}
else
{
    k = 0.05; // якщо delta <= 0,1, k=0,05
}
value_filtered = value * k + value_filtered * (1 - k); // розраховуємо фільтроване
значення

```

Приклад початкового (вхідного, червона лінія) сигналу та фільтрованого сигналу (жовта лінія) зображено на рис. 2.3, який отриманий за допомогою ПЗ *Serial Port Plotter*.

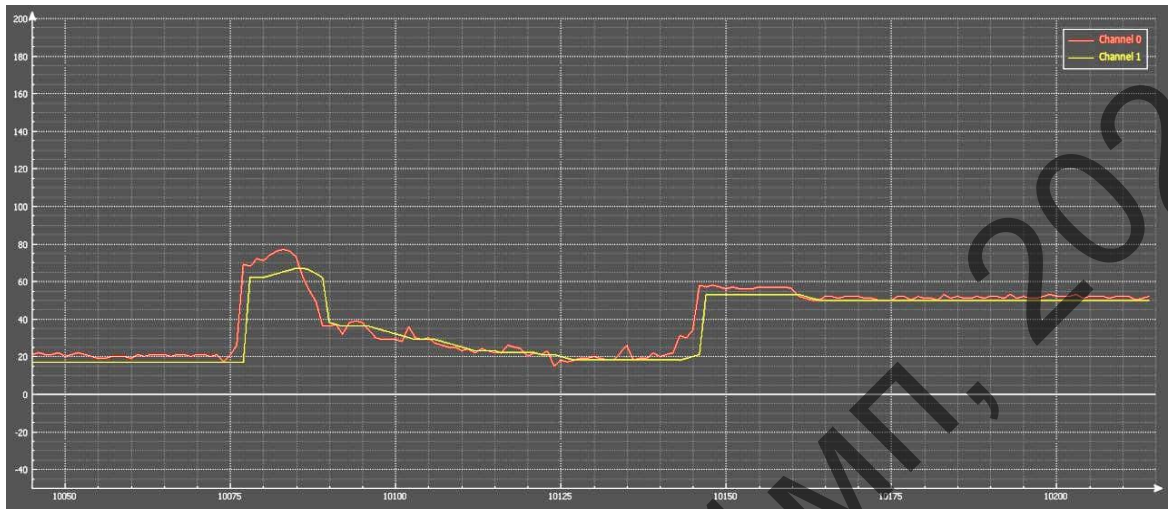


Рисунок 2.3 — Приклад фільтрації сигналу

Із вище написаного можна зробити висновок, що сумарна ефективність роботи медіанного фільтра та «Рухоме середнє» є достатньо високою, тобто невеликі сплески сигналу фільтруються, а при різкій зміні сигналу фільтр швидко адаптується.

2.3 Огляд датчиків для дослідження

На даний момент на ринку представлена досить невелика кількість виробників окремих датчиків для вимірювання відстані. Додатково ситуацію ускладнюють умови пандемії. Для проведення досліджень були закуплені найпопулярніші моделі, доступні на ринку.

2.3.1 Інфрачервоний датчик *Sharp GP2Y0A21YK0F*

Датчик *Sharp GP2Y0A21YK0F* зображений на рис. 2.3 [9].



Рисунок 2.3 — Інфрачервоний датчик *Sharp GP2Y0A21YK0F*

Даний датчик має характеристики, що наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 — Характеристики датчика *Sharp GP2Y0A21YK0F*

Характеристика	Значення
Тип	Інфрачервоний
Похибка	Не вказана в документації від виробника
Інтерфейс	Аналоговий
Діапазон вимірювання	10–80 см
Ціна	280 грн

2.3.2 Ультразвуковий датчик *HC-SR04*

Датчик *HC-SR04* зображений на рис. 2.4 [10].

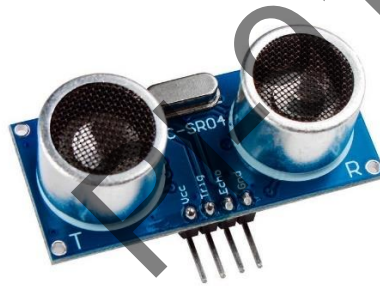


Рисунок 2.4 — Ультразвуковий датчик *HC-SR04*

Даний датчик має характеристики, що наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 — Характеристики датчика *HC-SR04*

Характеристика	Значення
Тип	Ультразвуковий
Похибка	± 3 мм
Інтерфейс	Цифровий
Діапазон вимірювання	2–400 см
Ціна	150 грн

Через доступність даного датчику на ринку, придбано 3 екземпляри для отримання більш достовірних результатів.

2.3.3 Лазерний датчик *CJVL53L0XV2*

Датчик *CJVL53L0XV2* зображений на рис. 2.5 [11].



Рисунок 2.5 — Лазерний датчик *CJVL53L0XV2*

Даний датчик має характеристики, що наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 — Характеристики лазерного датчика *CJVL53L0XV2*

Характеристика	Значення
Тип	Лазерний
Похибка	3–7%
Інтерфейс	Цифровий
Діапазон вимірювання	3–200 см
Ціна	266 грн

Із зображеними вище датчиками необхідно провести дослідження на відповідність технічним характеристикам, що заявлені виробником.

Висновки за розділом

Створено макет для дослідження датчиків. Для фільтрації вирішено використовувати медіанний фільтр та фільтр «Рухоме середнє». Реалізовано функції фільтрації на мові програмування C++. Проведено огляд існуючих на ринку датчиків. Проаналізовано характеристики найпопулярніших та найдоступніших датчиків.

3 ПРОВЕДЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ

Будь-яке вимірювання проводиться з деякою похибкою, при цьому виміряне значення завжди буде відрізнятись від істинного, тому що вимірювальні інструменти — датчики, електронне обладнання, методики та засоби математичної обробки результатів не є ідеальними, мають передбачені виробничі відхилення або неточності, підлягають впливу навколишнього середовища, температури, вологості, тощо. Сукупність цих та інших факторів і призводить до похибок в результатах вимірювань.

Похибка — це відхилення величини виміряного значення від її істинного значення [12].

Абсолютна похибка — це різниця між істинним та вимірним значенням фізичної величини. Розраховується вона за наступною формулою:

$$\Delta x = x_0 - x,$$

де: x_0 — виміряне значення; x — істинне значення.

Відносна похибка — це відношення абсолютної похибки до істинного значення, найчастіше виражається у відсотках [13]. Розраховується за наступною формулою:

$$\delta = \pm \frac{\Delta x}{x} 100\%,$$

де: Δx — абсолютна похибка; x — істинне значення.

Для зменшення похибки при вимірюванні, проведено по 3 вимірювання на кожний датчик.

3.1 Дослідження за допомогою ультразвукового датчика

Макет приладу зображено на рис. 3.1.

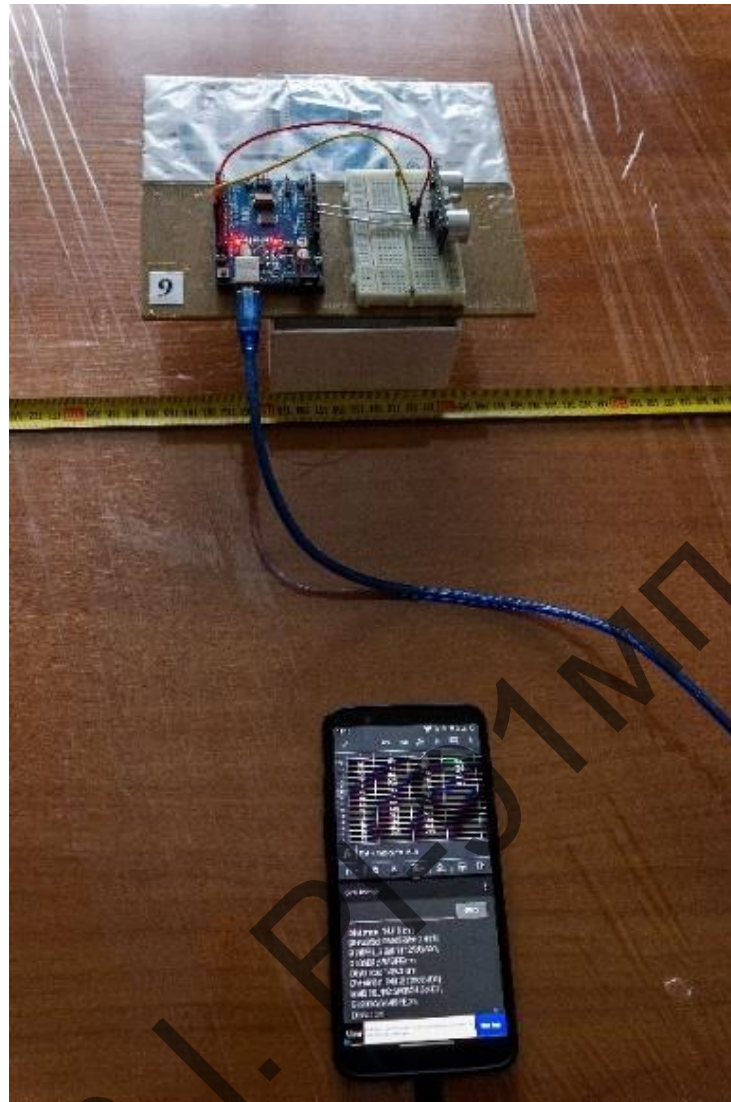


Рисунок 3.1 — Макет приладу з ультразвуковим датчиком

Принцип роботи з датчиком наступний:

- 1) На вихід *Trig* датчика подається імпульс тривалістю 10 мкс.
- 2) В датчику підключеному до *Arduino* відбудеться перетворення сигналу в 8 імпульсів з частотою 40 кГц, які через передавач будуть послані до перешкоди.
- 3) Коли імпульси дійдуть до перешкоди, вони відіб'ються від неї і будуть прийняті приймачем, що забезпечить наявність вхідного сигналу на виході *Echo*.
- 4) На стороні контролера отриманий сигнал за допомогою формул слід перевести в відстань [14].

Діаграма направленості даного датчика має вигляд конуса, тому вирішено провести два досліди при різній висоті вимірювання над поверхнею. Діаграма направленості зображена на рис. 3.2 [15].

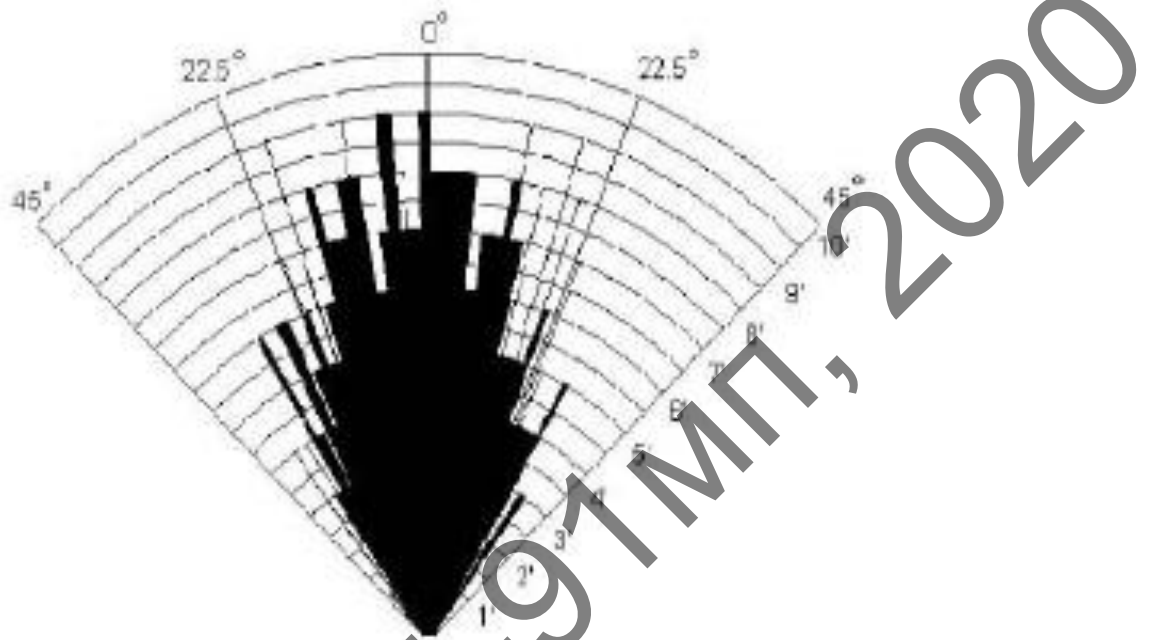


Рисунок 3.2 — Діаграма направленості

В табл. 3.1 та табл. 3.2 наведено значення відстаней, що отримані для трьох ультразвукових датчиків.

Таблиця 3.1 — Отримані значення відстаней для першого дослідю

Рулетка	Датчик 1						Датчик 2						Датчик 3						
	мм	Вимірювання №1, мм	Вимірювання №2, мм	Вимірювання №3, мм	Сер. знач. мм	Δ (Абсолютна похибка), мм	δ (Відносна похибка), %	Вимірювання №1, мм	Вимірювання №2, мм	Вимірювання №3, мм	Сер. знач. мм	Δ (Абсолютна похибка), мм	δ (Відносна похибка), %	Вимірювання №1, мм	Вимірювання №2, мм	Вимірювання №3, мм	Сер. знач. мм	Δ (Абсолютна похибка), мм	δ (Відносна похибка), %
1	100	100	99	99	99.33	-0.67	0.67%	101	100	102	101.00	1.00	1.00%	98	99	97	98.00	-2.00	2.00%
2	200	201	201	203	201.67	1.67	0.83%	200	201	201	200.67	0.67	0.33%	197	199	197	197.67	-2.33	1.17%
3	300	307	306	307	306.67	6.67	2.22%	300	302	301	301.00	1.00	0.33%	300	295	295	296.67	-3.33	1.11%
4	400	403	402	400	401.67	1.67	0.42%	398	398	398	398.00	-2.00	0.50%	390	389	391	390.00	-10.00	2.50%
5	500	500	497	495	497.33	-2.67	0.53%	489	493	493	491.67	-8.33	1.67%	494	493	490	492.33	-7.67	1.53%
6	600	591	595	598	594.67	-5.33	0.89%	593	593	592	592.67	-7.33	1.22%	584	590	587	587.00	-13.00	2.17%
7	700	699	699	698	698.67	-1.33	0.19%	688	691	690	689.67	-10.33	1.48%	690	691	690	690.33	-9.67	1.38%
8	800	795	794	793	794.00	-6.00	0.75%	791	791	790	790.67	-9.33	1.17%	786	779	782	782.33	-17.67	2.21%
9	900	894	897	895	895.33	-4.67	0.52%	884	887	886	885.67	-14.33	1.59%	876	875	874	875.00	-25.00	2.78%
10	1000	994	996	992	994.00	-6.00	0.60%	980	982	983	981.67	-18.33	1.83%	978	974	976	976.00	-24.00	2.40%
11	1100	1093	1091	1092	1 092.00	-8.00	0.73%	1081	1082	1080	1 081.00	-19.00	1.73%	1078	1076	1076	1 076.67	-23.33	2.12%
12	1200	1187	1185	1186	1 186.00	-14.00	1.17%	1183	1181	1179	1 181.00	-19.00	1.58%	1173	1176	1177	1 175.33	-24.67	2.06%
13	1300	1288	1285	1287	1 286.67	-13.33	1.03%	1283	1282	1282	1 282.33	-17.67	1.36%	1281	1280	1274	1 278.33	-21.67	1.67%
14	1400	1387	1386	1392	1 388.33	-11.67	0.83%	1382	1381	1381	1 381.33	-18.67	1.33%	1372	1371	1377	1 373.33	-26.67	1.90%
15	1500	1492	1491	1490	1 491.00	-9.00	0.60%	1485	1482	1482	1 483.00	-17.00	1.13%	1480	1476	1476	1 477.33	-22.67	1.51%
16	1600	1590	1590	1585	1 588.33	-11.67	0.73%	1583	1581	1581	1 581.67	-18.33	1.15%	1577	1573	1575	1 575.00	-25.00	1.56%
17	1700	1691	1689	1688	1 689.33	-10.67	0.63%	1683	1681	1681	1 681.67	-18.33	1.08%	1673	1671	1677	1 673.67	-26.33	1.55%
18	1800	1789	1786	1784	1 786.33	-13.67	0.76%	1786	1782	1782	1 783.33	-16.67	0.93%	1791	1780	1775	1 782.00	-18.00	1.00%
19	1900	1888	1888	1887	1 887.67	-12.33	0.65%	1883	1887	1881	1 883.67	-16.33	0.86%	1875	1876	1880	1 877.00	-23.00	1.21%
20	2000	1988	1987	1986	1 987.00	-13.00	0.65%	2010	1998	1996	2 001.33	1.33	0.07%	1979	1982	1982	1 981.00	-19.00	0.95%
21	2100	2087	2086	2087	2 086.67	-13.33	0.63%	2087	2086	2082	2 085.00	-15.00	0.71%	2078	2083	2081	2 080.67	-19.33	0.92%
22	2200	2185	2188	2184	2 185.67	-14.33	0.65%	2181	2183	2184	2 182.67	-17.33	0.79%	2174	2181	2181	2 178.67	-21.33	0.97%

Таблиця 3.2 — Отримані значення відстаней для другого дослідю

Рулетка	Датчик 1						Датчик 2						Датчик 3						
	мм	Вимірювання №1, мм	Вимірювання №2, мм	Вимірювання №3, мм	Сер. знач. мм	Δ (Абсолютна похибка), мм	δ (Відносна похибка), %	Вимірювання №1, мм	Вимірювання №2, мм	Вимірювання №3, мм	Сер. знач. мм	Δ (Абсолютна похибка), мм	δ (Відносна похибка), %	Вимірювання №1, мм	Вимірювання №2, мм	Вимірювання №3, мм	Сер. знач. мм	Δ (Абсолютна похибка), мм	δ (Відносна похибка), %
1	100	101	103	100	101.33	1.33	1.33%	99	100	102	100.33	0.33	0.33%	100	99	99	99.33	-0.67	0.67%
2	200	207	202	202	203.67	3.67	1.83%	199	203	206	202.67	2.67	1.33%	199	199	200	199.33	-0.67	0.33%
3	300	309	303	312	308.00	8.00	2.67%	298	307	307	304.00	4.00	1.33%	300	304	302	302.00	2.00	0.67%
4	400	407	403	406	405.33	5.33	1.33%	398	402	403	401.00	1.00	0.25%	401	399	401	400.33	0.33	0.08%
5	500	504	506	507	505.67	5.67	1.13%	497	500	504	500.33	0.33	0.07%	500	500	498	499.33	-0.67	0.13%
6	600	606	602	607	605.00	5.00	0.83%	597	602	600	599.67	-0.33	0.06%	601	599	595	598.33	-1.67	0.28%
7	700	705	708	707	706.67	6.67	0.95%	694	700	703	699.00	-1.00	0.14%	700	699	699	699.33	-0.67	0.10%
8	800	808	801	807	805.33	5.33	0.67%	795	802	803	800.00	0.00	0.00%	801	801	793	798.33	-1.67	0.21%
9	900	907	904	910	907.00	7.00	0.78%	894	899	901	898.00	-2.00	0.22%	897	897	898	897.33	-2.67	0.30%
10	1000	1009	1001	1007	1 005.67	5.67	0.57%	992	994	1005	997.00	-3.00	0.30%	997	998	1001	998.67	-1.33	0.13%
11	1100	1108	1107	1109	1 108.00	8.00	0.73%	1090	1098	1104	1 097.33	-2.67	0.24%	1097	1095	1101	1 097.67	-2.33	0.21%
12	1200	1210	1205	1206	1 207.00	7.00	0.58%	1192	1201	1206	1 199.67	-0.33	0.03%	1201	1200	1201	1 200.67	0.67	0.06%
13	1300	1306	1303	1308	1 306.67	6.67	0.51%	1295	1304	1307	1 302.00	2.00	0.15%	1301	1302	1299	1 300.67	0.67	0.05%
14	1400	1406	1409	1409	1 408.00	8.00	0.57%	1402	1404	1406	1 404.00	4.00	0.29%	1402	1401	1397	1 400.00	0.00	0.00%
15	1500	1508	1511	1509	1 509.33	9.33	0.62%	1495	1507	1507	1 503.00	3.00	0.20%	1502	1500	1502	1 501.33	1.33	0.09%
16	1600	1607	1610	1610	1 609.00	9.00	0.56%	1600	1608	1605	1 604.33	4.33	0.27%	1603	1600	1601	1 601.33	1.33	0.08%
17	1700	1713	1718	1712	1 714.33	14.33	0.84%	1699	1710	1713	1 707.33	7.33	0.43%	1697	1703	1701	1 700.33	0.33	0.02%
18	1800	1810	1813	1815	1 812.67	12.67	0.70%	1810	1809	1813	1 810.67	10.67	0.59%	1804	1803	1806	1 804.33	4.33	0.24%
19	1900	1913	1918	1913	1 914.67	14.67	0.77%	1911	1911	1915	1 912.33	12.33	0.65%	1904	1899	1906	1 903.00	3.00	0.16%
20	2000	2017	2026	2019	2 020.67	20.67	1.03%	2011	2019	2017	2 015.67	15.67	0.78%	2007	2006	2004	2 005.67	5.67	0.28%
21	2100	2119	2122	2120	2 120.33	20.33	0.97%	2122	2119	2115	2 118.67	18.67	0.89%	2103	2101	2110	2 104.67	4.67	0.22%
22	2200	2224	2225	2226	2 225.00	25.00	1.14%	2222	2220	2220	2 220.67	20.67	0.94%	2206	2203	2202	2 203.67	3.67	0.17%

Лістинг програми наведено у Додатку В.

3.2 Дослідження за допомогою інфрачервоного датчика

Макет приладу зображено на рис. 3.3.

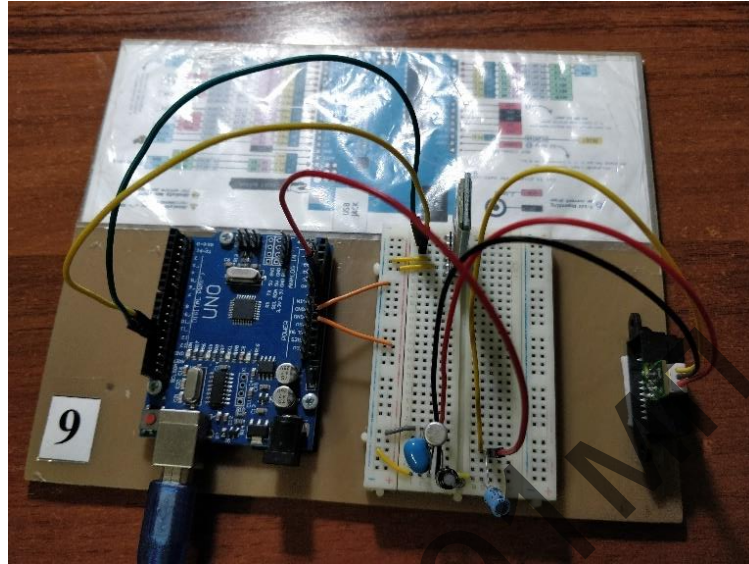


Рисунок 3.3 — Макет приладу з інфрачервоним датчиком

В даному датчику встановлено інфрачервоний світлодіод (англ. *light-emitting diode* — *LED*). Світло відображене від перешкоди направляєтся на позиційно-чутливий фотоелемент. Від позиції падаючого на нього променя залежить його провідність. Провідність, в свою чергу, перетворюється в напругу і виводиться на аналоговий вихід.

Інфрачервоний датчик відстані має три контакти:

- живлення +5 В;
- земля;
- аналоговий вихід.

Аналоговий вихід датчика підключається до аналогового входу *Arduino Uno*. Отриманий сигнал за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП), що вбудовано в *Arduino Uno*, перетворюється в цифровий сигнал в межах від 0 до 1023 (1024 градації). За допомогою програми це значення переводиться у напругу за наступною формулою:

$$V = \frac{5k}{1024},$$

де: V — розраховане значення вихідної напруги; k — значення сигналу, отриманого з АЦП.

Вихідний сигнал, що отриманий з даного датчика, обернено пропорційний — зі збільшенням відстані його значення повільно зменшується. Приклад графіку залежності напруги від відстані наведено на рис. 3.4 [16].

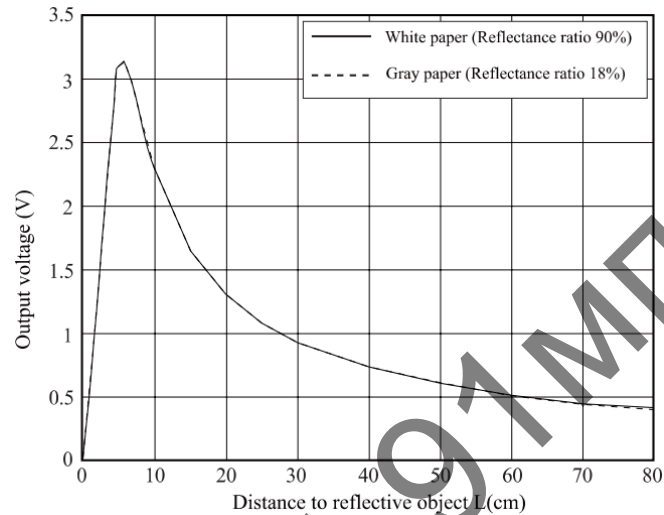


Рисунок 3.4 — Приклад залежності напруги від відстані

Для отримання формули для розрахунку відстані в залежності від напруги, проведено власний дослід, в якому знято залежність напруги від відстані. Залежність зображена на рис. 3.5.

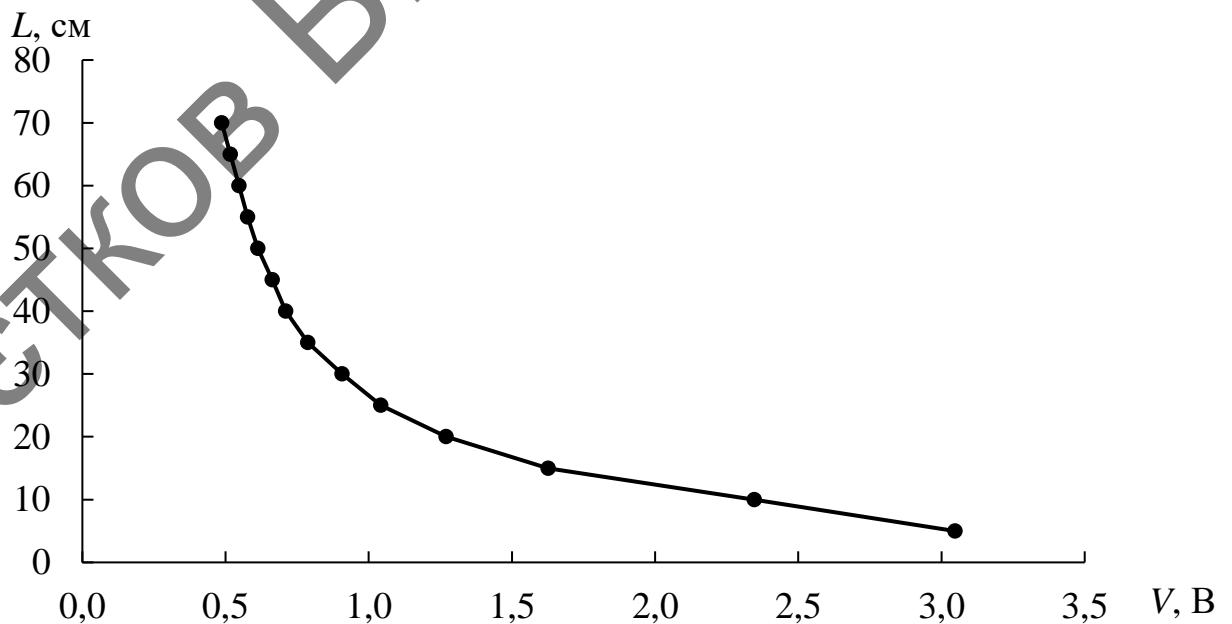


Рисунок 3.5 — Залежність напруги від відстані

За допомогою ПЗ *Microsoft Excel* побудовано лінію тренду, із якої виведено наступну залежність:

$$l = 14,87x^6 - 156,09x^5 + 660,1x^4 - 1447,7x^3 + 1756,9x^2 - 1149,3x + 347,59 ,$$

де: l — розрахована відстань; x — значення напруги.

В табл. 3.3 наведено значення відстаней, що отримані за допомогою інфрачервоного датчика.

Таблиця 3.3 — Значення відстаней інфрачервоного датчика

	Рулетка	ІЧ Датчик					Δ (Абсолютна похибка), мм	δ (Відносна похибка), %
	мм	Вимірювання №1, мм	Вимірювання №2, мм	Вимірювання №3, мм	Сер. знач. мм			
1	100	102	99	95	98,67	-1,33	1,33%	
2	150	150	142	141	144,33	-5,67	3,78%	
3	200	205	194	194	197,67	-2,33	1,17%	
4	250	247	245	245	245,67	-4,33	1,73%	
5	300	298	297	295	296,67	-3,33	1,11%	
6	350	348	345	344	345,67	-4,33	1,24%	
7	400	403	397	395	398,33	-1,67	0,42%	
8	450	455	452	454	453,67	3,67	0,81%	
9	500	516	512	513	513,67	13,67	2,73%	
10	550	572	565	561	566,00	16,00	2,91%	
11	600	633	617	616	622,00	22,00	3,67%	
12	650	665	664	663	664,00	14,00	2,15%	
13	700	697	711	687	698,33	-1,67	0,24%	
14	750	743	778	762	761,00	11,00	1,47%	
15	800	782	803	783	789,33	-10,67	1,33%	

Лістинг програми наведено у Додатку Г.

3.3 Дослідження за допомогою лазерного датчика

Макет приладу зображено на рис. 3.6.

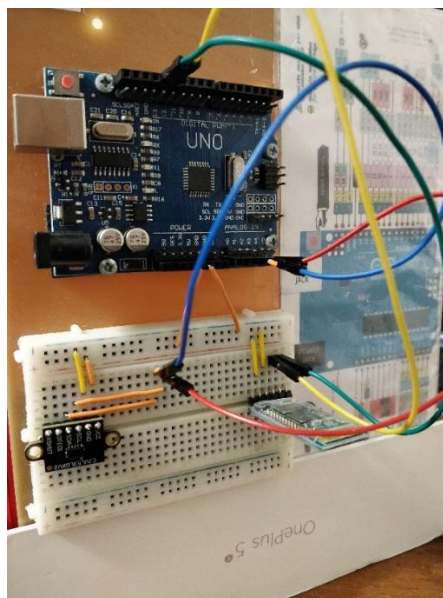


Рисунок 3.6 — Макет приладу з лазерним датчиком

Датчик підключено до послідовної шини даних (англ. *inter-integrated circuit* — *I²C*) порту плати *Arduino Uno*. За допомогою програмного забезпечення *Arduino IDE* та використовуючи інтерфейс прикладного програмування (англ. *application programming interface* — *API*) від виробника датчика, створено програму, що контролює роботу датчика та оброблює вихідні дані. Структурна схема роботи приладу зображена на рис. 3.7 [17].

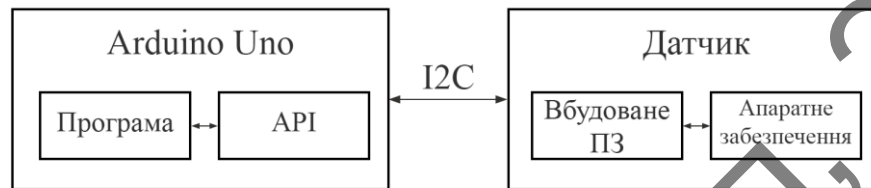


Рисунок 3.7 — Структурна схема роботи приладу

Принцип роботи датчика базується на вимірюванні часу затраченого на подолання відстані до перешкоди та назад. В датчику встановлено лазер, який короткими імпульсами випромінює світло, яке відображаючись від перешкоди потрапляє на фоточутливий елемент.

В табл. 3.4 наведено значення відстаней, що отримані за допомогою лазерного датчика.

Таблиця 3.4 — Значення відстаней лазерного датчика

Рулетка	Лазерний Датчик (Режим підвищеної точності)						
	мм	Вимірювання №1, мм	Вимірювання №2, мм	Вимірювання №3, мм	Сер. знач, мм	Δ (Абсолютна похибка), мм	δ (Відносна похибка), %
1	100	110	110	109	109,67	9,67	9,67%
2	150	162	162	163	162,33	12,33	8,22%
3	200	216	217	214	215,67	15,67	7,83%
4	250	273	270	271	271,33	21,33	8,53%
5	300	324	322	319	321,67	21,67	7,22%
6	350	375	372	374	373,67	23,67	6,76%
7	400	426	423	424	424,33	24,33	6,08%
8	450	476	474	474	474,67	24,67	5,48%
9	500	527	525	524	525,33	25,33	5,07%
10	550	577	575	575	575,67	25,67	4,67%
11	600	624	622	625	623,67	23,67	3,94%
12	650	673	674	673	673,33	23,33	3,59%
13	700	724	722	720	722,00	22,00	3,14%
14	750	775	774	775	774,67	24,67	3,29%
15	800	824	824	820	822,67	22,67	2,83%
16	850	874	872	874	873,33	23,33	2,75%
17	900	918	919	917	918,00	18,00	2,00%
18	950	970	970	971	970,33	20,33	2,14%
19	1000	1020	1016	1020	1 018,67	18,67	1,87%
20	1050	1067	1062	1067	1 065,33	15,33	1,46%
21	1100	1115	1116	1114	1 115,00	15,00	1,36%
22	1150	1157	1160	1160	1 159,00	9,00	0,78%
23	1200	1210	1212	1209	1 210,33	10,33	0,86%

Лістинг програми наведено у Додатку Д.

3.4 Аналіз результатів досліджень

Як вказано раніше, дослідження з ультразвуковими датчиками проведено при різній висоті. На рис. 3.8 зображена залежність відносної похибки вимірювання від відстані при відносно малій висоті.

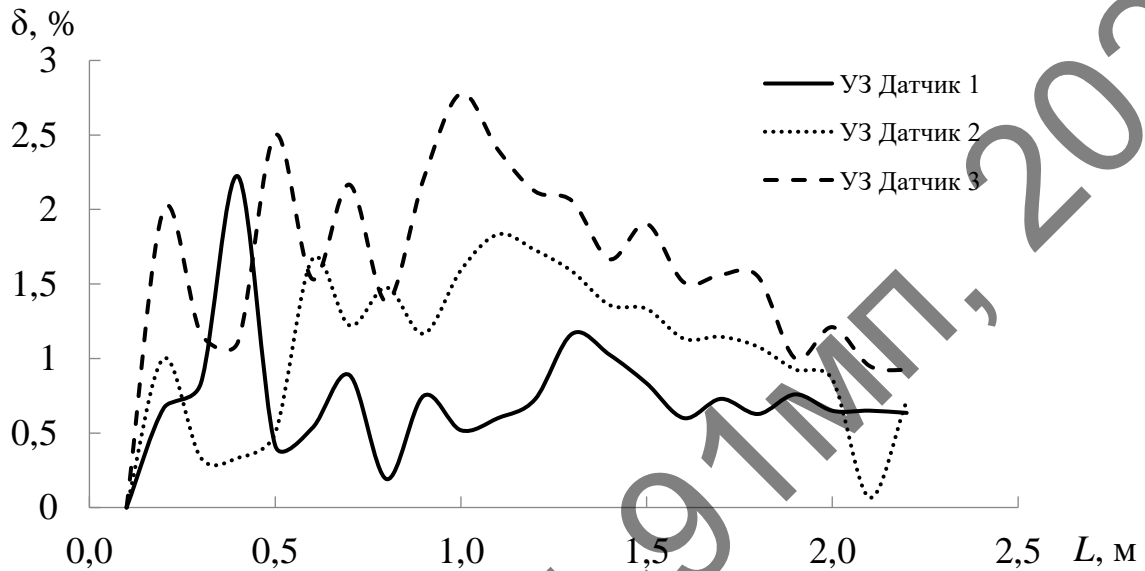


Рисунок 3.8 — Залежність відносної похибки від відстані при малій висоті

Як видно з рисунку вище, при збільшенні відстані до перешкоди відносна похибка змінюється досить нерівномірно. Тому проведено той самий дослід, але з датчиком розміщеним на висоті 80 см над поверхнею, результат наведено на рис. 3.9.

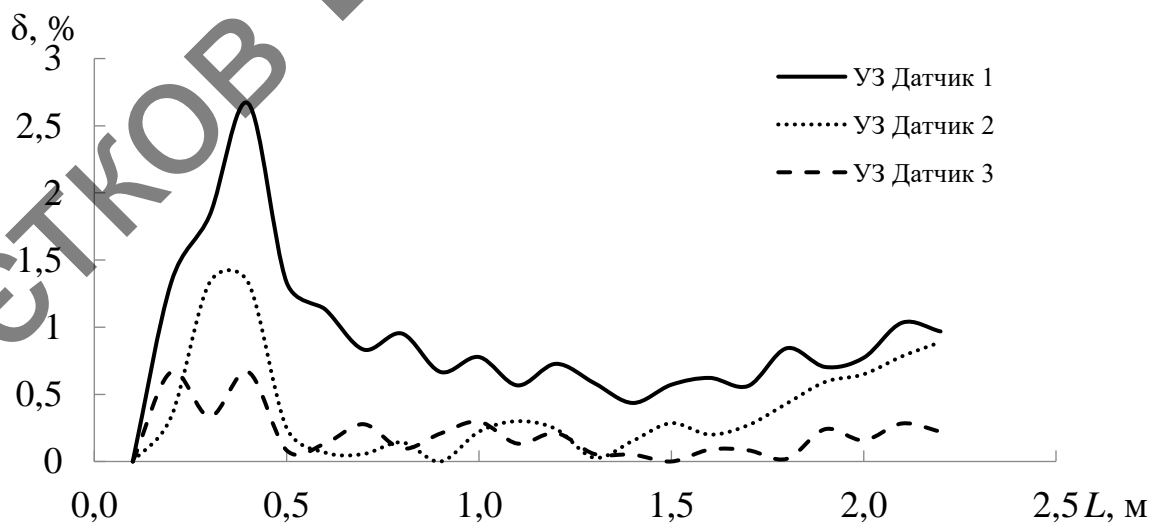


Рисунок 3.9 — Залежність відносної похибки від відстані на деякій висоті

Як видно із залежності вище, зміна висоти вимірювання позитивно вплинула на результати, так як відносна похибка знизилася. Також із такої залежності можна зробити висновок, що датчик під номером 3 має найкращі показники відносно перших двох. Надалі при порівнянні із іншими датчиками буде використано саме 3-й датчик.

На рис. 3.10 зображена залежність абсолютної похибки від відстані до перешкоди для ультразвукового, інфрачервоного та лазерного датчиків.

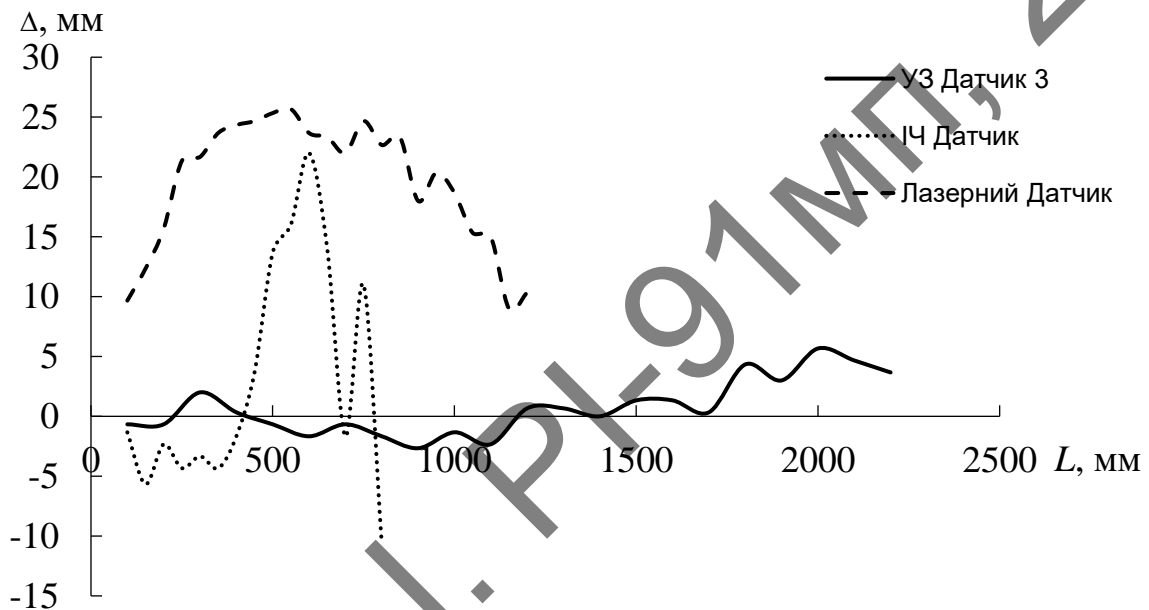


Рисунок 3.10 — Залежність абсолютної похибки від відстані

Із залежності вище можна робити висновок, що абсолютні похибки для інфрачервоного та лазерного датчиків змінюються достатньо нерівномірно. Проте, ультразвуковий датчик має кращі (більш стабільні) результати, так як абсолютна похибка змінюється плавно та в малих межах. Отримані значення абсолютної похибки наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 — Отримані значення абсолютної похибки

Датчик	Δ_{max} , мм	Δ_{min} , мм
Ультразвуковий	5,67	-2,67
Інфрачервоний	22	-10,67
Лазерний	25,67	9

На рис. 3.11 зображена залежність відносної похибки від відстані для ультразвукового, інфрачервоного та лазерного датчиків.

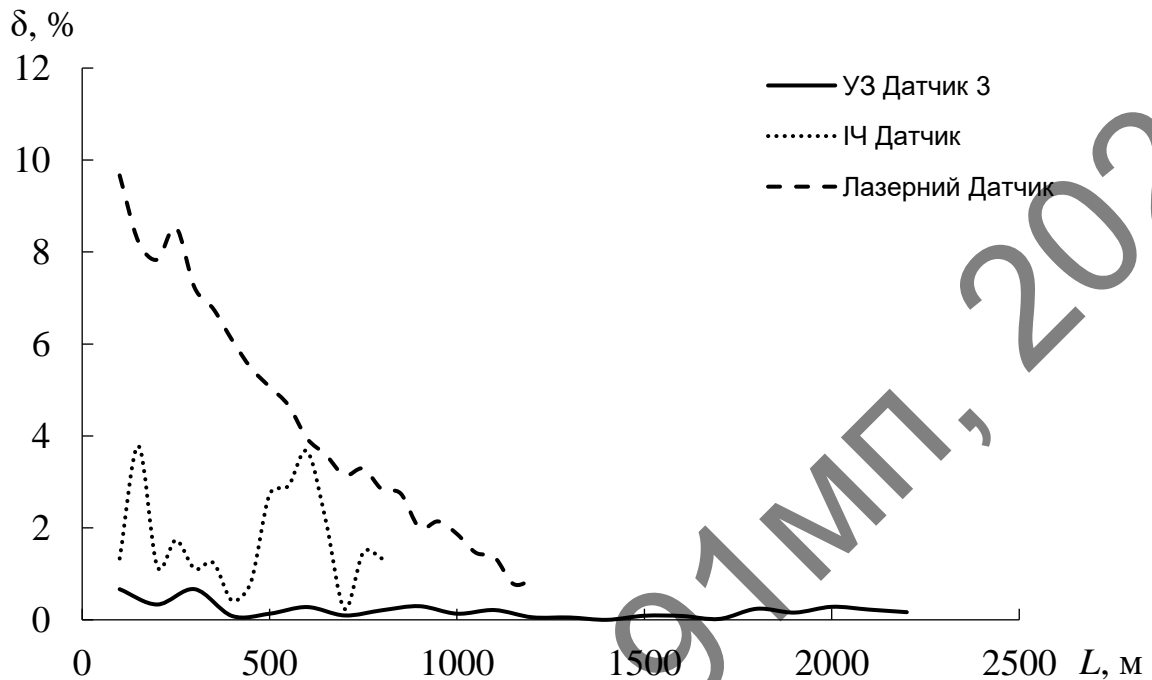


Рисунок 3.11 — Залежність відносної похибки від відстані

Як видно на рисунку вище, на початку відліку відносна похибка для лазерного датчика є досить великою, навіть поступове зменшення відносної похибки загальну ситуацію не виправляє. Інфрачервоний датчик має кращі результати у порівнянні із лазерним, але має наступний недолік — зі збільшенням відстані відносна похибка змінюється нерівномірно. Ультразвуковий датчик має найкращі результати серед інших датчиків, що досліджувалися.

Таблиця 3.6 — Отримані значення відносної похибки

Датчик	δ_{max} , %	δ_{min} , %
Ультразвуковий	0,67	0
Інфрачервоний	3,78	0,24
Лазерний	9,67	0,78

Отримані значення відносної похибки наведено в табл. 3.6.

Висновки за розділом

Для кожного датчика проведено наступні дії:

- зібрано макет;
- проведено налаштування датчиків та перевірка їх роботи;
- описано принцип роботи;
- проведено вимірювання;
- проведено аналіз результатів.

Із аналізу результатів вимірювань можна зробити висновок, що на практиці більшість із досліджуваних датчиків демонструють характеристики, що не відповідають заявленим від виробника. Це може бути пов'язано з тим, що дослідження проводились не в умовах обладнаної лабораторії, а в домашніх умовах через обмеження, які пов'язані з пандемією коронавірусної хвороби, тобто можливий вплив зовнішніх факторів, електромагнітних перешкод на покази датчиків, а також недосконалість використаних саморобних конструкцій та пристосувань. Дані отримані із ультразвукового датчика є найкращими ($\Delta_{max}=5,67$ мм та $\Delta_{min}=-2,67$ мм відносно заявлених виробником ± 3 мм) відносно інших датчиків, що досліджувалися.

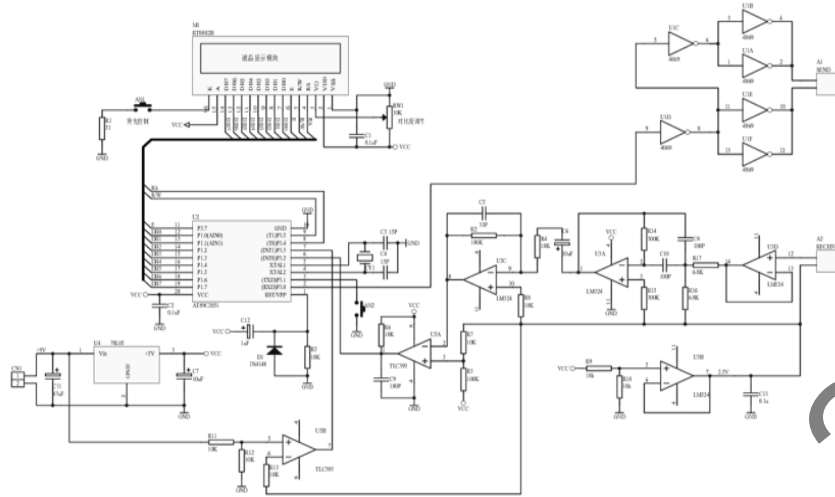


Рисунок 4.3 — Схема електрична принципова аналогічного приладу

Зображені вище схеми не мають в своєму складі модуля для бездротової передачі інформації на сумісний пристрій.

4.2 Розробка схеми електричної принципової

За допомогою ПЗ *Altium Designer* розроблено схему електричну принципову, яку зображено на рис. 4.4.

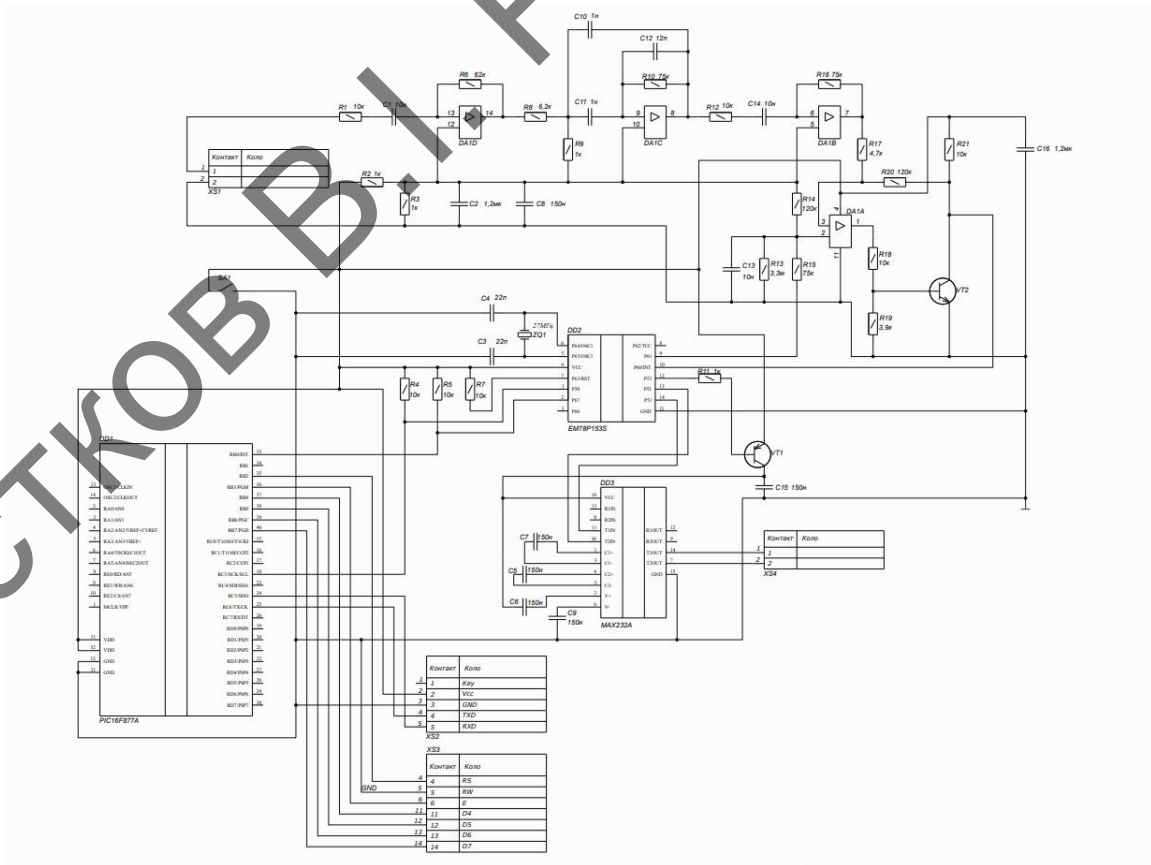


Рисунок 4.4 — Розроблена схема електрична принципова

4.3 Параметри трасування плати

Проведено розрахунок мінімальної ширини друкованих провідників у широкому та вузькому місці за наступною формулою:

$$t_1 = t_{\min D_S} + |\Delta t_{\text{нос}}|,$$

де $t_{\min D_S}$ — мінімальне значення ширини друкованого провідника що обирається згідно із класом точності, 0,25 мм; $\Delta t_{\text{нос}}$ — допуск на ширину провідника, -0,05 мм. Мінімальна ширина друкованого провідника t_1 у широкому місці дорівнює 0,55 мм, мінімальна ширина друкованого провідника t_1 у вузькому місці дорівнює 0,3 мм.

Розраховано мінімально допустиму ширину провідника t_2 з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3 %) за наступною формулою:

$$t_2 = \frac{l_p I_{\max p} \rho}{h_p U_{\text{жив}} 0,03},$$

де l_p — довжина провідника, 87 мкм; $I_{\max p}$ — максимальний струм (обрано найбільше значення струму з усіх елементів плати), 0,3 А; ρ — питомий опір провідників, $0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$; h_p — товщина фольги, 35 мкм; $U_{\text{жив}}$ — прикладена напруга живлення, +5 В. Отримано значення мінімальної ширини провідника з урахуванням падіння напруги $t_2=0,087$ мм.

Розраховано мінімальну допустиму ширину провідника t_3 з урахуванням допустимого рівня струму на ньому за формулою:

$$t_3 = \frac{I_{\max p}}{h_p j_p},$$

де j_p — допустима щільність струму в провіднику, $20 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$. Отримано значення мінімальної допустимої ширини провідника з урахуванням рівня струму $t_3=0,429$ мм. Розрахована ширина для силового провідника: 0,55 мм.

Найменшу номінальну відстань S_{\min} між елементами провідникового рисунку розраховано за формулою:

$$S_{\min} = S_m + \Delta t_{\text{во}},$$

де S_m — мінімально допустима відстань між сусідніми друкованими об'єктами, 0,25 мм; $\Delta t_{\text{во}}$ — допуск на ширину провідника, 0,1 мм. Розрахована номінальна відстань між елементами провідникового рисунку $S_{\min}=0,35$ мм.

Результати трасування плати у верхньому шарі наведено на рис. 4.5, у нижньому шарі — рис. 4.6.

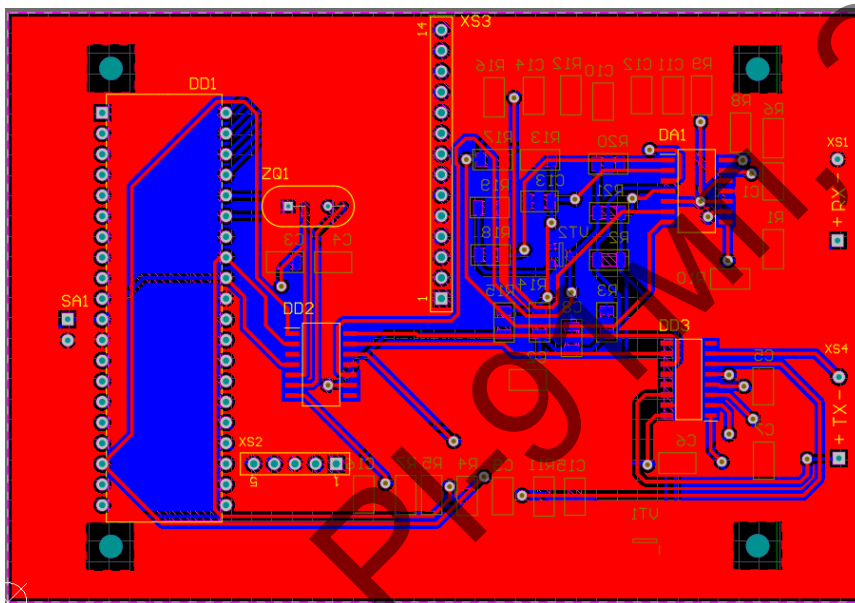


Рисунок 4.5 — Трасування у верхньому шарі

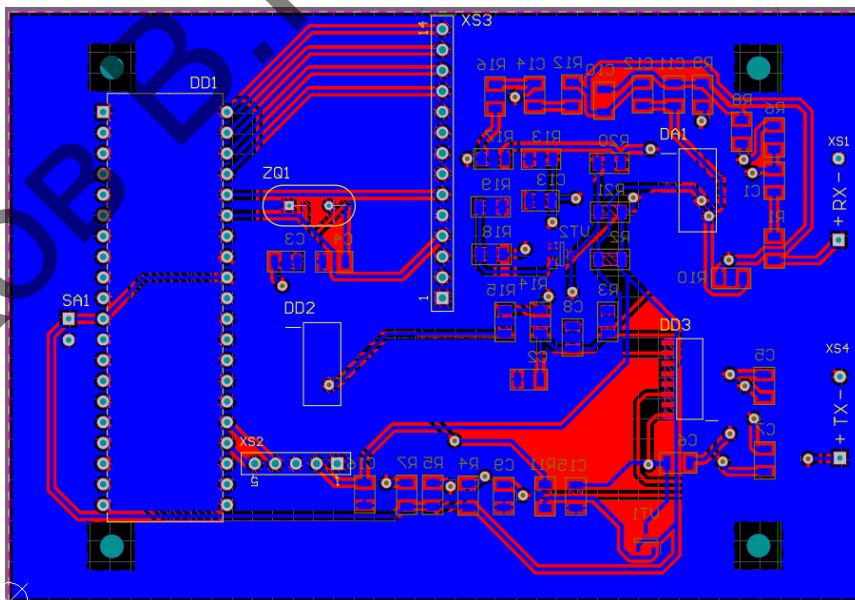


Рисунок 4.6 — Трасування у нижньому шарі

Зовнішній вигляд плати зображено на рис. 4.7 та рис. 4.8.

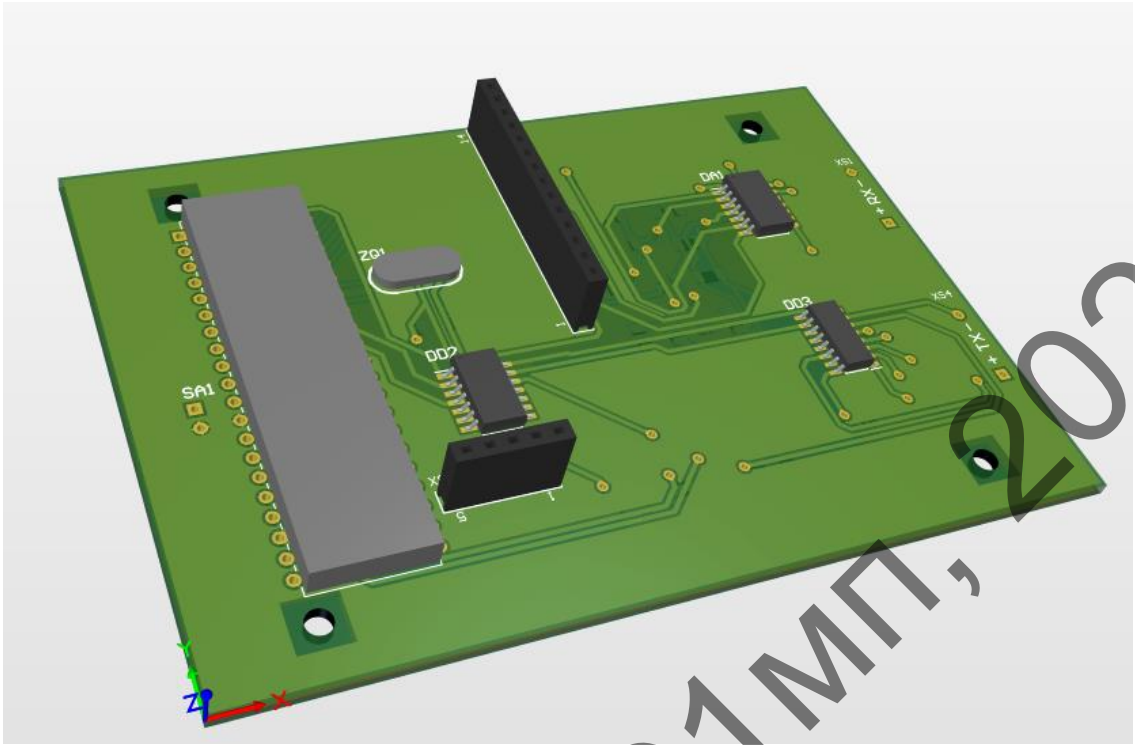


Рисунок 4.7 — Зовнішній вигляд плати

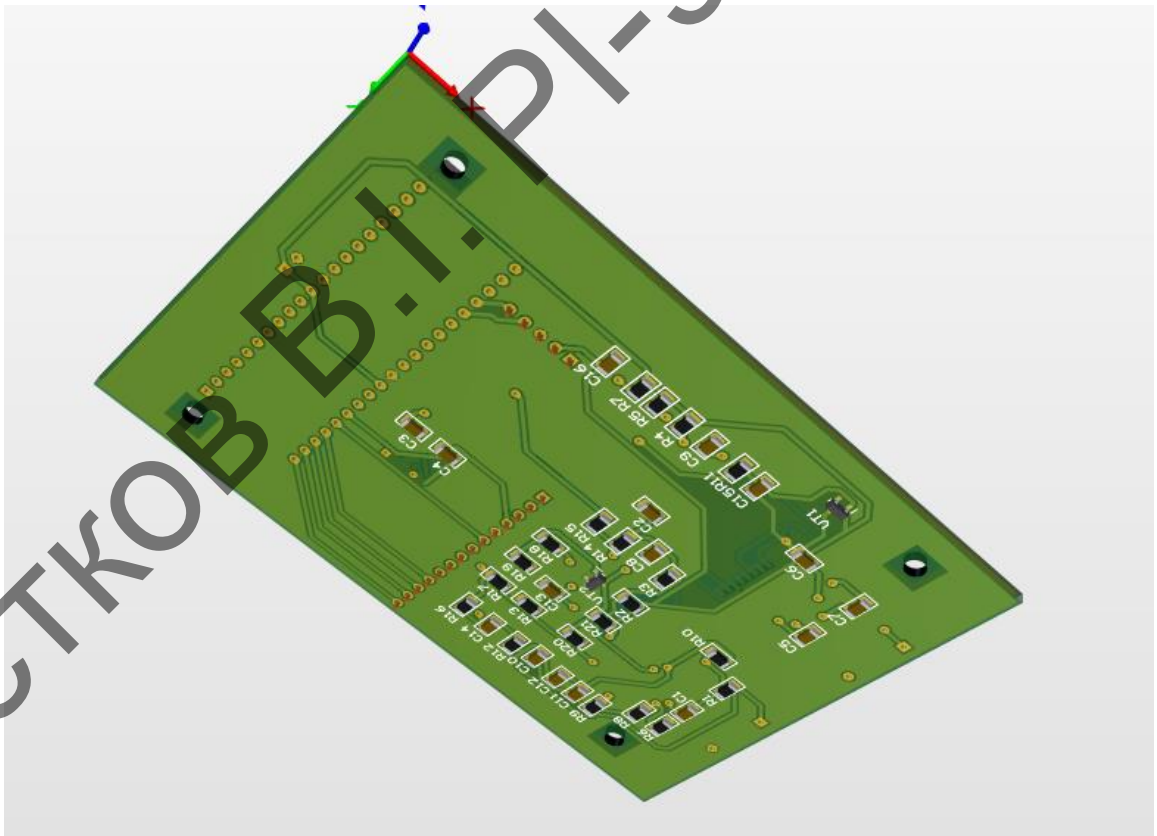


Рисунок 4.8 — Зовнішній вигляд плати

4.4 Розробка корпусу

За допомогою ПЗ *SolidWorks* розроблено модель корпусу, яка зображена на рис. 4.9.

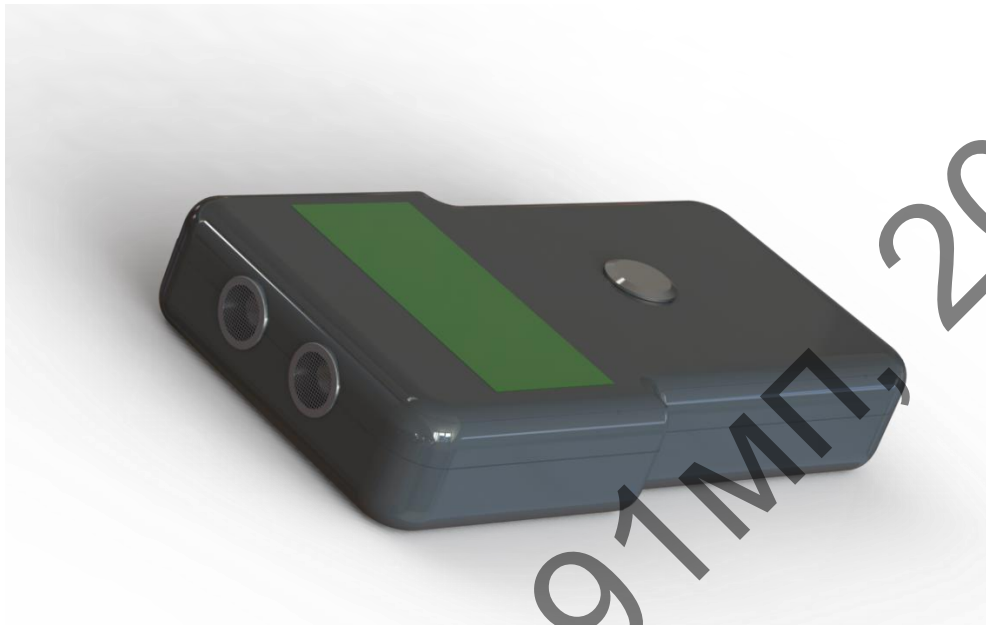


Рисунок 4.9 — Зовнішній вигляд приладу

Вигляд з тильної сторони зображено на рис. 4.10.



Рисунок 4.10 — Тильна сторона приладу

Вигляд відсіку для елементів живлення зображено на рис. 4.11.



Рисунок 4.11 — Вигляд роз'єму для елементів живлення

Вигляд приладу без верхньої кришки зображено на рис. 4.12.

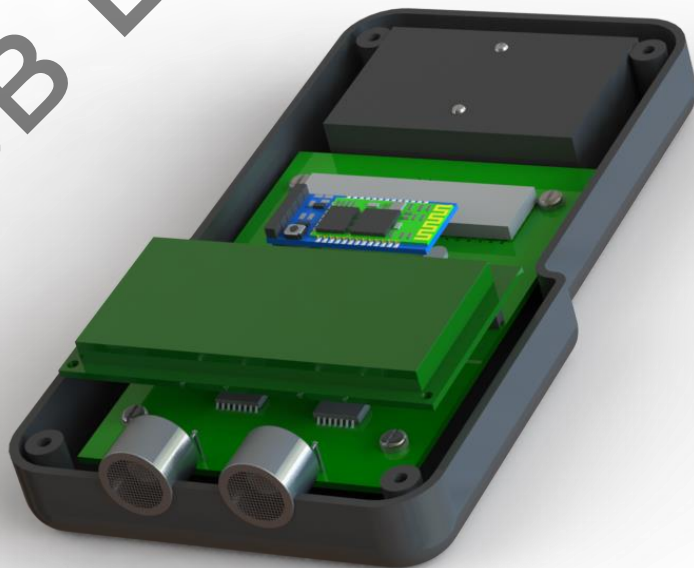


Рисунок 4.12 — Вигляд без верхньої кришки

Висновки до розділу

Проведено аналіз існуючих схемотехнічних рішень в яких використовується ультразвуковий датчик. Спроектовано схему електричну принципову. Розраховано мінімальні ширини провідників та інші параметри трасування плати. Проведено трасування друкованої плати. Розроблено модель корпусу для приладу.

ЦВЕТКОВ В.І. РІ-91МП, 2020

5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1 Інформаційна карта проекту

Інформаційна картка проекту, яка надає основну інформацію про проект, наведена в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 — Інформаційна картка проекту

Характеристика	Значення
1	2
Назва проекту	Електронний вимірювач відстані
Автор проекту	Цветков В.І.
Анотація	В наш час швидкого розвитку технологій людство намагається полегшити собі життя у багатьох сферах праці. Наразі велика кількість техніки яка раніше керувалась за допомогою тумблерів, дротяних пультів та інших елементів стає «розумною» за рахунок встановлення мікроконтролерів та бездротових передавачів, наприклад пульт від телевізора, кондиціонера, проектора і т. д. Те саме сталося і з рулетками. Вони були замінені на більш сучасні вимірювачі які є більш зручними у користуванні та є кращими за іншими параметрами.
Термін реалізації проекту	12 місяців
Необхідні ресурси	Фінансові: Для отримання бажаного результату необхідно 50 тис. дол. США. Матеріальні: необхідно закупити 4 персональні комп'ютери, периферійне обладнання до кожного комп'ютера, 4 столи, орендувати офіс за 20 тис. грн. на місяць. Інтелектуальні: робота конструктора, маркетолог та дипломата.
Опис проблеми яку вирішує проект	При аналізі приладів що вже існують на ринку України було визначено, що більшість з них мають достатньо високу вартість та не зручну форму для повсякденного використання
Головні цілі та завдання проекту	Мета й завдання дослідження: 1. Мета дослідження — забезпечення можливості визначення відстані більш зручним способом. 2. Завдання дослідження: 1) розробка макета плати; 2) розробка конструкції приладу; 3) провести експериментальне дослідження

Продовження таблиці 5.1

1	2
	похибки вимірювання відстані. 3.Об'єкт дослідження — прилад для визначення відстані на основі лазерного випромінювання. Предмет дослідження — конструкція та характеристики приладу. Відносна похибка результатів вимірів відстані.
Очікувані результати	В перспективі очікується зниження затрат на покупку вимірювальних приладів та зменшення кількості часу на вимірювання.

5.2 Морфологічна карта

За допомогою морфологічної карти згенеровано ідею приладу з необхідними характеристиками. Морфологічна карта наведена в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 — Морфологічна карта

Основні параметри	Проміжні рішення				
	1	2	3	4	5
Відстань вимірювання	0–50м	0–30м	0–10м	0–5м	–
Екран	LCD (кольоровий)	LCD (Ч/Б)	Механічний	Без екрану	–
Похибка	±1 мм	±3 мм	±5 мм	±10 мм	–
Додаткові функції	Розрахунок об'єму	Розрахунок площі	Збереження результату	–	–
Тип акумулятора	Li-Ion	Li-Pol	Ni-cd	інші	–
Корпус	Гума	Силікон	Пластик	Метал	–

Головна проблема: з часом більшість аналогових приладів замінюються на цифрові. Зараз люди потребують сучасний прилад, який буде вимірювати відстань одним натисканням кнопки.

Список мінімальних життєздатних продуктів (англ. *minimum viable product* — MVP):

- 1) Вимірювання відстані за допомогою рук та ніг. Даний метод є дуже неточним.

- 2) Перші лінійки з каменю знайдені гробниці Аперія в Саккарі. Предмет досить габаритний та незручний.
- 3) Вимірювально рулетка, що до сих пір використовується більшістю людей. Точність сильно варіюється від моделі до моделі.
- 4) Ультразвуковий вимірювач відстані є більш сучасним, але точність невисока.
- 5) Лазерні вимірювачі відстані є сучасним, точним та багатофункціональним приладом вимірювання. Має вбудовані функції збереження результату, розрахунку площі/об'єму тощо.
- 6) Використання смартфона як засобу для вимірювання відстані. На сьогодні деякі моделі нових смартфонів вже мають таку функцію.

Задум товару:

- 1) Товар за задумом. Компактний, легкий прилад для вимірювання відстані без додаткових зусиль.
- 2) Товар у реальному виконанні. Прилад з формою паралелепіпеда закругленого по краям для комфортного користування. Живлення відбувається від акумуляторів або батарейок 3 x 1,5 В.
- 3) Товар з підкріпленням. Гарантійний термін експлуатації становить 3 роки. Можливі варіанти додаткових функцій за бажанням замовника.

Таблиця 5.3 — Шляхи покращення у форматі питання-відповідь

№ з/п	Запитання	Відповідь
1	2	3
1	Частиною яких систем є продукт?	Цей продукт є складовою системою — Оптиелектронних приладів.
2	Чи можна розділити продукт на частини?	Можна.
3	Чи можна об'єднати кілька елементів продукту в один?	Ні.
4	Чи можна нерухомі частини продукту зробити рухомими і навпаки?	Ні.

Продовження таблиці 5.3

1	2	3
5	Яким має бути ідеальний продукт?	Мінімальні габарити з високою потужністю, при збереженні MVP.
6	Що відбудеться, якщо вилучити цей продукт? Чим його можна замінити?	Будуть використовуватися старі прилади.
7	Яким цей продукт був у минулому?	Лінійкою з каменю.
8	На розвиток яких функцій було спрямоване удосконалення продукту?	Перш за все удосконалювалися ультразвукові та лазерні датчики, цим самим збільшуючи точність вимірювання.
9	Як можна натепер розвинути ці функції?	Шляхом створення більш точних лазерів та впровадження технологій в смартфон.

Відбір найцікавіших ідей і формування списку.

Ідеї:

- 1) Повна відмова від окремого приладу та використання камери смартфона як джерело інформації.
- 2) Інтеграція вимірювача відстані в розумні годинники.
- 3) Додавання дальноміра до конструкції безпілотного літального апарату (БЛА) для вимірювання висоти.

Наступним кроком є об'єднання знайдених ідей, їх агрегування або комбінування.

Агрегування:

- 1) Додавання лазерного датчика в смартфон для більш точного вимірювання.
- 2) Датчик із смарт-годинника буде передавати дані на смартфон.
- 3) Інтегрування датчика в розумні окуляри для вимірювання відстані одним поглядом.

Таким чином отримано три додаткові ідеї. Кількість продуктивних та унікальних ідей збільшено до десяти. Навіть без їх ретельного аналізу, якщо

скласти морфологічну таблицю, то можна отримати близько 30–40 якісно нових ідей.

Відбираємо найбільш працездатні ідеї, перевіряємо їх на своєчасність. Для цього необхідно за кожною з отриманих ідей відповісти на три запитання: що вийшло; де це можна використати; кому це потрібно.

Ідея 1. Камера смартфона як джерело інформації для вимірювання відстані:

- камери встановлені в кожному смартфоні;
- можна використовувати в повсякденному житті;
- будь хто зі смартфоном з камерою.

Ідея 2. Вимірювач відстані в розумному годиннику:

- портативний прилад;
- можна використовувати в повсякденному житті;
- будь-хто.

Ідея 3. БЛА-вимірювач відстані:

- БЛА що має можливість вимірювати висоту;
- можна використовувати на будівництві або на високих об'єктах;
- будь-хто.

Агрегування 1. Смартфон із вбудованим лазерним вимірювачем відстані:

- лазерний датчик інтегрований в смартфон;
- в повсякденному житті;
- всім людям.

Агрегування 2. Смарт-годинник + вимірювач відстані:

- передає дані на смартфон;
- будь-де;
- кожній людині.

Агрегування 3. Розумні окуляри з вимірювачем відстані:

- датчик інтегрований в оправу окулярів;
- будь-де;

— кожній людині.

Перелічимо знайдені нами рішення в тому порядку, у якому їх можна пропонувати ринку (табл. 5.4). Таким чином, у табл. 5.4. наведено цілі організації на найближчі 5, 15, 25 років. Крім того, є план виведення на ринок нового продукту і його постійного відновлення. Якби було пройдено всі етапи ретельно, без пропусків, то одержали б стратегічний план розвитку продукту із щорічною програмою відновлення.

Таблиця 5.4 — Цілі організації на майбутнє

Етапи	Продукти (послідовність заміщення)		
Минуле століття	Вимірювання відстані руками або ногами	Вимірювання за допомогою лінійки	—
Сьогодні	Ідея 1. Камера смартфона як джерело інформації для вимірювання відстані	—	—
Завтра	—	Дрон-вимірювач відстані	Ідея 2. Вимірювач відстані в розумному годиннику
Післязавтра	—	—	—
Прилади XXI століття	Агрегування 1. Смартфон із вбудованим лазерним вимірювачем відстані	Агрегування 3. Розумні окуляри з вимірювачем відстані	Агрегування 2. Смарт-годинник + вимірювач відстані

Маючи подібну програму, можна до кожного сезону пропонувати чергове нововведення. Як тільки конкуренти сприймуть таку ініціативу і почнуть тиражувати нововведення, можна виходити на ринок і пропонувати споживачам оновлений продукт, випереджаючи конкурентів.

5.3 Приклад бізнес-моделі

Дев'ять структурних блоків, змінюючи які можна отримати більшість бізнес-моделей, наведені в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 — Бізнес-модель

Характеристика	Значення
Ключові партнери	Powerfix, Kronos
Ключові види діяльності	1) Розробка конструкції 2) Створення необхідного програмного забезпечення.
Ключові ресурси	Інтелектуальні: конструктор, менеджер з реклами, дипломат. Матеріальні: ПК, робоче місце Фінансові: 50 тис дол. США
Цінова пропозиція	Новизна: малі габарити у порівнянні з уже існуючими приладами. Низька ціна.
Взаємовідносини з клієнтами	Служба підтримки, спільноти в соціальних мережах, сервісний центр
Канали збуту	Магазини електроніки, інтернет-магазини
Споживчі сегменти	1) Люди, які працюють в сфері будівництва. 2) Люди що роблять(або планують) вдома ремонт. 3) Спорт.
Структура витрат	Оренда приміщення: 20000 грн Комплектуючі: 480000 грн Реклама 100000 грн Юридичні послуги: 12000 грн/міс. ЗП працівників: 430000 грн
Потоки доходів	Продаж продукту, реклама, використання патенту на продукт

5.4 Розробка ринкової стратегії проекту

Розробка ринкової стратегії передбачає визначення стратегії охоплення ринку, тобто аналіз цільових груп потенційних споживачів, який наведено в табл. 5.6.

Таблиця 5.6 — 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	2	3	4	5	6
1	Сфера будівництва	Готові використовувати	Високий	Середня	Середня

Продовження таблиці 5.6

1	2	3	4	5	6
2	Домашнє використання	Готові використовувати	Середній	Середня	Середня
3	Спортсмени	Готові використовувати	Середній	Середня	Середня

Обрана стратегія розвитку проекту та альтернативи наведено в табл. 5.7.

Таблиця 5.7 — Визначення базової стратегії розвитку

п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Розробка приладу високотехнологічними методами	Кращі функції за ту саму ціну на відміну від конкурентів	Висока доступність	Стратегія зайняття конкурентної ніші

Характеристики конкурентної поведінки наведено в табл. 5.8.

Таблиця 5.8 — Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Так	Так, наявність екрану та лазерного датчика	Оборонна війна

Вимоги до товару та інші характеристики для підвищення конкурентоспроможності наведено в табл. 5.9.

Таблиця 5.9 — Визначення стратегії позиціонування

п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту
1	Швидкість роботи, захищеність від ударів, комфорт користування, простота у використанні	Стратегія фокусування	Висока якість та доступність продукту	Ціна — якість

Визначено потреби, переваги та концепції потенційного товару, які наведено в табл. 5.10.

Таблиця 5.10 — Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Потреба людей швидко виміряти відстань в будь-якій ситуації	Компактний, портативний пристрій, який дозволить виміряти відстань будь де	Ціна Характеристики приладу: більше функцій, краща точність

Описано товар з точки зору задуму та реального виконання, дані наведено в табл. 5.11.

Таблиця 5.11 — Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
1	2
За задумом	Зручний і простий у використанні вимірювач, який призначений для вимірювання відстані.
У реальному виконанні	Властивості/характеристики: 1) якість приладу; 2) точність вимірювання; 3) зручність;

Продовження таблиці 5.11

1	2
	4) надійність; 5) дизайн/стиль.
	Якість: висока
	Пакування: картонна коробка в середині спеціальне місце приладу
	Марка: Ruler inc., R-1
Із підкріпленням	До продажу: налаштування під окремого клієнта
	Після продаж: гарантія, сервісне обслуговування

Проведено аналіз цін товарів-аналогів та встановлено цінові межі, що наведено в табл. 5.12.

Таблиця 5.12 — Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	700–8000	2000–6000	15–20 тис. грн	1000–5000 грн

Розроблено оптимальну систему збуту, що наведено в табл. 5.13.

Таблиця 5.13 — Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	1) Торгівля через магазини, що належать виробнику 2) Посилкова торгівля 3) Торгівля в роздріб	Створення нових моделей приладу, оновлення ПЗ старих моделей	1	Через магазини електроніки та торгові центри

Розроблено концепцію комунікацій, що наведено в табл. 5.14.

Таблиця 5.14 — Концепція комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Акцент на співвідношення ціни та якості	Соціальні мережі Порада від знайомого	Ціна, надійність, якість	Зацікавити клієнта	Заохотити покупця замінити свій поточний інструмент для вимірювання на новий

Проведено аналіз ринкових моделей, потенційних груп споживачів, стратегій конкурентної поведінки та сформовано систему збуту.

5.1 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Проведено визначення ринкових можливостей, що можна використати під час впровадження проекту. Також проаналізовано фактори загроз, що можуть перешкодити реалізації проекту.

Таблиця 5.15 — Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	4
2	Загальний обсяг продаж, грн/у.о	1000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	стагнує
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Невідомо
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Існують
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	7,2 Рентабельність операційної та всієї діяльності великих та середніх підприємств за видами економічної діяльності промисловості за січень-червень 2019 року

Потенційні групи клієнтів наведено в табл. 5.16.

Таблиця 5.16 — Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Потреба в точному вимірюванні за малий проміжок часу без великих фізичних затрат	Чоловіки та жінки від 20 до 50 років	Відповідність стандартам ЕС Ціна продукту	до продукції: якість до компанії-постачальника: популярність

Проаналізовано ринкове середовище, а саме фактори, які перешкоджають ринковому впровадженню проекту.

Таблиця 5.17 — Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Вихід на ринок нових конкурентів	Зменшення продажів товару	Реклама, покращення товару та акційні пропозиції
2	Криза	Підвищення вартості складових компонентів приладу	Проведення аналізів фінансових показників та корекція цін на продукцію
3	Новий метод вимірювання	Зменшення продажів	Адаптація до нового методу

Проаналізовано ринкове середовище, а саме фактори, які сприяють ринковому впровадженню проекту.

Таблиця 5.18 — Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	2	3	4
1	Вдосконалення вже існуючого методу вимірювання	Покращення продукту	Розробка вдосконаленого методу
2	Покращення фінансової ситуації цільового сегменту ринку	Збільшення попиту	Можливе підвищення ціни

Продовження таблиці 5.18

1	2	3	4
3	Зниження якості продукту конкурентів	Збільшення кількості клієнтів	Збільшення прибутків компанії, позитивна реакція

Проведено ступеневий аналіз конкуренції на ринку.

Таблиця 5.19 — Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції — олігополія	На ринку існує невелика кількість фірм зі схожою тематикою продукції	Контроль якості, контроль ціни
2. За рівнем конкурентної боротьби — національний	Даний прилад може конкурувати на території України	Активна реклама як по ТБ так і в соціальних мережах
3. За галузевою ознакою — внутрішньогалузева	Галузь оптоелектронних пристроїв та систем.	Розширення асортименту в даному сегменті на ринку
4. Конкуренція за видами товарів — товарно-видова	Прилад конкурує зі схожими за типом іншими приладами лише за рахунок більшої якості та меншої вартості.	Підвищення якості продукції
5. За характером конкурентних переваг — цінова	Ціна один з головних переваг даного приладу	Зменшення ціни продукції
6. За інтенсивністю — марочна	Використання торгової марки	Реклама по ТБ та в соціальних мережах

Проведено аналіз конкуренції за М. Портером.

Таблиця 5.20 — Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Stanley Telemetre	Висока конкуренція, ліцензування, недовіра до нових технологій	Змінні витрати постачальника	Звичайні люди	Копії оригінального товару з гіршими характеристиками
Висновки:	Наявність конкурентів сприяє покращенню якості продукту	Вихід на ринок від 5 до 10 років	Ні, постачальники нав'язують свою ціну, а покупець аналізує необхідність	Клієнти створюють попит на продукцію	Зменшиться кількість потенційних клієнтів

Із отриманих вище даних отримано наступний висновок, що незважаючи на наявність конкурентів, продукт має право на існування за умови наявності в нього характеристик, які позитивно відрізняють його від продукту конкурентів.

Проведено аналіз факторів конкурентоспроможності, що наведено в табл. 5.21.

Таблиця 5.21 — Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна	За рахунок дешевої матеріальної бази
2	Якість	За рахунок підвищення кваліфікації робітників, що створюють прилад
3	Швидкість вимірювання	Вимірювання відбувається натисканням однієї кнопки

Проаналізовано сильні та слабкі сторони проекту у порівнянні із продуктами конкурентів.

Таблиця 5.22 — Фактори проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів–конкурентів у порівнянні						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Якість	18			+				
2	Ціна	15	+						
3	Інформаційне забезпечення	12		+					

Проведено аналіз сильних та слабких сторін проекту, а також можливостей та загроз (англ. *Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats* — *SWOT*), що наведено в табл. 5.23.

Таблиця 5.23 — *SWOT*-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Якість Ціна Комфорт та швидкість роботи	Слабкі сторони: Неготовність до нових технологій Нова компанія
Можливості: Вдосконалення вже існуючого методу вимірювання Збільшення рівня доходів населення	Загрози: Вихід на ринок нових конкурентів Криза Продукт-замінник

Із вище написаного аналізу можна зробити висновок, що даний проект можливо реалізувати, так як існує попит на таку продукцію.

ВИСНОВКИ

1. Проведено огляд існуючих рішень, із чого можна зробити висновок, що деякі моделі електронних вимірювачів відстані не мають додаткових функцій при вимірюванні, незважаючи на досить високу ціну.
2. Створено макет для дослідження датчиків. Для фільтрації вирішено використовувати медіанний фільтр та фільтр «Рухоме середнє». Реалізовано функції фільтрації мовою програмування C++. Проведено огляд існуючих на ринку датчиків. Проаналізовано характеристики деяких з них.
3. Для кожного датчика зібрано макет, проведено налаштування та перевірку роботи, описано принципи роботи, проведено вимірювання та аналіз отриманих результатів.
4. Із аналізу результатів вимірювань зроблено висновок, що на практиці більшість із досліджуваних датчиків демонструють характеристики, що не відповідають заявленим від виробника. Це може бути пов'язано з тим, що дослідження проводились не в умовах обладнаної лабораторії, а в домашніх умовах через обмеження, які пов'язані з пандемією коронавірусної хвороби, тобто можливий вплив зовнішніх факторів, електромагнітних перешкод на покази датчиків, а також недосконалість використаних саморобних конструкцій та пристосувань. Дані отримані із ультразвукового датчика є найкращими ($\Delta_{max}=5,67$ мм та $\Delta_{min}=-2,67$ мм в порівнянні із заявленими виробником ± 3 мм) відносно інших датчиків, що досліджувалися.
5. Проведено аналіз існуючих схемотехнічних рішень в яких використовується ультразвуковий датчик. Спроектовано схему електричну принципову. Розраховано мінімальні ширини провідників та інші параметри трасування плати. Проведено трасування друкованої плати. Розроблено модель корпусу для приладу.

6. Розроблений пристрій має наступні параметри:

- тип ультразвуковий;
- діапазон вимірювання 2–400 см;
- похибка від -2,67 мм до 5,67 мм;
- живлення 3 x AAA (4,5 В);
- розміри 164 x 95,5 x 30,6 мм;
- неперервне вимірювання;
- час вимірювання < 1 с;
- передача показань на сумісний *Bluetooth* прилад (наприклад, смартфон).

7. Створити більш якісний вимірювач відстані в домашніх умовах дуже важко, так як на ринку достатньо мала кількість окремих датчиків відстані, до того ж їх якість вимірювання залишає бажати кращого. При розробці електронного вимірювача відстані, найкращим рішенням буде заручитися підтримкою відомого виробника.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Лазерный дальномер Stark LD-60 (290090060) — Rozetka.com.ua [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://rozetka.com.ua/stark_290090060/p19900405/ — Назва з екрану.
2. ДАЛЬНОМЕР УЛЬТРАЗВУКОВОЙ VOREL 0.91-15 М — Virok [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://topex.net.ua/ru/dalnomir-ultrazvukovij-vorel-091m-636.html> — Назва з екрану.
3. Лазерный дальномер Bosch Professional GLM 40 (0601072900) — Rozetka.com.ua [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://rozetka.com.ua/bosch_0601072900/p2619632/ — Назва з екрану.
4. Лазерный дальномер Einhell TC-LD 50 (2270080) — Rozetka.com.ua [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://rozetka.com.ua/einhell_2270080/p20388433/ — Назва з екрану.
5. Лазерный дальномер Stanley TLM 50 (STHT1-77409) — Rozetka.com.ua [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://rozetka.com.ua/stanley_stht1_77409/p120818416/ — Назва з екрану.
6. HC-05 Bluetooth to Serial Port Module [Электронный ресурс]. — https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/HC-05%20Datasheet.pdf — Назва з екрану.
7. Медианный фильтр — wikipedia.org com [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%84%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80 — Назва з екрану.
8. ФИЛЬТРЫ ЗНАЧЕНИЙ ДЛЯ ARDUINO — Alexgyver.ru [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://alexgyver.ru/gyverfilters/> — Назва з екрану.

9. Sharp GP2Y0A21YK0F IR Range Sensor — RobotShop.com [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.robotshop.com/en/sharp-gp2y0a21yk0f-ir-range-sensor.html> — Назва з екрану.
10. HC-SR04 — РКС Компоненти [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/hc-sr04_103102.html — Назва з екрану.
11. Датчик расстояния лазерный CJVL53L0XV2 — Rozetka.com.ua [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://rozetka.com.ua/238498033/p238498033/> — Назва з екрану.
12. Погрешности измерений, Методическая разработка по общему физическому практикуму [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://window.edu.ru/resource/193/39193/files/errors.pdf> — Назва з екрану.
13. Методы обработки результатов измерений и оценки погрешностей в учебном лабораторном практикуме [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://portal.tpu.ru/departments/kafedra/tief/method_work/method_work2/lab1/LabsMechMolecFiles/obrabotka.pdf — Назва з екрану.
14. Ultrasonic Ranging Module HC - SR04 [Электронный ресурс]. — <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf> — Назва з екрану.
15. Ультразвуковой датчик расстояния Ардуино HC-SR04 — ArduinoMaster.ru [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/ultrazvukovoj-dalnomer-hc-sr04/> — Назва з екрану.
16. GP2Y0A21YK0F [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf — Назва з екрану.
17. VL53L0X [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l0x.pdf> — Назва з екрану.

18. Ultrasonic range finder using arduino [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.circuitstoday.com/ultrasonic-rangefinder-using-arduino> — Назва з екрану.
19. ULTRASONIC DISTANCE METER CIRCUIT WITH PIC16F873 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://320volt.com/en/pic16f873-ile-display-gostergeli-ultrasonik-mesafe-olcumu/> — Назва з екрану.
20. Circuit diagram of the ultrasonic rangefinder based on micro-controller [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.researchgate.net/figure/circuit-diagram-of-the-ultrasonic-rangefinder-based-on-micro-controller_fig2_271892131 — Назва з екрану.

ЦВЕТКОВ В.І. РІ-91МГ, 2020

ДОДАТОК А

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію
«Електронний вимірювач відстані»

ЦВЕТКОВ В.І. РП191МП, 2020

1 Підстава для виконання

Підставою для виконання магістерської дисертації (МД) є завдання, видане кафедрою радіоконструювання та виробництва радіоапаратури, керівник та тема МД затверджені наказом № 3223-с від «05» 11 2020 р.

Термін виконання:

початок 02 вересня 2020 р,

закінчення: 11 грудня 2020 р.

2 Мета і призначення магістерської дисертації

Існуючі прилади для вимірювання відстані бувають різних типів. Найсучасніші з них це електронні вимірювачі відстані, які можна класифікувати в залежності від чутливого елемента на ультразвуковій та лазерній. Також їх можна класифікувати за призначенням, відстанню та точністю вимірювання.

Метою МД є проведення та аналіз вимірювань електронних вимірювачів відстані різного типу.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

- розробка конструкції макета для проведення вимірювань;
- розробка методики вимірювання для зменшення похибки вимірювань;
- проведення вимірювання з різними типами датчиків;
- аналіз результатів моделювання, висновки та рекомендації;

3 Вихідні дані для проведення магістерської дисертації

Данна робота є продовженням бакалаврської атестаційної роботи Цветкова В.І. на тему «Ультразвуковий дальномір». Основні джерела:

1. Патент ЦИФРОВИЙ ВИМІРЮВАЧ [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=139790&chapter=biblio>

2. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://window.edu.ru/resource/193/39193/files/errors.pdf>

4 Виконавці МД

Виконавець — магістрант гр. РІ-91мп Цветков Владислав Ігорович.

5 Вимоги до виконання МД

- проаналізувати представлені на ринку пристрої для вимірювання відстані, визначити їх переваги та недоліки;
- розробити конструкцію макета для проведення вимірювань з мінімальною похибкою;
- розробити алгоритм фільтрації даних для зменшення впливу шумів та інших зовнішніх факторів;
- забезпечити однакові умови при проведенні вимірювань для конкретного датчика;
- розрахувати абсолютні та відносні похибки та побудувати графіки;

6 Етапи магістерської дисертації та термін їх виконання

№	Назви етапів	Термін виконання		Форма звітності
		початок	кінець	
1	Аналіз джерел інформації за напрямом дослідження	02.09.2020	30.09.2020	Звіт магістра, Розділ 1 МД
2	Проведення експерименту	01.10.2020	31.10.2020	Звіт магістра, Виступ на конференції Розділ 2 МД
3	Комп'ютерне опрацювання результатів	01.11.2020	20.11.2020	Звіт магістра, Розділ 3 МД
4	Представлення результатів МД	21.11.2020	11.12.2020	Магістерська дисертація, презентація
5	Захист МД	21.12.2020		

7 Очікувані результати та порядок реалізації МД

В процесі виконання даної МД мають бути одержані такі результати:

- аналіз існуючих приладів та можливих проблем при їх використанні;
- макет для вимірювання;
- розраховані похибки вимірювань для кожного з типів сенсорів;
- порівняння результатів вимірювань для різних типів сенсорів;
- матеріали доповіді на конференції РТПСАС;

8 Матеріали, які подають під час закінчення МД та її етапів

Результати виконання етапів МД подаються керівнику. Після закінчення роботи подаються такі матеріали:

- завдання;
- технічне завдання;
- пояснювальна записка;
- мультимедійна презентація;

9 Орієнтовний зміст магістерської дисертації

Зміст

Вступ

1 Огляд існуючих рішень

1.1 Огляд ринку

1.2 Розробка макета вимірювання

1.3 Розробка алгоритму фільтрації даних

Висновки за розділом 1

2 Проведення вимірювання

2.1 Вимірювання за допомогою ультразвукового сенсора

2.2 Вимірювання за допомогою інфрачервоного сенсора

2.3 Вимірювання за допомогою лазерного сенсора

Висновки за розділом 2

3 Аналіз результатів вимірювання

Висновки за розділом 3

4 Розробка пристрою

5 Розробка стартап-проекту

Висновки

Перелік джерел посилань

Додатки

10 Порядок приймання МД та її етапів

Періодичне обговорення проміжних результатів МД на консультаціях з науковим керівником;

подання звітів за індивідуальним планом;

представлення завершеної МД кафедри;

попередній захист МД;

публічний захист дисертації перед ЕК.

КЕРІВНИК

асист. Зінгер Я.Л.

ВИКОНАВЕЦЬ

Цветков В.І.

ЦВЕТКОВ В.І. РІ-91 МД, 2020

ДОДАТОК Б ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

ЕЛЕКТРОННИЙ ВИМІРЮВАЧ ВІДСТАНІ

Цветков В.І., магістрант; Зінгер Я.Л., асистент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

В наш час швидкого розвитку технологій людство намагається полегшити собі життя у багатьох сферах праці. Наразі велика кількість техніки яка раніше керувалась за допомогою тумблерів, дротяних пультів та інших елементів стає «розумною» за рахунок встановлення мікроконтролерів та бездротових передавачів. Те саме сталося і з вимірювальними рулетками. Вони були замінені на більш сучасні електронні вимірювачі відстані які є зручнішими у використанні.

Електронні вимірювачі відстані можна класифікувати в залежності від чутливого елементу на ультразвукові та лазерні.

Дана робота присвячена саме розробці такого пристрою та дослідженні чутливих елементів. На рис. 1 наведено структурну схему ультразвукового вимірювача відстані.

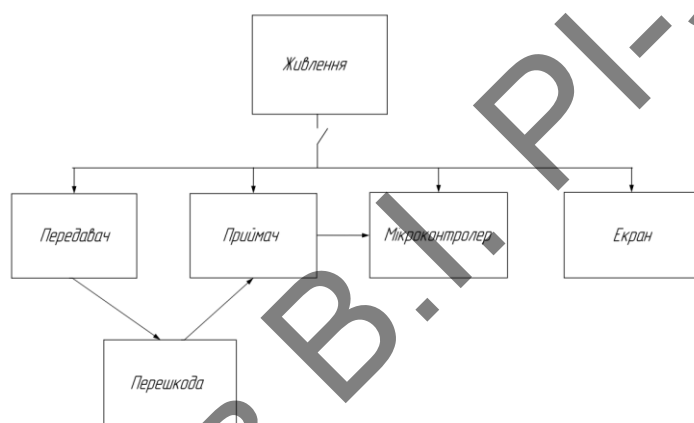


Рисунок 1. Структурна схема пристрою

До всіх елементів приладу підключене живлення 5 В. Алгоритм роботи пристрою: передавач випромінює сигнал, приймач, в свою чергу, приймає відлуння цього сигналу. Знаючи швидкість звуку (340 м/с) та час за який сигнал повернувся до приймача, можна розрахувати відстань до об'єкта, мікроконтролер оброблює сигнал та відображає дані у зручному вигляді на екрані.

Недолік такого типу вимірювачів в тому, що вони мають не великий діапазон вимірювання (від 0,02 м до 4 м) [1]. Єдиною перевагою ультразвукового вимірювача відстані є його ціна (від 200 грн) та можливість вимірювати відстань до прозорих об'єктів.

Більш сучасними, ефективними та компактними є лазерні вимірювачі відстані, які у порівнянні з ультразвуковими вимірювачами відстані дозволяють швидше і з великою точністю визначати відстані до об'єктів. Основними характеристиками такого типу приладів є: мінімальна (від 3 мм) та максимальна робоча відстань (до 40 км), похибка вимірювання (від 10^{-12} м), тип живлення (від 3 В до 32 В), наявність та тип екрану, додаткові фун-

кції (додавання і віднімання розмірів, обчислення об'єму і т. п.) та вартість (від 500 грн) [2, 3]. Головним недоліком лазерного вимірювача відстані є неможливість вимірювання відстані до прозорих об'єктів.

Принцип роботи лазерного вимірювача відстані майже такий самий, як і в ультразвукового. Відрізняється лише тим, що вимірювання відбувається за допомогою лазерного випромінювача, сигнал з котрого приймається за допомогою детектора випромінювання.

Один з ультразвукових модулів, що досліджуються є датчик HC-SR04 [4]. Отримані дані з даного датчика необхідно відфільтрувати для того, щоб отримати стабільне значення відстані. Для цього вирішено використати медіанний фільтр та фільтр рухоме середнє. Медіанний фільтр на відміну від середнього арифметичного, знаходить «середнє серед середніх», а не серед всіх, тобто відсіває різкі зміни сигналу. Алгоритм роботи фільтра наступний:

- 1) значення сигналу додаються у масив;
- 2) масив сортується за збільшенням або зменшенням значень;
- 3) обирається медіанне значення з даного масиву.

Наступним кроком є обробка сигналу за допомогою інструмента аналізу часових рядів — рухоме середнє. Рухоме середнє — практично те ж середнє арифметичне, але алгоритм набагато простіший — замість масиву одне значення, яке оновлюється з нового значення і коефіцієнта посилення, тобто даний алгоритм має ще й налаштування «різкості» фільтрації. Загальний алгоритм можна описати наступним чином:

$$a = y \cdot k + a_n \cdot (1 - k),$$

де: a — фільтрована величина; y — нова величина для фільтрації; k — коефіцієнт фільтрації (від 0 до 1, чим більша різниця між попереднім та наступним фільтрованим значенням, тим більший коефіцієнт); a_n — попередня фільтрована величина.

Проведено експеримент із трьома модулями HC-SR04. Для зменшення похибки вимірювання вирішено провести по три вимірювання на кожний модуль. Обрано крок вимірювання 10 см. На рис. 2 наведено фото макету.

Після всіх вимірювань розраховано абсолютну похибку Δ :

$$\Delta = |x - x_i|,$$

де: x — результат вимірювання; x_i — істинне значення. Розраховано відносну похибку δ :

$$\delta = \frac{\Delta}{x_i} \cdot 100,$$



Рисунок 2. Вимірювальний макет

де: Δ — абсолютна похибка; x_i — істинне значення. За отриманими значеннями побудовано графік, що зображено на рис. 3.

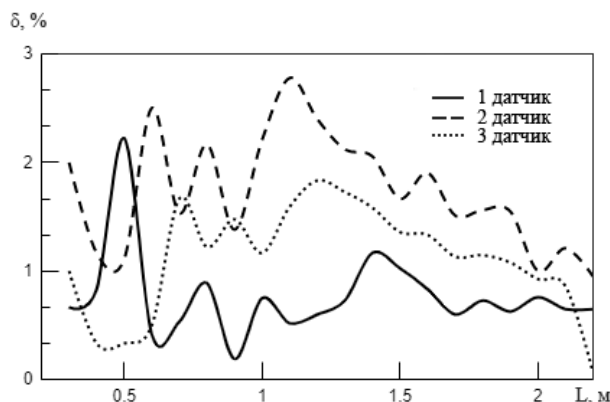


Рисунок 3. Залежність відносної похибки від відстані до перешкоди.

З одержаних результатів можна зробити висновок, що при використанні даного типу модулю необхідно обов'язково проводити попереднє тестування, перед встановленням в пристрій, проте похибка отримана при експерименті повністю відповідає заявленим параметрам від виробника в Datasheet. В подальшій роботі планується дослідження ІЧ модуля Sharp GP2Y0A21YK0F.

Перелік посилань

1. Use an Arduino to make a range finder that measures distance using ultrasonic technology. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://maker.pro/arduino/tutorial/how-to-make-an-arduino-uno-ultrasonic-range-finder> — Назва з екрану.
2. IDS3010 Ultra precision optical sensor for industry applications [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <https://www.wittenstein.de/download/ids3010-nano-precise-measurement-flyer-en.pdf> — Назва з екрану.
3. Solid-state laser rangefinders [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.jenoptik.com/products/lidar-sensors-technologies/laser-rangefinders/oem-modules-system-integration/elem> — Назва з екрану.
4. Ultrasonic Ranging Module HC - SR04 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf> — Назва з екрану.

Анотація

Розглянуто сучасні тенденції розвитку, основні характеристики, переваги та недоліки основних типів електронних вимірювачів відстані. Проведено дослід з вимірюванням на ультразвуковому модулі HC-SR04.

Ключові слова: вимірювач відстані, ультразвуковий вимірювач, HC-SR04.

Abstract

The article deals with the current development trends, main characteristics, advantages and disadvantages of the main types of electronic distance meters. An experiment with distance measurement was carried out and the errors were calculated.

Keywords: electronic distance meters, ultrasonic rangefinder.

ДОДАТОК В ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАТЧИКА

```
#include <NewPing.h>
#include <SoftwareSerial.h>

#define PIN_TRIG 11
#define PIN_ECHO 10

#define BT_TX 12
#define BT_RX 13

#define MAX_DISTANCE 400

float dist, dist_filtered, k;
byte delta;

NewPing sonar(PIN_TRIG, PIN_ECHO, MAX_DISTANCE);

SoftwareSerial btSerial(BT_TX, BT_RX);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  btSerial.begin(9600);
}

void loop() {
  delay(50);

  Serial.print("Distance: ");
  btSerial.print("Distance: ");

  dist = sonar.ping_median() / (float)57.5;
  if (dist != 0)
  {
    delta = abs(dist_filtered - dist);
    if (delta > 1)
    {
      k = 0.7;
    }
    else
    {
      k = 0.1;
    }
  }
}
```

```
    }  
  }  
  
  dist_filtered = dist * k + dist_filtered * (1 - k);  
  
  Serial.print(dist_filtered, 1);  
  Serial.println(" cm");  
  
  btSerial.print(dist_filtered, 1);  
  btSerial.println(" cm");  
}
```

ЦВЕТКОВ В.И. РП-91МП, 2020

ДОДАТОК Г ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ДЛЯ ІНФРАЧЕРВОНОГО ДАТЧИКА

```
#define PIN_IR A1
#define ARRAY_SIZE 3

float volt_array[ARRAY_SIZE];
float volt, volt_filtered, dist;
float k;
float volts, delta;
int value;

byte index;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  if (++index > 2) {
    index = 0;
  }

  value = analogRead(PIN_IR);

  volt_array[index] = (float)(value * 5) / 1024;
  volt = middle_of_3(volt_array[0], volt_array[1], volt_array[2]);

  delta = abs(volt_filtered - volt);
  if (delta > 0.1)
  {
    k = 1;
  }
  else
  {
    k = 0.05;
  }

  volt_filtered = volt * k + volt_filtered * (1 - k);

  dist = getDistance(volt_filtered);
  Serial.print("Distance: ");
  Serial.print(dist, 1);
```

```
Serial.println(" cm");

delay(100);
}

float getDistance(float volts) {
    return 14.87 * pow(volts, 6) - 156.09 * pow(volts, 5) + 660.1 * pow(volts, 4)
    - 1447.7 * pow(volts, 3) + 1756.9 * pow(volts, 2) - 1149.9 * volts + 347.59;
}

float middle_of_3(float a, float b, float c) {
    float middle;
    if ((a <= b) && (a <= c)) {
        middle = (b <= c) ? b : c;
    }
    else {
        if ((b <= a) && (b <= c)) {
            middle = (a <= c) ? a : c;
        }
        else {
            middle = (a <= b) ? a : b;
        }
    }
    return middle;
}
```

ДОДАТОК Д ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ДАТЧИКА

```
#include "Adafruit_VL53L0X.h"
#include <SoftwareSerial.h>

#define BT_TX 12
#define BT_RX 13

Adafruit_VL53L0X sensor = Adafruit_VL53L0X();
SoftwareSerial btSerial(BT_TX, BT_RX); // TX, RX

int dist_array[3] = {0, 0, 0};
int dist, delta, final_dist;
float k, dist_filtered;
byte index;

const int OFFSET_CONST = 10;

bool print_to_serial = false;

void setup() {
  Serial.begin(115200);

  if (!print_to_serial) {
    btSerial.begin(9600);
  }

  // wait until serial port opens for native USB devices
  while (!Serial) {
    delay(1);
  }

  Serial.println("Adafruit VL53L0X test");

  /*VL53L0X_SENSE_DEFAULT,
  VL53L0X_SENSE_LONG_RANGE,
  VL53L0X_SENSE_HIGH_SPEED,
  VL53L0X_SENSE_HIGH_ACCURACY*/
  if (!sensor.begin(sensor.VL53L0X_SENSE_HIGH_ACCURACY)) {
    Serial.println(F("Failed to boot VL53L0X"));
    while (1);
  }
}
```

```

// power
Serial.println(F("VL53L0X API Simple Ranging example\n\n"));
}

void loop() {
  if (++index > 2) {
    index = 0;
  }

  VL53L0X_RangingMeasurementData_t measure;
  sensor.getSingleRangingMeasurement(&measure); // pass in 'true' to get
  debug data printout!

  if (measure.RangeStatus != 4) { // phase failures have incorrect data
    dist_array[index] = measure.RangeMilliMeter;
  } else {
    dist_array[index] = 0;
  }

  dist = middle_of_3(dist_array[0], dist_array[1], dist_array[2]);

  if (dist != 0) {
    delta = abs(dist_filtered - dist); // расчёт изменения с предыдущим
    if (delta > 5)
    {
      k = 1.0; // если большое - резкий коэффициент
    }
    else
    {
      k = 0.11; // если маленькое - плавный коэффициент
    }
    dist_filtered = dist * k + dist_filtered * (1 - k);
    final_dist = round(dist_filtered) - OFFSET_CONST;
  } else {
    dist_filtered = 0;
    final_dist = 0;
  }

  Serial.print("Distance: ");
  Serial.print(final_dist);
  Serial.println("mm");

  delay(400);

```

```
}  
  
int middle_of_3(int a, int b, int c) {  
    int middle;  
    if ((a <= b) && (a <= c)) {  
        middle = (b <= c) ? b : c;  
    }  
    else {  
        if ((b <= a) && (b <= c)) {  
            middle = (a <= c) ? a : c;  
        }  
        else {  
            middle = (a <= b) ? a : b;  
        }  
    }  
    return middle;  
}
```

ЦВЕТКОВ В.И. РП-91МП, 2020