

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

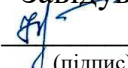
(повна назва інституту/факультету)

Конструювання електронно-обчислювальної апаратури

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

 Лисенко О.М.
(підпис) (ініціали, прізвище)

“15” червня 2021р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

172 ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА
зі спеціальності (спеціалізації) _____
(код та назва спеціальності)

"Парктронік з керуванням через смартфон"

на тему: _____

Виконав (-ла): студент (-ка) IV курсу, групи ДК-72
(шифр групи)

Коваленко Олександр Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

доц., доц., к. т. н. Кучернюк П.В.

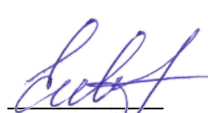
Керівник _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

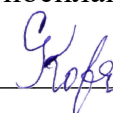
Консультант _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

доц., доц., к. т. н. Іванько К.О.

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)


(підпис)

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

Студент  (підпис)

Київ – 2021 року

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

Електроніки

Інститут/факультет _____
(повна назва)

Конструювання електронно-обчислювальної апаратури
Кафедра _____
(повна назва)

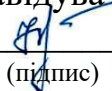
Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

172 ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

Спеціальність (спеціалізація) _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 Лисенко О.М.
(підпис) (прізвище ініціали)

«02» квітня 2021р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломний проект (роботу) студенту**

Коваленко Олександр Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) "Парктронік з керуванням через смартфон"

керівник проекту (роботи) Кучернюк Павло Валентинович, доцент, к. т. н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «24» травня 2021 р. №1316

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10.06.2021

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Спроектувати пристрій для вимірювання відстані до об'єктів та виведення отриманих результатів на смартфон через Bluetooth. Система включає в себе блок введення даних – ультразвуковий дальномір, блок обробки даних – мікроконтролер, блок виведення даних – Bluetooth модуль та блок відтворення даних – екран смартфона. Пристрій призначений для експлуатації в автомобілі. Кліматичне виконання УХЛ 2.1 за ГОСТ 15152-69. Побудова пристрою повинна забезпечувати зручність у використанні та ремонтпридатність.

4. Зміст (дипломної роботи) пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити):

- Аналіз технічного завдання;
- Огляд існуючих варіантів патентний пошук;
- Обґрунтування вибору елементної бази;
- Розробка функціональної схеми системи;
- Розробка схеми електричної принципової;
- Розробка друкованої плати
- Конструкторсько-технологічний розрахунок;
- Розробка програмного забезпечення;
- Висновки

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):

- Схема електрична принципова;
- Креслення друкованої плати;
- Складальне креслення;

6. Консультанти розділів проекту (роботи)*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

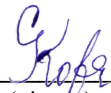
7. Дата видачі завдання 1 квітня 2021

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

Календарний план

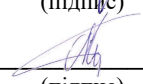
№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Розробка ТЗ	3.04 – 8.04	Виконано
2	Аналіз сучасних рішень	9.04 – 15.04	Виконано
3	Робота над схемою	20.04 – 30.04	Виконано
4	Робота над платою	6.05 – 12.05	Виконано
5	Робота над розрахунками	14.05 – 21.05	Виконано
6	Створення документації	22.05 – 29.05	Виконано
7	Реалізація програмного забезпечення	30.05 – 5.06	Виконано
8	Оформлення ПЗ	5.06 – 9.06	Виконано
9			

Студент


(підпис)

Коваленко О.С.
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Кучернюк П.В.
(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

// Дипломний проект "Парктронік з керуванням через смартфон". Коваленко Олександр Сергійович, кафедра КЕОА, група ДК-72, НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021; пояснювальна записка -1 (с. -74, рисунків. -46, таблиць. -8, літературних джерел -33, додатків -4); креслення -3; перелік елементів -1; специфікація -1.

У даному дипломному проекті розробляється такий пристрій як парктронік, який вже встиг закріпитися в сучасних автомобілях. За його допомогою можливо безпечно запаркувати транспортний засіб, особливо це допомагає у темний час доби, коли видимість обмежена. Вимірювання відстані здійснюється за допомогою ультразвукового дальноміру (сонару). Мікроконтролер обраховує вхідні дані з сонару. Відстань до перешкоди у сантиметрах відображається на екрані смартфона через Bluetooth модуль у спеціальному застосунку. Система включає в себе блок введення даних – ультразвуковий дальномір, блок обробки даних – мікроконтролер STM32, блок виведення даних – Bluetooth модуль та блок відтворення даних – екран смартфона.

В якості перевірки працездатності схеми було створено макет схеми на базі плати STM32F401. Комплект документації включає в себе пояснювальну записку з додатками, три креслення (схеми, плати та складальне) та перелік елементів.

Ключові слова: парктронік, ультразвуковий дальномір, Bluetooth модуль, мікроконтролер STM32.

ABSTRACT

// Diploma project "Parktronic operating via smartphone". Kovalenko Oleksandr Serhiiiovych, Department of KEOA, DK-72 Group, NTUU KPI of Igor Sikorsky, 2021; explanatory note -1 (p. -74, images. -46, tables. -8, literature sources -33, appendices -4); drawings -3; list of elements -1; specification -1.

In this diploma project, a device such as parktronic is being developed, which has already become entrenched in modern cars. It can be used to park the vehicle safely, especially in the dark when visibility is limited. Distance measurement is performed using an ultrasonic rangefinder (sonar). The microcontroller calculates the input data from the sonar. The distance to the obstacle in centimeters is displayed on the smartphone screen via a Bluetooth module in a special application. The system includes a data input unit - ultrasonic rangefinder, data processing unit - STM32 microcontroller, data output unit - Bluetooth module and data reproduction unit - smartphone screen.

A circuit layout based on the STM32F401 board was created to test the circuit's performance. The documentation set includes an explanatory note with appendices, three drawings (diagrams, boards and assembly) and a list of elements.

Key words: parktronic, ultrasonic rangefinder, Bluetooth module, STM32 microcontroller.

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: "Парктронік з керуванням через смартфон"

Київ – 2021 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ	3
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПАТЕНТНОГО ПОШУКУ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ.....	7
1.1 Огляд патентів.....	7
1.2 Огляд існуючих рішень з застосуванням Android.....	10
1.3 Обґрунтування власного рішення	11
Висновки за розділом 1	12
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ	13
2.1 Структурна схема пристрою та її опис.....	13
2.2 Розробка схеми електричної принципової.....	14
2.3 Вибір компонентної бази	24
Висновки за розділом 2	34
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА	35
3.1 Вибір типу та матеріалу друкованої плати	35
3.2 Вибір класу точності	37
3.3 Вибір методу виготовлення друкованої плати	38
3.4 Розробка в друкованого вузла в Altium Designer	39
Висновки за розділом 3	42
РОЗДІЛ 4 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	43
4.1 Конструкторсько-технологічні розрахунки.....	43
4.2 Електричний розрахунок	50
4.3 Розрахунок надійності.....	52
4.4 Розрахунок віброміцності.....	56
Висновки за розділом 4	60

					ДК72.201219.001ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Ковалеко О.С.			Парктронік з керуванням через смартфон. Пояснювальна записка		Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кучернюк П.В.						1	76
Реценз.							НТУУ «КПІ», ФЕЛ, гр. ДК-72		
Н. Контр.		Лисенко О.І.							
Затверд.		Кучернюк П.В.							

РОЗДІЛ 5 ПРОГРАМА КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЄМ	62
5.1 Інструментальні засоби	62
5.2 Структура програми	62
5.3 Структура даних	66
5.4 Результати на стенді	66
Висновки за розділом 5	69

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

ДОДАТКИ

Додаток А – Технічне завдання

Додаток Б – Лістинг програми

Додаток В – ДК72.201219.001СП Специфікація

Додаток Г – ДК72.201219.001ПЕЗ Перелік елементів

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		2

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

1. ЦП – Центральний Процесор.
2. GPS (англ. Global Positioning System) – Система Глобального Позиціювання.
3. SMS (англ. Short Message Service) – Служба Коротких Повідомлень.
4. CAN (англ. Controller Area Network) – Локальна Мережа Контролерів.
5. UART (англ. Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) – Універсальний Асинхронний Приймач/Передавач.
6. ОП – Операційний Підсилювач.
7. SMD (англ. Surface Mount Device) – Тип Корпусу.
8. DIP (англ. Dual In-line Package) – Тип Корпусу.
9. ДП – Друкована Плата.
10. ДДП – Двостороння Друкована Плата.
11. РЕА – Радіоелектронна Апаратура.
12. БДП – Багатошарова Друкована Плата.
13. МО – Монтажний Отвір.
14. IC (англ. Integrated Circuit) – Інтегральна Мікросхема.
15. ПМ – Посадкове Місце.
16. КС – Координатна Сітка.
17. КМ – Контактний Майданчик.
18. КЕ – Конструктивні Елементи.
19. ЕРЕ – Електрорадіоелементи.

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		3

20. EOA – Електронно-Обчислювальна Апаратура.

21. USART (англ. Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) – Універсальний Синхронний Асинхронний Приймач/Передавач.

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

В наш час кількість автомобілів зростає з кожним роком. Все складніше стає переміщатися на автомобілі у великому місті. Також непростим завданням стає запаркувати автомобіль. Саме під час паркування часто відбуваються пошкодження автомобілів із-за великого скупчення автівок та обмеженого простору в місцях паркування. Тому пристрої, що полегшують маневрування автомобіля під час паркування мають неабияку актуальність. Значна кількість сучасних автомобілів обладнується виробниками подібними пристроями. Але існує величезна кількість автомобілів попередніх випусків та бюджетного класу, що не мають електронних засобів для полегшення процесу паркування.

Парктронік, навіть найпростіший, може вчасно попередити водія про наближення до якогось предмета на небезпечно малу відстань та уникнути зіткнення. У парктроніках можуть використовуватися різні типи сенсорів: ультразвукові, інфрачервоні та інші пристрої, які монтуються на бамперах автомобіля для вимірювання дистанції до найближчих об'єктів. Система видає переривчастий застережливий звук (і, в деяких варіантах виконання, відображає інформацію про дистанцію на дисплеї, вбудованому в приладову панель або у дзеркало заднього виду) для індикації того, як далеко знаходиться машина від перешкоди.

Існують також стаціонарні парктроніки, які стоять в спорудах біля стіни на рівні бампера авто та реагують на наближення. Розробку парктроніка даної роботи можна використовувати і для таких цілей.

Мета проекту полягає у створенні парктроніка, який передавав би дані на смартфон через Bluetooth. Існує величезна кількість людей, яка користується старими та бюджетними машинами, де відсутній бортовий комп'ютер, проте люди використовують смартфон для GPS-навігації, відповідно пристрій допомоги при паркуванні, що міг би інтегруватися зі смартфоном став би для людей сучасним та дешевим рішенням проблеми з

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		5

паркуванням. Потрібно буде розмістити 4 дротові водонепроникні дальноміри по периметру бампера, які з'єднані в свою чергу з друкованим вузлом, де є мікроконтролер та Bluetooth модуль. Цей друкований вузол може міститися як в задній частині автомобіля так і в передній необхідно лише обладнати доступ до живлення. Подібних рішень із використанням Bluetooth-технологій та інтеграції з Android-смартфоном на ринку немає, тому пристрій має неабияку актуальність та може мати великий попит. Звичайно, для виходу на масовий ринок необхідно передбачити і власний Android додаток, але в демонстраційному зразку прийом інформації, що передається по Bluetooth-інтерфейсу від парктроніка демонструється за допомогою термінальної програми з Google Play.

Основні задачі, які необхідно вирішити: створення схемотехнічного рішення, проектування друкованого вузла, конструкторські розрахунки та розробка програмного забезпечення для тестового зразка. Відповідні задачі будуть вирішені - кожна у своєму розділі.

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		6

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПАТЕНТНОГО ПОШУКУ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

У цьому розділі буде розглянуто існуючі системи (патенти та інші реалізовані проекти), а також будуть сформовані задачі на власне проектування.

1.1. Огляд патентів

Було проведено пошук патентів вітчизняного та зарубіжного виду. У базі даних державного підприємства "Український інститут інтелектуальної власності" (Укрпатент) не знайшлося відповідних патентів, які пов'язані з темою мого дипломного проекту. За допомогою Google Patents вдалося знайти два патенти, які можна аналізувати та сформулювати вимоги до мого дипломного проекту.

Перший патент це GB2541508A [1]. Це система автоматизованої допомоги при паркуванні, яка включає в себе один або кілька датчиків, які вимірюють величину відстані від автомобіля до об'єкта. Дані датчика використовуються для допомоги у маневрі паркування автомобіля. Центральний процесор отримує дані від датчика та керує гальмівною системою. Система автоматизації паркування може передавати дані датчика в обчислювальну систему автомобіля (бортовий комп'ютер) через встановлений бездротовий канал зв'язку.

Як правило, датчики можуть бути різними - це ультразвукові датчики, інфрачервоні датчики (можлива їх комбінація), камери заднього і переднього виду, радары, датчики відстані, що виявляють предмети навколо транспортного засобу, акселерометри або датчики положення. Всі вони здатні вимірювати відстань, наприклад, від заднього бамперу автомобіля до стіни гаража.

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		7

Обчислювальна система на транспортному засобі може містити візуальний інтерфейс та розташована у транспортному засобі. Користувач може мати можливість взаємодіяти з інтерфейсом, якщо це передбачено, наприклад, за допомогою сенсорного екрану. В іншому варіанті взаємодія відбувається за допомогою натискання кнопок та/або розмовного діалогу з автоматичним розпізнаванням мови та синтезом мови.

Центральний процесор обчислювальної системи автомобіля може підтримувати зв'язок з безліччю інших процесорів та датчиків транспортних засобів, пов'язаних з однією або декількома вбудованими системами транспортних засобів. Наприклад, ЦП може мати зв'язок із гальмівною системою, системою гідروпідсилювача керма, модулем управління трансмісією, модулем управління двигуном. Ці системи можуть підтримувати зв'язок з ЦП за допомогою мережевого підключення до автомобіля. Датчики транспортного засобу, пов'язані з однією або більше системами, можуть контролювати роботу транспортного засобу. Датчики автомобіля можуть отримувати дані про роботу транспортного засобу, включаючи, але не обмежуючись цим, рульове управління кут повороту керма, положення педалі гальма, швидкість руху автомобіля, робота важеля перемикачів передач (паркування, реверс, привід та нейтральна) тощо.

Другий патент це **US20200122716A1** [2]. Це пристрій для дистанційного керування автостоянкою. Система допомоги паркування включає в себе мобільний додаток. Мобільний додаток містить інтерфейс для сенсорного екрану мобільного пристрою. Інтерфейс включає кнопку для прийому безперервного стаціонарного входу та панель для прийому динамічної послідовності введення (жест на екрані). Прилад віддаленої системи допомоги паркування також включає в себе модуль зв'язку для зв'язку з мобільним пристроєм і блок автономності для виконання рухових функцій, тоді як інтерфейс одночасно отримує безперервний стаціонарний

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		8

вхід і динамічну послідовність введення. Блок автономності не виконує рушійних функцій, коли інтерфейс не отримує безперервного стаціонарного входу та щонайменше одного з динамічної послідовності введення.

Транспортні засоби включають функції допомоги при паркуванні, в яких транспортний засіб автономно контролює рухові функції транспортного засобу для паркування автомобіля на місці для паркування. У деяких випадках функції допомоги при паркуванні - це функції віддаленої допомоги при паркуванні, які дозволяють користувачеві віддалено запускати автономні рушійні функції через мобільний пристрій.

Автомобіль включає в себе модуль зв'язку для бездротового зв'язку з мобільним пристроєм і блок автономності для виконання рухових функцій, тоді як інтерфейс одночасно отримує безперервний стаціонарний вхід і динамічну вхідну послідовність.

Мобільний пристрій посиляє сигнал ініціалізації транспортному засобу та під час отримання декількох заздалегідь визначених входів від оператора через сенсорний екран користувача. Інтерфейс мобільного додатка виконаний з можливістю прийому заздалегідь визначених входів в додатку для забезпечення того, що оператор має намір ініціювати автономні рушійні функції транспортного засобу.

У приладі використовуються датчики виявлення дальності: датчики наближення і камери. Датчики наближення сконфігуровані для виявлення присутності, близькості та/або розташування об'єктів поблизу транспортного засобу. Датчики наближення включають датчик(и) радіолокації, датчик(и) лідара, ультразвуковий датчик(и) та/або будь-який інший датчик, сконфігурований для виявлення присутності, наближення та/або розташування поруч розташованих об'єктів. Радіолокаційний датчик виявляє об'єкт за допомогою радіохвиль, лідарний - за допомогою лазерів, а ультразвуковий - за допомогою ультразвукових хвиль. Крім того,

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		9

камери фіксують зображення та/або відео навколишнього району транспортного засобу, щоб забезпечити ідентифікацію та розташування об'єктів, що знаходяться поблизу.

Описані вище патенти відносяться до сучасних транспортних засобів, де є вбудований бортовий комп'ютер. Цей пристрій контролює велику кількість різних систем в авто, а також має такий функціонал як: бортова GPS-навігація, музична система та бездротове з'єднання з різними гаджетами, наприклад зі смартфоном.

1.2. Огляд існуючих рішень з застосуванням Android

В сучасних реаліях велика кількість людей користується старими машинами, де відсутній бортовий комп'ютер, проте люди використовують смартфон для GPS-навігації та прослуховування музики з телефону через дротовий або бездротовий зв'язок з магнітолою або бортовим радіоприймачем. Звичайно, такі люди не мають зручних підказок від систем авто на своїх смартфонах. Зараз доступні мультимедійні системи для автомобілів побудовані на основі Android [3], мають сенсорний екран 7-10" і підтримують специфікацію Android Auto [4].

Android Auto — мобільний додаток, розроблений Google для відображення функцій пристрою Android, наприклад смартфона, до сумісного в машині інформаційного та розважального пристрою.

Коли пристрій Android поєднується з головним пристроєм, система відображає кваліфіковані програми від пристрою до дисплея автомобіля, з простим, зручним для водіїв користувальницьким інтерфейсом. Підтримувані програми включають GPS-карти та навігацію, відтворення музики, SMS, телефон та вебпошук. Система підтримує як сенсорний екран, так і керовані кнопками дисплеї головного апарату, хоча функціонування без рук за

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		10

допомогою голосових команд є доступним і рекомендує мінімізувати відволікання водіння.

Такий мультимедійний пристрій може бути встановлений практично в будь-який автомобіль, замість застарілої автомагнітоли. Вартість пристрою також порівняно доступна і становить 100-200\$.

Можливий також підхід інтеграції Android магнітоли з CAN [5] шиною автомобіля для відображення стану штатних датчиків парктроніка на панелі [6]. Автомобільні магнітоли на базі Android крім основного функціоналу мають можливість підключення до шини CAN автомобіля. При цьому магнітола підключається не безпосередньо до шини CAN, а через так званий CANBUS адаптер [7], який по суті є перетворювачів шини CAN в послідовний порт (UART [8]) з додатковими керуючими виходами. Існує саморобна реалізація canbus адаптера на STM32 [6].

1.3. Обґрунтування власного рішення

Сучасні автомобілі середнього і вищого класу обладнані засобами паркування інтегрованими з вбудованим бортовим комп'ютером та мультимедійною системою. Пристрій для полегшення паркування буде затребуваний в ніші автомобілів, створених декілька років тому, а також автомобілів бюджетного класу, навіть сучасних, які не мають подібних засобів. Таких автомобілів в Україні переважна більшість. Парктроніки які можна встановити на автомобіль також є доступні на ринку сьогодні, але вони є автономними та мають дещо спрощені засоби індикації(світлодіодні, такі що супроводжуються звуковими сигналами). Більш привабливим варіантом міг би бути пристрій, що міг би інтегруватися з мультимедійною системою, або хоча б зі смартфоном, який часто використовується в якості навігатора в авто.

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		11

Метою є створити пристрій допомоги при паркуванні на базі платформи STM32F401CCU6 [9], ультразвукових датчиків [10] та Bluetooth модуля JDY-31 [11]. За допомогою спеціального додатку [12] на Android-пристрої буде відображена відстань до перешкоди. Дані передаватимуться через Bluetooth [13]. Дана розробка спостить операцію паркування і буде дешевим аналогом різноманітних систем допомоги при паркуванні для старих транспортних засобів. Подібний проект популярний в робототехніці на базі Arduino [14, 15]. Ідея мого дипломного проектування полягає в більш серйозній реалізації, а саме: реалізація на платформі STM32, створенні друкованого вузла та відповідної документації до цього проекту.

Висновки за розділом 1

У даному розділі розглянуто два патенти та два Android-рішення уже створених систем, які є дуже поширеними, деякі з них автоматизовані і складні. Тому розроблено власний підхід до створення, функціонування та користування пристроєм, що зміг би забезпечити простоту і комфорт для користувачів. В основному розробка спрямована на користувачів автомобілів бюджетного класу та старих моделей транспортних засобів. При розробці беруться до уваги вимоги, що викладені у технічному завданні. У повному обсязі сформульовано вимоги до об'єкту проектування та задачі, які будуть вирішені в ході проектування. У другому розділі буде розглянуто створення схеми електричної принципової та опис компонентної бази.

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		12

РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ

У цьому розділі буде розглянуто розроблену схему пристрою та описано принципи її роботи. Було досліджено готову схему електричну принципову [16] водонепроникного ультразвукового далекоміра AJ-SR04M [17] та створено власне схемотехнічне рішення, яке представляє собою впровадження додаткових 3-ох ультразвукових датчиків та Bluetooth модуля. Роботу далекоміра AJ-SR04M було досліджено на осцилографі, результати в підрозділі 2.2.1 (рис.2.2, 2.5, 2.6, 2.7, 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.16).

2.1 Структурна схема пристрою та її опис

На рис 2.1 зображено структурну схему пристрою, яка включає в себе блок-введення даних – ультразвуковий дальномір, блок обробки даних – мікроконтролер, блок виведення даних – Bluetooth модуль.

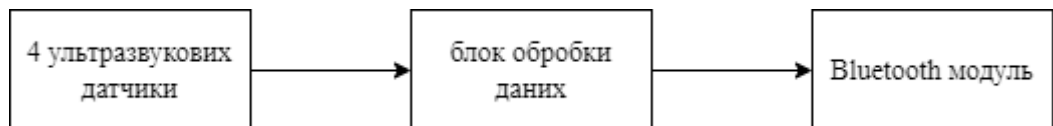


Рисунок 2.1 - Структурна схема пристрою

2.1.1 Засоби введення даних

Блок введення даних представлений 4-ма ультразвуковими дальномірами.

2.1.2 Засоби обробки даних

Мікроконтролер вимірює тривалість високого логічного рівня сигналу від ультразвукового дальноміру до появи «0» на піні “ЕCHO”. Знаючи швидкість розповсюдження звукової хвилі у повітрі і враховуючи той факт, що хвиля

долає подвійну відстань – від ультразвукового дальноміру до перешкоди, і назад, то можна знайти відстань в см до перешкоди за формулою:

$$d = t * V = \frac{t * 0.034 \frac{\text{см}}{\text{мкс}}}{2} = t * 0.017 \frac{\text{см}}{\text{мкс}} \quad (\text{см}) \quad (2.1)$$

де t – тривалість високого логічного рівня в мкс, V – швидкість в см/мкс розповсюдження звукової хвилі у повітрі.

2.1.3 Засоби виведення даних

Результат обрахунку виводиться через Bluetooth модуль підключений через USART2.

2.2 Розробка схеми електричної принципової

Схема електрична принципова розробки ДК72.201219.001ЕЗ. Опис роботи принципової схеми буде описано поблочно.

2.2.1 Проектування блока введення даних

Блок введення даних складається з 4-ох ультразвукових прийомо-передавачів. Розглянемо передавач. Мікроконтролер формує пачку імпульсів прямокутної форми частотою 40 кГц (рис. 2.2.), яка подається через транзистор VT1 на резонансний трансформатор Т1. Цей трансформатор має резонансну частоту 40 кГц і вирішує дві задачі: по-перше – він виконує роль фільтра, який виділяє і підсилює першу основну гармоніку частотою 40 кГц, а всі вищі гармоніки, які мають місце із-за прямокутної форми вхідного сигналу, сформованого контролером, не пропускає; по-друге піднімає амплітуду вихідної напруги до 12 В необхідних для ультразвукового випромінювача.

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		14

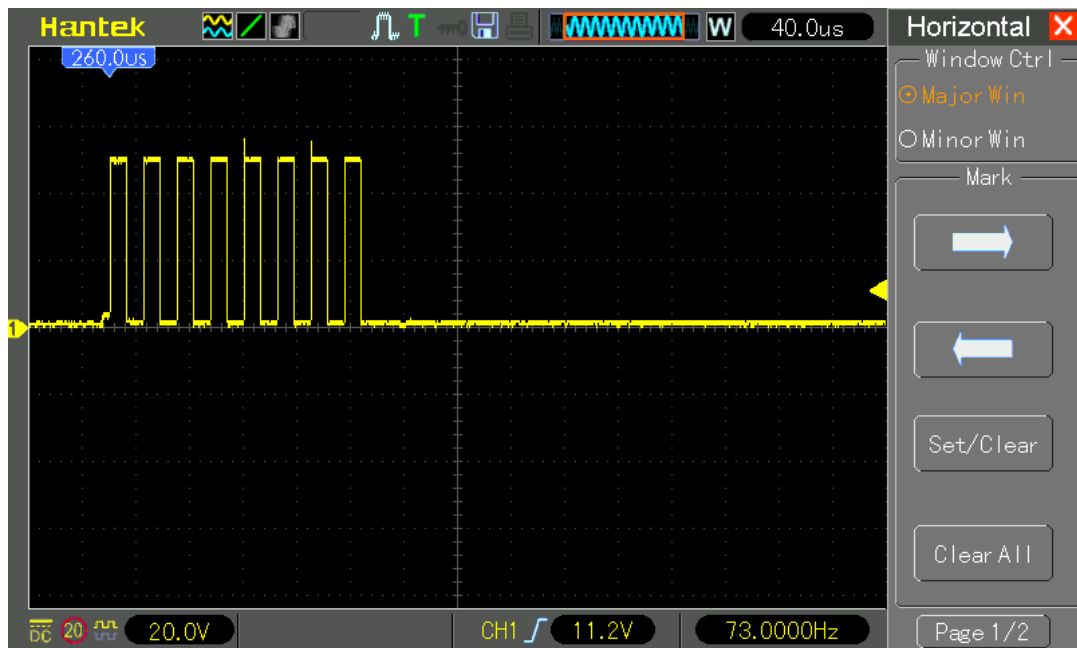


Рисунок 2.2 – Пачка імпульсів на вході передавача

Прийомна частина реалізована на 4-ох операційних підсилювачах (ОП) в одному корпусі LM324AMX. Перший і третій каскади являють собою диференціюючий підсилювач [18] за схемою рис.2.3.

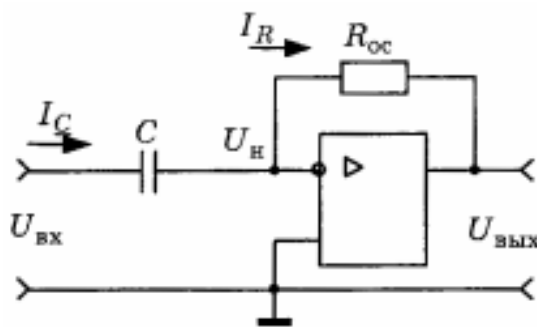


Рисунок 2.3 – Схема диференціюючого підсилювача

Залежність вихідної напруги від вхідної [19] змінюється за формулою (2.2):

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = -RC \frac{dU_{\text{ВХ}}(t)}{dt} \quad (2.2)$$

Дільник напруги на резисторах R28, R31 задає зміщення по постійній напрузі для перших 3-ох ОП, що подається на неінвертуючий вхід. Це необхідно, тому що ОП мають однополярне живлення і дане зміщення встановлює середню точку вихідного сигналу на половину напруги живлення. Живлення на ОП приймальної частини мікроконтролер подає дискретно через транзистор VT4 на час коли необхідно прийняти і обробити вхідний сигнал.

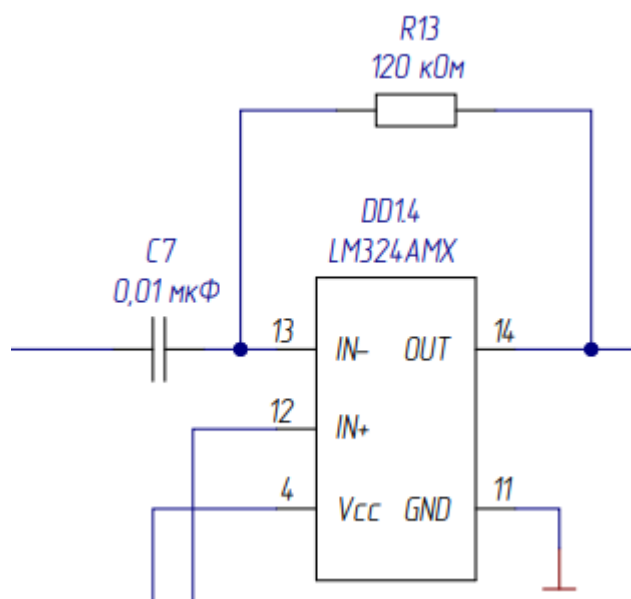


Рисунок 2.4 – Фрагмент схеми з диференціюючим підсилювачем

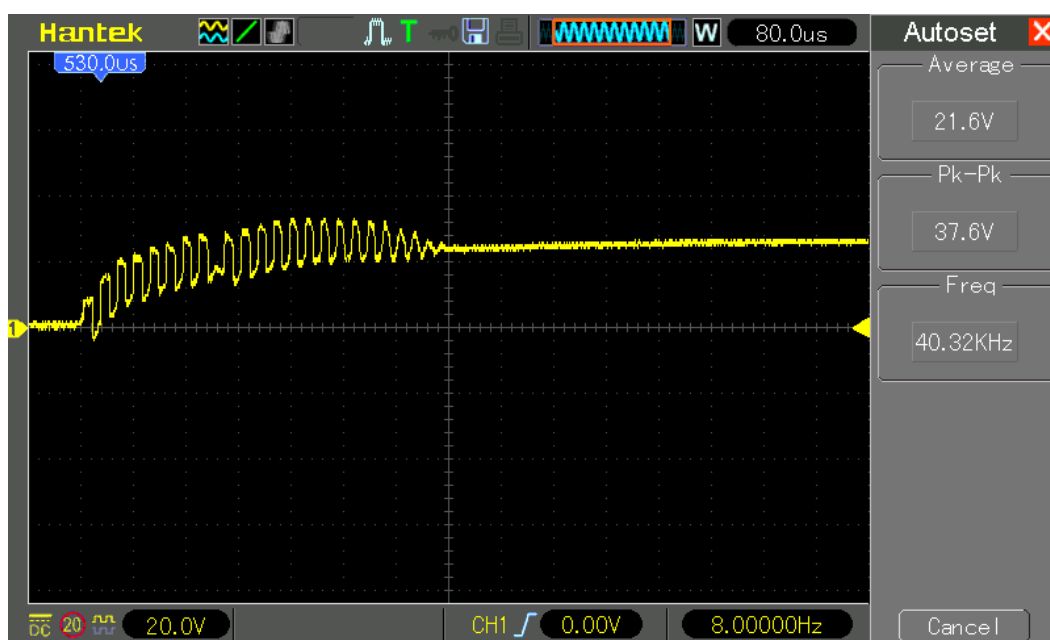


Рисунок 2.5 – Вхідний сигнал на вивід 13 ОП з сенсора

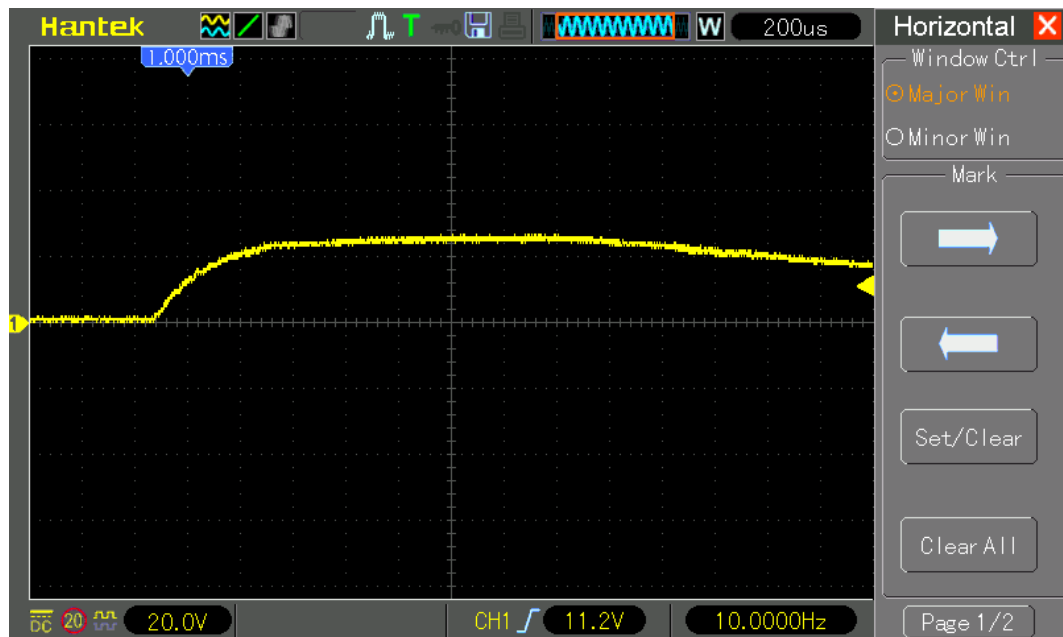


Рисунок 2.6 – Сигнал зміщення на входах 12, 10, 5 ОП

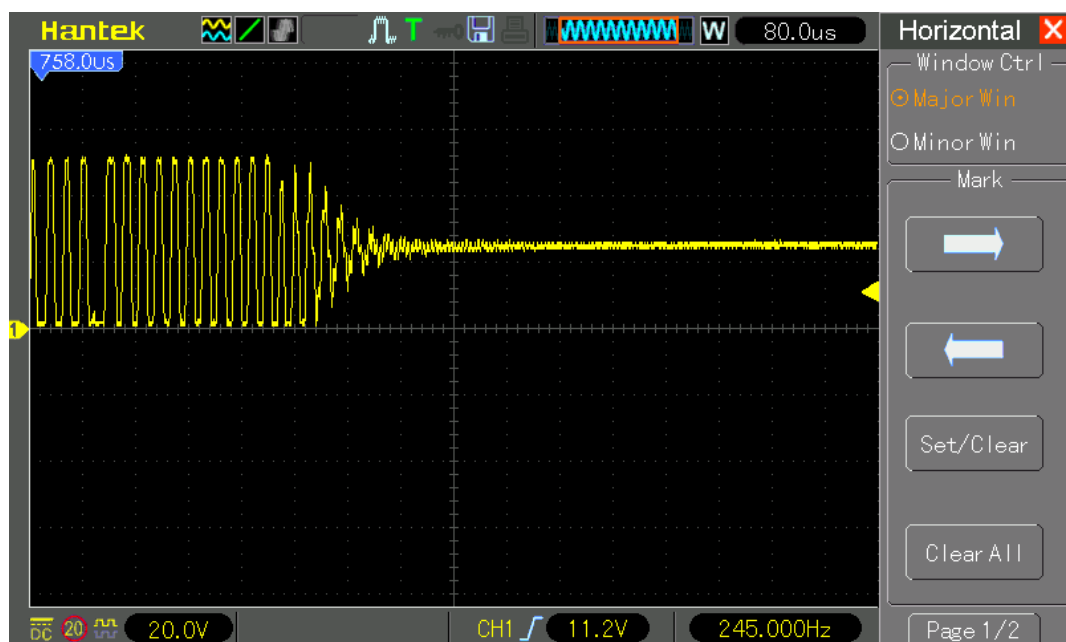


Рисунок 2.7 – Сигнал на виході 14 ОП

Другий каскад являє собою активний смуговий фільтр 2-го порядку [20] рис. 2.8 з резонансною частотою 40 кГц.

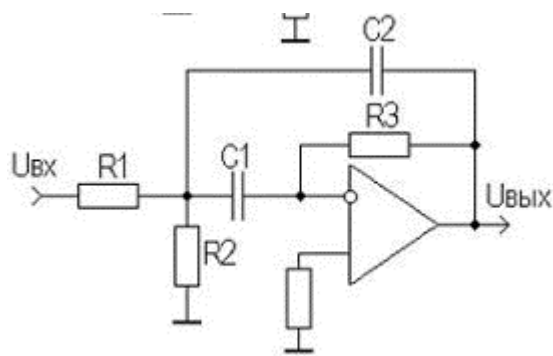


Рисунок 2.8 – активний смуговий фільтр 2-го порядку

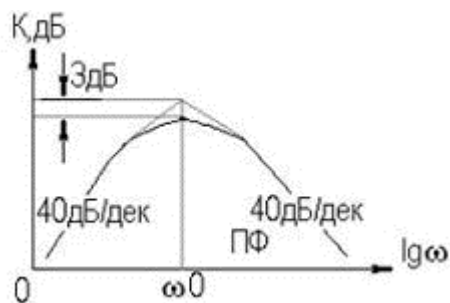


Рисунок 2.9 – Частотна характеристика активного смугового фільтра 2-го порядку

Резонансна частота вираховується за формулою:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2}} \quad (2.3)$$

$R_1 = 6,8 \text{ кОм}$, $R_2 = 1 \text{ кОм}$, $R_3 = 56 \text{ кОм}$, $C_1 = 575 \text{ пФ}$, $C_2 = 578,5 \text{ пФ}$

$$\begin{aligned} \omega_0 &= \sqrt{\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2}} = \sqrt{\frac{6800 + 1000}{6800 \cdot 1000 \cdot 56000 \cdot 575 \cdot 10^{-12} \cdot 578,5 \cdot 10^{-12}}} \\ &= 2,5 \cdot 10^5 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right) \end{aligned}$$

$$f = \frac{\omega_0}{2\pi} \quad (2.4)$$

$$f = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{2,5 \cdot 10^5}{6,28} = 0,395 \cdot 10^5 = 39500 \approx 40 \text{ (кГц)}$$

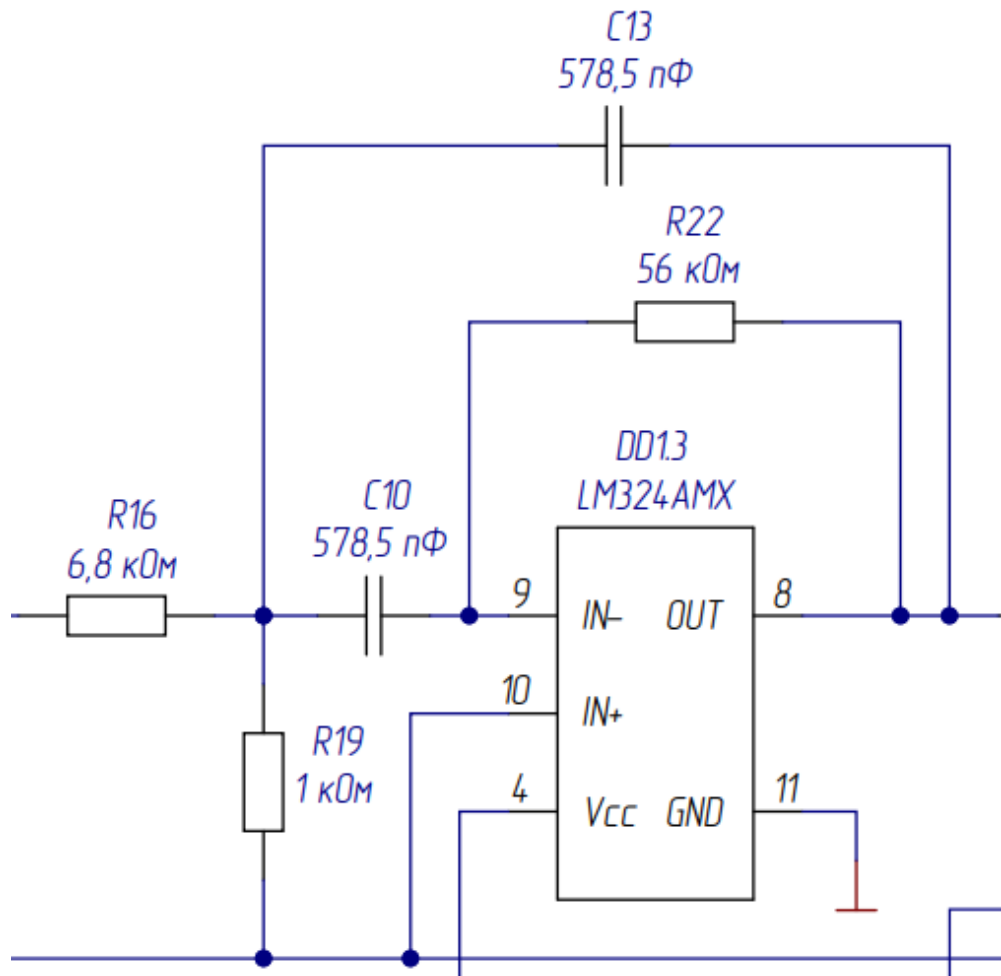


Рисунок 2.10 – Фрагмент схеми з активним смуговим фільтром 2-го порядку

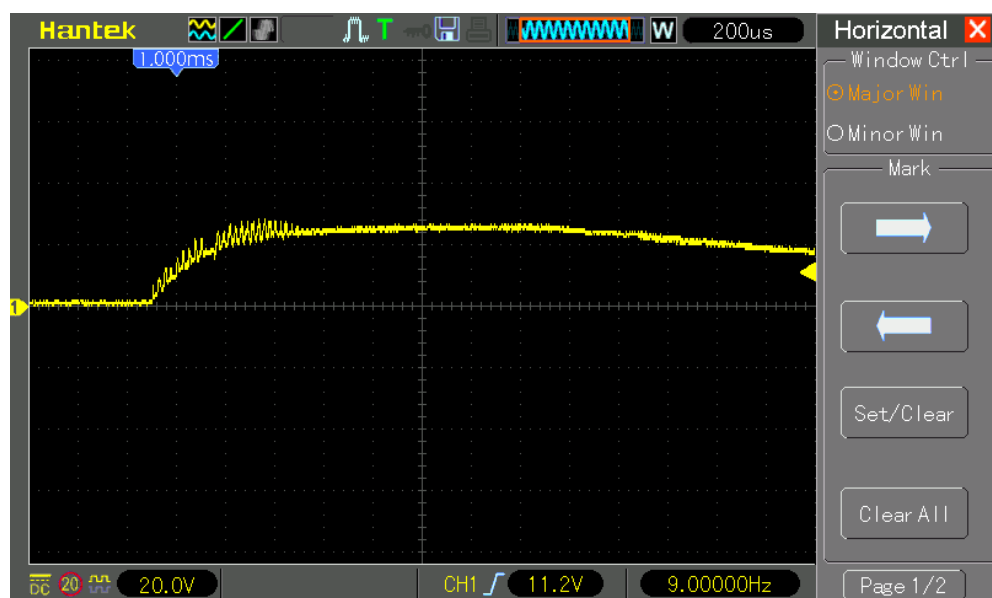


Рисунок 2.11 – Сигнал 9 вході ОП

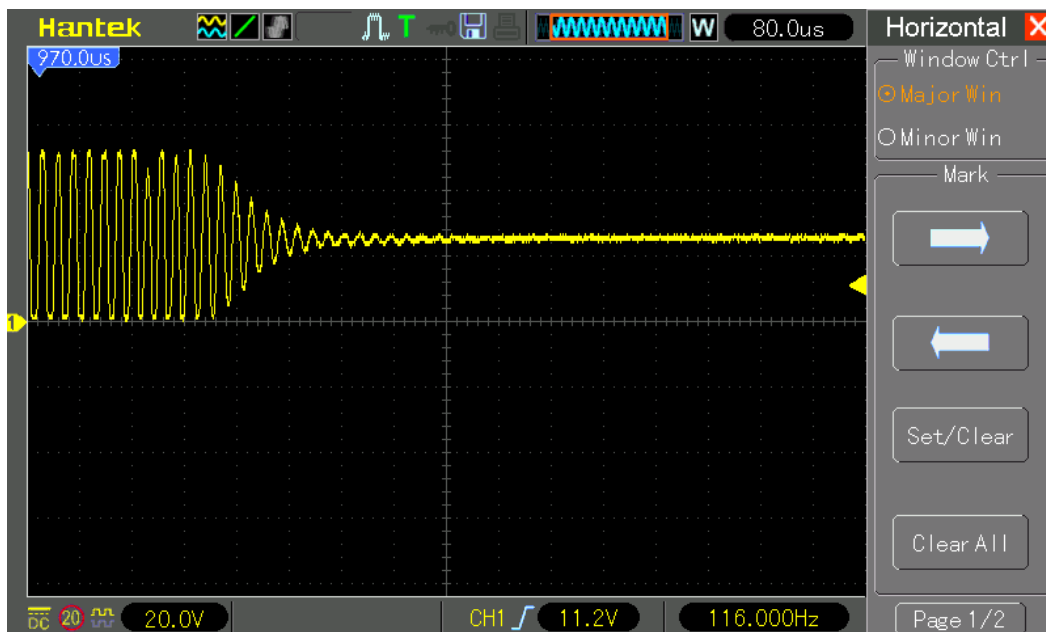


Рисунок 2.12 – Сигнал 8 виході ОП

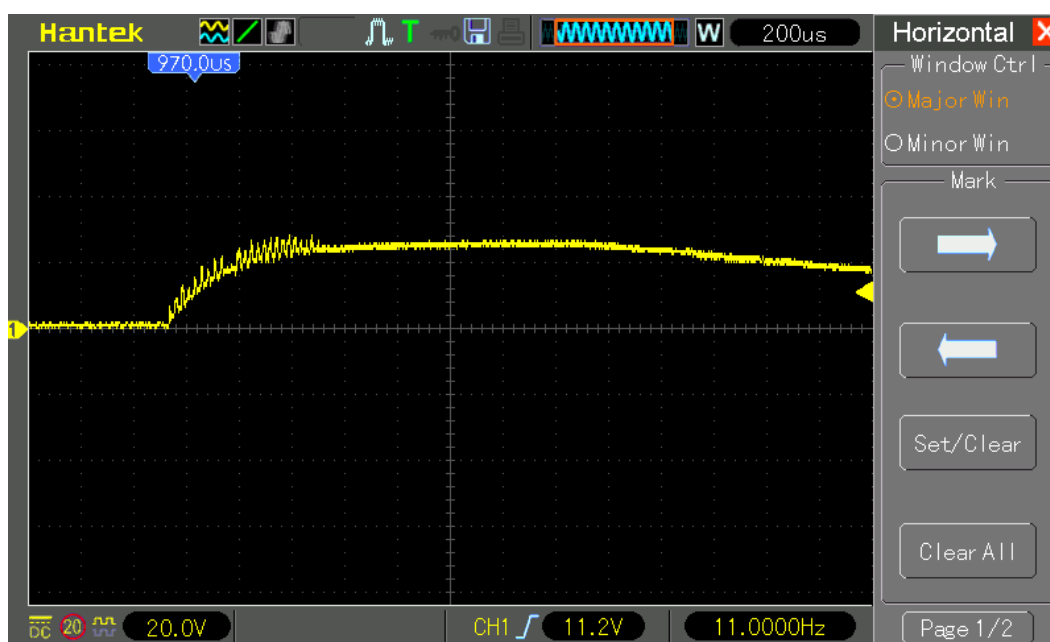


Рисунок 2.13 – Сигнал на 6 вході ОП



Рисунок 2.14 – Сигнал на 7 виході ОП

Четвертий каскад - неінвертуючий тригер Шмітта [21]. На його неінвертуючий вхід подається сигнал з виходу 3 каскаду, а на інвертуючий подається сигнал Threshold від мікроконтролера. І за допомогою C22, R43 формуються пилкоподібні імпульси рис. 2.15. А на виході отримуємо сигнал “ЕСНО”, власне тривалість якого дозволяє вирахувати відстань рис. 2.16.

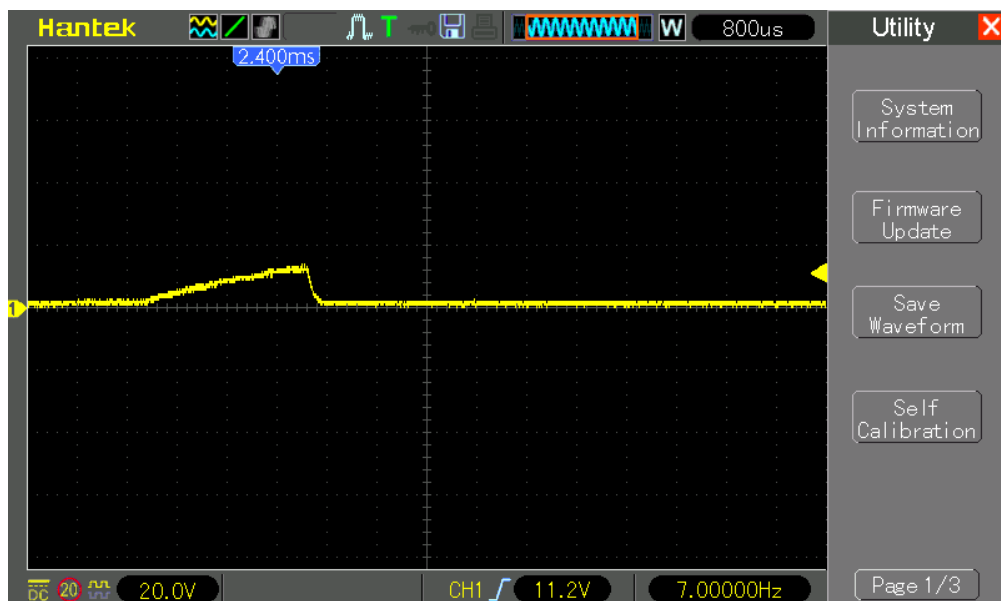


Рисунок 2.15 – Сигнал на 2 вході ОП

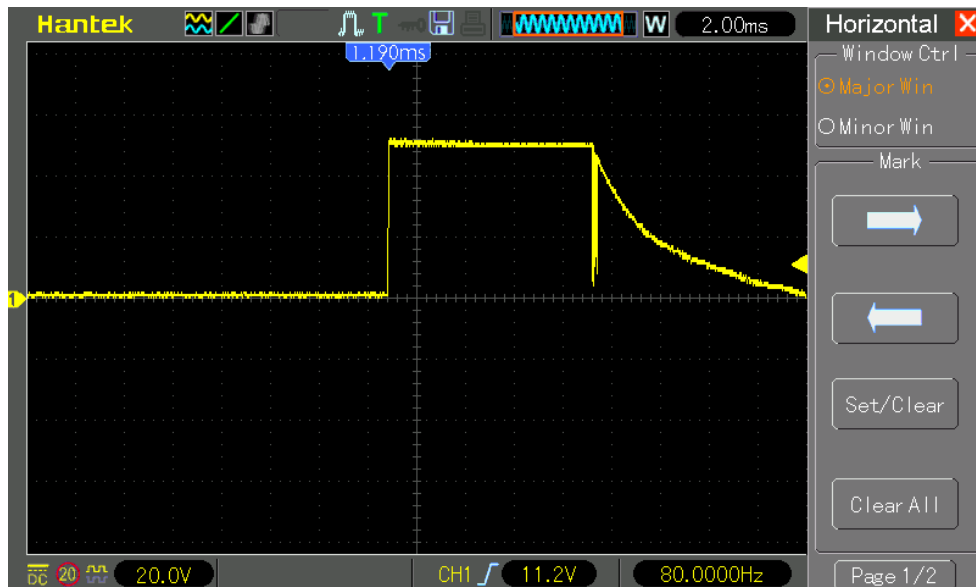


Рисунок 2.16 – Сигнал на 1 виході ОП

2.2.2 Проектування блока обробки даних

В якості обчислювального блока обробки даних будемо використовувати, як вже було сказано, мікроконтролер STM32F401CCU6.

PB0, PB3, PB6, PB9 – це виходи на які мікроконтролер формує пачки імпульсів 40 кГц для датчиків 0-3 відповідно.

PB1, PB4, PB7, PB10 – це входи з яких зчитується сигнал “Echo” з прийомної частини.

PB2, PB5, PB8, PB12 – це виходи з яких відбувається керування подачею живлення на прийомні частини каналів 0-3.

PA4, PA6, PA8, PA10 – це виходи на яких формується сигнал Threshold.

PA4, PA6, PA8, PA10 – це виходи з яких здійснюється керування світлодіодами (індикація активності каналів 0-3).

Мікроконтролер має живлення 3,3 В, але допускає подачу сигналів з рівнем 5V на виводи GPIO-інтерфейсу.

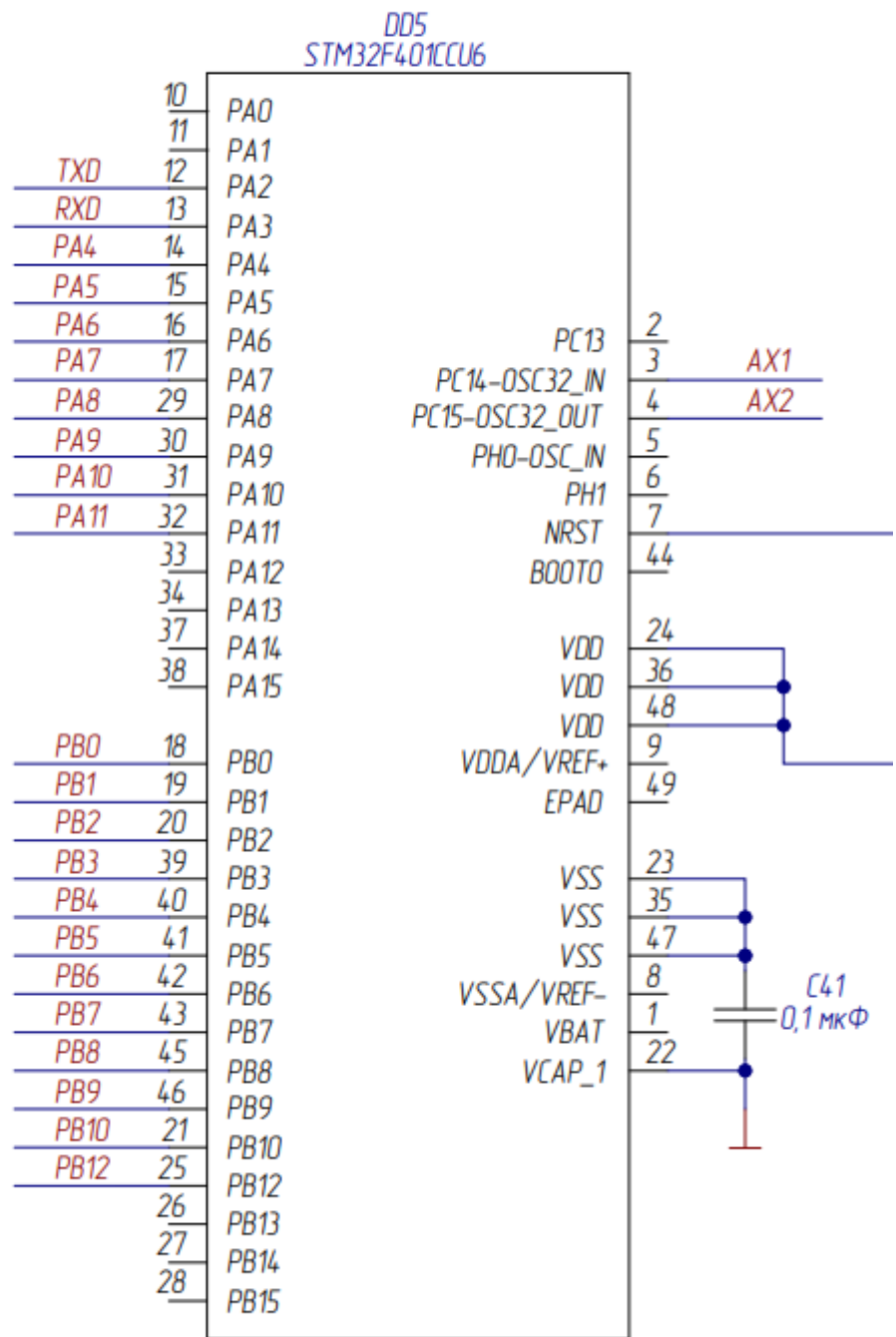


Рисунок 2.17. Схема підключення мікроконтролера STM32F401CCU6

2.2.3 Проектування блоку виведення даних

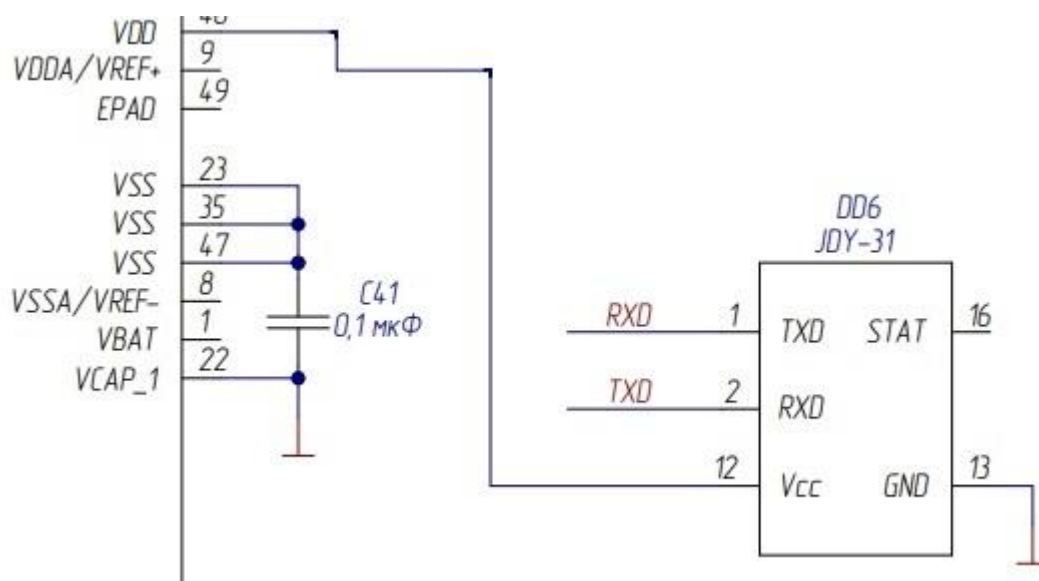


Рисунок 2.18. Схема підключення Bluetooth модуля до мікроконтролера STM32F401CCU6

Порти PA2, PA3 задіяні під потреби USART2.

2.3 Вибір елементної бази

Вибір мікроконтролера

STM32F401CCU6

Архітектура: ARM® Cortex®-M4 32-бітна

Частота (макс): 84 МГц

Підключення по: I²C, IrDA, LINbus, SDIO, SPI, UART/USART, USB OTG

Розмір пам'яті програми: 256 КБ (256k*8)

Напруга живлення (Vcc/Vdd): 1,7 В ~ 3,6 В

Тип монтажу: SMD

Корпус: 48-UFQFN

Кількість входів / виходів: 36.

Виробник: STMicroelectronics

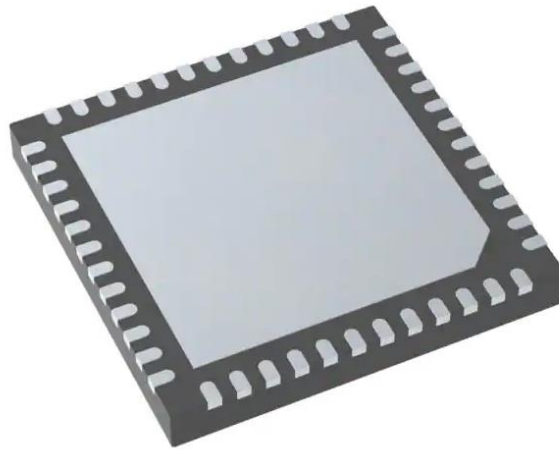


Рисунок 2.19 - мікроконтролер STM32F401CCU6

Вибір операційного підсилювача

LM324AMX

Кількість ланцюгів: 4

Струм – споживання: 1,5 мА

Напруга живлення одинарне / подвійне ($\pm$): 3 В ~ 32 В, $\pm$ 1,5 В ~ 16 В

Тип монтажу: SMD

Корпус: 14-SOIC

Пропускна здатність: 1 МГц

Виробник: Texas Instruments

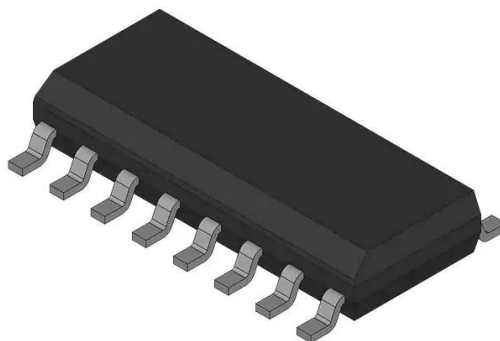


Рисунок 2.20 – операційний підсилювач LM324AMX

Вибір Bluetooth модуля

JDY-31

Bluetooth V3.0

Вбудована радіочастотна антенна

Підтримка інтерфейсу UART

Напруга живлення: 3,3 В

Діапазон робочих частот: 2,4-2,48 ГГц

Виробник: Shenzhen Innovation technology Co., Ltd.

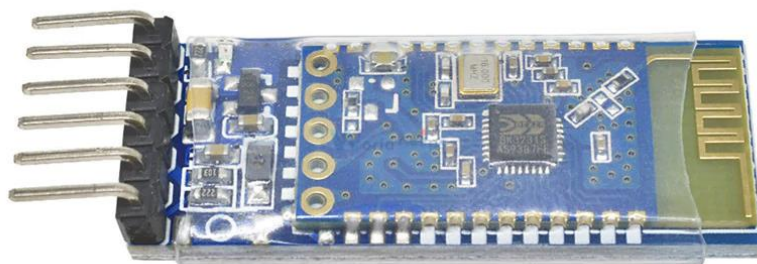


Рисунок 2.21 – Bluetooth модуль JDY-31

Вибір діодів

BAV99WT1G

Конфігурація: 1 пара підключення в корпусі

Тип діода: Стандартний

Струм - середній випрямлений (на діод): 215 мА (постійний струм)

Тип монтажу: SMD

Корпус: SC-70

Час зворотного відновлення: 6 нс

Напруга - зворотний струм постійного струму (макс): 100 В

Виробник: ON Semiconductor

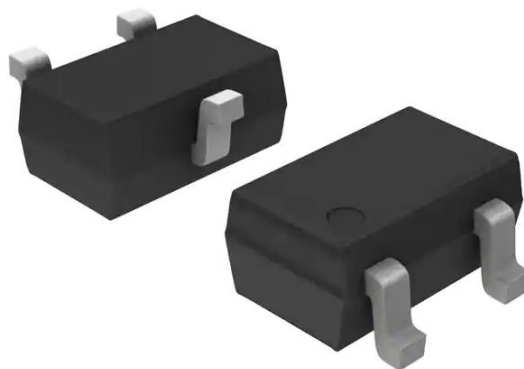


Рисунок 2.22 – діодний масив BAV99WT1G

Вибір світлодіодів

TLMY1100-GS08

Колір: Жовтий

Напруга: 2.1V

Струм: 20mA

Тип монтажу: SMD

Корпус: 0603

Розмір: 1,60 мм Д x 0,80 мм

Висота (макс): 0,65 мм

Виробник: Vishay Semiconductor Opto Division

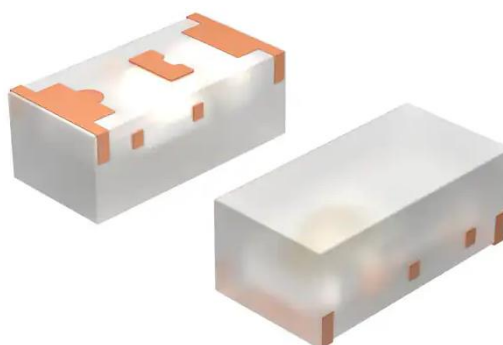


Рисунок 2.23 – світлодіод TLMY1100-GS08

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		27

Вибір стабілітрона

Точність: $\pm 5\%$

Тип монтажу: SMD

Корпус: DO-214AC (SMA)

Напруга Зенера: 3,3 В

Потужність: 1 Вт

Опір (макс): 10 Ом

Струм - зворотний витік: 100 мкА при 1 В

Виробник: Comchip Technology



Рисунок 2.24 – стабілітрон ACZRA4728-HF

Вибір транзисторів

SS8050

Тип транзистора: NPN

Насиченість V_{ce} (макс.): 400 мВ при $I_b=5$ мА, $I_c=50$ мА

Частота: 100 МГц

Тип монтажу: SMD

Корпус: SOT-23-3

Струм колектора (макс.): 1,5 А

Напруга - пробій колектора (макс.): 25 В

Потужність (макс.): 300 мВт

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		28

Виробник: Comchip Technology

MMSS8550

Тип транзистора: PNP

Насиченість V_{ce} (макс.): 500 мВ при $I_b = 80$ мА, $I_c = 800$ мА

Частота: 100 МГц

Тип монтажу: SMD

Корпус: SOT-23-3

Струм колектора (I_c) (макс.): 1,5 А

Напруга - пробій колектора (макс.): 25 В

Потужність (макс.): 625 мВт

Виробник: Micro Commercial Co

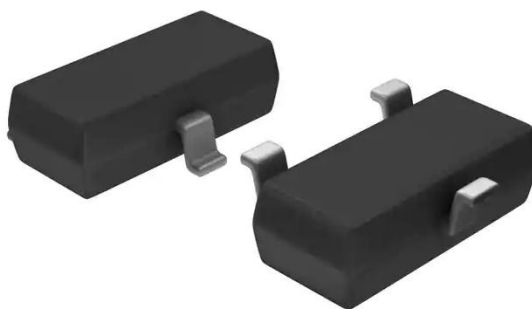


Рисунок 2.25 – транзистори SS8050 та MMSS8550

Вибір кварцового резонатора

9C08000003

Тип монтажу: SMD

Корпус: HC-49/US

Розмір: 11,40 мм x 4,80 мм

Висота: 4,10 мм

Частота: 8 МГц

Ємність навантаження: 20pF

Виробник: TXC CORPORATION

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		29



Рисунок 2.26 – кварцовий резонатор 9C08000003

Вибір трансформатора

I-FTP

Точність: $\pm 5\%$

Індуктивність: 8 мГн

Частота резонансу: 40 кГц

Максимальна частота: 252 кГц

Тип монтажу: SMD

Корпус: Нестандартний

Розмір: 8мм x 8мм

Висота: 9 мм

Виробник: YUFO-IC



Рисунок 2.27 – трансформатор I-FTP

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		30

Вибір роз'ємів

B2B-XH-A(LF)(SN)

Тип контакту: штифт

Кількість контактів: 2

Кількість рядків: 1

Тип монтажу: DIP

Довжина контакту: 3,40 мм

Висота ізоляції: 7,00 мм

Контактна форма: квадратна

Матеріал контакту: латунь

Струм (макс.): 3А

Номінальна напруга: 250 В

Виробник: JST Sales America Inc.



Рисунок 2.28 – роз'єм B2B-XH-A(LF)(SN) для ультразвукового датчика

DCJ250-20-B-K1-A

Тип роз'єму: Джек

Фактичний діаметр: 2,50 мм ID, 5,30 мм OD

Кількість позицій: 2 провідники

Тип монтажу: DIP

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		31

Матеріал контакту: мідний сплав, цинковий сплав

Матеріал покриття контакту: срібло

Струм (макс.): 8 А

Номінальна напруга: 20 В

Виробник: GCT



Рисунок 2.29 – роз'єм DCJ250-20-B-K1-A для живлення

Вибір резисторів

При виборі типу резистора враховуємо наступні параметри:

Підходящі опори резисторів

Точність: $\pm 10\%$

Потужність: 0,2 Вт або 0,25 Вт

Тип монтажу: SMD

Корпус: 0603;1206.

Виробник: Yageo

Вибір конденсаторів

При виборі конденсатора для конкретного пристрою враховуємо наступні параметри:

Підходящі ємності конденсаторів

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		32

Точність: $\pm 10\%$; ($\pm 20\%$ - для електролітичних конденсаторів)

Напруга: 16 В; 25 В (10 В; 50 В - для електролітичних конденсаторів)

Температурний коефіцієнт: X7R

Тип монтажу: SMD

Корпус: 0201; 0603; 1206.

Виробник: AVX Corporation та Murata (Nichicon - для електролітичних конденсаторів)

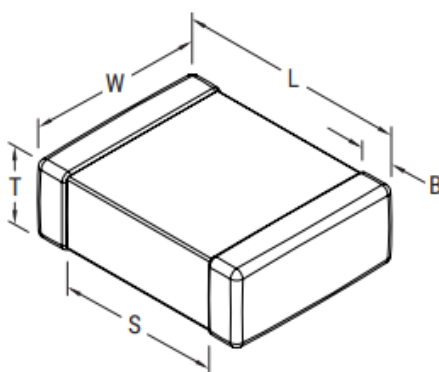
Для електролітичних конденсаторів: час життя



Рисунок 2.30 – електролітичний конденсатор

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		33

Dimensions – Millimeters (Inches)



EIA Size Code	Metric Size Code	L Length	W Width
0201	0603	0.60 (0.024) ±0.03 (0.001)	0.30 (0.012) ±0.03 (0.001)
0402 ¹	1005	1.00 (0.040) ±0.05 (0.002)	0.50 (0.020) ±0.05 (0.002)
0603 ²	1608	1.60 (0.063) ±0.15 (0.006)	0.80 (0.032) ±0.15 (0.006)
0805	2012	2.00 (0.079) ±0.20 (0.008)	1.25 (0.049) ±0.20 (0.008)
1206 ³	3216	3.20 (0.126) ±0.20 (0.008)	1.60 (0.063) ±0.20 (0.008)
1210 ⁴	3225	3.20 (0.126) ±0.20 (0.008)	2.50 (0.098) ±0.20 (0.008)

Рисунок 2.31 – габарити резисторів та керамічних конденсаторів
(l – довжина, w - ширина; в дужках дюйми)

При виборі всіх компонентів враховувались також температурні параметри, якість виробника та ціна.

Висновки за розділом 2

У цьому розділі викладено інформацію про окремі блоки з поясненнями принципу їх роботи у схемі електричній принциповій та обрану компонентну базу. Також показані результати вимірювань осцилографа з плати AJ-SR04M, схему якої було взято за основу.

У наступному розділі міститься інформація по проектуванні друкованої плати: вибір друкованої плати, матеріал, клас точності та метод виготовлення.

РОЗДІЛ 3 Проектування друкованої плати

У даному розділі буде обґрунтовано рішення вибору типу, матеріалу, класу точності та методу виготовлення друкованої плати (ДП). Вибір цих параметрів впливає на конструкторсько-технологічні розрахунки друкованої плати, а також тут постає питання довгої працездатності та вартості виробництва.

3.1. Вибір типу та матеріалу ДП

Згідно ТЗ і схеми електричної принципової вибираємо ДДП для нашого завдання. Чому саме її? Двосторонні друковані плати (ДДП) забезпечують високу щільність установки компонентів і трасування. Переходи провідників із шару в шар здійснюються через металізовані перехідні отвори. Плати допускають як монтаж компонентів на поверхні, у тому числі з двох сторін, так і монтаж компонентів з осьовими і штирьовими виводами в металізовані отвори. ДДП є найпоширенішим різновидом ДП в виробництві модулів РЕА, використовуються у вимірювальній техніці, системах управління та автоматичного регулювання.

ДДП мають:

- високу трасувальну здатність, високу надійність з'єднань;
- забезпечують високу щільність монтажу елементів та хорошу механічну міцність їх кріплення;
- використовуються для поверхневого монтажу.

Правильний вибір матеріалів, технологічних процесів і елементної бази при розробці сучасних друкованих вузлів багато в чому визначає рівень працездатності і надійності електронного пристрою в цілому при раціональних економічних витратах у виробництві.

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		35

При виробництві ДП застосовуються імпортні матеріали різних виробників. Матеріали, що застосовуються в якості основи для ДП повинні мати:

- високі електроізоляційні властивості;
- достатню механічну міцність;
- бути стійкими до кліматичних впливів.

Цим вимогам задовольняє: склотекстоліт фольгований, тому і беремо його.

Склотекстоліти - являють собою спресовані шари склотканини, які просякнуті епоксифенольною смолою. Фольгований склотекстоліт представляє собою пластик, виготовлений з склотканин та облицьований з однієї чи з обох сторін мідною фольгою [22]. Має дуже високі механічні і електроізоляційні властивості, добре піддається механічній обробці різанням, свердлінням, штампуванням. Рекомендується для виготовлення друкованих плат та інших виробів, що експлуатуються в умовах нормальної і підвищеної відносної вологості навколишнього середовища при температурі від -60°C до $+85^{\circ}\text{C}$.

FR-4 імпортний фольгований склотекстоліт. FR-4 на сьогодні найпоширеніша марка матеріалу для виробництва друкованих плат. Високі технологічні і експлуатаційні характеристики зумовили популярність цього матеріалу. Саме він є найбільш поширеним матеріалом для виробництва ДДП і БДП. Обираємо саме FR-4, бо він імпортний та більш надійний і сучасний.

FR-4 має номінальну товщину 1,5 мм, облицьований мідною фольгою товщиною 35 мкм з однієї або двох сторін. Стандартний FR-4 товщиною 1,5 мм складається з восьми шарів ("препрегів") склотекстоліту. На центральному шарі зазвичай знаходиться логотип виробника, колір його відображає клас горючості даного матеріалу (червоний - UL94-VO, синій - UL94-HB). Зазвичай, FR-4 - прозорий, стандартний зелений колір визначається кольором паяльної маски, нанесеної на закінчену друковану плату [23].

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		36

Властивості:

- об'ємний електричний опір після кондиціонування і відновлення (Ом*м): $9,2 \times 10^{13}$;
- поверхневий електричний опір (Ом): $1,4 \times 10^{12}$;
- міцність на відшаровування фольги після впливу гальванічного розчину (Н/мм): 2,2;
- горючість (вертикальний метод випробування): клас Vo.

Отже, для реалізації ДДП обираємо сучасний, з високими параметрами матеріал FR4-2-35-1,5. Даний матеріал є фольгованим склотекстолітом з підвищеною нагрівостійкістю, товщиною 1,5 мм, облицювальний з двох сторін мідною електролітичною фольгою товщиною 35 мкм.

3.2. Вибір класу точності ДП

Точність виготовлення ДП залежить від комплексу технологічних параметрів і з практичної точки зору визначає основні параметри елементів ДП. В першу чергу це відноситься до мінімальної ширини провідників, мінімального зазору між елементами провідного малюнка і до ряду інших параметрів.

При конструкторсько-технологічному розрахунку необхідно використовувати граничні значення елементів друкованого монтажу з урахуванням похибки їх виконання. Необхідні граничні значення елементів друкованого монтажу і допустимі похибки наведені в таблицях 4.1 і 4.2.

Гарантований поясок, або "гарантійний поясок" - номінальна ширина металевого обідка навколо отвору (цей ободок зазвичай мінімальний у перехідного отвору. Наближено обчислюється як різниця між діаметром майданчика і діаметром отвору, поділена навпіл [24].

Випуск ДП другого і першого класів здійснюється на звичайному обладнанні, а іноді навіть на обладнанні, не призначеному для виготовлення

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		37

друкованих плат. Такі ДП, з невисокими (і навіть з низькими) конструктивними параметрами, призначені для недорогих пристроїв з малою щільністю монтажу. До цього класу належать друковані плати любительського і макетного рівня, часто одиничного або дрібносерійного виробництва.

ДП третього класу - найбільш поширені, оскільки, з одного боку, забезпечують досить високу щільність трасування і монтажу, а з іншого - для їх виробництва достатньо звичайного спеціалізованого обладнання.

ДП четвертого класу випускаються на високоточному обладнанні, але вимога до матеріалів, обладнання і виробничих приміщень нижче, ніж для п'ятого класу.

Виготовлення ДП п'ятого класу точності вимагає застосування унікального високоточного обладнання, спеціальних (як правило, дорогих) матеріалів і навіть створення у виробничих приміщеннях «чистої зони». Таким вимогам відповідає не кожне виробництво. Однак, ДП невеликого розміру можуть виконуватися по п'ятому класу на обладнанні, що забезпечує виробництво плат четвертого класу [25].

Для даного завдання вибираємо 4-ий клас точності, так як він забезпечує достатню щільність трасування і монтажу з урахуванням необхідних габаритів пристрою. Також обраний клас точності дозволяє проводити друковані провідники поміж контактних майданчиків SMD мікросхем з планарними виводами.

3.3. Обґрунтування методу виготовлення ДП

Буде використовуватись комбінований позитивний метод, бо він має високу надійність МО та високі електроізоляційні параметри плати, так як діелектрична основа плати закрита мідною фольгою практично у всьому

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		38

технологічному циклі. Комбінований позитивний метод комбінує в собі всі переваги хімічного та електрохімічного методів.

Комбінований позитивний спосіб складається з наступних основних етапів:

- підготовка основи
- нанесення рисунку провідників
- нанесення захисної лакової плівки - обробка отворів
- хімічне міднення отворів - видалення лакової плівки
- електролітичне міднення отворів та провідників
- нанесення кислотостійких сплавів та металів
- видалення емульсії - травлення
- освітлення провідних покриттів
- механічна обробка плати

3.4 Розробка в друкованого вузла в Altium Designer

Завдяки такому потужному інструменту як Altium Designer, можна створити проект який включає в себе:

- Створення схеми електричної принципової
- Створення друкованої плати

Для схеми та плати створюються бібліотеки умовно-графічних зображень та посадкових місць з 3D виглядом відповідно. Розробник сам робить всі налаштування плати та правила трасування для конкретного класу точності. Можливості програми дозволяють розглядати в 3D вигляді готову друковану плату після розміщення та трасування. Також в програмі можна експортувати креслення схеми електричної принципової, топологію та 3D вигляд плати, а також необхідні конструкторські документи (специфікацію та перелік елементів) за встановленим заздалегідь плагіном ГОСТ. Це суттєво полегшує роботу розробника.

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		39

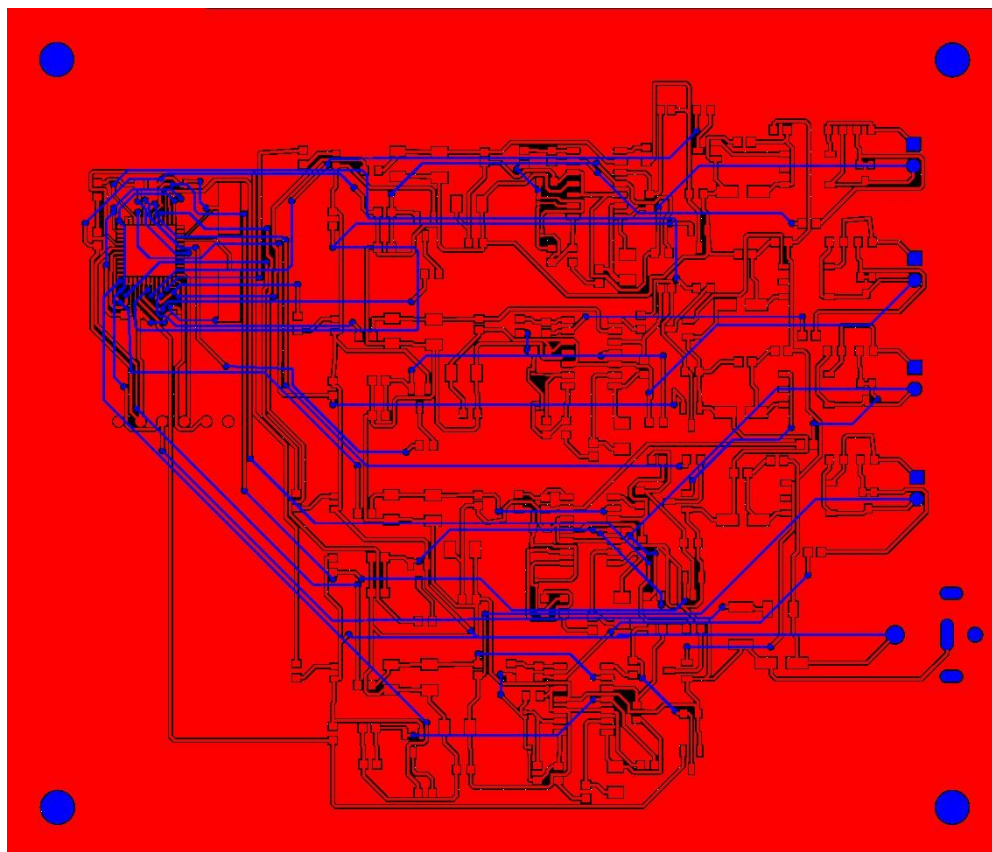


Рисунок 3.1 – Топологія плати

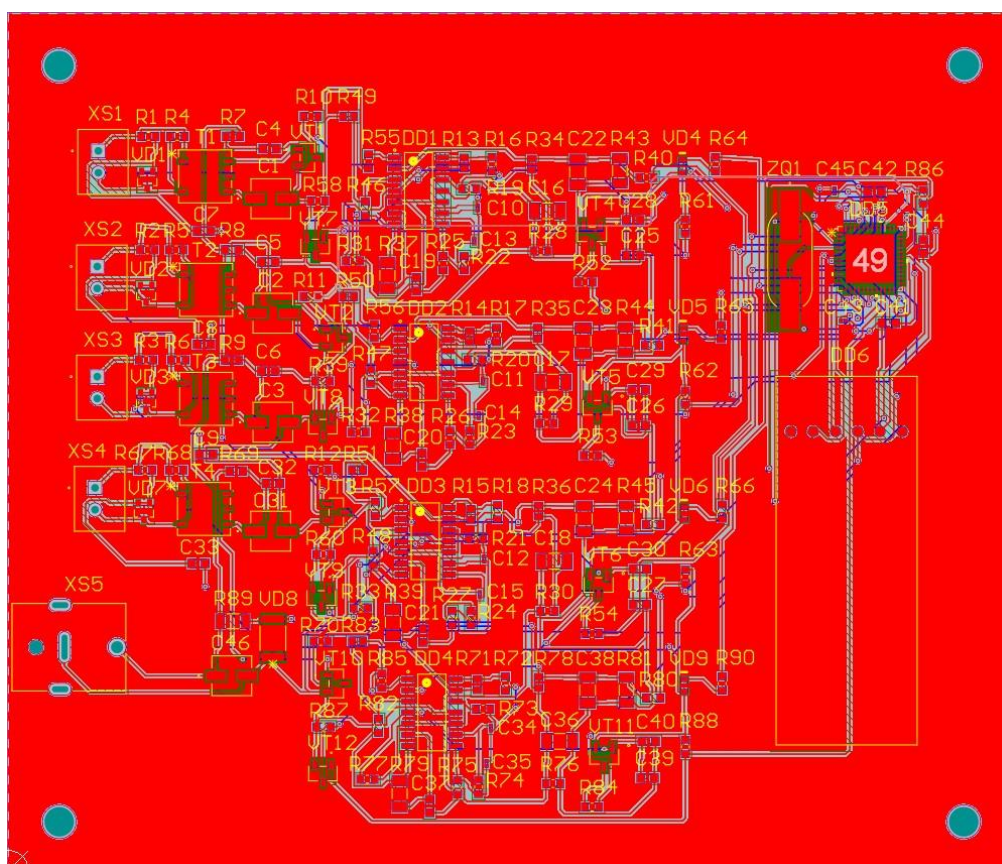


Рисунок 3.2 – Створена плата у редакторі без компонентів

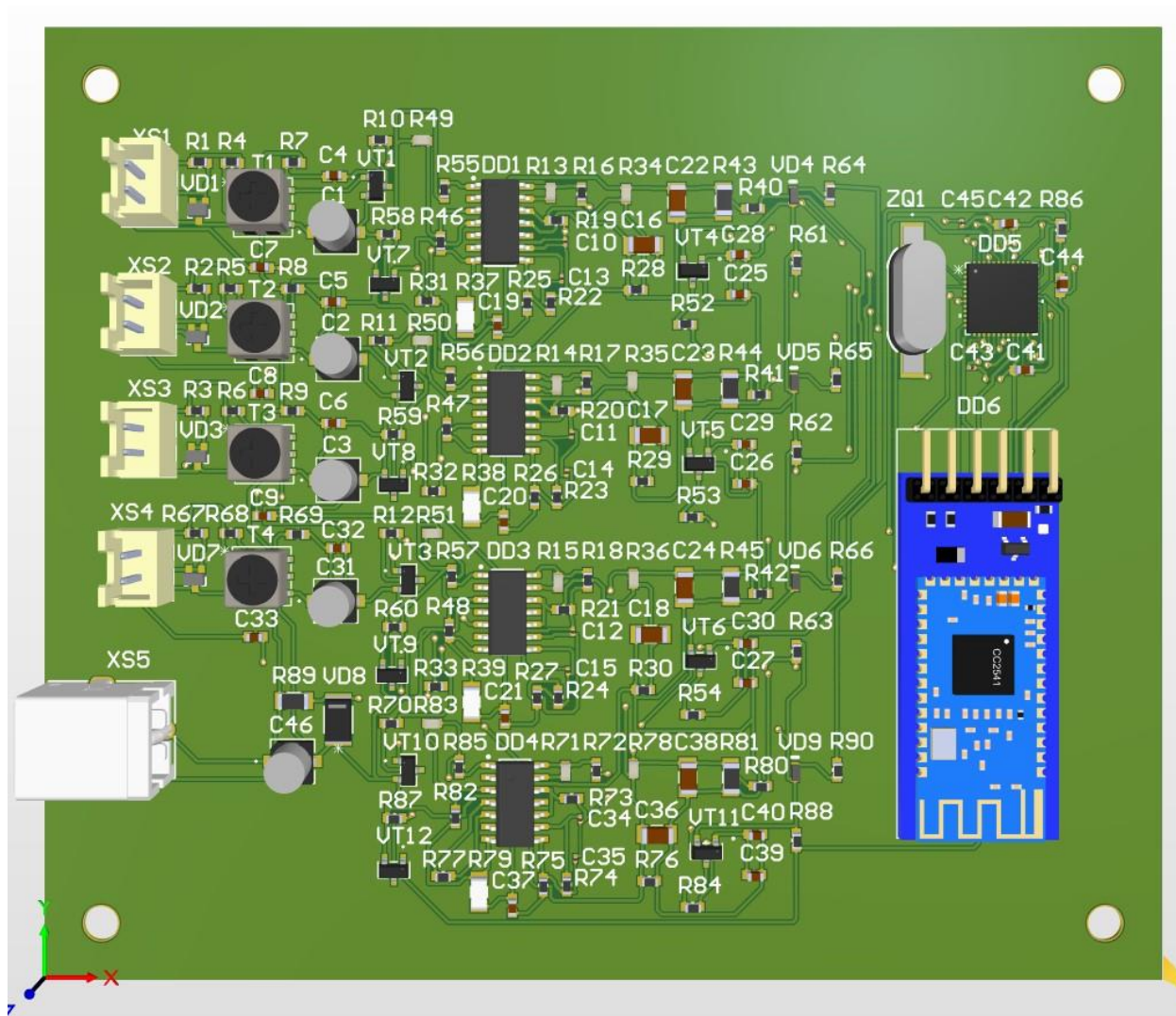


Рисунок 3.3 – створена друкована плата

#	Name	Material	Type	Weight	Thickness	Dk
	Top Overlay		Overlay			
	Top Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.01016mm	3.5
1	Top Layer		Signal	1oz	0.03556mm	
	Dielectric 1	FR-4	Dielectric		0.32004mm	4.8
2	Bottom Layer		Signal	1oz	0.03556mm	
	Bottom Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.01016mm	3.5
	Bottom Overlay		Overlay			

Рисунок 3.4 – налаштування параметрів шарів плати

Висновки за розділом 3

Двошарова ДП з склотекстоліту фольгового FR4 дуже хороший і сучасний варіант, який широко застосовується для ДП. Цей матеріал представляє собою пресований матеріал на основі склотканини, просоченої епоксидним наповнювачем, облицьований з двох сторін мідною електролітичною фольгою. Застосовується для виготовлення звичайних одно- і двосторонніх друкованих плат, використовуваних в теле- і радіоапаратурі. Він має хороші характеристики термостійкості і відмінні механічні та електричні властивості. Також, був обраний 4 клас точності для ДП. Тому всі розрахунки ширини, діаметру доріжок, контактних майданчиків мають бути менші або такого значення, які подані у параметрах для 4 класу. Згідно розрахунків можна провести провідник поміж виводів ІС.

У наступному розділі буде розглянуто конструкторсько-технологічні розрахунки відповідно до обраного матеріалу ДП класу точності та методу виготовлення, електричний розрахунок, а також розрахунок надійності та віброміцності.

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		42

РОЗДІЛ 4 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНІЧНІ РОЗРАХУНКИ

У даному розділі містяться конструкторські розрахунки, згідно обраних матеріалу, класу точності та методу виготовлення друкованої плати, а також відповідної компонентної бази. Використовувалась інформація з відповідних джерел [26, 27, 28, 29, 30, 31].

4.1 Виконання конструкторсько-технологічного розрахунку елементів ДП

Таблиця 4.1 - Граничні значення основних параметрів ПМ

Параметер	Позначення	Клас точності			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	$b_{\text{пр}^Г}$	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між елементами друкованого монтажу, мм	$l^Г$	0,45	0,25	0,15	0,10
Гарантований поясок, мм	$b_{\text{по}}$	0,20	0,10	0,05	0,03
Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати, мм	$K_{\text{дт}}$	0,40	0,33	0,25	0,20

Таблиця 4.2 - Допустимі похибки виконання елементів ПМ

Похибка	Обозначення	Максимальне значення, мм
Зміщення провідників відносно ліній КО	$\delta_{\text{сп}}$	0,05
Розташування отворів (всіх) відносно вузлу КО	$\delta_{\text{о}}$	0,07
Розташування КМ відносно вузлу КО	$\delta_{\text{км}}$	0.015(0.05)
Фотокопії та фотошаблону	$\delta_{\text{фф}}$	0,06
Розташування КМ відносно вузлу КО на фотошаблоні	$\delta_{\text{фш}}$	0,05

Визначення мінімальної ширини друкованого провідника по постійному струму для ланцюгів живлення та землі:

Мінімальна ширина друкованого провідника по постійному струму $b_{\min I}$ (мм) для ланцюгів живлення та «землі» визначається виразом 4.1:

$$b_{\min I} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}}, \quad (4.1)$$

де $I_{\max}$ – максимально можливий струм в ланцюгу, А;

$j_{\text{доп}}$ – допустима щільність струму для ДП, яка виготовлена комбінованим позитивним методом, $j_{\text{доп}} = 48 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$;

$t_{\text{пров}}$ – товщина друкованого провідника, яка визначається виразом (4.2);

Друкований провідник виготовлюється комбінованим позитивним методом. Згідно методу виготовлення:

$$t_{\text{пров}} = h_{\phi} + h_{\text{ГМ}} + h_{\text{ХМ}}, \quad (4.2)$$

де h_{ϕ} – товщина фольги, $h_{\phi} = 0,035$ мм;

$h_{\text{ГМ}}$ – товщина шара гальванічно осадженої міді, $h_{\text{ГМ}} = 0,055$ мм;

$h_{\text{ХМ}}$ – товщина шара хімічно осадженої міді, $h_{\text{ХМ}} = 0,0065$ мм;

$t_{\text{пров}} = 0,035 + 0,055 + 0,0065 = 0,0965$ (мм).

Параметр $I_{\max}$ в виразі (4.1) визначається як сума струмів, які споживають усі активні елементи схеми. Значення струмів, які споживають активні елементи схеми, наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Струми, які споживають елементи схеми

IC	Кількість IC	$I_{\text{спож}}, \text{ мА}$
LM324AMX	4	$4 \cdot 0,7 = 2,8$
STM32F401CCU6	1	19
JDY-31	1	7,3
BAV99WT1G	4	$4 \cdot 5 = 20$
TLMY1100-GS08	4	$4 \cdot 20 = 80$
ACZRA4728	1	76
SS8050	8	$8 \cdot 10 = 80$
SS8550	4	$4 \cdot 100 = 400$

У результаті:

$$I_{max} = 2,8 + 19 + 7,3 + 20 + 80 + 76 + 80 + 400 = 685,1 \text{ (мА)}$$

Тоді мінімальна ширина друкованого провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення та «землі» визначається наступним чином:

$$b_{min I} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \cdot t_{пров}} = \frac{685,1 \cdot 10^{-3}}{48 \cdot 0,0965} = 0,1479 \text{ (мм)}$$

Отримане значення мінімальної ширини провідника $b_{min I} = 0,14$ мм входить в значення обраного 4 класу точності ($b_{пр}^r = 0,15$ мм). Таким чином, оптимальна ширина провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення та «землі» дорівнює розрахованому значенню.

Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому:

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому, визначається (4.3):

$$b_{min U} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot L_{пров}}{U_{доп} \cdot t_{пров}}, \quad (4.3)$$

де ρ – питомий опір провідника, виготовленого комбінованим позитивним методом, $\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

$L_{пров}$ – довжина найдовшого друкованого провідника ДП, $L_{пров} = 598$ мм;

$U_{доп}$ – допустиме падіння напруги на друкованому провіднику;

$$U_{доп} = 0,05 \cdot U_{жив} = 0,05 \cdot 5 = 0,45 \text{ В.}$$

$$b_{min U} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot L_{пров}}{U_{доп} \cdot t_{пров}} = \frac{0,0175 \cdot 685,1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,598}{0,25 \cdot 0,0965} = 297,184 \cdot 10^{-3} \text{ (мм)}$$

Визначення номінального діаметру монтажної отвору:

$$d \geq d_{ве} + \Delta d_{мо} + r, \quad (4.4)$$

де $d_{ве}$ – діаметр виводу елементів, для якого визначається діаметр монтажної отвору;

					ДК 72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$\Delta d_{\text{МО}}$ – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру МО;
 $\Delta d_{\text{МО}}=0,1$ мм.

r – різниця між мінімальним діаметром МО та максимальним діаметром виводу елемента, $r=0,1 \dots 0,2$ мм. В цьому випадку виходить якісне заповнення МО при пайці та оптимальна вага самої пайки.

Розрахунок для роз'єму 2В-ХН-А:

$$d \geq d_{\text{ве}} + \Delta d_{\text{МО}} + r = 0,8 + 0,1 + 0,2 = 1,1 \text{ (мм)}$$

Визначення діаметра контактного майданчику:

$$D_{\text{min}} = D_{\text{min1}} + 1,5 \cdot h_{\text{ф}} + 0,03, \quad (4.5)$$

де D_{min1} – мінімальний ефективний діаметр КМ, мм;

$h_{\text{ф}}$ – товщина фольги, $h_{\text{ф}} = 0,035$ мм. Коефіцієнт $1,5h_{\text{ф}}$ враховує підтравлювання фольги друкованого провідника у ширину;

0,03 – КМ виготовляють комбінованим позитивним методом.

$$D_{\text{min1}} = 2 \cdot \left(b_{\text{по}} + \frac{d_{\text{max}}}{2} + \delta_o + \delta_{\text{КМ}} \right), \quad (4.6)$$

де d_{max} – максимальний діаметр отвору в ДП, мм,

$$d_{\text{max}} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), \quad (4.7)$$

де d – номінальний діаметр МО, мм;

Δd – допуск на діаметр отвору, $\Delta d = 0,05$ мм;

$b_{\text{по}}$ - ширина пояски КМ, $b_{\text{по}} = 0,05$ мм (табл.4.1);

δ_o - похибка розташування центру отвору відносно вузла КС, $\delta_o = 0,07$ мм (табл.4.2);

$\delta_{\text{КМ}}$ - похибка розташування центру КМ відносно вузла КС, $\delta_{\text{КМ}} = 0,05$ (табл.4.2).

$$d_{\text{max}} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15) = 1,1 + 0,05 + 0,1 = 1,25 \text{ (мм)}$$

$$\begin{aligned} D_{\text{min1}} &= 2 \cdot \left(b_{\text{по}} + \frac{d_{\text{max}}}{2} + \delta_o + \delta_{\text{КМ}} \right) = 2 \cdot \left(0,05 + \frac{1,25}{2} + 0,07 + 0,05 \right) \\ &= 1,59 \text{ (мм)} \end{aligned}$$

Максимальний діаметр КМ:

$$D_{max} = D_{min1} + 0,02 \quad (4.8)$$

$$D_{max} = 1,59 + 0,02 = 1,61 \text{ (мм)}$$

Визначення мінімальної ширини провідника:

$$b_{min} = b_{пр}^r + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03, \quad (4.9)$$

де $b_{пр}^r$ – мінімальна ширина провідника. Визначаємо з таблиці класів точності (табл.4.1). Для 4-го класу точності ДМ $b_{пр}^r = 0,15$ мм.

$$b_{min} = 0,15 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 0,23 \text{ (мм)}$$

Максимальна ширина провідника:

$$b_{max} = b_{min} + 0,02, \quad (4.10)$$

$$b_{max} = 0,23 + 0,02 = 0,25 \text{ (мм)}$$

Визначення мінімальної відстані між провідником та контактним майданчиком:

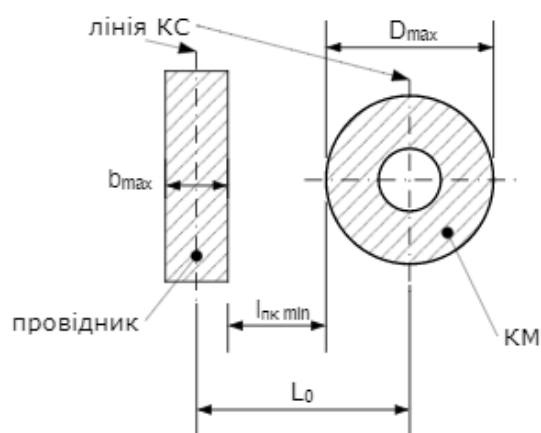


Рисунок 4.1 – Друкований провідник та контактний майданчик з позначеннями відповідних розмірів

$$l_{ПКМ min} = L_0 - \left(\frac{D_{max}}{2} + \delta_{КМ} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{СП} \right), \quad (4.11)$$

де L_0 – відстань між центрами отворів та друкованим провідником, які кратні кроку КС, $L_0 = 1,25$ мм (найгірший випадок);

$D_{\max}$ - максимальний діаметр КМ;

$b_{\max}$ - максимальна ширина провідника;

$\delta_{\text{км}}$ - похибка розташування центра КМ відносно вузла КС, $\delta_{\text{км}} = 0,05$ (табл.4.2);

$\delta_{\text{сп}}$ - похибка, яка враховує зміщення провідника, $\delta_{\text{сп}} = 0,05$ мм.

$$l_{\text{ПКМ min}} = L_0 - \left(\frac{D_{\max}}{2} + \delta_{\text{км}} + \frac{b_{\max}}{2} + \delta_{\text{сп}} \right) =$$

$$= 1,25 - \left(\frac{1,61}{2} + 0,05 + \frac{0,25}{2} + 0,05 \right) = 0,22 \text{ (мм)}$$

Для SMD елементів (STM32F401CCU6):

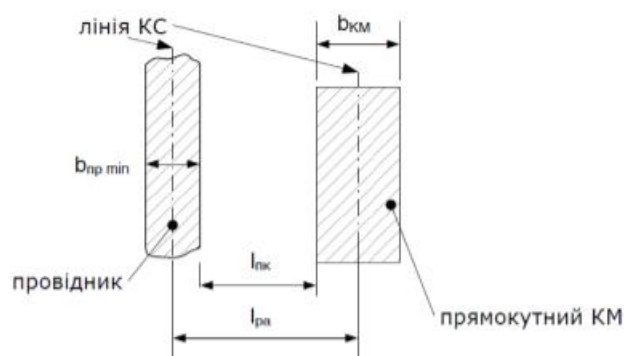


Рисунок 4.2 – Друкований провідник та контактний майданчик SMD компоненту з позначеннями відповідних розмірів

$$l_{\text{ПК}} = l_{\text{ра}} - \left(\frac{b_{\text{км}}}{2} + \delta_{\text{км}} + \frac{b_{\text{пр max}}}{2} + \delta_{\text{сп}} \right) \quad (4.12)$$

$$l_{\text{ПК}} = 0,5 - \left(\frac{0,3}{2} + 0,05 + \frac{0,25}{2} + 0,05 \right) = 0,125 \text{ (мм)}$$

Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками
(між краями провідників):

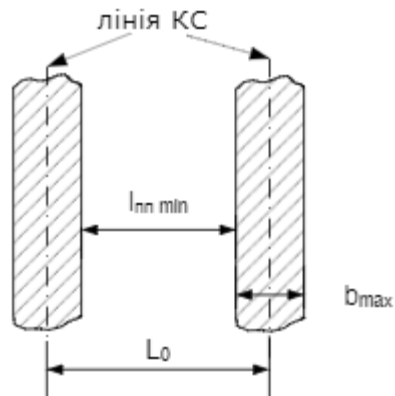


Рисунок 4.3 – Розміщення двох друкованих провідників з позначеннями відповідних розмірів

$$l_{\text{ПП min}} = L_0 - (b_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{СП}}), \quad (4.13)$$

де L_0 – відстань між центрами друкованих провідників, що є кратним кроку КС, $L_0 = 0.5$ мм.

$$l_{\text{ПП min}} = L_0 - (b_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{СП}}) = 0,5 - (0,25 + 2 \cdot 0,05) = 0,15 \text{ (мм)}$$

Визначення мінімальної відстані між двома контактних майданчиків:

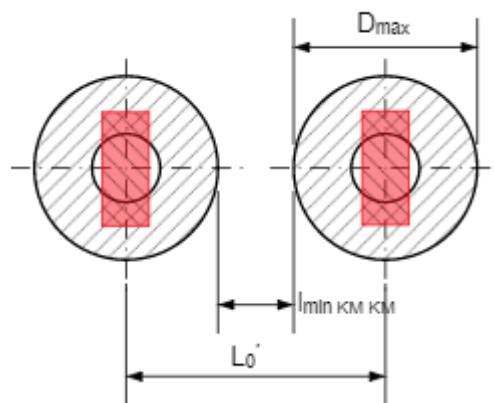


Рисунок 4.4 – Розміщення двох контактних майданчиків з позначеннями відповідних розмірів

$$l_{\text{min КМ}} = L'_0 - (D_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{КМ}}), \quad (4.13)$$

де L'_0 – відстань між центрами сусідніх КМ, $L'_0 = 2,5$ мм.

$$l_{\min \text{ КМ}} = L'_0 - (D_{\max} + 2 \cdot \delta_{\text{КМ}}) = 2,5 - (1,61 + 2 \cdot 0,05) = 0,79 \text{ (мм)}.$$

Для SMD елементів (LM324AMX):

$$l_{\min \text{ КМ}} = L'_0 - (D_{\max} + 2 \cdot \delta_{\text{КМ}}), \quad (4.14)$$

де L'_0 - відстань між центрами сусідніх КМ, $L'_0 = 1,27$ мм;

$D_{\max}$ - ширина КМ, $D_{\max} = 0,6$ мм.

$$l_{\min \text{ КМ}} = L'_0 - (D_{\max} + 2 \cdot \delta_{\text{КМ}}) = 1,27 - (0,6 + 2 \cdot 0,05) = 0,57 \text{ (мм)}.$$

4.2 Електричний розрахунок друкованої плати

Зі зменшенням геометричних розмірів конструктивних елементів та зі збільшенням щільності їх розташування між сигнальними провідниками виникає ємнісний та індуктивний зв'язок. При перемиканні елементів по сигнальним ланцюгам протікають високочастотні імпульсні струми з крутими фронтами, які внаслідок наявності паразитних зв'язків наводять на сусідніх сигнальних провідниках перешкоди. Останні при певних умовах викликають помилкове спрацювання дискретних елементів. Необхідно, щоб значення перешкод не перевищували допустимої межі.

Вплив ємності та індуктивності сигнального зв'язку виражається в затримці вмикання схем. Час затримки визначається струмом, опором навантаження та опором сигнального провідника.

Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику

Падіння напруги на друкованому провіднику визначається:

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\max} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}}, \quad (4.15)$$

де ρ - питомий об'ємний опір для комбінованого позитивного методу виготовлення ДП, $\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$;

$l_{\text{пр}}$ – максимальна довжина друкованого провідника, $l_{\text{пр}} = 0,598$ м;

$t_{\text{пр}}$ – товщина провідника, $t_{\text{пр}} = 0,0965$ мм;

I_{max} – максимальний струм у провіднику, $I_{\text{max}} = 685,1$ мА;

$b_{\text{пр}}$ – максимальна ширина провідника, $b_{\text{пр}} = 0,3$ мм.

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 0,6851 \cdot 0,598}{0,3 \cdot 0,0965} = 0,24 \text{ (В)}$$

Розраховане падіння напруги не перевищує $5\% = 0,25$ В від напруги живлення ($U_{\text{ж}} = 5\text{В}$).

Визначення потужності втрат двосторонньої друкованої плати

Потужність втрат визначається:

$$P_{\text{пот}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot \text{tg}\sigma, \quad (4.16)$$

де $f = 1$, тому що розрахунок виконується на постійному струмі;

$\text{tg}\sigma$ – тангенс кута діелектричних втрат для матеріалу ДП, $\text{tg}\sigma = 0,002$ для матеріалу FR4;

C – ємність ДП.

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h}, \quad (4.17)$$

де ε – діелектрична проникність, $\varepsilon = 4,5$ для FR4;

S_m - площа металізації, $S_m = 11\,278,48$ мм²;

h - товщина ДП, $1,5$ мм.

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h} = \frac{0,009 \cdot 4,5 \cdot 11278,48}{1,5} = 304,519 \text{ (нФ)}$$

$$P_{\text{пот}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot \text{tg}\sigma = 2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 304,519 \cdot 10^{-9} \cdot 25 \cdot 0,002 = 95,620 \text{ (нВт)}$$

Визначення ємності між двома сусідніми провідниками, які розташовуються на одній стороні ДП та мають однакову ширину

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1}, \quad (4.18)$$

де S – відстань між двома паралельними провідниками, $S = 0,35$ мм;

$b_{\text{пр}}$ - ширина друкованого провідника, $b_{\text{пр}} = 0,25$ мм;

$t_{\text{пр}}$ - товщина друкованого провідника, $t_{\text{пр}} = 0,0965$ мм;

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		51

$l_{\text{пр}}$ - довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників, $l_{\text{пр}} = 27,573$ мм.

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1} = 0,12 \cdot 4,5 \cdot 27,573 \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot 0,35}{0,25 + 0,0965} \right]^{-1} \\ = 32.237 \text{ (пФ)}$$

Визначення взаємної індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини

$$M = 0,02 \left(l_{\text{пр}} \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}} \right), \quad (4.19)$$

де $l_{\text{пр}}$ – довжина перекриття паралельних провідників, $l_{\text{пр}} = 2,7573$ см;
 L_0 – відстань між осьовими лініями двох паралельних провідників;
 $L_0 = 0,047$ см.

$$M = 0,02 \left(l_{\text{пр}} \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}} \right) = \\ = 0,02 \left(2,7573 \cdot \lg \frac{\sqrt{2,7573^2 - 0,047^2} + 2,7573}{0,047} - \sqrt{2,7573^2 - 0,047^2} + 2,7573 \right) = 0,22 \text{ (нГн)}$$

4.3 Розрахунок надійності друкованого вузла

Найбільш точна кількісна міра надійності кожного конструктивного елементу – його індивідуальне напрацювання до моменту виникнення відмови.

На практиці ж достатньо повна характеристика надійності - щільність розподілення часу безвідмовної роботи даного типу КЕ $f(t)$ та інтенсивність відмов $\lambda(t)$. Функції $f(t)$ та $\lambda(t)$ визначаються експериментально. При цьому

період нормальної експлуатації для ІС характеризується високою надійністю. Тоді величини $f(t)$ та $\lambda(t)$ зв'язані відношенням:

$$f(t) = \lambda^{-\lambda t} \quad (4.20)$$

Знаючи $f(t)$ та $\lambda(t)$, можна визначити інші кількісні характеристик надійності на протязі часу від 0 до t

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (4.21)$$

Важлива характеристика надійності - середній час безвідмовної роботи визначається:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda}, \quad (4.22)$$

Інтенсивність відмов ЕРЕ є їх вихідною характеристикою надійності, залежить від режиму роботи та ступеню тяжкості таких зовнішніх впливів, як температура, тепловий удар, вологість, вібрації і т.д.

Тоді можна записати:

$$\lambda_e = \lambda_{0e} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n, \quad (4.23)$$

де λ_{0e} - інтенсивність відмов елементу при нормальних умовах роботи (температура навколишнього середовища $T_{\text{навк.серед}}^0 = 20 \pm 5^\circ\text{C}$, відносна вологість $65 \pm 15\%$); коефіцієнт електричного навантаження $K_n = 1$, $K_1, K_2, \dots, K_n$ - поправочні коефіцієнти, що враховують режими роботи та умови експлуатації.

Найбільш масові елементи РЕА: DD, R, C, VT, VD, роз'єми і т.д. Відмова одного чи декількох елементів веде до відмови всієї складної РЕА, при чому ці елементи фактично є невідновлюваними. По інтенсивності відмов вони між собою не рівноцінні. Для визначення інтенсивності відмов в реальних умовах необхідно враховувати режими та умови, в яких працюють та експлуатуються елементи, а відповідно і весь пристрій.

Для врахування впливу режиму роботи на інтенсивність відмов ЕОА вводять коефіцієнт навантаження, що дорівнює відношенню навантаження в робочому режимі до навантаження в номінальному режимі:

$$K_H = \frac{H_{\text{роб}}}{H_{\text{ном}}} = \frac{\text{навантаження робоче}}{\text{навантаження номінальне}}, \quad (4.23)$$

$$K_{HW} = \frac{P_{\text{роб}}}{P_{\text{ном}}} \quad - \text{ для } VT, R, DD$$

$$K_{HU} = \frac{U_{\text{роб}}}{U_{\text{ном}}} \quad - \text{ для } C, VD$$

$$K_{HI} = \frac{I_{\text{роб}}}{I_{\text{ном}}} \quad - \text{ для } VD, VT, DD$$

K_H не повинен перевищувати 1, бажано K_H зменшувати, однак при малих (наприклад маємо значний запас по надійності, але при цьому значно зростають габарити та вага. Рекомендується брати $K_H = 0.5 \div 0.8$.

Визначаємо результуючу інтенсивність відмов друкованого вузлу формувача величини напруги. Друкований вузол відноситься до наземної апаратури, експлуатується при $T_p = 60^\circ \text{C}$, інші умови експлуатації нормальні. Вихідні дані для розрахунку λ_p – схема принципова, перелік елементів, часова діаграма та інтенсивність відмов “компонентів надійності” від температурних впливів.

По картам робочих режимів визначаємо коефіцієнти навантаження, температурні коефіцієнти ІС та інших ЕРЕ, підраховуємо кількість всіх елементів. Вихідні дані для визначення λ_p зведені до таблиці 4.4.

В таблиці:

a_e – поправочний коефіцієнт на вплив зовнішніх впливів (“найгірший випадок” для стаціонарної апаратури $a_e = 20$),

a_t – поправочний температурний коефіцієнт.

Показники інтенсивності відмов, що наведені в таблиці, дещо завищені, дозволяє виконати розрахунок для «найгіршого випадку».

Результуюча інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивності відмов компонентів:

Таблиця 4.4 – Вихідні дані для розрахунку λ_p

Компонент	N	$\lambda_{oe} \cdot 10^7, \text{ год}^{-1}$	K_H	a_t	a_e	$N \cdot \lambda_{oe} \cdot K_H \cdot a_t \cdot a_e \cdot 10^7$
Конденсатори:						
керамічний 16V	34	0.22	0.3125	0.4	20	18.70
керамічний 25V	10	0.22	0.2	0.4	20	3.52
електролітичний 10V	1	1.73	0.5	0.4	20	6.92
електролітичний 50V	4	1.73	0.1	0.4	20	5.54
Резистори	90	0.44	0.135	0.15	20	16.04
кварцовий резонатор	1	0.26	1	1	20	5.20
діоди	8	0.91	0.05	0.45	20	3.28
світлодіод	4	0.0023	0.42	1	20	0.08
стабілітрон	1	0.041	0.47	0.78	20	0.30
транзистор біполярний	12	0.44	0.46	0.85	20	41.00
трансформатор	4	0.019	1	0.5	20	0.76
ІС	6	0.23	1	1	20	27.60
Пайка (друк.монтаж)	222	0.005	1	1	20	22.20
Роз'єм	6	0.041	1	1	20	4.92
Друкована плата	2	1	1	1	20	40.00
Перехідні отвори	112	0.0375	1	1	20	84.00
Сумарна інтенсивність відмов друкованого вузла						280.04

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi}, \quad (4.24)$$

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} \approx 280,04 \cdot 10^{-7} (\text{год}^{-1})$$

Середній час напрацювання до першої відмови:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{280,04 \cdot 10^{-7}} = 35708,639 \approx 36000 (\text{год})$$

Ймовірність безвідмовної роботи на протязі року:

$$P = e^{-\lambda_p t} = e^{-280,04 \cdot 10^{-7} \cdot 8760} \approx 0,782455$$

Ймовірність відмов на протязі року:

$$Q(t) = 1 - 0,782455 \approx 0,2175449$$

Графік залежності безвідмовної роботи ДВ $P(t)$ та ймовірність відмов ДВ $Q(t)$ від часу представлені на наступному графіку:

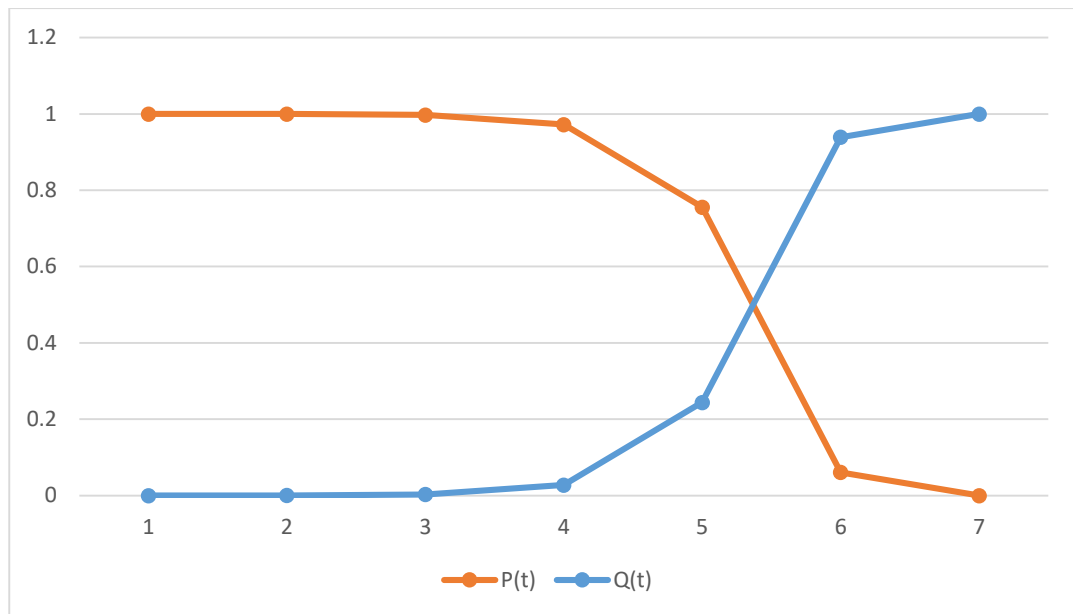


Рисунок 4.5 - Графік залежності безвідмовної роботи та ймовірності відмов від часу

4.4 Розрахунок віброміцності друкованої плати

Параметри склотекстоліту FR4:

коефіцієнт перевантаження $n = 8$;

гранична пластичність $\sigma_T = 105$ МПа;

модуль Юнга $E = 24$ ГПа;

коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,118$;

показник затухання $\varepsilon = 0,06$;

питома щільність $\nu = 1,85 \cdot 10^4$ Н/м²;

коефіцієнт запасу міцності $n_1 = 2$.

Гравітаційна стала $g = 9.81$ м/с².

Таблиця 4.5 - Маса елементів друкованої плати парктроніка.

Компонент	Кількість	маса, г	всього г
Конденсатори SMD керамічні	44	0.007	0.308
Конденсатори SMD електролітичні	5	0.15	0.75
Резистори SMD	90	0.002	0.18
кварцовий резонатор SMD	1	0.598	0.598
BAV99WT1G	4	0.028	0.112
TLMY1100-GS08	4	0.029	0.116
ACZRA4728-HF	1	0.073	0.073
транзистор біполярний SMD	12	0.008	0.096
трансформатор SMD	4	3.2	12.8
LM324AMX	4	0.2083	0.8332
STM32F401CCU6	1	2.6	2.6
JDY-31	1	50	50
DCJ250-20-B-K1-A	1	2.55	2.55
B2B-XH-A(LF)(SN)	4	0.26	1.04
Загальна маса			72.0562

Таблиця 4.6 - Параметри друкованої плати парктроніка.

а, мм	б, мм	d1, мм	ρ, кг/м ³	т плати, кг
115	98	1,5	1900	0.03211

Варіанти закріплення друкованих плат:

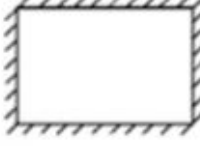
Спирання на 4 сторони 	$\alpha = \pi^2 \cdot \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right)$
Спирання на 3 сторони 	$\alpha = \pi^2 \cdot \sqrt{0,43 \cdot \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4}}$
Спирання на 3 сторони 	$\alpha = \pi^2 \cdot \sqrt{1 + 0,43 \cdot \frac{a^2}{b^2}}$
Жорстке закріплення по 4 сторонам 	$\alpha = 22,37 \cdot \sqrt{1 + 0,61 \cdot \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4}}$

Рисунок 4.6 – Варіанти закріплення друкованого вузлу, та формули розрахунку коефіцієнта α

Обраний тип закріплення – жорстке закріплення по 4 сторонам. При розрахунку до уваги не бралась вага паяних з'єднань.

Визначення маси друкованої плати і елементів:

$$m_n = 32,11 \text{ (г)}$$

$$m_e = 72,05 \text{ (г)}$$

Визначення коефіцієнта K_B :

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_e}{m_n}}} \quad (4.25)$$

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_e}{m_n}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{72,05}{32,11}}} = 0,56$$

Визначення коефіцієнта α , враховуючи вибраний тип закріплення:

$$\alpha = 22,37 * \sqrt{1 + 0,61 * \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4}} = 22,37 * \sqrt{1 + 0,61 * \frac{115^2}{98^2} + \frac{115^4}{98^4}} = 43,24$$

Визначення циліндричної жорсткості D:

$$D = \frac{E * \delta^3}{12 * (1 - \mu^2)} \quad (4.26)$$

$$D = \frac{E * \delta^3}{12 * (1 - \mu^2)} = \frac{24 * 10^9 * 0,0015^3}{12 * (1 - 0,118^2)} = 6,85 \text{ (Н * м)}$$

Визначення власної частоти коливань друкованої плати:

$$f_c = \frac{K_B * \alpha}{2 * \pi * a^2} * \sqrt{\frac{D * g}{2,05 * 10^4 * \delta}} \quad (4.27)$$

$$f_c = \frac{K_B * \alpha}{2 * \pi * a^2} * \sqrt{\frac{D * g}{1,85 * 10^4 * \delta}} = \frac{0,56 * 43,24}{2 * 3,14 * 115^2} * \sqrt{\frac{6,85 * 9,8}{1,85 * 10^4 * 0,0015}} = 453,5 \text{ (Гц)}$$

Практика показала, що якщо $f_c > 250$ Гц, то конструкція абсолютно жорстка. Тому подальші розрахунки такі як амплітуда вібрацій на власній частоті, або динамічний прогин розраховувати не потрібно.

Висновки за розділом 4

У даному розділі було проведено конструкторсько-технологічні розрахунки, що підтверджують правильність прийнятих конструкторських рішень. Визначено мінімальну ширину друкованого провідника по постійному струму для ланцюгів живлення та землі (0,14 мм), мінімальну ширину провідника з урахуванням допустимого падіння на ньому напруги (297,184 мкм), номінальний діаметр монтажного отвору (1,1 мм), мінімальну ширину провідника (0,23 мм), мінімальну відстань між провідником та контактним майданчиком (0,22 мм), мінімальну відстань між двома сусідніми провідниками (між краями провідників) (0,15 мм) та мінімальну відстань між двома контактними майданчиками (0,79 мм). Розраховувались значення як з SMD монтажем (LM324AMX і STM32F401CCU6), так і DIP (роз'єм 2В-ХН-А). Всі розрахунки підтверджують правильність вибору четвертого класу точності.

Отримали значення падіння напруги на найдовшому провіднику 0,24 В, воно дорівнює менше 5% від напруги живлення. Потужність втрат дорівнює (94,620 нВт) – це незначна величина. Паразитна ємність (32,327 пФ) та індуктивність (0,22 нГн) дозволяють стверджувати, що вони не впливають на роботу друкованого вузлу.

При розрахунку надійності друкованого вузла було розраховано сумарну інтенсивність друкованого вузла, середній час напрацювання до першої відмови (36000 год), ймовірність безвідмовної роботи на протязі року (0,782455) та ймовірність відмов на протязі року (0,2175449), а також побудовано графіки відповідних ймовірностей. Умови для експлуатації повинні бути згідно ТЗ. Пристрій має виконувати безперервну роботу до відмови. У теоретичних розрахунках не враховані такі фактори навантаження як старіння приладу, його знос і тому подібне. Повинні враховуватись всі

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		60

фактори, що впливають на надійність: конструктивні, експлуатаційні та виробничі.

А також розраховано віброміцність друкованої плати при закріплення з чотирьох сторін. Також було розраховано власну частоту друкованої плати яка складає 453,5 Гц. Дане значення >250 Гц дозволяє нам уникнути розрахунків на динамічний прогин плати для підтвердження виконання умов віброміцності, який не повинен перевищувати $1/5 h$ товщини самої плати.

У наступному розділі буде розглянуто програмне забезпечення для мікроконтролера.

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		61

РОЗДІЛ 5 ПРОГРАМА КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЄМ

У даному розділі розглянуто програмне забезпечення для парктроніка. Для цього наведено структуру програми та даних, а також алгоритм з використаними функціями. А також результати роботи реалізованого програмного забезпечення на зібраному макеті.

5.1 Інструментальні засоби

Для розробки програм використовувались наступні інструментальні засоби: STM32 ST-Link Utility, STM32CubeMX, MDK Keil microvision, програматор STM32 ST-Link v2.

STM32 ST-Link Utility – це програма обслуговування програматора. Буває корисна, коли втрачається зв'язок між програматором та мікроконтролером внаслідок хибних налаштувань обладнання в програмі, що була прошита в контролер.

STM32CubeMX – візуально орієнтована система налаштування ресурсів мікроконтролера, що дозволяє згенерувати проект та заготовку програми для MDK Keil microvision, яка містить набір функцій початкового налаштування вибраного обладнання.

MDK Keil microvision – крос-система розробки програмного забезпечення для ARM Cortex архітектури STM32. Включає редактор, компілятор та систему налагоджування програм через апаратний програматор-debugger STM32 ST-Link v2.

5.2 Структура програми

Спочатку за допомогою програми STM32CubeMX проводимо налаштування обладнання - мікроконтролера STM32F401, яке плануємо

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		62

здіяяти в проєкті (порти GPIO та режими їх роботи, систему тактування, таймер TIM2, який буде використовуватися для вимірювання часових інтервалів та інтерфейс USART через який підключатиметься Bluetooth модуль). Після виконання заданих налаштувань виконуємо генерацію кодів та створюємо проєкт для MDK Keil microvision. В результаті в заданому каталозі отримуємо файл проєкту та вихідні тексти програм на мові програмування C, а саме заготовку main.c, а також набір функцій ініціалізації вибраних ресурсів. Також в проєкт підключаються бібліотеки CMSIS та HAL, функції яких використовуються в згенерованих кодах, а також можуть бути задіяні в подальшій розробці.

Програма main () побудована наступним чином. Спочатку виконуємо необхідні ініціалізації, які здійснюємо викликаючи відповідні функції ініціалізації обладнання згенеровані CubeMX:

- HAL_Init() – початкова ініціалізація;
- SystemClock_Config() – налаштування системи тактування;
- MX_GPIO_Init() – налаштування портів GPIO;
- MX_TIM2_Init() – налаштування таймера 2;
- MX_USART2_UART_Init() – налаштування USART2;
- HAL_TIM2_Base_Start(&htim2) – запуск таймера.

HAL_Init() – використовується для ініціалізації бібліотеки HAL. Це повинна бути перша інструкція в програмі. Вона повинна бути викликана до використання будь-якої HAL функції.

SystemClock_Config() – налаштування системи тактування згідно рис. 5.1. Таким чином все обладнання тактується з частотою 72 MHz, окрім периферії APB1, яка тактується частотою 36 MHz.

MX_GPIO_Init() – налаштування портів GPIO здійснюється наступним чином: порт PC13 програмуємо як вихід для керування вбудованим

світлодіодом, що буде сигналізувати активність, а порти до яких підключаються ультразвукові сенсори налаштовуємо згідно таблиці 5.3.

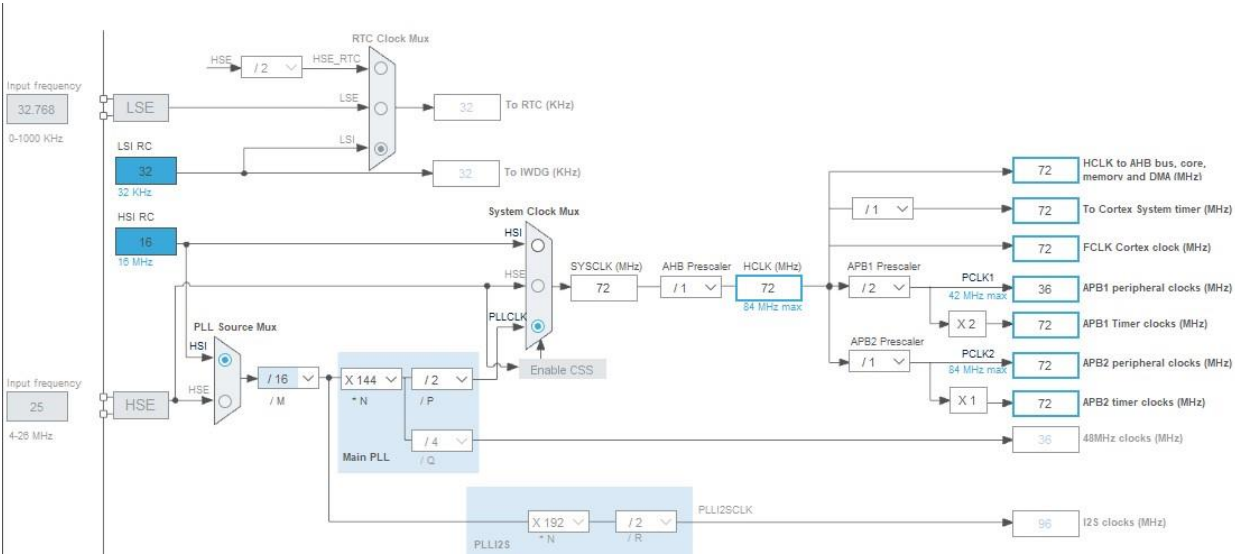


Рисунок 5.1 – Налаштування системи тактування

Таблиця 5.1 – GPIO B:

Сенсор	0	1	2	3
TRIG (вих)	PB0	PB2	PB4	PB6
ECHO (вхід)	PB1	PB3	PB5	PB7

MX_TIM2_Init() – налаштування таймера 2. Вимірювання часових інтервалів та часових затримок будемо здійснювати за допомогою таймера загального призначення TIM2.

Враховуючи швидкість звук 340 м за секунду при 20 °C, що відповідно становить 29.412 мкс/см. Таким чином для вимірювання відстані, що відповідає паспортній точності HC-SR04 – 3 мм, нам потрібно вимірювати часові інтервали в мкс. Для цього запрограмуємо TIM2 наступним чином: на його вхід подається частота 72 MHz. Подільник, що стоїть на вході таймера PSC Prescaler запрограмуємо, щоб він ділив частоту CK_INT на 72. Таким чином на вхід лічильника таймера TIM2 буде поступати частота 1 MHz і відповідно 1 в значенні лічильника буде відповідати часовому інтервалу 1 мкс.

Враховуючи, що в нас однозадачне середовище для простоти не будемо задіювати механізм переривань, а будемо визначати тривалість часових проміжків, вичитуючи в потрібні моменти значення лічильника CNT TIM2 і формувати затримки в циклі, вичікуючи в режимі опитування, поки таймер нарахує потрібне значення.

MX_USART2_UART_Init() – налаштування USART2. Інтерфейс налаштовуємо наступним чином:

Асинхронний режим, швидкість передачі 9600, довжина слова 8 біт, 1 стоп-біт, без контролю парності, управління потоком - вимкнено. Дані параметри відповідають налаштуванням Bluetooth модуля JDY-31 за замовчуванням. Виходи USART2 інтерфейсу налаштовані наступним чином PA2 - Tx, PA3 - Rx.

HAL_TIM2_Base_Start(&htim2) – запуск таймера згідно заданих параметрів в базовому режимі.

Після завершення налаштувань йде основна частина програми, яка виконується в безкінечному циклі в якому відбувається:

- запуск сенсора на вимірюванні відстані;
- відлік часу до приходу сигналу відбитого від перешкоди;
- на основі цього часу проводимо вирахування відстані до перешкоди;
- здійснюємо вивід отриманого значення відстані через UART інтерфейс на Bluetooth модуль. Вивід здійснюється за допомогою функції HAL_UART_Transmit.

Всі вище вказані дії повторюються в циклі для всіх 4-ох сенсорів.

Інші функції:

Delay – формування затримки в мкс;

microsecondsToCentimeters – перерахунок часу проходження ультразвуку (в мкс) у відстань (в см).

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		65

5.3 Структура даних

Таблиця 5.2 - Використані змінні:

Назва	Тип	Призначення
duration	unsigned int 32	Тривалість часу вимірювання відстані
time1	unsigned int 32	Час початку відліку
cm	double	Відстань в см
st1	char[20]	Буфер для виводу знайденої відстані в текстовому виді

5.4 Результати на стенді

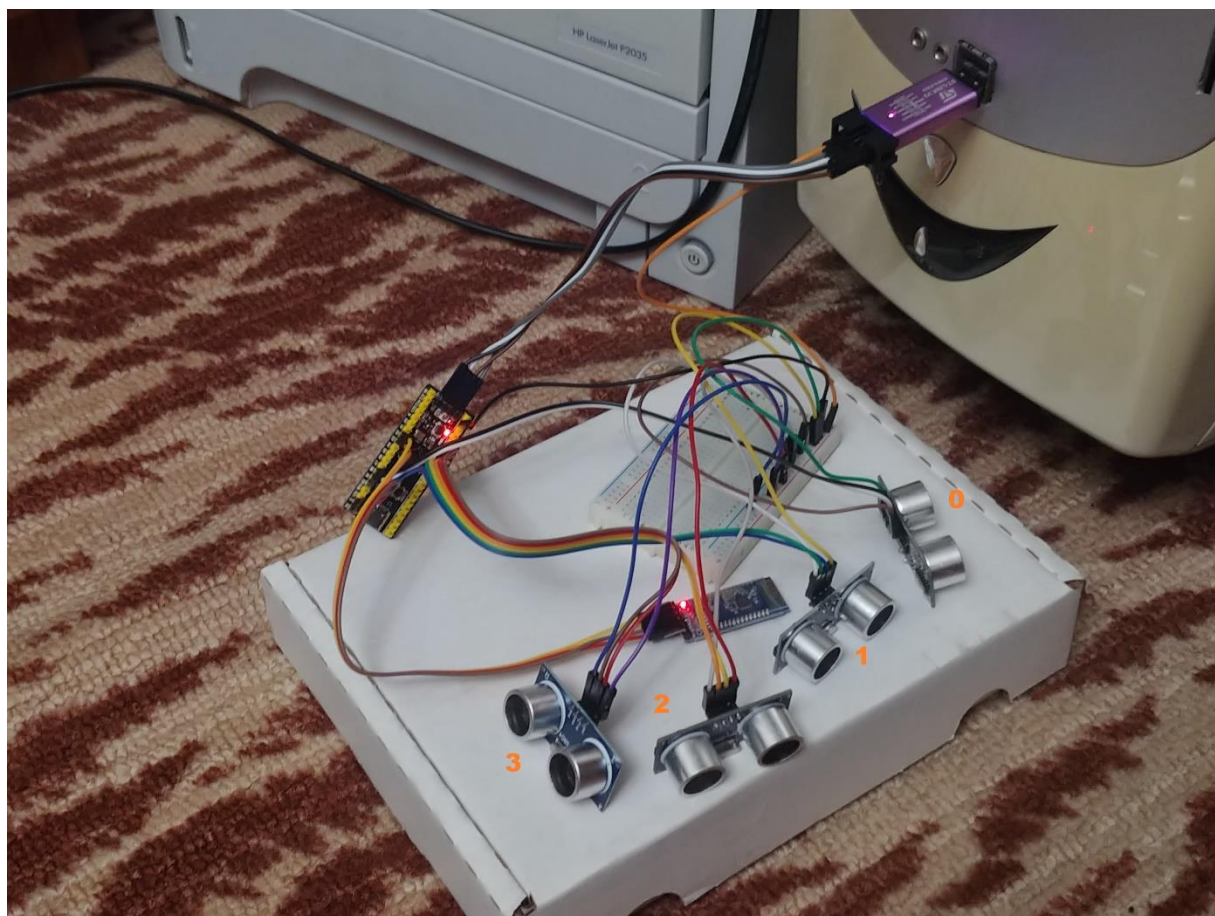


Рисунок 5.2 – Робочий стенд

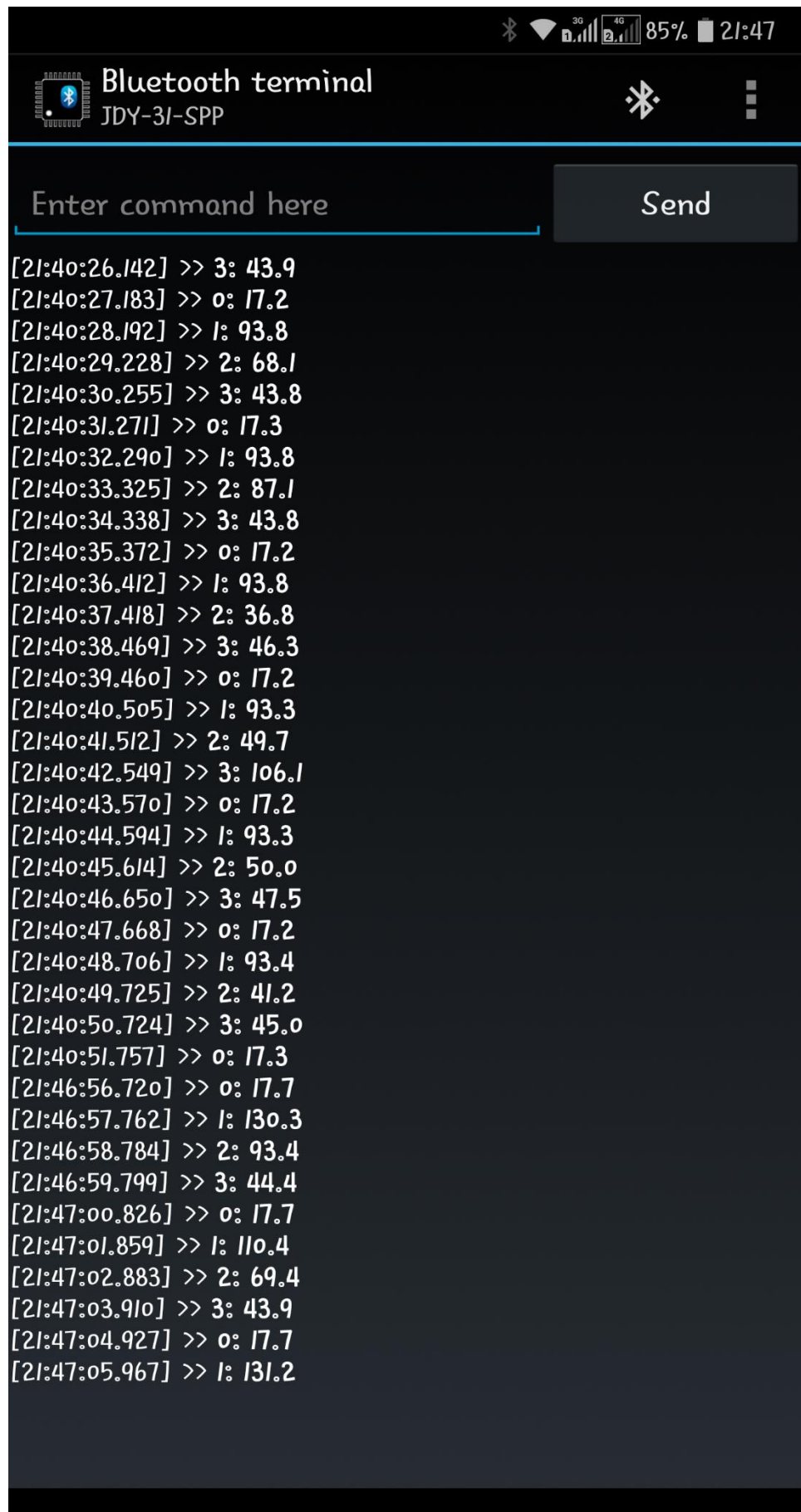


Рисунок 5.3 – Результати у додатку на смартфоні

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		67

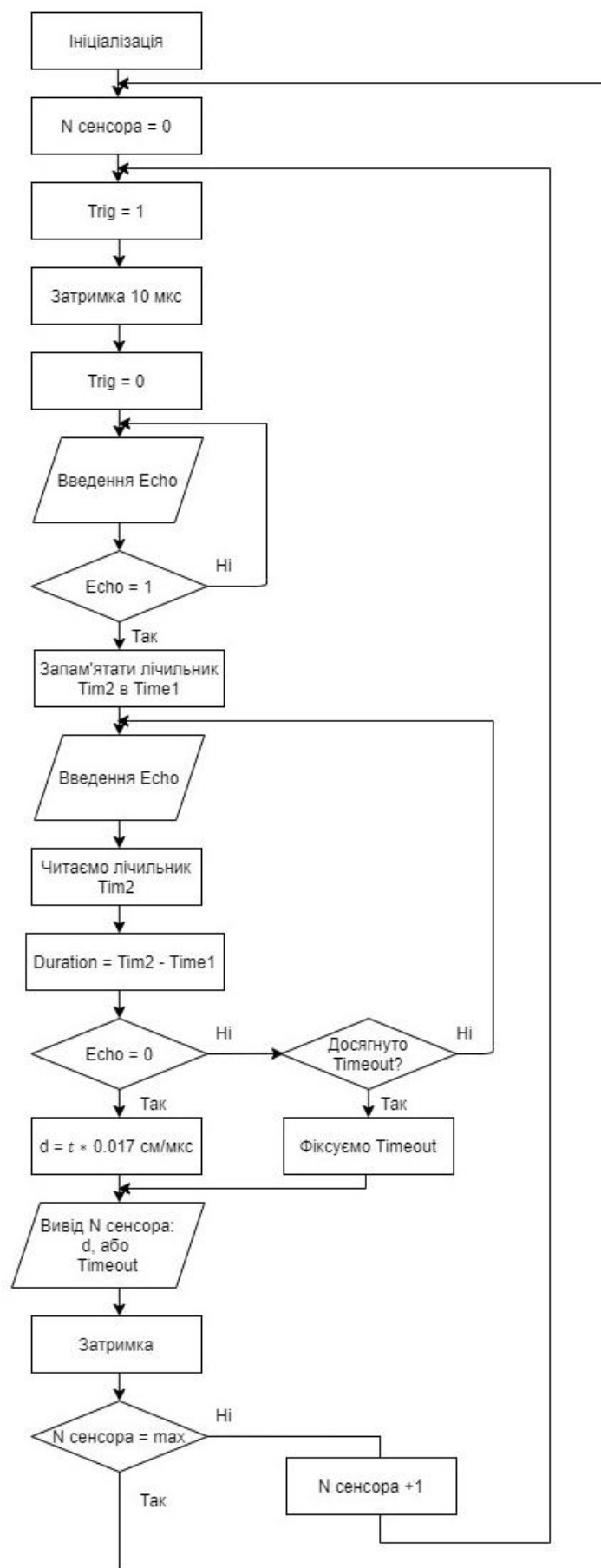


Рисунок 5.4 – Блок-схема алгоритму демонстраційної програми

Для того щоб запустити дальномір треба подати високий логічний рівень тривалістю 10 мкс на його вхід «Trig», підключений до виводу PB0, PB2, PB4, PB6. Після цього мікроконтролер очікує відповіді від дальноміру у вигляді високого логічного рівня на виході «Echo», підключеного до PB1, PB3, PB5, PB7. Мікроконтролер зчитує лічильник таймера по передньому фронту цього сигналу, а потім зчитує його значення по задньому. Різниця визначає час проходження звукової хвилі від дальноміра до перешкоди і назад у мікросекундах (рис. 5.4) [32]. Це дає змогу по формулі 2.1 обрахувати відстань до перешкоди.



Рисунок 5.4. Діаграма роботи дальноміру HC-SR04

Отримане значення виведеться через UART2.

Висновки за розділом 5

У цьому розділі було описано розроблену програму для парктроніка. Завдяки інструментальному засобу STM32CubeMX створено основу програмного забезпечення та власне проект для MDK Keil microvision, де вже відредаговано main.c. Даний прийом добре описаний в інтернеті [33]. Це значно спростило роботу та зменшило витрати часу на реалізацію програмного

забезпечення. Інтегрований Debugger в MDK Keil microvision дозволяє ефективно й зручно проводити налаштування програми, здійснюючи безпосередній доступ до обладнання через STM32 ST-Link v2.

Програма протестована на реальному обладнанні, отримано результати відстаней в см. Демонстраційний макетний зразок відрізняється від спроектованого використанням мікроконтролера у вигляді окремого друкованого вузла та ультразвукових сенсорів HC-SR04, що являють собою закінчений вузол з власним мікроконтролером. Дані сенсори цілком відповідають технічним параметрам, побудовані за аналогічною схемою і мають низьку ціну, але їх не можна задіяти в реальному проекті, тому що вони не призначені для експлуатації поза приміщенням. Реальний проект можна побудувати на водонепроникних JSN-SR04T, але вони мають відносно високу вартість. Крім того, створення готового виробу на 6-ти окремих друкованих вузлах ускладнює конструкцію та знижує надійність. Тому доцільно створення парктроніка на одній платі з 4-ма каналами ультразвукових сенсорів, що будуть керуватися одним мікроконтролером STM32, ресурсів та обчислювальної потужності якого цілком достатньо. При серійному виробництві затрати на проектування та розробку більш складного програмного забезпечення будуть цілком виправдані і собівартість виробу буде нижчою.

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		70

ВИСНОВКИ

У цьому дипломному проекті розроблено такий пристрій як парктронік з виводом інформації через Bluetooth на екран Android-смартфону відповідно до вимог технічного завдання.

У розділі 1 проаналізовано сучасні технологічні рішення, як правило це - або дорогі та автоматизовані рішення від виробника автомобілів, або дротові технології із застосуванням світлодіодних та звукових компонентів, які прості та малоінформативні. Обґрунтовано ідею та вимоги до власного проекту на основі дослідження наявних проектів. Названо головні структурні частини пристрою, якими є STM32F401CCU6, ультразвукові датчики та Bluetooth модуль. В пристрої 4 ультразвукових канали, загальне керування і обробка даних буде здійснюється за допомогою STM32F401CCU6. Вивід даних про відстані до перешкоди буде здійснюватись через Bluetooth модуль підключений до мікроконтролера.

У розділі 2 розглянуто структурну схему та проведено проектування схеми електричної принципової схеми пристрою, описано поблочно принципи її роботи та досліджено на осцилографі відповідні фрагменти схеми. Також в розділі вибрано сучасну компонентну базу, яка буде використана для друкованого вузла.

У розділі 3 викладено рішення щодо вибору типу (ДДП), матеріалу (FR4), класу точності (4) та методу виготовлення друкованої плати (комбінований позитивний метод). Від вибору цих параметрів залежність працездатність, надійність та ціна друкованого вузла. Наведено ілюстрації результатів проектування друкованого вузла.

У розділі 4 пророблено конструкторсько-технічні розрахунки, що демонструють працездатність, надійність та вібростійкість друкованої плати, відповідно до прийнятих рішень щодо вибору типу, матеріалу, класу точності

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		71

та методу виготовлення друкованої плати. Обраховані паразитичні величини дозволяють стверджувати, що вони не впливають на роботу друкованого вузла. Проведено розрахунок показника надійності пристрою, який показав, що напрацювання до першої відмови складає 36000 годин, ймовірність безвідмовної роботи протягом року – 0,78 і це відповідає вимогам ТЗ. Також розраховано віброміцність друкованої плати при закріплення з чотирьох сторін. Також було розраховано власну частоту друкованої плати яка складає 453,5 Гц. Дане значення >250 Гц, то конструкція є абсолютно жорсткою, цей розрахунок важливий, оскільки вібрація є невід’ємною частиною під час руху автомобіля.

У розділі 5 міститься інформація про створене програмне забезпечення на платформі STM32 та яке протестоване на зібраному макеті.

При створенні дипломного проекту застосовувались сучасні системи автоматизованого проектування і розрахунку таких як: Altium Designer, STM32CubeMX, MDK Keil microvision, AutoCAD. За допомогою цих засобів розроблено схему електричну принципову, друкований вузол пристрою, програмне забезпечення та відповідну документацію.

Запропонована розробка має актуальність та може стати підґрунтям для подальшого просування проекту.

Технічне завдання на ДП виконано в повному обсязі. Для практичної перевірки використаних рішень та розробленого ПЗ створено прототип пристрою.

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		72

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

Патент GB2541508A [Електронний ресурс] - <https://patents.google.com/patent/GB2541508A/en?q=Parktronic+based+on+ultrasonic+distance+sensor+information+output+via+bluetooth+module+to+smartphone&oq=Parktronic+based+on+ultrasonic+distance+sensor+with+information+output+via+bluetooth+module+to+smartphone&page=1>

Патент це US20200122716A1 [Електронний ресурс] - <https://patents.google.com/patent/US20200122716A1/en?q=Parktronic+based+on+ultrasonic+distance+sensor+information+output+via+bluetooth+module+to+smartphone&page=5>

Android [Електронний ресурс] - <https://uk.wikipedia.org/wiki/Android>

Система Android Auto [Електронний ресурс] - https://uk.wikipedia.org/wiki/Android_Auto

Controller Area Network, (CAN) [Електронний ресурс] - https://uk.wikipedia.org/wiki/Controller_Area_Network

CANBUS адаптер та реалізація його на STM32 [Електронний ресурс] - <https://www.drive2.ru/c/544323952642621673/>

CANBUS адаптер та CAN BUS [Електронний ресурс] - <https://avtozvuk.ua/article/1130>

UART [Електронний ресурс] - <https://uk.wikipedia.org/wiki/UART>

Datasheet STM32F401CCU6 [Електронний ресурс] - https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/reference_manual/3d/6d/5a/66/b4/99/40/d4/DM00031020.pdf/files/DM00031020.pdf/jcr:content/translations/en.DM00031020.pdf

Datasheet HS-SR04 [Електронний ресурс] - <https://datasheetspdf.com/pdf-file/1380137/HandsOn/HC-SR04/1>

Datasheet JDY-31 [Електронний ресурс] - http://myosuploads3.banggood.com/products/20190129/20190129043725SKU_A87502.pdf

Додаток на Android-пристрої [Електронний ресурс] - https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.sash0k.bluetooth_terminal

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		73

Bluetooth [Електронний ресурс] - <https://uk.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>

Робототехнічний проект на базі Arduino [Електронний ресурс] - <https://www.instructables.com/Arduino-Bluetooth-and-Ultrasonic-sensor-TUTORIAL/>

Робототехнічний проект на базі Arduino [Електронний ресурс] - https://tpai.ru/blog/useful-articles/rabota-s-bluetooth-module-i-uz-dalnomerom?fbclid=IwAR0J4TN2Ga61P5XbvGlkTBkh9QVFdpdat9-xp_WWB-HJ00FevBRNd4cHdMg

JSN-SR04T схема [Електронний ресурс] - https://machdienlythu.vn/cam-bien-sieu-am-chong-nuoc-jsn-sr04t-nguyen-ly-va-so-do-mach/?fbclid=IwAR3484cJHtkVT0ktO7omkDobHMDNGsS6tNxFvJg7icpYB19_shaAKjyF0

Водонепроникний ультразвуковий далекомір AJ-SR04M [Електронний ресурс] - https://arduino.ua/prod1243-vodonipronicaemii-yltrazvykovoi-datchik-30-sm-3-5-m?fbclid=IwAR1cBOwm5S_dsnwhPNUfL14X4FvG8dDfn_MK13oJu1t20fWbuLFbCH2THl8

Дифференцирующий усилитель на ОУ [Електронний ресурс] - https://lektsii.com/1-117959.html?fbclid=IwAR31vAfu6ZsF7dlY8vX_MYHnPtG10kZ2V7ah_NJda7Bj3qLv8yp3iwSDuaA

Дифференцирующий усилитель [Електронний ресурс] - https://studopedia.ru/7_31947_differentsiruyushchiy-usilitel.html?fbclid=IwAR0QwFlv9w0i9rPBn-B3iY_erdT-j-r2t9bNKwhVoz-EzWJuU3NgU7APyTI

Активные фильтры на ОУ [Електронний ресурс] - <https://wm-help.net/lib/b/book/1865579333/54?fbclid=IwAR3ApBMJPwQpTf2j9RjGlgTbTrFFCXRzuoGwSAB4HIa5ROLNctBo1qJ6iVQ>

Что такое триггер Шмитта [Електронний ресурс] - https://elektrovesti.net/electricity/268_что-такое-trigger-shmitta?fbclid=IwAR2cZVZNQu2SQ5uZXqi6qk-oKhZ1j0ZIQJ8DbmA5VMLCUkRY3cKD5hO0Bf0

Фольговані склотекстоліт і гетинакс [Електронний ресурс] -
<https://www.quartz1.com/price/PIC/329N0036500.pdf>

Склотекстоліт FR-4 [Електронний ресурс] -
<http://kpe.hww.ru/cms/page/materialy-dlja-konstruirovaniya-pechatnyh-plat>

Класи точності для друкованих плат [Електронний ресурс] -
<https://poznayka.org/s49976t2.html>

Класи точності для друкованих плат [Електронний ресурс] -
<http://microsin.net/adminstuff/others/pcb-classes.html>

Методичні вказівки з лабораторних робіт по курсу «ФТОК» [Електронний ресурс] -
<https://onedrive.live.com/?authkey=%21ABRd6GRj74M5RjA&id=D1785C298F1B017B%213984&cid=D1785C298F1B017B>

Методичні вказівки по домашнім роботам з курсу «ФТОК» [Електронний ресурс] -
<https://onedrive.live.com/view.aspx?resid=D1785C298F1B017B!12314&ithint=file%2cxlsx&authkey=!ADeBdM02aKRnO9g>

Методичні вказівки по курсу «ФТОК» [Електронний ресурс] -
<https://onedrive.live.com/?authkey=%21AIHNjiziB4gvyj0&id=D1785C298F1B017B%21244&cid=D1785C298F1B017B>

С.М. Боровиков, И.Н. Цирельчук, Ф. Д. Троян Расчёт надежности радиоэлектронных средств: учеб.-метод. пособие – Минск: БГУИР, 2010-68с.

Савельев Л. Я., Овчинников В. Л. — Конструирование ЭВМ и систем: Учебник для техн. вузов по спец. «Электрон.выч. маш.» — М.: Высш. шк., 1984. – 248 с.

Характеристики FR-4 [Електронний ресурс] - <https://ru.xcv.wiki/wiki/FR-4>

Подключение ультразвукового датчика расстояния HC-SR04 к Arduino [Електронний ресурс] - <https://mcustore.ru/projects/podklyuchenie-ultrazvukovogo-datchika-rasstoyaniya-hc-sr04-k-arduino/>

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		75

STM Урок 97. Подключайте bluetooth-модуль HC-05 [Электронный ресурс] - <https://narodstream.ru/stm-urok-97-podklyuchaem-bluetooth-modul-hc-05/>

ГОСТ 12.2.007-75 – Система стандартов безопасности труда. ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ. Общие требования безопасности.

ГОСТ 15150-69 – МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ. МАШИНЫ, ПРИБОРЫ И ДРУГИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

ГОСТ 23216-78 – МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ. ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ. Хранение, транспортирование, временная противокоррозионная защита, упаковка. Общие требования и методы испытаний.

ГОСТ 23571-86 – ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ. Основные параметры конструкции.

ГОСТ 23752-79 – ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ. Общие технические условия.

ГОСТ 29137-91 – МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ. ФОРМОВКА ВЫВОДОВ И УСТАНОВКА ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ НА ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ. Общие требования и нормы конструирования.

ГОСТ 26246.5-89 – МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ. МАТЕРИАЛ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЙ ФОЛЬГИРОВАННЫЙ НОРМИРОВАННОЙ ГОРЮЧЕСТИ ДЛЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ НА ОСНОВЕ СТЕКЛОТКАНИ, ПРОПИТАННОЙ ЭПОКСИДНЫМ СВЯЗУЮЩИМ.

					ДК72.463117.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		76

ДОДАТКИ

Додаток А

Технічне завдання на проектування

1. Найменування та область використання.

Парктронік на ультразвуковому датчику відстані. Детектування перешкод та вимірювання відстані до них з відтворенням на екрані смартфона через Bluetooth.

2. Підстава для розробки.

Підставою для виконання є завдання на дипломний проект згідно наказу по НТУУ “КПІ” від 24.05.2021 року №1316-с

3. Мета і призначення роботи.

Метою даної роботи є демонстрація набутих навичок розробки друкованого вузла, проектування цифрової апаратури збору та обробки даних на основі однокристальних мікроконтролерів та створення відповідної документації до проекту.

4. Джерело розробки

Завдання на дипломний проект згідно наказу по НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»

5. Технічні вимоги

5.1 Функціональні можливості

Відображення відстані до перешкоди у сантиметрах на ємнісному екрані смартфона через Bluetooth.

5.2 Склад та вимоги до конструкції пристрою:

5.2.1 Пристрій призначений для експлуатації в автомобілі.

5.2.2 Складається з друкованого вузла.

5.2.3 Розробка має забезпечити зручність у використанні.

5.3 Технічні характеристики

- Напруга живлення 5В.
- Діапазон відстаней: 0 – 1500 см.
- Маса не повинна перевищувати 0,3 кг.
- Термін експлуатації 35000 год.

5.4 Вимоги до технологічності

Пристрій повинен бути розроблений таким чином, щоб при виготовленні могли бути застосовані широко розповсюджені технологічні процеси.

5.5 Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації

Для виготовлення пристрою передбачається максимальне застосування стандартних і уніфікованих деталей і виробів.

5.6 Вимоги безпеки обслуговування

Безпека обслуговування пристрою повинна задовольняти вимогам техніки безпеки до апаратури низької напруги згідно ГОСТ 12.2.007-75.

5.7 Вимоги до складових частин пристрою, сировини, вихідним матеріалам

Для виготовлення пристрою використовуються матеріали імпортного виробництва.

5.8 Умови експлуатації

Кліматичне виконання й категорія експлуатації УХЛ 2.1 за ГОСТ 15150-69.

5.9 Вимоги до елементної бази

Пристрій повинен бути спроектований з використанням, в якості обчислювального блоку, мікроконтролера STM32F401.

5.10 Вимоги до техніки безпеки

За технікою безпеки прилад повинен відповідати категорії приладів з низькою напругою живлення та внутрішніми напругами: 3-й клас (без заземлення й особливих правил експлуатації).

6. Конструкторська документація:

- Пояснювальна записка та додатки (формату А4).
- Креслення схеми електричної принципової (формату А1).
- Креслення друкованої плати (формату А1).
- Складальне креслення (формату А1).
- Перелік елементів (формату А4).
- Специфікація (формату А4).

7. Економічні показники:

7.1 При розробці економічні показники не враховуються.

8. Спеціальні умови:

8.1 Не передбачені.

9. Вимоги до маркування та упаковки:

9.1 Не передбачені.

10. Вимоги до транспортування та зберігання.

10.1 Прилад повинен витримувати вимоги транспортування та зберігання, які встановлені для електропобутової апаратури:

- 1) умови транспортування середні (С) ГОСТ 23216-78;
- 2) зберігання у відповідності з умовами УХЛ 2.1 за ГОСТ 15152-69.

Додаток Б

```
/* USER CODE BEGIN Header */
```

```
/**
```

```
*****  
*****
```

```
 * @file           : main.c
```

```
 * @brief          : Main program body
```

```
*****  
*****
```

```
 * @attention
```

```
 *
```

```
 * <h2><center>&copy; Copyright (c) 2021  
STMicroelectronics.
```

```
 * All rights reserved.</center></h2>
```

```
 *
```

```
 * This software component is licensed by ST under BSD 3-  
Clause license,
```

```
 * the "License"; You may not use this file except in  
compliance with the
```

```
 * License. You may obtain a copy of the License at:
```

```
 *                                     opensource.org/licenses/BSD-3-  
Clause
```

```
 *
```

```
*****  
*****
```

```
 */
```

```
/* USER CODE END Header */
```

```
/* Includes -----  
-----*/
```

```

#include "main.h"

/* Private includes -----
-----*/

/* USER CODE BEGIN Includes */
#include <string.h>
/* USER CODE END Includes */

/* Private typedef -----
-----*/

/* USER CODE BEGIN PTD */

/* USER CODE END PTD */

/* Private define -----
-----*/

/* USER CODE BEGIN PD */
/* USER CODE END PD */

/* Private macro -----
-----*/

/* USER CODE BEGIN PM */

/* USER CODE END PM */

/* Private variables -----
-----*/

#define SONAR_PORT GPIOB
uint32_t SONAR_TRIG[4]={0,2,4,6};
uint32_t SONAR_ECHO[4]={1,3,5,7};

```

```
TIM_HandleTypeDef htim2;
```

```
UART_HandleTypeDef huart2;
```

```
/* USER CODE BEGIN PV */
```

```
/* USER CODE END PV */
```

```
/* Private function prototypes -----  
-----*/
```

```
void SystemClock_Config(void);
```

```
static void MX_GPIO_Init(void);
```

```
static void MX_TIM2_Init(void);
```

```
static void MX_USART2_UART_Init(void);
```

```
/* USER CODE BEGIN PFP */
```

```
/* USER CODE END PFP */
```

```
/* Private user code -----  
-----*/
```

```
/* USER CODE BEGIN 0 */
```

```
void Delay(uint32_t DelayVal)
```

```
{
```

```
    uint32_t TimBegin,t;
```

```
    TimBegin = TIM2->CNT;  // Remember TIM2 Counter
```

```
    // Wait DelayVal microseconds
```

```
    t=TimBegin;
```

```
    while ((t - TimBegin)<DelayVal){
```

```

        t = TIM2->CNT;

    }

}

double microsecondsToCentimeters(uint32_t us) {
    // Sound speed - 340 m/s or 0.034 sm/us
    // and sound goes double distance - force and back
    return us * 0.034 / 2 ;      // cm
}

/* USER CODE END 0 */

/**
 * @brief The application entry point.
 * @retval int
 */
int main(void)
{
    /* USER CODE BEGIN 1 */
    uint32_t duration, time1;
    double cm;
    char st1[20];
    char st2[10];
    int ns;
    /* USER CODE END 1 */

    /* MCU Configuration-----
-----*/

```

```
/* Reset of all peripherals, Initializes the Flash  
interface and the Systick. */
```

```
HAL_Init();
```

```
/* USER CODE BEGIN Init */
```

```
/* USER CODE END Init */
```

```
/* Configure the system clock */
```

```
SystemClock_Config();
```

```
/* USER CODE BEGIN SysInit */
```

```
/* USER CODE END SysInit */
```

```
/* Initialize all configured peripherals */
```

```
MX_GPIO_Init();
```

```
MX_TIM2_Init();
```

```
MX_USART2_UART_Init();
```

```
HAL_TIM_Base_Start(&htim2);
```

```
/* USER CODE BEGIN 2 */
```

```
/* USER CODE END 2 */
```

```
/* Infinite loop */
```

```
/* USER CODE BEGIN WHILE */
```

```
while (1)
```

```
{
```

```
/* USER CODE END WHILE */
```

```

for (ns = 0; ns<4; ns++) {
    sprintf(st1, "%i: ", ns);

    //into Trig "1" pulse 10us
    // TRIG into "1"
    SONAR_PORT->BSRR |= (uint32_t)(1 <<
SONAR_TRIG[ns]);
    Delay(10);
    // TRIG into "0"
    SONAR_PORT->BSRR |= (uint32_t)(1 <<
(SONAR_TRIG[ns]+16));
    // Wait for ECHO="1"
    while (1) {
        if (SONAR_PORT->IDR&(1 << SONAR_ECHO[ns])) break;
    }

    // Wait for "echo" - "0" on Echo pin
    timel=TIM2->CNT; // Remember Begin time
    // wait for ECHO="0"
    while (SONAR_PORT->IDR&(1 << SONAR_ECHO[ns])) {
        duration = TIM2->CNT - timel; // Count Duration of
waiting
        if (duration > 15000) break; // TimeOut
    }

    if (duration > 15000) {
        sprintf(st2, ">1.5m \n"); // TimeOut
    }
    else { //Print Distance in cm
        cm = microsecondsToCentimeters(duration);

```

```

        sprintf(st2, "%.1f\n", cm);
    }
    strcat(st1, st2);

HAL_UART_Transmit(&huart2, (uint8_t*)st1, strlen(st1), 0x1000)
;

    HAL_GPIO_TogglePin(GPIOC, GPIO_PIN_13);
    HAL_Delay(1000);

} /*END FOR*/

/* USER CODE BEGIN 3 */
}
/* USER CODE END 3 */
}

/**
 * @brief System Clock Configuration
 * @retval None
 */
void SystemClock_Config(void)
{
    RCC_OscInitTypeDef RCC_OscInitStruct = {0};
    RCC_ClkInitTypeDef RCC_ClkInitStruct = {0};

    /** Configure the main internal regulator output voltage
     */
    __HAL_RCC_PWR_CLK_ENABLE();

```

```
__HAL_PWR_VOLTAGESCALING_CONFIG(PWR_REGULATOR_VOLTAGE_SCALE  
2);
```

```
/** Initializes the RCC Oscillators according to the  
specified parameters
```

```
 * in the RCC_OscInitTypeDef structure.
```

```
*/
```

```
RCC_OscInitStruct.OscillatorType =  
RCC_OSCILLATORTYPE_HSI;
```

```
RCC_OscInitStruct.HSISate = RCC_HSI_ON;
```

```
RCC_OscInitStruct.HSICalibrationValue =  
RCC_HSICALIBRATION_DEFAULT;
```

```
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLState = RCC_PLL_ON;
```

```
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLSource = RCC_PLLSOURCE_HSI;
```

```
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLM = 16;
```

```
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLN = 144;
```

```
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLP = RCC_PLLP_DIV2;
```

```
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLQ = 4;
```

```
if (HAL_RCC_OscConfig(&RCC_OscInitStruct) != HAL_OK)
```

```
{
```

```
    Error_Handler();
```

```
}
```

```
/** Initializes the CPU, AHB and APB buses clocks
```

```
*/
```

```
RCC_ClkInitStruct.ClockType =  
RCC_CLOCKTYPE_HCLK|RCC_CLOCKTYPE_SYSCLK
```

```
|RCC_CLOCKTYPE_PCLK1|RCC_CLOCKTYPE_PCLK2;
```

```
RCC_ClkInitStruct.SYSCLKSource = RCC_SYSCLKSOURCE_PLLCLK;
```

```
RCC_ClkInitStruct.AHBCLKDivider = RCC_SYSCLK_DIV1;
```

```
RCC_ClkInitStruct.APB1CLKDivider = RCC_HCLK_DIV2;
```

```

RCC_ClkInitStruct.APB2CLKDivider = RCC_HCLK_DIV1;

if (HAL_RCC_ClockConfig(&RCC_ClkInitStruct,
FLASH_LATENCY_2) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}

/**
 * @brief TIM2 Initialization Function
 * @param None
 * @retval None
 */
static void MX_TIM2_Init(void)
{

    /* USER CODE BEGIN TIM2_Init 0 */

    /* USER CODE END TIM2_Init 0 */

    TIM_ClockConfigTypeDef sClockSourceConfig = {0};
    TIM_MasterConfigTypeDef sMasterConfig = {0};

    /* USER CODE BEGIN TIM2_Init 1 */

    /* USER CODE END TIM2_Init 1 */
    htim2.Instance = TIM2;
    htim2.Init.Prescaler = 71;

```

```

    htim2.Init.CounterMode = TIM_COUNTERMODE_UP;
    htim2.Init.Period = 4294967295;
    htim2.Init.ClockDivision = TIM_CLOCKDIVISION_DIV1;
    htim2.Init.AutoReloadPreload =
TIM_AUTORELOAD_PRELOAD_DISABLE;
    if (HAL_TIM_Base_Init(&htim2) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }

    sClockSourceConfig.ClockSource =
TIM_CLOCKSOURCE_INTERNAL;

    if (HAL_TIM_ConfigClockSource(&htim2,
&sClockSourceConfig) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }

    sMasterConfig.MasterOutputTrigger = TIM_TRGO_RESET;
    sMasterConfig.MasterSlaveMode =
TIM_MASTERSLAVEMODE_DISABLE;

    if (HAL_TIMEx_MasterConfigSynchronization(&htim2,
&sMasterConfig) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }

    /* USER CODE BEGIN TIM2_Init 2 */

    /* USER CODE END TIM2_Init 2 */

}

```

```

/**
 * @brief USART2 Initialization Function
 * @param None
 * @retval None
 */
static void MX_USART2_UART_Init(void)
{

    /* USER CODE BEGIN USART2_Init 0 */

    /* USER CODE END USART2_Init 0 */

    /* USER CODE BEGIN USART2_Init 1 */

    /* USER CODE END USART2_Init 1 */
    huart2.Instance = USART2;
    huart2.Init.BaudRate = 9600;
    huart2.Init.WordLength = UART_WORDLENGTH_8B;
    huart2.Init.StopBits = UART_STOPBITS_1;
    huart2.Init.Parity = UART_PARITY_NONE;
    huart2.Init.Mode = UART_MODE_TX_RX;
    huart2.Init.HwFlowCtl = UART_HWCONTROL_NONE;
    huart2.Init.OverSampling = UART_OVERSAMPLING_16;
    if (HAL_UART_Init(&huart2) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }

    /* USER CODE BEGIN USART2_Init 2 */

```

```

/* USER CODE END USART2_Init 2 */

}

/**
 * @brief GPIO Initialization Function
 * @param None
 * @retval None
 */
static void MX_GPIO_Init(void)
{
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStruct = {0};

    /* GPIO Ports Clock Enable */
    __HAL_RCC_GPIOC_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOA_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOB_CLK_ENABLE();

    /*Configure GPIO pin Output Level */
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOC, GPIO_PIN_13, GPIO_PIN_RESET);

    /*Configure GPIO pin Output Level */
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB,
        GPIO_PIN_0|GPIO_PIN_2|GPIO_PIN_4|GPIO_PIN_6,
        GPIO_PIN_RESET);

    /*Configure GPIO pin : PC13 */
    GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_13;

```

```

GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
HAL_GPIO_Init(GPIOC, &GPIO_InitStruct);

/*Configure GPIO pins : PB0 PB2 PB4 PB6 */
GPIO_InitStruct.Pin =
GPIO_PIN_0|GPIO_PIN_2|GPIO_PIN_4|GPIO_PIN_6;
GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
HAL_GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStruct);

/*Configure GPIO pins : PB1 PB3 PB5 PB7 */
GPIO_InitStruct.Pin =
GPIO_PIN_1|GPIO_PIN_3|GPIO_PIN_5|GPIO_PIN_7;
GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_INPUT;
GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
HAL_GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStruct);

}

/* USER CODE BEGIN 4 */

/* USER CODE END 4 */

/**
 * @brief This function is executed in case of error
 occurrence.

```

```

    * @retval None
    */
void Error_Handler(void)
{
    /* USER CODE BEGIN Error_Handler_Debug */
    /* User can add his own implementation to report the HAL
    error return state */
    __disable_irq();
    while (1)
    {
    }
    /* USER CODE END Error_Handler_Debug */
}

#ifdef  USE_FULL_ASSERT
/**
   * @brief Reports the name of the source file and the
   source line number
   *
   * where the assert_param error has occurred.
   * @param file: pointer to the source file name
   * @param line: assert_param error line source number
   * @retval None
   */
void assert_failed(uint8_t *file, uint32_t line)
{
    /* USER CODE BEGIN 6 */
    /* User can add his own implementation to report the file
    name and line number,
    ex: printf("Wrong parameters value: file %s on line
    %d\r\n", file, line) */

```

```
/* USER CODE END 6 */
```

```
}
```

```
#endif /* USE_FULL_ASSERT */
```

```
/****** (C) COPYRIGHT STMicroelectronics  
*****END OF FILE*****/
```