


**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»**  
Факультет електроніки  
Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр  
Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
  
Лисенко О.М.  
(підпис) (прізвище ініціали)  
«20» \_\_\_\_\_ 03 \_\_\_\_\_ 2020р.

**ЗАВДАННЯ**  
на дипломний проект студенту  
Кияниця Артем Сергійович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту: Система з дистанційним керуванням технологічним обладнанням.

Керівник проекту – Лисенко Олександр Іванович  
затвержені наказом по університету від \_\_\_\_\_ № 1196-с від 25.05.2020р

2. Термін подання студентом проекту 30 травня 2020 р.

3. Вихідні дані до проекту: Пристрій являє собою моноблочну конструкцію, що містить в собі модуль зв'язку та блок живлення. Система повинна керуватись з смартфона.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- Аналіз технічного завдання;

- Огляд існуючих систем дистанційного керування технологічним обладнанням.
- Обґрунтування вибору елементної бази.
- Розробка функціональної схеми системи.
- Конструкторсько-технологічні розрахунки.
- Електричний розрахунок друкованої плати.
- Розрахунок надійності друкованої плати.
- Проектування у Altium Designer.
- Висновки.

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

- Схема електрична принципова.
- Друкована плата.
- Складальне креслення друкованої плати.

6. Дата видачі завдання 20.03.2020.

## АНОТАЦІЯ

Об'єктом розробки є холодильна камера.

Предмет роботи – бездротовий пристрій керування холодильною камерою.

Метою проекту є створення пристрою, за допомогою якого можна буде керувати холодильною камерою за допомогою смартфона.

Дипломний проект складається із вступу, 5 розділів, висновків по роботі та додатків. В описаних розділах вирішуються наступні задачі:

В першому розділі: проаналізовано технічне завдання, обрано спосіб бездротової передачі даних та зроблено патентний пошук.

В другому розділі: наводиться обґрунтування вибору елементної бази.

В третьому розділі: розглядається проектування друкованого вузлу.

В четвертому розділі: наведені розрахунки, пов'язані з проектуванням друкованого вузлу, а також розрахунки, що підтверджують правильність прийнятих конструкторських рішень.

В п'ятому розділі: наведена інформація про розробку програмної частини.

## **ABSTRACT**

The object of development is a refrigeration chamber.

The subject of work is a wireless refrigerator control device.

The aim of the project is to create a device with which you can control the refrigerator with a smartphone.

The diploma project consists of an introduction, 5 sections, conclusions on work and appendices. The following sections are solved in the described sections:

In the first section: the technical task is analyzed the method of wireless data transmission is chosen and a patent search is performed.

In the second section: the justification for the choice of element base is given.

In the third section: the design of the printed assembly is considered.

In the fourth section: the calculations connected with designing of the printed assembly, and also the calculations confirming correctness of the accepted design decisions are resulted.

In the fifth section: provides information on software development.




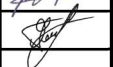
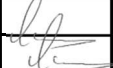
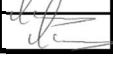
**Пояснювальна записка  
до дипломного проекту**

на тему: **Система з дистанційним керуванням технологічним  
обладнанням**

Київ – 2020 року

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	4
Розділ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	5
1.1. Вибір технології передачі даних. ....	5
1.2. Огляд існуючих рішень .....	7
Розділ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ.....	10
2.1. Розробка схеми електричної структурної.....	10
2.2. Обґрунтування вибору елементної бази.....	12
2.3. Розробка та опис схеми електричної принципової.....	17
Розділ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ. ....	20
3.1. Вибір і обґрунтування типу друкованої плати.....	20
3.2. Вибір і обґрунтування матеріалу ДП.....	22
3.3. Вибір і обґрунтування класу точності друкованої плати. ....	23
3.4. Вибір і обґрунтування методу виготовлення друкованої плати. ....	25
3.5. Проектування друкованої плати у середовищі Altium Designer. ....	26
Розділ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКОГО РІШЕННЯ.....	29
4.1. Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати. ....	29
4.2. Електричний розрахунок друкованої плати.....	37
4.3. Розрахунок основних показників надійності друкованого вузлу. ....	40

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>					
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Система з дистанційним керуванням технологічним обладнанням					
<i>Розробив</i>	<i>А.С. Кияниця</i>	<i>Я.О. Гордієнко</i>						<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Арк.шіт</i>
<i>Перевірив</i>								1	58	
<i>Реценз.</i>								<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕЛ, ДК-62</i>		
<i>Н. Контр.</i>	<i>О.І. Лисенко</i>									
<i>Затвердив</i>	<i>О.І. Лисенко</i>									

Розділ 5. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	47
ВИСНОВОК.....	54
Список використаної літератури: .....	56

Додатки

Додаток А – Технічне завдання.

Додаток Б – ДК62.750706.001 СП Специфікація.

Додаток В – ДК62.065119.001 ПЕЗ Перелік елементів.

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2



## ВСТУП

В реаліях сучасного світу людство всюди використовує технологічне обладнання. Більшість з цього обладнання розроблювалось з панеллю керування безпосередньо на самому обладнанні, проте час не стоїть на місці і постійно винаходяться більш зручні методи використання обладнання. Візьмемо наприклад холодильні камери. Переважна більшість нових продуктів відрізняється від своїх попередників лише системою контролю цього обладнання, і великим компаніям не є ефективно купувати нові камери, які є лише модернізацією тих, що вони вже мають. Тому за мету цього проекту поставлено розробити пристрій, що можна використовувати як модернізацію для старого обладнання, так і як частину нового продукту.

Невід'ємною перевагою дистанційного контролю холодильних камер є те, що з одного місця можна проконтролювати та змінити температурний режим в камері. Також даний пристрій може самостійно записувати температури впродовж дня для подальшого контролю.

Немалою перевагою також є те, що переважна більшість панелей контролю знаходиться у важкодоступних для людини місцях, наприклад таких як під корпусом, або позаду камери.

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ

BLE — Bluetooth Low Energy  
SPI — Serial Peripheral Interface  
I2C — Inter-Integrated Circuit  
UART — Universal Asynchronous Receiver/Transmitter  
AD — Altium Designer  
ТЗ — Технічне Завдання  
КЕ — Конструктивні Елементи  
ПМ — Посадкове Місце  
ДП — Друкована Плата  
ОДП — Одностороння Друкована Плата  
ДДП — Двостороння Друкована Плата  
БДП — Багатошарова Друкована Плата  
ГДП — Гнучка Друкована Плата  
КМ — контактний майданчик  
ДВ — друкований вузол  
МО — Монтажний Отвір

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		4

## Розділ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

У цьому розділі проведено огляд існуючих систем керування технологічним обладнанням. З розглянутих рішень обрано ті, що найкраще задовольняють вимогам, що викладені у технічному завданні.

Система контролю холодильних камер в основному являється частиною повного продукту, проте незважаючи на це, задачею даного проекту є розробка продукту, який дозволить встановлювати та відслідковувати температуру. У сучасних реаліях найбільш зручно для людини буде використовувати смартфон або комп'ютер для того, щоб «спілкуватися» за пристроєм. Для реалізації даного продукту необхідно вирішити наступні задачі:

- Обрати протокол передачі даних.
- Розробити схему пристрою, що буде спілкуватися з комп'ютером або смартфоном використовуючи обраний протокол передачі даних, а також отримувати та відправляти необхідні дані холодильній камері.
- Розробити програмне забезпечення для даного пристрою.

### 1.1. Вибір технології передачі даних.

Оскільки не завжди існує можливість безпосередньо знаходитись біля холодильного обладнання, а також враховуючи те, що в сучасних холодильних камерах панелі керування знаходяться не в легкодоступних місцях бездротова система керування має безумовні переваги над дротовою.

Існує багато протоколів бездротової передачі даних, більшість з яких реалізується на мікроконтролерах широкого спектру застосування. Це дає можливість використовувати його не тільки для отримання сигналів керування, а й дозволить отримувати від нього поточну температуру в камері. Також, обраний протокол передачі даних повинен мати можливість інтеграції із комп'ютерами та смартфонами.

Найбільш популярними протоколами бездротової передачі даних на сьогодні є:

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

- 1) Wi-Fi
- 2) Bluetooth
- 3) Sub 1 GHz
- 4) ZigBee
- 5) Thread

Wi-Fi технологія [1] є дуже популярною на сьогоднішній день, проте вона не є промисловим рішенням.

Технології Bluetooth, Thread та ZigBee конкурують між собою, існує багато дослідів, що показують різницю між ними, такі як [2] та [3], проте в [2] йде порівняння BLE Mesh, Thread та ZigBee, BLE Mesh відрізняється від звичайного BLE переважно топологією мережі, тому й перевагу надаємо звичайному останньому. В дослідженні ж компанії Silabs [3] на практичному прикладі показано різницю в застосуванні даних протоколів. Хоча ці три протоколи і дуже схожі, протокол BLE має перевагу в тому що він найкраще підходить для взаємодії з комп'ютерами та смартфонами.

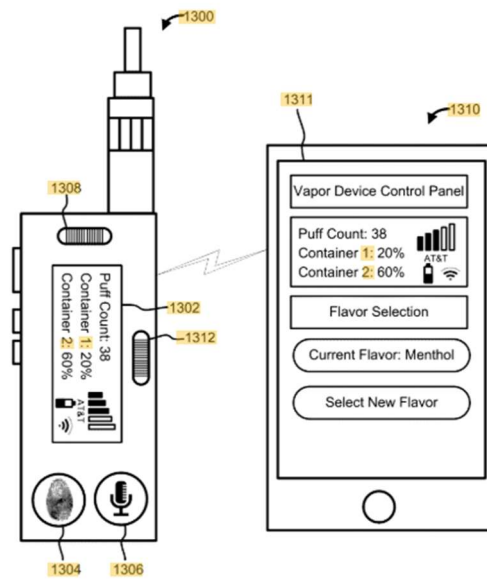
Протокол Sub 1 GHz використовується переважно для передачі даних на великі відстані. Проте його найбільшими недоліками є енергоспоживання, а також повна відсутність моделі взаємодії з іншими девайсами змушують відмовитись від даного протоколу.

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

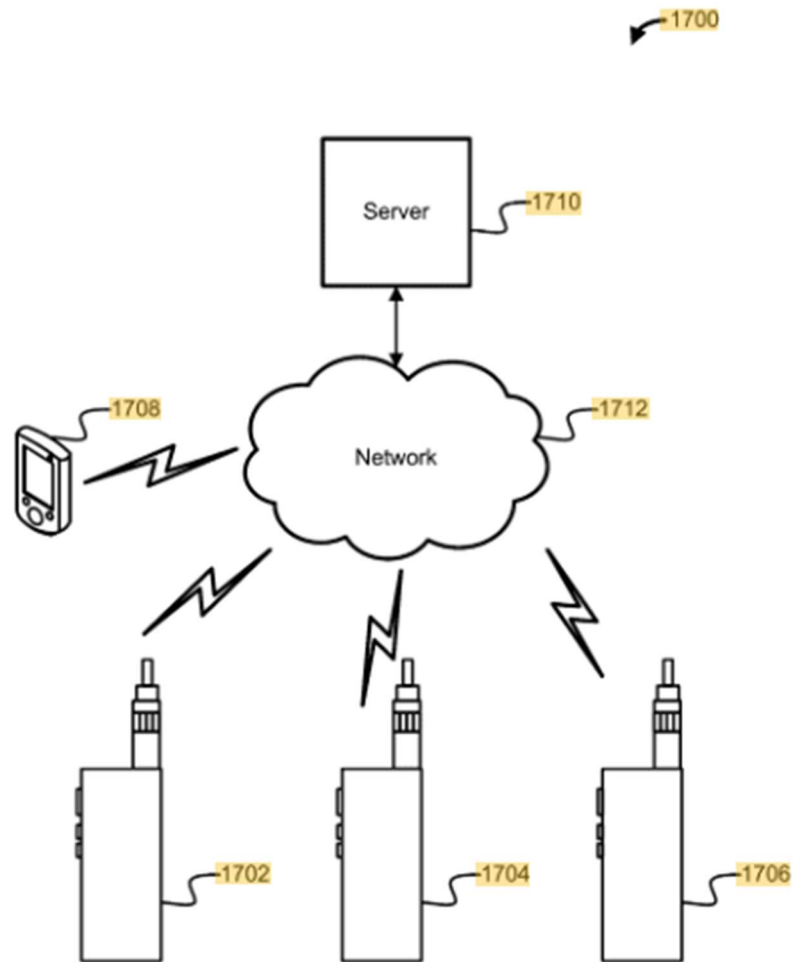
## 1.2. Огляд існуючих рішень

Було здійснено патентний пошук аналогів схожих систем контролю. В основному всі схожі пристрої використовують протокол Wi-Fi, як наприклад у патенті [4], тому така розробка я в якомусь плані унікальною, розглянемо його.

В даному патенті до смартфона підключається електронний паровий пристрій.



З смартфона можна відслідковувати ємності, ємність батареї, а також задавати режими роботи. Також можна підключати декілька таких пристроїв.



Загалом даний патент дуже схожий за ідеєю з даною роботою, за винятком протоколу передачі даних та цільового приладу.

### Висновок за розділом 1:

Було проведено аналіз існуючих пристроїв та виконано патентний пошук. Також було проаналізовано технології бездротової передачі даних. Було встановлено що найкращим способом бездротової передачі даних є технологія Bluetooth, а саме Bluetooth Low Energy.

Проаналізувавши технічна завдання було встановлено що пристрій має приймати данні від датчиків температури на камері, а також передавати температуру, яку необхідно встановити в камері. Керування пристроєм буде відбуватися за допомогою смартфона по технології безпроводної передачі даних.

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

## Розділ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

### 2.1. Розробка схеми електричної структурної.

Можна виділити наступні вимоги до пристрою:

- Живлення від мережі 220 В.
- Бездротовий контроль пристрою.
- Збереження даних на пристрої.
- Отримання та передачі даних по UART інтерфейсу.

Виходячи з наведених вище вимог отримуємо наступні блоки структурної схеми:

- Блок живлення від мережі 220 В.
- Блок бездротової передачі даних.
- Блок додаткової Flash пам'яті.
- Блок вхідних та вихідних даних.

Структурна схема пристрою наведена на рисунку 2.1.1.

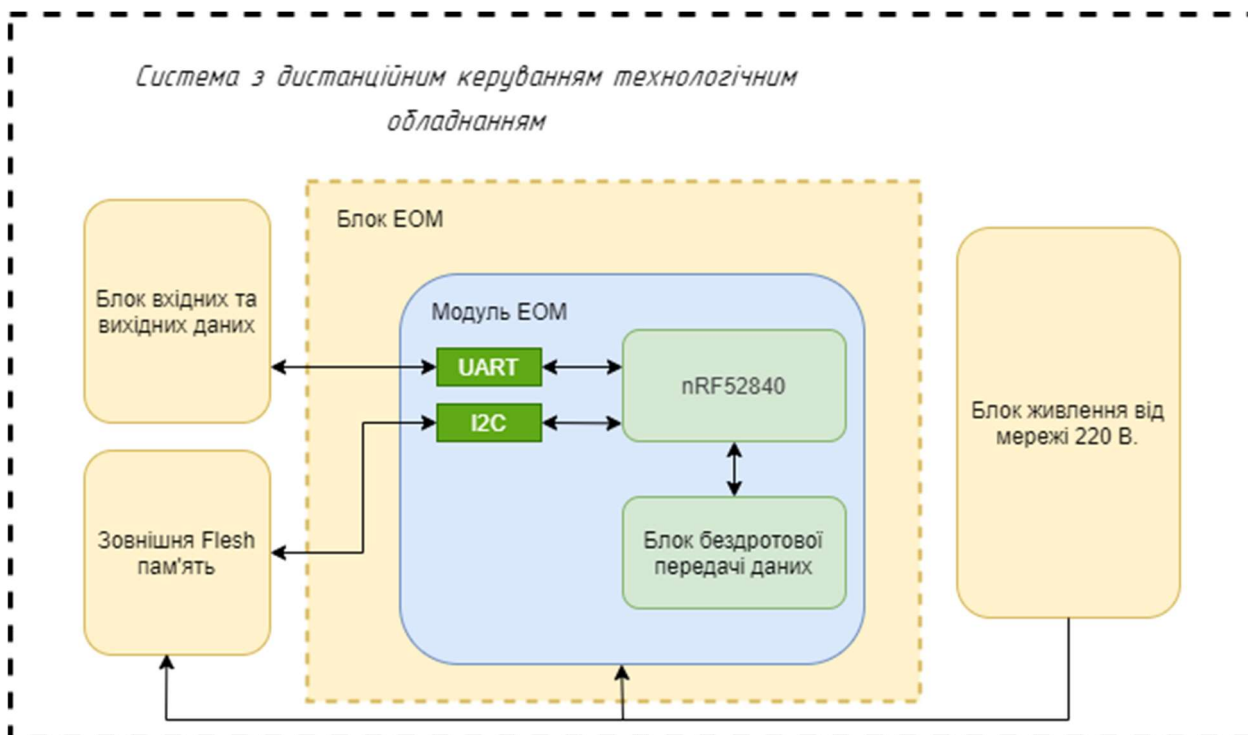


Рис. 2.1.1 – Схема електрична функціональна

Розглянемо структурну схему більш детально.

Модуль ЕОМ призначений для контролю та моніторингу холодильних камер. Зв'язок з ним повинен бути побудований за BLE протоколом. Сам



модуль містить в собі мікроконтролер nRF52840, який підтримує роботу з протоколом Bluetooth v5.0 та рядом серійних інтерфейсів передачі даних.

Додаткова зовнішня Flash пам'ять необхідна для збереження даних на пристрої в продовж певного часу.

Блок живлення від мережі 220 В. Оскільки напруга живлення модулю та Flash пам'яті становить 3.3-5 В, а живлення холодильної камери виконується від мережі 220 В потрібно отримати необхідну постійну напругу живлення.

Блок вхідних та вихідних даних складає в собі необхідні контакти для отримання та передачі необхідних даних.

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

## 2.2. Обґрунтування вибору елементної бази.

Вибір елементної бази проводиться на основі схеми електричної принципової з урахуванням викладених у ТЗ умов і вимог.

Перелік елементів включає в себе наступні типи електронних компонентів:

- ЕОМ
- Діоди
- Конденсатори
- Роз'єми
- Запобіжники
- Перетворювач напруги
- Мікросхема Flash пам'яті
- Транзистори

Для початку оберемо ЕОМ. Існує не багато компаній які пропонують рішення з бездротовим зв'язком, деякі із них: Nordic Semiconductor, Texas Instrument, Dialog Semiconductor та MicroChip Technology.

Найпопулярнішими рішеннями є:

1. Чіп nRF52840 від Nordic Semiconductor.
2. Чіп CC2500 від Texas Instrument.
3. Чіп AT86RF від MicroChip Technology.

Найкращим серед наведених рішень є чіп nRF52840 від Nordic Semiconductor, який має наступні параметри:

- Максимальна тактова частота: 240 ГГц
- 1 МБ Flash та 256 кБ RAM пам'яті.
- Напруга живлення 1.7..5.5 В.
- Робоча температура -40..+85 °С

Було прийнято рішення використати готовий модуль побудований на даному мікроконтролері, найпопулярнішим рішенням виявився модуль BT840 [6] від компанії Fanstel corp. Даний модуль надає ряд переваг, таких як:

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

наявність захисного екрану, відпадає необхідність в обв'язці мікроконтролера та реалізація друкованої антени на модулі.



Рис. 2.2.1 – Модуль BT840

Гарним вибором Flash пам'яті є CAT24C256 [7]. Вона підтримує роботу з I2C інтерфейсом, має напругу живлення 1.8..5.5 В та робочу температуру - 40..+85 °С.

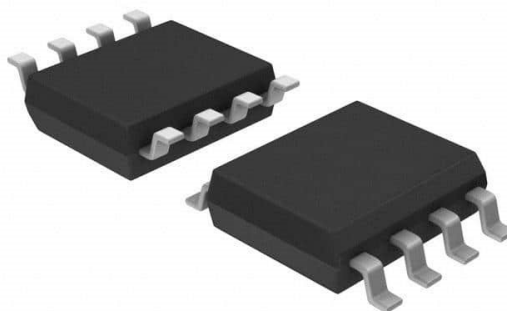


Рис. 2.2.2 – Зовнішній вигляд Flash пам'яті CAT24C256

Далі оберемо перетворювач напруги. Він повинен перетворювати напругу з 220В у 3.3..5 В. Гарним вибором буде перетворювач напруги SR036 [8] від Microchip Technology, він має наступні параметри:

- Вихідна напруга 3.3 В.
- Вхідна напруга вище 700В.
- Вихідний струм 300 мА.
- Робоча температура -65..+150 °С

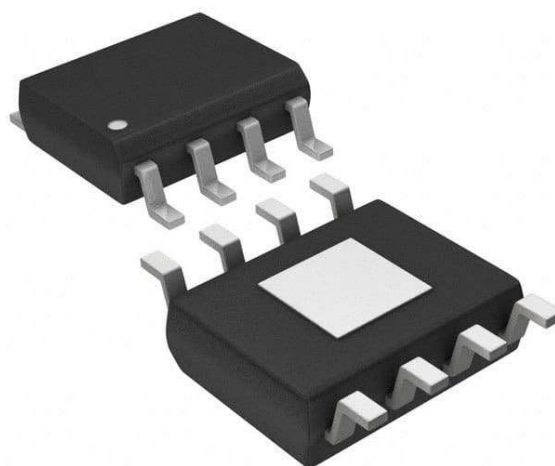


Рис. 2.2.3 – Зовнішній вигляд перетворювача напруги SR036

Було обрано транзистор ММВFJ113 [9], він має усі необхідні параметри, а саме:

- Напруга затвор-витік: 35 В.
- Струм керування 50 мА.

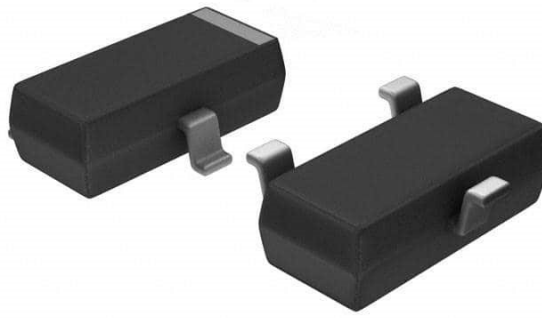


Рис. 2.2.4 – Зовнішній вигляд транзистора MMBFJ113

Необхідно також вибрати захисний запобіжник на 300 мА. Гарним вибором буде C2Q 300 [10] від Bel Fuse inc.

Було обрано діоди STPS2L30A [11] з наступними параметрами:

- Зворотна напруга 30 В.
- Прямий струм 2 А.

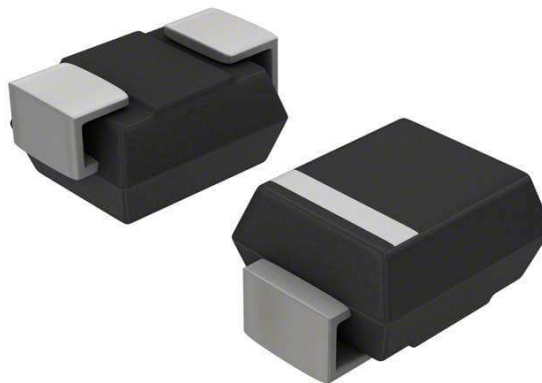


Рис. 2.2.5. – зовнішній вигляд діода STPS2L30A

При виборі конденсаторів слід враховувати наступні параметри: робоча напруга, температурний коефіцієнт X5R, точність. Під дані умови добре підходять керамічні конденсатори фірми Yageo з наступними параметрами:

- Номінали: 1 мкФ, 220 мкФ.
- Робоча напруга: 16 В, 26 В.

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

- Точність: 10%.
- Робоча температура: -55..+125 °С.
- Корпус: 0805.

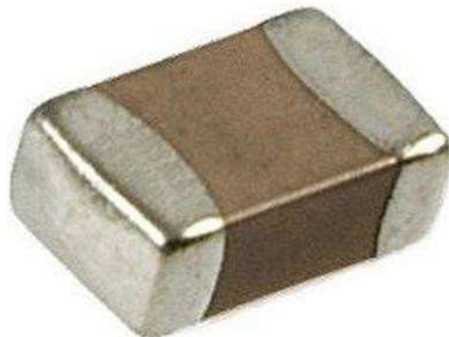


Рис. 2.2.6 – зовнішній вигляд SMD конденсатора в корпусі 0805

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16

### 2.3. Розробка та опис схеми електричної принципової.

Схема електрична принципова створюється відповідно до схеми електричної структурної. Дана схема має 3 роз'єми:

- Роз'єми для живлення пристрою.
- Роз'єми для отримання та передачі даних.
- Роз'єми для програмування МК.

Для взаємодії з зовнішньою Flash пам'яттю використовується протокол взаємодії I2C.

Оскільки використовується вже готовий модуль то всі необхідні резистори, конденсатори та індуктивності вже розпаяні в модулі. Схема включення МК nRF52840 в модулі BT840 зображена нижче:

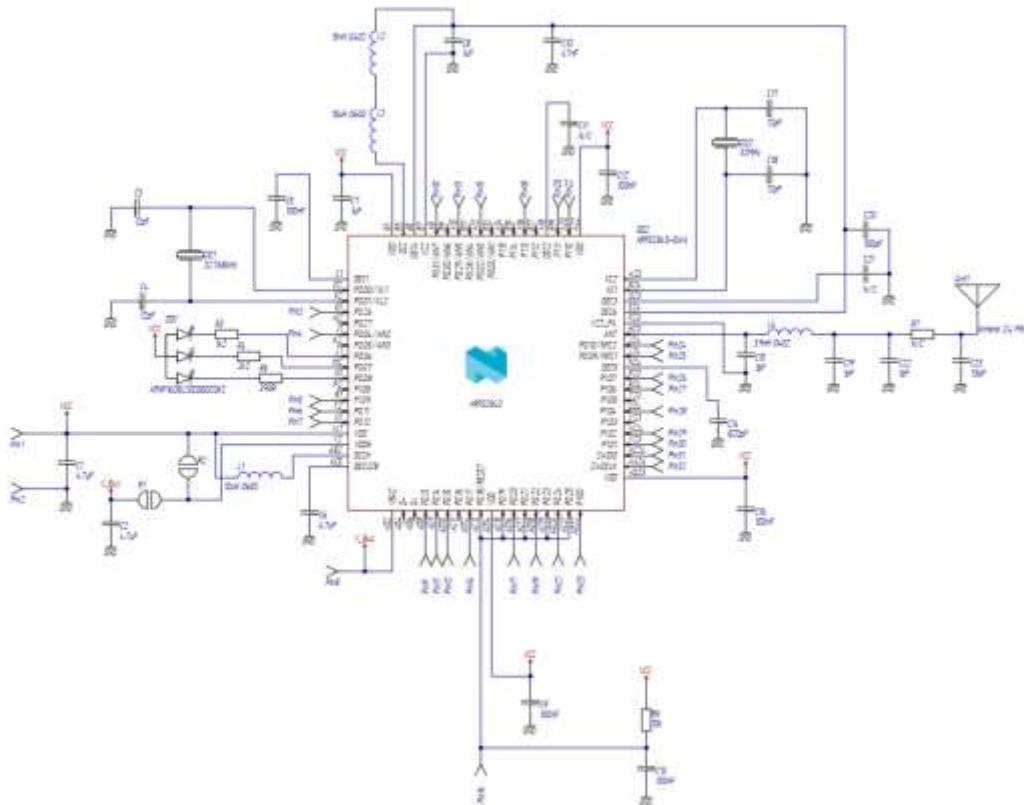


Рис. 2.3.1. – схема включення МК nRF52840 в модулі BT840

Для отримання +3.3 В від мережі 220 В використано схему блоку живлення на основі SE036[5].

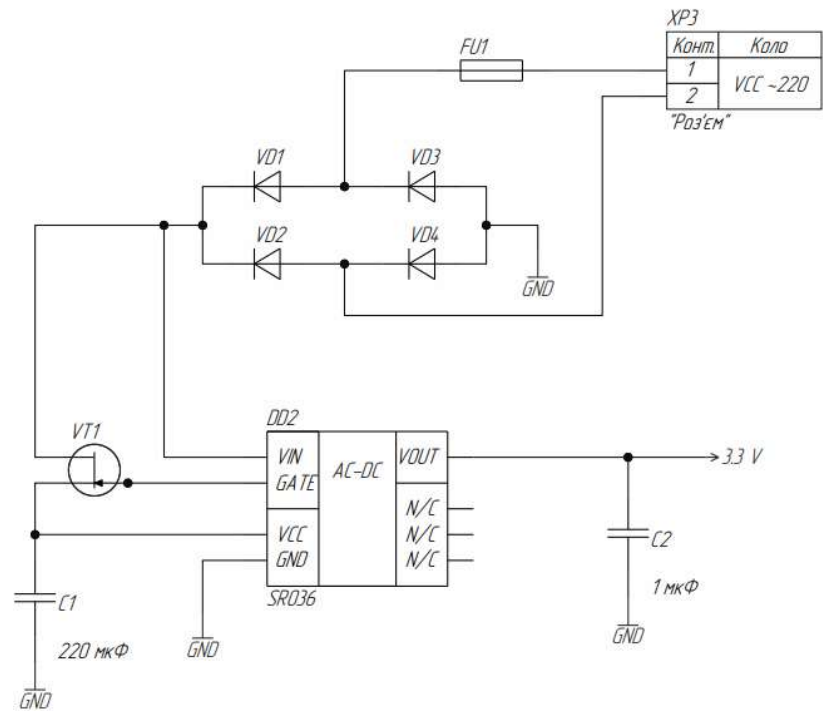


Рис. 2.3.2. – блок живлення на мікросхемі SR036.

В даній схемі до роз'єму XP3 необхідно підключити контакти мережі 220 В. Мікросхема SR036 перетворює змінну напругу 220 В до необхідної постійної 3.3 В. Для безпеки схеми використовується плавкий запобіжник C2Q на 300 мА.

Для підключення Flash пам'яті необхідно налаштувати інтерфейс I2C та 2 керуючих сигнали. Інтерфейс I2C можна налаштувати на будь-які GPIO піни мікроконтролера.

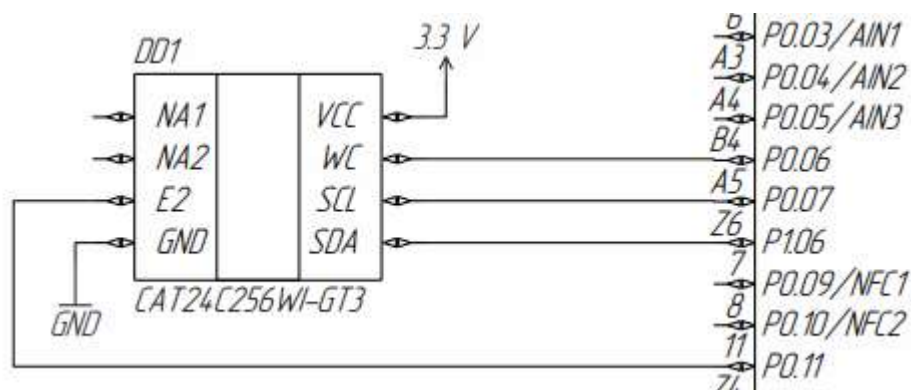


Рис. 2.3.3. – схема ввімкнення Flash пам'яті.



## Висновок за розділом 2:

У даному розділі було обрано елементну базу та розроблено схему електричну принципову. Було обрано мікроконтролер nRF52840 в модулі BT840. Даний модуль надає ряд переваг: наявність захисного екрану, готова реалізація друкованої антени та необхідної обв'язки, завдяки чому відпадає необхідність в розробці друкованого вузлу 5-го класу точності. Використана схема блоку живлення на основі мікросхеми SR036. Дана схема дозволить отримати необхідні +3.3. В від мережі 220 В. В схемі використовується плавкий запобіжник на 300 мА для захисту від перенавантаження струму. Для збереження набору даних використовується зовнішня Flash пам'ять CAT24C256WI-GT3. Оскільки є необхідність приймати данні з датчику температури та передавати для встановлення необхідної температури в камері було створено необхідні для налаштування UART інтерфейсу контакти.

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

## **Розділ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ.**

### **3.1. Вибір і обґрунтування типу друкованої плати.**

Друкована плата призначена для електричних з'єднань і представляє собою ізоляційну основу, в якій на одній стороні розташовані конструктивні елементи, а на іншій – елементи друкованого монтажу, такі як: друковані провідники, контактні майданчики та монтажні отвори.

В залежності від числа провідних шарів ДП поділяються на односторонні (ОДП), двосторонні (ДДП) та багатошарові (БДП).

ОДП являє собою діелектричну основу, де на одній із сторін виконано провідний рисунок. На іншій стороні ОДП при складанні вузла розміщують елементи.

ОДП без металізованих отворів (переваги - простота та дешевизна у виготовленні).

ОДП з металізованими отворами (за допомогою пістонів та наявності зенківки - велика надійність).

ДДП мають провідний рисунок на обох сторонах основи. Необхідні з'єднання з навісними елементами виконують за допомогою металізованих отворів та контактних площадок. Такі ДП дозволяють реалізувати більш складні схеми та мають найбільш широке застосування.

ДДП на металевій основі (велика витривалість до перепаду температур, бо коефіцієнти лінійного розширення матеріалу підложки та металізованого отвору приблизно рівні).

БДП складаються з шарів ізоляційного матеріалу та провідного рисунка, що чергуються. Існує декілька видів БДП, що відрізняються конструктивно-технологічними параметрами (будуть розглянуті далі).

ДП можна поділити на жорсткі та гнучкі.

ГНУЧКІ ДП (ГДП) використовуються для електричного з'єднання вузлів, конструкція яких виключає застосування жорстких ДП. ГДП мають еластичну основу та виконуються, як правило, двосторонніми з металізованими

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

отворами та контактними площадками для паяння навісних елементів.  
(товщина плат  $\leq 0,6$  мм).

Гнучкі друковані кабелі (шлейфи) - складаються з одного або декількох непровідних шарів, на яких розміщені друковані провідники. Застосовуються для з'єднань вузлів та блоків.

Існують провідні плати, що являють собою поєднання ДДП, на якій виконано постійний провідний рисунок схеми (контактні площадки, шини землі та живлення), з провідним монтажем. (Застосовуються у експериментальних роботах).

Виходячи з наведених вище типів ДП, обираємо ДДП. Такий вибір дозволить забезпечити необхідну точність, щільність монтажу та надійність.

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

### 3.2. Вибір і обґрунтування матеріалу ДП

При виробництві ДП використовуються вітчизняні та імпорتنі матеріали різних виробників. Матеріали, використанні в якості основи для ДП повинні мати: високі електроізоляційні властивості, достатню механічну міцність, бути стійким до кліматичних впливів. Цими вимогами задовольняє електротехнічні матеріали: гетинакс (ГОСТ 2718-74), текстоліт (ГОСТ 2910-74) і склотекстоліт (ГОСТ 12652-74) та інші.

Розглянемо основні властивості цих матеріалів і виберемо з них оптимальний варіант для матеріалу друкованої плати. Основні властивості цих матеріалів наведено в таблиці 3.1:

Таблиця 3.1. – Основні властивості матеріалів друкованої плати.

Властивості	Гетинакс	Текстоліт	Склотекстоліт
Густина, г/см <sup>3</sup>	1,3...1,4	1,3...1,45	1,6...1,75
Теплостійкість по Мартенсу °С, не менше	150	125	180
Холодостійкість, °С	-60	-60	-60
Границя міцності, МПа: при розтягу на згин	80...100 130...150	50...65 90...120	120...180 200
Питома ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup>	15...20	20...27	75
Питомий об'ємний опір, Ом*м	10 <sup>8</sup> ...10 <sup>11</sup>	10 <sup>6</sup> ...10 <sup>8</sup>	10 <sup>11</sup>
Діелектрична проникність	6...7	8	4...7
Тангенс кута діелектричних втрат при 10 <sup>6</sup> Гц	0,035...0,08	0,07	0,02
Електрична міцність (перпендикулярно шарам), МВ/м, не менше	33	4...8	18

Проаналізувавши наведені матеріали доцільно буде використати склотекстоліт, даний матеріал має кращі характеристики ніж у інших. Для реалізації друкованого вузла був обраний FR4-2-35-1.5. Цей матеріал має товщину 1.5 мм. та з двох сторін має мідну фольгу, товщиною 35 мкм.

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

### 3.3. Вибір і обґрунтування класу точності друкованої плати.

Точність ДП залежить від комплексу технологічних параметрів і 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.

Згідно ГОСТ 23751-86 передбачає п'ять класів точності ДП. Вибір класу точності завжди пов'язаний з конкретним виробництвом. Спроба вирішити цю задачу у зворотному порядку може призвести до того, що проект не буде реалізований. Необхідні граничні значення елементів друкованого монтажу і допустимі похибки наведені в таблиці 3.2. та таблиці 3.3. відповідно.

Таблиця 3.2 – Граничні значення основних параметрів ПМ.

Параметер	Клас точності				
	1	2	3	4	5
Ширина друкованого провідника $b_{пр}$ , мм	0.75	0.45	0.25	0.15	0.10
Відстань $S$ між краями сусідніх елементів провідного рисунку, мм	0.75	0.45	0.25	0.15	0.10
Гарантований поясок $b_{по}$ , мм	0.30	0.20	0.10	0.05	0.03
Відношення $f_{дт}$ номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати, мм	0.40	0.40	0.33	0.25	0.20
Щільність монтажу	мала	середня	середня	висока	висока

Таблиця 3.3 – Допустимі похибки виконання елементів ПМ.

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

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.

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

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.

Випуск ДП другого і третього класів здійснюється на звичайному не спеціалізованому обладнанні. Такі ДП, з невисокими конструктивними параметрами, призначені для недорогих пристроїв з малою щільністю монтажу.

Виходячи з того, що у проекті використовуються компоненти лише в планарних корпусах, а використання бездротового модуля усуває необхідність в роботі з BGA корпусами мікросхем, обираємо 4-й клас точності. Такий вибір дасть змогу виконати не лише коректне трасування провідників, а й зробити виготовлення даних плат більш дешевим.

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

### 3.4. Вибір і обґрунтування методу виготовлення друкованої плати.

Виготовлення друкованої плати, з встановленими раніше вимогами, розглядалось наступними методами:

- Метод пошарового нарощування
- Комбінований позитивний метод
- Хімічний субтрактивний метод
- Метод попарного пресування друкованих плат

Було обрано комбінований позитивний метод, який має ряд переваг перед іншими методами. Саме цей метод може забезпечити можливість відтворювати всіх типів друкованих елементів з високим ступенем дозволу, гарна надійність ізоляції, гарна міцність зчеплення металічних елементів плати з діелектричною основою. Також це дозволить зменшити розміри вихідної ДП через наявність великої кількості перехідних отворів.

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

### 3.5. Проектування друкованої плати у середовищі Altium Designer.

Altium Designer — це комплексна система автоматизованого проектування радіоелектронних засобів. Дозволяє проектувати друковані плати у тривимірному вигляді, а також обмінюватись інформацією з механічними системами автоматизованого проектування [12].

Дане програмне забезпечення дозволяє використати наступні, необхідні для проектування проекту, функції:

- Створення власної бібліотеки компонентів, зокрема створення УГП та посадкове місце.
- Створення принципової електричної схеми
- Трасування друкованої плати

Модель готової друкованої плати зображена на рисунку 3.5.1. та на рисунку 3.5.2.

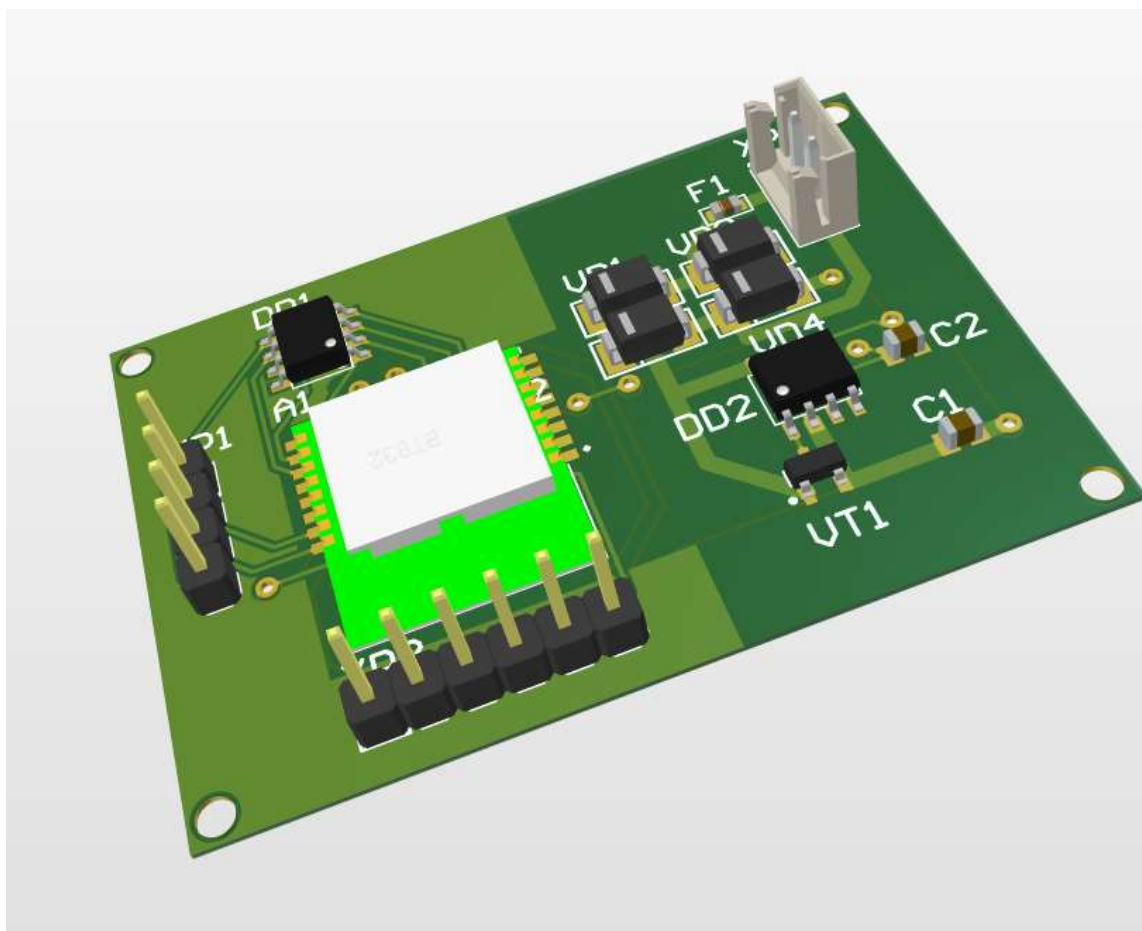


Рис. 3.5.1 – 3D модель ДП, фронтальний вид.



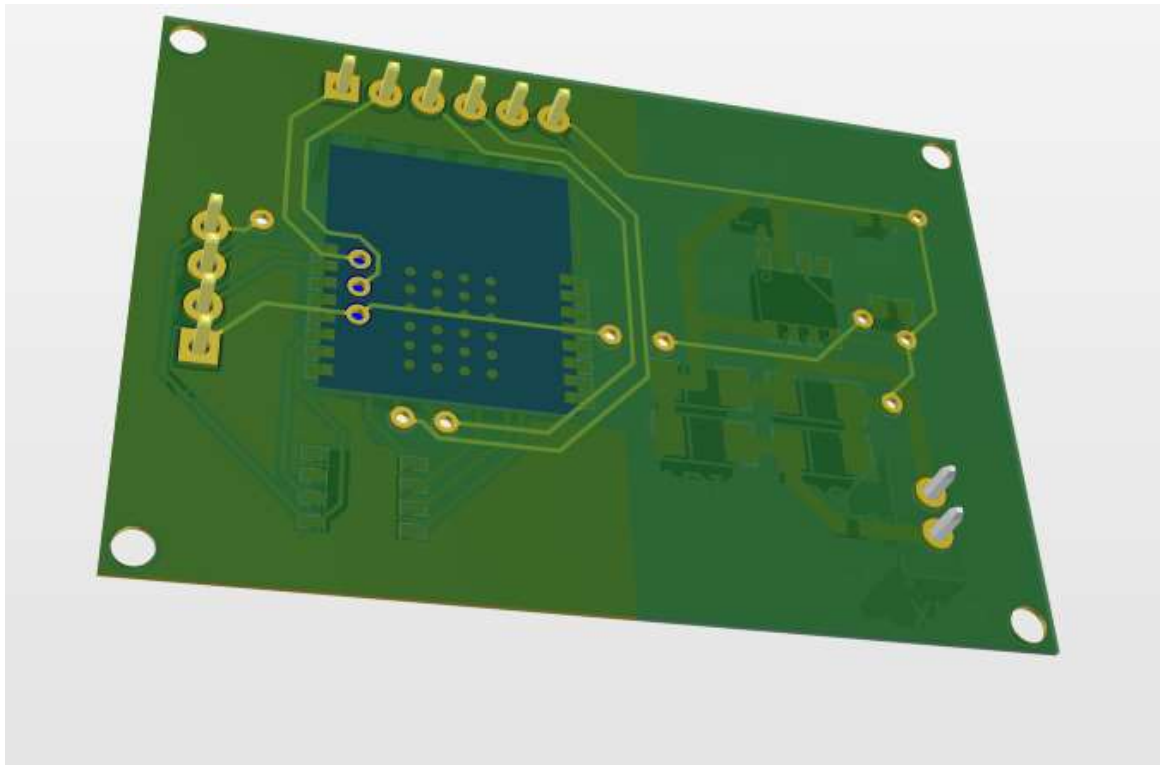


Рис 3.5.2 – 3D модель ДП, задній вид

Під час проектування ДП в середовищі AD було враховано:

- Обраний тип ДП, який вплинув на кількість шарів ДП.
- Обраний матеріал, який вплинув на товщину ДП.
- Обрану точність, яка вплинула на товщину провідників.
- Обрану точність, яка вплинула на товщину провідників.

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

### Висновок за розділом 3:

У даному розділі було розглянуто та обрано тип друкованої плати, обрано метод виготовлення ДП, обрано клас точності монтажу та спроектовано ДП у середовищі Altium Designer. Проаналізувавши ТЗ і схему електричну принципову обрано ДДП для реалізації схеми, завдяки чому плата має невеликі габаритні розміри. Матеріалом ДП було обрано склотекстоліт FR4-2-35-1.5 через свої переваги над іншими матеріалами.

Для конструювання ДП було обрано 4-й клас точності, так як даний клас точності може забезпечити мінімальні розміри ДП. Також було розглянуто метод виготовлення ДП, було вирішено використовувати комбінований позитивний метод, оскільки даний метод широко використовується і має ряд своїх переваг перед іншими методами.

Було зпроектовано ДП в середовищі AD, під час чого було створено бібліотеки компонентів, схему електричну принципову та виконано трасування ДП.

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

## Розділ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКОГО РІШЕННЯ.

### 4.1. Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати.

#### 4.1.1. Розрахунок мінімальної ширини провідника по постійному струмі для ланцюгів живлення та землі.

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

$j_{\text{доп}}$  — допустима щільність струму для ДП, що виготовлені комбінованим позитивним методом,  $j_{\text{доп}} = 48 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$  (за ОСТ 4.010.022-85);

$t_{\text{пров}}$  — товщина друкованого провідника і визначається за виразом (4.2).

Друкований провідник виготовлюється комбінованим позитивним методом, тому:

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

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

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

$h_{\text{ХМ}}$  — товщина шару хімічно осадженої міді,  $h_{\text{ХМ}} = 0,0065$  мм.

$$t_{\text{пров}} = 0,035 + 0,055 + 0,065 = 0,0965 \text{ (мм)}$$

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

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Таблиця 4.1 – Струми, які споживають елементи схеми

КЕ	$I_{\text{спож макс, мА}}$
nRF52840	20
SR036	50
CAT24C256WI-GT3	3

У результаті:

$$I_{\text{max}} = 20 + 3 + 50 = 83 \text{ (мА)}$$

$$b_{\text{min } I} = \frac{83 \cdot 10^{-3}}{48 \cdot 0,0965} = 0,018 \text{ (мм)}$$

Отримане значення мінімальної ширини провідника  $b_{\text{min } I} = 0,018 \text{ мм}$  входить в значення обраного 4 класу точності ( $b_{\text{пр}}^r = 0,15 \text{ мм}$ ). Таким чином, обраного класу точності провідників достатньо, щоб проводити постійний струм для ланцюгів живлення та «землі».

#### 4.1.2. Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому.

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

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

де  $\rho$  — питомий опір провідника, для комбіновано позитивного методу

$$\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}};$$

$I_{\text{max}}$  — максимальний струм у провіднику,  $I_{\text{max}} = 83 \text{ мА}$ , визначено вище у пункті 4.1.1;

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$l_{\text{пр}}$  — довжина найдовшого друкованого провідника ДП,  $l_{\text{пр}} = 48,46$  мм;

$U_{\text{доп}}$  — допустиме падіння напруги на друкованому провіднику,  $U_{\text{доп}} = 5 \cdot 5\% = 0,25$  В;

$t_{\text{пров}}$  — товщина друкованого провідника, визначено вище у пункті 4.1.1.

$$b_{\min U} = \frac{0,0175 \cdot 83 \cdot 10^{-3} \cdot 48,46 \cdot 10^{-3}}{0,25 \cdot 0,0965} = 0,00292 \text{ (мм)}$$

#### 4.1.3. Визначення номінального діаметру монтажного отвору.

Номінальний діаметр монтажного отвору визначається за виразом (4.4):

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

де  $d_{\text{ве}}$  — діаметр виводу елемента, для якого визначається діаметр монтажного отвору,  $d_{\text{ве}} = 1,1$  мм;

$\Delta d_{\text{МО}}$  — 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.

$$d \geq 1,1 + 0,1 + 0,2 = 1,4 \text{ (мм)}$$

#### 4.1.4. Визначення діаметру контактної площадки.

Діаметр контактної площадки визначається за виразом (4.5):

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

де  $D_{\min 1}$  — мінімальний ефективний діаметр КМ, визначається за виразом (4.6);

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$h_{\phi}$  — товщина фольги,  $h_{\phi} = 0,035$  мм. Коефіцієнт 1,5 враховує підтравлювання фольги друкованого провідника в ширину;

0,03 — похибка для КМ виготовлених комбінованим позитивним методом.

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

де  $b_{\text{по}}$  — ширина пояса КМ,  $b_{\text{по}} = 0,05$  мм, визначається з таблиці 3.2;

$d_{max}$  — максимальний діаметр отвору в ДП, визначається за виразом (4.7);

$\delta_o$  — похибка розташування центру отвору відносно вузла КС,  $\delta_o = 0,07$  мм, визначається з таблиці 3.2;

$\delta_{\text{км}}$  — похибка розташування центру КМ відносно вузлу КС,  $\delta_{\text{км}} = 0,05$  мм, визначається з таблиці 3.3.

Максимальний діаметр просвердленого отвору ДП визначається за виразом (4.7):

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

де  $d$  — номінальний діаметр МО,  $d = 1,4$ , визначено вище у пункті 4.1.3;

$\Delta d$  — допуск на діаметр отвору,  $\Delta d = 0,05$  мм.

$$d_{max} = 1,4 + 0,05 + 0,1 = 1,45 \text{ (мм)}$$

$$D_{min1} = 2 \cdot \left( 0,05 + \frac{1,45}{2} + 0,07 + 0,05 \right) = 1,79 \text{ (мм)}$$

$$D_{min} = 1,79 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 1,87 \text{ (мм)}$$

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Максимальний діаметр КМ визначається за виразом (4.8):

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

$$D_{max} = 1,87 + 0,02 = 1,89 \text{ (мм)}$$

#### 4.1.5. Визначення мінімальної та максимальної ширини провідника

Мінімальна ширина провідника визначається виразом (4.9)

:

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

де  $b_{пр}^r$  — мінімальна ширина провідника,  $b_{пр}^r = 0,15$  мм, визначається з таблиці класів точності (табл.3.2);

$h_{\phi}$  — товщина фольги,  $h_{\phi} = 0,035$  мм.

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

Максимальна ширина провідника визначається виразом (4.10):

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

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

#### 4.1.6. Визначення мінімальної відстані між провідником та контактним майданчиком.

На Рис 4.1 зображено схематичне розташування провідника і КМ, зображені відстані які використовуються для розрахунку за формулою (4.11):

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

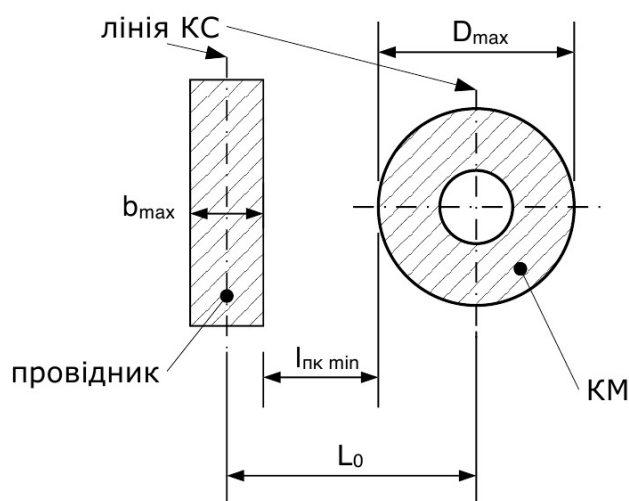


Рис. 4.1 — Відстань між провідником та КМ

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

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

$D_{max}$  — максимальний діаметр КМ,  $D_{max} = 1,89$ , визначено вище у пункті 4.1.4;

$\delta_{KM}$  — похибка розташування центра КМ відносно вузла КС,  $\delta_{KM} = 0,05$  мм, визначено з таблиці 3.3;

$b_{max}$  — максимальна ширина провідника,  $b_{max} = 0,25$ , визначено вище у пункті 4.1.5;

$\delta_{СП}$  — похибка, що враховує зміщення провідника,  $\delta_{СП} = 0,05$  мм, визначається з таблиці 3.3.

$$l_{ПКМ \min} = 1,25 - \left( \frac{1,89}{2} + 0,05 + \frac{0,25}{2} + 0,05 \right) = 0,08 \text{ (мм)}$$

#### 4.1.7. Визначення мінімальної відстані між сусідніми провідниками.

На Рис. 4.2. зображено схематичне розташування двох провідників і зображені відстані, які використовуються для розрахунку виразу (4.12):



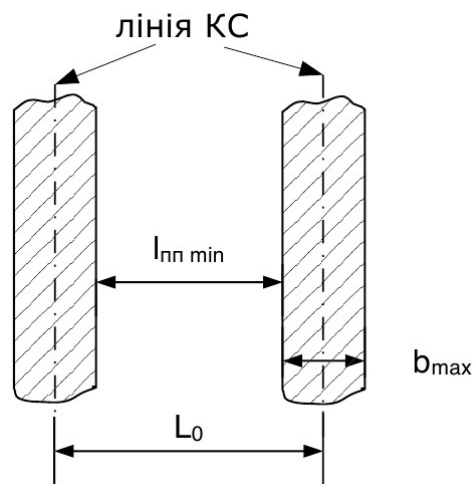


Рис. 4.2. — Відстань між двома провідниками

$$l_{\text{ПП min}} = L_0 - (b_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{СП}}), \quad (4.12)$$

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

$b_{\text{max}}$  — максимальна ширина провідника,  $b_{\text{max}} = 0,25$ , визначено вище у пункті 4.1.5;

$\delta_{\text{СП}}$  — похибка, що враховує зміщення провідника,  $\delta_{\text{СП}} = 0,05$  мм, визначається з таблиці 3.3.

$$l_{\text{ПП min}} = 1,25 - (0,25 + 2 \cdot 0,05) = 0,9 \text{ (мм)}$$

#### 4.1.8. Визначення мінімальної відстані між контактними площадками.

На Рис. 4.3. зображено схематичне розташування провідника і КМ, де використовуються відстані для розрахунку виразу (4.13):

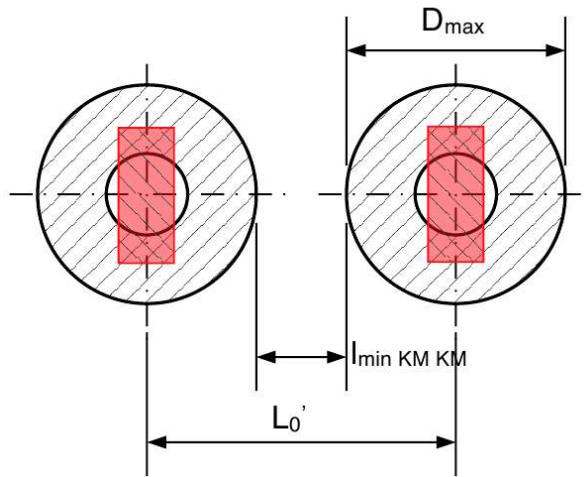


Рис.4.3. — Мінімальна відстань між двома КМ

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

де  $L_0$  — відстань між центрами сусідніх КМ,  $L_0 = 2,5$  мм;

$D_{\max}$  — максимальний діаметр КМ,  $D_{\max} = 1,89$ , визначено вище у пункті 4.1.4;

$\delta_{\text{KM}}$  — похибка розташування центра КМ відносно вузла КС,  $\delta_{\text{KM}} = 0,05$  мм, визначено з таблиці 3.3.

$$l_{\min \text{ KM KM}} = 2,5 - (1,89 - 2 \cdot 0,05) = 0,71 \text{ (мм)}$$

Отримані значення задовольняє 4-ий клас точності, що підтверджує можливість виконання ДП за 4-м класом точності.

## 4.2. Електричний розрахунок друкованої плати.

### 4.2.1. Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику.

Падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику визначається за виразом (4.14):

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}}, \quad (4.14)$$

де  $\rho$  — питомий опір провідника, для комбіновано позитивного методу  $\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ ;

$I_{\text{max}}$  — максимальний струм на найдовшому провіднику,  $I_{\text{max}} = 1$  мА;

$l_{\text{пр}}$  — довжина найдовшого друкованого провідника ДП,  $l_{\text{пр}} = 0,131$  м;

$b_{\text{пр}}^r$  — мінімальна ширина провідника,  $b_{\text{пр}}^r = 0,15$  мм, визначається з таблиці класів точності (табл.3.2);

$t_{\text{пр}}$  — товщина друкованого провідника,  $t_{\text{пр}} = 0,0965$  мм, визначено вище у пункті 4.1.1.

$$U_{\text{пад}} = \frac{0,0175 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,131}{0,15 \cdot 0,0965} = 0,16 \text{ (мВ)}$$

Розраховане падіння напруги не перевищує 5% від напруги живлення.

### 4.2.2. Визначення втрат потужності двосторонньої друкованої плати.

Втрати потужності визначаються за виразом (4.15):

$$P_{\text{пот}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot U_{\text{жив}}^2 \cdot \text{tg}\sigma, \quad (4.15)$$

де:  $f = 1$  Гц;

$C$  — ємність друкованої плати, яка визначається виразом (4.16);

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$U_{\text{жив}}$  — напруга живлення,  $U_{\text{жив}} = 5 \text{ В}$ ;

$tg\sigma$  — тангенс кута діелектричних втрат для матеріалу друкованої плати,  
 $tg\sigma = 0,002$  для матеріалу FR4.

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h}, \quad (4.16)$$

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

$S_m$  — площа металізації,  $S_m = 827 \text{ мм}^2$ ;

$h$  — товщина ДП,  $h = 1,5 \text{ мм}$ .

$$C = \frac{0,009 \cdot 4,5 \cdot 827}{1,5} = 22,33 \text{ (пФ)}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{пот}} &= 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot U_{\text{жив}}^2 \cdot tg\sigma = 2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 22,33 \cdot 10^{-12} \cdot 3,3^2 \cdot 0,002 \\ &= 3,05 \text{ (пВт)} \end{aligned}$$

#### **4.2.3. Визначення ємності між двома сусідніми провідниками, які розташовані на одній стороні друкованої плати та мають однакову ширину.**

Ємність між двома сусідніми провідниками, які розташовані на одній стороні друкованої плати та мають однакову ширину визначається за виразом (4.17):

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[ \lg \frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1}, \quad (4.17)$$

де  $\varepsilon$  — діелектрична проникність,  $\varepsilon = 4,5$ ;

$l_{\text{пр}}$  — довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників,  $l_{\text{пр}} = 10 \text{ мм}$ ;

$S$  — відстань між двома паралельними провідниками,  $S = 0,75$  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, визначено вище у пункті 4.1.1.

$$C = 0,12 \cdot 4,5 \cdot 10 \cdot \left[ \lg \frac{2 \cdot 0,75}{0,25 + 0,0965} \right]^{-1} = 1,49 \text{ (пФ)}$$

#### 4.2.4. Визначення взаємодії індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини.

Взаємна індуктивність двох паралельних провідників однакової довжини визначається за виразом (4.18):

$$M = 0,02 \cdot \left( l_{\text{пр}} \cdot \lg \left( \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} \right) - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + L_0 \right), \quad (4.18)$$

де  $l_{\text{пр}}$  — довжина перекриття паралельних провідників,  $l_{\text{пр}} = 1$  см;

$L_0$  — відстань між осьовими лініями двох паралельних провідників,  $L_0 = 0,1$  см.

$$M = 0,02 \cdot \left( 10 \cdot \lg \left( \frac{\sqrt{10^2 + 0,1^2} + 10}{0,1} \right) - \sqrt{10^2 + 0,1^2} + 0,1 \right) = 0,26 \text{ (нГн)}$$

### 4.3. Розрахунок основних показників надійності друкованого вузлу.

Надійність – це властивість об’єкту зберігати на протязі певного часу установлені значення певних параметрів, які характеризують можливість виконувати потрібні функції в заданих режимах і умовах експлуатації, технічного обслуговування, ремонтів, збереження і транспортування (ГОСТ 27.002 – 83).

Надійність друкованого вузлу визначається надійністю всіх елементів, що встановлюються на ДП, власне самою ДП та пайкою елементів. Відмова одного чи декількох елементів веде до відмови всієї складної ЕОА, при чому ці елементи фактично є невідновлюваними.

Основними показниками та характеристиками надійності є :

- $P(t)$  – імовірність безвідмовної роботи;
- $\lambda(t)$  – інтенсивність відмов;
- $T$  – середній час напрацювання до першої відмови;
- $Q(t)$  – імовірність відмови.

Інтенсивність відмов ЕРЕ являється експериментальною величиною і залежить від ряду факторів: температури навколишнього середовища, теплових ударів, вологості, режиму роботи і т.д.

Важлива характеристика надійності — середній час безвідмовної роботи визначається за виразом (4.19):

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda} \quad , \quad (4.19)$$

де  $\lambda$  — інтенсивність відмов, (год<sup>-1</sup>).

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. Таким чином можна записати наступний вираз (4.20):

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

$$\lambda_e = \lambda_{0e} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n \quad , \quad (4.20)$$

де  $\lambda_{0e}$  – інтенсивність відмов за нормальних умов (температура навколишнього середовища  $T = 20 \pm 5$  °С, відносна вологість  $65 \pm 15\%$ ), параметри обираються з [13];

$K_0 \dots K_n$  – поправочні коефіцієнти, що враховують режими роботи та умови експлуатації.

Для врахування впливу режиму роботи на інтенсивність відмов ЕОА вводять коефіцієнт навантаження  $K_H = \frac{P_{роб}}{P_{ном}}$ , що дорівнює відношенню навантаження в робочому режимі до навантаження в номінальному режимі [14].

Коефіцієнт навантаження для резисторів визначається за виразом(4.21):

$$K_{H(R)} = \frac{P_{роб}}{P_{ном}} = \frac{U_{роб}^2}{R \cdot P_{ном}} \quad (4.21)$$

Коефіцієнт навантаження для конденсаторів визначається за виразом (4.22):

$$K_{H(C)} = \frac{U_{роб}}{U_{ном}} \quad (4.22)$$

У схемі використовуються конденсатори з номінальною напругою 18 та 25 В, тому:

C1:

$$K_{Hr(C1)} = \frac{U_{роб}}{U_{ном}} = \frac{3,3}{18} = 0.183$$

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

C2:

$$K_{\text{нр}(C2)} = \frac{U_{\text{роб}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{3,3}{25} = 0.132$$

Для усіх інших елементів вибираємо  $K_{\text{н}} = 1$ . Інтенсивність відмов друкованої плати визначатимемо як інтенсивність відмов металізованих отворів.

Визначимо результуючу інтенсивність відмов друкованого вузлу формувача величини напруги. Друкований вузол відноситься до наземної апаратури, експлуатується при максимальній  $T_p = 40^\circ\text{C}$ , інші експлуатації нормальні. Вихідні дані для розрахунку  $\lambda_p$  — 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  $\lambda_p$  зведені до таблиці 4.2:

Таблиця 4.2.— Коефіцієнти надійності для елементної бази

Компонент	$N$	$\lambda_{0e} \cdot 10^{-7}, \text{год}^{-1}$	$K_{\text{н}}$	$a_t$	$a_e$	$N \cdot \lambda_{0e} \cdot K_{\text{н}} \cdot a_t \cdot a_e$
Конденсатори:						
С1	1	0,22	0,183	0,4	15	0,24
С2	1	0,22	0,132	0,4	15	0,174
Діоди	4	0,4	1	1	15	24
Мікросхема аналогова	1	0,28	1	1	15	4,2
Мікросхема цифрова	2	0,23	1	1	15	6,9
Плавкий запобіжник	1	0,5	1	1	15	7,5
Польовий транзистор	1	0,44	1	1	15	6,6
Роз'єм	3	0,62	1	1	15	27,9



Друкована плата	2	1	1	1	15	30
Контакт роз'єму	12	0,2	1	1	15	36
Перехідні отвори	12	0,0375	1	1	15	6,75
Пайка виводів	105	0,005	1	1	15	7,875

В таблиці:  $a_e$  — поправочний коефіцієнт щодо зовнішніх впливів (для переносної апаратури  $a_e = 15$ ),  $a_t$  — поправочний температурний коефіцієнт.

Показники інтенсивності відмов елементів, що наведені в таблиці, дещо завищені, що дозволяє виконати розрахунок для “найгіршого” випадку. Результуюча інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивностей відмов компонентів виконується за виразом (4.23):

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} \quad , \quad (4.23)$$

де:  $\lambda_{pi} = N \cdot \lambda_{0e} \cdot K_n \cdot a_t \cdot a_e$ ;

$N$  — кількість елементів даного типу;

$\lambda_{0e}$  — інтенсивність відмов в год<sup>-1</sup>;

$K_n$  — коефіцієнт навантаження;

$a_t$  — поправочний температурний коефіцієнт;

$a_e$  — поправочний коефіцієнт на зовнішні впливи.

Сумарна інтенсивність відмов друкованого вузла:

$$\lambda_p = 158,139 \cdot 10^{-7} \text{ (год}^{-1}\text{)}$$

Середній час напрацювання до першої відмови виконується за виразом (4.24)

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p} \quad (4.24)$$

$$T_{cp} = \frac{1}{158,139 \cdot 10^{-7}} = 63235,5 \text{ (год)}$$

Ймовірність безвідмовної роботи на протязі року виконується за виразом (4.25):

$$P = e^{-\lambda_p \cdot t} \quad (4.25)$$

$$P = e^{-158,139 \cdot 10^{-7} \cdot 8760} = 0,87$$

Ймовірність відмов на протязі року:

$$Q(t) = 1 - 0,87 = 0,23$$

Графік залежності безвідмовної роботи ДВ та ймовірність відмов ДВ від часу представлено нижче на Рис 4.4.:

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

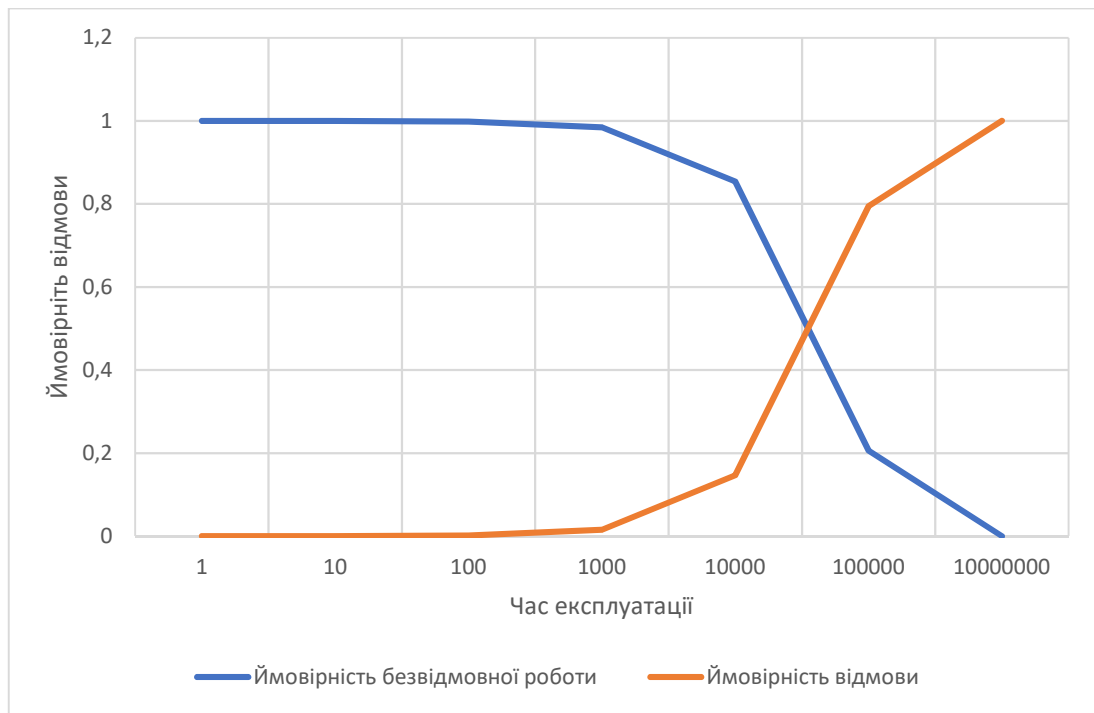


Рис.4.4. — Ймовірність відмовної і безвідмовної роботи

Даний рисунок показує, що графіки змін характеристик імовірності безвідмовної роботи  $P(t)$  та відмови  $Q(t)$  мають спільну точку перетину, а отже їх імовірності порівнюються. Це станеться після 20000 годин безвідмовної роботи, але даний результат було отримано без урахування таких факторів, як раптові відмови, старіння приладу, його знос і т.д.

#### Висновок за розділом 4:

В даному розділі розраховано:

- мінімальну ширину провідників на постійному струмі  $b_{\min I} = 0,018$  мм, яка відповідає вимогам 4-го класу точності  $b_{\text{пр}}^r = 0,15$  мм;
- мінімальну ширину провідників з урахуванням допустимого падіння наруги  $b_{\min U} = 0,00292$  мм, в той час як було обрано ширину даних провідників 0,25 мм;
- номінальний діаметр монтажного отвору  $d \geq 1,4$  мм, мінімальний та максимальний діаметр контактної площадки  $D_{\min} = 1,79$  мм,  $D_{\max} = 1,89$  мм відповідно;
- мінімальна та максимальна ширина провідників  $b_{\min} = 0,23$  мм,  $b_{\max} = 0,25$  мм відповідно;
- мінімальну відстань між провідником та КМ  $l_{\text{ПКМ min}} = 0,08$  мм;
- мінімальну відстань між сусідніми провідниками  $l_{\text{ПП min}} = 0,09$  мм;
- мінімальну відстань між КМ  $l_{\min \text{КМ КМ}} = 0,71$  мм;
- допустиме падіння напруги на найдовшому ДП  $U_{\text{пад}} = 0,16$  мВ, що не перевищує похибку від напруги живлення 3,3 В;
- Втрати потужності ДДП  $P_{\text{пот}} = 3,05$  пВт не впливають на роботу приладу;
- Паразитна ємність між сусідніми провідниками  $C = 1,49$  пФ;
- Взаємна індуктивність двох паралельних провідників однакової довжини  $M = 0,26$  нГн;
- Надійність ДП, який показав, що проектована ДП буде працювати до першої відмови біля 7 років, що задовольняє умові ТЗ (не менше 10000 годин);

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

## Розділ 5. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.

Взаємодія з приладом в BLE забезпечується через запис та зчитування характеристик. Самі характеристики поєднуються в сервіси, а сервіси – в профілі. Формально, характеристика – змінна стеку, яка має в собі певні параметри, такі як розмір, тип, тип доступу, яка визначає взаємодії з нею. Для всіх характеристик можна дозволити зчитування, запис, повідомлення та ін.

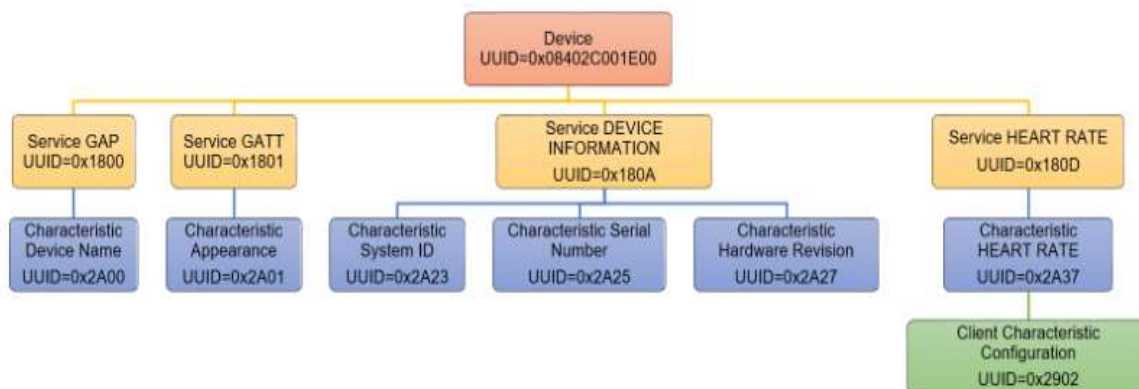


Рис. 5.1. – Структура BLE сервісу

Кожен сервіс та кожна характеристика, включена в нього, повинні мати свою унікальну адресу (UUID). За допомогою цієї адреси, пристрої, наприклад смартфон, зможуть встановлювати, що потрібно робити з конкретними даними. Слід зауважити, що ряд профілей, сервісів та характеристик є стандартними для BLE, і вони вже мають свої зареєстровані в Bluetooth SIG адреси і заздалегідь встановлений набір виконуваних функцій, такі як передача даних про заряд батареї та ін. Пристрій, коли отримує дані такого профілю вже знає, з чого складається посилка та має всі необхідні функції для подальшої реалізації отриманої інформації.

Проте нам доступні тільки 128-бітні адреси. Для того щоб згенерувати данні адреси існує спеціальний генератор [14], призначений для формування випадкових UUID.

Виходячи з сказаного вище необхідно створити відповідний сервіс, який буде включати в себе дві характеристики:

- Характеристика для зчитування температури в камері.
- Характеристика для встановлення температури в камері.

Було згенеровано наступні адреси:

```
#define SERVICE_UUID          af5483b8-ae93-11ea-b3de-0242ac130004
#define CONTROL_CHAR_UUID     b9708e82-ae93-11ea-b3de-0242ac130004
#define READ_CHAR_UUID        d619fc26-ae93-11ea-b3de-0242ac130004
```

Також створимо сам сервіс:

```
void services_init(void){
    ble_uuid_t          ble_uuid;
    ble_uuid.type = BLE_UUID_TYPE_VENDOR_BEGIN;
    ble_uuid.uuid = SERVICE_UUID;

    sd_ble_uuid_vs_add(&base_uuid, &ble_uuid.type);
    sd_ble_gatts_service_add(BLE_GATTS_SRVC_TYPE_PRIMARY,
    &ble_uuid, &val_handles);
}
```

Реалізація функції для створення характеристики:

```
uint32_t char_add(uint16_t UUID, ble_gatts_char_handles_t * handles, uint8_t
n_bytes, bool iswrite, bool isnotf, bool isread){
```

```
    ble_gatts_char_md_t char_md;
    ble_gatts_attr_md_t cccd_md;
    ble_gatts_attr_t attr_char_value;
    ble_uuid_t char_uuid;
    ble_gatts_attr_md_t attr_md;
```

```
    memset(&cccd_md, 0, sizeof(cccd_md));
```

```
    BLE_GAP_CONN_SEC_MODE_SET_OPEN(&cccd_md.read_perm);
    BLE_GAP_CONN_SEC_MODE_SET_OPEN(&cccd_md.write_perm);
    cccd_md.vloc = BLE_GATTS_VLOC_STACK;
```

```
    memset(&char_md, 0, sizeof(char_md));
```

```
    char_md.char_props.notify = isnotf; // Дозвіл на повідомлення
    char_md.char_props.write = iswrite; // Дозвіл на запис
    char_md.char_props.read = isread; // Дозвіл на зчитування
    char_md.p_char_user_desc = NULL;
    char_md.p_char_pf = NULL;
    char_md.p_user_desc_md = NULL;
    char_md.p_cccd_md = &cccd_md;
    char_md.p_sccd_md = NULL;
```

```
    char_uuid.type = BLE_UUID_TYPE_VENDOR_BEGIN;
```

					ДК62.065119.001 ПЗ	Арк. 48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

char_uuid.uuid = UUID;

memset(&attr_md, 0, sizeof(attr_md));

BLE_GAP_CONN_SEC_MODE_SET_OPEN(&attr_md.read_perm);
BLE_GAP_CONN_SEC_MODE_SET_OPEN(&attr_md.write_perm);
attr_md.vloc = BLE_GATTS_VLOC_STACK;
attr_md.rd_auth = 0;
attr_md.wr_auth = 0;
attr_md.vlen = 0;

attr_char_value.p_uuid = &char_uuid;
attr_char_value.p_attr_md = &attr_md;
attr_char_value.init_len = n_bytes;
attr_char_value.init_offs = 0;
attr_char_value.max_len = n_bytes; // Розмір атрибуту;
attr_char_value.p_value = NULL; // Початкове значення атрибуту;

sd_ble_gatts_characteristic_add(val_handles, &char_md,
&attr_char_value, handles); // Реєстрація характеристики в стеку
return 0;
}

```

Тепер необхідно створити функцію обробки запису в характеристику та функцію оновлення даних в характеристиці. Данну функцію можна реалізувати як модернізацію стандартного оброблювача переривання:

```

static void on_ble_evt(ble_evt_t * p_ble_evt)
{
uint32_t err_code;
/* Змінна яка містить в собі записану з смартфона інформацію */
ble_gatts_evt_write_t * p_evt_write = &p_ble_evt->evt.gatts_evt.params.write;
switch (p_ble_evt->header.evt_id)
{
case BLE_GAP_EVT_CONNECTED:
err_code = bsp_indication_set(BSP_INDICATE_CONNECTED);
APP_ERROR_CHECK(err_code);
m_conn_handle = p_ble_evt->evt.gap_evt.conn_handle;
break;

case BLE_GAP_EVT_DISCONNECTED:
m_conn_handle = BLE_CONN_HANDLE_INVALID;
break;

/* Подія надходження нових даних в характеристику */

```

```

    case BLE_GATTS_EVT_WRITE:

        /* Запис отриманих даних в локальну змінну*/
        write_handler(p_evt_write->data);
        break;

    default:
        break;
}
}

```

Тепер необхідно створити функцію запису даних в характеристику. Само по собі значення в характеристиці не зміниться при перезаписі в самій змінній, для запису нових значень в характеристику необхідно зареєструвати в BLE стеку дану зміну.

```

uint32_t data_update(uint8_t *data, uint16_t value_handle)
{
    uint32_t          err_code;
    ble_gatts_value_t gatts_value;
    uint8_t          update_buffer[1];

    /* копіювання даних для випадку, коли розмір більше одного байту*/
    memcpy(update_buffer,data,(sizeof(update_buffer)/sizeof(uint8_t)));
    memset(&gatts_value, 0, sizeof(gatts_value));

    /* встановлюємо розмір атрибуту */
    gatts_value.len = sizeof(update_buffer)/sizeof(uint8_t);
    gatts_value.offset = 0;

    /* записуємо нове значення характеристики */
    gatts_value.p_value = update_buffer;

    /* реєструємо зміну в стеку */
    err_code = sd_ble_gatts_value_set(m_conn_handle,
read_handles.value_handle, &gatts_value);
    return err_code;
}

```

Тепер, створивши необхідні функції, залишається проініціалізувати сервіс та створити характеристику:



```

int main(void)
{
    uint32_t err_code;
    bool erase_bonds;

    timers_init();
    buttons_leds_init(&erase_bonds);
    ble_stack_init();
    device_manager_init(erase_bonds);
    gap_params_init();
    advertising_init();

    /* Ініціалізація сервісу*/
    services_init();

    /* Створення характеристики для зчитування */
    char_add(READ_CHAR_UUID,&read_handles,2,0,0,1);

    /* Створення характеристики для запису */
    char_add(CONTROL_CHAR_UUID,&control_handles,2,1,0,0);
    conn_params_init();

    /* Перехід в режим розсилки рекламних пакетів. */
    err_code = ble_advertising_start(BLE_ADV_MODE_FAST);
    APP_ERROR_CHECK(err_code);

    for (;;)
    {
        power_manage();
    }
}

```

Для налаштування передачі даних по UART інтерфейсу використаємо стандартні функції:

```

const app_uart_comm_params_t comm_params =
{
    RX_PIN_NUMBER,
    TX_PIN_NUMBER,
    RTS_PIN_NUMBER,
    CTS_PIN_NUMBER,
    UART_HWFC,
    false,
#ifdef UART_PRESENT

```

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

```

    NRF_UART_BAUDRATE_115200
#else
    NRF_UART_BAUDRATE_115200
#endif
};

```

В даній функції назначаємо піни RX та TX для передачі даних.

Для зчитування даних використовується функція:

```
app_uart_get(&ir)
```

Для відправки даних використовується функція:

```
app_uart_put(or)
```

Для перевірити роботу передачі даних по BLE можна за допомогою програмного забезпечення nRF Connect for mobile. В даному додатку відображається створений наш сервіс, який складається з створених характеристик. Оскільки створені сервіс та характеристики є користувацькими, тобто ми самі їх згенерували, а не використали вже зареєстровані, вони відображуються як unknown service та unknown characteristic, тобто, невідомий сервіс та невідома характеристика відповідно. Проте в даному сервісі та характеристиках відображуються задані нами UUID.

Приклад відображення сервісу та характеристики наведено на рисунку 5.2.



Рис. 5.2. Приклад відображення BLE сервісу та характеристик в додатку nRF Connect.

### Висновок по розділу 5:

В даному розділі було створено BLE сервіс та характеристики, описані функції передачі та прийому даних до смартфона.

Також було реалізовано отримання та передачу даних по UART інтерфейсу для отримання та встановлення температури в холодильній камері.

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		53

## ВИСНОВОК

В рамках дипломного проекту було розроблено систему з дистанційним керуванням холодильними камерами, що відповідає вимогам, поставленим в технічному завданні.

В ході виконання роботи було розроблено схему електричну принципову, друкований вузол для пристрою, а також програмне забезпечення для керування даною системою.

У відповідності до розробленої структурної схеми пристрою було проведено вибір елементної бази. На основі цих даних було створено схему електричну принципову та перелік елементів.

Проведена конструкторська та технологічна розробка ДП, в ході якої було проаналізовано варіанти створення ДВ та встановлено що найкращим рішенням буде створити друкований вузол на двосторонній друкованій платі з склотекстоліту, обґрунтовано спосіб виготовлення ДП за комбінованим позитивним методом з 4-м класом точності.

Проведено конструкторсько-технологічні розрахунки, що підтверджують правильність прийнятих конструкторських рішень. Конструкторсько-технологічні розрахунки ширини доріжок, контактних майданчиків та діаметрів отворів відповідають 4-му класу точності.

Електричний розрахунок ДП показав наступне:

- Падіння напруги на найдовшому провіднику складає 0.16 мВ, дане значення не перевищує похибку 5% від напруги живлення 3.3 В.
- Втрати потужності ДДП складають 3.05 пВт, данні втрати не впливають на роботу приладу.
- Паразитна ємність між сусідніми провідниками складає 1.49 пФ.
- Взаємна індуктивність двох паралельних провідників однакової довжини дорівнює 0.26 нГн.
- Середній час напрацювання на відмову склав близько 7 років.

Всі отримані конструкторсько-технологічні розрахунки задовольняють умови ТЗ.

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Розроблено програмне забезпечення для пристрою в середовищі VSCode, в якості платформи для створення, компілювання та відладки програмного забезпечення для nRF52840.

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		55

## Список використаної літератури:

1. SimpleLink Wi-Fi Solutions [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.ti.com/wireless-connectivity/simplelink-solutions/wi-fi/overview/overview.html>
2. Порівняння ZigBee та Thread [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.compel.ru/lib/92808>
3. Mesh Network Performance Comparison [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.silabs.com/documents/public/application-notes/an1142-mesh-network-performance-comparison.pdf>
4. John Cameron, “Portable wireless electronic vapor device”, US patent 20170135410A1, August 28, 2018.
5. Без трансформаторний блок живлення 220 В/3.3 В [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://bit.ly/2N26bT3>
6. BT840 Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://bit.ly/3hsvs6Z>
7. CAT24C256 Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://bit.ly/3e4TfaR>
8. SR036 Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://bit.ly/2UMFndY>
9. MMBFJ113 Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://bit.ly/3d3vPS0>
10. C2Q Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://bit.ly/2YwqayI>
11. STPS2L30A Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://bit.ly/3fugJa2>
12. Altium Designer [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://bit.ly/37v1R8m>
13. С. М. Боровиков. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств: учеб.-метод. пособие. – Минск: БГУИР, 2010. – 68 с.

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

14. Генератор UUID [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.uuidgenerator.net/>

15. Типы ДП [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://bit.ly/2CddR2Z>

16. Стеклотекстолит FR-4 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://bit.ly/2MYnLY2>

17. nRF5 SDK [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://bit.ly/3e43VGN>

ГОСТ 23751-86 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Основные параметры конструкции.

ГОСТ 23665-79. Платы печатные. Обработка контура. Требования к типовым технологическим процессам.

ГОСТ 23770-79. Платы печатные. Типовые технологические процессы химической и гальванической металлизации.

ГОСТ 2.417-91. Платы печатные. Правила выполнения чертежей.

ГОСТ 2.701-84 – ЕСКД. Правила выполнения схем.

ГОСТ 2.702-75 – ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.

ГОСТ 2.708-81 – ЕСКД. Правила оформления схем.

ГОСТ 2.709-89 – ЕСКД. Обозначения условные проводов и контактных соединений электрических элементов, оборудования и участков цепей в электрических схемах.

ГОСТ 2.710-81 – ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.

ГОСТ 2.730-73 – УГО. Приборы полупроводниковые.

ГОСТ 2.743-91 – УГО. Элементы цифровой техники.

ГОСТ 2.759-82 – УГО. Элементы аналоговой техники.

ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения.

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

ГОСТ 26246.5-89 Материал электроизоляционный фольгированный  
нормированной горючести для печатных плат на основе стеклоткани,  
пропитанной эпоксидным связующим (FR-4).

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		58



## Додаток А.

### Технічне завдання на проектування

#### 1. Найменування та галузь використання.

Система з дистанційним керуванням технологічним обладнанням. Може використовуватись як в побутових так і промислових умовах.

#### 2. Підстава для розробки

Підставою для розробки є завдання на дипломний проект згідно наказу по НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» №.1195-с від 25.05.2020 р.

#### 3. Мета і призначення розробки

Розробка пристрою для дистанційного керування холодильними камерами, який буде зручний у використанні.

#### 4. Технічні вимоги

##### 4.1. Склад виробу й вимоги до пристрою, що розробляється.

Пристрій складається з блоку обробки даних, який являє собою друкований вузол з роз'ємами для прийому та передачі даних безпосередньо до холодильної камери, а також модулем бездротового зв'язку для керування з смартфона або персонального комп'ютера.

##### 4.2. Вимоги до надійності.

Середній час напрацювання на відмову не менше 10000 годин.

##### 4.3. Вимоги до технологічності.

Орієнтовані на передові прийоми виготовлення деталей і складання.

##### 4.4. Вимоги до рівня уніфікації й стандартизації.

Для виготовлення системи передбачається застосування стандартних, уніфікованих деталей та виробів.

##### 4.5. Вимоги безпеки обслуговування.

Керуватися загальними вимогами безпеки до апаратури низької напруги ГОСТ 12.2.007-75.

##### 4.6. Вимоги до складових частин виробу, сировини, вихідних і експлуатаційних матеріалів.

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Для виробництва використовувати матеріали імпортного виробництва, або їх аналоги вітчизняного виробництва.

#### **4.7. Умови експлуатації.**

Кліматичне виконання УХЛ 4.1 по ГОСТ 15150-69.

#### **4.8. Вимоги до транспортування і зберігання.**

Група умов зберігання Л1 по ГОСТ 15150-69. Зберігати в зачинених, опалювальних та вентильованих приміщеннях, в яких забезпечуються наступні умови: температура повітря +5...+40°C, відносна вологість повітря 90% при 15°C (середньорічне значення), атмосферний тиск 84...106кПа. Транспортувати автомобільним, залізничним або авіаційним видами транспорту в спеціальній транспортній тарі.

### **5. Результати роботи**

Результати даної роботи можуть бути використані як вихідна документація по створенню прототипу пристрою, його програмування, налагодження.

Дана робота (звітна документація) після виконання надається на кафедру КЕОА для подальшого захисту й зберігання як навчальної документації.

### **6. Робота повинна містити в собі документи**

- Пояснювальну записку (формату А4, до 70 аркушів)
- Схеми електричні принципи та переліки елементів (формату А3 та А4 відповідно)
- Складальні креслення та специфікації (формату А3 та А4 відповідно)
- Креслення друкованих плат (формату А3)
- Додатки (формату А4)

### **7. Порядок розгляду й приймання роботи**

Порядок розгляду й приймання роботи на загальних умовах, прийнятих на кафедрі КЕОА. Рецензування й прийняття роботи комісією на загальних умовах. У процесі виконання роботи проміжні звіти надаються комісії не рідше 1 раз у тиждень на загальних умовах.

### **8. Економічні показники**

В умовах даного проекту не розглядаються.

					<i>ДК62.065119.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60