

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

бакалавр  
Освітній рівень

Контролер мережі Zigbee  
підвищеної відмовостійкості  
Назва теми

КПТР.020059.01.01 ПЗ

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

Шифр, назва

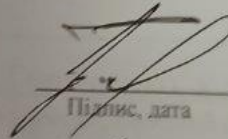
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Шифр, назва

Освітня програма «Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі»

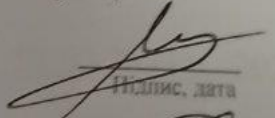
Шифр, назва

Виконав:  
студент IV курсу, група ТР2-20-1

  
Підпис, дата

Р.А. Сілідуєв  
Ініціали, Прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

К.Л. Горященко  
Ініціали, Прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

В.І. Стецюк  
Ініціали, Прізвище

До захисту допускаю:  
зав. кафедри телекомунікацій,  
медійних та інтелектуальних  
технологій

  
Підпис, дата

С.К. Підченко  
Ініціали, Прізвище

« 8 » серпня 2023 р.

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційного проєкту: «Контролер мережі Zigbee підвищеної відмовостійкості».

Автор роботи: Сілідуєв Роман Аналолійович.

Керівник роботи: канд. техн., доц. Горященко Костянтин Леонідович.

Пояснювальна записка: 61 сторінок, 15 рисунків, 4 таблиць, 22 джерела, 2 додатки.

Графічна частина: 4 плакати, 2 креслення, 10 презентаційних слайдів.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА МЕРЕЖА, ZIGBEE, ПЕРЕДАВАЧ

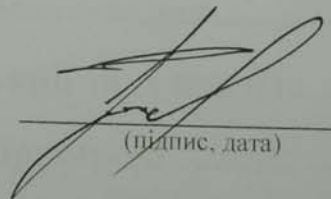
**Метою кваліфікаційного проєкту** є побудова прийомо-передатчика, що працює за стандартом ZigBee.

Для розробленого пристрою проведено аналіз основних способів передачі інформації за допомогою антен. Проведено аналіз взаємодії осциляторів ZigBee між собою. Проведена теоретична оцінка роботи та взаємодії генераторів сигналів на вихід антен.

Проведено моделювання роботи окремих складових пристрою. Розроблено декілька варіантів компонування пристрою. Визначені надійнісні показники пристрою.

Р.А. Сілідуєв

Ініціали, прізвище

  
(підпис, дата)

Факультет інформаційних технологій  
Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій  
Освітній рівень бакалавр  
Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»  
Шифр, назва  
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»  
Шифр, назва  
Освітня програма «Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри Сергій ПІДЧЕНКО  
« серпень » 2023 р.

### ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Роман Анатолійович СІЛДУЄВ  
Прізвище, ім'я, по батькові здобувача

1 Тема проєкту Контролер мережі Zigbee підвищеної відмовостійкості

керівник проєкту К.Л., Горященко, к.т.н., доцент  
(Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання)

Затверджено  
наказом ректора університету від 01.03.2023 р. 2023 р. № 5

- 2 Строк подання студентом проєкту на кафедру « 3 » червня \_\_\_\_\_ 2023 р.
- 3 Вихідні дані до проєкту 1. Розглянути загальну структуру, принцип роботи пристроїв стандарту ZigBee. 2. Аналіз принципів організації передачі інформації в мережі ZigBee. 3. Розробка схеми електричної принципової та розрахунки
- 4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Вступ. 2. Апаратна реалізація ZigBee. 3. Конструкторський розділ. 4. Розгляд пристрою та його структури
- 5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

Завдання отримав [підпис]  
Науковий керівник [підпис]

## 6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

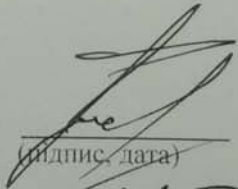
Розділ	Прізвище, Ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7 Дата видачі завдання 01.03.2023 р.

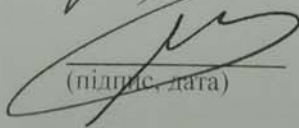
### ПЛАН ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОБОТИ

№ п/п	Найменування виду роботи	Форма звітності, термін виконання	Відмітка наукового керівника
1	Вступ	15.03.2023	Виконано
2	Огляд літератури, аналіз доцільності розробки	15.03.2023	Виконано
3	Методи передачі інформації та роль ZigBee	10.04.2023	Виконано
4	Розробка схеми електричної принципової та розрахунки	10.05.2023	Виконано
5	Висновки	15.05.2023	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	25.05.2023	Виконано
7	Оформлення презентаційних матеріалів	01.06.2023	Виконано

Здобувач

  
(підпис, дата)

Керівник проекту'

  
(підпис, дата)

Р.А. Сілідуєв

Ініціали, прізвище

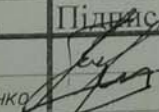
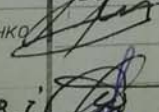
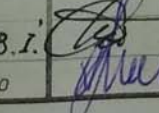
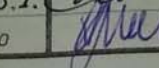
К.Л. Горященко

Ініціали, прізвище

## ЗМІСТ

ВСТУП.....		4
1 СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ СТАНДАРТУ ZIGBEE .....		5
1.1 Опис сенсорних мереж.....		5
1.2 Робоча група IEEE 802.15.....		6
1.3 Стандарт 802.15.4 ZigBee .....		8
1.4 Топологія мереж ZigBee .....		9
1.5 ZigBee логічні типи пристрою .....		11
1.6 ZigBee типи фізичного пристрою та передача даних в ZigBee .....		12
1.7 Фізичні шари стандарту IEEE 802.15.4 .....		16
1.8 Висновки до першого розділу .....		18
2 Апаратна реалізація протоколу ZigBee .....		19
2.1 Технічна реалізація стандарту ZigBee.....		19
2.2 Механізм доступу до каналу CSMA/CA .....		22
2.3 Взаємодія осциляторів ZigBee між собою .....		23
2.4 Моделювання схеми.....		29
2.5 Висновки до другого розділу .....		33
3 Конструкторський розділ.....		34
3.1 Структурна схема пристрою .....		34
3.2 Аналіз схеми електричної принципової.....		35
3.3 Аналіз елементної бази .....		36
3.4 Аналіз аналогічних конструкцій.....		39
3.5 Компонування пристрою .....		39
3.5.1 Загальні відомості та завдання компонування .....		39
3.5.2 Розробка різних варіантів конструкції та їх аналіз.....		41
3.5.3 Визначення габаритних розмірів пристрою .....		44

КПТР.020059.01.01 ПЗ

Зм.	Арк.	Нодокум.	Підпис	Дата		Літера	Аркуш	АркушіВ
Виконав		Р.А. Слідюєв		5.06	Контролер мережі Zigbee підвищеної відмовостійкості Пояснювальна записка	ч		
Перевір.		К.Л. Горященко		6.06			{2	
Т.Контр.		СТЕЦЬЮК В.І.		8.06.23		ТР2-20, ФІМ, ХНУ		
Н.контр.		С.К. Підченко						
Затвер.								

Перелік літератури .....	57
ДОДАТКИ.....	59

					<i>КПТР.020059.01.01 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		3

## ВСТУП

Безпроводні технології міцно укорінилися в нашому повсякденному житті: Інтернет ми підключаємо через WI - FI, 3G, і 4G, звук і периферію - через Bluetooth, користуємося GSM -телефонією. Відмова від дротів дає масу переваг : швидкість і легкість розгортання, реструктуризації і масштабованості мереж, мобільність, зменшення витрат на прокладення кабелів зв'язку, загальну естетичність приміщень, в яких більше не лежать сплутані дроти.

Крім того, застосування безпроводних технологій дозволяє розгорнути мережі передачі даних в місцях, що не припускають проведення кабельних робіт, скажімо, в силу особливостей конструкції, з міркувань безпеки, при відмові орендаря або з яких-небудь інших причин.

Безпроводний зв'язок охоплює усе більш міцні позиції, багато в чому за рахунок вдосконалення стандартів, а також завдяки своїм безперечним перевагам. Повна відмова або скорочення числа кабельних ліній, що ведуть до контролерів, датчиків, вимірювальним приладам пристроям, що управляють, значно знижують тимчасові і фінансові витрати на етапах проектування, розгортання і експлуатації мережі. Масштабованість і гнучкість безпроводної мережі істотно полегшують життя при реструктуризації промислового підприємства і його розширенні, у тому числі при переїзді. Крім того, саме в промисловості прокладення кабелів зв'язку частенько неможливе, або просто позбавлена сенсу із-за великих відстаней між численними об'єктами автоматизації, непереборних перешкод, складнощів, що виникають при отриманні дозволу на проведення земляних робіт, із-за використання «подорожуючих» по різних виробничих майданчиках пересувних або тимчасових установок.

					<i>КПТР.020059.01.01 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		4

# 1 СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ СТАНДАРТУ ZIGBEE

## 1.1 Опис сенсорних мереж

Останнім часом безпроводні сенсорні мережі отримали великий розвиток. Це мережі, які складаються з деякої кількості мініатюрних пристроїв, оснащених малопотужним приймачем-передавачем, мікропроцесором і сенсором. За допомогою цих пристроїв можна зв'язати комп'ютерну мережу, світ інтернету, і світ фізичний, наповнений різними природними явищами.

Сенсорні мережі за допомогою своїх датчиків уловлюють зміни в атмосфері, реагують на звук, температуру, і повідомляють про це людину, за допомогою електронних пристроїв. Така концепція безпроводних сенсорних мереж притягнула увагу великої кількості людей, як простих інженерів, так і багатьох учених, різних комерційних утворень, дослідницьких інститутів. Це дало великий поштовх розвитку сенсорним мережам, з'явилася безліч наукових робіт з цієї тематики. Досить пильний інтерес до вивчення таких систем криється в тому, що сенсорні мережі таять в собі величезний потенціал, широкі можливості по застосуванню в різних сферах життя. Безпроводні сенсорні мережі, як приклад, можуть використовуватися для пророцтва відмови устаткування в аерокосмічних сі стемах і автоматизації будівель. Вони можуть застосовуватися в системах безпеки і у військових цілях, тому що мають здатність до самоорганізації, відрізняються великим часом автономної роботи і мають великий поріг відмовостійкості. Ще однією можливою областю, де застосування сенсорних мереж можна вважати перспективним, являється медицина. Існує ряд розробок біологічних сенсорів сумісних з інтегральними схемами сенсорних вузлів, за допомогою їх можна буде мониторити здоров'я людини.

Сенсорні мережі працюють за стандартом IEEE 802.15.4, який описує перший і другий рівень моделі OSI, тобто доступ до безпроводного каналу і фізичний рівень мережі.

					КПТР.020059.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		5





Друга група визначає співіснування безпроводних персональних мереж (WPAN) з іншими безпроводними пристроями, працюючими на частотних діапазонах, що не ліцензуються, таких, як безпроводні локальні мережі (WLAN). Стандарт IEEE 802.15.2-2003 був опублікований в 2003 році, після чого діяльність цільової групи 2 була призупинена.

Третя група - це високошвидкісні WPAN. IEEE 802.15.3-2003 розповідає про фізичний рівень і про рівень управління доступом до середовища в мережах WPAN, які вважаються швидкісними (від 11 до 55 Мбіт/с).

Четверта група - це низькошвидкісні WPAN. IEEE 802.15.4-2003 розповідає про фізичний рівень і про рівень управління доступом до середовища в мережах WPAN, які вважаються низькошвидкісними. Але низька швидкість була принесена в жертву тривалому часу автономної роботи.

П'ята група (802.15.5) надає архітектурний фреймворк, на основі якого можна будувати стабільні, сумісні і масштабовані безпроводні Mesh -сети.

У сімейство 802.15 входить стандарт 802.15.4 ZigBee, про яке і піде мова [6].

### 1.3 Стандарт 802.15.4 ZigBee

Стандарт IEEE 802.15.4 також відомий як (ZigBee) використовується у разі, коли ставиться завдання встановлення зв'язку між автономними приладами і устаткуванням, або збору інформації з території і централізації її на головному пристрої. У корпоративному секторі це можуть бути, наприклад, складські системи, системи автоматизації виробництва, різні датчики, сенсори, сервоприводи, електронні мітки, а в домашніх умовах - персональні комп'ютери, ігрові приставки, системи безпеки, освітлення, кондиціонування, радіофіковані іграшки.

Стандарт IEEE 802.15.4 визначає схему роботи на фізичному рівні (PHY), і на рівні управління доступом (MAC), і надає широкі можливості по підтримці різних топологій мереж. Збереження енергії забезпечується різними схемами

					КПТР.020059.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		8

мережевої маршрутизації, а наявність декількох маршрутів до координаторів мережі, забезпечує роботу мережі, навіть при виході одного з координаторів з ладу.

Фізичний рівень ZigBee стежить за рівнем енергії у вузлах, а також проводить оцінку каналів, для того, що достовірнішого, що комунікує і безперебійного.

Рівень доступу до мережі відповідає за автоматичне підтвердження отримання пакетів, а також стежить за тим, щоб дані передавалися в певні тимчасові інтервали. У MAC рівні ZigBee є можливість використати Wi - Fi або Bluetooth канали, якщо вони виявляться в межах досяжності.

Звичайний радіус покриття, який забезпечує стандарт IEEE 802.15 - від 10 до 75 м, пропускна ж спроможність каналу залежить від устаткування і досягає 250 кбит/с. На цій швидкості передача інформації проводиться в діапазоні 2,4 ГГц, який є таким, що не ліцензується. Облаштування ZigBee мають дуже низьке енергоспоживання і невелику потужність, тому швидкість передачі даних невелика, та зате служать такі вузли досить довго і не вимагають постійного живлення від мережі.

У стандарті також передбачені діапазони 858 МГц (20 кбит/с) і 902-928 МГц (40 кбит/с). Є можливість підтримки одноразові до 255 підпорядкованих пристроїв в мережі. Стандарт ZigBee являє собою дуже широкий інструмент для створення і обслуговування недорогих безпроводних мереж з дуже низьким споживанням потужності і різноманітними функціями [1].

#### 1.4 Топологія мереж ZigBee

Найкращим рішенням для інтеграції стандарту ZigBee, являється застосування mesh (комірчастою) топології. Існує декілька можливих форм топологій : точка-точка, кластерне дерево, але найчастіше використовують топології зірка (рисунок 1.3) і P2P( рисунок 1.2 ), або їх комбінацію. Залежно

					КПТР.020059.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		9

від вимог, може бути застосована та або інша топологія. У одній великій мережі фрагментарно можуть використовуватися їх комбінації.

Розглянемо комунікацію між пристроями у разі зіркоподібної топології. Зв'язок встановлюються між окремими кінцевими вузлами і центральним контроллером, який іменується координатором PAN (Personal Area Network). Кінцевий вузол звичайно асоціюється з якимсь застосуванням, працюючим в мережі, сенсор уловлює потрібні зміни і намагається доставити ці дані координаторові, або безпосередньо, або через інші вузли. Координатор PAN може виконувати різні функції, він може використовуватися для ініціації деяких застосувань, завершення комунікації, або маршрутизації даних в мережі.

Застосування, які віддають перевагу топології зірка (рисунок 1.3), - це звичайно різні системи, які встановлюються у будинках для автоматизації чого-небудь, наприклад роботи кліматичного устаткування; периферійні облаштування персональних комп'ютерів, а також різні пристрої, які пов'язані з турботою про здоров'я [2].

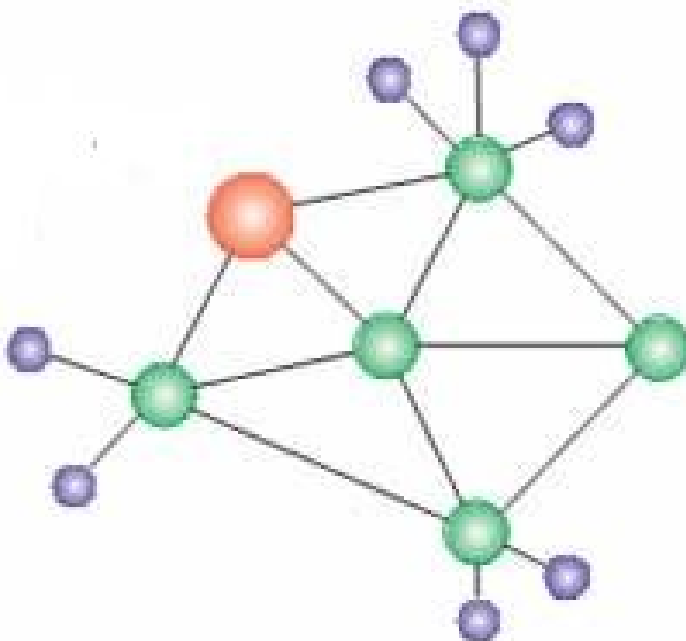


Рисунок 1.2 –Топологія peer - to – peer

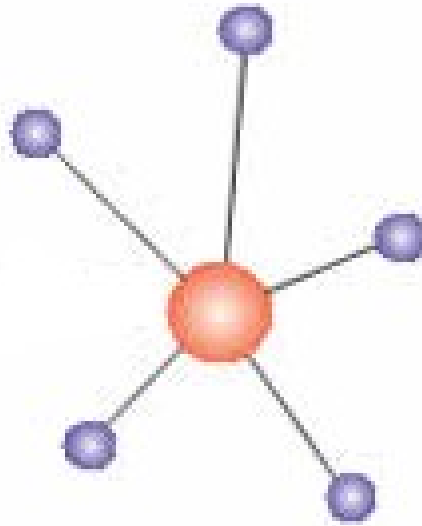


Рисунок 1.3 – Топологія зірка

Топологія peer-to-peer (P2P), зображена на рисунку 1.2, аналогічно працює з координатором PAN, але вона відрізняється від зірки тим, що будь-які мережеві пристрої мають можливість комунікувати один з одним. Цей тип топології використовується в моніторингу, промисловому управлінні, інтелектуальному сільському господарстві.

Топологія типу P2P являється, в принципі, що самоорганізующоюся і самовідновлюється. Ця топологія має можливість організувати многоходовые маршрути для доставки повідомлень. Якщо, наприклад, створювати додаткові канали і залишати резервні контролери, то мережа стає набагато стійкіша до змін в топології. Функції самоорганізації можуть бути додані на більш високому рівні.

Приведені вище малюнки показують, що при необхідності можна реалізувати практично будь-яку топологічну схему.

### 1.5 ZigBee логічні типи пристрою

Є три категорії вузлів в системі ZigBee. Вони - Координатор, Маршрутизатор і Крайні пристрої.

1) Координатор: Формує корінь мережевого дерева і, можливо, сполучав би мостом до інших мереж. Є точно один координатор в кожній мережі. Це відповідально за введення мережі і відбір мережевих параметрів як наприклад частотний радіоканал, унікальне мережеве ім'я і встановлюючи інші оперативні параметри. Це може також зберігати інформацію про мережу, ключі безпеки.

2) Маршрутизатор: Маршрутизатор служить проміжними вузлами, змінюючи дані з інших пристроїв. Маршрутизатор може з'єднатися із вже існуючою мережею, також здатний прийняти з'єднання від інших пристроїв і бути деяким видом повторних посилачів до мережі. Мережа, можливо, розширюється через використання маршрутизаторів ZigBee.

3) Крайні Пристрої: Крайній Пристрій може бути малопотужними пристроями, що мають батарейне живлення. Вони можуть зібрати різні відомості від датчиків і вимикачів. Вони мають достатню функціональність, щоб говорити з їх батьками (або координатор, або маршрутизатор) і не може змінювати дані з інших пристроїв. Ця зменшена функціональність дозволяє потенціал скорочувати їх вартість. Вони підтримують кращі низькі енергетичні моделі. Цим пристроям не доведеться залишитися пильним цілий час, при пристроях, що належать до іншого, дві категорії мають. Кожен крайній пристрій може мати аж до 240 крайніх вузлів, які, окремі застосування розділяють те ж радіо.

## 1.6 ZigBee типи фізичного пристрою та передача даних в ZigBee

Засновано на здібностях обробки даних, два види фізичних пристроїв забезпечені в IEEE 802.15.4: Повні Пристрої (FFD) Function і Скоротив Пристрої (RFD) Function. Повні Пристрої Function можуть виконувати усі доступні дії в межах стандарту, у тому числі напрям механізму, coordination завдань і завдання, що відчуває. FFD грає роль координатора або маршрутизатора або крайніх пристроїв (Він може бути або FFD, або RFD залежить від його застосування, що призначається). Типовий FFD в мережі

					КПТР.020059.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		12



квитанцію, яка говорить про успішну доставку кадру. Ця послідовність дій відображена на рисунку 1.4.

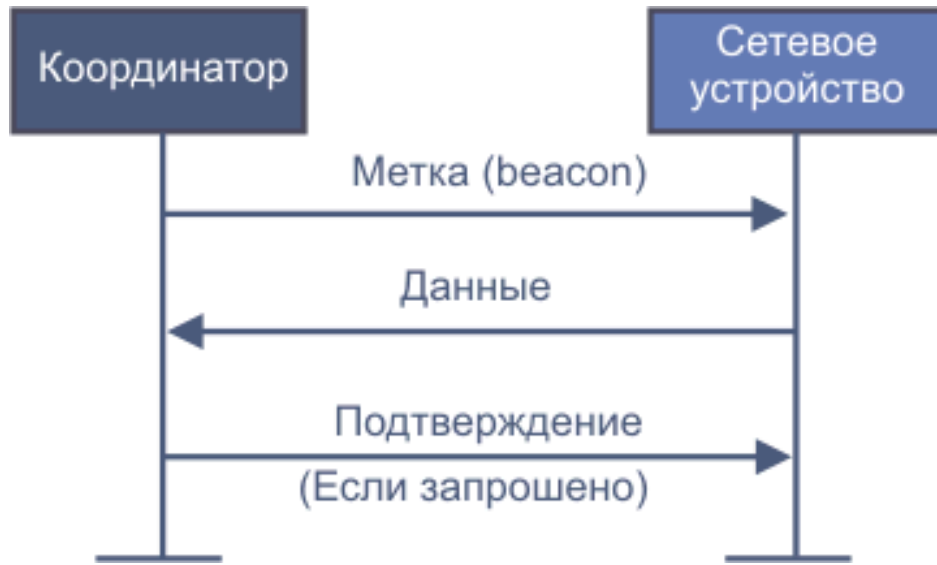


Рисунок 1.4 – Передача даних координаторові в РАН з використанням міток

Якщо кінцевий пристрій має необхідність передати дані в мережу без підтримки маяків, то воно просто посилає дані координаторові. Координатор, якщо вимагається, може підтвердити доставку даних квитанцією. Ця послідовність операцій відображена на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Комунікацій з координатором в РАН без міток

Розглянемо другий метод передачі даних. Якщо координатор має потребу передати дані кінцевому мережевому пристрою в мережі PAN, яка підтримує передачу маяків, то на цьому підготовчому етапі вузол визначає по мережевому маяку дані, очікуючі відправки. Пристрій періодично прослуховує мережеві маяки (beacon), і, якщо вузол виявляє, що є дані, очікуюче відправки, то передається команда, яка просить дані. Координатор у свою чергу посилає квитанцію про отримання запиту даних за допомогою відповідного кадру (АСК). Далі кадр даних, який був приготований координатором, пересилається, якщо можливо, то відразу після підтвердження. Кінцевий пристрій також може відправити квитанцію, повідомляючи про успішне отримання даних. На цьому транзакція завершується. Послідовність описаних дій представлена на рисунку 1.6.

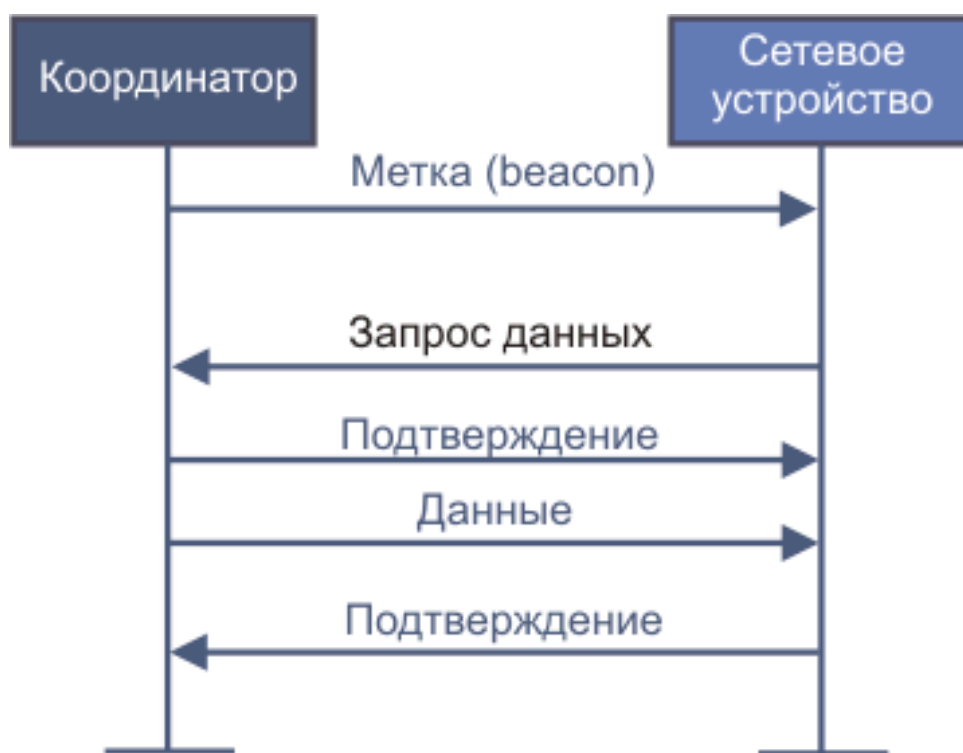


Рисунок 1.6 – Передача даних з комунікатора мережі PAN, використовуючої мітки

Якщо координатор має необхідність передати дані кінцевому пристрою в мережі, де немає підтримки маячків, то відбувається наступне. Запам'ятовуються дані, які координатор приготував для відповідного кінцевого пристрою і виконується запит від вузла.

Координатор у відповідь відправляє квитанцію, підтверджуючи отримання запиту. Якщо дані чекають відправки, координатор відразу ж починає передачу. Якщо кадру даних немає, то координатор запам'ятовує цей факт і посилає інформаційний кадр з нульовою довжиною поля даних. Послідовність дій для цієї схеми відображена на рисунку 1.7 [7].

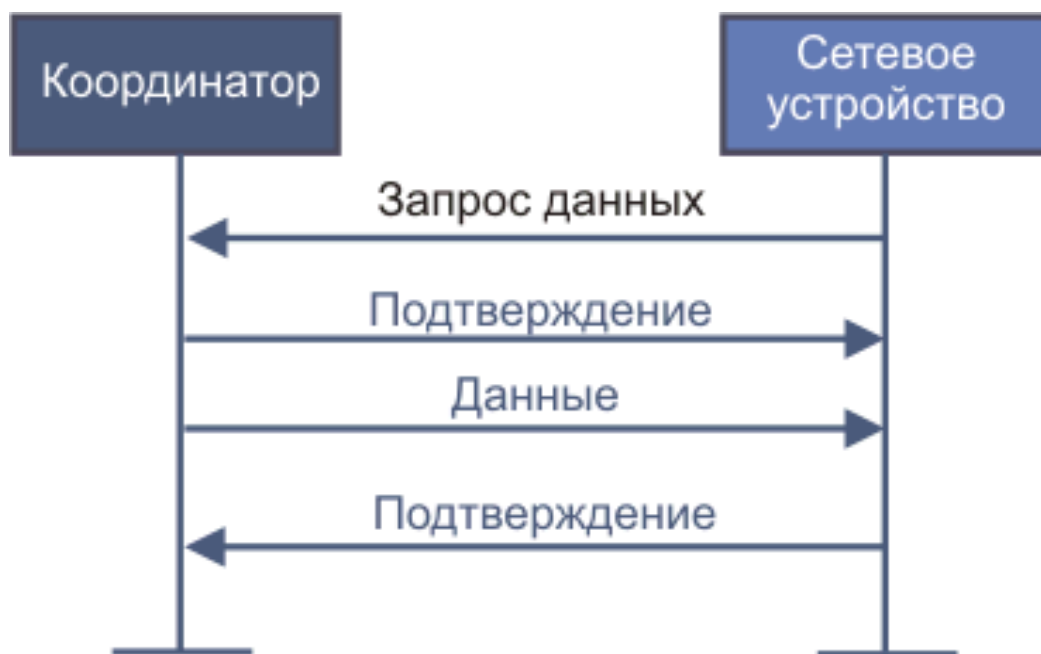


Рисунок 1.7 – Телекомунікацій з координатора в мережу PAN без міток

### 1.7 Фізичні шари стандарту IEEE 802.15.4

Фізичний шар IEEE802.15.4 стандарту - найближчий шар до технічного забезпечення, які управляють і зв'язуються радіо з приймачем безпосередньо. Це управляє усіма завданнями, що включають доступ до технічного забезпечення ZigBee, у тому числі ініціалізація технічного забезпечення,

вибору каналу, єднальної якісної оцінки, оцінка вимір виявлення енергії and clear каналу для допомоги вибір каналу.

Підтримує три частотні групи, 2.45GHz група, яка користується 16 каналами, 915MHz група, яка, користуючись 10 каналами і 868MHz групою, користуючись 1 каналом. Усе три, користуючись Прямим режимом Встановлення (DSSS) послідовності Спектру Поширення доступ.

PHY має такі поля Пакету:

- Преамбула (32 фрагменти) - синхронізація
- Початок Роздільника (8 фрагментів) Пакету
- Заголовок (8 фрагментів) PHY - довжина PSDU
- PSDU (0 до 1016 фрагментів) - поле Даних

Пропускна здатність ZigBee низька, швидкість передачі даних становить близько 250 кбіт/с. Отже, ця система ZigBee корисна для додатків, які потребують низької швидкості передачі даних. Деякі з його застосувань - це дизайн системи моніторингу та управління виконавчими пристроями на основі бездротової сенсорної мережі ZigBee[3]; Багаторівнева система моніторингу паркувальних місць на основі ZigBee[4]; проектування інтелектуального складу. А також система вимірювання та управління на основі Zigbee WSN[4]; Дослідження бездротових сенсорних мереж на основі ZigBee для шахтарських позицій [5]. Також Zigbee застосовується для бездротових сенсорних мереж у Моніторингу навколишнього середовища [6].

Також підтримуються такі стандартні додатки, як домашня автоматизація і контроль, автоматичне зняття показань лічильників, житлові та комерційні комунальні системи, автоматизація будівель; автоматизація будівель, охорона здоров'я, бездротові мережі. У медичній та фітнес сфері це є фітнес-моніторинг: вдома, в спортзалі, в русі, ZigBee Smart Energy, лікарні та установи, моніторинг пацієнтів, заміна кабелів. Автомобільна промисловість: контроль в транспортному засобі: транспортні засоби та розваги, Моніторинг стану, Телекомунікаційні послуги.

					КПТР.020059.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		17

## 1.8 Висновки до першого розділу

Сенсорні мережі за допомогою своїх датчиків уловлюють зміни в атмосфері, реагують на звук, температуру, і повідомляють про це людину, за допомогою електронних пристроїв. Така концепція безпроводних сенсорних мереж притягнула увагу великої кількості людей, як простих інженерів, так і багатьох учених, різних комерційних утворень, дослідницьких інститутів.

Сенсорні мережі працюють за стандартом IEEE 802.15.4, який описує перший і другий рівень моделі OSI, тобто доступ до безпроводного каналу і фізичний рівень мережі.

Стандарт IEEE 802.15.4 також відомий як ZigBee, використовується у разі, коли ставиться завдання встановлення зв'язку між автономними приладами і устаткуванням, або збору інформації з території і централізації її на головному пристрої.

					<i>КПТР.020059.01.01 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		18

## 2 Апаратна реалізація протоколу ZigBee

### 2.1 Технічна реалізація стандарту ZigBee

Технологія ZigBee як одна з основних технологій бездротових сенсорних мереж в останні роки до появи технології бездротового зв'язку малого радіусу дії, з низьким енергоспоживанням вузлового пристрою, невеликими перешкодами зв'язку, швидкістю розгортання, великою пропускну здатністю мережі та багатьма іншими перевагами, технологія може бути добре використана в сільському господарстві, моніторингу навколишнього середовища, контролі росту тепличних культур, зменшенні людського фактора, що впливає на ріст сільськогосподарських культур[3].

Таблиця 2.1 - Трансивери стандарту 802.15.4

	Freescale	Chipcon	Ember	Jennic	UBEC	OKI (COMPX)
Трансивери	MC13192	CC2420	EM2420	JN5121	uz2400	ML7065 (CX1540)
Корпус	QFN 32 EP 5SQ*1	QLP-48 7x7 mm	QLP-48 7x7 mm	8x8mm 56 lead QFN package	40-pin leadless QFN 6x6 mm <sup>2</sup>	VQFN-48 7x7 mm
Налагоджувальні засоби	Developer's Starter Kit	SMARTR® CC2420DK Development Kit	Ember Developer Kit	Evaluation Kit	Немає даних	CX1540/ Outside Evaluation Kit

А підключивши модуль ZigBee, користувачі можуть віддалено через Інтернет приймати/передавати сигнали на модуль ZigBee, отримувати необхідні дані моніторингу або виконувати певні інструкції. Для того, щоб досягти того ж часу, зміни вологості ґрунту на сільськогосподарських угіддях та віддаленого моніторингу в реальному часі, автоматичного поливу та внесення добрив, а також компенсувати з якихось причин раптово зафіксовані ситуації виходу з ладу вузла[4].

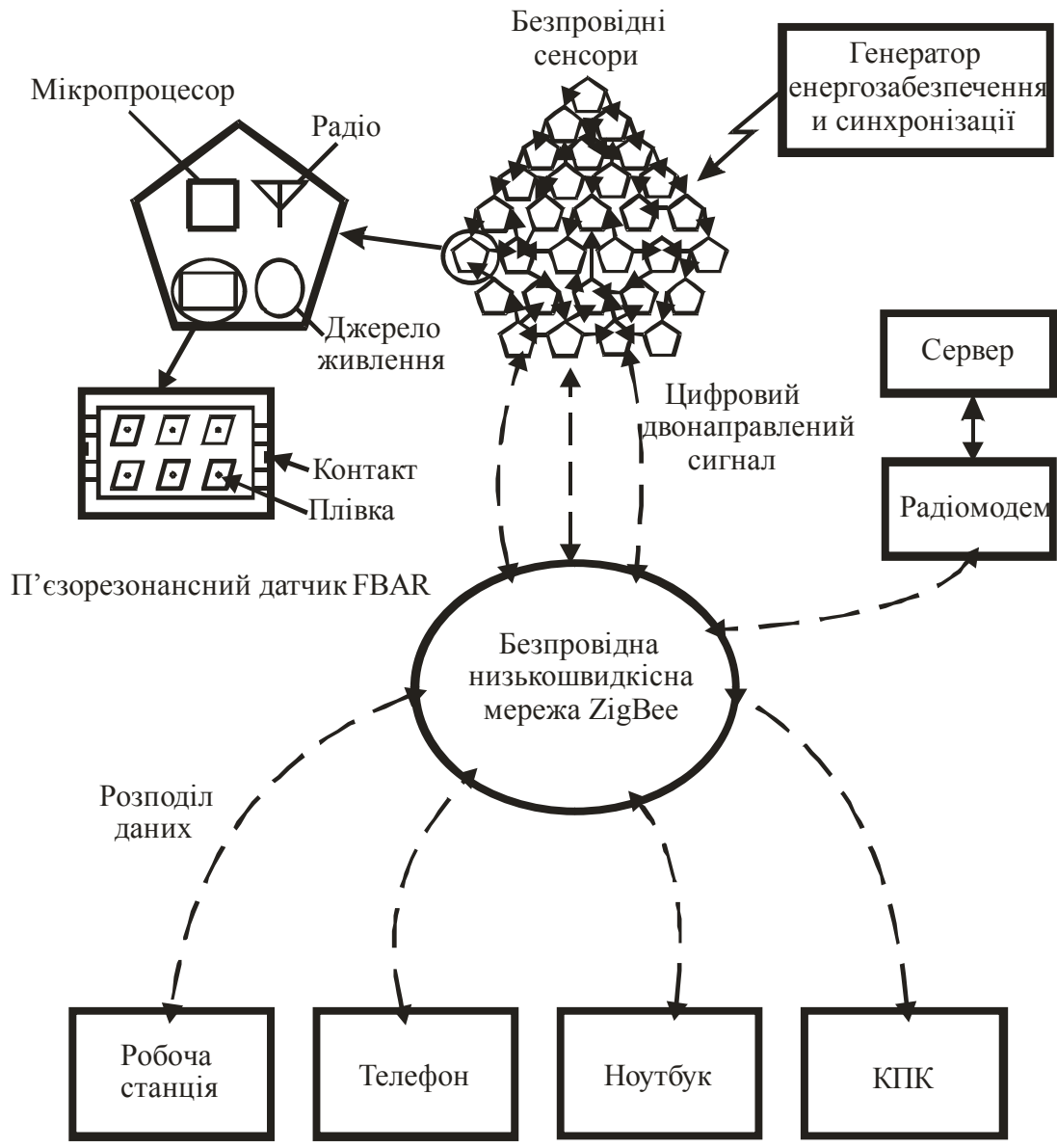


Рисунок 2.1 – Синхронізована пєзореzonансна автогенераторна система

Ця конструкція як моніторинг вузлів в бездротових сенсорних мережах ZigBee, модуль ZigBee також оснащений модулем GPRS, можна отримувати інструкції з терміналу або в разі відмови інших вузлів через GPRS на термінал передавати інструкції, можна отримати доступ через Інтернет до вологості ґрунту, поживних речовин та інших даних, щоб забезпечити віддалену підтримку управління сільськогосподарським зрошенням і внесенням добрив в тонкому режимі.

Короткі відомості чіпсету CC2420.

- Напруга живлення 2.1 В - 3.6 В;
- струм споживання приймача 18.8 мА, передавача 17.4 мА (8.5 мА при зниженні вихідної потужності до -24 dBm);
- програмована вихідна потужність – 8 ступенів; формування пакетів до 128 байт із застосуванням вхідного і вихідного буферів;
- вимірювання сили сигналу, що приймається (RSSI);
- апаратна шифрування і аутентифікація (AES-128);
- вбудований монітор батареї;
- не потрібний зовнішній антенний фільтр або комутатор;
- повністю IEEE 802.15.4/ZigBee™ сумісний трансивер з підтримкою протоколу MAC; підходить для реалізації будь-яких вузлів мережі - FFDs (Full Function Devices) і RFDs (Reduced Function Devices).

Англійська компанія Jennic заявила про випуск ZigBee-трансивера другого покоління. У порівнянні з випускаємим трансивером JN5121 у новій мікросхемі значно знижене енергоспоживання в сплячому режимі. Мікросхеми нового сімейства JN513x будуть випускатися з різним обсягом ROM-пам'яті. Структурна схема **JN5139** наведена на Рисунку нижче.

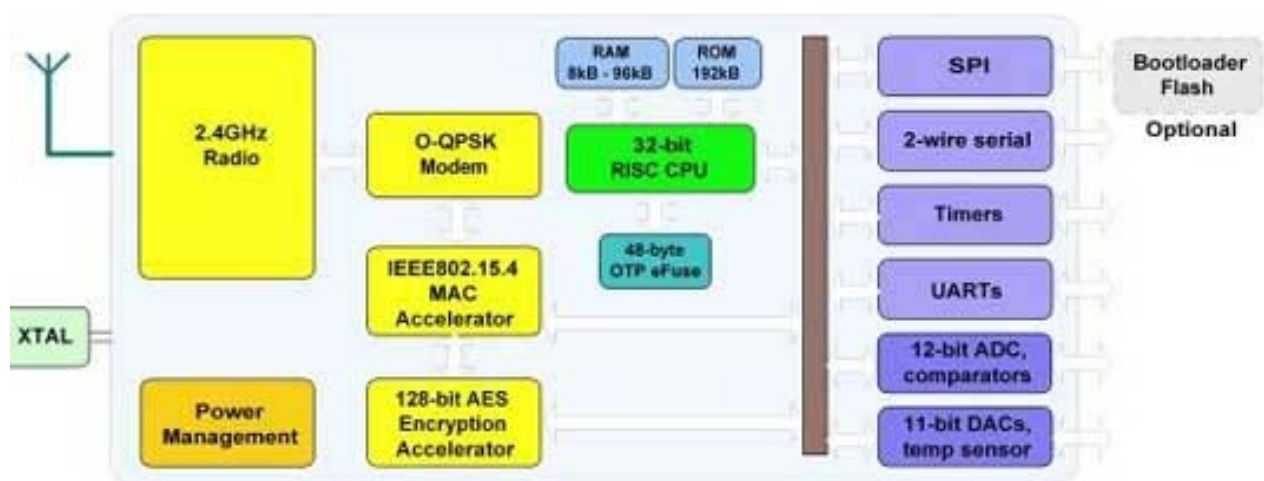


Рисунок 2.2 – Структурна схема трансивера

### Основні переваги модуля JN5139:

- Підвищена дальність зв'язку, завдяки збільшеній до -97 дБ чутливості приймача й підвищеної (+3 дБм) вихідної потужності передавача
  - Надзвичайно низьке споживання струму в сплячому режимі (очікування зовнішнього переривання) – 400 нА. При працюючому генераторі й таймерах споживання струму становить менш 2 мкА.
  - Збільшений до 192k обсяг ROM-пам'яті. Випускаються також мікросхеми з 32/16/8k ROM
  - Убудований у мікросхему регулятор напруги дозволяє використати батарейне живлення в широкому діапазоні напруг - від 2,3 до 3,6 У
  - Наявність в ROM програмного забезпечення: рівень MAC IEEE802.15.4 version B, підтримка зовнішньої послідовної FLASH-пам'яті, відновлення програмного забезпечення користувача по ефірі.
  - Кожна мікросхема має унікальну MAC-адресу й 256 біт однократно програмувальної пам'яті, куди користувач може записувати ключ шифрації при використанні AES-128
- Сумісність по виводах із трансивером JN5121 дозволяє оновити дизайн пристроїв без необхідності розробки нової друкованої плати.

### 2.2 Механізм доступу до каналу CSMA/CA

Існує два основні механізми доступу до каналу, які застосовуються залежно від конфігурації мережі. У мережі PAN, яка обходиться без маяків, використовується механізм доступу до каналу CSMA/CA. Кожного разу, коли пристрій має необхідність передати якусь інформацію, воно починає слухати середовище. Якщо канал виявляється вільним, то пристрій, що тоді ініціює цю передачу, посилає JAM-сигнал. Якщо пристрій отримує відповідь, то проводиться передача даних.

За відсутності відповіді (мається на увазі можливість колізії) спроба передачі даних відкладається на випадковий час. Якщо канал виявляється

					КПТР.020059.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		22

зайнятим після випадкової витримки, пристрій чекає впродовж ще одного випадкового періоду часу, перш ніж вчинить чергову спробу доступу до каналу. Кадри підтвердження посилаються без використання механізму CSMA/CA.

Мережі PAN, використовуючі маяки, при передачі даних здійснюють механізм доступу до каналу CSMA/CA, де час відстрочення доводиться на початок передачі маяка (beacon). Координатор PAN вибирає межі часу відстрочення усіх пристроїв в мережі. Якщо пристрій хоче передати кадр даних, воно визначає межу часу відстрочення у координатора і потім чекає деяке число інтервалів відстрочення, щоб уникнути колізій. Якщо при прослуховуванні виявилось, що канал зайнятий, то пристрій чекає чергове випадкове число інтервалів відстрочення, перш ніж знову спробує здійснити спробу доступу до каналу. Якщо канал пасивний, пристрій починає передачу. Кадри підтвердження або міток посилаються без залучення механізму CSMA/CA.

Успішний прийом і верифікація кадрів даних або MAC-команд може бути опційно підтверджений відправкою пакетів підтвердження.

Якщо приймаючий пристрій з якої-небудь причини не може обробити вхідний кадр, отримання повідомлення не підтверджується.

Якщо відправник впродовж певного часу не отримує підтвердження, він вважає, що передача не вдалася і намагається повторити пересилку кадру. Якщо підтвердження не приходять після декількох спроб передачі, відправник може або завершити сесію, або спробувати ще раз. Коли підтвердження не потрібне, відправник вважає передачу успішною [8].

### 2.3 Взаємодія осциляторів ZigBee між собою

На рисунку 2.2 представленні антени осцилятора загальної форми.

Осцилятори з'єднані паралельно, описано  $Y$  - параметрами для визначення принципу дії осцилятора.

					КПТР.020059.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		23

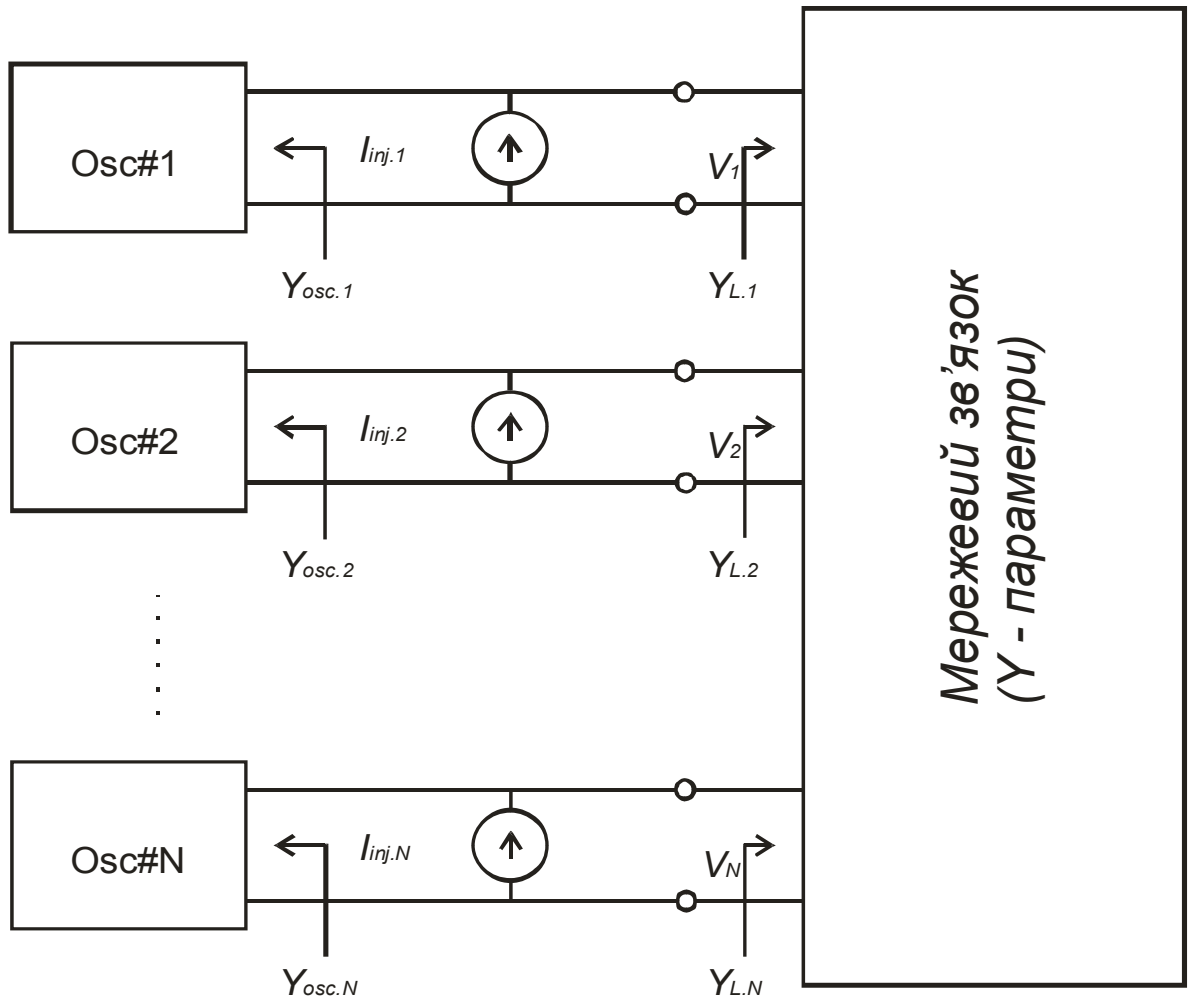


Рисунок 2.3 – Осцилятори, з'єднані паралельно решіткою з'єднань, описаною Y - параметрами.

Передбачається, що джерела мають бути взаємно послідовними в частоті  $\omega_{інж}$ , але можуть мати довільну частоту і фазу. Динаміка періоду N елемента антени переважно регулюється наступним чином:

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \omega_i - \frac{\omega_i}{2Q} \left[ \sum_{j=0}^N \text{Im} \{ k_{ij} e^{j(\theta_j - \theta_i)} \} + \rho_i \sin(\theta_i - \psi_i) + B_{ni}(t) \right]$$

де  $i = 1, 2, \dots, N$ ,

Для опису кожного осцилятора вживаються наступні параметри:

- $\omega_i$  - частота вільного доступу;
- $\theta_i$  - миттєва фаза;
- $P_i$  - нормалізована амплітуда введеного сигналу;
- $\psi_i$  - миттєва фаза введеного сигналу;
- $B_{ni}$  - шум приймача;
- $Q$  - нульовий фактор.

Параметри з'єднань визначаються за виразом:

$$k_{ij} = \frac{Y_{ij}}{G_L} = \epsilon_{ij} e^{j(\pi - \Phi_{ij})}$$

де  $Y_{ij}$  - показують доступ чи  $Y$ -параметри з'єднань, а  $G_L$  - навантажувальна провідність, яка необхідна осцилятору вільного доступу щоб досягнути необхідної амплітуди коливання. Сила з'єднання та призупинка з'єднання подається відповідно  $\epsilon_{ij}$  та  $\Phi_{ij}$ . Відношення до аналізів шуму включає вивчення коливань в фазах, викликаних незалежними шумовими джерелами в кожному осциляторі, змодельованим послідовно  $B_{ni}(t)$ . Ці періодичні коливання настільки незначні, що їх можна обчислити за допомогою нелінійних рівнянь.

Тому у вирішенні проблеми безшумного осцилятора важлива наявність зовнішньо-закритих сигналів.

Для спрощення розглянемо системи з взаємним сусіднім сполученням. Це важливий клас систем генератора як з практичної так і з аналітичної точок зору.

Параметри об'єднання у цьому випадку будуть такими:

					КПТР.020059.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		25

$$k_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j \\ \epsilon_{ij} e^{j(\pi - \Phi_{ij})}, & |i - j| = 1 \\ 0, & \text{інші випадки} \end{cases}$$

де  $\epsilon$  визначає силу об'єднання, а  $\Phi$  – затримку стадії об'єднання.

Беручи до уваги випадок  $\Phi \approx n\pi$ , де  $n$  – ціле число, і записавши, що  $\Phi = 2n\pi$  властиве для формулювання (7) безшумної фази повинні задовольнити:

$$\omega_{інж} = \omega_i - \omega_{3dB} [\epsilon \sin(\hat{\theta}_{i-1} - \hat{\theta}_i) + \epsilon \sin(\hat{\theta}_{i+1} - \hat{\theta}_i) + \rho_i \sin(\hat{\theta}_i - \omega_i)], \quad i=1,2,\dots,N$$

де  $\omega_{3dB} \equiv \omega/2Q$  - половина  $3dB$  коливального корпусу осцилятора і терміни, які вміщують  $\theta_n$  чи  $\theta_{N+1}$  (пораховані до кінця елементи антени,  $i=1$  чи  $N$ ).

Взагалі бажане розподілення стадії може бути прораховане і перетворене в (10) щоб знайти умови для стабільності цієї фази (розподілення теж має бути перевірене для стабільності).

Постійна прогресія стадії має бути встановленою вздовж антени так, щоб  $\theta_i - \theta_{i-1} = \Delta\theta$  для відповідного відбору частоти вільного доступу  $\omega_i$ , які типово контролюються датчиком змінного струму вмонтованого в котушку генератора.

Ця прогресія стадії має стабільне вирішення при умові, що:

$$-90^\circ < \Delta\theta < 90^\circ$$

Це рішення підтверджується, підключенням всіх частот вільного доступу центральних елементів антени до загальної частоти центру і відокремленням

					КПТР.020059.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		26

перехідних елементів в пропорції до суми необхідної бажаної зміни стадії між елементами. Однорідне розподілення стадій це загальна мета проекту і потенційно корисна для проміжного сканування і комбінування сили енергії.

З виразу (10), коли  $p_3 \neq 0$  ми знаходимо, що конкуруючі ефекти захвату введення і взаємного об'єднання мають тенденції не видаляти однорідні прогресії стадії, якщо:

- 1) період введених сигналів ідентичний з тим, які є результатом взаємного об'єднання і мають тенденцію зміцнювати рішення, описане вище;
- 2) тільки одиничні елементи антени без доступу .

Це дуже загальні спостереження. Можуть виникнути обставини, де обмежене регулювання всіх частот вільного доступу і періодично введені сигнали можуть привести до бажаного розподілення стадії, але ці рішення важко спрогнозувати через нелінійний характер рівнянь. Тому в нашому обрахунку шуму ми застосовуємо результати до двох випадків, які мають практичне значення. Вважатимемо, що кожен генератор живить антену так, щоб введені сигнали могли застосовуватись квазіоптично чи через місцеві контури наступним чином:

Випадок I. Глобальне освітлення антен з  $p_i = p$  і  $\psi_i - \psi_{i-1} = \Delta\psi$  як показано на рисунку 2.4(a) на частотах  $\Delta\theta = \Delta\psi$  вільного доступу. У цьому випадку, закритий промінь і процес взаємоз'єднання дають змогу виробляти і віддавати енергію променя. Система подібна до закритого квазі-оптичного підсилювача. Введений сигнал встановлює звичайну періодичну відповідність, яка виражається як  $\psi_1 = 0$ . Якщо центральні елементи системи встановлені так, що  $\omega_i = \omega_{інж}$ , то наше попереднє припущення підтвердиться:

$$\omega_i = \begin{cases} \omega_{інж} + \Delta\omega_{закр} \sin \Delta\psi, & i = 1 \\ \omega_{інж}, & 1 < i < N, \\ \omega_{інж} - \Delta\omega_{закр} \sin \Delta\psi, & i = N \end{cases}$$



Випадок II. Одиночний елемент антени , підключений до зовнішнього джерела (як показано на рисунку 2.4, б) з частотами вільного доступу які настроєні виробляти постійну періодичну прогресію  $\Delta\theta$ . Якщо  $L$  - елемент зовнішньо закритий, матимемо:

$$P_i = p\delta_i \quad p_i = p\delta_{ij},$$

де  $\delta_{ij}$  є дельтою Кронеккера , а  $\psi_\ell = 0$  - фазова рекомендація для системи.

Тут потрібно розрізнити зовнішньо закритий центральний елемент системи і кінцевий ( $i=1$  чи  $i=N$ ) елемент системи.

В попередньому випадку ми розглядали сильні частоти вільного доступу  $\Delta\psi = \Delta\theta$ .

Коли кінцевий елемент закритий , отримаємо (для  $\ell = 1$ ):

$$\omega_i = \begin{cases} \omega_{інж} + \omega_{3dB} [ \epsilon \sin \Delta\theta - p \sin \hat{\theta}_1 ] & i = 1 \\ \omega_{інж} & 1 < i < N \\ \omega_{інж} - \Delta\omega_{закр} \sin \Delta\psi, & i = N \end{cases}$$

Якщо  $p = \epsilon$  і  $\hat{\theta}_1 = \Delta\theta$ , тоді промінь контролюється лише однією змінною частоти або відповідно однією напругою .

## 2.4 Моделювання схеми

Для моделювання за постійним струмом обираємо ту частину пристрою, де присутня мікросхема DD4 – генератор прямокутних імпульсів. Схему перевіряємо за допомогою опції *Tools/Annotate* на відсутність помилок у позиційних позначеннях, та *Analysis/Electrical Rule Check* на відсутність чи зайві з'єднання, і починаємо моделювання (рис. 2.5).

					КПТР.020059.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		29

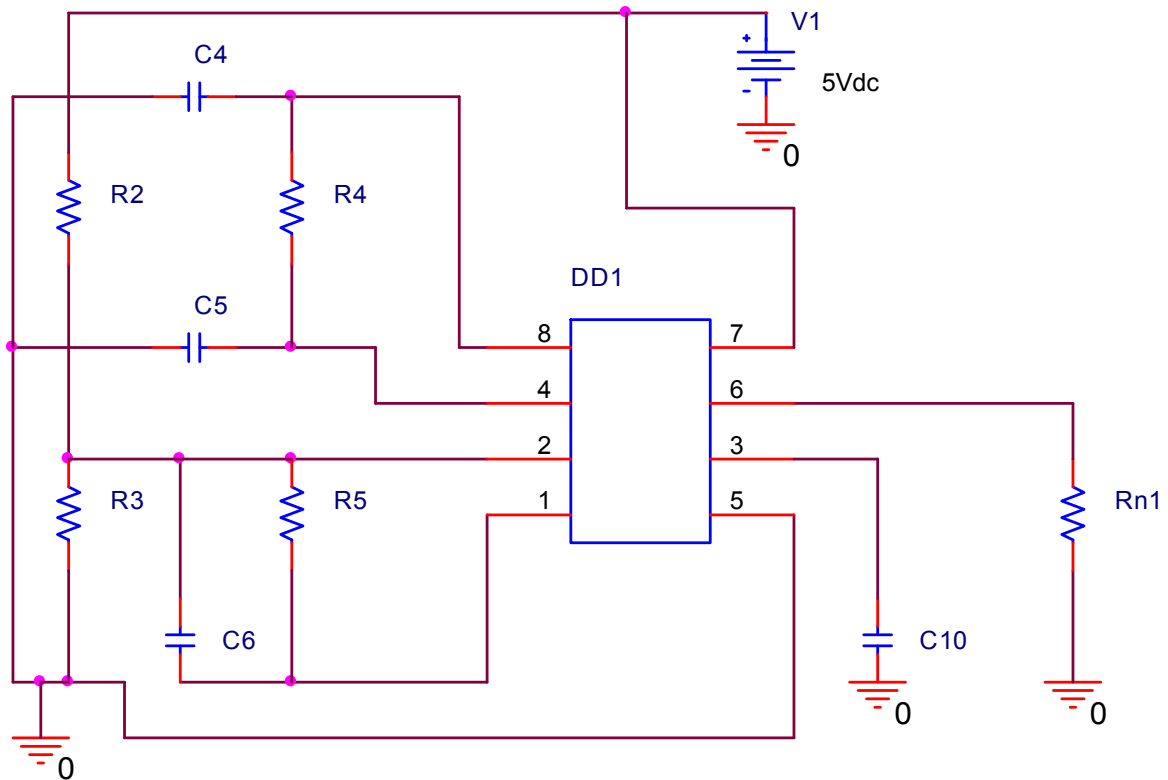


Рисунок 2.5 – Схема для моделювання (генератор прямокутних імпульсів) із значеннями напруги в контрольних точках

У опції *Pspice>Edit Simulation Profile* обрано моделювання за постійним струмом (*Bias Point*). До схеми підключено джерело опорної напруги +5 В.

Запустивши на виконання програму моделювання командою *Pspice>Run*, отримаємо значення зміщень на основних точках схеми та діаграми роботи пристрою.

Тепер запускаємо знову на виконання програму моделювання, щоб мати уяву про перехідні характеристики генератора імпульсного сигналу – значення зніматимемо із виводу 6 мікросхеми DD1 (як видно з рисунка 2.5). Перехідні характеристики генератора можна розглянути на рисунку 2.6.

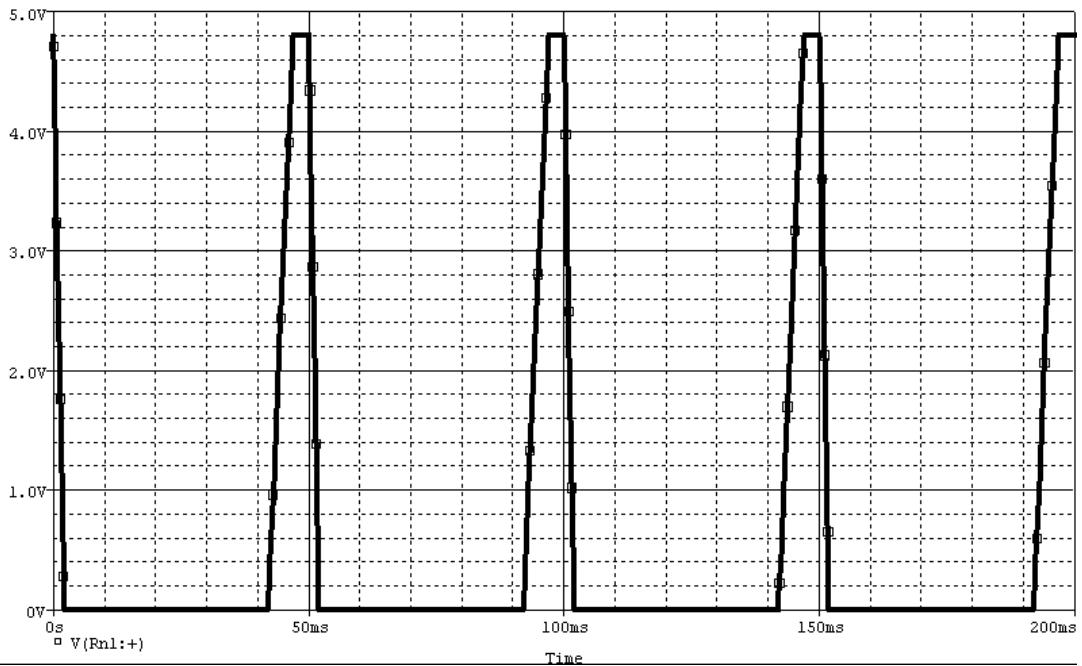


Рисунок 2.6 – Перехідні характеристики імпульсного генератора

На основі отриманих даних ми можемо зробити наступні висновки.

На виході генератора імпульсних сигналів ми отримали графік імпульсного сигналу; тривалість імпульсів становить  $\tau=5\text{мс}$ , а період 50 мс.

Імпульси мають прямокутну форму, близьку до трапецієподібної. Фронт сигналів пологіший, ніж спад

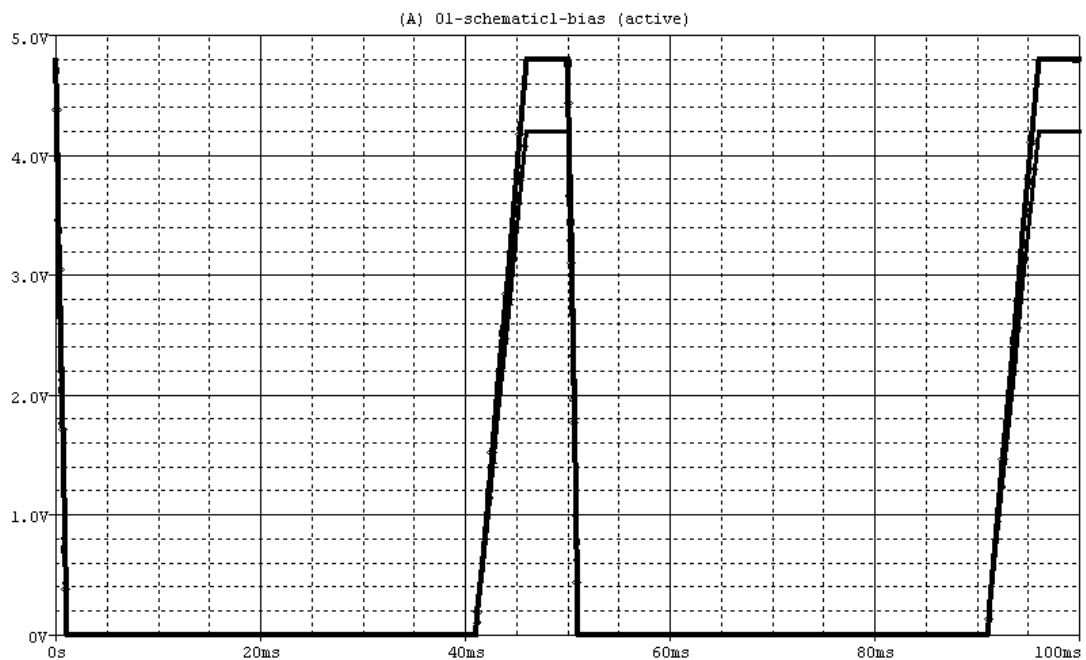


Рисунок 2.7 – Температурний аналіз схеми

Зм.	№докум.	Підпис	Дата	

Для температурного аналізу схеми ми повинні задати у профілі кілька значень робочої температури пристрою, щоб отримати уявлення про поведінку генератора шуму за різних кліматичних умов.

Мінімальна припустима робоча температура для мікросхеми становить +80 °С, отже, зупинимо свій вибір на двох значеннях робочої температури: +27 °С та +80 °С.

Встановивши відповідні значення у профілі для моделювання, запускаємо програму моделювання. Отримані графіки представлені на рисунку 2.7.

З отриманих графіків можна зробити наступні висновки:

Період імпульсів залишився незмінним для обох температур, відсутні також зсуви фаз. Отже, в часовому проміжку змін у роботі пристрою при зміні температури в межах [+27...+80] °С не відбувається.

Стосовно амплітуди імпульсів, то вона зменшилася для температури +80 °С, що говорить про нестабільність параметрів мікросхеми за робочої температури, близької до допустимої.

Для параметричного аналізу схеми у опції *Parametric Sweep* ставимо прапорець, і як параметр будемо змінювати напругу опорного джерела (джерело V1).

Задаємо крайні межі напруги – 4 і 5 В – та крок зменшення 0,5 В, щоб отримати результат роботи пристрою за таких умов.

Отримаємо графік, який зображений на рисунку 2.6.



### 3 Конструкторський розділ

#### 3.1 Структурна схема пристрою

На рисунку 3.1 показана структурна схема розробленого пристрою. Пристрій представляє собою адаптер до персонального комп'ютера. Таким чином існує практична можливість роботи пристрою із джерелом інформації – ПЕОМ.

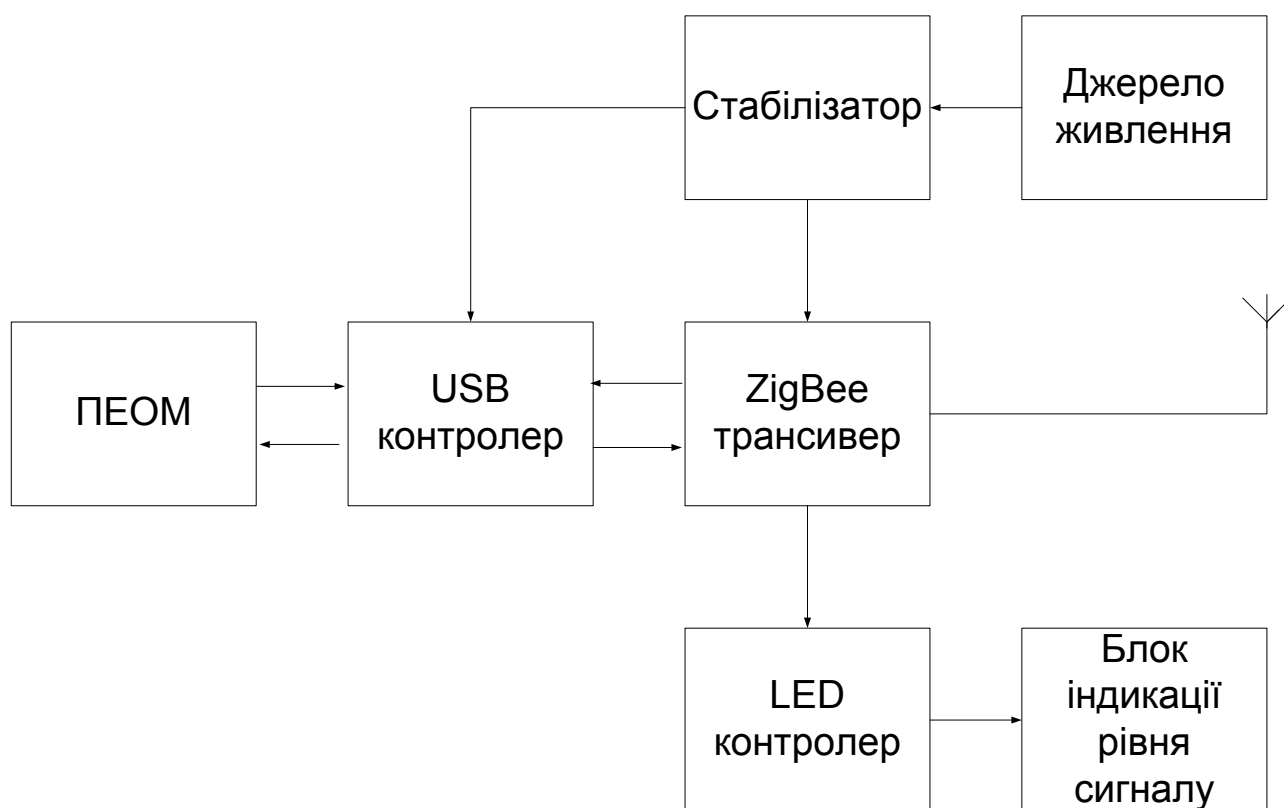


Рисунок 3.1 – Структурна схема пристрою

Робота пристрою індикуюється за допомогою блоку індикації рівня сигналу та дозволяє оцінити працездатність системи прийому/передачі у візуальному режимі. Для керування індикацією використовується LED контролер.

### 3.2 Аналіз схеми електричної принципової

Схема електрична принципова подається в графічній частині проекту і наведена в додатку.

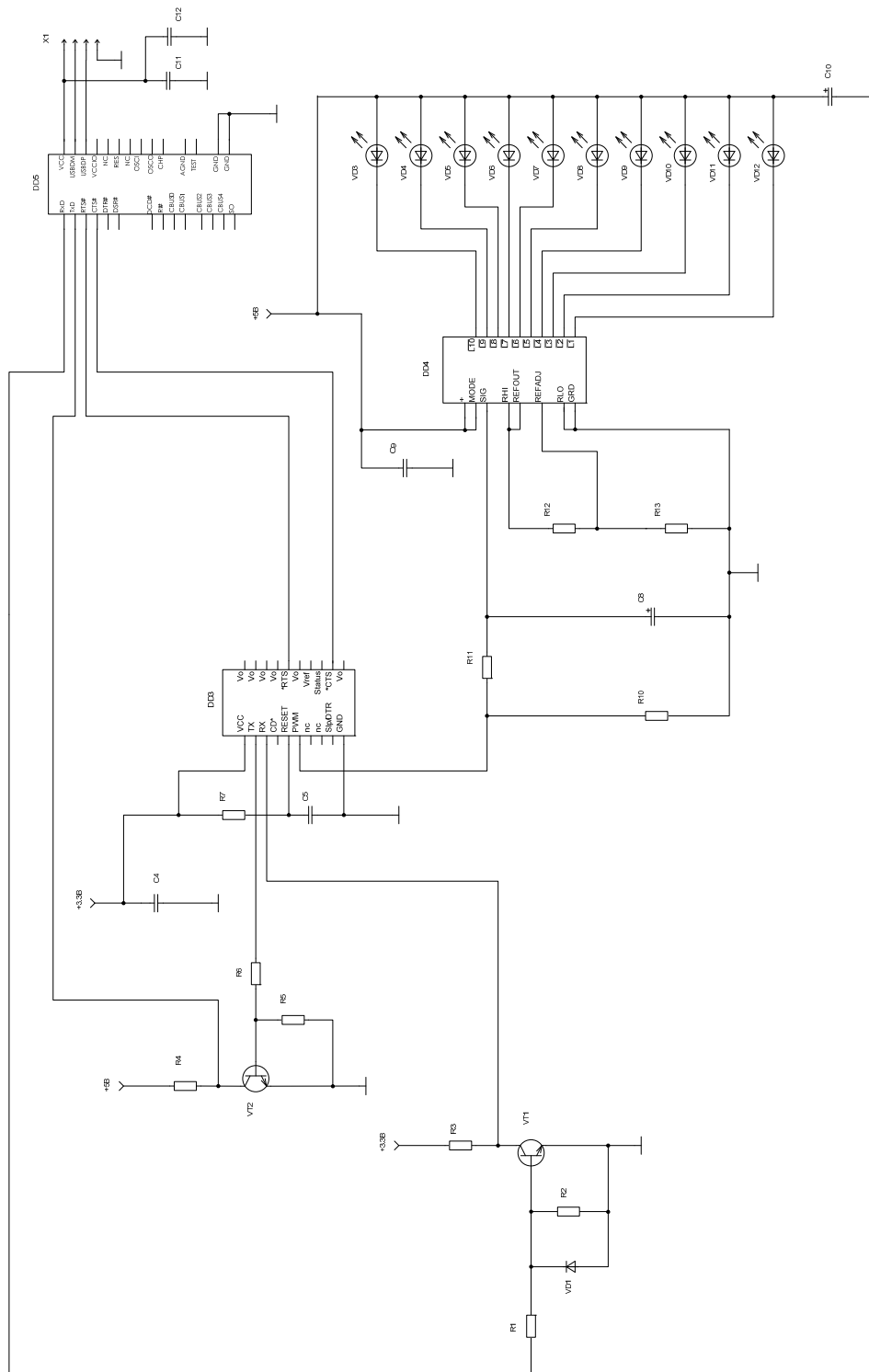


Рисунок 3.2 – Схема електрична пристрою передачі інформації

Дана схема ZigBee трансивера аналогічна до існуючих схем. За основу взята схема, що розроблена Андре Фабрисом. Пара таких пристроїв дозволяє зв'язатися двом ПК із потоком даних 19200 бод.

В основі пристрою – модулі XBee PRO компанії MaxStream, що підключаються до COM-портів радіопідєднаних комп'ютерів через роз'єми K1. На транзисторі T1 виконаний перетворювач рівнів RS232/TTL, а на T2-TTL/RS232. А далі сигнали подаються у USB/RS232 (з TTL рівнем) перетворювач інтерфейсу.

Вивід 6 XBee модуля з'єднаний із драйвером IC1 лінійки світлодіодів D3-D12, які показують рівень сигналу другого найближчого ZigBee трансивера. Живлення пристрою можна здійснювати від будь-якого джерела постійної напруги 8.. 20В, тому що воно постачено інтегральними стабілізаторами IC2, IC3.

### 3.3 Аналіз елементної бази

В загальному елементна база задається розробником електричної схеми. Аналіз елементної бази проводиться тільки з метою з'ясування, чи забезпечує вона задані характеристики виробу, які передбачені умовами експлуатації і режимом роботи, та чи необхідно намітити які-небудь конструкторські заходи для нормального функціонування розробки, при цьому слід враховувати відповідність номіналів і потужність елементів схеми, їх швидкодію, забезпечення технічних вимог до приладу і конструкції, наявність даних типів елементів в серійному виробництві.

Згідно з переліком елементів до схеми електричної принципової, що наведений у додатках, здійснюємо опис характеристик обраних радіоелементів. Варто зазначити, що під час вибору елементної бази віддавалась перевага радіокомпонентам із мінімальними малогабаритними показниками, щоб пристрій мав якомога менші розміри. Саме через це вітчизняних радіокомпонентів у пристрої небагато, що пояснюється занадто великими розмірами елементів або

									КПТР.020059.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата						36

відсутністю аналогів зарубіжним. Однак, зараз доступні як ті, так і інші, чого не було раніше. Причому деякі радіокомпоненти мають навіть меншу вартість.

Конденсатори мають кілька типорозмірів, оскільки використовуються підстроювальні і конденсатори постійної ємності, а також полярні танталові чип-конденсатори.

Установочна площа для елементів, які знаходяться на друкованій платі, обраховується наступним чином.

Якщо елемент має переріз круглий (для конденсаторів, транзисторів, вертикально встановлених резисторів тощо), то площа обчислюється за формулою:

$$S = \pi r^2 [\text{мм}^2], \quad (3.1)$$

де  $r$  – діаметр компонента.

Якщо елемент розміщений на платі горизонтально, то установочна площа:

$$S = a \cdot b, \quad (3.2)$$

де  $a$ ,  $b$  – відповідно ширина і довжина установки.



### 3.4 Аналіз аналогічних конструкцій

Як вже зазначалося у техніко-економічному обґрунтуванні, за аналог було обрано конструкцію російського виробництва, зібраний також за допомогою поверхневого монтажу, для мінімізації габаритів.

Аналог має розміри 50x80x30 мм, вагу 300 г. Корпус металевий, алюмінієвий. В корпусі плата кріпиться за допомогою гвинтів і опор, а також припаяна до стінок. Корпус збирається за допомогою зачіпок. Електричні з'єднання між елементами виконані за допомогою пайки і є нероз'ємними.

Недоліком конструкції є поганий теплообмін внаслідок високої щільності монтажу і малих габаритів, менші функціональні можливості, різниця в ціні. При розробці нового пристрою були враховані позитивні і негативні сторони аналогу та зроблені відповідні висновки.

### 3.5 Компонування пристрою

#### 3.5.1 Загальні відомості та завдання компоновання

Принципи компоновання визначають ті конструктивні типові елементи, які закладаються в основу РЕА. Вибір принципу компоновання залежить від вимог, що висуваються до конструкції РЕА і обмежень.

Компоновання - це процес вибору форм, основних геометричних розмірів, визначення орієнтовної маси і розміщення в просторі елементів, вузлів тощо, для забезпечення максимально корисного ефекту, що визначається схемою і призначенням РЕА. Результатом компоновання є компоновальний ескіз.

При аналітичному методі оперують числовими значеннями різних компоновальних характеристик, такими як розміри елементів, їх маса, площа, об'єм і т.д.

Модельне компоновання найбільш розповсюджене із-за своєї простоти і наочності. При цьому використовують плоскі (аплікації) або об'ємні моделі,

					КПТР.020059.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		39

виконані в вигляді спрощених креслень.

Суть методу графічного компоунання полягає в спрощеному графічному викреслюванні елементів РЕА, різних варіантів компоунання. Для цього використовують трафарети, штампи і т.д.

В натурному компоунанні замість моделі використовують реальні елементи: резистори, конденсатори і т.д.

Компоунання блоків РЕС розглядається в трьох аспектах:

- із врахуванням вимог зручності складання, контролю, ремонту, механічного і електричного з'єднань, при цьому враховуються передусім ергономічні вимоги.

- функціональне компоунання - розміщення і встановлення елементів на друкованих платах з урахуванням функціональних і енергетичних вимог, а також щільності компоунання і встановлення елементів, щільності топології друкованих провідників [16].

Попереднє компоунання перших двох аспектів полягає в визначенні форми і габаритних розмірів.

Функціональне компоунання проводиться з метою визначення основних розмірів друкованої плати, вибору способів проектування і виготовлення. Для проведення функціонального компоунання достатній перелік елементів. У випадку насиченого, складного компоунання, крім переліку елементів необхідна принципова електрична схема приладу, крім того, доцільно мати додаткові вказівки про особливості даної схеми.

Під час розробки конструкції приладу необхідно провести компоунання на двох рівнях:

1 - компоунання друкованої плати з необхідною прив'язкою груп елементів за функціональними групами, теплової сумісності з мінімізацією довжин з'єднувальних провідників;

2 - зовнішня компоунання приладу, з урахуванням всіх вимог. До вимог

					КПТР.020059.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		40

відносять технологічність і ремонтпридатність. Тобто необхідно здійснити внутрішнє і зовнішнє компонування приладу з урахуванням вимог ТЗ.

### 3.5.2 Розробка різних варіантів конструкції та їх аналіз

Згідно з прийнятою класифікацією типових структур конструкцій сучасних РЕА, проєктований пристрій належить до другого рівня (ГОСТ 8865-87), тобто є пристроєм, в якому елементи 0-го структурного рівня, необхідні для виконання завершених функцій прийому, передачі або перетворення сигналів, виконані на основі базової навісної конструкції другого рівня і мають властивості конструктивної взаємозамінності.

Основою будь-якого виробу РЕА є конструкція носія, що забезпечує його конструктивну цілісність і призначена для розміщення, механічного кріплення, захисту від механічних перевантажень, від руйнівного впливу довкілля тощо. Тому на першому етапі необхідно вибрати матеріал конструкції носія та корпусу.

Враховуючи умови експлуатації, вимоги до масогабаритних та кошторисних показників як матеріал корпусу оберемо в двох випадках пластмасу, а в одному - алюміній. Розглянемо кілька варіантів компонування даного пристрою.

Варіант 1. Даний варіант - із вертикальним розміщенням друкованої плати, що припаяна до бокових стінок корпусу, що виготовлений з алюмінію, зображення подано на рисунку 3.1.

					КПТР.020059.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		41

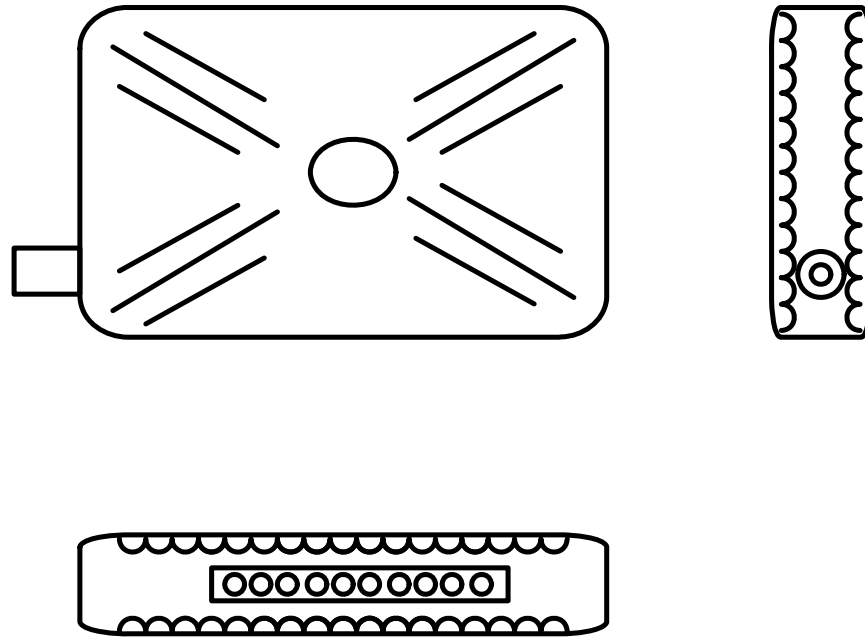


Рисунок 3.3 – Перший варіант компонування пристрою.

Перевагою такої конструкції є кращий тепломасообмін в порівнянні з іншими конструкціями; зручне настроювання – для підстроювання конденсаторів і індуктивностей передбачено отвори у кришках. Недоліком можна вважати погану ремонтпридатність, оскільки плата нероз’ємно скріплена з корпусом, та високу вартість, пов’язану з тим, що виготовлення металевих корпусів є доволі коштовним процесом. Тому, зваживши на ці недоліки і врахувавши, що можна зробити покращення, внесемо деякі зміни у конструкцію – отримаємо другий варіант конструкції.

Варіант 2. В цій конструкції, зображеній на рисунку 3.2, недоліки першого варіанту усунуті, а саме: корпус виконано із пластмаси, що дозволяє зменшити масу пристрою; для екранування введено пластини із внутрішнього боку кришок і корпуса, що, однак, є і недоліком цього варіанту конструкції. Хоча вартість і малогабаритні показники у даного варіанту кращі, все ж є можливість внести корективи і досягти ще більш позитивного результату.



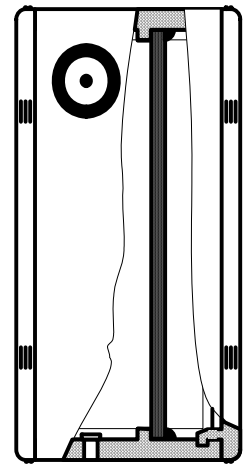
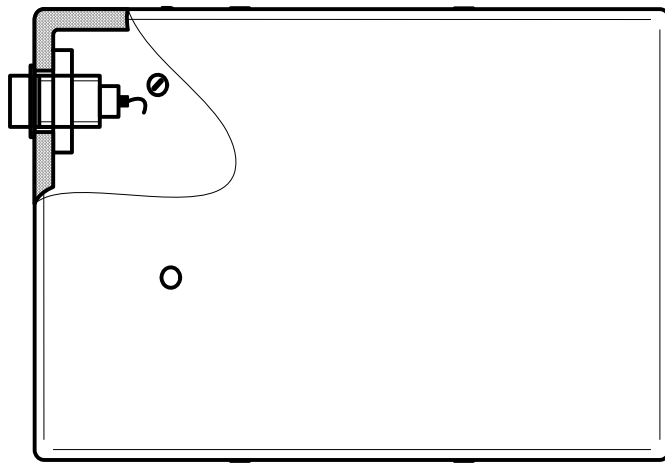


Рисунок 3.5 – Третій варіант компоновання пристрою

Роз'єм для підключення до кабелю живлення розміщений на боковій частині корпуса, а роз'єм, через який трансивер сполучається із ПЕОМ. Це забезпечує більшу стійкість пристрою, а завдяки застосуванню елементної бази для поверхневого монтажу зростає надійність, міцність з'єднань (елементів із виводами в конструкції мінімум), забезпечується хороша ремонтпридатність. Конструкція пристрою максимально спрощена, відрізняється монолітністю і компактністю.

Для вибору оптимального варіанту конструкції оберемо третій за базовий (він найбільш відповідає вимогам технічного завдання), і обчислимо маси, габарити, надійності і собівартості пристроїв, щоб мати можливість порівняти їх і визначити найкращий варіант із трьох.

### 3.5.3 Визначення габаритних розмірів пристрою

Спочатку визначимо орієнтовні габаритні розміри плати за формулою:

$$S_{\text{плати}} = \sum S_{\text{уст}} \cdot q, \quad (3.3)$$

де  $\sum S_{\text{уст}}$  – сума установочних площ усіх радіоелементів, що знаходяться на платі,

$q$  – коефіцієнт запасу,  $q = 2...4$ .

Знаходимо  $\sum S_{уст}$ , додавши дані з таблиці 1:

$$\begin{aligned}\sum S_{уст} &= 10+134,4+4,8+36+9,6+60+84+70+70+40+36+86,4+72+9+36= \\ &= 758,2 \text{ мм}^2 \approx 7,58 \text{ см}^2\end{aligned}$$

маємо орієнтовну площу плати:

$$S_{плати}^{op} = 758,2 * (2...4) = (1516,4...3032,8) \text{ мм}^2.$$

Реальні розміри плати  $60 \times 40$  мм, при цьому площа плати:

$$S_{плати} = 60 \cdot 40 = 2400 \text{ мм}^2 = 24 \text{ см}^2.$$

Висота корпусу залежить від максимальної висоти радіокомпонентів. В даному випадку у пристрої таким є дросель L2:

$$h_{max} = 8 \text{ мм.}$$

Габаритні розміри приладу, скомпонованого за першим варіантом, визначаємо наступним чином.

Внутрішній об'єм залежить від об'єму, який займає плата з радіокомпонентами (плюс певний запас).

Для першого варіанту матимемо наступні результати.

Внутрішні розміри:

а) висота  $h_{вн} = h_{max} + 20 \text{ мм} = 8 + 12 = 20 \text{ мм};$

б) довжина  $a_{вн} = 60 + 10 = 70 \text{ мм};$

в) ширина  $b_{вн} = 40 + 2 = 42 \text{ мм};$

зовнішні габарити (із врахуванням товщини корпусу):

а) висота  $h_{зовн} = h_{вн} + 2 * t_{стінки} = 20 + 2 * 1,5 = 23 \text{ мм};$

б) довжина  $a_{зовн} = a_{вн} + 2 * t_{стінки} = 70 + 3 = 73 \text{ мм};$

					<i>КПТР.020059.01.01 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		45

в) ширина  $b_{зОВН} = b_{ВН} + 2 \cdot t_{СТІНКИ} = 42 + 3 = 45$  мм.

Об'єм корпусу:

$$V_{КОРП} = V_{зОВН} = 2,3 \cdot 7,3 \cdot 4,5 = 75,6 (\text{см}^3).$$

Об'єм пристрою:

$$V^I_{ПРИСТ} = V_{КОРП} = 75,6 (\text{см}^3).$$

Для другого варіанту:

внутрішні розміри:

а) висота  $h_{ВН} = h_{МАХ} + 20$  мм = 8 + 12 = 20 мм;

б) довжина  $a_{ВН} = 60 + 10 = 70$  мм;

в) ширина  $b_{ВН} = 40 + 2 = 42$  мм;

зовнішні габарити (із врахуванням товщини корпусу):

а) висота  $h_{зОВН} = h_{ВН} + 2 \cdot t_{СТІНКИ} = 20 + 2 \cdot 2 = 24$  мм;

б) довжина  $a_{зОВН} = a_{ВН} + 2 \cdot t_{СТІНКИ} = 70 + 4 = 74$  мм;

в) ширина  $b_{зОВН} = b_{ВН} + 2 \cdot t_{СТІНКИ} = 42 + 4 = 46$  мм.

Об'єм корпусу:

$$V_{КОРП} = V_{зОВН} = 2,4 \cdot 7,4 \cdot 4,6 = 81,7 (\text{см}^3).$$

Об'єм пристрою:

$$V^II_{ПРИСТ} = V_{КОРП} = 81,7 (\text{см}^3).$$

Для третього варіанту:

внутрішні розміри:

а) висота  $h_{ВН} = h_{МАХ} + 20$  мм = 8 + 12 = 20 мм;

б) довжина  $a_{ВН} = 60 + 4 = 64$  мм;

					КПТР.020059.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		46

в) ширина  $b_{\text{вн}} = 40 + 2 = 42$  мм;

зовнішні габарити (із врахуванням товщини корпусу):

а) висота  $h_{\text{зовн}} = h_{\text{вн}} + 2 * t_{\text{стінки}} = 20 + 2 * 2 = 24$  мм;

б) довжина  $a_{\text{зовн}} = a_{\text{вн}} + 2 * t_{\text{стінки}} = 64 + 4 = 68$  мм;

в) ширина  $b_{\text{зовн}} = b_{\text{вн}} + 2 * t_{\text{стінки}} = 42 + 4 = 46$  мм.

Об'єм корпусу:

$$V_{\text{корп}} = V_{\text{зовн}} = 2,4 \cdot 6,8 \cdot 4,6 = 75,1 (\text{см}^3).$$

Об'єм пристрою:

$$V_{\text{прист}}^{\text{III}} = V_{\text{корп}} = 75,1 (\text{см}^3).$$

Отримані дані заносимо в таблицю 3.2.

### 3.5.4 Визначення маси пристрою

Знаходимо об'єм плати:

$$V_{\text{пл}} = S_{\text{плати}} * h_{\text{плати}} = 24 * 0,15 = 3,6 (\text{см}^3).$$

Знаходимо масу плати:

$$m_{\text{пл}} = V_{\text{пл}} * \rho_{\text{текст}} = 3,6 * 1,4 = 5,04 (\text{г}),$$

Масу радіоелементів знайдемо з таблиці 3.1. Маса елементів, що розміщені на платі:

$$m_{\text{ел}}^{\text{пл.}} = 18,6 (\text{г}),$$

маса елементів, що розміщені поза платою (їх маса в таблиці записана в дужках):

$$m_{\text{ел}}^{\text{кор}} = 18 (\text{г}),$$

сумарна маса елементів:

					КПТР.020059.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		47

$$m_{\text{ел}} = m_{\text{ел}}^{\text{пл.}} + m_{\text{ел}}^{\text{пан}} = 18,6 + 18 = 36,6 \text{ г.}$$

Маса елементів для першого і другого варіантів буде приблизно в 1,5 рази більшою, оскільки в них використовуються радіоеlementи не поверхневого монтажу.

Маса пристрою складається із маси корпусу, плати і елементів.

Для першого варіанту:

Маса корпусу:

$$m_{\text{корп}} = (V_{\text{зовн}} - V_{\text{вн}}) \cdot \rho_{\text{мат}} = (75,6 - 2 \cdot 7 \cdot 4,2) \cdot 2,7 = 45,4(\text{г}),$$

маса пристрою:

$$m_{\text{прист}}^{\text{I}} = m_{\text{корп}} + m_{\text{пл}} + m_{\text{елем}} = 45,4 + 5,04 + 1,5 \cdot 36,6 = 105,3 \text{ г.}$$

Для другого варіанту:

Маса корпусу:

$$m_{\text{корп}} = (V_{\text{зовн}} - V_{\text{вн}}) \cdot \rho_{\text{мат}} = (81,7 - 2 \cdot 7 \cdot 4,2) \cdot 1,35 = 30,9(\text{г}),$$

маса пристрою:

$$m_{\text{прист}}^{\text{II}} = m_{\text{корп}} + m_{\text{пл}} + m_{\text{елем}} + m_{\text{екран}} = 30,9 + 5,04 + 1,5 \cdot 36,6 + 50 = 140,8(\text{г}).$$

Для третього варіанту:

Маса корпусу:

$$m_{\text{корп}} = (V_{\text{зовн}} - V_{\text{вн}}) \cdot \rho_{\text{мат}} = (75,1 - 2 \cdot 6,4 \cdot 4,2) \cdot 1,35 = 28,8(\text{г}),$$

					КПТР.020059.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		48

маса пристрою:

$$m_{\text{прист}}^{\text{III}} = m_{\text{корп}} + m_{\text{пл}} + m_{\text{елем}} = 28,8 + 5,04 + 36,6 = 70,4 \text{ (г)}.$$

Дані заносимо до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристики трьох варіантів конструкції

Параметр	I	II	III
Об'єм $V$ , $\text{см}^3$	75,6	81,7	75,1
Маса $m$ , г	105,3	140,8	70,4
Надійність $\lambda$ , $\times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$	5,28	5,28	4,4

### 3.5.5 Розрахунок надійності пристрою

Надійність є одним з основних параметрів виробу, після розрахунків якого робляться висновки про вірність вибраної схеми та конструкції виробу. Надійність приладу визначається надійністю та кількістю елементів, які використовуються, кількістю зв'язків між ними, способами кріплення елементів та видами їх з'єднань між собою, а також впливом зовнішніх факторів, теплових та електричних навантажень елементів приладу.

Розрахунок надійності пристрою полягає у визначенні показників надійності виробу за відомими характеристиками надійності складових елементів і умовами експлуатації. Вихідними показниками розрахунку надійності є інтенсивності відмов радіоелементів за нормальних умов.

Скористаємось методикою розрахунку експлуатаційної надійності згідно з [20] за допомогою математичних моделей.

В загальному випадку математична модель має вигляд:

$$\lambda_e = \lambda_0 \cdot \prod_i k_i, \quad (3.4)$$

де  $\lambda_e$  – експлуатаційна інтенсивність відмов,  $c^{-1}$ ;

$\lambda_0$  – інтенсивність відмов за нормальних умов і номінального електричного навантаження,  $c^{-1}$ ;

$K_i$  – складові коефіцієнти математичної моделі.

Для електронної апаратури сумарна інтенсивність відмов:

$$\lambda_{EA} = K_{AM} \cdot K_{OBSL} \cdot \sum_{i=1}^N \lambda_{ei}, \quad (3.5)$$

де  $K_{AM}$  – коефіцієнт, який залежить від амортизації електронної апаратури; за відсутності системи амортизації у виробі (як у нашому випадку)  $K_{AM} = 1$ ;

$K_{OBSL}$  – коефіцієнт, який залежить від якості технічного обслуговування електронної апаратури; для побутових виробів  $K_{OBSL} = 1$ ;

$\lambda_{ei}$  – експлуатаційна інтенсивність  $i$ -го типу електронної апаратури;

$n$  – кількість типів електронних елементів у пристрої.

Оскільки пристрій – стаціонарний, використовується в лабораторних умовах, то коефіцієнт умов експлуатації  $K_e = 1$  [19,20], запишемо математичні моделі для кожного з елементів конструкції і обчислимо значення інтенсивностей відмов.

Для керамічних конденсаторів:

$$\lambda_E = \lambda_{0CG} \cdot K_P \cdot K_C \cdot K_e, \quad (3.7)$$

де  $K_P$  – коефіцієнт навантаження, визначається з таблиці 3.1 [20];

$K_C$  – коефіцієнт, що залежить від ємності конденсатора, з таблиці 2.8 [20].

Оскільки на конденсаторі максимальна напруга падає тоді, коли вона

рівна напрузі живлення, то відношення  $U/U_H$ :

$$\frac{U}{U_H} = \frac{5}{10} = 0,5,$$

тому  $K_P = 0,15$ , а  $K_C = 0,9$  (в середньому), то матимемо:

$$\lambda_E = 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot 0,15 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,0014 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для мікросхем:

$$\lambda_E = \lambda_0 \cdot K_e, \quad (3.8)$$

маємо:

$$\lambda_E = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,1 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для постійних недротяних вуглецевих резисторів:

$$\lambda_E = \lambda_{0CF} \cdot K_P \cdot K_e \cdot K_R, \quad (3.9)$$

де  $K_P$  – коефіцієнт навантаження, визначається з таблиці 3.1;

$$K_P = 0,57;$$

$K_R$  – коефіцієнт, що залежить від опору резистора, з таблиці 3.7 [20],

$K_R = 0,7$  (для резисторів опором 1...100 кОм). Маємо:

$$\lambda_E = 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot 0,57 \cdot 1 \cdot 0,7 = 0,004 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для змінних недротяних резисторів:

					КПТР.020059.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		51

$$\lambda_E = \lambda_{0CG} \cdot K_P \cdot K_e \cdot K_R \cdot K_{S1}, \quad (3.10)$$

де  $K_P$  – коефіцієнт навантаження, визначається з таблиці 3.6 [20];  $K_P = 0,57$ ;  
 $K_R$  – коефіцієнт, що залежить від опору резистора, з таблиці 3.7 [20],  $K_R = 0,7$  (для резисторів опором  $1 \dots 100$  кОм);  
 $K_{S1}$  – коефіцієнт, що залежить від напруги, що падає на резисторі, згідно таблиці 3.9 [20]  $K_{S1} = 1,05$ . Маємо:

$$\lambda_E = 0,03 \cdot 10^{-6} \cdot 0,57 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1,05 = 0,013 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для транзисторів:

$$\lambda_E = \lambda_{0CG} \cdot K_P \cdot K_\Phi \cdot K_{ДН} \cdot K_{S1} \cdot K_e, \quad (3.11)$$

де  $K_P$  – коефіцієнт навантаження, визначається з таблиці 3.9 [20];  
 $K_P = 0,36$  (за коефіцієнта навантаження 0,7);  
 $K_\Phi$  – коефіцієнт, що залежить від функціонального режиму роботи, з таблиці 3.13 [20],  $K_\Phi = 1,5$ ;  
 $K_{ДН}$  – коефіцієнт, що залежить від потужності варикапа, з таблиці 3.12 [20],  $K_{ДН} = 0,5$  (потужність становить  $0,22 \text{ Вт} < 1 \text{ Вт}$ );  
 $K_{S1}$  – коефіцієнт, що залежить від навантаження за напругою, згідно таблиці 3.14 [20]  $K_{S1} = 1,0$ . Маємо:

$$\lambda_E = 0,29 \cdot 10^{-6} \cdot 0,36 \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1 = 0,078 \cdot 10^{-6} (\text{с}^{-1}).$$

Для роз'ємів:

$$\lambda_E = \lambda_0 \cdot K_e, \quad (3.12)$$

маємо:

$$\lambda_{E1} = 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,01 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}),$$

$$\lambda_{E2} = 0,0013 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,0013 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1})$$

Занесемо результати обчислень до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Експлуатаційні інтенсивності відмов елементів пристрою

Елемент	Експлуатаційна інтенсивність, $\times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$	Кількість елементів	Сумарна інтенсивність, $\times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$
Конденсатори	0,0014	36	0,0504
Мікросхеми	0,1000	3	0,3000
Резистори пост.	0,0040	18	0,0720
Транзистор	0,0780	1	0,0780
Роз'єми	0,0113	(1+1)	0,0113
Пайка	0,0100	228	2,2800
Плата	0,5000	1	0,5000
Провід	0,1500	11	0,1500
Корпус	0,0500	1	0,0500

Сумарна інтенсивність відмов:

$$\sum \lambda = 0,1000 + 0,0504 + 0,3000 + 0,2500 + 0,0300 + 0,0720 + 0,0260 + 0,0520 + 0,0780 + 0,0113 + 0,4500 + 2,2800 + 0,5000 + 0,1500 + 0,0500 = 4,4 \cdot 10^{-6} (\text{год}).$$

Надійність пристрою характеризується напрацюванням на відмову, що

обчислюється за формулою (2.17):

$$T = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} \text{ [год]}, \quad (3.13)$$

Підставимо дані:

$$T = \frac{1}{4,4 \cdot 10^{-6}} = 227272(\text{год}).$$

Середній час напрацювання на відмову складає  $T=227272$  год. Цей розрахунок здійснено для третього варіанту компоновання.

Оскільки радіоелементи в усіх трьох варіантах однакові, то відрізняться надійність буде лише за рахунок збільшення кількості з'єднань. Оскільки в першому і другому варіантах компоновання використовується елементна база не поверхневого монтажу, то сумарна інтенсивність відмов буде приблизно на 15...20% більшою, або:

$$\lambda_{\Sigma} = 1,2 \cdot 4,4 = 5,28 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$$

$$T = \frac{1}{5,28 \cdot 10^{-6}} = 189394(\text{год}).$$

Як бачимо, надійність пристрою третього варіанту компоновання вища у порівнянні з першим і другим, що підтверджує його оптимальність, а також задовільняє вимогам технічного завдання.

					КПТР.020059.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		54

### 3.6 Висновки до третього розділу

Схема ZigBee трансивера розроблена на основі схеми, що розроблена Андре Фабрисом. В основі пристрою – модулі XBee PRO компанії MaxStream.

В розділі виконано аналіз елементної бази пристрою щодо робочих температур, надійності елементів. Виконано моделювання компанування пристрою, для чого виконано розробку 3-х варіантів конструкції.

					<i>КПТР.020059.01.01 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		55

## ВИСНОВКИ

В процесі дипломного проектування був розроблена кваліфікаційна робота на тему "Контролер мережі Zigbee підвищеної відмовостійкості".

Прилад згідно технічного завдання застосовується для бездротової передачі даних в системах обміну інформації.

У вступі обґрунтовується необхідність та доцільність розробки та використання подібних пристроїв, доводиться, що мета розробки є актуальним на теперішній час завданням.

У першому розділі проведено аналіз необхідності проведення розробки, вказано на загальні проблеми розробки пристрою; зроблено обґрунтований вибір загальної структурної будови; проведено розробку технічного завдання, визначено параметри та характеристики виробу.

В другому розділі розроблено загальну структурну схему світлодіодного терапевтичного пристрою та за ними викладено принцип роботи виробу; оформлена та проаналізована із конструкторських позицій принципова електрична схема ; проведено обґрунтоване розділення на основні структурні одиниці, вказано особливості зв'язку між ними; проведена просторова розробка виробу: визначені форма та габарити передавача у вигляді прямокутного паралелепіпеду, внутрішнє та зовнішнє компонування, а також конструкції деталі корпусу; доведено відповідність розроблених габаритів заданим у ТЗ.

В третьому розділі основна увага присвячено аспектам технології виготовлення виробу та його модулів. Проведено розрахунки щодо масогабаритних та надійнісних показників.

					КПТР.020059.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		56

## Перелік літератури

1. "ZigBee Wireless Networks and Transceivers" by Shahin Farahani
2. "ZigBee Network Protocols and Applications" by Chonggang Wang and Tao Zhang
3. "ZigBee Wireless Sensor and Control Network" by Atif Sharif Raza, Tomasz Javurek, and Jan Steffan
4. "ZigBee Wireless Sensor and Control Network" by George Yin, Hui Chen, and Ren-Hung Hwang
5. "ZigBee: Wireless Networking" by Drew Gislason
6. "Building Wireless Sensor Networks Using ZigBee" by Robert Faludi
7. "ZigBee Wireless Networks and Applications" edited by Seyed Amir Hoseinitabatabaei and Zahra Ahmadian
8. "ZigBee Wireless Networking" by Drew Gislason and Michael Scherger
9. "ZigBee Wireless Sensor and Control Network" by Mukhtar Ullah and Abdun Naser Mahmood
10. "Wireless Sensor Networks Using ZigBee" by Dr. Qurban Memon
11. "Бездротові мережі ZigBee: технології, протоколи, програмування" І. В. Іваницький, І. Ю. Горбатенко, А. В. Ковальов та ін.
12. "Бездротові сенсорні мережі з використанням технології ZigBee" О. В. Якимов та ін.
13. "Сенсорні мережі на базі протоколу ZigBee" С. В. Литвиненко, С. В. Петров, Є. І. Гаврилов та ін.
14. "Бездротові мережі ZigBee та їх застосування" О. В. Дзюбенко, В. І. Чаплінський, А. І. Лавриненко та ін.
15. "Технологія бездротової мережі ZigBee для управління освітленням" О. В. Якимов та ін.
16. "Бездротові мережі з використанням технології ZigBee" В. П. Хіндулак, М. М. Хорольський, О. І. Приходько та ін.

					КПТР.020059.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		57

17. "Бездротові мережі з використанням технології ZigBee для моніторингу довкілля" М. І. Колесник, Л. І. Вакульчук, Є. В. Ковальов та ін.

18. "ZigBee Wireless Networks and Transceivers" by Shahin Farahani.

19. "ZigBee Network Protocols and Applications" by Chonggang Wang and Tao Zhang.

20. "ZigBee Wireless Sensor and Control Network" by Atif Sharif Raza, Tomasz Javurek, and Jan Steffan.

21. "ZigBee Wireless Sensor and Control Network" by George Yin, Hui Chen, and Ren-Hung Hwang.

22. "Building Wireless Sensor Networks Using ZigBee" by Robert Faludi.

					<i>КПТР.020059.01.01 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		58

ДОДАТКИ

					<i>КПТР.020059.01.01 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№докум.	Підпис	Дата		59









Завідувачу кафедри телекомунікацій,  
медійних та інтелектуальних технологій  
Сергію ПІДЧЕНКУ  
здобувача вищої студента, студента  
Романа СІЛІДУЄВА,  
4 курсу, гр. ТР2-20-1

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

1.07.2023  
дата



Роман СІЛІДУЄВ

Sun Jun 04 23:36:09 EEST 2023, Стецюк Віктор Іванович, Хмельницький національний університет, ХНУ

# Anti-Plagiarism v-15.257

**Максимальное совпадение с одним документом 15.0%**Словари проверки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. **Ошибок в документах: 12%**

ID: 114657 Название: Контролер мережі Zigbee підвищеної відмовостійкості Добавлено в БД: 2023-06-04 Авторы: Сілідуєв Роман Анатолійович Руководители: Горященко Костянтин Леонідович Консультанты: Оponentы:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	55206	512	23793 (43%)	231 (45%)

## Источник плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы
3265	Название: розробка системи комутації супутникових каналів Добавлено в БД: 2011-06-20 Авторы: Марцинюк Олег Іванович Руководители: Троцишин Іван Васильович Консультанты: Оponentы:	5920 (11.0%)	70 (14.0%)
3531	Название: Вимірювач геометричних параметрів об'єктів Добавлено в БД: 2011-06-24 Авторы: Нагірний Степан Степанович Руководители: Троцишин Іван Васильович Консультанты: Оponentы:	4680 (8.0%)	57 (11.0%)
3525	Название: Вимірювач геометричних параметрів об'єктів Добавлено в БД: 2011-06-23 Авторы: Нагірний Степан Степанович Руководители: Троцишин Іван Васильович Консультанты: Оponentы:	4680 (8.0%)	57 (11.0%)
4859	Название: Вимірювач геометричних параметрів об'єктів Добавлено в БД: 2012-05-14 Авторы: Шемчук В.В. Руководители: троцишин І.В. Консультанты: Оponentы:	8548 (15.0%)	81 (16.0%)

21473	Название: Радіомодем комутації навантаження Добавлено в БД: 2015-06-10 Авторы: Клепач Олексій Вікторович Руководители: Ройзман В. П. Консультанты: Гончарук А. М., Ковтун І. І. Опоненты:	5515 (10.0%)	62 (12.0%)
3059	Название: Система автоматизації технологічного обладнання Добавлено в БД: 2011-06-15 Авторы: Дзіковський Олексій Миколайович Руководители: Петрушак Володимир Степанович Консультанты: Опоненты:	4954 (9.0%)	60 (12.0%)
3349	Название: РОЗРОБКА ТРАНСИВЕРА БЕЗПРОВІДНОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ Добавлено в БД: 2011-06-21 Авторы: Мачковський Андрій Вікторович Руководители: Яновицький Олександр Костянтинівич Консультанты: Опоненты:	7696 (14.0%)	89 (17.0%)
69521	Название: Модель мережі стандарту ZigBee Добавлено в БД: 2019-12-10 Авторы: І.О. Низенко Руководители: А.А. Таранчук Консультанты: Опоненты: Ю.М. Бойко	5986 (11.0%)	59 (12.0%)

Ім'я користувача:  
Kafedra TMIT KhNU

ID перевірки:  
1015464578

Дата перевірки:  
06.06.2023 16:23:55 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
06.06.2023 16:32:20 EEST

ID користувача:  
100005657

Назва документа: Сілідуєв TP2с-20-1

Кількість сторінок: 62 Кількість слів: 9697 Кількість символів: 73773 Розмір файлу: 650.69 KB ID файлу: 1015123308

348 слів позначені як "вилучені" та не враховуються у підрахунок слів

## 17.2% Схожість

Найбільша схожість: 7.38% з Інтернет-джерелом (<https://referat.club/radio/konstruks-ya-pristroyu-kodovoyi-signal-zac...>)

17.2% Джерела з Інтернету 116 ..... Сторінка 64

0.12% Джерела з Бібліотеки 31 ..... Сторінка 65

## 0.05% Цитат

Цитати 1 ..... Сторінка 66

Не знайдено жодних посилань

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 65

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ ПО КАФЕДРИ

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, МЕДІЙНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОГО ПРОЄКТУ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Контролер мережі Zigbee підвищеної відмовостійкості

Автор: Роман Анатолійович Сілідуєв

Спеціальність: 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітня програма Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі

Науковий керівник к.т.н., доц. Костянтин Леонідович Горященко

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту.	<b>відповідає</b>
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнуті. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та дорацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження: Запозичення у розмірі 17,2%, що виявлені в роботі, виявлено у таких частинах тексту як: опис типових процесів роботи протоколу ZigBee (с.10, с.11); у описі структури обміну пакетів даних (с. 22, с.23); у розділі 3.5.1 роботи "Загальні відомості та завдання компонування" (с. 39, с.40), "3.5.5 Розрахунок надійності пристрою" (с.49, с. 50), що є типовими за формулюванням та з використаними формульними виразами. Інші частини роботи, такі як конструкторський розділ, схема електрична та її опис є унікальними та також не містять запозичень. Робота приймається до захисту.

Керівник проєкту:

Зав. каф. ТМІТ



Костянтин ГОРЯЩЕНКО

Сергій ПІДЧЕНКО

МІНІСТЕРСТВО ОВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Здобувач: Роман Анатолійович СІЛІДУЄВ

Тема: Контролер мережі Zigbee підвищеної відмовостійкості

Спеціальність: 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Обсяг кваліфікаційної роботи

Кількість листів креслень 2      Кількість сторінок записки 59

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень

В кваліфікаційному проєкті розглянуто загальну структуру, принцип роботи пристроїв стандарту ZigBee. Визначено принципи організації передачі інформації в мережі ZigBee та взаємодію осциляторів між собою. Виконано розробку схеми електричної принципової та виконані розрахунки надійності пристрою.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню

Кваліфікаційний проєкт відповідає виданому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки та техніки і передових методів роботи:

У першому розділі показано місце стандарту IEEE 802.15.4, серед інших систем передачі інформації. Показано, що стандарт IEEE 802.15.4 (ZigBee) використовується у разі, коли ставиться завдання встановлення зв'язку між автономними приладами і устаткуванням, або збору інформації з території і централізації її на головному пристрої. В другому розділі розглянуто порядок проведення механізму доступу до мережі між пристроями та порядок ініціювання передачі інформації. В третьому розділі основна увага присвячено аспектам технології виготовлення виробу та його модулів. Проведено розрахунки щодо масогабаритних та надійнісних показників.

4. Позитивні сторони роботи: В роботі запропоновано підвищення надійності роботи системи передачі за рахунок запровадження конструктивних особливостей конструкції – застосування екранування, для зменшення кількості сигналів та утворення ефекту квазіоптичного каналу зв'язку. Це дозволяє зменшити навантаження на модуль передачі та зменшує кількість можливих колізій при передачі даних

5. Негативні сторони роботи: Наявні стилістичні помилки. Розрахунок надійності пристрою не включає надійність самої конструкції.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: - Креслення виконано згідно норм ЕСКД

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на достатньому рівні

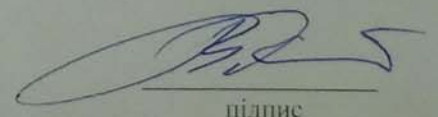
8. Інші зауваження: -

9. Оцінка дипломної роботи: Розглянувши представлену роботу, вважаю, що робота заслуговує оцінки "добре" ( 4,50 , "В")

10. Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, місце роботи)

Джусуп В.М. кафедра Кадербезнеси ХМУ

«6» червня 2023р.

  
підпис