

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем
та програмного забезпечення
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

бакалавра

(рівень вищої освіти)

на тему "Розробка датчику озону з бездротовим
каналом передавання даних"

Виконав: студент 4 курсу, групи В.1710-с
спеціальності 171 «Електроніка»

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Електроніка

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

В.Е. Кісельов

(ініціали та прізвище)

Керівник Викл. Турішев К.О.

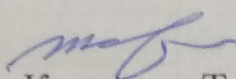
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент заст. дир. НВКФ Екотех Шершов С.А.

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

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 171 «Електроніка»
(код і назва)
Освітня програма Електроніка
(код і назва)
Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ 
Завідувач кафедри Критська Т.В.
“ _____ ” _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Кісельови Віталію Єгоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) " Розробка датчика озону з бездротовим каналом передавання даних "

керівник роботи Туришев Костянтин Олегович,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від "29" грудня 2022 року № 1893-с

2 Строк подання студентом роботи 15 червня 2023

3 Вихідні дані до роботи 1. Сенсор озону - NO-131 2. Час підготовки до роботи - не більш 2с. 3. Час вимірювань - не більш 100мс. 4. Напрямок живлення - 5В, 5. Забаритні розміри - не більш 80x90x40 мм

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз технологій передавання даних 2. Розробка схеми з обробки і передавання сигналів 3. Моделювання датчика озону 4. Розробка друкованої плати датчика 5. Економічне обґрунтування розробки датчика

3. Перелік графічного матеріалу (з описом значенням обов'язкових креслень)
 4. Додаток до завдання (завдання з структурою завдання)
 5. Розробка схеми алгоритму з поясненнями до блоків;
 6. План виконання роботи (з описом етапів роботи);
 7. СОНОВНИ ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ


6 Консультанти розділів роботи

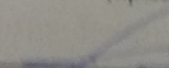
№ п/п	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Турлишев К.О., викл.	13.03.23	02.03.23
2	Турлишев К.О., викл.	05.04.23	05.04.23
3	Турлишев К.О., викл.	28.04.23	28.04.23
4	Турлишев К.О., викл.	06.05.23	06.05.23
5	Турлишев К.О., викл.	30.05.23	30.05.23

7 Дата видачі завдання 13 лютого 2023

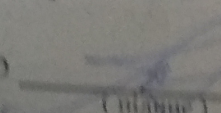
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технології передавання даних	02.03.2023	
2	Розробка схеми обробки сигналів	05.04.2023	
3	Модельовання алгоритму роботи	28.04.2023	
4	Розробка алгоритмованої плати датчика	06.05.2023	
5	Економічне обґрунтування розробки	30.05.2023	
6	Варіантні розробки додаткової частини	09.06.2023	
7	Оформлення звітної частини	15.06.2023	

Студент  (підпис) Кісельов В.Є. (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту)  (підпис) Турлишев К.О. (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  (підпис) Турлишев К.О. (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра містить 89 стор., 25 рис., 9 табл., 49 інформаційних джерел і 2 додатки на 6 стор.

СЕНСОР, МОДЕЛЮВАННЯ, МІКРОКОНТРОЛЕР, ПРОГРАМНИЙ КОД, СИГНАЛ, ДРУКОВАНА ПЛАТА, АЛГОРИТМ

Мета роботи – розробка системи обробки і передавання вихідних сигналів сенсора озону.

Задачі роботи – розробка схеми датчика озону; розробка програмного коду керування мікроконтролером датчика; дослідження розробленої програмно-апаратної системи; розробка топології друкованої плати датчика.

Методи рішення задач – синтез схеми датчика; синтез програмного коду керування; моделювання датчика; трасування друкованої плати.

Розроблено структуру і схему датчика, що відрізняється застосуванням додаткового сенсору вологості і температури для коригування результатів визначення концентрації озону, також передаванням вимірювальної інформації за протоколом BLE до смартфона оператора озонаторної станції.

Результати роботи рекомендуються використати для створення макетного зразка датчика

Роботу виконано на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення Інженерного навчально – наукового інституту ім. Ю. М. Потебні ЗНУ з 01.10.2022 по 10.06.2023.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ ДЛЯ БЕЗДРОТОВИХ ДАТЧИКІВ	8
1.1 Класифікація бездротових мереж передавання даних	8
1.2 Особливості сучасних протоколів бездротового зв'язку	10
1.3 Топології мереж бездротових датчиків	14
1.4 Методи поділу доступу до радіоканалу	15
1.5 Безпека бездротових мереж	18
1.6 Обґрунтування обрання бездротового протоколу передавання даних	20
2 РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРATНОЇ СИСТЕМИ З ОБРОБКИ І ПЕРЕДАВАННЯ СИГНАЛІВ СЕНСОРА ОЗОНУ	27
2.1 Структура датчика озону	27
2.2 Розробка схеми електричної принципової датчика озону	30
2.3 Розробка програмного коду керування мікроконтролером датчика	37
3 МОДЕЛЮВАННЯ ДАТЧИКА ОЗОНУ З БЕЗДРОТОВИМ КАНАЛОМ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ	42
3.1 Моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору озону	42
3.2 Моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору вологості і температури	45
3.3 Дослідження каналу передавання даних датчику	48
4 РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ДАТЧИКУ ОЗОНУ	53
4.1 Обґрунтування обрання інструментарію розробки друкованої плати датчика озону	53
4.2 Розробка топології міжелементних з'єднань друкованої плати датчика озону	59

4.3 Особливості технології виготовлення і складання друкованої плати датчика озону	64
4.4 Організація техніки безпеки і протипожежної безпеки	67
5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ ДАТЧИКА ОЗОНУ	74
5.1 Розрахунок заробітної плати робітників	74
5.2 Розрахунок матеріальних витрат	76
5.3 Розрахунок собівартості дослідного зразка	78
5.4 Розрахунок планованої собівартості одиниці продукції	79
5.5 Розрахунок планованої собівартості одиниці продукції	79
5.6 Розрахунок критичного обсягу виробництва	80
5.7 Розрахунок річного економічного ефекту	81
ВИСНОВКИ	83
СПИСОК ПОСИЛАНЬ	84
ДОДАТОК А	90
ДОДАТОК Б	92

ВСТУП

Озон - це токсичний газ, що володіє гострим запахом. Він володіє потужними окислювальними властивостями. У концентрації більше $0,1 \text{ мг/м}^3$ газ озон здатний пов'язувати щілисті оболонки і дихальну систему [1]. В містах токсичний газ зазвичай утворюється в результаті роботи автотранспорту. Існує прямий взаємозв'язок між рівнем озону зовні та всередині приміщень. Усередині приміщень він може виділятися домашнім та офісним обладнанням, наприклад: міксерами, лазерними принтерами, копіювальними машинами, фенами та обладнанням для очищення повітря. Виробники очищувальних пристроїв навіть позиціонують, що озон нейтралізує шкідливі з'єднання. Але показано [2], що взаємодія між O_3 та летючими органічними сполуками може призводити до утворення ще шкідливіших сполук, а не до їхньої нейтралізації. Якщо генератори створюють концентрації озону, що перевищують допустимі норми, їх не слід експлуатувати в присутності людей, оскільки це може завдати шкоди їх здоров'ю. Тому під експлуатації таких приладів слід здійснювати постійний моніторинг концентрації озону у повітрі.

Деякі види очисного повітря характеризуються генерацією досить великої кількості озону. Наприклад, до таких відносяться ультрафіолетові аероіонізатори. Дослідження показали, що ряд моделей іонізуючих очищувачів повітря (іонізаторів) також може виділяти у навколишнє середовище неприпустимі рівні цієї речовини.

Останні досягнення в галузі бездротового зв'язку та доступність датчиків із гранично низьким енергоспоживанням, вбудованими мікропроцесорами та радіопередавачами дало потужний стимул до розширення сфери застосування бездротових датчиків. Бездротові датчики здатні працювати в складних експлуатаційних умовах та в місцях, де важко зробити розведення.

Застосування бездротових датчиків дозволяє збирати інформацію про довкілля протягом тривалих проміжків часу в автоматичному режимі. Однією

з основних переваг бездротових датчиків є те, що вони вимагають мінімального обслуговування та невеликої кількості енергії для підтримки працездатності. Датчики можуть підтримувати передачу даних у платформу протягом декількох років, перш ніж потрібно замінити елементи живлення.

Існуючі промислові зразки датчиків озону передбачають надання вимірної інформації за дротовими з'єднаннями [3]. Тому спроможність датчиків передавати сигнали по бездротовій мережі дозволить автоматизувати обмін даними та підвищити ефективність роботи озонаторів.

Т.ч., для зменшення шкідливого впливу на операторів систем генерації озону і підвищення її функціональності актуальним науково-технічним завданням є розробка датчику озону з бездротовим каналом передачі даних.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ ДЛЯ БЕЗДРОТОВИХ ДАТЧИКІВ

При розробці датчиків з бездротовим каналом передавання даних (ДБКПД) виникає завдання оптимального вибору технологій, протоколів і функціональних можливостей модулів, що входять до їх складу. На сьогоднішній день розроблено протоколи маршрутизації та поширення даних спеціально для ДБКПД, у яких питання енергоефективності є одним із пріоритетних. Ці протоколи відрізняються залежно від застосування та мережевої архітектури. Для комплексного підходу до розробки ДБКПД необхідно розглянути MAC-рівень і фізичний рівень моделі OSI, особливості яких можуть суттєво вплинути на ефективність передавання даних та ресурс апаратної частини.

1.1 Класифікація бездротових мереж передавання даних

Все різноманіття протоколів бездротової передачі даних можливо класифікувати кількома різними шляхами, вибравши в якості основного один із параметрів, наприклад топологію мережі, швидкість роботи або алгоритми безпеки. Найбільш поширений метод класифікації [4] виходить із максимального радіусу дії бездротової мережі. На рис. 1.1 наведено класифікацію аналізованих протоколів щодо зменшення радіуса.

WWAN (Wireless Wide area network) – в основному це мережі стільникового зв'язку, їхній радіус дії становить десятки кілометрів. До цих мереж належать такі протоколи: GSM, CDMAone, iDEN, PDC, GPRS та UMTS.

WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks) – це бездротові мережі масштабу міста. Радіус дії таких мереж кілька кілометрів. Прикладом протоколу цієї мережі є WiMAX.

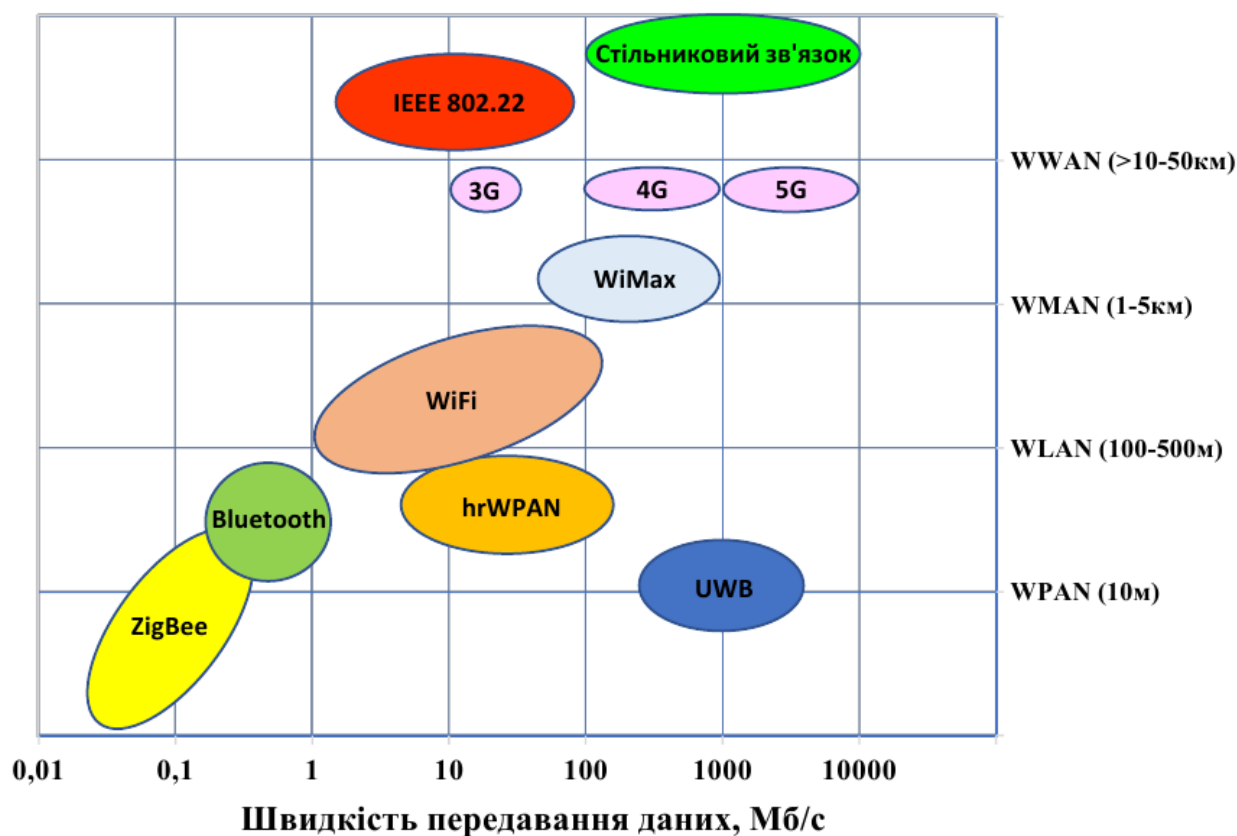


Рисунок 1.1 – Залежність радіусу дії протоколів бездротових мереж від швидкості передавання даних

Wireless LAN (Wireless Local Area Network; WLAN) – це бездротова локальна обчислювальна мережа. Радіус дії цього класу мереж — кілька сотень метрів. До них належать такі протоколи: UWB, ZigBee, Wi-Fi.

WPAN застосовуються для зв'язку різних пристроїв, включаючи комп'ютери, побутові прилади та оргтехніку, засоби зв'язку тощо. WPAN використовується як для об'єднання окремих пристроїв між собою, так і для зв'язку з мережами вищого рівня. Прикладом таких мереж можуть бути протоколи RuBee, X10, Insteon, Bluetooth, Z-Wave, ANT, RFID.

Ці протоколи набули поширення в сучасних бездротових мережах зв'язку, що дозволяє виконати їх аналіз незалежно від розв'язуваних ДБКПД завдань.

1.2 Особливості сучасних протоколів бездротового зв'язку

Крім радіусу дії мереж роль протоколів важлива щодо рівнів моделі OSI [5]. Еталонна модель OSI, іноді звана стеком OSI (Open Systems Interconnection network model), передбачає 7-рівневу мережеву ієрархію, розроблену Міжнародною організацією зі стандартів (International Standardization Organization - ISO). Слід зазначити, що багато з протоколів було розроблено IEEE. Група протоколів IEEE 802.X містить опис мережевих специфікацій та надає стандарти, рекомендації та інформаційні документи для мереж та телекомунікацій. Рекомендації IEEE пов'язані головним чином із двома нижніми рівнями моделі OSI – фізичним та канальним. Ці рекомендації ділять канальний рівень на два підрівні: нижній - MAC (управління доступом до середовища) та верхній - LLC (управління логічним каналом).

Протокол передачі інформації по бездротовому каналу Bluetooth [6] забезпечує обмін інформацією між такими пристроями, як кишенькові та звичайні персональні комп'ютери, мобільні телефони, ноутбуки, принтери, цифрові фотоапарати, мишки, клавіатури, джойстики, навушники, гарнітури на надійній, недорогій, повсюдно доступній радіочастоті для ближнього зв'язку. Зв'язок цих пристроїв може здійснюватися в радіусі від 10 до 100 метрів один від одного навіть у різних приміщеннях.

Протокол UWB [6] є стандартом широкосмугового бездротового зв'язку на коротких відстанях. Протокол торкається аспектів взаємодії між пристроями на фізичному рівні (PHY) та підрівні доступу до середовища (MAC). Максимальна швидкість передачі даних між пристроями WiMedia UWB становить 480 Мбіт/с (як і у дротового USB), пристрої працюють у діапазоні частот від 3,1 до 10,6 ГГц. Протокол UWB конкурує із протоколом Bluetooth.

Протокол ZigBee – це стандарт для недорогих, малопотужних бездротових мереж із пористою топологією [7]. Низька вартість дозволяє широко застосовувати цю технологію для бездротового контролю та спостереження, а

завдяки малій потужності сенсори мережі здатні працювати довгий час, використовуючи автономні джерела живлення.

Протокол Insteon [8] розроблений для керування бездротовими пристроями, призначеними для «розумного дому». У протоколі передбачена зворотна сумісність із старішим протоколом X10. Швидкість передачі сигналу управління за новим стандартом набагато вище, передбачаються вбудовані засоби виявлення помилок і повторної передачі сигналу, а передачі використовується гібридний канал — радіозв'язок і мережу електроживлення.

Пориста мережа Z-Wave з функціями самоорганізації та самовідновлення в поєднанні з гнучкими інсталяційними процедурами є просте у використанні мережне рішення [9]. Протокол Z-Wave та мікросхеми високого ступеня інтеграції забезпечують невисоку вартість з урахуванням вимог щодо надійності та універсальності. Сьогодні широко реалізується сумісність програм та пристроїв Z-Wave, випущених різними виробниками. Z-Wave підтримує повний спектр пристроїв, включаючи пристрої, що живляться від мережі змінного струму, автономних джерел живлення, пристроїв з фіксованим розташуванням і мобільних пристроїв, а також елементів, що виконують роль мостів з іншими протоколами. У технології Z-Wave вузли поділяються на три типи: контролери, виконавчі механізми, що маршрутизують і виконавчі механізми. У реальній мережі всі типи пристроїв можуть працювати у будь-якій комбінації.

Протокол передачі ANT [4] розрахований на компактні пристрої з автономним живленням (трансівери, які використовують цей протокол, відрізняються виключно малим струмом споживання) для передачі відносно коротких пакетів даних. Протокол передбачає організацію відкритих та приватних бездротових мереж, зокрема складного типу з динамічною конфігурацією. Він підтримує шари 1-4 стека OSI. Типове застосування такого протоколу – бездротові датчики.

Несуча частота за протоколом ANT - 2,4 ГГц, кількість частотних каналів при цьому дорівнює 125 (крок 1 МГц в діапазоні 2400... 2524 МГц).

Швидкість передачі по радіоканалу (включаючи протокол) може становити до 1 Мбіт/с.

RuBee (IEEE P1902. 1) — протокол двостороннього бездротового зв'язку в місцевій регіональній мережі з використанням довгохвильового діапазону та пакетів даних не більше 128 байт [9]. Протокол RuBee подібний до протоколів серії IEEE 802, також відомих як Wi-Fi (IEEE 802.11), WPAN (IEEE 802.15.4) та Bluetooth (IEEE 802.15.1). Мережі RuBee, працюють за принципом точка-точка та є розвитком стандартів RFID. RuBee передбачає роботу на низькочастотній несучій (131 кГц), дозволяючи використовувати вузли мережі з малим споживанням енергії.

RFID (Radio Frequency IDentification - радіочастотна ідентифікація) [10] з'явилася у 1973 р., коли було опублікували патент, який описує перший пасивний транспондер RFID (радіометку). Розвиток та широке впровадження радіочастотної ідентифікації довго стримувалося відсутністю стандартизації. Але в 90-х роках минулого сторіччя Міжнародна Організація Стандартизації (ISO) ухвалила низку стандартів у галузі RFID (серія стандартів ISO 18000-6).

X10 – це міжнародний відкритий індустріальний стандарт, який використовується для зв'язку електронних пристроїв у системах домашньої автоматизації [10]. Стандарт X10 визначає методи та протокол передачі сигналів керування електронними модулями, до яких підключені побутові прилади, з використанням звичайної електропроводки або бездротових каналів.

Протокол Wi-Fi [11] створено для бездротових мереж на базі стандарту IEEE802.11. Зазвичай схема Wi-Fi мережі містить не менше однієї точки доступу та не менше одного клієнта. Також можливе підключення двох клієнтів у режимі точка-точка, коли точка доступу не використовується, а клієнти з'єднуються за допомогою мережних адаптерів безпосередньо. Точка доступу передає власний ідентифікатор мережі (SSID) за допомогою спеціальних сигнальних пакетів на швидкості 0.1 Мбіт/с кожні 100 мс. Тому 0.1 Мбіт/с – це найменша швидкість передачі для Wi-Fi. Знаючи SSID-мережі, клієнт може з'ясувати, чи можливе підключення до цієї точки доступу.

PDC (Personal Digital Cellular) [10] – стандарт стільникового зв'язку покоління 2G, що використовується виключно на території Японії. PDC використовує два діапазони частот - 800 МГц і 1,5 ГГц.

IDEN (Integrated Digital Enhanced Networks) [11] – технологія для мереж транкінгового та стільникового зв'язку, в основі якої архітектура GSM при передачі використовують частотні канали по 25 кГц, при цьому для передачі даних використовується частина каналу шириною 20 кГц, решта призначена для захисту каналу. Протокол набув широкого поширення в усьому світі. Діапазон частот - 821-825 МГц.

Стандарт CDMAOne [12] розроблено як технологічний стандарт групи ANSI. CDMAOne заснований на використанні CDMA (множинного доступу з кодовим поділом).

Система CDMA IS-95 розрахована працювати в діапазоні частот 800 МГц, виділеному для стільникових систем стандартів AMPS, N-AMPS і D-AMPS. Наступний розвиток технології CDMA відбувається в рамках технології CDMA2000 .

При побудові системи мобільного зв'язку на основі технології CDMA2000 1X перша фаза забезпечує передачу даних зі швидкістю до 153 кб/с, що дозволяє надавати послуги голосового зв'язку, коротких повідомлень, роботу з електронною поштою, Інтернетом, базами даних, передачу даних і нерухомих зображень.

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) [13] – телекомунікаційна технологія, розроблена з метою надання універсального бездротового зв'язку на великих відстанях для широкого спектру пристроїв (від робочих станцій та портативних комп'ютерів до мобільних телефонів). Заснована на стандарті IEEE 802.16, який також називають Wireless MAN.

GSM (від назви групи Groupe Special Mobile, пізніше перейменований на Global System for Mobile Communications) [14] - глобальний цифровий стандарт для мобільного стільникового зв'язку з поділом частотного каналу за принципом TDMA та середнім ступенем безпеки. GSM відноситься до мереж

другого покоління (2 Generation), хоча умовно знаходиться у фазі 2,75G завдяки численним розширенням. Мобільні телефони випускаються для 4 діапазонів частот: 850 МГц, 900 МГц, 1800 МГц, 1900 МГц.

GPRS (General Packet Radio Service – пакетний радіозв'язок загального користування) [14] – надбудова над технологією мобільного зв'язку GSM, що здійснює пакетну передачу даних. GPRS дозволяє користувачеві мережі стільникового зв'язку здійснювати обмін даними з іншими пристроями в мережі GSM та із зовнішніми мережами, включаючи Інтернет. Передача даних поділяється за напрямками "вниз" (downlink, DL) - від мережі до абонента і "вгору" (uplink, UL) - від абонента до мережі. Мобільні термінали поділяються на класи за кількістю таймслотів, що одночасно використовуються, для передачі і прийому даних.

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System – Універсальна Мобільна Телекомунікаційна Система) [15] – технологія стільникового зв'язку розроблена Європейським Інститутом Стандартів Телекомунікацій (ETSI) для впровадження 3G у Європі. Як спосіб передачі даних через повітряний простір використовується технологія WCDMA, стандартизована відповідно до проекту 3GPP. Згідно зі специфікаціями стандарту, UMTS використовує спектри частот: 1885-2025 МГц для передачі даних в режимі від мобільного терміналу до базової станції і 21 10-2200 МГц для передачі даних в режимі від станції до терміналу. Крім того, оператори деяких країн (наприклад, американський AT&T Mobility) додатково експлуатують інші смуги частот.

1.3 Топології мереж бездротових датчиків

Усі мережі бездротових датчиків працюють у одному чи кількох варіантах топології [16].

Топологія точка-точка - найпростіший варіант організації мережі двох пристроїв. Як правило, вузли цієї мережі є рівноправними, тобто мережа

однорангова. Ця топологія характерна для Bluetooth, ANT, RFID, RuBee, PDC, WI-FI, Insteon, UWB, ZigBee та інших.

Топологія «Зірка» є основою організації всіх сучасних мереж зв'язку та обчислювальних мереж. Цю топологію використовують протоколи WI-FI, Insteon, ZigBee, UWB, IDEN, CDMAOne, WIMAX, GSM, GPRS, UTMS.

Топологія «багатокоміркова мережа» - базова повнозв'язна топологія комп'ютерних мереж і мереж зв'язку, в якій кожна робоча станція мережі з'єднується з іншими робочими станціями цієї ж мережі. Характеризується високою стійкістю до відмов, складністю налаштування і надмірною витратою кабелю в провідних мережах. Кожен вузол має кілька можливих шляхів з'єднання з іншими вузлами, завдяки цьому така топологія дуже стійка. Оскільки зникнення одного з каналів не призводить до втрати з'єднання між двома комп'ютерами. Ця топологія припускає з'єднання великої кількості вузлів і характерна, як правило, для великих мереж, вона будується з повнозв'язкової шляхом видалення деяких можливих зв'язків. Топологія застосовується для мереж із використанням протоколів UWB, WI-FI, Insteon, ZigBee, UWB, IDEN, CDMAOne, WIMAX, GSM, GPRS, UTMS.

Топологія «Кластерне дерево» утворюється переважно у вигляді комбінацій зазначених топологій мереж. Основа дерева обчислювальної мережі розташовується у точці (корінь), де збираються комунікаційні лінії інформації (гілки дерева). Обчислювальні мережі з деревоподібною структурою будуються там, де неможливе безпосереднє застосування базових мережевих структур у чистому вигляді.

1.4 Методи поділу доступу до радіоканалу

Використання цих методів доступу в сучасних протоколах передачі інформації бездротовими каналами зв'язку викликане необхідністю передавати

великі обсяги інформації за короткий проміжок часу, підтримувати зв'язок з кількома абонентами у вузьких діапазонах частот [17].

У сучасних протоколах передачі даних передбачається три основні методи поділу доступу пристроїв зв'язку до радіоканалу - CDMA, FDMA, TDMA. Також існує низка їх модифікацій [18].

Code Division Multiple Access (CDMA) – це інший метод доступу до каналу, який використовується у мобільній телефонії третього покоління (3G). CDMA є розширенням кількох технологій доступу, що використовують унікальну схему кодування, що дозволяє кільком користувачам одночасно спілкуватися по одному фізичному каналу. Таким чином, кожній групі користувачів надається унікальний загальний код, причому не може бути, щоб в тому самому каналі працювали кілька користувачів з різними кодами, і спілкуватися і розуміти один одного може єдина група користувачів, які мають той самий код. Основна особливість цієї технології полягає в тому, що вона дозволила збільшити кількість сигналів для заданої частотної смуги. Початковий стандарт CDMA, забезпечує вищу в порівнянні з іншими методами доступу швидкість передачі даних.

Carrier Sense Multiple Access (CSMA) – ймовірнісний мережевий протокол канального (MAC) рівня. Вузол, який бажає передати пакет даних, виконує процедуру оцінки чистоти каналу, тобто протягом заздалегідь заданого часу визначає рівень шуму в середовищі, що передає. Якщо середовище, що передає, оцінюється як чисте, вузол може передати пакет даних. В іншому випадку, якщо виконується інша передача, вузол «усувається», тобто, перш ніж знову розпочати процедуру відправлення пакета, вузол чекає певний час. Найпоширеніша модифікація цієї технології — CSMA/CD, що передбачає контроль колізій. Існує також технологія CSMA/CA, в якій вживаються заходи щодо виключення колізій.

TDMA Time Division Multiple Access — множинний доступ із поділом у часі — спосіб використання радіочастот, як у одному частотному інтервалі перебуває кілька абонентів, причому передачі різним абонентам відведені різні

часові інтервали (слоти). Ця програма методу часового мультиплюсування (TDM - Time Division Multiplexing) до радіозв'язку. Таким чином, TDMA надає кожному користувачу повний доступ до частотного інтервалу протягом короткого проміжку часу (GSM один частотний інтервал ділиться на 8 тимчасових слотів). Сьогодні TDMA є домінуючим технологією для мобільних стільникових мереж і використовується в стандартах GSM, TDMA (ANSI-136), PDC.

FDMA Frequency Division Multiple Access - множинний доступ з поділом каналів по частоті - спосіб використання радіочастот, коли в одному частотному діапазоні знаходиться лише один абонент, а різні абоненти в межах стільника використовують різні частоти. Є додатком частотного мультиплексування (FDM) радіозв'язку. Поки початковий запит не закінчено, канал для інших сеансів зв'язку закрито. При повному дуплексному режимі (Full-Duplex) методом FDMA потрібно два каналу — один передачі, а інший прийому. FDMA використовувався в аналоговому зв'язку першого покоління (1G): цей принцип реалізований у стандартах AMPS, N-AMPS, NMT, ETACS (американський стандарт).

OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) – ортогональний частотний поділ каналів з мультиплексуванням) є цифровою схемою модуляції, яка використовує велику кількість близько розташованих ортогональних піднесучих. Кожна піднесуча модулюється за звичайною схемою модуляції (наприклад, квадратурна амплітудна модуляція) на низькій символній швидкості, зберігаючи загальну швидкість передачі даних, як і у звичайних схем модуляції однієї несучої в тій же смузі пропускання. Насправді сигнали OFDM виходять шляхом використання ШПФ (швидке перетворення Фур'є) .

Усі наведені методи поділу доступу до каналу застосовуються у бездротових мережах з множинним доступом. У цьому мережі можуть мати різну топологію.

1.5 Безпека бездротових мереж

Безпека безпроводових мереж залежить від використання ряду технологій: шифрування, цифрового підпису, паролів, зміни ключів та іншого. Те, як використовуються ці технології, сильно впливає на рівень захищеності мережі. Іноді методика використання раніше перерахованих технологій така, що вони ніяк не впливають на рівень захищеності мережі.

Нижче наведено основні вразливості для бездротових протоколів [19]:

- ключі пристрою використовуються повторно та скомпрометовані;
- ключі під час обміну перехоплюються;
- слабе керування PIN-кодами;
- ключ для шифрування повторюється після 23,3 години його застосування (Bluetooth);
- ненадійне зберігання ключів;
- повторення спроб аутентифікації;
- стійкість процедури запит-відповідь генератора псевдовипадкових чисел невідома;
- ключ довжини, що змінюється;
- головний ключ відкритий;
- немає автентифікації користувачів;
- використовується слабкий алгоритм шифрування;
- конфіденційність може бути порушена, якщо адреса Bluetooth пристрою (BD_ADDR) захоплюється та пов'язана з конкретним користувачем;
- аутентифікація пристрою побудована дуже простому і слабо захищеному принципі розкриття секрету процедури «запит-відповідь»;
- захист каналу точка-точка не виконується;
- дуже обмежений рівень безпеки;
- пристрої вразливі для атак під час процесу виявлення та підключення.

Ризик прослуховування у мережах ДБКПД є найбільшим і це пов'язано із пасивним прослуховуванням каналу третьою стороною. Існує кілька методів

організації прослуховування [20]:

- підслуховування абонента під час гучної розмови;
- прослуховування за допомогою закладок у приміщенні;
- перехоплення бездротового з'єднання;
- перехоплення інформації на вузлах мережі;
- перехоплення інформації під час передачі між вузлами мережі.

Ризик крадіжки записів інформації характерний для автовідповідачів та телефонів із функцією диктофона. Суть цього ризику полягає у можливості крадіжки записаної інформації з носіїв. У ролі носіїв виступають автовідповідачі телефонів, пам'ять диктофонів, поєднаних із телефонами, пам'ять вузлів сенсорних мереж тощо.

Також для зловмисника може представляти інтерес будь-яка інформація про дії користувача, така як час та дата розмов та сеансів передачі даних; викликані абоненти; розташування абонентів; номери та IP адреси абонентів; історія сеансів зв'язку; телефонна книга та перелік адрес; визначення розташування.

Цей ризик характерний для будь-якого користувача передавального пристрою, що знаходиться в мережі із проміжними пристроями.

Існуючі бездротові пристрої слабо захищені від завантаження програмного коду та його виконання на вузлах мережі [21]. Цей код може працювати в інтересах третьої сторони і завдавати шкоди системі передачі інформації, інформації, що передається, і користувачам системи.

Особливості електронної пам'яті, що використовується в сучасних бездротових пристроях, такі, що вона може зберігати в собі раніше віддалену інформацію. Це також з алгоритмами видалення. Як правило, розробники програмного забезпечення обмежуються стиранням посилань на записану інформацію або заголовки, не затираючи саму інформацію.

Одним із найістотніших ризиків для вузлів бездротових мереж є ризик крадіжки самих вузлів. Це пов'язано як із цінністю самих вузлів, так і з відсутністю можливості контролювати поширення та перепродаж крадених вузлів

бездротових мереж.

1.6 Обґрунтування обрання бездротового протоколу передавання даних

Завдяки відносно високим швидкостям передавання даних і непоганим енергетичними показниками технологія Bluetooth набула широкого поширення в мобільних електронних пристроях, персональних комп'ютерах, ноутбуках, бездротових навушниках, гарнітурі, мультимедійних центрах [22].

Стандарт дозволяє підтримувати досить розгалужену і складну мережу пристроїв. Однак, для застосування в сенсорних мережах використовувати класичний Bluetooth недоцільно через значне для автономних джерел живлення енергоспоживання внаслідок особливостей роботи стека протоколів.

Bluetooth Low Energy (BLE) [23] є частиною специфікації Bluetooth 4.0, яка також містить протоколи класичного Bluetooth і протокол високошвидкісного Bluetooth (Classic Bluetooth and Bluetooth High Speed Protocols). У порівнянні з класичним Bluetooth, BLE призначений для використання меншої потужності при збереженні аналогічного діапазону зв'язку.

Протокол BLE передбачає передавання даних короткими пакетами за необхідності, потім – вимкнення передавача. На відміну від класичного Bluetooth, пристрої BLE зв'язуються один з одним лише при необхідності відправки або отримання інформації. Це значно зменшує енергоспоживання, що робить його ідеальним для використання в тих випадках, коли потрібне постійне довгострокове з'єднання з низькою швидкістю передавання даних.

На відміну від технологій сенсорних мереж, таких як, ZigBee, 6LoWPAN або Z-Wave, орієнтованих на розгалужені розподілені мережі з численними передачами даних між вузлами мережі, Bluetooth Low Energy розрахований на топології типу «точка-точка» і «зірка».

Для зниження споживання енергії пристрій BLE більшу частину часу проводить в режимі сну. Коли відбувається якась подія, пристрій прокидається

і передає коротке повідомлення на шлюз, персональний комп'ютер або смартфон. Максимальне/пікове споживання потужності становить менше 15 мА, а середнє – близько 1 мкА. У порівнянні з класичним Bluetooth, активна споживана потужність знижена в десять разів. У додатках з рідкісною періодичністю включення одна дискова батарейка може забезпечити надійну роботу протягом 5-10 років.

Для сумісності з класичною технологією Bluetooth і невисокої ціни реалізації в невеликих пристроях з батарейним типом живлення існують два типи чипсетів [24]:

- дворезимні, з підтримкою функціональності як BLE, так і класичного Bluetooth;
- автономні BLE, оптимізовані для невеликих пристроїв з батарейним живленням, з акцентом на низьку вартість і малу споживану потужність.

У BLE використовується та ж технологія адаптивної стрибкоподібної перебудови частоти (AFH), що і в класичній Bluetooth. Це дозволяє BLE забезпечувати надійне передавання в умовах "зашумленого" ефіру, типових для домашніх, промислових і медичних програм. Для мінімізації витрат і споживання енергії при використанні AFH кількість каналів в BLE скорочено до 40 при ширині кожного каналу 2 МГц, замість 79 каналів шириною 1 МГц, використовуваних в класичній технології Bluetooth.

Частоту 2.4 ГГц неліцензованого діапазону ISM використовує технологія Bluetooth, бездротові локальні мережі, IEEE 802.15.4/ZigBee, а також кілька фірмових стандартів. За такої великої кількості технологій в одному радіопросторі завади можуть погіршити характеристики бездротової мережі (тобто, збільшити затримки і зменшити пропускну здатність) внаслідок необхідності виправлення помилок і повторних передавань. У відповідальних додатках вплив перешкод може бути знижено за рахунок частотного планування та спеціальної конструкції антени. Оскільки і в класичній Bluetooth, і в BLE використовується AFH, що мінімізує завади від інших стандартів радіозв'язку, обмін через Bluetooth стійкий і надійний.

Використовувана в BLE технологія модуляції дещо відрізняється від технології класичної Bluetooth. Ця різниця в модуляції забезпечує дальність зв'язку до 300 метрів при потужності передавача радіо-чипсета 10 дБм (максимум, дозволений для BLE).

BLE підтримує дуже короткі пакети даних (від 8 октетів мінімум до 27 октетів максимум), які передаються на швидкості 1 Мбіт/с. Всі з'єднання використовують вдосконалену технологію енергозбереження для максимального скорочення робочого циклу з метою мінімізації споживання енергії.

Для зниження завад від засобів радіозв'язку інших стандартів, що працюють в ISM діапазоні 2.4 ГГц, BLE використовує загальну для всіх версій Bluetooth технологію AFH. Переваги багатотрактової маршрутизації збільшують енергетичний бюджет каналу зв'язку і ефективний робочий діапазон, а також оптимізують споживання енергії.

Значна частина інтелекту BLE реалізується контролером. Це дозволяє ведучому пристрою довше залишатися в стані сну і прокидатися по сигналу контролера тільки тоді, коли хост повинен виконати будь-яку дію. Відповідно, скорочується споживання струму, оскільки хост процесор, як правило, споживає більше енергії, ніж контролер BLE.

BLE може підтримувати швидке встановлення з'єднання і передавання даних за 3 мс. Це дозволяє додатку всього за кілька мілісекунд встановити з'єднання і відправити аутентифіковані дані, а потім швидко розірвати з'єднання.

Збільшення індексу модуляції дозволило забезпечити для BLE максимальну дальність зв'язку більше 100 метрів.

Для забезпечення максимальної завадостійкості BLE контролює всі пакети за допомогою надійного 24-бітного алгоритму CRC.

Повний алгоритм AES-128, який використовує блоковий протокол CCM, забезпечує надійне шифрування і аутентифікацію пакетів даних, що гарантують безпеку інформаційного обміну.

BLE використовує 32-бітову адресу звернення на кожен пакет для кожного відомого пристрою, дозволяючи підключати мільярди пристроїв. Технологія оптимізована для з'єднань точка-точка, при цьому допускаються багаточислові сполуки з використанням зіркоподібної топології.

У BLE є два основних поняття [25]:

- GAP – Generic Access Profile (загальний профіль доступу);
- GATT – Generic Attribute Protocol (протокол загальних атрибутів).

GAP відповідальний за підключення і поширення інформації про наявність пристрою BLE. GAP відповідає за видимість пристрою в зовнішньому світі, а також відіграє важливу роль у визначенні того, як пристрій взаємодіє з іншими пристроями.

Наступні дві концепції є частиною GAP: периферійні пристрої; центральні пристрої.

Периферійні пристрої це невеликі пристрої з низьким енергоспоживанням, які можуть підключатися до складних, більш потужним центральним пристроям. ДБКПД є прикладом периферійного пристрою.

Центральні пристрої це в основному мобільні телефони або гаджети зі збільшеною пам'яттю і обчислювальною потужністю.

Використовуючи загальний протокол даних, відомий як протокол атрибутів, GATT визначає, як два пристрої BLE обмінюються даними один з одним, використовуючи поняття – сервіс (service) і характеристика (characteristic). Цей протокол зберігає всі сервіси та характеристики в довідковій таблиці з використанням 16-бітних ідентифікаторів, як зазначено в Bluetooth SIG. GATT ініціюється тільки після того, як Advertising процес, регульований GAP, завершений.

Дві основні концепції, які утворюють GATT – це сервіси (service) і характеристики (characteristic).

Сервіс може мати багато характеристик. Кожен сервіс унікальний сам по собі з універсально унікальним ідентифікатором (UUID), який може бути

розміром 16 біт для офіційних адаптованих сервісів або 128 біт для призначених для користувача сервісів.

Процес виявлення пристроїв полягає в тому, що периферійний пристрій в задані інтервали відправляє в округ дані про своє існування. Якщо ці дані отримає центральний пристрій, то він відправить запит на сканування. У відповідь периферійний пристрій надішле дані результату сканування. Периферійний пристрій буде відправляти “рекламні” дані кожні 2 с. Якщо центральний пристрій готовий прослухати рекламні пакети, він відповідь запитом сканування. У відповідь на цей запит периферійний пристрій відправить дані відповіді сканування. Таким чином, центральний і периферійний пристрої дізнаються і зв’язується один з одним [24].

Як і класичний стек протоколів Bluetooth, стек BLE складається з двох основних частин: контролера (controller) і вузла мережі (host). Контролер включає в себе фізичний і канальний рівень і часто реалізується у вигляді системи-на-кристалі (СНК) з інтегрованим бездротовим трансивером.

Частина стека, що називається вузлом мережі реалізується програмно на мікроконтролері додатків і включає в себе функціональність верхніх рівнів:

- рівень логічного зв’язку (Logical Link Control – LLC), протокол адаптації (Adaptation Protocol – L2CAP), протокол атрибутів (Attribute Protocol – ATT),
- протокол атрибутів профілів пристроїв (Generic Attribute Profile – GATT), протокол забезпечення безпеки (Security Manager Protocol – SMP), протокол забезпечення доступу до функцій профілю пристроїв (Generic Access Profile (GAP)).

Взаємодія між верхньою і нижньою частинами стека здійснюється інтерфейсом Host Controller Interface (HCI). Додаткова функціональність прикладного рівня може бути реалізована поверх рівня вузла мережі.

На рис. 1.2 представлена структура стека протоколів BLE та на рис. 1.3 структура пакета даних BLE [21].



Рисунок 1.2 – Структура стека протоколів BLE

Т.ч., для побудови датчика озону з бездротовим каналом передавання даних є раціональним застосування протоколу BLE, що відповідає вимогам функціонування у складі промислових генераторів озону.

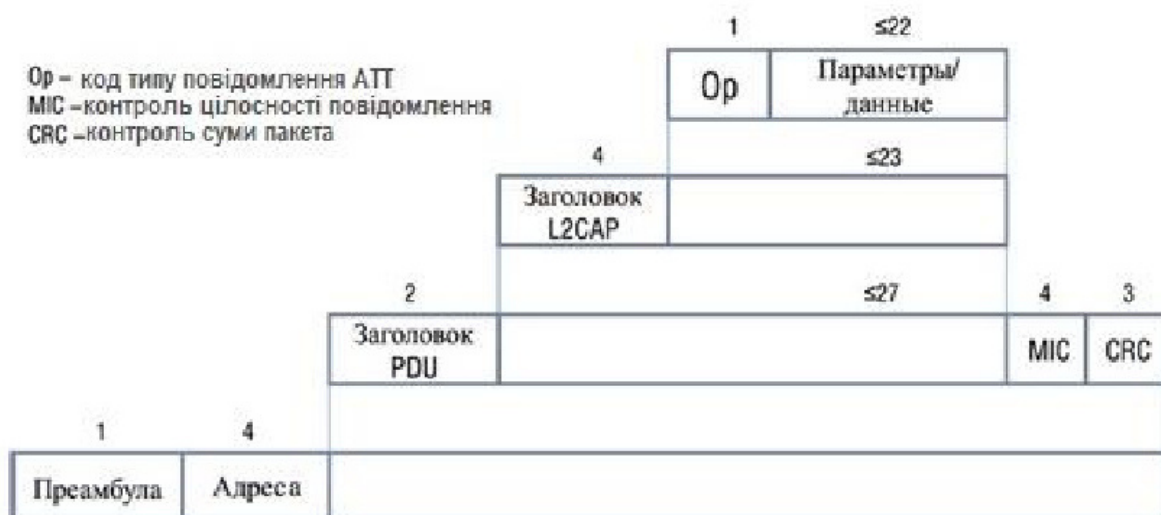


Рисунок 1.3 – Структура пакета даних BLE

Зважаючи на це, метою кваліфікаційної роботи є розробка системи

обробки і передавання вихідних сигналів сенсора озону.

При цьому необхідно вирішити наступні завдання:

- розробка схеми датчика озону;
- розробка програмного коду керування мікроконтролером датчика;
- дослідження розробленої програмно-апаратної системи;
- розробка топології друкованої плати датчика.

2 РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОЇ СИСТЕМИ З ОБРОБКИ І ПЕРЕДАВАННЯ СИГНАЛІВ СЕНСОРА ОЗОНУ

2.1 Структура датчика озону

З метою зменшення шкідливого впливу на операторів систем генерації озону було запропоновано датчик з бездротовим каналом передачі даних, структура якого наведена на рис. 2.1.

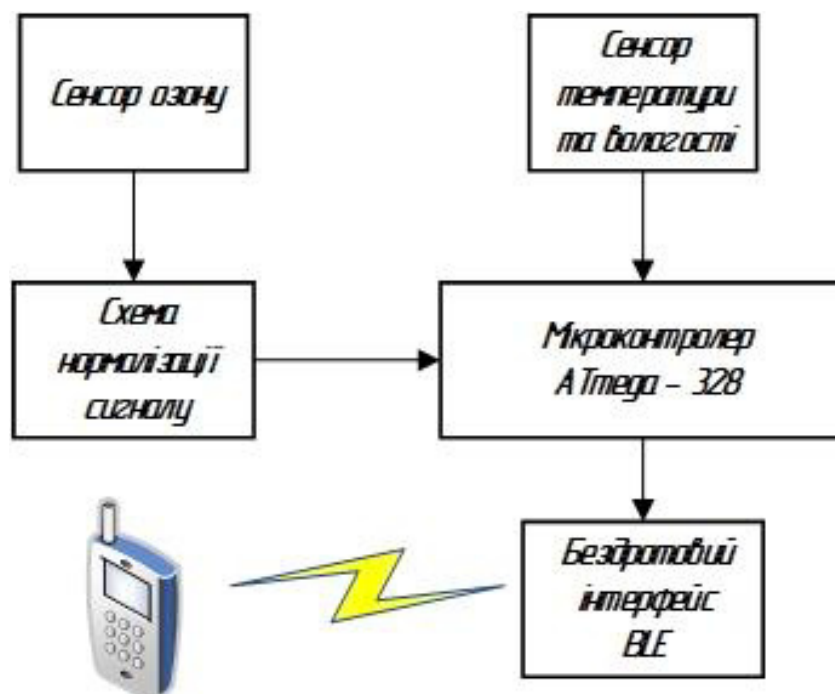


Рисунок 2.1 – Структура датчика озону

У якості сенсора озону було обрано перетворювач MQ-131 high concentration [26], вихідний сигнал якого після нормалізації надходить до аналогового входу мікроконтролера (МК) ATmega328 [27], де оцифровується вбудованим аналого-цифровим перетворювачем і обробляється у цифровому вигляді.

Сенсор озону електрохімічного типу MQ-131 що характеризується доброю чутливістю до озону в широкому діапазоні вимірювальних концентрацій (рис. 2.2), тривалим терміном служби, низькою вартістю та ін.

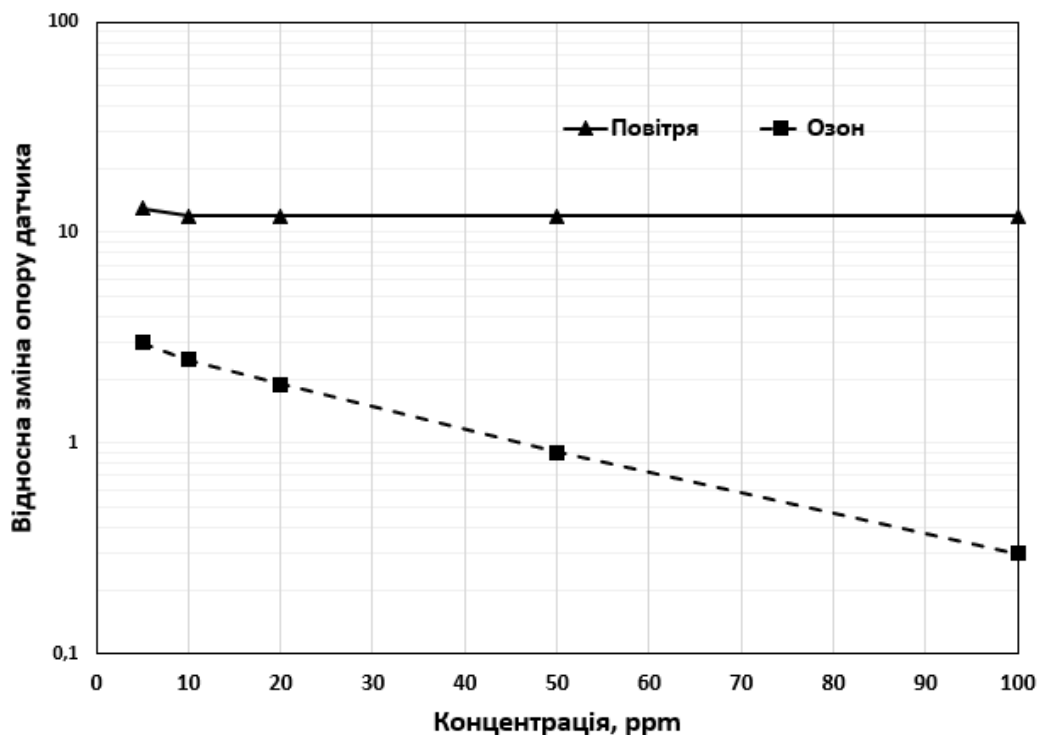


Рисунок 2.2 – Передавальна характеристика датчика

Принцип дії сенсора засновано на зміні опору плівки оксиду олова, яку нанесено на поверхню підкладки, при осадженні на неї молекул озону. Для того щоб реакція на поверхні протікала стабільно у часі конструкція чутливого елемента передбачає наявність підігрівача підкладки. Зовні робочу частину приладу захищено металевою сіткою, що виключає можливість запалення горючих газів, які можуть міститись у навколишньому середовищі.

Для проведення вимірювань рекомендується використовувати підключення датчика у якості плеча резистивного діляника з подальшим визначенням вихідної напруги.

Разом з тим, точність вимірювань пристроями на основі датчиків MQ-131 залежить також від вмісту кисню у повітрі, температури навколишнього середовища та вологості повітря, як показано на рис. 2.3. Також до недоліків слід віднести високе енергоспоживання обумовлене наявністю вбудованого нагрівача, необхідністю первинного та періодичного калібрування та паразитну чутливість до вмісту вуглецю у складі газової суміші.

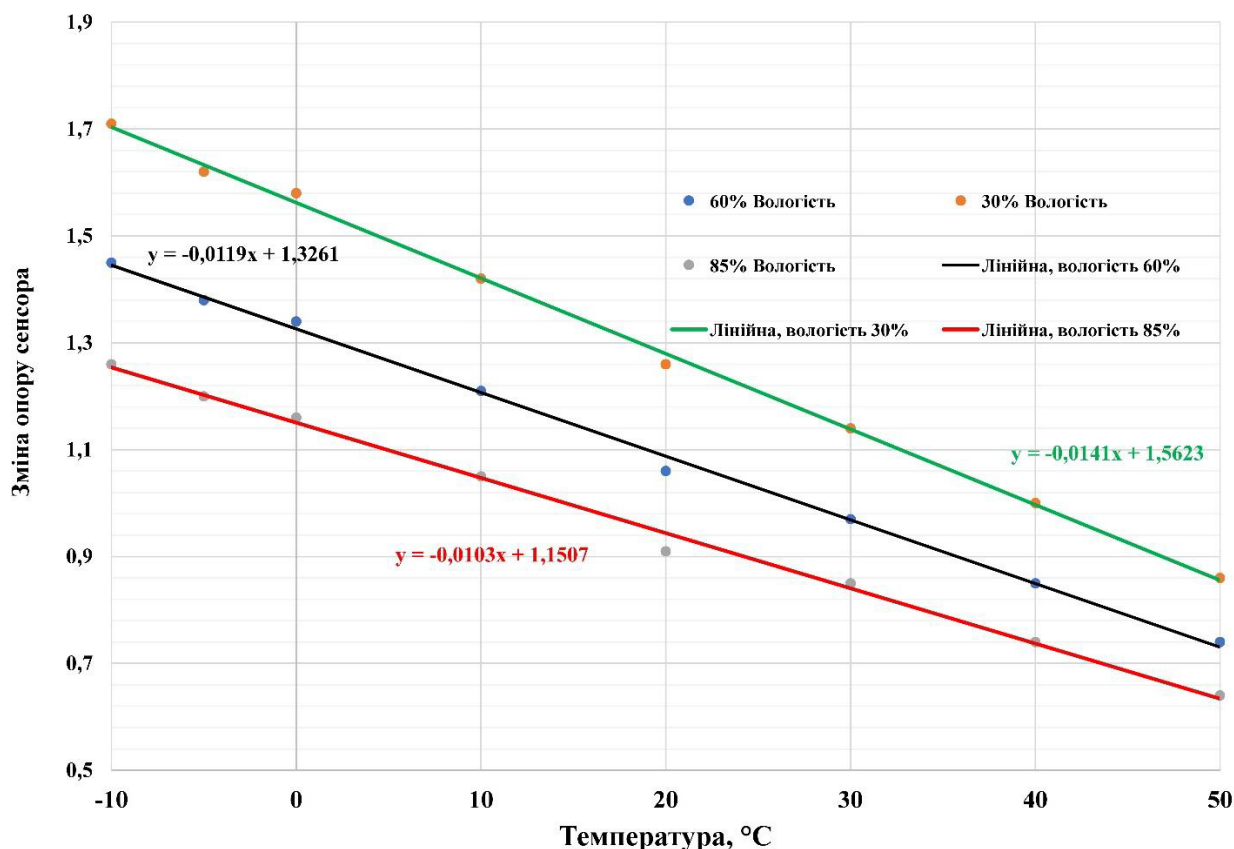


Рисунок 2.3 – Залежність відносної зміни опору сенсора від температури і вологості газової суміші

Таким чином, практичне застосування датчиків MQ-131 можливо розширити шляхом створення вимірювачів з програмно - апаратною обробкою сигналів, що дозволить мінімізувати похибки визначення концентрації озону у повітрі, а також автоматизувати процеси підготовки до функціонування і здійснення автокалібрування. Тому до мікроконтролера надходить інформація

з сенсора температури та вологості повітря, що дозволяє скоригувати результати визначення концентрації озону. Для цього було виконано лінійну апроксимацію залежності відносної зміни опору сенсора від температури і вологості газової суміші (рис. 2.3) і отримані рівняння можуть бути використанні при створенні алгоритму програмного коду з обробки результатів вимірювань.

Для передачі результатів вимірювань було обрано бездротовий інтерфейс BLE [25] зі зниженим енергоспоживанням, який реалізується на основі контролеру. Далі інформаційний сигнал передається через пласку антену, яка створена на базі технології друкованого монтажу, до смартфона оператора.

Також для керування процесом вимірювання і обробки отриманих результатів необхідно здійснити калібрування сенсора з врахуванням визначення температури і вологості повітря. Далі інформація, після переведення у цифровий код вихідних значень сигналу сенсора, результатів вимірювань перераховуються за різними способами наведення вмісту озону та разом зі значеннями температури і вологості надходять до контролеру BLE.

2.2 Розробка схеми електричної принципової датчика озону

Відповідно до структурної схеми датчика озону з бездротовим каналом передавання даних (рис. 2.1) було розроблено його схему електричну принципову, яка наведена на рис. 2.4, а перелік елементів – у Додатку А.

Основою схеми є МК ATmega328P (DD1) з інтерфейсом внутрішньосхемної відладки, що дозволяє здійснювати внутрішнє налаштування без використання емуляторів. Використовуючи зовнішній інтерфейс можливо в покроковому режимі виконувати програму прямо в МК, фіксуючи значення змінних, регістрів і стану зовнішніх приладів. З'єднання за таким інтерфейсом реалізується чотирьохдротовим зв'язком: TDI (Test Data In), TDO (Test Data Out), TCK (Test Clock), TMS (Test Mode Select).

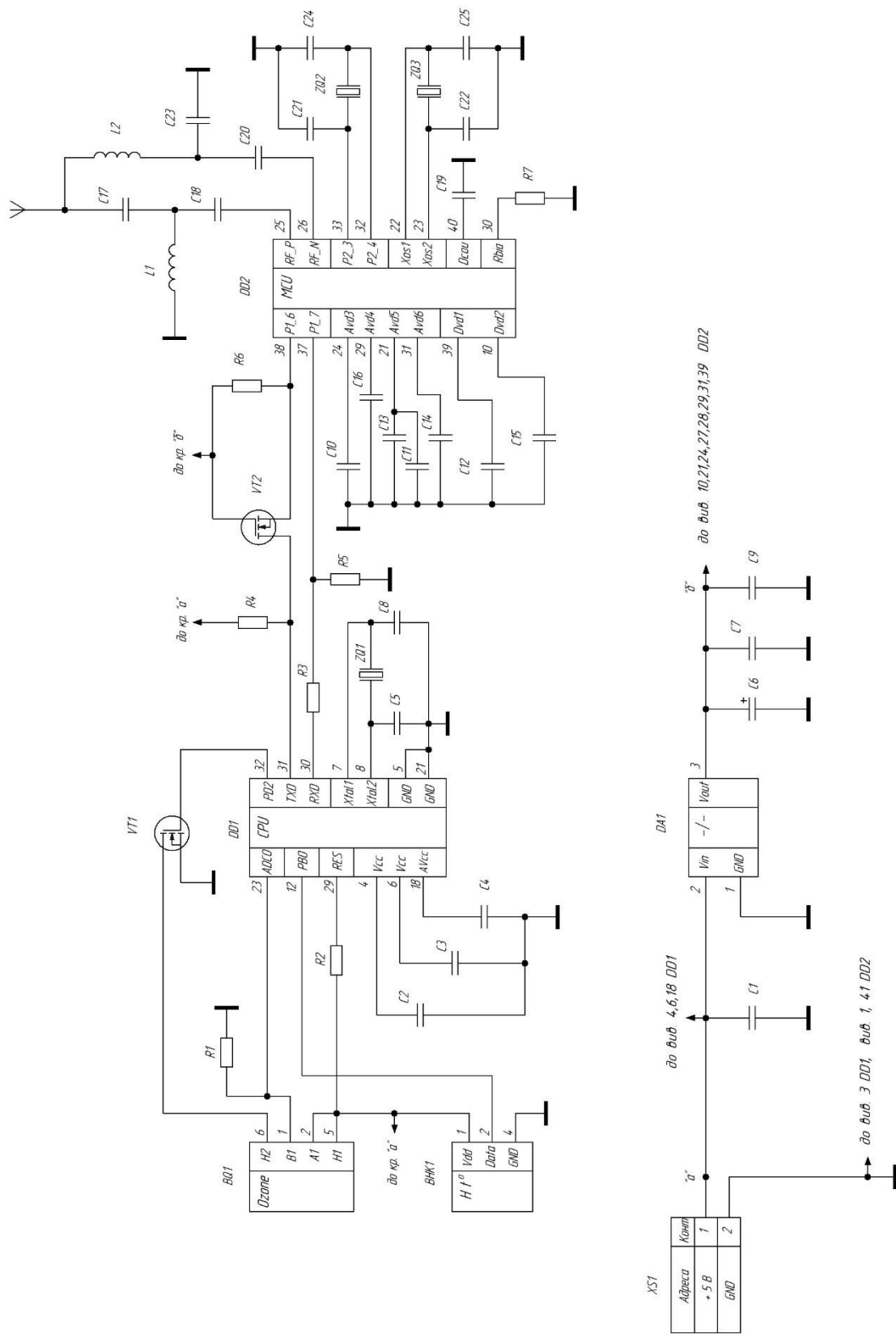


Рисунок 2.4 – Схема електрична принципова датчику озону з бездротовим каналом передавання даних

Також МК обладнано пам'яттю для збереження програми - енергонезалежним ПЗП (постійний запам'ятовуючий пристрій), що виконано за технологією FLASH, і де зберігається програма, яка виконуватиметься арифметично-логічним пристроєм МК.

Флеш-пам'ять можливо багаторазово перезаписувати, змінюючи або доповнюючи програмний код. При цьому тривалість зберігання інформації становить 40 років, а кількість можливих циклів стирання/запису може досягати 10000.

Послідовний периферійний інтерфейс МК застосовується для обміну даними між декількома пристроями зі швидкістю до декількох МГц. Для обміну даними за інтерфейсом між двома вузлами використовується три дроти: MOSI (Master Output Slave Input) - дані від ведучого до веденого, MISO (Master Input Slave Output) - дані від веденого до ведучого, CLK (Clock) - тактовий сигнал. Т.ч., пристрої з послідовним периферійним інтерфейсом діляться на два типи: що веде (Master) і ведений (Slave). Якщо до інтерфейсу підключені декілька пристроїв те для обміну даними між ними потрібні додаткові лінії зв'язку (дроти) щоб можливо було вибрати ведений пристрій і зробити запит до нього. Також SPI інтерфейс використовується для внутрішньо схемного SPI програмування, по цьому інтерфейсу до МК підключається програматор.

Енергонезалежна пам'ять даних (або перепрограмований ПЗП), в якій дані зберігатимуться навіть при відключенні живлення МК. У цій пам'яті можливо зберігати налаштування виконання програми, зібрані дані для статистики роботи пристрою і іншу корисну інформацію. Для перепрограмованого ПЗП виділений окремий адресний простір яке відрізняється від адресного простору оперативної пам'яті і пам'яті для збереження програми. Енергонезалежна пам'ять даних МК має невеликий обсяг. Кількість перезаписів для цього типу пам'яті складає близько 100000 що в 10 разів більше ніж ресурс FLASH пам'яті.

Арифметико-логічний пристрій (АЛП) який синхронізується з тактовим сигналом і спираючись на стан лічильника команд вибирає з пам'яті програм

чергову команду і робить її виконання.

Тактовий сигнал для МК виробляється тактовим генератором, і може бути поданий як: внутрішній RC- генератор, який можливо калібрувати на потрібну частоту, керамічний або кварцовий резонатор з конденсаторами, зовнішній тактовий сигнал. Для реалізації схеми датчика було обрано кварцовий резонатор ZQ1 з конденсаторами C5, C8, з'єднані таким чином, що імпульси подаються на входи Xtal1, Xtal2 DD1, що забезпечує тактову частоту функціонування МК на рівні 16 МГц.

На програмному рівні встановлення джерела тактових імпульсів здійснюється за допомогою FUSE- бітів. Спеціальні 4 байти даних FUSES настроюють певні глобальні параметри МК в процесі прошивки. Після прошивки дані біти не можливо змінити через внутрішню програму що записана в МК.

Центральний процесор містить в собі АЛП, регістри і оперативну пам'ять. До АЛП підключений блок з 32-х регістрів загального призначення, обсяг кожного з яких дорівнює 1 б. Адресний простір регістрів загального призначення розміщується спочатку оперативної пам'яті і не є її частиною.

В оперативній пам'яті (ОП) здійснюються всі операції з даними. При цьому розмір ОП є обмеженим.

Вбудований до МК аналоговий компаратор порівнює між собою два рівні сигналу і запам'ятовує результат порівняння в певному регістрі, після чого цей результат можливо проаналізувати і виконати необхідні дії.

Для дискретизації вихідного сигналу сенсора озону BQ1 використовується внутрішній аналого – цифровий перетворювач (АЦП), що далі оброблюється програмним чином. У якості джерела опорної напруги при цьому використовується зовнішнє джерело живлення +5В, стабільність якого впливає на точність результатів вимірювань. Фізично сенсор озону поєднано з портом ADC0 DD1.

Для обміну даними з іншими пристроями використовується універсальний асинхронний приймач (послідовний асинхронний інтерфейс) з

підтримкою протоколу RS - 232, завдяки чому МК можливо з'єднати для обміну даними з комп'ютером.

Послідовний інтерфейс з дводротовим підключенням застосовується для обміну даними по дводротовій шині. До такої шини даних можливо підключити до 128 різних пристроїв, використовуючи дві лінії даних : тактовий сигнал і сигнал даних.

Набір блоків портів вводу/виведення – зовнішні контакти, до яких можливо підключити різноманітні датчики. Вихідні драйвери в портах МК дозволяють безпосередньо підключати навантаження із споживаним струмом 20 мА (максимум 40 мА) при напрузі живлення 5В. Загальний струм навантаження для одного порту не повинен перевищувати значення в 80 мА (наприклад на 4 піна для одного з портів повісити по світлодіоду із струмом 15-20 мА).

Для корекції результатів вимірювань озону у розробленій схемі використано інформацію від датчика вологості і температури DHT11 [28] (ВНК1), який поєднано з портом МК РВ0. Датчик DHT11 – це цифровий датчик температури та вологості, що дозволяє калібрувати цифровий сигнал на виході.

DHT11 дозволяє вимірювати температуру та вологість з точністю до десятих часток. Недоліком цього датчика є те, що отримувати нові дані можливо з періодичністю раз за секунду. Діапазон вимірювання температури становить від 0°C до 50°C з точністю ± 2 градуси, а вологості - від 20 до 80% з точністю 5%. Частота вибірки DHT11 становить 1 Гц, тобто одне читання кожен секунду.

Робоча напруга датчику знаходиться у діапазоні від 3 В до 5 В, при тому що максимальний струм, який використовується під час перетворення (при запиті даних), становить 2,5 мА. Корпус складається з двох частин, де знаходяться сенсор вологості та сенсор температури у вигляді термістору.

Перетворювач вологості має два електроди з вологоутримувальною підкладкою (зазвичай сіль або пластиковий полімер, що проводить), затиснутої між ними. У міру поглинання водяної пари підкладка вивільняє іони, що, збільшує провідність між електродами. Зміна опору між двома електродами

пропорційна відносній вологості. Більш висока відносна вологість зменшує опір між електродами, тоді як нижча відносна вологість збільшує опір. Термістор зроблено так, що його опір різко змінюється при зміні температури. Він має негативний температурний коефіцієнт опору, що означає, що зі зростанням температури опір зменшується.

Модуль датчика представляє собою невелику друковану плату з 8-рядним АЦП в корпусі SOIC-14, що вимірює та обробляє аналоговий сигнал із збереженими калібрувальними коефіцієнтами, виконує аналого-цифрове перетворення та видає цифровий сигнал з даними про температуру та вологість. Датчик має 4 зовнішні контакти:

- контакт VCC забезпечує живлення датчика; при напрузі живлення 5 В датчик необхідно розташовувати на відстані не більш 20 метрів від джерела живлення, а при напрузі живлення 3,3 В довжина дротів не повинна перевищувати 1 м, щоб падіння напруги в лінії не призводило до помилок вимірювань;
- контакт Data використовується для зв'язку між датчиком та МК;
- контакт NC не використовується;
- контакт GND має бути підключений до загального.

Датчики DHT11 має власний однодротовий протокол, який використовується для передачі даних. Цей протокол вимагає точної синхронізації, що забезпечується програмним чином.

Блок управління реакції на перенагрівання МК відповідає за реакцію і запуск на виконання певних функцій при поданні сигналу на певні входи або ж по якійсь внутрішній події (наприклад зміні стану лічильника таймера). Під кожне переривання розробляється і записується в пам'ять окрема підпрограма.

Напруга живлення подається на виведення МК VCC і GND верхня межа рекомендованої напруги живлення складає 5,5В, абсолютний максимум - 6В, тривала робота при такій напрузі може вивести МК з ладу [29].

Для пригнічення високочастотних перешкод в ланцюзі живлення + 5 В встановлено керамічний конденсатор C1 ємністю 0.1мкФ між VCC і GND.

Причому розташовуватися він повинен як можна ближче до живлячих контактів МК для мінімізації паразитної індуктивності і опору провідників. ATmega328P має подвійне живлення: виведення VCC і GND використовуються для живлення цифрових схем МК; AVCC і GND - для живлення аналого-цифрового перетворювача. Тому для використання вбудованого АЦП для обробки сигналів сенсора озону до нього підведене живлення так, щоб з'єднати контакт VCC з AVCC, а цифрову землю з аналоговою.

Контакт Reset використовується для генерації сигналу скидання МК. Під час скидання усі регістри введення-виведення набувають своїх початкових значень і виконується команда, розташована у векторі скидання (за нульовою адресою). Як правило, це перехід на адресу початку програми.

Вихід МК PD2 використовується для керування процесом підготовки до вимірювань і калібрування сенсора озону шляхом створення керуючої напруги на заслоні транзистора VT1, що виконує функцію керованого джерела струму.

Для з'єднання МК з контролером BLE (DD2) використовується інтерфейс UART (контакти TXD і RXD DD1). У розробленій схемі датчика для реалізації бездротового каналу передавання даних використано інтегральну схему (ІС) CC2541 [30], що забезпечує функціонування зв'язку за протоколом BLE на частоті 2,4 ГГц. У своєму складі DD2 поєднує основні функції радіопередавача, який керується контролером з архітектурою 8051, має вбудовану флеш – пам'ять і 8 КБ оперативної пам'яті. Також ІС характеризується підтримкою багатьох інтерфейсів з'єднання з іншими джерелами даних, низьким часом передавання, що обумовлює знижену потужність, споживається від джерела живлення + 3.3 В.

Крім того контролер BLE забезпечує конфіденційність даних, що передаються, шляхом шифрування за стандартом AES [20] за допомогою 128 – бітного ключа.

Для функціонування контролера DD2 необхідно забезпечити два джерела синхроімпульсів з частотою 32.7 кГц і 32 МГц. Це викликано потребою у роздільному тактуванні вбудованого АЦП і високопродуктивного

обчислювального ядра. У розробленій схемі такі функції реалізуються зовнішніми генераторами НЧ і ВЧ відповідно на кварцових резонаторах ZQ2 і ZQ3 з конденсаторами C21, C24 і C22, C25.

Конденсатори C10 – C16 використовуються для фільтрації перешкод, які надходять до аналогових і цифрових контактів живлення Avd і Dvd і повинні бути фізично як найближче розташовані до них.

Радіосигнал з виходів RF_P і RF_N контролера DD2 через фільтруючі конденсатори C18, C20 коливальні контури з L1, C17 і L2, C23 надходить на передавальну антену.

Так як МК і контролер BLE мають завдяки різним напругам живлення різні рівні інтерфейсу UART, то для їх узгодження пасивний ділльник на резисторах R3 – R5 за лінією RXD і активний ділльник на резисторах R4, R6 і транзисторі VT2.

Живлення сенсора озону, датчика вологості і температури, а також МК надходить через контакт XS1 від зовнішнього джерела напруги + 5В. Щоб забезпечити живленням напругою 3,3 В контролер BLE використано ІС стабілізатора NCP1117-DT33 [31] DA1, разом с фільтруючими конденсаторами C6, C7, C9.

2.3 Розробка програмного коду керування мікроконтролером датчика

Для керування мікроконтролером датчику озону з бездротовим каналом передавання даних на мові C++ було розроблено програмний код, що наведено у Додатку Б, а блок-схема якого показана на рис. 2.5.

Спочатку програми ініціалізуються сенсори датчика шляхом завдання портів підключення до МК, швидкості передавання даних

```
#define DHT11_PIN 8  
MQ131.begin(2,A0, HIGH_CONCENTRATION, 1000000)  
dht.begin()
```

Serial.begin(115200)

і очищення попередніх результатів вимірювань

float lastRsValue = 0;

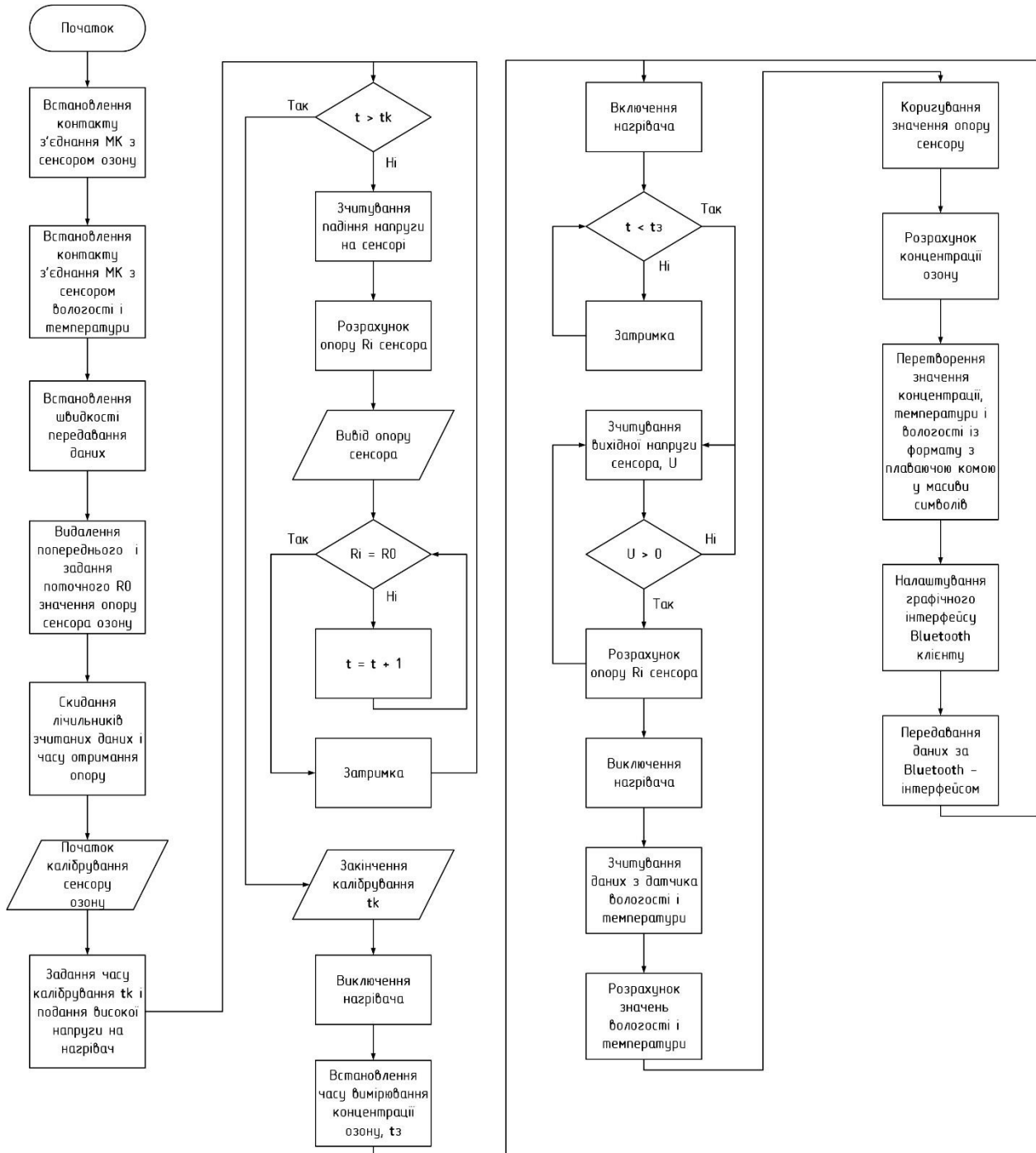


Рисунок 2.5 – Блок-схема алгоритму керування мікроконтролером датчика

float lastLastRsValue = 0;

```
uint8_t countReadInRow = 0;
uint8_t count = 0.
```

На наступному етапі здійснюється калібрування опору сенсору озону за допомогою процедури *MQ131.calibrate()*. Цей процес передбачає встановлення високого рівня напруги на вході схеми керування нагрівачем чутливого елемента сенсору

```
digitalWrite(pinPower, HIGH);
secLastStart = millis()/1000;
```

і зчитування падіння напруги, через значення якої перераховується опір

```
uint16_t valueSensor = analogRead(pinSensor);
float vRL = ((float)valueSensor) / 1024.0 * 5.0;
float rS = (5.0 / vRL - 1.0) * valueRL;
return rS.
```

Така процедура здійснюється доти, поки перерахована величина не буде дорівнювати паспортному опору сенсора. На закінченні процедури калібрування генерується сигнал, що вимикає нагрівач і за показниками лічильника фіксується час, яких необхідний для підготовки датчика до використання

```
digitalWrite(pinPower, LOW);
secLastStart = -1.
```

Процес отримання і обробки сигналів сенсора озону передбачає використання процедури *MQ131.sample()*, після звернення до якої виконуються дії перевірки, що встановлені опір сенсора і час його нагріву

```
valueRL = _RL;
if(secLastStart < 0) {
return false;
}.
```

На наступному кроці знов вмикається напруга нагрівання

```
digitalWrite(pinPower, HIGH);
secLastStart = millis()/1000;
```


і циклічно перевіряється умова рівності поточного часу значення часу, який потрібний для виведення датчику у робочий режим

```
while(!isTimeToRead()) {
delay(1000);
};
```

Надалі падіння напруги на сенсорі дискредитується вбудованим аналого-цифровим перетворювачем і перераховується у значення опору, яке використовується для розрахунку концентрації озону:

```
uint16_t valueSensor = analogRead(pinSensor);
float vRL = ((float)valueSensor) / 1024.0 * 5.0;
if(!vRL) return 0.0f;
float rS = (5.0 / vRL - 1.0) * valueRL;
return rS; .
```

На рис. 2.3 показано, що на точність визначення концентрації озону у повітрі впливає його температура та вологість. Тому відповідно до результатів апроксимації впливу температури і вологості повітря на зміну опору сенсора MQ-131, було визначено аналітичні рівняння і коефіцієнти корекції даних вимірювань. З метою програмного здійснення корекції у датчику застосовано сенсор DHT11, данні з якого

```
float h = dht.readHumidity();
float t = dht.readTemperature();
```

на наступних кроках програмного коду використовуються для визначення рівнянь перерахунку опору сенсора озону:

```
temperatureCelsius = t;
humidityPercent = h;
float MQ131Class::getEnvCorrectRatio() {
if(humidityPercent == 60 && temperatureCelsius == 20) {
return 1.0;
}
if(humidityPercent > 75) {
```

```

return -0.0103 * temperatureCelsius + 1.1507;
}
if(humidityPercent > 50) {
return -0.0119 * temperatureCelsius + 1.3261; .

```

Для розробки інтерфейсу передавання результатів вимірювання концентрації озону, температури і вологості повітря використано структуру RemoteXY [32], до якої вставлені змінні, що використовується графічним інтерфейсом віддаленого користувача (рис. 2.6).

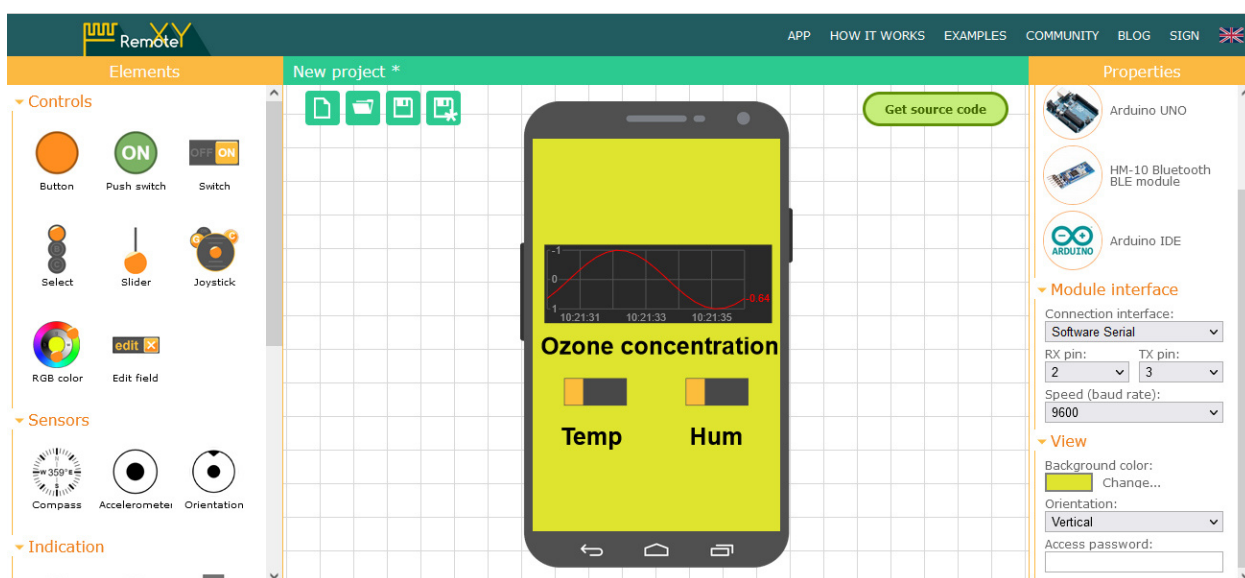


Рисунок 2.6 – Візуальний інтерфейс віддаленого клієнта даних бездротового датчика озону у середовищі розробки RemoteXY

Т. ч., розроблений програмний код МК датчика озону дозволяє підвищити безпеку вимірювань і зручність їх використання у складі озонаторних станцій.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ДАТЧИКА ОЗОНУ З БЕЗДРОВОТИМ КАНАЛОМ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ

3.1 Моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору озону

Дослідження розробленого датчика озону з бездротовим каналом передавання даних виконувалось шляхом моделювання у середовищі Proteus [33]. Завдання для моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору озону наведено на рис. 3.1.

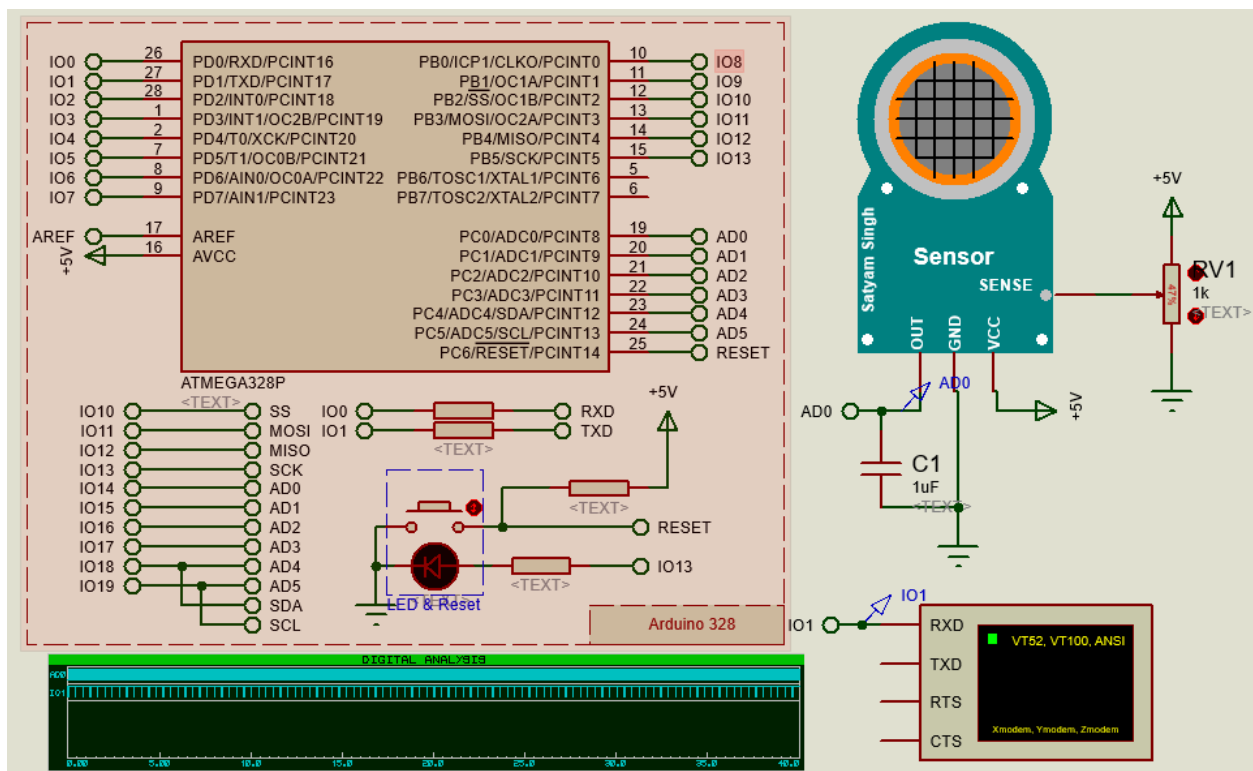


Рисунок 3.1 – Завдання для моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору озону

У завданні для моделювання використано модель сенсору озону, керується бінарним файлом MQ131.hex, що під'єднується із зовнішньої бібліотеки, розробленої для такого приладу. МК подано у вигляді контролерної плати

Arduino 328, програмний код якої на мові C++ подано на відповідній вкладинці проекту. За допомогою змінного резистору RV1 здійснюється моделювання зміни концентрації озону у повітрі. Конденсатор C1 призначено для згладжування зміни рівню вихідного сигналу сенсора, що надходить на аналоговий вхід ADC0 МК. Результати обробки вимірювальної інформації подаються на послідовний порт МК, для відображення стану якого використано віртуальний термінал. Для спостереження сигналів у розробленому завданні застосовується режим Spice – аналізу.

Результати моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору озону у вигляді епюрів сигналів на виході сенсору і послідовному інтерфейсі МК наведено на рис. 3.2 – 3.4.

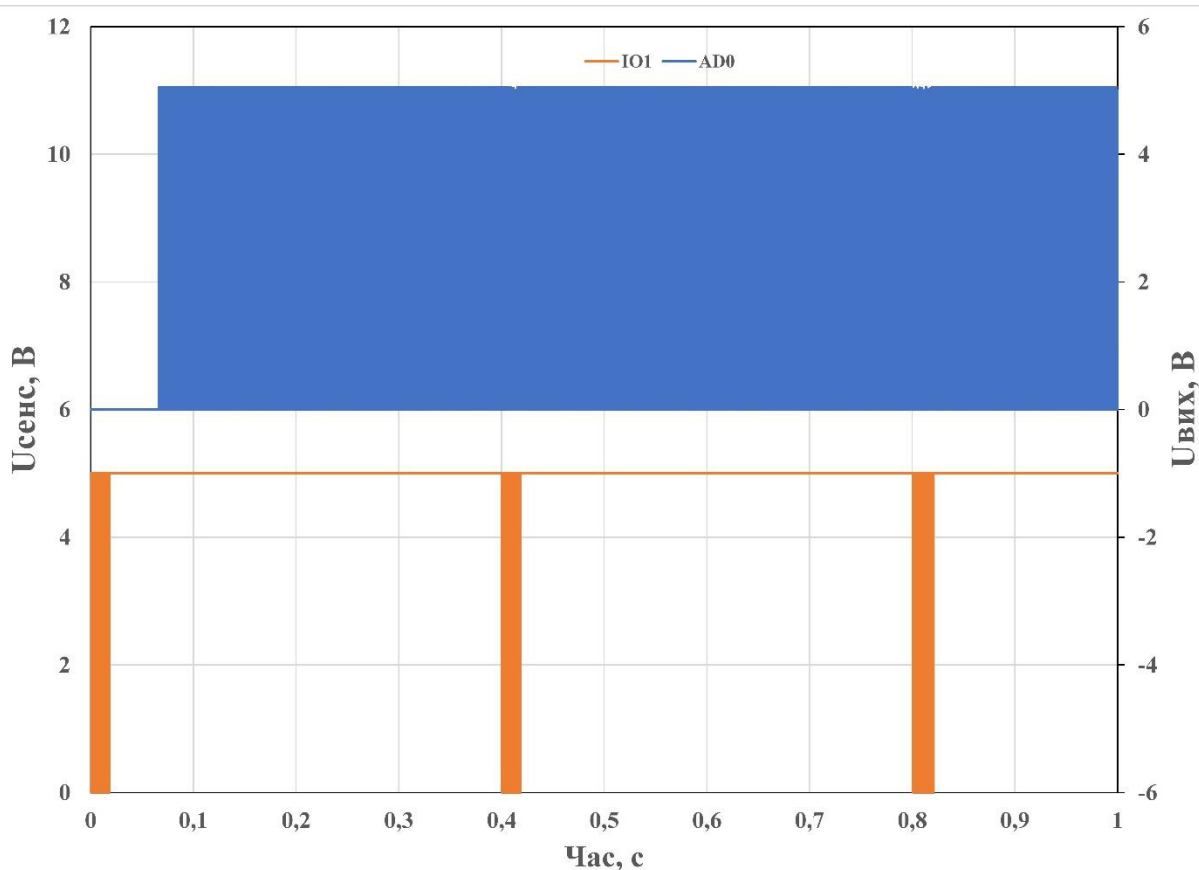


Рисунок 3.2 – Епюри сигналів на виході сенсору і послідовному інтерфейсі за час, що дорівнює 1с

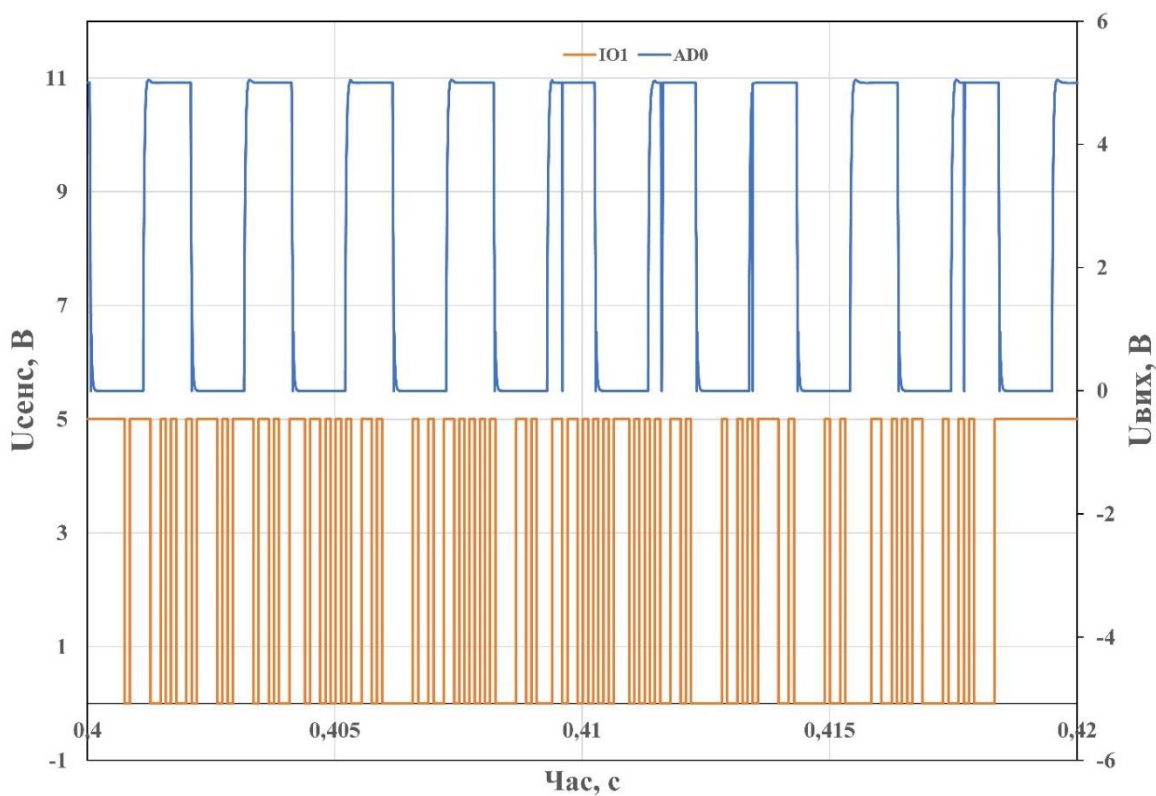


Рисунок 3.3 – Епюри сигналів на виході сенсору і послідовному інтерфейсі за проміжок часу 0,4 – 0,42 с

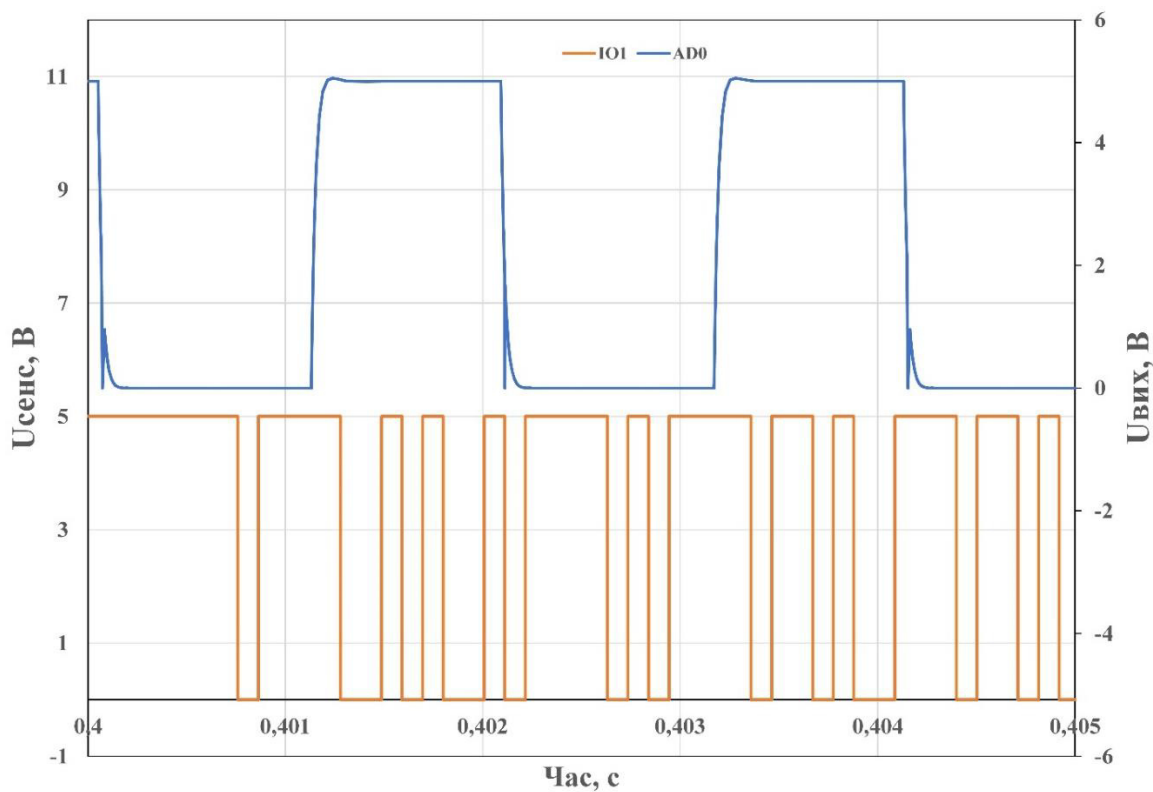


Рисунок 3.4 – Епюри сигналів на виході сенсору і послідовному інтерфейсі за проміжок часу 0,4 – 0,405 с

З рис. 3.2 – 3.4 слід, що на виході сенсору діють сигнали майже прямокутної форми амплітудою 5 В і тривалістю 1 мс. На послідовному інтерфейсі спостерігаються виключно дискретні сигнали, які відповідають ASCII кодам символів, що відображуються.

Т.ч., результати моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору озону показують, що час підготовки до вимірювань становить 70 мс, швидкість перетворення складає 15 мс.

3.2 Моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору вологості і температури

Завдання для моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору вологості і температури у середовищі Proteus наведено на рис. 3.5.

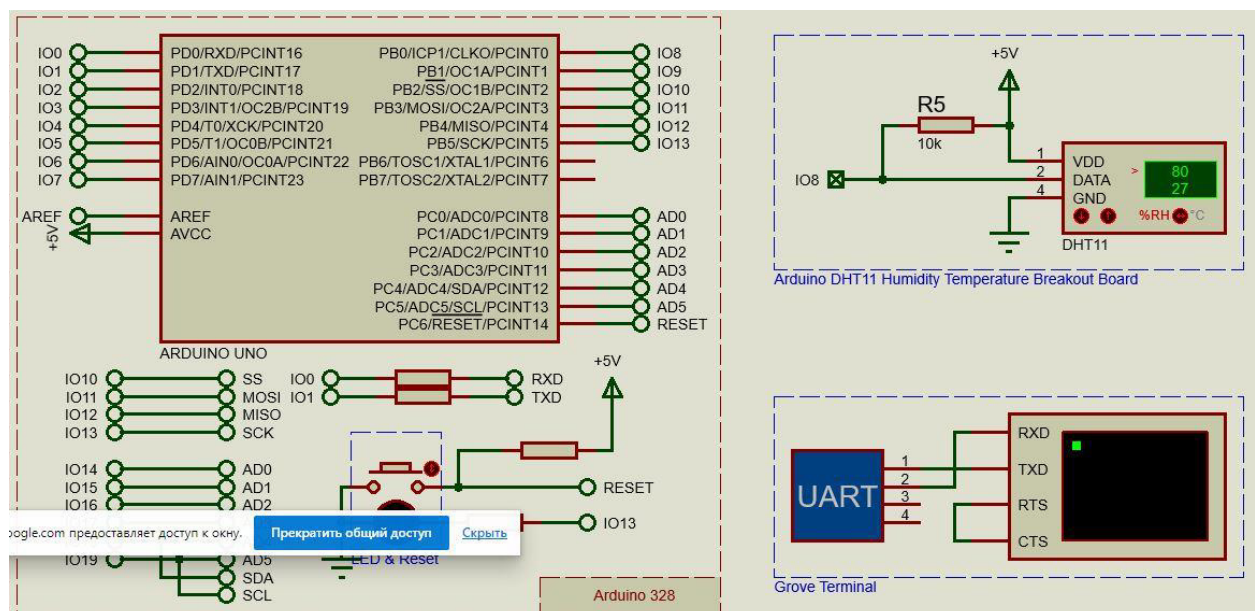


Рисунок 3.5 – Завдання для моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору вологості і температури

У завданні для моделювання використано бібліотечну модель сенсору вологості і температури DHT11, що під'єднується до МК, який подано у вигляді контролерної плати Arduino 328. Програма керування підсистемою на мові C++ подано на вкладинці «Початковий код» проекту. Вихідний цифровий сигнал сенсора, що надходить на вхід PB0 МК. Результати обробки вимірювальної інформації подаються на послідовний порт МК, для відображення стану якого використано віртуальний термінал. Для спостереження сигналів у розробленому завданні застосовується режим Spice – аналізу.

Результати моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору озону у вигляді епюрів сигналів на виході сенсору і послідовному інтерфейсі МК наведено на рис. 3.6 – 3.8.

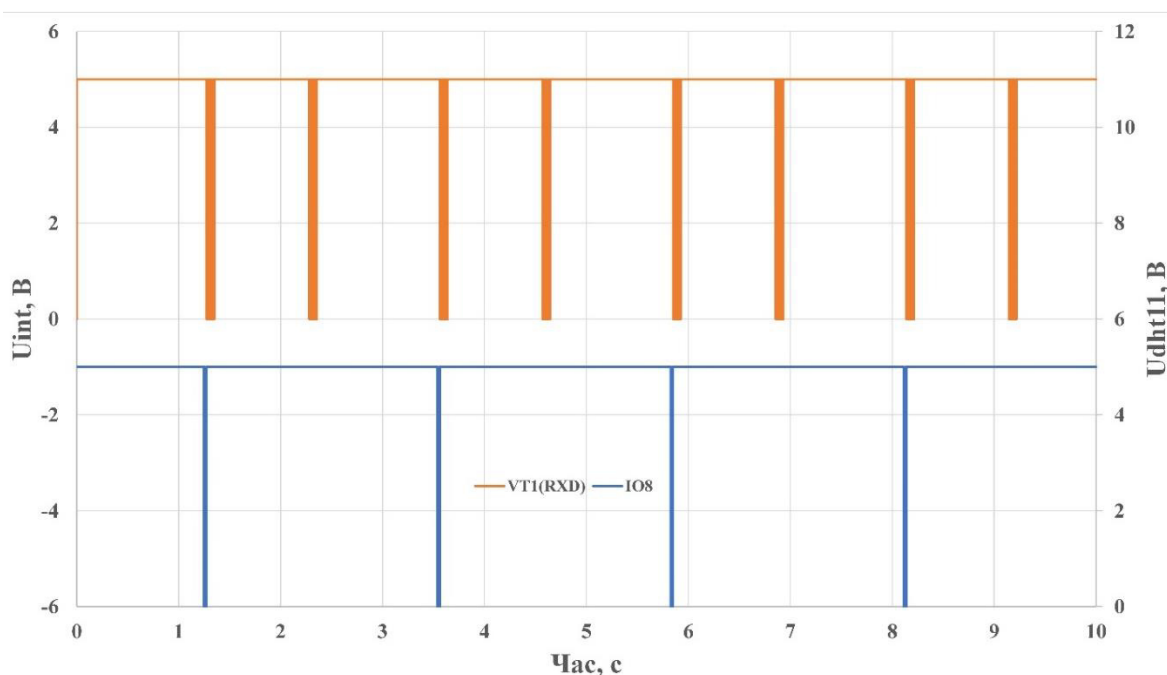


Рисунок 3.6 – Епюри сигналів на виході сенсору і послідовному інтерфейсі за час, що дорівнює 10 с

З рис. 3.2 – 3.4 слід, що на виході сенсору діють цифрові сигнали амплітудою 5 В і тривалістю 1 мс. На послідовному інтерфейсі спостерігаються

виключно дискретні сигнали, які відповідають ASCII кодам символів, що відображуються.

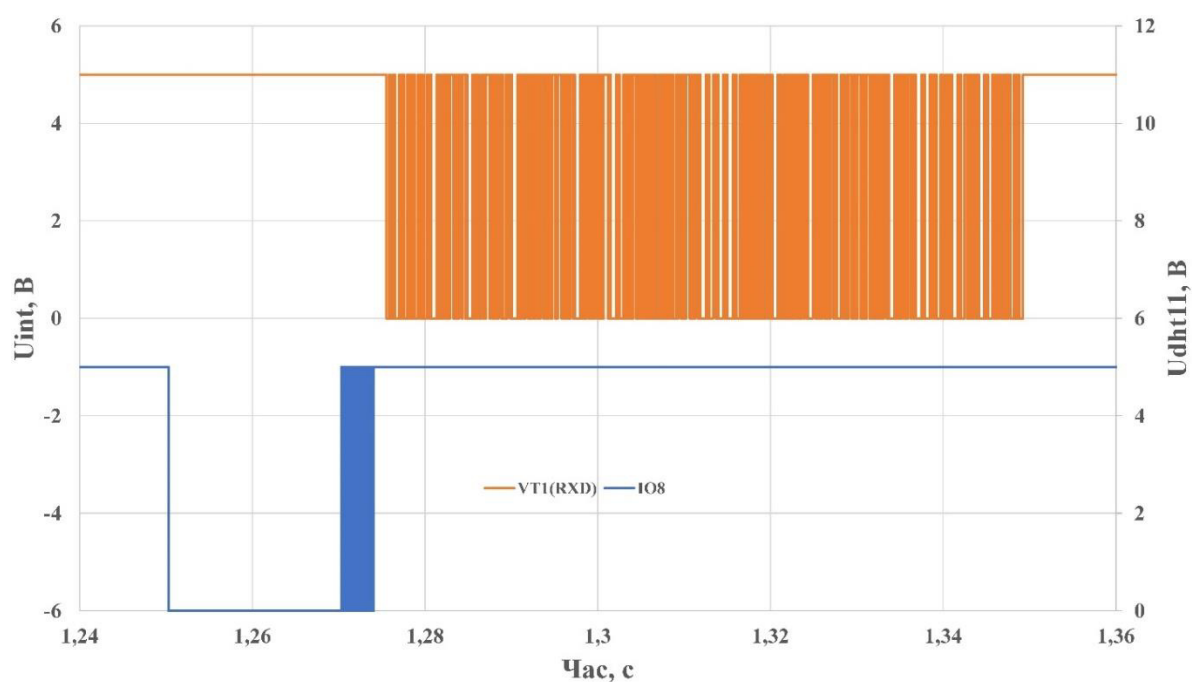


Рисунок 3.7 – Епюри сигналів на виході сенсору і послідовному інтерфейсі за проміжок часу 1,24 – 1,36 с

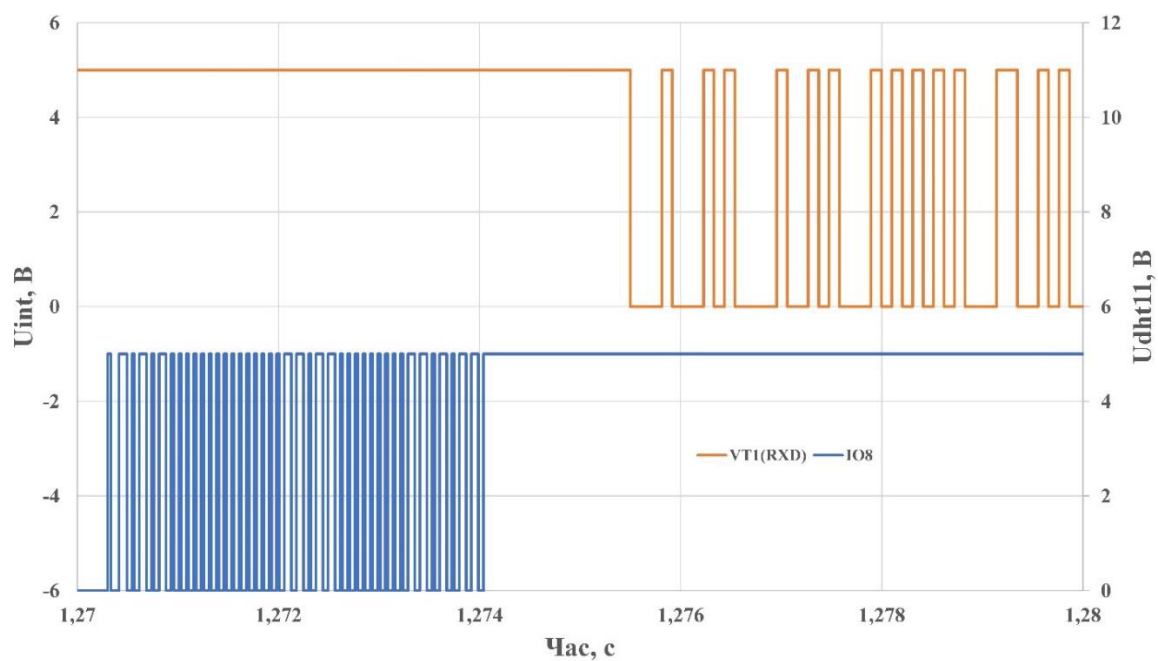


Рисунок 3.8 – Епюри сигналів на виході сенсору і послідовному інтерфейсі за проміжок часу 1,27 – 1,28 с

Т.ч., результати моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору вологості і температури показують, що час підготовки до вимірювань становить 1,2 с при затримці вимірювань на рівні 3.8 мс і швидкодії перетворення 1,3 мс. Тому при розробці керуючого коду МК датчика озону необхідно насамперед виконувати ініціалізацію сенсора вологості і температури, після чого здійснити ініціалізацію і калібрування сенсору озону.

3.3 Дослідження каналу передавання даних датчику

Дослідження каналу передавання даних датчика озону проведено шляхом моделювання системи передачі даних у програмі VisSim Com 5.0 [34]. При цьому було використано наступні моделі:

1) модель, що імітує канал із завмиранням сигналу, характерного при зв'язку з рухомими об'єктами і викликаними ефектами Релея, тобто підсумовування багаторазово відбитих комплексних синусоїд (рис. 3.9);

2) модель, що імітує канал з завмираннями сигналу викликаними ефектами Доплера, тобто девіацію несучої частоти (рис. 3.10).

Також перша модель відрізняється від другої моделі тим що завмирання мають мультиплікативний, а не адитивний характер, тобто складається, а не перемножується з вхідним сигналом.

Завдання для дослідження каналу зв'язку з адитивним завмиранням сигналу містить блок 6, що імітує канал передачі даних з параметрами:

- кількість термів становить 8;
- максимальна частота Доплера - 5Гц.

На вхід каналу подається сигнал від джерела 5 перетворений блоками комплексування 7 з виходу блоку каналу 6 сигнал подається на блоки 11, 9, 4. Блок 11 визначає модуль сигналу відображається у вигляді осцилограм на екрані плотеру сигнал Fading. Запис осцилограм виконується протягом 250 умовних с моделювання. Блок 9 вимірює середню потужність сигналу через 10с,

після початку моделювання, що задається за допомогою блоку одиночного імпульсу 10.

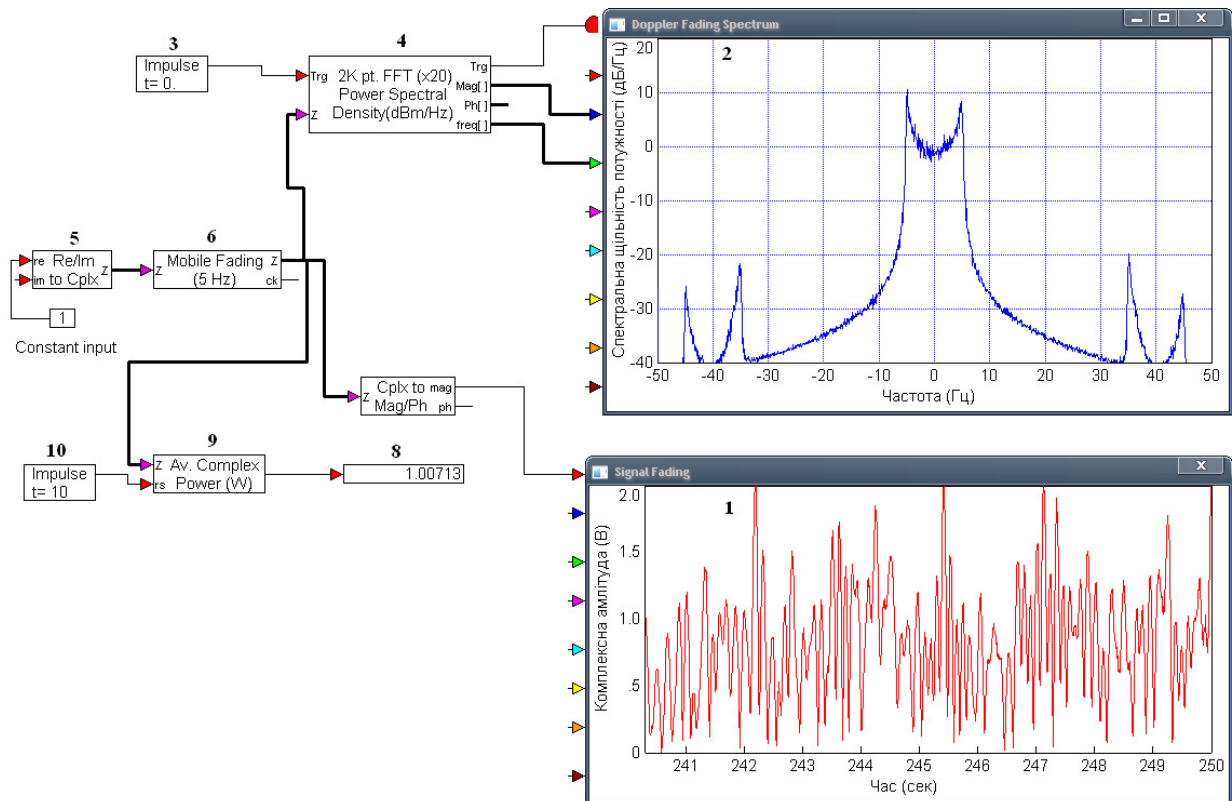


Рисунок 3.9 – Завдання для моделювання каналу зв'язку з адитивним за-
вмиранням сигналу

Результати вимірювання середньої потужності сигналу відображаються блоком 8. Блок 4 виконує пряме перетворення Фур'є сигналу каналного спектру сигналу, що наводиться у вигляді осцилограми (Fading спектрометром) спектральної щільності потужності. Результати дослідження каналу з адитивним завмиранням сигналу. показані на рис. 3.11.

При цьому середня потужність сигналу на виході каналу складає 1,00262 дБ/Гц.

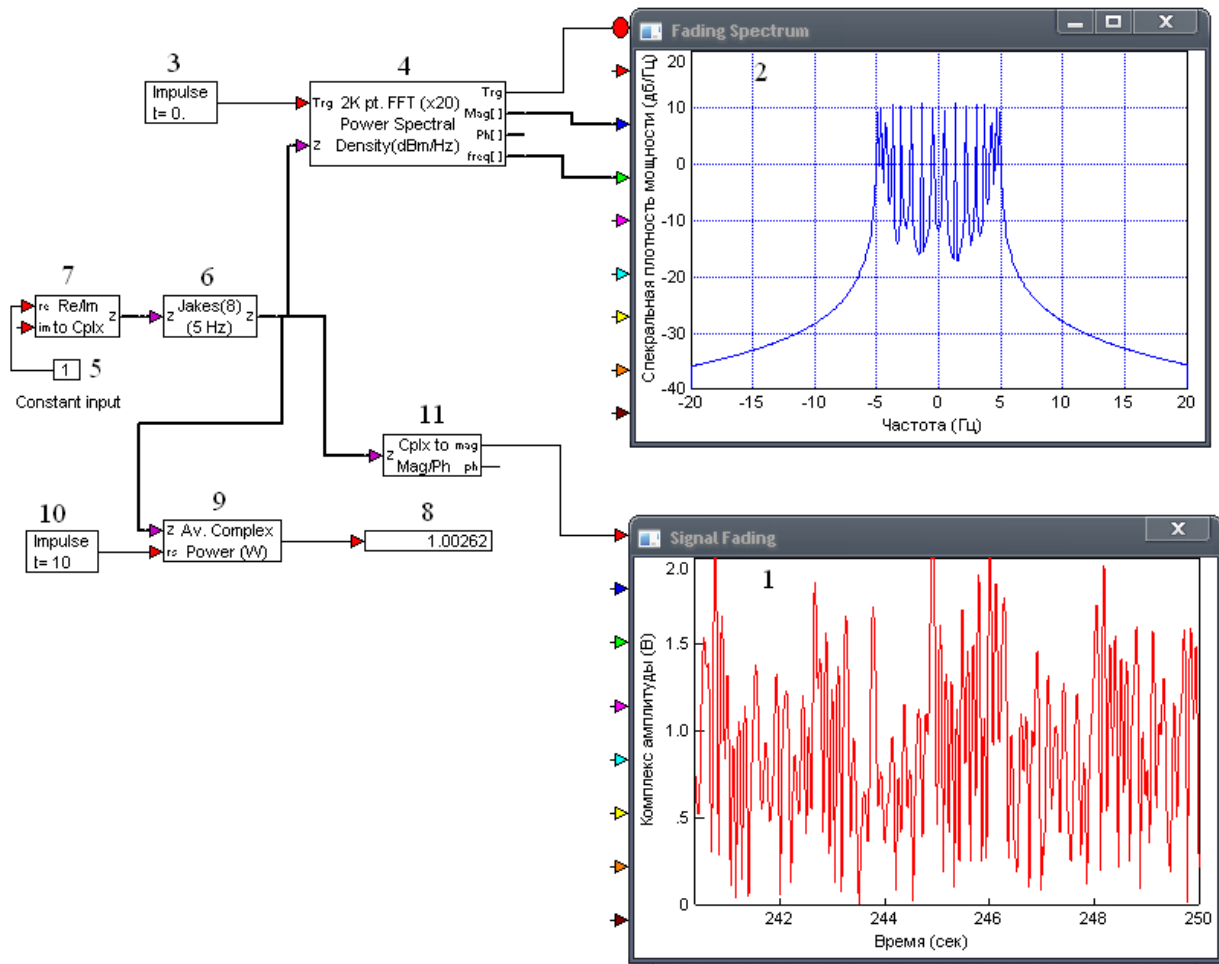


Рисунок 3.10 – Завдання для моделювання каналу зв'язку з мультиплікативним завмиранням сигналу

Завдання для моделювання каналу зв'язку з мультиплікативним завмиранням сигналу показана на рис. 3.10 і містить модель каналу 7 (Mobile Jakes) з наступними параметрами:

- кількість вибірок внутрішнього FIR фільтра 128;
- зсув доплеровської частоти - 5Гц.

Призначення інших блоків аналогічно моделі 1.

Результати дослідження каналу з мультиплікативний характером завмирання сигналу показані на рис. 3.12. При цьому середня потужність сигналу на виході каналу складає 0,970809 дБ/Гц.

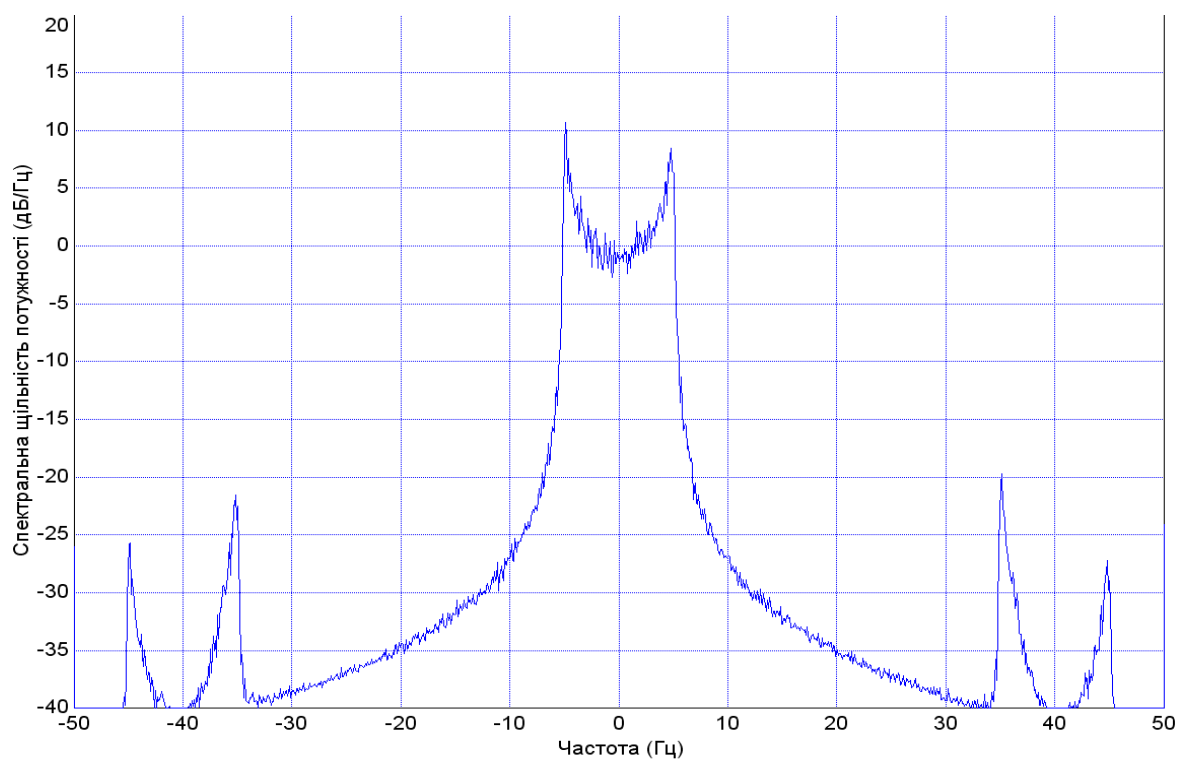


Рисунок 3.11 – Спектральна щільність потужності в каналі з адитивним завмиранням сигналу

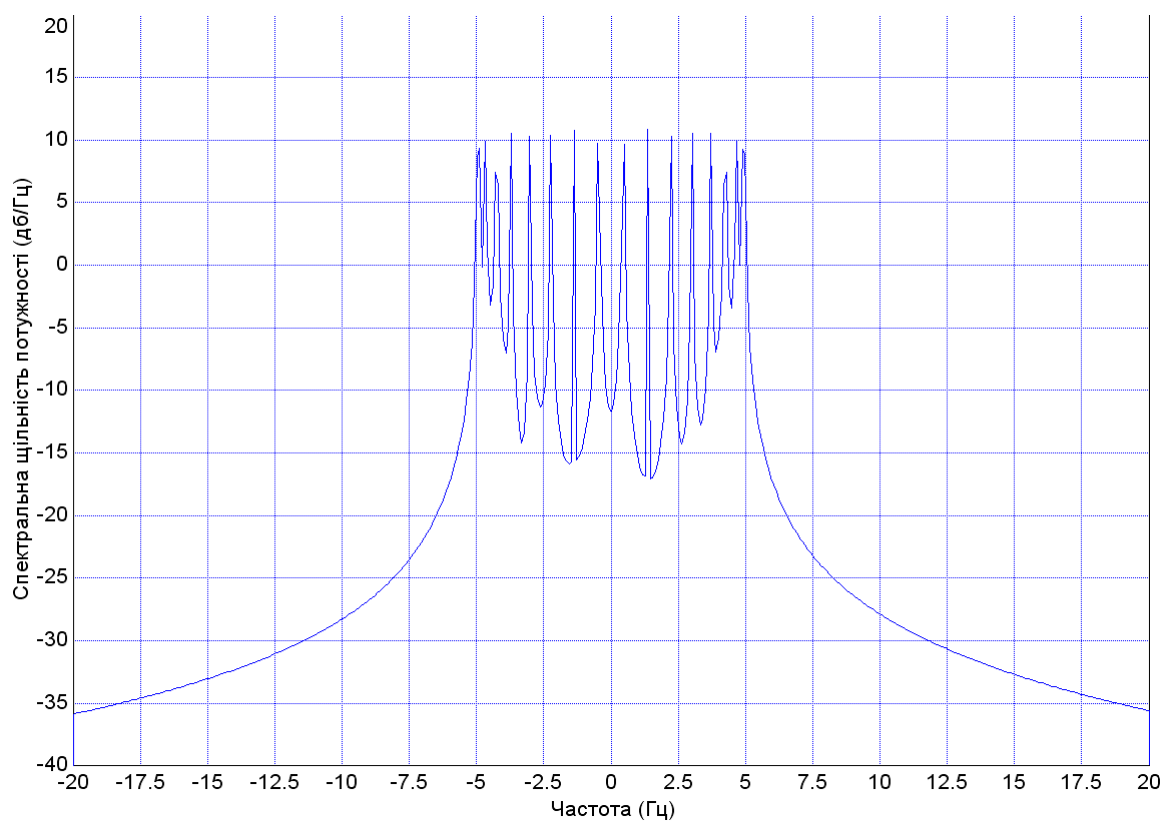


Рисунок 3.12 – Спектральна щільність потужності в каналі з мультиплікативним завмиранням сигналу

Аналіз результатів моделювання (рис. 3.11, 3.12). дозволяє зробити наступні висновки:

- середня потужність на виході каналу з мультиплікативний характером завмирання сигналу (0,970809 дБ/Гц) дещо нижче, ніж у каналу, навіть за умови що пікове значення сигналу на його виході значно менше;

- при одному і тому ж значенні доплеровської частоти (5 Гц) спектр каналу з мультиплікативний каналом завмирання сигналу ширший що обумовлено вкладом «бічних гармонік».

4 РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ДАТЧИКУ ОЗОНУ

4.1 Обґрунтування обрання інструментарію розробки друкованої плати датчика озону

На сьогоднішній день існує досить велика кількість систем автоматизованого проектування (САПР) друкованих плат. Серед них є як системи початкового рівня, так і промислові. Будь-яка САПР друкованих плат є складним комплексом програм, що забезпечує наскрізний цикл, починаючи з створення принципової схеми і закінчуючи генерацією керуючих файлів для обладнання виготовлення фотошаблонів, свердління отворів, складання та контролю електричних з'єднань [35].

Пакет Expedition PCB компанії Mentor Graphics представляє зараз найбільш потужне рішення у галузі проектування плат [36]. Основу системи становить середовище AutoActive, що дозволяє реалізувати такі функції, як передтопологічний аналіз цілісності сигналів, інтерактивне та автоматичне трасування з урахуванням вимог високочастотних плат та спеціальних технологічних обмежень, що накладаються за допомогою сучасної елементної бази. У цього програмного забезпечення (ПЗ) можливо відзначити лише один недолік - його високу вартість.

Інший продукт цієї ж компанії, система PADS PowerPCB пропонує більш дешеве рішення. Ця система має найкращий автотрасувальник BlaseRouter, який підтримує всі необхідні при трасуванні високочастотних плат функції. Пакет має модулі передтопологічного (HyperLinks LineSim) і посттопологічного (HyperLinks BoardSim) аналізу, що взаємодіють із системою контролю обмежень. Наразі ці модулі покращені за рахунок впровадження в них оригінальних алгоритмів моделювання.

Далі за потужністю запропонованих рішень йде компанія Cadence. Для верхнього рівня проектування пропонується пакет PCB Design Studio. Як

редактор друкованих плат тут використовується програма Allegro, що дозволяє розробляти багатошарові та високошвидкісні плати з високою щільністю розміщення компонентів. У якості основного модулю авторозміщення та автотрасування тут використовується програма SPECCTRA, керована великим набором правил проектування та технологічних обмежень. Аналіз електромагнітної сумісності топології плати виконується за допомогою спеціального модуля SPECCTRAQuest SI Expert, для попереднього аналізу проекту та підготовки наборів правил проектування використовується модуль SigXplorer.

Інший продукт компанії Cadence, пакет OrCAD може розглядатись як більш легке та дешеве рішення для проектування друкованих плат. Останнім часом продукт майже розвивається. Такий пакет позиціонується як пріоритетна система введення проектів та моделювання: модулі Capture CIS та PSpice зараз поставляються у складі пакету PCB Design Studio. В останню версію системи OrCAD увійшли нові можливості синтезу та моделювання цифрових логічних схем NC Sim. Редактор друкованих плат OrCAD Layout має три різні конфігурації із різними функціональними можливостями. У проекті плати тут може бути до 30 шарів, 16 з яких можуть бути сигнальними. Також у складі САПР є вбудовані засоби авторозміщення та автотрасування, а також інтерфейс із програмою SPECCTRA.

З появою Altium Designer компанія Altium Limited принципово змінила технологію проектування, моделювання та налагодження електронних пристроїв у загальному процесі розробки електроніки: вона надала всім розробникам електроніки можливість використовувати весь потенціал сучасного покоління програмованих пристроїв для створення високоінтелектуального обладнання в найкоротші терміни, незалежно від базового знання основ ПЛІС та мов програмування HDL. На відміну від багатьох аналогічних систем сторонніх виробників, які розглядають розробку електронних пристроїв як покрокову роботу в декількох продуктах, Altium Designer [37] поєднує схемну, програмну та апаратну частини в єдиній оболонці.

Попередні системи з лінійки Altium Designer мали назву Protel. У цій системі робота над проектами важливих схем і друкованих плат ведеться в інтеграції з програмуванням цифрових пристроїв на рівні ПЛІС в єдиній оболонці Design Explorer, що управляє. Altium Designer реалізує такі можливості, як трасування диференціальних сигналів від схемного рівня до рівня топологій друкованих плат, свапування пінів на рівні інтегрованих проектів ПЛІС і друкованих плат, технології управління бібліотеками та генерації звітів Bill of Materials, підтримка інтерфейсу з бібліотекою OrCAD Capture CIS (Component Information Systems), підтримка PSpice моделей та інш.

Але система P-CAD більше не розвивається і остання її версія, яка далека від повноцінної системи проектування немає навіть власного автоматичного трасувальника друкованих плат (роутер). Розводити друковані плати доводилося, використовуючи зовнішні трасувальники SPECCTRA, Situs або просто вручну, що далеко не завжди можливо.

В Altium Designer введена підтримка Viper C-Compiler компілятора та CrossView debugger для ARM процесорів та підтримка ПЛІС Xilinx MicroBlaze та Cyclone II сімейства Altera.

Важливою відмінністю Altium Designer від P-CAD є розробка принципової схеми та друкованої плати електронного пристрою в рамках одного проекту, файли якого пов'язані між собою. Тобто, наприклад, зміна номіналу резистора, що вноситься на друковану плату, автоматично викликає його зміну на важливій схемі. Це спрощує і прискорює розробку електроніки, позбавляє необхідності вносити виправлення в кілька файлів, а в результаті - оберігає розробника від потенційної можливості припуститися помилки.

Altium Designer має множину якісних бібліотек елементів зі зручним пошуком по них. У P-CAD така можливість практично відсутня, і розробник часом повинен витрачати зайвий час на пошук потрібного компонента, і розробка електроніки значно розтягується за часом.

Ще одна корисна функція Altium Designer дозволяє побачити 3D-модель друкованої плати, що розробляється. У цьому режимі можливо переміщувати

компоненти плати. Особливо успішно застосування цієї функції для випадків розташування одних компонентів під іншими. При спробі перетягнути один компонент, з габаритами більше допустимих, під інший компонент, що нависає зверху, програма підсвічує компонент, що переміщається, і вказує, що виконується його переміщення в неприпустиме простір.

Ще один досить потужний і найпопулярніший у світі продукт – Visula [35] компанії Zuken. Продукти цієї компанії забезпечують наскрізний цикл проектування та пропонують потужні засоби моделювання та синтезу програмованої логіки з подальшою розробкою друкованої плати. Тут присутній стандартний набір інструментарію, а також власні засоби авторозміщення та автотрасування. Слід зазначити, що компанія Zuken також пропонує користувачам інтегровані засоби тривимірного твердотілого моделювання пристроїв, що розробляються.

KiCAD – програмний комплекс з відкритими вихідними кодами, призначений для розробки електричних схем та друкованих плат [38]. Складається з кількох модулів.

EESchema - це графічний редактор розробки принципових електричних схем, що входить до складу системи автоматизованого проектування друкованих плат KiCAD для операційних систем типу Linux і Windows. Незалежно від операційної системи створювані файли схем повністю сумісні.

EESchema - інтегрована програма: з неї викликаються всі функції управління, обслуговування бібліотек, малювання та компоновання схеми та переходу до розробки друкованої плати. Вона припускає ієрархічну розробку багатосторінкових схем.

EESchema працює спільно з графічним редактором проектів друкованих плат та трасування провідників PCBNEW, для якого вона надає файл netlist, що описує електричні з'єднання для розробки друкованої плати. EESchema також включає редактор зображень компонентів (символів елементів схем) LibEdit, який дозволяє створювати, редагувати та переглядати компоненти, та

підтримувати бібліотеки символів (операції імпорту, експорту, додавання та видалення компонентів бібліотеки).

EESchema додатково виконує такі, важливі для сучасного програмного забезпечення розробки схем, функції:

- автоматизована перевірка правильності схеми (DRC) - контроль за правильністю введення компонентів та з'єднань, невідключеними компонентами та ін.;
- генерація креслень схем у форматах POSTSCRIPT, HPGL чи DXF;
- роздрук схем на локальному принтері;
- формування переліку матеріалів;
- формування списків ланцюгів (netlist) для моделювання електричної схеми проекту та проектування друкованої плати.

PCBNEW – це потужна програма для створення друкованих плат (printed circuit board), що працює з різними сімействами операційних систем. Вона використовується разом із програмою розробки схем (schematic capture) EESCHEMA, яка на виході, крім малюнка електричної схеми, формує список електричних кіл (Netlist-файл), що описує електричні з'єднання розробки друкованої плати (PCB). Програма CVPCB при цьому використовується для призначення кожного компонента Netlist, отриманому в EESCHEMA, модулю, який використовується в PCBNEW. Це може бути зроблено або інтерактивно або автоматично, використовуючи еквівалентність файлів.

PCBNEW керує бібліотеками модулів. Кожен модуль - це плоский образ посадкового місця (ПМ) фізичного компонента (footprint), що включає поширену геометрію контактних майданчиків, що забезпечують з'єднання з компонентом. Необхідні модулі автоматично завантажуються під час читання Netlist, що формується програмою CVPCB.

Ця програма інтегрує, автоматично та негайно, будь-які модифікації ланцюга, видаляючи помилкові доріжки, додаючи нові компоненти або модифікуючи будь-які значення (і за певних умов будь-які посилання) старих або нових модулів, згідно з електричними з'єднаннями, що з'являються у схемі.

Крім того, PCBNEW забезпечує відображення нереалізованих з'єднань (rats nest display), тонка лінія з'єднує контактні майданчики модулів, які з'єднані за схемою, але не розведені провідниками (доріжками). Ці з'єднання динамічно переміщуються разом із переміщеннями доріжок та модуля.

PCBNEW має активну перевірку правил проектування Design Rules Check (DRC), що автоматично виявляє будь-які помилки розведення в реальному часі. Вона може автоматично генерувати малюнок доріжок із (або без) термальних бар'єрів (thermal breaks) на майданчиках.

PCBNEW має просте, але ефективне авто-розведення (autorouter) для допомоги в проектуванні плат. Експорт та імпорт у формат Spectra DSN дозволяє залучати більш розвинені зовнішні програми автотрасування. PCBNEW підтримує специфічні опції для виготовлення схем НВЧ (ultra high frequency) (трапецієподібні та складної форми майданчика, автоматичне промальовування котушок...).

PCBNEW відображає елементи топології плати (провідні доріжки, майданчики, тексти, рисунки) у реальних розмірах відповідно до персональних налаштувань.

DipTrace – САПР для проектування друкованих плат, до складу якої входять наступні компоненти [39]: Schematic - розробка схем; DipTrace - створення плат, ручне та автоматичне трасування; ComEdit – редактор корпусів; SchemEdit – редактор компонентів.

DipTrace містить мінімальну кількість керуючих елементів - що відображають основні функції, при цьому перехід у більшість режимів, таких як вибір, переміщення, створення зв'язків, редагування трас здійснюється автоматично при спробі користувача зробити необхідну операцію.

Розробка у САПР супроводжується підсвічуванням елементів, що редагуються і залежать від них, що дозволяють наочно оцінювати ситуацію. Логічна структура принципової схеми чи плати формується одночасно при побудові та зміна одного елемента відбивається на залежних від нього.

DipTrace підтримує експорт плат у Gerber та N/C Drill. Для Gerber є можливість розмітки отворів. При експорті тексту здійснюється векторизація із заданим кроком, таким чином можна використовувати будь-який шрифт, встановлений у системі. Також підтримується векторизація та експорт у Gerber растрових чорно-білих зображень.

Також є велика кількість бібліотек корпусів та компонентів. Стандартні бібліотеки містять понад 10 тис. компонентів найвідоміших фірм-виробників.

Система має 3D попередній перегляд, причому з програмою поставляються понад 2.5 тис. 3D-моделей корпусів. Крім цього, є багатомовний інтерфейс, довідка, підручник і шаблони.

Тому для розробки топології друкованої плати датчика озону з бездротовим каналом передавання даних було обрано САПР DipTrace.

4.2 Розробка топології міжелементних з'єднань друкованої плати датчика озону

Топологія друкованої плати датчика озону розроблялася з урахуванням наступних вимог: відповідність принципів електричній схемі, задоволення всім конструктивним вимогам, що пред'являються; топологія складається так, щоб для виготовлення печатної плати потрібна найбільш проста і дешева технологія, забезпечувався заданий тепловий режим і можливість перевірки компонентів в процесі виготовлення; оцінюється вплив і індуктивних зв'язків, ємностей, на роботу схеми. Основним завданням при розробці топології є мінімізація площі, мінімізація сумарної довжини розводки і кількості перетинів в ній. Розробка топології міжелементних з'єднань друкованої плати датчика озону виконувалось у середовищі DipTrace для чого було розроблено завдання, що наведено на рис. 4.1.

При розробці плати розміщення друкованих провідників, їх ширина і відстань між були виконані у межах заданих допусків.

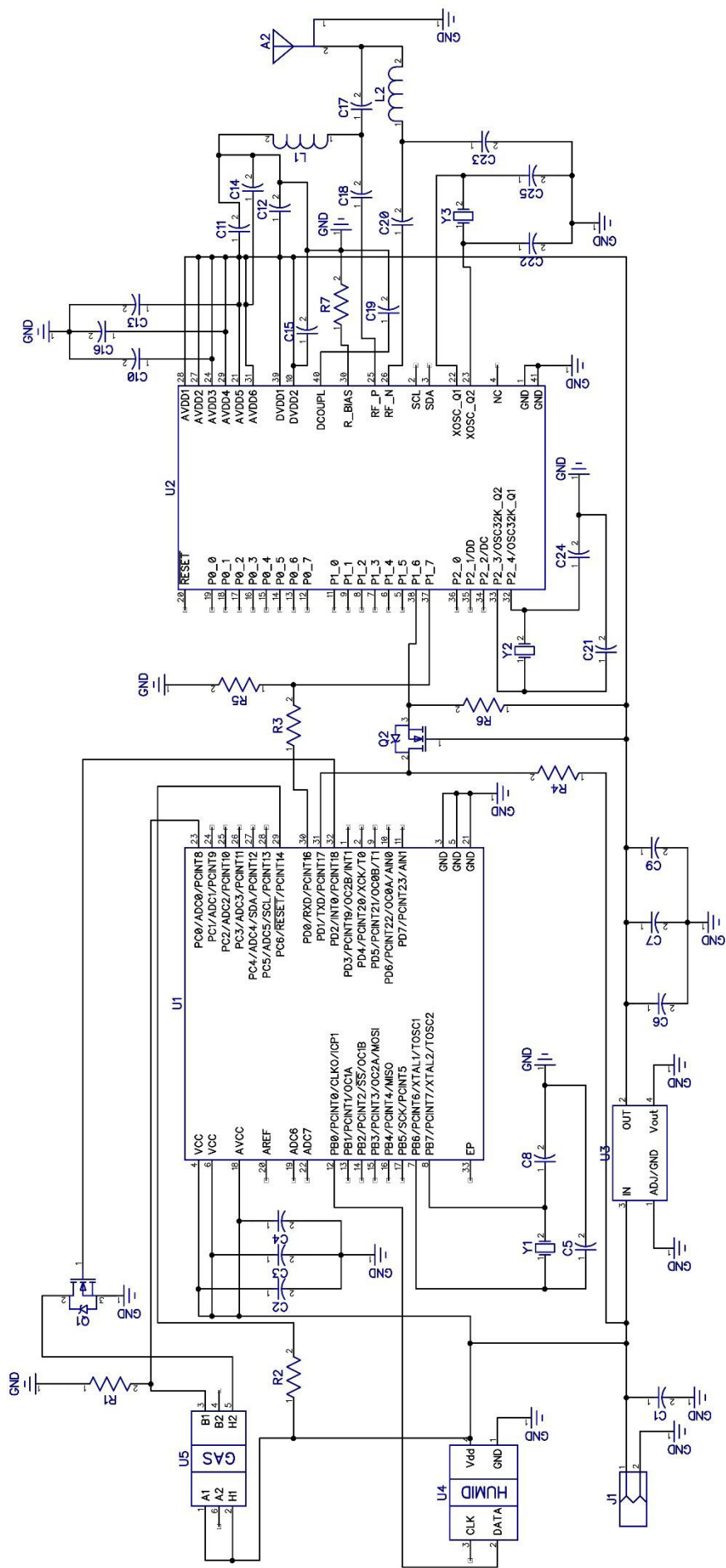


Рисунок 4.1 – Завдання для розробки топології друкованої плати датчику озону

Також провідники кіл живлення розміщувались у першу чергу, а потім провідники заземлення. Ці провідники мають максимальну ширину, так як по них проходять значні струми живлення, що викликають зворотні зв'язки.

При трасуванні застосовано два провідні шари, що розміщуються з боку встановлення елементів (додатковий шар) і з протилежного боку (основний шар). Перехід з однієї сторони на іншу відбувається з допомогою перехідних отворів. Це дозволяє отримати провідники мінімальної довжини. Екранування провідників відбувається з допомогою заземленого металевого шару. Ефективність екранування тим вища, чим ближче розміщений до провідника заземлений шар і чим вужчий сам провідник.

Провідники, що закінчуються металізованими отворами для кріплення елементів, мають навколо отворів розширення - контактну площадку круглою форми.

При двосторонньому розміщенні друковані провідники не повинні торкатися корпусів елементів, що лежать на платі. В окремих випадках провідники розміщуються під елементами (конденсаторами, резисторами, сенсорами), але при цьому між такими елементами і платою встановлюються прокладки.

Контактні площадки для мікросхем виконано у вигляді провідників прямокутної форми.

На обох сторонах плати і на всіх шарах витримується відстань між краєм провідника, контактної площадки, екрана, у тому числі краєм неметалізованого отвору, не менші ніж 1,5 - 2 мм.

В цілях зменшення кількості технологічних операцій виготовлення печатної плати і усунення паразитної ємкості, в комутаційній схемі відсутні перетини провідників. Провідники розташовані рівномірно за всією площею плати. У схемі допускаються перетини провідників з резисторами, а також з балочними виведеннями мікросхем з ізоляцією шаром діелектрика. Така конструкційна особливість не робить вплив на працездатність схеми.

Топологія друкованої плати датчика озону, що розроблена на основі цих принципів, наведено на рис. 4.2.

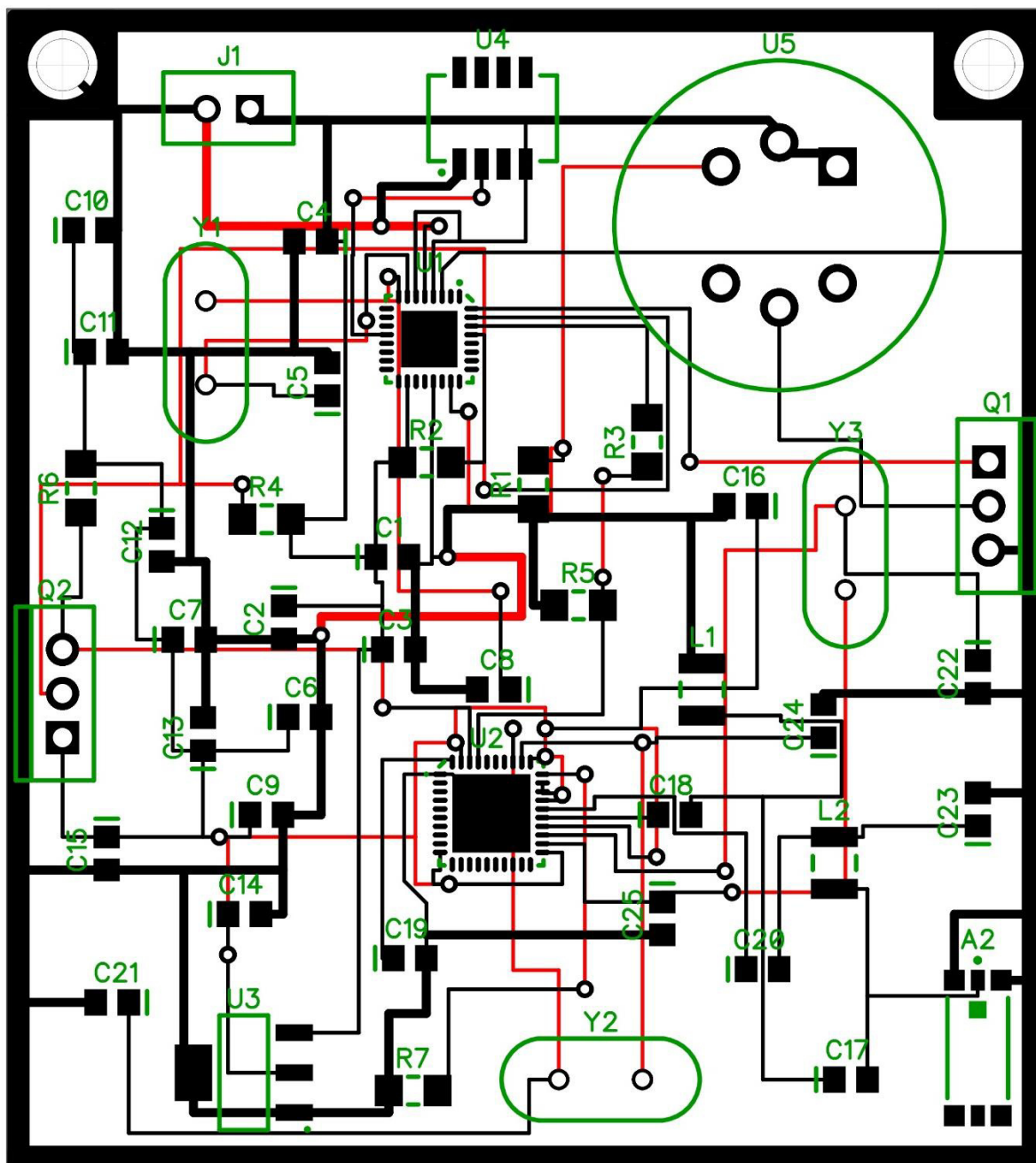


Рисунок 4.2 – Топологія друкованої плати датчика озону

Основний і додатковий комутаційні шари друкованої плати (рис. 4.3) формується методом травлення. Для запобігання браку в процесі формування

струмопровідного шару мінімальна ширина струмопровідних доріжок вибрана рівною 0,31мм; мінімальна ширина зазору між доріжками 0,31мм. За щільністю печатної плата відноситься до 3 класу точності, що дозволяє використовувати трафарети для нанесення паяльної пасти з метою паяння компонентів в печі з інфрачервоним нагріванням.

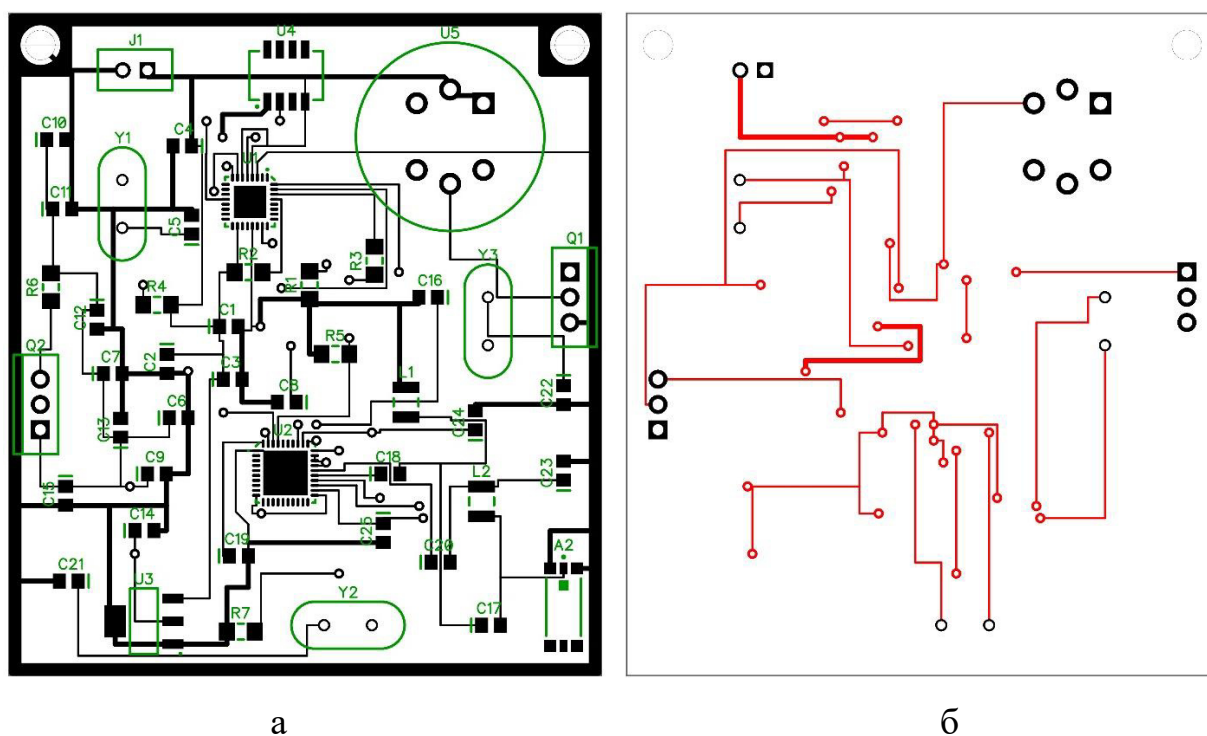


Рисунок 4.3 – Основний (а) і додатковий (б) комутаційні шари друкованої плати датчика озону

Розроблена друкована плата 3 класу точності з мідним електрично осадженим покриттям товщиною 50 мкм розрахована на максимальну напругу 25В і максимальну силу струму 240мА. Таким чином, електричні параметри не накладають обмежень на структуру топології друкованої плати. Відстань від краю плати до струмопровідної доріжки – 0,5мм.

Також було проведено тривимірне моделювання розробленої плати, результати якого наведено на рис. 4.4.

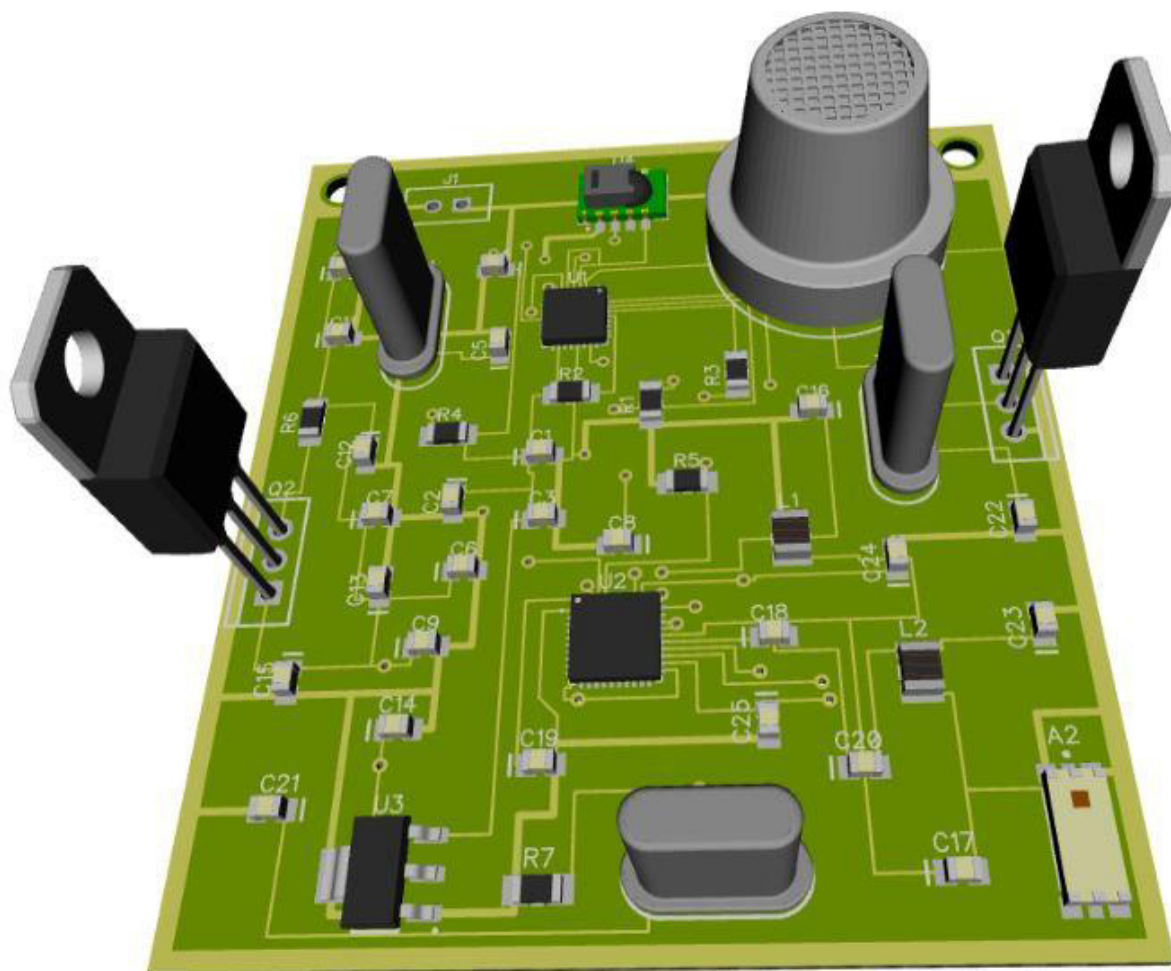


Рисунок 4.4 – Результати тривимірного моделювання друкованої плати датчика озону

Т.ч., розміри розробленої плати складають 67x70x25 мм, що показує її мініатюрність і зручність експлуатації.

4.3 Особливості технології виготовлення і складання друкованої плати датчика озону

Провідний шар друкованої плати датчика озону формується на підкладці фольгованого склотекстоліту марки СТФ-1-1 ТУ 16.503.161-77.

Очищення і знежирення підкладок перед нанесенням лаку проводиться марлевым тампоном, змоченим в ацетоні.

Виготовлення друкованих плат третього класу точності передбачає можливість нанесення лаку простим способом – нанесенням ракелем [40]. Після нанесення шару лаку слідує операція сушки, яка здійснюється в конвекційній печі при температурі 100 °С тривалістю п'ять хвилин.

Хімічне травлення незахищених ділянок мідної фольги проводиться у водному розчині хлорного заліза. Контроль тривалості травлення – візуальний. Орієнтовні параметри операції наступні: під час травлення плати в розчині температурою 50 °С – 6 хвилин, час промивання проточною водою – 2 хвилини.

Видалення лаку проводиться марлевым тампоном, змоченим в ацетоні.

Потім плата промивається проточною водою і сушать при кімнатній температурі.

Для реалізації монтажу елементів на розроблену друковану плату датчика озону використовується змішано-рознесений варіант складання, коли традиційні компоненти розташовують на лицьовій стороні, а прості чип-компоненти – на зворотній. Особливості такого процесу полягають в тому, що корпуси компонентів для поверхневого монтажу не закріплюються на поверхні друкованої плати за допомогою виводів; корпуси компонентів для поверхневого монтажу приклеюються за допомогою клеїв або припійної пасти; паяння подвійною хвилею припою застосовується лише до простих чип-компонентів, які встановлюються на зворотному боці друкованої, і до термостійких компонентів; компоненти для поверхневого монтажу на лицьовій стороні припаюються із застосуванням паяння розплавленням дозованого припою в парогазовій фазі або в ІЧ-печі або з використанням лазерного нагрівання.

При такому монтажі необхідним є перевертання плати з компонентами і, як мінімум, дві установки для паяння. Вибір варіанта реалізації монтажу при проектуванні виробу з застосуванням поверхневого монтажу здійснюється не тільки з точки зору технологічних особливостей його виготовлення, а й

залежно від поєднання традиційних і SMD-компонентів. Для цього застосовується паяння оплавленням припійної пасти. Компоненти для поверхневого монтажу не потребують спеціальної підготовки перед установленням. Тому після розпакування та очищення плати, як правило, виконується наступна послідовність операцій.

Нанесення паяльної пасти здійснюється на контактні площадки за допомогою дозатора. При виконанні такої операції необхідно отримати відбитки, що містять певний об'єм пасти. Недостача пасти може призводити до відсутності з'єднання, надлишок – до перемичок та недостатньої міцності з'єднання. Об'єм пасти залежить від конструкції конкретного компонента і розміру контактної площадки. Використання дозатора при цьому є більш гнучким, але менш точним і продуктивним методом, зазвичай застосовується при дослідному виробництві. Пасти для дозування використовуються в стандартних шприцах, сумісних з більшою частиною обладнання. На шприц встановлюються голки різного діаметра, що забезпечують нанесення певної кількості пасти. Кількість пасти може регулюватися тиском і часом нанесення. Але при тривалому дозуванні паста нагрівається, що змінює її реологічні властивості і може призводити до погіршення якості друку. Рекомендується застосовувати паяльну пасту марки ПЛ-112 АУКО.029.009ТУ. В'язкість цієї пасти дозволяє кріпити виведення компонентів до контактних вікон підкладки способом короткочасного притиснення. Температура плавлення пасти – 200 °С.

Дозування може проводитися на автоматичному обладнанні. При цьому кількість нанесеної пасти визначається оператором або блоком управління.

Установлення компонентів здійснюється згідно з програмою на автоматі установки із стандартних упаковок, в яких компоненти постачаються заводом-виробником. Надалі при серійному виробництві може застосовуватися автоматизоване установлення на напівавтоматі (маніпуляторі з покажчиком місця установлення компонента за програмою). Повні автомати використовуються в стабільно працюючому виробництві при випуску великих партій модулів. Ціна повного автомата визначається конфігурацією і функціями: підтримувані

види живильників, технічний зір, роздільна здатність установки, темп роботи, число головок та інші.

Процес оплавлення припою, що міститься в паяльній пасті, виконується в печах шляхом нагрівання друкованої плати з компонентами. При цьому нагрівання здійснюється інфрачервоним нагріванням. Після операції паяння плата піддається відмиванню і сушінню.

Полімеризація клею завершує процес фіксації компонентів. Це здійснюється в сушильних шафах при підвищеній температурі і необхідній вентиляції. Тривалість процесу полімеризації визначається типом застосовуваного клею.

Встановлення компонентів в отвори повністю аналогічна встановленню компонентів при застосуванні технології монтажу в отвори. Компоненти фіксуються для забезпечення правильності їх положення в процесі паяння.

Далі наноситься флюс на поверхню плати зі сторони паяння, тобто з тієї сторони, на яку встановлені поверхнево монтвані компоненти. Після цього застосовується паяння хвилею, що здійснюється аналогічно методу монтажу в отвори.

4.4 Організація техніки безпеки і протипожежної безпеки

Розробка датчику озону з безпроводним каналом передавання даних здійснювалась у лабораторному приміщенні кафедри ЕІСПЗ ІННІ ЗНУ з наступними характеристиками:

- довжина приміщення (a) – 4 м;
- ширина приміщення (b) – 3,5 м;
- висота приміщення – 2,9 м;
- площа приміщення – 14 м²;
- об'єм приміщення – 40,6 м³.

Потенційну небезпеку для працюючих у цієї лабораторії становлять: несприятливі метеорологічні умови, недостатня освітленість, шум, ультразвук,

електричний струм, електромагнітні поля, іонізуючі та теплові випромінювання та інші шкідливі фактори [41].

Застосування комп'ютерної техніки під час розробки неможливе без використання електроенергії. Тому питанням електробезпеки потрібно приділялась необхідна увага. Проходячи через організм, електричний струм спричиняє термічну (опіки, нагрів судин, нервів), електролітичну (розкладання крові) і біологічну (збудження живих тканин організму, що супроводжується мимовільним скороченням м'язів) дії. Таке різноманіття дій електричного струму, нерідко призводить до різних електротравм, які зводять до двох видів: місцевих і загальних електротравм [42].

При роботі з комп'ютером основна небезпека полягає в погіршенні зору. Численні дослідження виявили наступні основні чинники ризику виникнення розладів стану здоров'я у користувачів комп'ютерів:

- особливості екранного зображення, що відрізняють його від традиційного паперового тексту (власнопідсвічування, дискретність, мерехтіння, тремтіння);
- особливості роботи зорового апарату, пов'язані з двома взаємодоповнюючими (для виникнення зорового стомлення) чинниками: тривалою фіксацією погляду на екран монітора і періодичною інтенсивною перефокусуванням ока з клавіатури (паперу) на екран і назад;
- особливості власне діяльності, що полягає в монотонному, тривалому її характері, часто в умовах дефіциту часу і нервово-емоційних навантажень внаслідок високої ціни за допущену помилку;
- особливості рухової активності, пов'язані зі статичністю пози і постійним напруженням невеликої групи м'язів [41].

При роботі з ЕОМ ми зіштовхуємось, в основному, з фізично і психофізіологічно-небезпечними виробничими чинниками. Біологічно і хімічно-небезпечні чинники при цій роботі не зустрічаються [43].

До фізичних чинників при роботі з ЕОМ, можна віднести:

- електромагнітні випромінювання;

- підвищена напруженість електричних і магнітних полів;
- підвищена запиленість повітря в робочій зоні;
- підвищена температура повітря в робочій зоні;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- недолік або відсутність природного світла;
- неправильне розміщення джерел штучного освітлення.

До психофізіологічних небезпечних і шкідливих виробничих чинників відносяться фізичні (статичні і динамічні), нервово-психічні перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження).

Мікроклімат в робочій зоні визначається наступними параметрами: температурою повітря, відносною вологістю, швидкістю руху повітря на робочому місці, атмосферним тиском.

Відповідно до вимог системи стандартів безпеки праці (ССБП) параметри мікроклімату визначаються для робочої зони на висоті 2м над рівнем підлоги.

Людина працездатна і відчуває себе добре, якщо норми мікроклімату для категорії робіт I, а становлять:

- температура повітря в межах : влітку 23-25 °С; взимку 22-24 °С;
- відносна вологість - 40-60 %;
- швидкість руху повітря - 0,1 м/с.

Організація раціонального освітлення робочих місць - один з основних питань охорони праці. Очевидно, що при незадовільному освітленні різко знижується продуктивність праці, можливі нещасні випадки, поява короткозорості і інших захворювань органів зору, швидка стомлюваність.

В приміщенні лабораторії знаходяться два робочих місця. Робоче місце оператора ЕОМ складається з монітору, системного блоку, клавіатури, миші. Клавіатура повинна бути розташована безпосередньо перед оператором. Відстань від очей оператора до монітора повинна становити 0.5 – 0.7 м. На столі,

на якому розташована ЕОМ, повинно залишатися місце для наочного, графічного матеріалу, для можливості працювати з літературою, робити помітки.

Головними елементами робочого місця оператора ЕОМ є письмовий стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Рациональне планування робочого місця передбачає чіткий порядок і постійність розміщення предметів, засобів праці і документації. Те, що потрібно для виконання робіт частіше, розташоване в зоні легкої досяжності робочого простору. Робочі місця організовані так, що умови праці є комфортними і відповідають вимогам СНіП [41]:

- зручність робочого місця (ноги повинні твердо спиратися на підлогу; голова повинна бути нахилена трохи вниз; повинна бути спеціальна підставка для ніг);
- достатній простір для виконання необхідних рухів і переміщень (руки при роботі з клавіатурою повинні знаходитися перед людиною; пальці повинні володіти найбільшою свободою пересування; клавіші повинні бути досить чутливі до легкого натиснення);
- необхідний огляд (центр екрана монітора повинен бути розташований трохи нижче за рівень очей; повинна регулюватися яскравість і контрастність зображення);
- раціональне розташування апаратури і її органів управління і контролю (монітор повинен бути розташований на відстані 60 сантиметрів і більш від монітора сусіда; людина повинна використовувати тримачі паперу);
- достатнє освітлення (зовнішнє освітлення повинно бути достатнім і рівномірним; повинна бути настільна лампа з регульованим плафоном для додаткової підсвітки робочої документації);
- нормальні умови відносно шуму і вібрації;
- нормальний температурний режим;
- нормальна вологість повітря;
- необхідна вентиляція.

Площа досліджуваного приміщення становить 14 м^2 , об'єм – $40,6 \text{ м}^3$, що відповідає встановленим санітарним нормам, а саме площі не менше 10 м^2 та об'єму не менше 20 м^3 на одного працюючого.

При роботі з ЕОМ виникає небезпека ураження електричним струмом від провідників, що знаходяться під струмом. Електричні установки, до яких відноситься практично все устаткування ЕОМ, представляють для людини велику потенційну небезпеку, оскільки в процесі експлуатації або проведення профілактичних робіт людина може торкнутися частин, що знаходяться під напругою. Специфічна небезпека електричних установок: корпуси ЕОМ виявилися під напругою в результаті пошкодження ізоляції. Проходячи через тіло людини, електричний струм надає на нього складну дію, викликаючи термічну, електролітичну, механічну і біологічну дію.

Захист від небезпечних впливів електричного струму при експлуатації обчислювальної техніки в лабораторному приміщенні забезпечується:

- застосуванням захисного заземлення;
- захисного відключення;
- вирівнювання потенціалів;
- ізоляцією струмоведучих частин;
- застосуванням електричного, електромагнітного і механічного блокування і знаків безпеки;
- дотриманням умов безпеки при установці і заміні агрегатів;

Перед початком роботи треба пересвідчитися в підключенні заземлюючого провідника до загальної шини заземлення. Необхідно не рідше за один раз в рік проводити вимірювання опору ізоляції проводки, оскільки несправна ізоляція може привести до витoku струму, що може бути причиною виникнення пожежі або ж до поразки людей струмом. Ізоляція кабелю мережі живлення 220 В повинна витримувати без пробною дію випробувального напруження 750 В протягом однієї хвилини, опір ізоляції кабелю повинен бути не менше за 500 кОм . Як додаткові захисні засоби оператором можуть бути

використані гумові килимки. При початку роботи з енергоустаткуванням людина повинна бути ознайомлена з інструкцією по техніці безпеки [43].

За класифікацією приміщень за рівнем пожежної небезпеки приміщення лабораторії відноситься до категорії В, що характеризується наявністю твердих палих і важко горючих речовин і важкогорючих матеріалів, а також легкозаймистих матеріалів [42].

Пожежо-небезпечними предметами в приміщенні є: ПК, прилади освітлення та кондиціонування, електрична проводка, та побутові меблі.

Пожежна небезпека обчислювальних комплексів може бути обумовлена:

- перевантаженням дротів електричної мережі, яка викликає перегрів струмопровідних частин, загоряння їх ізоляції і в результаті запалювання різних горючих матеріалів, дотичні з ними;
- неякісним виконанням з'єднань електропроводки;
- перевантаженням різних електричних пристроїв, що приводить до їх нагріву і, отже, до можливого загоряння;
- неправильним охолодженням електроприладу, неправильним вмиканням його;
- коротким замиканням, утворенням електричної дуги і розжарених частинок металу;
- порушенням режиму роботи системи опалювання, вентиляції і кондиціонування повітря.

В зв'язку з цим можна виділити ряд заходів пожежобезпеки:

- не палити і не використовувати нагрівальні прилади у відділі комп'ютеризації;
- не від'єднувати і приєднувати кабелі, усувати несправності за наявності напруги в мережі;
- не визначати наявність напруги в ланцюзі замиканням клем [43].

При виникненні пожежі рекомендуються наступні дії:

- вивести людей і винести матеріальні цінності з небезпечної зони;

- викликати пожежну охорону;
- вжити заходи по локалізації пожежі;
- по можливості, вжити заходи по гасінню пожежі [43].

Для ліквідації пожежі в приміщенні, де розташовано робоче місце оператора ЕОМ, застосовуються первинні засоби пожежогасіння. У робочому кабінеті висить вогнегасник типу ОУ-2 (вогнегасна речовина-двоокис вуглецю). При необхідності евакуації розроблені «плани-евакуації» з будівлі.

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ ДАТЧИКА ОЗОНУ

Одним з основних показників, за допомогою якого оцінюється економічна ефективність нової техніки, є величина капітальних вкладень [44].

До таких капітальних вкладень відносяться витрати на науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи, включаючи випробування і доопрацювання дослідних зразків.

Для визначення вартості конструкторської підготовки виробництва складається кошторис витрат з моменту отримання завдання до виготовлення і заводських випробувань дослідного зразка включно і коректування документації за наслідками цих подій.

Зарплата розробників по етапам розраховується, виходячи з кількості технічної документації (схем, креслень, текстової документації), що розробляється, з використанням нормативів на розробку різних видів документації. Зарплата виконавців по кожному етапу є сумою добуток тривалості етапів в днях на денну ставку виконавця (по всім виконавцям).

5.1 Розрахунок заробітної плати робітників

Тривалість етапів розробки датчика визначається як добуток кількості листів розробленої документації на відповідну норму часу в нормо-годинах на розробку, поділене на число прийнятих розробників і середню тривалість робочого дня (8,0 годин) [45].

Денна ставка виконавця визначається відношенням місячного окладу до середнього числа робочих днів в місяці (22 дні).

Розрахунок зарплати розробників технічної документації на розробку виробу наведено у табл. 5.1.

Зарплата виконавців на коректування документації визначається з трудомісткості розробки відповідних документів: коректування складає 15–20% цієї трудомісткості.

Зарплата на виготовлення і випробування дослідного зразка по всім етапам визначається таким чином: дослідний зразок виготовляється і випробується в лабораторії; тривалість цих робіт узяті з досвіду базового підприємства, а потім розраховані аналогічно розрахунку зарплати на розробку документації (див. табл. 5.1).

При визначенні зарплати на виготовлення дослідного зразка трудомісткість по видам робіт збільшена на 100% проти трудомісткості серійного виробу і розряди роботи підвищені на один з урахуванням ручних робіт в дослідному виробництві.

Таблиця 5.2 – Зарплата за виготовлення дослідного зразка

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість нормо - год	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн
1	Складальні	5	42	55,03	2311,26
2	Монтажні	6	28	58,67	1642,76
3	Регулювальні	6	20	58,67	1173,4
	Разом				5127,42

5.2 Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати на зразок складаються з вартості матеріалів (табл. 5.3) і комплектуючих виробів (табл. 5.4) на проєктований виріб. При цьому, виходячи з обліку втрат, вартість комплектуючих матеріалів збільшена на 30%.

Таблиця 5.3 – Вартість матеріалів

№	Найменування	Одиниця виміру	К-ть на виріб	Ціна за одиницю	Сума, грн
1	Ізоляційні матеріали	кг	1	60	60,00
2	Провід, кабель	м	1	74	74,00
3	ПОС-60	кг	1,5	200	300,00
4	Метиси	кг	1	102,8	102,8
	Разом:				536,8

Таблиця 5.4 – Витрати на куповані комплектуючі вироби

№	Найменування	Кількість	Ціна одиниці	Сума, грн
1	Кварцові резонатори	3	12	36
2	Конденсатори	24	2	48
		1	4	4
3	Мікросхеми	1	32	32
		1	140	140
		1	20	20
4	Резистори	7	2	14
5	Роз'єми	1	2	2
6	Транзистори	2	60	120
7	Сенсори	1	52	52
		1	334	334
8	Котушки індуктивності	2	6	12
			Разом:	814

Накладні витрати беруться у розмірі 120...140% сумарної зарплати розробників з урахуванням виготовлення і випробування дослідного зразка і коректування документації за наслідками випробувань.

5.3 Розрахунок собівартості дослідного зразка

Собівартість дослідного зразка визначається за формою табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Калькуляція собівартості дослідного зразка

№	Стаття витрат	Витрати на проєктований виріб, грн.
1.	Матеріали (табл. 5.3)	536,8
2	Куповані комплектуючі вироби (табл. 5.4)	814
3	Транспортні витрати (5% п.1+п.2)	64,54
4	Заробітна плата виробничих робочих (табл. 5.2)	5127,42
5	Нарахування на зарплату (36,9%)	1892,02
6	Накладні витрати(120% п.4)	6152,9
	Разом собівартість	14590,68

Інші витрати включають невраховані витрати, наприклад, витрати на відрядження, на виготовлення або придбання спеціальної апаратури, необхідної для випробування макетів або зразків та ін.

Кошторис витрат на конструкторську підготовку виробництва складається за формою табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат на конструкторську підготовку виробництва

№	Стаття витрат	Сума, грн
1	Зарплата розробників по всіх етапах розробки (табл. 5.1)	6014,25
2	Зарплата на коректування технічної документації за наслідками випробувань дослідного зразка (20% п.1)	1202,85
3	Разом ФЗП (п.1 +п.2)	7217,1
4	Нарахування на зарплату (36,9% п.3)	2663,11
5	Накладні витрати (120% п. 3)	8660,52
6	Собівартість дослідного зразка (табл. 5.5)	14590,68
7	Інші витрати	192,17
	Всього вартість розробки	40540,68

5.4 Розрахунок планованої собівартості одиниці продукції

Витрати на матеріали визначаються з норм витрати і їх вартості за преїскурантом цін (табл. 5.3), зменшені на 30%.

Витрати на куповані комплектуючі вироби визначаються на основі відомості купованих комплектуючих виробів і їх вартості (табл. 5.4), зменшені на 30%.

Заробітна плата виробничих робітників визначається на підставі трудомісткості виготовлення виробу і відповідних тарифних ставок по видах робіт. При визначенні зарплати на виготовлення серійного виробу трудомісткість по видам робіт зменшується на 100% проти трудомісткості (табл. 5.2) і розряди роботи знижені на один.

Розрахунок приведений в табл. 5.7.

Таблиця 5.7 – Зарплата робочих за виготовлення серійного виробу

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість нормо - год	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн
1	Складальні	4	21	51,39	1079,15
2	Монтажні	5	14	55,03	770,42
3	Регулювальні	5	10	55,03	550,3
	Разом				2399,87

Доплати і премії приймаються у розмірі 10–25% тарифної заробітної плати.

5.5 Розрахунок планованої собівартості одиниці продукції

Розрахунок планованої собівартості одиниці продукції проводиться на основі калькуляційних статей, зведених в табл. 5.8:

Таблиця 5.8 – Калькуляція собівартості і ціни одиниці виробу

№	Стаття витрат	Витрати на виріб, грн.
1	2	3
1	Матеріали	536,8
2	Куповані комплектуючі вироби	814
3	Транспортні витрати (5% (п.1+п.2))	64,54
4	Основна заробітна плата виробничих робочих (табл. 5.7)	2399,87
5	Додаткова заробітна платня виробничих робочих (20% п.4)	479,97
6	Разом ФЗП (п.4+п.5)	2879,84
7	Нарахування на зарплату (36,9% п.6)	1062,66
8	Накладні витрати (140% п.4)	3359,82
9	Разом собівартість (п.1+п.2+п.3+п.6+п.7)	5357,84
10	Прибуток (30% собівартості)	1607,35
11	Ціна виробника	6965,19

5.6 Розрахунок критичного обсягу виробництва

Критичний обсяг виробництва визначається по наступній формулі:

$$V_{\text{кр}} = \frac{\Pi_{\text{ост}} \cdot V}{\text{Ц} - C_{\text{п}}},$$

де $V_{\text{кр}}$ – критичний обсяг виробництва, шт.; V – планований обсяг виробництва, $V=20$ шт.; $\Pi_{\text{ост}}$ – постійні витрати, $\Pi_{\text{ост}} = 5357,84$ грн.; Ц – ціна виробу, $\text{Ц} = 6965,19$ грн.; $C_{\text{п}}$ – середньозмінні витрати, $C_{\text{п}} = 1607,35$ грн.

Види витрат і ціна виробу визначаються з калькуляції собівартості (табл. 5.8). До постійних витрат відносяться загальновиробничі витрати, загальногосподарські витрати і позавиробничі витрати. Останні статті відносяться до середньозмінних витрат.

Тоді критичний обсяг виробництва складає 20 шт.

5.7 Розрахунок річного економічного ефекту

Річний економічний ефект від впровадження нових виробів розраховується по формулі [45]:

$$E_p = (\Pi - E_n \cdot K_y) \cdot A_p,$$

де Π – прибуток на одиницю продукції; E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ($E_n = 0,15$); A_p – річний об'єм випуску продукції (для серійного виробництва $A_r = 20$ шт/рік); K_y – питомі капіталовкладення на одиницю річного об'єму продукції:

$$K_y = K/A_p = 40540,68/20 = 2027,03 \text{ грн/шт},$$

де K – капіталовкладення в розробку виробу = витрати на КПВ + вартість основних фондів = грн.

Передбачуваний річний економічний ефект :

$$E_p = (1607,35 - 0,15 \cdot 2027,03) \cdot 20 = 26065,9 \text{ грн.}$$

Ефективність (E) розробки дорівнює річному прибутку, що ділиться на капіталовкладення:

$$E = 26065,9 / 40540,68 = 0,64 \text{ грн/грн}$$

Термін окупності продукції (Т) рівний зворотній величині ефективності:

$$T = 1/E = 1 / 0,64 = 1,56 \text{ р.}$$

Таблиця 5.9 – Основні економічні показники

Найменування показника	Одиниці вим.	Величина показника
Вартість капітальних вкладень	грн.	40540,68
Річний прибуток	грн.	26065,9
Економічна ефективність	грн./грн.	0,64
Термін окупності	рік	1,56

Економічні розрахунки підтвердили доцільність виготовлення датчика озону з безпроводним каналом передавання даних.

ВИСНОВКИ

1. Показано раціональність реалізації бездротового каналу передавання даних датчика озону на основі протоколу BLE.
2. Розроблено структуру і схему датчика, що відрізняється застосуванням додаткового сенсору вологості і температури для коригування результатів визначення концентрації озону, також передаванням вимірювальної інформації за протоколом BLE до смартфона оператора озонаторної станції.
3. Синтезовано програмний код керування мікроконтролером датчика, що займає 5466 байт у пам'яті мікроконтролера, а глобальні змінні займають 335 байт.
4. Показано працездатність розробленого програмного забезпечення.
5. Встановлено, що час підготовки до вимірювань концентрації озону становить 70 мс, швидкодія перетворення складає 15 мс.
6. Показано, що час підготовки до вимірювань вологості і температури становить 1,2 с при затримці вимірювань на рівні 3.8 мс і швидкодії перетворення 1,3 мс.
7. Показано, що середня потужність на виході бездротового каналу передавання даних з мультиплікативний характером завмирання сигналу (0,970809 дБ/Гц) нижче, ніж у каналі з адитивним завмиранням сигналу, навіть за умови що пікове значення сигналу на його виході значно менше.
8. Встановлено, що при одному і тому ж значенні доплеровської частоти (5 Гц) спектр каналу з мультиплікативний каналом завмирання сигналу ширший завдяки впливу «бічних гармонік».
8. Розроблено двошарову друковану плату датчика з розмірами 67x70x25 мм.
9. Результати роботи пройшли апробацію на 5 науково – практичних конференціях [46 – 49].

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Критська Т. В., Туришев К. О., Таранець А. В. Екологічні та технічні перспективи застосування кисню й озону. *Металургія*. 2016. № 2. С. 119–122.
2. Baba S., Satoh S., Yamabe C. Development of measurement equipment of half life of ozone. *Vacuum*. 2002. No 65. P. 489–495.
3. Khan S., Newport D., Le Calvé S. Gas Detection Using Portable Deep-UV Absorption Spectrophotometry : A Review. *Sensors*. 2019, No 19. P. 5210.
4. Hossam M. A. F. Concepts, Applications, Experimentation and Analysis of Wireless Sensor Networks. *Signals and Communication Technology*. 2021. P. 3–48. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-58015-5>.
5. Жураковський Б. Ю., Зенів І. О. Комп'ютерні мережі : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 336 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/36615/1/Zhurakovskiy_Zeniv_%20Kompjuterne_merezhi_Ch1.pdf.
6. Задерейко О. В., Логінова Н. І., Толокнов А. А. Комп'ютерні мережі : навч. посіб. Одеса, 2022. 249 с. URL: <https://hdl.handle.net/11300/19423>.
7. Сагун А. В., Хайдуров В. В., Поліщук І. А. Розробка програмних модулів для обміну даними у промислових мережах : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 103 с.
8. Иваненко В. Анализ протоколов передачи данных от узлов в беспроводных сенсорных сетях. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2011. Т. 2, № 10(50). С. 9–12. URL: <http://journals.uran.ua/ejet/article/view/1860>.
9. Оникієнко Ю. О., Титаренко О. О. Технічні засоби Інтернету речей : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 124 с.
10. Wireless sensor networks and Internet of Things : Future direction and applications / В/ Nayak et all. Охон : CRC Press, 2022. 381 р.

11. Ammari H. M. *Theory and Practice of Wireless Sensor Networks : Cover, Sense, and Inform : Studies in Systems, Decision and Control*. Cham : Springer, 2023. 780 p.

12. CDMA в Україні : Статті компанії «Інтернет-магазин "3G Інтернет Світ"». URL: <https://3g-internet-svit.com.ua/ua/a254845-cdma-ukraine.html>. (дата звернення: 02.02.2023).

13. Специфікація стандарту WiMAX 2 : все про комп'ютери. URL: <http://pro-computer.pp.ua/11082-specifkasya-standartu-wimax-2-vse-pro-kompyuteri.html>. (дата звернення: 02.02.2023).

14. Воробієнко П. П., Нікітюк Л. А., Резніченко П. І. *Телекомунікаційні та інформаційні мережі : підручник*. К.: САММІТ-Книга, 2010. 708 с.

15. Горбатий І. В., Бондарєв А. П. *Телекомунікаційні системи та мережі. Принципи функціонування, технології та протоколи*. Львів : Львівська політехніка, 2016. 336 с.

16. Hung L. - L. Charging Protocol for Partially Rechargeable Mobile Sensor Networks. *Sensors*. 2023. Vol. 23., №5. P. 3438. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23073438>

17. Alaerjan A. Towards Sustainable Distributed Sensor Networks: An Approach for Addressing Power Limitation Issues in WSNs. *Sensors*. 2023. Vol. 23, № 2. P. 975. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23020975>

18. Khalifeh A., Mazunga F., Nechibvute A., Nyambo B. M. Microcontroller Unit-Based Wireless Sensor Network Nodes : A Review. *Sensors*. 2022. Vol. 22, №22. P. 8937. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22228937>

19. Янко А. С., Мартиненко А. М., Трикоз В. В. Мережні сенсори та детектори як ефективний інструмент моніторингу даних. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2022. № 1(67). С. 98–101.

20. Остапенко В. О. Методи оцінки функціональної безпеки бездротової сенсорної мережі моніторингу стану рослин. *Штучний інтелект*. 2017. № 3–4. С. 32–43.

21. Дудикевич В. Б., Микитин Г. В., Ребець А. І., Мельник М. В. Безпроводні сенсорні мережі Zigbee, Wi-Fi та Bluetooth в кіберфізичних системах: концепція “об’єкт – загроза – захист” на основі моделі OSI. *Системи обробки інформації*. 2019. № 2(157). С. 114–20.

22. Stervoyedov N., Terokhin V. Development of an IoT network infrastructure based on a sensor network of distributed sensors for measuring radiation pollution using a multi-level architecture. *Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University, series «Mathematical modeling. Information technology. Automated control systems»*. 2020. №48. С. 89–97.

23. Bluetooth Technology Overview | Bluetooth Technology Website. URL: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>. (дата звернення: 02.02.2023).

24. Ghorri M. R., Wan T.-C., Sodhy G. C. Bluetooth Low Energy Mesh Networks : Survey of Communication and Security Protocols. *Sensors*. 2020. Vol. 20, № 12. P. 3590. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20123590>.

25. Cäsar M., Pawelke T., Steffan J., Terhorst G. A survey on Bluetooth Low Energy security and privacy. *Computer Networks*, 2022. № 205. P. 108712.

26. MQ131 High Concentration Ozone Gas Sensor—Winsen. URL: https://www.winsen-sensor.com/sensors/o3-gas-sensor/mq131-h.html?campaignid=10464433153&adgroupid=109285022048&feeditemid=&targetid=kwd-355621791831&device=c&creative=446277586479&keyword=mq131%20ozone%20sensor&gclid=CjwKCAjwov6hBhBsEiwAvrvN6Ca_Bvc-Z_ZpKPM7YgbpDPOyvAGiR71I2qBP3UToZM51YS5B1xe0jxoC5X8QAvD_BwE. (дата звернення: 02.02.2023).

27. AVR ATmega 328. URL : <https://robolive.ru/mikrokontroller-atmega328-opisanie-xarakteristiki/#:~:text=%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%80%20ATMega328%20%D1%8F%D0%B2%D0%BB%D1%8F%D0%B5%D1%82%D1%81%D1%8F%208-%D0%BC%D0%B8,%D0%B1%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%B8%D0%BD%D1%81>

%D1%82%D0%B2%D0%BE%20%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B4%20%D0%B7%D0%B0%20%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%20%D1%82%D0%B0%D0%BA%D1%82. (дата звернення: 02.02.2023).

28. Components 101: DHT11–Temperature and Humidity Sensor. URL : <https://components101.com/sensors/dht11-temperature-sensor>. (дата звернення: 02.02.2023).

29. ATMEGA328P-PU : Mini-Tech. URL : <https://www.mini-tech.com.ua/atmega328p-pu>. (дата звернення: 02.02.2023).

30. 2.4-GHz Bluetooth low energy and Proprietary System-on-Chip. Check for Samples: CC2541. URL : <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2541.pdf>. (дата звернення: 02.02.2023).

31. 1.0 A Low-Dropout Positive Fixed and Adjustable Voltage Regulators NCP1117, NCP1117I, NCV1117 : DATA SHEET. URL : <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/ncp1117-d.pdf>. (дата звернення: 02.02.2023).

32. RemoteXY : How it works. URL : <https://remotexy.com/en/help/>. (дата звернення: 02.02.2023).

33. Електроніка : Proteus Design Suite Version 8. URL : <http://www.labcenter.com/index.cfm>. (дата звернення: 02.02.2023).

34. Василенко О.В. Комп'ютерне моделювання : навч. посіб. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка». 2020. 175 с.

35. 7 потужних програм для проектування друкованих плат для проектування електроніки. URL : <https://techukraine.net/7-%D0%BF%D0%BE%D1%82%D1%83%D0%B6%D0%BD%D0%B8%D1%85-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC-%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D0%B4%D1%80/>. (дата звернення: 02.02.2023).

36. Програмне забезпечення для проектування електроніки : SOFT. URL : <https://ictech.com.ua/software/>. (дата звернення: 02.02.2023).

37. Пархоменко А. В., Притула А. В., Крищук В. М. Автоматизоване проектування електронних засобів в середовищах Creo та ALTIUM DESIGNER : навч. посіб. Запоріжжя: Дике Поле. 2016. 250 с.

38. KiCad 6.0 вже випущено та має покращення в дизайні | Ubunlog. URL : <https://ubunlog.com/uk/kicad-6-0-ya-fue-liberado-y-llega-con-mejoras-de-rediseño/>. (дата звернення: 02.02.2023).

39. Опис – DipTrace. URL : <https://www.diptrace.com/ua/diptrace-software/>. (дата звернення: 02.02.2023).

40. Крилик Л. В. Монтаж радіоелектронних приладів. Спеціальна технологія : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ. 2017. 75 с.

41. Кошель В. І., Сав'юк Г. П., Дзундза Б. С. Основи охорони праці : навч.-метод. посіб. Івано-Франківськ : НАІР. 2020. 182 с.

42. Абракітов, В. Е. Охорона праці в галузі та цивільний захист : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. 2020. 105 с.

43. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підручник / за заг. ред. В. В. Сокурєнка. Харків : ХНУВС. 2021. 308 с.

44. Гиль, О. О. Економіка та організація діяльності об'єднань підприємств : навч. посіб. Львів : Новий світ-2000. 2018. 246 с.

45. Попова В. Д., Ткаченко Л. Ю. Методичні вказівки до виконання економічної й організаційної частини дипломної роботи. Запоріжжя : ЗДІА. 2010. 72 с.

46. Кісельов Є. М., Кісельов В. Є. Розробка таймеру побутового озонатора на основі Arduino. Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті : стан, досягнення, перспективи розвитку : матеріали Всеукраїнської науково-практичної Internet-конференції Черкаси: ЧНУ, 2021. С. 12-14. URL: https://conference.ikto.net/pub/akit_2021_15-21march.pdf.

47. Кісельов Є. М., Кісельов В. Є. Візуально-блочна модель системи визначення концентрації озону з джерелами випромінювання постійної інтенсивності. Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України : матеріали I Всеукраїнської науково-

практичної конференції здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених (19-21 жовтня 2021 року, м. Запоріжжя) Запоріжжя: ЗНУ Інженерний навчально-науковий інститут, 2021. С. 248-250.

48. Кісельов Є. М., Кісельов В. Є. Аналіз апаратного і програмно-апаратного способів реалізації скремблерів. Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку: матеріали Всеукраїнської науково-практичної Internet-конференції Черкаси: ЧНУ, 2020. С. 58-59. URL: https://conference.ikto.net/pub/akit_2020_16-22march.pdf.

49. Кісельов Є. М., Кісельов В. Є. Розробка потокового шифратора для телемедичних мереж. III Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні системи та технології в медицині» (ISM–2020): збірник наукових праць Харків: Національний аерокосмічний університет, 2020. С. 187-188.

ДОДАТОК Б

```
#define REMOTEXY_MODE__SOFTSERIAL

#include <SoftwareSerial.h>

#include <RemoteXY.h>

#define REMOTEXY_SERIAL_RX 2

#define REMOTEXY_SERIAL_TX 3

#define REMOTEXY_SERIAL_SPEED 9600

#pragma pack(push, 1)

uint8_t RemoteXY_CONF[] = // 84 bytes
{ 255,0,0,6,0,77,0,16,3,1,68,17,3,27,58,20,8,36,66,129,
  8,61,16,7,2,26,66,129,39,61,16,7,2,26,129,0,2,50,60,6,
  24,79,122,111,110,101,32,99,111,110,99,101,110,116,114,
  97,116,105,111,110,
  0,129,0,7,73,18,6,24,84,101,109,112,0,129,0,40,73,18,6,24,
  72,117,109,0 };

struct {

float onlineGraph_1;

int8_t level_1; // =0..100 level position
```

```
int8_t h; // =0..100 level position

uint8_t connect_flag; // =1 if wire connected, else =0

} RemoteXY;

#pragma pack(pop)

#include "MQ131.h"
#include "DHTStable.h"
#define DHT11_PIN 2

DHTStable DHT;

void setup() {

RemoteXY_Init ();

Serial.begin(9600);

dht.begin();

MQ131.begin(2,A0, HIGH_CONCENTRATION, 1000000);

Serial.println("Calibration in progress...");

MQ131.calibrate();
```

```
Serial.println("Calibration done!");  
  
Serial.print("R0 = ");  
  
Serial.print(MQ131.getR0());  
  
Serial.println(" Ohms");  
  
Serial.print("Time to heat = ");  
  
Serial.print(MQ131.getTimeToRead());  
  
Serial.println(" s");  
  
}  
  
void loop() {  
  
RemoteXY_Handler ();  
  
Serial.println("Sampling...");  
  
float h = DHT.getHumidity();  
  
float t = DHT.getTemperature();  
  
MQ131.sample();  
  
Serial.print("Concentration O3 : ");  
  
Serial.print(MQ131.getO3(PPM));  
  
Serial.println(" ppm");  
  
Serial.print("Concentration O3 : ");  
  
Serial.print(MQ131.getO3(PPB));  
  
Serial.println(" ppb");  
  
Serial.print("Concentration O3 : ");  
  
Serial.print(MQ131.getO3(MG_M3));
```

```
Serial.println(" mg/m3");  
  
Serial.print("Concentration O3 : ");  
  
Serial.print(MQ131.getO3(UG_M3));  
  
Serial.println(" ug/m3");  
  
  
delay(60000);  
  
}
```