

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Телекомунікаційна система розподіле-ного радіаційного
моніторингу на основі гібридних каналів передачі даних

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи РАС-41
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Матвій М.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Яворський Б.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Хвостівська Л.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Хвостівський М.О.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«28» квітня 2026 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

студенту Матвію Миколі Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Телекомунікаційна система розподіленого радіаційного моніторингу на основі гібридних каналів передачі даних

Керівник роботи Яворський Богдан Іванович, д.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 28 » 04 2026 року № 4/9-198

2. Термін подання студентом завершеної роботи 24.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічні параметри: 1) Телекомунікаційна система розподіленого радіаційного моніторингу: 1) Діапазон вимірювання радіаційного поля – 1-5000 Дф; 2) Робочий діапазон радіочастот 315-915 МГц; Швидкість передачі даних до електромережі – 1440 біт/с.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Основна частина

2. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Висновки

Список використаних джерел

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Структурна схема корпоративної мережі

2. Структурна схема телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу

3. Схема електрична принципова телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу

4. Блок-схема алгоритму роботи центрального мікроконтролерного модуля

5. Друкований вузол телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу

6. Плата друкована телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	<i>Барановський В.М., д.т.н., проф. каф. МТ</i>		

7. Дата видачі завдання 12.03.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Розробка та затвердження технічного завдання</i>	<i>12.03.2026</i>	
2	<i>Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи</i>	<i>13.03.2026</i>	
3	<i>Структурна схема мережі розподіленого радіаційного моніторингу на основі гібридних каналів передачі даних</i>	<i>22.03.2026</i>	
4	<i>Розробка структурної схеми системи</i>	<i>24.03.2026</i>	
5	<i>Розробка схеми електричної принципової системи</i>	<i>09.04.2026</i>	
6	<i>Розробка блок-схеми алгоритму роботи мікроконтролера</i>	<i>12.04.2026</i>	
7	<i>Розробка програмного забезпечення мікроконтролера</i>	<i>15.04.2026</i>	
8	<i>Розрахунок основних вузлів схеми системи</i>	<i>21.04.2026</i>	
9	<i>Вибір компонентної бази для розроблюваної системи</i>	<i>01.05.2026</i>	
10	<i>Компоновка друкованого вузла системи</i>	<i>15.05.2026</i>	
11	<i>Створення допоміжної документації</i>	<i>27.05.2026</i>	
12	<i>Розділ безпеки життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>02.06.2026</i>	
13	<i>Нормоконтроль</i>	<i>09.06.2026</i>	
14	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>10.06.2026</i>	
15	<i>Перевірка роботи на антиплагіат</i>	<i>15.06.2026</i>	
16	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>24.06.2026</i>	

Студент

_____ (підпис)

Матвій М.А.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Яворський Б.І.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Телекомунікаційна система розподіленого радіаційного моніторингу на основі гібридних каналів передачі даних» // Матвій Микола Андрійович // Кваліфікаційна робота бакалавра // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РАС-41. // Тернопіль, 2026 р. // с. – 104, рис. – 32, табл. – 0, бібліогр. – 22, додат. – 3.

Ключові слова: ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА СИСТЕМА, РОЗПОДІЛЕНИЙ РАДІАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ, ГІБРИДНІ КАНАЛИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ, РАДІОКАНАЛ, PLC-КАНАЛ, ЛІЧИЛЬНИК ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА, МІКРОКОНТРОЛЕР, СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА, ДРУКОВАНИЙ ВУЗОЛ.

У кваліфікаційній роботі представлено етапи проектування телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу на основі гібридних каналів передачі даних.

Виконано аналіз сучасних систем радіаційного моніторингу, їхніх функціональних можливостей та способів передавання вимірювальної інформації. Обґрунтовано доцільність застосування гібридної телекомунікаційної структури, яка поєднує радіоканал і канал передавання даних через електричну мережу. Розроблено структурну схему мережі та структурну схему вимірювального вузла системи. Визначено склад основних функціональних вузлів. На основі прийнятих рішень сформовано схему електричну принципову системи, виконано розрахунки окремих вузлів, синтез програмного забезпечення мікроконтролера, вибір елементної бази та компонування друкованого вузла.

Розроблена система забезпечує реєстрацію рівня радіаційного поля, оброблення імпульсів від лічильника Гейгера-Мюллера, локальне відображення результатів, формування сигналів оповіщення та передавання інформації до центрального пункту контролю гібридними каналами зв'язку. У роботі також розглянуто питання охорони праці, електробезпеки та безпеки життєдіяльності у разі виникнення радіаційної небезпеки.

ANNOTATION

Thesis topic: «Telecommunication System for Distributed Radiation Monitoring Based on Hybrid Data Transmission Channels» // Matvii Mykola // Bachelor's qualification work // Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, Group RAs-41 // Ternopil, 2026 // p. – 104, fig. – 32, tab. – 0, bibliography – 22, appendix – 3.

Keywords: TELECOMMUNICATION SYSTEM, DISTRIBUTED RADIATION MONITORING, HYBRID DATA TRANSMISSION CHANNELS, RADIO CHANNEL, PLC CHANNEL, GEIGER-MULLER COUNTER, MICROCONTROLLER, ELECTRICAL SCHEMATIC DIAGRAM, PRINTED CIRCUIT ASSEMBLY.

The qualification work presents the stages of designing a telecommunication system for distributed radiation monitoring based on hybrid data transmission channels.

Modern radiation monitoring systems, their functional capabilities, and methods of transmitting measurement information were analyzed. The feasibility of using a hybrid telecommunication structure combining a radio channel and a data transmission channel through the electrical network was substantiated. The structural diagram of the distributed radiation monitoring network and the structural diagram of an individual measuring node were developed. The main functional units were defined, including an ionizing radiation detector, a high-voltage measuring circuit, a central microcontroller module, indication and alarm units, an RS-232C interface, a radio transceiver circuit, a PLC unit, and a power supply unit. Based on the adopted design solutions, the electrical schematic diagram of the system was developed. Calculations of individual units, software synthesis for the microcontroller, selection of the component base, and layout of the printed circuit assembly were carried out.

The developed system provides radiation field level registration, processing of pulses from the Geiger-Muller counter, local display of results, generation of alarm signals, and transmission of information to the central control point through hybrid communication channels. The work also considers occupational safety, electrical safety, and life safety issues in the event of radiation danger.

Зміст

Вступ.....	8
1 Основна частина.....	10
1.1 Аналіз завдання на роботу.....	10
1.1.1 Аналіз телекомунікаційних систем розподіленого радіаційного моніторингу.....	10
1.1.2 Аналіз отриманої інформації.....	17
1.2 Проектування структурної схеми мережі розподіленого радіаційного моніторингу на основі гібридних каналів передачі даних.....	21
1.3 Проектування структурної схеми телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу.....	27
1.4 Проектування схеми електричної принципової системи.....	34
1.4.1 Схема електрична принципова системи.....	34
1.4.2 Синтез схеми електричної принципової.....	43
1.4.2.1 Розрахунок транзисторного ключа модуля світлової індикації.....	43
1.4.2.2 Перевірка резисторів підтягування модуля клавіатурного керування.....	45
1.4.2.3 Перевірка високовольтного накопичувального конденсатора С33.....	47
1.4.2.4 Перевірка резистивного подільника вимірювального сигналу.....	48
1.4.3 Синтез алгоритму роботи центрального мікроконтролерного модуля.....	49
1.4.5 Синтез програмного забезпечення центрального мікроконтролерного модуля.....	53
1.5 Вибір елементної бази системи.....	63
1.5.1 Вибір лічильника Гейгера-Мюллера.....	64
1.5.2 Вибір центрального мікроконтролерного модуля.....	65

					ММА 2.000.001 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Матвій М.А.			Телекомунікаційна система розподіленого радіаційного моніторингу на основі гібридних каналів передачі даних Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Яворський Б.І.					6	104
Н. Контр.		Хвостівська Л.				ТНТУ, ФПТ, гр. РАС-41		
Затверд.		Дунець В.Л.						
Рецензент		Хвостівський						

1.5.3 Вибір мікросхем інтерфейсів і телекомунікаційних каналів.....	66
1.5.4 Вибір елементів індикації та оповіщення.....	69
1.5.5 Вибір пасивних елементів.....	71
1.5.6 Вибір дискретних напівпровідникових елементів.....	73
1.5.7 Вибір елементів блока живлення.....	74
1.5.8 Узагальнення вибору елементної бази.....	76
1.6 Компоновка друкованого вузла системи.....	77
1.7 Висновки до розділу 1.....	84
2 Охорона праці та безпека життєдіяльності.....	87
2.1 Електробезпека під час експлуатації та технічного обслуговування телекомунікаційної системи.....	87
2.2 Дії персоналу та населення у разі виникнення радіаційної небезпеки.....	93
2.3 Висновок до розділу 2.....	98
Висновки.....	100
Список використаних джерел.....	102
Додатки.....	105

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасний розвиток атомної енергетики, промислових об'єктів підвищеної небезпеки та необхідність забезпечення екологічної безпеки населення висувають підвищені вимоги до систем контролю радіаційного фону. Особливої актуальності набуває оперативне отримання достовірної інформації про рівні іонізуючого випромінювання на великих територіях, що дозволяє своєчасно виявляти потенційні загрози та приймати відповідні управлінські рішення.

Події останніх десятиліть, пов'язані з аваріями на ядерних об'єктах, а також необхідність постійного екологічного контролю навколишнього середовища, зумовили активний розвиток автоматизованих систем радіаційного моніторингу. Традиційні централізовані системи часто мають обмежені можливості щодо масштабування, оперативності збору інформації та забезпечення надійного зв'язку між віддаленими пунктами контролю. У зв'язку з цим перспективним напрямком є створення розподілених телекомунікаційних систем моніторингу, які забезпечують збір, передачу та обробку інформації від великої кількості просторово рознесених вимірювальних вузлів.

Ефективність функціонування таких систем значною мірою визначається надійністю каналів передачі даних. Використання лише одного типу каналу зв'язку не завжди забезпечує необхідний рівень доступності та стійкості до відмов. Тому доцільним є застосування гібридного підходу, який поєднує декілька технологій передачі інформації, зокрема бездротові мережі малого радіусу дії, стільниковий зв'язок та мережі Інтернет. Така архітектура дозволяє підвищити надійність системи, забезпечити резервування каналів зв'язку та розширити територію моніторингу.

Використання сучасних мікроконтролерних платформ, цифрових датчиків радіації та засобів телекомунікацій відкриває можливості для

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

створення ефективних автоматизованих систем спостереження, здатних працювати в режимі реального часу та забезпечувати централізоване накопичення й аналіз даних. Розробка таких систем є актуальним завданням у галузі телекомунікацій та радіотехніки, оскільки сприяє підвищенню рівня техногенної та екологічної безпеки.

					<i>ММА 2.000.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1 Основна частина

1.1 Аналіз завдання на роботу

1.1.1 Аналіз телекомунікаційних систем розподіленого радіаційного моніторингу

Контроль радіаційної обстановки є важливою складовою забезпечення екологічної та техногенної безпеки. Сучасні системи радіаційного моніторингу дедалі частіше будуються за розподіленою архітектурою, яка передбачає використання великої кількості просторово віддалених вимірювальних вузлів, об'єднаних телекомунікаційною мережею передачі даних. Такий підхід дозволяє здійснювати безперервний контроль радіаційного фону на значних територіях, оперативно виявляти відхилення від нормативних значень та забезпечувати своєчасне реагування на надзвичайні ситуації.

Типова телекомунікаційна система розподіленого радіаційного моніторингу включає датчики радіаційного контролю, мікроконтролерні пристрої збору даних, канали бездротової або дротової передачі інформації, сервер обробки даних та засоби відображення результатів моніторингу. Останнім часом значного поширення набули системи, побудовані на основі технологій Інтернету речей (IoT), які забезпечують високу масштабованість та можливість інтеграції великої кількості вимірювальних вузлів.

Одним із сучасних прикладів розподіленої системи радіаційного моніторингу є система RadNote, розроблена для автономного контролю параметрів навколишнього середовища та радіаційного фону. Система являє собою інтелектуальний вимірювальний вузол, що поєднує дозиметричний модуль, датчики параметрів довкілля, GPS-приймач, мікроконтролер та модуль стільникового зв'язку.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отримані результати вимірювань передаються до хмарної платформи через мережі GSM, LTE-M або NB-IoT, де здійснюється їх накопичення, аналіз та візуалізація. Завдяки використанню сонячних панелей та акумуляторного живлення система може тривалий час функціонувати автономно без підключення до електромережі.



Рисунок 1.1 – Вузол системи RadNote [19]

Основні технічні характеристики системи RadNote:

- тип детектора – лічильник Гейгера-Мюллера;
- вимірювана величина – потужність еквівалентної дози гамма-випромінювання;
- канали передачі даних – GSM, LTE-M, NB-IoT;
- навігаційний модуль – GPS;
- живлення – акумуляторна батарея та сонячна панель;
- передача даних – хмарний сервер;
- режим роботи – цілодобовий автоматичний моніторинг;
- можливість віддаленого адміністрування.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основною перевагою системи є автономність та простота розгортання. До недоліків можна віднести залежність від покриття мереж стільникового зв'язку та відносно високе енергоспоживання порівняно з LPWAN-технологіями.

Система GAMON-S компанії CAEN призначена для професійного екологічного та промислового моніторингу радіаційної обстановки. Вона використовується для безперервного контролю потужності дози гамма-випромінювання, спектрального аналізу та автоматичного виявлення радіаційних аномалій.

До складу системи входять сцинтиляційний спектрометричний детектор, лічильник Гейгера-Мюллера, процесорний модуль обробки даних, GPS-приймач та набір мережевих інтерфейсів. Особливістю системи є підтримка декількох телекомунікаційних технологій передачі даних із можливістю резервування каналів зв'язку.



Рисунок 1.2 – Станція радіаційного моніторингу GAMON-S [20]

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні технічні характеристики системи GAMON-S:

- сцинтиляційний детектор NaI(Tl);
- вбудований лічильник Гейгера-Мюллера;
- спектрометричний аналіз гамма-випромінювання;
- визначення радіонуклідного складу;
- GPS-приймач;
- інтерфейси передачі даних Ethernet, Wi-Fi, 3G/4G LTE;
- підтримка резервування каналів зв'язку;
- автоматичне формування тривожних повідомлень;
- інтеграція із системами диспетчеризації та SCADA.

Перевагою системи є висока функціональність та наявність гібридних каналів передачі даних. Недоліком є висока вартість обладнання та складність розгортання.

Після аварії на АЕС «Фукусіма-1» була створена міжнародна система громадського радіаційного моніторингу Safecast. Одним із її основних елементів став пристрій bGeigie Nano, який використовується для мобільного та стаціонарного вимірювання радіаційного фону.

Пристрій містить лічильник Гейгера-Мюллера, GPS-приймач, мікроконтролер та модуль реєстрації даних. Під час руху транспортного засобу або стаціонарної роботи пристрій здійснює вимірювання рівня гамма-випромінювання та одночасно записує координати точки вимірювання. Зібрані дані передаються до централізованої бази даних Safecast, де формуються інтерактивні карти радіаційного забруднення.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

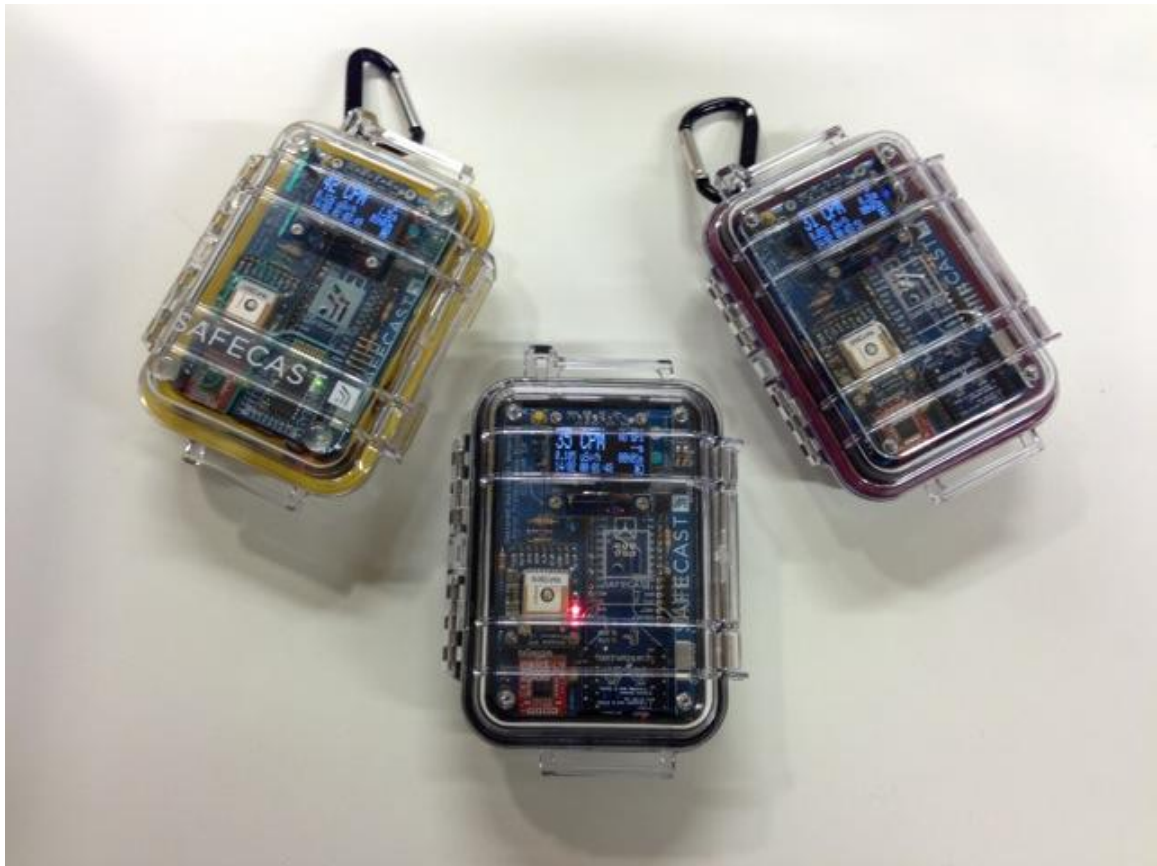


Рисунок 1.3 – Дозиметричний пристрій bGeigie Nano [21]

Основні технічні характеристики системи:

- детектор LND7317 Geiger-Muller;
- вимірювання потужності еквівалентної дози;
- GPS-модуль;
- автономне живлення;
- реєстрація даних на карту пам'яті;
- підтримка географічної прив'язки вимірювань;
- інтеграція з глобальною базою даних Safecast.

Перевагою системи є мобільність та невисока вартість. Недоліком є необхідність періодичного передавання накопичених даних до серверної системи.

Одним із найбільш перспективних напрямків розвитку телекомунікаційних систем моніторингу є використання мереж LoRaWAN.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прикладом такого підходу є система W-MON, яка використовується для контролю радіаційної обстановки на великих промислових та наукових об'єктах.

Система складається з великої кількості автономних вимірювальних вузлів, обладнаних радіаційними датчиками, мікроконтролерами та LoRa-трансиверами. Передавання даних здійснюється до шлюзів LoRaWAN, після чого інформація через мережу Інтернет надходить на центральний сервер моніторингу.

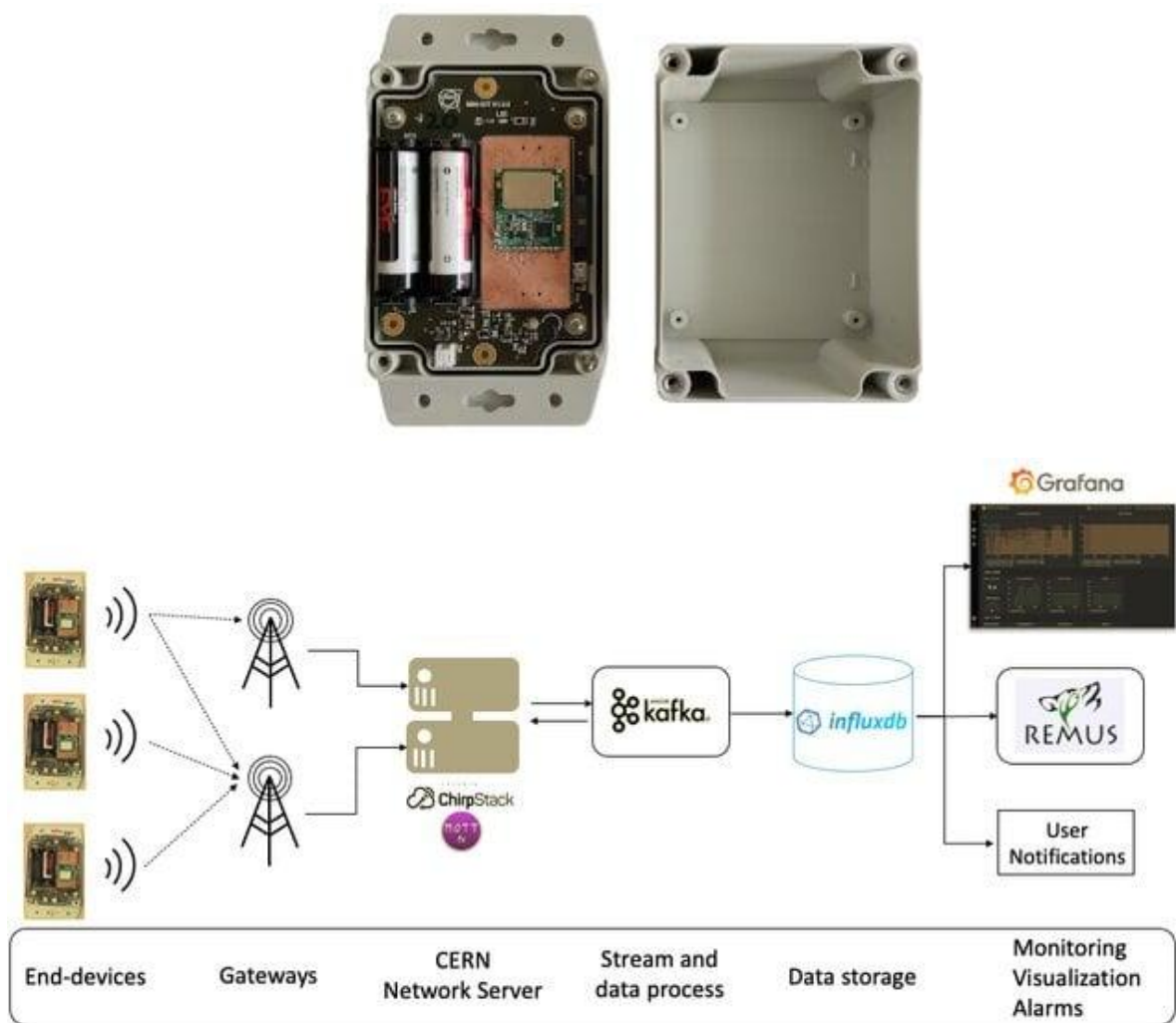


Рисунок 1.4 – Архітектура системи W-MON на основі технології [22]

Основні технічні характеристики системи W-MON:

- технологія передачі даних LoRaWAN;
- робочий діапазон частот 868 МГц;
- дальність зв'язку до 15 км;
- низьке енергоспоживання;
- автономна робота від батареї до декількох років;
- підтримка великої кількості сенсорних вузлів;
- централізована обробка даних;
- висока масштабованість мережі.

Перевагами системи є низьке енергоспоживання, значна дальність зв'язку та можливість побудови великих мереж моніторингу. Недоліком є необхідність використання шлюзів LoRaWAN та відносно невисока швидкість передавання даних.

Проведений аналіз показав, що сучасні телекомунікаційні системи розподіленого радіаційного моніторингу базуються на використанні бездротових технологій передачі даних та принципів Інтернету речей. Системи RadNote та Safecast орієнтовані на автономний моніторинг та збір геоприв'язаних даних, система GAMON-S забезпечує професійний контроль радіаційної обстановки з використанням декількох каналів зв'язку, а система W-MON демонструє ефективність застосування технології LoRaWAN для побудови масштабованих мереж моніторингу.

Аналіз показав, що найбільш перспективним підходом є використання гібридної архітектури передачі даних, яка поєднує переваги технології LoRaWAN для локального збору інформації та мереж GSM/LTE для передавання даних до віддаленого сервера. Такий підхід дозволяє забезпечити високу надійність функціонування системи, резервування каналів зв'язку та значне територіальне покриття мережі радіаційного моніторингу.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1.2 Аналіз отриманої інформації

Проведений аналіз телекомунікаційних систем розподіленого радіаційного моніторингу показав, що ефективність контролю радіаційної обстановки визначається не лише точністю вимірювальних засобів, а й оперативністю, надійністю та безперервністю передавання отриманої інформації. Сучасна система радіаційного моніторингу повинна забезпечувати автоматизоване вимірювання параметрів іонізуючого випромінювання, первинне оброблення результатів, їх накопичення, передавання до віддаленого пункту контролю та своєчасне формування повідомлень про перевищення встановлених порогових значень.

Розглянуті системи RadNote, GAMON-S, bGeigie Nano та W-MON реалізують різні підходи до організації радіаційного контролю. Система RadNote характеризується автономністю, підтримкою супутникової навігації та передаванням даних через мережі стільникового зв'язку, однак її працездатність залежить від наявності відповідного мережевого покриття. Станція GAMON-S підтримує декілька мережевих інтерфейсів, спектрометричне оброблення та автоматичне виявлення радіаційних аномалій, проте відрізняється високою вартістю і складністю технічного обслуговування. Пристрій bGeigie Nano [19] є мобільним і порівняно доступним рішенням, однак у базовій конфігурації передбачає накопичення результатів із подальшим завантаженням до централізованої бази даних. Система W-MON демонструє можливість створення масштабованої мережі з великої кількості автономних вимірювальних вузлів, але потребує використання шлюзів LoRaWAN [22] і характеризується обмеженою швидкістю передавання інформації.

Порівняння розглянутих систем засвідчило, що застосування лише одного каналу зв'язку не дає змоги одночасно забезпечити значну дальність передавання, низьке енергоспоживання, високу доступність мережі та стійкість до відмов. Стільникові технології забезпечують передавання даних

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на значні відстані та безпосередній доступ до мережі Інтернет, проте характеризуються підвищеним енергоспоживанням і залежать від покриття оператора. Технологія LoRaWAN [22], навпаки, дає змогу організувати енергоефективний зв'язок між великою кількістю віддалених сенсорних вузлів, однак потребує проміжного шлюзу для передавання інформації до серверної частини системи.

На підставі отриманих результатів доцільним є створення телекомунікаційної системи радіаційного моніторингу з розподіленою архітектурою та гібридними каналами передавання даних. Локальну взаємодію між вимірювальними вузлами та центральним шлюзом доцільно організувати за технологією LoRaWAN [22]. Такий канал забезпечує значну дальність зв'язку, низьке енергоспоживання та можливість підключення великої кількості сенсорних пристроїв. Передавання зібраної інформації від шлюзу до віддаленого сервера доцільно здійснювати через мережі GSM/LTE. Поєднання зазначених технологій дозволяє розширити територіальне покриття системи, зменшити навантаження на стільникову мережу та забезпечити централізований доступ до результатів спостереження.

Проектована система повинна складатися з просторово рознесених вимірювальних вузлів, телекомунікаційного шлюзу та центрального пункту оброблення інформації. До складу кожного вимірювального вузла необхідно включити детектор іонізуючого випромінювання, вузол формування та нормування імпульсних сигналів, мікроконтролерний блок, модуль бездротового зв'язку, засоби локальної індикації та звукової сигналізації, а також блок живлення. Мікроконтролер повинен виконувати підрахунок імпульсів детектора, визначення рівня радіаційного фону, порівняння результату із заданим порогом, формування пакета даних і керування його передаванням.

До основної інформації, яка передається від вимірювального вузла, повинні належати ідентифікатор пункту контролю, поточне значення

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимірюваного параметра, стан вимірювального тракту, рівень заряду джерела живлення, ознака перевищення допустимого порогу та службові дані, необхідні для перевірки цілості повідомлення. Для підвищення достовірності обміну доцільно передбачити контроль правильності прийнятих пакетів, повторне передавання у разі відсутності підтвердження та тимчасове збереження результатів за умови втрати зв'язку.

Гібридна телекомунікаційна підсистема повинна забезпечувати автоматичне передавання результатів у штатному режимі та збереження працездатності у разі тимчасової недоступності одного з мережевих сегментів. За відсутності зв'язку зі шлюзом вимірювальні дані мають накопичуватися в пам'яті локального вузла. Після відновлення каналу зв'язку збережена інформація повинна передаватися до центрального сервера разом із поточними результатами. Такий підхід дає змогу уникнути втрати критично важливих відомостей про зміну радіаційної обстановки.

Для налаштування, діагностування та локального зчитування інформації доцільно передбачити послідовний інтерфейс RS-232C. Його використання забезпечить підключення системи до персонального комп'ютера, встановлення параметрів роботи, перевірку функціонування окремих вузлів і передавання накопичених даних під час технічного обслуговування. Водночас цей інтерфейс повинен виконувати допоміжну функцію, тоді як основний інформаційний обмін здійснюватиметься через бездротові канали.

Центральний пункт моніторингу повинен забезпечувати приймання, збереження, систематизацію та візуалізацію даних, отриманих від усіх вимірювальних вузлів. Програмні засоби серверної частини мають надавати можливість перегляду поточних показників, аналізу зміни радіаційного фону в часі, визначення вузлів із перевищенням допустимих значень і формування попереджувальних повідомлень. Застосування централізованої бази даних

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

також забезпечить проведення ретроспективного аналізу та оцінювання динаміки радіаційної обстановки на контрольованій території.

Отже, результати аналізу підтвердили доцільність розроблення розподіленої телекомунікаційної системи радіаційного моніторингу, побудованої за модульним принципом і здатної до подальшого масштабування. Використання LoRaWAN для обміну з локальними вимірвальними вузлами та GSM/LTE для передавання інформації до віддаленого сервера дозволить поєднати енергоефективність, значну дальність зв'язку та доступність результатів моніторингу. Отримані висновки є основою для подальшого проектування структурної схеми мережі та визначення складу функціональних вузлів системи.

Також, на основі проведеного аналізу сформовано вимоги до структури телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу та визначено її основні функціональні вузли. До складу системи повинні входити блок детектування іонізуючого випромінювання, вузол формування та підрахунку імпульсів, мікроконтролерний блок керування, модулі передавання даних, блок пам'яті, засоби індикації та звукової сигналізації, інтерфейс взаємодії з персональним комп'ютером і блок живлення.

Застосування гібридних каналів зв'язку повинно забезпечувати передавання результатів радіаційного контролю як через радіоканал, так і через електричну мережу. Така побудова дозволить підвищити надійність інформаційного обміну, розширити зону дії системи та забезпечити збереження її працездатності у разі тимчасової недоступності одного з каналів передавання даних.

Отримані результати є підставою для розроблення структурної схеми мережі телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу, наведеної в наступному підрозділі.

Схемотехнічно система повинна забезпечувати такі основні параметри:
– діапазон реєстрації радіаційного поля – від 1 до 5000 Дф;

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- робочий діапазон частот радіоканалу – 315-915 МГц;
- максимальна швидкість передавання даних через радіоканал – 500 біт/с;
- частотний діапазон каналу передавання даних через електричну мережу – 868-915 МГц;
- максимальна швидкість передавання даних через електричну мережу – 1440 біт/с;
- гранична швидкість підрахунку імпульсів – 4000 імп/с;
- розрядність цифрових даних – 8 біт;
- обсяг Flash-пам'яті – не менше 32 кбайт;
- час установлення робочого режиму – не більше 3 с;
- можливість підключення зовнішнього радіомодема;
- можливість підключення до персонального комп'ютера через інтерфейс RS-232C;
- напруга живлення – 220 В за частоти мережі 50 Гц;
- споживана потужність – не більше 0,5 Вт;
- середнє напрацювання на відмову – не менше 8000 год.

1.2 Проектування структурної схеми мережі розподіленого радіаційного моніторингу на основі гібридних каналів передачі даних

На основі результатів аналізу, проведеного в попередньому підрозділі, здійснено проектування структурної схеми мережі розподіленого радіаційного моніторингу. Основним призначенням мережі є автоматизований збір результатів вимірювання радіаційного поля від просторово рознесених пунктів контролю, передавання отриманої інформації до центрального пункту та її подальше відображення, накопичення й аналіз.

Під час проектування враховано, що використання лише одного середовища передавання даних не забезпечує необхідної надійності зв'язку

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

за різних умов експлуатації. Радіоканал характеризується простотою розгортання та можливістю підключення віддалених вимірювальних пунктів без прокладання кабельних ліній, однак його робота залежить від відстані, наявності перешкод, рівня електромагнітних завад і взаємного розташування антен. Передавання інформації через електричну мережу дозволяє використовувати наявну інфраструктуру живлення, проте обмежується межами відповідного сегмента електромережі та залежить від рівня імпульсних і високочастотних завад.

Для усунення зазначених обмежень мережу запропоновано будувати із застосуванням двох взаємодоповнювальних каналів передавання даних:

- бездротового радіоканалу;
- каналу передавання даних через електричну мережу 220 В.

Поєднання цих каналів утворює гібридну телекомунікаційну структуру, у якій радіоканал може використовуватися для зв'язку з територіально віддаленими або рухомими пунктами контролю, а електрична мережа – для обміну даними між вузлами, установленими в межах одного об'єкта та підключеними до спільної мережі живлення. За необхідності один канал може виконувати функцію основного, а другий – резервного.

Структурна схема мережі повинна містити декілька однотипних вимірювальних вузлів радіаційного моніторингу, центральний вузол збору даних, гібридну телекомунікаційну підсистему та автоматизоване робоче місце оператора. Кількість вимірювальних вузлів може змінюватися залежно від площі контрольованої території, кількості приміщень і необхідної просторової деталізації вимірювань.

Кожний вимірювальний вузол розміщується у визначеній точці контролю та забезпечує реєстрацію рівня радіаційного поля. До складу вузла входять детектор іонізуючого випромінювання, блок формування імпульсів, мікроконтролерний блок, пам'ять, засоби місцевої індикації та сигналізації,

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

радіоприймач-передавач, приймач-передавач через електричну мережу та блок живлення.

Детектор перетворює вплив іонізуючого випромінювання в послідовність електричних імпульсів. Після формування та нормування імпульси надходять до мікроконтролерного блока, де виконується їх підрахунок, обчислення поточного рівня радіаційного поля та порівняння отриманого значення із заданим порогом. У разі перевищення допустимого рівня формується сигнал тривоги, який відображається локальними засобами індикації та передається до центрального пункту моніторингу.

Для ідентифікації джерела інформації кожному вимірювальному вузлу надається унікальна мережева адреса. Інформаційний пакет, який формується мікроконтролером, повинен містити адресу вузла, поточне значення вимірюваного параметра, ознаку перевищення порогового рівня, стан каналу зв'язку, службову інформацію та контрольну послідовність для перевірки правильності прийнятих даних.

Передавання сформованого пакета може здійснюватися радіоканалом у робочому діапазоні частот 315–915 МГц. Максимальна швидкість передавання даних радіоканалом становить 500 біт/с. Оскільки результати радіаційного контролю мають порівняно невеликий інформаційний обсяг, зазначеної швидкості достатньо для періодичного передавання показників, станів вузлів і тривожних повідомлень.

Радіоканал доцільно використовувати для пунктів, які розміщуються на відкритій місцевості, у віддалених приміщеннях або на об'єктах, де прокладання додаткових провідних ліній є технічно складним чи економічно недоцільним. Радіомодулі вимірювальних вузлів передають інформацію до відповідного приймача-передавача центрального вузла збору даних.

Другий канал утворюється з використанням електричної мережі 220 В. Для цього у вимірювальних вузлах і центральному пункті встановлюються мережеві приймачі-передавачі. Інформаційні сигнали накладаються на

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напругу промислової частоти та передаються на підвищеній частоті, що забезпечує розділення силової й інформаційної складових.

Канал через електричну мережу доцільно застосовувати всередині будівель, лабораторій, промислових об'єктів та інших територій, де вимірювальні пункти підключені до спільної системи електропостачання. Максимальна швидкість передавання даних цим каналом становить 1440 біт/с. Його використання дозволяє організувати інформаційний обмін без прокладання окремої кабельної мережі.

Гібридний принцип роботи передбачає декілька можливих режимів обміну. У штатному режимі кожний вузол передає дані через канал, визначений під час конфігурування системи. Для вузлів, установлених у межах одного об'єкта, основним може бути канал через електромережу, а резервним – радіоканал. Для віддалених пунктів основним каналом є радіоканал, оскільки фізичне підключення до спільного сегмента електромережі може бути відсутнім.

У разі порушення обміну основним каналом мікроконтролер повинен здійснювати повторне передавання інформації або перемикання на доступний резервний канал. Критеріями несправності можуть бути відсутність підтвердження приймання, перевищення допустимого часу очікування або виявлення помилок у прийнятому пакеті. Така організація підвищує достовірність обміну та знижує ймовірність втрати результатів вимірювання.

Центральний вузол збору даних є координатором мережі. Він містить радіоприймач-передавач, приймач-передавач через електромережу, мікроконтролерний блок оброблення даних, буферну пам'ять та інтерфейс взаємодії з персональним комп'ютером. До його функцій належать приймання пакетів від вимірювальних вузлів, перевірка їх цілісності, визначення адреси відправника, формування підтвердження приймання та передавання інформації до автоматизованого робочого місця оператора.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зв'язок центрального вузла з персональним комп'ютером здійснюється через інтерфейс RS-232C. Цей інтерфейс забезпечує передавання результатів моніторингу, зміну параметрів роботи системи, встановлення порогових рівнів, діагностування вимірювальних вузлів і зчитування накопиченої інформації.

Автоматизоване робоче місце оператора призначене для централізованого відображення стану мережі. Програмне забезпечення повинно забезпечувати виведення поточних значень радіаційного поля, ідентифікаторів пунктів контролю, станів каналів передавання даних та повідомлень про перевищення допустимих рівнів. Крім того, передбачається збереження результатів у базі даних для подальшого аналізу зміни радіаційної обстановки.

За способом організації інформаційного обміну запропонована мережа відповідає топології типу «зірка». Вимірювальні вузли безпосередньо взаємодіють із центральним пунктом збору даних і не виконують транзитного передавання повідомлень інших вузлів. Така структура спрощує адресацію, керування інформаційними потоками, пошук несправностей та розширення системи.

Масштабування мережі здійснюється шляхом встановлення додаткових вимірювальних вузлів і присвоєння їм нових адрес. При цьому принцип роботи центрального пункту та структура каналів передавання даних не змінюються. Обмеження кількості вузлів визначається місткістю адресного простору, пропускною здатністю каналів і допустимим періодом оновлення інформації.

Для запобігання одночасному передаванню повідомлень декількома вузлами доцільно застосувати послідовне опитування або часовий розподіл доступу до середовища. За послідовного опитування центральний блок передає запит із адресою певного вузла, після чого адресований вузол

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

формує відповідь. Тривожні повідомлення можуть мати підвищений пріоритет і передаватися поза встановленим циклом опитування.

Структурну схему мережі розподіленого радіаційного моніторингу наведено на рис. 1.5.

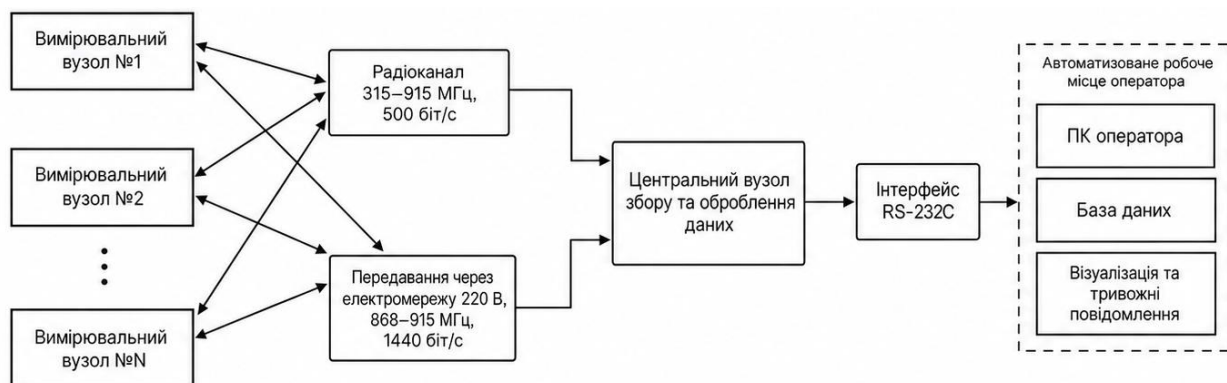


Рисунок 1.5 – Структурна схема мережі розподіленого радіаційного моніторингу на основі гібридних каналів передачі даних

На структурній схемі відображенотакі основні елементи:

- вимірювальний вузол радіаційного моніторингу № 1;
- вимірювальний вузол радіаційного моніторингу № 2;
- вимірювальний вузол радіаційного моніторингу № N;
- радіоканал 315-915 МГц;
- електричну мережу 220 В як інформаційне середовище;
- центральний вузол збору та оброблення даних;
- інтерфейс RS-232C;
- персональний комп'ютер оператора;
- базу даних результатів моніторингу;
- засоби візуалізації та формування тривожних повідомлень.

Напрями інформаційного обміну між вимірювальними вузлами та центральним пунктом позначено двонапрямленими лініями, оскільки мережа повинна забезпечувати не лише передавання результатів вимірювання, а й

приймання підтверджень, команд налаштування та запитів на повторне передавання даних.

Отже, спроектована структурна схема мережі забезпечує об'єднання декількох просторово рознесених пунктів радіаційного контролю в єдину автоматизовану систему. Застосування радіоканалу та каналу через електричну мережу дозволяє адаптувати спосіб передавання даних до умов розміщення кожного вузла, забезпечити резервування зв'язку та підвищити надійність функціонування мережі. Розроблена мережева структура є основою для подальшого проектування структурної схеми окремого вимірювального вузла системи.

1.3 Проектування структурної схеми телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу

На основі результатів аналізу технічного завдання та визначених вимог розроблено структурну схему телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу. Структурна схема відображає склад основних функціональних вузлів, напрями проходження вимірювальних і керувальних сигналів, а також взаємодію між вимірювальною, обчислювальною, індикаційною, телекомунікаційною та енергетичною підсистемами.

Проектована система призначена для реєстрації радіаційного поля, перетворення отриманих імпульсних сигналів, визначення інтенсивності іонізуючого випромінювання, локального відображення результатів і передавання даних до інших пунктів розподіленої мережі. Особливістю системи є застосування двох каналів інформаційного обміну: бездротового радіоканалу та каналу передавання через електричну мережу 220 В.

Структурну схему телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу наведено на рис. 1.6.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

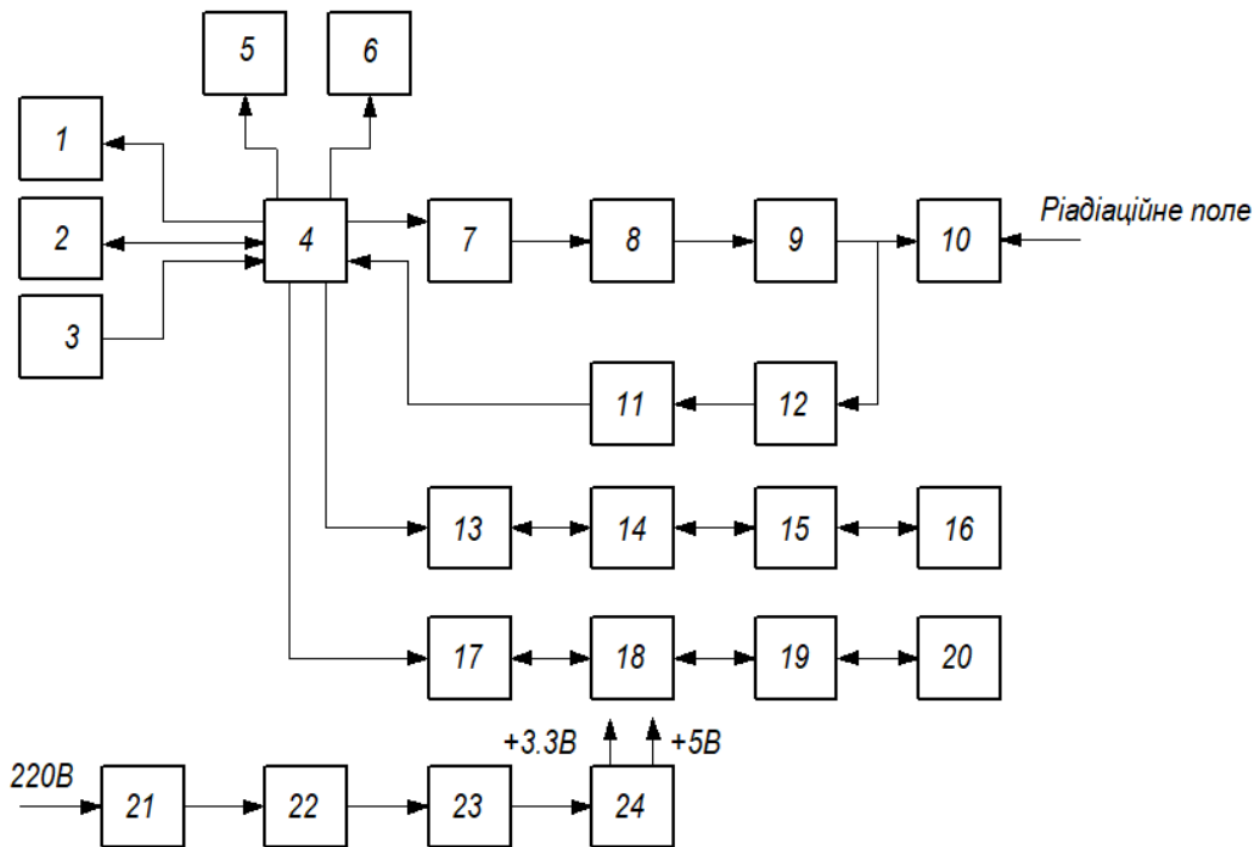


Рисунок 1.6 – Структурна схема телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу

На структурній схемі прийнято такі позначення:

- 1 – модуль рідкокристалічної індикації;
- 2 – інтерфейс обміну даними RS-232C;
- 3 – модуль клавіатурного керування;
- 4 – центральний мікроконтролерний модуль;
- 5 – модуль звукового оповіщення;
- 6 – модуль світлової індикації;
- 7 – силовий транзисторний ключ;
- 8 – високовольтний перетворювач;
- 9 – вузол формування високовольтних імпульсів;
- 10 – детектор іонізуючого випромінювання на основі лічильника Гейгера-Мюллера;
- 11 – вузол стабілізації вимірювального сигналу;

- 12 – резистивний подільник напруги;
- 13 – радіоприймально-передавальний модуль;
- 14 – високочастотний узгоджувальний вузол;
- 15 – смуговий високочастотний фільтр;
- 16 – антенний модуль;
- 17 – модем передавання даних через електромережу;
- 18 – лінійний драйвер PLC-каналу;
- 19 – узгоджувальний перетворювач напруги PLC-каналу;
- 20 – канал електричної мережі 220 В;
- 21 – мережевий понижувальний перетворювач;
- 22 – випрямний вузол;
- 23 – згладжувальний фільтр;
- 24 – стабілізатор вторинної напруги живлення.

Центральним елементом структурної схеми є мікроконтролерний модуль 4. Він координує роботу всіх основних вузлів системи, забезпечує керування процесом вимірювання, підрахунок імпульсів детектора, оброблення отриманих даних, формування результату вимірювання та передавання інформації через наявні телекомунікаційні канали.

У пам'яті мікроконтролерного модуля 4 зберігається програмне забезпечення, яке визначає алгоритм функціонування системи. Збільшений обсяг Flash-пам'яті забезпечує можливість реалізації алгоритмів цифрового оброблення даних, обслуговування двох каналів зв'язку та збереження параметрів конфігурації.

Для формування високої напруги, необхідної для роботи детектора, мікроконтролерний модуль 4 генерує короткі керувальні імпульси тривалістю приблизно 5–10 мкс. Ці імпульси надходять до силового транзисторного ключа 7.

Транзисторний ключ 7 працює у режимі електронного комутатора та керує струмом первинного кола високовольтного перетворювача 8.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Застосування транзисторного ключа забезпечує імпульсний режим роботи перетворювача та дозволяє керувати формуванням високої напруги безпосередньо сигналами мікроконтролера 4.

Високовольтний перетворювач 8 підвищує низьку напругу живлення до рівня приблизно 440-450 В. Такий рівень напруги необхідний для створення робочого електричного поля всередині детектора іонізуючого випромінювання 10.

Після високовольтного перетворювача 8 напруга надходить до вузла формування високовольтних імпульсів 9. Вузол 9 забезпечує формування напруги з необхідними амплітудними та часовими параметрами та подає її до детектора 10.

Детектор іонізуючого випромінювання 10 виконано на основі лічильника Гейгера-Мюллера. Під дією гамма- або бета-випромінювання в газовому середовищі лічильника виникає короточасний лавиноподібний розряд. Кожній зареєстрованій іонізуючій частинці відповідає окремий електричний імпульс.

Частота імпульсів на виході детектора 10 залежить від інтенсивності радіаційного поля. Зі збільшенням рівня випромінювання збільшується кількість імпульсів, зареєстрованих за одиницю часу. Гранична швидкість підрахунку становить 4000 імп/с, що дозволяє контролювати радіаційне поле в заданому діапазоні.

Імпульси з виходу детектора 10 мають значну амплітуду, тому перед надходженням до цифрової частини системи проходять через резистивний подільник напруги 12. Подільник 12 знижує рівень сигналу до значення, допустимого для подальшого оброблення.

Після подільника напруги 12 сигнал надходить до вузла стабілізації вимірювального сигналу 11. Вузол 11 обмежує амплітуду імпульсів, формує стабільні логічні рівні та захищає вхід мікроконтролерного модуля 4 від можливих перенапруг.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підготовлені імпульси надходять до мікроконтролерного модуля 4, де виконується їх підрахунок протягом заданого інтервалу часу. Отримана кількість імпульсів перераховується у значення рівня радіаційного поля відповідно до встановленого алгоритму.

Результати вимірювання передаються до модуля рідкокристалічної індикації 1. Модуль 1 забезпечує відображення поточного значення рівня радіації, режиму роботи системи, стану телекомунікаційних каналів та інших службових повідомлень.

Для введення параметрів і вибору режимів функціонування використовується модуль клавіатурного керування 3. Команди від клавіатури 3 надходять до мікроконтролерного модуля 4, який виконує зміну налаштувань, установлення порогових рівнів та керування режимами вимірювання.

Модуль звукового оповіщення 5 призначений для акустичного супроводження процесу реєстрації іонізуючих частинок та формування сигналу небезпеки. У разі перевищення встановленого порога мікроконтролерний модуль 4 активує звуковий сигнал підвищеної інтенсивності.

Модуль світлової індикації 6 забезпечує візуальне відображення стану системи. Він може сигналізувати про наявність живлення, активність вимірювального режиму, передавання інформації та перевищення допустимого рівня радіації. Керування модулями 5 і 6 здійснюється мікроконтролером 4.

Для локального підключення телекомунікаційної системи до персонального комп'ютера передбачено інтерфейс обміну даними RS-232C 2. Через інтерфейс 2 можуть передаватися результати вимірювань, службова інформація та параметри конфігурації. Інтерфейс також може використовуватися для діагностування системи та оновлення її налаштувань.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Бездротовий канал передавання даних реалізовано за допомогою радіоприймально-передавального тракту, утвореного блоками 13–16. До його складу входять радіоприймально-передавальний модуль 13, високочастотний узгоджувальний вузол 14, смуговий високочастотний фільтр 15 та антенний модуль 16.

Радіоприймально-передавальний модуль 13 взаємодіє з мікроконтролером 4 та виконує модуляцію цифрових даних під час передавання й демодуляцію прийнятого сигналу. Двонапрямлений характер зв'язку дозволяє не лише передавати результати вимірювання, а й приймати команди налаштування та керування.

Високочастотний узгоджувальний вузол 14 забезпечує узгодження вихідного опору радіомодуля 13 із параметрами подальшого високочастотного тракту. Це зменшує втрати потужності та підвищує ефективність передавання радіосигналу.

Смуговий високочастотний фільтр 15 виділяє сигнали робочого діапазону та послаблює небажані позасмугові складові. Фільтрація знижує рівень електромагнітних завад і підвищує достовірність приймання інформації.

Антенний модуль 16 здійснює випромінювання сформованого радіосигналу та приймання сигналів від інших вузлів розподіленої системи. Радіотракт 13–16 забезпечує обмін даними в діапазоні 315–915 МГц зі швидкістю до 500 біт/с.

Другий телекомунікаційний тракт призначений для передавання інформації через електричну мережу 220 В і складається з блоків 17–20.

Модем передавання даних через електромережу 17 здійснює модуляцію цифрових повідомлень, сформованих мікроконтролером 4, та демодуляцію сигналів, прийнятих з електромережі. Таким способом результати радіаційного контролю можуть передаватися між територіально

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рознесеними пристроями, підключеними до спільної мережі електроживлення.

Лінійний драйвер PLC-каналу 18 формує необхідний рівень сигналу, забезпечує його підсилення та керує процесами приймання і передавання даних. Він узгоджує модем 17 з вузлом введення інформаційного сигналу в електромережу.

Узгоджувальний перетворювач напруги 19 забезпечує взаємодію низьковольтної електронної частини PLC-каналу з електричною мережею 20. Під час передавання через вузол 19 інформаційний сигнал вводиться в мережу, а під час приймання – виділяється з неї та передається до лінійного драйвера 18.

Електрична мережа 20 використовується як фізичне середовище поширення інформаційного сигналу. Застосування наявної мережевої інфраструктури дозволяє організувати локальний обмін даними без прокладання додаткових кабельних ліній. Максимальна швидкість передавання даних PLC-каналом становить 1440 біт/с.

Одночасне використання радіотракту 13–16 і тракту передавання через електромережу 17–20 утворює гібридну телекомунікаційну підсистему. Радіоканал доцільно застосовувати для зв'язку з віддаленими пунктами моніторингу, тоді як PLC-канал може використовуватися для обміну інформацією в межах будівлі або промислового об'єкта.

Живлення функціональних вузлів забезпечується блоком вторинного електроживлення, до складу якого входять вузли 21–24.

На вхід мережевого понижувального перетворювача 21 надходить напруга 220 В частотою 50 Гц. Вузол 21 знижує мережеву напругу до рівня, необхідного для подальшого перетворення та живлення електронних компонентів.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Випрямний вузол 22 перетворює змінну напругу на постійну. Оскільки після випрямлення напруга містить пульсації, вона надходить до згладжувального фільтра 23.

Згладжувальний фільтр 23 зменшує змінну складову випрямленої напруги та формує стабільніший рівень постійної напруги. Після цього сигнал живлення подається до стабілізатора 24.

Стабілізатор вторинної напруги 24 забезпечує формування напруг $+5\text{ В}$ та $+3,3\text{ В}$. Напруга $+5\text{ В}$ використовується для живлення мікроконтролерного, вимірювального та індикаційного обладнання, а напруга $+3,3\text{ В}$ – для живлення телекомунікаційних модулів.

Таким чином, розроблена структурна схема об'єднує вимірювальний тракт 7–12, центральний мікроконтролерний модуль 4, засоби керування та індикації 1–3, 5, 6, радіотракт 13–16, PLC-тракт 17–20 і блок вторинного живлення 21–24.

Запропонована структура забезпечує реєстрацію радіаційного поля, цифрове оброблення результатів, локальне інформування користувача та передавання даних двома незалежними середовищами зв'язку. Застосування гібридної телекомунікаційної підсистеми підвищує надійність інформаційного обміну та забезпечує можливість використання пристрою як окремого вимірювального вузла розподіленої системи радіаційного моніторингу.

1.4 Проектування схеми електричної принципової системи

1.4.1 Схема електрична принципова системи

На основі розроблених структурної схеми сформовано схему електричну принципову телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу. Схема визначає склад електронних компонентів,

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принципову схему високовольтного вимірювального тракту наведено на рис. 1.9.

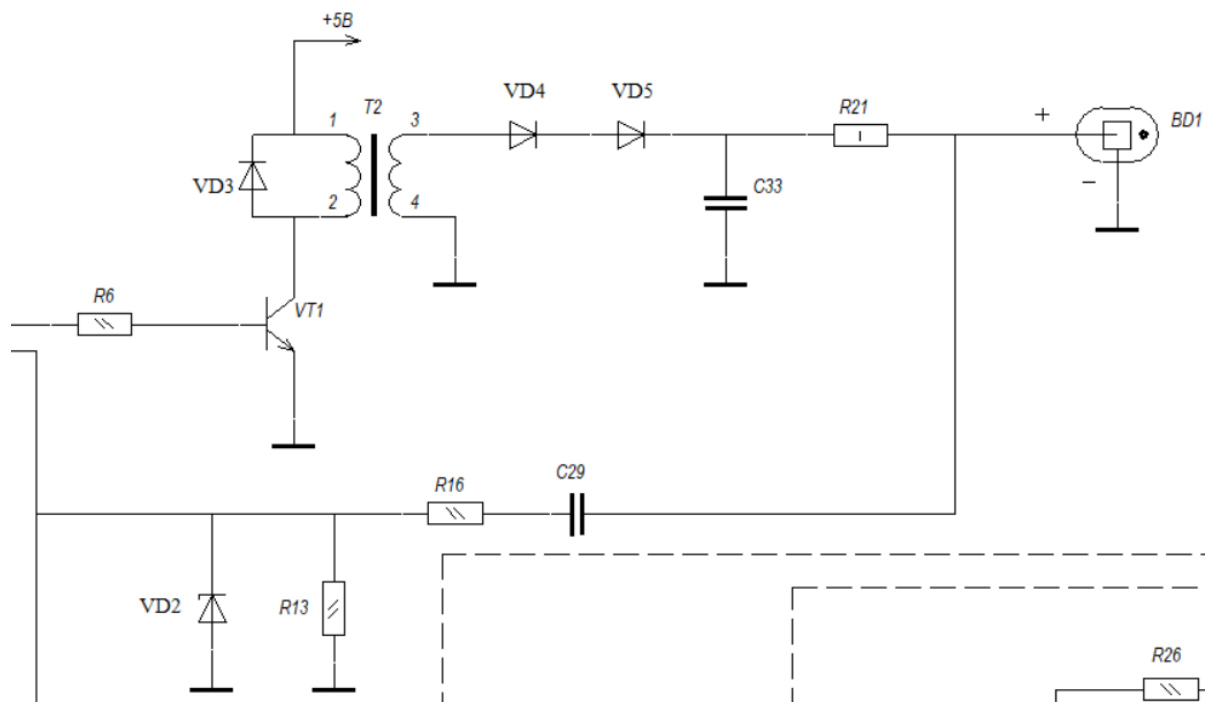


Рисунок 1.9 – Високовольтний вимірювальний тракт і детектор

Для функціонування лічильника Гейгера-Мюллера BD1 типу СБМ-20 необхідна постійна напруга приблизно 440-450 В. Мікроконтролер DD2 формує короткі імпульси тривалістю 5-10 мкс, які через резистор надходять на силовий транзисторний ключ. Транзистор комутує струм первинної обмотки трансформатора T2.

На вторинній обмотці T2 формується підвищена напруга. Діоди VD4, VD5 здійснюють її випрямлення, а конденсатор C33 накопичує заряд і зменшує пульсації. Отримана напруга подається на детектор BD1.

Під дією іонізуючого випромінювання в лічильнику BD1 виникають короточасні газові розряди. Кожній зареєстрованій частинці відповідає електричний імпульс. Частота імпульсів залежить від інтенсивності радіаційного поля, а максимальна швидкість лічення становить 4000 імп/с.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Імпульси з виходу BD1 надходять на резистивний подільник R13, R16, який знижує їх амплітуду до рівня 3-5 В. Після цього сигнал проходить через стабілізуючі та захисні елементи вузла і подається на цифровий вхід DD2.

Результат підрахунку імпульсів виводиться на модуль рідкокристалічної індикації, який підключено через роз'єм X1. Лінії порту мікроконтролера DD2 використовуються для передавання даних і сигналів керування індикатором.

Модуль клавіатурного керування з утворено кнопками та резисторами, які забезпечують установлені логічні рівні на входах мікроконтролера. За допомогою кнопок задають режим вимірювання, порогове значення сигналізації та інші параметри роботи.

Схеми підключення рідкокристалічного індикатора і клавіатури наведено на рис. 1.10.

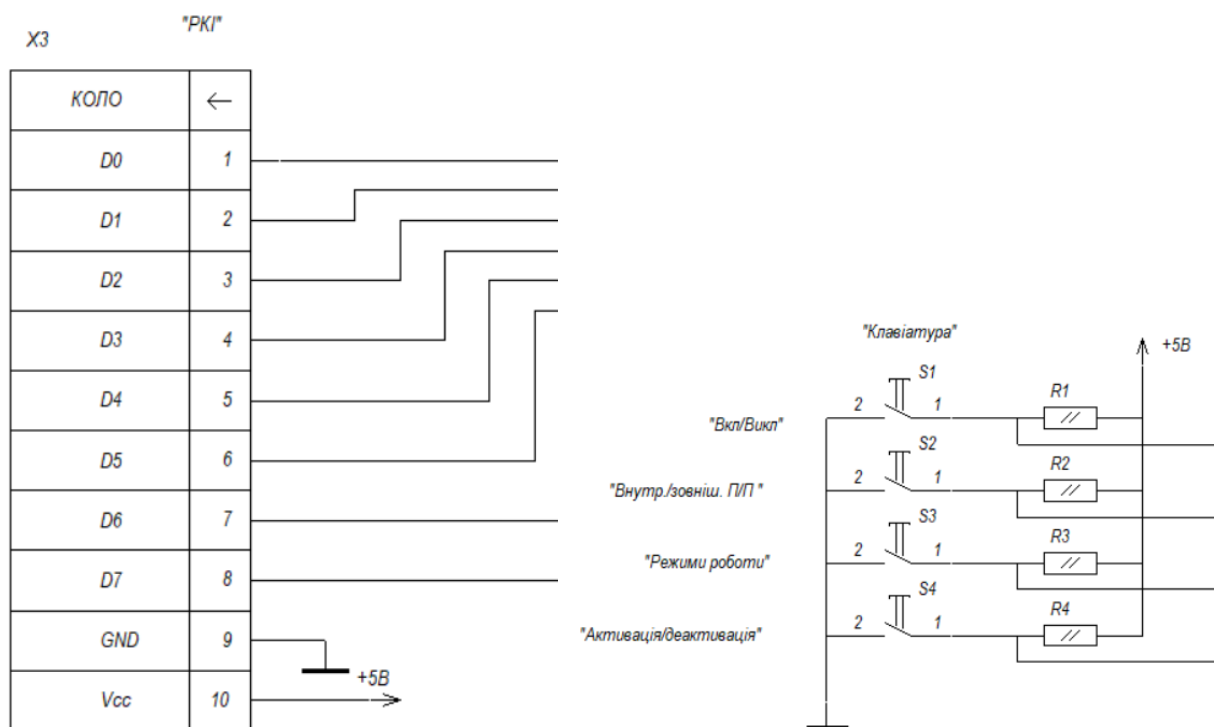


Рисунок 1.10 – Модулі рідкокристалічної індикації та клавіатурного керування

Модуль звукового оповіщення реалізовано на транзисторному ключі та звуковому випромінювачі. Керувальний сигнал із DD2 через базовий резистор відкриває транзистор, який комутує струм випромінювача. Реєстрація кожної частинки може супроводжуватися коротким звуковим сигналом, а в разі перевищення порогового рівня формується тривожне оповіщення.

Модуль світлової індикації містить світлодіоди, транзисторні ключі та струмообмежувальні резистори. Світлодіоди сигналізують про режим роботи системи, активність каналів зв'язку та перевищення допустимого рівня випромінювання.

Схеми модулів звукового оповіщення та світлової індикації наведено на рис. 1.11.

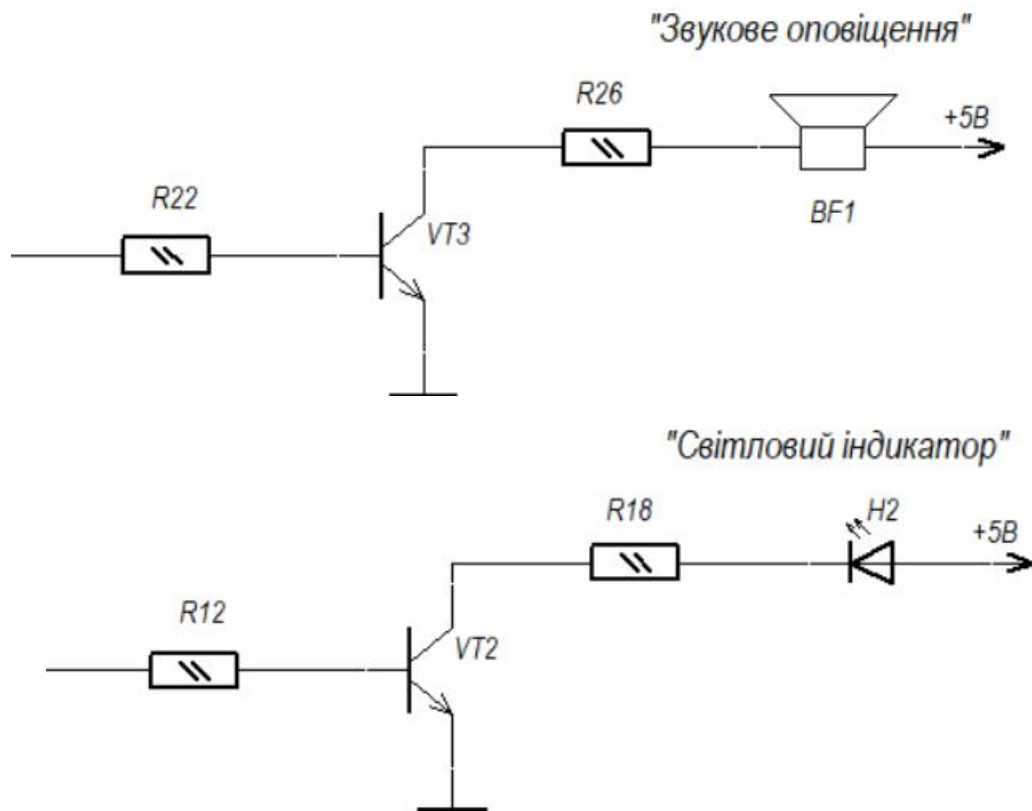


Рисунок 1.11 – Модулі звукового оповіщення та світлової індикації

Смуговий високочастотний фільтр пропускає сигнали робочого діапазону та послаблює гармонічні й позасмугові складові.

Антенний модуль підключено через роз'єм X3. Під час приймання сигнал від антени проходить через фільтр і узгоджувальний вузол до DD5. Під час передавання сигнал поширюється у зворотному напрямі.

Принципову схему радіоприймально-передавального тракту наведено на рис. 1.13.

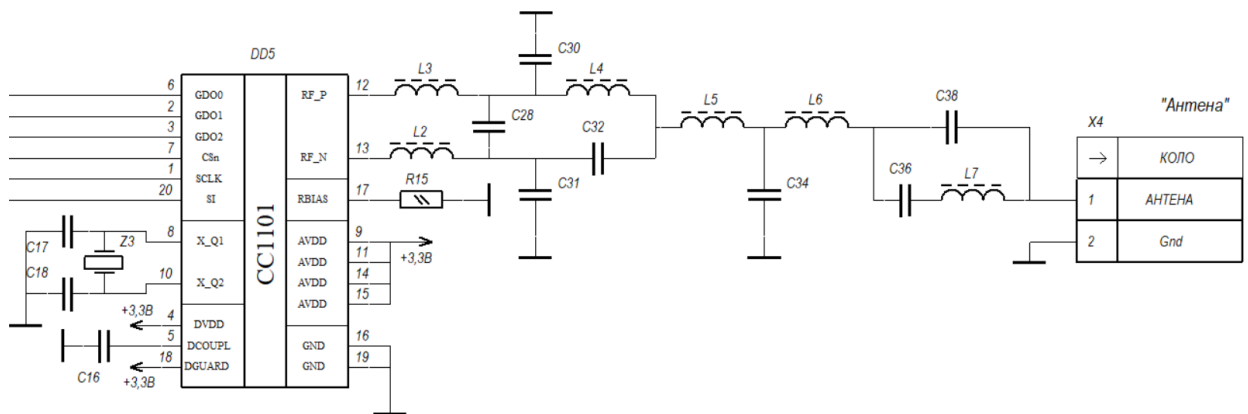


Рисунок 1.13 – Радіоприймально-передавальний тракт

Модем передавання даних через електромережу 17 реалізовано на мікросхемі DD6 типу MTC3058. Вона здійснює модуляцію цифрових даних під час передавання та демодуляцію сигналу під час приймання.

Лінійний драйвер PLC-каналу 18 виконано на мікросхемі DD4 типу AMIS-4987. Він підсилює модульований сигнал і забезпечує необхідний струм для його передавання в електричну мережу.

Узгоджувальний перетворювач 19 містить трансформатор Т3, конденсатори зв'язку, резистори та захисні елементи. Трансформатор Т3 забезпечує гальванічне розділення низьковольтної частини схеми від мережі 220 В. Конденсатори пропускають високочастотну інформаційну складову та блокують напругу промислової частоти.

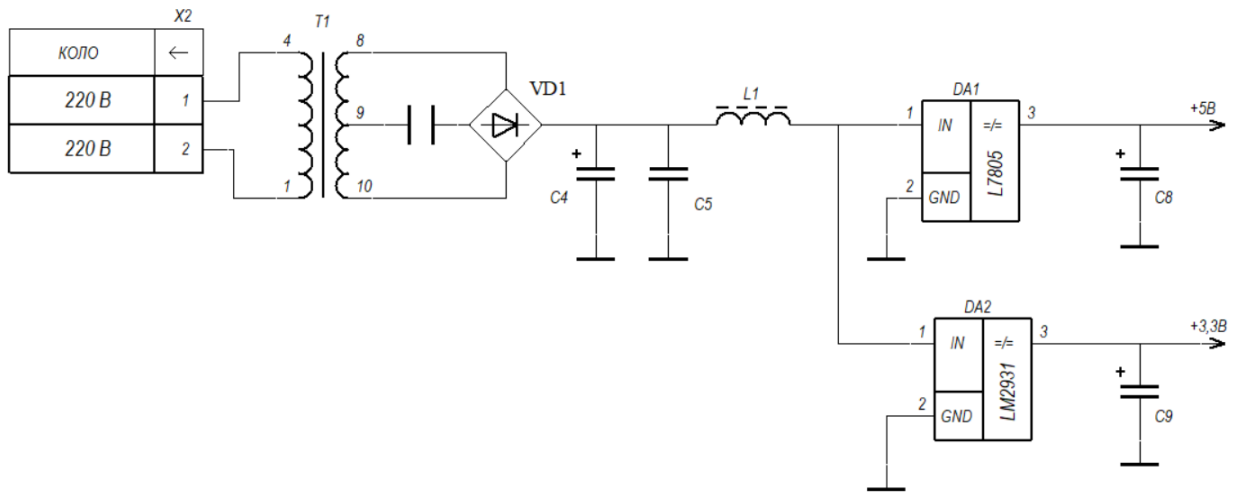


Рисунок 1.15 – Блок вторинного електроживлення

Після подавання напруги живлення мікросхема DD3 формує сигнал скидання DD2. Мікроконтролер ініціалізує індикатор, клавіатуру, MAX232, CC1101 та MTC3058, після чого активує високовольтний перетворювач.

Імпульси детектора BD1 через резистивний подільник і стабілізувальний вузол надходять до DD2. Результат оброблення відображається на індикаторі та може передаватися через інтерфейс RS-232C, радіоприймально-передавальний тракт або PLC-канал.

Отже, схема електрична принципова забезпечує реєстрацію радіаційного поля, оброблення результатів, локальну індикацію, звукове та світлове оповіщення, а також передавання інформації гібридними телекомунікаційними каналами.

1.4.2 Синтез схеми електричної принципової

1.4.2.1 Розрахунок транзисторного ключа модуля світлової індикації

Модуль світлової індикації призначений для візуального відображення стану телекомунікаційної системи, режиму роботи та можливого перевищення допустимого рівня радіаційного поля. У схемі цей вузол

реалізовано на світлодіоді, струмообмежувальному резисторі R18 номіналом 270 Ом та транзисторному ключі VT2 типу BC547 (рис.1.11).

Застосування транзисторного ключа є доцільним, оскільки вихід мікроконтролера не навантажується безпосередньо струмом світлодіода. Мікроконтролер формує лише керувальний сигнал, а основний струм навантаження протікає через транзисторний ключ.

Для розрахунку приймаємо: напруга живлення вузла $U_s=5$ В, пряме падіння напруги на світлодіоді $U_{LED} = 2$ В, напруга насичення транзистора $U_{CEsat} = 0,2$ В. Струм світлодіода визначається за формулою:

$$I_{LED} = \frac{U_s - U_{LED} - U_{CEsat}}{R18} = \frac{5 - 2 - 0,2}{270} = 10,37 \text{ мА}, \quad (1.1)$$

Отримане значення струму становить 10,37 мА. Такий струм є типовим для індикаторних світлодіодів і забезпечує достатню яскравість світіння без перевантаження елемента.

Потужність, що розсіюється на струмообмежувальному резисторі R18, визначається за формулою:

$$P_{R18} = I_{LED}^2 R18 = (0,01037)^2 \cdot 270 = 0,029 \text{ Вт}, \quad (1.2)$$

Розрахункова потужність становить 0,029 Вт. Оскільки у схемі застосовується резистор потужністю 0,125 Вт, він має достатній запас за потужністю. Отже, резистор R18 номіналом 270 Ом вибрано правильно.

Для перевірки режиму роботи транзистора VT2 визначимо струм його бази. У вихідному розрахунку приймається коефіцієнт підсилення транзистора за струмом $\beta_{VT2}=600$. Колекторний струм транзистора приблизно дорівнює струму світлодіода:

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{bVT2} = \frac{I_{кVT2}}{\beta_{nVT2}}, \quad I_{кVT2} = I_{LED} = 10 \text{ мА}, \quad \beta_{кVT2} = 600 \quad (1.3)$$

Після підстановки числових значень маємо:

$$I_{bVT2} = \frac{0,01}{600} = 16,67 \text{ мкА}, \quad (1.4)$$

Розрахунковий струм бази становить 16,67 мкА. Це мінімальний струм, необхідний для забезпечення колекторного струму 10 мА за прийнятого коефіцієнта підсилення.

Опір базового резистора можна визначити за формулою:

$$R12 = \frac{U_{ctrl} - U_{BE}}{I_{bVT2}} = \frac{5 - 0,7}{16,67 \cdot 10^{-6}} \approx 258 \text{ кОм}. \quad (1.5)$$

Розрахункове значення базового резистора становить приблизно 258 кОм. У принциповій схемі застосовано резистор R12 номіналом 91 кОм. Оскільки його опір менший за розрахунковий, фактичний струм бази буде більшим, ніж мінімально необхідний. Це підвищує надійність відкриття транзистора VT2 і забезпечує впевнене ввімкнення світлодіода.

Отже, модуль світлової індикації працює у допустимому режимі: струм світлодіода не перевищує типових значень, резистор R18 має достатній запас за потужністю, а транзистор VT2 забезпечує надійне комутування навантаження.

1.4.2.2 Перевірка резисторів підтягування модуля клавіатурного керування

Модуль клавіатурного керування призначений для введення команд, вибору режимів роботи та налаштування параметрів системи (рис.1.10). У

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

колах кнопок застосовуються резистори підтягування R1-R4 номіналом 10 кОм.

Призначення цих резисторів полягає у формуванні стабільного логічного рівня на входах мікроконтролера у ненависнутому стані кнопок. Без підтягувальних резисторів входи мікроконтролера могли б перебувати у невизначеному стані, що призводило б до помилкового спрацювання клавіатури під дією електромагнітних завад.

Під час натискання кнопки через підтягувальний резистор протікає струм:

$$I_{key} = \frac{U_s}{R_{pull}} = \frac{5}{10 \cdot 10^{-3}} \approx 0.5 \text{ мА}. \quad (1.6)$$

Отриманий струм становить 0,5 мА. Це мале значення, яке не створює суттєвого навантаження на джерело живлення і водночас забезпечує стабільне визначення логічного стану входу мікроконтролера.

Потужність, що розсіюється на підтягувальному резисторі, визначається за формулою:

$$P_{pull} = \frac{U_s^2}{R_{pull}} = \frac{5^2}{10 \cdot 10^3} \approx 2.5 \text{ мВт}. \quad (1.7)$$

Потужність становить 2,5 мВт, що значно менше від допустимої потужності стандартного резистора 0,125 Вт. Отже, резистори R1-R4 мають великий запас за потужністю.

Номінал 10 кОм є обґрунтованим, оскільки забезпечує компроміс між завадостійкістю та енергоспоживанням. Менші номінали збільшували б струм під час натискання кнопок, а більші – знижували б завадостійкість входів мікроконтролера.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4.2.3 Перевірка високовольтного накопичувального конденсатора С33

У вузлі формування високовольтних імпульсів використовується конденсатор С33 ємністю 2200 пФ із допустимою робочою напругою 530 В. Цей конденсатор входить до складу високовольтного тракту, який забезпечує формування робочої напруги для лічильника Гейгера-Мюллера.

Робоча напруга високовольтного вузла становить приблизно 440-450 В. Перевіримо використання конденсатора за напругою:

$$k_U = \frac{U_{work}}{U_{max}} = \frac{450}{530} = 0.849 \quad (1.8)$$

Коефіцієнт використання за напругою становить 0,849, тобто конденсатор використовується приблизно на 84,9 % від допустимого значення. Це означає, що запас за напругою існує, однак він не є надмірним.

Заряд, який накопичується на конденсаторі С33, визначається за формулою:

$$Q = C33U_{work} = 2.2 \cdot 10^{-9} \cdot 450 = 0.99 \cdot 10^{-6} C = 0.99 \text{ мкКл.} \quad (1.9)$$

Отриманий заряд становить 0,99 мкКл. Це значення відповідає імпульсному режиму роботи високовольтного вузла.

Енергія, накопичена в електричному полі конденсатора, визначається за формулою:

$$W = \frac{C33U_{work}^2}{2} = \frac{2.2 \cdot 10^{-9} \cdot 450^2}{2} = 0.223 \text{ мДж.} \quad (1.10)$$

Енергія становить 0,223 мДж. Така енергія є невеликою і прийнятною для вузла живлення лічильника Гейгера-Мюллера. Невелика енергія імпульсу

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зменшує навантаження на транзисторний ключ і високовольтний трансформатор.

Отже, конденсатор С33 за ємністю та допустимою напругою може бути використаний у високовольтному вузлі. Проте через робочу напругу близько 450 В під час налагодження схеми доцільно перевірити пікові значення напруги на С33 осцилографом із високовольтним щупом.

1.4.2.4 Перевірка резистивного подільника вимірювального сигналу

Резистивний подільник вимірювального сигналу призначений для зменшення амплітуди імпульсів, які формуються у високовольтному тракті, до рівня, допустимого для входу мікроконтролера. У схемі подільник утворено резисторами R13=3 МОм і R16=180 кОм.

Вихідна напруга подільника визначається за формулою:

$$U_{out} = U_{in} \frac{R16}{R13 + R16} = 450 = \frac{180 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^6 + 180 \cdot 10^3} = 25.47 \text{ Вт} \quad (1.11)$$

Якщо на подільник безпосередньо подати напругу 450 В, на його виході буде приблизно 25,47 В. Це значення перевищує допустиму напругу цифрового входу мікроконтролера. Отже, подільник R13-R16 не може самостійно знизити постійну напругу 450 В до рівня 3-5 В.

Струм, що протікає через подільник, визначається за формулою:

$$I_d = \frac{U_{in}}{R13 + R16} = \frac{450}{3.18 \cdot 10^6} = 141.5 \text{ мкА} \quad (1.12)$$

Струм подільника становить 141,5 мкА. Це невелике значення, тому вузол не створює значного навантаження на високовольтне джерело.

Потужність, що розсіюється на верхньому резисторі R13, визначається за формулою:

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{R13} = I_d^2 R13 = (141.5 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 3 \cdot 10^6 = 0.06 \text{ Вт} \quad (1.13)$$

Потужність на R13 становить 0,060 Вт. Це менше за допустиму потужність резистора 0,125 Вт, тому за потужністю резистор вибрано правильно.

Однак результати перевірки показують, що з погляду напруги подільник потребує додаткового обмеження сигналу. У реальній схемі рівень напруги на вході мікроконтролера може зменшуватися за рахунок імпульсного характеру сигналу, стабілізувальних елементів або захисних діодів. Тому перед виготовленням остаточного варіанта пристрою необхідно експериментально перевірити амплітуду сигналу після подільника.

1.4.3 Синтез алгоритму роботи центрального мікроконтролерного модуля

Алгоритм роботи центрального мікроконтролерного модуля визначає послідовність виконання основних програмних операцій, пов'язаних з ініціалізацією системи, обміном даними з модемом, обміном даними з персональним комп'ютером та вимірюванням рівня радіаційного поля. Блок-схему алгоритму роботи мікроконтролера наведено на рис. 1.16.

Після подавання живлення робота мікроконтролера починається з виконання початкової ініціалізації. На цьому етапі здійснюється налаштування портів введення-виведення, встановлення початкових логічних рівнів на керувальних лініях, ініціалізація змінних, підготовка інтерфейсів обміну даними та перевірка готовності основних функціональних вузлів. Ініціалізація є обов'язковою, оскільки після ввімкнення живлення стани регістрів мікроконтролера можуть бути невизначеними, а зовнішні пристрої потребують встановлення початкового режиму роботи.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо вибрано режим передавання даних до модема, мікроконтролер формує інформаційний пакет і подає його на входи модема через лінії P1.2-P1.7 та P3.0. У цьому випадку портові лінії використовуються для виведення даних і керувального сигналу передавання. Після завершення операції передавання також виконується засвічення світлодіода, що свідчить про виконання відповідної операції обміну.

Другим етапом основного циклу є перевірка режиму обміну даними з персональним комп'ютером. Якщо цей режим не активний, програма переходить до наступного функціонального блоку. Якщо режим активний, мікроконтролер визначає, чи необхідно приймати дані від ПК, чи передавати дані до ПК. У режимі приймання сигнал від ПК надходить на вхідну лінію P3.7. Після зчитування даних мікроконтролер виконує їх оброблення та вмикає світловий індикатор для підтвердження виконання операції.

У режимі передавання даних до ПК мікроконтролер формує вихідну інформацію та подає її на лінію P3.6. Через цю лінію забезпечується передавання результатів вимірювання, службових повідомлень або діагностичної інформації. Після виконання передавання також активується світлодіод, який виконує функцію індикатора стану обміну.

Третім режимом, який перевіряється в основному циклі, є режим вимірювання рівня радіації. Якщо цей режим не активний, програма повертається до початку основного циклу та знову перевіряє режими обміну даними. Якщо режим вимірювання активний, мікроконтролер переходить до підрахунку рівня радіації. Цей етап передбачає реєстрацію імпульсів від лічильника Гейгера-Мюллера, накопичення їх кількості протягом заданого вимірювального інтервалу та формування числового значення, пропорційного інтенсивності іонізуючого випромінювання.

Після завершення підрахунку мікроконтролер виконує виведення результатів на рідкокристалічний індикатор. Згідно з блок-схемою, для передавання даних на РКІ використовуються лінії порту P0.1–P0.7. Через ці

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лінії на індикатор надходять інформаційні біти, які забезпечують відображення поточного значення рівня радіації, режиму роботи системи або службового повідомлення. Виведення даних на індикатор є важливим етапом, оскільки забезпечує локальний контроль стану системи без підключення зовнішнього комп'ютера.

Після оновлення рідкокристалічного індикатора формується звуковий сигнал. Він може використовуватися для підтвердження завершення вимірювання або для попередження користувача про перевищення допустимого рівня радіації. Якщо виміряне значення перевищує встановлений поріг, звуковий сигнал може бути тривалішим або повторюватися з певною періодичністю. У штатному режимі сигнал може бути коротким і виконувати функцію індикації факту реєстрації події.

Після виконання всіх передбачених операцій програма переходить до завершення поточного циклу. Далі алгоритм може бути повторений, оскільки робота мікроконтролера в реальній системі є циклічною. Такий принцип організації програмного забезпечення дозволяє безперервно контролювати стан каналів обміну даними та вимірювального тракту.

Особливістю наведеного алгоритму є паралельне логічне обслуговування трьох основних функціональних напрямів: модемного каналу, каналу зв'язку з ПК і вимірювального каналу. Фактично програма працює як циклічний диспетчер, який послідовно перевіряє наявність запитів на виконання певної операції. Якщо відповідний режим активний, виконується його оброблення; якщо ні – програма переходить до наступної перевірки.

Такий алгоритм є доцільним для мікроконтролерної системи розподіленого радіаційного моніторингу, оскільки він не потребує складної операційної системи, має просту структуру, легко реалізується мовою С або асемблером та забезпечує прогнозовану поведінку пристрою. Крім того, послідовна перевірка режимів дозволяє спростити налагодження

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

програмного забезпечення й оперативно визначати, на якому етапі виникає помилка.

У разі потреби алгоритм може бути доповнений пріоритетною обробкою аварійних станів. Наприклад, режим вимірювання рівня радіації та формування звукового сигналу доцільно зробити пріоритетними порівняно з передаванням службових даних. Це забезпечить своєчасне реагування системи на перевищення допустимого рівня радіаційного поля.

Крім того, для підвищення надійності роботи програмного забезпечення доцільно передбачити використання сторожового таймера. Якщо внаслідок програмної помилки або дії електромагнітної завади основний цикл програми буде порушено, сторожовий таймер виконає перезапуск мікроконтролера. Це дозволить автоматично відновити працездатність системи без втручання оператора.

Отже, синтезований алгоритм роботи центрального мікроконтролерного модуля забезпечує початкову ініціалізацію системи, обмін даними з модемом, обмін даними з персональним комп'ютером, вимірювання рівня радіації, виведення результатів на рідкокристалічний індикатор і формування звукового сигналу. Запропонована структура алгоритму відповідає функціональному призначенню телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу та забезпечує узгоджену роботу вимірювальних, індикаційних і телекомунікаційних вузлів.

1.4.5 Синтез програмного забезпечення центрального мікроконтролерного модуля

Програмне забезпечення центрального мікроконтролерного модуля призначене для керування обміном даними з модемом, обміну інформацією з персональним комп'ютером, опрацювання результатів вимірювання рівня радіації, виведення даних на рідкокристалічний індикатор та формування

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

звукового сигналу. У цьому підрозділі наведено фрагменти програмного коду, які відповідають основним функціям мікроконтролера.

Фрагменти програмного забезпечення подано мовою C у стилі середовища Keil C51. Такий варіант запису відповідає позначенням портів, прийнятим у блок-схемі алгоритму роботи мікроконтролера: P0.1–P0.7 використовуються для передавання даних на ПК; P1.2–P1.7 – для обміну даними з модемом; P3.0 – як службова лінія модема; P3.6 – для передавання даних до ПК; P3.7 – для приймання даних від ПК. Наведені фрагменти коду не є повним файлом прошивки, але демонструють програмну реалізацію основних операцій центрального мікроконтролерного модуля.

Лістинг 1.1 – Підключення бібліотек, задання типів даних і визначення ліній введення-виведення:

```
#include <REGX51.H>

typedef unsigned char  u8;
typedef unsigned int   u16;
typedef unsigned long  u32;

/* Лінії обміну з модемом */
sbit MODEM_CTRL = P3^0;

/* Лінії обміну з персональним комп'ютером */
sbit PC_TX = P3^6;
sbit PC_RX = P3^7;

/* Лінії індикації та звукового сигналу */
sbit LED_STATUS = P2^0;
sbit BUZZER     = P2^1;

/* Лінії керування РКІ */
sbit LCD_RS = P2^2;
sbit LCD_E  = P2^3;

/* Вхід імпульсів від вимірювального тракту */
sbit RADIATION_IN = P3^2;

#define MODEM_DATA_MASK 0xFC    /* P1.2-P1.7 */
#define LCD_DATA_MASK   0xFE    /* P0.1-P0.7 */
#define RADIATION_LIMIT 5000UL

volatile u32 pulse_count = 0;
u32 radiation_value = 0;
```

У лістингу 1.1 задано основні типи даних, службові константи та відповідність зовнішніх пристроїв конкретним виводам мікроконтролера.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Змінна `pulse_count` використовується для накопичення імпульсів, що надходять від вимірювального тракту. Вона оголошена з модифікатором `volatile`, оскільки її значення може змінюватися в обробнику переривання.

Лістинг 1.2 – Ініціалізація портів мікроконтролера:

```
void port_init(void)
{
    /* Початковий стан шин */
    P0 = 0x00;
    P1 = 0x00;
    P2 = 0x00;
    P3 = 0xFF;

    /* Вимкнення індикатора стану і звукового сигналу */
    LED_STATUS = 0;
    BUZZER = 0;

    /* Початковий стан службової лінії модема */
    MODEM_CTRL = 0;

    /* Початковий стан лінії зв'язку з ПК */
    PC_TX = 1;
}
```

Наведений фрагмент виконує початкове встановлення логічних рівнів на портах мікроконтролера. На початку роботи вимикаються світлодіодна індикація та звуковий сигнал, а лінії обміну переводяться у безпечний початковий стан. Це необхідно для запобігання хибному спрацюванню зовнішніх вузлів після подавання живлення.

Лістинг 1.3 – Функція короткої програмної затримки:

```
void delay_ms(u16 ms)
{
    u16 i, j;

    for (i = 0; i < ms; i++)
    {
        for (j = 0; j < 120; j++)
        {
            ;
        }
    }
}
```

Функція `delay_ms()` використовується для формування коротких часових інтервалів під час роботи з індикатором, модемом та службовими сигналами. У практичній реалізації тривалість затримки уточнюється відповідно до тактової частоти мікроконтролера.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лістинг 1.4 – Передавання даних до модема через лінії P1.2-P1.7:

```
void modem_write_data(u8 data)
{
    u8 temp;

    temp = P1 & 0x03;          /* Збереження P1.0 і P1.1 */
    temp |= (data << 2) & 0xFC; /* Передавання даних на P1.2-P1.7 */

    P1 = temp;

    MODEM_CTRL = 1;
    delay_ms(2);
    MODEM_CTRL = 0;
}
```

У лістингу 1.4 реалізовано передавання шестибітного коду до модема. Дані подаються на лінії P1.2-P1.7, після чого формується короткий службовий імпульс на лінії P3.0. Цей імпульс використовується як ознака готовності даних для зовнішнього модема.

Лістинг 1.5 – Приймання даних від модема:

```
u8 modem_read_data(void)
{
    u8 data;

    MODEM_CTRL = 1;
    delay_ms(1);

    data = (P1 & MODEM_DATA_MASK) >> 2;

    MODEM_CTRL = 0;

    return data;
}
```

Функція `modem_read_data()` виконує зчитування даних із ліній P1.2-P1.7. Отримане значення зсувається вправо на два біти, щоб сформувати зручне для подальшого опрацювання шестибітне число.

Лістинг 1.6 – Обмін даними з модемом:

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

void modem_exchange_task(u8 mode, u8 tx_data)
{
    u8 rx_data;

    if (mode == 1)
    {
        rx_data = modem_read_data();

        LED_STATUS = 1;
        delay_ms(20);
        LED_STATUS = 0;

        /* Тут може виконуватися оброблення rx_data */
    }
    else
    {
        modem_write_data(tx_data);

        LED_STATUS = 1;
        delay_ms(20);
        LED_STATUS = 0;
    }
}

```

Функція `modem_exchange_task()` забезпечує приймання або передавання даних через модем. Якщо змінна `mode` дорівнює одиниці, виконується приймання. Якщо `mode` дорівнює нулю, виконується передавання. Після завершення операції короткочасно вмикається світлодіод стану.

Лістинг 1.7 – Передавання одного біта до персонального комп'ютера:

```

void pc_send_bit(u8 bit_value)
{
    if (bit_value)
    {
        PC_TX = 1;
    }
    else
    {
        PC_TX = 0;
    }

    delay_ms(1);
}

```

У лістингу 1.7 показано формування логічного рівня на лінії P3.6, яка використовується для передавання даних до ПК. Такий фрагмент може застосовуватися у разі програмної реалізації простого послідовного обміну.

Лістинг 1.8 – Передавання байта до персонального комп'ютера:

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

void pc_send_byte(u8 data)
{
    u8 i;

    for (i = 0; i < 8; i++)
    {
        pc_send_bit(data & 0x01);
        data >>= 1;
    }
}

```

Функція `pc_send_byte()` виконує послідовне передавання восьми бітів даних. Передавання здійснюється від молодшого біта до старшого. Такий підхід дає змогу реалізувати простий програмний канал зв'язку з ПК.

Лістинг 1.9 – Приймання байта від персонального комп'ютера:

```

u8 pc_receive_byte(void)
{
    u8 i;
    u8 data = 0;

    for (i = 0; i < 8; i++)
    {
        if (PC_RX)
        {
            data |= (1 << i);
        }

        delay_ms(1);
    }

    return data;
}

```

У лістингу 1.9 наведено фрагмент приймання байта з лінії P3.7. На кожному кроці зчитується поточний логічний рівень входу, після чого відповідний біт записується у змінну `data`.

Лістинг 1.10 – Обмін даними з персональним комп'ютером:

```

void pc_exchange_task(u8 mode, u8 tx_data)
{
    u8 rx_data;

    if (mode == 1)
    {
        rx_data = pc_receive_byte();

        LED_STATUS = 1;
        delay_ms(20);
        LED_STATUS = 0;

        /* Тут може виконуватися оброблення команди rx_data */
    }
    else
    {
        pc_send_byte(tx_data);

        LED_STATUS = 1;
        delay_ms(20);
        LED_STATUS = 0;
    }
}

```

Функція `pc_exchange_task()` реалізує приймання або передавання даних між центральним мікроконтролерним модулем і персональним комп'ютером. Приймання може використовуватися для отримання команд налаштування, а передавання – для передавання результатів вимірювання та службової інформації.

Лістинг 1.11 – Запис даних на шину рідкокристалічного індикатора:

```

void lcd_write_bus(u8 data)
{
    u8 temp;

    temp = P0 & 0x01;          /* Збереження P0.0 */
    temp |= (data << 1) & LCD_DATA_MASK;

    P0 = temp;

    LCD_E = 1;
    delay_ms(1);
    LCD_E = 0;
}

```

Функція `lcd_write_bus()` передає дані на лінії P0.1–P0.7, які використовуються як шина рідкокристалічного індикатора. Лінія LCD_E формує імпульс запису даних в індикатор.

Лістинг 1.12 – Передавання команди та символу на РКІ:

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

void lcd_command(u8 command)
{
    LCD_RS = 0;
    lcd_write_bus(command);
    delay_ms(2);
}

void lcd_data(u8 data)
{
    LCD_RS = 1;
    lcd_write_bus(data);
    delay_ms(2);
}

```

Функція `lcd_command()` використовується для передавання команд керування індикатором, а функція `lcd_data()` – для передавання символів або числових даних. Лінія `LCD_RS` визначає тип переданої інформації: команда або дані.

Лістинг 1.13 – Виведення числового значення рівня радіації на РКІ:

```

void lcd_show_radiation(u32 value)
{
    char text[10];
    u8 i = 0;

    lcd_command(0x01);
    delay_ms(2);

    lcd_data('R');
    lcd_data('A');
    lcd_data('D');
    lcd_data(':');

    if (value == 0)
    {
        lcd_data('0');
        return;
    }

    while (value > 0)
    {
        text[i++] = (value % 10) + '0';
        value /= 10;
    }

    while (i > 0)
    {
        lcd_data(text[--i]);
    }
}

```

У лістингу 1.13 наведено приклад виведення результату вимірювання на рідкокристалічний індикатор. Числове значення перетворюється у

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

послідовність ASCII-символів і виводиться на дисплей після службового позначення RAD:.

Лістинг 1.14 – Обробник переривання від вимірювального тракту:

```
void external_interrupt0_init(void)
{
    IT0 = 1;    /* Переривання INT0 за спадним фронтом */
    EX0 = 1;    /* Дозвіл зовнішнього переривання INT0 */
    EA = 1;    /* Глобальний дозвіл переривань */
}

void int0_isr(void) interrupt 0
{
    pulse_count++;
}
```

У цьому фрагменті зовнішнє переривання INT0 використовується для підрахунку імпульсів, які надходять від лічильника Гейгера-Мюллера через вимірювальний тракт. Кожний імпульс збільшує значення змінної pulse_count на одиницю.

Лістинг 1.15 – Обчислення рівня радіації:

```
u32 calculate_radiation_level(void)
{
    u32 result;

    result = pulse_count;
    pulse_count = 0;

    return result;
}
```

Функція calculate_radiation_level() зчитує накопичену кількість імпульсів і повертає її як умовне значення рівня радіаційного поля. У практичній реалізації це значення необхідно помножити на калібрувальний коефіцієнт, який визначається експериментально.

Лістинг 1.16 – Формування звукового сигналу:

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

void sound_short_signal(void)
{
    BUZZER = 1;
    delay_ms(50);
    BUZZER = 0;
}

void sound_alarm_on(void)
{
    BUZZER = 1;
    delay_ms(200);
    BUZZER = 0;
    delay_ms(100);
}

```

Функція `sound_short_signal()` формує короткий звуковий сигнал у штатному режимі роботи. Функція `sound_alarm_on()` використовується для формування аварійного звукового сигналу у разі перевищення порогового рівня радіації.

Лістинг 1.17 – Програмний модуль вимірювання рівня радіації:

```

void radiation_measurement_task(void)
{
    radiation_value = calculate_radiation_level();

    lcd_show_radiation(radiation_value);

    if (radiation_value >= RADIATION_LIMIT)
    {
        sound_alarm_on();
    }
    else
    {
        sound_short_signal();
    }
}

```

Функція `radiation_measurement_task()` виконує основні дії вимірювального режиму: отримує значення рівня радіації, виводить його на рідкокристалічний індикатор та формує звуковий сигнал відповідно до результату вимірювання.

Лістинг 1.18 – Основна функція програми:

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

void main(void)
{
    u8 modem_tx_data = 0x15;
    u8 pc_tx_data    = 0x33;

    port_init();
    external_interrupt0_init();

    while (1)
    {
        modem_exchange_task(0, modem_tx_data);

        pc_exchange_task(0, pc_tx_data);

        radiation_measurement_task();

        delay_ms(100);
    }
}

```

Основна функція програми виконує початкову ініціалізацію портів і зовнішнього переривання, після чого переходить у безперервний цикл. У цьому циклі послідовно виконується обмін з модемом, обмін з персональним комп'ютером і вимірювання рівня радіації. Така структура забезпечує узгоджену роботу телекомунікаційних, вимірювальних та індикаційних вузлів центрального мікроконтролерного модуля.

Наведені фрагменти програмного коду демонструють практичну реалізацію основних функцій центрального мікроконтролерного модуля: передавання і приймання даних через модем, обмін із персональним комп'ютером, виведення результатів на рідкокристалічний індикатор, підрахунок імпульсів вимірювального тракту та формування звукового сигналу. Запропонована структура програмного забезпечення є модульною, що спрощує подальше налагодження та модернізацію системи.

1.5 Вибір елементної бази системи

Вибір елементної бази телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу виконується відповідно до функціонального призначення окремих вузлів схеми електричної принципової, умов експлуатації пристрою, вимог до надійності, стабільності параметрів та технологічності виготовлення. Елементна база повинна забезпечувати

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

реєстрацію іонізуючого випромінювання, оброблення вимірювальних імпульсів, індикацію результатів, формування звукового та світлового оповіщення, а також передавання даних через передбачені телекомунікаційні канали.

Під час вибору електрорадіоелементів враховано такі основні критерії:

- відповідність електричних параметрів елементів режимам роботи схеми;
- можливість роботи у складі вимірювального, цифрового, телекомунікаційного та високовольтного трактів;
- достатній запас за напругою, струмом і потужністю;
- сумісність із центральним мікроконтролерним модулем;
- технологічність монтажу на друкованій платі;
- надійність роботи в умовах тривалої експлуатації;
- можливість забезпечення стабільної роботи системи в режимі безперервного радіаційного моніторингу.

Елементна база системи поділяється на такі основні групи: сенсорні елементи, мікросхеми цифрової обробки та зв'язку, елементи індикації й оповіщення, пасивні елементи, напівпровідникові дискретні елементи, елементи живлення, комутаційні елементи, роз'єми та кварцові резонатори.

1.5.1 Вибір лічильника Гейгера-Мюллера

Основним вимірювальним елементом системи є лічильник Гейгера-Мюллера BF1 типу СБМ-20. Його призначення полягає у перетворенні іонізуючого випромінювання в електричні імпульси, які надалі надходять на формувальний і підрахунковий тракт. Застосування газорозрядного лічильника СБМ-20 є доцільним, оскільки такий елемент має простий принцип роботи, достатню чутливість для реєстрації радіаційного поля та забезпечує формування імпульсного сигналу, придатного для оброблення мікроконтролером.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лічильник СБМ-20 працює у високовольтному режимі, тому в схемі передбачено спеціальний високовольтний перетворювач, накопичувальні та розділові елементи, а також вузол формування імпульсів. Вибір цього елемента обґрунтовується тим, що він забезпечує безпосередню реєстрацію іонізуючого випромінювання та є ключовим елементом вимірювального тракту.

Зовнішній вигляд лічильника Гейгера-Мюллера СБМ-20 наведено на рисунку 1.17.



Рисунок 1.17 – Зовнішній вигляд лічильника Гейгера-Мюллера СБМ-20

1.5.2 Вибір центрального мікроконтролерного модуля

Для реалізації функцій керування системою обрано мікроконтролер DD2 типу ATmega32. Він виконує функції центрального обчислювального та керувального вузла. Мікроконтролер забезпечує підрахунок імпульсів, які надходять від лічильника Гейгера-Мюллера, опрацювання результатів вимірювання, керування рідкокристалічним індикатором, оброблення сигналів клавіатури, формування сигналів звукової та світлової індикації, а також організацію обміну даними з інтерфейсними й телекомунікаційними вузлами.

Вибір ATmega32 є обґрунтованим завдяки наявності достатньої кількості портів введення-виведення, вбудованих таймерів, апаратних

переривань, енергонезалежної пам'яті та можливості програмування мовою С. Наявність зовнішніх переривань дозволяє реалізувати підрахунок імпульсів від детектора без пропуску подій, а таймери можуть використовуватися для формування вимірювального інтервалу та часових затримок.

Зовнішній вигляд мікроконтролера АТmega32 наведено на рисунку 1.18.

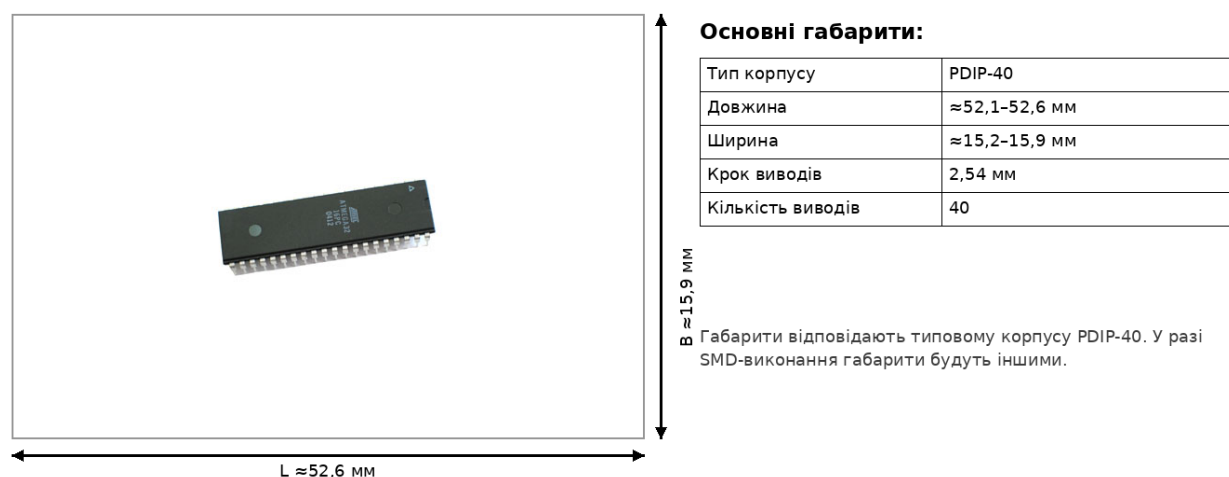


Рисунок 1.18 – Зовнішній вигляд мікроконтролера АТmega32

1.5.3 Вибір мікросхем інтерфейсів і телекомунікаційних каналів

Для реалізації інтерфейсу RS-232C у схемі застосовано мікросхему DD1 типу MAX232. Вона виконує перетворення логічних рівнів мікроконтролера в рівні стандарту RS-232C і навпаки. Застосування MAX232 є необхідним, оскільки рівні сигналів мікроконтролера не відповідають рівням послідовного інтерфейсу персонального комп'ютера.

Мікросхема MAX232 забезпечує узгодження центрального мікроконтролерного модуля з ПК, що дає змогу передавати результати вимірювання, службову інформацію, діагностичні повідомлення та приймати команди налаштування. Вибір цієї мікросхеми обґрунтовується її простотою

застосування, типовою схемою включення та сумісністю з UART мікроконтролера.

Зовнішній вигляд мікросхеми MAX232 наведено на рисунку 1.19.

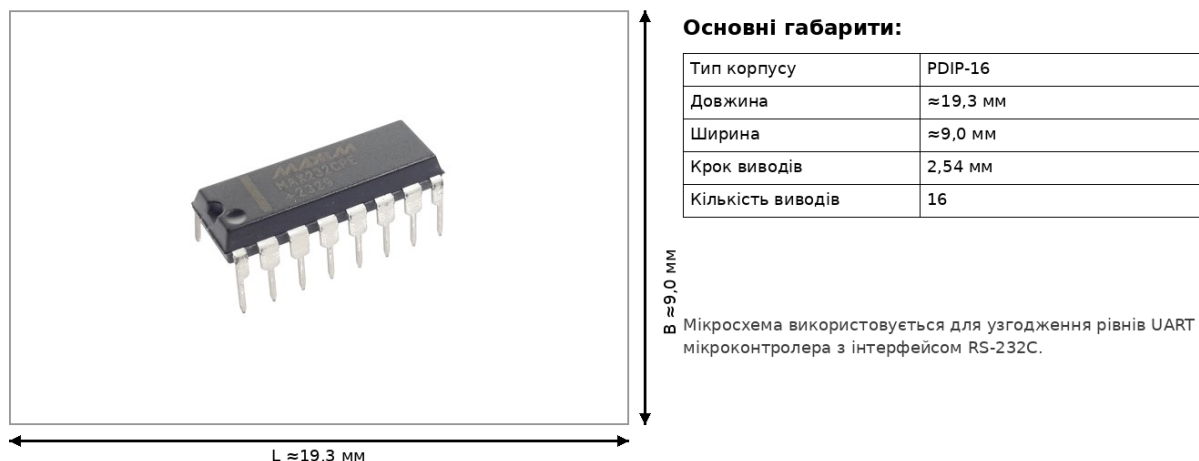


Рисунок 1.19 – Зовнішній вигляд мікросхеми MAX232

Для контролю живлення і формування сигналу скидання використано мікросхему DD3 типу DS1812D-5. Вона забезпечує коректний запуск мікроконтролера після подавання живлення та запобігає неконтрольованій роботі програми за нестабільної напруги. Такий елемент є важливим для підвищення надійності роботи цифрової частини системи.

Для реалізації радіоканалу використано мікросхему DD5 типу CC1101. Вона забезпечує бездротовий обмін даними між вимірювальним вузлом і приймальною частиною системи. Вибір CC1101 пояснюється її призначенням для малопотужних радіоканалів, можливістю роботи в діапазонах, придатних для передавання телеметричної інформації, та сумісністю з мікроконтролерним керуванням.

Радіоприймально-передавальний тракт на основі CC1101 використовується для передавання результатів радіаційного моніторингу у випадках, коли застосування провідного каналу є недоцільним або неможливим. Цей канал підвищує гнучкість системи та дозволяє

розміщувати вимірювальні вузли на відстані від центрального пункту збору інформації.

Зовнішній вигляд радіоприймально-передавальної мікросхеми CC1101 наведено на рисунку 1.20.

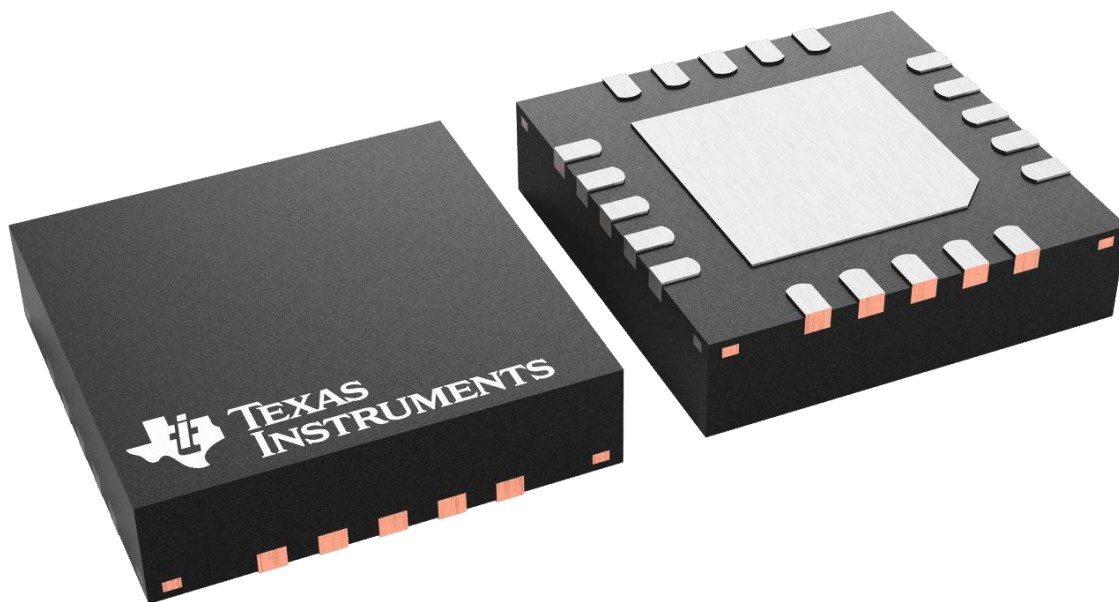


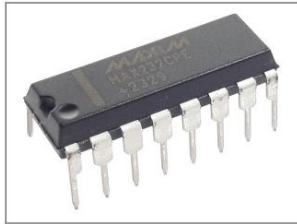
Рисунок 1.20 – Зовнішній вигляд радіоприймально-передавальної мікросхеми CC1101

Для передавання даних через електромережу у схемі застосовано мікросхеми DD4 типу AMIS-4987 та DD6 типу MTC3058. Вони забезпечують формування, оброблення та узгодження сигналів PLC-каналу. Використання каналу передавання даних через електромережу дозволяє організувати обмін інформацією між вузлами системи без прокладання окремої сигнальної лінії.

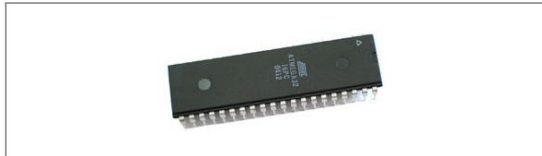
Вибір цих мікросхем обґрунтовується необхідністю реалізації гібридної телекомунікаційної структури, у якій поряд із радіоканалом використовується канал передавання даних через електричну мережу. Це підвищує надійність передавання інформації та забезпечує альтернативний шлях зв'язку між вузлами системи.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зовнішній вигляд мікросхем телекомунікаційного тракту наведено на рис. 1.21.



типовий DIP/SOIC корпус ІМС



типовий багатовивідний корпус ІМС

Основні габарити:

Функція	PLC-тракт
AMIS-4987	контролер/модем PLC
МТС3058	аналоговий вузол PLC
Габарити	за корпусом ІМС
Примітка	уточнювати за ТУ

Для малодоступних PLC-мікросхем у рисунку показано типові корпусні виконання інтегральних мікросхем; точні габарити необхідно брати з документації конкретного виробника.

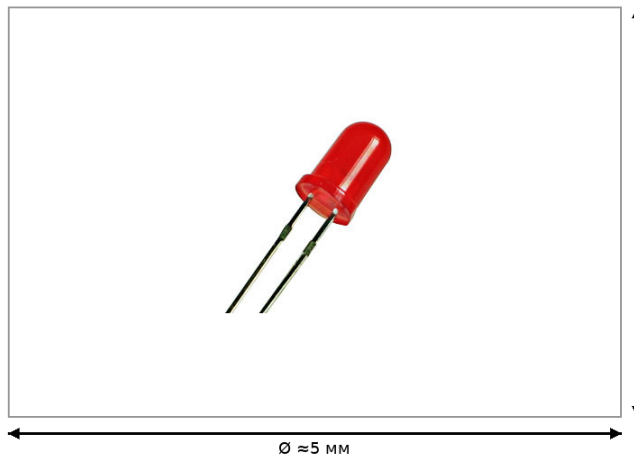
Рисунок 1.21 – Зовнішній вигляд мікросхем AMIS-4987 та МТС3058

1.5.4 Вибір елементів індикації та оповіщення

Для світлової індикації у схемі застосовано світлодіоди Н1-Н2 типу HLMP-1600. Вони призначені для візуального відображення стану роботи системи, режимів обміну даними та аварійних станів. Світлодіоди мають просту схему підключення, мале енергоспоживання та достатню яскравість для локального контролю стану пристрою.

Світлодіодна індикація використовується для підтвердження виконання операцій приймання і передавання даних, а також для сигналізації про зміну стану системи. Вибір світлодіодів HLMP-1600 є обґрунтованим з огляду на їх доступність, простоту керування через транзисторний ключ і сумісність із низьковольтною цифровою частиною пристрою.

Зовнішній вигляд світлодіода HLMP-1600 наведено на рис. 1.22.



Основні габарити:

Тип	світлодіод
Діаметр колби	≈5 мм
Висота корпусу	≈8-9 мм
Крок виводів	≈2,54 мм
Струм	до 20 мА*

*Струм задається схемою через струмообмежувальний резистор; фактичні параметри залежать від конкретного виконання.

Рисунок 1.22 – Зовнішній вигляд світлодіода HLMP-1600

Для формування звукового оповіщення використано гучномовець BD1 типу DN-50-1. Його призначення полягає у створенні звукового сигналу під час спрацювання системи або перевищення встановленого рівня радіаційного поля. Звукова індикація є важливою, оскільки дозволяє оператору швидко виявити небезпечний стан навіть без постійного візуального контролю індикатора.

Зовнішній вигляд гучномовця DN-50-1 наведено на рис.1.23.



Основні габарити:

Тип	малогабаритний динамік
Діаметр	≈50 мм
Висота	≈15-26 мм*
Опір	типово 4-8 Ом
Потужність	0,25-1 Вт*

*Залежить від конкретного виконання гучномовця DN-50-1/YD50; при проектуванні посадкового місця потрібно звірити фактичний екземпляр.

Рисунок 1.23 – Зовнішній вигляд гучномовця DN-50-1

1.5.5 Вибір пасивних елементів

Пасивні елементи схеми представлені резисторами, конденсаторами та котушками індуктивності. Вони забезпечують встановлення робочих режимів активних елементів, фільтрацію сигналів, узгодження високочастотних трактів, формування часових ланцюгів і стабілізацію параметрів живлення.

У схемі застосовано резистори MF потужністю 0,125 Вт і 2 Вт з допуском $\pm 5\%$. Резистори використовуються як елементи подільників напруги, струмообмежувальні елементи, підтягувальні резистори входів мікроконтролера, елементи базових кіл транзисторів та навантаження окремих вузлів. Вибір резисторів MF обґрунтовується їх стабільністю, достатньою точністю та відповідністю потужності розсіювання у відповідних колах.

Зовнішній вигляд резисторів MF наведено на рисунку 1.24.



Рисунок 1.24 – Зовнішній вигляд резисторів MF

Конденсатори CapXon і СС4 застосовуються у фільтрах живлення, високочастотних колах, ланцюгах розв'язки та формування сигналів. Електролітичні конденсатори CapXon використовуються переважно для згладжування пульсацій і фільтрації напруги живлення. Керамічні конденсатори СС4 застосовуються в колах високочастотної фільтрації,

узгодження, блокування живлення мікросхем та формування частотозалежних ланцюгів.

Зовнішній вигляд конденсаторів CapXon і СС4 наведено на рис. 1.25.

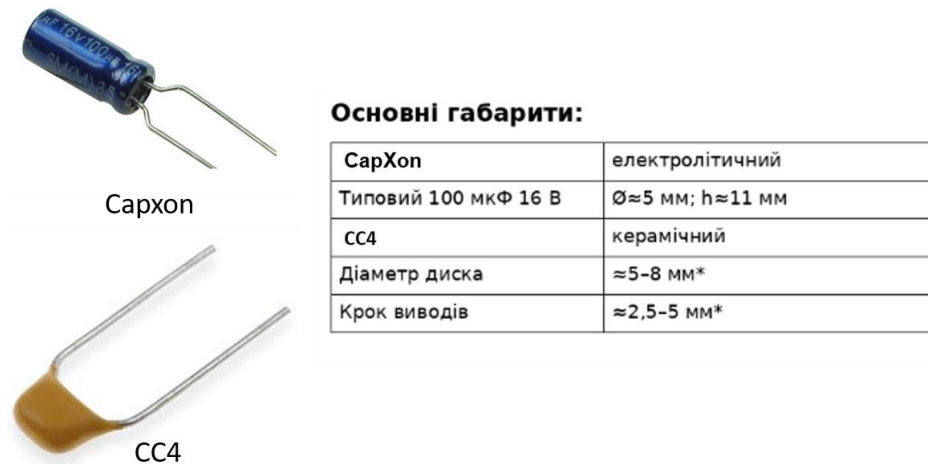


Рисунок 1.25 – Зовнішній вигляд конденсаторів CapXon і СС4

Котушки індуктивності L1-L7 типу PTL застосовуються у високочастотних і узгоджувальних колах. Вони беруть участь у формуванні частотних характеристик радіоприймально-передавального тракту, фільтрації та узгодженні сигналів. Вибір індуктивностей виконується відповідно до номіналу, частотного діапазону та допустимого струму.

Зовнішній вигляд котушок індуктивності PTL наведено на рис. 1.26.



Рисунок 1.26 – Зовнішній вигляд котушок індуктивності PTL

1.5.6 Вибір дискретних напівпровідникових елементів

У схемі застосовано діодний міст VD1 типу КЦ405, стабілітрон VD2 типу BZX79C5V6, діоди VD3 типу 1N4148, VD4-VD5 типу 1N4007 та транзистори VT1-VT3 типу BC547B.

Діодний міст КЦ405 використовується у блоці живлення для випрямлення змінної напруги, що надходить із вторинної обмотки трансформатора. Його вибір обумовлений необхідністю отримання постійної напруги для подальшої фільтрації та стабілізації.

Стабілітрон BZX79C5V6 застосовується для обмеження та стабілізації напруги у відповідному колі. Його використання дає змогу захистити вхідні або керувальні кола від перевищення допустимого рівня напруги.

Діод 1N4148 застосовується у слабкострумових сигнальних колах, де потрібна швидка комутація та малий струм. Діоди 1N4007 використовуються у високовольтному або випрямному тракті, де важливими є допустима зворотна напруга та імпульсний режим роботи.

Транзистори BC547B виконують функції ключових і підсилювальних елементів. Вони застосовуються для керування світлодіодами, звуковим оповіщенням і окремими виконавчими колами. Вибір транзисторів BC547B обґрунтовується їх достатнім коефіцієнтом підсилення, малими габаритами та придатністю для роботи у низьковольтних керувальних колах.

Зовнішній вигляд дискретних напівпровідникових елементів наведено на рис. 1.27.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

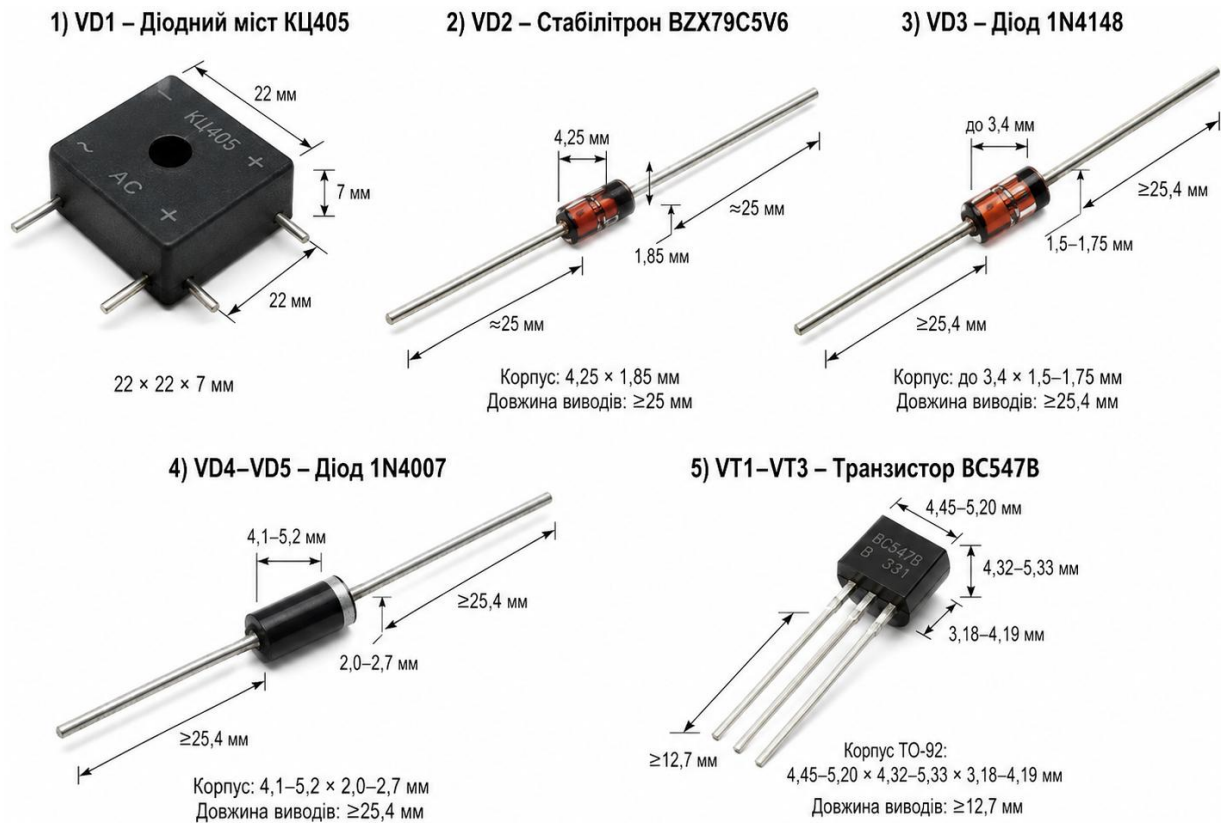


Рисунок 1.27 – Зовнішній вигляд діодів, стабілітрона та транзистора

1.5.7 Вибір елементів блока живлення

Блок живлення призначений для формування стабілізованих напруг, необхідних для роботи мікроконтролера, інтерфейсних мікросхем, індикації, радіомодуля та PLC-вузла. У схемі застосовано трансформатори Т1, Т3 типу ТП 121-1 та трансформатор Т2 типу ТОТ21.

Трансформатор Т1 використовується для пониження мережевої напруги до рівня, придатного для подальшого випрямлення і стабілізації. Трансформатор Т2 застосовується у високовольтному перетворювачі, який формує робочу напругу для лічильника Гейгера-Мюллера. Трансформатор Т3 використовується у вузлі передавання даних через електромережу або в узгоджувальній частині телекомунікаційного тракту.

Для стабілізації напруг у схемі застосовано інтегральні стабілізатори DA1 типу L7805 та DA2 типу LM2931. Стабілізатор L7805 формує стабілізовану напругу +5 В, необхідну для живлення мікроконтролера та

частини цифрової логіки. Стабілізатор LM2931 використовується для формування додаткової стабілізованої напруги, необхідної для живлення окремих вузлів системи.

Зовнішній вигляд елементів стабілізаторів блока живлення наведено на рис. 1.28.

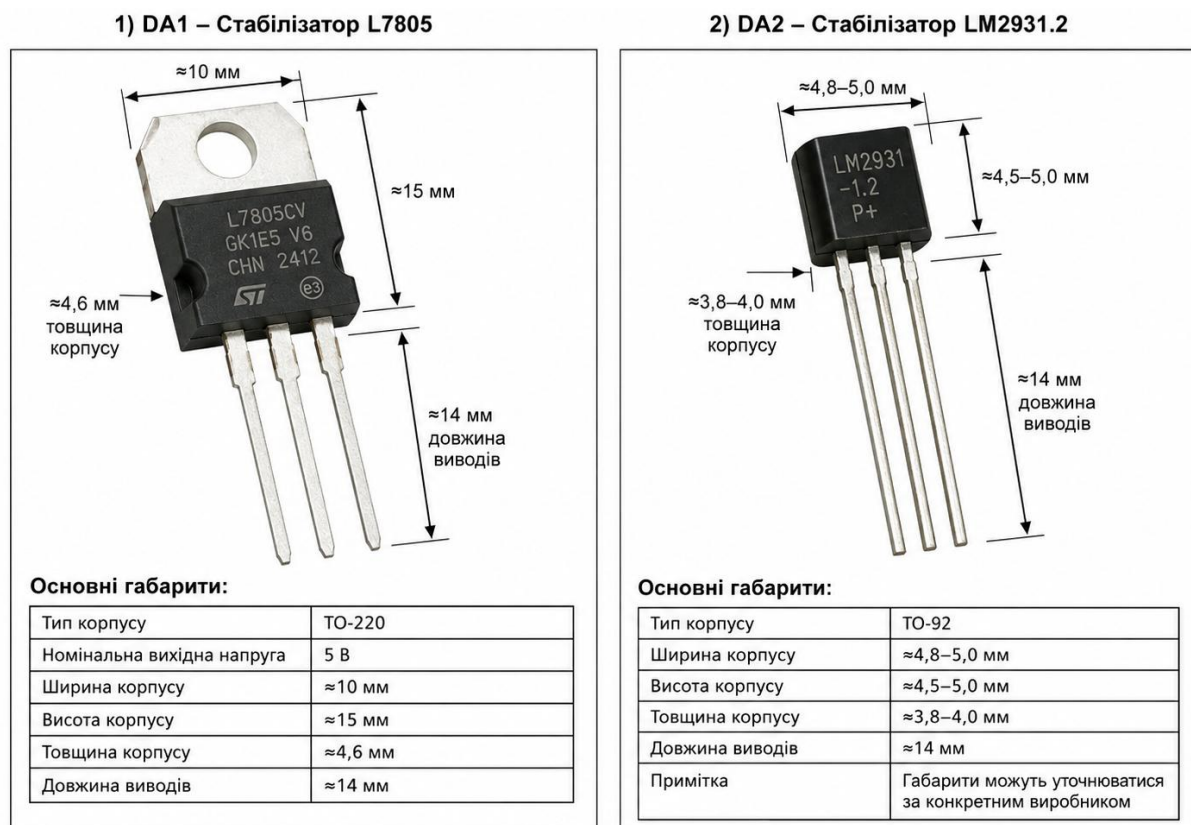


Рисунок 1.28 – Зовнішній вигляд стабілізаторів напруги блока живлення

Вибір комутаційних елементів, роз'ємів і кварцових резонаторів

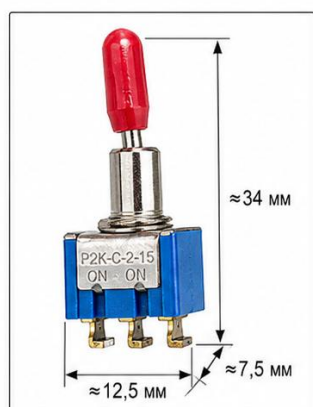
Для введення команд користувача застосовано перемикачі S1–S4 типу П2К-С-2-15-2. Вони використовуються для вибору режимів роботи, формування команд або налаштування параметрів системи. Їх застосування обґрунтовується простотою підключення, механічною надійністю та можливістю безпосередньої взаємодії користувача з пристроєм.

Для зовнішніх з'єднань у схемі застосовано роз'єми X1–X5 типу PLS. Роз'єми PLS-10, PLS-6 і PLS-2 використовуються для підключення зовнішніх

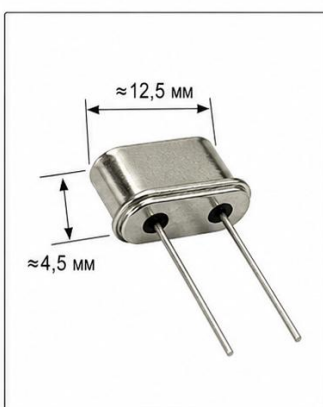
вузлів, ліній живлення, інтерфейсних сигналів та допоміжних кіл. Їх вибір обґрунтовується простотою монтажу, компактністю та зручністю підключення.

Кварцові резонатори Z1 і Z2 типу РК-02МД-Г-4,032 МГц забезпечують стабільне тактування відповідних мікросхем або вузлів схеми. Стабільність частоти є важливою для правильної роботи цифрової частини, інтерфейсів обміну даними та телекомунікаційних модулів.

Зовнішній вигляд перемикача, роз'єму та кварцового резонатора наведено на рис. 1.29.



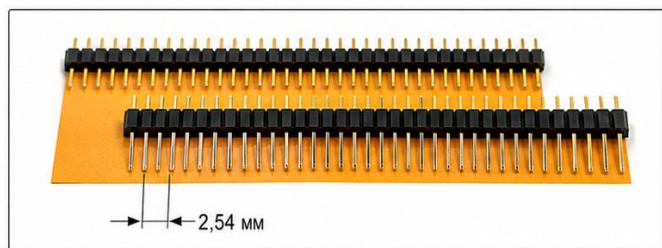
перемикач S1-S4



кварцовий резонатор HC49

Основні габарити:

Перемикач	≈12,5×7,5×9,5 мм*
Загальна висота	≈34 мм*
PLS	крок 2,54 мм
Резонатор	HC49/U
Частота	4,032 МГц



роз'єм PLS, крок 2,54 мм

*Габарити наведено для типового РСВ-перемикача. П2К-С-2-15-2 має уточнюватися за конкретним виконанням.

Рисунок 1.29 – Зовнішній вигляд перемикача, роз'єму PLS і кварцового резонатора

1.5.8 Узагальнення вибору елементної бази

У результаті вибору елементної бази сформовано комплект електрорадіоелементів, який забезпечує реалізацію всіх функціональних вузлів телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу.

Лічильник СБМ-20 забезпечує реєстрацію іонізуючого випромінювання, мікроконтролер АТmega32 виконує оброблення інформації та керування системою, мікросхема МАХ232 забезпечує зв'язок із персональним комп'ютером, СС1101 реалізує радіоканал, а АМІS-4987 і МТС3058 забезпечують передавання даних через електромережу.

Пасивні елементи забезпечують фільтрацію, узгодження, стабілізацію режимів та формування необхідних електричних параметрів. Дискретні напівпровідникові елементи використовуються для випрямлення, стабілізації, комутації та захисту. Елементи живлення формують необхідні рівні напруг, а роз'єми, перемикачі та індикатори забезпечують взаємодію пристрою з оператором і зовнішніми вузлами.

Отже, вибрана елементна база відповідає структурі та функціональному призначенню системи, забезпечує роботу вимірювального, цифрового, індикаційного та телекомунікаційного трактів, а також дозволяє реалізувати телекомунікаційну систему розподіленого радіаційного моніторингу на основі гібридних каналів передавання даних.

1.6 Компоновка друкованого вузла системи

Компоновка друкованого вузла є одним із завершальних етапів конструктивного проектування телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу. На цьому етапі виконується просторове розміщення електронних компонентів на друкованій платі, визначаються оптимальні шляхи проходження сигнальних і силових кіл, забезпечується зручність монтажу, налагодження та подальшого технічного обслуговування пристрою.

Друкований вузол системи повинен забезпечувати конструктивне об'єднання вимірювального тракту, центрального мікроконтролерного модуля, вузлів індикації та оповіщення, інтерфейсу RS-232C,

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

радіоприймально-передавального тракту, PLC-каналу та блока живлення. Якість компоновки безпосередньо впливає на надійність роботи системи, стійкість до електромагнітних завад, тепловий режим елементів, зручність підключення зовнішніх вузлів і технологічність виготовлення друкованої плати.

Проектування друкованого вузла виконано в середовищі автоматизованого проектування Altium Designer. Використання цього програмного комплексу дозволяє виконати перенесення електричних зв'язків зі схеми електричної принципової у середовище трасування, сформувати посадкові місця компонентів, перевірити електричні з'єднання та проконтролювати дотримання технологічних обмежень під час розведення друкованих провідників.

На рис. 1.30 наведено схему електричну принципову телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу, зображену в середовищі Altium Designer. Вона є основою для подальшої розробки друкованого вузла, оскільки містить повний склад електрорадіоелементів, їх позиційні позначення, електричні з'єднання та належність до відповідних функціональних вузлів.

Під час компоновки друкованого вузла основну увагу приділено раціональному розміщенню функціональних груп елементів. Центральний мікроконтролерний модуль розміщено таким чином, щоб забезпечити мінімальну довжину з'єднань із рідкокристалічним індикатором, клавіатурою, вузлами звукової та світлової індикації, а також інтерфейсними мікросхемами. Таке розміщення зменшує паразитні ємності та індуктивності друкованих провідників, а також спрощує трасування цифрових сигнальних кіл.

Вимірювальний високовольтний тракт, до складу якого входить лічильник Гейгера-Мюллера, високовольтний перетворювач, вузол формування імпульсів, стабілізуювальні елементи та резистивний подільник,

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допустити нагрівання чутливих вузлів вимірювального і радіочастотного трактів. Крім того, біля інтегральних стабілізаторів і мікросхем передбачено встановлення блокувальних конденсаторів, які зменшують рівень пульсацій і локальних завад у колах живлення.

Радіоприймально-передавальний тракт розміщено з урахуванням вимог до високочастотних кіл. Мікросхема радіомодуля, узгоджувальні елементи, високочастотний фільтр та антенний роз'єм повинні утворювати максимально компактну групу. Скорочення довжини високочастотних провідників зменшує втрати сигналу, паразитні наведення та небажане випромінювання. Антенний вузол доцільно розміщувати біля краю друкованої плати, що спрощує підключення антени та знижує вплив інших елементів на діаграму спрямованості.

Вузол передавання даних через електричну мережу розміщено окремою функціональною групою. До його складу входять PLC-модем, лінійний драйвер, узгоджувальний трансформатор та елементи зв'язку з електромережею. При компонуванні цього вузла враховано необхідність електричного розділення сигнальних і силових кіл, а також зменшення впливу високочастотних завад на цифрову частину системи. Провідники PLC-тракту прокладаються з урахуванням допустимих зазорів і вимог до ізоляції.

Інтерфейс RS-232C розміщено поблизу периферійної частини плати, що забезпечує зручне підключення кабелю до персонального комп'ютера під час налаштування, діагностування та зчитування даних. Мікросхема перетворення рівнів MAX232 розташовується поблизу відповідного роз'єму, оскільки це дозволяє зменшити довжину ліній із підвищеним рівнем сигналу та спростити трасування зв'язків із мікроконтролером.

Елементи індикації та керування розміщено в зоні, зручній для взаємодії користувача з пристроєм. Світлодіоди повинні бути видимими після встановлення плати в корпус, а кнопки або перемикачі – доступними

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для натискання чи перемикання. Рідкокристалічний індикатор розміщується так, щоб забезпечити зручність зчитування результатів вимірювання та службових повідомлень.

На рисунку 1.31 наведено компоновку друкованого вузла телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу в середовищі Altium Designer.

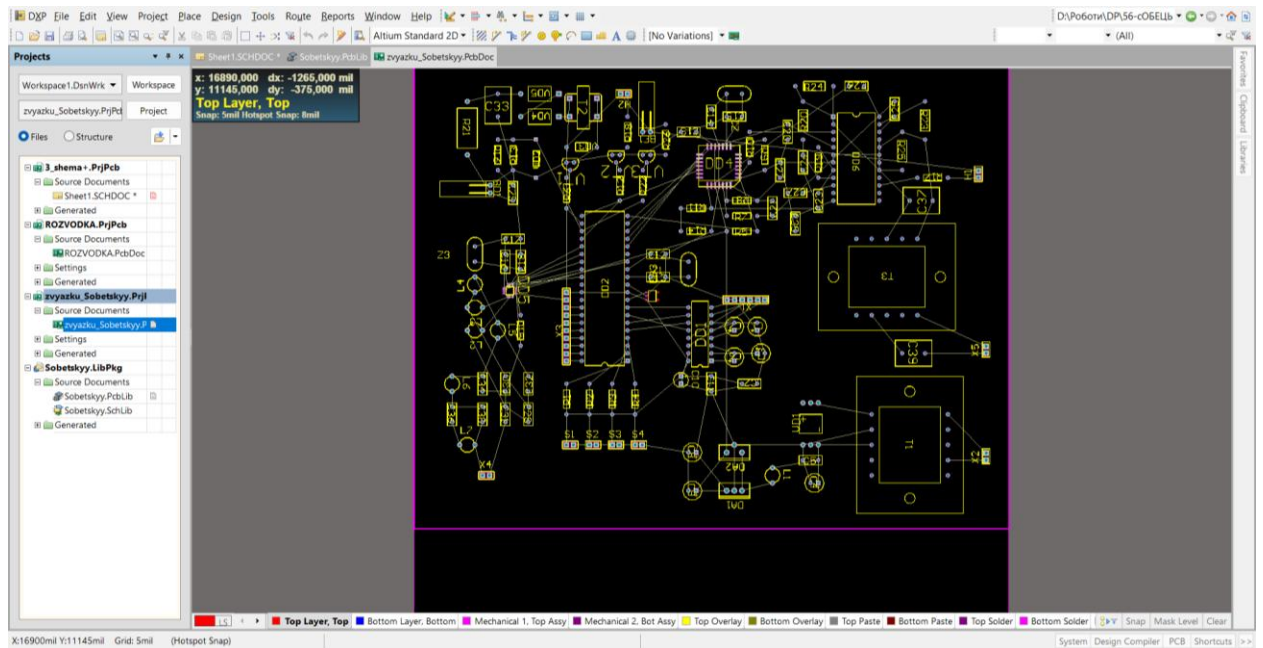


Рисунок 1.31 – Компоновка друкованого вузла телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу в середовищі Altium Designer

Після завершення розміщення елементів виконано трасування друкованих провідників. При цьому враховано різний характер електричних кіл: низьковольтні цифрові сигнали, високовольтні імпульси, кола живлення, радіочастотні зв'язки та сигнали PLC-каналу. Для цифрових сигнальних ліній застосовано провідники стандартної ширини, а для шин живлення та загального провідника передбачено збільшену ширину доріжок. Це дозволяє зменшити падіння напруги, покращити тепловий режим і підвищити стійкість системи до завад.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

Особливу увагу приділено трасуванню загальної шини. Неправильне формування загального провідника може спричинити появу паразитних зв'язків між силовими, вимірвальними та цифровими колами. Тому під час розведення плати необхідно забезпечити мінімізацію спільних ділянок струмоповернення для високовольтного, цифрового та радіочастотного трактів. За можливості загальний провідник виконується у вигляді полігона, що зменшує його опір і покращує електромагнітну сумісність пристрою.

Під час трасування високовольтного тракту забезпечено збільшені ізоляційні проміжки між провідниками. Це необхідно через наявність робочої напруги, яка використовується для живлення лічильника Гейгера-Мюллера. Провідники цього вузла не повинні проходити поблизу входів мікроконтролера, сигнальних ліній інтерфейсів або високочастотного тракту, оскільки імпульсні процеси у високовольтному колі можуть створювати наведення.

Для радіочастотного тракту важливим є мінімальне викривлення геометрії провідників і зменшення кількості перехідних отворів у сигнальному ланцюгу. Елементи узгодження та фільтрації розміщуються поблизу мікросхеми радіомодуля і антенного виходу. Це дозволяє зменшити втрати сигналу, покращити стабільність роботи радіоканалу та забезпечити правильне узгодження тракту з антеною.

У процесі проектування також враховано вимоги до технологічності виготовлення. Компоненти розміщено з урахуванням можливості ручного або автоматизованого монтажу, доступу до контрольних точок, зручності пайки та перевірки електричних параметрів. Роз'єми винесено до країв плати, що спрощує підключення зовнішніх кабелів і зменшує механічне навантаження на внутрішні ділянки друкованого вузла.

Після завершення трасування виконано перевірку проєкту засобами автоматизованого контролю правил проектування. Така перевірка дає змогу виявити можливі порушення мінімальної ширини провідників, недостатні

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зазори між доріжками, помилки з'єднань, нез'єднані виводи або випадкові короткі замикання. Усунення таких помилок на етапі проєктування дозволяє зменшити ймовірність дефектів під час виготовлення друкованої плати.

Остаточний вигляд друкованої плати після завершення трасування наведено на рис. 1.32.

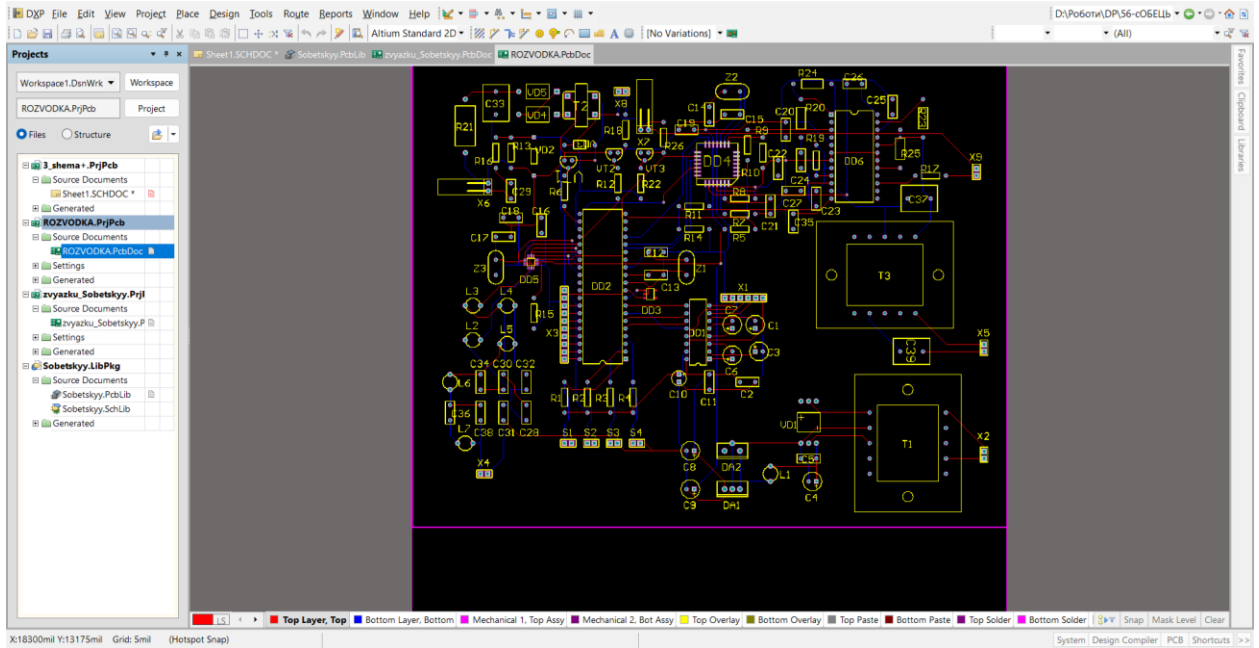


Рисунок 1.32 – Друкована плата телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу в середовищі Altium Designer

Розроблена компоновка друкованого вузла забезпечує конструктивне об'єднання всіх функціональних частин системи в єдину електронну плату. Просторове розділення високовольтного вимірювального тракту, цифрової частини, вузлів живлення, радіоканалу та PLC-каналу дозволяє зменшити взаємний вплив між ними та підвищити стабільність роботи пристрою.

Таким чином, виконана компоновка друкованого вузла телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу забезпечує раціональне розміщення електронних компонентів, скорочення довжин критичних електричних з'єднань, дотримання вимог електромагнітної сумісності, технологічність виготовлення та зручність

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

експлуатаційного обслуговування. Розроблений друкований вузол може бути використаний як основа для виготовлення дослідного зразка системи.

1.7 Висновки до розділу 1

У першому розділі пояснювальної записки виконано основні етапи розроблення телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу на основі гібридних каналів передавання даних. Проведено аналіз завдання на роботу, розглянуто особливості побудови сучасних систем радіаційного моніторингу та визначено основні вимоги до проєктованої системи. Встановлено, що ефективність радіаційного контролю залежить не лише від чутливості вимірювального тракту, а й від надійності передавання результатів вимірювання до центрального пункту оброблення інформації.

На основі проведеного аналізу обґрунтовано доцільність використання гібридної телекомунікаційної структури. Такий підхід передбачає поєднання радіоканалу та каналу передавання даних через електричну мережу 220 В. Радіоканал забезпечує можливість обміну інформацією з просторово віддаленими вимірювальними вузлами, а канал через електромережу дає змогу використовувати наявну інфраструктуру живлення в межах одного об'єкта. Поєднання цих каналів підвищує надійність інформаційного обміну та зменшує ймовірність втрати результатів вимірювання.

Розроблено структурну схему мережі розподіленого радіаційного моніторингу, яка включає вимірювальні вузли, центральний вузол збору та оброблення даних, радіоканал, канал передавання через електромережу, інтерфейс RS-232C та автоматизоване робоче місце оператора. Така структура забезпечує можливість об'єднання декількох пунктів радіаційного контролю в єдину систему, а також дає змогу виконувати централізоване приймання, оброблення, збереження та відображення вимірювальної інформації.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також розроблено структурну схему окремого вимірювального вузла системи. До її складу включено модуль рідкокристалічної індикації, інтерфейс RS-232C, модуль клавіатурного керування, центральний мікроконтролерний модуль, вузли звукового та світлового оповіщення, високовольтний вимірювальний тракт, радіоприймально-передавальний тракт, PLC-тракт і блок вторинного електроживлення. Запропонована структура забезпечує реєстрацію радіаційного поля, формування вимірювальних імпульсів, їх цифрове оброблення, локальну індикацію результатів і передавання інформації гібридними каналами зв'язку.

На основі структурної схеми сформовано схему електричну принципову системи. У ній реалізовано високовольтний тракт живлення лічильника Гейгера-Мюллера, вузол формування та стабілізації вимірювального сигналу, центральний мікроконтролерний модуль, індикаторний вузол, звукове та світлове оповіщення, інтерфейс зв'язку з персональним комп'ютером, радіоприймально-передавальний модуль і вузол передавання даних через електричну мережу. Принципова схема забезпечує взаємодію всіх функціональних частин системи та є основою для подальшого розроблення друкованого вузла.

Для підтвердження правильності вибраних схемотехнічних рішень виконано перевірочні розрахунки окремих вузлів схеми електричної принципової. Зокрема, перевірено режими роботи транзисторного ключа модуля світлової індикації, резисторів підтягування клавіатури, високовольтного накопичувального конденсатора, резистивного подільника вимірювального сигналу та блока вторинного електроживлення. Результати розрахунків показали, що вибрані номінали елементів забезпечують працездатність основних вузлів системи за заданих режимів роботи.

Виконано синтез програмного забезпечення центрального мікроконтролерного модуля. Програмне забезпечення призначене для ініціалізації системи, обміну даними з модемом, взаємодії з персональним

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

комп'ютером, підрахунку імпульсів від детектора, виведення результатів на рідкокристалічний індикатор і формування звукового сигналу. Наведені фрагменти програмного коду демонструють реалізацію основних функцій мікроконтролерного модуля та підтверджують можливість програмного керування вимірювальними, індикаційними й телекомунікаційними вузлами системи.

Здійснено вибір елементної бази системи відповідно до функціонального призначення її окремих вузлів. Для реалізації вимірювального тракту обрано лічильник Гейгера-Мюллера, для цифрового керування – мікроконтролер ATmega32, для інтерфейсу RS-232C – мікросхему MAX232, для радіоканалу – модуль на основі CC1101, а для PLC-каналу – відповідні мікросхеми передавання даних через електромережу. Також вибрано пасивні елементи, дискретні напівпровідникові компоненти, елементи живлення, роз'єми, перемикачі, кварцові резонатори та засоби індикації.

На завершальному етапі виконано компоновку друкованого вузла системи. Під час компонування враховано функціональний поділ пристрою на високовольтний вимірювальний тракт, цифрову частину, радіоприймально-передавальний тракт, PLC-вузол, блок живлення та елементи індикації й керування. Таке розміщення компонентів дозволяє зменшити взаємний вплив між функціональними вузлами, скоротити довжину критичних електричних з'єднань, забезпечити електромагнітну сумісність і підвищити технологічність виготовлення друкованої плати.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1 Електробезпека під час експлуатації та технічного обслуговування телекомунікаційної системи

Телекомунікаційна система розподіленого радіаційного моніторингу є електронним пристроєм, до складу якого входять блок живлення від мережі змінного струму 220 В, вторинні стабілізатори напруги, мікроконтролерний модуль, інтерфейсні вузли, радіоприймально-передавальний тракт, PLC-вузол та високовольтний вимірювальний тракт живлення лічильника Гейгера-Мюллера. Наявність мережевої напруги та високовольтного перетворювача зумовлює необхідність розгляду питань електробезпеки під час експлуатації, перевірки, технічного обслуговування та налагодження системи.

Питання електробезпеки для проектованої системи є одним із найбільш важливих, оскільки ураження електричним струмом може виникнути не лише під час безпосереднього дотику до струмопровідних частин, а й унаслідок пошкодження ізоляції, неправильного підключення мережевого живлення, несправності блока живлення, пробою між високовольтними та низьковольтними колами або помилок під час виконання вимірювань. Особливу небезпеку становлять ділянки схеми, пов'язані з мережею 220 В, а також високовольтний тракт, який формує напругу для роботи детектора іонізуючого випромінювання.

Нормативною основою для забезпечення електробезпеки під час експлуатації та технічного обслуговування системи є НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів, НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями», а також ДСТУ EN IEC 62368-1:2022 «Обладнання аудіо/відео, інформаційних

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та комунікаційних технологій. Частина 1. Вимоги щодо безпеки». Зазначені документи регламентують вимоги до безпечної роботи з електрообладнанням, застосування справного інструменту, організації технічного обслуговування та забезпечення безпеки електронного інформаційно-комунікаційного обладнання.

У розроблюваній системі електрична енергія надходить від мережі 220 В частотою 50 Гц до блока живлення, у якому здійснюється пониження, випрямлення, фільтрація та стабілізація напруги. Після цього сформовані вторинні напруги використовуються для живлення цифрових, вимірювальних та телекомунікаційних вузлів. Через наявність мережевого входу електронний пристрій повинен мати конструктивне розділення первинних і вторинних кіл, достатню ізоляцію, надійне закріплення провідників та захист від випадкового дотику до частин, що перебувають під небезпечною напругою.

Під час експлуатації системи найбільш імовірними небезпечними факторами є наявність напруги мережі живлення, можливість появи небезпечного потенціалу на відкритих провідних частинах у разі несправності, нагрівання елементів блока живлення, накопичення електричного заряду на конденсаторах, наявність високої напруги у вимірювальному тракті, а також можливість короткого замикання під час підключення зовнішніх пристроїв. До додаткових факторів належать механічне пошкодження кабелів, помилкове підключення роз'ємів, використання несправних вимірювальних приладів та порушення послідовності вмикання пристрою.

Перед введенням системи в експлуатацію необхідно перевірити справність блока живлення, цілісність ізоляції кабелів, правильність підключення мережевого проводу, надійність кріплення роз'ємів і відсутність механічних пошкоджень корпусу. Особливу увагу слід приділяти тим ділянкам друкованого вузла, які пов'язані з первинним колом живлення

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та високовольтним перетворювачем. На цих ділянках не повинно бути залишків припою, сторонніх металевих частинок, слідів перегрівання, тріщин у друкованих провідниках або пошкодження ізоляційних проміжків.

Для зниження ризику ураження електричним струмом мережеві кола необхідно конструктивно відокремлювати від низьковольтної частини пристрою. Елементи, що перебувають під напругою 220 В, повинні бути недоступними для випадкового дотику під час нормальної експлуатації. Якщо пристрій встановлюється в корпус, мережевий вхід, трансформатор, запобіжний елемент і діодний міст мають розміщуватися так, щоб користувач не мав доступу до них без зняття захисних елементів. Сигнальні роз'єми, інтерфейс RS-232C, антенний вихід і роз'єми підключення допоміжних вузлів повинні бути відокремлені від мережевої частини як електрично, так і конструктивно.

Доцільним заходом підвищення електробезпеки є застосування плавкого запобіжника або іншого захисного елемента в колі мережевого живлення. Такий елемент обмежує наслідки короткого замикання або аварійного збільшення струму. Запобіжник повинен відповідати робочому струму пристрою та встановлюватися у колі, де він здатний ефективно відключити живлення у разі несправності. Крім того, необхідно передбачити правильне маркування мережевого входу, номінальної напруги живлення, полярності вторинних роз'ємів і призначення сигнальних контактів.

Під час технічного обслуговування забороняється виконувати заміну елементів, перепаявання з'єднань або зміну конфігурації друкованого вузла за наявності поданої напруги живлення. Усі монтажні роботи повинні виконуватися лише після повного знеструмлення системи. Після вимкнення живлення необхідно витримати час, достатній для розряду конденсаторів блока живлення. Якщо у схемі передбачені накопичувальні конденсатори великої ємності або високовольтні конденсатори, їх необхідно розряджати через резистор відповідного номіналу.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окрему небезпеку становить високовольтний вимірювальний тракт, який забезпечує робочу напругу для лічильника Гейгера-Мюллера. Незважаючи на те, що струм у такому колі зазвичай є обмеженим, напруга може бути достатньою для виникнення неприємного або небезпечного електричного впливу на людину. Тому під час перевірки цього вузла необхідно використовувати вимірювальні прилади та щупи, розраховані на відповідний діапазон напруги. Забороняється перевіряти наявність напруги дотиком або застосовувати прилади з пошкодженою ізоляцією.

Провідники високовольтного тракту мають бути віддалені від низьковольтних цифрових кіл, ліній мікроконтролера, інтерфейсу RS-232C, радіочастотного тракту та вузлів керування. Недостатні ізоляційні проміжки можуть призвести до пробую, наведення імпульсних завад або пошкодження електронних компонентів. Під час огляду друкованого вузла необхідно перевіряти стан ізоляційних проміжків, відсутність забруднень, залишків флюсу або пилу на ділянках високовольтних кіл, оскільки такі забруднення можуть погіршувати електричну міцність ізоляції.

Під час виконання вимірювань у колах, що перебувають під напругою, необхідно користуватися справними мультиметрами, осцилографами, пробниками та іншими засобами контролю. Вимірювальні щупи повинні мати непошкоджену ізоляцію та відповідати рівню напруги, що перевіряється. Перед вимірюванням необхідно переконатися у правильності вибору режиму приладу та межі вимірювання. Помилкове встановлення режиму, наприклад вимірювання струму замість напруги, може спричинити коротке замикання, пошкодження приладу або травмування працівника.

Перше ввімкнення системи після ремонту або зміни схеми необхідно виконувати поетапно. Спочатку перевіряється опір між шинами живлення та відсутність короткого замикання. Потім живлення подається через лабораторне джерело з обмеженням струму або через захисний пристрій. Після цього контролюються вихідні напруги стабілізаторів, струм

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

споживання, температура елементів і правильність роботи вузлів індикації. Лише після перевірки низьковольтної частини доцільно переходити до налагодження високовольтного вимірювального тракту та телекомунікаційних вузлів.

Під час експлуатації системи необхідно контролювати тепловий режим елементів блока живлення. Трансформатор, діодний міст, стабілізатори напруги та потужні резистори можуть нагріватися під час роботи. Надмірне нагрівання свідчить про перевантаження, неправильний монтаж, коротке замикання або невідповідність режиму роботи елементів. У разі появи запаху перегрівання, диму, зміни кольору корпусів компонентів або нестабільної роботи пристрою його необхідно негайно вимкнути та провести перевірку.

Стабілізатори напруги повинні експлуатуватися в межах допустимого струмового та теплового режиму. Якщо під час роботи вони виділяють значну кількість тепла, необхідно передбачити тепловідведення або забезпечити достатню вентиляцію всередині корпусу. Розміщення теплонавантажених елементів поблизу чутливих вузлів вимірювального тракту, кварцових резонаторів або радіочастотних елементів є небажаним, оскільки зміна температури може впливати на стабільність параметрів системи.

Важливим заходом електробезпеки є правильне прокладання кабелів. Мережевий кабель живлення повинен мати справну ізоляцію, не бути натягнутим, перегнутим або притиснутим корпусними деталями. Сигнальні кабелі, кабель RS-232C, антенний кабель і лінії PLC-каналу необхідно прокладати так, щоб вони не створювали механічного навантаження на роз'єми. Не допускається використання пошкоджених кабелів, подовжувачів із ненадійними контактами або тимчасових з'єднань, не передбачених конструкцією пристрою.

Під час технічного обслуговування слід використовувати інструмент із непошкодженими ізольованими ручками. Викрутки, пінцети, бокорізи та

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інші інструменти повинні застосовуватися відповідно до їх призначення. Забороняється використовувати випадкові металеві предмети для замикання контактів, розряджання конденсаторів або перевірки наявності напруги. Такі дії можуть призвести до іскріння, короткого замикання, пошкодження плати або травмування працівника.

Під час роботи з електронними вузлами необхідно враховувати не лише небезпеку для людини, а й ризик пошкодження компонентів. Мікроконтролер, мікросхеми інтерфейсів, радіомодуль та інші напівпровідникові елементи можуть бути чутливими до електростатичних розрядів. Тому під час обслуговування доцільно застосовувати антистатичні засоби, не торкатися виводів мікросхем без потреби та виконувати роботи на підготовленій робочій поверхні.

Якщо система працює у складі розподіленої мережі радіаційного моніторингу, під час підключення або відключення вузлів необхідно попередньо вимикати живлення відповідного пристрою. Підключення інтерфейсних ліній до працюючого обладнання допускається лише тоді, коли це передбачено конструкцією та інструкцією з експлуатації. Особливо обережно слід виконувати підключення до мережі 220 В і до PLC-каналу, оскільки ці лінії можуть бути пов'язані з підвищеним рівнем електричної небезпеки.

Під час аварійної ситуації працівник повинен мати можливість швидко знеструмити систему. Вимикач живлення, мережевий фільтр або пристрій захисного відключення мають бути доступними. У разі ураження людини електричним струмом насамперед необхідно припинити дію струму шляхом вимкнення живлення, не торкаючись потерпілого голими руками до моменту знеструмлення. Після цього необхідно надати домедичну допомогу та викликати відповідні служби.

Під час експлуатації системи необхідно вести контроль її технічного стану. Доцільно періодично перевіряти стан корпусу, кабелів, роз'ємів,

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

запобіжників, елементів блока живлення, стабільність вихідних напруг і відсутність перегрівання. Після кожного ремонту або зміни конструкції необхідно повторно виконувати перевірку електричної безпеки та працездатності основних вузлів.

Таким чином, електробезпека під час експлуатації та технічного обслуговування телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу забезпечується правильним конструктивним розділенням мережевих, високовольтних і низьковольтних кіл, використанням справного інструменту та вимірювальних приладів, поетапним увімкненням пристрою, контролем теплового режиму, дотриманням правил роботи з електроустановками та організацією швидкого знеструмлення у разі аварійної ситуації. Виконання зазначених заходів дозволяє зменшити ризик ураження електричним струмом, пошкодження електронних компонентів і виникнення аварійних режимів роботи системи.

2.2 Дії персоналу та населення у разі виникнення радіаційної небезпеки

Безпека життєдіяльності у сфері радіаційного моніторингу пов'язана із забезпеченням захисту персоналу та населення від можливого впливу іонізуючого випромінювання. Розроблювана телекомунікаційна система розподіленого радіаційного моніторингу призначена для виявлення зміни рівня радіаційного поля, передавання результатів вимірювання до центрального пункту контролю та формування повідомлень про перевищення допустимих значень. Тому одним із важливих питань безпеки життєдіяльності є визначення послідовності дій персоналу та населення у разі виникнення радіаційної небезпеки.

Нормативною основою для розгляду цього питання є Кодекс цивільного захисту України, Закон України «Про захист людини від впливу

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

іонізуючого випромінювання», Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку», Норми радіаційної безпеки України НРБУ-97, Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України ОСПУ-2005, а також Регламент проведення йодної профілактики у разі виникнення радіаційної аварії. Зазначені документи встановлюють правові, організаційні та санітарно-гігієнічні засади захисту людини від впливу іонізуючого випромінювання, порядок інформування населення, принципи радіаційного захисту та вимоги до проведення окремих захисних заходів.

Радіаційна небезпека може виникати внаслідок аварій на об'єктах ядерної енергетики, порушення правил поводження з джерелами іонізуючого випромінювання, пошкодження радіоактивних матеріалів, втрати контролю над джерелом випромінювання, локального забруднення території або перенесення радіоактивних речовин повітряними потоками. У таких умовах головним завданням є своєчасне виявлення небезпечного рівня радіаційного фону, оперативне оповіщення відповідальних осіб і населення, а також організація заходів, спрямованих на зменшення дози опромінення.

Розроблювана система радіаційного моніторингу може використовуватися як технічний засіб раннього виявлення підвищення радіаційного фону. Вимірювальні вузли системи реєструють імпульси від детектора іонізуючого випромінювання, мікроконтролерний модуль виконує їх оброблення, а результати передаються гібридними каналами зв'язку до центрального пункту контролю. У разі перевищення встановленого порогового значення система повинна сформувати сигнал тривоги, який може бути використаний для подальшого інформування персоналу та прийняття організаційних рішень.

Основними принципами радіаційного захисту є зменшення часу перебування людини в зоні підвищеного радіаційного фону, збільшення відстані від джерела випромінювання та використання захисних бар'єрів. Чим менше часу людина перебуває поблизу джерела випромінювання, тим

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

меншою буде отримана доза. Збільшення відстані від джерела також знижує інтенсивність впливу. Використання приміщень, захисних конструкцій, стін, підвальних або внутрішніх кімнат дозволяє зменшити зовнішнє опромінення та обмежити контакт із радіоактивними речовинами.

У разі отримання сигналу про підвищення радіаційного фону персонал, який обслуговує систему, повинен насамперед перевірити достовірність повідомлення. Для цього необхідно проаналізувати показники декількох вимірювальних вузлів, перевірити стан каналів зв'язку, наявність службових помилок, працездатність блока живлення та стабільність роботи детектора. Якщо перевищення підтверджується, необхідно повідомити відповідальних осіб, чергові служби або підрозділи цивільного захисту відповідно до встановленого порядку.

Після підтвердження факту радіаційної небезпеки необхідно організувати оповіщення осіб, які можуть перебувати в зоні можливого впливу. Повідомлення повинно бути чітким, коротким і зрозумілим. У ньому необхідно вказати характер небезпеки, район або об'єкт, де зафіксовано підвищений рівень радіаційного фону, рекомендовані дії та джерело подальшого отримання інформації. Недопустимим є поширення неперевірених даних, оскільки це може спричинити паніку, неправильні дії населення та ускладнення роботи служб цивільного захисту.

Одним із перших захисних заходів у разі радіаційної небезпеки є укриття людей у приміщеннях. Населенню необхідно зайти до найближчої будівлі, за можливості перейти до внутрішніх приміщень, коридорів, підвалів або інших частин будинку, віддалених від зовнішніх стін і вікон. Вікна, двері, вентиляційні отвори та інші можливі шляхи надходження забрудненого повітря необхідно зачинити. За можливості слід вимкнути системи вентиляції та кондиціонування, які можуть подавати повітря ззовні.

Якщо людина перебувала на відкритій місцевості під час повідомлення про радіаційну небезпеку, після входу до приміщення необхідно зняти

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

верхній одяг, взуття та помістити їх у поліетиленовий пакет або іншу ізольовану ємність. Такий захід дозволяє зменшити перенесення радіоактивного пилу всередину приміщення. Після цього слід вимити відкриті ділянки шкіри теплою водою з милом, промити руки, обличчя, волосся та за можливості прийняти душ. Не слід використовувати агресивні хімічні речовини або інтенсивно терти шкіру, щоб не спричинити її пошкодження.

Під час перебування в укритті або приміщенні необхідно стежити за офіційними повідомленнями органів цивільного захисту, місцевої влади або аварійних служб. Для отримання інформації можуть використовуватися радіоприймач, мобільний телефон, офіційні інтернет-ресурси, телевізійні повідомлення або інші доступні канали зв'язку. Самовільне залишення приміщення без відповідного повідомлення не рекомендується, оскільки рівень радіаційного забруднення на відкритій місцевості може залишатися небезпечним.

Особливу увагу необхідно приділяти харчовим продуктам і питній воді. У разі радіаційної небезпеки не слід споживати продукти, які перебували на відкритому повітрі або могли бути забруднені радіоактивним пилом. Перевагу потрібно надавати продуктам у герметичному пакуванні, консервам, бутильованій воді та запасам, що зберігалися в закритих приміщеннях. Воду з відкритих джерел, колодязів або поверхневих водойм можна використовувати лише після офіційного підтвердження її безпечності.

Йодна профілактика є спеціальним захисним заходом, який застосовується у разі загрози надходження до організму радіоактивних ізотопів йоду. Вона проводиться тільки після офіційного повідомлення та відповідно до встановленого регламенту. Самостійне або завчасне вживання препаратів йоду без вказівки уповноважених органів є недоцільним і може бути небезпечним для здоров'я. Особливо обережно до цього заходу повинні

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ставитися особи із захворюваннями щитоподібної залози, вагітні жінки, діти та люди з протипоказаннями до препаратів йоду.

Евакуація населення застосовується у випадках, коли перебування людей на певній території може призвести до отримання небезпечних доз опромінення або коли інші захисні заходи є недостатніми. Рішення про евакуацію приймають уповноважені органи. Населення повинно діяти організовано, взяти документи, необхідні ліки, засоби зв'язку, запас води та продуктів у герметичному пакуванні, вимкнути електрообладнання, перекрити воду та газ, якщо це передбачено інструкцією, і прибути до визначеного пункту збору.

Персонал, який забезпечує роботу системи радіаційного моніторингу, повинен мати визначений порядок дій у разі аварійного перевищення контрольних рівнів. До таких дій належать перевірка достовірності вимірювання, збереження журналу подій, інформування відповідальних осіб, передавання даних до центрального пункту контролю, перевірка працездатності резервних каналів зв'язку та підтримання безперервної роботи системи. Якщо один із каналів передавання даних недоступний, необхідно використовувати резервний канал, передбачений структурою системи.

Важливою умовою безпеки є недопущення паніки. Дії персоналу та населення повинні бути послідовними, обґрунтованими та виконуватися відповідно до офіційних рекомендацій. Панічні дії, самовільна евакуація, перебування на відкритій місцевості без потреби, споживання неперевірених продуктів або неправильне застосування препаратів йоду можуть збільшити ризик для здоров'я.

Після зниження рівня небезпеки або завершення аварійної ситуації необхідно провести контроль радіаційної обстановки, оцінити рівні забруднення приміщень, обладнання, одягу та відкритих поверхонь. Повернення до звичайного режиму життєдіяльності повинно здійснюватися

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лише після офіційного дозволу відповідних служб. У разі підозри на радіоактивне забруднення одягу, взуття або обладнання необхідно виконати їх ізоляцію, очищення або передачу фахівцям для подальшого контролю.

Розроблювана телекомунікаційна система може підвищити ефективність реагування на радіаційну небезпеку завдяки автоматизованому збору даних, передаванню результатів вимірювання гібридними каналами зв'язку та формуванню повідомлень про перевищення порогових значень. Наявність просторово рознесених вимірювальних вузлів дає змогу оперативно оцінювати зміну радіаційної обстановки на контрольованій території, а централізоване збереження інформації забезпечує можливість подальшого аналізу та прийняття управлінських рішень.

Таким чином, дії персоналу та населення у разі виникнення радіаційної небезпеки повинні включати своєчасне отримання достовірної інформації, укриття в приміщеннях, обмеження перебування на відкритій місцевості, захист органів дихання, контроль використання продуктів і води, виконання йодної профілактики лише за офіційною вказівкою, організовану евакуацію за потреби та дотримання рекомендацій органів цивільного захисту. Виконання зазначених заходів дозволяє зменшити ризик опромінення, запобігти внутрішньому радіоактивному забрудненню та забезпечити більш ефективний захист населення в умовах радіаційної аварії.

2.3 Висновки до розділу 2

У другому розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки життєдіяльності, пов'язані з розробленням і експлуатацією телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу. Основну увагу приділено забезпеченню електробезпеки під час роботи з пристроєм, а також діям персоналу та населення у разі виникнення радіаційної небезпеки.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У підрозділі з охорони праці визначено основні небезпечні фактори, які можуть виникати під час експлуатації та технічного обслуговування системи. До них належать наявність мережевої напруги 220 В, високовольтного вимірювального тракту, можливість короткого замикання, перегрівання елементів блока живлення та пошкодження ізоляції. Для зниження ризиків необхідно забезпечити конструктивне розділення мережевих, високовольтних і низьковольтних кіл, використовувати справний інструмент, дотримуватися правил електробезпеки та виконувати роботи лише після знеструмлення пристрою.

У підрозділі з безпеки життєдіяльності розглянуто порядок дій у разі підвищення рівня радіаційного фону. Встановлено, що основними заходами захисту є своєчасне отримання достовірної інформації, укриття людей у приміщеннях, обмеження перебування на відкритій місцевості, контроль використання води та продуктів, виконання йодної профілактики лише за офіційною вказівкою та організована евакуація за потреби.

Отже, виконаний аналіз показав, що безпечна експлуатація розроблюваної системи можлива за умови дотримання вимог електробезпеки, правильного технічного обслуговування електронних вузлів і своєчасного реагування на сигнали про радіаційну небезпеку. Запропоновані заходи дозволяють зменшити ризик травмування персоналу, пошкодження обладнання та негативного впливу іонізуючого випромінювання на людину.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У роботі виконано розроблення телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу на основі гібридних каналів передачі даних. Проектована система призначена для реєстрації рівня радіаційного поля, оброблення вимірювальних сигналів, локального відображення результатів та передавання інформації до центрального пункту контролю.

Проведено аналіз сучасних систем радіаційного моніторингу та визначено, що для підвищення надійності інформаційного обміну доцільним є застосування розподіленої архітектури з використанням декількох каналів передавання даних. Обґрунтовано використання гібридної структури, у якій поєднано радіоканал та канал передавання інформації через електричну мережу 220 В.

Розроблено структурну схему мережі розподіленого радіаційного моніторингу, яка забезпечує взаємодію вимірювальних вузлів із центральним вузлом збору та оброблення даних. Така структура дозволяє об'єднувати декілька пунктів контролю в єдину систему, передавати результати вимірювань, формувати тривожні повідомлення та забезпечувати централізований контроль радіаційної обстановки.

Розроблено структурну та функціональну схеми телекомунікаційної системи. Визначено склад основних функціональних вузлів, до яких належать детектор іонізуючого випромінювання, високовольтний вимірювальний тракт, центральний мікроконтролерний модуль, вузли індикації та звукового оповіщення, інтерфейс RS-232C, радіоприймально-передавальний тракт, PLC-вузол і блок живлення.

На основі прийнятих структурних рішень сформовано схему електричну принципову системи. Виконано опис роботи основних вузлів, зокрема високовольтного тракту живлення лічильника Гейгера-Мюллера,

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вузла формування та стабілізації вимірювального сигналу, мікроконтролерного модуля, інтерфейсних вузлів і телекомунікаційних каналів.

Проведено вибір елементної бази системи. Для реалізації пристрою обрано електрорадіоелементи, які забезпечують виконання вимірювальних, обчислювальних, індикаційних, телекомунікаційних і живильних функцій. Вибрана елементна база відповідає призначенню окремих вузлів системи та забезпечує можливість практичної реалізації розробленої схеми.

Виконано компоновку друкованого вузла системи. Під час компонування враховано необхідність розділення високовольтних, низьковольтних, цифрових, радіочастотних і силових кіл. Це дозволяє зменшити взаємний вплив між вузлами, підвищити електромагнітну сумісність, забезпечити технологічність виготовлення та зручність подальшого налагодження пристрою.

Розглянуто питання охорони праці та безпеки життєдіяльності. Визначено основні заходи електробезпеки під час експлуатації та технічного обслуговування системи, а також наведено порядок дій персоналу та населення у разі виникнення радіаційної небезпеки.

Отже, у роботі розроблено технічні рішення, які забезпечують побудову телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу з можливістю передавання даних гібридними каналами зв'язку. Запропонована система може бути використана як основа для створення засобу автоматизованого контролю радіаційної обстановки на об'єктах, де необхідне своєчасне виявлення підвищення рівня радіаційного фону та передавання відповідних повідомлень до центрального пункту моніторингу.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Bachynskyy M., Stoyanov Yu., Yavorskyu B.. Determination of non-intensive light flux intensity after propagation through layered biological environment. Вісник ТНТУ. Т.: ТНТУ, 2017. Том 86. № 2. С. 101-107.
2. Яворський Б., Бачинський М., Фалендиш В. Достовірність віддаленого, мобільного, автоматизованого, голтерівського моніторингу кардіоритмосигналу. Вісник ТДТУ. 2009. Том 14. № 2. С. 124-129
3. Методичні рекомендації з оформлення кваліфікаційних робіт бакалавра за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / Дунець В.Л., Дедів І.Ю., Хвостівський М.О. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021, 72 с.
4. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник. Львів: УАД, 2006 – 336 с.
5. ДСТУ ГОСТ 2.702:2013 «Єдина система конструкторської документації. Правила виконання електричних схем (ГОСТ 2.702-2011, IDT)
6. ДСТУ 2646-94. Плати друковані. Терміни та визначення.
7. ДСТУ 3334-96. Плати друковані. Загальні вимоги до технологічних процесів регенерації, знешкодження та утилізації розчинів.
8. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни “Системи автоматизованого проєктування радіоелектронних засобів” для студентів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка / Уклад.: Хвостівська Л.В., Дунець В.Л. Тернопіль: ТНТУ, 2022. 109 с.
9. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Системи автоматизованого проєктування радіоелектронних засобів» для студентів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка / Уклад.: Л.В.Хвостівська. Тернопіль: ТНТУ, 2022. 63 с.
10. Математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення синфазного виявлення радіосигналів в електронних комунікаційних мережах

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

із завадами / Л. Хвостівська, М. Хвостівський, В. Дунець, І. Дедів // Вісник ТНТУ. – Т. : ТНТУ, 2023. – Том 111. – № 3. – С. 48–57.

11. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.

12. Розвиток математичного моделювання трафіку комп'ютерних мереж / М. О. Хвостівський, Г. М. Осухівська, Л. В. Хвостівська, Д. В. Величко // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. Т.: ТНТУ, 2020. С. 187–188.

13. Хвостівська Л.В., Хвостівський М.О. Синтез структури інформаційної системи реєстрації та обробки пульсового сигналу. Науковий вісник Чернівецького університету: збірник наук. праць. Фізика. Електроніка. – Т. 4, Вип. 1. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2015. – С. 83-89. – ISSN 2227-8842.

14. Mathematical modelling of daily computer network traffic. Khvostivskyy, M., Osukhivska, H., Khvostivska, L., Lobur T., Velychko D, Lupenko, S., Novorushchenko, T. 1st International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITAP 2021, Ternopil. 16 November 2021 до 18 November 2021. CEUR Workshop Proceedings. Том 3039, P.107-111.

15. Хвостівська Л.В., Хвостівський М.О. Синтез структури інформаційної системи реєстрації та обробки пульсового сигналу. Науковий вісник Чернівецького університету: збірник наук. праць. Фізика. Електроніка. – Т. 4, Вип. 1. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2015. – С. 83-89. – ISSN 2227-8842.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						103
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

16. Liliya Khvostivska, Mykola Khvostivskyy, Vasył Dunec, Iryna Dediv. Mathematical and Algorithmic Support of Detection Useful Radiosignals in Telecommunication Networks. Proceedings of the 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2022). Ternopil, Ukraine, November 22-24, 2022. P.314-318. ISSN 1613-0073.

17. Khvostivska L., Khvostivskiy M., Dediv I., Yatskiv V., Palaniza Y. Method, Algorithm and Computer Tool for Synphase Detection of Radio Signals in Telecommunication Networks with Noises. Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. P.173-180. ISSN 1613-0073.

18. Яворський Б. І. Математичні основи радіоелектроніки. Частина I. Тернопіль: ТПІ імені Івана Пулюя. 1996. 184 с.

19. Вузол системи RadNote. URL: <https://safecast.org/devices/>.

20. Станція радіаційного моніторингу GAMON-S. URL: <https://www.caen.it/products/gamon-s/>.

21. Дозиметричний пристрій bGeigie Nano. URL: <https://safecast.org/the-bgeigie-nano-kit/>

22. Архітектура системи W-MON на основі технології LoRaWAN. URL: https://www.researchgate.net/publication/352470752_An_IoT_LoRaWAN_Network_for_environmental_radiation_monitoring.

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					ММА 2.000.001 ПЗ	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри РТ
_____ к.т.н. Дунець В.Л.
“ 28 ” квітня _____ 2026 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

на тему:

**«Телекомунікаційна система розподіленого радіаційного моніторингу на
основі гібридних каналів передачі даних»**

Узгоджено:
Керівник роботи
Яворський Б.І. _____
“ ____ ” _____ 2026р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”
Студент групи РАс-41
Матвій М.А. _____
“ ____ ” _____ 2026р.

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: «Телекомунікаційна система розподіленого радіаційного моніторингу на основі гібридних каналів передачі даних»

1.2 Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ університету про затвердження кваліфікаційної роботи № 4/7-198 від “28” квітня 2026 р.

2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Матвій Микола Андрійович.
групи РАс-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою кваліфікаційної роботи є проектування телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу, що включає в себе:

- проектування схемотехнічного рішення телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу;
- синтез програмного забезпечення центрального мікроконтролерного модуля;
- розрахунок і вибір елементів для оптимальної роботи телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу;
- проектування друкованого вузла та друкованої плати телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу.

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

- 4.1 Діапазон вимірювання радіаційного поля – 1-5000 Дф.
- 4.2 Робочий діапазон радіочастот 315-915 МГц;
- 4.3 Максимальна швидкість передачі даних по радіоканалу 500 біт/с;
- 4.4 Частотний діапазон передачі по електромережі – 868-915 МГц;
- 4.5 Максимальна швидкість передачі даних до електромережі – 1440 біт/с;
- 4.6 Максимальна швидкість лічення – 4000 імп/с
- 4.7 Розрядність цифрових даних в схемі – 8 Біт
- 4.8 Flash-пам'ять приладу – 32 кБайт;
- 4.9 Час встановлення робочого режиму повинен не перевищує 0,1 хв
- 4.10 Можливість підключення до зовнішнього радіомодему
- 4.11 Можливість підключення до ПК із інтерфейсом RS-232С;
- 4.12 Час встановлення робочого режиму не перевищує 3 с;
- 4.13 Живлення приладу – мережа 220 В з частотою струму 50Гц;
- 4.14 Потужність споживання не перевищує 0,5Вт;
- 4.15 Час встановлення робочого режиму повинен не перевищує 0,1 хв;
- 4.16. Вимоги до умов експлуатації повинні бути:

- Кліматичні умови за ДСТУ 15150:2016;
- Температура навколишнього середовища від +10°C до + 35°C;
- Відносна вологість повітря 80 % при $t=25^{\circ}\text{C}$.

Примітка: габаритні розміри стстеми уточнюються в процесі розробки конструкції.

5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

5.2. Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

- пояснювальна записка;
- структурна схема телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу;
- електрична принципова телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу;
- блок-схема алгоритму роботи центрального мікроконтролерного модуля
- друкована плата телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу;
- друкований вузол телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу.

6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Таблиця 6.1 – Стадії та етапи виконання КР

№ етапу	Назва етапу виконання КР	Термін виконання
1	Розробка та затвердження технічного завдання	12.03.2026
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи	13.03.2026
3	Структурна схема мережі розподіленого радіаційного моніторингу на основі гібридних каналів передачі даних	22.03.2026
4	Розробка структурної схеми системи	24.03.2026
5	Розробка схеми електричної принципової системи	09.04.2026
6	Розробка блок-схеми алгоритму роботи мікроконтролера	12.04.2026
7	Розробка програмного забезпечення мікроконтролера	15.04.2026
8	Розрахунок основних вузлів схеми системи	21.04.2026
9	Вибір компонентної бази для розроблюваної системи	01.05.2026
10	Компоновка друкованого вузла системи	15.05.2026

11	Створення допоміжної документації	27.05.2026
12	Розділ безпеки життєдіяльності, основи охорони праці	02.06.2026
13	Нормоконтроль	09.06.2026
14	Попередній захист кваліфікаційної роботи	10.06.2026
15	Перевірка роботи на антиплагіат	15.06.2026
16	Захист кваліфікаційної роботи	24.06.2026

Термін виконання кваліфікаційної роботи узгоджується з керівником і з графіком виконання.

7 ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

7.1 Під час виконання кваліфікаційної роботи в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	Лічильник Гейгера		
BF1	СБМ-20	1	
	Гучномовець		
BD1	DN-50-1	1	YDF
	Конденсатори		
C1, C3	САРХОН КF 1мкФ 16В ±20%	2	
C2, C11	СС4 1мкФ±5% 50V NPO	2	
C4, C10	САРХОН КF 10мкФ 16В ±20%	2	
C5	СС4 10мкФ±5% 50V NPO	1	
C6, C7	САРХОН КF 1мкФ 16В ±20%	2	
C8, C9	САРХОН КF 100мкФ 16В ±20%	2	
C12-C15	СС4 27пФ±5% 50V NPO	4	
C16	СС4 0,1мкФ±5% 50V NPO	1	
C17, C18	СС4 27пФ±5% 50V NPO	2	
C19, C20	СС4 0,1мкФ±5% 50V NPO	2	
C21, C22	СС4 560пФ±5% 50V NPO	2	
C23	СС4 325пФ±5% 50V NPO	1	
C24	СС4 32пФ±5% 50V NPO	1	
C25, C26	СС4 1мкФ±5% 50V NPO	2	

					ММА 2.000.001 ПЕЗ			
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата				
Розроб		Матвій М.А.			Телекомунікаційна система розподіленого радіаційного моніторингу на основі гібридних каналів передачі даних Перелік елементів	Лім.	Арк.	Аркушіє
Перевір.		Яворський Б.І.					1	5
Н. Контр.		Хвостівська Л				ТНТУ ім. І.Пулюя ар. РАС-41		
Затверд.		Дунець В.Л.						
Рецензент		Хвостівський						

			Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1			MMA 2.000.001 СК	Складальне креслення	1	
				<u>Деталі</u>		
A1	1		MMA 7.103.001	Плата друкована	1	
	2		MMA 8.119.001	Прокладка СО 45x45	1	
					1	
				<u>Інші вироби</u>		
				Конденсатори		
				САРХОН KF 1мкФ 16В ±20%	2	C1, C3
				СС4 1мкФ±5% 50V NPO	2	C2, C11
				САРХОН KF 10мкФ 16В ±20%	2	C4, C10
				СС4 10мкФ±5% 50V NPO	1	C5
				САРХОН KF 1мкФ 16В ±20%	2	C6, C7
				САРХОН KF 100мкФ 16В ±20%	2	C8, C9
				СС4 27пФ±5% 50V NPO	4	C12-C15
				СС4 0,1мкФ±5% 50V NPO	1	C16
				СС4 27пФ±5% 50V NPO	2	C17, C18
				СС4 0,1мкФ±5% 50V NPO	2	C19, C20
				СС4 560пФ±5% 50V NPO	2	C21, C22
				СС4 325пФ±5% 50V NPO	1	C23
				СС4 32пФ±5% 50V NPO	1	C24
				СС4 1мкФ±5% 50V NPO	2	C25, C26
				MMA 2.000.001		
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		
Розроб		Матвій М.А.			Літ.	Арк.
Перевір.		Яворський Б.І.				1
Н. Контр.		Хвостівська Л.			ТНТУ ім. І.Пулля гр. РАС-41	
Затверд.		Дунець В.Л.				
Рецензент		Хвостівський				
					Аркушів 4	
					Друкований вузол телекомунікаційної системи розподіленого радіаційного моніторингу на основі гібридних каналів передачі даних Специфікація	

			Позначення	Назва	Кіл.	Примітка	
				CC4 2,2мкФ±5% 50V NPO	2	C27, C35	
				CC4 6,8пФ±5% 50V NPO	2	C28, C30	
				K10-17-2-2200-530B	2	C29, C33	
				CC4 220пФ±5% 50V NPO	2	C31, C38	
				CC4 12пФ±5% 50V NPO	1	C32	
				CC4 6,8пФ±5% 50V NPO	1	C34	
				CC4 47пФ±5% 50V NPO	1	C36	
				CC4 1нФ±5% 50V NPO	1	C37	
				CC4 0.47мкФ±5% 50V NPO	1	C39	
				Мікросхеми			
				L7805 «STMicro»	1	DA1	
				LM2931 «STMicro»	1	DA2	
				MAX232 «Maxim»	1	DD1	
				ATMEGA32 «Atmel»	1	DD2	
				DS1812D-5 «Dallas»	1	DD3	
				AMIS-4987 «ON Semic»	1	DD4	
				CC1101 «Texas Instrument»	1	DD5	
				MTC3058 «Alcatel»	1	DD6	
				Резистори			
				MF-0.125-10кОм±5%	4	R1-R4	
				MF-0.125-1кОм±5%	1	R5	
				MF-0.125-91кОм±5%	2	R6, R12	
				MF-0.125-82кОм±5%	1	R7	
				MF-0.125-39кОм±5%	1	R8, R10	
				MF-0.125-1МОм±5%	1	R9	
				MF-0.125-22,6кОм±5%	1	R11	
				MF-0.125-3МОм±5%	1	R13	
				MF-0.125-2,2кОм±5%	1	R14	
				MF-0.125-56кОм±5%	1	R15	
				MF-0.125-180кОм±5%	1	R16	
				MMA 2.000.001			Арк.
							2
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			

