

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації,
електроінженерії
(повне найменування інституту, назва факультету)
та радіоелектроніки

Кафедра Автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ В.В. Поцєпаєв
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2019 р.

Випускна кваліфікаційна робота

магістра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Використання альтернативних протоколів передачі даних
вузькосмуговими каналами радіозв'язку»

Виконав : студент 2 курсу, групи

ТКРМ-18
(шифр групи)

напряму підготовки (спеціальності)

172

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

«Телекомунікації та радіотехніка»

Гайдук К.М.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник к.т.н., доц., проф. аф. АТ Воропаєва В.Я.

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

(підпис)

Рецензент _____

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

(підпис)

Рецензент _____

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

(підпис)

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

Студент _____

(підпис)

Покровськ – 2019 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Факультет Комп'ютерно–інтегрованих технологій, автоматизації,
електроінженерії та радіоелектроніки

(назва)

Кафедра Автоматики тателекомунікацій

(назва)

Захист відбувся _____

(дата)

з оцінкою _____

секретар ДЕК _____

(підпис)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА
на тему «Використання альтернативних протоколів передачі даних
вузькосмуговими каналами радіозв'язку»

Виконавець студент групи ТКРм–18	_____	Гайдук К.М.	_____
	(підпис, дата)		(ініціали, прізвище)
Керівник	_____	Воропаєва В.Я.	_____
	(підпис, дата)		(ініціали, прізвище)
Зав. кафедри «АТ»	_____	Поцєпаєв В.В.	_____
	(підпис, дата)		(ініціали, прізвище)
Консультанти	_____		_____
	(підпис, дата)		(ініціали, прізвище)
	_____		_____
	(підпис, дата)		(ініціали, прізвище)
Нормоконтролер	_____	Жуковська Д.О.	_____
	(підпис, дата)		(ініціали, прізвище)

Покровськ– 2019 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації
електроінженерії та радіоелектроніки

Кафедра автоматика та телекомунікації

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ / Поцєпєєв В.В./

“ ____ ” _____ 2019 року

З А В Д А Н Н Я **НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Гайдук Костянтин Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Використання альтеративних протоколів передачі даних
вузькосмуговими каналами радіозв'язку

керівник роботи: доцент, к.т.н., Воропаєва В.Я.

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

затверджені наказом від “ ____ ”

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Використання альтеративних протоколів
передачі даних вузькосмуговими каналами радіозв'язку

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

- 1) Провести аналіз використання різних телекомунікаційних технологій та спектру частот радіоканалів для задачі передачі даних.
- 2) Розробити принципи протоколу передачі даних для гарантованої доставки даних за мінімальної витрати енергії, мінімуму службової інформації, мінімальної потужності сигналу.
- 3) Розробити концепцію програмно-апаратної частини з мінімальним енергоспоживанням та максимальним ККД використання апаратних ресурсів.
- 4) Виконати заходи з охорони праці.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз використання різних телекомунікаційних технологій та спектру частот радіоканалів для задачі передачі даних.	25.10.19	
2	Розробка принципи протоколу передачі даних для гарантованої доставки даних за мінімальної витрати енергії, мінімуму службової інформації, мінімальної потужності сигналу.	2.11.19	
3	Розробка концепції програмно-апаратної частини з мінімальним енергоспоживанням та максимальним ККД використання апаратних ресурсів.	15.11.19	
4	Розробка заходів з охорони праці	20.11.19	
5	Оформлення магістерської роботи	25.11.19	
6	Підготовка до захисту магістерської роботи	10.12.19	
7	Захист магістерської роботи	20.12.19	

Студент

(підпис)

Гайдук К.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Воропасва В.Я.

(прізвище та ініціали)

Лист зауважень

П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Гайдук К.М. Використання альтернативних протоколів передачі даних вузькосмуговими каналами радіозв'язку / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня “Магістр” за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2019.

Пояснювальна записка: 63 сторінки, 21 рисуноків, 9 таблиць, 24 посилань на використану літературу.

Об'єкт розробки — концепція протоколу та пристрою передачі малих об'ємів даних вузькосмуговими каналами зв'язку

Мета розробки — підвищення ефективності та надійності передачі малих об'ємів даних на великі відстані, шляхом розробки альтернативного підходу до принципів передачі даних, а також концепції пристрою для забезпечення стабільного радіозв'язку на великих відстанях, з низькою вартістю каналу та гарантованою доставкою.

Методи роботи – теорія телетрафіку, теорія електрозв'язку, статистичні методи обробки даних, експериментальні дослідження.

Результат розробки – у підсумку роботи розроблено концепцію протоколу та пристрою передачі малих обсягів даних вузькосмуговими каналами зв'язку, основні рекомендації з подальшої програмної реалізації протоколу, а також визначені основні процедури роботи та системні команди радіообміну. Також наведено рекомендації з улаштування апаратної частини: принципи роботи приймальної та передавальної частини, блок-схему та основні елементи, які рекомендується використати для схеми.

ДАЛЬНІЙ РАДІОЗВ'ЯЗОК, ПЕРЕДАЧА ДАНИХ, DELAY TOLERANCE NETWORKING

Список публікацій здобувача:

ABSTRACT

Haiduk K.M. Use of alternative protocols for data transmission by narrowband radio communication channels / Graduate qualification work for the degree of Master's degree in specialty 172 "Telecommunications and Radio Engineering" of the National Technical University of Donetsk National Technical University, Pokrovsk, 2019.

Explanatory note: 63 pages, 21 figures, 9 tables, 24 references to used literature.

Object of development - the concept of the protocol and the device for transmission of small volumes of data by narrowband communication channels
The goal of the development is to increase the efficiency and reliability of long-distance data transmission by developing an alternative approach to data transmission principles, as well as the concept of a device for stable, long-range, low cost channel delivery and guaranteed delivery.

Methods of operation - teletraffic theory, telecommunication theory, statistical data processing methods, experimental studies/

Outcome of the development - as a result of the work, the concept of the protocol and the device for transmitting small amounts of data by narrowband communication analyses, basic recommendations for further program implementation of the protocol were developed, as well as the basic operating procedures and system commands for radio exchange. There are also recommendations on how to arrange the hardware: the operating principles of the receiving and transmitting parts, the flow chart and the main elements that are recommended to use for the scheme.

REMOTE RADIO, DATA TRANSFER, DELAY TOLERANCE
NETWORKING

List of publications of the applicant:

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	
ВСТУП.....	
1 ІСНУЮЧИ ПІДХОДИ ДО ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ КАНАЛАМИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ	
1.1 Аналіз параметрів QoS безпроводових телекомунікаційних технологій для задачі передачі даних	
1.2 Аналіз використання різних телекомунікаційних технологій та спектру частот радіоканалів для задачі передачі даних	
1.3 Аналіз існуючого програмно-апаратного забезпечення	
Висновки до розділу 1	
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОТОКОЛІВ АМАТОРСЬКОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ	
2.1 Особливості та сфера застосування протоколів аматорського радіозв'язку JT-65 FT-8v2 JT-9.....	
2.2 Види модуляції та завадостійкого кодування в аматорських протоколах Висновки – як треба вдосконалити вибраний протокол	
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	
3.1 Експериментальні дослідження для короткохвильового діапазону ..	
3.2 Опис програмної реалізації протоколу на базі вибраного аматорського	
3.3 Рекомендації з конструкції апаратного забезпечення.....	
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	
Де підрозділи з охорони праці???	
ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

DTN – delay-tolerant networking – концепція мережі зв'язку, що адаптується до великих затримок передачі даних;

IP TV Телебачення на основі IP мереж;

QOS – Quality of Service – параметри якості мереж зв'язку;

SDR Software Definition Radio – програмно-апаратна реалізація широкополосного радіоприймача;

WEB-SDR – інтернет – сервіс, що дозволяє використовувати віддалений SDR приймач;

SSB – Модуляція однією бічною полосою;

USB – модуляція правою бічною полосою;

FM – ЧМ - Частотна модуляція;

УКХ – ультра короткі хвилі;

КХ – короткі хвилі;

ПЗ – програмне забезпечення;

АРП – автоматичне регулювання підсилення;

ПЧ – проміжна частота;

КПО – коефіцієнт природного освітлення;

ПК – персональний комп'ютер;

ППБ – правила пожежної безпеки;

СанПіН – санітарні правила і норми.

ВСТУП

Розвиток телекомунікаційних технологій історично відбувався двома паралельними шляхами для двох різних типів трафіку: мережі каналної комутації для трафіку реального часу з гарантованою затримкою та мережі пакетної комутації для передачі даних з гарантованою доставкою. При цьому розробники намагались заощадити як апаратні ресурси інформаційних джерел, так і смугу пропускання каналів зв'язку. З появою мультимедійного трафіку та гетерогенних мультисервісних мереж увага розробників сконцентрувалася на пошуку технологій, що можуть поєднати протилежні вимоги цих двох типів трафіку.

Разом з тим, стрімкий розвиток мікро технологій, а отже, не менш стрімке зниження вартості апаратних ресурсів та оптичного волокна (згідно законів Денарда та Мура), призвели до того, що в останні три десятиліття відійшла на задній план колишня боротьба програмістів за кожен байт оперативної пам'яті, а зв'язківців за кожен децибел каналу зв'язку. За статистикою <http://archive.org> [1], середній розмір звичайної веб-сторінки в інтернеті досягає більше ніж 2,3 Мбайт, та цілком нормальним явищем є розмір сторінки в десятки Мбайт. Саме тому, відповідаючи на виклик часу, технології зв'язку все нових поколінь, з кожним роком збільшують можливості передачі та обробки великих об'ємів даних. Натомість, проблема гарантованої передачі малих об'ємів даних на великі відстані залишається без достатньої уваги.

Саме така задача виникає при необхідності зчитування телеметрії з віддаленого обладнання (наприклад гео- метео- датчиків, приладів контролю природних та технічних систем з повільними змінами, систем контролю технологічного обладнання, збору статистичних даних), яке може бути встановлено у віддалених та важкодоступних регіонах, зокрема у морі, гористій місцевості, пустелях або регіонах військових конфліктів. В цих умовах доступ до провідних ліній зв'язку ускладнений технічно, стільникові мережі не працюють або є нестабільними, а супутникові системи потребують вкладень,

що не є виправданими за малих об'ємів даних, а також, якщо канал зв'язку має бути незалежним від громадських систем (наприклад, військове призначення, аварійний зв'язок). Вирішенням проблеми можуть бути системи високо стабільного радіозв'язку на ультра-коротких хвилях (УКХ) або коротких хвилях (КХ).

Прилади та програмне забезпечення для подібних задач виробляються декількома компаніями, проте достатній асортимент обладнання можна побачити лише для забезпечення близького зв'язку – в межах кількох кілометрів, системи типу LoraWan [20] будуються за принципом мережі з ретрансляторами та постійними маршрутами зв'язку – що актуально за великої концентрації пристроїв на невеликій території. Також існуючі пристрої та програмні продукти [10] пропонують лише варіації на першому та другому рівні OSI, загалом, використовуючи протокол TCP-IP. Проте, для випадків, коли пристрої розташовані на достатньо великій території (сотні км один від одного), на якій відсутня, або недостатньо розвинена телекомунікаційна інфраструктура, а іноді немає постійної можливості підтримувати стійкий канал зв'язку, або необхідна абсолютна автономність каналів передачі даних, на даний час, навіть для малих обсягів даних, знайти альтернативу супутниковому зв'язку не вдалося. Також, для автономних пристроїв важливим параметром є мале енергоспоживання, що має значення при роботі від автономної системи живлення. Для забезпечення найменшого споживання енергії, система передачі даних має виходити на зв'язок лише у випадку наявності даних для відправки, мати мінімум службових посилок (періодична реєстрація у системі, службова інформація).

Подібні задачі зараз є актуальними також і в сфері космічного міжпланетного зв'язку, де досі керуються принципами оптимізації об'єму даних, зворотної сумісності та використання малих потужностей. Ці умови продиктовані жорсткими економічними та технічними рамками – адже обчислювані та енергетичні ресурси у космосі мають велику ціну.

Ідея роботи полягає в актуалізації принципів технічного мінімалізму, оптимізації енергетичних, програмних та апаратних ресурсів, мінімізації використання ефіру середовища зв'язку для вищевказаних умов.

Мета роботи – підвищення ефективності та надійності передачі малих об'ємів даних на великі відстані, шляхом розробки альтернативного підходу до принципів передачі даних, а також концепції пристрою для забезпечення стабільного радіозв'язку на великих відстанях, з низькою вартістю каналу та гарантованою доставкою.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити наступні **задачі**:

1. Провести аналіз використання різних телекомунікаційних технологій та спектру частот радіоканалів для задачі передачі даних.
2. Розробити принципи протоколу передачі даних для гарантованої доставки даних за мінімальної витрати енергії, мінімуму службової інформації, мінімальної потужності сигналу
3. Розробити концепцію програмно-апаратної частини з мінімальним енергоспоживанням та максимальним ККД використання апаратних ресурсів

Методи роботи – теорія телетрафіку, теорія електрозв'язку, статистичні методи обробки даних, експериментальні дослідження.

Основні результати було представлено на V-му науково-практичному форумі «ТАК» 28 листопада 2019 р.

1 ІСНУЮЧИ ПІДХОДИ ДО ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ КАНАЛАМИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

1.1 Аналіз параметрів QoS безпроводових телекомунікаційних технологій для задачі передачі даних



Рисунок 1.1 – нтернет речей у баченні компанії INTEL

В сучасному світі широко розвиваються технології ІоТ, через що все більше пристроїв потребують зв'язку з мережею інтернет. На даний час кількість таких пристроїв дорівнює приблизно 14,2 млрд.[21], та у подальшому лише збільшуватиметься. Такі пристрої, зазвичай, сконцентровані в будинках, на виробництві, на вулицях населених міст, в місцях концентрації людей – тобто там, де добре розвинена телекомунікаційна інфраструктура, а отже нема необхідності передавати дані на великі відстані – найближчий роутер завжди поряд. В таких ситуаціях використовуються стандартизовані та широкоживані технології та протоколи безпроводового зв'язку – такі як wi-fi (802.11 b/g/n), Bluetooth, zig-bee, LoraWan та інші, в основі яких лежить переважно стек TCP-IP. Також за цього підходу, для джерела інформації завжди є стабільне джерело живлення, а для передачі доступний широко-смуговий канал доступу.

Стандарт не описує всі аспекти побудови безпроводних локальних мереж Wi-Fi. Тому кожен виробник устаткування вирішує цю задачу по-своєму, застосовуючи ті підходи, які він вважає за найкращі з тієї або іншої точки зору. Тому виникає необхідність класифікації способів побудови безпроводних локальних мереж.

За способом об'єднання точок доступу в єдину систему можна виділити:

Автономні точки доступу (називаються також самостійні, децентралізовані, розумні)

Точки доступу, що працюють під керуванням контролера (називаються також «легковагі», централізовані)

Безконтролерні, але не автономні (керовані без контролера)

За способом організації і управління радіоканалами можна виділити безпроводні локальні мережі:

Із статичними налаштуваннями радіоканалів

З динамічними (адаптивними) налаштуваннями радіоканалів

Проте навіть така кількість різних підходів до побудови радіомережі не рятує від “накладання” сигналів кількох точок доступу, за умови щільності та безсистемності їх розташування у міському просторі.



Рисунок 1.2– Стан ефіру діапазону WI-FI 2,4 ГГц в міській квартирі

Таблиця 1.1 – Частотний план Wi-Fi 802.11 на різних територіях

канал	частота	Північна Америка	Японія	Україна
1	2412	так	так	так
2	2417	так	так	так
3	2422	так	так	так
4	2427	так	так	так
5	2432	так	так	так
6	2437	так	так	так
7	2442	так	так	так
8	2447	так	так	так
9	2452	так	так	так
10	2457	так	так	так
11	2462	так	так	так
12	2467	ні	так	так
13	2472	ні	так	так
14	2484	ні	Лише 802.11b	ні

Якість зв'язку оцінюється за наступними метриками (параметрами QoS) [2],[3]:

а) Пропускна здатність (bandwidth) – один з основних параметрів якості - це максимальна швидкість передачі даних лінією зв'язку без втрат. У випадку TCP визначається наступною формулою:

$$BW < \frac{MSS}{RTT} \frac{C}{\sqrt{p}} \quad (1.1),$$

де BW – дані, передані за одиницю часу (час циклу); MSS – максимальний розмір фрейма TCP; RTT – середній час передачі в обидва кінці (latency); C – постійна, що враховує вплив випадкових та періодичних втрат; p – імовірність втрат пакетів (frame loss).

б) Достовірність передачі – імовірність втрати символів або фреймів (frame loss) відображає кількість фреймів, які неможливо відновити, та які відкинуті системою. Повторне передавання фреймів веде за собою додаткове навантаження на лінію зв'язку, що призводить до зниження фактичної пропускної здатності каналу.

в) Затримка (latency) – час, за який пакет з точки А досягає точки Б, і навпаки. Важливий при роботі онлайн застосунків, VoIP та IPTV

г) jitter – коливання часу затримки пакетів відносно сусідніх пакетів. Також залежить від постійності завантаження каналу, показника втрати фреймів. Також має велике значення для роботи VoIP та IPTV: при коливаннях часу доставки пакетів збільшується імовірність того, що кодек не встигає відновлювати інформацію, що веде до погіршення зв'язку.

Звісно, що для каналів зв'язку різного призначення, одні параметри якості мають більшу вагу перед іншими. Однак, всі сучасні протоколи зв'язку вимагають безперервної наявності каналу, тобто кінцеве обладнання, навіть за відсутності даних, час від часу обмінюється службовою інформацією, задля підтримки каналу зв'язку в активному стані. Звичайно, за умов великої концентрації обладнання, доступності енергоресурсів та мережі, великої кількості даних – це скоріше плюс, але у випадку віддаленого автономного об'єкту – такий принцип роботи є надлишковим, і веде лише до зайвого використання енергії, та частотного ресурсу.

Наприклад, для роботи з віддаленими космічними об'єктами, використовуються протоколи, які забезпечують зв'язок на швидкості біля 150 бод (Voyager 2 [4]) при тому, що рівень сигналу, що приймається – приблизно 150 dBm, а відстань до передавача – близько 18,29 млрд км. Для порівняння – загальноновживані протоколи оперують такими співвідношеннями – Wi-Fi 802.11n – поріг декодування – 82dBm з максимальною швидкістю передачі даних до 300-600 Mbit/s (в залежності від ширини каналу, та інших параметрів, що передбачено стандартом) LoraWan – поріг декодування – 149 дБ, з максимальною швидкістю передачі даних до 50 kbit/s на відстані до 10 км.

В останнє десятиліття активно розвивається ідея «космічного інтернету» – протоколу, що дозволить використовувати наявні космічні апарати для переприйому та передачі даних – фактично дозволить об'єднати їх у широкомовну мережу, де дані можна передати будь-кому, хто на зв'язку, а не виключно на Землю, як центральний, а частіше і кінцевий вузол – delay-tolerant networking, DTN [5]. Як приклад таких мереж — мережі, що працюють в мобільних або екстремальних земних умовах або мережі в космічному просторі. Через підтримку з боку Управління перспективних дослідницьких проектів Міністерства оборони США, яке фінансує багато проектів DTN, розробки цього напрямку найбільш поширені саме в цій країні. Розрив мережі може статися з причин перевищення меж дальності бездротового радіозв'язку, втрати живлення мобільних чи базових вузлів, брак енергетичних ресурсів і перешкод.

Під затримками в DTN розуміються не тільки затримки, викликані транзитними вузлами або обмеженнями пропускної здатності каналу зв'язку. У таких мережах існують додаткові затримки передачі сигналу, які не залежать від обсягу переданих даних. Вони можуть залежати від швидкості поширення сигналу в середовищі передачі (наприклад, швидкість світла у вакуумі) та довжини пройденого ним шляху (залежить від траєкторії і відстані).

Крім того, при використанні Store & Forward з'являються затримки на зберігання переданих пакетів (на час обриву зв'язку). Подібні обриви (disruptions) можуть виникати внаслідок обмежень смуги частот, ємності джерела живлення, зашумленості ефіру, відключення мобільних чи базових вузлів. Підхід Store-and-forward (Зберегти та передати) - передбачає збереження пакетів при відсутності можливості їх передати. Однак, в DTN час зберігання значно довше внаслідок того, що канал може бути недоступний на момент передачі і до того ж сам по собі ненадійний. Крім того, в мережах DTN складніше своєчасно відстежити стан каналу через значну затримку на передачу сигналів. Тому для зберігання пакетів, що мають бути надіслані,

рекомендується використовувати постійні сховища (такі як диски, flash-пам'ять).

Це і є основна відмінність DTN від TCP – вузли мережі зберігають отримані дані до моменту відкриття каналу за вказаним маршрутом, та беруть на себе відповідальність за повторну передачу втрачених пакетів – на відміну від TCP, де передача втрачених пакетів повторюється відправником. При такому підході, в разі втрати фрейму, додаткове навантаження на канал зв'язку з'являється лише на ділянці між останніми двома вузлами (де було втрачено фрейм), а не по всій лінії зв'язку, від отримувача до відправника. Проте, такий підхід вимагає додаткового навантаження проміжних вузлів – адже на них покладається задача проаналізувати отримані фрейми на їх неушкодженість, а не тільки передати в незмінному вигляді далі маршрутом.

Порівняння параметрів QoS протоколів передачі безпроводних технологій, що базуються на стеку TCP-IP, та протоколу дальнього зв'язку DTN для задачі передачі даних зведено в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняння параметрів QoS

Метрика	TCP-IP	[дальній зв'язок] DTN
bandwidth	Від сотень кБіт/с, до сотень ГБіт/с	Від десятків бод до сотень кБіт/с
frame loss	5%	0%
latency	Одиниці мс на оптичних, та сотні мс на радіолініях	Не нормується
jitter	1-7%	Не нормується
стабільність каналу	Необхідний стабільний канал 24\7	Адаптація до переривчастих каналів зв'язку

1.2 Аналіз використання різних телекомунікаційних технологій та спектру частот радіоканалів для задачі передачі даних

На сьогодні, існує велика кількість стандартів, що використовують радіочастотний ресурс, та всі вони, за деякими виключеннями, сконцентровані в діапазоні від 800 до 5800 МГц. [6]

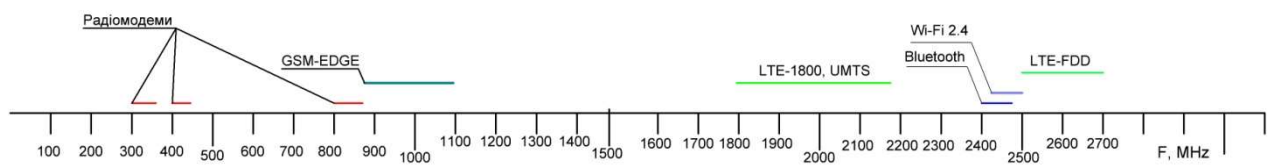


Рисунок 1.3 – Розподіл частотного ресурсу між стандартами цифрового зв'язку

Такі частоти, через природні особливості проходження радіохвиль, не дозволяють наземним системам зв'язку, за умов малої потужності, працювати далі, ніж кілька кілометрів (частоти 400-860 МГц), і це за умов прямої видимості. Також ширина каналів – від 200 кГц (LoraWan) до 160 МГц (802.11a/b/g/n) у різних стандартів – що викликає проблеми «забрудненості радіоефіру» - при великій кількості пристроїв (рис. 1.2) , все важче досягти достатньої якості зв'язку. [7]

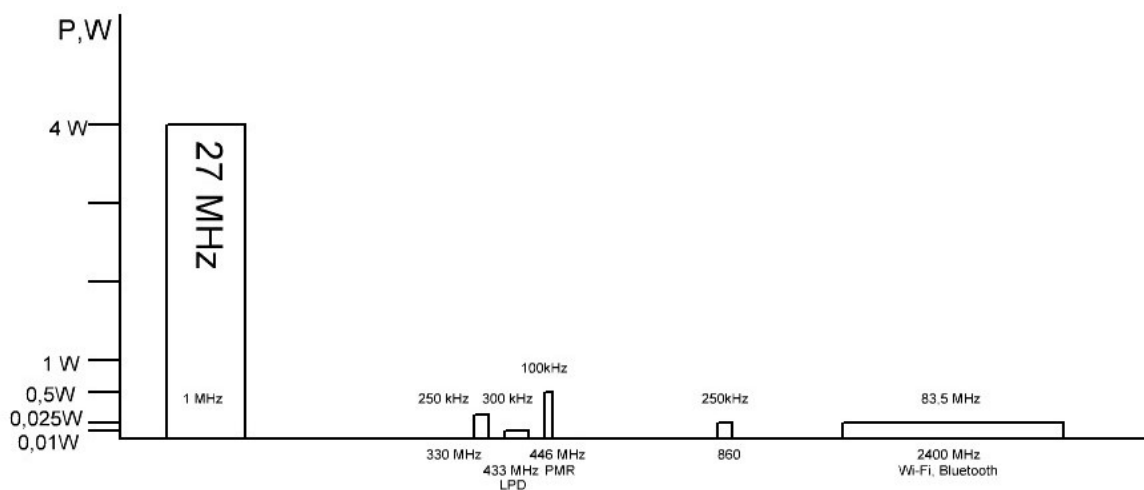


Рисунок 1.4 – Розподілення дозволених потужностей та ширини полос не ліцензованих частот

Також, зі збільшенням частоти – смуга частот та потужність передавача все жорсткіше регулюється законодавством.[8].. Якщо на частотах близько 27 МГц дозволена не ліцензована потужність 4-6 Ват (в залежності від країни), і це дозволяє проводити, за сприятливих умов, дальні сеанси радіозв'язку, в діапазоні 2 метри – до 5 Ватт, то на частотах близько 433-446 МГц – дозволена не ліцензована потужність становить від 0.01 до 0,5 ват, а на 860 МГц (в деяких країнах) – до 0,025 Ватт..

1.3 Аналіз існуючого програмно-апаратного забезпечення для вирішення поставленої задачі

Для вирішення задачі зчитування телеметрії з віддалених приладів контролю природних та технічних систем з повільними змінами, тобто для радіоканалу на великі відстані, існує декілька апаратних та програмних рішень.

Апаратні рішення полягають у спеціалізованому обладнанні, що складається з мікроконтролеру, DSP процесору та радіо модулю, та працює за пропрієтарними протоколами тієї чи іншої компанії виробника. Таке обладнання дозволяє налагодити TCP-IP канал невеликої пропускної здатності,

або «подовжувач» інтерфейсу RS-232 чи RS-485 на відстань від кілька сотень метрів до одного, чи двох десятків км. Для прикладу, розглянемо радіомодем SST-900B виробництва ISP DAS [<http://www.icpdas.com>] (таблиця 1.2, рис.1.1):

Характеристики SST-900B Таблиця 1.3	
Діапазон частот	902-928МГц
Ширна каналу	1 МГц
Вихідна потужність	0,002 Вт
Максимальна швидкість передачі	115,2 кБод
Радіус роботи	700 м



Рисунок 1.5 –
радіомодем SST-900B

Програмні рішення – пропонують більш гнучкі варіанти, та орієнтовані на допомогу під час надзвичайних ситуації, експедицій та аналогічних випадках. Мінусом такого рішення є те, що для роботи таких продуктів необхідно мати ПК з підключеним трансивером, до керування яким, зазвичай, необхідно долучати оператора, а це виключає можливість автономної роботи. Також, ці рішення пропонують TCP-IP канал зв'язку невеликої пропускну здатності, але за рахунок гнучкості використання апаратного, в тому числі прийомо-передавального обладнання, можна облаштувати значну протяжність радіоканалу, в залежності від трансиверу – до сотень км. Для прикладу – ПЗ, що пропонується [10] може використовуватися на ПК спільно з УКХ і КХ трансиверами. Параметри каналу, що забезпечується, наступні (таблиця 1.4).

Звичайно, дальність каналу залежить від потужності та параметрів трансиверів, антенно – фідерних систем, та потребує ліцензування згідно законодавства країн, де використовується. Також, «подовжуючи» TCP-IP канал, цим рішенням не вирушіється проблема надлишковості та повторних надсилань пакетів.

Таблиця 1.4 – Параметри каналу, що забезпечуються ПЗ ROSMODEM

Level	SymbolRate	Carriers	Mod	Bytes\Pcket	Net Data Rate	User Data Rate
1	37,5	52	BPSK	20	35	29
2	37,5	52	BPSK	32	54	45
3	37,5	52	BPSK	71	113	94
4	37,5	52	BPSK	150	234	194
5	37,5	52	BPSK	308	476	395
6	37,5	52	BPSK	626	963	799
7	37,5	52	4PSK	1257	1929	1601
8	37,5	52	8PSK	1887	2893	2401
9	37,5	52	16QAM	2951	4521	3752
10	37,5	52	32QAM	3690	5653	4692
11	37,5	52	32QAM	4428	6782	5629



Рисунок 1.6 – Схема з'єднання за допомогою ПЗ ROSMODEM

Висновки до розділу 1

У цьому розділі було розглянуто існуючі підходи до передачі даних радіоканалами. Всі вони працюють за принципами «подовження» інтерфейсів RS-232 та RS-485, або створення TCP-IP каналу зв'язку, що є актуальним на невеликих відстанях, та за сприятливих умов радіоефіру та доступу до живлення.

У пункті 1.1 розглянуті проблеми такого підходу, а саме:

- 1) повторні передачі даних при втраті фреймів, що може значно знижувати реальну пропускну здатність каналу;

2) необхідність постійної підтримки каналу активним, навіть за відсутності даних для передачі

3) Чутливість до часу затримки при передачі (latency) та коливань цього часу (jitter)

Це веде до «засміченості» радіоефіру, що в свою чергу, негативно впливає на імовірність колізій, та викликає повторні передачі даних: маємо замкнене коло. Перелічені вище проблеми ведуть також до надлишкового енергоспоживання, до чого чутливі автономні системи.

І якщо ці нюанси – неважливі у більшості випадків – бо більшість безпроводного обладнання знаходиться в межах розвинених телекомунікаційних мереж, та можливостей доступу до широких каналів зв'язку з малою віддаленістю від кінцевого обладнання, то у випадках, коли необхідно отримати автономний канал зв'язку до обладнання, встановленого на значній відстані (десятки, сотні км) – ширина каналу значно обмежується наявними ресурсами, тож необхідно змінити підхід до передачі даних: основним параметром каналу передачі даних має стати не швидкість, а надійність, адже для обладнання телеметрії та датчиків немає необхідності в широкому каналі, так само як і в постійній його активності – дані можуть накопичуватися, та відправлятися за потребою, чи по заповненню буфера, а от надійність доставки даних має велике значення: аби не звести нанівець імовірність втрати під час передавання даних, повтори передачу, а отже і час присутності в ефірі.

Для цього необхідно вирішити наступні задачі:

1. Розробити принципи протоколу передачі даних для гарантованої доставки даних за мінімальної витрати енергії, мінімуму службової інформації, мінімальної потужності сигналу

2. Розробити концепцію програмно-апаратної частини з мінімальним енергоспоживанням та максимальним ККД використання апаратних ресурсів.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОТОКОЛІВ АМАТОРСЬКОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ ПОСТАВЛЕНИХ УМОВ

2.1 Особливості та сфера застосування протоколів аматорського радіозв'язку JT-65 FT-8v2 JT-9

В останні роки, широку популярність у середовищі радіоаматорів, мають цифрові протоколи зв'язку з вузьким спектром та завадостійким кодуванням. Це дозволяє використовувати малу потужність (порядку одиниць, чи десятків Ват) для проведення радіообміну з віддаленими кореспондентами, у тому числі, на міжконтинентальних трасах, використовуючи іоносферне проходження радіохвиль на КХ, пряме проходження, зв'язок через супутники, та віддзеркалення сигналів від місяця на частотах УКХ. Завдяки тому, що смуга сигналу від 16 до 200 Гц, а ширина смуги проміжної частоти (ПЧ) аматорських трансиверів близько 2,4-2,8 кГц, можливий одночасний прийом сигналів багатьох станцій, які, по суті, утворюють широкомовну мережу. Радіоаматорське програмне забезпечення розповсюджується з відкритим кодом, має модульну структуру, при чому модулі можуть вільно використовуватися у власних розробках ПЗ, застосовується за модуляцій SSB, FM. Найбільш розповсюджені протоколи - JT-65 FT-8v2 JT-9. Свій початок такий різновид аматорського зв'язку веде від розробника програми WSJT (Weak Signal Joe Tailor) та перших версій JT-модуляцій - радіоаматора та нобелівського лауреата з фізики Джо Тейлора. Подальший розвиток його розробки за участі інших радіоаматорів надав спільноті різноманітність цифрових аматорських модуляцій, що базуються на принципах зв'язку, використаних NASA для обміну даними з віддаленими космічними апаратами.

Основні характеристики [11] наведено у табл.2.1 До особливостей таких типів зв'язку можна віднести чітку визначеність тайм-слотів прийому-передачі, а отже і необхідність точної синхронізації часу всіх станцій операторів:

наприклад, тайм-слот в FT8v2 складає 15 секунд. З них 13,5 секунд відводиться на прийом повідомлення, а 1,5 секунди – на декодування. Відповідь повинна бути передана в наступний тайм-слот (тобто наступні 15 секунд).

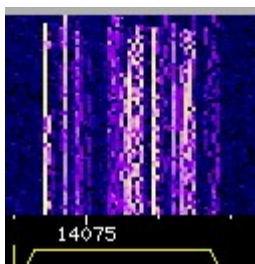
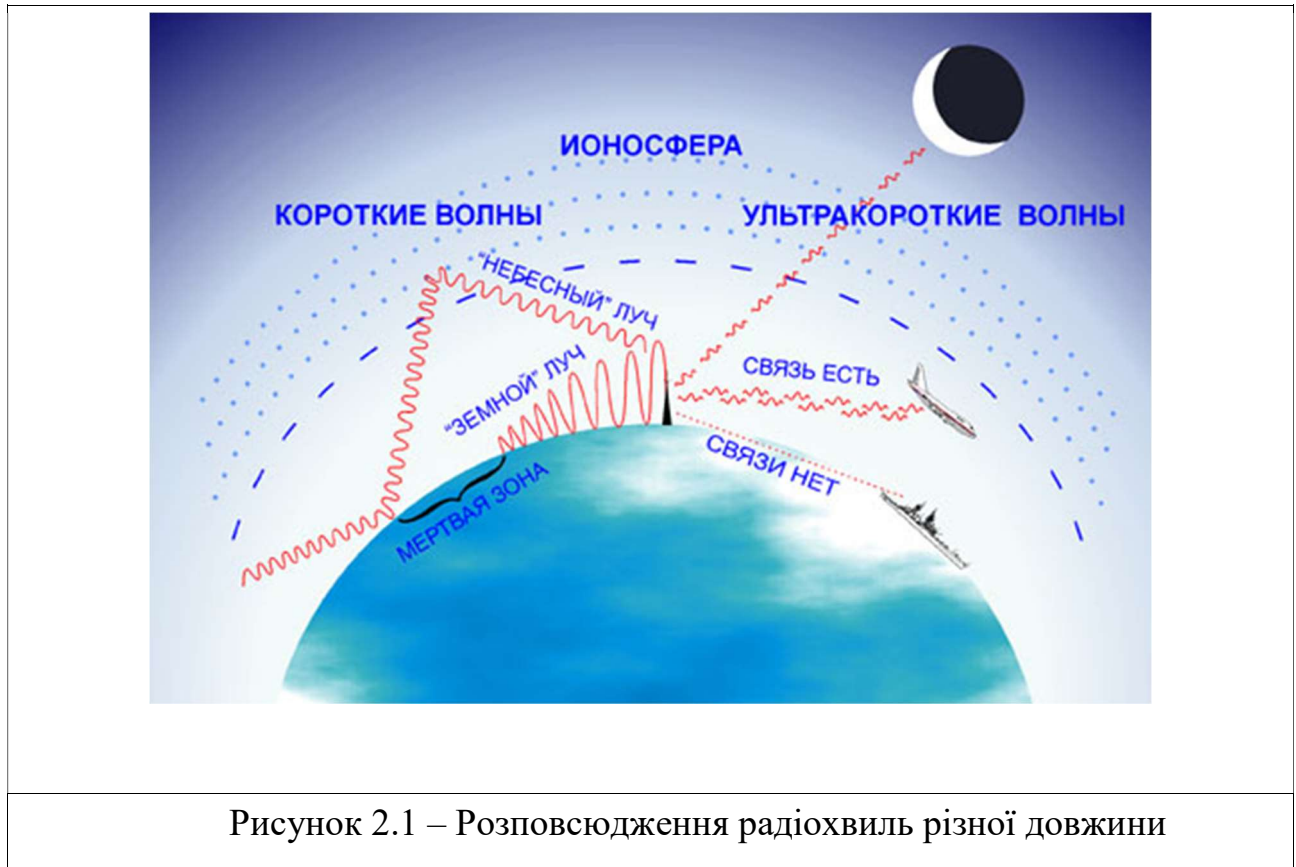


Рисунок 2.2 – Спектр сигналів FT8v2 у смузі 2,4 кГц на частоті 14,074 МГц

Якщо налаштування часу якогось оператора не збігаються з налаштуванням часу інших – він «випадає» з тайм – слота на величину похибки: починає прийом або передачу раніше, чи пізніше інших, а отже імовірність вірного декодування ним сигналів інших станції (а його сигналу ними) знижується пропорційно величині ΔT .

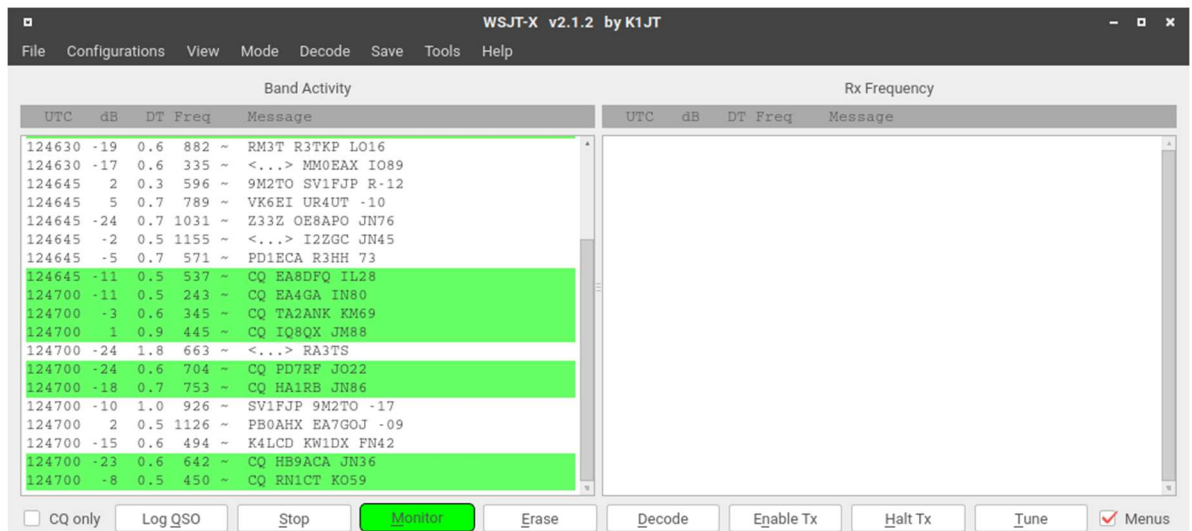


Рисунок 2.3 – інтерфейс програми WSJT-X. Колонка DT – розсинхронізація часу

У більшості аматорських цифрових протоколів використовується GFSK-гаусівська частотна модуляція – що є одним з видів частотної маніпуляції, яка використовує гаусіський фільтр, завдяки чому згладжуються гармоніки, що виникають при переході станів модулюючого сигналу. Це означає, що перехід між субтонами модуляції відбувається не переривчасто, а повільно. Завдяки цьому підходу досягається зменшення гармонік сигналу, а отже і зменшення імовірності похибки при демодуляції, звуження полоси сигналу. Апаратно таке рішення виглядає як генератор коливання, що повільно змінює свою частоту від одного значення на інше, а не переходить стрибком. Під час випробування цього різновиду зв'язку із вказаними типами кодування, використовуючи потужність близько 25 W, проведені міжконтинентальні сеанси зв'язку в діапазоні 14;7;3,5 МГц, тому було вирішено дослідити можливість їх використання у приладах телеметрії та автоматики. Адже використання завадостійкого кодування у вузькосмуговому каналі дозволяє значно знизити потужність радіопередавачів. Загалом, можливе використання будь-яких каналів зв'язку, що забезпечують потрібну стабільність частоти та ширину каналу. Звичайно, за умови невеликого об'єму даних, що передаються, але гарантувати доставку цих даних.

Таблиця 2.1 – Основні характеристики протоколів цифрового аматорського зв'язку

параметр	Мода		
	JT-65	FT-8v2	JT-9
Період,с	60	15	60
час передачі повідомлення,с	46.8	12.64	48,384
кількість інформ.біт	72	77	72
Код	Ріда-Соломона(63,12)	LDPC(174,91)	Ріда-Соломона
кількість біт після кодування	378	91	206
Модуляція	64-FSK	8-FSK	9-FSK
Синхронізація	одноканальна, 63 тона з максимальним значенням функції автокореляції синхропослідовності	масив Костаса, повторюється послідовність з 7 тонів на початку, в середині та наприкінці повідомлення	Одноканальна, 16 тонів
кількість інформаційних тонів	$378/6 = 63$	$174/3 = 58$	$(206-2)/3 = 68$
загальна кількість тонів	126	$58 + 21 = 79$	84
Смуга одного тону,гц	2.69	6.25	1,7361
смуга сигналу,гц	174.95	50	15.625

2.2 Види модуляції та завадостійкого кодування в аматорських протоколах

В аматорських протоколах використовуються, зазвичай, різні варіації на тему одно каналної FSK: різниця в кількості тонів, смуги кожного тону, та кроку між ними.(Таблиця 2.1) Більш нові версії протоколів перейшли на GFSK – завдяки чому досягаються кращі результати: ефективність передавача та точність декодування, за рахунок зниження кількості побічного випромінення та гармонік (розділ 2.1). А от серед варіантів завадостійкого кодування та синхронізації – набагато більше різноманітності. Розглянемо на прикладі FT8v2.

В даному протоколі використовується кодування LDPC –(Low-density parity-check code) код з малою щільністю перевірок на парність з перевіркою матрицею 174 строк на 91 стовбець. Такі коди описуються матрицею, що має більшість нулів, та малу кількість одиниць – матрицею низької щільності. Загалом - кількість одиниць зростає лінійно, відносно довжини кодового блока (кількості стовбців матриці).

Під час передачі даних – вони розбиваються на блоки відомої довжини, які обробляються кодером за алгоритмом, що задано матрицею коду, а після передачі-прийому – декодуються декодером, за тією ж матрицею.

Для декодування використовується ортогональність, що властива початковій та транспонованій перевіроючій матриці.

$$G \odot H^T = 0, \quad (2.1)$$

де G – початкова матриця, а H - перевіроюча. Для кожного, отриманого без помилок кодового слова виконується наступне співвідношення:

$$s = v \odot H^T = 0, \quad (2.2)$$

в протилежному випадку –

$$s = v \odot H^T \neq 0, \quad (2.3)$$

де v - прийнятий вектор, та у випадку, коли при помноженні прийнятого кодового слова на транспоновану перевіро́чну матрицю результат не дорівнює нулю – блок вважається прийнятим з помилкою.

Важливою умовою вірної роботи кодування цього типу є відсутність циклів перевіро́чної матриці [12].

Для синхронізації використовується масив Костаса з 7 тонів, що передається на початку, в середині та кінці повідомлення (табл. 2.1). Масив Костаса являє собою, по суті, матрицю перестановок, при чому, всі масиви малих розмірів до 27×27 – відомі.

Висновки – напрямки вдосконалення вибраного протоколу

Для вирішення поставленої задачі оптимальним прототипом можна вважати протокол FT8v2: завдяки оптимальному балансу між кодуванням, шириною полоси, модуляцією та часом передачі, він, незначно поступаючись за рівнем декодованого сигналу (що буде підтверджено в експерименті розд 3.1) іншим протоколам аматорського цифрового зв'язку, розроблених Джо Тейлором, значно випереджає їх за швидкістю передачі даних: має найменшу довжину сеансів прийому-передачі, та одну з найменших ширину полоси.

Використовуючи основні характеристики цього протоколу, для використання у приладах телеметрії, необхідно провести наступні модифікації:

1) виробити чітку сітку частот в каналі для кожного передавача, виділити широкомовний зворотній канал.

2) оптимізувати час та кількість сеансів прийому-передачі в прямих та зворотному каналах.

3) виробити концепцію мережі пристроїв, що працюють за даним протоколом.

4) розглянути можливість регулювання потужності передавача за командами приймаючої сторони – по прикладу роботи GSM мереж – аби оптимізувати енергоспоживання передавачів.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Експериментальні дослідження для короткохвильового діапазону

Для виявлення протоколу з оптимальним співвідношенням дальності, та швидкості передачі, було проведено наступний експеримент. Використані наступні типи протоколів: JT-65 FT-8v2 JT-9

Експеримент було проведено за наступними умовами: в діапазоні 20м, на частоті 14.030 МГц, було використано SSB короткохвильовий передавач, смугою сигналу 2,4 кГц, з трьома рівнями потужності: 2,5,7 ват, який навантажено на чвертьхвильовий вертикал з 12 протитягами [22], що встановлено на висоті 5,5 метрів, та за умов КСВ антенно-фідерної системи на заданій частоті 1,2. Передавач встановлено в Добропільському районі Донецької області. В якості приймача, використано WEB-SDR, що знаходиться у Нідерландах, в Університеті Твенте на факультеті електротехніки, математики та інформатики [13], що за 2176 км від передавача. Даний сервіс дозволяє визначити рівень сигналу в дБ, та побачити його спектр, а також провести декодування на своєму ПК. Кодування та декодування проведене штатним ПЗ WSJT-X. [13] Час проведення експерименту: 09,00 за UTC Однаковий об'єм даних передано трьома протоколами, трьома рівнями потужності, в короткий проміжок часу, що забезпечує достатнє наближення погодних, та інших зовнішніх умов.

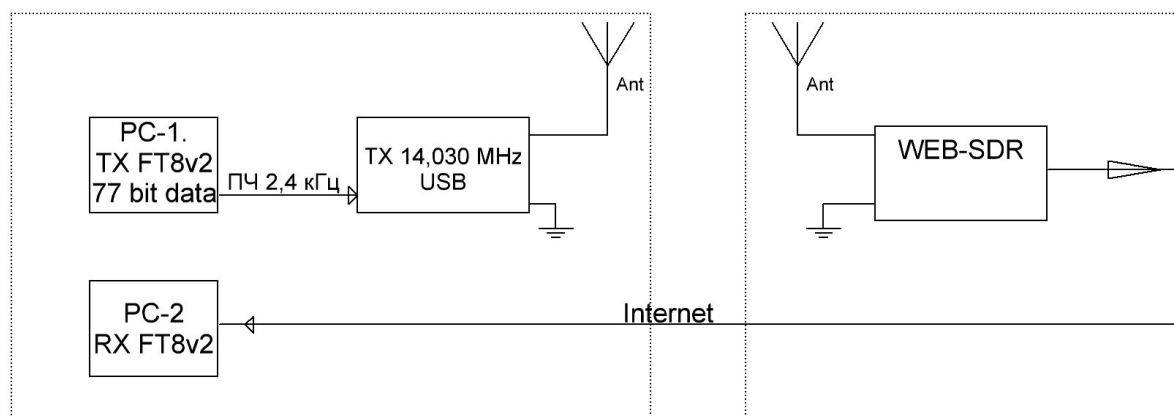


Рисунок 3.1 – Схема проведеного експерименту.

Таблиця 3.1 – Результати експерименту з цифрового зв'язку на KXT

#	Mode	Pw tx	Signal,dB	Noise, dB	Decod, dB	S/N
1	JT-65	2	-99.4	-99.5	-14	0.9990
2		5	-98.6	-99.5	-12	0.9910
3		7	-94	-98	-1	0.9592
4	FT-8v2	2	-104	-110	-15	0.9455
5		5	-100	-110	-11	0.9091
6		7	-97	-110	-5	0.8818
7	JT-9	2	-102	-110	-18	0.9273
8		5	-99	-110	-10	0.9000
9		7	-95	-110	-1	0.8636

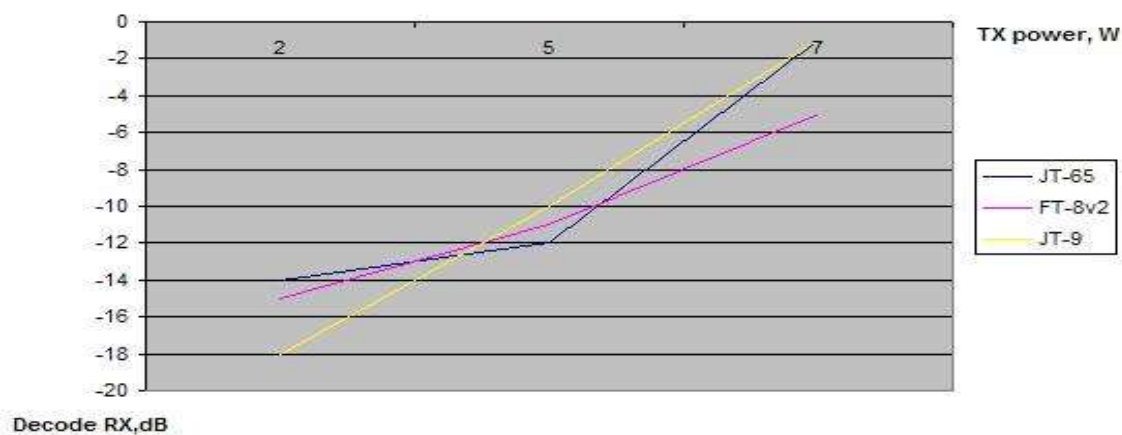


Рисунок 3.2 – Залежність рівня декодованого сигналу від потужності передавача для різних протоколів

Два з перевірених протоколів забезпечують приблизно однакову швидкість передачі даних – близько 1,2 біт/с, та майже однаковий рівень декодованого сигналу, JT-65 та JT-9, є більш стійкими до високих рівнів шумів., при цьому, з графіку на рис. 3.2 видно, що при збільшенні потужності передавача, приріст рівня сигналу на декодері відносно потужності передавача є нелінійним, а найбільший приріст дає протокол JT-9, тому на сверх дальніх трасах його використання є більш ефективним. В той час, протокол FT-8v2, за незначного пониження рівня декодованого сигналу, дозволяє використовувати в 4 рази менші інтервали між сеансами прийому\передачі, а отже швидкість передачі даних за використання цього протоколу складає 2,5 Біт\с, що є більше ніж в 2 рази вище за вищезгадані протоколи.

В свою чергу, протокол JT-65, займаючи велику полосу каналу, дає менший вигащ по рівню декодованого сигналу, ніж JT-9, та є в 4 рази повільнішим за FT8v2. Виходячи з отриманих даних, для подальших експериментів, в умовах невеликих відстаней та більш стійких каналів – прийнятно використання протоколу FT-8v2, та модифікацій на його основі.

3.2 Опис програмної реалізації протоколу на базі вибраного аматорського.

Виходячи з теоретичних даних, поставлених задач (розд.2), та результатів експеременту (розд.3.1), розглянемо реалізацію протоколу.

Ширина полоси більшості SSB та FM трансиверів, а також спеціалізованих мікросхем приймачів та модуляторів – 2,4-2,7 кілогерц [14]. Ширина полоси сигналу FT8v2 – 50 Гц, ширина захисної полоси між каналами – прийнята 0,5 ширини полоси сигналу. Звідси отримаємо:

$$\frac{2400}{50+} = 32\text{канали},$$

з яких необхідно виділити два для зворотнього потоку даних – один основний та другий резервний, а отже маємо 30 каналів.

На випадок не точного встановлення частоти віддаленого пристрою, основний та резервний канали мають бути на початку та наприкінці полоси. Тож, маємо такий розподіл частот, де 0 та 31 канал – downlink - зворотні.

Таблиця 3.2 – Розподіл каналів в полосі передавача

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
50	125	200	275	350	425	500	575	650	725	800	875	950	1025

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1100	1175	1250	1325	1400	1475	1550	1625	1700	1775	1850

25	26	27	28	29	30	31
1925	2000	2075	2150	2225	2300	2375

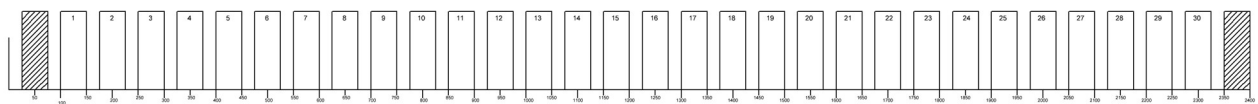


Рисунок 3.3 – Розподіл каналів в полосі передавача

Далі необхідно визначити порядок встановлення з'єднання, корегування частоти, підтвердження отримання та запиту повторної передачі даних.

Виходячи з того, що в одному частотному каналі шириною 2,4 кГц, може бути лише 30 клієнтських станцій, кожній з них можна присвоїти двозначний ідентифікаційний номер. Для того, щоб відрізнити номер від довільних даних, на початку номера, при передачі його в ефір, необхідно поставити розділовий знак. Отже, позначимо клієнтські станції номерами від \$01 до\$30, який одночасно вказує на номер робочого каналу станції. «Серверна» станція матиме ідентифікатор \$\$0.

При першому запуску, клієнтський передавач, на своєму каналі, повинен передати в ефір свій ідентифікатор: \$xx. Якщо «серверна» станція приймає цей сигнал, вона відповідає про вірний прийом - \$\$0\$xxRR, та реєструє клієнта, або повідомляє, що частота несущої зміщена на величину в герцах. \$\$0\$xxF+120. Після корегування частоти обмін повторюється до отримання клієнтським передавачом відповіді про вірний прийом. Для того, щоб уникнути безкінечного повторення процедури реєстрації, у випадку, якщо передавач не в змозі встановити частоту з точністю до 1-2 Гц, «серверна» станція може відправити повідомлення про реєстрацію, якщо частота передавача потрапляє у допуск ± 10 Гц, та передавач не зміг встановити частоту точніше за 2 повтори. (Захисна полоса між каналами в 25 Гц дозволяє такий допуск).

У випадку, якщо при включенні, клієнтська станція не отримує відповіді від серверної станції, вона може запросити підключення до будь-якої станції, яка може прийняти дані. Для цього клієнтська станція відправляє повідомлення загального виклику: \$xxCQ;, на яке дають відповідь всі інші клієнтські станції, які прийняли загальний виклик, передаючи свій ідентифікатор та ідентифікатор станції, яка дала загальний виклик: \$yy\$xx;. Клієнтська станція, що дала загальний виклик, повинна обрати станцію з найсильнішим сигналом, та повідомити її про те, що використовуватиме її як ретранслятор: \$xx\$yyC;, після чого проходить процедура реєстрації, де станція \$yy виступає в ролі серверної, а також відправляє серверній станції повідомлення про те, що виступає ретранслятором для станції \$xx. \$yyRC\$yy;. При передачі даних, ретрансльованих від іншої станції далі, станція, що виступає ретранслятором повинна ставити помітку про те, від якої станції дані походять: \$yy{data}1\$xx;. Якщо дані передаються більш ніж за один фрейм, можливо передавати ідентифікатор ретрансльованої станції лише у першому та останньому фреймі ретрансльованих даних: \$yy{data}\$xx; \$yy{data}\$xx;. Це дозволить передати дані за меншу кількість фреймів. «Серверна» станція після прийому всіх фреймів повинна надіслати підтвердження про прийом даних. А тому як у один проміжок часу вона може приймати дані від декількох клієнтських

станцій, підтвердження, або запит повтору, може відсилатися одним фреймом на всіх у зворотньому каналі зв'язку: R\$xx\$yy\$zzRE2\$qq;, де першим трьома станціям відправлено підтвердження про успішний прийом даних, а четвертій повідомлено про необхідність повтору другого фрейму.

Також необхідна синхронізація часу. Один з варіантів синхронізації часу – встановлення GPS приймачів на кожен станцію, але це ускладнить конструкцію. Отже, станція, яка приймає повідомлення від серверної, або ретранслюючої станції у невстановлений до цього час, має вирахувати величину похибки власного годинника, та встановити корекцію. Якщо ж повідомлення надходить від нижчої за ієрархією станції – ігнорувати ΔT .

Для перевірки наявності зареєстрованих клієнтів, серверна станція, у випадку відсутності повідомлення від клієнтської упродовж останніх 24 годин, має відправити запит у форматі \$0\$xx, на який клієнтська станція відповідає повідомленням про успішний прийом. У випадку не відповіді за 2 спроби, верифікація повторюється за 12 годин, та після невдачі у цьому випадку – клієнтська станція виключається з списку зареєстрованих. Для станцій, підключених через ретранслятор – верифікацію проводить ретранслююча станція. Також можливо регулювати потужність передавачів станцій-клієнтів, у випадку якщо їх сигнал надто потужний. Поріг декодування FT8v2 – мінус 20 дБ, а отже, можна вважати за нормальний сигнал – рівень - 9...-11 дБ. При прийомі сигналу запиту на реєстрацію рівнем вище ніж -5 дБ можливе надсилання серверною станцією сигналу про зниження потужності на клієнтську, але не -9 нижче ніж до рівня -10дБ – аби не втратити зв'язок у випадку погіршення умов радіо проходження сигналу. У випадку якщо рівень сигналу клієнтської станції близько до порогу декодування, серверна станція може рекомендувати збільшити потужність, або пошукати ретранслятор серед ближчих клієнтських станцій. Визначимо для цього такі системні команди: \$xxD3 – вказує станції xx зменшити потужність на 3 дБ, та \$xxU3 – вказує станції xx збільшити потужність на 3 дБ, а також \$xxG вказує на недостатній рівень прийому та необхідність пошуку ретранслятора. Також, при відсутності

відповідей від серверної станції – клієнтська станція може ігноруючи задані налаштування потужності – збільшувати потужність свого передавача, доки не отримає відповідь від серверної станції.

Отже, маємо такі основні типи системних повідомлень, та правила радіообміну:

Таблиця 3.3 – Перелік системних символів та повідомлень

\$S0	Ідентифікатор «серверної» станції	RC	Повідомлення про маршрут через ретранслятор	C	Повідомлення про запит ретрансляції
\$01-\$30	Ідентифікатор клієнтських станцій	REn	Повідомлення про необхідність повтору n-го фрейму	R	Повідомлення про успішний прийом
RR	Повідомлення про успішну реєстрацію	F±fff	Повідомлення про зміщення частоти на ±fff Гц	CQ	Загальний виклик при недоступності серверної станції
Dr	Вказує на необхідність зменшити потужність на p дБ	Up	Вказує на необхідність збільшити потужність на p дБ	G	Вказує на надто низький рівень прийому, та необхідність пошуку клієнтською станцією ретранслятора

Структура системного повідомлення: \$xxPPP\$yy;, де \$xx – відправник, \$yy – отримувач, PPP – параметр. Структура повідомлення с даними: \$xxDDD;, де \$xx – відправник, а DDD – дані. Команди по каналам 00 та 31 не маркуються відправником, адже на цих каналах працює лише серверна станція.

Для визначення співвідношення циклів прийому та передачі, з урахуванням розміру одного фрейму (циклу передачі FT8v2) в 11 байт, приймемо співвідношення 4\1, де 4 – кількість переданих фреймів від клієнтської станції, та 1 – кількість переданих фреймів серверною станцією.

Беручи до уваги час передачі одного фрейму FT8v2 – 13,5 секунд, плюс 1,5 секунди на декодування – 15 секунд, маємо на кожну хвилину прийому – 15 секунд передачі серверною станцією. У випадку, якщо даний прийнято не було – серверна станція не виходить на зв'язок.

Ретранслююча станція по чергово виконує роль сервера та клієнта: 1 хвилину приймає дані, 15 секунд відправляє підтвердження про прийом, 1 хвилину відправляє дані далі по маршруту, та наступні 15 секунд приймає підтвердження про прийом. Приймаючи до уваги час ретрансляції, небажано використовувати більше ніж 2 ретранслятори в маршруті.

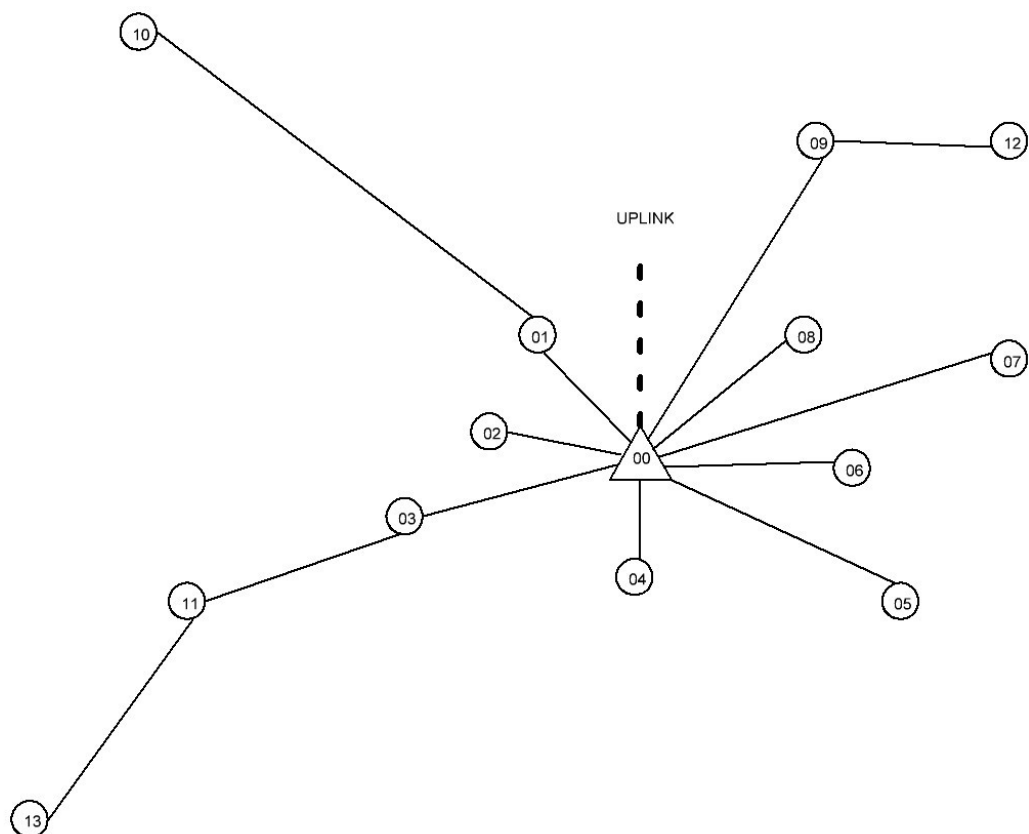


Рисунок 3.4 – Приклад побудови мережі

Враховуючи те, що програмне забезпечення WSJT-X має модульну структуру, розповсюджується з відкритим кодом та дозволяє використовувати окремі модулі – а саме модуль демодуляції FT8v2 – у ПЗ власної розробки, можливе використання оригінального алгоритму кодування та декодування.

Зважаючи на те, що модулі оригінального ПЗ написані на мовах програмування Фортран та С++ [11] - доцільно використання цих мов програмування і для реалізації протоколу зв'язку на базі FT8v2

Таблиця 3.3 – Приклад радіообміну

Клієнт	Сервер	Значення
\$24;		Станція 24 запитує реєстрацію
	\$\$0\$24F+120;	Серверна станція повідомляє, що частота зміщена на 120 Гц
\$24;		Після корекції частоти станція 24 знов надсилає запит про реєстрацію
	\$\$0\$24RR;	Серверна станція повідомляє про успішну реєстрацію
\$24x15y10z0		Клієнтська станція 24 надсилає строку даних «x15y10z0»
\$243a94b01c		Клієнтська станція 24 надсилає строку даних «3a94b01»
\$2467u94a;		Клієнтська станція 24 надсилає строку даних «67u94a» та вказує на завершення передачі(;)
		Дані від клієнтів відсутні
	RE2\$24;	Серверна станція запитує повтор другого фрейму
\$243a94b01c;		Клієнтська станція 24 надсилає строку даних «3a94b01c», та вказує на завершення передачі(;)
\$23xqwerty;		Клієнтська станція 23 надсилає строку даних «xqwerty», та вказує на завершення передачі(;)
		Дані від клієнтів відсутні
		Дані від клієнтів відсутні
	R\$24\$23;	Серверна станція повідомляє про успішний прийом даних з станцій 23 та 24

3.3 Модель апаратної реалізації

Апаратне забезпечення являє собою симплексний пристрій для роботи в ефірі, з полосою не менше 2,4 кГц (Тобто, будь-яка портативна радіостанція

обраного діапазону частот може бути використана для передачі даних.), під'єднаний звуковим каналом до АЦП-ЦАП (звукової карти, або спеціалізованого dsp), який у свою чергу, має обмін даними з мікрокомп'ютером достатньої потужності для кодування-декодування FT8v2. Але така збірка буде надто надлишковою, та споживатиме забагато енергії. Значно компактніше та енерго ефективніше буде використати радіо модуль з складових спеціалізованого призначення. Наприклад, існують спеціалізовані мікросхеми синтезатора, модулятора ЧМ, приймача з демодулятором ЧМ, змішувачів та підсилювачів сигналу. На основі таких мікросхем, в принципі, є можливим проводити і модуляцію GFSK, аби розвантажити ЦП під час кодування. З кількох обраних мікросхем розроблено концепцію апаратної частини клієнтської станції.

Для модуляції ЧМ сигналу доцільно використання MC2831A [14] Ця мікросхема являє собою ЧМ модулятор, частота несущого коливання якого задається кварцевим резонатором або синтезатором, буферний каскад, підсилювач НЧ та тональний генератор, частоту якого можна задавати RC ланцюгом. Бажано використання стандартної для ЧМ обладнання проміжної частоти (ПЧ) – 10,7 МГц, [22] тому кварцовий резонатор необхідно обрати відповідно до цієї вимоги.

З огляду на схему типового включення та внутрішньої будови мікросхеми, можливе використання вузлів тонального генератора (tone osc) для GFSK модуляції, якщо в якості контуру, що задає частоту тону, використати схему з керованою мікроконтролером плавною зміною опору одного з резисторів дільника, на виводі 8 мікросхеми. Це дозволить знизити навантаження на процесор під час модуляції сигналу.

Далі – буферний каскад, що складає проміжну частоту та частоту гетеродина, в якості якого – синтезатор частоти. Отриману несущу, за необхідності, можна помножити класичною схемою буферного каскаду, з потроєнням частоти на польових, або біполярних транзисторах.

З огляду на малий розмір та енергоспоживання цієї мікросхеми, в якості синтезатора доцільно використовувати недорогі мікросхеми синтезаторів, типу Si5351 [15] Цей синтезатор дозволяє генерувати коливання від 2,5 кГц до 200 МГц, що дає можливість змінювати частоту передавача в широкому діапазоні.

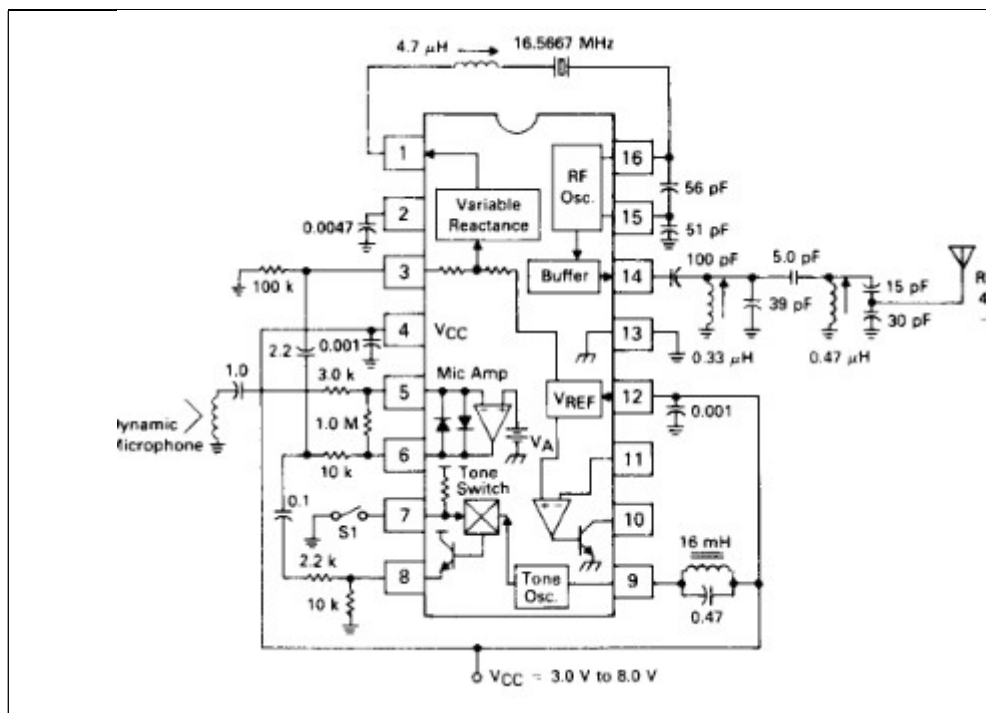


Рисунок 3.5 – Типове включення MC2831A

Вихідний підсилювач – Класична схема широкополосного підсилювача за без трансформаторною схемою на малогабаритних транзисторах типу 2n5590 [16], який може забезпечити підсилення до 15 ват, на частотах до 175 МГц. Також можливе використання готових модулів підсилювачів на немаркованих транзисторах, що пропонує китайська промисловість – не дивлячись на сумнівне походження елементів, загалом, модулі відповідають заданим характеристикам, мають малі габарити та невелике енергоспоживання. Наа жаль, систематизованої інформації про ці модулі, у відкритих джерелах, немає.

Приймач має сенс розмістити окремим, незалежним модулем, та для синхронного з передавачем налаштування частоти – використати в якості гетеродину - вихід синтезатора, розв'язаний буферним каскадом. Для

приймачів ЧМ сигналів, також випускаються мікросхеми високого ступеню інтеграції, наприклад MC3359 виробництва Motorola [17]. Ця мікросхема також включає в себе схему автоматичного регулювання підсилення (АРП), що дозволяє автоматично підлаштовувати чутливість приймача під рівень вхідного сигналу.

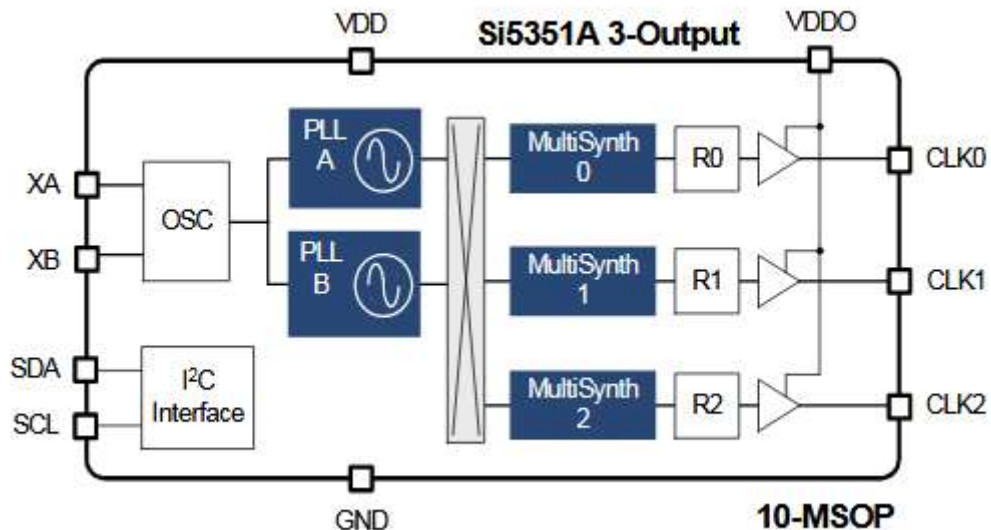


Рисунок 3.5 – Внутрішня будова синтезатору Si5351

Мікросхеми приймачів також орієнтовані на проміжну частоту в 10,7 МГц, тому необхідно використати каскад складання частоти. Для при цього також є спеціалізовані мікросхеми з низьким споживанням, а саме SA602A [17], подвійний балансний змішувач зі входом гетеродину. Один з змішувачів можливо використати як буферний каскад для синтезатора, який виступатиме гетеродином. Схема приймача відповідає структурі супергетеродина з одним, чи двома перетвореннями частоти.

Для комутації передавача\приймача на спільну антену можна використати малогабаритні реле OMRON серії G6K-RF, що забезпечують роботу на частотах до 3 ГГц [18].

В якості антени, для того, щоб геометричне розташування передавача не впливало на якість прийому його сигналу, доцільно використовувати антени вертикальної поляризації з круговою направленістю – як класичні дипольні чи

чвертьволнові, так і вкорочені (при недостатньому просторі для розміщення повноцінної антени) [21],[24].

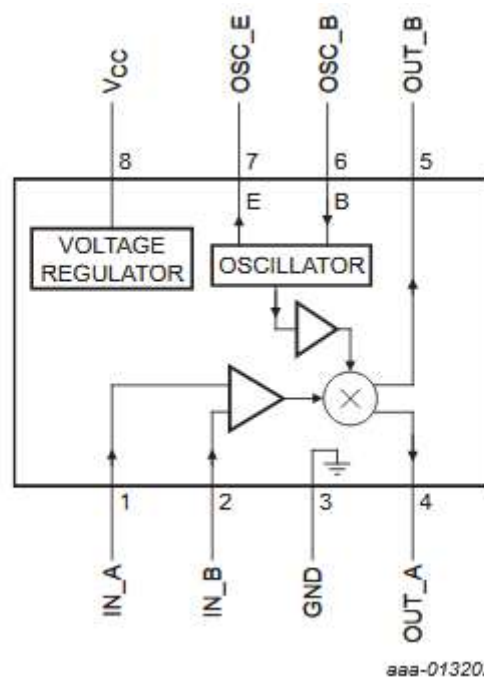


Рисунок 3.5 – Структура мікросхеми SA602A

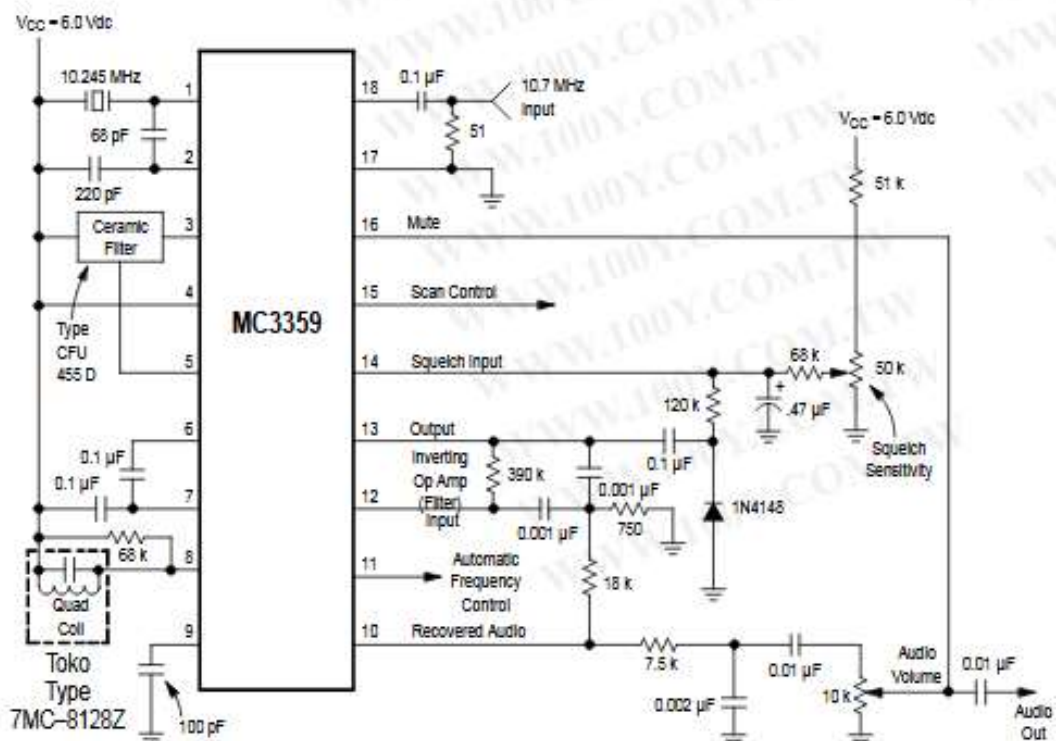


Рисунок 3.5 – Типове включення MC3359

Для забезпечення захисту схеми від статичних розрядів, необхідно використати схему гальванічної розв'язки від антенного входу, а також фільтри низьких частот, або полосові фільтри. З огляду на те, що ці елементи схеми є частотозадаєжними, а пристрій можна використовувати на різних діапазонах, цей модуль – фільтрів та гальванічної розв'язки - необхідно виконати у конструктиві, що дозволяє швидко його замінити на аналогічний, налаштований на інший діапазон, або ж відмовитися від частото залежних елементів, а для захисту від статички використати твердотільний розрядник. Це, звичайно, дещо погіршить характеристики приймача, проте дозволить значно спростити схему.



Рисунок 3.6 – Блок-схема приймально-передавального пристрою

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Правила охорони праці при роботах на висоті

Під час монтажу та експлуатації ВЧ обладнання, проводяться роботи на висоті. Вимоги з техніки безпеки до виконання робіт на висоті регламентуються НПАОП 0.00-1.15-07 «Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті», згідно наказу державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду номер 65 від 4.06.2007 року.

Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті поширюються на суб'єктів господарювання, які організовують або виконують роботи на висоті, у тому числі верхолазні роботи, і встановлюють вимоги безпеки і охорони праці під час здійснення будівництва, монтажу (демонтажу) конструкцій і обладнання, ремонту, реконструкції, експлуатації об'єктів.

Правила встановлюють єдиний порядок організації і виконання робіт на висоті з метою забезпечення безпеки працівників.

Основні вимоги стосуються фізичного стану працівників, що допускаються до підняття на висоту, використання ними засобів захисту (каска, монтажні пояси), правил поведінки з інструментом при роботі на висоті, та погодні умови, при яких не дозволяються або обмежується виконання робіт та підняття на антенно-щоглову споруду.

Згідно інструкції з охорони праці № 0/5-17 для антенників-щогловики, які обслуговують антенно-фідерні пристрої, від 08 травня 2009 року, існують такі загальні вимоги безпеки:

Антенно - щоглові споруди дозволяється обслуговувати підготовленим особам не молодше за 18 років, що пройшли спеціальний медичний огляд, допущені для роботи на висоті, навчені безпечним методам праці. Роботи на щоглах і вежах повинні виконуватися не менш ніж двома щогловиками. Працівники, що вперше

допускаються до обслуговування АЩС, повинні на протязі одного року працювати під наглядом досвідчених працівників. Роботи на антенних спорудах виконуються по наряду. Наряд на роботу виписує особа, уповноважена на це наказом по філії. Перед підйомом по стовбуру щогли, вежі для роботи на антенах допускачем в апаратному залі, повинні бути виконані наступні заходи:

- а) відключене електроживлення стойки ВЧ;
- б) відключений рубильник (автомати) мережі сигнального освітлення щогл (СОЩ), підігрівання антени. Електроживлення електроінструмента, необхідного для роботи на висотних спорудах (щоглі, вежі), залишається включеним;
- в) на відключених рубильниках вивішені попереджаючі плакати "Не вмикати - працюють люди";

ідейом на вежі здійснюється почергово через проліт сходів по одній людині. Під час роботи всередині стовбура щогли або вежі підйом інших осіб по стовбуру щогли (вежі) забороняється.

Також заборонено проводити роботи на вежу за таких погодних умов:

Ожеледь, снігопад та дощ, туман, якщо він виключає видимість в межах зони проведення робіт, при грозі та вітрі більш ніж 10м/с. Одночасно виконувати роботи на кількох площадках споруди, та проводити роботи з обладнанням під напругою - забороняється.

На антенно-мачтових спорудах забороняється використання ліній живлення напругою більше 48 вольт.

4.2. Правила охорони праці на підприємствах зв'язку

В якості об'єкту проектування виступає вузол телекомунікаційної мережі. На підприємстві задіяні робітники різноманітних професій:

- монтери;
- системні адміністратори;
- інженерно-технічні співробітники.

Вимоги до охорони праці співробітників в галузі зв'язку описані в нормативах та посадових інструкціях. В рамках бакалаврської роботи необхідно визначити параметри приміщення, а саме мікроклімату робочого місця інженера. З огляду на те, що в роботі використовуються цифрові станції, службові обов'язки вимагають від співробітників проводити майже весь робочий день за персональними комп'ютерами. Зважаючи на це, необхідно визначити основні вимоги до приміщень де будуть розміщені робочі місця співробітників.

Дослідження науково-дослідного інституту гігієни праці й профзахворювань указали на зміни у функціональному стані зорового аналізатора в ході виробничої діяльності фахівців, що працюють із відеотерміналами, наприкінці 4 години роботи. Вищенаведені фактори сприяють виникненню у робітників різноманітних професійних захворювань (захворювання органів зору, хронічний тендовагініт, координаторні неврози, бурсити, неврити, остеохондрози, кистьовий тунельний синдром, астенотопія, комп'ютерна алергія, офтальмопатія, захворювання шкіри, радіохвильова хвороба та інш.).

4.1.2 Заходи щодо поліпшення умов праці робітників

Для пояснення розрахунків розглянемо наступний приклад.

Робочим приміщенням є кімната розмірами 5 метрів на 4 метри. У приміщенні розташовані три комп'ютери потужністю 0,4 кВт, три монітори потужністю 0,2кВт, кондиціонер потужністю 2 кВт. Приміщення знаходиться на 1 поверсі житлового будинку цегельної забудови і по своїм характеристикам цілком відповідає вимогам СНіП 2.09.04.-87.

До приміщення Інтернет вузла й організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. (забезпечення необхідного мікроклімату згідно з ГОСТ 12.1.005-88, встановлення

кондиціонера разом з іонізатором та очисником повітря, застосування антистатичного покриття для підлоги, виконання необхідних вимог до облаштування робочих місць з ПК та з іншими приладами, боротьба з шумом, застосування захисних екранів для моніторів ПК і спеціальних окулярів з комп'ютерним спектральним фільтром та інш.).

Приміщення у якому знаходиться робоче місце з ПК повинно мати природне освітлення, бажано з однобічним розміщенням світопрорізів, площа осклянілості яких не повинна перевищувати 25% від площі стіни. Віконні прорізи в приміщенні з ПК повинні мати регульовані жалюзі чи занавеси, чи інші сонцезахисні пристрої.

Не допускається розташування робочих місць із ПК у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з ПК рекомендується розміщати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з ПК повинна складати 6 м², обсяг - 20 м³ (НПАОП 0.00-1.31-99. Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин).

Неприпустиме розташування ПК, при якому працюючий звернений обличчям, або спиною до вікон чи кімнати задньої частини ПК, у яку монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень із ПК полімерні матеріали (древіностружечні плити, шпалери що миються, плівкові і рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик і ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично припустимі концентрації.

4.1.3 Розміщення робочих місць

Розглянемо облаштованість робочих місць із ПК. Схематично приміщення відділу представлено на рисунку 4.1.

При аналізі облаштованості робочих місць із ПК на прикладі відділу виявлені такі порушення:

- робочі столи №№1-3 розташовані не вірно, працюючий повинен знаходитися таким чином, що світло з вікна падало збоку не на спину або в обличчя;
- робочі місця №№1-3 місце розташовуються від стіни на відстані менше 1 м, що є недопустимим.

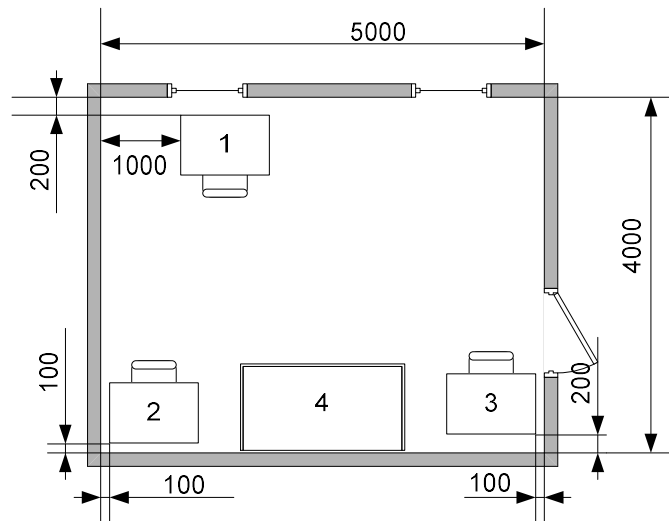


Рисунок 4.1 – Розташування робочих місць на центральному вузлі

На рисунку 4.2 наведена схема розташування робочих місць згідно з загальновідомим вимогами.

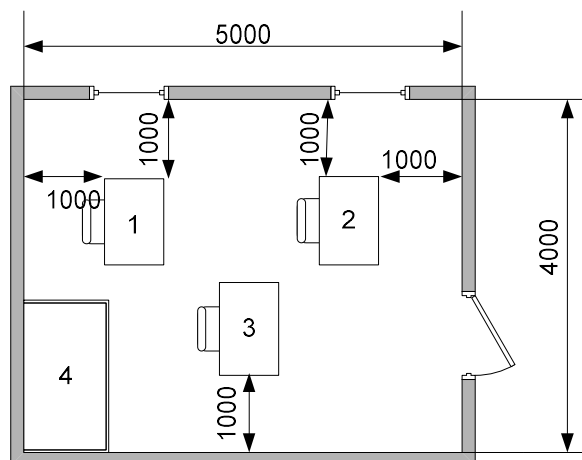


Рисунок 4.2 – Правильне розташування робочих місць

Відповідно до проведених досліджень рекомендується провести такі заходи щодо поліпшення облаштування робочих місць:

- розвернути робочі столи боком до стіни з відстанями до найближчих стін не менше 1 м, таким чином щоб світло падало збоку.

- шафу (№4) поставити в нижній лівий кут;

У такий спосіб робочі місця користувача ПК у відділі будуть розташовані згідно ГОСТ і будуть мати вигляд представлений на рисунку 4.2.

У всьому іншому облаштованість робочої кімнати відповідає ГОСТ:

- приміщення, у якому перебувають робочі місця із ПК мають природне висвітлення, з однобічним розміщенням вікон, площа вікон не перевищує 25% від площі стіни. Віконні прорізи в приміщення мають регульовані жалюзі;

- площа приміщення 20м^2 , об'єм - 64м^3 , тобто можна розмістити 3 робочі місця з ПК;

- дотримується відстань між столами, що перебувають біля стіни - 1м;

- екран відеомонітора не використовується бо застосовані рідкокристалічні монітори;

- висота робочої поверхні стола регулюється в межах 680-800мм;

- робочий стіл має, простір для ніг висотою 600мм, шириною - 450мм;

- висота поверхні сидіння регулюється в межах 400-550мм. Ширина й глибина поверхні сидіння 400мм. Поверхня сидіння плоска, передній край - закругленим. Передбачена можливість зміни кута нахилу поверхні від 15 град уперед ,до 15 град назад;

- опорна поверхня спинки стільця має висоту 300 плюс, мінус 20мм, ширину - 300мм і радіус кривизни горизонтальної площини - 400мм. Кут нахилу спинки у вертикальній площині регулюється в межах 0 плюс-мінус 30

градусів від вертикального положення. Відстань спинки від переднього краю сидіння регулюється в межах 260-400мм;

– робоче місце обладнане підставкою для ніг, що має ширину 300мм, глибину - 400мм. регулювання по висоті в межах до 150мм по куту нахилу опорної поверхні підставки - до 20 град. Поверхня підставки рифлена, бортик висотою 100мм по нижньому краї.

4.1.4 Розрахунок параметрів системи кондиціонування та вентиляції

У приміщенні відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентилявання.

Витрату повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаємо по формулі:

$$L = \frac{Q_{\text{над}}}{c \times p (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}, \quad \text{м}^3/\text{год}, \quad (4.1)$$

де: $Q_{\text{над}}$ - надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.;

c - теплоємність повітря (0,237 ккал/кг);

p - обсягова вага повітря (1,226 кг/ м³);

$t_{\text{в}}$ - температура витяжного повітря (30°С);

$t_{\text{н}}$ - температура приточного повітря (20°С).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла по формулі:

$$Q_{\text{над}} = Q_{\text{уст}} + Q_{\text{пер}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{ср}}, \quad (4.2)$$

де: $Q_{\text{уст}}$ - виділення тепла від устаткування;

$Q_{\text{пер}}$ - виділення тепла робітниками;

$Q_{\text{осв}}$ - надходження тепла від електричного освітлення;

$Q_{\text{ср}}$ - надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування по формулі:

$$Q_{\text{уст}} = P \times K_a \times K_{\theta} \times 860 \quad , \quad (4.3)$$

де: P - сумарна потужність устаткування, кВт/год;

K_a - коефіцієнт установленної потужності (0,95);

K_{θ} - коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

Сумарне виділення теплової енергії в приміщенні становитиме:

$$Q_{\text{уст}} = [(3 \cdot 0,4) + (3 \cdot 0,2) + (1 \cdot 2)] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 3105 \quad \text{ккал/год.}$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою формули:

$$Q_{\text{пер}} = n \times g, \quad (4.4)$$

де: n - кількість працюючих;

g - кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.)

Розрахуємо:

$$Q_{\text{пер}} = 3 \times 100 = 300 \text{ ккал/год.}$$

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення по формулі:

$$Q_{\text{осв}} = E_m \cdot g_l \cdot S, \quad (4.5)$$

де: E_m - нормована освітленість для цієї зорової роботи приймаємо рівним 400 лк;

g_l - питоме тепловиділення на 1 м² підлоги при 1 лк освітленості (для люмінесцентних ламп - 0,05 ккал/год.).

S - площа приміщення, м².

Розрахуємо:

$$Q_{\text{осв}} = 400 \cdot 0,05 \cdot 20 = 400 \text{ ккал/год.}$$

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна по формулі:

$$Q_{\text{ср}} = F \cdot g_2 \cdot K_{\text{осл}}, \quad (4.6)$$

де: F - площа віконних прорізів ($1,55 \text{ м}^2$).

g_2 - кількість тепла, що надходить через 1 м^2 віконного прорізу (65 ккал/год.).

$K_{\text{осл}}$ - коефіцієнт ослаблення, приймаємо - $0,4$.

Розрахуємо:

$$Q_{\text{ср}} = 1,55 \cdot 65 \cdot 0,4 = 40,3 \text{ ккал/год.}$$

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{\text{над}} = 3105 + 300 + 400 + 40,3 = 3845,3 \text{ ккал/год.}$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{3845,3}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30-20)} = 1323,4 \text{ м}^3/\text{год}$$

Існуюча в система кондиціонування і вентилявання має продуктивність $2000 \text{ куб. м./годину}$, що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря і відносна вологість у холодні періоди року повинна складати $22-24$ градуса по Цельсію, $0,1$ метра в секунду і $40-60 \%$ відповідно. У теплі періоди року температура повітря повинна складати $23-25$ градусів Цельсія, рухливість повітря $0,1-0,2$ метрів секунду, вологість $40-60 \%$. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія при збереженні всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення відділу маркетингу.

4.1.5 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=5$ м), ширина ($b=4$ м), висота ($h=3,2$ м).
Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття - $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$.
Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, які підвищуються до стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,5$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=400$ лк.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою

$$h_0 = H - h_c = 3,2 - 0,5 = 2,7 \text{ м}, \quad (4.7)$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНіП П-4-79 повинна бути у межах 2,5 - 4,0 м, залежно від характеристики світильника. В нашому випадку по відповідає цій вимозі.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею

$$h = h_0 - h_p = 2,7 - 0,7 = 2 \text{ м}, \quad (4.8)$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками (L) і висоти їх підвісу (h).

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0,7h = 0,7 \cdot 3,2 = 2,24 \text{ м}, \quad (4.9)$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{ab}{L^2} = \frac{5 \cdot 4}{2,24^2} \approx 4, \quad (4.10)$$

Приймаємо 4 світильники, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у два ряди по 2 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} \text{ ккал/год.}, \quad (4.11)$$

де: E - нормативна освітленість, лк;

K_3 - коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп;

S - площа приміщення, що освітлюється, м²;

Z - коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розжарювання (=1,15);

N - кількість світильників;

n - кількість ламп у світильнику;

η - коефіцієнт використання світлового потоку, який визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

6) Визначимо показник приміщення:

$$i = \frac{ab}{h(a+b)} = \frac{5 \cdot 4}{3,2 \cdot (5+4)} = 0,7, \quad (4.12)$$

7) Знаходимо коефіцієнт використання ($\eta = 0,58$) для світильника УПМ-15 (при $i = 0,76$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

8) Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{N \cdot \eta} = \frac{400 \cdot 20 \cdot 0,7}{4 \cdot 0,58} = 2413,8 \text{ лм}, \quad (4.13)$$

9) Обираємо лампу з трьохполосним люмінофором (світлова отдача до 110 Лм/Вт), потужністю 25 Вт, світловий потік якої становить 2500 лм. Хоча це значення на 5% більше розрахованого, однак не перевищує встановлену норму

($-0\% < \Delta\Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$\Sigma P_{\text{св}} = P \cdot N = 25 \cdot 4 = 100 \text{ Вт}, \quad (4.64)$$

4.2 Пожежна безпека та безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві

Найважливішою умовою роботи будь-якого підприємства є дотримання правил пожежної охорони та безпеки при надзвичайних ситуаціях.

У приміщенні відділу керування та моніторингу основні міри для забезпечення пожежної безпеки визначає «Інструкція про заходи пожежної безпеки для службових приміщень». Вона є обов'язковою для виконання всіма співробітниками. В інструкції забороняється:

- облаштовувати тимчасові електромережі, застосовувати саморобні плавкі вставки в запобіжниках, експлуатувати світильники зі знятими ковпаками (розсіювачами), використовувати саморобні подовжувачі;
- пристосовувати вимикачі, штепсельні розетки для підвішування одягу й інших предметів, обгортати електролампи і світильники, заклеювати ділянки електромережі пальною тканиною, папером;
- використовувати побутові електрокип'ятильники, чайники без непальних підставок, залишати без нагляду включеними в електромережу кондиціонери, комп'ютери, рахункові і друкарські машинки і т.п.;
- захаращувати підступи до засобів пожежогасіння, використовувати пожежні крани, рукави і пожежний інвентар не по призначенню, зберігати документи, різні матеріали, предмети й інвентар у шафах (нішах) інженерних комунікацій;
- курити (крім спеціально відведених для цього адміністрацією місць, позначених написом «Місце для паління» і забезпечених урною чи

попільницею з непального матеріалу), проводити зварювальні та інші вогневі роботи без оформлення відповідного дозволу, застосовувати легкозаймисті рідини.

По закінченню роботи необхідно:

- оглянути приміщення, переконатися у відсутності порушень, що можуть спричинити пожежу;
- відключити освітлення, електроживлення приладів і устаткування.

Електромережі, електроприлади і апаратура повинні експлуатуватися тільки у справному стані. У випадку виявлення ушкоджень електромереж, вимикачів, розеток та інших електровиробів варто негайно відключити їх і вжити необхідних заходів до приведення їх в пожаробезпечний стан.

Об'єктом забезпечення на предмет визначення надзвичайних небезпек та їх наслідків є також приміщенні відділу керування та моніторингу. Однією із вірогідних загроз може бути раптове виникнення пожежу внаслідок короткого замикання в електромережах або розрядів статистичної електрики, що може привести до пошкодження і руйнування будівлі, устаткування, комунікацій, виділення токсичних продуктів горіння.

Будинок, кому розташований відділ повинен бути обладнаний мережею протипожежного водо забезпечення, установками виявлення та гасіння пожеж відповідно вимогам нормативно-технічних документів. Кожний працівник повинен чітко знати та виконувати вимоги ППБ та протиаварійний режим на об'єкті, уміти користуватися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння і знати місце їхнього перебування.

Меблі й устаткування повинні розміщатися таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до дверей виходу з приміщення (шириною не менше 1м). Евакуаційні шляхи і виходи необхідно постійно держати вільними, нічим не захащувати. Засоби протипожежного захисту в приміщеннях потрібні триматися у справному стані.

У випадку виявлення пожежі слід:

– негайно повідомити державну пожежну охорону за телефоном «101», вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, своє прізвище;

– повідомити про пожежу керівництву, а в нічний час черговому охоронцю.

У разі можливості почати гасіння пожежі наявними засобами, організувати зустріч пожежних підрозділів.

При виникненні пожежі у початковій стадії її розвитку випромінюється тепло, токсичні продукти згоряння, імовірні руйнування будівельних споруд. Тому слід як можна швидше провести евакуацію людей із палаючої будівлі. Показником ефективності евакуації є час, протягом якого працівники можуть при необхідності залишити окремі приміщення і будівлю в цілому. Безпека евакуації досягається тоді, коли час евакуації не перевищує час настання критичної фази розвитку пожежі, тобто часу від початку пожежі до досягнення граничних для людини впливів факторі пожежі (критичних температур, ступені задимлення, зниження концентрації кисню и т.п.). Число евакуаційних виходів повинно бути не менш двох. Вони повинні розташовуватися розосереджено. Мінімальна відстань l між найбільш віддаленими один від одного евакуаційними виходами із приміщення визначається за формулою:

$$l = 1,5\sqrt{P} \quad , \quad (4.15)$$

де: P – периметр приміщення, м.

Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися у напрямку виходу із будівлі (приміщення).

У кожному приміщенні на видному місці повинен бути вивішений план евакуації при пожежі (рисунок 4.3).

покинути приміщення, рухаючись до виходу по коридорам і сходовим кліткам. Користуватися ліфтом категорично забороняється, за винятком ліфтів, які спеціально призначені для транспортування пожежної охорони. Шахта ліфта є шляхом для поширення диму і отруйних продуктів горіння, до того ж при пожежі ліфт часто відключають і можна опинитися в пастці при пожежі. Якщо ви знаходитесь в приміщенні де немає пожежі, але відрізани вогнем, димом, високою температурою від головних шляхів евакуації, то в першу чергу необхідно заважити доступу диму и продуктів горіння в це приміщення. Для чого необхідно негайно закрити усі щілини у дверях та під ними змоченими водою ганчірками, рушниками, робочими халатами та інш. Якщо приміщення все ж заповнено димом, необхідно підповзти до вікна, закрити при цьому рот та ніс змоченою тканиною, яка грає роль фільтру та в певної мірі захищає від продуктів горіння.

Рухатись у задимленій зоні поповзом або максимально пригнувшись, необхідно тому що більшість нагрітих газоподібних отруйних речовин та дим збираються у верхній зоні приміщення, окрім цього, в приміщенні при горінні температура на рівні очей людини у 6 разів вище за температуру на рівні полу, до того ж внизу завжди зберігається більша концентрація кисню. Коли ви опинились біля вікна трохи відкрийте його та дихайте через щілину, очікуючи прибуття пожежників. При їх прибутті негайно зверніть на себе увагу. Ніколи не стрибайте через вікно без відомої на це необхідності (кожний другий стрибок з 4-г поверху при пожежі смертельний).

ВИСНОВКИ

В першому розділі розглянуто існуючі підходи до передачі даних радіоканалами, та проблеми існуючих підходів, а саме:

- 1) Повторні передачі даних при втраті фреймів, що може значно знижувати реальну пропускну здатність каналу;
- 2) Необхідність постійної підтримки каналу активним, навіть за відсутності даних для передачі
- 3) Чутливість до часу затримки при передачі (latency) та коливань цього часу (jitter)

Також розглянута проблема засміченості ефіру в сучасних стандартах радіозв'язку.

В другому розділі розглянуті аматорські протоколи цифрового радіозв'язку в контексті поставлених задач, та за основу прийнято протокол FT8v2: завдяки оптимальному балансу між кодуванням, шириною полоси, модуляцією та часом передачі, він, незначно поступаючись за рівнем декодованого сигналу іншим протоколам аматорського цифрового зв'язку, розроблених Джо Тейлором, значно випереджає їх за швидкістю передачі даних: має найменшу довжину сеансів прийому-передачі, та одну з найменших ширину полоси.

Також визначено основні модифікації, які потрібно внести на основі цього протоколу, для використання його у приладах телеметрії.

В розділі 3.1 надано опис та результати експерименту з дальньої передачі даних аматорськими протоколами. У вигляді графіку наведено дані про залежність рівня декодованого сигналу від потужності передавача для різних протоколів.

У розділі 3.2 надано опис програмної реалізації протоколу на базі FT8v2. Розроблено процедури реєстрації клієнтів мережі, процедури обміну даними та процедуру роботи одних клієнтів в якості репітерів для інших клієнтських станцій. Наведено список системних команд та повідомлень, а також приведено

приклад радіообміну. Виробити чітку сітку частот в каналі для кожного передавача, а також зворотні канали. З міркувань співвідношення кількості прямого та зворотнього трафіку, оптимізовано час та кількість сеансів прийому-передачі в прямих та зворотному каналах.

Вводячи можливість використання клієнтськими терміналами інших клієнтських терміналів, як репітери для свого сигналу, розроблено концепцію мережі пристроїв, що працюють за даним протоколом

Розглянуто можливість регулювання потужності передавача за командами приймаючої сторони – по прикладу роботи GSM мереж – аби оптимізувати енергоспоживання передавачів – для цього передбачено окремі системні команди та механізм підтримки оптимального рівня потужності.

Така концепція протоколу дальнього зв'язку вільна від проблеми надлишковості системної інформації, що накопичується через додавання все нових системних полів при проходженні вузлів мережі та комутаторів: кожен вузол відкидає раніше надіслану системну інформацію, окрім точки відправлення, адже вона несе лише дані про маршрут до цього вузла (що далі вже не потрібно, бо на серверній станції мається таблиця маршрутів від кожного клієнтського пристрою), та інформацію про точку кінцевого призначення – а в малій мережі ретрансляторів кінцева точка призначення лише одна – серверна станція, яка за власними таблицями маршрутів вже самостійно визначає, куди надалі відправити отримані дані.

У розділі 3.3 розроблено принцип апаратної реалізації прийомо-передавальної частини, наведено рекомендації з розрахунку схеми, блок-схему пристрою та рекомендовані компоненти, а також їх типові схеми використання.

Варто зазначити, що основною ідеєю пристрою – є можливість його використання з будь-яким мікропроцесорним обладнанням, яке має звичайні звукові входи-виходи (АЦП-ЦАП) з полосою до 2,4 кілогерц.

Підсумково, у роботі наведено основні рекомендації з подальшої програмної реалізації протоколу, а також визначені основні процедури роботи та системні команди радіообміну. Також наведено рекомендації з улаштування

апаратної частини: принципи роботи приймальної та передавальної частини, блок-схему та основні елементи, які рекомендується використати для схеми.

У майбутньому необхідно на основі даних рекомендації розробити програмне забезпечення, що придатне для роботи на ARM процесорах, або мікроконтролерах. За рекомендаціями розділу 3.3 та даташитів рекомендованих у ньому мікросхем – виконати принципову схему прийомо-передавальної частини, оптимізувати параметри живлення та алгоритми чергового режиму апаратної частини.

Провести польові випробування отриманого пристрою.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електронний ресурс <https://www.httparchive.org/reports/state-of-the-web?>
2. Стандарт ІТУ-T G.1030
3. Воропаєва, В.Я. Оцінка показників якості NGN-мереж з урахуванням фрактальності вхідного трафіку. / В.Я. Воропаєва // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – 2008. – Вип. 15 (130). - С. 23-29
4. Електронний ресурс <https://eyes.nasa.gov/dsn/dsn.html>
5. Електронний ресурс <https://www.nasa.gov/content/dtn>
6. Стандарти IEEE 802.11a/b/g/n; IEEE 802.15; IEEE 802.11ac
7. Електронний ресурс <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20185/21-31.pdf>
8. ЗАКОН УКРАЇНИ Про радіочастотний ресурс України, постанова номер 815 дата публікації 09.06.2006
9. Електронний ресурс <http://www.icpdas.com>
10. Електронний ресурс <http://rosmodem.wordpress.com>
11. Електронний ресурс <https://physics.princeton.edu/pulsar/k1jt/wsjsx.html>
12. Low-density parity-check codes Robert G. Gallager, 1963
13. Електронний ресурс <http://websdr.ewi.utwente.nl:8901/>
14. Електронний ресурс <https://www.digchip.com/datasheets/parts/datasheet/311/MC2831A-pdf.php>
15. Електронний ресурс <https://www.silabs.com/documents/public/datasheets/Si5351-B.pdf>
16. Електронний ресурс <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/169503/MICROSEMI/2N5590.html>
17. Електронний ресурс http://images.100y.com.tw/pdf_file/MC3359.PDF

18. Электронный ресурс
http://www.farnell.com/datasheets/2119770.pdf?_ga=2.168964897.169587303.1576609142-200533805.1576609142

19. Электронный ресурс <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/SA602A.pdf>

20. ОБЗОР И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ LPWAN СЕТЕЙ Д . Л . Кумаритова 1 , Р . В . Киричек 1* 1 СПбГУТ , Санкт - Петербург , 193232, Российская Федерация

Электронный ресурс <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20164/33-48.pdf>

21. Электронный ресурс <http://yur-gazeta.com/publications/practice/informaciye-pravo-telekomunikaciyi/internet-rechey-nove-pole-dlya-pravovogo-regulyuvannya.html>

22. Карл Ротхаммель: «Антенны» третье издание, дополненное. М.: «Энергия», 1979. С 19, 103

23. Рэд Э.Т. Схемотехника радиоприемников. Практическое пособие: Перевод с немецкого – М.: МИР, 1989. С. 102-110

24. ВИМОГИ до оформлення випускних кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів у Державному вищому навчальному закладі «Донецький національний технічний університет»

25. Фалькович И.С., Калиниченко И.Н. КВ антенна круговой поляризации на основе линейного диполя, размещённого над полупроводящей землёй // Электросвязь. 1995. №3. С. 29-31.