

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра радіотехніки

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

«Магістр»

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **«Розробка інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних»**

Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-18м
спеціальності 172 – Телекомунікації

та радіотехніка Освітня програма: Радіотехніка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Ільчук Д.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор каф. РТ

Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2019 р.

Рецензент: асистент каф. ТКСТБ

Макогон В.І.

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2019 р.

Вінниця ВНТУ - 2019 рік

Вінницький національний технічний університет

Факультет Інфокомунікацій , радіоелектроніки та наносистем
Кафедра Радіотехніки
Освітньо-кваліфікаційний рівень Магістр
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри РТ
д.т.н., професор О.В. Осадчук
“ 03 ” 10 2019 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ільчук Дмитру Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Розробка інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних»

керівник роботи Осадчук Олександр Володимирович, д.т.н., професор,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “02” 10 2019 року №254

2. Строк подання студентом роботи 17 грудня 2019 року.

3. Вихідні дані до роботи: діапазон передачі даних – оптичний інфрачервоний, дальність до 25 метрів прямої видимості в чистих приміщеннях, діаграма спрямованості не менше 60°, потужність до 5 Вт, живлення мережеве/автономне – 12В

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити Техніко-економічне обґрунтування вибору оптимального варіанта рішення основної задачі роботи; Попередній розрахунок пристрою: вибір схемних рішень, особливості реалізації схемних рішень; розробка структурної схеми; вибір елементної бази; розробка додаткових блоків; Електричний розрахунок; Конструктивний розрахунок друкованої плати; Економічна частина; Безпека життєдіяльності; Висновки; Перелік посилань; Додатки; _____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): структурна схема, схема електрична принципова, функціональна схема, друкована плата, результати моделювання приймача та передавача, відношення сигнал/шум у приймачі.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Основна частина | д.т.н., професор Осадчук О. В. | | |
| Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | к.т.н., доцент Березюк О. В. | | |
| Економічна частина | к.т.н., доцент Адлер О. О. | | |

7. Дата видачі завдання 04 жовтня 2019 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|-------------------------------|----------|
| 1. | Огляд літературних джерел. Вибір та узгодження теми МКР | 02.09.2019-15.09.2019 | |
| 2. | Аналіз літературних джерел. Попередня розробка основних розділів | 16.09.2019-22.09.2019 | |
| 3. | Затвердження теми. Розробка технічного завдання | 23.09.2019-02.10.2019 | |
| 4. | Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми | 03.09.2019-20.10.2019 | |
| 5. | Електричні розрахунки. Експериментальне дослідження | 21.10.2019-29.10.2019 | |
| 6. | Розділ моделювання | 30.10.2019-03.11.2019 | |
| 7. | Розробка графічної частини МКР | 04.11.2019-10.11.2019 | |
| 8. | Аналіз економічної ефективності розробки | 11.11.2019-15.11.2019 | |
| 9. | Охорона праці (ОП) | 16.11.2019-22.11.2019 | |
| 10. | Оформлення пояснювальної записки та графічної частини | 23.11.2019-27.11.2019 | |
| 11. | Нормоконтроль | 28.11.2019-29.11.2019 | |
| 12. | Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР | 02.12.2019-06.12.2019 | |
| 13. | Захист МКР ЕК | 09.12.2019-17.12.2019 | |

Студент

_____ (підпис)

Ільчук Д.Р.

Керівник роботи

_____ (підпис)

Осадчук О. В.

РЕФЕРАТ

УДК 621.37

Ільчук Д.Р. Розробка інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних. Магістерська кваліфікаційна робота [зі спеціальності 172 – телекомунікація та радіотехніка Освітня програма: Радіотехніка]/ Вінниця: ВНТУ, 2019. –112 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 26 назв; рис.:24; табл. 30.

В данній магістерській кваліфікаційній роботі виконується розробка інфрачервоного трансмітеру з використанням інтерфейсу RS 485. Виконано аналіз роботи оптичного каналу в інфрачервоному діапазоні, також проведений порівняльний аналіз з аналогами. Розроблено схема електричну принципову пристрою та проведено моделювання роботи оптичного приймального та передавального каналу пристрою, та параметрів сигналу під час дії завад. Виконано розрахунки параметрів топології друкованої плати та розрахунок параметрів пристрою при дії різних чинників та надійності за раптовими відмовами. В пояснювальній записці розроблено питання охорони праці, цивільного захисту та економіки у відповідності до завдання.

Ключові слова: Інфрачервоний діапазон,завадостійкість,узгодження, RS – 485, приймач, передавач.

ABSTRACT

Ilchuk DR Development of an infrared transmitter for wireless data transmission. Master's qualification work [specialty 172 - telecommunications and radio engineering Educational program: Radio engineering] / Vinnitsa: VNTU, 2019. – 112p.

By Ukrainian language. Refers. 26 names; fig. 24; tab. 30.

In this master's qualification work , the development of an infrared transmitter using the RS 485 interface is performed. The schematic diagram of the electrical principle device is developed and the operation of the optical receiving and transmitting channel of the device and the signal parameters during the interference are simulated. The calculations of the parameters of the circuit board topology and the calculation of the parameters of the device under the influence of various factors and reliability for sudden failures were performed. The explanatory note elaborates on the issues of labor protection, civil protection and the economy in accordance with the task.

Keywords: Infrared, noise immunity, matching, RS - 485, receiver, transmitt

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП..... | 8 |
| 1 АНАЛІЗ ПОБУДОВИ БЕЗКАБЕЛЬНИХ ОПТИЧНИХ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ | 10 |
| 1.1 Аналіз технології передачі даних | 12 |
| 1.2 Переваги технології інфрачервоної передачі даних | 13 |
| 1.3 Недоліки систем оптичної передачі даних | 15 |
| 1.4 Норми і вимоги | 20 |
| 1.3 Інфрачервоні технології і погодні умови | 21 |
| 2 ТЕОРЕТИЧНА РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ | 27 |
| 2.1 Застосування інтерфейсу RS-485 для передачі даних | 27 |
| 2.2 Захист ліній передач даних | 29 |
| 2.3 Аналіз роботи схеми електричної принципової пристрою передачі даних. | 30 |
| 2.4 Аналіз шумів фотоприймального каналу | 33 |
| 3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЇВ ПРИЙОМУ ТА ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ. | 38 |
| 3.1 Моделювання роботи передавача | 38 |
| 3.2 Моделювання роботи приймача | 43 |
| 3.3 Моделювання роботи трансмітеру під час дії завад..... | 45 |
| 4. КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ..... | 49 |
| 4.1 Розробка конструкції друкованої плати..... | 49 |
| 4.2 Розрахунок діаметрів контактних площадок..... | 49 |
| 4.3 Розрахунок ширини провідників та вібростійкості друкованої плати... .. | 51 |
| 4.4 Аналіз електромагнітної сумісності елементів друкованої плати | 52 |
| 4.5 Оцінка відношення сигнал шум у інфрачервоному трансмітері..... | 59 |
| 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА..... | 62 |
| 5.1 Аналіз комерційного потенціалу розробки (технологічний аудит розробки) інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних.. | 62 |
| 5.1.1 Визначення рівня комерційного потенціалу розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних..... | 62 |
| 5.1.2. Визначення рівня якості розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних | 64 |
| 5.1.3 Визначення конкурентоспроможності розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних..... | 67 |
| 5.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної, дослідно- конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи. | 68 |
| 5.2.1 Розрахунок витрат, що стосуються виконавців розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних..... | 68 |
| 5.3 Розрахунок загальних витрат на розробку інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних..... | 75 |

| | |
|--|-----|
| 5.4 Прогнозування витрат на виконання та впровадження інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних..... | 75 |
| 5.5 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних..... | 76 |
| 5.6 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності..... | 77 |
| 5.6.1 Визначення абсолютної ефективності вкладених інвестицій у розробку інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних... .. | 77 |
| 5.6.2 Розрахунок відносної ефективності вкладених коштів в НДДКР інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних..... | 78 |
| 5.6.3 Розрахунок терміну окупності коштів, вкладених в наукову розробку інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних..... | 79 |
| 6. ОХОРОНА ПРАЦІ..... | 80 |
| 6.1 Гігієна праці та виробнича санітарія..... | 80 |
| 6.1.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони..... | 80 |
| 6.1.2 Виробниче освітлення..... | 82 |
| 6.1.3 Виробничі віброакустичні коливання..... | 83 |
| 6.1.4 Виробничі випромінювання..... | 84 |
| 6.2 Технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних... .. | 86 |
| 6.2.1 Безпека щодо організації робочих місць..... | 86 |
| 6.2.2 Електробезпека..... | 86 |
| 6.2.3 Пожежна безпека..... | 87 |
| 6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи інфрачервоного трансмітера в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.. .. | 88 |
| 6.3.1 Дослідження стійкості роботи інфрачервоного трансмітера в умовах дії іонізуючих випромінювань..... | 90 |
| 6.3.2 Дослідження стійкості роботи інфрачервоного трансмітера в умовах дії електромагнітного імпульсу..... | 91 |
| 6.4. Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи інфрачервоного трансмітера в умовах надзвичайних ситуацій..... | 93 |
| ВИСНОВКИ..... | 96 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... | 97 |
| Додаток А(обов'язковий). Технічне завдання..... | 99 |
| Додаток Б(обов'язковий). Структурна схема..... | 105 |
| Додаток В(обов'язковий). Функціональна схема..... | 106 |
| Додаток Г(обов'язковий). Електрична принципова схема..... | 107 |
| Додаток Д(досліджений) Друкована плата..... | 108 |
| Додаток Е (досліджений)Перелік елементів..... | 109 |
| Додаток Є (досліджений)Моделювання інфрачервоного трансмітеру..... | 110 |
| Додаток Ж (досліджений)Експериментальне відношення сигнал/шум..... | 111 |

ВСТУП

Актуальність данної роботи: Досить часто виникає необхідність передати в мікроконтролер невелику кількість мегабайт даних без прямого підключення кабелем. Одним з простих засобів вирішення цього завдання можуть бути широко доступні інфрачервоні приймачі, такі, наприклад, як випускаються Vishay TSOP17xx або аналогічні, що застосовуються в додатках дистанційного керування

Для простих додатків основна складність пов'язана з конструкцією передавача, якому потрібні старт-стопи генератор 38 кГц, додаткове джерело живлення і модулюючі імпульси тривалістю від одиниць до часткою мілісекунд. Реалізувати це під управлінням операційних систем персональних комп'ютерів досить складно. У той же час, послідовний порт персонального комп'ютеру, який має стандартну швидкість передачі 38,400 біт / с, за допомогою простого помножувача частоти і двох інфрачервоних світлодіодів здатний формувати акуратні пачки імпульсів з частотою 38.4 кГц. При передачі байтів з поперемінно чергуються нулями і одиницями (шістнадцятковий код 55h) кожен байт 55h генерує пачку з 18 імпульсів, додаючи стартовий і стоповий біти, а послідовності байтів можуть генерувати довші імпульси.

Але при цьому треба мати на увазі що існуючі на даний момент передавачі та приймачі не є досить швидкими та завадостійкими. Доцільним варіантом для позбавлення цих недоліків є розробка нового пристрою на основі нового інтерфейсу.

Мета: аналіз сучасних методів передачі сигналу, з метою обґрунтування переваг та недоліків;

- вибір елементної бази;
- розробка схеми пристрою;
- конкурентна спроможність трансмітеру на основі інтерфейсу RS485
- моделювання роботи передавача та приймача;
- моделювання сигналу під час завад діючих на пристрій
- дослідження роботи приладу;
- оцінка переваг та недоліків інфрачервоного передавача та приймача

Задача МКР: Задачею є побудування та моделювання інфрачервоного трансмітеру для передачі даних та аналіз його переваг та недоліків.

Об`єкт досліджень: Дослідження приладів як вітчизняного так і зарубіжного виробництва. Виконання схеми на базі інтерфейсу RS-485. Порівняльний аналіз пристроїв конкурентів

1. АНАЛІЗ ПОБУДОВИ БЕЗКАБЕЛЬНИХ ОПТИЧНИХ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ

Системи з використанням атмосферних оптичних ліній зв'язку FSO (Free Space Optics), отримують все більше розповсюдження. Розвиваються технології, зростає інформаційний ринок, розширюється його інфраструктура, і як слідство, підвищується попит на різні бездротові пристрої. Наприклад, сьогодні компанія LightPonte, одна з визнаних лідерів індустрії, щороку подвоює обороти і оцінює розміри глобального ринку FSO в 700 млн долл. в 2006 г. и 1,3 млрд - в 2007 г. За даними аналітиків цієї компанії FSO виявляють все більш широке застосування в Північній Америці, Європі, та в багатьох інших регіонах Їх головна перевага полягає в тому, що не потрібно ніякої прокладки проводів не треба робити отворів в стінах, не треба закріплювати кабель у трубах і жолобах, прокладати його над підвісними стелями або у вентиляційних шахтах, не треба шукати і усувати пошкодження кабелю. [1]. Радіоканал використовує передачу інформації по радіохвилях, тому він може забезпечити зв'язок на багато десятків, сотні і навіть тисячі кілометрів. Швидкість передачі може досягати десятків мегабіт в секунду тут багато що залежить від обраної довжини хвилі і способу кодування. Однак в локальних мережах радіоканал не отримав широкого поширення через досить високу вартість передавальних і приймальних пристроїв, низької завадостійкості і низької надійності зв'язку. А ось для глобальних мереж радіоканал часто є єдино можливим рішенням, так як дозволяє за допомогою супутників-ретрансляторів достатньо просто забезпечити зв'язок з усім світом. Використовують радіоканал, і для зв'язку двох і більше локальних мереж, що знаходяться далеко один від одного, в єдину мережу.

Існує кілька стандартних типів радіопередачі інформації. Зупинимося на двох з них.

- Передача у вузькому спектрі (або одночастотна передача) розрахована на охоплення площі до 46 500 м². Радіосигнал в даному випадку не проникає через

металеві та залізобетонні перешкоди, Зв'язок в даному випадку досить повільний близько 4,8 Мбіт / с.

- Передача в розсіяному спектрі для подолання недоліків одночастотної передачі передбачає використання певної смуги частот, розділеної на канали. Всі абоненти мережі через певний часовий інтервал синхронно переходять на наступний канал. Для підвищення секретності використовується спеціальне кодування інформації. Швидкість передачі при цьому невисока - не більше 2 Мбіт / с, відстань між абонентами - не більше 3,2 км на відкритому просторі і не більше 120 м всередині будівлі
- Крім зазначених типів, існують і інші радіоканали, наприклад стільникові мережі, що будуються за тими ж принципами, що і стільникові телефонні мережі (вони використовують рівномірно розподілені по площі ретранслятори), а також мікрохвильові мережі, які застосовують вузькоспрямовану передачу між наземними об'єктами або між супутником і наземною станцією.

Інфрачервоний канал також не вимагає сполучних проводів, так як використовує для зв'язку інфрачервоне випромінювання (подібно пульта дистанційного керування домашнього телевізора). Головна його перевага в порівнянні з радіоканалом - нечутливість до електромагнітних завад, що дозволяє застосовувати його, наприклад, в виробничих умовах. Правда, в даному випадку потрібно досить висока потужність передачі, щоб не впливали ніякі інші джерела теплового (інфрачервоного) випромінювання. Погано працює інфрачервона зв'язок і в умовах сильної запиленості повітря.

Граничні швидкості передачі інформації по інфрачервоному каналу не перевищують 5-10 Мбіт / с. Як і в випадку радіоканалу потрібні порівняно дорогі приймачі і передавачі. Все це призводить до того, що застосовують інфрачервоні канали досить рідко.

Інфрачервоні канали діляться на дві групи:

- Канали прямої видимості, в яких зв'язок здійснюється на променях, що йдуть безпосередньо від передавача до приймача. При цьому зв'язок можливий тільки при відсутності перешкод між комп'ютерами мережі. Дальність каналу прямої видимості може досягати декількох кілометрів.
- Канали на розсіяному випромінюванні, які працюють на сигналах, відбитих від стін, стелі, підлоги та інших перешкод. Перешкоди в даному випадку не страшні, але зв'язок може здійснюватися тільки в межах одного приміщення.

1.1 Аналіз технології передачі даних

Бездротові оптичні лінії зв'язку використовують спектральний діапазон лазерного інфрачервоного випромінювання (як правило, від 400 до 1400 нм). Ця ділянка спектра відповідає так званому "вікна прозорості" атмосфери, завдяки чому поглинання випромінюваного сигналу атмосферними газами дуже малий. Функціональна схема системи лазерного зв'язку складається з наступних функціональних вузлів:

- блок обробки приймає сигнали від різних стандартних пристроїв (телефону, факсу, цифрової автоматичної телефонної станції, локальної комп'ютерної мережі) і перетворює їх в прийнятну для передачі оптичним модемом форму;
- перетворений сигнал передається електронно-оптичним блоком у вигляді модульованого інфрачервоного випромінювання;
- на приймальній стороні зібраний оптичною системою світло падає на фотоприймач, де перетворюється назад в електричні сигнали;
- посилений і оброблений електричний сигнал надходить на блок обробки сигналів, де відновлюється в первісному вигляді.

Передача і прийом здійснюються кожним з парних модемів одночасно і незалежно один від одного. Оптичні модеми встановлюються таким чином, щоб оптичні осі приймачів збігалися [2]. Основну складність представляє собою

юстирування напрямки оптичних осей приймачів. Кут розходження променя передавача становить у різних моделях від декількох кутових хвилин до $0,5^\circ$, і точність юстування повинна відповідати цим значенням.

Після установки приймально-передавальних блоків необхідно підключити їх до кабельних мереж в обох будівлях. Існує безліч моделей пристроїв з найрізноманітнішими інтерфейсами, проте, на відміну від постачальників обладнання для радіозв'язку, виробники систем бездротового оптики дотримуються такої загальної ідеології підключення: лінія оптичного зв'язку являє собою емуляцію відрізка кабелю (дві кручені пари або дві жили оптичного кабелю). Таким чином, для всіх пристроїв, що використовуються в кабельній мережі пов'язують будівель, ця лінія не видна; вона не накладає жодних обмежень на обладнання, не вимагає додаткових протоколів зв'язку або змін / доповнень до таких протоколів. Передача сигналів по бездротовому оптичному з'єднанню здійснюється так само, як через оптичне волокно.

1.2 Переваги технології інфрачервоної передачі даних

Використання інфрачервоного діапазону (або невикористання радіо діапазону). Завантаженість і засміченість радіоефіру призводить до того, що в великих містах отримати частотну смугу стає вельми проблематичним, а вседоступність "відкритих" діапазонів не може гарантувати якості каналу в комерційних і службових системах зв'язку, не дивлячись на використання технологій передачі зі стрибком частоти і складним цифровим кодуванням .

Висока конфіденційність зв'язку. Передача здійснюється вузьким променем при повній відсутності бічних випромінювань.

Відсутність необхідності в дозволах на використання радіочастотного спектру часто є визначальним фактором при виборі обладнання передачі.

І, напевно, головна перевага - відсутність принципових складнощів в інфрачервоній технології з межею швидкості передачі. Якщо в радіочастотних системах для заняття розумною ширини смуги передачі доводиться застосовувати кодування, яке знижує інші характеристики системи (наприклад, відношення сигнал /

шум в приймачі), то всі ці складності не мають ніякого відношення до інфрачервоним системам. Швидкісні характеристики каналу передачі в інфрачервоних системах в основному визначаються технічними характеристиками модулюючих підсилювачів і частотними властивостями фотодіодів. Вже зараз, коли першій комерційній бездротовій інфрачервоній системі навряд чи буде 12 років, швидкості досягли позначки 2.5 Гбіт / с, а при мультиплексуванні по довжині хвилі, до 10 Гбіт / с.

Інфрачервоне випромінювання - електромагнітне випромінювання, розташоване в електромагнітному спектрі перед червоним кольором видимого діапазону.

Інфрачервоне випромінювання займає смугу частот електромагнітного спектра від 50-100 ГГц до 400 ТГц. Відповідно до цього оптичні характеристики розглянутого випромінювання значно відрізняються від тих же характеристик видимих променів. Так, шар води завтовшки кілька сантиметрів непрозорий для інфрачервоного випромінювання. І, навпаки, пластинки германію і кремнію для нього прозорі. В атмосфері воно швидко послаблюється в результаті розсіювання і поглинання. Особливо сильно випромінювання поглинається парами води (сніг, дощ), частинками пилу і диму. Разом з цим, при передачі інфрачервоного випромінювання через спеціальні світловоди, Зазначені перешкоди відсутні. Важливо, що випромінювання захищено від багатьох електромагнітних завад.

Електромагнітний спектр визначає смуги частот, що використовуються для передачі звуку, радіовипромінювання, інфрачервоного випромінювання, світла. У середині цих, основних, діапазонів виділяються смуги, використовувані в застосовуваних технологіях передачі даних. Смуги діляться на дві групи: вузькі і широкі рисунок 1.

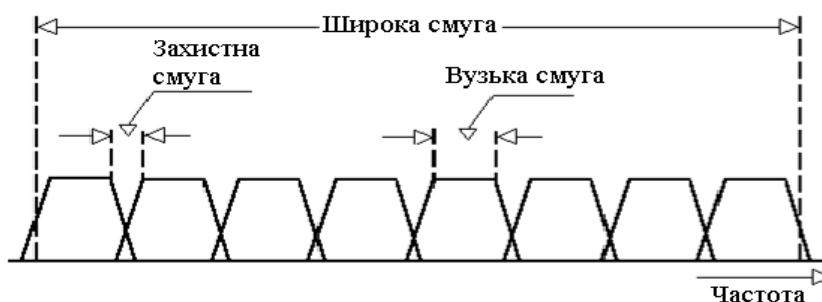


Рисунок 1 - Приклади смуг для передачі даних

Вузькою називають смугу, ширина якої не перевищує мовну смугу. Остання прийнята рівною 3000 Гц (від 300 до 3330). Таку смугу використовують вузькосмугові канали. Широкою називають смугу, частота якої перевищує звукову. Як правило, широка смуга включає в себе безліч вузьких смуг. Канал, що пропускає широку смугу називають широкосмуговим каналом.

При створенні бездротових мереж виникає проблема розподілу в ефірі смуг електромагнітного спектра. Тому кожна держава поділяє спектр на смуги, які виділяються для певних цілей. Для використання смуги необхідно брати ліцензію. Виняток становить так звана Промислова, наукова, медична смуга ISM. В Європі для зазначеної мети служить спеціальний діапазон ліцензована частот 2,4-2,5 ГГц, а в США - діапазони (ГГц): 5725-5850; 2400-2485; 0,902-0,928. Крім цього в США не ліцензується персональний комунікаційний сервіс, що працює в смузі 1830-1990 МГц.

1.3 Недоліки систем оптичної передачі даних

Зменшення прозорості атмосфери при зміні погодних умов негативно впливає на пропускну здатність інфрачервоного каналу або (при заданій доступності) призводить до зменшення дальності зв'язку. Існує багато публікацій що аналізують вплив туману, дощу, снігу та інших атмосферних і погодних явищ на інфрачервоні системи. Однак, крім досить простих, що враховують обмежений набір факторів, що впливають на атмосферне канал передачі, підходів до моделювання каналу в цих публікаціях знайдено небагато. Основна частина підходів базується на визначенні метеорологічної видимості (Метеорологічна видимість - відстань, на якому людське око розрізняє чорний об'єкт з кутовими розмірами більше 20 мрад при денному освітленні), і визначає ослаблення сигналу в залежності від цієї самої метеорологічної видимості. Сама ж метеорологічна видимість визначена для різних погодних умов і станів атмосфери досить точно.

Загасання інфрачервоного сигналу включає в себе аерозольна загасання тобто на дрібних краплях вологи, що знаходиться в повітрі, і резонансне поглинання на молекулах різних газів, що входять до складу атмосфери (O_2 , O_3 , CO , CH_4 , N_2O , CO_2 ,

H₂O і ін.). На резонансне поглинання особливо сильний вплив надають параметри спектра випромінювання, такі як, ширина, структура і кількість мод випромінювання і т.д. Розрахунки резонансного поглинання проводяться "лінія до лінії" (line by line) з урахуванням величезної бази даних по спектральних характеристиках атмосфери.

Знання всіх цих фактів дає можливість не тільки вибрати правильний діапазон для передачі, але також правильно спроектувати систему, а в експлуатації - правильно передбачити параметри каналу і поведінку систем при різних погодних умовах.

Загасання сигналу при різних погодних явищах також досить точно моделюється. Наприклад, тумани і дощі легко формалізуються розширеною моделлю аерозольного поглинання. Насправді, така перешкода, як дощ не становить серйозної загрози для інфрачервоного з'єднання. Навіть рівні опадів до 75 мм / год створюють проблеми у роботі з радіорелейними системами в діапазонах 18-54 ГГц, але не порушують роботу сучасних інфрачервоних бездротових каналів на робочих дистанціях.

Вплив атмосферних явищ лімітує максимальну протяжність каналу зв'язку (при фіксованому рівні його доступності), а вимога прямої видимості накладає додаткові обмеження на висоту установки приймально-передавальних пристроїв і їх спрямованість.

Що стосується підйому обладнання над земною поверхнею, оптимальним виявляється діапазон висот від рівня дахів найвищих будівель і споруд до нижньої межі зони хмарності. Важливість мінімізації апертури і забезпечення точної спрямованості випромінювання передавача визначається тим, що в міру поширення лазерного променя його межі розмиваються, а приймачі і передавачі монтуються на опорах кінцевої жорсткості.

Через те, що погодні умови впливають на надійність передачі, перед початком експлуатації системи в кожній конкретній місцевості необхідно проводити її тестування. Загальне правило полягає в тому, що важливий не стільки тип опадів, скільки час їх безперервного впливу на канал, тому, скажімо, туман в більшій мірі впливає на стан інфрачервоного каналу, ніж дощ або сніг.

Залежність від стану атмосфери призводить до того, що доступність каналу обернено пропорційна дальності передачі. Так, при дальності 40 кілометрів доступність в середньому за рік складе всього 40-50%, хоча влітку значення цього показника буде трохи вище. І навпаки, зближення приймача і передавача на відстань 500 метрів забезпечить доступність до 99,9%. Втім, на практиці бездротові канали зазвичай організовуються для з'єднання вузлів, рознесених на кілька кілометрів. Наведені цифри слід сприймати як верхні граничні значення; реальні параметри можуть виявитися трохи нижче - в залежності від особливостей конкретної території. Скажімо, з урахуванням сумарної тривалості туманів в Києві (близько 30 годин на рік) середньорічна доступність каналу складе 97,6%.

Наведені дані про зниження рівня доступності каналу при зменшенні коефіцієнта прозорості атмосфери дозволяють припустити, що приймачі і передавачі не обов'язково виносити на вулицю: вони можуть бути встановлені і всередині приміщень. Наявність скляної перепони вдається врахувати на стадії розрахунку технічних характеристик системи, і серйозні проблеми виникають тільки при наявності світлофільтрів або спеціального протисонячного затемнення.

З точки зору візуального сприйняття наведені значення відповідають:

- дрібний дощ (близько 2 мм / год);
- легкому дощу (5 мм / год);
- дощу середньої інтенсивності (12,5 мм / год);
- сильному дощу (близько 25 мм / год);
- зливі (більше 40 мм / год).

Інтенсивність туману при цьому визначається за розміром зони видимості:

- слабкий туман (1-2 км);
- туман середньої щільності (0,4-1 км);
- щільний туман (200-400 м);
- дуже щільний туман (менше 200 м)

Коефіцієнт же затування гарно показаний в Таблиці 1.

Таблиця 1 - Вплив погодних умов на затування оптичного сигналу

| Погодні умови | Коефіцієнт затування, дБ/км |
|---------------|-----------------------------|
| Ясна погода | 0-3 |
| Слабкий дощ | 3-6 |
| Сильний дощ | 6-17 |
| Сніг | 6-26 |
| Легкий туман | 20-30 |
| Густий туман | 50-100 |

Для підвищення ефективності оптичного каналу здійснюється його тимчасове і частотне мультиплексування. Що стосується частотного, то воно наштовхується на певні труднощі. Головна з них - введення в світловод (і видача з нього) випромінювань багатьох лазерів. Найпростіший спосіб - передача випромінювань в торець волокна. Але фізично важко розмістити велику кількість передавачів і приймачів світла, простіше це зробити, якщо по краях світловода зняти його захисну оболонку.

У мультиплексуванні ключовий операцією є виділення частотних каналів з спектра групового сигналу, що проходить через світловод. Тут використовуються два підходи. Перший з них полягає в оптичній фільтрації. Його суть полягає в тому, що на приймальному кінці світловода встановлюється оптичний розгалужувач світла. Останній ділить пучок світла між усіма наявними приймачами. У кожному приймачі встановлюється пасивний оптичний фільтр, завдяки чому відбувається селекція частотного каналу. Другий підхід заснований на електричній фільтрації. Тут груповий світловий сигнал перетворюється в електричний. Останній проходить через електричні фільтри і ділиться на частотні канали. Перший підхід простіше і економічніше. [4]

Для створення інфрачервоних каналів прокладаються оптичні кабелі. Кожен з них містить до 100 світловодів. Довжина кабелю (без підсилювачів) постійно

збільшується і досягає декількох сотень кілометрів. Часто інфрачервоні підсилювачі створюються на основі оптичного волокна з присадкою ербію, неодиму або празеодіма. Атоми цих елементів легуючих домішок в підключеному відрізку світловода порушуються лазером накачування. В результаті відбувається стимуляція випромінювання збуджених атомів на довжині хвилі підсилюється сигналу. Підсилювачі, леговані рідкоземельними елементами, можуть підтримувати амплітуду світлового сигналу в широкому діапазоні хвиль. Інфрачервоний сигнал може бути посилений в сотні і тисячі разів.

Напівпровідникові оптичні підсилювачі засновані на електричному збудженні і мають високу швидкодію. Для усунення відображень від торців кристала лазера підсилювача використовуються спеціальні покриття з низьким коефіцієнтом відображення. Застосовуються оптичні підсилювачі не тільки для посилення оптичного випромінювання, але і для створення ретрансляторів, перемикачів і приймачів світла, оптичних модуляторів.

Визначальний вплив на якість і надійність атмосферних оптичних ліній мають такі показники:

- нестабільність лінії, обумовлена мікроподвіжками і вібраціями несучих конструкцій;
- нестабільність лінії, викликана зміненими погодними умовами і туманом як фактором, що робить найбільший вплив на ступінь загасання.

Атмосферними факторами, в найбільшій мірі впливають на стабільність FSO-систем, є туман і неоднорідності показника заломлення - мікролінзи, викликані конвекцією теплих і холодних потоків повітря. Завмирання оптичного сигналу, викликані конвекцією, можуть досягати 30 дБ.

Ослаблення оптичного сигналу, викликане впливом туману, набагато вище і може, в найбільш гірших випадках, досягати 300-350 дБ на кілометр. Більшість інфрачервоних систем, з тим щоб забезпечити прийнятну надійність передачі даних, спочатку розробляється з деяким запасом потужності, який, як правило, перевищує 30 дБ. Тобто, доступність на відстанях в межах 100 метрів виявляється практично 100-

відсоткової. Вона може позначитися в скільки-небудь помітною мірою тільки при динамічному управлінні випромінюваної потужністю, і, в принципі, її вплив може бути занесено в зворотний контур регулювання.

Вплив туману, як уже говорилося, призводить до більш важливих наслідків. Саме через туман коефіцієнт доступності більшості інфрачервоних систем не піднімається вище 97-99 відсотків. І саме різним ступенем захищеності від туману і обумовлений досить значний ціновий розрив між різними FSO-системами.

1.4 Норми і вимоги

Санітарні норми експлуатації бездротових оптичних систем передачі на основі лазерів, що працюють в інфрачервоному діапазоні, регулюються ДСН 3.3.6.042-99, ГОСТ 12.4.123-83

Правила є обов'язковими для всіх підприємств, державних, кооперативних, спільних і орендних організацій, всіх міністерств і відомств, які проектують, виготовляють і експлуатують лазерні вироби. Відповідно до цих документів, за ступенем небезпеки генерованого випромінювання лазери і пристрої на їх основі підрозділяють на кілька класів. До лазерів I класу відносять прилади, вихідна колімірованим випромінювання яких не становить небезпеки для очей і шкіри. До II класу відносять лазери, вихідний випромінювання яких становить небезпеку при опроміненні очей людини колімірованим пучком (небезпека при опроміненні шкіри відсутня в діапазоні довжин хвиль 380 - 1400 нм). Дифузно відбите випромінювання безпечно як для шкіри, так і для очей. Лазери і системи на їх основі класифікує підприємство-виробник по вихідних характеристиках випромінювання розрахунковим методом відповідно до методики.

1.5 Інфрачервоні технології і погодні умови

Насправді, робота оптичних каналів дійсно залежить від стану атмосфери, як, втім, і робота радіосистем. Але, правильно розраховані і встановлені оптичні системи

забезпечують якість каналу не гірше, а в умовах високих радіоперешкод значно краще, ніж радіосистеми. Багато виробників і продавців цього обладнання, прагнучи продати свій товар у що б то не стало, обіцяють неможливе - робочі дистанції, на яких оптичні канали виявляються непрацездатними при поганих погодних умовах просто в силу фізичних законів. Пояснюється це тим, що більшість компаній-виробників і тим більше продавців даного обладнання не мають достовірних методик розрахунку якості оптичного каналу. У кращому випадку в специфікаціях наводиться допустима робоча дистанція для деяких величин затуханий сигналу в атмосфері. У більшості випадків взагалі вказується тільки дистанція для хороших погодних умов. З практичної точки зору це дуже мало для проектувальників.

Для того щоб прогнозувати поведінку бездротових оптичних каналів з достовірністю, необхідно врахувати весь комплекс конструктивних особливостей обладнання і використовувати загальновизнану модель атмосфери. Поєднуючи досвід в галузі фізики атмосфери з досвідом в області телекомунікацій, фахівці MicroMax Computer Intelligence, Inc. вирішили це завдання, створивши комп'ютерну програму моделювання інфрачервоних систем.

Для прикладу розглянемо енергетичний запас $P_{\text{еф}}$ оптичного каналу

$$P_{\text{еф}} = P_{\text{пер}} - P_{\text{пр}} \quad (1.1)$$

де: $P_{\text{пер}}$ - рівень потужності випромінювання передавача $P_{\text{пр}}$ - рівень потужності приймача.

Для наочності на таблиці 2 зображені різні системи передавачів [5].

Таблиця 2 - Приклади різних систем та їх характеристик

| Система | $P_{\text{пер,дБм}}$ | $P_{\text{пр,дБм}}$ | $P_{\text{еф,дБм}}$ |
|------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| SkyCell E1-T6000 | 24.8 | -60.0 | 84.8 |
| SkyCell E1-T4000 | 24.8 | -45.0 | 69.8 |
| SkyCell E1-T338 | 20.0 | -45.0 | 65.0 |
| SkyCell E1-T456 | 14.8 | -45.0 | 59.8 |

Треба відзначити, що блоки SkyCell E1-T6000 і SkyCell E1-T4000 володіють унікальними характеристиками, істотно перевершують інші системи, і не тільки від PAV. Переважна більшість існуючих систем мають вихідну потужність не вище 50 мВт (17 дБм), а чутливість приймача близько -43 дБм. При цьому, виробники обіцяють робочі дистанції набагато вище 1 км для середньої смуги

Сумарні втрати P_B в каналі можна оцінити за формулою

$$P_B = P_{\text{опт}} + P_{\text{атм}} + P_{\text{впр}} P_{\text{пр}} \quad (1.2)$$

де $P_{\text{опт}}$ - втрати оптичного узгодження $P_{\text{атм}}$ - згасання сигналу в атмосфері $P_{\text{впр}}$ - втрати в приймачі

З усіх складових тільки величина $P_{\text{впр}}$ не залежить від відстані між оптичними блоками та для більшості систем знаходиться в діапазоні від 1 до 2 дБ. Дві інші величини, крім прямої залежності від відстані, залежать від тілесного кута, в якому поширюється потік, розміру лінзи приймача (для $P_{\text{опт}}$), і від фізичних характеристик атмосфери (для $P_{\text{атм}}$). У першому наближенні $P_{\text{опт}}$ можна визначити з простого співвідношення площі плями від променя на стороні приймача до площі лінзи цього приймача, тобто це величина постійна для кожної конкретної дистанції.

При малих кутах розбіжності системи стають чутливими до тремтіння атмосфери в жаркий період і до стабільності положення опор. Наприклад, при допустимому догляді положення будівлі в 1.5 хвилини (0.43 мрад) при зміні сезонів, і враховуючи, що допуск на точність позиціонування систем становить близько 30 секунд (0.15 мрад), на будівлі можна встановлювати системи з повним кутом розбіжності тільки більш 1.16 мрад. Якщо для компенсації нестабільності опор можна застосувати системи автоматичного виправлення становища, то позбутися від впливу тремтіння атмосфери можна тільки розширюючи промінь. Таким чином, оптимальна величина цього кута лежить в межах від 2 до 10 мрад. При занадто великому куті розбіжності різко збільшуються втрати $P_{\text{опт}}$.

Для нормальної роботи каналу необхідно, щоб $P_{\text{сф}} > P_B$

Подивимося який величиною $P_{\text{атм}}$ має типова оптична система на дистанції, наприклад, в 1.5 кілометра. Беручи кут розбіжності променя в 2 мрад, як мінімально

прийнятний, і діаметр вхідний лінзи в 100 мм, шляхом нескладних обчислень отримаємо

$$P_{\text{опт}} = 29.5 \text{ дБ. Тоді для } P_{\text{еф}} = 60 \text{ дБ і } P_{\text{впр}} = 2 \text{ (дБ)} \quad (1.3)$$

$$P_{\text{атм}} < P_{\text{еф}} - P_{\text{опт}} - P_{\text{впр}} = 60 - 29.5 - 2 = 28.5 \text{ (дБ)} \quad (1.4)$$

Або: $P_{\text{атм}} < 19 \text{ дБ / км}$

Що ж означають величини $P_{\text{атм}}$ з практичної точки зору? Цілком очевидно, що чим більше допустима величина $P_{\text{атм}}$, тим більше суворі погодні умови може подолати оптична система. Однак, користувачам саме це значення говорить тільки про можливість конкретної системи в порівнянні з іншими. У той же час, запас в 28.5 дБ на дистанції 1.5 км може виявитися малий для хорошої роботи каналу $P_{\text{атм}}$ визначається по даній формулі.

$$P_{\text{атм}} = W \cdot L \quad (1.5)$$

де L - відстань в км W - питомий коефіцієнт загасання сигналу в атмосфері дБ/км. Однак, обчислення параметра W і становить основну проблему, тому що в розрахунках необхідно враховувати хімічний склад атмосфери, наявність аерозолів, спектральні характеристики атмосфери. Необхідні спеціальні алгоритми для опису різного типу опадів (дощу, снігу, туману) і інших напівпрозорих середовищ (пилові бурі, зміг). І все це з урахуванням конкретного регіону, висот установки і ще величезної кількості параметрів, що впливають на кінцеве значення W . Значення W лежать в дуже широкому діапазоні від 0.2 дБ / км, для відмінної погоди, до 350 дБ / км, для самих густих туманів. Розрахунки показують, що загасання 19 дБ / км для типового напівпровідникового DFB-лазера з довжиною хвилі 890 нм відповідає легкий туман з видимістю 920 метрів. Такі погодні умови, наприклад, в районі аеропорту в Борисполі можуть бути до 90 годин на рік. Неважко порахувати, що коефіцієнт готовності каналу в цьому випадку буде нижче 99%. Для операторів зв'язку в Києві це неприйнятна величина, якщо немає резервних каналів.

Таким чином, можна зробити висновок, що вже на дистанції 1.5 км оптичні системи з енергетичним запасом в $P_e = 60 \text{ дБ}$ в Київській області не відповідають

вимогам операторів до якості каналу зв'язку. Збільшити цей діапазон можна покращуючи чутливість приймача і підвищуючи вихідну потужність систем. Серед систем SkyCell тільки системи початкового рівня (E1-T456), що позиціонуються на дистанцію до 1 км, мають близький до 60 дБ з енергетичний запас. Всі інші його істотно перевершують.

Взагалі, можливості обладнання SkyCell дуже великі, а двох старших моделей просто унікальні. Вони не мають аналогів серед оптичних систем інших виробників. [6]

Наведемо рисунки стійкості систем SkyCell до туману і дощу в зимовий час і поза мегаполісів (щоб зменшити вплив домішок в атмосфері):

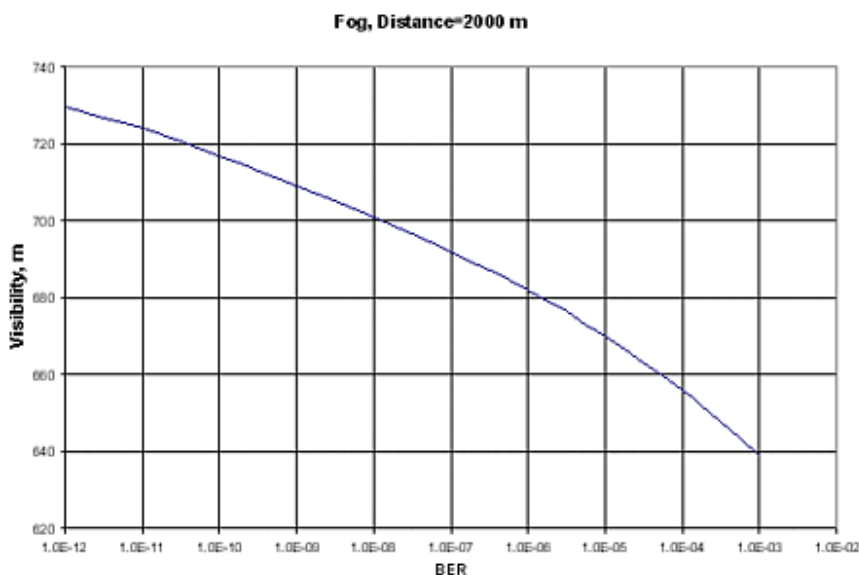


Рисунок 2 - Максимальні робочі дистанції в залежності від інтенсивності дощу.

Позначення: Distance - відстань між приймально-передавачами, м Precipitation – інтенсивність опадів, мм / год

Області, що знаходяться під лініями на графіках, визначають робочі зони інфрачервоних (оптичних) систем. Самі ж лінії означають кордон, коли рівень помилок в каналі стає $BER = 1.0E-9$. З рисунка 2 стає очевидним, що встановлена на дистанції 2000 метрів система SkyCell E1-T6000, здатна нормально працювати при

метеорологічної видимості в туман близько 709 метрів. А як буде вести себе канал передачі поблизу цієї межі? При погіршенні погодних умов спочатку буде збільшуватися рівень помилок. Значення BER нижче $1.0E-3$ означатимуть, фактично, відмова каналу передачі. Подальше погіршення видимості призведе до повного блокування каналу. Реально канал буде зберігати працездатність аж до падіння видимості до 640 метрів. Поведінку системи SkyCell E1-T6000 ілюстровано графіком представленим на рисунку 3.

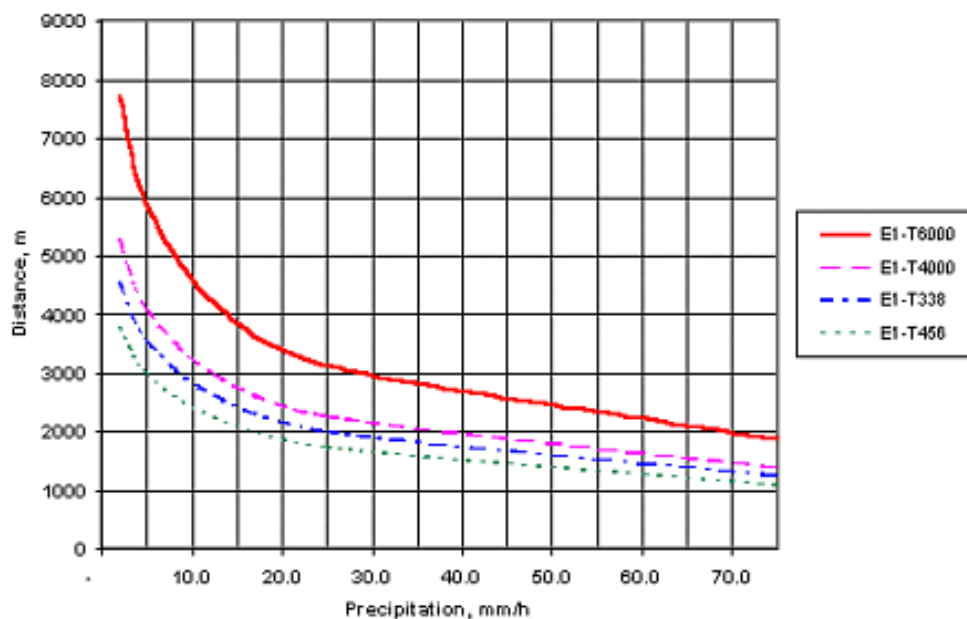


Рисунок 3 - Рівень помилок в каналі в туман на дистанції 2 км

Наведені вище результати розрахунків підтверджуються даними випробувань. Для отримання коефіцієнта готовності каналу, необхідно мати статистику погоди в конкретному регіоні. Досвід роботи MicroMax показує, що метеослужби з розумінням ставляться до подібних запитів і оперативно на них реагують. Знаючи стійкість систем до всіх можливих на місці установки погодних явищ, можна з високою вірогідністю прогнозувати цей параметр і гарантувати ефективну роботу системи передачі даних.

Підіб'ємо ж підсумок вищесказаного. На етапі проектування каналу атмосферної оптичного зв'язку необхідно задати чіткі вимоги до якості каналу (визначається коефіцієнтом готовності та допустимим рівнем помилок). Виходячи з

цих вимог, а також аналізуючи статистику погоди в конкретному регіоні, де планується установка каналу, і, можливо, інші особливості об'єкта, кваліфікований фахівець здатний допомогти замовнику в правильному і ретельному виборі відповідного обладнання. Весь набір технічних характеристик обладнання повинен бути розглянутий в комплексі, але, мабуть, найбільш важливим, як було показано вище, є енергетичний запас системи.

2. ТЕОРЕТИЧНА РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Для того щоб розробити схему інфрачервоного трансмітеру ми застосуємо структурну схему, що наведена в додатку Б (08-36.МДР.002.00.000 Е1). Розробка данного пристрою буде вестися на інтерфейсі RS-485

2.1 Застосування інтерфейсу RS-485 для передачі даних

Інтерфейс RS-485 (інша назва - EIA / TIA-485) - один з найбільш поширених стандартів фізичного рівня зв'язку. Фізичний рівень - це канал зв'язку і спосіб передачі сигналу (1 рівень моделі взаємозв'язку відкритих систем OSI).

Мережа, побудована на інтерфейсі RS-485, являє собою приймачі, з'єднані за допомогою виті пари - двох скручених проводів. В основі інтерфейсу RS-485 лежить принцип диференціальної (балансної) передачі даних. Апаратна реалізація інтерфейсу - мікросхеми приймачів з диференціальними входами / виходами (до лінії) і цифровими портами (до портів UART контролера RS-485 - напівдуплексний інтерфейс. Прийом і передача йдуть по одній парі проводів з поділом за часом. У мережі може бути багато передавачів, так як вони можуть відключатися в режимі прийому.

Максимальна швидкість зв'язку по специфікації RS-485 може досягати 10 Мбіт / сек. Максимальна відстань - 1200 м. Якщо необхідно організувати зв'язок на відстані більшому 1200 м або підключити більше пристроїв, ніж допускає навантажувальна здатність передавача - застосовують спеціальні репітери При великих відстанях між пристроями, пов'язаними з кручених парі і високих швидкостях передачі починають проявлятися так звані ефекти довгих ліній. Причина цього - кінцівку швидкості поширення електромагнітних хвиль в провідниках. Швидкість ця істотно менше швидкості світла у вакуумі і становить трохи більше 200 мм / нс. Електричний сигнал має також властивість відбиватися від відкритих кінців лінії передачі і її відгалужень. Для коротких ліній і малих швидкостей передачі цей процес відбувається так швидко,

що залишається непоміченим. Однак, час реакції приймачів - десятки / сотні нс. У такому масштабі часу кілька десятків метрів електричний сигнал проходить не миттєво. І якщо відстань досить велика, фронт сигналу, що відбився в кінці лінії і повернувся назад, може спотворити поточний або наступний сигнал. Ефект віддзеркалення і необхідність правильного узгодження накладають обмеження на конфігурацію лінії зв'язку. Лінія зв'язку повинна являти собою один кабель витой пари. До цього кабелю приєднуються все приймачі і передавачі. Відстань від лінії до мікросхем інтерфейсу RS-485 має бути якомога коротше, так як довгі відгалуження вносять неузгодженість.

Щоб задовільнити вимоги технічного завдання магістреської кваліфікаційної дипломної роботи, на основі структурної схеми розроблено електричну принципову схему інфрачервоного трансмітеру представлену на рисунку 4 та наведену у додатку Г (08-36.МКР.002.00.000 Е3).

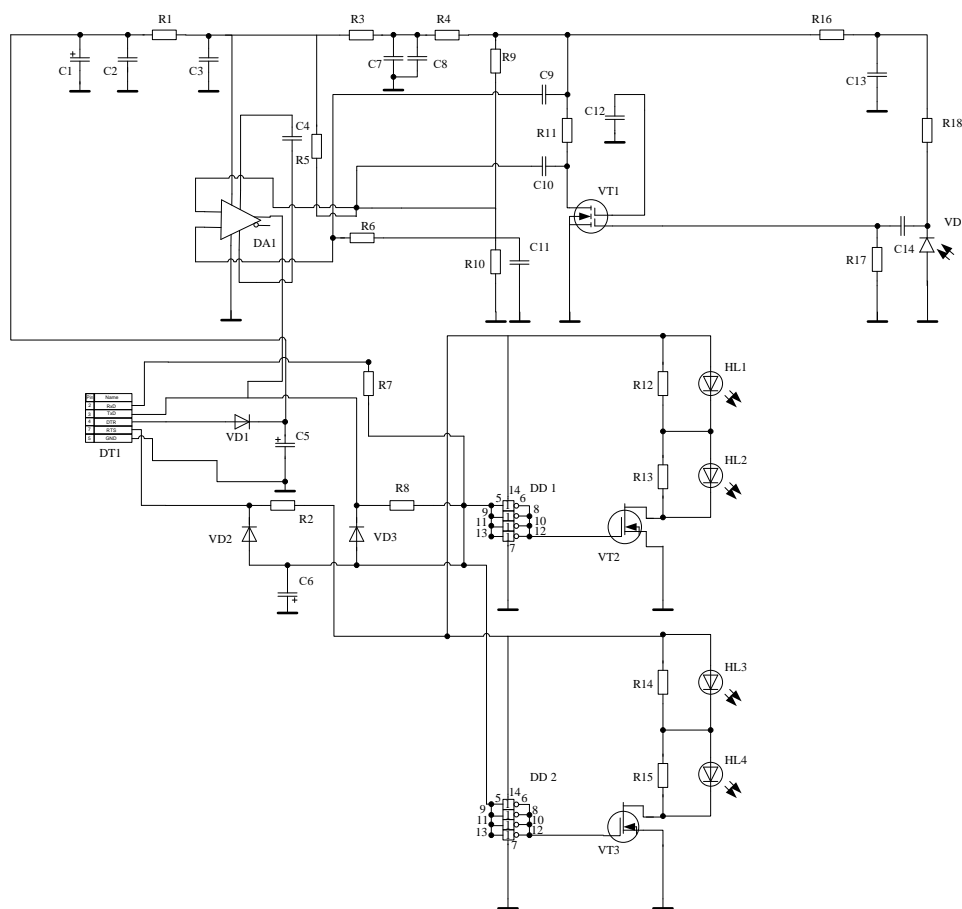


Рисунок 4 - Схема електрична принципова інфрачервоного трансмітеру

2.2 Захист ліній передач даних

Різниця потенціалів між провідниками лінії і між лінією заземлення приймача, як правило, не повинна виходити за межі $-7 \dots + 12$ В. Отже, може знадобитися захист від різниці потенціалів між "землями" і від перенапруг через замикання на високовольтні ланцюги.

Різниця потенціалів між заземленням. При організації мережі на основі інтерфейсу RS-485 слід враховувати присутність третього провідника – заземлення. Якщо пристрої розташовані недалеко від початкового джерела живлення, то різниця потенціалів між заземленням пристроїв в мережі невелика. Але якщо пристрої знаходяться далеко один від одного і отримують звичайне живлення, то між їх заземленнями може виявитися істотна різниця потенціалів. Можливі наслідки - вихід з ладу приймача, а то і всього пристрою. У таких випадках слід застосовувати гальванічну розв'язку або дренажний провід. Гальванічна розв'язка лінії і пристроїв здійснюється або опторозв'язкою цифрових сигналів (RO, DI, RE, DE) з організацією ізольованого живлення мікросхем приймачів, або застосуванням приймачів з вбудованою гальванічною розв'язкою сигналів і живленням (наприклад, MAX1480). Тоді разом з диференціальними провідниками прокладаються провід ізольованим заземленням і, можливо, провід ізольованого живлення лінії.

Якщо існує небезпека потрапляння на лінію або одну з місцевих заземлень високої напруги, слід застосовувати опторозв'язку або шунтуючі обмежувачі напруги. А краще і те й інше. Напруга пробою опторозв'язанного інтерфейсу становить сотні і навіть тисячі вольт. Це добре захищає пристрій від перенапруги, загального для всіх провідників лінії. Однак, при диференціальних перенапруженнях, коли високий потенціал виявляється на одному з провідників, сам приймач буде пошкоджений.

Для захисту від диференціальних перенапруг все провідники лінії, включаючи ізольований загальний, шунтується на локальне заземлення за допомогою обмежувачів напруги. Це можуть бути варистори, напівпровідникові обмежувачі напруги та газорозрядні трубки. Фізичний принцип їх дії різний, але суть одна - при

напрузі вище порогового їх опір різко падає, і вони шунтують лінію. Коли заземлення лінії неможливо, провідники лінії шунтують обмежувачами між собою. Але це захистить тільки від диференціальних перенапруг - захист від загального повинна взяти на себе опторозв'язка. Детальніше цей метод можна побачити на рисунку 5.

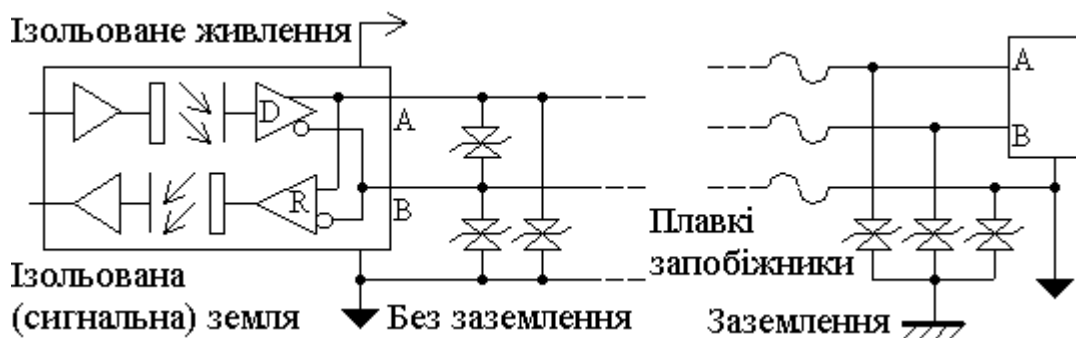


Рисунок 5 - Метод обмеження струму за допомогою опторозв'язки

Захист обмежувачами напруги дієва при короточасних перевантаженнях. При тривалих - струми короткого замикання можуть вивести обмежувачі з ладу, і пристрої на лінії виявляться без захисту. Для захисту від коротких замикань в лінію можна послідовно включити плавкі запобіжники.

Як ми бачимо доволі доцільно використовувати саме опторозв'язку. Тому ми використаємо її та вдосконалимо перетворивши її на оптичну лінію. Це дозволить уникнути кабельних з'єднань. В результаті ми отримуємо інфрачервоний канал відкритого типу який описаний та змодельований в розділі 3.

2.3 Аналіз роботи схеми електричної принципової пристрою передачі даних

Пристрій передачі даних складається з каналу передачі даних та каналу прийому даних. До каналу передачі даних входить мікросхеми DD1, DD2, логічних інверторів використаних в якості буферних елементів вихідних ключів оптичного передатчика на польових транзисторах з ізольованим затвором VT2, VT3. Використання запаралелених інверторів в якості буфера затвору не забороняється

технічними умовами на мікросхеми DD1, DD2, живлення мікросхем забезпечується лінією RTS порта RS 485 за допомогою діода VD2 і конденсатора С6. В якості навантаження ключів VT2, VT3 використано пару світодіодів інфрачервоного діапазону HL1, HL2 і HL3, HL4 відповідно. Їх спектральна характеристика у відповідності до технічних умов приведена на рисунку 6

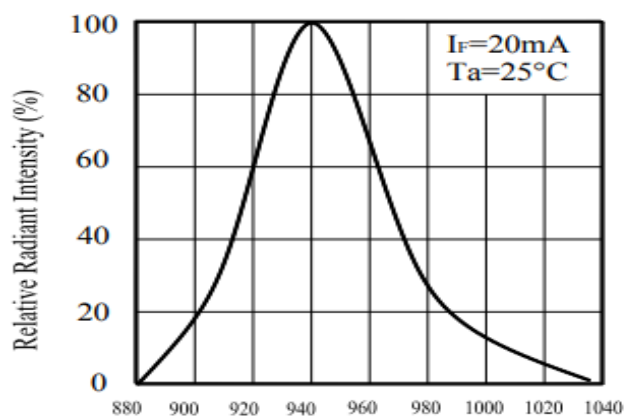


Рисунок 6– Спектральна характеристика випромінюючих інфрачервоних діодів

Паралельно світодіодам стоять резистори R12 – R15 для вирівнювання параметрів інфрачервоних світодіодів. Використання пари інфрачервоних світодіодів в вихідному каскаді дозволяє розширити діаграму спрямованості оптичного променя каналу передач. Приймний канал складається з фотоприймача в якості якого використано пін – діод BPW 34 FASR. Його спектральна характеристика у відповідності до технічних умов приведена на рисунку 7.

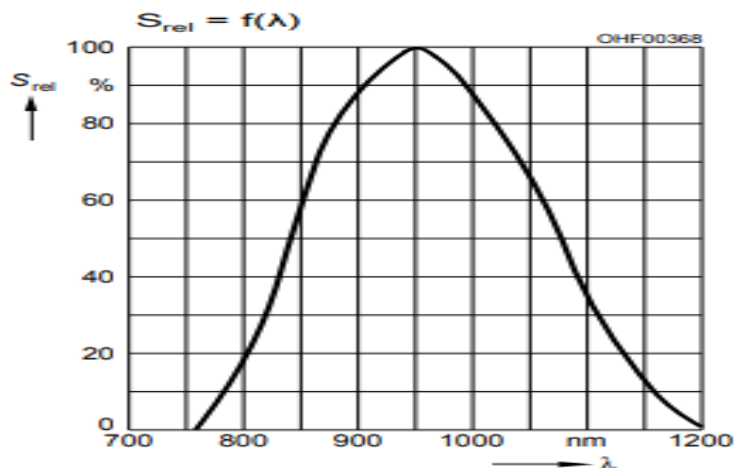


Рисунок 7 – Спектральна характеристика фотоприймача оптичного каналу

Як видно з наведеної характеристики та технічних даних на фотоприймач максимум його чутливості знаходиться в інфрачервоному діапазоні і співпадає з характеристикою інфрачервоних світодіодів передатчика і забезпечує максимальне співвідношення сигнал-шум для данного пристрою. Сигнал з VD1 поступає на перший затвор транзистора VT1 який підсилює сигнал до рівня обробка компоратора в мікросхемі DA1. Сигнал що проходить на вхід компоратора DA1 порівнюється з рівнем заданим резисторами R9, R10 що дозволяє виключити з імпульсного сигналу шумового компонента і сформувати на виході компоратора імпульсну послідовність для передачі даних на вихідний порт TxD порта RS 485. Застосування швидкісного компоратора DA1 фірми AD дозволяє компорувати вхідний сигнал з високою роздільною здатністю та чутливістю. [7] Це дозволяє в свою чергу обмежитись одним підсилювальним каскадом на транзисторі VT1. Застосування двох затворного транзистора VT1 дозволяє регулювати необхідну чутливість каскаду за допомогою напруги на другому затворі. Крім того не потрібно забувати що створюючи інфрачервоний трансмітер, є необхідною оцінка шумів фотоприймача.

2.4 Аналіз шумів фотоприймального каналу

Хоча в реальному фотоприймачі існують різні типи джерел шумів, всі вони найчастіше класифікуються за характером спектра потужності, типовий вигляд якого ілюструє рисунок 8

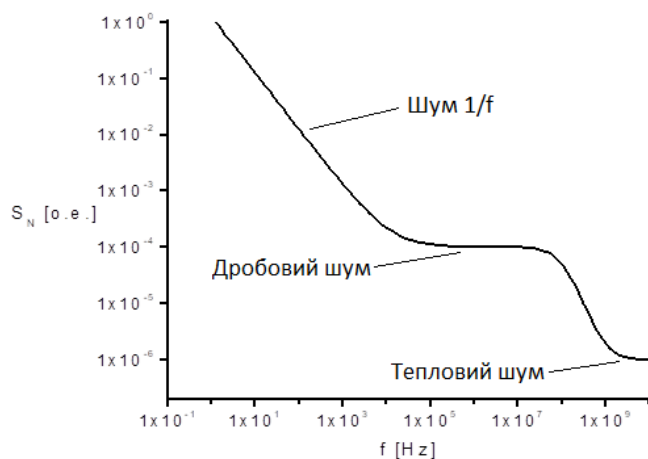


Рисунок 8. Типічний спектр потужності шумів фотоприймача

Шум «1 / f» - спектральна щільність шумів цього типу дуже сильно залежить від частоти і виявляється пропорційна $1/f^a$, де a змінюється в діапазоні від 1 до 1,2. З ростом частоти рівень шумів $1 / f$ спадає настільки швидко, що при прийомі повільно мінливих в часі оптичних сигналів виявляється виправданою процедура амплітудної модуляції останніх на частотах f_m порядку декількох сотень Гц. за рахунок цього спектр реєстрованого корисного сигналу в вузьку частотну область в околиці частоти модуляції f_m і обмеживши потім знизу смугу прийому можна забезпечити суттєву перевагу в отриманому співвідношенні сигнал / шум.

«Дробовий» шум - спектральна щільність шумів цього типу, зазвичай пов'язаних з дискретністю потоків реєстрованих електронів, практично незмінна аж до частот порядку декількох сотень МГц. У цьому діапазоні частот дисперсія вихідного струму фотоприймача може бути розрахована за допомогою простого виразу

$$q_I^2 = 2q\bar{I}\Delta f \quad (2.1)$$

Де q - заряд електрона, \bar{I} - середній вихідний струм, Δf - спектральна смуга прийому. Подальший спад рівня шумів цього типу також виявляється не дуже швидким (6 дБ на октаву, тобто спад в 2 рази при зміні частоти в 2 рази) і тому боротися з ними виявляється зовсім не настільки просто.

Тепловий шум - як правило, теплові шуми взагалі вважаються «білими». Це означає, що їх спектральна щільність практично постійна аж до частот $\sim 10^{12}$ Гц. Джерелом шумів цього типу є будь-який елемент, який має температуру T вище абсолютного нуля, і середньоквадратичне значення E_N^2 шумовий е.р.с. для, наприклад, активного опору величиною R може бути розрахована за допомогою формули

$$E_N^2 = 4kT\Delta fR \quad (2.2)$$

(Т.зв. формула Найквіста). Тут $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж / К - постійна Больцмана. Хоча ніякі перетворення оптичних і електричних сигналів не здатні забезпечити придушення теплових шумів через їх надзвичайно великий широкополосности, відомий досить ефективний і тривіальний метод боротьби з ними. Цей метод полягає в звичайному

охолодженні фотоприймача до температур, значно менших, ніж кімнатна температура. Фотоприймачі, засновані на використанні зовнішнього або внутрішнього фотоефекту, зазвичай виявляється досить охолодити до температур порядку температури випаровування твердої вуглекислоти - «сухого льоду» або температури кипіння рідкого азоту.

Крім шумів фотодіода (дробового, теплового та шуму темного струму) в фотоприймач з'являються інші складові шуму такі як:

Фонове засвічення - свій внесок в загальний шум оптичного тракту вносить і фонове засвічення - оптичне випромінювання, що потрапляє на чутливий майданчик фотодіода від різних джерел, що грають роль перешкод. Якщо таке джерело створює потужність P_3 на чутливій майданчику фотодіоду, то відповідна йому шумова складова визначається виразом:

$$I_{шз}^2 = 2eP_3S\Delta f \quad (2.3)$$

Модові шуми - крім розглянутих вище характерні також модові шуми, що виникають за рахунок випадкових флуктуацій інтенсивності в межах чутливої площадки фотодіоду. Вони проявляються коли когерентне джерело випромінювання використовується спільно з багатомодовим світлодіодом. У цьому випадку на вихідному торці світлодіода виникає «спекл-картина», що є результатом інтерференції різних мод. Ця картина постійно змінюється під впливом багатьох факторів: зміни температури навколишнього середовища, мікродеформації світловода при різних механічних впливах. Будь-яке з наведених зовнішніх впливів змінює випадковим чином величину геометричного шляху, який проходять промені, які відповідають різним модам світловода. Незважаючи на те, що ця зміна невелика і складає доли мікрометра на кілометр світловода, воно виявляється порівняним з довжиною хвилі і істотно змінює фазовий набіг між різними модами. Цим і визначається зміна розподілу інтенсивності на вихідному торці світловода, яке призводить до появи модового шуму. Подібний по прояву на виході підсилювача фотодіоду шум виникає і при спільному використанні некогерентного джерела випромінювання і одномодового

волокна. Відмінність проявляється лише в тому, що випадковий характер має не просторова, а тимчасова структура розподілу інтенсивності на вихідному торці світловода. Подібний по прояву на виході підсилювача фотодіоду шум виникає і при спільному використанні некогерентного джерела випромінювання і одномодового волокна. Відмінність проявляється лише в тому, що випадковий характер має не просторова, а тимчасова структура розподілу інтенсивності на вихідному торці світловода. Подібний по прояву на виході підсилювача фотодіоду шум виникає і при спільному використанні некогерентного джерела випромінювання і одномодового волокна. Відмінність проявляється лише в тому, що випадковий характер має не просторова, а тимчасова структура розподілу інтенсивності на вихідному торці світлодіода.

Шум джерела випромінювання - додаткові шуми створює і джерело випромінювання. Вони проявляються в флуктуації оптичної потужності і випадковий характер розподілу інтенсивності на його випромінюючих площадках. Тобто систему зв'язку можна оптимізувати, виключивши причину появи ряду шумів, характерних для оптичного діапазону. Використовуючи когерентні джерела тільки спільно з одномодовими световодами, а некогерентні - з багатомодовими, можна виключити модові шуми. Застосування вдосконалених технологій при виготовленні лазерних діодів і світлодіодів і розробка схемних рішень для джерел струму накачування, в яких передбачається контроль і автоматичне регулювання режиму його роботи, дозволяє звести до мінімуму шуми джерела випромінювання.

Виключити квантові і теплові шуми сигналу і темного струму не можна ніякими методами. Вони завжди супроводжують оптичному сигналу і наявність цих шумових факторів необхідно враховувати при розробці схемних рішень для підсилювача фотоструму. На рисунку 8 показана узагальнена еквівалентна схема фотоприймача, в якій враховані всі головні шумові джерела. Введено генератор струму $I_{шR}$, що враховує тепловий шум активного опору навантаження фотодіоду $R1$. Двома джерелами $I_{шy}$ і $U_{шy}$ враховані шуми активного елементу підсилювача. Якщо підсилювач будується на основі польових транзисторів, то:

$$U_{шy}^2 = \zeta kT \frac{\Delta f}{g}, \quad I_{шy} = 0 \quad (2.4)$$

де g - крутизна вхідний характеристики транзистора, що має сенс вхідної провідності;

k - постійна Больцмана;

$\zeta = 0.7-1.1$ - коефіцієнт, що залежить від типу польового транзистора.

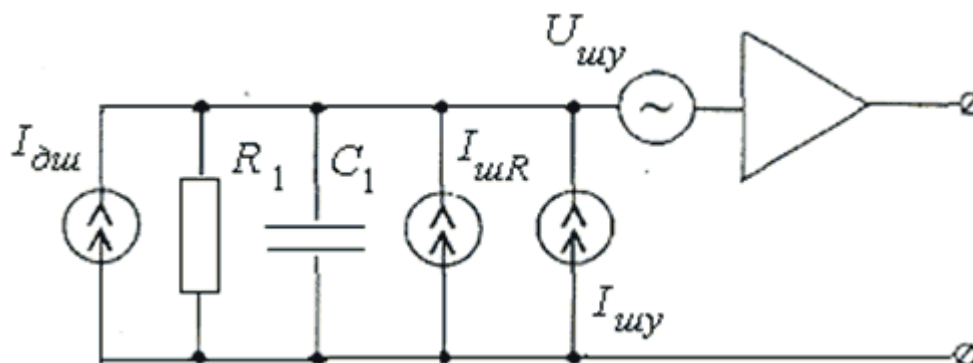


Рисунок 8 Еквівалентна схема приймача з джерелами шуму

Для підсилювача, побудованого на базі біполярних транзисторів

$$U_{шy}^2 = \zeta 4(kT)^2 \frac{\Delta f}{eI_k}, \quad I_{шy}^2 = 2eI_\sigma \Delta f \quad (2.5)$$

де I_σ і I_k - постійні струми бази і колектора транзистора.

Відношення сигнал / шум. Загальноприйнятим способом вираження якості сигналу в системі є відношення сигнал / шум. Це відношення середньої енергії сигналу до середньої енергії шумів різної природи. Якщо сигнал має потужність 50мВт, а потужність шуму дорівнює 50мкВт, то дане відношення дорівнює 1000, або 30дБ. Всі розглянуті вище шумові джерела в першому наближенні вважаються незалежними. Тому результуюча потужність шуму на виході підсилювального каскаду може бути визначена в результаті підсумовування внесків, внесених окремими джерелами. При проходженні сигналу через підсилювач до нього додаються власні шуми підсилювача і ставлення потужності сигналу P_c до потужності шумів $P_{ш}$ на виході стане більше ніж на вході.

Відношення сигнал/шум залежить від потужності оптичного сигналу P і може бути збільшено за рахунок її росту. Якщо шуми оптичного тракту можна порівняти з шумами електронної частини фотоприймача, то зростання відносини сигнал/шум можна забезпечити за рахунок збільшення еквівалентного опору навантаження R_1 фотодетектора. Але при зростанні R_1 зменшується смуга пропускання фотоприймача в цілому. Тому одночасне збільшення сигнал/шум і збереження колишньої смуги пропускання неможливо без істотного ускладнення електронної схеми першого каскаду підсилювача. Вона вимагає введення високочастотної корекції його амплітудно-частотної характеристики.

Еквівалентна потужність шуму $P_{ш}$ (Вт). Це одна з найбільш важливих характеристик, що враховують шумові властивості фотоприймачів. Вона визначає мінімальну потужність оптичного сигналу на вході фотоприймача, при якій відношення сигнал/шум дорівнює одиниці і обчислюється за формулою:

$$P_{ш} = \frac{I_{ш}}{S} \quad (2.6)$$

де $I_{ш}$ - повний шумовий струм;

S - струмовий чутливість.

Як відомо, еквівалентна потужність шуму пропорційна квадратному кореню з смуги пропускання. $P_{ш}$ можна пронормувати, поділивши на $\sqrt{\Delta f}$. Така нормована еквівалентна потужність шуму має розмірність Вт / Гц^{1/2} і не залежить від смуги пропускання. Еквівалентна потужність шуму $P_{ш} \approx 10-14$ Вт.

З урахуванням всіх наведених характеристик доцільно буде перейти до моделювання нашого інфрачервоного трансмітера для безпроводної передачі даних.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЇВ ПРИЙОМУ І ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Проведемо моделювання нашого пристрою в програмі Multisim 14.0 . Оскільки вона має зручний інтерфейс, велику елементну базу, можливість проводити моделювання в реальному часі знімаючи такі данні як напруга, струм, форму сигналу на різних ділянках кола, та інше.

3.1 Моделювання роботи передавача

Враховуючи параметри поставлені в технічному завданні на МДР розробимо вихідні параметри моделювання до оптичної схеми передавача. Моделювання будемо виконувати на максимальній заданій робочій частоті 10 МГц, а також врахуємо що для імітації вхідного сигналу с порта RS 485 двох полярної форми задамо амплітудне значення вихідного сигналаз рівнем 5 В і додатковим зміщенням максимальної постійної складової на рівні 996 мВ. Установка параметрів моделювання в програмі Multisim показана на рисунку 9.

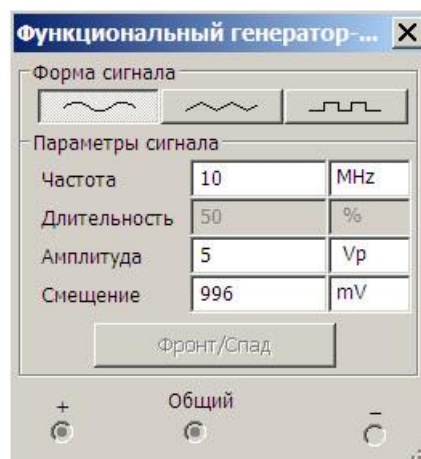


Рисунок 9 - Параметры моделювання на максимальній робочій частоті

Повну схему моделювання приведено на рисунку 10. До неї входять:

- Функціональний генератор що задає параметри вхідного сигналу
- Амперметр постійного струму для контролю вихідного струму ключового транзистора оптичного передавача

- Чотирьохканальний осцилограф для відображення параметрів сигналу контрольних точках

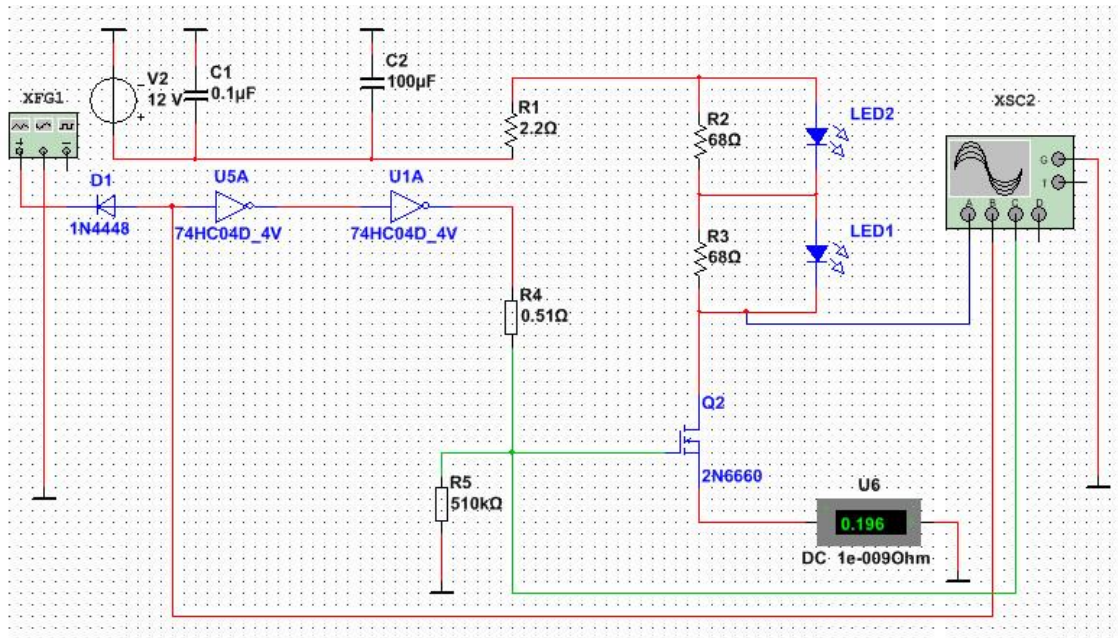


Рисунок 10 - Схема моделювання передавача

В результаті виконання моделювання можемо зробити висновок що сумарний струм в 196 мА дозволяє отримати задану вихідну потужність оптичного передавача для забезпечення максимальної дальності у межах до 50м в оптично-прозорій атмосфері При напрузі живлення 12В, що відображено на рисунку 11

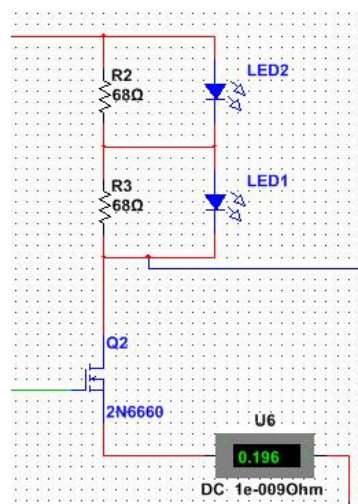


Рисунок 11 - Струм вихідного каскада передавача

Вихідна осцилограмма моделювання показує що при використанні польового транзистора 2N6660 в якості вихідного ключа може бути забезпечене стабільна робота каналу передачі даних на заданій частоті. Але при цьому із за впливу затворної ємності польового транзистора спостерігається затягування фронту і затримка вихідного сигналу . Що відображено на вихідній осцилограммі рисунка 12

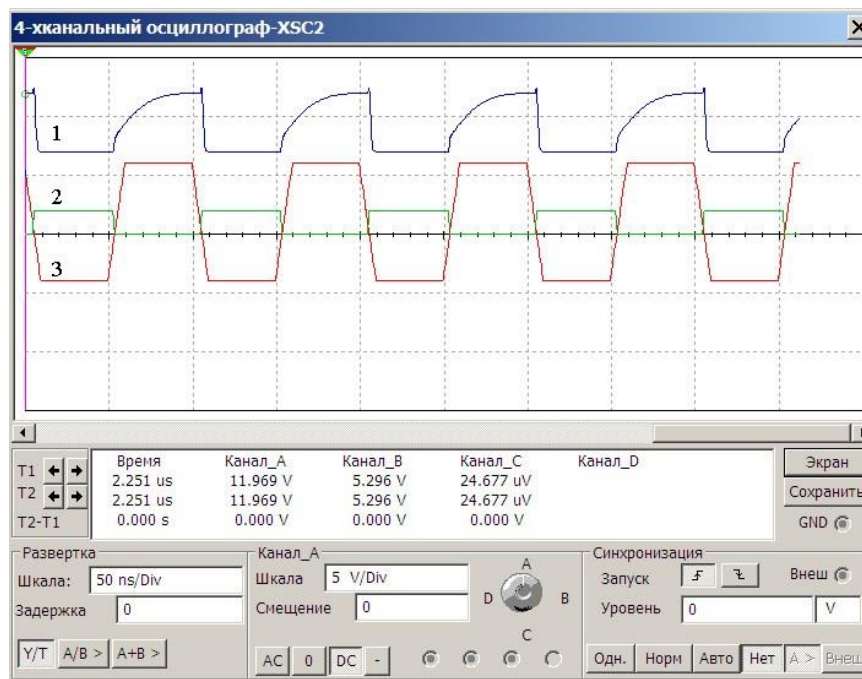


Рисунок 12 - Вихідна осцилограмма моделювання передатчика на максимальній робочій частоті де: 1 – Осцилограмма вхідного сигналу, 2 - осцилограмма на затворі, 3 - осцилограмма вихідного сигналу на інфрачервоних діодах.

На рисунку 13 показано оцінку параметру затримки вихідного сигналу за допомогою курсорних вимірювань встроєних в віртуальний інструмент чотирьохканальний осцилограф програми Multisim. При цьому часть затримки складає близько 6.5 нс.

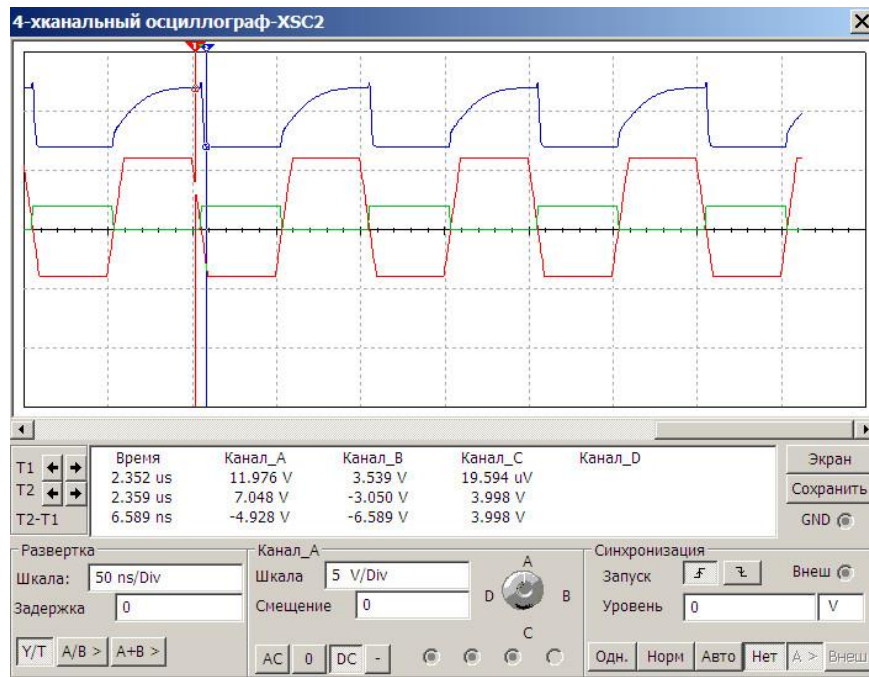


Рисунок 13 - Час запізнення сигналу

Так само за допомогою курсорних вимірів оцінимо тривалість фронту вихідного сигналу – вона складає близько 21.3 нс.

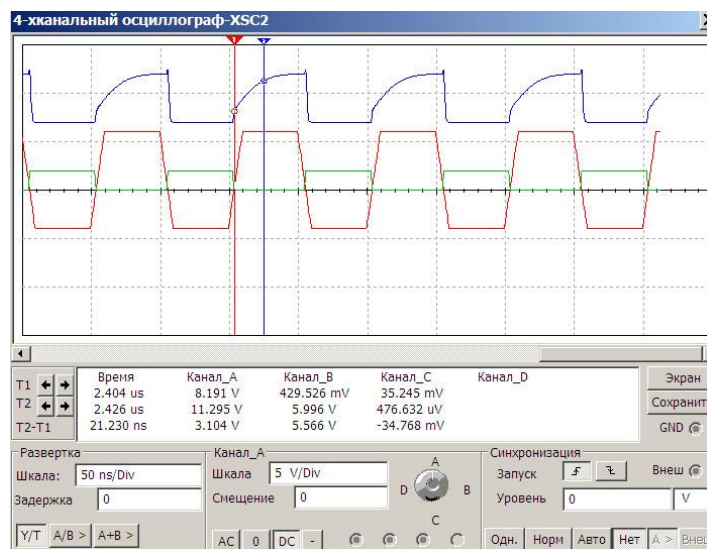


Рисунок 14 - Тривалість фронту сигналу

3.2 Моделювання роботи приймача

Сформуємо схему моделювання для оптичного приймального каналу пристрою передачі даних інфрачервоного діапазону. Він складається з фотоприймача VD1 - BPW 34 F, підсилювального каскаду на польовому транзисторі з ізольованими затворами VT1 - 2N6660 і компаратора DA1 - AD8561 AM. Схема моделювання приведена на рисунку 15. Та наведена в додатку Є (08-36.МКР.002.00.000 Е4).

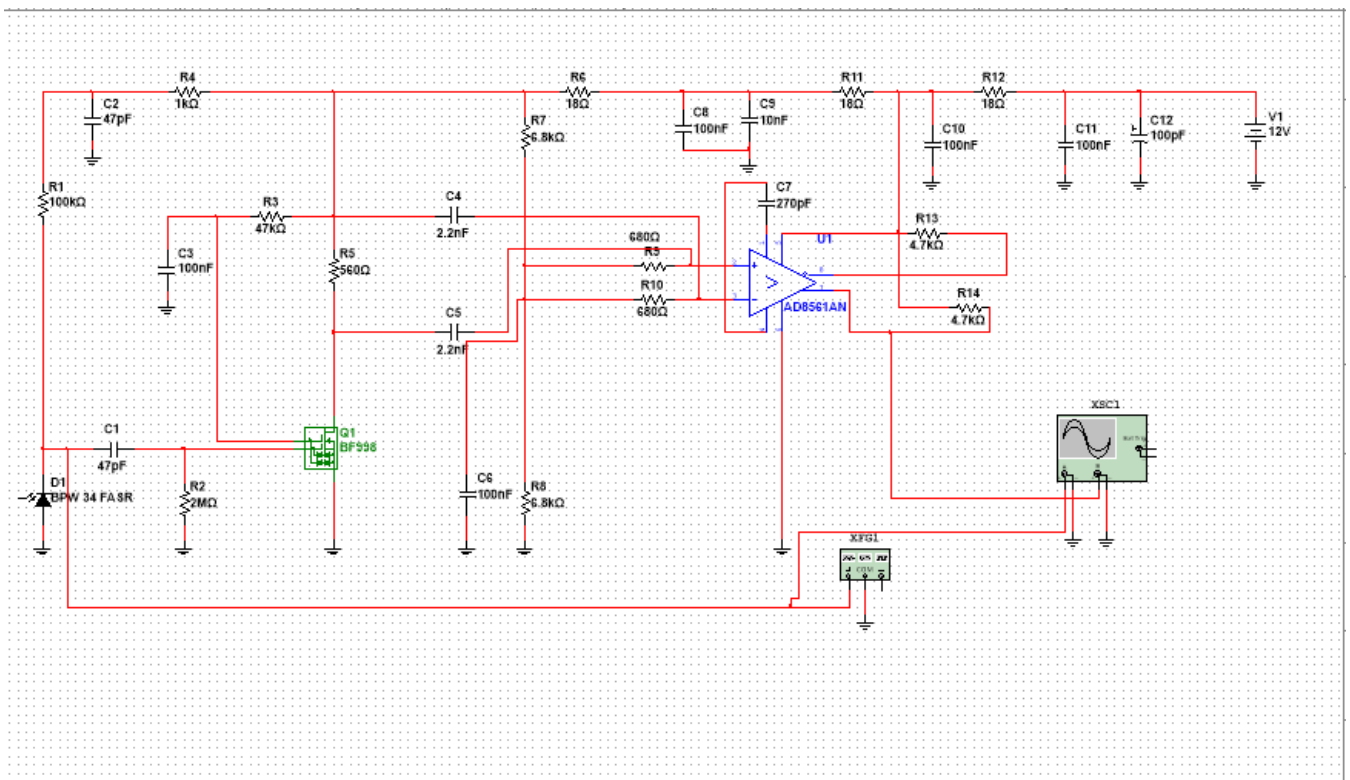


Рисунок 15 - Схема моделювання приймального оптичного каналу

Для моделювання вхідного сигналу фотодіода скористаємося функціональним генератором з набору інструментів Multisim задавши наступні параметри. Максимальна частота сигналу 10 МГц, амплітуда сигналу 100 мкВ, форма імпульсу

прямокутна. Меню задання параметрів функціонального генератора приведена на рисунку 16

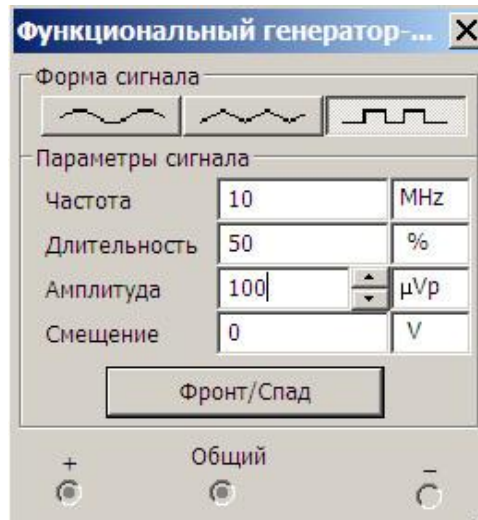


Рисунок 16 - Вихідні параметри моделювання фотоприймача

Форма і параметри вхідного сигналу що подається для моделювання ПЧ фотоприймача приведена на осцилограммі рисунку 17.

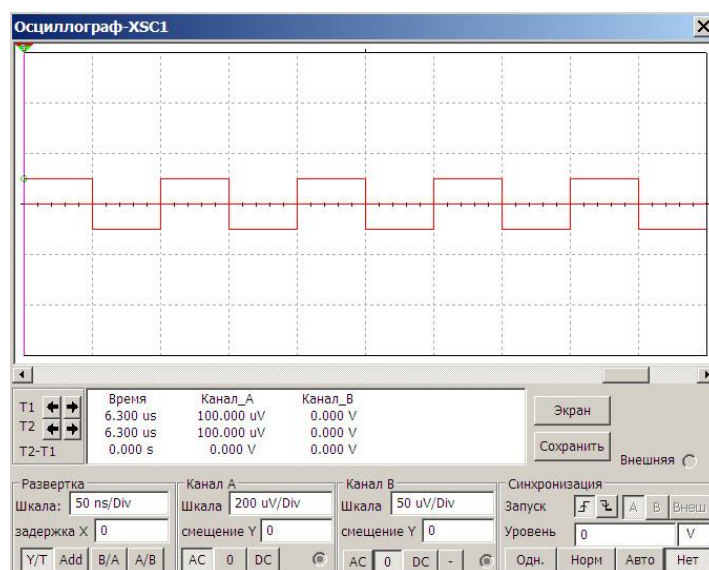


Рисунок 17 - Вхідна осцилограма моделювання фотоприймача

В результаті моделювання оцінено вихідний сигнал з контрольної точки на виході компаратора DA1 результати вимірювання приведено на рисунку 18.

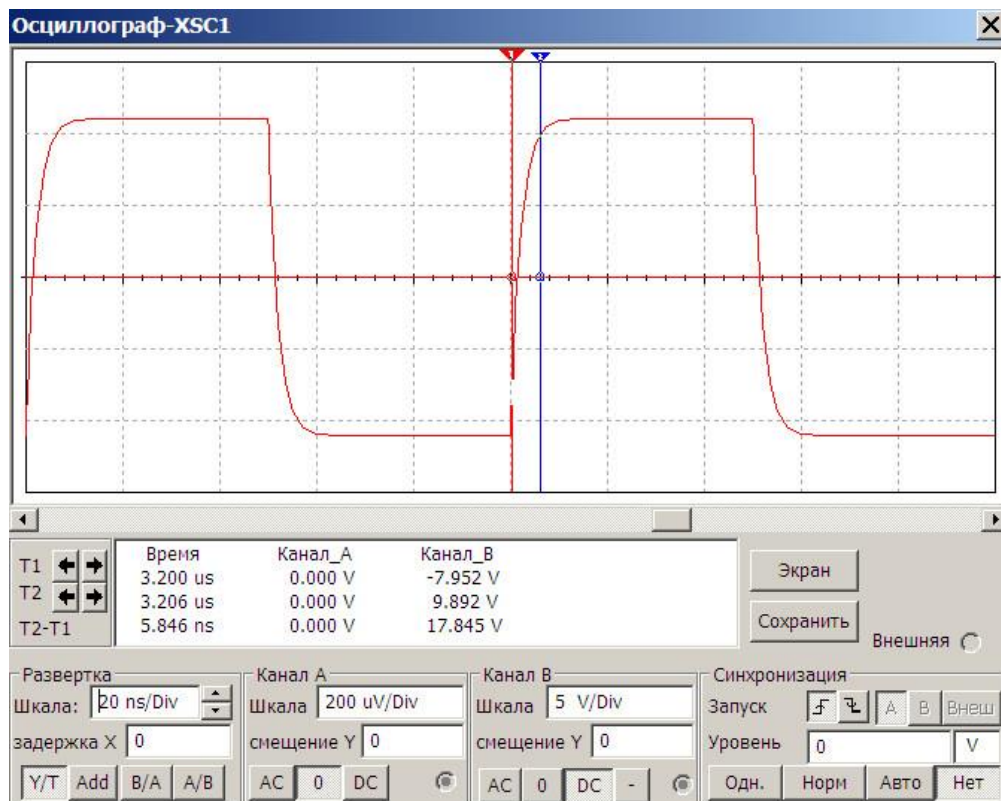


Рисунок 18 - Вихідна осцилограма моделювання фотоприймача

Оцінка часу затримки і зтягування фронту вихідного сигналу по вихідній осцилограммі складає близько 5.8 нс, таким чином можна зробити висновок що параметри сигналу відповідають технічному завданню.

3.3 Моделювання роботи трансмітеру під час дії завад

Крім того для раціонального застосування нашого інфрачервоного трансмітеру та повного дослідження данної розробки нам слід дослідити вплив шумів та завад на наш інфрачервоний тракт. Основний вплив на співвідношення сигнал/шум складає перший каскад підсилення формування сигналу фотоприймача. Оцінимо вплив завад на схему реалізовану на транзисторі BF 998 представлену на рисунку 19

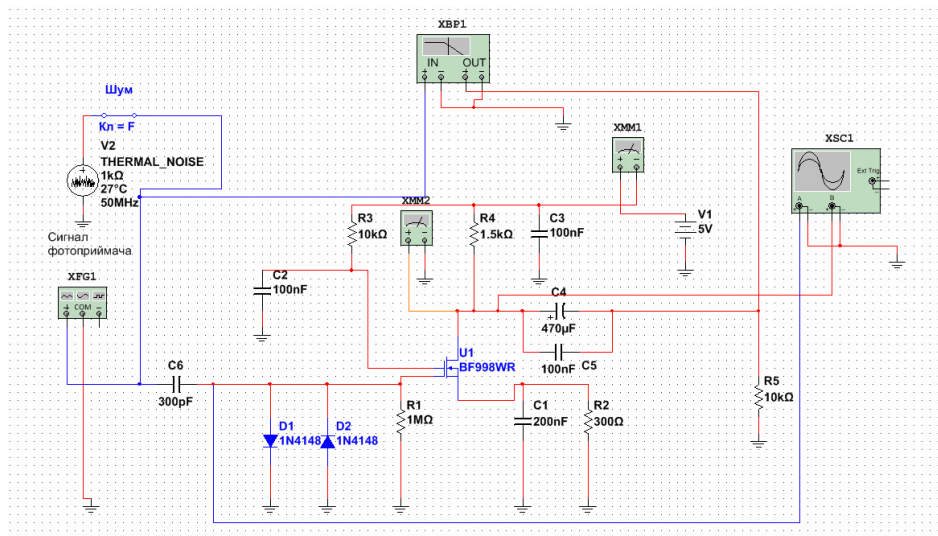


Рисунок 19 - Каскад для дослідження відношення сигнал шум на основі транзистору BF 998

Сигнал з фотоприймального елемента імітує функціональний генератор XFG1, а шумовий сигнал генератор шуму V2.

Шумовий сигнал з еквівалентною смугою частот 50 МГц ,на виході каскада при відсутності входного представлені на рисунку 20.

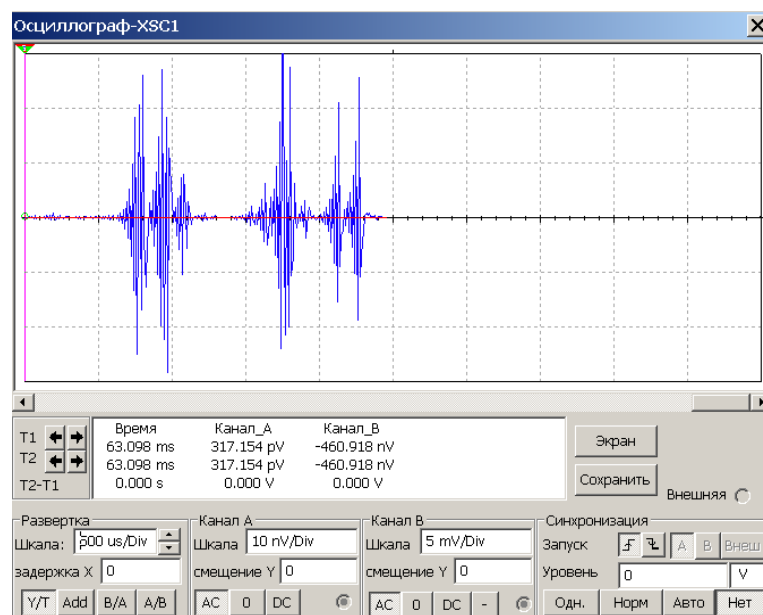


Рисунок 20 – Шумовий сигнал

Форма та параметри сигнала без шумової складової з вхідною амплітудою 1 мкВ частоті 10 МГц на навантаженні (R5) представлені на рисунку 21

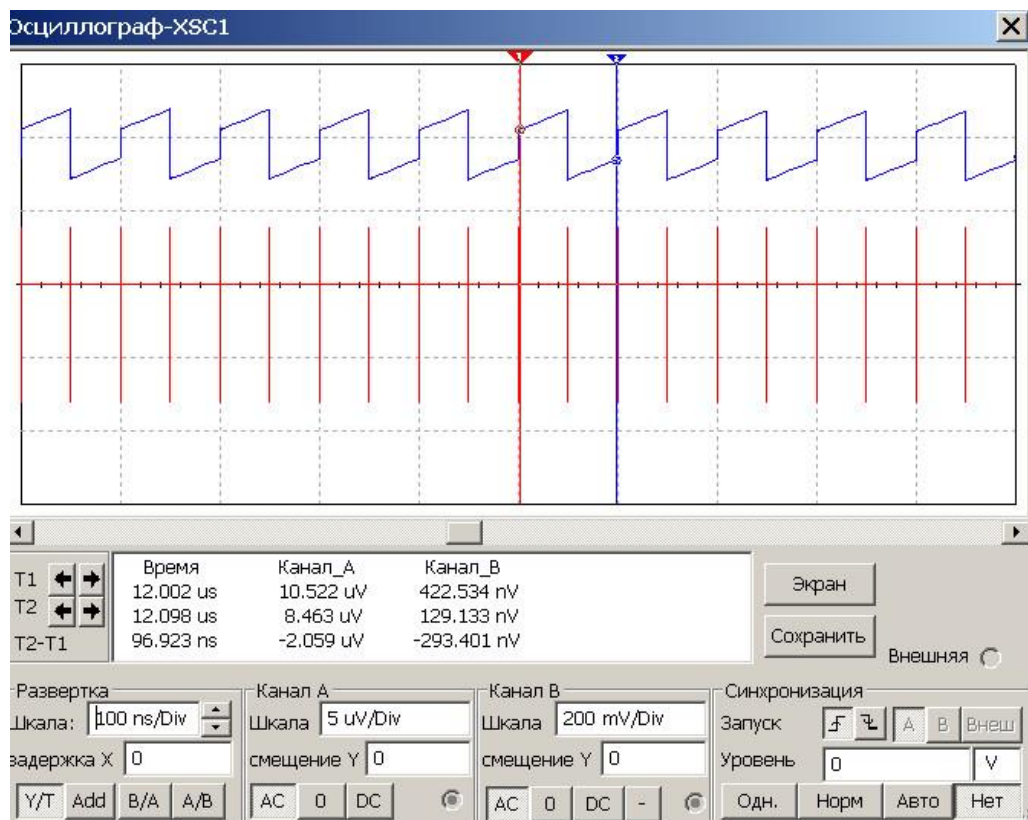


Рисунок 21 – Форми і параметри вхідного сигналу без шумової складової

Амплітудно частотна характеристика каскада показана на рисунку 22

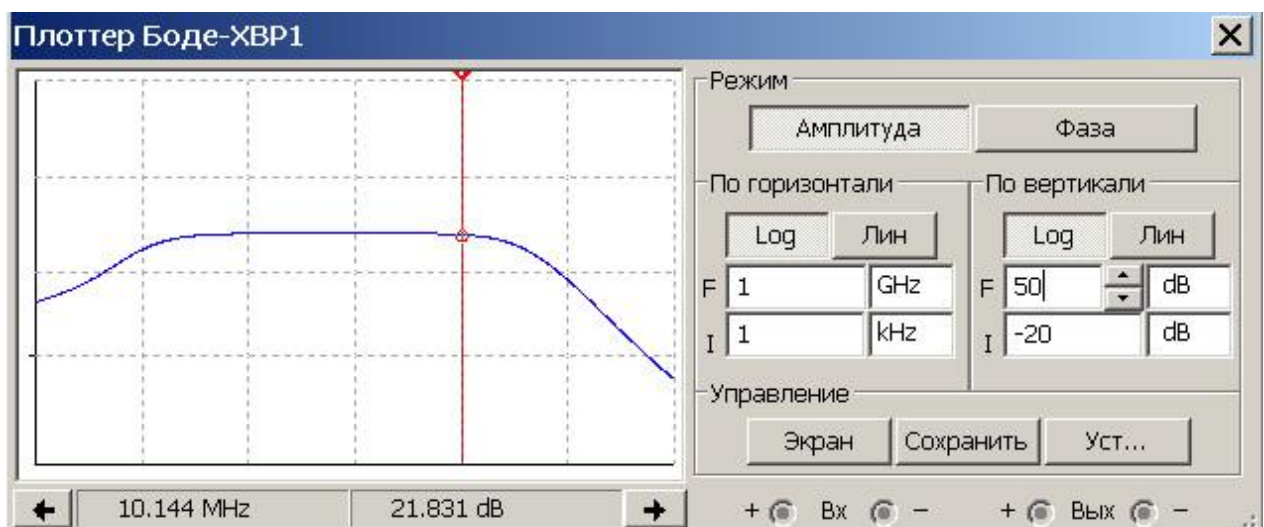


Рисунок 22 – АЧХ каскада на основі транзистору BF 998

Схема забезпечує коефіцієнт підсилення близько 22 dB у смузі частот від 10 кГц до 42 МГц по рівню -3dB/ при практично рівномірній фазочастотній характеристиці. ФЧХ каскаду показано на рисунку 23

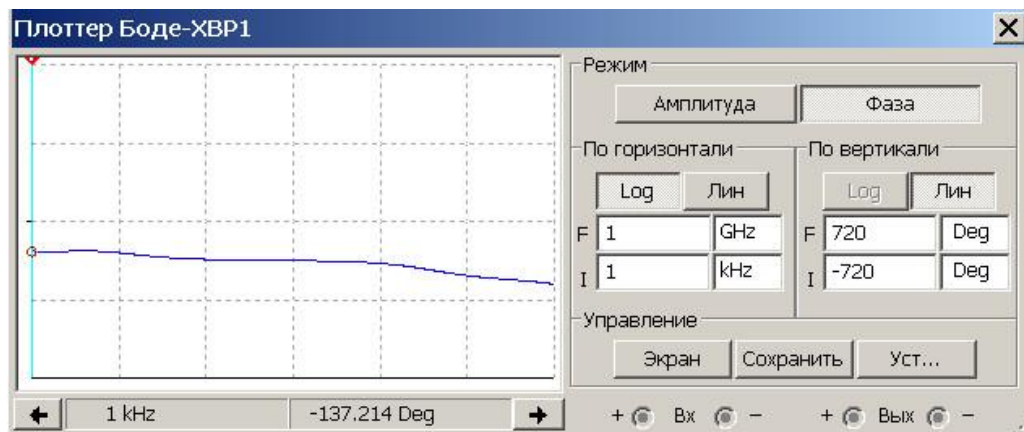


Рисунок 23 - ФЧХ каскаду на основі транзистору BF 998

Форма та параметри сигналу з шумовою складовою з вхідною амплітудою 1 мкВ частоті 10 МГц на навантаженні (R5) представлені на рисунку 24 . , та наведені у додатку Ж (08-36.МКР.002.00.000 Е5).

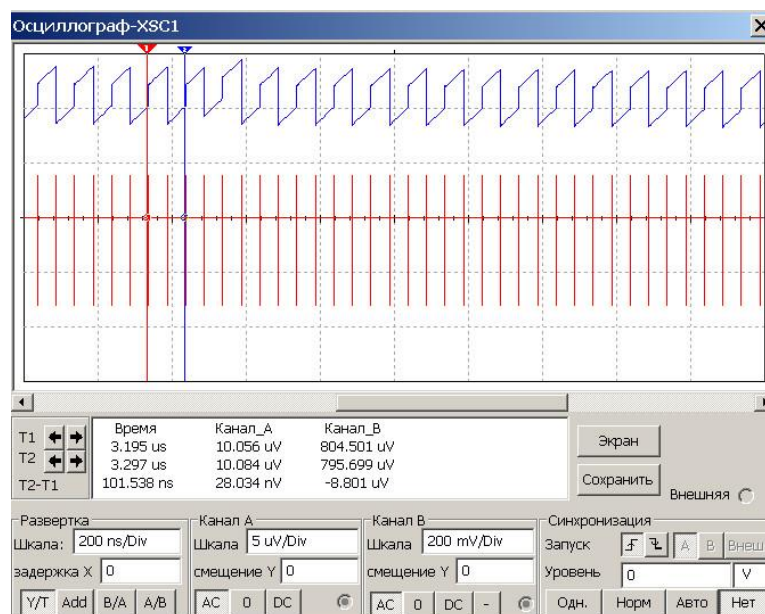


Рисунок 24 - Форми і параметри вхідного сигналу з шумовою складовою

Як бачимо вплив шумової скадової на заданих у технічному параметрах є незначним, це означає що пристрій має гарне відношення сигнал/шум та є рентабельним для використання і розробки.

4 КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ

4.1 Розробка конструкції друкованої плати

За матеріал для друкованої плати обираємо склотекстоліт фольгований двосторонній марки СФ-2-50-1,5, який має товщину фольги 50 мкм, товщина матеріалу з фольгою 1,5 мм. Він застосовується для виготовлення двосторонніх та односторонніх друкованих плат. При виборі типу друкованої плати для розроблювальної конструкції потрібно враховувати техніко-економічні показники. Даний прилад відносно не дуже складний за своєю конструкцією і складається з доступних радіоелементів. Виходячи із складності технологічного процесу, вибираємо двосторонню друковану плату, яка характеризується високими комутаційними якостями, підвищеною міцністю з'єднань виводу навісного елемента з рисунком плати. Для даного виробу, з огляду на ускладнене трасування та високу щільність монтажу (для мінімізації виробу), а також, враховуючи значні струми, що протікають по друкованим провідникам, оптимальним варіантом буде вибір 2-го класу точності друкованої плати (не вимагає використання високоякісних матеріалів, інструменту та обладнання).

Даний клас характеризується наступними елементами конструкції:

- а) ширина провідника в широких місцях _____ 0,45 мм;
- б) відстань між двома провідниками _____ 0,45 мм;
- в) гарантійний поясок зовнішнього шару _____ 0,2 мм;
- г) гарантійний поясок внутрішнього шару _____ 0,1 мм.

4.2 Розрахунок діаметрів контактних площадок

Діаметр контактних площадок розраховується відповідно до діаметру отворів за формулою:

$$\Delta D_{\text{к.п.}} = d_{\text{отв}} + \Delta d_{\text{в.в.}} + 2 \cdot b + \Delta t_{\text{в.в.}} + \sqrt{T_d^2 + T_D^2 + \Delta t_{\text{н.в.}}^2}, \quad (4.1)$$

де $d_{\text{отв}}$ – діаметр отвору:

$$d_{\text{отв}1} = 0,5 \text{ (мм)},$$

$$d_{\text{отв}2} = 0,6 \text{ (мм)};$$

$$d_{\text{отв}3} = 0,7 \text{ (мм)};$$

$$d_{\text{отв}4} = 0,8 \text{ (мм)}.$$

$\Delta d_{\text{в.в.}}$ – верхнє відхилення допуску на діаметр отвору, $\Delta d=0,1\text{мм}$;

b – ширина гарантійного пояса, $b = 0,2 \text{ мм}$;

$\Delta t_{\text{в.в.}}$ – верхнє граничне відхилення ширини провідника, $\Delta t_{\text{в.в.}} = 0,1 \text{ мм}$;

T_d – значення позиційного допуску розміщення 2-х будь-яких отворів на платі,

$$T_d = 0,15 \text{ мм};$$

T_D – значення позиційного допуску розміщення центрів контактних площадок,

$$T_D = 0,25 \text{ мм};$$

$\Delta t_{\text{н.в.}}$ – нижнє значення допуску на ширину провідника, $\Delta t_{\text{н.в.}} = 0,1 \text{ мм}$;

Визначаємо загальний допуск:

$$\Delta D_{\text{кп}} = 0,1 + 2 \cdot 0,2 + 0,1 + \sqrt{0,15^2 + 0,25^2 + 0,1^2} = 0,91 \text{ (мм)}. \quad (4.2)$$

Діаметри отворів розраховуються за формулою:

$$d = d_{\text{вив}} + (0,2...0,4), \quad (4.3)$$

де $d_{\text{вив}}$ – діаметри виводів радіоелементів.

В даному приладі елементи мають наступні діаметри виводів: (0,8; 0,7; 0,6; 0,5) мм. Здійснюємо оптимізацію діаметрів отворів:

$$d_1 = 0,8 + 0,3 = 1,1 \text{ (мм);}$$

$$d_2 = 0,7 + 0,2 = 0,9 \text{ (мм);}$$

$$d_3 = 0,6 + 0,3 = 0,9 \text{ (мм);}$$

$$d_4 = 0,5 + 0,4 = 0,9 \text{ (мм).}$$

Знаходимо діаметри контактних площадок:

$$D_1 = 0,9 + 0,9 = 1,8 \text{ (мм);}$$

$$D_2 = 1,1 + 0,9 = 2,0 \text{ (мм).}$$

4.3 Розрахунок ширини провідників та вібростійкості друкованої плати

Розрахунок ширини провідників проводиться за максимальним струмом і за падінням напруги, а також ширина задається і технічно, виходячи із класу точності друкованої плати. Тоді ширина провідника:

$$b = \max\{b_{\min I}, b_{\min \Delta U}, b_{\text{техн}}\}. \quad (4.4)$$

За максимальним струмом, що протікає через провідник:

$$b_{\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t}, \quad (4.5)$$

де $j_{\text{доп}}$ – допустима густина струму, для односторонньої плати, виготовленої комбінованим методом, $j_{\text{доп}} = 38 \text{ А/мм}^2$;

t – товщина провідника, $t = 50 \text{ мкм}$;

I_{\max} – максимальний постійний струм, який проходить через провідник, $I_{\max} = 0,75$ А.

$$b_{\min I} = \frac{0,75}{48 \cdot 0,050} = 0,394 \text{ мм} = 394 \text{ мкм} < 450 \text{ мкм}.$$

Визначимо мінімальну ширину провідника з умови допустимого падіння напруги :

$$b_{\min \Delta U} = \frac{\rho \cdot I_{\max} \cdot l}{t \cdot \Delta U_{\text{доп}}} \quad (4.6)$$

де ρ – питомий опір провідників, $\rho = 0,0175$ Ом·мм²/м;

l – максимальна довжина провідника, $l = 0,37$ м;

$\Delta U_{\text{доп}}$ – допустиме падіння напруги (становить не більше 5% від напруги живлення

$\Delta U_{\text{доп}} = 14 \cdot 0,05 = 0,7$ В).

$$b_{\min \Delta U} = \frac{0,0175 \cdot 0,37 \cdot 0,75}{0,05 \cdot 0,7} = 0,1387 \text{ мм} < 0,450 \text{ (мм)};$$

Розраховані значення ширини провідників не перевищують технологічне, тому:

$$b = b_{\text{техн.}} = 0,45 \text{ (мм)}.$$

4.4 Аналіз електромагнітної сумісності елементів друкованої плати

Для оцінки завадостійкості на друкованій платі визначають ємнісну та індуктивну складову паразитного зв'язку, які залежать від паразитної ємності між друкованими провідниками і паразитною взаємоіндукцією між ними.

Паразитна ємність між двома друкованими провідниками визначається за формулою:

$$C = C_{\text{пог}} \times l_1, \quad (4.7)$$

де $C_{\text{пог}}$ – погонна ємність між двома провідниками;

Для сусідніх провідників вона складає:

$$l_1 = 0,0315 \text{ (м)}$$

$$C_{\text{ног}} = 0,5 \text{ (нФ/см)}$$

$$C = 0,5 \times 3,15 = 1,575 \text{ (нФ)} < 5 \text{ (нФ)}$$

Індуктивність друкованого провідника визначається за формулою:

$$L = l_2 L_{\text{ног}}, \quad (4.8)$$

де l_2 – довжина провідника,

$$l_2 = 37 \text{ (см)}$$

$$L_{\text{ног}} = 0,018 \text{ (мкГн/см)}$$

$$L_{\text{ног}} = 37 \cdot 0,018 = 0,666 \text{ (мкГн)} < 5 \text{ (мкГн)}$$

Взаємна індукція між двома паралельними провідниками визначається за формулою:

$$M = 2l \left(\ln \frac{2l}{S+b} - 1 \right) \text{ [мкГн]} \quad (4.9)$$

де S – відстань між провідниками, $S = 0,00127 \text{ (м)}$

b – товщини провідників, $b = 0,00045 \text{ (м)}$.

$$l = 0,02 \text{ (м)}.$$

$$M = 2 \cdot 0,37 \left(\ln \frac{2 \cdot 0,37}{0,00127 + 0,00045} - 1 \right) = 3,75 \text{ (мкГн)} < 5 \text{ (мкГн)}$$

Як бачимо, паразитні зв'язки не перевищують допустимі значення. Також оскільки наш пристрій буде працювати в складських приміщеннях ми маємо розрахувати вібростійкість нашого пристрою

Спочатку визначаємо частоту власних коливань за формулою:

$$f_0 = \frac{\pi}{2 \cdot a^2} \cdot \left(1 + \frac{a^2}{b^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{D}{M} + a \cdot b}, \quad (4.10)$$

де a , b – довжина і ширина плати: $a = 100$ мм, $b = 92,5$ мм;

D – циліндрична жорсткість:

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)}, \quad (4.11)$$

де E – модуль пружності, для фольгованого склотекстоліту з друкованою схемою

$$E = 2,1 \cdot 10^{10} \text{ Н/м};$$

h – товщина плати, $h = 1,5$ мм;

ν – коефіцієнт Пуассона, $\nu = 0,22$;

M – маса плати з радіоелементами, $M = 90,9$ г.

$$D = \frac{2,1 \cdot 10^{10} \cdot (1,5 \cdot 10^{-3})^3}{12(1 - 0,22^2)} = 6,2;$$

Тоді:

$$f_0 = \frac{3,14}{2 \cdot (0,1)^2} \cdot \left(1 + \left(\frac{0,1}{0,0925}\right)^2\right) \cdot \sqrt{\frac{6,2}{0,0909} + 0,1 \cdot 0,0909} = 270,6 \text{ Гц}$$

$$f_0 \neq f$$

$$270,6 \text{ Гц} \neq 20 \text{ (Гц)}.$$

Отже, частота власних коливань не співпадає з резонансною частотою.

Визначаємо коефіцієнт динамічності:

$$K_{\text{дин}} = \frac{\sqrt{[1 + [K_1(x) \cdot K_1(y) - 1] \cdot \gamma^2]^2 + \gamma^2 \cdot \varepsilon^2}}{\sqrt{(1 - \gamma^2)^2 + \gamma^2 \cdot \varepsilon^2}}; \quad (4.12)$$

де $K(x)$, $K(y)$ – залежність коефіцієнта від коливань. Коли обидва краї закріплені $K(x) = K(y) = 1,3$;

γ – коефіцієнт розстроювання:

$$\gamma = \frac{f}{f_0}; \quad (4.13)$$

$$\gamma = \frac{20}{270,6} = 0,074.$$

ε – показник затухання:

$$\varepsilon = \lambda/\pi; \quad (4.14)$$

$$\varepsilon = \frac{0,06}{3,14} = 0,019.$$

λ – декремент затухання, $\lambda = (2 \dots 10) \times 10^{-2}$.

$$K_{\text{дин}} = \sqrt{\frac{(1 + [1,3 \cdot 1,3 - 1] \cdot 0,074^2)^2 + 0,019^2 \cdot 0,74^2}{(1 - 0,074^2)^2 + 2,58^2 \cdot 0,019^2}} = 1,17.$$

Віброміщення:

$$S_B = \xi_0 \cdot K_{\text{дин}} \quad (4.15)$$

де ξ_0 - амплітуда віброміщення основи:

$$\xi_0 = \frac{a_0}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2} \quad (4.16)$$

$a_0 = (0,25 \dots 4) \cdot g = 2,45 \dots 39,2 \text{ м/с}^2$ - прискорення залежно від умов експлуатації;

приймаємо максимальне значення $a_0 = 19,8 \text{ м/с}^2$.

$$\xi_0 = \frac{19,8}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 278,5^2} = 6,8 \cdot 10^{-6} \text{ мм};$$

$$S_B = 6,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,17 = 7,96 \cdot 10^{-6} \text{ (мм)}.$$

$$a_B = a_0 \cdot K_{\text{дин}} = 19,8 \cdot 1,17 = 23,16 \text{ (м/с)}^2.$$

$$\delta = S_B - \varepsilon_0 = 7,96 \cdot 10^{-6} - 6,8 \cdot 10^{-6} = 1,16 \cdot 10^{-6} \text{ (мм)}.$$

Визначаємо прогин плати:

$$\delta_{\text{пр}} = \delta_{\text{доп}} \cdot l, \quad (4.17)$$

де $\delta_{\text{доп}}$ - допустимий прогин друкованої плати на довжині 1м, $\delta_{\text{доп}} = 30 \text{ мм/м}$;

l - довжина плати, $l = 0,1 \text{ м}$.

$$\delta = 30 \cdot 0,1 = 3,0 \text{ (мм)}.$$

Розрахунок показує, що таке переміщення не призведе до дефектів порушення цілісності плати. Останнім параметром розрахунку параметрів друкованої плати стане розрахунок на дію удару. Ударні дії характеризуються формою і параметрами ударного імпульсу. Максимальну дію на механічну систему чинить імпульс прямокутної форми. Розрахунок на дію удару проводиться у такій послідовності:

- визначаємо умовну частоту ударного імпульсу

$$\omega = \pi / \tau \quad (4.18)$$

де τ - тривалість ударного імпульсу.

$$\omega = 3,14 / 0,5 = 6,28$$

- визначаємо коефіцієнт передачі при ударі для прямокутного імпульсу і для півсинусоїдного імпульсу.

$$K_y = 2 \sin \frac{\pi}{2\nu} \quad (4.19)$$

$$K_y = \frac{2\nu}{\nu^2 - 1} \cos \frac{\pi}{2\nu} \quad (4.20)$$

де ν - коефіцієнт розстроювання, $\nu = \omega / 2\pi f_0$; f_0 - частота власних коливань механічної системи.

$$\nu = 6,28 / (2\pi \cdot 270) = 0,0037 \quad (4.21)$$

$$K_{yII} = 2 \sin \frac{\pi}{2 \cdot 0,0037} = 1,8$$

$$K_{yC} = \frac{2 \cdot 0,0037}{0,0037^2 - 1} \cos \frac{\pi}{2 \cdot 0,0037} = -0,0032$$

Ударне прискорення визначається за формулою:

$$a_y = H_y \cdot K_y, \quad (4.22)$$

де H_y - амплітуда удару = 0,2.

$$a_{yII} = 0,2 \cdot 1,8 = 0,36$$

$$a_{yC} = 0,2 \cdot (-0,0032) = -0,00064$$

- визначаємо максимальне відносне зміщення для прямокутного імпульсу і для півсинусоїдного :

$$K_{\max} = \frac{2H_y}{2\pi f_0} \sin \frac{\pi}{2\nu} \quad (4.23)$$

$$K_{\max} = \frac{2H_y}{2\pi f_0} \cdot \frac{2\nu}{\nu^2 - 1} \cos \frac{\pi}{2\nu} \quad (4.24)$$

$$K_{\max II} = \frac{2 \cdot 0,2}{2\pi \cdot 270} \sin \frac{\pi}{2 \cdot 0,0037} = 2,12 \cdot 10^{-4} \text{ (мм)}$$

$$K_{\max C} = \frac{2 \cdot 0,2}{2\pi \cdot 270} \cdot \frac{2}{0,0037^2 - 1} \cos \frac{\pi}{2 \cdot 0,0037} = -2,04 \cdot 10^{-4} \text{ (мм)}$$

Перевіряємо виконання умов ударостійкості за такими критеріями:

- для друкованої плати повинна виконуватись умова $K_{\max} < \delta_{дон} \cdot l^2$, де $\delta_{дон}$ визначається згідно довідникових даних;

- для друкованої плати з радіоелементами $K_{\max} < 0,003b$, де b - розмір сторони плати, паралельно якій встановлені радіоелементи.

$$2,12 \cdot 10^{-4} < 30 \cdot 0,1^2 = 2,12 \cdot 10^{-4} < 0,3 \text{ - умова виконується}$$

$$2,12 \cdot 10^{-4} < 0,003 \cdot 0,1 = 2,12 \cdot 10^{-4} < 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ - умова виконується}$$

Отже, обидві умови на ударні дії виконуються. Креслення плати друкованої наведено в додатку Д (08-36.МДР.002.00.000 ПД)

4.5 Оцінка відношення сигнал шум у інфрачервоному трансмітері

Крім розрахунку параметрів друкованої плати критично важливо точно розрахувати всі можливі параметри фотодіодів, адже це один із найважливіших елементів у нашому пристрої. Для нашого фотоприймача ймовірність не зареєструвати на виході жодного сигнального імпульсу і післяімпульса дорівнюватиме $P(0)=1-\eta$ у разі попадання на нього одного фотона. Ймовірність реєстрації одного імпульсу $P(1)$ дорівнює добутку квантової ефективності реєстрації на ймовірність того, що післяімпульс не виникне ($P(1)=\eta(1-\alpha)$). Значення $P(2)$ відповідає добутку η на ймовірність утворення післяімпульса і на ймовірність того, що післяімпульс другого покоління не виникне, тобто ($P(2)=\eta\alpha(1-\alpha)$). Продовжуючи міркування, можна показати, що ймовірність реєстрації m -ого числа імпульсів складе $P(m)=\eta\alpha^{m-1}(1-\alpha)$. Тоді розподіл відліків вихідних імпульсів фотоприймача з післяімпульсами:

$$\begin{cases} P(0) = 1 - \eta, m = 0 \\ P(m) = \eta\alpha^{m-1}(1 - \alpha), m > 0. \end{cases} \quad (4.25)$$

Використовуючи вираз можна визначити середнє значення M і дисперсію D розподілу вихідних імпульсів фотоприймача:

$$M = \sum_{m=1}^{\infty} m\eta\alpha^{m-1}(1-\alpha) = \frac{\eta}{1-\alpha}, \quad (4.26)$$

$$D = \sum_{m=1}^{\infty} m^2\eta\alpha^{m-1}(1-\alpha) - \left(\frac{\eta}{1-\alpha}\right)^2 = \frac{\alpha\eta + \eta(1-\eta)}{1-\alpha^2} \quad (4.27)$$

Застосувавши ці формули визначимо середнє значення числа сигнальних імпульсів на виході фотоприймача $\langle N_c \rangle$ і їх дисперсію D_c , якщо на фотоприймач потрапляє середнє число фотонів $\langle N_\phi \rangle$ за час $T = \sum t_i$.

$$\langle N_c \rangle = \frac{\eta}{1-\alpha} \langle N_\phi \rangle, \quad (4.28)$$

$$D_c = \frac{\alpha\eta + \eta(1-\eta)}{1-\alpha^2} \langle N_\phi \rangle + \frac{\eta^2}{1-\alpha^2} D_\phi. \quad (4.29)$$

де D_ϕ — дисперсія середнього числа фотонів, які надходять на фотоприймач. Відзначимо, що при $\alpha = 0$ формула (5) перетворюється в формулу з дисперсійної теореми Бурже. У виразі перейдемо від $\langle N_\phi \rangle$ к $\langle N_c \rangle$:

$$D_c = \frac{\alpha + 1 - \eta}{1 - \alpha} \langle N_c \rangle + \frac{\eta^2}{1 - \alpha^2} D_\phi. \quad (4.30)$$

Відношення сигнал/шум ρ визначається за формулою

$$\rho = \frac{\eta N_{\phi}}{\sqrt{D_c + D_T}} \quad (4.31)$$

де D_T — дисперсія темнових імпульсів. Підставивши у вираз формули виведені раніше отримаємо

$$\rho = \frac{(1 - \alpha)N_c}{\sqrt{\frac{\alpha + 1 - \eta}{1 - \alpha} \langle N_c \rangle + \frac{\eta^2}{1 - \alpha^2} D_{\phi} + D_T}} \quad (4.32)$$

Отриманий вираз можна використовувати для визначення відношення сигнал/шум для фотоприймачів, які працюють в режимі рахунку фотонів. Воно дозволяє враховувати дисперсії фотонів оптичного випромінювання, що падає на фотоприймач, і темнових імпульсів і ймовірність утворення після імпульсів.

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Аналіз комерційного потенціалу розробки (технологічний аудит розробки) інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних.

5.1.1 Визначення рівня комерційного потенціалу розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних, створеної в результаті науково-технічної діяльності. В результаті оцінювання можна буде зробити висновок щодо напрямів (особливостей) організації подальшого її впровадження з врахуванням встановленого рейтингу.

Для проведення технологічного аудиту залучимо 3-х незалежних експертів. У нашому випадку такими експертами будуть керівник магістерської роботи та провідні викладачі випускової та споріднених кафедр.

Оцінювання комерційного потенціалу розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних будемо здійснювати за 12-ю критеріями згідно рекомендацій. Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних заносимо до таблиці 4

Таблиця 4 - Результати оцінювання комерційного успіху розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних

| Критерії | Експерти | | |
|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| | Д.Т.Н., професор Семенов А.О. | Д.Т.Н., професор Осадчук О.В. | К.Т.Н., доцент Гаврілов Д.В. |
| | Бали, виставлені експертами | | |
| 1 | 1 | 2 | 2 |

Продовження таблиці 4

| | | | |
|---------------------------------------|----|----|----|
| 2 | 2 | 3 | 2 |
| 3 | 3 | 4 | 3 |
| 4 | 2 | 3 | 3 |
| 5 | 1 | 2 | 1 |
| 6 | 2 | 3 | 3 |
| 7 | 3 | 4 | 3 |
| 8 | 2 | 3 | 2 |
| 9 | 1 | 2 | 2 |
| 10 | 2 | 2 | 2 |
| 11 | 3 | 2 | 3 |
| 12 | 1 | 2 | 1 |
| Сума балів | 23 | 32 | 27 |
| Середньоарифметична сума балів, СБ | 27 | | |

За даними таблиці 4 робимо висновок щодо рівня комерційного потенціалу розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних. При цьому користуємося рекомендаціями, наведеними в таблиці 5

Таблиця 5 – Рівні комерційного потенціалу розробки

| | |
|---|---|
| Середньоарифметична сума балів, розрахована на основі висновків експертів | Рівень комерційного потенціалу розробки |
| 0 – 10 | Низький |
| 11 – 20 | Нижче середнього |
| 21 – 30 | Середній |

Продовження таблиці 5

| | |
|---------|-----------------|
| 31 – 40 | Вище середнього |
| 41 – 50 | Високий |

Таким чином, робимо висновок, щодо рівня комерційного потенціалу нашої розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних – середній.

5.1.2. Визначення рівня якості розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних

Оцінювання рівня якості розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних проводиться з метою порівняльного аналізу і визначення найбільш ефективного, з технічної точки зору, варіанта інженерного рішення.

Рівень якості – це кількісна характеристика міри придатності певного виду продукції для задоволення конкретного попиту на неї при порівнянні з відповідними базовими показниками за фіксованих умов споживання.

Абсолютний рівень якості розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних знаходимо обчисленням вибраних для її вимірювання показників, не порівнюючи їх із відповідними показниками аналогічних виробів. Для цього необхідно визначити зміст основних функцій, які повинні реалізовувати розробка, вимоги замовника до неї, а також умови, які характеризують експлуатацію, визначають основні параметри, які будуть використані для розрахунку коефіцієнта технічного рівня виробу. Система параметрів, прийнята до розрахунків, повинна достатньо повно характеризувати споживчі властивості інноваційного товару (його призначення, надійність, економічне використання ресурсів, стандартизація тощо).

Далі визначаємо величину параметрів якості в балах та встановлюємо граничні його значення (кращі, гірші, середні). Всі ці дані для кожного параметра заносимо в таблицю 6

Таблиця 6 – Основні параметри інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних

| Параметри | Абсолютне значення параметра | | | Коефіцієнт вагомості параметра |
|--|------------------------------|---------------|------------------|--------------------------------|
| | Краще +5...+4 | Середнє +3 | Гірше +1...+2 | |
| Точність вимірювання оптичної потужності | 4 | | | 0,1 |
| Кількість вимірювальних каналів | | | 2 | 0,1 |
| Діапазон вимірювання | | 3 | | 0,7 |
| Відносна похибка | | 3 | | 0,1 |

Із врахуванням коефіцієнтів вагомості відповідних параметрів можна визначити абсолютний рівень якості інноваційного рішення за формулою:

$$K_{я.а.} = \sum_{i=1}^n R_{ni} \cdot a_i \quad (5.1)$$

де R_{ni} – числове значення i -го параметра інноваційного рішення, n – кількість параметрів інноваційного рішення, що прийняті для оцінювання, a_i – коефіцієнт вагомості відповідного параметра (сума коефіцієнтів вагомості всіх параметрів повинна дорівнювати 1).

Отже, абсолютний рівень якості інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних становитиме – 3 бали.

Одночасно визначаємо відносний рівень якості інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних, що виробляється (проектується), порівнюючи її

показники з абсолютними показниками якості найліпших вітчизняних та зарубіжних аналогів (товарів-конкурентів) (таблиця 7).

Таблиця 7 – Основні параметри інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних та товару-конкурента

| Параметри | Варіанти | | Відносний показник якості | Коефіцієнт вагомості параметра |
|--|---------------------|-------|---------------------------|--------------------------------|
| | Базовий (конкурент) | Новий | | |
| Точність вимірювання оптичної потужності | 2 | 4 | 2 | 0,1 |
| Кількість вимірювальних каналів | 2 | 2 | 1 | 0,1 |
| Діапазон вимірювання | 3 | 10 | 3,3 | 0,7 |
| Відносна похибка | 3 | 3 | 1 | 0,1 |

Відносний рівень якості інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних визначаємо за формулою:

$$K_{\text{я.в.}} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot a_i \quad (5.2)$$

За розрахунками відносний рівень якості інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних становитиме – 2,71. Це означає, що наша розробка краща за якістю на 171% від товару-аналога.

5.1.3 Визначення конкурентоспроможності розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних

У найширшому розумінні конкурентоспроможність товару – це можливість його успішного продажу на певному ринку і в певний проміжок часу. Водночас конкурентоспроможною можна вважати лише однорідну продукцію з технічними параметрами і техніко-економічними показниками, що ідентичні аналогічним показникам уже проданого товару. Для того, щоб високоякісний товар був одночасно і конкурентоспроможним, він має відповідати критеріям оцінювання споживачів конкретного ринку в конкретний час.

Дані для розрахунку загального показника конкурентоспроможності розробки необхідно занести до таблиці 8

Таблиця 8 – Нормативні, технічні та економічні параметри інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних і товару-конкурента

| Параметри | Варіанти | | Відносний показник якості | Коефіцієнт вагомості параметра |
|--|---------------------|-------|---------------------------|--------------------------------|
| | Базовий (конкурент) | Новий | | |
| Точність вимірювання оптичної потужності | 2 | 4 | 2 | 0,1 |
| Кількість вимірювальних каналів | 2 | 2 | 1 | 0,1 |
| Діапазон вимірювання | 3 | 10 | 3,3 | 0,7 |
| Відносна похибка | 3 | 3 | 1 | 0,1 |
| Ціна за продукт, тис. грн. | 10000 | 7000 | 0,7 | - |

Загальний показник конкурентоспроможності розробки (К) з урахуванням вищезазначених груп показників визначаємо за формулою:

$$K = \frac{I_{т. п.}}{I_{е. п.}} = \frac{2,71}{0,7} = 3,9$$

де $I_{т. п.}$ – індекс технічних параметрів (відносний рівень якості інноваційного рішення); $I_{е. п.}$ – індекс економічних параметрів.

$$I_{е. п.} = \frac{P_{Hei}}{P_{Bei}} = \frac{7000}{10000} = 0,7$$

де P_{Hei} , P_{Bei} – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

Згідно розрахунків загальний показник конкурентоспроможності – 3,9. Це означає, що наша розробка інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних більш конкурентна майже в чотири рази від товару-аналога.

5.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної, дослідно-конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи

5.2.1 Розрахунок витрат, що стосуються виконавців розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних

Основна заробітна плата кожного із розробників (дослідників) Z_0 , якщо вони працюють в наукових установах бюджетної сфери:

$$Z_0 = \frac{M}{T_p} \cdot t \quad (5.3)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн.

У 2019 році величини окладів (разом з встановленими доплатами і надбавками) рекомендується брати в межах (5000...10000) грн. за місяць; T_p – число робочих днів в місяці; приблизно $T_p = (21...23)$ дні; t – число робочих днів роботи розробника (дослідника). Зроблені розрахунки зводимо до таблиці 9.

Таблиця 9 – Заробітна плата розробників

| Посада | Місячний посадовий оклад, грн. | Оплата за робочий день, грн. | Число днів роботи | Витрати на заробітну плату, грн. |
|--------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| Керівник | 9000 | 410 | 5 | 2050 |
| Інженер-програміст | 7000 | 318 | 5 | 1590 |
| Консультанти | 4200 | 191 | 5 | 955 |
| Всього: | | | | 4595 |

Основна заробітна плата робітників Z_p , якщо вони беруть участь у виконанні даного етапу роботи і виконують роботи за робочими професіями у випадку, коли вони працюють в наукових установах бюджетної сфери, розраховується за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n t_i \cdot C_i \quad (5.4)$$

де t_i – норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин; n – число робіт по видах та розрядах; C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує дану роботу. C_i визначається за формулою:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i}{T_r \cdot T_{zm}} \quad (5.5)$$

де M_m – розмір мінімальної заробітної плати за місяць, грн.; в 2019 році мінімальна заробітна плата становить – 4173 грн., K_i – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду, T_r – число робочих днів в місяці; приблизно $T_r = 21 \dots 23$ дні; T_{zm} – тривалість зміни, зазвичай $T_{zm} = 8$ годин.

Величина чинних тарифних коефіцієнтів робітників відповідних розрядів для бюджетної сфери наведена в таблиці 10. Заробітна плата та її розрахунок наведені в таблиці 11.

Таблиця 10 – Величина чинних тарифних коефіцієнтів робітників

| | | | | | | | | |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Розряд | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| K_i | 1,00 | 1,09 | 1,18 | 1,27 | 1,36 | 1,45 | 1,54 | 1,64 |

Таблиця 11 – Заробітна плата робітників

| Найменування робіт | Трудомісткість, н-год. | Розряд роботи | Погодинна тарифна ставка | Тариф. коэф. | Величи- на, грн. |
|-----------------------|---------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------|
| Налагоджувальні | 3 | 4 | 30 | 1,27 | 90 |
| Складальні | 2 | 4 | 30 | 1,27 | 60 |
| Механічні | 1 | 3 | 28 | 1,18 | 28 |
| Заготівельні | 4 | 2 | 26 | 1,09 | 104 |
| Всього | | | | | 252 |

Додаткова заробітна плата Зд всіх розробників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховується як (10...12)% від суми основної заробітної плати всіх розробників та робітників, тобто:

$$Зд = 0,1 \cdot (Зр + Зо) = 0,1 \cdot (4595 + 252) = 484,7 \text{ (грн)}.$$

Нарахування на заробітну плату Нзп розробників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

де Зо – основна заробітна плата розробників, грн.; Зр – основна заробітна плата робітників, грн.; Зд – додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.; β – ставка єдиного внеску на загальнообов’язкове державне соціальне страхування, % (приймаємо для 1-го класу професійності ризику 22%).

$$Нзп = 0,22 \cdot (Зр + Зо + Зд) = 0,22 \cdot (4595 + 252 + 484,7) = 1173 \text{ (грн)}.$$

Амортизація обладнання, комп’ютерів та приміщень А, які використовувались під час (чи для) виконання даного етапу роботи.

Дані відрахування розраховують по кожному виду обладнання, приміщенням тощо. У спрощеному вигляді амортизаційні відрахування А в цілому бути розраховані за формулою:

$$А = \frac{Ц \cdot На}{100} \cdot \frac{T}{12}, \quad (5.6)$$

де Ц – загальна балансова вартість всього обладнання, комп’ютерів, приміщень тощо, що використовувались для виконання даного етапу роботи, грн.; На – річна норма амортизаційних відрахувань. Для нашого випадку можна прийняти, що На = (10...25)%; Т – термін, використання обладнання, приміщень тощо, місяці.

Таблиця 12 - Амортизаційні відрахування

| Найменування | Ціна, грн. | Норма амортизації, % | Термін використання, м. | Сума амортизації |
|--------------------------|---------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------|
| ПК + панель оператора | 6000 | 20 | 3 | 300 |
| ПЛК | 8000 | 20 | 2 | 267 |
| Інше обладнання | 10000 | 10 | 1 | 83 |
| Всього | 650 | | | |

Витрати на матеріали M , що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$M = \sum_1^n N_i \cdot C_i \cdot K_i, \text{ (грн)}, \quad (5.7)$$

де N_i – кількість матеріалу i -го виду, шт.; C_i – ціна матеріалу i -го виду, грн.; K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1, 1 \dots 1, 15)$; n – кількість видів матеріалів.

Таблиця 13 - Матеріали, що використані на розробку

| Найменування матеріалу | Ціна за одиницю, грн. | Витрачено | Вартість, грн. |
|---------------------------|-----------------------------|-----------|----------------|
| Флюс ФКСН | 4 | 0,05 | 2 |
| Каніфоль | 11 | 0,3 | 3,3 |
| Припій ПОС-61 | 500 | 0,1 | 50 |

Продовження таблиці 13

| | |
|---|----|
| Всього, з урахуванням коефіцієнта транспортних витрат | 61 |
|---|----|

Витрати на комплектуючі К, що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$K = \sum_1^n N_i \cdot C_i \cdot K_i \text{ (грн)}, \quad (5.8)$$

де N_i – кількість комплектуючих i -го виду, шт.; C_i – ціна комплектуючих i -го виду, грн.; K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1,1 \dots 1,15)$; n – кількість видів комплектуючих.

Таблиця 14 - Комплектуючі, що використані на розробку

| Найменування матеріалу | Ціна за одиницю, грн. | Витрачено | Вартість, грн. |
|---------------------------|-----------------------------|-----------|----------------|
| Мікросхеми | 400 | 3 | 1200 |
| Фотодіод | 30 | 4 | 120 |
| Світлодіод | 30 | 3 | 90 |
| Транзистори | 100 | 3 | 300 |
| Корпус | 200 | 1 | 200 |
| Тумблер | 15 | 1 | 15 |
| Діоди | 25 | 5 | 125 |
| Панель оператора | 2000 | 1 | 2000 |
| Резистор | 20 | 6 | 120 |

Продовження таблиці 14

| | | | |
|---|------|----|-----|
| Конденсатори | 70 | 14 | 980 |
| Джерело напруги | 100 | 1 | 100 |
| Трансформатор | 45 | 1 | 45 |
| Всього, з урахуванням коефіцієнта транспортних витрат | 5825 | | |

Витрати на силову електроенергію V_e , якщо ця стаття має суттєве значення для виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$V_e = V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_p \text{ (грн)}, \quad (5.9)$$

V – вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2019 р. $V \approx 8,45$ грн./кВт; P – установлена потужність обладнання, кВт; Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин, K_p – коефіцієнт використання потужності; $K_p < 1$.

Потужність обладнання складає – 0,5 кВт.

Кількість годин роботи складає – 700 годин.

Коефіцієнт викор. потужності -0,9.

$V_e=2662$ грн.

Інші витрати V_{in} охоплюють: витрати на управління організацією, оплата службових відряджень, витрати на утримання, ремонт та експлуатацію основних засобів, витрати на опалення, освітлення, водопостачання, охорону праці тощо.

Інші витрати I_v можна прийняти як (100...300)% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які були виконували дану роботу, тобто:

$$I_v = 1 \cdot (Z_o + Z_p) = 1 \cdot (4595 + 252) = 4847 \text{ (грн)}.$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає витрати на виконання даної частини (розділу, етапу) роботи – В.

$$B = 20549 \text{ (грн)}.$$

5.3 Розрахунок загальних витрат на розробку інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних

Загальна вартість всієї наукової роботи визначається за Взг формулою:

$$\text{Взг} = \frac{I_B}{\alpha} = \frac{4847}{0,6} = 8078 \text{ (грн)}$$

де α – частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даного етапу роботи, у відн. одиницях.

5.4 Прогнозування витрат на виконання та впровадження інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних

Прогнозування загальних витрат ЗВ на виконання та впровадження інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних здійснюється за формулою:

$$\text{ЗВ} = \frac{\text{Взг}}{\beta} = \frac{8078}{0,5} = 16157 \text{ (грн)}$$

де β – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної роботи.

Так, якщо розробка знаходиться: на стадії науково-дослідних робіт, то $\beta \approx 0,1$; на стадії технічного проектування, то $\beta \approx 0,2$; на стадії розробки конструкторської документації, то $\beta \approx 0,3$; на стадії розробки технологій, то $\beta \approx 0,4$; на стадії розробки

дослідного зразка, то $\beta \approx 0,5$; на стадії розробки промислового зразка, $\beta \approx 0,7$; на стадії впровадження, то $\beta \approx 0,9$.

5.5. Прогнозування комерційних ефектів від реалізації інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних

З метою прогнозування комерційних ефектів від реалізації інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних складемо таблицю вихідних показників, за рахунок яких і відбудуватиметься отримання комерційного ефекту.

Таблиця 15 – Вихідні дані для прогнозування комерційного ефекту від реалізації інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних

| Рік реалізації розробки | 1 | 2 | 3 |
|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Кількість од. реалізації, шт. | 100 | 300 | 500 |

Величина зростання ціни реалізації інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних, грн. – 3000 грн.

Кількість продукції, що випускалась до впровадження інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних – 350 шт.

Збільшення чистого прибутку підприємства Π_i для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, розраховується за формулою:

$$\Delta \Pi_i = \sum_1^n (\Delta \text{Ц}0 \cdot N + \text{Ц}0 \cdot \Delta N)_i \cdot \rho \cdot \gamma \cdot \left(1 - \frac{v}{100}\right) \quad (5.10)$$

де $\Delta\Pi_0$ – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Зазвичай таким показником може бути ціна одиниці нової розробки; N – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки; ΔN – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки; Π_0 – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки; n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки; λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. У 2018 р. ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт – 0,8333. З 2014 року ставка податку на додану вартість встановлена на рівні 17%, а коефіцієнт – 0,8547; ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати – 0,2...0,3; v – ставка податку на прибуток. У 2018 році – 21%, у 2013 році – 19%, а з 2014 року – 16%.

Збільшення чистого прибутку підприємства Π_1 протягом першого року складе:
 $\Delta\Pi_1=18139$ грн.

Збільшення чистого прибутку підприємства Π_1 протягом другого року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе:

$\Delta\Pi_2= 106690$ грн.

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом третього року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе:

$\Delta\Pi_3=108797$ грн.

5.6. Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності

5.6.1 Визначення абсолютної ефективності вкладених інвестицій у розробку інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних

Для цього користуються формулою:

$$E_{абс} = (ПП - PV) \quad (5.11)$$

де ПП – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство (організація) від реалізації результатів наукової розробки, грн.; PV – теперішня вартість інвестицій $PV = 3B$, грн.

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків ПП розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t} \quad (5.12)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, грн.; t – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, роки; τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1; t – період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки „0”.

$$ПП = 191920 \text{ (грн)},$$

$$E_{абс} = 191920 - 16157 = 175763 \text{ (грн)}.$$

Оскільки $E_{абс} > 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, але це також ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлений у фінансуванні розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних.

5.6.2 Розрахунок відносної ефективності вкладених коштів в НДДКР інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних

Для цього користуються формулою:

$$E_B = \sqrt[T]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 \quad (5.13)$$

де $E_{абс}$ – абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн.; PV – теперішня вартість інвестицій $PV = 3B$, грн.; $T_{ж}$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_B = 1,2$$

Далі, розрахована величина E_B порівнюється з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування, що дорівнює:

$$\tau = d + f \quad (5.14)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2018 році в Україні $d = (0,14 \dots 0,2)$; f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05 \dots 0,1)$, але може бути і значно більше.

$$E_B = 1,2 \geq \tau = 0,2 + 0,1 = 0,3.$$

Оскільки величина $E_B > \tau_{мін}$, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

5.6.3 Розрахунок терміну окупності коштів, вкладених в наукову розробку інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій $T_{ок}$ можна розрахувати за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_B} = \frac{1}{1,2} = 0,83 \text{ (роки)}$$

Оскільки $T_{ок} < 3 \dots 5$ -ти років, то фінансування даної наукової розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних є доцільним.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Завдання реалізації системи управління охороною праці – всестороння підтримка виконання вимог, що цілком усунуть, нейтралізують чи зменшують до нормованих значень вплив на працівників шкідливих і небезпечних факторів виробничого середовища, забезпечують безпечні санітарно-гігієнічні та ергономічні вимоги. У даному розділі наводиться аналіз небезпечних, шкідливих і уражаючих для людини і навколишнього довкілля чинників, що утворюються під час проведення розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних. Тут висвітлюються, зокрема, технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення коефіцієнта ефективності відбиваючого екрану при інфрачервоному випромінюванні, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки, безпека у надзвичайних ситуаціях.

Під час розробки даного пристрою на працюючих впливають ті чи інші небезпечні і шкідливі виробничі фактори (НШВФ) фізичної та психофізіологічної груп згідно [17]. Фізичні небезпечні і шкідливі виробничі фактори: підвищена або понижена температура повітря робочої зони, підвищений рівень шуму на робочому місці, підвищений рівень статичної електрики, недостатність або відсутність природного освітлення, недостатня освітленість робочої зони, пряма або відбита блискучість, підвищена яскравість світла. Психофізіологічні НШВФ: нервово-психічні перевантаження: розумове перенапруження, монотонність праці, перенапруження аналізаторів.

6.1 Гігієна праці та виробнича санітарія

6.1.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони

Вибираємо для приміщення, в якому проводяться роботи з розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних, категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Іб.

Згідно із [18] допустимі показники температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні для теплого та холодного періодів року наведені в таблиці 16

Таблиця 16 – Допустимі параметри мікроклімату в приміщенні

| Період року | Категорія робіт | Температура повітря, °С для робочих місць | | Відносна вологість повітря, % | Швидкість руху повітря, м/с |
|-------------|-----------------|---|-------------|-------------------------------|-----------------------------|
| | | постійних | непостійних | | |
| Холодний | Іб | 20-24 | 17-25 | 75 | ≤0,2 |
| Теплий | Іб | 21-28 | 19-30 | 60 при 27°С | 0,1-0,3 |

Перепад температури повітря вздовж висоти робочої зони для всіх категорій робіт допускається до 3°С. Для опромінення менше 25% поверхні тіла людини, нормована інтенсивність теплового опромінення складає 100 Вт/м².

Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК), що використовуються при проектуванні виробничих приміщень (будівель), обладнання, технологічних процесів, вентиляцій, для контролю за якістю виробничого середовища. ГДК шкідливих речовин, що утворюються в даному виробничому приміщенні наведено в таблиці 17

Таблиця 17 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони

| Назва речовини | Параметр | Значення | Клас небезпеки |
|--------------------------------------|---|----------|----------------|
| Пил нетоксичний | ГДК, мг/м ³ | 0,15 | 4 |
| Іони n ⁺ , n ⁻ | число іонів в 1 см ³ повітря | 50000 | – |

Продовження таблиці 18

| | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------|-----|---|----------|----------|-----|-----|-----|---|-----|
| Високої точності і | 0,3-0,5 | III | в | середній | середній | 750 | 200 | 300 | 2 | 1,2 |
|--------------------|---------|-----|---|----------|----------|-----|-----|-----|---|-----|

Так як приміщення розташоване в місті Вінниця (друга група забезпеченості природним світлом), а вікна орієнтовані за азимутом 90° , то за таких обставин КЕО розраховується за виразом

$$e_N = e_n m_N [\%] \quad (6.1)$$

де e_n – табличне значення КЕО, %;

m_N – коефіцієнт світлового клімату;

N – порядковий номер групи забезпеченості природним світлом.

Підставляючи відомі значення отримаємо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

$$e_{N,b} = 2 \cdot 0,85 = 1,7 (\%);$$

$$e_{N,c} = 1,2 \cdot 0,85 = 1,02 (\%).$$

Для забезпечення нормативних значень показників освітлення запропоновано такі заходи: за недостатнього природного освітлення у світлий час доби доповнення штучним за допомогою газорозрядних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення; застосування штучного освітлення в темний час доби.

6.1.3 Виробничі віброакустичні коливання

Зважаючи на те, що при використанні пристроїв крім усього іншого устаткування застосовується обладнання, робота якого генерує шум та вібрацію, потрібно передбачити шумовий та вібраційний захист.

Встановлено, що приміщення, де відбувається робота з розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних може мати робочі місця із шумом та вібрацією, який створюється електродвигунами вентиляційної системи.

З метою запобігання травмуванню працівників від дії шуму та вібрації вони підпадає під нормування. Головним документом з питань виробничого шуму, що діє на території України, є [20], згідно з яким нормовані рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні шуму на робочих місцях в виробничих приміщеннях не мають перевищувати значень, які приведені в таблиці 19.

Таблиця 19 – Нормовані рівні віброприскорення

| Гранично допустимі рівні віброприскорення, дБ, в октавних полосах з середньо-геометричними частотами, Гц | | | | | | Коректовані рівні віброприскорення, дБА |
|--|----|----|----|------|----|---|
| 2 | 4 | 8 | 16 | 31,5 | 63 | |
| 36 | 33 | 33 | 39 | 45 | 51 | 33 |

Для встановлення допустимих показників віброакустичних коливань в приміщенні передбачено такі заходи:

- 1) завчасне здійснення профілактичного ремонту;
- 2) застосування в конструкціях устаткування віброізоляції та акустичних екранів.

6.1.4 Виробничі випромінювання

Проведений аналіз умов праці показав, що приміщення, в якому проводиться робота з розробки може містити інфрачервоні випромінювання.

Згідно [21] допустима густина потоку інфрачервоних випромінювань не повинна перевищувати 350 Вт/м².

Для забезпечення допустимих показників інфрачервоних випромінювань в приміщенні передбачено такі заходи:

- 1) застосування захисту часом шляхом обмеженого перебування в зоні дії інфрачервоних випромінювань;
- 2) використання екранування джерел інфрачервоних випромінювань.

Визначимо кратність зниження температури випромінюючої поверхні $\mu = 1,5$, температура випромінюючої поверхні $T_1 = 400$ К, температура сприймаючої поверхні $T_2 = 290$ К.

Кратність послаблення теплового потоку відбиваючим екраном визначається за формулою:

$$m = \frac{1}{1 - \eta} \quad (6.2)$$

звідки

$$\eta = 1 - \frac{1}{m} \quad (6.3)$$

де η – коефіцієнт ефективності екрану.

Кратність зниження температури випромінюючої поверхні визначається за формулою:

$$\mu = \sqrt{\frac{m}{1 + (1 + m)(T_2 / T_1)^4}}, \quad (6.4)$$

звідки

$$m = \frac{1 + (T_2 / T_1)^4}{1/\mu^2 - (T_2 / T_1)^4}, \quad (6.5)$$

де T_1 – температура випромінюючої поверхні, К;

T_2 – температура сприймаючої поверхні, К.

Після підстановки відомих значень у формули (6.5, 6.3) отримаємо:

$$m = \frac{1 + (290 / 400)^4}{1 / 1,5^2 - (290 / 400)^4} = 7,59;$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{7,59} = 0,87.$$

6.2 Технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних

6.2.1 Безпека щодо організації робочих місць

Конструкція робочого місця, взаємне розташування його елементів і його розміри мають відповідати антропометричним, психофізіологічним та фізіологічним характеристикам працівника, а також характеру праці [22].

Площа одного робочого місця повинна складати не менше 6,0 м², об'єм приміщення – не менше як 20 м³, висота – не менше 3,2 м [23].

Інтер'єр приміщень потрібно оздоблювати дифузно-віддзеркалювальними матеріалами з коефіцієнтом відбиття: стелі 0,7-0,8; стін 0,4-0,5; підлоги 0,2-0,3. Поверхня підлоги має бути гладкою, не слизькою, без вибоїн, мати антистатичні властивості, зручною для вологого прибирання. Не дозволяється використовувати під час оздоблення інтер'єру полімери, які забруднюють повітря шкідливими хімічними речовинами та сполуками.

6.2.2 Електробезпека

В середині приміщення, в якому здійснюється робота з розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних, особливу увагу потрібно надати запобіганню небезпеки ураження електричним струмом. У відповідності до [9] це приміщення відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою ураження

електричним струмом через наявність високої (понад 75 %) вологості. Через це безпека експлуатації електрообладнання повинна забезпечуватись комплексом заходів, що передбачають застосування ізоляції струмовідних частин, захисних блокувань, захисного заземлення та інше. [24].

6.2.3 Пожежна безпека

Відповідно до [25] приміщення, в якому проводиться робота з розробки інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних, відноситься до категорії пожежної небезпеки В. Дане приміщення відноситься до 2-го ступеня вогнестійкості, в якому приміщення знаходяться в будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів. Мінімальні межі вогнестійкості конструкцій приміщення, що розглядається наведені в таблиці 20

Таблиця 20 – Значення мінімальних меж вогнестійкості приміщення [26]

| Ступінь вогнестійкості будівлі | Стіни | | | | Колони | Східчасті майданчики | Плити та інші несучі конструкції | Елементи покриття | |
|--------------------------------|----------------------------|------------|-----------------|-------------|--------|----------------------|----------------------------------|-------------------|--------------|
| | Несучі та східчасті клітки | Самонесучі | Зовнішні несучі | Перегородки | | | | Плити, прогони | Балки, ферми |
| 2 | REI 120 | REI 60 | E 15 | EI 15 | R 120 | R 60 | REI 45 | REI 15 | R 30 |
| | M0 | M0 | M0 | M0 | M0 | M0 | M0 | M0 | M0 |

Примітка. R – втрати несучої здатності; E – втрати цілісності; I – втрати теплоізолювальної спроможності; M – показник здатності будівельної конструкції поширювати вогонь (межа поширення вогню); M0 – межа поширення вогню дорівнює 0 см; M1 – $M \leq 25$ см – для горизонтальних конструкцій; $M \leq 40$ см – для

вертикальних і похилих конструкцій; $M_2 - M > 25$ см – для горизонтальних конструкцій; $M > 40$ см – для вертикальних і похилих конструкцій, нн – не нормується.

В таблиці 21 наведено протипожежні норми проектування будівель і споруд.

Таблиця 21 – Протипожежні норми проектування будівель і споруд [27]

| Об'єм приміщення, тис. м ³ | Категорія пожежної небезпеки | Ступінь вогнестійкості | Відстань, м, для щільності людського потоку в загальному | | | Кількість людей на 1 м | Відстань між будівлями та спорудами, м, для | | | Найбільша кількість поверхів | Площа поверху в межах пожежного відсіку, м ² , для кількості поверхів | | |
|---------------------------------------|------------------------------|------------------------|--|-----|-----|------------------------|---|-----|-------|------------------------------|--|------|------------|
| | | | до 1 | 2-3 | 4-5 | | I, II | III | IV, V | | 1 | 2 | 3 і більше |
| до 15 | В | 2 | 10 | 60 | 40 | 110 | 9 | 9 | 12 | 8 | н.о. | н.о. | н.о. |

Примітки: н.о. – не обмежується, н.н. – не нормується.

Вибираємо, що приміщення, в якому проводиться робота з розробки, має бути оснащено двома вогнегасниками, пожежним щитом, ємністю з піском [28].

6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи інфрачервоного трансмітера в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.

Забезпечення стійкості роботи телекомунікаційних систем і мереж у НС базується на комплексі організаційних, інженерно-технічних заходів і засобів,

спрямованих на збереження працездатності в умовах дії загрозливих чинників. Для цього необхідно: прогнозувати та оцінити можливі наслідки; заздалегідь спланувати заходи із запобігання та зменшення вірогідності виникнення НС і скорочення масштабів прояву результатів НС; організація робіт в умовах НС та ліквідація її наслідків.

Матеріали, які використовуються в електронних елементах (метали, неорганічні матеріали, напівпровідники, діелектрики, смоли та різні органічні сполуки), з яких виготовляється інфрачервоний трансмітер по різному реагують на іонізуючі випромінювання. Найбільш чутливі до радіації метали, оскільки їм властива висока концентрація вільних носіїв.

Електромагнітні імпульси діють на роботу системи, викликаючи в ній оборотні і необоротні зміни. Електромагнітний імпульс являє собою велику небезпеку для електронної апаратури будь-якого типу. Слід пам'ятати про те, що захист апаратури від механічних пошкоджень не захищає від дії електромагнітного імпульсу. Апаратура, виконана на напівпровідникових і інтегральних схемах, що працюють на малих струмах і напругах особливо нестійка до ЕМІ. Це відбувається тому, що така апаратура схильна до впливу зовнішніх полів. ЕМІ пробиває ізоляцію, випалює елементи електросхем радіоапаратури, викликає коротке замикання в радіо пристроях, іонізацію діелектриків.

Безвідмовність інфрачервоного трансмітеру зв'язку – це властивість зберігати працездатність при її використанні в процесі передачі даних. Поряд з цим поява відмов інфрачервоного трансмітеру пов'язана з тим, що в деякі моменти часу роботи може виникнути відмова деяких елементів системи обмеженого доступу в наслідок порушення дієздатності апаратної частини системи зв'язку. Дані порушення можуть виникнути при нестійкому живленні, що виникає в наслідок дії електромагнітного імпульсу, іонізуючого випромінювання та інших факторів надзвичайних ситуацій.

Як наслідок, телекомунікаційна система може бути використана у якості системи збору інформації для швидкого прийняття рішень у НС, тому необхідно

дослідити вплив загрозливих чинників на роботу та розробити заходи, які сприятимуть підвищенню стійкості її роботи.

6.3.1 Дослідження стійкості роботи інфрачервоного трансмітера в умовах дії іонізуючих випромінювань

Мережа передачі даних поєднує програмну та апаратну частину засобів зв'язку, тому загрозливі чинники є досить різноманітними. Загрозливі чинники, що впливають на безпеку роботи інфрачервоного трансмітеру здебільшого можна віднести до чинників техногенного та воєнного характеру.

Визначаємо граничні значення дози опромінення $D_{\text{грi}}$, для елементної бази елементів системи, при яких виникають незворотні зміни. Отримані дані заносимо в таблицю 29.

Таблиця 29 – Граничні значення експозиційних доз приймача.

| № | Блоки мережі | Елементи РЕА | $D_{\text{звi}}, P$ | $D_{\text{гр}}, P$ |
|---|-----------------------|--------------|---------------------|--------------------|
| 1 | Живлення | Мікросхеми | 10^5 | 10^4 |
| | | Діоди | 10^4 | |
| 2 | Приймач- передавач | Конденсатори | 10^7 | |
| | | Резистори | 10^7 | |

Проаналізувавши дані таблиці 29, визначили, що самим уразливим елементом блоків інфрачервоного трансмітеру з мінімальною дозою $D_{\text{грi}} = 10^4 P$ є такі як транзистори та діоди. Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою:

$$D_{\text{м}} = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_{\text{k}}} - \sqrt{t_{\text{п}}})}{K_{\text{осл}}}, \quad (6.6)$$

де P_1 – максимальне значення рівня радіації (6,81 Р/год);

t_k – час кінця опромінення ($t_k=40000$ год);

t_{II} – час початку опромінення (1 год);

$K_{осл}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{осл}=1$).

$$D_M = \frac{2 \cdot 6,81 \cdot (\sqrt{40000} - \sqrt{1})}{1} = 2710,38 \text{ (Р)}.$$

Оскільки $D_{грI} > D_M$, то дана система стійка до дії радіації. Визначимо допустимий час роботи інфрачервоного трансмітеру в заданих умовах за формулою:

$$t_d = \frac{D_{гр} \cdot K_{осл} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1} \quad (6.7)$$

$$t_d = \left(\frac{10^4 \cdot 1 + 2 \cdot 6,81 \sqrt{1}}{2 \cdot 6,81} \right)^2 = 540540 \text{ (год)}.$$

Отже, можлива доза опромінення елементної бази $D_M=2710,38$ Р, а допустима - 10^4 Р. Отже, телекомунікаційна система буде стійкою в умовах дії іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи інфрачервоного трансмітеру в заданих умовах становить 540540 год., при рівні радіації 6,81 Р/год.

6.3.2 Дослідження стійкості роботи інфрачервоного трансмітера в умовах дії електромагнітного імпульсу

Початкові дані: $E_B=12,94$ кВ/м, $U_{ж}=220$ В; 5В.

Дослідження стійкості роботи інфрачервоного трансмітера ведеться в послідовності:

1. Визначається горизонтальна складова напруженості електричного поля

$$E_{\Gamma} = 10^{-3} \cdot E_B = 10^{-3} \cdot 12,94 \cdot 10^3 = 12,94 \text{ (В/м)} \quad (6.8)$$

2. Телекомунікаційна система розподіляється на окремі функціональні ділянки. На кожній ділянці визначається максимальна довжина струмопровідних частин.

На ділянці мережі живлення максимальна довжина вертикальної і горизонтальної струмопровідної частини $l_{в.ж}=0,13$ м, $l_{г.ж} = 0,11$ м. На ділянці приймача-передавача $l_{в.м}=0,017$ м, $l_{г.м}=0,021$ м.

3. Для кожної ділянки визначаються наведені напруги у струмопровідних частинах.

На ділянці мережі живлення:

$$U_{в.ж}=E_{\Gamma} \cdot l_{в.ж}=12,94 \cdot 0,13=1,68 \text{ (В)};$$

$$U_{г.ж}= E_B \cdot l_{г.ж}=12,94 \cdot 10^3 \cdot 0,11=1423,4 \text{ (В)}.$$

На ділянці приймача-передавача:

$$U_{в.м}=E_{\Gamma} \cdot l_{в.м}=12,94 \cdot 0,017=0,219 \text{ (В)};$$

$$U_{г.м}= E_B \cdot l_{г.м}=12,94 \cdot 10^3 \cdot 0,021=271,7 \text{ (В)}.$$

4. Визначається допустиме коливання напруги живлення

$$U_{д} = U_{ж} + \frac{U_{ж} \cdot N}{100} \text{ (В)}. \quad (6.9)$$

На ділянці мережі живлення:

$$U_{дж} = U_{ж} + \frac{U_{ж} \cdot N}{100} = 220 + \frac{220}{100} \cdot 5 = 231 \text{ (В)}.$$

На ділянці приймача-передавача:

$$U_{дм} = U_{м} + \frac{U_{м} \cdot N}{100} = 5 + \frac{5}{100} \cdot 5 = 5,2 \text{ (В)}.$$

5. Визначаються коефіцієнти безпеки

$$K_{БВ} = 20 \cdot \lg \frac{U_{Д}}{U_{В}}, K_{БГ} = 20 \cdot \lg \frac{U_{Д}}{U_{Г}}. \quad (6.10)$$

Для ділянки живлення:

$$K_{БВЖ} = 20 \cdot \lg \frac{U_{ДЖ}}{U_{ВЖ}} = 20 \cdot \lg \frac{231}{1,68} = 42,76 \geq 40 \text{ (дБ)};$$

$$K_{БГЖ} = 20 \cdot \lg \frac{U_{ДЖ}}{U_{ГЖ}} = 20 \cdot \lg \frac{231}{1423,4} = -15,91 \leq 40 \text{ (дБ)};$$

Для ділянки мікропроцесорного блоку:

$$K_{БВМ} = 20 \cdot \lg \frac{U_{ДМ}}{U_{ВМ}} = 20 \cdot \lg \frac{5,2}{0,219} = 27,50 \leq 40 \text{ (дБ)};$$

$$K_{БГМ} = 20 \cdot \lg \frac{U_{ДМ}}{U_{ГМ}} = 20 \cdot \lg \frac{5,2}{271,7} = -34,42 \leq 40 \text{ (дБ)}.$$

6. Результати розрахунків заносимо в таблицю 30

Таблиця 30 – Коефіцієнти безпеки блоків інфрачервоного трансмітера.

| Блок трансмітера | U _Д , В | E _В , В/м | E _Г , В/м | U _В , В | U _Г , В | K _{БВ} , дБ | K _{БГ} , дБ |
|-------------------|--------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| Живлення | 231 | 12940 | 12,94 | 1,68 | 1423,4 | 42,76 | -15,91 |
| Приймач-передавач | 5,2 | 12940 | 12,94 | 0,219 | 271,7 | 27,50 | -34,42 |

7. Дані таблиці аналізуємо і робимо висновки.

Коефіцієнти безпеки набагато менше 40 дБ, тому необхідно застосовувати екранування.

6.4. Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи інфрачервоного трансмітера в умовах надзвичайних ситуацій.

Тож задана інфрачервоний трансмітер є умовно стійким в умовах впливу іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи мережі в заданих умовах становить 540540 год., при рівні радіації 6,81 Р/год. Для додаткового захисту можна

застосувати підбір радіаційно стійкої елементної бази та перебування мережі в більш захищених приміщеннях.

Від впливу на систему ЕМІ необхідно застосувати додаткове екранування. Визначається перехідне гасіння енергії електричного поля екраном (A , дБ). Для сталевих екранів визначається за допомогою формули:

$$A = 5,2 \cdot t \cdot \sqrt{f} \text{ (дБ)} \quad (6.11)$$

де t - товщина стінки екрану, см;

f – частота $f=15000$ Гц.

Для ділянки живлення:

$$A_{ГЖ}=40-(-15,91)=55,91 \text{ (дБ)},$$

$$t = \frac{A_{ГЖ}}{5,2\sqrt{f}} = \frac{55,91}{5,2\sqrt{15000}} = 0,087 \text{ (см)}.$$

Для ділянки примача-передавача:

$$A_{ГМ}=40-(-34,42)=74,42 \text{ (дБ)},$$

$$t = \frac{A_{ГЖ}}{5,2\sqrt{f}} = \frac{74,42}{5,2\sqrt{15000}} = 0,11 \text{ (см)}.$$

Отже, в даному розділі нами були досліджені питання з охорони праці

Також в даному розділі нами була досліджена стійкість роботи інфрачервоного трансмітера в умовах дії іонізуючих випромінювань і електромагнітного імпульсу. Допустимий час роботи інфрачервоного трансмітера в заданих умовах становить 540540 год., при рівні радіації 6,81 Р/год. В умовах дії електромагнітного імпульсу коефіцієнт безпеки безпровідної інфрачервоного трансмітера для вертикальних струмопровідних частин на ділянці живлення мережі був більший за 40 дБ. В цьому випадку система стійка. Для горизонтальних струмопровідних частин на ділянці живлення і для приймача-передавача коефіцієнт безпеки був менший за 40 дБ. Після

застосування металевих екранів коефіцієнт безпеки став не менше 40 дБ, а тому пристрій є стійким до ЕМІ і може працювати без збоїв.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи можна зробити такі висновки. Враховуючи можливість оперативної інсталяції лінії додатковою перевагою є зменшення витрат на інсталяцію і підвищення завадостійкості до зовнішніх електромагнітних полів. Витрати на їх установку одноразові. В зв'язку з тим що лінії передачі даних оптичні, бездротові їх оперативна прокладка а також зміна конфігурації абонентів можуть бути виконані оперативно, в стислі терміни. Не вимагаючи додаткових затрат без істотного підвищення вартості, і термінів виконання проекту. Обмеження на роботу лінії накладаються тільки в приміщеннях з умовами сильної загазованості чи запиленості. При такому рівні платежів оптична лінія може повністю окупитися за один-два роки тільки на орендних платежах - не кажучи вже про інсталяційних витратах, що описано та доведено в економічній частині магістерської кваліфікаційної роботи

У вході данної роботи було проведено моделювання та розробка схеми пристрою передачі даних інфрачервоного діапазону на основі інтерфейсу RS 485. В результаті проведеного моделювання зроблено оцінку електричних параметрів каналу пристрою передачі даних інфрачервоного діапазону з яких можна зробити наступні висновки:

- Пристрій працездатний при напрузі живлення 12 В і враховуючі навантажувальну здатність RS 485 може житися безпосередньо від лінії порту
- Пристрій забезпечує передачу даних та повну гальванічну розв'язку на заданій в технічному завданні частоті і на відстанях співрозмірним типовому розміру цехового, складського або офісного приміщення.
- Пристрій має гарні шумостійкі властивості що підтверджується моделюванням та теоретичним доведенням відношення сигнал/шум у пристрої що дозволяє в окремих випадках застосовувати пристрої в атмосферних умовах.
- В розділі Охорона праці розглянуто питання, аналізу шкідливих та небезпечних виробничих факторів у виробничому приміщенні.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Журнал «Технології та засоби зв'язку», номер 5, 1999 г.
2. Журнал «Технології та засоби зв'язку», номер 6, 2000 г.
3. Журнал «Інформ», номер 18, 2001 г.
4. Журнал «Computerworld Росія», номер 21, 2000 г.
5. Журнал «Фотон-Експрес», номер 2, 2002 г.
6. Зуєв В.Є. Поширення видимі і інфрачервоних хвиль в атмосфері.-М .: 1997.
7. Зуєв В.Є. Прозорість атмосфери для видимих і інфрачервоних променей.-М .: +1996.
8. Миколаїв А.Ю. Розрахунок надійності роботи атмосферної оптичної лінії зв'язку. Інформ - Засоби зв'язку, 2001., 4 (17), с. 26-27.
9. Електронний журнал - Праці МАІ
10. Медвед Д.Б. Вплив погодних умов на бездротову оптичну зв'язок. Вісник зв'язку, 2001., 4, с. 154-157.
11. Журнал «Відкриті системи», номер 5, 1997 г.
12. Infrared Data Association Control Specification (Formerly IrBus). IrDA CIR (Control IR) Standard, <http://www.irda.org/>
13. Infrared Data Association Minimal Protocol Implementation (IrDA Lite), <http://www.irda.org/>
14. Infrared Data Association Serial Interface Physical Layer Specification, <http://www.irda.org/>
15. Журнал «Мережі», номер 5, 2001 г.
16. AD8561 Datasheet (PDF) - Analog Devices <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/48478/AD/AD8561.html>
17. ДСТУ 2293-99. Охорона праці. Терміни і визначення.
18. ПДК 4617-88. Общесоюзные санитарно-гигиенические и санитарно-противоэпидемические правила и нормы "Пределно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны".

19. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.
20. ДСН 3.3.6-037-99. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
21. ДСанПіН 3.3.6-096-2002. Санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів.
22. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
23. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
24. Порядок проведення атестації робочих місць за умовами праці (Затверджено постановою КМУ від 1 серпня 1992 року № 442).
24. ДБН В.1.1.7–2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
25. СНиП 2.09.02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.
26. СанПиН 5804-91. Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров.

Додаток А
(обов'язковий)
ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри РТ ВНТУ
д.т.н., професор
_____ О.В.Осадчук
«__» _____ 2019 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
РОЗРОБКА ІНФРАЧЕРВОНОГО ТРАНСМІТЕРУ ДЛЯ БЕЗПРОВІДНОЇ ПЕРЕДАЧІ
ДАНИХ 08-36.МКР.002.00.000 ТЗ

Керівник проекту:
д.т.н., проф кафедри РТ ВНТУ
О.В. Осадчук
«__» _____ 2019 р.
Розробив студент гр. РТ-18мі
Д.Р. Ільчук
«__» _____ 2019 р.

Вінниця 2019

1 ПІДСТАВА ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету №_254_ «_02_»__10__2019 р. та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: “_02_” __вересня 2019 р.

Дата закінчення: “17” грудня 2019 р.

2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

Метою роботи є розробка інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних

Об`єктом дослідження є розробка інфрачервоного трансмітеру на базі інтерфейса RS-485

Для досягнення поставленої мети в магістерську кваліфікаційній роботі **розв`язуються такі завдання:**

- обґрунтування і розробка структурної схеми;
- електричний розрахунок;
- моделювання на ЕОМ;
- аналіз питань охорони праці.
- економічне обґрунтування розробки

Розроблений в ході виконання магістерської кваліфікаційної роботи інфрачервоний трансмітер для безпроводної передачі даних на основі використання нової сучасної елементної бази та технічних рішень, покращить параметри пристрою у порівнянні з відомими аналогами для розробки.

3 ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

1. Журнал «Технології та засоби зв'язку», номер 5, 1999 г.
2. Журнал «Технології та засоби зв'язку», номер 6, 2000 г.
3. Журнал «Інформ», номер 18, 2001 г.
4. Журнал «Computerworld Росія», номер 21, 2000 г.

5. Журнал «Фотон-Експрес», номер 2, 2002 г.
 6. Зуєв В.Є. Поширення видимі і інфрачервоних хвиль в атмосфері.-М .: 1997.
 7. Зуєв В.Є. Прозорість атмосфери для видимих і інфрачервоних лучей.-М .: +1996.
 8. Миколаїв А.Ю. Розрахунок надійності роботи атмосферної оптичної лінії зв'язку. Інформ - Засоби зв'язку, 2001., 4 (17), с. 26-27.
 9. Електронний журнал - Праці МАІ
 10. Медвед Д.Б. Вплив погодних умов на бездротову оптичну зв'язок. Вісник зв'язку, 2001., 4, с. 154-157.
 11. Журнал «Відкриті системи», номер 5, 1997 г.
 12. ДСТУ 2293-99. Охорона праці. Терміни і визначення.
 13. ПДК 4617-88. Общесоюзные санитарно-гигиенические и санитарно-противоэпидемические правила и нормы "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны".
 14. ДСН 3.3.6.039 99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.
- 4 ВИКОНАВЕЦЬ**
- Вінницький національний технічний університет, кафедра радіотехніки, студент групи РТ-18мі Ільчук Д.Р.

5 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується виконати розробку інфрачервоного трансмітеру для безпроводної передачі даних

5.1 Електричні параметри:

Пристрій повинен забезпечувати наступні функції та параметри:

- Передача даних по інфрачервоному порту
- Прийом даних по інфрачервоному порту
- живлення від комп'ютера через USB чи Компорт.

5.2 Кліматичні умови:

5.2.1 Атмосферний тиск, кПа 700-800.

5.2.2 Температура навколишнього середовища, °С +85...-40.

5.2.3 Відносна вологість повітря при 25°С, 98%

5.3 Експлуатаційні параметри:

5.3.1 Використовувати за призначенням

5.3.2 Час напрацювання на відмову, не менше, год 4000 тис.

5.3.3 Час неперервної роботи, не більше, год/добу 24.

6 ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

| № з/п | Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи | Термін виконання | | Очікувані результати | Звітна документація |
|-------|--|------------------|------------|---|--|
| | | | | | |
| 1. | Огляд літературних джерел. Вибір та узгодження теми МКР | 02.09.2019 | 15.09.2019 | Проведено огляд літературних джерел. Вибрана тема | Узгодження теми МКР по кафедрі |
| 2. | Аналіз літературних джерел. Попередня розробка основних розділів | 16.09.2019 | 22.09.2019 | Аналіз літературних джерел. Підготовлений матеріал основних розділів | Вступ |
| 3. | Затвердження теми. Розробка технічного завдання | 23.09.2019 | 02.10.2019 | Розроблене ТЗ | Наказ ВНТУ про затвердження теми Додаток А |
| 4. | Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми | 03.09.2019 | 20.10.2019 | Проведений аналіз. Розроблені схеми пристрою | Вступ Розділ 1-2 Звіт по переддипломній практиці |
| 5. | Електричні розрахунки. Експериментальне дослідження | 21.10.2019 | 29.10.2019 | Проведені розрахунки та дослідження | Розділ 3 |

| | | | | | |
|----|--|------------|------------|---|----------------------------------|
| 6. | Розділ моделювання | 30.10.2019 | 03.11.2019 | Проведено моделювання | Результати моделювання |
| 7. | Розробка графічної частини МКР | 04.11.2019 | 10.11.2019 | Плакати. Структурні та електричні схеми | Графічна частина |
| 8. | Охорона праці (ОП) | 11.11.2019 | 15.11.2019 | Частина БЖД | Розділ 4 |
| 9. | Аналіз економічної ефективності розробки | 16.11.2019 | 22.11.2019 | Економічна частина | Розділ 5 |
| 10 | Оформлення пояснювальної записки та графічної частини | 23.11.2019 | 27.11.2019 | Оформлена документація | ПЗ та графічна частина |
| 11 | Нормоконтроль | 28.11.2019 | 29.11.2019 | Підпис нормоконтроля | Оформлена ПЗ та графічна частина |
| 12 | Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР | 02.12.2019 | 06.12.2019 | Позитивні відзиви | Відзив. Рецензія |
| 13 | Захист МКР ЕК | 09.12.2019 | 17.12.2019 | Позитивний захист | Протокол ЕК |

ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть розроблені:

- структурна схема;
- схема електрична принципова;
- моделювання;
- розділ охорони праці;
- економічний розділ
- рекомендації щодо подальшого використання розробленого пристрою.

Результати отримані в процесі виконання даної магістерської кваліфікаційної роботи можуть бути використані при виготовленні інфрачервоних трансмітерів для безпроводної передачі даних

8 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ДЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, відгук і рецензія.

9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

Захист магістерської дипломної роботи відбувається на відкритому засіданні ДЕК.

10 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

- розроблене технічне завдання;
- нову структурну схему;
- нову схему електричну принципову;
- розділ охорони праці.
- Розділ економічного обґрунтування

11 ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

У зв'язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються

Додаток Б
(обов'язковий)

РОЗРОБКА ІНФРАЧЕРВОНОГО ТРАНСМІТЕРУ ДЛЯ БЕЗПРОВІДНОЇ ПЕРЕДАЧІ
ДАНИХ

Структурна схема

Додаток В
(обов'язковий)

РОЗРОБКА ІНФРАЧЕРВОНОГО ТРАНСМІТЕРУ ДЛЯ БЕЗПРОВІДНОЇ ПЕРЕДАЧІ
ДАНИХ

Функціональна схема

Додаток Г
(обов'язковий)

РОЗРОБКА ІНФРАЧЕРВОНОГО ТРАНСМІТЕРУ ДЛЯ БЕЗПРОВІДНОЇ ПЕРЕДАЧІ
ДАНИХ

Електрична принципова схема

Додаток Д
(досліджений)

РОЗРОБКА ІНФРАЧЕРВОНОГО ТРАНСМІТЕРУ ДЛЯ БЕЗПРОВІДНОЇ ПЕРЕДАЧІ
ДАНИХ
Друкована плата

Додаток Е
(досліджений)

РОЗРОБКА ІНФРАЧЕРВОНОГО ТРАНСМІТЕРУ ДЛЯ БЕЗПРОВІДНОЇ ПЕРЕДАЧІ
ДАНИХ
Перелік елементів

Додаток Є
(досліджений)

РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ БЕЗПРОВІДНОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ
ІНФРАЧЕРВОНОГО ДІАПАЗОНУ

Моделювання інфрачервоного трансмітеру

Додаток Ж
(досліджений)

РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ БЕЗПРОВІДНОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ
ІНФРАЧЕРВОНОГО ДІАПАЗОНУ

Експериментальне відношення сигнал/шум