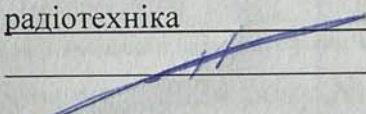


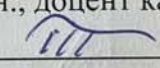
Бакалаврська дипломна робота на тему:

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМНО-АПАРATНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ЛІНІЙНОГО
РЕГЕНЕРАТОРА ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ**

Виконав: студент 4-го курсу, групи ПЗТ-206з
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

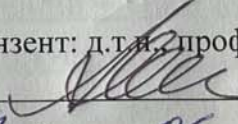

Васильківський А.О.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ІКСТ


Тромсюк В.Д.

« 12 » 06 2024 р.

Рецензент: д.т.н., професор, зав. каф. ІРТС


Осадчук О.В.

« 12 » 06 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІКСТ


д.т.н., проф. Кичак В.М.

« 12 » 06 2024 р.

Вінницький національний технічний університет

Факультет інформаційних електронних систем

Кафедра інфокомунікаційних систем та технологій

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації

(шифр і назва)

Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва)

Освітня програма – Програмне забезпечення телекомунікаційних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІКСТ

д.т.н., професор В.М. Кичак

«06» 05 2024 року

З А В Д А Н Н Я НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Васильківському Андрію Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження програмно-апаратної реалізації лінійного регенератора цифрової системи передачі

керівник роботи Тромсюк Володимир Дмитрович, канд. техн. наук, доцент,

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

затверджені наказом ВНТУ від «11» березня 2024 року № 80

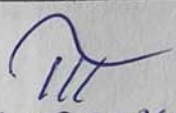
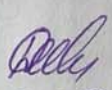
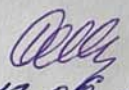
2. Строк подання студентом роботи: 07 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: тип вхідних сигналів – системи КАМА; діапазон частот – $12 \div 248$ кГц; динамічний діапазон – 40 дБ; пік-фактор – 5; тип модуляції – АДІКМ – адаптивна диференціальна імпульсно-кодова модуляція; число каналів – 8; імовірність помилки в лінійному тракті – $2,5 \cdot 10^{-11}$; тип лінії зв'язку – ВОЛЗ марки ОКЛС з ОВ типу БМ на 850 нм, метод реалізації лінійного регенератора – програмно-апаратний.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки роботи (перелік питань, які потрібно розробити): аналіз структур систем передачі сигналів АСП, синтез структури системи, аналіз параметрів системи, розробка лінійного регенератора; комп'ютерне моделювання лінійного регенератора, охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схеми структурні електричні АЦО і лінійного регенератора; блок-схема алгоритму роботи лінійного регенератора, моделювальна схема лінійного регенератора; результати комп'ютерного моделювання лінійного регенератора.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Тромсюк В.Д., доцент кафедри ІКСТ	 06.05.2024	 12.06.2024
Охорона праці	Дембичка С.В. проф. каф. БЖД/ПБ	 06.05.2024	 12.06.2024

7. Дата видачі завдання «06» травня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми та індивідуального завдання бакалаврської дипломної роботи (БДР)	06.05.2024р.	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	20.05.2024р.	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	31.05.2024р.	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	04.06.2024р.	
5	Нормоконтроль БДР	05.06.2024р.	
6	Попередній захист БДР	06.06.2024р.	
7	Рецензування БДР	07.06.2024р.	
8	Захист БДР	12.06.2024р.	

Студент

(підпис)

Васильківський А.О.

Керівник роботи

(підпис)

Тромсюк В.Д.

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська кваліфікаційна робота складається з 97 сторінок формату А4, на яких є 18 рисунків, 10 таблиць, список використаних джерел містить 27 найменувань.

Метою даної бакалаврської дипломної роботи є підвищення ефективності лінійного тракту цифрової системи передачі за рахунок програмно-апаратної реалізації лінійного регенератора.

У даній бакалаврській роботі проведено дослідження функціональних вузлів цифрової системи передачі сигналів, що забезпечує ущільнення 8 дуплексних каналів одним трактом. Для даної системи визначено основні параметри лінійного тракту.

Виконано розробку структури та блок-схеми функціонування лінійного регенератора. Комп'ютерне моделювання лінійного регенератора підтвердило його роботоздатність та правильність електричних розрахунків даного пристрою.

Виконано розділ з охорони праці.

Ключові слова: цифрова система передачі, лінійний тракт, лінійний регенератор, мікроконтролер

ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of 97 pages of A4 format, on which there are 18 figures, 10 tables, the list of used sources contains 27 titles.

The purpose of this bachelor thesis is to increase the efficiency of the linear path of the digital transmission system due to the hardware and software implementation of the linear regenerator.

In this bachelor's work, a study of the functional nodes of the digital signal transmission system, which ensures the compression of 8 duplex channels in one path, was carried out. The main parameters of the linear path are defined for this system.

The development of the structure and block diagram of the operation of the linear regenerator was carried out. Computer modeling of the linear regenerator confirmed its efficiency and the correctness of the electrical calculations of this device.

The section on labor protection has been completed.

Key words: digital transmission system, linear path, linear regenerator, microcontroller

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	5
Вступ.....	6
1 Технічне обґрунтування основних параметрів ЦСП	8
2 Аналіз особливостей систем передачі сигналів АСП.....	11
3 Синтез структури цифрової системи передачі.....	15
3.1 Обґрунтування основних параметрів ЦСП.....	15
3.2 Розробка узагальненої структури АЦО ЦСП.....	18
3.3 Аналіз структури часових циклів ЦСП	21
3.4 Побудова сигналу на виході лінійного регенератора для відповідної кодової послідовності символів.....	26
3.5 Аналіз граничних довжин регенераційних ділянок та вибір типу кабелю	29
3.6 Дослідження надійності лінійного тракту ЦСП	37
3.7 Розробка функціональної електричної схеми АЦО ЦСП	40
3.8 Розробка ситуаційного плану ЦСП.....	42
4 Розробка лінійного регенератора ЦСП	48
4.1 Вибір та обґрунтування оптимальної структури лінійного регенератора	48
4.2 Розробка принципової електричної схеми лінійного регенератора	51
4.3 Розробка програмного забезпечення лінійного регенератора	57
5 Комп'ютерне моделювання лінійного регенератора	64
5.1 Обґрунтування вибору комп'ютерної системи моделювання	64
5.2 Розробка моделювальної схеми лінійного регенератора	64
5.3 Аналіз результатів моделювання	66
6 ОХОРОНА ПРАЦІ	71
6.1 Технічні рішення з безпечного виконання дослідження	72
6.1.1 Вимоги безпеки під час роботи	72
6.1.2 Електробезпека	73

6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	74
6.2.1 Мікроклімат.....	74
6.2.2 Склад повітря робочої зони.....	75
6.2.3 Виробниче освітлення.....	76
6.2.4 Виробничий шум.....	77
6.2.5 Електромагнітні випромінювання.....	78
6.3 Технічні рішення з пожежної безпеки	79
ВИСНОВКИ.....	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	85
ДОДАТКИ	88
Додаток А. ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА	89
Додаток Б. ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ	97

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АРП	– автоматичне регулювання підсилення
АСП	– аналогові системи передавання
АТС	– автоматична телефонна станція
АЦО	– аналого-цифрове обладнання
АЦП	– аналого-цифровий перетворювач
ВОЛЗ	– волоконно-оптична лінія зв'язку
ГЗ	– задаючий генератор
ГО	– генераторне обладнання
АДІКМ	– адаптивна диференціальна імпульсно-кодова модуляція
ІКМ	– імпульсно-кодова модуляція
КВЩ	– код з високою щільністю одиниць
КТЧ	– канал тональної частоти
ЛЗ	– лінія зв'язку
МК	- мікроконтролер
НРП	– регенеративний пункт, що не обслуговується
ОК	– оптичний кабель
ОЛТ	– обладнання лінійного тракту
ОП	– операційний підсилювач
ОРП	– регенеративний пункт, що обслуговується
ПЕР	– перетворювач сигналу
ПЧ	– подільник частоти
СП	– система передавання
ТЧ	– тональна частота
УП	– узгоджувальний пристрій
ФЛС	– формувач лінійного сигналу
ФНЧ	– фільтр нижніх частот
ФС	– формувач синхросигналу
ЦСП	– цифрова система передавання

ВСТУП

Актуальність теми. Розвиток телекомунікаційних засобів є зараз, однією з галузей науки та техніки, що найбільш швидко розвиваються. Життя сучасного інформаційного суспільства неможливо уявити без тих досягнень, які були зроблені в цій галузі за останні роки [1].

Наразі зростає потреба суспільства в передаванні різних потоків інформації при збереженні її достовірності, конфіденційності тощо. Це зумовлено багатьма чинниками і в першу чергу тим, що телекомунікації стали одним з найбільш потужних інструментів керування державою. Стаючи багатобічними та всеосяжними, телекомунікаційні системи кожної держави усе більш інтегруються у світовий телекомунікаційний простір. Також, якісні системи і мережі зв'язку стали невід'ємною складовою досліджень у всіх наукових напрямках та розвитку технологій у будь-яких сферах [2].

Аналіз останніх досліджень. В Україні вже давно розпочався перехід від аналогових систем передачі (АСП) до цифрових систем передачі (ЦСП). Забезпечення та збереження якості передавання сигналів з одночасним багатократним збільшенням числа обслуговуваних абонентів – це є головна задача ЦСП [2, 3].

Останніми роками розпочалася інтенсивна заміна застарілих кабельних лінійних трактів на сучасні волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ). Водночас, неможливість повністю замінити всі АСП на ЦСП в Україні та велика протяжність мереж зв'язку ставлять задачі об'єднання цих двох видів систем передачі та проектування лінійних трактів. Оскільки, необхідно забезпечити узгодження аналогових системи передачі телефонних сигналів сільських місцевостей та міських і міжміських цифрових систем передачі, ці задачі є актуальними на сьогоднішній день у нашій державі [4, 5].

Мета та постановка задачі. Метою даної бакалаврської дипломної роботи є підвищення ефективності лінійного тракту цифрової системи передачі за рахунок програмно-апаратної реалізації лінійного регенератора.

Задачами бакалаврської дипломної роботи є:

- технічне обґрунтування;
- розробка структури лінійного тракту ЦСП;
- розробка структури лінійного регенератора;
- розробка блок-схеми алгоритму та програмного забезпечення лінійного регенератора
- комп'ютерне моделювання лінійного регенератора;
- дослідження питань охорони праці.

1 ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЦСП

Необхідно виконати дослідження функціональних вузлів багатоканальної цифрової системи передачі широкосмугових сигналів АСП типу КАМА.

З початку розвитку телекомунікацій в багатоканальних системах використовують лише телефонні сигнали. На сьогодні цифровий телефонний зв'язок є домінуючим, тому як стандартний канал у сучасних телекомунікаційних системах є канал тональної частоти зі смугою частот 300 – 3400 Гц (3,1кГц). Об'єднання кількох стандартних каналів тональної частоти утворює широкосмуговий канал [6].

Параметри телефонного каналу нормуються так, щоб ними можна було передавати, при необхідності, цифрові сигнали, факсимільні сигнали, сигнали сигналізації та ін.

Водночас передача первинного мовного сигналу від передавача до приймача лініями зв'язку може здійснюватися безпосередньо у частотному спектрі без його перетворення, тобто на тональній частоті. При цьому функціонує телефонний зв'язок по одній лінії зв'язку. У разі необхідності передачі кількох телефонних повідомлень однією лінією, доцільна організація багатоканального зв'язку з використанням модуляції. Такі канали отримали назву високочастотні (ВЧ).

Параметри телефонного (мовного) сигналу наступні [6, 7]:

- проноормована смуга частот (Гц): 300 – 3400;
- значення тестової частоти (Гц): 800;
- значення коефіцієнта нелінійних спотворень на 800 Гц (%): $\leq 1,5$;
- значення середньої потужності мовного сигналу (мкВт): 88;
- значення коефіцієнта психофотричного шуму (дБ): 2.5;
- значення динамічного діапазону (дБ): 40;
- значення кореляційної функції $R(\tau) = 0,91$,

- значення пікфактору: 5.

АСП типу КАМА використовувалася на магістральних мережах, сільських мережах, міських кабелях типу Т, що мають малу довжину і застосовуваних як сполучних ліній між АТС та між АТС і МТС. На базі апаратури КАМА можна організувати 30 каналів ТЧ за однокабельною двосмуговою системою зв'язку у лінійному спектрі 12-248 кГц (напряв А-Б) і 312-548 кГц (напряв Б-А). Можливий варіант роботи АСП типу КАМА по односмуговій двокабельній схемі у лінійному спектрі 12-248 кГц. На 1 канал ТЧ у лінійному спектрі виділяється смуга 8 кГц у зв'язку з використанням як індивідуальних перетворювачів фазорізницевих схем, за допомогою яких 30 вихідних каналів 0,3-3,4 кГц методом однократного перетворення переносяться в спектр 312-548 кГц, що є лінійним для станції Б. Лінійний частотний спектр 12-248 кГц формується на станції А груповим перетворенням частотного спектра 312-548 кГц за допомогою носійної частоти 560 кГц [8].

Максимальна дальність зв'язку АСП типу КАМА становить 80 км при використанні в лінійному тракті шести НРП. При довжині лінії передачі до 15 км АСП типу КАМА працює без застосування підсилювальних проміжних станцій. У кінцевій апаратурі лінійного тракту при прийманні встановлюються пристрої АРП на частотах 304 кГц (станція А) і 256 кГц (станція Б). Можливе установлення АРП на НРП з місцевими джерелами живлення. Особливістю системи типу КАМА є винесений за межі частотного спектра каналу ТЧ сигнальний канал на тестовій частоті 3825 Гц. Сигнальним каналом здійснюється передавання сигналів виклику, керування та взаємодії між АТС.

Пропускна здатність АСП типу КАМА визначається за формулою Шеннона, враховуючи, що для сигналу системи типу КАМА $P_{\text{сер}}=9600$ мкВт, $P_{\text{ш}}=80$ мкВт [8]:

$$C = \Delta F \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_{сep}}{P_{ш}} \right), \quad (1.1)$$

де ΔF – ширина смуги частот сигналу для АСП типу КАМА.

Підставивши відповідні дані у (1.1), отримаємо значення пропускної здатності АСП типу КАМА, яка дорівнює 1,633 Мбіт/с [9].

Довжина лінійного тракту Вінниця-Одеса по топографічній карті дорівнює 440 км. Для передавання сигналів ЦСП лінійним трактом потрібно використати ВОЛЗ марки ОКЛС з ОВ типу БМ на 850 нм. Імовірність помилки у лінійному тракті дорівнює $2,5 \cdot 10^{-11}$. Як лінія зв'язку використовується ВОЛЗ марки ОКЛ.

В ЦСП повинен бути забезпечений дуплексний режим зв'язку на 8 каналів.

2 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ АСП

Однією з основних задач цифрових телекомунікаційних систем є забезпечення користувачів різноманітними інформаційними послугами, в першу чергу це ефективна доставка повідомлень з одного пункту в інший, яка б задовольняла вимоги щодо швидкості, достовірності, часу затримки та надійності. Без наявності цілісної ефективної, надійної та гнучкої телекомунікаційної системи неможливо забезпечити оперативне збирання, передавання та оброблення даних. Технічною базою телекомунікаційних систем є каналотвірна та комутаційна апаратура, що базується на техніці цифрового зв'язку, комп'ютерів.

Відповідно до індивідуальних завдань необхідно розробити лінійний регенератор ЦСП 8 каналів групи АСП системи КАМА по волоконно-оптичною лінією зв'язку та видом первинної модуляції – ДІКМ.

Одними з перших АСП були такі: К-12, К-24, К-300, К-60П, К-120, К-3600, К-1920П [10].

Найпоширенішими стали АСП типу К-60 (К-60П), які є основними системами ущільнення симетричних кабелів, а АСП типу К-3600 – основна система ущільнення коаксіальних кабелів.

ЦСП типу ІКМ-30 забезпечує передавання 30 телефонних каналів або 26 телефонних каналів і 1 канал звукомовлення замість 4 телефонних каналів чи 8 цифрових каналів зі швидкістю 8кбіт/с замість кожного одного телефонного. Водночас, потрібно організувати лише 8 каналів використовуючи з АДІКМ.

У свою чергу, ЦСП типу ІКМ-120 призначена для організації каналів у місцевих і внутрішньозонових мережах зв'язку шляхом ущільнення ВЧ-симетричних кабелів. ЦСП забезпечує передавання стандартної 60-и каналної групи з частотним спектром 312..552 кГц та одного первинного цифрового потоку ємністю 30 каналів (загальне число каналів при цьому -

90). Швидкість передавання групового потоку - 8448 кбіт/с, загальна довжина переприймальної ділянки сягає 600 км, відстань між обслуговуваними пунктами дорівнює 200 км, а довжина регенераційної ділянки 4,5...5,5 км. Лінійний тракт організовується за 2-кабельною чотирипровідною схемою зв'язку. Застосування 2-кабельної схеми забезпечує необхідну захищеність між прямим і зворотнім напрямком передавання. Відомо, що 2-кабельна схема організації зв'язку поступається однокабельній за техніко-економічними показниками.

Потрібно розробити ЦСП, яка забезпечить передавачу 8 каналів сигналів АСП системи типу КАМА. Використання стандартних ЦСП вищої ємності є недоцільним внаслідок надлишковості канального простору. Швидкість передавачі цифрових сигналів КАМА становить 1,633 Мбіт/с, що дає можливість використання ВОЛЗ як ліній зв'язку.

Розглянемо можливість спільної роботи АСП типу КАМА (або КРРМ) із субпервинними (ІКМ-15), первинними (ІКМ-30) та вторинними (ІКМ-120) ЦСП. Зокрема, практичний інтерес має спільна робота систем типу КАМА (у міській мережі) з ЦСП ІКМ-30. Зустрічаються випадки спільної роботи цих АСП з ЦСП типу ІКМ-120 та ІКМ-15 [11].

Значення НЧ-складових частотного спектра цифрового сигналу, сформовані відносно верхньої частоти лінійного спектра відповідної АСП, представлені у табл. 2.1 [11].

Розглянувши та проаналізувавши вище наведені параметри існуючих ЦСП та дані з таблиці видно що найбільш вдалим варіантом спільної роботи є АСП КАМА і ЦСП ІКМ-120. При цьому забезпечується мінімум енергетичного спектра групового сигналу у смузі частот $0 \dots 6,53 f_{\text{т}}$. При спільній роботі систем типу КАМА та ІКМ-30 потрібно забезпечити відсутність спектральних складових цифрового групового сигналу в діапазоні від 0 до 26,95% $f_{\text{т}}$.

Таблиця 2.1 – Значення НЧ-складових частотного спектра групових сигналів

Варіант спільної роботи	f_t , кГц, відповідної системи		Відносне значення, %
АСП КАМА і ЦСП ІКМ-30	552,0	2048,0	26,95
АСП КАМА і ЦСП ІКМ-120	552,0	8448,0	6,53

Проте усунення частотних складових відеоімпульсного сигналу навіть у вузькому діапазоні ($0 \dots 0,003 f_t$) призводить до підвищення міжсимвольних спотворень на 15...27% (залежно від лінійного коду). Отже, вимкнення коригувальних фільтрів (зокрема, ФВЧ) на виході відповідних РЛ для зниження потужності перехідних завад у каналах ТЧ АСП спричинює зменшення завадостійкості наступного РЛ, тому що обмеження спектра у смузі нижніх частот призводить до зростання міжсимвольних спотворень. Отже, вибором параметрів ФВЧ визначається якість передачі інформації з каналів як АСП, так і ЦСП. При цьому основна увага приділяється особливостям форми амплітудно- і фазочастотних характеристик ФВЧ [11].

ЦСП типу ІКМ-120 містить: аналого-цифрове обладнання для формування стандартних первинних цифрових потоків (АЦО), комплект для групотворення, кінцеве обладнання для лінійного тракту (ОЛТ), необслуговувальні регенеративні пункти (НРП).

Цифровий груповий потік зі швидкістю 8448 кбіт/с формується з 4-х первинних потоків, які мають швидкість 2048 кбіт/с.

Використання модуляції типу АДІКМ для кодування каналних сигналів АСП КАМА зменшує розрядність каналних сигналів, що призводить до зниження швидкості передачі та зменшення використання пропускної здатності каналу передачі. Використання АДІКМ як кодека для

перетворення сигналів забезпечує зниження впливу помилок декодування на вихідний сигнал ЦСП. Тому використання АДІКМ сприяє покращенню завадозахищеності сигналу.

Структура спільної передачі загальною парою кабелю сигналів систем типу ІКМ-120 та КАМА зображена на рис. 2.1 [12]. Для уникнення шунтування цифрового сигналу низьким входним опором АСП КАМА, її під'єднують до лінії через ФНЧ. При цьому загальна пропускна спроможність 2-х пар симетричних кабелів дорівнює 180 каналів ТЧ, тобто збільшиться в 3 рази.

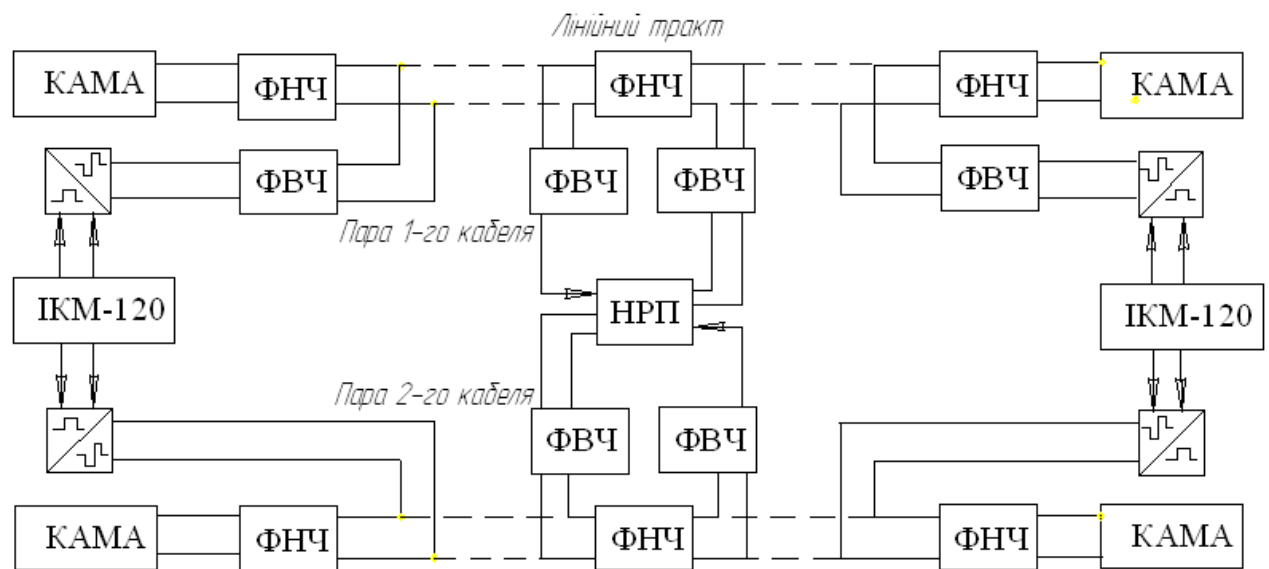


Рисунок 2.1 – Структура спільного функціонування ЦСП ІКМ-120 і АСП КАМА загальною парою кабелю

Експериментальні дослідження підтверджують теоретичні висновки про принципову можливість спільного функціонування аналогових і цифрових систем передачі при проведенні зазначених технічних заходів.

Використання ВОЛЗ є доцільним з таких причин:

1. Зменшення кількості регенераційних пунктів.
2. Простота використання та організації передавання інформації.
3. Висока пропускна здатність і низький коефіцієнт згасання.

3 СИНТЕЗ СТРУКТУРИ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ

3.1 Обґрунтування основних параметрів ЦСП

Розраховується частота дискретизації для сигналу АСП типу КАМА [4].

Для цього, необхідно перевірити сигнал АСП на вузькосмуговість:

– нижнє значення частоти $f_H = 12 \text{ кГц}$;

– верхнє значення частоти $f_\theta = 248 \text{ кГц}$.

Для цих даних виконується умова: $\frac{f_\theta}{f_H} > 2$, тому сигнал АСП типу КАМА

є широкосмуговий.

Вибір частоти дискретизації здійснюють за виразом

$$f_\partial \geq 2 \cdot F_\theta. \quad (3.1)$$

Частота дискретизації обирається як $f_\partial = 2,1..2,2 \cdot F_\theta$.

Звідси числове значення $f_\partial = 2,16 \cdot 248 \cdot 10^3 \approx 540 \text{ (кГц)}$.

У даній ЦСП використовується АДІКМ. Розрядність кодера АДІКМ можна розрахувати за виразом:

$$m = \text{ent}[\log_2 N] + 1, \quad (3.2)$$

де ent – ціла частина числа,

N – кількість рівнів квантування.

Кількість рівнів квантування можна розрахувати за виразом [8]:

$$N = \sqrt{\frac{S / N \cdot 4k^2(1 - R(\tau)) \cdot f_\partial}{3f_H}}, \quad (3.3)$$

де S/N - відношення сигнал/шум,

k - значення пікфактору сигналу,

$R(\tau)$ - значення кореляційної функції.

За виразами (3.2) та (3.3) проводиться розрахунок кількості рівнів квантування:

$$N = \sqrt{\frac{40 \cdot 4 \cdot 5^2 (1 - 0,91) \cdot 540 \cdot 10^3}{3 \cdot 12 \cdot 10^3}} = 73,48 \approx 74,$$

звідси:

$$m = \text{ent}[\log_2 74] + 1 = 8.$$

Вважаємо, що число розрядів у кодовому слові становить 8.

Значення тактової частоти АДІКМ визначається як добуток розрядності кодера та частоти дискретизації модулятора за таким виразом:

$$f_{\text{д}} = m \cdot f_{\text{д}}. \quad (3.4)$$

Підставивши відповідні значення у (3.4), отримаємо:

$$f_m = 8 \cdot 540 \cdot 10^3 = 4,32 \text{ (МГц)}.$$

Отже, значення тактової частоти слідування імпульсів на виході кодера АДІКМ буде дорівнювати 4,32 МГц.

Швидкість змінювання амплітуди (зміна різниці амплітуд сусідніх відліків) сигналів АСП типу КАМА є великою, тому в ЦСП необхідно використовувати компресію вхідних сигналів. Характеристика компресії повинна бути наближеною до логарифмічної та мати постійний крок

квантування у межах кожного сегменту. У кожному наступному сегменті крок квантування підвищується вдвічі. В роботі буде використовуватись компресія, на базі 16-сегментної характеристики, що відповідає А-закону компресії. Організація МСЕ-Т рекомендує використання А-закону для цифрового компандування із 16-сегментною амплітудною характеристикою. Серед μ - та А-закону останній є ефективнішим для нелінійного кодування в кодері та декодування. Водночас через нелінійну початкову частину амплітудної характеристики компресії дещо погіршується відношення сигнал/шум квантування [11].

Мінімальне значення захищеності від спотворень квантування при нерівномірному квантуванні у діапазоні рівнів $0 > p > -36$ дБ розраховується за виразом [9]:

$$A_{\text{кв. min}} \approx 6 \cdot m - (16..17) - 10 \cdot \lg(n + 1), \quad (3.5)$$

де n – число переприймань.

Підставивши значення числа переприймань у формулу (3.5) отримаємо:

$$A_{\text{кв. min}} \approx 6 \cdot 8 - 16 - 10 \cdot \lg(1 + 1) \approx 29 \text{ (дБ)}.$$

Максимальне значення захищеності у цьому ж діапазоні буде на 3 дБ вищим за мінімальне значення захищеності та дорівнюватиме $A_{\text{кв. max}} = 32$ дБ. Захищеність при $p = -36$ дБ на 2 дБ вища за мінімальне значення та дорівнює $A_{\text{кв. 0}} = 31$ дБ. У діапазоні $-36 \text{ дБ} > p > \infty$ квантування вважається рівномірним і значення захищеності від спотворень квантування знижується на 1 дБ при зменшенні рівня сигналу на таке ж значення. Графік зміни значення рівня захищеності сигналу від зміни його рівня показано на рис. 3.1.

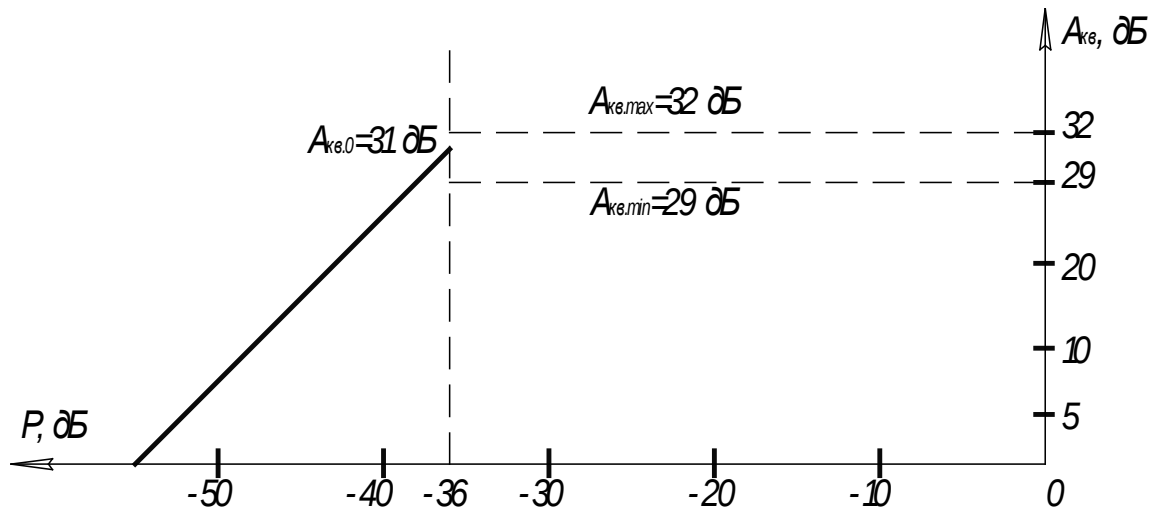


Рисунок 3.1 – Графік залежності змінювання значення захищеності сигналу від зміни його рівня

3.2 Розробка узагальненої структурної схеми АЦО ЦСП

Прототипом АЦО для ЦСП може бути засіб типу АЦО-30, що використовується у системі ІКМ-30. Розроблюваний засіб АЦО-8 буде відрізняється від АЦО-30 тим, що АЦО-8 розраховано лише на 8 каналів і буде обробляти сигнали АСП типу КАМА та не буде містити каналу для передавання дискретних сигналів.

Засіб АЦО складається з 3-х частин: індивідуального обладнання (ІО), групового обладнання (ГрО) і генераторного обладнання (ГО).

Сигнали АСП типу КАМА та відповідні їм сигнали керування та взаємодії (СУВ) надходять на узгоджувальні пристрої (УП). З виходу УП сигнал подається на відповідний передавач АЦО (Пер), а сигнали СУВ перетворюються в імпульсні послідовності.

На рис. 3.2 представлена структурна схема передавальної частини ЦСП.

Генераторне обладнання ГО містить задавальний генератор (ГЗ) та подільник частоти (ПЧ). ГО керує процесами оброблення сигналів у

передавальній частині АЦО. Число УП також буде відповідати числу каналів ЦСП, тобто 8. Така ж сама кількість кодерів ЦСП. Це пов'язано з тим, що в ЦСП використовується АДІКМ, що обумовлює використання 1-го кодера на груповий канал. Далі сигнал подається на індивідуальний кодер (Код). Цифровий груповий сигнал з виходу кодера та сигнали СУВ об'єднуються у формувачі лінійного сигналу (ФЛС). На інші входи ФЛС підводяться синхросигнали з виходу формувача синхросигналів (ФС).

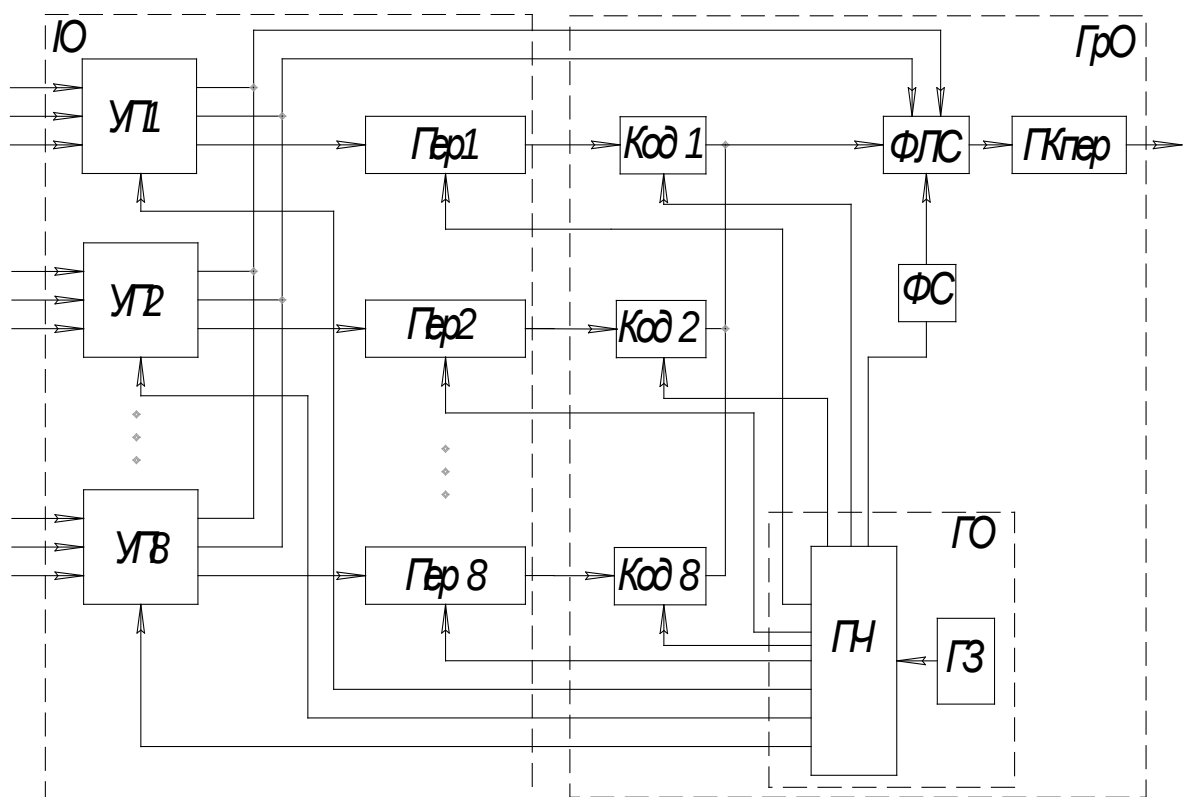


Рисунок 3.2 – Структурна схема передавальної частини ЦСП

На виході перетворювачів кодів (ПКпер) формується цифровий лінійний сигнал, що передається у лінійний тракт. На рис. 3.3 представлена структура приймальної частини ЦСП.

Вихідний сигнал з лінійного тракту (ЛТ) надходить на блок перетворювача кодів приймача (ПКпр), що формує групи цифрових сигналів

у кінцеві коди. Далі сигнал подається на блок формувача циклової синхронізації (ЦС), де формуються сигнали синхронізації генераторного обладнання, яке відповідає за керування пристроєм. Сигнал також поступає на пристрій роз'єднання (ПР), де з групового сигналу роз'єднується на 8 каналних сигналів. Далі сигнал надходить на пристрої розділення (ПР), в яких виконується виділення даного сигналу каналу. Наступним етапом є надходження сигналу на декодер (ДЕК), де виконується його декодування. Кінцевим етапом перетворення сигналу є його подача на узгоджувальний пристрій (УП), куди ще надходять вихідні сигнали з ПР та ГО. УП узгоджує параметри сигналу для подальшого його передавання.

Слід зазначити, що число кодерів у даному АЦО буде дорівнювати числу каналів. Це обумовлено тим, що використовується кодер АДІКМ.

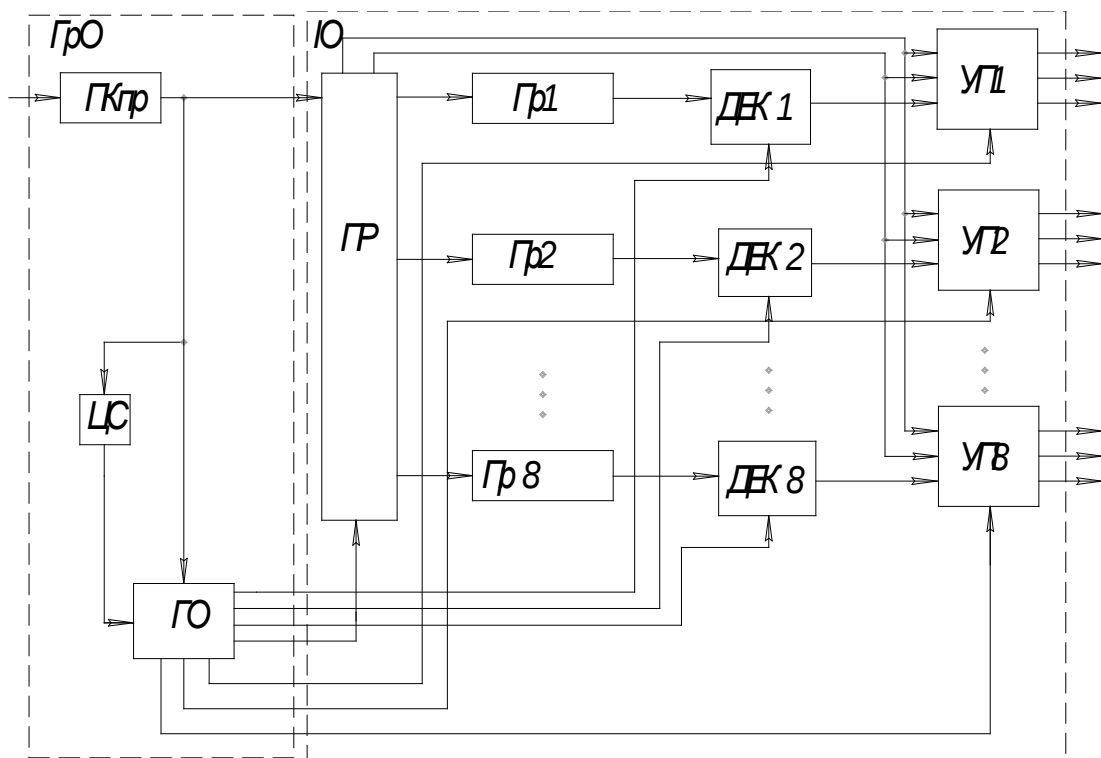


Рисунок 3.3 – Структура приймальної частини ЦСП

3.3 Аналіз структури часових циклів ЦСП

За основу для побудови структури часових циклів ЦСП можна взяти часову структуру циклів системи типу ІКМ-30.

Тривалість циклу передавання залежить від частоти дискретизації сигналів АСП. Вона дорівнює періоду дискретизації та розраховується за наступним виразом [8]:

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{д}} = \frac{1}{f_{\text{д}}}. \quad (3.6)$$

Підставивши значення частоти дискретизації у формулу (3.6), отримаємо:

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{д}} = \frac{1}{540 \cdot 10^3} = 1,85 \text{ (мкс)}.$$

Тривалість циклу дорівнює $T_{\text{ц}}=1,85$ мкс. Надцикл буде містити 5 циклів, тому тривалість надциклу буде у 5 разів вищою за тривалість циклу та дорівнюватиме $T_{\text{нц}}=9,25$ мкс. В нульовому циклі в 6-му каналному інтервалі буде передаватись сигнал надциклової синхронізації і сигнал відсутності надциклової синхронізації. В решті циклів в 10-му каналному інтервалі будуть передаватись по 2 сигнали СУВ. У першому циклі буде знаходитись 10 каналних інтервалів, тривалість кожного з яких буде у 10 разів меншою за тривалість циклу. Тому, тривалість каналного інтервалу буде дорівнювати: $T_{\text{ки}}=185$ нс. Кожен каналний інтервал буде містити 8 двійкових розрядів. На кожен розряд буде виділяться час, що у 8 разів менший за тривалість каналного інтервалу, тобто $T_{\text{і}}=23,125$ нс. Тривалість імпульсів вихідного сигналу буде у 2 рази меншою тривалості розряду, тобто $\tau_3=11,5625$ нс.

Значення тактової частоти групового сигналу залежить від тривалості бітових інтервалів та визначається за формулою [9]:

$$F_{grp} = \frac{1}{T_i}, \quad (3.7)$$

де T_i – тривалість бітового інтервалу.

Підставивши відповідне значення тривалості розряду $T_i=23,125$ нс у формулу (3.7), отримаємо

$$F_{grp} = \frac{1}{23,125 \cdot 10^{-9}} = 43243,24 \text{ (кГц)}.$$

Відповідно до (3.7), значення тактової частоти групового сигналу буде дорівнювати $F_{grp}=43,24$ МГц.

У каналних інтервалах КІ1 – КІ4 і КІ6 – КІ8 передається інформація від абонентів. В інтервалі КІ0 у парному циклі (Ц0,Ц2...Ц8) розрядами 2...8 передається цикловий синхронізаційний сигнал виду «01011011». В непарних циклах у 3-му розряді передається інформація про збій циклової синхронізації (ЗЦС), в 6-му розряді передається інформація про залишкове згасання каналу α . Дискретна інформація передається в 1-му розряді у парних та непарних циклах. У непарному циклі розряди 2,4,5,7,8 дорівнюють 1. Сигнали управління та взаємодії (СУВ) закріплені за інтервалом КІ5 в розрядах 1,2,5,6 у циклах Ц1...Ц5. Сигнали надциклової синхронізації (НЦС) передаються в циклі Ц0 розрядами 1...4 і мають вигляд «0000». Розряд 6 інтервалу КІ5 – індикація відсутності надциклової синхронізації.

Структуру часових циклів 8-канальної ЦСП показано на рис. 3.4.

У неадаптивному приймачі з послідовно працюючими колами пошуку та утримання режиму синхронізму середній час його відновлення визначається за формулою [12]:

Число символів у синхрослові m_c обирається на 1 меншою за кількість інформаційних символів. У цьому випадку інформаційних символів дорівнює 8, тому кількість символів у синхрослові $m_c=7$.

Синхрослово передається через один цикл, тому тривалість інтервалу між синхрословами буде у 2 рази більшою, ніж тривалість циклу, тобто $T_0=2 \cdot T_y=2 \cdot 1,85=3,7$ мкс.

Число інформаційних позицій між двома сусідніми синхрословами визначається з урахуванням, що кожне синхрослово передається через один цикл в парному циклі.

У непарному циклі міститься 10 інформаційних каналних інтервали, а в парному – 9, тому загальне число інформаційних каналних інтервалів між синхрословами дорівнює 19. На кожен каналний інтервал припадає по 8 інформаційних позицій, тому загальне число інформаційних позицій між двома сусідніми синхрословами буде визначатись як

$$p = 19 \cdot 8 = 152.$$

Підставивши відповідні значення у (3.8), визначаємо середній час пошуку синхросигналу:

$$t_n = \left(\frac{152 - 7 + 1}{2^7 - 1} + \frac{152 + 7 - 1}{152 + 7} \right) \cdot 3,7 \cdot 10^{-6} = 7,93 (\text{мкс}).$$

Час накопичення за виходом із синхронізму розраховується за виразом:

$$t_{н.вих.} = T_0 \cdot r_{вих.}, \quad (3.10)$$

де $r_{вих.}$ – коефіцієнт накопичення за виходом із синхронізму.

Час накопичення за входом у синхронізм розраховується за виразом [9]:

$$t_{н.вх.} = T_0 \cdot r_{вх.}, \quad (3.11)$$

де $r_{вх.}$ – коефіцієнт накопичення за входом у синхронізм.

Коефіцієнти накопичення за виходом та входом у режим синхронізму обираються такими: $r_{вх.} > 4$, $r_{вих.} > 2$. Нехай $r_{вх.} = 5$, а $r_{вих.} = 3$. Підставивши відповідні значення у (3.10) і (3.11), отримаємо:

$$t_{н.вих.} = 3,7 \cdot 10^{-6} \cdot 5 = 18,5 (\text{мкс});$$

$$t_{н.вх.} = 3,7 \cdot 10^{-6} \cdot 3 = 11,1 (\text{мкс}).$$

Тоді, підставивши відповідні значення у (3.8), отримаємо значення середнього часу відновлення режиму синхронізму:

$$T_{\epsilon} = 18,5 \cdot 10^{-6} + 7,93 \cdot 10^{-6} + 11,1 \cdot 10^{-6} = 37,53 (\text{мкс}).$$

Значення тактової частоти первинного потоку розраховується за таким виразом [9]:

$$F_{m1} = 10 \cdot f_{\delta} \cdot m. \quad (3.12)$$

Підставивши відповідні значення у (3.12), отримаємо:

$$F_{m1} = 10 \cdot 540 \cdot 10^3 \cdot 8 = 43,2 (\text{МГц}).$$

Отже, значення тактової частоти первинного потоку дорівнює $F_{m1} = 43,2$ МГц.

Значення тактової частоти агрегатного цифрового сигналу визначається за формулою [11]:

$$F_m = F_{m1} \cdot M \cdot (1 + r), \quad (3.13)$$

де M – число поєднуваних компонентних сигналів;

r – відношення числа додаткових символів у циклі агрегатного сигналу до загального числа символів у циклі ($r=0,01\dots0,02$).

$M=1$, тому що на другому ступені цифрового групотворення не відбувається поєднання компонентних сигналів в даній ЦСП, тому що існує всього один компонентний сигнал.

Підставивши відповідні значення у (3.13), отримаємо:

$$F_m = 43,2 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot (1 + 0,015) = 43,85 (МГц).$$

У даному підрозділі було розраховано параметри структури часових циклів ЦСП.

3.4 Побудова сигналу на виході лінійного регенератора для відповідної вхідної кодової послідовності символів

Код В6ZS – це лінійний, збалансований код, в якому відсутня постійна складова. Оскільки код В6ZS є біполярним, тому його кодові символи є імпульсними $+$, $-$ та пробіл (П). Діапазон змінювання поточної цифрової суми для В6ZS дорівнює 3. Код В6ZS відноситься до неалфавітних, у яких зміна статистичних властивостей відбувається при появі підряд кількох 0.

Код В6ZS є близьким за характеристиками до коду з високою щільністю одиниць (КВЩ), при цьому кодування одиниці виконується за правилами почергової полярності імпульсів (ЧПІ). Енергетичний спектр коду В6ZS подібний до ЧПІ. Коди ЧПІ, в свою чергу, відноситься до квазітрійкових кодів. При перетворенні початкового уніполярного двійкового коду в код ЧПІ рівень логічної "1" кодується зі зміною полярності для кожного наступного одиничного сигналу. До переваг ЧПІ-коду можна віднести послаблення

низькочастотних компонентів. До недоліків ЧПІ-коду відносять відсутність у спектрі складової тактової частоти [12].

Алгоритм побудови коду B6ZS полягає в наступному:

1. «1» кодуються зі зміною полярності імпульсу для кожного наступного одиничного сигналу;
2. якщо число «0» менше або дорівнює 3, то ставиться пробіл;
3. число послідовних «0» шість – змінюються комбінацією «0UB0UB», де В – імпульс, полярність якого протилежна полярності попереднього імпульсу;
U – імпульс, полярність якого повторює полярність попереднього імпульсу;
4. якщо перед шістьма «0» імпульс додатний: +ПППППП $\Rightarrow$ + П + - П - + ;
5. якщо перед шістьма «0» імпульс від'ємний: -ПППППП $\Rightarrow$ - П - + П + - .

Нехай необхідно перетворити 33-розрядну кодову комбінацію «011000000101100000001100000000111» у код B6ZS.

Відповідно до алгоритму побудови коду, формується задана кодова комбінація. Діаграми вхідної кодової послідовності та отриманого коду B6ZS подано на рис. 3.6.

Як видно з рис. 3.5, вихідний лінійний сигнал має однакову кількість імпульсів позитивної та негативної полярності, отже, цей код є попарно збалансованим.

Аналогічно вихідному коду системи типу ІКМ-30 обирається амплітуда імпульсів вихідного коду B6ZS: $(+3 \pm 0,3)В$ для позитивного імпульсу, $(-3 \pm 0,3)В$ для негативного імпульсу [12].

Період імпульсу визначається за наступним виразом:

$$T_i = 1 / f_{m.лс}. \quad (3.14)$$

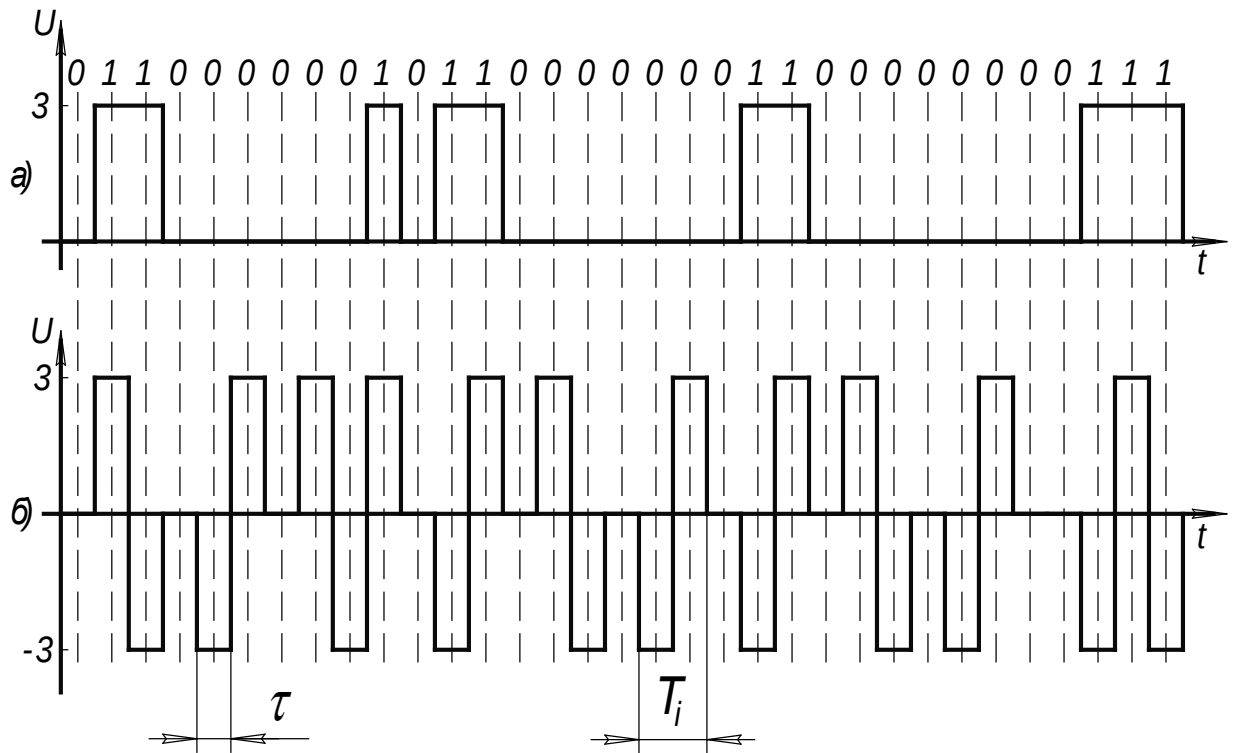


Рисунок 3.5 - Часові діаграми вхідного двійкового коду (а) та коду типу B6ZS (б)

Отже, відповідно до формули (3.14), період буде дорівнювати

$$T_i = \frac{1}{43,85 \cdot 10^6} = 22,8(\text{нс}).$$

Тривалість імпульсу визначається за виразом:

$$\tau = T_i / 2. \quad (3.15)$$

Підставивши значення періоду у вираз (3.14), отримаємо:

$$\tau = 22,8 \cdot 10^{-9} / 2 = 11,4(\text{нс}).$$

Нижче, на рис. 3.5 зображено енергетичний спектр коду типу B6ZS.

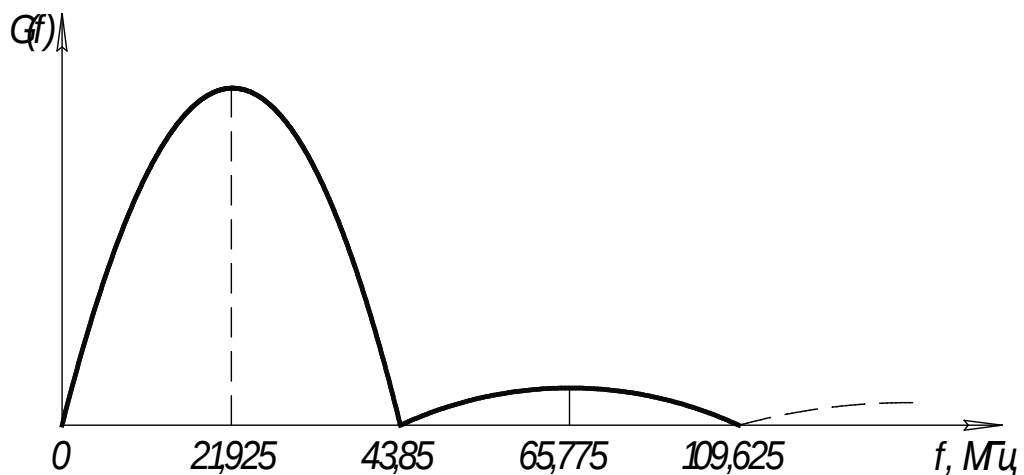


Рисунок 3.5 – Спектр сигналу на базі коду B6ZS

Виходячи з отриманих даних та з урахуванням того, що майже 100% потужності сигналу знаходиться в перших 2-х пелюстках частотного спектра, ширина спектра цифрового сигналу, яку він буде займати в лінійному тракті, дорівнює 109,625 МГц.

3.5 Аналіз граничних довжин регенераційних ділянок та вибір типу кабелю

В цьому підрозділі проводиться дослідження цифрової лінії, яка забезпечує передавачу цифрового сигналу у B6ZS-кодi з тактовою частотою агрегатного цифрового сигналу 43,85 МГц на відстань 440 км з 1 обслуговуваним регенераційним пунктом і ймовірністю помилок у лінійному тракті - $2,5 \cdot 10^{-11}$.

У такій системі в якості лінії зв'язку, потрібно використати ВОЛЗ типу БМ марки ОКЛС, що має робочу довжину хвилі 850 нм. Будівельна довжина такого типу ВОЛЗ дорівнює 2 км. ВОЛЗ такої марки на робочій довжині хвилі 850 нм має коефіцієнт згасання ≤ 3 дБ/км [12].

Для лінійного тракту потрібні високочастотні джерела світла та фотоприймач, що забезпечать передавання даних зі швидкістю 1,633 (Мбіт/с). Далі виконується розрахунок бюджету часу наростання та потужності.

Для ЦСП на базі ВОЛЗ сумарний час наростання тракту не повинен бути більшим, ніж 70 % тривалості імпульсу [12]:

$$t_{сист} < 0,7 \cdot \tau. \quad (3.16)$$

Для B6ZS-коду $\tau_{имп} = 0,5 \cdot T$. Звідси:

$$t_{сист} < \frac{0,7 \cdot T}{2} = 0,35 \cdot \frac{1}{f_T}. \quad (3.17)$$

Підставляючи значення тактової частоти (f_T) у (3.17), отримаємо сумарний час наростання ЦСП:

$$t_{сист} = \frac{0,35}{43,85 \cdot 10^6} = 7,98 \cdot 10^{-9} \text{ (с)}.$$

Сумарний час наростання ЦСП складає 7,98(нс) .

Цей час має бути розподілений між джерелом світла, волокном та фотоприймачем. Тому:

$$t_{сист}^2 = t_{джер}^2 + t_{ВОЛЗ}^2 + t_{фпр}^2, \quad (3.18)$$

де $t_{джер}$ - значення часу наростання джерела;

$t_{ВОЛЗ}$ - значення часу наростання волокна;

$t_{фпр}$ - значення часу наростання фотоприймача.

Значення часу наростання волокна визначається так:

$$t_{\text{ВОЛЗ}} = \Delta \tau, \quad (3.19)$$

де $\Delta \tau$ - загальне значення розширення імпульсу у ВОЛЗ.

Розширення імпульсу в одномодовому волокні відбувається внаслідок дисперсії хвилеводу ($M_{\text{хв}}$) та матеріалу ($M_{\text{мат}}$). Коефіцієнти хвилеводної та матеріальної дисперсії для оптоволокна з довжиною хвилі 850 нм дорівнюють 4,5 пс/(нм · км) та -20 пс/(нм · км) відповідно.

Тому, сумарне значення дисперсії знаходиться за формулою:

$$M_{\text{сум}} = M_{\text{мат}} + M_{\text{хв}}. \quad (3.20)$$

Матеріальна та хвилеводна дисперсії мають різні знаки, тому вони дещо компенсують одна одну.

Підставивши відповідні числові значення, можна знайти з (3.20) сумарне значення дисперсії:

$$M_{\text{сум}} = 20 - 4,5 = 15,5 \text{ пс/(нм · км)}.$$

В якості передавача буде використовуватися багатомодовий лазерний світлодіод типу LFO- 17/m-ір, що працює на хвилі довжиною 850 нм. Цей світлодіод має ширину спектра 0,85 нм та час наростання 0,3 нс [12]. У даному випадку, загальне розширення імпульсу у ВОЛЗ визначається так:

$$\Delta \tau = L \cdot M_{\text{сум}} \cdot \Delta \lambda, \quad (3.21)$$

де L – довжина ЛТ;

$\Delta \lambda$ – ширина спектра світлодіода.

Маючи відповідні значення, з (3.21) можна отримати, що:

$$\Delta\tau = 440 \cdot 15,5 \cdot 0,85 = 5,797 \text{ (нс)}.$$

Тоді, час наростання фотоприймача відповідно до (3.18):

$$t_{\phi np} = \sqrt{(7,98 \cdot 10^{-9})^2 - (15,5 \cdot 10^{-12})^2 - (5,797 \cdot 10^{-9})^2} = 5,48 \cdot 10^{-9} \text{ (с)}.$$

Таким чином, час наростання фотоприймача складає 5,48 нс.

Оскільки здійснюється ВЧ-передавання, тому необхідно, щоб ємність фотодіоду мінімальною. Завдяки цьому є можливість використовувати вищий опір навантаження R_H , який, в свою чергу, покращує чутливість приймального пристрою, якщо тепловий шум є основним обмежувальним чинником.

Нехай фотоприймач має вхідну ємність $C_\phi = 1 \text{ пФ}$, а час наростання якого обмежений часом прольоту $t_{np} = 0,3 \text{ нс}$, тоді обмежений схемою час наростання дорівнює:

$$t_{RC} = 2,19 \cdot R_H \cdot C_\phi. \quad (3.22)$$

Сумарний час наростання фотодіоду:

$$t_{\phi np}^2 = t_{np}^2 + t_{RC}^2. \quad (3.23)$$

Оскільки $t_{np} = 0,3 \text{ (нс)}$, $t_{\phi np} = 5,48 \text{ (нс)}$, то відповідно до виразу (3.23) отримуємо:

$$t_{RC} = \sqrt{(5,48 \cdot 10^{-9})^2 - (0,3 \cdot 10^{-9})^2} = 5,47 \cdot 10^{-9} \text{ (с)}.$$

Маючи необхідні числові значення і підставивши їх у (3.22), можна знайти опір навантаження R_H :

$$R_H = \frac{5,47 \cdot 10^{-9}}{2,19 \cdot 10^{-12}} \approx 2498 \text{ (Ом)}.$$

Таким чином, значення опору навантаження дорівнює 2,498 кОм.

Далі результати розрахунку часу наростання заносяться до табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Результати розрахунку часового бюджету

Складові бюджету	Час наростання, нс
Бюджет ЦСП, $t_{сист}$	7,98
Світлодіод, $t_{дж}$	0,3
ВОЛЗ, $t_{ВОЛЗ}$	5,797
Фотоприймач:	
Час прольоту, $t_{пр}$	0,3
Схема оброблення, t_{RC}	5,47
Сумарний час, $t_{фпр}$	5,48
ЦСП, $\sqrt{t_{дж}^2 + t_{ВОЛЗ}^2 + t_{фпр}^2}$	7,96

Отже, для ВОЛЗ марки ОКЛС з ОВ типу БМ з робочою довжиною хвилі 850 нм, розроблено систему, у якій ВОЛЗ не обмежує загальну ширину смуги пропускання, тобто є оптимальним вибором.

Обслуговуваний регенераційний пункт (ОРП) досліджуваного лінійного тракту Вінниця-Одеса буде розташовуватись в м.Ульяновка. Відстань до м.Вінниці дорівнює 220 км, а до м.Одеса з м.Ульяновка також дорівнює 220км. Таким чином, розрахунки будуть проводитись для однієї з цих двох ділянок лінійного тракту, а розраховані параметри можуть застосовуватись для обох ділянок.

Інформація даною ЦСП передається з високою швидкістю на значну відстань. Тому у даному випадку потрібно використовувати високоякісні

компоненти, а саме: лазерний світлодіод із вихідною потужністю до 1 дБп, втрати при введенні світла лазера у волокно до 3 дБп, два роз'єми - по 1 дБп втрат у кожному.

Маючи довжини траси та будівельну довжину ВОЛЗ, можна знайти кількість нерознімних з'єднувачів за наступним виразом:

$$b = \text{ent}\left(\frac{L}{l} - 1\right), \quad (3.24)$$

де l – значення будівельної довжини кабеля.

Підставивши відповідні значення будівельної довжини ВОЛЗ та довжини ділянки лінійного тракту у (3.24) знайдемо:

$$b = \text{ent}\left(\frac{220}{2} - 1\right) = 109.$$

Отже, число нерознімних з'єднань на першій та другій ділянках дорівнює 109, що мають по 0,1 дБ втрат у кожному. З'єднувачі будуть встановлюватись через кожні 2 км на трасі довжиною 440 км, що розділена на 2 ділянки довжинами по 220 км. Також важливим є те, що необхідно передбачити деякий запас потужності, який буде необхідним при усуненні пошкоджень ВОЛЗ.

Чутливість обраного фотодіода дорівнює -32 дБ. Нехай запас дорівнює 7 дБ, для забезпечення ймовірності помилки на рівні $2,5 \cdot 10^{-11}$ та для компенсації можливих втрат при зрощуванні ВОЛЗ. Допустиме згасання у тракті розраховується так:

$$\alpha_{тр.д.} = P_{вх} - \alpha_{pz} \cdot b_{pz} - P_{чутл} - \alpha_z, \quad (3.25)$$

де $P_{вх}$ – значення потужності сигналу на вході ВОЛЗ;

α_{pz} – значення згасання, вносимого рознімними з'єднаннями;

b_{pz} – число рознімних з'єднань;

$P_{чутл}$ – значення чутливості фотодіода;

α_3 – значення запасу згасання.

Отже, підставивши у вираз(3.25) відповідні значення, отримуємо:

$$\alpha_{mp.д.} = 1 - 3 - 1 \cdot 2 - (-32) - 7 = 21 (\text{дБ}).$$

Таким чином, максимально допустиме згасання на ділянці ВОЛЗ між НРП дорівнює 21 дБ.

Для ВОЛЗ марки ОКЛС з робочою довжиною хвилі 850 нм значення згасання дорівнює 0,25 дБп/км. Нерознімні з'єднання також вносять згасання на кожні 2 км ВОЛЗ, яке становить дорівнює 0,2 дБ. Тоді, на відстані 220 км таких з'єднань буде 109 і вони будуть вносити 21,8 дБ згасання. Це відповідає середньому значенню на рівні 0,1 дБ/км. Тому значення середнього згасання в ВОЛЗ на довжині 1 км дорівнює 1,1 дБ/км.

Для розрахунку довжини ділянки регенерації використовується наступний вираз:

$$l_p = \frac{\alpha_{mp.д.}}{\alpha_{каб}}, \quad (3.26)$$

де $\alpha_{каб}$ – значення середнього згасання у ВОЛЗ на 1 км.

Підставивши у (3.26) відповідні значення, отримуємо:

$$l_p = \frac{21 \cdot 10^3}{1,1 \cdot 10^3} = 19,1 (\text{км}).$$

Число НРП для 1-ї та 2-ї ділянок лінійного тракту Вінниця-Одеса розраховується за виразом:

$$Q_{нрп} = \text{ent} \left(\frac{L}{l_p} - 1 \right). \quad (3.27)$$

Підставивши у вираз (3.27) значення довжини регенерації та ділянки лінійного тракту, можна отримати число НРП, що становить:

$$Q_{нрп} = \text{ent} \left(\frac{220 \cdot 10^3}{19,1 \cdot 10^3} - 1 \right) = 11.$$

Відповідно з розрахунками, на ділянках лінійного тракту Вінниця-Ульяновка та Ульяновка-Одеса буде знаходитись 11 НРП.

Усі розраховані дані бюджету потужності ЦСП заносяться у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Дані розрахунку бюджету потужності ЦСП

Потужність лазерного світлодіода	1,0 дБп
Втрати потужності при введенні	3,0 дБп
Втрати в 2-х рознімних з'єднувачах (2x1)	2,0 дБп
Втрати в 5 нерознімних з'єднувачах (5x0,1)	0,5 дБп
Згасання у ВОЛЗ (19,1км x 0,25дБп/км)	4,77 дБп
Сумарні втрати у тракті	11,27дБп
Чутливість фотодіода	-32,0 дБ
Запас потужності	20,73 дБ

Оскільки сукупність вибраних компонентів ЦСП функціонує у межах часового бюджету наростання та бюджету потужності системи, тому дослідження лінійного тракту вважається завершеним.

Вартість лінійного тракту ЦСП Вінниця-Одеса визначається як добуток ціни 1 км ВОЛЗ марки ОКЛС типу БМ на довжині лінійного тракту за таким виразом [8]:

$$C_{\text{каб}} = C_{\text{каб} / \text{км}} \cdot L, \quad (3.28)$$

де $C_{\text{каб} / \text{км}}$ – вартість ВОЛЗ за 1 км.

Підставивши вартість ВОЛЗ - 5,4 тис. грн./км та довжину лінійного тракту у (3.28), отримаємо вартість лінійного тракту Вінниця-Одеса:

$$C_{\text{каб}} = 5,4 \cdot 10^3 \cdot 440 = 2,376 \text{ (млн. грн.)}.$$

З отриманих розрахунків видно, що вартість лінійного тракту сумою 2,376 млн. грн. є з економічної точки зору задовільною, а це, в свою чергу, означає, що впровадження такої ЦСП може бути доцільним. Реалізація даного лінійного тракту може бути здійснена операторами мобільного або фіксованого телефонного зв'язку, оскільки загальна вартість проєкту є невисокою.

3.6 Дослідження надійності лінійного тракту ЦСП

Оцінювання лінійного тракту ЦСП необхідно проводити з урахуванням надійності окремих блоків системи передачі. У табл. 3.3 наведено основні показники надійності та час відновлення кожного з компонентів ЦСП.

Таблиця 3.3 – Параметри надійності лінійних блоків ЦСП

Найменування компонента	НРП	ОРП	ВОЛЗ
λ , 1/год	$3 \cdot 10^{-8}$	10^{-7}	$5 \cdot 10^{-8} / \text{км}$
t_v , год	4,0	0,5	5,0

Значення інтенсивності відмовлень лінійного тракту визначається як сума інтенсивностей відмов НРП, ОРП та ВОЛЗ за таким виразом [12]:

$$\lambda_{\text{сис}} = \lambda_{\text{нрп}} \cdot Q_{\text{нрп}} + \lambda_{\text{орп}} \cdot Q_{\text{орп}} + \lambda_{\text{каб}} \cdot L, \quad (3.29)$$

де $\lambda_{\text{нрп}}$ і $\lambda_{\text{орп}}$ – значення інтенсивності відмов НРП і ОРП;

$Q_{\text{орп}}$ – число ОРП;

$\lambda_{\text{нрп}}$ – значення інтенсивності відмов одного кілометра ВОЛЗ.

Отже, підставивши відповідні значення інтенсивності відмов у формулу (3.28) отримуємо:

$$\lambda_{\text{сис}} = 3 \cdot 10^{-8} \cdot 22 + 10^{-7} \cdot 1 + 5 \cdot 10^{-8} \cdot 440 = 22,76 \cdot 10^{-6}.$$

Середній час безвідмовної роботи ЦСП визначається так [11]:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda_{\text{сис}}}. \quad (3.30)$$

Звідси середній час безвідмовної роботи ЦСП дорівнює:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{22,76 \cdot 10^{-6}} \approx 43936 \text{ (годин)}.$$

Отже, середній час безвідмовної роботи ЦСП дорівнює 43936 годин, тобто більше 5 років. Такий час є задовільним для досліджуваної системи з використанням ВОЛЗ.

Додатково можна знайти ймовірність безвідмовної роботи ЦСП протягом заданого проміжку часу для $t_1=24$ год (1 доба), $t_2=720$ год (1 міс.), $t_3=8760$ год (1 рік). Вона знаходиться так [11]:

$$P_{cuc}(t) = e^{-\lambda_{cuc} \cdot t}. \quad (3.31)$$

Підставивши відповідні числові значення моментів часу у вираз (3.31), можна визначити ймовірності безвідмовної роботи ЦСП:

$$\begin{aligned} P_{cuc}(24) &= e^{-22,76 \cdot 10^{-6} \cdot 24} = 0,9994, \\ P_{cuc}(720) &= e^{-22,76 \cdot 10^{-6} \cdot 720} = 0,9837, \\ P_{cuc}(8760) &= e^{-22,58 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} = 0,8192. \end{aligned}$$

Середній час відновлення зв'язку у ЦСП визначається за такою формулою [11]:

$$t_{\epsilon} = \frac{\lambda_{нрп} \cdot Q_{нрп} \cdot t_{в.нрп} + \lambda_{орп} \cdot Q_{орп} \cdot t_{в.орп} + \lambda_{каб} \cdot L \cdot t_{в.каб}}{\lambda_{cuc}}, \quad (3.32)$$

де $t_{в.нрп}$, $t_{в.орп}$ і $t_{в.каб}$ – значення часу відновлення НРП, ОРП і ВОЛЗ відповідно.

Підставивши числові значення часу відновлення елементів ЦСП у формулу (3.32) отримаємо:

$$t_{\epsilon} = \frac{3 \cdot 10^{-8} \cdot 22 \cdot 4 + 10^{-7} \cdot 1 \cdot 0,5 + 5 \cdot 10^{-8} \cdot 440 \cdot 5}{22,76 \cdot 10^{-6}} = 4,95 \text{ (год.)}$$

Отже, значення середнього часу відновлення зв'язку ЦСП становить близько 4,95 год.

Таким чином, для ефективної роботи даної ЦСП, що має високий середній час безвідмовної роботи та достатньо малий час відновлення зв'язку при відмовленні ЦСП, було проведено розрахунки цих показників і видно, що вони є достатніми.

3.7 Розробка функціональної електричної схеми АЦО ЦСП

На відміну від структурної схеми, функціональна електрична схема будь-якого пристрою дає докладнішу інформацію про процеси, що відбуваються в ЦСП. У функціональній електричній схемі робота пристрою розглядається на рівні функціональних складових. При цьому функціональні вузли мають власні умовні позначення. Також на функціональній електричній схемі міститься інформація про основні параметри сигналів на виходах і входах функціональних складових.

На базі узагальненої структури АЦО, розглянутої у п.р. 3.2, розробляється функціональна схема АЦО-8.

При використанні компресії число розрядів на виході АЦП дорівнює 8 і цей код повинен опрацюватись в одному канальному інтервалі (за час його тривалості). Тому, прийнявши до уваги тривалість групового цифрового потоку, тактову частоту на виході АЦП можна визначати за наступним виразом:

$$F_{\text{АЦП}} = \frac{8}{6} \cdot F_{m1}. \quad (3.33)$$

Підставивши числові значення, можна розрахувати, що тактова частота на виході АЦП становитиме:

$$F_{\text{АЦП}} = \frac{8}{6} \cdot 43,85 \cdot 10^6 = 58,47 \text{ (МГц)}.$$

Вхідний сигнал, що надходить до передавальної частини АЦО, (сигнал системи КАМА, частотною смугою 12кГц...248 кГц) та сигнали керування та взаємодії надходять на входи узгоджувальних пристроїв (УП), з виходів яких сигнали АСП надходять до входів передавачів (Пер). В якості передавачів АЦО використовуються мікросхема типу K950KH2. У передавачах відбувається формування АІМ-сигналу з частотою повторення імпульсів, що становить 540 кГц. Сигнали керування та взаємодії перетворюються в

імпульсні послідовності, після чого надходять на входи формувачів лінійних сигналів (ФЛС). З виходів передавачів АІМ-сигнали надходять в індивідуальні АДІКМ-кодері (Код), які є 8-ми розрядним. В якості кодерів обирається мікросхема типу ADSP-95M. На виходах АДІКМ формуються 8-розрядні сигнали, які також подаються на входи ФЛС. Формувач лінійного сигналу побудовано на мікросхемі типу ADSP-BF533.

На інші входи ФЛС подаються синхросигнали, що генеруються формувачем синхросигналів (ФС) та СУВ. Формування лінійного сигналу виконується на виході перетворювача кодів передавача (ПКпер), що перетворює однополярний код на B6ZS-код з амплітудою імпульсів $\pm 3,0\text{В}$. Як формувач синхросигналів і перетворювач кодів обирається мікросхема типу ADSP-2195.

Генераторне обладнання містить задавальний генератор (ГЗ), який синтезує сигнал основної частоти, що надходить на вхід подільника частот (ПЧ). Головною задачею ПЧ є формування сигналів з частотою дискретизації, тактової частоти кодера та частоти синхронізації.

На виході передавальної частини ЦСП формується 8-розрядний цифровий сигнал з частотою 43,85 МГц.

На приймальній частині ЦСП з лінійного тракту цифровий сигнал з частотою 43,85 МГц потрапляє до входів перетворювачів коду. З виходу ПК_{пр} груповий сигнал надходить на вхід пристрою розділення. Для узгодження нормального функціонування ГО, груповий сигнал обробляється у блоці циклової синхронізації. Пристрій розділення здійснює селекцію індивідуальних сигналів з групового сигналу. Потім у приймачах виконується відновлення аналогових сигналів, що поступають на входи індивідуальних декодерів АДІКМ.

У передавальній частині ЦСП, в якості перетворювачів коду використовується мікросхема типу ADSP-2195. Як декодер обирається мікросхема типу ADSP-2185. Пристрій розділення реалізовано на мікросхемі

типу ADSP-MF185. В якості приймачів АЦО використовуються мікросхеми типу K950KH2.

3.8 Розробка ситуаційного плану ЦСП

Для побудови ситуаційного плану, необхідно використовувати топографічну карту місцевості, в якій знаходиться ЦСП із заданими містами. Маршрут лінійного тракту необхідно обирати найкоротшим, завдяки чому підвищується його надійність та економічність.

Лінійний тракт даної ЦСП містить ВОЛЗ з будівельною довжиною 2 км, 22 НРП та 1 ОРП.

Обслуговувані пункти, потрібно розміщувати у населених пунктах, де може проживати робочий персонал. У такій місцевості ВОЛЗ прокладається у спеціальній кабельній каналізації. У заміській частині траси ВОЛЗ необхідно прокладати вздовж автомобільних доріг чи залізничних шляхів. Траса ВОЛЗ повинна проходити по землям несільськогосподарського призначення. Трасу ВОЛЗ не бажано розміщувати у лісних місцевостях, тому що це призводить до складності доступу при можливих пошкодженнях.

Слід враховувати і перетинання ВОЛЗ з підземними будовами, водними перешкодами і дорогами. Прокладання ВОЛЗ через водну перешкоду здійснюється дном водойми у спеціальній захисній оболонці, а також по дамбам чи мостам, споруджених через ці водойми.

У разі, якщо на шляху прокладання ВОЛЗ зустрічається дорога, то тоді виконується буріння ґрунту під дорогою шириною до 20 м. У таких випадках можна виконати горизонтальний прокол з прокладкою захисних труб та протяжкою через них ВОЛЗ.

Розглянувши карту місцевості між Вінницею та Одесою, можна зазначити, що найбільш оптимальним варіантом буде прокладання траси

ВОЛЗ уздовж автостради під номером E50 з м.Вінниці до м.Умань та з м.Умань до м.Одеси – автостради під номером E95.

У м. Ульяновці найбільш доцільно розмістити ОРП, оскільки це є середина маршруту ВОЛЗ.

Лінійний тракт Вінниця-Одеса буде містити: крайові пункти (КП), ОРП та НРП та ділянки регенерації (ДР). Скелетна схема лінійного тракту ВОЛЗ передбачає його розбиття на ділянки ВОЛЗ між регенераційними пунктами та опис місць прокладання ВОЛЗ.

Приймальна частина ЦСП складається з ОЛТ та цифро-аналогового обладнання (ЦАО).

На рис. 3.6 представлено структуру організації ЦСП.

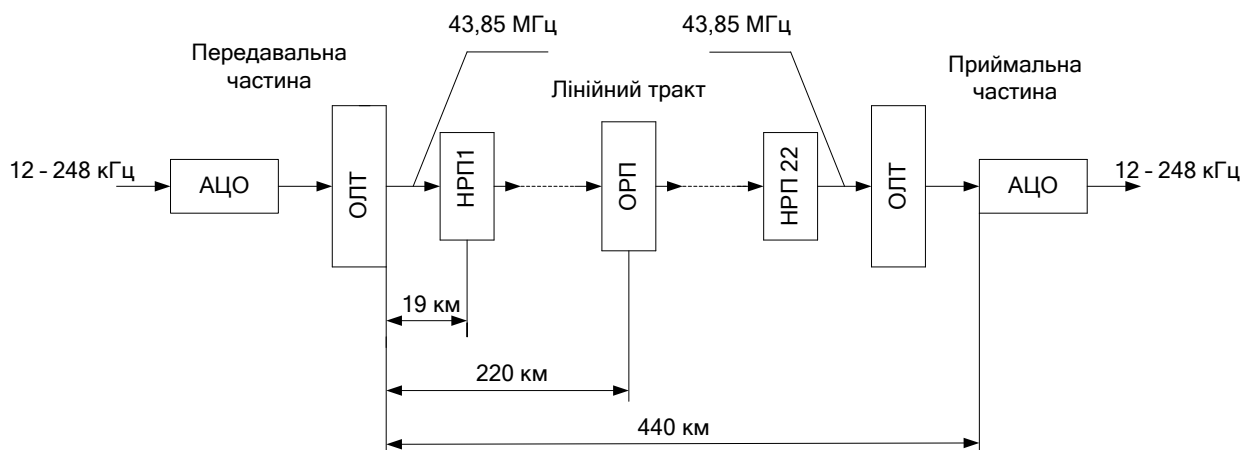


Рисунок 3.6 – Структура організації ЦСП

Отже, ділянка ВОЛЗ лінійного тракту Вінниця-Одеса розбивається на 23 регенераційних ділянок:

1) Вінниця-Писарівка. Перший НРП буде розташований біля відгалуження дороги до села Писарівка, Вінницького району від магістралі під номером E-50. Довжина цієї регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює 19 км. На трасі до першого НРП ВОЛЗ буде перетинати 2 дороги місцевого значення. У м. Вінниці ВОЛЗ буде прокладатись в кабельній каналізації.

2) Писарівка-Байраківка. 2-й НРП буде розташовуватись біля відгалуження дороги до села Писарівка, Немирівського району від магістралі під номером Е-50. Довжина цієї регенераційної ділянки дорівнює 20 км. На своєму шляху до 2-го НРП ВОЛЗ буде перетинати одну дорогу місцевого значення. Через ці дороги прокладання кабелю буде проводитись шляхом буріння ґрунту під ними. На виїзді з смт. Вороновиця ВОЛЗ буде перетинати невелику річку Воронка. У даному випадку ВОЛЗ буде прокладено під мостом в кабельній каналізації.

3) Байраківка-Чуків. 3-й НРП буде розташовуватись біля відгалуження дороги до села Чукив, Немирівського району від магістралі під номером Е-50. Довжина цієї регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює 19 км. На своєму шляху до другого НРП ВОЛЗ буде перетинати 3 дороги місцевого значення та залізничну колію. Через ці дороги прокладання ВОЛЗ буде проводитись шляхом буріння ґрунту під ними. У м. Немирів ВОЛЗ буде перетинати двічі річку.

4) Чукив-Мітлинці. 4-й НРП буде розташовуватись біля відгалуження дороги до села Мітлинці, Гайсинського району від магістралі Е-50. Довжина цієї регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює 19 км. На своєму шляху ВОЛЗ буде перетинати 2 дороги місцевого значення. Через ці дороги прокладання кабелю буде проводитись шляхом буріння ґрунту під ними. Також на в'їзді та виїзді з смт. Райгород ВОЛЗ буде перетинати річку Кропивнянка.

5) Мітлинці-Гайсин. 5-й НРП буде розташовуватись поблизу відгалуження дороги до м. Гайсин, Вінницької області від магістралі Е-50. Довжина цієї регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює 19 км. На своєму шляху ВОЛЗ буде перетинати 3 дороги місцевого значення та залізничну дорогу поблизу м. Гайсин. Через ці дороги прокладання ВОЛЗ буде проводитись шляхом буріння ґрунту під ними. Також після с.Кунка ВОЛЗ буде перетинати річку Кубич.

6) Гайсин-Краснопілка. 6-й НРП буде розташовуватись біля відгалуження дороги до села Краснопілка, Гайсинського району від

магістралі Е-50. Довжина цієї регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює 19 км. На своєму шляху ВОЛЗ буде перетинати дорогу місцевого значення.

7) Краснофллка-Івангород. 7-й НРП буде розташовуватись поблизу відгалуження дороги до села Івангород Христинівського району Черкаської області від магістралі Е-50. Довжина цієї регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює 20 км. На своєму шляху ВОЛЗ буде перетинати одну дорогу місцевого значення та залізничну дорогу поблизу с.Івангород.

8) Івангород-Паланка. 8-й НРП буде розташовуватись поблизу с.Паланка, Уманського району, Черкаської області. Довжина цієї регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює 19 км. На своєму шляху ВОЛЗ буде перетинати 2 дороги місцевого значення.

9) Паланка-Сушківка. 9-й НРП буде розташовуватись на перехресті магістралей М-05 та Е-50, поблизу села Сушківка, Уманського району, Черкаської області. Довжина цієї регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює 19км. На своєму шляху ВОЛЗ буде перетинати 2 дороги місцевого значення.

10) Сушківка-Ятранівка. 10-й НРП буде розташовуватись поблизу села Ятранівка, Уманського району, Черкаської області М-05. Довжина цієї регенераційної ділянки дорівнює 19 км. На своєму шляху ВОЛЗ буде перетинати одну дорогу місцевого значення.

11) Ятранівка-Синьки. 11-й НРП буде розташовуватись поблизу села Синьки, Ульянівського району, Кіровоградської області на магістралі М-05. Довжина цієї регенераційної ділянки дорівнює 19 км. На своєму шляху ВОЛЗ буде перетинати дві дороги місцевого значення. Прокладання ВОЛЗ буде проводитись шляхом буріння ґрунту під дорогою. Також поблизу с.Рижавка ВОЛЗ буде перетинати невелику річку Ятрань.

12) Синьки-Ульяновка. В м.Ульяновці буде розташовуватись ОРП. Довжина даної регенераційної ділянки дорівнює 19 км. Уздовж магістралі М-05 ВОЛЗ буде перетинати 2 дороги місцевого значення та 1 залізничну дорогу в м.Ульяновка. Довжина ділянки ВОЛЗ Вінниця-Ульяновка дорівнює 220 км.

13) Ульяновка-Сабантинівка. 12-й НРП буде розташовуватись поблизу відгалуження дороги до села Сабантинівка від магістралі М-05. Довжина цієї регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює 19 км. На своєму шляху ВОЛЗ буде перетинати дві дороги місцевого значення.

14) Сабантинівка-Криве Озеро. 13-й НРП буде розташовуватись поблизу відгалуження дороги до м. Криве Озеро від магістралі М-05. Довжина цієї регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює 26 км. На своєму шляху ВОЛЗ буде перетинати 3 дороги місцевого значення.

15) Криве Озеро-Любашівка. 14-й НРП буде розташовуватись поблизу відгалуження дороги до районного центру Любашівка, Одеської області від магістралі М-05. Довжина цієї регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює 20 км. На своєму шляху ВОЛЗ буде перетинати 5 доріг місцевого значення. Також поблизу м.Криве Озеро ВОЛЗ буде перетинати невелику річку Кодима.

16) Любашівка-Троїцьке. 15-й НРП буде розташовуватись поблизу відгалуження дороги до м.Троїцьке, Одеської області від магістралі державного значення М-05. Довжина цієї регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює 19 км. На своєму шляху ВОЛЗ буде перетинати одну дорогу місцевого значення та магістраль державного значення М-13.

17) Троїцьке-Ширяєве. 16-й НРП буде розташовуватись поблизу районного центру м.Ширяєве, Одеської області від магістралі державного значення М-05. Довжина цієї регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює 19 км. На своєму шляху ВОЛЗ буде перетинати одну дорогу місцевого значення.

18) Ширяєве-Жовтень. 17-й НРП буде розташовуватись поблизу м.Жовтень Одеської області, що розташовується на магістралі М-05. Довжина цієї регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює 16 км. На своєму шляху ВОЛЗ буде перетинати одну дорогу місцевого значення.

19) Жовтень-Чапаєве. 18-й НРП буде розташовуватись поблизу відгалуження дороги до с.Чапаєве Одеської області від магістралі М-05.

Довжина цієї регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює 19 км. На своєму шляху ВОЛЗ буде перетинати дві дороги місцевого значення.

20) Чапаєве-Радісне. 19-й НРП буде розташовуватись на виїзді з м. Радісне, Одеської області на магістралі М-05. Довжина цієї регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює 19 км. На своєму шляху ВОЛЗ буде перетинати дві дороги місцевого значення та залізничну дорогу.

21) Радісне-Єремівка. 20-й НРП буде розташовуватись поблизу відгалуження дороги до смт.Єремівка Одеської області від магістралі М-05. Довжина цієї регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює 19 км. На своєму шляху ВОЛЗ буде перетинати одну дорогу місцевого значення.

22) Єремівка-Одрадове. 21-й НРП буде розташовуватись поблизу відгалуження дороги до с.Одрадове, Одеської області від магістралі М-05. Довжина цієї регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює 19 км. На своєму шляху ВОЛЗ буде перетинати одну дороги місцевого значення.

23) Одрадове-Холодна Балка. 22-й НРП буде розташовуватись поблизу с.Холодна Балка, Одеської області від магістралі М-05. Довжина цієї регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює 19 км. На своєму шляху ВОЛЗ буде перетинати одну дороги місцевого значення.

24) Холодна Балка-Одеса. У м.Одесі буде розміщуватись кінцеве обладнання лінійного тракту (КОЛТ). Довжина цієї регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює 19 км. На своєму шляху ВОЛЗ буде перетинати магістраль Е-58 та одну залізничну дорогу. У м.Одесі прокладання ВОЛЗ буде здійснюватись в кабельній каналізації міста.

Довжина ділянки Ульяновка-Одеса дорівнює 220 км. Загальна довжина лінійного тракту ЦСП Вінниця-Одеса дорівнює 440 км.

4 РОЗРОБКА ЛІНІЙНОГО РЕГЕНЕРАТОРА ЦСП

4.1 Вибір та обґрунтування оптимальної структури лінійного регенератора

Лінійний регенератор (ЛР) є спеціалізованим пристроєм, що слугує для відновлення цифрового лінійного сигналу. За допомогою ЛР вхідний оптичний сигнал перетворюється в електричний, підсилюється, регенерується та перетворюється в оптичний сигнал. Лінійний регенератор забезпечує доступ до каналу службового зв'язку та додаткових допоміжних каналів передавання даних секції регенерації.

Лінійні регенератори призначено для усунення дії завад і лінійних спотворень у лінійному тракті, які змінюють амплітуду, тривалість та форму імпульсів цифрового лінійного сигналу, а також значення часового інтервалу між сусідніми імпульсами.

Можливість регенерації цифрового лінійного сигналу відносно простими технічними засобами є однією із головних переваг ЦСП на базі імпульсно-кодової модуляції. Регенерація дозволяє очистити від завад і спотворень сигнал, що пройшов через відрізок лінійного тракту, і відновити його до того вигляду, у якому він надходив на вхід цього лінійного тракту. Лінійні регенератори встановлюються в тракті приймання кінцевої станції (у даному випадку вони вважаються стаціонарними регенераторами) і в проміжних НРП [14].

Узагальнена структурна схема лінійного регенератора представлена на рис. 4.1.

Згідно цієї структури, сигнал $U_n(t)$ з виходу лінійного тракту поступає на вхід коригувального підсилювача (КП), який, у свою чергу підсилює вхідний сигнал та частково вирівнює форму сигналу. Потім сигнал з виходу КП (а) надходить на вхід порогового пристрою (ПП), що є схемою порівняння, яка функціонує в імпульсному (стробувальному) режимі.

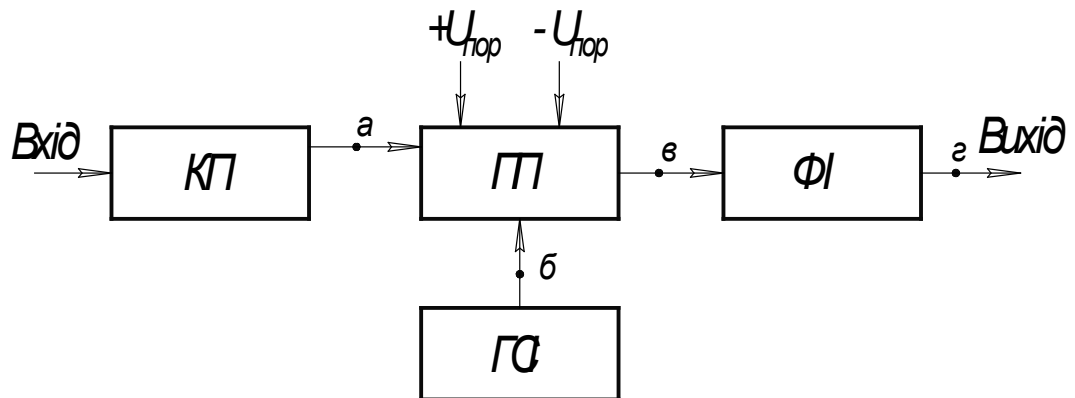


Рисунок 4.1 – Узагальнена структурна схема лінійного регенерація

Миттєве значення передавального сигналу $U_n(t)$ (а) в момент часу приходу стробувального імпульсу (б), порівнюється із певним чином обраною пороговою напругою $U_{пор}$. Рішення щодо переданого символу («0» чи «1» для двійкового коду, «-1», «0», «+1» для трійкового коду) формує пороговий пристрій.

У випадку для двійкового коду, якщо $U_n(t) > U_{пор}$, тоді на виході ПП формується імпульс «1», а якщо навпаки, то формується імпульс «0». Імпульси (в) з виходу ПП активують формувач імпульсів (ФІ), на виході якого формується регенований сигнал (г).

У даній схемі регенерації слід зазначити 2 особливості. Перша особливість полягає у тому, що форма та тривалість імпульсу на виході регенерації завжди стабільні та визначаються параметрами ФІ. Друга особливість полягає у тому, що часові інтервали між імпульсами залежать лише від коректного функціонування схеми синхронізації та в ідеальному випадку кратні періоду значення тактової частоти.

Розширена структурна електрична схема лінійного регенерації подана на рис. 4.2. Регенератор, що побудовано відповідно до цієї структури буде функціонувати з трійковими кодами, що характеризуються вищою ефективністю, ніж двійкові [15].

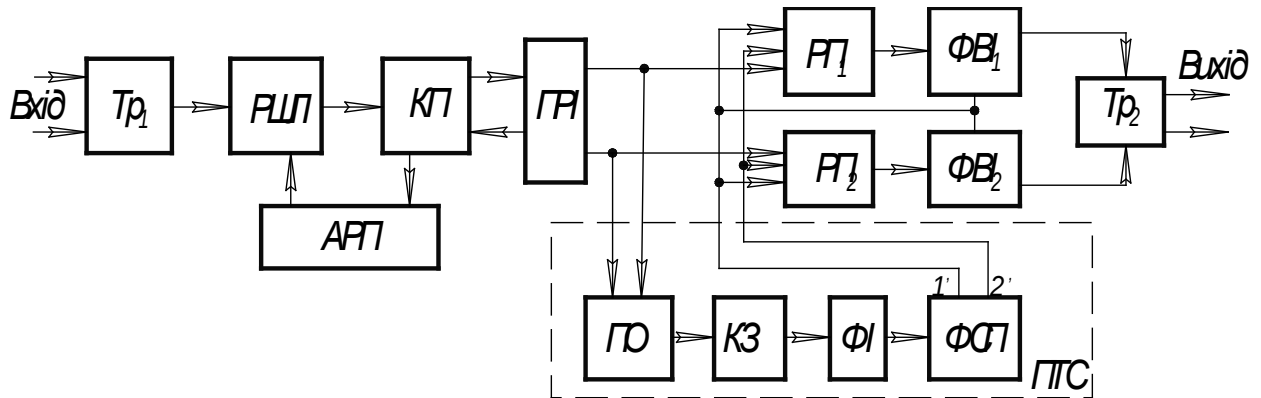


Рисунок 4.2 – Розширена структурна електрична схема
лінійного регенерація

Ослаблений та спотворений в процесі проходження лінійним трактом цифровий сигнал через симетричний трансформатор (Tr_1) подається на вхід лінійного коректора, що містить регульовану штучну лінію (РШЛ), коригувальний підсилювач (КП), пристрій автоматичного керування рівня (АРП) і пристрій розділення імпульсів за полярністю (ПРІ) [15].

КП коригує форму імпульсів цифрового сигналу за умов максимального згасання попереднього регенераційного відрізка таким чином, що на виході підсилювача імпульси мають дзвінкоподібну форму, амплітуду до 2,4 В при ширині на рівні половини амплітуди, рівної тривалості тактового інтервалу. Згасання РШЛ задається схемою АРП, так щоб при зміні згасання кабельного кола амплітуда імпульсів на виході лінійного коректора зберігалася постійною.

У подальшому скоригований біполярний цифровий сигнал перетворюється за допомогою пристрою розділення на однополярні послідовності позитивних та негативних імпульсів. Потім ці послідовності подаються на входи розв'язувальних пристроїв $РП_1$, $РП_2$, у яких відбувається розпізнавання кодових символів. Відновлення імпульсів за формою, тривалістю та часовим положенням відбувається у формувачі вихідних імпульсів (ФВІ). Регеновані імпульси з ФВІ об'єднуються у

симетрувальному трансформаторі Tr_2 і подаються на вхід наступного регенераційного відрізка. Керування синхронною роботою $РП_1$ та $РП_2$ здійснюється 2-ма послідовностями прямокутних імпульсів, які забезпечують тактову синхронізацію та відновлення часових інтервалів[15].

Часові положення фронту імпульсів 1-ї послідовності (в точці 1) визначають моменти виявлення кодових символів та положення фронту прорегенованих імпульсів. Зрізом цих імпульсів формується задній фронт прорегенованих імпульсів. Імпульси 2-ї послідовності (в точці 2), що отримані за рахунок затримки відносно імпульсів 1-ї послідовності, блокують входи РП, чим забезпечується функціонування регенератора у режимі стробування. Тривалість стробування дорівнює інтервалу часу між переднім фронтом імпульсів першої та заднім фронтом імпульсів другої послідовності.

Формування синхросигналу реалізується за допомогою пристрою тактової синхронізації (ПТС), який виконано за класичною схемою виділення тактової частоти.

Після випрямлення та обмеження знизу у підсилювачі-обмежувачі (ПО) імпульси надходять на контур ударного збудження (КЗ), з виходу якого, квазігармонічний сигнал з тактовою частотою через фазоінвертор (ФІ) подається на вхід формувача синхропослідовності (ФСП). ФСП, в свою чергу, формує на виході з квазігармонічного сигналу послідовність прямокутних імпульсів із заданим періодом.

4.2 Розробка принципової електричної схеми лінійного регенератора

Лінійний регенератор будується на базі сучасних мікроелектронних компонентів. У даному випадку, замість застосування дискретних транзисторів і логічних мікросхем доцільніше застосувати одну

програмовану мікросхему – мікроконтролер (МК). На базі мікросхеми МК можна побудувати такі блоки, як ПП, ГСІ та ФІ. Мікросхема МК містить вбудований аналого-цифровий перетворювач (АЦП), за допомогою якого відбувається перетворення імпульсного вхідного сигналу у цифровий код.

КП будується на базі мікросхеми операційного підсилювача (ОП) (мікросхема DA1). Основним завданням мікросхеми ОП є підсилення вхідного сигналу до рівня, достатнього для нормального функціонування АЦП. Для захисту входу АЦП від можливих перевантажень, застосовується діодний обмежувач напруги, що побудовано на діодах VD₁, VD₂. Напруга обмеження встановлюється на рівні 0,7 В.

На рис. 4.3 зображено схему КП побудовану на базі мікросхеми ОП.

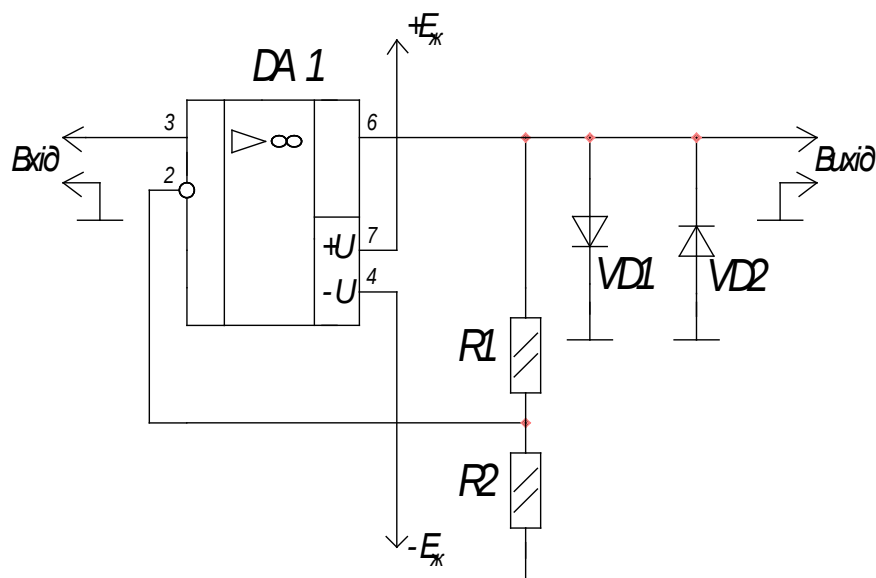


Рисунок 4.3 – Схема КП на базі мікросхеми операційного підсилювача

Залежно від рівня вхідної напруги, мікросхема МК фіксує логічний «0» або «1». Якщо рівень вхідної напруги не перевищує 0,5 В, то фіксується логічний «0», а у протилежному випадку – «1». Фіксація логічного стану вхідного сигналу виконується у задані моменти часу, відповідно до значення тактової частоти сигналу. На базі цього, у порт А виводиться відповідно логічний «0» або «1». На відміну від вхідного сигналу, сформований мікросхемою мікроконтролера вихідний сигнал має прямокутну форму. У

цьому полягає регенерація цифрового лінійного сигналу. Функцію ГСІ виконує вбудований у мікросхему МК тактовий генератор, значення частоти якого задається кварцевим резонатором ZQ1. Рівень сформованого на виході мікросхеми МК сигналу є нижчим, ніж необхідний, тому застосовується мікросхема додаткового вихідного підсилювача (мікросхема DA2) з коефіцієнтом підсилення за напругою 3.

Рівень вхідного сигналу, що надходить до входу ЛР не перевищує 0,1 В, тому вхідний підсилювач повинен забезпечити коефіцієнт підсилення за напругою 10. Коефіцієнт підсилення мікросхеми DA1 задається за допомогою резисторів R_1 , R_2 та знаходиться за формулою:

$$K_U = 1 + \frac{R_1}{R_2}. \quad (4.1)$$

Сумарний опір цього подільника не є критичним. Як правило в подібних схемах він становить 1 – 100 кОм. Виходячи із цього, опір резистора R_2 дорівнює 1 кОм. Тоді опір резистора R_1 визначається за наступною формулою:

$$R_1 = R_2 \cdot (K_U - 1). \quad (4.2)$$

Підставивши відповідні числові значення у формулу (4.2), знаходимо опір резистора R_1 :

$$R_1 = 1 \cdot (10 - 1) = 9 \text{ (кОм)}.$$

Опір резисторів повинен відповідати стандартному ряду номіналів опорів. Для резистора R_1 найближчим значенням зі стандартного ряду є опір 9,1 кОм.

В якості діодів VD_1 , VD_2 застосовуються малопотужний тип кремнієвих діодів типу 1N4148. Для того, щоб отримати необхідний коефіцієнт підсилення, мікросхема ОП повинна мати відповідні частотні

характеристики. Основним частотним параметром мікросхеми ОП є частота одиничного підсилення (f_{od}). Її значення відповідає умові:

$$f_{od} > K_U \cdot f_{\epsilon}, \quad (4.3)$$

де f_{ϵ} – значення верхньої частоти спектра сигналу, що підсилюється.

Вхідний сигнал є спотвореним за формою близький до синусоїдальної. Тому значення верхньої частоти його спектра дорівнює тактовій частоті. Тоді для мікросхеми DA1 отримуємо:

$$f_{odDA1} > 10 \cdot 43,85 = 438,5 \text{ (МГц)}.$$

Мікросхема DA2 підсилює імпульсний сигнал, тому з метою уникнення спотворення форми імпульсів, приймається умова, що $f_{\epsilon DA2} = 4 \dots 6 \cdot f_T = 263,1 \text{ (МГц)}$. Тоді відповідно до розрахунків маємо:

$$f_{odDA2} > 3 \cdot 263,1 = 789,3 \text{ (МГц)}.$$

Відповідно до виразів (4.1) та (4.2) виконується розрахунок опорів резисторів R_3 , R_4 . У свою чергу, опір резистора R_4 задається рівним 1 кОм, а опір резистора R_3 буде дорівнювати:

$$R_4 = 1 \cdot (3 - 1) = 2 \text{ (кОм)}.$$

В якості резистора R_1 вибираються резистори типу МЛТ-0,125-9,1 кОм $\pm$ 5%, R_2 , R_4 – типу МЛТ-0,125-1 кОм $\pm$ 5%, та R_4 – типу МЛТ-0,125-2 кОм $\pm$ 5%.

При виборі мікросхеми ОП, слід звернути увагу на такі параметри як частота одиничного підсилення та потужність споживання. Вибір мікросхем ОП буде проводитись з елементів зарубіжного виробництва. Такі мікросхеми

є економічними, мають високі технічні характеристики і параметри та є досить доступними. Параметри деяких мікросхем ОП зарубіжного виробництва наведено у табл. 4.1 [16].

Таблиця 4.1 – Основні параметри деяких ОП

Тип мікросхеми ОП	AD810A	AD8001AN	OPA37G	OPA300
Вхідний опір, ГОм	0,0035	1000	2,5	10^4
Коефіцієнт підсилення напруги, дБ	100,0	54,0	124,0	106,0
Значення частоти одиничного підсилення, ГГц	0,8	0,8	0,63	0,15
Значення вихідного опору, Ом	15,0	50,0	70,0	-
Напруга живлення, В	$\pm 15,0$	$\pm 5,0$	$\pm 15,0$	$\pm 5,0$
Максимальний струм споживання, мА	10,0	5,5	5,7	12,0

Даним вимогам задовольняє мікросхема типу AD8001AN, частота одиничного підсилення якої перевищує 0,8 ГГц. Також ця мікросхема здатна забезпечити необхідний рівень напруги вихідного сигналу. Тому її доцільно використовувати як для вхідного, так і для вихідного каскадів. Отже в якості мікросхем DA1 та DA2 буде використовуватися мікросхема типу AD8001AN.

Ємності блокувальних конденсаторів $C_1...C_4$ не є критичними і обираються виходячи із рекомендацій виробників обраних мікросхем. У даному випадку ємності повинні становити 0,1 мкФ. Обираються конденсатори типу K10-17-0,1 мкФ $\pm 10\%$.

Мікросхема МК повинна містити вбудований АЦП та мати значення тактової частоти не нижче за 45 МГц. Даним вимогам відповідає мікросхема типу C8051F353, що має тактову частоту 50 МГц.

На рис. 4.4 подано схему мікроконтролера типу C8051F353.

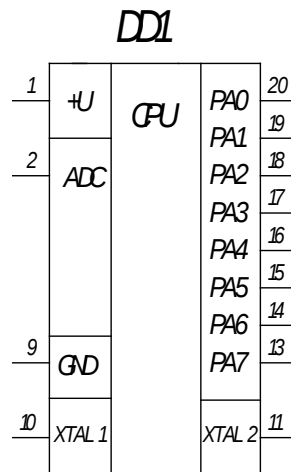


Рисунок 4.4 – Мікроконтролер типу C8051F353

В якості кварцового резонатора ZQ1 обирається резонатор типу XRCGB48M на 43,85 МГц.

Потужність споживання ЛР знаходиться за наступним виразом:

$$P_{cn} = P_{DA1} + P_{DD1} + P_{DA2}, \quad (4.4)$$

де P_{DA1} - значення потужності споживання мікросхеми DA1;

P_{DD1} - значення потужності споживання мікросхеми DD1;

P_{DA2} - значення потужності споживання мікросхеми DA2.

Оскільки кожна з даних мікросхем споживає 50 мВт, тому відповідно до виразу (4.4) значення потужності споживання ЛР становить:

$$P_{cn} = 0,05 + 0,05 + 0,05 = 0,15 \text{ (Вт)}.$$

Дане значення потужності споживання є відносно незначним, що досягнуто за рахунок застосування сучасних мікросхем.

4.3 Розробка програмного забезпечення лінійного регенератора

Лінійний регенератор побудовано на базі мікроконтролера, тому необхідно розробити блок-схему алгоритму його роботи та відповідно до нього – програму.

Відкоригований сигнал з виходу КП, потрапляє на порт ADC мікросхеми мікроконтролера. Зразу ж відбувається ініціалізація його портів. Потім мікросхема МК обирає необхідний канал та запускає внутрішній АЦП, для перетворення аналогового сигналу в цифровий код. Після цього МК розпізнає сигнал та проводиться зчитування результату розпізнання. Залежно від рівня вхідної сигналу, МК фіксує логічний «0» або «1». Значення напруги обмеження записується в комірку ОЗП зі значенням 88h. Мікроконтролер порівнює вхідну напругу зі значенням 88h. Якщо 88h менше за значення вхідної напруги, тоді МК формує логічну «1» виводячи її на порт А та повертається до вибору необхідного каналу та запуску АЦП. У даному випадку відбувається цикл, що забезпечує неперервне сканування стану вхідного сигналу. У разі виконання умови, що рівень вхідної напруги менший значення 88h, тоді МК формує логічний «0», виводить його на порт А та повертається до вибору необхідного каналу та запуску АЦП. У цьому випадку також організовується цикл.

На рис. 4.5 зображено блок-схему алгоритму роботи мікроконтролера лінійного регенератора.

Код програми знаходиться у внутрішній пам'яті програм мікросхеми мікроконтролера, починаючи з адреси 00. У першому рядку програми здійснюється безумовний перехід на мітку Begin (це безпосередньо початок програми). За адресою 01 (вектор переривання по входу INT0) розміщується безумовний перехід до підпрограми оброблення переривання Int_0. По завершенні підпрограми оброблення система повертається до основної програми.

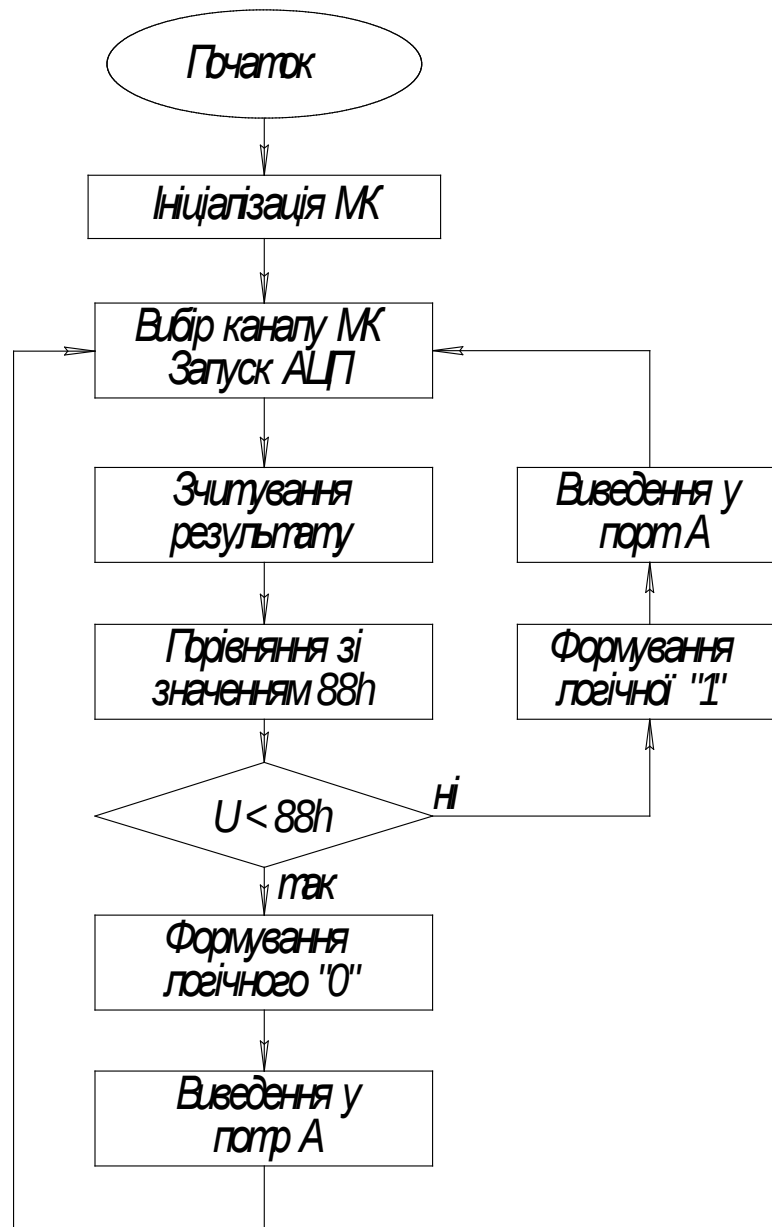


Рисунок 4.5 – Блок-схема алгоритму роботи МК лінійного регенератора

Переривання повинні бути дозволеними. Для режиму глобального дозволу реакції мікроконтролера на переривання повинен бути програмно встановлений 7-й біт I у регістрі SREG. Для режиму дозволу переривання по входу INT0 у регістрі GIMSK повинен бути встановлений біт INT0 (6-й біт). Для реакції переривання на передній фронт сигналу (перепад з 0 в 1), необхідно встановити біти ISC01 та ISC00 у регістрі керування мікроконтролером MCUCR в 1 і 1 відповідно.

Нижче наведено текст програми на мові Асемблера мікроконтролера з відповідними коментарями.

```

.device C8051F353      ;тип мікросхеми мікроконтролера
.equ porta = $1B
.equ ddra = $1A
.equ pina = $19
.equ portd = $12
.equ ddrd = $11
.equ pind = $10
.equ portb = $18
.equ ddrb = $17
.equ pinb = $16
.equ portc = $15
.equ ddrc = $14
.equ pinc = $13
.equ sreg = $3F
.equ spl = $3D
    ldi r16,0xdf
    out spl,r16
    ldi r16,0b11100111 ;конфігурація портів в/в 1 - вихід
                        ;0 - вхід
    out ddrc,r16
    ldi r16,0xff
    out ddra,r16
    ldi r16,0xff
    out ddrd,r16
    ldi r16,0xff
    out ddrb,r16
    ldi r25,0xf0      ;допоміжні значення
    ldi r24,0x00
    ldi r26,0xEF
    ldi r16,0xf0
    out portd,r16
    ldi r16,0xE3
    out portc,r16
    ldi r16,0x3F
    out portb,r16
    ldi r16,0x06
    out porta,r16
    cbi portc,5
    sbi portc,6
    sbi portc,7
    sbis pinc,3
        rjmp knopka1 ;перехід у підпрограму оброблення
    sbis pinc,4
        rjmp knopka2
    sbi portc,5
    sbi portc,6

```

```

cbi portc,6
sbi portc,7
  sbis pinc,3
    rjmp knopka3
  sbis pinc,4
    rjmp knopka4
sbi portc,5
sbi portc,6
cbi portc,7
  sbis pinc,3
    rjmp knopka5
  sbis pinc,4
    rjmp knopka6
rjmp posylka
knopka1: sbis pinc,3
  rjmp knopka1
  inc r25
rjmp ben
knopka2: sbis pinc,4
  rjmp knopka2          ;збільшення лічильника на 1
rjmp ben
knopka3: sbis pinc,3
  rjmp knopka3
  dec r25
rjmp ben
knopka4: sbis pinc,4
  rjmp knopka4          ;зменшення лічильника на 1
rjmp ben
knopka5: sbis pinc,3
  rjmp knopka5
  ldi r25,0xF0
  out portd,r25
rjmp ben
knopka6: sbis pind,4
  rjmp knopka6
  out portd,r25          ;значення лічильника виводиться на дешифратор
rjmp ben
ben:                    ;перевірка чи лічильник перевищено
  cpse r25,r26
  rjmp bil
  ldi r25,0xfF
  rjmp end
bil: cpse r25,r24
  rjmp end
  ldi r25,0xf0

```

```

    rjmp end
end:ldi r20,0xf0      ;відповідно до поточного значення лічильника
    cpse r25,r20      формується логічний рівень
    rjmp n1
    ldi r16,0b00111111
    out portb,r16
    ldi r16,0b00000110
    out porta,r16
    rjmp en
n1:ldi r20,0xf1
    cpse r25,r20
    rjmp n2
    ldi r16,0b00111111
    out portb,r16
    ldi r16,0b01011011
    out porta,r16
    rjmp en
n2:ldi r20,0xf2
    cpse r25,r20
    rjmp n3
    ldi r16,0b00111111
    out portb,r16
    ldi r16,0b01001111
    out porta,r16
    rjmp en
n3:ldi r20,0xf3
    cpse r25,r20
    rjmp n4
    ldi r16,0b00111111
    out portb,r16
    ldi r16,0b01100110
    out porta,r16
    rjmp en
n4:ldi r20,0xf4
    cpse r25,r20
    rjmp n5
    ldi r16,0b00111111
    out portb,r16
    ldi r16,0b01101101
    out porta,r16
    rjmp en
n5:ldi r20,0xf5
    cpse r25,r20
    rjmp n6
    ldi r16,0b00111111

```

```

    out portb,r16
    ldi r16,0b01111101
    out porta,r16
    rjmp en
n6:ldi r20,0xf6
    cpse r25,r20
    rjmp n7
    ldi r16,0b00111111
    out portb,r16
    ldi r16,0b00000111
    out porta,r16
    rjmp en
n7:ldi r20,0xf7
    cpse r25,r20
    rjmp n8
    ldi r16,0b00111111
    out portb,r16
    ldi r16,0b01111111
    out porta,r16
    rjmp en
n8:ldi r20,0xf8
    cpse r25,r20
    rjmp n9
    ldi r16,0b00111111
    out portb,r16
    ldi r16,0b01101111
    out porta,r16
    rjmp en
n9:ldi r20,0xf9
    cpse r25,r20
    rjmp n10
    ldi r16,0b00000110
    out portb,r16
    ldi r16,0b00111111
    out porta,r16
    rjmp en
n10:ldi r20,0xfA
    cpse r25,r20
    rjmp n11
    ldi r16,0b00000110
    out portb,r16
    ldi r16,0b00000110
    out porta,r16
    rjmp en
n11:ldi r20,0xfB

```

```

    cpse r25,r20
    rjmp n12
    ldi r16,0b000000110
    out portb,r16
    ldi r16,0b01011011
    out porta,r16
    rjmp en
n12:ldi r20,0xfC
    cpse r25,r20
    rjmp n13
    ldi r16,0b000000110
    out portb,r16
    ldi r16,0b01001111
    out porta,r16
    rjmp en
n13:ldi r20,0xfD
    cpse r25,r20
    rjmp n14
    ldi r16,0b000000110
    out portb,r16
    ldi r16,0b01100110
    out porta,r16
    rjmp en
n14:ldi r20,0xfE
    cpse r25,r20
    rjmp n15
    ldi r16,0b000000110
    out portb,r16
    ldi r16,0b01101101
    out porta,r16
    rjmp en
n15:ldi r20,0xfF
    cpse r25,r20
    rjmp en
    ldi r16,0b000000110
    out portb,r16
    ldi r16,0b01111101
    out porta,r16
    rjmp en
en:
    rjmp posylka          ;повернення в основне тіло програми

```

5 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛІНІЙНОГО РЕГЕНЕРАТОРА

5.1 Обґрунтування вибору комп'ютерної системи моделювання

Ефективним методом перевірки працездатності будь-якої електронної системи є комп'ютерне моделювання. У даному випадку проводиться моделювання лінійного регенератора на схемотехнічному рівні. Існує багато програм для комп'ютерного моделювання електричних кіл. Найпоширенішими з них є MatLab, Electronics Workbench, Proteus, Microcap Evaluation та інші [16].

Кожна з програм для комп'ютерного моделювання має свої переваги та недоліки. Насамперед, при виборі необхідної програми, слід звертати увагу на простоту користування та на функціональні можливості. Наприклад, однією з найпростіших у використанні програм моделювання є програма Electronics Workbench. Проте вона має вузькі функціональні можливості щодо моделювання мікросхем МК. Тому для моделювання даного лінійного регенератора використовується програма Proteus 6 Professional, яка характеризується простотою у користуванні та широкими функціональними можливостями щодо моделювання.

Згідно вимог програми, вибирається комп'ютер з такими параметрами:

Процесор – AMD Athlon X2 1.9 ГГц;

ОЗП 2,0 – ГБ DDR 500 МГц;

Жорсткий диск – 200 ГБ, 32МБ кеш;

Операційна система – не нижче Windows XP Professional.

5.2 Розробка моделювальної схеми лінійного регенератора

Усі необхідні компоненти для комп'ютерного моделювання знаходяться у бібліотеці. Деякі типи компонентів відсутні у бібліотеці, тому замість них

використовуються аналоги. При цьому, точність результатів буде достатньою. Для вибору параметрів елемента схеми лінійного регенератора необхідно виділити його правою кнопкою миші та натиснути ліву, після чого з'явиться вікно з відповідними параметрами компонента. Так само обираються параметри вхідного сигналу з генератора. Для з'єднання елементів необхідно натиснути лівою клавішею миші на відповідний вивід елемента та протягнути до відповідного місця схеми.

Моделювальна схема лінійного регенератора ЦСП представлена на рис. 5.1.

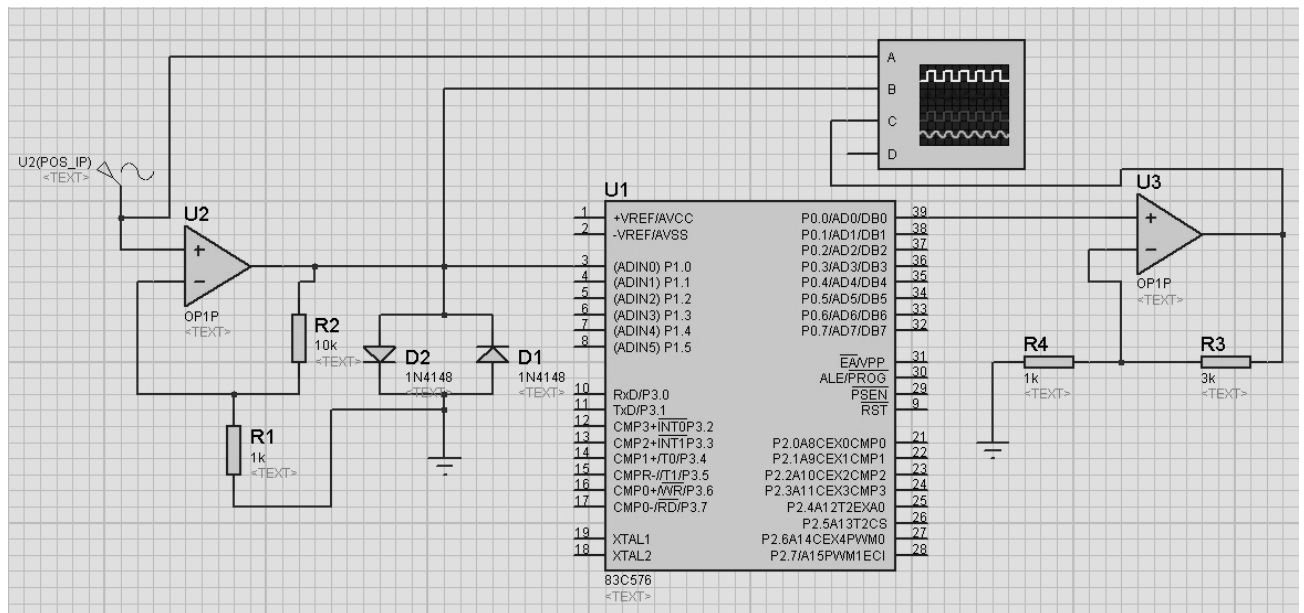


Рисунок 5.1 – Моделювальна схема лінійного регенератора ЦСП

Як видно з даного рисунку, моделювальна схема лінійного регенератора є спрощеною, тому що у ній відсутні кола живлення, тому що при комп'ютерному моделюванні в них немає потреби. У бібліотеці програми Proteus 6 відсутня мікросхема ОП заданого типу, тому використовується ідеалізована модель ОП зі скоригованим параметром частоти одиничного підсилення. Точність моделювання, при цьому, буде достатньою. Модель вхідного підсилювача містить відповідно ОП (U2),

резистивний подільник (резистори R1, R2) та діодний обмежувач (діоди VD1, VD2). Усі ці компоненти виконують ті ж функції, що і в реальному пристрої, тому у додатковому описі їхніх функцій немає потреби. До виходу даного підсилювача під'єднується МК (U1).

У моделювальній схемі лінійного регенератора використовується аналогічний по типу та найбільш близький за параметрами аналог МК. Ця модель містить прошивку ПЗП МК, яка знаходиться у відповідному текстовому файлі. Вивід (ADCN0)P1.0 є відповідно входом внутрішнього АЦП, а вивід P0.0 – виходом порту А. Цей порт під'єднується до вихідного підсилювача. Модель вихідного підсилювача містить ОП (U3) та подільник напруги на резисторах R3 і R4, тобто ті ж елементи, що і реальна принципова схема. Вихід підсилювача під'єднується до відповідного входу осцилографа.

5.3 Аналіз результатів моделювання

На вхід схеми подається синусоїдальний сигнал, який імітує спотворений лінійний сигнал. Входи осцилографа під'єднуються до входу генератора сигналів, виходу попереднього підсилювача та виходу лінійного регенератора в цілому. Таким чином, можна відстежувати форму сигналу в часовій області на певних етапах його регенерації.

Вікно з параметрами вихідного сигналу імпульсного генератора представлено на рис. 5.2. Як видно з цього рисунку, у вікні задані основні параметри сигналу, а саме частота і амплітуда. Амплітуда сигналу встановлюється рівною 0,1 В, а частота сигналу задається відповідно до значення тактової частоти лінійного сигналу, тобто 43,85 МГц. Такий параметр, як фазовий зсув не є важливим у даному випадку, тому фазовий зсув виставляється за замовчанням (0°).

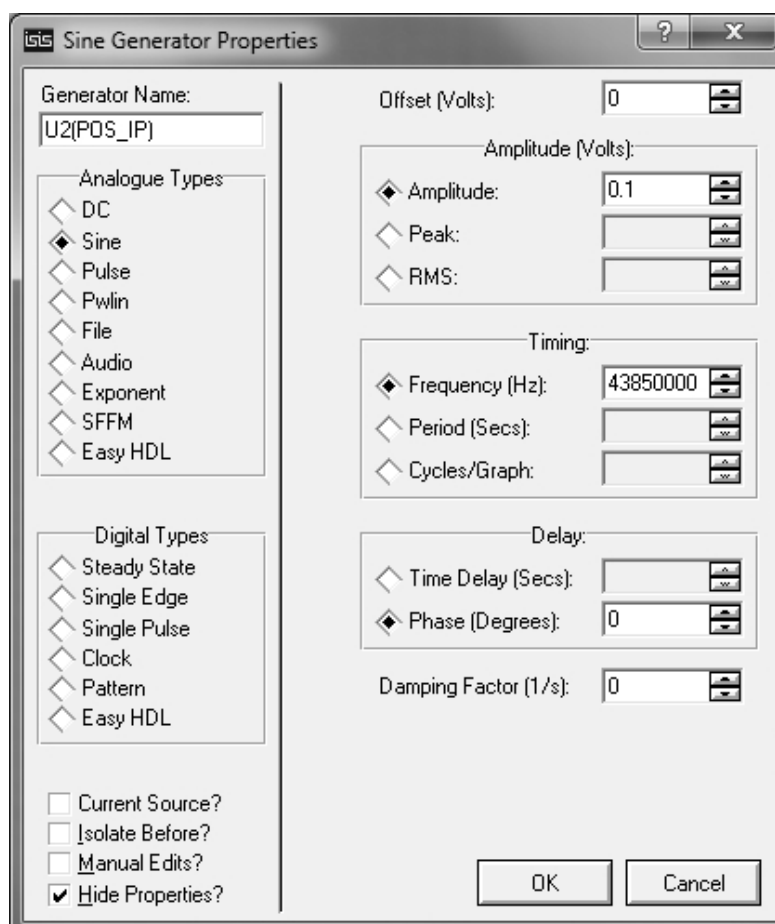


Рисунок 5.2 – Вікно з параметрами сигналу з генератора

Сигнал на виході даного генератора має такий вигляд, як подано на рис. 5.3 (при під'єднанні до виходу генератора осцилографа).

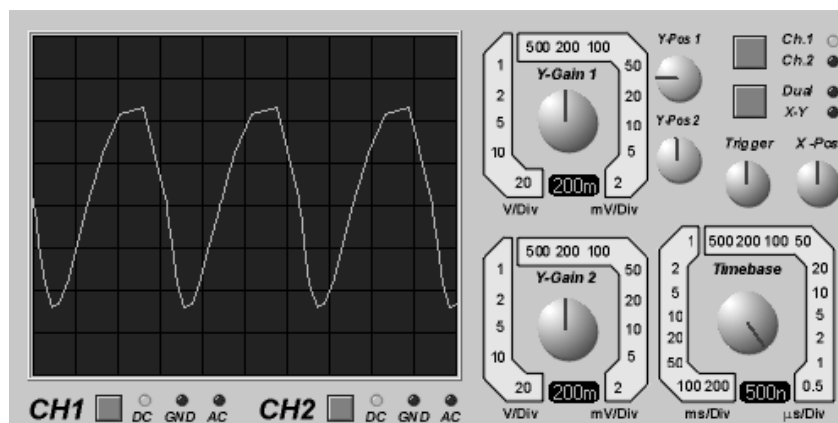


Рисунок 5.3 – Осцилограма сигналу з генератора

Слід зазначити, що форма сигналу відрізняється від ідеальної синусоїди, проте цього достатньо, щоб перевірити працездатність лінійного регенератора.

У першу чергу, виконується моделювання вхідного підсилювача. Підключивши осцилограф до його виходу, можна отримати осцилограму вихідного сигналу підсилювача. Осцилограма сигналу з виходу вхідного підсилювача подана на рис. 5.4.

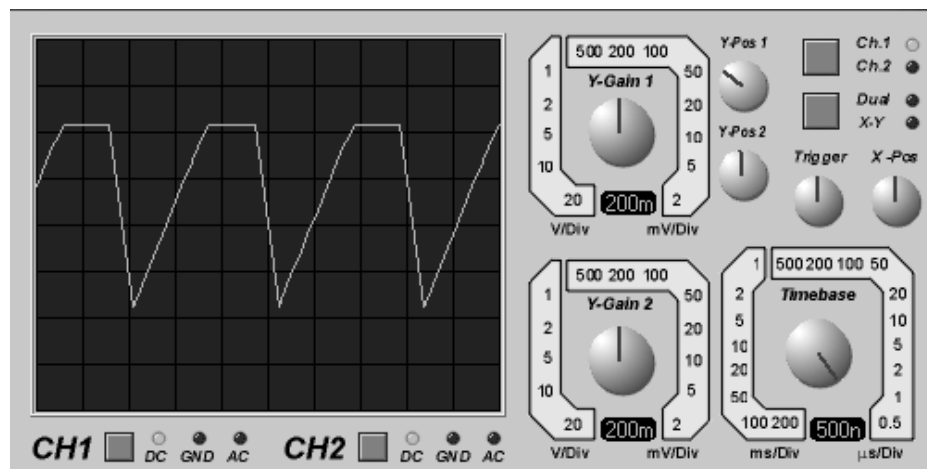


Рисунок 5.4 – Осцилограма вихідного сигналу підсилювача

Як видно з рисунку, вихідний сигнал є підсиленням за амплітудою та частково спотвореним за формою. Таке спотворення обумовлене тим, що на виході підсилювача використовується діодний обмежувач напруги. Внаслідок цього, синусоїдальний сигнал виглядає дещо обрізаною. Форма сигналу, що надходить до входу внутрішнього АЦП МК не є важливою, тому що його призначення полягає лише у визначенні логічного стану.

На наступному етапі моделювання досліджується осцилограма вихідного сигналу. Для цього відповідний канал осцилографа під'єднується так, як це показано на рис. 5.1. Осцилограма вихідного сигналу лінійного регенератора зображена на рис. 5.5.

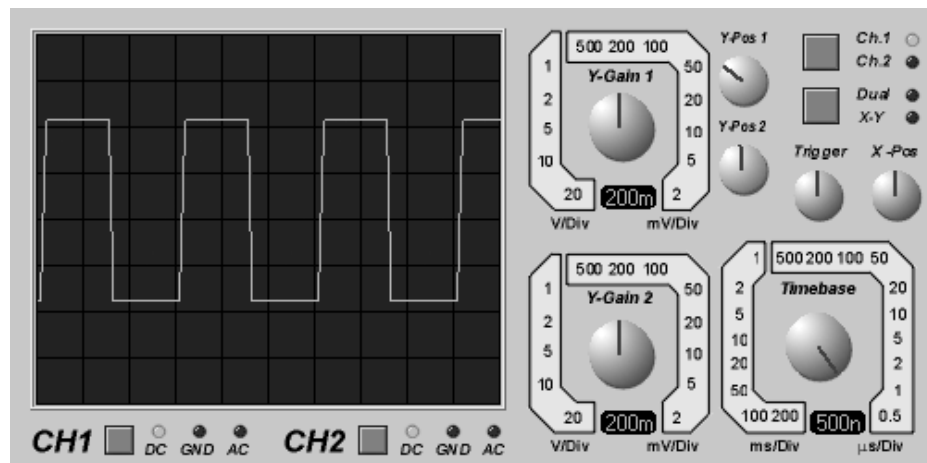


Рисунок 5.5 – Осцилограма вихідного сигналу лінійного регенератора

Як видно з цього рисунку, вихідний сигнал лінійного регенератора має практично ідеальну прямокутну форму. Це є ознакою відтворення форми спотвореного лінійного вхідного цифрового сигналу. Імпульси цього сигналу відповідають стану логічної «1». Як видно з цього та попередніх рисунків, вихідні імпульси відповідають максимальним значенням амплітуд синусоїдальних сигналів. Частота імпульсів відповідає частоті синусоїдального вхідного сигналу. Це засвідчує те, що не виникає помилок при визначенні МК логічного стану цифрового вхідного сигналу. Кінцевий підсилювач практично не вносить спотворень у форму вихідного сигналу лінійного регенератора.

Як видно з осцилограми вихідного сигналу лінійного регенератора, амплітуда сигналу становить 2,9 В, що практично відповідає заданим значенням. Період імпульсного сигналу дорівнює 0,023 мкс, що відповідає частоті синусоїдального вхідного сигналу - 43,85 МГц. Тривалість імпульсу дорівнює 0,011 мкс. За цими параметрами можна визначити шпаруватість імпульсного сигналу, яка знаходиться за наступним виразом:

$$S = \frac{T_{imp}}{\tau_{imp}}, \quad (5.1)$$

де $T_{\text{імп}}$ – значення періоду імпульсного сигналу;

$\tau_{\text{імп}}$ - значення тривалості імпульсу.

Отже, підставивши відповідні дані у вираз (5.1), шпаруватість імпульсів дорівнює:

$$S = \frac{2,3 \cdot 10^{-8}}{1,1 \cdot 10^{-8}} = 2,09.$$

Отримані результати засвідчують працездатність розробленої принципової схеми регенератора. Комп'ютерне моделювання даного лінійного регенератора ще раз доводить, що цифровий метод передавання сигналів є найефективнішим у наш час.

На цьому комп'ютерне моделювання регенератора можна вважати завершеним. Результати моделювання збігаються з теоретично розрахованими даними. За допомогою комп'ютерного моделювання вдалось переконатися у працездатності розробленої схеми лінійного регенератора.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це невід’ємна частина будь-якої діяльності, спрямована на збереження найціннішого ресурсу – людського життя та здоров’я, а також на забезпечення ефективної роботи підприємств. Вона включає систему правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, лікувально-профілактичних і реабілітаційних заходів, які спрямовані на створення безпечних умов праці, попередження травматизму, професійних захворювань і аварій на виробництві. Одним із завдань охорони праці є підвищення трудової дисципліни та відповідальності працівників, стимулюючи їх до дотримання встановлених норм і правил безпеки на робочому місці.

Під час дослідження програмно-апаратної реалізації лінійного регенератора цифрової системи передачі, згідно Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», були ідентифіковані такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- фізичні: підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони; підвищена та знижена температура повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена та знижена вологість повітря; підвищена та знижена рухливість повітря; підвищена та знижена іонізація повітря; підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини; підвищений рівень статичної електрики; нестача природного світла; недостатня освітленість робочої зони; підвищена яскравість світла; знижена контрастність; пряма та відбита блискіть; підвищена пульсація світлового потоку;

- хімічні: токсичні (озон, вуглекислий газ);

- психофізіологічні: фізичні перевантаження (статичні); нервово-психічні перевантаження (розумові перенапруження; перенапруження

аналізаторів; емоційні перевантаження).

Відповідно до визначених факторів, розробляємо технічні рішення з безпечного виконання дослідження.

6.1 Технічні рішення з безпечного виконання дослідження

6.1.1 Вимоги безпеки під час роботи

Дослідження програмно-апаратної реалізації лінійного регенератора цифрової системи передачі здійснювалося із використанням ПК та відповідного програмного забезпечення. Зважаючи на особливість проведеного дослідження, організація робочого місця – це комплекс заходів, спрямованих на створення зручних і безпечних умов праці. Ці заходи включають: визначення цільового призначення робочого місця; оснащення робочого місця необхідними інструментами, обладнанням і матеріалами; розміщення засобів і предметів праці на робочому місці для забезпечення зручної та ефективної роботи; забезпечення комфортного та привабливого зовнішнього оформлення робочого місця; створення відповідних умов праці, таких як освітлення, вентиляція, опалення. Конкретний зміст цих заходів залежить від характеру та спеціалізації робочого місця, а також від його ролі в виробничому процесі.

Організація робочого місця для користувача ПК повинна відповідати ергономічним вимогам згідно з ДСТУ 8604:2015, НПАОП 0.00-7.15-18, а також враховувати характер і особливості трудової діяльності. Площа робочого місця для одного користувача ПК повинна бути не менше 6 м², а об'єм – не менше 20 м³. Ширина проходу між рядами робочих місць повинна складати не менше 1 м. Висота робочої поверхні столу для ПК повинна бути в межах від 680 до 800 мм, а ширина – достатньою для виконання операцій в межах досяжності моторного поля. Рекомендовані розміри столу: висота – 725 мм, ширина – від 600 до 1400 мм, глибина – від 800 до 1000 мм.

Екран комп'ютера та клавіатура повинні бути розташовані на відстані від очей користувача, що забезпечує комфортну роботу. Відстань від очей до

екрана має бути не менше 600 мм, щоб користувач не напружував очі, дивлячись на екран. Також необхідно враховувати розмір алфавітно-цифрових знаків і символів на екрані при виборі оптимальної відстані. Якщо знаки і символи занадто дрібні, користувач буде змушений напружувати очі, щоб їх розібрати. Крім того, важливо забезпечити належне освітлення робочого місця, щоб уникнути відблисків на екрані. Регулярні перерви в роботі також сприяють зниженню втоми очей і покращенню загального самопочуття користувача.

Робоче місце дослідника складається зі столу, крісла і підніжки, які забезпечують збереження раціональної робочої пози протягом усього робочого дня. Сучасний ергономічний робочий стіл має оптимальні розміри та функціональність для комфортної та ефективної роботи. Він достатньо великий, щоб вмістити всі необхідні предмети, і оснащений функціями, такими як регульована висота, кут нахилу та обертовий екран. Робочий стілець має регулювання висоти та нахилу спинки, що дозволяє підлаштувати його під індивідуальні потреби користувача. Сидіння плоске з закругленим переднім краєм, а регулювання висоти та кута нахилу здійснюється незалежно, легко та надійно фіксується. Підніжка забезпечує додаткову підтримку для ніг, зменшуючи навантаження на спину.

Щодня в приміщеннях, де працюють з комп'ютерами, потрібно виконувати вологе прибирання, щоб усунути пил і бруд. Крім того, у цих приміщеннях обов'язково повинні бути медичні аптечки першої допомоги для оперативного реагування на травми або нещасні випадки. Регулярне прибирання сприяє підтриманню здорового мікроклімату, зменшуючи ризик алергічних реакцій і захворювань дихальних шляхів. Наявність аптечок забезпечує швидке надання медичної допомоги за потреби.

6.1.2 Електробезпека

Живлення обладнання та системи освітлення в приміщенні, де виконувалося дослідження, здійснюється від чотирьох провідної трифазної мережі з глухозаземленою нейтраллю 380 х 220В (фазна напруга фаза (фаза –

«0») – 220В, а між фазна лінійна (фаза – фаза) – 380В). Відповідно з НПАОП 40.1-1.32-01 умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами без підвищеної небезпеки, тому що в приміщенні відсутні фактори підвищеної небезпеки ураження електричним струмом.

Приміщення, де працюють з електроприладами, мають бути обладнані технічними засобами захисту для забезпечення безпеки як обладнання, так і працівників. Ці заходи безпеки повинні відповідати стандартам, встановленим відповідними нормативними документами, наприклад, ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Дотримання цих вимог сприяє запобіганню нещасних випадків та забезпечує безпеку робочого середовища для всіх працівників. Крім того, регулярна перевірка технічних засобів захисту та їхнє обслуговування є важливою складовою підтримки безпечного робочого середовища. ПК, периферійні пристрої ПК та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ПК, інше устаткування (апарати управління, контрольно-вимірювальні прилади, світильники тощо), електропроводи та кабелі за виконанням та ступенем захисту мають відповідати класу зони за ПУЕ, мати апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів.

Під час монтажу та експлуатації ліній електромережі необхідно повністю унеможливити виникнення електричного джерела загоряння внаслідок короткого замикання та перевантаження проводів, обмежувати застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією і, за можливості, перейти на негорючу ізоляцію.

6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат

Згідно з Державними санітарними нормами «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» (ДСН 3.3.6.042-99), мікроклімат у виробничих приміщеннях визначається умовами внутрішнього середовища,

які впливають на тепловий обмін працівників з оточуючим середовищем через конвекцію, кондукцію, теплове випромінювання та випаровування вологи. Ці умови включають в себе такі фактори, як температура, відносна вологість, швидкість руху повітря, температура робочої поверхні та інтенсивність теплового (інфрачервоного) випромінювання. Регулювання мікроклімату у виробничих приміщеннях залежить від теплових характеристик приміщення, категорії робіт за їхньою складністю та сезону року. Робота дослідника відноситься до категорії Ia. Допустимі параметри мікроклімату для категорії Ia наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для забезпечення допустимих показників мікроклімату, відповідних нормам, передбачена централізована система опалення та вентиляції з режимом припливу та витяжки повітря. Крім цього, регулярно, один раз на зміну, вологе прибирання, і при необхідності – забезпечується провітрювання через вікна та двері. Для додаткового регулювання температури встановлено кондиціонер.

6.2.2 Склад повітря робочої зони

У приміщенні, де проводилося дослідження, можуть бути присутніми шкідливі речовини у повітрі, такі як пил, вуглекислий газ та озон. Озон утворюється під час роботи офісної техніки, наприклад, принтерів, тоді як пил потрапляє в приміщення ззовні. При плануванні та організації внутрішнього середовища важливо враховувати ці джерела забруднення повітря. Допустимі граничні концентрації шкідливих речовин у вивченому місці наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	10	4	4
Озон	0,16	0,03	1
Вуглекислий газ	3	1	4

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи кондиціювання та вологого прибирання. За наявності великих концентрацій озону або інших шкідливих речовин можуть бути передбачені додаткові заходи для забезпечення здорового та безпечного робочого середовища.

6.2.3 Виробниче освітлення

Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 система природного освітлення в досліджуваному приміщенні відноситься до бокової. Характеристика зорових робіт – високої точності. Природне освітлення відіграє важливу роль у забезпеченні комфортних умов праці та відпочинку. З точки зору спектрального складу, природне світло є найближчим до ідеального для зору людини. Для оцінки рівня природного освітлення використовується коефіцієнт природної освітності (КПО). Він показує, яка частка світла, що надходить з неба, проникає в конкретну точку приміщення. У випадках, коли приміщення освітлюється лише бічним світлом, для робочої зони встановлюються мінімально допустимі значення КПО. Це гарантує, що навіть у найвіддаленіших кутках кімнати буде достатньо світла для комфортної роботи. Важливо зазначити, що природне освітлення не лише покращує зоровий комфорт, але й має позитивний вплив на загальне самопочуття та працездатність людей. Тому при проектуванні та будівництві приміщень слід максимально використовувати можливості природного освітлення.

Штучне освітлення використовують у двох основних системах: загальному та комбінованому. Загальне – передбачає розміщення світильників у верхній зоні приміщення з наданням можливості забезпечення рівномірного освітлення. Комбіноване – включає в себе додаткове місцеве

освітлення, де до загального освітлення додається окрема система світильників, які спрямовані на робочі місця з метою покращення видимості та комфорту працівників.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018, дослідження програмно-апаратної реалізації лінійного регенератора цифрової системи передачі, потребує освітлення, яке характеризується розрядом зорової роботи III, підрозряд «в». Нормовані значення штучного, природного та суміщеного освітлення наведені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Високої точності	Від 0,3 до 0,5 включно	II		малий середній великий	світлий середній темний	600	200	-	3,0

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп. Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

6.2.4 Виробничий шум

Шум – це будь-яке небажане акустичне явище, яке може негативно впливати на людину. Шум може мати шкідливий вплив на здоров'я людини. Він може призвести до: зниження працездатності, підвищення рівня стресу, порушення сну, погіршення слуху та у деяких випадках навіть до серйозних захворювань.

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних

категорій робочих місць службових приміщень, є ДСН 3.3.6.037-99. Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях, обладнаних ПК, мають відповідати вимогам наведеним в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Допустимі рівні звуку, еквівалентні рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот

Вид трудової діяльності, робочі місця	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньогеометричними частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Оператори з обробки інформації	96	83	74	68	63	60	57	55	54

Одним з найпростіших та економічно доцільних способів зниження шуму є застосування методів звукоізоляції та звукопоглинання, тому раціональним рішенням буде установка пластикових вікон, для зменшення звукового навантаження на працівників.

6.2.5 Електромагнітні випромінювання

Вплив електромагнітних полів (ЕМП) на організм людини залежить від декількох факторів, таких як частота, інтенсивність, тривалість впливу, характер випромінювання (наприклад, чи воно неперервне, чи модульоване), розмір зони тіла, що піддається впливу, а також індивідуальні особливості організму. ЕМП може викликати як біологічні, так і функціональні порушення в організмі людини. Серед функціональних ефектів можуть проявлятися передчасна втома, головний біль, порушення сну, вплив на центральну нервову систему та проблеми з серцево-судинною системою. При систематичному впливі ЕМП можна спостерігати такі явища, як зміни кров'яного тиску, сповільнення пульсу, порушення нервово-психічного характеру та деякі атрофічні прояви. Нові наукові дослідження вказують на можливий вплив радіочастотного випромінювання на центральну нервову систему та його значний вплив на загальний стан здоров'я.

Умови праці при впливі неіонізуючих електромагнітних полів та випромінювань відповідають третьому класу шкідливості, якщо на робочих місцях перевищуються гранично допустимі рівні, встановлені для відповідного періоду впливу, з урахуванням значень енергетичних експозицій у відповідних діапазонах частот, де вони нормуються. При одночасному впливі на працівників неіонізуючих електромагнітних полів та випромінювань, які створюються декількома джерелами у різних нормованих діапазонах частот, клас умов праці на робочому місці визначається за фактором, який має найбільший вплив на здоров'я. У разі виявлення перевищення гранично допустимих рівнів у двох або більше нормованих діапазонах частот, ступінь шкідливості збільшується на одиницю.

Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань на робочому місці дослідника наведені в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Допустимі значення параметрів неіонізуючого електромагнітного випромінювання

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	10В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	0,3А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати: для дорослих користувачів для дітей дошкільних установ і що вчаться середніх спеціальних і вищих учбових закладів	20кВ/м 15кВ/м

Для зменшення впливу електромагнітного випромінювання на працівника слід дотримуватися раціонального режиму роботи та відпочинку.

6.3 Технічні рішення з пожежної безпеки

Забезпечення пожежної безпеки є складовою виробничої діяльності посадових осіб і працівників підприємства, а вся відповідальність за забезпечення пожежної безпеки на підприємстві покладається на його власника та керівника. Керівник підприємства, розробляючи організаційні

заходи щодо забезпечення пожежної безпеки відповідно до Правил пожежної безпеки в Україні, призначає відповідальних осіб за пожежну безпеку окремих територій, ділянок, зон, об'єктів, споруд, будівель та їх частин, технологічного та інженерного устаткування, а також за утримання й експлуатацію засобів протипожежного захисту.

Обов'язки відповідальних за протипожежний стан та експлуатацію засобів протипожежного захисту передбачаються у посадових інструкціях, обов'язках, положеннях про підрозділ підприємства. Особи, відповідальні за пожежну безпеку, розробляють інструкції з питань пожежної безпеки та забезпечують підтримання протипожежного режиму на відповідній території, ділянці, споруді, будівлі та приміщенні.

Можливі причини пожежі в досліджуваному приміщенні такі:

1. Коротке замикання, перевантаження електричних мереж або пошкоджені електричні проводи.
2. Використання електронної апаратури, такої як комп'ютери, принтери та інші пристрої, які можуть нагріватися та викликати загоряння через перегрів.
3. Недбале поводження з вогнем (куріння в заборонених місцях тощо).
4. Недостатня обслуговування або несправність пожежних систем, таких як детектори диму, пожежні спринклерні системи або вогнегасники.
5. Проведення будівельних або ремонтних робіт без врахування вогнестійких матеріалів та інших вимог пожежної безпеки.
6. Систематичне перевантаження електричних розеток, що може призвести до перегріву електроприладів та підвищення ризику загоряння.
7. Недостатнє навчання персоналу щодо профілактики пожеж та дій у разі виникнення небезпеки.

Для забезпечення пожежної безпеки на підприємстві необхідно реалізувати такі організаційні заходи: створити умови для безпечної праці, мінімізувати ризик виникнення пожеж, забезпечити технічними засобами забігання виникнення та гасіння пожеж, а також мінімізації їх наслідків,

здійснювати контроль дотримання протипожежних вимог і норм законодавства, розробити та впровадити регламент по гасінню пожеж, евакуації та порятунку з місць пожежі й задимлення людей і майна (матеріальних цінностей), проводити інструктажі і навчання з питань пожежної безпеки посадових осіб та працівників зайнятих на роботах з підвищеною пожежною небезпекою.

На будь-якому підприємстві повинна бути достатня кількість вогнегасників для гасіння пожежі. Починаючи з 2018 року, порядок експлуатації, перевірки та перезарядки вогнегасників регулюється Правилами експлуатації та типовими нормами належності вогнегасників, затвердженими Наказом МВС від 15.01.2018 р. № 25. Відповідно до цих Правил будинки і приміщення різного призначення повинні бути оснащені переносними або пересувними вогнегасниками. В досліджуваній будівлі знаходиться два переносні вогнегасники з масою заряду – 5 кг. Додатково, у приміщенні, де здійснювалося дослідження програмно-апаратної реалізації лінійного регенератора цифрової системи передачі знаходиться переносний газовий вогнегасник. На кожен вогнегасник наявний сертифікат відповідності, інструкція з експлуатації та паспорт.

Особа, відповідальна за пожежну безпеку, обов'язково проводить огляд вогнегасників перед розміщенням їх на об'єкті, зокрема перевіряється цілісність пломб на запірних пристроях, наявність чи відсутність зовнішніх пошкоджень на корпусах вогнегасників, положення стрілок індикаторів тиску закачних вогнегасників та наявність у маркуванні і в експлуатаційній документації відомостей про виробника, дату виготовлення (продажу) та технічного обслуговування. Особа відповідальна за пожежну безпеку веде журнал обліку вогнегасників і проводить їх огляд не рідше одного разу на місяць та своєчасно направляє їх на перезарядку.

На підприємстві наявні інструкції з пожежної безпеки, затверджені відповідним чином, які закріплюють основні положення протипожежного режиму в кожному приміщенні та на об'єкті в цілому. Інструкції вивчають під

час протипожежних інструктажів, навчання за програмою пожежно-технічного мінімуму, виробничого навчання і вивішують на видимих місцях. Усі працівники прийняті на роботу проходять інструктажі з питань пожежної безпеки. Факт проведення інструктажів фіксується у спеціальному журналі, який має бути прошнурований, пронумерований та скріплений печаткою підприємства і підписом керівника. Періодичність проведення інструктажів встановлюється керівником підприємства, однак повинна становити не рідше одного разу в рік. Інструктажі проводяться працівником, який пройшов навчання в навчальному центрі. Особи яких приймають на роботу, пов'язаною з підвищеною пожежною небезпекою, повинні попередньо (до початку самостійного виконання роботи пройти спеціальне навчання (пожежно-технічний мінімум).

ВИСНОВКИ

У даній бакалаврській роботі розв'язано важливу технічну задачу підвищення ефективності лінійного тракту цифрової системи передачі за рахунок програмно-апаратної реалізації лінійного регенератора.

Виконано обґрунтування важливості застосування ЦСП та типу цифрової модуляції на базі АДІКМ. Здійснено розрахунок основних параметрів ЦСП, побудовано часові цикли, проаналізовано часову діаграму та частотний спектр В6ZS-коду для заданої кодової послідовності. Виконано розрахунок довжини регенераційної ділянки, досліджено часовий баланс наростання ЦСП та баланс потужності. Розраховано ймовірність відмови за 1 годину, середній час безвідмовної роботи та необхідний час на відновлення роботи ЦСП.

Побудовано маршрут лінійного тракту Вінниця – Одеса. Даний ЛТ містить один ОРП та прокладений вздовж автомагістралей Е-50 та М-05.

Виконано розробку принципової схеми лінійного регенератора з вибором елементної бази. Для реалізації даної схеми було розглянуто та досліджено різні структури побудови лінійного регенератора. В якості радіоелементів було обрано деталі зарубіжного. Для реалізації лінійного регенератора був застосований програмно-апаратний підхід на базі мікроконтролера. Для функціонування даного МК у складі лінійного регенератора було розроблено блок-схему алгоритму та програму на мові Асемблер.

У працездатності побудованого регенератора можна переконатися за результатами комп'ютерного моделювання. Для комп'ютерного моделювання застосовано програму Proteus 6 Professional. Розроблено моделювальну схему лінійного регенератора. Результати комп'ютерного моделювання підтверджують правильність розрахунків принципової електричної схеми та розробленої програми функціонування МК у складі лінійного регенератора.

У розділі «Охорона праці» розглянуто технічні рішення з безпечного виконання дослідження, технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії та технічні рішення з пожежної безпеки.

Результати даної бакалаврської роботи можуть бути впроваджені на великих підприємствах для забезпечення зв'язку зі своїми філіями, яким необхідний лінійний тракт для обміну великими обсягами інформації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Телекомунікаційні системи передачі: підручник / В.М. Кичак, О.М. Шинкарук, Г.Г. Бортник, І.І. Чесановський. – Хмельницький: Видавництво НАДПСУ, 2016. – 424 с.
2. Конахович Г.Ф., Чуприн В.М., Ткаліч О.П. Експлуатація телекомунікаційних систем: Підручник. – К.: НАУ-друк, 2014. – 787 с.
3. Бортник Г.Г., Бортник С.Г., Стальченко О.В. Основи теорії багатоканального зв'язку. - Вінниця: ВНТУ, 2010. – 146 с.
4. Стеклов В. К. Проектування телекомунікаційних мереж: підручник для вузів/ В. К.Стеклов, Л. Н.Беркман.– К.: Техніка, 2002.– 792с.
5. Методи та пристрої оцінювання бітових помилок у телекомунікаційних системах: монографія / В. М. Кичак, Г. Г. Бортник, В. Д. Тромсюк. Вінниця: ВНТУ, 2017. 212 с.
6. Бортник Г. Г., Кичак В. М., Яблонський В. Ф. Методи та засоби оцінювання параметрів абонентських ліній зв'язку. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. 139 с.
7. Бортник Г.Г., Васильківський М.В., Кичак В.М. Транспортні телекомунікаційні технології: навч. посібник.– Вінниця: ВНТУ, 2017. – 172 с.
8. Бортник Г.Г., Кичак В.М. Цифрова обробка сигналів в телекомунікаційних системах: підручник. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 232 с.
9. Аналого-цифрові тракти комп'ютерних систем з цифровим обробленням високочастотних сигналів: монографія / Г. Г. Бортник, В. М. Кичак, О. В. Стальченко. Вінниця: ВНТУ, 2016. - 140 с.
10. Розрахунок функціональних параметрів оптичних систем та мереж. Практикум для студентів спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка / Уклад. М. В. Васильківський, Г. Г. Бортник, В.М. Кичак. – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 82 с.
11. Кичак В. М., Барась С. Т., Кравцов Ю. І. Основи побудови засобів та систем телекомунікацій: навчальний посібник.- В.: ВНТУ, 2010. -188 с.

12. Бортник Г. Г., Семенюк О. А., Стальченко О. В. Теорія електрозв'язку. Лабораторний практикум. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 136 с.
13. Кичак В.М. Компонентна база телекомунікаційних і радіотехнічних систем. Частина 1: навчальний посібник / В. М. Кичак, І. В. Слободян, В. В. Кичак – Вінниця: ВНТУ, 2022. – 131 с.
14. Основи схемотехніки: навчальний посібник/ В.М. Кичак, В.Д.Рудик, А.О. Семенов, О.О. Семенова. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 268 с.
15. Основи радіоелектроніки : навчальний посібник / В.М. Кичак, Ю.В. Крушевський, Д.В. Гаврілов.– Вінниця: УНІВЕРСУМ-ВІННИЦЯ. – 2011. – 368 с.
16. Бортник Г. Г., Васильківський М. В., Кичак В. М. Напрямні телекомунікаційні системи: лабораторний практикум. В.: ВНТУ, 2021. 104 с.
17. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги. http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028
18. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=77160
19. НПАОП 40.1-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.
20. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>
21. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>
22. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

23. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

24. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14_nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html

25. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://sop.zp.ua/norm_praop_0_00-7_15-18_01_ua.php

26. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65395

27. Наказом МВС від 15.01.2018 р. № 25 Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>

ДОДАТКИ

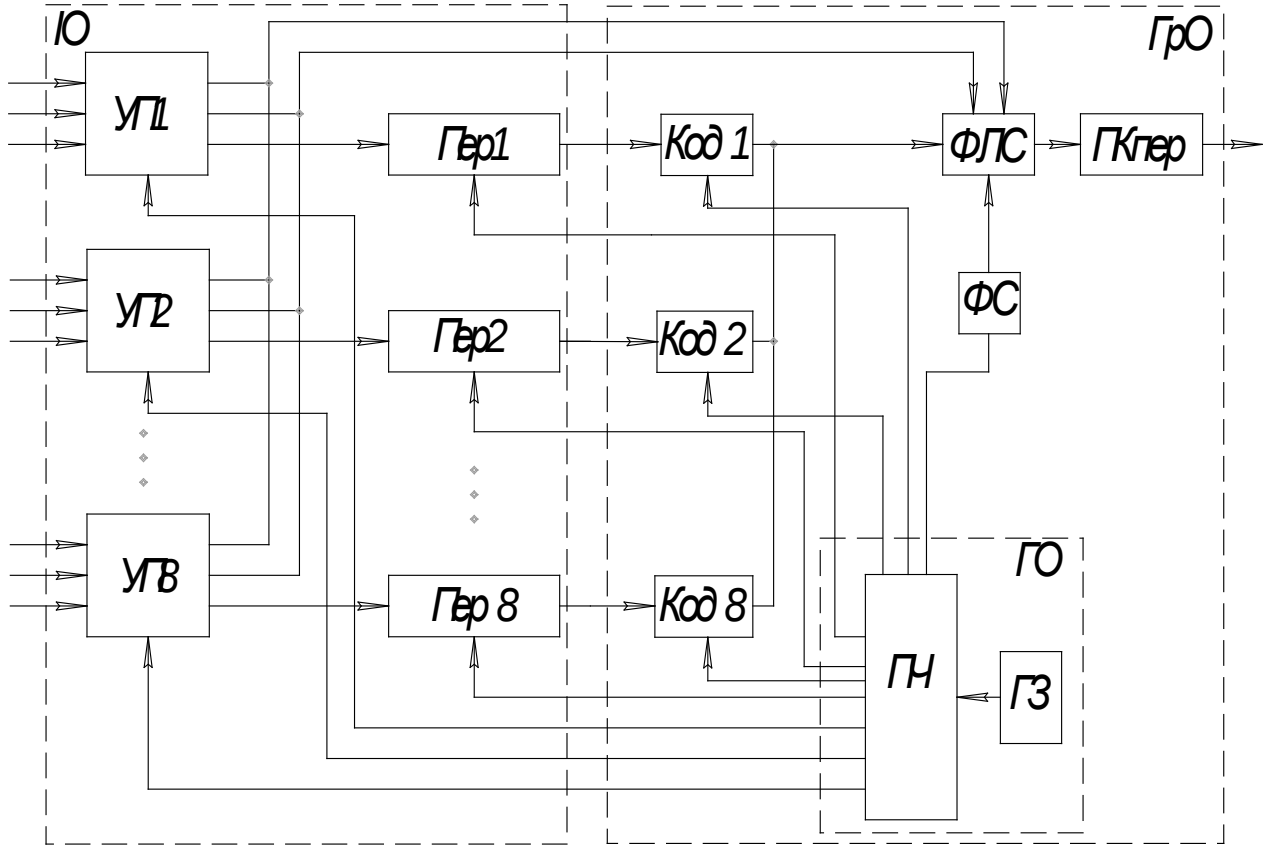
Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

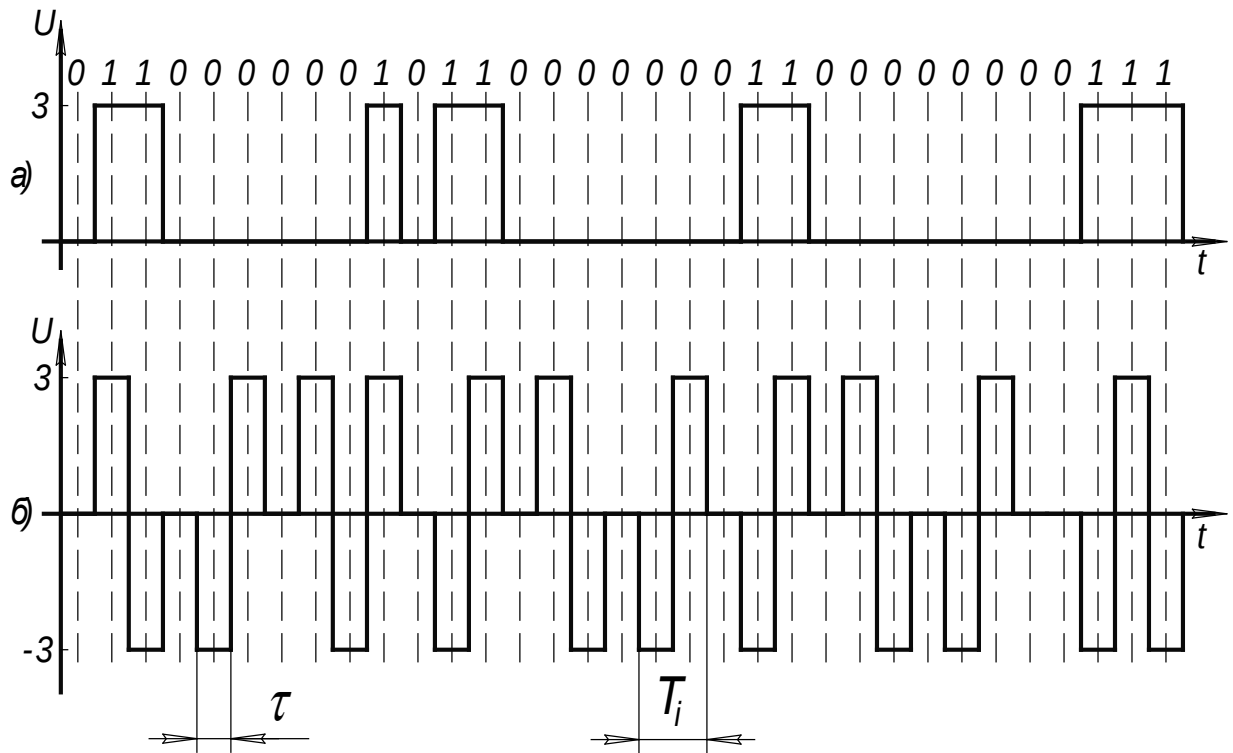
**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМНО-АПАРATНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ЛІНІЙНОГО
РЕГЕНЕРАТОРА ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ**

назва бакалаврської дипломної роботи

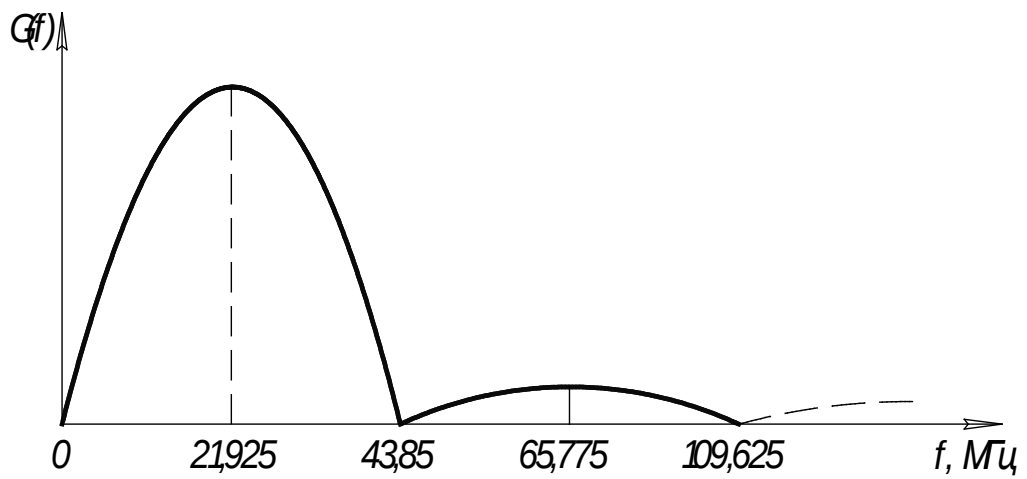
**Передавальна частина АЦО ЦСП.
Структурна електрична схема**



Часове і частотне представлення лінійного коду

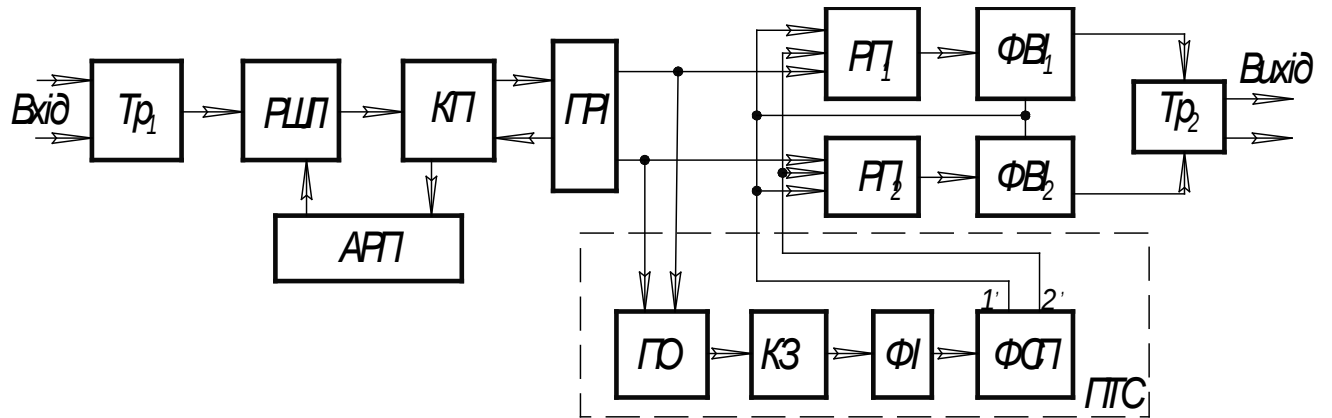


Часова діаграма двійкового коду (а) та коду B6ZS (б)

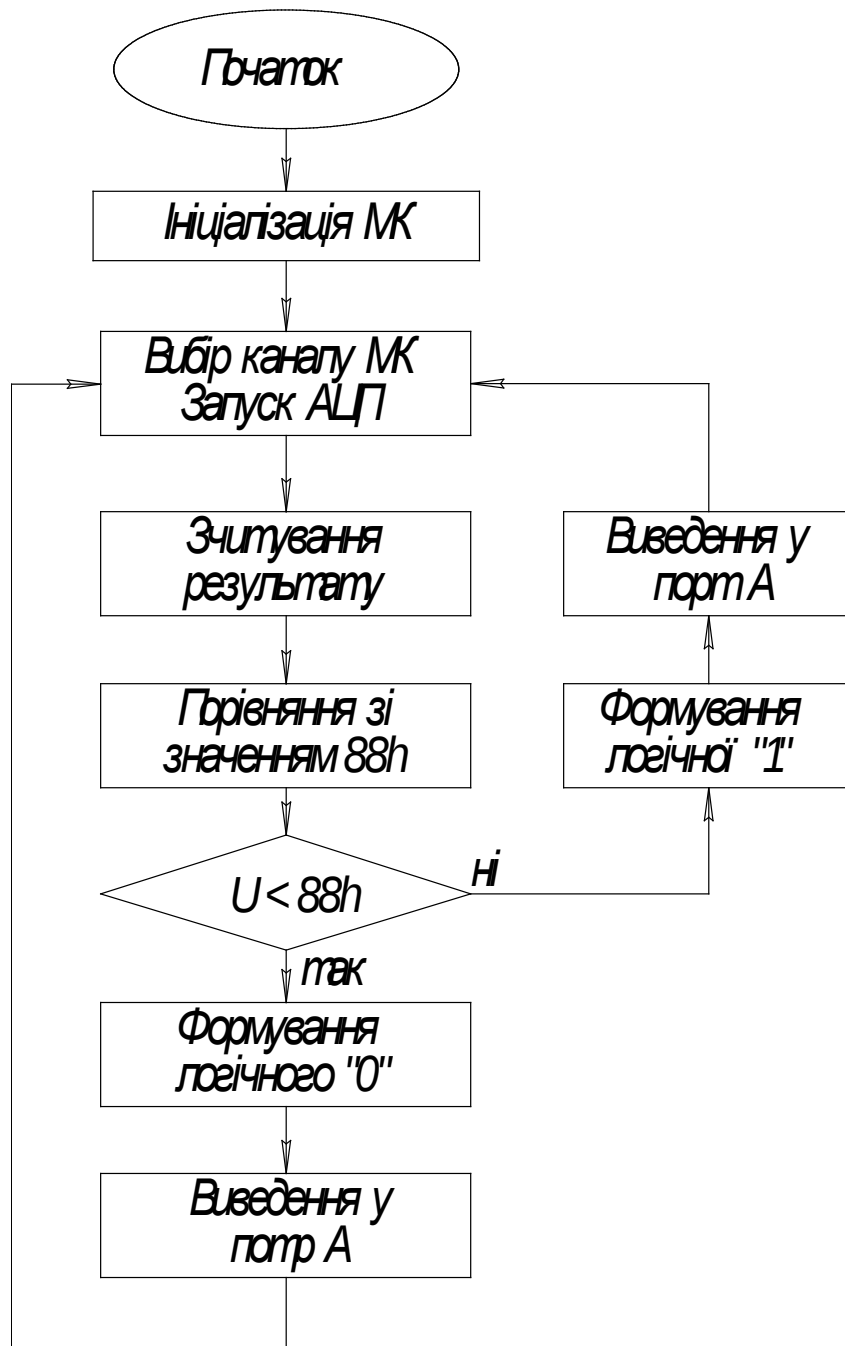


Спектр сигналу B6ZS

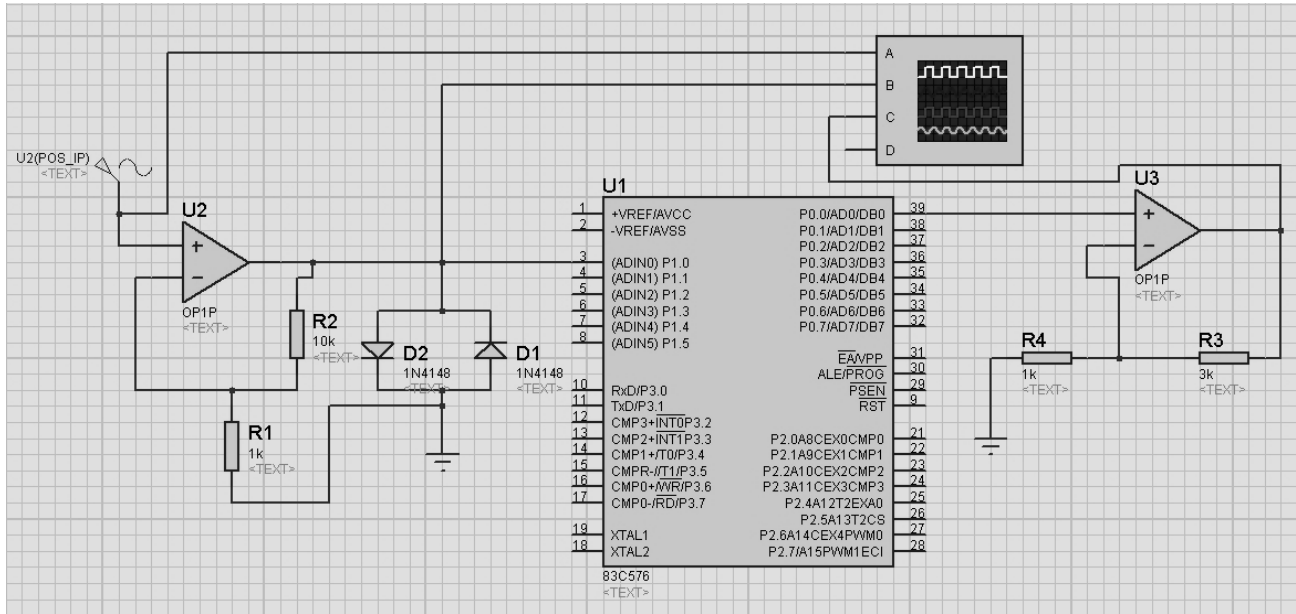
**Лінійний регенератор.
Структурна електрична схема**



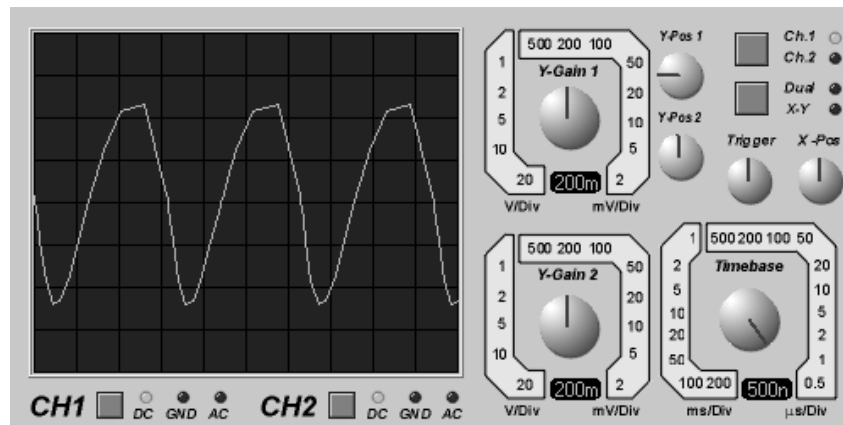
Блок-схема алгоритму роботи лінійного регенератора



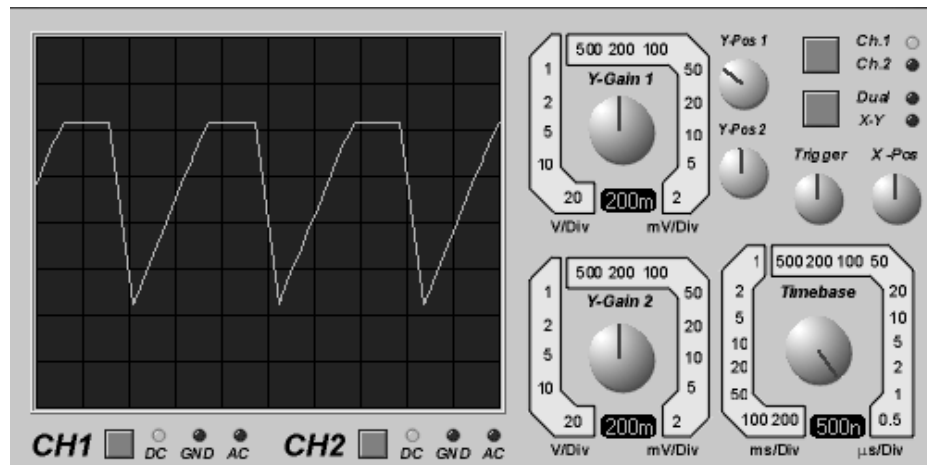
Лінійний регенератор.
Моделювальна схема



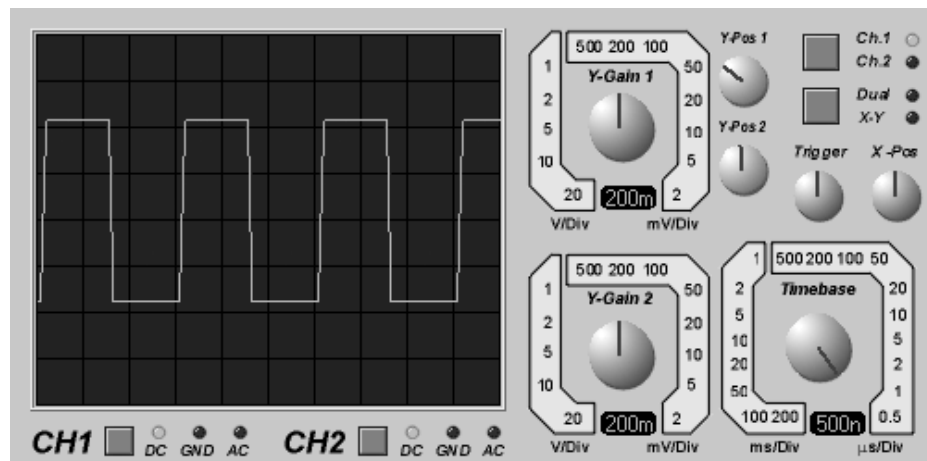
Результати моделювання лінійного регенератора



Осцилограма сигналу з виходу генератора



Осцилограма вихідного сигналу підсилювача



Осцилограма вихідного сигналу лінійного регенератора

Додаток Б
(обов'язковий)
ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Дослідження програмно-апаратної реалізації лінійного регенератора цифрової системи передачі

Тип роботи: Бакалаврська дипломна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра Інфокомунікаційних систем і технологій, факультет Інформаційних електронних систем
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність 96,01 % Схожість 3,99 %

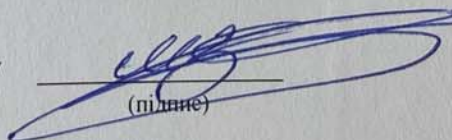
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.

☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

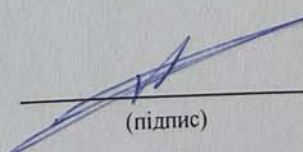
Особа відповідальна за перевірку


(підпис)

Васильківський М.В.
(прізвище, ініціали)

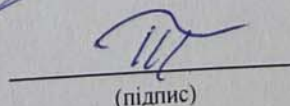
Ознайомлені з повним звітом, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Васильківський А.О.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Тромсюк В.Д.
(прізвище, ініціали)