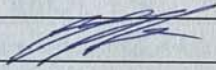


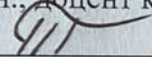
Бакалаврська дипломна робота на тему:

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ РЕАЛІЗАЦІЙ
ЛІНІЙНИХ КОДЕРІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

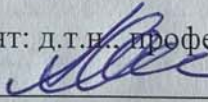
Виконав: студент 2-го курсу, групи ПЗТ-22мсз
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

 Перевєрзєв І.А.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ІКСТ

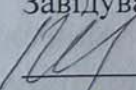
 Тромсюк В.Д.
« 11 » 06 2024 р.

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

 Осадчук О.В.
« 11 » 06 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІКСТ

 д.т.н., проф. Кичак В.М.
« 11 » 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**

Переверзеву Івану Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження програмно-апаратних реалізацій лінійних кодерів телекомунікаційних систем

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

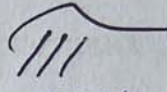
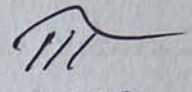
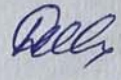
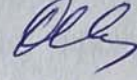
2. Строк подання студентом роботи: 07 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: клас лінійних кодів – парно-вибірний; основа системи числення вхідного коду – двійкова; основа системи числення вихідного коду – трійкова; типи лінійних кодів – 3B2T, 2B3T, 4B3T; мінімальна кількість розрядів вхідного слова – 12 біт; діапазон швидкостей передачі інформації у лінійному тракті 0,01–8 Гбіт/с; режими функціонування пристроїв – реальний масштаб часу; тип базових компонентів – швидкодійні інтегральні мікросхеми, метод реалізації лінійних кодерів – програмно-апаратний.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки роботи (перелік питань, які потрібно розробити): технічне обґрунтування; аналіз особливостей передавання цифрових сигналів лінійними трактами ЦТС; розробка лінійного 2B3T-кодера; розробка лінійного 3B2T-кодера; розробка лінійного 4B3T-кодера; охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Схеми структурні електричні та блок-схеми алгоритмів роботи лінійних кодерів на базі лінійних кодів – 3B2T, 2B3T, 4B3T; моделювальні схеми лінійних кодерів; результати комп'ютерного моделювання лінійних кодерів.

6. Консультанти розділів роботи

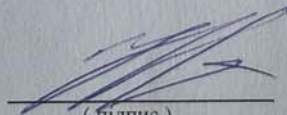
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Тромсюк В.Д., доцент кафедри ІКСТ	 06.05.2024	 11.06.2024
Охорона праці	Дембичка С.В. проф. каф. БЖД/ПБ	 06.05.2024	 11.06.2024

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

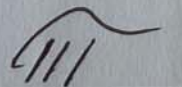
№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми та індивідуального завдання бакалаврської дипломної роботи (БДР)	06.05.2024р.	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	20.05.2024р.	
3	Виконання 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)

Переверзев І.А.

Керівник роботи


(підпис)

Тромсюк В.Д.

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська кваліфікаційна робота складається з 109 сторінок формату А4, на яких є 39 рисунків, 20 таблиць, список використаних джерел містить 24 найменування.

Метою бакалаврської дипломної роботи є підвищення ефективності передавання цифрової інформації лінійними трактами телекомунікаційних систем за рахунок використання лінійних кодерів.

У даній бакалаврській дипломній роботі розв'язано важливу технічну задачу підвищення ефективності кодерів лінійних сигналів для цифрових систем зв'язку.

Виконано аналіз існуючих лінійних кодів для цифрових систем зв'язку.

Здійснено синтез таких лінійних кодів – 3В2Т, 2В3Т, 4В3Т. Побудовано часові діаграми та енергетичні спектри лінійних сигналів на базу даних кодів. Розраховано тактову частоту у лінійному тракті для заданої вхідної частоти двійкового сигналу.

Комп'ютерне моделювання лінійних кодерів підтвердило їх роботоздатність та правильність електричних розрахунків даних кодерів.

Виконано розділ з охорони праці.

Ключові слова: телекомунікаційна система, лінійний кодер, тактова частота, лінійний сигнал

ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of 109 pages of A4 format, on which there are 39 figures, 20 tables, the list of used sources contains 24 titles.

The aim of the bachelor thesis is to improve the efficiency of digital information transmission by linear paths of telecommunication systems due to the use of linear encoders.

In this bachelor thesis, an important technical problem of increasing the efficiency of linear signal encoders for digital communication systems is solved.

Analysis of existing linear codes for digital communication systems was performed.

The following linear codes were synthesized: 3B2T, 2B3T, 4B3T. The time diagrams and energy spectra of linear signals are built on the database of codes. The clock frequency in the linear path is calculated for the specified input frequency of the binary signal.

Computer modeling of linear encoders confirmed their efficiency and the correctness of the electrical calculations of these encoders.

The section on labor protection has been completed.

Key words: telecommunication system, linear encoder, clock frequency, linear signal

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП.....	6
1 ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ ЛІНІЙНИХ КОДЕРІВ	8
1.1 Аналіз особливостей цифрового лінійного тракту.....	8
1.2 Обґрунтування методу підвищення ефективності лінійного кодування.....	9
1.3 Обґрунтування основних технічних вимог до лінійних кодерів, що розробляються.....	10
2 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ЧЕРЕЗ ЛІНІЙНІ ТРАКТИ ЦТС	13
3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОДЕРА ЛІНІЙНОГО КОДУ ТИПУ 2В3Т	24
3.1 Синтез лінійного коду типу 2В3Т.....	24
3.2 Розробка структури лінійного 2В3Т-кодера	27
3.3 Розробка принципової схеми лінійного 2В3Т-кодера	28
3.4 Комп'ютерне моделювання лінійного 2В3Т-кодера.....	34
4 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ 3В2Т-КОДЕРА	40
4.1 Синтез лінійного 3В2Т-коду	40
4.2 Розробка структури лінійного 3В2Т-кодера	43
4.3 Розробка принципової схеми лінійного 3В2Т-кодера	45
4.4 Комп'ютерне моделювання лінійного 3В2Т-кодера	53
5 РОЗРОБКА ЛІНІЙНОГО 4В3Т-КОДЕРА.....	59
5.1 Синтез лінійного 4В3Т коду	59
5.2 Розробка структури лінійного 4В3Т-кодера	62
5.3 Розробка принципової схеми лінійного 4В3Т-кодера	63
5.4 Комп'ютерне моделювання лінійного 4В3Т-кодера	74
6 ОХОРОНА ПРАЦІ	80
6.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	81

6.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця.....	81
6.1.2 Електробезпека приміщення.....	83
6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	84
6.2.1 Мікроклімат.....	84
6.2.2 Склад повітря робочої зони.....	85
6.2.3 Виробниче освітлення.....	86
6.2.4 Виробничий шум.....	87
6.2.5 Виробничі випромінювання.....	88
6.3 Пожежна безпека.....	89
6.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі.....	90
6.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту.....	91
ВИСНОВКИ.....	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	95
ДОДАТКИ	98
Додаток А. ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА	99
Додаток Б. ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ	109

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

2В3Т – код, в якому 2 двійкових розряди кодуються 3 трійковими
3В2Т – код, в якому 3 двійкових розряди кодуються 2 трійковими
4В3Т – код, в якому 4 двійкові імпульси замінюються 3 трійковими
АІМ – амплітудно-імпульсна модуляція
АЦП – аналого-цифровий перетворювач
БМ – багатомодовий
ВОЛЗ – волоконно-оптична лінія зв'язку
ГЗ – генератор задавальний
ГО – генераторне обладнання
ГрО – групове обладнання
ІКМ – імпульсно-кодова модуляція
КІ – канальний інтервал
ЛТ – лінійний тракт
МП – мікропроцесор
ОВ – оптичне волокно
ОП – операційний підсилювач
ПКпер – перетворювач кодів передавача
Пр – приймач
ПР – пристрій розділення
ПЧ – подільник частоти
РГ – регістр
СП – система передавання
УП – узгоджувальний пристрій
ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач
ЦТС – цифрова телекомунікаційна система
ФЛС – формувач лінійного сигналу
ФНЧ – фільтр нижніх частот
ФС – формувач сигналів

ВСТУП

Актуальність теми. Інтенсивний розвиток цифрових телекомунікаційних систем (ЦТС) пояснюється їхніми перевагами порівняно з аналоговими системами передачі. А саме: високою завадостійкістю, незалежністю якості передачі від довжини лінії зв'язку, стабільністю параметрів каналів передачі, ефективністю використання пропускної здатності при передачі цифрових сигналів, можливістю побудови ефективної, повністю цифрової мережі зв'язку, високими техніко-економічними показниками цифрових телекомунікаційних систем. В наш час цифрове передавання телефонних сигналів отримала широке розповсюдження. Побудовою апаратури передачі телефонних сигналів та організацією мереж ЦТС займаються у більшості розвинених країн [1, 2].

Сучасні телекомунікаційні мережі являють є складною системою технологій, що забезпечує надання широкого набору послуг. Побудова надійної та стійкої працюючої мережі передачі даних – першорядна задача телекомунікаційної галузі.

Аналіз останніх досліджень. Розвиток телекомунікацій повинен здійснюватися за такими основними напрямками [3, 4]:

- прискорення розвитку цифрових телекомунікаційних систем з використанням новітніх технологічних досягнень (волоконно-оптичних і пакетних технологій тощо);
- сприяння реалізації регуляторної політики у сфері телекомунікацій, спрямованої на об'єднання можливостей підприємств ринку телекомунікацій з метою розв'язання основних проблем сфери та підвищення ефективності їх діяльності.

Інтеграція телекомунікаційних та інформаційних цифрових систем передачі об'єктивно визначається переходом суспільства від індустріального до інформаційного. Інтенсивний розвиток цифрових телекомунікаційних систем пояснюється існуючими перевагами цих систем порівняно з аналоговими системами передачі, а саме:

- висока завадостійкість;
- незалежність якості передачі від довжини лінії зв'язку;
- стабільність параметрів каналів;
- можливість побудови цифрових мереж зв'язку;
- високі техніко-економічні показники телекомунікаційних систем.

Аналогові телекомунікаційні системи широко використовувалися у світі у минулому сторіччі. Але зі зростанням кількості абонентів зростала й перевантаження аналогових систем, що неодмінно призводило до підвищення сумарного рівня завад. Використання цифрової техніки вирішило проблеми, що зв'язані з аналоговими системами [5].

Сформований на виході цифрових телекомунікаційних систем цифровий імпульсно-кодово-модульований (ІКМ) сигнал є набором однополярних двійкових символів, імпульси яких завжди мають тільки одну полярність. При передачі лінією такий сигнал піддається значним спотворенням і згасанню. Тому перед передачею у лінію однополярний ІКМ-сигнал перетворюється у сигнал, зручний для передавачі лінійним трактом. Це відбувається у перетворювачах коду, які називають лінійними кодерами. Ефективність функціонування лінійних кодерів визначає якість передавання інформації ЦТС.

Мета та постановка задачі. Метою бакалаврської дипломної роботи є підвищення ефективності передавання цифрової інформації лінійними трактами телекомунікаційних систем за рахунок використання лінійних кодерів.

Для реалізації заданої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- техніко-економічне обґрунтування розробки;
- аналіз особливостей передавання сигналів лінійними трактами ЦТС;
- розробка структурної схеми та комп'ютерне моделювання кодера 2В3Т;
- розробка структурної схеми та комп'ютерне моделювання кодера 3В2Т;
- розробка структурної схеми та комп'ютерне моделювання кодера 4В3Т;
- дослідження питань охорони праці.

1 ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ ЛІНІЙНИХ КОДЕРІВ

1.1 Аналіз особливостей цифрового лінійного тракту

В цифровому лінійному тракті (ЦЛТ) лінійні кодери ЦТС забезпечують формування цифрового двійкового сигналу, що містить імпульси та пропуски (одиниці та нулі). Лінійний сигнал повинен бути переданий через ЦЛТ на кінцеву станцію ЦТС, при цьому повинна бути забезпечена необхідна якість передавання.

Через ЦЛТ повинні передаватись сигнали, що забезпечують мінімальні рівні шумів всередині сигналу та перехідних завад між сусідніми лініями. Рівень та дія завад залежать від особливостей енергетичного спектра сигналу та від ширини та форми амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) ЦЛТ.

Тому питання вибору цифрового лінійного сигналу, що забезпечує необхідну завадозахищеність, полягає у синтезі сигналу, спектр якого задовольняє деякі вимоги. А саме - енергетичний спектр лінійного сигналу повинен обмежуватися знизу і зверху, тобто бути вузьким, а також розміщуватися у смузі низьких частотах і не містити постійної складової.

Обмежений спектр лінійного сигналу дозволяє знизити спотворення при проходженні сигналу лінійним трактом, тому що у спектрі цього сигналу будуть подавлятися частотні складові, що мають низьку потужність (відомо, що чим вища потужність складової, тим більші спотворення при її подальшому подавленні). Зсув спектра в смугу нижчих частот зменшує рівень перехідних завад. Звуження ширини спектра сигналу дозволяє використати вузьку смугу пропускання вхідних кіл регенератора, знизивши тим самим діапазон частот і потужність завад, що потрапляють у розв'язувальний пристрій.

На практиці встановлено, що якість тактової синхронізації регенератора у більшому ступені залежить від форми енергетичного спектра цифрового сигналу. Встановлено, що системи тактової синхронізації потребують наявності у спектрі лінійного сигналу дискретної складової з частотою f_T . Якщо

складова тактової частоти у спектрі цифрового лінійного сигналу відсутня, то організація тактової синхронізації дуже затруднена. Тому другою вимогою до спектра цифрового лінійного сигналу є наявність у складі цього спектра складової з частотою f_T .

З теорії передачі сигналів відомо, що наявність інформаційної надлишковості у кодових комбінаціях дозволяє виявляти помилки. Тому лінійний код, що містить надлишковість, може вирішувати питання контролю якості передачі у лінійному тракті без переривання сеансу зв'язку. Звідси формується остання, третя вимога до цифрового лінійного сигналу, а саме - він повинен бути поданий у вигляді коду, що містить інформаційну надмірність.

1.2 Обґрунтування методу підвищення ефективності лінійного кодування

Виконаємо обґрунтування методу підвищення ефективності лінійного кодування в ЦТС.

Сигнал на виході ЦТС у прямому двійковому коді може бути представлений у вигляді випадкової послідовності однополярних імпульсів. Цей сигнал не задовольняє технічні вимоги, що висувуються до форми та складу частотного спектра лінійного цифрового сигналу.

Тому замість однополярної послідовності імпульсів потрібно використовувати послідовність імпульсів з чергуванням полярності. Тоді за деякий проміжок часу сумарна енергія усіх додатних та від'ємних імпульсів у декодері приймального пристрою буде дорівнювати нулю. Такий метод лінійного кодування використовується при синтезі лінійного цифрового сигналу, що отримав назву ЧПІ.

Другим методом підвищення ефективності передавачі цифрових сигналів через лінійний тракт є метод парно-вибірною кодування (ПВК). Використання ПВК дає змогу розробляти лінійні тракти ЦТС, що характеризуються високою

якістю зв'язку та вузькою смугою робочих частот, яка необхідна для передачі сигналів на базі ПВК.

1.3 Обґрунтування основних технічних вимог до лінійних кодерів, що розробляються

Темою цієї роботи є дослідження методів та засобів лінійного кодування сигналів у ЦТС.

Метою даної роботи є підвищення ефективності лінійного кодування при передачі інформації. Тому результати даного дослідження можуть бути дуже корисні при розробці нових засобів цифрової передачі інформації і можуть бути використані при виробництві подібних систем, а також і як теоретична база для подальших досліджень у даному напрямку.

Впровадження результатів досліджень даної бакалаврської дипломної роботи можливе на підприємствах, що займаються розробкою та виготовленням телекомунікаційних засобів, а також побудовою та обслуговуванням ЦТС. Серед цих підприємств можуть слід зазначити: Київстар, Водофон, Лайф, Укртелеком, Дата Груп.

Результати досліджень даної бакалаврської роботи можуть також бути використані як теоретична база для подальших досліджень у галузі телекомунікацій науково-дослідними інститутами або на відповідних кафедрах технічних університетів.

У лінійних трактах середньої протяжності отримали широкого використання трирівневі коди типу 2В3Т. Вони застосовуються для організації лінійного тракту по симетричних та коаксіальних кабелях.

У сучасних ЦТС для лінійних трактів великої протяжності мають широке розповсюдження трирівневі коди типу 3В2Т. Вони використовуються при організації лінійного тракту по симетричних та коаксіальних кабелях.

Трирівневі коди типу 4B3T широко використовуються для організації лінійного тракту по симетричних та коаксіальних кабелях.

Трирівневі коди, що застосовуються у ЦСП є біполярними та балансними кодами. При цьому кодові символи є імпульсами додатної та від'ємної полярності. У ході формування кодової послідовності виконується постійне вирівнювання числа переданих додатніх та від'ємних імпульсів.

Амплітуди імпульсів трирівневого коду типу 2B3T мають бути на рівні 2,5 В. При виборі амплітуди лінійного сигналу потрібно враховувати потужність, яка забезпечить задане відношення сигнал/шум на вході лінійного регенератора. У подальшому, при розрахунку довжин регенераційних ділянок ця амплітуда імпульсів може змінитися.

Амплітуди імпульсів коду типу 3B2T мають бути на рівні 3В. Так само, як і для попереднього коду при виборі амплітуди лінійного сигналу потрібно враховувати потужність, яка забезпечить задане відношення сигнал/шум на вході лінійного регенератора і в подальшому, при розрахунку довжин регенераційних ділянок ця амплітуда імпульсів також може змінитися.

В ході виконання роботи потрібно розробити структуру лінійного кодера типу 2B3T. Для цього потрібно обрати відповідну елементну базу та розрахувати параметри обраних компонентів. Цей лінійний кодер повинен виконувати перетворення двох вхідних двійкових символів у три вихідні трійкові символи. При цьому на виході лінійного кодера у лінійний тракт повинні подаватись імпульси з амплітудою $\pm 2,5$ В.

Лінійний кодер типу 4B3T призначений для перетворення 4-розрядних двійкових кодів у 3-розрядні трирівневі коди. Параметри амплітуд сигналів на виході лінійного кодера повинні дорівнювати +2,5 В для додатного імпульсу та 2,5 В – для від'ємного імпульсу.

Для дослідження параметрів і характеристик розроблених кодерів можна застосувати пакет схемотехнічного моделювання. Наразі існує велика кількість моделювальних пакетів. Найбільш відомими пакетами є Electronics Workbench, Micro-Cap Evaluation, Circuit Marker та Proteus 7 Professional. При виборі

моделювального пакету слід керуватися висуненою задачею. Обрана програма повинна характеризуватись простою у використанні, задовольняти усім технічним вимогам, мати гнучкі налаштування, зрозумілий інтерфейс та давати змогу виконувати аналіз із заданою точністю.

Можливим для моделювання схемотехнічних кіл є використання моделювального пакету типу Electronics Workbench 5.12. За можливостями він не поступається іншим пакетам. Водночас важливою його перевагою перед іншими пакетами є зручний візуальний інтерфейс, що дозволяє досить просто розробляти моделі пристроїв. Пакет Electronics Workbench 5.12 має досить велику бібліотеку елементів, а також у ньому передбачена можливість змінювання параметрів цих елементів.

Іще одним зручним пакетом є програма типу MicroCap-8.0. Вибір цієї програми пов'язаний з наявністю великої кількості бібліотек елементів та можливістю утворення елементів із заданими параметрами, а також широкими можливостями моделювання. Також ця програма не вимагає використання потужних комп'ютерів.

Комп'ютерне моделювання роботи лінійного кодера також може проводитись за допомогою програми типу Proteus V 7. Його перевагою над іншими пакетами є наявність у даній програмі спеціально створених можливостей для моделювання ЦТС. Ця програма містить бібліотеки з моделями та характеристиками багатьох цифрових компонентів різних фірм, аналогових і цифрових пристроїв, а також різноманітних елементів. У цій програмі забезпечена можливість зміни характеристик і параметрів елементів. За допомогою існуючих моделей вимірювальних пристроїв можна візуально аналізувати зміну в часі аналогових і цифрових сигналів

Для основного вузла оброблення лінійного кодера доцільно обрати універсальний мікроконтролер, який забезпечить перетворення, об'єднання та формування лінійних сигналів. Лінійний кодер повинен задовольняти частотні характеристики ЦТС.

2 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ЧЕРЕЗ ЛІНІЙНІ ТРАКТИ ЦТС

Лінійний тракт як складова ЦТС повинен складатись із середовища поширення цифрового сигналу та пристроїв, що забезпечують задану якість зв'язку. В системах з ЧРК, в яких аналоговий сигнал, що використовується у цих системах має складну форму, повне відтворення якої на проміжних пунктах неможливе. У цифрових телекомунікаційних системах цифровий сигнал є достатньо простим за формою, тому імпульс заданої амплітуди і тривалості на проміжних пунктах може бути повністю відновленим (регенерованим). Такі проміжні пункти цифрового лінійного тракту називають регенераційними [5].

Обладнання закінчення лінійного тракту (КЛТ) призначено для формування лінійного цифрового сигналу при передачі та його регенерацію на приймальній стороні. Регенераційні пункти (РП) забезпечують регенерацію цифрового лінійного сигналу на проміжних ділянках лінійного тракту.

Особливості побудови ЦЛТ різних ЦТС пов'язані з фізичними характеристиками середовища поширення цифрового сигналу (СПЦС), що визначає ступінь спотворення форми лінійного сигналу, завадозахищеність і правильність передачі цифрової інформації. Враховуючи це, проаналізуємо властивості основних СПЦС, їх вплив на сигнал та вимоги, що висуваються до середовищ та сигналів, що забезпечують отримання необхідної якості передачі інформації [6].

Одним із засобів, що часто використовується для передачі цифрових сигналів є електричний кабель (симетричний, коаксіальний). Розглянемо вплив характеристик кабелю на передачу цифрових сигналів.

Згасання лінійного кола зі зростанням частоти підвищується, що призводить до обмеження смуги частот цифрового лінійного сигналу зверху. Таку ж дію чинять на сигнал різні компоненти вхідних схем регенератора (фільтри, підсилювачі).

На рис. 2.1, а представлена послідовність двійкових імпульсів на вході та на виході лінійного кола при обмеженні смуги пропускання.

При надходженні імпульсу на вхід ділянки лінійного кола перехідні процеси, що виникають у цьому колі, призводять до затягування фронту імпульсу та затягування спаду при одночасному зменшенні амплітуди імпульсу. При цьому, чим довша ділянка кола, тим менше значення імпульсного відгуку на його виході і тим сильніше виражені явища затягування фронту та спаду імпульса. При значному обмеженні смуги частот цифрового лінійного сигналу, перехідні процеси, що спостерігаються у кабельному колі при проходженні через нього імпульсу, не встигають завершитися до моменту приходу наступного імпульсу. Це призводить до ефекту накладання імпульсів, що особливо сильно відчувається для сусідніх символів лінійного цифрового сигналу. Ефект накладання імпульсів цифрового сигналу за рахунок розширення їх тривалості називають міжсимвольною інтерференцією.

Міжсимвольна інтерференція призводить до змінювання амплітуди та до часових зсувів імпульсів. Внаслідок міжсимвольної інтерференції на сусідньому тактовому інтервалі імпульс отримує випадковий приріст Δu_{np} . Якщо при відсутності інтерференції допустима амплітуда завади U_z , то при накладанні імпульсів її значення знижується на Δu_{np} . Зсув фронту імпульсу Δt призводить до спотворення форми символу [6].

У лінійних трактах, що сформовані на базі кіл симетричних кабелів, присутні узгоджувальні трансформатори та підсилювачі, що обмежує смугу частот цифрового лінійного сигналу знизу за рахунок подавлення постійної та низькочастотних складових спектра. Вплив обмеження смуги частот цифрового сигналу знизу представлено на рис. 2.1, б.

Послаблення низькочастотних складових призводить до появи викидів, у яких полярність протилежна полярності імпульса цифрового сигналу. При цьому спад викиду затягується на наступні тактові інтервали, що викликає міжсимвольну інтерференцію та знижує амплітуду імпульсів. Зменшення амплітуди імпульсів для амплітуди завади U_z знижує можливість реєстрації

імпульсів на фоні завад. Тому обмеження смуги частот викликає спотворення цифрового сигналу, що знижує завадостійкість. Цифровий лінійний сигнал в електричному кабелі піддається дії завад. Розглянемо типові завади та їх вплив на цифрові сигнали.

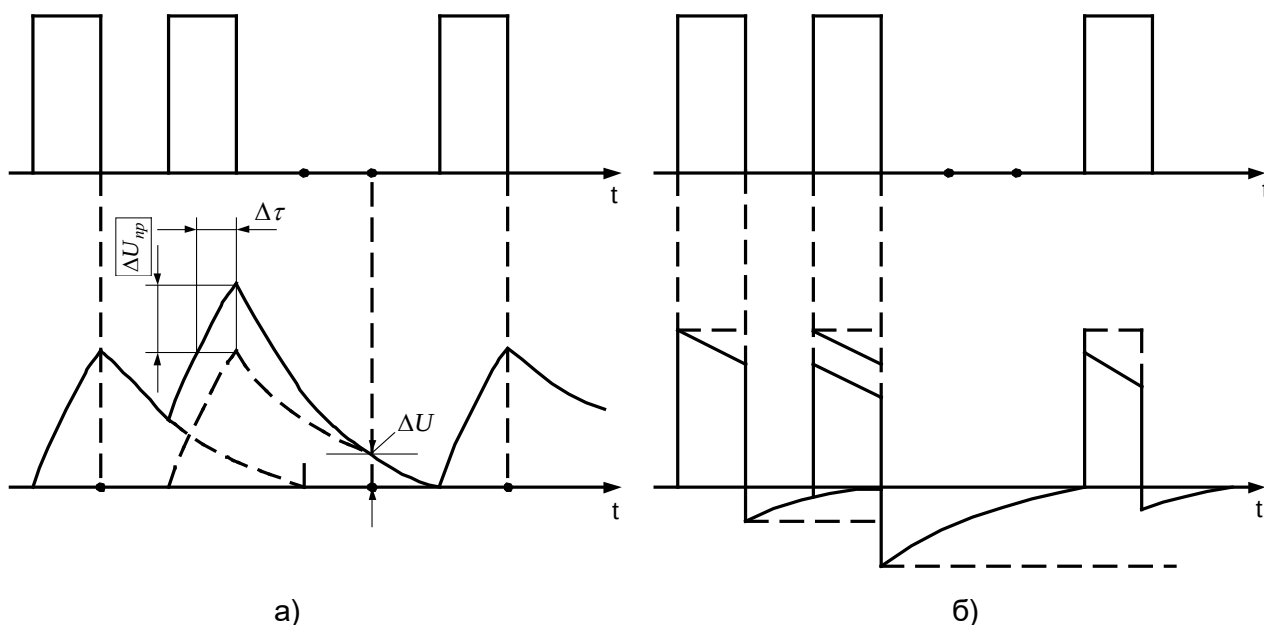


Рисунок 2.1 – Демонстрація впливу обмеження смуги частот на форму лінійного цифрового сигналу

Основним видом завад у ЦТС, побудованих на базі симетричного кабелю, є перехідні завади від інших трактів цього кабелю. Вплив завади на сигнал залежить від методу організації передачі. При однокабельній передачі переважають перехідні завади на ближньому кінці регенераційної ділянки, при двокабельній – перехідні завади на дальньому кінці. Перехідна завада на ближньому кінці кабелю не залежить від довжини регенераційної ділянки і в більшості випадків перевищує перехідну заваду на дальньому кінці кабелю. Значення перехідної завади на ближньому кінці кабелю визначається рівнем сигналу при передачі, перехідним згасанням між парами кабелю на ближньому кінці A_0 і частотними спектрами сигналів, що впливають і які підлягають впливу.

Підвищення швидкості передачі цифрового сигналу призводить до зменшення тривалості імпульсів і розширення частотної смуги. Це у свою чергу, зменшує перехідне згасання та відповідно збільшує завади. У цьому випадку знижується захищеність на ближньому кінці A_{30} . З метою збереження значення захищеності A_{30} у допустимих межах доводиться або зменшувати довжину регенераційних ділянок або використовувати двокабельну систему організації передачі [5, 6].

Окрім перехідних завад для симетричних кабелів характерні завади, що створюють відбиті сигнали. Ефект відбиття сигналів виникає у тих точках кабельної пари, де спостерігається стрибкоподібна зміна хвильового опору кола (стики будівельних довжин та ділянки вмикання газонепроникних муфт). Відбиття призводять до появи у лінійному тракті паразитних цифрових сигналів, що випереджають або відстають від основного сигналу.

При одночасному використанні пар симетричного кабелю для організації цифрової передачі та низькочастотного зв'язку на регенераційних ділянках, що знаходяться біля комутаційної станції, виникають імпульсні завади. Завади створюються комутаційними компонентами. Значення потужності цих завад на прилеглих до станції регенераційних ділянках значно перевищує значення потужності інших завад, тому доводиться скорочувати пристанційні ділянки.

Характерною властивістю коаксіальних кабелів, що використовуються для створення високошвидкісних цифрових трактів, є зростання перехідного згасання при підвищенні частоти. Значення перехідного згасання типових коаксіальних кабелів вже на частоті 1 МГц досягає рівня 120 дБ, що дозволяє не враховувати перехідні завади при розгляданні процесів передачі цими кабелями сигналів [7].

Основним видом завад у коаксіальних цифрових трактах є теплові шуми, що спричинені хаотичним тепловим струмом у кабельних колах і вхідних каскадах регенераторів. Захищеність від теплових шумів визначається швидкістю передачі цифрового сигналу та довжиною регенераційної ділянки (ці параметри визначають згасання кабельної ділянки). Меншими завадами від

відбивань, які у коаксіальних колах є шуми в точках технологічної неоднорідності структури кола.

Загалом рівень шумів у коаксіальних колах набагато менший, ніж у симетричних. При організації високошвидкісних цифрових трактів по симетричних кабелях необхідне значення захищеності не може бути забезпечено, тому при швидкостях передачі вище 8 Мбіт/с цифрові лінійні тракти будуються на базі використання коаксіальних кабелів [7].

Проаналізуємо існуючі двійкові коди що забезпечення представлених вище вимог.

Сигнал на виході аналого-цифрового перетворювача (АЦП) у прямому двійковому коді може бути представлений у вигляді випадкової послідовності однополярних імпульсів (рис. 2.2, а) зі шпаруватістю $q=T/t_i>1$ (нехай $q=2$). Такий сигнал є двійковим або бінарним. Енергетичний спектр частот двійкового сигналу містить суцільні та лінійчасті складові (рис. 2.2, б). Аналіз спектральної характеристики такого сигналу показує, що амплітуди постійної складової і НЧ-складових спектра більші, ніж у ВЧ-складових спектра. Ширина першої пелюстки спектра велика і дорівнює $2f_T$.

Проходячи трактом з великим числом лінійних трансформаторів, що подавляють потужні частотні складові спектра, сигнал спотворюється і його регенерація ускладнюється. Тому такий сигнал не задовольняє першій вимозі, що висувається до цифрового лінійного сигналу. Цей сигнал не задовольняє також і третю вимогу. Наявність складової f_T у спектрі частот сигналу не може бути основою для його використання, тому що не виконується перша найважливіша вимога.

У лінійних трактах місцевих цифрових систем передачі типу ІКМ-15 використовуються двійкові сигнали зі шпаруватістю $q=1$. Це сигнали - з імпульсами, що затягнуті на тактовий інтервал (рис. 2.2, в). Енергетичний частотний спектр такого сигналу (рис. 2.2, г) не містить дискретних частотних складових, його неперервна складова зосереджена в смузі низьких частот, а також є потужна постійна складова. Такий сигнал не задовольняє основні

вимоги, що висуваються до форми та складу частотного спектра лінійного цифрового сигналу. Водночас вужча ширина спектра, аніж у сигналі з $q=2$, у поєднанні зі спеціальним способом регенерації дозволяють досягнути рівня завадостійкості регенераторів, порівняно з завадостійкістю при використанні лінійних квазітрійкових сигналів, що будуть розглянуті нижче. При цьому регенератор двійкового сигналу з імпульсами зтягнутими на тактовий інтервал, буде простішим та ефективнішим регенератора квазітрійкового сигналу.

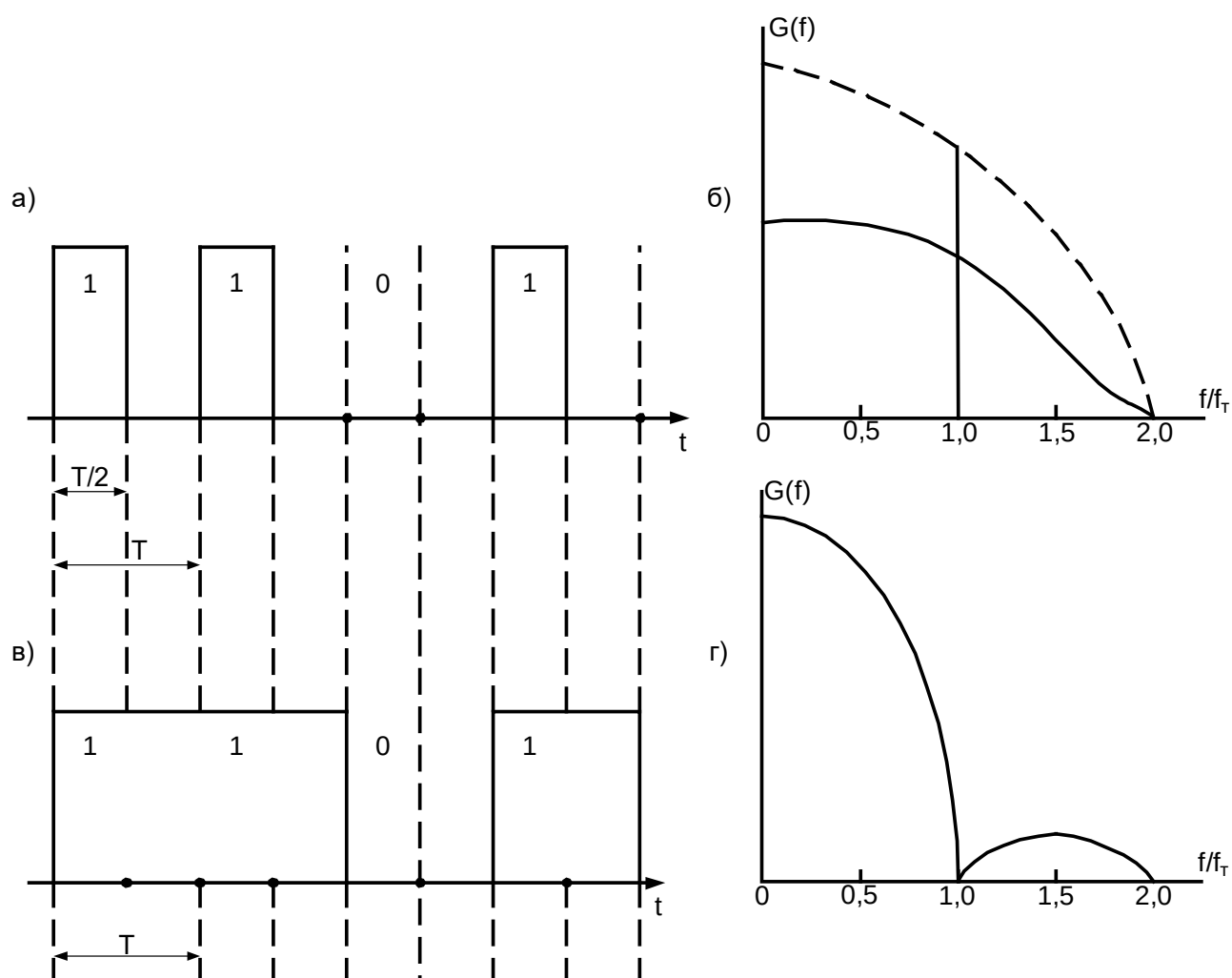


Рисунок 2.2 – Часові діаграми та енергетичні спектри двійкових цифрових сигналів: а – двійковий сигнал зі шпаруватістю $q=2$; б – енергетичний спектр сигналу з $q=2$; в – двійковий цифровий сигнал з імпульсами, зтягнутими на тактовий інтервал ($q=1$); г – спектр сигналу з $q=1$

Рівень постійної складової в енергетичному спектрі однополярної випадкової імпульсної послідовності визначається величиною енергії імпульсів, що поступили на вхід приймального пристрою за відповідний проміжок часу. У разі використання замість однополярної послідовності імпульсів послідовності імпульсів полярності, що чергується, то за відповідний інтервал часу сумарна енергія додатних та від'ємних імпульсів у накопичувачі приймального пристрою буде дорівнювати 0. Ця ідея була використана при формуванні базового типу лінійного цифрового сигналу, який називають сигналом з чергуванням полярності імпульсів ЧПІ.

На рис. 2.3, а представлена двійкова кодова комбінація, а на рис. 2.3, б - побудована з неї комбінація у ЧПІ-коді.

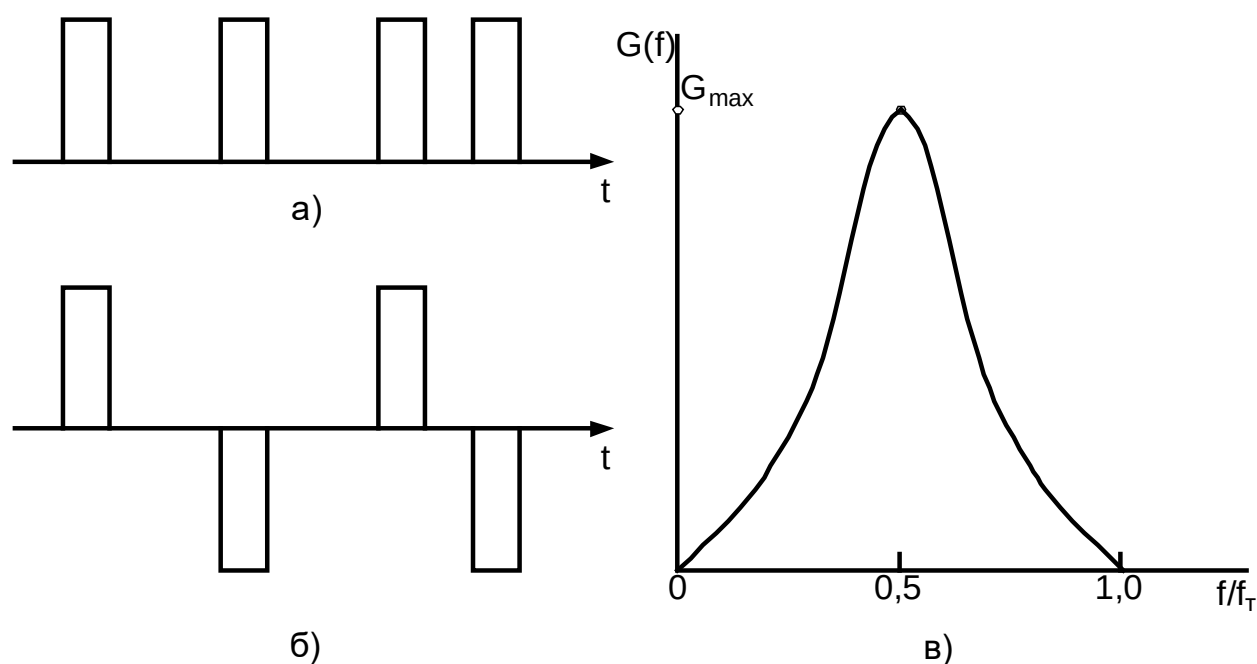


Рисунок 2.3 – Часова діаграма і енергетичний спектр квазітрійкового коду з чергуванням полярності імпульсів

Видно, що символи, які використовуються у комбінації ЧПІ-коду, можуть мати 3 рівні: -1 ; 0 ; $+1$. Водночас кількість інформації у кодовій комбінації ЧПІ така ж, як і в позиційному двійковому коді, тому що вона отримана з двійкової комбінації, що містить 3 рівні елементів. Надлишковість інформації при

використанні ЧПІ- коду дозволяє контролювати наявність помилок у цифровому лінійному тракті.

Енергетичний спектр випадкової імпульсної послідовності (рис. 2.3, в) зконцентровано у вузькій смузі поблизу частоти $0,5f_t$, що називається напівтактовою. Відсутність постійної складової та концентрація спектра у смузі частот, що нижчі f_t , дозволяють при однакових значеннях тактової частоти, отримати для ЧПІ-сигналу менші, ніж для двійкового, значення міжсимвольних спотворень і перехідних завад. Це визначило широке використання ЧПІ-сигналу у низькошвидкісних та середньошвидкісних ЦТС.

ЧПІ-сигнал має один суттєвий недолік – при відсутності передачі в частині каналів у сигналі з'являються довгі серії нулів. У цьому випадку можливий збій системи тактової синхронізації. Для уникнення цього, слід обмежити у ЧПІ-коді велике число нулів. Ця задача була розв'язана розробленням кодів з високою щільністю одиниць (КВЩ). Найбільше поширення отримав код типу КВЩ-3. У комбінаціях коду КВЩ-3 допускається не більше трьох нулів між двома сусідніми одиницями. Такий код ще називають модифікованим квазітрійковим кодом (МЧПІ).

МЧПІ-код може бути отриманий з двійкового згідно алгоритму, що передбачає чергування полярності імпульсів В двійкового коду, розділених не більш, ніж трьома 0. Якщо число нулів між двома імпульсами В двійкового коду 4 і більше, то кожен чотири нулі замінюються комбінацією, що обрано згідно закону, наведеного у табл. 2.1 [5].

Таблиця 2.1 – Методика синтезу МЧПІ-коду

Двійковий код	Код МЧПІ	Умова вибору	Двійковий код	Код МЧПІ	Умова вибору
0000	000V	Якщо за наступним символом V з'явилося непарне число символів В	0000	B00V	Якщо за наступним символом V з'явилося парне число символів В

З табл. 2.1 видно, що у МЧПІ-кодi кожні 4 нулі замінюються комбінацією 000V, де через V позначено символ, полярність якого повторює полярність попереднього символу V або комбінацією B00V. Тут B – символ, що формується за алгоритмом чергування полярності, а V – символ, що повторює полярність символу B. Така подвійна підстановка дає можливість збалансувати число $+1$ і -1 у МЧПІ- кодi і тим самим усунути появу постійної складової лінійного сигналу.

Часові діаграми та енергетичний спектр МЧПІ-коду представлено на рис. 2.4, а–в.

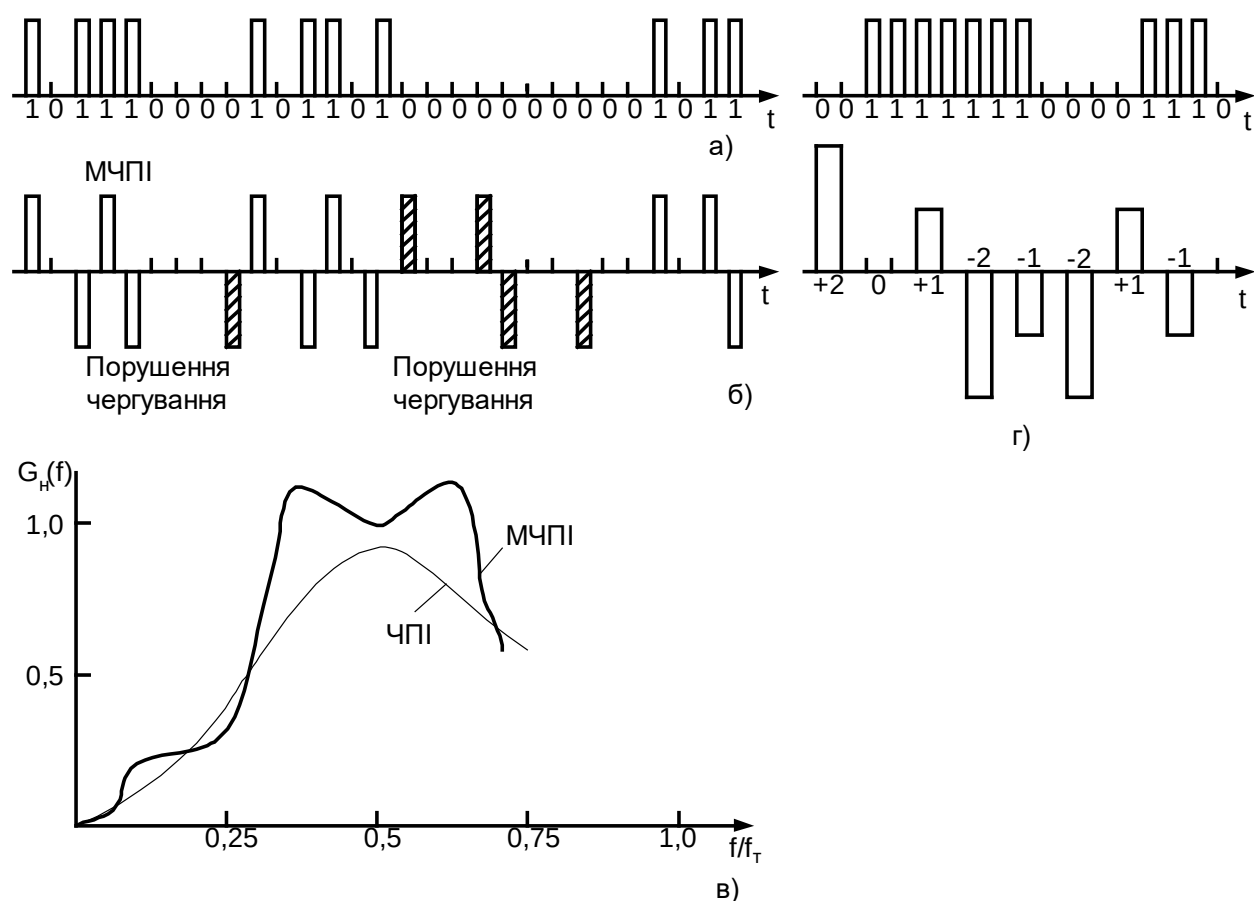


Рисунок 2.4 – Діаграми модифікованого квазітрійкового коду з підвищеною щільністю одиниць МЧПІ і п'ятіркового балансного коду БК-45: а – цифровий потік на вході перетворювача коду МЧПІ; б – цифровий потік на виході перетворювача коду МЧПІ; в – енергетичні спектри МЧПІ-коду ЧПІ-коду; г – п'ятірковий цифровий код БК-45

МЧПІ-код дозволяє спростити вимоги до засобів тактової синхронізації, водночас він значно ускладнює перетворювачі кодів при прийманні та передаванні. Окрім того транскодер приймання повинен знаходити порушення чергування полярності одиниць, одночасно визначаючи число 0, що передують появі порушень (необхідність у цьому обумовлюється задачею пошуку підстановок типу 000V або B00V). А потім транскодер повинен приймати рішення про перетворення символів МЧПІ-коду у символи двійкового коду; при цьому процес перетворення коду повинен відбуватися з деякою часовою затримкою.

МЧПІ-код і ЧПІ-код дозволяють виявляти помилки. У ЧПІ-кодi помилка виявляється при порушенні чергування полярності імпульсів, а в МЧПІ-кодi – вставок. Завада, що призводить до перетворення символу кодової послідовності, спонукає до порушення чергування полярності імпульсів ЧПІ або вставок. Слід відмітити, що енергетичний спектр МЧПІ-коду незначно відрізняється від спектра ЧПІ-коду.

У високошвидкісних ЦТС значення тактової частоти достатньо велике, відповідно підвищується згасання регенераційної ділянки. Тому для забезпечення необхідної завадозахищеності потрібно скорочувати регенераційну ділянку. При цьому цифрові системи передачі у економічному плані поступаються аналоговим. Наприклад, система типу ІКМ-1920 при використанні лінійного МЧПІ-коду має довжину регенераційної ділянки $l_{p,0}=3$ км, тоді як аналогова система з числом каналів майже у 2 рази більшим, має таку ж по довжині підсилювальну ділянку. Підвищення пропускної здатності лінійного тракту (і відповідно числа каналів) без збільшення значення тактової частоти можливе при використанні кодів з числом рівнів символів більше 3 [7].

Зі збільшенням числа рівнів символів коду завадозахищеність лінійного сигналу знижується. Встановлено, що достатньо висока завадостійкість регенератора ЦЛТ може бути отримана при числі рівнів у кодi, що дорівнює 5, при цьому довжина регенераційної ділянки залишається такою ж, як і при

використанні МЧПІ-коду.

На рис. 2.4. г представлена реалізація двійкового коду та отримана з неї реалізація п'ятіркового балансного коду типу БК-45. Символи двійкового коду 0; 1 перетворюються згідно відповідного закону у символи п'ятіркового +2; +1; 0; -1; -2. При довжині регенераційної ділянки 3 км використання коду типу БК-45 дозволило реалізувати ЦТС типу ІКМ-1920x2 з числом каналів у 2 рази більшим, ніж у ІКМ-1920, з регенераційною ділянкою тієї ж довжини.

У багатьох випадках достатньо висока завадозахищеність може бути реалізована при зміні статистичної структури двійкового цифрового сигналу за допомогою процедури, що називається скремблюванням. Скремблювання – це процес перетворення інформаційного двійкового сигналу у сигнал, близький за розподілом до випадкового, що має біноміальний закон розподілення ймовірностей появи комбінацій імаульсів при рівноймовірній появі символів 1 і 0. На відміну від інформаційного сигналу, в якому ймовірність появи заданої групи символів довільна у скремблованому сигналі, ця ймовірність залежить від закону скремблювання. Тому у скремблованому коді поява будь-яких комбінацій, у тому числі довгих серій нулів, передбачено і піддається оцінюванню.

При підборі відповідного алгоритму скремблювання, що дозволяє отримати задану ймовірність формування відповідної групи символів (наприклад, довгої серії 0 або комбінацій, схожих на цикловий синхросигнал), є можливість покращити статистичні властивості сигналу таким чином, щоб у цілому покращити завадозахищеність ЦТС. Скремблювання лінійного сигналу широко використовується у середньошвидкісних та високошвидкісних ЦТС, що покращує роботу засобів тактової синхронізації.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОДЕРА ЛІНІЙНОГО КОДУ ТИПУ 2В3Т

3.1 Синтез лінійного коду типу 2В3Т

У лінійних трактах великої довжини широкого розповсюдження отримали трирівневі коди, наприклад типу 2В3Т. Вони застосовуються при побудові лінійного тракту на базі симетричних та коаксіальних кабелів. Кожен імпульс у трирівневих кодах еквівалентний за кількістю інформації, що передається, $\log_2 3 = 1,59$ імпульсним символам. Трирівневі коди, що застосовуються у ЦТС, є біполярними та балансними. При цьому кодові символи є імпульсами позитивної чи негативної полярності. При формуванні кодової послідовності виконується постійне вирівнювання числа переданих додатніх та від'ємних імпульсів.

В 2В3Т-кодi для передавання 4 можливих комбiнацiй iз 2 двiйкових символiв може бути використано 27 комбiнацiй iз 3 трiйкових символiв. Виключаючи нульову комбiнацiю 000 (для забезпечення передачi хронуючої iнформацiї у лiнiйному сигналі), отримуємо 26 комбiнацiй, 6 iз яких мають цифрову суму, що дорiвнює 0, 10 комбiнацiй мають додатну цифрову суму (вiд +1 до +3) i 10 – вiд'ємну цифрову суму (вiд -1 до -3).

У даному 2В3Т-кодi використаємо комбiнацiї з нульовою сумою для забезпечення збалансованостi коду та виявлення помилок при надходженнi забороненої комбiнацiї. Варiант 2В3Т-коду наведено у табл. 3.1 [8].

Таблиця 3.1 – Варіант побудови 2В3Т-коду

Символи вхідного двійкового коду	Символи 2В3Т-коду		
00	+	-	0
01	-	+	0
10	+	0	-
11	-	0	+

Амплітуди імпульсів попередньо задаються на рівні 2,5 В. При обґрунтуванні амплітуди лінійного сигналу необхідно враховувати потужність, що забезпечить необхідне відношення сигнал/шум на вході регенератора. У подальшому, при розрахунку довжин регенераційних ділянок, це число може змінитися.

На рис. 3.1 наведено принцип побудови 2ВЗТ-коду для заданої вхідної цифрової послідовності виду: «00101001110110100001».

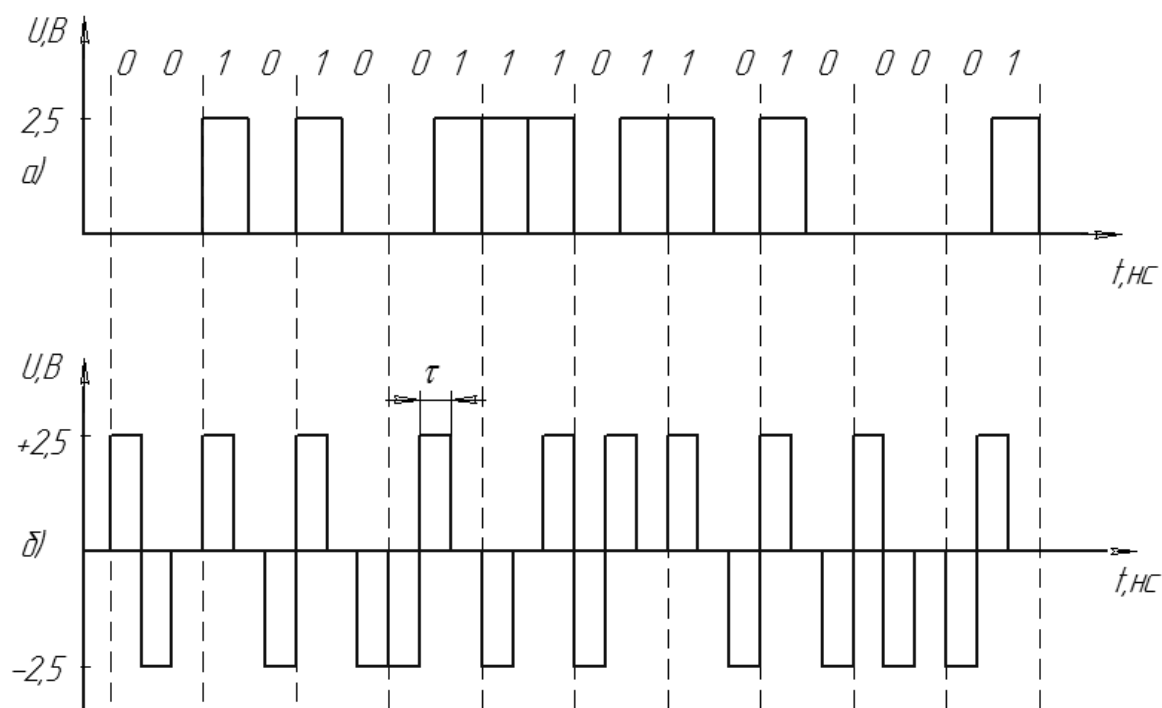


Рисунок 3.1 – Приклад 2ВЗТ-коду для заданої послідовності

При заміні 4-символьної комбінації лінійного коду 3-розрядною комбінацією трійкового коду значення тактової частоти лінійного сигналу підвищиться та буде визначатись за формулою [8]:

$$f_{\text{д.вн}} = 3 \cdot f_{\text{д}} / 2. \quad (3.1)$$

В результаті значення тактової частоти лінійного сигналу для заданого вхідного сигналу буде дорівнювати:

$$f_{\text{д.єн}} = 3 \cdot 5,15 \cdot 10^9 / 2 = 7,725 \text{ ГГц}.$$

Як видно з рис. 3.1, лінійний сигнал має однакову кількість імпульсів позитивної та негативної полярності. Тому цей код є попарно збалансованим.

Період імпульсу для NRZ-сигналу відповідає тривалості імпульсу та визначається за наступним виразом [8]:

$$\tau_s = 1 / f_{\text{д.єн}}. \quad (3.2)$$

Отже, відповідно до (3.2), період імпульсу буде дорівнювати:

$$\tau_s = \frac{1}{7,725 \cdot 10^9} = 129 \text{ (нс)}.$$

Отже, з отриманих значень можна зробити висновок, що при заміні 2-символьної комбінації 3-символьною, значення тактової частоти збільшиться в 1,5 рази.

На рис. 3.2 наведено спектр сигналу при використанні 2B3T-коду.

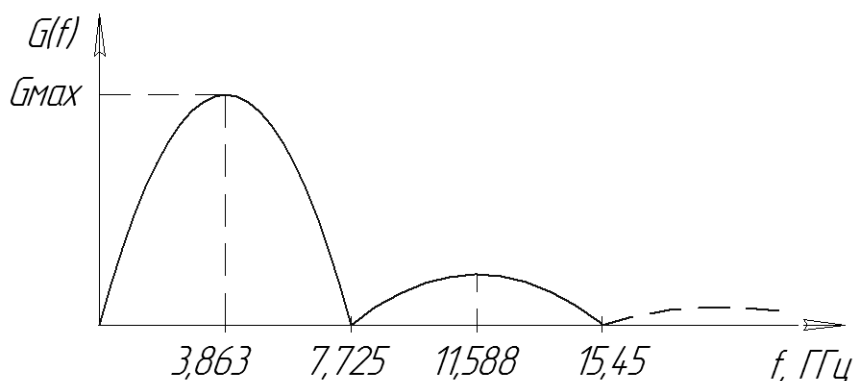


Рисунок 3.2 – Енергетичний спектр 2B3T-сигналу

З рис. 3.2 видно, що основна енергія сигналу буде відповідати області на частоті 3,863 ГГц. Це означає, що у сигналі відсутня постійна складова і цей код є завадостійким.

3.2 Розробка структури лінійного 2В3Т-кодера

В даному підрозділі необхідно розробити структуру лінійного 2В3Т-кодера. Для цього необхідно обґрунтувати принцип побудови, елементну базу та розрахувати параметри необхідних компонентів. Даний лінійний кодер повинен здійснювати перетворення 2-х вхідних двійкових імпульсів у 3 вихідні трійкові. При цьому на виході кодера в лінійний тракт повинні подаватися імпульси напругою $\pm 2,5$ В.

Двополярний сигнал на виході можна отримати за допомогою операційного підсилювача з симетричним джерелом живлення, подаючи імпульси на різні входи. Перетворення вхідного коду у вихідний код буде виконуватися згідно розробленого алгоритму, що доцільно реалізувати за допомогою швидкодійних цифрових мікросхем.

Структурна схема лінійного 2В3Т-кодера наведена на рис. 3.3.

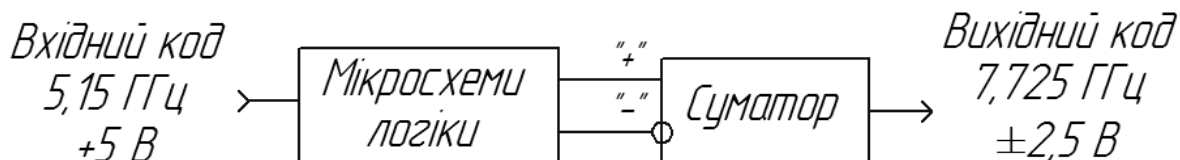


Рисунок 3.3 - Структурна схема лінійного 2В3Т-кодера

На вхід 2В3Т-кодера надходить паралельний 2-розрядний двійковий код з частотою $f_0 / 2$. У блоці мікросхем логіки відбуваються перетворення сигналу залежно від прийнятої послідовності і подаються 3 послідовні імпульси на виходи суматора «+» чи «-». Рівень вихідного сигналу «0» забезпечується відсутністю сигналу на перших двох виходах. Вихідні імпульси повинні надходити з часовою затримкою тривалістю $t_{0.ЕН}$. Тактові імпульси з частотою лінійного сигналу будуть надходити з виходу генераторного обладнання.

Підсилення суматора задається таким, щоб на виході імпульс сигналу «+» мав амплітуду +2,5 В, а імпульс «-» мав амплітуду -2,5 В.

Таким чином, на виході суматора буде реалізовано 3-рівневий сигнал.

3.3 Розробка принципової схеми лінійного 2В3Т-кодера

Блок мікросхем логіки повинен забезпечити перетворення вхідного двійкового 2-розрядного сигналу у вихідний трійковий 3-розрядний сигнал. Відповідно до заданого алфавіту коду будуюмо табл. 3.2, в якій наведено значення входів та виходів цього блоку кодера.

Таблиця 3.2 – Відповідність імпульсів входу та виходу для 2В3Т-коду

Символи вхідного двійкового коду		Символи 2В3Т-коду		
X1	X2	Y1	Y2	Y3
0	0	+	-	0
0	1	-	+	0
1	0	+	0	-
1	1	-	0	+

Згідно табл. 3.2 необхідно побудувати логічні рівняння виходів для значень імпульсів «+» та «-», при цьому значення «0» відповідатиме відсутності імпульсу на двох інших виходах.

$$Y1_{+} = \bar{X}2;$$

$$Y1_{-} = X2;$$

$$Y2_{+} = \bar{X}1 \cdot X2;$$

$$Y2_{-} = \bar{X}2 \cdot \bar{X}1;$$

$$Y3_+ = X1 \cdot X2;$$

$$Y3_- = X1 \cdot \bar{X}2.$$

Згідно рівнянь на виходах мікросхем для всіх вхідних комбінацій: 00, 01, 10 та 11 побудовано часові діаграми роботи блоку мікросхем логіки, що зображені на рис. 3.4.

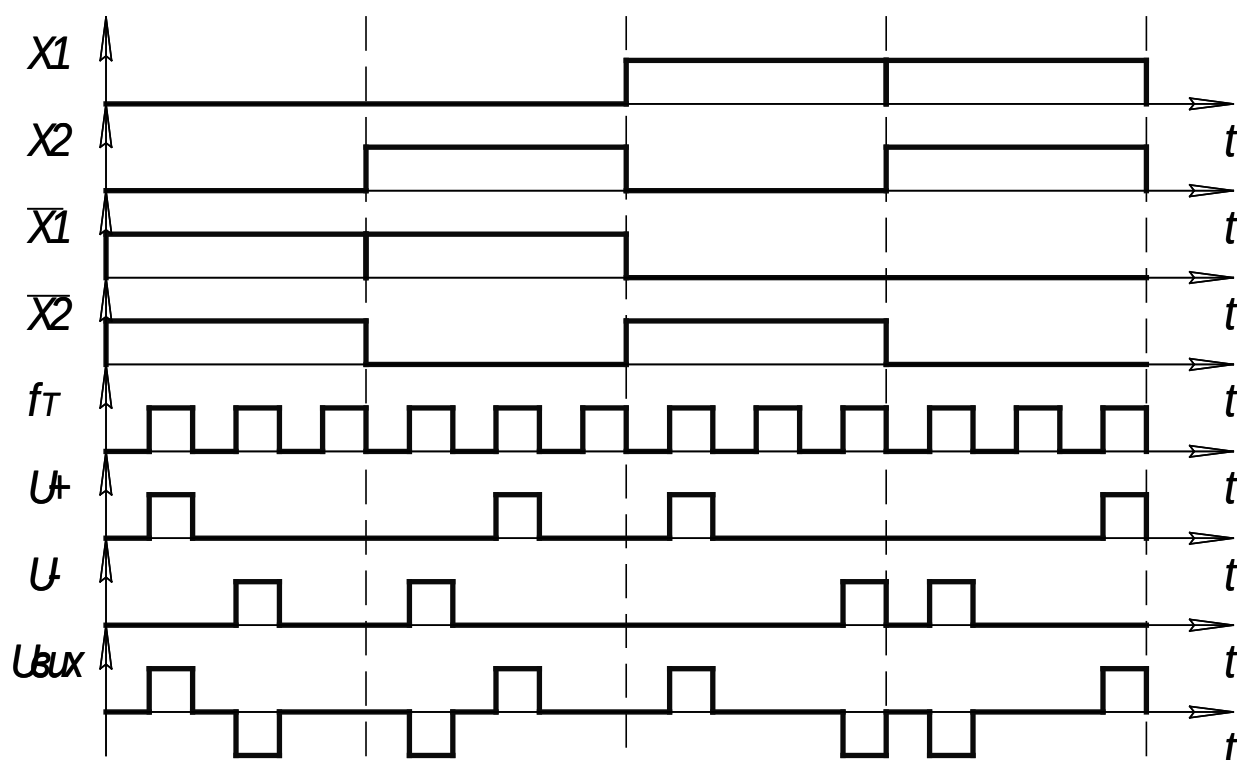


Рисунок 3.4 – Часові діаграми функціонування блоку логіки

Параметри деяких серій цифрових мікросхем наведено в табл. 3.3 [9].

Таблиця 3.3 – Параметри цифрових мікросхем

Параметри	K531	KP1533	KP1561	K1500
Напруга живлення U, В	5,0	5,0	15,0	-4,5
Струм споживання I, мА	36,0	3,0	0,03	0,05
Час затримки, нс	4,5	1,0	100,0	0,5
Робоча частота, ГГц	0,1	0,4	0,01	4,0
Тип логіки	узгоджені з ТТЛ	узгоджені з ТТЛ	узгоджені з КНДН/ТТЛ	узгоджені з ЕЗЛ

Отримані логічні операції можна виконати за допомогою швидкодієвих мікросхем серії типу КР1500, що мають найменший час затримки на рівні 0,5нс. Для цього обираємо такі типи мікросхем:

КМ1500ЛМ102 – 2 АБО/АБО-НЕ;

КМ1500ЛК118 – 4 АБО.

Для того, щоб вихідні 3-рівневі імпульси надходили по черзі, необхідно використати D-тригери з синхронізацією по виходу. На вхід синхронізації буде подаватися сигнал з виходу генераторного обладнання із затримкою на другий тригер відносно першого $\tau_{\bar{E}N}$, а на третій - $2\tau_{\bar{E}N}$. Основні параметри мікросхем D-тригерів наведено в таблицю 3.4 [11].

Таблиця 3.4 – Основні параметри мікросхем тригерів

Параметри	54174DM	54F174D	DM54AS174J	КМ1500ТМ131
Напруга живлення U, В	5,0	5,0	5,0	-4,5
Струм споживання I, мА	65,0	30,0	46,0	86,0
Час затримки, нс	35,0	7,9	4,0	0,3
Робоча частота, ГГц	0,1	0,2	0,4	4,0
Тип логіки	узгоджені з ТТЛ	узгоджені з ТТЛ	узгоджені з ТТЛ	узгоджені з ЕЗЛ

Для даної схеми кодера найдоцільніше буде використати мікросхеми тригерів типу КМ1500ТМ131, які мають найменший час затримки.

Суматор призначений для формування на виході кодера послідовного 3-рівневого сигналу з амплітудами +2,5, 0 та -2,5 В для 3-х рівнів відповідно. Враховуючи сучасні можливості мікросхем та необхідні властивості вузла, суматор доцільно виконати на базі операційного підсилювача (ОП).

На рис. 3.5 зображена схема суматора на базі мікросхеми ОП.

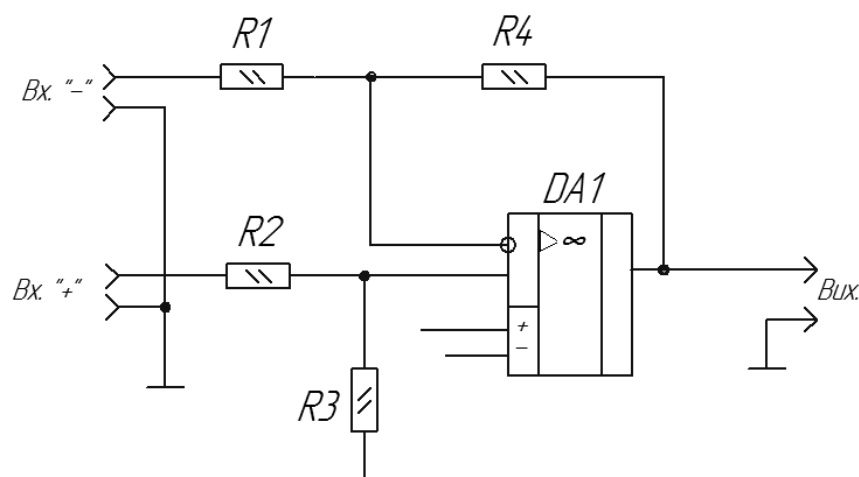


Рисунок 3.5 – Суматор на базі мікросхеми ОП

Основні параметри ОП надано в табл. 3.5 [11].

Таблиця 3.5 – Основні технічні параметри мікросхем ОП

Технічні параметри	LMH6624	THS3202	AD8048	LM358
Напруга живлення U , В	$\pm 2,5 \dots 6,0$	$\pm 5 \dots 15,0$	$\pm 5,0$	$+5,0$
Струм споживання I , мА	12,0	115,0	8,0	0,5
Частота одиничного підсилення, ГГц	7,5	10,0	0,26	0,011
Коефіцієнт підсилення за напругою K_U , дБ	80	60	72	100
Вхідний опір $R_{ВХ}$, МОм	6,6	0,78	0,5	10,0

Проаналізувавши цю схему та різні типи мікросхем операційних підсилювачів, було вирішено обрати операційний підсилювач типу THS3202. Він повністю задовольняє вимоги по частотним та підсилювальним параметрам, а також є економічним в плані споживання енергії. У даному випадку на базі мікросхеми ОП необхідно реалізувати схему суматора двох сигналів, які є вихідними сигналами каскадів, розглянутих вище.

Для забезпечення необхідного рівня підсилення вхідних імпульсів на виході суматора задаємо такі значення опорів резисторів: $R3 = R4 = 1$ кОм.

Напруга вихідного сигналу суматора визначається як:

$$\begin{aligned} U_{\hat{a}\hat{o}-} &= U_{\hat{a}\hat{o}-} \frac{R4}{R1} \\ U_{\hat{a}\hat{o}+} &= U_{\hat{a}\hat{o}+} \frac{R3}{R2 + R3} \cdot \left(1 + \frac{R4}{R1}\right), \end{aligned} \quad (3.3)$$

Для узгодження вхідного рівня напруги з вихідним рівнем, розрахуємо значення резисторів на входах суматора згідно виразу (3.3):

$$\begin{aligned} U_{\hat{a}\hat{o}-} &= \frac{1}{2} U_{\hat{a}\hat{o}-} \frac{1}{R1}, \\ U_{\hat{a}\hat{o}+} &= \frac{1}{2} U_{\hat{a}\hat{o}+} \frac{1}{R2 + 1} \cdot \left(1 + \frac{1}{0,5}\right). \end{aligned}$$

Таким чином, отримаємо такі опори резисторів: $R1 = R2 = 0,5$ кОм.

Із [12] обираємо номінали резисторів, які відповідатимуть реальним елементам:

$R1, R2$ – типу С2-36-510 кОм $\pm 0,5\%$;

$R3, R4$ – типу С2-36-1 кОм $\pm 0,5\%$.

Для нормальної роботи цього ОП необхідно використати згладжувальні конденсатори на виводи живлення. Згідно стандартної схеми ввімкнення їх ємність повинна становити 6,8 мкФ. Для цього використаємо оксидні напівпровідникові конденсатори типу К53-28-20В-6,8 мкФ $\pm 20\%$ [13].

Розрахунок потужності споживання кодера визначається як сума потужностей кожної мікросхеми даного пристрою.

Потужність споживання кодера можна визначити за формулою:

$$P_{\tilde{m}} = U_{\alpha} \cdot I_{\tilde{m}}. \quad (3.4)$$

Визначається потужність, що споживається мікросхемою типу THS3202:

$$P_{\text{THS3202}} = 10 \cdot 115 = 1150 \text{ (ì Åò)}.$$

Потужність мікросхем серії KM1500 згідно довідникових матеріалів складає не більше 200 мВт, а мікросхем тригерів – 430 мВт.

Загальна потужність кодера розраховується за формулою:

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^5 n_i \cdot P_i. \quad (3.5)$$

Підставивши отримані числові значення, розраховується загальна потужність споживання кодера:

$$P_{\Sigma} = 5 \cdot 200 + 3 \cdot 430 + 1150 = 3440 \text{ (ì Åò)}.$$

Отже, загальна потужність лінійного 2В3Т-кодера становитиме 3,44 Вт.

Часовий баланс лінійного кодера буде дорівнювати сумі всіх затримок встановлення вихідних сигналів на всіх його компонентах. Сигнал буде проходити через три мікросхеми: логіки, тригер та ОП. Затримки перших двох наведено в табл. 3.3 і 3.4, а для ОП становить 0,45 нс. Таким чином, загальна затримка лінійного 2В3Т-кодера дорівнює:

$$t_{\text{вв}} = 3 \cdot 0,5 \cdot 10^{-9} + 0,3 \cdot 10^{-9} + 0,45 \cdot 10^{-9} = 2,25 \text{ (í ñ)}.$$

Період дискретизації сигналу становить 70 нс, а розрахована затримка 10,7 нс, тому баланс 2В3Т-кодера є задовільним.

У даному розділі визначено загальні параметри та характеристики лінійного 2В3Т-кодера ЦТС на базі ІКМ.

3.4 Комп'ютерне моделювання лінійного 2В3Т-кодера

У даному підрозділі наведено результати моделювання роботи лінійного 2В3Т-кодера.

Для аналізу параметрів та характеристик розробленого 2В3Т-кодера можна застосувати пакет схемотехнічного моделювання. На сьогодні існує велике число подібних пакетів. Серед них найбільш відомими є Electronics Workbench, Micro-Cap Evaluation та Proteus 7 Professional. При виборі моделювального пакету слід керуватися поставленою задачею. Обрана програма повинна бути простою у використанні, мати гнучкі налаштування, зручний інтерфейс та виконувати аналіз із відповідною точністю [14].

Дуже зручним для моделювання схемотехнічних кіл є використання моделювального пакету типу Electronics Workbench 5.12. За можливостями він не поступається іншим пакетам. Проте важливою його перевагою перед іншими є зручний візуальний інтерфейс, що дозволяє досить просто будувати моделі засобів. Electronics Workbench 5.12 має велику бібліотеку компонентів, а також у ньому передбачена можливість змінювання параметрів цих компонентів [14].

Досить зручним пакетом є програма типу MicroCap-8.0. Вибір цієї програми пов'язаний з великою кількістю бібліотек компонентів та можливістю створення компонентів із заданими власноруч параметрами та широкими функціональними можливостями моделювання. Також дана програма не висуває високих вимог до комп'ютера [14].

Комп'ютерне моделювання роботи пристрою буде проводитись за допомогою програми типу Proteus V 7. Перевагою її над іншими пакетами є те, що дана програма створена спеціально для моделювання цифрових засобів. Вона містить в своєму складі бібліотеки з моделями та характеристиками різних логічних компонентів, аналогових і цифрових пристроїв. Також в Proteus V 7 забезпечена можливість змінювання характеристик і властивостей компонентів. За допомогою моделей вимірювальних пристроїв можна візуально досліджувати зміну в часі аналогових і цифрових сигналів [14].

Програма Proteus V 7 характеризується невисокими вимогами до комп'ютера [14].

Комп'ютерна модель буде складатися з 2-х генераторів імпульсних сигналів відповідно вхідним двійковим послідовностям, логічних мікросхем та тригерів, резисторів суматора та осцилографа. Джерела живлення в моделі не вказано, оскільки робоче живлення вже міститься в компонентах моделі. Для забезпечення нормальної роботи тригерів відповідно устанавленого режиму на них подаються сигнали синхронізації і початку оброблення з відповідних генераторів.

Моделювальна схема розробленого лінійного 2В3Т-кодера представлена на рис. 3.6.

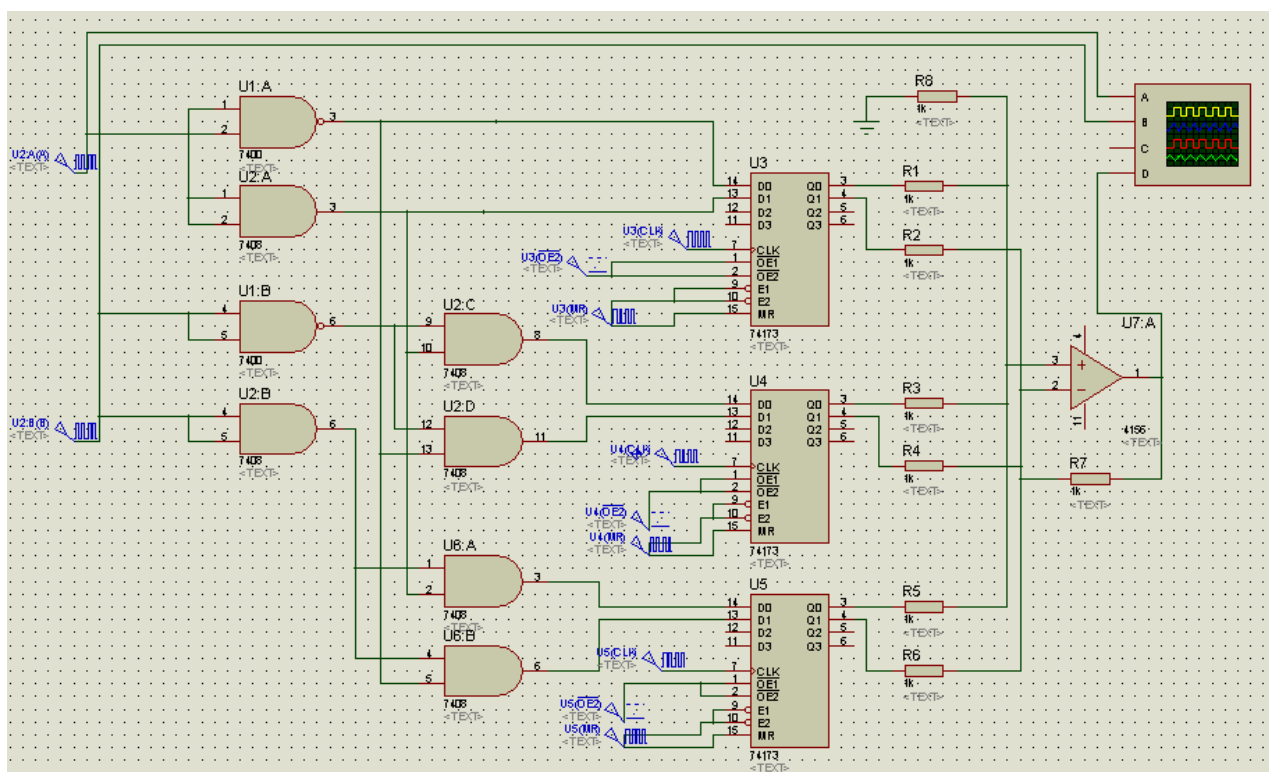


Рисунок 3.6 – Моделювальна схема лінійного 2В3Т-кодера

Для перевірки роботи даних засобів на вхід кодера подається імпульсний 2-розрядний дискретний сигнал з частотою 2,575 ГГц.

На рис. 3.7 показано налаштування параметрів генератора вхідних тестових сигналів. На вхід кодера подаються дискретні імпульсні сигнали з періодом 440 пс.

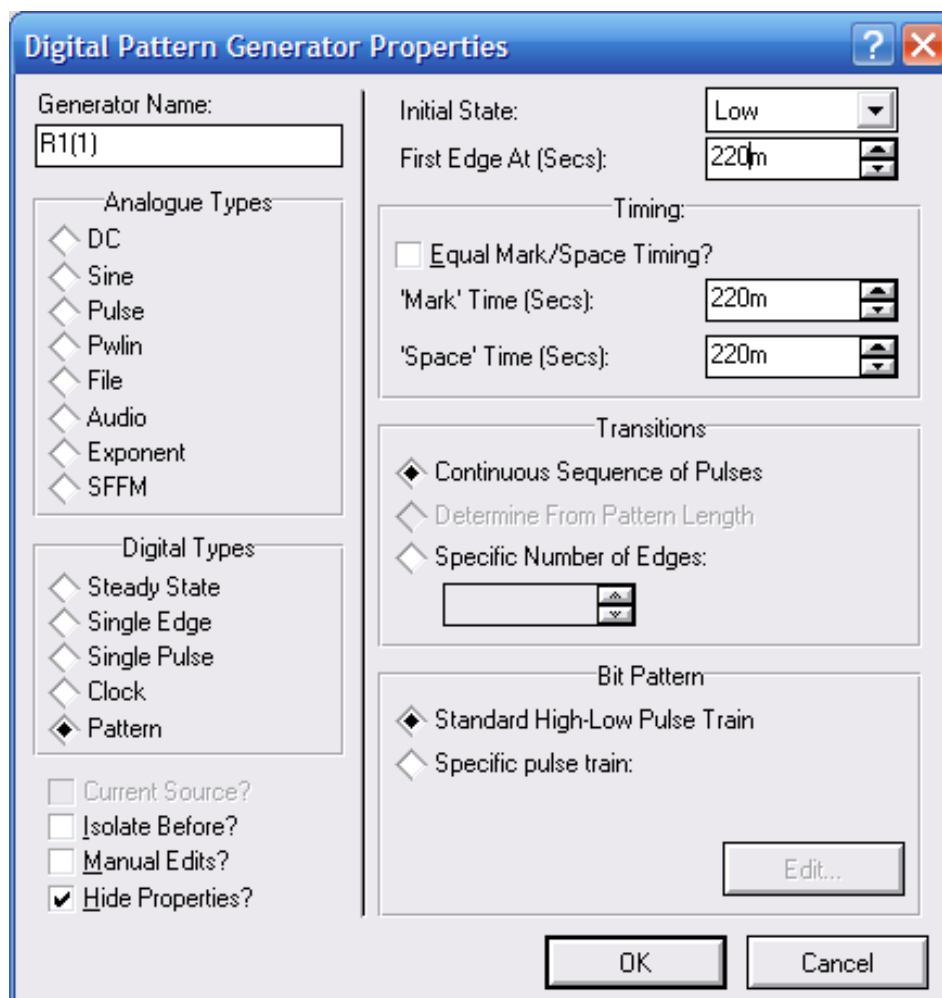


Рисунок 3.7 – Вікно налаштування генератора сигналів

На рис. 3.8 і рис. 3.9 показано вибір елемента та налаштування параметрів логічної мікросхеми та резистора. В даних діалогових вікнах можна встановити опір резистора, мітки елементів або прописати додаткові можливості в полі «Інші властивості» (Other Properties).

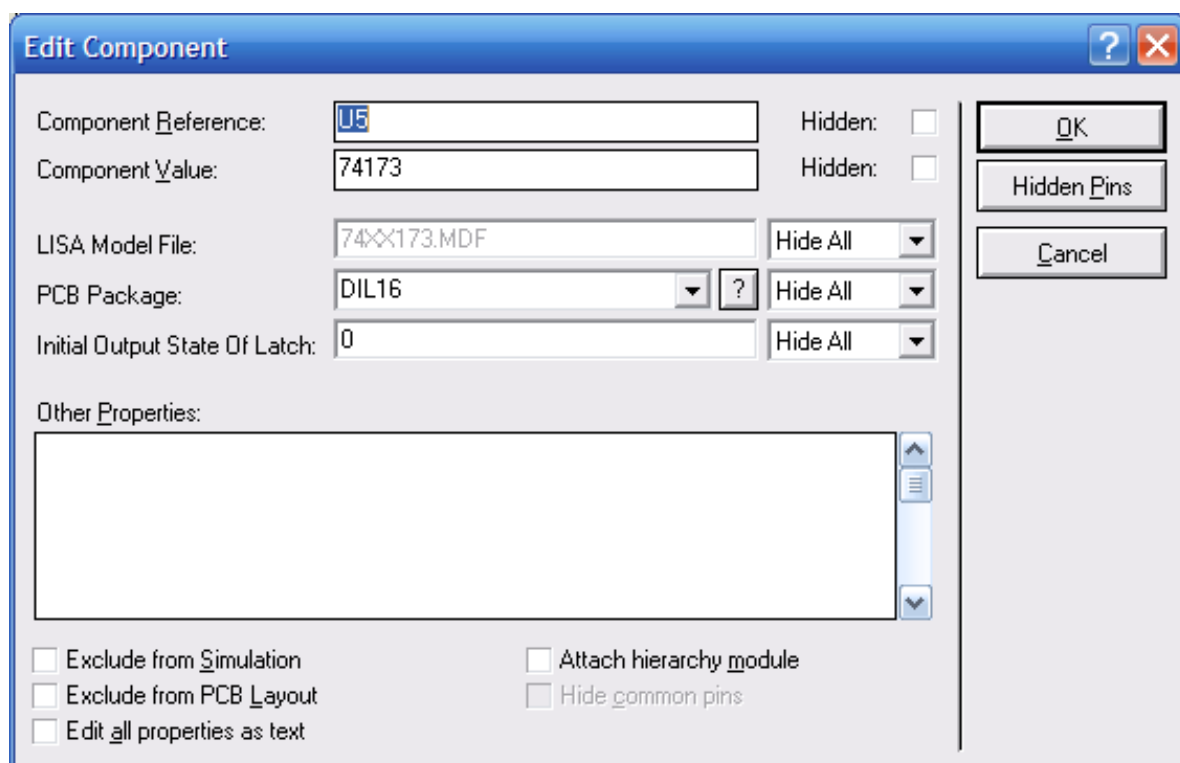


Рисунок 3.8 – Вікно налаштування тригера

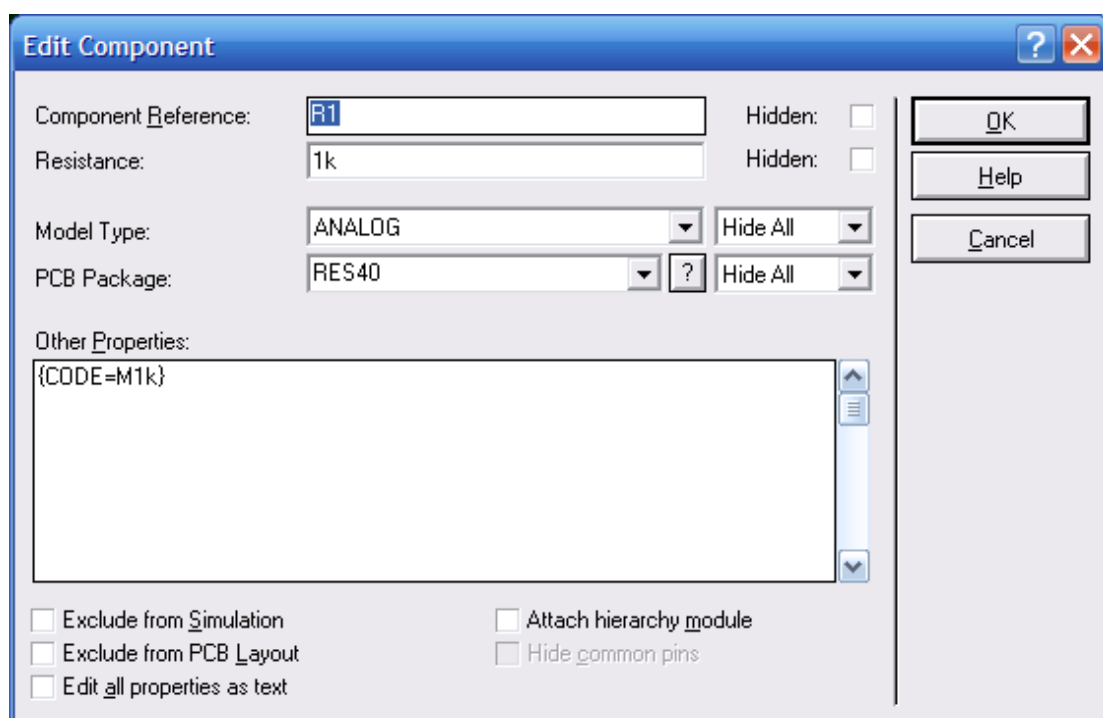


Рисунок 3.9 – Вікно налаштування параметрів резистора

На рис. 3.10 представлено вікно осцилографа, на якому відображені вхідні сигнали на двох верхніх графіках та отриманий на виході 3-рівневий сигнал на нижньому графіку.

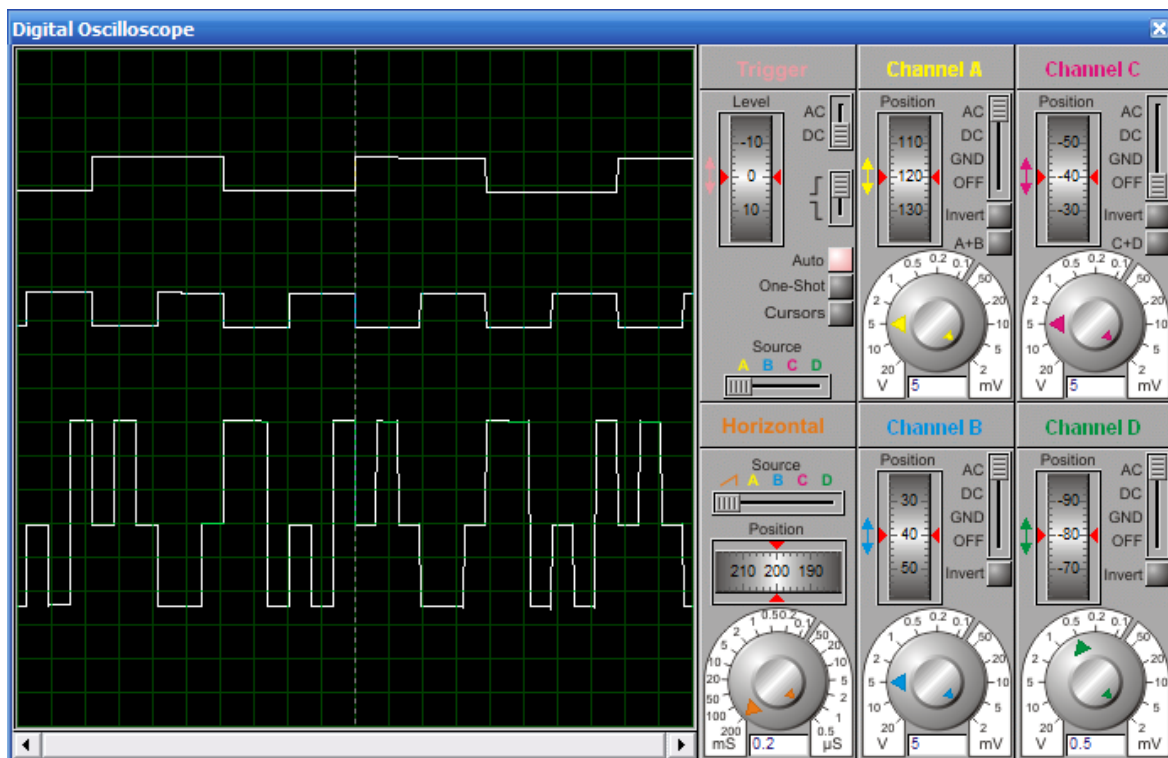


Рисунок 3.10 – Осцилограми вхідних та вихідних сигналів

На рис. 3.11 представлено вікна аналізу спектра вхідного та вихідного імпульсних сигналів.

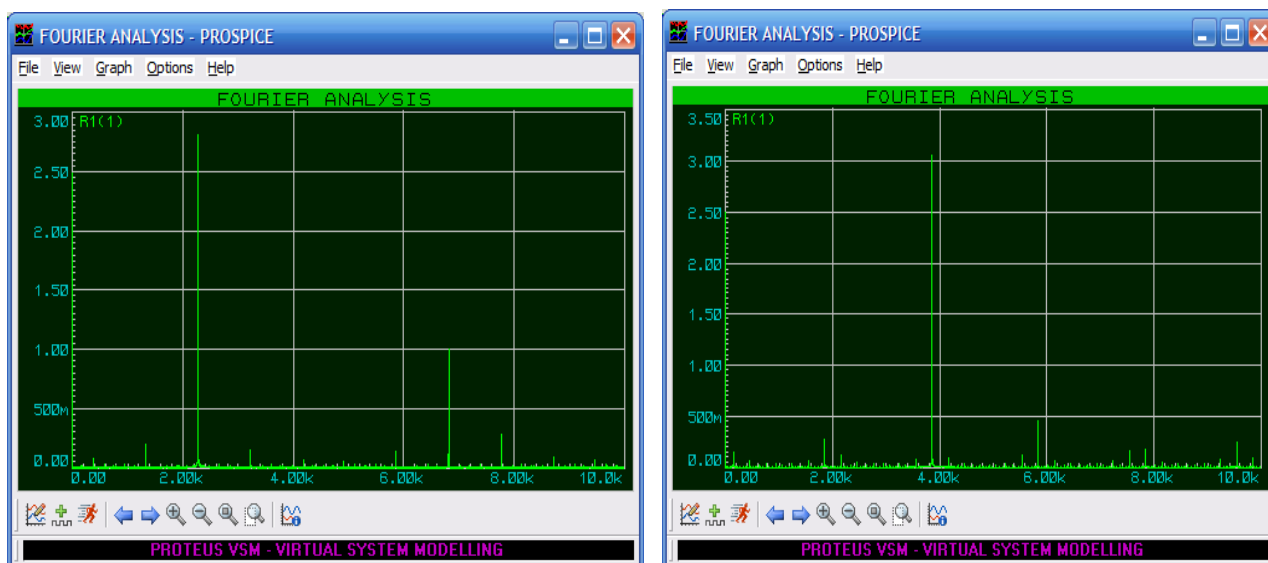


Рисунок 3.11 – Вікна аналізатора спектра вхідного та вихідного сигналів

З рис. 3.11 видно, що основна частина спектра вхідного сигналу розміщена у межах частоти 2,275 ГГц, як задано для вхідного 2-розрядного сигналу. А енергетичний спектр вихідного трійкового сигналу переважно розміщений у смузі частоти 3,86 ГГц, що дорівнює половині тактової частоти лінійного 2B3T-сигналу.

Таким чином, отримані значення частот відповідають теоретично розрахованим у попередніх підрозділах бакалаврської дипломної роботи.

Тому можна сформулювати висновок, що розробка та комп'ютерне моделювання лінійного 2B3T-кодера були проведені вірно.

4 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ 3B2T-КОДЕРА

4.1 Синтез лінійного 3B2T-коду

У сучасних ЦТС в лінійних трактах великої довжини отримали широкого розповсюдження трирівневі коди типу 3B2T. Вони застосовуються при побудові лінійного тракту на базі симетричних і коаксіальних кабелів. Кожен символ у трирівневих кодах еквівалентний за кількістю інформації, що передається, $\log_2 3 = 1,59$ імпульсним символам. Трирівневі коди, що застосовуються у ЦТС є біполярними та балансними. При цьому кодові символи представляються імпульсами додатної та від'ємної полярності. При формуванні кодової послідовності виконується постійне вирівнювання числа переданих додатних та від'ємних імпульсів.

У 3B2T-кодi для передачі 8 можливих комбінацій із 3 двійкових символів може бути використано 9 комбінацій із 3 трійкових символів. Без врахування комбінації «00» (для забезпечення передачі синхронізуючої інформації у лінійному сигналі), отримуємо 8 комбінацій, 2 з яких мають цифрову суму, що дорівнює 0, і по 3 комбінації, що мають додатну цифрову суму (від +1 до +2) та від'ємну цифрову суму (від -1 до -2).

Один з варіантів 3B2T-коду наведений у табл. 4.1 [9].

Амплітуди імпульсів попередньо обираються на рівні 3В. При виборі амплітуди лінійного сигналу необхідно враховувати потужність сигналу, що забезпечить необхідне відношення сигнал/шум на вході регенератора. В подальшому, при розрахунку довжин регенераційних ділянок, це число може коригуватися.

На рис. 4.1 зображено приклад побудови 3B2T-коду для заданої цифрової послідовності «000101111001010110100111011».

Таблиця 4.1 – Варіант 3В2Т-коду

Символи вхідного двійкового коду	Символи 3В2Т-коду
000	0+
001	0-
010	+0
011	-0
100	++
101	+-
110	-+
111	--

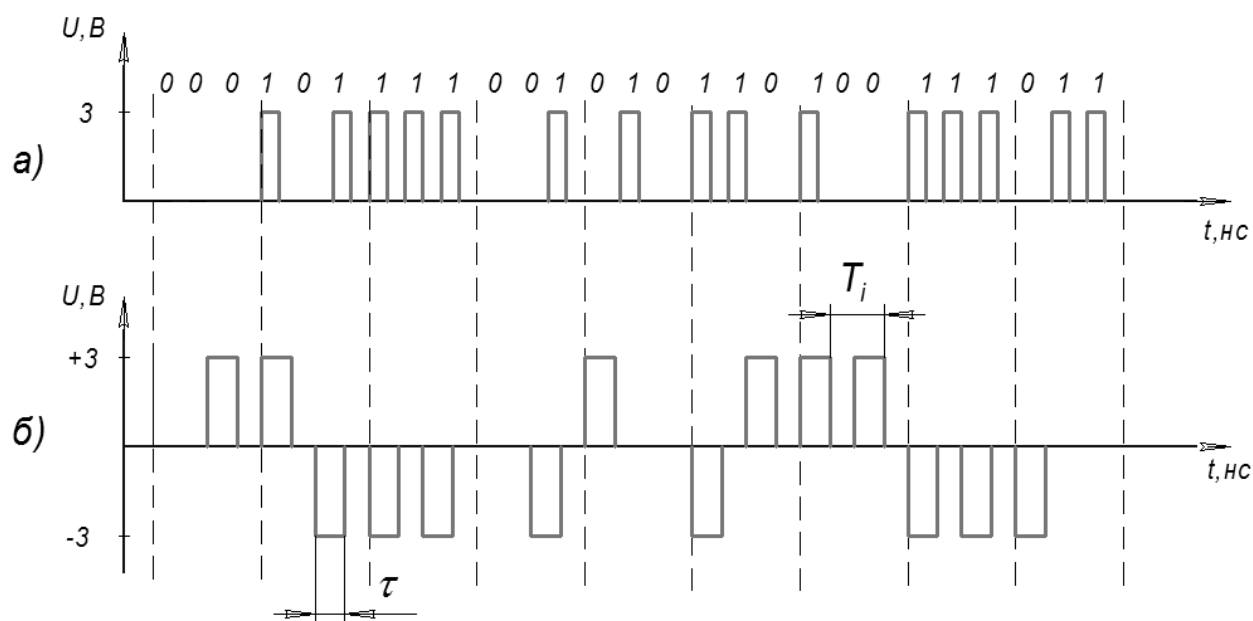


Рисунок 4.1 - Код 3В2Т для заданої послідовності

При заміні 3-символьної комбінації лінійного 3В2Т-коду дворозрядною комбінацією трійкового коду значення тактової частоти лінійного сигналу зменшується, і буде визначатись за виразом:

$$f_{\text{д.е}} = 2 \cdot f_{\text{д}} / 3. \quad (4.1)$$

В результаті числове значення тактової частоти лінійного 3B2T-сигналу для заданого вхідного сигналу дорівнює:

$$f_{\text{д.дн}} = 2 \cdot 1,29 \cdot 10^6 / 3 = 0,86(\text{ГГц}).$$

Як видно з рис. 4.1, лінійний сигнал має однакову кількість імпульсів позитивної та негативної полярності. Тому такий код є попарно збалансованим.

Період імпульсу визначається за наступним виразом:

$$T_s = 1 / f_{\text{д.дн}}. \quad (4.2)$$

Отже, відповідно до виразу (4.2), період буде дорівнювати:

$$T_s = \frac{1}{0,86 \cdot 10^6} = 1,16(\text{нс}).$$

Тривалість імпульсу визначається за виразом:

$$\tau = T_s / 2. \quad (4.3)$$

Підставивши значення періоду у вираз (4.3), отримаємо:

$$\tau = 1,16 \cdot 10^{-6} / 2 = 0,58(\text{нс}).$$

Отже, з отриманих значень можна зробити висновок, що при заміні 3-символьної комбінації 2-символьною, значення тактової частоти зменшується пропорційно збільшенню періоду та тривалості імпульсів.

На рис. 4.2 показано спектр сигналу при використанні 3B2T-коду. Код 3B2T характеризується відсутністю постійної складової, що забезпечує кращу передачу сигналу по лінії зв'язку.

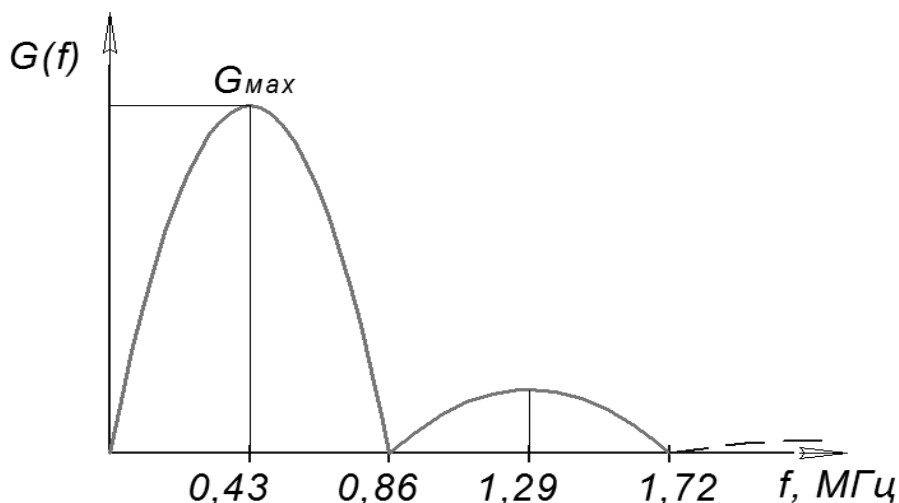


Рисунок 4.2 - Енергетичний спектр 3В2Т-сигналу

Основна енергія 3В2Т-сигналу буде відповідати значенню частоти, яка становить половину тактової частоти лінійного сигналу, тобто 0,43 МГц.

4.2 Розробка структури лінійного 3В2Т-кодера

Лінійний 3В2Т-кодер призначений для перетворення вхідних 3-розрядний двійкових кодових послідовностей у 2-розрядні трирівневі коди. Відповідно до заданих параметрів рівні вихідного сигналу кодера повинні становити +3 В для додатного імпульсу та -3 В – для від’ємного імпульсу.

В якості базового блоку перетворення кодових груп сигналів згідно заданого алфавіту буде використано сучасний універсальний мікроконтролер.

Структура лінійного 3В2Т-кодера представлена на рис. 4.3.

Алгоритм функціонування лінійного 3В2Т-кодера полягає в наступному. На вхід мікроконтролера надходить позиційний двійковий код з виходу формувача лінійних сигналів.

Три послідовні імпульси записуються у регістр пам'яті мікроконтролера (МК), а потім за відповідною адресою вмісту даного регістру відбувається записування в інший регістр вихідної послідовності трійкових розрядів. Дані розряди виводяться двома виходами МК: рівень «+» і рівень «-» відповідних значень вихідного коду, що потрапляють на неінверсний та інверсний входи суматора. Нульовий рівень цифрового вихідного сигналу забезпечується відсутністю імпульсів на двох попередніх виводах.

Суматор містить кола зворотного зв'язку, за допомогою яких встановлюється необхідний рівень вихідних сигналів, щоб їх амплітуда знаходилась на рівні ± 3 В.

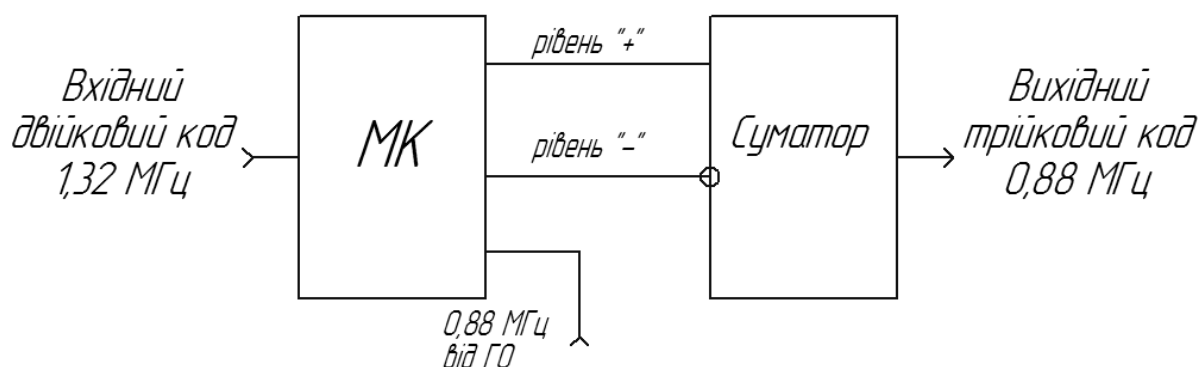


Рисунок 4.3 - Структура лінійного 3В2Т-кодера

Блок-схема алгоритму функціонування даного лінійного 3В2Т-кодера з відповідними етапами перетворення сигналів подана на рис. 4.4.



Рисунок 4.4 - Блок-схема алгоритму роботи лінійного 3B2T-кодера

4.3 Розробка принципової схеми лінійного 3B2T-кодера

В якості основного засобу перетворення лінійного 3B2T-кодера доцільно обирати універсальний мікроконтролер, який здійснюватиме оброблення, об'єднання та формування сигналів. Такий мікроконтролер повинен задовольняти частотні характеристики кодера. Параметри деяких мікросхем мікропроцесорів наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Параметри мікросхем мікроконтролерів

Технічні параметри	PIC16C84	AT90S1200	ADSP-2185M
Робоча частота, МГц	10,0	20,0	80,0
Час встановлення напруги, нс	100,0	33,0	12,0
U _ж , В	5,0	5,0	3,3
P _ж , Вт	0,8	1,0	0,05

За частотними характеристиками поставлені вимоги задовольняють всі МК. Тому оберемо найбільш зручніший у налаштуванні та дешевший мікроконтролер типу AT90S1200, який є найбільш економнішим. Він має 2 порти введення-виведення, можливість під'єднання зовнішнього джерела синхронізації, 1 кбайт Flash-пам'яті, напругу живлення 5,0 В при робочій частоті не вище 20 МГц.

Мікросхема AT90S1200 є 8-розрядним мікроконтролером з сумісністю КМДН/ТТЛ та з низьким енергоспоживанням. Цей МК заснований на вдосконаленій AVR RISC-архітектурі. Завдяки виконанню високопродуктивних операцій за один період тактового сигналу, МК типу AT90S1200 досягає продуктивності, що наближається до рівня 1 MIPS на МГц. При цьому забезпечується можливість оптимізувати рівень енергоспоживання відповідно до необхідної продуктивності [14].

Ядро AVR містить потужний набір операцій та 32 робочих регістра загального призначення. Усі 32 регістри безпосередньо під'єднано до арифметико-логічного пристрою (АЛП), який забезпечує доступ до 2-х незалежних регістрів при виконанні однієї операції за один такт. У результаті, ця архітектура має вищу ефективність кодування, при підвищенні пропускну здатності до 10 разів порівняно зі стандартними МК типу CISC.

Ця архітектура ефективно підтримує мови високого рівня та ультра-ушільнені програми на асемблерному коді. МК типу AT90S1200 має: 1 Кбайт

Flash-пам'яті з підтримкою внутрішньосистемного програмування, 64 байт ПЗП EEPROM, 15 ліній I/O загального призначення, 32 робочих регістра загального призначення, внутрішні та зовнішні переривання, програмований стежний таймер з вбудованим тактовим генератором та програмований послідовний порт типу SPI для завантаження програм. Також є 2 програмно регульованих режими економії енергоспоживання. Режим очікування «Idle Mode» зупиняє роботу CPU, але дозволяє функціонувати регістрам, таймеру/лічильнику, стежному таймеру та системі переривань. Режим економії енергоспоживання «Power Down» зберігає значення регістрів, але призупиняє тактовий генератор, від'єднуючи решту функцій МК до наступного зовнішнього переривання або до апаратної ініціалізації.

МК виконано із застосуванням технології незалежної пам'яті з високою щільністю розміщення, розробленою фірмою Atmel. Вбудована Flash-пам'ять з підтримкою внутрішньосистемного програмування забезпечує можливість перепрограмування програмних кодів у складі пристрою за допомогою SPI послідовного інтерфейсу, або за допомогою стандартного програматора незалежної пам'яті. Завдяки поєднанню вдосконаленого 8-ми розрядного RISC CPU з Flash-пам'яттю з підтримкою внутрішньосистемного програмування на одному кристалі вийшов високопродуктивний мікроконтролер типу AT90S1200. Це забезпечує гнучке та економічно ефективне рішення для багатьох застосувань вбудовуваних систем керування [14].

МК типу AVR AT90S1200 підтримується повним набором програм і пакетів для розроблення, включаючи: макроасемблери, симулятори програм, внутрішньосхемні емулятори та набори для макетування.

Для забезпечення виконання функцій МК типу AVR AT90S1200 повинно бути розроблене програмне забезпечення. Для цього слід використати спеціальну систему команд для даного типу МК.

Нижче наведено основні частини програмного коду для прошивки даного МК типу AVR AT90S1200:

START: CRL R1

```

CRL R2
IN R1, PINB
LSL R1
IN R2, PINB
ADD R1, R2
IN R2, PINB
LSL R1
ADD R1, R2.

```

Основне тіло програми починається з мітки START. Потім виконується очищення вмісту регістрів R1 та R2. За допомогою команди IN в регістр заноситься значення з порту B (використовується лише молодший розряд даного порту). Потім здійснюється зсув даних в регістрі R1 на одиницю вліво та додається значення наступного вхідного імпульсу з регістру R2. Отже, в регістр R1 записуються три вхідних імпульси.

```

ADD R1, 0x064
LDS R3, R1.

```

За допомогою команди LDS записується в регістр R3 значення, що міститься в пам'яті МК за адресою R1. До вмісту регістру R1 додають число 64, тому що пам'ять даних в МК починається з адреси 0x064.

```

RCALL OUT1
LSR R3
LSR R3
RCALL OUT1
RJMP START.

```

За запитом команди RCALL виконується переривання основної програми та виконання підпрограми з міткою OUT1. Потім команда LSR зсуває вміст регістру R3 вправо двічі, оскільки даний регістр має 2 частини вихідного трійкового коду. Команда RJMP виконує безумовне переадресування виконання програми до рядка з міткою START:

OUT1: OUT PIND, R3

OUT PIND, R4

RET.

Підпрограма OUT1 виконує почергове виведення на порт D значення регістрів R3 і R4 (регістр R4 за замовчуванням є пустий). Так забезпечується вихідний код RZ. Команда RET повертає виконання програми до наступного рядка після виклику цієї підпрограми.

Суматор формує на виході кодера трирівневий сигнал з амплітудами +3, 0 і -3 В для 3-х рівнів відповідно. Враховуючи розвиток електротехніки та мікроелектроніки та необхідні властивості кодера, суматор можна виконати на базі операційного підсилювача (ОП).

На рис. 4.5 зображена схема суматора на базі ОП.

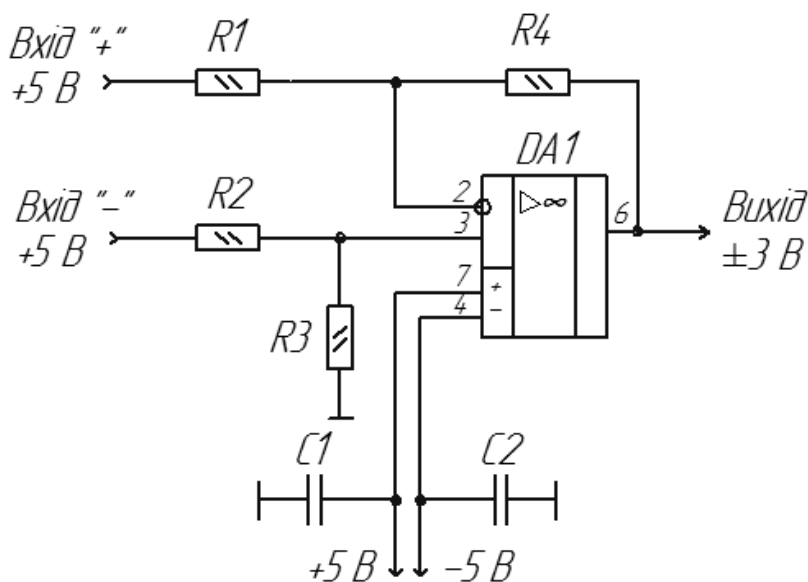


Рисунок 4.5 – Суматор на базі ОП

Основні параметри мікросхем ОП наведено в табл. 4.3 [9].

Таблиця 4.3 – Основні параметри мікросхем ОП

Технічні параметри	LM6723	NE5532	AD8048	K140УД14А
$R_{вх}, \text{кОм}$	100,0	300,0	500,0	30000,0
$R_{вих}, \text{Ом}$	0,01	0,2	0,2	0,5
$f_1, \text{МГц}$	260,0	50,0	260,0	1,0
$K_u, \text{дБ}$	19	100	72	50
$U_{ж}, \text{В}$	$\pm 6,75$	$\pm 12,0$	$\pm 5,0$	$\pm 15,0$

У даному випадку немає необхідності в значному підсиленні сигналів, тому за підсилювальними характеристиками умови розробки задовольняють всі типи ОП. Тому можна обрати операційний підсилювач типу AD8048, який має нижче енергоспоживання та високу швидкість наростання сигналу на виході ОП.

Суматор повинен забезпечити однаковий рівень додатних і від’ємних вихідних імпульсів з амплітудою 3 В при входних імпульсах 5 В, що надходять відповідно на неінвертований та інвертований входи ОП. Для цього потрібно розрахувати значення опорів резисторів суматора за наступними виразами:

$$\begin{aligned}
 U_{\hat{a}\hat{o}} &= -U_{\hat{a}\hat{o}-} \frac{R_4}{R_1} \\
 U_{\hat{a}\hat{o}} &= U_{\hat{a}\hat{o}+} \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_1} \right),
 \end{aligned}
 \tag{4.4}$$

де $U_{\hat{a}\hat{o}+}$, $U_{\hat{a}\hat{o}-}$ – напруги імпульсів відповідно на входах «+» та «-» суматора.

З типової схеми ввімкнення ОП типу AD8048 обираємо значення резисторів $R_1 = R_2 = 100 \text{ Ом}$ для забезпечення номінального робочого струму на два входи. Тоді розрахуємо інші опори за виразами:

$$\begin{aligned}
 -3 &= -5 \frac{R4}{100}, \\
 R4 &= \frac{3 \cdot 100}{5} = 60 (\hat{I} \text{ } \hat{I}), \\
 3 &= 5 \frac{100}{R2 + 100} \cdot \left(1 + \frac{60}{100} \right), \\
 R2 &= \frac{100 \cdot 5}{3} \cdot \left(1 + \frac{60}{100} \right) - 100 = 167 (\hat{I} \text{ } \hat{I}).
 \end{aligned}$$

Обираємо номінальні значення опорів резисторів, які відповідатимуть реальним елементам [15]:

R1, R3 – типу C2-36-100 Ом $\pm 0,5\%$;

R2 – типу C2-36-160 Ом $\pm 0,5\%$;

R4 – типу C2-36-60 Ом $\pm 0,5\%$.

Для забезпечення стабілізації живлення у стандартній схемі увімкнення цієї мікросхеми ОП використовуються конденсатори ємністю 0,1 мкФ. Тому оберемо для даного випадку елементи типу K73-15-63В-0,1 мкФ $\pm 10\%$.

Розрахунок потужності кодера виконується як сума потужності кожної мікросхеми даного кодера.

Потужність кодера можна визначити за формулою:

$$P_{\text{кд}} = U_{\text{кд}} \cdot I_{\text{кд}}. \quad (4.5)$$

Визначається потужність, що споживається мікросхемою типу AD8048:

$$P_{AD8048} = 10 \cdot 5 = 50 (\hat{I} \text{ } \hat{I}).$$

Потужність споживання мікроконтролера згідно довідникових матеріалів дорівнює 1 Вт.

Загальна потужність кодера розраховується за виразом:

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^5 n_i \cdot P_i. \quad (4.6)$$

Підставивши отримані раніше значення, можна розрахувати загальну потужність кодера:

$$P_{\Sigma} = 1 + 0,05 = 1,05 \text{ (Вт)}.$$

Отже, у даному підрозділі визначено загальні параметри та характеристики лінійного 3В2Т-кодера ЦТС.

Для забезпечення часового балансу всі часові затримки, які вносяться у сигнал при обробленні його в різних блоках, повинні разом бути меншими періоду надходження лінійних сигналів. Цей період розраховується за формулою:

$$t_{\text{д.д.н}} = 1 / f_{\text{д.д.н}} \quad (4.7)$$

Підставимо числові значення у (4.7):

$$t_{\text{д.д.н}} = \frac{1}{0,88 \cdot 10^6} = 1,136 \text{ (нс)}.$$

Баланс часу лінійного 3В2Т-кодера складається із затримок МК і часу наростання напруги на виході мікросхеми ОП і становитиме:

$$t_{\text{с}} = 33 \cdot 10^{-9} + 1 \cdot 10^{-9} = 34 \text{ (нс)}.$$

Таким чином баланс часу лінійного 3В2Т-кодера становить 34 нс, а період лінійного сигналу 1,136 мкс, тобто затримка в елементах буде незначною. Отже, елементна база вибрана доцільно при розробці даного лінійного 3В2Т-кодера.

4.4 Комп'ютерне моделювання лінійного 3B2T-кодера

В даному підрозділі виконано моделювання лінійного 3B2T-кодера.

Зручним для моделювання схемотехнічних кіл є використання моделювального пакету типу Electronics Workbench 5.12. За своїми можливостями він не поступається іншим пакетам. Його важливою перевагою перед іншими є зручний візуальний інтерфейс, що дозволяє досить просто розробляти моделі пристроїв. Пакет Electronics Workbench 5.12 має велику бібліотеку компонентів, а також у ньому передбачена можливість змінювання їх параметрів.

Також поширеним пакетом є програма типу MicroCap-8.0. Вибір цієї програми пов'язаний з великою кількістю елементів в бібліотеці та можливістю створення елементів з власноруч заданими параметрами.

Комп'ютерне моделювання роботи 3B2T-кодера буде проводитись за допомогою програми типу Proteus V 7. Перевагою Proteus V 7 над іншими пакетами є те, що ця програма створена спеціально для моделювання цифрових пристроїв. Proteus V 7 містить в своєму складі бібліотеки з моделями та характеристиками логічних компонентів, аналогових і цифрових пристроїв.

Модель 3B2T-кодера буде містити генератор вхідних двійкових імпульсних сигналів, мікросхему мікроконтролера типу AT90S1200 (U1) та мікросхему ОП (U3), 4 резисторів суматора і осцилографа.

Моделювальна схема лінійного 3B2T-кодера на базі розробленого алгоритму представлена на рис. 4.6.

Для перевірки роботи даних пристроїв на вхід 3B2T-кодера подаємо імпульсний сигнал з частотою $f_0 = 1,321 \text{ МГц}$. Для забезпечення стабільної роботи мікросхеми МК використовується генератор тактових імпульсів.

На рис. 4.7 подано діалогове вікно генератора вхідних імпульсних сигналів. На вхід кодера подається сигнал у вигляді двійкових імпульсів з тривалістю 2,27 мкс.

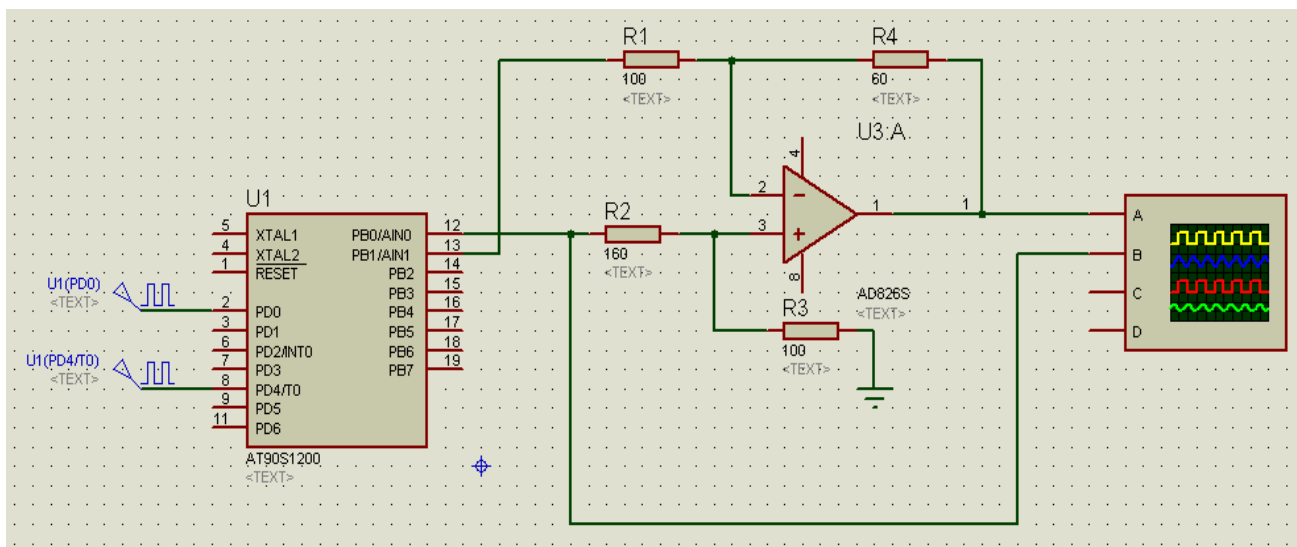


Рисунок 4.6 – Моделювальна схема роботи лінійного 3В2Т-кодера

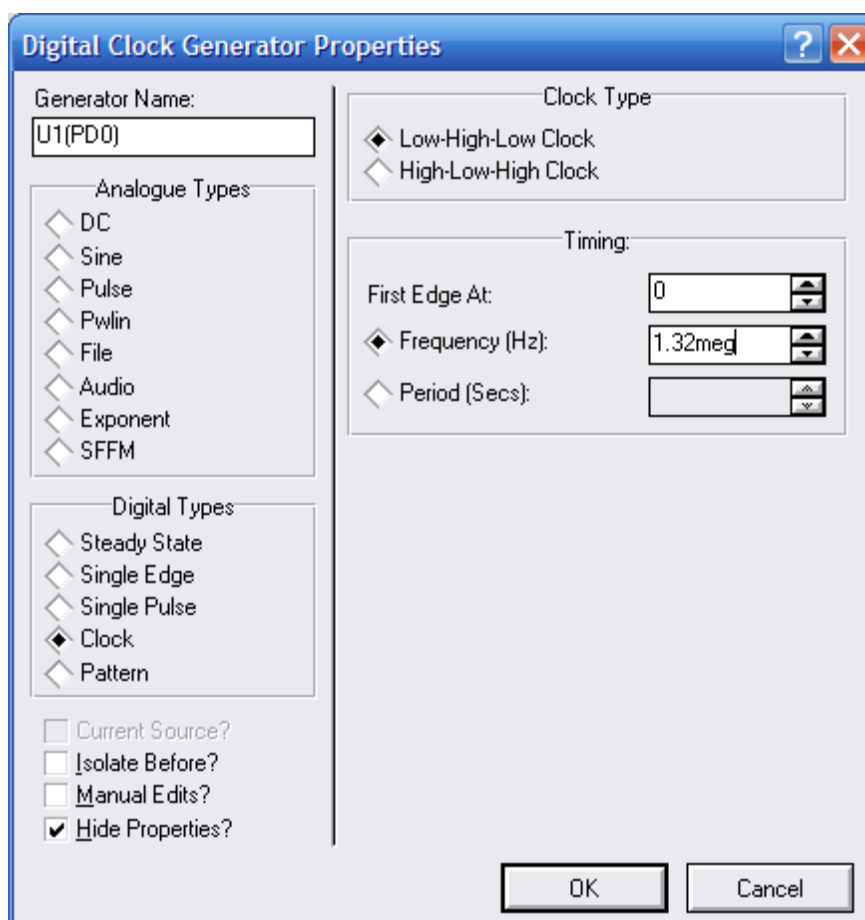


Рисунок 4.7 – Вікно генератора вхідних сигналів

На рис. 4.8 і 4.9 зображені вікна налаштування параметрів мікроконтролера та резистора. В даних вікнах можна встановлювати робочу частоту МК, його програмне забезпечення, номінали резисторів тощо.

Усі опори резисторів та параметри мікросхеми ОП задаємо згідно розрахованих значень в попередньому підрозділі та стандартних параметрів обраної компонентної бази.

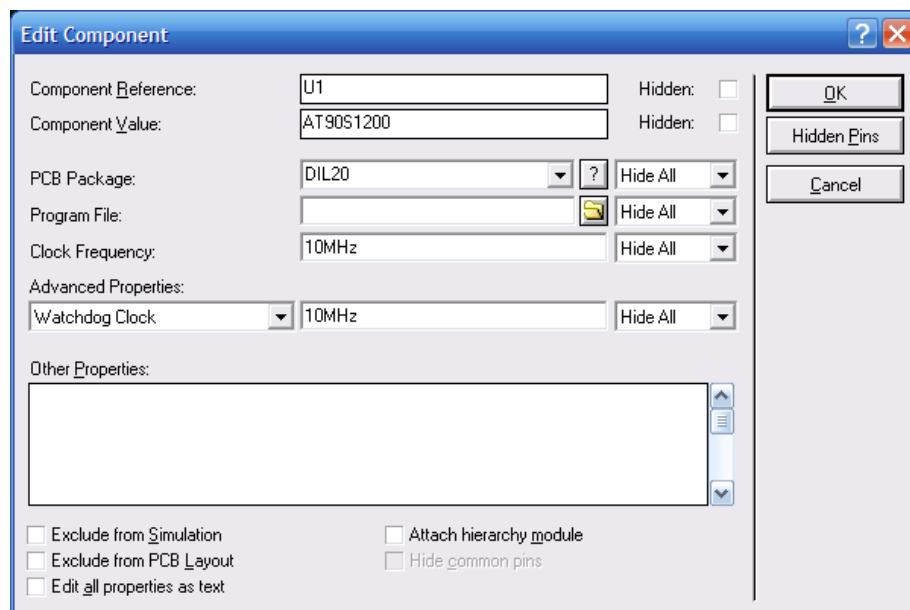


Рисунок 4.8 – Вікно налаштувань параметрів мікросхеми МК

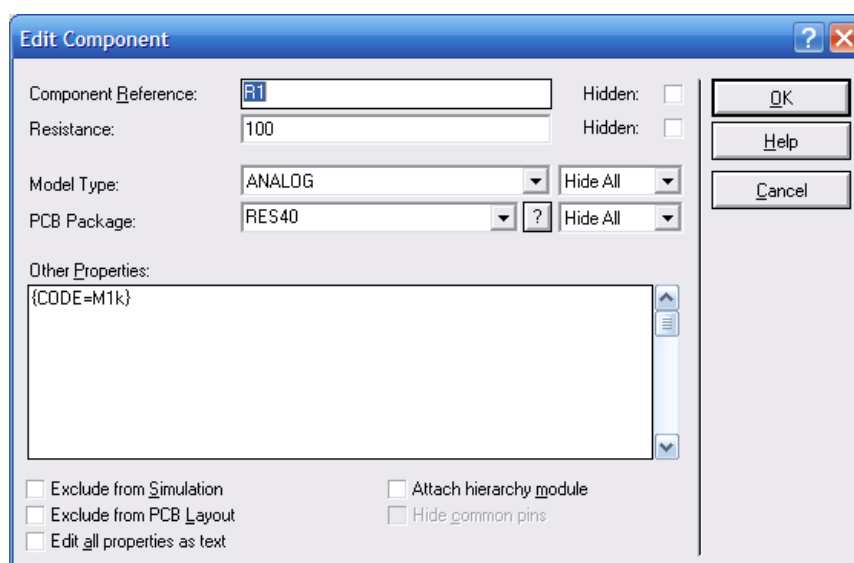


Рисунок 4.9 – Вікно налаштувань опору резистора

На рис. 4.10 представлено вікно осцилографа, на якому відображені сигнали, що надходять на суматор (2 нижні графіки) та вихідний трирівневий сигнал (верхніх графік).

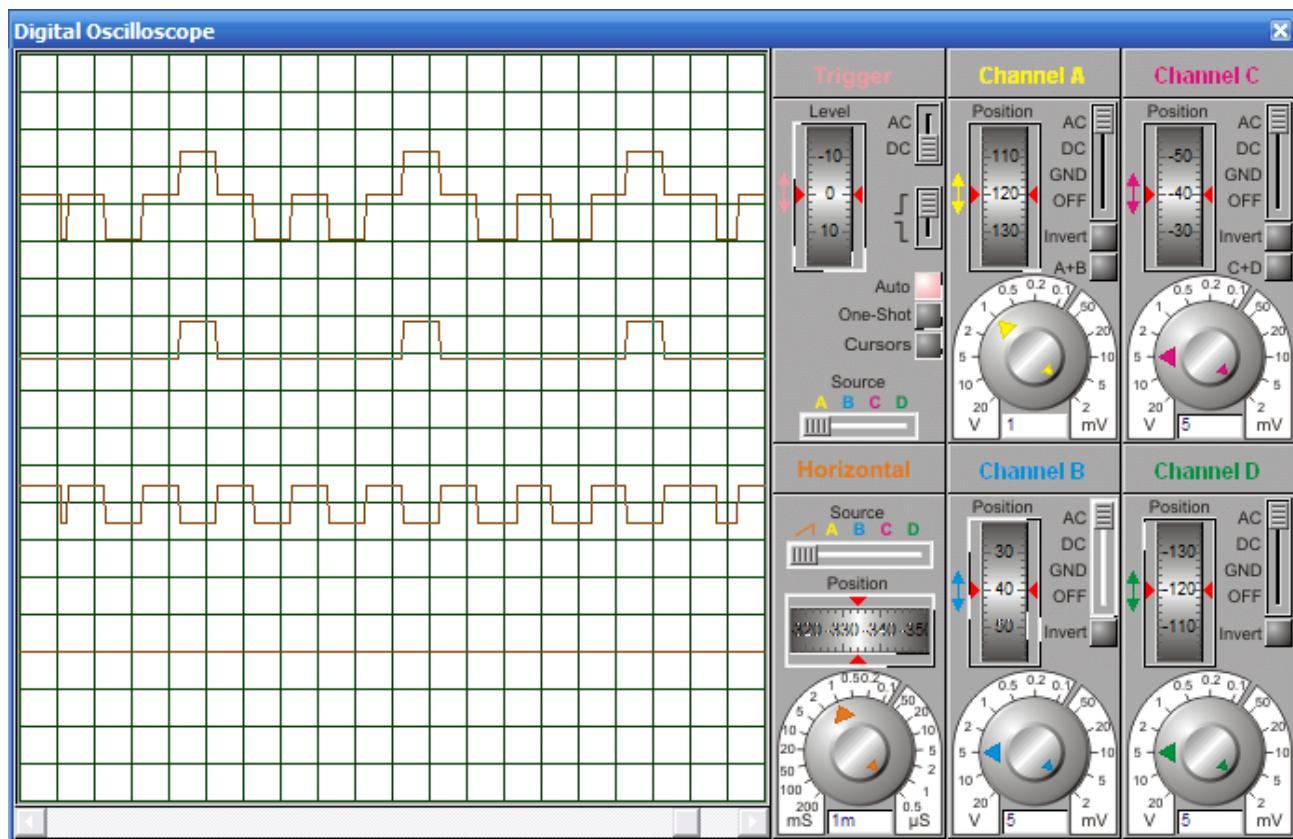


Рисунок 4.10 – Осцилограми вхідних імпульсних сигналів та вихідного 3-рівневого сигналу

На рис. 4.11 представлено частотний спектр вхідної послідовності імпульсів. Частотою слідування імпульсів є частота 1,32 МГц, яка задана на вході кодера. Тривалість імпульсів становить $\frac{1}{4}$ періоду повторення.

На рис. 4.12 зображено частотний спектр вихідної послідовності імпульсів. Цей спектр є подібний до ілюстративно зображеного на рис. 4.4. Як видно зі спектрограми основною є частота 0,44 МГц, яка є половиною частоти лінійного сигналу.

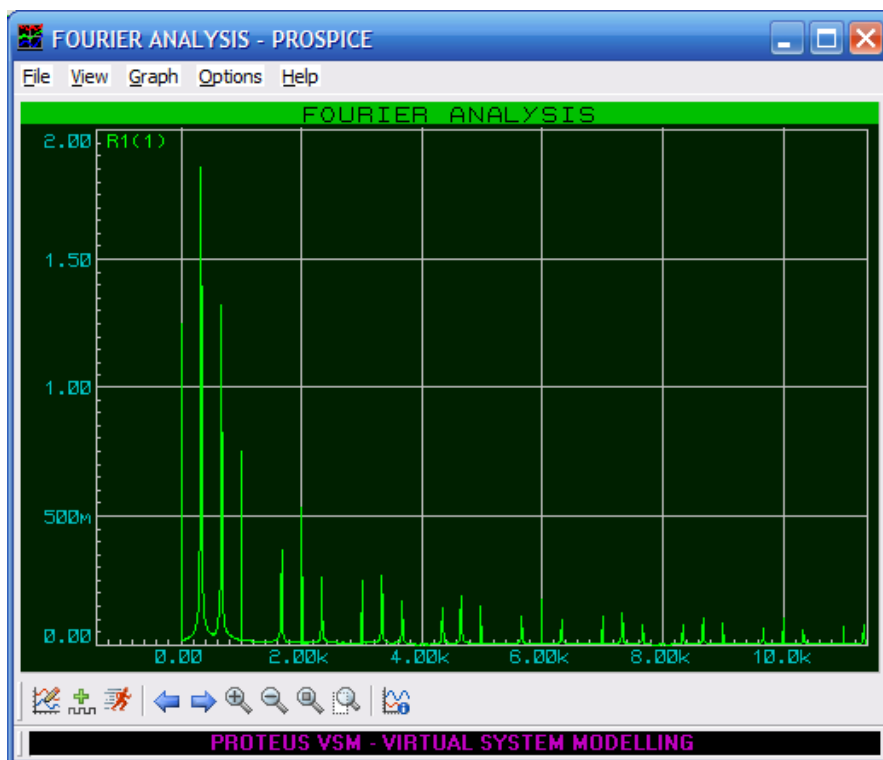


Рисунок 4.11 – Частотний спектр вхідної послідовності імпульсів

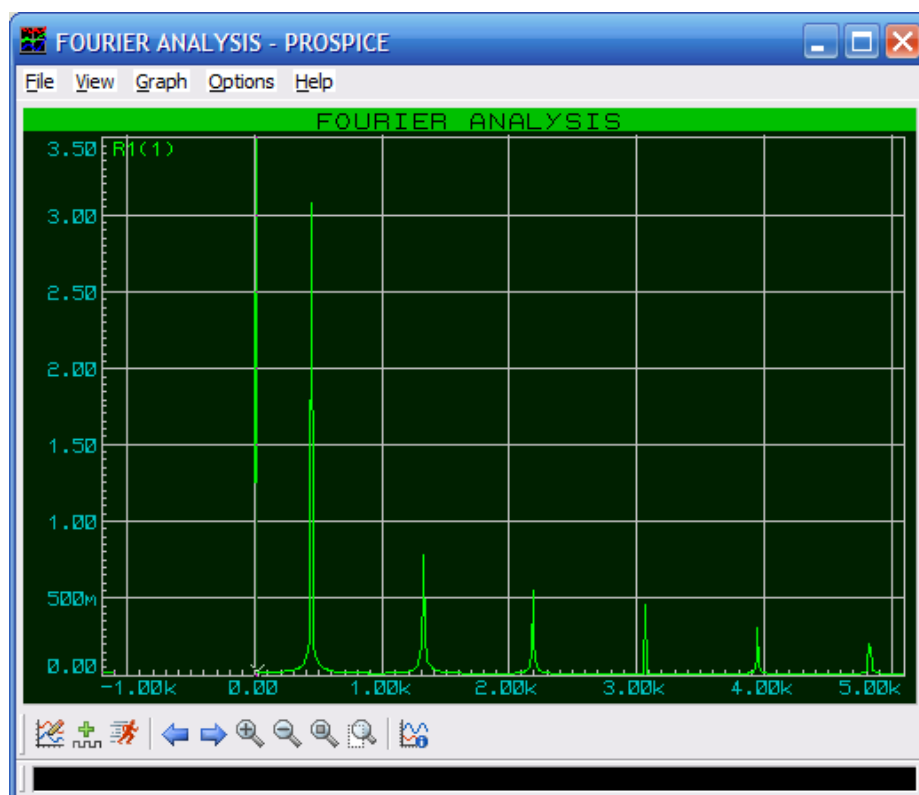


Рисунок 4.12 – Частотний спектр вихідної послідовності імпульсів

Отримані неточності комп'ютерного моделювання можна пояснити округленнями при розрахунках і як наслідок неточним налаштуванням схеми під час моделювання.

Виконавши комп'ютерна моделювання, ми переконалися в якості відтворення трирівневого сигналу на виході лінійного 3B2T-кодера та відповідності його характеристик і параметрів до поставленого завдання в бакалаврській роботі.

5 РОЗРОБКА ЛІНІЙНОГО 4ВЗТ-КОДЕРА

5.1 Синтез лінійного 4ВЗТ коду

Трирівневі 4ВЗТ-коди застосовуються при побудові лінійного тракту на базі симетричних і коаксіальних кабелів. Кожен символ у трирівневих кодах еквівалентний по кількості інформації, що передається, $\log_2 3 = 1,59$ імпульсам. 3-рівневі коди, що застосовуються у ЦТС вважаються біполярними та балансними. При цьому кодові символи представляються імпульсами різної полярності. При формуванні кодової послідовності виконується постійне вирівнювання числа переданих імпульсів [5].

Для передачі 16 можливих комбінацій (2^4) із 4-х двійкових символів у 4ВЗТ-коді може бути використано 27 комбінацій (3^3) із 3-х трійкових символів. Без комбінації «000» отримаємо 26 комбінацій, 6 із яких мають цифрову суму, що дорівнює 0, 10 комбінацій додатну цифрову суму (від +1 до +3) і десять комбінацій мають від'ємну цифрову суму (від -1 до -3).

У 4ВЗТ-коді використовуються 2 трійкових алфавіти, що називаються модами. Додатна мода має трійкові комбінації з нульовою та додатною цифровою сумою. Від'ємна мода має комбінації з нульовою та від'ємною сумою. Комбінації з нульовою цифровою сумою, що відповідають одній комбінації двійкового коду, взаємно інверсні в обох модах.

Один із варіант 4ВЗТ-коду приведений у таб. 5.1.

Амплітуди імпульсів попередньо обираються на рівні 2,5 В. При виборі амплітуди лінійного сигналу необхідно враховувати потужність, яка забезпечить задане відношення сигнал/шум на вході регенератора. У подальшому, при розрахунку довжин регенераційних ділянок це число може змінитися.

Для заданої цифрової послідовності виду «0011010100001000111011110111» синтезований 4ВЗТ-код зображено на рис. 5.1.

Таблиця 5.1 – Варіант побудови 4ВЗТ-коду

Вхідні символи двійкового коду	Вихідні символи трійкового коду					
	М+			М-		
0000	0	-1	+1	0	-1	+1
0001	-1	+1	0	-1	+1	0
0010	-1	0	+1	-1	0	+1
0011	+1	-1	+1	-1	+1	-1
0100	0	+1	+1	0	-1	-1
0101	0	+1	0	0	-1	0
0110	0	0	+1	0	0	-1
0111	-1	+1	+1	+1	-1	-1
1000	0	+1	-1	0	+1	-1
1001	+1	-1	0	+1	-1	0
1010	+1	0	-1	+1	0	-1
1011	+1	0	0	-1	0	0
1100	+1	0	+1	-1	0	-1
1101	+1	+1	0	-1	-1	0
1110	+1	+1	-1	-1	-1	+1
1111	+1	+1	+1	-1	-1	-1

При заміні 4-символьної комбінації лінійного коду 3-розрядною комбінацією трійкового коду значення тактової частоти лінійного сигналу зменшується, і буде визначатись за виразом [5]:

$$f_{\text{д.єн}} = 3 \cdot f_{\text{д}} / 4. \quad (5.1)$$

В результаті значення тактової частоти лінійного сигналу дорівнює:

$$f_{\text{д.єн}} = 3 \cdot 99,78 \cdot 10^6 / 4 = 74,84 \text{ (кГц)}.$$

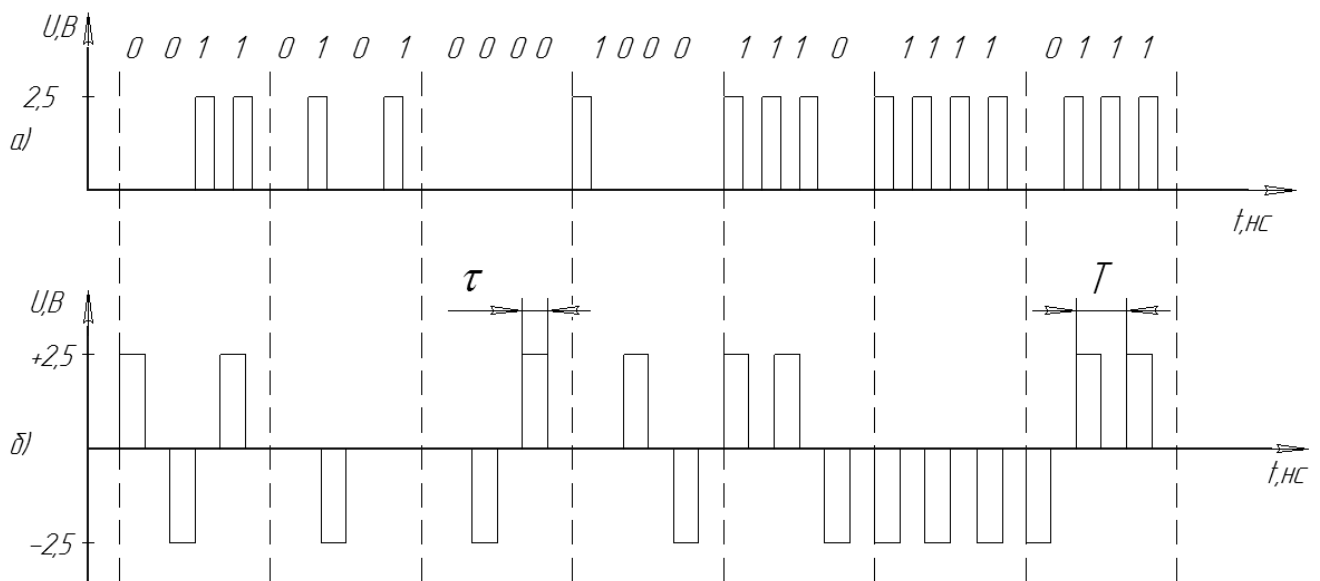


Рисунок 5.1 – Часові діаграми 4ВЗТ-коду для заданої
вхідної послідовності

4ВЗТ-код є попарно збалансованим, тому що число додатних та від’ємних імпульсів є практично однаковим і може відрізнятися не більше, як на 3 знаки у будь-яку сторону.

Період слідування імпульсів відповідає половині його тривалості для RZ-коду та для 3-рівневого коду визначається за виразом:

$$\tau = 1/2 f_{\text{д.вн}} \quad (5.2)$$

Підставимо числові значення у (5.2):

$$\tau = \frac{1}{2 \cdot 74,84 \cdot 10^6} = 6,68(\text{н}).$$

Отже, при заміні 4-символьної комбінації 3-символьною значення тактової частоти вихідного сигналу зменшується відносно частоти вхідного сигналу.

На рис. 5.2 показано частотний спектр сигналу при використанні 4ВЗТ-коду.

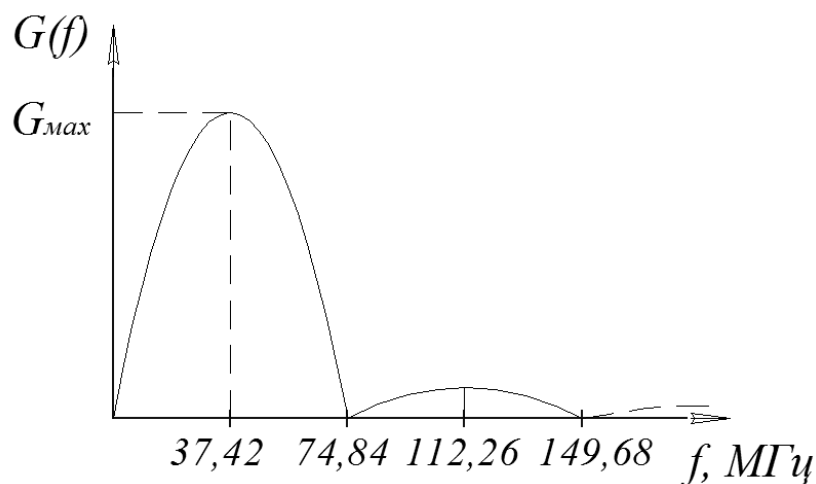


Рисунок 5.2 – Енергетичний спектр 4ВЗТ сигналу

Як видно зі спектра, основна енергія сигналу буде відповідає смузі частот в межах 37,42 МГц. З форми спектра видно, що у сигналі відсутня постійна складова і цей код є збалансованим.

5.2 Розробка структури лінійного 4ВЗТ-кодера

Лінійний 4ВЗТ-кодер призначено для перетворення 4-розрядних двійкових кодових послідовностей у 3-розрядні трирівневі коди. Згідно розрахованих даних і попередньо заданих параметрів рівні вихідного сигналу лінійного кодера повинні бути в межах +2,5 В для додатного імпульсу та -2,5 В – для від’ємного імпульсу.

Значення частоти вихідного 3-рівневого сигналу повинно становити 74,84 МГц, а вхідного сигналу – 99,78 МГц. Для реалізації 4ВЗТ-кодера використаємо як основний блок перетворення сигналу швидкодієний мікропроцесор (МП).

Загальну структуру лінійного 4ВЗТ-кодера наведено на рис. 5.3.

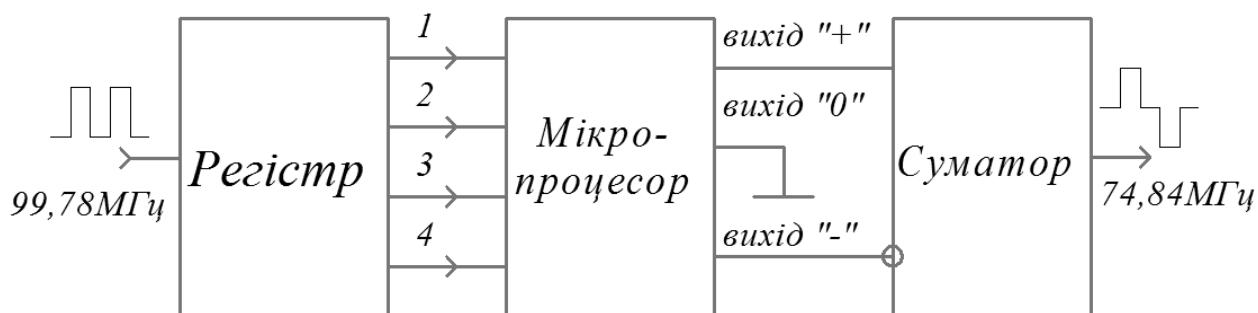


Рисунок 5.3 - Структура лінійного 4В3Т-кодера

Вхідний регістр використовується для перетворення послідовного коду у 4-розрядний паралельний код. Потім цей код подається на один з портів мікросхеми МП. У внутрішній пам'яті мікросхеми МП розміщена кодова таблиця перетворення коду, згідно якої в регістр виведення надходить відповідний трійковий код. Імпульси трійкового коду по чергові з інтервалом періоду лінійного сигналу подаються на відповідні виводи другого порту мікросхеми МП. Додатні та від'ємні імпульси подаються на неінверсний та інверсний входи мікросхеми суматора, яка має двополярну напругу живлення. Залежно від прийнятих імпульсів на виході мікросхеми суматора отримуємо трійковий кодовий сигнал.

Суматор доцільно виконати на базі мікросхеми операційного підсилювача. За допомогою кола зворотного зв'язку можна реалізувати необхідне підсилення сигналу для узгодження з лінійним трактом. Розрахунки та вибір елементної бази для лінійного 4В3Т-кодера буде розглянуто в наступних підрозділах.

5.3 Розробка принципової схеми лінійного 4В3Т-кодера

Блок-схема алгоритму функціонування лінійного 4В3Т-кодера зображена на рис. 5.4.

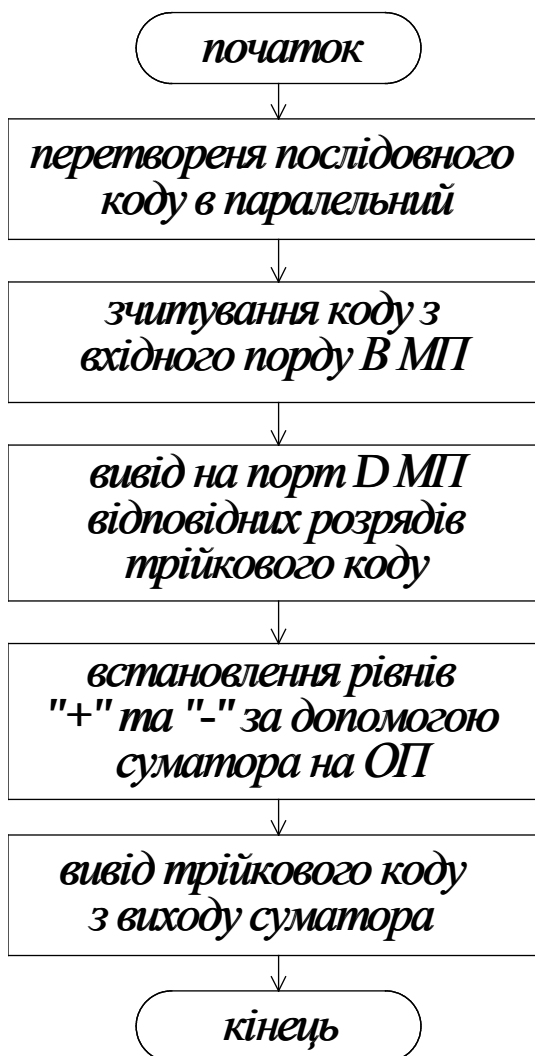


Рисунок 5.4 – Блок-схема алгоритму роботи лінійного 4B3T-кодера

Вхідний регістр призначено для перетворення 4-розрядного двійкового коду з вхідного послідовного в паралельний. Регістр повинен функціонувати на частоті не менше значення частоти групового сигналу, що становить 99,78 МГц. Для забезпечення нормального функціонування передавача та приймача сигналів час встановлення імпульсів на виході регістра повинен становити менше періоду надходження імпульсів групового сигналу.

Таким чином, основними параметрами, за якими необхідно обрати регістр для даного 4B3T-кодера, є розрядність та час встановлення рівня сигналу на виході регістра. Розглянемо декілька можливих варіантів регістрів, параметри яких занесено до табл. 5.2 [9].

Таблиця 5.2 – Параметри мікросхем регістрів

Тип мікросхеми регістра	K564ИР2	KP1533ИР1	KP1533ИР13
Число розрядів	2x4	4	8
Час встановлення вихідної напруги, t_v , нс	50,0	5,0	5,0
Напруга живлення, $U_{ж}$, В	5,0	5,0	+5,0
Струм споживання, $I_{сп}$, мА	25,0	15,0	40,0
Тип логіки	узгоджені з КМДН	узгоджені з ТТЛ	узгоджені з ТТЛ

Мікросхема типу K564ИР2 має два 4-розрядних регістра зсуву перетворення послідовного коду у паралельний. Ця регістра мікросхема задовольняє умови розрядності та зсуву, але час встановлення сигналу на виході є вищим, ніж необхідне значення 10 нс. Тому цей регістр використовувати недоцільно на заданих частотах.

Мікросхема регістра KP1533ИР13 задовольняє всі параметри кодера, але вона є 8-розрядною, тобто має надлишкову розрядність і відповідно споживання енергії.

Отже, найкращим варіантом є використання мікросхеми типу KP1533ИР1, яка є універсальним зсувним регістром, що працює в обох напрямках. Він має достатній час встановлення сигналу на виході та є економічним, що задовольняє вимоги до кодера.

Мікросхема мікропроцесора повиненна забезпечити перетворення вхідного двійкового 4-розрядного сигналу у вихідний трійковий 3-розрядний сигнал. В якості мікросхеми мікропроцесора доцільно обрати універсальний МП з високою швидкодією, гнучким внутрішнім енергонезалежним запам'ятовувальним пристроєм, з двома портами введення-виведення та енергоекономним. Основні параметри сучасних мікросхем МП, що можуть бути використані при розробленні лінійного кодера, наведено в табл. 5.3 [11].

Таблиця 5.3 – Параметри мікросхем мікроконтролерів

Параметри мікросхем	ATtiny2313	AT90S1200	LPC2101
Робоча частота, МГц	160,0	20,0	140,0
Кількість портів	2	2	4
Flesh-пам'ять, кбайт	2,0	8,0	8,0
U _ж , В	5,5	5,0	5,0
P _ж , Вт	1,0	1,0	1,5
Тип логіки	узгоджені з КМДН/ТТЛ	узгоджені з КМДН/ТТЛ	узгоджені з КМДН/ТТЛ

Перетворення вхідних кодових послідовностей буде відбуватися за допомогою внутрішньої пам'яті мікросхеми МП. Вхідна послідовність буде визначати адресу комірки пам'яті, в якій буде розміщено кодову послідовність трійкового сигналу відповідно алфавіту вхідного коду, заданого в табл. 5.1.

Зважаючи на необхідну частоту вихідного сигналу та можливості роботи з мікроконтролерами, для розроблюваного пристрою доцільніше обрати варіант мікросхеми типу ATtiny2313.

Мікросхема типу ATtiny2313 є малопотужним 8-бітовим КМДН/ТТЛ мікроконтролером з AVR RISC архітектурою. Виконуючи команди за один цикл, мікросхема ATtiny2313 досягає продуктивності 1 MIPS при частоті задавального генератора 1 МГц, що дозволяє оптимізувати продуктивність [11].

В МП AVR-ядро об'єднує систему команд та 32 регістри загального призначення. Усі 32 регістри безпосередньо пов'язані з арифметико-логічним пристроєм (АЛП), що дозволяє мати доступ до 2-х незалежних регістрів при виконанні однієї команди. В результаті ця архітектура дозволяє забезпечити в десятки разів вищу продуктивність, ніж стандартна архітектура на базі CISC.

Мікросхема типу ATtiny2313 має такі характеристики: 2 КБ програмованої в системі Flash пам'яті програми, 128-байтну EEPROM-пам'ять

даних, 128-байтне SRAM (статичне ОЗП), 18 ліній введення-виведення загального вживання, 32 регістра загального призначення, однопровідний інтерфейс для вбудованого налаштувальника, 2 гнучкі таймери/лічильники зі схемами порівняння, внутрішні та зовнішні джерела переривання, послідовний програмований USART, універсальний послідовний інтерфейс з детектором стартової умови, програмований сторожовий таймер з вбудованим генератором та 3 програмно ініціалізованих режими зниженого використання. У режимі Idle зупиняється ядро, але ОЗП, таймери/лічильники та система переривань продовжують функціонувати. У режимі Power-down регістри зберігають своє значення, але генератор зупиняється та блокує всі функції кодера до наступного переривання або апаратного скидання. У Standby режимі задавальний генератор працює, тоді як остання частина кодера не діє. Це дозволяє швидко запустити мікросхему мікропроцесора, зберігаючи при цьому в режимі очікування потужність.

Мікросхема МП виготовлена за високощільною незалежною технологією побудови пам'яті компанії Atmel. Вбудована ISP Flash дозволяє перепрограмувати пам'ять програми через послідовний SPI-інтерфейс або звичайним програматором незалежної пам'яті. Об'єднавши в одному кристалі 8-розрядне ядро RISC з пам'яттю, що самопрограмується в системі Flash, мікросхема ATtiny2313 є потужним мікроконтролером, який надає велику гнучкість розробника мікропроцесорних систем. Мікросхема ATtiny2313 підтримується різними програмними засобами та інтегрованими засобами розроблення, такими як компілятори C, макроасемблери, програмні налаштувальники/симулятори та внутрішньосхемні емулятори.

Для раціональної роботи мікросхеми МП необхідно забезпечити її програмним забезпеченням. Програмування мікросхеми МП здійснюватиметься за системою команд і рекомендаціями компанії Atmel. Як мову програмування оберемо оптимальний варіант згідно стандартної системи команд мікропроцесорів даної AVR-серії. Ініціалізація мікросхеми МП здійснюється стандартно: порт В налаштовується на введення, а молодші

розряди порту D – на виведення. Нижче наведено основну частину робочої програми МП, яка здійснюватиме оброблення вхідного коду та виведення вихідного коду.

```
LDI R5, 0x000
LDI R6, 0x100
LDI R7, 0x000
LDI R8, 0x000
1: IN R1, PINB
ADD R1, R6
LDS R2, R1
ADD R1, R6
LDS R3, R1
ADD R1, R6
LDS R4, R1
RCALL 3
SBRC R2, 0
INC R7
SBRC R3, 0
INC R7
SBRC R4, 0
INC R7
SBRC R2, 1
INC R8
SBRC R3, 1
INC R8
SBRC R4, 1
INC R8
CP R7, R8
BRGB
```

```

R JMP 2
LDI R6, 0x100
R JMP 1
2: LDI R6, 0x116
R JMP 1
3: OUT R2, PIND
OUT R5, PIND
OUT R3, PIND
OUT R5, PIND
OUT R4, PIND
OUT R5, PIND
RET

```

У цій програмі використано 8 регістрів МП (R1-R8). Спочатку відбувається ініціалізація початкових значень регістрів із занесенням в них заданого числа. Після мітки «1:» відбувається записування вхідного коду в регістр R1 з порту В МП. Потім відбувається записування у 3 регістри (R2-R4) відповідних даних 3-х частин 3-рівневого коду з пам'яті мікросхеми МП. Дані комбінації розміщені в ділянках пам'яті з такими адресами 100-115, 200-215 та 300-315 для додатної моди і 116-131, 216-231 і 316-331 – для від'ємної моди.

За командою RCALL відбувається виклик підпрограми з міткою «3:» для виведення даних регістрів (R2-R4) у порт D. Виклик підпрограми здійснюється по перериванню імпульса з частотою лінійного сигналу з виходу генераторного обладнання на вивід D5, згідно архітектури мікросхеми МП.

Команда RET повертає виконання програмного коду в наступне місце після виклику підпрограми.

За допомогою команди SBRC відбувається перевірка наявності додатних та від'ємних вихідних імпульсів та їх підсумовування у регістрах R7 та R8. Після порівняння їх вмісту у регістр R6 заноситься значення, що необхідне для доступу до додатної або від'ємної моди кодового алфавіту, яких повинен бути

попередньо записаний в пам'ять МП. Команда RJMP необхідна для безумовного переходу до заданої мітки у тексті програми.

Суматор призначений для формування на виході кодера сигналу з трьома рівнями амплітуди: $+2,5$, 0 і $-2,5$ В для 3-х рівнів відповідно. Для спрощення регулювання підсилення вихідних імпульсів кодера та покращених характеристик суматор краще реалізувати на мікросхемі операційного підсилювача (ОП).

Електрична схема суматора на мікросхемі ОП зображена на рис. 5.5.

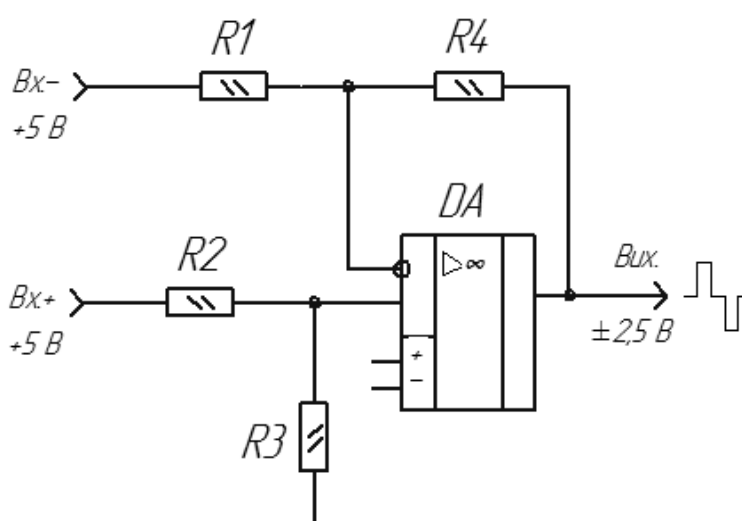


Рисунок 5.5 – Суматор на мікросхемі операційного підсилювача

Основні параметри мікросхем ОП надано в табл. 5.4 [10].

Таблиця 5.4 – Основні параметри мікросхем ОП

Параметри мікросхем	LM6171	AD812	AD8048
$R_{вх}$, МОм	40	15	0,5
$R_{вих}$, Ом	14,0	15,0	0,2
f_1 , МГц	100	145	260
K_u , дБ	90	60	72
$U_{ж}$, В	$\pm 2 \dots \pm 18$	$\pm 5,0$	$\pm 5,0$

Усі з представлених мікросхем ОП забезпечують частотні та підсилювальні характеристики, але для даного кодера оберемо мікросхему типу LM6171. Вона має широкий діапазон напруги живлення та більш швидке наростання сигналу на виході 750 В/мкс.

В даному випадку на базі мікросхеми ОП необхідно реалізувати схему підсумовування 2-х сигналів, що є вихідними сигналами блоку МП. Для забезпечення необхідного рівня підсилення вхідних сигналів на виході мікросхеми суматора приймемо такі значення опорів резисторів:

$$R3 = R4 = 1 \text{ кОм.}$$

Вихідна напруга розраховується за виразами:

$$\begin{aligned} U_{\text{вх.}} &= -U_{\text{вх.}} \frac{R4}{R1} \\ U_{\text{вх.}} &= U_{\text{вх.}} \frac{R3}{R2 + R3} \cdot \left(1 + \frac{R4}{R1}\right), \end{aligned} \quad (5.3)$$

На виході мікросхеми МП напруга імпульсів становить 5,0 В. Для отримання рівня сигналу +2,5 В та -2,5 В вхідний сигнал необхідно послабити у 2 рази. Значення опорів вхідних резисторів на входах мікросхеми суматора розрахуємо згідно виразу:

$$\begin{aligned} -2,5 &= -5 \frac{1}{R1}, \\ 2,5 &= 5 \frac{1}{R2 + 1} \cdot \left(1 + \frac{1}{R1}\right). \end{aligned}$$

Таким чином, виконавши розрахунки, отримаємо значення опору резисторів $R1 = R2 = 2 \text{ кОм}$. Визначаємо номінали резисторів, які відповідатимуть реальним елементам [12]:

$R1, R2$ – типу С2-14-2 кОм $\pm 0,5\%$;

$R3, R4$ – типу С2-14-1 кОм $\pm 0,5\%$.

Розрахунок потужності кодера визначається як сума потужності кожної мікросхеми даного пристрою.

Потужність споживання кодера можна визначити за формулою:

$$P_{\tilde{m}} = U_{\alpha} \cdot I_{\tilde{m}}. \quad (5.4)$$

Мікросхема типу LM6171 споживає струм 100 мА при напрузі живлення $\pm 5,0$ В. Тоді за формулою (5.4) потужність, що споживається даною мікросхемою, дорівнює:

$$P_{LM6171} = 10 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 1 \text{ (Вт)}.$$

Потужність, що споживається мікросхемою типу КР1533ІР1, становитиме:

$$P_{\text{КР1533ІР1}} = 5 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 0,075 \text{ (Вт)}.$$

Потужність мікроконтролера типу ATtiny2313 в стандартному режимі роботи складає не більше 1 Вт.

Загальна потужність споживання кодера розраховується за формулою:

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^5 n_i \cdot P_i. \quad (5.5)$$

Підставивши отримані раніше значення, розраховується загальна потужність споживання 4В3Т-кодера:

$$P_{\Sigma} = 1 + 1 + 0,075 = 2,075 \text{ (Вт)}.$$

Таким чином, загальна потужність споживання розробленого лінійного 4В3Т-кодера становитиме 2,075 Вт.

Розраховується баланс часу лінійного 4В3Т-кодера. При цьому розрахований сумарний час затримки сигналу в 4В3Т-кодері повинен бути меншим періоду виходу лінійних 3-рівневих сигналів.

Період дискретизації розраховується за формулою:

$$t_{\text{дн}} = 1 / f_{\text{дн}} \quad (5.6)$$

Підставимо значення частоти лінійного сигналу у вираз (5.6):

$$\tau = \frac{1}{74,84 \cdot 10^6} = 13,36(\text{н}).$$

Баланс часу лінійного 4В3Т-кодера розраховується як сума часу затримок всіх його компонентів:

$$t_{\text{е}} = t_{\text{ДАА}} + t_{\text{ІІ}} + t_{\text{ІІ}} , \quad (5.7)$$

де $t_{\text{ДАА}}$ – час встановлення вихідної напруги мікросхеми регістра;

$t_{\text{ІІ}}$ – час встановлення вихідної напруги мікросхеми МП;

$t_{\text{ІІ}}$ – час встановлення вихідної напруги мікросхеми ОП.

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$t_{\text{е}} = 5 \cdot 10^{-9} + 2 \cdot 10^{-9} + 1 \cdot 10^{-9} = 8(\text{н}).$$

Баланс часу лінійного 4В3Т-кодера становить 8 нс. Даний час є менше періоду лінійного сигналу 13,36 нс, що є задовільним показником. Таким чином, елементна база розробленого лінійного 4В3Т-кодера обрана вірно.

5.4 Комп'ютерне моделювання лінійного 4В3Т-кодера

У даному підрозділі буде промодельовано роботу лінійного 4В3Т-кодера за допомогою пакету схемотехнічного моделювання.

Комп'ютерне моделювання роботи пристрою буде виконуватись за допомогою програми Proteus V 7. Перевагою цієї програми над іншими пакетами є те, що вона створена спеціально для моделювання цифрових засобів. Proteus V 7 містить бібліотеки з моделями та характеристиками багатьох цифрових компонентів різних фірм, аналогових і цифрових пристроїв та різноманітних елементів.

Модель кодера створена з обраних у попередньому підрозділі елементів або їх аналогів, що містяться в даному пакеті моделювання. Модель будується на базі аналога обраного мікроконтролера сімейства Atmel з тими ж характеристиками, універсального 4-розрядного регістра зсуву, операційного підсилювача з резистивними подільниками сигналів та осцилографа. Водночас використано 2 генератори імпульсних сигналів: один для подачі на вхід регістра двійкової послідовності заданої частоти групового сигналу 100 МГц та другий для синхронізації роботи регістра. Синхронізація роботи мікросхеми МП є внутрішньою та забезпечує синхронну роботу кодера. Моделювальна схема кодера зображена на рис. 5.6.

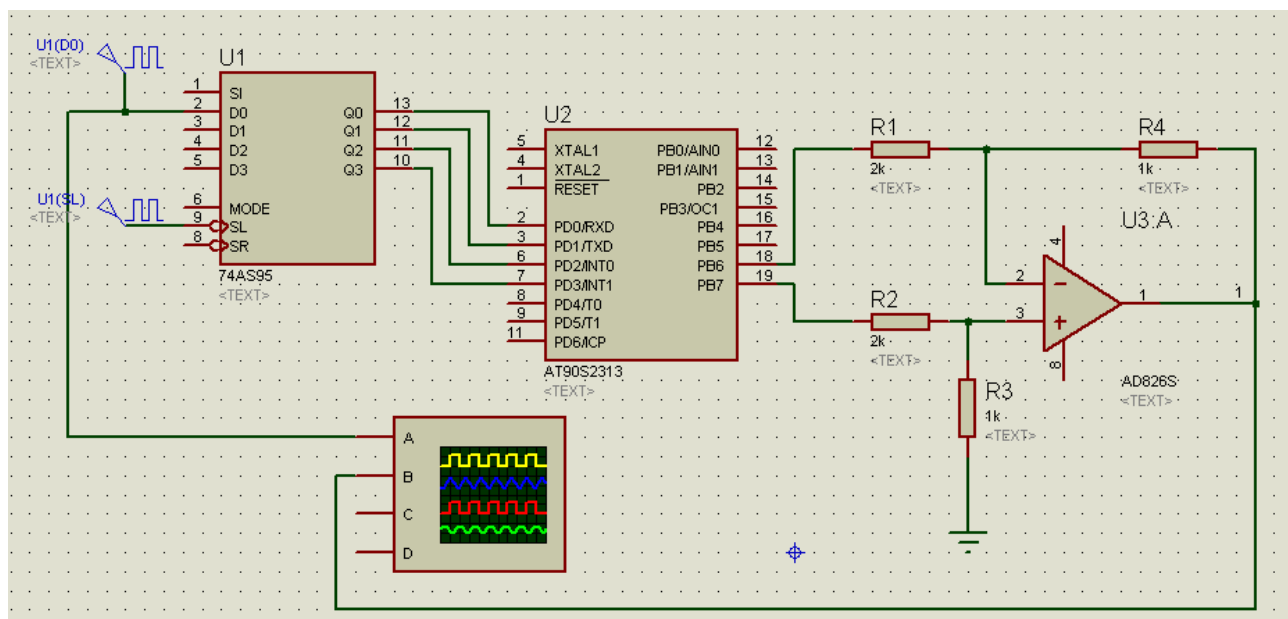


Рисунок 5.6 – Моделювальна схема лінійного 4В3Т-кодера

На вхід 4В3Т-кодера подаються двійкові імпульсні сигнали з періодом 10 нс (частота 99,78 МГц). На рис. 5.7 зображено вікно налаштування параметрів генератора вхідних імпульсних сигналів.

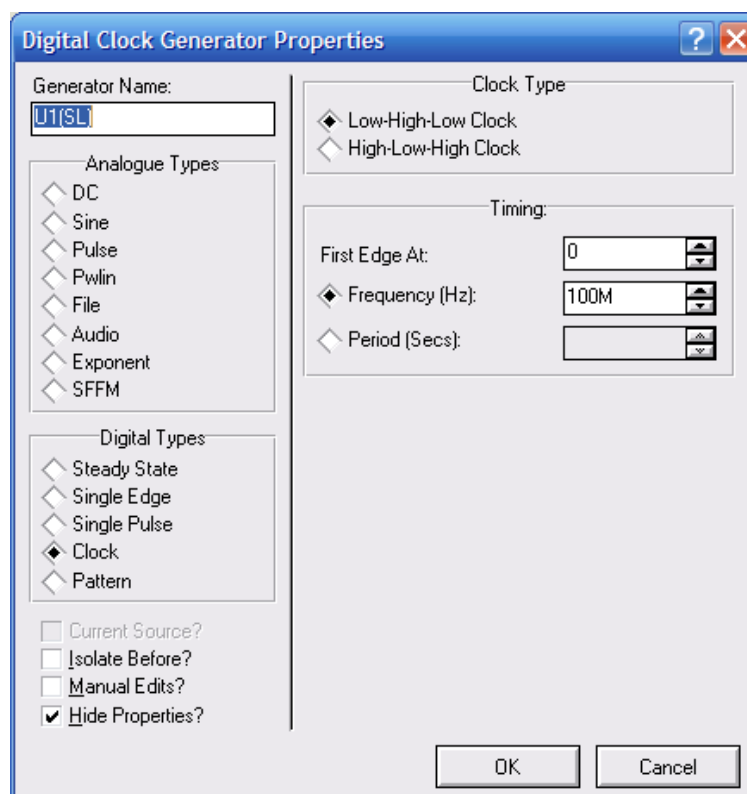


Рисунок 5.7 – Вікно параметрів генератора імпульсних сигналів

На рис. 5.8 та 5.9 зображено вікна налаштування параметрів мікросхеми МП та опору резистора. В даних вікнах можна встановити робочу частоту мікросхеми МП, його програмне забезпечення, опори пасивних елементів ($R1 = 2 \text{ кОм}$) тощо.

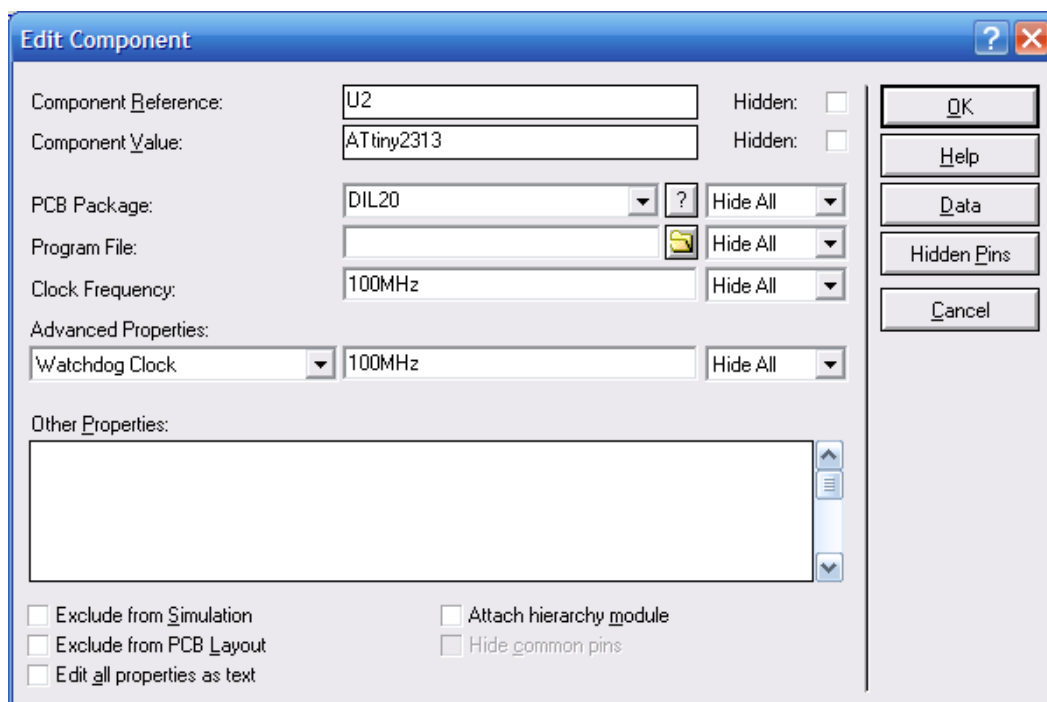


Рисунок 5.8 – Вікно налаштування параметрів мікросхеми МП

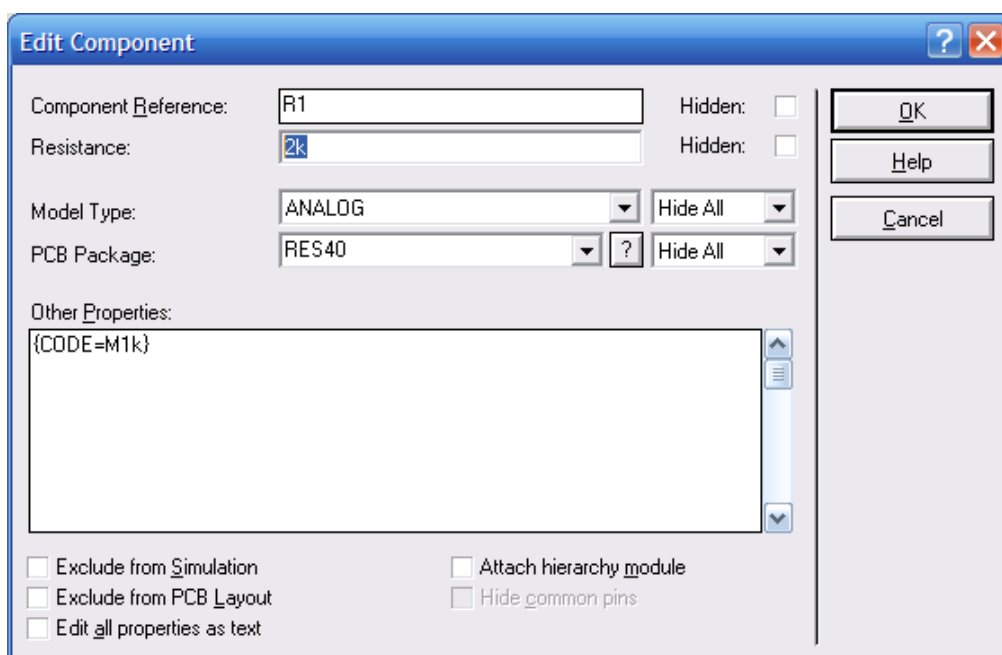


Рисунок 5.9 – Вікно налаштування опору резистора

На рис. 5.10 зображено вікно осцилографа, в якому відображені сигнали з генератора імпульсів на вхід лінійного кодера (верхній) та отриманий вихідний 3-рівневий сигнал (нижній).

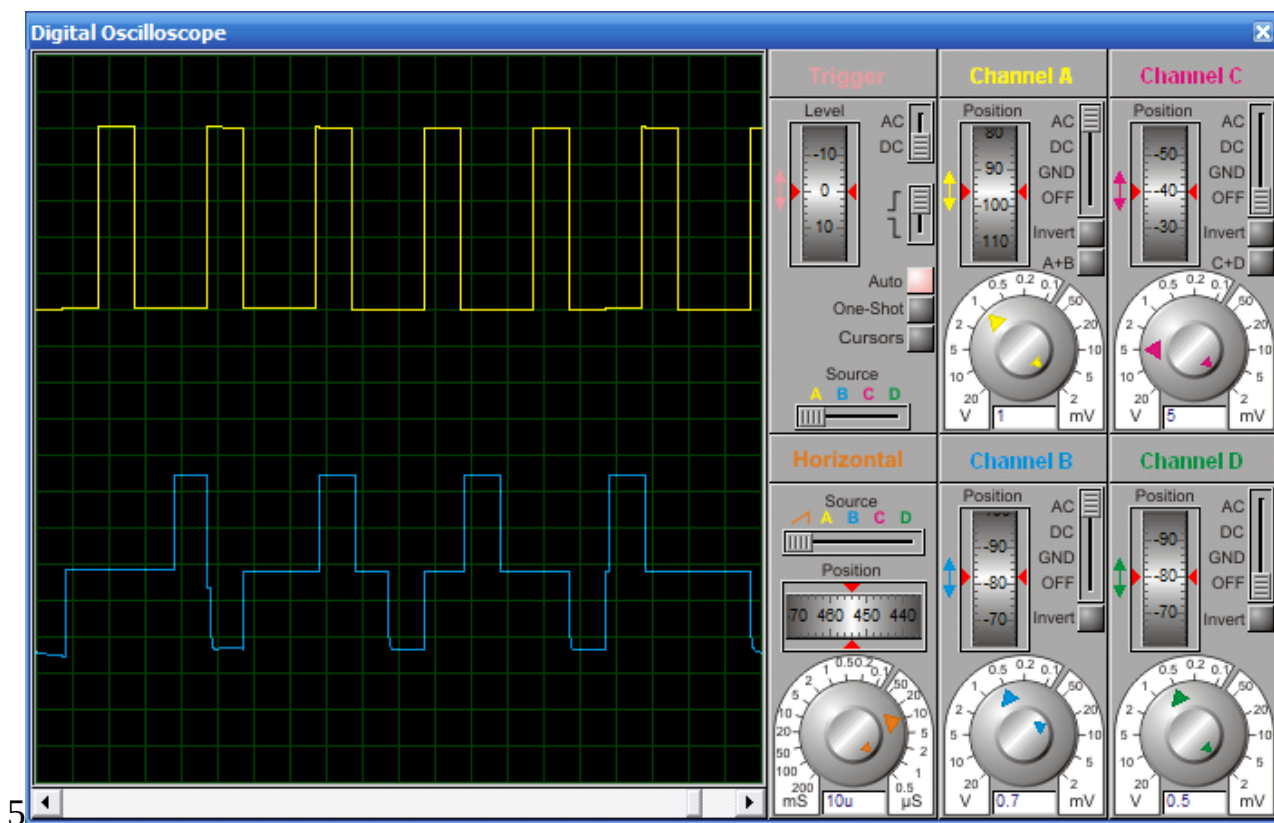


Рисунок 5.10 – Осцилограма вхідних і вихідних імпульсних сигналів

Як видно з рис. 5.10, амплітуда вхідних імпульсів становить 5,0 В, а на виході отримуємо імпульси з амплітудами +2,5 В і -2,5 В, що відповідає розрахованим значенням. Отже, результати комп'ютерного моделювання підтвердили електричні розрахунки кодера.

На рис 5.11 та 5.12 представлено частотні спектри вхідних і вихідних сигналів. Як видно з цих рисунків, частота слідування імпульсів вхідної послідовності приблизно дорівнює 100 МГц, що відповідає заданій 99,78 МГц. Основна частина спектра вихідного сигналу розміщена у смузі поблизу частоти 37,5 МГц, що відповідає розрахованій частоті лінійного сигналу 74,84 МГц.

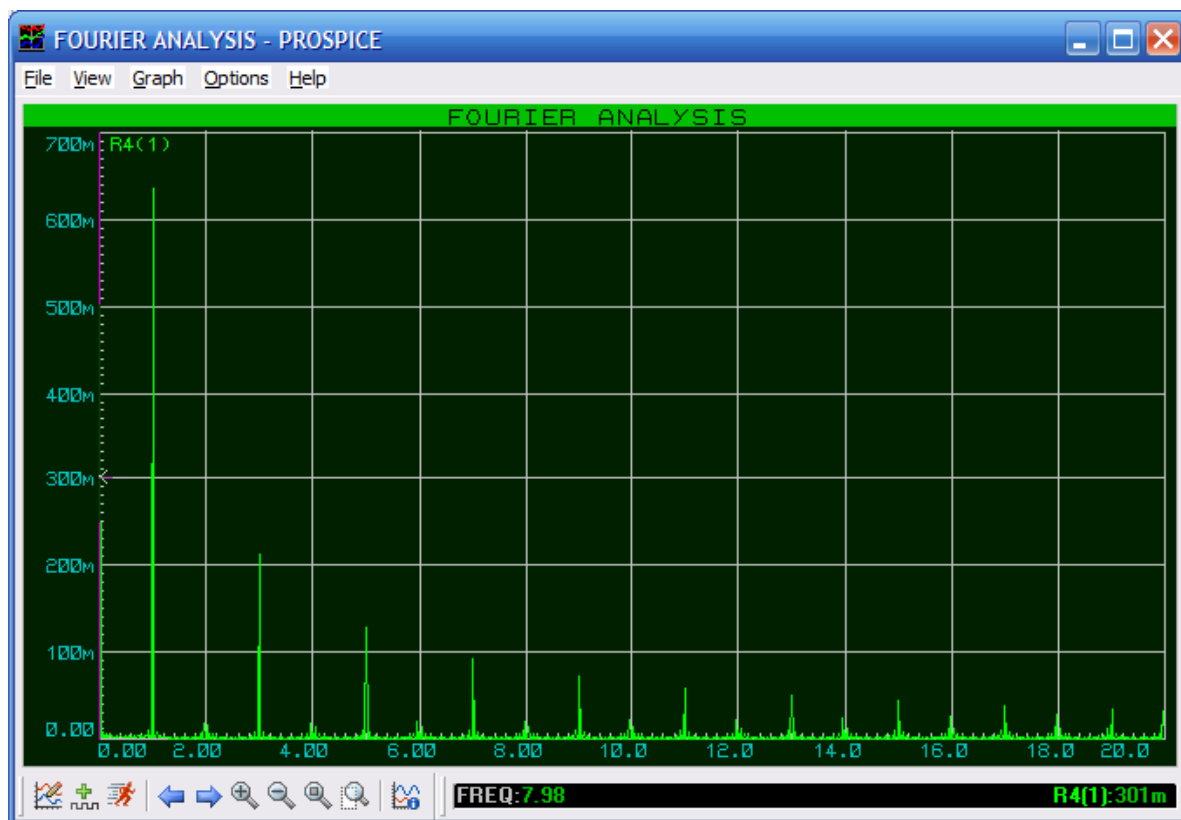


Рисунок 5.11 – Частотний спектр вхідної послідовності імпульсів

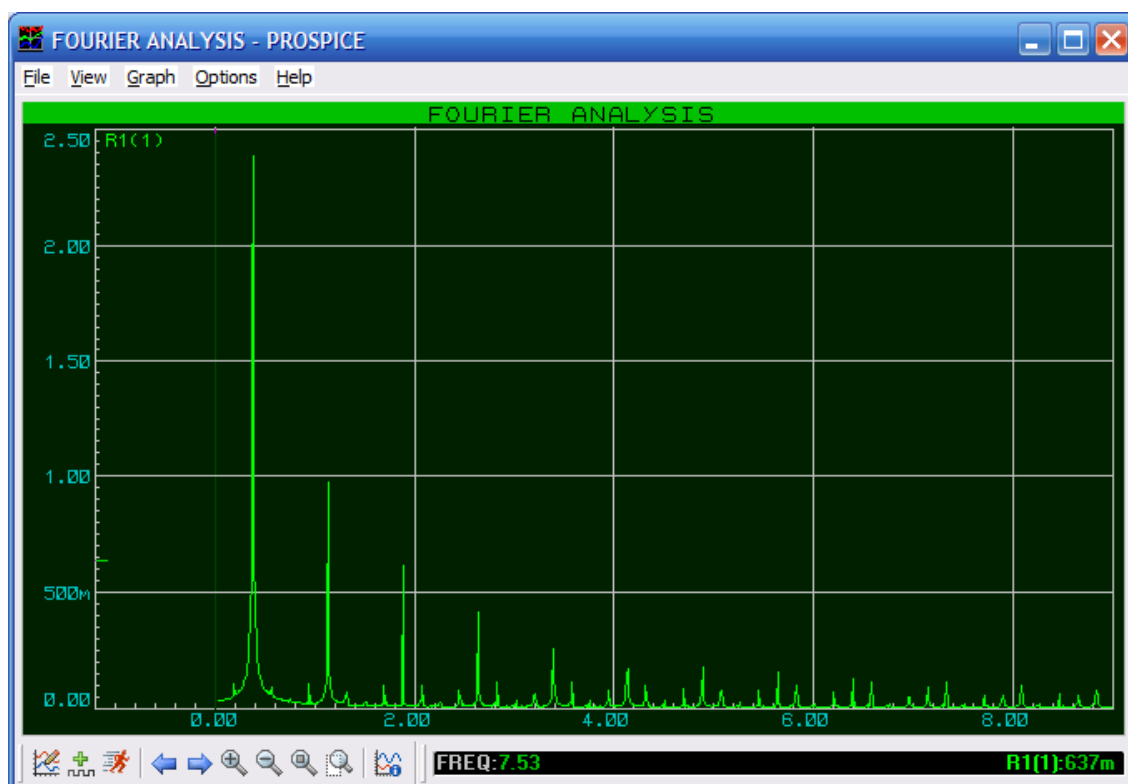


Рисунок 5.12 – Частотний спектр вихідної послідовності імпульсів

Отриману неточність відтворення вихідного сигналу лінійного кодера може бути пояснена неточним налаштуванням схеми під час моделювання та недосконалістю схемотехнічних моделей реальним елементам з властивими їм характеристиками та параметрами.

Виконавши комп'ютерна моделювання, ми переконалися в якості відтворення трирівневого сигналу на виході лінійного кодера і відповідності його роботи до поставленого завдання.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Забезпечення безпеки праці є ключовим завданням для сталого соціально-економічного розвитку та покращення якості життя громадян. Впровадження та дотримання норм охорони праці сприяють підвищенню продуктивності, зниженню витрат на медичне обслуговування та лікування працівників, а також створенню позитивного робочого середовища. Важливо розуміти, що належна увага до охорони праці є необхідною для інтеграції України в європейський простір, оскільки це відповідає стандартам та вимогам умов праці. Захист працівників від небезпечних факторів на робочому місці є ключовою складовою розвитку людського капіталу та забезпечення сталого економічного зростання.

Під час дослідження програмно апаратних реалізацій лінійних кодерів телекомунікаційних систем на дослідника, згідно Гігієнічної класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, могли мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена чи понижена вологість повітря; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; підвищена чи понижена іонізація повітря; недостатня освітленість робочої зони; підвищена яскравість світла; понижена контрастність; пряма і відбита блискість.

2. Психофізіологічні: статичне перевантаження та розумове перевантаження.

Відповідно до наведених факторів здійснюємо розробку заходів щодо безпечного виконання поставленого завдання.

6.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

6.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця

Організація робочого місця впливає на продуктивність праці, забезпечуючи комфорт та зручність працівників. Ефективне використання простору допомагає зменшити втрати часу та зусиль при виконанні завдань. Крім того, оптимальна організація робочого місця зменшує ризик травм та захворювань, спричинених незручною позою чи неправильними рухами. Дотримання принципів раціональної організації робочого місця є важливою складовою політики охорони праці й сприяє підвищенню загального рівня задоволеності працівників своєю роботою. Оптимізована організація робочого простору сприяє не лише збільшенню ефективності праці, але й покращенню загального самопочуття працівників. Правильне розташування обладнання та меблів може позитивно вплинути на психоемоційний стан колективу та знизити ризик виникнення стресу.

Роботодавець має забезпечити, щоб робочі місця відповідали вимогам щодо комфорту та безпеки, встановленим стандартами. Згідно з НПАОП 0.00-7.15-18, кожне робоче місце повинно мати не менше 6 м² площі, а при необхідності місця праці можуть бути розділені перегородками до 2 метрів у висоту для співробітників, які працюють з комп'ютерами. При розрахунку об'єму приміщення також враховується наявність меблів та обладнання. У цьому місяці площа приміщення становить 30,4 м², а об'єм - 105 м³. У приміщенні працює 4 особи, що становить на одну особу 7,6 м² площі та об'єм - 26,3 м³. Це відповідає встановленим вимогам для організації робочих місць.

Ефективна організація робочого простору персоналу дозволяє максимально використовувати його потенціал та запобігає можливим негативним наслідкам для здоров'я. Робоче місце дослідника має бути обладнане для розміщення додаткових пристроїв, таких як принтер, колонки та сканер, та забезпечити зручне зберігання документів. Проте важливо переконатися, що це не обмежує видимість екрану та не заважає праці. Згідно з сучасними стандартами безпеки й здоров'я, важливо враховувати, що робочий

стіл та стілець повинні відповідати нормам та забезпечувати зручне розташування. Оптимальне розташування робочих пристроїв на столі сприяє підвищенню продуктивності та зручності роботи. Важливо також враховувати ергономічний дизайн меблів, щоб уникнути можливих напруг та травм. Наприклад, правильно підібраний стіл та стілець допоможуть зберегти здоров'я працівників та покращити їхню продуктивність.

Під час виконання роботи забороняється:

- виконувати обслуговування та ремонт комп'ютера на робочому місці працівника.;
- виконувати ремонт або спробувати здійснити технічне налагодження комп'ютера без залучення фахівців, які мають відповідні навички та кваліфікацію;
- проводити самостійні роботи з обслуговування комп'ютерної техніки, що може привести до можливих поломок або втрати даних.
- накопичувати зайві предмети та деталі на робочому столі, що може заважати комфортному та продуктивному виконанню завдань;
- використовувати монітори з нечітким зображенням та монітори, у яких наявні поламки екрану.

При прийнятті на роботу кожен працівник зобов'язаний пройти медичний огляд і в подальшому проходити його (не рідше, ніж один раз кожні два роки). Проведення медичного огляду включає консультацію терапевта, невропатолога та офтальмолога, і ця процедура є обов'язковою для всіх працівників. Під час виконання дослідження було встановлено чіткий розклад регулярних перерв для відпочинку, додатково до обідньої перерви. Зазвичай такі перерви тривають від 10 до 15 хвилин і надаються раз на годину або дві, залежно від характеру та складності роботи. У будь-якому випадку роботодавець забезпечує такий робочий графік, щоб тривалість безперервної роботи за комп'ютером не перевищувала 4 роки. Додатково, для підтримки загального стану здоров'я та працездатності працівників, бажано виділити спеціальні

приміщення для відпочинку та релаксації, які допоможуть зняти нервово-емоційне напруження, яке можна виникати під час роботи з комп'ютером.

6.1.2 Електробезпека приміщення

У досліджуваному приміщенні наявна групова трипровідна мережа для живлення персональних комп'ютерів, периферійних пристроїв, і обладнання, призначеного для обслуговування, ремонту та налагодження ПК. Ця мережа складається із трьох провідників: фазового, нульового робочого та нульового захисного. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення електропристроїв.

Для забезпечення електробезпеки необхідно дотримуватися ПУЕ. Основні причини, які можуть призвести до ураження працівника під час виконання роботи, включають:

- ймовірність дотику до металевих неструмопровідних частин, таких як корпус комп'ютера або периферійні пристрої. Ці частини можуть опинитись під напругою, якщо ізоляція їх пошкоджена;
- використання електричних приладів без дотримання встановлених правил і стандартів;
- відсутність інструктажу співробітників щодо правил електробезпеки та процедур у разі виникнення небезпеки.

Під час роботи з електричним обладнанням слід завжди перевіряти стан ізоляції та з'єднання, уникаючи пошкодження або торкання металевих деталей до струмоведучих елементів. Обов'язковою є періодична перевірка та технічне обслуговування всього електрообладнання для попередження можливих аварій.

Дотримання електробезпеки у приміщенні, де здійснювалося дослідження, важливе для запобігання ураженню електричним струмом, що досягається такими способами і заходами:

1. Ізоляція струмоведучих елементів комп'ютерів та їх периферійних пристроїв, з нарахуванням запобігання можливим випадковим контактам з ними.

2. Захисне заземлення для металевих неструмоведучих частин, що можуть опинитися під напругою в разі пошкодження ізоляції.

3. Інструктаж і навчання працівників правилам безпеки при роботі з електронікою. Це включає у себе інформування про потенційні ризики та навчання, як уникати їх.

4. Перевірка знань та дотримання правил безпеки, залежно від займаної посади та характеру роботи.

6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат

Вплив мікроклімату у виробничих приміщеннях на процес праці полягає в створенні комфортних умов та підтримці працездатності персоналу. Різні параметри мікроклімату, такі як температура, вологість, швидкість повітря, відіграють ключову роль у формуванні оптимального робочого оточення. Збільшення або зниження температури, недостатнє провітрювання, висока вологість або сухе повітря можуть викликати незручності та негативно впливати на ефективність праці. Тому важливо дотримуватися встановлених нормативів та забезпечувати оптимальний мікроклімат у приміщеннях, щоб забезпечити комфорт працівників та зберегти їх працездатність.

Мікроклімат виробничих приміщень нормується в залежності від категорії робіт по важкості і періоду року. Категорія виконуваних робіт під час виконання дослідження – 1а, допустимі значення параметрів мікроклімату наведені в таблиці. 6.2.1.

Таблиця 6.2.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодний	Температура повітря в приміщенні	21 ... 25 ° C
	Відносна вологість	40 ... 60%
	Швидкість руху повітря	до 0,1 м / с
Теплий	Температура повітря в приміщенні	22 ... 28 ° C
	Відносна вологість	40 ... 60%
	Швидкість руху повітря	0,1 ... 0,2 м / с

З метою забезпечення визначених параметрів мікроклімату виробничих приміщень використовується загальна система опалення та система вентиляції. Для кожної вентиляційної установки складено паспорт, який містить технічну інформацію та схему розташування установки.

6.2.2 Склад повітря робочої зони

Повітряне середовище відіграє ключову роль у забезпеченні життєдіяльності людини, а його фізичні та хімічні параметри мають суттєвий вплив на здоров'я та комфорт працівників. Фізичні характеристики мікроклімату, включаючи температуру, вологість, швидкість повітря та тиск, грають важливу роль у створенні сприятливих умов для праці. Крім того, іонізація повітря, електромагнітні поля та звуковий фон також можуть впливати на самопочуття та продуктивність людини. Забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату та контроль якості повітряного середовища є важливими завданнями для збереження здоров'я та безпеки на робочому місці. Допустимі рівні шкідливих речовин, що регулюються згідно з вимогами ДСН 3.3.6.042-99, наведені у таблиці 6.2.2.

Таблиця 6.2.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Оксид азоту	5	2	3
Вуглекислий газ	3	1	4
Пил нетоксичний	25	10	4
Озон	0,16	0,03	1

Під час виконання дослідження із використанням ПК важливо, щоб повітря мало певний іонний склад. Рівні позитивних і негативних іонів у повітрі приміщень з ПК мають відповідати санітарно-гігієнічним нормам (табл. 6.2.3).

Таблиця 6.2.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	п+	п-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи вентиляції, регулярного провітрювання, та вологого прибирання.

6.2.3 Виробниче освітлення

Для забезпечення комфортних умов для зорової праці, запобігання швидкій втомі очей, професійним захворюванням та нещасним випадкам, а також для підвищення продуктивності, необхідно, щоб виробниче освітлення відповідало таким вимогам:

1. Забезпечення належного рівня освітленості на робочій поверхні, який відповідає характеру зорової роботи і не опускається нижче встановлених норм.
2. Уникнення сліпучого світла як від джерела освітлення, так і від інших предметів, що потрапляють у поле зору.
3. Підтримання сталого і рівномірного рівня освітлення виробничих приміщень, щоб уникнути постійної переадаптації очей.
4. Попередження появи глибоких тіней на робочій поверхні, особливо тих, що можуть змінюватися протягом роботи.
5. Забезпечення достатнього контрасту між освітленою поверхнею та робочим об'єктом для зручного розрізнення деталей.
6. Забезпечення надійності та простоти обслуговування системи освітлення, а також врахування економічних та естетичних аспектів.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО при природному та сумісному освітленні (характеристика зорової роботи – високої точності згідно з ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення») зазначені у таблиці 6.2.4.

Таблиця 6.2.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє бічне	Бокове	Верхнє або верхнє бічне	Бокове
Високої точності	0,3 -0,5	III	г	великий	світлий	700	300	5	2	3	1,2

Для підвищення ефективності використання природного освітлення в приміщенні регулярно очищуються вікна від пилу та встановлені жалюзі. Щодо штучного освітлення, як джерела світла використані люмінесцентні лампи. Важливо, щоб світильники були розташовані рівномірно, із забезпеченням оптимальної освітленості на робочих поверхнях та у всьому приміщенні.

6.2.4 Виробничий шум

Вплив шуму на людський організм не обмежується лише подразненням слухового апарату, але також має вплив на центральну нервову систему, що може призводити до різних порушень функціонування організму. Ефекти впливу шуму можна розділити на дві основні групи: специфічні, які пов'язані з впливом на слуховий апарат, і загальні (неспецифічні), що виникають у різних органах і системах організму, крім слухового апарату. Основним джерелом шуму в приміщенні, де виконувалася робота, є працююча офісна техніка. Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях, обладнаних ПК, повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.037-99 (див. таблицю 6.2.5).

Таблиця 6.2.5 - Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

На робочому місці рівень шуму є нижчим за нормований. У разі появи значного рівня шуму, використовують шумоізоляційні матеріали в інтер'єрі, зокрема меблі та обробка приміщень звукоізоляційними матеріалами, що може сприяти зниженню внутрішнього відбиття звуку. Додатково, може бути корисним оптимізувати розташування робочих місць, віддаливши їх від джерел шуму або використовуючи перегородки для виділення тих зон, де шум може бути інтенсивнішим. Регулярні перерви для відпочинку та дотримання раціонального режиму праці та відпочинку також є задоцільними заходами зменшення впливу шуму на працівників.

6.2.5 Виробничі випромінювання

Комп'ютерні компоненти, що працюють на змінній напрузі та струмі, створюють змінні електричні та магнітні поля. Рівні цих полів регулюються чинними нормами України, зокрема Державними санітарними правилами та нормами ДСанПіН 3.3.2.007-98, а також європейським стандартом MPR II. У разі некоректної організації робочого місця джерелами електромагнітних полів можуть бути не тільки монітор, блок живлення та мережеві кабелі, але й периферійні пристрої.

Значення напруженості електростатичного поля на робочих місцях із ПК (як у зоні екрана дисплея, так і на поверхнях обладнання, клавіатури, друкувального пристрою) мають не перевищувати гранично допустимих (табл.6.2.6).

Таблиця 6.2.6 – Допустимі параметри електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	10 В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	0,3 А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати:	для дорослих користувачів 20кВ/м для дітей 15кВ/м

Для зменшення впливу ЕМП на працівника необхідно дотримуватися раціонального режиму роботи та відпочинку, встановленого нормативними вимогами.

6.3 Пожежна безпека

Пожежна безпека – стан об’єкта, при якому виключається можливість пожежі, а в разі його виникнення запобігається вплив на людей небезпечних факторів пожежі і забезпечується захист матеріальних цінностей. Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі і системою пожежного захисту.

Пожежна безпека приміщення повинна відповідати вимогам Кодексу цивільного захисту України та НАПБ А.01.001-14 «Правила пожежної безпеки в Україні». За вибуховою і пожежною небезпекою приміщення належить до категорії Д, згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. [11]. У приміщенні знаходяться ПК та інша оргтехніка, що можуть спричинити пожежу. Згідно даних наведених у таблиці 6.3.1 будівля, в якій знаходиться приміщення, має II ступінь вогнестійкості, а приміщення можна віднести до категорії вибухопожежонебезпеки В (табл.6.3.1).

Таблиця 6.3.1 – Визначення ступеня вогнестійкості будівельних конструкцій

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см)							
	стіни				колонни	сходові площадки, косоури, сходи, балки, марші сходових кліток	перекриття міжповерхові (у т. ч. горищні та над підвалами)	елементи сумішених покриттів
	несучі та сходових кліток	самонесучі	зовнішні ненесучі	внутрішні ненесучі (перегородки)				плити, настили, прогони балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E15, M0 E30, M1	EI 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються

Клас приміщення і зон з вибухо- і пожежонебезпеки П-Па (приміщення, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.)

6.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Для запобігання виникнення пожежі в приміщенні застосовують такі заходи:

- щорічне проведення повторних протипожежних інструктажів та занять за програмою пожежно-технічного мінімуму з особами, що відповідальні за пожежну безпеку;
- утримання в справному стані засобів протипожежного захисту;
- своєчасне інформування про несправність пожежної техніки, систем протипожежного захисту, водопостачання тощо.

Електромережі, електроприлади і апаратура експлуатується тільки у справному стані з урахуванням вказівок та рекомендацій підприємств-

виготовлювачів. У разі виявлення пошкоджень електромереж, вимикачів, розеток та інших електровиробів слід негайно вимкнути їх та вжити необхідних заходів щодо приведення в пожежобезпечний стан.

6.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Протипожежний захист – це комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, запобігання пожежі, обмеження її розповсюдження, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі.

У всіх службових приміщеннях обов'язково повинен бути «План евакуації людей при пожежі», що регламентує дії персоналу у разі виникнення вогнища загоряння і в якому зазначено місця розташування пожежної техніки. Як відомо пожежа може виникнути при взаємодії горючих речовин, окислення і джерел запалювання. У робочому приміщенні присутні всі три основні чинники, необхідні для виникнення пожежі. Горючими компонентами є: будівельні матеріали для акустичної і естетичної обробки приміщень, перегородки, двері, підлоги, ізоляція кабелів і ін

Джерелами запалювання у ВЦ можуть бути електронні схеми від ПК, прилади, застосовувані для технічного обслуговування, пристрої електроживлення, кондиціонування повітря, де внаслідок різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри та дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів. У сучасних ПК дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні дроти, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції. Для відведення надлишкової теплоти від ЕОМ служать системи вентиляції та кондиціонування повітря. При постійному дії ці системи представляють собою додаткову пожежну небезпеку.

При проведенні обслуговуючих, ремонтних і профілактичних робіт використовуються різні мастильні речовини, легкозайmistі рідини, прокладаються тимчасові електропровідниками, ведуть пайку та чистку

окремих вузлів. Виникає додаткова пожежна небезпека, яка потребує додаткових заходів пожежного захисту. Зокрема, при роботі з паяльником слід використовувати неспалену підставку з нескладними пристроями для зменшення споживаної потужності в неробочому стані.

Однією з найбільш важливих завдань пожежної захисту є захист будівельних приміщень від руйнувань та забезпечення їх достатньої міцності в умовах впливу високих температур при пожежі. З огляду на високу вартість електронного устаткування приміщення, а також категорію його пожежної небезпеки, будинки для ВЦ і частини будинку іншого призначення, в яких передбачено розміщення ПК повинні бути 1 і 2 ступеня вогнестійкості.

Для виготовлення будівельних конструкцій використовуються, як правило, цегла, залізобетон, скло, метал та інші негорючі матеріали. Застосування дерева повинна бути обмежено, а в разі використання необхідно просочувати його вогнезахисними складами.

До засобів гасіння пожежі, призначених для локалізації невеликих загорянь, відносяться внутрішні пожежні водопроводи, вогнегасники, сухий пісок, азбестові ковдри і т. д. Застосування води в машинних залах ПК, сховищах носіїв інформації, приміщеннях контрольно-вимірювальних приладів, зважаючи на небезпеку пошкодження або повного виходу з ладу дорогого устаткування можливо у виняткових випадках, коли пожежа приймає загрозливо великі розміри. При цьому кількість води повинна бути мінімальною, а пристрої ПК необхідно захистити від попадання води, накриваючи їх брезентом або полотном.

Для гасіння пожеж на початкових стадіях широко застосовуються вогнегасники. У приміщенні застосовуються головним чином вуглекислотні вогнегасники, перевагами якого є висока ефективність гасіння пожежі, схоронність електронного устаткування, діелектричні властивості вуглекислого газу, що дозволяє використовувати ці вогнегасники навіть у тому випадку, коли не вдається знеструмити електроустановку відразу.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській дипломній роботі розв'язано важливу технічну задачу підвищення ефективності кодерів лінійних сигналів для цифрових телекомунікаційних систем. При цьому було отримано такі результати.

Виконано аналіз лінійних кодів ЦТС. Доведено, що цифровим лінійним трактом повинні передаватися сигнали, що забезпечують мінімальні рівні завад всередині тракту та перехідних завад між сусідніми трактами. Рівень і дія зазначених завад залежать у загальному випадку як від ширини та форми частотного спектра сигналу, так і від ширини та форми амплітудно-частотної характеристики цифрового лінійного тракту.

Здійснено вибір та обґрунтування класу лінійних кодів - парно-вибірних з основою системи числення вхідного коду – двійковою та основою системи числення лінійного коду – трійковою.

Виконано синтез наступних лінійних кодів: 3В2Т, 2В3Т, 4В3Т. Побудовано часові діаграми та частотні спектри лінійних сигналів на базі цих кодів. Розраховано значення тактових частот у лінійному тракті для заданих вхідних частот двійкових сигналів. В результаті аналізу синтезованих лінійних кодів встановлено, що у цих кодах відсутня постійна складова і це забезпечує ефективне передавання сигналів лініями зв'язку. Встановлено, що основна енергія лінійного сигналу зосереджена на частоті, яка становить половину значення тактової частоти лінійного сигналу.

Розроблено структурні схеми лінійних кодерів для кодів типу 3В2Т, 2В3Т і 4В3Т. На базі отриманих структурних схем виконано вибір та обґрунтування елементної бази та розроблено принципові електричні схеми кодерів.

Результати комп'ютерного моделювання лінійних кодерів підтвердили їх працездатність та вірність електричних розрахунків цих кодерів.

У розділі «Охорона праці» розглянуто технічні рішення щодо безпечного виконання роботи (обладнання приміщення та робочого місця, електробезпека приміщення), технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

(мікроклімат, склад повітря робочої зони, виробниче освітлення, виробничий шум, виробничі випромінювання) та технічні рішення системи запобігання пожежі і системи протипожежного захисту.

Результати цієї бакалаврської дипломної роботи можуть бути використані при розробленні високошвидкісних цифрових телекомунікаційних систем для створення лінійних трактів на базі волоконно-оптичних ліній зв'язку.

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. Довгий С.О., Воробієнко П.П., Гуляєв К.Д. Сучасні телекомунікації. – К.: Азимут-Україна, 2013. – 608 с.
3. Бондарчук А.П., Срочинська Г.С., Твердохліб М.Г. Основи інфокомунікаційних технологій: навчальний посібник. К.: АНВА Прінт, 2015. 76 с.
4. Кривуца В. Г., Беркман Л. Н., Лапінський В. В., Основи інфокомунікацій: навчальний посібник. К.: ДУІКТ, 2011. 276 с.
5. Конахович Г.Ф., Чуприн В.М., Ткаліч О.П. Експлуатація телекомунікаційних систем: Підручник. – К.: НАУ-друк, 2014. – 787 с.
6. Бортник Г.Г., Бортник С.Г., Стальченко О.В. Основи теорії багатоканального зв'язку. - Вінниця: ВНТУ, 2010. – 146 с.
7. Методи та пристрої оцінювання бітових помилок у телекомунікаційних системах: монографія / В. М. Кичак, Г. Г. Бортник, В. Д. Тромсюк. Вінниця: ВНТУ, 2017. 212 с.
8. Бортник Г. Г., Кичак В. М., Яблонський В. Ф. Методи та засоби оцінювання параметрів абонентських ліній зв'язку. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. 139 с.
9. Бортник Г.Г., Васильківський М.В., Кичак В.М. Транспортні телекомунікаційні технології: навч. посібник.– Вінниця: ВНТУ, 2017. – 172 с.
10. Бортник Г.Г., Кичак В.М. Цифрова обробка сигналів в телекомунікаційних системах: підручник. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 232 с.
11. 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.
12. 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.

13. Кичак В. М., Барась С. Т., Кравцов Ю. І. Основи побудови засобів та систем телекомунікацій: навчальний посібник.- В.: ВНТУ, 2010. -188 с.

14. Кичак В.М., Семенова О.О., Семенов А.О. Системи документального електрозв'язку: навчальний посібник. - В.: ВНТУ. – 2009. – 160 с.

15. 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

16. 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_prapor_0_00-7_15-18_01_ua.php

17. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги - [Електронний ресурс] - http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028

18. ДСан ПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ЕОМ - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/derz-nor4881.html>

19. 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>

20. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Електронний ресурс] – Режим доступу до сторінки: http://hrliga.com/index.php?module=norm_base&op=view&id=819

21. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>

22. СанПіН 2.2.4.1294-03 «Фізичні фактори виробничого середовища. Гігієнічні вимоги до аероіонного складу повітря виробничих і громадських приміщень» - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.ionization.ru/issue/iss5.htm>

23. СанПіН 2.2.4.1191-03 «Електромагнітні поля у виробничих умовах» - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.vrednost.ru/2241191-03.php>

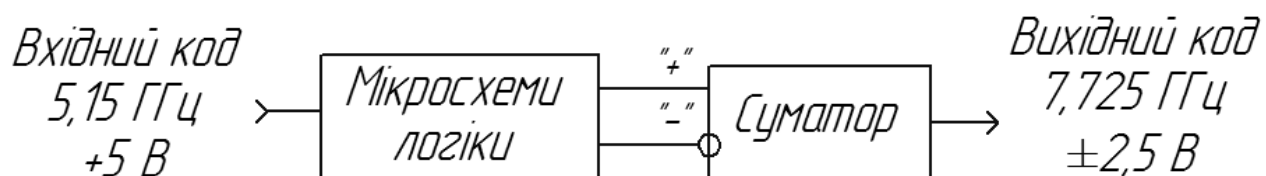
24. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ РЕАЛІЗАЦІЙ ЛІНІЙНИХ
КОДЕРІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

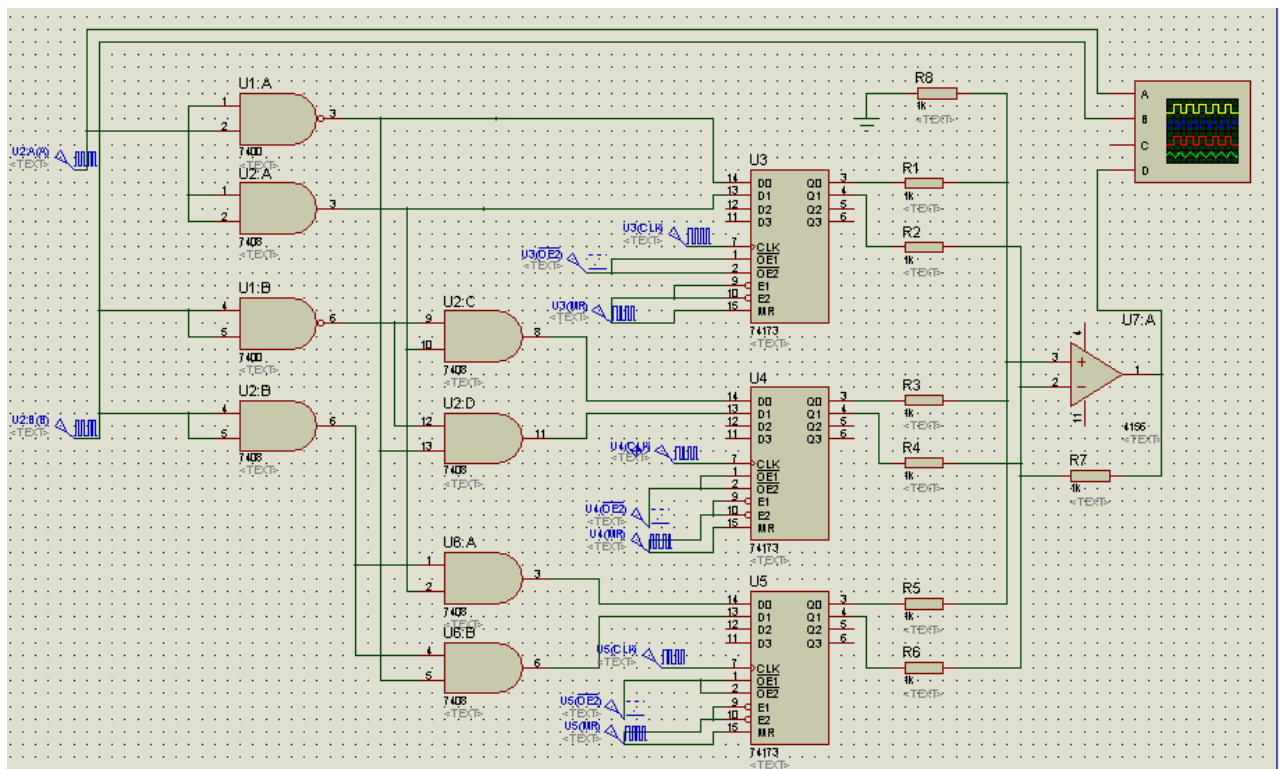
назва бакалаврської дипломної роботи



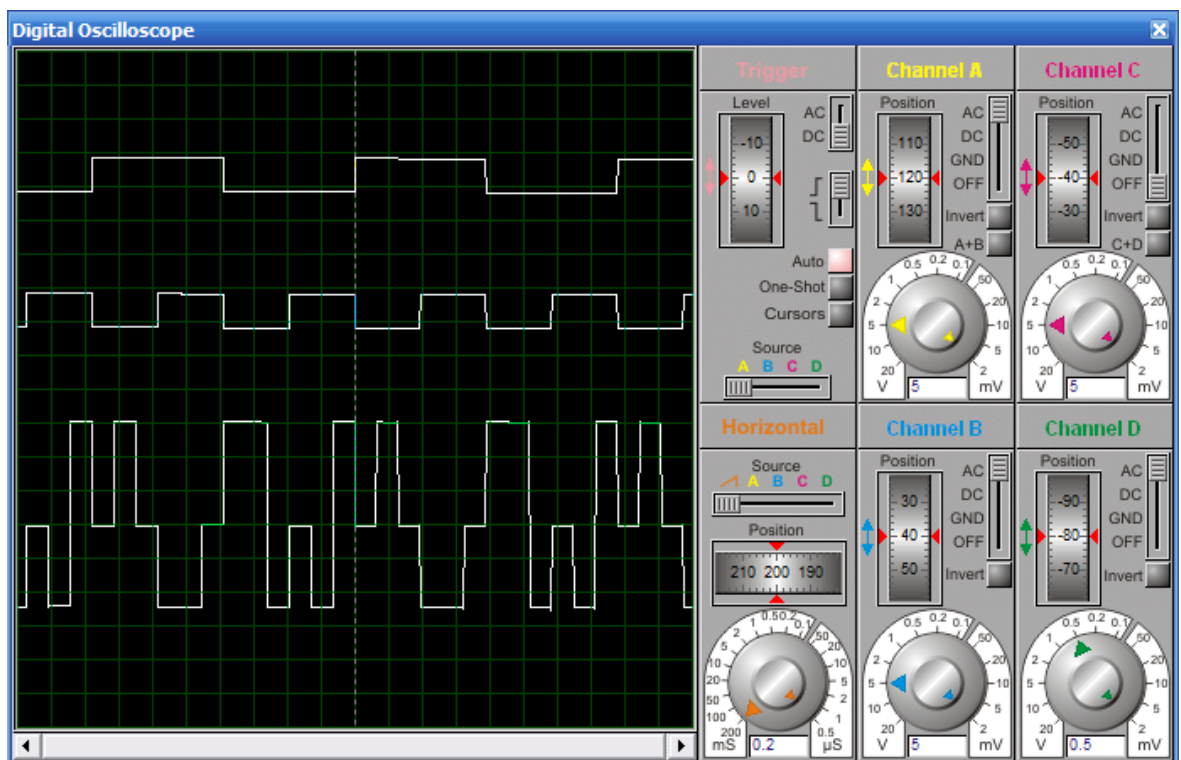
Лінійний кодер 2В3Т

Відповідність імпульсів входу та виходу для 2В3Т-коду

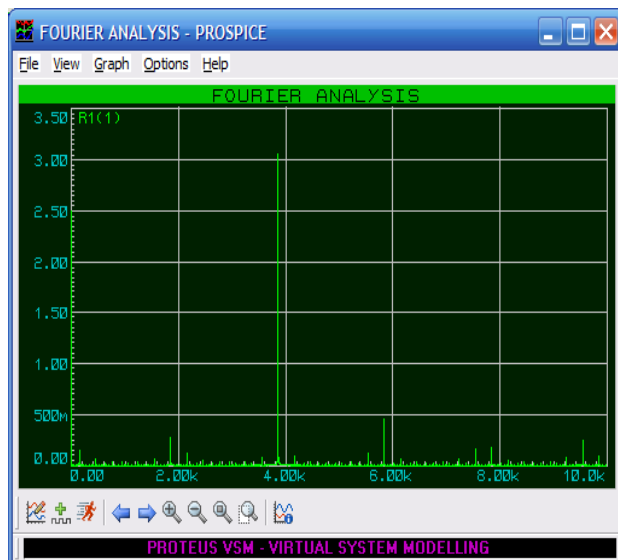
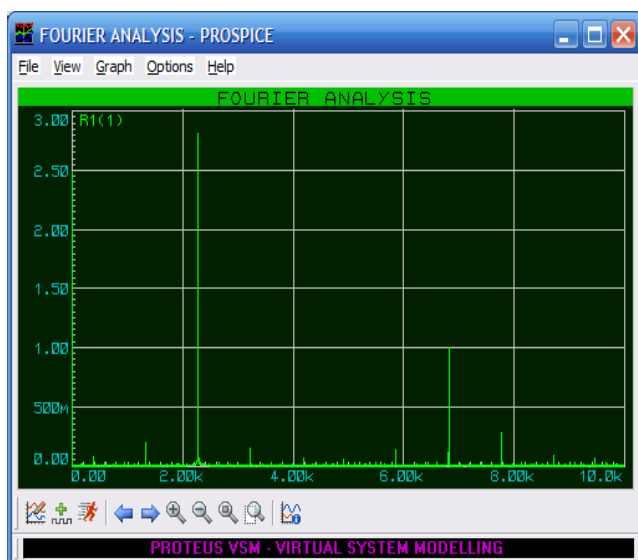
Символи вхідного двійкового коду		Символи 2В3Т-коду		
X1	X2	Y1	Y2	Y3
0	0	+	-	0
0	1	-	+	0
1	0	+	0	-
1	1	-	0	+



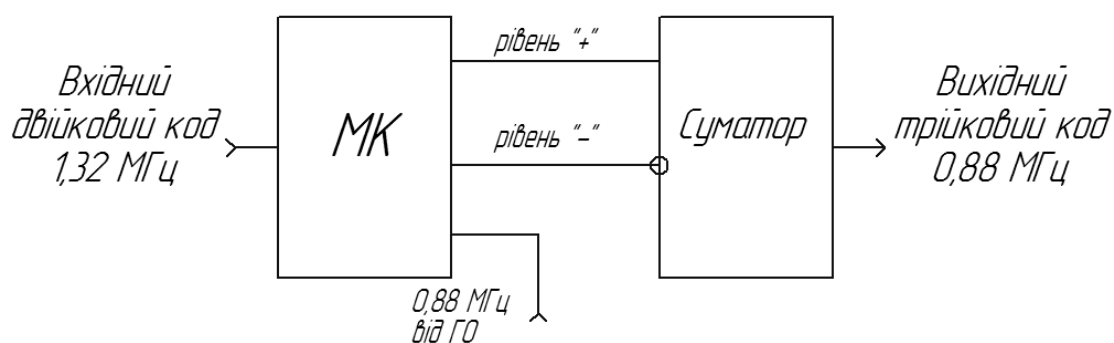
Моделювальна схема лінійного 2B3T-кодера



Осцилограми вхідних та вихідних сигналів 2B3T-кодера



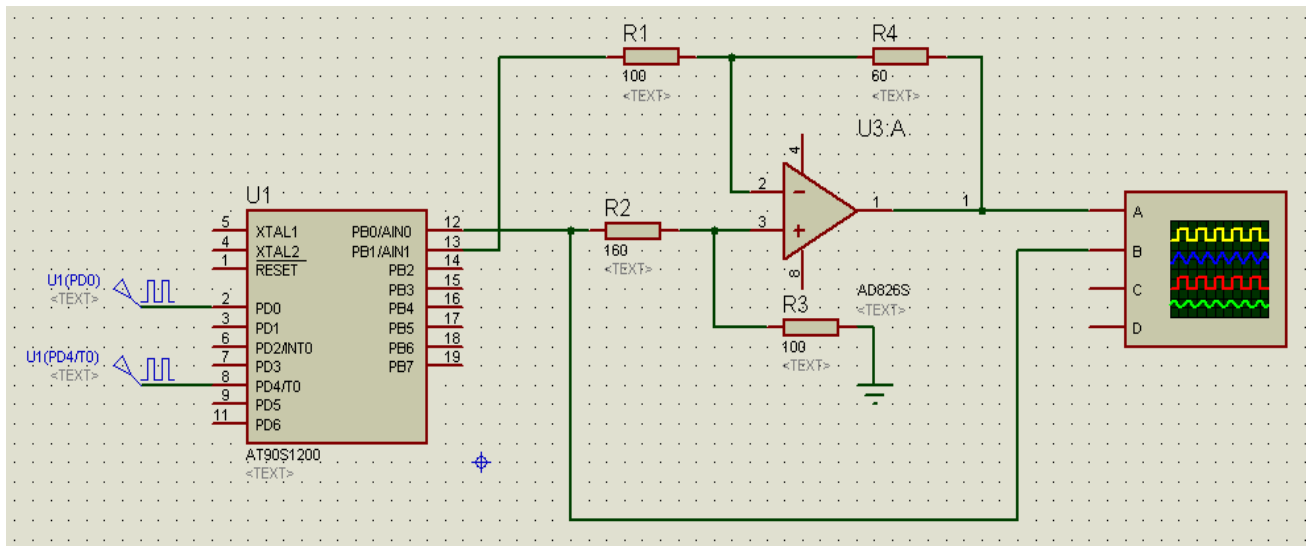
Вікна аналізатора спектра вхідного та вихідного сигналів 2B3T-кодера



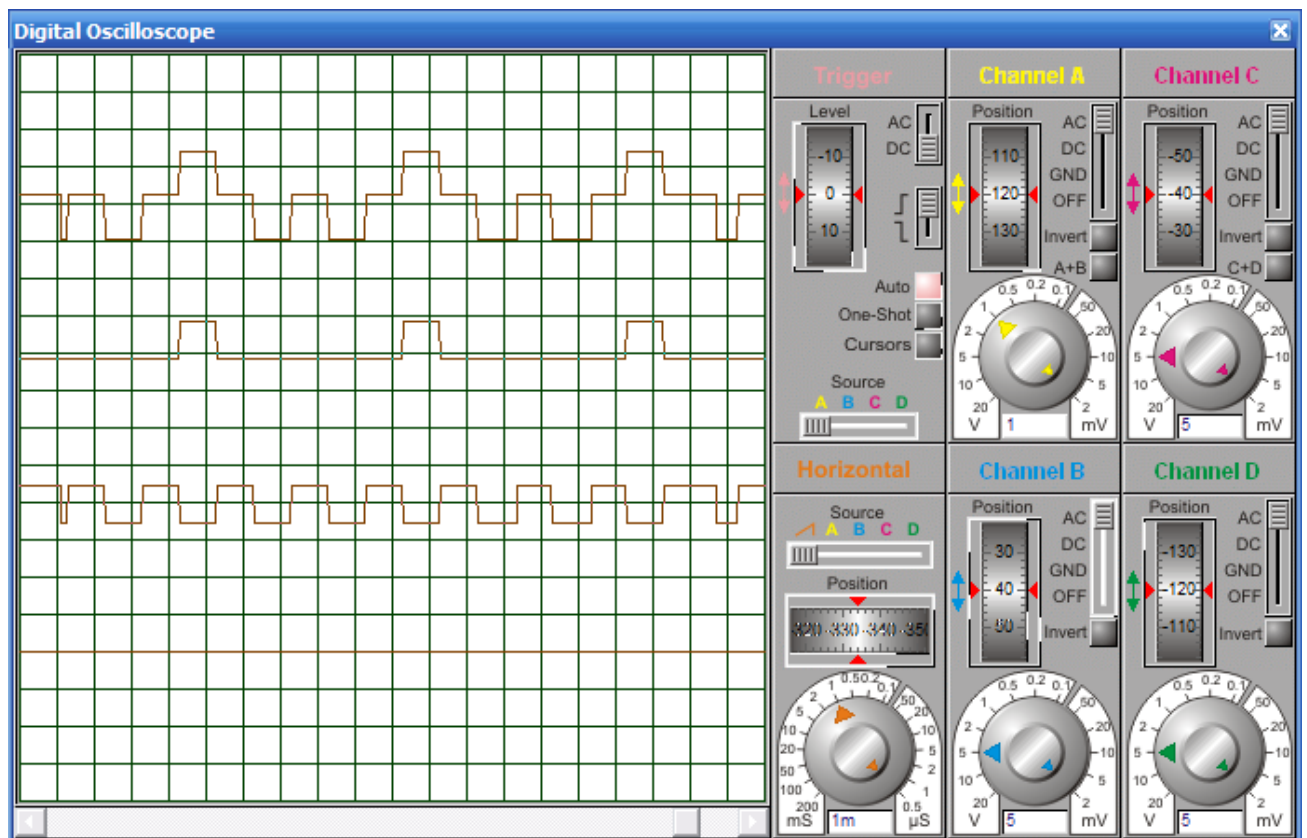
Лінійний 3В2Т-кодер



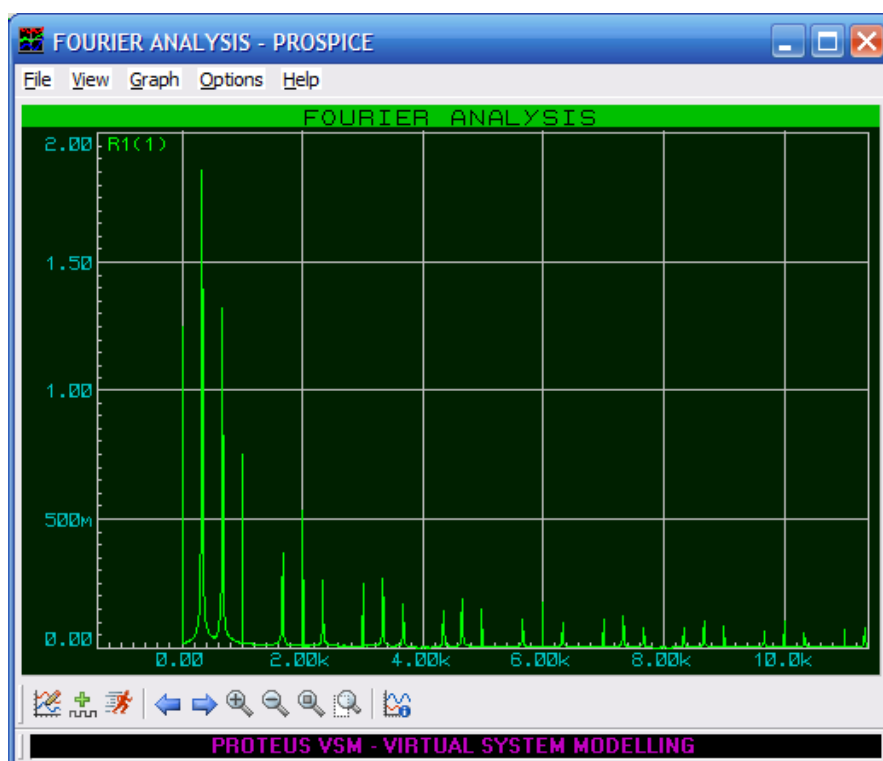
Блок-схема алгоритму роботи лінійного 3В2Т-кодера



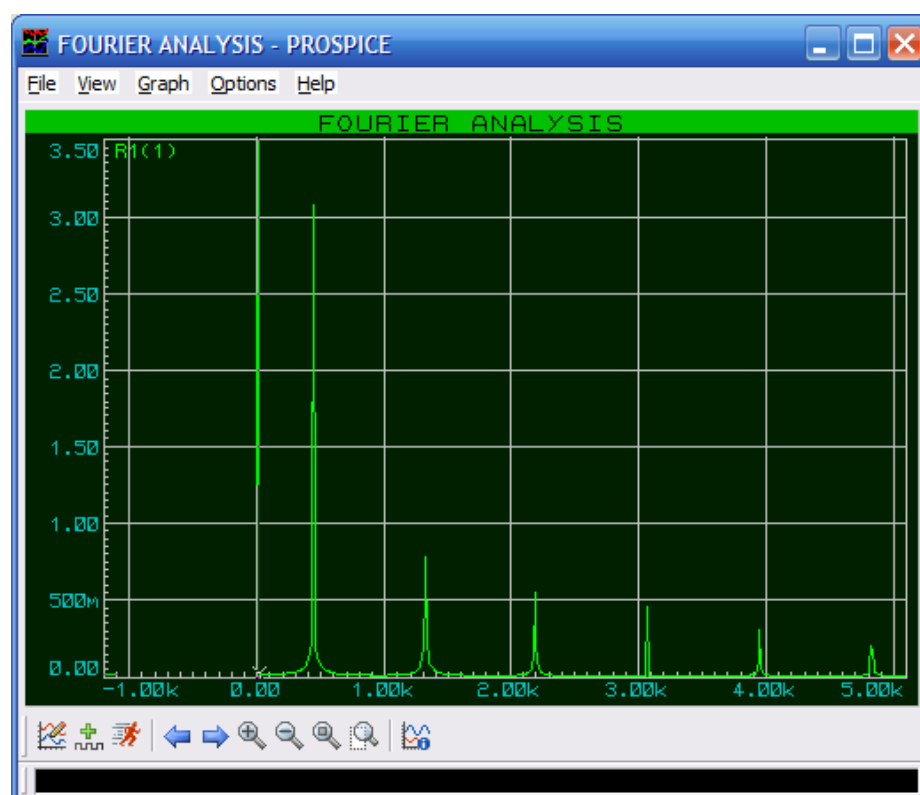
Моделювальна схема роботи лінійного 3В2Т-кодера



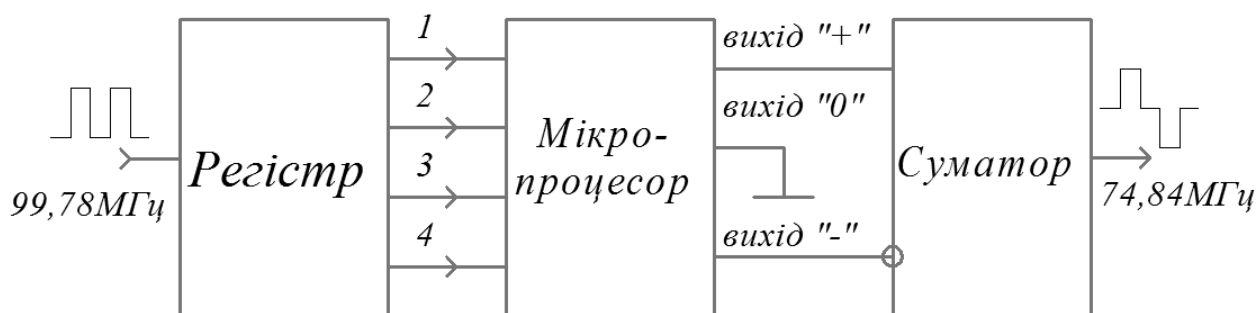
Осцилограми вхідних імпульсних сигналів та вихідного 3-рівневого сигналу



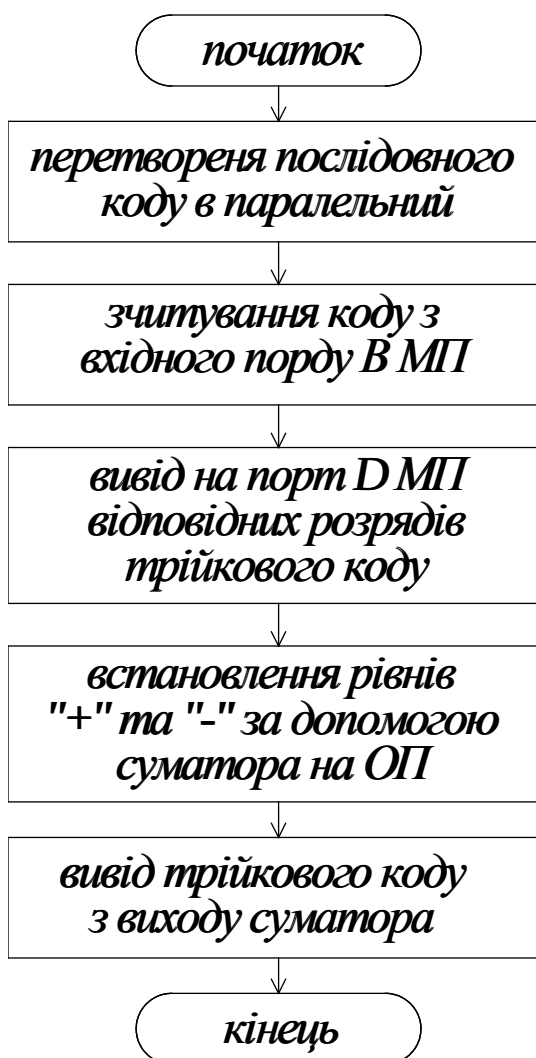
Частотний спектр вхідної послідовності імпульсів



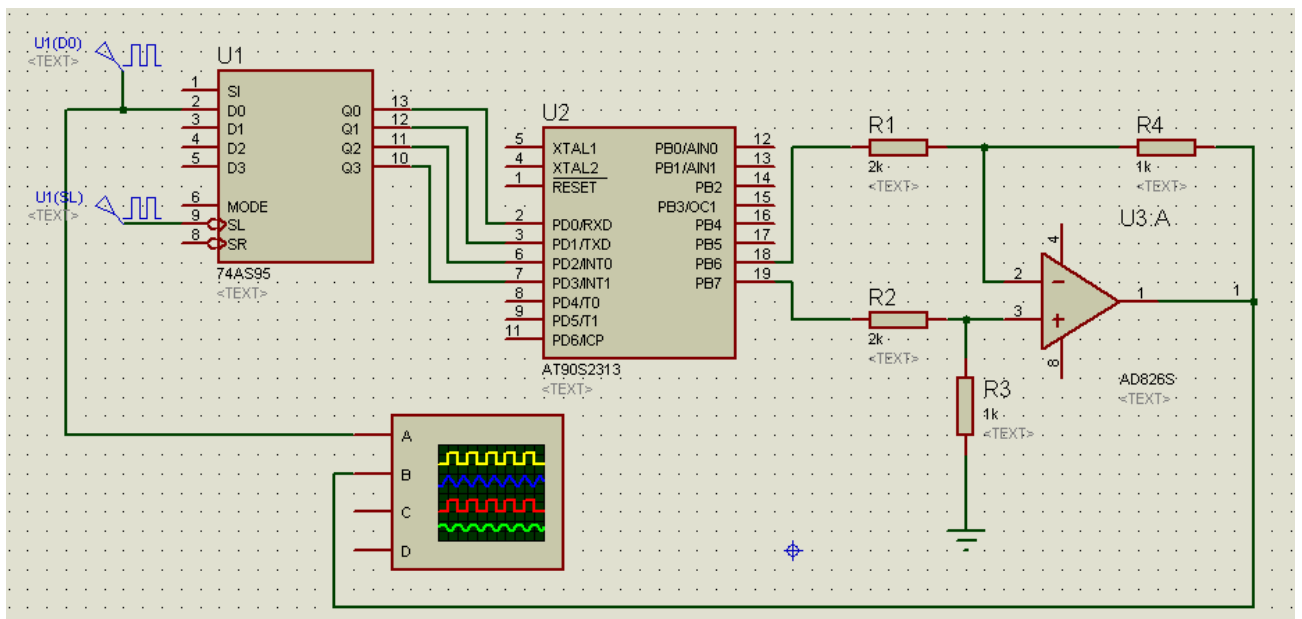
Частотний спектр вихідної послідовності імпульсів



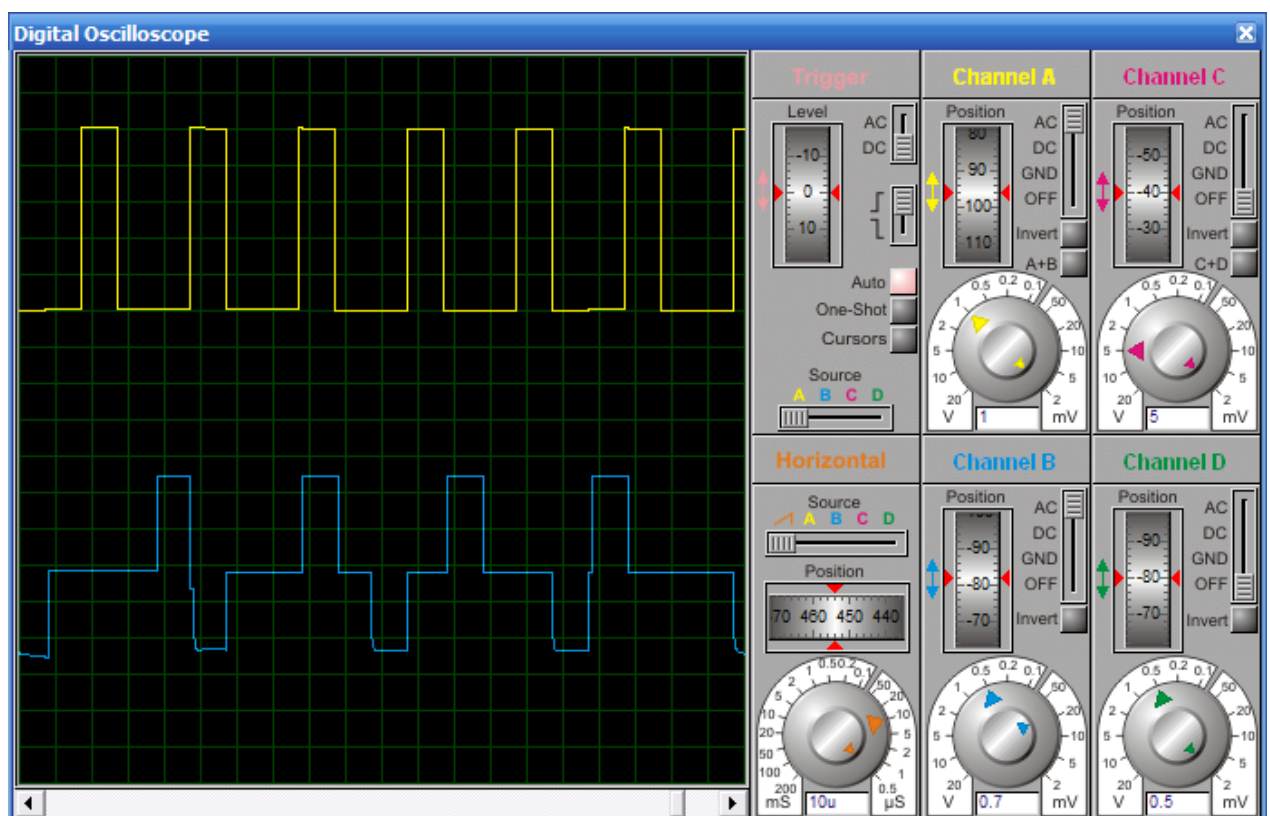
Лінійний 4В3Т-кодер



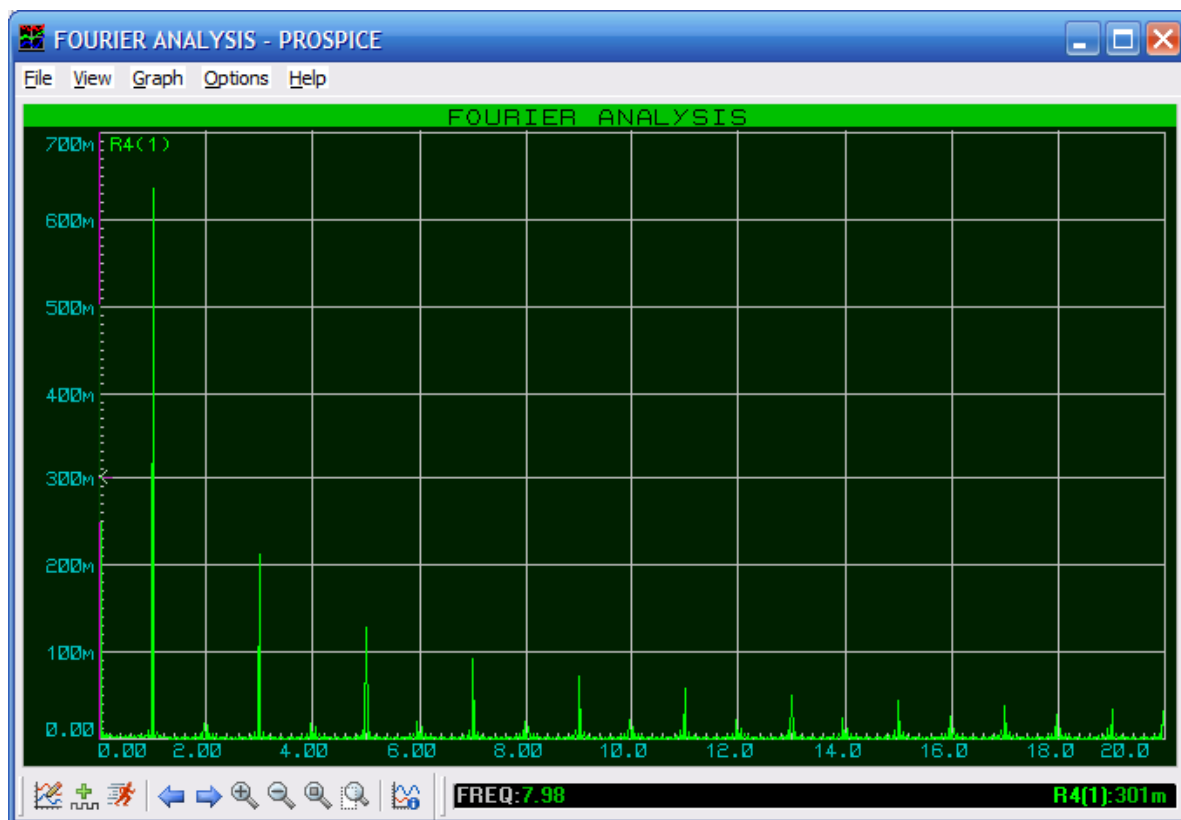
Блок-схема алгоритму роботи лінійного 4В3Т-кодера



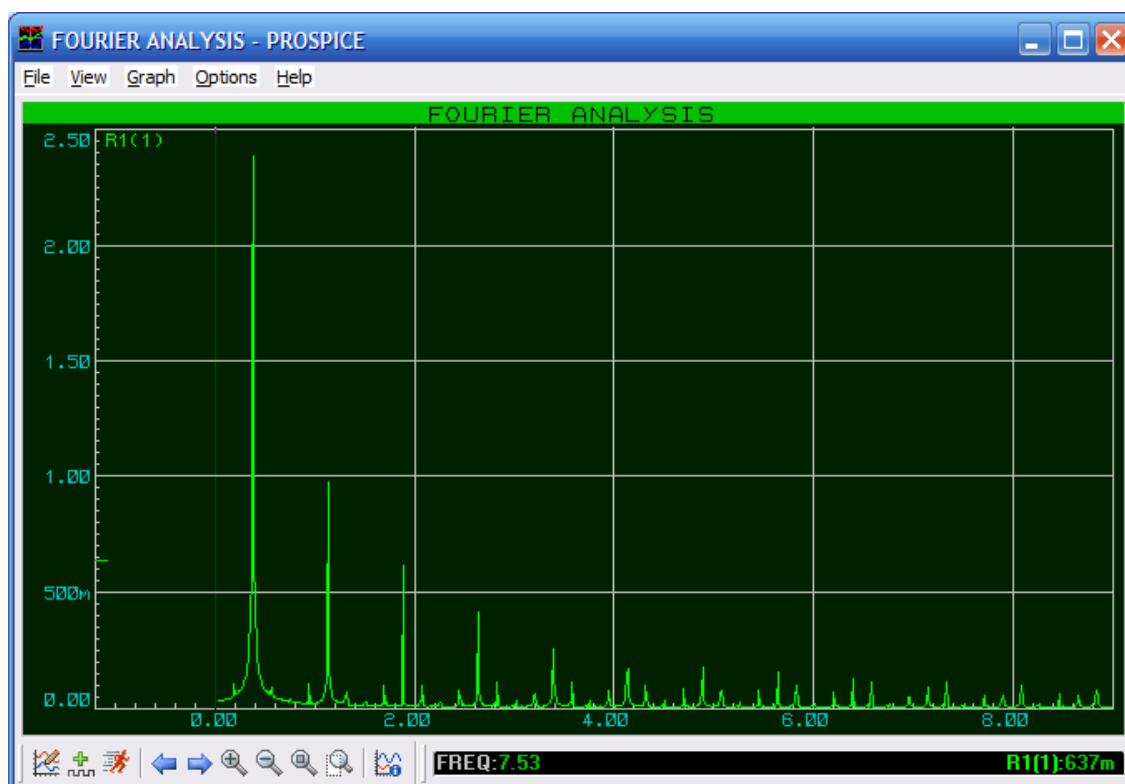
Моделювальна схема лінійного 4ВЗТ-кодера



Осцилограма вхідних і вихідних імпульсних сигналів



Частотний спектр вхідної послідовності імпульсів



Частотний спектр вихідної послідовності імпульсів

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

Назва роботи: Дослідження програмно-апаратних реалізацій лінійних кодерів телекомунікаційних систем

Тип роботи: Бакалаврська дипломна робота
(БДР, МКР)

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

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 90,5 % Схожість 9,5 %

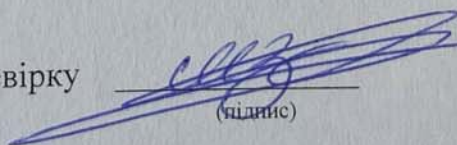
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

☒ 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.

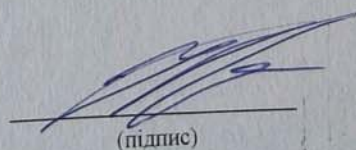
Особа відповідальна за перевірку


(підпис)

Васильківський М.В.
(прізвище, ініціали)

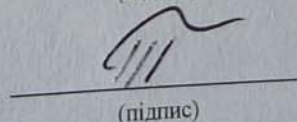
Ознайомлені з повним звітом, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Переверзєв І.А.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Тромсюк В.Д.
(прізвище, ініціали)