

**Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Тернопільський національний економічний університет  
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії**

До захисту допущено  
Завідувач кафедри  
комп'ютерної інженерії  
к.т.н., доц. О.М.Березький

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ**

освітньо-кваліфікаційного рівня "Спеціаліст"  
зі спеціальність 7.05010201 "Комп'ютерні системи та мережі"  
на тему:

**СИСТЕМА ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ З  
РОЗПОДІЛЕНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ  
КВАЗІТРІЙКОВОЇ – ФАЗОВОЇ МАНІПУЛЯЦІЇ**

Студент групи  
КСМзс-51 \_\_\_\_\_ Сілецький А.Р.  
(підпис)

Керівник:  
к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Яцків Н. Г.  
(підпис)

Нормоконтроль  
к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Васильків Н.М.  
(підпис)

Консультант  
з охорони праці  
доцент \_\_\_\_\_ Сапожник Г.В.  
(підпис)

2012

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Тернопільський національний економічний університет  
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії  
спеціальність 7.05010201 – “Комп'ютерні системи та мережі”

“Затверджую”  
завідувач кафедри  
комп'ютерної інженерії  
к.т.н., доц. О.М.Березький

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТА  
СІЛЕЦЬКОГО АНДРІЯ РОМАНОВИЧА**

1. Тема проекту "Система передавання даних з розподілених об'єктів на основі квазітрійкової – фазової маніпуляції"

затверджена наказом університету № \_\_\_\_ від “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

2. Термін задачі студентом закінченого проекту \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані для проекту: див. технічне завдання.

**4. Перелік задач, які мають бути вирішені:**

- провести аналіз методів модуляції в системах передавання даних;
- дослідити методи маніпуляції на основі модифікованих сигнальних просторі;
- вибрати метод маніпуляції даних;
- розробити структуру апаратної частини системи;
- розробити функціональні блоки системи передавання даних;
- виконати тестування апаратних блоків системи.

**5. Перелік графічного матеріалу (з точним вказанням обов'язкових креслень)**

1. Система передавання даних. Схема структурна.
2. Квазітрійковий фазовий модулятор. Схема структурна.
3. Квазітрійковий кодер. Схема функціональна.
4. Демодулятор квазітрійкових сигналів. Схема функціональна.

**6. Консультанти по проекту із зазначенням розділів:**

Розділ	Консультант	Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Сапожник Г.В.		

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів дипломного проекту	Позначки керівника про виконання завдань
1	Стан проблемної області	10.11 – 12.11	
2	Дослідження ефективності кодування даних на фізичному рівні	12.11 – 02.12	
3	Розробка функціональних блоків системи передавання даних.	03.12 – 04.12	
4	Охорона праці	04.12 – 05.12	

Студент \_\_\_\_\_

Керівник дипломного проекту \_\_\_\_\_

## **Технічне завдання**

### **1. НАЙМЕНУВАННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ**

- 1.1. Система передавання даних з розподілених об'єктів на основі квазітрійкової – фазової маніпуляції.
- 1.2. Область застосування – системи екологічного моніторингу.

### **2. ОСНОВА ДЛЯ РОЗРОБКИ**

Основою для розробки є завдання на дипломний проект, затверджене кафедрою комп'ютерної інженерії факультету комп'ютерних інформаційних технологій Тернопільського національного економічного університету.

### **3. ПРИЗНАЧЕННЯ РОЗРОБКИ**

Метою дипломного проекту є розробка системи передавання даних з розподілених об'єктів для яких характерний високий рівень електромагнітних завад

### **4. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ**

Джерелами даної розробки є матеріали навчальної і реферативної літератури, технічна документація, науково-дослідні роботи, журнали.

### **5. ЗАДАЧІ РОЗРОБКИ**

- 5.1 Аналіз методів модуляції та маніпуляції сигналів системах передавання даних.
- 5.2 Теоретичний аналіз модифікованих сигнальних просторів на методів модуляції на їх основі.
- 5.3 Вибір та обґрунтування структури системи передавання даних.
- 5.4 Аналіз та уточнення вимог технічного завдання з точки зору обраних методів та засобів розробки.
- 5.5 Проектування, реалізація та тестування структурних модулів системи.
- 5.6 Тестування системи передавання даних на основі квазітрійкової – фазової маніпуляції.

### **6. ВИМОГИ ДО АПАРАТНОЇ СИСТЕМИ**

- 6.1. Вимоги до структури і функцій
  - 6.1.1 Тип каналу зв'язку – дуплексний;
  - 6.1.2 Передача даних в реальному часі.
- 6.2. Вимоги до апаратної сумісності
  - 6.2.1 Тип каналу: безпроводний; частота: 2.4 ГГц.
  - 6.2.2 Швидкість передачі – 115,2 Кбіт/с.

6.2.2 Живлення 5 В.

6.3. Вимоги до надійності

6.3.1 Середній час безвідмовної роботи повинен складати не менше 100000 годин.

6.3.2 Пристрій повинен бути ремонтпридатним.

6.5. Умови експлуатації

6.5.1 По захищеності від проникнення води і пилу складові частини повинні відповідати умовам зберігання та експлуатації цифрових пристроїв:

- температуру повітря в межах від - 18°C до +26°C;
- відносну вологість повітря при 25°C в межах від 45% до 75%;
- атмосферний тиск  $760 \pm 25$  мм рт. ст.

## **7. ВИМОГИ ОХОРОНИ ПРАЦІ**

В розділі “Охорона праці” дипломного проекту повинен бути даний аналіз умов праці розробника апаратних засобів в лабораторії.

## **8. ПОРЯДОК КОНТРОЛЮ І ПРИЙМАННЯ**

8.1 Представлення дипломного проекту на попередній захист.

8.2 Представлення дипломного проекту на захист.

## ЗМІСТ

Вступ	11
1 Аналіз методів модуляції в системах передавання даних	13
1.1 Функції та сфери застосування систем передавання даних	13
1.2 Теоретичний аналіз методів модуляції сигналів	17
1.3 Технології асинхронного зв'язку	22
1.4 Постановка задачі	30
2 Дослідження ефективності методів модуляції даних	31
2.1 Завадостійкі методи модуляції цифрових сигналів	31
2.2 Оцінка ефективності модифікованих сигнальних просторів	43
2.3 Розробка методу маніпуляції даних на основі розширення ансамблів сигналів	51
2.4 Розробка загальної структури системи передавання даних	56
3 Розробка функціональних блоків системи передавання даних	60
3.1 Розробка структурної схеми модулятора	60
3.2 Розробка структури кодера та декодера	61
3.3 Розробка формувача трифазних сигналів	64
4 Охорона праці	68
Висновки	81
Список використаних джерел	82
Додаток А Система передавання даних. Схема структурна	85
Додаток Б. Квазітрійковий фазовий модулятор. Схема структурна	86
Додаток В. Квазітрійковий кодер. Схема функціональна	87
Додаток Г. Демодулятор квазітрійкових сигналів. Схема функціональна	88
Додаток Д Довідка про використання	92

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

СПД –	система передавання даних
АФМ –	амплітудно-фазова маніпуляція
АЧМ –	амплітудно-частотна маніпуляція
АТМ –	амплітудно-тривалісна маніпуляція
ФЧМ –	фазо-частотна маніпуляція
К –	комутатор
АЦП –	аналогово - цифровий перетворювач
ОУ –	об'єкт управління
Д –	давач
ОС –	обчислювальна система
ЛОМ –	локальна обчислювальна мережа
КНМ –	контролер низової мережі
НОМ –	низова обчислювальна мережа
РОМ –	регіональна обчислювальна мережа
ГОМ –	глобальна обчислювальна мережа
HDSL –	High data rate Digital Subscriber Line
VDSL –	Very high data rate Digital Subscriber Line
ADSL –	Asymmetric Digital Subscriber Line
ISDN –	Integrated Services Digital Network
КАМ	квадратурною амплітудною модуляцією

## ВСТУП

Водночас із високими темпами розвитку засобів обчислювальної техніки та їх програмно-математичного забезпечення найбільш гостро відчувається відставання розвитку і впровадження систем передавання даних (СПД), що сформовані на межі вимірjuвальної, інформаційної та обчислювальної техніки.

Особливе значення має розроблення і впровадження СПД для розподілених об'єктів, різних галузей народного господарства. Розподіленість промислових об'єктів ставить завдання ефективної реалізації каналів зв'язку, передавання повідомлень і організації роботи СПД в умовах інтенсивних промислових завод [1].

Широке використання і добре відпрацьовані рішення для організації зв'язку на основі мідних та волоконно-оптичних ліній не завжди зручні, головним чином із-за великих затрат засобів і часу на прокладання нових комунікацій. Старі комунікації вже не справляються з об'ємами інформації, яку необхідно передавати. В даний час для безпроводного обміну інформацією використовуються радіо модеми, радіорелейні лінії, мікрохвильові цифрові передавачі. Однак ефір перенасичений і одержати дозвіл на використання радіобладнання не просто, а інколи і неможливо.

Перспективним напрямом розв'язання даної проблеми є орієнтація на безпроводний комп'ютерний зв'язок на основі радіосистем з шумоподібними сигналами та лазерних активних ретрансляторів. Важливу роль при цьому відіграє вибір ефективної інформаційної технології [2].

Вдосконалення сучасної інформаційної технології і формування великих баз даних стимулюють розвиток засобів зв'язку, які б забезпечували високу швидкість і надійність передавання інформації [1-3].

В сучасних системах передавання даних перевагу віддають цифровим методам обробки і передавання інформації. Цифрові системи в порівнянні з аналоговими мають ряд істотних переваг при обробці, запам'ятовуванні і



передаванні сигналів. Представлення інформації в цифровій формі забезпечує високу надійність, можливість більш повного використання пропускної здатності каналів, стабільність параметрів передавання і гнучкість при розробці систем зв'язку.

Фундаментальні фізичні відкриття в області генерування індукційного висококогерентного електромагнітного випромінювання привели до появи квантової електроніки, і стали основою для дослідження високоінформативних оптичних каналів зв'язку.

Вже на даному етапі розвитку лазерної техніки, системи зв'язку оптичного діапазону можуть замінити або ефективно доповнювати звичайні радіосистеми.

# 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОДУЛЯЦІЇ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ

## 1.1 Функції та сфери застосування систем передавання даних

Під системами передавання даних розуміють системи цілеспрямованого розподілу кодованої інформації. З огляду на найбільш розповсюджену технічну реалізацію систем передачі даних об'єднання в комп'ютерні мережі автономних електронно - обчислювальних машин під системами передачі даних розуміють, як правило, обчислювальні мережі різного масштабу.

На сьогоднішній день немає загальновизнаної класифікації систем передачі даних. Як принцип класифікації найчастіше використовують два фактори: технологію передачі і масштаб.

Існують два основних типи технологій передачі, що використовуються в системах передачі даних:

- віщання (від одного до багатьох);
- точка-точка.

Системи типу віщання мають єдиний канал передачі даних, що використовують усі вузли мережі. Коротке повідомлення, так званий пакет, що має спеціальну структуру, відправлене якимось вузлом, одержують всі інші вузли мережі. У визначеному полі пакета зазначена адреса одержувача. Кожна машина перевіряє це поле і якщо вона виявляє в цьому полі свою адресу, вона приступає до обробки цього пакета; якщо в цьому полі не її адреса, то вона просто ігнорує цей пакет. Системи типу віщання, як правило, мають режим коли один пакет передається всім вузлам системи. Це, так званий, режим широкого віщання. Є в таких системах режим групового віщання - той самий пакет одержують машини приналежні до визначеної групи в мережі.

Системи точка-точка з'єднують кожну пару вузлів індивідуальними каналом. Тому перш ніж пакет досягне адресата він проходить через кілька

проміжних вузлів. У цих мережах виникає потреба в маршрутизації. Від її ефективності залежить швидкість доставки повідомлень, розподіл навантаження в системі.

Системи типу віщання як правило використовуються на географічно невеликих територіях. Система точка-точка – для побудови великих мереж, що охоплюють великі регіони.

Масштаб системи - інший критерій для класифікації.

За масштабом виділяють наступні типи:

- потокова машина (плата);
- багатомашинний комплекс (система);
- локальна мережа (кімната, будинок, комплекс);
- районна мережа (місто);
- регіональна мережа (країна, континент);
- Internet (планета).

З метою уникнення складнощів система, як правило, організована у вигляді ієрархії чи шаблів рівнів. У різних мережах число рівнів, їхня назва, зміст і функції можуть бути різними.

Однак, у всіх системах призначення кожного рівня полягає в тому щоб:

- забезпечити визначений сервіс верхнім рівням;
- ізолювати ці верхні рівні від деталей реалізації сервісу на рівні.

Рівень  $n$  на одній машині забезпечує зв'язок з рівнем  $n$  на іншій машині. Правила й угоди по встановленню зв'язку і його підтримці називаються протоколом.

Рівень  $n$  безпосередньо з рівнем  $n-1$  не взаємодіє. Він передає дані нижньому рівню.

### 1.1.2 Сфери застосування систем передавання даних

1. При контролі об'єктів управління (рисунок 1.8) [6].

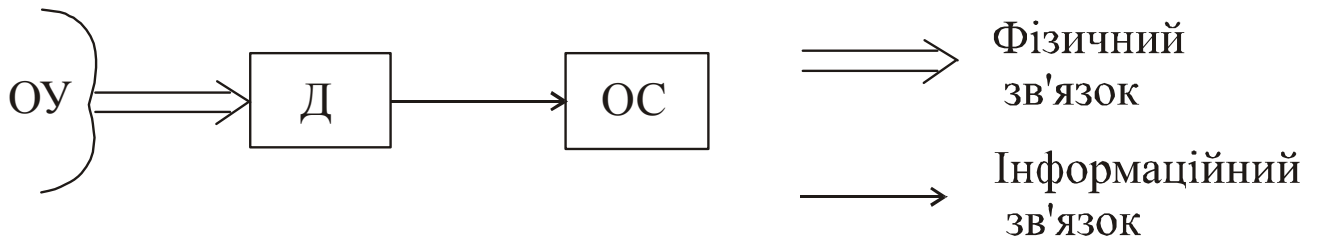


Рисунок 1.8 – Контроль об'єктів управління: ОУ – об'єкт управління; Д – давач; ОС – обчислювальна система.

2. При зборі вимірювальної інформації (рисунок 1.9).

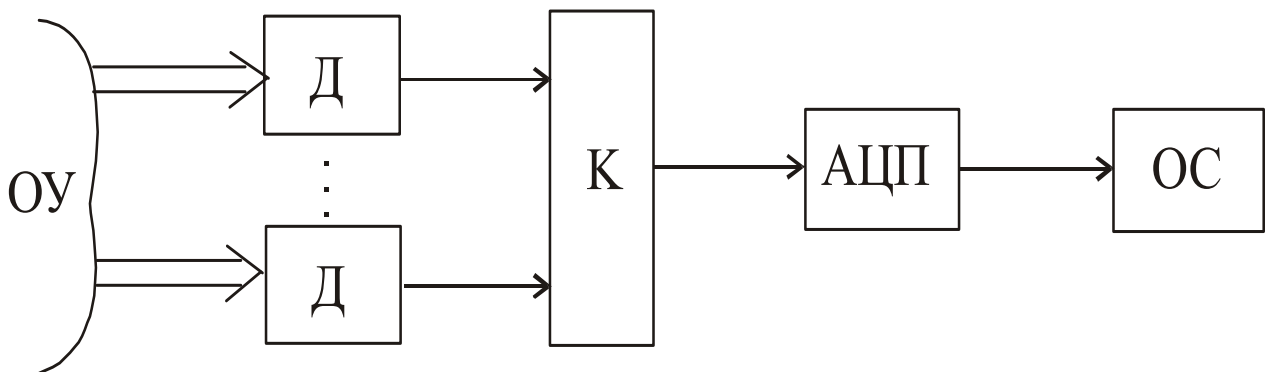


Рисунок 1.9 – Збір вимірювальної інформації: К – комутатор, АЦП – аналогово цифровий перетворювач.

3. При організації низових обчислювальних мереж (рисунок 1.10).

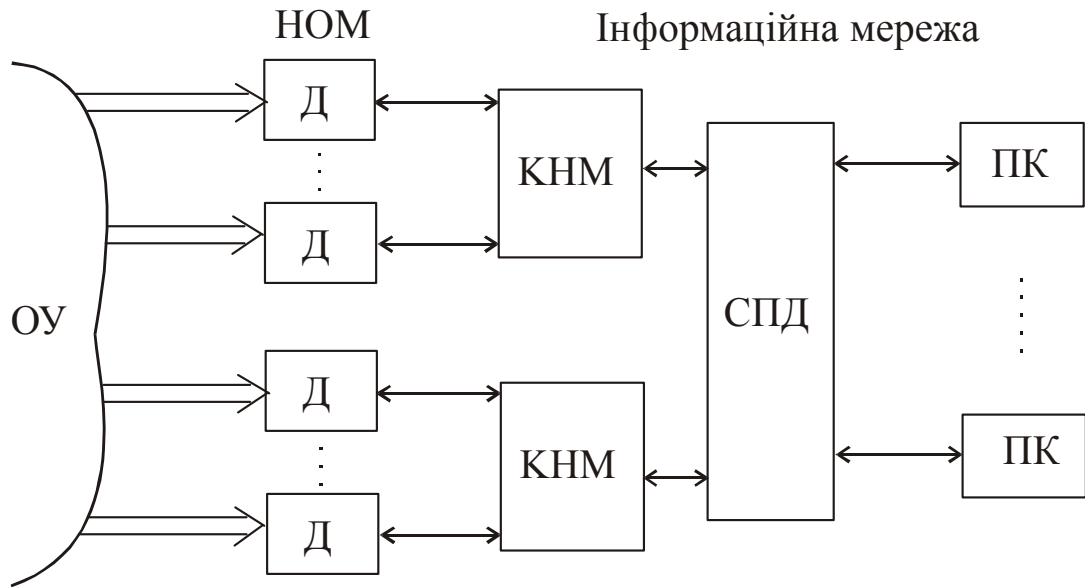


Рисунок 1.10 – Низова обчислювальна мережа: КНМ – контролер низової мережі; НОМ – низова обчислювальна мережа.

4. При управлінні об'єктами в реальному масштабі часу (рисунок 1.11).

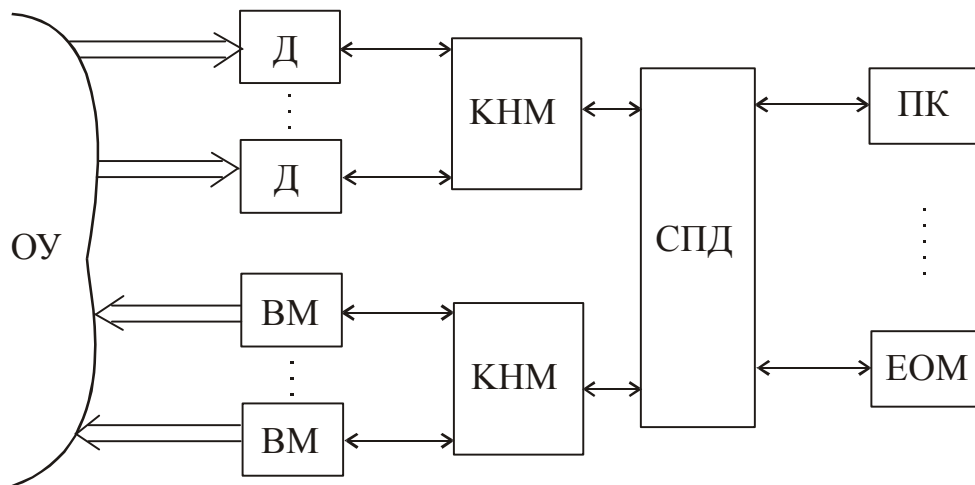


Рисунок 1.11 – Управління об'єктами в реальному часі: ВМ – виконавчий механізм; ЕОМ – спеціалізовані керуючі обчислювальні машини.

5. При організації локальних та глобальних мереж (рисунок 1.12).

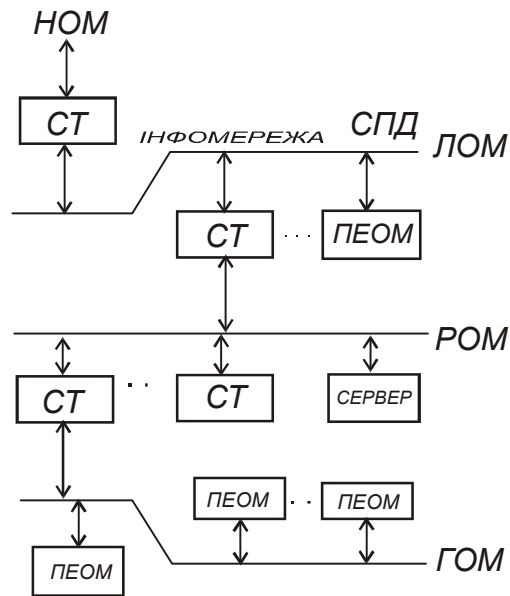


Рисунок 1.12 – Організація локальних та глобальних комп'ютерних мереж:

ЛОМ – локальна обчислювальна мережа; НОМ – низова обчислювальна мережа; РОМ – регіональна обчислювальна мережа; ГОМ – глобальна обчислювальна мережа.

### 1.2 Теоретичний аналіз методів модуляції сигналів

Методи фізичного представлення сигналів базуються на зміні системних характеристик джерела інформації (ДІ). В загальному випадку стан ДІ можна представити у вигляді функції [4]

$$S(t) = A \cdot \psi \cdot (\omega \cdot t + \varphi), \quad (1.1)$$

де  $A$  – амплітуда;  $\psi$  - базисна функція;  $\omega$  - частота в базисі  $\omega$ ;  $t$  – час;  $\varphi$  - фаза.

Ці 5 параметрів є основою реалізації методів фізичного представлення сигналів.

Базисна функція  $\psi$  може бути вибрана в наступних базисах [6]:

$$\psi = \cos (\text{ базис Фур'є });$$

$$\psi = \text{var} (\text{ базис Уолша });$$

$$\psi = \text{rad} (\text{ базис Радемахера });$$

$$\psi = \text{car} (\text{ базис Крейга });$$

$$\psi = \text{gal} (\text{ базис Галуа }).$$

Вибір базисної функції проводиться в залежності від вибраного критерію ефективності системи передавання даних. Базис Фур'є відображає власні функції механічних, електричних та інших систем. Власна функція – така функція, яка має мінімальний коефіцієнт затухання.

Енергію сигналу знаходимо за формулою [1]:

$$E(t) = \int_{t_1}^{t_2} [S(t)]^2 dt.$$

В базисі Фур'є енергія сигнального вікна використовується тільки на 50%, отже даний базис є енергетично неефективним.

Змінюючи параметри ( $A$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $t$ ) в рівнянні (1.1) одержимо методи фізичного представлення сигналів в лінії зв'язку.

Передавати дані низької частоти можна безпосередньо без використання носія високої частоти, тобто без маніпуляції. Однак методи маніпуляції розширюють можливості систем передавання даних:

а) збільшується кількість даних, які можуть бути передані по одній лінії зв'язку, шляхом використання частотного розділення сигналів і піднесучих частот;

б) підвищується достовірність даних, що передаються при використанні завадостійких методів маніпуляції;

в) збільшується ефективність випромінювання сигналу при передаванні даних (це пояснюється тим, що розмір антени повинен становити не менше  $1/10$  довжини хвилі сигналу випромінювання).

Методи фізичного представлення розглянуті в роботах Ю. П. Жураковського [2], В. Н. Тутевича [3], В. П. Шувалова [4], в яких подано їх математичний опис і графічне представлення.

В сучасних цифрових системах передавання даних (комп'ютерні мережі, волоконно-оптичні та оптичні лінії зв'язку) ефективно використовуються імпульсні і потенціальні методи кодування, методи КТ-1, RZ-P, DRZ-P, PE, NRZI, «Мілер», BIPHASE-M забезпечують символну синхронізацію.

Виходячи з формули “Границі Шеннона” і швидкості передавання даних по каналу зв'язку, отримаємо рівняння теоретичних можливостей методів маніпуляції сигналів [4]

$$\frac{C}{F_k} = \log_2 \left( 1 + \frac{P_0}{N_0} \right), \quad (1.2)$$

де  $C$  - швидкість передавання;  $F_k$  - смуга пропускання каналу зв'язку;  $P_0$  - потужність сигналу;  $N_0$  - рівень шумів в смузі частот сигналу.

На основі рівняння (1.2) можна побудувати характеристику ефективності методів маніпуляції по відношенню до “Границі Шеннона”.

В низових комп'ютерних мережах, де рівень завад перевищує рівень сигналу найбільш ефективним є використання ФМ і ШПС.

Методи кодування базуються на використанні сигнальних просторів розмірністю  $2^n$  та  $2^n + 1$  для КТ-1.



Застосування сигнальних просторів  $2^n$  приводить до значної надлишковості при формуванні флагів синхронізації. Тому перспективним є дослідження сигнальних просторів  $2^n + 1$ .

Теоретичний аналіз та оцінка ефективності модифікованих сигнальних просторів з врахуванням числа сигналів  $M$ , кодової віддалі  $d_{ij}$ , та енергії сигналів  $E_c$  приведено в наступному розділі.

### 1.2.1 Двовимірні методи маніпуляції

Двовимірні методи модуляції сигналів базуються на зміні двох ознак несучого сигналу [1]:

- амплітудно-фазова маніпуляція (АФМ);
- амплітудно-частотна маніпуляція (АЧМ);
- амплітудно-тривалісна маніпуляція (АТМ);
- фазо-частотна маніпуляція (ФЧМ).

Серед двовимірних методів модуляції найбільш поширена амплітудно-фазова маніпуляція.

При АФМ змінюється амплітуда і фаза несучого сигналу згідно таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри сигналу для АФМ

Код	$A, \varphi$
0 0	$A_0, \varphi = 0^\circ$
0 1	$A_0, \varphi = 180^\circ$
1 0	$A_1, \varphi = 0^\circ$
1 1	$A_1, \varphi = 180^\circ$

Діаграма АФМ приведена на рисунку 1.1. АФМ забезпечує швидкість передавання – 2 біти за період.

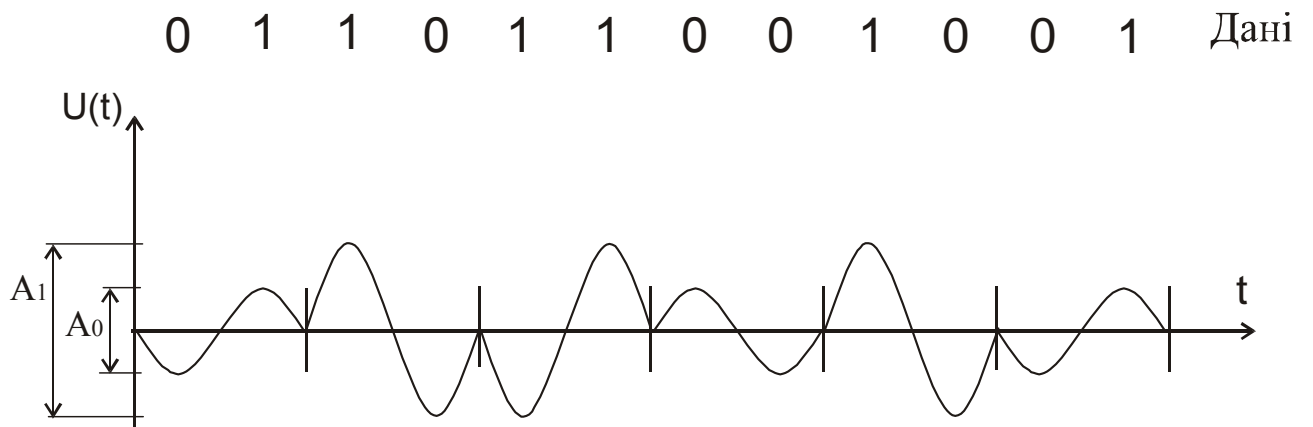


Рисунок 1.1 – Діаграма АФМ

Амплітудно-частотна маніпуляція. При АЧМ змінюється амплітуда і частота несучого сигналу згідно таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Параметри сигналу для АЧМ

Код	$A, f$
0 0	$A_0, f_0$
0 1	$A_0, f_1$
1 0	$A_1, f_0$
1 1	$A_1, f_1$

Діаграма АЧМ приведена на рисунку 1.2.

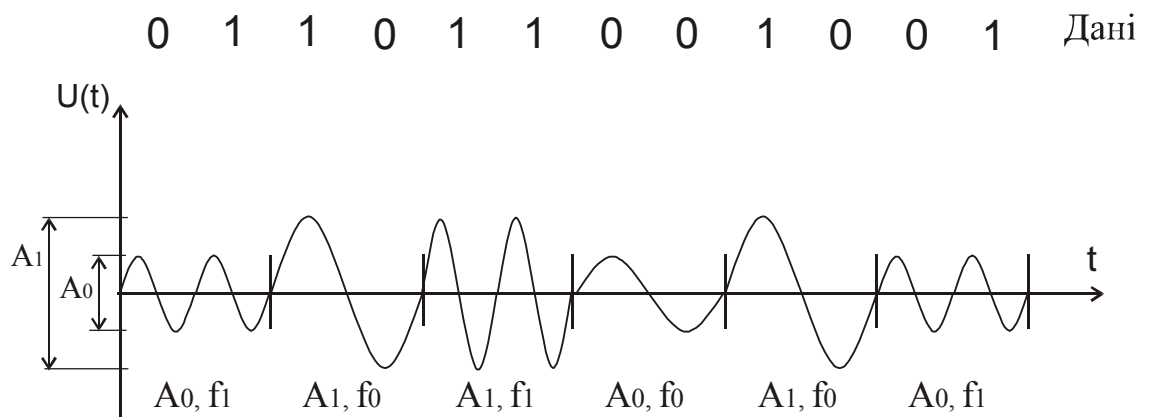


Рисунок 1.2 – Діаграма АЧМ

Фазо-частотна маніпуляція. При ФЧМ (рисунок 1.3) змінюється фаза і частота несучого сигналу згідно таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Параметри сигналу для ФЧМ

Код	$\varphi, f$
0 0	$\varphi_0, f_0$
0 1	$\varphi_0, f_1$
1 0	$\varphi_1, f_0$
1 1	$\varphi_1, f_1$

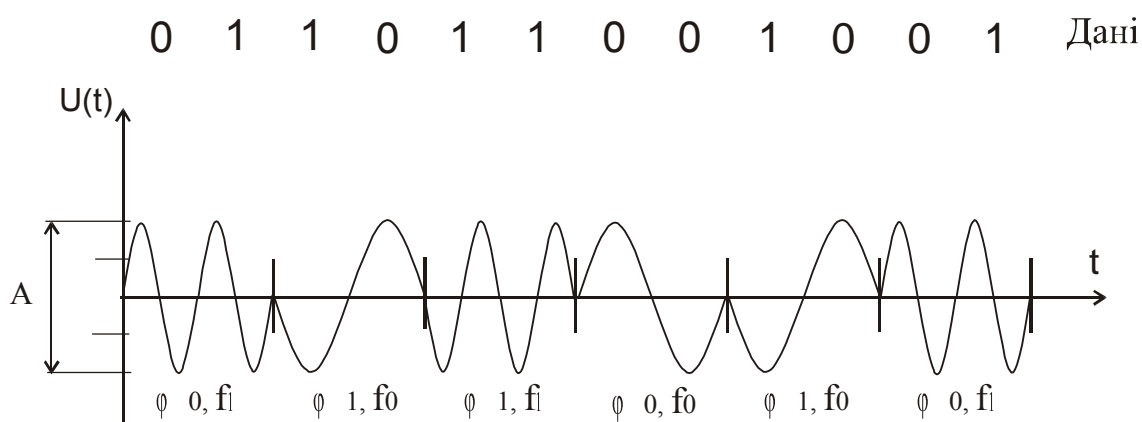


Рисунок 1.3 – Діаграма ФЧМ

Двовимірні методи модуляції забезпечують збільшення швидкості передавання даних в 2 рази.

### 1.3 Технології асинхронного зв'язку

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line - асиметрична цифрова абонентська лінія) входить до числа технологій високошвидкісної передачі даних, відомих як технології DSL (Digital Subscriber Line - цифрова абонентська лінія) і які мають загальне позначення xDSL. До інших технологій

DSL відносяться HDSL (High data rate Digital Subscriber Line - високошвидкісна цифрова абонентська лінія), VDSL (Very high data rate Digital Subscriber Line - надвисокошвидкісна цифрова абонентська лінія) та інші [1].

Загальна назва технологій DSL виникла в 1989 році, коли вперше з'явилася ідея використовувати аналого-цифрове перетворення на абонентському кінці лінії, що дозволило б удосконалити технологію передачі даних по витій парі мідних телефонних дротів. Технологія ADSL була розроблена для забезпечення високошвидкісного (можна навіть сказати мегабітного) доступу до інтерактивних відеослужб (відео за запитом, відеоігри і тому подібне) і не менш швидкої передачі даних (доступ в Інтернет, віддалений доступ до ЛВС і іншим мережам).

ADSL є технологією, що дозволяє перетворити виту пару телефонних дротів на тракт високошвидкісної передачі даних. Лінія ADSL сполучає два модеми ADSL, які підключені до кожного кінця витієї пари телефонного кабелю (рисунок 1.4). При цьому організуються три інформаційні канали - "низхідний" потік передачі даних, "висхідний" потік передачі даних і канал звичайного телефонного зв'язку (POTS) (рисунок 1.5). Канал телефонного зв'язку виділяється за допомогою фільтрів, що гарантує роботу вашого телефону навіть при аварії з'єднання ADSL.

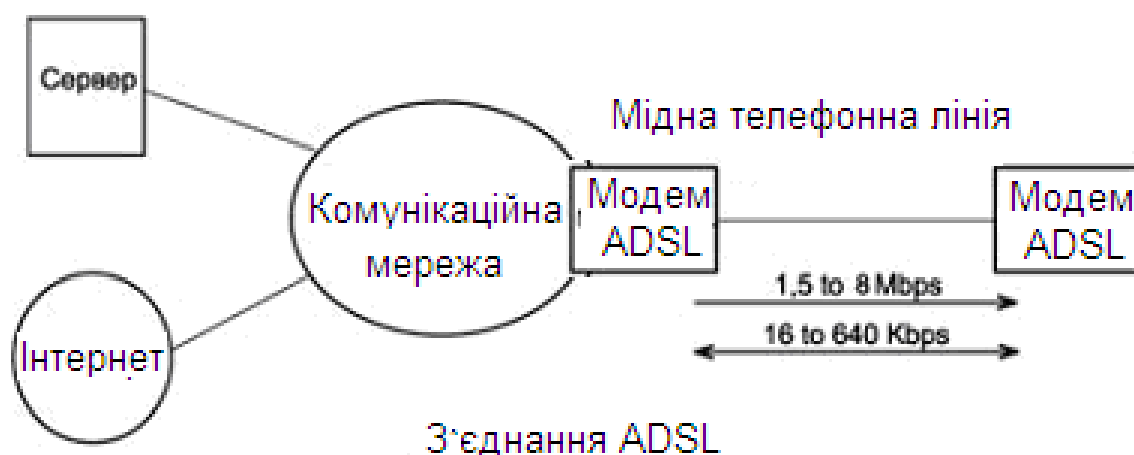


Рисунок 1.4 – Схема організації ADSL з'єднання

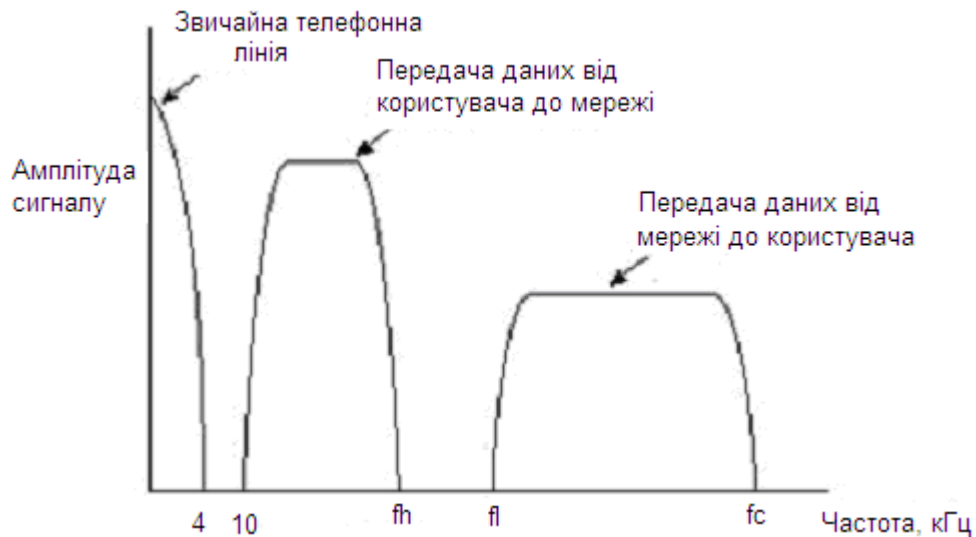


Рисунок 1.5 – Розподіл частот в ADSL

ADSL є асиметричною технологією - швидкість "низхідного" потоку даних (тобто тих даних, які передаються у бік кінцевого користувача) вища, ніж швидкість "висхідного" потоку даних (у свою чергу передаваного від користувача у бік мережі). Відразу ж слід сказати, що не слід шукати тут причину для занепокоєння. Швидкість передачі даних від користувача ("повільніший" напрям передачі даних) все одно значно вище, ніж при використанні аналогового модему. Фактично ж вона також значно вище, ніж ISDN (Integrated Services Digital Network - Інтегральна цифрова мережа зв'язку) [1].

Для стискування великого об'єму інформації, яка передається по витій парі телефонних дротів, в технології ADSL використовується цифрова обробка сигналу і спеціально створені алгоритми, вдосконалені аналогові фільтри і аналого-цифрові перетворювачі. Телефонні лінії великої протяжності можуть ослабити високочастотний сигнал, який передається (наприклад, на частоті 1 МГц, що є звичайною швидкістю передачі для ADSL) на величину до 90 дБ. Це заставляє аналогові системи модему ADSL працювати з чималим навантаженням, що дозволяє мати великий динамічний діапазон і низький рівень шумів. На перший погляд система ADSL досить проста - створюються канали високошвидкісної передачі даних по звичайному телефонному кабелю.

Але, якщо детально розібратися в роботі ADSL, можна зрозуміти, що дана система відноситься до досягнень сучасної технології.

Технологія ADSL використовує метод розділення смуги пропускання мідної телефонної лінії на декілька частотних смуг. Це дозволяє одночасно передавати декілька сигналів по одній лінії. Такий самий принцип лежить в основі кабельного телебачення, коли кожен користувач має спеціальний перетворювач, що декодує сигнал і що дозволяє бачити на екрані телевізора футбольний матч або художній фільм. При використанні ADSL різні несучі одночасно переносять різні частини даних, що передаються. Цей процес відомий як частотне ущільнення лінії зв'язку (Frequency Division Multiplexing - FDM) (рисунок 1.6). При FDM один діапазон виділяється для передачі "висхідного" потоку даних, а інший діапазон для "низхідного" потоку даних. Діапазон "низхідного" потоку у свою чергу ділиться на один або декілька високошвидкісних каналів і один або декілька низькошвидкісних каналів передачі даних. Діапазон "висхідного" потоку також ділиться на один або декілька низькошвидкісних каналів передачі даних. Окрім цього може застосовуватися технологія ехокомпенсації (Echo Cancellation), при використанні якої діапазони "висхідного" і "низхідного" потоків перекриваються (рисунок 1.6) і розділяються засобами місцевої ехокомпенсації.

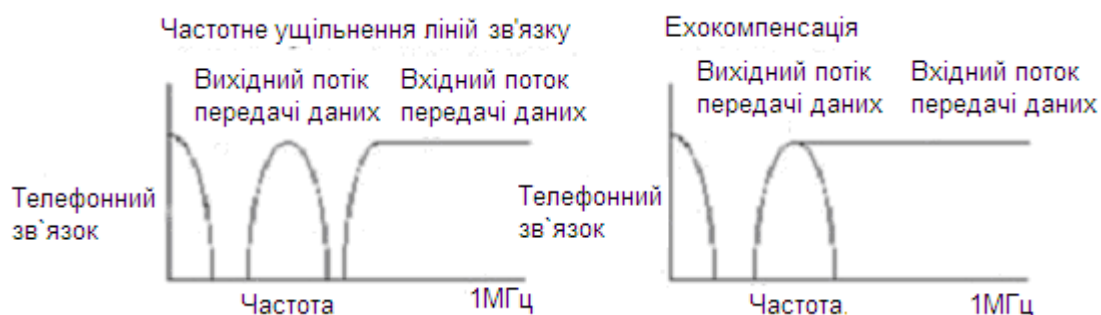


Рисунок 1.6 – Частотне ущільнення лінії зв'язку і ехокомпенсація

Саме такий чином ADSL може забезпечити, наприклад, одночасну високошвидкісну передачу даних, передачу відеосигналу і передачу факсу. І все це без переривання звичайного телефонного зв'язку, для якого використовується та ж телефонна лінія. Технологія передбачає резервування певної смуги частот для звичайного телефонного зв'язку (або POTS - Plain Old Telephone Service). Проте, слід віддати належне розробникам нових технологій, які все ж залишили телефонним абонентам вузьку смужку частот для живого спілкування. При цьому телефонну розмову можна вести одночасно з високошвидкісною передачею даних, а не вибрати одне з двох. Більш того, навіть якщо у вас відключать електрику, звичайний "старий добрий" телефонний зв'язок працюватиме як і раніше і з викликом електрика у вас жодних проблем не виникне. Забезпечення такої можливості було одним з розділів оригінального плану розробки ADSL. Навіть одна ця можливість дає системі ADSL значну перевагу перед ISDN [1].

Однією з основних переваг ADSL над іншими технологіями високошвидкісної передачі даних є використання найзвичайніших витих пар мідних дротів телефонних кабелів. Абсолютно вочевидь, що таких пар дротів налічується значно більше, чим, наприклад, кабелів, прокладених спеціально для кабельних модемів. ADSL утворює, якщо можна так сказати, "накладену мережу". При цьому дорогою і віднімаючою багато часу модернізації комутаційного устаткування (як це необхідно для ISDN) не потрібний.

ADSL є технологією високошвидкісної передачі даних. Враховуючи, що буква "А" в назві ADSL означає "asymmetric" (асиметрична), можна зробити вивід, що передача даних в один бік здійснюється швидше, ніж в іншу. Тому слід розглядати дві швидкості передачі даних: "низхідний" потік (передача даних від мережі до вашого комп'ютера) і "висхідний" потік (передача даних від вашого комп'ютера в мережу).

Чинниками, що впливають на швидкість передачі даних, є стан абонентської лінії (тобто діаметр дротів, наявність кабельних відведень і тому

подібне) і її протяжність. Загасання сигналу в лінії збільшується при збільшенні довжини лінії і зростанні частоти сигналу, і зменшується із збільшенням діаметру дроту. Фактично функціональною межею для ADSL є абонентська лінія завдовжки 3,5 - 5,5 км. при товщині дротів 0,5 мм. В даний час ADSL забезпечує швидкість "низхідного" потоку даних в межах від 1,5 Мбіт/с до 8 Мбіт/с і швидкість "висхідного" потоку даних від 640 Кбіт/с до 1 Мбіт/с. Загальна тенденція розвитку даної технології обіцяє в майбутньому збільшення швидкості передачі даних, особливо в "низхідному" напрямі.

Для того, щоб оцінити швидкість передачі даних, що забезпечується технологією ADSL, необхідно порівняти її з тією швидкістю, яка може бути доступна користувачам, що використовують інші технології. Аналогові модеми дозволяють передавати дані з швидкістю від 14,4 до 56 Кбіт/с. ISDN забезпечує швидкість передачі даних 64 Кбіт/с на канал (зазвичай користувач має доступ до двох каналів, що в сумі складає 128 Кбіт/с). Різні технології DSL дають користувачеві можливість передавати дані із швидкістю 128 Кбіт/с (IDSL), 768 Кбіт/с (HDSL), "низхідний" потік 1,5 - 8 Мбіт/с і "висхідний" потік 640 - 1000 Кбіт/с (ADSL), "низхідний" потік 13 - 52 Мбіт/с і "висхідний" потік 1,5 - 2,3 Мбіт/с (VDSL). Кабельні модеми мають швидкість передачі даних від 500 Кбіт/с до 10 Мбіт/с. (При цьому слід враховувати, що смуга пропускання кабельних модемів ділиться між всіма користувачами, що одночасно мають доступ до даної лінії. Тому число одночасно працюючих користувачів робить значний вплив на реальну швидкість передачі даних кожного з них.) Цифрові лінії E1 і E3 мають швидкість передачі даних, відповідно, 2,048 Мбіт/с і 34 Мбіт/с [1].

При використанні технології ADSL смуга пропускання тієї лінії, за допомогою якої кінцевий користувач пов'язаний з магістральною мережею, належить цьому користувачеві завжди і цілком.

Переваги ADSL. Перш за все, швидкість передачі даних. Цифри були вказані вище. Причому ці цифри не є межею. У подальші роки можна чекати



збільшення швидкості "низхідного" потоку до 52 Мбіт/с, а "висхідного" потоку до 2 Мбіт/с.

Більше не потрібно набирати телефонний номер для того, щоб підключитися до мережі Інтернет або до ЛВС. ADSL створює широкосмуговий канал передачі даних, використовуючи вже існуючу телефонну лінію. Після установки модемів ADSL ви отримуєте постійно встановлене з'єднання. Високошвидкісний канал передачі даних завжди готовий до роботи - у будь-який момент, коли вам це буде потрібно.

Смуга пропускання лінії належить користувачеві цілком. На відміну від кабельних модемів, які допускають розділення смуги пропускання між всіма користувачами (що значною мірою робить вплив на швидкість передачі даних), технологія ADSL передбачає використання лінії лише одним користувачем.

Технологія ADSL дозволяє повністю використовувати ресурси лінії. При звичайному телефонному зв'язку використовується біля однієї соті пропускної спроможності телефонної лінії. Технологія ADSL усуває цей "недолік" і використовує ті, що залишилися 99% для високошвидкісної передачі даних. При цьому для різних функцій використовуються різні смуги частот. Для телефонного (голосовий) зв'язку використовується область найнижчих частот всієї смуги пропускання лінії (приблизно до 4 кГц), а вся остання смуга використовується для високошвидкісної передачі даних.

Багатофункціональність даної системи є не найостаннішим аргументом в її користь. Оскільки для роботи різних функцій виділені різні частотні канали смуги пропускання абонентської лінії, ADSL дозволяє одночасно передавати дані і говорити по телефону. Ви можете телефонувати і відповідати на дзвінки, передавати і приймати факси, одночасно з цим знаходячись в мережі Інтернет або отримуючи дані з корпоративної мережі ЛВС. Все це по одній і тій же телефонній лінії.

ADSL відкриває абсолютно нові можливості в тих областях, в яких в режимі реального часу необхідно передавати якісний відеосигнал. До них відноситься, наприклад, організація відеоконференцій, навчання на відстані і відео за запитом. Технологія ADSL дозволяє провайдером надавати своїм користувачам послуги, швидкість передачі даних яких більш ніж в 100 разів перевищує швидкість найшвидшого на даний момент аналогового модему (56 Кбіт/с) і більш ніж в 70 разів перевищує швидкість передачі даних в ISDN (128 Кбіт/с).

Технологія ADSL дозволяє телекомунікаційним компаніям надавати приватний захищений канал для забезпечення обміну інформацією між користувачем і провайдером.

Не слід забувати і про витрати. Технологія ADSL ефективна з економічної точки зору хоч би тому, що не вимагає прокладки спеціальних кабелів, а використовує вже існуючі двопровідні мідні телефонні лінії. Тобто, якщо у вас удома або в офісі є підключений телефонний апарат, вам не потрібно прокладати додаткові дроти для використання ADSL [1].

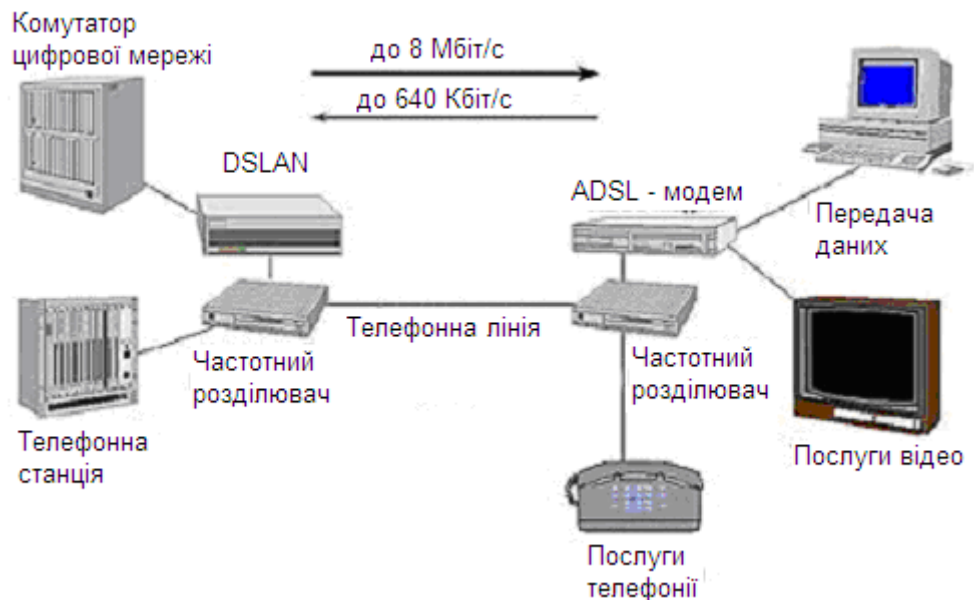


Рисунок 1.7 – Схема ADSL – мережі

Для того, щоб лінія ADSL працювала, необхідно не так вже багато устаткування. На обох кінцях лінії встановлюються модеми ADSL: один на стороні користувача (удома або в офісі), а інший на стороні мережі (у провайдера Інтернет або на телефонній станції). Причому користувачеві зовсім не обов'язково купувати свій модем, але досить узяти його у провайдера в оренду. Крім того, користувачеві для того, щоб модем ADSL працював, необхідно мати комп'ютер і інтерфейсну плату, наприклад, Ethernet 10baseT.

#### 1.4 Постановка задачі

В даний час для збільшення швидкості передавання даних по лініях зв'язку із низькою пропускнуою здатністю (10 кГц) використовують багатовимірні методи модуляції. Зокрема багатофазну (8, 16) модуляцію, амплітудно-фазову модуляцію та інші. Ці методи базуються на сигнальних просторах з кількістю сигналів  $2^n$ , де  $n = 1, 2$  і т.д. В той же час розширення сигнальних просторів до кількості сигналів  $2^n + 1$ , що дасть можливість використовувати квазітрійкові методи модуляції та кодування, які забезпечують властивість самосинхронізації.

Задачею дипломного проектування є:

- 1) проведення дослідження методів модуляції в системах передавання даних;
- 2) розрахунок та дослідження модифікованих сигнальних просторів;
- 3) розробка методу модуляції на основі модифікованого сигнального простору:
- 4) розробка загальної структури системи передавання даних;
- 5) розробка функціональних та принципів схем основних модулів системи передавання даних.

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ МОДУЛЯЦІЇ ДАНИХ

### 2.1 Завадостійкі методи модуляції цифрових сигналів

#### 2.1.1 Квадратурна амплітудна модуляція

При квадратурній амплітудній модуляції (КАМ, QAM – Quadrature Amplitude Modulation) змінюється як фаза, так і амплітуда несучого сигналу. Це дозволяє збільшити кількість кодованих в одиницю часу біт і при цьому істотно підвищити завадостійкість їх передачі по каналу зв'язку. В даний час число кодованих інформаційних біт на одному бодовому інтервалі може досягати 8-9, а число позицій сигналу (можливих комбінацій одиниць і нулів) в сигнальному просторі: 256 – 512.

Квадратурне представлення сигналів є зручним і досить універсальним засобом їх опису. Квадратурне представлення полягає у вираженні коливання лінійною комбінацією двох ортогональних складових – синусоїдальною і косинусоїдальною [1]:

$$S(t) = x(t) \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) + y(t) \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi),$$

де  $x(t)$  і  $y(t)$  – біполярні дискретні величини.

Пояснимо роботу квадратурного модулятора на прикладі схеми формування сигналів чотирьохфазною ФМ з потоку двобітових символів (рисунок 2.1).

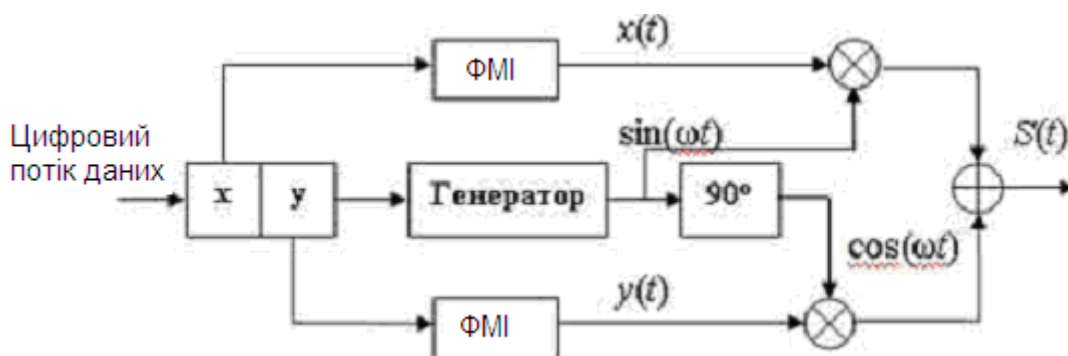


Рисунок 2.1 – Схема квадратурного модулятора

Вихідна послідовність двійкових символів тривалістю  $T$  за допомогою регістра зсуву розділяється на непарних  $y$  і парні  $x$  імпульси, які поступають на входи формувачів маніпулюючих імпульсів (ФМІ) відповідно квадратурного ( $\cos\omega t$ ) і синфазного ( $\sin\omega t$ ) каналів. На виходах ФМІ утворюються послідовності біполярних імпульсів  $x(t)$  і  $y(t)$  з амплітудою  $\pm U_m$  і тривалістю  $2T$ , які поступають на входи каналних помножувачів, де вони незалежно один від одного модулюють по амплітуді два однакові несучі коливання, зсунуті по фазі на  $90^\circ$ , тобто що знаходяться в квадратурі. В результаті, на їх виходах формуються двофазні  $(0, 180)$  ФМ коливання. Після підсумовування вони утворюють сигнал ФМ-4 або квадратурний ФМ-сигнал (Quadrature Phase Shift Keying – QPSK). Оскільки в кожному каналі здійснюється амплітудна маніпуляція, цей вигляд модуляції називають ще квадратурною амплітудною маніпуляцією (QASK – Quadrature Amplitude Shift Keying) або просто квадратурною амплітудною модуляцією (КАМ).

При одночасній зміні символів в обох каналах модулятора (з 10 на 01, або з 00 на 11) в сигналі ФМ-4 відбувається стрибок фази на  $180^\circ$ . Такі скачки фази викликають паразитну амплітудну модуляцію несучого сигналу. В результаті цього при проходженні сигналу через вузькосмуговий фільтр виникають провали несучого коливання до нуля. Такі зміни сигналу небажані, оскільки приводять до збільшення енергії бічних смуг і перешкод в каналі зв'язку [1].

Чотирьохфазна ФМ із зсувом (OQPSK - Offset QPSK) дозволяє уникнути стрибків фази на  $180^\circ$  і, отже, глибокій модуляції несучої. Формування сигналу в модуляторі OQPSK відбувається так само, як і в модуляторі ФМ-4, за винятком того, що маніпуляційні елементи інформаційних послідовностей  $x(t)$  і  $y(t)$  зміщені в часі на тривалість одного елементу  $T$  (як показано на рисунку 2.2, б, в). Зміна фази при такому зсуві модулюючих потоків визначається лише одним елементом послідовності, а не двома, як при ФМ-4.

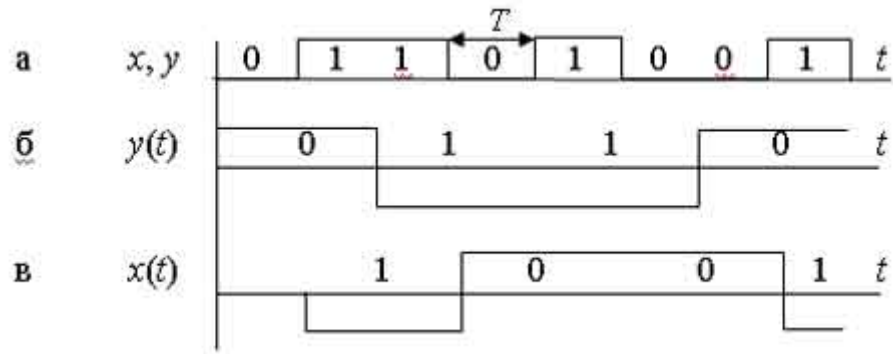


Рисунок 2.2 – Формування маніпулюючих сигналів

В результаті скачки фази на  $180^\circ$  відсутні, оскільки кожен елемент послідовності, що поступає на вхід модулятора синфазного або квадратурного каналу, може викликати зміну фази на  $0$ ,  $+90^\circ$  або  $-90^\circ$ .

Перетворені таким чином сигнали передаються в одному каналі. Оскільки один і той же фізичний канал використовується для передачі двох сигналів, то швидкість передачі КАМ - сигналу на відміну від АМ- сигналу в два рази вище.

При квадратурній амплітудній модуляції формуються два логічно незалежних канали, тобто одиничному рівню в одному каналі може відповідати одиничний або нульовий рівень в іншому каналі. Завдяки цьому два вихідних сигнали не впливають один на одного при проходженні по одному і тому ж фізичному середовищу.

Користуючись геометричним трактуванням, кожен сигнал КАМ можна змалювати вектором в сигнальному просторі. Причому, кінці векторів в нім відображуються у вигляді сигнальних точок, координати яких визначаються значеннями  $x(t)$  і  $y(t)$ . Сукупність сигнальних точок утворює, так зване, сигнальний простір (signal constellation).

У загальному випадку, для системи, що підтримує  $m$  амплітудних рівнів для кожного потоку двійкових символів, можна утворити  $m^2$  різних комбінацій нуля і одиниці. Аналогічно, діаграма, що відображує всі можливі

значення сигналу (комбінації нуля і одиниці) системи багаторівневої модуляції, називається діаграмою констеляції або діаграмою сукупності станів.

На рисунку 2.3 показана структурна схема модулятора і діаграма станів (сигнальне сузір'я) системи КАМ-16, в якій  $x(t)$  і  $y(t)$  набувають значень  $\pm 1, \pm 3$  (4-х рівнева КАМ). Як видно з рисунку 1.9 б, сузір'я містить 16 сигналних точок, кожна з яких відповідає чотирьом інформаційним бітам.

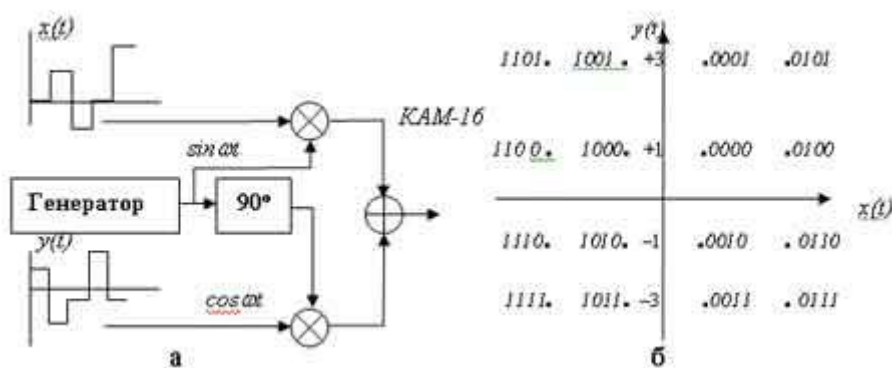


Рисунок 2.3 – Схема модулятора і сигнальна діаграма

Існує декілька способів практичної реалізації 4-рівневою КАМ. Найбільш поширеним з них є так званий спосіб модуляції накладенням (SPM – Superposed Modulation).

У схемі, що реалізовує даний спосіб, використовуються два однакові 4-фазні модулятори. Структурна схема модулятора SPM і діаграми, що пояснюють його роботу, приведені на рисунку 2.4.

Якщо задається шість амплітудних рівнів ( $\pm 1, \pm 3, \pm 5$ ) для кожного потоку, то можна отримати систему КАМ з сукупністю станів, рівною  $6^2=36$ . Проте з них в протоколах ІТУ-Т використовується лише 32 рівномірно розподілених в сигнальному просторі точок.

У загальному випадку, при формуванні сигналів багатопозиційної QAM модуляція ортогональних сигналів здійснюється в цифровому вигляді. Для цих

цілей використовується два цифрові смугові фільтри з однаковою амплітудою вхідних коливань, але що розрізняються фазовим зсувом в  $90^\circ$ . Рівні посилення амплітуди для кожного потоку встановлюють незалежно. Для системи, що підтримує  $m$  амплітудних рівнів, для кожного потоку можна утворити  $m^2$  різних комбінацій нуля і одиниці. На рисунку 2.5 показана діаграма станів для системи КАМ-64, яка виходить, якщо задається вісім амплітудних рівнів для кожного потоку.

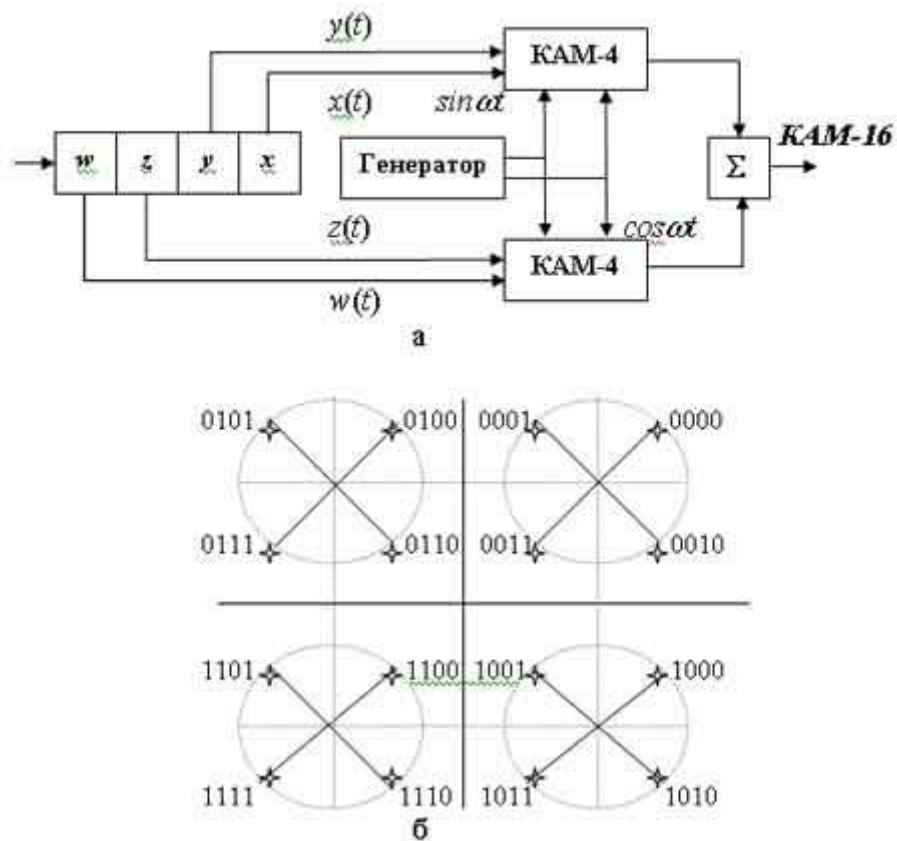


Рисунок 2.4 – Схема (а) і сигнальна діаграма (б) модулятора КАМ-16

З теорії зв'язку відомо, що при рівному числі точок в сигнальному сузір'ї спектр сигналів КАМ ідентичний спектру сигналів ФМ. Проте завадостійкість систем ФМ і КАМ різна. При однаковому числі точок сигнали системи КАМ мають кращу завадозахищеність, за сигнали системи ФМ.



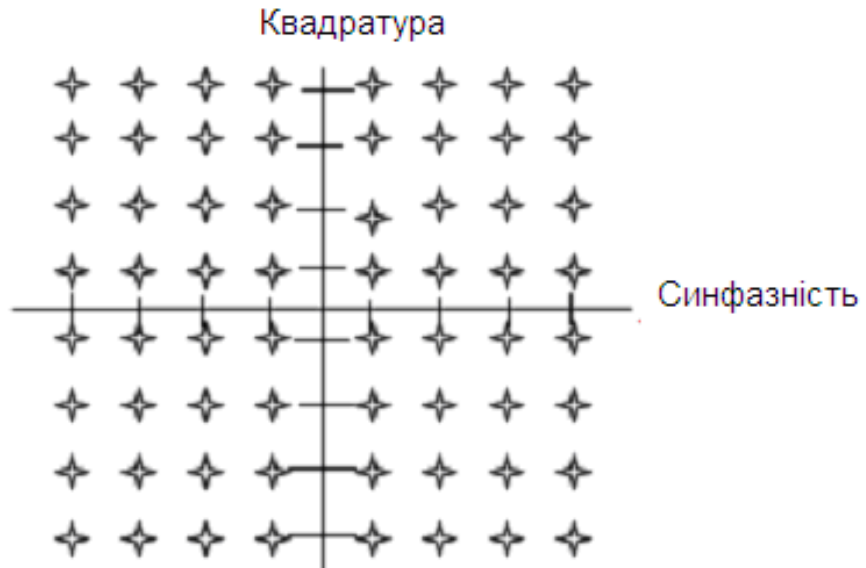


Рисунок 2.5 – Діаграма сигналів КАМ-64

Основна причина цього полягає в тому, що відстань між сигнальними точками в системі ФМ менша відстані між сигнальними крапками в системі КАМ. На рисунку 2.6 представлені сигнальні сузір'я систем КАМ-16 і ФМ-16 при однаковій нормованій потужності сигналу.

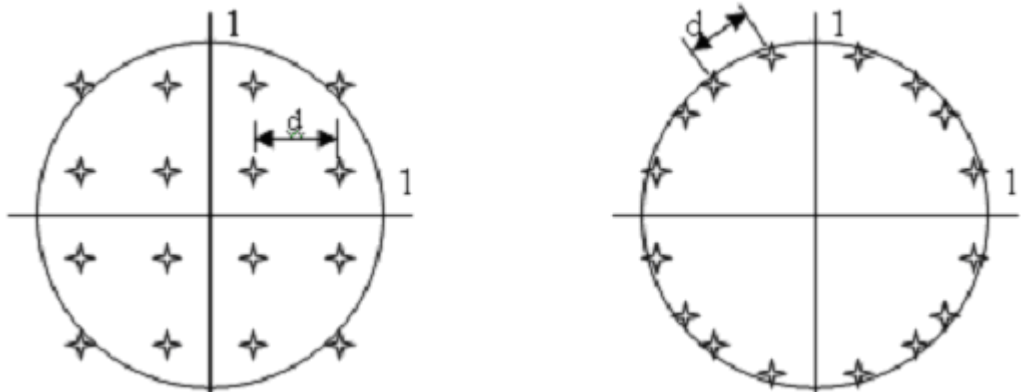


Рисунок 2.6 – Сигнальні сузір'я КАМ-16 і ФМ-16

Відстань  $d$  між сусідніми точками сигнального сузір'я в системі КАМ з  $L$  рівнями модуляції визначається виразом:  $d = \sqrt{2} / (L - 1)$ .

Аналогічно при ФМ:  $d = 2 \sin(\pi / M)$ , де  $M$  – число фаз. Так, наприклад, при  $M=16$  ( $L=4$ )  $d_{кам}=0,471$  і  $d_{фм}=0,390$ , а при  $M=32$  ( $L=6$ )  $d_{кам}=0,283$ ,  $d_{фм}=0,196$ .

### 2.1.2 Амплітудно-фазова модуляція з подавленням несучої (CAP – модуляція)

Амплітудно-фазова модуляція з подавленням несучої (CAP – Carrier less Amplitude Phase modulation) є одним з найширше використовуваних на цифрових абонентських або DSL (Digital Subscriber Line) лініях способів модуляції. CAP-модуляція є одним з різновидів КАМ. Її особливість полягає в спеціальній обробці модульованого інформаційного сигналу перед відправкою в лінію. В процесі цієї обробки із спектру модульованого сигналу виключається неінформативна складова, яка відповідає сигналу несучої частоти. Такі маніпуляції із спектром виконуються для забезпечення більшої енергетики сигналу і зменшення рівня перехресних перешкод в сигналах, які передаються одночасно по одній лінії зв'язку.

Процес формування спектру CAP - сигналу ілюструється за допомогою епюр а, б і в на рисунку 2.7.

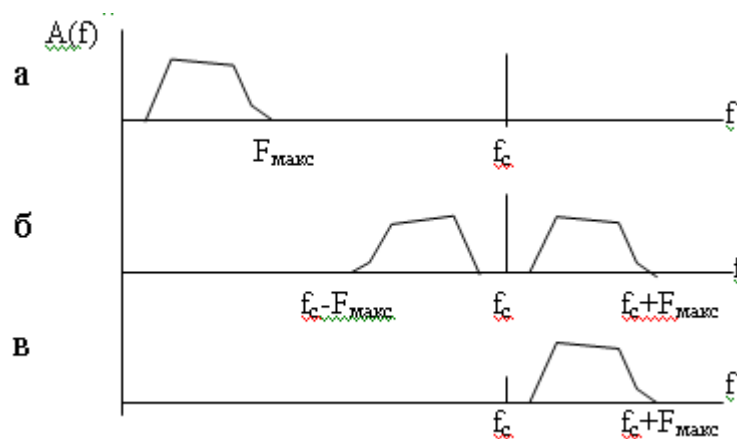


Рисунок 2.7 – Формування спектру CAP - модульованого сигналу

Як видно з рисунку 2.7, максимальна частота сигналу, який передається має значення  $F_{макс}$ , частота модульованого колювання (носія) –  $f_c$ . Після

виконання процедури гармонійної модуляції спектр корисного сигналу (рисунок 2.7 а) переноситься в область частоти  $f_c$  з утворенням двох дзеркальних спектрів сигналу, що відносно становить  $f_c$ . Для відновлення переданого сигналу на приймальному пункті досить передати лише одну з дзеркальних компонент модульованого сигналу. Гармоніка з частотою  $f_c$  не є інформативною, і її втрата не вплине на якість відновленого сигналу. Спектр модульованого сигналу, сформованого відповідно до принципів САР-модуляції, представлений на рисунку 2.7 в.

Одна з можливих функціональних схем формування сигналу, що модулюється по методу САР, представлена на рисунку 2.8 [11].

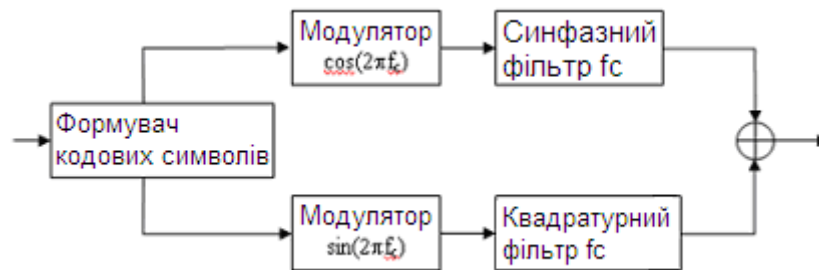


Рисунок 2.8 – Схема формування САР- модульованого сигналу

Для подавлення несучого коливання, використовуються синфазний і квадратурний фільтри. Для адекватного відновлення сформованого таким чином сигналу на приймальній стороні мають бути виконані відповідні операції по відновленню несучого коливання. Після відновлення несучої приймач виконує ті ж операції, що і приймач КАМ.

Оскільки амплітудно-фазова модуляція з подаванням несучої, є по суті, квадратурною амплітудною модуляцією, їй властиві всі позитивні якості, які властиві цьому класу способів: відносна простота реалізації і висока енергетична ефективність сформованого сигналу. Саме цей спосіб модуляції теоретично здатний забезпечити максимальні значення відношення сигнал/шум. Це дозволяє застосовувати її для побудови широкосмугових

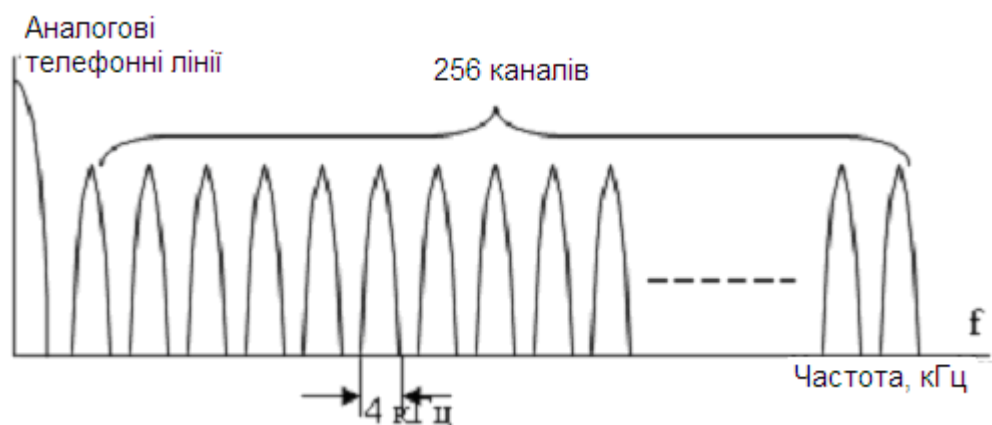
каналів телекомунікаційних систем, побудованих на основі технологій DSL, – від SDSL до VDSL.

Основним недоліком даного способу модуляції є відсутність стандарту, що визначає процедури, відповідно до яких виконується перетворення сигналу. Однією з причин, які наводять до заборони впровадження цієї технології, є сильна підтримка альтернативною по відношенню до CAP – технології DMT.

### 2.1.3 Багаточастотний спосіб модуляції (DMT-модуляція)

Багаточастотний спосіб модуляції (DMT – Discrete Multi Tone) в даний час є одним з основних методів модуляції, використовуваних в найбільш перспективних технологіях xDSL, – ADSL і VDSL. У DMT на відміну від CAP використовується цілий набір частот, що несуть, кількість яких визначається числом каналів в смузі частот, займаній спектром DMT-сигналу. В більшості випадків в смузі частот, займаній сигналом DMT, розміщується 256 частотних каналів. Кожен з цих каналів має ширину 4,3 кГц і служить для організації незалежної передачі даних [11].

Приклад утворення незалежних каналів по методу DMT показаний на рисунку 2.9.



Рисунку 2.9 – Створення незалежних каналів по методу DMT

На етапі входження в зв'язок проводиться перевірка якості лінії. Після чого, передавач, виходячи з рівня перешкод в частотному діапазоні сигналу DMT, для кожного з окремих каналів вибирає відповідну схему модуляції. На «чистих» частотних ділянках (з малим рівнем шумів) можуть бути використані методи з великими значеннями спектральної щільності потужності, наприклад, КАМ-64. На більш зашумлених ділянках можуть бути використані прості алгоритми модуляції, наприклад, ФМ-4. Вочевидь, що використання такого принципу регулювання швидкості передачі даних дозволяє найточніше погоджувати параметри модульованого сигналу з параметрами лінії, по якій він передаватиметься. При передачі даних інформація розподіляється між незалежними каналами пропорційно їх пропускній спроможності. Приймач виконує операцію демультимплексування і відновлює вихідний інформаційний потік.

Спосіб DMT є подальшим розвитком ідеї, покладеній в основу КАМ. Цей спосіб дозволяє забезпечити високу швидкість і надійність передачі даних. Іншою важливою його перевагою є можливість оперативної і точної адаптації прийомопередавальних пристроїв до характеристик конкретної лінії зв'язку. Не останнім позитивним чинником виступає практично повсюдне визнання цього алгоритму стандартизуючими організаціями.

Недостатками DMT-модуляції можна рахувати складність, недостатню технологічність і високу вартість її апаратної реалізації. Проте відмічені недоліки при постійному розвитку технологій є все менш критичними. В підтвердження тому метод DMT затверджений як основний спосіб модуляції стандартів ANSI для технологій ADSL і VDSL.

#### 2.1.4 Трелліс-модуляція

Використання багатопозиційної КАМ в чистому вигляді зв'язано з проблемою недостатньої завадостійкості. Тому у всіх високошвидкісних протоколах КАМ використовується спільно з ґратчастим кодуванням –

спеціальним видом згорткового кодування. В результаті з'явився новий спосіб модуляції, званий трелліс-модуляцією (TCM – Trellis Coded Modulation).

Вибрана певним чином комбінація конкретною КАМ і завадостійкі коди у вітчизняній технічній літературі носить назву сигнально-кової конструкції (СКК), яка дозволяє підвищити завадозахищеність передачі інформації одночасно із зниженням вимог до відношення сигнал-шум на 3-6 дБ. Це пояснюється збільшенням удвічі числа сигнальних точок за рахунок додавання до інформаційних біт одного надлишкового, утвореного шляхом згорткового кодування. Розширений таким чином блок бітів піддається все тій же КАМ. В процесі демодуляції прийнятий сигнал декодується по алгоритму Вітербі. Саме цей алгоритм за рахунок введеної надлишковості і знання передісторії процесу прийому дозволяє по критерію максимальної правдоподібності вибрати з сигнального простору найбільш достовірну точку [12].

Всі існуючі сьогодні СКК використовують згорткове кодування із швидкістю  $(n-1)/n$ , тобто при передачі одного сигнального елемента використовується лише один надлишковий двійковий символ. Типова схема згорткового кодування з швидкістю, рівною  $2/3$ , приведена на рисунку 2.10.

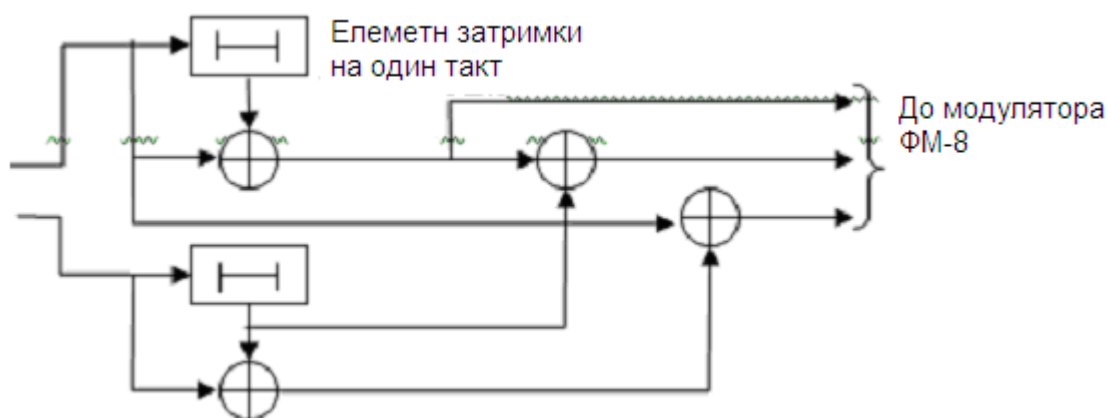


Рисунок 2.10 – Схема згорткового кодера (з швидкістю коду  $2/3$ )

У схемі, представленій на рисунку 1.16, згортковий кодер з відносною швидкістю коду, рівною  $2/3$ , використовується спільно модулятором ФМ-8.

Кожним двом інформаційним бітам на вході кодер зіставляє трьох символні двійкові блоки на виході, які поступають на модулятор ФМ-8.

Використання сигналів ФМ пов'язано з вирішенням проблеми неоднозначності фази несучої відновленою на прийомі. Дана проблема вирішується за рахунок відносного (диференціального) кодування, що в системах передачі без завадостійкого кодування наводить до розмноження помилок. У системах з завадостійким кодуванням відносне кодування також використовується. В цьому випадку має значення послідовність включення відносного і завадостійкого кодерів.

Розрізняють зовнішнє і внутрішнє відносне кодування. При внутрішньому кодуванні відносний кодер розташований на виході перешкодостійкого кодера, а на приймальній стороні відносний декодер включений на вході перешкодостійкого декодера (рисунок 2.11 а).

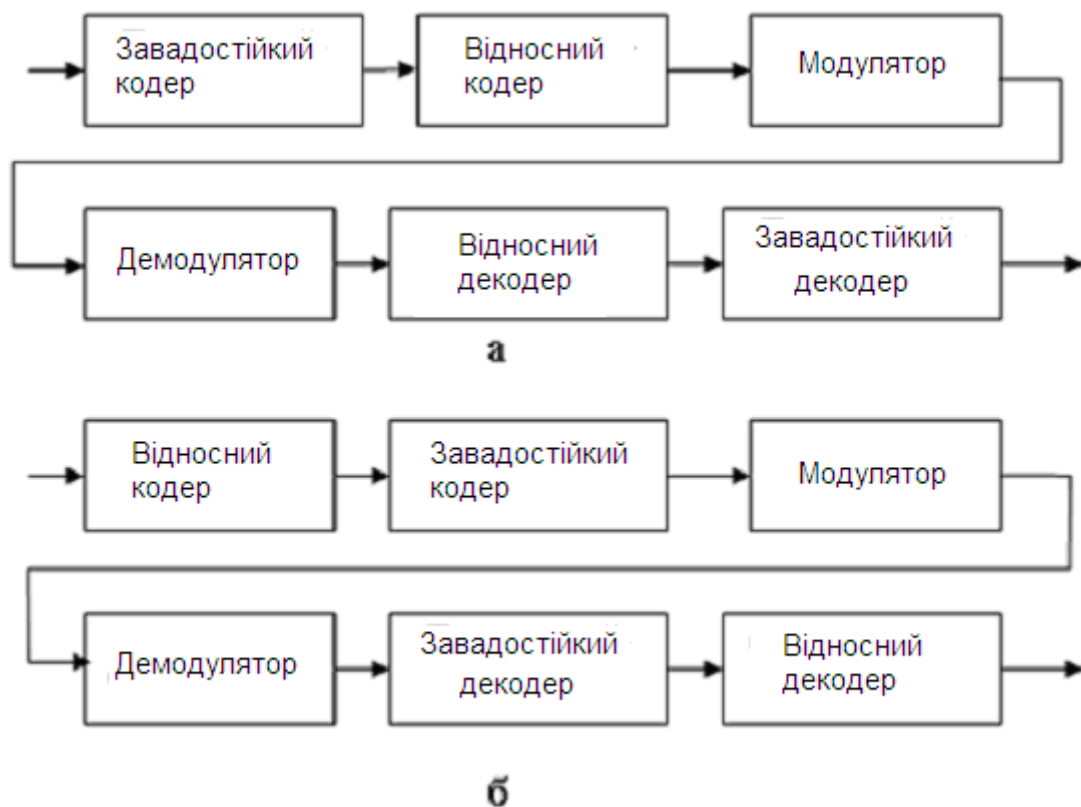


Рисунок 2.11 – Схема включень відносного кодера:

а) внутрішнього; б) зовнішнього

Зовнішнє відносне кодування у ряді випадків є вигіднішим, оскільки джерело розмноження помилок – відносний декодер – включений на виході перешкодостійкого декодера (див. рисунок 2.11 б). Проте при цьому виникають труднощі декодування, викликані неоднозначністю фази опорного коливання при демодуляції. При ФМ-2 неоднозначність фази опорного коливання (0 або 180) наводить до явища «зворотної роботи», що полягає в тому, що передачі одиничні біти приймаються нульовими, а нульові – навпаки одиничними.

При більшому числі позицій фази можлива не лише інверсія, але і перестановка двійкових символів. Вирішення цієї проблеми полягає у використанні перешкодостійких кодів, «прозорих», тобто нечутливих до невизначеності фази опорного коливання.

## 2.2 Оцінка ефективності модифікованих сигнальних просторів

Завадостійкість системи передавання даних залежить, як від форми сигналів які передаються так і від методу приймання. При оптимальному прийманні реалізується потенціальна завадостійкість. Тому оптимізацію СПД проводимо вибором найкращого ансамблю сигналів.

При однаковому методі приймання, різні ансамблі забезпечують різну завадостійкість. Це можна пояснити особливостями розміщення границь областей, які оточують кожний сигнал. Ймовірність правильного відтворення будь-якого сигналу можна збільшити, якщо збільшити область цього сигналу. При цьому зменшуються об'єми областей сусідніх сигналів, що збільшує ймовірність помилкового відтворення цих сигналів [5].

Задача знаходження оптимального ансамблю сигналів зводиться до відомої в багатовимірній геометрії задачі найгустішої укладки однакових шарів в заданому об'ємі. Таке розміщення забезпечує однакову ймовірність



помилки приймання будь-якого сигналу (області сигналів однакові) і мінімальну середню енергію сигналів (області найбільш густо укладені). Найгустіші укладки здійснюються при розміщенні сигнальних точок в вузлах так званої просторової сітки (або решітки), яка має регулярну структуру. В одновимірному просторі найгустішою укладкою являється рівномірне розміщення сигнальних точок на прямій, як показано на рисунку 2.12.а. Показником густини укладки є коефіцієнт заповнення простору однаковими шарами, рівний відношенню об'єму цих шарів  $V_N = M \cdot V_0$  до об'єму простору  $V$ , який вони займають [5]

$$v_N = \frac{V_N}{V} = \frac{M \cdot V_0}{V},$$

де  $V_0$  – об'єм одного  $N$ -мірного шару. На рисунку 2.12 б радіус густо укладених сфер (в одновимірному просторі відрізків прямих) рівний  $d/2$ , де  $d$  – відстань між найближчими сигналами. Межі областей сигналів відзначені вертикальними лініями, які лежать на поверхні сфер, тому коефіцієнт заповнення  $v = 1$ . При  $N > 1$  коефіцієнт  $v_N < 1$ . Для  $N \leq 10$  і деяких інших значень точні величини максимального коефіцієнта заповнення  $v_N$  наведені в [6].

Якщо число сигналів в ансамблі побудованому на основі сітки найгустішої укладки, достатньо велике, то таке розміщення сигнальних точок може бути достатньо близьким до оптимального. Області сигналів в цьому випадку однакові за виключенням крайніх областей.

Для побудови ансамблів з кінцевим числом сигналів використовують трикутні, кільцеві і квадратні сітки [5].

При дослідженні таких сигналів використаємо геометричне представлення в виді векторів в  $N$ -мірному просторі, в якому границями  $M$ -

сигналів служать відповідні гіпер площини рівновіддалені від кінців векторів.

Рівняння границь між областями сигналів має вигляд [7]

$$\int_0^T [\mathbf{X}(t) - \mathbf{S}_i(t)]^2 dt = \int_0^T [\mathbf{X}(t) - \mathbf{S}_j(t)]^2 dt,$$

де  $\mathbf{S}_i(t), \mathbf{S}_j(t)$  – різні сигнали ;  $j = 1, 2, \dots, M; i \neq j$ .

При великій кількості сигналів в ансамблі  $M$  ймовірність помилки в основному залежить від відстані між ближніми сигнальними точками. Тому порівняння ансамблів проводиться по коефіцієнту завадостійкості [7]:

$$L = \frac{d_{ij}}{2 \cdot \sqrt{E_\sigma}}, \quad (2.3)$$

$$\text{де } d_{ij} = \int_0^T \|\mathbf{S}_i - \mathbf{S}_j\|^2 dt = 2E_c [1 - p_{ij}];$$

$d_{ij}$  – відстань між сигналами в  $N$  – мірному просторі.

Енергетичні затрати на передавання одного двійкового символу

$$E_\sigma = \frac{E_c}{\log_2 M}. \quad (2.4)$$

Коефіцієнт взаємкореляції між сигналами

$$p_{ij} = \frac{1}{E_c} \cdot \int_0^T \mathbf{S}_i(t) \cdot \mathbf{S}_j(t) dt.$$

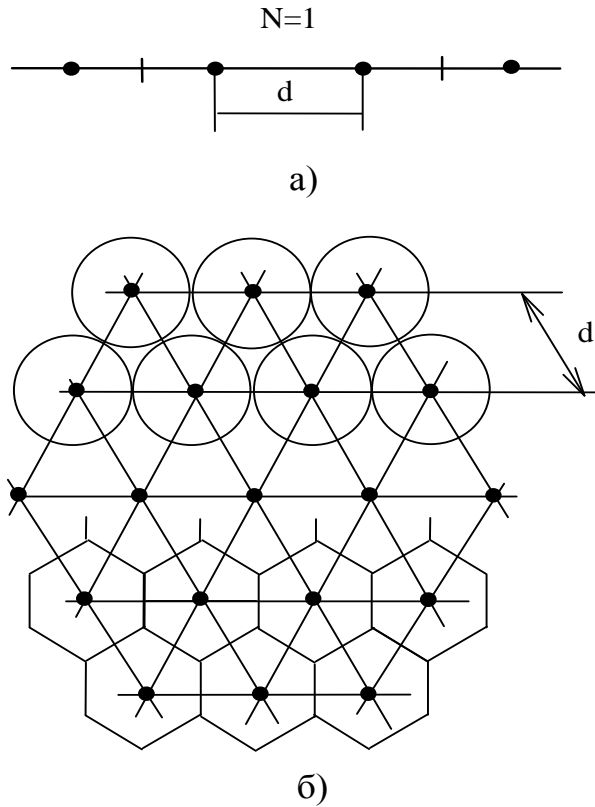


Рисунок 2.12 – Схематичне зображення сигнальних сфер в одновимірному і двовимірному просторі

При рівно ймовірному передаванні сигналів їх середні і максимальні енергії відповідно рівні:

$$E_{\text{cp}} = \frac{d^2}{2 \cdot M} \cdot \sum_{i=1}^{M/2} (2 \cdot i - 1)^2, \quad (2.5)$$

$$E_{\text{max}} = \frac{d^2 \cdot (M-1)^2}{4}, \quad (2.6)$$

де  $M = 2^k, k = 2, 3, \dots$

При цьому коефіцієнти завадостійкості дорівнює:

$$L_c = \frac{d_{\text{min}}}{2 \cdot \sqrt{E_{\text{бсп}}}}, \quad (2.7)$$

$$L_m = \frac{d_{\min}}{2 \cdot \sqrt{E_{\delta \max}}}, \quad (2.8)$$

де  $E_{\delta \text{cp}}$  і  $E_{\delta \text{max}}$  – відповідно, середня енергія сигналу, яка розрахована в системах з обмеженими енергоресурсами передавача і максимальна енергія сигналу, розрахована в системах з обмеженою піковою потужністю. При передаванні двійкових сигналів  $E_{\delta \text{cp}} = E_{\delta \text{max}}$ ;  $L_c = L_m = 1$ . Із збільшенням кількості сигналів  $M$  значення  $L_c$  і  $L_m$  зменшуються.

Основною характеристикою ансамблю сигналів являється питома швидкість, виражена в бітах на один відлік.

$$V_c = \log_2 \cdot \frac{M}{N}. \quad (2.9)$$

Завадостійкість приймання таких сигналів розраховується за формулою [5]:

$$P_0 \leq \frac{1}{2 \cdot M} \cdot \sum_{i=1}^M \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M \left[ 1 - \Phi \left( L_{ij} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\delta}}{N_0}} \right) \right], \quad (2.10)$$

$$\text{де } L_{ij}^2 = \frac{d_{ij}^2}{4 \cdot E_{\delta}}.$$

При побудові систем сигналів традиційно об'єм ансамблю вибирається рівним  $M = 2^n$ . Це забезпечує за час передавання одного сигналу  $S_i$  передавання 1, 2, 3 і т.д. біт інформації. В цьому плані симетричні ансамблі на основі трикутної сітки погано пристосовані для реалізації, так як містять число сигналів  $M$  не рівне цілій степені 2. Кращі ансамблі таких сигналів розглянуто в роботах [3, 4]. В [9] розраховано коефіцієнти  $L_c, L_m$  завадостійкості приймання двовимірних сигналів.

Суть принципу змінно якісної маніпуляції (ЗМ) полягає в тому, що в процесі кодування даних виключаються однократні повторення сигналів в інформаційних блоках. Досягнення такого ефекту забезпечується

розширенням ансамблю сигналу що найменше на одиницю  $M = 2^n + 1$  і заміною кожного символу, що повторюється, службовим сигналом.

Вперше ідея ЗМ частотних сигналів запропонована А. М. Лучуком в роботі. Прикладом ЗМ є метод квазітрійкової маніпуляції [6], а також метод маніпуляції НР-II, який базується на розширенні ансамблю сигналів

$$M = 2^n + k,$$

де  $n = 1$ ,  $k = 2$ , причому обидва службові сигнали використовуються для блокової синхронізації, а стан «0» – для символної синхронізації. Приведені приклади показують, що вимоги ефективною реалізації блокової і символної синхронізації визначають перспективу використання ЗМ на основі розширених ансамблів сигналів.

Розрахунок параметрів завадостійкості досліджуваних ансамблів сигналів здійснимо на основі описаних вище оцінок: відстані  $d_{ij}$  (2.3), енергетичних затрат на передавання одного двійкового символу  $E_{\sigma}$  (2.4), середньої і максимальної енергії  $E_c$  (2.5),  $E_m$  (2.6), коефіцієнтів завадостійкості  $L_c$  (2.7),  $L_m$  (2.8) і ймовірність помилки при заданому відношенні сигнал-шум  $P_0$  (2.10).

При розширенні ансамблю сигналів в  $N$ –мірному просторі на  $k$  службових сигналів і ЗМ швидкість передавання інформації на один символ змінюється пропорційно  $M/N$ . Тому розрахунок оцінки  $E_{\sigma}$  необхідно проводити за формулою:

$$E_{\sigma} = \frac{E_c}{\log(M/N)},$$

з врахуванням (2.10)

$$L_c^* = \frac{d_{\min} \cdot \sqrt{\log_2 M/N}}{2 \cdot \sqrt{E_c}}$$

На рисунку 2.13 показано сімейство значень коефіцієнтів для різних одновимірних і двовимірних сигналів. В одновимірному просторі  $N=1$  завадостійкість сигналів монотонно зменшується при збільшенні їх числа  $M$  в ансамблі. В двовірному просторі  $N=2$  максимальну завадостійкість забезпечує ансамбль  $3M$  із п'яти символів.  $3M$  сигнали характеризуються властивістю самосинхронізації за рахунок виключення повторення одного із них. Це відповідає тому, що в повному наборі  $n$  – розрядних послідовностей відсутні комбінації, які містять повторення одного із сигналів, тобто

$$M^n \cdot n \cdot \log_2 M > n \cdot M_*^n \cdot \log_2 M, \quad (2.11)$$

де  $M_*^n = M^n - m$ ;  $m$  – число виключених комбінацій сигналів.

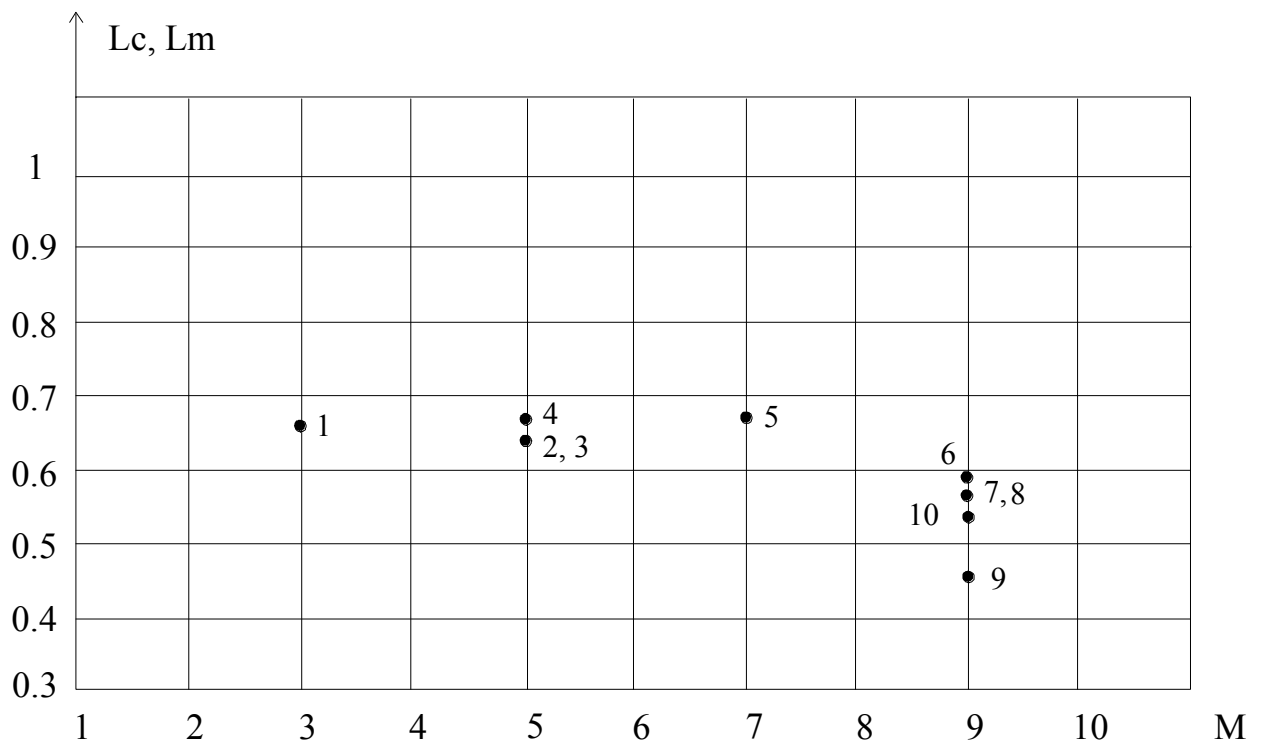


Рисунок 2.13 – Коефіцієнти ефективності різних ансамблів сигналів

Таким чином, використання 3М сигналів приводить до зменшення об'єму алфавіту, зменшення ентропії сигналів і відповідно підвищення завадостійкості передавання даних. Ця властивість на діаграмах станів декодерів 3М сигналів зображується відсутністю багатократних переходів в вершинах графу.

Кількість переходів на діаграмах станів аналітично зв'язана з кількістю сигналів ансамблю

$$m_{\max} = M^2,$$

що відповідає граничному випадку в (2.11), при  $n=2$ .

При цьому ентропія ансамблю 3М сигналів і його питома швидкість визначається:

$$I = \log_2 M = \frac{M^2}{M_*} \cdot \log_2 M;$$

$$I_* = \frac{M^2}{M^2 - 1} \cdot \log_2 M; \quad (2.12)$$

$$M_* = M^2 - M, \quad V_c^* = \frac{M^2}{M_*} \cdot \log_2(M/N),$$

де  $M_*$  – число переходів на діаграмі станів,  $I$  – питома ентропія одного із  $M$  сигналів з повним набором переходів.

Кількість допоміжних бітів, які можна використати для блокової синхронізації знаходимо за формулою

$$\mu = 2 \cdot M \cdot \overset{\vee}{E}[\log M],$$

де  $\overset{\vee}{E}[\ ]$  – цілочисельна функція з заокругленням до меншого цілого.

Враховуючи (2.12) отримаємо оцінку завадостійкості 3М сигналів в вигляді

$$L_c^* = \frac{k_f \cdot d_{\min} \cdot \sqrt{k \cdot \log_2(M/N)}}{2 \cdot \sqrt{E_c}} \quad (2.13)$$

де  $k_f$  - коефіцієнт форми сигналу;  $k = \frac{M^2}{M^2 - 1} = \frac{M}{M - 1}$ .

В загальному випадку  $0 \leq m \leq M^2 - 1$ .

Кількість зв'язків одної вершини діаграми станів з іншими вершинами дорівнює  $M - 1$ . Отже, при  $0 \leq m < M - 1$  розрахунок  $L_c^*$  проводиться за формулою (2.13).

Отже ансамблі ЗМ сигналів при  $M=3, N=1$ ;  $M=3, N=2$  і  $M=7, N=2$  характеризуються кращими показниками завадостійкості.

Сигнали ЗМ  $M=7 (6, 1), N=2$  з яких перші чотири забезпечують передавання 2-х бітів даних а 5-й і 6-й сигнали можуть бути використані для передавання сигналів “Старт” і “Стоп” блокової синхронізації, а 7-й сигнал в якості службового для виключення повторення інформаційних бітів і бітової синхронізації.

Проведені теоретичні дослідження показують, що ансамблі ЗМ сигналів є перспективними для розробки на їх основі ефективних технічних засобів кодування та передавання даних.

### 2.3 Розробка методу маніпуляції даних на основі розширення ансамблів сигналів

Квазітрійковий метод кодування (КТ-1) двійкових послідовностей на основі полярних ознак запропонований Николайчуком Я. М. для частотної і полярної модуляції забезпечує бітову і блокову синхронізацію [6]. Бітова синхронізація в методі КТ-1 забезпечується використанням трьох ознак сигналу, дві з яких використовуються для передавання “0” і “1” а третя для передавання повторення 0 або 1. Даний метод достатньо повно досліджений на основі полярного та частотного представлення.



Найбільш ефективною серед одновимірних методів є фазова маніпуляція [6], яка для даного методу не досліджувалась. При фазовій маніпуляції тривалість, амплітуда і частота сигналів є постійною величиною ( $A=\text{const}$ ,  $F=\text{const}$ ,  $T=\text{const}$ ,  $\varphi=\text{var}$ ), для ФМ сигнал описується рівнянням

$$S(t) = A(t) \cdot \cos[\omega_0 \cdot t + \Delta\varphi \cdot f(t)], \quad (2.14)$$

де  $\Delta\varphi$  – індекс фазової модуляції,  $f(t)$  – модулююча функція.

Використовуючи в якості змінного параметру в рівнянні 2.14 зсув фази сигналу в КТ-1 отримаємо:

1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1
$\varphi_1$	$\varphi_c$	$\varphi_1$	$\varphi_0$	$\varphi_c$	$\varphi_0$	$\varphi_c$	$\varphi_0$	$\varphi_1$	$\varphi_0$	$\varphi_1$	$\varphi_c$	$\varphi_0$	$\varphi_c$	$\varphi_1$

де  $\varphi_0 = 0^\circ$ ;  $\varphi_1 = 120^\circ$ ;  $\varphi_c = 240^\circ$ .

Так як граф можливих переходів не містить повторень сигналів то даний метод маніпуляції забезпечує бітову синхронізацію. На рисунку 2.14 представлені сигнали квазітрійкової ФМ і ВФМ.

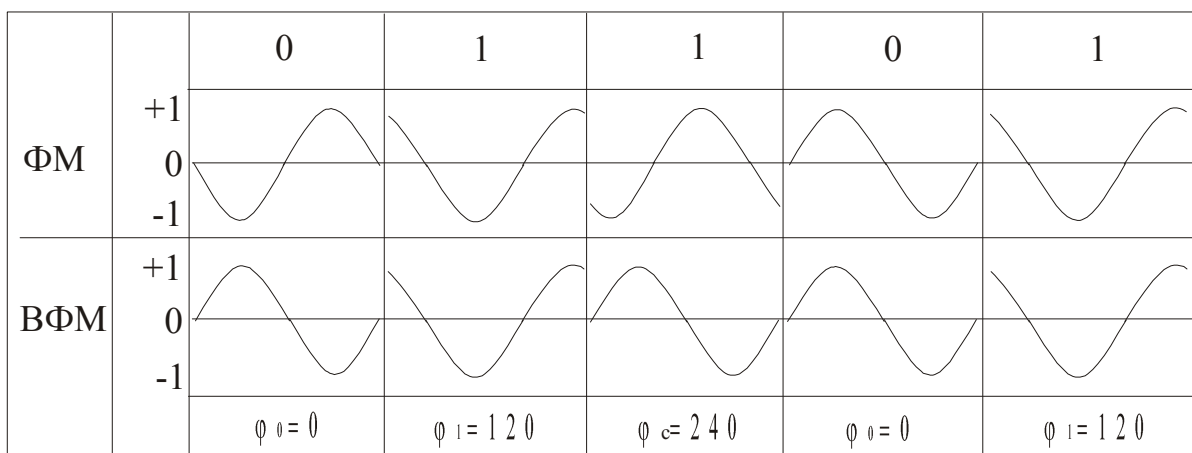


Рисунок 2.14 – Сигнали квазітрійкової ФМ і ВФМ

Оцінку ефективності квазітрійкового фазового методу маніпуляції (КТФМ) проведемо на основі порівняння середньо - квадратичної відстані між сигналами (див. рисунок 2.14) для АМ, ЧМ, ФМ і КТФМ.

Згідно теорії потенційної завадозахищеності найменша ймовірність помилкового приймання сигналу  $P_0$  при рівноймовірних сигналах забезпечується оптимальним приймачем, алгоритм роботи якого має вигляд [10]

$$\int_0^T \left[ \mathbf{r}(t) - S_i(t) \right]^2 dt < \int_0^T \left[ \mathbf{r}(t) - S_j(t) \right]^2 dt \quad i, j = 1 \dots M; \quad i \neq j.$$

Форма сигналів  $S_i(t)$  і  $S_j(t)$  залежить від методу передавання сигналів (рисунок 2.8), при передаванні імпульсами постійного струму  $S_1(t) = 1$ , а  $S_2(t) = 0$  або 1; при передаванні модульованими сигналами змінного струму тривалості  $\tau_0$  з різними амплітудами (при АМ), частотами (при ЧМ) або фазами (при ФМ).

Помилки виникають під впливом завад  $\zeta(t)$ . Ймовірність помилки при дії флуктуаційної Гаусовської завади з рівномірним спектром визначається за формулою

$$P_{\Pi} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^Z e^{-x^2/2} dt = \frac{1}{2} \cdot [1 - \Phi(Z)], \quad (2.15)$$

$$\text{де } \Phi(Z) = \frac{2}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_0^Z e^{-x^2/2} dt.$$

Параметр  $Z$  залежить від відношення середньоквадратичної відстані між сигналами  $S_1(t)$  і  $S_2(t)$  і спектральною густиною шуму  $N_0$ , потужності завади  $P_3$  на одиницю смуги пропускання приймача:  $Z = \sqrt{d/2 \cdot N_0}$ ,  $N_0 = \frac{P_3}{\Delta F_k}$ .

Середньоквадратична відстань між сигналами визначається за формулою:

$$d(t) = \frac{1}{2 \cdot \pi_0} \int_0^{\tau} [S_1(t) - S_2(t)]^2 dt,$$

характеризує ступінь розпізнавання сигналів  $S_1(t)$  і  $S_2(t)$  і визначає при заданому  $N_0$  завадостійкість методів маніпуляції.

Як видно із рисунка 2.15 найбільша площа між сигналами при ФМ, а найменша при АМ.

Параметр  $Z$  в формулі (2.15) при АМ дорівнює  $\sqrt{\frac{E_c}{2 \cdot N_0}}$ ,

при ЧМ –  $\sqrt{\frac{E_c}{N_0}}$ , при ФМ  $\sqrt{\frac{E_c}{N_0}}$ ,

де  $E_c$  – енергія сигналу.

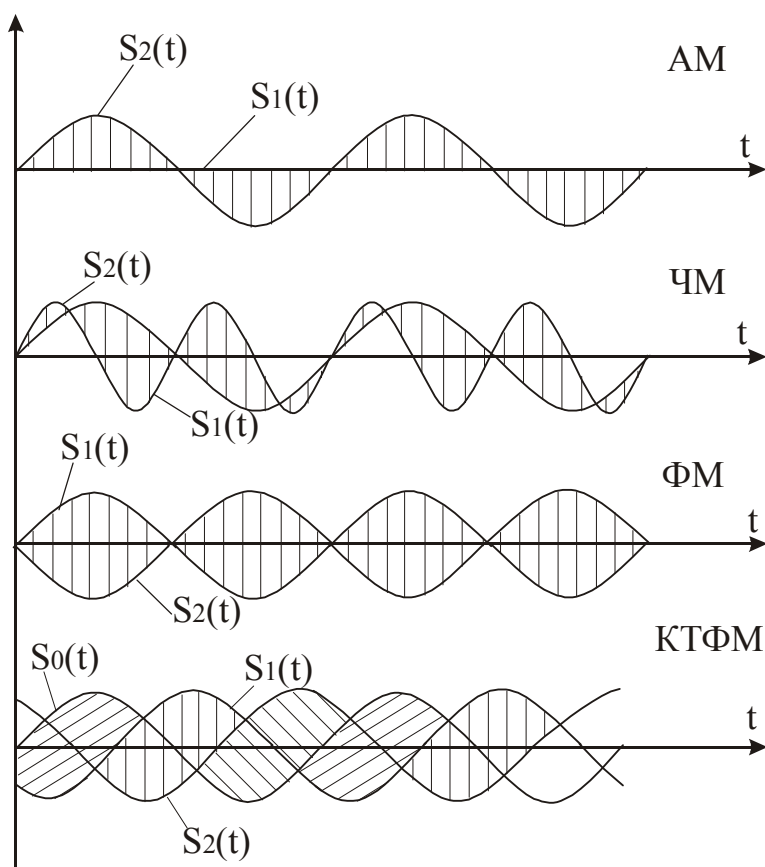


Рисунок 2.15 – Віддаль між сигналами при різних методах маніпуляції

Середньоквадратичну віддаль між сигналами для КТФМ знаходимо за формулами:

$$d1(t) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^{\tau} S_0(t) - S_1(t) dt;$$

$$d2(t) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^{\tau} S_0(t) - S_2(t) dt;$$

$$d3(t) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^{\tau} S_1(t) - S_2(t) dt,$$

де  $S_0(t) = \sin \omega \cdot t$ ;  $S_1(t) = \sin \omega \cdot t + \frac{2 \cdot \pi}{3}$ ;  $S_2(t) = \sin \omega \cdot t + \frac{4 \cdot \pi}{3}$ .

Отже, найбільш завадозахищеними є фазоманіпульовані сигнали. Вони забезпечують вигреш в енергії сигналу в два рази в порівнянні з ЧМ сигналами і в чотири рази в порівнянні з АМ сигналами. ЧМ сигнали забезпечують вигреш в енергії сигналу в порівнянні з АМ в два рази. Однак на відміну від фазової і частотної маніпуляції, при АМ передається тільки один сигнал. Тому, якщо виходити з середньоквадратичних затрат то системи з АМ і ЧМ сигналами мають однакову завадостійкість.

Розроблений квазітрійковий фазо-імпульсний метод кодування (КТФІ) (рисунок 2.16) при якому інформація передається шляхом зміни положення одиничного імпульсу сигналу на заданому часовому періоді.

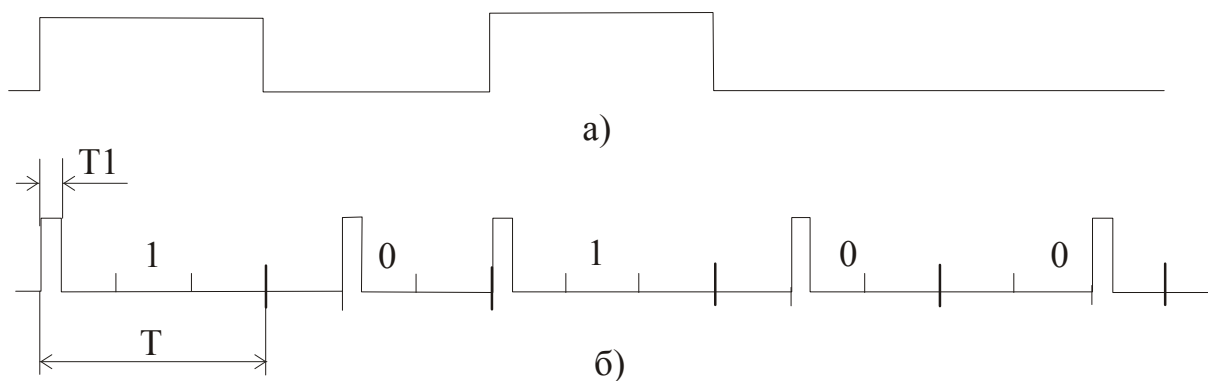


Рисунок 2.16 – Квазітрійковий фазо-імпульсний метод кодування:

а) – сигнальна модель потоку інформаційних даних;

б) – приклад КТФІ методу кодування;

$T$  – період інформаційного сигналу;

$T_1=3T/16$ – тривалість сигналу.

Цей часовий період ділиться на  $n$  дискретних інтервалів і передній фронт імпульсу повинен співпадати з одним із дискретних інтервалів.

Передавач випромінює тільки в одному інтервалі. Приймач підраховує кількість імпульсів в кожному часовому інтервалі і в залежності від номера активного інтервалу визначає передавався символ “0”, “1”, або “с”.

#### 2.4 Розробка загальної структури системи передавання даних

Всі процеси в ЕОМ, обчислювальних комплексах і системах пов’язані з перетворенням, зберіганням і передачею інформації.

Структурна схема системи передавання даних найбільш повно відображає інформаційну систему і може бути використана для характеристики і інших інформаційних систем (систем автоматичного управління, систем контролю, біологічних систем).

СПД охоплюють такі 6 етапів трансформування інформаційних потоків в автоматизованих системах управління та комп’ютерних мережах [5].

1. При дистанційному контролі об’єкту управління.
2. При зборі вимірювальної інформації.
3. При організації низових обчислювальних мереж. (Низові мережі – це мережі, які безпосередньо пов’язані з об’єктом управління).
4. При управлінні об’єктами в реальному часі.
5. При обміні даними між комп’ютерами, давачами та виконавчими механізмами.

6. При організації локальних, регіональних та глобальних комп'ютерних мереж.

Критерії побудови СПД. Основна вимога полягає в передаванні максимального об'єму інформації з максимальною швидкістю, заданою завадостійкістю, на найбільшу віддаль, з мінімальними затратами.

Цільова функція проектування СПД запишеться [6]:

$$F_{\text{СПД}} = \{ C_{\text{max}}, L_{\text{max}}, R_{\text{min}}, \Sigma_{\text{min}} \},$$

де  $F_{\text{СПД}}$  – цільова функція проектування СПД;

$C_{\text{max}}$  – швидкість передавання даних (біт/с);

$L_{\text{max}}$  – віддаль (км);

$R_{\text{min}}$  – ймовірність помилки;

$$R = \frac{N_i}{N_0},$$

де  $N_i$  – число повідомлень прийнятих з помилкою;

$N_0$  – загальне число переданих даних:

$\Sigma_{\text{min}}$  – собівартість передавання одиниці інформації (у умовних од. на біт).

СПД можуть бути проблемно орієнтовані:

$$F_{\text{СПД}} = \{ V_{\text{max}}, T_{\text{min}} \};$$

$$F_{\text{СПД}} = \{ R_{\text{min}} \} \text{ – банківські системи};$$

$$F_{\text{СПД}} = \{ E_{\text{max}} \} \text{ – космічні системи}.$$

Взаємозв'язок СПД з іншими системними об'єктами обчислювальних показаний на рисунку 2.17.

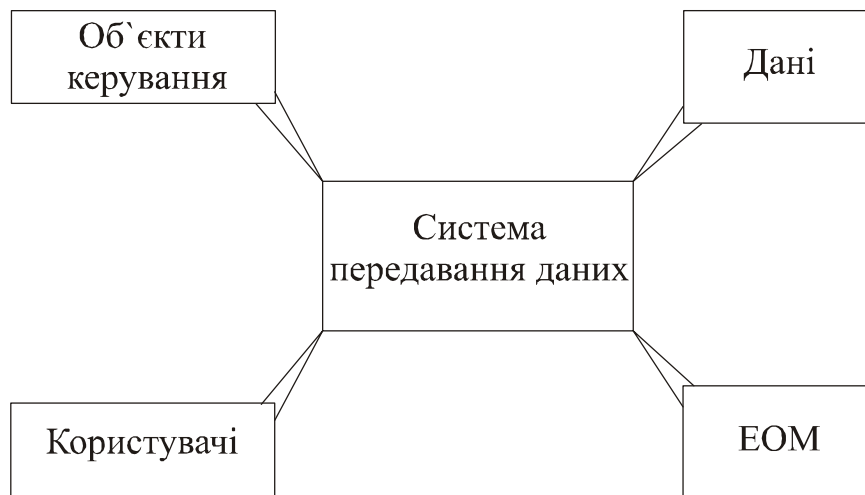


Рисунок 2.17 – Взаємодія системних об'єктів СПД

ОУ – об'єкт управління;

Д – дані;

О – оператор;

СПД – система передавання даних.

Якщо в системі відсутній хоча б один з п'яти об'єктів то такі системи називаються виродженими або проблемно – орієнтованими (рисунок 2.18).

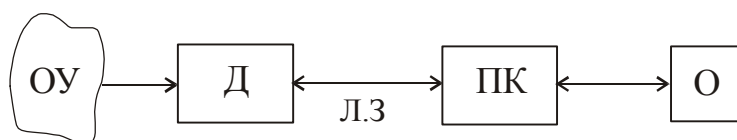


Рисунок 2.18 – Проблемно-орієнтована СПД

Щоб зв'язати два системні елементи використовують драйвери.

Виходячи із загальної архітектури автоматизованих систем управління можна визначити типові проблемно-орієнтовані структури СПД:

ОУ → СПД → О;

ОУ → СПД → Д;

ОУ → СПД → ПК;

О → СПД → ОУ;

О → СПД → Д;

О → СПД → ПК.

ПК → СПД → ОУ;

ПК → СПД → О;

ПК → СПД → Д;

Система передавання даних складається із відправника інформації, лінії зв'язку і одержувача інформації (рисунок 2.19).

Необхідно розрізняти поняття інформації і повідомлення. Повідомлення – це форма представлення інформації. Наприклад при телеграфній передачі повідомленням є текст телеграми.

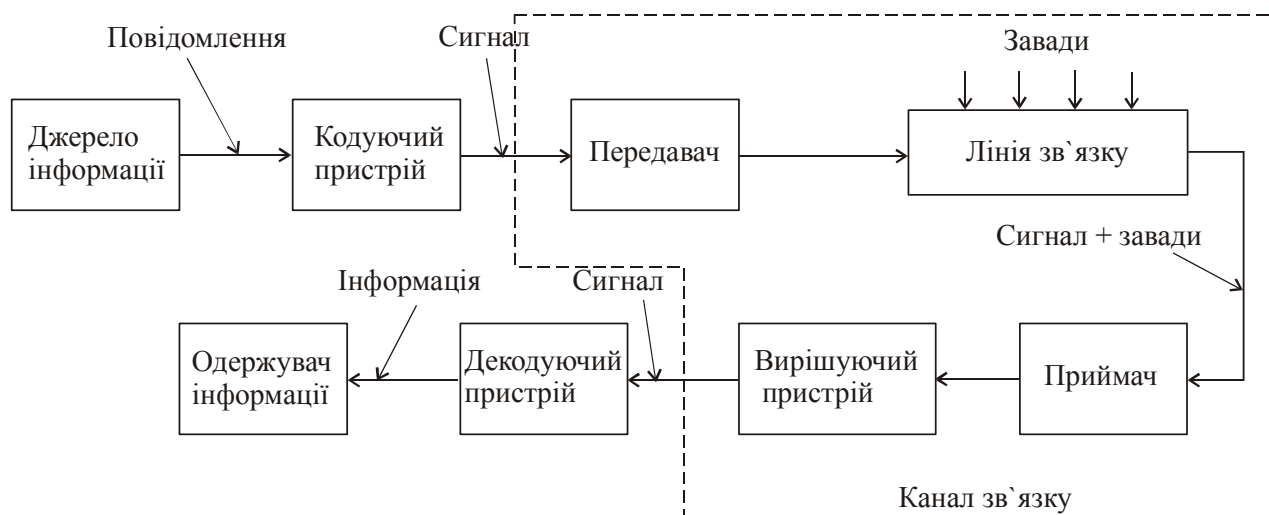


Рисунок 2.19 – Загальна структура СПД

Для передавання повідомлення по лінії зв'язку його перетворюють в сигнал. Під сигналом розуміють змінну фізичну величину, яка відтворює повідомлення. Сигнал – це матеріальний носій повідомлення. Фізичне середовище по якому проходить передача сигналів від передавача до приймача називається лінією зв'язку.



## 3 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ БЛОКІВ СИСТЕМИ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ

### 3.1 Розробка структурної схеми модулятора

Структурна схема цифрового модулятора запропонованого методу модуляції сигналів КТФ (рисунок 2.10) приведена на рисунку 3.1.

Генератор ГІ формує тактові імпульси частотою  $F = 3 \cdot C_D$ , де  $C_D$  – швидкість передавання даних.

Робота модулятора тактується вхідними даними. Для початкової синхронізації генератора імпульсів ГІ використовується стартовий біт протоколу передавання RS-232.

Імпульси генератора ГІ поступають на формувач трифазних сигналів (ФТС) на виході якого формуються сигнали із зсувом фаз  $0^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $240^\circ$ , які поступають на входи мультиплексора МХ.

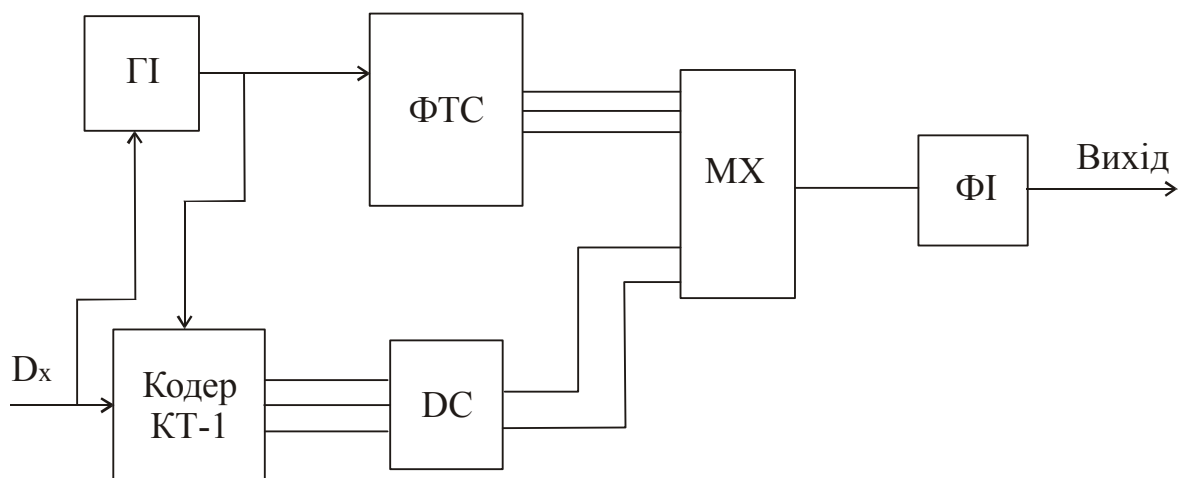


Рисунок 3.1 – Структурна схема модулятора КТФ сигналів

Дані  $D_x$ , які підлягають передаванню по каналі зв'язку у вигляді біт орієнтованого потоку даних у кодї NRZ поступають на вхід кодера КТ-1. На

виході якого формується трьох позиційний код, пропорційний потоку даних  $D_x$ .

Дешифратор DC перетворює вихідні сигнали кодера КТ-1 в паралельний двійковий код, який поступає на адресні входи МХ. Формувач імпульсів ФІ по фронту наростання вихідного сигналу МХ формує імпульси тривалістю  $3T/16$ .

### 3.2 Розробка структури кодера та декодера

Важливим структурним елементом кодера КТФ методу є кодер КТ-1, який реалізує запропонований квазітрійковий фазо-імпульсний метод кодування даних.

Реалізація кодера КТ-1 представлена на рисунку 3.5, де тригери Т1, Т2 виконують функції аналізатора двох послідовних бітів даних, Т3 ділить вхідну тактову частоту на 2. Принцип роботи даного кодера представлений часовою діаграмою (рисунок 3.2).

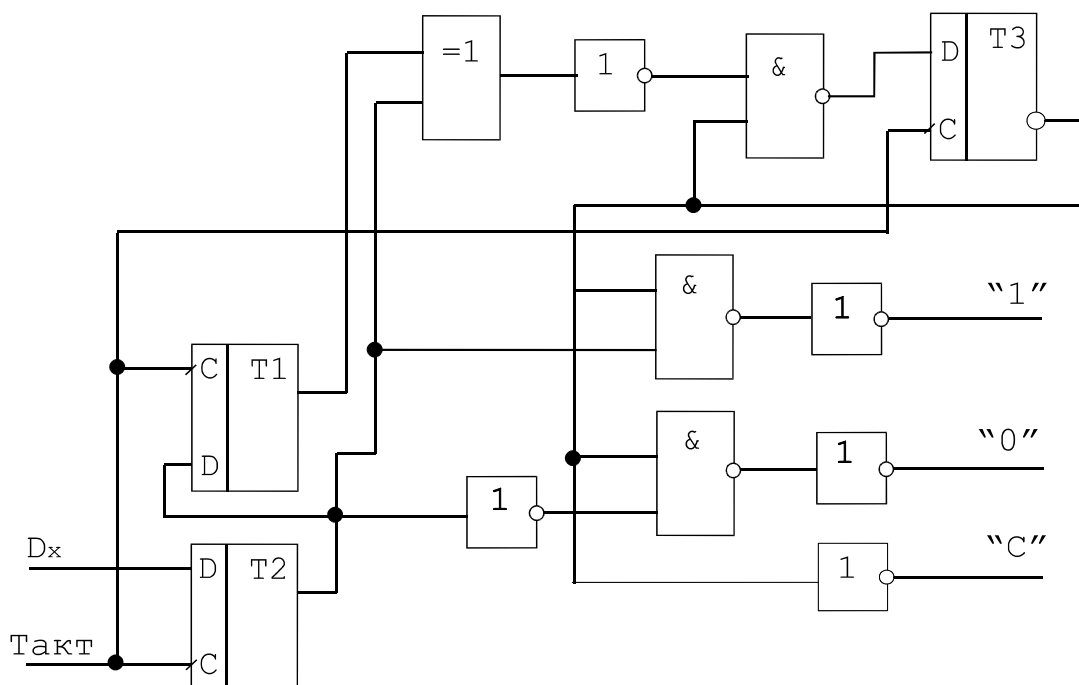


Рисунок 3.2 – Структурна схема кодера КТ-1

Процес декодування полягає у визначенні номера часового інтервалу в якому відбулось передавання інформаційного сигналу (рисунок 3.3).

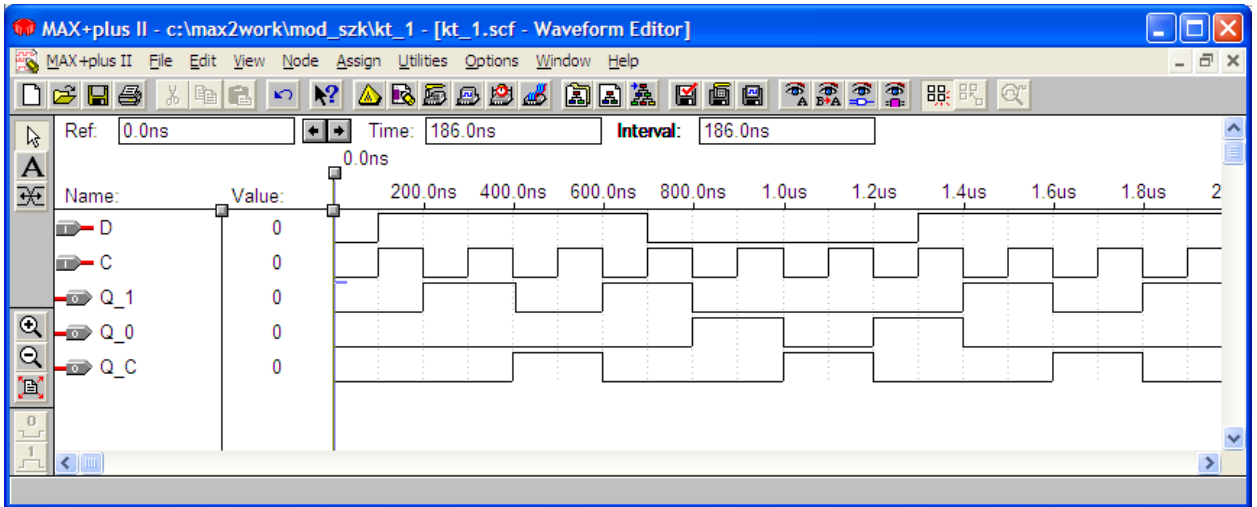


Рисунок 3.3 – Часові діаграми роботи кодера КТ-1

Сигнал з приймача передавання даних поступає на RS-тригер, який відкриває ключ К, що дозволяє проходженню імпульсів на лічильник СТ (рисунок 3. 4).

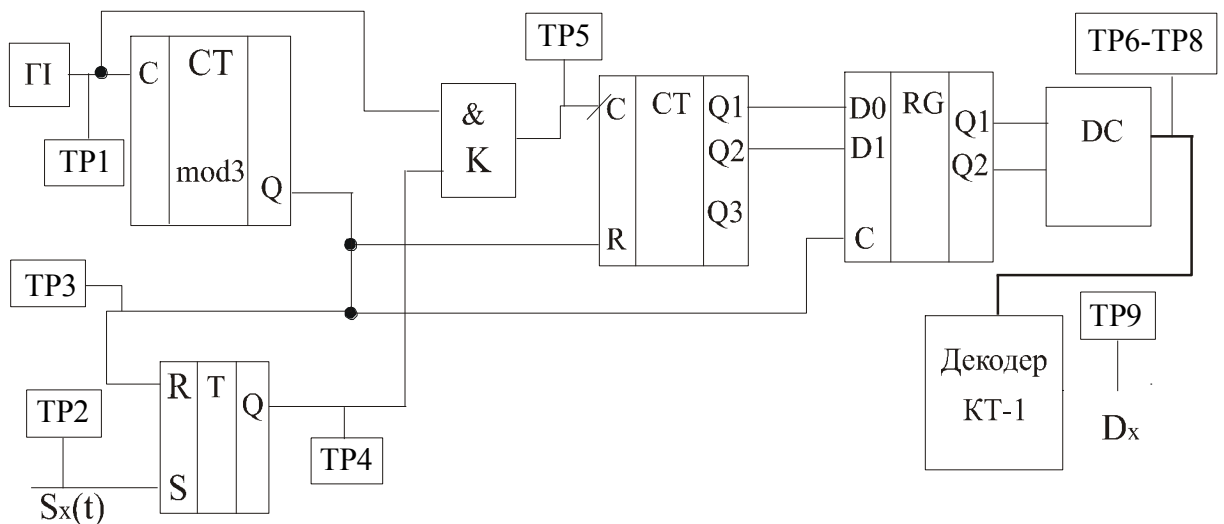


Рисунок 3.4 – Структурна схема декодера КТФ

Код з виходів лічильника перезаписується в регістр RG сигналом  $S_x$ . Дешифратор DC перетворює паралельний двійковий код в розрядно-позиційний, який поступає на декодер КТ-1. Часова діаграма роботи якого представлена на рисунку 3.5.

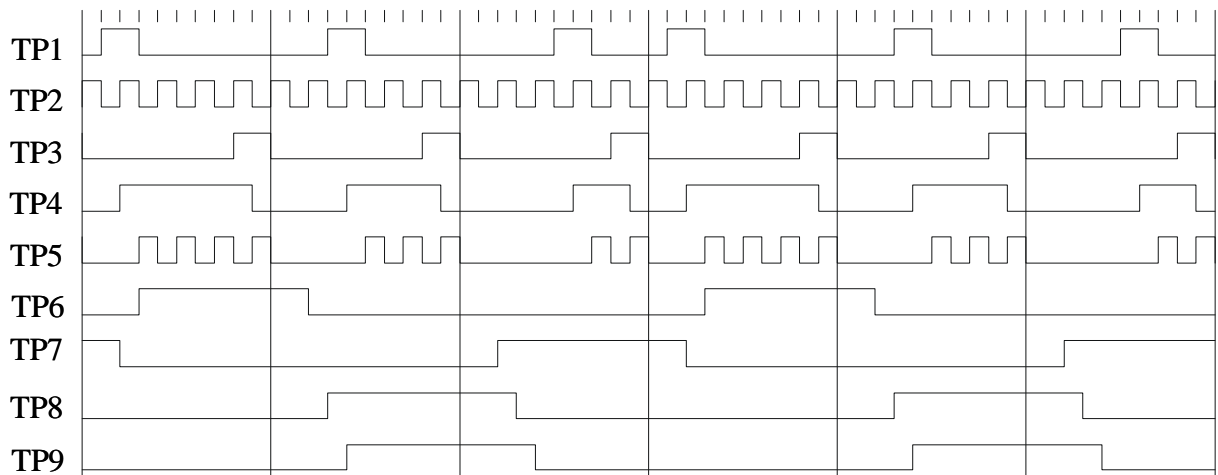


Рисунок 3.5 – Часові діаграми роботи декодера КТФ методу

Розроблені структури кодерів передавача і приймача характеризуються незначною складністю і можуть бути реалізовані на базі типових мікроелектронних компонентах. При зростанні об'ємів випуску систем передавання даних є можливість їх реалізації на програмованих логічних матрицях (ПЛМ) і спецпроцесорах.

Дані принципи організації цифрових кодерів використані в якості базових при побудові та дослідженні лінії зв'язку.

### 3.3 Розробка формувача трифазних сигналів

Важливим вузлом квазітрифазного модулятора є формувач трифазних сигналів. Цифрові генератори аналогових сигналів довільної форми часто використовуються при відлагодженні різних аналогових і аналого-цифрових пристроїв і систем. Вони дозволяють не тільки одержати сигнали різних стандартних і нестандартних форм але й забезпечити високу точність задання амплітуди і частоти сигналу, що нереально досягти в випадку звичайних аналогових генераторів. Цифрові генератори працюють звичайно під керуванням комп'ютера або контролера, що обумовлює більші зручності користувача і широкі можливості задання різних форм сигналу і їх зберігання.

Генератор повинен формувати сигнали синусоїдальної форми із зсувом фаз  $0^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $204^\circ$  з амплітудою, що задається керуючим кодом. Генератор повинен працювати в режимі автоматичного генерування, а також в режимі фазової генерації з зупинкою генерування після закінчення одного періоду вихідного сигналу. Керування роботою генератора повинно бути повністю цифровим.

Розробку генератора розпочнемо з вихідного сигналу, який він повинен формувати. Вихідний сигнал ЦАП  $U_{\text{ЦАП}}$  представляє собою ступінчасту функцію, яку можна представити в вигляді суми ідеального аналогового сигналу  $U_{\text{вих}}$  і пилоподібного сигналу завади  $U_{\text{зав}}$ . Сигнал завади  $U_{\text{зав}}$  має основну частоту, що дорівнює частоті поступлення вхідних кодів на ЦАП. Для згладження сходинок вихідного сигналу ЦАП і наближення його до ідеального сигналу  $U_{\text{вих}}$  можна використати простий аналоговий фільтр низької частоти, який повинен суттєво ослабити сигнал завади, але не повинен ослаблювати корисний сигнал генератора. Крім фільтра низької частоти вихідний вузол генератора сигналів повинен містити схему задання амплітуди вихідного сигналу. При використанні оперативної пам'яті для зберігання кодів вибірок вихідного сигналу схеми задання амплітуди може й не бути. При цьому в

пам'ять необхідно заносити коди вибірок сигналу з потрібною амплітудою. Проте такий підхід не дуже зручний, так як він потребує перерахунку всіх кодів вибірок для кожної нової амплітуди сигналу вибраної форми. Зручніше щоб в пам'яті завжди зберігались коди вибірок сигналу з максимальною амплітудою, а вихідний сигнал ЦАП послаблювався керованим атенюатором в необхідну кількість раз.

Аналоговий фільтр низьких частот повинен мати коефіцієнт передачі в смузі пропускання, що дорівнює одиниці, і частота зрізу, що забезпечує ефективне подавлення сигналу завади. Для зручності фільтр доцільно зробити неінвертуючий, щоб вихідні сигнали на обох виходах генератора ( $U_{\text{вих1}}$  і  $U_{\text{вих2}}$ ) були однакової полярності. Атенюатор керується 8-розрядним кодом амплітуди, що забезпечує коефіцієнт ділення сигналу від 1/256 до 1. Якщо амплітуда сигналу  $U_{\text{цап}}$  дорівнює 10В, то амплітуда вихідного сигналу може бути задана з точністю 40мВ.

Основний вузол генератора повинен представляє собою буферну оперативну пам'ять з періодичним режимом роботи. Причому цей буфер повинен бути однонаправленим. Перед початком роботи в буфер заноситься масив кодів вибірок сигналу, який необхідно синтезувати а під час роботи генератора адреси опитуються в необхідному темпі і вихідні коди пам'яті подаються на ЦАП, який формує аналоговий сигнал. Проблема в виборі потрібного об'єму пам'яті і в способі перебору адресів для забезпечення необхідної частоти вихідного сигналу. Пам'ять може бути постійною (ПЗП), якщо необхідно формувати одну або декілька постійних форм сигналу. В цьому випадку операція запису в пам'ять виключається, але проблема вибору способу перебору адресів пам'яті залишається. Існує два основні способи перебору адресів пам'яті генератора аналогових сигналів.

Перший спосіб передбачає перебір адресів пам'яті генератора з допомогою звичайного двійкового лічильника. В цьому випадку опитуються всі адреси пам'яті підряд. Зміна частот аналогового вихідного сигналу

генератора відбувається з допомогою зміни тактової частоти цього лічильника, для чого використовується керуючий подільник частоти опорного кварцевого генератора (рисунок 3.6). Частота вихідного сигналу буде визначатися при такому рішенні за формулою

$$f_{\text{вих}} = \frac{f_g}{2^n \cdot N},$$

де  $f_g$  – частота задаючого кварцевого генератора,  $N$  – керуючий код подільника частоти,  $n$  – розрядність лічильника (розрядність шини адреси пам'яті).

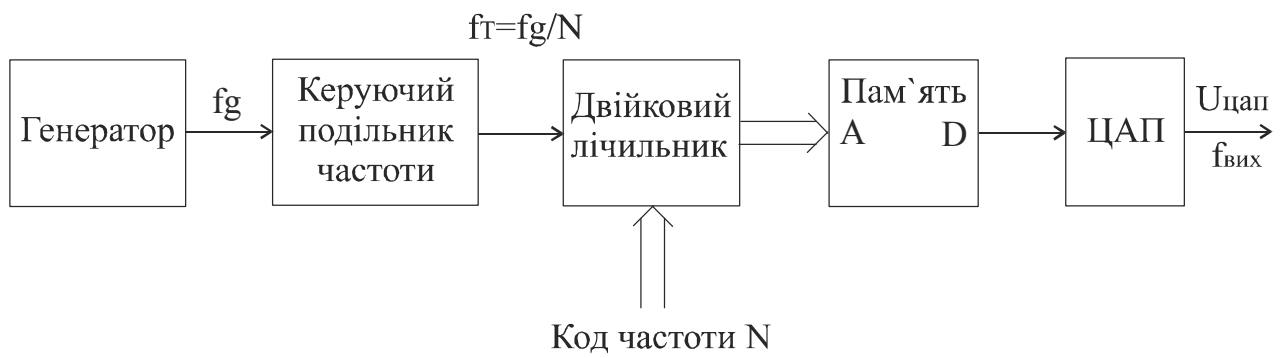


Рисунок 36 – Структурна схема формувача трифазних сигналів.

Головна перевага даного підходу в тому, що при зміні частоти вихідного сигналу не змінюється точність формування вихідного сигналу. Так, як точність формування аналогового сигналу залежить в першу чергу від кількості вибірок, що припадають на період вихідного сигналу, а в даному випадку вона однакова і дорівнює кількості адрес пам'яті. Наприклад, якщо пам'ять має 1К адресів, то вихідний сигнал при будь-якій частоті буде задаватись з допомогою 1024 точок, він завжди буде мати 1024 сходинки. Проте дане рішення має і серйозний недолік. Основний його недолік в тому, що частота сигналу завади в даному випадку прямо пропорційна частоті вихідного аналогового сигналу генератора. Наприклад, при 1К адресі пам'яті частота сигналу завади в 1024 раз більша частоти вихідного сигналу. І при

зміні частоти вихідного сигналу в 1000 раз також в 1000 раз буде змінюватись частота сигналу завади. Відфільтрувати таку заваду змінної частоти досить важко, так як необхідно використання фільтра з частотою зрізу, що змінюється в дуже широкому діапазоні. Другий суттєвий недолік даного методу пов'язаний з високими вимогами до швидкодії ЦАП. Наприклад, якщо максимальна частота вихідного аналогового сигналу генератора повинна бути 20 кГц, а пам'ять має 1К адресів, то ЦАП повинен працювати з частотою 20МГц, тобто мати час встановлення менше 50 нс. При великій частоті вихідного сигналу і при великому об'єму пам'яті вимоги до швидкодії ЦАП будуть ще більші. І з такою ж швидкістю повинна працювати буферна пам'ять, тобто вимоги до швидкодії пам'яті також великі.



## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Основною метою розділу охорони праці є уникнення можливості виробничого травматизму, професійних отруень і захворювань, пожеж і вибухів, аварій, забруднення довкілля при будівництві та використанні об'єкта проектування.

В розділі охорона праці проводиться розрахунок безпечних умов праці для лабораторії, в якій проводиться розробка апаратних засобів.

Обслуговуючий персонал займається контролюванням роботи апаратури, виявленням аварій та їх усуненням.

Контроль за роботою здійснюється за допомогою комп'ютерного обладнання, тому ця робота відноситься до категорії легких, тобто робіт, які виконуються в сидячому, стоячому положенні або зв'язані з рухом, але вона не відноситься до систематичної фізичної роботи або до перенесення важких предметів.

Виходячи зі СН 245-71 і ГОСТ 12.1.005-88, а також, беручи до уваги характер робіт, відповідно до яких, площа приміщення на одного працівника в приміщенні дорівнює ( $6 \text{ м}^2$ ), приймаємо [25]:

$$S_n = n \cdot S_0, \quad (4.1)$$

де  $S_0$ - площа приміщення, що виводиться на одного працівника;

$n$ - кількість працівників.

Оскільки в приміщенні працює 5 чоловік, тоді необхідна площа для роботи повинна становити:

$$S_n = 5 \cdot 6 = 30 \text{ м}^2.$$

Реальна площа приміщення становить  $48 \text{ м}^2$ , тобто відповідає вимогам санітарних норм.

Згідно ГОСТ 12.1.005-88 в приміщенні повинні підтримуватися певні метеорологічні умови, що визначаються температурою відносною вологістю

повітря, тиском та швидкістю руху повітря. Ці фактори впливають на терморегуляцію, тобто спроможністю організму людини підтримувати нормальну температуру тіла (в межах 36 – 37 °С).

Тепловіддача від організму може здійснюватись шляхом тепловипромінення, конвекції і випаровування. При підвищеній температурі навколишнього середовища тепловіддача здійснюється лише за рахунок випаровування поту. Перегрівання тіла до 40 – 41 °С приводить до порушення водно-сольового обміну, виникнення судомної хвороби і теплового удару з втратою свідомості.

Робота в умовах пониженої температури повітря, особливо при підвищеній вологості і швидкості руху, призводить до переохолодження тіла, що супроводжується виникненням простудних захворювань. Мінусова температура повітря призводить до обморожування, що розглядається, як виробнича травма.

Для робочої зони нашого, приміщення, оптимальні і допустимі значення температури, відносної вологості і швидкості і руху повітря, встановлюються з врахуванням трудоемності і складності роботи, яка виконується, а також пори року. Користувачі персональних комп'ютерів належать до групи 1а – легкі роботи.

Відповідно до цього та ГОСТ 12.1.005-88 вибираємо необхідні метеорологічні умови (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Оптимальні і допустимі метеоумови

Період року	Категорія робіт	Температура t, °С		Відносна вологість повітря, %		Швидкість повітря	
		Оптималь	Допустим	Оптималь	Допустим	Оптималь	Допусти
Холодний	Легка 1а	22–24	21-25	40 – 60	<75 <55	0,1 0,1	<0,1 0,1 – 0,2
Теплий	Легка 1а	23-25	22-28	40 – 60			

Для підтримання відповідних метеорологічних умов в приміщенні встановлено обладнання системи центрального опалення, але в зимовий період його тепловіддача є недостатньою. Доцільним є проведення ущільнення конструктивів вікон і дверей, щоб припинити втрати тепла.

Решту метеорологічних умов забезпечує обладнання повного кондиціонування повітря. Воно забезпечує постійність температури, вологості, руху і чистоти повітря.

Сприятливі умови роботи забезпечують як високу продуктивність праці, так і позитивно впливають на психологічний стан людини, на її працездатність і здоров'я. Особливо важливе біологічне і гігієнічне значення для людини має природне освітлення, тому при проектуванні виробничих приміщень важливо передбачити наявність природного освітлення СНіП II-4-79.

Проведемо розрахунок природного освітлення, згідно зі СНіП II-4-79 «Природне і штучне освітлення. Норми проектування», а при необхідності розрахуємо додаткове штучне освітлення приміщення.

Розрізняють три системи природного освітлення: бокове, верхнє, комбіноване. Для кількісної оцінки виробничого освітлення важливою технічною характеристикою є освітленість робочої поверхні. Густина світлової енергії на площі  $E(\text{лк})$  визначається за формулою [25]:

$$E = dF/dS, \quad (4.2)$$

де  $dF$  світловий потік, який характеризує потужність світлового випромінювача (лм), рівномірно розподілений по площі  $dS$  ( $\text{м}^2$ ).

Коефіцієнт природного освітлення, який являє собою відношення освітленості в даній точці середини приміщення  $E_v$  до зовнішнього горизонтального освітлення  $E_z$  визначаємо за формулою:

$$I = E_v/E_z. \quad (4.3)$$

Заміри натурного освітлення проводяться люксметром 10116.

Розміри приміщення становлять:

$L_n B = 6 \cdot 8 \text{ м}^2$ ; висота приміщення  $h = 3 \text{ м}$ ,  $S$  – світловий отвір вікон  $1,9 \text{ м}^2$ . Віконне скло подвійне. Характеристика зорової роботи відноситься до високої точності. Це відповідає нормі природного освітлення КПО  $I_n = 2 \%$  при боковому освітленні.

При боковому освітленні використовується формула: [25]

$$100 \frac{S_0}{S_n} = \frac{I_n \cdot K_3 \cdot \eta_{10}}{\tau_0 \cdot VI} K_6; \quad (4.3)$$

де  $S_0$  — площа світлових отворів,  $\text{м}^2$ ;

$S_n$  – площа підлоги,  $\text{м}$ ;

$K_3$  – коефіцієнт світлопроникнення;

$\eta_{10}$  – світлова характеристика вікон;

$\tau_0$  – загальний коефіцієнт світлопроникності;

$VI$  – коефіцієнт, який враховує відбивання світла від поверхні;

$K_6$  – коефіцієнт, який враховує затемнення будинками, що стоять навпроти.

Для приміщення розмірами  $6 \cdot 8 \cdot 3$  площа  $S = 48 \text{ м}^2$ ;

Для  $L_n/B = 8/6 = 1,33$ ;  $B/H = 6/3 = 2$ ;  $\eta_{10} = 16$ ;

Для середньозваженого коефіцієнта відображення стелі, стін і підлоги, який дорівнює  $0,4$ , коефіцієнт  $VI$  становить  $2,4$ .  $K_6$  приймаємо –  $1,4$ .

Для приміщень з повітряним середовищем, в якому концентрація пилу менше

$$1 \text{ мг/м}^3 \quad K_3 = 1,4.$$

Оскільки  $I_n = 2 \%$ , коефіцієнт  $\tau_0$  визначаємо за формулою [25]:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5; \quad (4.5)$$

де  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$  - коефіцієнти світлопропускання матеріалу вікна, виду вікна і його конструкції: для віконного, листового, подвійного скла  $\tau_1 = 0,8$ ; для

дерев'яних подвійних роздільних оправ до вікон  $\tau_2 = 0,6$ ; для залізобетонних конструкцій  $\tau_3 = 0,8$ .

$\tau_4$  – коефіцієнт, який враховує витрати світла в сонцезахисних конструкціях: для жалюзі і штор, що регулюються, дорівнює 1.

$\tau_5$  – коефіцієнт, який враховує втрати світла в захисній сітці, що встановлюється під світильником – дорівнює 0,9.

Отже:  $\tau_0 = 0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,35$ .

Визначаємо площу світлових отворів  $S_0$ :

$$S_0 = \frac{I_n \cdot K_3 \cdot \eta_{10} \cdot S_n}{100 \cdot \tau_0} = K_6; \quad (4.6)$$

Кількість вікон визначаємо за формулою:

$$S_0 = \frac{2 \cdot 1,4 \cdot 16 \cdot 1,4 \cdot 48}{100 \cdot 0,35 \cdot 24} = 3,47 \text{ (м}^2\text{)} \quad (4.7)$$

де  $S_1$  – стандартна площа вікна.

Відповідно:

$n = 3,47/1,9 = 1,83 = 2$  вікна.

Таким чином, для забезпечення КПО  $I_n = 2\%$  у приміщення повинно бути два вікна площею  $1,9 \text{ м}^2$ .

Для освітлення приміщення, коли природного освітлення недостатньо, або взагалі немає, використовується штучне освітлення.

Світловий потік  $\Phi$  – це потужність світлової енергії, що оцінюється за світловим відчуттям, яке воно справляє на органи зору людини:

$$\Phi = dQ/dt. \quad (4.8)$$

Сила світла  $I$  – це відношення світлового потоку до величини тілесного кута, в якому рівномірно розподілено випромінювання:

$$I = dF/d\omega. \quad (4.9)$$

Освітленість  $E$  – густина світлового потоку на освітлюваній поверхні.

$$E = d\Phi/dS. \quad (4.10)$$

Яскравість  $L$  – поверхнева густина сили світла у заданому напрямку.

$$L = dl/dS \cdot \cos(\alpha). \quad (4.11)$$

Коефіцієнт відбиття  $\beta$  – відношення відбитого світлового потоку до падаючого:

$$\beta = \Phi_{\text{відб.}}/\Phi_{\text{пад.}}$$

Якісні показники.

Фон – поверхня, що прилягає безпосередньо до об'єкта розпізнавання, на який цей об'єкт сприймається. Фон характеризує коефіцієнт відбиття (залежить від кольору поверхні та від її фактури). Фон світлий  $\Phi > 0,4$ ; середній –  $\Phi = 0,2 - 0,4$ ; темний  $\Phi < 0,2$ .

Контраст – ступінь розпізнавання яскравості об'єкта і фону:

$$K = (L_0 - L_{\phi}) / L_0. \quad (4.12)$$

Контраст великий  $K > 0,5$ ; середній  $K = 0,2 - 0,5$ ; маленький –  $K < 0,2$ ;

Коефіцієнт пульсацій  $K_{\text{п}}$  - критерій оцінки відносної глибини коливань освітленості в результаті зміни в часі світлового потоку газорозрядних ламп при живленні їх змінним струмом:

$$K_{\text{п}} = (E_{\text{макс}} - E_{\text{мін}}) \cdot 100\% / (2 \cdot E_{\text{сер}}) \quad (4.13)$$

де  $E_{\text{сер}}$  – значення освітленості за період.

Розміри приміщення:  $A = 8$  м,  $B = 6$  м,  $H = 3,0$  м.

Нормована освітленість 300 лк.

Показник приміщення:

$$i = A \cdot B / (H \cdot (A + B)) = 8 \cdot 6 / (3,0 \cdot (8 + 6)) = 1,14,$$

де  $A$ ,  $B$ ,  $H$  – відповідно розміри приміщення.

Вибираємо світильник НОДЛ з коефіцієнтом використання світлового потоку  $\eta = 49\%$ .

Сумарний світловий потік:

$$\Phi = ((E_n \cdot S \cdot k \cdot Z) / \eta) \cdot 100\%, \quad (4.14)$$

де  $E_n$  – нормована освітленість, лк;

$S$  – площа приміщення,  $m^2$ ;

$k$  – коефіцієнт запасу;

$Z$  – коефіцієнт мінімальної освітленості;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку;

$$\Phi = ((300 \cdot 48 \cdot 1,75 \cdot 1,1) / 49) \cdot 100\% = 56\,572 \text{ лм.}$$

Вибираємо лампи ЛТБ-80 р,  $\Phi_{\text{л}}$  – 4300 лм, тоді кількість ламп дорівнює:

$$N = \Phi / \Phi_{\text{л}} = 56572 / 4300 = 14 \text{ шт.}$$

Кількість світильників:

$$N_c = N / 2 = 7 \text{ шт.}$$

Перерахуємо значення  $E$ :

$$E = \frac{N \cdot \Phi_{\text{л}} \cdot \eta}{S \cdot k \cdot Z \cdot 100\%} = \frac{14 \cdot 4300 \cdot 49}{48 \cdot 1,75 \cdot 1,1 \cdot 100\%} = 319,3. \quad (4.15)$$

Отже, штучне освітлення забезпечує освітленість  $E = 319$  лк, що є більшим за  $E_n$  ( $E_n = 300$  лк), тобто розрахунок проведений правильно.

Рівень шуму дорівнює 75 дБ, що відповідає вимогам ГОСТу, тому захисних заходів не передбачається.

Електричний струм при дії на людину може викликати як місцеві, так і загальні пошкодження. Місцеві електротравми – це опіки, нагрівання внутрішніх органів, механічні пошкодження (розрив тканин м'язів), порушення біоелектричних процесів у організмі, електроліз органічних рідин. Зовнішніми проявами електротравм можуть бути термічні опіки, електричні ознаки на шкірі, металізація поверхні шкіри, електроофтальмія (ураження зору під дією ультрафіолетових променів при іскровому розряді). Загальне ураження струмом відбувається при проходженні струму через нервові центри, центри дихання і роботи серця (електричний удар).

Небезпека ураження тим більша, чим більший струм проходить через людину, але крім цього, впливають: тривалість і шлях проходження струму, його вид, частота і виробничі умови.

Умови ураження людини електричним струмом такі:

- двофазне дотикання (двофазне включення людини в мережу);
- однофазне дотикання, наближення на небезпечну віддаль до неізолюваних дротів з напругою більше 1000 В;
- дотик до корпусу обладнання, що не проводить струм, але опинилося під напругою;
- перебування в зоні дії атмосферної електрики;
- вхід у зону дії електромагнітного поля.

Згідно класифікації приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом (ПУЕ 1.1.6) приміщення роботи системи відноситься до першого (без підвищеної небезпеки).

Електричні установки, до яких відноситься переважна більшість обладнання системи, вимагають дотримання правил електробезпеки, оскільки в процесі експлуатації або проведення профілактичних робіт людина може доторкнутись до частин, що знаходяться під напругою 220 В, тому виникає необхідність у захисті персоналу від ураження електричним струмом. Дуже велике значення для запобігання електротравматизму має правильна організація експлуатації; обслуговування системи. Під цим розуміється точне виконання ряду організаційних та технічних заходів, які встановлені діючими «Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів і правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів» (ППЕ і ПТБ споживачів) і «Правилами побудови електропристроїв» (ППЕ). Основними технічними засобами, які забезпечують безпеку робіт в електроустановках, є: захисне заземлення, занулення, вирівнювання потенціалів, захисне включення, електричний розподіл мереж, мала напруга, подвійна ізоляція. Використання



цих засобів у різноманітних поєднаннях дозволяє захистити людину від ураження струмом.

Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих неструмопровідних частин, які можуть бути під напругою. У приміщенні розміщення контролера базових станцій заземлено всі шафи з обладнанням, а також вся комп'ютерна техніка. Приміщення, де знаходиться система, обладнується контуром-шиною захисного заземлення, яка з'єднується із заземлювачем. Контур-шина виготовляється з мідного дроту діаметром 6 мм у перерізі і вкладається по периметру приміщення. Місця перетину дротів пропадаються з застосуванням бікислотного флюсу. Для під'єднання заземлювальних працівників на шину наварюються гвинти М8. У дипломній роботі проведу розрахунок захисного заземлення згідно порядку, встановленого ПУЕ.

Згідно вимог ПУЕ 1.7.65 в електроустановках з напругами до 1 кВ при потужності трансформатора менше 100 кВт опір заземлювача повинен бути не більше 10 Ом.

1. Визначаємо розрахунковий опір землі

$$r_{o.p.z.} = \Phi \cdot r_{o.z.}, \quad (4.16)$$

де  $\Phi$  – коефіцієнт сезонності, який враховує коливання питомого опору при зміні вологості ґрунту протягом року; використовується стержневий заземлювач довжиною  $l = 2$  м при глибині закладання від вершини  $h = 0,5$  м  $\Phi = 1,1$  - четвертої кліматичної зони. Питомий опір ґрунту:  $r_{o.z.} = 300$  Ом/м –

Для піску:

$$r_{o.p.z.} = 1,1 \cdot 300 = 363 \text{ Ом/м.} \quad (4.17)$$

2. Визначаємо опір  $R_B$ , розрядження струму в землі від одного вертикального заземлювача:

$$R_B = \frac{r_{o.p.z.}}{2 \cdot 3,14 \cdot l} \left( \ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right), \quad (4.18)$$

де  $l$  - довжина заземлювача ( $l = 2$  м);

$d = 0,05$  м – діаметр заземлювача за таблицею при  $U < 1$  кВ та при  $S < 100$  кВА;

$t$  – відстань від поверхні землі до середини заземлювача,

$t = h + l/2 = 0,5 + 2/2 = 1,5$  м;

$$R_B = \frac{330}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \left( \ln \frac{2 \cdot 2}{0,05} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,5 + 2}{4 \cdot 1,5 - 2} \right) = 133,3 (\text{Ом}).$$

3. Приблизна кількість заземлювачів

$$n = \frac{R_B}{R_{B, \text{нТММ}}} = \frac{133,3}{10} = 13,3 \approx 14. \quad (4.19)$$

4. Знаходимо із таблиць коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів, який враховує ефект екранування при вибраному значенні  $k = a/l$ , де  $a$  — віддаль між заземлювачами, м;  $k = 1,2$  при  $a = 2,4$  м; отже коефіцієнт використання вертикального заземлювача за таблицями дорівнює  $\eta_\epsilon = 0,56$  (рисунок 4.1).

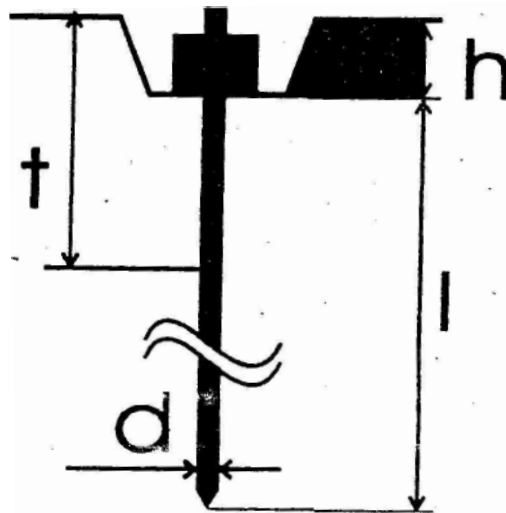


Рисунок 4.1 – Схема розташування одного заземлювача в ґрунті

5. Кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням  $\eta_e$  обчислюємо за формулою:

$$n = \frac{R_b}{R_{b, \text{норм}} \cdot \eta_b} = \frac{133,277}{10 \cdot 0,56} = 23,799 = 24. \quad (4.20)$$

6. Довжина горизонтального заземлювача для розміщення по контуру

$$L = a \cdot n = 2,4 \text{ м} \cdot 24 = 57,6 \text{ м}. \quad (4.21)$$

7. Опір горизонтального заземлювача  $R_r$  (Ом), прокладеного на глибині  $h = 0,5$  м від поверхні землі:

$$R_r = \frac{\rho_{p.k.}}{2 \cdot 3,14 \cdot L} \ln \frac{2 \cdot L}{b \cdot h} = \frac{330}{2 \cdot 3,14 \cdot 57,6} \ln \frac{2 \cdot 57,6}{0,04 \cdot 0,5} = 7,3 \quad (4.22)$$

де  $b = 0,04$  м — ширина штабової сталі, з якої виготовлений заземлювач.

8. Обчислюємо загальний опір:

$$R_k = \frac{R_b \cdot R_o}{n \cdot R_d \cdot \eta_b + R_b \cdot \eta_d} = \frac{133,3 \cdot 7,3}{24 \cdot 7,3 \cdot 0,56 + 133,3 \cdot 0,27} = 7,5 \text{ (Ом)} \quad (4.23)$$

результат є менше 10 Ом, тобто виконується нормуюча умова  $R_z < R_{z, \text{норм}}$ .

Велика увага приділяється дотриманню обслуговуючим персоналом правил роботи в приміщенні, яке призначене для експлуатації системи. У приміщенні не повинно бути сторонніх людей. Працівники повинні використовувати спецодяг. Безпека роботи обслуговуючого персоналу в приміщенні забезпечується:

- наявністю нормальних проходів між обладнанням;
- використанням спеціальних технічних меблів;
- використанням електрозахисних засобів (діелектричних килимків, гумових рукавиць);
- наявністю аварійного освітлення ( $E=2$  лк);
- обладнанням розеток з напругою 220 В;

– заземленням корпусів обладнання і апаратури освітлювальних пристроїв.

Одне з основних місць в охороні праці займає пожежна безпека.

Першочергове завдання пожежної профілактики — це запобігання пожеж. Під пожежною профілактикою розуміють комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, на запобігання пожеж, обмеження їх розповсюдження, а також на створення умов для успішного гасіння пожеж. Пожежно-профілактичні заходи розробляються та виконуються разом, в тісному взаємозв'язку з усіма проектними, будівельними та експлуатаційними роботами.

Приміщення чергування технічного персоналу забезпечується проти-пожежним інвентарем (вуглекислотними вогнегасниками типу ВВ-2). Проходи між рядами і вихід не повинні загромождуватись. У випадку виникнення пожежі перш за все потрібно виключити джерело живлення, сповістити про пожежу в пожежну частину. Евакуювати сторонніх людей, які могли опинитися в небезпечній зоні і лише після цього приступити до гасіння пожежі і рятування цінного обладнання.

Один вуглекислотний вогнегасник ВВ-2 розрахований на 40 – 50 м<sup>2</sup> приміщення. Для ліквідації невеликих пожеж можна використовувати деякі порошкові матеріали (хлориди лужних металів, соду, пісок і т. д.), що подаються в зону горіння порошковими вогнегасниками.

Будівля, в якій знаходиться наше приміщення обов'язково має резервний вихід на випадок екстреної евакуації працівників.

За \_\_\_\_\_ по  
жежною небезпекою приміщення згідно ОНТП-24-86 і СНТП 2.09, СНТП 02-  
85 діляться на категорії А, Б, В, Г, Д.

Для нашого приміщення чергування персоналу ЛАЦ встановлена категорія пожежної безпеки Д (СНП 2.09.02-85) при ступені вогнестійкості

(СНІП Н-90-81), що означає наявність у приміщенні негорючих речовин та матеріалів у холодному стані.

Для швидкого сповіщення пожежної охорони при виникненні пожежі приміщенні використовується електрична пожежна сигналізація. Система електричної пожежної сигналізації виявляє пожежу на початковій стадії і сповіщає про місце її виникнення, а також автоматично включає стаціонарні установки гасіння пожеж.

Автоматичні сповіщувачі при ознаках пожежі здійснюють посилення сигналу. Сповіщувачі типу АТИП-1, АТИП-3 і АТИП ЗМ спрацьовують внаслідок теплової деформації (при 80—100 °С) біметалічних пластинок і мають розраховану площу обслуговування в приміщеннях до 15 м<sup>2</sup>. Комбіновані теплові і димові сповіщувачі типу КИ-1 мають чутливий елемент у вигляді іонізуючої камери і терморезистори. Температура спрацювання цих сповіщувачів 50 – 80°С, площа обслуговування 100 м<sup>2</sup>.

Передбачені нами заходи з охорони праці в першу чергу призначені для уникнення нещасних випадків, що можуть виникнути на підприємстві.

В іншому передбачені заходи з охорони праці відповідають вимогам нормативних документів і актів та забезпечують нормальну, ефективну і безпечну для здоров'я людини виробничу діяльність.

## ВИСНОВКИ

В дипломному проекті розроблено систему передавання даних на основі методу квазітрійкової фазової маніпуляції.

В першому розділі проведено теоретико-аналітичне дослідження методів модуляції та маніпуляції, які широко використовуються в даний час. Приведено класифікацію методів фізичного представлення даних за кількістю змінних параметрів: одновимірні, двовимірні та тривимірні. Побудована характеристика ефективності методів маніпуляції по відношенню до “Границі Шеннона”. Проведено розрахунок енергії сигнального вікна в різних базисах. Показано можливі сфери використання розробленої системи передавання даних.

В другому розділі розкрито теоретичні основи методів модуляції на основі розширених сигнальних просторів. Проведено розрахунок системних параметрів сигнальних просторів з кількістю сигналів  $M = 2^n + 1$ . Розроблено квазітрійковий фазовий метод маніпуляції даних.

Проведено дослідження завадозахищеності одновимірних методів модуляції на основі порівняння відстані між сигналами.

В третьому розділі розроблено структурні та функціональні схеми основних блоків системи передавання даних, зокрема, модулятора та демодулятора квазітрійкового фазового методу кодування, кодера методу кодування КТ-1. Проведено їх моделювання в середовищі MAX2 Plus. Наведені часові діаграми роботи основних блоків системи підтверджують їх коректну роботу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Склад Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2-е издание.: Пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
2. Передача дискретных сообщений: Учебник для вузов /Шувалов В. П., Захарченко Н. В., Шварцман В.О. и др.; Под ред. В.П. Шувалова. – М: Радио и связь, – 1990 – 464 с.: ил.
3. Тутевич В.Н. Телемеханика: Учеб. пособие для студентов вузов спец. «Автоматика и телемеханика» – 2-е изд.; перераб. и доп.- М.: Высшая шк., 1985.– 423 с., ил.
4. Жураковський Ю. П., Назаров В. Д. Канали зв'язи – К.: Высшая школа. Головное издательство, 1985. – 232 с.
5. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации/ Зюко А. Г., Фалько А. И., Панфилов И. П. и др.; Под ред. Зюко А. Г. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.
6. Николайчук Я.М., Возна Н.Я., Пітух І.Р. Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем». Навчальний посібник / Тернопіль: ТзОВ "Терно-граф". 2010. – 392с., іл.
7. Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації. / Монографія: Тернопіль:-ТНЕУ, 2008. – 536 с.
8. Николайчук Я. М. Низові обчислювальні мережі: Навчальний посібник. - К.: УМК ВО, 1990. - 55с.
9. Буров Є. Комп'ютерні мережі. – Львів: БаК, 1999. – 468 с., іл.
10. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб.: Питер, 2000. – 672 с.
11. Столлингс В. Беспроводные линии связи и сети.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 640 с.

12. Хаусли Т. Системы передачи и телеобработки данных. Пер. с англ.- М: Радио и связь, 1994. – 456 с.: ил.
13. Ильин В.А. Телеуправление и телеизмерение: Учеб. пособие для вузов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоиздат, 1982. - 560 с., ил.
14. Авдеев Б.Я., Антонюк Е.М., Долинов С.Н. Адаптивные телеизмерительные системы / Под ред. А.В.Фремке. – Л.: Энергоатомиздат, 1981. – 248 с.
15. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: Пер. с франц. - М.: Мир, 1983. – Т.1 – 311 с., Т.2 – 256 с.
16. Краус М., Кучбах Э., Вошни О.Г. Сбор данных в управляющих вычислительных системах. Пер. с нем. – М.: Мир, 1987. – 294 с
17. Кузьмин И.В., Кедрус В.А. Основы информации и кодирования. – К.: Вища школа, 1986.– 238 с.
18. Муттер В.М. Основы помехоустойчивой телепередачи информации. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 268 с.
19. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. –384 с.
20. Блейхут Р. Теория и практика кодов контролирующей ошибки. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 576с., ил.
21. Андрианов В.И., Соколов А.В. Сотовые, пейджинговые и спутниковые средства связи. – СПб.: БХВ – Петербург; Арлит. 2001. – 400 с.
22. Стешенко В. Школа разработки аппаратуры цифровой обработки сигналов на ПЛИС. // Chip News. – 1999. – №8.
23. Стешенко В. ПЛИС фирмы ALTERA: проектирование устройств обработки сигналов – М.: «Додека», 2000. – 224с.
24. Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника. – СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2002. – 528 с.
25. Методичні вказівки до написання розділу “Охорона праці” в дипломних проектах з освітньо-кваліфікаційного рівня “Спеціаліст” для



спеціальності 7.091501 – Комп'ютерні системи та мережі / Сапожник Г.В., Васильків Н.М.– Тернопіль: ТАНГ, 2004. –24 с.

26. Вимоги до оформлення дипломних робіт за освітньо-кваліфікаційними рівнями “спеціаліст” і “магістр”/ За ред. проф. Г.П.Журавля – Тернопіль: ТНЕУ, 2007. – 36 с.

27. Методичні рекомендації до виконання дипломного проекту з освітньо-кваліфікаційного рівня “Спеціаліст”. Спеціальність «Комп'ютерні системи та мережі» / О.М. Березький, Н.М.Васильків, Р.Б.Трембач, Г.М. Мельник /Під ред. О.М. Березького. - Тернопіль: ТНЕУ, 2012.– 40 с.