

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**ФАКУЛЬТЕТ РАДІОФІЗИКИ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ**

Кафедра радіотехніки та радіоелектронних систем

«На правах рукопису»

Робота допущена до захисту в ЕК  
рішенням кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем  
від \_\_\_\_\_ 2024 року, протокол № \_\_\_\_\_.  
Завідувач кафедри доктор фіз.-мат. наук, професор  
\_\_\_\_\_ Ігор АНІСІМОВ

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

на тему:

«Модель цифрового каналу зв'язку з імпульсно-кодовим представленням  
інформаційного сигналу»

**Виконав:**

студент 3-го курсу  
денної форми навчання  
спеціальності 172 - Телекомунікації та радіотехніка  
ОПП «Інформаційна безпека телекомунікаційних систем і мереж»  
Железняк Едуард Сергійович \_\_\_\_\_

**Науковий керівник:**

канд. фіз.-мат. наук, асистент кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем  
Богданов Роман Вікторович \_\_\_\_\_

**Рецензент:**

канд. ф.-м. наук, асистент кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки  
Лень Юрій Анатолійович \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій бакалаврській роботі  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань

Студент \_\_\_\_\_ Железняк Едуард

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 36 с., 23 рис., 12 джерел.

Об'єкт розроблення – Цифровий канал зв'язку з імпульсно-кодовою модуляцією.

Мета роботи – розробка моделі оцінка можливостей передачі цифрового інформаційного сигналу при використанні методів імпульсно-позиційної модуляції (Pulse-position modulation (PPM)) для передачі символної інформації та її часткового випадку імпульсно-кодової модуляції (Pulse-code modulation (PCM)) для передачі оцифрованого аналогового сигналу.

Об'єкт дослідження - схема моделі цифрового каналу передачі інформації для імпульсно-позиційної та імпульсно-кодової модуляції.

Предмет дослідження - формування та визначення параметрів сигналів у каналі передачі за умов PPM та PCM та впливом на них властивостей середовища передачі.

Методами дослідження є комп'ютерного моделювання даної схеми у середовищі NI Multisim 13.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
ОСНОВНА ЧАСТИНА .....	6
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ .....	6
1.1 Огляд цифрових каналів зв'язку .....	6
1.2 Імпульсно-кодова модуляція (ІКМ) .....	16
1.3 Імпульсно-позиційна модуляція(PPM). .....	19
1.4 Вплив різних типів шуму на якість передачі сигналу.....	20
1.5 Поєднання РСМ та HomePNA .....	21
2. МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ .....	24
2.1 Принципова схема імпульсно-кодового шифратора.....	24
2.2 Деталі та розбір елементів .....	25
2.3 Принцип формування кодової посилки .....	29
ВИСНОВКИ .....	35
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	36

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

**ІКМ (PCM - Pulse-Code Modulation)** - Імпульсно-кодова модуляція.

**ЦШК (AM - Amplitude Modulation)** - Амплітудна модуляція.

**ФМ (FM - Frequency Modulation)** - Частотна модуляція.

**ФКМ (PSK - Phase Shift Keying)** - Фазова модуляція.

**АДП (ADC - Analog-to-Digital Converter)** - Аналого-цифровий перетворювач.

**ЦАП (DAC - Digital-to-Analog Converter)** - Цифро-аналоговий перетворювач.

**РРМ (Pulse-Position Modulation)** - імпульсно-позиційна модуляція.

## ВСТУП

Сучасні системи зв'язку вимагають високої точності та надійності при передачі інформації, особливо в умовах значних інтерференцій. Одним із найбільш ефективних методів забезпечення таких вимог є використання імпульсно-кодової модуляції (Pulse-code modulation (PCM)) [1], яка дозволяє перетворювати аналогові сигнали у цифрові та навпаки, забезпечуючи високу якість передачі даних. В загальному випадку імпульсно-кодова модуляція є так званою імпульсно-позиційною (Pulse-position modulation (PPM)) [2], коли позиція кожного імпульсу в часі визначає зміст відповідного інформаційного символу.

Мета даної роботи полягає у розробці моделі цифрового каналу зв'язку з імпульсно-кодним представленням інформаційного сигналу та дослідженні його ефективності. У процесі дослідження буде проведено аналіз основних принципів роботи PCM та PPM, розглянуто процеси дискретизації та квантування сигналів, а також виконано моделювання роботи каналу зв'язку з використанням спеціалізованого програмного забезпечення.

Дослідження, проведені у рамках даної роботи, мають практичне значення для розвитку сучасних систем зв'язку, забезпечуючи більш ефективну та надійну передачу інформації в умовах реальних експлуатаційних середовищ.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

### 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

#### 1.1 Огляд цифрових каналів зв'язку

Цифрові канали зв'язку є основою сучасних телекомунікаційних систем, забезпечуючи передачу даних. Основними характеристиками цифрових каналів зв'язку є висока швидкість передачі даних, надійність, ефективність використання смуги пропускання і стійкість до шумів та перешкод[1].

##### 1.1.1 Принцип роботи

Ось схема цифрового каналу зв'язку, яка включає всі ключові компоненти[3](Рис 1.1):

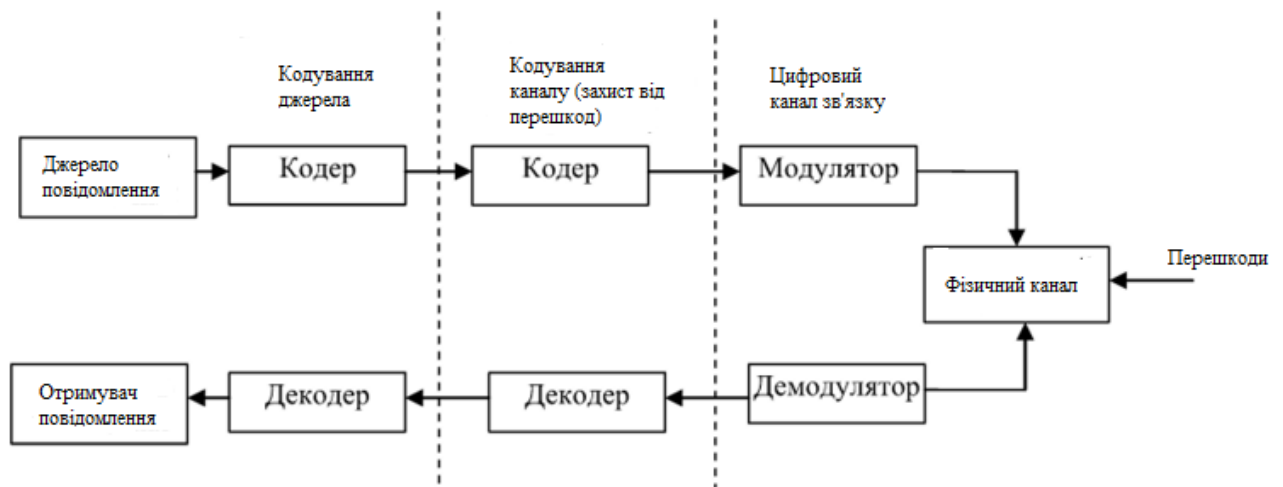


Рис. 1.1. Схема цифрового каналу зв'язку[3]

- Джерело аналогового сигналу (Source of analog signal);
- Аналого-цифровий перетворювач (Analog-to-Digital Converter, ADC);
- Цифровий кодувальник (Digital Encoder);
- Модулятор (Modulator);

- Канал передачі (Transmission Channel);
- Демодулятор (Demodulator);
- Цифровий декодувальник (Digital Decoder);
- Цифро-аналоговий перетворювач (Digital-to-Analog Converter, DAC);
- Вихідний аналоговий сигнал (Output analog signal).

У [3] наведено принцип роботи компонентів цієї схеми:

Джерело аналогового сигналу (Source of analog signal):

- це вихідний пункт, де генерується початковий аналоговий сигнал, який може бути звуковим, відеосигналом або іншим типом аналогової інформації.

Аналого-цифровий перетворювач (ADC):

- аналого-цифровий перетворювач (АЦП) перетворює аналоговий сигнал у цифрову форму. Це відбувається шляхом вибірки аналогового сигналу через регулярні інтервали часу та квантування цих вибірок у цифрові значення.

Цифровий кодувальник (Digital Encoder):

- кодувальник перетворює цифрові значення, отримані від АЦП, у формат, придатний для передачі. Це може включати застосування різних схем кодування для корекції помилок та зменшення впливу шумів.

Модулятор (Modulator):

- модулятор змінює параметри носійного сигналу (амплітуду, частоту або фазу) відповідно до цифрових даних, що дозволяє передавати цифрову інформацію через аналоговий канал передачі.

Канал передачі (Transmission Channel):

- канал передачі – це середовище, через яке передається модульований сигнал. Це може бути кабель, оптичне волокно або

бездротовий канал. Під час передачі сигнал може зазнавати різних впливів шуму та спотворень.

Демодулятор (Demodulator):

- демодулятор приймає модульований сигнал і відновлює оригінальні цифрові дані, розмодулюючи носійний сигнал.

Цифровий декодувальник (Digital Decoder):

- декодувальник перетворює відновлені цифрові дані назад у форму, придатну для ЦАП, з використанням зворотних процесів до тих, що застосовувалися під час кодування. Це також може включати виправлення помилок, що виникли під час передачі.

Цифро-аналоговий перетворювач (DAC):

- цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) перетворює цифрові дані назад в аналоговий сигнал, відновлюючи оригінальну форму інформації, яка була на початку.

Вихідний аналоговий сигнал (Output analog signal):

- вихідний аналоговий сигнал – це кінцевий результат, що повертається до аналогової форми після проходження через цифровий канал зв'язку. Цей сигнал використовується кінцевим пристроєм, наприклад, гучномовцем або дисплеєм.

Основні характеристики цифрового каналу зв'язку включають:

- Тип середовища: Може бути провідним (мідні кабелі, оптичні волокна) або безпровідним (радіохвилі, мікрохвилі).
- Пропускна здатність: Швидкість передачі даних через канал зв'язку, вимірювана в бітах за секунду (bps).
- Шуми і перешкоди: Зовнішні впливи, які можуть спотворювати сигнал під час передачі.

### 1.1.2 Основні принципи цифрових каналів зв'язку

Цифрові канали зв'язку працюють на основі перетворення аналогових сигналів у цифрові форми, що складаються з послідовності бітів. Цей процес включає квантування, кодування і модуляцію сигналів[4].

Зазвичай аналоговий сигнал повідомлення (наприклад, голос) має безперервний діапазон амплітуд і, відповідно, його вибірки мають безперервний діапазон амплітуд. Іншими словами, у межах скінченного діапазону амплітуд сигналу можна знайти нескінченну кількість рівнів амплітуд. Однак, насправді, не потрібно передавати точні амплітуди вибірок з наступної причини: будь-яке людське чуття (вухо чи око) як кінцевий приймач може розрізнати лише скінченні відмінності інтенсивності. Це означає, що сигнал повідомлення можна наблизити за допомогою сигналу, побудованого з дискретних амплітуд, вибраних на основі мінімальної помилки з доступного набору. Наявність скінченної кількості дискретних рівнів амплітуд є основною умовою кодування форми сигналу, прикладом якого є ІКМ (імпульсно-кодова модуляція). Очевидно, що якщо ми присвоїмо дискретні рівні амплітуд з достатньо близьким розміщенням, тоді можна зробити наближений сигнал практично невідмінним від оригінального сигналу повідомлення. Для формального визначення амплітудного квантування, або просто квантування, ми говоримо[4]:

Квантування - це процес перетворення амплітуди вибірки  $m(nT_s)$  сигналу повідомлення  $m(t)$  у момент часу  $t = nT_s$  у дискретну амплітуду  $v(nT_s)$ , вибрану з скінченного набору можливих амплітуд[4].

Це визначення передбачає, що квантувальник (тобто пристрій, що виконує процес квантування) є безпам'ятним і миттєвим, що означає, що перетворення в момент часу  $t=nT_s$  не залежить від попередніх або наступних вибірок сигналу повідомлення  $m(t)$ . Ця проста форма скалярного квантування, хоча й не є оптимальною, часто використовується на практиці.

Коли ми маємо справу з безпам'ятним квантувальником, ми можемо спростити позначення, опустивши індекс часу[4]. Надалі символ  $mk$  використовується замість  $m(kTs)$ , як показано на блок-схемі квантувальника на рисунку 1.2а. Потім, як показано на рисунку 1.2б, амплітуда сигналу  $m$  визначається індексом  $k$ , якщо вона лежить всередині області розбиття  $Jk$ :  $mk \leq m < mk+1, k=1,2,\dots,L$  де  $mk=m(kTs)$  і  $L$  є загальною кількістю рівнів амплітуди, що використовуються в квантувальнику. Дискретні амплітуди  $mk, k=1,2,\dots,L$ , на вході квантувальника називаються рівнями рішень або порогоми рішень. На виході квантувальника індекс  $k$  перетворюється в амплітуду  $vk$ , яка представляє всі амплітуди області  $Jk$ ; дискретні амплітуди  $vk, k=1,2,\dots,L$ , називаються рівнями представлення або рівнями реконструкції. Відстань між двома сусідніми рівнями представлення називається квантом або кроком. Таким чином, для заданого квантувальника, позначеного  $g(*)$ , квантувальний вихід  $v$  дорівнює  $vk$ , якщо вибірка на вході  $m$  належить інтервалу  $Jk$ . Фактично, відображення  $v=g(m)$  визначає характеристику квантувальника, яку описує функція, схожа на сходишки.

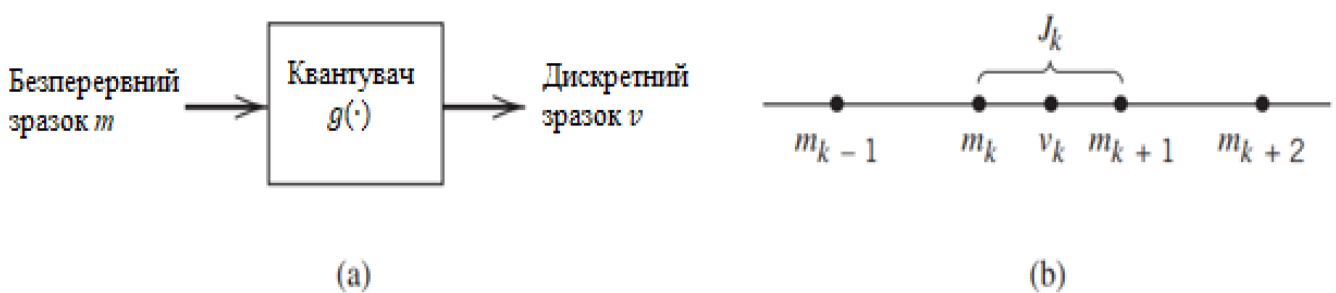


Рис. 1.2 Опис безпам'ятного квантувальника[5].

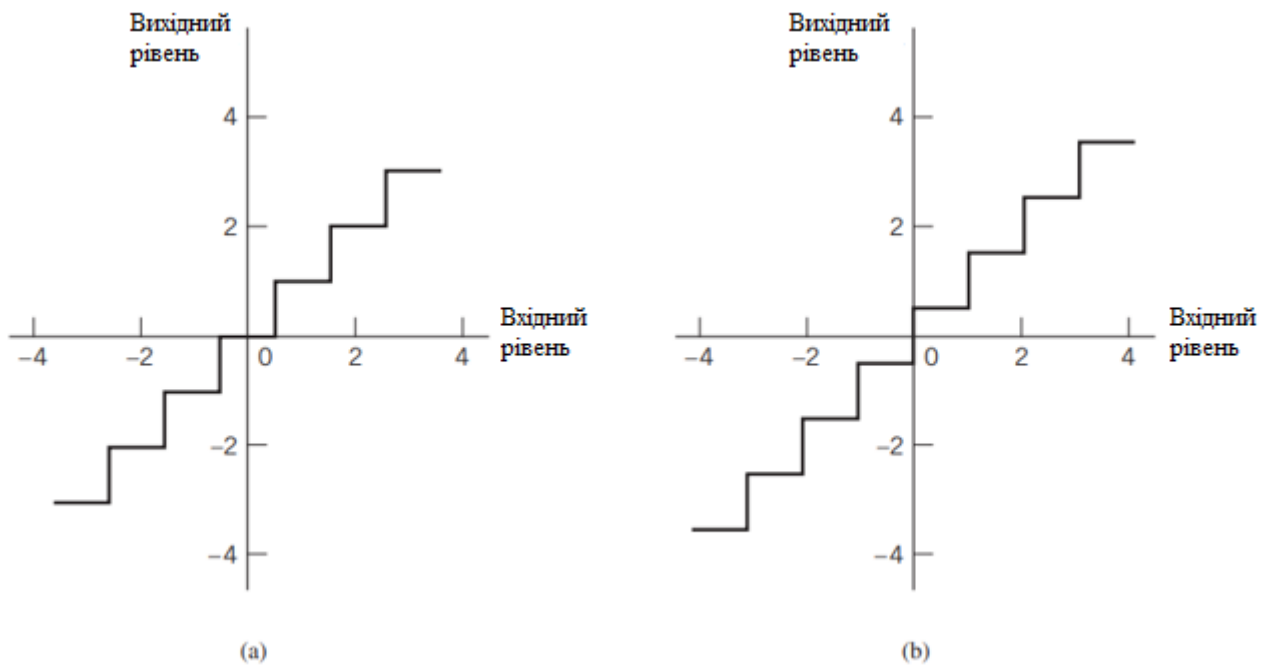


Рис 1.3 Два типи квантування: (a) midtread та (b) midrise[5].

Квантувальники [5] можуть бути рівномірного або нерівномірного типу. У рівномірному квантувальнику рівні представлення рівномірно розташовані; в іншому випадку квантувальник є нерівномірним. Характеристика квантувальника також може бути типу midtread або midrise. Рисунок 1.3а показує вхідно-вихідну характеристику рівномірного квантувальника типу midtread, який називається так тому, що початок координат лежить посередині сходинки графіка, що нагадує сходи. Рисунок 1.3б показує відповідну вхідно-вихідну характеристику рівномірного квантувальника типу midrise, у якому початок координат знаходиться посередині висхідної частини графіка, що нагадує сходи. Незважаючи на їх різний вигляд, обидва типи рівномірних квантувальників, показані на Рисунку 1.3, є симетричними щодо початку координат.

Використання квантування неминуче вводить похибку, яка визначається як різниця між безперервною вхідною вибіркою  $m$  та квантованою вихідною вибіркою  $v$ . Ця похибка називається шумом квантування. Рисунок 1.4 ілюструє

типовий варіант зміни шуму квантування як функції часу, припускаючи використання рівномірного квантувальника типу midtread.

Нехай вхідне значення квантувальника  $m$  є вибірковою величиною випадкової величини  $M$  з нульовим середнім значенням. (Якщо вхідне значення має ненульове середнє, ми завжди можемо його видалити, віднявши середнє значення від вхідного сигналу, а потім додати його назад після квантування.) Квантувальник, позначений як  $g(*)$ , перетворює вхідну випадкову величину  $M$  з безперервною амплітудою в дискретну випадкову величину  $V$ ; їх відповідні вибіркові значення  $m$  та  $v$  пов'язані нелінійною функцією  $g(*)$ , у формулі. Нехай похибка квантування позначається як випадкова величина  $Q$  з вибірковою величиною  $q$ .

Оскільки вхідна величина  $M$  має нульове середнє значення і припускається, що квантувальник є симетричним, як показано на Рисунку 1.3, то вихідна величина квантувальника  $V$  і, отже, похибка квантування  $Q$  також матимуть нульове середнє значення. Таким чином, для часткової статистичної характеристики квантувальника в термінах відношення сигнал-шум на виході (шум квантування), нам потрібно лише знайти середньоквадратичне значення похибки квантування  $Q$ .

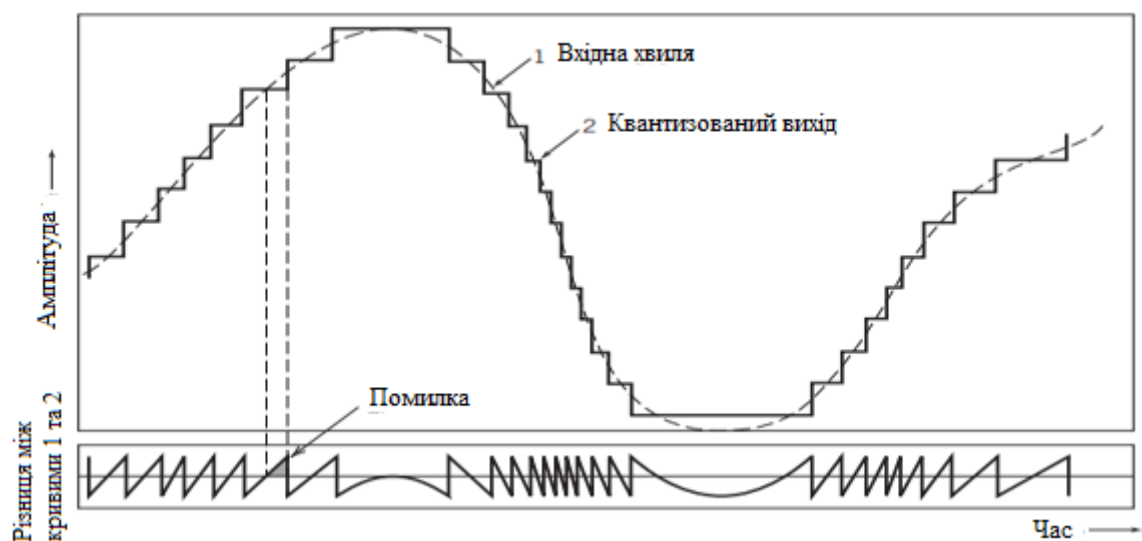


Рис 1.4 Ілюстрація процесу квантування та помилки[5].

Кодування - це процес перетворення квантування значень в бітову послідовність. Залежно від використовуваного методу кодування, можна досягти різних рівнів ефективності та надійності передачі даних.

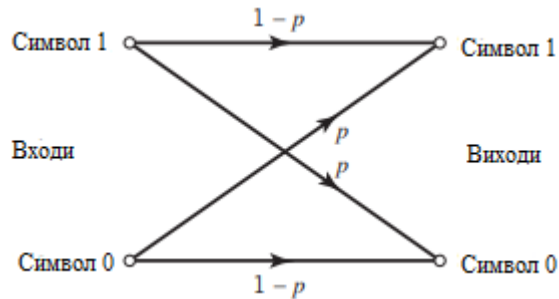


Рис 1.5 Блочна схема кодування та декодування

Кодування з контролем помилок [5] використовується для виявлення та виправлення помилок, що виникають під час передачі даних. Існують різні методи кодування, які дозволяють зменшити вплив шуму та інтерференції на передані дані.

Коди з виправленням помилок дозволяють виявляти та виправляти помилки без необхідності повторної передачі даних. Основні типи таких кодів включають:

**Блочні коди:** коди, які обробляють блоки даних фіксованої довжини. Прикладом є код Хеммінга.

**Складні коди:** Коди, які обробляють дані послідовно, як потік. Прикладом є згорткові коди.

Основні типи кодів

**Коди Хеммінга:** Ці коди дозволяють виявляти та виправляти одну помилку в кожному блоці даних.

Повідомлення	Кодове слово	Вага кодового слова	Повідомлення	Кодове слово	Вага кодового слова
0000	0000000	0	1000	1101000	3
0001	1010001	3	1001	0111001	4
0010	1110010	4	1010	0011010	3
0011	0100011	3	1011	1001011	3
0100	0110100	3	1100	1011100	4
0101	1100101	4	1101	0001101	3
0110	1000110	3	1110	0101110	4
0111	0010111	4	1111	1111111	7

Рис 1.6 Кодові слова коду Хеммінга[3].

Згорткові коди: Використовуються в реальному часі для потоку даних, забезпечуючи високу надійність передачі.

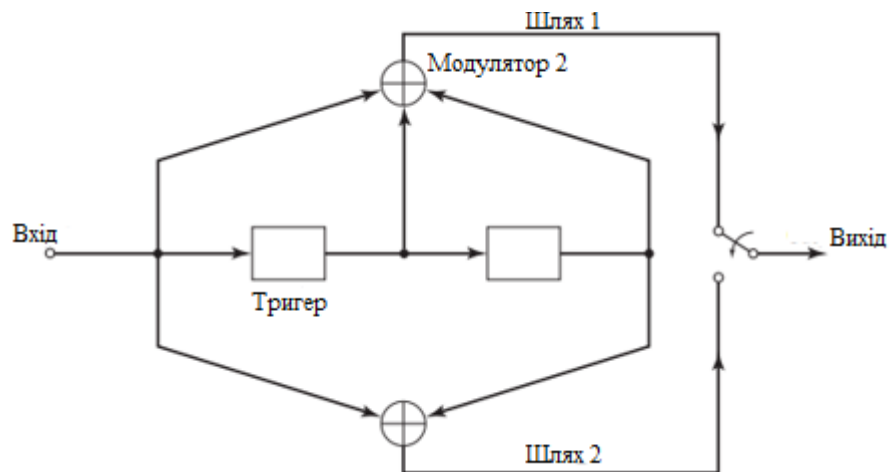
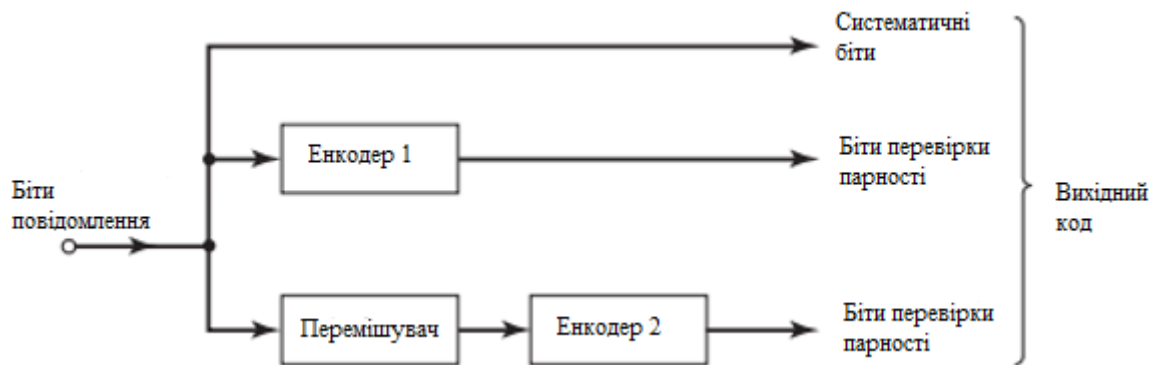


Рис 1.7 Кодер для згорткового коду[3].

Турбо-коди: Сучасний тип кодів [4], що забезпечує високу ефективність виправлення помилок завдяки ітераційним алгоритмам декодування.



### 1.8 Кодер для турбо коду

Модуляція - це процес зміни параметрів носійного сигналу (амплітуди, частоти або фази) відповідно до значень цифрового сигналу. Найпоширенішими методами модуляції є амплітудна (ASK), частотна (FSK) і фазова (PSK) модуляції[4].

#### **Амплітудна модуляція (Amplitude Shift Keying, ASK)**

Амплітудна модуляція – це метод модуляції, в якому амплітуда носійного сигналу змінюється відповідно до цифрових даних. Це найпростіший вид модуляції, але він вразливий до шуму та інтерференцій.

Принцип роботи: Для передачі "1" амплітуда носійного сигналу збільшується, а для передачі "0" амплітуда зменшується.

Переваги: Простота реалізації.

Недоліки: Чутливість до шумів та втрат сигналу.

#### **Частотна модуляція (Frequency Shift Keying, FSK)**

Частотна модуляція – це метод модуляції, в якому частота носійного сигналу змінюється відповідно до цифрових даних. Вона є більш стійкою до шумів, ніж ASK.

Принцип роботи: Для передачі "1" використовується одна частота, а для передачі "0" – інша частота.

Переваги: Стійкість до шумів та інтерференцій.

Недоліки: Займає ширшу смугу пропускання.

## Фазова модуляція (Phase Shift Keying, PSK)

Фазова модуляція – це метод модуляції, в якому фаза носійного сигналу змінюється відповідно до цифрових даних. Вона забезпечує високу стійкість до шумів та інтерференцій і широко використовується в сучасних системах зв'язку.

Принцип роботи: Для передачі різних бітових комбінацій використовуються різні фази носійного сигналу.

Переваги: Висока стійкість до шумів, ефективне використання смуги пропускання.

Недоліки: Складність реалізації та потреба в точній синхронізації.

### Застосування

ASK: Використовується в простих системах зв'язку, таких як RFID[1].

FSK: Застосовується в системах, де необхідна більша стійкість до шумів, наприклад, в модемах та радіочастотних системах.

PSK: Використовується в сучасних високошвидкісних системах зв'язку, таких як Wi-Fi, мобільні мережі та супутниковий зв'язок.

## 1.2 Імпульсно-кодова модуляція (ІКМ)[5].



Рис 1.9 Блок-схема системи ІКМ (імпульсно-кодова модуляція)[5].

PCM (Pulse Code Modulation) — це метод кодування аналогових сигналів в цифрову форму. Він включає вибірку аналогового сигналу з певною частотою і перетворення амплітуди кожної вибірки в цифрове значення. Це найбільш відомий тип імпульсно-кодового представлення інформації.

Назва "модель цифрового каналу зв'язку з імпульсно-кодовим представленням інформаційного сигналу" вказує на те, що інформаційний сигнал (який може бути аналоговим за своєю природою) представлений у цифровій формі за допомогою імпульсів. Це включає такі етапи, як:

1. Вибірка аналогового сигналу: Одержання дискретних значень амплітуди сигналу.
2. Квантування: Перетворення дискретних значень амплітуди в набір числових значень.
3. Кодування: Перетворення числових значень в бітовий потік для передачі.

PCM є прикладом імпульсно-кодового представлення, де кожне вибране значення амплітуди представляється цифровим кодом (серією бітів).

На рисунку 1.9, блок-схема ІКМ, показано передавач, шлях передачі від виходу передавача до входу приймача і сам приймач.

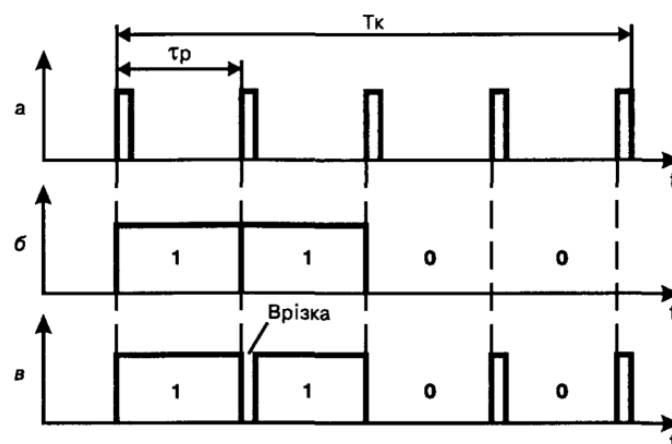


Рис 1.10 Структура командної послідовності кодово-імпульсного шифратора: а - тактові імпульси; б - командний сигнал; в - модифікований командний сигнал

Шифратор – це пристрій для генерації команд. Імпульсний шифратор, при натисканні однієї з кнопок на пульті керування, автоматично створює необхідну кількість імпульсів. Відмінною характеристикою команди, що дозволяє однозначно її ідентифікувати на приймальному боці, є кількість імпульсів у посланні.

Для однозначного дешифрування двійкового числа необхідно знати, який розряд приймається в даний момент. Тому при формуванні командного сигналу кожному розряду двійкового числа відводиться фіксований часовий інтервал  $t_p$ . Межі сусідніх інтервалів визначаються тактовими імпульсами (рис. 1.10, а). Вся кодова послідовність матиме тривалість  $T_k = n t_p$ , де  $n$  - кількість розрядів двійкового числа.

Існують два способи розпізнавання номера розряду на приймальному боці. У першому випадку, коли починається кодова послідовність, у дешифраторі запускається тактовий генератор, аналогічний генератору шифратора. Номер тактового імпульсу, який підраховується, наприклад, за допомогою лічильника, визначає номер наступного розряду для дешифрування. Важливо забезпечити однакову тривалість розрядних інтервалів обох генераторів. Для кодових послідовностей великої тривалості це завдання досить складне.

У другому випадку інформацію про межі розрядних інтервалів витягують із самої кодової послідовності. Якщо в сусідніх розрядах кодової послідовності є різні цифри, то різницю можна легко виділити як по позитивному (між нулем і одиницею), так і по негативному (між одиницею і нулем) перепадам у командному сигналі.

На рис. 1.10, б командний сигнал відображає кодову комбінацію 1100. У цьому випадку межу між розрядами на приймальному боці визначити неможливо. У практичних конструкціях використовують модифікований командний сигнал (рис. 1.10, в), який одержують шляхом змішування вихідного командного сигналу та тактових імпульсів. Як видно з малюнка, межа між розрядами, що містять нулі, індикується тактовим імпульсом, а межа між

сусідніми одиницями - спеціальними врізками, що представляють інверсії тактових імпульсів.

### **1.3 Імпульсно-позиційна модуляція(PPM)[1].**

PPM (Pulse Position Modulation) — це метод модуляції, де інформація кодується за допомогою зміни положення імпульсу в межах певного часового інтервалу. Кожен символ, який потрібно передати, визначає позицію імпульсу.

#### **Розуміння PPM**

У PPM, кожен символ кодується певним зсувом у положенні імпульсу. Наприклад, якщо ми маємо 4 можливі позиції для імпульсу в межах одного інтервалу, то кожна з них може представляти 2 біти інформації (оскільки  $(2^2 = 4)$ ).

Приклад:

- Позиція 1: 00
- Позиція 2: 01
- Позиція 3: 10
- Позиція 4: 11.

Застосування:

- Оптичні комунікації: Використовується в системах передачі даних через оптичні волокна.
- Радіокерування: Використовується для керування моделями літаків, автомобілів тощо.

Переваги та недоліки:

- Переваги: Висока ефективність у оптичних комунікаціях, можливість некогерентного виявлення.
- Недоліки: Висока чутливість до багатопляхових перешкод, складність синхронізації.

### Відмінність між кодуванням і модуляцією

Кодування: Це процес перетворення даних в іншу форму, зазвичай для забезпечення зручності або безпеки передачі. В контексті цифрового зв'язку, кодування перетворює цифрові дані у форму, придатну для модуляції.

Модуляція: Це процес зміни властивостей сигналу (таких як амплітуда, частота або фаза) для передачі даних. Модуляція використовується для передачі сигналу через фізичні канали зв'язку (наприклад, радіохвилі, оптичне волокно).

На Рисунку 1.11 показаний принцип імпульсно-позиційної модуляції.[6].

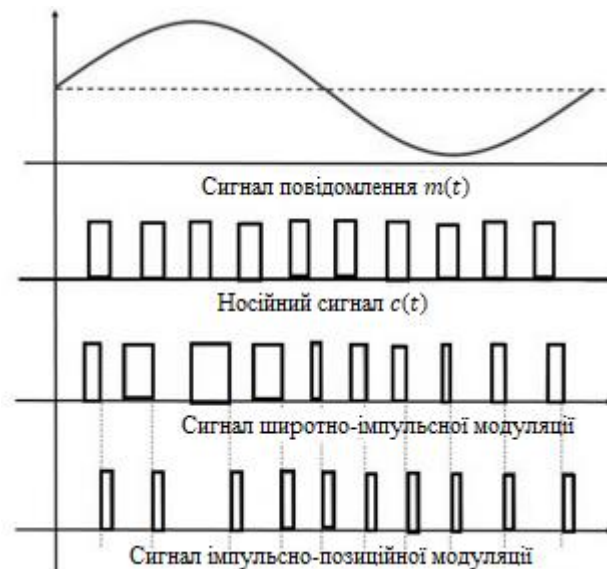


Рис. 1.11 Імпульсно-позиційна модуляція(PPM).

## 1.4 Вплив різних типів шуму на якість передачі сигналу

### Адитивний білий гаусівський шум (AWGN)

AWGN - це випадковий шум, який рівномірно розподілений по всьому частотному спектру і має гаусівський розподіл амплітуд. Він є найбільш поширеним типом шуму, що використовується в моделях каналів зв'язку.

Вплив на сигнал: AWGN додається до сигналу і може викликати спотворення амплітуди та фазові зміщення, що знижує співвідношення сигнал/шум (SNR).

Методи боротьби: Використання фільтрів з низьким рівнем шуму, застосування технік модуляції, таких як фазова модуляція (PSK), та використання корекційних кодів, таких як коди Хеммінга та турбо-коди, для виявлення та виправлення помилок[3].

### **Імпульсні перешкоди**

Імпульсні перешкоди виникають в результаті короточасних, але інтенсивних сплесків шуму, які можуть бути викликані електромагнітними імпульсами або раптовими змінами в електричних ланцюгах.

Вплив на сигнал: Імпульсні перешкоди можуть викликати значні спотворення сигналу, включаючи втрату даних або помилки в передачі.

Методи боротьби: Використання методів перетворення Фур'є для виявлення та видалення імпульсних шумів, а також застосування технік захисту від перешкод, таких як використання екранованих кабелів та фільтрів[3].

### **Міжсимвольні інтерференції (ISI)**

ISI виникає в результаті перекриття сусідніх символів у каналі зв'язку, що викликано обмеженою смугою пропускання каналу або багатоходовими затримками в бездротових системах.

Вплив на сигнал: ISI викликає розмивання та перекриття символів, що призводить до помилок у виявленні символів на приймачі.

Методи боротьби: Використання еквалайзерів для зменшення впливу ISI, застосування технік модуляції з ортогональним частотним розділенням каналів (OFDM) та використання адаптивних фільтрів.

## 1.5 Поєднання PCM та HomePNA.

HomePNA[7] - це технологія, що дозволяє створювати домашні мережі, використовуючи існуючу телефонну проводку. Вона дозволяє передавати дані на високій швидкості через телефонні лінії, які вже присутні у багатьох будинках.

Поєднання PCM і HomePNA дозволяє використовувати переваги обох технологій для передачі даних у домашніх мережах. Ось як це можна зробити:

### 1) Кодування даних за допомогою PCM:

- Аналогові сигнали, такі як голос або музика, кодується у цифрову форму за допомогою PCM.
- Це включає дискретизацію (sampling) аналогового сигналу, квантування і кодування у цифрові біти.

### 2) Передача даних через HomePNA:

- Закодовані PCM дані передаються через домашню мережу, використовуючи існуючі телефонні лінії.
- HomePNA забезпечує надійну передачу даних на високій швидкості, використовуючи спеціалізовані алгоритми для мінімізації перешкод і шумів.

### 3) Декодування даних на приймачі:

- На приймаючій стороні дані, передані через HomePNA, декодуються з цифрової форми у аналогову за допомогою зворотного процесу PCM.
- Це включає декодування цифрових бітів, деквантування

### **Принципова схема інтеграції**

Передавач:

Аналоговий сигнал (наприклад, голос) -> PCM кодер -> HomePNA передавач.

Мережа:

Дані передаються через телефонну лінію, використовуючи HomePNA.

Приймач:

HomePNA приймач -> PCM декодер -> Відновлений аналоговий сигнал.

### **Приклад практичного застосування[7]**

Домашня мережа для IP-телефонії:

- Використання PCM для кодування голосу і HomePNA для передачі даних через телефонні лінії дозволяє створити ефективну систему IP-телефонії у будинку.

Мультимедійні додатки:

- Передача мультимедійних даних (відео та аудіо) у цифровій формі через HomePNA забезпечує високу якість зображення і звуку при використанні існуючої інфраструктури.

### **Переваги поєднання PCM і HomePNA:**

Ефективність:

- Використання існуючої телефонної проводки для передачі даних знижує витрати на встановлення нових кабелів.

Надійність:

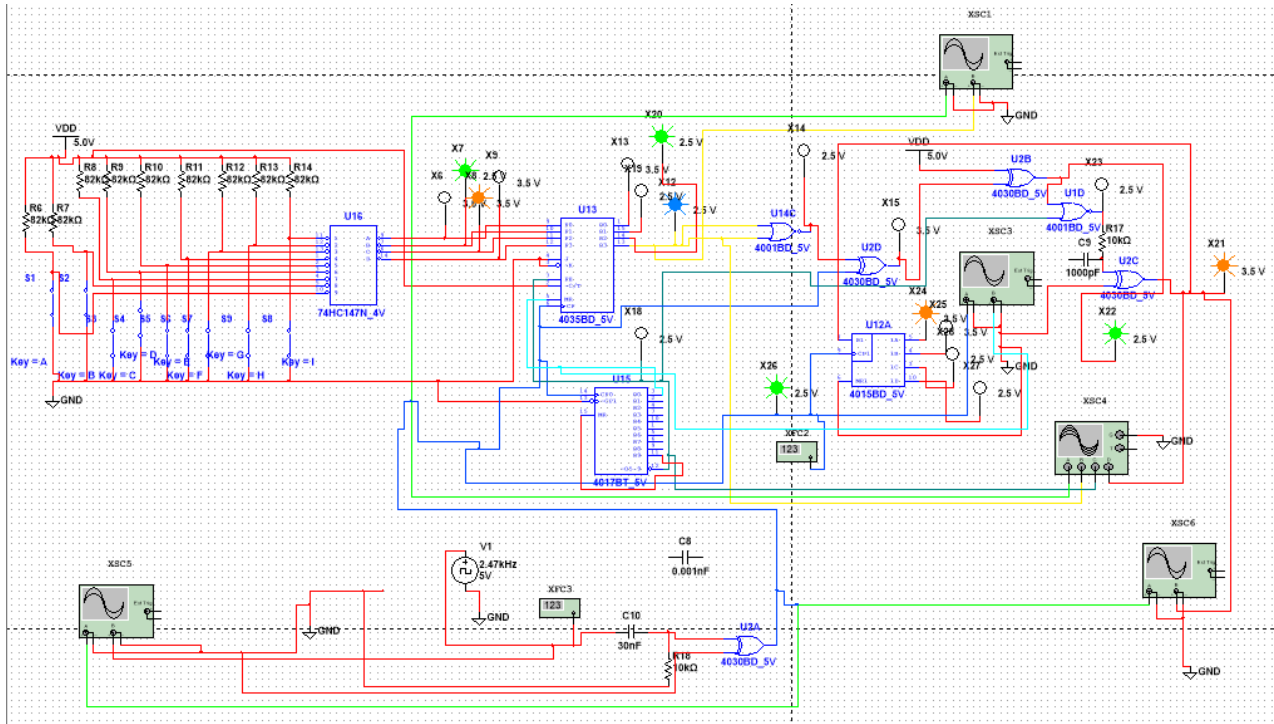
- HomePNA забезпечує надійну передачу даних, мінімізуючи вплив перешкод і шумів.

Якість передачі голосу та даних:

- PCM забезпечує високу якість кодування голосу та інших аналогових сигналів, що забезпечує чітку і якісну передачу звуку.

## 2. МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ

### 2.1 Принципова схема імпульсно-кодового шифратора.



Схема, реалізована у NI Multisim 13 зображена на Рис. 2

Рис 2. Схема, реалізована у MultiSim[8].

Принцип роботи:

Вхідні дані подаються на вхід схеми через ключі S1-S8. Ці дані кодуються за допомогою логічних мікросхем і перетворюються у відповідні логічні рівні.

Кодування і декодування: логічні мікросхеми виконують функції кодування і декодування даних. Вони формують вихідні сигнали на основі вхідних даних.

Мультиплексування і демюльтиплексування: сигнали передаються через мультиплексори та демюльтиплексори для об'єднання кількох сигналів в один і їхнього подальшого розділення.

Осцилограф: використовується для візуалізації сигналів на різних етапах обробки. На екрані осцилографа видно часові залежності сигналів. Різні канали (Channel A, B, C, D) показують сигнали на різних етапах обробки.

Виводи з осцилографа:

Зелені сигнали: це можуть бути вхідні або проміжні сигнали, що показують початкову обробку даних.

Жовті сигнали: можуть представляти проміжні сигнали після певної обробки, такі як мультиплексування або демультиплексування.

Червоні сигнали: можуть бути вихідними сигналами після завершення обробки.

Сині сигнали: представляють кінцеві дані після декодування.

## 2.2 Деталі та розбір елементів

На рисунку 2.1[9] показаний зовнішній вигляд енкодера (74НС147N):

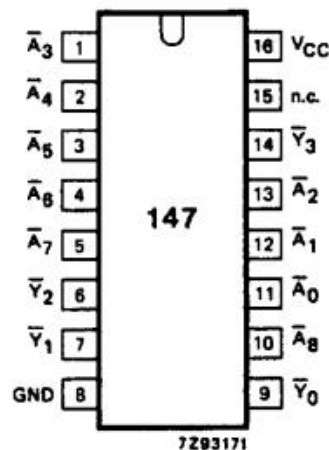


Рис 2.1 Зовнішній вигляд 74НС147N[9].

74НС147N - це інтегральна мікросхема, яка працює як 10-лінійний до 4-лінійного пріоритетний енкодер. Вона використовується для перетворення вхідних сигналів з 10 ліній в 4-бітовий двійковий код. Давайте детально розглянемо принцип роботи цієї мікросхеми.

Основні характеристики:

- 10 вхідних ліній (S0 - S9): Приймають сигнали від різних джерел.
- 4 вихідних лінії (A, B, C, D): Видають 4-бітовий двійковий код, що відповідає активній вхідній лінії.
- Приоритетний принцип: Якщо активні декілька вхідних ліній одночасно, мікросхема вибирає лінію з найвищим пріоритетом (найменшим номером).

Вхідні і вихідні сигнали:

- Вхідні сигнали (S0 - S9): Представляють 10 можливих станів, які потрібно закодувати.
- Вихідні сигнали (A, B, C, D): Видають код, який відповідає номеру активної вхідної лінії.

На рисунку 2.2[10] показаний вигляд регістра зсуву (4015BD).

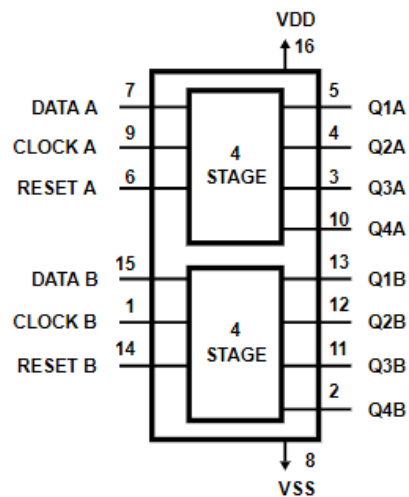


Рис. 2.2 Вигляд регістра зсуву 4015BD[10].

4015BD - це двійковий послідовний регістр зсуву, який використовується для збереження та зсуву бітів даних. Регістр зсуву може бути використаний для перетворення послідовних даних у паралельні та навпаки. Давайте детально розглянемо принцип роботи цієї мікросхеми.

Основні характеристики:

- Два незалежні регістри зсуву: Кожен регістр має чотири біти.
- Чотири стадії зсуву: Кожен регістр має чотири розряди, через які дані зсуваються.
- Управління тактовими імпульсами: Регістр зсуву використовує тактові імпульси для синхронізації зсуву даних.

Вхідні і вихідні сигнали:

- Тактові вхідні сигнали (CLOCK A, CLOCK B): Використовуються для синхронізації роботи регістра.
- Вхідні дані (DATA A, DATA B): Дані, які будуть введені у регістри зсуву.
- Вихідні дані (Q0, Q1, Q2, Q3): Виходи, що представляють стан кожного з чотирьох бітів у регістрі зсуву.
- Скидання (RESET): Скидає регістри зсуву в початковий стан.

На рисунку 2.3[11] показаний вигляд логічного елемента XOR(4030BD):

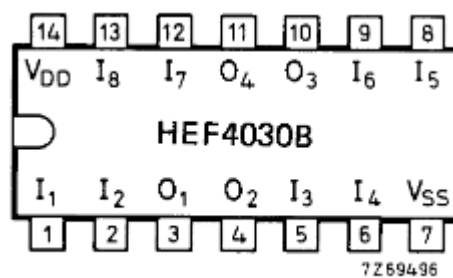


Рис. 2.3 Вигляд логічного елемента XOR 4030BD[11].

Мікросхема 4030BD містить чотири незалежні логічні елементи XOR (виключне АБО). Логічний елемент XOR виконує операцію, яка видає високий рівень на виході, якщо на входах різні логічні рівні (один високий, інший низький), і видає низький рівень, якщо на входах однакові логічні рівні.

Основні характеристики:

- Чотири незалежні елементи XOR: Мікросхема містить чотири окремих логічних елементи XOR.
- Два входи і один вихід для кожного елемента: Кожен логічний елемент XOR має два входи (A і B) і один вихід (Q).
- Напруга живлення: Мікросхема працює від стандартної напруги живлення 5 В.

Вхідні і вихідні сигнали:

- Вхідні сигнали (A, B): Два входи для кожного логічного елемента XOR.
- Вихідний сигнал (Q): Вихід для кожного логічного елемента XOR, що видає результат логічної операції XOR.

На рисунку 2.4 з нашої схеми зображені різні сигнали, що проходять через різні частини схеми.

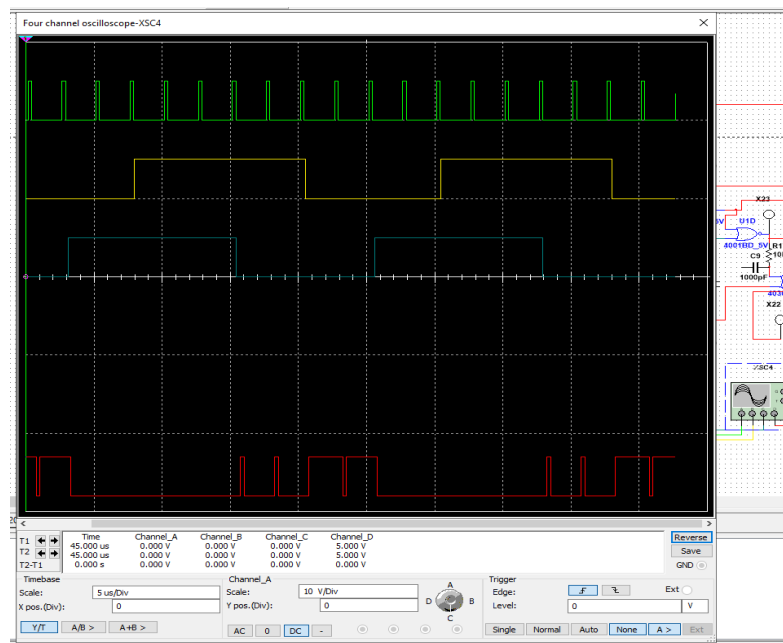


Рисунок 2.4. Осцилограми з чотирьохканального осцилографа.

Детально розглянемо всі чотири сигнали:

Верхній сигнал (зелений):

- це тактовий сигнал. Зелена лінія показує періодичні імпульси, які можуть бути генеровані тактовим генератором. Тактовий сигнал використовується для синхронізації роботи всіх елементів схеми.

Другий сигнал зверху (жовтий):

- це вихідний сигнал з одного з логічних елементів. Жовта лінія показує зміну логічного рівня з низького (0) на високий (1) і назад, залежно від стану входів і тактового сигналу.

Третій сигнал зверху (синій):

- це сигнал з регістра зсуву. Синя лінія показує зсув даних у регістрі. Кожен тактовий імпульс зсуває біти в регістрі, що відображається як зміна рівня сигналу.

Нижній сигнал (червоний):

- це вихід з логічного елемента XOR або іншого цифрового елемента. Червона лінія показує вихідні імпульси, які є результатом операцій над вхідними сигналами.

### **2.3 Принцип формування кодової посилки**

Розглянемо принцип формування кодової посилки детальніше. На виході з мікросхеми U13 ми маємо вихідний імпульс, форма якого залежить від положення ключів S1-S9. Відповідна осцилограма зображена на Рис. 2.5

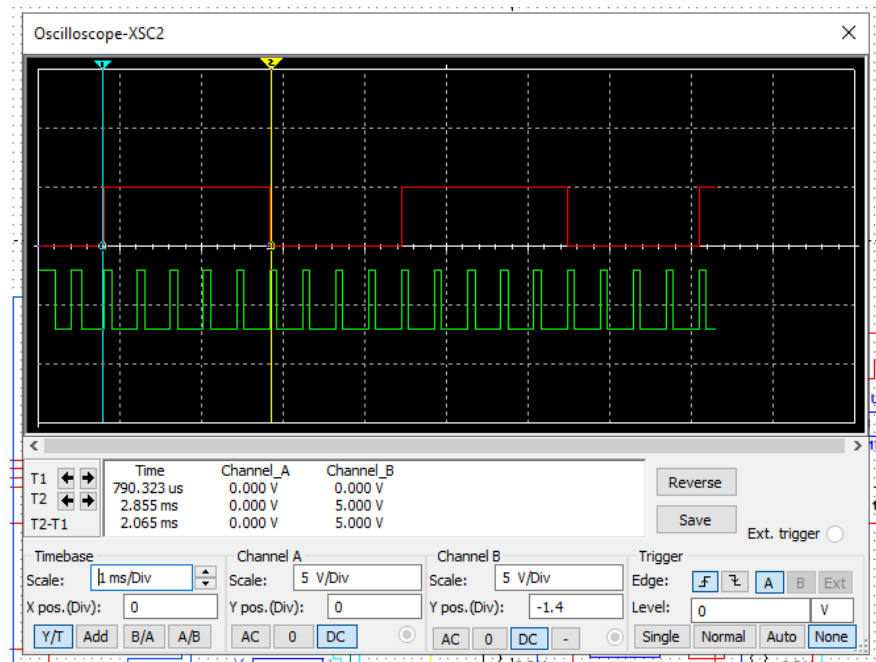


Рис. 2.5 Осцилограма вихідного імпульсу з мікросхеми U13(червоний),  
вхідний тактовий імпульс(зелений)

Після цього даний вихідний імпульс поступає на вхід елемента U14C,  
який є елементом XOR та інвертує вихідний імпульс і приводить його до  
вигляду, який зображений на рис. 2.6.

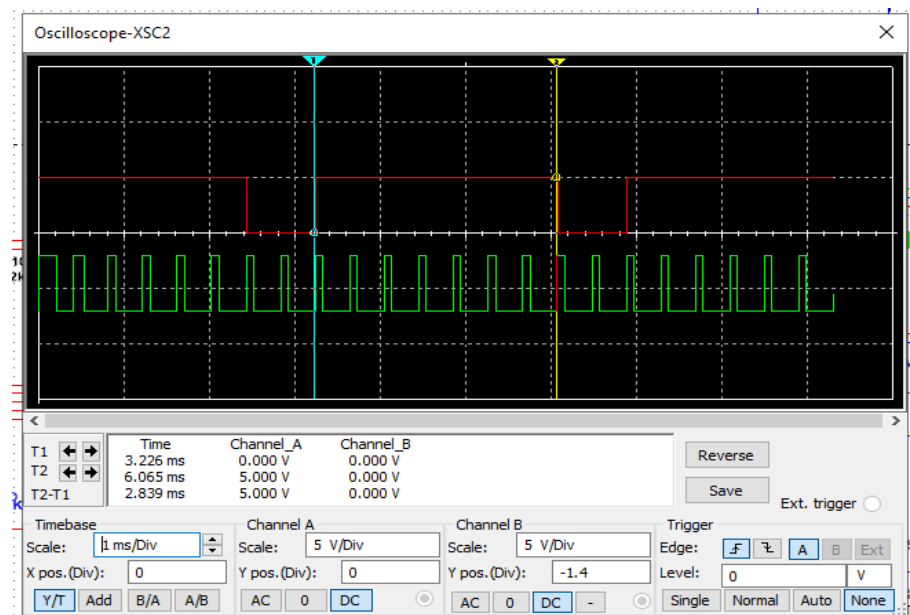


Рис. 2.6 Зображення імпульсу після проходження через елемент  
U14C(червоний), вхідний тактовий імпульс(зелений).

Після цього інвертований імпульс поступає на один з входів елементу U2D, який є логічним OR елементом. На інший вхід цього елементу поступає тактовий імпульс, який генерує мультивібратор. На виході цього елементу маємо імпульс з «врізами» тактового імпульсу. Осцилограма тактового імпульсу і вихідного імпульсу зображений на рис. 2.7.

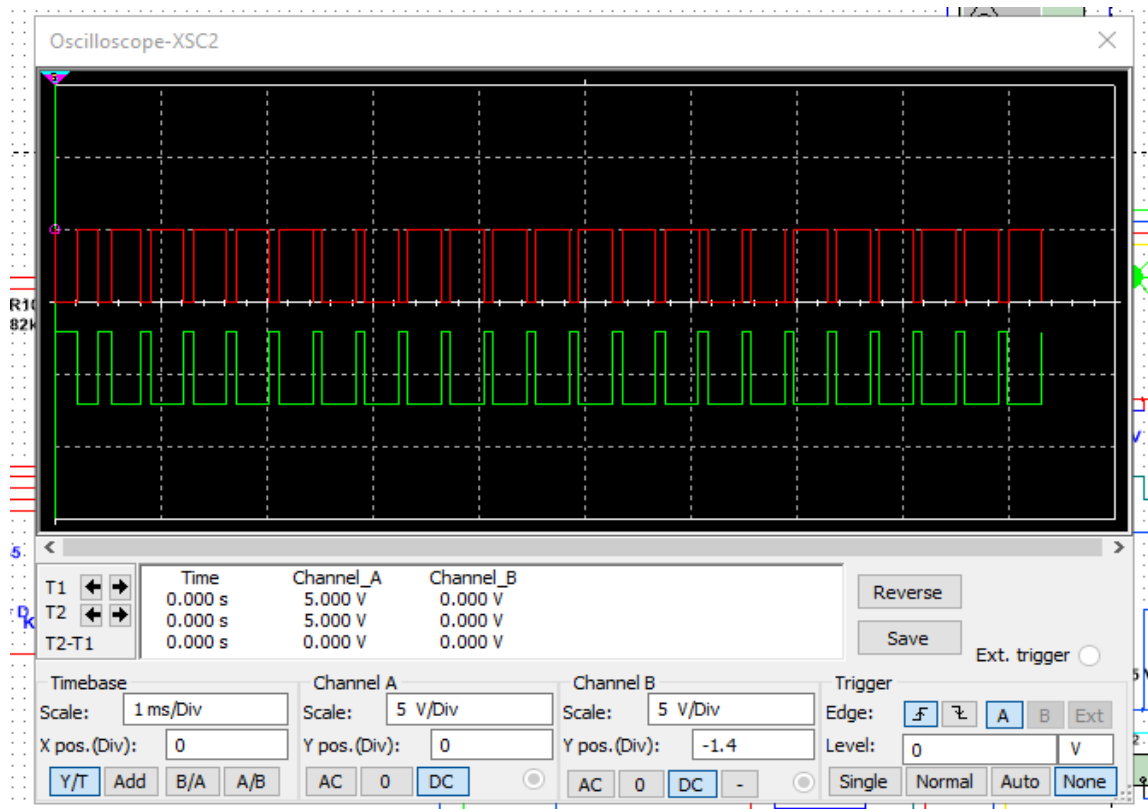


Рис 2.7 Осцилограма імпульсу на виході з елементу U2D(червоний) і вхідного тактового імпульсу(зелений).

Після цього імпульс поступає на елемент U2B, який є логічним NOR елементом. Він порівнює вхідний імпульс з землею (нулем) і таким чином ми отримуємо імпульс, який інвертований до вхідного. Його осцилограма зображена на рис. 2.8.

Після цього, імпульс поступає на один з входів елементу U1D, який є логічним OR елементом. На інший вхід поступає імпульс дозволу зчитування/запису, який виходить з 12 піна елемента U15. Цей елемент формує імпульс, який вже близький до необхідної нам кодової послідовності.

Осцилограма даного імпульсу і імпульсу дозволу зчитування/запису зображена на рис. 2.9. І останній етап, який проходить імпульс для формування кодової послілки – це порівняння з нулем (землею) імпульсу через елемент U2C, який є логічним OR елементом. Він власне формує вже кодову послілку, осцилограма якої зображена на рис. 2.10.

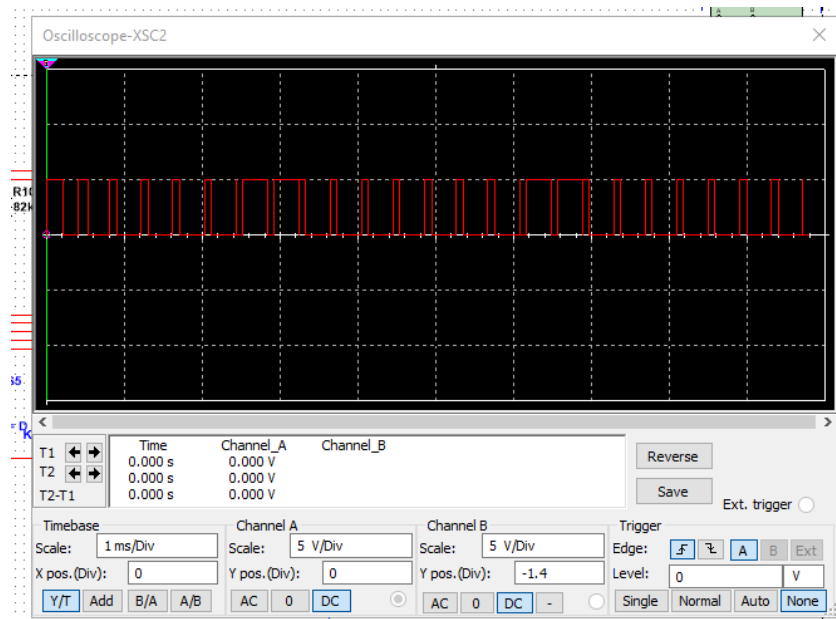


Рис. 2.8 Імпульс на виході з елемента U2B

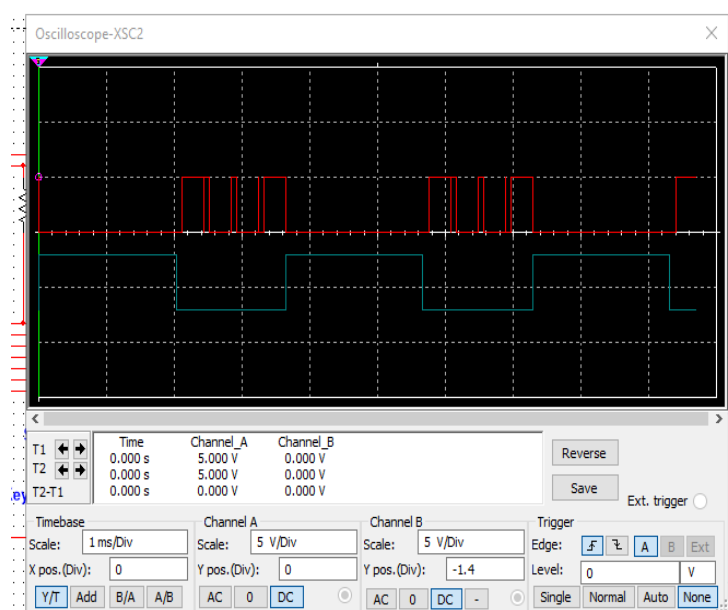


Рис. 2.9 Осцилограма імпульсу на виході з елемента U1D та імпульсу дозволу зчитування/записування.

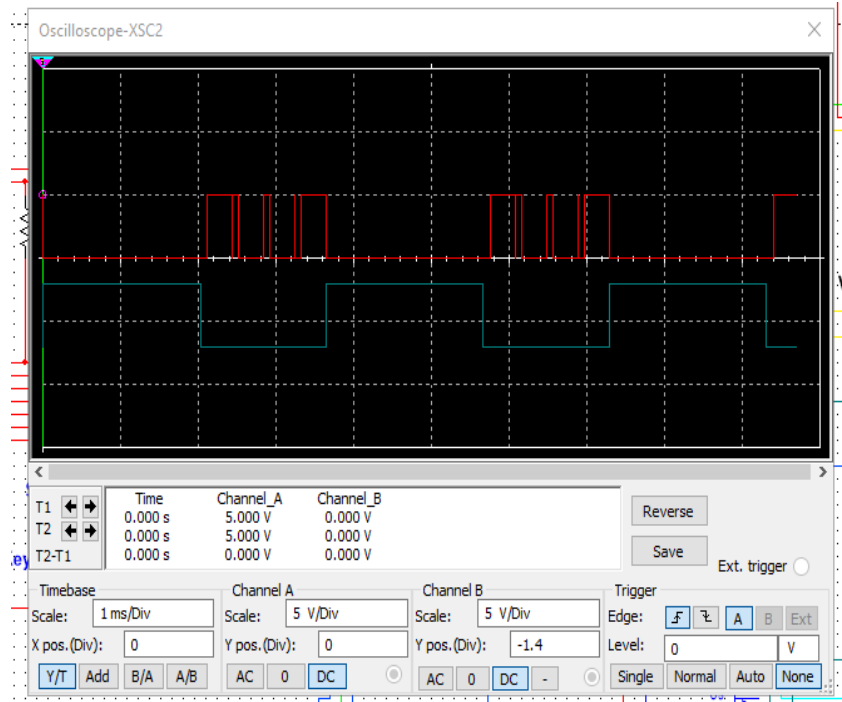


Рис. 2.9 Осцилограма імпульсу на виході з елемента U1D та імпульсу дозволу зчитування/запису

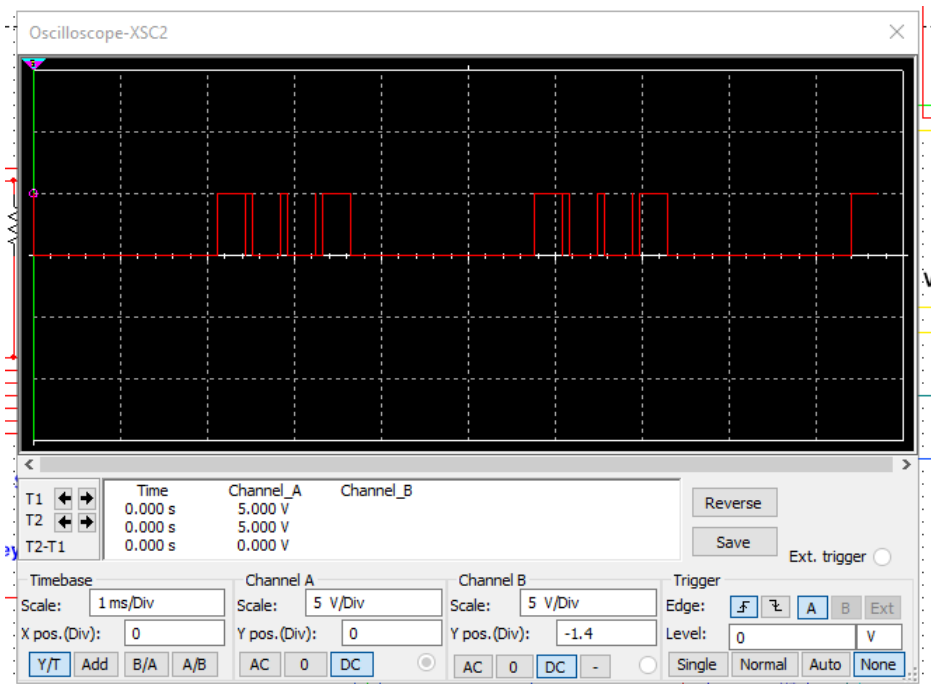


Рис. 2.10. Осцилограма кінцевої кодової послідовності

Основні цілі використання кодової посилки[2]:

1) Забезпечення надійності передачі даних:

Кодова посилка дозволяє виявляти та виправляти помилки, що виникають під час передачі даних по каналу зв'язку. Це досягається за допомогою спеціальних кодів, таких як Хеммінгові коди, циклічні коди (CRC) тощо.

2) Ефективність передачі даних:

Кодування дозволяє зменшити кількість переданих даних без втрати інформації. Це важливо для економії пропускнуої здатності каналу зв'язку.

3) Синхронізація передачі:

Кодова посилка забезпечує синхронізацію передачі та прийому даних, що дозволяє уникнути помилок через розсинхронізацію між передавачем і приймачем.

4) Захист від перешкод:

Кодова посилка допомагає захистити передану інформацію від впливу зовнішніх перешкод і шумів, які можуть змінити передані біти.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної роботи був розроблений 4-х бітний шифратор у програмі MultiSim, призначений для перетворення інформації з кількох вхідних каналів у єдиний вихідний кодовий сигнал. Це особливо корисно в цифрових системах для ефективного кодування і передачі даних.

Змодельована у MultiSim на віртуальних осцилографах кодова послідовність, яка є важливим елементом у системах зв'язку та обробки даних, що забезпечує виявлення та виправлення помилок, синхронізацію передачі, захист даних, ефективність передачі, маркування та адресацію. Використання кодових послідовностей дозволяє значно підвищити надійність, безпеку та ефективність передачі даних у різних додатках і системах.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Pulse-code\_modulation [https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-code\\_modulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-code_modulation) (дата звернення 20.06.2024)
2. Pulse-position\_modulation [https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-position\\_modulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-position_modulation) (дата звернення 20.06.2024)
3. Digital Communications: Fundamentals and Applications 2nd Edition / Bernard Sklar // Prentice Hall - January 2, 2017. 82-98
4. John Proakis Digital Communications, 5th Edition / John Proakis, Masoud Salehi // McGraw-Hill Education. - November 6, 2007. 401-424
5. Digital Communication Systems 1st Edition / Simon Haykin // Wiley - February 25, 2013. 285-311
6. Pulse Position Modulation URL : <https://www.elprocus.com/pulse-position-modulation/> (дата звернення 20.06.2024)
7. HomePNA URL: <https://web.archive.org/web/20100415094748/http://www.homepna.org/> (дата звернення 21.06.2024)
8. «Кодово-імпульсний шифратор на мікросхемах» <https://web.archive.org/web/20170621004224/https://www.qrz.ru/schemes/contribute/constr/remote/kodovo-impul-snyj-sifrator-komand-na-mikroshemah.html> (дата звернення 20.06.2024, версія 30.04.2017).
9. 74HC147N URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/114727/PHILIPS/74HC147N.html> ( дата звернення 20.06.2024)
10. 4015BD URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/66406/INTERSIL/4015B.html> (дата звернення 20.06.2024)
11. 4030BD URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/17709/PHILIPS/4030B.html> (дата звернення 20.06.2024)
12. Кодер та декодер. URL: <https://studfile.net/preview/9498127/page:3/> ( дата звернення 19.06.2024)