

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ
ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

Кафедра транспортного зв'язку

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до практичних і лабораторних робіт
із дисципліни**

«СИСТЕМИ ДОСТУПУ»

Частина 1

**ВИВЧЕННЯ ЗАСОБІВ ДОСТУПУ ДО МЕРЕЖ
ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ТА ТЕРМІНАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ**

Харків – 2025

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри транспортного зв'язку 12 лютого 2025 р., протокол № 9.

Методичні вказівки містять опис двох практичних занять, тематика яких охоплює питання, що розглядають у рамках навчальної дисципліни «Системи доступу».

Методичні вказівки можуть бути використані під час самостійної підготовки, а також при викладенні певних розділів інших дисциплін відповідно до навчальних програм.

Рекомендовано для здобувачів вищої освіти всіх форм здобуття факультету ІКСТ спеціальності G5 «Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка», які вивчають дисципліну «Системи доступу».

Укладачі:

доценти І. В. Ковтун,
Н. А. Корольова,
проф. К. А. Трубчанінова

Рецензент

доц. Л. А. Клименко

ЗМІСТ

Загальні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни	4
Практична робота 1. Вивчення засобів доступу до мереж передачі даних	6
Практична робота 2. Кодування даних у телекомунікаційних мережах	31
Список літератури	52

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ

Методичні вказівки до практичних занять формують мету, об'єм і зміст практичних занять з дисципліни «Системи доступу». Для кожного заняття наведено необхідний мінімум теоретичного матеріалу, який здобувачам рекомендовано вивчити перед вирішенням конкретних завдань, а також перелік необхідної літератури, в якій здобувач може знайти відповідні дані для виконання завдання.

Метою практикуму є набуття навичок роботи з застосування цифрових методів передачі даних в системах абонентського доступу.

Кожна практична робота має тему, конкретну мету й певні теоретичні відомості. Теорію до практичної роботи необхідно самостійно опрацювати й відповісти на контрольні запитання. На заняттях бажано виконати всі процедури, зазначені в основних завданнях і захистити практичну роботу. Номер варіанта практичної роботи відповідає порядковому номеру списку здобувачів академічної групи. Роботу, виконану не за своїм варіантом, викладач не перевіряє.

Практична робота – невеликий науковий звіт, що узагальнює проведену здобувачем роботу, яку представляють для захисту викладачу. До практичних робіт пред'являють низку вимог, основною з яких є повний, вичерпний опис всієї проведеної роботи, що дає змогу судити про отримані результати, міру виконання завдання та професійну підготовку здобувачів.

Звіт з практичної роботи друкують або пишуть здобувачі на одній стороні аркуша паперу формату 210x297 мм (A4). Необхідні поля: зліва – 25 мм, справа – 10 мм, зверху – 20 мм, знизу – 15 мм.

Звіт має містити такі пункти:

1 Назва та мета практичної роботи.

2 Теоретичні відомості (основні визначення, формули).

3 Індивідуальне завдання (за варіантом) лабораторної роботи.

4 Основні етапи розрахунків і результати виконання роботи.

Висновки.

Висновки до роботи є важливою складовою виконання практичної роботи. Вони не мають повторювати мету та завдання роботи, а, натомість, мають відображати результати зіставлення та порівняння теоретичних положень з отриманими результатами розрахунків.

Залік з роботи здобувач отримує після подання звіту та успішної відповіді на запропоновані викладачем питання, пов'язані з тематикою лабораторної роботи, що захищається. Типові контрольні запитання розміщені наприкінці кожної практичної роботи.

Практична робота 1

ВИВЧЕННЯ ЗАСОБІВ ДОСТУПУ ДО МЕРЕЖ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Мета роботи – ознайомлення з основними принципами передавання даних телефонною мережею загального користування, вивчення призначення, функцій модему, стандартів сучасних модемів. Ознайомлення з методами побудови, технічною реалізацією та параметрами сучасних модемів.

1.1 Загальні теоретичні відомості

Місце і роль модемів при передачі даних

Модеми відіграють важливу роль при передачі і прийманні цифрової інформації по сучасних аналогових лініях зв'язку. Саме від модемів і реалізованих в них принципах значною мірою залежить ефективність використання каналів зв'язку, швидкість передачі даних, рівень якості обслуговування користувачів і, зрештою, можливість і ефективність ведення бізнесу з використанням інформаційних технологій. Характерним прикладом є забезпечення доступу в Internet.

Передачу цифрової інформації здійснюють по каналу зв'язку за допомогою сигналів, параметри яких (амплітуда, частота або фаза) модулюються за законом повідомлення, що передається.

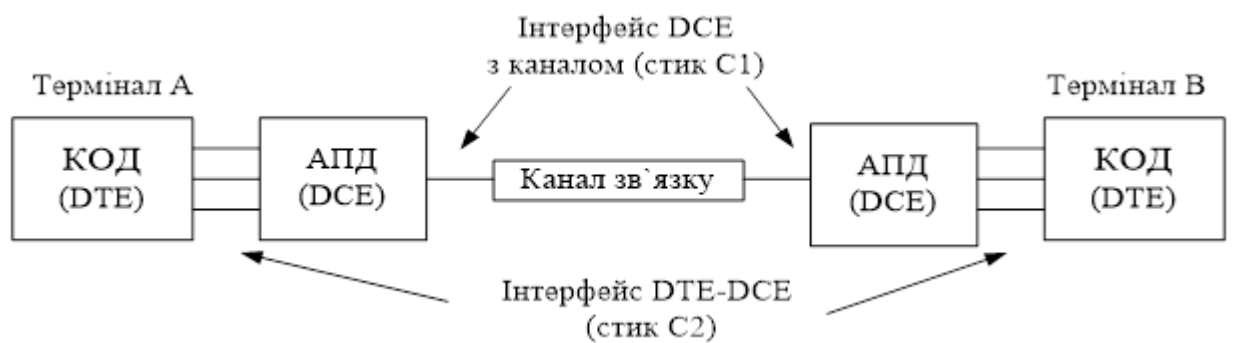
Систему передачі цифрових даних можна представити у вигляді схеми, що подана на рисунку 1.1. Кінцеве обладнання даних (*КОД*) – це узагальнене поняття, що використовують для опису кінцевого приладу користувача або його частини. *КОД* може бути джерелом інформації, її одержувачем або тим й іншим одночасно. *КОД* передає і (або) приймає дані за допомогою використання апаратури передачі даних (*АПД*) і каналу

зв'язку. У літературі для кінцевого обладнання даних часто вживають відповідний міжнародний термін – *DTE* (Data Terminal Equipment). Як *DTE* можуть виступати персональний комп'ютер, термінал, пристрій збору даних, касовий апарат, приймач сигналів глобальної навігаційної системи або будь-яке інше устаткування, здатне передавати або приймати дані [1, 3].

Для апаратури передачі даних часто використовують англomовний термін *DCE* (Data Communications Equipment). Функція *DCE* полягає в забезпеченні можливості передачі інформації між двома або великою кількістю *DTE* по каналу певного типу, наприклад телефонному. Для цього *DCE* має забезпечити з'єднання з *DTE* з одного боку, і з каналом зв'язку – з іншого. На рисунку 1.1 *DCE* може бути аналоговим модемом, якщо використовують аналоговий канал, або, наприклад, пристроєм обслуговування каналу даних (*CSU/DSU* – Channel Service Unit/Data Service Unit), якщо використовують цифровий канал типу *E1/T1* або *ISDN*. Модеми, розроблені в 60-70-х роках, виконували виключно функції перетворення сигналів. Проте, останніми роками модеми придбали значну кількість складних функцій з обробки інформації і підвищенню її достовірності.

Будь-який модем є конкретним *DTE*. Термін «модем» є скороченою назвою пристрою, що здійснює процес модуляції/демодуляції. На сьогодні модеми найбільш широко використовують для передачі даних між комп'ютерами через телефонну мережу загального користування з комутацією (*TфЗК* (*PSTN*– Public Switched Telephone Network)).

Термін модем використовують достатньо широко. При цьому вже необов'язково мають на увазі якийсь конкретний вид модуляції, а часто просто вказують на певні операції перетворення сигналів, що поступають від *DTE* для їх подальшої передачі по каналу, що використовується. Отже, в широкому значенні поняття модем і апаратура каналу даних (*DCE*) можна вважати синонімами.



а)



б)

а – структурна схема системи передачі даних;

б – відповідна схема тракту передачі даних

Рисунок 1.1 – Типова система передачі даних

Важливу роль у взаємодії *DTE* і *DCE* виконує інтерфейс, який складається з вхідних/вихідних ланцюгів, роз'ємів і сполучних кабелів, і визначає логіку роботи *DTE* і *DCE*. У вітчизняній літературі і стандартах часто вживається термін «стик».

З'єднання *DTE* з *DCE* відбувається по одному зі стандартних стиків, незалежних від середовища передачі, – типу *C2*. При підключенні *DCE* до каналу зв'язку або середовища розповсюдження застосовується один із стиків, залежних від середовища, – типу *C1*.

Отже, модем (модулятор-демодулятор) – пристрій призначений для введення-виведення і передачі-приймання інформації по аналогових або цифрових каналах зв'язку.

Класифікація модемів

Протоколи міжнародного рівня розробляються під егідою *ITU-T* і приймаються ним як рекомендації [3].

Рекомендації часто приймаються як стандарти розробниками модемної техніки. До головних стандартів відносять:

1 Стандарти передачі даних через телефонні мережі (*V* - серія).

2 Стандарти передачі даних через мережі загального користування (*X* - серія; гр. 1 – по аналогових мережах; гр. 2 – охоплює мережі передачі дискретної інформації).

Всі рекомендації *ITU-T* щодо *TфЗК* модемів відносять до серії *V*. Фірмові протоколи розробляють окремі компанії – виробники модемів, з метою досягти успіху в конкурентній боротьбі. Найбільш активно розробленням нових протоколів і стандартів займаються такі відомі фірми, як *AT&T*, *Motorolla*, *U.S. Robotics*, *ZyXEL* й інші.

Розглянемо ряд рекомендацій ITU-T за протоколами серії X.

1 Рекомендація *X.1* визначає 11 класів користувачів мереж передачі даних загального користування, об'єднаних в 3 групи:

- *DTE* із старт-стоповою передачею $B_{\text{пер}} = 50, 200, 600$ бод (телеграфна апаратура, асинхронна передача);
- *DTE* з синхронною передачею $B_{\text{пер}} = 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 28800$ бод;
- *DTE* з пакетною передачею $B_{\text{пер}} = 2400, 4800, 9600, 19200, 28800, 48000$ бод.

2 Рекомендація *X.92*. Для роботи в мережах з пакетною комутацією необхідний пристрій *ПАД* (пакетний адаптер даних) – модуль збору і розбирання пакетів.

3 Рекомендація *X.3* описує характеристики *ПАД*, основні функції і параметри.

4 Рекомендація *X.29* описує процедуру обміну інформацією між *DTE* (пакетним) і модулем *ПАД*.

5 Рекомендація *X.28*. Основний інтерфейс описує між *DTE* і *DCE*. У подальші роки *ITU-T* велика увага приділяється розробленню рекомендацій з організації стандартів для мереж з пакетною комутацією.

6 Рекомендація *X.25* торкається стандартів протоколів для мереж з пакетною комутацією. Виділяється декілька рівнів:

- протокол третього рівня *X.25/3*;
- протокол канального рівня *HDLC* (високорівневе управління каналом даних);
- протокол фізичного рівня *X21*.

7 Рекомендація *X.75* визначає процедури і стандарти передачі інформації між окремими мережами через шлюзи.

8 Рекомендація *X.400* процедури і стандарти електронної пошти.

9 Протокол швидкої передачі пакетів – *Frame Relay Protocol*.

10 Протокол транспортно-мережевого рівня мережі Internet (*TCP/IP*). Останніми роками *МККТТ* велику увагу надає розробленню рекомендацій за системою управління мережею – Рекомендації *TMN* – Telecom Management Network.

З функціональної точки зору модемні протоколи серії *V* можуть бути розділені на такі групи:

- норми, що визначають взаємодію модему з каналом зв'язку (*V.2*, *V.25*);
- що регламентують з'єднання і алгоритми взаємодії модему і *DTE* (*V.10*, *V.11*, *V.24*, *V.25*, *V.25bis*);
- що визначають основні характеристики модемів, призначених для виділених телефонних каналів і тих, що комутуються. До них відносяться такі протоколи, як *V.17*, *V.22*, *V.32*, *V.34*, *HST*, *ZyX* і велика кількість інших;
- корекції помилок (*V.41*, *V.42*, *MNP1-MNP4*);

- стиснення даних, що передаються, такі як *MNP5*, *MNP7*, *V.42bis*, *V.44*;
- процедури, що визначають діагностики модемів, випробування і вимірювання параметрів каналів зв'язку (*V.51*, *V.52*, *V.53*, *V.54*, *V.56*);
- узгодження параметрів зв'язку на етапі його встановлення (*Handshaking*), наприклад, *V.8*.

Приставки «bis» і «ter» в назвах протоколів означають, відповідно, другу і третю модифікацію наявних протоколів або протокол, пов'язаний з початковим протоколом. При цьому початковий протокол зазвичай залишається підтримуваним.

Деяку ясність в розмаїтті модемних протоколів може внести умовна класифікація, яка наведена на рисунку 1.2.

Слід також зазначити, що деякі протоколи не можна віднести тільки до однієї з наведених груп, оскільки вони описують реалізацію ряду різних функцій, наприклад, таких, як модуляція і корекція помилок. Насамперед це відноситься до фірмових протоколів (*ZyCELL*, *MNP10* і ін.).

Серед всього розмаїття модемів можна виділити такі класи:

- модеми для передачі цифрової інформації за стандартним телефонним каналом із смугою 0,3...3,4 кГц;
- для телефонних каналів, що комутуються (протоколи серії *V*);
- для виділених (що орендуються) телефонних каналів (протоколи серії *X*);
- для фізичних сполучних / абонентних ліній (*xDSL* - модеми);
- для цифрових систем передачі (*CSU / DSU*);
- для стільникових систем зв'язку;
- для пакетних радіомереж;
- для супутникових каналів зв'язку;
- для локальних радіомереж;
- для телевізійних кабельних мереж.

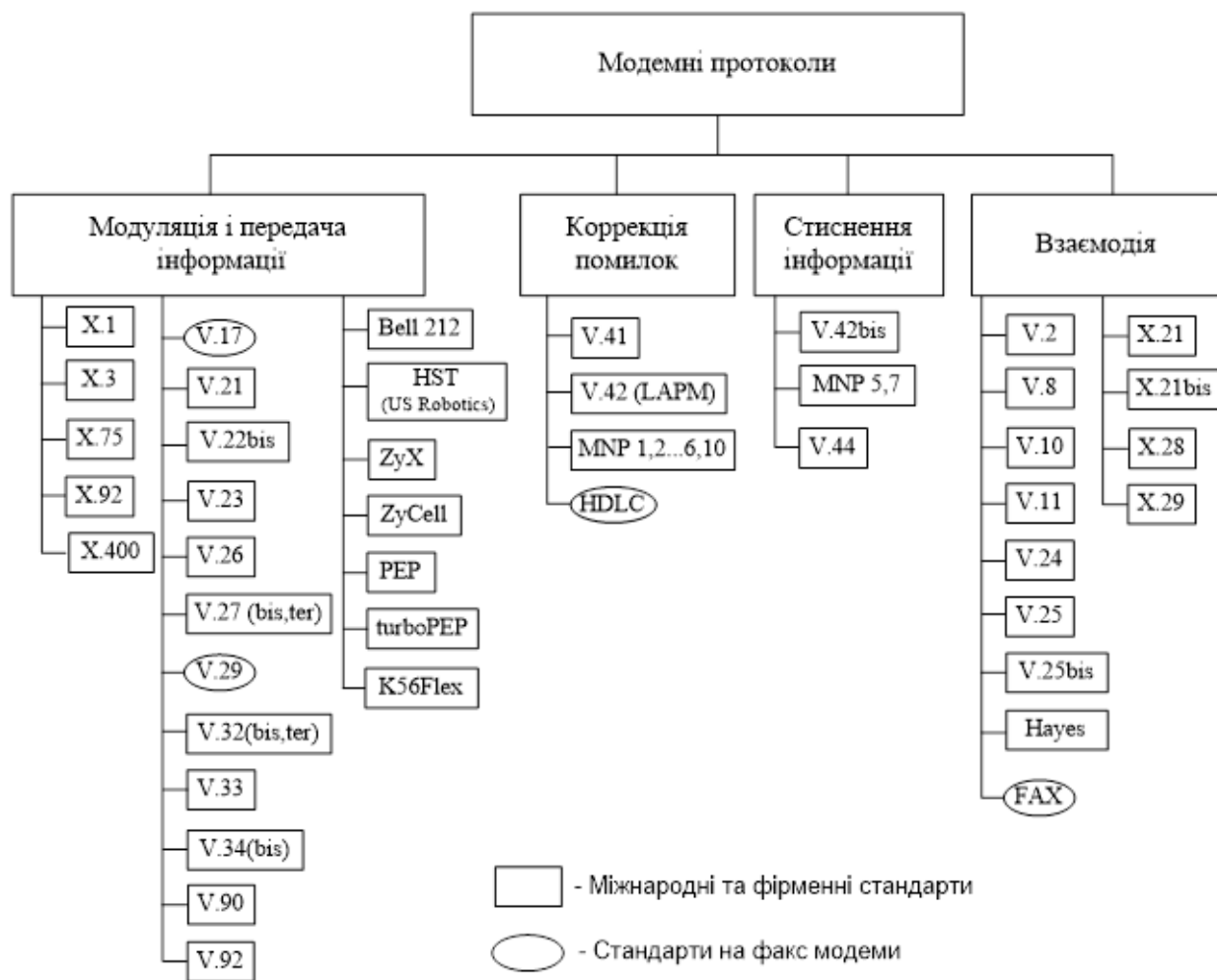


Рисунок 1.2 – Класифікація модемних протоколів

Переважна більшість модемів призначена для використання на телефонних каналах, що комутуються. Такі модеми здатні працювати з автоматичними телефонними станціями, розрізняти їхні сигнали і передавати свої сигнали набору номера.

Основна відмінність модемів для фізичних ліній від інших типів модемів полягає в тому, що смуга пропускання фізичних ліній не обмежена значенням 3,1 кГц, характерним для телефонних каналів. Проте смуга пропускання фізичної лінії також є обмеженою і залежить переважно від типу фізичного середовища (екранована і неекранована вита пара, коаксіальний кабель й ін.) і її довжини.

1 З погляду використання для передачі сигналів *модеми для фізичних* ліній можуть бути розділені на модеми низького рівня (лінійні драйвери), що використовують цифрові сигнали, і модеми «основної смуги» (Baseband), в яких застосовують методи модуляції, аналогічні вживаним в модемах для телефонних каналів.

В обох групах модемів часто використовують різні види квадратурної амплітудної модуляції, даючи змогу радикально скоротити смугу частот, що вимагається для передачі. Унаслідок на однакових фізичних лініях такими модемами може досягатися швидкість передачі до 100 кбіт/с.

2 *Модеми для цифрових систем передачі* нагадують модеми низького рівня. Проте на відміну від них забезпечують підключення до стандартних цифрових каналів, таких як *E1 / T1* або *ISDN*, і підтримують функції відповідних каналних інтерфейсів.

3 *Модеми для стільникових систем зв'язку* відрізняються компактністю виконання і підтримкою спеціальних протоколів модуляції і виправлення помилок, що дають змогу ефективно передавати дані в умовах стільникових каналів з високим рівнем завад і параметрами, що постійно змінюються. Серед таких протоколів виділяються *ZyCELL*, *ETC* і *MNP 10*.

4 *Радіомодеми* призначені для передачі даних по радіоканалу між мобільними користувачами. При цьому декілька радіомодемів використовують один і той же радіоканал в режимі множинного доступу, наприклад, множинного доступу з контролем несучої, відповідно до *AХ.25*. Радіоканал за своїми характеристиками близький до телефонного і організується з використанням типових радіостанцій, налаштованих на одну і ту ж частоту в *УКХ* або *КХ* діапазонах. Радіомодем реалізує методи модуляції і множинного доступу. До таких можна віднести термінали

стільникового, транкінгового або пейджінгового зв'язку, термінали *Wi-Fi*, *Wi-Max*.

5 Модеми для телевізійних кабельних мереж набувають все більшого поширення завдяки розвитку кабельних ТВ-мереж і високим швидкостям передачі. Такі модеми використовують вільні телевізійні канали із смугою пропускання в 6 МГц в діапазоні від 50 до 450 МГц для передачі своїх сигналів. Великі смуги пропускання ТВ-каналів обумовлюють і високі швидкості передачі, які досягають порядку 36 Мбіт/с.

За методом передачі модеми діляться на асинхронні і синхронні.

Поняття синхронності модему в загальному випадку може розглядатися щодо режиму передачі як по інтерфейсу *DTE - DCE* (стику, не залежного від середовища), так і по каналу зв'язку (стику, залежного від середовища). Корінний критерій синхронності методу передачі полягає в роботі тактових генераторів відправника і одержувача: незалежної один від одного (асинхронної) або узгодженої (синхронної). При розгляді режиму передачі по інтерфейсу *DTE - DCE*, як відправник і одержувач виступають *DTE* і *DCE*, або *DCE* і *DTE*, залежно від того, який напрям передачі даних розглядається. У разі розгляду режиму передачі в каналі як відправник і одержувач виступають взаємодіючі *DCE* (модеми). Передача по інтерфейсу *DTE - DCE* може бути синхронною і асинхронною. Модем може працювати з комп'ютером в асинхронному режимі і одночасно з видаленим модемом – в синхронному або навпаки. У такому разі модем можна класифікувати як синхронно-асинхронний.

Структура сучасних модемів

Модем складається з адаптерів портів канального і *DTE – DCE* інтерфейсів; універсального (*PU*), сигнального (*DSP*) і модемного процесорів; постійного (*ПЗП, ROM*), постійного незалежного

перепрограмуємого (ППЗП, *EPROM*), оперативного (ОЗП, *RAM*) пристроїв, що запам'ятовують, і схеми індикаторів стану модему (рисунк 1.3).

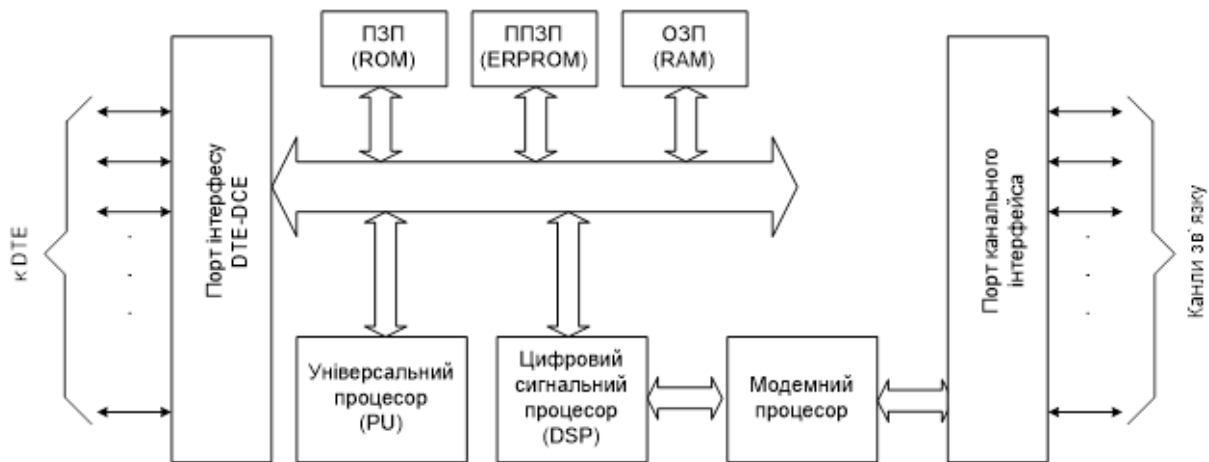


Рисунок. 1.3 – Структурна електрична схема сучасного модему

Порт інтерфейсу *DTE – DCE* забезпечує взаємодію з *DTE*. Якщо модем внутрішній, замість інтерфейсів *DTE – DCE* може застосовуватися інтерфейс внутрішньої шини комп'ютера. Порт каналного інтерфейсу забезпечує узгодження електричних параметрів з каналом зв'язку, що використовується. Канал може бути аналоговим або цифровим, з дво- або чотирипровідним закінченням.

Універсальний процесор виконує функції управління. Саме він виконує *DTE AT* - команди, що посилаються і управляє режимами роботи решти складових частин модему.

Інтелектуальні можливості модему визначають здебільшого типом використаного *PU* і мікропрограмою управління модемом, що зберігається в *ROM*. Шляхом заміни або перепрограмування *ROM* іноді можна поліпшити властивості модему. Для полегшення такої модернізації останнім часом замість мікросхем *ROM* стали широко застосовувати мікросхеми флеш-пам'яті (*FlashROM*).

Схема *EPROM* дає змогу зберігати установки модему в так званих про-файлах або профілях модему на час його виключення. Пам'ять *RAM* інтенсивно використовуються для тимчасового зберігання даних і виконання проміжних обчислень як універсальним, так і цифровим сигнальним процесорами.

На сигнальний процесор найчастіше покладаються задачі з реалізації основних функцій протоколів модуляції (кодування згортковим кодом, відносно кодування, скремблювання і т. д.), операції модуляції / демодуляції зазвичай виконуються спеціалізованим модемним процесором.

Описаний розподіл функцій умовний. Проте внутрішньою начинкою сучасного модему всі ці функції тою чи іншою мірою мають виконуватися.

У найзагальнішому вигляді синхронний модем містить приймач, передавач, компенсатор електричної луни, схему управління (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Структура синхронного модему

Лунокомпенсатор призначений для ослаблення шкідливого впливу завади у вигляді електричної луни (власного відображеного сигналу) на приймання сигналу від видаленого модему.

Дані *DTE*, що мають передаватись, поступають в передавач модему, який виконує операції скремблювання, відносного кодування, синхронізації і іноді вносить передспотворення, частково компенсуючи нелінійність амплітудної і фазочастотної характеристик (*АЧХ* і *ФЧХ*) телефонного каналу, що використовується.

На рисунку 1.5 подана схема приймача (а) і передавача (б) синхронного модему.

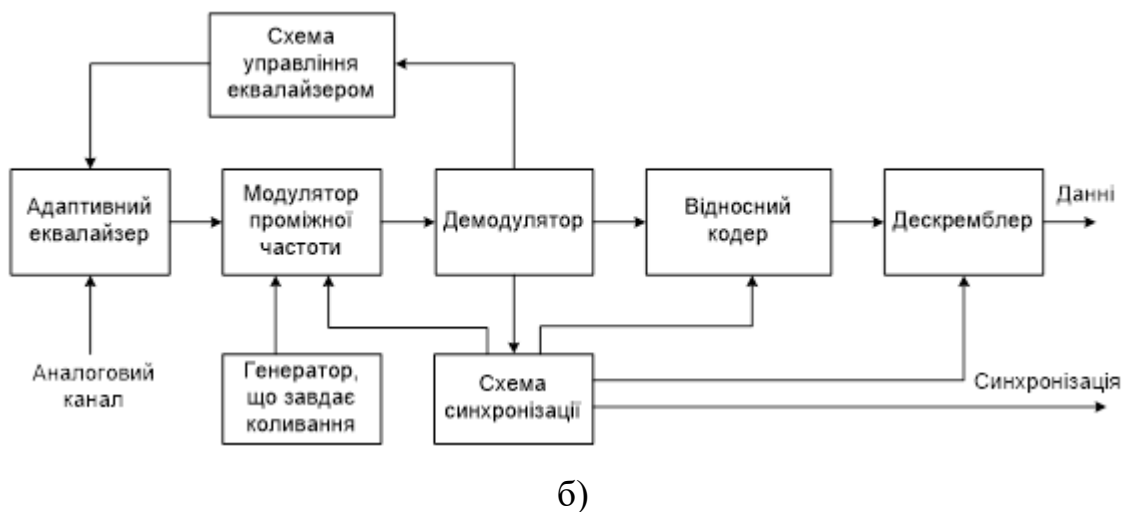
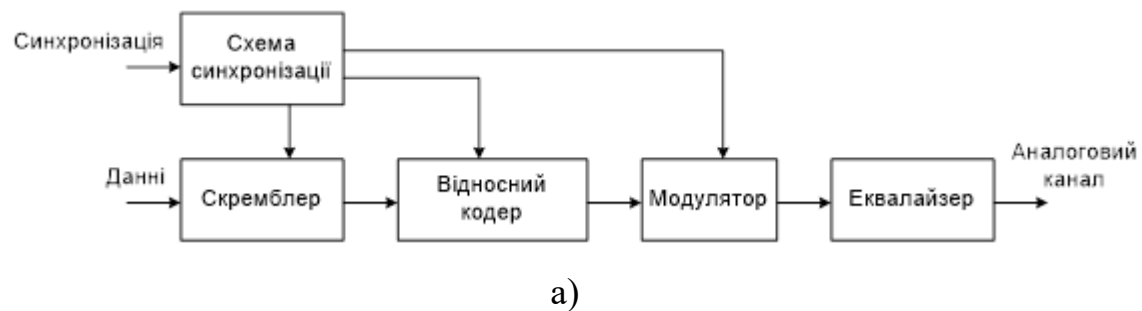


Рисунок 1.5 – Схема приймача (а) і передавача (б) синхронного модему

Схема синхронізації передавача одержує сигнал опорної частоти від внутрішнього генератора або від *DTE* (рисунок 1.5, а). В останньому випадку модем зобов'язаний підтримувати синхронний режим роботи не тільки по каналу з видаленим модемом, але і по інтерфейсу *DTE* - *DCE*.

Скремблер призначений для додання властивостей випадковості (рандомізації) послідовності даних, що передається з метою полегшення виділення тактової частоти приймачем видаленого модему. При використанні сигналів ΦM і похідних від них, застосування відносного кодування дає змогу розв'язати проблему невизначеності фази, відновленої на прийманні несучої.

Приймач типового синхронного модему містить адаптивний еквалайзер зі схемою управління, модулятор із задаючим генератором, демодулятор, відносний декодер, дескремблер і схему синхронізації (рисунок 1.5, б). Модулятор приймача спільно із задаючим генератором, дають змогу перенести спектр сигналу (300-3400 Гц), що приймається, в область високих частот. Це робиться для полегшення операцій фільтрації і демодуляції. Відносний декодер і дескремблер виконують операції, зворотні операціям, що виконуються в передавачі. Схема синхронізації виділяє тактову частоту з сигналу, що приймається, і подає його на інші вузли приймача.

Адаптивний еквалайзер приймача, як і еквалайзер передавача, дає змогу компенсувати нелінійні спотворення, що вносяться каналом передачі (рисунок 1.6). Адаптивність еквалайзера полягає в його спроможності підстроюватися під параметри каналу, що змінюються, протягом сеансу зв'язку. Для цього сигнал помилки фази з демодулятора поступає на схему управління, яка виробляє управляючі сигнали для еквалайзера. Сам еквалайзер складається з лінії затримки з відведеннями і набору управляючих підсилювачів зі змінним коефіцієнтом посилення [1, 2, 3, 4].

Двійковий сигнал на вході модему може мати довільну статистичну структуру, яка не завжди задовольняє вимогам, що пред'являються синхронним способом передачі. Серед цих вимог основними є такі [6]:

- частота зміни символів (1,0) має забезпечувати надійне виділення тактової частоти безпосередньо з сигналу, що приймається;

– спектральна щільність потужності сигналу, що передається, має бути, за можливістю, постійною і зосередженою в заданій області частот з метою зниження взаємного впливу каналів.

Наведені вимоги мають виконуватися незалежно від структури повідомлення, що передається. Тому в синхронних моделах початкова послідовність двійкових посилок часто піддається скремблюванню (scramble – перемішування).

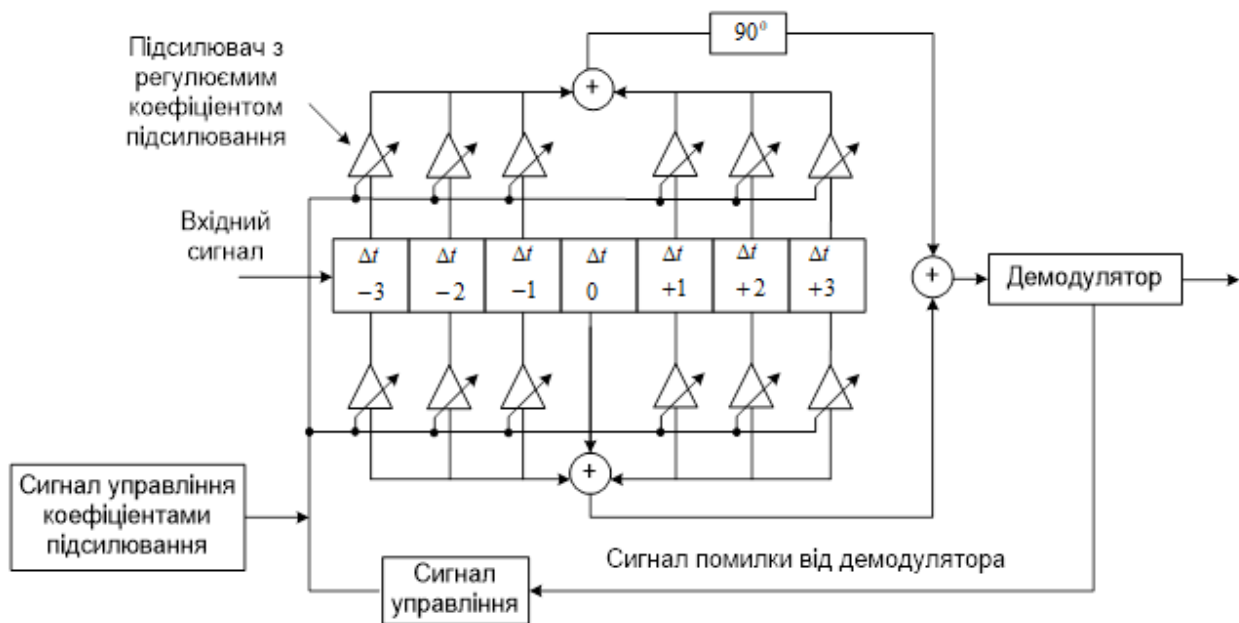


Рисунок 1.6 – Адаптивний еквалайзер приймача

Скремблювання – це перетворення структури цифрової послідовності без зміни швидкості передачі з метою додання послідовності синхронізуючих властивостей, шляхом рівномірного розміщення одиниць і нулів на основі псевдо-випадкової послідовності [5].

Скремблювання проводиться на передавальній стороні за допомогою скремблера, що реалізує логічну операцію додавання за модулем два початкового і псевдовипадкового двійкових сигналів. На приймальній стороні здійснюється зворотне перетворення – дескремблювання, що

виконується дескремблером. Дескремблер виділяє з прийнятої послідовності початкову інформаційну послідовність.

Основною частиною скремблера є генератор псевдовипадкової послідовності (ППП) у вигляді лінійного каскадного реєстра із зворотними зв'язками, формуючий послідовність максимальної довжини $T = 2^M - 1$.

Розрізняють два основні типи скремблерів-дескремблерів – що самосинхронізуються та з початковою установкою (аддитивні). Схему пари скремблера, що самосинхронізуються, – дескремблера подано на рисунку 1.7.

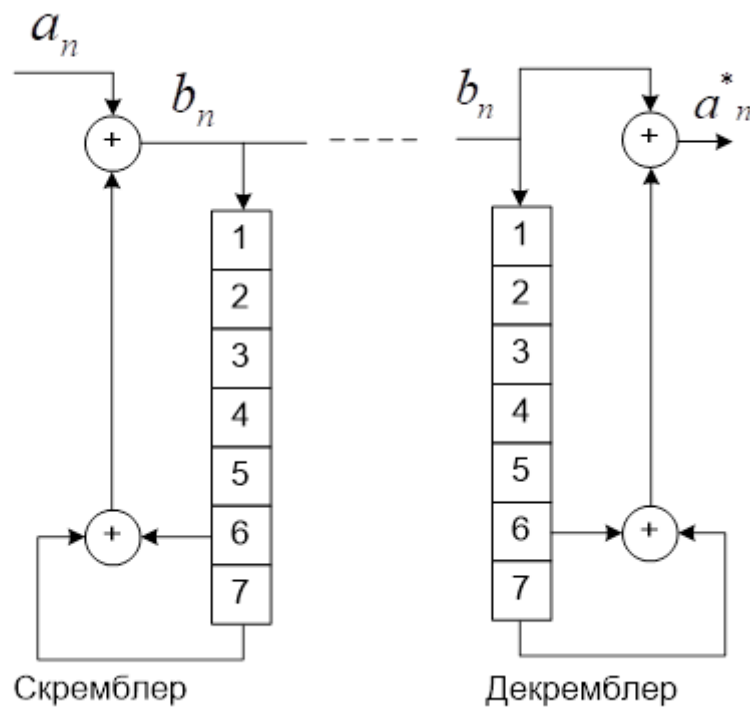


Рисунок 1.7 – Структура скремблера, що самосинхронізується, – дескремблера

Особливістю скремблера, що самосинхронізується, є те, що він керується самою скрембльованою послідовністю, тобто тією, що поступає в канал. Тому в цьому випадку не вимагається спеціальної установки

станів скремблера і дескремблера, оскільки вони виявляються ідентичними в результаті запису в їхні регістри зрушення скрембльованої послідовності.

За втрати синхронізму між скремблером і дескремблером час його відновлення не перевищує числа тактів, рівного числу осередків регістра скремблера. На приймальній стороні виділення інформаційної послідовності відбувається додаванням за модулем два прийнятої скрембльованої послідовності з псевдовипадковою послідовністю (ПСП) регістра.

Одним із недоліків дескремблера, що самосинхронізується, є властивість розмноження помилок. У загальному випадку вплив одного помилково прийнятого біта проявлятиметься α разів, де α – число зворотних зв'язків регістра. Цей недолік обмежує число зворотних зв'язків, яке практично не перевищує $\alpha=2$, тобто поліном, що описує регістр, має вигляд x^n+x^m+1 .

Другий недолік дескремблера, що самосинхронізується, пов'язаний із можливістю появи на його вході так званих «критичних ситуацій», коли вихідна послідовність набуває періодичного характеру з періодом, меншим за період ПСП. Для запобігання таким ситуаціям, за рекомендаціями ITU-T, передбачаються спеціальні додаткові схеми контролю, які виявляють періодичність елементів на вході і порушують її.

Недоліки, властиві скремблеру-дескремблеру, що самосинхронізується, практично відсутні при адитивному скремблюванні (рисунок 1.8). Проте в цьому випадку потрібна попередня ідентична установка станів регістра скремблера і дескремблера.

У скремблері з початковою установкою, як і в скремблері, що самосинхронізується, виконується додавання вхідного сигналу і ПСП, але результативний сигнал не поступає на вхід регістра. У дескремблері скрембльована послідовність також не проходить через регістр зсуву, тому розмноження помилок не відбувається. Просумовані в скремблері

послідовності незалежні, тому критичних ситуацій не наступає. Відсутність ефекту розмноження помилок і необхідність спеціального захисту від небажаних ситуацій роблять спосіб адитивного скремблювання переважно і економічно ефективніше, якщо не враховувати витрат на рішення завдання взаємної синхронізації пари скремблер-дескремблер.

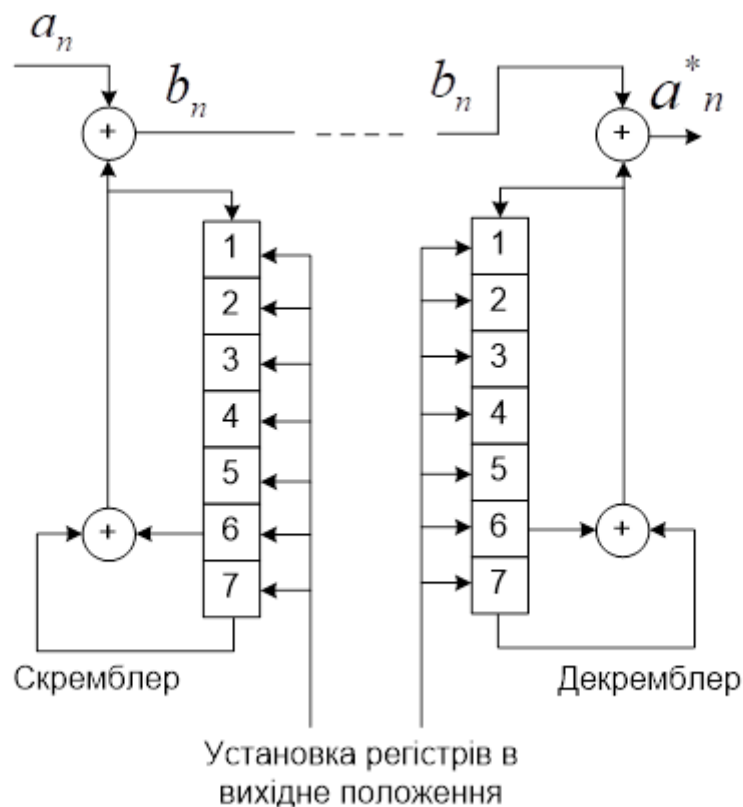


Рисунок 1.8 – Структура адитивного скремблера-дескремблера

Про вплив скремблювання на енергетичний спектр сигналу можна сказати, що, якщо період ПСП $M = 2^n - 1$, то число спектральних складових у тій самій смузі частот збільшується в M разів, а рівень кожної складової зменшується в таку кількість разів.

На відміну від виділених чотирьохпроводних ліній зв'язку, характерною особливістю телефонного каналу є наявність ділянок

переходу двопровідної частини каналу в чотирипровідну. Перехід здійснюється за допомогою диференціальних систем (ДС), що забезпечують необхідне згасання по зустрічних напрямках передачі. Проте ідеальних диференціальних систем не існує. В результаті, як і у всякій електрично замкнутій системі, в двопровідному телефонному каналі присутні струми зворотного зв'язку, що викликають спотворення амплітудно-частотних і фазочастотних характеристик прямого і зворотного каналів. Чим більшою затримкою володіє луно-сигнал, тим важче з ним боротися.

Відомі так звані диференціальні системи, що самобалансовані, автоматично переналаштовуються під параметри лінії зв'язку, але вони є достатньо складними електронними пристроями.

Для боротьби з електричною луною можливе використання таких методів:

- застосування диференціальних систем, які є самобалансованими;
- компенсація луно-сигналу.

Застосування диференціальних систем, що автоматично переналаштовуються, економічно не вигідне через високу складність їх технічної реалізації.

У зв'язку з цим найбільше поширення набув компенсаційний метод боротьби з луно-сигналом. Суть методу полягає у тому, що модем, володіючи інформацією про свій власний сигнал, що має передаватись, може використовувати її для фільтрації сигналу, що приймається, від луно-завади. Відображений луно-сигнал зазнає істотних змін унаслідок амплітудних і фазових спотворень. На етапі встановлення з'єднання кожен модем посиляє певний зондуєчий сигнал і визначає параметри луновідбиття: час затримки, амплітудні і фазові спотворення, потужність відображеного сигналу. В процесі сеансу зв'язку лунокомпенсатор модему відраховує з вхідного сигналу, що приймається, свій власний вихідний,

скоректований відповідно до одержаних параметрів луновідбиття. Функцію створення копії луно-сигналу виконує лінія затримки з відведеннями, схема якої наведена на рисунку 1.9.

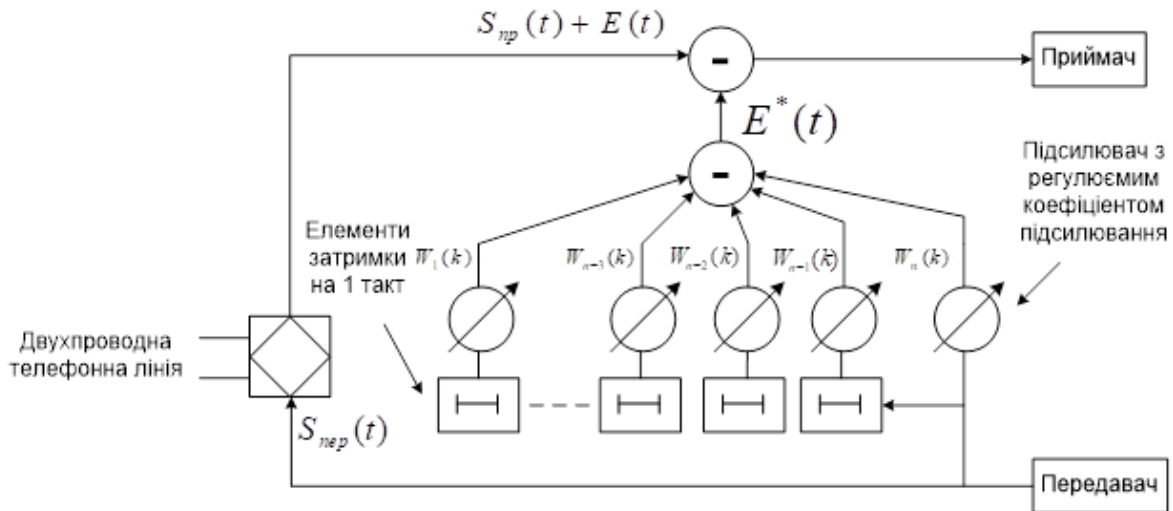


Рисунок 1.9 – Схема лунокомпенсатора

Технологія луно-компенсації дає змогу відвести для дуплексної передачі всю ширину смуги спроможності телефонного каналу, проте вимагає чималих обчислювальних ресурсів для обробки сигналу.

1.2 Етапи виконання роботи та варіанти завдань

Алгоритм найпростішого скремблера [5]:

$$B_i = A_i \text{ XOR } B_{i-n} \text{ XOR } B_{i-m}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, k, \quad (1)$$

де B_i – двійкова цифра результуючого коду, отримана на i -му такті роботи скремблера;

A_i – двійкова цифра вихідного коду, що надходить на i -му такті на вхід скремблера;

B_{i-n} і B_{i-m} – двійкові цифри результуючого коду, які отримані на попередніх тактах роботи скремблера, відповідно на n і m тактів раніше за поточний такт;

XOR – логічна операція виключаючого ABO (додавання за модулем 2);

k – кількість бінарних цифр у вихідному A та в результуючому B кодах.

Структурну схему найпростішого скремблера подано на рисунку 1.10.

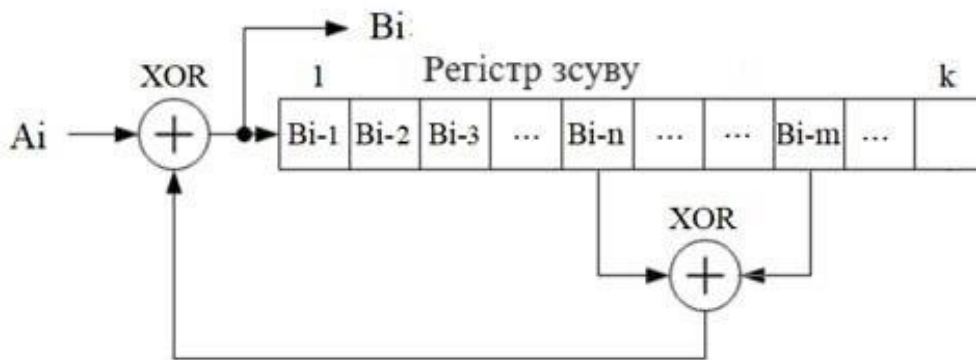


Рисунок 1.10 – Структурна схема скремблера

Алгоритм відповідного дескремблера:

$$C_i = B_i \text{ XOR } B_{i-n} \text{ XOR } B_{i-m}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, k, \quad (2)$$

Структурну схему дескремблера подано на рисунку 1.11.

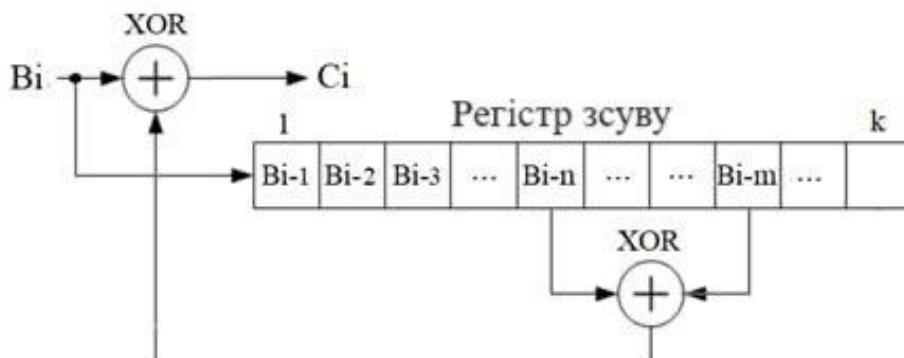


Рисунок 1.11 – Структурна схема дескремблера

Варіанти вихідних кодів A подано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані

Варіант	Код A_{bin}	Код A_{hex}	n	m	k
1	101010111100110111101111	$ABCDEF$	2	3	24
2	101111001101111011111010	$BCDEFA$	2	4	24
3	110011011110111110101011	$CDEFAB$	2	5	24
4	110111101111101010111100	$DEFABC$	2	6	24
5	111011111010101111001101	$EFABCD$	3	4	24
6	111110101011110011011110	$FABCDE$	3	5	24
7	100110111000110101111111	$9B8D7F$	3	6	24
8	101110001101011111111001	$B8D7F9$	3	7	24
9	100011010111111110011011	$8D7F9B$	2	3	24
10	110101111111100110111000	$D7F9B8$	2	4	24
11	011111111001101110001101	$7F9B8D$	2	5	24
12	111110011011100011010111	$F9B8D7$	2	6	24
13	101010011010100011010111	$A9A8D7$	3	4	24
14	100110101000110001111110	$9A8C7E$	3	5	24
15	101010001100011111101001	$A8C7E9$	3	6	24
16	100011000111111010011010	$8C7E9A$	3	7	24
17	110001111110100110101000	$C7E9A8$	2	3	24
18	011111101001101010001100	$7E9A8C$	2	4	24
19	111010011010100011000111	$E9A8C7$	2	5	24
20	111110101101110001111110	$FADC7E$	2	6	24

1.3 Зміст роботи

1 Для заданої послідовності біт (код A_{bin}) виконати скремблювання за заданим алгоритмом. Варіант алгоритму скремблювання визначається параметрами " n ", " m " і " k " (таблиця 1.1).

2 Порівняти коди A_{hex} і B_{hex} (у шістнадцятковому поданні).

3 Виконати дескремблювання коду B_{bin} , використовуючи алгоритм (2), за тих самих значень " n ", " m " і " k ", що й під час скремблювання.

4 Порівняти вихідний код A_{hex} і C_{hex} , де C_{hex} – код, отриманий після дескремблювання.

Приклад виконання практичної роботи

1 Скремблювання

Варіант вихідного коду:

$A_{bin} = 1100|0101|1100|1101|1100|0000$

$A_{hex} = C5CDC0$

Варіант алгоритму скремблювання:

$$B_i = A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5}$$

$$B_1 = A_1 = 1;$$

$$B_2 = A_2 = 1;$$

$$B_3 = A_3 = 0;$$

$$B_4 = A_4 \oplus B_1 = 0 \oplus 1 = 1;$$

$$B_5 = A_5 \oplus B_2 = 0 \oplus 1 = 1;$$

$$B_6 = A_6 \oplus B_3 \oplus B_1 = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0;$$

$$B_7 = A_7 \oplus B_4 \oplus B_2 = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0;$$

$$B_8 = A_8 \oplus B_5 \oplus B_3 = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0;$$

$$B_9 = A_9 \oplus B_6 \oplus B_4 = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0;$$

$$B_{10} = A_{10} \oplus B_7 \oplus B_5 = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0;$$

$$B_{11} = A_{11} \oplus B_8 \oplus B_6 = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0;$$

$$B_{12} = A_{12} \oplus B_9 \oplus B_7 = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0;$$

$$B_{13} = A_{13} \oplus B_{10} \oplus B_8 = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1;$$

$$B_{14} = A_{14} \oplus B_{11} \oplus B_9 = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1;$$

$$B_{15} = A_{15} \oplus B_{12} \oplus B_{10} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0;$$

$$B_{16} = A_{16} \oplus B_{13} \oplus B_{11} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0;$$

$$B_{17} = A_{17} \oplus B_{14} \oplus B_{12} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0;$$

$$B_{18} = A_{18} \oplus B_{15} \oplus B_{13} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0;$$

$$B_{19} = A_{19} \oplus B_{16} \oplus B_{14} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1;$$

$$B_{20} = A_{20} \oplus B_{17} \oplus B_{15} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0;$$

$$B_{21} = A_{21} \oplus B_{18} \oplus B_{16} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0;$$

$$B_{22} = A_{22} \oplus B_{19} \oplus B_{17} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1;$$

$$B_{23} = A_{23} \oplus B_{20} \oplus B_{18} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0;$$

$$B_{24} = A_{24} \oplus B_{21} \oplus B_{19} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1.$$

$$Bbin = 1101|1000|0000|1100|0010|0101;$$

$$Bhex = D80C25.$$

2 Порівняння кодів B і A

Коди A і B повністю не збігаються.

3 Дескремблювання

Скрембльований код:

$$Bbin = 1101|1000|0000|1100|0010|0101;$$

$$Bhex = D80C25.$$

Алгоритм дескремблера:

$$C_i = B_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5}$$

$$C_1 = B_1 = 1;$$

$$C_2 = B_2 = 1;$$

$$C_3 = B_3 = 0;$$

$$C_4 = B_4 \oplus B_1 = 1 \oplus 1 = 0;$$

$$C_5 = B_5 \oplus B_2 = 1 \oplus 1 = 0;$$

$$C_6 = B_6 \oplus B_3 \oplus B_1 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1;$$

$$C_7 = B_7 \oplus B_4 \oplus B_2 = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0;$$

$$C_8 = B_8 \oplus B_5 \oplus B_3 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1;$$

$$C_9 = B_9 \oplus B_6 \oplus B_4 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1;$$

$$C_{10} = B_{10} \oplus B_7 \oplus B_5 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1;$$

$$C_{11} = B_{11} \oplus B_8 \oplus B_6 = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0;$$

$$C_{12} = B_{12} \oplus B_9 \oplus B_7 = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0;$$

$$C_{13} = B_{13} \oplus B_{10} \oplus B_8 = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1;$$

$$C_{14} = B_{14} \oplus B_{11} \oplus B_9 = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1;$$

$$C_{15} = B_{15} \oplus B_{12} \oplus B_{10} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0;$$

$$C_{16} = B_{16} \oplus B_{13} \oplus B_{11} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1;$$

$$C_{17} = B_{17} \oplus B_{14} \oplus B_{12} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1;$$

$$C_{18} = B_{18} \oplus B_{15} \oplus B_{13} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1;$$

$$C_{19} = B_{19} \oplus B_{16} \oplus B_{14} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0;$$

$$C_{20} = B_{20} \oplus B_{17} \oplus B_{15} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0;$$

$$C_{21} = B_{21} \oplus B_{18} \oplus B_{16} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0;$$

$$C_{22} = B_{22} \oplus B_{19} \oplus B_{17} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0;$$

$$C_{23} = B_{23} \oplus B_{20} \oplus B_{18} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0;$$

$$C_{24} = B_{24} \oplus B_{21} \oplus B_{19} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0.$$

$$Cbin = 1100|0101|1100|1101|1100|0000;$$

$Chex = C5CDC0$.

4 Порівняння кодів C і A.

Коди C і A повністю збігаються.

Контрольні питання

- 1 На які типи поділяються модеми для телефонних ліній?
- 2 Що таке АПД?
- 3 Яким вимогам мають відповідати магістральні модеми?
- 4 Яким вимогам мають відповідати вузлові модеми?
- 5 Яким вимогам мають відповідати абонентські модеми?
- 6 Структурна схема модему. Класифікація модемів.
- 7 Особливості роботи модемів для фізичних ліній.
- 8 Наведіть схему адаптивного еквалайзера приймача та поясніть призначення його складових.
- 9 Наведіть схему лунокомпенсатора та поясніть призначення його складових.
- 10 Поясніть процедури скремблювання і дескремблювання сигналів та їхню реалізацію у модемах.

Практична робота 2

КОДУВАННЯ ДАНИХ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

Мета роботи – вивчення основних лінійних кодів, що використовують в цифрових системах передавання синхронної та плезіохронної ієрархій, а також параметрів цих кодів, їхніх позитивних властивостей і недоліків, сфер застосування.

2.1 Загальні відомості

Цифрове кодування

Цифрове кодування дискретних даних здійснюють з використанням потенційних або імпульсних кодів. Для представлення двійкових нулів і одиниць у потенційних кодах використовують різні значення потенціалу сигналу, а в імпульсних кодах – імпульси різної полярності або перепади потенціалу [1, 3, 4].

Якість передавання даних, а саме: надійність і достовірність доставки, можливість виявлення і виправлення помилок, що виникають, вартість реалізації, істотно залежить від обраного методу цифрового кодування, який, так само значною мірою визначає пропускну спроможність середовища передачі.

У зв'язку з цим, для забезпечення якості передачі даних до методів цифрового кодування висувається низка вимог:

- 1) зменшення спектра сигналу при одній і тій самій бітовій швидкості;
- 2) підтримка синхронізації між передавачем і приймачем сигналів за рахунок наявності в переданих сигналах ознак, на основі яких реалізується самосинхронізація;

3) відсутність постійної складової в сигналі, що зсуває спектр сигналу в область низьких частот;

4) можливість виявлення помилок і їх виправлення;

5) низька вартість реалізації методу кодування, що залежить від кількості рівнів сигналу.

Мінімізація спектра результуючого сигналу забезпечує при заданій смузі пропускання каналу зв'язку передачу більшого обсягу даних за одиницю часу. Це може бути реалізовано, наприклад, за рахунок використання частотного мультиплексування шляхом організації декількох логічних каналів в одній і тій самій лінії зв'язку, що і дає змогу збільшити швидкість передачі даних.

Крім того, у спектрі сигналу має бути відсутня постійна складова, тобто відсутній постійний струм між передавачем і приймачем. Це зумовлено застосуванням у зв'язку трансформаторних схем для гальванічної розв'язки, що перешкоджає проходженню постійного струму.

Спектр результуючого сигналу залежить від:

- методу кодування і модуляції;
- швидкості модуляції, що впливає на швидкість передавання даних;
- складу переданих даних.

Для синхронізації передавача і приймача сигналів з метою визначення моменту зчитування в приймачі значення чергового бітового інтервалу застосовують спеціальні методи кодування, що самосинхронізуються. У цих методах синхронізація приймача з передавачем виконується на основі ознаки, якою слугує будь-який різкий перепад сигналу, званий фронтом сигналу.

Вимога відсутності постійної складової в сигналі зумовлена необхідністю підтримки синхронізації приймача з передавачем. Крім того бажано, щоб нижня частота сигналу, що передається, відрізнялася від нуля. Це дає змогу зменшити спектр сигналу, а також не перешкоджає

проходженню постійного струму в електричних лініях зв'язку за наявності трансформаторних схем гальванічної розв'язки.

Бажаною, але необов'язковою вимогою, що висувається до методів цифрового кодування, є можливість виявлення помилок і, в ідеалі, їхнє виправлення. Це дає змогу заощадити час, оскільки помилка виявляється на фізичному рівні. При цьому помилковий кадр відкидається до завершення повного прийому в буфер.

Вартість реалізації методу цифрового кодування пов'язана з кількістю рівнів сигналу, причому чим більше рівнів сигналу, тим потужніше потрібне приймально-передавальне обладнання і, отже, дорожчого.

Вимоги, що висуваються до методів цифрового кодування, є суперечливими. При цьому кожен із методів цифрового кодування порівняно з іншими має свої конкретні переваги та недоліки, які розглядаються нижче.

Методи фізичного кодування

На рисунку 2.1 подано різні методи кодування 19-розрядного двійкового повідомлення 0101010000111101100 і розглянуто основні переваги та недоліки кожного з методів.

На прикладі методу потенційного кодування *NRZ* проілюстровано підхід, що дає змогу наближено оцінити основні частотні характеристики сигналу, що формується під час кодування повідомлення, в якості яких розглядаються:

- верхня і нижня межі частот у переданому повідомленні (спектр сигналу);
- середнє значення частоти в спектрі переданого сигналу;
- смуга пропускання, необхідна для якісної передачі певного повідомлення.

Найбільш простим і очевидним методом кодування двійкових повідомлень є метод потенційного кодування без повернення до нуля – *NRZ* (Non Return to Zero), у якому значенню біта "1" відповідає високий рівень потенціалу, а значенню "0" – низький (рисунок 2.1, а).

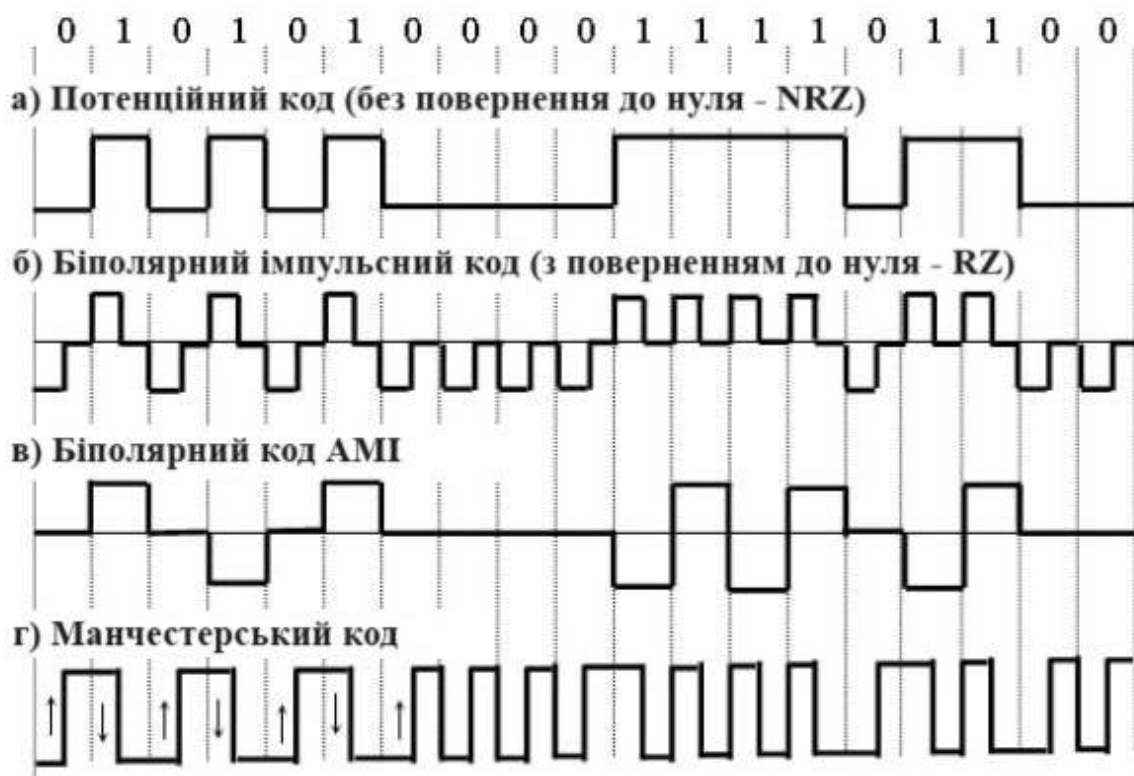


Рисунок 2.1 – Методи кодування дискретних даних

Потенційний код без повернення до нуля (NRZ)

Для визначення верхньої межі частот необхідно знайти найбільш високочастотну складову спектра в переданому повідомленні. У коді *NRZ* високочастотна складова утворюється під час передачі значень 0 і 1, що чергуються, при цьому період синусоїди (гармонійного сигналу), використовуваної для передачі прямокутних сигналів 0 і 1, дорівнюватиме подвоєній тривалості бітового інтервалу t : $T = 2t$, де t визначається як величина, обернена значенню швидкості передачі даних (пропускної спроможності каналу): $t = 1/C$. Звідси верхня межа частот дорівнюватиме

$f_g = 1/T = C/2$. При пропускній спроможності каналу $C = 1$ Мбіт/с зв'язку частота основної гармоніки дорівнює $f_g = 500$ кГц.

У загальному випадку, при кодуванні будь-якого повідомлення за методом *NRZ* найбільша (верхня) частота досягається при передачі значень, що чергуються, 0 і 1, а найменша (нижня) – при передачі довгих (у межах нескінченних) послідовностей нулів і одиниць, що робить нижню межу частот близькою і в межах дорівнює нулю: $f_n = 0$. Отже, у граничному випадку ширина спектра дорівнює $S = f_g - f_n = f_g = C/2$.

З іншого боку, при передачі конкретного повідомлення нижня частота завжди більша за нуль і залежить від максимальної довжини послідовностей нулів або одиниць. У цьому випадку для розрахунку нижньої межі частот необхідно в коді переданого повідомлення знайти найдовшу послідовність одиниць або нулів. В поданому на рисунку 2.1, а повідомленні, закодованому за методом *NRZ*, низькочастотна складова утворюється під час передачі чотирьох послідовних одиниць і чотирьох послідовних нулів. Період синусоїдального сигналу при передачі таких послідовностей дорівнює 8 бітовим інтервалам і нижня межа частот відповідно дорівнюватиме: $f_n = 1/8t = C/8$. Тоді ширина спектра під час передачі цього повідомлення кодом *NRZ* дорівнює $S = f_g - f_n = 0,375C = 375$ кГц.

Зазначимо, що отримані значення нижньої межі частот і, відповідно, спектра справедливі саме для цього конкретного повідомлення. Під час передачі інших повідомлень ці значення будуть іншими. Отже, можна стверджувати, що при кодуванні за методом *NRZ* ширина спектра сигналу $S < C/2$.

Середнє значення частоти переданого повідомлення знаходиться в інтервалі $(f_n; f_g)$ і показує, які частоти (низькі або високі) превалюють у спектрі переданого сигналу.

Для розрахунку середнього значення частоти переданого повідомлення необхідно для кожного бітового інтервалу визначити відповідну частоту сигналу, підсумувати їх і розділити на кількість бітових інтервалів. У нашому випадку: частота основної гармоніки $f_0 = C/2$ відповідає 7-ми бітовим інтервалам, 4-м бітовим інтервалам відповідає частота вдвічі менша, ніж частота основної гармоніки, тобто $f_0/2$ і 8-ми бітовим інтервалам відповідає частота $f_0/4$.

Тоді середня частота розглянутого повідомлення дорівнює:

$$f_{cp} = (7 f_0 + 4 f_0/2 + 8 f_0/19) \approx 0,58 f_0 = 290 \text{ кГц}.$$

Оскільки середині спектра розглянутого повідомлення відповідає частота $f_{1/2} = (f_n + f_s)/2 = 0,625 f_0 = 312,5 \text{ кГц}$, можна констатувати, що в спектрі сигналу незначно превалюють низькі частоти: $f_{cp} < f_{1/2}$.

Для якісної передачі двійкових сигналів по реальному каналу зв'язку та можливості їх розпізнавання на приймальній стороні з мінімальною кількістю помилок, бажано на передавальній стороні формувати сигнали, що наближаються до прямокутної форми. Однак, спектр таких сигналів виявляється занадто великим. Водночас, для якісного розпізнавання сигналу на приймальній стороні під час передачі значень 0 і 1, що чергуються, достатньо сформувати сигнал, що містить перші 4 гармоніки (оскільки більш високочастотні гармоніки мають незначний вплив на результуючий сигнал) з частотами $f_0 = C/2$, $f_1 = 3 f_0$, $f_2 = 5 f_0$, $f_3 = 7 f_0$. У цьому випадку верхня межа частот $f_s = 7 f_0$, а ширина спектра сигналу при передачі розглянутого повідомлення відповідно дорівнюватиме $S = f_s - f_n = 7 f_0 - f_0/4 = 6,75 f_0 = 3,375 \text{ МГц}$.

Смуга пропускання, необхідна для передачі цього повідомлення, має бути більшою за спектр S , наприклад, $F = 4 \text{ МГц}$.

Розглянемо тепер переваги та недоліки методу кодування *NRZ*.

Перевагами коду *NRZ* є:

1) простота і низька вартість, яка зумовлена наявністю лише двох рівнів потенціалу;

2) мала ширина спектра сигналу, яка менша, ніж в інших методів кодування: $S = f_{\epsilon} = 0,5C \text{ Гц}$, де C – швидкість передачі даних [біт/с].

У комп'ютерних мережах код *NRZ* у чистому вигляді не використовується через наявності таких *недоліків*:

1) відсутність самосинхронізації, що може призвести до розсинхронізації таймеру приймача і передавача під час передавання довгої послідовності одиниць або нулів;

2) неможливість використання в електричних каналах зв'язку за наявності гальванічних розв'язок між приймачем і джерелом.

Проте використовують модифікації коду *NRZ*, в яких усувають постійну складову за рахунок застосування методів логічного кодування, зокрема, надлишкового кодування.

Біполярний імпульсний код (RZ)

В імпульсних кодах дані представлені повним імпульсом або його частиною – фронтом. Одним із найпростіших серед імпульсних кодів є трирівневий біполярний імпульсний код із поверненням до нуля (Return to Zero, *RZ*), у якому одиниця представлена імпульсом однієї полярності, а нуль – імпульсом іншої полярності (рисунок 2.1, б). Кожен імпульс триває половину бітового інтервалу. У середині бітового інтервалу відбувається повернення до нульового потенціалу.

До *переваг* коду *RZ* належать:

1) наявність самосинхронізації: ознакою (стробом) для синхронізації таймеру приймача слугує повернення в середині кожного бітового інтервалу до нульового потенціалу;

2) відсутність постійної складової.

Водночас метод *RZ* має такі *недоліки*:

1) наявність трьох рівнів сигналу вимагає збільшення потужності передавача для забезпечення достовірності прийому сигналів, що збільшує вартість реалізації;

2) спектр сигналу ширший, ніж у потенційних кодів: при передачі послідовності нулів або одиниць верхня межа частот дорівнюватиме $f_g = C \Gamma_{\mathcal{U}}$, а нижня межа під час передачі нулів і одиниць, що чергуються, дорівнюватиме $f_n = C/4$, що збільшує спектр сигналу в півтора раза порівняно з кодом *NRZ*: $S = f_g - f_n = 0,75C$.

Через зазначені недоліки біполярний імпульсний код «у чистому вигляді» використовують рідко.

Біполярне кодування з інверсією, що чергується (AMI)

Біполярне кодування з альтернативною інверсією (Bipolar Alternate Mark Inversion, *AMI*) є модифікацією методу *RZ*. В *AMI* також використовують три рівні потенціалу: позитивний, нульовий і негативний (рисунок 2.1, в). Двійковий "0" кодується нульовим потенціалом, а двійкова "1" – або позитивним, або негативним потенціалом, при цьому завжди потенціал наступної одиниці протилежний потенціалу попередньої.

Які основні *переваги* методу *AMI* можна зазначити:

1) відсутність проблеми постійної складової і можливість синхронізації приймача з передавачем під час передачі довгих послідовностей одиниць, оскільки в цьому випадку сигнал являє собою послідовність різнополярних імпульсів;

2) у загальному випадку спектр сигналу під час кодування *AMI* менший, ніж під час *RZ*, що забезпечує більшу пропускну спроможність каналу зв'язку, зокрема, під час передачі одиниць і нулів, що чергуються, верхня межа частот, як і під час передачі нулів та одиниць, що чергуються, коду *NRZ*, дорівнює $f_g = C/2 \Gamma_{\mathcal{U}}$, а ширина спектра сигналу $S < C/2$;

3) можливість розпізнавати помилкові (заборонені) сигнали в разі порушення чергування полярності сигналів у процесі передачі одиниць, коли після одиничного сигналу з'являється одиничний сигнал тієї ж полярності.

До *недоліків* методу АМІ належать:

1) наявність трьох рівнів сигналу вимагає збільшення потужності передавача, що, природно, збільшує вартість;

2) у разі довгих послідовностей нулів у сигналі присутня постійна складова, що зсуває спектр у низькочастотний діапазон.

Потенційний код з інверсією при одиниці (NRZI)

Потенційний код з інверсією при одиниці (Non Return to Zero with ones Inverted, *NRZI*) на відміну від АМІ має тільки два рівні сигналу: під час передачі двійкового нуля зберігається рівень, який був встановлений у попередньому такті, а при передачі одиниці – рівень сигналу змінюється на протилежний.

Перевага: наявність двох рівнів сигналу зменшує вартість реалізації порівняно з трирівневим кодом АМІ.

Манчестерський код

Манчестерський код (рисунок 2.1, г) знайшов широке застосування в локальних мережах *Ethernet*. Для кодування використовують два рівні сигналу, при цьому для представлення двійкових одиниць і нулів використовується перехід сигналу в середині кожного бітового інтервалу:

- двійковій "1" відповідає перехід від високого рівня сигналу до низького;

- двійковому "0" – перехід від низького рівня сигналу до високого.

У разі послідовності з декількох одиниць або нулів на початку кожного бітового інтервалу відбувається додатковий службовий перехід сигналу.

До *переваг* манчестерського коду слід віднести:

1) самосинхронізація: сигналом для синхронізації приймача з передавачем може слугувати зміна сигналу в середині кожного бітового інтервалу;

2) менший спектр порівняно з біполярним імпульсним кодом у середньому в 1,5 рази: верхня межа частот під час передачі послідовності одиниць або нулів дорівнює $f_e = C \Gamma_{\text{ц}}$, а нижня межа під час передачі одиниць і нулів, що чергуються, $f_n = C/2 \Gamma_{\text{ц}}$, тоді спектр $S = f_e - f_n = 0,5C$;

3) наявність тільки двох рівнів потенціалу;

4) відсутність постійної складової.

Недоліком манчестерського коду є більш широкий спектр сигналу порівняно з кодами NRZ і AMI.

Диференційний манчестерський код

Диференційний або різницевий манчестерський код застосовується в мережах *Token Ring* і є різновидом манчестерського коду, в якому:

- "0" кодується зміною потенціалу на початку бітового інтервалу (а не в середині);
- "1" – збереженням попереднього рівня потенціалу.

У середині кожного бітового інтервалу обов'язково присутній перехід з одного рівня потенціалу на інший. Крім "0" і "1" також можуть передаватися так звані заборонені символи "J" і "K", у яких у середині бітового інтервалу відсутня зміна рівня потенціалу. "J" і "K" застосовуються як початковий і кінцевий роздільник кадрів. Диференційний манчестерський код, на відміну від простого манчестерського коду, дає змогу забезпечити коректне декодування сигналу, навіть якщо в результаті помилки весь переданий сигнал у каналі зв'язку інвертується (тобто якщо низький потенціал помилково заміниться на високий і навпаки).

Код трирівневої передачі MLT-3

У методі кодування трирівневої передачі *MLT-3* (Multi Level Transmission-3) двійковий "1" відповідає перехід на межі бітового інтервалу послідовно з одного рівня сигналу на інший, а під час передачі нуля сигнал не змінюється. При цьому максимальна частота сигналу досягається при передачі довгої послідовності одиниць, коли зміна сигналу відбувається послідовно з одного рівня на інший з урахуванням попереднього переходу.

До *недоліків* цього методу кодування належать:

- 1) відсутність самосинхронізації;
- 2) наявність трьох рівнів сигналу;
- 3) наявність у сигналі постійної складової під час передавання довгої послідовності нулів.

П'ятирівневий код РАМ - 5

У п'ятирівневому коді *РАМ - 5* використовується 5 рівнів сигналу, причому чотири рівні кодують два біти переданих даних: 00, 01, 10, 11. Отже, в одному бітовому інтервалі передаються два біти. П'ятий (середній) рівень додано для створення надмірності коду, використовуюваного для виправлення помилок.

Основна *перевага* методу *РАМ - 5* полягає в тому, що за однієї і тієї самій швидкості модуляції дані передаються вдвічі швидше порівняно з *АМІ* або *NRZI*.

До *недоліків* методу належать:

- 1) наявність постійної складової в сигналі під час передавання довгих послідовностей однакових пар біт;
- 2) наявність п'яти рівнів вимагає більшої потужності передавача, що значно збільшує вартість реалізації.

Логічне кодування

Логічне кодування використовується для поліпшення потенційних кодів *AMI*, *NRZI* або *MLT-3* за рахунок ліквідації довгих послідовностей одиниць або нулів, що призводять до постійного потенціалу.

До логічного кодування відносяться надлишкове кодування і скремблювання.

Надлишкове кодування

При надлишковому кодуванні вихідний двійковий код подається у вигляді послідовностей кількох бітів, кожна з яких замінюється новою послідовністю, що містить більшу кількість бітів, ніж вихідна.

До методів надлишкового кодування належать: *4B/5B*, *5B/6B*, *8B/10B*, *64B/66B*.

Буква «B» у назві коду означає, що елементарний сигнал має два стани (binary – двійковий), а цифри вказують, яка кількість бітів міститься в одній послідовності вихідного і результуючого коду відповідно. Наприклад, метод *4B/5B* означає, що кожен 4 біти у вихідному коді замінюються 5-ма бітами в результуючому коді. Для цього використовується таблиця перекодування (таблиця 2.1), що встановлює відповідність між вихідними чотирибітовими та результуючими п'ятибітовими послідовностями.

У результаті такої заміни кількість результуючих кодових послідовностей більша за кількість вихідних. У коді *4B/5B* результуючих послідовностей $2^5 = 32$, у той час як вихідних $2^4 = 16$. Отже, кількість надлишкових (заборонених) кодів: $32 - 16 = 16$. Поява заборонених символів означає помилку в переданих даних.

Серед результуючих послідовностей відібрано 16 таких, будь-яке поєднання яких містить у гіршому випадку 8 підряд розташованих одиниць.

Таблиця 2.1 – Таблиця перекодування

Вихідні символи	Результуючі символи	Вихідні символи	Результуючі символи
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

Можна зазначити такі *переваги* надлишкового кодування:

- 1) з'являється властивість самосинхронізації, оскільки зникають довгі послідовності нулів і одиниць;
- 2) звужується спектр сигналу через відсутність постійної складової;
- 3) з'являється можливість виявлення помилок за рахунок наявності заборонених символів;
- 4) проста реалізація у вигляді таблиці перекодування.

Недоліки надлишкового кодування:

- 1) зменшується корисна пропускна спроможність каналу зв'язку, оскільки частина пропускної спроможності витрачається на передачу надлишкових бітів;
- 2) виникають додаткові часові витрати у вузлах мережі на реалізацію логічного кодування.

Основним *недоліком* надлишкового кодування є поява «зайвого» біта, що припадає на 4 інформаційні біти, тобто надмірність коду $4B/5B$ становить 25 % ($1/4 = 0,25$). Це означає, що реальна пропускна спроможність каналу буде меншою за номінальну на 20 %. Для збереження

заданої пропускну́ї спроможності необхідно збільшити тактову частоту передавача на 25 %, що, у свою чергу, призведе до збільшення спектра сигналу.

У методі логічного кодування $8B/6T$ для кодування 8 біт (B) вихідного повідомлення використовується код із 6 трійкових (T) символів із трьома станами сигналу. Кількість надлишкових (заборонених) кодів: $3^6 - 2^8 = 729 - 256 = 473$. Отже, у $8B/6T$ частка заборонених кодів більша, ніж у $4B/5B$ (65% проти 50%), що підвищує ефективність виявлення помилок.

Скремблювання

Скремблювання – перетворення вихідного двійкового коду за заданим алгоритмом, що дає змогу виключити або, принаймні, зменшити довгі послідовності нулів або одиниць.

Наприклад, алгоритм перетворення може мати вигляд:

$$B_i = A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5}, (i = 1, 2, \dots).$$

де A_i і B_i – значення i -го розряду відповідно вихідного і результуючого коду;

B_{i-3} і B_{i-5} – значення відповідно $(i-3)$ -го та $(i-5)$ -го розряду результуючого коду;

$\oplus$ – логічна операція виключного АБО (додавання за модулем 2).

Для вихідної послідовності $A=110110000001$ використання такого скремблера призведе до такого результату:

$$B_1 = A_1 = 1;$$

$$B_2 = A_2 = 1;$$

$$B_3 = A_3 = 0;$$

$$B_4 = A_4 \oplus B_1 = 1 \oplus 1 = 0;$$

$$B_5 = A_5 \oplus B_2 = 1 \oplus 1 = 0;$$

$$B_6 = A_6 \oplus B_3 \oplus B_1 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1;$$

$$B_7 = A_7 \oplus B_4 \oplus B_2 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1;$$

$$B_8 = A_8 \oplus B_5 \oplus B_3 = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0;$$

$$B_9 = A_9 \oplus B_6 \oplus B_4 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1;$$

$$B_{10} = A_{10} \oplus B_7 \oplus B_5 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1;$$

$$B_{11} = A_{11} \oplus B_8 \oplus B_6 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1;$$

$$B_{12} = A_{12} \oplus B_9 \oplus B_7 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1.$$

Отже, на виході скремблера з'явиться результуючий код $B=110001101111$, у якому відсутня послідовність із шести нулів, яка була присутня у вихідному коді.

Дескремблер відновлює вихідний код з використанням зворотного співвідношення:

$$C_i = B_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5}, \quad (i = 1, 2, \dots).$$

Легко переконатися, що відновлений код збігається з вихідним, тобто $C_i = A_i$.

Різні алгоритми скремблювання можуть відрізнятися кількістю доданків для визначення значення розряду результуючого коду і величиною зсуву між доданками, наприклад, величина зсуву може становити 5 і 23 позиції або мати будь-які інші значення.

Основною перевагою скремблювання порівняно з надлишковим кодуванням є збереження корисної пропускну здатності каналу зв'язку, оскільки відсутні надлишкові біти.

Недоліками скремблювання слід вважати:

1) наявність додаткових витрат (накладних витрат) у вузлах мережі на реалізацію алгоритму скремблювання-дескремблювання;

2) відсутність 100-відсоткової гарантії виключення довгих послідовностей нулів і одиниць, а також можливість появи інших (нових) послідовностей нулів та одиниць у результуючому коді.

2.2 Етапи виконання роботи та варіанти завдань

1 Формування повідомлення

У системах обробки даних внутрішнє подання символів базується на деякій системі кодування: кодовій таблиці. У всьому світі за стандарт прийнято таблицю ASCII (American Standard Code for Information Interchange — Американський стандартний код для обміну повідомленнями). Створена в 1963 р. система кодування ASCII передбачала кодування 128 символів, коди яких склалися із 7 біт ($2^7 = 128$). З часом кодування було розширене до 256 символів ($2^8 = 256$), при цьому коди перших 128 символів не змінилися. Таблиця кодування ASCII складається з базової (значення кодів від 0 до 31) і розширеної (значення кодів від 32 до 255) таблиць. Коди з 33 по 127 є інтернаціональними й відповідають символам латинського алфавіту, цифрам, знакам арифметичних операцій та знакам пунктуації. Коди зі 128 по 255 є національними, тобто в національних кодуваннях одному й тому самому коду відповідають різні символи [2, 3, 4].

У світі існують й інші системи кодування. У різних таблицях кодування одні й ті самі символи можуть мати різні коди. Останнім часом серед таблиць кодування, які містять українські літери, найпоширенішими є KOI8-U і Windows-1251. Довжина коду кожного символу в них — 1 байт.

Як вихідне повідомлення, що підлягає передаванню, використовують прізвище та ініціали студента, який виконує завдання. Для цифрового представлення повідомлення використовуються шістнадцяткові коди відповідно до кодувальної таблиці Кодування KOI8-U (українське) (таблиця 2.2). Необхідно записати вихідне повідомлення в шістнадцятковому та двійковому кодах. Визначити довжину повідомлення.

Таблиця 2.2 – Кодування KOI8-U

	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	.A	.B	.C	.D	.E	.F
8-	 2500	 2502	 250C	 2510	 2514	 2518	 251C	 2524	 252C	 2534	 253C	 2580	 2584	 2588	 258C	 2590
9-	 2591	 2592	 2593	 2320	 25A0	 2219	 221A	 2248	 2264	 2265	 A0	 2321	 B0	 B2	 B7	 F7
A-	 2550	 2551	 2552	 451	 454	 2554	 456	 457	 2557	 2558	 2559	 255A	 255B	 491	 255D	 255E
B-	 255F	 2560	 2561	 401	 404	 2563	 406	 407	 2566	 2567	 2568	 2569	 256A	 490	 256C	 A9
C-	 44E	 430	 431	 446	 434	 435	 444	 433	 445	 438	 439	 43A	 43B	 43C	 43D	 43E
D-	 43F	 44F	 440	 441	 442	 443	 436	 432	 44C	 44B	 437	 448	 44D	 449	 447	 44A
E-	 42E	 410	 411	 426	 414	 415	 424	 413	 425	 418	 419	 41A	 41B	 41C	 41D	 41E
F-	 41F	 42F	 420	 421	 422	 423	 416	 412	 42C	 42B	 417	 428	 42D	 429	 427	 42A

Приклад

Вихідне повідомлення: П.І.Б.

У шістнадцятковому коді: D0 9E B6 9E E2 9E

У двійковому коді: 1101 0000 1001 1110 1011 0110 1001 1110 1110
0010 1001 1110

Довжина повідомлення: 6 байт (48 біт)

2 Фізичне кодування вихідного повідомлення

Виконати фізичне кодування вихідного повідомлення з використанням манчестерського кодування і ще двох (на оцінку «задовільно»), трьох (на оцінку «добре») або чотирьох (на оцінку «відмінно») різних способів кодування, найприйнятніших для передачі цього повідомлення.

Результати кодування для перших чотирьох байт зобразити у вигляді часових діаграм.

Для кожного способу кодування визначити (вважаючи, що пропускна спроможність каналу зв'язку дорівнює 1 Гбіт/с):

- 1) верхню і нижню межі частот у переданому повідомленні (спектр сигналу);
- 2) середнє значення частоти в спектрі переданого сигналу;
- 3) смугу пропускання, необхідну для якісного передавання цього повідомлення.

Провести порівняльний аналіз розглянутих способів кодування (визначити переваги та недоліки).

Обрати два найкращі способи кодування для передавання вихідного повідомлення й обґрунтувати цей вибір.

3 Логічне (надлишкове) кодування вихідного повідомлення

Виконати логічне кодування вихідного повідомлення за методом 4В/5В. Записати отримане повідомлення в двійковому та шістнадцятковому кодах. Визначити довжину нового повідомлення та його надмірність.

Приклад

У двійковому коді:	1101 1111 1010 0111 1100 1011 1011 1010 0111 1100 1110 0101 0010 0111 1100
У шістнадцятковому коді:	:D F A 7 C B B A 7 C E 5 2 7 C
Довжина повідомлення:	7,5 байт (60 біт)
Надмірність:	$1,5/6=12/48=0,25$ (25%)

Для отриманого нового повідомлення виконати фізичне кодування з використанням двох способів кодування, обраних як найкращі на другому етапі.

Результати кодування для перших чотирьох байт зобразити у вигляді часових діаграм.

Для кожного способу кодування визначити (вважаючи, що пропускна спроможність каналу зв'язку дорівнює 1 Гбіт/с):

- 1) верхню і нижню межі частот у переданому повідомленні (спектр сигналу);
- 2) середнє значення частоти в спектрі переданого сигналу;
- 3) смугу пропускання, необхідну для якісного передавання цього повідомлення.

Обрати найкращий спосіб фізичного кодування для передавання нового надлишкового повідомлення та обґрунтувати цей вибір.

4 Скремблювання вихідного повідомлення

Обрати з наведених нижче поліномів або запропонувати інший поліном для скремблювання вихідного повідомлення та обґрунтувати цей вибір.

$$B_i = A_i \oplus B_{i-3} + B_{i-5};$$

$$B_i = A_i \oplus B_{i-5} + B_{i-7}.$$

Виконати скремблювання вихідного повідомлення.

Записати отримані скрембльовані повідомлення в двійковому та шістнадцятковому кодах.

Для отриманого нового скрембльованого повідомлення виконати фізичне кодування з використанням двох способів кодування, обраних на другому етапі.

Результати кодування для перших чотирьох байт зобразити у вигляді часових діаграм.

Для кожного способу кодування визначити (вважаючи, що пропускна спроможність каналу зв'язку дорівнює 1 Гбіт/с):

- 1) верхню і нижню межі частот у повідомленні, що передається (спектр сигналу);
- 2) середнє значення частоти в спектрі сигналу, що передається;
- 3) смугу пропускання, необхідну для якісного передавання даного повідомлення.

Обрати найкращий спосіб фізичного кодування для передавання скрембльованого повідомлення та обґрунтувати цей вибір.

5 Порівняльний аналіз результатів кодування

Виконати порівняльний аналіз результатів, отриманих на етапах 2 - 4. Результати порівняння подати у вигляді зведеної таблиці.

2.3 Зміст роботи

1 Ознайомитися з постановкою завдання та вивчити необхідні теоретичні відомості.

2 Сформулювати вихідне повідомлення відповідно до етапу 1.

3 Виконати фізичне кодування вихідного повідомлення не менш ніж трьома способами, включно, як обов'язкове, з манчестерським кодуванням. Розрахувати частотні характеристики сигналу, що передається, для розглянутих способів кодування і визначити необхідну для ефективного

передавання повідомлення пропускну спроможність каналу зв'язку (етап 2).

4 Виконати логічне кодування вихідного повідомлення, використовуючи надлишкове кодування 4В/5В і скремблювання. Розрахувати частотні характеристики сигналу, що передається, для розглянутих способів кодування і визначити необхідну для ефективного передавання повідомлення пропускну спроможність каналу зв'язку (етапи 3 і 4).

5 Виконати порівняльний аналіз розглянутих способів кодування і вибрати найкращий спосіб для передавання вихідного повідомлення (етап 5).

Контрольні питання

1 Що таке потенційне кодування?

2 За якого методу кодування швидкість модуляції (бод) і швидкість передавання даних (біт на секунду) збігаються?

3 Як змінюється спектр сигналу в разі потенційного кодування, якщо в переданому повідомленні з'являється довга послідовність нулів або одиниць?

4 У якому випадку за потенційного кодування в спектрі сигналу відсутня постійна складова?

5 Чому потенційні коди на каналах тональної частоти ніколи не використовуються?

6 У чому відмінність імпульсних кодів від потенційних?

7 Для чого використовують методи логічного кодування?

8 Пояснити принципи методу надлишкового кодування та скремблювання.

9 Що таке «заборонені коди» в методах надлишкового кодування?

10 Основний недолік методів надлишкового кодування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Стеклов В. К., Беркман Л. Н. Телекомунікаційні мережі. Київ: Техніка, 2001. 526 с.
- 2 Бортник Г. Г., Кичак В. М., Стальченко О. В. Системи доступу: підручник. Вінниця: ВНТУ, 2010. 298 с.
- 3 Бортник Г. Г., Кичак В. М., Стальченко О. В., Яблонський В. Ф. Мережі абонентського доступу: навч посіб. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 201 с.
- 4 Голь В. Д., Ірха М. С. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: навч. посіб. Київ: ІСЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 250 с.
- 5 Стеклов В. К., Беркман Л. Н. Проектування телекомунікаційних мереж: підручник для вузів / за ред. В. К. Стеклова. Київ: Техніка, 2002. 792 с.
- 6 Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / В. В. Поповський, С. О. Сабурова, В. Ф. Олійник, Ю. І. Лосєв, Д. В. Агеєв та ін.; за заг. ред. В. В. Поповського. Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. 564 с.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних і лабораторних робіт
із дисципліни

«СИСТЕМИ ДОСТУПУ»

Частина 1

ВИВЧЕННЯ ЗАСОБІВ ДОСТУПУ ДО МЕРЕЖ
ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ТА ТЕРМІНАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Відповідальний за випуск Ковтун І. В.

Редактор Ібрагімова Н. В.

Підписано до друку 09.07.2025 р.

Умовн. друк. арк. 3,0. Тираж . Замовлення № .

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,

61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.