

О. М. Бевз,
С. Г. Кривогубченко, А. Я. Кулик

СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ
(Частина I)

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. М. Бевз,
С. Г. Кривогубченко, А. Я. Кулик

СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ
(Частина I)

Затверджено Вченою радою Вінницького національного технічного університету як навчальний посібник для студентів напряму підготовки 0914 - “Комп’ютеризовані системи, автоматика і управління” всіх спеціальностей. Протокол № 7 від “22” лютого 2007 р.

Вінниця 2007

УДК 621.3
Б 36

Рецензенти:

В. М. Лисогор, доктор технічних наук професор

І. І. Хаймзон, доктор технічних наук професор

О. М. Возняк, кандидат технічних наук доцент

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Бевз О. М., Кривогубченко С. Г., Кулик А. Я.

Б 36 **Системи та мережі передавання даних. Частина І.** Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 106 с.

В посібнику розглянуто топології мереж, способи передавання даних, рівневі протоколи, мережі з опитуванням/вибором та супутникові мережі. Посібник розроблений у відповідності з планом кафедри та програмою дисципліни “Системи та мережі передавання даних”.

УДК 621.3

© О. Бевз, С. Кривогубченко, А. Кулик, 2007

Зміст

Вступ	5
1 Топології мереж	7
1.1 Зіркоподібна мережа	9
1.2 Кільцева мережа	15
1.3 Петльова мережа	20
1.4 Шинна мережа	21
1.4.1 Шинна мережа з переданням немодульованих сигналів.....	22
1.4.2 Шинна мережа з переданням модульованих сигналів	24
1.5 Деревоподібна мережа	25
2 Способи передання даних	27
2.1 Основні методи	27
2.1.1 Ущільнення	31
2.1.2 Протоколи керування каналами передання даних	33
2.2 Методи передання даних у локальній мережі	36
2.2.1 Передавання немодульованих сигналів	37
2.2.2 Передавання модульованих сигналів	39
2.3 Передавальне середовище	42
2.3.1 Виті пари	42
2.3.2 Коаксіальний кабель	43
2.3.3 Волоконно-оптичний кабель	44
2.3.4 Інші передавальні середовища	45
3 Рівневі протоколи, мережі і моделі взаємозв'язку відкритих систем	46
3.1 Обґрунтування рівневих протоколів	46
3.2 Призначення рівневих протоколів	46
3.3 Проблеми проектування мереж	47
3.4 Зв'язок між рівнями	48
3.5 Практична ілюстрація	51
3.6 Організації зі стандартизації і стандарт BBC	53
3.6.1 Організації зі стандартизації	54
3.6.2 Рівні BBC	55
4 Мережі з опитуванням/вибором	58
4.1 Двійкове синхронне керування (BSC)	58
4.1.1 Формати BSC і керуючі коди	59
4.1.2 Режими каналу	60
4.1.3 Керування каналом	61
4.2 Сімейство терміналів 3270	63
4.3 Протокол HDLC	65
4.3.1 Опції HDLC	65
4.3.2 Формат кадру HDLC	67
4.3.3 Кодонезалежність і синхронізація HDLC	70
4.3.4 Керуюче поле HDLC	71

4.3.5 Команди і відповіді	74
4.3.6 Процес передання в протоколі HDLC	78
4.3.7 Підмножини HDLC	83
4.4 Протокол SDLC	85
4.5 Перетворення протоколів	86
5 Супутникові мережі	88
5.1 Переваги і недоліки супутникових мереж	89
5.2 Використання супутників для передавання даних	90
5.2.1 Звичайне мультиплексування	90
5.2.2 Вибір/опитування	91
5.2.3 Рівнорангові системи без опитування	94
5.2.4 Системи типу первинний/вторинний без опитування	99
5.3 Супутникові пристрої компенсації затримки.....	102
Література.....	107

Вступ

Пріоритетним напрямком діяльності людини є отримання необхідної інформації. З цієї причини в наш час мережі передавання та оброблення інформації займають одне з провідних місць в житті людського суспільства. Завдяки активному застосуванню мереж значно збільшені продуктивність праці та економічна ефективність цілих організацій та окремих людей. Кількість користувачів мереж передавання та оброблення інформації зростають за експоненціальним законом. Обмін інформацією за допомогою мереж передавання та оброблення даних використовується в різноманітних сферах людського життя від перевірки банківських рахунків до керування космічним кораблем багаторазового використання.

Створення ефективних мереж для обміну інформацією в системах автоматизації та управління висувають нові вимоги до фахівців, які їх формують. Тому майбутній фахівець напряму 0914 “Комп’ютеризовані системи, автоматизація та управління” повинен знати та оволодіти основними особливостями та аспектами проектування мереж передавання та оброблення інформації.

Описати та охарактеризувати всю різноманітність засобів мереж передавання та оброблення інформації в одному посібнику неможливо, тому автори обмежилися лише розглядом основних та окремих питань. При цьому деякі розділи подані оглядово, тому що докладний їх розгляд вимагає написання окремих посібників.

Вся інформація передається за допомогою мереж передавання та оброблення інформації. В таких мережах інформація передається завдяки електричним сигналам каналами зв’язку. Канали зв’язку формуються різноманітними засобами. Ці канали базуються на застосуванні аналогової та цифрової техніки.

Навчальний посібник, який пропонується читачеві, є першою частиною посібника “Системи та мережі передавання даних”, яка складається з трьох частин.

Для практичної розробки і експлуатації мереж передавання і оброблення інформації необхідно знати як працюють та взаємодіють окремі пристрої, з яких складається мережа, розуміти інформаційні процеси, які в них відбуваються. Саме такі питання розглядаються в цьому посібнику.

В основу посібника покладено курс лекцій з дисципліни “Системи та мережі передавання даних”, що викладається у Вінницькому національному технічному університеті в інституті автоматизації, електроніки та комп’ютерних систем управління.

Як показує досвід викладання, найбільші складності виникають у студентів при виконанні завдань, які пов’язані з проектуванням та

розробкою мережі передавання інформації. Це пов'язано з відсутністю певних знань фізичних принципів роботи, взаємодії логічних та програмних об'єктів мережі.

Посібник створювався в більшості випадків як узагальнювальна відповідь на велику кількість питань, які виникають у студентів під час проектування мереж передавання інформації.

В навчальному посібнику розглядаються принципи побудови мереж передавання та оброблення інформації, аналізується робота протоколів мережі на всіх рівнях.

Посібник призначений для студентів напряму підготовки 0914 "Системи управління і автоматики" і може бути корисним студентам інших спеціальностей, які вивчають сучасні мережи передавання та оброблення інформації, а також широкому колу відповідних спеціалістів, які бажають підвищити свій науково-технічний рівень.

Розділи 1-2 написані Кривогубченком С. Г., розділи 3 та 5 – Куликом А.Я., розділ 4 – Бевзом О.М.

1 Топології мереж

Топологія мережі визначає розміщення вузлів і з'єднань між ними. Вузли можуть бути підключені в мережу такими способами.

Зіркоподібна (радіальна) структура. Організовується центральний вузол, до якого або через який посилаються всі повідомлення (рисунк 1.1, а).

Кільцева структура. Всі вузли з'єднуються один з одним в кільце, причому жоден з них не може повністю контролювати доступ до мережі (рисунк 1.1, б).

Петльова структура. Всі вузли з'єднані один з одним в кільце, але один з них управляє іншими і визначає, який з вузлів повинен використовувати канал зв'язку (рисунк 1.1, в).

Шинна структура. Всі вузли мають одну лінію зв'язку, але ця лінія не замкнена в петлю. Кожний вузол використовує шину, щоб зв'язатися з будь-яким іншим вузлом (рисунк 1.1, г).

Деревоподібна структура. Вузли пов'язані один з одним розгалуженим каналом зв'язку. В цьому випадку в мережі немає петель (рисунк 1.1, г).

Змішана мережа. Якщо вузли мережі з'єднані складнішим способом, який не можна класифікувати як один з попередніх, то мережу можна назвати змішаною. Деякі лінії каналу зв'язку можуть розділятися потоками даних, що передаються між двома парами вузлів. Наприклад (рисунк 1.1, д) лінія X використовується для передавання потоку даних між вузлами А і В та між вузлами С і D.

Повнозв'язна мережа. Якщо кожний вузол мережі безпосередньо з'єднаний з будь-яким іншим вузлом каналу (рисунк 1.1, е), то мережу називають повнозв'язною.

Можуть використовуватися різні комбінації вищенаведених мереж, наприклад декілька зіркоподібних мереж, з'єднаних в кільце. Важливість тієї або іншої топології обумовлюється призначенням мережі.

Локальні мережі, зазвичай, створюються для розподілення загальних ресурсів – обчислювальних пристроїв, базового середовища передавання, іноді – комутаційного пристрою. З перерахованих вище топологій мереж, найбільш часто зустрічаються в локальних мережах зіркоподібна, кільцева і шинна. Вони забезпечують малі витрати на з'єднання обчислювальних машин і пов'язаних з ними пристроїв, полегшуючи одночасне під'єднання нових пристроїв і відключення існуючих.

Вузли в мережах шинної і кільцевої топології мають загальне середовище передавання, що з'єднує всі вузли. Використовується тільки одна лінія і всі повідомлення, що передаються між вузлами, повинні пройти по ній.

У зіркоподібній мережі проблема вирішується використанням

центрального вузла, який або оброблює всі повідомлення, що передані радіально підключеними пристроями, або діє як пристрій вибору маршруту передавання з одного радіального каналу в іншій.

Петльова конфігурація мережі найбільш часто застосовується для управління терміналами, що працюють з великою обчислювальною машиною. В петльовій структурі разом використовуються загальний контролер і з'єднувальний кабель.

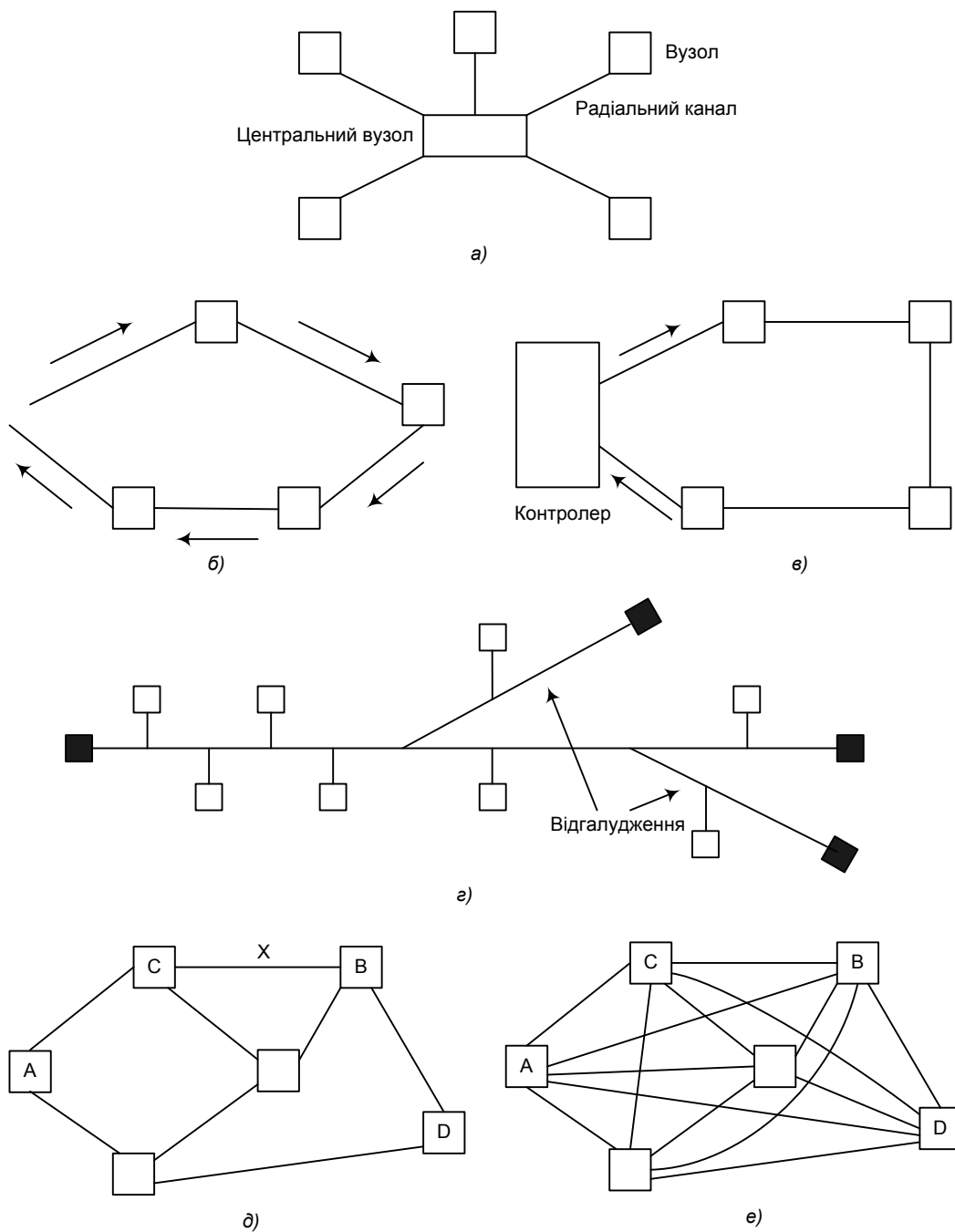


Рисунок 1.1 - Основні топології мереж

В інших топологіях відсутнє розподілення передавального середовища зв'язку між всіма користувачами мережі, проте часто топології проектуються для розподілення ресурсів обчислювальної системи або дорогого периферійного пристрою.

Основні топології локальних мереж будуть розглянуті більш детально. У відповідних розділах посібника наводяться типові приклади та деталі програмного і апаратного забезпечення, необхідного для роботи локальних мереж. Описані переваги і недоліки кожної мережевої топології. Змішані і повнозв'язні конфігурації у локальних мережах не використовуються, тому вони надалі не обговорюються.

1.1 Зіркоподібна мережа

Зіркоподібна мережа (рисунок 1.1, а) відома і як типова обчислювальна мережа (рисунок 1.2), в центрі якої розміщена обчислювальна машина, що оброблює інформацію, яка передається периферійними пристроями, і як телефонна система, в якій центральний вузол являє собою комутатор, який з'єднує різних користувачів мережі (рисунок 1.3).

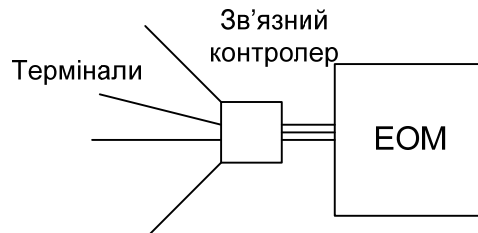


Рисунок 1.2 – Зіркоподібна обчислювальна мережа

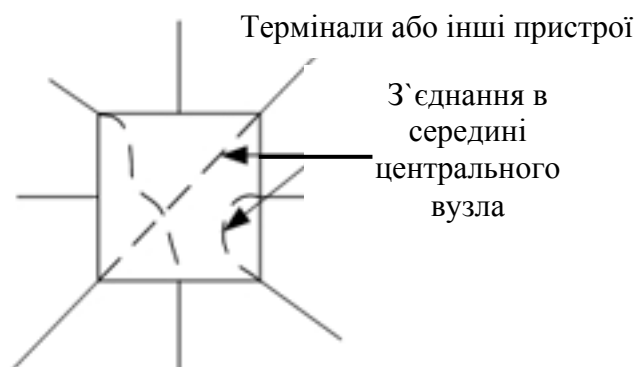


Рисунок 1.3 – Зіркоподібна мережа з комутуючим центральним вузлом

Перший приклад ілюструє використання топології зірки для колективного використання одного обчислювального ресурсу, а другий – її використання для попарного з'єднання пристроїв. Вона менш придатна в ситуаціях, коли декілька радіально підключених пристроїв потребують одночасного доступу до пристрою на другому радіусі зірки.

Приймемо широкорозповсюджену точку зору, що локальні мережі служать для того, щоб забезпечити постійну взаємодію тільки між обчислювальними пристроями. Зіркоподібна мережа стала домінуючою з тих пір, коли більшість існуючих обчислювальних систем почали мати засоби доступу до однієї чи більше центральних обчислювальних машин в реальному масштабі часу. Але ідея локальних мереж полягає в забезпеченні зв'язку між всіма пристроями, що включенні в мережу, які не завжди мають місце в традиційних обчислювальних мережах. Такі мережі управляються пристроєм в центрі зірки, який сам може бути обчислювальною машиною або, частіше, контролером, який призначений для управління терміналами і периферійними пристроями. Такий контролер послідовно опитує кожний пристрій, щоб визначити, чи має він дані для передавання. Радіально підключені пристрої можуть почати передавання даних тільки тоді, коли буде одержано дозвіл від центрального вузла. Якщо повідомлення з даними повинно бути передане іншому пристрою, то обчислювальна машина в центрі зірки оброблює ці дані, а потім передає повідомлення, хоча більш ефективно було б комутувати лінію відправника з лінією одержувача, щоб повідомлення проходило через центр без обробки в ньому.

Крім того, типовою зіркоподібною мережею є внутрішня телефонна мережа, яку мають більшість закладів і підприємств. В центрі зірки в такому випадку знаходиться телефонний комутатор закладу, який зараз являє собою автоматичний пристрій (АТСЗ – автоматична телефонна станція закладу), який дозволяє всім абонентам безпосередньо зв'язуватися один з одним. Крім того, є можливість для виходу користувача на зовнішню лінію зв'язку телефонної мережі загального користування (АТСЗ - пристрій комутації каналів). На основі номера, одержаного від абонента, який телефонує, він з'єднує лінію цього абонента з лінією абонента, якого викликають. Утворений канал існує до тих пір, поки розмова не закінчиться і телефони не відключаються. Після цього АТСЗ може роз'єднувати дану лінію. Якщо вже існує канал, що з'єднує два телефони, то ніякі інші абоненти не можуть з'єднатися ні з одним з цих двох телефонів.

Зіркоподібна мережа типу АТСЗ, що розвинута відповідним чином, є важливою топологією ЛВС. Методи обчислювальної техніки та інтегральні комутатори, що реалізовані в АТСЗ, забезпечують потреби

обчислювальних мереж. Високошвидкісні комутатори дозволили значно збільшити швидкість утворення і роз'єднання каналів, порівняно з комутаторами старих типів, що зробило можливим встановлювати канал, наприклад, для передавання лише рядка тексту з терміналу в обчислювальну машину. Встановлення з'єднання, передавання інформації та роз'єднання займають лише долі секунди. Потім лінія зв'язку з обчислювальною машиною може використовуватися іншими терміналами.

Хоча комутація каналів і є традиційним методом, що використовується в центральному вузлі мереж типу АТСЗ, цей вузол може функціонувати і як комутатор пакетів.

Комутація пакетів прийнята як звичайний метод передавання даних в загальнодоступних мережах передавання даних. Загальнодоступні мережі передавання даних можна порівняти з телефонними мережами загального користування: як одні, так і інші обслуговують велику кількість користувачів і ефективно розділяють основні засоби між ними. Загальнодоступні мережі передавання даних з комутацією пакетів (рисунк 1.4) використовують декілька вузлів комутації, розміщених в різних місцях. Абонентні пристрої користувачів приєднуються до найближчих вузлів комутації. Ці вузли з'єднані між собою швидкісними високонадійними лініями зв'язку. Повідомлення, що виникають у прикладному процесі, розбиваються на блоки відповідного розміру і упаковуються в пакет, який містить адреси як відправника, так і одержувача. Пакети відправляються один за одним у вузол комутації, який посилає їх упереміш з пакетами від інших користувачів у вузол комутації, який обслуговує пристрій. Після досягнення пристрою, який повинен одержувати пакет, пакети перевіряються на наявність помилок, що з'явилися при передаванні. На всі пакети, що отримані з помилками, запитується повторні передавання, після чого остаточно відновлюється повідомлення.

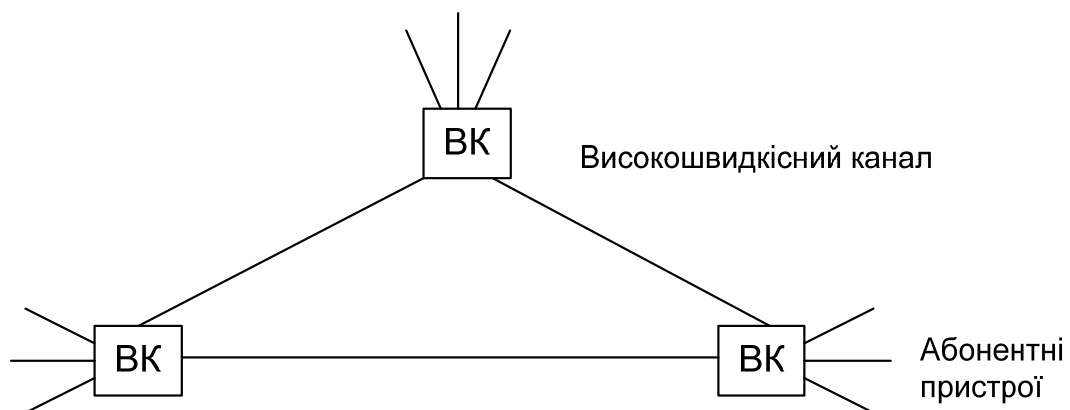


Рисунок 1.4 – Мережа з комутацією пакетів (ВК – вузол комутації)

Хоча мережі з комутацією пакетів містять більше одного вузла комутації, вони можуть працювати і з одним комутатором, розміщеним в центрі зірки. Будь-який пристрій на радіальній лінії зв'язку може легко взаємодіяти з декількома пристроями одночасно. При цьому пакети, що передаються по цій радіальній лінії зв'язку, відносяться до різних пар взаємодійних пристроїв. Це робить метод комутації пакетів особливо підходящим для зіркоподібних мереж, які мають одну або більше обчислювальних машин.

Вузол в центрі зірки може виконувати функції, що відрізняються від звичайної обробки даних і комутації каналів або пакетів. Наприклад, він може забезпечувати узгодження швидкості передавання зі швидкістю приймання. Пристрої відправки і отримання можуть працювати, використовуючи різні зв'язні протоколи і набори символів. Центральний вузол в цьому випадку може діяти як перетворювач протоколів, дозволяючи таким чином працювати один з одним різнотипним терміналам і обчислювальним машинам.

Одна з найбільш суттєвих особливостей зіркоподібних мереж полягає в тому, що більша частина засобів, які потрібні для управління мережею, може знаходитися в одному місці і розподілятися між всіма пристроями системи. Тому безпосередньо в мережі допускається використання найпростіших терміналів, причому кожний з них може працювати з будь-якою швидкістю. Для доступу до каналів не потрібно спеціальної логіки, оскільки кожний канал зв'язаний з одним пристроєм. Іноді є можливість як канали для зв'язку між пристроями на кінцях зірки і центральним вузлом використовувати різне середовище передавання. Наприклад, для одних каналів може використовуватися вита пара, а для інших – коаксіальний і стрічковий кабелі або волоконно-оптичні кабелі.

Крім того програмне забезпечення центрального вузла зірки може забезпечувати високу ступінь захисту мережі від несанкціонованого доступу. Якщо канал або кінцевий пристрій виходять з ладу, то легко визначити, який радіальний зв'язок містить дефект, повідомити про це супервізору мережі (програмне управління) і при необхідності від'єднати цей зв'язок. Можливості, які забезпечуються центральним вузлом розвинутих зіркоподібних локальних мереж, ідеальні для впровадження методів обробки цифрової інформації в телефонних комутаторах. Швидко відбувається розвиток і удосконалення традиційних функцій АТСЗ і спеціальних пристроїв, які іноді називаються відомчими комутаторами даних. Останні містять деякий обчислювальний пристрій для управління лініями передавання даних, забезпечуючи в той же час функції телефонних комутаторів звичайних АТСЗ. Переваги такого підходу явні: устаткування передавання даних може використовувати телефонні кабелі і проводи. Затрати на нову АТСЗ в цьому випадку будуть виправдані можливістю управління телефонною мережею, значно поліпшеним телефонним

сервісом. Наприклад, можна забезпечити використання скорочених кодів номерів абонентів, що найбільш часто викликаються, автоматичне очікування телефонами звільнення зайнятої лінії і потім виклик потрібного номера, автоматичне переведення вхідних викликів на альтернативний номер, якщо номер, що викликається, не відповідає.

Потрібно враховувати, що організація локальної мережі з управлінням в центральному вузлі не завжди є найкращим рішенням. Центральний вузол – це високовартісний пристрій, оскільки навіть для управління простою мережею в ньому повинно бути реалізовано багато функцій. Якщо відповідна АТСЗ вже встановлена для телефонного обслуговування, то її заміна на комутаційну станцію, що забезпечує передавання і мови, і даних, або додаткового комутатора тільки для передавання даних, може виявитися високовартісною операцією.

Зіркоподібна мережа чутлива до відмов центрального вузла. Тому в більшості сучасних АТСЗ використовується дублювання найбільш важливих компонентів. Прихильники використання АТСЗ вказують на високу надійність, яка досягнута в звичайних АТСЗ. При їх заміні на АТСЗ з ЕОМ останні повинні бути не менш надійними. Навіть малоймовірна відмова АТСЗ може відштовхнути багатьох користувачів, яким необхідна високонадійна мережа передавання даних.

Навіть кабельне розведення, яке потрібне в зіркоподібній мережі, є непростю і вартісною операцією, якщо необхідно з'єднати велику кількість пристроїв. Ця проблема вирішується простіше, якщо існуючі телефонні кабелі можуть одночасно використовуватися як для управління цифровими пристроями, так і для телефонних переговорів. Для кожного пристрою, що знову підключається, необхідне прокладання окремої лінії до центрального вузла.

Зіркоподібні мережі мають такі переваги:

- ідеальні для ситуацій, коли потрібен доступ багатьох абонентів до одного обслуговуючого центра;
- придатні для підключення найпростіших терміналів;
- на різних радіальних напрямках можуть використовуватися різні канали і швидкості передавання;
- кожний радіальний напрям незалежний від інших;
- забезпечують високий рівень захисту доступу до даних;
- спрощені процеси виявлення та усунення неполадок;
- адресація проста і контролюється центром;
- економічно виправдана вартість передавання розмови;
- допускають інтеграцію передавання даних і розмови (інтеграція обробки інформації закладу).

Але зіркоподібні мережі мають і недоліки:

- залежні від надійності центрального вузла;
- складна технологія, потрібна в центральному вузлі, – висока

вартість;

- в центральному вузлі для управління лініями потрібні порти (логічні точки введення-виведення) – або для кожної радіальної лінії, або розділені декількома лініями;
- перекладання кабелів призводить до збільшення вартості, а тому сповільнює розвиток мережі;
- інтенсивність потоків даних, зазвичай, менша, ніж в кільцевій або шинній топології, оскільки потрібна їх обробка в центральному вузлі.

Закінчуючи опис зіркоподібної локальної мережі потрібно відмітити деякі інші можливості використання центрального вузла.

На рисунку 1.5 показане зіркоподібне кільце. Тут з'єднання між пристроями в кожний момент утворюють кільце. Кільце в деяких місцях проходить через центральний пристрій, який може бути як „неінтелектуальним”, так і „інтелектуальним”. „Неінтелектуальний” пристрій забезпечує тільки виявлення і ізоляцію ушкоджених частин кільця, при цьому можуть використовуватися навіть ручні засоби. Зі зростанням „інтелекту” центральний пристрій може функціонувати як моніторна станція кільця. „Інтелектуальний” центральний пристрій з додатковим апаратним і програмним забезпеченням може постійно контролювати кожен із ділянок кільця і автоматично відключати ті з них, які вишли з ладу. Крім того, легко можуть змінюватися конфігурація кільця і порядок, в якому дані передаються від одного пристрою до іншого.

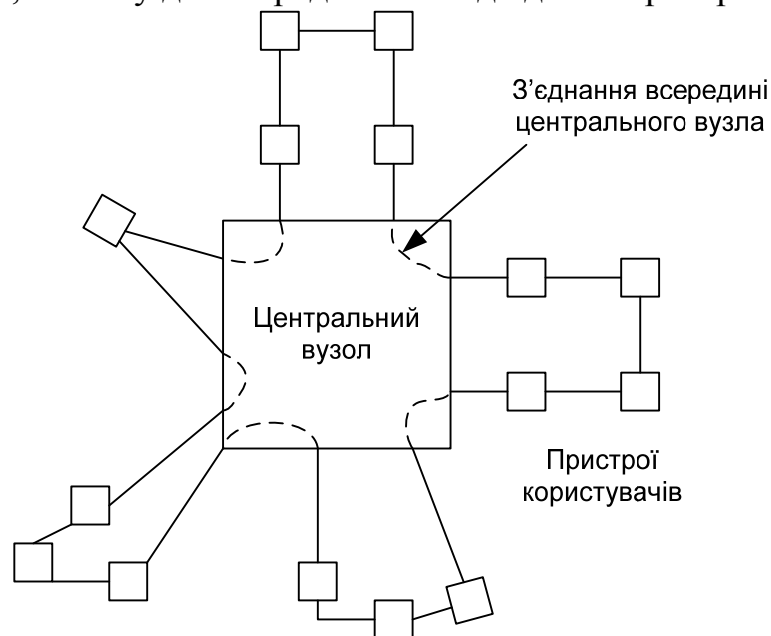


Рисунок 1.5 – Зіркоподібне кільце

Остання особливість дозволяє добавляти в кільце нові пристрої, не турбуючи усіх користувачів, крім тих, які розміщені на ділянці кільця, де включається новий пристрій.

Подальший розвиток цієї ідеї приводить до такої структури мережі, в якій незалежні кільця мають загальний центральний вузол (рисунок 1.6). Окремі кільця можуть працювати з різними швидкостями, причому центральний вузол виконує потрібні перетворення, якщо пристрій одного кільця посилає інформацію пристрою іншого кільця.

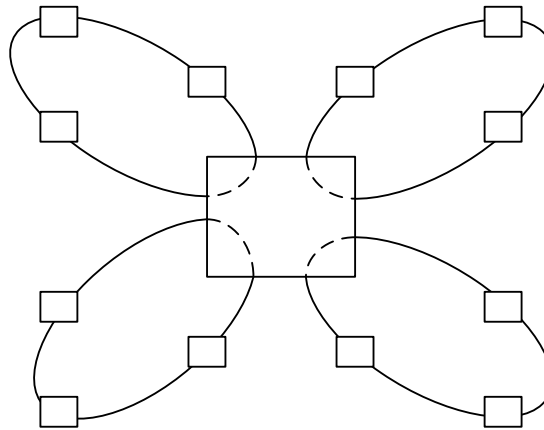


Рисунок 1.6 – Кільця, що з'єднані з центральним вузол подібно до зірки

1.2 Кільцева мережа

В кільцевій мережі кожний вузол приєднаний тільки до двох інших вузлів. Вона відрізняється від петльової мережі тим, що не має виділеного вузла, який контролює інші вузли і вирішує, коли вони можуть посилати та приймати повідомлення. Кільцевий канал безпосередньо не з'єднує кінцеві пристрої. Кільце складається з декількох повторювачів або передавача, що з'єднані фізичним середовищем передавання даних, як показано на рисунку 1.7. Пристрої кінцевого користувача приєднуються до повторювачів.

Ідея використання кільцевої топології в локальних мережах пов'язана з бажанням зменшити залежність мережі від центрального вузла зірки, забезпечуючи в той же час високошвидкісне передавання даних між всіма пристроями мережі.

Замість концентрації всього управління мережею в одному дуже складному і дорогому комутаційному вузлі, кожний вузол мережі з'єднаний з повторювачем, який реалізується досить просто, оскільки його логіка повинна забезпечувати лише можливість одержання і передавання

даних і доступ до каналу відповідного вузла (рисунок 1.8).

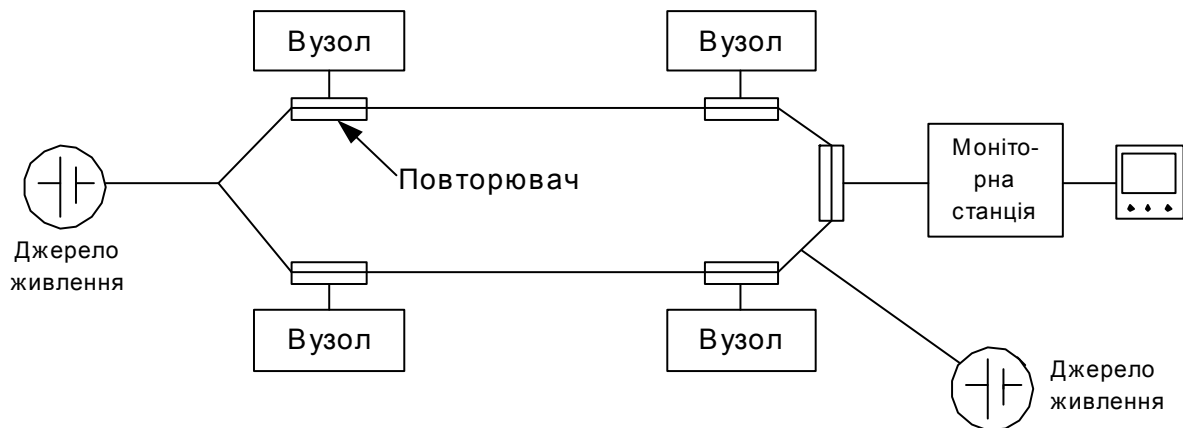


Рисунок 1.7 – Кільцева мережа

Повідомлення або блоки інформації, що передаються по кільцю, постійно регенеруються, проходячи через кожний повторювач.

Вони циркулюють до тих пір, поки не будуть вилучені або прийняті будь-яким вузлом. Відправник інформації відповідає за її вилучення із мережі.



Підключений до мережі пристрій

Рисунок 1.8 – Структурна схема повторювача в кільці

Є багато способів управління кільцем, але на верхньому рівні управління для кінцевих користувачів вони мало відрізняються один від одного.

В кільцевих мережах передавання інформації майже завжди відбувається тільки в одному напрямку. Це не є абсолютною необхідністю, але на практиці значно полегшує проектування повторювачів і потребує значно менш складних протоколів передавання даних, які гарантують, що

інформація досягає свого одержувача без помилок і у відповідній послідовності. Самі повторювачі створюються такими, що можуть передавати та приймати дані одночасно, усуваючи при цьому затримки передавання та гарантуючи можливість роботи в дуплексному режимі.

На відміну від деяких інших топологій локальних мереж, маршрутизація між вузлами в кільці тривіальна, оскільки зазвичай, є тільки один шлях до повторювача і один шлях від нього. Всі повідомлення повинні проходити по цьому шляху. І повідомлення, і дозвіл на користування кільця послідовно проходять від одного вузла до іншого. Це виконується незалежно від наявної ширини смуги пропускання каналу. При цьому гарантується справедливий розподіл пропускну здатності мережі між всіма вузлами.

Широкомовне передавання повідомлень у всі вузли кільця є простою процедурою, оскільки кожний вузол може приймати будь-яке повідомлення, що передано по кільцю. Використовуючи спеціальну адресу, можна легко ідентифікувати широкомовні повідомлення. Але якщо не всі вузли посилають підтвердження, то відправник не може дізнатися, які вузли дійсно отримали повідомлення.

Вартість монтажу кільця – одна із найнижчих для локальних мереж. Часто використовується звичайний телефонний двопровідний кабель – вита пара. Повторювачі можуть бути виконані відносно просто. Одним із найбільш відомих прикладів кільцевої локальної мережі є мережа Cambridge ring, спроектована і встановлена в обчислювальній лабораторії Кембріджського університету. В цьому кільці використовуються дві виті пари і прості повторювачі.

Застосування двох витих пар дозволяє використовувати простий метод передавання сигналів і підвести живлення до повторювачів. Повторювачі в мережі Cambridge ring повинні розміщуватися один від одного не більше, ніж на 100 м для того, щоб зменшити складності фазування через різниці між витими парами по довжині. Ретельний відбір і узгодження кабелів дозволяють збільшити відстань в мережі.

Оскільки дані по кільцю передаються тільки в одному напрямку, то кільцеві мережі ідеальні для використання волоконно-оптичних кабелів. Але їх вартість значно вища, ніж вартість звичайних дротів. Для використання вищезгаданих кабелів потрібні оптико-електричні та електро-оптичні перетворювачі, оптичні підсилювачі і т.п. Це значно збільшує складність і зменшує загальну надійність мережі. Для живлення повторювачів необхідні окремі електричні кабелі, оскільки волоконно-оптичні кабелі не передають електричну енергію. Крім того, надрізання в кабелі для підключення нового вузла складніше, ніж в електричному. Волоконно-оптичні кабелі доцільно використовувати тоді, коли навколишнє середовище має сильні електричні перешкоди, оскільки на такі кабелі не впливають електромагнітні дії. Мережа Cambridge ring

включає ділянку з волоконно-оптичним кабелем. Це ілюструє той факт, що середовище передавання кільця може бути виконане із різних матеріалів.

Зазвичай висувуються сумніви відносно надійності кільцевої мережі. Функціонування мережі залежить від роботи кожної окремої лінії і кожного повторювача. З метою збільшення надійності кільцевої мережі для секцій каналів і повторювачів, які вийшли з ладу, використовуються обхідні шляхи. Один із таких способів показаний на рисунку 1.9. Кожний повторювач може бути продубльований за допомогою каналу, який з'єднує повторювачі, що розміщені по обидві сторони від нього. Якщо відмовляє повторювач С або один із каналів (В – С або С – D) виявляється розірваним, то вручну або автоматично підключається канал дублювання. Цей спосіб має обмеження. Якщо несправні дві або більше суміжних ділянки кільця, то необхідно використовувати більш довгий канал дублювання. Довжина секції дублювання кабелю не може перевищувати максимально допустимої відстані між повторювачами.

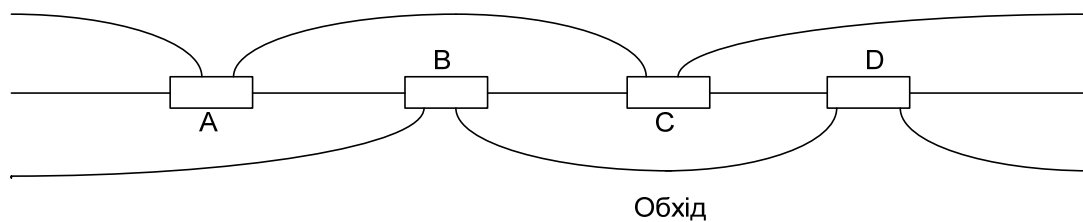


Рисунок 1.9 – Організація обходів каналів відмови і повторювачів

На практиці вузол-монітор є важливим елементом в більшості типів кільцевих мереж, хоча з конструктивної точки зору він не завжди необхідний. Вузол-монітор, зазвичай, служить для видалення викривлених пакетів, які відправник не може розпізнати, або для видалення пакетів, які послані вузлом, що припинив потім функціонування. Крім того, вузол-монітор запускає кільце в роботу, посилає, тестуючи пакети, і оброблює пакети з помилками. Деякі способи організації кільцевих мереж потребують спеціального управління, яке найкращим чином може бути виконане вузлом-монітором.

Якщо в існуюче кільце додаються нові вузли, його функціонування частково призупиняється. Цей час може бути мінімізований встановленням в кільце спеціальних з'єднувачів, що забезпечують швидке додаткове включення повторювача. Таке підключення вносить слабку заваду в передавання даних, але процедури обробки помилок дозволяють продовжити функціонування кільця, і користувачі не помічають переривання. Якщо розриву немає, кільце повинно бути розірване, оскільки в нього не можна вставити пасивну врізку.

Подовжувати кільце, як правило, важко, але методи передавання, що використовуються, не обмежують максимально допустиму довжину кільця. Проблеми виникають при доданні кабелю з одночасним збереженням кільцевої топології мережі. Тому підприємства та заклади, що використовують локальні мережі кільцевої топології з самого початку намагаються захопити кабельною мережею всіх потенційних користувачів. Всі складнощі трасування кабелів і встановлення кільця повністю компенсуються простотою повторювачів і передавачів.

Кільцеві мережі мають такі переваги:

- пропускна здатність рівномірно розподіляється між усіма користувачами;
- відсутня залежність від центрального пристрою;
- несправні канали і вузли можуть бути легко ідентифіковані;
- маршрутизація дуже проста;
- просто здійснюється контроль помилок при передаванні;
- легко організовується автоматичне підтвердження прийому;
- просто здійснюється широкомовне передавання усім вузлам;
- доступ до кільця гарантований, навіть тоді, коли мережа дуже завантажена;
- ймовірність помилки дуже мала;
- висока швидкість передавання;
- застосування змішаного середовища передавання.

Але кільцеві мережі мають і недоліки:

- надійність мережі залежить від усіх кабелів і повторювачів;
- зазвичай, на практиці потрібний моніторний пристрій;
- тяжко додавати нові вузли без переривання функціонування кільця;
- повторювачі вносять деяку затримку сигналу;
- повторювачі повинні бути достатньо близько розміщені;
- трасування кабелю може бути складним.

Основне призначення кільцевої топології полягає в забезпеченні дешевих і легких для управління засобів, розміщених в межах однієї організації. Необхідно щоб будь-який пристрій отримував відповідну частку доступної пропускної здатності.

Швидкість передавання даних повинна наближатися до швидкостей, від яких працюють ЕОМ, ніж до швидкостей, характерних для звичайних мереж зв'язку.

Більшість розроблених кільцевих топологій досягають цієї мети при помірній вартості.

1.3 Петльова мережа

Петльова мережа за формою дуже схожа на кільцеву. Ці мережі відрізняються методами поділу середовища передавання. Петльова мережа зображена на рисунку 1.10. Один з вузлів цілком визначає, який вузол може використовувати мережу і для яких цілей. Це досягається циклічним опитуванням кожного вузла або, наприклад, посиленням порожніх пакетів-контейнерів, що доступні будь-якому пристрою мережі. Петльові мережі якнайкраще підходять для керування низькошвидкісними пристроями, такими як термінал. Контролер петльової мережі відповідає за роботу декількох терміналів, що приєднуються до окремої обчислювальної системи. Контролер може бути частиною іншої мережі, можливо, зірки з головною обчислювальною системою в центрі і контролерами петель на кінцях радіальних зв'язків.

Оскільки керування в петльовій мережі сконцентовано в одному місці, то легко встановлюються й аналізуються відносні пріоритети пристроїв. Повторювачі використовуються рідко, тому що доступ до середовища передавання контролюється централізовано. Петльові мережі бувають короткими, а швидкості передавання - низькими.

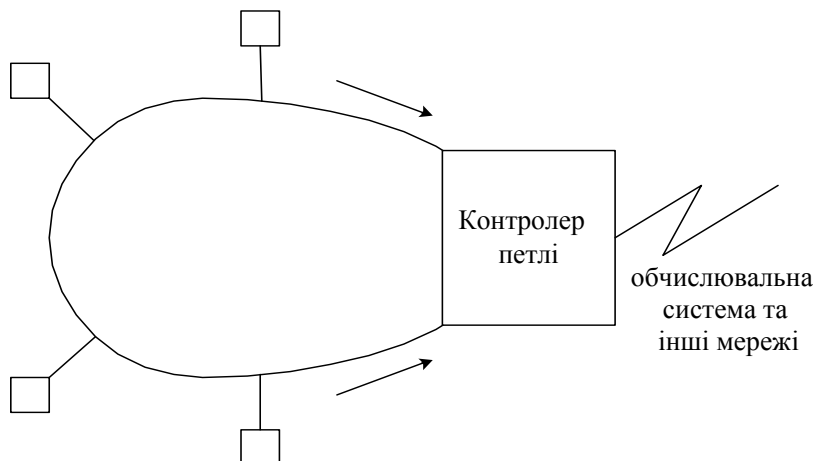


Рисунок 1.10 - Петльова мережа

Оскільки середовище передавання розподіляється всіма пристроями, петльова мережа може розглядатися як локальна. Петльові структури використовувалися задовго до того, як локальні мережі отримали широке розповсюдження. Вони виникли в системах, у яких термінальним пристроям був потрібний доступ у реальному часі до великої ЕОМ чи міні-ЕОМ, і є розвитком принципу багатоточкової лінії з опитуванням. Через те, що доступом у мережу керує контролер, швидкість передавання в петльовій мережі значно нижча, ніж швидкість в більшості локальних мереж інших топологій. Петльові мережі обслуговують низькошвидкісні

термінали і дуже рідко використовуються для зв'язку декількох інтелектуальних пристроїв, що вимагають високої швидкості передавання даних. Для цього краще підходять кільцеві чи шинні мережі. До петлі можна підключати багато пристроїв, якщо застосовувати методи поділу пропускної здатності без значних втрат часу на опитування всіх пристроїв, велика частина яких протягом тривалого часу не має даних для передавання.

Петльові мережі мають такі переваги:

- зручні для зв'язку пристроїв з малими обчислювальними можливостями;
- низька вартість установа кабелю;
- використовуються відомі процедури керування терміналами, зв'язаними з головною ЕОМ;
- легке підключення нових пристроїв.

Однак петльові мережі мають і недоліки:

- функціонування мережі залежить від контролера;
- передавання даних здійснюється на низьких швидкостях;
- існують взаємодії типу «пристрій-контролер», а не безпосередньо «пристрій-пристрій».

1.4 Шинна мережа

Основний вид шини для передавання даних, чи магістралі, зображений на рисунку 1.11. Вона являє собою сегмент кабелю, не замкнений у кільце. Пристрої підключені до шини з деякими інтервалами. Хоча термін «вузол» може здатись невідповідним для шини, тому що пристрої, що підключаються, необов'язково розташовуються в точках дотику з кабелем, однак він може використовуватися для позначення тих місць, у яких здійснюється вріз в кабель і де один чи більше пристроїв підключені до кабелю через необхідний інтерфейс. «Станція» - більш придатний термін, і в цьому розділі терміни станція і вузол будуть використовуватися як синоніми.

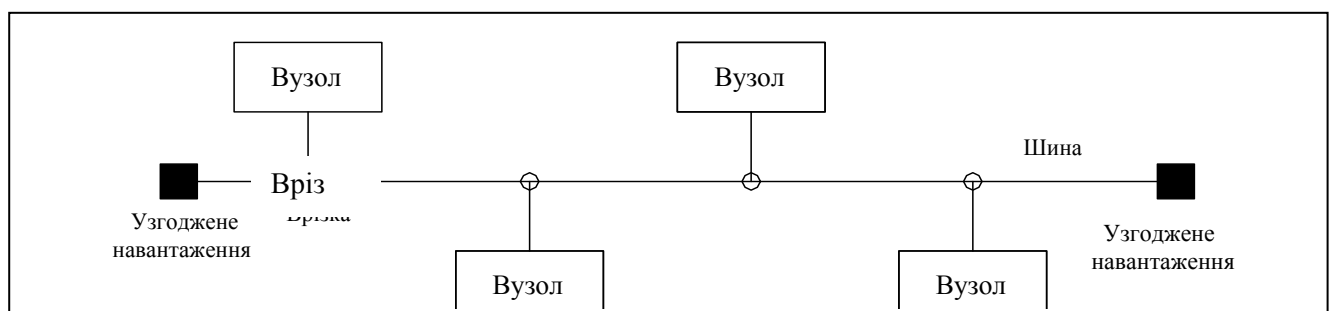


Рисунок 1.11 - Шинна або магістральна мережа

Інформація передається в шину через вузли і поширюється в усі сторони від них зі швидкістю біля трьох четвертей швидкості світла. Усі вузли, підключені до шини, можуть «чути» кожне передавання. У цьому розумінні шина схожа на звичайний радіоканал, коли один чи кілька передавачів мають доступ в ефір через свої антени. Їх передавання може бути почуте будь-яким налаштованим на них приймачем.

Інший спосіб поділу шини відомий усім користувачам домашніх радіо- і телеприймачів. Тут в ефірі кілька передавачів використовують різні частотні діапазони, тому вони можуть бути легко розпізнані приймачами, налаштованими на відповідну частоту. Якщо ці частотні діапазони (канали) не дуже близькі, взаємні перешкоди між ними відсутні або малі. У шинних мережах, що використовують для зв'язку кабель замість радіоефіру і зазначений спосіб частотного ущільнення, передавання даних здійснюється модульованими сигналами.

1.4.1 Шинна мережа з передаванням немодульованих сигналів

У такій мережі сигнал не модулюється і, таким чином, цифрова інформація передається серіями імпульсів, що являють собою нулі й одиниці.

У мережі не відбувається частотне ущільнення, а замість цього певним чином часовий інтервал розподіляється між усіма користувачами. У кожний момент тільки один вузол може здійснювати передавання. Якщо два чи більше вузлів намагаються зробити це, то інформація кожного з них спотворюється і повинна бути передана знову. Тому застосовується метод часового ущільнення, але відповідальність за виділення часових інтервалів (тактів) розподілена між усіма вузлами мережі. Те, яким чином виділяються такти, складає суть різних методів, що використовуються для передавання в шинній мережі немодульованих сигналів.

Середовище шинної мережі саме по собі цілком пасивне. У ньому немає активних компонентів, таких як перетворювачі, повторювачі, підсилювачі чи модулятори. Середовище, якщо це кабель, має на обох кінцях електричні опори, що запобігають спотворенню інформації та створюють перешкоди для передавання.

Для мереж великих розмірів і в тих випадках, коли окремі мережі повинні бути з'єднані одна з одною, можуть знадобитися спеціальні підсилювачі і повторювачі. Однак, це особливий випадок, що вимагає спеціального розгляду в залежності від способу передавання і методу доступу, який використовується.

На рисунку 1.12 зображений типовий метод підключення до шини, по якій передаються немодульовані сигнали. Вріз кабелю забезпечує електричне чи електромагнітне з'єднання зі середовищем передавання.



Рисунок 1.12 - Підключення до шини

Це з'єднання є еквівалентом антени радіоканалу. Середовищем передавання для таких систем служить коаксіальний кабель і тому під'єднання можна зробити, не розриваючи його. Це важливо, тому що розриви значно змінюють електричні характеристики мережі, в якій передаються мільйони біт за секунду. Інтерфейсний модуль, зображений на рисунку 1.12, здійснює перетворення потоку даних, що надходять від підключеного пристрою, у форму, придатну для передавання по мережі. Він розміщує ці дані в пакет потрібного формату і задає йому відповідні адреси відправника й одержувача, створює інформацію для контролю помилок керування. Потім у певний час він направляє пакет у середовище передавання. Здійснює його повторне передавання, якщо виник конфлікт (зіткнення) з іншим пакетом і якщо цього вимагає метод доступу, що був використаний.

Важливо відзначити те, що все апаратне і програмне забезпечення доступу й інтерфейсів є зовнішнім стосовно середовища передавання, тому вузли можуть підключатися до мережі практично будь-де. Під'єднання кабелю робиться так, що при підключенні вони вносять мінімум електричних перешкод для інших пристроїв. На практиці кожне під'єднання все-таки дещо змінює характеристики мережі. Тому існують обмеження на допустиме число під'єднань і на місце, де вони можуть бути зроблені.

Усі пристрої шинної мережі з передаванням немодульованих сигналів «чують» передавання в мережі. Інтерфейсний модуль виділяє пакети даних, адресовані пристрою, що його обслуговує, й ігнорує інші пакети. Широкомовні повідомлення можуть бути передані усім вузлам. Для цього в поле інформації пакета, що керує, міститься спеціальна адреса або прапорець, що розпізнається кожним вузлом.

Контроль доступу до шини здійснюється централізовано за допомогою опитування або комутації, однак у більшості випадків він є розподіленим. У мережі ALOHA Гавайського університету всі повідомлення в дійсності передавалися по широкомовному каналі. Центр у Гонолулу мав комутатор повідомлень, тому жоден пристрій не посилав

повідомлень безпосередньо іншому пристрою, а завжди використовував центральний вузол.

Незважаючи на всі проблеми, шинна мережа з передаванням немодульованих сигналів поширена. Вона має такі переваги:

- пасивне середовище;
- просте підключення нових пристроїв;
- ефективне використання пропускну здатності;
- простий доступ до компонентів;
- немає проблем маршрутизації;
- мережа пристосована для передавання графіка з різкими коливаннями;
- невелика кількість низькошвидкісних пристроїв підключаються через один інтерфейсний модуль.

Однак шинна мережа має і недоліки:

- кожний, хто має відповідне устаткування, може прослухувати передавання, не будучи виявленим і не порушуючи нормального функціонування мережі;
- для зв'язку із середовищем потрібний «інтелектуальний» пристрій;
- звичайні термінали можуть бути підключені тільки через спеціальні інтерфейсні модулі;
- можлива інтерференція повідомлень, переданих у шині;
- немає автоматичного підтвердження прийому;
- відсутній контроль розподілу ресурсів, оскільки вузли можуть використовувати середовище передавання завжди, коли воно вільне;
- загальна довжина шинної мережі обмежена – 1 чи 2 км, але вона залежить від багатьох факторів.

1.4.2 Шинна мережа з передаванням модульованих сигналів

Як пояснено вище, така мережа схожа на радіоканал, в якому для різних потреб виділені різні частоти. В шинній мережі ефір замінюється кабелем, по якому відбувається передавання даних на радіочастоті, при відповідному модулюванні несучих частот. Передавачі і приймачі, що використовуються для звичайної радіопередачі, замінюється радіочастотними модемами.

Такий метод передавання багато років використовується в кабельному телебаченні. При цьому для роботи одночасно декількох телевізійних каналів використовується один коаксіальний кабель.

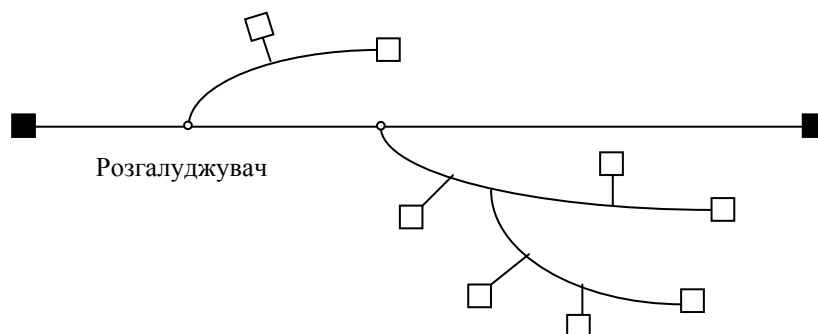
При використанні шинної мережі з передаванням модульованих сигналів охоплюється велика площа, відповідне обладнання надзвичайно просте і надійне. Ширина смуги пропускання кабелю може бути розподілена для передавання даних, зображення, звуку.

- низька вартість кабелю та інтерфейсних пристроїв;
- охоплюється велика площа;
- просте під'єднання пристроїв;
- тривале передавання даних з великою швидкістю;
- сумісне передавання зображення, даних, звуку;
- просте встановлення і трасування кабелю.

- висока вартість модемів;
- необхідність ретранслятора, який постійно працює на кінці

- лінійні підсилювачі чи повторювачі повинні бути забезпечені своєю енергією.

Деревоподібна топологія являє собою декілька шин, з'єднаних між собою. Зазвичай є основна магістральна шина, до якої приєднані декілька менших бічних шин, як зображено на рисунку 1.13.



Магістральна шина має відповідні розгалуджувачі. Вузли і кінцеві пристрої підключаються до мережі способами, які застосовуються в

звичайних шинних мережах.

В наведеному випадку деревоподібна мережа найбільше підходить для передавання модульованих сигналів. Створюються два частотні канали – один для передавання, а інший – для прийому. Кабельні розгалуджувачі і підсилювачі сигналів легко підключаються до шини, хоча мають деякі недоліки, обумовлені відображенням сигналів і втратою енергії через додаткові пристрої.

Шинами, в яких передаються немодульовані сигнали, значно складніше керувати, тому що додаткові пристрої, навіть такі прості як кабельні з'єднувачі, вриваються безпосередньо в кабель. Розгалудження шини означає, що сигнал буде розповсюджуватися по двох різних кабелях. І якщо кабельне розгалудження виконане не правильно, то сигнали будуть проходити по них з різними швидкостями і відображатися по-різному. Деревоподібна мережа з передаванням немодульованих сигналів працює на значно нижчій швидкості, ніж мережа з однією шиною. Крім того, в ній використовується інший тип кабелю. В мережі з однією шиною застосовується коаксіальний кабель з узгоджувальними опорами на кінцях. В мережах з деревоподібною топологією часто використовується багатожильний кабель, в якому одна жила застосовується для контролю зайнятості мережі будь-яким вузлом. Інші жили використовуються окремо для передавання інформаційних сигналів і синхросигналів.

При іншому способі, що використовується в шинах з передаванням немодульованих сигналів, можливе під'єднання до мережі між будь-якими двома вузлами обмеженого числа повторювачів. Цей спосіб застосований в мережі Ethernet. Дана мережа почала створюватися на початку 70-х років минулого століття фірмою Херох як експериментальна мережа для використання в Досліджувальному центрі Пало-Альто. Призначенням мережі було приєднання дешевих робочих станцій до дорогих ЕОМ, файлових систем та периферії. Швидке падіння вартості обчислювального обладнання наклало обмеження на вибір типу мережі і призвело до відмови від стандартних методів використання окремих кабелів, мультиплексорів, пристроїв узгодження з каналами, модемів і контролерів.

Одна шина цієї мережі є магістральною. Пристрої можуть бути підключені до неї звичайним способом. Крім того сигнали передаються в бокові шини через повторювачі. Однак додаткові підключення до повторювачів в бокових шинах не допускаються. Таким чином, максимальна кількість повторювачів, через які відбувається проходження сигналу, дорівнює двом. Магістральна шина в більшості випадків проходить через шахту ліфта чи спеціальну трубу, яка доступна з будь-якого поверху будівлі. На кожному поверсі розташована своя власна шина, яка через повторювач приєднується до магістральної.

Локальні мережі, що реалізовані у вигляді зірок, кілець, шин чи дерев, дозволяють досягти найкращого компромісу між їх вартістю та

ефективністю. В цьому сенсі повнозв'язані і змішані мережі потребують більших зусиль для прокладання кабелів і досить складні в управлінні. Існують випадки, коли конкретне застосування вимагає створення високоорганізованої і ефективної мережі.

Для того щоб функціонування мережі задовольняло кінцевого користувача, недостатньо просто прокласти кабелі і приєднати до них необхідне обладнання.

В наступному розділі розглянуті способи передавання, що найбільш широко використовуються, і їх застосування в локальних мережах.

2 Способи передавання даних

Раніше дані, що необхідні для оброблення на ЕОМ, перетворювалися в форму, зрозумілу для ЕОМ. Для цього застосовувалися перфокарти та перфострічки, а іноді магнітні носії. Вихідні дані отримувалися також у вигляді документів, що роздруковувалися, перфокарт чи перфострічок або магнітних носіїв. Найбільш розповсюдженою формою було роздруковування вихідних документів.

Єдиними лініями зв'язку для передавання даних були лінії зв'язку між окремими частинами системи (наприклад, між центральним процесором та контролерами пристроїв введення-виведення). Вимагалися високі швидкості передавання даних. Тому настала необхідність використовувати спеціальні способи організації обміну, які б відрізнялись від звичайних способів зв'язку.

Пізніше користувачі та проектувальники почали розташовувати пристрої введення-виведення на значній відстані від ЕОМ. Стандартні засоби зв'язку виявилися зовсім непридатними для потреб обчислювальних систем, оскільки були розраховані на низькоякісне передавання мови в аналоговій формі.

Сучасні обчислювальні машини є цифровими. Основні проблеми полягають в перетворенні високошвидкісних потоків цифрових даних в аналогову форму, зручну для передавання по каналах зв'язку.

В цій главі досліджуються основні проблеми передавання даних на велику відстань. Глава закінчується коротким розглядом фізичного середовища передавання, що використовується для локальних мереж.

2.1 Основні методи

У цьому розділі викладені основні принципи передавання даних. Для організації передавання даних необхідно не лише підключити

ЕОМ чи термінал до протилежних кінців телефонної лінії чи лінії передавання. Для розуміння проблеми необхідно розглянути характеристики звичайних засобів зв'язку.

Телефонна мережа утворює основу багатьох систем зв'язку і мереж обчислювальних машин, через те, що такі мережі вже існували і були доступні з часу дослідження передавання даних. Телефонні мережі були створені для зовсім інших вимог, що висуваються обчислювальною технікою. Основна відмінність полягає в формі телефонного сигналу і сигналу, що виробляється ЕОМ. Акустичний сигнал має аналогову форму і передається по електричних каналах з використанням змінної напруги (рисунок 2.1).

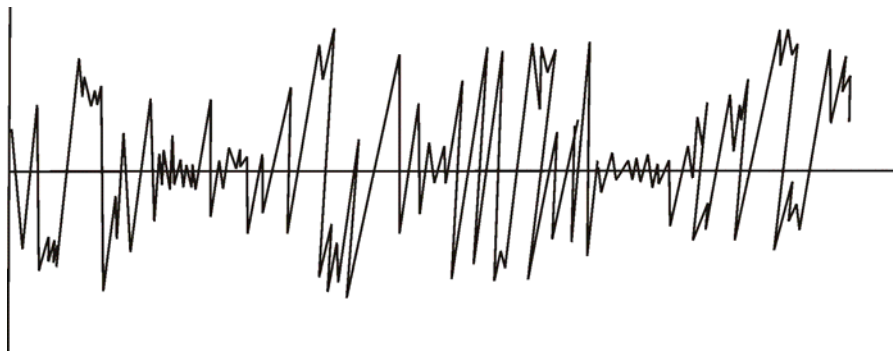


Рисунок 2.1 - Мовленнєвий сигнал

Через різні причини передача може здійснюватися лише в обмеженій смузі частот. Частотний діапазон для телефонної мережі зв'язку лежить в межах 300... 3400 Гц. Смуга пропускання звичайного каналу дорівнює різниці між верхньою і нижньою частотою — у даному випадку 3100 Гц. Хоча ця смуга може здатися дуже вузькою в порівнянні зі спектром звуків, що може розрізнити людина (200... 20 000 Гц), але велика частина інформаційного вмісту звуків мови приходить на смугу 300... 3400 Гц.

Будь-яке середовище передавання має обмежену смугу пропускання, але її обмежує не тільки саме середовище, але й приєднані до неї пристрої. Обмеженість смуги пропускання суттєво впливає на передачу цифрових даних по лініях зв'язку.

Прямокутні періодичні імпульси (рисунок 2.2, а) можуть бути отримані додаванням нескінченного числа синусоїд, що виходять із синусоїдального коливання основної частоти (наприклад, n Гц) і непарних гармонік $3n$, $5n$, $7n$..., причому амплітуди цих гармонік зменшуються. Передача подібного коливання через середовище з обмеженою смугою пропускання призводить до спотворень, викликаних тим, що високочастотні складові послаблюються сильніше, ніж низькочастотні. Крім того, відбуваються більші затримки високочастотних сигналів. Вплив

обмеженої смуги пропускання на передачу прямокутних імпульсів наведено на рисунку 2.2, б. Отримана в обчислювальній машині інформація має неперіодичну цифрову форму, на відміну від послідовності прямокутних імпульсів рівної тривалості.

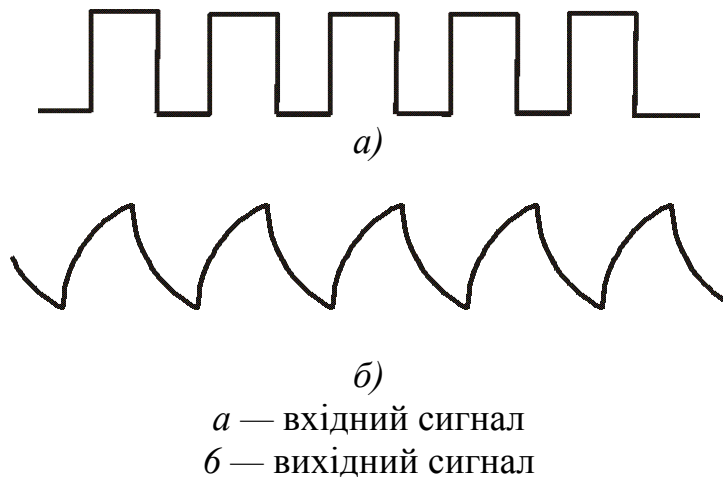


Рисунок 2.2 - Вплив обмеженої смуги пропускання на передачу прямокутних коливань

Проте при передаванні інформація схожа з прямокутними імпульсами. Отже, задача передавання даних у зручній для розпізнавання формі виявляється подібною до задач, пов'язаних із передаванням періодичних прямокутних коливань. Спотворення інформації можуть бути настільки сильними, що неможливо розрізнити нуль і одиницю, якщо не застосовувати спеціальних методів прийому-передавання даних.

Оскільки канали зв'язку не пристосовані для передачі цифрової інформації, її попередньо перетворюють в еквівалентні аналогові періодичні коливання. Це — основний принцип передачі даних по каналах зв'язку, який реалізується за допомогою *модемів*. Термін модем є скороченням словосполучення *модулятор/демодулятор*. За допомогою модемів цифрова інформація перетвориться в аналогові сигнали, які потім передаються після цього. Аналогові сигнали перетворюються в приймальному пристрої в цифрову форму (демодулюються). Розрізняють декілька методів модуляції цифрових сигналів.

1. *Амплітудна модуляція*. Амплітуда деякої фіксованої несучої частоти змінюється відповідно до вхідної послідовності біт.

2. *Частотна модуляція*. В залежності від вхідної послідовності бітів змінюється (в обидва боки щодо деякого середнього значення) частота несучого сигналу.

3. *Фазова модуляція*. У цьому методі модуляції відповідно до зміни бітів змінюється фаза коливання несучого сигналу.

Ясно, що модеми, якими створений канал зв'язку, повинні використовувати однаковий метод модуляції і передавати інформацію з однаковою швидкістю.

Мірою інтенсивності зміни стану середовища передавання і керуючих пристроїв є швидкість, що вимірюється в *бодах*. Отже, швидкість у бодах у системі з амплітудною модуляцією визначає швидкість, із якою амплітуда сигналу змінюється від одного значення до іншого. Якщо кожний з можливих рівнів модульованого сигналу використовується для подання однієї двійкової цифри (0 чи 1), швидкість передачі даних у бодах дорівнює значенню максимальної швидкості передачі послідовності бітів. Для користувачів і проектувальників ЕОМ важлива швидкість передавання бітів, а не зміна середовища передавання. Швидкість передавання послідовності бітів можна підвищити відповідно до швидкості обміну в бодах, використовуючи кожний з можливих рівнів сигналу для одночасного подання більш ніж одного біта.

Хоча цей прийом і не часто застосовується в системах з амплітудною модуляцією, на рисунку 2.3 показано, як за допомогою чотирьох різних рівнів амплітуди можна подати всі варіанти сполучень двох бітів 00, 01, 10 і 11. Можливе використання більш ніж чотирьох рівнів для перенесення відповідно більшої кількості інформації. Проте із збільшенням числа рівнів, ускладнюється конструкція модемів, які повинні розрізняти сигнали серед шумів, що з'являються в мережах зв'язку. Для забезпечення великих швидкостей передачі даних використовують частотну й фазну модуляції.

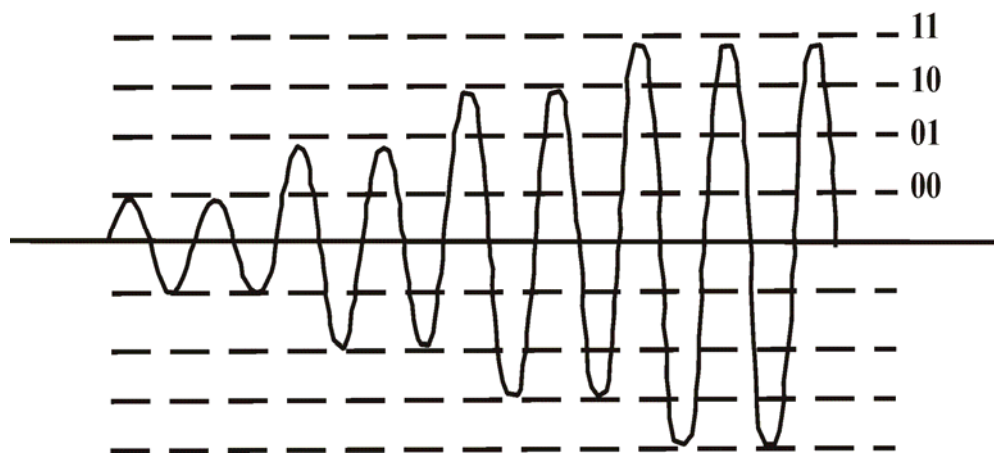


Рисунок 2.3 - Амплітудна модуляція чотирма рівнями

Розглянемо спеціальні прийоми, що застосовуються при передачі даних. Як правило, цифрові інформаційні пристрої (термінали, ЕОМ і ін. з великою частотою) видають інформацію протягом коротких періодів часу. Під час інформаційних «сплесків» швидкість виведення даних дуже

висока. Канали повинні забезпечити передачу даних із максимальною швидкістю, що відповідає швидкості виведення даних із пристроїв, а не з деякою усередненою за тривалим часовим інтервалом. Модеми й канали зв'язку, що придатні для більш швидкісної передачі, набагато дорожчі низькошвидкісного устаткування. Вирішити цю проблему можна, розподіляючи використання одного високошвидкісного каналу між декількома звичайними пристроями за допомогою проміжної апаратури, що називається мультиплексорами і концентраторами.

Різниця між мультиплексором і концентратором раніше була очевидною, через стрімкий розвиток методів передачі й підвищення “інтелектуальності” пристроїв, вона стала зникати. Зараз ці терміни вживаються як синоніми. До того, як це відбулося, термін *ущільнення* вживався до систем, у яких часові такти чи частотні смуги розподільного каналу визначалися заздалегідь. Термін *концентрація* вживався до систем, у яких пристрої розподіляли загальну сукупність вихідних каналів на основі запитів на передачу, які виникають.

Концентратор повинен бути “інтелектуальним” пристроєм із буферною пам'яттю, що дозволить йому розподіляти пропускну здатність вихідних каналів без помітного впливу на роботу підключених пристроїв. Простому мультиплексору було притаманне малоефективне використання вихідних каналів, особливо якщо не всі приєднані до цих каналів пристрої безупинно посилали по них інформацію. Концентратор дозволяє поліпшити використання пропускну здатності каналів. Способи ущільнення розвивалися в напрямку поліпшення ефективності використання лінії за рахунок застосування “інтелектуальних” мультиплексорів, які виконують функції, подібні до концентраторів.

2.1.1 Ущільнення

Ущільнення має велике значення для локальних мереж, оскільки їх ресурси розподіляються між великою кількістю окремих користувачів. Далі описуються деякі з найбільш поширених методів ущільнення.

Часове ущільнення. Замість того, щоб забезпечити кожний низькошвидкісний пристрій окремою лінією зв'язку з ЕОМ, застосовують загальний мультиплексор із часовим ущільненням. Мультиплексор надає кожному з підключених пристроїв один часовий такт, протягом якого цей пристрій одержує у своє користування швидкодійний канал, що обслуговує всю сукупність таких пристроїв. Пристрої передають дані з властивою їм швидкістю. Тому використовуються короткі часові такти, і кожний з пристроїв може часто користуватися загальним каналом. Об'єм буферної пам'яті мультиплексора може бути мінімальним. На іншому кінці

каналу потрібний ще один такий самий мультиплексор для того, щоб розібрати вхідний потік даних, і розподілити його на окремі пристрої.

Часове ущільнення в описаній формі застосовується в локальних мережах, особливо в кільцевих. У подібних мережах кожна станція має можливість користуватися кільцем протягом фіксованого інтервалу часу. Сама функція ущільнення не покладається на окремий пристрій, а реалізується за допомогою керування доступом до кільця.

Статистичне часове ущільнення. Застосування методу часового ущільнення, при якому використовуються фіксовані часові такти, може виявитися малоефективним, навіть якщо кожний з пристроїв увесь час передає чи приймає інформацію. А останнє в практиці зустрічається досить рідко. Принцип, на якому ґрунтується метод статистичного часового ущільнення, полягає в тім, що тимчасові такти надаються лише дійсному пристрою. Приєднані до такого статистичного мультиплексора пристрої можуть конфліктувати один з одним за право доступу до загальної лінії каналу. Мультиплексор повинен бути достатньо «інтелектуальним» для того, щоб визначити, якому з пристроїв потрібний такт. Також мультиплексор повинен виконати звичайну функцію ущільнення у випадку одночасного доступу декількох пристроїв до загального каналу. Малоімовірно, щоб усі пристрої одночасно вимагали доступ до розподільчого каналу. Тому при однаковій пропускній здатності статистичний мультиплексор зможе підтримати більшу кількість пристроїв, ніж звичайний мультиплексор із часовим ущільненням.

Припущення про надзвичайно малу ймовірність того, що всім пристроям мережі може одночасно знадобитися передавати інформацію, лежить в основі багатьох методів поділу локальної мережі. У тих локальних мережах, де використовуються методи множинного доступу з контролем несучої, в основному застосовується статистичне часове ущільнення. Тривалість часових тактів у мережі визначається довжиною пакета, який потрібно передати, а розподіляються ці такти за вимогою пристроїв на передачу інформації. Інтерфейсні модулі створюються “інтелектуальними” для розподілу каналу між окремими пристроями. Такі модулі з’єднані з кожним із пристроїв, які потребують доступу до каналу. Тому немає потреби в окремому незалежному.

Частотне ущільнення. Будь-який канал, що використовується для передачі інформації, має певну смугу пропускання частот. У телефонній мережі вона дуже вузька. Деякі канали мають широку смугу пропускання. Для коаксіального кабелю вона має порядок декількох сотень мегагерц. Якщо є канал із широкою смугою пропускання, то її можна поділити на більшу кількість вузьких смуг, кожна з яких повинна бути відповідною для обраної швидкості передачі цифрових даних. Між частотними смугами повинні бути вузькі захисні смуги, щоб мінімізувати інтерференцію між сусідніми робочими частотами.

При використанні частотного ущільнення широка смуга пропускання деякого середовища передавання розподіляється на певну кількість каналів. Цей спосіб застосовується в локальних мережах з передачею модульованих сигналів, що використовують один чи два коаксіальних кабелі з робочою смугою пропускання 300...400 МГц. Запропоновано різні шляхи використання окремих каналів, починаючи від надання заздалегідь визначеного набору каналів парі користувачів до розподілу всієї сукупності каналів між порівняно низькошвидкісними пристроями за допомогою розглянутих методів часового ущільнення. Крім того, метод частотного ущільнення допускає передавання інформації аналогового виду (наприклад, мови, перетвореної у сигнали тональної частоти, телевізійних сигналів) без попереднього перетворення в цифрову форму.

2.1.2 Протоколи керування каналами передавання даних

В розглянутих розділах обговорювалися лише фізичні характеристики середовища, через яке передається інформація. Якщо відомо, як з'єднати два пристрої або як розподілити канал між декількома пристроями, то необхідно розробити методи, що гарантують передавання цифрової інформації в потрібний час, у заданому порядку і з виявленням і виправленням помилок. Ці методи є основними компонентами *протоколів керування каналами передавання даних*.

У випадку двоточкового каналу зв'язку, що не розподіляється іншими користувачами, інформаційний потік може виходити з вузла разом із необхідною інформацією керування для синхронізації. Наприклад, перейти в стан готовності для прийому, закінчити передавання повідомлення, почати передавання нового рядка й ін. Протоколи, необхідні для таких каналів, можуть бути нескладними і цілком адекватно функціонувати. Під час обговорення методів ущільнення було зазначено, що більшість з них передбачають розподілення інформаційного потоку, який буде передаватися по загальному для декількох пристроїв каналу, на невеликі за розміром блоки, причому розподілення повинно бути раніше за надходження інформації у мережу. Таке розподілення часто називається *кадруванням* і широко застосовується в мережах.

Щоб зрозуміти яке місце займають сучасні методи формування даних у кадри, спочатку варто описати прості знакоорієнтовані протоколи передавання даних.

Раніше термінали були "малоінтелектуальними" і кожен символ, що набирался оператором на клавіатурі, зображувався набором двійкових цифр, який потім передавався по каналу зв'язку. Щоб апаратура на протилежному кінці каналу розпізнавала початок і кінець символу,

використовувалися спеціальні послідовності біт - мітки. Мітки початку і кінця звичайно були довжиною у два біти. Цей прийом не дуже зручний, якщо потрібно передати послідовність із декількох символів. Для таких випадків використовуються методи *синхронізації*, коли відправник і одержувач домовляються про передавання символів із певною швидкістю. Це усуває необхідність у мітках кінця й початку для кожного символу. Із символів складаються блоки, а весь блок перед передаванням доповнюється мітками-обмежувачами. Для того щоб відправник і одержувач працювали один з одним “у такт”, необхідно, щоб синхронізуючі символи безупинно передавалися навіть тоді, коли немає передавання даних. На практиці більшість реалізацій знакоорієнтованих протоколів передбачає передавання синхронізуючих символів із рівною частотою й у потоці даних для того, щоб скидати лічильник синхроімпульсів приймача.

Поряд із символами, що служать для передавання даних (головним чином, букв й цифр), потрібні деякі спеціальні символи — для керування роботою пристроїв, пов'язаних із процесом передавання даних. Яскравими прикладами є службові символи, призначені для керування положенням каретки чи друкуючої головки пристрою друку. Самим же пристроєм необхідно буде безупинно перевіряти вхідний потік в очікуванні символу керування.

Знакоорієнтовані протоколи зручні для повільних і порівняно “малоінтелектуальних” пристроїв, що генерують звичайну для клавіатури множину символів. У більш складних ситуаціях, наприклад, коли потрібна підтримка зв'язку між декількома ЕОМ чи між ЕОМ і контролерами, потрібні складніші протоколи.

Для пристосування знакоорієнтованих протоколів різним цілям, були розроблені методи їхнього удосконалення. Протокол, відомий як *базовий режим*, є основою для виконання прийомів такого типу. При базовому режимі символи поєднуються в блоки, кожний з яких починається із заголовка і закінчується “кінцівкою” (трейлером). Заголовок може містити адресу, завдяки чому кілька пристроїв будуть обслуговуватися одним каналом зв'язку, а кожен з них — опитується керуючим пристроєм незалежно від інших. До протоколу з базовим режимом включається не тільки визначення способів, якими повідомлення розподіляються на кадри. До нього входять також і правила, яких повинен дотримуватись кожний з пристроїв для обміну інформацією.

Жодна з описаних процедур обміну даними повністю не підходить для сучасних мереж. Проте, вони добре ілюструють розвиток протоколів на момент виявлення обмежень, подальшого розвитку мереж передавання даних.

У 1968 р. був запропонований новий принцип побудови протоколів передавання даних, оснований на структурі, коли для передавання даних і

контрольно-керуючої інформації виділяються різні поля. Цей метод, відомий нині за назвою *високорівневий протокол керування каналом передавання даних* (HDLC — high-level data link control). Він розроблявся для забезпечення незалежності протоколу від безлічі різних форматів кодування інформації і використовуваних контрольних послідовностей. Застосовуючи протокол HDLC, можна було не хвилюватись про сталість довжини кожного символу, оскільки при побітовому поданні даних, алфавітних символів чи цифр, вони розташовуються всередині кадру.

Поля, заголовок і кінцівка чітко визначають межі даних. Початок кадру позначається спеціальною послідовністю бітів.

Оскільки в цьому випадку відсутні заздалегідь визначені вимоги щодо структури даних, що містяться в кадрі, то такий протокол часто називають *бітзорієнтованим*.

Протокол HDLC зручний для *півдуплексного* й *дуплексного* синхронного передавання. Дуплексне з'єднання означає, що пристрій і середовище, через які передається інформація, можуть передавати й приймати дані одночасно. В півдуплексному з'єднанні інформаційний потік може бути спрямований в обидва боки, але прийом і передавання даних не можуть виконуватися одночасно. *Симплексне* передавання для обчислювальних мереж не типове. Цей термін означає, що інформація передається тільки в одному напрямку. Наприклад, радіомовлення чи передавання телевізійних програм.

Можна виділити три основних компоненти протоколу HDLC (рисунок 2.4) структура кадру, елементи процедури й класи процедури.

01111110	A	C	I	FSC	01111110
Прапорець	Адреса	Керування	Інформація	Перевірка	Прапорець

Рисунок 2.4 - Структура кадру в протоколі HDLC (FCS — перевірний код)

Передані дані розміщуються в інформаційному полі кадру протоколу HDLC і оточуються керуючими полями, як це показано на рисунку. Кадр обмежується двома полями прапорця, що містять спеціальну послідовність бітів. Щоб виключити такі ж комбінації бітів усередині кадру, застосовується прийом, при якому біт 0 встановлюється відправником після кожної послідовності з п'яти одиниць, якщо ця послідовність зустрічається всередині кадру. Одержувач виконує зворотну операцію, перш ніж передати прийняту інформацію пристрою або програмі. Використання гомогенної структури кадру поряд з описаним прийомом вставки біта, що забезпечує прозорість протоколу, звільняє від необхідності сканувати інформацію, що надходить, у пошуках керуючого

символу.

Прозорість — це властивість процедури керування каналом, що дозволяє передавати по каналу інформацію, закодовану певним чином і відрізняти керуючі поля від даних користувача.

Адресне і керуюче поля кадру можуть використовуватися для вказання адреси джерела інформації чи адреси вузла-одержувача, а також призначення самого кадру — в залежності від конкретних обставин. Поле перевірки кадру Frame Check Sequence (FCS) використовується для виявлення помилок, які можуть з'являтися в адресному, інформаційному та керуючих полях.

“Елементи протоколу” HDLC описують команди, які використовуються при передаванні даних та відповіді на них. “Класи протоколу” встановлюють набори команд і відповідей, що відповідають різним режимам роботи каналу зв'язку (наприклад, режим типу клієнт-сервер, двоточковий режим тощо). Більш докладно HDLC і інші протоколи керування каналом передавання даних описуються в роботі [4.5].

Протокол HDLC більш гнучкий і ефективний, ніж протоколи керування каналами передавання даних, що використовувалися раніше. Він став основою для мереж з комутацією пакетів. Цей протокол використовується у змінній формі в багатьох мережах через те, що кожний кадр з інформацією може отримувати окрему адресу і може бути розміщений між іншими кадрами, що відправляються різними джерелами по інших адресах. Ця здатність розподіляти канал між різними джерелами інформації і одержувачами, є ключем до побудови мереж, що мають здатність розподіляти дані.

2.2 Методи передавання даних у локальній мережі

Розробники локальних мереж повинні задовольняти дві основні вимоги, що стосуються ущільнення й забезпечення надійного передавання даних. Ці вимоги є загальними для всіх обчислювальних мереж, однак у локальних мережах вони повинні бути реалізовані інакше. Даний розділ, присвячений методам, що використовуються при передаванні даних у локальних мережах.

Обмеження, що накладаються на локальні мережі, відрізняється від обмежень, накладених на звичайну ЕОМ чи на мережу передавання даних. Таким чином вибір мережі обумовлюється цими обмеженнями. Основні особливості локальних мереж:

- низька вартість порівняно з вартістю пристроїв, під'єднаних до мережі;
- малі відстані дозволяють використовувати прості методи модуляції;

- застосовування простих інтерфейсних пристроїв;
- кабель мережі використовується всіма користувачами і забезпечує високу швидкість передавання даних;
- низький рівень помилок дозволяє спростити інтерфейсні пристрої.

Важко задовольнити всі вимоги і розробити мережу, що забезпечує всі можливі режими використання. Вони повинні відповідати всім критеріям проектування, особливо, якщо одним із них є простота мережі. Таким чином локальні мережі мають важливу перевагу в порівнянні з багатьма іншими системами. Оскільки локальна мережа розробляється для ділянок з обмеженою площею, то її можна спроектувати так, щоб вона відповідала вимогам користувачів.

Для локальних мереж було розроблено ряд ідей, які є основою для перевірки ефективності методів передавання модульованих і не модульованих сигналів, топології шини й кільця.

2.2.1 Передавання немодульованих сигналів

При передаванні цифрової інформації біти приймають дискретні значення. Сигнал передається в мережі безпосередньо у вигляді дискретних величин, а не у вигляді зміни частоти, фази чи амплітуди сигналу.

Методи передавання немодульованих сигналів широко застосовуються розробниками локальних мереж, оскільки в цьому випадку не потрібні модеми, а сигнал можна передавати з дуже високою швидкістю. Для передавання інформації на великі відстані ці методи неефективні. Крім того, вони також неефективні для каналів, що зазнають впливу шумів, чи інтерференції випадкових сигналів. Але при невеликій довжині локальної мережі передавання дискретних сигналів є ефективним.

У реальних системах використовується метод, що називається *манчестерським кодуванням*, коли двійкові цифри передаються різними рівнями сигналу. При цьому послідовність з однакових цифр передається таким чином, що одержувач має можливість розпізнати початок і кінець кожної цифри. На рисунку 2.5 показаний сигнал, сформований за допомогою методу манчестерського кодування. Часовий інтервал передавання двійкової цифри поділяється навпіл.

Якщо біт рівний 1, то він передається у вигляді послідовності 01. А біт рівний 0, передається за допомогою послідовності 10. Протягом кожного часового інтервалу, який відводиться для передавання одного біта, сигнал змінює рівень посередині інтервалу, так що пристрої передавання і приймання завжди можуть працювати в такт. Це — метод кодування із *самосинхронізацією*. Манчестерське кодування легко

реалізувати на практиці. Таким чином інтерфейсні пристрої і повторювачі мережі можна зробити дешевими й нескладними.

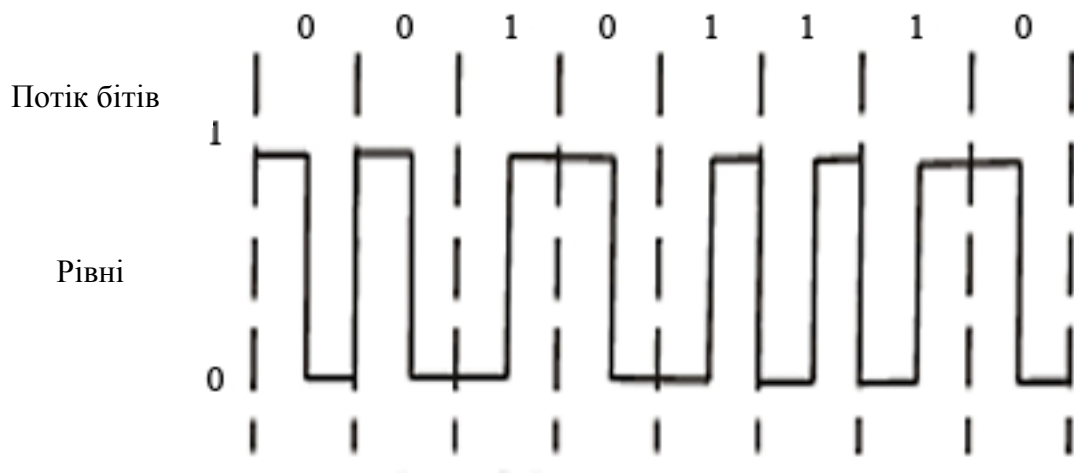


Рисунок 2.5 – Манчестерське кодування

У мережі, яка використовує метод передавання немодульованих сигналів, про відсутність даних інформує відсутність будь-якого сигналу в середовищі передавання. Якщо пристрій розпочав передавання масиву даних, то приймач, можливо, пропустить декілька перших бітів. На захоплення сигналу і на підстроювання внутрішніх лічильників синхроімпульсів за частотою передавача потрібний певний час. Через це в деяких мережах передавання інформації використовується коротка преамбула, що містить деякий певний набір бітів. Якщо приймач пропустить початок цієї преамбули, він зможе визначити її кінець завдяки спеціальній послідовності бітів наприкінці преамбули. Після преамбули йдуть дані. Мережі з кільцевою структурою не мають потреби в передаванні подібних преамбул, тому що дані або “холості” символи безупинно циркулюють по кільцю.

Якщо ми порівняємо цей метод з методом передавання кадру в протоколі HDLC, то виявляться деякі подібності й розбіжності. Заголовок і кінцівка кадру протоколу HDLC містять певні послідовності бітів. Після цих послідовностей одержувач очікує на початок інформаційних полів або на початок наступного заголовка. Преамбули, необхідні в деяких локальних мережах, можуть зайняти місце заголовка, оскільки мають таке ж призначення. Кінцівку можна повністю відкинути, тому що припинення сигналу уже вказує на завершення кадру. Якщо передача була перервана, то довжина кадру не буде збігатися із довжиною вказаною в спеціальному полі (якщо таке використовується) чи зі змістом поля перевірки кадру.

Як згадувалося раніше, немодульовані сигнали можна використовувати для передачі інформації на короткі відстані. Середовище передавання повинне змінювати свій стан швидко, щоб забезпечити

можливість передачі даних. Якщо швидкість передачі даних дорівнює 10 МБіт/с і застосовується манчестерське кодування, то передавальне середовище, повинно змінювати стан 20 млн. раз/с. Однак здатність вірогідно передавати інформацію з такою швидкістю повинно мати не тільки передавальне середовище, а й інтерфейсні пристрої і повторювачі. При роботі каналу в режимі передачі немодульованих сигналів ефективно використовується вся ширина смуги пропускання, тому можна передати тільки один сигнал. Це не є серйозним недоліком при високій швидкості передачі даних на малих відстанях і використання цифрових пристроїв. Однак передача довгих інформаційних потоків від одного користувача може заблокувати потоки від інших користувачів.

2.2.2 Передавання модульованих сигналів

Передавання модульованих сигналів - більш традиційний метод використання широкополосних каналів зв'язку в порівнянні з описаним раніше методом передачі немодульованих сигналів. В основу його покладений принцип модулювання коливань несучої частоти. Використовуване передавальне середовище має широку смугу пропускання (300...400 МГц). Тому в одних і тих же каналах можуть бути кілька несучих частот, так що можливе застосування методів частотного ущільнення. Хоча використовується одна і та ж мережа, вона подається як кілька окремих.

Цей метод використовується у кабельному телебаченні, де по одній ділянці кабелю передається кілька телевізійних сигналів. Кожний канал передається на власній частоті, а приймачі, що підключаються, налагоджуються на частоту відповідного каналу. Канал кольорового телебачення повинен мати смуги частот шириною 6...8 МГц для передачі всієї інформації, тому канали розділені проміжками 6...8 МГц. Ширина такого проміжку включає захисні частотні смуги між сусідніми каналами для мінімізації накладань сусідніх каналів.

При використанні таких каналів для модуляції цифрової інформації на несучій частоті необхідні модеми. Для цього необхідна ширина смуги пропускання залежить від швидкості, з якою повинні передаватися дані. На практиці смуга має ширину 300 кГц (включаючи захисні смуги) і застосовується для передачі даних зі швидкістю 128 Кбіт/с. Велика швидкість вимагає більш широких смуг. Типовий поділ частот у локальній мережі показаний на рисунку 2.6.

Аналіз реалізацій системи з передачею модульованих сигналів вказує на існування ряду проблем, які необхідно вирішити.

Одна з них пов'язана з тим, що канали однієї і тієї ж фізичної мережі логічно незалежні. Це може здаватись перевагою, але в

обчислювальній мережі виникає ряд проблем. Пристрою, що приєднується до мережі, виділяється певний частотний діапазон для передачі. Інший пристрій, що приймає ці дані, повинен бути настроєний на ту саму частоту. Для передачі в протилежному напрямку знадобиться інша частота. Тому передавальний канал одного з використаних таким чином модемів є прийомним каналом іншого. Подібна система використовується у випадку двоточкових з'єднань пари пристроїв, наприклад, при приєднанні терміналів до ЕОМ. Коли потрібно підключити велику кількість терміналів чи інших пристроїв ЕОМ буде перевантажена модемами, тому що кожна пара каналів має потребу в окремому модемі. Модеми, що використовуються в мережах з передаванням модульованих сигналів працюють у радіочастотному діапазоні, типу приймач/передавач і модулятор/демодулятор, а це значить, що вони є досить складними. Кожний радіочастотний модем може працювати тільки на одній чи двох частотах, через це важко встановити канал зв'язку з пристроями, що використовують іншу частоту.

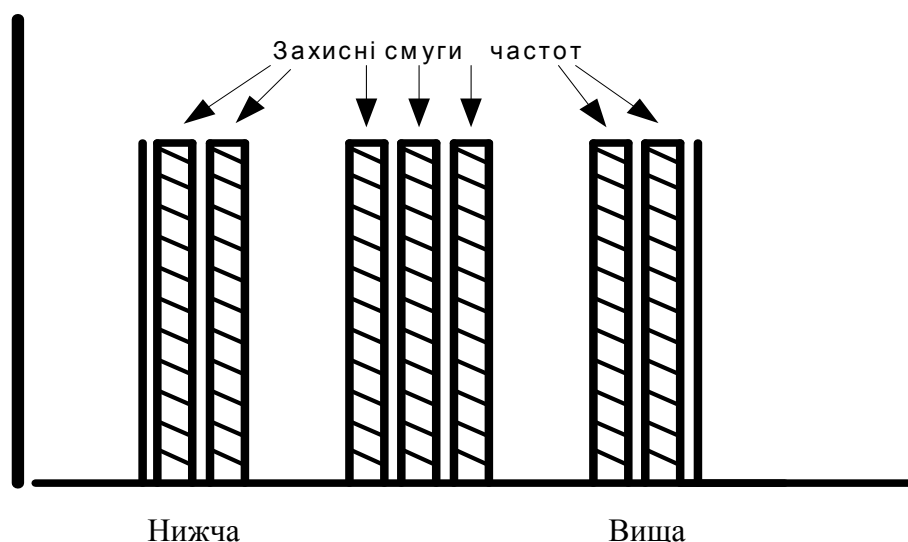


Рисунок 2.6 – Розподілення частот в мережі з передачею модульованих сигналів

Одним з рішень даної проблеми є застосування модемів з частотою, що настроюється. Це стандартні радіочастотні модеми, які дозволяють переходити з однієї частоти на іншу. Якщо такому модему повідомити, на якій частоті він повинен працювати, він перейде на необхідну частоту. Це можна реалізувати за допомогою включення в мережу спеціального контролера. Якщо пристрій робить запит на передачі інформації, то він спочатку передає повідомлення "Запит виклику" на частоті, зарезервованій для повідомлення такого типу. Контролер потім переглядає таблицю вільних частот, після чого посилає відправнику

й одержувачу повідомлення, у якому вказує їхню робочу частоту. Модеми надаштовуються на відповідні частоти до кінця обміну повідомленнями.

Прикладом такого є використання мережі з одиночною шиною передавання модульованих сигналів (система керування на рисунку 2.7,а. На рисунку показані логічні з'єднання пристроїв, пов'язаних із задачами керування і спостереження за процесом, а також центральна керуюча ЕОМ. Реалізація подібної системи за допомогою такої шини - показано на рисунку 2.7,б.

Керуюча ЕОМ використовує порти введення-виведення для зв'язку з модемами, що налаштовані на окремі канали (А, В, С...). Відповідні модеми служать для підключення до шини датчиків і пристроїв, які слухають.



а) – структура керування та слідкування за процесом;
б) – практична реалізація.

Рисунок 2.7 – Використання шинної мережі з передачею модульованих сигналів

Інший спосіб використання шини з передачею модульованих сигналів зображено на рисунку 2.8. На одному кінці шини міститься спеціальний ретранслятор, що перетворює весь спектр частот. Ретранслятор також використовується для передавання спектра частот, призначених тільки для прийому. Наприклад, якщо загальна ширина смуги пропускання передавальної середовища дорівнює 300 МГц (від 100 до 400 МГц), то для передавання можна виділити спектр частот від 100 до 250 МГц.

Ретранслятор перетворює частоту переданого сигналу кожного з індивідуальних каналів, наприклад, частоту близько 150 МГц у частоту $150 + 150 = 300$ МГц, на якій потім передає інформацію. Прийом у всіх модемів виробляється на частотах від 250 до 400 МГц.

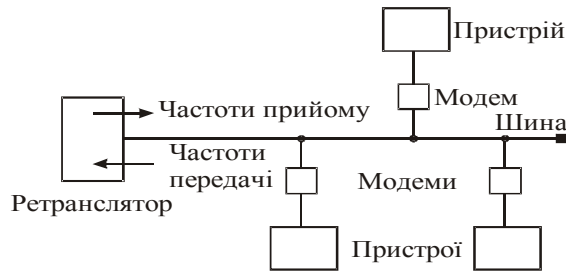


Рисунок 2.8 – Використання ретранслятора з перетворенням частоти

Більш простим методом є застосування двох кабелів, один із яких відповідає за передачу, а другий – за прийом. Однакові частоти, очевидно, можна використовувати в обох кабелях, а ретранслятор на кінці шини буде виконувати задачу прийому всіх переданих по передавальному кабелі повідомлень і ретрансляції їх у приймальний кабель.

Перевага цього методу полягає в тім, що радіочастотні модеми можуть бути однаковими. Прийом сигналів по одному кабелю і передавання по іншому здійснюються на однаковій частоті. З іншого боку, пристрої, що підключаються до мережі, можуть розподіляти один канал чи здійснювати попарну взаємодію. Цей метод зазнав розвитку на основі ідеї множинного доступу до шини, при якому кілька відправників даних конкурують між собою за право користування шиною.

2.3 Передавальне середовище

Будь-яке фізичне середовище, здатне передавати інформацію за допомогою електромагнітних коливань, потенційно може використовуватися в локальній мережі. На практиці як середовище передавання застосовуються кручені пари проводів, коаксіальні кабелі і волоконно-оптичні кабелі. В певних випадках можуть використовуватися й інші види передавального середовища.

2.3.1 Виті пари

Вита пара проводів використовується в стандартних телефонних з'єднаннях і при підключенні телексних терміналів. У середині екранованої оболонки міститься одна чи більше пар провідників. Кожна пара проводів звита на зразок спіралі, що забезпечує достатню постійність і передбачуваність електричних характеристик каналу.

Виті пари в телефонних з'єднаннях, в більшості випадків, використовуються для аналогових сигналів. Також вони можуть використовуватись при передачі цифрової інформації, особливо в кільцевих мережах, де загасання сигналу в крученій парі і неузгодженість можна компенсувати, розміщуючи повторювачі сигналів частіше. Через те, що дроти виті пари мають різну довжину, може виникнути розходження в часі поширення сигналу. У локальних мережах кручені пари застосовуються, як правило, у режимі передачі немодульованих сигналів, причому дві чи більше пари виділяються для передачі сигналів оповіщення про майбутню передачу даних.

Різна довжина дротів приводить до того, що прийняті сигнали відрізняються фазою, і повторювачам не вдається якісно зчитувати інформацію. Через це повторювачі кільцевої мережі з крученими парами розміщуються один біля одного.

Ширина смуги пропускання крученої пари досить велика, особливо у випадку використання для аналогового телефонного зв'язку. Швидкість передачі даних по витій парі може досягати 100 Мбіт/с, але частіше використовується 10 Мбіт/с.

Хоча такий кабель укладений в оболонку, він піддається впливу електромагнітних завад. З цієї причини кручені пари вважаються невідповідними для застосування на промислових підприємствах. Однак для більшості умов вони цілком ефективні. Виті пари в більшості використовуються у кільцевих мережах, і в місцях розташування повторювачів і де можуть стикуватися два різних типи кабелю. В кільцевих мережах існує можливість врізати в критичному місці секцію кабелю такого типу, який не чутливий до завад. У кільцевих мережах можна використовувати виті пари на основній частині довжини, а коаксіальний чи навіть волоконно-оптичний кабель – на деяких ділянках кільця.

2.3.2 Коаксіальний кабель

Коаксіальний кабель складається з центрального провідника, оточеного шаром ізолюючого матеріалу, що відокремлює центральний провідник від зовнішнього провідного екрана, покритого, у свою чергу, шаром ізоляції. Екран може являти собою як суцільний металевий циліндр, так і один чи більше шарів плетеного дроту.

Існує багато різновидів коаксіального кабелю, вони відрізняються своїми характеристиками. Одні кабелі краще передають високі частоти, інші відрізняються меншим загасанням, стійкістю до завад і т.п. Кабель найвищої якості дуже твердий і його важко монтувати, але низькочастотні

коаксіальні кабелі можуть виявитися малоприматними у випадку великих відстаней і високих швидкостей передачі. Ще одним параметром коаксіального кабелю є його характеристичний опір, що залежить від частоти. У більшості випадків такий кабель у робочому діапазоні частот має опір 50 чи 75 Ом.

Електричні характеристики коаксіального кабелю роблять його неефективним для багатьох цілей. Однак він ефективний для передачі високочастотних сигналів при збереженні відносної стійкості до електричних завад. Він зручний для передачі модульованих і немодульованих сигналів. У мережах кабельного телебачення використовується коаксіальний кабель, смуга пропускання якого більша 300 МГц. З його допомогою можна передавати сигнали на великі відстані. У режимі передачі немодульованих сигналів коаксіальний кабель дозволяє передавати інформацію зі швидкістю 10 Мбіт/с. Обмеження на швидкість передавання накладаються методами доступу, що використовуються, а також довжиною кабелю і приєднаними до нього передавальними і приймальними пристроями.

Коаксіальний кабель легко розрізати і прокладати спеціальним врізом, причому це не впливає на його електричні характеристики. Хоча коаксіальний кабель і дорожче крученої пари, кращі електричні властивості і простота монтажу дозволяють використовувати його як передавальний в середовищі більшості локальних мереж.

2.3.3 Волоконно-оптичний кабель

По волоконно-оптичних кабелях передається світло чи інфрачервоне випромінювання, а не електричні сигнали. Кабель складається зі світлопроводу на кремнієвій чи пластмасовій основі, укладеного в матеріал з низьким коефіцієнтом заломлення. Завдяки цьому світлові промені відбиваються всередині кабелю, і втрати світлової енергії при передачі мінімальні.

Принцип передачі світла через скло був відомий давно, але відсутність гнучких кабелів із прозорого скловолокна великої довжини не дозволяла, нарешті, одержати ширину смуги пропускання і величину загасання, достатню для передачі даних. Волоконно-оптичний кабель здатний передавати інформацію зі швидкістю 50 Мбіт/с на відстань у кілька кілометрів без застосування повторювачів.

Інформація, яка передається по волоконно-оптичному кабелі, перетворюється за допомогою світлодіодів чи імпульсних лазерів у світлові імпульси, що направляються по кабелю, як це показано на рисунку 2.9. На протилежному кінці даного відрізка кабелю фотодіодний детектор сприймає світлові імпульси і перетворює їх у послідовність електричних

імпульсів. До зворотного перетворення у світлове випромінювання, передане в наступну секцію кабелю, імпульси підсилюються, формуються і подаються на вхід приєднаного пристрою.

Волоконно-оптичні кабелі дорожчі звичайних електричних кабелів і менш зручні при прокладенні. Повторювачі сигналів також являють собою складні пристрої, оскільки вони перетворюють світлові сигнали в електричні і назад, а також підсилюють сигнали. Через це волоконно-оптичні кабелі не часто застосовуються в локальних мережах. Проте вони мають величезне значення для зв'язку на великих відстанях чи там, де виникають електричні завади, оскільки ці кабелі зовсім нечутливі до них.

Волоконно-оптичні кабелі являють собою однонаправлене передавальне середовище зі джерелом світла на одному кінці і детектором на іншому. Для передачі даних у двох напрямках потрібно два кабелі. Через це волоконно-оптичні кабелі є ідеальним середовищем для кільцевих мереж, у яких інформація передається тільки в одному напрямку.

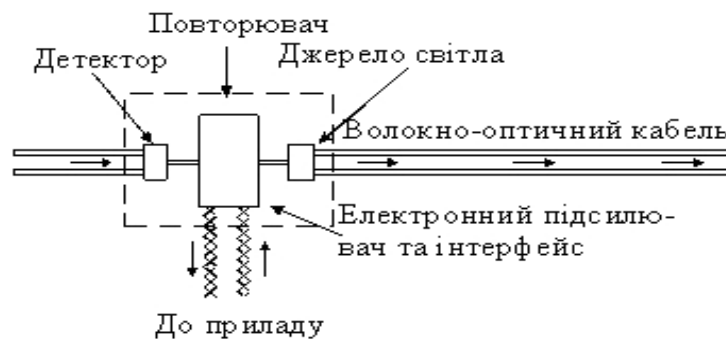


Рисунок 2.9 – Передача даних по волоконно-оптичному кабелю

2.3.4 Інші передавальні середовища

Для передавання даних можна використовувати радіоканали, але для локальних мереж вони не є реально ефективними. Радіоканал ефективний, коли необхідно зв'язати дві чи більше локальних мереж, особливо якщо потрібна висока швидкість передачі інформації.

Як середовище передавання усередині однієї кімнати без перегородок може використовуватися інфрачервоне випромінювання. Передавач/приймач інфрачервоного випромінювання міститься в "полі зору" терміналів чи інших пристроїв, які мають передавачі/приймачі інфрачервоного випромінювання. Передача може виконуватись через головний повторювач, який приєднаний до кабельної мережі, розташованої в будь-якому місці будинку.

3 Рівневі протоколи, мережі і моделі взаємозв'язку відкритих систем

3.1 Обґрунтування рівневих протоколів

У даному розділі поставлена мета – забезпечити розуміння концептуального апарата обчислювальних мереж. Освоєння цього матеріалу необхідне, перш ніж ми перейдемо до докладнішого розгляду класифікацій. В основу наших міркувань покладена модель ВВС (модель взаємозв'язку відкритих систем) Міжнародної організації із стандартизації. У першій частині цього розділу дається обґрунтування того, чому в мережах використовуються рівневі протоколи. В другій частині обговорюється взаємозв'язок рівневих протоколів і моделі ВВС. Ми почнемо із загального розгляду рівневих протоколів.

Існує неточність щодо відношення до переваг і функцій рівневих протоколів. Тому необхідно дати чітке визначення рівневих протоколів, а також пояснити, чому вони одержали таке широке практичне застосування.

Інформація про рівневі протоколи необхідна через такі дві причини:

1) провідні організації світу, що працюють в області стандартизації, розвивають концепції рівневих протоколів;

2) провідні фірми-постачальники продукції для мереж, такі як IBM, Hewlett Packard, Xerox, DEC орієнтуються на створення рівневих мереж;

Проте з рівневими протоколами пов'язані надмірні накладні витрати. Функції, що використовуються в протоколах, повинні бути реалізовані незалежно від того, чи є ці протоколи рівневими.

3.2 Призначення рівневих протоколів

Концепції протоколів мереж розвивалися протягом останніх років і були спрямовані на вирішення таких задач:

- забезпечити логічну декомпозицію складної мережі на менші, більш зрозумілі частини (рівні);

- забезпечити стандартні інтерфейси між функціями мереж, наприклад, стандартні інтерфейси між модулями програмного забезпечення;

- забезпечити відповідність функцій, реалізованих у кожному вузлі мережі. Кожен рівень у деякому вузлі мережі виконує ті ж функції, які виконуються аналогічним рівнем в іншому вузлі;

- забезпечити засоби передбачення змін, що можуть бути

внесені в мережеву логіку (програмне забезпечення чи забезпечення мікропрограми);

- забезпечити просту стандартну мову зв'язку розробників мереж, адміністраторів, фірм-постачальників і користувачів.

3.3 Проблеми проектування мереж

Мережі вимагають написання сотень програм для ЕОМ, що складаються з тисяч команд. Як правило, такі складні програмні системи містять логічні помилки, які важко, а іноді і неможливо виявити. За останні роки обчислювальні мережі вирости і за числом компонентів, і за логічною складністю. При цьому підтримне комунікаційне забезпечення – програмне, апаратне і мікропрограмне – також кількісно та функціонально ускладнилося. Виникли серйозні проблеми технічної експлуатації мереж, пов'язані з програмними і мікропрограмними змінами, що приводили до непередбачених результатів.

Більше того, проектування і розвиток деяких мереж відбувався без відповідності будь-яким стандартам. У рамках системи мереж її компоненти іноді мали погано визначені інтерфейси. Ситуація, коли деяка зміна в програмі в одному вузлі викликає небажаний вплив на непов'язану з цією програмою компоненту в іншому вузлі мережі, не рідкість.

Підхід фірм-постачальників до проектування систем мав ще одну серйозну проблему. Раніше у кожній фірмі був свій власний підхід до проектування мереж, розробки алгоритмів (логіки) роботи мережі і визначення того, яким чином вбудовуються в мережу інтерфейси кінцевих користувачів. Оскільки кожна фірма пропонувала відмінний від всіх інших унікальний підхід, користувач часто змушений був реалізовувати кілька різних протоколів, щоб зробити можливим спільне використання пристроїв різних фірм в одному вузлі. Деякі провідні організації (IBM, General Motors і AT&T) внаслідок свого домінуючого положення в промисловості, фактично встановили свої стандарти.

Незважаючи на ці неофіційні стандарти, відсутність уніфікованого підходу серед різних фірм-постачальників обумовила ситуацію, у якій користувач виявився з «мішком протоколів». Індустрія засобів передачі даних дуже відставала від інших галузей у створенні загальної політики в інтересах кінцевого користувача. Якщо перефразувати вислів одного з керівників промисловості: „Задача створення фірмами-постачальниками „залізниць зі своєю шириною колії” є з філософської точки зору нерозумною, а з економічної – смішною”.

Основна ідея загальних стандартів для рівневих протоколів полягає в тому, щоб розробити для всіх фірм базові підходи і забезпечити межі відходу від стандарту, коли базовий підхід не відповідає всім вимогам.

3.4 Зв'язок між рівнями

В рівневих протоколах рівень є постачальником сервісу і може складатися з декількох функцій. Наприклад, один з рівнів може забезпечувати сервісні функції з кодовими перетвореннями, такими, як перетворення з міжнародного алфавіту № 5 (IA5) в/з EBCDIC, TELEX в/з ASCII, Videotex в/з EBCDIC і календарних дат у числову форму і назад. Функція — це деяка підсистема рівня (наприклад, деяка реальна підпрограма в певній програмі). Кожна підсистема може, крім того, складатися з *логічних об'єктів*. Об'єкт — це деякий спеціалізований модуль.

Основна ідея полягає в тому, що рівень додає функції для забезпечення зв'язку між рівнями. Отже, верхній рівень, що взаємодіє безпосередньо з додатком кінцевого користувача, забезпечений повним набором функцій, які містяться в нижніх рівнях. Верхні рівні диктують нижнім рівням, які функції дійсно повинні бути викликані.

На рисунку 3.1,а показана стандартна технологія взаємодії з рівнем чи постачальником сервісу. За допомогою точок доступу до сервісу (SAP – Service Access Protocol) здійснюється виклик у рівень чи з рівня чотирьох транзакцій, які називаються *примітивами*. (Деякі сеанси не вимагають усіх транзакцій).

- *Запит* – примітив, який використовується користувачем сервісу для виклику деякої функції.

- *Індикація* – примітив, який використовується користувачем сервісу для: виклику функції чи повідомлення про те, що функція була викликана в деякій *точці доступу до сервісу* (SAP).

- *Відповідь* – примітив, який використовується користувачем сервісу для закінчення функції, яка викликана індикацією у цьому SAP.

- *Підтвердження* – примітив, який використовується користувачем сервісу для завершення функції, яка була викликана запитом у цьому SAP.

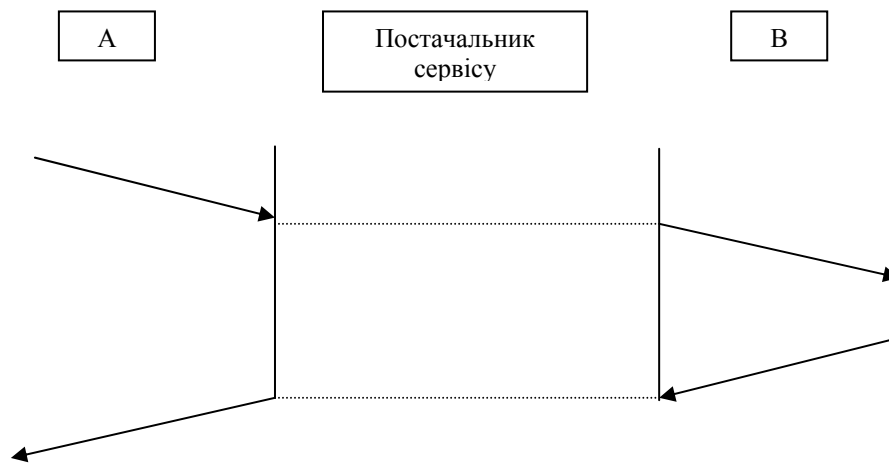
Примітиви, зазвичай, мають додаткові параметри для передачі інформації в рівень чи з рівня.

Як показано на рисунку, додаток користувача чи термінал викликають функцію постачальника сервісу шляхом посилення *запиту* в суміжний нижній рівень. Цей запит на послугу підтверджується постачальником сервісу шляхом надання *підтвердження*. Якщо послуга повинна надаватися іншому користувачу, постачальник послуг повинен направити функцію користувачу В на *індикацію*, після чого від В очікується *відповідь*. Вважаючи, що постачальником сервісу є деякий рівень, він здійснює зв'язок користувачів А і В за допомогою рівневих точок доступу до сервісу SAP. Користувачі А і В повинні знати відповідну точку SAP, щоб отримати деяку послугу від постачальника сервісу. SAP містить адресу конкретної сервісної функції.



Постачальник сервісу
(який включає одну або декілька функцій)

а)



б)

a — постачальник сервісу,
б — подання процесу,
КДС — точка доступу до сервісу.

Рисунок 3.1 – Обмін даними з використанням рівневих протоколів.

На рисунку 3.1,б подано цей процес. Постачальник сервісу знаходиться в середині діаграми, а користувачі А і В – з лівої і правої сторони, відповідно. Запит направляється постачальнику сервісу, що надає індикацію користувачу В. Користувач В створює відповідь, що передається через постачальника сервісу користувачу А як підтвердження.

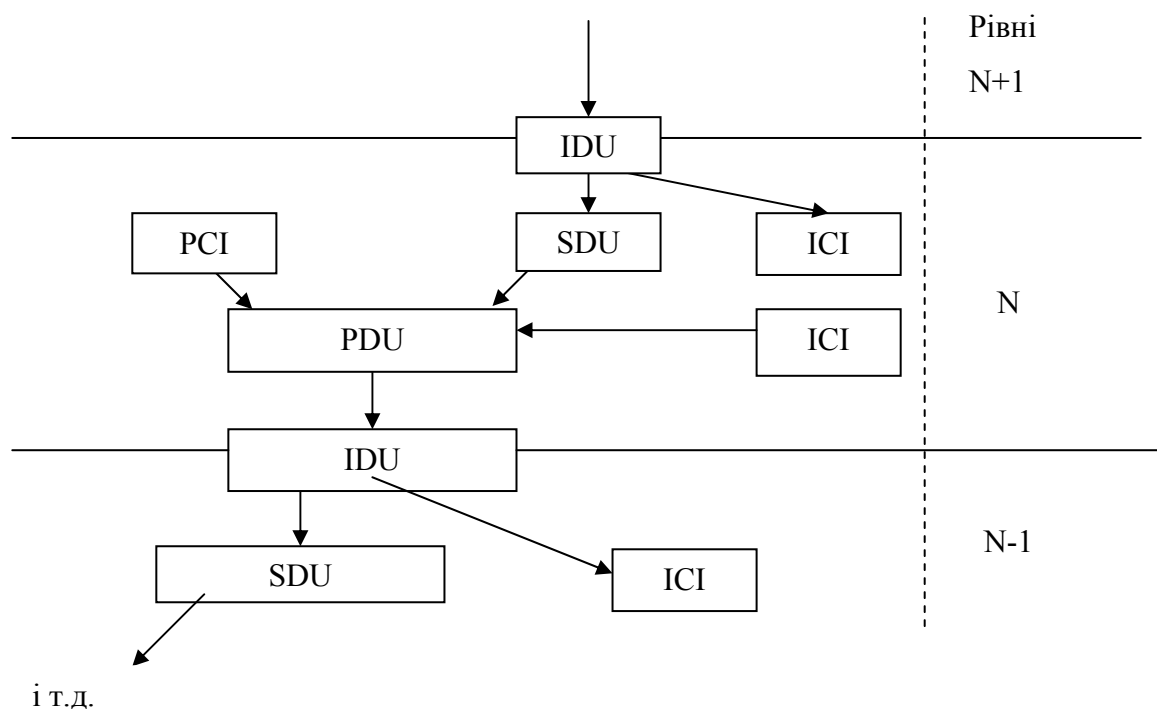
У цьому процесі поданий загальний метод, що дає можливість рівням «розмовляти» один з одним, навіть якщо вони реалізовані з використанням систем різних фірм. Нагадаємо, що постачальником сервісу може бути рівень, функція чи логічний об'єкт всередині рівня, а процес – це просто встановлення загальних засобів обміну даними між рівнями.

Приблизно в такий же спосіб на основі загального підходу люди взаємодіють між собою: встановлюючи зв'язок за допомогою вітання, наприклад «здрасуйте», дотримуючись прийнятих умовностей при розмові (і вислуховуванні), завершуючи розмову прощальною фразою, наприклад

«до побачення». Ціль такого діалогу може полягати в тому, щоб попросити постачальника сервісу (наприклад, оператора телефонної станції) встановити зв'язок з партнером, що був вилучений з переговорів.

Цей постачальник сервісу (оператор) може звернутися до кількох сервісних функцій чи логічних об'єктів для задоволення запиту: вітаючи нас, запитуючи, що ми хочемо, з'ясовуючи в довідковій служби номер телефону, який нам потрібний, і виконуючи набір номера. Постачальник сервісу може навіть звернутися до спеціальних послуг, наприклад, перекладу з мови на мову. Почувши від нас «Buenas días», оператор викликає об'єкт служби перекладу з англійської мови на іспанську (і навпаки), тобто оператор виконує для нас переклад.

Аналогічно, як люди повинні дотримуватися деяких правил, коли вони звертаються один до одного, такі ж правила повинні виконуватися машинами. Стандартна термінологія, яка використовується рівневими мережами при запиті послуг, подана на рисунку 3.2. На цьому рисунку в процесі зв'язку задіяні три рівні: рівні $N + 1$, N і $N - 1$. Алфавітно-числове позначення рівнів є відносним.



SDU – блок сервісних даних; PCI – керуюча інформація протоколу; PDU – блок протокольних даних, IDU – блок інтерфейсних даних, ICI – керуюча інформація інтерфейсу

Рисунок 3.2 – Обмін даними між рівнями

Варто виділити п'ять компонентів у взаємодійних рівнях. Їхніми функціями є:

- SDU (*сервісний блок даних*). Це дані користувача, які передаються в прозорому режимі рівнем $N+1$ у рівень N і далі в $N-1$;
- PCI (*керуюча інформація протоколу*). Інформація, якою обмінюються однорівневі об'єкти в різних вузлах мережі, щоб повідомити деякому об'єкту про необхідність виконання сервісної функції;
- PDU (*протокольний блок даних*) Комбінація SDU і PCI;
- ICI (*керуюча інформація інтерфейсу*). Тимчасовий параметр, який передається між N і $N-1$, для виклику сервісних функцій між двома рівнями;
- IDU (*інтерфейсний блок даних*). Цей блок даних передається між всіма рівнями, складається з PCI, SDU і ICI.

Коли блок IDU з рівня $N + 1$ передається в рівень N , він стає блоком SDU. У свою чергу ICI відокремлюється в рівні, виконує свої функції і усувається. До SDU на рівні N додається PCI, а також ще ICI, що в сукупності утворює IDU для рівня $N - 1$. Таким чином, через кожен рівень передається протокольний блок. До SDU додається PCI на кожному рівні. Фактично, це додавання *заголовка* на кожному рівні. Заголовок використовується об'єктом того ж рівня в іншому вузлі мережі для виклику певної функції. Цей процес повторюється на кожному рівні.

3.5 Практична ілюстрація

Інший вигляд обміну між рівнями наведено на рисунку 3.3. На рисунку 3.3 ми не використовуємо загальні поняття PSI і SDU, а просто використовуємо слова *дані користувача і заголовки*. У міру того, як блок передається через рівні, до нього додається заголовок. Для наступних, нижчих рівнів, він стає інформацією користувача. Сформований блок даних протоколу передається в канал зв'язку. Після цього він отримується приймальним вузлом і здійснює проходження рівнів у зворотному порядку стосовно того порядку, що мав місце в передавальному вузлі. Заголовки, додані до відповідних рівнів у передавальному вузлі, використовуються для виклику взаємодоповнювальних функцій у приймальному вузлі. Після того, як ці функції виконані, блок передається на наступний рівень. Заголовок, що був доданий деяким об'єктом у передавальному вузлі, вилучається однорівневим об'єктом у приймальному вузлі.

Заголовок відіграє інструментальну роль для виклику функцій рівня того ж рангу. Рисунок 3.4 уточнює варіант рисунку 3.3.

У заголовку містяться команди для виклику функцій в однорівневих об'єктах, що знаходяться в іншому вузлі мережі. Розглядаються три рівні. Рівні будуть викликати один сервісний об'єкт у кожному рівні. Рівень $N-1$ викликає сервісний об'єкт для формування в передавальному вузлі поля контрольної послідовності. Рівень $N-1$ приймального вузла робить

перевірку наявності помилок при передачі, на основі порівняння контрольного поля зі значенням лічильника прийому.

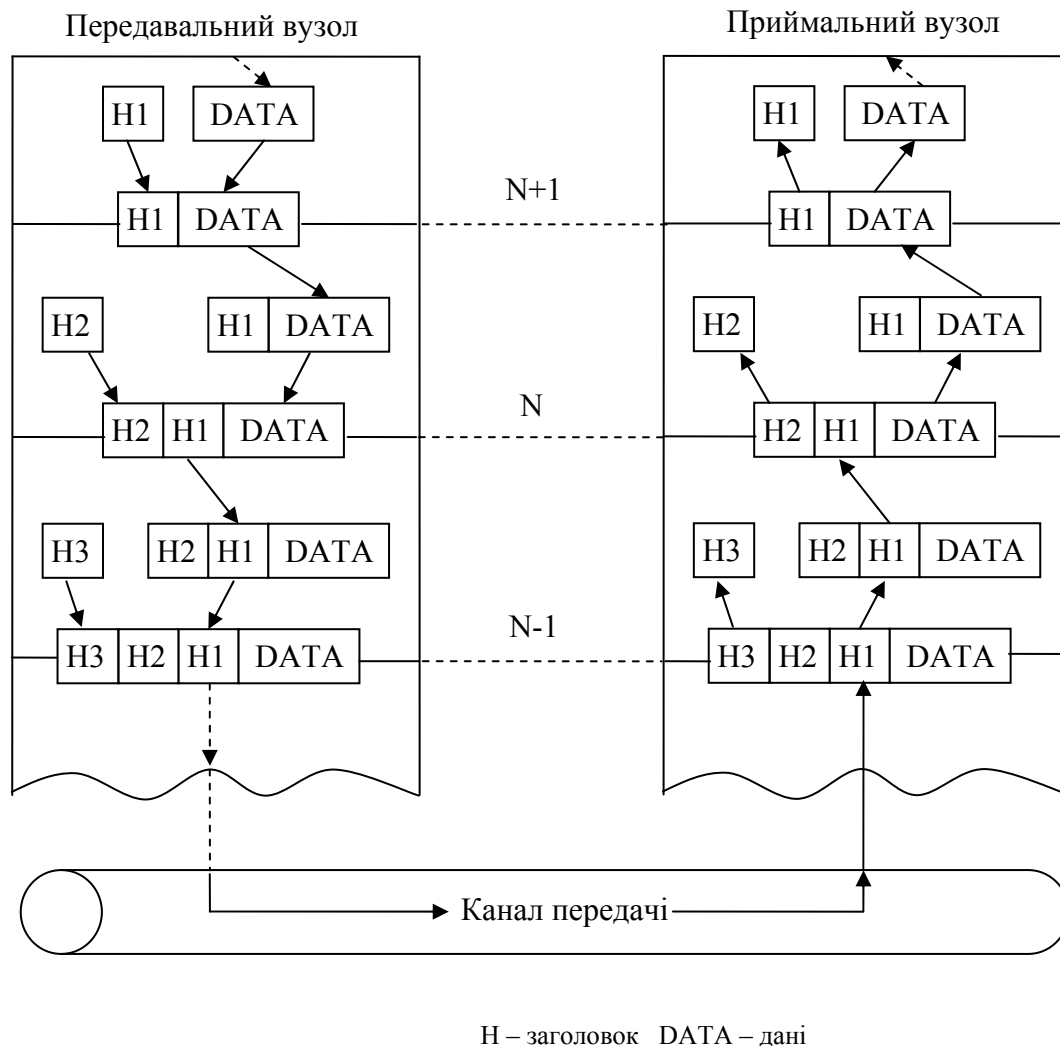


Рисунок 3.3 – Обмін даними між двома вузлами мережі

Сервісний об'єкт на рівні N додає поле контрольної послідовності у вигляді заголовка, що буде використовуватися в приймальному N рівні, щоб гарантувати, що дані надійшли без помилок. Об'єкт на рівні N - 1 робить стискування даних. У приймальному вузлі цей заголовок буде використаний як команда рівня N - 1, що перетворить дані до вихідного вигляду. (Хоча конкретна функція могла бути виконана без використання заголовків.)

Розглянемо тепер, як використовується керуюча інформація інтерфейсу ІСІ в рівневих мережах. Як відзначалося раніше, ІСІ використовується тільки між суміжними рівнями одного і того ж вузла. ІСІ містить команди, що повинні бути виконані нижчими рівнями і які посилаються з вузла передавання або верхніми рівнями, якщо команди передаються приймальному вузлу. Наприклад, ІСІ може містити команду

для нижчого рівня, прискорити проходження блоків даних.

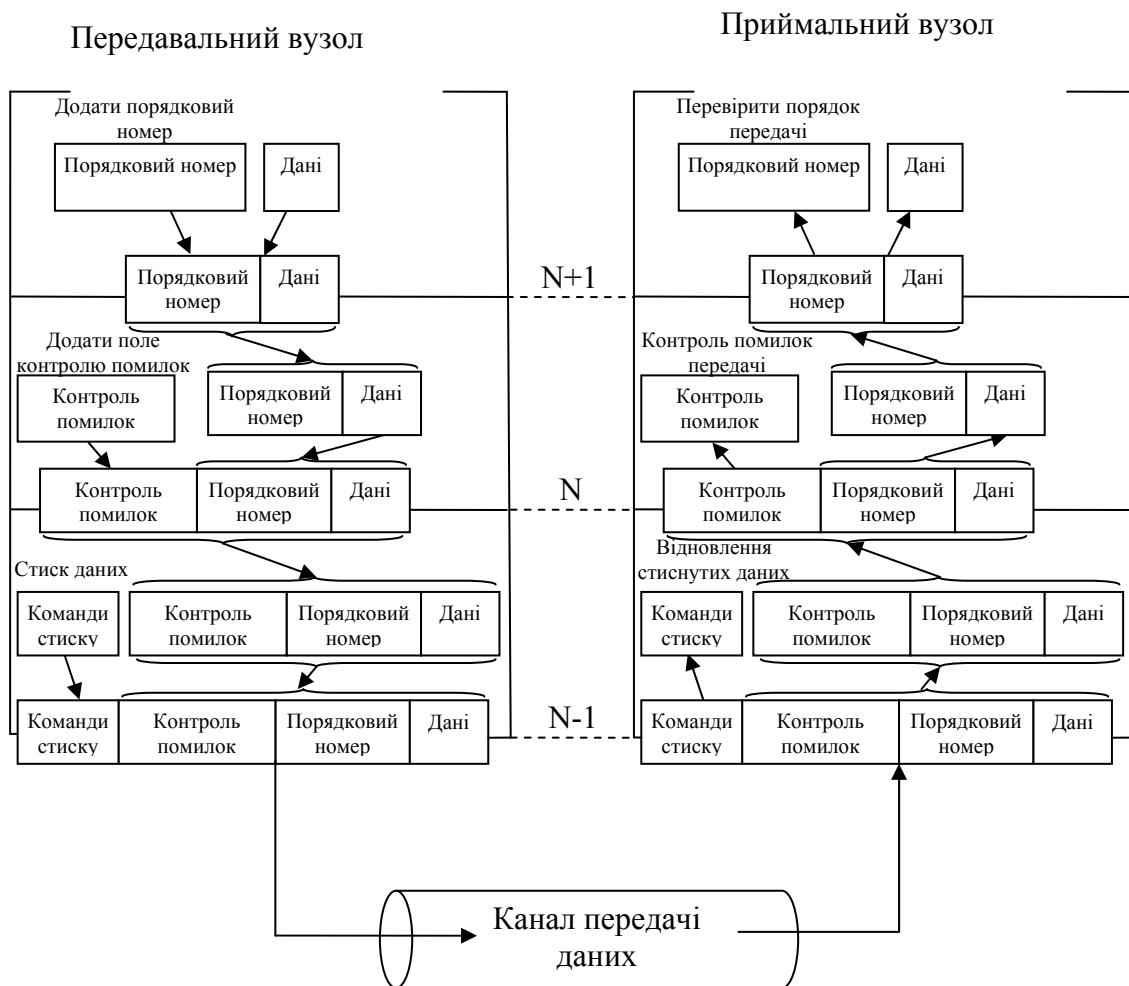


Рисунок 3.4 – Виклик функції підтримки за допомогою PCI (заголовка)

На рисунку 3.3, коли N-1-рівень приймає команду ICI, він знає, що для збільшення швидкості передачі даних повинні бути виконані додаткові функції. Тому один з підходів міг би полягати в тому, щоб посилати кілька блоків даних паралельно, тобто у виконанні операцій мультиплексування, щоб прискорити передачу через нижні рівні.

3.6 Організації зі стандартизації і стандарт BBC

Модель взаємозв'язку відкритих систем (BBC), базується на рівневих протоколах. Вона охоплює всі принципи і поняття, розглянуті раніше. Модель BBC підтримується провідними організаціями зі стандартизації, телекомунікаційними відомствами і торговими асоціаціями. Структура провідних груп в області стандартизації наведена на рисунку 3.5.

3.6.1 Організації зі стандартизації

Міжнародний консультативний комітет з телеграфії і телефонії (МККТТ) є членом Міжнародної спілки електрозв'язку (МСЕ) – організації, утвореної на основі угоди в 1965 р. МСЕ в даний час є спеціалізованим відділом Організації Об'єднаних Націй.

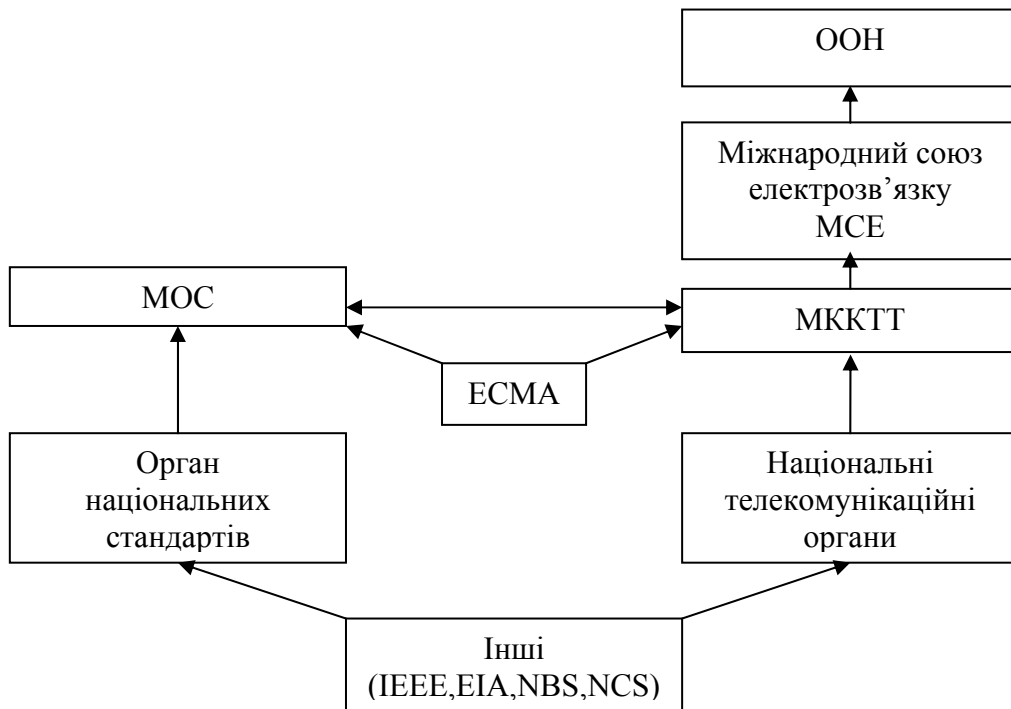


Рисунок 3.5 – Організації в області стандартизації

МККТТ здійснює керівництво розробкою ряду стандартів, що відносяться до мереж передавання даних, стандартів з телефонної комутації, цифрових систем і терміналів.

Участь у Міжнародній організації зі стандартизації є добровільною. Вона включає національні організації зі стандартизації від кожної країни – члена МОС. Діяльність МОС пов'язана в основному з комітетами користувачів і виробників, на відміну від МККТТ, у якому представлені телекомунікаційні компанії і відомства. Основна організація США, що займається проблемами ВОС, – це Американський інститут національних стандартів (ANSI).

Європейська асоціація виробників ЕСМА займається розробкою стандартів, які присвячені комп'ютерним і комунікаційним технологіям. Це не комерційна організація, а група зі стандартів і технічних оглядів. Кілька підкомітетів ЕСМА активно співпрацюють із МККТТ і МОС.

Американський інститут національних стандартів (ANSI) є національним інформаційним центром і його координуюча діяльність в

області стандартів здійснюється в США на добровільній основі. На додачу до того, що інститут є членом МОС від США, він веде активну роботу з підготовки стандартів в області передачі даних у рамках моделі ВОС, а також в області шифрування інформації установчих систем.

Асоціація електронної промисловості (EIA) є національною комерційною асоціацією, що протягом багатьох років брала активну участь у розробці стандартів. Її найбільш відомий стандарт – це RS-232-C.

Асоціація публікує свої власні стандарти, а також звертається з пропозиціями до ANSI про їхню публікацію як американські національні стандарти.

Інститут інженерів з електротехніки і радіоелектроніки (IEEE) багато років проводив роботи зі стандартизації. Це відома професійна організація, що має свої філії в усьому світі. Його недавні ініціативи в області локальних мереж привернули велику увагу. IEEE активно працює в області стандартизації локальних мереж і інших систем.

У розробці міжнародних стандартів важливу роль відіграють кілька урядових організацій. Як відзначалося раніше, Державний департамент є повноправним членом МККТТ. Національна система зв'язку NCS є консорціумом федеральних агентств, що володіють великими телекомунікаційними можливостями. NCS тісно співпрацює з іншими організаціями, такими як EIA, МОС і МККТТ. Одна із задач, яку необхідно вирішити, – просування федеральних пропозицій у міжнародні організації зі стандартизації. Національне бюро стандартів (NBS) також активно бере участь у міжнародних комітетах зі стандартів.

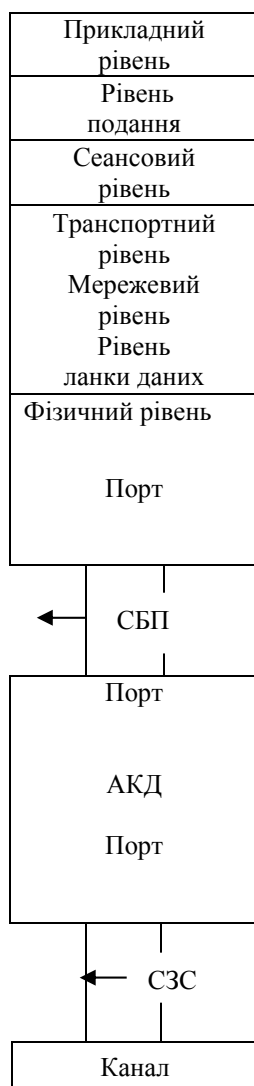
3.6.2 Рівні BBC

Модель рівневих протоколів взаємозв'язку відкритих систем (BBC) є семирівневим стандартом. Структура рівнів показана на рисунку 3.6.

МОС і МККТТ розробили базову еталонну модель BBC для визначення рівневих мереж і рівневих протоколів. Ця модель привернула велику увагу в усьому світі і була реалізована у пристроях багатьох фірм.

Цілями моделі BBC є:

- стандартизація обміну даними між системами;
- усунення складнощів «внутрішнього» опису функціонування окремої системи;
- визначення точок взаємозв'язку для обміну інформацією між системами;
- звуження діапазону можливостей для того, щоб підвищити здатність обміну даними між пристроями без зайвих витрат;
- забезпечення розумної відправної точки відхилення від стандартів



СБП : стик блоку підключення; СЗС : стик, що залежить від середовища; АКД: апаратура каналу даних

Рисунок 3.6 – Рівні в мережевій моделі МОС

у випадку, якщо вони не задовольняють всі вимоги.

З огляду на широке використання цих стандартів, кілька розділів цього посібника будуть присвячені їх особливостям і характеристикам.

Найнижчий рівень називається *фізичним рівнем*. Функції на цьому рівні забезпечують активізацію, підтримку і дезактивізацію фізичного рівня. Для фізичного рівня опублікована велика кількість стандартів. Найбільш відомими є RS-232-C і V.24.

Рівень ланки даних (канальний рівень) відповідає за передачу даних по каналу. Він забезпечує синхронізацію даних для розподілення потоку бітів з фізичного рівня. Він забезпечує також формат подання бітів, гарантує надійне передавання. Він забезпечує керування потоком даних, щоб гарантувати, що кінцевий пристрій не буде перевантаженим в будь-який момент часу великою кількістю даних. Одна з його найбільш

важливих функцій полягає у виявленні помилок передачі, забезпеченні механізму відновлення даних у випадку їх втрати чи дублювання.

Рівень мережі визначає інтерфейс кінцевого пристрою користувача з мережею пакетної комутації, а також інтерфейс двох пристроїв у мережі пакетної комутації. Він також визначає маршрутизацію в мережі і зв'язок між мережами (інтермережевий протокол). Цей рівень детально визначений і має велику кількість функцій. Специфікація X.25 включена в цей рівень.

Транспортний рівень забезпечує інтерфейс між мережею передачі даних і верхніми трьома рівнями (як правило, розташованими в місцях розташування користувача). Саме цей рівень надає користувачу додаткові можливості одержання сервісу певної якості (і вартості) від самої мережі (тобто фізичного рівня). Він проектується таким чином, щоб відокремити користувача від деяких фізичних і функціональних особливостей пакетної мережі. Він також забезпечує звітність у мережі.

Сеансовий рівень є інтерфейсом зв'язку користувача з рівнем транспортних послуг. Цей рівень забезпечує засоби організації обміну даними між користувачами. Користувачі можуть вибрати тип синхронізації і керування:

- 1) півдуплексний чи дуплексний режим;
- 2) точки синхронізації для проміжного контролю і відновлення даних при передачі файлів;
- 3) аварійне закінчення і рестарти;
- 4) нормальна і прискорена передача даних.

Сеансовий рівень має спеціальні послуги, примітиви і протокольні блоки даних, що визначені в документах МОС і МККТТ.

Рівень подання даних визначає формат даних у моделі, тобто подання даних. Він не має справи зі значенням чи семантикою даних. Його головна роль полягає в тому, щоб приймати типи даних із прикладного рівня і погоджувати формат подання з рівнем того ж рангу. Тому функції цього рівня обмежені. Рівень складається з багатьох синтаксичних таблиць (телетайп, ASCII, відеотекс і т.д.). Рівень подання забезпечує відображення даних на віртуальному терміналі. Забезпечує дозвіл прийому електронного повідомлення від рівня додатків і узгодження з одноранговим рівнем формату подання сторінки для іншого прикладного рівня.

Прикладний рівень займається підтримкою прикладних процесів кінцевого користувача. На відміну від рівня подання даних цей рівень має справу із семантикою даних. Рівень містить сервісні елементи для підтримки прикладних процесів, таких як керування обчислювальними ресурсами, обмін фінансовими даними (ANSI X9), передача/прийом мови програмування (ANSI J-серія) і обмін діловими даними (ANSI X12). Цей рівень також підтримує концепції віртуальних терміналу і файла.

Стик (інтерфейс) блока підключення – це кабель чи схемна плата, що з'єднує кінцеві пристрої. Інтерфейс, що залежить від середовища, приєднує пристрій до фізичного каналу. Фізичним каналом можуть бути пари дротів, коаксіальний кабель, радіорелейна система СВЧ-діапазона, оптоволокно та інші середовища, розглянуті в розділі 2.

4 Мережі з опитуванням/вибором

4.1 Двійкове синхронне керування (BSC)

В даному розділі розглядаються системи з опитування типу клієнт-сервер. Описані і визначені найбільш розповсюджені стандарти, а також деякі пристрої зв'язку, що широко використовуються.

Багато функцій у протоколах реалізуються за допомогою кодів передавання даних. Протоколи з опитуванням, які використовуються, є або знакозорієнтованими (такі протоколи також називаються байтозорієнтованими), або бітозорієнтованими. Більша частина знакових протоколів має керуючі поля, розміщення яких у кадрі не є фіксованим. На відміну від цього, розміщення керуючих полів у бітозорієнтованих протоколах зазвичай є фіксованим. Однак, більш важливим є те, що знакозорієнтовані протоколи є кодозалежними в тому сенсі, що інтерпретація керуючих полів залежить від конкретного коду (EBCDIC, IA5/ASCII). Бітозорієнтовані протоколи є кодопрозорими, оскільки значення керуючих полів у протоколах визначається конкретними бітами і не залежать від інтерпретації протоколу. В даному розділі будуть розглянуті приклади особливостей таких протоколів.

В середині 60х рр. фірма IBM вперше ввела універсальну систему керування рівня ланки даних для підтримки багатоточкових або двоточкових конфігурацій. Це протокол двійкового синхронного керування (BSC). Практично кожна друга фірма-постачальник реалізувала у своїх виробках той чи інший варіант двійкового синхронного керування. Іноді цей протокол визначається терміном *bisync*.

BSC є півдуплексним протоколом. Передавання здійснюється почергово в обох напрямках. Цей протокол підтримує двоточкові і багатоточкові з'єднання, а також комутовані та некомутовані канали. BSC є кодозалежним протоколом, і кожний символ, переданий по BSC-каналі, повинен бути декодований в приймачі, щоб визначити чи є він керуючим знаком, чи відноситься до даних користувача. Як вказувалось раніше, кодозалежні протоколи називаються бітозалежними або знако-(байто-)залежними протоколами і надалі вони розрізняються за одиницею фіксування розміщення керуючого поля в кадрі.

4.1.1 Формати BSC і керуючі коди

Формат кадру BSC і керуючі коди, показані на рисунку 4.1

Керуючі коди можуть мати декілька функцій, які визначаються конкретним режимом роботи каналу в даний момент часу (режими роботи каналу розглядаються в наступному розділі). На рисунку наведені деякі основні приклади реалізації формату кадру BSC.

Оскільки BSC є знакозорієнтованим протоколом, існують проблеми відокремлення полів даних користувача від керуючих полів. Може виникнути ситуація, коли дані, які були розпізнані як керуючі, були створені прикладним процесором користувача. Наприклад, можна уявити, що програма користувача створює послідовність бітів, яка збігається з керуючим кодом ETX (кінець тексту). Приймальний пристрій, зустрівши ETX в пакеті даних користувача, вирішить, що це кінець передавання, який позначений кодом ETX. Протокол BSC сприйме ETX як керуючу протокольну команду і спробує виконати контроль помилок над неповним кадром BSC, що приведе до помилки.

Керуючий знак BSC

P	P	S	S	S	Непрозорі дані	E	Знак (байт) контролю блока	P
A	A	Y	Y	T		T		A
D	D	N	N	X		X		D

P	P	S	S	S	Заголовок	S	Непрозорі дані	I	BCC	S	Непрозорі дані	E	BCC	P
A	A	Y	Y	O		T		T		T		T		A
D	D	N	N	H		X		B		X		B		D

P	P	S	S	D	S	Прозорі дані	D	E	Знак (байт) контролю блока	P
A	A	Y	Y	L	T		L	T		A
D	D	N	N	E	X		E	X		D

P	P	S	S	S	Заголовок	D	S	Прозорі дані	D	I	BCC	D	S	Прозорі дані	D	E	BCC	P
A	A	Y	Y	O		L	T		L	T		L	T		L	T		A
D	D	N	N	H		E	X		E	B		E	X		E	B		D

Знак	Функція
SYN	Синхронізація каналу в стані спокою (підтримує активність каналу)
PAD	Наповнення кадру (тимчасове заповнення між повідомленнями)
DLE	Автореєстр 1 (використовується для досягнення кодової прозорості)
ENQ	Запит (використовується з опитуванням/вибором при захопленні)
SOH	Початок заголовка
STX	Початок тексту (переводить лінію в режим тексту)
ITB	Кінець проміжного блока
ETB	Кінець блока передачі
ETX	Кінець тексту
EOT	Кінець передачі (переводить лінію в режим управління)
BCC	Контрольний лічильник блока

Рисунок 4.1 – Формати BSC і керуючі коди

Очевидно, що керуючі кодові комбінації повинні бути виключно з полів тексту та заголовка. Ця проблема вирішується в протоколі BSC за допомогою керуючого коду DLE. Цей код розміщується перед керуючими командами STX, ETX, ETB, ITB і SOH для ідентифікації цих команд як дійсних команд керуючого каналу. Найбільш простий спосіб досягнення кодової прозорості полягає в тому, щоб використати DLE.STX або DLE.SOH для позначення початку даних користувача, а DLE.ETX, DLE.ETB або DLE.ITB для позначення кінця даних користувача. DLE не міститься перед даними, сформованими користувачем. Якщо комбінації бітів, що збігаються з будь-якою із цих керуючих команд, будуть створені в тексті користувача і поступлять в приймальну станцію, то приймальний пристрій буде інтерпретувати їх звичайними даними користувача, оскільки перед ними не буде стояти DLE.

DLE переводить канал в режим прозорого тексту, який дозволяє виконувати передавання будь-якої комбінації бітів. Це важливо, коли BSC використовується в різних видах додатків. Наприклад, проектне чи статистичне відділення фірми часто використовують числа з плаваючою комою для подання великих чисел або дробових чисел з дуже високою точністю. А бухгалтерія використовує числа з фіксованою комою для забезпечення точності дробових чисел (два десяткових знаки для гривні). Використовуючи DLE, протокол BSC робить таке подання чисел можливим.

Виникає проблема використання DLE, якщо ця команда створюється прикладним процесором кінцевого користувача, то вона може бути прийнята за керуючий код. BSC вирішує цю проблему шляхом розташування DLE за командою DLE, що відноситься до даних користувача. Приймач відкидає першу DLE із двох послідовно розміщених команд DLE і приймає другу DLE як дані користувача.

Наявність заголовків, що показані на рисунку 4.1, не є обов'язковим. Якщо заголовок включений в повідомлення, перед ним розміщується код SOH.

4.1.2 Режими каналу

Канал або ланка BSC працюють в одному з двох режимів. Режим керування використовується головною станцією для керування операціями, що виконуються в каналі, такими, як передавання кадрів опитування й вибору. Режим повідомлення про те, що текстовий режим використовується для передавання блока або блоків інформації в станцію чи зі станції. Після отримання запиту на початок передачі даних (опитування), станція передає дані користувача, причому перед даними чи заголовками розміщується STX або SOH. Ці керуючі команди переводять

канал в режим повідомлення або текстовий режим. Після цього в текстовому режимі відбувається обмін даними, поки не зустрінеться ЕОТ, який переводить канал в режим управління. В той час як канал знаходиться в режимі повідомлення, він використовується не лише для обміну даними між двома станціями. Всі інші станції залишаються пасивними. Текстовий режим із двома станціями називається також режимом вибору-затримання.

Операції опитування й вибору ініціюються кадром, що містить Адресу.ЕNQ (де Адреса – це адреса станції). Керуюча станція (головна) відповідає за посилення примітивів.

Вибір виконує одну з двох функцій: (1) він переводить вибрану станцію в режим захоплення і (2) всі інші станції (в багатоточковому каналі) переводить в пасивний режим. STX і SOH ініціюють стан пасивності. Обрана станція залишається в стані захоплення, поки вона не отримає ЕОТ, ЕТВ або ЕТХ. Пасивні станції залишаються пасивними, доки вони не отримають ЕОТ.

Крім цього, BSC дозволяє виконувати операцію захоплення у двоточковій мережі. В цій ситуації одна зі станцій стає головною, після посилення команди захоплення до іншої станції. Станція, що перейшла в режим захоплення стає залежною. Двоточковий канал переходить в режим змагання після закінчення передавання або після приймання ЕОТ.

Код ENQ відіграє важливу роль в режимах керування протоколу BSC. Ці функції можна звести до таких:

- опитування. Керуюча станція виконує передавання з адресним префіксом.
- вибір. Керуюча станція виконує передавання з адресним префіксом.
- захоплення. Одна зі станцій в двоточковій системі отримує статус станції керування.

В BSC передбачений дуже незвичайний спосіб індикації формату керуючих кадрів, незалежно від того, чи є вони кадрами вибору чи кадрами опитування. Код адреси станції, що поданий в нижньому регістрі, використовується для індикації вибору. Верхній регістр використовується для індикації опитування.

4.1.3 Керування каналом

Передавальна станція має певний порядок передавання кадрів. Вона очікує отримання позитивного підтвердження АСК на всі кадри, що передаються. Приймальна станція передає кадри АСК із порядковими номерами. Для нумерації використовуються лише два числа – 0 і 1. Цей метод нумерації є достатньо ефективним, оскільки канал є півдуплексним і

одночасно може передаватись лише один кадр. Відповідь ACK0 означає правильне приймання кадрів з непарними номерами, а ACK1 підтверджує приймання кадрів із непарними номерами.

Крім керуючих кодів на рисунку 4.1, в BSC використовуються декілька інших кодів керування каналом:

- ACK0 – позитивне підтвердження блоків даних із парними номерами або відповідь на вибір чи захоплення.

- ACK1 – позитивне підтвердження прийому блоків із непарними номерами або даних.

- WACK (перед передаванням чекати позитивного підтвердження).

Приймальна станція тимчасово не може продовжувати обробку або приймати дані. Це означає зміну напрямку передавання в каналі. Крім того, передавання використовується як позитивне підтвердження. Станція буде продовжувати посылати WACK, доки не зможе знову приймати дані.

- RVI (переривання передавання). Означає, що в станції є дані, які вона повинна послати якомога раніше. Це викликає переривання процесу передавання.

- DISC – виконує роз'єднання скомутованих каналів.

- TTD (тимчасова затримка тексту). Це означає, що ООД яке здійснює передавання, не може негайно послати дані, але хоче зберегти контроль над лінією (наприклад, буфер ООД повний).

Використання кодозалежного протоколу може привести до двозначності при інтерпретації керування каналом. В таблиці 4.1, яка наведена нижче, ілюструється, яким чином ці двозначності можуть виникнути в BSC. Сенс конкретної керуючої послідовності залежить від того, хто посилає послідовність – головна або залежна станція. Також від того, в якому режимі працює канал – керування або повідомлення.

Таблиця 4.1 – Можливі інтерпретації режимів BSC.

Передаване повідомлення	Відправник	Режим лінії	
		Керування	Повідомлення або текст
SYN SYN ENQ	Головна станція	Ви готові прийняти?	Повторіть вашу останню відповідь
SYN SYN ACK0	Залежна станція	Я готовий прийняти	Прийнятий парний блок
SYN SYN ACK1	»	Не використовується	Прийнятий непарний блок
SYN SYN NAK		Я не готовий прийняти	Повторіть останнє передавання
SYN SYN EOT	Головна станція	Перевести лінію в режим керування	Закінчити режим повідомлення
SYN SYN EOT	Залежна станція	Негативна відповідь на опитування	Відправити негативне підтвердження і перевести в режим керування

Байтозорієнтовані протоколи витісняються бітозорієнтованими протоколами, це відбувається через чотири причини:

- неоднозначна інтерпретація коду;
- необхідність використовувати DLE для забезпечення кодової прозорості;
- гнучкість і ефективність бітових протоколів;
- додаткові витрати в байтовому протоколі.

4.2 Сімейство терміналів 3270

У промисловості засобів друку даних 3270 є число, яке описує сукупність друкувальних пристроїв, клавішних терміналів і дисплейних станцій, які працюють разом з ЕОМ або груповим контролером. Контролери й дисплеї сімейства 3270 були розроблені фірмою IBM. Сімейство 3270 є одним із найбільш розповсюджених в світі сімейств термінального обладнання.

Дані передаються в біполярній формі у відповідності з півдуплексним протоколом типу опитування-вибір. Ілюстрація цього механізму наводиться на рисунку 4.2.

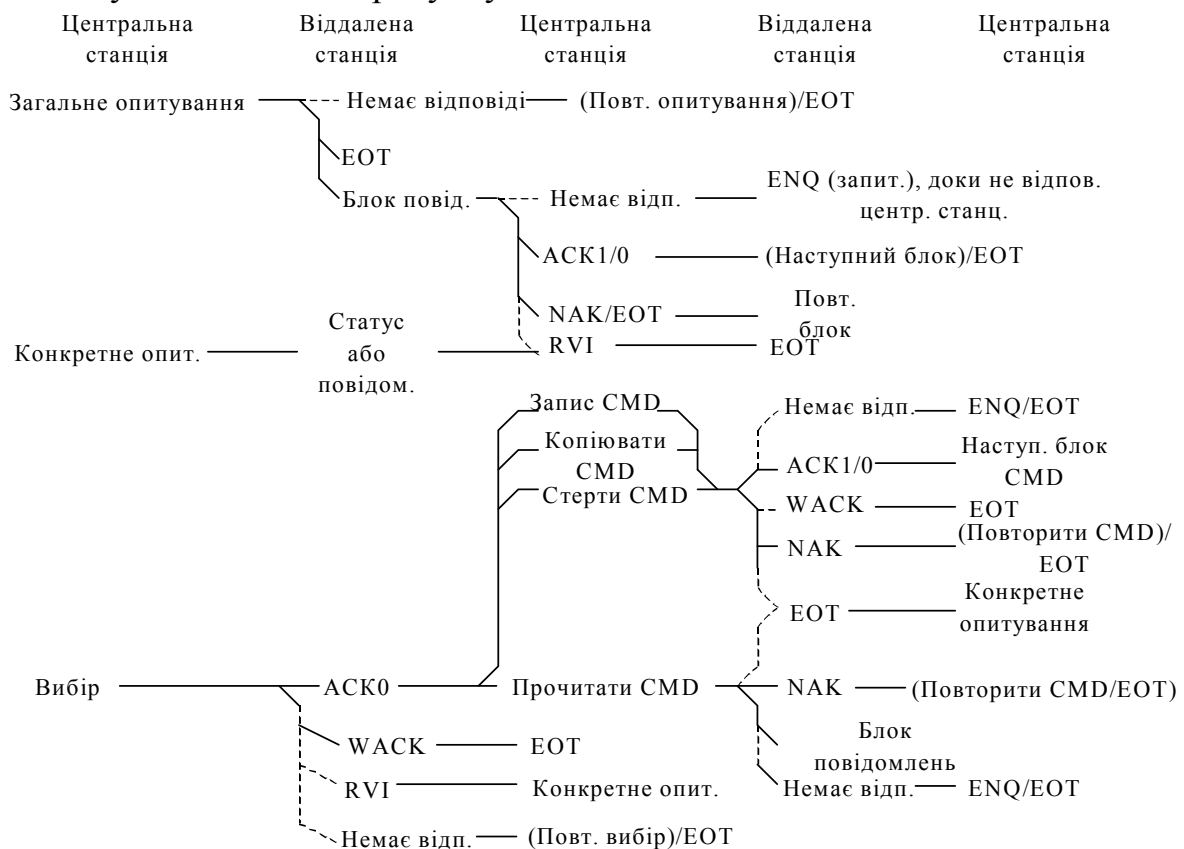


Рисунок 4.2 - Послідовності операцій в потоці команд і даних в протоколі BSC

Контролер може під'єднуватись до головної ЕОМ одним із таких способів: локально або дистанційно. При локальному під'єднанні використовується безпосереднє підключення до ЕОМ за допомогою блока керування в інтерфейсі каналу ЕОМ. Мікропроцесор каналу ЕОМ посиляє в груповий контролер керуючі сигнали, які необхідні пристрою керування для забезпечення функціонування підключених пристроїв (принтерів, дисплейних станцій). Контролер виконує перетворення кодів, перетворення формату і керування потоком.

У дистанційному варіанті для забезпечення з'єднання каналу головної ЕОМ і групового контролера використовується один із трьох підходів:

- підключення до каналу пристрою управління-передавання.
- застосування адаптера зв'язку на основі BSC протоколу.
- підключення фронтального процесора (використання BSC або HDLC (SDLC)).

Модифікації з'єднання забезпечують такі можливості:

- інтерфейс з мережею X.25;
- поліпшене редагування тексту;
- моніторинг часу відповіді з терміналу в головну ЕОМ і навпаки;
- засоби діагностування мережі.

Іншим прикладом сімейства терміналів/контролерів є IBM 5251 і серія 5290. Зв'язок групового контролера 5251 з головною ЕОМ виконується за допомогою SDLC. Контролер може підтримувати пристрої, що під'єднані за допомогою коаксіального кабелю з використанням RS-232-C. Контролер 5294 для обміну даними з головною ЕОМ використовує SDLC або X.25. Він підтримує пристрої, що підключаються за допомогою різних інтерфейсів, таких як RS-232-C, X.21 або DDS компанії AT&T.

На рисунку 4.2 показаний типовий потік даних протоколу BSC, зорієнтованого на 3270. На ньому показана послідовність операцій, ініційованих головною ЕОМ, які потім виконуються у віддаленій станції. Потім в ЕОМ, потім знову у віддаленій станції і так далі. Між станціями відбувається передавання декількох можливих команд і типів відповіді, причому пристрої 3270 відрізняються один від одного способом інтерпретації і використання команд. Більша частина команд і відповідей була розглянута раніше в цій главі. Також існують зорієнтовані на ЕОМ команди, які пов'язані з керуючою функцією «Вибір». Ці команди формуються програмою ЕОМ, що зберігається в пам'яті центральної ЕОМ. Виконання команд може мати свої особливості в залежності від конкретного пристрою.

Команда «Записати» використовується для передавання даних і додаткових керуючих повідомлень з основної пам'яті ЕОМ у віддалений пристрій 3270. Команда «Записати» забезпечує можливість ініціювання функцій пристроїв, таких як запуск принтера або скидання клавіатури

термінала. Її можна також використовувати для отримання даних про характеристику пристрою шляхом його опитування.

Команда «Читати» виконує передавання змісту буфера віддаленого пристрою в основну пам'ять ЕОМ. Читання, зазвичай, закінчується спеціальною послідовністю опитування (рисунок 4.2).

Команда «Копіювати» використовується певними пристроями, що працюють за протоколом BSC. Вона використовується для передавання даних з одного пристрою в інший. Це робить зайвим передавання даних в ЕОМ.

Команда «Видалення» використовується для очищення буферної пам'яті у віддаленому пристрої і виконання інших керуючих функцій, таких як розблокування термінала і позиціонування курсора на екрані.

Протокол BSC має декілька недоліків. Півдуплексні, кодозалежні, багатоточкові і багатоканальні режими BSC є серйозними проблемами. Тому цей протокол витісняється іншими протоколами.

4.3 Протокол HDLC

В другому розділі коротко розглянутий протокол HDLC. В цьому розділі розгляд цього протоколу виконаний більш детально. Протокол HDLC (високорівневе керування каналом передавання даних) є стандартом, опублікованим МОС, що одержав в усьому світі широке поширення. Стандарт забезпечує багато функцій і широко застосовується. HDLC має кілька опцій, що додають деяким частинам протоколу характер гібрида. Ці опції зменшують необхідність використання команд опитування і роблять непотрібними команди вибору.

4.3.1 Опції HDLC

Для реалізації протоколу HDLC передбачений ряд опцій. Він підтримує півдуплексне і дуплексне передавання, односточкову і багатоточкову конфігурації, а також комутовані і некомутовані канали. Існує три типи станцій HDLC:

- первинна станція керує ланкою передавання даних (каналом). Ця станція передає кадри команд вторинним станціям, підключеним до каналу. У свою чергу вона отримує кадри відповідей від цих станцій. Якщо канал є багатоточковим, то головна станція відповідає за підтримання окремого сеансу зв'язку з кожною станцією.

- вторинна станція працює як залежна стосовно первинної станції. Вона реагує на команди первинної станції у вигляді звітів. Вона підтримує тільки один сеанс. Вторинна станція не відповідає за керування каналом.

- комбінована станція передає як команди, так і відповіді. Одержує команди і відповіді від іншої комбінованої станції, з якою підтримує сеанс.

Існує три логічних стани, у яких можуть знаходитися станції в процесі взаємодії одна з одною.

- стан логічного роз'єднання (LDS). У цьому стані станція не може виконувати передавання чи приймання інформації. Якщо вторинна станція знаходиться в нормальному режимі роз'єднання, вона може прийняти кадр тільки після отримання дозволу на це від первинної станції. Якщо станція працює в асинхронному режимі роз'єднання, вторинна станція може ініціювати передавання без одержання на це явного дозволу, але кадр повинен бути лише одним кадром, що вказує статус вторинної станції;

- стан ініціалізації (IS) визначається кожною фірмою і виходить за рамки стандартів HDLC;

- стан передавання інформації (ITS). В цьому стані вторинній, первинній і комбінованій станціям дозволяється вести передавання і приймання інформації користувача.

Коли станції знаходяться в стані передавання інформації, вони можуть взаємодіяти одна з одною в одному з трьох режимів роботи. Під час сеансу ці режими можуть встановлюватися і відмінюватися в будь-який момент. Цим забезпечується гнучкість у взаємодії станцій.

Режим нормальної відповіді (NRM) вимагає, щоб перш ніж почати передавання, вторинна станція отримала дозвіл від первинної. Після отримання дозволу вторинна станція починає передавання відповіді, яка може містити дані. Під час використання каналу вторинною станцією, може передаватися один чи більше кадрів. Після передавання останнього кадру вторинна станція повинна знову чекати дозволу, перш ніж знову почати передавання.

Режим асинхронної відповіді (ARM) дозволяє вторинній станції ініціалізувати передавання без одержання дозволу від первинної станції. Можуть передаватися один або декілька кадрів даних керуючої інформації. ARM може зменшити витрати, оскільки вторинна станція для передавання даних не має потреби в послідовному опитуванні.

Асинхронний збалансований режим використовує комбіновані станції. Комбінована станція може ініціювати передавання без отримання попереднього дозволу від іншої комбінованої станції.

Функціонування станції у HDLC визначається трьома логічними станами. В стані передавання інформації станції можуть працювати в одному з трьох режимів. У HDLC передбачені три способи конфігурації каналу при його використанні первинною, вторинною чи комбінованою станціями:

- незбалансована конфігурація включає одну головну станцію, а також одну або більше підлеглих станцій у двоточковій чи багатоточковій конфігурації, півдуплексній чи дуплексній. Конфігурація називається

незбалансованою тому, що первинна станція відповідає за керування кожною вторинною станцією і за виконання команд установа режиму.

- симетрична конфігурація була у вихідній версії стандарту HDLC і використовувалася в перших мережах. Ця конфігурація забезпечує функціонування двох незалежних двоточкових незбалансованих конфігурацій станцій. Кожна станція має свій ієрархічний статус. Кожна станція розглядається як дві станції: первинна і вторинна. Головна станція передає команди вторинній станції і навпаки. Незважаючи на те, що станція може працювати первинною чи вторинною станцією, то реальні команди і відповіді мультиплексуються в один фізичний канал.

- збалансована конфігурація складається з двох комбінованих станцій тільки в двоточковому з'єднанні. Використовується півдуплексний чи дуплексний метод передавання при комутованому чи некомутованому каналі. Комбіновані станції мають рівний статус у каналі і можуть несанкціоновано посилати один одному трафік. Кожна станція несе однакову відповідальність за керування каналом.

Логічні станції можуть складатися з первинних, вторинних чи комбінованих станцій. Функціонування станцій залежить від одного з трьох станів: стану логічного роз'єднання, стану ініціалізації і стану передавання інформації. Вони працюють в одному з трьох режимів: нормальний режим відповіді, асинхронний режим відповіді та асинхронний збалансований режим.

Можливі три типи конфігурацій каналу HDLC: незбалансована конфігурація, симетрична конфігурація і збалансована конфігурація.

4.3.2 Формат кадру HDLC

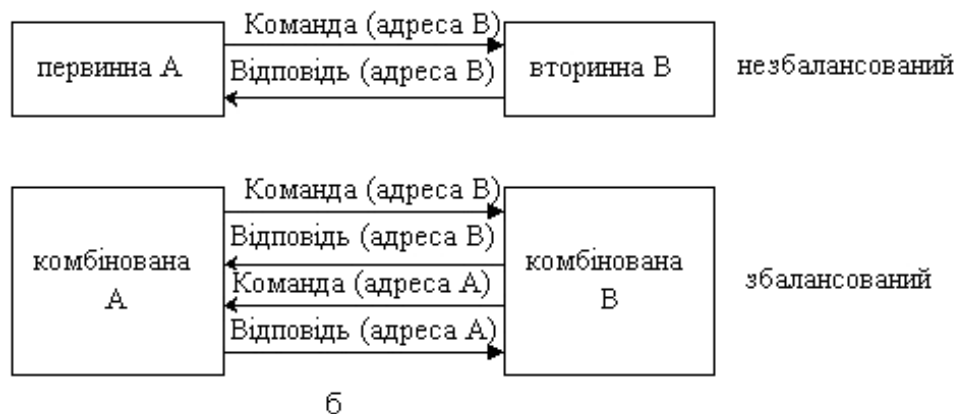
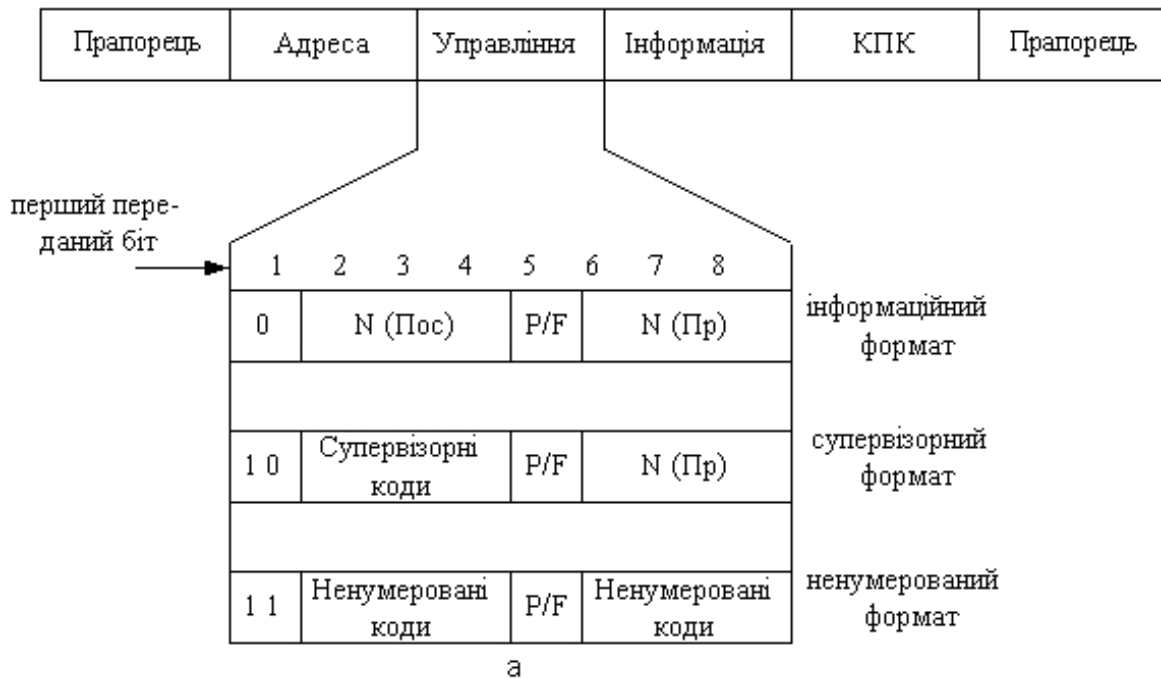
У протоколі HDLC використовується термін кадр для позначення незалежного об'єкта даних, що передається по каналу від однієї станції до іншої. Кадри можуть бути трьох типів:

- кадр інформаційного формату використовується для передавання даних між кінцевими користувачами.

- кадр супервізорного формату виконує такі керуючі функції, як підтвердження (передавання) кадрів, запит на повторне передавання кадрів і запит на тимчасову затримку передавання кадрів. Фактичне використання супервізорного кадру залежить від режиму роботи ланки (режим нормальної відповіді, асинхронний збалансований режим, асинхронний режим відповіді).

- кадр нумерованого формату також використовується для керування. Кадр використовується для ініціалізації чи роз'єднання ланки, а також для інших функцій керування ланкою. Кадр містить п'ять двійкових розрядів, що дозволяє визначити до 32 команд і 32 відповідей. Конкретний

тип команди і відповіді залежить від класу процедури HDLC. Формат кадру наведений на рисунку 4.3



а) формат кадру
б) правила адресації

Рисунок 4.3 – Кадр HDLC

Кадр складається з п'яти чи шести полів. Усі кадри повинні починатися і закінчуватися полями прапорця. Необхідно, щоб станції, підключені до ланки даних, постійно контролювали двійкову послідовність прапорця. Послідовність прапорця складається з 01111110. Прапорці можуть постійно передаватися по каналу між кадрами HDLC. Для індикації нестандартної ситуації в каналі можуть бути відправлені сім одиниць підряд. П'ятнадцять чи більше одиниць підтримують канал у стані спокою. Якщо станція, що приймає інформацію, знайде послідовність

бітів, що не є прапорцем, тоді формуються дані про початок кадру, про нестандартну ситуацію (з аварійним завершенням) чи ситуацію спокою каналу. При виявленні наступної послідовності прапорців, станція закінчує прийом. Прапорець виконує функції, аналогічні знаку SYN у протоколі BSC.

Адресне поле визначає первинну чи вторинну станції, що беруть участь у передаванні конкретного кадру. Кожній станції присвоюється унікальна адреса. У незбалансованій системі адресні поля в командах і відповідях містять адресу вторинної станції. У збалансованих конфігураціях командних кадрів міститься адреса одержувача, а кадр відповіді містить адресу станції, що передає інформацію (рисунк 4.3, б).

Керуюче поле містить команду і відповіді, а також порядкові номери, що використовуються для звітності про проходження даних у каналі між первинною і вторинною станціями. Формат і зміст керуючого поля варіюється в залежності від використання кадру HDLC. Розглянемо зміст керуючого поля.

Інформаційне поле містить дані користувача. Інформаційне поле є тільки в кадрі інформаційного формату. Його немає в кадрі супервізорного чи ненумерованого формату.

Поле контрольної послідовності кадру (КПК) використовується для виявлення помилок передавання між двома станціями ланки даних. Воно аналогічне за функцією знака BCC і BSC. Передавальна станція здійснює обчислення даних користувача, а результат цього обчислення включається в кадр як поле КПК. У свою чергу станція, яка приймає інформацію, робить аналогічні обчислення і порівнює підрахований результат з полем КПК. Якщо має місце збіг, тоді існує велика імовірність, що передавання відбулося без помилок. У випадку розбіжності, можливо, мала місце помилка передавання, і приймальна станція посилає NAK. Це означає, що необхідно повторити передавання кадру. Обчислення КПК називається циклічним контролем за надлишковістю і використовує поліном $X^{16}+X^{12}+X^5+1$

Обчислення і використання коду CRC здійснюється відповідно до таких правил:

- до вмісту кадру додається набір нулів, кількість яких дорівнює довжині поля КПК.
- число, утворене таким чином, ділиться на поліном, який містить на один розряд більше, ніж КПК, і який як старший і молодший розряди має одиниці. (Ці дані обробляються на регістрі зсуву, зі схемою "виключне АБО".)
- залишок від ділення міститься в полі КПК і передається в приймач.
- приймач виконує ділення вмісту кадру і поля КПК на поліном.

Якщо результат дорівнює деякому певному числу (нулю або іншому числу у деяких системах), то передавання виконане без помилок.

Метод CRC дозволяє виявляти будь-які послідовності помилок, довжиною не більш 16 розрядів, що викликаються однією помилкою, а також 99,9984% довгих послідовностей помилок.

4.3.3 Кодонезалежність і синхронізація HDLC

HDLC є кодопрозорим протоколом. Він не залежить від конкретного коду (ASCII/IA5 чи EBCDI) при виконанні функцій керування каналом. Крім того, двійкові комбінації керуючого поля, звичайно займають у кадрі фіксовані розряди. Восьмибітова комбінація прапорця розміщується на початку і в кінці кадру для розпізнавання початку і кінця кадру. Крім унікальної прапорцевої послідовності 01111110, протокол HDLC використовує два інших сигнали. Сигнал аварійного завершення (A3) складається з послідовності одиниць, число яких не менше семи і не більше чотирнадцяти; стан спокою подає послідовність п'ятнадцяти чи більшого числа одиниць. Сигнал аварійного завершення (abort) розміщується в кінці кадру. Передавальна станція формує цей сигнал, коли виникає виняткова ситуація. За повідомленням про аварійне завершення можуть посилатися прапорці для того, щоб підтримувати канал в активному стані і виконувати передавання. Сигнал спокою означає, що канал знаходиться в неактивному стані.

Стан спокою застосовується у півдуплексному сеансі, при якому виконується зміна напрямку передавання на протилежний. Фактичний час між передаваннями кадрів по каналу називається міжкадровим тимчасовим заповненням. Це тимчасове заповнення супроводжується передаванням між кадрами безупинної послідовності прапорців. Прапорці можуть бути восьмибітовими послідовностями. Може мати місце сполучення останнього нуля попереднього прапорця з першим нулем наступного.

Можливі випадки, коли прикладний процес розміщує в потік даних користувача послідовність 01111110, що збігається з прапорцем. Для того щоб запобігти вставці прапорцевої комбінації в потік даних користувача, станція формує 0 після п'яти одиниць, що йдуть підряд, які зустрілися в будь-якому місці між початковими і кінцевими прапорцями кадру. Такою вставкою 0 формується адресне, інформаційне керуюче поле і поле КПК. Цей метод називається вставкою бітів (bit stuffing); таку ж функцію виконує знак DLE у протоколі BSC. Після того, як відбувається вставка бітів у кадр і на кінцях кадру розміщені прапорці, кадр передається приймачу по каналі. Приймач постійно контролює потік бітів (рисунк 4.4). Після того, як він отримує нуль з п'ятьма одиницями, що йдуть

підряд, приймач аналізує наступний біт. Якщо це нуль – він відкидає цей біт. Однак, якщо сьомий біт є одиницею, приймач аналізує восьмий біт. Якщо це нуль – він вважає, що приймається прапорцева послідовність 01111110. Якщо це одиниця – отримано сигнал аварійного завершення чи спокою, і виконує відповідну дію. Таким чином, у протоколі HDLC забезпечуються кодова прозорість і прозорість даних. Для протоколу не важливо, які кодові комбінації передаються в потоці даних. Єдине, що потрібно – це підтримувати унікальність прапорців. На рисунку 4.4 наведена схема описаного алгоритму аналізу бітів.

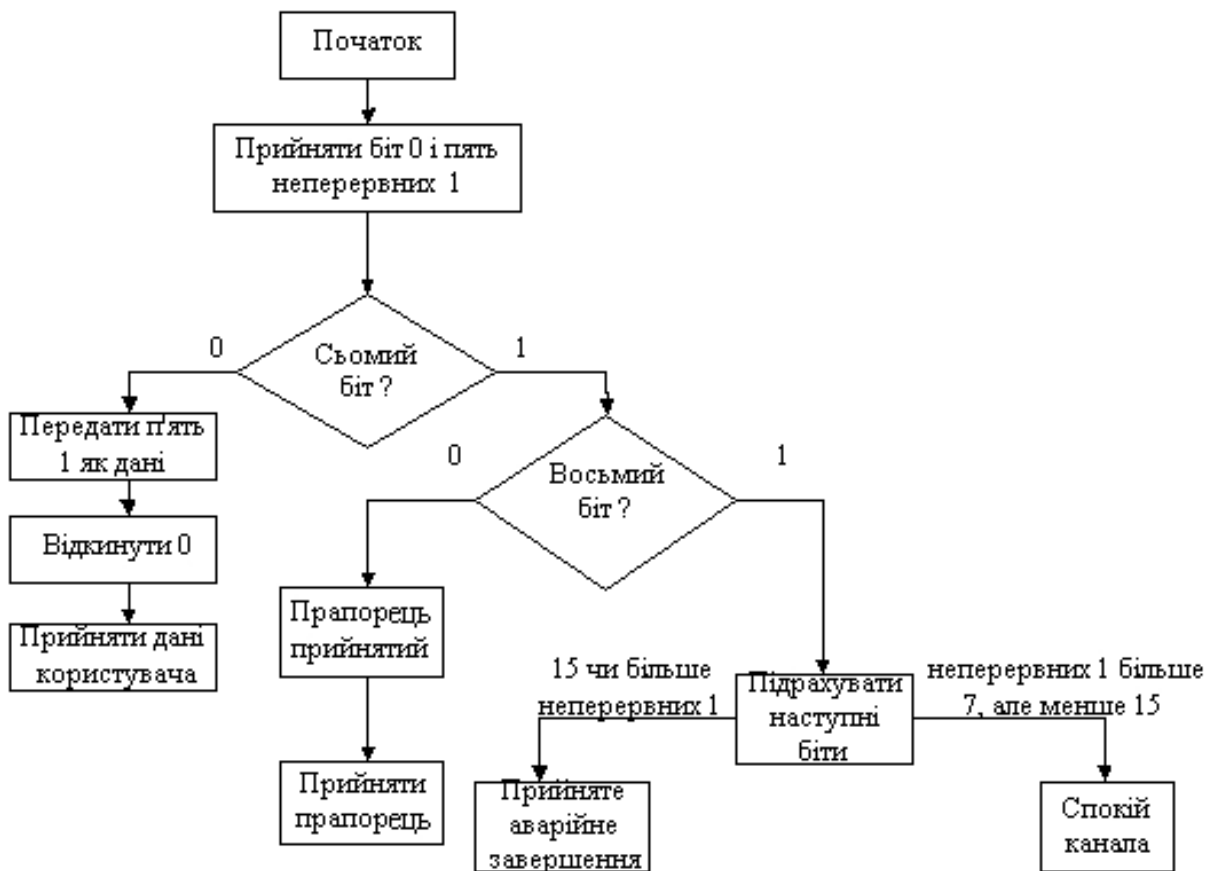


Рисунок 4.4 – Вставка бітів і контроль прапорця аварійного завершення

4.3.4 Керуюче поле HDLC

Дане поле визначає, яким чином протокол керує процесом передавання даних (рисунок 4.3). Поле визначає функцію кадру і тому вимагає реалізації певного алгоритму керування рухом трафіка між станціями, які приймають і передають дані. Це поле може бути одним з

трьох типів формату (ненумерований, супервізорний і інформаційний). Керуюче поле визначає команди і відповіді, що використовуються для керування потоком трафіку в каналі. Ці команди і відповіді наведені на рисунку 4.5. На рисунку показані команди і відповіді, що використані для різних конфігурацій каналу. Відзначимо, що в кожному верхньому прямокутнику містяться три команди: SNRM, SARM і SABM. Ці команди є командами встановлення режиму. HDLC потребує, щоб в одному з трьох режимів була встановлена збалансована чи незбалансована конфігурація. На рисунку показані також деякі функціональні розширення основної структури. Тут наведений повний набір команд і відповідей. Деякі підмножини протоколу HDLC використовують тільки частину цього набору команд/відповідей.

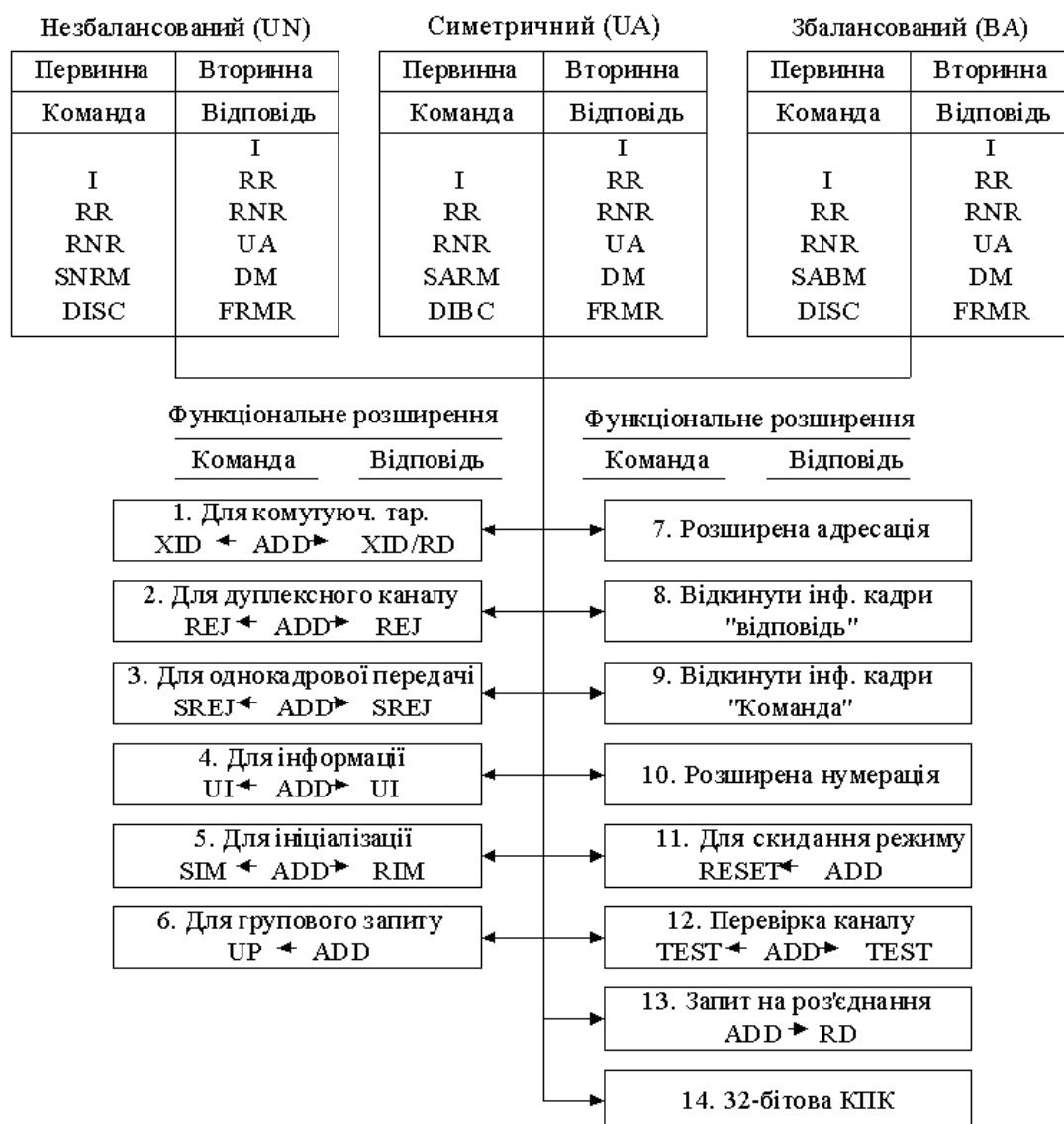


Рисунок 4.5 – Команди і відповіді HDLC

Формат керуючого поля (інформаційний, супервізорний, нумерований) визначає те, як це поле кодується чи використовується. Найпростішим форматом є інформаційний. Зміст керуючого поля для цього формату показаний на рисунку 4.3. Керуюче поле інформаційного кадру містить два порядкових номери. Номер N (Пос) (порядковий номер посилки) зв'язаний з порядковим номером переданого кадру. N (Пр) (порядковий номер прийому) означає порядковий номер наступного кадру, що очікується приймальною станцією. N (Пр) виступає як підтвердження попередніх кадрів.

Наприклад, якщо поле N (Пр) встановлене в 4, то станція, одержавши N (Пр)=4, знає, що передавання кадрів 0, 1, 2 і 3 завершилося успішно і що станція, з якою відбувається обмін даними, очікує, що наступний кадр буде мати порядковий номер посилки N (Пос)=4. Поле N (Пр) забезпечує підтвердження, тобто N (Пр)=4 підтверджує не тільки одне попереднє повідомлення.

HDLC використовує також протоколи автоматичного запиту на повторення.

П'ятий двійковий розряд, біт P/F чи біт опитування/закінчення береться до уваги не тільки тоді, коли він встановлений у 1. Він використовується первинною і вторинною станціями для виконання таких функцій:

- первинна станція використовує біт P для санкціонування передавання кадру статусу від вторинної станції. P також може означати опитування.

- вторинна станція відповідає на біт P кадром чи даними стану, а також бітом F. Біт F може також означати закінчення передавання вторинною станцією в нормальному режимі відповіді (NRM).

Біт P/F називається бітом P, коли він використовується первинною станцією, і бітом F, коли він використовується вторинною станцією. Тільки один біт P (що очікує відповіді у вигляді F біта), може бути активним у каналі в будь-який момент часу. Якщо деякий біт P встановлений у 1, він може бути використаний як контрольна точка. Тобто P=1 означає: "Дайте мені відповідь, тому що я хочу знати ваш статус". Контрольні точки відіграють важливу роль у різних автоматизованих процесах. Це машинний спосіб усунути невизначеність і скасувати накопичені транзакції.

Біт P/F може використовуватися й інтерпретуватися в такий спосіб:

- у режимі NRM вторинна станція не може виконувати передавання, поки не буде отримана команда зі встановленою 1 у біті P. Первинна станція може запросити інформаційні (I) кадри шляхом посилки кадру зі встановленою 1 у біті P чи посилкою деяких супервізорних (S) кадрів (RR, REJ чи SREJ) зі встановленою 1 у біті P.

- у режимах ARM і ABM інформаційні кадри передаються без запиту за допомогою команди, що має одиничний біт P. Встановлена у біті P одиниця може використовуватися для запиту відповіді.

- у режимах ARM і ABM здійснюється передавання кадру зі встановленою 1 у біті F зразу за прийомом команди з встановленою 1 у біті P.

- у випадку двонаправленого одночасного (дуплексного) передавання, коли після одержання команди зі встановленою 1 у біті P, передавання веде вторинна станція, біт F встановлюється в 1 у першій наступній відповіді.

- передавання кадру зі встановленою 1 у біті F не зобов'язує вторинну станцію припинити передавання. Відразу за кадром із встановленою 1 у біті F можуть бути передані решта кадрів. У режимах ARM і ABM не слід інтерпретувати біт F як закінчення передавання вторинною станцією; його варто просто вважати індикатором відповіді на попередній кадр.

4.3.5 Команди і відповіді

Супервізорний формат, показаний на рис. 4.3, передбачає чотири команди і відповіді. (Всі команди і відповіді подано у таблиці 4.2.) Командами і відповідями є: готова до прийому (Receive Ready - RR), неприймання (Reject - REJ), не готова до прийому (Receive Not Ready - RNR), вибіркове неприймання (Selective Reject - SREJ). Призначення цього формату, чотирьох команд і відповідей полягає у виконанні нумерованих супервізорних функцій, таких, як підтвердження (квитування), опитування, тимчасова затримка передавання даних і відновлення після помилок. Кадри супервізорного формату не містять інформаційного поля, як показано на рисунку 4.3, вони містять порядковий номер прийому. Супервізорний формат може бути використаний для підтвердження прийому кадрів. Розглянемо команди і відповіді, які використовуються супервізорним форматом.

Готовий до прийому (RR) використовується первинною чи вторинною станцією для індикації того, що вона готова прийняти інформаційний кадр і/чи підтвердити (квитувати) попереднє прийняття кадру за допомогою поля N (Pr). Якщо станція, використовуючи команду RNR (не готова до прийому), посилала повідомлення про те, що вона зайнята, то для опитування вторинної станції вона використовує команду RR (готова до прийому).

Команда „Не готова до прийому (RNR)” використовується станцією для індикації стану зайнятості. Ця команда повідомляє передавальну

станцію про те, що приймальна станція не здатна прийняти додаткові дані. Кадр RNR використовує поле N (Пр) і підтверджує прийом раніше переданих кадрів. Стан зайнятості відміняється посилкою кадру RR.

Вибіркове неприймання (SREJ) використовується станцією для запиту повторного передавання єдиного кадру, що визначений у полі N (Пр). Як і у випадку попереднього підтвердження, підтвердження поширюється на всі інформаційні кадри з номерами до N (Пр) – 1 включно. Вибіркове неприймання дозволяє реалізувати режим вибіркового повторення. Як тільки переданий кадр SREJ, наступні кадри приймаються і зберігаються для повторно переданого кадру.

Неприймання (REJ) використовується для запиту передавання кадрів, починаючи з кадру, вказаного в полі N (Пр). Підтверджуються всі кадри з номерами до N (Пр) - 1.

Третій тип формату в протоколі HDLC призначений для реалізації ненумерованих команд і відповідей. Цей формат використовується для посилки більшості індикаторів команд і відповідей, що показані на рисунку 4.5 і в таблиці 4.2. Структура ненумерованого формату керуючого поля показана на рисунку 4.3.

Ненумеровані команди можна розбити на групи відповідно до функцій:

- команди установлення режиму: SNRM, SARM, SABM, SNRME, SARME, SABME, SI, DISC (SNRME, SARME, SABME для розширеної адресації);
- команди передавання інформації: UI, UP;
- команди відновлення: RESET;
- інші команди: XI, TEST.

Розглянемо команди відповіді для ненумерованого формату:

- *UI (Unnumbered Information* – Ненумерована інформація). Ця команда дозволяє робити передавання даних користувача в ненумерованому кадрі (тобто без порядкового номера).

- *RI (Request Initialization Mode* – Режим ініціалізації запиту). Кадр RI є запитом команди SI від вторинної до первинної станції.

- *SI (Set Initialization Mode* – Установити режим ініціалізації). Ця команда використовується для ініціалізації сеансу між первинною і вторинною станціями. Відповіддю є UA.

- *SNRM (Set Normal Response Mode* - Установити режим нормальної відповіді). Ця команда переводить вторинну станцію в NRM (режим нормальної відповіді). NRM запобігає пердаванню несанкціонованих (unsolicited) кадрів вторинній станції. Первинна станція керує всім потоком повідомлень в каналі.

- *DM (Disconnect Mode* – Режим роз'єднання). Цей кадр передається вторинною станцією для індикації того, що вона знаходиться

в режимі логічного роз'єднання.

Таблиця 4.2 - Команди / відповіді HDLC

Двійкове кодування керуючого поля									
Формат	1	2	3	4	5	6	7	Команди	Відповіді
інформаційний–	0	–N	(Пос)	–	*	–N	(Пр)	I – Інформація	I – Інформація
супервізорний	1	0	0	0	*	–N	(Пр) –	RR – Готовий до прийому REJ – Неприймання RNR – Не готовий до прийому SREJ – Вибіркове неприймання	RR – Готовий до прийому REJ – Неприймання RNJ – Не готовий до прийому SREJ – Вибіркове неприймання
Ненумерований	1	1	0	0	*	0	0 0 0	UI – Ненумерована інформація SNRM – Встановити режим Нормального об'єкта DISC – Роз'єднати UP – Ненумероване опитування	UI – Ненумерована інформація RD – Запит роз'єднання UA – Ненумероване підтвердження
	1	1	0	0	*	0	0 0 0	Test – Перевірка	Test – Перевірка
	1	1	0	0	*	0	0 0 0	SIM – Встановити режим Ініціалізації	RIM – Запитати режим ініціалізації
	1	1	0	0	*	0	0 0 0	FRMR – Неприймання кадра	FRMR – Неприймання кадра
	1	1	0	0	*	0	0 0 0	SARM – Встановити ARM	DM – Режим роз'єднання
	1	1	0	0	*	0	0 0 0	RSET – скинути	
	1	1	0	0	*	0	0 0 0	SARME – Встановити розширений ARM	
	1	1	0	0	*	0	0 0 0	SNRME – Встановити розширений NRM	
	1	1	0	0	*	0	0 0 0	SABM – Встановити ABM	
	1	1	0	0	*	0	0 0 0	XID – Ідентифікація станції	XID – Ідентифікація станції
	1	1	0	0	*	0	0 0 0	SABME – Встановити розширений ABM	

- *DISC (Disconnect – Роз'єднати)*. Ця команда переводить вторинну станцію в режим роз'єднання.

- *UA (Unnumbered Acknowledgment – Ненумероване підтвердження)*. Це – підтвердження АСК для встановлення команд (SIM, DISC, RESET). UA також використовується для повідомлення про закінчення стану зайнятості станції.

- *FRMR (Frame Reject – Неприймання кадру)*. Вторинна станція посилає цей кадр, коли вона зустрічається з недійсним кадром. Це робиться не у випадку знаходження помилки, вказаної в полі контрольної послідовності, а в більш незвичайних ситуаціях. Причина вказується в інформаційному полі.

Кадр відповіді FRMR формується в таких випадках:

- приймання недійсного керуючого поля команди або відповіді.

- приймання інформаційного поля, що перевищує допустимий розмір.

- приймання недійсного поля N (Пр).

- приймання недопустимого інформаційного поля чи супервізорного/ ненумерованого кадру некоректної довжини.

Протокол HDLC за допомогою кадру FRMR містить значний об'єм інформації про стан (status). Формат інформаційного поля:

- керуюче поле відкинутого кадру;

- значення змінних стану приймальної станції – посилення (Пос) і приймання (Пр);

- відкинутий кадр був командою або відповіддю;

- керуюче поле є недійсним;

- кадр був переданий з недопустимим інформаційним полем;

- інформаційне поле є надто довгим;

- порядкові номери є недійсними.

- *RD (Request Disconnect* – Запит роз'єднання). Це запит і встановлення від вторинної станції логічного роз'єднання.

- *XID (Exchange State Identification* – Ідентифікація станції при комутації). Ця команда виконує запит на ідентифікацію вторинної станції. В системах з комутацією ця команда використовується для ідентифікації станції, що робить виклик.

- *UP (Unnumbered Polls* – Ненумеровані опитування). (Цей кадр буде пояснений пізніше, при розгляді шлейфових конфігурацій.)

- *TEST (Test* – Перевірка). Цей кадр дозволяє тестові відповіді від вторинної станції.

- *SARM (Set Asynchronous Response Mode* – Встановити режим асинхронних відповідей). Встановлює режим, що дозволяє вторинній станції вести передавання без опитування з боку первинної станції. Він переводить вторинну станцію в стан передавання інформації (IS) режиму ARM. Оскільки команда SARM встановлює дві незбалансовані станції, SARM повинна передаватися в два напрямки:

А посилає: B, DISC

В посилає: B, UA A, DISC

А посилає: A, UA

В посилає: A, SARM

А посилає: A, UA B, SARM

В посилає: B, UA

Команди DISC забезпечують реініціалізацію каналу.

- *SABM (Set Asynchronous Balanced Mode* – Встановити асинхронний збалансований режим). Встановлює режим в ARM, в якому станції є рівноправними. Для передавання не потрібно опитування, оскільки кожна станція є станцією комбінованого типу.

- *SNRME* (*Set Normal Response Mode Extended* – Встановити розширений режим нормальної відповіді). Встановлює *SNRM* з двома додатковими байтами в керуючому полі.

- *SABME* (*Set Asynchronous Balanced Mode Extended* – Встановити розширений асинхронний збалансований режим). Встановлює *SABM* з двома додатковими байтами в керуючому полі.

- *UP* (*Unnumbered Poll* – Ненумероване опитування). Команда опитує станцію незалежно від нумерації кадрів і підтвердження. Якщо біт опитування встановлений в 0, надається лише одна відповідь.

- *RSET* (*Reset* – Скидання змінних). Передавальна станція скидає свій *N* (Пос), а приймальна станція свій *N* (Пр). Ця команда використовується для відновлення. Кадри, які раніше не були підтверджені, залишаються незмінними.

Крім того, HDLC використовує тайм-аут (таймер *T1*), який починається з моменту передавання кожного кадру. *T1* використовується для ініціювання повторного передавання, коли таймер переповнюється. Крім того використовується лічильник *N2* для визначення максимального числа повторних передач, які будуть виконані до того, як переповниться таймер *T1*. Змінні *T1* і *N2* використовуються також командами/відповідями встановлення ланки, такими, як *SABM* і *UA*.

4.3.6 Процес передавання в протоколі HDLC

На рисунках 4.6-4.10 та рисунку 4.12 наведені різні види комунікації:

- асинхронний збалансований режим з півдуплексним потоком даних (рисунок 4.6);
- асинхронний збалансований режим з дуплексним потоком даних (рисунок 4.7);
- відновлення помилок (виправлення помилок) за методом „Повернення-на-N“ (*Go-Back-N*) (контрольна точка) (рисунок 4.8);
- відновлення після помилок за методом „Повернення-на-N“ (відкинути) (рисунок 4.9);
- відновлення після помилок за методом „Вибіркового неприйому“ (*Selective Reject*) (рисунок 4.10);
- SDLC з багатоточковим півдуплексним передаванням (рисунок 4.12).

Розглянемо умовні позначення на цих рисунках. Рисунки являють собою “логічні” знімки, зроблені в окремі інтервали часу (*n*, *n+1* і т.д.). Позначення, що знаходяться в часовому “вікні”, відображають зміст кадру HDLC (або деякої підмножини протоколу, наприклад SDLC), що передається станціями А і В в конкретний час.

Малоймовірно, що дві станції почнуть передавання в один і той же

момент часу. Для докладного пояснення ми допустимо таке припущення. Часове вікно станції А могло б бути більш тривалим, ніж вікно станції В. Це означає, що станцією А передається більш довгий кадр. Ілюстрації дуплексного методу показують часові вікна, що належать каналу, який знаходиться в стані спокою. Це має місце незалежно від того, наскільки завантажені станції.

Станція А передає	B, SABM, P	B, I S=0, R=0	B, I, P S=1, R=0				A, RR, F R=2	
Станція В передає		B, UA, F		B, RR, F R=2	A, I S=0, R=2	A, I, P S=1, R=2		B, RR, F R=2

Рисунок 4.6 – Асинхронний збалансований режим з півдуплексним потоком даних (з використанням Р/Ф для реалізації “контрольної точки”)

Станція А передає	B, I S=0, R=0	B, I, P S=1, R=1			B, I S=2, R=3	B, RR, P R=4		B, I S=3, R=5	B, RR, P R=6
Станція В передає	A, I S=0, R=0	A, I S=1, R=1	B, RR, P	A, I S=2, R=2	A, I S=3, R=2	A, I S=4, R=3	B, RR, F	A, I S=5, R=3	A, RR, P R=4

Рисунок 4.7 - Асинхронний збалансований режим з дуплексним потоком даних (Р не зупиняє потоку даних)

Припускається, що в попередніх кадрах був встановлений асинхронний збалансований режим.

	Час								
	n	n+1	n+2	n+3	n+4	n+5	n+6	n+7	n+8
Станція А передає	B, I S=6, R=4	B, I S=7, R=4 (Помилка)	B, I S=0, R=4	B, I, P S=1, R=4		B, I S=7, R=4	B, I S=0, R=4	B, I, P S=1, R=4	
Станція В передає					B, RR, F R=7				RR, F R=2

Рисунок 4.8 – Відновлення за методом „Повернення на-N“ (контрольна точка)

Рисунок 4.9 ілюструє сеанс, що триває: Р і F використовуються для реалізації відновлення.

	Час						
	n	n+1	n+2	n+3	n+4	n+5	n+6
Станція А передає	B, I S=6, R=4	B, I S=7, R=4 (Помилка)	B, I S=0, R=4	B, I, S=7, R=4	B, I S=0, R=4	B, I, P S=1, R=4	
Станція В передає			B, REJ, F R=7				B, RR, F R=2

Рисунок 4.9 – Виправлення помилок з використанням методу „Повернення на-N (REJ)“

Рисунок 4.10 ілюструє сеанс, що триває.

		Час					
		n	n+1	n+2	n+3	n+4	n+5
Станція А передає		B, I S=6, R=4	B, I S=7, R=4 (Помилка)	B, I S=0, R=4	B, I, S=7, R=4	B, I, P S=1, R=4	
Станція В передає				B, SREJ, F R=7			B, RR, F R=2

Рисунок 4.10 – Виправлення помилок за методом „Вибірковий неприйом (SREJ)“

Зміст позначень:

A, B – Адреса станції в заголовку кадру.

I – Інформаційний кадр.

S = x – Порядковий номер посилки x.

R = x – Порядковий номер прийому x.

RR, SNRM, SABM, REJ, SREJ – Команди і відповіді.

P/F – Біт опитування/закінчення встановлений в 1.

Порядковий номер прийому означає підтвердження всього переданого і прийнятого трафіку. Номер в цьому полі є величина, на 1 більша номера останнього підтвердженого кадру. Наприклад, R = 4 означає, що підтверджені кадри 0, 1, 2 і 3, що *наступний* кадр буде мати 4 в полі порядкового номера посилки передавальної станції.

Як адреса станції використовується або А, або В. Правилами протоколу HDLC визначено, яка адреса (передавальної чи приймальної станції) розміщується в полі адреси. Команди використовують адресу *приймального* однорівневого логічного об'єкта рівня ланки даних, а відповіді використовують адресу *передавального* об'єкта рівня ланки даних. Таким чином, в випадку станції з адресою А, якщо прийнятий кадр містить А – це команда ; якщо прийнятий кадр містить В – відповідь. (Рисунок 4.3, б, на якому подані ці правила.)

Домовленості відносно адресації відповідають підмножині HDLC – LAPB (збалансованій процедурі доступу до ланки). Цей протокол вимагає, щоб всі інформаційні (I) кадри були командними кадрами. Тому вони містять адресу приймача.

Нижчеперераховані моменти часу і події для процесу, поданого на рисунку 4.6 :

n – Станція А передає команду *Встановити асинхронний збалансований режим* (SABM) зі встановленим бітом Р.

n+1 – Станція В відповідає *Ненумерованим підтвердженням* (UA) зі встановленим бітом F.

n+2, 3 – Станція А посилає інформаційні кадри 0 і 1, встановлює біт Р.

n+4, 5, 6 – Станція В підтверджує передавання станції А і передає значення 2 в поле порядкового номера прийому. Станція В передає інформаційні кадри 0 і 1.

n+7 – Станція А підтверджує кадри 0 і 1 станції В і встановлює порядковий номер 2 в поле прийому.

n+8 – Станція В також підтверджує останній кадр А з номером 2 і оголошує кінець передавання. При цьому поле прийому станції В зберігало значення 2.

Нижче наведені моменти часу і події для процесу, поданого на рисунку 4.7:

n – Обидві станції, А і В, передають інформаційний кадр з порядковим номером посилання 0.

n+1 – Станції А і В посиляють підтвердження прийому кадрів з номером 0, використовуючи порядкові номери прийому, які рівні 1. Вони також передають інформаційні кадри з порядковими номерами посилання, рівними 1. Станція А посиляє дозвіл на відповідь (response solicitation), встановлюючи 1 в біт Р.

n+2,3 – Станція В передає команду *Готовий до прийому* (RR), щоб підтвердити кадр з номером 1 станції А, використовуючи порядковий номер прийому 2. Вона також встановлює свій біт у відповідь на попередній біт Р. Станція передає також інформаційний кадр 2.

n+4 – Станція А посиляє інформаційний кадр 2 і підтверджує кадри 1 і 2 станції В, використовуючи порядковий номер прийому 3. Станція В посиляє інформаційний кадр 3.

n+5 – Станції А посилати нічого, але вона підтверджує кадр з номером 3 станції В, використовуючи порядковий номер прийому 4. Станція В підтверджує кадр з номером 2 станції А, використовуючи порядковий номер прийому 3 і передає кадр 4. Станція А дозволяє посилання відповіді, встановлюючи 1 в біт Р.

n+6 – Станція В відповідає на попередній біт Р встановленням 1 в біт F.

n+7 – Станція А передає кадр 3 і підтверджує кадр 4 станції В, використовуючи порядковий номер прийому 5. Станція В передає інформаційний кадр 5.

n+8 – У жодної станції немає даних для передавання. Станція А посиляє *Готовий до прийому* (RR), щоб ініціювати прийом кадра 5. Станція В підтверджує кадр 3 станції А, використовуючи порядковий номер прийому 4.

Рисунки 4.8, 4.9 і 4.10 є прикладами того, як в протоколі HDLC обробляються помилки передавання. На рисунку 4.8 показано використання поля порядкового номера прийому для заперечного підтвердження (NAK) кадру. На рисунку 4.9 показано використання *Неприйому* (REJ), а рисунок 4.10 ілюструє використання *Вибіркового*

неприйому (SREJ). Тут розглядається момент n сеансу, що продовжується, коли станція передає кадр з номером 6.

Нижче наведені моменти часу і події для процесу, показаного на рисунку 4.8 (що не підтримується протоколом LAPB):

$n, n+1, 2, 3$ – Станція А посилає інформаційні кадри 6, 7, 0, і 1. В цей момент станція В знаходить помилку в кадрі 7. В $n+3$ станція А посилає біт опитування, який виконує таку ж дію, як і контрольна точка, тобто дозволяє відповідь від станції В.

$n+4$ – Станція В повертається в *Готовий до прийому* (RR) з номером посилання 7 і бітом закінчення F. Це означає, що станція В знову чекає прийому кадру 7 (і всіх кадрів, переданих після 7).

$n+5, 6, 7$ – Станція А повторно передає кадри 7, 0 і 1 і встановлює біт P як контрольну точку.

$n+8$ – Станція В підтверджує кадри 7, 0 і 1 командою *Готовий до прийому* (RR) і порядковим номером прийому 2, а також встановлює біт F.

Використання поля порядкового номера прийому $N(Pr)$ для заборони підтвердження кадра не рекомендується для повнодуплексного передавання. Оскільки кадри передаються по каналах в обох напрямках, порядкові номери посилання і прийому часто перекриваються. Припустимо, що кадр 4 станції А ($N(Пос) = 4$) передається приблизно в той самий час, що й кадр станції В, який містить $N(пр) = 4$. Станція А може помилково зробити висновок, що її кадр 4 є недійсним, в той час як станція В просто вказує, що наступним вона чекає кадр 4.

Більш ефективний підхід до виправлення помилок полягає в тому, щоб точно вказати кадр з помилкою. Рисунки 4.9 і 4.10 ілюструють два методи реалізації явних підтверджень заборони NAK. Нижче наведені моменти часу і події для процесу, який пояснюється рисунком 4.9:

$n, n+1, 2$ – Станція А посилає інформаційні кадри 6, 7 і 0. Станція В знаходить помилку в кадрі 7 і відразу посилає кадр *Неприйом* з порядковим номером прийому 7. Станція В не очікує санкції на реалізацію контрольної точки, але посилає як відповідь REJ (Неприйом) зі встановленим бітом 1. Якщо б станція В послала REJ як команду (тобто з адресним полем, що міститься в А), станція А стала б вимагати відповісти кадрами RR, RNR або REJ. Однак, оскільки REJ – це відповідь, станція А відразу здійснить повторне передавання спотвореного кадру.

$n+3, 4, 5$ – Станція А повторно передає кадри 7 і 0 і встановлює біт P в момент часу 5.

$n+6$ – Станція В підтверджує кадри 7, 0 і 1, використовуючи *Готовий до прийому* і порядковий номер прийому, рівний 2. Відмітимо: для дуплексних систем біт P/F не використовується для зупинки потоку даних, оскільки це знижує пропускну здатність.

Нижче наведені моменти часу і події для процесу, який поданий на рисунку 4.10 (що не підтримується протоколом LAPB):

n, n+1, 2 – Станція А передає інформаційні кадри 6, 7 і 0. Станція В знаходить помилку в кадрі 7 і передає *Вибірковий неприйом* з порядковим номером 7. Станція В не потребує RR, RNR або REJ, оскільки кадр в n+2 не є командою.

n+3, 4 – Станція А повторно передає тільки кадр 7 і вперше передає кадр 1. Оскільки це *Вибірковий неприйом*, кадр 0 не передається повторно.

n+5 – Станція В підтверджує всі останні кадри з *Готовий до прийому* і порядковим номером прийому 2.

4.3.7 Підмножини HDLC

Структура базової множини HDLC дає можливість бітозорієнтованим протоколам розпізнавати і використовувати в різноманітних додатках одні й ті ж процедури. Додатки потребують для виконання своїх функцій різних режимів роботи і різних підмножин команд і відповідей. Наприклад, вимоги, що висуваються багатоточковими інтерактивними додатками, відрізняються від вимог двоточкових неінтерактивних систем.

Будемо вважати, що устаткування мережі відповідає деякому класу HDLC, якщо це обладнання реалізує всі команди і відповіді, визначені для цього класу. Як вказувалося раніше трьома основними класами HDLC є :

- клас UN (незбалансований режим нормальної відповіді);
- клас UA (незбалансований режим асинхронної відповіді);
- клас BA (збалансований асинхронний режим).

HDLC передбачає багато додаткових розширень основних класів. Ці розширення використовуються фірмами-постачальниками і користувачами HDLC для забезпечення більшої різноманітності в структурі базової підмножини. Нагадаємо, що опції і базова множина HDLC показані на рисунку 4.5. Класи підмножин позначені скороченнями, такими, як UN, UA чи BA, плюс додаткові розширення протоколу HDLC, позначені конкретним номером опції. Наприклад, протокол, позначений BA-4 є збалансованим асинхронним протоколом, призначеним для передавання нумерованої інформації (UI). Розглянемо деякі основні підмножини стандарту HDLC.

LAP (Процедура доступу до ланки) є однією з найбільш ранніх підмножин HDLC. LAP базується на команді SARM – встановити режим асинхронної відповіді в незбалансованій конфігурації. Реалізація ланки з LAP є дещо некоректною. Перед тим, як буде встановлена ланка, обидві станції посилали SARM і UA. Вона відрізняється від реалізації процедури LAPB.

LAPB (Збалансована процедура доступу до ланки) – це деяка підмножина сукупності команд/відповідей HDLC. LAPB використовується

для підтримки широкопоширеного протоколу мережі з пакетним переданням X.25. LAPB класифікується як підмножина BA-2,8 HDLC. Це означає, що крім використання асинхронного збалансованого режиму цей протокол використовує також два функціональні розширення : опції 2 і 8. Опція 2 робить можливим одночасний неприйм кадрів в режимі двонаправленого передавання (рисунок 4.9). Опція 8 не допускає передавання контрольної інформації в кадрах відповіді. Це не є проблемою, оскільки в асинхронному збалансованому режимі інформація може передаватися в командних кадрах, і оскільки обидві фізичні станції є логічними первинними станціями, вони обидві можуть передавати команди.

LLC (Керування логічною ланкою) є стандартом, опублікованим Комітетом зі стандартів IEEE 802 для локальних мереж (ЛС). Стандарт допускає взаємодію локальної мережі з глобальною мережею. LLC використовує підклас базової множини HDLC; він має класифікаційне позначення BA – 2,4. Він використовує збалансований асинхронний режим і функціональні розширення; опції 2 і 4. LLC розроблений так, щоб його можна було використовувати між рівнем локальної мережі і рівнем глобальної мережі. Подібна організація показана на рисунку 4.11 . Блок доступу до середовища (MAU) містить протоколи ЛС і LLC забезпечує інтерфейс для верхніх рівнів.



Рисунок 4.11 – Керування логічною ланкою(LLC)

LAPD (Процедура доступу до D-канала) є ще одною підмножиною структури HDLC, хоча її розширення виходять за рамки HDLC. LAPD призначений для керування ланкою даних в цифрових мережах з інтеграцією служб ISDN.

LAPX (Розширений LAPB) – це ще одна підмножина HDLC. Цей протокол (процедура) використовується в термінальних системах.

4.4 Протокол SDLC

SDLC (Синхронне керування кільцем даних) є версією базової множини HDLC, яка розроблена компанією IBM. SDLC використовує незбалансований режим нормальної відповіді. Крім того, цей протокол використовує кілька опцій базової множини. Він може бути класифікований як UN — 1, 2, 4, 5, 6 і 12. SDLC використовує кілька команд, яких немає у виробках, оснований на HDLC, чи стандартах, присвячених HDLC. Ці команди і відповіді забезпечують можливість встановлення кільцевої топології і виконання кільцевих операцій опитування. SDLC забезпечує підтримку двоточкових, багатоточкових чи кільцевих конфігурацій.

Конкретні розходження між SDLC та HDLC такі:- HDLC містить опцію для розширення 8-бітового адресного поля за допомогою байтів розширення. Це дає можливість адресації більшої кількості терміналів чи груп терміналів і пристроїв EOM. Реалізації SDLC передбачають тільки однобайтове адресне поле.

- HDLC допускає розширення керуючого поля. Відповідно до опції розширеного формату в системах HDLC керуюче поле може бути розширене до 16 біт. Це дозволяє розширювати поле порядкових номерів N(Пр) і N(Пос). SDLC підтримує тільки базовий 8-бітовий формат. Це стає важливим фактором при використанні супутникових каналів.

- SDLC обмежує інформаційне поле цілим парним числом байтів. У HDLC немає такого обмеження.

- В протоколі SDLC передбачені деякі додаткові команди і відповіді для операцій, які виконуються у циклі.

На рисунку 4.12 показаний приклад процесу передавання даних відповідно до протоколу SDLC. Станція А є первинною станцією, що керує станціями В і С. Відзначимо, що режим нормальної відповіді при дуплексному передаванні допускає, щоб первинна станція передавала кадри однієї вторинної станції і приймала в той же час кадри від іншої станції. На рисунку 4.12 припускається, що режим станції С уже встановлений і станція бере участь у передаванні даних. В режимі нормальної відповіді адресне поле кадру завжди містить адреси вторинної станції.

Нижче наведені моменти часу і події для процесу, поданого на рисунку 4.12:

- n, n + 1, 2, 3, 4, 5 – Станція А спочатку опитує стан (status) В. В відповідає запитом режиму ініціалізації. Станція А встановлює В в режим ініціалізації, а потім у режим нормальної відповіді. В підтверджує обидва режими.

- n + 6 – Станція А використовує команду *Готовий до прийому* для опитування станції С шляхом установа бита опитування Р.

$n + 7, 8$ – Станція А посилає кадри 0 і 1 станції В, в той час як станція С відповідає на попереднє опитування і посилає кадри 0 і 1 станції А по другому каналу дуплексного кола.

	Час													
	n	n+1	n+2	n+3	n+4	n+5	n+6	n+7	n+8	n+9	n+10	n+11	n+12	n+13
Станція А передає	B, RR, P		B, SIM, P		B, SNRM, P		C, RR, P R=0	B, I S=1, R=0	B, I S=1, R=0		B, RR, P R=0		C, RR, P R=3	B, RR, P R=2
Станція А передає		B, RIM, F		B, UA, F		B, UA, F						B, I S=0, R=2	B, I, F S=0, R=2	
Станція А передає								C, I S=0, R=0	C, I S=1, R=0	C, I, F S=2, R=0				

В – режим роз'єднання, С – режим нормальної відповіді

Рисунок 4.12 – SDLC в півдуплексній багатоточковій системі передачі даних.

$n + 9$ – Станція С посилає інформаційний кадр 2 і встановлює біт закінчення F.

$n + 10$ – Станція А опитує В для реалізації контрольної точки (підтвердження).

$n + 11$ – Станція В відповідає, підтверджуючи кадри 0 і 1 станції А, використовуючи порядковий номер прийому 2. Станція В також посилає інформаційний кадр 0.

$n + 12$ – Станція А підтверджує кадри 0, 1 і 2 станції С за допомогою *Готовий до прийому* (RR) і порядкового номера прийому 3. Станція В посилає кадр 1 і встановлює F в 1 у відповідь на біт Р в $n + 1$.

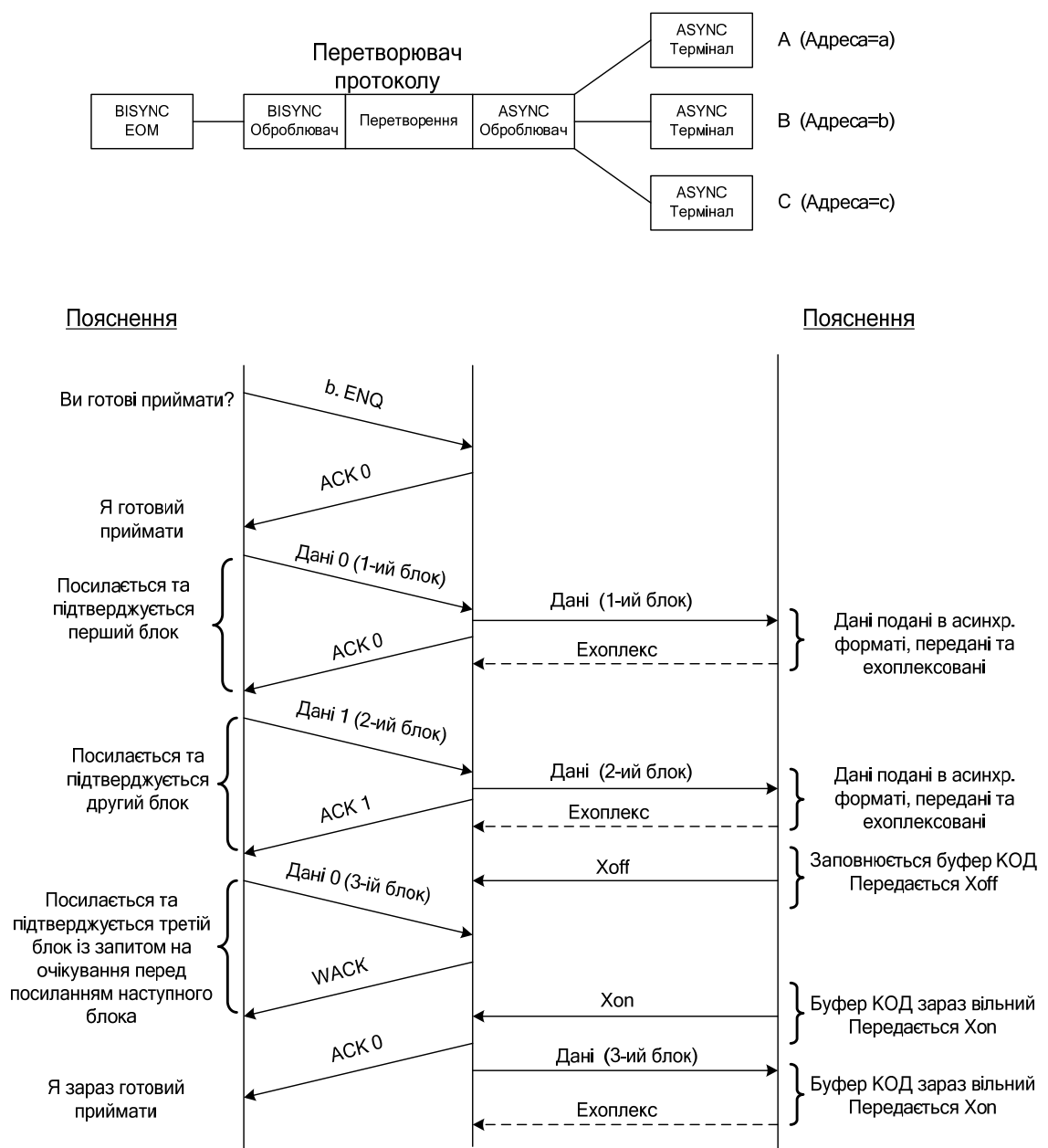
$n + 13$ – станція А підтверджує кадри 0 і 1 станції В за допомогою *Готовий до прийому* (RR) і порядкового номера прийому 2. Наступні події потребують, щоб станції А і В видали відповіді з бітом F, встановленим у 1.

4.5 Перетворення протоколів

Ситуація, при якій у пристроях різних фірм-постачальників використовуються однакові протоколи, є досить поширеною. Очевидно, якщо два пристрої використовують протокол HDLC, то проблеми взаємодії не будуть занадто складними. Однак, навіть якщо передбачається використання однакових протоколів, фірми-постачальники часто «латають» їх для поліпшення експлуатаційних характеристик конкретної системи чи додатка. Більш очевидним є випадок різних пристроїв, що

використовують, можливо, зовсім різні протоколи. Наприклад, синхронні й асинхронні пристрої цілком відрізняються за форматами повідомлень, керуванням каналом, обробкою помилок і керуванням буферним потоком.

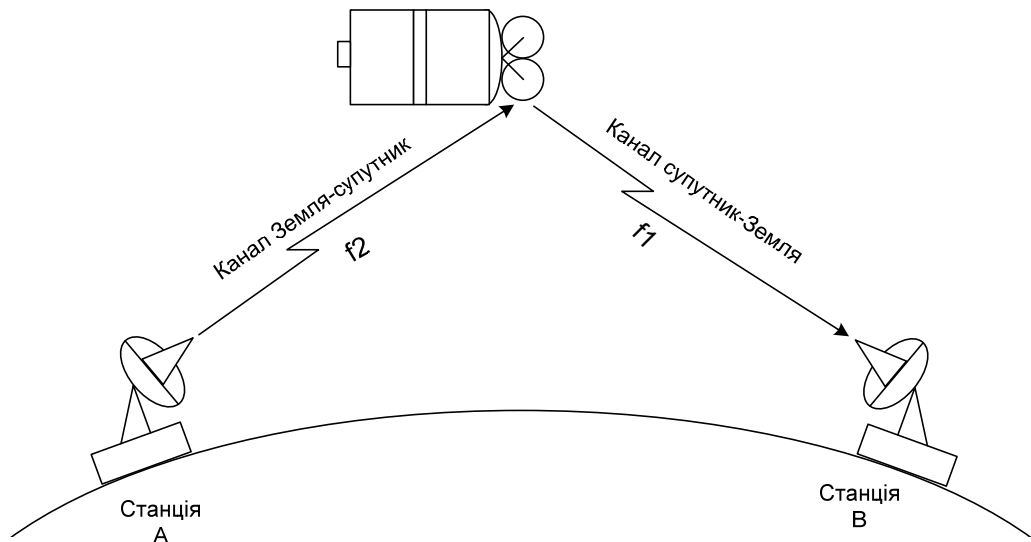
Одне з рішень цієї проблеми полягає у використанні перетворювачів протоколів (рисунк 4.13). Ці системи (пакет програм, автономний мікропроцесор чи плата) є мостом між двома протоколами. На цьому рисунку показана (побітова) синхронна (bisync) EOM, приєднана за допомогою перетворювача протоколу до трьох асинхронних терміналів. Термінали використовують для контролю помилок повторного узгодження. Перетворювач забезпечує функцію трансляції між двома протоколами.



5 Супутникові мережі

У 1945 р. Артур Кларк описав у журналі *Wireless World* супутникову технологію в тому вигляді, в якому вона існує сьогодні. Кларк пророчив, що супутникові системи зв'язку викличуть революцію в передаванні інформації, настільки ж значну, як революція, викликана винаходом телефону.

У супутникових системах зв'язку використовуються антени НВЧ-діапазону частот для прийому радіосигналів від передавальних наземних станцій і для ретрансляції їх назад на наземні станції. Цей процес показаний на рисунку 5.1. Супутник служить ретранслявальною електронною станцією.



Наземна станція А передає сигнали певної частоти (канал Земля – супутник) супутнику. У свою чергу супутник отримує ці сигнали і ретранслює їх для прийому наземною станцією В на частоті каналу супутник – Земля. Сигнали по цьому каналу можуть бути прийняті будь-якою станцією, що знаходиться в зоні прийому. Сигнали можуть нести мовну інформацію, дані або телевізійні відеосигнали.

Здатність супутника приймати і передавати сигнали забезпечується транспондером. Супутникові транспондери працюють на дуже високих частотах – це гігагерцовий діапазон. В даний час більшість супутників використовують діапазон 6/4 ГГц. Деякі супутники використовують смугу більш високих частот, їхні транспондери працюють у діапазоні 14/12 ГГц. Як показано на рисунку 5.1, сигнал з наземної станції передається на частоті, відмінній від частоти супутникового передавача. Цей підхід дозволяє запобігти спотворенню сигналів (по каналах Земля – супутник і

спутник – Земля) в результаті їхнього накладення, оскільки ці сигнали передаються в різних частотних діапазонах.

5.1 Переваги і недоліки супутникових мереж

Супутники зв'язку мають ряд позитивних характеристик. Кожний супутник забезпечує велику пропускну здатність. Оскільки супутники працюють у широкому діапазоні гігагерцових частот, супутник може підтримувати кілька тисяч мовних каналів зв'язку.

Супутники забезпечують зв'язок між станціями, розташованими на дуже великих територіях. Деякі супутники охоплюють за допомогою одного транспондера всю територію Сполучених Штатів. Це дуже зручно для організацій, що мають територіально розподілену структуру. Однак значна зона дії зв'язку пов'язана з деякими проблемами забезпечення конфіденційності передавання даних. Повідомлення, передані деякою організацією, можуть бути перехоплені станцією, що налаштувалася на відповідний канал. Тому багато супутникових систем передбачають для користувачів засоби захисту даних, такі, як пристрої шифрування.

Вартість передавання сигналу не залежить від відстані між двома наземними станціями. Не має значення, чи розташовані станції на відстані п'яти чи тисячі миль. Якщо вони обслуговуються одним і тим же транспондером, вартість передавання незмінна. Сигнали, що ретранслюються транспондером, можуть бути прийняті всіма станціями незалежно від їхньої віддаленості один від одного.

Супутники зв'язку забезпечують можливість побудови мережі з комутацією повідомлень без фізично реалізованих комутаційних пристроїв. Для того, щоб встановити комутатори у звичайній не супутниковій наземній системі зв'язку, організація повинна орендувати лінії і зістикувати ці лінії з фізичними компонентами. Оскільки наземні станції, що обмінюються даними із супутниковим транспондером, здійснюють передавання і прийом по тих самих двох каналах, вони повинні просто «слухати» канал супутник – Земля. Так вони визначають, яке повідомлення призначене для них. Якщо таких повідомлень немає, вони просто ігнорують прийнятий сигнал. Якщо це їхні дані, вони копіюють сигнал і подають його кінцевому користувачу.

Супутниковий зв'язок не позбавлений деяких недоліків. Як відзначалося раніше, конфіденційність зв'язку може скласти певну проблему. Несприятливі погодні умови можуть спотворити сигнал при передаванні його по каналу Земля – супутник і по каналу супутник – Земля. Це має місце під час сильної грози. Крім того, оскільки сигнал передається на дуже велику відстань, виникає затримка прийому сигналу

наземною станцією. У деяких випадках ця затримка може викликати значні проблеми, пов'язані з реалізацією каналних протоколів.

Періодично Сонце, наземна станція і супутник виявляються на одній прямій. При цьому сонячні промені падають прямо на антену наземної станції, створюючи *сонячну змінну складову*, тобто додаткову теплову перешкоду для приймання сигналу. Інша ситуація виникає під час *сонячного затемнення* навесні і восени, коли Земля знаходиться між Сонцем та супутником протягом декількох хвилин під час 23-денного періоду. У цей час сонячні батареї можуть розрядитися, що приводить до зменшення потужності живлення супутникових електронних компонентів.

Комунікаційні сигнали від супутника можуть також спотворюватися в результаті накладення інших радіосигналів від наземних систем. Для запобігання цьому необхідна особлива точність у розподілі спектра частот. Для супутників, що працюють у діапазонах 6/4 і 14/12 ГГц, існує скінченне число частот. Тому скінченне число супутників може бути розміщене на орбіті.

5.2 Використання супутників для передавання даних

5.2.1 Звичайне мультиплексування

Передавання даних між супутником і наземними станціями може керуватися декількома способами. Один з підходів, який називається мультиплексуванням з частотним розподілом (*frequency division multiplexing – FDM*), використовується в декількох системах. Весь частотний спектр каналу розподіляється на підканали і користувачам виділяються різні підканали для передавання будь-якого трафіку на їх розсуд у межах певної смуги частот. Цей підхід має два істотних недоліки. По-перше, значну частину наявної вихідної смуги пропускання необхідно використовувати як *розподільчу смугу* (*guardband*) для запобігання небажаному впливу каналів один на одного. По-друге, якщо користувачі нерегулярно ведуть передавання, значна частина смуги пропускання відведена відповідним підканалам і використовується нераціонально – «вхолосту».

Інший підхід ґрунтується на мультиплексуванні з тимчасовим розподілом (*time division multiplexing – TDM*), при якому поділяється часовий спектр і користувачі використовують тимчасові кванти (слоти) для передавання по каналу зв'язку.

Основний недолік цього підходу подібний до недоліків методу FDM. Оскільки пропускна здатність каналу заздалегідь розподіляється між потенційними користувачами, у випадку нерегулярного використання каналу він простоює. Ми повернемося до цієї проблеми, коли будемо розглядати вид мультиплексування, який називається множинним

доступом з часовим поділом (time division multiple access – TDMA).

5.2.2 Вибір/опитування

Керування супутниковим зв'язком може здійснюватися на основі звичайного підходу «первинний/вторинний» з використанням методів і засобів опитування/вибору. Первинний трафік керується наземною станцією (є в цьому випадку первинним вузлом), яка посилає по каналу Земля-супутник команди опитування і вибору супутнику. Після цього супутник транслює по каналу супутник-Земля інформацію вторинним наземним станціям. Альтернативний підхід (який використовується рідко) полягає в тому, що команди опитування і вибору формуються супутниковою станцією, що здійснює керування мережею. Розглянемо обидва підходи, щоб визначити переваги і недоліки використання методу опитування/вибору в супутникових системах.

Припустимо, що керування опитуванням і вибором здійснюється супутниковою ЕОМ. Оскільки супутник віддалений від поверхні Землі на 22 300 миль і сигнал поширюється зі швидкістю 186000 миль/с, команди опитування і вибору досягають наземної станції із затримкою в 120 мс ($22\,300 \text{ миль} - 186\,000 \text{ миль/с} = 0,120 \text{ с}$). Відповідь на опитування і вибір дійде на супутник зв'язку також із затримкою в 120 мс. Цикл опитування і вибору займає 240 мс. В мережі необхідно зробити опитування/вибір n користувачів, повний цикл опитування і вибору займе $0,240 \times n \text{ с}$. Якщо супутникову систему використовують 100 користувачів, для повного циклу опитування/вибору буде потрібно $0,240 \times 100 = 24 \text{ с}$. Очевидно, час відповіді (реакції) при такій затримці є зовсім незадовільним. Якщо опитуванням/вибором керує наземна станція, характеристики будуть ще гірші, тому що команди опитування чи вибору посилаються на супутник і потім на наземну станцію. Отже, у мережі, що має 100 користувачів, контролер наземної станції здійснить повний цикл опитування/вибору за 48 с.

Тимчасова затримка добре видна на прикладі сеансу, у якому канал використовує тільки дві станції. Якщо користувач А з однієї станції посилає кадр по супутниковому каналу користувачу В, що знаходиться в іншому місці (на іншій станції), користувач А повинен зробити паузу і чекати підтвердження (передбачається використання півдуплексного протоколу із зупиненням і очікуванням). Якщо два користувачі посилають один одному кілька кадрів (наприклад, у випадку пакетного передавання файлів), затримки накопичуються і для завершення всього процесу буде потрібно занадто великий час, що знижує ефективність використання каналу. Застосування півдуплексного двійкового синхронного протоколу

керування (BSC чи bisync, розглянутого в гл.4), що широко використовується в інших системах, для супутникового каналу є вкрай неефективним з погляду завантаження каналу. У випадку використання каналу, що працює зі швидкістю 9,6 кбіт/с, ефективність ланки BSC буде такою, як показано в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Завантаження каналу

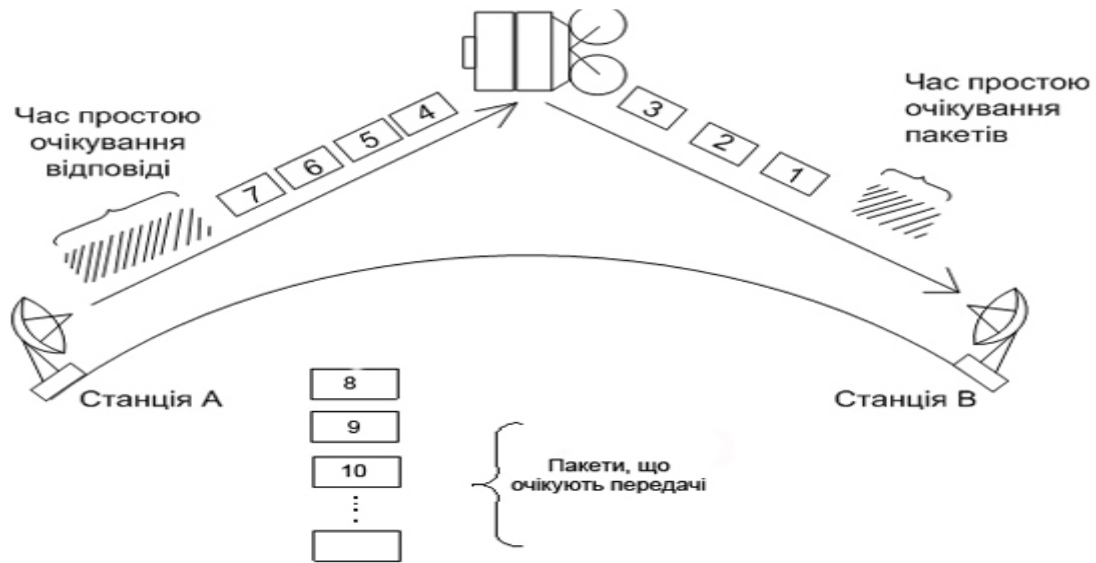
Розмір блока (кадру), байт	Затримка 10 мс, %	Затримка 38 мс, %	Затримка 600 мс, %
40	76,9	46,7	6,2
132	91,7	74,3	18,0
516	97,7	91,9	46,2

Зі збільшенням розміру блока чи кадру канал буде використовуватися більш ефективно, оскільки більш великі блоки маскують ефект затримки при передаванні по каналу на велику відстань. Затримка в півдуплексному каналі не складає серйозної проблеми при передаванні на невелику відстань з відповідними невеликими затримками (наприклад, 10 мс). У випадку каналів довжиною від декількох сотень миль (затримка 40 мс) до декількох тисяч миль (затримка 500 мс і більше) час передавання стає дуже великим.

Використання повнодуплексного протоколу типу «безперервний ARQ» (автоматичний «запит на повторення») замість опитувальної системи із зупиненням і очікуванням може зменшити час відповіді і підвищити ефективність використання каналу. Як впливає з таблиці 5.1, затримка супутникового передавання даних методом опитування/вибору особливо проявляється при використанні півдуплексного протоколу з зупиненням і очікуванням. Застосування протоколу «безперервний ARQ» за рахунок сполучення в часі передавання даних і підтвердження по повнодуплексному каналу може істотно зменшити величину затримки, внесеної в цикл опитування. Наприклад, при опитуванні однієї станції, поки команда опитування передається на цю станцію, інша станція може передавати дані по зворотному каналу.

Протокол «безперервний ARQ» також має недоліки. Наприклад, якщо система передасть кадри розміром у 1000 біт і канал працює зі швидкістю 50 000 біт/с, з такою швидкістю також будуть послідовно передаватися пакети кадрів по каналах Земля-супутник і супутник-Земля до того, як будуть передані назад будь-які відповіді чи дані. Фактично у високошвидкісних каналах ефект затримки поширення підсилюється, тому що для передавання кожного кадру по каналах Земля-супутник і супутник-Земля потрібно менше часу. Отже, вікно каналу закривається швидше у

випадку високошвидкісних каналів і коротких блоків даних. Ця проблема пояснюється за допомогою рисунка 5.2.



а)



б)

а) – обмежений розмір вікна; б) – розширений розмір вікна.

Рисунок 5.2 – Ефект затримки розповсюдження

Для того щоб запобігти простою каналу (як на рисунку 5.2, а), звичайне 7-кадрове (пакетне) вікно в методі ARQ часто розширюється. Розширення вікна запобігає закриттю каналу передавальною станцією,

поки вона очікує підтвердження. Деякі системи використовують протокол HDLC з опцією розширеної нумерації кадрів (пакетів) і розширюють вікно до 127, тобто 127 пакетів можуть бути послідовно передані без будь-якого підтвердження від приймальної станції. Розширене вікно дозволяє системі компенсувати затримку розповсюдження (рисунок 5.2, б) і забезпечує більш ефективне використання каналу.

З розширеними вікнами пов'язані деякі додаткові проблеми. У випадку помилки, метод «Повернення на N» вимагає повторного передавання одного чи декількох кадрів. Наприклад, якщо передавальна станція посилає кадри з 1 по 40 і в кадрі 6 є помилка, то кадри з 6 по 40 повинні бути передані повторно. Використовуючи інший метод – вибіркове повторення, на приймальну станцію покладають задачу упорядкованого збереження декількох кадрів що очікують повторного передавання всього кадру. У нашому прикладі кадри від 7 до 40 повинні зберігатися на приймальній станції, поки повторно передається кадр 6, тому що кадри повинні бути передані користувачу в тій послідовності, що визначається їх порядковими номерами. Отже, проблеми, пов'язані з затримкою поширення по супутниковому каналу, є навіть при використанні методу «Безперервний ARQ».

5.2.3 Рівнорангові системи без опитування

ALOHA. На початку 1970-х рр. Норман Абрамсон з Гавайського університету винайшов метод ефективної конкуренції за канал між користувачами, що не координуються. Цей підхід називається системою ALOHA. Він названий тому, що слово ALOHA – це гавайське вітання, яке вимовляється і при зустрічі, і при прощанні. У своєму первісному вигляді метод ALOHA використовувався не в супутниковій, а в наземній радіосистемі пакетного передавання даних. Ідеї цього методу можуть бути застосовані до будь-якого середовища передавання даних, коли користувачі змагаються за його використання.

Передбачається, що ALOHA є рівноранговою (одноранговою) системою. Існує кілька варіантів системи ALOHA. Один з них використовує протокол контролю несучої з виявленням колізій (*Випадкова ALOHA*). Інший варіант може використовуватися як пріоритетна слотова (із квантуванням часу) система (*Слотова ALOHA*).

Особливістю системи ALOHA є те, що користувачі в цій системі є рівноправними (рівноранговими). Всі вони мають рівне право доступу до каналу. Станція користувача може почати передавання в будь-який момент, як тільки у неї будуть дані, які необхідно передати. Оскільки канал не пов'язаний з будь-яким принципом використання типу первинний/вторинний, цілком можливо, що користувачі почнуть

передавання одночасно. Одночасне передавання приведе до того, що виникне накладання і перекручування сигналів при їхньому розповсюдженні до супутникового транспондери. Термін «вузькосмугове мовлення» використовується для опису передавання даних однієї станції, що ведеться на одній частоті декількома станціями. Передавання даних багатьом станціям, що ведеться однією станцією (супутником), називається *широкомовленням*. Ці «колізії пакетів» змушують повторити передавання зіпсованих пакетів. (Термін «пакет» у системі ALOHA використовується замість терміну «кадр».) Оскільки користувачі супутникового каналу точно знають, що і коли було передано по лінії зв'язку Земля-супутник, їм необхідно у певний час прослуховувати лінію супутник-Земля, щоб визначити, чи надійшов широкомовний пакет без перекручування. Якщо пакет перекручений унаслідок колізії, станції повинні виконати повторне передавання зіпсованого пакета. Ідея полягає в тому, щоб почати прослуховувати лінію зв'язку супутник-Земля через деякий час після передавання пакета. Цей час дорівнює однократній тимчасовій затримці поширення сигналу по обох лініях зв'язку: Земля-супутник і супутник-Земля. Якщо пакет був перекручений, потрібно щоб передавальна станція зачекала невеликий випадковий за тривалістю проміжок часу, перш ніж здійснити повторне передавання. Випадковість часу очікування зменшує імовірність того, що між конкуруючими станціями знову відбудеться колізія. Час очікування буде різним і це приведе до повторного передавання в різні моменти часу.

На рисунку 5.3. показано типову супутникову систему зв'язку ALOHA. Станції А і В передають пакети по загальному каналу, коли в цьому виникає необхідність. На рисунку канал супутник-Земля показує, що пакет 1 успішно переданий зі станції А на супутник і з супутника наземним станціям; пакет 2 також переданий станцією В без помилок. Однак другий пакет зі станції А і перший пакет зі станції В передані приблизно в один і той же час. Оскільки ці передавання з двох станцій на супутникову станцію є вузькосмуговими, відбувається накладання сигналів, тобто колізія. Супутникова станція не виконує функції виявлення та виправлення помилок. Вона передає тільки те, що одержує по ланці Земля-супутник. По ланці супутник-Земля станції А і В визначають, що виникла колізія пакетів, і після очікування протягом випадкового періоду часу (звичайно декілька мілісекунд) намагаються повторити передавання. Цей підхід є досить ефективним, коли дії користувачів не координуються і вони посиляють дані випадковими за обсягом порціями.

У випадку, коли канал сильно завантажений, використання методу «Випадкова ALOHA» пов'язано зі значною втратою продуктивності.

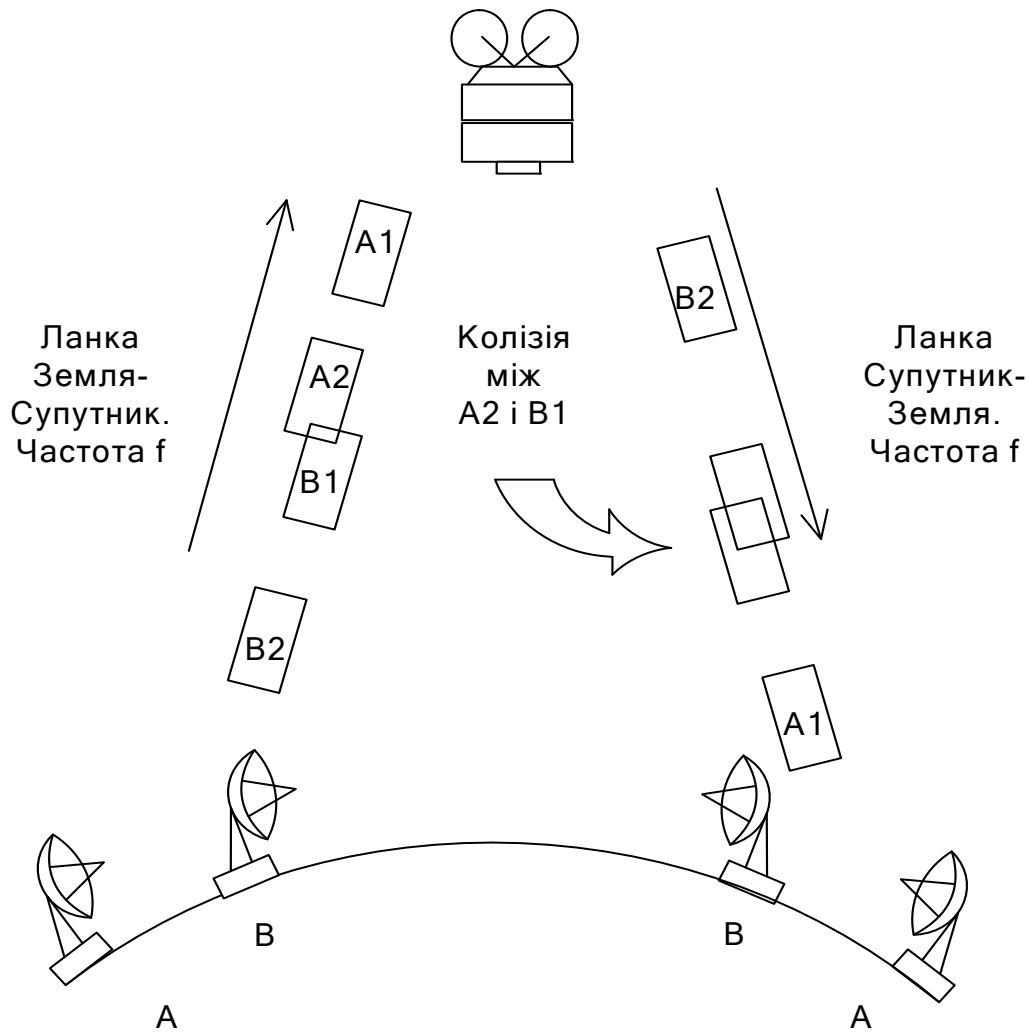


Рисунок 5.3 – Випадкова ALOHA в супутниковому зв'язку

Однак варто мати на увазі, що усе, що передається по каналу – це тільки дані кінцевих користувачів. На відміну від систем типу первинний/вторинний з опитуванням у методі ALOHA не використовуються команди опитування, вибору чи негативні відповіді на опитування. Передається тільки інформація кінцевих користувачів. Проте цей чисто випадковий механізм може бути поліпшений за рахунок застосування більш ефективної стратегії використання каналу, що не координується. Він називається «Слотова ALOHA».

«Слотова ALOHA» вимагає установлення загальних (синхронізованих) таймерів на наземних станціях і супутнику. Таймери синхронізуються для передавання трафіку в чітко визначені періоди часу. Наприклад, таймери можуть вимагати, щоб пакети передавалися тільки порціями протягом 20 мс (0,020 с). У даному прикладі інтервал у 20 мс виходить при використанні каналу зі швидкістю передавання даних 50000 біт/с і пакетів довжиною 1000 біт ($1000:50000 = 0,02$). Інтервал у 20 мс називається тривалістю пакета. Це час, протягом якого пакет передається

по каналу. Існує вимога, щоб усі станції починали передавання на початку слоту (кванта часу). Пакет не може передаватися, якщо він вимагає для передавання більше одного слоту.

Підхід «Слотова ALOHA» істотно збільшує експлуатаційну пропускну здатність каналу. Якщо пакети перекриваються чи вступають у колізію, то це не відбувається частково. Ці небажані ефекти стосуються не більше одного слоту. Однак, як і чисто «Випадкова ALOHA», «Слотова ALOHA» допускає можливість колізій. Наприклад, якщо дві станції починають передавання в один і той же інтервал часу, їхні пакети вступають у колізію. Як і в методі «Випадкова ALOHA», в її чистому вигляді, потрібно, щоб станції зачекали випадковий період часу, перш ніж спробувати захопити слот для повторного передавання.

Удосконаленим варіантом методу «Слотова ALOHA» є «Слотова ALOHA без володіння» (Slotted ALOHA with Nonowner). Слоти каналу комбінуються (поєднуються) в кадр ALOHA (рисунк 5.4). Кадр ALOHA (за тривалістю) повинен дорівнювати чи перевищувати затримку поширення по ланках Земля-супутник і супутник-Земля. Отже, 1000-бітовий пакет тривалістю 20 мс запросить як мінімум 12 слотів для утворення кадру ALOHA: $12 \text{ слотів} \times 20 \text{ мс} = 240 \text{ мс}$. Час, рівний 240 мс, являє собою мінімальну затримку поширення по супутниковому каналі (Земля-супутник і супутник-Земля): $120 \text{ мс} + 120 \text{ мс} = 240 \text{ мс}$.

Метод «Слотова ALOHA без володіння» вимагає, щоб станція обирала в кадрі не зайнятий слот. Як тільки користувач захопив слот, він резервується для цього користувача. Звільнення слота здійснюється шляхом посилки станцією протокольного керуючого коду – ЕОТ (кінець передавання). При одержанні ЕОТ вважається, що в наступному переданому кадрі цей конкретний слот вільний. Станція користувача може суперничати за одержання слоту в наступному кадрі. При використанні методу «Слотова ALOHA без володіння» колізії відбуваються тільки тоді, коли станції вибирають той же слот у 240-мілісекундному кадрі.

Ще одним варіантом методу «Слотова ALOHA» є «Слотова ALOHA з володінням». У цьому методі слоти кожного кадру знаходяться у використанні користувачів. Користувач має виключне право на використання свого слота в кадрі стільки, скільки потрібно для передавання всіх даних. У випадку, якщо користувач звільняє слот, він оповіщає про це за допомогою деякої керуючої кодової комбінації. Слот стає доступним для його захоплення іншим користувачем. Як тільки інший користувач захопив слот, він набуває виключне право на використання цього слота. Власник може отримати свій слот у будь-який момент часу, почавши передавання у виділений йому слот у кадрі. Коли власник починає передавання, слот необхідно звільнити. Колізія може відбутися тільки тоді, коли власник слоту починає передавання під час свого слоту. У наступному кадрі законний власник повторить передавання. Станція, що

звільнила слот, повинна здійснити пошук іншого вільного слоту чи скористатися своїми власними слотами, якщо такі існують. Цей удосконалений варіант системи ALOHA класифікується як рівнорангова пріоритетна структура, тому що деякі станції можуть одержати право пріоритетного захоплення слотів на відміну від інших станцій.

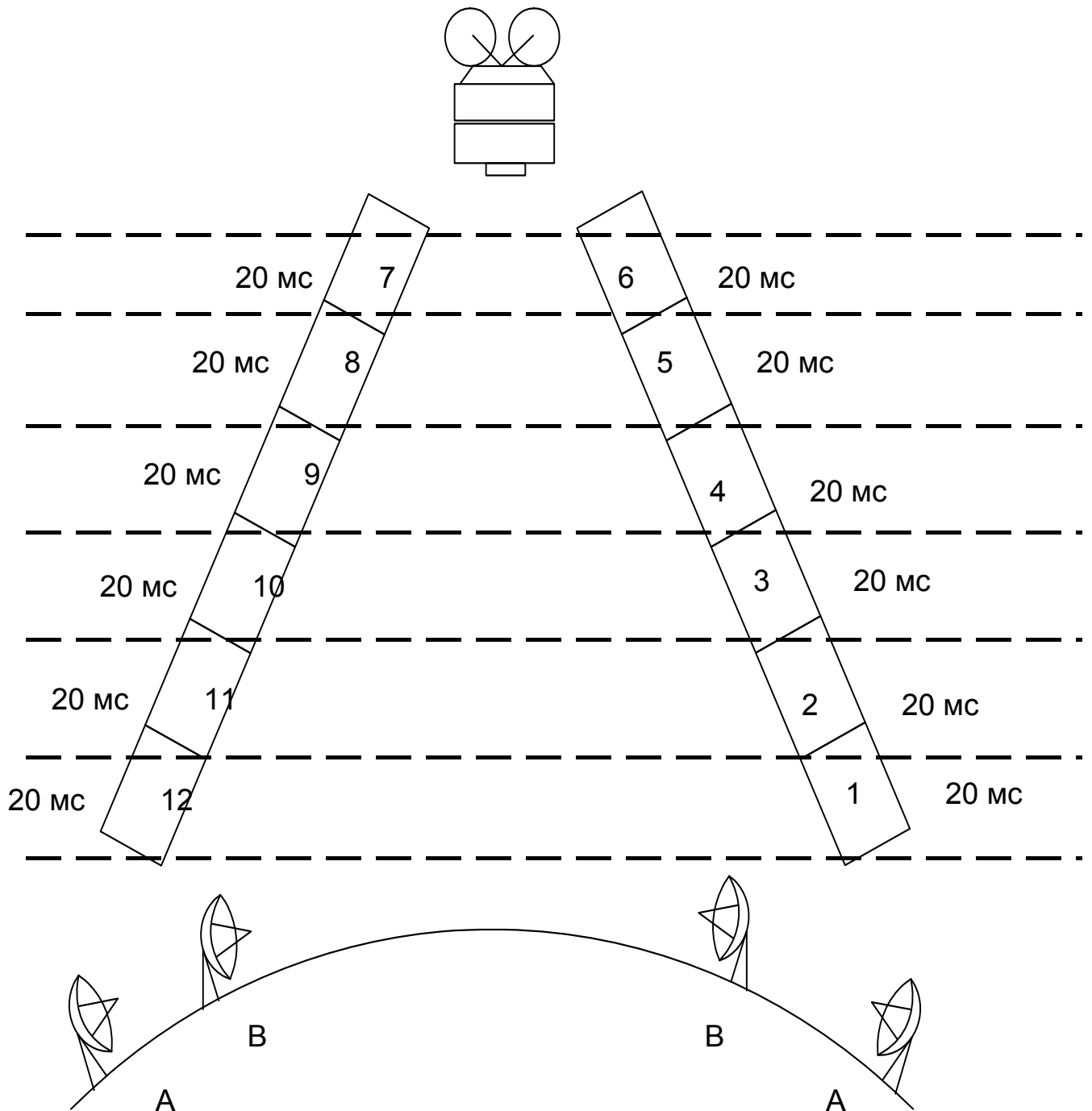


Рисунок 5.4 – Слотова ALOHA

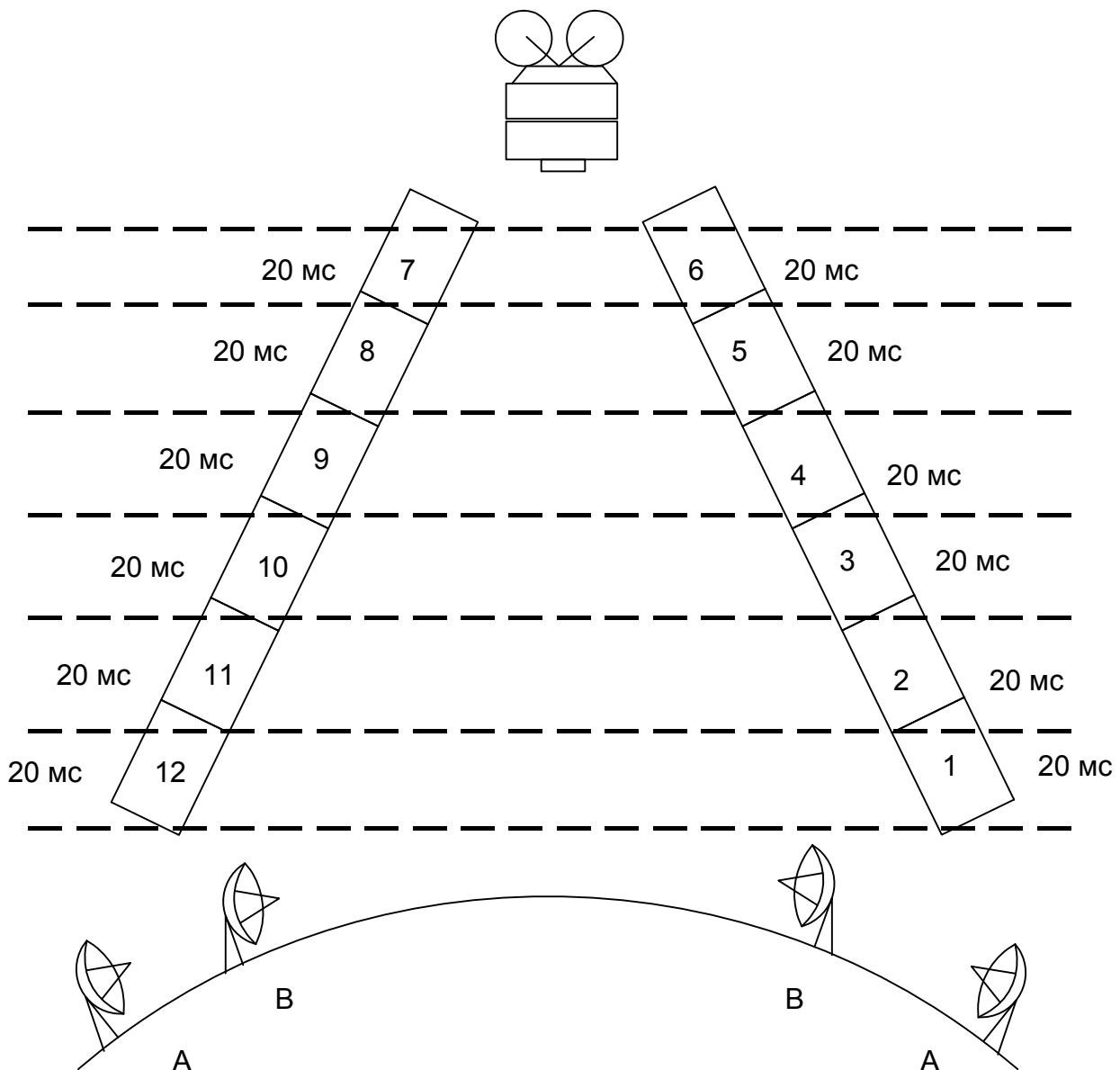


Рисунок 5.4, аркуш 2

5.2.4 Системи типу первинний/вторинний без опитування

TDMA. У 1981 р. комерційні супутникові системи (Satellite-Business Systems – SB) почали пропонувати комунікаційні послуги приватним і громадським організаціям з використанням геосинхронних супутників і наземних станцій. Ці системи забезпечують можливість суміщати передавання мови, даних і іншої інформації в одному каналі.

У методі TDMA при необхідності формується розподіл слотів – квантів часу. Однак на відміну від системи ALOHA слоти призначаються первинною станцією, яку називають *еталонною*. Як показано на рисунку 5.5, еталонна станція приймає запити від інших станцій і в залежності від

характеру трафіку і завантаженості каналу задовольняє ці запити шляхом призначення їм конкретних кадрів для наступного передавання. Кожні 20 кадрів еталонна станція посилає ці призначення вторинним станціям. Кожному транспондеру в системі призначається одна еталонна станція. У комерційних супутникових системах на одному супутнику може встановлюватися, наприклад, десять транспондерів.

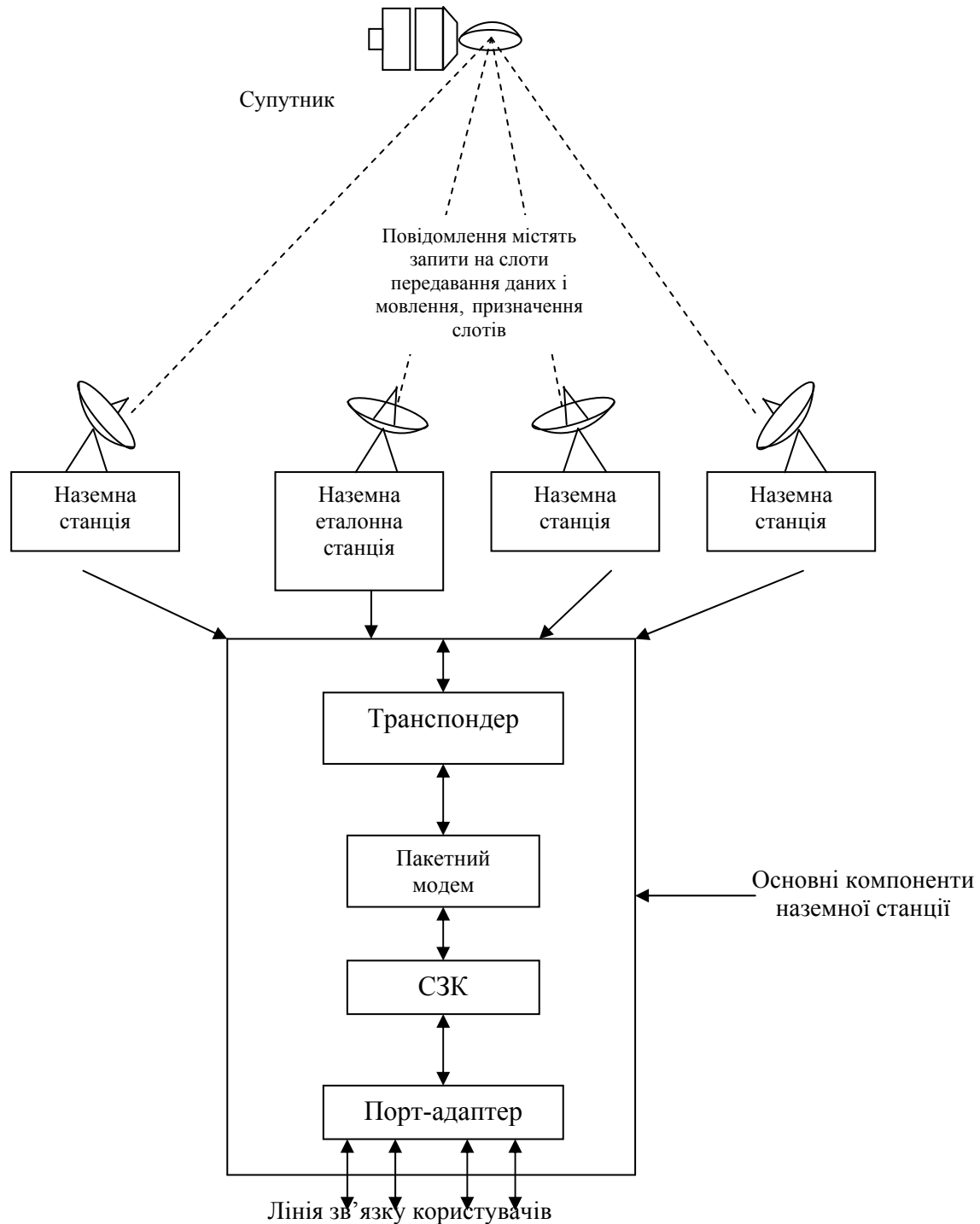


Рисунок 5.5 – Реалізація протоколу TDMA в КСС

На рисунку 5.5 показані також компоненти наземної станції. Основними компонентами є: порт-адаптер, супутниковий зв'язувальний контролер (СЗК), пакетний модем, приймально-передавальний пристрій і антена.

Порт-адаптер відповідає за інтерфейс ліній зв'язку користувачів з наземною станцією. Адаптер приймає мовні сигнали і сигнали даних.

Усі цифрові сигнали передаються супутниковому зв'язувальному контролеру (СЗК) пристроєм, що реалізує функції синхронізації, призначення станції, комутації й обробки запитів па передавання мови і даних. При обробці запитів на використання супутникового каналу береться до уваги кількість мовних сеансів зв'язку, кількість доступних портів даних і кількість розміщених у чергу запитів на встановлення з'єднання. На цій основі кадри TDMA призначаються цим запитам.

Пакетний модем (burst modem) під керуванням супутникового контролера посилає сигнал зі швидкістю 48 Мбіт/с, кадри мають тривалість 15 мс (0,015 с). Таким чином, кожен супутниковий транспондер може працювати зі швидкістю 48 Мбіт/с. Приймально-передавальні антени відповідають за передавання і прийом по ланках земля-супутник і супутник-земля. Комерційна супутникова система працює на частоті 14 ГГц по ланці земля-супутник і 12 ГГц по ланці супутник-земля. Ця смуга передавання обрана виходячи з того, що її практично не використовують інші супутникові системи зв'язку, а також наземні системи мікрохвильового (СВЧ) радіозв'язку, що працюють на частотах 4/6 ГГц. У кадрі тривалістю 15 мс, показаному на рисунку 5.6, еталонна станція передає за допомогою транспондера всім зв'язувальним контролерам набір призначень.

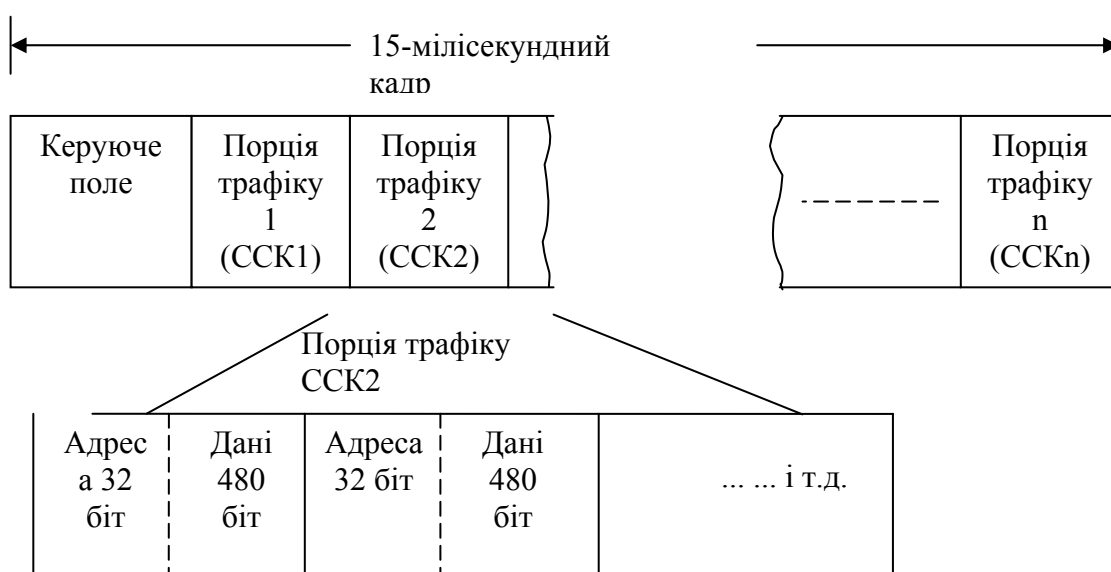


Рисунок 5.6 – Кадр TDMA

Набір призначень вироблений зв'язувальним контролером визначає для супутникового транспондера позицію і обсяг кожного передавання даних. Ці призначення формуються у відповідь на запити, отримані в попередніх кадрах. Ці призначення і запити від конкуруючих станцій містяться в полі керуючого кадру. Інша частина кадру складається з порцій даних від кожного зв'язувального контролера, якому еталонна станція призначила деяку позицію.

5.3 Супутникові пристрої компенсації затримки

Оскільки в даний час широко використовуються півдуплексні протоколи, такі, як *bisync*, фірми-постачальники розробили методи, що компенсують недоліки, властиві півдуплексним супутниковим системам. Один з таких засобів – це супутниковий пристрій компенсації затримки (СПКЗ) (*satellite delay compensation unit – SDU*), показаний на рисунку 2.6. Припустимо, що станції А і В повинні обмінятися даними по супутниковому каналу. Однак замість того, щоб встановити зв'язок безпосередньо один з одним, дві станції передають і одержують дані через СПКЗ. СПКЗ зв'язаний з кожною зі станцій за допомогою каналу зв'язку наземного базування, такого, як СВЧ-канал чи оптоволоконний канал. Отже, затримка поширення сигналу між устаткуванням і СПКЗ дуже мала.

Фактично СПКЗ є перетворювачем протоколів. Він приймає трафік за протоколом *bisync* від станції А і станції В і здійснює локальну буферизацію трафіку. Отже, коли станція А посилає команду „Вибір станції В“, СПКЗ, що обслуговує станцію А, негайно підтверджує „Вибір“, використовуючи АСКО. Дані приймаються, СПКЗ виконує контроль помилок, а потім посилається підтвердження. Далі СПКЗ, що обслуговує станцію А, передає дані, використовуючи свій власний протокол, пристрою СПКЗ ланки супутник-земля, що обслуговує станцію В. Це СПКЗ виконує контроль помилок і відповідає посиленням підтвердження. СПКЗ, що обслуговує станцію В, далі проходить ту ж саму послідовність подій, що мала місце при взаємодії ООД А і СПКЗ А: посилає „Вибір станції В“, далі підтверджує „Вибір“, одержує дані, виконує контроль помилок і відповідає посиленням АСКО.

На рисунку 5.7 показано, що у випадку перекручування даних у процесі супутникового передавання даних між двома пристроями СПКЗ блок даних повинен бути переданий повторно. Аналогічним способом СПКЗ В і ООД В повинні передавати дані без помилок. СПКЗ, що обслуговує станцію В, повинен повторити передавання кадру даних, тому що В послала пристрою СПКЗ В негативне підтвердження НАК. Нарешті, станцією А посилається знак кінця передавання ЕОТ у протоколі *bisync*, щоб повідомити станції В про те, що в неї більше немає даних для

передавання. ЕОТ транслюється по супутниковому каналу, і вилучений СПКЗ посилає ЕОТ у протоколі бісупс для того, щоб завершити процес передавання.

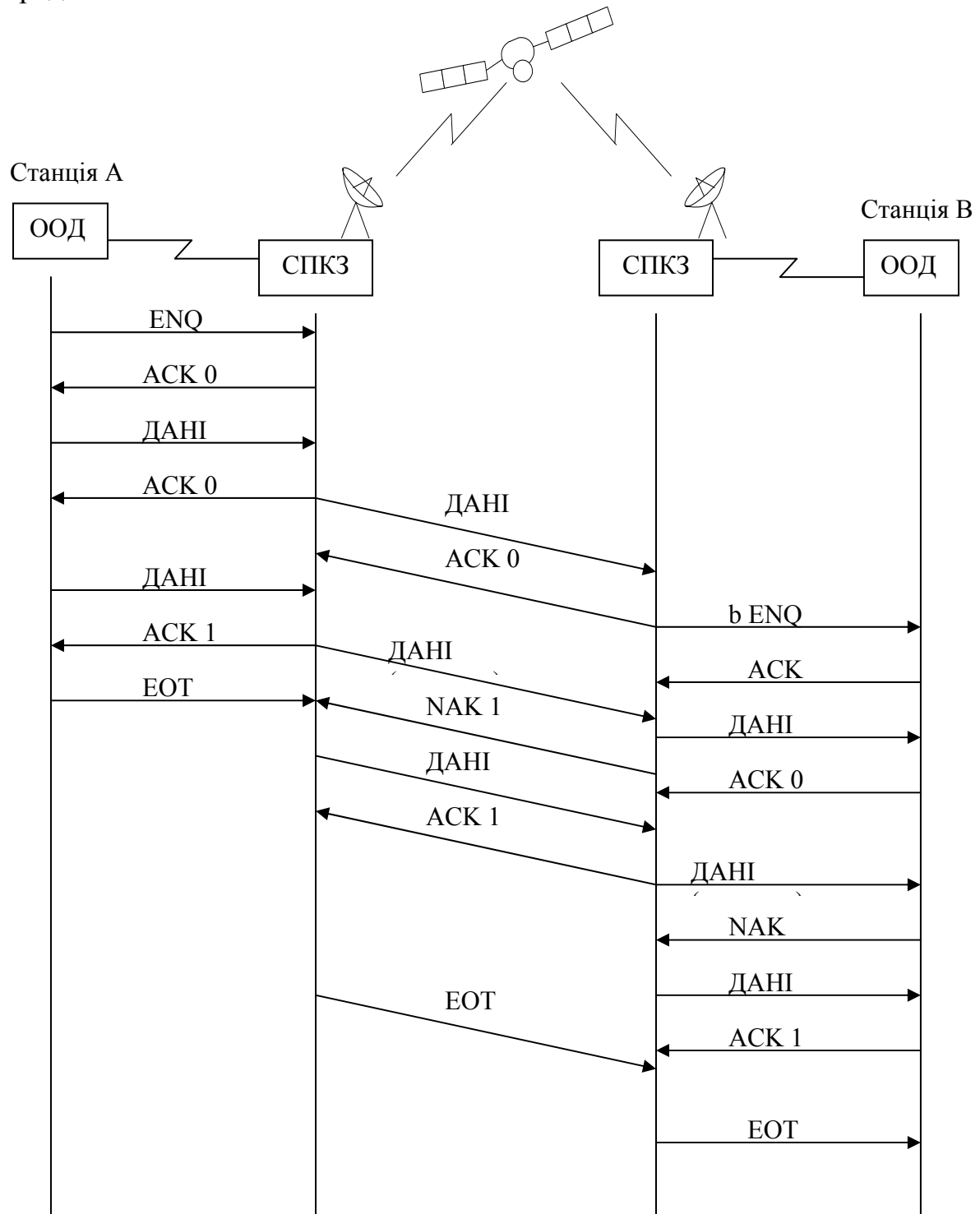


Рисунок 5.7 – Використання супутникових пристроїв компенсації затримки (СПКЗ) в протоколі побітового синхронного передавання

Супутникові пристрої компенсації затримки деякою мірою послабляють несприятливі кумулятивні ефекти затримок при роботі за півдуплексними протоколами. Однак деякі протоколи, незважаючи на те, що вони півдуплексні, можуть і нічого не виграти від компенсації, забезпечуваної СПКЗ. Наприклад, якщо півдуплексні повідомлення, такі, як у протоколі *bisync*, посилаються *послідовно*, по одному в інтерактивному сеансі, то в даному випадку при передаванні повідомлень кумулятивний ефект затримок буде відсутній, незважаючи на те, що велика затримка, можливо, і викликала б деяку проблему для додатків, що вимагають дуже високої швидкості передавання даних. Однак півдуплексні системи, що працюють у режимі пакетного передавання, такі, як пристрої сімейства IBM 3270, можуть істотно виграти від застосування пристроїв СПКЗ, тому що сеанс зв'язку між СОД, зазвичай, включає передавання великого числа блоків. У таких системах передавальні СПКЗ можуть прийняти і запам'ятати в буфері весь файл до того, як вони ініціюють сеанс із вилученими СПКЗ. Подібним же чином приймальні СПКЗ можуть буферизувати пакетний файл і тільки після цього встановити сеанс зв'язку з приймачем.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Ги К. Введение в локальные вычислительные сети. – М.: Радио и связь, 1996. – 176 с.
- 2 Cole R. Computer Communications. – London: Macmillan – 1992. – 231p.
- 3 IEE Computer Society Local Area Networks Standards Committee.- Functional Requirements Document, Document, Version 5.2. – IEEE. – New York, 1981. – 245 pp.
- 4 Дэвис Дюб Бербер Д. Сети связи для вычислительных машин. - М.: Мир, 1976. – 680 с.
- 5 Вычислительные сети и сетевые протоколы. Д. Дэвис и др. - М.: Мир, 1982. – 562 с.
- 6 Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979. – 356 с.
- 7 Вейцман К. Распределенные системы мини- и микро-ЭВМ. Пер. с англ. под ред. Г.П. Васильева. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 232 с.
- 8 Автоматическая коммутация и телефония. Ч.И. Основы телефонии и автоматической коммутации. Под ред. Г.Б. Метельского. - М.: Связь, 1968.
- 9 И.М. Жданов, Е.И. Кучерявый. Построение городских телефонных сетей. – М.: Связь, 1972.
- 10 Г. Б. Давыдов, В. Н. Рогинский, А. Я. Толчан. Сети электросвязи. – М.: Связь, 1977
- 11 ITU- T. Generic functional architecture of transport networks. Recommendation G.805. – Geneva, 1995.
- 12 Н.А. Соколов. Сети абонентского доступа. Принципы построения – Пермь: Энтер - профи, 1999.
- 13 Теория сетей связи: Учебник для вузов связи. Рогинский В.Н., Харкевич А.Д., Шнепс М.А. и др. – М.: Радио и связь, 1981.
- 14 Л.М. Невдяев, А.А. Смирнов. Персональная спутниковая связь. – М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 1998.
- 15 Н.А. Соколов. Цифровизация телефонных сетей. В книге „Перспективные телекоммуникационные технологии”. Потенциальные возможности // Под.ред. Л.Д. Реймана, Л.Е. Варакина. – М.: МАС, 2001.
- 16 R.A. Thomson. Telephone Switching Systems. – Artech House, Boston - London, 2000.
- 17 S.R.Ali. Digital Switching Systems: Systems Reliability and Analysis. – McGraw – Hill, Inc, 1998.
- 18 А.И.Гусева. Технология межсетевых взаимодействий – М.: Диалог-МИФИ, 1997. – 272 с.
- 19 Мафтик С.М. Механізми захисту в мережах ЕОМ. - М.: Світ, 1993. - 256 с.

Навчальне видання

О. М. Бевз,
С. Г. Кривогубченко, А. Я. Кулик

СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ

(Частина I)

Навчальний посібник

Оригінал-макет підготовлено авторами

Редактор В.О. Дружиніна
Коректор З.В. Поліщук

Науково-методичний відділ ВНТУ
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Підписано до друку
Формат 29,7x42 $\frac{1}{4}$
Друк різнографічний
Тираж прим.
Зам. №

Гарнітура Times New Roman
Папір офсетний
Ум. друк. арк.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ