

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ КОЛЕДЖ

Для спеціальності
5.151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
спеціалізації
5.151.2 Обслуговування пристроїв електрозв'язку

Конспект лекцій
з навчальної дисципліни

АПАРАТНІ ЗАСОБИ ЗВ'ЯЗКУ

2020р.

Конспект лекцій з дисципліни “Апаратні засоби зв’язку” студентів
спеціальності 5.151 Автоматизація та комп’ютерно – інтегровані технології
спеціалізації 5.151.2 Обслуговування пристроїв електрозв’язку
/Укладач: О.В. – ХДПК, 2020. – 130 с.

Конспект лекцій розглянутий та рекомендований цикловою комісією
транспорту та електрозв’язку
(назва циклової комісії)

Протокол № 5 від “14” січня 2020 р.

Голова циклової комісії _____ (А.І.Руденко)
(підпис) прізвище та ініціали

Схвалено методичною радою Харківського державного політехнічного
коледжу

Протокол № _____ від “_____” _____ 2020 р.

Голова методичної ради _____ (Р.М.Корольова)
(Підпис) прізвище та ініціали

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
МОДУЛЬ 1 СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ДИСКРЕТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ	
1 КОДУВАННЯ.....	6
1.1 Особливості та структурна схема системи дискретного зв'язку.....	6
1.2 Основні поняття і визначення в області кодування.....	9
1.3 Класифікація і основні параметри кодів. Стандартні первинні коди	10
2 ДИСКРЕТНА МОДУЛЯЦІЯ.....	15
2.1 Основні поняття і визначення.....	15
2.2 Параметричні і відносні види дискретної модуляції.....	17
3 ПЕРЕДАЧА ДИСКРЕТНИХ СИГНАЛІВ ПО ЛІНІЯХ І КАНАЛАХ	21
3.1. Види ліній і каналів.....	21
3.2 Методи передачі елементів сигналу.....	23
3.3. Швидкість дискретної модуляції і швидкість передачі корисної інформації.....	26
4 СПОТВОРЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИГНАЛУ.....	28
4.1 Механізм появи спотворень.....	28
4.2 Поняття про помилки.....	30
4.3 Класифікація помилок.....	31
4.4 Вимірювання помилок (методи і прилади).....	32
5 ПОБУДОВА КІНЦЕВИХ ТЕЛЕГРАФНИХ ПРИСТРОЇВ.....	35
5.1 Класифікація телеграфних апаратів.....	35
5.2 Структурні схеми передавача і приймача. Алгоритм їх роботи.....	36
5.3 Синхронізація і фазування.....	39
6 КІНЦЕВІ ПРИЙОМО-ПЕРЕДАВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ.....	44
6.1 Основні елементи і вузли електронних кінцевих пристроїв.....	44
6.2 Електронний апарат Ф-2000.....	54
7 ФАКСИМІЛЬНИЙ ЗВ'ЯЗОК.....	56
7.1 Факсимільні апарати. Основи передачі нерухомих зображень.....	56
8 КАНАЛОСТВОРЮЮЧА АПАРАТУРА.....	61
8.1 Апаратура з частотним поділом каналів.....	63
8.2 Апаратура тонального телеграфування.....	68
8.3 Апаратура з часовим поділом каналів.....	73
9 МОДЕМИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ	76
10 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ВІРНОСТІ ПЕРЕДАЧІ	83
10.1 Необхідність передачі дискретної інформації з підвищеною вірністю.....	83

10.2 Класифікація методів підвищення вірності.....	83
10.3 Метод багаторазової передачі.....	86
11 ЗАВАДОСТІЙКІ КОДИ.....	87
11.1 Класифікація коригувальних кодів і їх параметри.....	88
11.2 Найпростіші коди з виявленням помилок.....	89
11.3 Коди з виправленням помилок.....	92
11.4 Побудова циклічних кодів.....	95
11.5 Поняття про матричні і безперервні коди.....	97
12 СИСТЕМИ ЗІ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ.....	100
12.1 Принцип побудови систем зі зворотним зв'язком.....	100
12.2 Системи з інформаційним зворотним зв'язком.....	100
12.3 Системи з вирішальним зворотним зв'язком.....	102
13 МЕРЕЖІ ПЕРЕДАЧІ ДИСКРЕТНИХ ПОВІДОМЛЕНЬ	104
13.1 Класифікація мереж.....	104
13.2 Методи комутації та їх порівняльний аналіз.....	106
13.3 Комутаційні станції.....	110
14 ПЕРЕДАЧА ДАНИХ.....	116
14.1 Організація мережі передачі даних.....	116
14.2 Нові телекомунікаційні технології.....	119
ЛІТЕРАТУРА.....	130

ВСТУП

Конспект лекцій призначений для використання студентами при вивченні дисципліни «Апаратні засоби зв'язку» за спеціальністю 5.151 Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології спеціалізації 5.151.2 Обслуговування пристроїв електрозв'язку.

Конспект лекцій складений у відповідності до навчальної програми дисципліни «Апаратні засоби зв'язку» та робочої програми.

Системи зв'язку призначені для передачі за допомогою електричних або оптичних сигналів різного роду повідомлень між користувачами. Все різноманіття повідомлень можна розділити на два види: безперервні і дискретні. Перші з них (мова, музика, рухомі та нерухомі зображення) характеризуються нескінченною безліччю значень на кінцевому відрізку часу. Дискретними є повідомлення, які складаються з кінцевого числа символів. Як правило, це документальні повідомлення, зафіксовані на папері, перфострічці, перфокарті, магнітному носії. У пункті прийому виходить тверда копія повідомлення на будь-якому технічному носії (аркуш паперу, перфострічка, перфокарта тощо.), яка вручається користувачеві.

До дискретної інформації відносяться всі буквено-цифрові тексти повідомлення (телеграми), потоки цифр в системах телеобробки (дані), команди і сповіщення систем автоматики, телемеханіки, телесигналізації (повідомлення ТУ-ТС). Такі повідомлення відображаються дискретними сигналами, що представляють собою дискретну функцію дискретного часу, або послідовністю прямокутних імпульсів. Це накладає свої особливості на методи формування сигналів, передачі і розповсюдження їх в пункті прийому, на побудову кінцевих, каналоутворюючих і комутаційних пристроїв і на застосовувану при аналізі і синтезі таких сигналів теорію. Тут частіше використовується часовий підхід до розгляду процесів, хоча не виключається і частотний.

В курсі «Апаратні засоби зв'язку» в першому модулі вивчаються загальні теоретичні положення та їх практична реалізація стосовно до техніки передачі даних і телеграфії. До них відносяться: перетворення елементів дискретного повідомлення в електричні сигнали; способи передачі сформованих імпульсних сигналів; вплив заважаючих чинників на сигнали, що передаються; способи прийому і оцінки їх ефективності, з точки зору забезпечення найбільшої відповідності прийнятого повідомлення переданому; теорія завадостійкого кодування та побудова кодоперетворювачів; принципи побудови передавачів і приймачів систем дискретного зв'язку та їх види; побудова каналостворюючої телеграфної та факсимільної апаратури: побудова мереж передачі дискретних повідомлень.

МОДУЛЬ 1 СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ДИСКРЕТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

1 КОДУВАННЯ

1.1 Особливості та структурна схема системи дискретного зв'язку

Сутність переданих документів (сміслові в телеграфії і формалізовані в передачі даних), а також відмінність в застосуванні повідомлень (людина або автомат) накладають відбиток на основні характеристики дискретних систем зв'язку. Перш за все, це швидкість передачі сигналів. Для телеграфного зв'язку вона виражається значеннями 50, 100, 200 імпульсів/с. Швидкість введення і виведення інформації при цьому складає від 400 до 1600 знаків/хв, що відповідає фізіологічним можливостям людини по сприйняттю інформації. У системах передачі даних швидкість передачі сигналів досягає значень в десятки і сотні тисяч імпульсів/с, що наближається до швидкостей введення і виведення інформації в ЕОМ.

Відрізняються і вимоги до точності прийому дискретних повідомлень, яка визначається припустимою можливістю помилкового прийому символів. У телеграфному зв'язку допускається наявність трьох помилок на 100 тис. прийнятих знаків. Здебільшого ці помилки можуть бути виправлені людиною завдяки великій смисловій надмірності мови. У передачі даних норми на ймовірність помилкового прийому знака значно жорсткіше і складають від однієї помилки на 100 тис. символів до однієї помилки на 100 млн. символів. Такі жорсткі вимоги пояснюються тим, що будь-яка послідовність цифр, яка приймається ЕОМ, має сенс. Заміна будь-якого з них призводить до невірних результатів розрахунків і, як наслідок, може призвести до помилкових рішень.

І все ж, незважаючи на функціональні відмінності і різні вимоги до швидкості і точності передачі, і телеграф, і передача даних мають багато спільного. Це і термінологія, і єдиний імпульсно-кодовий метод передачі, і методи захисту від помилок, і деякі технічні рішення. Ось чому всі питання, пов'язані з теорією і технікою розглядаються в єдиному курсі.

Система передачі дискретної інформації (ПДІ) (її структурна схема наведена на рис. 1.1) як і будь-яка система зв'язку включає в себе в загальному вигляді передавач, канал зв'язку і приймач. Передавач забезпечує перетворення повідомлення-оригіналу в сигнал, канал переносить цей сигнал з однієї точки простору в іншу в завадоактивному середовищі, приймач виконує зворотне перетворення сигналу в повідомлення-копію, видаючи його одержувачу повідомлення.

У системах ПДІ перетворення повідомлення в електричний сигнал і зворотне перетворення виконуються в два етапи, що є їх характерною особливістю. На передачі здійснюються кодування кодуємим пристроєм КУ і дискретна модуляція модулятором М, на прийомі – реєстрація реєстраційним пристроєм РУ і декодування декодуючим пристроєм ДУ.

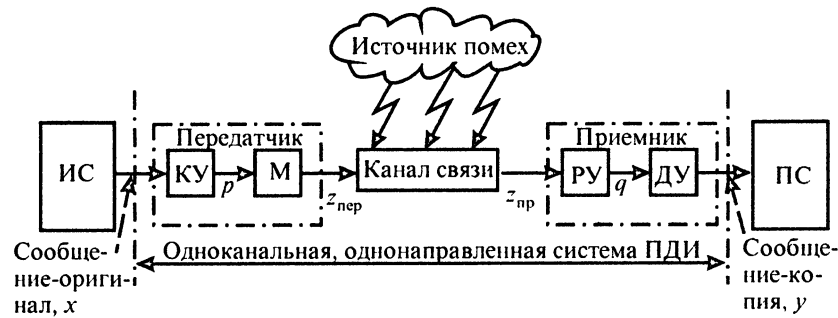


Рисунок 1.1 - Структурна схема системи передачі дискретної інформації

Таким чином, кожний елемент повідомлення x спочатку перетворюється в кодову комбінацію p , а потім в електричний сигнал $z_{\text{пер}}$. Прийнятий електричний сигнал $z_{\text{пр}}$ перетворюється в кодову комбінацію q , а потім – в елемент повідомлення y . В системі ПДІ мають місце два зворотних процеси: кодування-декодування і дискретна модуляція-реєстрація.

Прийнятий електричний сигнал $z_{\text{пр}}$ відрізняється від переданого сигналу $z_{\text{пер}}$ внаслідок його ослаблення при проходженні по середовищу передачі (провід, ефір, оптичне волокно), дії внутрішніх і зовнішніх електромагнітних полів (завади), запізнення в часі. На рис. 1.1 всі ці заважаючі фактори об'єднані в одне джерело завад. Дія завад приводить до того, що приймач не завжди може точно виконати зворотне перетворення електричного сигналу в повідомлення і прийнята комбінація q може відрізнитися від переданої. Звідси і повідомлення-копія може відрізнитися від повідомлення-оригіналу. Необхідно так спроектувати систему ПДІ, щоб різниця була мінімальна.

Вже згадана система ПДІ забезпечує передачу повідомлень від одного джерела одному одержувачу повідомлень і лише в одну сторону. Це одноканальна система, яка дозволяє вести між користувачами односторонній монолог. Реально система ПДІ може бути багатоканальною, що забезпечує передачу повідомлень між багатьма джерелами і одержувачами (рис. 1.2). У ній N відправників і N одержувачів повідомлень одночасно користуються послугами однієї лінії зв'язку. Для цього сигнали, що виробляються індивідуальними передавачами, поєднуються сумуючим пристроєм СУ в один груповий сигнал, який груповим передавачем Гпрд перетворюється в лінійний сигнал і надходить в лінію.

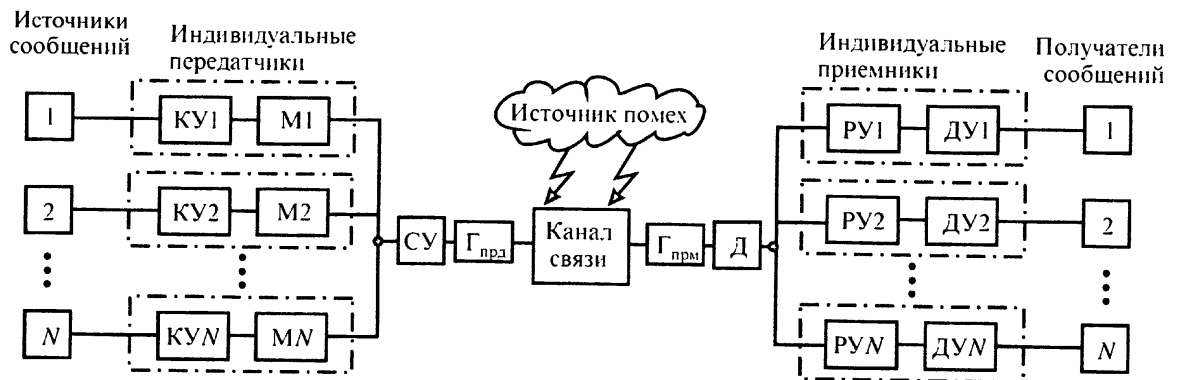


Рисунок 1.2 – Багатоканальна система ПДІ

На прийомі лінійний сигнал приходить в груповий приймач Гпрм, а потім дискримінатором Д розподіляється по відповідним індивідуальним приймачам. Як і в одноканальній системі, перетворення символів повідомлення в електричні сигнали і зворотне перетворення в індивідуальних частинах системи виконуються в два етапи: кодування і модуляція при передачі, реєстрація і декодування при прийомі. Сукупність цих операцій складає імпульсно-кодовий метод передачі. Суть його полягає в відображенні елементів повідомлення в передавачі умовними символами (кодування) і формуванні ідеальних по тривалості імпульсів з потрібним значенням інформаційного параметра (модуляція). Реалізація імпульсно-кодового методу в приймачі полягає в правильному ототожненні значення інформаційного параметра сигналу і цифри кодового числа (реєстрація) і заміні кодової комбінації одним із символів повідомлення (декодування).

Розглянуті одно- і багатоканальні системи ПДІ є односпрямованими. Якщо необхідно забезпечити обмін інформацією між пунктами, слід застосовувати двонаправлені системи. Для цього з обох сторін системи повинні бути передавач і приймач (рис. 1.3).

Обмін можливий за двома різноспрямованими каналами (симплекс, SX, рис.1.3, а). Цей варіант застосовується порівняно рідко через наявність двох каналів, ефективність використання яких при малому добовому обміні виявляється низькою.

Другий варіант передбачає наявність одного каналу, по якому передача ведеться в різних напрямках по черзі (напівдуплекс, НХ, рис.1.3, б). При цьому можливий діалог між пунктами. Однак і тут ефективність використання каналу невисока через наявність пауз в діалозі і невикористання потенційної можливості каналу зв'язку передавати сигнали одночасно в обидва боки.

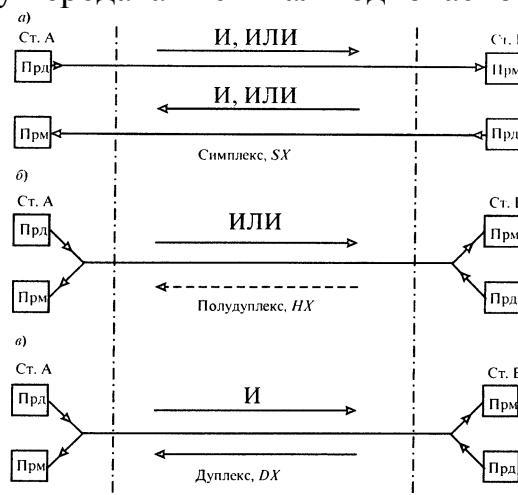


Рисунок 1.3 – Двонаправлені системи ПДІ

Найбільший ефект досягається в тому випадку, коли є можливість одночасної зустрічної роботи по одному каналу (дуплекс, DX, рис.1.3, в). Дуплексна робота дозволяє вести двосторонній монолог і значно підвищує коефіцієнт використання каналу зв'язку. Цей варіант можливий лише в системах ПДІ, так як в них взаємодіють між собою автомати: шифрувальна машинка на передачу і друкарська машинка на прийомі.

Запитання для самоперевірки:

- Поясніть призначення складових структурної схеми системи ПДІ
- Як будується багатоканальна система ПДІ?
- Що таке імпульсно-кодовий метод передачі?
- В чому відмінність двонаправлених систем передачі від однонаправлених?
- Що таке дуплексна робота системи передачі?

1.2 Основні поняття і визначення в області кодування

Кодування є першою і дуже важливою операцією в процесі передачі інформації дискретними сигналами, так як від неї залежать стійкість системи, швидкість передачі, конструкція передавачів і приймачів і деякі інші параметри системи ПДІ.

Під кодуванням розуміється заміна безлічі графічних і функціональних символів повідомлення двійковими числами.

Графічні символи - це букви тієї чи іншої абетки, арифметичні знаки, десяткові цифри, граматичні та комерційні значки. Функціональні символи - це команди управління органами друку приймача, роздільники і покажчики інформаційних масивів, символи розширення алфавіту, символи-заповнювачі, синхросигнали тощо.

Основними поняттями в області кодування є: кодова комбінація, елемент кодової комбінації, код, кодова таблиця.

Кількість відображуваних графічних і функціональних символів повідомлення завжди більше кількості значущих цифр відображаємої числової системи. Тому при кодуванні доводиться кожен символ повідомлення ототожнювати з деякою групою цифр. Виникає поняття *кодова комбінація* (кодове число, кодовий вектор, кодове слово) - двійкове число, що відповідає одному графічному або функціональному символу (знаку) повідомлення.

Кодова комбінація складається з декількох елементів. При двійковому кодуванні: *елемент кодової комбінації* - це цифри нуль (0) або одиниця (1).

Кодування відбувається відповідно до коду. *Код* - сукупність правил і умов, за яких формуються, передаються і обробляються кодові комбінації. Утелеграфії і передачі даних застосовують виключно двійкові коди.

Основним документом при кодуванні є *кодова таблиця* (алфавіт коду) - це таблиця, що встановлює відповідність між знаками переданого повідомлення і двійковими числами.

Кодові таблиці можуть бути простими і перехресними (матричними).

У простих кодових таблицях кожен символ повідомлення і його двійкове відображення записуються построково, і кожному рядку присвоюється порядковий номер. Для знаходження потрібного символу і відповідної йому кодової комбінації достатньо вказати лише номер строчки.

В матричних кодових таблицях символ повідомлення знаходиться в місці перетинання стовпчиків і строчок таблиці і для його знаходження необхідно вказати номер стовпчика і номер строчки. Зазвичай це записують у вигляді дробу: чисельник – номер стовпчика, а знаменник – номер строчки. Кодова

комбінація складається з двійкових еквівалентів номерів строчки і стовпчика, на перетинанні яких знаходиться цей символ.

Запитання для самоперевірки:

- Що таке кодування? Для чого використовується?
- Що таке елемент кодової комбінації?
- Що таке кодова таблиця і її призначення?
- Які бувають кодові таблиці?

1.3 Класифікація і основні параметри кодів. Стандартні первинні коди

Для оцінки кодів і їх класифікації вводять наступні параметри.

Множина кодових комбінацій $V_k = \{U_1, U_2, U_3, \dots\}$. Це весь набір можливих кодових комбінацій.

Основа коду a . Це кількість значень, яку може прийняти будь-який елемент кодової комбінації. Чисельно вона завжди дорівнює основі вибраної системи числення. За цим параметром коди поділяються на двійкові, для яких $a=2$, і багато основні, для яких $a>2$. В системах ПДІ використовують двійкові коди.

Довжина кодової комбінації n . Це кількість елементів комбінації, число розрядів двійкового числа. В складі комбінації можуть бути інформаційні елементи k , перевірочні (контрольні) елементи r і службові s . Тоді

$$n = k + r + s. \quad (1.1)$$

Наприклад, комбінація

$$\begin{array}{cccccccc} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ s_1 & \underbrace{\hspace{1.5cm}} & & & & & r & s_2 \\ & k & & & & & & \end{array}$$

містить вісім елементів. Серед них п'ять інформаційних, один контрольний і два службових.

За цим параметром коди діляться на рівномірні ($n = \text{const}$) і нерівномірні ($n = \text{var}$). Найчастіше застосовуються рівномірні коди. Для них загальне число комбінацій пов'язано з основою і довжиною співвідношенням $S_0 = a^n$. Для двійкових кодів $S_0 = 2^n$.

Вага кодової комбінації w . Це число ненульових елементів в комбінації, для двійкових кодів - число одиниць в ній.

Наприклад, комбінації $v_1 = 01110$, $v_2 = 10111$, $v_3 = 01010$ мають вагу відповідно $w_1 = 3$, $w_2 = 4$, $w_3 = 2$.

Кодова відстань між двома комбінаціями $d(v_i, v_j)$. Це кількість елементів, в яких одна комбінація відрізняється від іншої. Для двійкових кодів це вага суми по модулю 2 двох порівнюваних комбінацій, тобто

$$d(v_i, v_j) = w(v_i + v_j) \bmod 2. \quad (1.2)$$

Кодова відстань визначає міру відмінності однієї кодової комбінації від іншої. Наприклад, кодова відстань між двома комбінаціями $v_1 = 01101$ і $v_2 = 00110$ буде визначено наступним чином: $(01101 + 00110) \bmod 2 = 01011$ ($w = 3$) $d(v_1, v_2) = 3$.

Мінімальна кодова відстань $d_{\min}$ або кодова відстань по множині комбінацій $d(V_k)$. Вона характеризує всю множину кодових комбінацій і визначається для двійкових кодів як мінімальна вага суми по модулю 2 при попарному порівнянні всіх комбінацій кодової множини:

$$d_{\min} = d(V_k) = \min_{\substack{v_i, v_j \in V_k \\ v_i \neq v_j}} w(v_i + v_j) \bmod 2 \quad (1.3)$$

Наприклад, для множини $V_k = \{v_1, v_2, v_3\}$, що складається з трьох комбінацій: $v_1 - 01001$, $v_2 - 10011$, $v_3 - 00110$, мінімальна кодова відстань буде знайдена в такий спосіб: $d(v_1, v_2) = 3$, $d(v_1, v_3) = 4$, $d(v_2, v_3) = 4$. Менша з відстаней дорівнює 3. Отже, $d(V_k) = 3$.

За значенням цього параметра коди діляться на прості, для яких $d(V_k) = 1$ і коригувальні, для яких $d(V_k) \geq 2$.

Для виконання алгебраїчних операцій над кодовими комбінаціями (додавання, множення і ін.) їх представляють у вигляді многочленів (поліномів) деякої фіктивної змінної x , що замінює собою основу системи числення. Тоді будь-яка двійкова n -елементна комбінація може бути представлена у вигляді полінома ступеня не вище $(n-1)$ з числом членів, рівним вазі цієї комбінації. Наприклад, комбінація 10011001 (В) представляється сумою $1 \cdot x^7 + 0 \cdot x^6 + 0 \cdot x^5 + 1 \cdot x^4 + 1 \cdot x^3 + 0 \cdot x^2 + 0 \cdot x^1 + 1 \cdot x^0$ і з урахуванням відсутності нульових членів і множення інших членів на одиницю може бути записана многочленом:

$$A(x) = x^7 + x^4 + x^3 + 1,$$

число членів якого (чотири) дорівнює її вазі, тобто $w = 4$.

Таке уявлення кодових комбінацій дуже часто застосовується в теорії завадостійкого кодування.

Над представленими таким чином многочленами можна виконувати операції по законам двійкової алгебри. При цьому слід пам'ятати, що

$$\begin{aligned} (x^i + x^i) \bmod 2 &= 0, \\ x^i x^j &= x^l, \text{ где } l = (i + j) \bmod n, \\ x^n &\equiv 1. \end{aligned} \quad (1.4)$$

Для прикладу виконаємо операції додавання і множення над двома восьмиелементними комбінаціями, представленими многочленами $A(x) = x^7 + x^4 + x^3 + 1$ і $B(x) = x^6 + x^4 + 1$ по законам двійкової алгебри.

Додавання ($n = 8$):

$$[A(x) + B(x)] \bmod 2 = x^7 + x^4 + x^3 + 1 + x^6 + x^4 + 1 = x^7 + x^6 + x^3.$$

Отриманому многочлену відповідає восьмиелементна комбінація 11001000.

Множення ($n = 8$):

$$\begin{aligned} A(x)B(x) &= (x^7 + x^4 + x^3 + 1)(x^6 + x^4 + 1) = x^{13} + x^{10} + x^9 + x^6 + x^{11} \\ &+ x^8 + x^7 + x^4 + x^7 + x^4 + x^3 + 1 = x^5 + x^2 + x + x^6 + x^3 + 1 + x^3 + 1 \\ &= x^6 + x^5 + x^2 + 1. \end{aligned}$$

Отриманому многочлену відповідає восьмиелементна комбінація 01100101.

П'ятиелементні коди. Міжнародний телеграфний код №2 (МТК-2) з'явився в 1932 р і до цих пір успішно використовується для телеграфної передачі. Це

двійковий ($a = 2$), простий [$d(V_k)=1$], рівномірний $n = \text{const}$), п'ятиелементний ($k=5$) код для передачі буквено-цифрової інформації.

Алфавіт п'ятиелементного коду наведено в табл. 1.1. Він був запропонований для країн з латинською писемністю, тому містить 52 графічних і шість функціональних символів. Оскільки числа комбінацій $S_0 = 2^5 = 32$ недостатньо, введені два регістри: літери (реєстр 1) і цифри (реєстр 2). Це дає можливість розширення коду, так як одна комбінація може застосовуватися для передачі двох графічних символів. У цифровому регістрі поміщені, крім цифр, арифметичні та граматичні знаки, команди для включення автовідповідача (позиція 4) і для включення акустичного сигналу (позиція 10).

Код МТК-2 представлений простою кодовою таблицею, в якій порядковий номер кодової комбінації не пов'язаний з її двійковим відображенням. Перші 26 позицій таблиці віддані під графічні символи, що дає можливість отримати в двох регістрах 52 знака. У цифровому регістрі позиції 6, 7 і 8 залишені національним адміністраціям зв'язку для використання на свій розсуд.

Позиції 27-31 використовуються для передачі реєстрових команд (29 - літери, 30 - цифри) і команд для управління органами друку рулонних апаратів (27 - повернення каретки, 28 - новий рядок, 31 - пробіл). Позиція 32 залишилася вільною.

Таблиця 1.1 – П'ятиелементний двійковий код

Номер позиції	МТК-2		Кодовые комбинации					ГОСТ 15607-83		
	Регистр							Регистр		
	1	2	1	2	3	4	5	ЛАТ	ЦИФ	РУС
1	A	-	1	1	0	0	0	A	-	A
2	B	?	1	0	0	1	1	B	?	Б
3	C	:	0	1	1	1	0	C	:	Ц
4	D	*	1	0	0	1	0	D	кто там?	Д
5	E	3	1	0	0	0	0	E	3	Е
6	F	!	1	0	1	1	0	F	Э	Ф
7	G	&	0	0	1	0	1	G	Ш	Г
8	H	#	0	1	0	1	1	H	Щ	Х
9	I	8	0	1	1	0	1	I	8	И
10	J	☎	1	1	0	1	0	J	Ю(Зв)	Й
11	K	(	1	1	1	1	0	K	(	К
12	L	)	0	1	0	0	1	L	)	Л
13	M	.	0	0	1	1	1	M	.	М
14	N	,	0	0	1	1	0	N	,	Н
15	O	9	0	0	0	1	1	O	9	О
16	P	0	0	1	1	0	1	P	0	П
17	Q	1	1	1	1	0	1	Q	1	Я
18	R	4	0	1	0	1	0	R	Ч	Р
19	S	'	1	0	1	0	0	S	'(ап.)	С
20	T	5	0	0	0	0	1	T	5	Т
21	U	7	1	1	1	0	0	U	7	У
22	V	=	0	1	1	1	1	V	=	Ж
23	W	2	1	1	0	0	1	W	2	В
24	X	/	1	0	1	1	1	X	/	Ь
25	Y	6	1	0	1	0	1	Y	6	Ы
26	Z	+	1	0	0	0	1	Z	+	З
27	Возврат каретки		0	0	0	1	0	Возврат каретки ВК <		
28	Перевод строки		0	1	0	0	0	Перевод строки ПС ▀		
29	Буквы		1	1	1	1	1	Буквы латинские ЛАТ ↑		
30	Цифры		1	1	0	1	1	Цифры ЦИФ ↑		
31	Пробел		0	0	1	0	0	Пробел ПР →		
32	Не используется		0	0	0	0	0	Буквы русские РУС ↓		

Семиелементні коди. Недоліки коду МТК-2 були видалені подовженням кодових комбінацій, і як наслідок, їх збільшенням до $2^7=128$. Це міжнародний алфавіт №5 (МА-5). За основу був взятий американський стандартний код для обміну інформацією. Це двійковий ($a=2$), простий [$d(V_k)=1$], рівномірний $n = \text{const}$), семиелементний код ($k=7$).

Алфавіти кодів МА-5 і КОИ-7 (табл.1.2) представлені перехресною кодовою таблицею, на перетинанні строчок і стовпців якої знаходяться передавані символи. Таблиця має 8 стовпчиків і 16 строчок, всього 128 позицій. Строчки позначені зверху вниз десятковими цифрами від 0 до 15 і відповідними їм чотири розрядними двійковими числами від 0000 до 1111. Це перші чотири елементи кодової комбінації. Стовпчики пронумеровані зліва направо десятковими цифрами від 0 до 7 і відповідними три розрядними двійковими числами від 000 до 111. Це останні три елементи кодової комбінації.

Передаваний символ позначається дробним числом, чисельник якого визначає номер стовпчика, а знаменник – номер строчки. Від дробового позначення легко перейти до двійкового запису кодової комбінації. Для цього необхідно знаменник виразити двійковим чотири розрядним числом, а потім зліва приписати двійкове три розрядне число, що відображає чисельник дробу.

Таблиця 1.2– Семиелементні двійкові коди

Элементы

кодовой

комбинации

0

0

0

0

1

1

1

1

0

0

1

1

0

0

1

1

0

1

0

1

0

1

0

1

37

36

35

34

33

32

31

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

1

0

0

0

0

0

0

1

1

0

0

0

0

1

0

0

0

0

0

0

0

1

0

1

0

0

1

0

0

1

1

1

0

0

0

0

1

0

0

0

1

0

0

1

1

0

1

0

1

0

1

0

1

1

0

0

0

0

1

0

1

1

0

1

0

1

1

0

1

1

1

0

0

1

1

0

1

1

1

1

1

1

1

1

Пример

3/4 – 4 – 0110100

6/4 – Д – 1100100

6/4 – d – 1100100

Числитель

Знаменатель

Номер строки

0

1

2

3

4

5

6

7

0

ПУС

AP1

Пробел

0

ю

п

Ю

П

1

НЗ

СУ1

!

1

а

я

А

Я

2

НТ

СУ2

"

2

б

р

Б

Р

3

КТ

СУ3

#

3

ц

с

Ц

С

4

КП

СП

□

4

д

т

Д

Т

5

КТМ

НЕТ

%

5

е

у

Е

У

6

ДА

СИН

&

6

ф

ж

Ф

Ж

7

ЗВ

КБ

'

7

г

в

Г

В

8

ВШ

АН

(

8

х

ь

Х

Ь

9

ГТ

КН

)

9

н

ы

И

Ы

10

ПС

ЗМ

*

:

й

з

Й

З

11

ВТ

АР2

+

;

к

ш

К

Ш

12

ПФ

РФ

,

<

л

э

Л

Э

13

ВК

РГ

-

=

м

щ

М

Щ

14

ВЫХ

РЗ

.

>

н

ч

Н

Ч

15

ВХ

РЭ

/

?

о

ъ

О

ЭБ

Номер столбца

0

1

2

3

4

5

6

7

0

ПУС

AP1

Пробел

0

ю

п

Ю

П

1

НЗ

СУ1

!

1

а

я

А

Я

2

НТ

СУ2

"

2

б

р

Б

Р

3

КТ

СУ3

#

3

ц

с

Ц

С

4

КП

СП

□

4

д

т

Д

Т

5

КТМ

НЕТ

%

5

е

у

Е

У

6

ДА

СИН

&

6

ф

ж

Ф

Ж

7

ЗВ

КБ

'

7

г

в

Г

В

8

ВШ

АН

(

8

х

ь

Х

Ь

9

ГТ

КН

)

9

н

ы

И

Ы

10

ПС

ЗМ

*

:

й

з

Й

З

11

ВТ

АР2

+

;

к

ш

К

Ш

12

ПФ

РФ

,

<

л

э

Л

Э

13

ВК

РГ

-

=

м

щ

М

Щ

14

ВЫХ

РЗ

.

>

н

ч

Н

Ч

15

ВХ

РЭ

/

?

о

ъ

О

ЭБ

ASCII (MA-5)

0

0

0

0

0

1

1

1

1

0

0

1

1

0

0

1

1

0

1

0

1

0

1

0

1

0

1

2

3

4

5

6

7

0

NUL

DLE

SP

0

@

P

\

р

1

SON

DC1

!

1

A

Q

a

q

2

STX

DC2

"

2

B

R

b

г

3

ETX

DC3

£

3

C

S

c

s

4

BOT

DC4

\$

4

D

T

d

t

5

ENQ

NAK

%

5

E

U

e

u

6

ACK

SYN

&

6

F

V

f

v

7

BEL

ETB

'

7

G

W

g

w

8

BS

CAN

(

8

H

X

h

x

9

HT

EM

)

9

I

Y

i

y

10

LF

SUB

*

:

J

Z

j

z

11

VT

ESC

+

;

K

[

k

{

12

FF

IS4

,

<

L

v

l

V

13

CR

IS3

-

+

M

]

m

}

14

SO

IS2

.

>

N

^

n

~

15

SI

IS1

/

?

O

-

o

DEL

Завдяки наявності більшої кількості комбінацій семиелементні коди отримали деякі переваги в порівнянні з п'ятиелементними:

- різко зросла кількість функціональних символів (до 32) для управління друкувальними пристроями і ЕОМ;
- з'явилися додаткові арифметичні і граматичні знаки (0/2—!, 3/11—:, 2/10—*, 3/12—<, 3/14—);
- десяткові цифри вдалося упорядкувати в стовпці 3 і представити чотирирозрядними двійковими числами у відповідних рядках;
- підвищилася якість текстових документів введенням малих і великих літер.

Структури кодових таблиць МА-5 і КОИ-7 однакові. Логічно їх можна розділити на чотири зони. У першій зоні (стовпці 0,1) розташовані функціональні символи для керування передачею, друкуючими пристроями, кінцевим обладнанням, роздільниками інформації та інші сигнали управління. Друга зона (стовпці 2, 3) виділена для цифр, арифметичних, граматичних і комерційних знаків. Чотирирозрядна підмножина для обробки цифрової інформації виходить відкиданням трьох старших розрядів в третьому стовпці. Ці дві зони ідентичні в кодових таблицях МА-5 і КОИ-7. До службових символів слід віднести ще один ЗБ (7/15) - "Забой" [DEL (4/15 - Delimiter)], який використовується для "стирання" помилок при заготівлі перфострічки. Поєднання семи одиниць 7/15 - 1111111 не сприймається на прийомі як графічний або функціональний символ.

Третя і четверта зони (стовпці 4, 5 і 6, 7) зайняті графічними символами - великими та малими буквами латинського (для МА-5) або російського (для КОИ-7) алфавітів.

Для можливості переходу від однієї таблиці до іншої в частині текстової інформації передбачені реєстрові комбінації ВИХІД (0/14) - перехід від однієї таблиці до іншої [SO - Single Out] і ВХІД (0/15) - повернення до старої таблиці [SI - Single In].

Крім того, в числі функціональних символів є два авторегістра: авторегістр 1 [AP1 (DLE) - 1/0] для зміни значення певного числа наступних за ним символів і авторегістр 2 [AP2 (ESC) - 1/11] - для зміни значення одного наступного за ним символу.

При роботі між ЕОМ доцільно мати однореєстровий або безреєстровий код. Це досягається додаванням восьмого розряду. Виходить стандартний код для передачі даних (СКПД). Кодова таблиця СКПД містить 16 стовпців і 16 рядків. У ній міститься 256 комбінацій, з яких половина (128) повторюють МА-5 і восьмий елемент для них має значення 0, а друга половина повторює КОИ-7 і восьмий елемент для них має значення 1. Перші чотири стовпці є наскрізними символами і повторюються в обох половинах таблиці (стовпчики 0-3 і 8-11). Всього в таблиці СКПД 96 графічних символів.

Перехід від дробного позначення переданого символу до двійкового числа для першої половини таблиці здійснюється аналогічно вищеописаному з додаванням у восьмому розряді цифри 0. Для другої половини таблиці, коли чисельник дробу (номер стовпчика) позначений цифрою більше семи, з нього попередньо слід відняти вісім і додати в восьмому розряді цифру 1.

Отже, можемо зробити висновки:

- для передачі дискретних повідомлень (текст, цифри, команди) використовуються імпульсні сигнали.
- перетворення повідомлення в сигнал в системах ПДІ і зворотне перетворення відбуваються в два етапи: кодування-модуляція на передачі і реєстрація-декодування на прийомі.
- при кодуванні кожен символ переданого повідомлення замінюється двійковим числом. Це кодова комбінація, яка є основою імпульсно-кодового методу передачі.

- у системах телеграфного зв'язку і передачі даних знаходять застосування два алфавіти: п'ятиелементний (МТК-2) і семиелементний (КОИ-7).

Запитання для самоперевірки:

- Що таке основа коду?
- Як визначається довжина кодової комбінації?
- Що таке вага кодової комбінації?
- Кодова відстань між двома комбінаціями?
- Як визначається мінімальна кодова відстань?
- Що таке п'ятиементні коди? Як встановлюється відповідність між знаками і двійковими кодами в кодовій таблиці?
- Відмінності семиелементних кодів від п'ятиементних і їх кодових таблиць?

2 ДИСКРЕТНА МОДУЛЯЦІЯ

2.1 Основні поняття і визначення

Дискретна модуляція є другою операцією в ланцюжку перетворення дискретного повідомлення в електричний сигнал.

Для формування сигналу необхідний деякий переносник, здатний існувати і розповсюджуватися в лінії зв'язку. У системах зв'язку це постійний або змінний струм (аналогові системи передачі), електромагнітне поле (радіосистеми), періодична послідовність високочастотних імпульсів (коаксіальні та волоконно-оптичні кабелі) і ін.

Будь-який переносник має змінювані параметри. Для постійного струму це значення і напрямки, для змінного струму - амплітуда, частота і початкова фаза, для послідовності імпульсів - амплітуда імпульсу, його ширина (тривалість), місце розташування в періоді (фаза), частота проходження імпульсів і ін.

Інформація, що міститься в сигналі, являє собою зміну в часі його інформаційного параметра. Процес зміни параметра переносника (від лат. modulation - зміна) відповідно до повідомлення і отримав назву модуляція.

У дискретній модуляції (іноді називається маніпуляцією) зміна параметра переносника відбувається не по елементу повідомлення, а по його відображенню - кодовій комбінації. Якщо врахувати, що кожен елемент кодової комбінації приймає кінцеве число значень, то і модульований (змінний) параметр переносника теж повинен приймати кінцеве число значень (рівнів, квантів), змінюватися дискретно, стрибкоподібно. Крім того, зміна параметра має відбуватися не в будь-які, а в певні миті часу, тобто параметр переносника змінюється дискретно за рівнями і часом. Кількість значень модулюємого параметра завжди дорівнює основі коду a : при двійковому кодуванні - двом, при трійковому - трьом, при десятковому - десяти і т.д. Виходячи з цього, вводять визначення.

Дискретна модуляція - зміна в певні миті часу одного або декількох параметрів переносника відповідно до значень елементів кодової комбінації.

В результаті цієї операції утворюється дискретний електричний сигнал як дискретна функція дискретного часу. Це означає, що будь-якому значенню елемента кодової комбінації відповідає значення параметра сигналу, яке зберігається незмінним на певному відрізку часу і змінюється через деякі інтервали.

В теорії ПДІ розрізняють наступні поняття, пов'язані з дискретною модуляцією: значуща позиція, значущий момент, одиничний інтервал, значущий інтервал. Перші два з них відносяться до зміни значень параметра (вісь ординат), а другі два - до тимчасових інтервалів (вісь абсцис).

Значуща позиція (ЗнП) - значення параметра сигналу, що відповідає одному зі значень елемента кодової комбінації. Кількість значущих позицій завжди дорівнює основі коду. Розрізняють поняття значуща позиція модуляції (ЗнПМ) на передачу і значуща позиція відновлення (ЗнПВ) на прийомі.

Значущий момент (ЗнМ) – мить часу, в яку відбувається зміна значущої позиції. Як і в першому випадку, розрізняють ЗнММ на передачу і ЗнМВ на прийомі.

Одиничний інтервал (ОІ) - відрізок часу, на якому параметр сигналу, відповідний одній цифрі кодового числа, залишається незмінним. Це мірний відрізок часу, прийнятий за еталон.

Значущий інтервал (ЗІ) - відрізок часу, взятий між суміжними значущими моментами. В ідеальному випадку означає інтервал, що включає в себе ціле число одиничних інтервалів.

Одержаний в результаті дискретної модуляції електричний сигнал являє собою набір імпульсів напруги або струму з певним значенням інформаційного параметра. Тут вводять ще одне поняття - *елементарний імпульс t_0* , або *елемент сигналу*, під яким розуміють імпульс напруги або струму тривалістю в одиничний інтервал. Поняття про елементарний імпульс є фундаментальним, основоположним в теорії і техніці передачі дискретної інформації.

Рисунки 2.1 і 2.2 пояснюють ці поняття.

Запитання для самоперевірки:

- Що таке дискретна модуляція?
- Які змінювані параметри має постійний струм?
- Які змінювані параметри має змінний струм?
- Поясніть поняття: значуща позиція, значущий момент, одиничний інтервал, значущий інтервал, елементарний імпульс?

2.2 Параметричні і відносні види дискретної модуляції

Використовуючи в якості переносника постійний і змінний струм і змінюючи (модулюючи) різні параметри переносника, можна отримати велику різноманітність видів дискретної модуляції. При цьому розрізняють параметричні і відносні її види.

Якщо значущі позиції будь-якого імпульсу вибираються і оцінюються відповідно до заздалегідь обумовлених значень параметра переносника (амплітуда, частота, фаза і ін.), то такі види модуляції називають *параметричними*.

Якщо значуща позиція i -го імпульсу вибирається і оцінюється по відношенню до значущої позиції попереднього $(i-1)$ -го імпульсу, то такі види модуляції називаються *відносними*.

У системах проводного зв'язку найбільш часто переносником є постійний і змінний синусоїдальний струм. Розглянемо деякі види параметричної модуляції.

На постійному струмі модульованими параметрами можуть бути значення і напрямок струму. У першому випадку має місце однополюсна модуляція (ОПМ), а в другому-двополюсна (ДПМ). Вид сигналів для зазначених випадків наведено на рис. 2.1.

Нехай вихідна кодова комбінація має вигляд 010110. Візьмемо в якості переносника постійний струм, а модульованим параметром виберемо його значення. Оскільки кожен елемент кодової комбінації може прийняти лише два значення ($a = 2$), то і значення струму буде мати два значення. Домовимось, що значущій позиції 1 буде відповідати струм $i = I_0$, а значущій позиції 0 - струм $i=0$ (наявність струму або відсутність його).

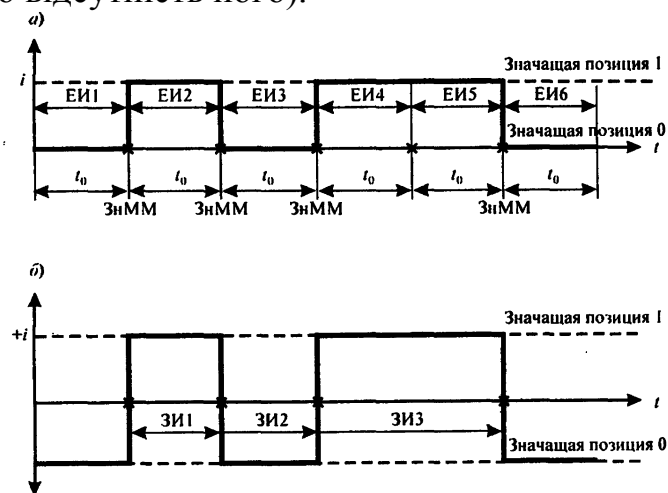


Рисунок 2.1 - ОПМ та ДПМ

Тоді сигнал, відповідний двійковій кодовій комбінації 010110, буде таким, як на рис.2.1, а. При цьому на рисунку можна виявити три значущих інтервали ($ЗИ1 = t_0$, $ЗИ2 = t_0$, $ЗИ3 = 2t_0$), шість одиничних інтервалів ОІ1 - ОІ6, дві значущі позиції модуляції $3nПМ$ (1 і 0) і чотири значущих моменти модуляції $3nММ$ (позначені хрестиком). При однополюсній модуляції імпульси зі значенням струму $i = I_0$ називають *струмовими*, а зі значенням струму $i=0$ - *безструмовими*.

Якщо при використанні в якості переносника постійного струму модульованим параметром взяти напрямок струму, то отримаємо двополюсну модуляцію (ДПМ). Сигнал ДПМ для комбінації 010110 наведено на рис.2.1, б. Значущій позиції 1 в цьому випадку буде відповідати значення струму, $i = +I$, а значущій позиції 0 - $i = -I$. На рис.2.1,б ті ж, що і на рис.2.1,а, дві значущі позиції, чотири значущих моменти, шість одиничних і три значущих інтервали. При ДПМ імпульс зі значенням струму $i = +I$ називають *позитивним*, а зі значенням $i = -I$ - *негативним*.

Технічно ОПМ реалізується простіше (одна батарея і ключ на замикання), ніж ДПМ (дві батареї з заземленою середньою точкою і ключ на перемикання). Однак при порівнянні рис.2.1, а і б виявляється, що різниця між значущими позиціями в разі ДПМ в 2 рази більше, ніж в разі ОПМ. Отже, сигнал ДПМ має велику стійкість.

Сигнали ОПМ і ДПМ застосовують для передачі дискретної інформації по фізичних ланцюгах (повітряні, кабельні лінії, кручена пара) на невеликі відстані.

Якщо в якості переносника використовувати змінний струм, то модульованими параметрами можуть бути амплітуда, частота і початкова фаза. Відповідно до цього можна отримати три види модуляції: амплітудну (АМ), частотну (ЧМ) і фазову (ФМ). Вид сигналів для зазначених випадків при передачі кодової комбінації 010110 наведено відповідно на рис.2.2, а, б і в.

При використанні змінного струму в якості переносника в параметричних видах модуляції еталоном береться визначене значення інформаційного параметра, а значущі позиції визначаються порівнянням істинного значення параметра з етальонним. При АМ - це поріг спрацювання вхідного пристрою приймача, при ЧС - середня частота каналу, при ФМ - опорна (еталонна) фаза в межах елементарного імпульсу. Дискретні сигнали, які використовують в якості переносника змінний струм, застосовуються для передачі інформації по фізичних ланцюгах і каналах тональної частоти.

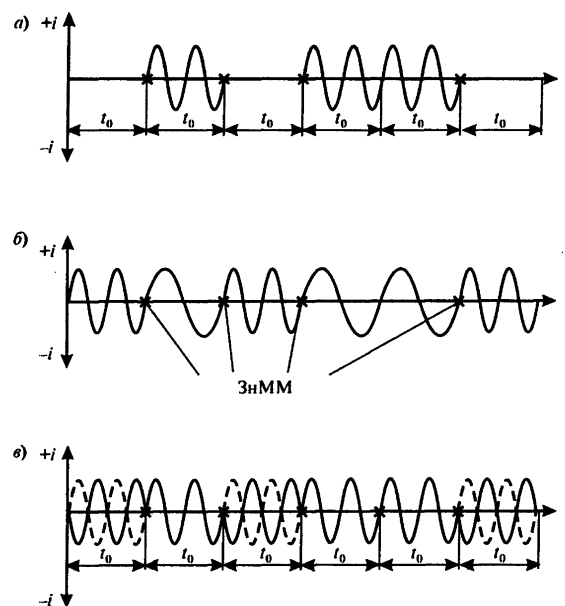


Рисунок 2.2 - АМ, ЧМ та ФМ

З точки зору технічної реалізації модемів, перевагу має АМ, але стійкість її порівняно низька. Кращою в цьому сенсі є ФМ, але для її реалізації необхідно мати високостабільний генератор опорного коливання, що здорожує систему. Тому каналостворюючу апаратуру будують із застосуванням ЧС.

В реальних умовах проходження сигналів по каналах зв'язку їх параметри змінюються порівняно повільно щодо тривалості елементарних імпульсів, що дає підставу застосовувати для формування і оцінки інформаційного параметра чергового імпульсу значення параметра попереднього імпульсу, тобто здійснювати відносну модуляцію. Це спрощує технічну реалізацію приймально-передавальних пристроїв і підвищує стійкість систем зв'язку.

Значуща позиція чергового імпульсу формується за наступним правилом: якщо передається 1, то значуща позиція i -го імпульсу збігається зі значущою позицією $(i-1)$ -го імпульсу, а якщо передається 0 - протилежна їй. Перед початком передачі необхідно в лінію послати допоміжний імпульс з відомим значенням інформаційного параметра.

Маючи на увазі спрощення технічної реалізації кінцевих пристроїв і порівняно високу стійкість перед перешкодами сигналів з ФМ, з можливих відносних видів дискретної модуляції (ОАМ, ОЧМ, ОФМ) частіше використовують сигнали з ОФМ (рис.2.3).

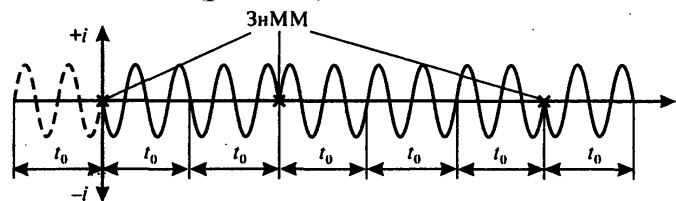
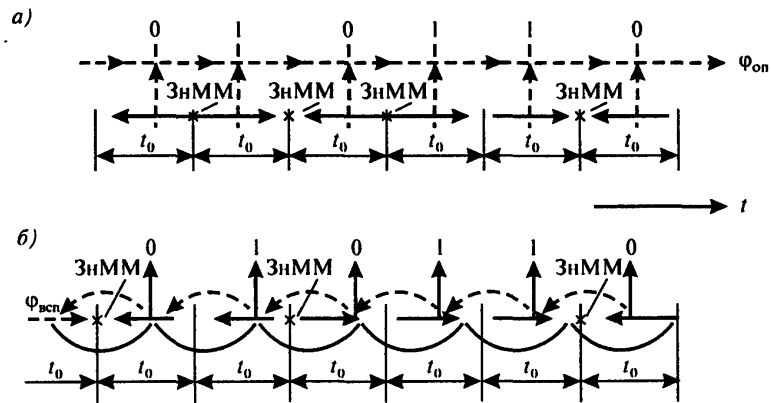


Рисунок 2.3 - Сигнал з ОФМ

Правила формування сигналів ФМ і ОФМ в векторному поданні наведені на рис.2.4.

При фазовій модуляції (рис.2.4, а) вектор коливання з опорною фазою $\varphi_{оп}$ залишається незмінним весь час. Вектори коливань в межах кожного елементарного імпульсу мають напрямок, що збігається (для значущої позиції 1) або протилежний (для значущої позиції 0) вектору опорного коливання. При відносній фазовій модуляції (рис.2.4,б) перед початком передачі надсилається елементарний імпульс з відомою фазою $\varphi_{всп} = 0^\circ$. Фаза першого елемента сигналу формується щодо φ за правилом, вказаним вище. Оскільки перший елемент дорівнює нулю, то фаза першого коливання змінюється по відношенню до фази допоміжної послілки, тобто $\varphi_1 = 180^\circ$. Фаза другого елемента визначається щодо фази першого, і так як він дорівнює одиниці, то залишиться незмінною, тобто $\varphi_2 = 180^\circ$, фаза третього - щодо фази другого і т.д.

Різниця в отриманих сигналах очевидна: і фази деяких елементів сигналу не збігаються, і число ЗнММ різне.



Запитання для самоперевірки:

- Які види модуляції називаються параметричними?
- Які види модуляції називаються відносними?
- Поясніть однополюсну модуляцію.
- Поясніть двополюсну модуляцію.
- Поясніть АМ, ЧМ, ФМ.
- Вкажіть переваги та недоліки розглянутих модуляцій.

3 ПЕРЕДАЧА ДИСКРЕТНИХ СИГНАЛІВ ПО ЛІНІЯХ І КАНАЛАХ

3.1. Види ліній і каналів

Сформовані імпульсні сигнали можна передавати по різних фізичних лініях (повітряні, кабельні), а також застосовувати для цих цілей стандартні канали тональної частоти і стандартні дискретні канали аналогових і цифрових систем передачі. Вид обраної направляючої системи або каналу визначається необхідною дальністю передачі і необхідною завадостійкістю. Остання, в свою чергу, залежить від виду дискретної модуляції.

Якщо застосовані однополюсна (ОПМ) або двополюсна (ДПМ) види модуляції, то для передачі дискретних сигналів можна використовувати тільки фізичні ланцюги: повітряні лінії зв'язку, пари жил міського телефонного кабелю, кручені пари категорії 3, 4, 5 та ін. Дальність передачі буде визначатися параметрами лінії (активний опір, провідність ізоляції, індуктивність, ємність) і складе від кількох сотень метрів (100-200) до декількох сотень кілометрів (300-400).

Більшою завадостійкістю володіє двополюсна модуляція. Тому при неможливості забезпечити точну передачу із застосуванням ОПМ необхідно перейти на тій же лінії до ДПМ. При одному і тому ж рівні перешкод на лінії перехід від ОПМ до ДПМ дозволить також збільшити дальність зв'язку.

По фізичних ланцюгах можна передавати дискретні сигнали і з застосуванням дискретної модуляції на змінному струмі: АМ, ЧМ, ФМ, ОФМ та ін. Умови проходження сигналів по лініях і дальність передачі будуть визначатися тими ж факторами, що і для модуляції на постійному струмі. Однак при цих видах модуляції дискретні сигнали частіше передають по каналах тональної частоти (ТЧ), організованих по провідних, радіорелейних, радіо і супутникових лініях. Дальність зв'язку при цьому не обмежена.

З організаційної точки зору, канали ПДІ можуть бути комутовані і виділені. У першому випадку (рис. 3.1, а) канал створюється з окремих ланок мережі з використанням комутаційних станцій КСТ на час передачі інформації. У другому випадку (рис. 3.1, б) канал працює постійно між двома кінцевими (абонентськими) пунктами АП, тому його називають «точка-точка». Якщо в один і той же канал включаються паралельно кілька кінцевих пунктів (рис. 3.1, в), то такий канал називається багатопунктовим (груповим, моноканалом) або, якщо одне джерело і кілька одержувачів інформації, - «точка-багатоточка». На рис.3.1 АП - абонентський пункт, АЛ - абонентська лінія, СЛ - сполучна лінія.

З технічної точки зору, для підвищення пропускної здатності ліній на одній фізичній парі організують кілька каналів, створюючи багатоканальні системи. Для цього використовують методи частотного поділу каналів (ЧРК) або часового поділу каналів (ВРК), звані ще мультиплексуванням. При частотному мультиплексуванні кожному підканалу надається своя смуга частот Δf відповідно до швидкості передачі в межах допустимого частотного діапазону (рис.3.2, а).

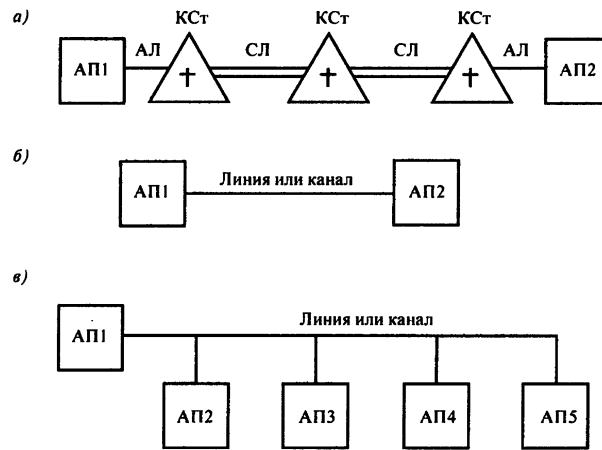


Рисунок 3.1 – Комутовані і виділені канали ПДІ

З огляду на неідеальність характеристик фільтрів між робочими смугами каналів, необхідно залишити частотну смугу розфільтрування. При тимчасовому мультиплексуванні загальний канал надається підканалам періодично протягом циклу роботи розподільника один раз (рис.3.2, б). Певний часовий інтервал циклу Δt постійно закріплений за тим чи іншим підканалом. На практиці використовуються обидва методи мультиплексування.

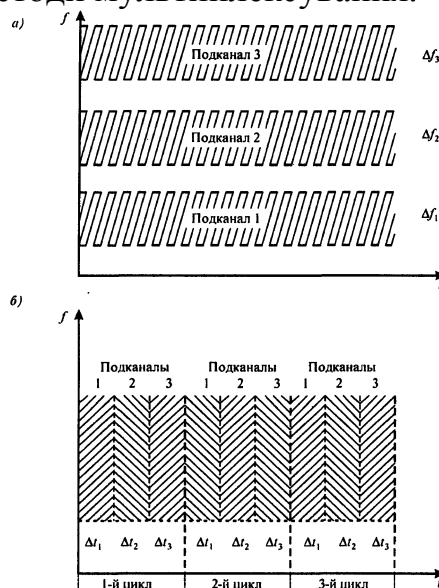


Рисунок 3.2 – Частотний та часовий розподіл каналів

Запитання для самоперевірки:

- Які фізичні ланцюги можна використовувати при застосування ОПМ або ДПМ?
- По яких каналах найчастіше передають сигнали при АМ, ЧМ, ФМ?
- Що таке виділені канали ПДІ?
- Що таке комутовані канали ПДІ?
- Для чого створюють багатоканальні системи?
- Які бувають методи поділу каналів?

3.2 Методи передачі елементів сигналу

Сформований електричний сигнал складається з елементарних імпульсів t_0 , які в залежності від числа проводів лінії можуть передаватися послідовно або паралельно.

По однопровідній лінії (другим проводом служить земля) (рис.3.3, а) імпульси слідує в порядку їх формування послідовно один за одним. Для передачі всієї кодової комбінації потрібен час, пропорційний її довжині, тобто $T_k = nt_0$. Сигнал, що відповідає цьому випадку, показаний на рис. 3.3, б.

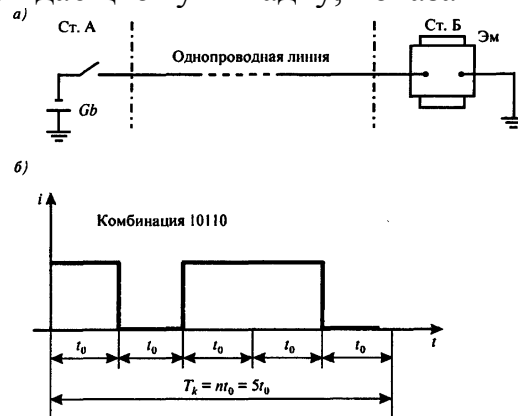


Рисунок 3.3 – Послідовна передача елементів сигналу

Якщо лінія містить стільки проводів, скільки імпульсів в кодовій комбінації (зворотним загальним проводом служить земля) (рис.3.4, а), то імпульси кодової комбінації повинні формуватися одночасно і можуть бути передані паралельно по різних проводах. Час передачі кодової комбінації буде в цьому випадку дорівнювати тривалості елементарного імпульсу, тобто $T_k = t_0$. Сигнал, що відповідає цьому випадку, показаний на рис.3.4, б.

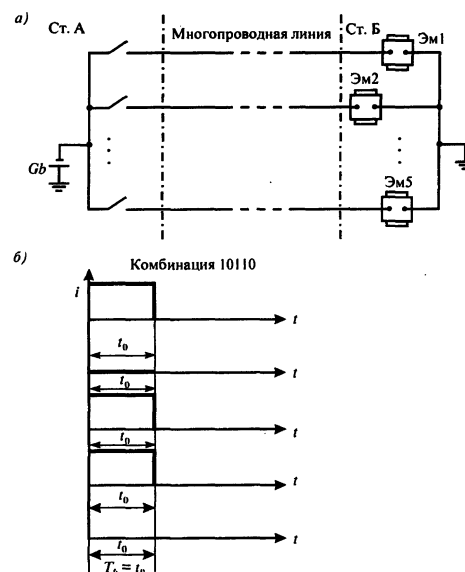


Рисунок 3.4 – Паралельна передача елементів сигналу

Властивості розглянутих методів передачі очевидні. При послідовному методі зі збільшенням довжини кодової комбінації зростає час її передачі. Однак

це не впливає на технічну реалізацію лінії. Вона завжди однопровідна, що вигідно при значній її довжині.

При паралельному методі час передачі кодової комбінації завжди постійний і малий в порівнянні з попереднім випадком, але число проводів і конструкція приймально-передавальних пристроїв залежать від довжини комбінації.

В кінцевих пристроях на етапах кодування і декодування використовують паралельну передачу, а в лінії ведеться послідовна робота. Для сполучення паралельної і послідовної роботи (рис.3.5) застосовують розподільники (РПрд і РПрм), а між шифратором (дешифратором) і розподільником включають накопичувачі (НПрд і НПрм). Це дещо збільшує приймачі, але вигода від застосування однопровідної лінії значно перевищує витрати.

Розподільники забезпечують чергове підключення лінії до відповідних елементів накопичувача, чим і забезпечується перетворення паралельної роботи в послідовну на передачу і зворотне перетворення на прийомі. Умовою правильного виконання цих перетворень є синхронна і синфазна робота передавального і приймального розподільників.

Виконання цих умов забезпечує фіксацію кодових імпульсів приймачем в тому ж темпі і в тому ж порядку, в якому вони передаються передавачем.

На рис.3.5 для простоти розуміння показані механічні дискові розподільники. У сучасних передавачах і приймачах вони будуються на електронних елементах, про що буде сказано нижче.

Якщо врахувати, що кількість елементів (контактів) розподільника може бути довільним і досить великим, а довжина кодових комбінацій постійна (для рівномірних кодів), то можливо за один цикл (період) роботи розподільника передати кілька комбінацій, тобто будувати багаторазові розподільники. При передачі (прийомі) за повний цикл однієї комбінації розподільник буде одноразовий, при передачі двох комбінацій - дворазовий, трьох комбінацій - триразовий і т.д. Цим забезпечується тимчасове ущільнення ліній (каналів) зв'язку (мультиплексування).

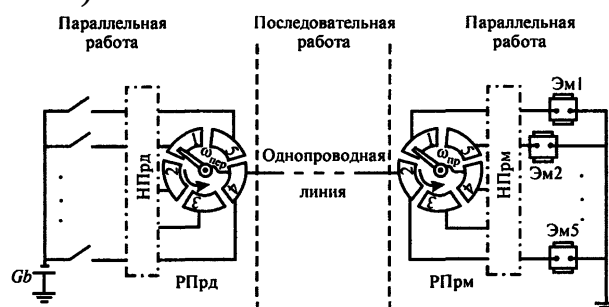


Рисунок 3.5 – Сполучення паралельної і послідовної роботи пристроїв

Розподільники можуть працювати в двох режимах: безперервному і переривистому.

При безперервному режимі роботи (рис.3.6, а) суміжні робочі цикли РЦ передачі однакові за тривалістю і розташовуються на осі часу безпосередньо один за одним або відокремлюються часовими інтервалами, пропорційними довжині циклу роботи розподільника. Це значно полегшує роботу приймача, так як, знаючи початок одного з циклів і довжину циклу, можна легко знайти будь-

який імпульс в будь-якій кодовій комбінації. Однак суворі періодичність роботи ускладнює роботу передавача, оскільки введення чергової комбінації в накопичувач повинно здійснюватися строго періодично на межі циклів.

При переривчастому режимі (рис.3.6, б) розподільника його робота починається за командою від пристрою введення і після закінчення циклу припиняється. Введення чергової комбінації в накопичувач ведеться без дотримання суворого ритму, тому робочі цикли передачі розташовуються довільно на осі часу. У проміжках між ними розподільник не працює і інформація не передається.

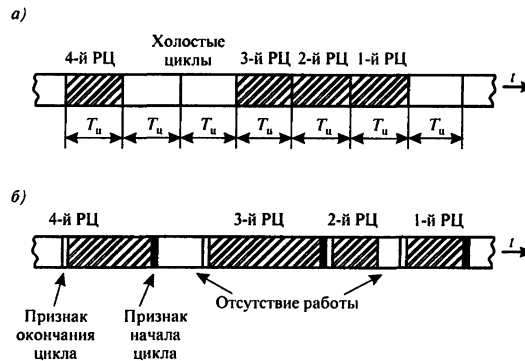


Рисунок 3.6 - Режимы работы розподільника

Отже, початок і кінець кожного робочого циклу повинні відзначатися спеціальними службовими посилками. Вони використовуються для виявлення чергового робочого циклу на прийомі і служать для запуску і зупинки приймального розподільника. У разі спотворення цих посилок черговий цикл роботи розподільника порушується.

Звідси апарати, розподільники яких працюють в переривчастому режимі, мають меншу стійкість, ніж апарати з безперервно працюючими розподільниками. Але довільне розташування робочих циклів на осі часу не накладає ніяких обмежень на режим роботи оператора. Крім того, миті появи чергового елемента сигналу строго прив'язані до службового імпульсу початку циклу, що полегшує процедури синхронізації і фазування.

Запитання для самоперевірки:

- Як можуть передаватися електричні сигнали по каналах зв'язку?
- Поясніть послідовну передачу сигналів. Вкажіть переваги та недоліки.
- Поясніть паралельну передачу сигналів. Вкажіть переваги та недоліки.
- Для чого в системах передачі використовуються розподільники та накопичувачі?
- Для чого поєднують паралельну та послідовну роботу в одній системі передачі?

3.3. Швидкість дискретної модуляції і швидкість передачі корисної інформації

Дуже важливим питанням є оцінка темпу передачі і швидкості передачі корисної інформації по лініях і каналах.

Для оцінки темпу передачі елементів сигналу вводять поняття *швидкість дискретної модуляції*. Під ним розуміють кількість елементарних імпульсів, що передаються за секунду. Чим менше тривалість елементарного імпульсу t_0 , тим більше їх число можна передати за одиницю часу, тобто

$$B = 1/t_0. \quad (3.1)$$

Одиницю швидкості передачі дискретної інформації в честь винахідника синхронного апарата Ж.Е. Бодо називають Бодом.

Швидкість дискретної модуляції можна визначити не тільки по формулі (3.1), але при послідовній передачі і таким чином

$$B = n/T_k \quad \text{або} \quad B = \frac{N_p n_{\text{ц}}}{60} = \frac{N_p n v_{\text{кр}}}{60}, \quad (3.2)$$

де n - темп роботи розподільника (об/хв);

$n_{\text{ц}}$ - кількість елементарних імпульсів, що передаються за цикл роботи розподільника;

$v_{\text{кр}} = 1, 2, 3, \dots$ - кратність розподільника.

Швидкість передачі корисної інформації визначається кількістю інформації, переданої за одиницю часу, позначається буквою v і має розмірність біт/с. Для розрахунку величини v використовують формулу

$$v = k/T_k, \quad (3.3)$$

де k - кількість інформаційних імпульсів в кодовій комбінації.

При двійковому кодуванні і однократній модуляції кожен елементарний імпульс несе один біт інформації. У цьому випадку швидкість передачі інформації і швидкість дискретної модуляції чисельно дорівнюють один одному, тобто $B = v$.

Якщо врахувати, що в кожній комбінації можуть бути службові посилки s і контрольні посилки r , то між B і v буде таке співвідношення: $B > v$. При багатократній модуляції кожен елементарний імпульс несе інформацію в $\pi_{\text{кр}}$ (кратність модуляції) більше, ніж при однократній. Тоді між B і v буде таке співвідношення: $B < v$. Причому різниця між ними може бути в 2, 3 рази відповідно до кратності модуляції, тобто $v = \pi_{\text{кр}} B$.

З огляду на, що стандартні канали ТЧ мають обмежений спектр (300-3400 Гц), можна говорити про граничні швидкості дискретної модуляції для цього випадку. Відповідно до критерію Найквіста можна прийняти співвідношення між швидкістю дискретної модуляції і шириною смуги частот каналу наступним

$$B = 2 \Delta F. \quad (3.4)$$

Отже, в стандартному каналі ТЧ можна вести передачу дискретної інформації при однократній модуляції зі швидкістю не більше $B = 2 \cdot 3100 = 6200$ Бод.

Для передачі дискретних сигналів можна застосовувати фізичні ланцюги (проводи повітряних і кабельних ліній), стандартні ТЧ або цифрові канали.

Елементарні імпульси кодових комбінацій можуть передаватися по однопровідній лінії послідовно один за одним і по багатовпровідній лінії паралельно (одночасно). Паралельна передача застосовується всередині апаратури на короткі відстані, а послідовна - при передачі по лініях або каналах на великі відстані. Для сполучення паралельної і послідовної роботи в апаратах використовують розподільники. На передачі розподільник і накопичувач забезпечують перетворення паралельної роботи в послідовну, а на прийомі розподільник і накопичувач виконують зворотне перетворення. Передавальний і приймальний розподільники повинні працювати синхронно і синфазно.

Розрізняють поняття «швидкість дискретної модуляції» і «швидкість передачі корисної інформації». Перше з них визначається як число елементарних імпульсів в одиницю часу і має розмірність Бод, друге - як число інформаційних імпульсів в одиницю часу і має розмірність біт/с. У зв'язку з цим чисельні співвідношення між ними можуть бути різними: $v \leq B \leq v$.

Передача дискретних сигналів по лініях і каналах супроводжується діями перешкод - сторонніх електромагнітних полів, які алгебраїчно складаються з корисним сигналом. Це адитивні перешкоди. Випадкові плавні і короткочасні зміни коефіцієнта передачі також вважаються перешкодами. Це мультиплікативні перешкоди.

Запитання для самоперевірки:

- Що таке швидкість дискретної модуляції? Як вона визначається?
- Одиниці вимірювання дискретної модуляції?
- Що таке швидкість дискретної модуляції? Як вона визначається?
- Що таке швидкість передачі корисної інформації? Як вона визначається?
- Що таке граничні швидкості дискретної модуляції?

4 СПОТВОРЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИГНАЛУ

4.1 Механізм появи спотворень

Дія різного роду перешкод на сигнали, що передаються в загальному випадку впливає на форму прийнятих прямокутних імпульсів: змінюється їх амплітуда і тривалість.

При передачі дискретної інформації особливу небезпеку становить зміна тривалості імпульсів, так як вона призводить до зміщення значущих моментів відновлення щодо ідеальних меж одиничних інтервалів. В результаті в межах одиничного інтервалу з'являються різні значущі позиції, а отже, не можливе визначення дійсно значущої позиції відновлення прийнятого імпульсу. Явище зміни тривалості прийнятих імпульсів щодо ідеалу називають *спотворенням*.

Механізм появи спотворень розглянемо на прикладі проходження деякої імпульсної послідовності по каналу з перешкодами. Нехай передані імпульси мають строго прямокутну форму з основою t_0 (часовий параметр) і висотою $i = I$ для струмових імпульсів і $i = 0$ для безструмових (інформаційний параметр), як це показано на рис.4.1, а. У каналі вони зазнають ослаблення (рис.4.1, б) і часове зрушення (рис.4.1, в).

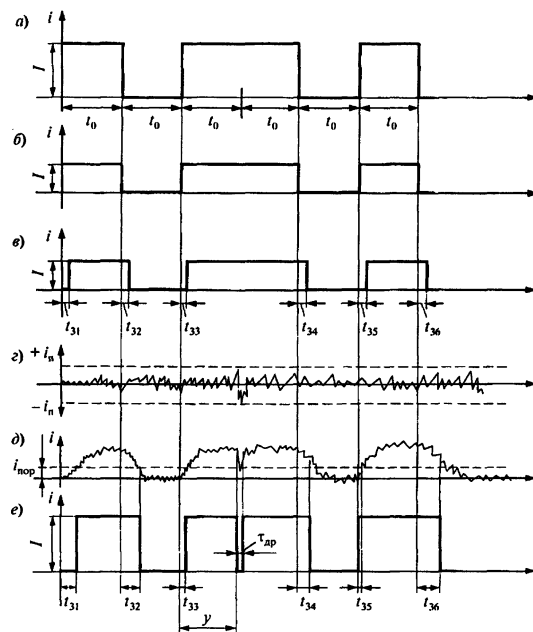


Рисунок 4.1 – Механізм появи спотворень

Ослаблення обумовлено наявністю в лінії активних складових (R і G), а часове зрушення - наявністю реактивних складових (L і C). Ці параметри складають основу коефіцієнта передачі каналу i , якщо вони постійні, то на виході каналу були б прямокутні імпульси з тією ж основою, але з меншою амплітудою для струмових імпульсів ($i = I'$), зрушені з тимчасової осі на деякий час запізнювання t_3 . При цьому кожна з меж імпульсів зрушила по осі часу на одну і ту ж величину $t_{31} = t_{32} = t_{33} = t_{34} = t_3$.

Однак в лінії діють сторонні електромагнітні процеси - перешкоди (рис.4.1, г), точний характер змін яких отримати не вдається. Можливо лише оцінити межі $\pm i_n$ їх зміни, в межах яких струм перешкоди змінюється випадковим,

непередбаченим чином. Стохастичний характер носить зміна коефіцієнта передачі каналу. В результаті цих заважаючих дій характер кривої зміни струму на виході каналу буде в першому наближенні таким, як це показано на рис.4.1, д. На вході приймача стоїть граничний пристрій з параметром спрацьовування $i_{\text{пор}}$, що дозволяє відновити прямокутну форму імпульсів і збільшити амплітуду прийнятих струмових імпульсів до $i = I$. Однак тривалість імпульсів відновити не вдається через нерівності часу запізнювання їх меж $t_{z1} \neq t_{z2} \neq t_{z3} \neq t_{z4} \neq t_z$ і різких короточасних змін амплітуди вхідних посилок. Це явище, тобто зміна тривалості вхідних посилок, називають спотворенням елементарних імпульсів.

По механізму появи спотворень їх поділяють на *крайові спотворення* і *спотворення дроблення*. Це два різних види спотворень, перше з яких проявляється в зміні тривалості елементарного імпульсу через неоднаковий час запізнювання його меж. Характерною ознакою цього виду спотворень є те, що тривалість значущих інтервалів t_{zi} на прийомі виявляється не рівною цілому числу одиничних інтервалів t_{oi} , як це було на передачі $t_{zi}/t_{oi} \neq \text{цілому числу}$.

Це якісна оцінка крайового спотворення. Кількісно абсолютне значення крайового спотворення кожного імпульсу може бути оцінено виразом

$$\theta_i = t_{zi} - t_{z(i+1)}. \quad (4.1)$$

У загальному вигляді для безлічі прийнятих імпульсів

$$\theta = t_{z \max} - t_{z \min}. \quad (4.2)$$

На практиці (вимір, оцінка, нормування) використовують відносне крайове спотворення і висловлюють його в процентах

$$\delta = \frac{t_{z \max} - t_{z \min}}{t_0} = \frac{\theta}{t_0} 100. \quad (4.3)$$

Дроблення найчастіше визначають як короточасну зміну значущою позиції всередині еталонного інтервалу. Дроблення змінює тривалість елементарного імпульсу в бік її зменшення і призводить до появи як би декількох імпульсів на базі сигналу. Характерною ознакою цього виду спотворень, які оцінюватимуть його з якісної сторони, є поява зайвої кількості значущих моментів відновлення в послідовності прийнятих імпульсів в порівнянні з кількістю значущих моментів модуляції в послідовності переданих імпульсів

$$n_{\text{знМВ}} > n_{\text{знММ}}. \quad (4.4)$$

Кількісною оцінкою кожного дроблення є його тривалість $\tau_{\text{дрі}}$ і тимчасове положення щодо ідеальної передньої межі імпульсу u_i . Кількість дроблень всередині імпульсу може бути довільною.

У реальних каналах одночасно мають місце обидва види спотворень. Через випадковість характеру і безліч незалежних джерел перешкод і крайові спотворення, і дроблення оцінюються з позицій теорії ймовірності як випадкові величини.

Запитання для самоперевірки:

- Дайте визначення спотворенням.
- Поясніть механізм появи спотворень.
- Що таке крайові спотворення? Чому вони виникають?
- Що таке спотворення дроблення? Чому вони виникають?

4.2 Поняття про помилки

З розгляду механізму роботи реєструючих пристроїв, що реалізують різні методи реєстрації, видно, що, незважаючи на наявність на вході спотворених імпульсів, значуща позиція їх визначається правильно. Крім того, відновлюється і тривалість зареєстрованих посилок, тобто відбувається регенерація. Таким чином, на виході пристрою, що реєструє, імпульси мають ідеальну амплітуду і теоретично ідеальну тривалість. Однак якщо спотворення імпульсів перевищать певну межу і будуть порушені умови правильного прийому, то можливі випадки неправильної реєстрації значущої позиції відновлення. Явище, коли значуща позиція відновлення відрізняється від значущої позиції модуляції однойменних імпульсів, називають *помилкою*. Помилки виникають в разі збільшення завадоактивності каналів, при короткочасних пропадаваннях каналу, несправності в приймачі. Перешкоди в каналах зв'язку, викликані ними спотворення елементів дискретних сигналів і помилки пов'язані в єдиний ланцюжок (рис.4.2). Всі ці явища через безліч причин і не пов'язаних між собою факторів носять випадковий характер.

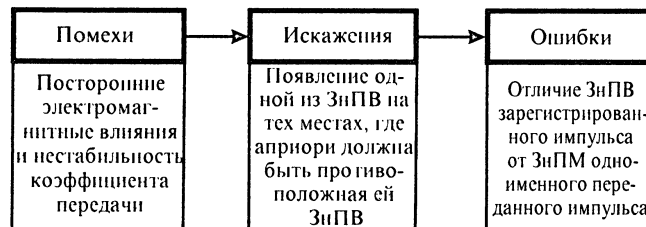


Рисунок 4.2 – Зв'язок між завадами, спотвореннями і помилками

Оскільки імпульси на виході пристрою, що реєструє, мають ідеальний вигляд, виявити наявність помилок можна тільки поелементним порівнянням переданої і прийнятої імпульсних послідовностей. Результат цього порівняння зазвичай представляють у вигляді двійкової послідовності, що є елементною сумою по модулю 2 порівнюваних двійкових послідовностей (рис.5.7), яку називають потоком помилок.

На рис.4.3, а і б представлено чотирибуквене повідомлення, закодоване кодом МТК-2, що містить 20 елементів: передане і прийняте. В результаті їх порівняння з'явився потік помилок (рис.4.3, в), в якому зафіксовано сім помилок.

а) 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 0 Переданная последовательность

б) 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0 0 1 1 0 1 1 1 1 0 0 Принятая последовательность

в) 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1 1 1 0 0 0 1 0 0 Поток ошибок

г) 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1 1 1 0 0 0 1 0 0 Взаимное расположение
1 2 3 4 4 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 ошибок в потоке

д) 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1 1 1 0 0 0 1 0 0 Наличие ошибок
Комбинация Комбинация Комбинация Комбинация в комбинациях
1 2 3 4

Рисунок 4.3 – Виявлення помилок

Запитання для самоперевірки:

- Що таке помилка?
- Причини виникнення помилок?
- Поясніть зв'язок між завадами, спотвореннями і помилками.
- Як виявляють помилки?

4.3 Класифікація помилок

Потік помилок є предметом аналізу і класифікації (рис.4.4). По-перше, помилки поділяють по виду на помилки $1 \rightarrow 0$ (перехід одиниці в нуль) і помилки $0 \rightarrow 1$ (перехід нуля в одиницю). На рис.4.3, г в потоці помилок чотири помилки виду $1 \rightarrow 0$ (8-а, 10-а, 11-а і 14-а) і три помилки виду $0 \rightarrow 1$ (12-а, 13-а і 18-а). Якщо помилку різного виду однакова кількість, то кажуть, що канал симетричний щодо помилок. Поняття виду помилок використовується в подальших щаблях класифікації.

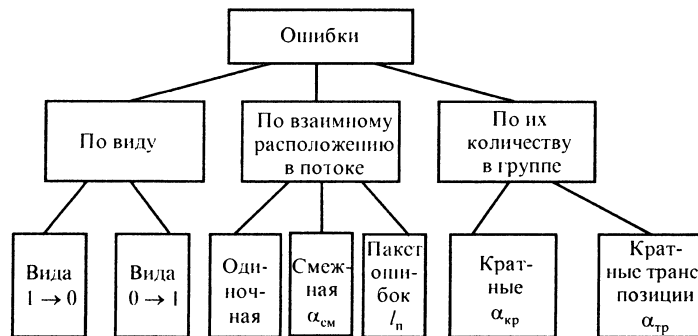


Рисунок 5.8 – Класифікація помилок

По-друге, класифікацію ведуть по взаємному розташуванню їх в потоці помилок. Тут розрізняють поняття: одиночна помилка, суміжна помилка і пакет помилок. Ці поняття визначають характер помилок (незалежні, випадково з'явилися і взаємозалежні, викликані однією причиною) і порядок їх проходження одна за одною (безперервно або з проміжками).

Одиночна помилка - помилковий розряд, до і після якого є хоча б по одному правильно прийнятому розряду. На рис.4.3, г це помилкові розряди (8 і 18).

Суміжна помилка - група слідуєчих підряд помилок, до і після якої є хоча б по одному правильному розряду. Кількість таких поспіль помилок визначається параметром $\alpha_{см} \geq 2$. На рис.4.3, г суміжна помилка займає позиції з 10-ї по 14-у $\alpha_{см} = 5$.

Пакет помилок - ділянка потоку помилок, на якому зустрічаються помилкові і правильні елементи і помилкові елементи відокремлені один від одного не більше ніж l_z правильними елементами. Величина l_z називається захисним інтервалом і в рекомендаціях МСЕ-Т визначена як $l_z = 10$. Довжиною пакета l_n вважають число елементів від першої до останньої помилки в пакеті включно.

По-третє, помилки розрізняють по їх кількості в групі певної довжини (комбінації). При цьому вводять поняття кратна помилка і кратна транспозиція.

Перше враховує лише кількість помилок в групі, а друге, на додаток до цього, і їх вид.

Кратна помилка - кількість помилок в комбінації певної довжини без урахування їх виду. Кількісно кратна помилка визначається параметром $1 \leq \alpha_{кр} \leq n$. На рис.4.3, д комбінації 2, 3 і 4 мають наступні кратності помилок відповідно: $\alpha_{кр2} = 2$; $\alpha_{кр3} = 4$; $\alpha_{кр4} = 1$.

Кратна транспозиція - кількість пар помилок різного виду ($1 \rightarrow 0$ і $0 \rightarrow 1$) в комбінації певної довжини. Кількісно кратна транспозиція оцінюється параметром $\alpha_{тр}$. На рис.4.3, д в комбінації 3 є кратна транспозиція з параметром $\alpha_{тр} = 2$. У комбінації 2 є одна пара помилок, але обидві вони однакового виду ($1 \rightarrow 0$). Це не кратна транспозиція.

Запитання для самоперевірки:

- Як поділяються помилки по виду?
- Як поділяються помилки по кількості в групі?
- Дайте визначення поняттям: одиночна та суміжна помилки, пакет помилок, кратна помилка, кратна транспозиція?

4.4 Вимірювання помилок (методи і прилади)

Виявити наявність помилок можна лише поелементним порівнянням переданої і прийнятої двійкових послідовностей. Крім того, з огляду на імовірнісний характер появи помилок і вимоги до якості передачі, нормоване значення коефіцієнта помилок дуже мале. Це накладає відбиток на методи вимірювання помилок.

Перш за все, вимірювання помилок можна проводити тільки на вільних каналах, що обумовлено необхідністю передавати відому двійкову послідовність від датчика випробувальних сигналів. Для отримання достовірних результатів сеанси вимірювання помилок повинні бути досить тривалими (кілька сотень годин).

Схеми вимірювань помилок не відрізняються від схем вимірювання спотворень. Це вимір «шлейфом» і за схемою «точка-точка». При цьому використовуються ті ж датчики випробувальних сигналів ДІС, але з усього набору випробувальних сигналів застосовується лише квазівипадкова послідовність типу «кодове кільце» (сигнал «тест» або «текст»). Вимірювач І повинен мати датчик контрольних сигналів ДКС, аналогічний ДІС на передачі. Підрахунок кількості помилок ведеться при порівнянні зареєстрованих імпульсів, що надходять з каналу, і імпульсів від ДКС.

Спрощена структурна схема приладу для виявлення помилок приведена на рис.4.5. Основними вузлами цього приладу є: розподільник прийому РПрм, який одержує тактові імпульси від генератора тактових імпульсів ГТИ через пристрій синхронізації УС, і датчик контрольних сигналів ДКС.

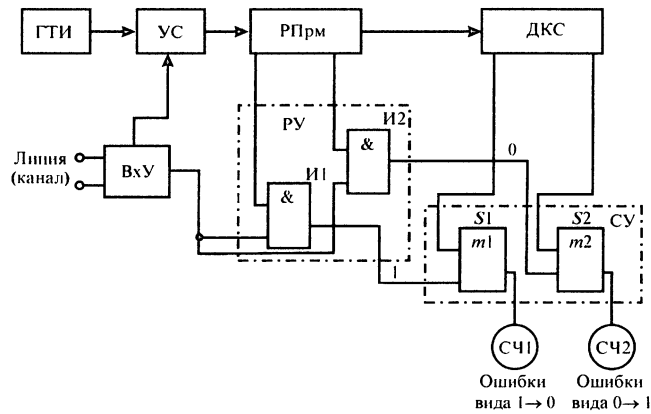


Рисунок 4.5 – Структурна схема приладу для виявлення помилок

Прийняті з лінії (каналу) імпульси через вхідний пристрій ВхУ надходять на реєстрацію. Реєструючий пристрій РУ окремо фіксує імпульси зі значущою позицією 1 (схема збігу И1) і 0 (схема збігу И2). Потім зареєстровані імпульси поелементно порівнюються з контрольними сигналами в порівнюваних пристроях СУ суматора за модулем 2 (S1 і S2). При розбіжності значущих позицій зареєстрованих імпульсів і імпульсів від ДКС на виході відповідного суматора з'являється сигнал, який і фіксується одним з лічильників Сч1 або Сч2. Один з них фіксує помилки виду 1→0, а другий - помилки виду 0→1.

Поява помилки в каналі залежить від багатьох факторів і оцінюється як випадкове явище. Кількісно вона оцінюється імовірністю помилки і розраховується як границя відношення кількості помилок, що з'явилися $n_{\text{ош}}$ до загальної кількості прийнятих імпульсів $n_{\text{общ}}$ за умови, що вона прагне до нескінченності, тобто

$$P = \lim_{n_{\text{общ}} \rightarrow \infty} \frac{n_{\text{ош}}}{n_{\text{общ}}}. \quad (4.5)$$

Виконати умову $n_{\text{общ}} \rightarrow \infty$ практично неможливо. Тому зазвичай використовують поняття частоту помилок $P^*_{\text{ош}}$ або коефіцієнт помилок $k_{\text{ош}}$, який визначається відношенням числа помилкових елементів до загальної кількості прийнятих:

$$P^*_{\text{ош}} = k_{\text{ош}} = n_{\text{ош}} / n_{\text{общ}}. \quad (4.6)$$

При досить великому $n_{\text{общ}}$ (тривалі сеанси вимірювань) величини $P_{\text{ош}}$ і $P^*_{\text{ош}}$ мало відрізняються одна від одної. Розрізняють: коефіцієнт помилок за елементами (бітами)

$$k_{\text{ош з}} = n_{\text{ош з}} / n_{\text{общ з}}, \quad (4.7)$$

коефіцієнт помилок по комбінаціям

$$k_{\text{ош к}} = n_{\text{ош к}} / n_{\text{общ к}}, \quad (4.8)$$

коефіцієнт помилок за повідомленнями

$$k_{\text{ош с}} = n_{\text{ош с}} / n_{\text{общ с}}. \quad (4.9)$$

За результатами вимірювання помилок приладом для виявлення помилок можна розрахувати коефіцієнт помилок:

$$k_{\text{ош}} = n_{\text{ош}} / WT_{\text{с}}, \quad (4.10)$$

де $n_{\text{ош}}$ - сума показань лічильників Сч1 і Сч2;

W-темпл передачі, Бод, комбінацій/с або повідомлень/с;

$T_{\text{с}}$ - тривалість сеансу вимірювань, с.

Нормований коефіцієнт помилок для телеграфної передачі не повинен перевищувати значення $3 \cdot 10^{-5}$, а при передачі даних - $1 \cdot 10^{-6}$.

Отже, можна зробити такі висновки, що для вилучення інформації з прийнятих дискретних сигналів існують методи реєстрації. Реєстрація - операція, зворотна дискретній модуляції, і виконується в приймачі.

Метод стробування передбачає оцінку значущої позиції відновлення за результатами однієї проби. Прийняте рішення поширюється на весь одиничний інтервал.

Реєстрація інтегральним методом передбачає оцінку значущої позиції відновлення за результатами її аналізу на всій тривалості одиничного інтервалу і прийняття рішення за принципом більшості.

При значних викривленнях вхідного сигналу можливі помилки в роботі пристрою реєстрації. При цьому значуща позиція прийнятого імпульсу оцінюється невірно.

Помилки, що з'явилися класифікуються по виду на помилки $1 \rightarrow 0$ і $0 \rightarrow 1$. По взаємному розташуванню помилок в потоці розрізняють поняття: «одиначна помилка», «суміжна помилка», «пакет помилок». За кількістю помилок в комбінації розрізняють поняття: «кратна помилка» і «кратна транспозиція».

Виявити наявність помилок можна тільки поелементним порівнянням переданої і прийнятої двійкових послідовностей. Тому при вимірах помилок порівнюють сигнали, що передаються датчиком випробувальних сигналів на передачі з сигналами аналогічного датчика контрольних сигналів на прийомі. Вимірювання проводять тільки на вільних каналах, тривалість сеансу вимірювання повинна становити не менше 200 годин.

Запитання для самоперевірки:

- Як можна виявити наявність помилок?
- Які схеми вимірювань використовуються для вимірювання помилок?
- Вимірювання помилок можна проводити на вільних чи зайнятих каналах?
- Поясніть будову приладу для вимірювання помилок.

5 ПОБУДОВА КІНЦЕВИХ ТЕЛЕГРАФНИХ ПРИСТРОЇВ

5.1 Класифікація телеграфних апаратів

Кінцеві приймально-передавальні пристрої являють собою комплекс технічних засобів, за допомогою яких здійснюється взаємодія користувачів з системою зв'язку.

До складу кінцевих пристроїв прийому і передачі інформації входять: телеграфні апарати; пристрої автоматики (перфоратори і трансмітери, виконані у вигляді приставок або самостійних одиниць); пристрої введення та виведення даних (зчитувальні та записувальні пристрої, що працюють з перфострічками або перфокартами; електричні друкарські машинки; дисплеї; графопобудовувачі та ін.).

Найбільш поширеними з них є літеродрукувальні телеграфні апарати. Їх використовують не тільки для організації телеграфного зв'язку, а й в якості кінцевих пристроїв введення та виведення інформації в ЕОМ. Останнє висунуло ряд нових вимог до них. З'явилася необхідність істотного підвищення швидкості передачі (до 800, 1600 знаків/хв, далі скрізь зн/хв), зросли вимоги до надійності і вірності передачі. Установка апаратів в службових приміщеннях установ і підприємств змушує приділяти велику увагу їх зовнішньому вигляду, рівню створюваних шумів, переглядати періоди профілактичних і експлуатаційних ремонтів.

Сучасні телеграфні апарати є складними, багатофункціональними пристроями, якісно відтворюють текст письмових документів в місці прийому. Літеродрукувальні телеграфні апарати - це апарати рівномірного коду з передавачем і прийомним розподільниками. При їх побудові використовують п'ятиелементний код МТК-2 і семиелементний код КОИ-7. Їх можна класифікувати за такими ознаками.

По виду елементної бази апарати можна розділити на електромеханічні та електронні.

В електромеханічних телеграфних апаратах (ЕМТА) більшість цих функцій виконується із застосуванням точних механізмів (важелі, фрикційні, зубчасті, храпові зчеплення та ін.), керованих централізовано від одного електроприводу. Лише з'єднання з лінією здійснюється електричними пристроями (контакти реле, електромагніти).

В електронних телеграфних апаратах (ЕТА) застосовується сучасна елементна база з використанням радіокомпонентів (мікросхеми, ІМС, БІС і ін.). Введення і виведення інформації з нанесенням її на технічний носій (папір, перфолента) здійснюються із застосуванням механічних деталей (ланцюгові і ремінні передачі, храповики), керованих місцевим приводом (крокові двигуни). Централізованим джерелом енергії для управління всіма процесами є генератор тактових імпульсів (задаючий високочастотний генератор, формувач імпульсів і дільник частоти). Для гальванічної розв'язки лінійних і місцевих ланцюгів, а також для зчитування інформації з перфострічки використовуються оптрони.

В останніх моделях ЕТА для управління режимами (місцевий, лінійний, захищений, робота з текстовим запам'ятовуючим пристроєм і ін.) і друкуванням застосовують мікропроцесори.

В даний час еквівалентом телеграфного апарату є автоматизоване робоче місце телеграфіста (АРМ-Т), що включає в себе клавіатуру, процесор, модем і принтер. Крім можливості виконувати всі необхідні функції, АРМ-Т може обслуговувати кілька каналів.

По режиму роботи розподільників апарати ділять на стартстопні і синхронні. У стартстопних апаратах для усунення асинфазності розподільники зупиняються в кінці циклу роботи з тим, щоб початки чергових циклів передавального і приймального розподільників завжди збігалися (статичне коригування). З цієї точки зору, стартстопні апарати можна назвати апаратами переривчастої роботи. У синхронних апаратах відхилення фаз при безперервній роботі розподільників усувається впливом на привід для збільшення або зменшення частоти (швидкості) його роботи (динамічне коригування). Отже, синхронні апарати характеризуються безперервною роботою розподільників передавача і приймача.

За формою вживаного паперу для друкування знаків розрізняють стрічкові і рулонні апарати. Перші віддруковують знаки на телеграфній стрічці, а другі - рядками на рулоні паперу. Стрічкові апарати дешевше і простіше рулонних. Але при друкуванні знаків на стрічці доводиться потім розклеювати її на телеграфні бланки, на що витрачається багато часу.

Обробка телеграм, прийнятих на рулонному апараті, вимагає менше часу. Крім того, застосування копіювального паперу дає можливість отримати кілька копій прийнятого тексту. Однак в рулонних апаратах для повернення органів друку до початку рядка і перекладу на новий рядок витрачаються дві кодові комбінації, що приблизно на 10% знижує експлуатаційну пропускну здатність. Незважаючи на це, рулонні апарати знаходять більше застосування.

5.2 Структурні схеми передавача і приймача. Алгоритм їх роботи

Кінцеві приймально-передавальні пристрої документального електрозв'язку є комплексом пристроїв, які забезпечують введення інформації, перетворення її елементів в дискретний електричний сигнал і зворотне перетворення, фіксацію інформації на технічний носій в пункті прийому. Це різного типу телеграфні апарати, апаратура передачі даних, електронні комплекси на основі ПЕОМ, автоматичні датчики, плоттери, графопобудовувачі, принтери.

Незалежно від їх типу і конструкції, кінцеві пристрої мають загальні принципи і алгоритм роботи, характеристики завадостійкості і показники надійності. Розглянемо загальний принцип побудови приймачів і деякі їх характеристики.

Виконання окремих функцій передавальної і приймальної частинами будь-якого кінцевого пристрою можна простежити на прикладі розгляду структурних схем передавача і приймача при взаємодії їх між собою по каналу зв'язку (рис.5.1).

Передавач служить для перетворення переданого символу (графічного або функціонального) в двійкові електричні сигнали у вигляді імпульсів струму, згрупованих в кодові комбінації. В процесі перетворення виконуються наступні операції:

введення інформації з клавіатури або автоматичного пристрою, що зчитує (трансмітер, фотозчитувач). Пристрій введення УВ виробляє на одному зі своїх n виходів сигнал, що відповідає тому чи іншому переданому символу, який надходить на вхід кодуємого пристрою КУ;

кодування відповідно до обраного первинного коду. У відповідь на отриманий від пристрою введення сигнал кодуємий пристрій формує k інформаційних елементів, які одночасно (паралельно) надходять в накопичувач передачі НПрд;

зберігання (накопичення) кодової комбінації в накопичувачі передачі до закінчення повного циклу її передачі в канал зв'язку;

попереднє зчитування елементів комбінації і включення до її складу службових елементів. Цю операцію виконує розподільник передачі РПрд, зчитуючи інформаційні елементи з накопичувача і в потрібний момент керуючи датчиком службових елементів ДСЕ. Енергію для роботи він отримує від приводу, а режим роботи (безперервний, синхронний або переривчастий, стартстопний) забезпечується керуючим пристроєм УУ; модуляція і передача електричних імпульсів в канал зв'язку. Модулятором М визначається вид переносника і його змінюваний інформаційний параметр, а вихідний пристрій ВихУ забезпечує гальванічну розв'язку передавача від лінії і формує потрібну амплітуду сигналу.

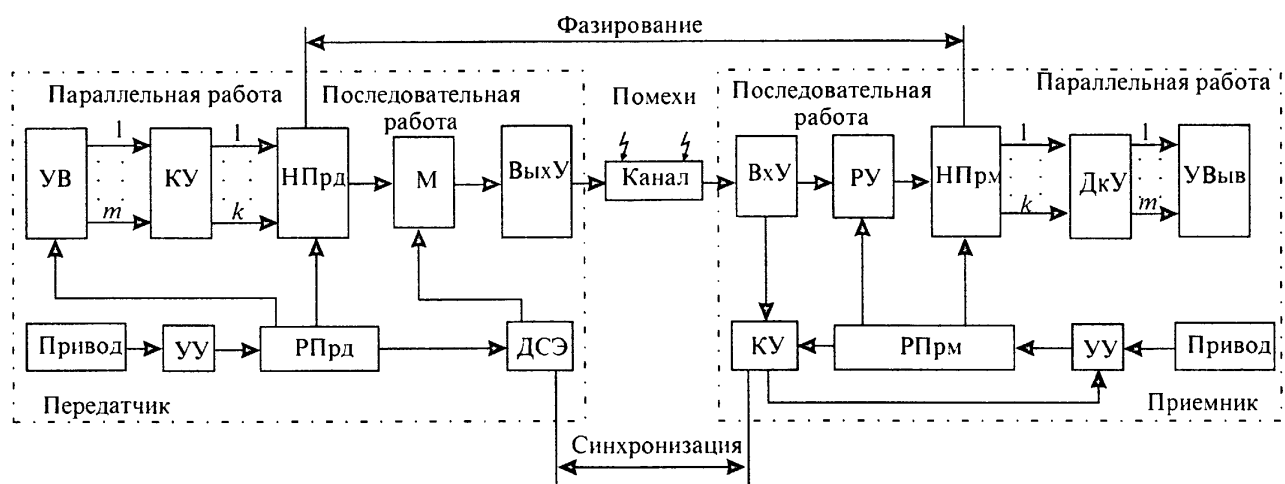


Рисунок 5.1 – Структурні схеми передавача і приймача

Схема алгоритму роботи передавача приведена на рис.5.2. Сигнал пуску розподільника від пристрою введення видається лише в передавачах з переривчастим режимом роботи розподільника (стартстопні апарати). У синхронних передавачах розподільник працює безперервно і незалежно від наявності або відсутності введення інформації. У будь-якому випадку введення чергового символу повинен блокуватися на час передачі кодової комбінації. У передавачі відбувається розгортка кодової комбінації в часі, тобто перетворення

паралельної роботи в послідовну. Кожен елемент комбінації модулюється, формується лінійний сигнал, який відправляється в канал зв'язку.

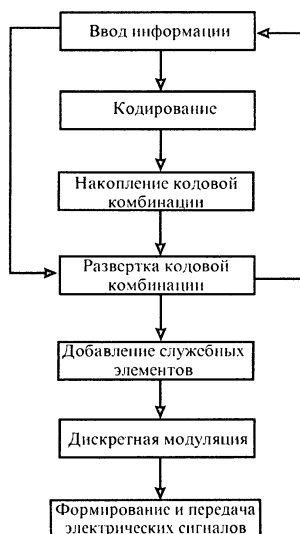


Рисунок 5.2 - Схема алгоритму роботи передавача

Приймач виконує функції, зворотні передавачу. Прийнятий електричний сигнал перетвориться в символ повідомлення з наступним нанесенням його на технічний носій. При цьому виконуються наступні операції:

прийом електричних сигналів і перетворення їх в вид, зручний для подальшої обробки. Вхідним пристроєм ВхУ забезпечується гальванічна розв'язка лінії і приймача і здійснюється виділення службових елементів;

реєстрація інформаційних елементів, тобто визначення значущої позиції кожного з них. Ця операція виконується реєструючим пристроєм РУ в суворій послідовності, яка визначається розподільником прийому РПрм;

накопичення елементів і складання з них кодових комбінацій НПрм;

декодування повністю прийнятої кодової комбінації. Після фіксації всіх k інформаційних елементів по команді від розподільника прийнята комбінація паралельно скидається на декодер ДкУ (декодер), де і ототожнюється з одним з m прийнятих символів. У приймачі відбувається перетворення послідовної роботи в паралельну;

нанесення символів на технічний носій. Пристрій виведення інформації УВив забезпечує віддруковування символу на носії (стрічка, рулон паперу), нанесення його на магнітну стрічку або у вигляді отворів на перфоленту (перфокарту).

Схема алгоритму роботи приймача приведена на рис.5.3.

Правильні реєстрація та нумерація елементів прийнятої комбінації можливі лише при наявності певних фазових співвідношень між роботою розподільників передавача і приймача. Встановлення таких співвідношень і їх підтримку в часі здійснюються корекційним пристроєм КУ, який виконує операції синхронізації і фазування. Необхідну для цього інформацію корекційний пристрій отримує з прийнятої кодової послідовності в службових елементах, що посиляються датчиком службових елементів ДСЕ передавача.

Частина розшифрованих комбінацій є недрукованою (реєстрові, «повернення каретки», «новий рядок», «запит автовідповідача») і служать для

виконання різних операцій. Друковані символи наносяться на технічний носій і після друкування кожного знака здійснюється протяг паперу. Орган друку перекладається на початок чергового рядка при надходженні комбінацій "повернення каретки" (ВК) і "новий рядок" (ПС). Прийом комбінації "пробіл" викликає протягання паперу на один крок без друку.

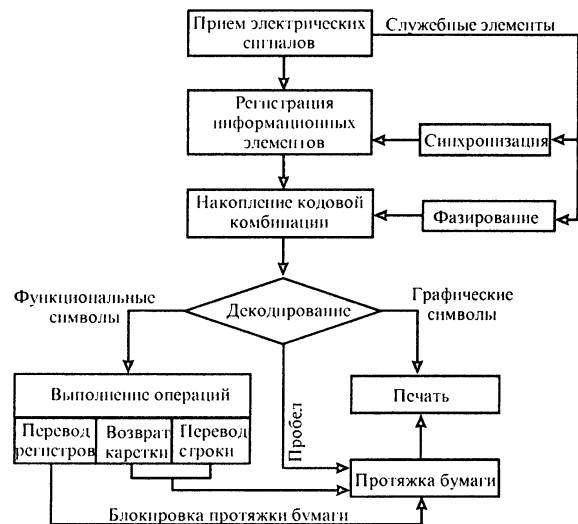


Рисунок 5.3 - Схема алгоритму роботи приймача

Поряд з розглянутими вузлами кінцевого апарату в його склад входять допоміжні пристрої, які створюють додаткові сервісні послуги для оператора і покращують якісні показники апарату.

Запитання для самоперевірки:

- Вкажіть класифікацію телеграфних апаратів.
- Які операції перетворення сигналів виконуються в передавачі? Поясніть їх.
- Які операції перетворення сигналів виконуються в передавачі? Поясніть їх.
- Поясніть алгоритм роботи передавача.
- Поясніть алгоритм роботи приймача.

5.3 Синхронізація і фазування

Поняття про синхронізацію і фазування. Як було зазначено вище, розподільники передачі і прийому повинні працювати синхронно і синфазно. Розподільник передачі формує поодинокі інтервали, вказуючи модулятору на можливість появи на їхніх межах значущих моментів модуляції. Розподільник прийому формує поодинокі інтервали, вказуючи реєструючому пристрою на необхідність прийняття рішення про ту чи іншу значущу позиції. Формування одиничних інтервалів в обох розподільниках має відбуватися з однаковим періодом, рівним t_0 . Періоди проходження тактових імпульсів і їх взаємне розташування повинні бути незмінними. В іншому випадку порушується принцип реєстрації.

З огляду на те, що ці послідовності виробляються різними генераторами (один - в передавачі, інший - в приймачі), які працюють в умовах дії різних

дестабілізуючих факторів, і імпульси схильні до спотворень, гарантії незмінності періодів тактових імпульсів і їх взаємного розташування немає. Виникає необхідність у контролі за цими послідовностями і примусовому встановленні відповідності між ними.

Необхідність синхронізації можна показати на наступному прикладі.

При фіксованому коефіцієнті нестабільності генератора

$$k_n = \Delta f / f_n, \quad (5.1)$$

де f_n - номінальна частота абсолютно стабільного генератора, стробуючий імпульс буде змінювати своє місце розташування в ту чи іншу сторону (рис.5.4).

Отже, через час $t = 1/\Delta f = 1/(k_n f_n)$ він може переміститися в середину сусіднього імпульсу, тобто на цілий період реєстрації. У телеграфних апаратах частота f_n генераторів береться рівною швидкості дискретної модуляції B . Отже, можна прийняти $t = 1/(k_n B)$. З урахуванням наявності двох генераторів (на передачі і на прийомі), в гіршому випадку мають відхилення частот від f_n в різні боки, отримаємо $t = 1/(2k_n B)$.

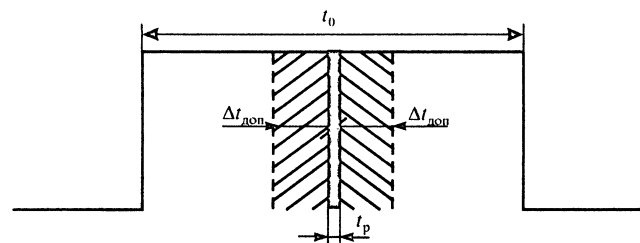


Рисунок 5.4 – Стробуючий імпульс

Зміщення стробуючого імпульсу від ідеального положення знижує виправну здатність. Значить, це зміщення можливо лише в допустимих межах ($\epsilon_{\text{доп}} = \Delta t_{\text{доп}} / t_0$) і час, протягом якого строб досягне межі встановленої зони (час підтримки синхронізму $T_{\text{пс}}$), $T_{\text{пс}} = \epsilon_{\text{доп}} / (2k_n B)$.

Наприклад, якщо задатися $\epsilon_{\text{доп}} = 0,4$ і значенням коефіцієнта нестабільності генераторів $k_n = 10^{-5}$, то при швидкості дискретної модуляції $B = 50$ Бод час підтримки синхронізму складе 400 с (6 хв 40 с). Якщо при тих же початкових умовах швидкість дискретної модуляції збільшити до 2400 Бод, то час підтримки синхронізму $T_{\text{пс}}$ складе всього 8,33 с. З цього випливає, що заходи з підтримки синхронізму необхідні.

Для імпульсно-кодового методу передачі також важливо, щоб обробка того чи іншого елемента сигналу виконувалася розподільниками синфазно, тобто щоб номери реєстрованого і реєструючого імпульсів збігалися.

У зв'язку з викладеним в приймачах розрізняють дві сторони синхронізму:

синхронізація - процес примусового встановлення відповідності між періодами вхідних імпульсів і миттями їх реєстрації;

фазування - процес встановлення відповідності між номерами реєструючого і реєстрованого імпульсів в кодовій комбінації.

Ці процеси тісно пов'язані між собою і здійснюються в приймачі пристроями синхронізації і фазування. Пристрій синхронізації (УС) і пристрій фазування (УФ) контролюють роботу приймального розподільника. Перший (на

його вході) стежить за частотою тактових імпульсів, а другий (на його виході) контролює порядок надходження імпульсів кодової комбінації до відповідних елементів накопичувача. Співвідношення за періодами проходження імпульсів і їх нумерації повинні бути незмінними і в разі їх порушення підлягають виправленню.

Вимоги до пристроїв синхронізації і їх класифікація. До пристроїв синхронізації дискретних систем зв'язку висуваються такі вимоги: незначний час входження в синхронізм при первісному включенні; мала похибка в роботі на каналах з високим рівнем перешкод; стійка робота при перервах зв'язку; простота побудови, а отже, низька ціна.

Класифікацію можна проводити за такими ознаками (рис.5.5).

За методом корекції неузгодженості частот вони бувають статичні (стартстопні) і динамічні (синхронні).

У статичних пристроях синхронізації реєструють імпульси видаються "порціями" по спеціальних сигналах початку (старт) і кінця (стоп). Якщо в роботі розподільників виявиться асинхронність, то "порція" може закінчитися раніше або пізніше ідеальної миті. Наступна "порція" чекатиме свого початку більший чи менший час, тобто неузгодженість фаз усувається зміною часу зупинки приймального розподільника при незмінному періоді роботи передавального розподільника.

У динамічних пристроях синхронізації розподільник прийому працює безперервно і асинхронність усувається зміною частоти генератора тактових імпульсів. Це накладає більш жорсткі вимоги на стабільність генераторів в порівнянні зі статичними системами.

За частотою вимірювання неузгодженості періодів пристрої синхронізації діляться на системи з підстроюванням по спеціальних (корекційних) імпульсах і на системи з підстроюванням по робочим (кодовим) імпульсам. Найбільшого поширення набули останні.

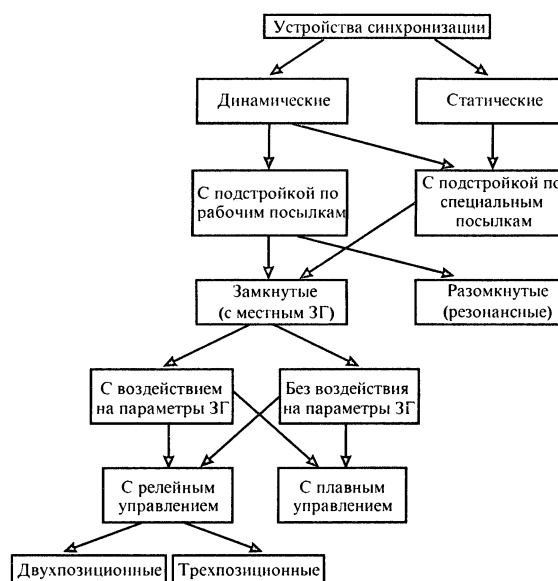


Рисунок 5.5 – Класифікація пристроїв синхронізації

За способом формування реєструють імпульсів пристрої синхронізації діляться на системи з місцевим генератором (замкнуті, системи автоматичного

управління) і системи резонансні (розімкнуті, з фільтром). У перших є генераторне обладнання (тактовий генератор - ГТІ), що складається з генератора синусоїдальних коливань, формуючого пристрою для отримання імпульсів потрібної форми і амплітуди і дільника частоти. По-друге, послідовність реєструючих імпульсів виробляється безпосередньо з вхідних посилок, виділяючи з них основну частоту резонатором (фільтром).

Резонансні пристрої синхронізації простіше замкнутих, але через низьку завадостійкість застосовуються рідко.

Замкнені пристрої синхронізації за способом регулювання частоти ГТІ поділяються на системи з безпосереднім і системи з непрямим впливом на параметри генератора. У першому випадку (рис.5.6, а) розбіжність періодів, виявлена фазовим дискримінатором ФД через інерційний елемент ІЕ і керуючий пристрій УУ, впливає безпосередньо на генератор, що задає ЗГ, змінюючи його частоту в ту чи іншу сторону. Інерційний елемент усереднює сигнал на виході ФД за відносно тривалий час, так як будь-яке випадкове відхилення періодів може викликати помилкове регулювання частоти ЗГ. У другому випадку (рис.5.6, б) керуючий пристрій діє на проміжний перетворювач ПП, в якості якого, як правило, застосовують дільник частоти.

За ступенем впливу на положення (фазу) реєструючих імпульсів пристрої синхронізації ділять на пристрої з релейним керуванням і пристрої з плавним управлінням.

У першому з них неузгодженість фаз, виявлена в i -му циклі, усувається в наступних циклах. Ступінь впливу на фазу реєструючих імпульсів постійна, а число впливів пропорційне неузгодженості. У другому випадку неузгодженість, виявлена в i -му циклі, усувається в $(i+1)$ -му циклі. Ступінь впливу на фазу реєструючих імпульсів пропорційна виміряній неузгодженості.

Керуючий пристрій систем з релейним керуванням може працювати в двох-і трьохпозиційних режимах. Генератор двохпозиційних ПС виробляє частоти $f_1 > f_n$ і $f_2 > f_n$, де f_n - номінальна частота. Зміна режимів відбувається при перевищенні неузгодженості фаз допустимих значень $\pm \phi_{доп}$, характеризуючих чутливість ПС. Генератор трьохпозиційних ПС, крім зазначених частот, може виробляти частоту $f_3 > f_n$ тоді, коли неузгодженість фаз не перевищує $\pm \phi_{доп}$.

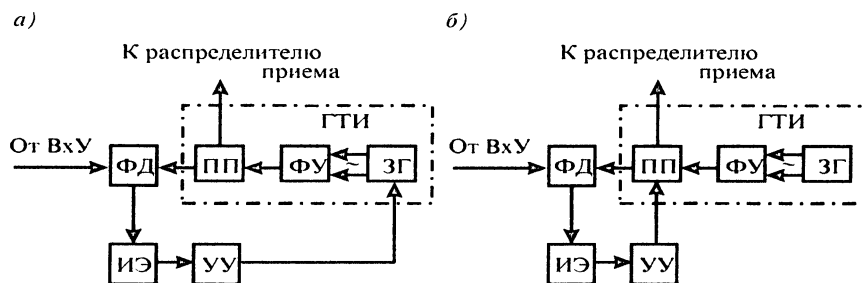


Рисунок 5.6 - Системи з безпосереднім і системи з непрямим впливом на параметри генератора

На рис.5.7,а наведена залежність неузгодженості фаз від часу для двохпозиційних, а на рис. 5.7, б - трьохпозиційних релейних ПС. Припустимо, що в момент часу $t = 0$ неузгодженості фаз немає і генератор двохпозиційного ПС знаходиться в режимі $f_1 > f_n$ (див.рис. 5.7, а). Це призведе до того, що

неузгодженість фаз буде поступово збільшуватися і в момент $t = t_1$ досягне значення $+\varphi_{\text{доп}}$. Вона буде виявлена фазовим дискримінатором і генератор переведеться в режим $f_2 < f_n$. Фазова неузгодженість поступово зменшуватиметься і в момент $t = t_2$ її не буде. Оскільки генератор продовжує перебувати в тому ж стані, неузгодженість буде зменшуватися і в момент $t = t_3$ досягне значення $-\varphi_{\text{доп}}$. Вона буде виявлена фазовим дискримінатором, і генератор перейде в режим $f_1 > f_n$. Фазова неузгодженість знову почне збільшуватися.

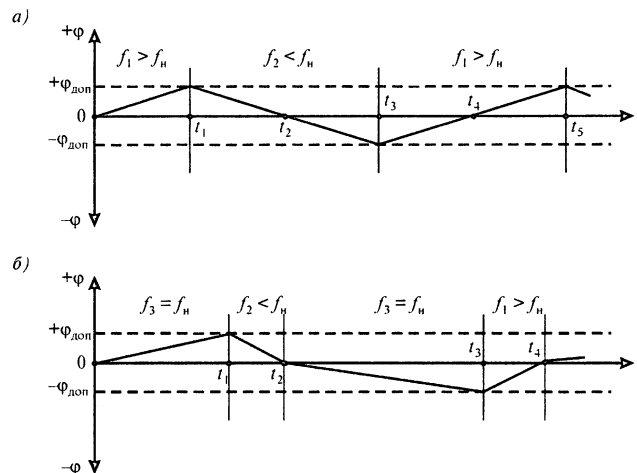


Рисунок 5.7 - Залежність неузгодженості фаз від часу

У трьохпозиційних ПС (див. рис. 5.7, б) в початковий період генератор знаходиться в стані $f_3 = f_n$. Фазова неузгодженість буде збільшуватися через його власну нестабільність, що на діаграмі відображається малим кутом нахилу прямої. При $t = t_1$ вона досягне значення $+\varphi_{\text{доп}}$, буде виявлено фазовим дискримінатором і генератор переведеться в режим $f_2 < f_n$. Неузгодженість швидко усувається і в момент часу $t = t_2$ виявляється рівною нулю. Генератор знову встановлюється в режим $f_3 = f_n$. Якщо надалі фазова неузгодженість почне зменшуватися і в момент часу $t = t_3$ досягне значення $-\varphi_{\text{доп}}$, генератор переведеться в положення $f_1 > f_n$, і вона знову усунеться до нуля.

На практиці найбільше застосування знаходять динамічні і статичні ПС без безпосереднього впливу на параметри генератора, з дискретним управлінням.

Взаємодія користувача з мережею зв'язку здійснюється за допомогою комплексного багатофункціонального пристрою - телеграфного апарату або автоматизованого робочого місця телеграфіста (АРМ-Т).

Характеристикою завадостійкості приймача телеграфного апарату є його виправна здатність. Розрізняють три види виправної здатності: теоретичну μ_0 , ефективну μ_e і номінальну μ_n .

Для нормального функціонування двох сполучених апаратів необхідна синхронна і синфазна робота їх розподільників (передавального і приймального).

Пристрої синхронізації забезпечують незмінність періодів реєстрації вхідних посилок і по методу усунення асинхронності поділяються на статичні (стартстопні) і динамічні (синхронні).

Пристрої фазування забезпечують строгий порядок фіксації посилок, що входять, в кодовій комбінації і можуть бути трьох різновидів: маркерні циклічні, маркерні аперіодичні і безмаркерні циклічні.

Запитання для самоперевірки:

- Що таке синхронізація? В чому її необхідність?
- Що таке фазування? Його призначення?
- До чого призводить зміщення стробуючого імпульсу від ідеального положення?
- Вимоги до пристроїв синхронізації і їх класифікація?

6 КІНЦЕВІ ПРИЙОМО-ПЕРЕДАВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ

6.1 Основні елементи і вузли електронних кінцевих пристроїв

Основними елементами і вузлами електронних пристроїв є: генераторне обладнання, лічильники, регістри, розподільники, накопичувачі, шифратори, дешифратори, кодоперетворювачі, пристрої сполучення з лінією, друкуючі пристрої та ін.

Узгодження роботи всіх вузлів електронного апарату здійснюється сигналами від *генератора тактових імпульсів* (ГТІ), який виконує роль, аналогічну приводу в електромеханічних апаратах. До складу ГТІ (рис.6.1) входять задаючий генератор ЗГ, формуючий пристрій ФУ і дільник частоти Д.

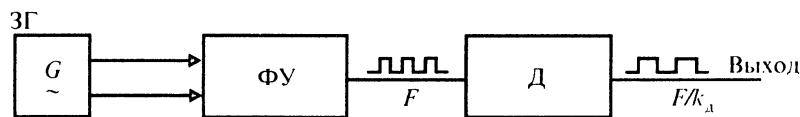


Рисунок 6.1 - Структурна схема генератора тактових імпульсів

Частота коливань, що виробляються задаючим генератором, звичайно повинна дорівнювати швидкості дискретної модуляції, тобто складати кілька десятків або сотень герц. Однак фаза коливань генераторів низьких частот під впливом теплових та інших флуктуацій струму в транзисторах коливається близько середніх значень, і досягти високої стабільності практично неможливо. У той же час точність роботи всіх вузлів електронного апарату залежить від стабільності ЗГ. Тому в сучасних системах передачі і прийому дискретної інформації застосовують високостабільні кварцові генератори гармонійних коливань частотою кілька десятків кілогерц. Генератор, що задає, може бути взятий один на станцію (апаратний зал) і забезпечувати роботу різномірних по методам синхронізації (синхронні, стартстопні) і швидкостей передачі апарати. Однак частіше ЗГ виконуються індивідуально для кожного апарату.

Генератор, що задає, може бути виконаний як двокаскадний підсилювач з позитивним зворотним зв'язком з кварцовою стабілізацією частоти, а також на основі інтегральної мікросхеми.

Формуючий пристрій призначений для отримання тактових імпульсів потрібної форми (трикутної, трапецієподібної, прямокутної, колоколоподібної і

ін.) і амплітуди. Це може бути симетричний тригер, диференціюючий ланцюг, імпульсний підсилювач та ін.

Основним елементом генераторного обладнання є **ділянки частоти**. Вони застосовуються для зниження частоти проходження імпульсів, необхідних для управління приймачем, друкуючим пристроєм, трансмітером і реперфоратором, пристроєм сполучення з лінією і іншими вузлами апарату. Подільники частоти можуть бути побудовані на основі лічильників і регістрів зсуву. Схема подільника частоти на основі чотирирозрядного підсумовуючого лічильника з $K_{\text{ліч}} = 2^n = 2^4 = 16$ приведена на рис.6.2, а.

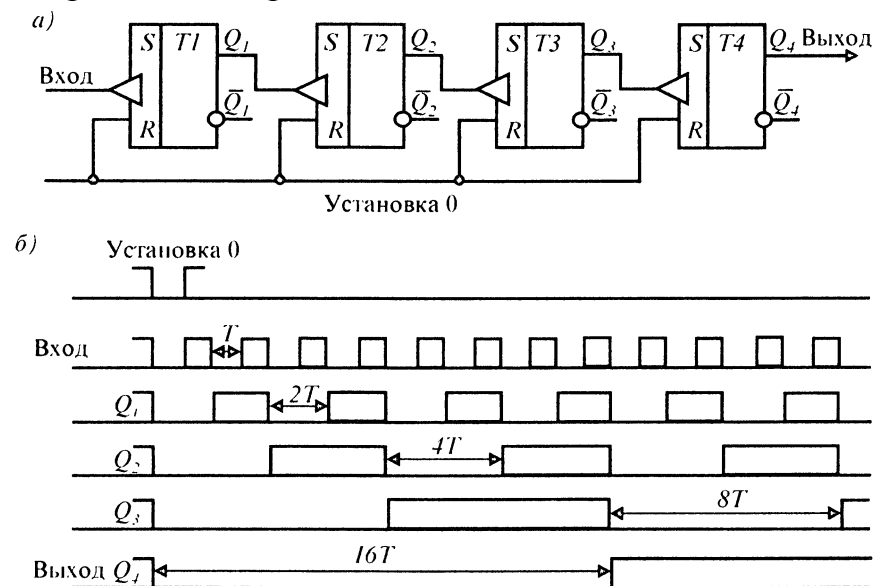


Рисунок 6.2 - Схема ділянки частоти

Після установки елементів в вихідний нульовий стан і надходження на вхід імпульсів тригер Т1 перейде в стан 1. При отриманні другого імпульсу тригер Т1 повернеться в стан 0, а тригер Т2 перейде в стан 1 і т.д. З тимчасової діаграми (рис.6.2, б) видно, що такий лічильник може бути використаний в якості подільника частоти з коефіцієнтом ділення $k = 16$.

Кожен з елементів такого ділянки зменшує частоту проходження імпульсів в 2 рази. Тому подібні подільники отримали назву бінарних. У них коефіцієнт ділення завжди визначається числом елементів і дорівнює цілому степеню двійки, тобто $k_{\text{ліч}} = 2^n$. Для отримання подільника з коефіцієнтом ділення, відмінним від 2^n , застосовують зворотні зв'язки. З їх введенням усувається k "зайвих" стійких станів.

Зворотні зв'язки утворюються подачею сигналу з виходу лічильника на вхід попередніх тригерів. Якщо включити вихід лічильника на вхід першого тригера, то коефіцієнт ділення зменшиться на $k = 2^0$, якщо до входу другого тригера - на $k = 2^1$, якщо до входу третього - на $k = 2^2$ і т.д. У загальному випадку при комбінованому включенні зворотного зв'язку коефіцієнт ділення бінарного лічильника може набувати таких значень: $2^{n-1} + 1 \leq k_{\text{сч}} \leq 2^n - 1$.

Можливе застосування кільцевих (замкнутих) регістрів зсуву для побудови подільника частоти. У таких регістрах в стані 1 знаходиться один з елементів, а решта - в стані 0. При надходженні тактових імпульсів відбувається послідовний

перехід в стан 1 всіх елементів один за одним так, що в стані 1 щоразу знаходиться один з них. Сигнал з останнього елемента надходить на вихід і одночасно по ланцюгу зворотного зв'язку подається знову на перший елемент регістра. Отже, кільцевий регістр зсуву з одним виходом, в якому безперервно циркулює одна "одиниця", можна вважати дільником частоти. У однотактних регістрах коефіцієнт розподілу дорівнює кількості елементів. Схема такого дільника приведена на рис.6.3,а, а тимчасова діаграма його роботи - на рис.7.3, б. Входом дільника є тактовий ланцюг (F- частота проходження тактових імпульсів), а результат $f = F/k$ може бути взятий з виходу останнього або будь-якого проміжного елемента. Як елементи дільника можуть застосовуватися будь-які елементи двійкової дії.

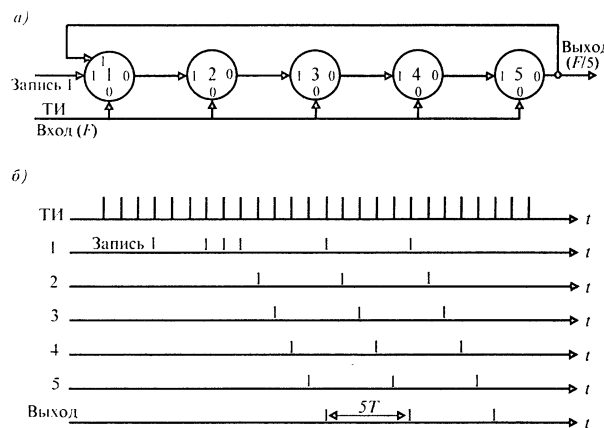


Рисунок 6.3 - Кільцевий (замкнутий) регістр зсуву

При необхідності отримання великих коефіцієнтів ділення застосовують паралельне, послідовне або змішане з'єднання подільників частоти між собою, що дає можливість побудувати подільники з меншим числом елементів.

При послідовному з'єднанні дільників (рис.6.4, а) вихід і-го подільника є входом (і+1)-го. При цьому загальний коефіцієнт ділення N включених дільників визначається добутком коефіцієнтів розподілу окремих подільників при будь-яких їх значеннях:

$$k_{\text{общ}} = \prod_{i=1}^N k_i. \tag{6.1}$$

При паралельному включенні (рис.6.4, б) вхідні кола всіх дільників є загальними. Виходи всіх дільників підключаються до елементу І. Сигнал на виході цього елемента з'являється в разі збігу імпульсів на виході всіх дільників. Загальний коефіцієнт ділення для цього випадку також визначається виразом (7.1), але на значення k_i накладаються обмеження: вони повинні бути взаємно простими числами, тобто не мати спільних дільників, крім одиниці:

$$D(k_i) = 1. \tag{6.2}$$

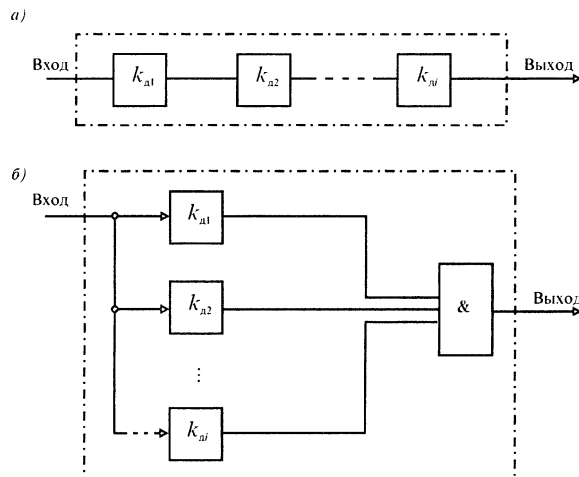


Рисунок 6.4 – Послідовне та паралельне з'єднання дільників

Регістри служать для зберігання і обробки n -розрядних двійкових чисел. Кожному розряду двійкового числа відповідає свій елемент регістра.

Регістри залежно від способу запису в них інформації поділяють на паралельні, послідовні і паралельно-послідовні. В паралельний регістр символи кодової комбінації для запису надходять одночасно (паралельно). Послідовний, або зсувний, регістр характеризується послідовним записом в ньому інформації послідовним зсувом символів кодової комбінації тактовими імпульсами. Паралельно-послідовні регістри мають входи для паралельного і послідовного запису інформації. Залежно від способу управління записом і зсувом інформації розрізняють одно-, дво- і багатотактові регістри.

Паралельний регістр складається з n RS-тригерів (розрядів), на вході і виході яких включені елементи І (рис.6.5, а). Імпульс на вході R встановлює всі асинхронні RS -тригери в стан 0. Синхронізуючий імпульс С1 забезпечує запис одиничних символів кодової комбінації (двійкового числа) до відповідних тригерів. Записана в регістрі комбінація буде зберігатися до подачі імпульсу зчитування С2. Після цього імпульси кодової комбінації паралельно надходять на вихід регістра. Використовуються прямі Q або інверсні Q виходи тригерів.

Паралельний регістр на синхронних тригерах може бути виконаний за схемою, наведеною на рис.6.5, б. Його умовне зображення показано на рис.6.5, в.

Схема однотокового регістру зсуву на асинхронних RS-тригерах приведена на рис.6.6, а. У кожному розряді регістра використаний один тригер. Запис, зсув і виведення символів відбуваються під впливом послідовності тактових імпульсів С. В разі знаходження всіх тригерів в стані 0 тактовий імпульс, що надходить на вхід R, їх стану не змінює. Якщо який-небудь тригер знаходиться в стані 1, то в момент дії тактового імпульсу він переходить в стан 0, і перепад напруги на виході Q надходить на вхід елемента затримки. Час затримки повинен бути достатнім для закінчення всіх перехідних процесів викликаних переходом тригера в стан 0, і готовності тригера до прийому нової інформації, що надходить із затримкою по відношенню до тактового імпульсу.

Найбільше застосування в дискретних пристроях отримала схема шифратора, що складається з діодної матриці з $2^n = m$ входами і p виходами (рис.6.7, а). Сигнал логічної 1 (негативний потенціал), що подається на один з входів з'являється на виході тільки деяких горизонтальних шин, на інших шинах буде сигнал логічного 0. Наприклад, при передачі знака 3 на виході шифратора потенціали з'являться на шинах 1-го і 2-го розрядів, що відповідає кодовій комбінації 0011. Умовне позначення шифратора показано на рис.6.7, б.



Рисунок 6.7 - Шифратор

Дешифратором (декодером) називають комбінаційний логічний пристрій, що перетворює сукупність двійкових елементів (кодову комбінацію), що надходять на входи, в сигнал, що з'являється тільки на одному з виходів.

Число входів дешифратора визначається числом символів кодової комбінації n , число виходів $m = 2^n$. Тому дешифратори часто називають декодерами. Дешифратор на інтегральних елементах реалізують на основі одно- або багатоступінчастої схеми дешифрування. Серед багатоступеневих найбільшого поширення набули прямокутні (матричні) і пірамідальні схеми дешифраторів.

Одноступінчаті, або лінійні, дешифратори виконують пряме перетворення вхідних сигналів у вихідні. На рис.6.8, а наведена схема дешифратора з паралельним введенням інформації на два входи ($n = 2$) і чотири виходи ($m = 4$). Сигнал на одному з виходів $y_1 - y_4$ з'явиться тільки в тому випадку, якщо на вхід надійде відповідна комбінація. Зазвичай схема дешифратора доповнюється інверторами вхідного сигналу, завдяки чому зменшується число виводів з інтегрального елемента. Умовне позначення дешифратора показано на рис.6.8,б.

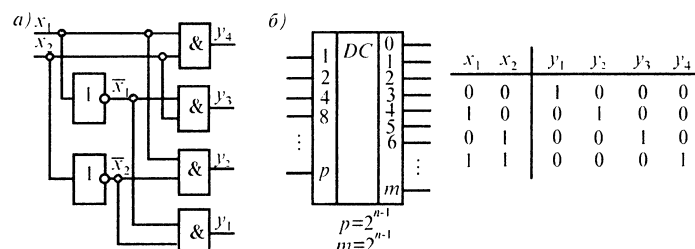


Рисунок 6.8 - Дешифратор

Прямокутні або матричні дешифратори містять два супені. Перший ступінь складається з декількох лінійних декодерів, кожен з яких дешифрує групу символів вхідної кодової комбінації. Кількість лінійних дешифраторів визначається числом груп, на яке розбивається n -елементна кодова комбінація.

У другому рівні дешифратора відбувається збіг вихідних сигналів за матричною схемою. Число розрядів дешифруємої комбінації найчастіше обмежується здатністю навантаження елементів першого ступеня лінійного дешифратора. При великому числі розрядів дешифруємої комбінації ($n > 6$) і обмеженою здатністю навантаження ($m > 10$) повний прямокутний дешифратор будують з числом каскадів більше двох.

На рис.6.9 наведена схема прямокутного двоступеневого дешифратора чотириелементного коду. Вихідна комбінація символів розбита на дві групи по два символи, кожна з яких на першому місці дешифрується лінійним дешифратором, а на другий - матричним, що складається з двухвходових елементів І. Недоліком лінійних і прямокутних схем є велика кількість елементів //, необхідних при великому числі елементів кодової комбінації p .

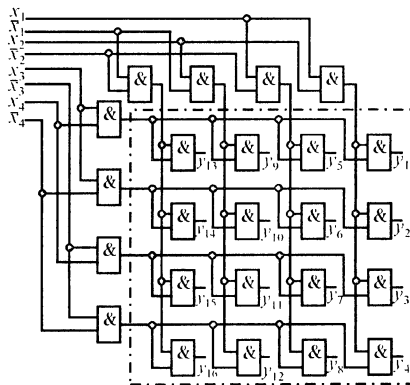


Рисунок 6.9 - Схема прямокутного двоступеневого дешифратора

Матричні дешифратори можуть бути реалізовані і на напівпровідникових діодах. Схемою, наведеною на рис.6.10, дешифруються чотириелементні кодові комбінації. Вхідні символи на діодну матрицю подаються зазвичай з тригерів. Якщо тригер знаходиться в стані 1, позитивний потенціал подається на шини x_1 - x_4 , а якщо в стані 0 - на шини $\bar{x}_1$ - $\bar{x}_4$. Напруга $+E_k$, рівна приблизно напрузі живлення тригерів, з'явиться на одній з вертикальних шин вихідного сигналу тільки в тому випадку, якщо на всі діоди, підключені до шини, подається напруга $+E$ з виходу тригерів. Кожна група діодів, підключених до вертикальної шини одним кінцем, а до горизонтальної - іншим, утворює схему збігу однієї з 2^n комбінацій p -елементного коду. Тому напруга може з'явитися тільки на одній вертикальній шині при будь-якому стані тригерів. На інших шинах вона дорівнюватиме нулю. Недоліком матричних дешифраторів є велике число діодів ($n2^n$), особливо при великій кількості елементів кодової комбінації p .

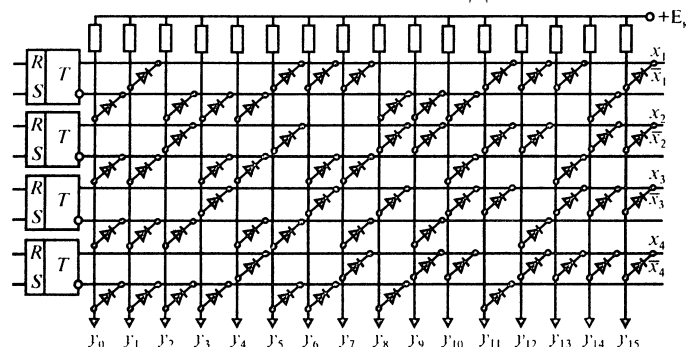


Рисунок 6.10 - Матричні дешифратори

Пірамідальні дешифратори є багатоступінчатими, на всіх ступенях застосовані двовходові схеми І. Число ступенів в дешифраторі на одиницю менше числа символів в дешифруємій кодовій комбінації $j = n - 1$, а число елементів І в i -й ступені становить 2^{i+1} . Принцип побудови пірамідального дешифратора пояснюється рис.6.11. Сигнали на кожному з 16 виходів дешифратора формуються трьома ступенями, оскільки число дешифруємих кодових комбінацій $n = 4$. Чотири сигнали першого ступеня є кон'юнкція двох вхідних змінних x_1, x_2 і $\bar{x}_1, \bar{x}_2$. Вихідні сигнали другого ступеня формуються з вихідних сигналів першого ступеня і сигналів $x_3, \bar{x}_3$. Елементи І третього ступеня об'єднують вихідні сигнали другого ступеня з сигналами x_4 і $\bar{x}_4$. Таким чином, на виходах третього ступеня утворюються сигнали $y_1 - y_{16}$.

До недоліку пірамідальних дешифраторів можна віднести велике число ступенів дешифрування, що знижують швидкодію декодера. Однак за кількістю двухвходових елементів І вони економічніше лінійних, якщо $n \geq 3$.

Наприклад, при $n = 4$ для лінійного дешифратора потрібно $2^n (n - 1) = 2^4 (4 - 1) = 48$ елементів, а для пірамідального $4(2^{n-1} - 1) = 4(2^3 - 1) = 28$, тобто на 70% менше.

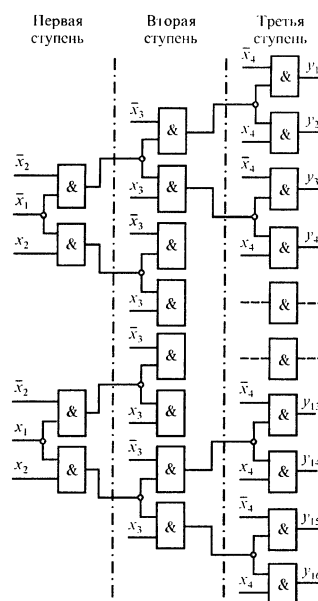


Рисунок 6.11 - Пірамідальні дешифратори

Кодоперетворювачі перетворюють кодові комбінації одного коду в кодові комбінації іншого. Число входів кодоперетворювача дорівнює числу символів в кодовій комбінації, яка подається на його вхід, а число виходів - числу символів перетвореної кодової комбінації. Найбільш просто k -символьний код перетвориться в n -символьний в два етапи (рис.6.12,а). Спочатку кодова комбінація k -символьного коду X дешифратором перетворюється в сигнал, а потім кожен з цих сигналів з виходу дешифратора шифратором - в n - символьні комбінації коду Y . Можлива побудова кодоперетворювачів і без дешифрування комбінацій перетворююмого коду. Їхні схеми простіше, але синтез таких

перетворювачів складніше, він вимагає застосування апарату алгебри-логіки. Умовне графічне зображення кодоперетворювача X/Y наведено на рис.7.12, б.

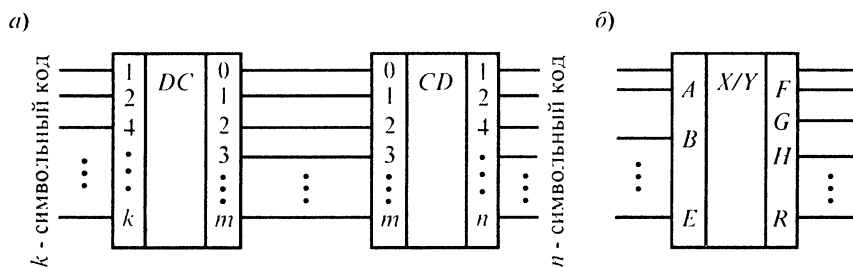


Рисунок 6.12 - Кодоперетворювач

Розподільлювачем називають циклічно працюючий пристрій, який формують n рознесених в часі послідовностей електричних імпульсів (рис.6.13). Він є одним з основних вузлів передавальних і прийомних частин апаратури. Розподільник в передавальній частині апаратури перетворює кодову комбінацію символу повідомлення в послідовність електричних імпульсів, а в приймальній частині імпульси, що надійшли по каналу передачі, розподіляє за відповідними елементами пам'яті (накопичувача).

Кількість виходів n визначається числом символів кодової комбінації, що приймаються чи передаються за цикл роботи розподільника. На вхід розподільника надходять імпульси, що управляють, частота яких повинна бути чисельно дорівнювати швидкості модуляції $B = 1/t_0$. Стабільність управляючих імпульсів повинна бути високою, так як відхилення частоти (фази) імпульсів призведе до зміни тривалості переданих імпульсів, зміщення моментів реєстрації та ін.

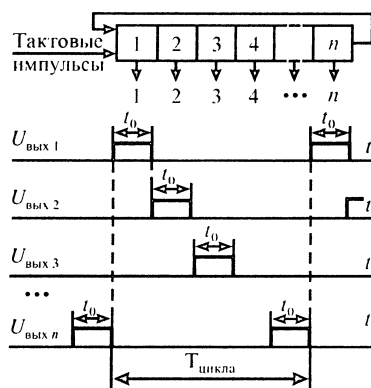


Рисунок 6.13 - Розподільник

Мікропроцесором називають програмно-управляючий пристрій для обробки цифрової інформації, реалізований у вигляді однієї або декількох великих інтегральних мікросхем. Якісною відмінністю мікропроцесорів від інших типів мікросхем (регістрів, лічильників, шифраторів, дешифраторів тощо) є можливість їх функціональної перебудови зміною програми, здійснюваною подачею зовнішніх електричних сигналів (команд). Мікропроцесори в залежності від особливостей їх структури поділяють на кілька класів: з фіксованим набором команд і розрядності, з мікропрограмним управлінням і нарощуваний розрядністю і ін.

До складу мікропроцесора, структурна схема якого наведена на рис.6.14, входять секції: керуючої пам'яті, управління, арифметично-логічна, реєстрова, введення-виведення і блок синхронізації.

У керуючій пам'яті зберігаються команди, що керують роботою окремих секцій. Арифметично-логічна секція виконує певний набір логічних і арифметичних операцій (додавання, множення, І, АБО, НІ і ін.).

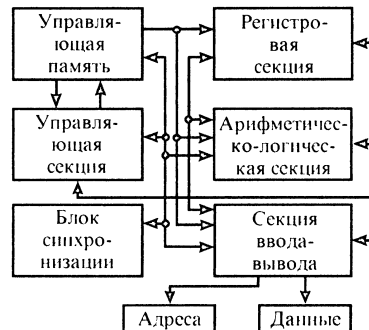


Рисунок 6.14 - Структурна схема мікропроцесора

У ній поряд з обчислювальною логікою є шини передачі даних і обмінні реєстри. Секція реєстрів складається з декількох реєстрів, які є оперативною (адресною або безадресною) пам'яттю процесора. Секція введення-виведення являє собою набір шин і формувачів, необхідних для сполучення мікропроцесора з оперативним і постійними запам'ятовуючими пристроями введення і виведення. Блок синхронізації погоджує роботу всіх блоків мікропроцесора. Для цього він виробляє різні тактові імпульси.

Таким чином, мікропроцесор являє собою повністю автономний прилад, що містить всі засоби, необхідні для обробки інформації і управління. Тому мікропроцесори широко застосовують в пристроях обробки і передачі дискретної інформації (електронних апаратах, пристроях перетворення сигналів, абонентських пунктах, вимірювальних і управляючих комплексах та ін.).

Запитання для самоперевірки:

- Поясніть призначення та будову генератора тактових імпульсів.
- Для чого використовують дільники частоти?
- Реєстри зсуву. Їх призначення та класифікація?
- Призначення та будова шифраторів та дешифраторів?
- Кодоперетворювачі, будова та призначення?
- Для чого використовують розподільувачі?
- Що таке мікропроцесори? Їх будова?

6.2 Електронний апарат Ф-2000

Він побудований на основі мікропроцесорної техніки і має програмний метод захисту від помилок із застосуванням циклічного коду і системи з вирішальним зворотним зв'язком і очікуванням.

Характерною для таких апаратів є можливість зміни функцій без зміни структури і схемної реалізації заміною програми в пам'яті мікропроцесорного блоку. Це дозволяє реалізувати значну кількість різноманітних алгоритмів управління і обробки цифрових сигналів.

Структурна схема апарату Ф-2000 приведена на рис.6.15.

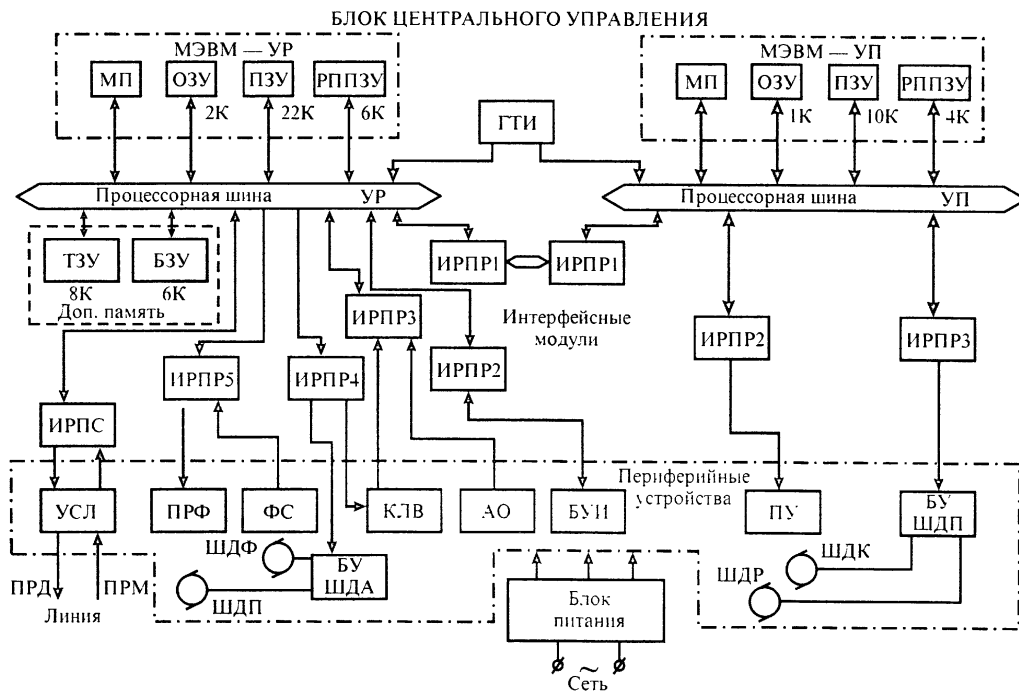


Рисунок 6.15 - Структурна схема апарату Ф-2000

Апарат включає в себе наступні основні вузли і модулі: блок центрального управління, інтерфейсні модулі, периферійні пристрої та блок живлення.

Блок центрального управління складається з мікроЕОМ управління режимом роботи МЭВМ-УР і мікроЕОМ управління друком МЭВМ-УП. Тактування роботи мікропроцесорних систем і всіх інших вузлів апарату здійснюється від генератора тактових імпульсів ГТИ частотою 2,4576 МГц.

Мікропроцесорні пристрої взаємодіють між собою і з периферійними пристроями телетайпа через інтерфейсні модулі: інтерфейс радіальний послідовний ІРПС інтерфейс радіальний паралельний ІРПР. Перший з них перетворює паралельну роботу в послідовну і виконує зворотне перетворення. Він запрограмований на прийом і передачу дискретних повідомлень в стартстопному режимі кодом МТК-2 з 7,5-контактним розподілом. Через пристрій сполучення з лінією УСЛ забезпечуються оптронна розв'язка і узгодження внутрішньо і лінійних рівнів дискретних сигналів. Другий забезпечує обмін між МЭВМ-УР і МЭВМ-УП (міжмашинний інтерфейс), а також зв'язок мікропроцесорних систем з периферійними пристроями через системи буферних регістрів.

До периферійних пристроїв (крім УСЛ) відносяться пристрої введення, виведення, управління і індикації.

Для введення інформації використовується клавіатура КЛВ з буферною пам'яттю. Наявність пам'яті дозволяє відмовитися від блокування клавіатури в разі перевищення оператором швидкості введення повідомлень, автоматично включати до складу переданого тексту комбінації "повернення каретки" і "новий рядок" після відліку певного числа знаків в рядку і позбавити оператора від перемикання реєстрів при переході з передачі букв на передачу цифр і назад. Автовідповідач АО забезпечує передачу по запиту протилежного боку заздалегідь запрограмованої адреси викликаємого апарату.

Блок управління і індикації включає в себе набір функціональних клавіш управління режимами, додатковою пам'яттю, табуляторами, а також елементи і індикації станів і режимів роботи того чи іншого блоку.

Принтер матричного типу (12x14 точок) забезпечує документування інформації на рулон паперу в місцевому або лінійному режимі, а також виведення на рулон різних команд і сигналізацію станів. Принтер має буферну пам'ять, яка необхідна, наприклад, в тому випадку, коли принтер виконує повернення каретки або новий рядок. Блок керування кроковими двигунами друку БУ ШДП управляє переміщенням каретки друкувального вузла і друкувального валика рулону паперу відповідними кроковими двигунами ШДК і ШДР.

Телетайп забезпечений перфострічковою автоматикою: фотозчитувачем ФС і перфатором ПРФ. Перфострічка переміщається відповідними кроковими двигунами ШДФ і ШДП через блок керування кроковими двигунами БУ ШДА.

Телетайп отримує живлення від мережі змінного струму через автономний блок живлення. У разі зникнення напруги мережі службова інформація в ОЗУ МЕВМ і додаткової пам'яті зберігається завдяки наявності додаткових батарей з двох елементів напругою 3В.

Запитання для самоперевірки:

- Який захист від помилок має апарат Ф-2000?
- Поясніть призначення основних вузлів і модулів апарату Ф-2000.
- Як взаємодіють між собою мікропроцесорні пристрої і з периферійними пристроями?
- Для чого необхідна додаткова пам'ять?
- Пристрої живлення апарату?

7 ФАКСИМІЛЬНИЙ ЗВ'ЯЗОК

7.1 Факсимільні апарати. Основи передачі нерухомих зображень

Факсимільний зв'язок є видом документального зв'язку, призначеного для передачі та відтворення на відстані нерухомих зображень (текст, фотографія та ін.). Зображення, що передається, називається оригіналом. Зображення, отримане в пункті прийому, називається копією (факсиміле).

Оригінал і копія виконуються тим або іншим способом на папері або фотоплівці, тому фізичною основою факсимільного зв'язку поряд з радіотехнікою є оптика, що вивчає природу світла.

Око людини сприймає світлове випромінювання з різною довжиною хвилі (0,4-0,76 мкм), внаслідок чого виникає відчуття того або іншого кольору. Зміна інтенсивності випромінювання при постійній довжині хвилі сприймається як зміна яскравості джерела світла. Світлооптичні системи характеризуються такими параметрами як сила світла, яскравість, освітленість, контраст, коефіцієнт відображення, роздільна здатність тощо.

Роздільна здатність n виражається максимальною кількістю окремих штрихів, які можна розрізнити на 1 мм довжини зображення. Розрізняють роздільну здатність по горизонталі та вертикалі, які в загальному випадку можуть не збігатися.

Кількість градацій оптичної щільності m – кількість окремих значень оптичної щільності, що розрізняються на зображенні (характеризує міру почорніння окремих ділянок зображення). Існують системи факсимільного зв'язку з максимально можливим m (у сучасних факсимільних апаратах $m = 16, 32, 64$), і системи без точного відновлення півтонів ($m = 2$).

Копія вважається доброю, якщо візуально її не можна відрізнити від оригіналу.

Структурна схема системи факсимільного зв'язку

Суть факсимільного методу передачі полягає в тому, що оригінал розбивається на окремі елементарні площинки, які скануються зі швидкістю розгортки 60, 90, 120, 180 або 240 рядків/хв. Сигнал яскравості, пропорційний коефіцієнту відображення елементарних площинок, перетворюється в цифровий вид і передається по каналу зв'язку з використанням певного способу модуляції. На приймальній стороні ці сигнали перетворюються в елементи зображення і відтворюються на приймальному бланку у вигляді копії.

Структурна схема системи факсимільного зв'язку показана на рис.7.1.

Оригінал сканується світловою плямою необхідних розмірів. Пляма формується світлооптичною системою, яка містить джерело світла і оптичний пристрій.

Переміщення плями поверхнею оригіналу здійснюється розгортувальним пристроєм (РП). Частина світлового потоку, що падає на елементарну площинку оригіналу, відбивається і надходить на фотоелектричний перетворювач (ФП), де перетворюється в електричний відеосигнал. Амплітуда відеосигналу на виході ФП пропорційна величині відбитого світлового потоку. Далі відеосигнал

надходить на вхід АЦП, де перетворюється в цифровий код. З виходу АЦП цифровий код надходить на вхід пристрою перетворення сигналів (ППС) – модема, де за допомогою одного з протоколів модуляції спектр цифрового відеосигналу переноситься в область частот каналу зв'язку, що використовується.

На приймальній стороні модульований сигнал з каналу зв'язку послідовно надходить у модем і ЦАП для демодуляції та цифроаналогового перетворення. Далі сигнал надходить у відтворюючий пристрій (ВП), де внаслідок дії РП на бланку відтворюється копія переданого зображення. Процес, зворотний процесу сканування, називається реплікацією. Щоб забезпечити синхронність і синфазність розгортки, на передавальній і приймальній сторонах використовують пристрої синхронізації (ПС).

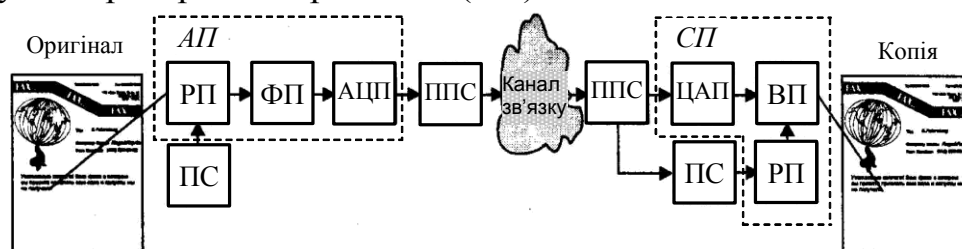


Рисунок 7.1 – Структурна схема факсимільного зв'язку

Сучасні факс-модеми містять всі складові частини факсимільних апаратів (ФА) за винятком аналізуючого пристрою (АП) і синтезуючого пристрою (СП). Вони можуть обмінюватися даними з ФА, при цьому інформація про прийняте зображення, видається на комп'ютер, де програмою передачі факсимільних повідомлень перетворюється в один з графічних форматів.

Аналіз зображень у факсимільних апаратах

Для сучасних ФА характерні такі загальні принципи аналізу зображень.

1. Елементарна площинка факсимільного зображення виділяється на поверхні оригіналу світловою плямою високої яскравості, сфокусованою до розмірів, що визначаються заданою роздільною здатністю.

2. Переміщення елементарної площинки по оригіналу здійснюється полінійно: світлова пляма переміщується вздовж бланка, а потім переходить на наступний рядок.

3. Для оптико-електричного перетворення використовується світловий потік, відображений від поверхні паперу в межах площинки.

4. Як ФП застосовуються прилади з внутрішнім або зовнішнім фотоефектом: фотоелементи, фотоелектронні помножувачі, фоторезистори.

Отже, до складу аналізуючого пристрою входять оптична система, РП і ФП.

Оптичні системи факсів – це високоточні пристрої, що складаються з декількох оптичних елементів: лінз, призм, дзеркал, діафрагм, а також освітлювача. Крім традиційних оптичних систем в ФА як провідник світла використовується волоконна оптика.

Як освітлювачі використовуються спеціальні лампи розжарювання з вольфрамовою або танталовою ниткою розміром 2-4 мм.

РП факсів переміщують елементарну площинку по рядках. Розгортка може здійснюватися механічним, електронно-механічним і електронними шляхами. Найпоширенішими є АП, які поєднують функції оптико-електричного перетворення і електронної розгортки в одному приладі. Це пристрої на основі фотодіодних лінійок і лінійок приладів із зарядовим зв'язком (ПЗЗ).

Фотодіодна лінійка є діелектричною лінійкою, на якій змонтований ряд безкорпусних фотодіодів, кількість яких дорівнює кількості елементів розкладання одного рядка (наприклад, 1728). Зображення оригіналу проектується на таку лінійку за допомогою фотооб'єктиву. Розгортка здійснюється електронною схемою, показаною на рис.7.2.

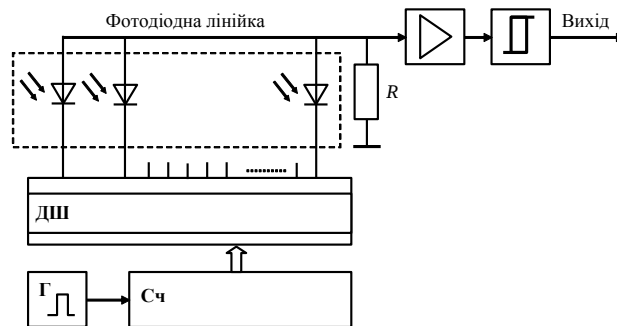


Рисунок 7.2 – Спрощена функціональна схема електронної розгортки

Катооди фотодіодів увімкнені до дешифратора ДШ, а аноди з'єднуються з виходом підсилювача. Імпульси від тактового генератора Г надходять на вхід лічильника Сч, який керує дешифратором. В результаті на виходах ДШ по чергово з'являються позитивні імпульси, які надходять на відповідні фотодіоди лінійки.

Якщо фотодіод, на який надійшов імпульс, освітлений відбитим світлом від оригіналу, то через нього протікає фотострум і створює падіння напруги на резисторі R, яке підсилюється і надходить на пороговий елемент, що дискретизує сигнал за рівнем.

Отже, механічна розгортка по рядку не потрібна. Розгортка по кадрах здійснюється за допомогою крокових двигунів і найпростішого редуктора.

Лінійка ПЗЗ – це спеціальна мікросхема з прозорим вікном у корпусі, на підкладці якої сформована лінійка елементів ПЗЗ, здатних перетворювати енергію світла в електричні заряди і накопичувати останні. По суті лінійка ПЗЗ є регістром зсуву. При подачі на нього тактових імпульсів на виході регістра з'являється амплітудно-модульована імпульсна послідовність, яка містить інформацію про ступінь освітленості елементів лінійки. Вітчизняні лінійки ПЗЗ мають 2048 елементів і забезпечують розгортку рядка довжиною 256 мм з роздільною здатністю 8 лін/мм.

Існують лінійки ПЗЗ, що мають вбудовані схеми зчитування і формування сигналу. Весь АП, за винятком об'єктиву, розміщується в корпусі однієї мікросхеми.

Синтез зображень у факсимільних апаратах

Синтез зображення полягає в електрооптичному перетворенні напруги відеосигналу в пропорційну за величиною оптичну густину елементарної площинки та отриманні зображення з окремих площинок.

Існують чотири способи друку: термографічний, з донарною плівкою, струменевий і лазерний. У факсимільних апаратах з термографічним друком застосовують спеціальний папір, в інших моделях зображення роздруковують на звичайному папері.

Синтез зображень на термочутливому папері здійснюється електромеханічною голівкою з пересувною голкою, що нагрівається, або термодрукувальною лінійкою.

1. Термодрукувальна лінійка містить точкові елементи, що нагріваються електричним струмом, кількість яких дорівнює кількості елементів рядка розгортки. Вона притискається до термопаперу, що просувається мимо, і нагріває його окремі ділянки, що спричиняє їх потемніння. Розгортка зображення вздовж рядка здійснюється електронною схемою, що перемикає елементи лінійки. В результаті на папері синтезується факсимільне зображення.

Термопапір має тонке, чутливе до нагріву покриття з двома безбарвними окремими компонентами. При локальному нагріванні перший компонент – кольороформував, змішуючись із заздалегідь знебарвленим барвником (другий компонент), утворює помітну на папері точку. Можливий друк будь-якими кольорами, але практично використовують чорний і синій. Копія не підлягає тривалому зберіганню, оскільки термопапір втрачає свої властивості під дією світла і підвищеної температури.

В 1982 р. з'явився вид термодруку, що дозволяє використовувати звичайний папір, так званий друк з донарною плівкою, або друк методом термоперенесення. За цією технологією використовують особливу плівку з термопластичним фарбувальним шаром, який переноситься на звичайний папір під дією температури (біля 80°C), що створюється термоголовкою. Основна перевага – малі габарити ФА.

2. Струменевий спосіб друку вперше застосувала фірма IBM в 1978 р. У струминних ФА друкувальна голівка має декілька десятків сопел-розпилювачів (форсунок), через які при нагріванні або внаслідок п'єзоелектричного ефекту виштовхуються крапельки чорнила.

Струменеві ФА вимогливі до якості паперу. Вартість копії висока, оскільки потрібна періодична заміна чорнила, яке зазвичай об'єднане в одному блоці з друкувальною голівкою, так званому картриджі. Існує технологія фірми Olivetti, яка передбачає рознімну конструкцію друкувальної головки зі змінним картриджем: щоб заправити факсимільний апарат, не треба нового картриджу – досить тільки замінити балон з чорнилом.

Струменеві ФА мають істотний недолік. Якщо таким пристроєм довго не користуватися, зображення друкується нерівномірно. Пов'язане це з тим, що чорнила в соплах друкувальної головки підсихають, а очищення сопел відбувається нерівномірно.

3. Лазерний спосіб друку є удосконаленням електрофотографічного, який вперше застосувала фірма Rank Xerox в 1973 р. Пізніше лідером лазерного способу друку стала фірма Hewlett-Packard. Ідея лазерного способу друку проста. Електростатичний заряд вміщується на фотоприймальний барабан або стрічку. Промінь лазера, інтенсивністю якого керує мікропроцесор, виділяє

області, на які не треба наносити барвник, залишаючи зарядженими ділянки, що підлягають забарвленню. Сухий барвник (тонер) утримується на заряджених ділянках і потім переноситься під дією електростатичного заряду на папір, що має протилежний заряд. Щоб закріпити зображення, папір нагрівають – тонер розплавляється і приклеюється до паперу.

Різновидом лазерного способу друку є світлодіодний, коли замість лазера і пристрою розгортки його променя застосовують лінійку світлодіодів (LED – Light Emitting Diode) на всю довжину рядка зображення.

Синхронізація і фазування факсимільних апаратів

Синхронізація і фазування пристроїв розгортки факсимільного передавача і приймача є обов'язковими умовами для передачі зображення, невиконання яких приводить до спотворення зображення.

Синхронізація розгортки факсимільного зображення – це встановлення рівності швидкостей розгортки передавального і приймального апаратів.

Фазування – це встановлення однакового положення розгортувальних елементів передавального і приймального апаратів відносно країв бланка в процесі розгортки.

У факсимільному зв'язку застосовують такі способи синхронізації:

- 1) автономна, коли задавальні генератори двигунів передавача і приймача працюють незалежно, але їх частоти високостабільні та однакові;
- 2) примусова синхронізація частоти генератора приймача коливаннями генератора, що передаються по спеціальному синхроканалу.

Частіше використовується автономна синхронізація. Оскільки частота генераторів відрізнятиметься від номінального значення, то з часом фазові розузгодження передавача і приймача зростатимуть. Тому потрібне періодичне підстроювання фази.

Інформація про фазу передавального апарату передається у приймач спеціальними сигналами протягом певного часу, явно достатнього для встановлення синфазності, після чого передавальний апарат перемикається на передачу бланка.

Сигнали фазування є періодичною послідовністю імпульсів з рівнем білого поля з частотою, котра чисельно дорівнює швидкості передачі (рядків за секунду) і щільністю 0,05. Як приклад на рис.7.3,а показана структурна схема пристрою фазування ФА, що має барабанну розгортку.

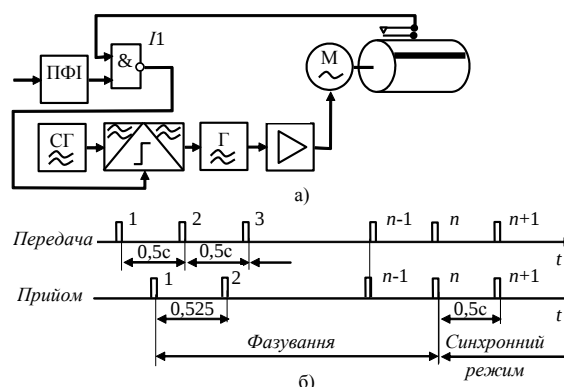


Рисунок 7.3 – Пристрій фазування ФА: а) структурна схема; б) діаграма роботи

Після увімкнення двигунів барабани передавального і приймального апаратів обертаються з випадковою фазою і різними частотами обертання: для передавача 400 Гц, а приймача – 380 Гц. За рахунок різниці частот обертання взаємне положення барабанів змінюється доти, поки не встановиться синфазність. Порівняння фаз виконується в приймальному апараті схемою ПІ. Приймач фазних імпульсів ПФІ виділяє з прийнятих сигналів фазні імпульси і усереднює їх у часі, щоб виключити вплив завад. Спрацювавши, схема ПІ вмикає схему електронного ключа, який дозволяє проходження високостабільного керуючого сигналу від синхрогенератора (СГ) для синхронізації генератора (Г). Починаючи з цього моменту, двигуни обох ФА обертатимуться з синхронною частотою 400 Гц (рис.7.3,б).

Запитання для самоперевірки:

- Для чого використовується факсимільний зв'язок?
- Поясніть принцип передачі нерухомих зображень?
- Поясніть структурну схему системи факсимільного зв'язку.
- Поясніть синхронізацію і фазування факсимільних апаратів.

8 КАНАЛОСТВОРЮЮЧА АПАРАТУРА

Висока вартість лінійних споруд систем зв'язку призводить до необхідності їх ефективного використання одночасною передачею по фізичному ланцюгу або каналу ТЧ певної кількості повідомлень. По каналах ТЧ можна передавати не тільки аналогові (телефонні) сигнали, а й дискретні сигнали телеграфного, факсимільного зв'язку, передачі даних і ін. Системи ПДІ, які здійснюють передачу дискретних сигналів, дозволяють повторно використовувати канал ТЧ для організації в ньому дискретних каналів (підканалів) зв'язку. Каналостворююча апаратура систем ПДІ, призначена для утворення дискретних каналів, виконує перетворення сигналів, що надходять від кінцевого обладнання даних (КОД), до виду, найбільш зручного для передачі.

Системи ПДІ класифікуються за різними ознаками. Так, за способом організації каналів (підканалів) - на системи з частотним розподілом каналів (ЧРК), з часовим розподілом каналів (ВРК) і частотно-часовим розподілом каналів (ЧВРК).

При ЧРК займана смуга частот розділяється смуговими фільтрами на декілька вузьких смуг, кожна з яких ΔF_k використовується для окремого телеграфного каналу (рис.8.1, а). До переваг ЧРК відносяться: можливість застосування стартстопного і синхронних телеграфних апаратів; простота виділення каналів на проміжних пунктах. Недоліками є: великі розміри, маса і вартість апаратури через значне число застосовуваних фільтрів; втрати використаної смуги частот на розфільтрування (до 20%) для організації захисних інтервалів $\Delta f_{\text{зах}}$ між телеграфними каналами; обмеження потужності сигналів, які передаються по кожному з телеграфних каналів, для виключення перевантаження групового тракту і зменшення впливу телеграфних каналів на сусідні телефонні канали; наявність взаємних впливів між телеграфними

каналами внаслідок кінцевого значення загасання фільтрів в смузі непропускання.

При ВРК телеграфні канали утворюються періодичним підключенням їх передавальної і приймальної частин до фізичного ланцюга або каналу ТЧ на проміжок часу t_k синхронно і синфазно працюючими електронними розподільниками (рис.8.1, б).

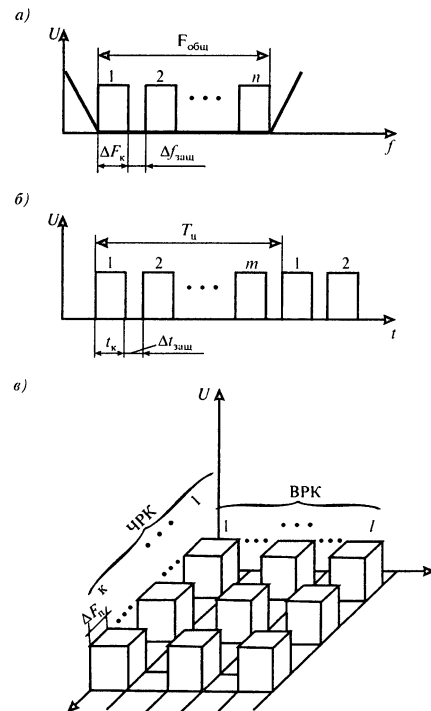


Рисунок 8.1 - Системи з частотним розподілом каналів (ЧРК), з часовим розподілом каналів (ВРК) і частотно-часовим розподілом каналів (ЧВРК).

Таким чином, в кожен момент часу по фізичному ланцюгу або каналу ТЧ передається сигнал, що відноситься до якого-небудь одного телеграфного каналу. Перевагами ВРК є: зменшення розмірів і маси апаратури через відсутність смугових фільтрів; скорочення втрат спектра частот каналу ТЧ, що дає можливість організувати більше число телеграфних каналів; зменшення взаємних впливів між телеграфними каналами; можливість збільшення потужності переданих сигналів по кожному телеграфному каналу. До недоліків відносяться: труднощі виділення каналів на проміжних пунктах мережі; ускладнення обладнання через необхідність забезпечення режиму синхронізації і фазування.

При ЧВРК (рис.8.1, в) спектр каналу ТЧ ділиться фільтрами на кілька підгруп, організованих за принципом ЧРК з пропускну здатністю частотного підканалу $\Delta F_{\text{п}}$. У кожній підгрупі передаються сигнали декількох телеграфних каналів за принципом ВРК (передається послідовність імпульсів від l незалежних джерел). Це дає можливість підвищити ефективність використання смуги частот каналу ТЧ внаслідок зменшення втрат на розфільтрування і

спростити виділення груп каналів на проміжних пунктах. Таким чином, при ЧВРК зберігаються переваги обох способів і усувається ряд їх недоліків.

8.1 Апаратура з частотним поділом каналів

Варіанти використання каналів зв'язку. При реалізації способу ЧРК існує кілька варіантів використання каналу ТЧ для створення дискретних (телеграфних) каналів: повне заповнення смуги пропускання каналу ТЧ дискретними сигналами (рис.8.2, а), спільне використання для мовних і дискретних сигналів (рис. 8.2, б). У першому випадку має місце тональне телеграфування ТТ, у другому - міжтональне телеграфування МТТ. Якщо дискретні телеграфні канали організуються по фізичному ланцюгу в діапазоні частот вище 3,4 кГц або нижче 0,3 кГц, то телеграфування називається відповідно надтональним НТТ (рис. 8.2, в) або підтональним ПТТ.

На мережах зв'язку найбільш широке поширення набуло тональне телеграфування.

У підканали систем ПДІ, які працюють по типовим каналам ТЧ, надходять допоміжні електричні коливання. Для передачі інформації у них можуть змінюватися амплітуда, частота або фаза коливань за законом зміни двійкового сигналу, що приходить від передавальної частини обладнання дискретної інформації.

Таким чином, в системах ПДІ може застосовуватися амплітудна, частотна і фазова модуляція (АМ, ЧМ, ФМ).

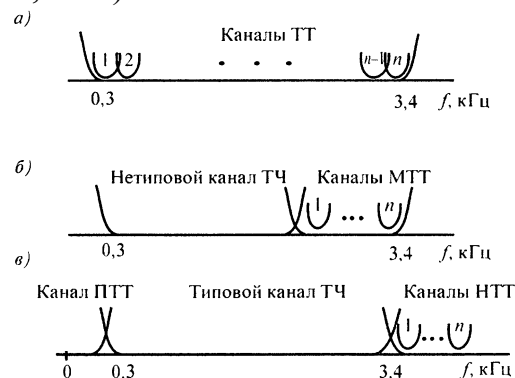


Рисунок 8.2 - Варіанти використання каналів зв'язку

Пристрій і принцип дії апаратури з амплітудною модуляцією. Незважаючи на те, що АМ не знайшла широкого застосування в апаратурі ТТ, її розгляд є важливим для вивчення основних положень побудови систем ПДІ (залежність допустимої швидкості дискретної модуляції від ширини смуги частот використовуваних каналів, вибір значень несучих частот і ін.).

Структурна схема систем ПДІ з АМ приведена на рис.8.3, а. Двійкові двополярні сигнали від передавальної частини обладнання дискретної інформації надходять на вхід амплітудного модулятора М (рис.8.3,б). На його інший вхід (див. рис.8.3,а) подаються електричні коливання несучої частоти. На виході М з'являється амплітудно-модульований сигнал. Смуговий фільтр Ф1 виділяє струми з смугою частот даного каналу апаратури ТТ, які надходять на

вхід каналу ТЧ. Аналогічно здійснюється перетворення в інших каналах ТТ. Відмінність полягає в тому, що в них використовуються інші значення частот несучих струмів і вибираються інші смуги пропускання смугових фільтрів.

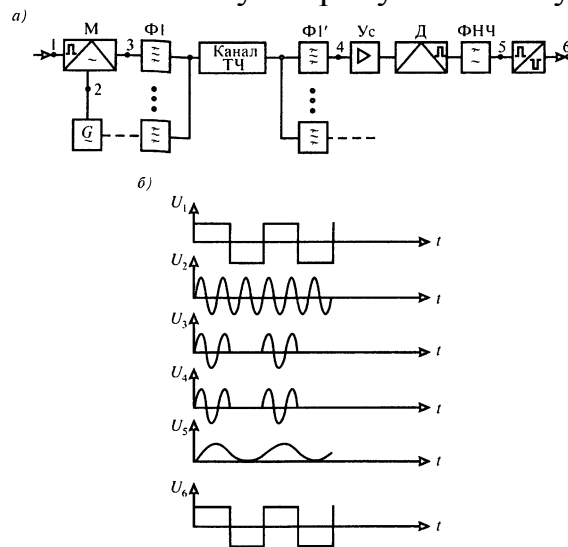


Рисунок 8.3 - Структурна схема систем ПДІ з АМ

На приймальній станції амплітудно-модульовані сигнали каналів апаратури ТТ поділяються смуговими фільтрами $\Phi 1'$, посилюються підсилювачем $Ус$ і демодуються. З виходу демодулятора $Д$ корисний продукт перетворення - низькочастотний амплітудно-модульований сигнал проходить через фільтр нижніх частот $\Phi НЧ$ і надходить в двійковий пристрій, який формує двійкові двополярні сигнали, і далі в приймач кінцевого обладнання даних або на комутаційну станцію.

Пристрій і принцип дії апаратури з частотною модуляцією. Структурна схема системи ПДІ з ЧМ приведена на рис.8.4. Від передавача кінцевого обладнання даних двополярні двійкові сигнали (рис. 8.4) надходять на вхід частотного модулятора $М$. На другий його вхід від генератора $Г$ подаються коливання несучого струму. У разі надходження на вхід модулятора негативного сигналу на його виході з'являються сигнали верхньої частоти f_v і позитивні сигнали нижньої частоти f_n . Смуговий фільтр $\Phi 1$ пропускає смугу частот частотно-модульованого сигналу для цього каналу. Ширина спектра частот цього сигналу при невеликих індексах модуляції незначно відрізняється від ширини АМ сигналу. З виходу фільтра $\Phi 1$ ЧМ сигнал даного каналу апаратури ТТ надходить в канал ТЧ. В інших каналах виконуються аналогічні перетворення. Однак значення частот несучих струмів і смуги пропускання фільтрів вибираються іншими.

Смуговий фільтр $\Phi 1'$ на приймальній станції виділяє ЧМ сигнал даного каналу ТТ з групового сигналу. Після посилення в підсилювачі $Ус$ сигнал надходить в обмежувач амплітуд ОА. Він забезпечує сталість рівня сигналу на вході частотного демодулятора $Д$ при його значній зміні на вході смугового фільтра $\Phi 1'$. Таким чином, завдяки обмежувачу амплітуд підвищується перешкодозахищеність організованих каналів ТТ. На виході частотного демодулятора $Д$ з'являються два амплітудно-модульованих коливання, які перетворюються в амплітудних детекторах $АД1$ і $АД2$ в низькочастотні

складові. Ці складові перетворюються в двійковому пристрої в двійкові двополярні сигнали, які надходять в приймач кінцевого обладнання даних або на комутаційну станцію.

Ширина спектру ЧМ коливань в апаратурі ТТ практично не відрізняється від спектра АМ коливань внаслідок малого значення індексу модуляції. Відповідно до значень інтервалів між несучими, рівними 120, 240 і 480 Гц, канали апаратури з ЧМ позначають: ТТ-ЧМ-120, ТТ-ЧМ-240, ТТ-ЧМ-480.

Перевагою апаратури ТТ з ЧМ є її більш висока стійкість і захищеність від перешкод організованих каналів внаслідок застосування обмежувачів амплітуд і частотного детектування, недоліком - велика складність обладнання.

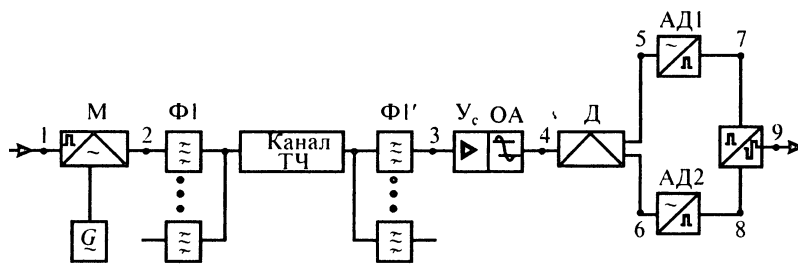


Рисунок 8.4- Структурна схема систем ПДІ з ЧМ

Пристрій і принцип дії апаратури з фазовою модуляцією.

Структурна схема системи ПДІ з ФМ приведена на рис. 8.5. Від передавальної частини кінцевого обладнання даних двійкові двополюсні сигнали надходять на вхід фазового модулятора М. При зміні їх полярності на виході модулятора відбувається зміна фази електричного струму несучої частоти на π радіан (рис. 8.5). Смуговий фільтр ФІ обмежує спектр частот ФМ сигналу даного підканалу, що складається з верхньої та нижньої бічних смуг частот. Далі ФМ сигнал надходить на вхід каналу ТЧ.

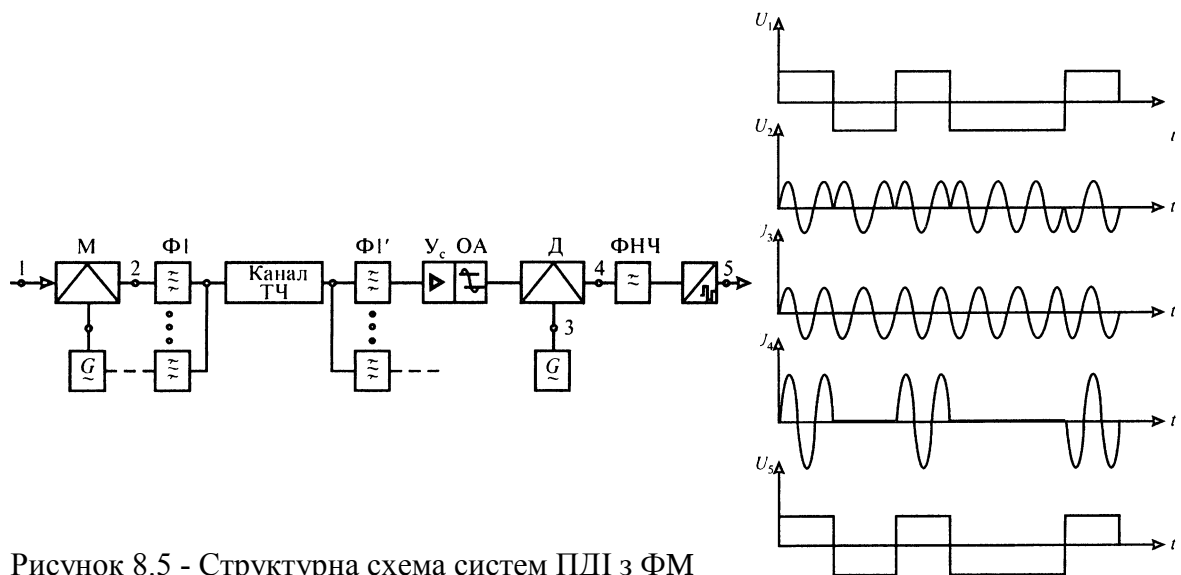


Рисунок 8.5 - Структурна схема систем ПДІ з ФМ

Смуговий фільтр $\Phi 1'$ приймальної частини системи ПДІ виділяє з групового сигналу на виході каналу ТЧ спектр частот даного підканалу. Виділений ФМ сигнал після посилення в підсилювачі Ус надходить в обмежувач амплітуд ОА, а потім на вхід фазового демодулятора Д. Демодуляція здійснюється порівнянням фази прийнятих коливань з фазою коливань, що подаються від опорного місцевого генератора. Вони повинні бути синхронними і синфазними з тими, що прийшли з передавальної станції, електричними коливаннями. В результаті ФМ сигнал перетворюється в АМ сигнал. Фільтр нижніх частот ФНЧ виділяє низькочастотну складову сигналу. Вона управляє роботою вихідного пристрою, що формує імпульси постійного струму. Практичне використання систем ПДІ з ФМ утруднено, так як забезпечити синхронну і синфазну роботу генераторів на передавальній і приймальній станціях дуже складно. Навіть в разі отримання синхронної напруги опорної частоти з сигналу, що приймається (рис. 8.6) фаза опорної напруги може приймати одне з двох стійких положень, які відрізняються на π радіан. Це призводить до отримання на виході каналу ТТ з ФМ посилок протилежної полярності, тобто до невірної прийому інформації. Щоб усунути цей недолік застосовується відносна фазова модуляція (ОФМ).

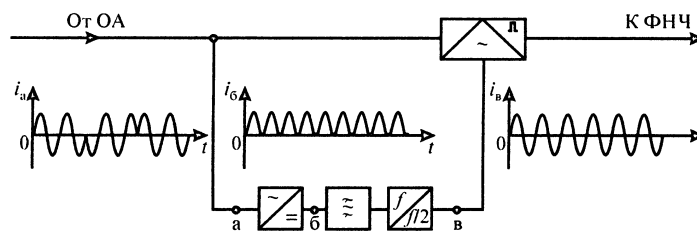


Рисунок 8.6 - Отримання синхронної напруги опорної частоти з сигналу

Відносна фазова модуляція характеризується тим, що фаза електричних коливань несучої частоти в передавальній частині системи ПДІ змінюється при надходженні кожної чергової послідовності однієї і тієї ж полярності, наприклад позитивної (рис. 8.7). При надходженні кожної чергової послідовності негативної полярності фаза залишається незмінною.

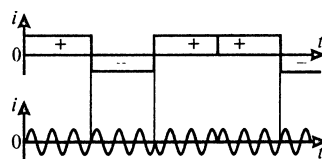


Рисунок 8.7 - Відносна фазова модуляція

На рис. 8.8, а наведена схема модулятора, що реалізує перетворення двополусних двополярних сигналів в ОФМ сигнали. На один вхід логічного елемента І надходять інформаційні сигнали $U_{\text{інф}}$, а на інший - тактові імпульси $U_{\text{ті}}$. На виході схеми І з'являються імпульси U_i в моменти збігу полярностей напруг $U_{\text{інф}}$ і $U_{\text{ті}}$, що керують роботою тригера Т з рахунковим входом (рис.8.8, б). Тригер відкриває пару діодів або 1 і 2, або 3 і 4 фазового модулятора. Таким чином, фаза напруги несучої частоти на виході модулятора $U_{\text{офм}}$ буде змінюватися за вказаним вище алгоритмом. Для прийому ОФМ сигналів може застосовуватися метод порівняння фаз або метод порівняння полярностей.

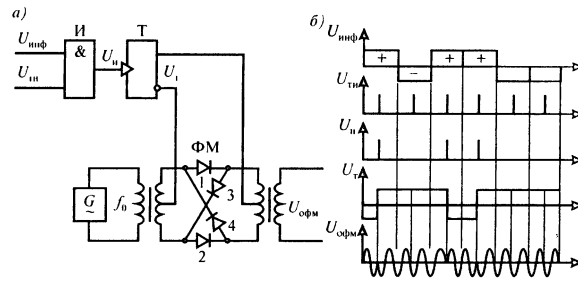


Рисунок 8.8 – Модулятор ОФМ сигналів

Структурна схема приймача ОФМ сигналів, що реалізує метод порівняння фаз, наведена на рис. 8.9, а. Особливістю схеми є наявність елемента затримки D створює затримку t_0 , рівну тривалості елементарного інформаційного імпульсу. Таким чином, в фазовому детекторі $\Phi Д$ виконується порівняння фаз напруги несучої частоти прийнятого і попереднього інформаційних імпульсів (рис.8.9, б). На виході ФНЧ включається граничний пристрій, який формує послідовність двополярних двійкових сигналів, аналогічних інформаційним сигналам на вході модулятора ОФМ сигналу системи ПДІ.

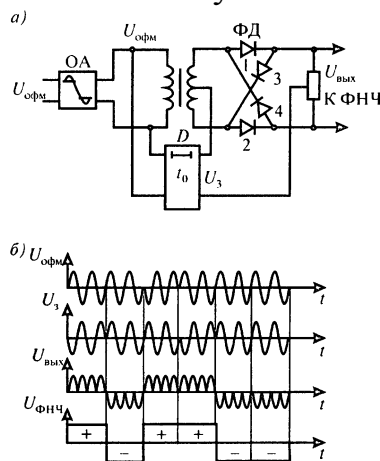


Рисунок 8.9 – Структурна схема приймача ОФМ сигналів

Прийом ОФМ сигналів методом порівняння полярностей характеризується більш високою завадостійкістю, ніж методом порівняння фаз. Тимчасові діаграми роботи приймача ОФМ сигналів методом порівняння полярностей наведені на рис. 8.10. Отримані ОФМ сигнали спочатку детектуються в звичайному фазовому детекторі, на виході якого з'являється послідовність імпульсів постійного струму $U_{офм}$. Потім ця послідовність проходить через диференціальний ланцюг. На його виході з'являються короткочасні імпульси в моменти зміни полярності $U_{офм}$. Після випрямлення ця послідовність буде мати вигляд $U_{вип}$. При подачі її на вхід логічного елемента, на інший вхід якого надходять тактові імпульси $U_{ти}$, на виході логічного елемента формується послідовність $U_{инф}$. Вона буде аналогічна послідовності на вході модулятора ОФМ сигналу передавальної частини системи ПДІ.

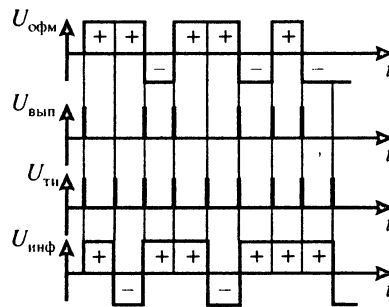


Рисунок 8.10 – Діаграми роботи приймача ОФМ сигналів

Перевагою зазначених схем прийому ОФМ сигналів є більш висока стійкість, так як при стрибку фази на π радіан в ланцюзі виділення коливань синхронної несучої частоти неправильно будуть прийняті лише один або два інформаційних імпульси, а не вся послідовність імпульсів, як це мало місце при ФМ.

Порівняння видів модуляції. Найбільшу завадостійкість мають системи з ОФМ. Відповідно до рекомендаціями МСЕ-Т в високошвидкісних системах ПДІ, що працюють на мережах зв'язку великої протяжності, застосовується ОФМ. В низько- і середньошвидкісних системах ПДІ, призначених для роботи на великі відстані, рекомендується використовувати ЧМ, при роботі на мережах невеликої довжини - АМ. Для підвищення завадостійкості рекомендується застосовувати в системах ПДІ з АМ пристрої захисту від помилок.

Запитання для самоперевірки:

- Як класифікуються системи ПДІ за способом організації каналів (підканалів)?
- Переваги та недоліки систем з частотним розподілом каналів, з часовим розподілом каналів і частотно-часовим розподілом каналів.
- Будова і принцип дії апаратури з частотним поділом каналів з амплітудною модуляцією.
- Будова і принцип дії апаратури з частотним поділом каналів з частотою модуляцією.
- Будова і принцип дії апаратури з частотним поділом каналів з фазовою модуляцією.
- Що таке відносна фазова модуляція? Її переваги?

8.2 Апаратура тонального телеграфування

Апаратура ТТ-144. Апаратура використовується для організації телеграфних каналів і каналів передачі даних по кабельних, радіорелейних або супутникових лініях зв'язку. Вона дозволяє організувати методом частного поділу в смузі частот каналу ТЧ 24 канали зі швидкістю дискретної модуляції 50 Бод або 12 каналів зі швидкістю 100 Бод, або шість каналів зі швидкістю 200 Бод, або один канал із швидкістю 1200 Бод. В апаратурі є можливість утворення різнотипних за швидкістю каналів тонального телеграфування. Наприклад, замість 24 каналів зі швидкістю 50 Бод можна організувати один канал зі швидкістю 200 Бод, один канал зі швидкістю 100 Бод і 18 каналів зі швидкістю 50 Бод. Можна також використовувати частину смуги частот для передачі мовних сигналів і організувати додатково один канал зі швидкістю 200 Бод, один канал зі швидкістю 100 Бод і шість каналів зі швидкістю 50 Бод (рис.8.11).

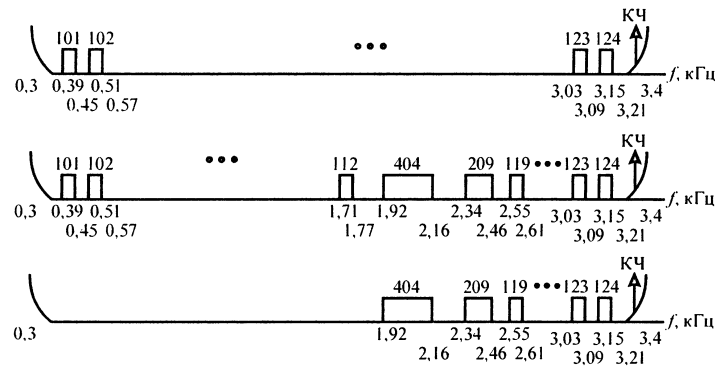


Рисунок 8.11 – Організація каналів тонального телеграфування

Технічні дані. Апаратура ТТ-144 випускається в декількох модифікаціях, які відрізняються кількістю організованих каналів тонального телеграфування, необхідних для цього стандартних каналів ТЧ, споживаною потужністю і розмірами. Дані апаратури різних модифікацій приведені в табл. 8.1.

Таблиця 8.1- Дані апаратури різних модифікацій

Модифікація	Число каналів ТТ при швидкості, Бод			Число каналів ТЧ	Потребляемая мощность переменного тока, В·А	Размеры, мм		
	50	100	200			высота	ширина	глубина
ТТ-144	138	3	3	7	600	2600	600	225
ТТ-48	48	-	-	2	210	2600	600	225
ТТ-24	24	-	-	1	195	740	600	225
ТТ-24	18	1	1	1	195	740	600	225
ТТ-48	48	-	-	2	115	695	600	225
ТТ-48	36	2	2	2	115	695	600	225

В апаратурі застосовується один універсальний тип блоку каналу, який перебудовується перепайкою при переході з однієї швидкості дискретної модуляції на іншу. Це дозволяє спростити експлуатацію і ремонт обладнання, перейти на інші (як правило, більш високі) швидкості телеграфування, не замовляючи додаткових блоків каналів, як це робилося при використанні апаратури ТТ-48 і ТТ-12. Крім того, в передавачі використовується кварцова стабілізація характеристичних частот, в приймачі - характеристик частотного дискримінатора, що дає можливість підтримувати високу якість організованих каналів ТТ. Апаратура обладнана пристроєм автоматичної компенсації зсуву частоти сигналу, що виключило збільшення крайових спотворень через нестабільність характеристик каналів ТЧ. Використання замість LC-фільтрів активних RC-фільтрів, середня частота смуги пропускання яких стабілізована кварцом, дозволило значно підвищити стабільність характеристик каналів ТТ. Зазначені фільтри на додаток до своєї основної функції виконують також перетворення спектра сигналів, тобто його перенесення в необхідну область частот. Вони називаються комутованими фільтрами-перетворювачами (КФП).

Незважаючи на значне збільшення числа організованих каналів, в апаратурі ТТ-144 суттєво знижено споживання потужності від живильної установки. Це досягнуто завдяки оптимальному вибору мікросхем, що забезпечують цифрову обробку сигналів. Таким чином, по-перше, полегшується дотримання необхідних параметрів теплових режимів апаратури і, по-друге, виключається необхідність в більш потужній електроживлячій установці в вузлі зв'язку.

частот в 2 рази. При цьому технологічність виробництва обладнання апаратури ТТ-144 підвищується, зменшуючи її вартість.

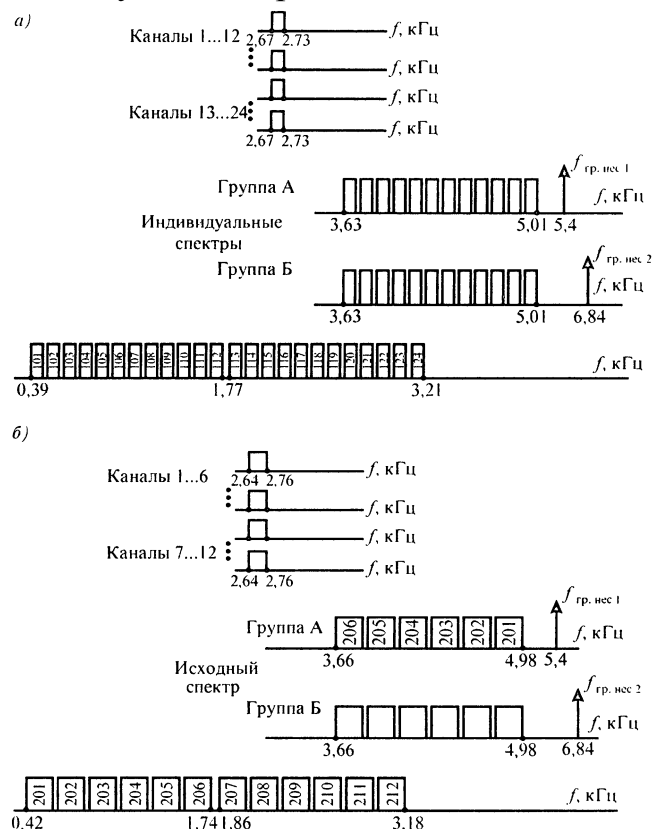


Рисунок 8.13 – Группы каналов

В тракці передачі двополюсні сигнали від кінцевого обладнання даних надходять на вхідний пристрій ВхУ блоку сполучення С.

Пристрій сполучення С перетворює напруги двополюсних посилок в напруги, необхідні для роботи частотних модуляторів ЧМ каналних блоків К. В універсальному блоці К двополюсні струмові посилки перетворюються в частотному модуляторі передавача в залежності від полярності в сигнали з характеристичними частотами f_n і f_v . При швидкості дискретної модуляції 50 Бод вони дорівнюють відповідно 2,67 і 2,73 кГц, при швидкості 100 Бод - 2,64 і 2,76 кГц, при швидкості 200 Бод - 2,58 і 2,82 кГц. Середня частота у всіх випадках залишається незмінною (2,7 кГц). Потім за допомогою лінійних несучих частот вони перетворюються в комутованих фільтрах-перетворювачах КПФ при швидкості 50 Бод в сигнали зі спектром 3,63-5,01 кГц груп А і Б. Значення 12 лінійних несучих вибираються в діапазоні 3,66-4,98 кГц з інтервалом 0,12 кГц. При швидкості 100 Бод спектри частот шести каналів 3,66-4,98 кГц груп А і Б виходять в КПФ перетворенням вихідних сигналів 2,64 і 2,76 кГц шістьма лінійними несучими частотами 3,72-4,92 кГц з інтервалом 0,24 кГц. У разі роботи зі швидкістю 200 Бод спектри частот трьох каналів 3,72-4,92 кГц груп А і В формуються в КПФ перетворенням вихідних сигналів 2,58 і 2,82 кГц трьома лінійними несучими частотами 3,84-4,80 кГц з інтервалом 0,48 кГц. При цьому на кожен КПФ від генератора сітки частот ГСЧ подається керуючий сигнал частотою 2,7 кГц.

Сигнали групи каналів А і Б з виходу передавачів надходять в лінійне обладнання, де струми групи каналів А через ФНЧ надходять на груповий перетворювач П, в якому за допомогою струмів несучої частоти 5,4 кГц переміщаються в нижню частину смуги частот каналу ТЧ. При швидкості дискретної модуляції 50 Бод смуга частот каналів 1 -12 становить 0,39-1,77 кГц. При швидкості 100 Бод канали 1-6 будуть займати смугу частот 0,42-1,74 кГц. Сигнали групи каналів Б перетворюються в другому груповому перетворювачі струмом несучої частоти 6,84 кГц в верхню частину смуги частот каналу ТЧ. Смуга частот каналів 13-24 при швидкості 50 Бод буде 1,83-3,21 кГц, каналів 7-12 при швидкості 100 Бод-1,86-3,18 кГц. При швидкості 200 Бод канали 1-3 після перетворення струмом несучої частоти 5,4 кГц займуть смугу 0,48-1,68кГц. Спектри частот каналів 4-6 в результаті перетворення несучої 6,8 кГц будуть перенесені в смугу 1,88-3,08 кГц.

В тракті прийому сигнали апаратури тонального телеграфування посилюються підсилювачем Ус2 і через ФНЧ надходять на групові перетворювачі П груп каналів А і Б приймальної частини лінійного обладнання. Перетворювачі переносять частотно-модульовані сигнали зі швидкістю передачі 50 Бод каналів 1-12 і 13-24 за допомогою групових несучих частот 5,4 і 6,84 кГц в смугу 3,63-5,01 кГц груп А і Б. При швидкостях 100 і 200 Бод після перетворення смуги частот каналів груп А і Б будуть відповідно 3,66-4,98 і 3,72-4,92 кГц. Потім сигнали зазначених каналів надходять на входи комутованих фільтрів-перетворювачів КФПпр в приймачах каналів К. На інші входи КФПпр подається послідовність з керуючою частотою 2,7 кГц, яка виробляється в блоці групових частот ГЧ генератора ГВЧ. З виходу КФПпр частотно-модульовані сигнали надходять на частотні детектори ЧД приймачів каналів. З виходу ЧД сигнали через фільтр нижніх частот, який виділяє низькочастотні складові, подаються в пороговий пристрій. Туди ж надходить сигнал від автоматичного компенсатора переважання КП, який включений до другої групи каналів і має контрольну частоту 3,3 кГц. Компенсатор переважання регулює робочу точку і усуває крайові спотворення, що виникають із-за зсуву частоти в каналі ТЧ. Через вихідний пристрій ВихУ стику С сигнали надходять на вхід кінцевого обладнання даних.

В апаратурі ТТ-144 є можливість організації в смузі частот 0,3-3,4 кГц каналу для передачі даних зі швидкістю 1200 Бод спільно з п'ятьма каналами зі швидкістю 50 Бод або двома каналами зі швидкістю 200 Бод. Конструктивно передавач і приймач каналу на 1200 Бод об'єднані в одному блоці.

Запитання для самоперевірки:

- Для чого використовується апаратура тонального телеграфування?
- Поясніть процес організації каналів в апаратурі.
- Вкажіть технічні дані апаратури.
- Контроль яких параметрів передбачений в апаратурі?
- Поясніть структурну схему апаратури тонального телеграфування.

8.3 Апаратура з часовим поділом каналів

До складу апаратури з ВРК входять: індивідуальне, групове і лінійне обладнання (рис.8.14). Індивідуальне обладнання кожного каналу ІО1-ІОН тракту передачі містить узгоджуючий пристрій і кодер. Узгоджуючий пристрій перетворює напругу сигналів, що надходять від ООД, в вид, необхідний для роботи блоків передавачів. Кодер призначений для кодування дискретного сигналу $S_1(f)$, що надходить, відповідно до алгоритму використовуваного асинхронного методу сполучення: МН, СИП або ФМ. Методи СИП і ФМ забезпечують більшу стійкість переданих дискретних сигналів. Тому вони частіше використовуються в сучасній каналостворюючій апаратурі.

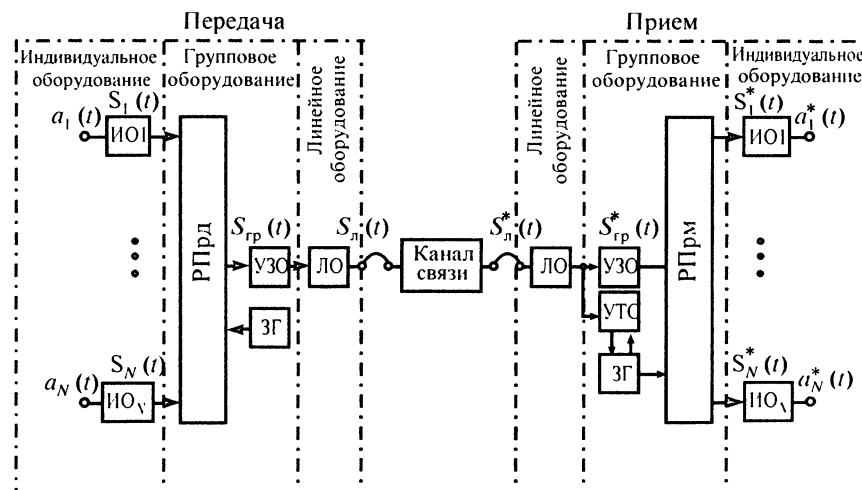


Рисунок 8.14 – Структурна схема апаратури з часовим поділом каналів

Групове обладнання передачі складається з розподільника РПрд, задаючого генератора ЗГ і пристрою захисту від помилок УЗО. Розподільник РПрд (рис.8.15, а) може включати в себе груповий розподільник D і підгрупові розподільники А, В, С, пристрою, що зчитує СчУ, пристрій синхронізації УС. Тоді загальне число каналів N в апаратурі з ВРК може ділитися на підгрупи з числом каналів n в кожному з них. На рис. 8.15,б наведена часова діаграма роботи розподільника передачі. Послідовності сигналів підгруп А, В, С за допомогою імпульсів зчитування а, в, с по чергово надходять на груповий розподільник. За один цикл роботи Tц на його виході формується послідовність D, що містить сигнали 1, 2, ..., n каналів підгруп А, В, С. Загальна кількість каналів за цей часовий інтервал становить N. Пристрій синхронізації УС формує синхросигнал, що представляє собою постійну комбінацію з 1 і 0 з постійним періодом повторення. Це дозволяє зменшити ймовірність помилкового спрацьовування приймача синхросигналу завдяки випадковій появі такої ж комбінації в груповому сигналі. Генератор, що задає, ЗГ виробляє імпульсні послідовності, які встановлюють черговість роботи індивідуального та групового обладнання тракту передачі. Пристрій захисту від помилок УЗО (див. рис.8.14) здійснює завадостійке кодування переданих сигналів.

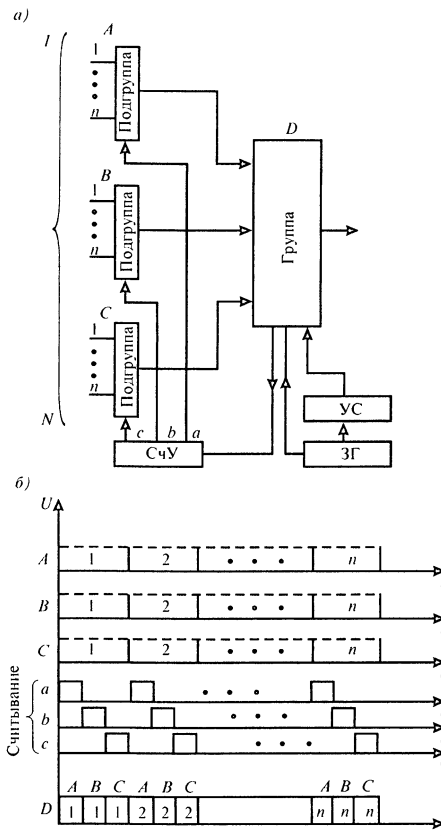


Рисунок 8.15 – Розподільник передачі та часова діаграма роботи

Лінійне обладнання ЛО в тракті передачі перетворює груповий сигнал в вид, зручний для передачі по каналу або фізичному ланцюгу. Основним елементом лінійного обладнання є перетворювач коду. Суть перетворення полягає в тому, що по лінії сигнал передається в спеціальному лінійному коді - квазітрійковому (рис. 8.16, а, б) або біімпульсному (рис. 8.17, а, б). При формуванні квазітрійкового коду може застосовуватися, наприклад, такий алгоритм: поодинокі елементи передаються в лінію безструмовими елементами, а нульові - чергуються елементами негативної і позитивної полярностей. При використанні біімпульсного коду нульові елементи передаються у вигляді пари імпульсів 1 і 0, тривалість яких в 2 рази менше тривалості нульового елемента. Поодинокі елементи передаються імпульсами полярності, що чергується з тривалістю, що дорівнює одиничному елементу.

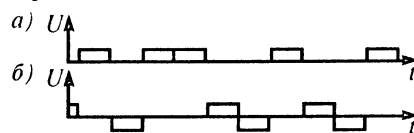


Рисунок 8.16 – Квазітрійковий код

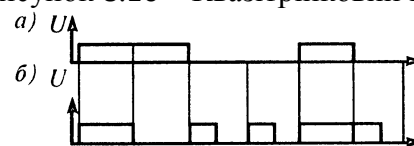


Рисунок 8.17 – Біімпульсний код

Застосування квазітрійкового коду дозволяє виключити постійну складову в спектрі лінійного сигналу і поліпшити умови його проходження по лінійному

тракту, який містить погоджуючі трансформатори. Зазначені трансформатори не пропускають постійну складову спектра лінійного сигналу.

Використання біімпульсного коду дає можливість виключити довгі серії наступних один за одним 1 або 0 і поліпшити умови виділення тактової частоти з лінійного сигналу на прийомі. Пристрій, що погоджує, входить також до складу ЛВ тракту передачі, виконує узгодження вихідного опору апаратури з опором лінії або каналу зв'язку.

Лінійне обладнання тракту прийому включає в себе амплітудно-частотний коректор, підсилювач та генератор. Коректор здійснює корекцію амплітудно-частотних спотворень сигналу, які з'являються при його проходженні по лінії або каналу. Після посилення в підсилювачі сигнали надходять на регенератор. Він служить для відновлення амплітуди, форми, тривалості та місця розташування імпульсів групового сигналу. У перетворювачі коду здійснюється зворотне перетворення квазітрійкового або біімпульсного сигналу в однополярний.

У групове обладнання тракту прийому входять УЗО, пристрій тактової синхронізації УТС, задаючий генератор ЗГ, розподільник прийому РПрм. Пристрій захисту від помилок УЗО виявляє і виправляє помилки, що виникають із-за дії перешкод. Пристрій тактової синхронізації УТС виділяє тактову частоту з лінійного сигналу і здійснює синхронізацію задаючого генератора ЗГ. Вона виробляє імпульсні послідовності, що визначають порядок і чергу роботи групового та індивідуального обладнання тракту прийому. Тим самим забезпечуються однакові швидкість і послідовність підключення до каналу або лінії розподільників в трактах передачі і прийому.

Розподільник прийому групового обладнання працює аналогічно передавальному, виконуючи зворотні перетворення.

В індивідуальному обладнанні кожного каналу ІО1-ІОН прийнята кодова комбінація зворотним перетворенням в декодері методом накладання, методом ковзкого індекса з підтвердженням або методом фіксованого індекса декодується в вихідний дискретний сигнал. Узгоджуючий пристрій перетворює сигнали, отримані на виході апаратури в вид, необхідний для роботи кінцевого обладнання.

Запитання для самоперевірки:

- Призначення апаратури з часовим поділом каналів?
- Поясніть структурну схему апаратури з часовим поділом каналів.
- Призначення індивідуального обладнання та які пристрої містить?
- Призначення групового обладнання та які пристрої містить?
- Призначення лінійного обладнання та які пристрої містить?

9 МОДЕМИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Модеми передачі даних здійснюють перетворення сигналів, що надходять від кінцевого обладнання даних, для їх передачі по каналу зв'язку. Крім функції перетворення сучасні модеми виконують в автоматичному режимі: корекцію помилок; вибір оптимальної швидкості передачі в залежності від напруги перешкод в каналі; корекцію амплітудно-частотної і фазочастотної характеристик каналів; стиснення даних; тестування стану лінії і обладнання передавальної і приймальної частин з виведенням результатів на міні-дисплей або друк; визначення номера абонента та посилку зворотного виклику для забезпечення безпеки і конфіденційності; функцію автовідповідача, передаючи не тільки дані, але і мовну інформацію для абонентів і записуючи на диску їх повідомлення.

Залежно від типу використовуваного каналу передачі випускаються модеми М для роботи по фізичному ланцюгу (рис. 9.1, а), каналу ТЧ комутованої телефонної мережі загального користування ТФОП (рис. 9.1, б), по виділеному каналу ТЧ з ефективно передаваною смугою частот 0,3-3,4 кГц або широкополосному каналу зв'язку (рис. 9.1, в).

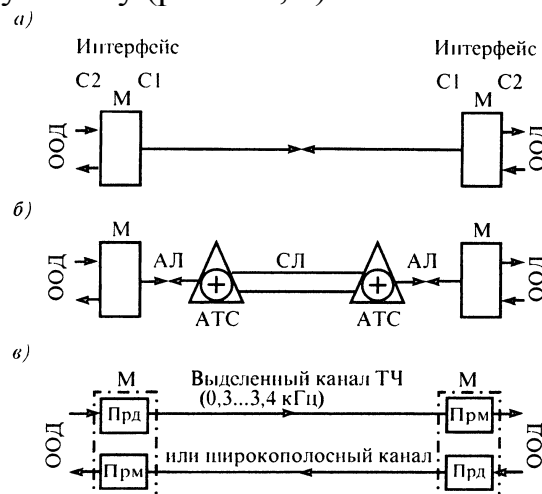


Рисунок 9.1 – Модеми для роботи по різних лініях зв'язку

Інтерфейс, або стик між елементами мережі, визначає наступні основні характеристики: механічні (розміри, тип роз'ємів, розподіл контактів, види ланцюгів); електричні (значення напруг, струмів, опорів); функціональні і процедурні (номенклатура, категорія ланцюгів і їх взаємодія); загальні (швидкість і послідовність передачі сигналів). Стик С1 реалізує інтерфейс між модемом і каналом зв'язку. Його характеристики залежать від середовища поширення і повинні відповідати вимогам стандарту або МСЕ-Т, викладеним в рекомендаціях серії V. Наприклад, стик С1-ФО використовується для фізичних ліній, стик С1-ТФ - для каналів ТЧ ТФОП, стик С1-ТЧ - для виділених каналів ТЧ, стик С1-ТГ - для телеграфних каналів, стик С1-ШП - для широкополосних каналів і ін. Стик С2 має характеристики, що не залежать від середовища поширення. Він дозволяє реалізувати інтерфейс між модемом і ООД. Стик С2 є аналогом американського інтерфейсу RS-232. Його характеристики відповідають також рекомендаціям МСЕ-Т серій V.24 і V.28.

Схема синхронного модему

Найбільшого поширення на комутованій телефонній мережі загального користування отримали синхронні модеми. До складу синхронного модему (рис. 9.2) входять порт інтерфейсу ООД-Модем, передавач, приймач, пристрій управління, ехо-компенсатор, диференціальна система ДС з балансним контуром БК. Порт інтерфейсу ООД-Модем забезпечує взаємодію передавача, приймача і пристрою управління модему з кінцевим обладнанням даних.

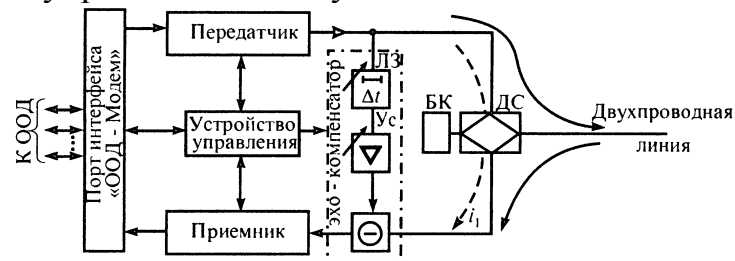


Рисунок 9.2 – Синхронний модем

Передавач синхронного модему складається з скремблера, кодера, модулятора, коректора і схеми синхронізації (рис. 9.3). Суть скремблювання (перемішування) полягає в зміні структури цифрового потоку, що приходить від ООД, для виключення великої кількості поступаючих один за одним 1 або 0. Цей процес відбувається в скремблері. Він дозволяє надійно виділяти тактову частоту з прийнятого сигналу в приймачі модему для забезпечення синхронного режиму його роботи. У скремблері відбувається підсумовування по модулю 2 прийнятого від ООД цифрового сигналу і вироблюваної генератором псевдовипадкової послідовності. Зазначений генератор є складовою частиною скремблера. Скремблювання є зворотним перетворенням структури сигналу без зміни швидкості його передачі. У приймачі модему виконується зворотне перетворення - дескремблювання.

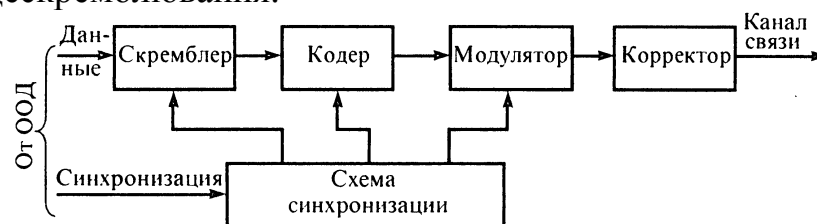


Рисунок 9.3 – Передавач синхронного модему

У кодері передавача здійснюється кодування скрембльованого сигналу завадостійким кодом. Корекція помилок при передачі даних між модемами реалізується з використанням вирішального зворотного зв'язку.

Для виявлення помилок можуть застосовуватися: посимвольний контроль парності; поблочний контроль парності; розрахунок контрольної суми; розрахунок контрольної послідовності кадру, яку називають також полем циклічного надлишкового коду CRC.

Найкращий результат з зазначених методів забезпечує останній. У передавачі модему виконується формування кадру, форма якого залежить від типу протоколу і режиму передачі. Для удосконалення корекції помилок в модемах використовуються також апаратні протоколи мікрокоманд MNP рівнів

з 1-го по 10-й. Найбільшого поширення набули протоколи MNP2-MNP5. Протокол MNP2 використовується при асинхронному методі передачі даних. Він дозволяє виявляти і виправляти помилки завдяки підвищеній надмірності, що досягається введенням стартових і стопових біт в кожен символ, що передається. Протокол MNP3 дозволяє реалізовувати синхронний метод передачі даних між модемами при асинхронному обміні даними з комп'ютером. Це досягається за допомогою формування блоків даних, званих пакетами, з байт, які надходять від комп'ютера. Потім кожен пакет передається як один синхронний кадр більш високого рівня. В результаті виключення стартових і стопових біт для кожного байта швидкість передачі інформації збільшується в порівнянні із застосуванням протоколу MNP2. Протоколом MNP4 передбачається можливість зміни розмірів блоків даних або пакетів в залежності від напруги перешкод в каналі зв'язку. При великій нарузі перешкод пакети містять 32 або 64 байта. У разі, якщо використовуються більш якісні канали, формуються пакети з 128, 192 або 256 байт. Таким чином скорочується число переданих надлишкових службових символів. Внаслідок цього швидкість передачі інформації підвищується. Для управління розмірами пакету з боку користувача використовуються спеціальні АТ-команди.

У протоколі MNP5 крім корекції помилок реалізується також метод стиснення даних, символи, які часто зустрічаються в блоці, кодуються послідовностями коду меншої довжини, в результаті підвищується швидкість передачі інформації. Крім протоколу MNP5 процес стиснення даних визначається також рекомендацією МСЕ-Т серії V.42bis. Сучасні модеми підтримують як протоколи MNP2-MNP5, так і V.42, V.42bis. При встановленні з'єднання модеми автоматично визначають вид протоколу корекції помилок і стиснення даних, який вони використовуватимуть в даному сеансі.

У модуляторі відбувається перетворення (переміщення) спектра сигналу з області високих частот в смугу 300-3400 Гц каналу зв'язку.

У модемах використовуються наступні види модуляції: частотна ЧМ; дво- і трифазова відносна фазова ДОФМ, ТОФМ; квадратурна амплітудна КАМ; сигнально-кодова конструкція ССК.

При ЧМ для передачі двійкового символу 0 застосовується струм більш високої частоти, а для символу 1 - нижчої. В рекомендації серії V.21 передбачаються для дуплексної системи зв'язку частоти 1180 Гц при передачі 0 і 980 Гц при передачі 1 в одному напрямку (рис. 9.4, а). В іншому напрямку 0 передається струмом частотою 1850 Гц, а 1 - 1650 Гц. В рекомендації V.23 встановлюються частоти 1700 і 1300 Гц при передачі 0 і 1 для напівдуплексної системи і швидкості 600 біт/с (рис. 9.4, б). Канал вирішального зворотного зв'язку з модульованим по частоті сигналами 390 і 450 Гц організовується для передачі сигналів "Підтвердження" і "Запит". При швидкості 1200 біт/с використовуються частоти 2100 і 1300 Гц (рис. 9.4, в). У модульованих по частоті сигналах інформація передається зміною частоти. При проходженні ЧМ сигналу по каналу перешкоди впливають в основному на його амплітуду. Таким чином, системи з ЧМ мають більшу завадостійкість. Однак при демодуляції приймач модему буде забезпечувати тим менший коефіцієнт помилок, чим

більше періодів модульованого сигналу укладається в одиничний інтервал. Як відомо, його значення обернено пропорційне швидкості передачі. Таким чином, зі збільшенням швидкості передачі даних в модемах з ЧМ буде збільшуватися число помилково прийнятих символів. Тому ЧМ використовується в низько- і середньошвидкісних модемах (300, 600, 1200 біт/с).

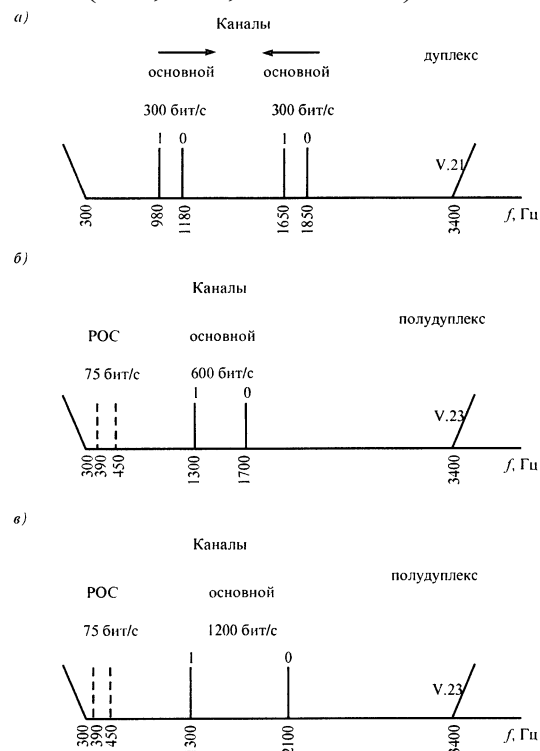


Рисунок 9.4 – Частоти для передачі 1 і 0 в дуплексних і напівдуплексних системах

Для виключення помилок при прийомі фазомодульованих сигналів необхідно забезпечувати необхідну фазу опорного коливання. Схема приймача при цьому значно ускладнюється. Тому в модемах знайшла широке застосування відносна фазова модуляція ОФМ. У рекомендаціях V.26bis (рис. 9.5, а) описується спосіб передачі дворозрядного чисел методом дворазової ОФМ (ДОФМ). Так, дворозрядне число 00 передається зсувом фазового кута на 45° відносно початкового значення. Числа 01, 11, 10 передаються зміною фазового кута відповідно на 135° , 225° і 315° . Зазначені числа несуть інформацію про два біти (або дібіти) вихідної двійкової послідовності. В цьому випадку при швидкості передачі вихідної двійкової послідовності 1200 Бод швидкість передачі інформації складе 2400 біт/с. Для модемів, що працюють по каналу ТЧ, значення несучої частоти вибирається 1800 Гц. Наведена на рис. 9.5, а діаграма називається сигнальним сузір'ям.

При триразовій відносній фазовій модуляції (ТОФМ), описаній в V.27, повороти фази матимуть вісім позицій (рис. 9.5, б). Кожна позиція цього сигнального сузір'я буде нести інформацію про три біти (або трибіти) вихідної послідовності. Швидкість передачі інформації при ТОФМ може досягати 4800 біт/с.

Коректор, що називається також еквайзером, збільшує потужність високочастотних складових і зменшує потужність низькочастотних складових сигналу. Ця операція, яка називається перекосом рівнів передачі, дозволяє

компенсувати спотворення сигналу, які з'являються при його проходженні по лінії зв'язку.

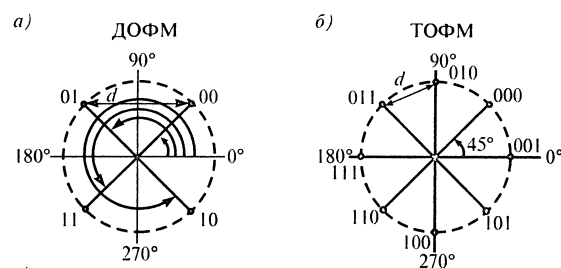


Рисунок 9.5 – Відносні фазові модуляції

Схема синхронізації служить для отримання тактових імпульсів, що визначають послідовність роботи скремблера, кодера і модулятора передавача модему. Зазначені імпульси можуть вироблятися внутрішнім високостабільним генератором опорної частоти або надходити від ООД.

Приймач синхронного модему включає в себе (рис. 9.6) адаптивний коректор К зі схемою управління СУК, проміжний модулятор М з генератором коливальних несучої частоти G, демодулятор Дм, декодер Дк, дескремблер Дс і схему синхронізації СС.

Адаптивний коректор компенсує міжсимвольні спотворення сигналів. Зазначені спотворення проявляються в зміні форми імпульсів (їх розширення або дисперсії) при проходженні по каналу зв'язку. При правильному виборі характеристики коректора в момент $t_{(n)}$ прийняття рішення (стробування) струм від попереднього імпульсу $t_{(n-1)}$ повинен приймати мінімальне значення. Це сприятиме збільшенню відношення сигнал/перешкода і підвищенню завадостійкості приймача модему. Схема управління коректором дозволяє, підлаштовуючи його характеристику, забезпечувати зазначені вище вимоги.

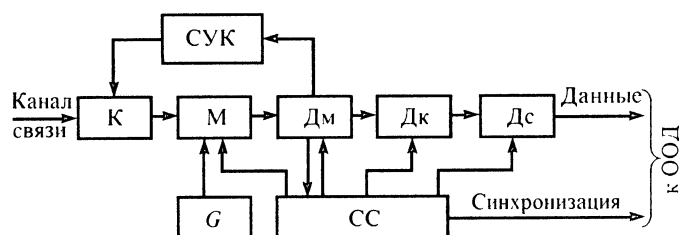


Рисунок 9.6 – Приймач синхронного модему

Проміжний модулятор може конвертувати тональний спектр частот 300-3400 Гц сигналу в область більш високих частот. Вона визначається значенням частоти несучого струму, що виробляється генератором. Зазначене перетворення дозволяє зменшити спотворення сигналу в процесі подальшої демодуляції.

В декодері і дескремблері здійснюються операції, зворотні до виконуваних в кодері і скремблері передавача. При цьому робота скремблера і дескремблера не повинна приводити до процесу розмноження помилок і знижувати вірність передачі дискретної інформації.

Схема синхронізації виділяє струм тактової частоти з сигналу і подає його в основні вузли приймача модему (модулятор, демодулятор, декодер, дескремблер) і в кінцеве обладнання даних ООД.

Диференціальна система. Передавач і приймач модему підключаються до двопроводового каналу зв'язку через диференціальну систему ДС (див.рис. 12.2) Вона дозволяє перейти від чотирипроводової частини схеми до двопроводової. Диференціальна система зменшує вплив між трактами передачі і прийому модему незважаючи на те, що передача і прийом сигналів відбуваються одночасно по двох проводах. Це досягається балансуванням диференціальної системи балансним контуром БК.

Ехо-компенсатор (рис. 9.7). Перехідні струми приходять до приймальної частини модему через диференціальні системи, що знаходяться на вході і виході двопроводового каналу ТЧ. На практиці кількість складових ехо-сигналу може значно збільшуватися внаслідок появи відображених струмів в місцях неузгодженості опорів ділянок лінії при наявності вставок різних типів кабелів. Ехо-сигнал має заважаючий вплив на роботу приймача модему. Для його компенсації служить ехо-компенсатор.

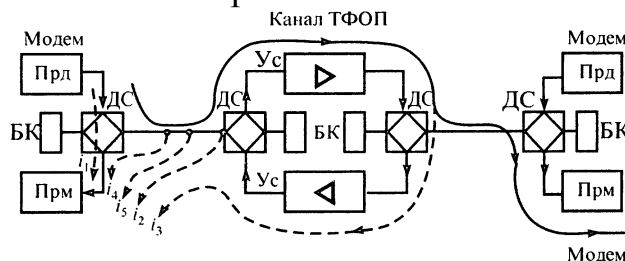


Рисунок 9.7 –Принцип роботи ехо-компенсатора

Принцип компенсації ехо-сигналу полягає в наступному. Передавач модему за допомогою керуючого пристрою посиляє на етапі встановлення з'єднання в канал зондуєчий сигнал. По приймаємому ехо-сигналу визначаються амплітудно - і фазочастотні спотворення, груповий час проходження, потужність відображеного сигналу. У процесі сеансу зв'язку в ехо-компенсаторі із приймаємого сигналу, що складається з корисної складової $U_{пр}$ і складової еха U_e віднімається напруга $U'_{пер}$. Вона представляє собою сигнал на виході передавача, скоригований відповідно до параметрів, які були визначені керуючим пристроєм при аналізі відображеного зондуєчого сигналу. Напруга $U'_{пер}$ отримується в результаті впливу пристрою управління на параметри ліній затримки ЛЗ і підсилювачів $Ус$, що входять до складу ехо-компенсатора.

Компенсація буде тим ефективніше, чим ближче за значенням напруги $U'_{пер}$ і U_e . При їх рівності матиме місце співвідношення $U_{пр} + U_e - U'_{пер} = U_{пр}$, тобто ехо-сигнал буде скомпенсований повністю.

Пристрої управління модемів (рис.9.8), що випускаються різними фірмами, можуть відрізнятися в апаратній і програмній реалізації. Однак вони повинні забезпечувати функціональну сумісність модемів. Це означає, що користувачеві перед сеансом зв'язку необов'язково налаштовувати модем на той чи інший протокол, наприклад на конкретний протокол MNP1-MNP4 або V.42, що підтримує корекцію помилок. Пристрій управління автоматично розпізнає

протокол, який використовується віддаленим модемом, і переводить модем користувача в потрібний режим.

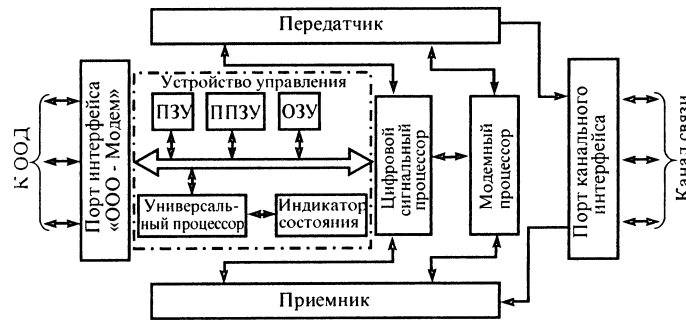


Рисунок 9.8 – Пристрої управління модемів

При цьому даний модем може працювати не тільки з модемами, що підтримують будь-який з зазначених протоколів, але і з модемами, які не підтримують корекцію помилок.

В пристрій управління входять: універсальний процесор (PU), постійний запам'ятовуючий пристрій ПЗУ (ROM), постійний незалежний перепрограмуємий пристрій ППЗУ (ERP ROM), оперативний пристрій ОЗУ (RAM) і індикатор стану модему.

Універсальний процесор PU виконує прийняті від ООД команди (так звані АТ-команди), управляє режимами роботи всіх складових частин модему і передає інформацію про їх стан на індикатор стану модему. Від типу використовуваного універсального процесора PU і прошивки управління, яка записана в постійний запам'ятовуючий пристрій ПЗУ, залежить набір інтелектуальних функцій, які виконуються модемом: режим автодозвону та очікування вхідного дзвінка; визначення номера абонента; автоматичне розпізнавання вхідного сигналу: мова або дані і ін. Замінивши або перепрограмувавши ПЗУ, можна зробити модернізацію модему - забезпечити підтримку нових протоколів передачі даних або ввести додаткові сервісні функції. Постійний незалежний перепрограмуємий пристрій ППЗУ дозволяє зберігати стан пристроїв модему на час його виключення. Оперативний пристрій ОЗУ використовується для тимчасового зберігання даних і результатів проміжних обчислень універсальним PU і цифровим сигнальним процесором DSP.

Цифровий сигнальний процесор DSP, що входить до складу модему, виконує основні функції передавача і приймача: скремблювання і дескремблювання, кодування і декодування, корекцію амплітудно-частотних спотворень. Функції модуляції і демодуляції в модемах деяких фірм-виробників виконує модемний процесор.

Порт каналного інтерфейсу погоджує параметри модему з електричними характеристиками каналу зв'язку.

Запитання для самоперевірки:

- Для чого використовуються модеми? Їх класифікація?
- Які характеристики визначає інтерфейс, або стик між елементами мережі?
- Поясніть основні блоки передавача синхронного модему та їх призначення.
- Поясніть основні блоки приймача синхронного модему та їх призначення.
- Для чого призначені пристрої управління модемів?

10 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ВІРНОСТІ ПЕРЕДАЧІ

10.1 Необхідність передачі дискретної інформації з підвищеною вірністю

Необхідність передачі дискретної інформації з підвищеною вірністю виникає в разі, коли в переданих документах відсутня внутрішня смислова надмірність, притаманна кожній мові. Таке спостерігається при передачі криптограми (шифровані телеграми) і при передачі даних. У першому випадку внутрішня смислова надмірність видаляється з повідомлень навмисно, а в другому випадку вона відсутня спочатку, так як дані представляють собою формалізовану цифрову інформацію. І в тому, і в іншому випадку відновити за змістом помилково прийнятий документ не вдається.

Ось чому норми на частоту помилок в таких випадках жорсткіше, ніж в разі передачі телеграфних смислових повідомлень. На мережі передачі даних прийнята норма на коефіцієнт помилок K_p і становить $1 \cdot 10^{-6}$. У той же час в існуючих каналах зв'язку вимірний коефіцієнт помилок $K_p = 1 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-5}$. Коефіцієнт помилок $K_p = 1 \cdot 10^{-2}$ відноситься до випадку застосування для передачі дискретної інформації комутованих каналів з електромеханічним комутаційним обладнанням. Імпульсні перешкоди, що виникають із-за роботи електромеханічних реле, призводять до частій появи помилок.

Коефіцієнт помилок $K_p = 1 \cdot 10^{-5}$ характерний для виділених каналів, обладнаних системами з сигналом ІКМ, що працюють по кабелях з мідними жилами.

Є канали, обладнані системами синхронної цифрової ієрархії, що працюють по волоконно-оптичних кабелях. В них коефіцієнт помилок $K_p = 1 \cdot 10^{-10}$. Але таких ділянок в загальній мережі зв'язку ще мало.

Порівнюючи нормативні та реальні значення коефіцієнта помилок, можна бачити, що вони відрізняються один від одного в десять і більше раз. Ось чому для дотримання норм на якість передачі сигналів необхідно застосовувати ті чи інші заходи захисту від помилок, заходи підвищення вірності передачі.

10.2 Класифікація методів підвищення вірності

Всі існуючі методи захисту від помилок можна умовно розбити на дві групи (рис.10.1).

Більшість причин зниження вірності передачі пов'язані з властивостями каналів, за якими здійснюється передача, каналостворюючої апаратури і кінцевих пристроїв передачі та прийому. Кожен з видів технічних засобів створює будь-які перешкоди для передачі дискретних сигналів. Тому першу групу складають методи, спрямовані на ослаблення дії перешкод (пасивні методи). Вони, в свою чергу, можуть бути розділені на організаційно-технічні та електротехнічні.

Зменшення дії перешкод організаційно-технічними методами можна досягти захистом від них і зменшенням рівня заважаючих впливів в самих джерелах перешкод.

Методи поліпшення якісних показників каналів зв'язку, в першу чергу, пов'язані із застосуванням замість повітряних ліній зв'язку кабельних, в яких рівень зовнішніх перешкод незначний внаслідок екрануючого ефекту оболонки кабелю.

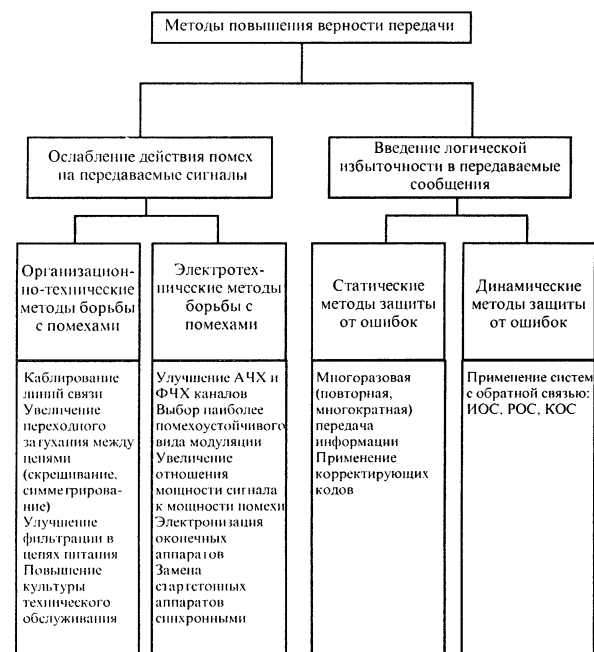


Рисунок 10.1 – Класифікація методів підвищення вірності

Зменшити взаємні впливи між ланцюгами можна схрещуванням ланцюгів на повітряних лініях зв'язку і симетруванням пар і четвірок в кабельних лініях.

З огляду на те, що всі елементи апаратури зв'язку отримують електроживлення від одного джерела (в будинку зв'язку), зменшити перешкоди можна зниженням пульсацій випрямленої напруги, тобто поліпшенням фільтрації в ланцюгах електроживлення. І, нарешті, їх можна зменшити, підвищуючи культуру технічного обслуговування, зменшуючи помилкові дії технічного персоналу при планових перевірках апаратури, проводячи ремонтні та профілактичні роботи на лініях, вимірюючи характеристики каналів. Досвід показує, що дані заходи в сукупності підвищують вірність передачі в 3-5 разів.

Ефект від застосування електротехнічних методів ґрунтується на знанні і використанні законів електротехніки і теорії зв'язку. Це, в першу чергу, відноситься до поліпшення амплітудних і фазових характеристик каналів і збільшення відношення потужності сигналу до потужності перешкоди.

Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) в рівній мірі впливає на аналогові і дискретні сигнали, знижуючи рівень корисного сигналу на прийомі. Фазочастотна характеристика (ФЧХ) на передачу аналогових сигналів впливає мало, так як людське вухо не вразливе до фазових зрушень. Неідеальність ФЧХ значно впливає на дискретні сигнали, так як при цьому змінюється форма прийнятих імпульсів, а отже, з'являються крайові спотворення.

Оптимальний вибір відношення потужності сигналу P_c до потужності перешкоди P_n впливає на пропускну здатність каналу і, як показав Шеннон, вона визначається виразом, біт/с:

$$V_{\max} = \Delta F \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_n} \right). \quad (10.1)$$

Однак збільшувати потужність сигналу можна до певної межі, обумовленої нормами взаємного впливу кіл.

Різну завадостійкість, як було показано вище, мають і різні види дискретної модуляції. При модуляції на постійному струмі ДПМ має перевагу перед ОПМ, а при використанні в якості переносника змінного струму більшу завадостійкість має ФМ в порівнянні з АМ і ЧМ. Вибір найбільш завадостійкого виду модуляції в тій чи іншій ситуації дасть позитивний ефект.

Альтернативним рішенням в частині завадостійкості є і вибір типу кінцевого пристрою. В цьому випадку слід орієнтуватися на значення виправляючої здатності приймачів. У електронних апаратів виправляюча здатність в 1,4-1,5 рази вище, ніж у електромеханічних. Незалежно від типу у синхронних апаратів виправляюча здатність вище, ніж у стартстопних. Отже, при одному і тому ж рівні перешкод електронні синхронні апарати забезпечать меншу ймовірність помилки, ніж електромеханічні стартстопні.

Можливості цього різновиду заходів також обмежені. Вони дозволяють підвищити вірність передачі в 5-7 разів. Однак, незважаючи на удаваний малий ефект, нехтувати першою групою методів не слід.

Друга група методів передбачає введення логічної надмірності в передані повідомлення (активні методи). Вони, в свою чергу, також мають два різновиди. По-перше, це статичні методи захисту від помилок, в яких вносима логічна надмірність залишається постійною, незалежно від завадоактивності каналу. До них відноситься метод багаторазової передачі, надмірність якого визначається заздалегідь обумовленою кількістю повторень і застосуванням коригувальних кодів, кожен з яких має постійну надмірність, що обумовлює його унікальні властивості. Зі збільшенням надмірності підвищується стійкість. Однак ні збільшувати число повторень, ні замінювати коригувальний код зі зміною умов проходження сигналів по каналах оперативно не можна.

Динамічні методи дозволяють змінювати надмірність в процесі передачі відповідно до зміни завадоактивності каналу. Це адаптивні методи, що дозволяють оперативно пристосовуватися до умов проходження сигналів. Вони реалізуються системами зі зворотним зв'язком і вимагають для своєї реалізації наявності двостороннього каналу.

У свою чергу, системи зі зворотним зв'язком представлені трьома різновидами. Це системи з інформаційним зворотним зв'язком, вирішальним зворотним зв'язком, комбінованим зворотним зв'язком.

Методи другої групи є найбільш дієвими в боротьбі з перешкодами і дозволяють підвищити вірність передачі теоретично в необмежену кількість разів.

10.3 Метод багаторазової передачі

Найпростішим з методів другої групи є метод багаторазової (повторної, багаторазової) передачі. Він був запропонований Верданом в 1932р. в Німеччині і застосовувався для телеграфної передачі.

Суть його полягає в тому, що одна і та ж інформація передається непарне число (3, 5, 7,...) раз без зміни. Рішення про прийняті символи виносяться голосуванням за принципом більшості (рис.10.2).

Переданное сообщение		В	К	У	С	Н	О	Е		Я	Б	Л	О	К	О
Результат приема	1-й раз	Б	К	У	С	К	О	Й		Я	М	Л	У	К	О
	2-й раз	В	К	У	К	Н	О	Е		Я	Ь	Л	О	К	О
	3-й раз	В	К	У	С	Н	Ы	Е		Я	Ь	Л	О	К	И
Принятое сообщение		В	К	У	С	Н	О	Е		Я	Б	Л	О	К	О

Рисунок 10.2 – Метод багаторазової передачі

Незважаючи на те, що при передачі деяких символів при триразовому повторенні в різних сеансах були помилки (на рис.10.2 вони виділені жирним шрифтом), остаточне рішення помилкових символів не має. Рішення про вид символу приймається в разі, коли всі 3 рази символ виглядає однаково або коли він з'являється в двох випадках з трьох.

Цей метод дуже простий, з точки зору технічної реалізації, не вимагає застосування спеціальної апаратури. При використанні коду МТК-2 ($n = 5$) і частоті помилки в каналі $P_n = 1 \cdot 10^{-2}$ при трикратному повторенні вірність передачі можна підвищити в 7 разів. При тих же умовах і п'ятикратному повторенні вірність збільшується в 21 раз. Однак і в тому, і в іншому випадках час передачі зростає відповідно в 3 і 5 разів, що є недоліком методу багаторазової передачі.

Для усунення втрат в часі був запропонований метод одноразової передачі одночасно по декількох каналах, бажано просторово рознесених. Однак і він не знайшов широкого поширення через значні витрати на канали.

На сьогодні метод багаторазової передачі і його різновиди в чистому вигляді не знаходять практичного застосування. Однак ідея багаторазової передачі в поєднанні з іншими методами виявилася плідною і знайшла застосування в системах зі зворотним зв'язком.

Запитання для самоперевірки:

- Поясніть необхідність передачі дискретної інформації з підвищеною вірністю.
- Вкажіть класифікацію методів підвищення вірності.
- Метод багаторазової передачі? Його недоліки?

11 ЗАВАДОСТІЙКІ КОДИ

Коригуючими вважаються коди, побудовані на основі первинних (простих) кодів введенням логічної надмірності, яка допомагає виявити або виправити і виправити помилки в блоці, що захищається.

В коригувальних кодах кодова відстань по безлічі має дорівнювати двом або більше, тобто $d(V_k) \geq 2$. Це означає, що загальне число комбінацій S_0 ділиться на дві частини. Одна частина, в якій виконується поставлена умова, складається з дозволених комбінацій S_d , а інша - з заборонених комбінацій S_z , що не використовуються для передачі інформації, тобто $S_0 = S_d + S_z$. Отже, при побудові коригуючого коду з простого коду повинна виконуватися умова

$$S_0 > S_p, \quad (11.1)$$

що показує, що кількість комбінацій коригуючого коду з введенням деякого логічної умови зменшується в порівнянні з їх кількістю для простого коду.

Якщо в результаті дії перешкод в лінії дозволена комбінація перетворюється в заборонену, то це вказує на появу помилок, так як заборонені комбінації ніколи не передаються. Виявити помилку - значить встановити факт переходу S_d в S_z безвідносно до виду помилки, їх кількості та місця розташування в комбінації, що захищається.

Код, що задовольняє умові (10.1), здатний виявляти помилки в $S_d(S_0 - S_d)$ випадках із загального числа випадків появи помилок, рівних $S_0 S_d$. Звідси частка виявляємих помилкових комбінацій становить:

$$g = S_p(S_0 - S_p) / (S_0 S_p) = 1 - S_p / S_0. \quad (11.2)$$

Виправлення помилки можливо в тому випадку, якщо встановлено факт її наявності, тобто після її виявлення. Виправити помилку - значить визначити її номер (місце) в блоці, що захищається. При двійковому кодуванні ця процедура зводиться до інверсії зазначеного елемента, тобто заміні нуля на одиницю або навпаки.

Помилки виправляються $S_0 - S_d$ випадках. Отже, ставлення числа кодових комбінацій, помилки в яких виправляються, до числа комбінацій, в яких помилки виявлені, буде

$$k = \frac{S_0 - S_p}{S_p(S_0 - S_p)} = \frac{1}{S_p}. \quad (11.3)$$

Коригувальна здатність коду, тобто здатність виявляти або виправляти помилки тієї чи іншої кратності ($\alpha_{кр}$) в комбінації, пов'язана з кодовою відстанню по безлічі дозволених комбінацій $d(V_p)$ наступними співвідношеннями:

для виявлення помилок

$$d(V_p) = \alpha_{кро} + 1, \quad (11.4)$$

для виправлення помилок

$$d(V_p) = 2\alpha_{кри} + 1, \quad (11.5)$$

для виявлення та виправлення помилок

$$d(V_p) = \alpha_{\text{кро}} + \alpha_{\text{кри}} + 1, \quad (11.6)$$

де $\alpha_{\text{кро}}$ - кратність виявлених помилок; $\alpha_{\text{кри}}$ - кратність виправляємих помилок.

Значить, виявляти одноразові помилки ($\alpha_{\text{кро}} = 1$) може код з кодовою відстанню по безлічі $d(V_p) = 1 + 1 = 2$, а виправляти одноразову помилку ($\alpha_{\text{кри}} = 1$) - код з $d(V_p) = 2 \cdot 1 + 1 = 3$. Цей же код може одночасно виявляти і виправляти одноразові ($\alpha_{\text{кро}} = 1$ і $\alpha_{\text{кри}} = 1$) помилки, так як для нього $d(V_p) = 1 + 1 + 1 = 3$.

Запитання для самоперевірки:

- Для чого використовуються коригувальні коди?
- Яка умова повинна виконуватись при побудові коригуючого коду з простого коду?
- В якому випадку можливе виправлення помилки?
- Що таке коригувальна здатність коду?
- Що означає виправити помилку?

11.1 Класифікація коригувальних кодів і їх параметри

Класифікація коригувальних кодів наведена на рис. 11.1.

За способом побудови коригувальні коди діляться на блокові і безперервні. У блокових кодах операції по введенню надмірності і перевірці правильності прийому здійснюються над групою двійкових цифр - блоком. У найпростішому випадку це кодова комбінація. У безперервних кодах ці операції проводяться без розбивки двійкової послідовності на блоки.

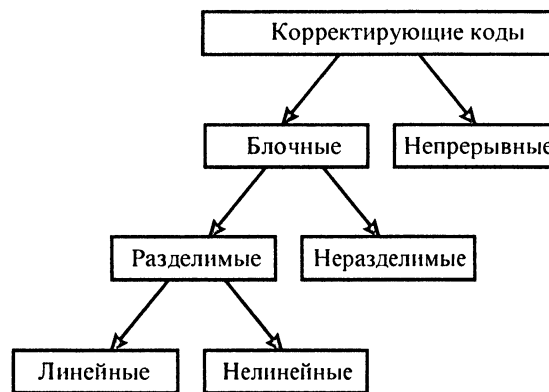


Рисунок 11.1 - Класифікація коригувальних кодів

У свою чергу, блокові коди бувають роздільні, в яких чітко можна вказати місце інформаційних і контрольних елементів в блоці, і нероздільні, в яких цього зробити не можна.

Залежно від застосовуваного математичного апарату роздільні коди бувають лінійні і нелінійні. Для перших з них процедури побудови блоків можна описати системою лінійних рівнянь, а для других - ні.

Найбільше застосування на практиці мають блокові, роздільні і лінійні коригувальні коди.

До основних параметрів коригувальних кодів відносяться відомі із загальної теорії кодування: основа α ; довжина кодової групи (кодової комбінації) $n = k + r + s$ (для блокових кодів); загальне число комбінацій коду $S_0 = \alpha^n$ (для блокових кодів).

Специфічними параметрами є: число дозволених комбінацій $S_p = \alpha^k$ (для роздільних кодів); число заборонених комбінацій $S_z = S_0 - S_p$; коефіцієнт надмірності R .

Коефіцієнт надмірності $R = 1 - \log_2 S_p / \log_2 S_0$.

Для роздільних кодів цей вираз спрощується

$$R = 1 - k / n. \quad (11.7)$$

Для кодів з виявленням помилок оцінкою їх властивостей являється коефіцієнт виявлення

$$K_{\text{обн}} = 1 - P_{\text{но}} / P_{\text{ок}}, \quad (11.8)$$

де $P_{\text{но}}$ - ймовірність помилки, що виявляється, яка залежить від властивостей коду, $P_{\text{ок}}$ - ймовірність помилкового прийому кодової комбінації, яка не залежить від властивостей коду, а залежить тільки від довжини кодової комбінації і коефіцієнта помилок за елементами в каналі; $P_{\text{ок}} = nk_{\text{ошз}}$.

Ці параметри застосовують для порівняльної оцінки коригувальних кодів при побудові апаратури з захистом від помилок.

Число дозволених комбінацій S_d показує, скільки корисних команд або символів можна передати із застосуванням даного коду. Коефіцієнт надмірності R вказує на частку пропускну здатності, яка витрачається на захист від помилок. Коефіцієнт виявлення дає можливість порівняти коригувальні коди за їх властивостями. Кращим буде код з великим коефіцієнтом виявлення.

Запитання для самоперевірки:

- Як класифікуються коригувальні коди?
- Вкажіть основні параметри коригувальних кодів.
- Вкажіть специфічні параметри коригувальних кодів.
- Що таке коефіцієнт надмірності? Як він визначається?
- Поясніть поняття: дозволені і недозволені кодові комбінації.

11.2 Найпростіші коди з виявленням помилок

Як приклад побудови кодів з виявленням помилок розглянемо декілька простих кодів. Це коди з перевіркою на парність, з постійною вагою, кореляційні, інверсні.

При розгляді правил побудови кодів будемо дотримуватися наступного: як формуються дозволені комбінації (для роздільних кодів: як сформувані контрольні розряди, скільки їх і як вони розташовуються щодо інформаційних); скільки дозволених комбінацій в коді; які властивості отриманого коду; які основні параметри коду.

Код з перевіркою на парність є лінійним, роздільним, блоковим кодом. Кожна комбінація коду містить один контрольний розряд ($r = 1$). Отже, довжина

кової комбінації $n = k + 1$. Контрольний елемент розташовується в кінці комбінації, тобто $k_1 k_2 k_3 \dots k_i r$.

Правило формування контрольних розрядів визначається виразом $\sum (k_i + r) \bmod 2 = 0$, що відповідає умові наявності парного числа одиниць в дозволених кодовій комбінації (звідси і назва коду).

Кількість дозволених комбінацій і коефіцієнт надмірності визначаються за звичайними для роздільних кодів формулами $S_p = 2^k$ і $R = 1 - k / n$.

Код здатний виявляти всі помилки непарної кратності. Всі помилки парної кратності не виявляються. Імовірність помилки, що не виявляється $P_{\text{но}} \approx C_n^2 p^2 q^{n-2}$.

Як приклад розглянемо варіант побудови коду з перевіркою на парність на основі простого коду МТК-2. Для цього випадку число інформаційних елементів $k = 5$, всього елементів в комбінації коригуючого коду $n = k + 1 = 5 + 1 = 6$. Загальне число комбінацій коду з перевіркою на парність $S_0 = 2^n = 2^6 = 64$. З них дозволених $S_p = 2^k = 2^5 = 32$; заборонених комбінацій $S_z = S_0 - S_p = 64 - 32 = 32$.

Коефіцієнт надмірності

$$R = 1 - k / n = 1 - 5 / 6 = 1/6 = 0,1666. \quad (11.9)$$

Коефіцієнт виявлення

$$K_{\text{обн}} = 1 - P_{\text{но}} / P_{\text{ок}} = 1 - C_6^2 p^2 q^4 / (6p) = 1 - 2,5pq^4. \quad (11.10)$$

Статистика помилок в каналах показує, що помилки парної кратності складають 20% від загального числа помилок. Отже, код з перевіркою на парність не може використовуватися в лінійному варіанті. Він знаходить застосування для перевірки правильності введення і виведення інформації в апаратурі передачі даних (АПД).

Код з постійною вагою відноситься до класу блокових нероздільних. Основною умовою приналежності комбінації до підмножини дозволених є $w = \text{const}$. На практиці зазвичай використовують коди з $w = 3$. Кількість дозволених комбінацій $S_p = C_n^w$. Коефіцієнт надмірності $R = 1 - \log_2 S_p / \log_2 S_0$. Код з постійною вагою здатний виявити всі помилки непарної кратності і частину помилок парної кратності. Цей код не може виявляти кратні транспозиції. Імовірність помилки, що не визначається, визначається виразом

$$P_{\text{но}} \approx C_w^1 p q^{w-1} C_{n-w}^1 p q^{n-w-1}, \quad (11.11)$$

який відповідає появі одноразової транспозиції.

Як приклад розглянемо побудову коригуючого коду на основі п'ятиелементного простого коду за умови $w = 3$. Для цього випадку $S_0 = 2^5 = 32$, $S_p = C_5^3 = 10$, $S_z = 32 - 10 = 22$.

Коефіцієнт надмірності

$$R = 1 - \frac{\log_2 S_p}{\log_2 S_0} = 1 - \frac{\log_2 10}{5} = 0,335; \quad (11.12)$$

коефіцієнт виявлення

$$K_{\text{обн}} = 1 - \frac{P_{\text{но}}}{P_{\text{ок}}} = 1 - \frac{C_3^1 p q C_2^1 p q}{5p} = 1 - \frac{6p^2 q^3}{5p} = 1 - 1,2pq^3. \quad (11.3)$$

Мала кількість дозволених комбінацій ($S_d = 10$) є великим недоліком такого коду, так як не дозволяє використовувати його для передачі буквено-цифрової інформації.

На практиці частіше застосовується код з $w = 3$, побудований на основі КОИ-7, так як він має достатню кількість дозволених комбінацій $S_p = C_7^3 = 35$.

Кореляційний код відноситься до класу лінійних роздільних блокових кодів. У цьому коді контрольні розряди розміщуються слідом за кожним інформаційним, отже, в кодовій комбінації коригуючого коду число елементів подвоюється по відношенню до вихідної комбінації простого коду. Кожен контрольний елемент є інверсією свого інформаційного, тобто $r_i = \bar{k}_i$. Структура кодової комбінації кореляційного коду така $k_1 r_1 k_2 r_2 k_3 r_3 \dots k_i r_i$. Звідси $n = 2k$, а коефіцієнт надмірності $R = 1 - \frac{k}{n} = 0,5$.

Кодом не виявляються помилки типу "кратна транспозиція" в парах, отриманих з одного інформаційного елемента. Імовірність такої події $P_{\text{но}} = p^2$.

Для прикладу розглянемо побудову комбінації кореляційного коду з комбінації простого п'ятиелементного коду.

Отримаємо $k = 5, r = 5, n = 10, R = 0,5; k_{\text{обн}} = 1 - p^2 / (10p) = 1 - 0,1p$.

Механізм побудови кодової комбінації кореляційного коду буде таким, як показано нижче:

1	0	1	1	0	—	вихідна комбінація
↙	↘	↓	↓	↘		
1	0	0	1	1	0	1
						- комбінація кореляційного коду
						$k_1 r_1 k_2 r_2 k_3 r_3 k_4 r_4 k_5 r_5$

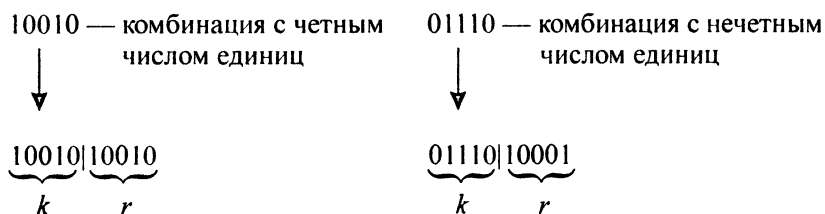
Інверсний код, або код з повторенням, також відноситься до класу систематичних, роздільних, блочних. Структура комбінацій інверсного коду така, що контрольні елементи передаються групою після інформаційних. Їх стільки ж, скільки інформаційних, тобто $k = r$, отже, число елементів в комбінації подвоюється $n = 2k$. Будь-яка комбінація інверсного коду виглядає наступним чином:

$$k_1 k_2 k_3 \dots k_i r_1 r_2 r_3 \dots r_i$$

Вид контрольних елементів визначається з умови парності або непарності одиниць в інформаційних елементах. Якщо число одиниць в інформаційних елементах парне, то $r_i = k_i$ і друга половина комбінації повністю повторює першу. Якщо число одиниць непарне, то $r_i = \bar{k}_i$ (і друга половина комбінації повторюється в інверсному вигляді. Таке складне правило побудови кодових комбінацій призводить до того, що інверсний код виявляє практично всі помилки. Імовірність помилки, що не виявляється, становить $P_{\text{но}} = C_n^2 p^2$.

Якщо взяти вихідним п'ятиелементний код, то інверсний код на його основі буде мати наступні параметри: $k = 5, r = 5, n = 10, R = 0,5, K_{\text{обн}} = 1 - 4,5 p$.

Приклад побудови комбінацій інверсного коду:



Через складність побудови кодоперетворювачів кореляційні і інверсні коди застосовуються рідко.

Запитання для самоперевірки:

- Поясніть утворення коду з перевіркою на парність.
- Поясніть утворення коду з постійною вагою.
- Поясніть утворення кореляційного коду.
- Поясніть утворення інверсного коду, або коду з повторенням.

11.3 Коди з виправленням помилок

Яскравим представником систематичних кодів з виправленням однократних помилок є код Хемінга. В основу його побудови покладена операція перевірки на парність в групах елементів. Число груп становить r , а їх склад визначається наявністю 1 у відповідному розряді двійкового ряду послідовності чисел. Наприклад, для чотирирозрядних двійкових чисел, що відображають номер елемента кодової комбінації, перевірочні групи формуються наступним чином.

Номер елемента комбінації	Двійкове число	Склад перевірочної групи
a_1	0001	$S_1 = (a_1 + a_3 + a_5 + a_7 + a_9 + \dots) \bmod 2$
a_2	0010	
a_3	0011	$S_2 = (a_2 + a_3 + a_6 + a_7 + \dots) \bmod 2$
a_4	0100	
a_5	0101	$S_3 = (a_4 + a_5 + a_6 + a_7 + \dots) \bmod 2$
a_6	0110	
a_7	0111	$S_4 = (a_8 + a_9 + \dots) \bmod 2$
a_8	1000	
a_9	1001	

Контрольними будуть ті елементи, які зустрічаються в перевірочних групах лише один раз (перший, другий, четвертий, восьмий).

Як приклад розглянемо формування комбінацій (9,5)-коду Хемінга з вихідної комбінації простого п'ятиелементного коду. Елементи комбінації коду Хемінга нумеруються справа наліво: $a_9, \dots, a_3, a_2, a_1$. На відповідних місцях будуть інформаційні елементи k_1 і контрольні елементи r_1 (табл. 10.1). Вихідною є комбінація 10110. Умовою формування контрольних розрядів буде рівність нулю контрольних сум S_1, S_2, S_3, S_4 в групах.

Таблиця 10.1

Номер элементов	a_9	a_8	a_7	a_6	a_5	a_4	a_3	a_2	a_1
Вид элементов	k_5	r_4	k_4	k_3	k_2	r_3	k_1	r_2	r_1
Значащая позиция	0	0	1	1	0	0	1	1	0

Складемо рівняння перевірок:

$$S_1 = (a_1 + a_3 + a_5 + a_7 + a_9) \bmod 2 = 0;$$

$$S_2 = (a_2 + a_3 + a_6 + a_7) \bmod 2 = 0;$$

$$S_3 = (a_3 + a_5 + a_6 + a_7) \bmod 2 = 0;$$

$$S_4 = (a_8 + a_9) \bmod 2 = 0.$$

Замінюючи у формулі (10.7) відповідні елементи цифрами вихідної кодової комбінації, отримаємо систему рівнянь:

$$r_1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 0 = 0;$$

$$r_2 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 = 0;$$

$$r_3 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0;$$

$$r_4 \oplus 0 = 0.$$

Вирішуючи (10.8) відносно r_i , отримаємо: $r_1=0, r_2=1, r_3=0, r_4=0$. Сформована комбінація (9,5)-коду Хемінга представлена в нижньому рядку табл. 10.1. Жирним шрифтом виділені контрольні розряди.

Для побудови кодових комбінацій лінійних кодів застосовують варіант використання породжуючої матриці G . Це варіант компактного задання коду, при якому немає необхідності вказувати повний набір кодових груп, весь алфавіт коду. Достатньо написати породжуючу матрицю розмірністю $k \times n$ (де k - число рядків і n - число стовпців), з якої можна отримати будь-яку комбінацію коду підсумовуванням за модулем 2 рядків цієї матриці G в різних поєднаннях (по два, по три, по чотири і т.д.). Рядки цієї матриці складаються з базисних, лінійно-незалежних кодових слів. Це означає, що серед них немає нульових ($v_i \neq 0$), однакових ($v_i \neq v_j$) і немає комбінацій, які є сумою U_i по модулю 2 будь-яких інших комбінацій даної матриці.

Породжуюча матриця для різних коригувальних кодів будується по-різному. Для коду Хеммінга

$$G = \| E_k^T | R \|, \quad (11.14)$$

де E_k^T - транспонована одинична матриця (одиниці стоять на головній діагоналі справа наліво) розмірністю k , що відображає інформаційні елементи; R - матриця-додаток розмірністю $k \times n$, що відображає контрольні елементи.

Правило побудови породжуючої матриці наступне. Стовпці матриці відзначаються справа наліво номерами спочатку контрольних (1, 2, 4, 8), а потім інформаційних (3, 5, 6, 7, 9) елементів в порядку їх зростання. Рядки матриці-доповнення заповнюються двійковими числами, що відповідають номерам стовпця, в якому стоїть 1 в лівій частині матриці, наприклад цифра 3 $\rightarrow$ 0011, цифра 5 $\rightarrow$ 0101 і т.д. Побудову породжуючої матриці (9,5)-коду Хемінга наведено нижче:

Номер стовпця → 9 7 6 5 3 8 4 2 1
 1|| 0 0 0 0 1 | 0 0 1 1||
 2|| 0 0 0 1 0 | 0 1 0 1||
G = 3|| 0 0 1 0 0 | 0 1 1 0||
 4|| 0 1 0 0 0 | 0 1 1 1||
 5|| 1 0 0 0 0 | 1 0 0 1||
 Номер рядка ↑

Виходять неупорядковані (номера елементів стоять не по порядку) комбінації коду Хемінга. Для отримання впорядкованих комбінацій слід розставити по порядку всі елементи справа наліво. Щоб отримати будь-яку комбінацію коду Хемінга, потрібно скласти рядки породжуючої матриці **G** по модулю 2 в будь-яких поєднаннях. Сформовану раніше комбінацію можна отримати складанням 1-го, 3-го і 4-го рядків породжуючої матриці:

	a_9	a_7	a_6	a_5	a_3	a_8	a_4	a_2	a_1	
1-я строка	0	0	0	0	1	0	0	1	1	} ⊕
3-я строка	0	0	1	0	0	0	1	1	0	
4-я строка	0	1	0	0	0	0	1	1	1	
	0	1	1	0	1	0	0	1	0	
										-неупорядоченная комбинация
	a_9	a_8	a_7	a_6	a_5	a_4	a_3	a_2	a_1	
	0	0	1	1	0	0	1	1	0	-упорядоченная комбинация.

На прийомі невиконання умови парності в будь-якій перевірочній групі вказує на наявність помилки. Запис результатів перевірок $S_4S_3S_2S_1$ і дає r -розрядне двійкове контрольне число, десятковий еквівалент якого визначає номер помилкового елемента. Якщо в розглянутому прикладі зробити помилку в п'ятому елементі, то, проводячи перевірки, отримаємо наступний результат:

$a_9 a_8 a_7 a_6 a_5 a_4 a_3 a_2 a_1$

Прийнята комбінація 0 0 1 1 1 0 1 1 0

1-я перевірка $S_1 = (a_1 + a_3 + a_5 + a_7 + a_9) \bmod 2 = 0 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 0 = 1$
 2-я —//— $S_2 = (a_2 + a_3 + a_6 + a_7) \bmod 2 = 1 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 = 0$
 3-я —//— $S_3 = (a_4 + a_5 + a_6 + a_7) \bmod 2 = 0 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$
 4-я —//— $S_4 = (a_8 + a_9) \bmod 2 = 0 \oplus 0 = 0$.

Виходить двійкове число 0101, не рівне нулю. Це вказує на наявність помилки. Десятковим еквівалентом цього числа є цифра 5, отже, п'ятий елемент комбінації підлягає виправленню.

Коди Хемінга можуть виправляти однократні помилки і не можуть виправляти пакети помилок.

Запитання для самоперевірки:

- Поясніть, як номеруються елементи комбінації коду Хемінга?
- Вкажіть умову формування контрольних розрядів коду Хемінга.
- Як будується породжуюча матриця для коду Хемінга?
- Які помилки можуть виправляти коди Хемінга?

11.4 Побудова циклічних кодів

Серед групових лінійних кодів особливе місце займають циклічні коди. Володіючи всіма їх властивостями, вони допускають більш просте задання коду, мають більш прості алгоритми кодування і декодування, виправляють не тільки поодинокі, але і пакети помилок, ідеально пристосовані для реалізації кодерів сучасними технічними засобами.

Поряд із загальними для систематичних кодів властивостями циклічні коди мають ще ряд специфічних властивостей:

1) комбінації циклічного коду утворюють групу по відношенню до операції множення. Це означає, що циклічний зсув елементів дозволеної кодової комбінації дає комбінацію дозволену, тобто якщо $v_1 = (b_0, b_1, b_2, \dots, b_{n-1}) \in V_p$, то $v_2 = (b_{n-1}, b_0, b_1, b_2, \dots, b_{n-2}) \in V_p$. Наприклад, $01101 \rightarrow 10110 \rightarrow 01011 \rightarrow 10101 \rightarrow 11010$. Аналітично це аналогічно множенню многочлена, що відображає кодову комбінацію, на x з урахуванням того, що $x^n = 1$. Якщо в якості прикладу візьмемо комбінацію 10011, відобразимо її у вигляді многочлена $A(x) = x^4 + x + 1$ і помножимо її на x , то отримаємо нову комбінацію, відображену многочленом $xA(x) = x^5 + x^2 + x = x^2 + x + 1 \rightarrow 00111$, отриману циклічним здвигом вихідної комбінації вліво на один крок;

2) ознакою приналежності будь-якої комбінації до підмножини дозволених комбінацій є поділ її без залишку на деякий многочлен $g(x)$ ступеня $r = n - k$, який називають утворюючим. Вид многочлена $g(x)$ визначає схему та порядок роботи кодера і декодера циклічного коду;

3) знаючи многочлен $g(x)$, можна вважати циклічний код заданим, так як його видом визначається перевірочний многочлен $h(x) = (x^n + 1) / g(x)$, а також породжуюча і перевірочна матриці, так як $g(x), h(x)$ і їх циклічні зрушення є лінійно незалежними.

Для отримання комбінацій циклічного коду існує кілька способів. У будь-якому з них початковим етапом є вибір утворюючого многочлена $g(x)$, який знаходиться за довідниками.

Метод множення многочленів. Метод дає можливість отримати породжуючу матрицю нероздільного циклічного коду заповненням її рядків створюєчим многочленом і його циклічними зрушеннями, тобто

$$G = \begin{pmatrix} \| g(x) & \| \\ \| xg(x) & \| \\ \| x^2g(x) & \| \\ \| \dots & \| \\ \| x^{k-1}g(x) & \| \end{pmatrix}$$

Породжуюча матриця має розмірність $k \times n$. Наприклад, якщо необхідно побудувати семиелементний циклічний код на основі утворюючого многочлена $g(x) = x^3 + x^2 + 1$, то перший рядок матриці заповнюється двійковим еквівалентом $g(x)$ з додаванням його до n елементів нулями, а наступні рядки - циклічним зрушенням елементів першого рядка:

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Вся множина комбінацій циклічного коду виходить з чотирьох рядків породжуючої матриці і результатів додавання по модулю 2 її рядків в будь-яких поєднаннях.

Метод ділення многочленів. Метод застосовується в тому випадку, коли необхідно отримати одну комбінацію роздільного циклічного коду з вихідної комбінації простого коду. Для цього:

- 1) вибирається утворюючий многочлен $g(x)$ ступеня r ;
- 2) вихідна кодова комбінація простого коду відображається многочленом $A(x)$;
- 3) так як спочатку в лінію надсилаються інформаційні елементи, а потім контрольні, то поліном $A(x)$ множиться на x^r , тобто $x^r A(x)$. Цим звільняється r розрядів для поміщення на їх місце контрольних розрядів;
- 4) отриманий добудок ділиться на $g(x)$ для знаходження залишку $R(x)$, тобто $x^r A(x) / g(x) = C + R(x)$.
- 5) шукану комбінацію циклічного коду отримують підсумовуванням $x^r A(x)$ і залишку $R(x)$, тобто $F(x) = x^r A(x) + R(x)$.

Метод залишків. Цим методом можна отримати породжуючу матрицю роздільного циклічного коду. Вона має ту ж структуру, що і породжуюча матриця коду Хемінга: одинична транспонована матриця E_k^T розмірністю k і матриця - доповнення R , рядки якої заповнюються залишками від ділення 1 на двійковий еквівалент утворюючого многочлена.

Приклад. Для раніше використововуваного многочлена $g(x) = x^3 + x^2 + 1$ можна проілюструвати метод ділення многочленів і метод залишків. У цьому прикладі буде показано, як отримати комбінацію циклічного коду з вихідної комбінації простого коду і побудувати породжуючу матрицю роздільного циклічного (7,4)-коду.

Метод ділення многочленів. Нехай вихідна комбінація має вигляд 1110, а відображаючий її многочлен $A(x) = x^3 + x^2 + x$. Відповідно до алгоритму множимо многочлен $A(x)$ на x^3 . Отримуємо $x^3 A(x) = x^6 + x^5 + x^4$. Знаходимо залишок від ділення отриманого многочлена на $g(x)$:

$$\begin{array}{r} x^6 + x^5 + x^4 \quad | x^3 + x^2 + 1 \\ \oplus x^6 + x^5 + x^3 \quad x^3 + x \\ \hline x^4 + x^3 \\ \oplus x^4 + x^3 + x \\ \hline \end{array}$$

Залишок $R(x) \rightarrow x$.

Шукана комбінація циклічного коду відобразиться многочленом $F(x) = x^6 + x^5 + x^4 + x$ і матиме вигляд 1110010, в якому чотири крайніх елементи зліва є інформаційними, а три, що залишилися - контрольними.

Метод залишків. Породжуюча матриця повинна мати вигляд

$$G = \| E_k^T \mid R \|, \quad (11.15)$$

де E_k^T - транспонована одинична матриця (одиниці стоять на головній діагоналі справа наліво) розмірністю k , що відображає інформаційні елементи; R - матриця-додаток розмірністю $k \times n$, що відображає контрольні елементи.

Двійковим еквівалентом $g(x) = x^3 + x^2 + 1$ є число 1101. Знайдемо залишок від ділення 1 на це число і заповнимо ними рядки матриці-доповнення:

$$\begin{array}{r}
 1000000 \quad | \quad 1101 \\
 \ominus \quad 1101 \quad \quad 1110 \\
 \hline
 \text{Остаток } R_1 \quad 10100 \\
 \ominus \quad 1101 \\
 \hline
 \text{Остаток } R_2 \quad 1110 \\
 \ominus \quad 1101 \\
 \hline
 \text{Остаток } R_3 \quad 0110 \\
 \ominus \quad 0000 \\
 \hline
 \text{Остаток } R_4 \quad 110
 \end{array}$$

$$G = \begin{array}{c} E_k^T \quad R \\ \parallel 0001 \parallel 101 \parallel \\ \parallel 0010 \parallel 111 \parallel \\ \parallel 0100 \parallel 011 \parallel \\ \parallel 1000 \parallel 110 \parallel \end{array}$$

Комбінація $F(x)$ з попереднього прикладу може бути отримана підсумовуванням за модулем 2 2-го, 3-го і 4-го рядків породжуючої матриці:

$$\oplus \begin{cases} 0010111 \\ 0100011 \\ 1000110 \end{cases}$$

$$F(x) \rightarrow 1110010.$$

Запитання для самоперевірки:

- Вкажіть специфічні властивості циклічних кодів.
- Поясніть метод множення многочленів.
- Поясніть метод ділення многочленів.
- Поясніть метод залишків.

11.5 Поняття про матричні і безперервні коди

Матричні коди, зветься ще ітеративними, відносяться до класу лінійних кодів. При їх побудові використовується операція ітерації, тобто застосування кілька разів однакових або різних математичних законів до одних і тих же елементів.

У матричних кодах комбінації розташовуються у вигляді таблиці, і для кожного стовпця і для кожного рядка застосовують певне правило введення надмірності. Найчастіше використовують операцію додавання по модулю 2. Результат підсумовування по модулю 2 записують у вигляді контрольного елемента в кожному рядку і кожному стовпці. У нижньому правому куті таблиці

записується сума по модулю 2 контрольних елементів по рядках і стовпцях (перевірка перевірок). Як приклад візьмемо кілька комбінацій коду МТК-2:

```

1 1 0 1 0 | 1
0 1 0 0 1 | 0  Перевірка
1 1 1 1 0 | 0  по строкам
0 1 0 0 0 | 1
0 1 0 1 1 | 1
-----|---
0 1 1 1 0 | 1 ← перевірка
                перевірок

Перевірка
по столбцям

```

Процедура подвійної перевірки по рядках і стовпцях дозволяє досить простими засобами збільшити мінімальну кодову відстань коду, і, отже, поліпшити його властивості. Кодова відстань по множині в ітеративних кодах визначається добутком кодових відстаней ітеріруємих кодів, тобто $d(V_p) = d(V_{p1}) \cdot d(V_{p2})$. У разі застосування перевірки на парність з $d(V_{pi}) = 2$ кодова відстань по множині матричного коду $d(V_p) = 2 \cdot 2 = 4$, що дає можливість виявляти триразові і виправляти одно- і дворазові помилки.

На відміну від блокових кодів, в яких операції введення надмірності і перевірки правильності прийому виконуються над кожною комбінацією або групою комбінацій - блоком, в безперервних кодах ці операції здійснюються без розбивки двійкової послідовності на групи.

Контрольні елементи формуються складанням по модулю 2 двох або більшого числа інформаційних елементів, віддалених один від одного на крок складання λ . Це основний параметр безперервного коду, який визначає і правило формування контрольних розрядів, і структуру кодоперетворювачів, і коригувальну здатність коду. Код виявляє і виправляє пакети помилок довжиною $l_n = 2\lambda$.

Найбільш простим з безперервних є ланцюговий код. У ньому контрольні елементи формуються з двох інформаційних.

Правила кодування і декодування можуть бути розглянуті у вигляді наступних алгоритмів.

Кодування. 1. Контрольні елементи будуються за правилом

$$r_{ij} = (k_i + k_j) \bmod 2; j - i = \lambda. \quad (11.16)$$

При цьому виходить так, що кожен контрольний елемент формується з двох інформаційних, а кожен інформаційний бере участь у формуванні двох контрольних (зліва і праворуч від нього);

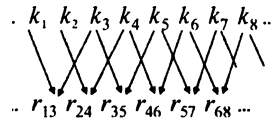
2. Лінійна послідовність будується так, що інформаційні та контрольні елементи слідуєть по черзі один за одним:

$$...k r k r k r k r k r k r k r...;$$

3. Перед відправленням в лінію кожен контрольний елемент затримується на час $(3\lambda + 1)t_0$, отже, він відстає від свого останнього інформаційного елемента на $(2\lambda + 1)$ крок.

Приклад побудови ланцюгового коду з $\lambda = 2$:

Інформаційні елементи



контрольні елементи

Лінійна послідовність $k_1 r k_2 r k_3 r k_4 r k_5 r_{13} k_6 r_{24} k_7 r_{35} k_8 r_{46} \dots$

Декодування. 1. Інформаційні та контрольні елементи реєструються окремо;

2. З прийнятих інформаційних елементів формуються місцеві контрольні за тим же правилом, що і на передачі;

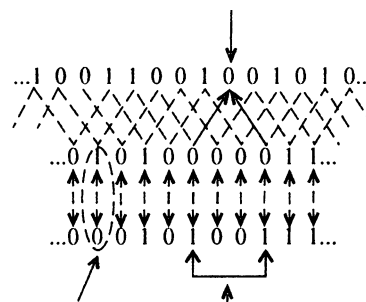
3. Місцеві контрольні елементи затримуються на час $(3\lambda + 1)t_0$ і поелементно порівнюються з лінійними контрольними;

4. В результаті порівняння можливі три випадки: повний збіг місцевих і лінійних контрольних елементів - помилок немає;

розбіжність місцевих і лінійних контрольних елементів в одному місці - помилка в контрольному елементі;

розбіжність місцевих і лінійних контрольних елементів в двох місцях, віддалених один від одного на крок складання - помилка в інформаційному елементі.

Приклад виявлення та виправлення помилок для ланцюгового коду з $\lambda = 3$:



Помилка в інформаційному елементі

Прийняті інформаційні елементи

Місцеві контрольні елементи

Прийняті контрольні елементи

Помилка в контрольному елементі λ

Запитання для самоперевірки:

- Визначення матричних кодів?
- Як розташовуються матричних кодах комбінації?
- Яке правило введення надмірності найчастіше використовують?
- Поясніть правила кодування і декодування.

12 СИСТЕМИ ЗІ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ

12.1 Принцип побудови систем зі зворотним зв'язком

Розглянуті методи боротьби з помилками є статичними, тобто закладена в тому чи іншому коді надмірність залишається незмінною незалежно від якості каналу, що захищається. У той же час завадоактивність середовища змінюється, що призводить до зміни реального коефіцієнта помилок в часі. У цих умовах вибір методу захисту від помилок є надзвичайно складним завданням, так як оцінити точно статистику помилок в каналі не вдається. А вибір методу захисту залежить від наявної статистики помилок.

Виходом із ситуації є створення таких систем, в яких можна було б змінювати надмірність в залежності від завадоактивності середовища, які могли б пристосовуватися до умов проходження сигналів, були б адаптивними.

Побудувати таку систему можна, тільки маючи відомості про якість прийому інформації на протилежному кінці каналу. Отже, необхідний зворотний канал для оповіщення передавача про якість прийому.

Такі системи, в яких для підвищення вірності передачі використовуються двосторонні канали: прямий канал зв'язку і зворотний канал зв'язку, отримали назву системи зі зворотним зв'язком.

Принцип побудови таких систем полягає в наступному. Інформація передається блоками певної довжини. При низькій завадоактивності середовища і отриманні по зворотному каналу відомостей про правильний прийом блоку в прямий канал зв'язку надсилається черговий блок інформації. При погіршенні завадоактивності і неправильному прийомі блоку відомості про це надходять по зворотному каналу в передавач і цей блок передається повторно. Зі збільшенням завадоактивності каналу число повторень одного і того ж блоку зростає.

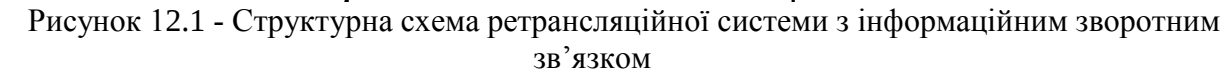
Таким чином, системи зі зворотним зв'язком мають змінну надмірність, що залежить від завад і стану об'єкта, каналу, що захищається, яка виражається в зміні кількості повторних передач.

Залежно від того, як використовується зворотний канал зв'язку, розрізняють два різновиди систем зі зворотним зв'язком, що розглядаються нижче.

12.2 Системи з інформаційним зворотним зв'язком

У системах з інформаційної зворотним зв'язком (ІЗЗ) по зворотному каналу посилаються квитанції про прийняті блоки. Це може бути сигнал, що підтверджує прийняття кожного блоку (повна ІЗЗ), або сигнал, що підтверджує прийняття групи блоків (укорочена ІЗЗ). Найпростішим варіантом системи є ретрансляції ІЗЗ, в якій в якості квитанцій використовуються блоки, що посилаються від приймача інформації до передавача по прямому каналу зв'язку. Структурна схема ретрансляційної ІЗЗ приведена на рис. 12.1.

Черговий блок інформації надходить



якщо блоки ідентичні, то УУ видає команди: "блокування" для датчика

На станції ст.Б також можливі дві ситуації:

якщо надійшов блок без сигналу "сти

якщо в надійшовшому блоці є сигнал "стирання", то АСС на нього відреагує

Характерними ознаками системи з ретрансляційною ІЗЗ є: рішення про

Системи з ІЗЗ знайшли обмежене застосування через низьку ефективність

12.3 Системи з вирішальним зворотним зв'язком

У системах з вирішальним зворотним зв'язком (ВЗС) по зворотному каналу посиляються сигнали рішення про правильність чи неправильність прийнятого блоку. Вони ще називаються "Підтвердження" і "Запит". Другий сигнал викликає повторну передачу блоку. Тому такі системи називають ще системами із запитом і повторенням.

Є два різновиди систем з ВЗС. В одній з них передавач очікує рішення про переданий блок і, якщо за відповідний час сигнал не надходить, надсилає запит на повторну передачу рішення. Це системи з вирішальним зворотним зв'язком, з очікуванням (ВЗС-ОЧ). Для їх роботи можна використовувати напівдуплексні канали. В іншій - передавач безперервно посилає блоки в прямий канал, а рішення про правильність або неправильність прийнятого блоку надходить в цей час по зворотному каналу. Тут потрібна дуплексна робота, а в передавачі накопичувач. (запам'ятовуючий пристрій) повинен бути розрахований, як мінімум, на два блоки. Це системи з вирішальним зворотним зв'язком, з безперервною передачею (ВЗС-БП).

Для розуміння суті роботи системи з ВЗС розглянемо систему ВЗС-ОЧ, структурна схема якої наведена на рис. 12.2. Контрольований блок даних захищається одним з коригувальних кодів для виявлення факту наявності помилок. Помилки виправляються повторною передачею блоку.

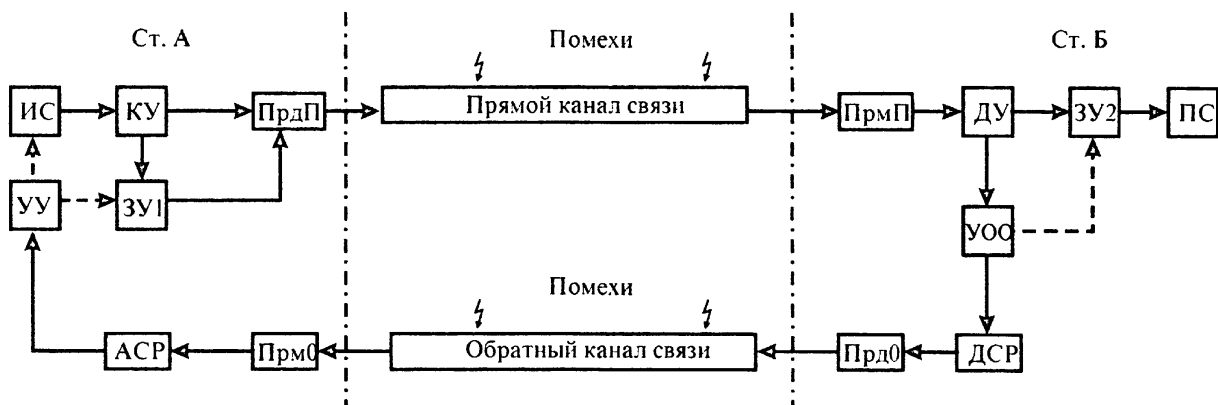


Рисунок 12.2 - Структурна схема системи з вирішальним зворотним зв'язком з очікуванням

Розглянемо алгоритм роботи системи ВЗС-ОЧ. Блок даних від джерела повідомлень надходить в кодуємий пристрій КУ, захищається будь-яким коригуючим кодом, запам'ятовується в ЗУ1 і відправляється в прямий канал зв'язку. Передавач на станції ст.А переходить в режим очікування. Якщо протягом обумовленого часу по зворотному каналу зв'язку не надходить ніяких сигналів або приймається сигнал, який не відповідає жодному з варіантів вирішення, передавач посилає запит на повторну передачу сигналу рішення.

На станції Б приймається черговий блок даних і розшифровується декодувальним пристроєм дистанційного керування. Результат поміщається в ЗУ2 і аналізується правильність прийнятого блоку пристроєм виявлення помилок УОО.

Якщо помилок немає, то УОО дає команду ЗУ2 про видачу інформації, що зберігається, одержувачу повідомлення. Крім того, дається команда датчику сигналів рішення ДСР про формування сигналу "Підтвердження" ("так").

У разі виявлення помилок інформація в ЗУ2 стирається без видачі її одержувачу повідомлення, а ДСР формує сигнал "Запит" ("ні").

Сигнали рішення ("так" або "ні") надсилаються по зворотному каналу на передавальну станцію. Вони приймаються приймачем зворотного каналу Прм0 і надходять на аналізатор сигналу рішення АСР.

Якщо надійшов сигнал "Підтвердження", то через керуючий пристрій УУ видається команда на стирання інформації в ЗУ1, а джерело повідомлень отримує дозвіл на введення чергового блоку. Якщо отриманий сигнал "Запит", то через УУ джерелу повідомлення видається команда на припинення передачі, а блок даних з ЗУ1 повторно надсилається в прямий канал зв'язку.

При дії перешкод, на передані по зворотному каналу зв'язку, сигнали рішення можливі помилки. Найбільш небезпечними є помилки, при яких сигнали рішення трансформуються один в одного. Якщо сигнал "Підтвердження" перетвориться в сигнал "Запит", виникає специфічна ситуація, коли на прийомі відбувається розмноження блоків, з'являється зайвий блок даних. Цю ситуацію прийнято класифікувати як помилку під назвою "вставка".

У разі трансформації сигналу "Запит" в сигнал "Підтвердження" виникає інша ситуація, коли в послідовності блоків пропадає один блок. Ця помилка називається "випадання".

Для зменшення ймовірності подібних ситуацій застосовують циклічну нумерацію блоків з перевіркою порядку проходження їх на прийомі і вибирають кодові комбінації для сигналів рішення з максимальною кодовою відстанню, тобто $d(\text{"так"}, \text{"ні"}) = \max$.

Характерні особливості систем з ВЗЗ:

- активна роль належить приймачу;
- пропускна здатність зворотного каналу зв'язку може бути взята нижче пропускної здатності прямого каналу зв'язку, так як по останньому передаються тільки сигнали рішення;
- обов'язкове застосування в прямому каналі зв'язку коригуючого коду. Найчастіше це циклічний код;
- можлива поява специфічних помилок типу "вставка" і "випадання".

Число повторних передач в вирішальних системах зі зворотним зв'язком обмежена і після відліку певного числа безперервних повторень апаратура передачі даних автоматично переходить в аварійний режим.

Системи з ВЗЗ знаходять широке застосування на практиці, причому системи ВЗС-ОЧ частіше використовуються в низькошвидкісній апаратурі передачі даних, а ВЗС-БП - в середньо- і високошвидкісній апаратурі.

Запитання для самоперевірки:

- Поясніть необхідність систем зі зворотним зв'язком.
- Принцип побудови систем зі зворотним зв'язком.
- Поясніть принцип системи з інформаційним зворотним зв'язком.
- Поясніть принцип системи з вирішальним зворотним зв'язком.

13 МЕРЕЖІ ПЕРЕДАЧІ ДИСКРЕТНИХ ПОВІДОМЛЕНЬ

13.1 Класифікація мереж

Мережею передачі дискретних повідомлень називається вторинна мережа зв'язку, що забезпечує обмін телеграфними повідомленнями, передачу даних, обмін факсимільною інформацією і іншими видами дискретних повідомлень (повідомлення системи «Експрес», сигнали телеуправління і ін.) між користувачами. Головним завданням мережі ПДП є доставка повідомлень за необхідною адресою, в зазначені терміни, при заданій вірності передачі.

До складу технічних засобів мережі ПДП входять центри комутації різного класу (вузли комутації УК, концентратори КЦ, мультиплексори М), канали зв'язку (з'єднувальні лінії, тракти передачі) і різноманітні кінцеві абонентські пункти АП (телеграфні апарати Т, апаратура передачі даних АПД, персональні ЕОМ і ін.). Крім того, до мережі ПДС підключаються інформаційні обчислювальні центри дирекцій доріг (ІВЦ) і головний обчислювальний центр Державної адміністрації залізничного транспорту (ГВЦ). На рис. 13.1 наведено фрагмент схеми мережі ПДС, що показує можливе з'єднання згаданих компонентів між собою.

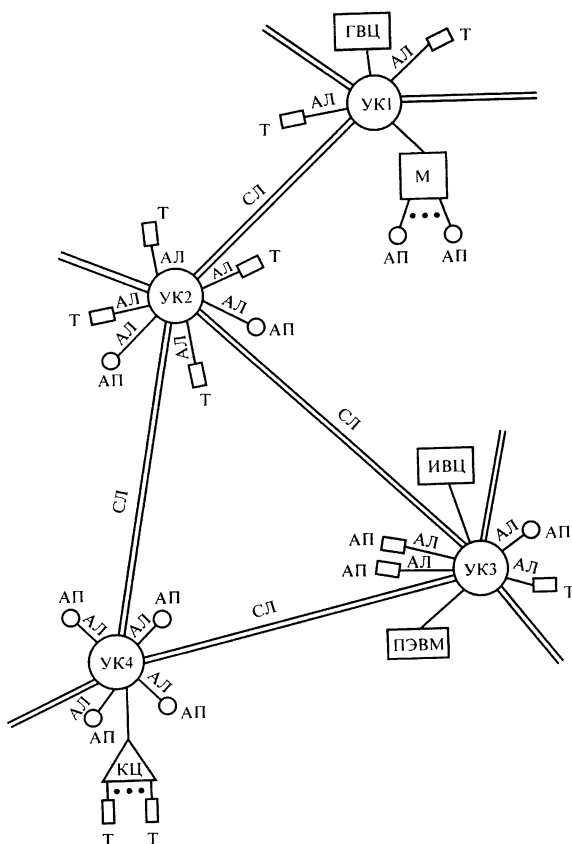


Рисунок 13.1 - Фрагмент схеми мережі передачі дискретних повідомлень

Класифікацію мереж ПДП можна провести за різними ознаками: за типом переданих повідомлень, швидкостям передачі, розміру охоплюємої території, виду структури, методів комутації, способу управління мережею.

За типом переданих повідомлень розрізняють телеграфні мережі, мережі передачі даних, факсимільні мережі. Телеграфні мережі призначені для обміну буквено-цифровою інформацією між людьми. Їх відрізняє низька швидкість передачі, невисокі вимоги до часу доставки повідомлень, широке використання електромеханічних апаратів. Мережі передачі даних призначені для обміну формалізованою цифровою інформацією між автоматичними пристроями в автоматизованих системах управління з подальшою обробкою її на ЕОМ. В якості кінцевих пристроїв в мережах ПД застосовують електронні апарати, що працюють зі середніми швидкостями, забезпечені пристроями підвищення вірності передачі. Мережі факсимільного зв'язку використовуються для передачі нерухомих графічних зображень або текстів, таблиць, графіків. Вони будуються на основі телефонних каналів із застосуванням факсимільних апаратів з відкритим записом або фото телеграфних апаратів.

За швидкістю передачі інформації мережі ПДП діляться на три групи: низькошвидкісні телеграфні зі швидкістю передачі 50 біт/с і мережі передачі даних зі швидкістю передачі 50, 100 і 200 біт/с; середньошвидкісні зі швидкостями передачі 600-9600 біт/с; високошвидкісні зі швидкостями передачі понад 10000 біт/с.

По охоплюємій території розрізняють великомасштабні (глобальні) мережі, розгорнуті на території галузі, країни, континенту, і замкнуті (локальні) мережі, розташовані на обмеженій площі (одна адміністративна будівля, майданчик замкнутого технологічного процесу).

По типу топологічної структури мережі ПДП ділять на ієрархічні і неієрархічні. У перших з них яскраво виражено підпорядкування одних вузлів іншим відповідно до ступенів ієрархії. Другі являють собою мережу рівноправних партнерів. Найчастіше це локальні мережі.

За методом комутації розрізняють мережі з довготривалою комутацією і мережі з оперативною комутацією. Довготривалою (кросовою) комутацією називається такий спосіб комутації, при якому між пунктами організується пряме з'єднання на час, що перевищує час одного сеансу зв'язку. При оперативній комутації між кореспондуючими пунктами організовуються тимчасові з'єднання (на час обміну повідомленнями між ними). Розрізняють три види оперативної комутації: комутація каналів (КК), комутація повідомлень (КС) і комутація пакетів (КП).

За способом управління розрізняють мережі з централізованим і децентралізованим управлінням. У першому випадку на мережі організовується один центр управління, а в другому система управління має розподілену структуру з центрами управління на різних ієрархічних рівнях.

Важливим і специфічним в теорії мереж є поняття структури, що розкриває взаємодію між різними її елементами. Розрізняють фізичну і топологічну структури мережі ПДП.

Фізична структура дає докладний опис технічних засобів і порядку їх взаємодії між собою в різних за призначенням і складності варіантах застосування.

Топологічна структура є більш узагальненим поняттям і визначає місце розташування вузлів комутації на деякій території, їх взаємодія між собою безвідносно типу і ємності вузлів комутації, кінцевих пристроїв, пучків каналів. Топологія визначає потенційні можливості обміну інформацією між територіально розосередженими користувачами, форму відмінності мереж в географічному аспекті. Її можна представити деякими геометричними фігурами (площинними або просторовими), в яких вузли позначаються точками, а канали - прямими лініями.

Розрізняють три типи класичних топологій: радіальна або зіркоподібна (рис. 13.2, а); повний зв'язок або "кожен з кожним" (рис. 13.2, б); радіально-вузлова (рис. 13.2, в).

Найбільш економічною є радіальна мережа. Однак, з точки зору надійності, вона найгірша. Вихід з ладу одного променя позбавляє зв'язку відповідний вузол, а відмова центрального вузла повністю паралізує мережу. У такій мережі можна організувати обхідні напрямки.

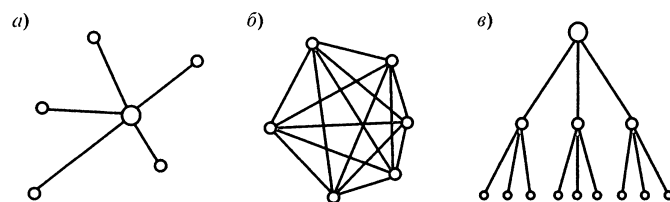


Рисунок 13.2 - Типи класичних топологій

З точки зору надійності роботи і можливості доставки інформації по декількох маршрутах, найкращими властивостями володіє мережа повного зв'язку. Однак вона вимагає занадто великого числа пучків каналів і, отже, неекономічна.

Мережі радіальної і повного зв'язку топологій застосовують для доставки і розподілу інформації на невеликих територіях.

Радіально-вузлова мережа має проміжні властивості по економічності і надійності. Вона добре вписується в структуру управління і часто застосовується у відомчих (корпоративних) мережах.

Крім класичних топологій застосовують їх різновиди: кільцеву, лінійну, деревоподібну, гратчасту і ін. Вибір тієї чи іншої топології залежить від розмірності мережі і вимог замовника.

13.2 Методи комутації та їх порівняльний аналіз

Важливе значення в мережах зв'язку займає розподіл інформації, прокладка маршрутів для доставки інформації між користувачами відповідно до адреси. Основну роль в цьому відіграють вузли мережі, в яких відбувається комутація.

Залежно від співвідношення часу підтримки з'єднання і часу передачі повідомлення розрізняють, як уже говорилося, довготривалу і оперативну комутацію.

Довготривала, або кросова, комутація забезпечує з'єднання між вузлами мережі на час, що перевищує час передачі одного повідомлення. У свою чергу, постійні довготривалі маршрути можуть організовуватися за розкладом (наприклад, для проведення нарад), епізодично (за спеціальними наказами або розпорядженням в разі аварій, стихійних лих або появи нових потоків повідомлень), разово (при введенні в дію нових ділянок мережі). Кросова комутація вигідна в тому випадку, коли між користувачами є потреба в постійному (без затримок) обміні інформацією, трафік великий і майже безперервний. В іншому випадку коефіцієнт використання зв'язкових ресурсів різко зменшується, їх ефективність знижується при підключенні до мережі великого числа абонентів. Ось чому зв'язкові ресурси частіше надаються користувачам лише на час передачі одного повідомлення, стають об'єктом колективного користування. При цьому канали закріплюються за будь-якою парою абонентів по їх заявці лише на час їх спілкування, тобто має місце оперативна комутація. Колективне використання зв'язкових ресурсів підвищує ефективність мережі зв'язку, але іноді приводить до появи конфліктних ситуацій через те, що їх бракує.

Некомутовані мережі та мережі з кросовою комутацією доцільно застосовувати лише в тому випадку, коли вимоги користувачів не можуть бути повністю задоволені оперативними видами комутації. При цьому ефективність використання зв'язкових ресурсів падає зі збільшенням кількості абонентських пунктів, підключених до мережі. Ось чому найбільше поширення на практиці мають мережі з оперативними методами комутації: КК, КС і КП. Різниця між методами оперативної комутації полягає в способі передачі адресних ознак, наявності або відсутності пам'яті в вузлах мережі і способі взаємодії абонентів між собою.

На рис. 13.3 наведені, що показують принцип роботи мережі при наявності двох кінцевих (1 і 4) і двох транзитних (2 і 3) вузлів.

Технологію роботи мережі з різними методами комутації розглянемо на прикладі деякого фрагмента мережі лінійної структури з чотирма вузлами.

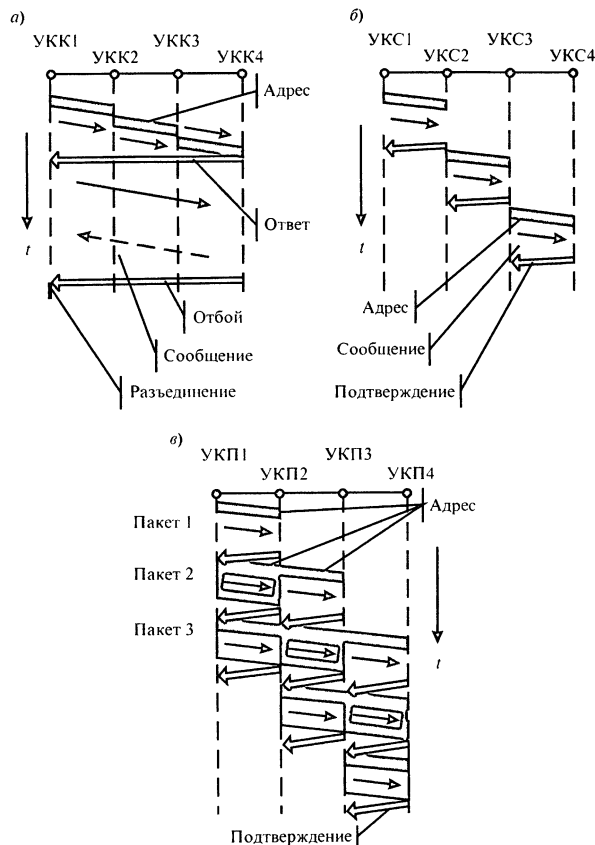


Рисунок 13.3 - Просторово-часові діаграми комутації каналів, повідомлень і пакетів

Комутація каналів (рис. 13.3, а). Перед початком передачі корисної інформації по мережі передаються адресні ознаки, зазвичай у вигляді імпульсів набору номера. За ним в кожному вузлі комутації каналів УКК (транзитному або крайовому) проводяться комутація вхідних і вихідних каналів і встановлення прямого з'єднання між кореспондуючими абонентами. Лише після цього починається обмін інформацією між ними. В процесі встановлення з'єднання можливі випадки, коли не буде вільних ресурсів мережі (каналів, сполучних шляхів у вузлах) або абонент зайнятий іншим з'єднанням. Так як в вузлах мережі відсутня пам'ять, то при неможливості встановлення з'єднання абоненту надсилається сигнал зайнятості і всі процедури по встановленню з'єднання повинні повторитися. У режимі передачі корисної інформації можливі варіанти односторонньої передачі (навіть при відсутності викликаємого абонента на місці), двосторонньої почергової і двосторонньої одночасної передачі. При цьому ресурси мережі на даному маршруті залишаються в користуванні даної пари абонентів незалежно від того, активні вони чи ні. Це дуже знижує ефективність використання ресурсів мережі. Після закінчення передачі абоненти дають сигнал відбою і з'єднання руйнується.

Основним недоліком мережі КК є низьке використання каналів, так як це система з відмовами, при якій потужність обладнання зв'язку розраховується на годину найбільшого навантаження, а в решту часу канали та комутаційні потужності використовуються не повною мірою.

Мережа з комутацією каналів - це система з роздільним проходженням по мережі адреси і повідомлення, з відмовами в разі неможливості зайняти чергову ланку мережі, з можливістю одно-, двобічної почергової і двобічної одночасної передачі з низьким коефіцієнтом використання зв'язкових ресурсів.

Комутація повідомлень (рис. 13.3, б). Абонент-відправник після отримання дозволу на передачу видає повідомлення разом з адресою в найближчий вузол комутації повідомлень УКС і звільняється. Після аналізу адреси і вибору напрямку передачі повідомлення передається в наступний вузол, де операції з ним повторюються. Так, з переприйманням в кожному вузлі повідомлення досягає вузла, до якого включено абонент-одержувач, і передається йому. У разі неможливості негайного надсилання повідомлення в сусідній вузол або абоненту, воно зберігається в пам'яті вузла і з підходом черги передається далі. У кожен момент часу при передачі одного повідомлення в мережі виявляється зайнятим тільки канал між суміжними вузлами. Крім того, на кожній з ділянок мережі передача може вестися з різними швидкостями, методами синхронізації, форматами, так як вони не з'єднані між собою безпосередньо. У разі наявності мережевих ресурсів час на передачу повідомлення складається з часу прийому повідомлення, аналізу адреси, пошуку напрямку і передачі повідомлення суміжному вузлу. У разі перевантажень до цього часу додається час очікування передачі в пам'яті вузла.

Здавалося б, що такий метод з переприйманням повідомлень в кожному вузлі неефективний: він збільшує час доставки, не дає абонентам можливості вести діалог. Однак саме такий режим роботи влаштовує кореспондентів телеграфної мережі загального користування та мережі передачі даних, що працює в режимі пакетної обробки даних. Ресурси мережі використовуються в даному випадку значно краще внаслідок почергового заняття ланок мережі і можливості організації черг при підвищених навантаженнях. Відмов у передачі повідомлень в мережу абоненти не мають.

Однак внаслідок нерегулярності довжини повідомлень і випадкового характеру їх надходження в мережу необхідно мати великі обсяги пам'яті в вузлах, що здорожує систему; неможливо організувати між абонентами діалоговий режим роботи. Це і великі затримки повідомлень в мережі є основними недоліками методу КС.

Мережа з комутацією повідомлень - це система зі спільним проходженням адреси і повідомлення через мережу, з очікуванням передачі в кожному вузлі, з практично утрудненим контактом між абонентами, високим коефіцієнтом використання каналів і обладнання, можливістю трансформації темпу передачі на ділянках, з великим об'ємом пам'яті в вузлах.

Комутація пакетів (рис. 13.3, в). Повідомлення, отримане в першому вузлі комутації УКПІ разом з адресою, ділиться на стандартні частини - пакети, які отримують порядковий номер і адресу даного повідомлення. Далі кожен пакет передається по ділянках мережі з переприйманням в вузлах. В останньому вузлі мережі повідомлення збирається з пакетів і видається абоненту-одержувачу. Істотне скорочення часу проходження повідомлень по мережі через недостатню їх довжину, застосування середньо- і високошвидкісних каналів і високопродуктивних вузлів комутації дає цим методом переваги перед методом КС. З'являється можливість скоротити обсяг пам'яті в вузлах (здешевити систему) і організувати діалог між абонентами.

У мережі КП можливі два режими передачі: за умовним маршрутом, прокладеним через пам'ять вузлів пакет-заявкою, - віртуальний режим (КП-В); по довільно обраного маршруту з оформленням кожного пакета у вигляді датаграми - датаграмний режим (КП-Д).

У разі *віртуального режиму роботи* (режим зі з'єднанням) перед початком передачі повідомлення по мережі передається пакет-заявка з повною адресою повідомлення. Цей пакет відшукує найкоротший шлях в мережі і залишає в кожному вузлі мітку даного повідомлення. Після повідомлення пункту передачі про завершення пошуку шляху між кореспондуючими вузлами утворюється віртуальний (умовний) канал, по якому передаються всі інші пакети даного повідомлення. Вони вже не обов'язково повинні містити повну адресу повідомлення, а можуть мати тільки специфічну ознаку даного повідомлення (мітку). Транзитний вузол, порівнюючи мітку прийнятого пакета з залишеною міткою від пакету-заявки, спрямовує надійшовший пакет до наступного вузла обраного заздалегідь маршруту.

При *датаграмному режимі роботи* (режим без з'єднання) кожен пакет оформляється як самостійне повідомлення, забезпечується порядковим номером і повною адресою повідомлення. Така одиниця отримує назву «датаграма» і передається по мережі як самостійне повідомлення з переприйманням в вузлах, відшукуючи в кожному з них найкоротший шлях на даний момент. Датаграми можуть передаватись за різними маршрутами, обраним випадковим чином, і досягти вузла-адресата не в тому порядку, в якому вийшли з вузла-адресанта. Тому у вхідному вузлі необхідно провести впорядкування пакетів при складанні з них повідомлення.

Неважко бачити, що КП-Д є аналогом методу КС зі стандартною і короткою довжиною повідомлення. У той же час КП-В дуже схожий з методом КК, але між кореспондуючими вузлами організовується не фізичний, а логічний канал.

Для будь-якого варіанту методу КП характерні короткі і стандартні по довжині повідомлення, а також висока швидкість передачі. Це дозволяє скоротити обсяг пам'яті в вузлах і організувати діалоговий режим роботи. Крім того, в режимі КП-В при затримці чергового пакета повідомлення по наступній ланці мережі може бути направлений пакет іншого повідомлення, в маршруті якого дана ланка є загальною з попередньою. Це дозволяє підвищити ефективність використання зв'язкових ресурсів.

Мережа з комутацією пакетів - це система зі спільною передачею адреси та стандартної частини повідомлення (пакета), з очікуванням в черзі подальшої передачі, швидким проходженням маршруту внаслідок скорочення часу очікування та високій швидкості передачі, з підвищенням ефективності використання каналів внаслідок статичного ущільнення, з малим об'ємом пам'яті. Однак при великих тривалих перевантаженнях малий обсяг пам'яті може призвести до появи відмов.

Запитання для самоперевірки:

- Вкажіть класифікацію мереж ПДІ?
- Які методи комутації бувають?
- Поясніть метод комутації каналів. Вкажіть переваги та недоліки.

- Поясніть метод комутації повідомлень. Вкажіть переваги та недоліки.
- Поясніть метод комутації пакетів. Вкажіть переваги та недоліки.

13.3 Комутаційні станції

Одним з найважливіших елементів фізичної структури мережі є вузли комутації. Вони являють собою комплекс пристроїв для прийому, обробки, розподілу і передачі інформації. Основною функцією є розподіл інформації - комутація.

Відповідно до раніше розглянутих ознак методів комутації та їх характерними особливостями будь-який вузол комутації (рис. 13.4) в загальному вигляді може бути представлений як сукупність пристроїв розподілу інформації УРИ, керуючого пристрою УУ і блоку пам'яті або пристрою, що запам'ятовує ЗУ. Вузли, що реалізують різні методи комутації, відрізняються фізичною суттю пристроїв розподілу інформації і ємністю накопичувача.

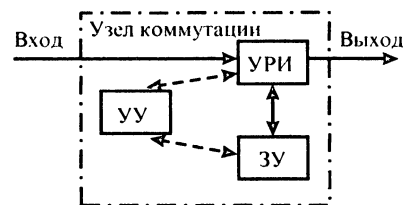


Рисунок 13.4 - Вузол комутації

Для вузлів комутації каналів УРИ реалізується у вигляді комутаційних приладів (шукачів) різного типу, а пам'ять у таких вузлах відсутня, тобто її ємність умовно можна прийняти рівною нулю ($r = 0$). У вузлах комутації повідомлень здійснюється їх переприймання, а отже, в процесі розподілу інформації беруть участь запам'ятовуючі пристрої. Внаслідок необмеженості довжини повідомлень і випадкового характеру їх надходження для нормальної роботи такого вузла потрібно пристрій досить великого обсягу. Це другий крайній випадок по ємності блоку пам'яті, коли її можна умовно прийняти рівною нескінченності ($r = \infty$). Вузли комутації пакетів повторюють склад обладнання вузлів комутації повідомлень в частині пристроїв розподілу інформації. Однак в них необхідно контролювати не тільки адресні ознаки пакета, але і приналежність його до того чи іншого маршруту. Внаслідок малої і постійної довжини інформаційних одиниць (пакетів) ємність блоку пам'яті може бути зменшена. Умовно її можна вважати кінцевою величиною ($0 < r < \infty$).

Основними функціями будь-якого вузла комутації є:

обробка повідомлень - аналіз адреси, перевірка формату, трансформація (при необхідності) швидкостей, кодів, форматів, перевірка правильності прийому і ін.;

управління повідомленнями - розподіл повідомлень за напрямками відповідно до адреси, постановка їх у чергу, підтримання дисципліни черги, зберігання і архівація повідомлень;

взаємодія з іншими вузлами- дотримання протокольних правил на всіх рівнях взаємодії, контроль стану суміжних ділянок мережі, обмін сигналами управління, синхронізація процедур передачі та прийому та ін.

Відповідно до цього структурні схеми вузлів комутації без пам'яті і з пам'яттю будуть різними.

Вузол комутації каналів (рис. 13.5) включає в себе наступні елементи: блок лінійного обладнання БЛО, що складається з двох частин: БЛО_{вх}, що взаємодіє з вхідними сполучними і абонентськими лініями, і БЛО_{исх}, що взаємодіє з вихідними сполучними і абонентськими лініями; блок комутації БК, що забезпечує фізичне з'єднання обладнання БЛО_{вх} з обладнанням БЛО_{исх}; блок аналізу адреси БАА, що виконує функції обробки адреси, яка передається окремо від повідомлення, і визначає характер з'єднання (що входить, що виходить, місцеве, транзитне); блок управління БУ, що забезпечує вибір напрямку, пошук вільного каналу в ньому і управління комутаційними приладами.

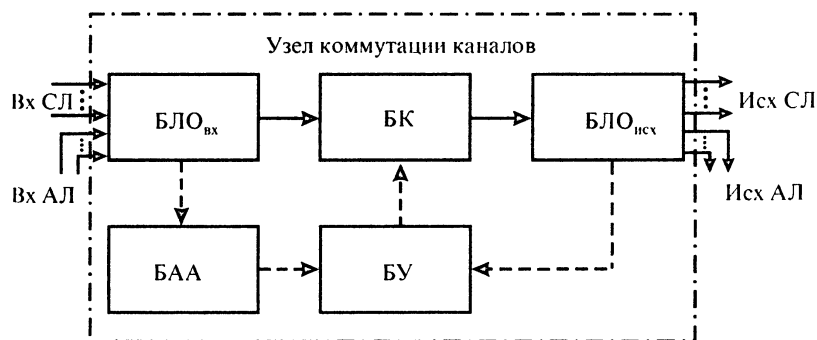


Рисунок 13.5 - Вузол комутації каналів

Оскільки в вузлі комутації каналів немає пам'яті ($r = 0$), то в разі відсутності вільних каналів в вихідному напрямку або сполучних шляхів в блоці комутації заявка губиться. В цілому вузол комутації каналів УКК є синхронний просторовий адресно-кодовий комутатор з роздільною обробкою адреси та інформаційної частини повідомлення, з електричним транзитом між БЛО_{вх} і БЛО_{исх}.

Вузли комутації повідомлень УКС і пакетів УКП відносяться до вузлів з пам'яттю і мають схожі структури (рис. 13.6). У них є блоки, аналогічні блокам УКК. Це блоки лінійного обладнання БЛО_{вх} і БЛО_{исх}, блок аналізу адреси БАА і блок управління БУ.

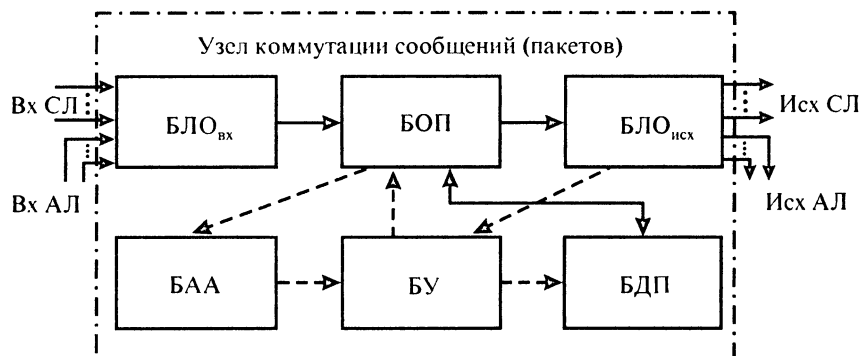


Рисунок 13.6 - Вузол комутації повідомлень і пакетів

Характерним є наявність блоку пам'яті, який складається з двох частин: блоку оперативної пам'яті БОП для зберігання повідомлень або пакетів на час аналізу адреси та визначення можливості передачі і блоку довготривалої пам'яті

БДП для постановки повідомлень в чергу в разі неможливості негайної їх передачі і архівації.

Слід пам'ятати, що при комутації повідомлень або пакетів інформаційні одиниці надходять у вузол комутації разом з адресою. Отже, процес розподілу повідомлень буде складатися з наступних процедур.

Інформаційна одиниця після прийому поміщається в БОП, і адресна частина (або мітка в разі КП) надходить в БАА. З допомогою БУ починається вибір напрямку передачі і пошук вільного каналу в ньому.

За позитивного результату до інформаційної частини повідомлення, що зберігається в БОП, додається адреса, і воно передається за призначенням. Якщо спроба надсилання негайно не можливо, воно поміщається в БДП і ставиться в чергу. Блок управління слідує за дисципліною черги відповідно до обраної стратегії обслуговування. Заявки не втрачаються, а в разі перевантажень лінії, збільшується час перебування повідомлень в мережі. По мірі проходження черги повідомлення вибираються з БДП, поміщаються і БОП, до них додається адреса і вони передаються далі.

Таким чином, вузли комутації повідомлень є асинхронний просторово-часовий адресно-кодний комутатор зі спільним проходженням адреси і повідомлення, що виконує функції розподілу великих масивів інформації з переприйманням їх в вузлі.

Маючи схожі принципи організації, УКС і УКП відрізняються один від одного. Перш за все, це виражається в різних обсягах пам'яті. У УКП внаслідок обмеженого обсягу пам'яті в разі перевантажень можливі відмови в прийомі пакетів (втрати заявок). Крім того, якщо УКС будуються як апаратно-програмні комплекси (частина процедур реалізується апаратним шляхом, а частина - програмним), то УКП повністю будуються на програмній основі. В основу побудови сучасних УКП покладено принцип мультипроцесорних систем з шинною організацією. Це дозволяє гнучко нарощувати потужність вузла комутації і його швидкодію завдяки організації паралельної роботи обчислювальних потужностей.

Комутаційні станції великої місткості.

Найбільшого поширення на мережі телеграфного зв'язку знаходять об'єднані комутаційні станції АТ-ПС-ПД різної ємності. Автоматичні телеграфні станції будуються за принципом автоматичних телефонних станцій. Однак при їх використанні ускладнюється встановлення циркулярних з'єднань, обхідних зв'язків і організація передачі термінової кореспонденції. Тому на станціях спільно з автоматичним устаткуванням використовуються ручні комутатори.

Об'єднана комутаційна станція дає можливість обслуговування абонентів мереж абонентського телеграфу (АТ) загального користування, що працюють за системою прямих з'єднань (ПС), і низькошвидкісної мережі передачі даних (ПД). У станцію можуть включатися абоненти чотирьох категорій: кінцеві пункти мережі загального користування (ПС-50), абонентські установки мережі абонентського телеграфу, що працюють зі швидкістю 50 і 100 Бод (АТ-50 і АТ-100), і установки мережі передачі даних, що працюють зі швидкістю 200 Бод (ПД-200). Число абонентів кожної категорії може доходити до 1000. Є

можливість організувати до 400 місцевих і магістральних напрямків, кожний з яких можна використовувати при швидкостях передачі 50, 100 і 200 Бод. Загальна кількість магістральних каналів може досягати 4000. При зайнятості каналів основного напрямку станція забезпечує автоматичне встановлення з'єднання по каналах одного з двох обхідних напрямків.

Канали зі швидкістю передачі 50 Бод можуть бути використані абонентами мереж АТ і ПС спільно або роздільно.

Структурна схема станції АТ-ПС-ПД приведена на рис. 13.7. Телеграфні апарати ТА користувачів мереж АТ і ПС і апаратура передачі даних за допомогою викличних приладів ВП через сполучні лінії і контрольно-випробувальні гнізда КІ підключаються до абонентських панелей АП. На станції застосований обхідний принцип встановлення з'єднання. В якості основних елементів, що управляють, застосовані регістри, перераховувачі 1П, 2П і маркери (МАІ, МРІ, МГІ). Комутаційна система побудована на багаторазових координатних з'єднувачах МКС 20х10х6. На станціях є ступінь абонентського шукання АІ, одна або дві ступені групового шукання ГІ і ступінь реєстрового шукання РІ. Ступінь АІ побудована по триланковій схемі. Вхідне з'єднання встановлюється в режимі вільного шукання через каскади А і В, вихідні повідомлення - в режимі вимушеного шукання через каскади С, В і А. Сходинки ГІ і РІ побудовані по дволанцюговій схемі. Число ступенів ГІ (одна або дві) визначається числом підключених ліній і навантаженням.

На станції встановлюються дві групи ручних комутаторів особливої кореспонденції: КОК ПС і КОК АТ. Комутатор КОК ПС призначений для обслуговування викликів термінової категорії, які отримали зайнятість в процесі встановлення автоматичного з'єднання, і для циркулярній передачі телеграм обмеженому числу користувачів на вимогу.

Комутатор КОК АТ використовується для обслуговування викликів по замовній системі і для циркулярних передач. Телеграми, прийняті на апарати надлишкового вхідного обміну, і неіндексовані телеграми передаються з комутатора низових зв'язків КНС. Циркулярна передача телеграм певному колу кінцевих пунктів мережі ПС здійснюється через схемний комутатор СК.

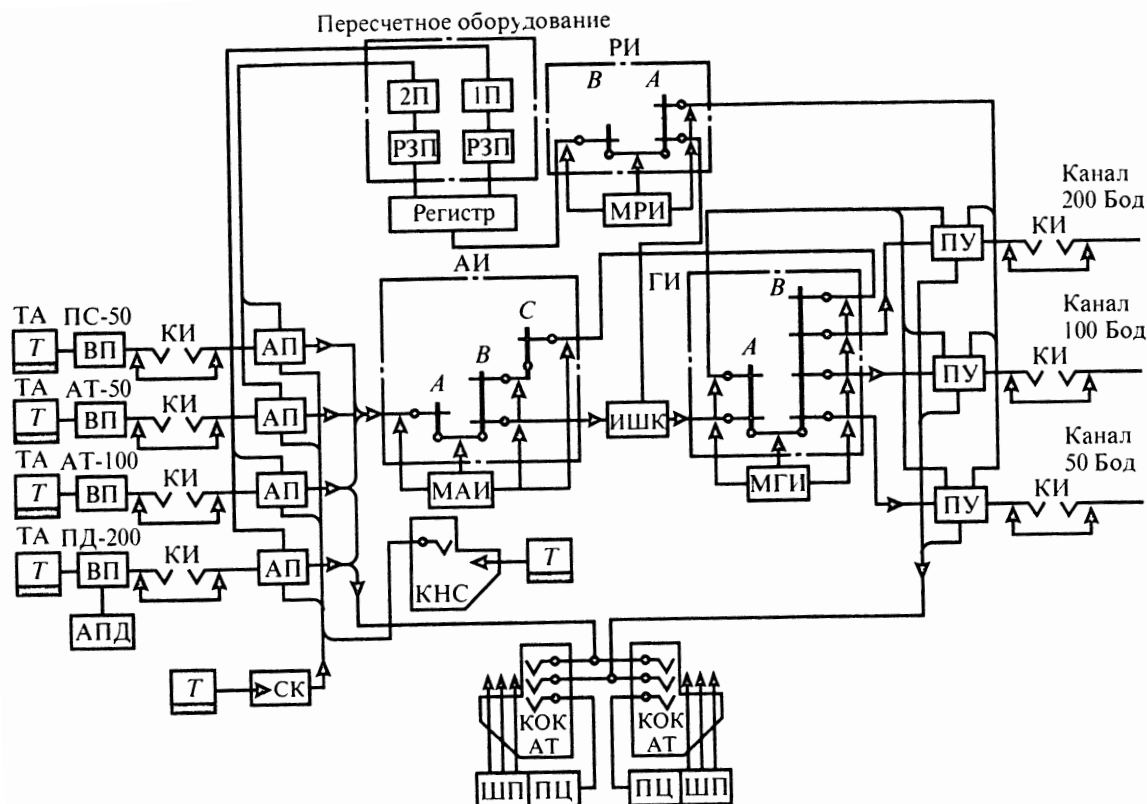


Рисунок 13.7 - Структурна схема станції АТ-ПС-ПД

Ємність станції позначається дробовим числом, чисельник якого відповідає числу абонентських панелей АП на станції, а знаменник - числу перехідних пристроїв ПУ. Застосована шестизначна замкнута система нумерації. Перші три цифри номера визначають станцію на мережі, а останні три - номер кінцевого пункту.

За спрощеною схемою алгоритму роботи АТ-ПС-ПД можна простежити послідовність встановлення з'єднань різного виду (міське, міжміське) і порядок роботи приладів станції.

Порядок користування алгоритмом розглянемо на прикладі обслуговування виклику при встановленні місцевого сполучення.

Виклик від абонента надходить в абонентську панель АП (див.рис.13.7), з якої сигнал заняття передається в маркер ступені АІ (МАІ). Останній визначає лінію, по якій надійшов виклик, знаходить вільну проміжну лінію між ланками А і В ступеня АІ, вільний вихідний шнуровий комплект ІШК, встановлює з'єднання на ступені АІ і звільняється. Підключений для даного з'єднання ІШК займає МРІ, який визначає один з вільних регістрів, встановлює з'єднання між ІШК і регістром і звільняється. Зі схеми регістра абоненту передається сигнал

«Відповідь станції» (запрошення до набору номера). Абонент набирає шестизначний номер, імпульси якого транслуються в реєстр Р.

За першими трьома цифрами номера реєстр визначає, що дане з'єднання є місцевим, займає перераховувач П і передає йому останні три цифри номера. Перераховувач виконує першу пробу зайнятості викликаємої АП, передає в реєстр інформацію про її стан і кодові комбінації для подальшого управління з'єднанням на ступенях АІ і ГІ.

Реєстр, по черзі займаючи маркери ступенів ГІ (МГІ), отримує від них сигнал готовності до прийому і посилає інформацію швидкодіючим кодом про необхідний напрямок з'єднання. Отримавши сигнал про встановлення з'єднання на ступенях ГІ, реєстр вдруге займає конвертор і через нього опробовує викликаєму панель АП, після чого перераховувач звільняється. На ступені АІ відбувається з'єднання через ланки С, В і А.

В абонентських панелях викликаючого та викликаемого абонентів відбувається переполюсовка лінійних проводів і включаються двигуни апаратів. Після обміну автовідповідача відбувається передача інформації.

Запитання для самоперевірки:

- Призначення комутаційних станцій?
- Що таке вузол комутації?
- Вкажіть основні функції вузла комутації.
- Поясніть будову та принцип дії комутаційної станції великої місткості.

14 ПЕРЕДАЧА ДАНИХ

14.1 Організація мережі передачі даних

Мережу передачі даних можна розділити на низько- (50 200 біт/с) і середньошвидкісну (600-28800 біт/с). Перша з них базується на виділених і комутованих телеграфних каналах, а друга на комутованій телефонній мережі, напівавтоматичних телефонних і виділених (прямих) телефонних каналах.

Для підключення до телефонних каналів терміналів використовуються модеми з ЧМ, що працюють за рекомендацією V.23 (напівдуплексний режим). Зараз відбувається перехід на модеми з ФМ, що працюють за рекомендаціями V.22, V.29, V.32 (дуплексний режим).

Недоліками існуючої мережі є: її низька якість; застаріле, що не відповідає світовим стандартам обладнання; не відповідає вимогам гнучкості, надійності і економічності радіальна структура мережі; наявність в ній самостійних пучків каналів з підсистем АСУЖТ; відсутність технічних і програмних засобів захисту інформації від несанкціонованого доступу.

З огляду на тенденцію збереження телеграфного сервісу, інтенсивне збільшення числа терміналів на персональних комп'ютерах (ПК), поява великої кількості локальних обчислювальних мереж (ЛОМ), необхідність розвитку телематичних служб (факс, електронна пошта, електронні довідники та ін.), потрібно перейти до нових принципів побудови мережі передачі даних.

Така мережа повинна забезпечити різні види взаємодії, що розрізняються за потребами до швидкості передачі і рівністю мережевого сервісу. До них можна віднести: підключення різних віддалених терміналів (від телетайпа до персонального комп'ютера) до центральних ЕОМ; міжмашинної взаємодії; взаємодія віддалених ЛОМ; підключення ПК до мережі для роботи з файл-серверами ЛОМ, серверами додатків і баз даних, системами дорожнього рівня; надання нових видів мережевого сервісу користувачам (електронна пошта, електронний довідник, факс); можливість взаємодії різних терміналів між собою.

З огляду на настільки різноманітні вимоги, стан первинної мережі, перспективу її поліпшення в результаті впровадження волоконно-оптичних ліній зв'язку, цифрових радіорелейних і супутникових каналів, не можна говорити про створення мережі з єдиним методом комутації, що спирається на один стандартний протокол. Слід створювати мережу з комутацією пакетів із застосуванням різних мережевих протоколів (X.25, TCP/IP, FR) з можливістю переходу від одного до іншого без складних перетворень. Вузли такої мережі повинні підтримувати одночасно кілька протоколів:

X.25 - для використання існуючих аналогових каналів, взаємодії терміналів між собою і з системами дорожнього рівня, для зв'язку з іншими мережами пакетної комутації (через X.75);

IP - для об'єднання ЛОМ при роботі їх через територіальну мережу;

Frame Relay - для роботи по цифрових каналах і можливістю переходу до нових, більш досконалих мережних технологій.

Устаткування таких вузлів має допускати можливість переходу від X.25 до FR і ATM з поліпшенням характеристик каналів первинної мережі і підключення до них різного термінального обладнання (низькошвидкісних

терміналів, ЛОМ, ПК, комутаційних станцій мереж телеграфного і телефонного зв'язку та ін.).

Другим важливим питанням є топологія мережі. Доцільно будувати зонову мережу, яка складається з базових вузлів, які обслуговують певну територію, і вузлів доступу всередині кожної зони. Базові вузли об'єднуються в мережу високої зв'язності (решітчаста структура), а вузли доступу підключаються до них радіально, забезпечуючи концентрацію і розподіл навантаження між користувачами. На рівні базових вузлів можлива взаємодія мережі ПД з телефонною мережею загального службового користування і мережами інших відомств.

Управління такою мережею має бути дворівневим: управління розподілом зв'язкових ресурсів і маршрутизацією і управління прикладним сервісом. На першому рівні вирішуються питання підключення до мережі різних видів устаткування і визначення протоколів їх взаємодії, а також управління потоками відповідно до ситуації (навантаження, справність обладнання ліній і вузлів і ін.). Другий рівень визначає управління сервісом комп'ютерів, що входять до складу мережі для вирішення прикладних завдань.

Для передачі даних на залізничному транспорті використовуються різні типи каналів. На ділянці від низових підрозділів (кінцеві пункти) до дорожнього інформаційно-обчислювального центру (ДІОЦ) застосовують низькошвидкісні (50-200 біт/с) канали тонального телеграфування (ТТ). Обсяги інформації, що передається на цій ділянці невеликі, а час передачі не надто обмежений.

У разі обміну інформацією між ДІВЦ, ЛОМ, підрозділами з великим об'ємом інформації застосовують середньо- (600-9600 біт/с) і високошвидкісні (48-64 кбіт/с) канали аналогових або цифрових систем передачі. Для міжмашинного обміну між ЕОМ ДІВЦ і базами даних застосовують високошвидкісні цифрові системи передачі зі швидкостями 155 Мбіт/с і вище.

Особливістю каналів ПД є підвищені вимоги до вірності переданої інформації. Імовірність помилки не повинна перевищувати $1 \cdot 10^{-6}$. Цим вимогам задовольняють канали волоконно-оптичних систем передачі і не задовольняють аналогові канали. Тому в каналах передачі даних включають пристрої захисту від помилок, які дозволяють на два-три порядки підвищити вірність передачі.

До характеристик каналів, що надаються для передачі даних, повинні пред'являтися вимоги, відмінні від вимог до каналів передачі мови. Це стосується фазочастотної характеристики каналу, імпульсних перешкод і короткочасних переривань каналу. Неідеальність фазочастотної характеристики каналу призводить до зміни форми переданих імпульсів, «розмивання» сигналів і, як наслідок, до появи крайових спотворень.

Імпульсні перешкоди і короткочасні перерви сприймаються в телефонному зв'язку як окремі клацання і тріск в телефоні і незначно впливають на якість зв'язку. При передачі даних вони призводять до появи дроблень, що при середніх і високих швидкостях передачі, коли тривалість імпульсів порівнянна з часом впливу перешкоди, призводить до виникнення пакетів помилок, боротися з якими надзвичайно важко.

Ось чому при нормуванні характеристик каналів, що надаються для передачі даних, крім амплітудно-частотних характеристик, залишкового загасання, рівнів передачі, звертають особливу увагу на відповідність нормам фазочастотної характеристики, рівнів і тривалості імпульсних перешкод, а також короточасних переривань каналу.

Апаратура передачі даних служить для передачі інформації від віддалених джерел до інформаційно-обчислювальних центрів ІОЦ і назад. Кінцеве обладнання мережі передачі даних виконує більш складні функції, ніж аналогічне обладнання телеграфної мережі. Крім функцій організації каналу передачі даних, підтримки синхронізму, перетворення повідомлення в електричний сигнал і назад, виникають додаткові функції по захисту повідомлення від помилок, управління ланцюгами стиків між АПД і ЕОМ, пристроями введення і виведення, діагностичний контроль і ін.

Основними елементами АПД є (рис. 14.1): приймач ПП, пристрій захисту від помилок УЗО, пристрій перетворення сигналів УПС, автоматичний викличний пристрій АВУ. Крім того, для АПД характерна наявність декількох типів пристроїв введення та виведення інформації одночасно: клавіатура і фотозчитувач, картковий або стрічковий перфторатор і електрична друкарська машинка або відеотермінальний пристрій та ін.



Рисунок 14.1- Система АПД

На мережі передачі даних залізничного транспорту використовується низько- (50-200 біт/с) і середньошвидкісна (1200, 2400 біт/с) апаратура передачі даних.

Передача даних з низькими швидкостями здійснюється по комутованих і некомутованих телеграфних каналах. Для підвищення точності прийому застосовуються приставка ФКГ-Т50 до рулонного телеграфного апарату Т-63, приставка F-1001 до електронного телеграфного апарату F-1100 і електронний апарат з мікропроцесором F-2000. З'єднання і службові переговори між абонентами проводяться в телеграфному режимі. Перехід з режиму «Телеграф» в режим «Дані» може здійснюватися з будь-якої станції (що викликає або викликається). Якщо станція викликає, то сигналом переходу в режим передачі даних буде передача чотирьох букв СССР (або SSSS в латинському регістрі). Якщо станція викликається, то перехід в захищений режим відбувається передачею чотирьох букв ГГГГ (або GGGG). Вихід з захищеного режиму в будь-якому випадку відбувається при посиленні чотирьох букв ФФФФ (або FFFF).

При ймовірності помилки в каналі $p=10^{-4}$ на елемент зазначеної апаратурою забезпечується ймовірність помилки в блоці $p_{\text{бл}}=10^{-7}$. При цьому час передачі в режимі «Дані» збільшується не більше ніж на 10%.

Передача даних з середніми швидкостями ведеться по телефонних комутованих і некомутованих каналах.

При роботі по каналах, які мають середню частоту помилок за елементами не більше $2 \cdot 10^{-4}$, апаратура забезпечує ймовірність помилки не більше $1 \cdot 10^{-6}$ на знак. Захист від помилок забезпечується застосуванням циклічного коду з утворюючим многочленом виду $g(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ і вирішальним зворотним зв'язком.

Введення інформації може здійснюватися з п'яти-, шести-, семи- або восьмидорожечної перфострічки з захистом інформації кодом з перевіркою на парність або без захисту.

Інформація передається блоками. Передаваний блок складається з 260 (132) елементів, чотири з яких є службовими (номер блоку), 240 (112) - інформаційними та 16 - контрольними. Останнім часом в мережі передачі даних практикується міжмашинний обмін (ЕОМ - ЕОМ) на швидкостях 155 Мбіт/с з застосуванням систем синхронної цифрової ієрархії (СЦІ), що працюють по волоконно-оптичному кабелю.

Запитання для самоперевірки:

- Як можна розділити мережу ПД в залежності від швидкості передачі?
- Вкажіть мережеві протоколи.
- Які вимоги до каналів передачі даних?
- Яка особливість каналів ПР?
- Вкажіть основні елементи апаратури передачі даних?

14.2 Нові телекомунікаційні технології

Розвиток інформаційних технологій, успіхи в створенні волоконно-оптичних ліній зв'язку та надвеликих інтегральних схем з великою пам'яттю і величезною швидкодією призвели до розробки нових телекомунікаційних технологій. До них можна віднести появу локальних обчислювальних мереж (ЛОМ), засобів об'єднання ЛОМ через глобальні мережі (технології SMDS, Frame Relay і ін.), поява цифрових мереж з інтеграцією обслуговування (ЦМІО) і широкосмугових мереж з інтегральним сервісом (Ш-ЦМІО), асинхронного методу передачі (АТМ), систем синхронної цифрової ієрархії (SDH). Розглянемо деякі з них.

Локальні обчислювальні мережі. Перші локальні мережі з'явилися в 1975 р (Ethernet). На сьогодні вони набули широкого поширення, мають багато різновидів, підкріплені стандартами і займають значне місце в телекомунікаційних технологіях. На відміну від глобальних розподілених (територіальних) мереж ці мережі займають незначні території, що і закладено в їх назві: Local Area Network (LAN). Це відразу ж накладає відбиток і на конфігурацію мережі, і на спосіб розподілу інформації. Локальні мережі - це, як правило, мережі з селекцією інформації, що використовують загальний канал, побудований найпростішим чином (лінійна або кільцева структура). Територіальні мережі - це мережі з маршрутизацією, зміною напрямку передачі

в вузлах мережі (вузлові), зі складною топологією (повнозв'язкова, решітчаста, радіально-вузлова ієрархічна структури).

Через невеликий обсяг локальні мережі надаються користувачам як єдиний об'єкт, неподільний технічний комплекс, який є предметом купівлі-продажу в цілому: обладнання, лінійне господарство, контрольно-вимірювальна техніка.

Таким чином, за зовнішніми ознаками локальна мережа - це комплекс технічних засобів, який забезпечує обмін інформацією на невеликій території, використовує найпростіші структури і розподіляє інформацію методом її селекції.

Локальні мережі мають специфічні внутрішні властивості, що впливають із зовнішніх: висока швидкість передачі (від 1 до 500 Мбіт/с і вище) і мала ймовірність помилки (10^{-8} проти 10^{-3} - 10^{-5} для великих мереж).

Локальні мережі використовують найпростіші з відомих топологічних структур: лінійну, кільцеву, радіальну, деревоподібну. Особливістю є те, що всі абонентські системи працюють в одному і тому ж фізичному середовищі, тобто використовується груповий канал.

Як фізичне середовище в локальних мережах застосовуються:

кабель парної скрутки з екранованими (кручена пара STP) або неекранованими (неекранована кручена пара UTP) жилами. Існують п'ять різних категорій STP-кабелів, що мають пропускну здатність від 1 до 100 Мбіт/с;

коаксіальний кабель (відносно недорогий, володіє великою завадостійкістю і достатньою пропускну здатністю: до 20 Мбіт/с);

волоконно-оптичний кабель (дорогий, але має більшу перешкодозахищеність і пропускну здатність до 500 Мбіт/с і вище).

Абонентські системи (АС), що підключаються до середовища передачі (рис. 15.18), складаються з термінального обладнання ТО, робочої станції РС і блоку доступу до середовища БД.

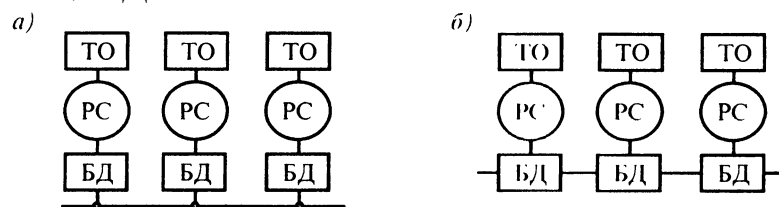


Рисунок 14.2 - Абонентські системи

Залежно від способу підключення БД до середовища розрізняють моноканал і циклічний канал.

Моноканал (рис. 14.2, а), або паралельне підключення БД до середовища, передбачає трансляцію передачі від будь-якої АС до всіх інших. Інформація буферується усіма РС, але використовується тією, якій вона призначена (чужа інформація стирається). Це шинна або деревоподібна топологія. Простота управління доступом і легкість нарощування мережі по території - основні переваги такої організації локальної мережі. Якщо в якості моноканала використовується фізичний ланцюг (пара проводів, коаксіальна пара і ін.), то він навантажується по кінцях на узгоджене навантаження. Можлива організація широкомовної передачі по частотному моноканалу з використанням двополосної системи передачі.

Циклічний канал (рис. 14.2, б) передбачає послідовне підключення БД до середовища. Інформація поширюється від однієї БД в іншу, буферується кожною станцією і видається на ТО або відправляється далі в відповідності до ситуації («своя» - «чужа»).

Циклічні кільця мають різну організацію (рис. 14.3). У простому циклічному кільці (рис.14.3, а) інформація поширюється в одну сторону. Це великий недолік такої організації, так як відмова одного з сегментів або БД призводить до втрати мережі. Варіант подвійного циклічного кільця (рис. 14.3, б) передбачає передачу інформації в різні боки. У разі відмови одного з сегментів замиканням зустрічних каналів в одному з БД подвійне кільце перетворюється на просте і продовжує працювати до усунення несправності.

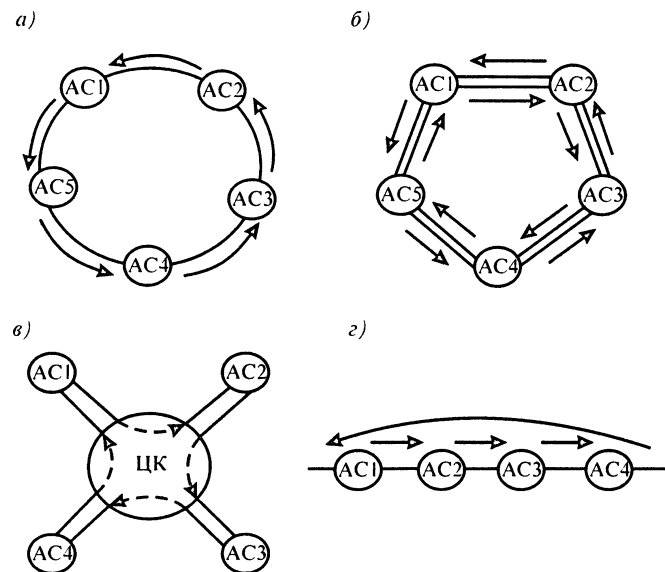


Рисунок 14.3 - Циклічні кільця

Променеве циклічне кільце (рис. 14.3, в) передбачає наявність центрального комутатора ЦК, і в разі порушень в будь-якому промені або БД дана АС зі своїм променем тимчасово виключається з конфігурації. Логічне циклічне кільце (рис. 14.3, г) забезпечує роботу фізичної шини за алгоритмом циклічного кільця, передаючи управління від однієї крайньої РС до іншої.

Зіркоподібна топологія, єдина з усіх, передбачає наявність вузла комутації - головної станції. Через неї забезпечується підключення будь-якої пари АС. Вона ж бере на себе проблему маршрутизації і локалізації несправностей. Великий недолік зіркоподібної топології - вихід з ладу всієї мережі при відмові головної станції.

Іноді використовується решітчаста топологія (чарункова), що є різновидом повнозв'язкової структури і володіє високою живучістю.

Як і в великих мережах, в локальних перевага віддається семирівневій організації систем. Однак через специфіку локальної мережі архітектура відкритих систем (АВС) відрізняється від аналогічної для територіальних мереж. Перш за все через малу ймовірність помилки і велику швидкість передачі відпадає необхідність у послугах каналного рівня щодо підвищення вірності передачі. Залишається лише проблема управління ланкою даних. При простих топологічних структурах немає необхідності вводити процедуру

маршрутизації, тобто не потрібен мережевий рівень. Але з'являються проблеми селекції повідомлень, множинного доступу до фізичного середовища. Ось чому в АВС локальних мереж в чистому вигляді відсутній каналний рівень (рис.14.4). Можна вважати, що каналний рівень умовно розбивається на два підрівні: У2А - управління доступом до середовища УДС (Medium Access Control Protokol - MAC) і У2Б - управління логічним каналом УЛК (Logical Link Control - LLC).

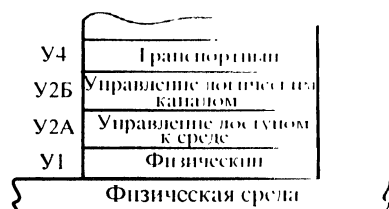


Рисунок 14.4 - АВС локальних мереж

Розбиття каналного рівня на два підрівні УДС/УЛК (MAC/LLC) має ряд переваг.

По-перше, це дає можливість здійснювати різні варіанти селективного доступу до середовища. У цьому сенсі розрізняють широко- і односмугові локальні мережі (ШЛМ і ОЛМ). Широкосмугові локальні мережі використовують в груповому каналі аналоговий сигнал, а в якості блоку доступу до середовища - модеми. Для створення кількох каналів в одному фізичному середовищі використовується метод частотної селекції. У односмугових локальних мережах в груповому каналі використовується цифровий сигнал, застосовується спосіб тимчасової селекції або множинний доступ, який забезпечувався б протокольними угодами. Найбільш поширені односмугові локальні мережі.

По-друге, з огляду на те, що робочі станції в локальних мережах рівноправні партнери, таке розбиття дозволяє реалізувати децентралізований алгоритм управління, що є простим.

По-третє, розбиття забезпечує кращу сумісність локальної мережі з територіальною, так як УЛК (LLC) є підмножиною множини протоколів HDLC.

По-четверте, це забезпечує гнучкий інтерфейс вводу-виведення інформації, так як УЛК (LLC) не залежить від конкретного метода доступу до середовища, а УДС (MAC) - від протоколу взаємодії (розподіл функцій).

Через відсутність мережевого рівня в локальних мережах не знаходять широкого застосування методи КК і КП-В, зате успіхом користуються КС і особливо КП-Д. Всі інші рівні АВС для локальної мережі в основному зберігають ті ж функції, що і для територіальної мережі.

Стандарти фізичного рівня локальної мережі не відрізняються від аналогічних стандартів в великих мережах. Зокрема, в цифрових мережах застосовується протокол, побудований на основі рекомендації X.21 ІТУ-Т (рис. 14.5).

УЗ	ISO 8802.1 Сетевой протокол сетей с селекцией сообщений			
У2Б	ISO 8802.2 Управление логическим каналом (LLC)			
У2А	Управление доступом к среде (MAC)			
	ISO 8802.3 Случайный доступ (шина)	ISO 8802.4 Маркерная шина	ISO 8802.5 Маркерное кольцо	ISO 8802.6 Двойное кольцо
У1	ITU-T X.21 Управление физическим каналом			

Рисунок 14.5 - Протокол, побудований на основі рекомендації X.21 ITU-T

Всі інші стандарти, пов'язані з двома новими рівнями У2А і У2Б, розроблені Комітетом 802 (IEEE 802 LAN Standards Committee). Цей комплекс стандартів включає в себе два загальних 802.1 і 802.2 і чотири спеціальні стандарти: 802.3, 802.4, 802.5 і 802.6. Міжнародна організація по стандартизації (МОС, ISO) приймає стандарти IEEE 802 під назвою ISO 8802.

Стандарт ISO 8802.1 описує співвідношення між усіма іншими стандартами серії 8802 і ЕМ ВОС для територіальної мережі. Стандарт ISO 8802.2 розглядає загальні для всіх локальних мереж функції управління логічним каналом, функції рівня У2Б. Вони не залежать від типу застосовуваних фізичних засобів з'єднання в топології мережі, а визначають лише структуру інформаційних одиниць (кадрів) і протокол обміну ними.

Решта стандарти визначають специфіку топології і методу доступу до середовища. Вони відносяться до підуровня У2А. Стандарт ISO 8802.3 визначає метод випадкового доступу і конфігурації типу шина або дерево, стандарт ISO 8802.4 маркерний метод доступу в шинній топології типу логічне кільце, стандарт ISO 8802.5 - маркерний метод доступу в топології типів просте, подвійне або променеве кільце, стандарт ISO 8802.6 інформаційну мережу великого міста, в якій застосовується складний моноканал з двома паралельними загальними каналами (подвійна шина).

Послугами локальної мережі зручно користуватися в рамках одного підприємства або його підрозділу, в рамках замкнутого технологічного процесу на невеликій території, в рамках інформаційно-довідкових систем, систем автоматизованого проектування, систем управління транспортом, постачанням, збутом, створюваних на основі ЕОМ.

На сьогодні найбільш поширеними типами локальних мереж є Ethernet і Token Ring. Стандарт Ethernet на 10 Мбіт/с включає в себе наступні чотири різновиди: 10 Base T, 10 Base 2, 10 Base 5 і 10 Base FL. Специфікація 10 Base T (8802.3) використовує, як правило, неекрановану виту пару (UTP). Це мережа шинної топології з максимальною довжиною сегментів 100 м. Специфікація 10 Base 2 (тонкий Ethernet) забезпечує передачу на відстань, що приблизно в 2 рази перевищує 100 м. При використанні повторювачів така мережа може складатися з п'яти сегментів і об'єднувати до 150 комп'ютерів. Специфікація 10 Base 5 (товстий Ethernet) забезпечує роботу сегментів довжиною до 500 м і в кожному

сегменті підтримує роботу до 100 робочих станцій. Специфікація 10 Base FL представляє собою мережу Ethernet, в якій робочі станції з'єднані волоконно-оптичним кабелем. Максимальна довжина сегмента 2000 м.

Нові стандарти Ethernet розробляються для таких додатків, як системи автоматизованого проектування, передача відео, відображення і зберігання документів, де швидкості передачі повинні досягати 100 Мбіт/с. В цьому напрямку відомі два стандарти: 100 Base VG (AnyLAN Ethernet) і 100 Base X Ethernet (Fast Ethernet). У свою чергу, Fast Ethernet включає в себе три специфікації середовища передачі: 100 Base T4 - неекранована кручена пара категорії 3, 4 або 5 з чотирма парами проводів; 100 Base TX - неекранована або екранована кручена пара категорії 5 з двома парами проводів; 100 Base FX-двожильний волоконно-оптичний кабель.

Другим популярним типом локальних мереж є мережі Token Ring, представлені фірмою IBM в 1984 р Це мережі кільцевої топології стандарту 8802.5 з маркерним доступом, призначені для з'єднання ПЕОМ, середніх ЕОМ і мейнфреймів.

Високошвидкісні локальні і глобальні мережі

З появою високопродуктивних комп'ютерів пропускної здатності 10 Мбіт/с (Ethernet) і 16 Мбіт/с (Token Ring) стало не вистачати для обміну даними. З'явилися стандарти Fast Ethernet, FDDI SMDS і інші, здатні в локальних мережах забезпечити передачу інформації зі швидкістю до 100 Мбіт/с.

Технологія FDDI (Fiber Distributed Data Interface) це специфікація, що описує високошвидкісну (до 100 Мбіт/с) мережу на основі оптичного волокна. Вона розроблена комітетом ANSI в 1986 р, може використовуватися в якості центральних ланок мереж масштабу міста (Metropolitan Area Network MAN) з топологією "подвійне кільце" (стандарт 8802.6). Крім того, її можна застосовувати у великих мережах (Wide Area Network - WAN) для з'єднання ЛОМ малої продуктивності.

Мережа FDDI працює за принципом маркерного кільця. Однак тут застосована топологія типу "подвійне кільце", яка підтримує 500 комп'ютерів при загальній довжині кільця 100 км.

Для зв'язку між локальною мережею і віддаленим хост-комп'ютером або між локальними мережами на досить високих швидкостях можна застосувати технологію SMDS (Switched Multi-Megabit Data Service). Це комутуєма служба, яка забезпечує передачу даних в діапазоні швидкостей від 1 до 34 Мбіт/с. Фактично це користувальницький мережевий інтерфейс (Subscriber Network Interface - SNI), який визначається протоколами доступу до SMDS-послуги (SMPS Interface Protocol - SIP).

Конкуренцію технології SMDS в частині взаємодії локальних мереж може скласти технологія Frame Relay (ретрансляція кадрів), яка прийшла на зміну методу пакетної комутації (X.25) і була анонсом появи ISDN. Технологія Frame Relay з'явилася на початку 90-х рр. як розвиток X.25 в мережах з загальним каналом сигналізації і як відповідь на застосування в мережах передачі даних цифрових каналів з низьким рівнем помилок. Це відразу дозволило різко

скоротити число функцій, розв'язуваних вузлом комутації на рівні ланки, і забезпечити високошвидкісну передачу даних.

Frame Relay - простий, орієнтований на з'єднання з віртуальною мережею пакетний сервіс. Він забезпечує організацію як комутованих (SVC), так і постійних (PVC) віртуальних з'єднань. Виходячи з принципу ISDN, Frame Relay підтримує поділ мережі на дві частини: інформаційну і сигнальну підмережі. Однак, на відміну від ISDN, фаза обміну даними здійснюється у формі пакетів змінної довжини, які називаються тут кадрами. По стеку протоколів це відбувається трохи вище фізичного рівня (рис. 14.6).

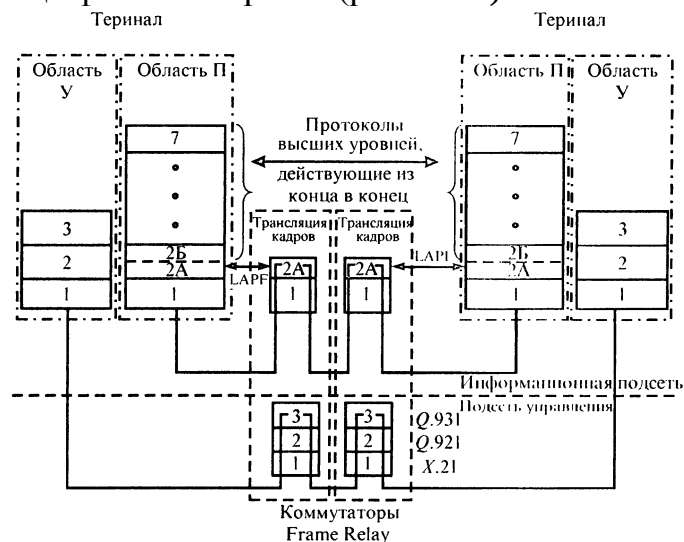


Рисунок 14.6 - Frame Relay

Використання технології Frame Relay дає наступні переваги: висока ступінь безпеки завдяки наявності віртуальних каналів; значна економія коштів (до 30%) у порівнянні з використанням виділених каналів; можливість динамічного перерозподілу пропускну здатності каналів.

Найбільш поширене застосування технологія Frame Relay знаходить в корпоративних мережах і як засіб доступу в Internet.

Сучасні потужні ЕОМ потужністю 1000 Mips і більш вже не можуть об'єднуватися в мережі з пропускну спроможністю 10 і навіть 100 Мбіт/с. Особливо це відчувається при передачі рухомих зображень, проведенні відеоконференцій, реалізації мультимедіа-послуг. У такій ситуації на зміну вузькополосної ЦМІО приходить широкополосна цифрова мережа з інтегральним обслуговуванням Ш-ЦМІО або В-ІSDN (Broadband Integrated Service Digital Network). Основним режимом перенесення інформації на таких мережах обраний асинхронний метод передачі або АТМ (Asynchronous Transfer Mode).

Це подальший розвиток ідеї пакетної комутації з фіксованою довжиною інформаційної одиниці, званої тут «комірка» (cell), і мультиплексуванням їх в єдиний синхронний лінійний потік біт. Це служба з встановленням з'єднання, що реалізує віртуальний режим. Кожна стандартна комірка (рис. 14.7) складається з 53 байт, включаючи 5 байт заголовка і 48 байт інформаційного поля. У заголовку міститься адресна інформація, яка визначає приналежність комірки до того чи іншого віртуального з'єднання. Застосування коротких по

довжині комірок (53 байта) і сучасних радіоелектронних компонентів дозволяють реалізувати комутатори, які мають продуктивність 10 Гбіт/с і вище.

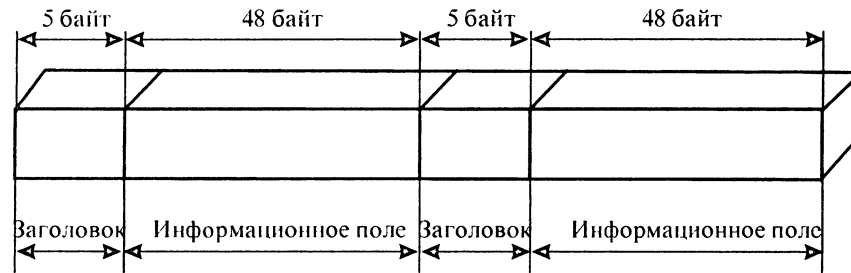


Рисунок 14.7 - Стандартна «комірка»

Свою назву АТМ отримала від методу перенесення (transferring) комірок через комутаційний елемент. У будь-який момент часу комірка будь-якого вхідного потоку може претендувати на місце в вихідному потоці. Однак комутатор лише "призначає" (присвоює їй унікальний номер віртуального з'єднання) комірку, що входить в вихідний потік, і вона якийсь час повинна знаходитись у вихідному буфері, що вносить різні затримки в проходження осередків через комутатор, тому вважають, що комірки проходять комутатор асинхронно.

Рівнева організація АТМ не суперечить принципам МОС/ВОС, але має свої особливості (рис. 14.8).

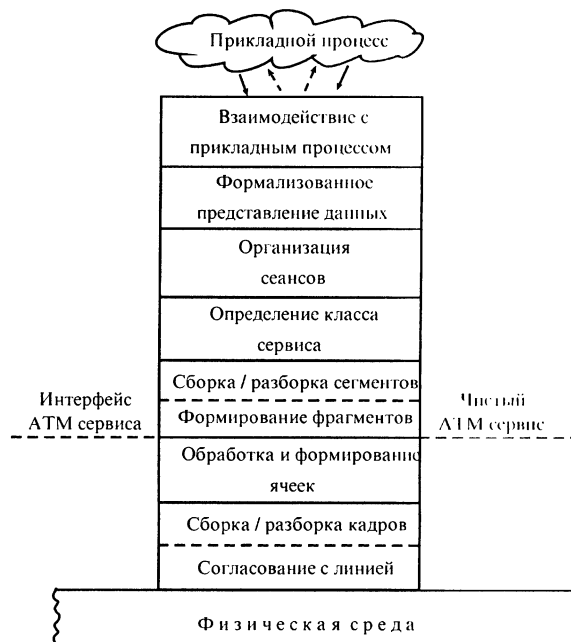


Рисунок 14.8 - Рівнева організація АТМ

Специфічними для стека протоколів АТМ є три рівні: фізичний U1, АТМ рівень U2 і рівень АТМ адаптації U3. Перший і третій діляться ще на два підрівні кожен, фізичний - на підрівень U1А фізичного середовища (РМ - Physical Medium) і підрівень U1Б збирання та розбирання кадрів (ТС - Transmission Convergence), а рівень АТМ адаптації - на підрівень U3А формування фрагментів (CS - Convergence Sublayer) і підрівень U3Б збирання та розбирання сегментів (SAR - Segmentation and Reassembly). Схема проходження інформаційних одиниць крізь ці три рівня наведена на рис. 14.9.

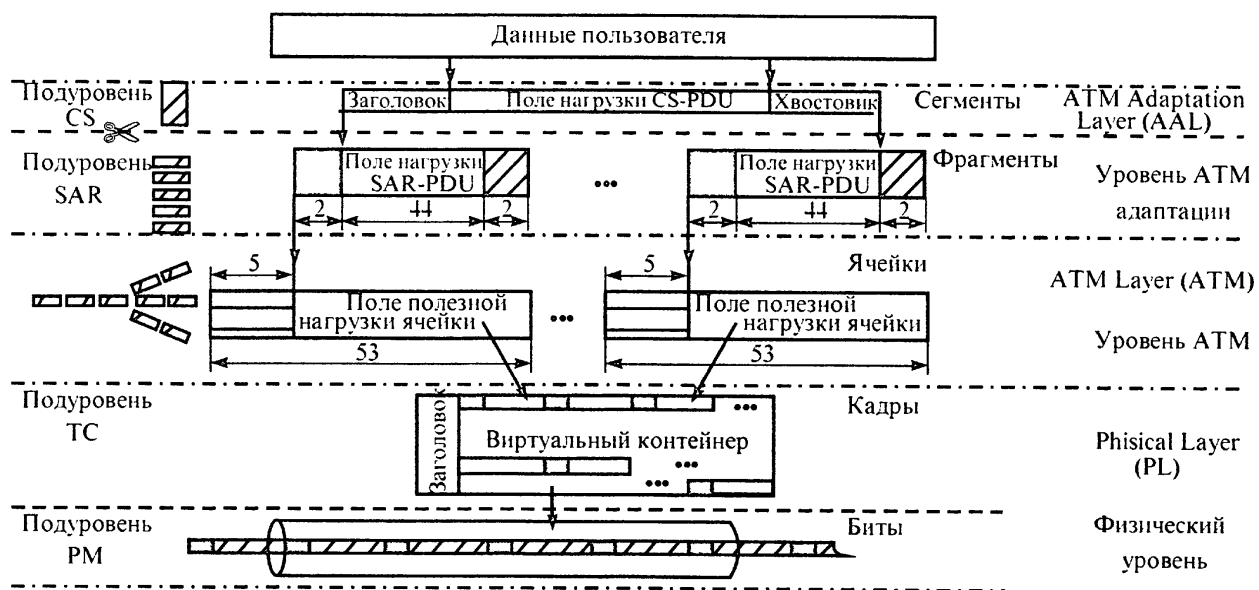


Рисунок 14.9 - Схема проходження інформаційних одиниць крізь три рівня: фізичний У1, ATM рівень У2 і рівень ATM адаптації У3

На підрівні CS (У3Б) інформація, що отримується від верхнього рівня, розбивається на протокольні блоки даних - сегменти. Вони можуть мати різну довжину в залежності від класу сервісу, що визначається на транспортному рівні. До них додаються заголовок і закінчення, що дозволяють визначити тип переносимого трафіку і розмір протокового блоку, а також контролювати рівень сервісу.

На підрівні SAR (У3А) сегменти розбиваються на більш дрібні частини - фрагменти довжиною 44 байта. Якщо інформації користувача не вистачає, то решта фрагмента заповнюється нулями. На цьому підрівні кожен фрагмент доповнюється двобайтовим заголовком і двобайтовим закінченням. Тема визначає порядок фрагмента в повідомленні, а закінчення містить перевірочну послідовність. Отримана 48-байтова послідовність надходить на рівень У2 і становить інформаційне поле комірки ATM.

У функції ATM рівня входять: формування ($48 + 5 = 53$) і розформування ($53 - 5 = 48$) комірок; управління перевантаженнями; перерозподіл комірок з одних віртуальних трактів в інші відповідно до присвоєних номерів та вказівок маршрутної таблиці; мультиплексування і демultipлексування комірок різних користувачів для передачі їх по одній фізичній лінії. Це чистий ATM сервіс. Тут використовуються призначені і непризначені комірки (assigned or pñassigned cells). Призначена комірка - це така комірка, якій присвоєно ідентифікатори віртуального каналу і віртуального факту. Після їх призначення комірки можуть зайняти місце у відповідному вихідному буфері комутатора.

Підрівень Т3 (У1Б) забезпечує формування протокової одиниці логічної обробки групи комірок, наприклад віртуального контейнера VC-1 систем синхронної цифрової ієрархії, і її розформування. Тут перевіряється безпомилковість заголовка кожної комірки для можливості трансляції її на ATM рівень. Комірки на цьому рівні бувають дійсними і недійсними (Valid or invalid

cells). Дійсна - це така комірка, яка в заголовку не має помилок і може використовуватися на АТМ рівні для комутації.

Підрівень РМ (U1A) забезпечує формування лінійного сигналу, узгодження його параметрів з параметрами фізичного середовища, здійснює синхронізацію і фазування. Для підтримки безперервності потоку комірок у фізичному середовищі потік комірок заповнюється порожніми комірками (idle cells).

Стандарти АТМ розроблені лише для трьох нижніх рівнів і представлені в рекомендаціях МСЕ-T 1.320, 1.321 і 1.430. При цьому в моделі АТМ виділяється три області (рис. 14.10):

область користувача, що виходить на прикладні процеси користувача (ППК);

область управління, що виходить на прикладні процеси управління мережею (ППУМ);

область менеджменту, що виходить на прикладні процеси системного управління (ППСУ).

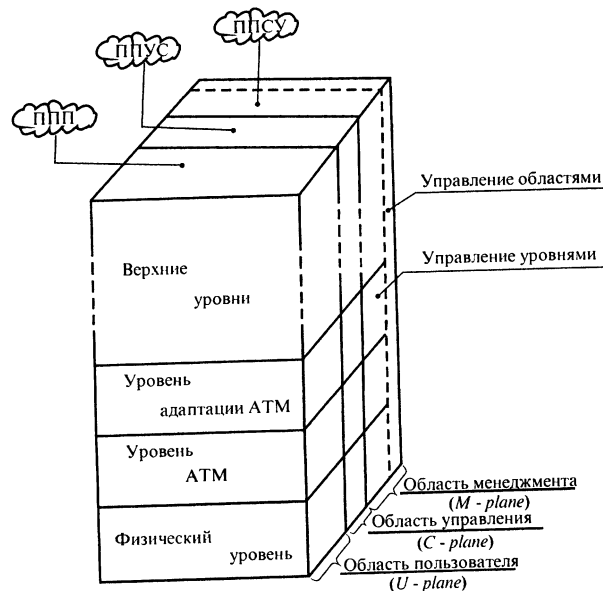


Рисунок 14.10 - Модель АТМ

Область користувача (U-plane) має рівневу структуру і забезпечує передачу всіх видів інформації із захистом від помилок, управління потоком, обмеження навантаження і ін.

Область управління мережею (C-plane) також структурована за рівнями і забезпечує управління з'єднанням і роз'єднанням, сигналізацію і ін.

Область менеджменту (M-plane) має дві частини:

управління областями, яка не має рівневої структури;

управління рівнями, розділена на рівні.

Перша частина забезпечує об'єднання і координацію роботи областей U і C, а друга вирішує завдання розподілу мережевих ресурсів, узгодження їх з параметрами навантаження, процедури експлуатації та технічного обслуговування і ін.

Рівні фізичний, АТМ і адаптації АТМ еквівалентні фізичному, каналному і частково мережевому рівням моделі ВОС. Верхні рівні моделі ВОС виконують специфічні для них процедури і практично залишаються незмінними в стеці

протоколом. Технологія АТМ забезпечує гнучке використання великої пропускної здатності волоконно-оптичних мереж, що швидко розвиваються. З її допомогою можна побудувати супермагістралі зі швидкостями передачі в кілька десятків гігабіт в секунду. Мережі АТМ вільні від недоліків мереж з іншими методами комутації. Вони забезпечують ефективне використання мережевих ресурсів, гнучкість до трафіку, створення універсальної мережі для всіх існуючих служб. Однак зазначені переваги вимагають витрат на задоволення вимог цих служб до семантичної і тимчасової прозорості і пристосування їх до стандартних розмірів комірок. АТМ технологія, будучи досить складною, на сьогодні одна з перспективних.

Запитання для самоперевірки:

- Призначення локальних обчислювальних мереж.
- Що таке моноканал і циклічний канал?
- Яку організацію мають циклічні кільця?
- Високошвидкісні локальні і глобальні мережі.
- Стандарти Fast Ethernet, FDDI SMDS.
- Що таке стандартна «комірка»?
- Поясніть рівневу організація АТМ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Борцов Д.В. Телеграфия и передача данных на железнодорожном транспорте:/Д.В.Борцов, Б.Б.Борисов, И.К.Тарасенко.- М.: Транспорт, 1985.
2. Кудряшов В.А. Системы передачи дискретной информации:/В.А.Кудряшов, В.П.Глушко. – М.: УМК МПС, 2002.
3. Копничев Л.Н. Телеграфия и оконечное оборудование документальной электросвязи./Л.Н.Копничев, С.И.Сахарчук. – М.: Радио и связь, 1990.
4. Передача дискретных сообщений: Учебник для Вузов/под. ред. В.П.Шувалова.- М.: Радио и связь, 1990.
5. Стеклов В.К. Телеграфия и системы передачи данных./В.К.Стеклов. – М.: Радио и связь, 1988.
- 4 Сідоров В.І. Основи теорії передавання інформації в прикладах і задачах: /В.І. Сідоров. – Харків.: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006.

