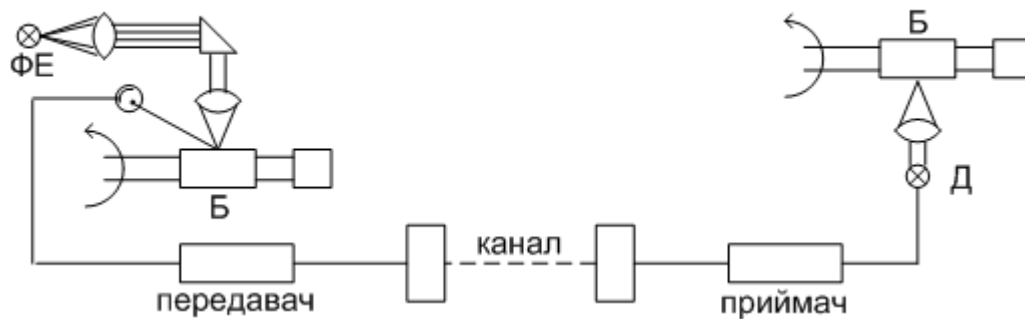
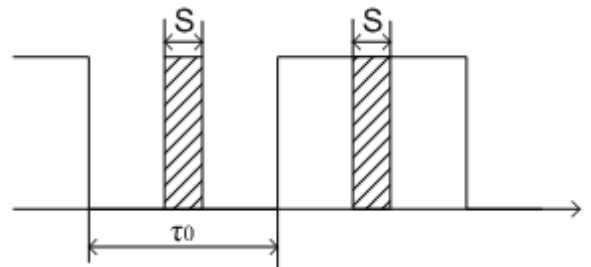
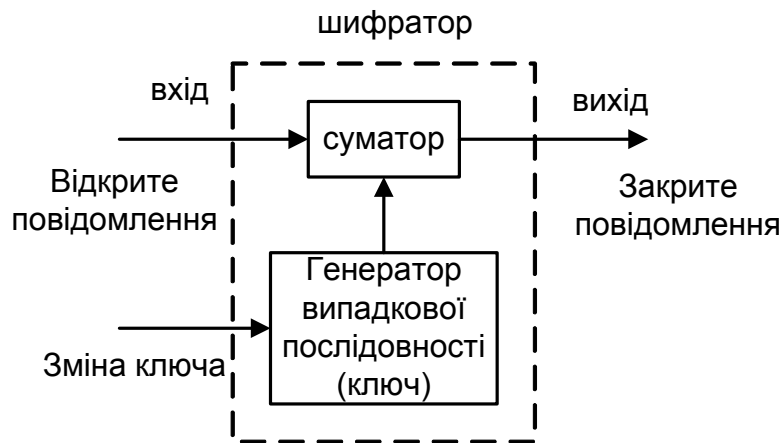


СИСТЕМИ ДОКУМЕНТАЛЬНОГО ЕЛЕКТРОЗВ'ЯЗКУ



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

В. М. Кичак, О. О. Семенова, А. О. Семенов

СИСТЕМИ ДОКУМЕНТАЛЬНОГО ЕЛЕКТРОЗВ'ЯЗКУ

Затверджено Вченою радою Вінницького національного технічного університету як навчальний посібник для студентів напрямку підготовки "Телекомунікації" спеціальності "Телекомунікаційні мережі та системи".
Протокол №13 від "3" липня 2008 р.

Вінниця ВНТУ 2009

УДК 621.391

К 46

Рецензенти:

Осадчук В. С., доктор технічних наук, професор

Кучерук В. Ю., доктор технічних наук, професор

Шарпан О. Б., доктор технічних наук, професор

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

Кичак В. М., Семенова О. О., Семенов А. О.

К 46 Системи документального електрозв'язку. Навчальний посібник. —
Вінниця: ВНТУ, 2009. - 160 с.

У навчальному посібнику розглядаються основні види систем документального електрозв'язку, принципи їх побудови та параметри і характеристики. Посібник розроблений відповідно до плану кафедри та програми дисципліни "Системи документального електрозв'язку".

УДК 621.391

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 Системи зв'язку.....	7
1.1 Документальний електрозв'язок.....	7
1.2 Загальна характеристика пристроїв введення-виведення у СДЕЗ.....	8
1.3 Математичні моделі повідомлень.....	11
1.3.1 Математична модель неперервного повідомлення.....	11
1.3.2 Математична модель дискретного повідомлення	13
1.4 Характеристики дискретних каналів.....	14
Питання для самоперевірки.....	16
2 Телеграфний зв'язок.....	17
2.1 Структура та функціонування передавача телеграфного апарата.....	18
2.2 Структура та функціонування приймача телеграфного апарата.....	20
2.3 Параметри телеграфних апаратів.....	21
2.4 Телеграфний сигнал.....	23
2.5 Мережі телеграфного зв'язку.....	26
Питання для самоперевірки.....	29
3 Мережі передачі даних.....	31
3.1 Види мереж передачі даних.....	31
3.2 Цифрові мережі інтегрального обслуговування.....	33
3.3 Контроль функціонування систем передачі даних.....	35
3.4 Види контролю обладнання у системах передачі даних.....	37
3.5 Основні параметри контролю обладнання.....	39
3.5.1 Параметри контролю каналу зв'язку.....	39
3.5.2 Параметри контролю апаратури передачі даних.....	43
3.5.3 Методи контролю каналів і тракту передачі даних.....	44
3.6 Вимоги до пристроїв оперативного контролю.....	46
3.7 Класифікація мереж.....	48
3.8 Еталонна модель взаємозв'язку відкритих систем.....	51
3.9 Апаратні засоби ЛОМ.....	53
3.10 Методи доступу до середовища передачі в локальних мережах.....	55
Питання для самоперевірки.....	56
4 Факсимільний зв'язок.....	57
4.1 Система факсимільного зв'язку.....	57
4.2 Факсимільний сигнал.....	58
4.3 Типи факсимільних апаратів.....	60
4.4 Характеристики факсимільної передачі.....	60
4.5 Електрооптичний аналіз зображення.....	62
4.6 Електрооптичний синтез зображення.....	66
4.7 Синхронізація у факсимільних системах зв'язку.....	67
4.8 Фазування у факсимільних системах зв'язку.....	68
4.9 Організація факсимільного зв'язку.....	69

Питання для самоперевірки.....	74
5 Спотворення у каналах зв'язку і реєстрація дискретних сигналів.....	75
5.1 Спотворення кодових елементів.....	75
5.2 Методи реєстрації дискретних сигналів.....	79
5.3 Виправна здатність дискретних приймачів.....	82
Питання для самоперевірки.....	83
6 Кодування даних.....	84
6.1 Види кодування даних.....	84
6.2 Ефективне кодування.....	84
6.3 Корегувальне кодування.....	86
6.4 Лінійне кодування.....	87
6.5 Код з перевіркою на парність.....	90
6.6 Ітеративний код.....	92
6.7 Каскадні коди.....	93
6.8 Циклічний код.....	94
Питання для самоперевірки	98
7 Реалізація основних лінійних кодів.....	99
7.1 Уніполярний код NRZ.....	99
7.2 Біполярний код NRZ.....	100
7.3 Код "Манчестер-II ".....	100
7.4 Код AMI.....	101
7.5 Коди BNZS, HDB3.....	101
7.6 Трирівневе кодування сигналу з гарантованою зміною рівнів між сусідніми бітовими інтервалами.....	102
7.7 Спосіб кодування сигналу для зменшення випромінюваних завад при його передачі по лінії.....	105
7.8 Шифратор і дешифратор манчестерского коду.....	109
Питання для самоперевірки.....	112
8 Синхронізація передачі даних.....	113
8.1 Синхронізація кінцевих пристроїв введення-виведення.....	113
8.1.1 Синхронізація у синхронних системах	113
8.1.2 Синхронізація у стартозупних системах	113
8.1.3 Тактова синхронізація.....	114
8.1.4 Циклова синхронізація	115
8.2 Виділення синхросигналу.....	116
8.2.1 Схема на основі регістрів зсуву.....	116
8.2.2 Одноконтурна і двоконтурна схеми виділення синхросигналу бітового інтервалу.....	120
Питання для самоперевірки.....	124
9 Захист інформації у системах документального електрозв'язку.....	125

9.1 Основні шляхи викрадення інформації і несанкціонованого доступу у СДЕЗ.....	125
9.2 Методи захисту при передачі цифрової інформації.....	127
9.3 Цифровий підпис.....	131
9.4 Передача даних з використанням скремблера/дескремблера.....	133
Питання для самоперевірки.....	137
10 Технологія АТМ.....	138
10.1 Основні принципи технології АТМ.....	138
10.1.1 Комірки АТМ.....	138
10.1.2 Архітектура протоколів у АТМ-мережах.....	139
10.1.3 АТМ-пристрої.....	140
10.1.4 Принцип віртуальних з'єднань.....	140
10.2 Розпізнавання комірок АТМ.....	142
10.2.1 Структура комірки.....	142
10.2.2 Використання коду CRC у процесі розпізнавання границь комірок.....	143
10.2.3. Схема ділення двійкових чисел.....	143
10.2.4 Формування заголовка комірки передавачем.....	144
10.2.5 Перевірка правильності заголовка комірки приймачем.....	147
10.2.6 Пошук заголовка в безперервному бітовому потоці даних.....	148
10.3 Пошук заголовка в безперервному байтовому потоці даних.....	151
10.3.1 Розміщення комірки всередині кадру.....	151
10.3.2 Схема виявлення заголовка комірки в байтовому потоці даних.....	151
10.3.3 Логічні співвідношення для переходу від бітового потoku даних до байтового.....	153
Питання для самоперевірки.....	155
Словник термінів.....	156
Список використаних джерел.....	159

ВСТУП

Сучасні мережеві технології повинні забезпечити надійну, швидку та достовірну передачу цифрових даних по каналах зв'язку. Хоча між відомими технологіями існують суттєві відмінності, всі вони базуються на загальних принципах архітектури та передачі даних, які розглядаються у дисципліні «Системи документального електрозв'язку» (СДЕЗ).

Даний посібник складається з десяти розділів, присвячених будові та характеристикам сучасних систем документального електрозв'язку.

Зокрема, розділ 1 – «Системи зв'язку» знайомить читача з основними поняттями систем документального електрозв'язку, а також з пристроями введення-виведення інформації, математичними моделями повідомлень та характеристиками каналів СДЕЗ.

Розділ 2 – «Телеграфний зв'язок» містить загальні відомості про мережі телеграфного зв'язку, будову та параметри телеграфних апаратів.

Розділ 3 – «Мережі передачі даних» ознайомлює з будовою мереж передачі даних та з методами контролю їх стану.

У розділі 4 – «Факсимільний зв'язок» розглядаються структура та принципи функціонування систем факсимільного зв'язку, будова та види факсимільних апаратів, характеристики факсимільної передачі, електрооптичний аналіз та синтез зображення, а також синхронізація та фазування факсимільних апаратів.

Розділі 5 – «Спотворення у каналах зв'язку і реєстрація дискретних сигналів» присвячений видам спотворень кодових елементів у СДЕЗ та методам реєстрації спотворених повідомлень.

У розділі 6 – «Кодування даних» розглядаються основні види способів кодування інформації у СДЕЗ.

Розділ 7 – «Реалізація основних лінійних кодів» більш глибоко ознайомлює з видами лінійних кодів та принципами їх реалізації.

Розділ 8 – «Синхронізація передачі даних» присвячений тактовій та цикловій синхронізації передачі даних. Також тут наводяться основні схеми виділення синхросигналу та пояснюється принцип їх роботи.

У розділі 9 – «Захист інформації у системах документального електрозв'язку» розглядаються питання забезпечення безпеки інформації у СДЕЗ: шляхи викрадення інформації і несанкціонованого доступу, методи захисту при передачі цифрової інформації, а також принципи передачі даних з використанням скремблера/дескремблера.

Розділ 10 – «Технологія АТМ» ознайомлює з читача з сучасною технологією передачі даних, яка забезпечує асинхронний режим передавання з великою швидкістю та гарантією високої якості передавання.

1 СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Документальний електрозв'язок

Документальний електрозв'язок (documentary telecommunication) – це вид електрозв'язку, який забезпечує передачу документальних повідомлень. До документальних повідомлень відносяться літерно-цифрові повідомлення, а також графічний та ілюстративний матеріал – рукописи, креслення, фотографії тощо.

У загальному випадку під *інформацією* розуміють сукупність відомостей про які-небудь події, явища або предмети. Для передачі або зберігання інформації використовують різні знаки, що дозволяють представити її в деякій формі. Цими символами можуть бути слова і фрази людської мови, жести та малюнки, форми коливань, математичні символи тощо. Сукупність знаків, що містять ту або іншу інформацію, називають *повідомленням*. Так, при телеграфній передачі повідомленням є текст телеграми, що являє собою послідовність окремих знаків - букв і цифр. При розмові по телефоні повідомленням є неперервна зміна в часі звукового тиску, що відображає не тільки зміст, але й інтонацію, тембр, ритм і інші властивості мови. При передачі рухомих зображень у телевізійних системах повідомлення являє собою зміну в часі яскравості елементів зображення.

Передача повідомлень (а отже, і інформації) на відстань здійснюється за допомогою якогось матеріального носія (паперу, магнітної стрічки і т.п.) або фізичного процесу (звукових або електромагнітних хвиль, струму і т.п.). Фізичний процес, що відображає передане повідомлення, називається *сигналом*.

Поняття "документальний електрозв'язок" об'єднує такі види електрозв'язку:

1. телеграфний зв'язок, за допомогою якого забезпечується передавання літерно-цифрового тексту (телеграм) і відтворення його у пункті прийому на папері;
2. передача даних;
3. факсимільний зв'язок, який дозволяє передавати нерухомі чорнобілі або кольорові зображення.

Структурна схема системи документального електрозв'язку зображена на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Структурна схема системи документального електрозв'язку

До її складу сходять такі елементи.

1. Кінцевий пристрій передачі, який перетворює повідомлення у електричні сигнали. До таких пристроїв відносяться передавальна частина телеграфного і факсимільного апаратів, трансмітери, пристрої зчитування апаратури обробки даних.

2. Перехідний або узгоджувальний пристрій, який узгоджує електричні параметрами сигналу передавача з параметрами каналу; приймальний перехідний пристрій виконує обернену операцію – узгодження сигналів, прийнятих з каналу, з параметрами вхідних кіл приймача.

3. Канал, який являє собою сукупність лінійних засобів і інших технічних пристроїв, за допомогою яких забезпечується передача інформації.

4. Пристрій комутації, який з'єднує канали для передачі інформації між кінцевими пристроями.

5. Кінцевий пристрій прийому, який перетворює прийняті сигнали у документальне повідомлення. До таких пристроїв відносяться приймальна частина телеграфного і факсимільного апаратів, пристрої запису інформації на перфострічку, пристрої виводу інформації на монітор, плотери тощо.

1.2 Загальна характеристика пристроїв введення-виведення у СДЕЗ

Пристрої введення-виведення (ПВВ) (input-output device) – це спеціалізовані технічні засоби для введення або виведення у комп'ютер і канали зв'язку дискретної і аналогової інформації з перетворенням її з однієї форми у іншу.

При введенні інформації ПВВ перетворюють інформацію, яку вводить людина або яка є записаною на носії, у цифровий або аналоговий електричний сигнал.

При виведенні ПВВ здійснюють обернене перетворення.

ПВВ для передачі цифрової інформації можна розділити на два типи: ПВВ для передачі літерно-цифрових повідомлень і ПВВ для передачі нерухомих та рухомих зображень.

Для введення-виведення інформації застосовуються такі ПВВ:

- клавіатурні пристрої введення даних;
- пристрої введення-виведення з перфоносіями;
- пристрої введення-виведення з магнітними носіями;
- друкувальні пристрої;
- пристрої введення-виведення графічної інформації;
- пристрої відображення даних;
- пристрої введення-виведення мовних повідомлень.

ПВВ дискретних повідомлень підключаються до систем передачі, комп'ютерів і каналів зв'язку за допомогою інтерфейсів введення-виведення.

Інтерфейсом називається сукупність електричних, механічних і про-

грамних засобів, які дозволяють з'єднувати між собою різні пристрої.

На рис. 1.2 зображена схема з'єднання ПВВ з каналом зв'язку.

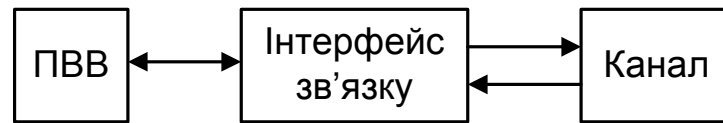


Рисунок 1.2 – Схема з'єднання ПВВ з каналом зв'язку

Складовими частинами інтерфейсу є апаратні і програмні засоби з протоколом, який описує процедуру взаємодії модулів або вузлів при обміні даними.

Апаратна частина утворюється з вузлів інтерфейсу, з'єднувачів, елементів узгодження і ліній зв'язку.

Програмне забезпечення інтерфейсу складається з програм, які забезпечують функціонування інтерфейсу і реалізують алгоритм обміну інформацією за заданим протоколом.

За способом обміну інформацією розрізняють такі види інтерфейсів:

- паралельного введення-виведення, які взаємодіють з пристроями у паралельному форматі,
- послідовного передавання, які передають і приймають інформацію послідовно.

За способом підключення ПВВ розрізняють такі види інтерфейсів:

- індивідуальні, для радіального підключення,
- групові, для магістрального підключення.

Різноманітні кінцеві пристрої передачі дискретних повідомлень можна подати за допомогою узагальненої структурної схеми (рис.1.3).

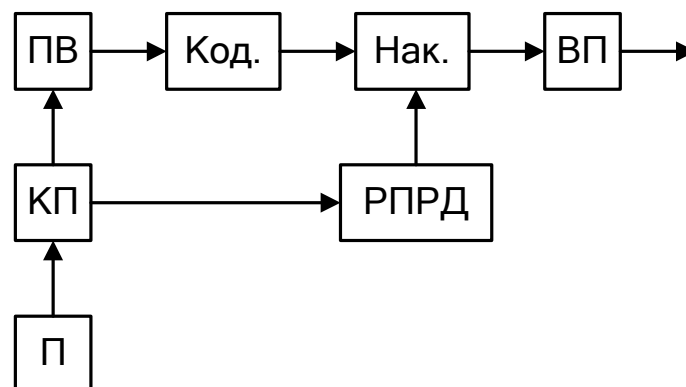


Рисунок 1.3 – Кінцевий пристрій передачі

Кінцевий пристрій передачі здійснює перетворення символів та команд у кодову комбінацію.

У ході перетворення пристрій перетворення виконує такі операції:

1. Введення символу, який необхідно передати;
2. Кодування символу первинним кодом;
3. Включення елементів синхронізації і службових елементів;

4. Послідовна передача кодової комбінації у канал.

Пристрій передачі складається з пристрою введення (ПВ), вихідного пристрою (ВП), пристрою кодування (Код.), накопичувача передачі (Нак.), керуючого пристрою (КП), розподільника передачі (РПРД) і приводу (П).

Пристрій введення застосовується для введення дискретної інформації. Для більшості кінцевих пристроїв це клавіатура.

Пристрій кодування використовується для перетворення електричних сигналів у двійкову послідовність кодових комбінацій.

Накопичувач передачі застосовується для запам'ятовування закодованої інформації протягом всього часу передачі. У більшості випадків інформація зберігається у паралельному вигляді.

Розподільник передачі використовується для перетворення комбінації паралельного коду, записаної у накопичувачі, у комбінацію послідовного коду. За один цикл роботи розподільника інформація зчитується у канал у вигляді електричних сигналів.

Пристрій керування визначає характер роботи розподільника передачі (синхронний або асинхронний, ритмічний або неритмічний).

Привід – це мотор або генератор тактових імпульсів.

Вихідний пристрій узгоджує параметри передавача з параметрами каналу.

Кінцевий пристрій прийому можна зобразити у вигляді структури (рис.1.4)

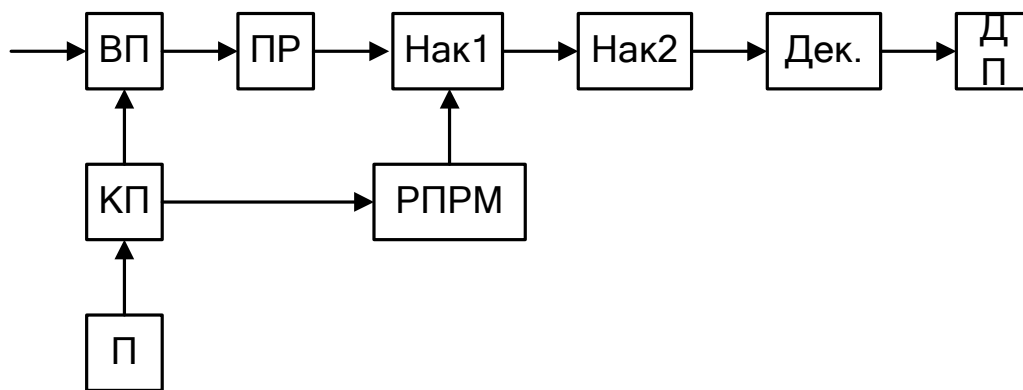


Рисунок 1.4 – Кінцевий пристрій прийому

Кінцевий пристрій прийому використовується для перетворення кодових комбінацій, які поступають з каналу, у певні символи, які записуються на носій.

У ході перетворення пристрій прийому виконує такі операції:

1. Прийом електричних сигналів і перетворення їх у вигляд, зручний для подальшої обробки;
2. Ділення прийнятої імпульсної послідовності на окремі кодові комбінації;
3. Виділення інформаційної частини;
4. Реєстрація кожного окремого елемента кодової комбінації;

5. Декодування і відображення прийнятих символів на носії.

Пристрій прийому складається з вхідного пристрою (ВП), пристрою реєстрації (ПР), накопичувачів прийому (Нак1, Нак2), пристрою декодування (Дек.), друкуючого пристрою (ДП), керуючого пристрою (КП), розподільника прийому (РПРМ) і приводу (П).

Вхідний пристрій перетворює електричні сигнали у вигляд, зручний для роботи приймача.

Пристрій реєстрації здійснює реєстрацію кожного елемента кодової комбінації.

Дешифратор перетворює кодові комбінації у повідомлення.

Пристрій друкування відображає прийняте повідомлення.

Розподільник прийому використовується для керування роботою пристрою реєстрації і накопичувачів, перетворює послідовний код у паралельний.

Пристрій керування визначає характер роботи розподільника передачі.

Привод – це мотор або генератор тактових імпульсів.

1.3 Математичні моделі повідомлень

1.3.1 Математична модель неперервного повідомлення

Для відтворення аналогових повідомлень у приймачі необхідно визначити критерій правильності відтворення повідомлення і встановити умову збереження середньої величини його спотворення $D(C, C^*)$ нижче деякого рівня ε .

При відомому розподіленні $P(C, C^*)$ повідомлення і його оцінки усереднена за всіма можливими реалізаціями $c(t)$ і $c^*(t)$ величина спотворення

$$D(C, C^*) = \int_C \int_{C^*} d(C, C^*) P(C, C^*) dC dC^*, \quad (1.1)$$

де інтегрування ведеться по простору повідомлення і його оцінки.

У випадку аналогових повідомлень імовірнісний опис замінюється n -вимірною щільністю розподілення ймовірностей *випадкового процесу* (random process) $C(t)$

$$f_{t_1, \dots, t_n}(x_1, \dots, x_n) = [\partial F_{t_1, \dots, t_n}(x_1, \dots, x_n)] / (\partial x_1, \dots, \partial x_n),$$

зміст якої – відношення ймовірності потрапляння векторної випадкової величини C у n -вимірний паралелепіпед $\Pi = \{(x_i, x_i + dx_i), i = \overline{1, n}\}$ до об'єму цього паралелепіпеда.

Статистичні характеристики випадкового процесу: *математичне сподівання* (mathematical expectation), *дисперсія* (dispersion) і *кореляційна функція* (correlation function) визначаються шляхом усереднення по ансамблю

реалізацією випадкового процесу:

$$m_c(t) = M[C(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} x f_t(x) dx,$$

$$D_c(t) = M\{[C(t) - m_c(t)]^2\} = \int_{-\infty}^{+\infty} (x(t) - m_c(t))^2 f_t(x) dx,$$

$$R_c(t_1, t_2) = M\{[C(t_1) - m_c(t_1)][C(t_2) - m_c(t_2)]\} =$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (x(t_1) - m_c(t_1))(x(t_2) - m_c(t_2)) f_{t_1 t_2}(x_1, x_2) dx_1 dx_2.$$

Для стаціонарного випадкового процесу математичне сподівання і дисперсія не залежать від часу.

Іншою характеристикою стаціонарного випадкового процесу є спектральна густина, що являє собою перетворення Фур'є кореляційної функції стаціонарного випадкового процесу з нульовим математичним сподіванням

$$G_c(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_c(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau = F(R_c(t))$$

і несе інформацію про розподілення потужності стаціонарного випадкового процесу по частотному діапазону.

На практиці як моделі повідомлень у каналах електрозв'язку використовуються випадкові процеси, які повністю визначаються своїми щільностями ймовірностей. До них належать випадковий процес з незалежними значеннями і гаусів випадковий процес.

Випадковий процес з незалежними значеннями ("білий шум") повністю визначається своєю одновимірною щільністю $f_t(x)$. Його кореляційна функція $R(\tau) = D\delta(\tau)$, де $\delta(\tau)$ – δ -функція.

Гаусів випадковий процес задається математичним сподіванням $m_c(t)$ і кореляційною функцією $R_c(t_1, t_2)$. Його багатовимірна щільність

$$f_{t_1, \dots, t_n}(x_1, \dots, x_n) = (2\pi)^{-\frac{n}{2}} [\det R]^{-\frac{1}{2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_{ij} [x_i - m_i] [x_j - m_j] \right\}$$

,

де $m_i = m_c(t_i)$, $V = [v_{ij}]$ – матриця, обернена до кореляційної матриці $R = [R_c(t_i, t_j)]$, $\det R$ – детермінант матриці R .

Для визначення кількості інформації у аналоговому повідомленні необхідно мати на увазі, що точне відтворення його оцінки C^* на боці одержувача є неможливим через різні фактори на відміну від дискретних повідомлень.

З врахуванням (1.1) для середньої величини спотворень середня кількість взаємної інформації між ансамблем реалізацій повідомлення C і ансамблем його оцінки C^* визначається виразом

$$I_T(C, C^*) = \int \int_C W(C, C^*) \log \frac{W(C, C^*)}{W(C)W(C^*)} dC dC^*,$$

де інтегрування проводиться по простору повідомлення і його оцінки.

Мінімальна кількість інформації у бітах, по якій можна відновити з вірністю ε , називається ε -ентропією повідомлення при обмеженні ε , тобто

$$H_\varepsilon(C) = \inf_{W(C^*/C)} I_T(C, C^*),$$

де нижня грань береться за всіма можливими умовними щільностями ймовірності оцінки $W(C^*, C) = W(C, C^*)/W(C)$.

1.3.2 Математична модель дискретного повідомлення

Повідомлення системи зв'язку можна подати у вигляді випадкового процесу, який визначається як набір випадкових величин $\{C(t), t \in T\}$, де t – дискретний або неперервний параметр; T – область його зміни. Передачі підлягає деяка вибіркова функція $c(t, \omega)$ випадкового процесу $C(t)$, де ω – елементарна подія у просторі Ω , причому ступінь ймовірності $P(\Omega) = 1$. Повним статистичним описом випадкового процесу є розподілення ймовірностей

$$F_{t_1, \dots, t_n}(B_1, \dots, B_n) = P\{c(t_1) \in B_1, \dots; c(t_n) \in B_n\}$$

для будь-якого кінцевого n , де $B_i \in B_0$ – область можливих значень випадкової величини $C(t_i)$; B_0 – область можливих значень процесу $C(t)$; $t_1, \dots, t_n \in T$.

У більшості випадків $B_i = (-\infty, x_i)$, де x_i – будь-яке дійсне число з області B_0 . У цьому випадку n -вимірна функція розподілення ймовірностей має вигляд

$$F_{t_1, \dots, t_n}(x_1, \dots, x_n) = P\{C(t_1) < x_1, \dots; C(t_n) < x_n\}.$$

Моделлю дискретного повідомлення є послідовність незалежних однаково розподілених випадкових величин $\{C_i\}$, які приймають значення у кінцевому алфавіті $A = \{a_1, \dots, a_K\}$ потужністю $|A| = K$ з ймовірностями $p_k = P(a_k)$, $k = \overline{1, K}$. Відповідне дискретне джерело називається K -тим дискретним джерелом без пам'яті. Величини c_i , які називаються символами або літерами, з'являються на виході такого джерела через одиницю T_0

дискретного часу, і за кінцевий час послідовність $C = \{c_i\}$, $i = \overline{1, I}$ буде скінченною. Ймовірність появи повідомлення $C = c_1, c_2, \dots, c_I$ на виході дорівнює $p(C) = \prod_{k=1}^I P(c_k) = \prod_{k=1}^I p_i^{r_i}$, де $P(a_k) = p_i$ при $c_i = a_k$, а вектор $r = (r_1, \dots, r_l)$ визначає число входження різних символів у повідомлення C . Кожен символ джерела містить таку кількість інформації:

$$I(a_k) = -\log_2 P(a_k) \text{ біт.}$$

Середня кількість інформації на символ

$$H(A) = \sum_{k=1}^K P(a_k) I(a_k) = -\sum_{k=1}^K P(a_k) \log_2 P(a_k) = \sum_{k=1}^K P(a_k) \log_2 [1/P(a_k)]$$

$H(A)$ називають ентропією джерела (source entropy). Ентропія досягає максимуму при рівноймовірних символах, тобто при $P(a_k) = 1/K$

$$H_{\max}(A) = \log_2 K.$$

При наявності імовірнісної залежності між символами повний статистичний опис дискретного джерела задається ймовірностями

$P(C) = P(a_{j+1}, \dots, a_{j+l}) = P(a_{j+1})P(a_{j+2} | a_{j+1}) \dots P(a_{j+l} | a_{j+l-1}, \dots, a_{j+1})$, де $P(a_{j+l} | a_{j+l-1}, \dots, a_{j+1})$ – умовна ймовірність появи на виході джерела символу a_{j+l} при умові, що попередні символи набули значення $a_{j+1}, \dots, a_{j+l-1}$. Вказані ймовірності повинні бути визначені для всіх l послідовностей і всіх початкових моментів j .

Повідомлення джерела $\{C_i\}$ у цьому випадку являє собою дискретний випадковий процес. Він буде стаціонарним, якщо його імовірнісний опис не залежить від початку відліку часу, тобто від j .

Ентропія на символ такого дискретного джерела з пам'яттю для скінченної послідовності $C = \{C_i\}_{i=1}^I$ дорівнює

$$H(A) = \frac{1}{I} \sum_C P_I(C) \log_2 [1/P_I(C)],$$

де додавання проводиться по всіх можливих послідовностях C . Для K -го алфавіту число таких послідовностей довжини I дорівнює K^I .

1.4 Характеристики дискретних каналів

Основними характеристиками дискретного каналу є
– швидкість модуляції B , бод;

- швидкість передачі інформації C , біт/с;
- пропускна здатність каналу $C_{\max}$, біт/с;
- вірність передачі інформації.

Швидкість модуляції вимірюється у бодах

$$B = \frac{1}{T},$$

де T – тривалість одиничного інтервалу.

Швидкість передачі інформації:

$$C = \frac{\log_2 m}{T} \text{ (біт/с)},$$

де m – кількість позицій сигналу.

Пропускною здатністю (traffic capacity) дискретного каналу називається найбільша кількість інформації, яка передається за одиницю часу.

Її величина визначається шириною смуги частот каналу ΔF , відношенням сигнал/шум і типом модуляції.

Ширина каналу ΔF визначає тривалість наростання перехідного процесу при модуляції якого-небудь параметра несучого коливання: АМ, ЧМ, ФМ, тобто час встановлення сигналу на виході $\tau_{nn} = 1/\Delta F$. Тривалість одного одиничного елемента $\tau_0 \geq \tau_{nn}$.

Якщо передача відбувається з однією бічною смугою, то

$$\tau_{nn} = 1/2\Delta F.$$

Тоді, для каналу з двома бічними смугами $B_{\max} = \Delta F$, а для каналу з однією бічною смугою $B_{\max} = 2\Delta F$.

Тому пропускна здатність двійкового дискретного каналу з однією смугою при відсутності завад $C_{\max} = 2\Delta F$ біт/с, а каналу з двома смугами $C_{\max} = B_{\max} = \Delta F$ біт/с.

Через наявність завад пропускна здатність каналу зменшується і визначається таким чином:

$$C_{\max} = \Delta F \log_2 \left(1 + \frac{P_{\tilde{n}}}{P_{\varsigma}} \right) \text{ (біт/с)},$$

де P_{ς} – потужність сигналу,

$P_{\tilde{n}}$ – потужність завади.

У випадку, коли продуктивність джерела інформації значно менша за пропускну здатність каналу, тобто $C_{\kappa} \gg H_{\text{дж}}$, то з метою покращення використання каналу по ньому одночасно передають повідомлення від декількох джерел. При цьому

$$C_{\kappa} \approx H = \sum_{i=1}^k H_i,$$

де k – кількість джерел інформації,

H_i – ентропія одного джерела.

Для двійкових симетричних каналів максимальна швидкість передачі інформації визначається так

$$C_{\max} = B \left[1 - P_0 \log_2 \frac{1}{P_0} - (1 - P_0) \log_2 \frac{1}{1 - P_0} \right],$$

де P_0 – ймовірність помилки при прийомі одиничного сигналу.

Правильність передачі інформації характеризує якість передачі, тобто ступінь відповідності отриманого дискретного повідомлення переданому.

Правильність передачі оцінюється коефіцієнтом помилок, тобто відношенням числа помилково прийнятих одиничних елементів до загального числа елементів, переданих за час вимірювання T :

$$K_{\text{ном}} = \frac{n_{\text{ном}}}{n_{\text{пер}}}.$$

При необмеженому часі вимірювання $T \rightarrow \infty$ визначається ймовірність помилки

$$P_0 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{n_{\text{ном}}}{n_{\text{пер}}}.$$

Питання для самоперевірки

1. Назвіть складові частини системи передачі документальної інформації.
2. Призначення кінцевого пристрою прийому.
3. Які повідомлення називають документальними?
4. Що таке правильність передачі інформації?
5. Назвіть складові частини інтерфейсу.
6. Розрахуйте швидкість передачі двійкової інформації при тривалості одиничного інтервалу 1мкс.
7. Розрахуйте швидкість модуляції при тривалості одиничного інтервалу 0,3мкс.
8. Які види електрозв'язку відносяться до документального?
9. Яка різниця між поняттями «інформація» та «повідомлення»?
10. Як описується дискретне повідомлення за допомогою математичних моделей?

2 ТЕЛЕГРАФНИЙ ЗВ'ЯЗОК

У системах *телеграфного зв'язку* (telegraphy) інформація передається кодовими комбінаціями, які являють собою послідовність одиничних елементів. Якщо кожна кодова комбінація має однакову кількість елементів, то код називається *рівномірним*, якщо різну, то *нерівномірним*. Також код може бути двійковим або багатопозиційним.

У телеграфних системах застосовуються стандартні первинні коди, наприклад Міжнародний стандартний код МТК. Також використовується код Морзе.

Методи телеграфування: постійним струмом або змінним струмом, синхронне або стартоstopне, симплексне або дуплексне.

При телеграфуванні постійним струмом використовують однополюсне або двополюсне телеграфування. При однополюсному телеграфуванні для передачі інформації застосовують однополярні імпульси і паузи, при двополюсному – імпульси двох полярностей. Такий тип телеграфування застосовується при передачі повідомлень по фізичних лініях зв'язку.

При телеграфуванні змінним струмом застосовують амплітудну, частотну або фазову модуляції. Такий тип телеграфування застосовується при передачі повідомлень по каналах тональної частоти.

При синхронному телеграфуванні у інформацію вводяться синхронізуючі і синфанізуючі імпульси.

При стартоstopному кодуванні у кодову комбінацію вводяться стартовий та стоповий одиничні елементи.

При симплексному телеграфуванні передача ведеться спочатку у одну, а потім у іншу сторону.

При дуплексному телеграфуванні одночасно проводиться і передача, і прийом сигналів.

При телеграфуванні використовують частотне, часове або частотно-часове розділення каналів.

Телеграфні канали створюються по фізичних лініях зв'язку і по каналах тональної частоти багатоканальних систем передач, які працюють по провідних повітряних і кабельних лініях зв'язку, по короткохвилових, радіорелейних, тропосферних, іоносферних та супутникових лініях радіозв'язку.

Мережа телеграфного зв'язку включає:

- мережу загального користування, яка призначена для обміну телеграфними повідомленнями населення через кінцеві пункти Міністерства зв'язку;

- мережу абонентського телеграфування, яка призначена для обміну повідомленнями між абонентами шляхом встановлення безпосередніх зв'язків між ними за допомогою кінцевих абонентських установок;

- міжнародну мережу абонентського телеграфування “Телекс”;

– мережу орендованих каналів.

Мережа телеграфного зв'язку будується за радіально-вузловим принципом з розділенням на зони. Головний вузол розташовується у великих містах. Головні вузли з'єднуються між собою, з обласними вузлами своєї зони і з деяким обласними вузлами сусідніх зон. Обласні вузли розташовуються у обласних центрах і з'єднуються з головним вузлом своєї зони, з деякими головними вузлами сусідніх зон, а також з обласними вузлами своєї зони. Кінцевими пунктами мережі загального користування є міські відділення зв'язку і районні вузли, у які включаються декілька відділень зв'язку. Кінцевими пунктами мережі абонентського телеграфування є абонентські телеграфні установки.

2.1 Структура та функціонування передавача телеграфного апарата

Передавач *телеграфного апарата* (telegraph) складається із таких функціональних вузлів (рис. 2.1): *клавіатури* (keyboard), пристрою кодування, який називається *шифратор* (encipher), *розподільника* (allocator), *вихідного пристрою* (output device), *стартостопного пристрою* (start-stop apparatus) та *привода* (actuator). Окрім того, до складу передавача можуть входити *автовідповідач* (automatic answering machine), *трансмітер* (transmitter) та *автостоп* (automatic stop).

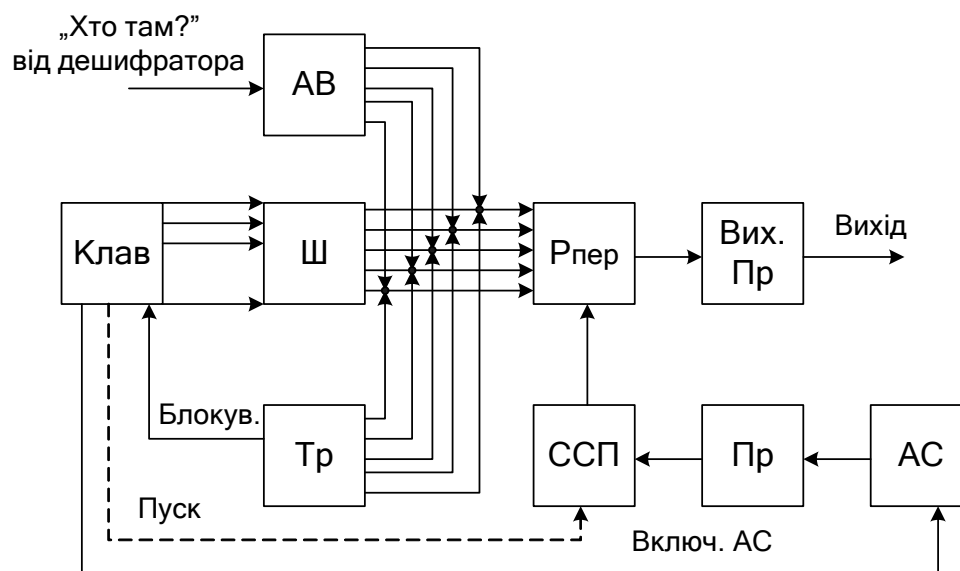


Рисунок 2.1 – Передавач телеграфного апарата

Клавіатура (Клав) призначена для введення інформації, яку необхідно передати. При натисканні оператором якої-небудь клавіші на одному з C виходів клавіатури ($C = 2^n$) з'являється сигнал. Окрім того, у стартостопних апаратах натискання будь-якої клавіші викликає запуск розподільника

передачі. Оскільки код апарата зазвичай є дво- або трирегістровим, частина клавіш використовується для передавання двох або трьох знаків.

Шифратор (Ш) виконує функцію кодування знаків, що передаються. Для цього у його пам'ять закладена кодова таблиця коду, який застосовується у апараті. Залежно від того, на який з C входів шифратора надходить сигнал з клавіатури, на його p -ти виходах з'явиться певна кодова комбінація. У більшості апаратів на виходах шифратора комбінація виникає у паралельному вигляді, тобто сигнали на всіх виходах з'являються одночасно.

Розподільник передачі (Рпер) використовується для перетворення паралельної кодової комбінації у послідовну, тобто виконує почергове передавання елементів комбінації. Він працює у сукупності зі *стартостопним пристроєм* (ССП), за допомогою якого визначаються часові параметри розподільника (швидкість і фаза). За цикл роботи $T_{\text{пер}}$ розподільника на його виході послідовно з'являються елементи комбінації тривалістю t_0 кожний. Вихідне положення розподільника є стоповим; у ньому він знаходиться до початку передачі комбінації.

Вихідний пристрій (Вих. пр) під керуванням розподільника формує електричні двійкові сигнали, які потім передаються у канал. Зазвичай телеграфні апарати працюють з однополюсними сигналами постійного струму. Напруга лінійних сигналів встановлюється у межах від 80 до 120 В при струмові 40–50 мА. Вихідним пристроєм електромеханічного апарата зазвичай є контактна система, яка замикає та розмикає лінійне коло.

Привод (Пр) використовується для приведення у рух всіх вузлів телеграфного апарата.

Трансмітер (Тр) являє собою автоматичний пристрій для введення інформації і зчитування кодових комбінацій, записаних на перфострічку. Елемент кодової комбінації, що позначає одиницю, записується на перфострічку у вигляді круглого отвору, а елемент, що позначає нуль – у вигляді відсутності отвору. При передачі з трансмітера клавіатура блокується, щоб випадкове натиснення клавіші не завадило передачі.

Автовідповідач (АВ) використовується для автоматичної передачі заданого тексту за запитом з протилежного апарата. Довжина тексту – близько 20 знаків, включаючи знаки пропуску і регістрів. Зазвичай текст являє собою скорочену назву установи зв'язку. Автовідповідачем користуються на комутованих телеграфних зв'язках для перевірки зі сторони викликаючої станції правильності встановлення з'єднання.

Введення інформації з трансмітера і автовідповідача є синхронним. На час передавання автовідповіді або перфострічки розподільник передачі працює безперервно у стоповому положенні і передає комбінації одну за другою без інтервалів. Але до складу кожної комбінації включаються стартовий та стоповий елементи для фазування приймача.

Автостоп (АС) використовується для автоматичного вимикання двигуна приводу, якщо передача або прийом не проводяться більше однієї хвилини. Зворотнє вмикання двигуна виконується або натисканням будь-якої клавіші передавача, або при прийомі стартового елемента з лінії.

2.2 Структура та функціонування приймача телеграфного апарата

Приймач телеграфного апарата складається із таких функціональних вузлів (рис. 2.2): *вхідного пристрою* (input device), *пристрою набору* (pattern apparatus), декодувального пристрою, який називається *дешифратором* (decipher), розподільника прийому, *друкувального пристрою* (printer), *реперфоратора* (reperforator), стартостопного пристрою, *регістрового механізму* (register apparatus) та приводу. У апаратах деяких типів також встановлюється *дзвінок* (bell).

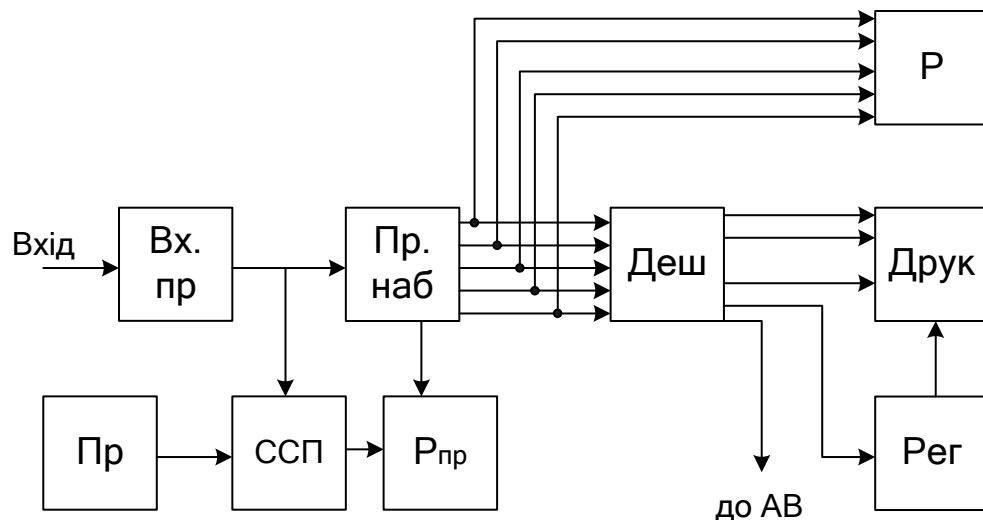


Рисунок 2.2 – Приймач телеграфного апарата

Вхідний пристрій (Вх. пр) використовується для перетворення прийманих двійкових сигналів постійного струму у механічне переміщення деталей вхідного пристрою. Одночасно у вхідному пристрої проводиться виділення сигналів фазування для керування роботою розподільника прийому: виділяється момент переходу від стопової значущої позиції до стартової, що називається стопстартним переходом. Сигнал, який відповідає стопстартному переходу, надходить на стартостопний пристрій (ССП), який запускає розподільник прийому. Стопування розподільника у кінці циклу прийому відбувається стоповою значущою позицією, що також виділяється вхідним пристроєм.

Пристрій набору (Пр. наб) призначений для реєстрації інформаційних елементів комбінації. Спосіб реєстрації – вибіркового, тобто кожен елемент

записується у свою власну комірку пам'яті, де зберігається до закінчення прийому всієї комбінації. Розподілення прийманих елементів по комірках пам'яті пристрою набору здійснює *розподільник прийому* (Рпр). Ця операція обернена до операції, яка відбувається у розподільнику передачі, тобто тут послідовна у часі кодова комбінація перетворюється у паралельну.

З п'яти виходів пристрою набору паралельна комбінація надходить на входи *дешифратора* (Деш), призначення якого – визначити відповідність прийнятої комбінації певному символі. Якщо прийнята регістрова комбінація, то дешифратор посилає у *регістровий пристрій* (Рег) сигнал переключення друку на потрібну групу символів. Окремо виділяється комбінація «Хто там?», яка посилається у автовідповідач, а також комбінації пропуску та переведення рядка. У апаратах деяких типів є два дешифратори: основний, який дешифрує друковані комбінації, та функціональний, який дешифрує службові комбінації.

Друкувальний пристрій (Друк) за сигналом від дешифратора друкує дешифрований символ на паперовий носій. До складу друкувального пристрою входять механізми переміщення носія в міру друкування знаків.

Окрім того, прийняті комбінації можуть фіксуватися на перфострічці. Цю функцію виконує *реперфоратор* (Р), який записує на перфострічку не самі символи, а їх кодові комбінації у вигляді поєднання отворів. Тому на вхід реперфоратора комбінація подається з пристрою набору, оминаючи дешифратор.

2.3 Параметри телеграфних апаратів

Якість роботи і експлуатаційні можливості кінцевих пристроїв передачі і прийому характеризуються такими параметрами.

Швидкість передачі інформації:

$$C = \frac{\log_2 m}{T} \text{ (біт/с)},$$

де m – кількість позицій сигналу; T – тривалість одиничного інтервалу.

У телеграфній мережі прийнята швидкість $50 \text{ біт} / \text{с}$.

Швидкість модуляції, або швидкість телеграфування, представляє собою кількість одиничних елементів двійкового сигналу, які передаються за секунду. Швидкість модуляції вимірюється у бодах і є величиною, оберненою до тривалості одиничного елемента t_0 , тобто $\nu = 1/t_0$. Для сучасних апаратів МККТТ рекомендує три значення швидкості модуляції: 50; 100 і 200 бод. Стандартизація швидкості модуляції дозволяє використовувати у мережі телеграфні апарати різних систем.

Пропускна здатність (data throughput) залежить від швидкості модуляції і являє собою кількість знаків, які можна передати за одну хвилину. Пропускна здатність визначається з такого співвідношення:

$$R = \frac{v \cdot 60}{n_{\text{заг}}},$$

де $n_{\text{заг}}$ — загальна кількість одиничних елементів, яка витрачається на передачу одного знаку. Якщо передача проводиться п'ятиелементним кодом, а для фазування обрано стартоstopний метод, то $n_{\text{заг}} = 7,5$, оскільки, окрім п'яти інформаційних елементів комбінації, у цьому випадку передаються стартовий і стоповий елементи, тривалість яких у півтора раза більша за тривалість інших елементів. Тобто, повний цикл передачі знаку триває $7,5t_0$.

Продуктивність апаратів (efficiency) вимірюється кількістю слів, які передаються за годину. Якщо вважати, що середня довжина слова у українському телеграфному тексті дорівнює 8,5 знака, то теоретична, тобто максимально можлива, продуктивність апарата дорівнює:

$$Q_T = \frac{R \cdot 60}{8,5} = \frac{v \cdot 3600}{8,5n_{\text{заг}}}.$$

Експлуатаційна продуктивність телеграфного апарата, тобто продуктивність в умовах експлуатації, менша теоретичної, оскільки частина часу витрачається на допоміжні операції (реєстрацію телеграм у апаратному журналі, виправлення тощо):

$$Q_e \approx 0,6Q_T.$$

Правильність телеграфного зв'язку характеризує якість передачі, тобто ступінь відповідності прийнятого повідомлення переданому. Кількісно цей показник характеризується ймовірністю помилки по одиничних елементах:

$$p_{\text{ном}} = \lim_{n_{\text{пер}} \rightarrow \infty} \frac{n_{\text{ном}}}{n_{\text{пер}}},$$

де $n_{\text{ном}}$ — кількість одиничних елементів, прийнятих і зареєстрованих з помилкою; $n_{\text{пер}}$ — загальна кількість переданих елементів. Оскільки виконати умову $n_{\text{пер}} \rightarrow \infty$ на практиці неможливо, використовують показник правильності, який називається *коефіцієнтом помилок* $K_{\text{ном}}$. Це середнє значення відношення кількості помилкових елементів до загальної кількості елементів, переданих за сеанс вимірювань скінченної тривалості. З достатньою для практичних цілей точністю при великих $n_{\text{пер}}$ можна вважати, що $K_{\text{ном}} \approx p_{\text{ном}}$.

Окрім того, для оцінки якості телеграфування також використовують коефіцієнт помилки по знаках (кодовим комбінаціям). У цьому випадку величини $n_{\text{ном}}$ і $n_{\text{пер}}$ виражаються кількістю знаків — помилкових і всього переданих, відповідно. Величина коефіцієнта помилок нормується. За рекомендацією МККТТ коефіцієнт помилок по знаках не повинен перевищу-

вати $K_{ном} = 3 \cdot 10^{-5}$. Це означає, що на 100 000 переданих знаків допускається не більше трьох помилок, причому допустимі помилки повинні розподілятися по одній між передавачем, каналом і приймачем телеграфного апарата.

Спотворення кінцевого передавача $\delta_{пер}$ являють собою величину крайових спотворень двійкових сигналів постійного струму на виході передавача. За характером ці спотворення найчастіше є регулярними. Їх причиною можуть бути різні похибки у роботі вихідного пристрою передавача, наприклад, неправильне регулювання контактних систем електромеханічних телеграфних апаратів і трансмітерів. За діючими нормами величина $\delta_{пер}$ не повинна перевищувати 5% для електромеханічних передавачів і 3% для електронних.

Виправна здатність (margin) кінцевого приймача характеризує його здатність протидіяти спотворенням прийманих двійкових сигналів. Кількісно виправна здатність приймача дорівнює тій максимальній величині крайових спотворень, при якій ще можливий правильний прийом інформації.

Надійність (reliability) кінцевих пристроїв передачі дискретної інформації – це здатність кінцевого пристрою передавати (приймати) дискретну інформацію із заданою швидкістю і правильністю протягом заданого часу. Кількісно надійність характеризується:

а) середнім часом напрацювання на відмову T_n кінцевого пристрою, тобто середнім часом справної роботи між двома сумісними відмовами:

$$T_n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i,$$

де T_i – час справної роботи між i та $i-1$ відмовами; N – загальна кількість відмов за період спостережень;

б) коефіцієнтом готовності K_z кінцевого пристрою:

$$K_z = \frac{T_n}{T_n + T_г},$$

де $T_г$ – середній час відновлення після відмови або тривалість відмови.

Коефіцієнт готовності – це ймовірність того, що кінцевий пристрій буде знаходитися у справному стані у будь-який момент часу. Коефіцієнт готовності залежить не лише від кількості відмов, але і від того, наскільки швидко ці відмови будуть усунені.

2.4 Телеграфний сигнал

Первинні телеграфні сигнали і сигнали передачі даних мають вигляд послідовностей двополярних або однополярних прямокутних імпульсів.

Ймовірність появи додатних $p(+A)$ і від'ємних $p(-A)$ імпульсів, а також статистичні зв'язки між імпульсами визначаються властивостями джерела інформації. У більшості випадків $p(+A) = p(-A) = 0,5$ і імпульси послідовності статистично незалежні. Енергетичний спектр такого сигналу визначається виразом:

$$G(\omega) = A^2 \frac{\tau}{\pi} \left(\frac{\sin(\omega\tau/2)}{\omega\tau/2} \right)^2. \quad (2.1)$$

Враховуючи, що $\omega = 2\pi f$, $\tau = \frac{1}{F_T}$ і позначаючи нормований спектр $G\left(\frac{f}{F_T}\right) \frac{\pi}{A^2} \frac{1}{\tau}$ через $G_H\left(\frac{f}{F_T}\right)$, отримуємо:

$$G_H\left(\frac{f}{F_T}\right) = \left(\frac{\sin \pi \frac{f}{F_T}}{\pi \frac{f}{F_T}} \right)^2.$$

Згідно з виразом (2.1) для неспотвореної передачі послідовності прямокутних імпульсів необхідна нескінченно широка смуга частот, оскільки спектральна щільність сигналу не дорівнює нулю на всій осі частот. Але для відновлення отриманої інформації достатньо зафіксувати знак імпульсу при двополярному сигналі або наявність чи відсутність імпульсу при однополярному сигналі. Для цього потрібно визначити мінімальну смугу частот ΔF , необхідну для передачі телеграфного сигналу.

Нехай на вхід ідеального фільтра нижніх частот з частотною характеристикою

$$K(\omega) = \begin{cases} 1 & \text{і } \omega < \omega_c \\ 0 & \text{і } \omega > \omega_c \end{cases} \quad (2.2)$$

подається послідовність з двох прямокутних імпульсів (рис.2.3). Сигнал $a(t)$ можна записати аналітично:

$$a(t) = \sigma(t) - \sigma(t - \tau) + \sigma(t - 2\tau) - \sigma(t - 3\tau),$$

де σ – одинична функція:

$$\sigma(t) = \begin{cases} 0 & \text{і } t < 0 \\ 1 & \text{і } t > 0 \end{cases}. \quad (2.3)$$

Сигнал на виході ідеального фільтра з частотною характеристикою (2.2) при подачі на його вхід одиничного імпульсу (2.3) визначається так

$$h(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \sin \omega t, \quad (2.4)$$

де $\text{si}z = \int_0^z \frac{\sin x}{x} dx$ – інтегральний синус. Застосовуючи принцип суперпозиції, з виразів (2.3, 2.4) знаходимо сигнал на виході ідеального фільтра

$$a(t) = \frac{1}{\pi} [\text{si}\omega_c t - \text{si}\omega_c(t - \tau) + \text{si}\omega_c(t - 2\tau) - \text{si}\omega_c(t - 3\tau)].$$

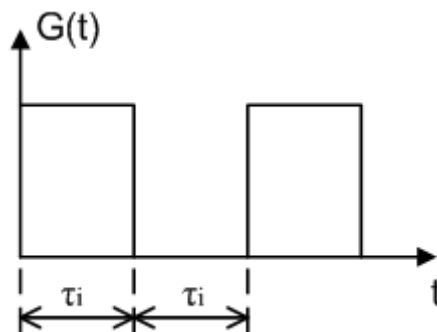


Рисунок 2.3 – Послідовність імпульсів телеграфного сигналу

На рис. 2.4 подані графіки функцій $a_2(t)$, побудовані за формулою (2.5) при різних значеннях частоти зрізу ω_c .

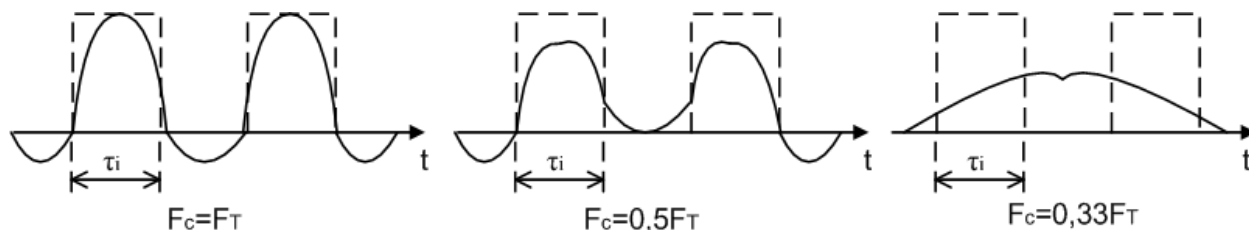


Рисунок 2.4 – Форми сигналів на виході фільтра нижніх частот

Наявність або відсутність імпульсів на виході ідеального фільтра нижніх частот з частотою зрізу $f_c = \frac{\omega_c}{2\pi}$ можна зафіксувати при

$$f_c = \frac{1}{2\tau} = \frac{F_T}{2} = \frac{B}{2}.$$

Таким чином, якщо частотні характеристики каналу зв'язку наближаються до характеристик ідеального фільтра низької частоти, то ефективна смуга частот двійкового сигналу складає $\Delta F = 0,5 F_T$. При наявності частотних спотворень у реальних каналах доводиться дещо розширювати смугу частот. Найчастіше $\Delta F = F_T = B$.

2.5 Мережі телеграфного зв'язку

Телеграфна мережа України складається з таких трьох комутованих мереж:

1. Загального користування (ЗК), по якій передаються телеграми, прийняті в міських відділеннях зв'язку, районних вузлах зв'язку або безпосередньо на телеграфних вузлах і доставляються адресатам (установам, підприємствам, приватним особам);
2. Абонентського телеграфування (АТ), по якій передаються телеграми або організуються телеграфні переговори між встановленими у абонентів цієї мережі кінцевими абонентськими установками;
3. Міжнародного абонентського телеграфування "Телекс", по якій передаються телеграми або організуються телеграфні переговори між кінцевими установками абонентів цієї мережі, які знаходяться у нашій країні і за кордоном.

Окрім перерахованих, до складу телеграфної мережі країни входить некомутаційна мережа орендованих каналів.

Мережа загального користування. Мережа загального користування передбачає організацію по всій країні відділень зв'язку, куди відправники здають телеграми і які забезпечують доставку телеграм безпосередньо одержувачеві. Телеграма може бути адресована у будь-який населений пункт країни, де є відділення або вузол зв'язку.

Телеграфна мережа загального користування пройшла великий шлях розвитку і на різних його етапах базувалася на принципах комутації каналів (КК), комутації повідомлень (КП) і їх поєднанні. У перспективі на мережі ЗК будуть використовуватися тільки методи, засновані на комутації з накопиченням інформації (комутація повідомлень і комутація пакетів).

Комбіновані мережі залежно від того, який метод комутації відіграє головну роль, називаються мережами з КК + КП або КП + КК. Метод КК + КП донедавна широко використовувався на телеграфних мережах загального користування. Він полягає у наданні тому або іншому відділенню зв'язку (ВЗ) тимчасового прямого з'єднання через вузли комутації каналів з іншими відділеннями зв'язку. Схема телеграфного зв'язку за системою ВЗ наведена на рис. 2.5. Телеграфні ВЗ підключаються місцевими сполучними лініями до найближчих вузлів комутації, що з'єднуються один з одним пучками магістральних каналів. Телеграфні апарати кінцевих пунктів підключаються до викличних приладів (ВП), що забезпечують посилення на вузол сигналів виклику, набору номера, відбою, а також здійснюють автоматичні включення і відключення телеграфного апарата відповідно до сигналів, що надходять від вузла.

Для передачі телеграми за системою ВЗ телеграфіст одного кінцевого пункту набирає на викличному приладі номер викликуваного кінцевого пункту, у результаті чого комутаційні прилади вузлів автоматично встано-

включають необхідне з'єднання каналів між цими пунктами. З трансмітера першого кінцевого пункту здійснюється автоматичне передавання попередньо перфорованих телеграм, прийнятих апаратом іншого кінцевого пункту. Для утворення прямого телеграфного каналу між викличним і викликуваним кінцевими пунктами необхідна наявність вільних магістральних каналів між всіма вузлами, що беруть участь у цьому з'єднанні, а також вільної місцевої лінії між останнім вузлом і викликуваним пунктом.

Число каналів на низовій мережі (від обласного вузла до головного або районного) звичайно мале (2-3), тому такі канали набагато частіше виявляються зайнятими, ніж канали магістральної мережі. Якщо зв'язок першого кінцевого пункту ГВ1 з останнім вузлом комутації (ст. Г на рис. 2.5) може бути отриманий з порівняно малою імовірністю відмови (1-5 %), то на ділянці місцевої лінії від ст. Г до другого кінцевого пункту ГВ2 імовірність відмови може досягати 20-30 % (при навантаженні 0,2-0,3 Ерл). При цьому викличний пункт буде одержувати часті відмови і через деякий час повторювати виклики. У результаті даремно займаються магістральні канали і комутаційні прилади вузлів, сповільнюється проходження телеграм, витрачається час телеграфістів на повторні виклики.

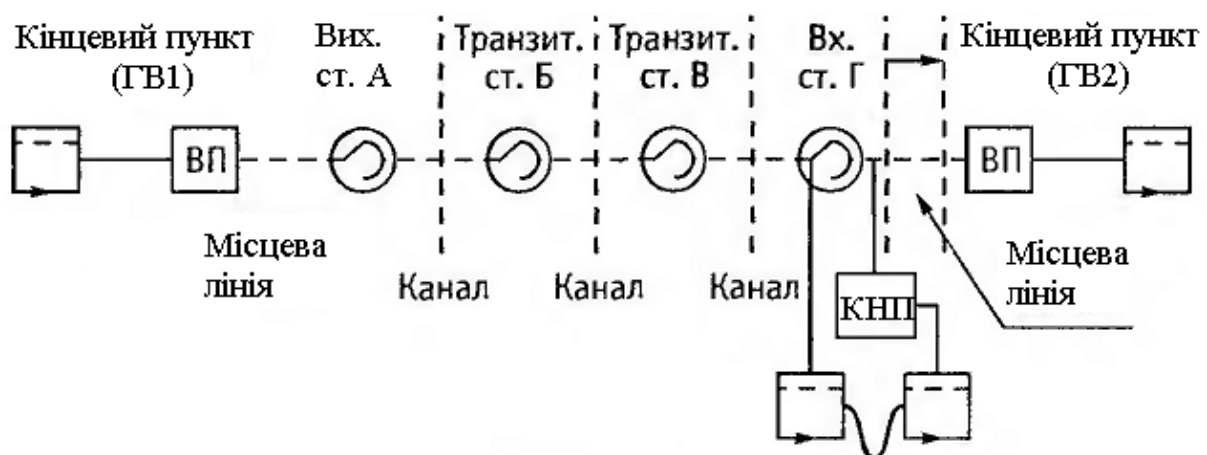


Рисунок 2.5 – Структурна схема системи передачі повідомлень

Крім того, для передачі телеграми безпосередньо в кінцевий пункт зони іншого вузла необхідно знати номер, присвоєний цьому пунктові. А у випадку адресування телеграми в міське відділення зв'язку необхідно ще знати години роботи відділення, тому що в ряді випадків доставка телеграм з головного вузла (ГВ) здійснюється не цілодобово. Як правило, відправник телеграм цих даних надати не може. Тому у випадку зайнятості місцевої лінії до кінцевого пункту більш доцільно здійснювати на останньому вузлі прийом вхідних телеграм на перфатор (нагромаджувач) і передачу їх у кінцевий пункт в міру звільнення місцевої лінії. Таким чином, система передачі повідомлень за принципом побудови є комбінованою: на магістральній ділянці вона побудована за принципом КК, а на низовій ді-

лянці містить реперфораторне переприймання, засноване на принципах КП.

На відміну від мережі, побудованої за принципом КК + КП, у мережі, побудованій за принципом КП + КК, основні (транзитні і частина кінцевих) вузли працюють за методом КП, а кінцеві вузли КК служать як концентратори навантаження для вузлів КП.

Мережа абонентського телеграфування. Телеграфний зв'язок загального користування не повністю задовольняє запити підприємств і установ, що потребують оперативного зв'язку з одержанням негайних зворотних повідомлень. Телеграми, як правило, накопичуються, перш ніж кур'єр підприємства доставляє їх у відділення зв'язку. Процес передачі і наступної доставки телеграм адресатові також вимагає певного часу. Велика кількість телеграм, що доставляються у відділення зв'язку до кінця робочого дня від підприємств і установ, створює значні піки навантаження на мережі ЗК, що сповільнює проходження телеграм від відправника до адресата.

Перераховані недоліки системи ЗК відсутні в системі абонентського телеграфування (АТ), в основу якої покладений принцип максимального наближення послуг телеграфу до підприємств і установ. Це досягається встановленням кінцевих телеграфних апаратів безпосередньо на підприємствах і установах. Підприємство, що має такий апарат, включений через сполучну лінію в комутаційні станції мережі АТ, стає абонентом цієї мережі, якому надаються можливості:

- одержання по негайній системі з'єднання з будь-яким іншим абонентом цієї мережі і проведення з ним телеграфних переговорів в режимі почергового двостороннього зв'язку;
- передачі телеграм іншим абонентам мережі АТ незалежно від присутності обслуговуючого персоналу біля прийомного апарата;
- з'єднання зі станційним апаратом свого вузла комутації для передачі повідомлення абонентам, не включеним у мережу АТ (наприклад, абонентам мережі ЗК);
- прийому інформації, що надійшла від абонента іншої мережі через місцевий вузол комутації.

Розвиток мережі АТ призводить до значного розвантаження мережі загального користування і у першу чергу від транзитної кореспонденції. Значно зменшуються піки навантаження, що залежать від телеграм, які надійшли від підприємства до кінця робочого дня. Система АТ багато в чому аналогічна системі ЗК, однак якщо в системі АТ можна миритися з зайнятістю каналів і необхідністю повторних викликів, то в мережі ЗК це нерационально. Тому в мережах АТ принципу комутації каналів строго дотримуються на всіх етапах з'єднання.

Схема абонентського телеграфного зв'язку наведена на рис. 2.6. Устаткування кінцевої установки мережі АТ аналогічне устаткуванню кінцевого пункту мережі передачі повідомлень. Як кінцеву телеграфну апаратуру

в основному застосовують рулонні апарати, а останнім часом ПК з адаптерами. Апарат комплектується пристроєм автовідповіді, що дозволяє приймати повідомлення у випадку відсутності абонента. Викличний прилад (ВП), обладнаний номеронабирачем, викличною і відбійною кнопками, двома сигнальними лампочками, дозволяє виконувати виклик вузла комутації (станції АТ) і автоматичне включення апарата за командою з вузла. Абонентські установки з'єднані з найближчими станціями АТ. Виклик центра комутації здійснюється натисканням кнопки "виклик" на ВП. Апаратура абонентської панелі (АП) реєструє сигнал виклику, і пристрій комутації (ПК) приводиться в стан готовності прийому адресного блоку (у мережі АТ – імпульсів набору номера). При цьому на викличний прилад посилається сигнал "Дозвіл набору номера".

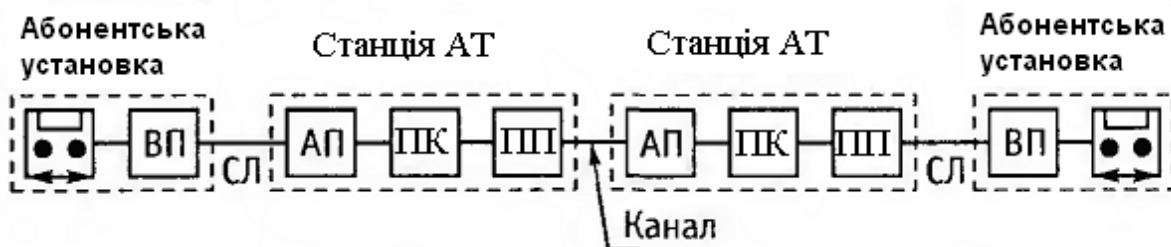


Рисунок 2.6 – Структурна схема абонентського телеграфного зв'язку

Крім абонентської панелі і пристрою комутації, апаратура вузла містить перехідний пристрій (ПП), що забезпечує підключення до центра міжміських каналів. Після встановлення з'єднання з необхідним абонентом повідомлення передається з одного абонентського пункту до іншого.

Різновид абонентського телеграфу – міжнародний абонентський телеграф Телекс, призначений для забезпечення документальним зв'язком абонентів, що передають повідомлення в інші країни. У мережі Телекс набір номера абонента звичайно здійснюється з клавіатури телеграфного апарата.

При цьому телеграфний апарат викличного абонента включається відразу ж після сигналу виклику. Набір номера викликуваного абонента здійснюється шляхом передачі на вузол комутації стартостопних комбінацій. Усі сигнали, що надходять зі станції на апарат абонента, також передаються стартостопними сигналами ("Відповідь станції", "З'єднання", "Зайнято" та ін.).

Питання для самоперевірки

1. Які коди використовуються у сучасній телеграфії?
2. Для чого у телеграфному апараті використовується трансмітер?
3. Для чого у телеграфному апараті використовується автовідповідач?

4. Для чого у телеграфному апараті використовується реєстровий механізм?
5. Назвіть складові частини приймача телеграфного апарата.
6. Назвіть складові частини передавача телеграфного апарата.
7. Як визначається надійність телеграфного апарата?
8. Як визначається правильність телеграфного зв'язку?
9. Скільки складає ефективна смуга частот телеграфного сигналу?
10. В чому полягає різниця між пропускною здатністю та продуктивністю телеграфного апарата?
11. З яких мереж складається телеграфна мережа України?
12. Описати мережу загального користування телеграфного зв'язку.
13. Яким чином функціонує мережа абонентського телеграфування?
14. Які види комутації використовуються у телеграфній мережі загального користування?
15. Нехай у телеграфній мережі взято швидкість передачі інформації 50 біт/с. Визначити тривалість одиничного інтервалу.

3 МЕРЕЖІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

3.1 Будова мереж передачі даних

Мережі передачі даних, як і інші мережі електрозв'язку, містять кінцеві пункти, канали зв'язку та вузли.

Кінцеві пункти поділяються на два типи: абонентські пункти і обчислювальні центри, на яких встановлено один або декілька комп'ютерів.

Абонентські пункти є індивідуальними кінцевими установками, а обчислювальні центри є колективними установками.

Канали зв'язку для передачі даних використовують як *комутовані* (switched), так і *некомутовані* (nonswitched), а також фізичні лінії.

Вузли зв'язку передачі даних можуть містити комутаційне обладнання, а саме: спеціальне обладнання комутації каналів, обладнання комутації повідомлень і обладнання комутації пакетів.

Для передачі даних (data communication) використовуються такі пакети і мережі:

- комутовані канали зв'язку;
- загальнодержавні мережі телефонного зв'язку;
- спеціалізовані мережі передачі даних.

При цьому передача даних може здійснюватися у таких режимах:

- одностороння передача повідомлень;
- двостороння почергова передача;
- двостороння передача одразу у двох напрямках.

Передача даних по загальнодержавній мережі телефонного зв'язку здійснюється після встановлення з'єднання при наборі номеру і перемикання комутованого каналу на апаратурі передачі даних.

Повний цикл функціонування ланки передачі даних складається з п'яти фаз:

- 1 – встановлення з'єднання між абонентами;
- 2 – підключення абонентського пункту до каналу зв'язку;
- 3 – передача даних;
- 4 – вимикання абонентського пункту;
- 5 – роз'єднання.

Мережі передачі даних бувають двох типів:

- з постійним напрямком зв'язку між абонентами, некомутовані.
- зі змінним напрямком зв'язку між абонентами, комутовані.

Мережі передачі даних з постійним напрямком зв'язку між абонентами будують за принципом з'єднання кожного з кожним, тобто будь-який абонент мережі має відповідне число виділених некомутованих каналів зв'язку для обміну даними з кожним абонентом зв'язку. Перевагою такої мережі є оперативність обміну даними, відсутність відмов і малі втрати часу на встановлення з'єднання. До недоліків відносяться висока вартість

мережі, а також низька завантаженість каналів зв'язку.

У більшості випадків для передачі даних застосовуються комутовані мережі, які поділяються на мережі з комутацією каналів, повідомлень, пакетів.

Під *комутацією даних* розуміється така їх передача, при якій канал передачі даних може використовуватися поперемінно для обміну інформацією між різними пунктами інформаційної мережі на відміну від зв'язку через некомутовні канали, що звичайно закріплені за певними абонентами.

Розрізняють такі способи комутації даних:

комутація каналів - здійснюється з'єднання кінцевого устаткування даних (КУД) двох або більше станцій даних і забезпечується монопольне використання каналу передачі даних доти, доки з'єднання не буде розімкнено;

комутація повідомлень - характеризується тим, що створення фізичного каналу між кінцевими вузлами необов'язкове і пересилання повідомлень відбувається без порушення їхньої цілісності. Замість фізичного каналу є віртуальний канал, що складається з фізичних ділянок, і між ділянками можлива буферизація повідомлення;

комутація пакетів - повідомлення передається по віртуальному каналу, але воно розділяється на пакети, при цьому канал передачі даних зайнятий тільки під час передачі пакета (без порушення його цілісності) і після її завершення звільняється для передачі інших пакетів.

Алгоритм *комутації каналів* (channel switching): набір номера, з'єднання, передача, відбій – система з відмовою.

Алгоритм *комутації повідомлень* (message switching): повідомлення поетапно передається від вузла до вузла, тобто накопичується – система з сподіванням.

Алгоритм *комутації пакетів* (packet switching): повідомлення розбивається на пакети 1000–2000 знаків і передається без сподівання всього повідомлення – система з відмовою і сподіванням.

У мережі передачі даних з комутацією каналів застосовуються центри комутації каналів, які призначені для комутації каналів при встановленні з'єднання між абонентами. До переваг мережі з комутацією каналів належить більш низька вартість мережі і більша завантаженість каналів зв'язку, а до недоліків – втрати часу на встановлення з'єднання, неможливість циркулярного зв'язку, відсутність пріоритету передачі.

У мережі передачі даних з комутацією повідомлень як центр комутації використовують обчислювальні комплекси, які можуть зберігати та обробляти інформацію. У даній мережі немає безпосереднього зв'язку між абонентами: інформація від абонента з адресою і індексом категорії надходить у центр комутації повідомлень, де вона обробляється, а потім в міру вивільнення каналів зв'язку у потрібному напрямку передається по каналу у інший центр комутації повідомлень, а звідти до адресата.

До переваг мережі з комутацією повідомлень порівняно з мережею з комутацією каналів відносяться: зменшення витрат часу на встановлення з'єднання; більш повна завантаженість каналів зв'язку, і відповідно менша кількість каналів зв'язку, можливість змінювати швидкості передачі залежно від завантаженості, можливість циркулярного зв'язку, більш повна автоматизація передачі повідомлень, можливість пріоритетної передачі повідомлень, відсутність відмов у встановленому з'єднанні.

3.2 Цифрові мережі інтегрального обслуговування

На сьогодні у багатьох країнах широко впроваджується використання *цифрових мереж інтегрального обслуговування* – ЦМІО (Integrated Service Digital Network – ISDN). Найважливіша умова використання мереж ЦМІО – перехід від аналогової до цифрової комутації на основі мережі телефонного зв'язку загального користування. Мережа ЦМІО об'єднує служби для передачі мови, тексту, даних і зображення в одну мережу та реалізує їх по одному номеру для кожної абонентської лінії.

Для доступу у мережу ЦМІО абоненту надаються два канали передачі мови і даних 64 кбіт/с, кожний по звичайній телефонній лінії. Це означає, що у одній службі можуть бути задіяні два з'єднання або що одночасно можна користуватися двома службами.

Також є канал синхронізації, який можна використати як третій абонентський канал для передачі даних (16 кбіт/с).

Абоненти мережі ЦМІО можуть підключати через стандартний роз'єм різні термінали для різних послуг. Існують багатофункціональні термінали на базі персональних комп'ютерів.

Для всіх послуг кожен абонент мережі ЦМІО має один номер. Коли встановлюється з'єднання, можна активізувати будь-який термінал користувача.

Можна одночасно підключати або два телефони, або один телефон і один телефакс для роботи з різними абонентами. У канал синхронізації можна підключати комп'ютер для передачі даних з комутацією пакетів. По двох каналах мережі ЦМІО можна створити відеотелефонний зв'язок. На практиці це означає, що між абонентами під час телефонного зв'язку за допомогою камери і монітора може бути встановлений візуальний контакт. Тобто по мережі можна передавати як нерухомі, так і рухомі зображення (при втраті якості зображення).

Нерухомі зображення можна передавати через відеокамеру або з пам'яті ПК. Для передачі кольорового рухомого зображення необхідно 10 с.

У мережу ЦМІО можна підключати АТС. Для цього передбачений доступ на первинній швидкості, який включає 30 каналів по 64 кбіт/с кожен і один канал синхронізації по 64 кбіт/с.

Телефонний зв'язок у ЦМІО забезпечує великі зручності, гарний сер-

віс, високу надійність:

1. Працюючи у ЦМІО можна забезпечити телефонний зв'язок, навіть у тому випадку, якщо абоненти, яких викликають, є зайнятими. При цьому викличний абонент може скористатися послугою повідомлення про новий виклик. Тоді видається звуковий і візуальний сигнал, що повідомляє абонента про новий виклик;

2. Абонент, якого викликають, може тимчасово припинити встановлений зв'язок, щоб домовитись про час розмови з іншим абонентом;

3. Якщо абонент йде зі свого місця, то він може скористатися послугою переадресації виклику, яка автоматично передає всі вхідні виклики на будь-який інший номер, введений з його телефонного апарата;

4. Можна встановити зв'язок з трьома абонентами, тобто, коли два абоненти з'єднані, надходить виклик третього на будь-який з двох;

5. Абонент ЦМІО може блокувати вихідний телефонний зв'язок для попередження несанкціонованого користування;

6. У кінці місяця абонент може докладно прослідкувати витрати на послуги зв'язку, отримати тарифну інформацію про кожну послугу і про кожен окремий виклик.

Окрім того, цифрове кодування покращує якість передачі мови. Відтворення є більш точним та чітким. Вся інформація відображається на екрані монітора.

Використовуючи *факсимільний зв'язок у ЦМІО* можна отримати помітне покращення якості зображення при низьких витратах. Нові факсимільні апарати дозволяють передавати сторінку формату А4 менш ніж за 10 с і з високою якістю завдяки тому, що у мережі ЦМІО телефакси працюють з більш високою роздільною здатністю – 300 точок на дюйм, тобто їх точність у 5 разів перевищує точність звичайних систем факсимільного зв'язку. При цьому копія має високу контрастність. Це забезпечується за рахунок того, що швидкість передачі зростає з 9,6 кбіт/с (аналоговий канал) до 64 кбіт/с (цифровий канал).

Передача графіки за допомогою відеотексту. У ЦМІО дуже швидко встановлюється з'єднання та генерується зображення. Завдяки електронному з'єднанню для появи зображення на екрані необхідно лише 2с. Час генерації зображення на екрані (повна сторінка відеотексту) складає 0,5с. Підключивши адаптерну плату до каналу ЦМІО, можна підключити через декодер ПК і користуватися службою відеотексту.

Передача даних у ЦМІО здійснюється у цифровому вигляді зі швидкістю 64 кбіт/с, тобто у 7-50 разів швидше, ніж по аналоговій телефонній мережі. Дані можна передавати по мережах з комутацією каналів або комутацією повідомлень при швидкості роботи до 64 кбіт/с. При великих потоках даних є можливість користуватися виділеними цифровими з'єднаннями (групи каналів) при практично необмеженій швидкості передачі даних. Протоколи обміну можуть бути нестандартними.

3.3 Контроль функціонування систем передачі даних

Одним з важливих елементів системи оперативного керування обладнанням у трактах передачі даних (ПД) є різноманітні пристрої контролю, основною задачею яких є визначення технічного стану обладнання і оцінка якості обміну інформацією.

Об'єктом контролю у системах передачі даних (СПД) є сукупність засобів передачі даних, інформація про технічний стан яких є необхідною для прийняття відповідних рішень із керування системою.

Для визначення технічного стану засобів передачі даних необхідно обрати параметри контролю, які характеризують цей стан, та їх граничні значення, які називають верхнім і нижнім *допуском* (tolerance). Потім з допусками порівнюються виміряні значення параметрів, які підлягають контролю, та формується результат контролю. Таким чином, процес контролю у трактах передачі даних складається з процесу отримання інформації про обладнання, яке контролюється, тобто *вимірювання* (measuring), та процесу порівняння результату вимірювання із заданим значенням параметра, що контролюється.

Процес вимірювання можна подати у вигляді виразу

$$\chi = p y,$$

де χ – параметр, який вимірюється, p – одиниця вимірювання, y – числове значення параметра, який вимірюється, у прийнятих одиницях.

Всі вимірювання у СПД можна розділити на три групи: прямі, непрямі та сукупні. Прямі вимірювання характеризуються тим, що їх результати отримують безпосередньо з експериментальних даних, а результати непрямих вимірювань – також на основі експериментальних даних прямих вимірювань, але декількох величин, пов'язаних із шуканою величиною певними співвідношеннями. До сукупних вимірювань відносяться такі, які складаються із сукупності прямих вимірювань однієї або декількох однорідних величин. При цьому вимірювання відрізняються одне від одного тим, що змінюються або умови їх виконання, або комбінації величин, що вимірюються, які характеризуються різною достовірністю визначення технічного стану об'єкта контролю.

Нехай технічний стан кожного з j ($j = 1, 2, \dots, k$) типів пристроїв тракту передачі даних визначається значенням виміряного параметра χ_j , що змінюється у часі випадковим чином. Тоді процес функціонування СПД можна подати у вигляді одного або декількох узагальнених функціоналів – критеріїв $W = f(\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_i)$, які характеризують технічний стан СПД, кількість рівнів якого залежить не тільки від величини ω_0 , але і від обраних граничних значень її зміни ω_n і ω_e .

Якщо критерій ω має лише два граничні значення, то у процесі порів-

няння отриманої величини ω_0 з її граничними значеннями ω_H і ω_ϵ можливі два випадки (рис.3.1), які визначаються виразами

$$\omega_H < \omega_0 < \omega_\epsilon, \quad \omega_\epsilon \leq \omega_0 \leq \omega_H.$$

Перший з цих виразів характеризує стан нормального функціонування, а другий – стан відмови або зриву функціонування СПД. При такому порівнянні пристрій контролю видає одну з двох оцінок технічного стану системи передачі даних: «норма» (standard) або «аварія» (emergency).

При проектуванні резервних систем передачі даних використовуються пристрої контролю, у яких результати вимірювання величини ω_0 порівнюються не лише з граничними значеннями ω_H і ω_ϵ , але і з допустимими областями їх зміни $\Delta\omega_H$ і $\Delta\omega_\epsilon$ (рис. 3.2). Такі пристрої дозволяють зафіксувати у системі передачі даних три рівні її технічного стану: нормальне функціонування, стан перед відмовою і зрив функціонування, які визначаються виразами:

$$\begin{aligned} \omega_H + \Delta\omega_H &< \omega_0 - \Delta\omega_\epsilon, \\ \omega_\epsilon - \Delta\omega_\epsilon &\leq \omega_0 < \omega_\epsilon, \quad \omega_H < \omega_0 \leq \omega_H + \Delta\omega_H, \\ \omega_\epsilon &\leq \omega_0 \leq \omega_H. \end{aligned}$$

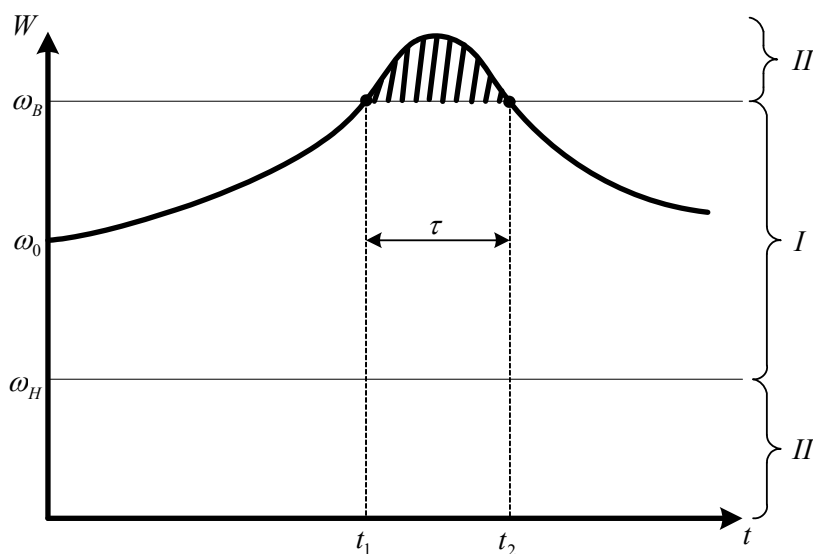


Рисунок 3.1 – Графік зміни критерію ω при двох рівнях технічного стану СПД

При попаданні результату вимірювань величини ω_0 у області, границі яких описуються наведеними вище виразами, формуються відповідні оцінки: «норма», «попередження» (warning) або «аварія», які відображаються на передніх панелях приладів та на табло пультів керування системою передачі даних.

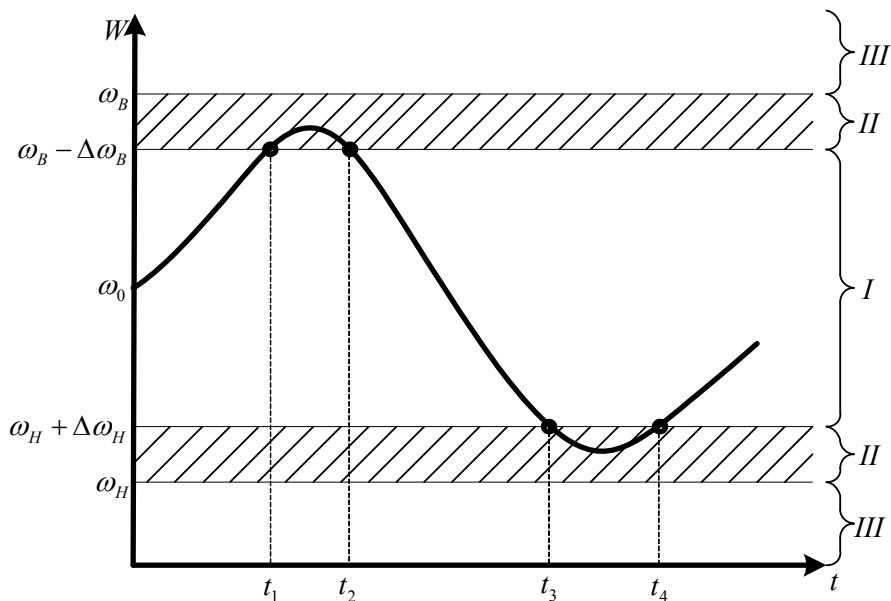


Рисунок 3.2 – Графік зміни критерію ω при трьох рівнях технічного стану СПД

3.4 Види контролю обладнання у системах передачі даних

Пристрої вимірювання і порівняння параметрів обладнання у трактах передачі даних виконують такі функції:

1. Виявлення, локалізація і попередження станів відмови обладнання і всього тракту передачі даних;
2. Контроль якості обміну інформацією між об'єктами автоматичної системи керування;
3. Проведення експлуатаційних вимірювань і дослідження ефективності каналів і трактів передачі даних.

Повнота реалізації цих функцій у трактах передачі даних залежить від призначення контролю, який можна розділити на такі види: попереджувальний контроль, функціональний контроль каналів і трактів, оперативний контроль обладнання.

Попереджувальний контроль (warning test) проводиться для визначення різноманітних характеристик збурень і потоку помилок у обладнанні передачі даних, наприклад: безумовної і умовної функцій розподілення, кореляційної функції послідовності помилкових символів, ймовірностей попадання V помилок у блок різної довжини, тобто параметрів, обумовлених дією завад, короточасних переривань та інших характеристик каналу зв'язку.

Функціональний контроль каналів і трактів передачі даних (functional test) виконується для визначення ступеня відповідності параметрів каналів і апаратури заданим нормам і для регулювання обладнання передачі даних у випадку виявленої невідповідності.

Оперативний контроль обладнання передачі даних (on-line test) призначений для достовірної оцінки технічного стану зайнятих під передачу каналів і трактів передачі даних за час, що приблизно дорівнює тривалості допустимого циклу передачі інформації між об'єктами автоматичної системи керування. У результаті виконання операцій оперативного контролю визначається і забезпечується відповідна готовність апаратури і каналу зв'язку для передачі даних. Основні параметри цього контролю залежать від типу обладнання і мети його проведення: оцінка роботоздатності, локалізація блока, що відмовив, попередження відмов при виконанні певних умов.

За часом підключення пристроїв контролю до обладнання у трактах передачі даних розрізняють неперервний і періодичний контроль. При *неперервному контролі* пристрої контролю постійно підключені до обладнання, що діагностується, і за рахунок великого часу спостереження дозволяють виявити відмову з високою достовірністю контролю, яка залежить від точності вимірювання параметра і від циклу або періоду видачі оцінок контролю τ_k .

При *періодичному контролі* обладнання СПД через заданий час, який називається періодом контролю T_k , підключається до пристроїв контролю, які оцінюють стан обладнання протягом певного часу ΔT_k . Достовірність видачі оцінки при такому виді контролю значно залежить від параметра, що контролюється, і тривалості ΔT_k . Зазвичай, при періодичному контролі один контрольний пристрій використовується для визначення станів багатьох пристроїв або систем, загальна кількість яких N_s визначається так $N_s = T_k / \Delta T_k$.

Залежно від конструктивного виконання контроль технічного стану обладнання СПД може бути тестовим, апаратурним і апаратурно-тестовим. При *тестовому контролі* на вхід обладнання подається певна послідовність кодових комбінацій, за якістю передачі яких оцінюється технічний стан обладнання, включеного у кола обміну кодограмами між взаємодіючими об'єктами. Зазвичай такий контроль застосовується для перевірки роботоздатності всієї СПД як на початку її роботи, так і при виникненні пауз у обміні кодограмами. При цьому на вхід СПД замість кодограм надходить тест-програма, за якістю прийому якої на протилежних станціях приймається рішення про готовність СПД до обміну кодограмами.

Апаратурний контроль здійснюється за допомогою автономних або вбудованих у обладнання передачі даних спеціальних пристроїв, які можуть включатися у тракт контролю послідовно, паралельно або за мажоритарною схемою. Він дозволяє проводити перевірку якості функціонування апаратури і каналу зв'язку за відповідністю параметрів контролю їх допустимим значенням безпосередньо під час виконання процесу обміну кодог-

рамами, виявляючи при цьому як випадкові, так і систематичні похибки різного походження.

Апаратно-тестовий контроль включає операції двох розглянутих методів контролю, причому реалізація операцій апаратного контролю дозволяє оцінити роботоздатність кожного окремого пристрою тракту, а виконання операцій тестового контролю – роботоздатність всієї СПД. Цей метод отримав найбільше поширення.

Основними характеристиками, які визначають властивості і особливості контролю, є: ефективність контролю, достовірність і точність результатів, швидкодія, зміст і форма подання результатів, вартість і режими роботи системи контролю, можливість автоматичного регулювання параметрів.

Найбільш узагальненою характеристикою є ефективність контролю, тобто властивість правильно визначати стан СПД протягом заданого інтервалу часу.

3.5 Основні параметри контролю обладнання

3.5.1 Параметри контролю каналу зв'язку

При створенні систем передачі даних серед всіх типів каналів зв'язку найбільше поширення отримали канали магістральної телефонної мережі зв'язку. Використання таких каналів для передачі даних висуває підвищені вимоги до якості їх функціонування, яку можна оцінити сукупністю таких параметрів: нестабільність остаточного затухання, нелінійність фазочастотної характеристики і нестабільність її у часі, нерівномірність амплітудно-частотної характеристики, психометрична (або незважена) напруга шуму, нелінійні спотворення і зміна частоти сигналу передачі, поступові і стрибкоподібні зміни рівня, імпульсні завади і короткотривалі перерви, крайові спотворення імпульсів і дроблення, рівень сигналів прийому, ймовірність похибки елементарного сигналу тощо. Ці параметри залежать від ряду електричних характеристик каналу, основними з яких є остаточне затухання, частотна і фазова характеристики.

Імпульсні завади і короткотривалі перерви є основними причинами, які призводять до втрати достовірності у каналі зв'язку. Імпульсні завади викликають 10–20%, а короткотривалі перерви зв'язку 70–80% всіх похибок, які виникають при передачі дискретної інформації.

Імпульсні завади (pulse interference) – це результат впливу неперіодичної послідовності одиночних імпульсів, які виникають в основному у лінійних трактах високочастотних систем передачі. Найбільш поширеною причиною їх виникнення є порушення контактів у колах, по яких протікає струм дистанційного живлення. Форма імпульсної завади залежить не лише від абсолютної ширини робочої смуги частот стандартного каналу тональної частоти з верхньою і нижньою граничними частотами $\omega_{\text{в}}$ і $\omega_{\text{н}}$, але і від їх співвідношення і визначається виразом:

$$U(t) = \frac{A}{4\pi} \cos(K_\phi \omega_0 + \varphi) \frac{\sin \omega_\epsilon(t - K_\phi) - \sin \omega_\eta(t - K_\phi)}{t - K_\phi} + \\ + \frac{A}{4\pi} \sin(K_\phi \omega_0 + \varphi) \frac{\sin \omega_\epsilon(t - K_\phi) - \sin \omega_\eta(t - K_\phi)}{t - K_\phi},$$

де K_ϕ – кутовий коефіцієнт ФЧХ;

$$\omega_0 = \frac{\omega_\epsilon + \omega_\eta}{2} \text{ – середня кутова частота пропускання каналу;}$$

A – множник, який дорівнює енергії завади.

Ймовірність похибок, обумовлених впливом імпульсних завад, обчислюється за формулою:

$$P_{n\ i3} = \left(\frac{N_{i3}}{TC} \right) \int_0^\infty f(U_{i3}) \varphi(U_{i3}) dU_{i3},$$

де N_{i3} – кількість імпульсних завад, зареєстрованих за час аналізу T ;

$f(U_{i3})$ – щільність розподілення імпульсних завад за амплітудними значеннями;

$\varphi(U_{i3})$ – функція розподілення питомої кількості помилок, які припадають на одну імпульсну заваду, амплітуда якої дорівнює U_{i3} ;

C – швидкість передачі.

Короткотривалими перервами (short-time interruption) у каналі зв'язку називають такі зниження рівня сигналу, при яких значення завадостійкості системи знижується настільки, що ймовірність похибки перевищує нормовану величину. Якщо час уповільнення наростання сигналу, викликаного короткотривалою перервою, взяти рівним $\tau_{\kappa n}$, то реакцію каналу зв'язку на переривання можна знайти з виразу:

$$W(t) = 2\tau_{\kappa n} U_{\delta c} (1 - e^{-\Delta p_c}) e^{p_c - p_{\text{вим}}} \Delta f \frac{\sin(\pi \Delta f t)}{\pi \Delta f t} \cos(2\pi f_0 t + \theta), \\ \theta = \psi_p + \psi_0,$$

де $U_{\delta c}$ – амплітуда багатоканального сигналу у момент початку або кінця перерви;

Δp_c – глибина зниження рівня сигналу у лінійному тракті;

p_c – номінальний рівень сигналу на виході наступного підсилювача;

$p_{\text{вим}}$ – номінальний рівень робочого сигналу у точці проведення вимірювання;

Δf – ширина смуги частот каналу;

f_0 – частота робочого сигналу;

ψ_p – результуюча фаза несучих;

ψ_0 – початкова фаза.

Короткотривалі перерви викликають появу похибки у тому випадку, коли їх тривалість τ_{kn} перевищує $0,5\tau_0$, де τ_0 – тривалість елементарного імпульсу. Ймовірність похибки протягом тривалості перерви τ_{kn} дорівнює 0,5 практично для всіх видів модуляції. У цьому випадку кількість похибок, викликана одним перериванням тривалістю τ_{kn} , можна визначити за виразом

$$N_{ном} = \frac{0,5\tau_{kn}}{\tau_0}.$$

Величина втрат достовірності за рахунок впливу короткотривалих переривань визначається за формулою

$$P_{n\ kn} = \frac{N}{T} [1 - \Delta f M^{-1} e^{p_3 - \Delta p_3}] \int_0^{t_*} t f(t) dt,$$

де T – тривалість сеансу вимірювань;

M – коефіцієнт, який залежить від виду модуляції у системі;

p_3 – завадозахищеність каналу зв'язку;

Δp_3 – величина зниження p_3 ;

t – тривалість зниження рівня сигналу;

t_* – критерій відмови каналу.

Відхилення розглянутих первинних параметрів каналу зв'язку від встановлених норм призводять до спотворень імпульсів передачі, що в свою чергу призводить до зміщення їх границь (крайові спотворення) і дроблень.

Дроблення (mutilation) – це короткотривалі переривання імпульсу у межах його границь. Цей вид спотворень викликається переважно імпульсними завадами і короткотривалими перериваннями. У результаті виникнення спотворень у каналах прийняті імпульси за тривалістю не є рівними переданим. Допустима величина спотворень імпульсів визначається виправляючою здатністю приймача апаратури, тобто його властивістю правильно реєструвати спотворені імпульси.

Різниця θ між виправляючою здатністю μ приймача і сумарною величиною спотворень σ прийнятих імпульсів називається стійкістю зв'язку

$$\theta = \mu - \sigma.$$

При цьому якщо $\mu \leq \sigma$, то приймач працює нестійко і має місце неправильний прийом сигналів (помилка). Ймовірність помилки за рахунок

спотворень при прийомі комбінації, що складається з l_0 елементів, визначається виразом

$$P_{ном} = 1 - \underbrace{\int \int \dots \int}_{G}^{l_0} \varphi_{l_0}(z_1, z_2, \dots, z_{l_0}) dz_1 dz_2 \dots dz_{l_0},$$

де φ_{l_0} – щільність ймовірності,

z_{l_0} – зміщення i -ї границі l_0 –елементної кодової комбінації;

G – область інтегрування, яка відповідає l_0 -вимірному кубу з відстанню μ від центра до кожної грані.

Таким чином, спотворення імпульсів l_0 – елементної кодової комбінації є узагальненим параметром контролю, за величиною якого при відомому значенні виправляючої здатності можна робити висновок про достовірність прийому дискретної інформації. Кількісною мірою достовірності є ймовірність помилки, яка обчислюється за формулою:

$$p = \frac{n_{ном}}{n_{\Sigma}},$$

де $n_{ном}$ – кількість помилкових одиничних елементів, зареєстрованих за час спостереження T ;

n_{Σ} – загальна кількість одиничних елементів, переданих за час T .

При використанні обмеженого часу вимірювання, який дорівнює тривалості сеансу контролю τ_k як кількісну міру достовірності застосовують коефіцієнт помилок по елементах

$$K_{ном} = \frac{n_{ном}}{C \cdot \tau_k},$$

де C – швидкість передачі одиничних елементів у каналі.

Технічний стан каналу зв'язку можна оцінити за первинними або за вторинними параметрами.

При контролі каналу зв'язку за первинними параметрами оцінюється відповідність його заданим нормам і виявляється той параметр, у якого спостерігається відхилення від цих норм. У подальшому визначається ділянка, де відбулося порушення роботоздатності каналу.

Контроль за вторинними параметрами дозволяє набагато швидше оцінити придатність каналу зв'язку для передачі дискретної інформації. Основним недоліком цього виду контролю є те, що при перевірці неможливо визначити, за яким параметром канал не відповідає нормі.

3.5.2 Параметри контролю апаратури передачі даних

Технічний стан апаратури передачі даних визначається відповідністю параметрів її контролю нормам, регламентованими ГОСТом. Основними з цих параметрів є: виправляюча здатність приймача пристрою перетворення сигналів; стабільність частот задаючих генераторів, подільників, перетворювачів і рівень несучих у підканалах; реальні відносна і абсолютна швидкості передачі кодових комбінацій; коефіцієнти невиявлених помилок і коефіцієнт їх групування на виході апаратури; тривалість циклового фазування; середнє напрацювання на відмову і середній час відновлення апаратури.

Оцінювання цих параметрів здійснюється за допомогою автономних або вбудованих у апаратуру передачі даних пристроїв контролю у такі способи:

1. Використання вбудованих у апаратуру тракту контрольних пристроїв параметрів для швидкого виявлення несправного блока або елемента;
2. Розміщення основного складу вимірювальної апаратури не у абонентів, а у центрах, з яких відбувається дистанційне вимірювання параметрів абонентських установок передачі даних;
3. Використання замість звичайних вимірювальних приладів спеціальних аналізаторів різних параметрів;
4. Дослідження апаратури на еквівалентах, що імітують реальні канали зв'язку.

Одним з найбільш узагальнених методів оцінки придатності апаратури передачі даних є метод дистанційної перевірки.

Його суть полягає у тому, що з центральної станції або пункту керування абоненту надсилається сигнал, на який апаратура передачі даних повинна відповісти спеціально сформованим сигналом, який характеризує якість її роботи. Програма випробувань апаратури передачі даних включає такі операції:

1. Визначення здатності апаратури передачі даних автоматично відповідати на виклик;
2. Визначення чутливості приймача у смугах частот Δf_1 і Δf_2 , які відповідають середнім частотам каналів у прямому і зворотному напрямках передачі;
3. Вимірювання рівнів передачі у обох напрямках;
4. Вимірювання частот всіх сигналів у каналі передачі даних;
5. Перевірка роботоздатності обмежувачів рівня у обох підканалах (прямому і зворотному);
6. Перевірка роботоздатності схеми контролю рівня несучої на приймальній стороні;
7. Перевірка роботи кіл: передачі і прийому даних, стопа і встановлення передавача у вихідне положення, готовності апаратури.

Результати контролю апаратури використовуються для оперативного керування і оцінки стану робочого каналу і тракту передачі даних.

3.5.3 Методи контролю каналів і тракту передачі даних

Якість функціонування каналів і трактів СПД можна оцінити або непрямым методом за параметрами контролю каналу зв'язку і апаратури передачі даних, або безпосередньо за узагальненими параметрами і показниками, до яких відносяться: середній час передачі заданого об'єму кодограм, темп обміну кодограмами, середній час затримки кодограм, коефіцієнт невиявлених помилок на виході тракту, а також основні характеристики надійності з врахуванням часової і апаратурної надмірності.

При контролі тракту передачі даних за параметрами результату оцінки кожного з n параметрів $H_1\Pi_1A_1, H_2\Pi_2A_2, \dots, H_n\Pi_nA_n$ (де H – норма, Π – попередження, A – аварія) обробляються спеціальним пристроєм (рис. 3.3), який формує найгіршу узагальнену оцінку $H_c\Pi_cA_c$ технічного стану системи передачі даних.

Однією із найважливіших характеристик такого методу контролю є достовірність, тобто ступінь відповідності результату контролю дійсному технічному стану СПД:

$$D = 1 - P(A) - P(B),$$

де $P(A)$ – ймовірність того, що при контролі роботоздатності об'єкт контролю СПД буде забракованим;

$P(B)$ – ймовірність того, що при контролі нероботоздатний об'єкт буде оцінений як роботоздатний.

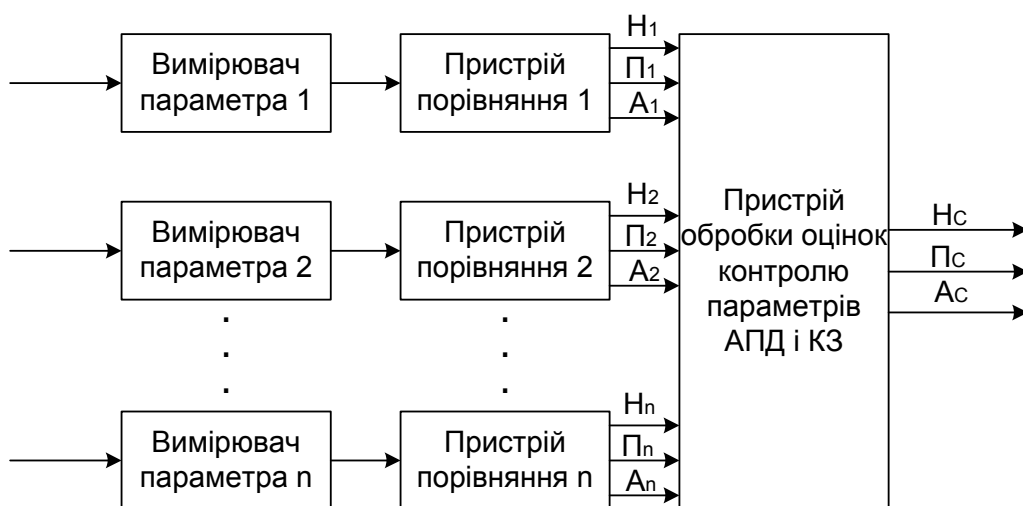


Рисунок 3.3 – Структурна схема пристрою оцінки технічного стану СПД

Ці ймовірності визначаються за формулами

$$P(A) = \alpha(1 - p_n);$$

$$P(B) = \beta + (1 - p_k - \alpha)p_n,$$

де α – ймовірність бракування роботоздатного за контрольованою частиною об'єкта (помилка першого роду – хибна тривога);

p_n – ймовірність помилки неконтрольованої частини об'єкта;

β – ймовірність оцінки нероботоздатного об'єкта роботоздатним за контрольованою частиною (помилка другого роду – пропуск відмови);

p_k – ймовірність помилки контрольованої частини.

Якщо відомі часові інтервали роботи об'єкта контролю при i -й хибній тривозі Δt_i і при пропущенні j -ї відмови Δt_j , то достовірність контролю за достатньо великий інтервал спостереження T можна оцінити за виразом

$$D = 1 - \frac{1}{T} \left(\sum_{i=1}^{z_1} \Delta t_i + \sum_{j=1}^{z_2} \Delta t_j \right),$$

де z_1, z_2 – відповідно кількість хибних тривог і пропусків відмов за інтервал спостереження T при контролі за сукупністю параметрів.

Зазвичай для оцінки технічного стану СПД застосовують не всі параметри контролю її обладнання N , а лише певну їх частину n_q , кожний з яких характеризується своєю ймовірністю помилки контролю p_i . Це призводить до погіршення значення характеристики, яка називається повнотою контролю $V_n = \frac{p_k}{p}$, де p – загальна ймовірність помилкової оцінки стану СПД.

При *параметричному контролі* (parametric testing) СПД вважається роботоздатною, якщо всі її параметри відповідають заданим нормам або допускам, і нероботоздатною, якщо хоча б один з її параметрів вийшов за межі допуску. У цьому випадку повноту і достовірність контролю системи передачі даних можна обчислити за формулами:

$$V_n = \frac{1 - \prod_{i=1}^{n_q} (1 - p_i)}{1 - \prod_{i=1}^N (1 - p_i)},$$

$$D = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - p_i) - \left[\prod_{i=1}^{n_q} (1 - p_i - \alpha_i + \beta_i) \right] +$$

$$+2 \prod_{i=1}^{n_q} (1 - p_i - \alpha_i) \frac{V_n + \prod_{i=1}^{n_q} (1 - p_i) - 1}{V_n \prod_{i=1}^{n_q} (1 - p_i)},$$

які при $p_1 = p_2 = \dots = p_n$ і $p \ll 1$ та умові, що систематичні похибки відсутні, випадкові похибки вимірювань всіх параметрів рівні і контрольовані параметри і похибки вимірювань розподілені за нормальним законом, набувають вигляду:

$$V_n = \frac{n_q}{N},$$

$$D = 1 - b - B^{V_n N} + 2K^{V_n N} b^{1-V_n},$$

де

$$B = 2\Phi_0 \frac{x}{\sqrt{1+z^2}},$$

$$b = 1 - p,$$

$$K = 2 \left\{ \Phi_0 \frac{x}{\sqrt{1+z^2}} - A \exp \left[-\frac{(x + \bar{x})^2}{2\sigma^2} \right] \right\},$$

x – нормований допуск на параметр; z – нормована випадкова похибка вимірювань; $A, \bar{x}, \sigma$ – константи, які залежать від z .

Недоліком розглянутого методу контролю, який дозволяє визначити місце і причину несправності, є великий об'єм контрольної апаратури, а також значний час (від десятків хвилин до декількох годин), необхідний для достовірної оцінки технічного стану СПД.

У цьому відношенні *контроль за узагальненими параметрами*, який полягає у оцінці технічного стану системи безпосередньо за показником якості її функціонування, дозволяє при невеликому об'ємі обладнання і за малий час встановити відповідність вказаного показника якості висунутим до нього вимогам або нормам. Технічну реалізацію методу контролю безпосередньо за показниками якості передачі інформації можна легко виконати для СПД із вирішальним зворотним зв'язком. Основний недолік цього методу контролю полягає у тому, що при перевірці неможливо визначити, за яким параметром обладнання передачі даних не відповідає нормі.

3.6 Вимоги до пристроїв оперативного контролю

Незалежно від призначення пристроїв оперативного контролю і принципів їх побудови до них висувається ряд певних вимог. Однією із основних вимог є забезпечення неперервності контролю процесу функціонування каналу або тракту, зайнятого передачею корисної інформації між

об'єктами автоматичної системи керування. Ця вимога обумовлена тим, що для забезпечення ефективного функціонування обладнання ПД пристрій контролю повинен виявити і оцінити вплив на процес передачі інформації збурень, тривалість яких вимірюється одиницями мілісекунд, з періодом виникнення, рівним декільком секундам. Вимога неперервності означає постійне підключення пристрою до об'єкта контролю, а також те, що період видачі оцінок повинен мати дуже малу величину, співрозмірну з тривалістю прийому інформаційних комбінацій від джерел і споживачів інформації.

Іншою вимогою до систем контролю є простота конструкції. В умовах, коли контроль стану каналу ПД проводиться до декільком параметрам, а до складу тракту передачі даних можуть входити від двох до чотирьох каналів ПД, ця вимога забезпечує зменшення об'єму обладнання системи контролю порівняно з об'ємом обладнання передачі даних, поліпшення обслуговування тракту передачі даних і зменшення вартості системи контролю. Окрім того, системи оперативного контролю, що входять до складу тракту ПД, повинні мати високу надійність, яка на декілька порядків перевищує надійність об'єкта контролю. Ця вимога є необхідною умовою для забезпечення ефективності функціонування систем оперативного контролю, яку у загальному випадку можна визначити за формулою

$$W_e = P_{нф} P_{нр о},$$

де $P_{нф}$ – ймовірність нормального функціонування пристрою оперативного контролю за час перевірки тривалістю τ ;

$P_{нр о}$ – ймовірність правильної видачі оцінки оперативного контролю.

Ймовірності $P_{нф}$ і $P_{нр о}$ визначаються виразами

$$P_{нф} = K_z P(\tau) = \frac{1}{1 + \Lambda_0 T_g} \exp(-\Lambda_0 \tau),$$

$$P_{нр о} = 1 - (\alpha p_1 + \beta b_1),$$

де K_z і $P(\tau)$ – відповідно коефіцієнт готовності і ймовірність безвідмовної роботи за час τ пристрою оперативного контролю, який має інтенсивність відмов Λ_0 і середній час відновлення T_g ;

$p_1 = \exp(-\lambda_1 \tau)$ і $b_1 = 1 - p_1$ – відповідно ймовірність безвідмовної роботи і ймовірність відмови контрольованого обладнання;

α і β – помилки контролю першого і другого роду;

λ_1 – інтенсивність відмов контрольованого обладнання.

Таким чином, величина узагальненого показника W_e суттєво залежить від інтенсивності відмов пристрою оперативного контролю і середнього часу його відновлення.

Пристрої оперативного контролю у трактах ПД забезпечують не лише оцінку стану об'єкта контролю, але й вироблення команд для заміни несправного обладнання справним. Тому до них варто висунути ще й умову швидкості приведення виробленого рішення до пристрою виконання, що забезпечує зменшення часу простою тракту ПД на відновленні.

Основними вимогами, які висуваються до пристроїв оперативного контролю, варто вважати: неперервність контролю, простоту і малу вартість конструкції, високу надійність системи контролю і малий час доведення виробленої команди до пристрою виконання.

3.7 Класифікація мереж

Комунікаційна мережа – це система, яка складається з об'єктів, що здійснюють функції генерації, перетворення, збереження і споживання продукту та називаються *вузлами* (пунктами) мережі, і ліній передачі (зв'язків, комунікацій, з'єднань), що здійснюють передачу продукту між пунктами.

Відмінна риса комунікаційної мережі – великі відстані між пунктами порівняно з геометричними розмірами ділянок простору, займаних пунктами. Як продукт можуть фігурувати інформація, енергія, маса, тому відповідно розрізняють групи інформаційних, енергетичних, речовинних мереж. У групах мереж можливий поділ на підгрупи. Так, серед речовинних мереж можуть бути виділені мережі транспортні, водопровідні, виробничі та ін. При функціональному проектуванні мереж вирішуються задачі синтезу топології, розподілу продукту по вузлах мережі, а при конструкторському проектуванні виконуються розміщення пунктів у просторі і проведення (трасування) з'єднань.

Інформаційна мережа – комунікаційна мережа, у якій продуктом генерування, переробки, збереження і використання є інформація.

Обчислювальна мережа – інформаційна мережа, до складу якої входить обчислювальне устаткування. Компонентами обчислювальної мережі можуть бути ЕОМ і периферійні пристрої, що є джерелами і приймачами даних, переданих по мережі. Ці компоненти складають кінцеве устаткування даних (КУД або DTE – Data Terminal Equipment). Як КУД можуть виступати ЕОМ, принтери, плотери та інше обчислювальне, вимірювальне і виконавче устаткування автоматичних і автоматизованих систем. Власне пересилання даних відбувається за допомогою середовищ і засобів, що називають *середовищем передачі даних*.

Підготовка даних, переданих або одержуваних КУД від середовища передачі даних, здійснюється функціональним блоком, який називається апаратурою закінчення каналу даних (АКД або DCE – Data Circuit-Terminating Equipment). АКД може бути конструктивно окремим або вбудованим в КУД блоком. КУД і АКД разом являють собою станцію даних,

що часто називають вузлом мережі. Прикладом АКД може служити модем.

Залежно від відстаней між вузлами розрізняють такі обчислювальні мережі:

територіальні, які охоплюють значний географічний простір; серед територіальних мереж можна виділити мережі регіональні і глобальні, що мають відповідно регіональні або глобальні масштаби; регіональні мережі іноді називають мережами MAN (Metropolitan Area Network), а загальна англomовна назва для територіальних мереж – WAN (Wide Area Network);

локальні (ЛОМ) – які охоплюють обмежену територію і позначають LAN (Local Area Network);

корпоративні (масштабу підприємства) – сукупність зв'язаних між собою ЛОМ, що охоплюють територію, на якій розміщене одне підприємство або установа в одному або декількох близько розташованих будинках.

Локальні і корпоративні обчислювальні мережі – основний вид обчислювальних мереж, які використовуються у системах автоматизованого проектування (САПР).

Окремо виділяють єдину у своєму роді глобальну мережу Internet; це мережа мереж зі своєю технологією. В Internet існує поняття інтрамереж (Intranet) – корпоративних мереж у рамках Internet.

Розрізняють інтегровані мережі, неінтегровані мережі і підмережі. *Інтегрована обчислювальна мережа* (інтермережа) являє собою взаємозалежну сукупність декількох обчислювальних мереж, що в інтермережі називаються підмережами.

В автоматизованих системах великих підприємств підмережі містять обчислювальні засоби окремих проектних підрозділів. Інтермережі потрібні для об'єднання таких підмереж, а також для об'єднання технічних засобів автоматизованих систем проектування і виробництва в єдину систему комплексної автоматизації (CI – Computer Integrated Manufacturing). Звичайно інтермережі пристосовані для різних видів зв'язку: телефонії, електронної пошти, передачі відеоінформації, цифрових даних і т.п., і в цьому випадку вони називаються мережами *інтегрального обслуговування*.

Розвиток інтермереж полягає в розробці засобів сполучення різнорідних підмереж і стандартів для їх побудови. Підмережі в інтермережах поєднуються відповідно до обраної топології за допомогою блоків взаємодії.

Залежно від топології з'єднань вузлів розрізняють мережі шинної (магістральної), кільцевої, зіркової, ієрархічної, довільної структури.

Серед ЛОМ найбільше поширені (рис. 3.4):

шинна (bus) – локальна мережа, у якій зв'язок між будь-якими двома станціями встановлюється через один загальний шлях і дані, передані будь-якою станцією, одночасно стають доступними для всіх інших станцій, підключених до цього ж середовища передачі даних ;

кільцева (ring) – вузли зв'язані кільцевою лінією передачі даних (до кожного вузла підходять тільки дві лінії); дані, проходячи по кільцю, по

черзі стають доступними усім вузлам мережі;

зіркова (star) – є центральний вузол, від якого розходяться лінії передачі даних до кожного з інших вузлів.

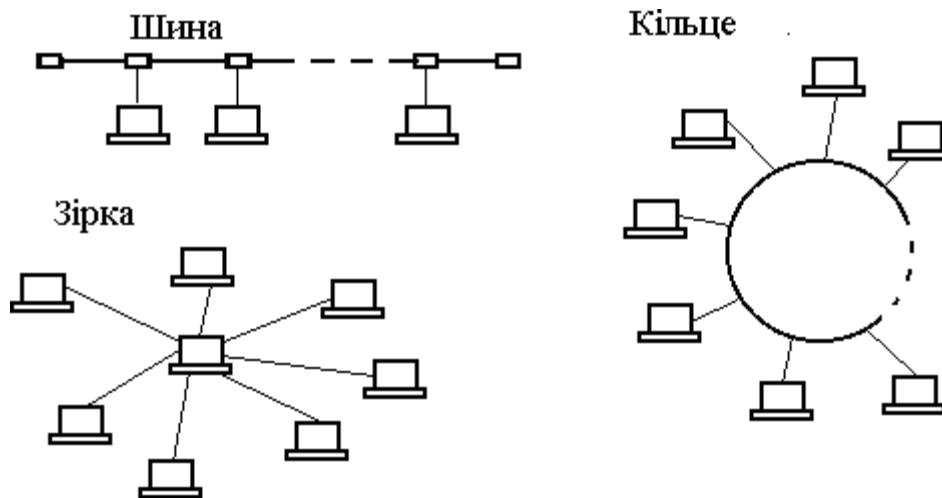


Рисунок 3.4 Основні топологічні структури локальних обчислювальних мереж

Залежно від способу керування розрізняють мережі:

"клієнт/сервер" – у них виділяється один або декілька вузлів (серверів), що виконують у мережі керуючі або спеціальні обслуговуючі функції, а інші вузли (клієнти) є термінальними, у них працюють користувачі. Мережі клієнт/сервер розрізняються за характером розподілу функцій між серверами, іншими словами за типами серверів (наприклад, файли-сервери, сервери баз даних);

однорангові – у них усі вузли рівноправні, оскільки в загальному випадку клієнтом є об'єкт (пристрій або програма), що запитує деякі послуги, а сервером – об'єкт, що надає ці послуги, то кожен вузол в однорангових мережах може виконувати функції і клієнта, і сервера;

центричні – користувач має лише дешеве устаткування для звертання до віддалених комп'ютерів, а мережа обслуговує замовлення на виконання обчислень і одержання інформації. Тобто користувачеві не потрібно мати програмне забезпечення для вирішення прикладних задач, йому потрібно лише платити за виконані замовлення. Подібні комп'ютери називають мережевими комп'ютерами.

Залежно від того, однаковій або неоднаковій ЕОМ застосовують у мережі, розрізняють мережі однотипних ЕОМ, які називають *однорідними*, і різнотипних ЕОМ – *неоднорідні* (гетерогенні). У великих автоматизованих системах, як правило, мережі є неоднорідними.

Залежно від прав власності на мережі останні можуть бути мережами *загального користування* (public) або *особистими* (private). Серед мереж загального користування виділяють *телефонні мережі ТФЗК* (PSTN – Public Switched Telephone Network) і *мережі передачі даних* (PSDN- Public Switched Data Network).

Мережі також розрізняють залежно від використовуваних у них протоколів і за способами комутації.

3.8 Еталонна модель взаємозв'язку відкритих систем

Протоколи – це набір семантичних і синтаксичних правил, що визначає поведінку функціональних блоків мережі при передачі даних. Іншими словами, протокол – це сукупність угод щодо способу подання даних, що забезпечує їхню передачу в потрібних напрямках і правильну інтерпретацію даних всіма учасниками процесу інформаційного обміну.

Оскільки інформаційний обмін – процес багатофункціональний, то протоколи поділяються на рівні. До кожного рівня відноситься група функцій. Для правильної взаємодії вузлів різних обчислювальних мереж їхня архітектура повинна бути відкритою. Цим цілям слугують уніфікація і стандартизація в області телекомунікацій і обчислювальних мереж.

Уніфікація і стандартизація протоколів виконуються рядом міжнародних організацій, що разом з розмаїтістю типів мереж призвело до появи великої кількості різних протоколів. Найбільше поширеними є протоколи, розроблені для мережі ARPANET і застосовувані в глобальній мережі Internet, протоколи відкритих систем *Міжнародної організації по стандартизації* (ISO – International Standard Organization), протоколи *Міжнародного телекомунікаційного союзу* (International Telecommunication Union – ITU) і протоколи *Інституту інженерів з електротехніки і електроніки* (IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers). Протоколи мережі Internet об'єднують за назвою TCP/IP. Протоколи ISO є семирівневими і відомі як протоколи базової еталонної моделі взаємозв'язку відкритих систем – EMBVC.

Базова EMBVC – це модель, прийнята ISO для опису загальних принципів взаємодії інформаційних систем. EMBVC визнається всіма міжнародними організаціями як основа для стандартизації протоколів інформаційних мереж. У EMBVC інформаційна мережа розглядається як сукупність функцій, що поділяються на групи, які називаються рівнями. Поділ на рівні дозволяє вносити зміни в засоби реалізації одного рівня без перебудови засобів інших рівнів, що значно спрощує і здешевлює модернізацію засобів із розвитком техніки.

EMBVC містить сім рівнів. Нижче наведені їхні номери, назви і виконувані функції.

7-й рівень – *прикладний* (Application): включає засоби керування прикладними процесами; ці процеси можуть поєднуватися для виконання поставлених завдань, обмінюватися між собою даними. Іншими словами, на цьому рівні визначаються й оформляються в блоки ті дані, що підлягають передачі по мережі. Рівень включає, наприклад, такі засоби для взаємодії прикладних програм, як прийом і збереження пакетів у "поштових скринь-

ках" (mail-box).

6-й рівень – *представницький* (Presentation): реалізуються функції подання даних (кодування, форматування, структурування). Наприклад, на цьому рівні виділені для передачі дані перетворюються з коду EBCDI у ASCII і т.п.

5-й рівень – *сеансовий* (Session): призначений для організації і синхронізації діалогу, що ведеться об'єктами (станціями) мережі. На цьому рівні визначаються тип зв'язку (дуплекс або напівдуплекс), початок і закінчення завдань, послідовність і режим обміну запитами і відповідями взаємодіючих партнерів.

4-й рівень – *транспортний* (Transport): призначений для керування наскрізними каналами в мережі передачі даних; на цьому рівні забезпечується зв'язок між кінцевими пунктами (на відміну від наступного мережевого рівня, на якому забезпечується передача даних через проміжні компоненти мережі). До функцій транспортного рівня відносяться мультиплексування і демультиплексування (складання-розбирання пакетів), виявлення й усунення помилок у передачі даних, реалізація замовленого рівня послуг (наприклад, замовленої швидкості і надійності передачі). На транспортному рівні пакети звичайно називають сегментами.

3-й рівень – *мережевий* (Network): на цьому рівні відбувається керування передачею пакетів через проміжні вузли і мережі, контроль навантаження на мережу з метою запобігання перевантажень, що негативно впливають на роботу мережі, маршрутизація пакетів, тобто визначення і реалізація маршрутів, по яких передаються пакети. Маршрутизація зводиться до визначення логічних каналів. Логічним каналом називається віртуальне з'єднання двох або більше об'єктів мережевого рівня, при якому можливий обмін даними між цими об'єктами.

2-й рівень – *канальний* (Link, рівень ланки даних): надає послуги з обміну даними між логічними об'єктами попереднього мережевого рівня і виконує функції, пов'язані з формуванням і передачею кадрів, виявленням і виправленням помилок, що виникають на наступному, фізичному, рівні. Кадром називається пакет канального рівня, оскільки пакет на попередніх рівнях може складатися з одного або багатьох кадрів. У ЛОМ функції канального рівня підрозділяють на два підрівня: керування доступом до каналу (MAC – Medium Access Control) і керування логічним каналом (LLC – Logical Link Control). До підрівня LLC відноситься частина функцій канального рівня, не пов'язаних з особливостями передавального середовища. На підрівні MAC здійснюється доступ до каналу передачі даних.

1-й рівень – *фізичний* (Physical): надає механічні, електричні, функціональні і процедурні засоби для встановлення, підтримки і роз'єднання логічних з'єднань між логічними об'єктами канального рівня; реалізує функції передачі бітів даних через фізичні середовища. Саме на фізичному рівні здійснюється подання інформації у вигляді електричних або оптичних сиг-

налів, перетворення форми сигналів, вибір параметрів фізичних середовищ передачі даних.

У конкретних випадках може виникати потреба в реалізації лише частини названих функцій, тоді відповідно в мережі є лише частина рівнів. Так, у простих (нерозгалужених) ЛОМ відпадає необхідність у засобах мережевого і транспортного рівнів.

3.9 Апаратні засоби ЛОМ

До переліку мережевого устаткування ЛОМ входять моноканали (інші назви – сегменти, стовбури), що являють собою фізичні лінії передачі даних; мережеві контролери (адаптери, мережеві плати), керуючі доступом до каналу зв'язку; приймачі-передавачі для зв'язку мережевого контролера з моноканалом; блоки взаємодії даної мережі (або підмережі) з іншими мережами (підмережами); термінатори – пристрої узгодження опорів на кінцях моноканалів для виключення відбиття сигналів; *концентратори* (Hubs) – пристрої комутації в мережах зіркової архітектури; концентратори кінцевих систем – для підключення декількох КУД; коннектори – для механічного і безпосереднього електричного підключення вузлів до кабелю.

Розглянемо приклади побудови приймачів-передавачів і мережевих контролерів ЛОМ.

Приймач-передавач ПП (transiver) – це пристрій для електричного з'єднання АКД і лінією передачі даних. До складу приймача-передавача (рис. 3.5) у шинних ЛОМ із методом входять:

- приймач сигналів від лінії передачі даних; його призначення підсилення інформаційних сигналів і виявлення конфліктів шляхом виділення постійної складової спотворених сигналів і її порівняння в компараторі з еталонною напругою;

- передавач від станції в лінію; звичайно реалізується у вигляді струмового перемикача або балансної схеми на насичених транзисторах із трансформаторним виходом;

- відгалужувач для приєднання входів приймача і виходів передавача до кабелю; застосовується механічний контактувальний пристрій, що накладається на кабель і має гвинт-голку, якою проколюється кабель і здійснюється контакт із центральним провідником; голчастий контакт має трансформаторний зв'язок із приймачем і передавачем сигналів;

- захист від шуму для відключення КУД від кабелю, якщо КУД помилково генерує сигнали довше, ніж це передбачено.

У кільцевих локальних мережах сигнали циркулюють по кільцю, що складається з ряду відрізків лінії зв'язку, що з'єднують пари сусідніх вузлів. Ці відрізки з'єднуються у вузлах за допомогою повторювачів сигналів, що виконують функції прийому і передачі сигналів як з кільця й у кільце, так і між АКД і лінією. Повторювачі вносять деяку затримку у передачу

сигналів, тому загальна затримка залежить від числа станцій, включених у кільце.

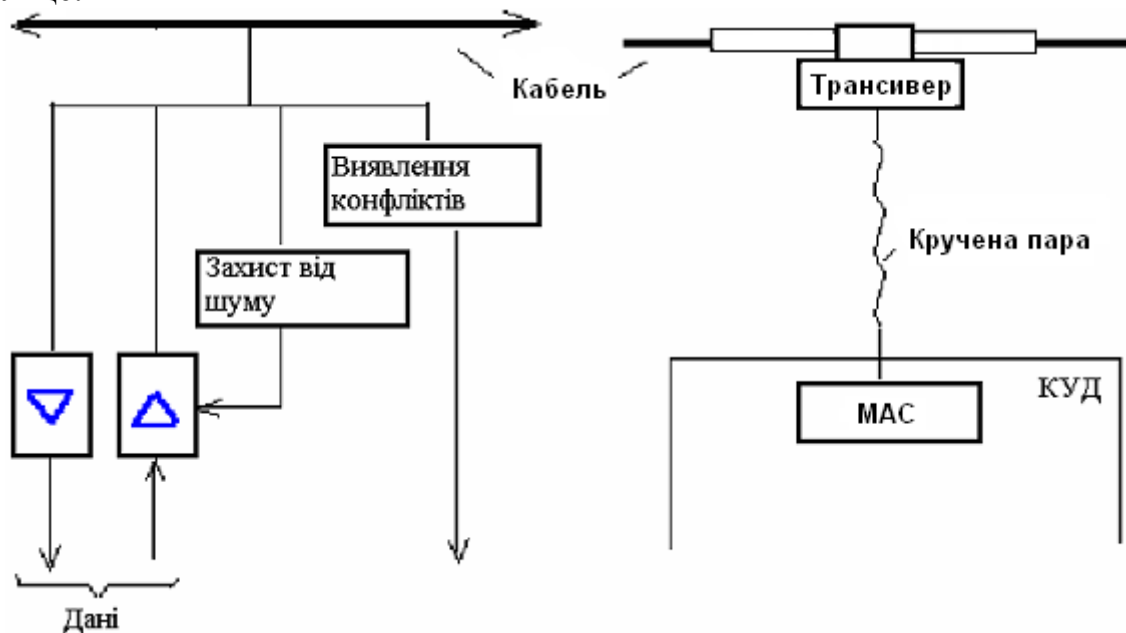


Рисунок 3.5 – Приймач-передавач у шинній мережі

Одним зі способів взаємозв'язку лінії й АКД є спосіб вставки регістра. Станція, що одержала повноваження, називається активною станцією. Активна станція здійснює вставку регістра в розрив кільця і підключає передавальний регістр, з якого в кільце посиляється переданий кадр.

Ці регістри є регістрами зсуву. Кадр проходить через кільце і повертається на вставлений регістр. Протягом шляху його адресна частина перевіряється іншими станціями, оскільки в них передбачена розшифровка адресної і керуючої інформації. Якщо пакет призначений даній станції, то приймається інформаційна частина пакета, перевіряється правильність прийому і при позитивному результаті перевірки в кільце надсилається відповідне підтвердження. Передавальна (активна) станція одночасно з передачею сформованого в ній пакета приймає пакет, що пройшов по кільцю, на вставлений регістр. У кожному такті зсуву в кільце направляється черговий біт даних, а з кільця з деякою затримкою повертаються передані біти. Якщо підтверджено правильність передачі, то передані дані стираються в передавальній станції, що надсилає в кільце вільний маркер, якщо правильність не підтверджено, то здійснюється повторна передача пакета.

Станції, готові до передачі власних даних, чекають надходження вільного маркера. Станція, що одержала повноваження, вставляє свій регістр у кільце, стаючи активною, а вставлений раніше регістр виключається з кільця.

Приймач-передавач (повторювач) для волоконно-оптичних ліній передачі даних також включає частини приймання, передавання, зчитування і запису даних. У прийомній частині є фотодіод, підсилювач-формував си-

гналів з необхідними рівнями напруги, механічний контактувальний пристрій для надійного контакту фотодіода зі скляною оболонкою кабелю. Передавач подано світлодіодом або мікролазером.

Мережевий контролер (адаптер) – пристрій для зв'язку КУД із середовищем передачі даних. Блок доступу до каналу називається також засобом рівня МАС і реалізує прийнятий метод доступу. У блоці виконуються дії з вироблення сигналу затору, затримки в передачі при наявності конфлікту або при зайнятому моноканалі, формування даних у кадри, кодування (декодування) електричних сигналів у (з) манчестерський код, розпізнавання адреси в переданих по мережі повідомленнях.

Формування власних інформаційних кадрів включає операції поділу повідомлення на кадри і додавання до інформаційних байтів службової інформації відповідно до використовуваного протоколу. Звичайно до службової інформації входять адреса одержувача (можливо також і відправника), контрольний код для перевірки правильності передачі, прапорці – ознаки початку і кінця кадру. Після утворення інформаційного кадру станція повинна одержати повноваження. Для цього вона прослуховує канал в очікуванні маркера. Після одержання повноважень відбувається перетворення паралельного коду в послідовний, перетворення в манчестерський код і передача сигналів у кабель.

У випадку кільцевих маркерних ЛОМ до функцій МАС-підрівня відносяться: впізнання адреси; генерація контрольного коду при передачі і його перевірка при прийомі; впізнання маркера; контроль граничного часу відсутності маркера, що потрібно для прийняття висновку про втрату маркера і, отже, про його відновлення; розпакування кадру і т.п.

3.10 Методи доступу до середовища передачі в локальних мережах

Ключовою ланкою, що визначає продуктивність, надійність і ефективність застосування пропускну здатності фізичного середовища передачі, є використовуваний у мережі метод доступу. Середовище передачі – це загальний ресурс у локальній мережі. Цей ресурс розділяється безліччю мережевих об'єктів, підключених до нього. Для коректного розподілу вирішується задача множинного доступу.

Множинний доступ – це механізм поділу в часі загального каналу між колективом робочих станцій і серверів, включених у комп'ютерну мережу.

Мета використання одного високошвидкісного каналу – досягнення високих техніко-економічних показників мережі при мінімізації витрат на засоби зв'язку і забезпечення необхідних характеристик з продуктивності мережі і затримки передачі інформації в ній.

Основна проблема систем із множинним доступом – виникнення одночасної передачі від двох і більше станцій; таке явище називається конфліктом. На сьогоднішній день розроблено безліч алгоритмів, що знижують

або взагалі усувають можливість виникнення конфліктів у локальних мережах. Алгоритми, що захищають користувачів при роботі в мережі від конфліктів, називаються *методами доступу*.

Випадкові методи доступу допускають можливість виникнення конфліктів. Пропорційні методи, у яких заздалегідь закладений безконфліктний алгоритм доступу станції в канал, не допускають конфліктів.

Достоїнства безконфліктних методів:

1) дають можливість гарантованої доставки повідомлення в умовах високого завантаження каналів;

2) час затримки передачі пакетів у таких мережах має верхню межу.

Гібридні методи є комбінацією перших двох.

Питання для самоперевірки

1. Скільки складає швидкість передачі даних у ЦМІО?
2. Назвіть переваги мережі з комутацією повідомлень.
3. Що є об'єктом контролю у системах передачі даних?
4. Які є види контролю обладнання у системах передачі даних?
5. Назвіть причини появи дроблень.
6. Назвіть відмінні риси комутаційної мережі.
7. В чому полягає різниця між комунікаційною, інформаційною та обчислювальною мережами?
8. Назвіть найбільш поширені види локальних обчислювальних мереж.
9. Обґрунтуйте структуру моделі ЕМВВС.
10. Для чого застосовуються концентратори?

4 ФАКСИМІЛЬНИЙ ЗВ'ЯЗОК

4.1 Система факсимільного зв'язку

Факсимільний зв'язок (facsimile communication) – це вид електророзв'язку, при якому здійснюються передача і відтворення на відстані *нерухомих зображень* (static image).

Зображення, що передається, – оригінал – передається не у повному вигляді у заданий момент, а розбивається на окремі елементарні площадки. Ці площадки утворюються фокусуванням невеликої світлової плями, яка рухається по поверхні зображення. Первинні факсимільні сигнали отримують у результаті електрооптичного аналізу, який полягає у перетворенні світлового потоку, котрий відбивають елементарні площадки зображення, у електричні імпульсні сигнали з амплітудою, яка залежить від *яскравості* (brightness) відбитого сигналу. У приймачі отримані сигнали перетворюються у оптичні сигнали відповідної яскравості і збуджують яку-небудь фізичну дію, що зафарбовує елементарні площадки носія запису, у результаті чого отримується копія зображення, що передається.

Система факсимільного зв'язку зображена на рис. 4.1. *Пристрій розгортки* (scanner) використовується для розкладення оригіналу на елементарні площадки за допомогою світлового потоку світлооптичної системи, який фокусується на поверхню зображення. Відбитий від поверхні світловий потік потрапляє у перетворювач оптичних сигналів у електричні, як такий застосовується фотоелемент. Потім електричний відеосигнал підсилюється і подається на модулятор, де він перетворюється у спектр частот, що відповідають каналу тональної частоти, який застосовується для факсимільного зв'язку. Потім сигнал знову підсилюється і передається до каналу. Синхронну і синфазну роботу передавача і приймача забезпечує спеціальний пристрій.

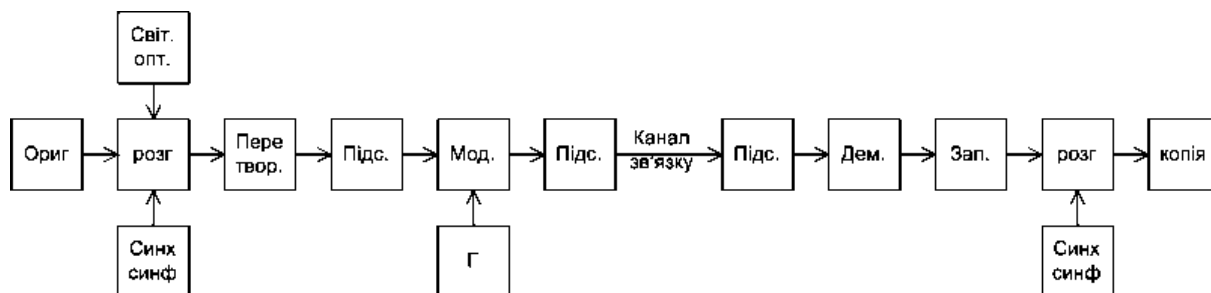


Рисунок 4.1 – Система факсимільного зв'язку

На приймальній стороні сигнали, який надходять з каналу, подаються на підсилювач, який компенсує згасання сигналів у каналі, а потім на демодулятор, призначений для оберненого перетворення каналного спектра модульованого сигналу у вихідний відеосигнал. Після демодулятора відео-

сигнал надходить у пристрій запису, де відбувається запис відеосигналів за допомогою приймального пристрою розгортки.

На рис. 4.2 показано один із способів технічної реалізації електрооптичного аналізу і синтезу зображень. Бланк з оригіналом кладеться на барабан Б передавального факсимільного апарата. На поверхню зображення проектується яскрава світлова пляма, яка рухається вздовж осі барабана. При обертанні барабана світлова пляма рухається по його поверхні, здійснюючи розгортку зображення. Відбитий світловий потік впливає на фотоеlement ФЕ, у результаті чого у його колі з'являється змінний струм $i_a(t)$, миттєве значення якого визначається оптичною щільністю (відбивною здатністю) елементів зображення. У приймальній частині факсимільного апарата прийнятий сигнал подається на світлодіод Д, інтенсивність випромінювання якого пропорційна миттєвому значенню сигналу. Пучок світла від світлодіода фокусується на поверхні барабана приймального апарата. На барабані закріплено світлочутливий папір. Барабан обертається синхронно з барабаном передавача. Світлова пляма від світлодіода рухається вздовж осі барабана так само, як і у передавачі. У результаті після проявлення одержується копія оригіналу зображення.

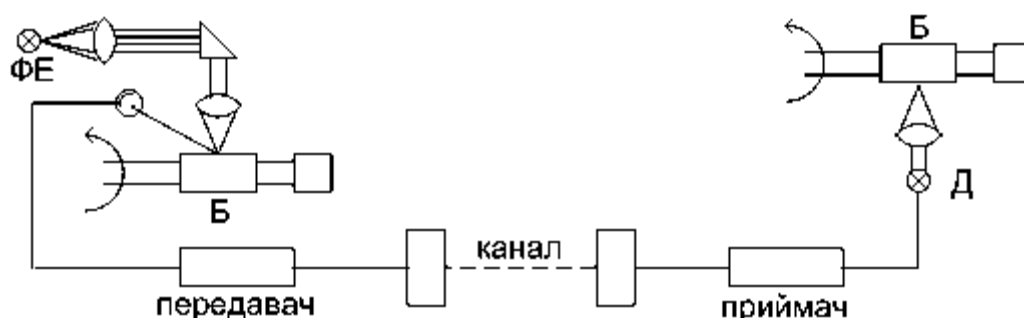


Рисунок 4.2 – Структурна схема факсимільного каналу

4.2 Факсимільний сигнал

Частотний спектр первинного факсимільного зображення визначається характером зображення, що передається, швидкістю розгортки і розмірами аналізуючої плями. Максимальну частоту первинного факсимільного сигналу можна обчислити, вважаючи, що оригінал – це чорні і білі смужки, перпендикулярні до напрямку розгортки, причому ширина цих смужок дорівнює ширині аналізуючої плями. У такому випадку:

$$f_{\text{пис}} = \frac{\pi DM}{120d},$$

де D – діаметр барабана, мм;

M – частота обертів барабана, об/хв.;

d – ширина аналізуючої плями, мм.

Рекомендовані такі значення параметрів факсимільних апаратів: $M=120, 90$ і 60 об/хв., $D=70$ мм, $f_{\text{рис}}=1100$ Гц при $M=90$ об/хв., $f_{\text{рис}}=732$ Гц при $M=60$ об/хв.

При передачі реальних зображень первинний сигнал має складну форму, а його енергетичний спектр містить частоти від 0 до $f_{\text{рис}}$. Залежно від характеру, зображення поділяються на штрихові, які мають дві градації яскравості, і напівтонові. Динамічний діапазон сигналу, який відповідає напівтоновому зображенню, складає приблизно 25 дБ.

Пік-фактор сигналу визначається з виразу

$$Q = 20 \lg \frac{U_{\max}}{U_{\text{сер}}},$$

де $U_{\max}$ – максимальне значення сигналу,

$U_{\text{сер}}$ – середньоквадратичне значення сигналу.

Нехай всі градації яскравості рівноймовірні, тобто ймовірність появи i -ї градації $p = \frac{1}{l}$, де l – кількість градацій, що забезпечують гарну якість.

Перенумеруємо у порядку зростання рівні сигналу, які відповідають різним градаціям яскравості, тоді напруга i -го рівня буде визначатися так:

$$U_i = \frac{U_{\max} i}{l},$$

а середньоквадратичне значення сигналу

$$U_{\text{сер}}^2 = \sum_{i=1}^l U_i^2 p_i = \frac{U_{\max}^2}{l^3} \sum_{i=1}^l i^2.$$

Оскільки $\sum_{i=1}^l i^2 = \frac{l(l+1)(2l+1)}{6}$, маємо:

$$U_{\text{сер}} = \frac{U_{\max}}{l} \sqrt{\frac{(l+1)(2l+1)}{6}};$$

$$Q = 20 \lg \frac{1}{\sqrt{\frac{(l+1)(2l+1)}{6}}}.$$

При $l = 16$ пік-фактор $Q = 4,5$ дБ.

Наявність завад у каналі призводить до появи точок і забруднень на зображенні, що відтворюється. Якість зв'язку є задовільною, якщо різниця між максимальними рівнями факсимільного сигналу і завади складає приблизно 35 дБ.

Дискретизація факсимільного повідомлення вимагає додаткової над-

мірності. З метою скорочення надмірності дискретизований факсимільний сигнал кодується, у результаті чого надмірність зменшується у 5–15 разів. При цьому скорочується час передачі повідомлення по каналу.

4.3 Типи факсимільних апаратів

За характером повідомлень, що передаються, факсимільні апарати поділяються на:

1. Апарати для передачі чорно-білих зображень, які мають дві градації яскравості растрового елемента: білу максимальну $B_{\max}$ і чорну мінімальну $B_{\min}$, до чорно-білих зображень відносяться рукописний та друкований тексти, креслення, карти;

2. Апарати для передачі напівтонових зображень, у яких растрові елементи можуть приймати, окрім $B_{\max}$ і $B_{\min}$, ще декілька проміжних значень яскравості, які називаються напівтонами (світле, сіре, темне тощо); основним напівтоновим матеріалом є чорно-білі фотографії;

3. Апарати для передачі кольорових зображень – сторінок журналів для їх подальшого децентралізованого друку.

За способом запису зображення у приймачі факсимільні апарати поділяються на:

1. Фотографічні, які використовують фотографічний метод запису на фотопапір або фотоплівку;

2. Штрихові, які записують зображення на звичайний папір фарбою або чорнилами;

3. Електрохімічні, у яких запис зображення відбувається на спеціальний папір, яких зафарбовується тільки коли через нього пропускається електричний струм.

Окрім того, запис зображення може проводитися і іншими способами: електротермічним, аерографічним, ксерографічним, лазерним.

4.4 Характеристики факсимільної передачі

Для вимірювання і нормування якості факсимільної передачі вводять такі кількісні характеристики:

1. *Чіткість зображення* (image definition), яка виражається максимальною кількістю штрихів, які окремо відтворюються приймачем і припадають на 1мм зображення. Окремо вимірюється і нормується чіткість по горизонталі $n_{гор}$ для штрихів, нанесених перпендикулярно до руху розгортаючого елемента вздовж рядка, та чіткість по вертикалі $n_{вер}$ для штрихів, нанесених паралельно рядку розгортки. У загальному випадку величини $n_{гор}$ і $n_{вер}$ не збігаються. Показник чіткості дозволяє оцінити не лише якість відтворення мілких деталей зображення, але й різкість переходів між біли-

ми і чорними полями, тобто ступінь розмитості контурів зображення. Тому чіткість у найвищій мірі характеризує якість передачі зображення. Для більшості факсимільних систем норма на чіткість складає 4–5 штрихів на міліметр, але для передачі газет чіткість складає 24 штриха на міліметр.

2. *Якість відтворення напівтонів* (grey tone reproduction quality). При випробуванні напівтонових апаратів оригіналом є напівтоновий клин, який має 15 ділянок різної оптичної щільності, від білого до чорного (рис. 4.3). Щільності суміжних ділянок відрізняються на $\Delta D = 0,1$. Кількість градацій напівтонів, що окремо відтворюються, буде характеризувати здатність факсимільного апарата передавати напівтонові зображення. При цьому якість передачі вважають незадовільною, якщо на копії розрізняють менш ніж п'ять градацій щільності з 15 переданих; задовільною, якщо розрізняють від 5 до 8 градацій; гарною, якщо розрізняють від 8 до 11 градацій; відмінною, якщо розрізняють від 11 до 15 градацій.

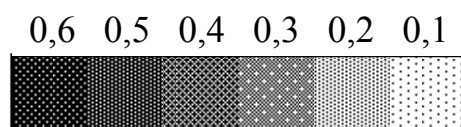


Рисунок 4.3 – Градації напівтонів

3. *Контрастність відтвореного зображення* (reproduced image contrast), яка характеризується максимальною і мінімальною яскравостями ділянок зображення. Контрастність не нормується, оскільки вона визначається залежно від контрастності оригіналу.

4. Величина геометричних спотворень копії, яка визначається для спотворень типу *перекос* (tilt). При наявності перекосу горизонтальні або вертикальні лінії, які знаходяться на оригіналі, стають непаралельними краям бланка. Кількісно величина перекосу визначається як тангенс кута, утвореного краєм бланка копії і лінією, яка на оригіналі була паралельною цьому краю (рис. 4.4): $\text{tg}\psi = \frac{\Delta l}{l}$, де Δl – відхилення (непаралельність) ліній довжиною l на копії відносно ліній на оригіналі. Для факсимільних апаратів загального призначення допускається $\text{tg}\psi = 0,01$, для апаратів, призначених для передачі газет, $\text{tg}\psi = 0,005$.

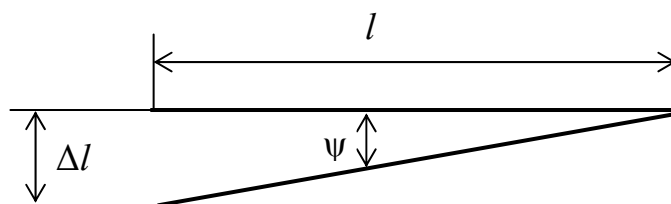


Рисунок 4.4 – Визначення величини перекосу

Оцінка якості факсимільного зв'язку за всіма переліченими парамет-

рами проводиться при передачі спеціальної таблиці 0159К-12. Якість репродукції можна визначити двома методами – суб'єктивним і об'єктивним. При суб'єктивному визначенні спостерігач, розглядаючи копію таблиці, візуально знаходить величину чіткості, кількість відтворених напівтонів, оцінює ступінь геометричних спотворень. Об'єктивне визначення якості проводиться за допомогою спеціальних приладів – денситометрів, які вимірюють яскравість окремих ділянок зображення.

4.5 Електрооптичний аналіз зображення

Аналіз зображень при факсимільній передачі об'єднує дві взаємопов'язані операції – розгортку оригіналу і електрооптичне перетворення яскравостей растрових елементів у електричні сигнали. Відповідно до цього пристрій аналізу факсимільного передавача складається з пристрою розгортки, фотоелектричного перетворювача і світлооптичної системи, яка виділяє на оригіналі растровий елемент.

Пристрій розгортки забезпечує переміщення елемента розгортки по поверхні оригіналу синхронно і синфазно з рухом відтворюючого елемента по поверхні копії. Пристрої розгортки бувають механічними, електронними і електронно-механічними.

Пристрої механічної розгортки можуть бути двох типів: з циліндричним розташуванням бланка оригіналу або копії, з площинним або напівплощинним розташуванням бланка. Барабанні пристрої можуть мати різну конструкцію. У одних барабан обертається і одночасно виконує поступальний рух відносно нерухомого елемента розгортки, у інших барабан обертається, а елемент розгортки виконує поступальний рух.

До переваг барабанної розгортки можна віднести:

1. Простоту пристроїв розгортки;
2. Незмінність розмірів елемента розгортки;
3. Постійність світлового потоку при його переміщенні по бланку.

Недоліки барабанних розгортки:

1. Обмежена швидкість передачі;
2. Обмежені розміри бланка, що передається;
3. Відсутність неперервності передачі.

Перевага площинної розгортки – можливість безперервної передачі одного зображення за іншим без зупинення апарата.

Недолік – складність світлооптичної системи.

У пристроях з електронно-механічними і електронними розгортками як джерело світла у пристрої аналізу або синтезу використовуються електронно-променеві трубки. При електронно-механічній розгортці рух елемента розгортки по рядках визначається відхиленням електронного променя по екрану електронно-променевої трубки, а рух у перпендикулярному до рядків напрямку – механічним переміщенням зображення, що передається.

При електронній розгортці рух елемента розгортки у обох напрямках (по рядках і по кадрах) відбувається за рахунок переміщення електронного променя по екрану електронно-променевої трубки. Електронні розгортки дозволяють регулювати швидкість передачі, розміри документа, що передається, і величину елемента розгортки.

Пристрої розгортки характеризуються такими параметрами: кроком розгортки, розмірами елемента розгортки, рядком розгортки, швидкістю розгортки, щільністю розгортки, модулем взаємодії.

Крок розгортки – це відстань між осями двох сусідніх рядків на зображенні. Величина кроку розгортки δ визначається характером зображення, що передається, і величиною найменшої деталі $d_{\min}$ на оригіналі, яку необхідно передати. Чим менше розмір деталі рисунку, тим меншим повинен бути крок розгортки. Встановлено, що $0,92 \leq \delta/d_{\min} \leq 1$. Наприклад, при передачі друкованого тексту $d_{\min} = 0,35 \text{ мм}$ і $\delta = 0,32 - 0,35 \text{ мм}$.

У пристроях розгортки застосовуються *елементи розгортки* трьох видів: прямокутна з шириною a_p і висотою b_p (рис. 4.5, а), кругла діаметром d_p (рис. 4.5, б), еліпсоїдна з осями a_p і b_p (рис. 4.5, в). Розмір a_p знаходиться вздовж осі розгортки. Висота елемента розгортки або його діаметр визначається кроком розгортки. Зазвичай, $b_p = \delta$, $d_p = 1,15\delta$. Ширина a_p елемента розгортки повинна забезпечити необхідну величину відбитого світлового потоку. Зазвичай обирають $a_p = 0,07 \div 0,14 \text{ мм}$.

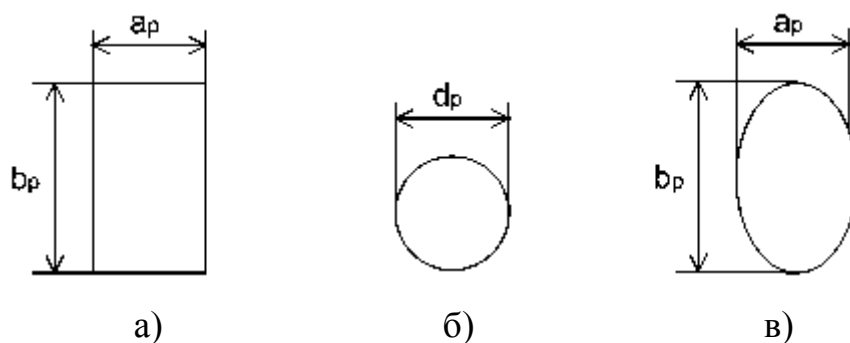


Рисунок 4.5 – Види елементів розгортки:
а) прямокутна; б) кругла; в) еліпсоїдна

Рядок розгортки – це смуга, по якій проходить елемент розгортки від одного краю рисунку до іншого. Сукупність рядків утворює растр. Довжина рядка L повинна бути трохи більшою за ширину бланку.

Швидкість розгортки визначається кількістю рядків N або площею бланку S , які передаються за одну хвилину. При барабанній розгортці N дорівнює кількості оборотів барабана за хвилину. Швидкість розгортки встановлюється залежно від ширини спектра каналу. Для каналів тональної

частоти прийняті такі швидкості розгортки: 60; 90; 120 і 240 рядків/хв. Лінійна швидкість елемента розгортки $v_x = LN/60$ [мм/с].

Щільність розгортки визначається кількістю рядків розкладення n на 1 мм бланка, де $n = \frac{1}{\delta}$. При передаванні графічного матеріалу обирають $n = 3,8$, а при передаванні напівтонових зображень – $n = 5,6$. Іноді щільність розгортки виражають через кількість елементів розгортки ν на 1 дм² поверхні бланка. Кількість елементів розгортки ν визначається як відношення площі бланка у 1 дм² до площі елемента розгортки. Для прямокутного елемента розгортки

$$\nu = \frac{10^4}{a_p b_p},$$

а для круглого елемента розгортки

$$\nu = \frac{10^4}{\pi d_p^2} = \frac{4 \cdot 10^4}{\pi d_p^2}.$$

У процесі експлуатації факсимільних апаратів часто виникає необхідність організувати зв'язок між апаратами з різними типами розгортки. У такому випадку для неспотвореної передачі необхідно виконувати такі умови: кількість рядків N' , що передається за хвилину, повинна дорівнювати кількості рядків N , що приймається за хвилину: $N' = N$.

Рядок на копії повинен бути подібний рядку на оригіналі: $\frac{L'}{L} = \frac{\delta'}{\delta}$, де L, L', δ, δ' – довжини рядків та кроки розгорток копії і оригіналу, відповідно.

Модуль взаємодії – це параметр, який визначається так: $M = L/\pi\delta$. У апаратах з барабанною розгорткою $L = \pi D$, тому $M = D/\delta$, де D – діаметр барабана. Таким чином, для сумісної роботи двох апаратів повинні виконуватися дві умови: швидкості апарата-передавача N' і апарата-приймача N повинні бути однакові; модулі їх взаємодії також повинні бути однакові.

Модулі взаємодії більшості апаратів стандартизовані, що дозволяє організовувати зв'язок між апаратами будь-яких типів. МККТТ рекомендує $M = 352$ і $M = 264$.

Робота перетворювачів світла у електричну енергію, які застосовуються у пристроях аналізу факсимільних апаратів, базується на принципах зовнішнього або внутрішнього фотоефекту. У факсимільних апаратах використовуються фотоелектричні перетворювачі таких типів: фотоелементи із зовнішнім фотоефектом, фотоелектронні помножувачі, електронно-

променеві трубки, фоторезистори.

Для фокусування на поверхні оригіналу світлової плями (елемента розгортки) використовується світлооптична система. Основна вимога, що висувається до такої світлооптичної системи – малі розміри світлової плями (приблизно 0,1–0,2 мм). Це забезпечується спеціальними точковими джерелами світла і високою точністю фокусування. Розміри плями повинні залишатися незмінними у будь-якій точці оригіналу.

У факсимільних апаратах застосовують світлооптичні системи двох типів: система, яка утворює растровий елемент на оригіналі; система, яка виділяє растровий елемент на оптичному зображенні оригіналу.

Схема системи першого типу наведена на рис. 4.6. Лінза Л1 фокусує світловий потік від джерела світла С у отвір діафрагми Д. Лінза Л2 утворює зображення отвору діафрагми Д, який визначає форму елемента розгортки на оригіналі, закріпленого на барабані Б. Відбиті промені потрапляють на фотоелектричні перетворювачі Ф.

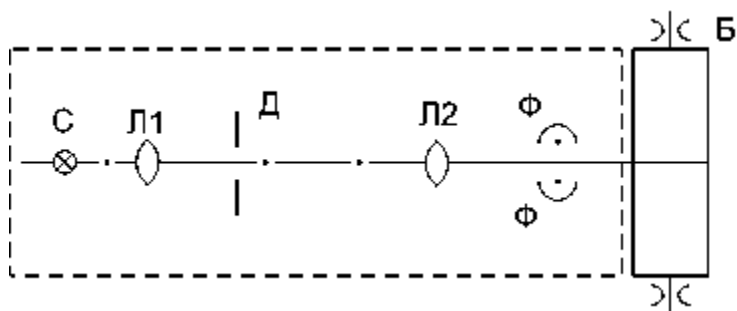


Рисунок 4.6 – Світлооптична система, яка утворює растровий елемент на оригіналі

Схема світлооптичної системи, яка виділяє растровий елемент на зображенні наведена на рис. 4.7. Лінза Л1 направляє світловий потік від джерела світла С на об'єкт О. Потік відбивається від поверхні і проходить через лінзу Л2, яка фокусує його у отвір діафрагми Д. За діафрагмою встановлено фотоелектричний перетворювач.

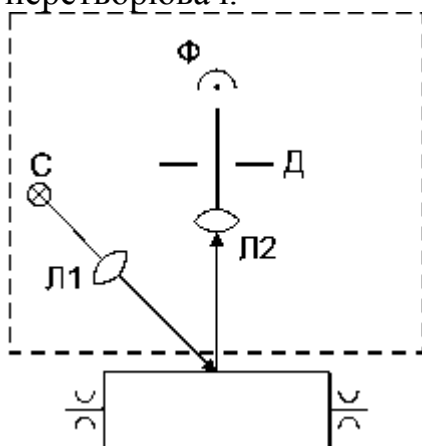


Рисунок 4.7 – Світлооптична система, яка виділяє растровий елемент на оригіналі

Світлооптична система першого типу з позиції використання світлового потоку джерела світла є значно ефективнішою за систему другого типу; але у ній навколо елемента розгортки створюється ореол, який погіршує якість передавання і відтворення мілких деталей зображення. Такий ореол виникає внаслідок впливу оптичної системи на елемент розгортки.

Отримана світлова пляма – елемент розгортки – повинна мати різкі межі і рівномірне розподілення світлового потоку.

4.6 Електрооптичний синтез зображення

Прийняте зображення – копія – синтезується у приймачі факсимільного апарата з окремих растрових елементів, на які було розкладено зображення при передачі. Синтез зображення здійснюється у два етапи: спочатку виділений приймачем відеосигнал перетворюється у величину яскравості растрових елементів (точніше, у величину оптичної щільності), а потім з окремих растрових елементів складається повна копія, тобто здійснюється згортка зображення.

У факсимільних приймачах запис зображення може здійснюватися різними способами, що, в свою чергу, визначає конструкцію пристрою запису.

Пристрій синтезу факсимільного приймача складається з перетворювача або пристрою запису та пристрою згортки зображення. Останній не відрізняється від пристрою розгортки передавача. Більш того, у деяких апаратах один і той самий пристрій використовується як для розгортки зображення при передачі, так і для його згортки при прийомі.

При фотографічному записі зображення записується на фотографічний папір або фотоплівку, поверхня яких чорніє під дією світла. Пристрій запису, який реалізує цей спосіб, складається зі світлооптичної системи, яка створює відтворюючий елемент на поверхні фотопаперу або фотоплівки, і модулятора світла, тобто пристрою, який перетворює електричні сигнали у відповідні йому світлові потоки.

Світлооптична система і пристрій розгортки при фотографічному записі принципово нічим не відрізняються від світлооптичної системи і пристрою розгортки, які застосовуються у пристрої аналізу.

Фотозапис може бути позитивним і негативним. Негативний фотозапис проводиться негативними сигналами на фотоплівку, на якій після обробки з'являється негативне зображення об'єкта, що передається. При необхідності негативне зображення можна перевести на фотопапір і отримати позитивне зображення. Позитивний фотозапис здійснюється позитивними сигналами на фотопапір. Після обробки на ньому з'являється позитивне зображення об'єкта, що передається. Негативний запис дозволяє отримати будь-яку кількість копій зображень. У сучасних факсимільних апаратах застосовуються обидва способи запису.

До переваг фотографічного способу запису відносяться:

1. Гарна якість зображення (контрастність, роздільна здатність, напівтони);

2. Можливість прийому зображення на високих швидкостях.

Недоліки фотографічного способу запису:

1. Необхідність спеціальної хімічної обробки бланків з прийнятим зображенням і складність цієї обробки;

2. Потреба у спеціальному фотографічному обладнанні;

3. Відсутність візуального контролю за прийомом зображення.

Чорнильний або штриховий запис зображення у приймачах факсимільних апаратів здійснюється спеціальними чорнилами на звичайному білому папері. Величина записуючого елемента, і відповідно, растрового елемента копії складають 0,2–0,3 мм.

Перевагами чорнильного запису є:

1. Простота пристрою запису;

2. Можливість візуального контролю на прийомі;

3. Непотрібна додаткова обробка копії.

Недоліки цього методу:

1. Мала чіткість зображення, обумовлена кінцевими розмірами записуючого елемента;

2. Неможливість отримання напівтонових зображень;

3. Невисока швидкість запису через інерційність магнітної системи.

Електрохімічний запис здійснюється шляхом пропускання електричного струму через елементи поверхні білого паперу певного сорту, насиченого хімічними реагентами. У результаті електролізу і хімічних реакцій у зволоженому папері елемент зафарбовується.

Переваги електрохімічного запису:

1. Простота записуючого пристрою;

2. Можливість візуального спостереження за процесом запису зображення;

3. Відносно висока швидкість запису.

Недоліки:

1. Необхідність зволоження паперу;

2. Недостатня кількість напівтонів;

3. Схильність металевих частин апарата до корозії внаслідок випаровування при хімічній реакції.

4.7 Синхронізація у факсимільних системах зв'язку

Для факсимільних передавача і приймача необхідно виконати умови *синхронізації* (synchronization) і *фазування* (phase correction) їх пристроїв розгортки. Невиконання цих умов призводить до появи спотворень або до повної втрати зображення.

Синхронізація розгортки факсимільного зображення – це встановлення рівності швидкостей апаратів передачі і прийому. *Фазування* факсимільних апаратів – це встановлення однакового положення елементів розгортки апаратів передачі і прийому відносно країв кадру у процесі розгортки. Для нормальної передачі зображення необхідною є одночасна синхронність і синфазність розгортки.

Як привод розгортки у електромеханічних факсимільних апаратах використовують синхронні реактивні або гістерезисні двигуни. Частота обертання ротора двигуна повністю визначається частотою напруги змінного струму, який живить двигун. У електронних розгортках швидкість розгортки також повністю визначається частотою джерела тактових імпульсів. Таким чином, синхронізація і фазування зводяться до підтримання заданих частоти і фази коливань генератора.

У факсимільних системах зв'язку застосовуються такі способи синхронізації:

1. Автономна синхронізація, при якій генератори розгортки передавача і приймача працюють незалежно один від одного, але їх частоти рівні і високостабільні, що і забезпечує необхідні синхронність і синфазність;
2. Примусова синхронізація частоти генератора приймача коливаннями частоти генератора передавача, які передаються по спеціальному каналу;
3. Мережева синхронізація, при якій розгортка передавача і приймача синхронізовані промисловою частотою 50 Гц.

У факсимільних системах з барабанною і коловою розгортками найчастіше застосовується автономна система синхронізації зі стабільністю частоти генераторів не менше $10^{-6} \dots 10^{-7}$.

4.8 Фазування у факсимільних системах зв'язку

Початкове встановлення вихідного положення елементарних площадок розгортки, тобто фазування, виконується пристроями фазування передавача перед початком передачі зображення. У процесі фазування автоматично виконується:

- визначення величини і знака фазової неузгодженості передавача і приймача;
- підстроювання фази приймача шляхом незначної зміни швидкості розгортки приймача відносно номінального значення;
- визначення моменту синфазності передавача і приймача;
- вимкнення підстроювання фази, тобто переключення приймача на номінальну швидкість роботи.

Для порівняння фаз по каналу передаються спеціальні сигнали фазування. Після встановлення синфазності їх передача припиняється і починається передача сигналів зображення. Невиконання вимог синфазності при-

зводить до появи специфічних спотворень у копії, які називаються розривом.

До систем фазування факсимільних систем висуваються такі вимоги:

1. Висока точність фазування. Після встановлення синфазності між передавачем і приймачем зміщення зображення на копії не повинно перевищувати $\pm 1 \dots 2 \text{ } \mu\text{m}$ по довжині строчки;

2. Малий час встановлення синфазності, починаючи з моменту запуску апаратів і до моменту готовності до передачі зображення. Цей час визначається тривалістю відстрочки фази приймача, також він залежить від швидкості розгортки. Для зменшення часу встановлення синфазності підстроювання фази приймача виконується у два етапи: спочатку приблизно, з великим кроком підстроювання фази, а потім більш точно.

Перед самим фазуванням проводиться запуск пристроїв розгортки факсимільних систем. Приймач запускається автоматично під дією сигналів передавача. У результаті вдається практично повністю автоматизувати операції передавання і приймання зображень.

4.9 Організація факсимільного зв'язку

За принципом надання послуг організація служб факсимільного зв'язку здійснюється по двох напрямках – клієнтському і абонентському. До клієнтської служби відноситься служба Бюрофакс, до абонентської – Телефакс

Традиційні абонентські установки (телефакси) характеризуються такими недоліками:

- схильність до значного механічного зносу – під час використання сканер телефаксу забивається пилом і брудом, які потрапляють з документів, що зчитуються; пластикові шестерні зношуються. Все це призводить до перекосів і нерівномірної подачі документів у сканер і термопаперу у пристрій запису;

- складність відправлення документів великій кількості адресатів;
- неефективне використання паперу – більшість факсимільних апаратів роздруковує всі одержувані повідомлення на спеціальному термопапері, зображення на якому згодом вицвітає; тобто всі важливі повідомлення необхідно для збереження копіювати.

Ріст обсягу інформації, переданої користувачами, викликав у багатьох з них зацікавленість у використанні не тільки простих автономних телефаксів, що виконують обмежене, строго визначене число функцій, але й більш досконалих систем, що дозволяють автоматизувати процеси прийому, обробки і розсилання факсимільних повідомлень і виключити відзначені вище недоліки. Реалізація таких систем можлива тільки на основі персональних комп'ютерів. Перша комп'ютерна факсимільна плата була створена в 1985 р. фірмою GammaLink. Це дозволило підключити телефонну

лінію безпосередньо до комп'ютера і перетворити його в потужний і багатофункціональний телефакс. Сьогодні комп'ютерні факсимільні плати випускає величезна кількість виробників. Системи на базі ПК із застосуванням таких плат мають ряд переваг перед звичайними факсимільними апаратами:

- зручність використання. Інтеграція ПК з телефонною мережею і наділення його можливостями телефаксу дозволяє користувачам одержувати, обробляти і відправляти факсимільні повідомлення, не відриваючись від своїх комп'ютерів;
- ефективне застосування телефонних ліній. Факсимільна система, що будується на базі ПК, забезпечує ефективний обмін інформацією з малою кількістю телефонних ліній, замінюючи собою декілька автономних телефаксів, кожен з яких потребує окремої лінії;
- висока якість переданого зображення. Будь-який документ текстового або графічного редактора може бути переданий у вигляді факсимільного повідомлення високої якості. Для цього за допомогою спеціального програмного забезпечення він перетворюється у формат, використовуваний факсимільною платою для передачі повідомлень. Таким чином, гарантується висока якість зображення, оскільки документ не може бути "зіпсований" ні низькою якістю друку, ні забрудненням сканера телефаксу;
- збереження конфіденційності прийнятих повідомлень. На відміну від звичайних телефаксів, що роздруковують всі прийняті повідомлення на одному рулоні паперу, розглянуті системи приймають і зберігають їх у персональних директоріях користувачів, доступ до яких обмежується паролем. Таким чином цілком виключається перегляд важливих документів сторонніми людьми.

Крім того, застосування ПК дозволяє реалізувати безліч корисних і зручних послуг. Найбільш поширені такі послуги, як факс-сервер, факс за запитом і факс-розсилання. Застосування факсу-сервера зводить до мінімуму часові і матеріальні витрати при прийомі і передачі факсимільних повідомлень. Факс за запитом дозволяє автоматизувати процес надання абонентам документів, що часто використовуються. Факс-розсилання значно спрощує роботу персоналу при розсиланні великої кількості різних документів великій кількості адресатів.

Факс-сервер. Це комп'ютер, обладнаний декількома спеціальними факсимільними платами і інтегрований з локальною обчислювальною мережею. Він має багато переваг порівняно з групою з декількох автономних телефаксів, дозволяючи обмінюватися факсимільними повідомленнями з кращою якістю і меншими витратами. Факс-сервер наділяє кожного користувача ЛОМ можливістю передавати і приймати факсимільні повідомлення за допомогою свого ПК. При його використанні відпадає необхідність у термопапері, тому що всі прийняті повідомлення зберігаються у вигляді файлів, які у разі потреби можна роздрукувати за допомогою звичайного

принтера; полегшується контроль витрат на пересилання повідомлень (факс-сервер реєструє всі процеси у файлі-звіті); і нарешті, факс-сервер є більш дешевим варіантом, ніж підключення кожної робочої станції до телефонної мережі за допомогою модема.

Передача повідомлень факс-сервером. На кожному ПК локальної мережі встановлюється спеціальна програма. Вона дає можливість користувачеві відправляти документи зі свого комп'ютера. Досить вказати документ, що підлягає відправленню, і телефонний номер адресата. Все інше факс-сервер зробить сам, сповістивши користувача про успішну передачу документа адресатові. Причому всі нетермінові повідомлення можуть бути збережені на диску факсу-сервера і відправлені в нічний час за нижчими тарифами. Деякі факсимільні сервери також дозволяють розсилати документи великій кількості адресатів.

Прийом повідомлень факс-сервером. Факс-сервер приймає кожне факсимільне повідомлення, що надходить, і зберігає його в загальній директорії або в персональній директорії користувача, сповіщаючи про це в першому випадку секретаря, а в другому – конкретного користувача. Права доступу до обох директорій для кожного користувача можуть бути обмежені. Цим забезпечується збереження конфіденційності прийнятої інформації.

Зрозуміло, що збереження повідомлень, що надходять, у персональних директоріях користувачів є найбільш зручним, однак для реалізації такої можливості потрібне застосування спеціальних способів маршрутизації повідомлень. На сьогоднішній день актуальні такі два способи: *ручна маршрутизація* і *розпізнавання тональних сигналів*.

При застосуванні ручної маршрутизації всі повідомлення, що надходять, зберігаються в загальній директорії. На комп'ютер секретаря щоразу виводиться повідомлення і "шапка" повідомлення, що надійшло. Якщо її досить для визначення кінцевого адресата, то секретар натисканням однієї клавіші відправляє повідомлення в персональну директорію співробітника. У іншому випадку секретар переглядає все повідомлення і тільки після цього переадресовує документ. Розпізнавання тональних сигналів – найбільш практичний спосіб маршрутизації. Кожен співробітник має персональний додатковий номер, що вказується після номера телефаксу організації. Для того щоб передати документ конкретному співробітникові, досить подзвонити за номером організації і після відповіді факсу-сервера ввести додатковий номер співробітника за допомогою тональних сигналів. Таким чином документ відразу попадає в його персональну директорію.

Факс за запитом. Системи факсу за запитом (ФЗЗ) дозволяють автоматизувати обробку запитів абонентів з наданням їм факсимільних повідомлень. Як показує практика, при обробці запитів вручну звичайно виконується така послідовність дій. Абонент дзвонить за номером, на якому не встановлений телефакс, і запитує який-небудь документ. Співробітникові

потрібно знайти необхідний документ, дійти до телефаксу, установити з абонентом нове з'єднання (відомо, що 75 % викликів не досягають цілі з першої спроби – зайнято, не відповідає і т.д.) і відправити документ. Даний процес звичайно займає не менше п'яти хвилин робочого часу, а при передачі великих документів часові витрати збільшуються.

На сьогоднішній день застосування систем ФЗЗ – найкращий підхід до рішення подібного роду проблем. Системи ФЗЗ дозволяють у ланцюжку абонент–співробітник–документ цілком виключити елемент "співробітник". Це досягається за рахунок широких можливостей взаємодії з абонентами. Саме за цією ознакою системи ФЗЗ можна розділити на три види – простої відповіді, віщальні і інтерактивні. Робота *систем простої відповіді* виглядає так. Організація, що має у своєму розпорядженні систему ФЗЗ, вказує в рекламі поруч з кожною комерційною пропозицією її індекс. Клієнт, подзвонивши з телефаксу за номером системи ФЗЗ, вводить один з цих індексів, використовуючи функцію тонального набору, доступну на будь-якому сучасному телефаксі. У відповідь система автоматично висилає документ, у якому міститься докладна інформація про комерційну пропозицію. Усі документи зберігаються в системі у вигляді файлів спеціального формату. Їх можна створити двома шляхами: подзвонити на номер системи зі звичайного телефаксу і передати документ, після чого він буде автоматично перетворений у використовуваний формат або перетворити документ текстового або графічного редактора у використовуваний формат за допомогою спеціального програмного забезпечення.

Віщальні системи ФЗЗ на відміну від систем простої відповіді дозволяють абонентові вибирати документи, використовуючи короткі мовні інструкції. Система "піднімає трубку", вітає абонента і програє мовне меню. Різні пункти меню містять інформацію, що відповідає різним видам продукції або послуг, пропонованих організацією. У відповідь абонент може зробити таке: як у попередньому випадку, ввести відомий індекс пропозиції і відразу одержати необхідний документ; натиснути клавішу, що відповідає одному з пунктів меню; переключитися на оператора. При виборі абонентом пункту меню система програє мовне повідомлення, що містить інформацію про конкретні товари або послуги і відповідні їм індекси. Абонент вводить його індекс (або декілька індексів) і одержує відповідно один або кілька документів. Віщальні системи дозволяють організовувати деревоподібні мовні меню з різною кількістю гілок і рівнів, інформація в які може бути подана як у факсимільному, так і в мовному вигляді.

Інтерактивні системи ФЗЗ, так само як і віщальні, дозволяють абонентам одержувати доступ до інформації за допомогою індексів і деревоподібних мовних меню. Різниця між цими системами полягає в тому, що інтерактивні системи ФЗЗ можуть надавати кожному абонентові не тільки однотипні документи, але й індивідуальні. Вони створюються системою в процесі спілкування, залежно від послідовності команд, що набирається

абонентом на телефонному апараті. Виглядає це в так. Абонент дзвонить на номер системи Ф33, вводить свій персональний номер, код і, дотримуючись мовних інструкцій, одержує доступ до персональної інформації. Інший варіант – абонент відповідає на питання системи, що формує повідомлення залежно від відповідей, включаючи/не включаючи ті або інші дані в документ. Таким чином, всі повідомлення, що висилаються інтерактивною системою Ф33, індивідуальні для кожного абонента.

Факс-розсилання. Системи факсу-розсилання доцільно використовувати в організаціях, яким за родом своєї діяльності доводиться розсилати великі обсяги факсимільних повідомлень великій кількості адресатів. Системи факсу-розсилання звичайно будуються на базі ПК за допомогою багатоканальної факсимільної карти, що дозволяє одночасно розсилати по різних лініях різні за змістом документи різним групам адресатів. Для розсилання документів, наприклад, 1000 абонентам досить об'єднати їхні телефонні номери в тимчасову групу і співвіднести її з документами, що розсилаються. Системи факсу-розсилання звичайно без проблем взаємодіють з будь-якою широко розповсюдженою базою даних, використовуючи інформацію, що зберігається в ній, про номери абонентів. Після цього, якщо необхідно, вказується інтервал часу, протягом якого варто робити розсилання. Все інше система робить автоматично.

Клієнтська служба Бюрофакс. Призначена, у першу чергу, для надання послуг факсимільного зв'язку споживачам, які не мають власних факсимільних апаратів (телефаксів). Служба Бюрофакс забезпечує передачу, прийом і доставку повідомлень за допомогою факсимільного термінального устаткування, розташовуваного в так званих "бюро загального користування". Базою для створення підприємствами телеграфної підгалузі служби Бюрофакс є існуюча служба доставки телеграм і розгалужена мережа відділень зв'язку, у яких надаються телеграфні послуги і які можуть бути використані для розгортання факсимільних "бюро загального користування".

Служба Бюрофакс надає споживачам такі послуги:

- подачу документів для відправлення через операційне вікно відділення зв'язку, що передає повідомлення;
- подачу документа з факсимільної установки відправника;
- доставку факсимільного повідомлення адресатові (одержувачеві) постачальником;
- доставку факсимільного повідомлення одержувача засобами електров'язку на факсимільну установку;
- доставку факсимільного повідомлення засобами пошти;
- видачу факсимільного повідомлення одержувачеві без попереднього повідомлення (до запитання);
- видачу факсимільного повідомлення одержувачеві за попереднім повідомленням, переданим засобами пошти або електров'язку;

- різні категорії терміновості передачі і доставки повідомлень.

Спосіб доставки повідомлення одержувачеві визначається відправником.

Служба передачі газет. Забезпечує передачу факсимільним способом оригіналів-відбитків центральних газет, що надходять від видавництв у пункти децентралізованого друку. Для передачі газетних смуг застосовуються канали, що не комутуються: дуплексні вторинні широкосмугові канали наземних систем передачі, симплексні групові тракти супутникових систем, первинні цифрові канали супутникових систем передачі. Передача газетних смуг здійснюється з центра циркулярними пучками. Мережа побудована з використанням аналогової факсимільної кінцевої техніки "Газета-2". Застосування аналогового способу передачі не забезпечує повною мірою вимог, пропонованих поліграфістами.

Перебудова служби передачі газет пов'язана в основному зі змінами, що відбуваються в редакційно-видавничій сфері, із упровадженням комп'ютерних технологій. Передача газет надалі поступово перетворюється в передачу файлів між комп'ютерами редакційно-видавничих комплексів, тобто передачу даних. При цьому методи введення і виведення повідомлень є факсимільними.

Питання для самоперевірки

1. Що таке елементарна площадка?
2. Які є типи факсимільних апаратів?
3. Наведіть характеристики якості факсимільної передачі.
4. Наведіть типи розгортки і їх параметри.
5. Наведіть основні способи запису зображення при факсимільній передачі.
6. Розрахуйте розміри аналізуючої плями, якщо максимальна частота рисунку первинного факсимільного сигналу складає 1100 Гц.
7. Поясняйте, чому для звичайних факсимільних систем норма на чіткість складає 4-5 штрихів на міліметр, а для передачі газет – 24 штриха на міліметр.
8. Поясніть, чому максимальна кількість градацій яскравості дорівнює 15, а не більше.
9. Наведіть основні види синхронізації факсимільних апаратів.
10. Наведіть переваги факсимільних систем на базі ПК порівняно зі звичайними факсимільними апаратами.

5 СПОТВОРЕННЯ У КАНАЛАХ ЗВ'ЯЗКУ І РЕЄСТРАЦІЯ ДИСКРЕТНИХ СИГНАЛІВ

5.1 Спотворення кодових елементів

За рахунок *спотворень* (distortion) і *завад* (interference) у каналах зв'язку форма сигналу на виході каналу (рис. 5.1, б) відрізняється від його форми на вході каналу (рис. 5.1, а). Пороговий пристрій на виході каналу зв'язку відтворює прямокутну форму кодових елементів (рис. 5.1, в). При цьому значущі моменти утворюються у ті моменти часу t'_i , у які напруга

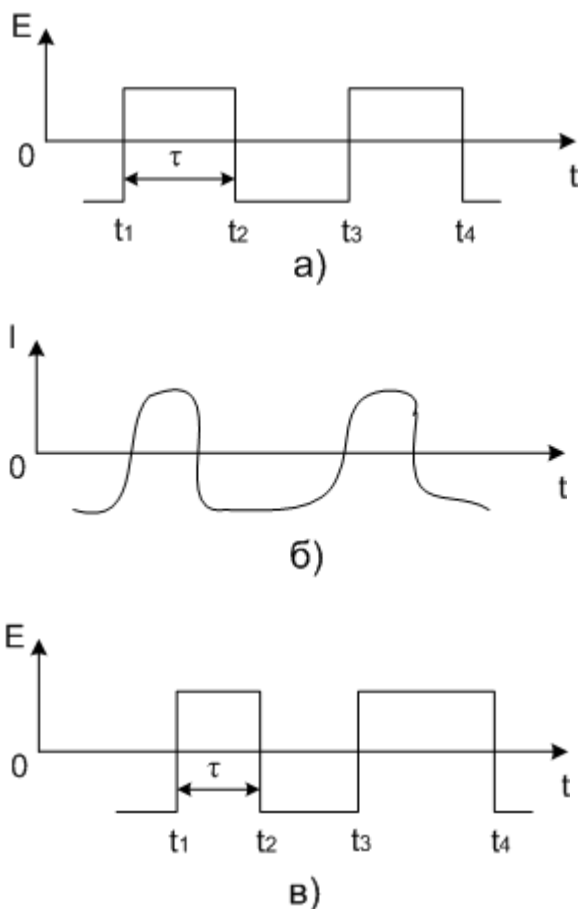


Рисунок 5.1 – Форма сигналу
у каналі зв'язку

сигналу на виході каналу зв'язку перетворюється у нуль (у випадку двополярного сигналу). У результаті цього значущі моменти на приймальній стороні не збігаються з відповідними значущими моментами на передавальній стороні t_i . При цьому завжди має місце нерівність $t'_i > t_i$, оскільки через кінцевий час поширення значущі моменти на приймальній стороні запізнюються порівняно зі значущими моментами на передавальній стороні.

Наявність у каналах зв'язку спотворень і завад призводить до невідповідностей значущих моментів, що, в свою чергу, призводить до зміни тривалості значущого інтервалу або до зміни знаку всередині одиничного інтервалу. Тому спотворення значущих інтервалів можна поділити на *крайові спотворення* і *дроблення* (рис. 5.2).

Якщо значущі моменти сигналу при прийомі (моменти відновлення) не відповідають значущим моментам сигналу при передачі (моментом зміни), то мають місце *крайові спотворення* (end distortion). Спотворюються краї одиничних елементів, при цьому величина спотворень може бути як додатна, так і від'ємна. Зміщення вправо – додатні спотворення, вліво – від'ємні.

Для оцінки впливу крайових спотворень на якість передачі вимірюються і нормуються такі показники:

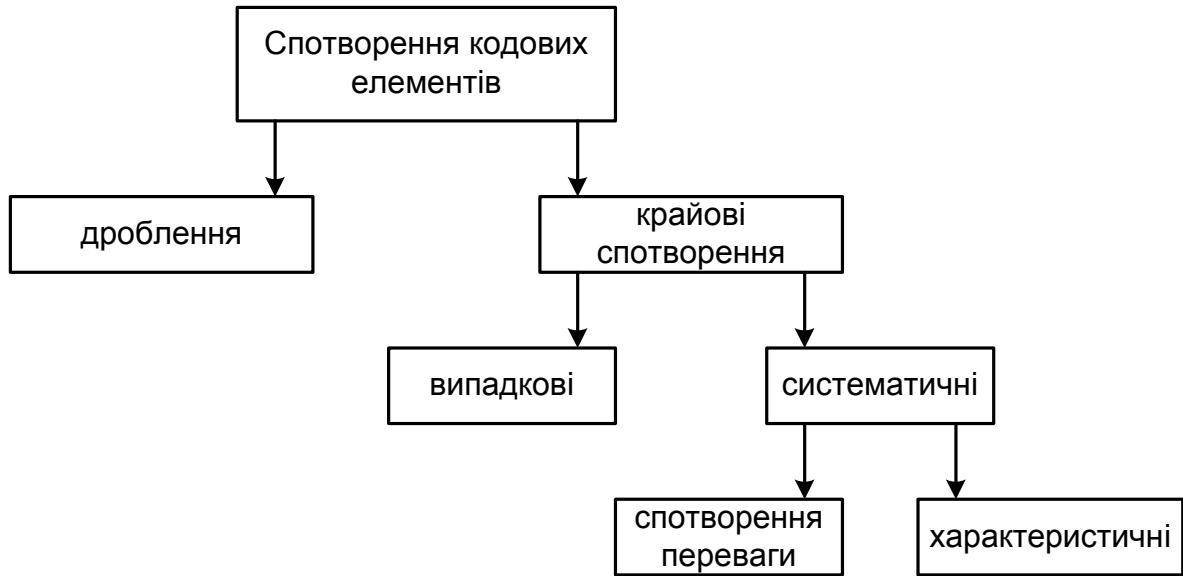


Рисунок 5.2 – Типи спотворень кодових елементів

1. Ступінь індивідуального спотворення δ , яка являє собою відношення зміщення θ значущого моменту двійкового сигналу від його ідеального положення до тривалості одиничного інтервалу t_0 , тобто

$\delta = \frac{\theta}{t_0} \cdot 100\%$. При цьому θ_i і δ_i вважаються додатними, якщо значущий

момент запізнюється відносно ідеального моменту. Так, для прийнятої зі спотвореннями кодової послідовності (рис.5.3) можна записати:

$$\delta_1 = -\frac{\theta_1}{t_0} \cdot 100\%, \quad \delta_2 = \frac{\theta_2}{t_0} \cdot 100\%, \quad \delta_3 = \frac{\theta_3}{t_0} \cdot 100\%, \quad \delta_4 = -\frac{\theta_4}{t_0} \cdot 100\%,$$

$$\delta_5 = -\frac{\theta_5}{t_0} \cdot 100\%.$$

Частинним випадком індивідуальних спотворень є регулярні спотворення, коли величини θ_i рівні. При цьому всі елементи однієї значущої позиції є подовженими за рахунок скорочення елементів другої значущої позиції: $\delta = \delta_{\text{рег}} = \text{const}$.

2. Ступінь синхронного спотворення, який визначається як алгебраїчна різниця між максимальним і мінімальним ступенями індивідуального спотворення: $\delta_{\text{синхр}} = \delta_{\text{max}} - \delta_{\text{min}} = \frac{\theta_{\text{max}} - \theta_{\text{min}}}{t_0} \cdot 100\%$. Величина $\delta_{\text{синхр}}$ та-

кож виражається у відсотках від тривалості одиничного інтервалу t_0 . Для кодової послідовності (рис. 5.3) ступінь синхронного спотворення визнача-

$$\text{ється так: } \delta_{\text{синхр}} = \delta_4 - \delta_1 = \frac{-\theta_4 - (-\theta_1)}{t_0} \cdot 100\% = \frac{\theta_1 - \theta_4}{t_0} \cdot 100\%.$$

3. Ступінь стартостопного спотворення δ_{cm} , що є різницею між ступенем індивідуального спотворення стартостопного переходу і максимальним ступенем індивідуального спотворення кодових елементів у межах стартостопної комбінації: $\delta_{cm} = \left| \delta_{start} - \delta_{max} \right| = \frac{\left| \theta_{start} - \theta_{max} \right|}{t_0} \cdot 100\%$. Ця

величина визначається лише для апаратури і для каналів, які працюють у стартостопному режимі передачі. Знак ступеня стартостопного спотворення не враховується, хоча його складові δ_{start} і δ_{max} додаються алгебраїчно. Для кодової послідовності на рис. 5.3 максимально спотвореним є четвертий значущий момент. Тому для даної стартостопної комбінації можна записати таке значення ступеня стартостопного спотворення:

$$\delta_{cm} = \left| \delta_{start} - \delta_4 \right| = \frac{\theta_{start} + \theta_4}{t_0} \cdot 100\%.$$

Оскільки ці три параметри виражаються у відсотках від тривалості одиничного інтервалу t_0 , у основу методу їх вимірювання покладене порівняння інтервалів часу θ_i з еталонною величиною t_0 . Ступінь відхилення виміряних зміщень θ_i від t_0 і буде характеризувати міру крайових спотворень.

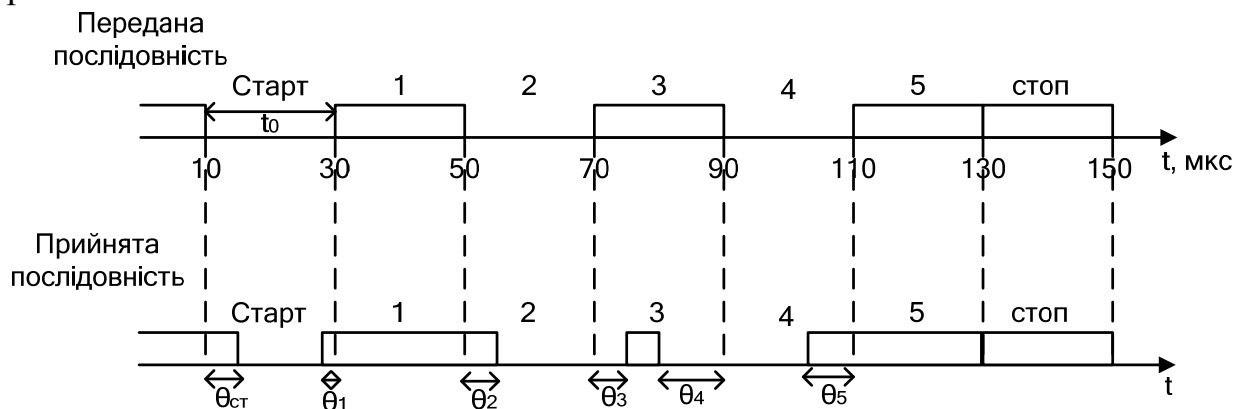


Рисунок 5.3 – Кодові послідовності при дії крайових спотворень

Крайові спотворення поділяються на три групи: випадкові, спотворення переваги і характеристичні.

Випадкові спотворення (fortuitous distortion) обумовлені випадковими факторами: імпульсними завадами у каналі зв'язку, короткотривалими зниженнями рівня сигналу і перериваннями, флуктуаційними завадами. Закон зміщення границь моментів відновлення близький до нормального.

Щільність розподілення зміщень моментів відновлення дорівнює:

$$f(\delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}},$$

де σ – середньоквадратичне відхилення випадкової величини зміщення δ ;
 σ^2 – дисперсія.

Параметр σ характеризує розкид зміщень моментів відновлення від положень моментів зміни. При $\delta = 0$

$$f(\delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}.$$

Спотворення переваги (bias distortion) характеризуються тим, що відбувається зміна тривалості імпульсів однієї полярності за рахунок іншої на постійну величину.

Спотворення переваги мають місце при неточному регулюванні апаратури тонального телеграфування або при зміщенні рівня порогу спрацьовування через завади у каналі.

При наявності спотворень переваги щільність розподілення зміщень моментів відновлення дорівнює

$$f(\delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\delta-\alpha)^2}{2\sigma^2}}.$$

Для регулювання каналу вводиться спеціальний сигнал, який дозволяє усунути спотворення шляхом регулювання рівня порогу спрацьовування.

Характеристичні спотворення (characteristic distortion) виникають через перехідні процеси у каналі зв'язку, тобто коли час встановлення процесу на виході каналу перевищує тривалість одиничного інтервалу τ_0 .

У загальному випадку на прийнятті одиничні елементи впливають всі три види крайових спотворень: $\delta_{\text{заг}} = \delta_{\text{вин}} + \delta_{\text{пер}} + \delta_{\text{хар}}$. Відповідно загальна величина спотворень буде також випадковою величиною. Найбільш повною характеристикою випадкової величини є закон її розподілення, який дозволяє оцінити не лише величину, але й ступінь впливу тих або інших завад.

Дробленням (mutilation) імпульсів називається зміна значущої позиції всередині значущого інтервалу. Тобто з'являються додаткові зміни полярності сигналу. Причинами появи дроблень є імпульсні завади і перерви рівня сигналу.

Спотворення дроблення характеризуються такими параметрами:

- інтенсивність дроблення, яка визначається кількістю дроблень за інтервал часу T ;
- тривалість дроблення $t_{\text{др}}$.

Моменти початку дроблень рівномірно розподілені по довжині сигналу. Закон розподілення тривалості дроблень близький до логарифмічно но-

рмальною

$$f(t_{dp}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma t_{dp}}} e^{-\frac{(\ln t_{dp} - m)^2}{2\sigma^2}},$$

де σ – середньоквадратичне відхилення випадкової величини $\ln t_{dp}$ від m ;

m – середнє значення величини $\ln t_{dp}$;

t_{dp} – тривалість дроблення.

Спотворення двійкових елементів призводять до їх помилкової реєстрації.

5.2 Методи реєстрації дискретних сигналів

Двійкові сигнали, які надходять на вхід каналу зв'язку, спотворюються. Тому необхідно прийняти правильне рішення стосовно полярності прийнятих кодових елементів. *Реєстрація двійкових сигналів* – це процес визначення знака одиничного елемента – "нуля" та "одиниці".

Існують такі методи реєстрації:

- метод реєстрації стробуванням;
- інтегральний метод;
- комбінований метод;
- метод реєстрації зі стиранням.

Метод реєстрації стробуванням найбільш поширений завдяки простоті реалізації. Суть його полягає у визначенні полярності одиничного елемента за середньою, найменш спотвореною його частиною (тобто, виконується одновірна вибірка випадкового процесу $r(t)$, яка потім порівнюється з порогом, а за результатами порівняння приймається рішення). Момент, у який приймається рішення про полярність елемента, називається моментом реєстрації елемента тривалістю (зона S , рис. 5.4). При методі реєстрації стробуванням над прийнятим сигналом виконується перетворення типу згортки з δ -функцією, тобто

$$r'(t) = \int_0^{\tau_0} r(t)\delta(t - t_p)dt,$$

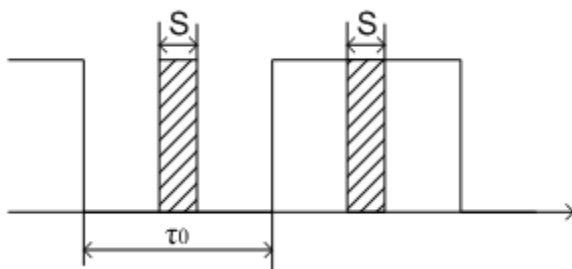


Рисунок 5.4 – Реєстрація стробуванням

де $r'(t)$ – сигнал на виході пристрою реєстрації,
 $r(t)$ – сигнал на його вході,
 $0 \leq t_p \leq \tau_0$ – момент реєстрації.

Структурна схема пристрою реєстрації методом стробування зо-

бражена на рис. 5.5. На перші входи логічних елементів I_1 та I_2 подаються напруги з вхідного пристрою (тригера). На другі входи цих елементів подаються короткі імпульси з системи синхронізації по елементах, які йдуть через інтервали часу τ_0 . Оскільки за рахунок перехідних процесів спотворення елементів є найбільш великими на краях, а завади мало залежать від моменту часу, то момент стробування обирають в середині елемента сигналу. Керуючі імпульси з виходів I_1 та I_2 надходять на входи тригера, на виході якого утворюються одиничні елементи тривалістю τ_0 , полярність яких залежить від того, з якої зі схем – I_1 або I_2 – надійшов керуючий імпульс.

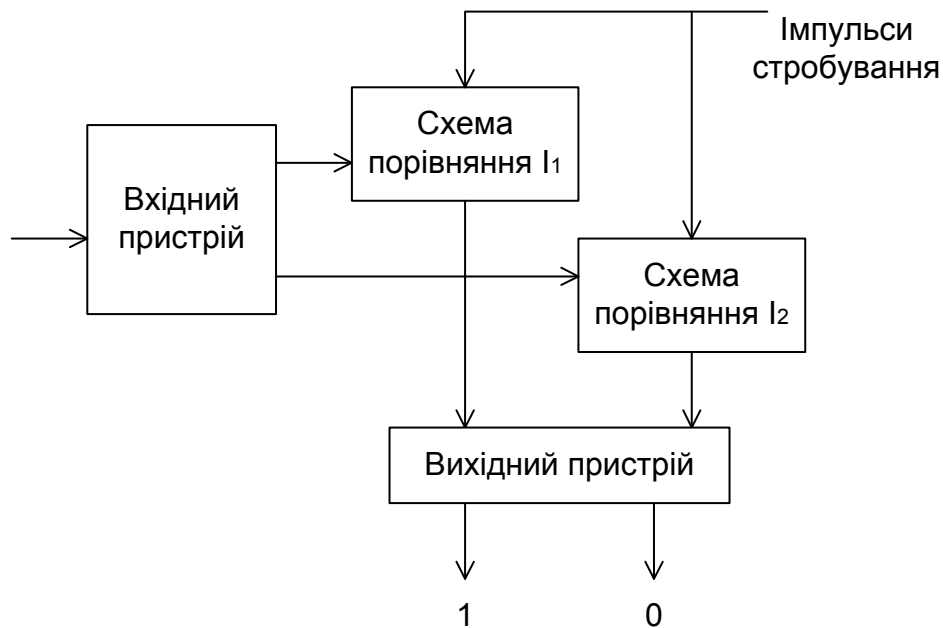


Рисунок 5.5 – Структурна схема пристрою реєстрації методом стробування

При прийомі одиничних елементів, окрім крайових спотворень, які виникають через завади у каналі зв'язку, можливий зсув як самих імпульсів реєстрування, так і зсув фази вхідних елементів через збій роботи системи синхронізації приймача.

Визначимо допустимі межі зміщень моментів відновлення, при яких ще можлива правильна реєстрація елементів.

При ідеальній роботі величина зсуву $\varepsilon = 0$, тоді зміщення визначається так:

$$\theta \leq \frac{\tau_0 - S}{2}.$$

При неідеальній роботі величина зсуву $\varepsilon \neq 0$, тоді зміщення визначається так:

$$\theta \leq \frac{\tau_0 - S}{2} - \varepsilon.$$

Метод реєстрації стробуванням застосовується при роботі у каналах з крайовими спотвореннями. Наявність дроблення у каналі призводить до неправильної реєстрації імпульсів.

Суть *інтегрального методу* полягає у тому, що рішення про полярність елемента робиться не на основі аналізу однієї частини елемента, а у всіх точках існування одиничного елемента. Таким чином, перетворення, яке виконується над процесом $r(t)$, має вигляд

$$r'(t) = \int_0^{\tau_0} r(t) dt,$$

а рішення приймається у моменти часу t_p на основі порівняння отриманої суми миттєвих значень $r(t)$ від 0 до τ_0 .

Інтегральний метод може бути реалізований шляхом неперервного або дискретного додавання відліків. При дискретному додаванні відліків одиничний елемент стробують у трьох або п'яти точках. Рішення приймається за більшістю: 2 з 3 – при реєстрації у трьох точках, 3 з 5 – при реєстрації у п'яти точках. Метод дискретного додавання іноді називають *комбінованим*. Цей метод займає проміжне положення між методами реєстрації стробуванням і неперервним інтегруванням.

Метод неперервного інтегрування відрізняється від дискретного тим, що рішення про полярність елементів приймається протягом всієї тривалості елемента.

Структурна схема інтегрального методу реєстрації подана на рис. 5.6. Сигнали з виходу детектора через вхідний тригер подаються на елементи інтегрування R, C, а потім на один зі входів елементів І. У моменти, які відповідають закінченню елемента сигналу, на другі входи елементів І надходять імпульси реєстрації із системи синхронізації по елементах. У результаті у диференційному трансформаторі відбувається порівняння енергії сигналів, накопичених у схемах R1, C1 та R2, C2. Залежно від того, у якій з цих схем енергія є більшою, вихідний тригер займає те або інше положення. Елемент сигналу буде зареєстровано правильно, якщо правильна полярність сигналу збереглася на сумі інтервалів часу, більшій $\tau_0/2$.

Інтегральний спосіб доцільно застосовувати при наявності дроблення у каналах зв'язку. При цьому місце розташування і кількість дроблення не впливає на якість реєстрації, а впливає лише на тривалість сумарних спотворень.

До переваг інтегрального методу належить стійкість до дроблення сигналу, а до недоліків – складність реалізації.

Для контролю стану каналу зв'язку у системах зі стиранням застосо-

ується метод *реєстрації зі стиранням*. При виявленні спотворень сигналу виробляється сигнал стирання, при якому елемент або забраковується, або перепитується повторно зі станції.

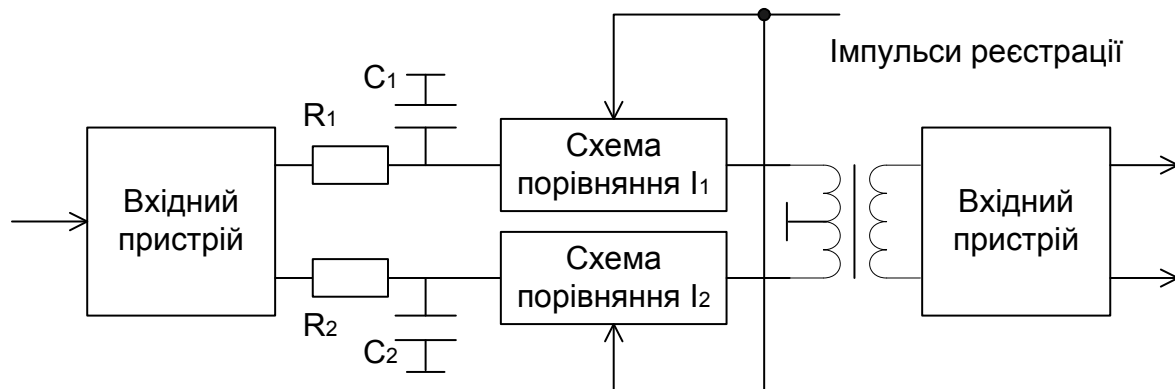


Рисунок 5.6 – Структурна схема інтегрального методу реєстрації

5.3 Виправна здатність дискретних приймачів

Виправна здатність приймача (margin) – це здатність приймача правильно приймати рішення стосовно полярності прийнятого елемента при наявності спотворень.

Виправна здатність метода стробування при крайових спотвореннях $\mu_{кр}$ визначається максимальною величиною зміщення $\theta_{кр}$. Повинна виконуватися умова

$$\theta_{кр} \leq \frac{\tau_0 - S}{2}.$$

Тоді маємо

$$\mu_{кр} = \frac{\tau_0 - S}{2} \cdot 100\%.$$

Для електронних апаратів $S = 0$, тому при ідеальній роботі систем синхронізації

$$\mu_{кр} = 50\%.$$

При дробленнях

$$\mu_{др} = 0.$$

Виправна здатність інтегрального метода при крайових спотвореннях і дробленні $\mu_{кр}$ і $\mu_{др}$:

$$\mu_{кр} = 25\%,$$

$$\mu_{др} = 50\%.$$

Виправна здатність комбінованого метода:

$$\mu_{кр} = \frac{\alpha + 3}{4(\alpha + 1)} 100\%,$$

$$\mu_{др} = \frac{\alpha - 1}{2(\alpha + 1)} 100\%,$$

де α – точки реєстрації.

Питання для самоперевірки

1. Класифікація спотворень кодових елементів.
2. Назвіть основні причини появи крайових спотворень.
3. Назвіть основні причини появи дроблень.
4. У яких випадках доцільно використовувати метод реєстрації стробуванням?
5. У яких випадках доцільно використовувати комбінований метод реєстрації?
6. Чому дорівнює виправна здатність інтегрального методу при крайових спотвореннях?
7. Як визначається ступінь синхронного спотворення переданого повідомлення?
8. Чим обумовлена поява у прийнятому повідомленні випадкових спотворень?
9. За яким законом зміщуються моменти відновлення?
10. Що являє собою процес реєстрації?
11. Поясніть, яким чином здійснюється реєстрація методом стробування.
12. Поясніть, яким чином здійснюється реєстрація інтегральним методом.

6 КОДУВАННЯ ДАНИХ

6.1 Види кодування даних

Існують два види кодування (encoding): ефективне (статистичне) і корегувальне (завадостійке). Метою *ефективного кодування* є підвищення швидкості передачі інформації і наближення її до пропускну здатності каналів. Метою *корегувального кодування* є підвищення вірності передачі інформації шляхом виявлення і виправлення помилок.

При кодуванні кожен символ дискретного повідомлення нумерується і передача повідомлень зводиться до передачі послідовності чисел, записаних у тій або іншій системі числення.

Основу системи числення позначимо через γ (наприклад, у двійковій системі $\gamma = 2$, у десятковій – $\gamma = 10$). Будь-яке n -розрядне число χ можна записати у вигляді полінома:

$$\chi = \sum_{i=1}^n a_i \gamma^i,$$

де a_i – цілі числа, які задовольняють умову $0 \leq a_i \leq \gamma - 1$.

Отже, *кодування* – це процес перетворення елементів дискретного повідомлення у відповідні числа, виражені кодовими символами. *Кодом* (code) називають повну сукупність умовних символів, яку застосовують для кодування повідомлень. Число різних символів у коді називають *основною кодою* m_k . *Кодова комбінація* (codeword) – це послідовність кодових символів, яка відповідає одному елементу дискретного повідомлення. *Значність коду* n – це число символів у кодовій комбінації. *Оператор кодування* показує, яку кодову комбінацію присвоюють кожному елементу повідомлення.

Якщо $m_k = 2$, то код називають *двійковим* (binary), при $m_k > 2$ – *багатопозиційним* (multilevel). Якщо всі кодові комбінації містять однакову кількість символів, то код називають *рівномірним*, а якщо різну, то *нерівномірним*. Для рівномірного коду загальна кількість кодових комбінацій складає $N = m_k^n$.

6.2 Ефективне кодування

Суть ефективного кодування полягає у такому: кожен символ a_i алфавіту A кодується з використанням символів 0 і 1. При цьому необхідно задовольнити дві умови:

1. Код повинен забезпечити можливість однозначного декодування;
2. На передачу символів повинно бути витрачено мінімальне число

двійкових символів, що дозволить передавати за одиницю часу максимальну кількість символів початкового алфавіту.

Код з такою властивістю, що жодна коротша комбінація не є початком іншої довшої комбінації коду, називається *префіксним*. *Префіксні коди* (prefix code) завжди однозначно декодуються.

Графічне зображення множини кодових комбінацій можна отримати, встановивши відповідність між символами і кінцевими вузлами *кодового дерева* (code treble).

Дві гілки, що йдуть від кореня дерева до вузлів 1-го порядку, відповідають вибору “0” і “1” як першого двійкового розряду кодової комбінації: ліва гілка відповідає “0”, а права – “1” (рис. 6.1). Дві гілки, що йдуть від вузлів 1-го порядку, відповідають другому розряду кодових комбінацій: ліва означає “0”, а права “1” і т.д. Очевидно, що послідовність розрядів кожної кодової комбінації визначає необхідні правила просування від кореня дерева до кінцевого вузла, який відповідає символу, що розглядається.

Формально кодові комбінації можуть бути приписані також проміжним вузлам. Наприклад, проміжному вузлу 2-го порядку можна приписати комбінацію 11, яка відповідає першим двом розрядам кодових комбінацій, що відповідають кінцевим вузлам, які зв’язані з цим вузлом. Але кодові комбінації, які відповідають проміжним вузлам, не можуть бути використані для відображення символів повідомлення, оскільки у цьому випадку порушується вимога префіксності коду.

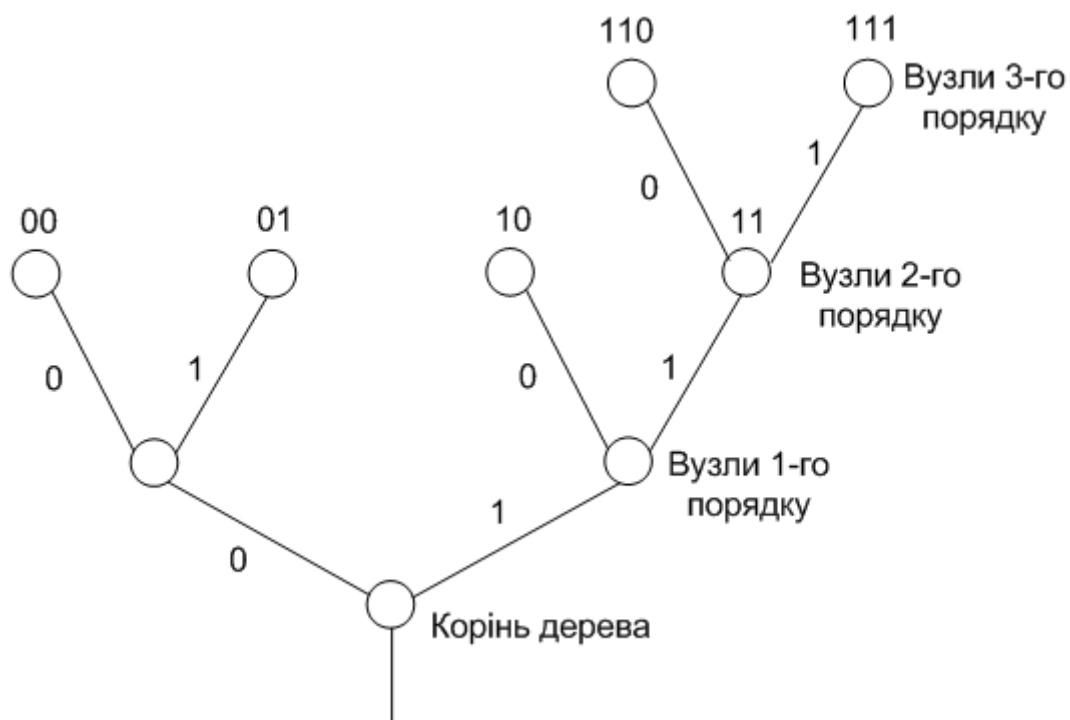


Рисунок 6.1 – Кодове дерево

Вимога стосовно того, щоб тільки кінцеві вузли відображали символи,

і забезпечує умову, за якої жодна з кодових комбінацій не збігається з початком (префіксом) довшої кодової комбінації. Будь-який код, кодові комбінації якого відповідають різним кінцевим вершинам деякого двійкового дерева, є префіксним, тобто однозначно декодовним.

Одним із методів ефективного кодування є **метод Хаффмена**. Нехай символи вхідного алфавіту $A = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$ мають ймовірності їх появи $p_1, p_2, \dots, p_k$, відповідно. Алгоритм кодування Хаффмена полягає у такому:

1. Символи повідомлення розташовуються в стовпець у порядку зменшення ймовірності їх появи;

2. Два найменш ймовірні символи a_{k-1} і a_k об'єднуються в один символ b , який має ймовірність появи q , що дорівнює сумі ймовірностей появи символів a_{k-1} і a_k , тобто p_{k-1} і p_k . В результаті отримуємо множину символів $\{a_1, a_2, \dots, a_{k-2}, b\}$ з ймовірностями $\{p_1, p_2, \dots, p_{k-2}, q\}$. Отримані символи знову розташовуються у порядку зменшення ймовірностей;

3. Повторюються кроки 1 і 2 до тих пір, поки не залишиться один символ, ймовірність якого становитиме 1;

4. Проводячи лінії, які об'єднують символи і створюють послідовні підмножини, отримують дерево, в якому окремі символи є кінцевими вузлами. Відповідні їм кодові комбінації можна визначити, надаючи лівим гілкам символ "1", а правим "0".

6.3 Корегувальне кодування

При корегувальному кодуванні для передавання використовують не всі кодові комбінації N , а тільки частину з них N_0 , які називають *дозволеними*. Інші $\Delta N = N - N_0$ комбінацій називають *забороненими*. Помилки виявляються тоді, коли на приймальній стороні отримують заборонену комбінацію. Будь-який код, у якого $\Delta N > 0$, здатен виявляти помилки у ΔN випадках з N . Частина виявлених помилок

$$\frac{\Delta N}{N} = 1 - \frac{N_0}{N}.$$

Якщо $\Delta N = 0$, тобто $N = N_0$, код не здатен виявляти помилки і його називають *примітивним*.

Корегувальний код виявляє помилки за рахунок введення *надмірності* (redundancy). Частина виявлених помилок збільшується зі збільшенням надмірності.

Надмірність корегувального коду

$$r_k = 1 - \frac{\log N_0}{n \log m_k}.$$

Виявлення помилок корегувальни ми кодами базується на двох операціях: визначення відстані між кодовими комбінаціями і визначення мінімальної відстані. *Кодовою відстанню* d_{ij} (code distance) між кодовими комбінаціями K_i і K_j називають сумарний результат додавання за модулем m_k однойменних розрядів кодових комбінацій

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^n k_{ik} \oplus k_{jk},$$

де k_{ik} і k_{jk} – k -й розряд кодових комбінацій K_i і K_j ;

n – значність коду.

Аналітичний запис додавання за модулем m_k має вигляд

$$k_{ik} \oplus k_{jk} = \begin{cases} k_{ik} \pm k_{jk}, & \text{якщо } k_{ik} \pm k_{jk} < m_k \\ k_{ik} \pm k_{jk} - m_k, & \text{якщо } k_{ik} \pm k_{jk} \geq m_k \end{cases}.$$

Для рівномірного двійкового коду кодова відстань – це число символів, на яке відрізняється одна комбінація від іншої. Наприклад, якщо $K_i = 10111$, $K_j = 01010$, то $d_{ij} = 4$.

Ідея виправлення помилок полягає у тому, що виявивши помилку, визначають відстань від отриманої забороненої комбінації K_i до всіх дозволених K_j , $j = \overline{1, N_0}$, і переданою вважають ту з дозволених комбінацій, до якої відстань є найменшою. Наприклад, якщо $\min d_{ij} = d_{i5}$, $j = \overline{1, N_0}$, то вважають, що була передана комбінація K_5 .

6.4 Лінійне кодування

Для зменшення спотворень сигналів застосовують додаткове перетворення двійкового цифрового сигналу. Ця операція називається *лінійним кодуванням* (uniform encoding) і полягає у тому, що подання символів «1» і «0» імпульсом і пропуском замінюються поданням цифрового потоку у вигляді такого сигналу, характеристики якого відповідають параметрам лінії. Отриманий у результаті перетворення сигнал називають *кодом лінії*.

До коду лінії висувають такі вимоги:

1. Однозначність декодування;
2. У енергетичному спектрі сигналу повинні бути ослаблені низько-частотна і високочастотна складові;
3. У сигналі повинна бути забезпечена висока щільність імпульсів.

Залежно від середовища поширення застосовують різні коди лінії. При цьому сигнали можуть бути дворівневими або трирівневими. Дворівневі сигнали можуть набувати у процесі передачі значення напруги "+" і "-"; трирівневі: "+", "-" і "0".

Розглянемо основні види кодів лінії (рис. 6.2).

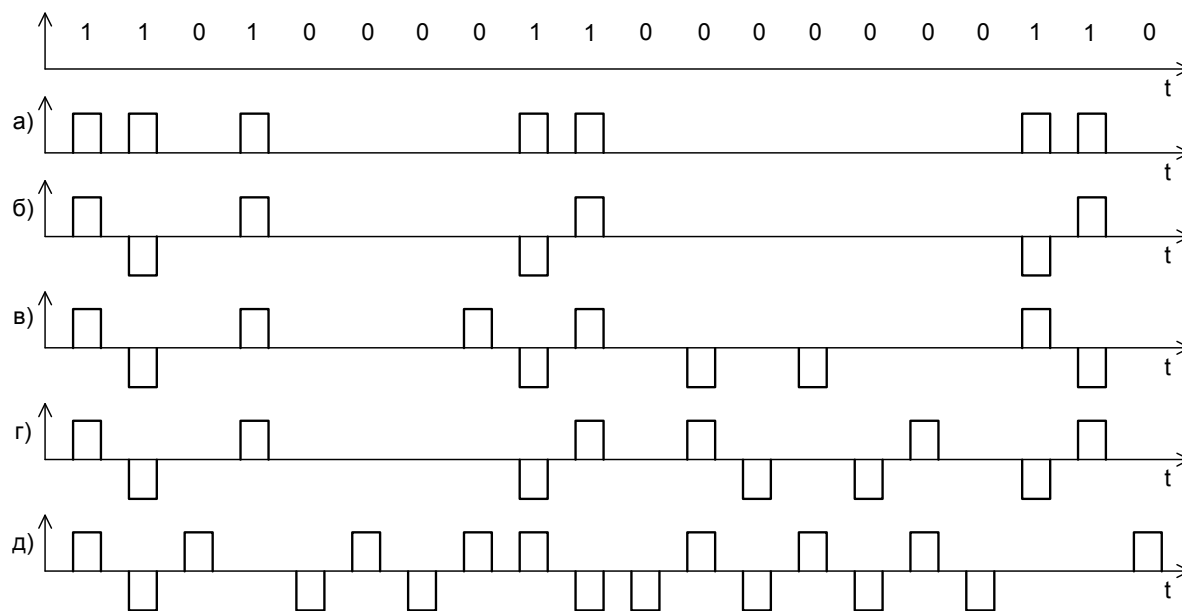


Рисунок 6.2 – Форма сигналу лінії при різних способах кодування

Найпростішим кодом лінії є **квазітрійковий** (pseudo-ternary code). Перетворення вихідного дворівневого коду (рис. 6.2, а) у квазітрійковий полягає у зміні полярності кожного наступного імпульсу на протилежну по відносно попереднього. Форма сигналу при квазітрійковому коді показана на рис. 6.2, б). Для передачі застосовують три рівні, «+» і «-» відповідають символу «1», а нульовий рівень – символу «0».

Недоліком квазітрійкового коду є ускладнення виділення тактової частоти, оскільки щільність імпульсів є такою ж, як і у вихідного двійкового коду. При застосуванні квазітрійкового коду необхідно виконати умову, згідно з якою послідовність нулів не повинна бути довшою за задану. Завдяки своїй простоті і гарним спектральним властивостям квазітрійковий код отримав значне поширення, але труднощі, які виникають при синхронізації, призвели до появи класів кодів лінії, у яких обмежується число послідовних нулів. Ці коди називаються кодами з високою щільністю одиниць.

Коди з високою щільністю одиниць формуються таким чином: полярність кожного наступного імпульсу змінюється на протилежну відносно попереднього, поки між символами «1» не з'являться підряд $N + 1$ символів «0». У такому випадку послідовність нулів замінюється комбінацією виду $000...0v$ або $000...B0v$. B – імпульс коду лінії, полярність якого протилежна полярності попереднього імпульсу, v – імпульс коду лінії, по-

лярність якого збігається з полярністю попереднього імпульсу. Таким чином, число нулів, що йдуть послідовно, не може бути більшою N . Вибір комбінації для заміни виконується таким чином, щоб забезпечити чергування полярностей імпульсів v , що з'являються у різних частинах лінійного сигналу. При цьому числа імпульсів з додатною і від'ємною полярністю вирівнюються, тобто такі коди є попарно збалансованими. Для коду з високою щільністю одиниць при $N = 3$ вигляд лінійного сигналу наведено на рис. 6.2, в). У цьому випадку кожні чотири послідовних нуля замінюються комбінацією $000v$ або $0B0v$.

Однозначність декодування кодів з високою щільністю одиниць забезпечується шляхом виявлення на приймальній стороні порушення чергування полярностей і виключення додаткових імпульсів. Недоліком таких кодів є поширення помилок при їх декодуванні.

Близьким за характеристиками до кодів з високою щільністю одиниць є код **B6ZS**. У коді B6ZS шість нулів завжди замінюються комбінацією виду $0vB0vB$. Вигляд лінійного сигналу показаний на рис. 6.2, г). Код є попарно збалансованим, постійна складова у нього відсутня.

У багатьох випадках вихідний двійковий сигнал перетворюється у код діленням послідовності двійкових символів на групи і заміною кожної з цих груп групою коду лінії з іншою основою. Такі коди позначають двома літерами і двома цифрами. Перша цифра означає, яка кількість символів вихідного коду входить до групи, що перекодовують. Потім йде літера B (binary), яка означає двійкову основу системи числення вихідного коду. Друга цифра відповідає кількості символів у кожній групі коду лінії. Друга літера визначає основу його системи числення: T – трійкова (ternary), Q – четвіркова (quaternary) тощо.

Прикладом коду 2B2T є **парно-вибірковий трійковий код (ПВТ)**. У процесі його формування вхідний двійковий потік розбивається на пари символів і кожній такій парі відповідає пара трійкових символів коду лінії. Правила формування ПВТ-коду визначаються таблицею 6.1.

Таблиця 6.1 – Правила формування ПВТ-коду

Двійковий код	ПВТ-код	Умови вибору
00	– +	–
11	+ –	–
01	+ 0	Якщо попередня пара 01 або 10 була подана через "– 0" або "0 –"
	– 0	Якщо попередня пара 01 або 10 була подана через "+ 0" або "0 +"
10	0 –	Якщо попередня пара 01 або 10 була подана через "+ 0" або "0 +"
	0 +	Якщо попередня пара 01 або 10 була подана через "– 0" або "0 –"

Послідовність імпульсів, яка відповідає перетворенню у ПВТ-код, наведена на рис. 6.2, д). При використанні ПВТ-коду не може бути більше двох пропусків підряд.

Зниження швидкості передачі сигналу у лінії може бути досягнуто при переході до кодів з основою, більшою за два. При використанні багаторівневих кодів між тактовим інтервалом багаторівневого коду T_M , тактовим інтервалом двійкового коду T , числом багаторівневих n_M і двійкових n_∂ імпульсів, які передаються протягом фіксованого інтервалу часу, встановлюється таке співвідношення:

$$T_M \cdot n_M = T \cdot n_\partial.$$

Необхідна швидкість передачі багаторівневого коду

$$f_{TM} = \frac{1}{T_M} = f_T \frac{n_M}{n_\partial},$$

де f_T – тактова частота прямування імпульсів у вихідному двійковому коді.

При переході від двійкового коду до коду з основою M процедура перетворення полягає у заміні групи двійкових символів групою M -кових символів. Оскільки з n_∂ двійкових символів може бути утворено 2^{n_∂} їх різних сполучень, з M -кових символів – M^{n_M} сполучень, умова, при якій можливе декодування, записується так:

$$M^{n_M} \geq 2^{n_\partial}.$$

Звідси маємо

$$n_M \log_2 M \geq n_\partial;$$

$$f_{TM} \geq f_T \frac{1}{\log_2 M}.$$

Тобто, перехід до трійкового коду дозволяє знизити швидкість передачі символів у лінії у 1,58 рази, а перехід до четвіркового – у два рази. Трійковим символам при цьому повинні відповідати трирівневі сигнали, четвірковим – чотирирівневі.

Кількість надмірності оцінюється величиною

$$r = \frac{n_M}{n_\partial} \log_2 M - 1$$

і вимірюється у відсотках. У кодів, які дозволяють максимально знизити швидкість передачі, $r = 0$. У інших випадках $r > 0$.

6.5 Код з перевіркою на парність

Захист інформації від помилок при застосуванні найпростіших кодів

здійснюється покомбінаційно, тобто перевірні елементи визначаються для кожної комбінації вихідного коду. Кодовою ознакою, загальною для всіх дозволених комбінацій коду з перевіркою на парність (паритетний код), є парне число одиниць у кодовій комбінації. Таким чином, функціями пристрою захисту від помилок передачі є: підрахунок загальної кількості одиниць у комбінації вихідного коду; визначення значущої позиції (нуль або одиниця) розряду перевірки, який доповнює кількість одиниць до парного значення, формування повної комбінації надмірного коду, який складається з інформаційних розрядів і розрядів перевірки.

Пристрій захисту від помилок на приймальній стороні після прийняття і запису повної кодової комбінації підраховує загальне число одиниць, які містяться у ній. При парній кількості одиниць комбінація вважається отриманою правильно і її інформаційні розряди поступово виводяться споживачу інформації, при непарній кількості одиниць пристрій захисту виробляє сигнал “помилка”.

Якщо первинний код є п’ятиелементним ($k = 5$), то найпростіший код, який виявляє помилки, складається з шести елементів, наприклад

$$\begin{aligned} 1\ 0\ 1\ 0\ 1 &\rightarrow 1\ 0\ 1\ 0\ 1.1 \\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0 &\rightarrow 1\ 0\ 1\ 0\ 0.0 \\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0 &\rightarrow 1\ 1\ 1\ 0\ 0.1 \end{aligned}$$

Тут $\begin{matrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{matrix}$ – елементи перевірки.

Якщо при передачі один з кодових елементів комбінації змінить свою полярність, то сума одиниць на стороні прийому буде непарною, що дозволяє виявити помилку.

Код з перевіркою на парність дозволяє виявити непарну кількість помилок, тобто всі непарні помилки, починаючи з одиничної, але не виявляє помилки парної кратності (двійкові, четвіркові тощо). При дії такої помилки одна дозволена кодова комбінація переходить у іншу.

Відносна надмірність такого коду $R_k = \frac{r}{k} = \frac{1}{5}$, а пропускна здатність $r_n = \frac{k}{n} = \frac{5}{6}$. Ймовірність P_{kk} помилкового прийому кодової комбінації для $n = k + r = 6$ визначається таким чином:

$$P_{kk} = 1 - (1 - P_n)^6 = C_6^1 P_n^1 (1 - P_n)^5 + \dots + C_6^5 P_n^5 (1 - P_n)^1 + P_n^6.$$

Ймовірність виявлення помилок у кодовій комбінації

$$P_{en} = C_6^1 P_n^1 (1 - P_n)^5 + C_6^3 P_n^3 (1 - P_n)^3 + C_6^5 P_n^5 (1 - P_n)^1.$$

Ймовірність невиявлення помилок

$$P_{nn} = C_6^2 P_n^2 (1 - P_n)^2 + C_6^4 P_n^4 (1 - P_n)^2 + P_n^6.$$

У загальному випадку для n -елементної послідовності маємо:

$$P_{en} = \sum_{i=1}^{n/2} C_n^{2i-1} P_e^{2i-1} (1 - P_e)^{n+1-2i},$$

$$P_{nn} = \sum_{i=1}^{n/2} C_n^{2i} P_e^{2i} (1 - P_e)^{n-2i}.$$

Оскільки $P_n \ll 1$, то всі доданки виразів, починаючи з другого, є значно меншими за перший.

До найпростіших надлишкових кодів з виявленням помилок також належать: код з постійним співвідношенням нулів одиниць, кореляційний код, інверсний код та інші.

6.6 Ітеративний код

При застосуванні *ітеративного коду* (iterative code) у кожній кодовій комбінації здійснюються багаторазові перевірки. Ітеративні коди отримуються шляхом розташування інформаційних елементів у вигляді матриці (таблиці). Тому такі коди також називають матричними.

Інформаційні символи	Символи перевірки по рядках
Символи перевірки по стовпцях	Символи перевірки по стовпцях

Кожний рядок цієї таблиці кодується яким-небудь кодом, а потім кодується кожен стовець, причому він може кодуватися іншим кодом. Символи, розташовані у кутку, також отримуються у результаті перевірки символів перевірки.

Як приклад розглянемо ітеративний код з однією перевіркою на парність для кожного рядка і кожного стовпця. Такий код має високу корегувальну здатність порівняно з кодом з перевіркою на парність. Нехай задана кодова комбінація з $K = 16$ і довжина кодової комбінації буде мати вигляд: 1011 1000 1110 0101. Для отримання ітеративного коду комбінацію записують у вигляді матриці з K_1 рядків і K_2 стовпців:

$$\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

Елементи перевірки по K рядках і K стовпцях визначаються за правилами лінійного коду. Ітеративний код дозволяє виправити всі одиничні помилки, оскільки перевірка по рядках виявляє помилки рядка, а перевірка по стовпцям – помилки стовпця. Перетин стовпця і рядка видає спотворе-

ний елемент. Це приклад побудови ітеративного коду на основі двох найпростіших кодів (двох ітерацій).

Можна побудувати багатовимірні ітеративні коди, у яких кожний інформаційний розряд входить до комбінацій трьох або чотирьох кодів. Властивості ітеративного коду повністю визначаються параметрами кодів. Якщо кількість ітерацій S , то параметри n , k , $d_{\min}$ знаходяться таким чином:

$$n = \prod_{i=1}^S n_i,$$

$$k = \prod_{i=1}^S k_i,$$

$$d_{\min} = \prod_{i=1}^S d_{\min i},$$

де n_i , k_i , $d_{\min i}$ – параметри кодів, що ітеруються.

Для даного прикладу

$$d_{\min} = d_{\min 1} \cdot d_{\min 2} = 2 \cdot 2 = 4.$$

Звідси слідує, що код виявляє триразові помилки і виправляє одноразові

$$t_n = d_{\min} - 1, \quad t_e = \frac{d_{\min} - 1}{2}.$$

Ітеративний код може виправити пакет помилок довжиною $l + 1$, де l – довжина рядка.

Досить часто застосовуються двовимірні ітеративні коди. Довжина рядка обирається рівною довжині одного знаку первинного коду (5 або 8 елементів), при цьому використовуються коди з однією чи двома перевірками на парність або код Хеммінга. При використанні ітеративних кодів з простою перевіркою на парність по рядках і стовпцях $P \approx 10^{-5} - 10^{-6}$ для реальних каналів. При використанні подвійної перевірки на парність або кодів Хеммінга $P \approx 10^{-8}$.

Завдяки простоті реалізації процесів кодування і декодування ітеративні коди знаходять своє застосування у системах передачі дискретних сигналів. До недоліків ітераційних кодів належить досить висока надмірність, яка складає 15-20%.

6.7 Каскадні коди

Одним зі шляхів побудови блочних кодів з великими довжинами є каскадне кодування. *Каскадні коди* (concatenated code), як і ітеративні, складаються з двох або декількох кодів, але на відміну від ітеративних, у них

символами коду наступного ступеня є слова коду попереднього ступеня.

Каскадний принцип побудови коду можна подати у вигляді структури (рис. 6.3)



Рисунок 6.3 – Система зв'язку з каскадним кодом

Якщо розрядність зовнішнього коду дорівнює n , а алфавіт 2^n , то розрядність каскадного коду дорівнює nN , а алфавіт 2^{Nn} . Кодування інформації відбувається у два або більше етапи. На кожному етапі (каскаді) відбувається незалежне кодування. Процедура кодування двійковим каскадним кодом зводиться до такого:

1. Інформаційні елементи розбиваються на K_2 підблоків по K_1 елементів у кожному; кодування на першому ступені полягає у знаходженні r_1 елементів для кожного підблоку з K_1 елементів;
2. У результаті кодування формується код з $n_1 = K_1 + r_1$ елементами;
3. Після кодування на першому ступені відбувається кодування на другому, яке полягає у знаходженні r_2 розрядів для кожного блоку з K_2 елементів і формується код з $n_2 = K_2 + r_2$ елементами;
4. У результаті отримуємо двійкове число довжиною $n = n_1 \cdot n_2$, яке є кодовим словом каскадного коду.

Каскадний код є лінійним і його кодова відстань $d_{\min} \geq d_{\min 1} \cdot d_{\min 2}$, де $d_{\min 1}$ і $d_{\min 2}$ кодові відстані для кодів першого і другого ступеня, відповідно. Число $K = K_1 \cdot K_2$.

До переваг каскадного коду належать:

1. Відносно невелика складність побудови пристроїв кодування і декодування;
2. Можливість виправлення не лише незалежних помилок, але й пакетів помилок.

Це досягається тим, що як внутрішній код використовується код, що виявляє і виправляє одиночні помилки, а як зовнішній код – код, що виявляє і виправляє пакети помилок.

6.8 Циклічний код

При побудові *циклічних кодів* (cyclic code) кодові комбінації записують у вигляді *поліномів*

$$v(x) = \alpha_{n-1}x^{n-1} + \alpha_{n-2}x^{n-2} + \dots + \alpha_1x + \alpha_0,$$

де $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_{n-1}$ – де коефіцієнти, які приймають значення 0 або 1. Наприклад, комбінацію 1100101 можна записати як $v(x) = x^6 + x^5 + x^2 + 1$.

Основна властивість таких кодів полягає у тому, що *циклічний зсув* (cycle shift) дозволеної кодової комбінації також є дозволеною кодовою комбінацією. Таким чином, якщо комбінація 1000111 є дозволеною, то комбінації 0001111, 0011110 тощо також є дозволеними. Суть циклового зсуву полягає у тому, що останній символ кодової комбінації займає місце першого, перший – другого і т.д. до тих пір, поки передостанній символ не займе місце останнього. Також циклічний зсув розглядається як множення полінома на x .

Циклічні коди визначаються за допомогою *утворювальних поліномів* $g(x)$ ступеня $n - k$. *Утворювальну матрицю* циклічного коду можна утворити з полінома шляхом циклічного зсуву останнього:

$$G = \begin{bmatrix} g(x) \\ xg(x) \\ \vdots \\ x^{k-1}g(x) \end{bmatrix}.$$

З утворювальної матриці слідує, що всі дозволені кодові комбінації циклічного коду діляться за модулем 2 без остачі на поліном.

Якщо ступінь полінома $g(x)$ дорівнює $n - k$, то утворювальна матриця має такий вигляд:

$$G = \begin{bmatrix} g_0 & \cdots & g_{n-k} & 0 & 0 \\ 0 & g_0 & \cdots & g_{n-k} & 0 \\ 0 & 0 & g_0 & \cdots & g_{n-k} \end{bmatrix}$$

Відношення $\frac{(x^n - 1)}{g(x)} = h(x)$ називають *перевірним поліномом* циклічного коду.

Оскільки $g(x)$ та $h(x)$ однозначно визначають один одного, то циклічний код можна задати і перевірним поліномом.

Розглянемо принцип побудови циклічних кодів. Кожен кодовий поліном $v(x)$ циклічного (n, k) -коду має вигляд

$$v(x) = m(x)g(x) = (m_0 + m_1x + \dots + m_{k-1}x^{k-1})g(x).$$

Кожну кодову комбінацію $m(x)$ простого k -елементного коду помножимо на x^{n-k} , а потім поділимо на поліном $g(x)$ ступеня $n - k$. У результаті множення степінь кожного члена x_i , що входить у поліном $m(x)$,

збільшується на $n - k$. При діленні $x^{n-k} \cdot m(x)$ на $g(x)$ отримуємо $q(x)$ такого ж степеня, як і $m(x)$. Якщо $x^{n-k} \cdot m(x)$ не ділиться без остачі на $g(x)$, то з'являється остача $r(x)$:

$$\frac{x^{n-k} \cdot m(x)}{g(x)} = q(x) \oplus \frac{r(x)}{g(x)}.$$

Помноживши обидві частини рівняння на $g(x)$, маємо:

$$x^{n-k} \cdot m(x) = g(x) \cdot q(x) \oplus r(x).$$

Таким чином, кожен кодову комбінацію циклічного коду можна отримати двома способами:

1. Множенням k -елементної комбінації простого коду $m(x)$ на поліном $g(x)$;
2. Множенням комбінації простого коду $m(x)$ на одночлен x^{n-k} і додаванням до добутку остачі від ділення $x^{n-k} \cdot m(x)$ на $g(x)$.

Перший спосіб призводить до утворення нероздільного коду, що значно ускладнює процес декодування, тому на практиці частіше застосовують другий спосіб побудови кодових комбінацій. Цей спосіб дає можливість отримати утворювальну матрицю відразу у канонічній формі:

$$G = \| C_{rk}; E_k \|,$$

де C_{rk} – матриця, яка складається з r стовпців і k рядків, причому кожен рядок є остачею від ділення рядка одиничної матриці, доповненої нулями, на поліном.

Матрицю перевірки H також можна побудувати, виходячи з утворювальної матриці

$$H = \left\| \begin{array}{c} h(0) \\ h(1) \\ \vdots \\ h(k-1) \end{array} \right\|.$$

Наведемо приклад семирозрядного циклічного коду з $d_0 = 3$. Для побудови коду необхідні три розряди перевірки ($r = 3$) і поліном має бути третьої степені. Нехай поліном має вигляд $g(x) = 1 + x + x^3 = 1101$.

Оберемо вихідну кодову комбінацію K_1 так, щоб її символи відповідали значенням коефіцієнтів $g(x)$, тоді

$$K_1 = (1101000) \cong 1 + x + x^3.$$

Виконавши операцію циклу один раз, отримаємо

$$K_2 = (0110100) \cong x + x^2 + x^4,$$

другий раз –

$$K_3 = (0011010) \cong x^2 + x^3 + x^5,$$

третій раз –

$$K_4 = (0001101) \cong x^3 + x^4 + x^6,$$

де $\cong$ – знак відповідності двох форм запису комбінацій.

Утворювальна матриця має вигляд:

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

Таблиця 6.2 – Дозволені кодові комбінації

Комбі- нація	Запис у ви- гляді век- тора	Запис у вигляді полінома	З якої комбінації отримана	Як отримана ком- бінація
K_1	1101000	$1 + x + x^3$	K_9	базисна
K_2	0110100	$x + x^2 + x^4$	K_1	базисна
K_3	0011010	$x^2 + x^3 + x^5$	K_2	базисна
K_4	0001101	$x^3 + x^4 + x^6$	K_3	базисна
K_5	10011100	$1 + x^2 + x^3 + x^4$	K_{10}	$K_1 + K_2$
K_6	1110010	$1 + x + x^2 + x^5$	K_{11}	$K_1 + K_3$
K_7	1000110	$1 + x^4 + x^5$	K_4	$K_1 + K_2 + K_3$
K_8	0101110	$1 + x^3 + x^4 + x^5$	K_5	$K_2 + K_3$
K_9	1010001	$1 + x^2 + x^6$	K_{12}	$K_1 + K_2 + K_4$
K_{10}	0111001	$x + x^2 + x^3 + x^6$	K_6	$K_2 + K_4$
K_{11}	1100101	$1 + x + x^4 + x^6$	K_{13}	$K_1 + K_4$
K_{12}	0100011	$x + x^5 + x^6$	K_7	$K_2 + K_3 + K_4$
K_{13}	1001011	$1 + x^3 + x^5 + x^6$	K_{14}	$K_1 + K_2 + K_3 + K_4$
K_{14}	0010111	$x^2 + x^4 + x^5 + x^6$	K_8	$K_3 + K_4$
K_{15}	1111111	$1 + x + x^2 + x^3 +$ $+ x^4 + x^5 + x^6$	K_{15}	$K_1 + K_3 + K_4$
K_{16}	0000000	0	K_{16}	$K_1 + K_1$

Оскільки $k = 4$, то отриманих комбінацій вже достатньо для утворення $2^k - k = 12$ інших дозволених комбінацій шляхом додавання за модулем 2. У таблиці 6.2 показані всі дозволені кодові комбінації, спосіб їх одержання та з якої комбінації можна отримати обрану, здійснивши один цикл.

Побудуємо матрицю перевірки. Маємо $\frac{x^7 + 1}{g(x)} = 1 + x + x^2 + x^4$. Тобто перевірний поліном $h(x) = 1 + x + x^2 + x^4$. У даному випадку $k - 1 = 2$ і $h(0) = 1110100$, $h(1) = 0111010$, $h(2) = 0011101$. Маємо:

$$H = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Питання для самоперевірки

1. У чому полягає мета ефективного кодування?
2. Які коди називаються префіксними?
3. Які вимоги висуваються до коду лінії?
4. Для чого у код вводиться надмірність?
5. Чи є циклічний зсув дозволеної комбінації циклічного коду також дозволеною кодовою комбінацією?
6. Який код називається примітивним?
7. Розрахуйте надмірність трійкового коду, якщо дозволена кількість комбінацій – 200, а значність коду – 5.
8. Розрахуйте кодову відстань для комбінацій 11011 і 10010.
9. Нарисуйте форму сигналу для комбінації 1011001110, закодованої квазітрійковим кодом.
10. Наведіть поліном циклічного коду для комбінації 10011.

7 РЕАЛІЗАЦІЯ ОСНОВНИХ ЛІНІЙНИХ КОДІВ

7.1 Уніполярний код NRZ

Найпростішим лінійним кодом є уніполярний код типу NRZ (Non Return to Zero), що ілюструє рис. 6.1, а). У цьому коді нулі подані відсутністю імпульсу (напруга близька до нуля), а одиниці – наявністю імпульсу (деяка додатна напруга).

Код має чотири недоліки. По-перше, середня потужність, яка виділяється на резисторі навантаження R (на рисунку не показаний), дорівнює $A^2/2R$, де A – амплітуда імпульсу напруги. Число 2 у знаменнику дробу відповідає рівноймовірній появі логічного 0 і логічної 1 у потоці даних. Резистор R розсіює теплову енергію в два рази інтенсивніше, ніж при біполярному кодуванні, при такій самій амплітуді сигналу, рівній A (рис. 7.1, б).

По-друге, уніполярні сигнали завжди містять постійну складову і значну частку низькочастотних компонентів у спектрі при передачі довгих послідовностей одиниць. Це перешкоджає передачі сигналів через трансформатори або конденсатори.

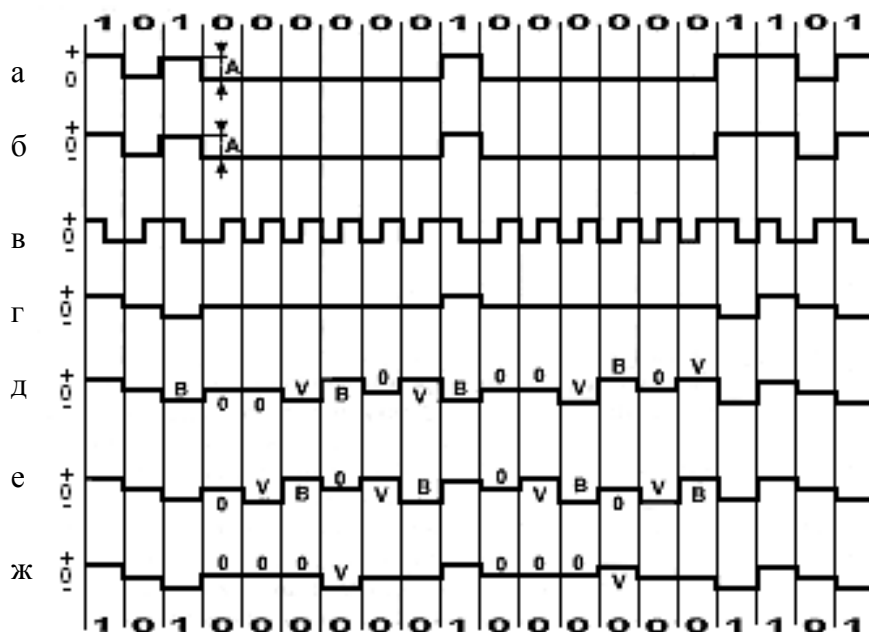


Рисунок 6.2 – Передача інформації за допомогою найбільш поширених лінійних кодів:

- а — уніполярний код NRZ; б — біполярний код NRZ;
в — код «Манчестер-II»; г — код AMI; д — код B3ZS;
е — код B6ZS; ж — код HDB3

По-третє, ретранслятори і приймачі надійно відновлюють синхронізовальну часову сітку тільки тоді, коли паузи між змінами сигналу не занадто великі. Зміна сигналу після незначної паузи дозволяє всякий раз корек-

тувати "хід часу" ретранслятора або приймача. Зі збільшенням паузи надійність "служби часу" спадає. Наприклад, після передачі серії з 10 тис. нулів приймач, імовірно за все, не зможе точно визначити, чи знаходиться наступна одиниця на позиції 9999, 10000 або 10001. Те ж відноситься і до передачі довгих ланцюжків з логічних 1. Іншими словами, при передачі досить великої послідовності нулів або одиниць приймач (або ретранслятор) втрачає синхронізацію з передавачем (або ретранслятором).

І останній, четвертий недолік – відсутність можливості оперативної реєстрації помилок, таких як втрата або поява зайвих імпульсів через завади.

7.2 Біполярний код NRZ

Біполярний сигнал NRZ (рис. 7.1, б) має кращі енергетичні характеристики. Одиниця подана додатним рівнем напруги, нуль – від'ємним. Навантажувальний резистор R у даному випадку постійно розсіює тепло, тому що на ньому, незалежно від переданого коду, присутня напруга $A/2$ тієї або іншої полярності. Середня потужність, яка виділяється на навантажувальному резисторі, дорівнює $(A/2)^2/R = A^2/4R$, тобто половині середньої потужності уніполярного сигналу, хоча перепад рівнів той самий.

Таким чином, перший з відзначених раніше недоліків уніполярного сигналу NRZ якоюсь мірою вдалося усунути. Але інші три недоліки зберігаються. Для їхньої ліквідації необхідне введення надмірності одним із двох способів:

- 1) швидкість передачі сигналів по лінії вибирається більшою, ніж швидкість передачі інформації без використання додаткових електричних рівнів сигналів;
- 2) швидкість передачі сигналів по лінії вибирається рівною швидкості передачі інформації, але вводяться додаткові електричні рівні сигналів.

7.3 Код "Манчестер-II "

Прикладом коду з надмірністю, введеною відповідно до тільки що згаданого першого способу, є код "Манчестер-II". Форма біполярного сигналу при передачі коду "Манчестер-II" показана на рис. 7.1, в). Одиниця кодується від'ємним перепадом сигналу в середині бітового інтервалу, нуль – додатним перепадом. На границях бітових інтервалів сигнал при необхідності змінює значення, "готуючись" до відображення чергового біта в середині наступного бітового інтервалу.

За допомогою коду "Манчестер-II" вирішуються відразу усі відзначені раніше проблеми. Оскільки кількість додатних і від'ємних імпульсів на будь-якому досить великому відрізку часу однакова або відрізняється не більше ніж на один імпульс, що не має значення, постійна складова дорів-

нює нулю.

Підстроювання часу приймача або ретранслятора виконується при передачі кожного біта, тобто знімається проблема втрати синхронізації при передачі довгих ланцюжків нулів або одиниць.

Спектр сигналу містить тільки дві логічні складові: F і $2F$, де F – швидкість передачі інформаційних бітів. Наявність тільки двох (а не трьох або більше) електричних рівнів сигналу дозволяє надійно їх розпізнавати (гарна завадостійкість).

Критерієм помилки може бути "заморожування" сигналу на одному рівні на час, що перевищує час передачі одного інформаційного біта, оскільки, незалежно від переданого коду, сигнал завжди "коливається" і ніколи не "завмирає". Але за ці надзвичайно корисні якості доводиться платити подвоєнням необхідної частотної смуги апаратури зв'язку. Тому код "Манчестер-II" широко використовуються там, де частотні обмеження не є визначальними.

7.4 Код АМІ

Другий спосіб введення надмірності пов'язаний з додаванням додаткових електричних рівнів, у найпростішому випадку – третього, "нульового" рівня.

На рис. 7.1, г) наведена форма сигналу зі змінною інверсією знака, так званого АМІ-сигналу (Alternative Mark Inversion). Нулі кодуються відсутністю імпульсів, а одиниці – по чергово додатними і від'ємними імпульсами. Постійна складова сигналу АМІ дорівнює нулю. Тому при передачі довгої послідовності одиниць синхронізація не втрачається. Але синхронізація порушується при передачі довгої послідовності нулів, як і в коді NRZ.

7.5 Коди BNZS, HDB3

Втрата синхронізації при передачі довгої послідовності нулів запобігається в такий спосіб: послідовність нулів передавач замінює певними "послідовностями", що являють собою частки стандартних часових діаграм. Коди АМІ, у яких послідовність з N нулів замінюється певною підстановкою, називаються BNZS-кодами (Bipolar with N Zeroes Substitution).

У коді B3ZS (рис. 7.1, д) кожні три послідовно розташовані нулі замінюються або комбінацією $B0V$, або $00V$. Символ B позначає імпульс, що відповідає правилам кодування АМІ. Символ V позначає імпульс, що порушує правила кодування АМІ (збігається за полярністю з попереднім).

Вибір однієї з цих двох послідовностей виконується так, щоб, по-перше, число імпульсів B між двома послідовно розташованими імпульсами V було непарним, а по-друге, щоб полярність імпульсів V чергувалася.

У коді B6ZS (рис. 7.1, е) кожні шість послідовних нулів замінюються комбінацією 0VB0VB.

Цей код дуже схожий на BNZS, оскільки максимально допустиме число нулів, що знаходяться у послідовності, дорівнює трьом.

У коді HDB3 кожні чотири послідовно розташованих нулі замінюються комбінацією 000V або V00V. Вибір тієї або іншої комбінації виконується так, щоб, по-перше, число імпульсів V між двома послідовними імпульсами V було непарним і, по-друге, щоб полярність імпульсів V чергувалася (рис. 7.1, ж).

Існують також інші поширені коди, такі як CMI, PST, 4B3T і т.д. Всі вони є різновидами кодів АМІ і створені з метою мінімізації вимог до смуги пропускання каналів зв'язку і збільшення пропускнуої здатності відносно помилок при передачі інформації.

7.6 Трирівневе кодування сигналу з гарантованою зміною рівнів між сусідніми бітовими інтервалами

Як випливає з вищесказаного, для надійного відновлення "синхросітки" приймачем бажано так закодувати дані, щоб сигнал змінювався якомога частіше, в ідеальному випадку – у кожному бітовому інтервалі. Ця мета, як було показано, досягається при використанні коду "Манчестер-II" (і подібних йому) ціною розширення спектра сигналу.

У системі передачі даних застосовується трирівневе кодування сигналу. Як і в інших кодах, між двома проводами лінії може бути присутня від'ємна, нульова або додатна напруга, скорочено $U = -1$, $U = 0$, $U = +1$. Але дане рішення цікаве тим, що створено "гарантію" зміни рівня сигналу при переході від одного бітового інтервалу до іншого незалежно від виду переданої послідовності бітів, що підтверджується часовою діаграмою на рис. 7.2.

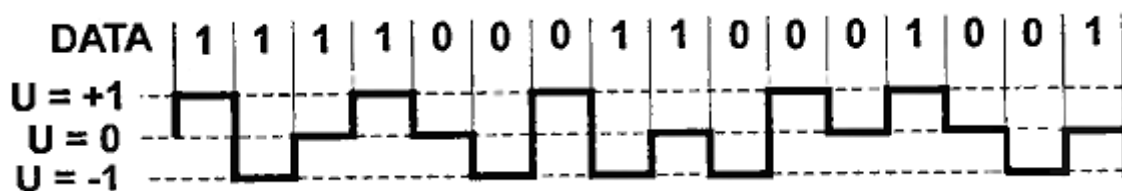


Рисунок 7.2 – Часові діаграми сигналу у лінії

У цій діаграмі зустрічаються всі сполучення сусідніх бітів (00, 01, 10, 11) і їхні однорідні послідовності (1111 і 0000). Проте сигнал завжди змінюється при переході від одного бітового інтервалу до іншого. Як випливає з рис. 7.3, передавач містить дворозрядний регістр RG1, логічну схему L1 і формувач S трирівневого сигналу. Приймач містить перетворювач R трирівневого сигналу в дворівневий (логічний 0, логічна 1), дворозрядний регістр RG2 і логічну схему L2.

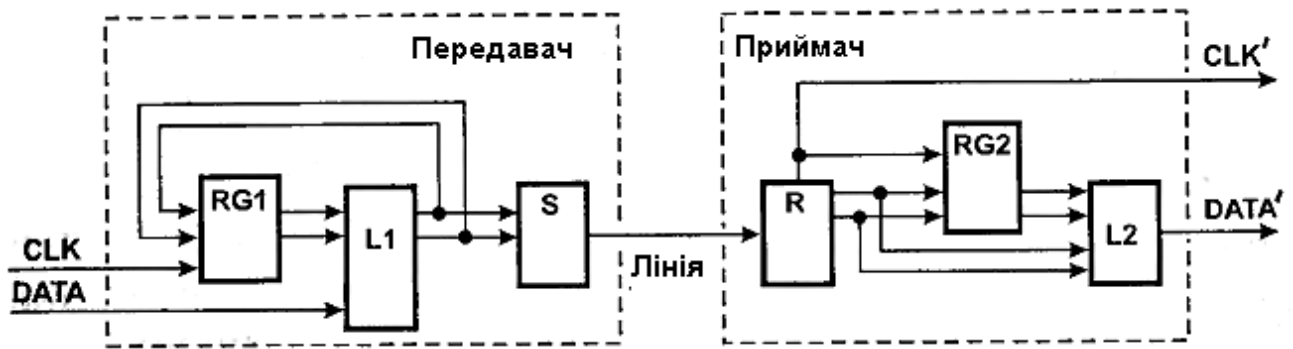


Рисунок 7.3 – Система передачі даних

На початку чергового бітового інтервалу за фронтом синхросигналу CLK у регістрі RG1 фіксується дворозрядний код, сформований логічною схемою L1 у попередньому бітовому інтервалі. З незначною затримкою, достатньою для надійної фіксації коду в регістрі RG1, на вхід передавача подається черговий біт DATA. Далі, протягом бітового інтервалу на входах логічної схеми L1 присутні результат обробки попереднього біта (код, що відображає попередній стан передавача) і черговий біт даних. Логічна схема L1 на основі аналізу вхідної комбінації сигналів формує дворозрядний код, що визначає новий стан передавача. Залежно від поєднання сигналів на виході логічної схеми L1 формувач S трирівневого сигналу видає в провід лінії нульову, додатну або від'ємну напругу.

Переходи передавача між трьома можливими станами можна простежити по діаграмі, наведеній на рис. 7.4.

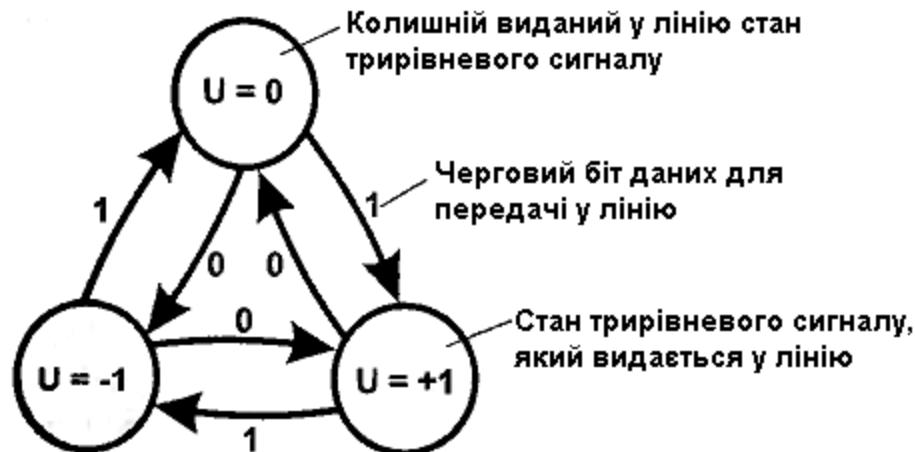


Рисунок 7.4 – Діаграма станів передавача

Передавач може знаходитися в трьох станах, виділених на рис. 7.4 кружечками. Ці стани позначені відповідно до прийнятих раніше скорочень.

Стрілками позначені переходи з одного стану в інший. Цифра 0 або 1 біля стрілки відповідає значенню чергового біта DATA. З рис. 7.4 випливає, що при передачі послідовності бітів 111...1 траєкторія переходів по ді-

аграмі відповідає рухові за годинниковою стрілкою, а при передачі ланцюжка 000...0 – рухові в зворотному напрямку. Передача "випадкових" даних супроводжується "блуканням" між трьома станами. Тобто, не буває ситуацій, при яких той самий стан повторюється в сусідніх тактах.

Перетворювач R трирівневого сигналу в дворівневий (рис.7.3) формує дворозрядний код поточного стану сигналу в лінії і виділяє синхросигнал на основі ресстрації фронтів імпульсів. На початку чергового бітового інтервалу в регістрі RG2 фіксується попередній стан лінії, логічна схема L2 оперує попереднім і поточним станами трирівневого сигналу. Залежно від їхньої комбінації можна зробити однозначний висновок про те, який біт (логічний 0 або логічна 1) надійшов на вхід приймача. Декодування сигналів у приймачі пояснюється тією же діаграмою, що і попередня, але з трохи іншою інтерпретацією подій (рис. 7.5).

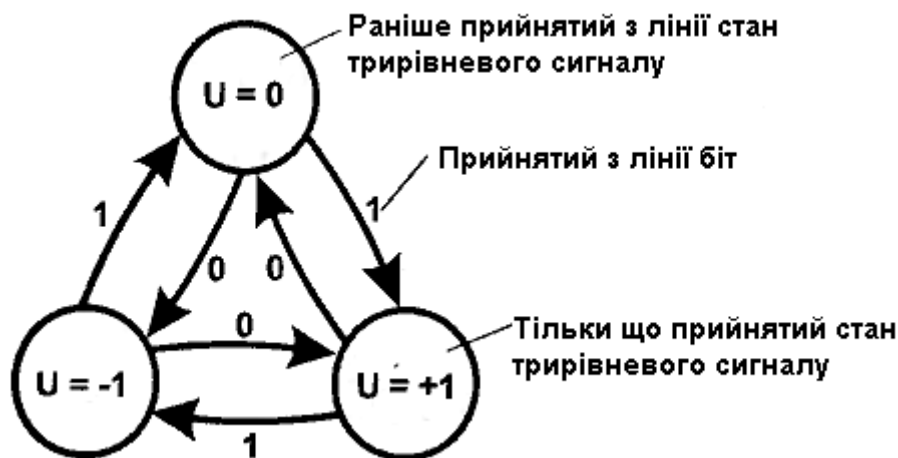


Рисунок 7.5 – Діаграма станів приймача

Припустимо, що раніше прийнятий і поточний стани трирівневого сигналу відповідають зображеним на рис. 7.5. Безпосередній перехід між цими станами можливий тільки при прийомі одиничного біта. Тому на виході логічної схеми L2 формується сигнал DATA = 1.

Особливість цієї схеми кодування/декодування полягає в тому, що при передачі послідовності бітів виду 010101... залежно від передісторії може трапитися так, що всі імпульси будуть мати однакову полярність. Це означає, що в сигналі з'явиться постійна складова, що для багатьох систем неприпустимо. Щоб уникнути цього, можна застосувати скремблювання даних на вході передавача і їх дескремблювання на виході приймача. Застосування цих операцій дозволяє одержати "псевдовипадковий" потік бітів, у якому усунути небажані закономірності їхнього чергування.

7.7 Спосіб кодування сигналу для зменшення випромінюваних завад при його передачі по лінії

Передача сигналу по лінії супроводжується випромінюванням енергії в навколишній простір. Найбільшому впливові піддаються сусідні лінії багатожильного кабелю. Цей вплив виявляється у тому, що в сусідніх лініях з'являються завади, обумовлені, в основному, індуктивними і ємнісними паразитними зв'язками між лініями.

Енергія переданого по лінії сигналу зосереджена в деякій спектральній смузі. Для зменшення впливу на сусідні лінії бажано якомога рівномірніше розподілити енергію в цій смузі, без виражених спектральних піків. Якщо ця умова виконана, то джерело сигналу можна грубо подати у вигляді нескінченно великого числа генераторів різної частоти, причому кожен генератор має нескінченно малу потужність. Результуючий сигнал завади має характер шуму.

Але, якщо джерело формує сигнал, періодичний або близький до нього, то на сусідні лінії замість "широкосмугового шуму" діють декілька або навіть один сигнал, близький за формою до синусоїдального. Оскільки основна енергія сигналу вже не розподілена, а зосереджена в декількох або одній "піковій" спектральній складовій, то амплітуда завад може перевищити допустиму. Таким чином, для зменшення амплітуди завад, що наводяться на сусідні лінії, потрібно за можливості виключити з переданого сигналу виражені "періодичні" компоненти.

Ці компоненти можуть з'являтися, наприклад, у сигналах АМІ, Т1 або MLT-3 при передачі довгої послідовності логічних 1, як показано на рис. 7.6 (затінені області). RND на рис. 7.6 – це сигнал на виході генератора псевдовипадкової послідовності бітів.

У цих областях "неозброєним оком" видно прообрази синусоїдальних сигналів, що несуть основну енергію. Періоди сигналів АМІ і Т1 при передачі довгої послідовності логічних 1 дорівнюють двом бітовим інтервалам. Період сигналу MLT-3 дорівнює п'ятьом бітовим інтервалам.

Довгі послідовності логічних 1 можна "зруйнувати" застосуванням скремблювання, тобто певною шифрацією даних, після якої будь-які вихідні послідовності виглядають як випадкові. Для відновлення вихідних даних приймач повинний виконати обернену операцію (дескремблювання). При цьому необхідна синхронна робота шифратора і дешифратора, що трохи ускладнює задачу.

Пропоноване рішення також передбачає "руйнування" періодичного сигналу при передачі довгої послідовності логічних 1, але виконується воно інакше. Скремблюються не дані, а полярності переданих по лінії імпульсів. Залежно від значення деякого псевдовипадкового біта вибирається або додатна, або від'ємна полярність. Приймач не звертає увагу на полярність імпульсу і реагує тільки на його наявність. Тому для відновлення да-

них приймачеві не потрібно знати вид псевдовипадкової послідовності, використаної при шифруванні полярностей. Іншими словами, здійснюється скремблювання без наступного дескремблювання, що на перший погляд здається позбавленим змісту. У підсумку апаратура, призначена для зменшення випромінюваних завад, спрощується.

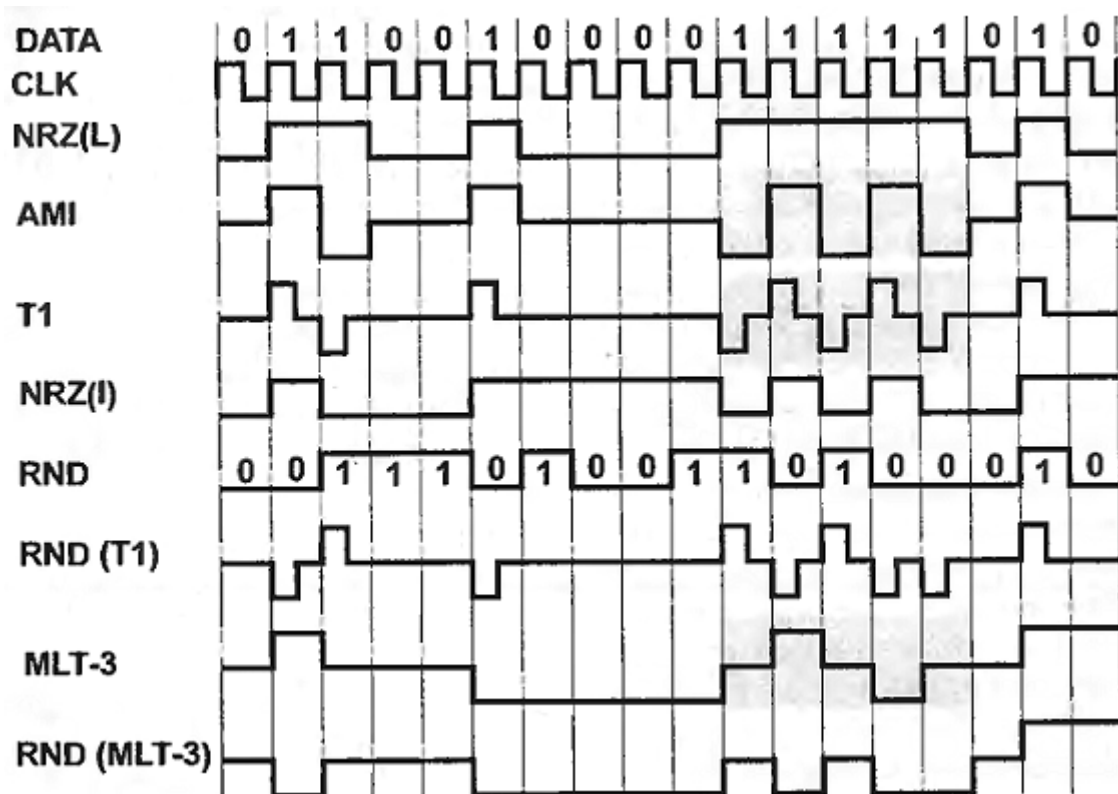


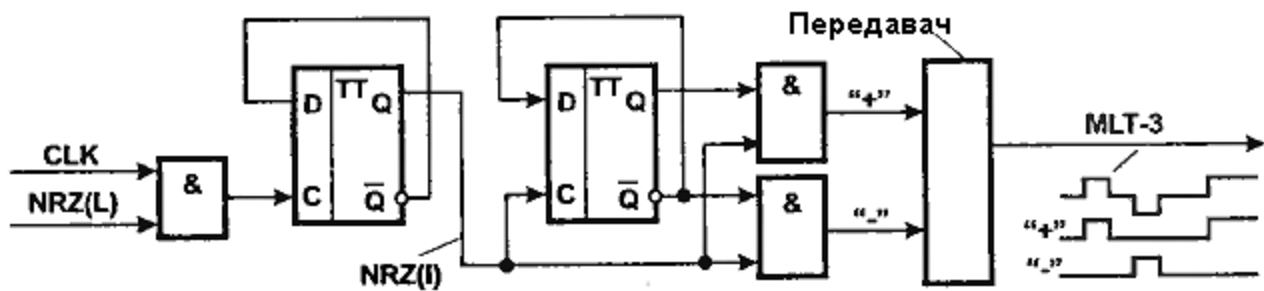
Рисунок 7.6 – Часові діаграми передачі даних DATA з використанням різних кодів

Як уже відзначалося раніше, NRZ (у даному випадку він позначений як NRZ(L)) відображає логічні 0 і 1 відповідно низьким і високим рівнями напруги. У коді AMI логічний 0 відображається відсутністю напруги, а логічна 1 – додатним або від'ємним імпульсом, причому полярності сусідніх імпульсів чергуються.

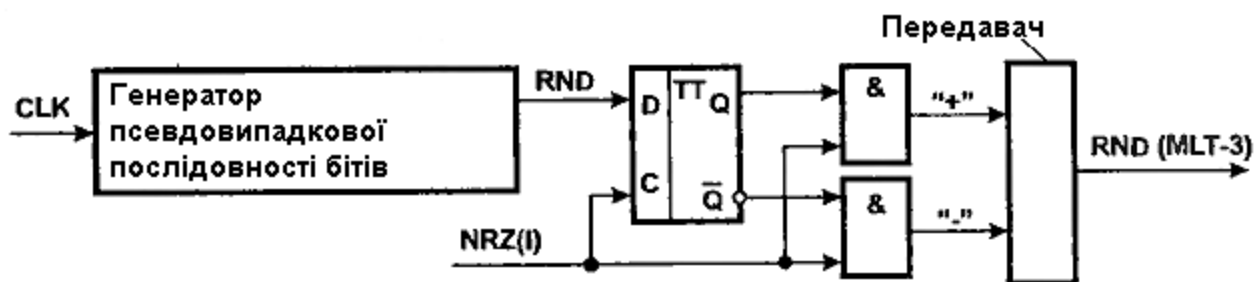
Код T1 відрізняється від AMI тільки тривалістю імпульсу.

У коді NRZ(I) будь-який фронт сигналу несе інформацію про те, що часовий інтервал, який знаходиться праворуч, відповідає логічній 1. Якщо фронту немає, то бітовий інтервал відображає логічний 0.

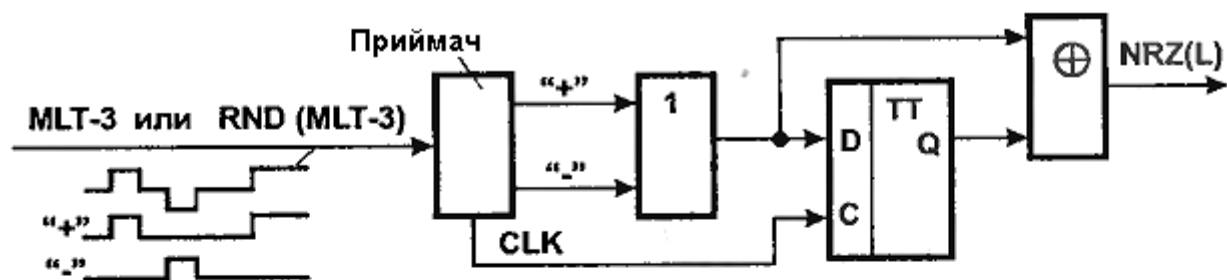
Код MLT-3 можна одержати з коду NRZ(I) у такий спосіб. В інтервалах, де код NRZ(I) набуває нульового значення, код MLT-3 також повинен бути нульовим. Додатні імпульси коду NRZ(I) повинні відповідати імпульсам коду MLT-3 з чергуванням знаків. При цьому немає значення, яку полярність має первинний імпульс. Схема перетворення коду NRZ(L) у коди NRZ(I) і MLT-3 наведена на рис. 7.7, а).



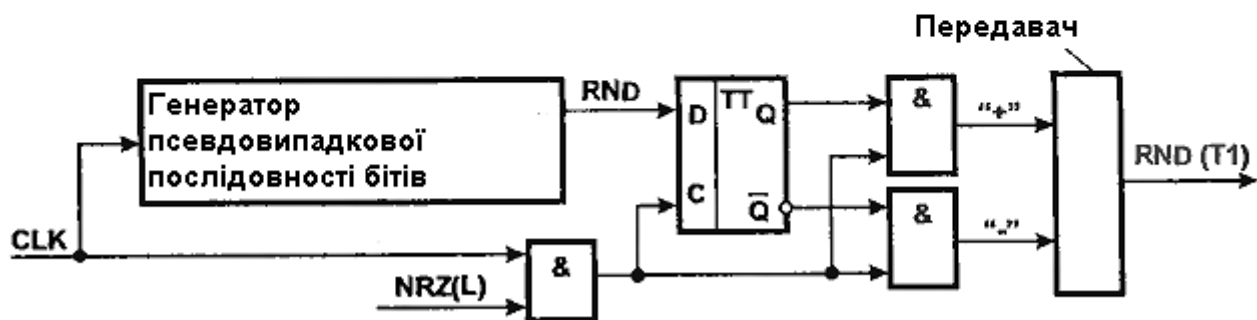
а)



б)



в)



г)

Рисунок 7.7 – Спрощені схемні рішення: а – формувач кодів NRZ(I), MLT-3; б – формувач коду RND(MLT-3) з псевдовипадковим чергуванням полярностей імпульсів; в – дешифратор коду MLT-3 або RND(MLT-3); г – формувач коду RND(T1) з псевдовипадковим чергуванням полярностей

Кожний із двох послідовно з'єднаних D-тригерів підключений у режимі подільника частоти. На виході Q першого тригера формується код NRZ(I). На входи передавача подаються сигнали "+" і "-", що перетворюються відповідно в додатні і від'ємні імпульси трирівневого сигналу MLT-3.

На практиці, у цю та інші схеми на рис. 7.7 потрібно ввести елементи компенсування для запобігання некоректних ситуацій – так званих "гонок" сигналів: наприклад, через те, що другий тригер змінює стан і опитується під дією одного і того ж самого сигналу NRZ(I), на виходах "+" і "-" елементів "I" у процесі переключення тригера будуть спостерігатися короткочасні помилкові імпульси.

Схема, показана на рис. 7.7, б), відрізняється від попередніх тем, що на D-вхід другого тригера (перший тригер не показаний) подається псевдовипадкова послідовність бітів RND. При $RND = 1$ у момент формування додатного фронту сигналу NRZ(I) вибирається додатна полярність імпульсу в лінії, при $RND = 0$ – від'ємна. Послідовність бітів RND синхронізована сигналом CLK і формується, наприклад, генератором на основі регістра зсуву з логічними елементами "Виключне АБО" у колах зворотних зв'язків. Таке рішення приводить до випадкового чергування полярностей імпульсів коду RND (MLT-3) на відміну від їхнього регулярного чергування в коді MLT-3. Схема формування сигналу RND(T1), наведена на рис. 7.7, г), побудована аналогічно і відрізняється наявністю додаткового логічного елемента "I", призначеного для "вкорочення" додатних імпульсів коду NRZ(I).

Схема, подана на рис. 7.7, в), дозволяє дешифрувати коди MLT-3 або RND(MLT-3), тобто перетворити їх у "звичайний" код NRZ(L). На виході приймача формуються додатні імпульси "+" і "-", що відповідають вхідним сигналам різної полярності. Приймач також формує синхросигнал CLK, наприклад, за допомогою генератора на основі петлі фазового автопідстроювання частоти.

Логічний елемент "АБО" підсумовує імпульси "+" і "-", тобто їхня колишня полярність не враховується. У цьому і полягає основна передумова створення рішення, що ілюструє рис. 7.7, г): полярність імпульсів у лінії може бути довільною, тому що приймач не звертає на неї уваги. А оскільки це так, то можна випадковим чином розподілити полярності переданих імпульсів, і тим самим придушити періодичні складові сигналу. Єдине обмеження полягає в тому, що для виключення постійної складової сигналу в лінії середнє число додатних і від'ємних імпульсів у будь-якому досить великому інтервалі часу повинно бути однаковим. Це умова в даному випадку виконується.

Таким чином, закон, за яким дані скремблювалися передавачем, залишається невідомим приймачеві.

Пропонований метод застосовується і до інших трирівневих кодів, таких як B3ZS, B6ZS і HDB3.

7.8 Шифратор і дешифратор манчестерського коду

Розглянемо процеси формування і наступного дешифрування лінійного сигналу типу "Манчестер-II". У результаті дешифрування з лінійного сигналу отримуються дані і їх супровідні синхроімпульси.

Сигнал "Манчестер-II" (рис. 7.8) можна одержати підсумовуванням за модулем 2 за допомогою логічного елемента "Виключне АБО" сигналів NRZ і C (даних і синхросигналу). Основна особливість цього сигналу полягає в тому, що він ніколи не "завмирає". При передачі довгої послідовності одиниць частота сигналу "Манчестер-II" збігається з частотою f_c синхросигналу C . Те ж спостерігається і при передачі довгої послідовності нулів. Тому навіть у тому випадку, коли частота вихідного сигналу NRZ прямує до нуля ($F \rightarrow 0$), частота сигналу "Манчестер-II" залишається постійною (моментами зміни фази сигналу можна знехтувати). При передачі послідовності нулів і одиниць частота сигналу "Манчестер-II" збігається з частотою сигналу NRZ.

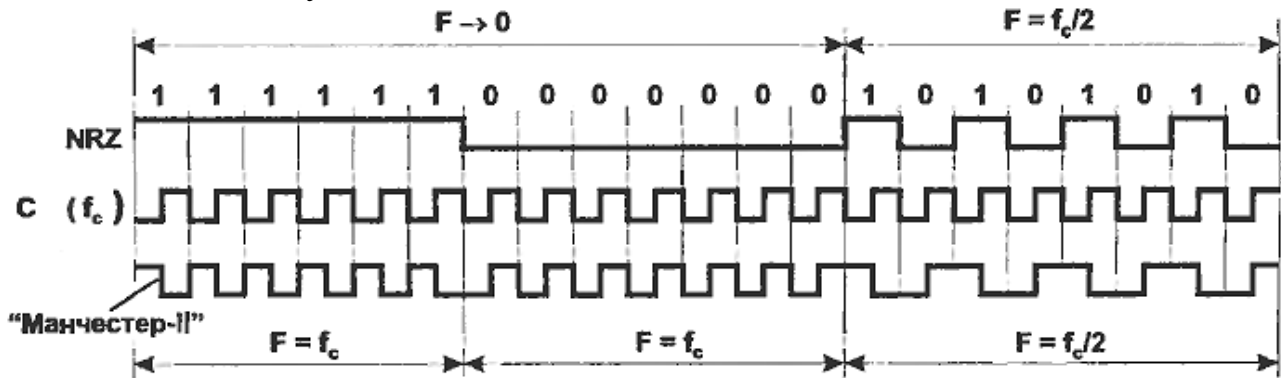


Рисунок 7.8 – Порівняння частотних властивостей сигналів NRZ і "Манчестер-II"

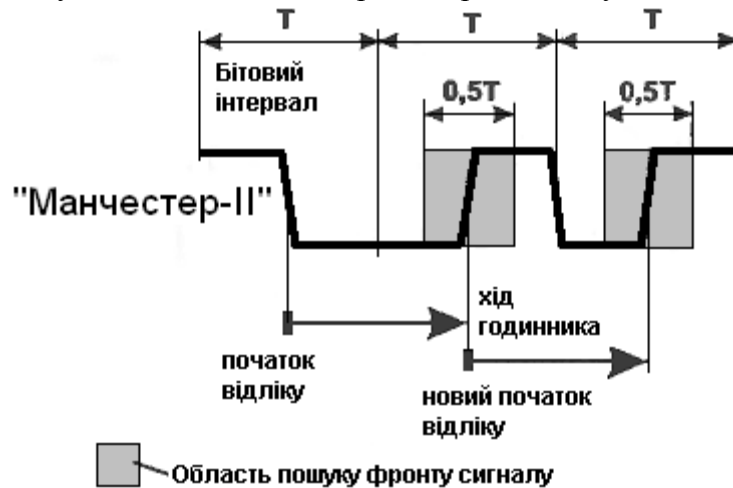
Ідея підтримки синхронізму між приймачем і передавачем пояснюється на рис. 7.9. На рисунку показані три бітові інтервали T . Припустимо, що приймач вже синхронізований з передавачем. Тоді, знайшовши всередині першого бітового інтервалу фронт сигналу (він обов'язково повинен бути – додатний або від'ємний), приймач запускає внутрішній годинник.

Через інтервал часу, рівний T , виявляється додатний фронт сигналу (передається логічний 0). Приймач знову запускає годинник, "забуваючи" його колишні показники, тобто переносить початок відліку часу на один бітовий інтервал вправо. Далі процес повторюється. Таким чином, не відбувається накопичення помилок, пов'язаних з відліком часу.

Пошук чергового фронту сигналу всередині наступного бітового інтервалу ведеться в деякому довірчому інтервалі. З геометрії рисунку випливає, що область пошуку фронту сигналу може сягати $0,5T$. Це означає, що незалежно від довжини послідовності переданих бітів припустима неузгодженість ходу годинника передавача і приймача може наближатися до

+25% (іншими дестабілізуючими факторами нехтуємо). Для порівняння: припустима неузгодженість ходу годинника передавача і приймача при використанні стартозупної посилки (інтерфейси RS-232, RS-422 і інші) складає лише 4%!

Рисунок 7.9 – Часова діаграма передачі коду "Манчестер-II"



Перейдемо до конкретних рішень. Щоб уникнути опису зайвих деталей, розглянемо спрощену схему передачі даних у код "Манчестер-II" (рис. 7.10). У схемі відсутня гальванічна розв'язка з лінією, не показані елементи електричного узгодження і т.д.; проте вона роботоздатна за умови, що лінія зв'язку досить коротка.

Як уже відзначалося, шифратор коду "Манчестер-II" надзвичайно простий і може бути виконаний на двохходовому елементі "Виключне АБО".



Рисунок 7.10 – Спрощений приклад побудови каналу зв'язку для передачі даних у код "Манчестер-II"

Фільтр (рис. 7.11) призначений для приглушення короточасних імпульсів, що можуть виникнути через неідеальний збіг від'ємного фронту сигналу C з від'ємним або додатним фронтом сигналу NRZ.

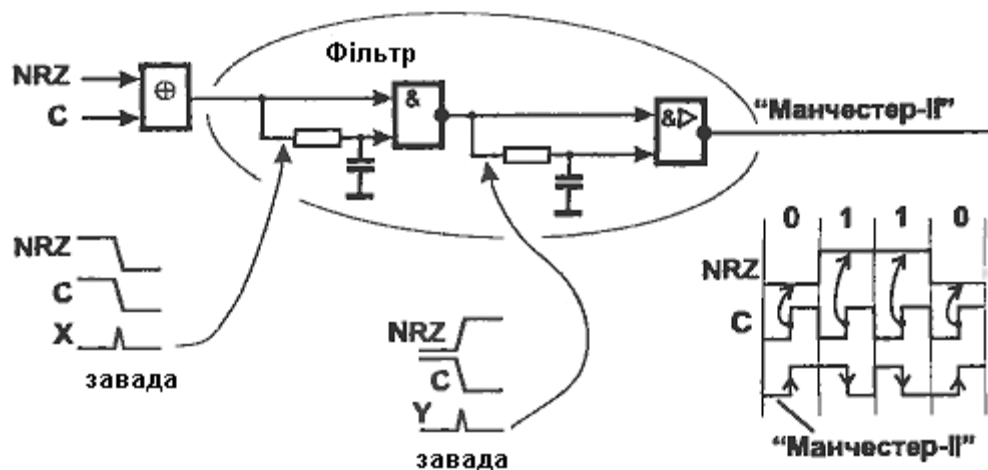


Рисунок 7.11 – Шифратор коду "Манчестер-II"

Дешифратор коду "Манчестер-II" (рис. 7.12) містить формувач F імпульсів, лічильний тригер СТ і D-тригер. Як витікає з часової діаграми, наведеної на рис. 7.13, від'ємні імпульси j на виході формувача імпульсів виникають кожен раз, коли сигнал "Манчестер-II" змінює значення ($0 \rightarrow 1$ або $1 \rightarrow 0$). Сигнал k доповнює "відсутні" імпульси j . Часову діаграму сигналу k можна нарисувати, використовуючи тільки діаграму сигналу j , отже, сигнал k можна одержати з сигналу j за допомогою логічної схеми.

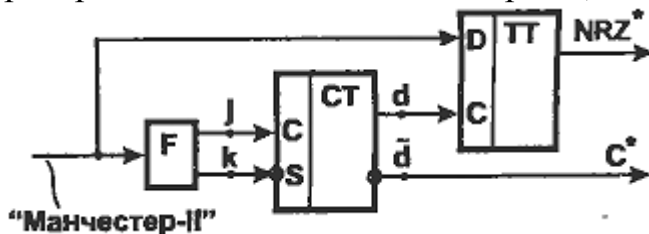


Рисунок 7.12 – Дешифратор коду "Манчестер-II"

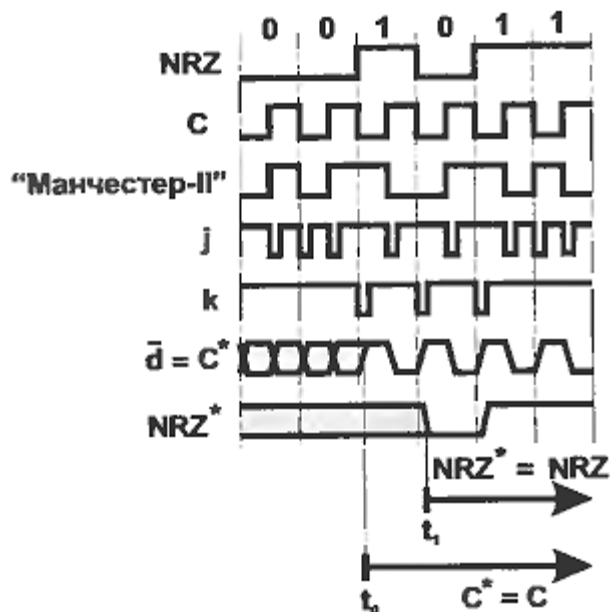


Рисунок 7.13 – Часові діаграми роботи дешифратора коду "Манчестер-II"

Оскільки імпульс k надходить на вхід S встановлення одиниці лічильного тригера СТ, то в момент t_0 цей тригер безумовно перейде в одиничний стан, і надалі сигнал C^* на його інверсному виході буде точно повторювати сигнал C від джерела даних (зрозуміло, з деякою затримкою).

Починаючи з моменту t_1 , тобто через один період тактових імпульсів від моменту t_0 , код NRZ^* , що знімається з виходу тригера ТТ, повністю збігається з вихідним кодом NRZ (з точністю до затримки передачі). Таким чином, для того щоб змусити

приймач ввійти в синхронізм з передавачем, досить на лінії NRZ створити перехід сигналу з 0 у 1. Наступна послідовність бітів будь-якої довжини, передана по лінії NRZ, буде точно повторена на лінії NRZ* приймача. Це ж відноситься і до синхросигналів.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть основні недоліки коду NRZ.
2. Яким чином формується код "Манчестер-II"?
3. Яким чином формується код B3Z6?
4. Як можна сформувати сигнал "Манчестер-II"?
5. Пояснять принцип роботи дешифратора коду "Манчестер-II".
6. Наведіть форму сигналу при кодуванні послідовності 0100011010 біполярним кодом NRZ.
7. Наведіть форму сигналу при кодуванні послідовності 10110001101 біполярним кодом Манчестер-II.
8. Наведіть форму сигналу при кодуванні послідовності 011000010 кодом HDB3.
9. Наведіть форму сигналу при кодуванні послідовності 101010011 кодом MLT-3.
10. Поясніть принцип роботи шифратора коду "Манчестер-II"

8 СИНХРОНІЗАЦІЯ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

8.1 Синхронізація кінцевих пристроїв введення-виведення

При передачі інформації у СДЕЗ зміна одного елемента іншим відбувається у фіксовані моменти часу, при цьому повідомлення розбивається на групи елементів – *кодові комбінації* (codeword).

Прийом інформації у таких системах можливий лише тоді, коли моменти надходження кожного елемента кодової комбінації заздалегідь відомі з достатньою точністю. Тому, у апаратурі, призначеній для передачі цифрової інформації, необхідно здійснювати поелементну і групову *синхронізацію* (synchronization).

Розглянемо особливості поелементної і групової синхронізації у синхронних і стартоstopних системах.

8.1.1 Синхронізація у синхронних системах

При синхронному методі передачі передавач безперервно формує елементи сигналу тривалістю τ_0 , що дорівнює одиничному інтервалу. Якщо відомий момент включення передавача t_0 , можна визначити час надходження будь-якого одиничного елемента; а якщо відома кількість одиничних елементів у кодовій комбінації, то можна відділити одну кодову комбінацію від іншої. Визначивши інтервал часу, у якому з'являються елементи, можна передбачити час появи найбільш стійкої частини елемента сигналу. Реєструючи сигнал у цій частині, можна знизити ймовірність неправильного прийому сигналу.

Зазвичай синхронна робота розподільників передавача і приймача підтримується автоматично. Для цього у приймачі в міру необхідності виробляються сигнали підстройки частоти задаючого генератора прийому. Частота цього генератора повинна збігатися з частотою генератора передачі.

8.1.2 Синхронізація у стартоstopних системах

При *стартоstopній передачі* (start-stop transmission) кожна кодова комбінація починається зі стартового елемента, за яким йдуть кодові елементи. Кожна кодова комбінація закінчується стоповим елементом.

Розподільник приймача запускається стартовим елементом і зупиняється при надходженні стопових посилок. За рахунок зупинки розподільника прийому ліквідується накоплене розходження за фазою розподільників передачі і прийому. Прийом наступної кодової комбінації починається при нульовому розходженні за фазою розподільників.

Переваги стартоstopної передачі полягають у такому:

1. Завдяки необхідності підтримувати певні фазові співвідношення

тільки на інтервалі стартстопного циклу вимоги до стабільності генератора тактових імпульсів є значно нижчими, ніж при синхронній передачі, оскільки при синхронній передачі на прийомі необхідно підстроювати генератор тактових імпульсів протягом всього сеансу зв'язку;

2. Швидке входження у синхронізм, можливість аритмічної роботи передавача.

Недоліки стартостопної передачі полягають у такому:

1. Через включення елементів «старт» і «стоп», які не несуть інформації користувачу, гірше використовується пропускна здатність каналу;

2. Завадостійкість приймача є нижчою.

Стартостопний метод знаходить своє застосування у системах телеграфного зв'язку і низькошвидкісних системах передачі даних. Робота зі швидкістю більше ніж 300 бод можлива лише при синхронному способі передачі.

8.1.3 Тактова синхронізація

У СДЕЗ однією послідовністю є потік сигналів, які передаються по каналу зв'язку, а іншою послідовністю є потік сигналів відліку часу, що називаються *тактами*. Тому синхронізацію відліків часу називають *тактовою синхронізацією* (clock synchronization).

Пристрій тактової синхронізації встановлює відповідність між значущими моментами одиничних елементів на передачі і на прийомі.

Залежно від методу передачі тактового синхросигналу пристрої тактової синхронізації поділяються на дві групи. До першої групи відносяться пристрої тактової синхронізації, які використовують автономні джерела – зберігачі еталону часу. Такий метод синхронізації називають *автономним* і застосовують лише у випадках, коли час сеансу зв'язку не перевищує час збереження синхронізації. Як автономне джерело можна використовувати генератор з високою стабільністю. До другої групи відносять пристрої, у яких використовуються методи *примусової* синхронізації. Методи примусової синхронізації можуть базуватися на використанні окремого каналу, по якому передаються імпульси, необхідні для підстройки генератора, або на використанні інформаційної послідовності. Використання першого методу вимагає зниження пропускної здатності робочого каналу за рахунок виділення додаткового синхроканалу. Тому на практиці частіше застосовується другий метод синхронізації. За способом формування тактових імпульсів пристрої з примусовою синхронізацією поділяються на дві групи:

1. Розімкнені (без зворотного зв'язку) – резонансні системи, які використовують вузькосмугові фільтри;

2. Замкнені (зі зворотнім зв'язком) – системи автоматичного регулювання.

Синхроінформація виділяється з інформаційного сигналу за допомогою кодових послідовностей, які самосинхронізуються. Розрізнення синх-

ронного і несинхронного станів приймача здійснюється у результаті кореляційної обробки інформаційних кодових слів переданої послідовності і їх копій, що зберігаються у приймачі.

У синхронних СДЕЗ до пристроїв синхронізації висуваються такі вимоги:

1. Висока точність синхронізації; допустиме відносне значення відхилення синхроімпульсів (тактових імпульсів) від моментів, які відповідають ідеальній синхронізації $\varepsilon_{\text{дон}} = \pm 3\%$;

2. Малий час входження у синхронізм;

3. Збереження синхронізму при наявності завад і короткочасних переривань зв'язку;

4. Незалежність точності синхронізації від статистичної структури повідомлення.

8.1.4 Циклова синхронізація

При передачі даних блоками символів (кодovими комбінаціями) на приймальній стороні потрібно знати початок і кінець циклу передачі інформації для її правильного декодування. *Циклом* називається сукупність часових позицій, де кожна позиція використовується для передачі одного символу n -елементного повідомлення.

Оскільки довжина кодових комбінацій є відомою, то у безперервній послідовності символів необхідно виділити початок кодової комбінації. Цю операцію виконують пристрої *циклової синхронізації* (frame synchronization). Операція циклової синхронізації є процесом ототожнювання кожної кодової комбінації на передавальній і приймальній сторонах. У СДЕЗ до пристроїв циклової синхронізації висувають такі вимоги:

1. Забезпечення потрібної точності групової синхронізації із врахуванням всіх факторів, що впливають на канал і систему зв'язку;

2. Малий час входження у синхронізм;

3. Автоматичне входження у синхронізм і підтримка синхронізації у процесі сеансу зв'язку;

4. Мінімальні втрати пропускну здатності каналу зв'язку за рахунок введення синхроінформації у повідомлення.

У пристроях циклової синхронізації синфазність роботи розподільників передачі і прийому може бути досягнута лише шляхом примусового пошуку. Система здатна з певною правильністю лише фіксувати наявність або відсутність циклової синхронізації. Відповідно до цього пристрій може знаходитися у одному з двох режимів: автоматичного пошуку фази або контролю синфазності розподільників.

У пристроях циклової синхронізації інформацію можна отримати тільки у тому випадку, коли у повідомленні є надлишкова інформація. Для цього можна використати надмірність, яка вводиться для підвищення правильності передачі інформації. У цьому випадку факт синхронізації підт-

верджується порівняно невеликим числом виявлених помилок, які обумовлені лише дією завад у каналі зв'язку. Коли надлишкова інформація у повідомленні відсутня, необхідно на передавальній стороні вводити спеціальні сигнали, які дозволяють на приймальній стороні розділити групи елементів. При цьому знижується швидкість передачі інформації.

Якщо інформація передається протягом порівняно невеликого проміжку часу при використанні рівномірного коду, то для забезпечення циклової синхронізації достатньо визначити початок сеансу зв'язку і надіслати сигнал пуску (стартовий сигнал) перед передачею інформації у канал зв'язку. Такий метод одноразової передачі синхροінформації називають *безмаркерним* методом циклової синхронізації. Безмаркерний метод циклової синхронізації можна використовувати лише при синхронному способі передачі. Метод, при якому спеціальні сигнали, що дозволяють відділити одну кодову комбінацію від іншої, передаються протягом усього сеансу зв'язку, називається *маркерним*.

8.2 Виділення синхросигналу

8.2.1 Схема на основі регістрів зсуву

Схема, показана на рис. 8.1, призначена для виділення *синхросигналу* (clock signal) SYNC і даних DOUT із сигналу DIN, що надходить через приймач з лінії. Для початку припустимо, що лінійний сигнал поданий кодом NRZ. При цьому припускаємо, що у коді NRZ максимальне число логічних 0 або 1, які йдуть підряд, не перевищує, наприклад, шести.

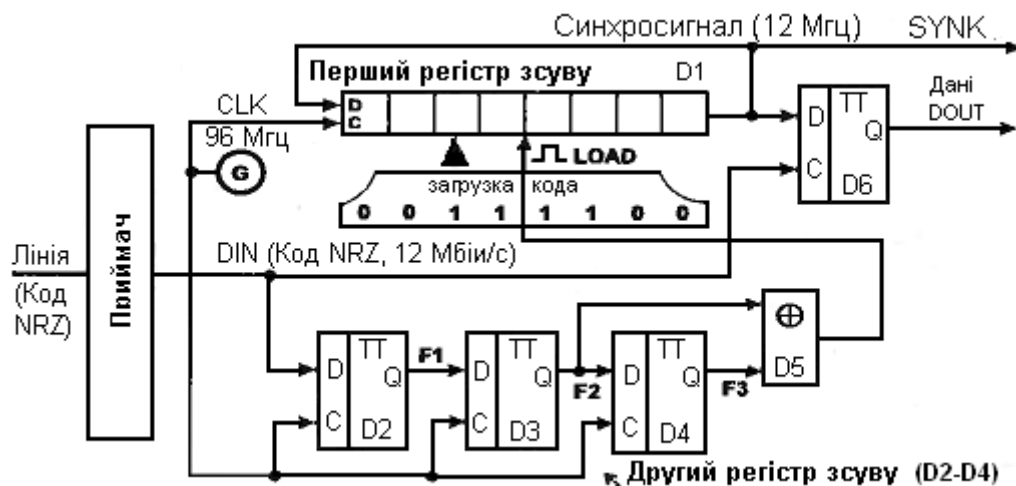


Рисунок 8.1 – Схема виділення синхросигналу і даних з лінії

Схема побудована на основі двох регістрів зсуву. Перший регістр D1 складається з восьми включених у "кільце" D-тригерів із загальними входами C синхронізації і об'єднаними входами LOAD керування асинхронним завантаженням. Циклічний зсув коду в регістрі D1 виконується під час відсутності сигналу LOAD (LOAD = 0) за додатним фронтом синхросигна-

лу CLK від кварцового генератора G. При наявності сигналу LOAD (LOAD = 1) регістр D1 встановлюється в стан 00111100 незалежно від стану сигналу CLK.

Частота сигналу CLK (96 МГц) у даному прикладі у вісім раз (за числом розрядів регістра D1) перевищує швидкість передачі даних по лінії (12 Мбіт/с). Регістр зсуву D1 фактично виконує функцію подільника частоти на вісім, тому що в ньому безупинно циркулює код 00111100. Протягом перших чотирьох тактів зсуву SYNC = 1, потім протягом наступних чотирьох тактів SYNC = 0 і т.д. При цьому фаза сигналу SYNC "прив'язана" до сигналу LOAD, що, у свою чергу, формується при будь-якій зміні стану вхідного сигналу DIN.

Другий регістр зсуву виконаний на тригерах D2-D4 з об'єднаними входами синхронізації C. Логічний елемент "Виключне АБО" D5 формує сигнал логічна 1 при розбіжності сигналів на його входах. Розглянемо процес виділення синхросигналів і даних з сигналу DIN (рис. 8.2).

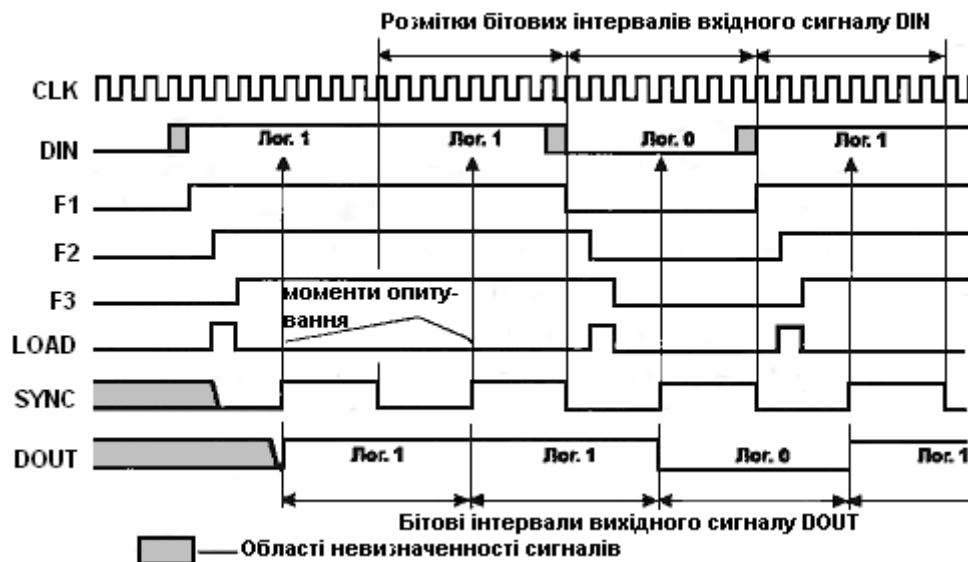


Рисунок 8.2 – Часові діаграми виділення синхросигналу і даних з лінії

У вихідному стані, коли немає змін сигналу DIN (або коли ці зміни були занадто давно), сигнали SYNC і DOUT не визначені. Зміна сигналу DIN (у даному прикладі перехід з нульового в одиничний стан) реєструється за найближчим додатним фронтом сигналу CLK. Це проявляється у тому, що в тригері D2 фіксується сигнал $F1 = 1$.

Відзначимо, що в результаті несприятливого сполучення сигналів на входах цього тригера, а саме того, що в момент надходження додатного фронту сигналу CLK сигнал DIN нестабільний, тригер D2 може сформувати короткочасний помилковий сигнал. Іншими словами, цей тригер може почати процес спрацювання, але не завершити його. Але короткотривалий помилковий сигнал не буде поширюватися в наступні каскади регістра зсуву завдяки загальному колу синхронізації. Повне спрацювання сигналу

логічна 1 у тригері D1 виявиться можливим тільки в наступному такті.

Сигнал F1= 1 у двох наступних тактах просувається до виходу другого регістра зсуву. При цьому в період нерівнозначності сигналів F2 і F3 формується сигнал завантаження регістра зсуву D1 $LOAD = 1$, синхросигнал SYNC набуває нульового значення. Через два такти після проходження сигналу $LOAD = 1$ формується додатний фронт сигналу SYNC, що гарантує правильну реєстрацію біта даних DOUT у тригері D6. Починаючи з цього моменту досягаються потрібні співвідношення між вихідними і вхідними сигналами.

Щоб переконатися в правильності цих співвідношень, розглянемо часову діаграму, наведену на рис. 8.3.

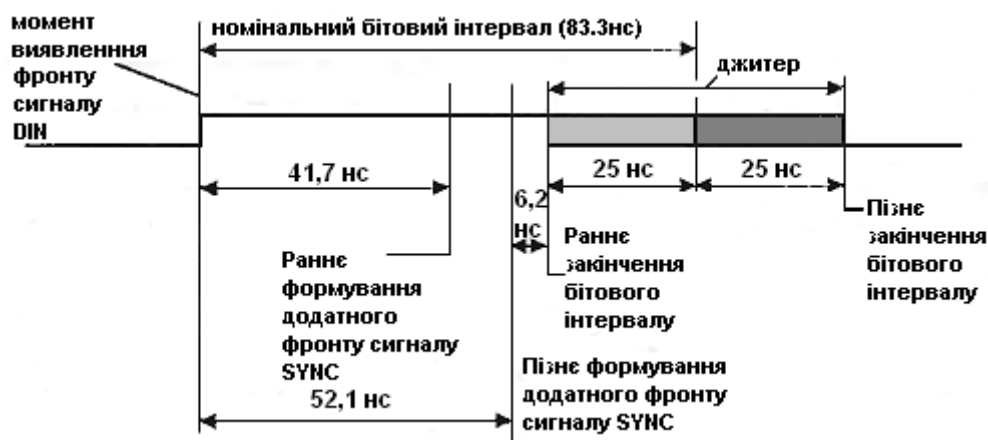


Рисунок 8.3 – Часова діаграма виділення біта даних з врахуванням джитера і невизначеності моменту формування додатного фронту сигналу SYNC

При швидкості передачі даних 12 Мбіт/с номінальна тривалість бітового інтервалу складає $1/12000000$ або 83,3 нс. Якщо прийняти максимальну амплітуду джитера рівною 25 нс, то бітовий інтервал у найгіршому випадку може бути вкорочений або подовжений на 25 нс і дорівнює відповідно 58,3 або 108,3 нс. Допуски тривалості бітового інтервалу відзначені на рис. 8.3 затіненими областями.

Період сигналу CLK дорівнює $1/96000000$ або 10,417 нс. З раніше розглянутої часової діаграми (див. рис. 8.2) впливає, що додатний фронт сигналу SYNC при самому вдалому збігу обставин може сформуватися через чотири періоди сигналу CLK після зміни сигналу DIN. При самому невдалому збігу обставин (коли зміна сигналу DIN трохи спізнилася до моменту реєстрації) замість чотирьох періодів буде потрібно п'ять.

Першій і другій ситуації відповідають відзначені на рис. 8.3 затримки, рівні відповідно $10,417 \times 4 = 41,7$ нс і $10,417 \times 5 = 52,1$ нс. Таким чином забезпечуються надійне попереднє встановлення сигналу DIN на D-вході тригера D6 (мінімум 41,7 нс) і достатній час утримання цього сигналу (мінімум 6,2 нс при нормі "більше нуля") після формування сигналу SYNC.

Якщо для завантаження регістра зсуву D1 замість коду 00111100 за-

стосувати код 00011110, то моменти раннього і пізнього формування додатного фронту сигналу SYNC змістяться на часовій діаграмі вліво на один період сигналу CLK. При цьому мінімальне попереднє встановлення зменшиться до 31,2 нс, а час утримання збільшиться до 16,6 нс.

Розглянутий приклад має скоріше ілюстративне, ніж практичне значення, тому що для передачі даних по послідовному каналу зв'язку замість коду NRZ застосовують інші коди. Але ідею побудови пристрою можна використовувати і для роботи з цими кодами.

У прикладі, наведеному на рис. 8.4, передані по лінії дані подані кодом HDB3. У коді HDB3 послідовності нулів замінені певними послідовностями (виділені на рисунку сірим фоном), що дозволяє виключити тривалі паузи вхідного сигналу.

Приймач формує дві послідовності сигналів: HDB3+ і HDB3-. Перша відповідає додатним імпульсам у лінії, друга – від'ємним. Трирозрядні регістри зсуву формують імпульси LOAD+ і LOAD-, що відображають зміни станів сигналів HDB3+ і HDB3-.

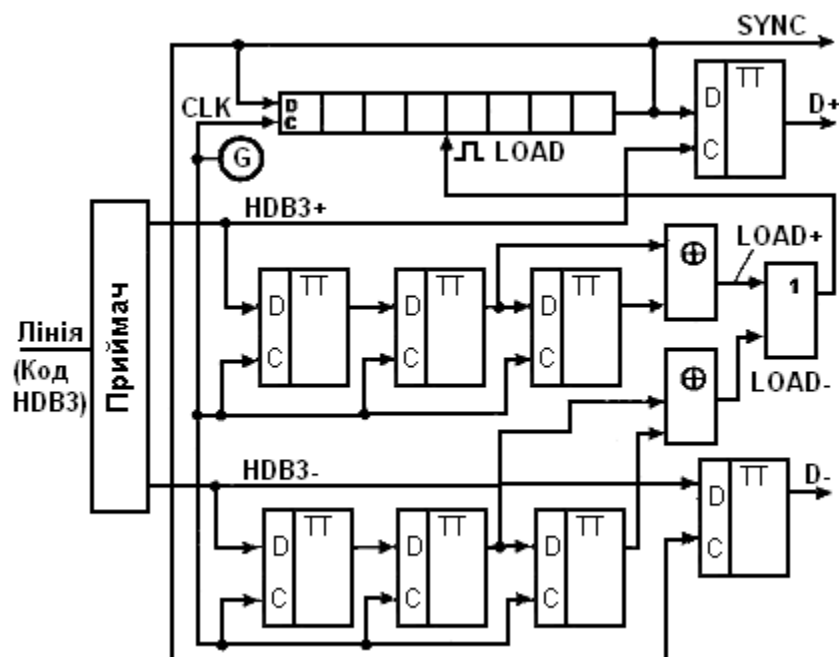


Рисунок 8.4 – Схема виділення синхросигналу і даних з лінії

Ці імпульси додаються логічним елементом АБО, тому сигнал LOAD відображає всі зміни сигналу в лінії. Імпульси LOAD+ і LOAD-, виділені на рис. 8.5 овалами, теоретично формуються одночасно, але реально при певному збігу обставин можуть мати взаємний зсув у ту або іншу сторону на один період сигналу CLK. При цьому тривалість сумарного імпульсу LOAD (виділена на рис. 8.5 прямокутником) складе не два, а три періоди сигналу CLK. Це, однак, враховується допусками (рис. 8.3) і не порушує роботи пристрою.

Вихідні сигнали D+ і D- синхронізовані сигналом SYNC і відповіда-

ють додатним і від'ємним імпульсам на вході пристрою. Подальша обробка сигналів D+ і D- полягає у відновленні вихідної бітової послідовності (показаної у верхній частині рис. 8.5) і може виконуватися мікропроцесором.

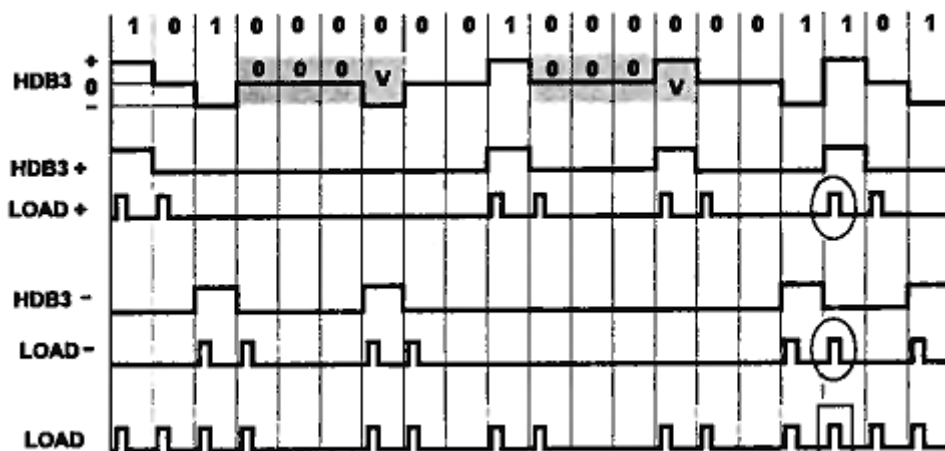


Рисунок 8.5 – Часові діаграми формування сигналу LOAD

8.2.2 Одноконтурна і двоконтурна схеми виділення синхросигналу бітового інтервалу

У схемі, наведеній на рис. 8.6, виділення синхросигналу і даних з лінії засновано на використанні контуру фазового автопідстроювання частоти. У сталому режимі генератор G, керований напругою U, формує безперервну послідовність синхроімпульсів. Їхні фронти (наприклад, від'ємні) з високою точністю збігаються в часі з моментами зміни сигналу D на виході приймача. Моменти змін у загальному випадку нерегулярні і залежать від переданої послідовності бітів. При правильному виборі способу кодування лінійного сигналу існує гарантія хоча б однієї зміни сигналу D протягом деякого заданого проміжку часу. Наприклад, при використанні коду B6ZS гарантується наявність хоча б одного імпульсу (двох змін сигналу) протягом будь-яких п'яти послідовних бітових інтервалів.

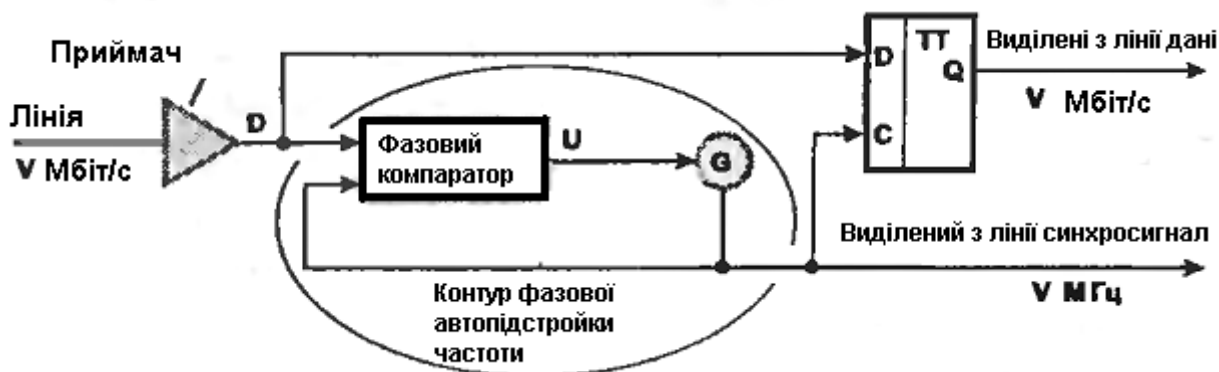


Рисунок 8.6 – Виділення синхросигналу за допомогою контуру фазової автопідстройки частоти

Фазовий компаратор оцінює ступінь збігу фронтів сигналів на своїх входах і залежно від результату формує деяку керуючу напругу U. Наприклад, при гарному збігу фронтів, коли корекції не потрібно, $U = 2,5$ В. При

необхідності прискорити або сповільнити темп вироблення синхроімпульсів напруга підвищується або знижується. Діапазон зміни напруги може складати від 0,5 до 4,5 В. Фазовий компаратор має достатню інерційність, щоб не реагувати на можливі фактори, що заважають: "тремтіння" фази вхідного сигналу, імпульсні завади в лінії, і т.п.

В ідеальному випадку додатні фронти виділеного з лінії синхросигналу відповідають центрам бітових інтервалів, тому для виділення даних використовується D-тригер.

Контур фазового автопідстроювання частоти повинен мати дуже вузьку смугу захоплення (порядку часток герца). Іншими словами, для синхронізації пристрою з лінійним сигналом потрібно, щоб вихідна частота генератора G майже не відрізнялася від вхідної частоти. В іншому випадку на входах фазового компаратора будуть спостерігатися випадкові фазові співвідношення між сигналами, що не дозволить вибрати потрібний напрямок корекції частоти. З цього випливає, що генератор G повинен бути високостабілізованим. Але це суперечить вимозі його хорошої керованості з боку фазового компаратора.

Щоб усунути дане протиріччя, застосовують схеми з двома контурами автопідстроювання. Одна з таких схем наведена на рис. 8.7.

Перший контур призначений для попереднього настроювання генератора G на номінальну частоту синхросигналу. Після завершення такого настроювання замість першого контуру включається другий, аналогічний розглянутому раніше (див. рис. 8.6).

У даному прикладі частота генератора G регулюється кодом з виходу 12-розрядного двійкового лічильника СТ. При нормальній роботі пристрою код на виході лічильника приблизно відповідає середині діапазону ліку і може змінюватися в незначних межах. Вміст лічильника збільшується або зменшується на одиницю молодшого розряду при надходженні на вхід імпульсу $+1$ або -1 . Під час відсутності імпульсів код у лічильнику залишається незмінним. Імпульси виробляються або частотним, або фазовим компараторами залежно від того, який контур активізований. При $SEL = 0$ включений перший контур, при $SEL = 1$ – другий.

Кварцовий генератор формує на першому вході частотного компаратора сигнал частотою V/N , де V – швидкість передачі даних по лінії, $N \geq 2$ – ціле число. Сигнал тієї ж частоти надходить на другий вхід цього компаратора. Зниження порівнюваних частот дозволяє спростити схему частотного компаратора і знизити споживану ним потужність.

Припустимо, що у вихідному стані в лінії присутній корисний сигнал, але синхронізація не встановлена; генератор G формує сигнал, що має помітне відхилення (наприклад, на 2 Гц) від потрібної частоти. У цій ситуації обидва компаратори виявляють несприятливі поєднання сигналів на входах. На вхід логічного елемента I від обох компараторів надходять сигнали логічного 0. Оскільки $SEL = 0$, мультиплексор MUX транслює на входи лі-

чильника СТ сигнали з виходів частотного компаратора.

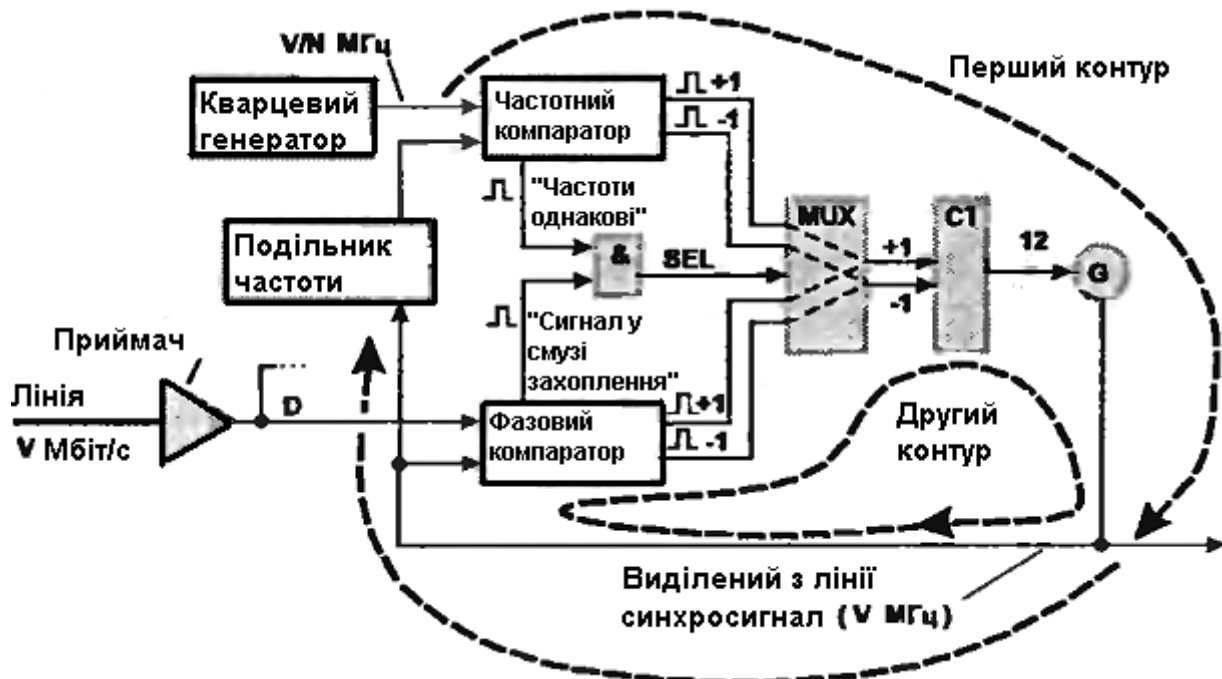


Рисунок 8.7 – Двоконтурна схема виділення синхросигналу з лінії (перший варіант)

Частотний компаратор визначає знак і величину частотної помилки і формує послідовність імпульсів на одному з виходів. Код у лічильнику СТ змінюється в напрямку зменшення помилки. У кінцевому результаті помилка зменшується до припустимих меж, частотний компаратор формує сигнал "частоти однакові". Одночасно з цим або з невеликою затримкою фазовий компаратор формує ознаку "сигнал у смузі захоплення". Це означає, що фазовий компаратор виявив закономірність між моментами зміни сигналів на обох входах і тому здатен коректувати її в потрібному напрямку.

У результаті збігу зазначених умов формується сигнал $SEL = 1$, мультиплексор переключається на трансляцію сигналів з фазового компаратора. Далі здійснюється точне підстроювання генератора, при якому вихідний сигнал прив'язується до вхідного за фазою. Це дозволяє виділяти дані за допомогою D-тригера, як було показано раніше (рис. 8.6).

При нормальній роботі пристрою, як уже відзначалося, включено другий контур керування генератором G. Але при втраті вхідного сигналу в лінії частота нестабілізованого генератора G, що залишився без керування, починає безперервний дрейф у ту або іншу сторону. Оскільки в другому контурі немає опорної частоти, фазовий компаратор не посилає коригувальні імпульси в лічильник СТ. Тому якщо, наприклад, у результаті "завмирання" сигналу (fading) в лінії, загублена група з 70 бітів, то дрейф приведе до виходу частоти генератора G зі смуги захоплення фазового компаратора. Тоді після поновлення правильної послідовності сигналів у лінії вся описана раніше процедура грубого і точного настроювання генератора G

буде повторена. А це пов'язано з невиправдано великими витратами часу.

Схема, наведена на рис. 8.8, має кращу стійкість до "завмирань" сигналу в лінії. Основна ідея полягає в тому, що нестабілізований генератор G2 контуру фазового автопідстроювання частоти при жодних обставинах не залишається без керування.

Схема побудована на основі двох нестабілізованих генераторів G1 і G2. Ці генератори розміщені на одному кристалі інтегральної схеми і мають однакову топологію. Тому вони мають дуже близькі електричні параметри, що важливо для даного рішення. Генератор G1(G2) містить аналогові входи грубого і точного підстроювання частоти. При нормальній роботі пристрою регулюючі напруги U1 і U2 знаходяться приблизно в середині діапазону регулювання (наприклад, близькі до 2,5 В при діапазоні від 0,5 до 4,5 В). Входи грубого і точного підстроювання генератора G1 об'єднані.

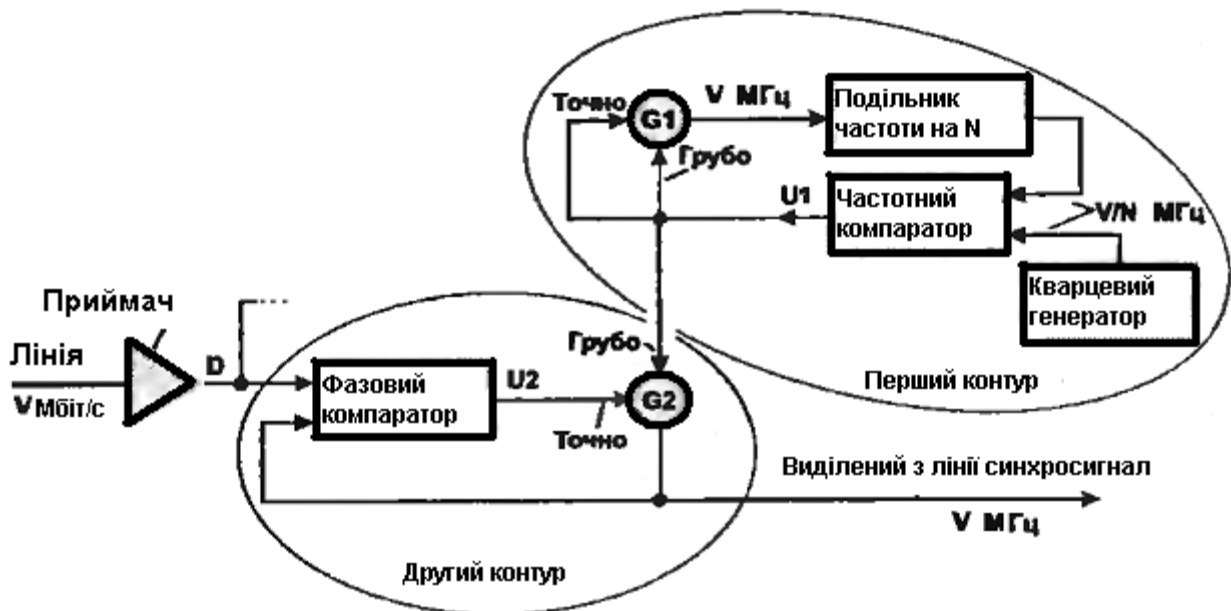


Рисунок 8.8 – Двоконтурна схема виділення синхросигналу з лінії (другий варіант)

У першому, автономному, контурі керування відслідковується частота кварцового генератора, генератор G1 формує стабілізовану частоту V, близьку до швидкості передачі даних у лінії. Але, оскільки обидва генератори мають практично однакові електричні параметри, генератор G2 також налаштований на цю частоту за входом грубого підстроювання. Як результат, незалежно від рівня напруги U2, частота сигналу на виході генератора G2 відрізняється від потрібної всього лише на частки герца і у будь-якій ситуації не виходить за межі смуги захоплення фазового компаратора!

Таким чином, фазовий компаратор завжди готовий до роботи, навіть після тривалих "завмирань" сигналу в лінії. Крім того, виключено дрейф частоти під час відсутності сигналу в лінії та зменшено час входження в синхронізм після виявлення цього сигналу.

Генератори G1 і G2 виконані на МДН-транзисторах за схемою симетричного мультивібратора (рис. 8.9).

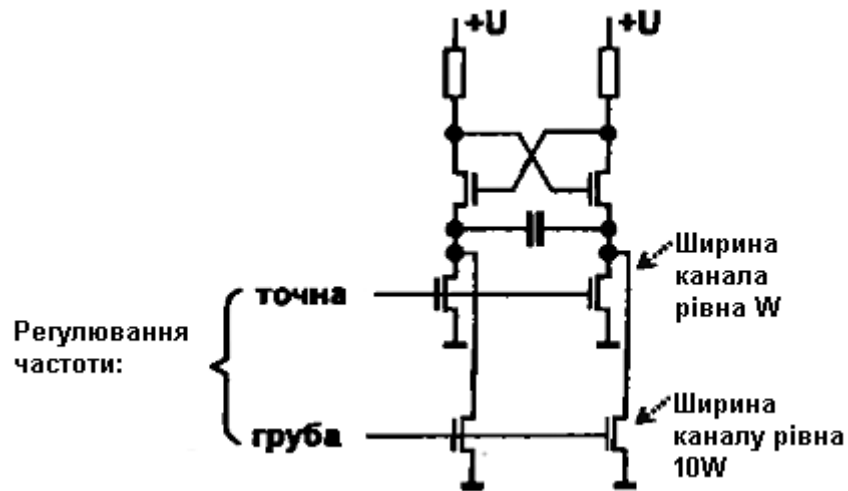


Рисунок 8.9 – Схема генератора G1 (G2)

Чотири нижніх транзистори використовуються як два здвоєних перемінних резистори, за допомогою яких можна регулювати частоту сигналу. Ширина каналу транзисторів грубого регулювання частоти (нижня пара) у 10 разів перевищує ширину каналу транзисторів точного регулювання. Тому опори каналів і відповідні діапазони регулювання частоти відрізняються приблизно у 10 разів.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть переваги стартостопної передачі.
2. Для чого необхідно здійснювати синхронізацію кінцевих пристроїв введення-виведення?
3. Що таке тактова синхронізація?
4. Які вимоги висуваються до пристроїв циклової синхронізації?
5. Поясніть роботу схеми виділення синхросигналу на основі регістрів зсуву.
6. На чому базуються методи примусової синхронізації?
7. У яких системах застосовується стартостопний метод передачі?
8. Що таке цикл?
9. Поясніть роботу одноконтурної схеми виділення синхросигналу.
10. Поясніть роботу двоконтурної схеми виділення синхросигналу.

9 ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ У СИСТЕМАХ ДОКУМЕНТАЛЬНОГО ЕЛЕКТРОЗВ'ЯЗКУ

9.1 Основні шляхи викрадення інформації і несанкціонованого доступу у СДЕЗ

Для боротьби з порушниками інформаційної безпеки користувач повинен знати всі *канали викрадення інформації* (information theft channels):

1. Перехоплення електронного випромінювання;
2. Примусове електромагнітне опромінення ліній зв'язку з метою отримання паразитної модуляції несучої;
3. Застосування підслуховуючих пристроїв;
4. Дистанційне фотографування;
5. Перехоплення акустичного випромінювання і відновлення тексту принтера;
6. Викрадення носіїв інформації;
7. Зчитування даних у масивах інших користувачів;
8. Зчитування залишкової інформації з пам'яті системи після санкціонованого доступу;
9. Копіювання носіїв інформації;
10. Маскування під зареєстрованого користувача;
11. Маскування під запити системи;
12. Використання програмної пастки;
13. Використання недоліків мов програмування і операційних систем;
14. Включення у бібліотеки програм спеціальних блоків типу «троянський кінь»;
15. Незаконне підключення до апаратури і ліній зв'язку;
16. Навмисне виведення з ладу механізмів захисту;
17. Використання комп'ютерних вірусів.

Особливу небезпеку складає проблема комп'ютерного вірусу, оскільки враховуючи велику кількість його модифікацій, не вдається розробити надійний засіб захисту проти нього. Всі інші шляхи несанкціонованого доступу піддаються надійному блокуванню при правильно розробленій системі безпеки.

Близьким за характером є перелік *загроз безпеки системи* (system safety threat):

1. Перехоплення даних – огляд даних несанкціонованим користувачем, для цього здійснюється підключення до лінії зв'язку або використовується побічне електромагнітне випромінювання;
2. Аналіз трафіка – огляд інформації, що стосується зв'язку між користувачами (наприклад, наявність, відсутність, частота, напрямок, послідовність, тип, обсяг тощо); навіть якщо неможливо визначити фактичний зміст повідомлення, можна отримати деякий обсяг інформації, виходячи зі

швидкості потоку трафіка (наприклад, неперервний, пакетний або відсутність інформації);

3. Зміна потоку повідомлень – внесення спотворень у повідомлення, знищення повідомлення або порушення загального порядку повідомлень у потоці;

4. Повторення процесу встановлення з'єднання і передачі повідомлення – записування і повторення несанкціонованим користувачем процесу встановлення з'єднання з передачею переданого і прийнятого повідомлення;

5. Відмова від повідомлення – заперечення користувачем переданого або прийнятого повідомлення

6. Маскарад – намагання видати себе за іншого користувача з метою отримання доступу до додаткової інформації;

7. Порушення зв'язку – недопущення зв'язку або затримка повідомлень.

Система забезпечення безпеки інформації включає такі служби:

1. Служба секретності даних – використовується для захисту повідомлень від зчитування інформації;

2. Служба аутентифікації – призначена для підтвердження того, що у даний момент зв'язку користувач дійсно є тим користувачем, за якого він себе видає;

3. Служба цілісності даних – забезпечує доказ цілісності даних у процесі їх передачі;

4. Служба керування доступом – забезпечує захист від несанкціонованого доступу до інформації;

5. Служба збереження інформації – забезпечує доказ цілісності повідомлення, що зберігається у спеціальних терміналах;

6. Служба доставки – забезпечує захист від спроб порушення зв'язку або затримання передачі повідомлень.

Робота всіх служб захисту базується на таких *процедурах захисту* (protection procedures):

1. Шифрування даних;

2. Забезпечення аутентифікації;

3. Забезпечення цілісності даних;

4. Цифровий підпис;

5. Контроль доступу;

6. Підтвердження характеристик даних;

7. Підстановка трафіка;

8. Керування маршрутом.

Процедура шифрування може забезпечити конфіденційність або даних, що передаються, або інформації про параметри трафіка і може бути використана у деяких інших процедурах забезпечення безпеки.

У процедурі аутентифікації основна увага приділяється методам пере-

дачі у мережі спеціальної інформації (паролів, аутентифікаторів, контрольних сум). У випадку односторонньої або взаємної аутентифікації забезпечується процес перевірки дійсності користувачів.

Процедура забезпечення цілісності даних припускає введення у кожне повідомлення деякої додаткової інформації, що є функцією від змісту повідомлення. При цьому гарантується усунення втрат, повторів або модифікації даних.

Процедура підпису блоку даних використовує інформацію, яка є інформацією приватного користування (тобто унікальною і конфіденційною). Цей процес припускає або шифрування блоку даних або отримання криптографічного контрольного значення блоку даних з використанням приватної інформації користувача, що поставив підпис, як ключ шифрування приватного користування. Таким чином, після перевірки підпису у подальшому третя особа може довести, що підпис міг поставити тільки єдиний власник приватної інформації.

Процедури контролю доступу можуть використовувати ідентифікацію суб'єкта, його інформацію або його можливості щодо встановлення доступу. Якщо суб'єкт робить спробу використати несанкціонований ресурс або санкціонований ресурс з неправильним типом доступу, то функція контролю доступу буде відкидати цю спробу.

Процедури підтвердження характеристик даних забезпечують гарантію властивостей, що відносяться до даних, які передаються між декількома користувачами. Цю гарантію надає третя особа, якій довіряють користувачі і яка має необхідну інформацію.

Процедури підстановки трафіка використовуються для реалізації служби засекречування потоку даних. Вони базуються на генерації об'єктами інформаційно-обчислювальних мереж фіктивних блоків, їх шифруванні і передачі по каналах зв'язку. Таким чином, нейтралізується можливість отримання інформації про інформаційно-обчислювальні мережі і їх абонентів шляхом спостереження за зовнішніми характеристиками потоків.

Процедури керування маршрутизацією використовуються для реалізації служб засекречування. Ці процедури забезпечують вибір маршрутів руху інформації по мережі таким чином, щоб виключити передачу секретних даних по фізично ненадійних каналах.

9.2 Методи захисту при передачі цифрової інформації

Повідомлення, готове до передачі, називається відкритим або незахищеним. У процесі передачі такого повідомлення по незахищених каналах зв'язку його можна перехопити. *Перехоплення* (interception) може бути пасивним або активним (рис. 9.1)

Для попередження несанкціонованого доступу до цього повідомлення,

воно шифрується і перетворюється у закрите повідомлення. Коли санкціонований користувач отримує повідомлення, він його дешифрує і отримує вихідне відкрите повідомлення (рис. 9.2).

Метод перетворення у криптографічній системі визначається спеціальним алгоритмом. Робота такого алгоритму основана на використанні унікального числа або послідовності, які називають *ключем шифрування* (encryption key).

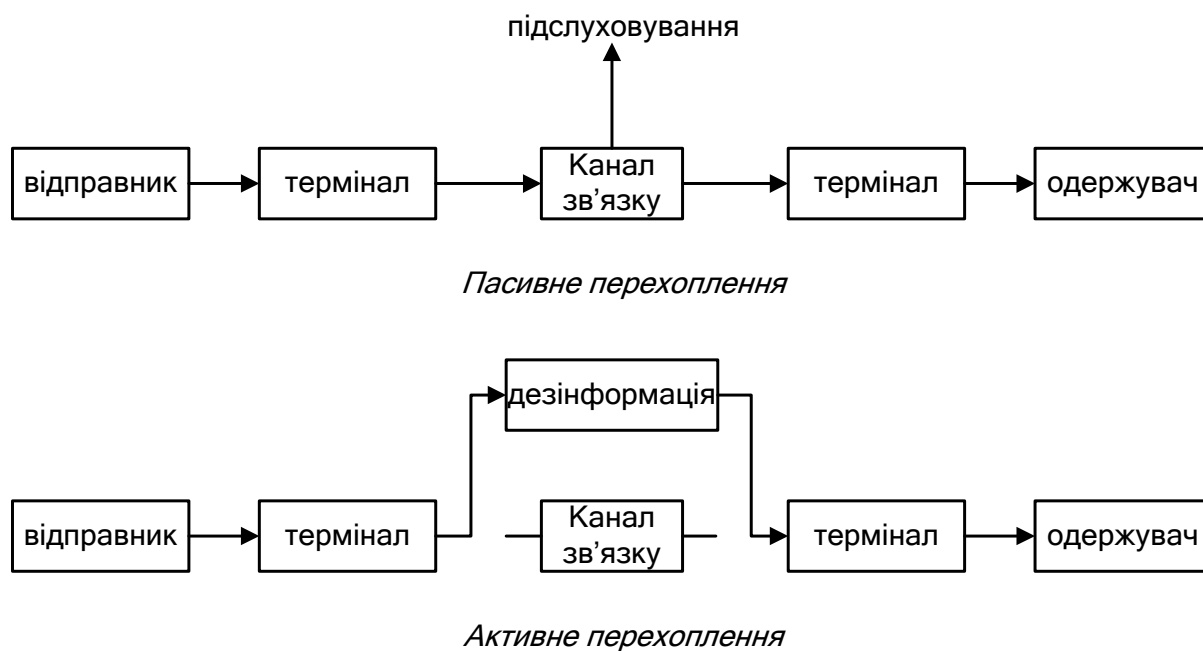


Рисунок 9.1 – Перехоплення інформації

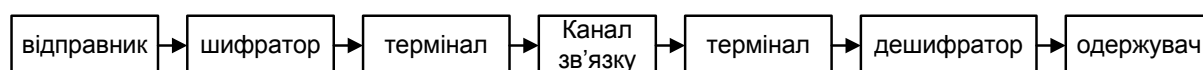


Рисунок 9.2 – Передача та шифрування інформації

Існують два типи алгоритмів шифрування:

1. Симетричне шифрування, при якому знання ключа шифрування означає і знання ключа розшифрування, і навпаки; у такому випадку система називається одноключовою системою шифрування або системою шифрування з секретним ключем;

2. Несиметричне шифрування, при якому знання ключа шифрування не означає знання ключа розшифрування, і навпаки; у такому випадку система називається двоключовою системою шифрування або системою шифрування з відкритим ключем.

Структурна схема одноключової системи шифрування зображена на рис. 9.3.

Головною частиною цієї системи є так званий «захищений канал», по якому секретний ключ передається відправнику і одержувачу. Шифратор утворює криптограму y як функцію від вихідного тексту x і значення се-

кретного ключа k :

$$y = f(x, k).$$

Дешифратор виконує обернене перетворення:

$$x = f(y, k).$$

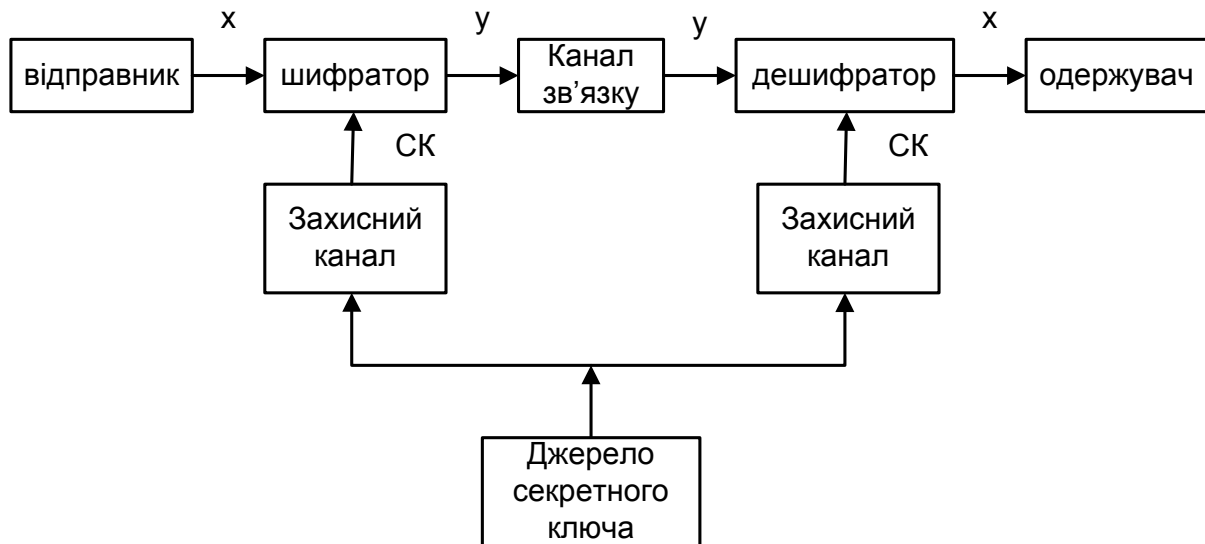


Рисунок 9.3 – Структурна схема одноключової системи шифрування

Існують два види функцій шифрування:

1. Поточне шифрування;
2. Блочне шифрування.

Перший метод – це побітове або побайтове перетворення відкритого тексту під керуванням потоку ключових бітів за допомогою деяких операцій (наприклад, сума за модулем 2) (рис. 9.4).

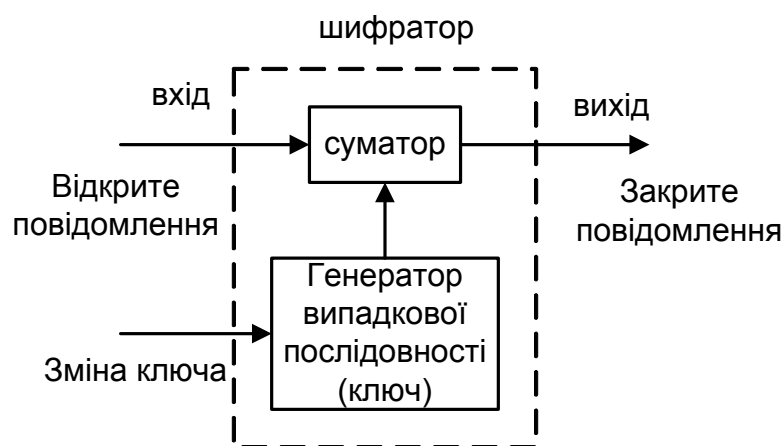


Рисунок 9.4 – Поточне шифрування

При другому методі зашифровуються блоки бітів фіксованої довжини під керуванням ключа, який має таку ж саму довжину.

На практиці широко застосовується блочний алгоритм одноключового

шифрування DES (Data Encryption Standard). Базовим режимом алгоритму DES є режим, для якого характерним є розбиття відкритого тексту на 64-бітові блоки. Результатом шифрування блоку відкритого тексту A за допомогою ключа k є 64-бітовий шифротекст C :

$$C = DES(A, k).$$

Алгоритм дешифрування працює так:

$$A = DES^{-1}(C, k).$$

У системі двоключового шифрування RSA кожний користувач виробляє два взаємопов'язані ключі, один з яких є секретним, а інший – відкритим (загальнодоступним).

Випадковим чином обираються два простих числа p і q , досить великі, так щоб $n = p \cdot q$ було важко розкласти на співмножники.

Випадковим чином обирається число e , яке не має спільних множників з числами $p - 1$ і $q - 1$.

Обчислюється число d так, щоб

$$ed = 1 \bmod (p - 1)(q - 1).$$

Пара чисел e, n робиться закритим секретним ключем, а пара d, n – відкритим.

Повідомлення, яке необхідно зашифрувати, розбивається на частини довжиною z , причому $z < \log_2 n$. Кожна частина розглядається як число M , $0 < M < n$.

Шифрування частини, тобто числа M , реалізується за допомогою операції піднесення до степеню e числа M . Таким чином утворюється *шифротекст* (ciphertext) C :

$$C = M^e \bmod n.$$

Дешифрування забезпечується операцією піднесення до степеня d за модулем n прийнятого шифротексту C :

$$M = C^d \bmod n = M^{ed} \bmod n.$$

Недоліками системи RSA є невелика стійкість та низька швидкодія.

Залежно від того, де генерується пара ключів, можуть бути побудовані відповідні схеми системи шифрування. Кожен формувач ключів залишає один секретний ключ у себе, а другий ключ передає користувачу, з яким передбачається взаємодія.

Якщо пара ключів генерується приймачем повідомлень, то схема виглядає так, як показано на рис. 9.5. У цій схемі користувач-відправник шифрує повідомлення на відкритому ключі користувача-одержувача. Розшифрувати шифротекст може лише власник закритого ключа e_2 , тобто той користувач, який генерував і переслав користувачу-передавачу відкритий ключ d_2 .

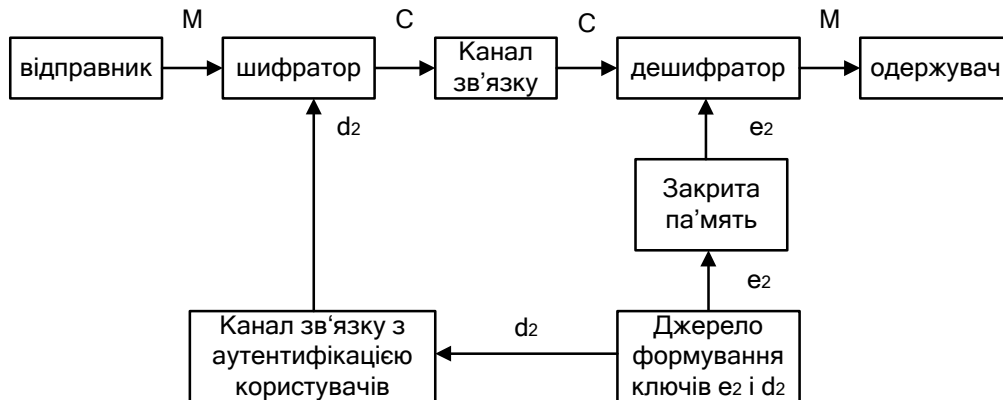


Рисунок 9.5 – Структурна схема двоключової системи шифрування

Якщо пара ключів виробляється передавачем повідомлень, то схема виглядає так, як показано на рис. 9.6. У цій схемі розшифрувати шифротекст може кожен, хто знає відкритий ключ d_1 , але зашифрувати відкритий текст і видати його за текст, отриманий від джерела повідомлень досить важко. Тому друга схема застосовується з метою аутентифікації користувача-передавача і повідомлення, що передається.

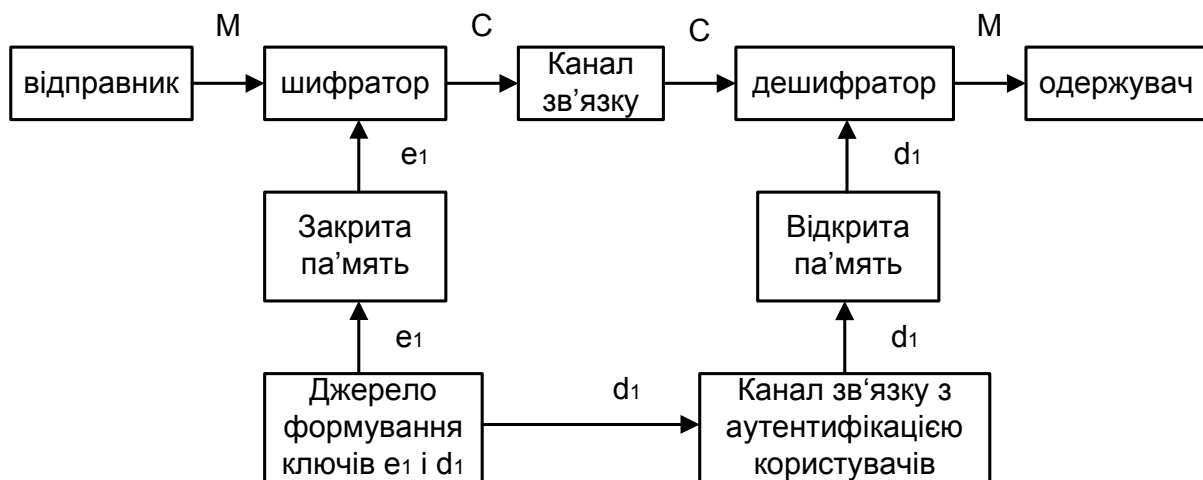


Рисунок 9.6 – Структурна схема двоключової системи шифрування

9.3 Цифровий підпис

Цифрові підписи можуть бути використані для підписання різного виду заяв, контрактів, повідомлень, документів і для контролю доступу до даних високої значимості.

Цифровий підпис – це рядок символів. Кожний новий підпис повинен відрізнятися від попередніх. Такий підпис легко отримати, коли він є функцією підписаного повідомлення. Також він має бути функцією деякого секретного параметра, індивідуального для особи, що ставить підпис.

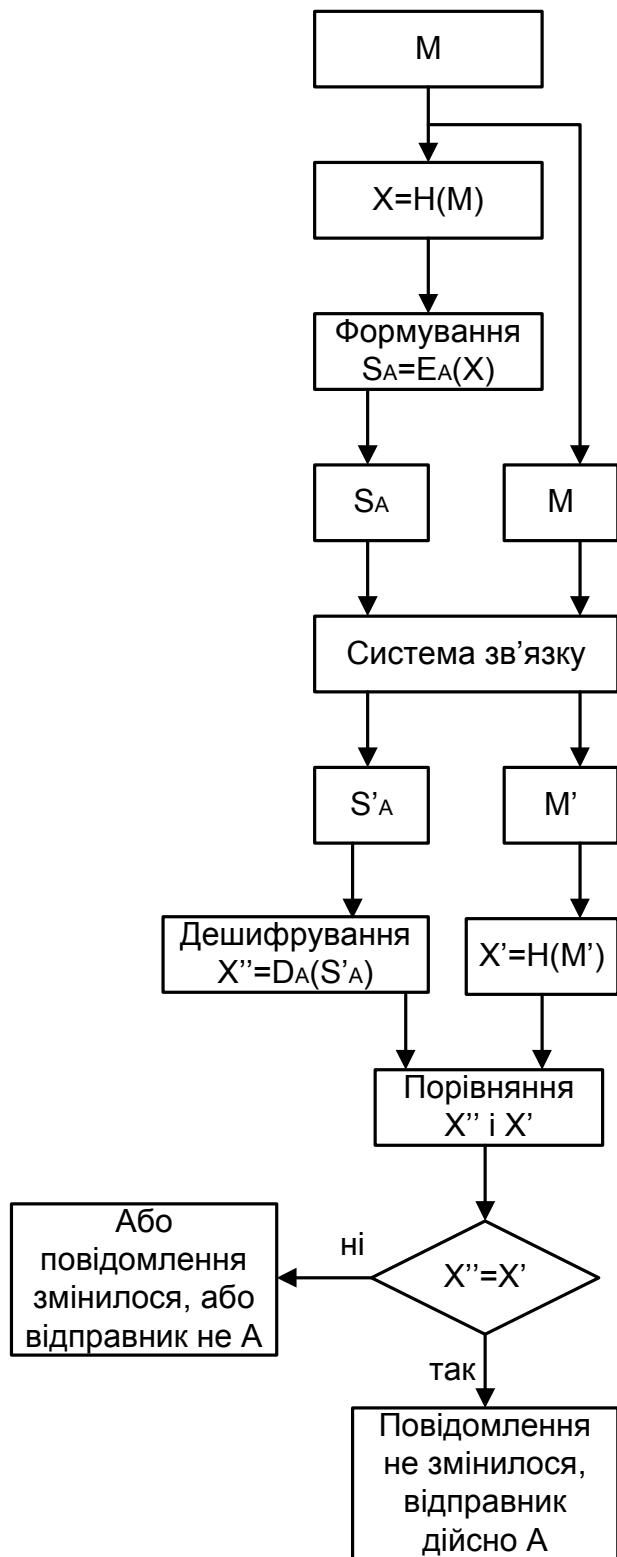


Рисунок 9.7 – Процедура цифрового підпису

Цифровий підпис можна застосовувати не лише для перевірки цілісності повідомлень і аутентифікації відправника, але й для підготовки за-

Єдиним методом формування цифрового підпису, який має необхідні якості, є метод шифрування з відкритим ключем.

Процедура цифрового підпису має такий характер (рис.9.7).

Відправник А готує своє повідомлення М за допомогою хеш-функції до шифрування. У результаті хешування отримується таблиця значень $X = H(M)$, які знаходяться у заданій області значень секретного ключа E_A відправника. Потім повідомлення шифрується ключем E_A , у результаті чого отримується цифровий підпис S_A відправника, тобто $S_A = E_A(X)$.

Отриманий цифровий підпис S_A приєднується до повідомлення М і передається по каналу зв'язку, де на них здійснюється певний вплив.

Отримавши повідомлення M' з цифровим підписом S'_A , одержувач може перевірити справжність повідомлення і підпису таким чином. Спочатку обчислюється хеш-значення прийнятого повідомлення M' . Потім за допомогою ключа дешифрування D_A отримується значення:

$$X' = D_A(S'_A).$$

Очевидно, що якщо M' дійсно відправив користувач А, тобто $M' = M$, оскільки лише він міг сформувати значення S_A , знаючи X .

хищених від фальсифікації звичайних паперових документів: акціонерних сертифікатів, банкнот, водійських прав, паспортів тощо. З цією метою створюється нотаріальний орган, якому повідомляють секретний ключ шифрування $E(*)$. Відповідний відкритий ключ $D(*)$ публікується у пресі. Нотаріальний орган має змогу зашифровувати відкриті повідомлення. Таким чином, створюється система, у якій сформувавши підпис відкритого повідомлення може лише нотаріальний орган, а перевірити цілісність повідомлення і підпис може кожен.

9.4 Передача даних з використанням скремблера/дескремблера

Скремблювання – це шифрування даних. Скремблювання може виконуватися з різними цілями, найпоширеніша з яких – засекречування інформації. У цій області існує велика розмаїтість методів кодування і схемних рішень. Але нас цікавить задача, пов'язана з "розрівнюванням" спектра сигналу і підвищенням надійності синхронізації приймача з джерелом передаєних по лінії даних. Стосовно до цієї задачі мета скремблювання полягає у виключенні з потоку даних довгих послідовностей логічних 0 і 1 (або періодично повторюваних груп бітів). Іншими словами, необхідно перетворити дані таким чином, щоб вони виглядали як "випадкові", тобто позбавлені якої-небудь видимої закономірності.

Скремблери і дескремблери звичайно побудовані на основі генераторів псевдовипадкових послідовностей. Приклад схеми такого генератора наведений на рис. 9.8. Генератор виконаний на основі кільцевого регістра зсуву RG з логічним елементом ВИКЛЮЧНЕ АБО (XOR) у колі зворотного зв'язку. Якщо у вихідному стані в регістрі присутній будь-який ненульовий код, то під дією синхросигналу CLK цей код буде безупинно циркулювати в регістрі і одночасно видозмінюватися. Як вихід генератора можна також використовувати вихід будь-якого розряду регістра.

У загальному випадку в M -розрядному регістрі зворотний зв'язок підключається до розрядів з номерами M і N , ($M > N$). Вибір оптимального значення N для заданого M – непроста задача, але вже вирішена. Варіант таблиці вибору N наведений на рис. 9.9. Таблиця описує ряд генераторів різної розрядності. Кожен генератор формує послідовність бітів з максимальним періодом повторення, рівним $2^M - 1$, – послідовність будь-якого M -розрядного коду, за винятком нульового. Цей код являє собою своєрідну "пастку" для даної схеми: якби нульовий код з'явився в регістрі, подальша послідовність бітів була б також нульовою. Але при нормальній роботі генератора "потрапляння в "пастку" не відбувається.

Послідовність максимальної довжини має певні властивості. У повному циклі ($2^M - 1$ тактів) число логічних 1 на одиницю більше, ніж число логічних 0. Додаткова логічна 1 з'являється за рахунок виключення стану, при якому в регістрі був би присутній нульовий код. Це можна інтерпрету-

вати так, що імовірності появи на виході регістра логічного 0 і логічної 1 практично однакові.

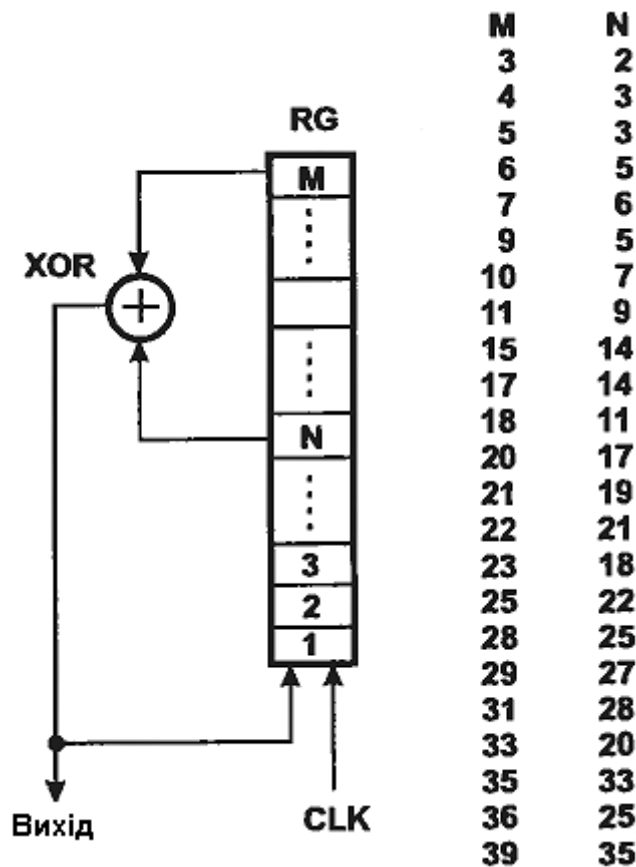


Рисунок 9.8 – Генератор псевдовипадкової послідовності

У повному циклі ($2^M - 1$ тактів) половина серій з послідовних логічних 1 має довжину 1, одна четверта серій – довжину 2, одну восьма – довжину 3 і т.д. Такі ж властивостями і у серії з логічних 0 з врахуванням пропущеного логічного 0. Тому імовірність того, що серія з послідовних логічних 1 або логічних 0 закінчиться при наступному виборі, дорівнює $1/2$.

Якщо послідовність повного циклу ($2^M - 1$ тактів) порівнювати з такою ж послідовністю, але циклічно зсунутою на будь-яке число тактів W (W не є нулем або числом, кратним $2^M - 1$), то число розбіжностей буде на одиницю більше, ніж число збігів.

Розглянемо варіант побудови скремблера і дескремблера на основі двох однакових генераторів псевдовипадкової послідовності бітів (рис. 9.9, рис. 9.10).

Скремблер містить регістр зсуву RG1 з логічними елементами ВИКЛЮЧНЕ АБО (XOR1 і XOR2) у колі зворотного зв'язку, а також два двійкові лічильники.

Лічильник логічних 0 встановлюється в 0 всякий раз, коли скремблюваний сигнал даних $SCRD = 1$. Якщо $SCRD = 0$, то вміст лічильника збіль-

шується на одиницю за фронтом сигналу CLK1. При накопиченні заданого числа одиниць (наприклад, п'яти) лічильник автоматично встановлюється в нульовий стан і формує імпульс SET для встановлення в одиницю деякого розряду (або групи розрядів) регістра зсуву. Таким чином, лічильник логічних 0 служить детектором послідовностей логічних 0 заданої довжини. При виявленні такої послідовності коректується код у регістрі зсуву.

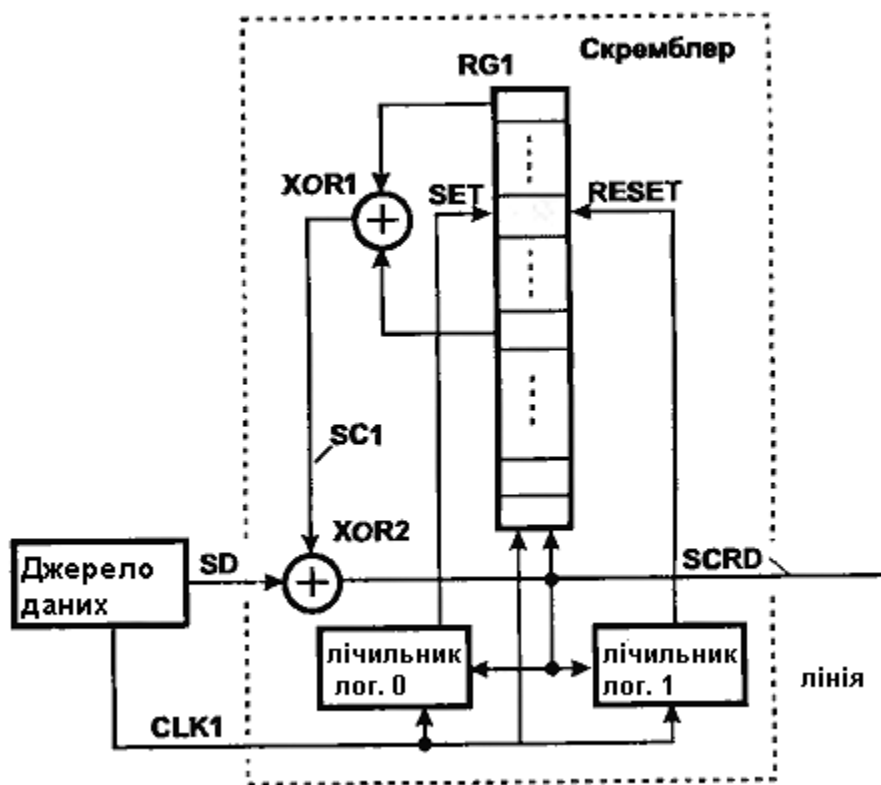


Рисунок 9.9 – Скремблер

Лічильник логічних 1 побудований "симетрично". Він встановлюється в 0 кожен раз, коли скрембльований сигнал даних SCRД = 0. Якщо SCRД = 1, то вміст лічильника збільшується на одиницю за фронтом сигналу CLK1. При накопиченні заданого числа одиниць (наприклад, п'яти) лічильник автоматично встановлюється в нульовий стан і формує імпульс RESET для встановлення в нуль деякого розряду (або групи розрядів) регістра зсуву. Лічильник логічних 1 служить детектором послідовностей логічних 1 заданої довжини.

Дескремблер побудований аналогічно. Він додатково містить схему виділення синхросигналу CLK2 зі скрембльованого сигналу SCRД. Ця схема може бути виконана на основі *петлі фазового автопідстроювання частоти* PLL (Phase Locked Loop).

Система передачі даних функціонує в такий спосіб. Джерело даних формує синхронний бітовий потік SD і відповідний синхросигнал CLK1. Цей потік проходить через логічний елемент XOR2. На другий вхід цього елемента надходить послідовність бітів скремблювання SC1. Сумарний

(скрембльований) потік SCRD передається по лінії і надходить у дескремблер.

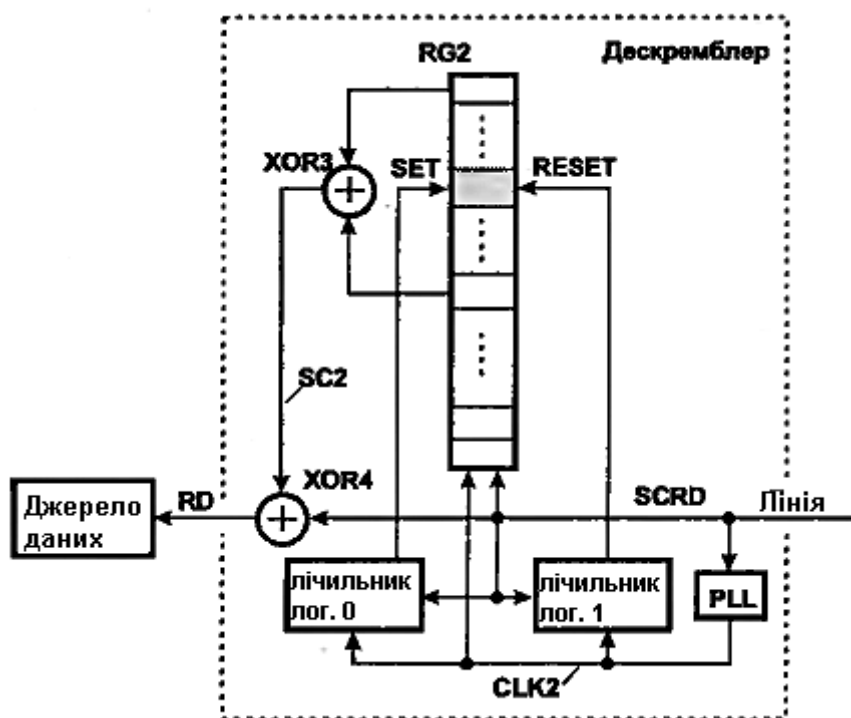


Рисунок 9.10 – Дескремблер

Після заповнення регістра RG2 інформація в ньому точно збігається з тією, яка присутня в регістрі RG1. Надалі всі зміни інформації в цих регістрах відбуваються синхронно, тому що на їхні входи подається той самий сигнал SCRD (зрозуміло, з врахуванням затримки передачі по лінії зв'язку). Завдяки цьому, $SC2 = SC1$. Логічний елемент XOR4 формує сигнал прийнятих даних RD, що повторює вихідний сигнал SD. Це впливає з того, що

$$RD = SCRD \oplus SC2 = SCRD \oplus SC1 = SD \oplus SC1 \oplus SC1 = SD$$

Уточнимо роль лічильників логічних 0 і логічних 1, про які вже згадувалося. Припустимо, що ці лічильники виключені зі схем скремблера і дескремблера. Схема залишається роботоздатною за умови, що потік SD не містить деяких "небезпечних" послідовностей сигналів. Розглянемо ці послідовності.

При роботі системи не виключено, що дані, які надходять від джерела SD, такі, що логічний елемент XOR2 скремблера в M послідовних тактах сформує сигнал логічного 0 (M – розрядність регістра зсуву). Тоді регістр зсуву RG1 (а синхронно з ним і регістр RG2) заповниться нульовими бітами. Якщо після цього джерело сигналу почне передавати довгу послідовність логічного 0, то на обох входах логічного елемента XOR2 будуть постійно присутні нульові сигнали, сигнал SCRD також протягом тривалого часу буде залишатися нульовим, що небажано.

Аналогічна ситуація можлива і після випадкового заповнення регістра зсуву одиничними бітами. При наступній передачі довгої послідовності сигналів $SD = 1$ на виході логічного елемента XOR2 підтримується сигнал логічної 1, що у кожному такті записується в регістр, підтверджуючи його стан "всі одиниці".

Введення лічильників дозволяє виключити можливість заповнення регістра RG1 однаковими бітами (логічні 0 або логічні 1). Тому немає небезпеки фіксації рівня сигналу в лінії при наступній видачі джерелом даних довгої послідовності логічних 0 або логічних 1. Але це, на жаль, не означає, що задача одержання гарантовано змінного сигналу SCRD вирішена цілком і остаточно. Дійсно, теоретично можна "навмисне" синтезувати як завгодно довгу послідовність сигналів SD, що збігається з послідовністю сигналів SC1 або протифазна їй, якою б складною вона не була (адже її можна заздалегідь обчислити, знаючи структуру скремблера і його початковий стан). І тоді одержимо незмінний сигнал SCRD протягом будь-якого бажаного інтервалу часу! Точно так само можна було б синтезувати періодичний сигнал SCRD виду 010101... для створення максимального рівня перехресних завад у сусідніх проводах багатожильного кабелю (наприклад, з метою тестування системи). Але, оскільки початковий стан регістра RG1 джерелу даних не відомий, на практиці такий синтез неможливий.

Ймовірність випадкового формування джерелом даних послідовностей бітів, які не скремблюються, залежить від розрядності скремблера і може бути невеликою, але з нею не можна не рахуватися при проектуванні телекомунікаційних пристроїв.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть канали викрадення інформації.
2. Назвіть основні загрози безпеки системи.
3. Поясніть різницю між активним і пасивним перехопленням.
4. Поясняйте роботу скремблера.
5. Поясніть роботу дескремблера.
6. Які є типи алгоритмів шифрування?
7. Які є види функцій шифрування?
8. Наведіть алгоритм шифрування RSA.
9. Наведіть процедуру цифрового підпису.
10. Що таке скремблювання?

10 ТЕХНОЛОГІЯ АТМ

10.1 Основні принципи технології АТМ

Останнім часом до передачі інформації стали висуватися більш широкі вимоги. Одному і тому самому абонентові можуть бути передані різні за характером повідомлення: рухомі зображення (відеотелефон, відеоконференція), комп'ютерні дані (файли), електронна пошта, інформація із системи дистанційного навчання (у тому числі мультимедійна), фільми по кабельному телебаченню та ін. Причому джерела цієї інформації є, як правило, асинхронними. Інформація від одних джерел може надходити безупинно, від інших – час від часу. Швидкість надходження інформації від різних джерел різна. Так, мовний потік надходить зі швидкістю 64 кбіт/с, а передача рухомого зображення вимагає швидкості від 1,5 до 100 Мбіт/с.

Для узгодження всіх цих різних вимог у 1980-1990-х роках була запропонована нова технологія передачі, що одержала назву *режиму асинхронної передачі* (Asynchronous Transfer Mode – АТМ). Ця технологія допускає запис будь-якого виду інформації у *комірки* (cells) фіксованої довжини.

Мережа АТМ має зіркоподібну топологію. Типова мережа АТМ будується на основі одного або декількох комутаторів, що є невід'ємною частиною даної комунікаційної структури. Найпростіший приклад такої мережі – один комутатор, що забезпечує комутацію пакетів даних, і декілька кінцевих пристроїв, що одночасно можуть виконувати функції як приймачів, так і передавачів інформації. Кожний кінцевий пристрій має свій власний виділений фізичний канал у комутаторі, що забезпечує можливість обміну інформацією між пристроями з використанням повної ширини смуги конкретного каналу.

Реалізація таких важливих принципів як однорідність середовища мережевої взаємодії і прозорість для користувацьких додатків дозволяє будувати АТМ-мережі з використанням одних тільки комутаторів, без мостів і маршрутизаторів. Маршрутизація пакетів здійснюється всередині комутаторів зі швидкістю 155 Мбіт/с на порт. Така швидкість гарантується для всіх пристроїв, підключених до комутатора.

10.1.1 Комірки АТМ

АТМ – це метод передачі інформації між пристроями в мережі маленькими пакетами фіксованої довжини, які називаються *комірками* (cells). Фіксація розмірів комірок має ряд суттєвих переваг порівняно з пакетами змінної довжини. По-перше, комірки фіксованої довжини вимагають мінімальної обробки при операціях маршрутизації в комутаторах. Це дозволяє максимально спростити схемні рішення комутаторів при високих швидкостях комутації. По-друге, всі види обробки комірок порівняно з обробкою

пакетів змінної довжини є значно простішими, тому що відповідає необхідності в обчисленні довжини комірки. І нарешті, по-третє, у випадку застосування пакетів змінної довжини передача довгого пакета даних могла б викликати затримку видачі в лінію пакетів з мовою або відео, що привело б до їхнього спотворення.

Вибір довжини комірки визначався виходячи з допуску на затримку поширення через мережу мовних сигналів. Комірки великої довжини краще використовують смугу пропускання каналу зв'язку, тому що при цьому в мережу передається менше заголовків комірок. Однак довгі пакети довше збираються на вході в мережу. З урахуванням можливої міграції пакетів між мережами АТМ і з урахуванням рекомендацій розмір комірки склав 48 байт. З врахуванням п'яти байт заголовка повна довжина комірки складає 53 байти.

10.1.2 Архітектура протоколів у АТМ-мережах

Модель АТМ має чотирирівневу структуру. Звичайно розрізняють такі рівні: *користувацький* (User Layer) – включає рівні, починаючи з мережевого і вище (IPX/SPX або TCP/IP), *адаптації* (ATM Adaptation Layer – AAL), АТМ (ATM Layer) і *фізичний* (Physical Layer).

Користувацький рівень забезпечує створення повідомлення, що повинно бути передане в мережу АТМ і відповідним чином перетворено.

Рівень адаптації (AAL) забезпечує доступ користувацьких додатків до пристроїв комутації АТМ, тому що багато додатків не мають прямого доступу до сервісу АТМ. Даний рівень формує стандартні АТМ-комірки і передає їх на рівень АТМ для наступної обробки. Рівень адаптації в свою чергу складається з двох підрівнів: *перетворення*, що забезпечує синхронізацію для різних класів обслуговування і підготовку пакетів для сегментації, і *розбирання-складання* пакетів великої довжини, де відбувається розбивка великих пакетів на стандартні 48-байтові комірки АТМ (без врахування п'яти байтів заголовка). Останній підрівень гарантує, що жоден пакет нестандартної довжини не буде відправлений на рівень АТМ.

Рівень АТМ займається обміном з фізичним рівнем і відповідає за створення комірок АТМ. Він приймає 48-байтові пакети, сформовані на рівні адаптації, додає до них п'ятибайтовий заголовок і передає їх у мережу. На цьому рівні встановлюються з'єднання, і відбувається мультиплексування комірок від різних користувацьких додатків в один вихідний порт, а також їхнє демультиплексування з вхідного порту в різні додатки або інші порти.

Фізичний рівень забезпечує передачу комірок через різноманітні комунікаційні середовища. Даний рівень складається з двох підрівнів – *підрівня перетворення передачі*, що реалізує різні протоколи передачі по фізичних лініях, і *підрівня адаптації* до середовища передачі.

10.1.3 АТМ-пристрої

Кінцеві пристрої АТМ-мережі підключаються до комутаторів через інтерфейс, який називається UNI (User to Network Interface), – *інтерфейс користувача з мережею*. UNI може бути інтерфейсом між робочою станцією, ПК, АТС, маршрутизатором або якою завгодно "чорною скринєю" і АТМ-комутатором. Наприклад, робоча станція, підключена прямо до мережі АТМ, – це місце, де закінчується і починається АТМ-мережа. Іншими словами, станція має мережевий АТМ-адаптер, підключений до комутатора. Ця робоча станція є кінцевою точкою і містить у собі рівні AAL, АТМ і фізичний. Кожна АТМ-мережа може мати більше одного комутатора. Комутатори з'єднуються між собою, утворюючи тим різноманітні конфігурації. Інтерфейс між АТМ-комутаторами називається NNI (Network to Network Interface) – *інтерфейс між мережами* (рис. 10.1).

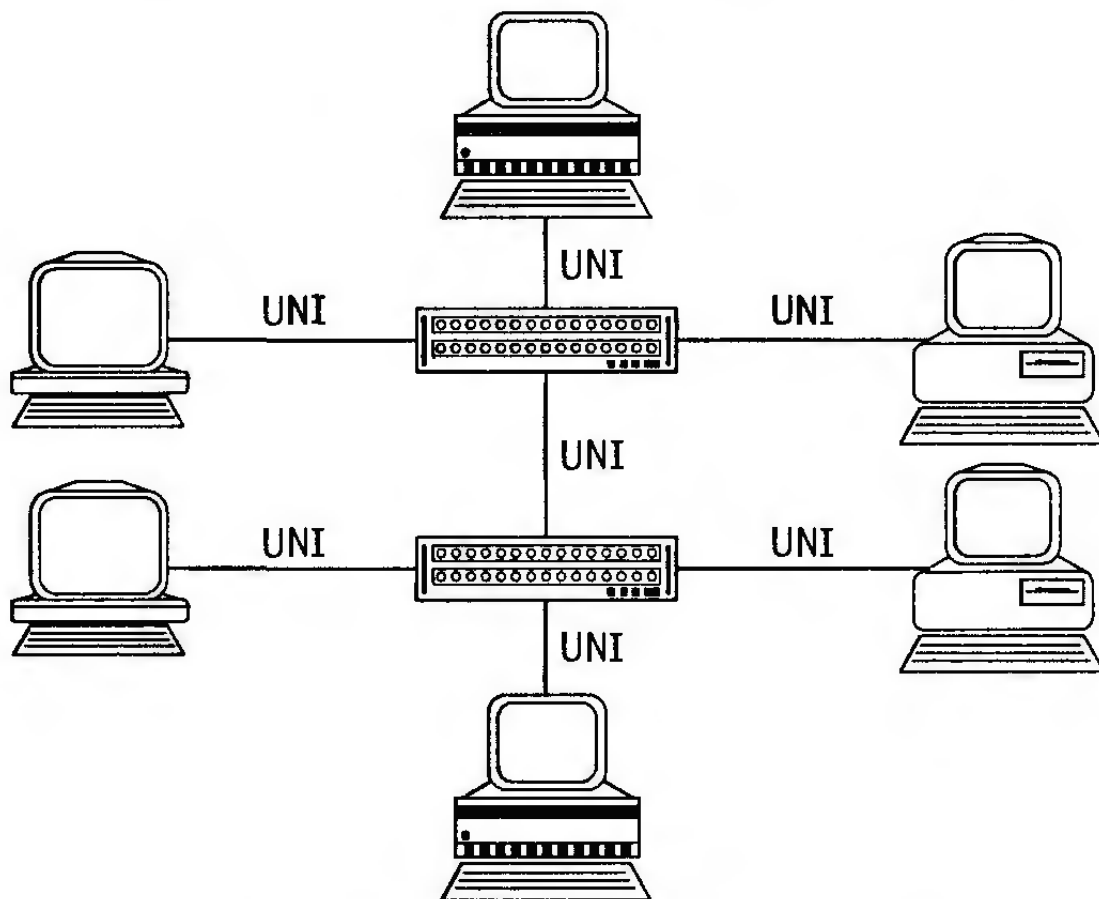


Рисунок 10.1 – Інтерфейси АТМ

10.1.4 Принцип віртуальних з'єднань

Технологія АТМ – це транспортний механізм, орієнтований на встановлення з'єднань для передачі різноманітної інформації. Одна з основних відмінностей АТМ від традиційних ЛОМ-технологій полягає в тому, що в

АТМ розроблена концепція *віртуальних з'єднань* (virtual connection) замість виділених фізичних зв'язків між кінцевими точками мережі. Віртуальне з'єднання – це сконфігуроване певним чином середовище між двома або більше кінцевими пристроями для передачі інформації.

АТМ використовує принцип віртуальних з'єднань між кінцевими точками мережі. Розрізняють два види з'єднань: PVC (Permanent Virtual Circuit) – *постійний віртуальний канал* і SVC (Switched Virtual Circuit) – *віртуальний канал, що комутується*. PVC являє собою з'єднання між кінцевими точками, що існує постійно і може встановлюватися або розриватися оператором мережі вручну. SVC – це теж з'єднання між кінцевими точками, яке динамічно встановлюване або закривається спеціальними процедурами в АТМ-пристроях, що беруть участь у з'єднанні. Віртуальні з'єднання, що комутуються, динамічно встановлюються і розриваються за вимогою програмного забезпечення, АТМ-пристроїв або з інших причин без втручання оператора АТМ-мережі. Концепції АТМ однаково застосовні як до SVC, так і до PVC. Процеси формування комірок АТМ і їхні передачі не розрізняються для обох видів з'єднань. Єдина їхня відмінність полягає у способах встановлення з'єднання. АТМ використовує принципи *віртуальних шляхів* (Virtual Path – VP) і *віртуальних каналів* (Virtual Channel – VC) між кінцевими точками мережі. Вони необхідні для одночасного зв'язку одного АТМ-пристрою з декількома іншими пристроями. Віртуальні шляхи (ВШ) і канали (ВК) використовуються для ідентифікації окремих віртуальних з'єднань в АТМ-мережі. Віртуальні шляхи потрібні для об'єднання декількох віртуальних каналів за певною ознакою.

Звичайно, віртуальні шляхи і канали не існують паралельно. Всі комірки інформації передаються послідовно, а інформація про їхню належність до того або іншого шляху і каналу знаходиться в заголовку комірки.

Кожне з'єднання у фізичному каналі має унікальні ідентифікатори віртуального шляху (VPI) і віртуального каналу (VCI). Комбінація VPI/VCI потрібна для ідентифікації різних з'єднань всередині АТМ-мережі.

Один віртуальний шлях може містити до 65536 віртуальних каналів, будь-який кінцевий АТМ-пристрій – до 256 віртуальних шляхів. Таким чином, кінцевий АТМ-пристрій здатен підтримувати одночасно до 16 777 216 з'єднань через один UNI-інтерфейс.

АТМ працює приблизно за тим самим принципом, що і звичайна телефонна мережа або мережа з комутацією пакетів при встановленні віртуальних з'єднань. У АТМ перед передачею яких-небудь повідомлень передавальний вузол перевіряє доступність вузла призначення, і лише при одержанні підтвердження доступності між ними встановлюється з'єднання. Після встановлення з'єднання кінцеві АТМ-пристрої можуть передавати один одному будь-яку інформацію, цифрові дані, мову або відео.

У АТМ-мережах кожен кінцевий пристрій перед початком сеансу зв'язку повинен пройти реєстрацію в мережі для одержання адреси і повідом-

лення, що він включився в мережу. Після цього мережа буде "знати" місце розташування цього пристрою і шлях, по якому слід передавати повідомлення.

На відміну від АТМ звичайні технології локальних обчислювальних мереж не перевіряють доступність пристрою призначення і не встановлюють попереднього з'єднання між кінцевими вузлами мережі. У АТМ-технології встановлення попереднього з'єднання між вузлами мережі гарантує не тільки передачу, але і прийом повідомлення адресатом; без встановлення з'єднання повідомлення просто не буде відправлене.

10.2 Розпізнавання комірок АТМ

10.2.1 Структура комірки

Технологія АТМ (Asynchronous Transfer Mode – асинхронний режим передачі) передбачає розміщення даних всередині 53-байтових комірок (рис. 10.2). Як показано на рисунку, комірки йдуть по лінії безперервним потоком, хоча можливі і інші варіанти їхнього транспортування.



Рисунок 10.2 – Безпосередня передача комірок по лінії зв'язку АТМ

Комірка складається із заголовка і поля даних (відповідно 5 і 48 байтів). Заголовок містить чотири байти для розміщення керуючої інформації (28 бітів – номер логічного каналу плюс чотири біти-прапорці) і один контрольний байт CRC (Cyclical Redundancy Check – циклічний надлишковий код).

Байт CRC обчислюється передавачем і являє собою контрольну суму чотирьох попередніх байтів. Приймач після одержання комірки проводить аналогічні обчислення і зіставляє "свій" результат з наявним в комірці кодом CRC. При відсутності помилок коди збігаються.

Але виникає питання: як приймач визначає границі комірки, адже вона не містить прапорців початку або кінця?

10.2.2 Використання коду CRC у процесі розпізнавання границь комірок

У загальному вигляді методика пошуку границь полягає у такому.

На початковому етапі пошуку приймач переглядає потік комірок, що надходить, (рис. 10.2) крізь "непрозору маску" з вирізаною в ній щілиною, крізь яку видно 40 бітів даних. Іншими словами, перед приймачем проходить "бігучий рядок" довжиною 5 байтів. У кожному такті рядок зміщується на один біт.

Приймач у кожному такті перевіряє вміст бігучого рядка на предмет виявлення в ньому заголовка комірки. Якщо відповідний байт (самий "новий" у бігучому рядку) являє собою контрольну суму (CRC) отриманих раніше чотирьох байтів, то робиться припущення про те, що заголовок знайдений. Якщо це припущення виправдане, то надалі моменти виявлення заголовків будуть йти з кроком, рівним довжині комірки. Якщо збіг був випадковим (його імовірність дорівнює $1/256$), то він не знайде підтвердження при наступній перевірці подій на періодичність.

Як впливає з рис. 10.2, істинний заголовок у найгіршому випадку потрапить у "поле зору" приймача через $53 \times 8 - 1 = 423$ такти після початку пошуку. Це відповідає ситуації, при якій пошук починається саме в той момент, коли попередній заголовок тільки що змістився на один біт і вже не цілком потрапляє в область бігучого рядка. Після виділення послідовності правильних збігів на фоні випадкових, приймач точно знає положення границь комірок. Синхронізація з передавачем досягнута. Але описаний процес аналізу потоку бітів продовжується, і кожен новий заголовок перевіряється на правильність. Якщо в заголовку виявлена коректована помилка, то вона виправляється (код CRC дозволяє обчислити положення перекрученого біта). Якщо помилка некоректована, то комірка знищується. Послідовність заголовків з некоректованими помилками означає втрату синхронізації, тому приймач повертається до початкового етапу пошуку границь комірок.

Далі будуть розглянуті деякі подробиці апаратної реалізації даної методики пошуку.

10.2.3 Схема ділення двійкових чисел

Код CRC можна назвати "контрольною сумою", що характеризує деякий масив даних. Але якщо говорити більш точно, то це контрольний залишок від "ділення" деякого двійкового числа, побудованого на основі масиву, на двійкове число, обране як дільник. Слово "ділення" не даремно взяте в лапки, тому що відповідна операція, як буде показано, виконується досить своєрідно – "драбинкою", але замість віднімання використовується порозрядне логічне підсумовування за модулем два. Результат цієї операції в загальному випадку не збігається з результатом звичайного ділення.

Стосовно комірок АТМ, дільник подано двійковим числом 100000111.

Це число відповідає так званому утворювальному поліному $X^8 + X^2 + X + 1$ (чотири його члени можна зіставити з чотирма одиничними бітами дільника). Поліном, у свою чергу, має пряме відношення до структури зворотних зв'язків у схемі "ділення", наведеної на рис. 10.3.

Схема містить кільцевий регістр зсуву з восьми D-тригерів T і три логічних елементи Виключне АБО. На вхід синхронізації надходить послідовність тактових імпульсів. У кожному такті позитивний фронт імпульсу підтверджує істинність чергового біта даних D на вході регістра.

Стан $F7(n+1)...F0(n+1)$ регістра в такті $(n+1)$ визначається його станом $F7(n)...F0(n)$ у попередньому такті n , а також новим значенням вхідного біта даних $D(n+1)$ і може бути виражений співвідношеннями (10.1):

$$\left. \begin{aligned} F7(n+1) &= F6(n) \\ F6(n+1) &= F5(n) \\ F5(n+1) &= F4(n) \\ F4(n+1) &= F3(n) \\ F3(n+1) &= F2(n) \\ F2(n+1) &= F1(n) \oplus F7(n) \\ F1(n+1) &= F0(n) \oplus F7(n) \\ F0(n+1) &= D(n+1) \oplus F7(n) \end{aligned} \right\} \quad (10.1)$$

Щоб встановити взаємозв'язок процесу "ділення" з послідовністю станів схеми (рис. 10.3), розглянемо приклади формування коду CRC і його використання для перевірки правильності прийнятих даних.

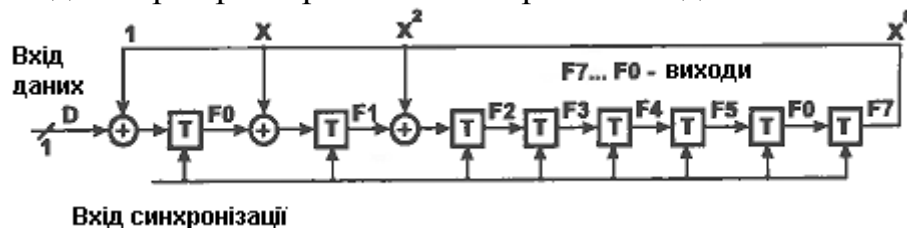


Рисунок 10.3 – Схема формування контрольної суми CRC

10.2.4 Формування заголовка комірки передавачем

На початковому етапі формування коду CRC передавач доповнює вихідні чотири байти заголовка комірки п'ятим байтом 000...0, як показано на рис. 10.4. Це еквівалентно множенню вихідного 32-розрядного числа на 28. Отримане 40-розрядне число використовується як ділене. Дільник дорівнює 100000111.

Процес перетворення 40-розрядного числа, як уже відзначалося, нагадує звичайне ділення і так само може виконуватися "драбинкою". Нулі в старших розрядах діленого ігноруються. Копія дільника "підсувається" під групу розрядів діленого, що містить у старшому розряді логічну 1, незале-

жно від значень наступних розрядів. Отримана пара кодів порозрядно додається за модулем два ($0+0=0$, $0+1=1$, $1+0=1$, $1+1=0$).

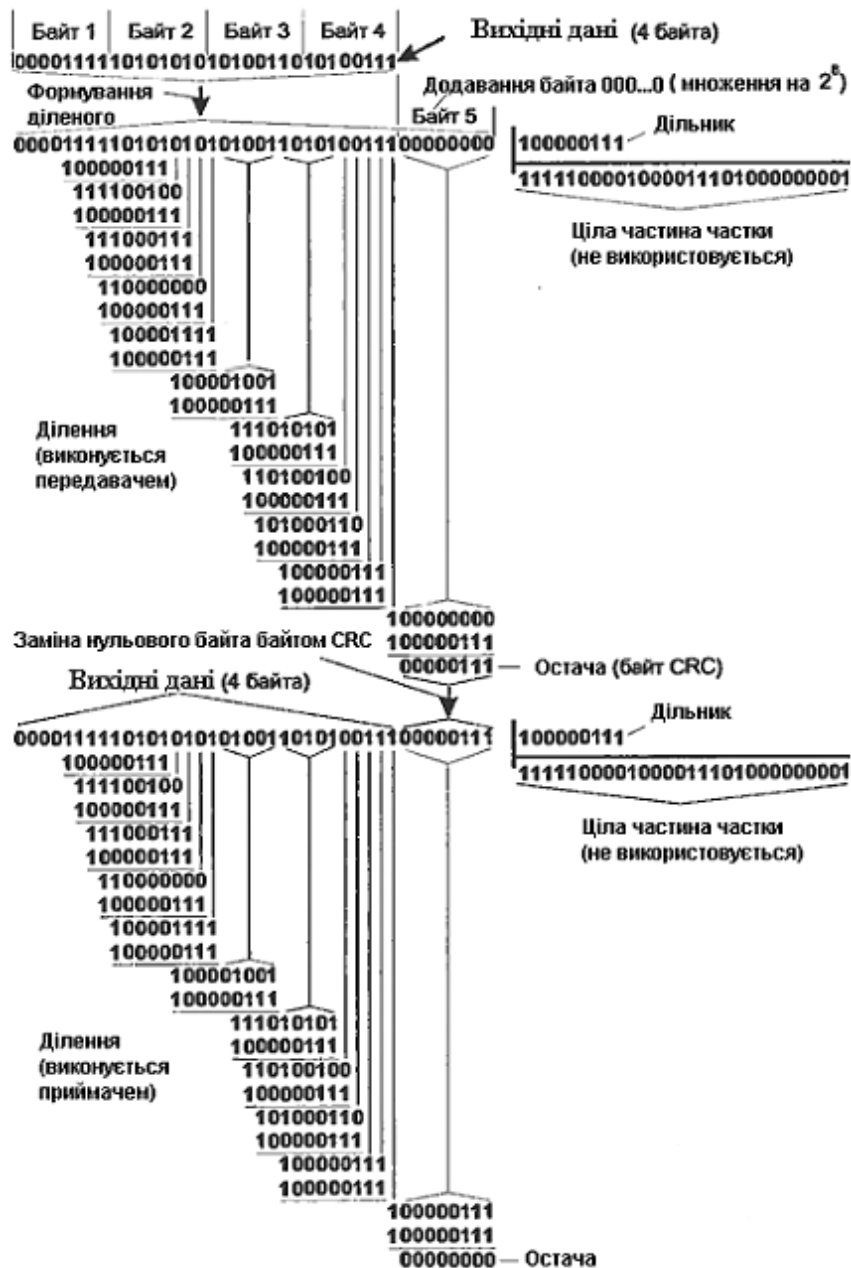


Рисунок 10.4 – Формування коду CRC передавачем і перевірка отриманих даних приймачем

Результат доповнюється справа новими бітами діленого, що для цього "зносяться" вниз таким чином, щоб загальне число бітів нового фрагмента, який підлягає обробці, відповідало розрядності дільника. Поява декількох нулів у старших розрядах поточного результату, як і при звичайному діленні, приводить до прискореного зсуву чергової сходинки "драбинки" вправо.

Ціла частина частки не використовується, залишок являє собою байт CRC. Він "прикладається" передавачем до чотирьох вихідних байтів (за-

мість раніше "прикладеного" байта 000...0) і пересилається в лінію. Першим передається старший розряд байта 1, останнім – молодший розряд байта CRC. У такому ж порядку ця група з п'яти байтів (заголовок комірки) надходить у приймач.

Щоб зіставити тільки що описаний процес одержання коду CRC із процесом "прокручування" коду через кільцевий регістр зсуву, розглянемо ряд станів цього регістра (рис. 10.5, ліва частина).

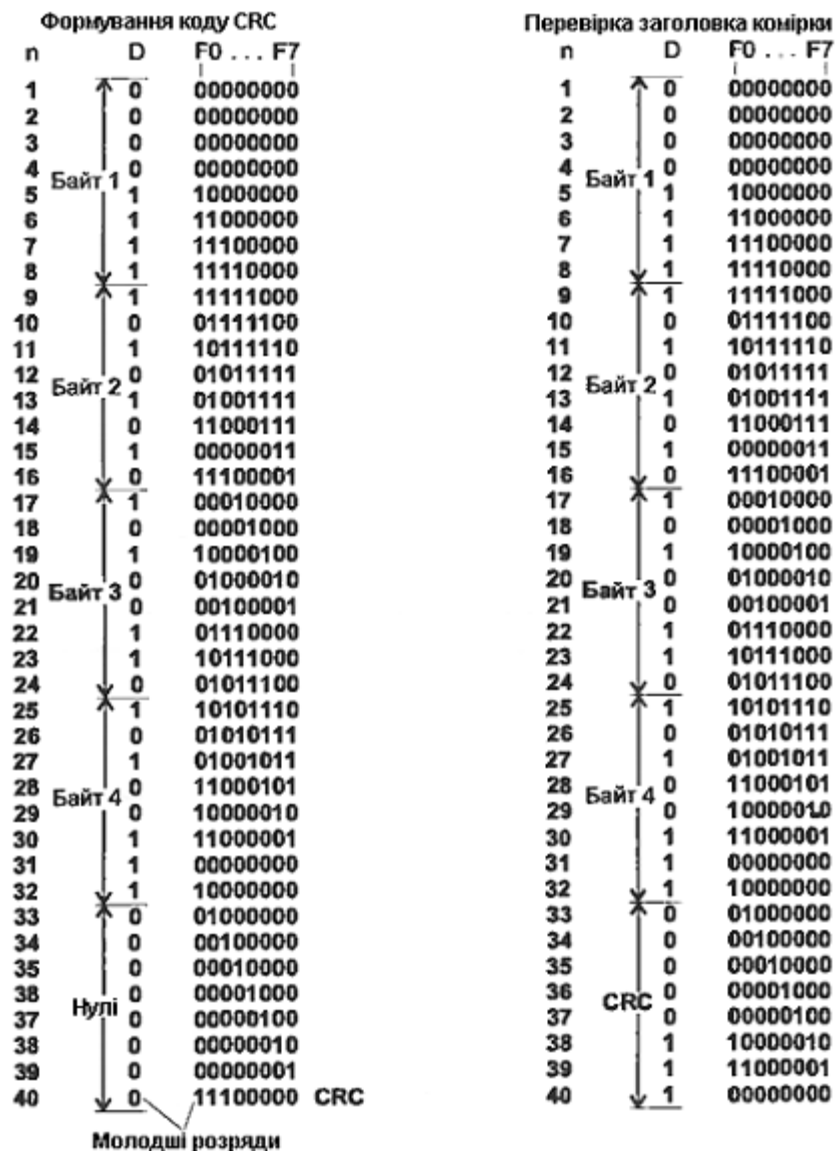


Рисунок 10.5 – Процеси формування коду CRC передавачем і перевірка правильності заголовка приймачем

У вихідному стані в регістрі записаний нульовий код. У першому такті ($n = 1$) за позитивним фронтом синхроімпульсу в лівий розряд регістра приймається старший біт 40-розрядного числа (діленого). Але оскільки в нашому прикладі цей біт дорівнює нулю, стан регістра не змінюється. В другому, третьому і четвертому тактах при введенні наступних нульових бітів діленого повторюється те ж саме. У п'ятому такті старший значущий

розряд (логічна 1) діленого заноситься в регістр, і в наступних тактах спостерігається просування групи одиниць у напрямку виходу F7. У дванадцятому такті лідируюча логічна 1 досягає виходу F7. Тому логічні елементи Виключне АБО у вхідних каскадах регістра налаштовуються на режим інвертування відповідних сигналів, що поширюються зліва направо. Інвертування "виявляється" у тринадцятому такті, у результаті в регістрі фіксується код 01001111. У цьому коді старший розряд стоїть справа, що створює деякі незручності при його розгляді. Перепишемо його в "нормальному" вигляді (старший розряд зліва) – 11110010.

Цей код збігається з отриманим на першій сходинці "драбинки ділення", а саме з кодом, розташованим під першою горизонтальною рисою цієї сходинки. Продовжуючи зіставлення, можна помітити повну відповідність набору станів регістра правилам "ділення драбинкою". Так, число сходинок дорівнює одинадцяти. Стільки ж раз логічні елементи Виключне АБО у вхідних каскадах регістра налаштовуються на режим інвертування відповідних сигналів, що поширюються зліва направо і стільки ж раз сигнал F7 дорівнює логічній 1 (цей сигнал відображає послідовний код цілої частини частки, яка відкидається).

У сороковому такті ($n = 40$) у регістрі фіксується код CRC.

10.2.5 Перевірка правильності заголовка комірки приймачем

Розглянемо тепер ситуацію, при якій у приймач надходять п'ять байтів, з яких п'ятий – код CRC, побудований на основі обробки перших чотирьох. Приймач вирішує таку задачу: чи дійсно п'ятий байт – це правильний код CRC, тобто чи відповідає він контрольній сумі попередніх чотирьох байтів?

Повернемося до рис. 10.4 і розглянемо його нижню частину. Ділене містить у молодшому байті код 00000111, що відповідає кодові CRC, обчисленому передавачем. Ділення "драбинкою" на десятих сходинках дає ті ж результати, що і раніше. Але на одинадцятій сходинці одержуємо нульовий залишок. Це свідчить про те, що контрольна сума правильна (що і було потрібно перевірити).

У правій частині рис. 10.5 показаний ряд станів кільцевого регістра зсуву приймача при перевірці правильності коду CRC. Відмінності від групи станів аналогічного регістра передавача спостерігаються в тактах 38-40. Зокрема, у контрольному, сороковому такті маємо нульовий вміст регістра, що підтверджує правильність прийому заголовка.

Відзначимо, що нульові коди отримано також у тактах 1-4 і 31. Але в нашому прикладі заздалегідь відомо, що ці такти проміжні, тому моменти одержання проміжних нульових кодів не є для нас значимими подіями. Інша справа – у реальному житті, коли такі події не повинні залишатися непоміченими.

10.2.6 Пошук заголовка в безперервному бітовому потоці даних

Розглянутий раніше спосіб перевірки правильності коду CRC за допомогою схеми, наведеної на рис. 10.3, застосовується лише в ідеальній "статичній" ситуації, коли заздалегідь відомо, що початковий стан регістра зсуву – нульовий, а в першому такті ($n = 1$) у регістр заноситься старший біт заголовка.

Реальна ситуація динамічна в тому змісті, що в полі зору приймача знаходиться бігучий рядок з 40 бітів. У кожному такті вміст рядка зміщується на один біт. Тому в кожному такті потрібно встигнути перевірити правильність п'ятого байта – ймовірно коду CRC. Якщо застосувати розглянуту раніше методику, то потрібно на початку кожного такту встановити кільцевий регістр зсуву у нуль, а тактовий інтервал, що залишився, розбити на 40 мікротактів для виконання процедури, показаної в правій частині рис. 10.5. Але таке рішення занадто прямолінійне, щоб бути ефективним.

Розглянемо інше рішення, рис. 10.6. Тут перевірка чергового 40-розрядного коду виконується за один такт у конвеєрному режимі. Новий біт, що вводиться у бігучий рядок звичайним чином враховується в новій контрольній сумі. Але одночасно з цим нова контрольна сума коректується через те, що один біт "виштовхнутий" за межі бігучого рядка і схема повинна знищити його колишній внесок у контрольну суму.

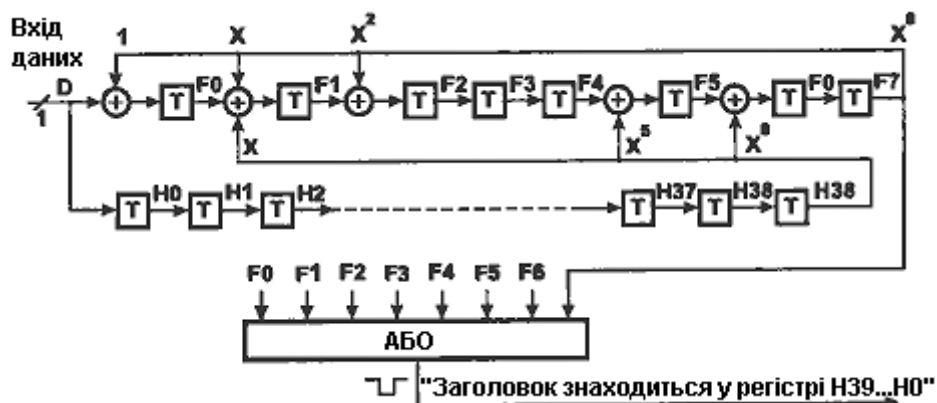


Рисунок 10.6 – Схема впізнання комірки у безперервному потоці бітів

Порівнюючи схеми, зображені на рис.10.3 і 10.6, можна помітити, що остання являє собою розширення першої. Кільцевий регістр зсуву містить додаткові кола корекції результату. Введено 40-розрядний регістр зсуву для збереження бігучого рядка, у якому очікується поява заголовка комірки (точніше, коду з правильною контрольною сумою, який претендує на те, щоб іменуватися заголовком). Елемент АБО реєструє появу нульового коду в кільцевому регістрі зсуву. Усі D-тригери T-синхронізуються загальним тактовим сигналом.

Стан $F7(n+1) \dots F0(n+1)$ кільцевого регістра зсуву в такті $(n+1)$ визначається станом $F7(n) \dots F0(n)$ цього регістра у попередньому такті

n , станом розряду $H39(n)$ у такті n , а також новим значенням вхідного біта даних $D(n+1)$, і може бути виражений такими співвідношеннями:

$$\begin{aligned}
 F7(n+1) &= F6(n), \\
 F6(n+1) &= F5(n) \oplus H39(n), \\
 F5(n+1) &= F4(n) \oplus H39(n), \\
 F4(n+1) &= F3(n), \\
 F3(n+1) &= F2(n), \\
 F2(n+1) &= F1(n) \oplus F7(n), \\
 F1(n+1) &= F0(n) \oplus F7(n) \oplus H39(n), \\
 F0(n+1) &= D(n+1) \oplus F7(n).
 \end{aligned} \tag{10.2}$$

Припустимо, що в деякий момент t бігучий рядок (регістр Н39-Н0) містить код $L(t)$. Прийнемо поки на віру, що в цей самий момент у кільцевому регістрі зсуву присутній результат 40-тактової перевірки коду $L(t)$ за наведеною раніше методикою. Цей результат (код 10110010 на рис. 10.7) відмінний від нульового, що відповідає умові, що п'ятий байт коду $L(t)$ не є контрольною сумою (CRC) чотирьох попередніх байтів.

У момент $(t+1)$ у бігучому рядку фіксується код $L(t+1)$. Цей код ми вже розглядали в попередньому прикладі. Він містить правильну контрольну суму (CRC), рівну 00000111. З рисунка випливає, що просте введення в кільцевий регістр зсуву чергового біта, тобто простий (без виправлення) перехід від коду $L(t)$ до коду $L(t+1)$ приводить до результату, рівного 01100010. Цей результат не можна вважати правильним, оскільки раніше було показано, що при правильній контрольній сумі результат повинен бути нульовим. Таким чином, якщо не враховувати виправлення, то операцію можна виконати швидко, за один такт, але, на жаль, неправильно.

Проблема в тому, що результат, рівний 01100010, отримано при обробці не 40-, а 41-розрядного числа, у якому старший розряд належить кодові $L(t)$, а інші – кодові $L(t+1)$. Іншими словами, в отриманому результаті неправильно враховується внесок у контрольну суму "зниклого" біта, відкинутого за межі бігучого рядка. Потрібно знищити цей внесок.

Відзначимо, що відкинутий розряд відображає число $2^{40}=1000...0$ (сорок нулів після одиниці). Якщо "поділити" (наприклад, "драбинкою") це число на наш дільник (100000111), то одержимо в залишку шуканий внесок зниклого біта. Він дорівнює 01100010 (відповідний утворювальний поліном $X^6 + X^5 + X$). Залишається відняти цей зайвий внесок (виправлення) від результату обробки 41-розрядного числа. Але, "ділення" виконується досить своєрідно, і операція віднімання замінюється порозрядним підсумовуванням чисел за модулем два. Таке підсумовування виконується на заключному етапі процедури, показаної на рис. 10.7. Кінцевий результат, як і очікувалося, нульовий. Як випливає зі схеми, наведеної на рис. 10.6, введення виправлення сполучене в часі з введенням чергового біта даних

Д, тому перевірка коду в бігучому рядку виконується за один такт. Якщо біт, що щезнув з бігучого рядка – нульовий, то виправлення не потрібне.

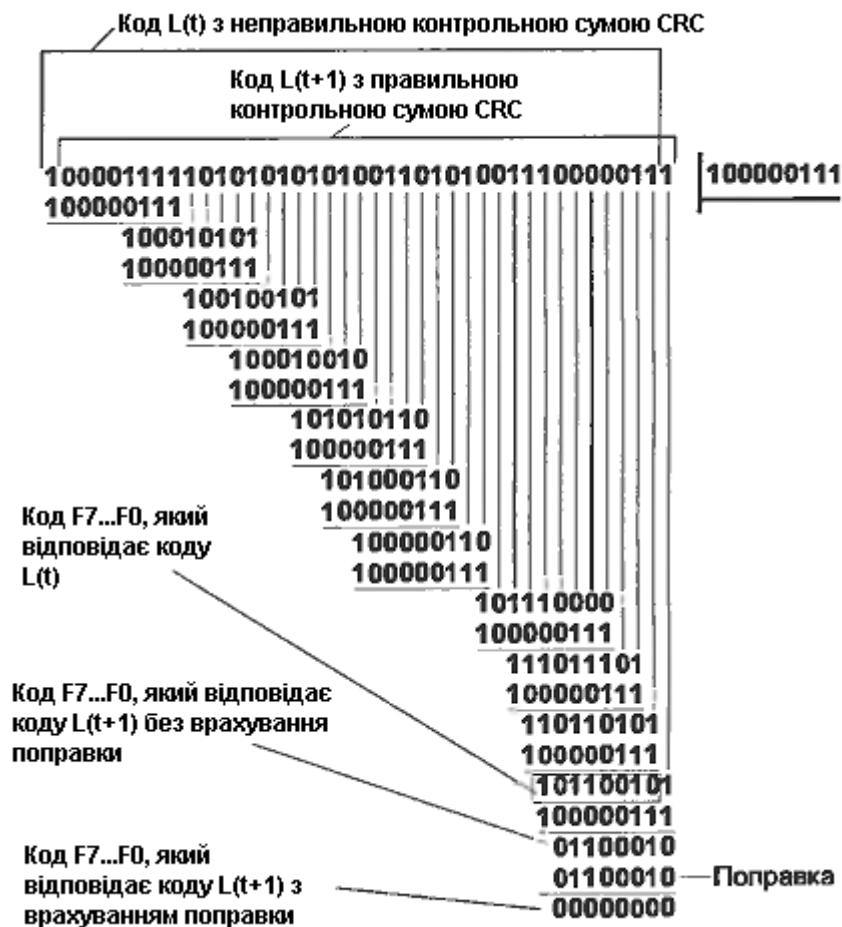


Рисунок 10.7 – Обробка бігучого рядка

Таким чином, якщо в такті j перевірка вмісту бігучого рядка виконана правильно, то і у наступному такті $j+1$ гарантується правильність результату (помилками передачі зневажаємо). З цього можна зробити висновок, що схема (рис. 10.6) забезпечує безперервне спостереження за вмістом бігучого рядка, причому кожен 40-розрядний код аналізується за один такт. Звичайно, для початкового заповнення "конвеєра" потрібно витратити 40 тактів після попередньої установки всіх тригерів T в нульовий стан.

Після встановлення надійної синхронізації приймача з передавачем (на рівні встановлення границь комірок) приймач використовує код CRC для корекції одиночних помилок у заголовку. Це можливо, зокрема, завдяки тому, що до моменту виявлення помилки заголовок зберігається в регістрі Н39-Н0, тому можна інвертувати помилковий біт, тобто виправити його (ланки корекції одиночних помилок у заголовку комірки на рисунку не показані).

10.3 Пошук заголовка в безперервному байтовому потоці даних

10.3.1 Розміщення комірки всередині кадру

Комірки ATM можуть передаватися або безпосередньо по лінії зв'язку, як було показано на рис. 10.2, або в складі більш великих структурних одиниць, наприклад кадрів SDH (SDH – Synchronous Digital Hierarchy – синхронна цифрова ієрархія, європейський стандарт на засоби передачі даних), рис. 10.8

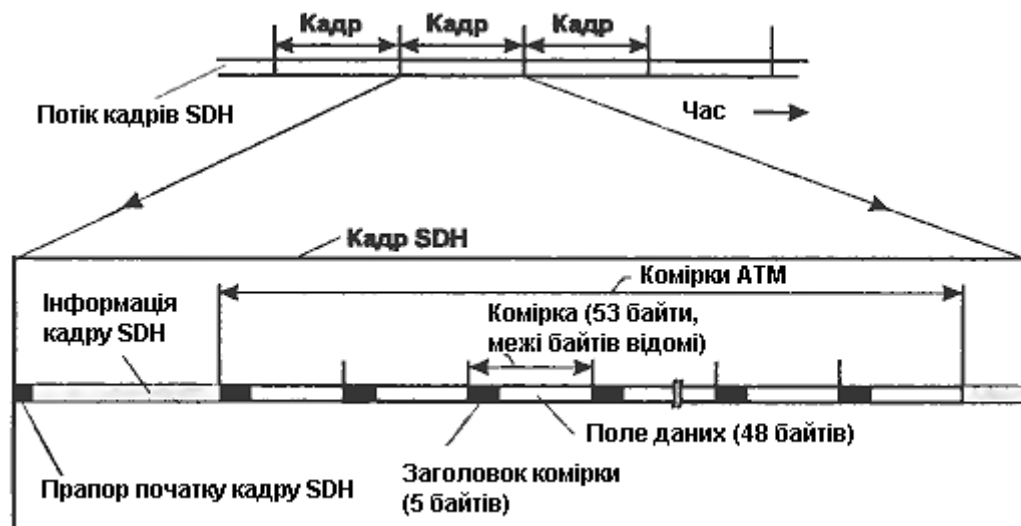


Рисунок 10.8 – Передача комірок ATM

Тут істотно те, що апаратура обробки кадру розпізнає його початок і, знаючи "відправну точку", перетворює потік бітів у потік байтів. Це дозволяє знизити необхідну швидкість обробки даних у вісім разів. Кадр побудований так, що заздалегідь не відомо, де знаходиться блок комірок ATM. Тому задача відшукування границь комірок залишається актуальною і при байтовому потоці даних.

10.3.2 Схема виявлення заголовка комірки в байтовому потоці даних

Рішення, наведене на рис. 10.9, являє собою "паралельний" аналог розглянутої раніше схеми (див. рис. 10.6).

Група паралельних регістрів RG1-RG5 являє собою байтовий регістр зсуву для збереження вмісту "бігучого рядка". Регістр RG6 зберігає поточний результат обчислення циклічного коду. Схема містить дві послідовно включені групи логічних елементів Виключне АБО для обчислення циклічного коду з врахуванням виправлення, аналогічно тому, як це робилося в попередній схемі, але в "байтовій" реалізації. Восьмивходовий логічний елемент АБО реєструє появу нульового коду в регістрі RG6.

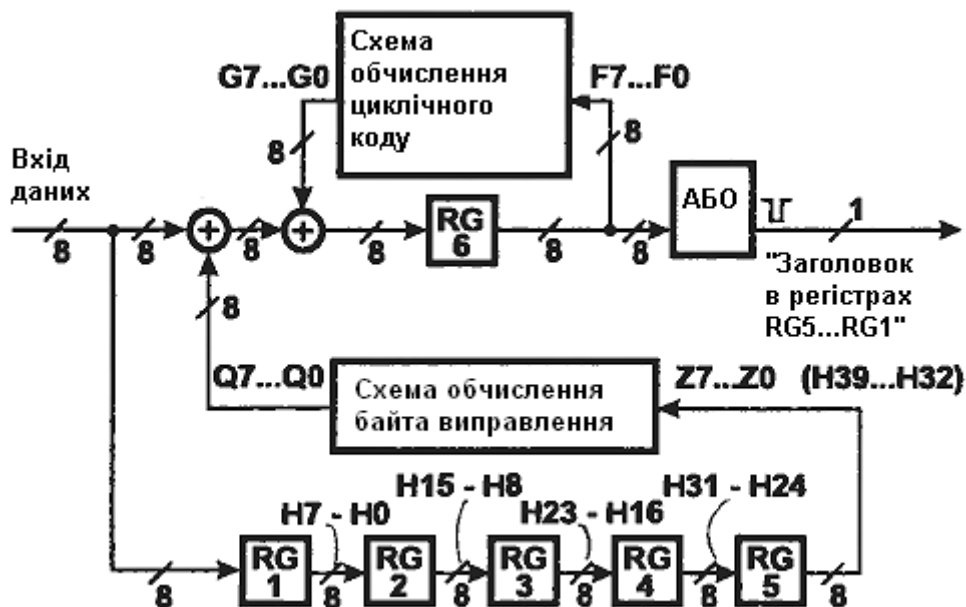


Рисунок 10.9 – Схема виявлення заголовка комірки

Структура інших складових частин цієї схеми наведена на рис. 10.10.

Схеми обчислення циклічного коду і байта виправлення містять по вісім елементів Виключне АБО. Конфігурація зв'язків у цих схемах визначається наведеними далі логічними виразами, які ми зараз одержимо на основі розглянутих раніше співвідношень (10.2).

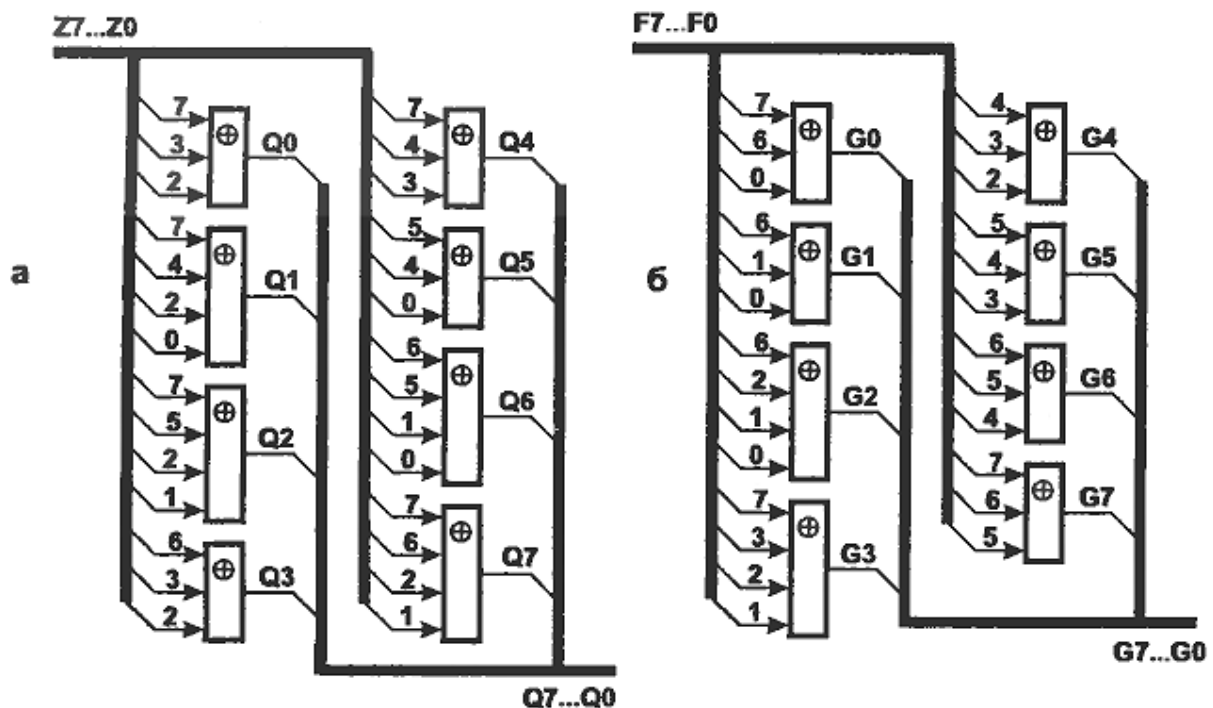


Рисунок 10.10 – Складові частини схеми, наведеної на рис. 10.9
а – схема обчислення байта поправки; б – схема обчислення циклічного коду.

10.3.3 Логічні співвідношення для переходу від бітового потоку даних до байтового

Нагадаємо, що співвідношення (10.2) описують процес обчислення циклічного коду при послідовній обробці даних схемою-прототипом (рис. 10.6). Такт n у співвідношеннях (10.2) відповідає попередньому стану схеми, такт $(n+1)$ відображає поточний стан. У цих самих термінах попередній стан "байтової" схеми (рис. 10.9) характеризується таким набором змінних:

$$F7(n), F6(n), F5(n), F4(n), F3(n), F2(n), F1(n), F0(n); \\ Z7(n), Z6(n), Z5(n), Z4(n), Z3(n), Z2(n), Z1(n), Z0(n).$$

Поточний стан вхідного байта даних D поширюється від "дійсного часу" $(n+8)$ на сім тактів у "минуле":

$$D(n+8), D(n+7), D(n+6), D(n+5), D(n+4), D(n+3), D(n+2), D(n+1).$$

Поточний стан регістра $RG6$ характеризується таким набором змінних:

$$F7(n+8), F6(n+8), F5(n+8), F4(n+8), F3(n+8), F2(n+8), F1(n+8), F0(n+8).$$

Встановимо залежність поточного стану регістра $RG6$ від поточного стану вхідного байта даних D і попереднього стану схеми, беручи до уваги такі співвідношення:

$$Z7(n) = H39(n), Z6(n) = H38(n), Z5(n) = H37(n), \dots, Z0(n) = H32(n);$$

$$H39(n) = H38(n-1) = H37(n-2) = H36(n-3) = H35(n-4) = \dots$$

(Перший ланцюг рівностей прийнятий за означенням, другий описує роботу бітового регістра зсуву.) Запишемо перше співвідношення з (10.2) у такому вигляді:

$$F7(n+8) = F6(n+7). \quad (10.3)$$

З врахуванням другого співвідношення з (10.2) рівність (10.3) можна продовжити:

$$F7(n+8) = F6(n+7) = F5(n+6) \oplus H39(n+6). \quad (10.4)$$

Продовжуємо заглиблюватися в "археологічні шари", з огляду на співвідношення, що залишилися, (10.2). Ланцюг рівностей (10.4) набуває такого вигляду:

$$\begin{aligned} F7(n+8) &= \\ &= F6(n+7) = \\ &= F5(n+6) = H39(n+6) = \\ &= F4(n+5) = H39(n+5) \oplus H38(n+5) = \\ &= F3(n+4) = H38(n+4) \oplus H37(n+4) = \\ &= F2(n+3) = H37(n+3) \oplus H36(n+3) = \\ &= F1(n+2) \oplus F7(n+2) \oplus H36(n+2) \oplus H35(n+2) = \\ &= F0(n+1) \oplus F7(n+1) \oplus H39(n+1) \oplus F6(n+1) \oplus H35(n+1) \oplus \end{aligned}$$

$$\oplus H34(n+1) = D(n+1) \oplus F7(n) \oplus F6(n) \oplus H38(n) \oplus F5(n) \oplus \\ \oplus H39(n) \oplus H34(n) \oplus H33(n).$$

Після впорядкування в останньому рядку послідовності одержимо:

$$F7(n+8) = D(n+1) \oplus F7(n) \oplus F6(n) \oplus F5(n) \oplus H39(n) \oplus \\ \oplus H38(n) \oplus H34(n) \oplus H33(n).$$

Аналогічні процедури можна провести і для змінних $F6(n+8)$, $F5(n+8)$, $F4(n+8)$, ..., $F0(n+8)$. У результаті одержимо повний набір функцій переходу схеми (рис. 10.9) від попереднього стану до поточного:

$$\left. \begin{aligned} F7(n+8) &= D(n+1) \oplus F7(n) \oplus F6(n) \oplus F5(n) \oplus H39(n) \oplus \\ &\oplus H38(n) \oplus H34(n) \oplus H33(n), \\ F6(n+8) &= D(n+2) \oplus F6(n) \oplus F5(n) \oplus F4(n) \oplus H38(n) \oplus \\ &\oplus H37(n) \oplus H33(n) \oplus H32(n), \\ F5(n+8) &= D(n+3) \oplus F5(n) \oplus F4(n) \oplus F3(n) \oplus H37(n) \oplus \\ &\oplus H36(n) \oplus H32(n), \\ F4(n+8) &= D(n+4) \oplus F4(n) \oplus F3(n) \oplus F2(n) \oplus H39(n) \oplus \\ &\oplus H36(n) \oplus H35(n), \\ F3(n+8) &= D(n+5) \oplus F7(n) \oplus F3(n) \oplus F2(n) \oplus F1(n) \oplus \\ &\oplus H38(n) \oplus H35(n) \oplus H34(n), \\ F2(n+8) &= D(n+6) \oplus F6(n) \oplus F2(n) \oplus F1(n) \oplus F0(n) \oplus \\ &\oplus H39(n) \oplus H37(n) \oplus H34(n) \oplus H33(n), \\ F1(n+8) &= D(n+7) \oplus F6(n) \oplus F1(n) \oplus F0(n) \oplus H39(n) \oplus \\ &\oplus H36(n) \oplus H34(n) \oplus H32(n), \\ F0(n+8) &= D(n+8) \oplus F7(n) \oplus F6(n) \oplus F0(n) \oplus H39(n) \oplus \\ &\oplus H35(n) \oplus H34(n). \end{aligned} \right\} (10.5)$$

Співвідношення (10.5) підтверджують правильність вибору загальної структури схеми виявлення заголовка комірки (рис. 10.9). Дійсно, в цих співвідношеннях проглядаються три групи доданків (за модулем 2):

1. Байт вхідних даних $D(n+8)$, $D(n+7)$, ..., $D(n+1)$;
2. Байт, отриманий на основі підсумовування за модулем два певних розрядів коду $F7(n)$, $F6(n)$, $F5(n)$, ..., $F0(n)$. Цей байт формується на виході схеми обчислення циклічного коду;
3. Байт, отриманий на основі підсумовування за модулем два певних розрядів коду $H39(n)$, $H38(n)$, $H37(n)$, (...), $H32(n)$. Цей байт формується на

виході схеми обчислення виправлення.

Тепер можна встановити відповідність між співвідношеннями (10.5) і схемними рішеннями, наведеними на рис. 10.9.

Розглянемо, наприклад, ланцюг формування старшого розряду схеми обчислення байта виправлення (рис. 10.10, а) – правий нижній логічний елемент Виключне АБО. На входи цього елемента надходять сигнали Z7, Z6, Z2, Z1 або, що те ж саме, H39, H38, H34, H33. Це узгоджується з групою відповідних змінних у першому рядку співвідношень (10.5). Ланцюг формування молодшого розряду схеми обчислення циклічного коду (рис. 10.10, б) побудований на основі тривходового логічного елемента Виключне АБО, розміщеного зліва вгорі. На входи цього елемента надходять сигнали F7, F6 і F0. Це узгоджується з групою відповідних змінних в останньому рядку співвідношень (10.5).

Питання для самоперевірки

1. Скільки складає довжина комірки АТМ?
2. Зі скількох рівнів складається модель АТМ?
3. Що таке віртуальне з'єднання?
4. Поясніть роботу схеми впізнання комірки у безперервному потоці бітів.
5. Поясніть роботу схеми виявлення заголовка комірки.
6. Обґрунтуйте принцип побудови мереж АТМ.
7. У чому полягає різниця між віртуальним шляхом і віртуальним каналом?
8. Обґрунтуйте структуру комірки АТМ.
9. Поясніть роботу схеми формування контрольної суми CRC.
10. Яким чином перевіряється правильність заголовка комірки?

СЛОВНИК ТЕРМІНІВ

аварія – emergency
автовідповідач – automatic answering machine
автостоп – automatic stop
амплітудна модуляція – amplitude modulation
багатопозиційний – multilevel
вимірювання – measuring
випадковий процес – random process
випадкові спотворення – fortuitous distortion
виправна здатність – margin
вихідний пристрій – output device
відносна фазова модуляція – relative phase modulation
вхідний пристрій – input device
двійковий – binary
декодер джерела – source decoder
дешифратор – decipher
дзвінок – bell
дискретний канал – discrete channel
дисперсія – dispersion
документальний електрозв'язок – documentary telecommunication
допуск – tolerance
дроблення – mutilation
друкувальний пристрій – printer
ентропія джерела – source entropy
завада – interference
завмирання сигналу – fading
загрози безпеки системи – system safety threat
імпульсні завади – pulse interference
ітеративний код – iterative code
канали викрадення інформації – information theft channels
каскадний код – concatenated code
квазітрійковий код – pseudo-ternary code
комутація каналів – channel switching
комутація пакетів – packet switching
комутація повідомлень – message switching
комутовані – switched
крайові спотворення – end distortion
клавіатура – keyboard
ключ шифрування – encryption key
код – code
кодова комбінація – codeword
кодер джерела – source coder

кодова відстань – code distance
кодове дерево – code treble
кодування – encoding
контрастність відтвореного зображення – reproduced image contrast
кореляційна функція – correlation function
короткотривалі перерви – short-time interruption
лінійне кодування – uniform encoding
математичне сподівання – mathematical expectation
надійність – reliability
надлишковість – redundancy
некомутовані – nonswitched
нерухоме зображення – static image
норма – standard
оперативний контроль – on-line test
параметричний контроль – parametric testing
передача даних – data communication
перекіс – tilt
перехоплення – interception
повідомлення – message
попередження – warning
попереджувальний контроль – warning test
префіксний код – prefix code
привод – actuator
пристрій введення-виведення – input-output device
пристрій набору – pattern apparatus
пристрій перетворення сигналів – signal transformation device
пристрій розгортки – scanner
продуктивність – efficiency
пропускна здатність – traffic capacity
процедури захисту – protection procedures
похибка – error
регістровий механізм – register apparatus
реперфоратор – reperforator
розподільник – allocator
синхронізація – synchronization
синхросигнал – clock signal
система передачі інформації – information transmission system
стартостопна передача – start-stop transmission
стартостопний пристрій – start-stop apparatus
спотворення – distortion
спотворення переваги – bias distortion
тактова синхронізація – clock synchronization
телеграфний апарат – telegraph

телеграфний зв'язок – telegraphy
трансмiтер – transmitter
трійковий – ternary
фазова модуляція – phase modulation
фазування – phase correction
факсимільний зв'язок – facsimile communication
функціональний контроль – functional test
характеристичні спотворення – characteristic distortion
циклічний код – cyclic code
циклічний зсув – cycle shift
циклова синхронізація – frame synchronization
цифрова мережа інтегрального обслуговування – Integrated Service Digital Network
частотна модуляція – frequency modulation
четвірковий – quaternary
чіткість зображення – image definition
шифратор – encipher
шифротекст – ciphertext
якість відтворення напівтонів – grey tone reproduction quality
яскравість – brightness

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Васильев В. И. и др. Системы связи: Учебное пособие для втузов. – М.: Высшая школа, 1987. – 280 с.
2. Гитлиц М. В., Лев А. Ю. Теоретические основы многоканальной связи. – М.: Радио и связь, 1985. – 245 с.
3. Захарченко Н. В, Владишевский Б. С., Киреев И. А. Информационные службы документальной электросвязи: – Учебное пособие. – Одесса: УГАС, 1995. – 110 с.
4. Игнатов В. А. Теория информации и передача сигналов: Учебник – М.: Радио и связь, 1991.
5. Копничев Л. Н., Лещук И. А. Документальная электросвязь: Учебное пособие для вузов. – М.: Связь, 1977.
6. Норенков И. П., Трудоношин В. А. Телекоммуникационные технологии и сети. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 248 с.
7. Телекоммуникационные системы и сети. Современные технологии / Под ред. В. П. Шувалова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 648 с.
8. Передача дискретных сообщений. Учебник для вузов / В. П. Шувалов, Н. В. Захарченко, В. О. Шварцман и др./ Под ред. В. П. Шувалова. – М.: Радио и связь, 1990. – 464 с.
9. Рожков Л. И. Контроль и коммутация оборудования в системах передачи данных. – М.: Сов. Радио, 1979. – 240 с.
10. Шевкопляс Б., Сухман С., Бернов А. Синхронизация передачи данных: способы кодирования // Схемотехника - 2001. - №12. – С. 40-43.

Навчальне видання

Василь Мартинович Кичак
Олена Олександрівна Семенова
Андрій Олександрович Семенов

Системи документального електров'язку

Навчальний посібник

Оригінал-макет підготовлено О. О. Семеновою

Редактор Т. О. Старічек

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

Підписано до друку
Формат 29,7×42 $\frac{1}{4}$
Друк різнографічний
Тираж прим.
Зам. №

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

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