

Міністерство транспорту та зв'язку України  
Державна адміністрація зв'язку

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова

---

Балашов В.О., Воробієнко П.П.,  
Лашко А.Г., Ляховецький Л.М.

# **Мережі та обладнання широкосмугового доступу за технологіями xDSL**

Навчальний посібник  
для студентів з напрямку підготовки  
6050903 «Телекомунікації»

Одеса – 2010

УДК 621.395.126; 621.395.743

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, що навчаються за напрямом підготовки «Телекомунікації»*

*Лист № 1/11-3361  
від 22.04.2010*

**Мережі** та обладнання широкопasmового доступу за технологіями xDSL: [Навч. посібник] / **В.О. Балашов, П.П. Воробієнко, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецький.** – Одеса: Вид. центр ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2010. – 208 с.

**ISBN 978-966-7598-49-5**

Розглянуто побудову мережі широкопasmового доступу до мережі Інтернет абонентськими кабелями телефонної мережі за технологією xDSL (Digital Subscriber Line). Наведено основні характеристики технологій передавання xDSL, регламентовані Рекомендаціями MCE-T G.991 – G.993. Описано принципи побудови і функціонування обладнання xDSL з асиметричною швидкістю передавання в напрямках до абонента та від абонента – ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) та VDSL (Very high speed Digital Subscriber Line), основні алгоритми передавання сигналів, характеристики передавального обладнання, потенційні характеристики передавання.

Призначено для поглибленого вивчення студентами навчальних закладів зв'язку технологій широкопasmового доступу, широко застосовуваних сьогодні для побудови мереж доступу.

#### **Рецензенти:**

професор, ректор Черкаського державного технологічного університету, д.т.н. Ю.Г. Лега;

професор кафедри телекомунікаційних систем Харківського національного університету радіоелектроніки, д.т.н. О.В. Лемешко

**УХВАЛЕНО**  
на засіданні кафедри  
телекомунікаційних систем  
передавання  
Протокол № 6  
від 20.10.09 р.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
1 ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕРЕЖІ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ .....	8
1.1 Типова структура мережі xDSL-доступу .....	8
1.2 Побудова мережі абонентських ліній .....	9
1.3 xDSL-модем. Технічні вимоги .....	12
1.4 DSLAM. Технічні вимоги .....	13
1.5 BRAS. Технічні вимоги .....	14
1.6 Вимоги до системи керування xDSL-модему (DSLAM).....	15
1.7 Мережа абонентського xDSL-доступу за Рекомендацією МСЕ-Т G.995.1 .....	15
2 ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДАВАННЯ ЦИФРОВИХ СИГНАЛІВ В КАБЕЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ДОСТУПУ .....	22
2.1 Послідовне передавання цифрових сигналів каналами зв'язку .....	22
2.2 Інтерференційні завади. Критерій Найквіста .....	26
2.3 Паралельне передавання цифрових сигналів каналами зв'язку .....	28
2.4 Характеристики СП ОС із вузькосмуговими сигналами-носіями .....	30
2.5 Оптимальний спектр сигналу за передавання смугообмеженим каналом зв'язку з лінійними спотвореннями і адитивним шумом .....	34
3 УЗАГАЛЬНЕНІ АЛГОРИТМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАВАННЯ xDSL .....	36
3.1 Узагальнена структурна схема передавача СП xDSL .....	36
3.2 Алгоритми модуляції-демодуляції СП із АІМ .....	37
3.3 Квадратурна амплітудна модуляція .....	38
3.4 Передавання ортогональними гармонічними сигналами .....	41
3.5 Кодування з метою виправлення помилок у СП xDSL .....	50
3.6 Перемежування сигналів .....	52
3.7 Згорткове кодування .....	55
3.8 Сигнально-кодові конструкції .....	59
3.9 Модуляція ТСПАМ .....	64
3.10 Циклічна надлишкова перевірка .....	64
3.11 Скремблювання сигналу .....	65
3.12 Методи розділення сигналів зустрічних напрямків передавання .....	67
4 СИСТЕМИ ПЕРЕДАВАННЯ ЗГІДНО З РЕКОМЕНДАЦІЯМИ МСЕ-Т G.992 – G.993 .....	70
4.1 Загальні характеристики СП .....	70
4.2 Структура спектра сигналу .....	71
4.3 Структурна схема передавача .....	75
4.4 Структура сигналу ADSL .....	77
4.5 Алгоритми перетворення сигналів в передавачі.....	81
4.5.1 Циклічна надлишкова перевірка. Скремблювання сигналу.....	81
4.5.2 Попередня корекція помилок і перемежування .....	81
4.5.3 Розподіл бітів по несучих .....	83

4.5.4	Гратчасте кодування й перетворення бітів .....	84
4.5.5	Кодер сузір'їв .....	86
5	<b>ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛІНІЙНИХ ІНТЕРФЕЙСІВ ОБЛАДНАННЯ</b>	
	<b>xDSL-ДОСТУПУ</b> .....	88
5.1	Рекомендації MCE-T, що стандартизують СП xDSL .....	88
5.2	Еволюція ADSL і VDSL .....	88
5.3	Характеристики інтерфейсів ADSL і VDSL .....	92
5.4	Методи вимірювання параметрів інтерфейсів xDSL .....	121
6	<b>ЦИФРОВА СИСТЕМА ПЕРЕДАВАННЯ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ SHDSL</b> ...	131
7	<b>ХАРАКТЕРИСТИКИ АБОНЕНТСЬКИХ ЛІНІЙ</b> .....	138
7.1	Характеристика кабелів абонентських ліній .....	138
7.1.1	Типи кабелів, що застосовуються на абонентських лініях.....	138
7.1.2	Електричні параметри передавання кабелів .....	143
7.1.3	Параметри взаємного впливу .....	147
7.2	Відбір пар у багатопарних кабелях місцевого зв'язку для організації xDSL-ліній.....	154
7.2.1	Відбір пар у кабелях за результатами вимірювання перехідного загасання на ближньому кінці.....	155
7.2.2	Відбір пар у кабелях з повивною побудовою осердя.....	155
7.2.3	Відбір пар у кабелях з пучковою побудовою осердя .....	157
8	<b>ПОТЕНЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВИХ</b>	
	<b>АБОНЕНТСЬКИХ ЛІНІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ xDSL</b> ..	160
8.1	Потенційні характеристики СП ADSL і VDSL за рівномірного адитивного шуму на вході приймача .....	160
8.2	Оцінка потенційних характеристик цифрових абонентських ліній на багатопарних телефонних кабелях.....	166
	<b>СПИСОК СКОРОЧЕНЬ</b> .....	173
	<b>ГЛОСАРІЙ</b> .....	175
	<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	201

## ВСТУП

Доступ абонентів до телекомунікаційних та інформаційних ресурсів Інтернету забезпечується за допомогою мереж доступу: бездротових, побудованих із застосуванням різноманітних радіотехнологій (GSM, UMTS, CDMA, WiMax, Wi-Fi тощо), або проводових, що використовують як середовище для передавання сигналів різні металеві й оптичні кабелі зв'язку, кабелі електропостачання й електропроводки. Найважливішою характеристикою абонентського доступу є швидкість доступу. До ліній широкопasmового доступу (ШД) нещодавно відносили лінії зі швидкістю передавання, вищою за 64 кбіт/с; сьогодні до ШД відносять переважно доступ зі швидкістю понад 1 Мбіт/с.

Швидкості передавання, забезпечувані мобільними технологіями доступу 3G і 4G, сьогодні вже далеко відстають від потреб користувачів і, очевидно, наближені до своєї межі, а спеціалісти прогнозують у недалекій перспективі замовлювані швидкості ШД до 1 Гбіт/с на квартиру. Тому сьогодні, кажучи про ШД, розуміють доступ телефоном, оптичним або коаксіальним кабелем зі швидкістю не менш за 1 Мбіт/с з використанням відповідних телекомунікаційних технологій: xDSL, Cable Modem, Fiber+LAN (FTTx) тощо.

До кінця 2008 року в світі нараховувалося близько 410,9 млн користувачів ШД [1]. Приріст кількості користувачів ШД упродовж 2004 – 2008 рр. становив у середньому 27,7% на рік. Згідно з прогнозами, темпи зростання абонентської бази ШД у 2009 – 2013 рр. становитимуть 10,8 %. У середньому розповсюдження ШД в усьому світі становило наприкінці 2008 р. 7,1 %, що є на 1 % більше, ніж наприкінці 2007 р.

Найпоширенішим різновидом ШД є ШД, який використовує добре розвинену мережу абонентських ліній (АЛ) місцевої телефонної мережі. Із загальної кількості ліній ШД на початок 2009 року 266 млн ліній (64,8 %) було побудовано на АЛ місцевої мережі з використанням спеціально розроблених для таких цілей технологій передавання xDSL (Digital Subscriber Line), характеристики яких регламентовано рекомендаціями МСЕ-Т G.991 – G.993 [3 – 6, 30 – 38]. Найбільшого застосування зазнали системи xDSL з асиметричною швидкістю передавання в напрямках від абонента й до абонента – ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) та VDSL (Very High Speed Digital Subscriber Line).

Очікувані темпи збільшення кількості xDSL-ліній у світі становитимуть від 40 до 50 млн. на рік, а 2010 року тільки кількість ліній ШД з використанням технологій xDSL перевищуватиме 500 млн із загальної кількості 900 млн ліній ШД.

Технології xDSL з асиметричною швидкістю передавання сигналів двопроводовою АЛ стрімко розвиваються останнім часом: упродовж восьми років, починаючи з 1999 року, коли було ухвалено Рекомендацію МСЕ-Т G.992.1 (ADSL), розроблено й узаконено п'ять варіантів систем ADSL і два варіанти систем VDSL. Остання версія VDSL2 за Рекомендацією G.993.2 (від

лютого 2006 р.) забезпечує швидкість передавання двопроводовою АЛ до 100 Мбіт/с у дуплексному режимі.

Технології передавання xDSL розроблено безпосередньо під завдання побудови цифрових високошвидкісних абонентських ліній, які використовують існуючі кабелі місцевої телефонної мережі. До основних характеристик обладнання зв'язку xDSL можна віднести:

- використання у якості середовища передавання існуючих абонентських двопроводових ліній передавання, побудованих на кабелі з металевими жилами, й забезпечення високої вірогідності передавання даних, порівняної з якістю, досяжною на волоконно-оптичних лініях зв'язку;

- високий ступінь адаптації до частотних характеристик каналу передавання, що дозволяє не пред'являти високих вимог до його стану;

- електромагнітну сумісність з існуючим на абонентській мережі обладнанням зв'язку;

- електромагнітну сумісність з різними типами xDSL, що працюють по паралельних парах;

- відсутність регенераторів на лінії у найбільш типовому варіанті використання обладнання, що значно сприяло підвищенню надійності системи;

- можливість здійснення дистанційного живлення абонентського обладнання безпосередньо по лінії, використовуваній для передавання інформації;

- сумісність практично з будь-яким існуючим телефонним і мережним обладнанням за різними технологіями передавання, у тому числі Ethernet, Frame Relay і АТМ, за протоколами і швидкістю передавання інформації;

- відповідність існуючим вимогам до контролю характеристик і керування, які пред'являються з позицій мережі.

Сьогодні може йтися вже про актуальну задачу повномасштабної заміни традиційної телефонної абонентської мережі на високошвидкісну цифрову мережу доступу, здатну надавати широкий спектр сучасних мультимедійних інфокомунікаційних послуг. Ті країни, які успішно розв'яжуть цю задачу, стануть лідерами в економічному розвитку.

Перехід на сучасну цифрову мережу ШД, високі вимоги, які пред'являються до її характеристик, – все це принципово змінює характер проектування, будівництва й експлуатації цифрових АЛ, підвищує вимоги до кваліфікації обслуговуючого персоналу й організації обслуговування. Значну роль для успішного досягнення нової якості ліній і обслуговування мають відігравати різного роду науково-технічні й методичні публікації й посібники, що надають різнопланову інформацію з тематики ШД. Пропонований посібник має за мету познайомити насамперед студентів вищих навчальних закладів галузі телекомунікації, інших читачів з принципами побудови й функціонування обладнання xDSL, основними алгоритмами передавання й приймання сигналів, характеристиками передавального обладнання, потенційно досяжними характеристиками передавання. Посібник надасть можливість заповнити відсутність інформації, потрібної для проектування та експлуатації мереж ШД, побудованих на базі xDSL-технологій. Його складено на основі

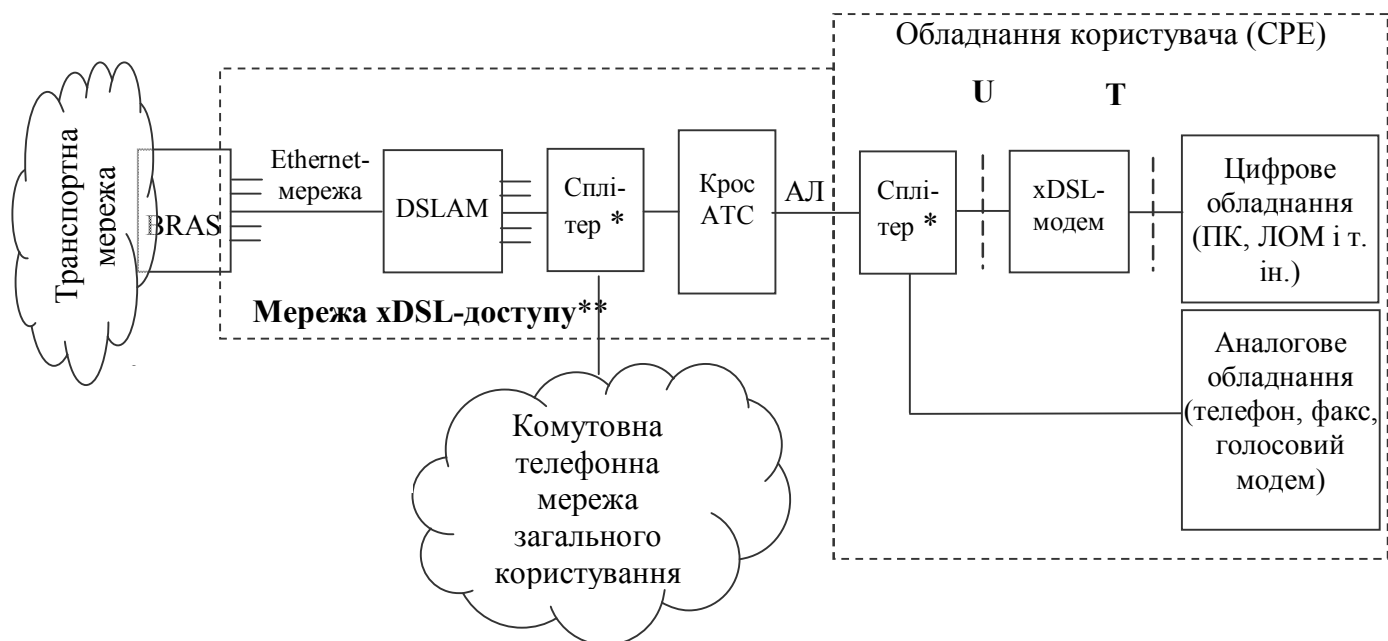
матеріалів рекомендацій МСЕ-Т, стандартів ETSI, а також розрахунків, моделювань й практичних вимірювань характеристик ліній xDSL, виконаних під керівництвом та за участі авторів.

Зміст посібника відповідає програмі курсу «Системи передавання мереж доступу».

# 1 ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕРЕЖІ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ

## 1.1 Типова структура мережі xDSL-доступу

Типову структуру мережі xDSL-доступу зображено на рис. 1.1.



BRAS – Broadband Remote Access Server (сервер віддаленого широкосмугового доступу)  
DSLAM – Digital Subscriber Line Access Multiplexer (мультиплексор доступу цифрових абонентських ліній)

CPE – Customer Premises Equipment (обладнання приміщення користувача)

АТС – автоматична телефонна станція

АЛ – абонентська лінія

ПК – персональний комп'ютер

ЛОМ – локальна обчислювальна мережа

\*) Сплітер не використовується у симетричних видах xDSL (HDSL, SHDSL). Сплітер може бути вбудованим у DSLAM та xDSL-модем.

\*\*) У певних випадках мережа xDSL-доступу може закінчуватись у точці T

**Рисунок 1.1** – Структура мережі xDSL-доступу

*Мережа доступу* – це частина мережі електрозв'язку, що забезпечує з'єднання обладнання користувачів з найближчим вузлом транспортної мережі для забезпечення користувачів доступом до інфокомунікаційних послуг.

*Мережа xDSL-доступу* – це широкосмугова мережа доступу, побудована на базі xDSL-систем передавання.

**Примітка.** Технічні характеристики xDSL-систем передавання визначено рекомендаціями МСЕ-Т G.991 – G.993.



*Транспортна мережа* – це мережа електрозв'язку, що призначена для передавання високошвидкісних потоків даних без проміжного накопичення, до якої користувачі не під'єднані безпосередньо і яка здійснює взаємоз'єднання мереж доступу.

На рис. 1.1 мережа xDSL-доступу – це частина мережі електрозв'язку, обмежена еталонною точкою  $U$  (або  $T$ ) та BRAS (у тій його частині, що мультиплексує цифрові потоки DSLAM). У якості обладнання користувача можуть виступати xDSL-модем, локальна обчислювальна мережа, персональний комп'ютер та інші пристрої.

xDSL-модем встановлюється у приміщенні користувача і може включати функції маршрутизатора, моста та/або комутатора.

Сплітер являє собою фільтр, що відокремлює високочастотні сигнали (xDSL) від низькочастотних телефонних сигналів (смуга частот від 0,3 кГц до 3,4 кГц) або сигналів ISDN (від 0 кГц до 80 кГц).

DSLAM термінує сигнали xDSL. Це перший елемент мережі доступу, де відбувається агрегація трафіка множини цифрових абонентських ліній.

Ethernet-мережа (на рис. 1.1) – це частина мережі xDSL-доступу, обмежена множиною DSLAM та BRAS, яка використовує технологію передавання Ethernet.

BRAS мультиплексує цифрові потоки DSLAM і забезпечує агрегацію PPPoE-сесій (PPPoE – Point-to-Point Protocol over Ethernet) абонентів. Взаємодія BRAS з AAA-системою (AAA – Authentication, Authorization and Accounting) забезпечує автентифікацію, авторизацію та облік надаваних послуг кожному абонентові. На підставі отриманої від AAA-системи інформації BRAS формує політику обслуговування абонентів.

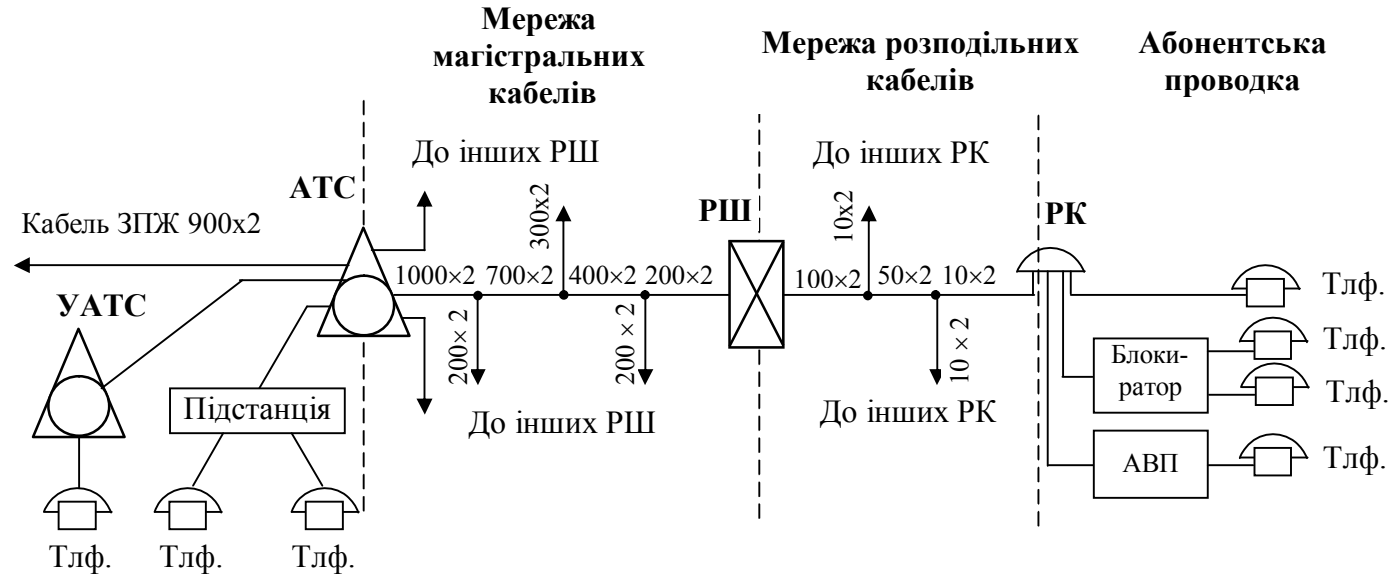
**Примітка.** Функції BRAS можуть бути вбудовані в DSLAM. В такій ситуації структура мережі xDSL-доступу відрізняється від наведеної на рис. 1.1 відсутністю окремого BRAS.

## 1.2 Побудова мережі абонентських ліній

Місцева мережа зв'язку містить у собі міську, сільську й комбіновану телефонні мережі [24, 25]. Міська телефонна мережа (МТМ) складається з мереж абонентських ліній (АЛ) і з'єднувальних ліній (ЗЛ). Мережа АЛ будується за шафовою і безшафовою системами. Схеми побудови мережі АЛ за шафовою і безшафовою системами зображено на рис. 1.2.

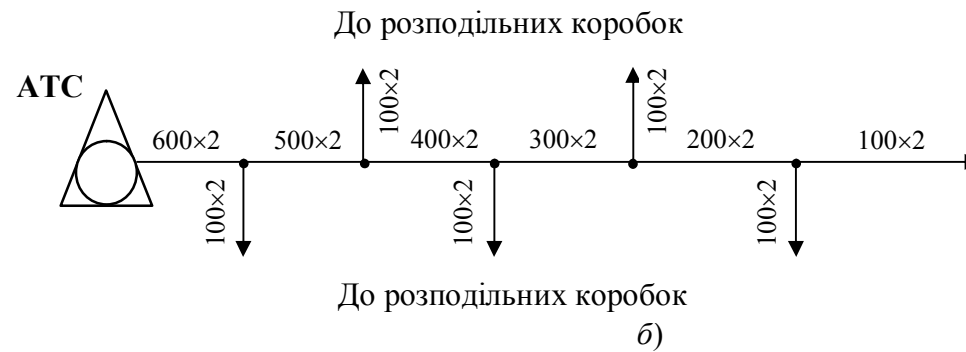
За шафової системи побудови АЛ складається із сукупності ліній від автоматичної телефонної станції (АТС) до телефонного апарата й містить у собі магістральну та розподільну ділянки й абонентську проводку.

Безшафова система побудови мережі АЛ (рис. 1.2, б) забезпечує більшу гнучкість за рахунок паралельного ввімкнення кабелів. При цьому окремі пари кабелю вмикаються паралельно в кількох розподільних коробках.



АТС – автоматична телефонна станція, РШ – розподільна шафа, РК – розподільна коробка;  
 УАТС – установка АТС, АВП – абонентський високочастотний пристрій, ЗПЖ – зона прямого живлення

а)

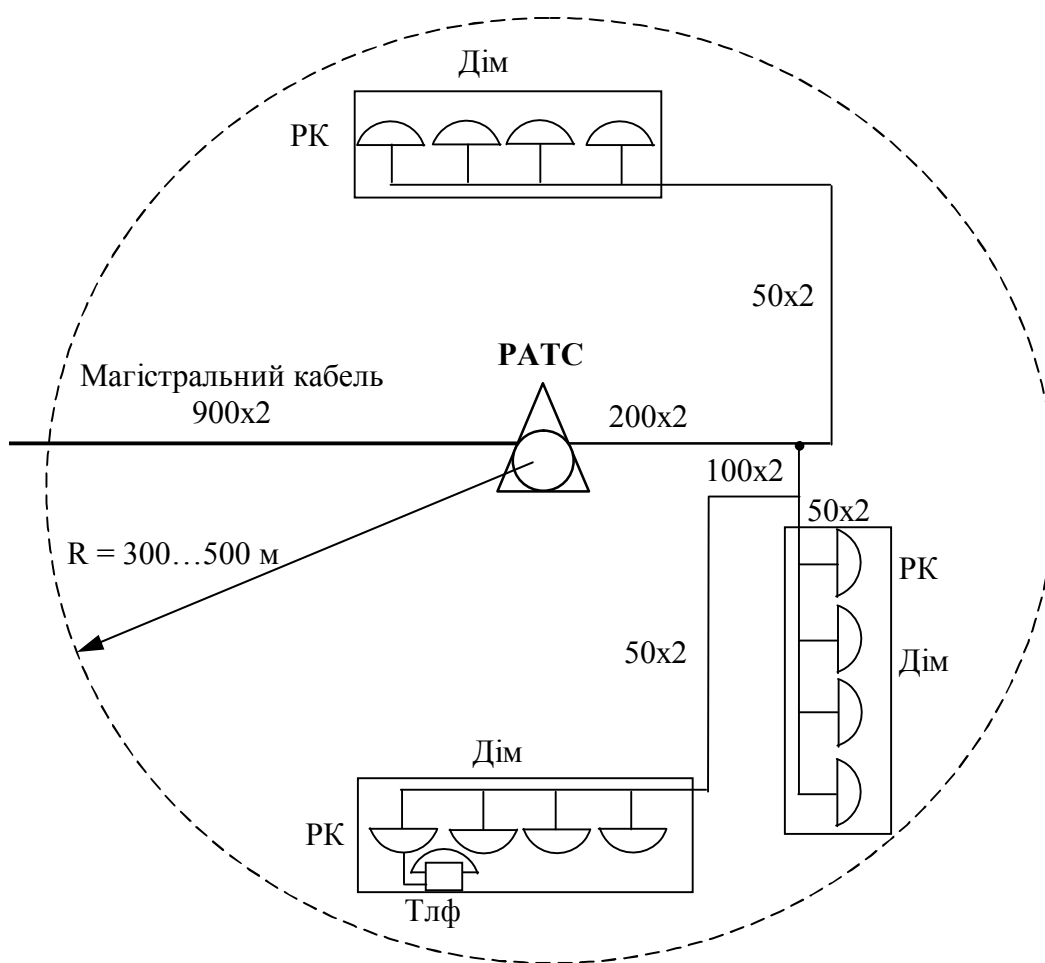


б)

**Рисунок 1.2** – Приклади схем шафової (а) і безшафової (б) систем побудови мережі АЛ МТМ

За шафової системи побудови мережі (рис. 1.2, а) від АТС у різних напрямках виходять великі за ємністю кабелі (до 1200–2400 пар), які в розділювальних муфтах (рукавичках) розгалужуються на кабелі меншої ємності. Ці кабелі разом з лінійним обладнанням становлять магістральну мережу. Кабелі магістральної мережі вмикаються в розподільні шафи ємністю  $1200 \times 2$  або  $600 \times 2$ . З розподільних шаф виходять кабелі меншої ємності (100 – 50 пар), які розгалужуються в муфтах і підходять до розподільних коробок ємністю 10 пар. Ці кабелі разом з лінійним обладнанням складають розподільну мережу. Від розподільних коробок до телефонних апаратів абонентів прокладаються однопарні кабелі, які являють собою абонентську проводку.

Навколо АТС зазвичай розташовується зона прямого живлення, що має приблизно форму кола радіусом 300 м – 500 м (рис. 1.3).



РАТС – районна автоматична телефонна станція у зоні прямого живлення

Рисунок 1.3 – Варіант фрагмента мережі абонентських ліній

Всі телефонні апарати (Тлф), розташовані в зоні прямого живлення, вмикаються в АТС за допомогою окремих кабелів через розподільні коробки (РК), міняючи розподільні шафи. В одному кабелі не мають міститися пари, призначені для обслуговування абонентів зони прямого живлення, і пари, призначені для обслуговування абонентів поза зоною прямого живлення.

На відміну від розподільної мережі й зони прямого живлення, кабелі магістральної мережі мають втримуватися під надлишковим повітряним тиском, що забезпечує кращі значення електричних параметрів упродовж тривалого часу експлуатації.

До кабельної шахти АТС від захисних смуг кросу подаються кабелі ємністю 100 пар, де вони поєднуються з лінійними кабелями великої ємності (до 1200 пар і більше) у розгалужувальних муфтах (рукавичках). Лінійні кабелі виходять із шахти через станційний колодязь і розходяться у різних напрямках району кабельною каналізацією. Розподільні шафи встановлюються в житлових і адміністративних будинках, на вулицях міста й обладнуються кабельними боксами 100 × 2. Магістральні кабелі з віддаленням від АТС поблизу розподільних шаф послідовно розпаюються в рукавичках на кабелі ємністю 100 пар, які потім можуть послідовно розпаюватися в рукавичках на кабелі ємністю до 10 пар. Останні вмикаються в розподільні коробки, що встановлюються під кабельними стійками, на стінах приміщень і горищах. Від розподільних коробок прокладаються проводи однопарної абонентської проводки, які вмикаються в телефонні апарати, таксофони й іншу апаратуру, установлену в квартирах і приміщеннях адміністративних будинків. Від кабельних скриньок повітряних телефонних ліній до будинків підвішуються проводи, які закінчуються абонентським проводом й телефонним апаратом.

### 1.3 xDSL-модем. Технічні вимоги

xDSL-модем – технічний засіб, який зазвичай встановлюється в приміщенні абонента і реалізує функції приймача-передавача за технологією xDSL. xDSL-модем може також виконувати функції моста і маршрутизатора.

xDSL-модем має бути обладнаний інтерфейсом Ethernet 10/100Base-T (точка *T* рис. 1.1) для підмикання до ПК або ЛОМ, а також інтерфейсом xDSL (точка *U* рис. 1.1) для підмикання АЛ.

**Примітка.** Докладніше про інтерфейси *U* і *T* див. п. 1.3.

Інтерфейс Ethernet 10/100Base-T має відповідати стандарту IEEE 802.3.

Інтерфейс xDSL має задовольняти щонайменше одній з таких рекомендацій MCE-T: G.991.1, G.991.2, G.992.1, G.992.2, G.992.3, G.992.4, G.992.5, G.993.1, G.993.2. Нагадаємо, що кожна з вищезгаданих рекомендацій MCE-T відповідає одному з різновидів технології xDSL (див. табл. 1.1).

**Примітка.** У разі використання симетричних (з однаковою швидкістю передавання в низхідному і висхідному напрямках) технологій xDSL – HDSL та SHDSL – xDSL-модем може мати більше одного інтерфейсу xDSL (до 3-х для модемів HDSL і до 4-х для модемів SHDSL).

Докладніше технічні вимоги до лінійних інтерфейсів xDSL-модемів наведено у розд. 5.

**Таблиця 1.1** – Відповідність між рекомендаціями MCE-T і різновидами технології xDSL

Різнавид технології xDSL	Позначення рекомендацій MCE-T
HDSL	G.991.1
SHDSL	G.991.2
ADSL	G.992.1
ADSL G.Lite (Splitterless ADSL – ADSL без сплітера)	G.992.2
ADSL2	G.992.3
Splitterless ADSL2 (ADSL2 без сплітера)	G.992.4
ADSL2+	G.992.5
VDSL	G.993.1
VDSL2	G.993.2

xDSL-модем має підтримувати режим адаптивної швидкості передавання із кроком 32 кбіт/с. Діапазони швидкостей передавання, що мають забезпечуватися xDSL-модемом, для кожного різновиду технології xDSL наведено у розд. 5. Швидкості передавання в низхідному (Downstream) і висхідному (Upstream) напрямках мають бути незалежні.

На мережному рівні інтерфейсу Ethernet xDSL-модему має підтримуватися протокол IP версії 4 відповідно до стандартів IETF RFC 791 і IETF RFC 2474, протокол PPPoE (IETF RFC 2516) і може підтримуватися протокол IP версії 6 (IETF RFC 2460).

Якщо xDSL-модем виконує функцію маршрутизації, то він має підтримувати протоколи маршрутизації (RIP, OSPF або ін.).

#### **1.4 DSLAM. Технічні вимоги**

DSLAM – технічний засіб, який зазвичай встановлюється в приміщенні автоматичної телефонної станції (АТС) або в іншому спеціальному місці (виносі) і призначений для об'єднання множини цифрових потоків від абонентських xDSL-модемів (xDSL-ліній).

Отже, DSLAM виконує такі функції:

- множини приймачів-передавачів за технологією xDSL (відповідно, DSLAM обладнаний множиною інтерфейсів xDSL, кількість інтерфейсів xDSL може сягати кількох сотень і навіть тисяч);

- мультиплексування (об'єднання) сигналів xDSL-ліній у високошвидкісний груповий цифровий сигнал.

Для передавання групового цифрового сигналу в бік транспортної мережі, як правило, використовуються оптичні інтерфейси Gigabit Ethernet (1000Base-SX, 1000Base-LX тощо).

Інтерфейси Gigabit Ethernet мають задовольняти стандарту IEEE 802.3.

Інтерфейси xDSL мають задовольняти щонайменше одній з таких рекомендацій MCE-T: G.991.1, G.991.2, G.992.1, G.992.2, G.992.3, G.992.4,

G.992.5, G.993.1, G.993.2. Докладніше технічні вимоги до інтерфейсів xDSL DSLAM наведено у розд. 5.

DSLAM має підтримувати режим адаптивної швидкості передавання із кроком 32 кбіт/с. Діапазони швидкостей передавання, що мають забезпечуватися DSLAM, для кожного різновиду технології xDSL наведено у розд. 5. Швидкості передавання в низхідному (Downstream) і висхідному (Upstream) напрямках мають бути незалежними.

DSLAM має підтримувати протоколи STP і RSTP відповідно до стандарту IEEE 802.1w.

DSLAM має підтримувати віртуальні локальні мережі (VLAN) відповідно до стандарту IEEE 802.1Q.

DSLAM має підтримувати класифікацію трафіка відповідно до стандарту IEEE 802.1Q.

На мережному рівні інтерфейсів Gigabit Ethernet DSLAMу має підтримуватися протокол IP версії 4 відповідно до стандартів IETF RFC 791 і IETF RFC 2474 і може підтримуватися протокол IP версії 6 (IETF RFC 2460).

### **1.5 BRAS. Технічні вимоги**

На межі між мережею доступу та транспортною мережею застосовується технічний засіб, називаний сервером віддаленого ширококутного доступу – Broadband Remote Access Server (BRAS). BRAS є шлюзом між мережею доступу та транспортною мережею. Основними функціями BRAS є автентифікація, авторизація та облік надаваних послуг кожному абонентові та агрегація трафіка користувачів. У разі, коли функції BRAS інтегровано в DSLAM, BRAS мультіплексує сигнали множини xDSL-ліній. У разі, коли функції DSLAM реалізовано в окремому пристрої, BRAS об'єднує потоки від множини підключених до нього DSLAM.

BRAS перетворює протоколи мережі доступу в протоколи транспортної мережі.

BRAS має бути обладнаний оптичними інтерфейсами Gigabit Ethernet (1000Base-SX, 1000Base-LX тощо), що відповідають стандарту IEEE 802.3.

На мережному рівні інтерфейсів Gigabit Ethernet DSLAMу має підтримуватися протокол IP версії 4 відповідно до стандартів IETF RFC 791 та IETF RFC 2474 і може підтримуватися протокол IP версії 6 (IETF RFC 2460).

BRAS має підтримувати віртуальні локальні мережі (VLAN) відповідно до стандарту IEEE 802.1Q.

BRAS також має виконувати функції маршрутизації. Відповідно мають підтримуватися протоколи RIP версії 2 (відповідає STD 0056), OSPF версії 2 (відповідає RFC 2328), BGP-4 (відповідає RFC 1771), ISIS (відповідає ISO 10589).

## 1.6 Вимоги до системи керування xDSL-модему (DSLAM)

xDSL-модем (DSLAM) має мати діагностичні засоби, що дозволяють користувачеві точно визначити параметри будь-якого з'єднання, у тому числі параметри помилок.

Ці засоби мають бути доступні за допомогою графічного інтерфейсу користувача або XML-інтерфейсу.

xDSL-модем (DSLAM) має забезпечувати детальну інформацію про поточні з'єднання і відповідні параметри, у тому числі швидкість xDSL-з'єднання, потужність для висхідного та низхідного напрямків передавання, статистику помилок коригувального кодування, статистику помилок CRC (Cyclic Redundancy Check – циклічна перевірка за надлишковістю), загасання лінії, запаси заводо захищеності, пропускну здатність лінії, швидкість передавання даних під час ініціалізації, графік розподілу кількості передаваної інформації за несучими (тільки для ADSL), а також статистику аварійних сигналів LOS (Loss Of Signal – втрата сигналу) і LOF (Loss Of Frame – втрата фрейма/кадра).

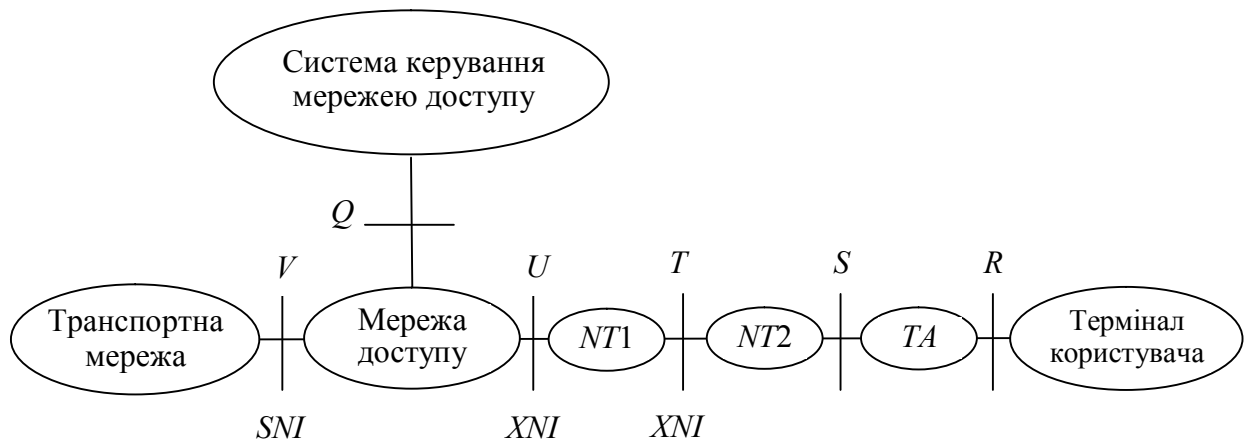
xDSL-модем (DSLAM) має підтримувати віддалене тестування, діагностику та моніторинг параметрів помилки.

## 1.7 Мережа абонентського xDSL-доступу за Рекомендацією MCE-T G.995.1

Еталонна модель побудови мережі доступу при використанні технологій xDSL визначена в Рекомендації MCE-T G.995.1 [39], там же наведено огляд рекомендацій, що належать до сімейства xDSL (див. рис. 1.4). «Мережа доступу» включає абонентську телефонну мережу й обладнання агрегації цифрових абонентських ліній. Мережа доступу й транспортна мережа розділені еталонною точкою *V*. Мережа доступу й система керування мережею доступу розділені еталонною точкою *Q*.

Мережне закінчення (network termination) *NT1* забезпечує фізичне з'єднання з мережею доступу в еталонній точці *U* і термінує секцію цифрового доступу широкосмугового з'єднання, забезпечуючи керування й моніторинг параметрів передавання. *NT1* може не термінувати транспортний протокол, наприклад АТМ, використовуваний для передавання трафіка користувача, але може виконувати таку функцію транспортного протоколу, як адаптація швидкості передавання, потрібна для підтримки різних характеристик в еталонних точках *T* і *U*. *NT2* з'єднується з мережею в еталонній точці *T* і може підмикатися до багатьох терміналів, призначених для користувачів, в еталонних точках *S*. *NT2* термінує транспортний протокол (наприклад АТМ), використовуваний для передавання трафіка користувача, і може виконувати функції комутації/маршрутизації. *NT2* може поєднуватися з *NT1*, формуючи *NT1/2*. Для певних послуг мережне закінчення може входити до складу мережі доступу, а для інших – не може. Включення мережного закінчення до складу мережі доступу не обов'язково означає власність на нього. Термінальний

адаптер (*TA*) адаптує транспортний протокол до специфічних вимог терміналу користувача.



*NT* – Network Termination (мережне закінчення)

*TA* – Terminal Adapter (термінальний адаптер)

*V, U, T, S, R, Q* – еталонні точки

*SNI* – Service Node Interface (інтерфейс вузла послуг)\*

*XNI* – Access Network Interface (інтерфейс мережі доступу)\*

\* Згідно з Рекомендацією G.995.1 МСЕ-Т, *SNI* – це інтерфейс між мережею доступу й транспортною мережею, а *XNI* – інтерфейс між мережею доступу й приміщенням користувача

**Рисунок 1.4** – Еталонна модель мережі для рекомендацій сімейства G.99x

Один або кілька елементів еталонної моделі можуть бути відсутніми у певних сценаріях; отже, одна або кілька еталонних точок також можуть бути відсутніми. Наведена еталонна модель передбачає підмикання до мережі як аналогових, так і цифрових термінальних пристроїв.

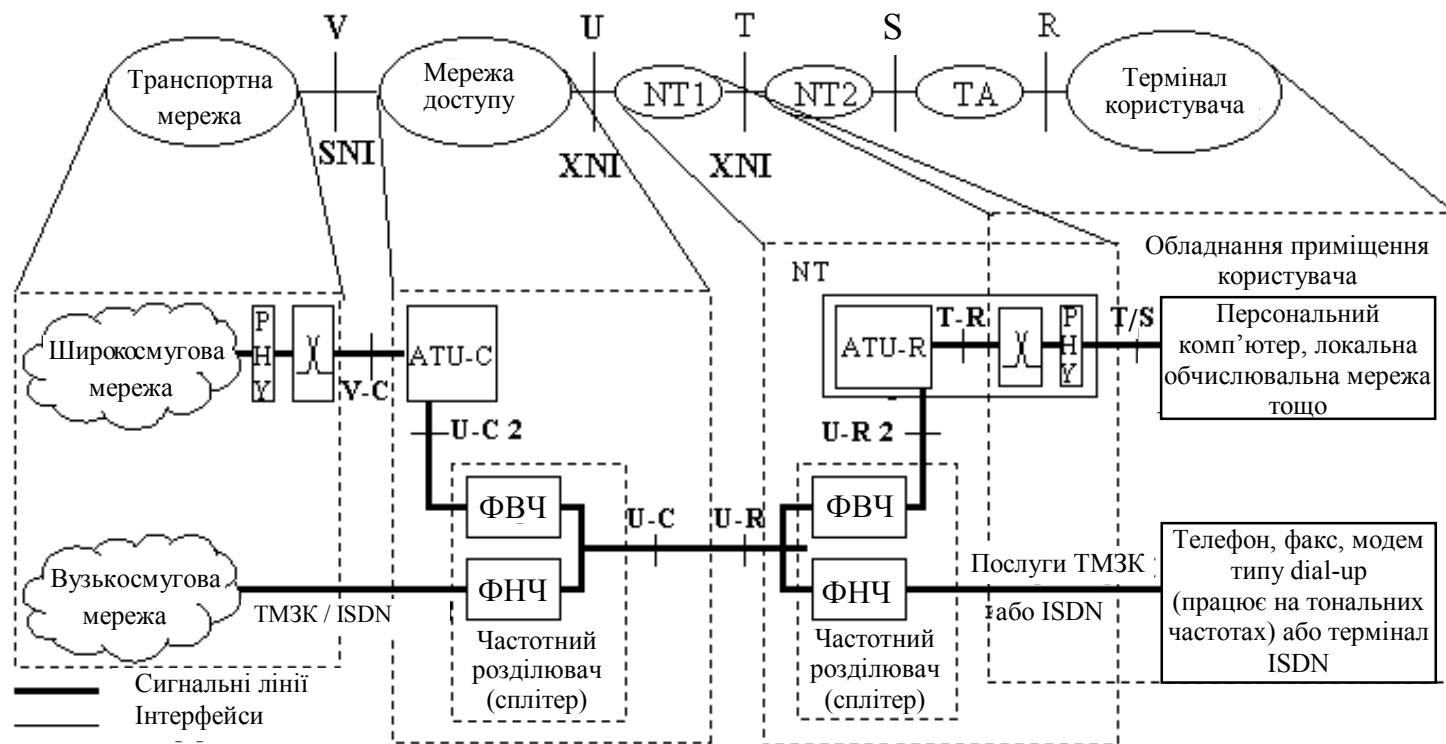
Дана еталонна модель являє собою абстрактне групування виконуваних обладнанням функцій, що може й не відповідати групуванню функцій у реальному обладнанні. Реальне обладнання може виконувати одну або більше абстрактних груп функцій або частину абстрактної групи функцій.


Наступна частина даного розділу присвячена співвіднесенню узагальненої еталонної моделі (див. рис. 1.4) з функціональними блоками, що реалізують СП ADSL, ADSL G.Lite і SHDSL, і націлена на з'ясування того, в якій спосіб одні і ті самі функції можуть бути реалізовані у разі використання різних типів СП xDSL.

На рис. 1.5 подане зіставлення еталонної моделі сімейства рекомендацій G.99x з моделлю, розглянутою в Рекомендації МСЕ-Т G.992.1 [32]. На цьому рисунку наведено функціональні блоки, що реалізують систему передавання ADSL, описану в Рекомендації МСЕ-Т G.992.1.

Відповідно до даної моделі, концентратор та (або) вузол комутації знаходяться у складі транспортної мережі, що поділяється на широкосмугову й вузькосмугову.





 – позначає концентратор і (або) вузол комутації; PHU – PHUysical layer (фізичний рівень);  
 ФВЧ – фільтр верхніх частот; ФНЧ – фільтр нижніх частот, ТМЗК – телефонна мережа загального користування

**Рисунок 1.5** – Зіставлення функціональних елементів моделі за Рекомендацією G.992.1 з еталонною моделлю

Мережа абонентського доступу, зrealізована за технологією ADSL, складається з таких елементів:

- приймача-передавача ADSL на станційному боці (ATU-C – ADSL Transceiver Unit-Central Office End);
- абонентських ліній, що являють собою пари мідного кабелю;
- частотного розділювача (сплітера), що складається із ФВЧ і ФНЧ, для об'єднання каналу ТМЗК або ISDN і каналу ADSL.

Обладнання *NT1* для технології ADSL може складатися з:

- сплітера для розділення каналу ТМЗК або ISDN і каналу ADSL;
- приймача-передавача ADSL на боці користувача (ATU-R – ADSL Transceiver Unit-Remote Terminal End);
- мультиплектора-демультиплектора;
- обладнання, що реалізує функції фізичного рівня (PHY – PHYSical layer);
- інтерфейсу до терміналу користувача або до домашньої мережі;
- функціональних блоків для реалізації функцій мережного й більш високих рівнів.

Функції, реалізовані *NT1*, можуть бути вмонтовано в блоки *NT2*, термінального адаптера й терміналу.

У цій моделі еталонні точки *V*, *U* і *T* набувають вигляду *U-C*, *U-R*, *V-C* і *T-R* (додавання *C* або *R* означає приналежність до станційного боку (Central Office End) або боку користувача (Remote Terminal End) відповідно). Через асиметрію лінійного сигналу параметри передаваних сигналів в еталонних точках *U-C* і *U-R* відрізняються й повністю визначені в Рекомендації G.992.1. Еталонна точка *V-C* може складатися з інтерфейсів до однієї або декількох систем комутації, що працюють в синхронному або асинхронному режимі. Якщо високочастотний фільтр сплітера вмонтовано у блок ATU-C або ATU-R, то функції інтерфейсів *U-C* і *U-C2* (*U-R* і *U-R2*) збігаються. Позначення *T/S* означає, що в даній точці сполучено функції еталонних точок *T* і *S*.

Рис. 1.6 ілюструє зіставлення моделей Рекомендації MCE-T G.992.2 [33] з еталонною моделлю. На цьому рисунку наведено функціональні блоки, що реалізують систему передавання G.Lite, розглянуту в Рекомендації MCE-T G.992.2. Порівнюючи рис. 1.5 і рис. 1.6, можна зазначити, що основною розбіжністю використовуваних моделей є відсутність виділеного сплітера на боці користувача. Функції сплітера в цьому випадку розподілені між високочастотним і низькочастотним трактом.

Високочастотний фільтр інтегрований в *NT1*, а необов'язковий низькочастотний фільтр розташовано перед терміналом користувача. У системі передавання, описаній у Рекомендації MCE-T G.992.2, не використовується еталонна точка *U-R2*.

Рис. 1.7 ілюструє взаємозв'язок еталонної моделі зі структурою системи передавання, розглянутої в Рекомендації MCE-T G.991.2 [31]. У цій моделі подані функціональні блоки, потрібні для реалізації технології SHDSL. Елементи транспортної мережі, не показані на рисунку, включають станційне обладнання, під'єднане до мережі доступу за допомогою інтерфейсу *V*. Мережа

доступу включає локальну (внутрішню) цифрову лінію – DLL (Digital Local Line), ретранслятори SHDSL – SRU (SHDSL Repeater Unit) і блок приймача-передавача SHDSL – STU-C (SHDSL Transceiver Unit-Central Office End), функції якого аналогічні функціям блока ATU-C. Між STU-C і STU-R (SHDSL Transceiver Unit-Remote Terminal End – приймач-передавач SHDSL на боці користувача) може перебувати кілька регенераторів SRU. Підмикання ліній DLL, які поєднують блоки STU і SRU (або два сусідніх SRU), визначено еталонними точками *U*. Для кожного STU і SRU підмикання з боку мережі позначене *U-R*, а з боку користувача – *U-C*. STU-C зазвичай з'єднується зі станційним обладнанням в еталонній точці *V*. *NT1* містить у собі функції STU-R. Блоки *NT2*, *TA* й термінал користувача можуть виконувати всі або частину функцій *NT1*. Блоки *STU-R* можуть підмикатися до одного або декількох терміналів, які можуть бути як однотипними, так і різнотипними.

### **Запитання для перевірки**

1. Мережі доступу, їх місце в телекомунікаційній системі (мережі) та їх характеристики.
2. Особливості мережі доступу через телефонну мережу.
3. Побудова мережі xDSL-доступу згідно з Рекомендацією МСЕ-Т G 995.
4. Вимоги до обладнання доступу по телефонній мережі доступу.

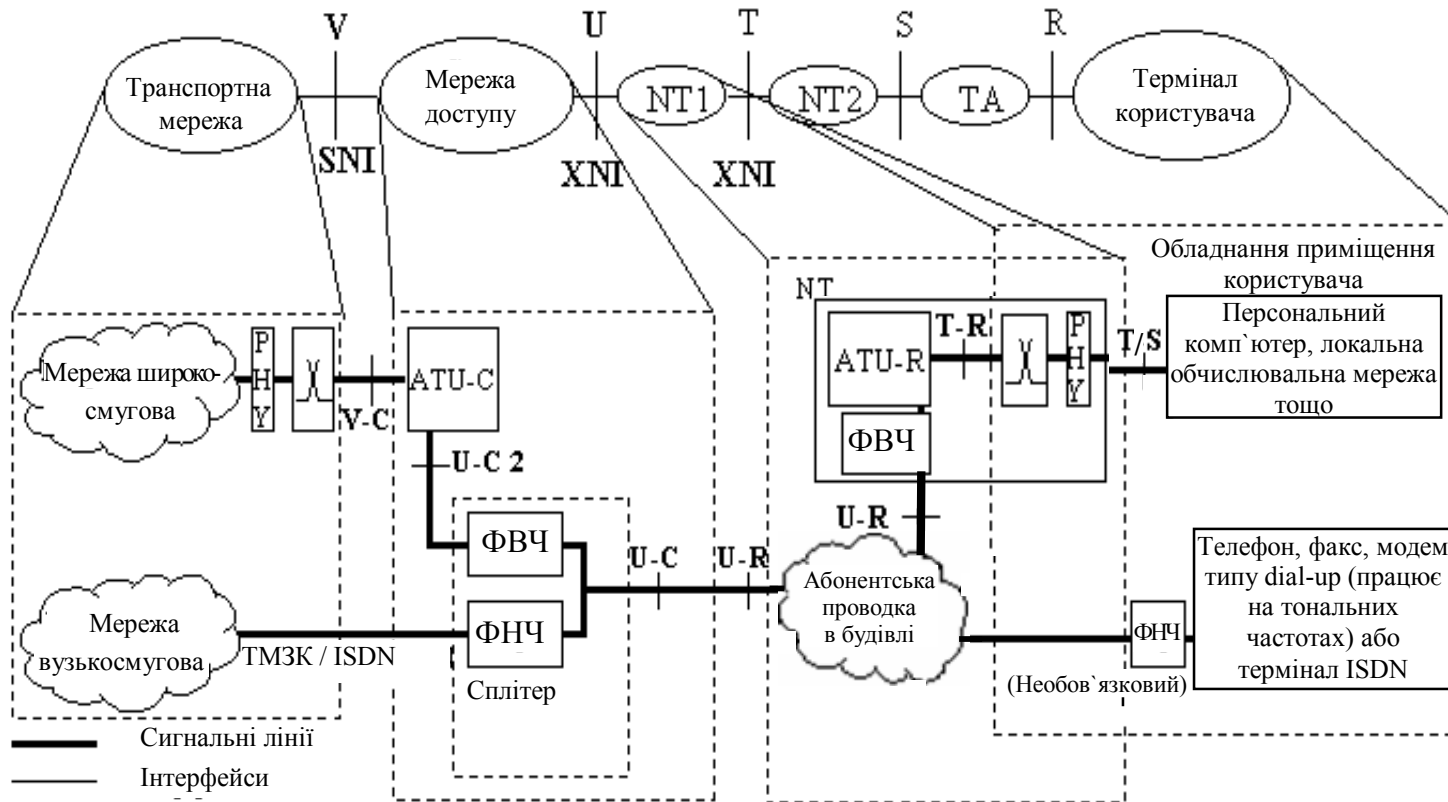
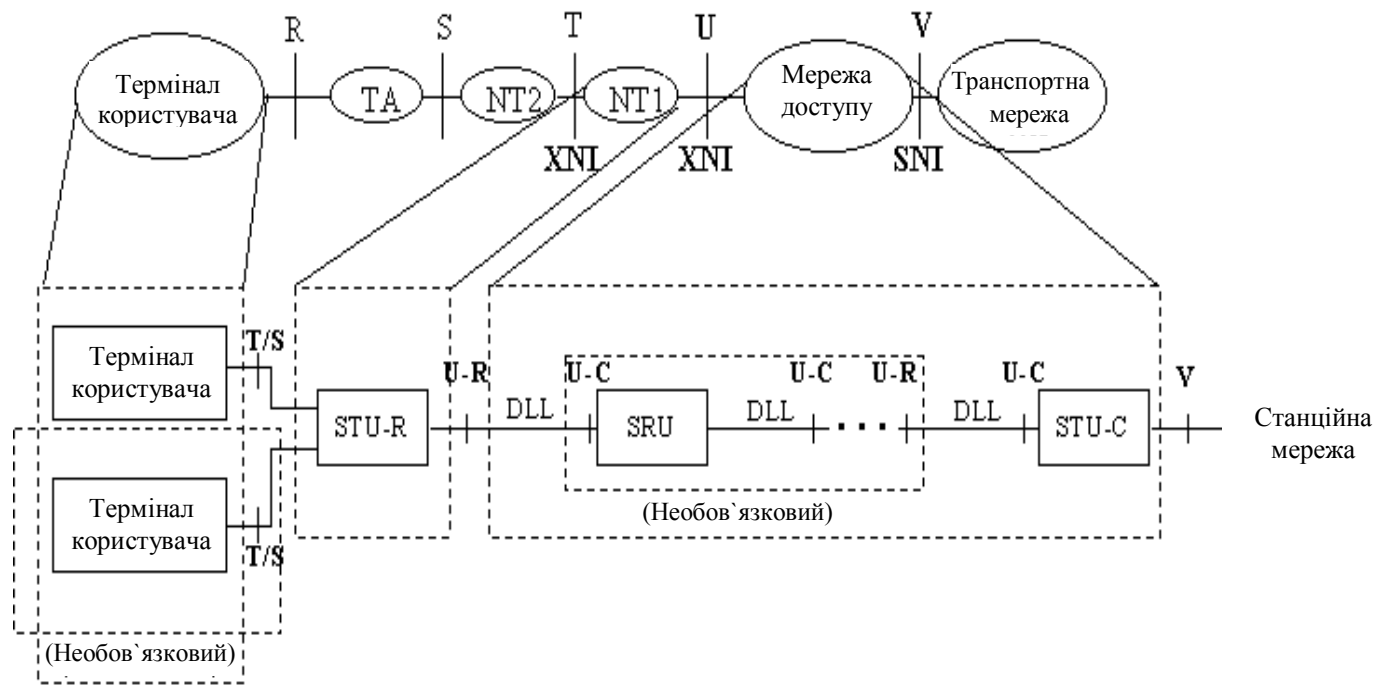


Рисунок 1.6 – Зіставлення функціональних елементів моделі за Рекомендацією G.992.2 з еталонною моделлю



**Рисунок 1.7** – Зіставлення функціональних елементів моделі за Рекомендацією G.991.2 з еталонною моделлю

## 2 ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДАВАННЯ ЦИФРОВИХ СИГНАЛІВ В КАБЕЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ДОСТУПУ

### 2.1 Послідовне передавання цифрових сигналів каналами зв'язку

Цифрове передавання сигналів різних джерел інформації у вигляді часової послідовності двійкових імпульсів (сигналів, що набувають двох значень), які кодують параметри інформаційних сигналів, стало переважним у сучасних системах створювання, оброблювання, зберігання й передавання інформації [16, 17]. Це пояснюється такими основними достоїнствами цифрового подання сигналів й інформації, що ними переноситься:

- уніфікація подання різноманітних видів інформаційних сигналів;
- скорочення інформаційної надлишковості під час переходу від аналогового до цифрового сигналу;
- зручність зберігання, відтворювання й оброблювання цифрової інформації;
- простота кодування інформації з метою підвищення завадозахищеності й секретності;
- можливість стиснення сигналів шляхом усунення інформаційної надлишковості повідомлень.

Для передавання цифрових сигналів каналами зв'язку служать цифрові системи передавання (СП).

Узагальнену структурну схему СП наведено на рис. 2.1.

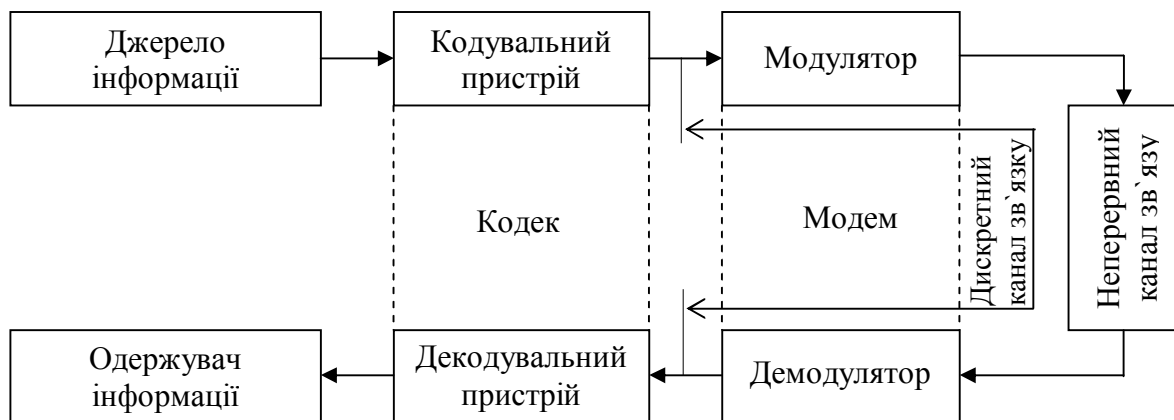


Рисунок 2.1 – Узагальнена структурна схема СП

Інформаційні сигнали, генеровані джерелом інформації, перетворюються кодувальним пристроєм за допомогою аналого-цифрового перетворення на цифровий сигнал, що являє собою послідовність двійкових імпульсів – сигналів, які набувають двох значень.

Цифровий інформаційний сигнал піддається ряду додаткових перетворень: скремблюванню, кодуванню, циклоутворенню й інших, внаслідок чого формується послідовність двійкових сигналів, що підлягають передаванню.

Залежно від виду модуляції й розмірності ансамблю передаваних сигналів двійкові сигнали поєднуються в кодові символи –  $m$ -розрядні двійкові числа.

Послідовний спосіб передавання сигналів каналом зв'язку полягає у використанні одного несучого сигналу (сигналу-носія)

$$f(t), \quad -\infty < t < \infty, \quad (2.1)$$

узгодженого з характеристиками каналу та передаваного з тактовою частотою

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

де  $T$  – тривалість тактового інтервалу у моменти часу  $pT$ ,  $p = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ :

$$f(t - pT), \quad -\infty < t < \infty, \quad p = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2.2)$$

Кодові символи з тактовою частотою  $F_T$  модулюють один або кілька параметрів сигналу-носія: амплітуду, фазу, частоту. Відповідно види модуляції називають так: амплітудна модуляція (АМ), фазова модуляція (ФМ), частотна модуляція (ЧМ) тощо.

Вихідний сигнал модулятора у разі амплітудної модуляції описується формулою:

$$s(t) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} a_p f(t - pT), \quad -\infty < t < \infty, \quad (2.3)$$

де  $a_p$  – амплітуда сигналу-носія, що відповідає значенню кодового символу, передаваного на  $p$ -ому тактовому інтервалі.

СП із послідовним способом передавання сигналів називають також одноканальними.

Окремо можна виділити клас сигналів-носіїв (2.1), тривалість яких обмежена тривалістю тактового інтервалу  $T$ :

$$f(t); \quad 0 \leq t < T \quad (2.4)$$

У цьому випадку спрощується технічна реалізація модулятора, а при невисоких швидкостях передавання – й приймача.

СП із сигналами виду (2.4) і амплітудною модуляцією називають СП із АІМ – амплітудно-імпульсною модуляцією.

Так, наприклад, якщо  $f(t)$  на інтервалі  $T$  являє собою послідовність постійної напруги й використовується восьмирівнева АІМ, що переносить 3 біти за один такт передавання, то вихідний сигнал модулятора являє собою функцію часу, наведену на рис. 2.2. Процес модуляції при цьому полягає у встановленні відповідності між трибітовим (при двійковій арифметиці) кодовим символом ( $d_1, d_2, d_3$ ) і амплітудою сигналу  $a_p$  (рис. 2.2). Розглянутий вид модуляції називається лінійним восьмирівневим кодуванням. У системах xDSL абонентського доступу застосовуються різні варіанти АІМ-кодування, аж до 128-рівневого кодування.

Сформовані модулятором електричні сигнали передаються неперервним каналом зв'язку (у середовищі поширення сигналу). Реальні канали зв'язку досить різноманітні за характеристиками і описуються значною кількістю

параметрів, що впливають на проходження через них сигналів. Найважливішою характеристикою каналу зв'язку є комплексна функція частоти, називана передатною функцією (ПФ), яка описує його частотні властивості:

$$H(i\omega), \quad \Omega_H \leq \omega < \Omega_B, \quad (2.5)$$

де  $\Omega_H$  і  $\Omega_B$  – нижня й верхня частоти границь смуги пропускання каналу зв'язку. Модуль ПФ (2.5) описує амплітудно-частотну характеристику (АЧХ), а аргумент – фазочастотну характеристику (ФЧХ) каналу зв'язку [7].

100 | 001 | 011 | 111 | 010 | 000 | 000 | 110 | 101 |

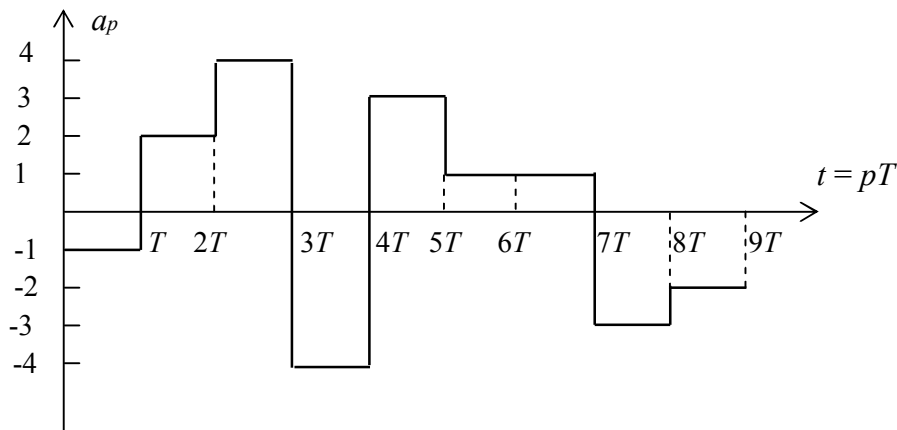


Рисунок 2.2 – Приклад восьмирівневого АІМ-сигналу

Сигнали-носії (2.1) у частотній області описуються відповідною функцією частоти – спектром, що визначається перетворенням Фур'є сигналів  $\{f(t)\}$ :

$$F(i\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt, \quad -\infty < \omega < \infty. \quad (2.6)$$

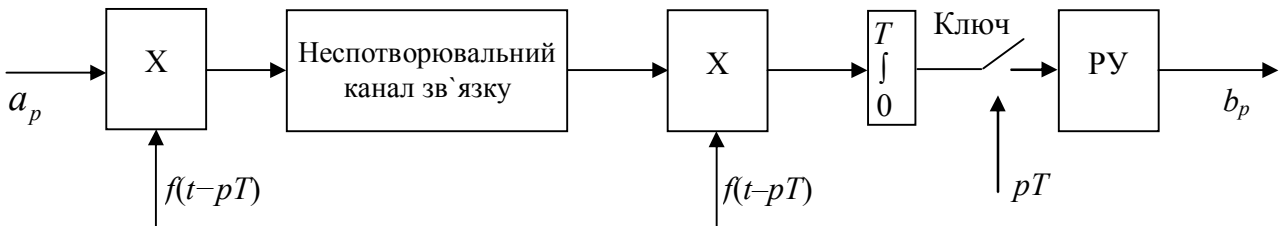
Через властивості перетворення Фур'є сигнал кінцевої тривалості має нескінченний спектр, а сигнал з обмеженим спектром є нескінченний за часом. Реальні канали зв'язку (середовища передавання сигналів) мають обмежену смугу пропускання. Залежно від співвідношення ширини смуги пропускання каналу зв'язку й спектра передаваного сигналу останній унаслідок проходження каналом спотворюється більшою або меншою мірою. Проте в теорії широко використовується модель неспотворювального каналу зв'язку (каналу без інтерференції).

Якщо передавання здійснюється неспотворювальним каналом зв'язку з білим адитивним шумом, то оптимальний приймач АІМ-сигналів (2.4) являє собою корелятор з опорним сигналом  $f(-t)$  з послідовно ввімкненим вирішальним пристроєм (кореляційний приймач) [16].

Системи передавання, що використовують єдиний сигнал-носії з тривалістю, дорівнювану тривалості тактового інтервалу, і реалізують кореляційне приймання (рис. 2.3), є неефективні з погляду на використання смуги частот каналу. З цієї причини СП, що подана на рис. 2.3, становить



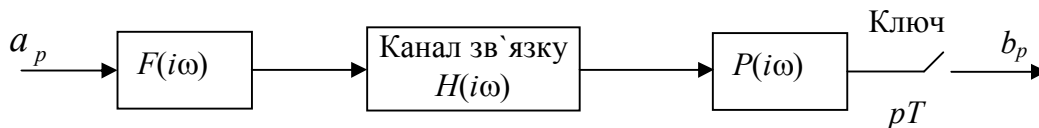
сьогодні переважно теоретичний і методичний інтерес. Сигнали-носії (2.4) унаслідок проходження смугообмеженим каналом зв'язку збільшуються за тривалістю, перекриваються один одним на тривалості багатьох тактових інтервалів, і їх приймання за схемою, наведеною на рис. 2.3, породжує значні інтерференційні завади (підрозд. 2.2). Тому для їх приймання використовуються більш складні оптимальні алгоритми оброблення, що включають адаптивну корекцію з вирішальним зворотним зв'язком (КВЗЗ), алгоритми демодуляції Вітербі тощо [13].



**Рисунок 2.3** – Система передавання з послідовним передаванням сигналів і кореляційним приймачем

Для побудови систем передавання на смугообмежених каналах зв'язку застосовують сигнали-носії, ширина спектрів яких обмежена діапазоном частот каналу зв'язку. Тривалість самих сигналів-носіїв при цьому теоретично є нескінченна.

Для реалізації алгоритмів модуляції й демодуляції в такому разі застосовують фільтрові методи. Структурну схему одноканальної (оскільки використовується лише один сигнал-носіє) СП із АІМ фільтрового типу й послідовним передаванням наведено на рис. 2.4.



**Рисунок 2.4** – Система передавання з АІМ фільтрового типу

Послідовність сигналів  $a_p$  з тактовою частотою  $F_T = \frac{1}{T}$ , розмах яких на  $p$ -тому тактовому інтервалі визначається передаванням кодовим символом, надходить на вхід формувального фільтра передавання із ПФ  $F(i\omega)$ ,  $-\Omega \leq \omega < \Omega$ :

$$s(pT) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} a_p \delta(t - pT), \quad (2.7)$$

а цей фільтр “відгукується” відповідними імпульсними реакціями:

$$a_p f(t - pT), \quad p = 0, \pm 1, \pm 2, \dots,$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\Omega}^{\Omega} F(i\omega) e^{i\omega t} dt,$$

де  $\delta(t)$  – дельта-функція.

Вихідний сигнал фільтра передавання описується формулою (2.3).

Оптимальне приймання сигналів, що пройшли через канал зв'язку з ПФ  $H(i\omega)$ ,  $-\Omega \leq \omega < \Omega$ , полягає в пропусканні їх через фільтр із ПФ  $P(i\omega)$ ,  $-\Omega \leq \omega < \Omega$ , погодженою із прийнятим сигналом, і узятті відліків у тактові моменти на його виході.

З теоретичної точки зору схеми СП, наведені на рис. 2.3 і 2.4, еквівалентні й відрізняються реалізацією.

## 2.2 Інтерференційні завади. Критерій Найквіста

Сигнал  $b_p$  на виході приймального фільтра  $P(i\omega)$  (див. рис. 2.4) кожного тактового моменту  $pT$ ,  $p = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , у загальному випадку є сумою відповідного даному моменту переданого сигналу та множини передаваних сигналів в інші моменти часу і породжують так звану інтерференційну міжсимвольну заваду. Енергія завади дорівнює усередненому значенню квадрата різниці амплітуд  $a_p$  і  $b_p$ :

$$P_{MC} = M(b_p - a_p)^2, \quad p = 0, \pm 1, \pm 2, \dots,$$

де  $M$  – символ математичного очікування випадкової величини.

СП має забезпечити виконання умови:

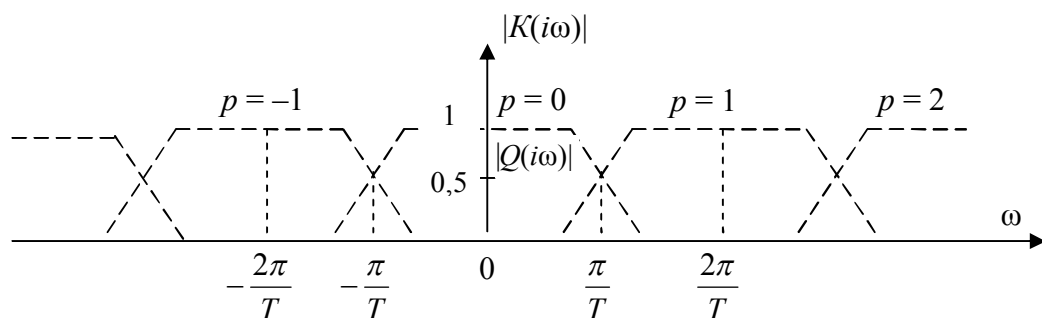
$$P_{MC} = 0.$$

Виконання цієї умови можливе лише за накладання певних обмежень на характеристики СП.

Умова відсутності міжсимвольних завад за максимальної швидкості передавання сигналів смугообмеженим каналом зв'язку відома як критерій Найквіста. У частотній області він формулюється як

$$K(i\omega) = \frac{1}{T} \sum_{p=-\infty}^{\infty} Q(i\omega - ip2\pi/T) = 1, \quad -\Omega \leq \omega < \Omega, \quad T = \frac{\pi}{\Omega}, \quad (2.8)$$

де  $Q(i\omega) = F(i\omega)H(i\omega)P(i\omega)$  – ПФ наскрізного каналу СП (рис. 2.5).



**Рисунок 2.5** – Приклад ПФ каналу передавання, що задовольняє критерію Найквіста

Імпульсна реакція (ІР) лінійної системи, що задовольняє умові (2.8),

$$g(t - pT) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K(i\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

має властивість відліковості (рис. 2.6):

$$g(t - pT) = \begin{cases} 1, & t = pT \\ 0, & t - pT = kT, \quad k = 1, 2, 3, \dots \end{cases} \quad (2.9)$$

Остання умова відома як критерій Найквіста в часовій області (відсутності міжсимвольних завад за послідовного передавання сигналів).

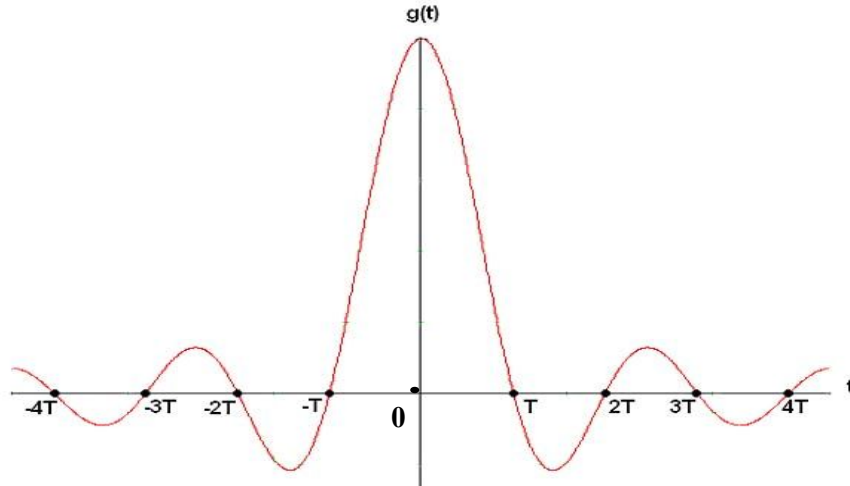


Рисунок 2.6 – Імпульсна реакція з властивістю відліковості

Сигнал на виході лінійної системи, що задовольняє (2.9), у тактові моменти  $qT$  дорівнює  $a_q$ ,  $q = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ :

$$\sum_{p=-\infty}^{\infty} a_p g(t - pT) = a_q, \quad t = qT, \quad q = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2.10)$$

Рис. 2.6 і 2.7 ілюструють імпульсні реакції лінійної системи, ПФ якої задовольняє критерію Найквіста, на послідовність збуджувальних імпульсів.

У відлікові моменти  $t = 5T, 6T, 9T$  всі ІР, окрім передаваної в цей момент, набувають значення 0.

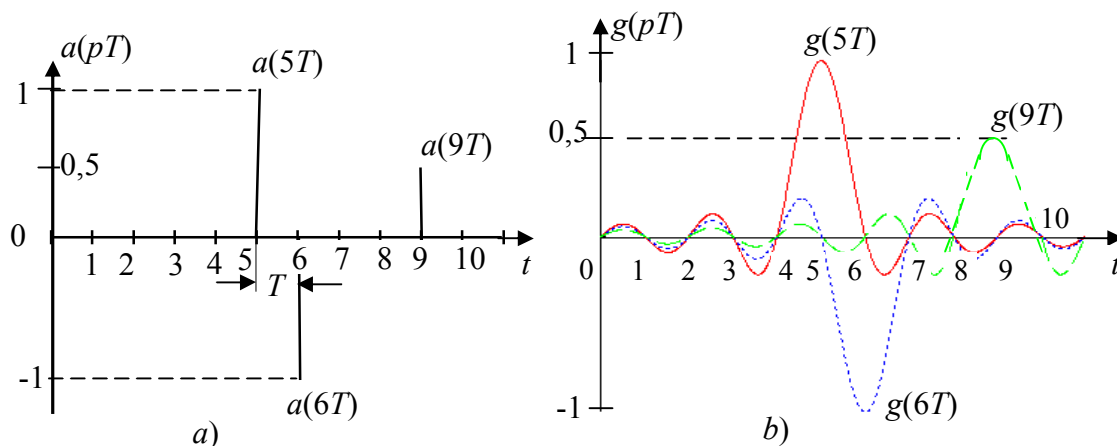


Рисунок 2.7 – Імпульсні реакції лінійної системи, що задовольняють критерію Найквіста (b), на збуджувальні імпульси  $a(pT)$  (a).

## 2.3 Паралельне передавання цифрових сигналів каналами зв'язку

Поряд з послідовним (одноканальним) способом передавання, що використовує один сигнал-носіє, широко застосовується також паралельний (багатоканальний) спосіб передавання сигналів.

За паралельного способу передавання використовується множина з  $n$  сигналів-носіїв

$$\{f_l(t)\}_{l=1}^n, \quad -\infty < t < \infty, \quad (2.11)$$

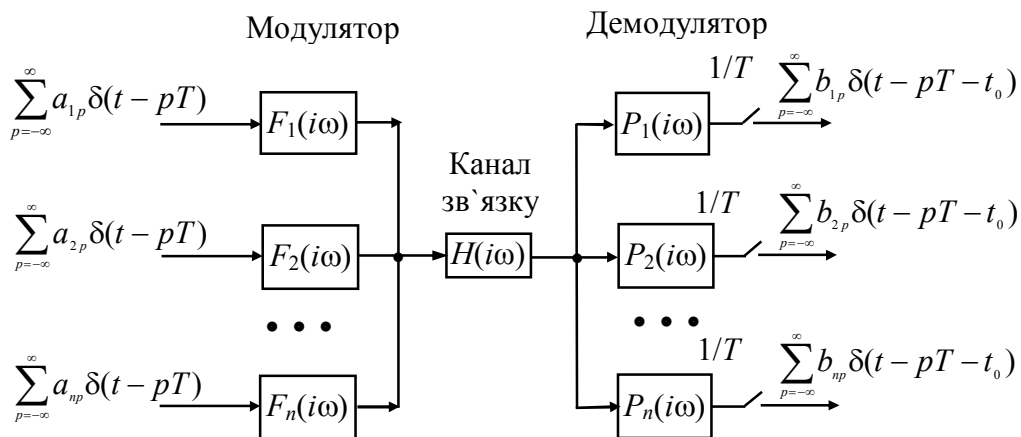
у загальному випадку нескінченної тривалості, які одночасно і незалежно модулюються передаваними інформаційними сигналами. Сигнали (2.11) мають задовольняти умові ортогональності, щоби бути подільними лінійними методами\*:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_l(t) f_m(t) dt = \begin{cases} A, & l = m, \\ 0, & l \neq m, \end{cases} \quad l, m = 1, 2, \dots, n, \quad (2.12)$$

де  $A$  – константа. Якщо  $A = 1$ , то система функцій, що задовольняє (2.12), називається ортонормованою.

Властивість сигналів (2.12) є алгоритмом розділення їх на приймальному боці. Поряд з назвою «СП із паралельним передаванням сигналів», подібні системи називають також «СП із ортогональними сигналами» (СП ОС) або «багатоканальні СП» (кількість каналів СП дорівнює  $n$  – числу використовуваних сигналів-носіїв).

Узагальною моделлю  $n$ -канальної СП ОС є система передавання з АІМ, структурну схему якої наведено на рис. 2.8.



**Рисунок 2.8** – Узагальнена структурна схема  $n$ -канальної СП ОС фільтрового типу

Модулятор СП містить  $n$  формуючих пристроїв – фільтрів із ПФ

$$\{F_l(i\omega)\}_{l=1}^n, \quad -\Omega < \omega < \Omega, \quad (2.13)$$

демодулятор – відповідно  $n$  приймальних погоджених фільтрів із ПФ

\* Строго кажучи, для виконання вимоги щодо подільності функцій лінійними методами вистачає лише їхньої лінійної незалежності.

$$\{P_l(i\omega)\}_{l=1}^n, \quad -\Omega < \omega < \Omega,$$

і ключі, які стробують вихідні сигнали фільтрів у тактові моменти часу.

Канал зв'язку описується ПФ  $H(i\omega)$ ,  $-\Omega < \omega < \Omega$ . Пара – передавальний і приймальний фільтри – разом з каналом зв'язку утворюють канал передавання СП ОС.

Формувальні фільтри модулятора одночасно й незалежно збуджуються імпульсами передаваних дискретних сигналів:

$$s_l(pT) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} a_{lp} \delta(t - pT), \quad l=1, 2, \dots, n, \quad (2.14)$$

де  $a_{lp}$  – амплітуда сигналу, що збуджує  $l$ -й фільтр в  $p$ -й тактовий момент часу;

$T$  – тактовий інтервал надходження передаваних сигналів, що задовольняє умові:

$$T \geq \frac{\pi n}{\Omega}. \quad (2.15)$$

У разі виконання точної рівності в умові (2.15)

$$T = \frac{\pi n}{\Omega} \quad (2.16)$$

забезпечується максимально припустима швидкість передавання незалежних сигналів (2 Бода на 1 Гц смуги частот) смугообмеженим каналом зв'язку, за якої ще теоретично можуть бути відсутні інтерференційні впливи сигналів і яку прийнято називати найквістовою швидкістю передавання.

Сигнал на виході  $l$ -го фільтра передавача описується формулою:

$$s_l(t) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} a_{lp} f_l(t - pT), \quad -\infty < t < \infty, \quad (2.17)$$

а формований передавачем груповий сигнал – виразом:

$$s(t) = \sum_{l=1}^n \sum_{p=-\infty}^{\infty} a_{lp} f_l(t - pT), \quad -\infty < t < \infty, \quad (2.18)$$

де  $f_l(t)$  – імпульсна реакція  $l$ -го фільтра передавання.

На приймальному боці вихідні сигнали фільтрів  $P_l(i\omega)$  стробуються з тактовою частотою  $1/T$  Гц, внаслідок чого формуються прийняті сигнали:

$$\tilde{s}_l(pT) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} b_{lp} \delta(t - pT - t_0), \quad l=1, 2, \dots, n,$$

де  $t_0$  – часова затримка, внесена каналом зв'язку;

$b_{lp}$  – амплітуда відліку сигналу на виході  $l$ -го каналу в  $p$ -й момент часу.

У СП ОС, поряд з міжсимвольними, породжуються також міжканальні інтерференційні завади. Умова відсутності міжсимвольних завад, породжених сигналами “свого” каналу (критерій Найквіста), така сама, як і у разі послідовного (одноканального) способу передавання:

$$P_{ll} = \frac{1}{T} \sum_{p=-\infty}^{\infty} Q_{ll} \left( i\omega - ip \frac{2\pi}{T} \right) = 1, \quad l = 1, 2, \dots, n, \quad (2.19)$$

де  $Q_{ll} = F_l(i\omega)H(i\omega)P_l(i\omega)$  – наскрізна ПФ  $l$ -го каналу СП.

Міжканальні завади виникають унаслідок проходження (“проекування”) сигналу з  $l$ -го каналу СП до  $k$ -го. Критерієм відсутності міжканальних переходів є умова:

$$P_{lk} = \frac{1}{T} \sum_{p=-\infty}^{\infty} Q_{lk} \left( i\omega - ip \frac{2\pi}{T} \right) = 0, \quad l, k = 0, 1, 2, \dots, n, l \neq k, \quad (2.20)$$

де  $Q_{lk} = F_l(i\omega)H(i\omega)P_k(i\omega)$  – наскрізна ПФ від входу  $l$ -го каналу СП до виходу  $k$ -го каналу приймача.

Сукупність умов (2.19) і (2.20) відома як узагальнений критерій Найквіста, що визначає умови подільності на приймальному боці використовуваних сигналів-носіїв без інтерференційних завад. Оскільки лінійні частотні спотворення каналу зв'язку носять випадковий характер, то неможливо априорі задати вимоги на ПФ  $F_l(i\omega)$  і  $P_l(i\omega)$  з метою виконання умов (2.19), (2.20). Із цієї причини вимога лінійної незалежності або більш жорстка вимога ортонормованості один до одного пред'являються до ПФ формувальних фільтрів або до системи сигналів-носіїв, використовуваних у передавачі. А на приймальному боці оптимальні ПФ  $P_l(i\omega)$ ,  $l = 1, 2, \dots, n$ , які забезпечують мінімальну дисперсію сумарних адитивних та інтерференційних завад у кожному каналі СП ОС, реалізуються у вигляді послідовного з'єднання погоджених із прийнятим сигналом фільтрів і адаптивних коректорів міжканальних і міжсимвольних завад [13].

Завданням СП (див. рис. 2.8) є забезпечення максимальної близькості передаваних дискретних відліків  $a_{lp}$  і прийнятих  $b_{lp}$ . За міру якості передавання приймають усереднену величину квадратів відхилень  $b_{lp}$  від  $a_{lp}$

$$P_l = M(b_{lp} - a_{lp})^2, \quad l = 1, 2, \dots, n, \quad -\infty < p < \infty. \quad (2.21)$$

Величина  $P_l$  є усереднена (з множини реалізацій випадкових послідовностей відліків передаваних сигналів  $a_{lp}$ ,  $l = 1, 2, \dots, n$ ;  $p = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) енергія сумарної (міжсимвольної і міжканальної) інтерференційної завади. Отже, уведена оцінка якості приймання сигналів являє собою середню потужність завади на виходах стробувальних пристроїв приймача.

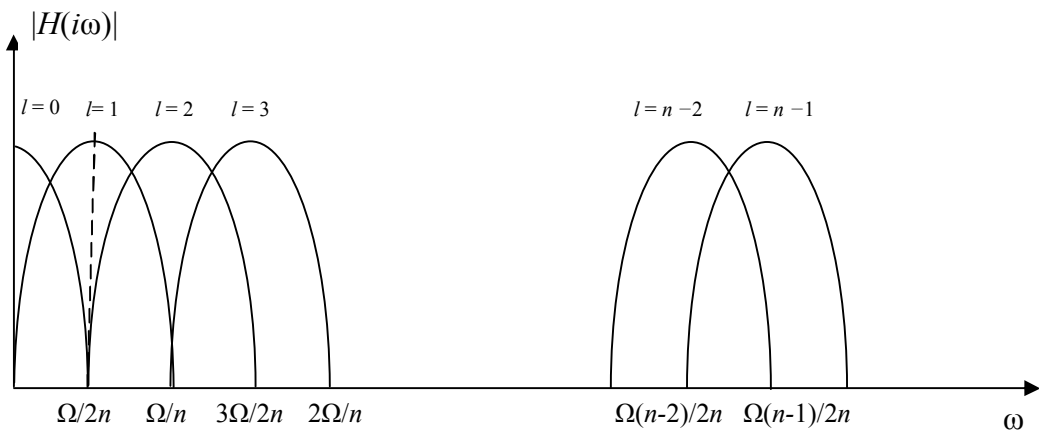
## 2.4 Характеристики СП ОС із вузькосмуговими сигналами-носіями

Серед множин сигналів (2.11), що задовольняють умові (2.12), для передавання смугообмеженими каналами зв'язку становлять інтерес сигнали, ширина смуги частот яких  $\Omega_k \ll \Omega$ . За приклад може бути розглянуто  $n$ -канальну СП фільтрового типу (див. рис. 2.8) за  $n \gg 1$  з ідеальними смуговими фільтрами  $F_l(i\omega)$  зі смугами пропускання, що визначаються співвідношенням:

$$\frac{(l-1/2)\Omega}{n} \leq \omega_l \leq \frac{(l+1/2)\Omega}{n}, \quad l = 0, 1, 2, \dots, n-1, \quad (2.22)$$

де  $(0, \Omega)$  – смуга пропускання каналу зв'язку;  $l$  – номер каналу СП.

Практично може бути зреалізовано СП з канальними фільтрами, які мають косинусоїдну АЧХ як з не перекритими за частотою сусідніми каналами, так і з перекритими наполовину (модеми Р. Чанга) (рис. 2.9).



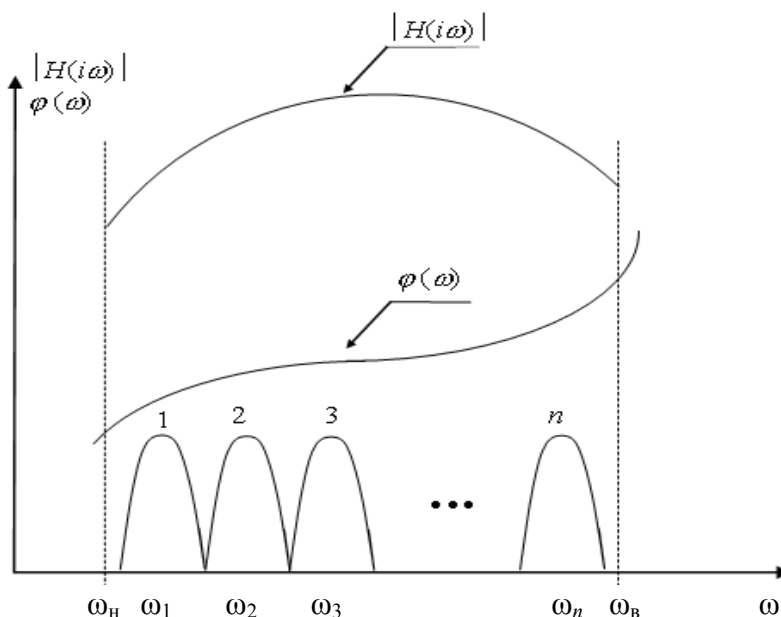
**Рисунок 2.9** – СП ОС з вузькосмуговими каналами, перекриваними за частотою

Поширення набули СП ОС з сигналами-носіями у вигляді синусоїдних імпульсів тривалістю  $\tau_0$ , які мають хоча теоретично нескінченний спектр, але достатньо добре сконцентрований у смузі частот завширшки  $2F_0$ ,  $F_0 = 1/\tau_0$ , і ортогональні на інтервалі  $\tau_0$  (див. розд. 3).

Достоїнства СП з вузькосмуговими сигналами, що зумовили їх широке розповсюдження, полягають у можливості їх ефективної адаптації до характеристик каналів і середовищ передавання сигналів.

СП із послідовним передаванням сигналів включають, як правило, адаптивний коректор з метою корекції частотних характеристик каналів передавання до потрібних норм. Адаптивний коректор – важливий вузол СП, що визначає її основні характеристики. СП з вузькосмуговими (смугообмеженими) каналними сигналами принципово не потребує корекції частотних характеристик.

Для обґрунтування наведеного вище твердження розглянемо  $n$ -канальну СП з вузькосмуговими каналами, яка працює по каналу зв'язку зі смугою пропускання  $(\omega_n, \omega_B)$ , АЧХ –  $|H(i\omega)|$  і ФЧХ –  $\varphi(\omega)$ . На рис. 2.10 подано умовне розміщення каналів СП у діапазоні частот каналу зв'язку.



**Рисунок 2.10** – Розміщення каналів  $n$ -канальної СП ОС у смузі пропускання каналу зв'язку

Припустімо, що кількість каналів  $n$  збільшується й, у принципі, прагне до нескінченності. У цьому разі діапазон частот, зайнятий кожним каналом СП ОС, що визначається співвідношенням (2.22), прагне до нуля. Але у вузькій смузі частот ПФ каналу зв'язку з високою точністю може бути апроксимовано поліномом першого ступеню:

$$a_l \cdot e^{-i(\omega t_l + \varphi_l)}, \frac{(l-1/2)\Omega}{n} \leq \omega < \frac{(l+1/2)\Omega}{n},$$

де  $a_l$  – значення АЧХ на центральній частоті  $l$ -го каналу;

$t_l$  – значення затримки сигналу  $l$ -го каналу;

$\varphi_l$  – плоска складова ФЧХ  $l$ -го каналу.

Отже, за досить великого  $n$  довільна ПФ каналу зв'язку може бути апроксимована рядом:

$$\sum_{l=0}^{n-1} a_l e^{-i(\omega t_l + \varphi_l)}, \frac{(l-1)\Omega}{n} \leq \omega < \frac{l\Omega}{n},$$

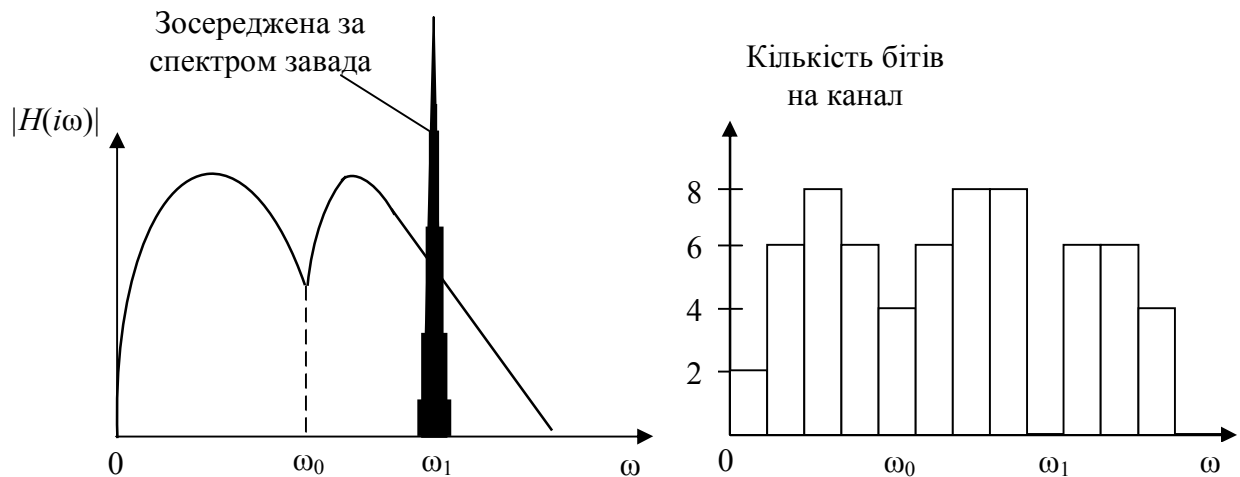
де  $a_l, t_l, \varphi_l$  – константи.

Отже, у СП ОС із вузькосмуговими сигналами-носіями за наявності індивідуальних для кожного каналу систем автоматичного регулювання посилення, синхронізації несучої і тактової частот лінійні частотні спотворення передаваних сигналів можуть бути нехтовно малими, а внаслідок цього малими будуть і інтерференційні (міжсимвольні) завади. При цьому потреба в адаптивному коректорі відпадає.

Відсутність адаптивного коректора частотних характеристик є істотною під час роботи в радіоканалах із селективними завмираннями за частотою. Селективні завмирання знижують відношення сигнал/шум у каналах, що збігаються за частотою з областю завмирань, не змінюючи його в інших каналах. За великої кількості каналів навіть повне завмирання кількох каналів не погіршує якості роботи системи. Породжені завмираннями помилки виправляються відповідними кодами.

Важливим результатом вузькосмуговості каналів СП ОС є гнучкість у формуванні спектра передаваного сигналу. Якщо частотні характеристики каналу зв'язку достатньо стабільні в часі, то здійснюються їх вимірювання і розподілення потужності передаваного сигналу й кількості передаваної інформації по каналах СП ОС із урахуванням результатів вимірювань. Це дозволяє, наприклад, не використовувати для передавання ті області частотної характеристики каналу зв'язку, в яких загасання сигналу або потужність завад є надто великі. На рис. 2.11 подано приклад залежності від частоти модуля передатної функції каналу зв'язку  $|H(i\omega)|$  (ліворуч) і відповідної залежності від частоти швидкості передавання каналами СП (праворуч). Видно, що на тих несучих, де значення коефіцієнта передавання більше, передається більше інформації, і навпаки, а на несучій, де діє зосереджена за спектром завада великої потужності, інформація взагалі не передається.





**Рисунок 2.11** – Залежність швидкості передавання каналами СП з вузькосмуговими сигналами від АЧХ каналу зв'язку й потужності завад

Вузькосмуговість каналів СП ОС дозволяє ефективно боротися із зосередженими за спектром завадами шляхом вилучення каналів ураженої ділянки частот й імпульсними завадами. Під імпульсною завадою розуміють, як правило, заважаючий сигнал, тривалість якого є сумірна з котельниковським інтервалом каналу зв'язку й, отже, який має широкосмуговий спектр, який перебиває спектр передаваного сигналу.

Припустімо, що груповий сигнал СП ОС складається з  $n$  сигналів тривалістю  $T$ , що мають середню енергію  $E_c$ . Повна середня енергія групового сигналу відповідно дорівнює  $nE_c$ , а середній рівень сигналу  $-\sqrt{\frac{nE_c}{T}}$ . Імпульсна завада характеризується тривалістю  $T/n$  й розмахом, дорівнюваним середньому рівню групового сигналу. У цьому разі енергія імпульсної завади є сумірна з енергією одного сигналу СП ОС. Але спектр завади відповідно в  $n$  разів ширше за спектр каналного сигналу, і через це лише  $1/n$ -на частина її енергії потрапить до індивідуальних каналів. Для одноканальних систем передавання (з послідовним передаванням сигналів) тривалість імпульсної завади є сумірна з тривалістю тактового інтервалу, а її спектр перебиває спектр сигналу. Тому практично вся енергія завади потрапить до приймача і буде визначати співвідношення сигнал/шум. Отже, відношення сигнал/імпульсна завада для індивідуальних сигналів  $n$ -канальної СП ОС у  $\sqrt{n}$  разів більша, ніж для одноканальної СП.

Наведені характеристики СП із вузькосмуговими сигналами зумовили зацікавленість ними розробників і поширення цього типу апаратури серед нових розробок.

## 2.5 Оптимальний спектр сигналу за передавання смугообмеженим каналом зв'язку з лінійними спотвореннями і адитивним шумом

СП ОС дозволяють досить просто зреалізувати різні стратегії оптимізації спектра групового сигналу й досягти високої ефективності використання смуги частот каналів зв'язку, що особливо важливо за передавання каналами з ненормованими й нестабільними характеристиками [6].

До основних завдань оптимізації належить завдання пошуку оптимальної форми спектра передаваного сигналу  $s(t)$ , за якої швидкість передавання інформації смугообмеженим каналом зв'язку з функцією спектральної густини потужності шуму  $N(\omega)$  і ПФ  $H(i\omega)$  досягає максимуму.

Розв'язання цієї задачі дано в роботі [10]. Згідно з [10], оптимальний спектр  $S(\omega)$  потужності сигналу визначається формулою:

$$S(\omega) = \begin{cases} B - \frac{N(\omega)}{H^2(\omega)}; & \omega \in \Omega_B, \\ 0; & \omega \notin \Omega_B, \end{cases} \quad (2.23)$$

де  $\Omega_B$  – область частот, для якої спектральна густина потужності приведенного до входу каналу зв'язку шуму (еквівалентного шуму)  $N(\omega)/H^2(\omega) < B$ , а  $B$  є розв'язанням рівняння

$$P = \int_{\omega \in \Omega_B} \left[ B - \frac{N(\omega)}{H^2(\omega)} \right] d\omega,$$

де  $P$  – потужність передаваного сигналу  $s(t)$ .

На рис. 2.12 наведено графічну інтерпретацію розв'язання (2.23) задачі оптимізації спектра передаваного сигналу: на тих частотах, де спектральна густина потужності еквівалентного шуму  $n(\omega) = N(\omega)/H^2(\omega)$  є менша за константу, оптимальний спектр потужності  $S(\omega)$  доповнює спектр потужності еквівалентного шуму до константи. На інших частотах  $S(\omega) = 0$ . Наочною фізичною інтерпретацією розв'язання цієї задачі є заповнення потужністю сигналу  $S(\omega)$  (водою) посудини, форма дна якої визначається кривою еквівалентного шуму. З цієї причини оптимальне розв'язання дістало назву «принцип заповнення водою».

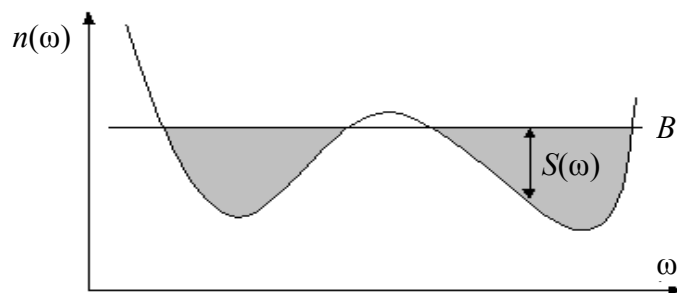


Рисунок 2.12 – Розподіл спектра потужності сигналу згідно з принципом «заповнення водою»

Реалізація цього принципу в СП ОС дозволяє оптимізувати не тільки спектр групового сигналу, але й розподіл передаваної каналами СП ОС інформації. Приймач СП ОС на етапі ініціалізації визначає відношення сигнал/шум на вході й за спеціальними алгоритмами обчислює потужність і вид сигнального сузір'я для кожного сигнала-носія й передає цю інформацію на передавальний бік. Унаслідок кількість бітів передаваної інформації й потужність передавача розподіляються по несучих сигналах в оптимальний (за заданим критерієм) спосіб (див. рис. 2.11). Оптимізація параметрів групового сигналу може провадитися за різними критеріями й з різними додатковими умовами [6].

### **Запитання для закріплення**

1. Переваги цифрового передавання інформації.
2. Що обмежує швидкість передавання цифрових сигналів?
3. Що визначає критерій Найквіста?
4. В чому полягає природа інтерференційних завад? Види інтерференційних завад.
5. Переваги технології паралельного передавання сигналів.
6. Який спектр сигналу є оптимальним за передавання сигналу каналом зв'язку?

### 3 УЗАГАЛЬНЕНІ АЛГОРИТМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАВАННЯ xDSL

#### 3.1 Узагальнена структурна схема передавача СП xDSL

Передавання цифрових сигналів абонентськими лініями (АЛ) телефонної мережі пов'язано зі значними труднощами, зумовленими як двопроводновою конструкцією АЛ, так і якістю частотних і перехідних характеристик багатопарних телефонних кабелів. Для передавання з високою швидкістю цифрових сигналів абонентськими лініями розроблено спеціальні технології (методи) передавання – xDSL-технології (Digital Subscriber Line). Системи передавання, що використовують ці технології, дістали назву СП xDSL (характеристики таких систем регламентуються рекомендаціями МСЕ-Т: G.991.1, G.991.2, G.992.1, G.992.2, G.992.3, G.992.4, G.992.5, G.993.1, G.993.2 [30 – 38]). Ці різноманітні типи обладнання зв'язку поєднує низка спільних принципів побудови й функціонування, а також алгоритми оброблення сигналів.

Структурну схему передавача СП xDSL наведено на рис. 3.1.

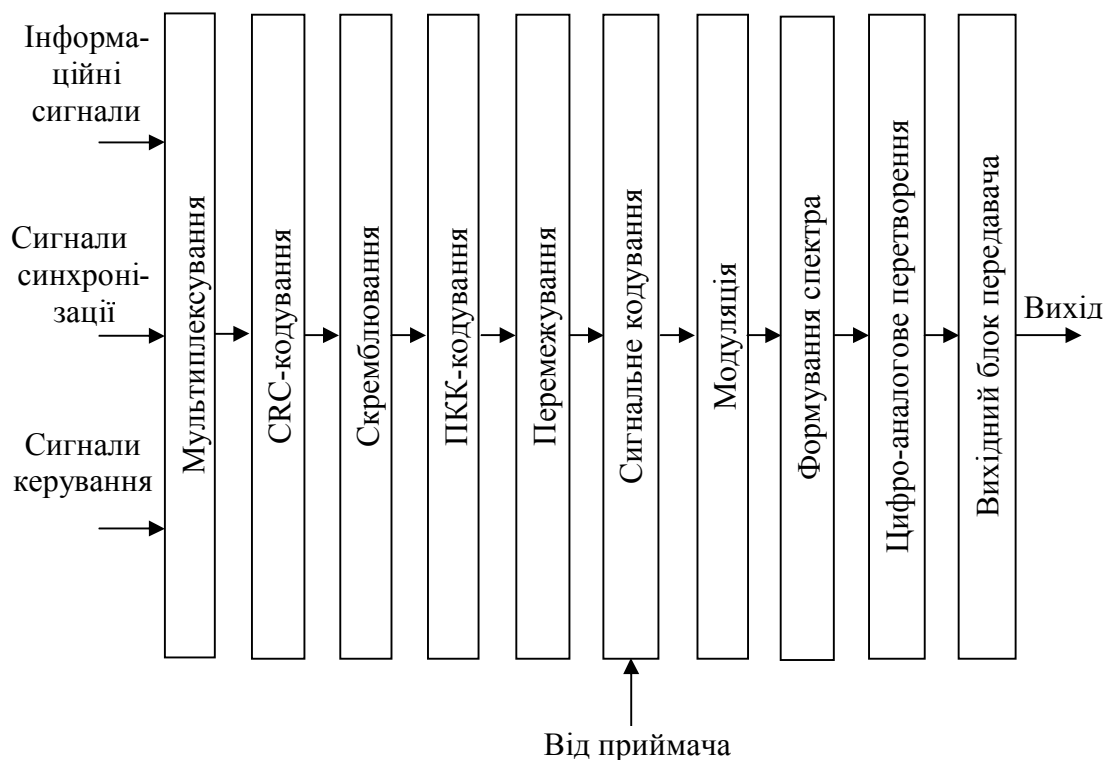


Рисунок 3.1 – Узагальнена структурна схема передавача СП xDSL

Розглянемо призначення блоків передавача, а в наступних підрозділах також і зміст виконуваних ними алгоритмів. Блок мультиплексування поєднує сигнали симплексних і дуплексних інформаційних каналів (залежно від типу обладнання, кількість каналів може бути різною) з сигналами синхронізації, контролю й керування, адміністрування, експлуатації, синхронізованими єдиною тактовою частотою, у послідовність цифрових двійкових сигналів

(даних), що підлягають передаванню. Сформована послідовність сигналів підлягає незалежному CRC-кодуванню (CRC – Cyclic Redundancy Check), скремблюванню й кодуванню кодом, що виправляє помилки, – ПМК-кодування (ПМК – пряме коригувальне кодування). Потім отримана послідовність сигналів підлягає операції перемежування сигналів з метою зменшення групування помилок у прийнятому на приймальному боці сигналі. Здобутий цифровий потік підлягає другому завадостійкому кодуванню, яке може поєднуватися з модуляцією, утворюючи сигнально-кодові конструкції. Цифровий сигнал, здобутий внаслідок модуляції, піддається спектральному оброблянню з метою формування його спектра, потім перетворюється на аналоговий сигнал і надходить до вихідного блока передавача. Вихідний блок передавача здійснює формування сигналу, передаваного телефонним двопровідним абонентським кабелем.

Більш детально алгоритми функціонування буде розглянуто в розд. 4.

### 3.2 Алгоритми модуляції-демодуляції СП із АІМ

У СП xDSL з послідовним передаванням сигналів, разом із різними реалізаціями квадратурної амплітудної модуляції (КАМ), значного поширення набула амплітудно-імпульсна модуляція (АІМ) завдяки простоті реалізації модулятора-демодулятора системи передавання й досить високій частотній ефективності. Узагальнену схему СП із АІМ фільтрового типу наведено на рис. 2.4. Приймальний фільтр  $P(i\omega)$  реалізується у вигляді адаптивного коректора, що перебудовує власну ПФ у такий спосіб, щоб наскрізна ПФ каналу передавання задовольняла критерію Найквіста (2.9).

В якості коректора у СП з АІМ застосовується адаптивний коректор з вирішальним зворотним зв'язком – КВЗЗ [13]. Узагальнену схему СП із АІМ і адаптивним КВЗЗ наведено на рис. 3.2. Модулятор реалізується у вигляді цифрового фільтра з ПФ  $F(i\omega)$ , на вхід якого надходять кодові символи  $\{a_p\}$ ,  $-\infty \leq p < \infty$ . Сигнал модулятора, пройшовши через канал зв'язку з ПФ  $H(i\omega)$ , спотворюється й надходить на вхід приймача.

Фільтр на вході приймача  $W(i\omega)$  обмежує діапазон частот прийнятого сигналу з метою підвищення співвідношення сигнал/шум, а також виконує функції попереднього коректора (передкоректора) приймача.

КВЗЗ у колі зворотного зв'язку містить адаптивний фільтр, що настроюється за критерієм мінімуму середньоквадратичної похибки (2.8):

$$\min P = M(b_p - a_p)^2, \quad -\infty \leq p < \infty. \quad (3.1)$$

Адаптивний цифровий фільтр у колі зворотного зв'язку оцінює значення інтерференційних сигналів (хвостів) тактового моменту від попередніх прийнятих сигналів. Віднімання сигналу оцінювання з прийнятого відліку сигналу призводить до компенсації сигналів інтерференції й, отже, до відлічування ІР наскрізного каналу передавання в тактові моменти часу.

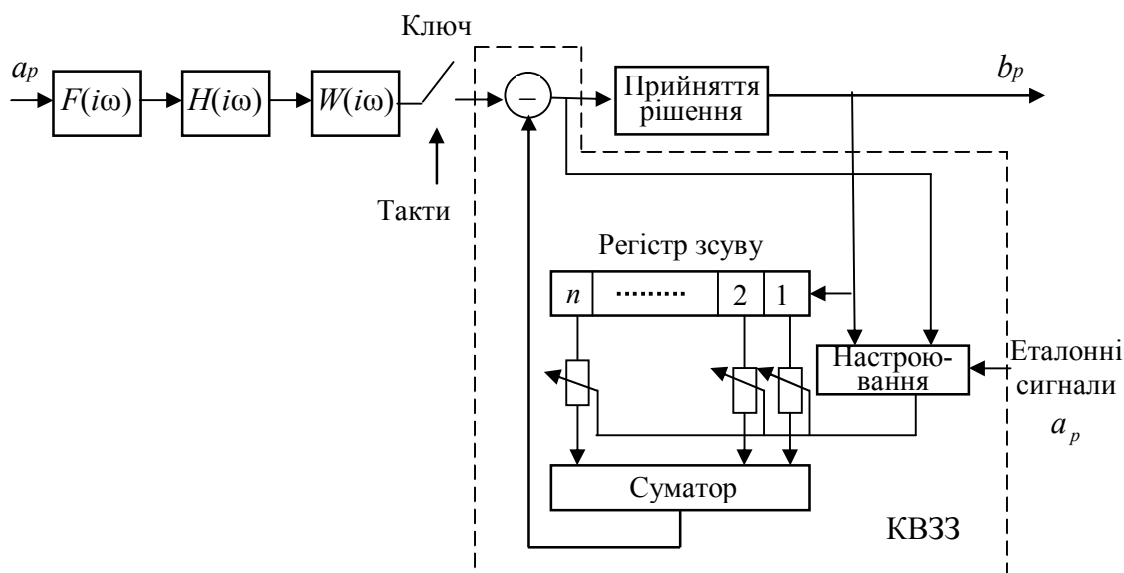


Рисунок 3.2 – Узагальнена схема СП з АІМ і КВЗЗ

Наявність зворотного зв'язку в КВЗЗ призводить до ефекту розмноження помилок, що виникають за приймання. З метою усунення розмноження помилок КВЗЗ замінюють на передкоректор, що вмикається на передавальному боці (рис. 3.3). Блок «Мод» здійснює операцію обмеження сигналу за модулем. Оцінювання значень коефіцієнтів відводів передкоректора здійснюються на приймальному боці, а отримані оцінки передаються на передавальний бік.

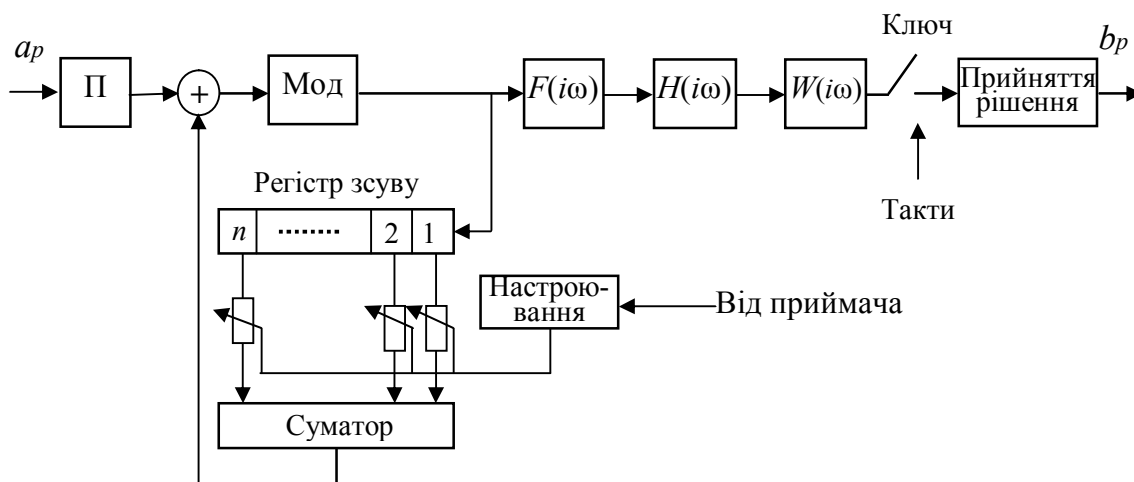


Рисунок 3.3 – Узагальнена схема СП із АІМ і передкорекцією

### 3.3 Квадратурна амплітудна модуляція

Квадратурна амплітудна модуляція – КАМ-модуляція – широко використовується в сучасних СП завдяки своїй простоті й високій частотній ефективності [16, 17]. У КАМ-модуляції використовуються два квадратурні несучі сигнали, одночасно модульовані за амплітудою передаваними інформаційними сигналами.

Квадратурними називаються два гармонічні сигнали з різницею фаз, яка дорівнює  $\pi/2$ , – синусоїдні й косинусоїдні сигнали однієї частоти:

$$\{\sin \omega_H t, \cos \omega_H t\}, \quad (3.2)$$

де  $\omega_H = 2\pi F_H$ ;  $F_H = 1/T_H$ ,

$F_H$  – частота несучого сигналу;

$T_H$  – період несучого сигналу.

Сигнали (3.2) є ортогональні (див. (2.12)), що дозволяє передавати й розділяти їх за приймання незалежно:

$$\int_0^T \cos \omega_H t \cos \omega_H t dt = \frac{T}{2},$$

$$\int_0^T \sin \omega_H t \cos \omega_H t dt = 0, \quad T = T_H,$$

$$\int_0^T \sin \omega_H t \sin \omega_H t dt = \frac{T}{2}. \quad (3.3)$$

Алгоритм КАМ-модуляції описується формулою

$$s(t) = a_k \cos \omega_H t + b_k \sin \omega_H t, \quad 0 \leq t \leq T, \quad (3.4)$$

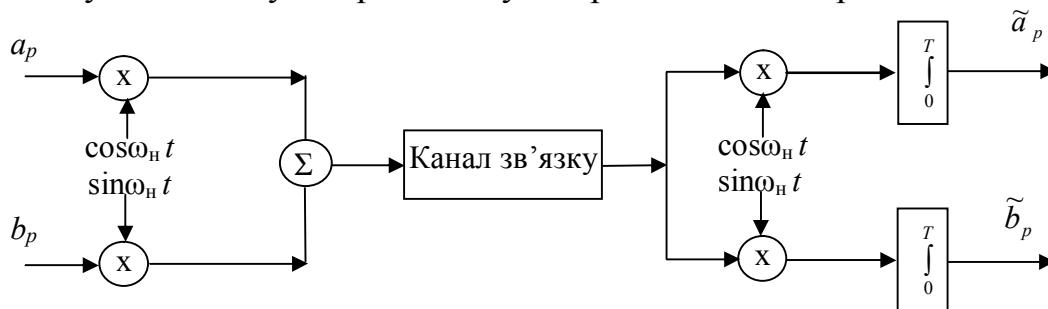
де  $a_k$  і  $b_k$  – значення передаваних на  $k$ -му тактовому інтервалі кодових символів.

Демодуляція сигналів (3.4) здійснюється на підставі їхньої ортогональності:

$$a_k = \int_0^T s(t) \cdot \cos \omega_H t dt = \int_0^T a_p \cos^2 \omega_H t dt + \int_0^T b_p \sin \omega_H t \cdot \cos \omega_H t dt = \frac{a_p T}{2},$$

$$b_k = \int_0^T s(t) \cdot \sin \omega_H t dt = \int_0^T b_p \sin^2 \omega_H t dt + \int_0^T a_p \cos \omega_H t \cdot \sin \omega_H t dt = \frac{b_p T}{2}. \quad (3.5)$$

Схему КАМ модулятора-демодулятора наведено на рис. 3.4.



**Рисунок 3.4** – Схема модулятора-демодулятора КАМ

Поширені також й інші схеми модуляторів-демодуляторів КАМ, що використовують формувальні НЧ фільтри (ФНЧ) на передавальному боці й погоджені фільтри на приймальному боці, а також утворюють разом з каналом зв'язку канал передавання з найквістовою характеристикою (рис. 3.5,  $\rho(t)$  – ІР ФНЧ,  $\tilde{\rho}(t)$  – ІР погодженого фільтра).

Сигнал на виході модулятора

$$s(t) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} a_p c(t - pT) \cdot \cos \omega_H t + b_p c(t - pT) \cdot \sin \omega_H t. \quad (3.6)$$

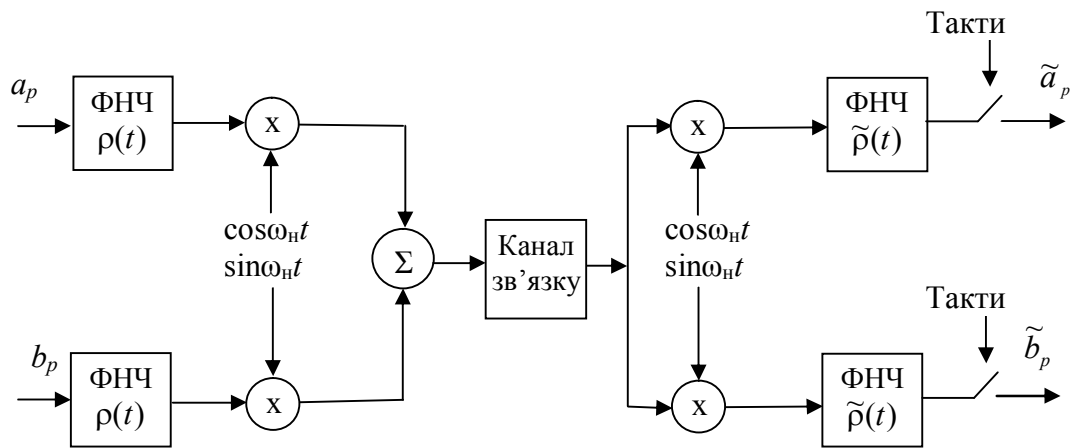


Рисунок 3.5 – Фільтровий варіант модулятора-демодулятора КАМ

Для описування й аналізування завадозахищеності сигналів КАМ дістало значного поширення геометричне їх подання (як це подано на рис. 3.6, а, б).

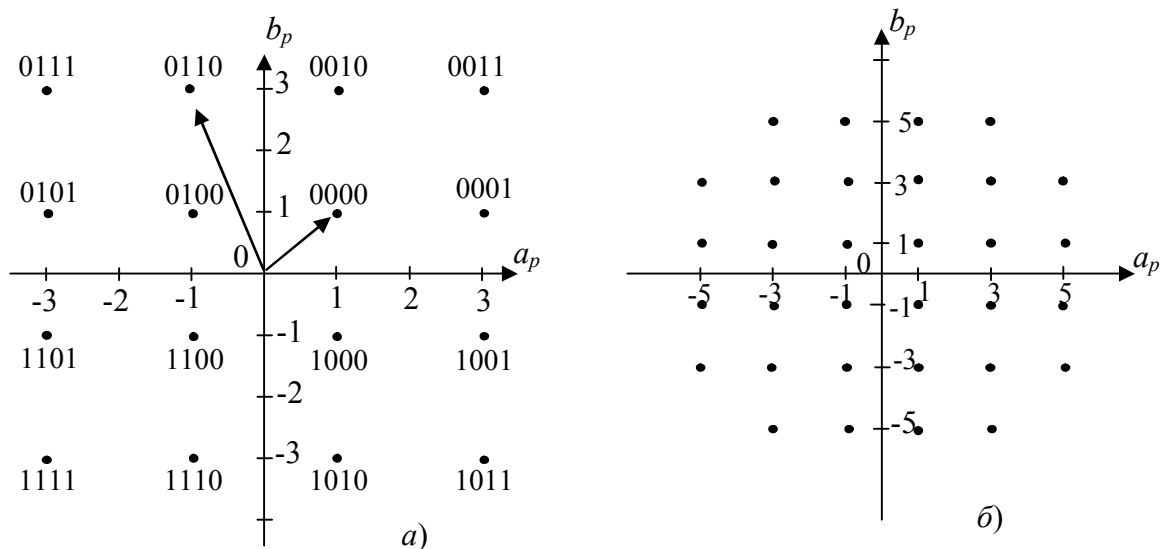


Рисунок 3.6 – Сигнальні сузір'я КАМ-16 (а) та КАМ-32 (б)

Несучі сигнали  $\cos\omega_n t$  і  $\sin\omega_n t$  розглядаються як ортогональні осі координат, а передавані на тактовому інтервалі сигнали  $a_p$  і  $b_p$  визначають координати сигнальних точок на двомірній площині в цій системі координат. Кількість бітів інформації, передаваних за один такт, є цілочисельною з набору  $n = 1, 2, 3, \dots, n_{\max}$  (як правило,  $n_{\max}$  не перевищує 15), і відповідна кількість сигнальних точок у двомірній системі координат визначається числом  $M = 2^n$ . Сукупність сигнальних точок на площині являє собою сигнальне сузір'я. Сигнальне сузір'я для  $n = 4$  ( $M = 2^4 = 16$ ), що містить 16 сигнальних точок (КАМ-16), наведено на рис. 3.6, а. На рис. 3.6, б наведено сигнальне сузір'я, що містить 32 точки (КАМ-32). Для завдання координат точок цього сузір'я п'ять бітів передаваної інформації перекодовуються в координати сигнальних точок  $a_p$  і  $b_p$ . Інші приклади сигнальних сузір'їв наведено в розд. 4. Нескладно побудувати на базі описаних прикладів сузір'я КАМ-64, КАМ-128 тощо.



Достоїнством сигнальних сузір'їв (граток) КАМ, які зумовили їх широке застосування, є їхня квазіоптимальність з позицій теорії оптимального приймання. За рівномірного розподілу сигнальних точок оптимальним є сигнальне сузір'я на базі трикутних ґраток (сигнальні точки перебувають у вершинах рівнобічного трикутника). Квадратні сигнальні ґратки програють у завадозахищеності трикутним біля 0,4 дБ, що є прийнятною платнею в більшості практично важливих випадків за спрощення алгоритмів модуляції-демодуляції.

САР-модуляцію (Carrierless Amplitude Phase) можна розглядати як різновид КАМ-модуляції. Схему САР-модулятора наведено на рис. 3.7.

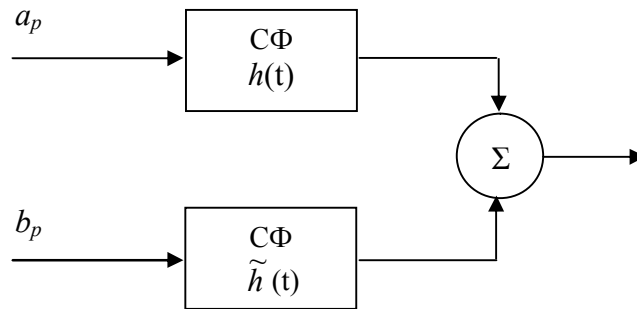


Рисунок 3.7 – Модулятор САР

Модулятор являє собою пару смугових фільтрів (СФ), імпульсні реакції яких –  $h(t)$  і  $\tilde{h}(t)$  – сполучено за Гільбертом. Фільтри збуджуються дискретними послідовностями інформаційних сигналів, що надходять із тактовою частотою  $F_0 = \frac{1}{T}$ :

$$s(t) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} a_p h(t - pT) + b_p \tilde{h}(t - pT). \quad (3.7)$$

Вихідні сигнали (3.6) і (3.7) збігатимуться за умови:

$$h(t) = \rho(t) \cos \omega_n t, \quad \tilde{h}(t) = \rho(t) \sin \omega_n t. \quad (3.8)$$

### 3.4 Передавання ортогональними гармонічними сигналами

СП з ортогональними гармонічними сигналами (СП ОГС) мають низку специфічних переваг перед іншими типами СП із паралельним передаванням сигналів, що зумовили їх широке використання для передавання каналами зв'язку різної природи, у тому числі й телефонними багатопарними кабелями [3–6, 11].

У СП ОГС у смузі частот каналу зв'язку передається не одна модульована несуча, а певна множина ортогональних і незалежно модульованих передаваними сигналами несучих. Кількість незалежних несучих може сягати кількох тисяч. Завдяки цьому такий вид модуляції називають багаточастотною модуляцією, а вид передавання – багаточастотним, або багатоканальним.

Розділення передаваних сигналів на приймальному боці здійснюється на підставі властивості їхньої ортогональності. В іноземній технічній літературі

метод паралельного передавання ОГС називають дискретним багаточастотним передаванням (модуляцією) – DMT (Discrete MultiTone). У радіосистемах за таким видом передавання (модуляції) закріпилася назва OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

У СП ОГС у якості несучих використовуються система ортогональних сигналів, описуваних дійсними тригонометричними функціями

$$\{\cos l\omega_0 t, \sin l\omega_0 t\}, l = 0, 1, 2, N-1, \omega_0 = 2\pi F_0, F_0 = \frac{1}{\tau_0}, \quad (3.9)$$

ортогональними на інтервалі  $\tau_0$ :

$$\int_0^{\tau_0} \cos l\omega_0 t \cos m\omega_0 t dt = \begin{cases} 0, & l \neq m, \quad l, m = 0, 1, 2, \dots, N-1, \\ \tau_0 / 2, & l = m, \quad l, m = 0, 1, 2, \dots, N-1, \end{cases}$$

$$\int_0^{\tau_0} \sin l\omega_0 t \sin m\omega_0 t dt = \begin{cases} 0, & l \neq m, \quad l, m = 0, 1, 2, \dots, N-1, \\ \tau_0 / 2, & l = m, \quad l, m = 0, 1, 2, \dots, N-1, \end{cases} \quad (3.10)$$

$$\int_0^{\tau_0} \cos l\omega_0 t \cdot \sin m\omega_0 t dt = 0, \quad l, m = 0, 1, 2, \dots, N-1,$$

де  $N$  – загальна кількість ортогональних сигналів;

$l, m$  – змінні номерів сигналів.

Сигнал, що відповідає  $l = 0$ , для передавання не використовується.

Спектри гармонічних сигналів (3.9) тривалістю  $\tau_0$  описуються формулою:

$$S(l, \omega) = \frac{\sin(\omega - l\omega_0) \cdot \tau_0 / 2}{\omega - l\omega_0}, \quad -\infty < \omega < \infty, \quad l = 0, 1, 2, \dots, N-1. \quad (3.11)$$

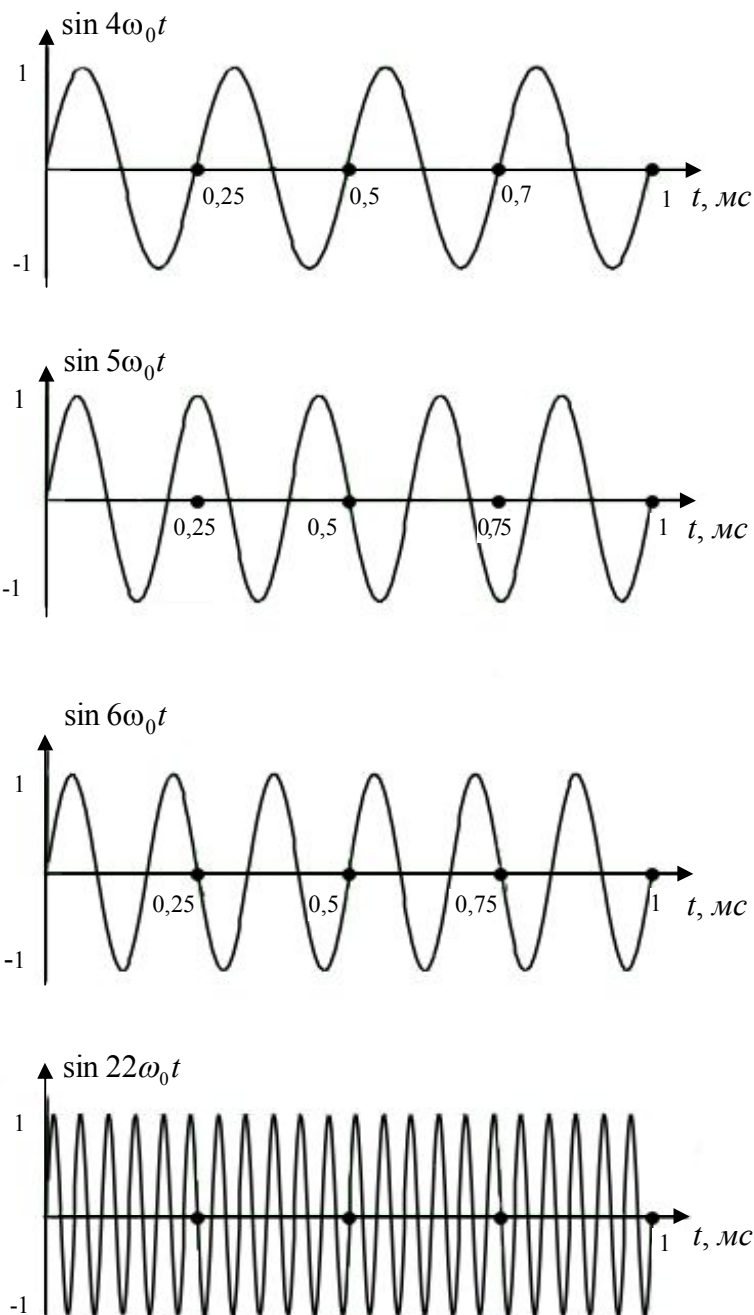
Спектри (3.11) визначено на всій осі частот, тобто нескінченні, й убувають за частотою зі швидкістю, пропорційною  $1/\omega$ .

На рис. 3.8 наведено приклади сигналів (3.9) для варіанта  $l = 4, 5, 6, 22$ ,  $\tau_0 = 10^{-3}$  с,  $N = 512$ , а на рис. 3.9 – їхні дійсні спектри.

За проходження сигналів (3.9) через смугообмежений канал зв'язку їхні спектри (3.11) обмежуються смугою частот пропускання каналу, внаслідок чого тривалість сигналів зростає й ортогональність прийнятих сигналів порушується, що є причиною виникнення міжсимвольних і міжканальних інтерференційних завад.

Тривалість тактового інтервалу  $T$  (тривалість переданої елементарної послідовності) обирається трохи більшою за тривалість інтервалу ортогональності  $\tau_0$ . Їхня різниця становить захисний часовий інтервал  $\tau_3$  між послідовно передаваними одиничними елементами групового сигналу, що вводиться з метою підвищення захищеності сигналів СП ОГС від інтерференційних завад. Важливою перевагою системи ортогональних сигналів (3.9) перед іншими ортогональними сигналами є, по-перше, висока концентрація енергії  $l$ -го сигналу в області частот  $(l-1)\omega_0 \leq \omega < (l+1)\omega_0$  і швидке спадання енергії

поза цим діапазоном і, по-друге, існування методів швидкого виконання алгоритмів їх модуляції й демодуляції.



**Рисунок 3.8** – Графіки ортогональних гармонічних сигналів

Кожна з пар сигналів (3.9) утворює двомірну систему координат, незалежна модуляція кожної осі якої передаваними інформаційними сигналами реалізує відповідне КАМ-сузір'я.

Кодові символи  $a_{1p}, b_{1p}, a_{2p}, b_{2p}, \dots, a_{np}, b_{np}, -\infty < p < \infty$ , що підлягають передаванню на  $p$ -му тактовому інтервалі, з тактовою частотою, дорівнюваною  $1/T$ , надходять на входи амплітудних модуляторів і модулюють амплітуди квадратурних несучих:

$$\left\{ \begin{array}{l} \cos l\omega_0(t - pT) \\ \sin l\omega_0(t - pT) \end{array} \right\}_{l=l_1}^{l_2}, \quad l_2 - l_1 + 1 = n, \quad (3.12)$$

де  $n$  – кількість використовуваних несучих з  $N - 1$  можливих;  $l_1$  і  $l_2$  – номери відповідно першої й останньої з використовуваних несучих.

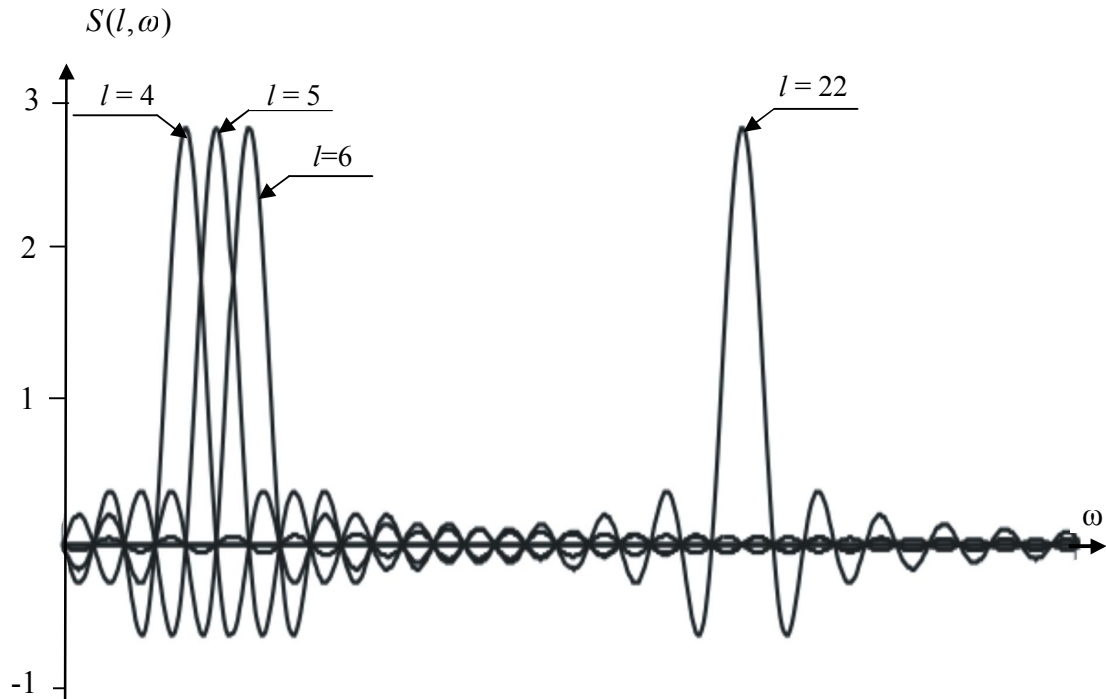


Рисунок 3.9 – Приклад спектрів гармонічних сигналів тривалістю  $\tau_0$

Груповий сигнал на виході передавача являє собою суму модульованих несучих:

$$s(t) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} \sum_{l=l_1}^{l_2} a_{lp} \cos l\omega_0(t - pT) + b_{lp} \sin l\omega_0(t - pT) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} \sum_{l=l_1}^{l_2} A_{lp} \cos(l\omega_0(t - pT) + \varphi_{lp}),$$

$$\text{де } A_{lp} = \sqrt{a_{lp}^2 + b_{lp}^2}, \quad \varphi_{lp} = \text{arctg} \frac{b_{lp}}{a_{lp}}.$$

На приймальному боці здійснюється розділення сигналів і виділення інформаційних сигналів за допомогою кореляційного оброблення:

$$\tilde{a}_{lp} = \frac{2}{\tau_0} \int_0^{\tau_0} \tilde{s}(t) \cos l\omega_0(t - pT) dt, \quad (3.14)$$

$$\tilde{b}_{lp} = \frac{2}{\tau_0} \int_0^{\tau_0} \tilde{s}(t) \sin l\omega_0(t - pT) dt, \quad l = l_1, l_1 + 1, \dots, l_2,$$

де  $\tilde{s}(t)$  – груповий сигнал на вході приймача, що пройшов через канал зв'язку з ПФ  $H(i\omega)$ .

Схему  $n$ -канальної СП з ортогональними гармонічними сигналами наведено на рис. 3.10.

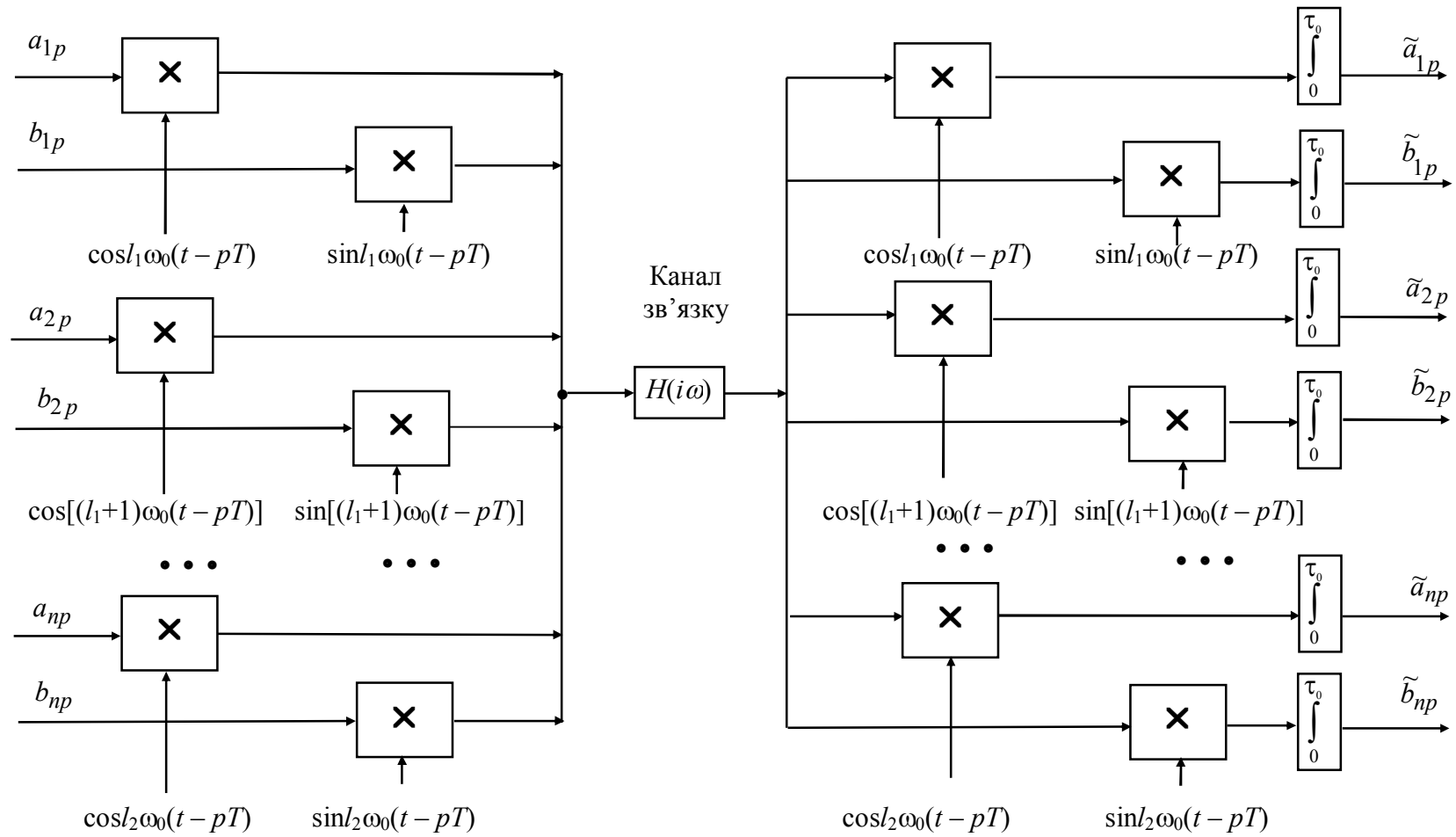


Рисунок 3.10 – Схема  $n$ -канальної СП з ортогональними гармонічними сигналами-носіями

Практично операції модуляції відповідно до формули (3.13) і демодуляції відповідно до формули (3.14) за цифрової реалізації СП виконуються методами швидкого дискретного перетворення Фур'є (ДПФ). Операція модуляції визначається як зворотне ДПФ (ЗДПФ) послідовності комплексних чисел  $R_{lp}$ ,  $l = 0, 1, 2, \dots, 2N - 1$ , сформованої на  $p$ -му тактовому інтервалі:

$$s_p(n) = \sum_{l=0}^{2N-1} R_{lp} e^{i \frac{2\pi l n}{2N}}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, 2N - 1, \quad (3.15)$$

а операція демодуляції – як пряме ДПФ (ПДПФ):

$$R_{lp} = \sum_{n=0}^{2N-1} s_p(n) e^{-i \frac{2\pi l n}{2N}}, \quad l = 0, 1, 2, \dots, 2N - 1. \quad (3.16)$$

Комплексна послідовність  $R_{lp}$  є комплексно-спряженою і формується в такий спосіб:

$$\begin{aligned} R_{lp} &= 0, \quad l = 0, 1, \dots, l_1 - 1, \quad l = l_2 + 1, \dots, N, \\ R_{lp} &= a_{lp} + i b_{lp}, \quad l = l_1, l_1 + 1, \dots, l_2, \\ R_{lp} &= R_{2N-l, p}^*, \quad l = N, N + 1, \dots, 2N - 1, \end{aligned} \quad (3.17)$$

де позначка (\*) означає операцію комплексного спряження.

Слід зазначити, що внаслідок модуляції, виконуваної методом ЗДПФ, формується лише  $2N$  цифрових відліків групового сигналу, які відповідають інтервалу  $\tau_0$ . Формування сигналу на інтервалі  $T$  здійснюється (завдяки періодичності групового сигналу на інтервалі  $\tau_0$ ) повторенням останніх  $N_3$  відліків ( $N_3$  – кількість цифрових відліків сигналу на інтервалі  $\tau_3$ ) групового сигналу на початку послідовності (ці відліки називають префіксом) (рис. 3.11, а). Захисний інтервал може формуватися й наприкінці послідовності періодичним повторюванням перших  $N_3$  відліків.

Розглянемо докладніше призначення захисного інтервалу, скориставшись для цього ілюстраціями до алгоритмів формування і демодуляції сигналів СП ОГС, наведеними на рис. 3.11.

На рис. 3.11, а наведено часову діаграму послідовності з трьох посилок групового сигналу:  $p$ -ої,  $(p + 1)$ -ої та  $(p + 2)$ -ої. Тривалості посилок  $T = \tau_0 + \tau_3$ .

На рис. 3.11, б наведено графіки двох розглянутих раніш сигналів:  $\sin 4\omega_0 t$  і  $\sin 5\omega_0 t$ . Пунктиром на графіках позначено сигнали, доповнені на захисному інтервалі. Межі посилок є моментами модуляції (для спрощення рисунку розглядається випадок, коли амплітуда сигналу не змінюється, – тобто випадок фазової модуляції).

У приймачі демодуляція групового сигналу (обчислення ПДПФ) здійснюється на інтервалі, дорівнюваному тривалості інтервалу ортогональності  $\tau_0$ . За приймання неспотвореного сигналу (3.11, б) інтервал оброблення групового сигналу може займати довільні положення в межах інтервалу  $T$  (рис. 3.11, д, положення інтервалу інтегрування 1, 2). При цьому змінюється початкова фаза демодульованих сигналів, але інтерференційних завад не виникає, тому що сигнали-носії зберігають ортогональність. Якщо ж

інтервал інтегрування займає положення 3 (рис. 3.11,  $\delta$ ), то неминучо виникають інтерференційні завади, оскільки в інтервал оброблення (інтегрування) потрапляють відліки з наступної  $(p+2)$ -ї послідовності.

На рис. 3.11,  $\epsilon$  умовно показано сигнал  $s(t) = \sin 4\omega_0 t$ ,  $pT \leq t < (p+1)T$ , що пройшов через канал зв'язку з імпульсною реакцією (характеристикою) тривалістю  $t_{ip} = 0,3125$  мс. Сигнал спотворився: у нього з'явилася переддія тривалістю  $t_{ip}$  і такої самої тривалості післядія. Сумарна тривалість сигналу на виході каналу (вході приймача) збільшилася також на  $t_{ip}$ . Унаслідок цих лінійних спотворень сигнали-несучі групового сигналу, які прямують один за одним, перекриваються, і їх приймання без міжсимвольної інтерференційної завади можливе лише за умови:  $t_{ip} < T - \tau_0$ . Але при цьому для відсутності інтерференційної завади необхідно обирати положення інтервалу інтегрування певним чином. Для варіанту рис. 3.11,  $\epsilon$  інтерференційна завада буде відсутня лише за положення 2 (рис. 3.11,  $\delta$ ).

Різні сигнали-несучі групового сигналу, проходячи різними частотними діапазонами каналу зв'язку, зазнають різної часової затримки внаслідок нерівномірності характеристики групового часу проходження (ГЧП). На рис. 3.11,  $\epsilon$  умовно зображено сигнал  $s(t)$ , що являє собою спотворену внаслідок проходження через канал зв'язку синусоїду  $\sin 5\omega_0 t$ ,  $pT \leq t < (p+1)T$ . Розглянемо випадок, коли затримка цього сигналу в каналі зв'язку перевищує затримку спотвореної синусоїди  $\sin 4\omega_0 t$ ,  $pT \leq t < (p+1)T$ , на інтервал часу  $t_3$ , тобто на виході каналу зв'язку спотворену синусоїду  $\sin 5\omega_0 t$  затримано відносно спотвореної синусоїди  $\sin 4\omega_0 t$  на  $t_3$ . Як видно з рис. 3.11,  $\epsilon$ ,  $\epsilon$  та  $\delta$ , для двох розглянутих сигналів не існує спільного інтервалу інтегрування, на якому ці сигнали були б неспотворені, а отже й ортогональні. Внаслідок цього в обох каналах, поряд з міжсимвольними, породжуються також і міжканальні інтерференційні завади. Величини цих завад визначаються конкретними параметрами сигналів і частотною характеристикою каналу зв'язку.

Розглянемо роль захисного інтервалу за передавання групового сигналу СП ОГС каналом зв'язку з багатопроменевістю. Для конкретики розглянемо двопробенекий канал, кожен з променів якого здійснює плоске (частотнонезалежне) послаблення сигналу і його незалежну затримку:

$$H(i\omega) = H_1 e^{-i\omega\tau_1} + H_2 e^{-i\omega\tau_2},$$

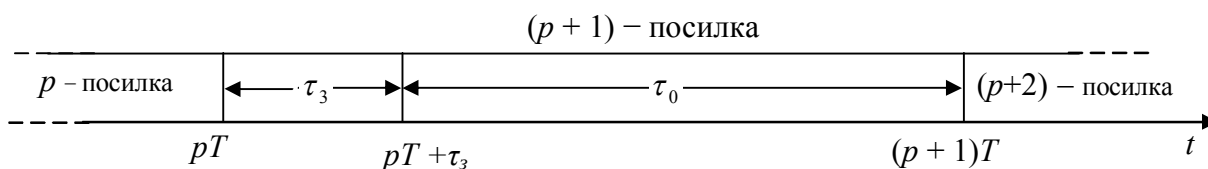
де  $H_1, H_2$  – коефіцієнти послаблення сигналів;  $\tau_1, \tau_2$  – величини затримок сигналів.

Проходження групового сигналу (3.13) каналом зв'язку з наведеною ПФ описується виразом:

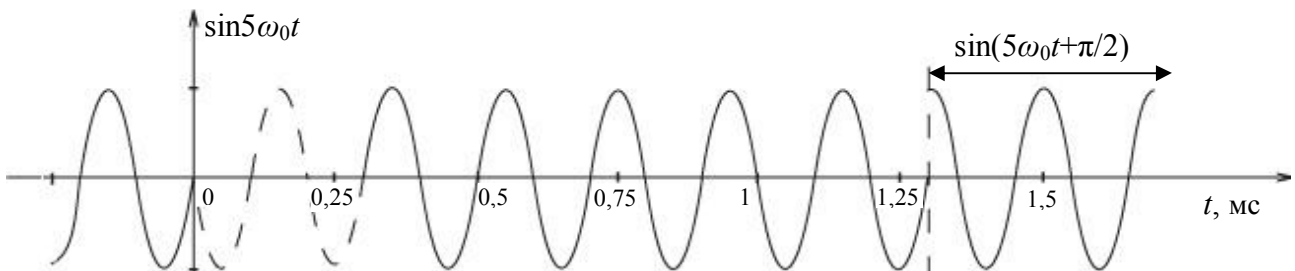
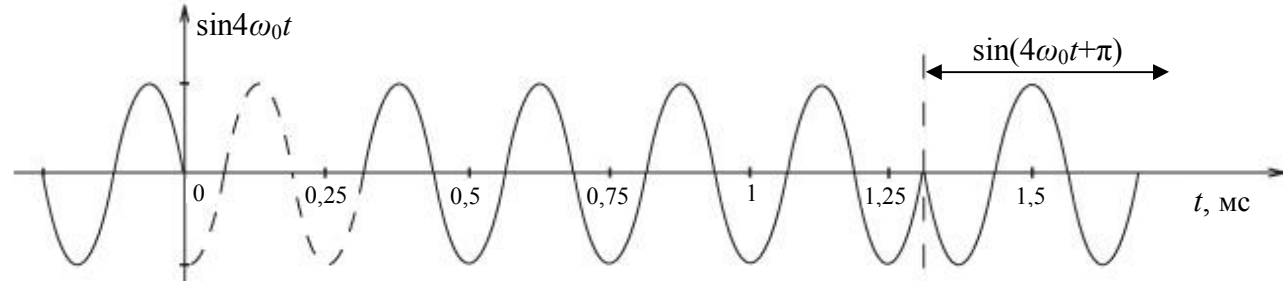
$$s'(t) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} \sum_{l=l_1}^{l_2} A_{lp} H_1 \cos(l\omega_0(t - pT) + \varphi_{lp} + \varphi_{l1}) + A_{lp} H_2 \cos(l\omega_0(t - pT) + \varphi_{lp} + \varphi_{l2}),$$

$$\text{де } \varphi_{l1} = -l\omega_0\tau_1, \varphi_{l2} = -l\omega_0\tau_2,$$

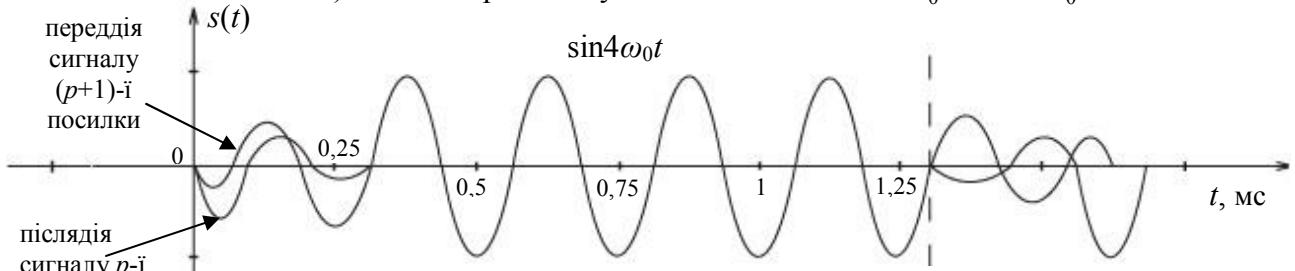
$$s'(t) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} \sum_{l=l_1}^{l_2} A_{lp} H_1 \cos(l\omega_0(t - pT - \tau_1) + \varphi_{lp}) + A_{lp} H_2 \cos(l\omega_0(t - pT - \tau_2) + \varphi_{lp}). \quad (3.18)$$



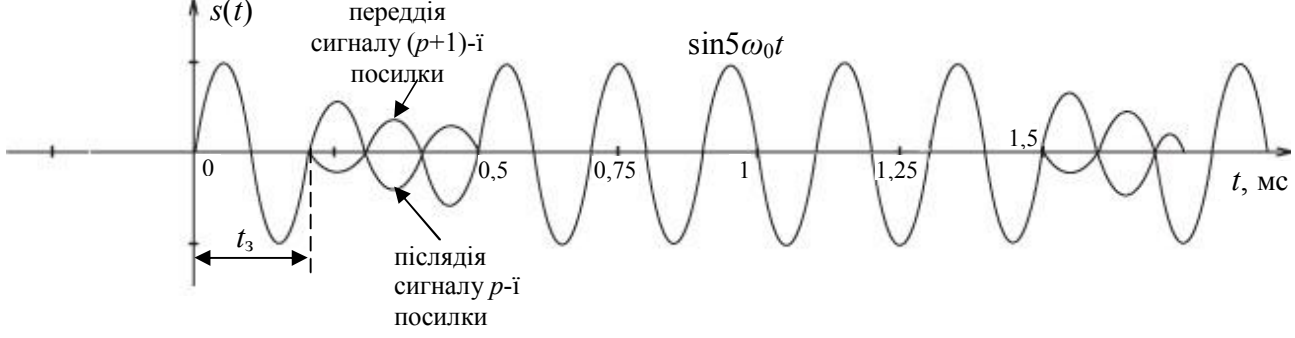
а) Часові співвідношення в груповому сигналі



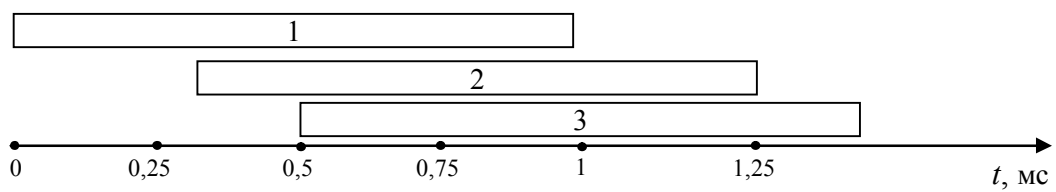
б) Неспотворені модульовані сигнали  $\sin 4\omega_0 t$  і  $\sin 5\omega_0 t$



в) Спотворена каналом посліпка сигналу  $\sin 4\omega_0 t$



г) Спотворена каналом і затримана на  $t_3$  посліпка сигналу  $\sin 5\omega_0 t$



д) Положення інтервалів інтегрування

Рисунок 3.11 – Ілюстрації до алгоритмів формування і демодуляції групового сигналу СП ОГС



З метою скорочення формул далі опустимо залежність  $s'(t)$  від  $p$ , а розглянемо лише сигнал тривалістю однієї послідовності. Формула (3.18) набуде вигляду:

$$s'(t) = \sum_{l=1}^{l_2} A_l (H_1 \cos(l\omega_0 t + \varphi_l + \varphi_{l1}) + H_2 \cos(l\omega_0 t + \varphi_l + \varphi_{l2})).$$

Отже, прийманий сигнал являє собою суму синусоїд з однаковими частотами. Сума двох косинусоїд з однаковими частотами, але різними амплітудами й фазами, також є косинусоїдою, тому останній вираз для  $s'(t)$  можна переписати в такий спосіб:

$$s'(t) = \sum_{l=1}^{l_2} A'_l \cos(l\omega_0 t + \varphi'_l);$$

$$\text{де } A'_l = \sqrt{A_l^2 (H_1^2 + H_2^2 + 2H_1 H_2 \cos(\varphi_{l2} - \varphi_{l1}))};$$

$$\varphi'_l = \arctg \frac{H_1 \sin(\varphi_l + \varphi_{l1}) + H_2 \sin(\varphi_l + \varphi_{l2})}{H_1 \cos(\varphi_l + \varphi_{l1}) + H_2 \cos(\varphi_l + \varphi_{l2})}.$$

Очевидно, що наведені міркування справедливі і для каналів зв'язку з великою кількістю променів. Тому, якщо тривалість захисного інтервалу  $\tau_3$  перевищує максимальну різницю в затримках групового сигналу в багатопроменевому каналі зв'язку, сумарний сигнал, отриманий унаслідок складання сигналів різних променів на приймальному боці (в антені приймача), може бути демодульовано в приймачі без інтерференційних завад. Цією властивістю ортогональних гармонічних сигналів зумовлено їх широке застосування в СП радіоканалами.

Нагадаємо, що вищенаведене є справедливим лише для тієї частини групового сигналу, яка не спотворена каналом зв'язку та перехідними процесами між сусідніми послідовностями.

На рис. 3.12 наведено функціональні схеми алгоритмів багаточастотної модуляції й демодуляції, виконуваних за допомогою алгоритмів ДПФ.



**Рисунок 3.12** – Алгоритми багаточастотної модуляції-демодуляції:

а) – алгоритм багаточастотної модуляції;

б) – алгоритм багаточастотної демодуляції.

Алгоритм модуляції виконується як  $2N$ -точкове ЗДПФ  $2N$ -точкової послідовності, формованої відповідно до алгоритму (3.17). Біти передаваних кодових символів на  $p$ -му тактовому інтервалі  $a_p, b_p$  розподіляються по  $n$  несучих у кількості, визначуваній типом КАМ-сузір'я, і задають значення комплексних амплітуд  $R_{lp}, l = l_1, l_1+1, \dots, l_2$ . Інші несучі набувають нульового значення амплітуд.

Отже, формується  $N$ -мірний вектор

$$R_{lp}, l = 0, 1, 2, \dots, N - 1.$$

Далі розмірність вектора  $R_{lp}$  подвоюється шляхом доповнення його  $N$  комплексно-спряженими амплітудами несучих відповідно до алгоритму (3.17) і здійснюється стандартне комплексне  $2N$ -мірне ЗДПФ сформованої послідовності, внаслідок чого обчислюються  $2N$  відліків групового сигналу. Потім ці  $2N$  відліків періодично подовжуються на  $N_3$  цифрових відліків.

Послідовність, складена з  $2N + N_3$  відліків тривалістю  $T$ , зчитується послідовно відлік за відліком й надходить у вигляді дискретного цифрового сигналу  $s(k), k = 1, 2, \dots, 2N + N_3$ , на пристрій формування спектра й далі – на вхід цифро-аналогового перетворювача (ЦАП). З виходу ЦАП сигнал надходить на вихідний блок передавача і далі в аналоговій формі – на вхід лінії зв'язку.

Алгоритми демодуляції багаточастотного сигналу повторюють у зворотному порядку операції, виконані за модуляції.

У вхідному цифровому сигналі  $s(k)$  унаслідок роботи системи тактової синхронізації (СТС) приймача виділяються межі переданих сигналів і формується  $2N$ -мірний відтинок дискретного сигналу. Потім здійснюється його ПДПФ і із здобутого  $2N$ -мірного комплексного вектора виділяється  $n$  комплексних амплітуд передаваного сигналу (докладніше див. розд. 4).

### 3.5 Кодування з метою виправлення помилок у СП xDSL

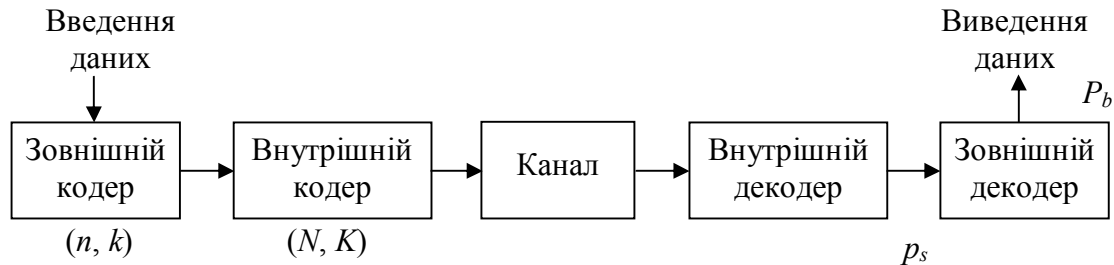
З метою виправлення помилок, внесених каналом зв'язку, передавана інформаційна послідовність підлягає кодуванню. Кодування дозволяє за рахунок внесення певної надлишковості до передаваного сигналу зменшити ймовірність помилки в прийнятому сигналі. Мірою здатності коду до виправлення помилок є виграш кодування, вимірюваний у децибелах. Так, приміром, якщо виграш кодування становить 3 дБ, то це означає, що застосування кодування забезпечує таку саму ймовірність помилки в системі передавання, що й без кодування, але зі збільшеною вдвічі передаваною потужністю (тобто більшою на 3 дБ).

У СП xDSL знайшли застосування каскадні коди, використовувані разом із модуляцією, які забезпечують виграш кодування до 9 дБ.

Каскадні коди було уведено Форні [18] як метод практичної реалізації коду з великою довжиною блока й відповідно високою коригувальною здатністю. Цих цілей досягають шляхом застосування декількох рівнів (каскадів) кодування. Найпоширенішою є схема із двома рівнями кодування.

Одним з кодів – він називається *зовнішнім* – буває зазвичай код Ріда–Соломона; у якості *внутрішнього* застосовується один з ортогональних, коротких блокових або згорткових кодів.

Основні принципи каскадного кодування із двома рівнями ілюструє рис. 3.13.



**Рисунок 3.13** – Каскадне кодування

Передбачається, що зовнішній код є блоковим і його блок складається з  $n$  символів, причому  $k$  з них є інформаційними. Далі символи, що виходять із кодера зовнішнього коду, кодуються кодером внутрішнього коду. При цьому додаються  $(N - K)$  перевірних двійкових символів – отже довжина блока внутрішнього коду дорівнює  $N$ .

На приймальному кінці можна використовувати як жорсткі, так і м'які рішення. Результати цих рішень подаються на декодер внутрішнього коду. Цей декодер дає оцінку кожному символу зовнішнього коду з порівняно малою ймовірністю помилки  $p_s$ . Далі декодер зовнішнього коду виправляє помилки символів, призводячи до низької остаточної ймовірності помилки двійкового символу  $P_b$ . Хоча загальна довжина коду дорівнює  $nN$ , каскадування забезпечує таку структуру коду, що декодування може здійснюватися за допомогою двох декодерів для кодів з довжинами  $N$  і  $n$  відповідно. Це дозволяє істотно знизити складність декодування порівняно з тією, котра потрібна була б для отримання тієї самої ймовірності помилки при одному рівні кодування. У якості зовнішніх у СП xDSL рекомендовано для застосування коди Ріда–Соломона. Ці коди найпоширеніші, оскільки є кодами з максимальною відстанню ( $d = n - k + 1$ ), і відносно просто реалізуються.

Кодування Ріда–Соломона було вперше описане 1960 року. Коди є підмножиною циклічних кодів, які, у свою чергу, є підмножиною блокових недвійкових кодів БЧХ, названих на честь Боуза, Рея-Чаудхури й Хоквінгема, які незалежно винайшли їх приблизно 1960 року.

Коди Ріда–Соломона, застосовувані в СП xDSL, використовують арифметику полів Галуа –  $GF(D)$  (Galois Field), де  $D = 2^m$ ,  $m$  – додатне число, що є більшим за одиницю. Коди Ріда–Соломона  $(n, k)$  визначені на всіх  $m$ -бітових символах за всіх  $n$  і  $k$ , для яких

$$0 < k < n < 2^m + 2,$$

де  $k$  – кількість інформаційних бітів, що підлягають передаванню, а  $n$  – кількість кодових символів у кодованому блоці. Для більшості кодів Ріда–Соломона

$$(n, k) = (2^m - 1, 2^m - 1 - 2t),$$

де  $t$  – кількість помилкових бітів у символі, що може виправити код, а  $n - k = 2t$  – кількість перевірних символів. Правила арифметики в  $GF(D)$  визначають результати, коли два символи складаються, віднімаються, помножуються або діляться. Ці правила відрізняються від правил у десяткових системах числення.

Результатом кодування Ріда–Соломона є кодові слова, що складаються з фіксованої кількості  $m$ -бітових інформаційних символів і фіксованої кількості  $m$ -бітових перевірних символів.

У загальному випадку кількість символів, які може виправляти декодер Ріда–Соломона, дорівнює половині використуваних  $m$ -бітових перевірних символів.

Для формування кодового блока символів Ріда–Соломона розміром  $n = k + r$  символів до  $k$  інформаційних символів  $m_0, m_1, \dots, m_{k-2}, m_{k-1}$  мають додаватися  $r$  перевірних надлишкових символів  $c_0, c_1, \dots, c_{r-2}, c_{r-1}$ . Перевірні символи обчислюються з інформаційної послідовності символів у такий спосіб:

$$C(D) = M(D) D^r \text{ mod } G(D), \quad (3.19)$$

де  $M(D) = m_0 D^{k-1} \oplus m_1 D^{k-2} \oplus \dots \oplus m_{k-1} D \oplus m_k$  – поліном повідомлення,

$$C(D) = c_0 D^{r-1} \oplus c_1 D^{r-2} \oplus \dots \oplus c_{r-2} D \oplus c_{r-1} \text{ – перевірний поліном}$$

і  $G(D) = \Pi (D \oplus a^i)$  – породжувальний поліном коду Ріда–Соломона, де індекс добутку змінюється від  $i = 0$  до  $i = r - 1$ . Отже,  $C(D)$  – це залишок від ділення  $M(D) D^r$  на  $G(D)$ .

### 3.6 Перемежування сигналів

Як внутрішній код у СП xDSL використовують згорткові коди з алгоритмом декодування Вітербі. Однак помилки на виході декодера Вітербі зазвичай групуються в пакети, унаслідок чого помилки в послідовних символах, що надходять на декодер коду Ріда–Соломона, будуть корельовані. Це знижує ефективність зовнішнього кодування, тому застосовується перемежування символів у передаваній послідовності на передавальному боці й відновлення первісного порядку проходження сигналів на приймальному боці. В такому разі виниклі пачки помилок у прийнятій послідовності сигналів після відновлення порядку проходження сигналів розподіляються рівномірно по прийнятій послідовності сигналів. Перемежування має бути таким, щоб ніякі два символи на виході декодера Вітербі, відстань між якими менша за глибину перемежування, не належали одному кодовому слову Ріда–Соломона.

Зазвичай застосовується два типи перемежувань: блокове перемежування й згорткове. Блокове перемежування передаваних двійкових символів (бітів) виконують за наступним правилом (див. табл. 3.1). Двійкові символи передаваного блока, які надходять на вхід блока перемежування, в порядку надходження записують рядками в таблицю розмірністю  $n \times b$ , де  $n$  – кількість рядків таблиці,  $b$  – кількість стовпчиків, а число  $n \times b$  дорівнює кількості символів у блоці.

Таблиця 3.1 ілюструє приклад блокового перемежування із глибиною перемежування  $n = 3$  і проміжком перемежування  $b = 7$ .

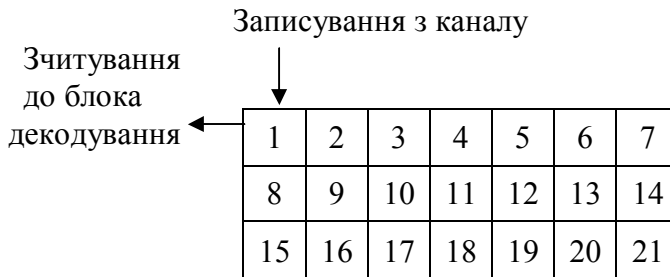
**Таблиця 3.1** – Блокове перемежування з глибиною 3 і проміжком 7



Числа в таблиці позначають порядок, у якому передавані символи надходять на вхід блока перемежування. Отже, символи записуються в рядки, але зчитуються зі стовпців. Таким чином, порядок бітів, що надходять у канал зв'язку, буде таким: 1, 8, 15, 2, 9, 16, 3, 10, 17, ... . Таблиця 3.2 ілюструє операцію, зворотну блоковому перемежуванню, за  $n = 3$  і  $b = 7$ .

У цьому випадку біти, що надійшли з каналу, записуються в таблицю стовпцями, а зчитуються з рядків. Порядок бітів у рядках тепер буде відповідати початковому, і біти в цьому порядку зчитуватимуться з таблиці й надходитимуть на блок декодера.

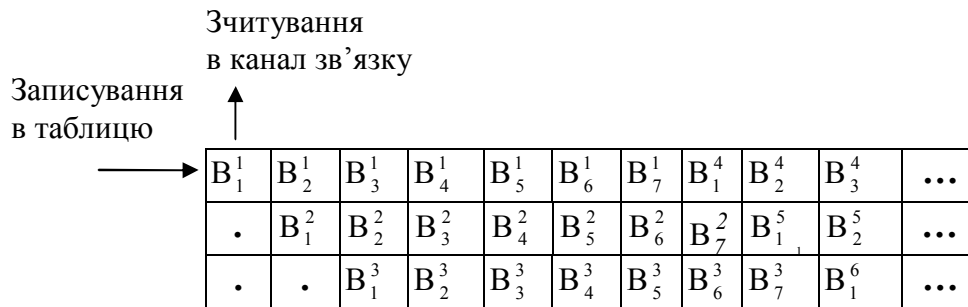
**Таблиця 3.2** – Операція зворотного перемежування із глибиною 3 і проміжком 7



Перемежування з такими параметрами ( $n = 3$  і  $b = 7$ ) можна застосовувати для каналу зв'язку, в якому довжина послідовностей помилок не перевищує трьох бітів. У цьому випадку пачка із трьох помилок на виході блока зворотного перемежування рівномірно розподіляється по послідовності прийнятих кодових слів і помилки, що виникають, можуть бути ефективно виправлені кодом. Однак у реальних каналах зв'язку кількість помилок у пачці може значно перевищувати три, тому практично використовується перемежування з більшими значеннями параметрів  $n$  і  $b$ . Платою за виправлення породжуваних каналом помилок є внесена до процесу передавання інформації затримка, дорівнювана  $2nb$  біт, яка для низки застосувань строго нормується, це вимагає пошуку компромісу між величинами припустимої затримки й припустимої ймовірності помилок.

У цьому плані згорткове перемежування є більш ефективним, ніж блокове, щодо вимог до пам'яті й величини затримки засобом боротьби з групуванням помилок. Таблиця 3.3 ілюструє згорткове перемежування з розміром кодового слова  $b = 7$  і глибиною  $n = 3$ .

**Таблиця 3.3** – Згорткове перемешування з глибиною перемешування  $n = 3$  і з розміром кодового слова  $b = 7$



• – від попередніх кодових слів

У цьому прикладі верхній індекс біта  $V$  являє собою номер кодового слова, до якого  $V$  належить, нижній індекс – номер біта усередині кодового слова. Кодові слова знову записуються рядками і зчитуються стовпцями. Різниця між цією схемою й схемою блокового перемешування полягає в тому, що за згорткового перемешування кодові слова починаються не в тому самому стовпці, як це відбувається за блокового перемешування, а в різних. До того ж рядки не мають кінця. Глибина й довжина перемешування визначають, куди буде записуватися наступне кодове слово – у наступний рядок або у верхній рядок.

Таблиця 3.4 ілюструє зворотну згортковому перемешуванню операцію, здійснювану в приймачі.

**Таблиця 3.4** – Зворотне згорткове перемешування із глибиною  $b = 3$  і розміром кодового слова  $n = 7$



• – від попередніх кодових слів

Тут біти записуються стовпцями і зчитуються рядками, після чого надходять на блок завадостійкого кодування. За зворотного згорткового перемешування з кожного рядка таблиці спочатку зчитується лише одне кодове слово, а далі те саме відбувається й у наступному рядку. Це здійснюється доти, поки не буде зчитане кодове слово з останнього рядка таблиці. Після цього знову відбувається зчитування першого рядка, розпочинаючи з першого не зчитаного раніш біта.

Згорткове перемешування може розподіляти кодове слово завдовжки  $n$  в інтервалі  $nb$ , вносячи затримку тривалістю  $(n - 1)b$  біт.

Зауважимо, що розглянуті приклади перемешування оперують бітами (глибина й розмір кодового слова виражаються в бітах). Однак багато схем кодування працюють на рівні байтів (наприклад коди Ріда–Соломона, що діють в GF (256)) або взагалі на рівні символів. Природно, що схеми перемешування, застосовувані в комплексі з працюючими на байтовому чи символному рівні кодами, зазвичай функціонують також на рівні байтів або символів. Наприклад, якщо прийняти, що розмір кодового слова дорівнює семи байтам, то перемешування відбуватиметься на рівні байтів, а внесена згортковим перемешуванням затримка становитиме  $nb$  байт.

Варто зауважити, що можливі й інші типи перемешування, наприклад псевдовипадкове перемешування.

### 3.7 Згорткове кодування

За внутрішні коди в СП xDSL застосовують згорткові коди, які використовують разом з модуляцією, реалізуючи сигнально-кодові конструкції.

Згорткове кодування здійснюється шляхом пропускання передаваної інформаційної послідовності через лінійний зсувний регістр із скінченною кількістю станів. У загальному випадку регістр зсуву складається з  $K$   $k$ -бітових комірок і лінійного перетворювача з  $n$  функціональними генераторами, який виконує алгебричні функції, як показано на рис. 3.14 ( $\oplus$ , як і раніш, означає підсумовування за модулем 2).

Вхідні дані кодера, які вважаються за двійкові, просуваються уздовж регістру зсуву по  $k$  бітів за такт. Кількість вихідних бітів для кожної  $k$ -бітової вхідної послідовності дорівнює  $n$ . Отже, кодова швидкість, визначена як  $R_c = k/n$ , є швидкістю блокового коду. Параметр  $K$  називається кодовим обмеженням.

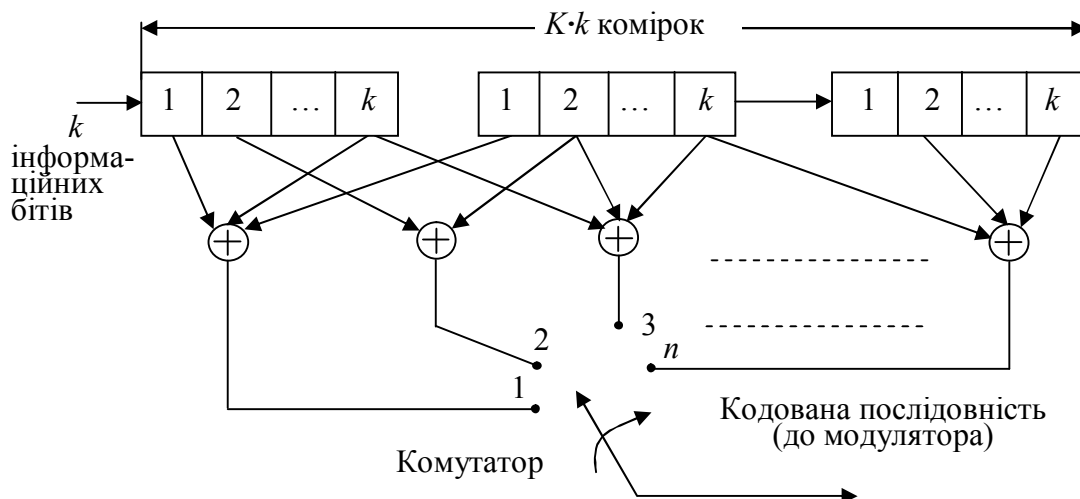


Рисунок 3.14 – Узагальнена схема згорткового кодера

Як приклад розглянемо згортковий кодер зі швидкістю коду  $2/3$  ( $K = 2$ ,  $k = 2$ ,  $n = 3$ ), показаний на рис. 3.15. У цьому кодері щоразу два біти надходять на вхід регістрів зсуву, а на виході генеруються три біти.

Генератори визначають векторами:  
 $g_1 = [1011]$ ,  $g_2 = [1101]$ ,  $g_3 = [1010]$ .

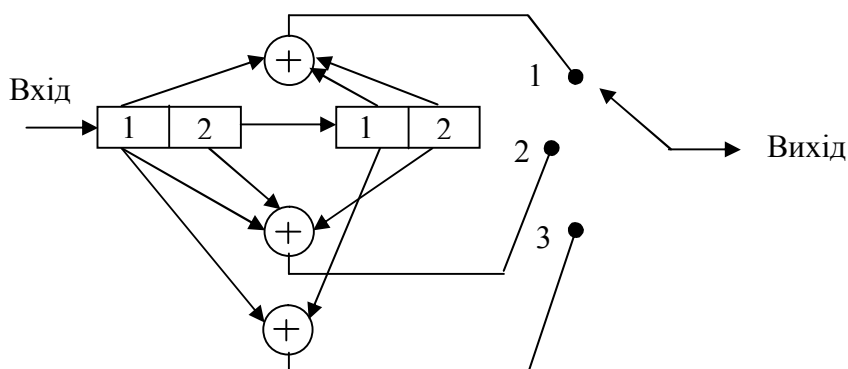


Рисунок 3.15 – Згортковий кодер з  $K = 2$ ,  $k = 2$ ,  $n = 3$

Є три альтернативні методи, які часто використовують для описування згорткового коду. Це деревоподібна діаграма, ґратчаста діаграма<sup>1</sup> і діаграма станів. Для прикладу деревоподібна діаграма для згорткового кодера (див. рис. 3.15) показана на рис. 3.16.

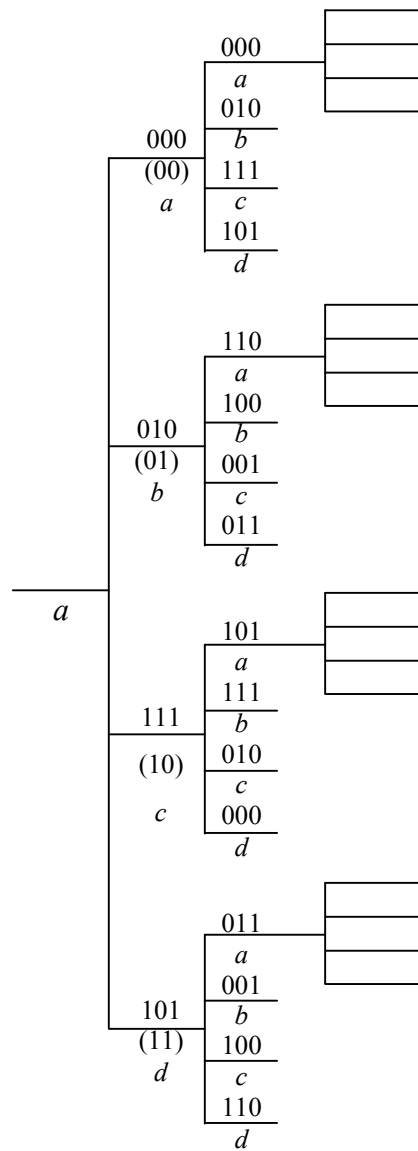
Першими двома вхідними бітами кодера можуть бути 00, 01, 10 або 11. Відповідні вихідні біти за обнуленого наперед регістру кодера будуть такими: 000, 010, 111, 101. Коли наступна пара вхідних бітів надходить до кодера, перша пара пересувається до наступної комірки. Відповідні вихідні біти залежать від пари бітів, що пересунулися до другої комірки, і нової пари вхідних бітів. Отже, деревоподібна діаграма для цього коду, показана на рис. 3.16, має чотири гілки на вузол, що відповідають чотирьом можливим парам вхідних символів. Оскільки кодове обмеження кодера  $K = 2$ , дерево починає повторюватись після другого кроку. Як показано на рис. 3.16, всі гілки, що виходять з вузла, позначеного  $a$  (стану  $a$ ), дають ідентичні виходи.

Шляхом злиття вузлів, що мають однакову назву, ми дістаємо ґратки, показані на рис. 3.17.

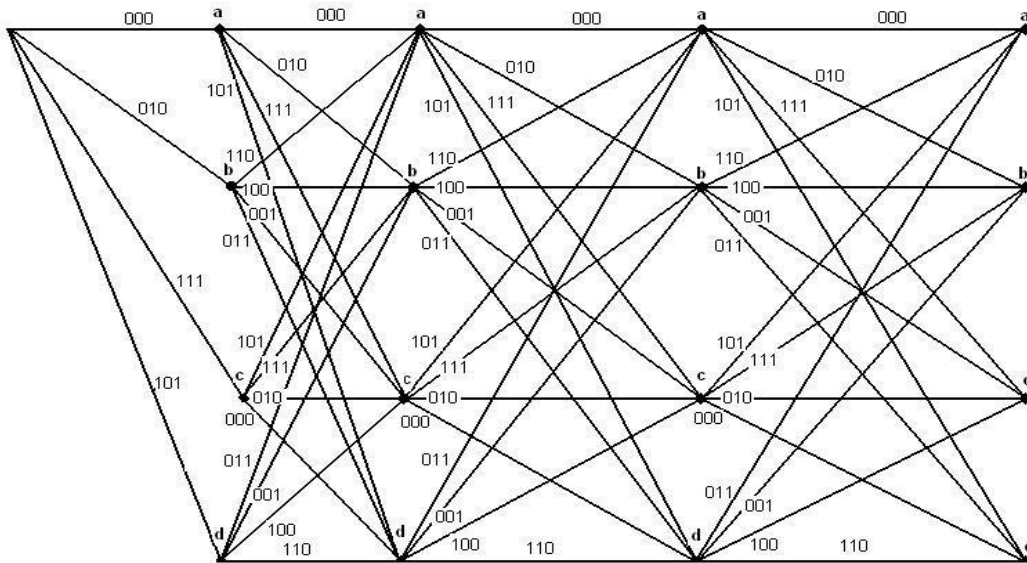
Зазначимо, що згортковий код зі швидкістю  $k/n$  і кодовим обмеженням  $K$  характеризується  $2^k$  гілками, що виходять від кожного вузла на деревоподібній діаграмі. Ґратки й діаграма станів мають (кожна з них)  $2^{k(k-1)}$  можливих станів. Є  $2^k$  гілок, що входять у кожний стан, і  $2^k$  гілок, що залишають кожний стан (для ґраток і дерева це є правильно після настання сталого режиму).

<sup>1</sup> У зв'язку з цим згорткові коди називають також ґратчастими (trellis code)



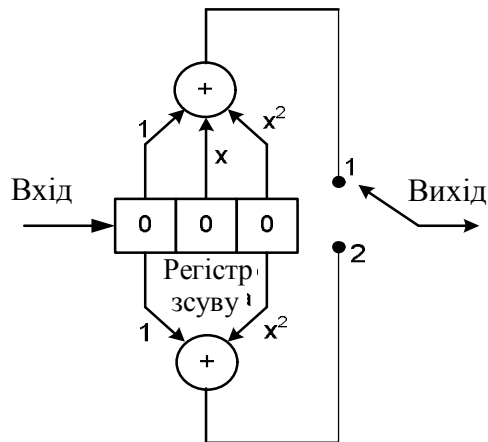


**Рисунок 3.16** – Деревоподібна діаграма для згорткового коду з параметрами  $K = 2, k = 2, n = 3$



**Рисунок 3.17** – Ґратчаста діаграма для згорткового коду з параметрами  $K = 2, k = 2, n = 3$

На рис. 3.18 подано згортковий кодер зі швидкістю 1/2 і довжиною обмеження 3.



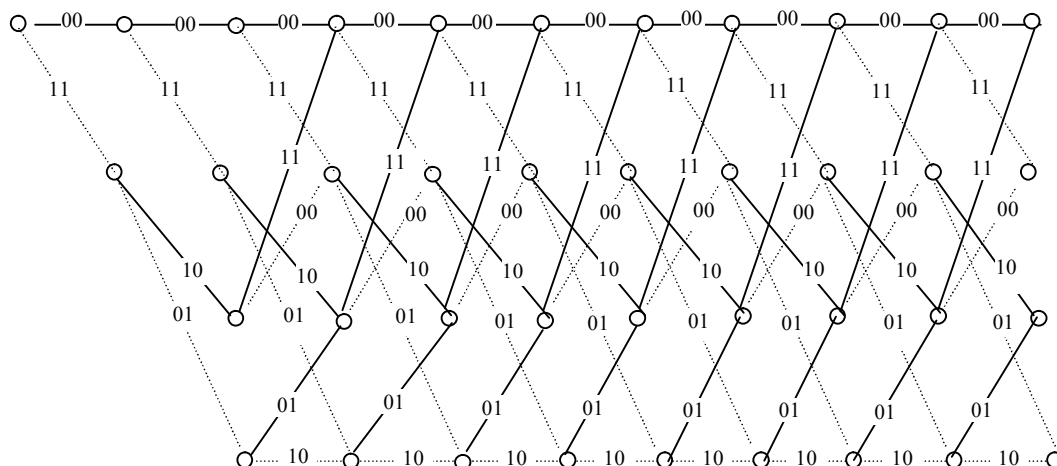
**Рисунок 3.18** – Згортковий кодер зі швидкістю 1/2 ( $K = 3, k = 1, n = 2$ )

У табл. 3.5 наведено значення виходів кодера, відповідні до певної вхідної послідовності, наведеної у верхньому рядку таблиці.

**Таблиця 3.5** – Значення вхідних і вихідних сигналів згорткового кодера

Вхід	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1					
Вихід	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1

Грати, що характеризують роботу розглянутого згорткового кодера, наведено на рис. 3.19. Кожний вузол ґрат являє собою стан кодера. До кожного стану ведуть дві лінії, й з кожного стану виходять дві лінії. Коли на вхід кодера надходить черговий біт інформації, відбувається перехід між поточним станом і новим станом. Лінія, яка з'єднує поточний і новий стани, буде суцільною, якщо на вхід кодера надійшов 0, і пунктирною, якщо 1. Двобітовий надпис на кожному переході характеризує вихід кодера після того, як відбувся цей перехід.



**Рисунок 3.19** – Діаграма, яка характеризує роботу згорткового кодера зі швидкістю 1/2

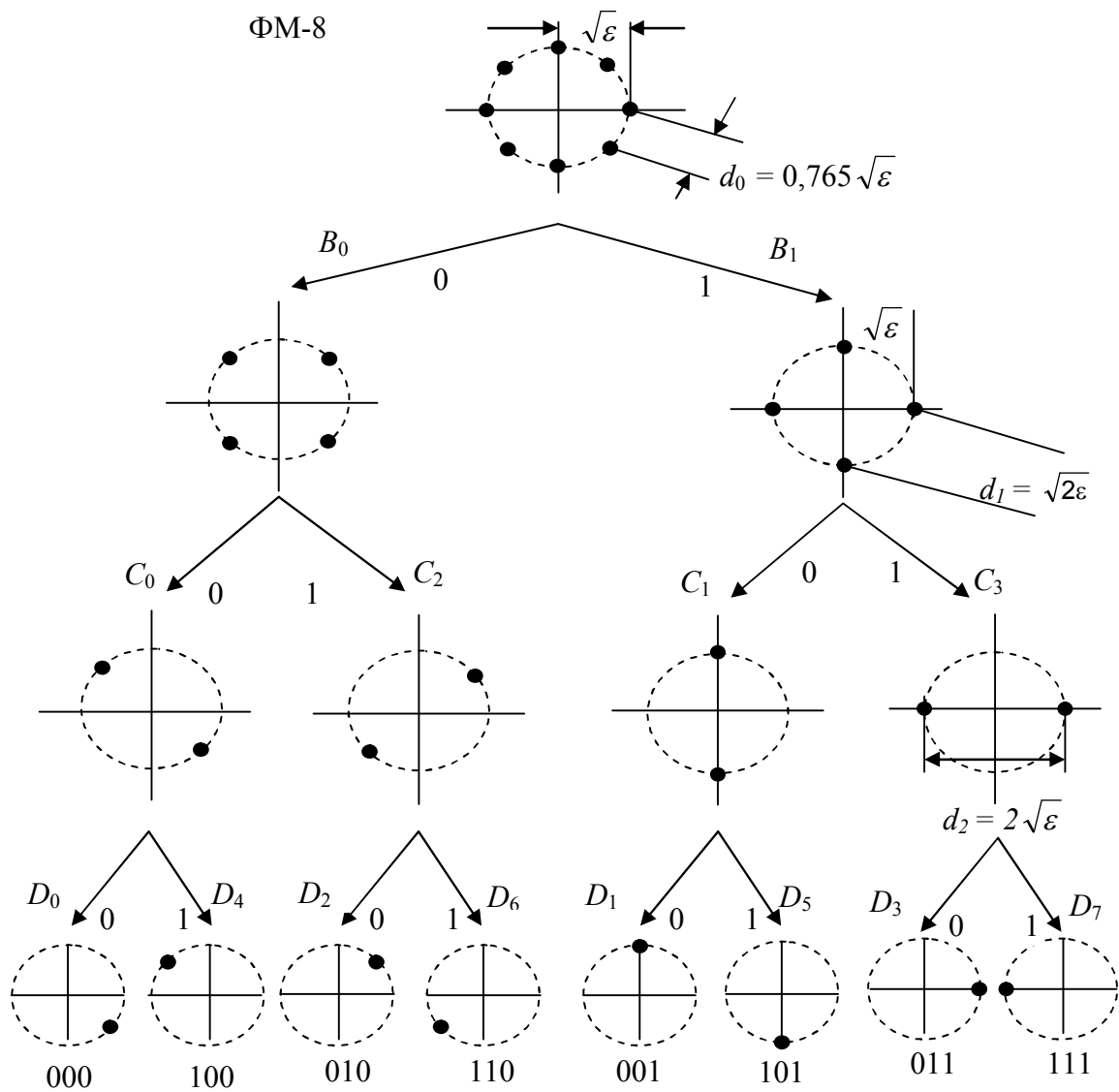
Декодування згорткових кодів виконується за алгоритмом Вітербі за допомогою ґраток, що описують роботу кодера. Сутність алгоритму Вітербі полягає в наступному. Кожному переходу (шляху) між вузлами ґраток відповідає певна припустима комбінація бітів на виході кодера. Декодер на кожному тактовому інтервалі обчислює відстань у прийнятій метриці, наприклад у метриці Хемінга, від прийнятої з можливими помилками комбінації бітів до всіх комбінацій бітів, що відповідають переходам між вузлами ґраток. Ці відстані називають метриками шляхів. Метрики шляху, обчислені на кожному тактовому інтервалі, підсумовують, утворюючи метрику складеного шляху. При цьому виконується правило, відповідно до якого із всіх шляхів, що приходять до одного вузла, тим, що «вижив», вважається той, котрий має мінімальну метрику. Так, наприклад, для випадку ґраток, наведених на рис. 3.19, тими, що «вижили», будуть на кожному такті чотири шляхи зі своїми метриками. Зі зростанням кількості тактів приймання відстані між шляхами, що «вижили», збільшуються, і за певного значення відстані алгоритм обирає шлях з найменшою метрикою. Біти, що відповідають цьому шляху, видаються на вихід декодера, а процес декодування триває.

### 3.8 Сигнально-кодові конструкції

Кодування призводить до збільшення потрібної швидкості передавання каналом зв'язку, яке забезпечується у каналах зв'язку без обмеження смуги частот за рахунок розширення смуги частот передаваного сигналу. У каналах зв'язку, смуга частот яких є жорстко обмежена, збільшення швидкості передавання здійснюється за рахунок збільшення кількості позицій сигналів-носіїв. Так, замість дворівневої АІМ, застосовуваної для передавання некодованої інформаційної послідовності, для передавання цієї самої послідовності, кодованої кодом зі швидкістю  $1/2$ , треба використовувати вже як мінімум чотирирівневу АІМ. Але це спричинить, за умови збереження колишньої ймовірності помилки, необхідність збільшення потужності передаваного сигналу приблизно на 4 дБ. Отже, застосування кодування має сенс лише у випадку, якщо виграш за його рахунок перевищує втрати, у цьому випадку – ці 4 дБ. Дослідження довели, що за незалежного від модуляції кодування для одержання прийняттого виграшу кодування необхідні потужні коди, що потребують значних обчислювальних витрат на декодування. Вихід було знайдено на шляху поєднання кодування з модуляцією. Операція модуляції розглядається разом з операцією кодування з метою збільшення мінімальної евклідової відстані між парами кодованих сигналів. За такого підходу за досить простих кодів досягається прийнятний виграш кодування. Результат такого поєднання називають сигнально-ковою конструкцією (СКК). В основі побудови СКК лежить запропонований Унґербоїком 1982 року метод відображення кодових символів у сигнальні точки [16, 17].

В основі відображення лежить послідовний поділ сукупності точок сигнального сузір'я на піднабори – підансамблі, що містять удвічі меншу кількість точок з відповідно більшою мінімальною відстанню між ними.

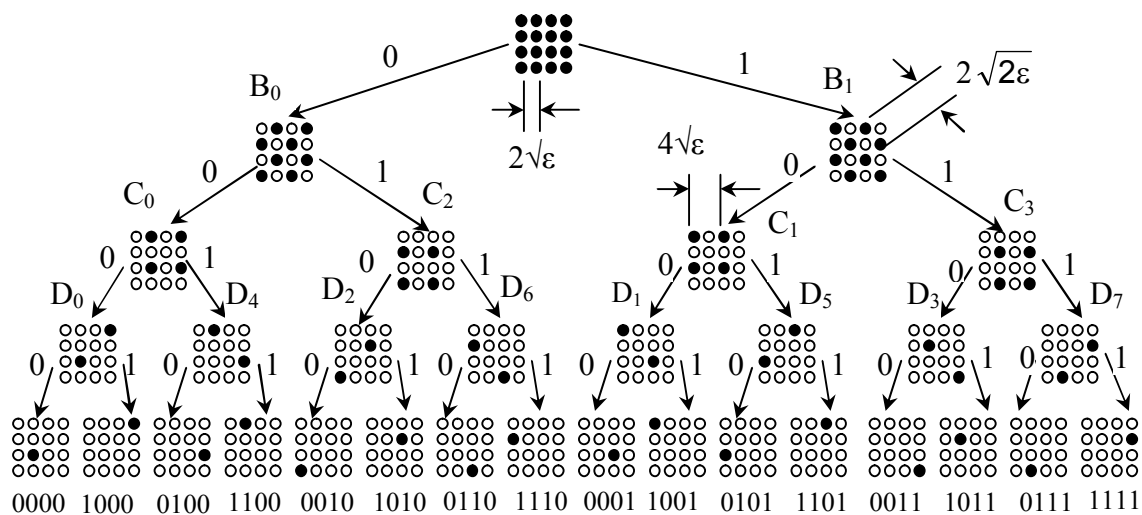
Продемонструємо цей підхід на прикладі поділу ансамблю сигналів ФМ-8 (рис. 3.20).



**Рисунок 3.20** – Поділ ансамблю сигналів ФМ-8 на підансамблі

За першого поділу вісім точок ансамблю ФМ-8 поділяються на два підансамблі з чотирьох точок в кожному так, що мінімальна відстань між точками збільшується від  $d_0 = 0,765\sqrt{\epsilon}$  до  $d_1 = \sqrt{2\epsilon}$ . На другому рівні поділу кожний із двох підансамблів знову поділяється на два підансамблі з двох точок і мінімальна відстань при цьому збільшується до  $d_2 = 2\sqrt{\epsilon}$ . У результаті отримуємо чотири підансамблі з двома точками в кожному. Нарешті, останній ступінь поділу призводить до восьми підансамблів, де кожний підансамбль складається з однієї точки. Зауважимо, що кожний рівень поділу збільшує мінімальну евклідову відстань між сигнальними точками.

Іншим прикладом, що ілюструє підхід Унгербоїка, є поділ сигнального сузір'я КАМ-16 (рис. 3.21).



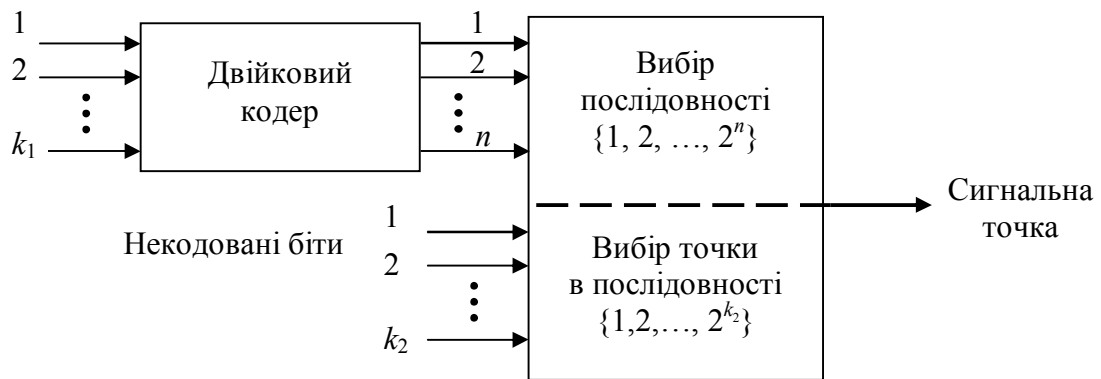
КАМ-16

Рисунок 3.21 – Поділ ансамблю сигналів КАМ-16 на підансамблі

Як показано на рис. 3.21, 16-точкове сигнальне сузір'я спочатку поділяється на два підансамблі. Мінімальна відстань між сигнальними точками збільшується за першого поділу з  $2\sqrt{\epsilon}$  до  $2\sqrt{2\epsilon}$ . Подальший поділ двох підансамблів призводить до подальшого збільшення евклідової відстані між сигнальними точками. Для прямокутного сигнального сузір'я кожний рівень поділу збільшує мінімальну евклідову відстань у  $\sqrt{2}$  раз, тобто  $d_{i+1}/d_i = \sqrt{2}$  для всіх  $i$ .

У цих двох прикладах поділ проводиться доти, поки кожний підансамбль не міститиме лише одну сигнальну точку. Взагалі, це не завжди необхідно. Наприклад, сигнальне сузір'я 16-точкової КАМ можна поділити тільки двічі, щоб одержати чотири підансамблі з чотирма сигнальними точками в кожному. Аналогічно сигнальне сузір'я восьмифазової ФМ можна поділити двічі, щоб дістати чотири підансамблі з двома сигнальними точками в кожному.

Сенс такого поділу полягає в тім, що він надає можливість піддавати кодуванню лише ті двійкові символи, яким відповідають сигнальні точки сузір'я, що перебувають на близьких відстанях, через що вони найбільш піддані впливу шумів і помилково декодуються. Некодовані біти у випадку, наприклад, сигнального сузір'я КАМ визначають квадрант або частину квадранта, де буде перебувати сигнальна точка. Кодовані біти є наймолодшими бітами в КАМ-символі, які визначають координати сусідніх точок сузір'я. Кодування наймолодших бітів зменшує ймовірність того, що сусідні точки сузір'я будуть неправильно декодуватися (це найпоширеніший тип помилок у КАМ). Алгоритм кодування показано на рис. 3.22.



**Рисунок 3.22** – Узагальнена структура комбінованого кодера/модулятора

Блок із  $m$  інформаційних символів поділяється на дві групи завдовжки  $k_1$  і  $k_2$ ;  $k_1$  символів перекодовуються в  $n$  символів, тоді як  $k_2$  символів залишаються некодованими. Потім  $n$  символів кодера використовуються для вибору одного з  $2^n$  можливих підансамблів у розділеному ансамблі сигналів, тоді як  $k_2$  символів використовуються для вибору однієї з  $2^{k_2}$  сигнальних точок у кожному підансамблі. Якщо  $k_2 = 0$ , всі  $m$  інформаційних символів кодуються. За код може бути використаний, у принципі, будь-який код, що виправляє помилки. Однак значного поширення в сигнально-кодових конструкціях набули згорткові коди.

На рис. 3.23 наведено приклад використання згорткового коду зі швидкістю  $1/2$  для кодування одного інформаційного символу двобітової послідовності, тоді як другий інформаційний символ залишається некодованим. У результаті такого перетворення передаваної послідовності утворюється трибітова послідовність, для передавання якої потрібно восьмиточкове сигнальне сузір'я, наприклад восьмифазова ФМ або восьмиточкова КАМ або АІМ. Два кодованих символи використовуються для вибору одного з чотирьох підансамблів сигнального сузір'я, тоді як інформаційний символ, що залишився, використовується для вибору однієї із двох точок усередині кожного підансамблю.

Гратчасту діаграму, що описує схему кодера, наведено на рис. 3.24. Коди станів  $(a, b, c, d)$  відповідають умісту крайніх правих  $K - 1 = 2$  розрядів регістру зсуву. Паралельні переходи на ґратках зумовлені некодованими бітами; некодований біт подається крайнім лівим бітом кожного переходу ґратки. У кожному стані кодера починається чотири переходи: два верхніх переходи – від пари вхідних інформаційних бітів  $m_1, m_2$ , що дорівнюють 00 і 10; два нижніх переходи – від пари бітів 01 і 11. Схема кодера визначає, які кодові слова з'являються на переходах ґраток, а розроблювач системи лише присвоює сигнали переходам.

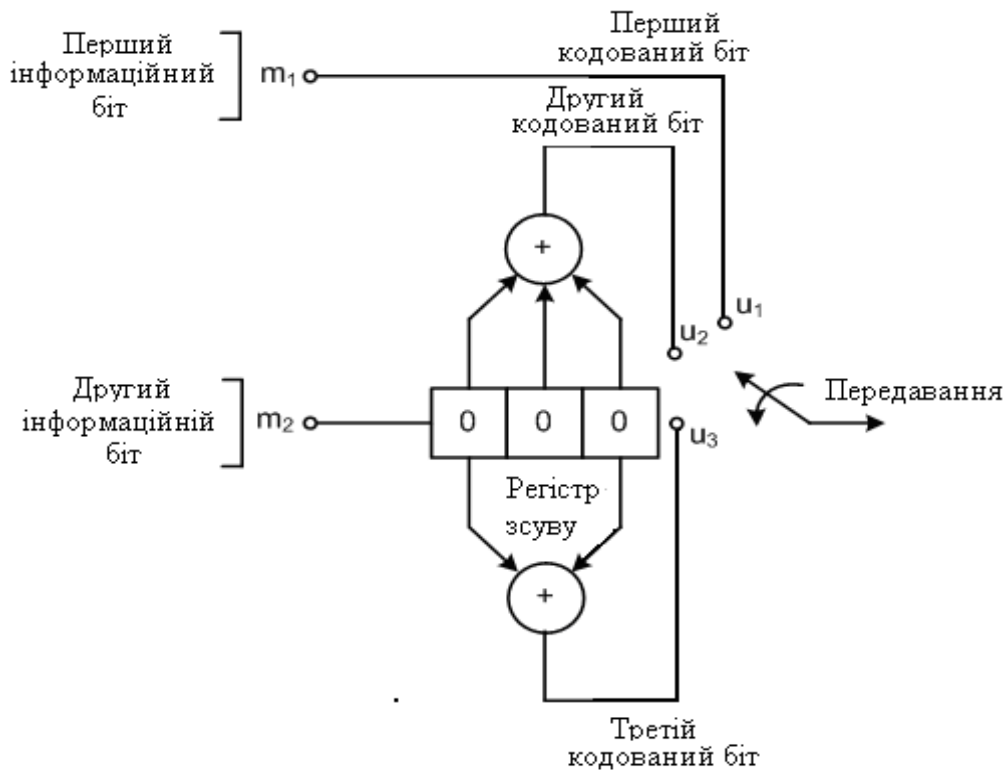


Рисунок 3.23 – Кодер СКК зі швидкістю кодування 2/3

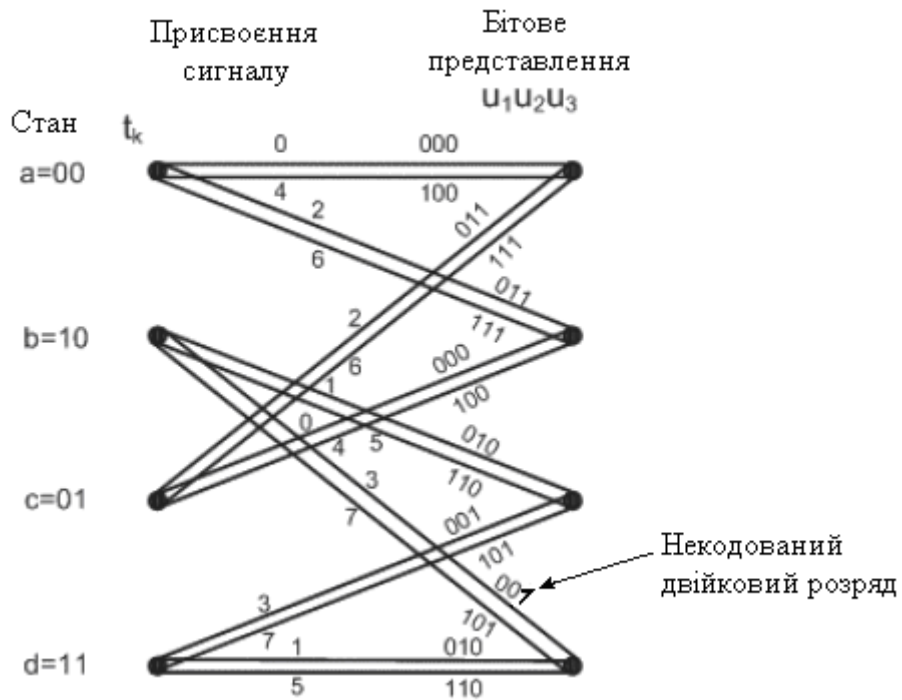


Рисунок 3.24 – Гратчаста діаграма кодера СКК зі швидкістю кодування 2/3

### 3.9 Модуляція ТСПАМ

У системах передавання SHDSL (Рекомендація МСЕ-Т G.991.2, [31]) згорткове кодування застосовується в СКК разом з амплітудно-імпульсною модуляцією (АІМ). Цей вид сигнально-кодових конструкцій дістав назву ТСПАМ – Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation (амплітудно-імпульсна модуляція з ґратчастим кодуванням). Для приклада розглянемо восьмирівневу ТСПАМ, що використовує згортковий код зі ступенем кодування  $2/3$ , генерований розглянутим вище кодером (рис. 3.23).

Присвоювання переходам ґратки вісімкових АІМ-сигналів здійснюються відповідно до правил поділу Унгербоіка (рис. 3.25).

Присвоєння сигналів, а також кодові слова, присвоювані схемою кодера, подано на рис. 3.25. Найбільш непорівнянну пару сигналів (з відстанню  $d_2 = 8$ ) було присвоєно найбільш уразливим (у плані з'явлення помилок) паралельним переходам. Крім того, як виходить із правил Унгербоіка, сигнали з наступною найбільшою відстанню ( $d_1 = 4$ ) було присвоєно переходам, що виходять або входять до того самого стану.

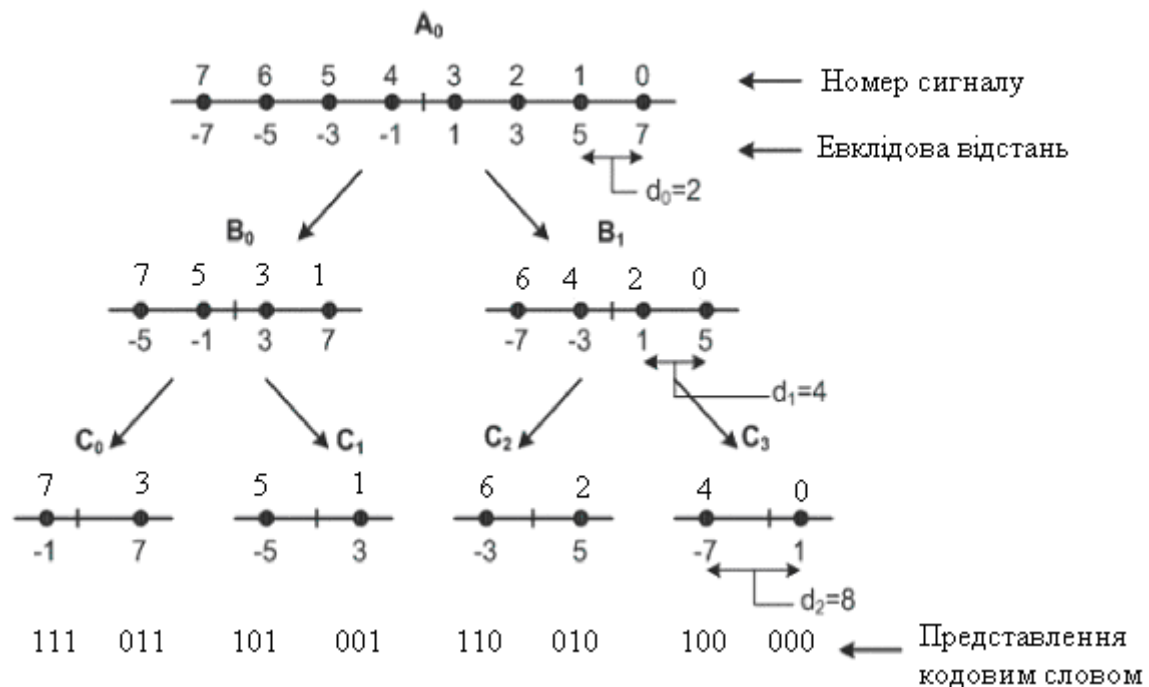


Рисунок 3.25 – Поділ Унгербоіка сигналів АІМ-8

### 3.10 Циклічна надлишкова перевірка

Циклічну надлишкову перевірку (CRC-кодування, перевірка) використовують для внутрішньосистемних цілей системи передавання й насамперед для контролю якості утвореного каналу зв'язку, що характеризується ймовірністю помилки під час передавання інформації. Для циклічної перевірки застосовують лінійне кодування інформаційної послідовності. Послідовність передаваних бітів розбивається на кадри певної



довжини, для кожного з яких обчислюються перевірні біти відповідно до такого алгоритму:

$$\text{crc}(D) = M(D) D^n \bmod G(D), \quad (3.20)$$

де  $M(D) = m_0 D^{k-1} \oplus m_1 D^{k-2} \oplus \dots \oplus m_{k-3} D^2 \oplus m_{k-2} D \oplus m_{k-1}$  – поліном повідомлення;  $(m_0, m_1, \dots, m_{k-3}, m_{k-2}, m_{k-1})$  – коефіцієнти полінома повідомлення, що являють собою передавані біти);

$G(D) = a_0 D^{n-1} \oplus a_1 D^{n-2} \oplus \dots \oplus a_{n-3} D^2 \oplus a_{n-2} D \oplus a_{n-1}$  – породжувальний поліном  $(a_0, a_1, \dots, a_{n-3}, a_{n-2}, a_{n-1})$  – коефіцієнти породжувального полінома, які можуть набувати значень 0 або 1);

$\text{crc}(D) = c_0 D^{n-1} \oplus c_1 D^{n-2} \oplus \dots \oplus c_{n-3} D^2 \oplus c_{n-2} D \oplus c_{n-1}$  – перевірний поліном  $(c_0, c_1, \dots, c_{n-3}, c_{n-2}, c_{n-1})$  – коефіцієнти перевірного полінома, які можуть набувати значень 0 або 1);

$\oplus$  – додавання за модулем 2;

$D$  – оператор затримки.

Отже,  $\text{crc}(D)$  – це залишок від ділення  $M(D) D^n$  на  $G(D)$ .

Наприклад, породжувальний поліном, рекомендований для CRC-перевірки Рекомендацією МСЕ-T G.991.2, має такий вигляд:

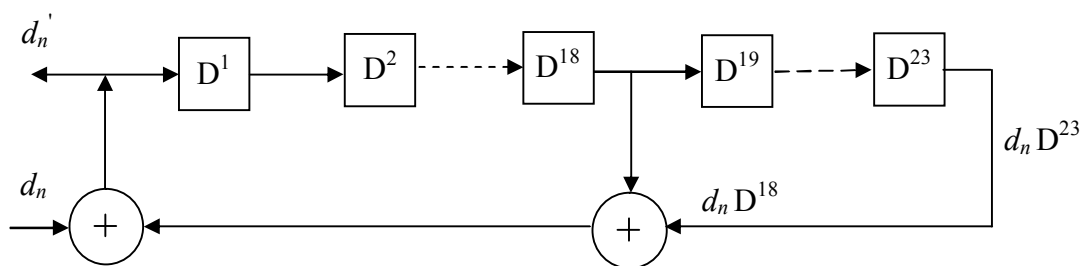
$$G(D) = D^6 \oplus D \oplus 1.$$

Перевірні біти  $\text{crc}(D)$  передаються на приймальний кінець. На приймальному боці для прийнятої інформаційної послідовності також обчислюється  $\text{crc}(D)$ , що порівнюється з переданим. За кількістю бітів, які не збігаються у порівнюваних CRC-послідовностях, оцінюють якість каналу зв'язку.

### 3.11 Скремблювання сигналу

У більшості систем передавання використовують скремблювання передаваного двійкового сигналу. Скремблювання – це перетворення сигналу без внесення надлишковості, що надає йому властивості псевдовипадкової послідовності. Скремблювання застосовують для двох основних цілей. По-перше, воно забезпечує незалежність спектральної густини потужності сигналу на виході передавача від передаваної інформації, що є важливим для запобігання спотворенням сигналів через перевантаження каналу зв'язку й виконання вимог електромагнітної сумісності різних радіоелектронних систем. По-друге, скремблювання виключає наявність у сигналі, що приймається, довгих послідовностей одиниць або нулів, що є умовою для нормальної роботи більшості алгоритмів адаптації систем автоматичного регулювання приймача СП.

Скремблювання здійснюється в передавачі шляхом безнадлишкового лінійного кодування передаваної послідовності двійкових сигналів у результаті проходження її через пристрій, називаний скремблером. Приклад скремблера наведено на рис. 3.26.



**Рисунок 3.26** – Скремблер:

$\oplus$  – додавання за модулем 2; D – оператор затримки.

Робота скремблера, наведеного на рис. 3.26, описується алгоритмом:

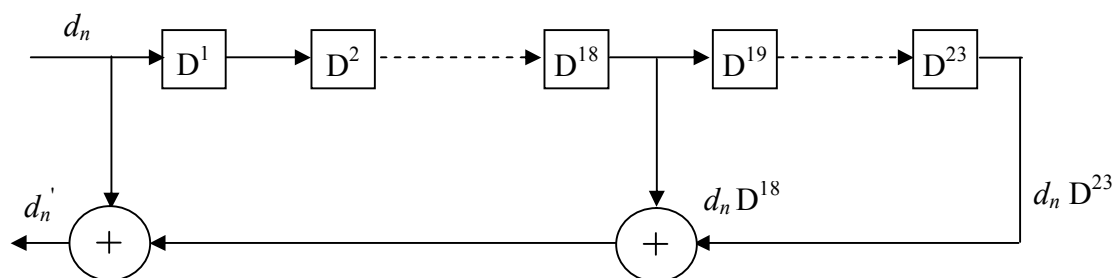
$$d'_n = d_n \oplus d_{n-18} \oplus d_{n-23}, \quad (3.21)$$

де  $d_n$  –  $n$ -ий біт на вході скремблера;

$d'_n$  –  $n$ -ий біт після операції скремблювання.

У приймачі здійснюється зворотне перетворювання прийнятого сигналу шляхом декодування його за допомогою дескремблера.

На рис. 3.27 зображено дескремблер. Наведені як приклад скремблер і дескремблер широко використовують в обладнанні зв'язку, включаючи апаратуру систем SHDSL і ADSL.



**Рисунок 3.27** – Дескремблер

Зауважимо, що скремблер є рекурсивним пристроєм, тоді як дескремблер – нерекурсивним (зворотний зв'язок не містить). Наведена пара скремблера й дескремблера характеризується породжувальним поліномом  $G(D)$ :

$$G(D) = D^{23} + D^{18} + 1. \quad (3.22)$$

Коефіцієнти полінома (3.22) вказують на розташування відводів, де здійснюється операція підсумовування за модулем 2. Породжувальний поліном скремблера зазвичай обирається так, щоб забезпечити на виході псевдовипадкову послідовність максимальної довжини, коли на вхід скремблера надходять поспіль нулі або одиниці. Іншими словами, послідовність максимальної довжини характеризує періодичність послідовності, генерованої при незмінному сигналі на вході скремблера. Якщо коефіцієнти полінома обрано правильно, то зазвичай чим довше скремблер, тим довші послідовності максимальної довжини він виробляє. При цьому довжина послідовності максимальної довжини скремблера дорівнює  $2^n - 1$ , де  $n$  – порядок породжувального полінома скремблера.

Скремблер і дескремблер, зображені на рис. 3.26 і 3.27, є такими, що самосинхронізуються: почавши працювати в довільному стані (тобо при довільних початкових сигналах у комірках скремблера/дескремблера), після закінчення певного проміжку часу дескремблер починає видавати правильно передані двійкові символи. Крім того, помилка біта в каналі не призводитиме до значного збільшення кількості помилок (розмноження помилок) на виході дескремблера. Цю властивість дескремблер має завдяки відсутності в ньому зворотного зв'язку. Проте дескремблер збільшує кількість помилок. Одна однібітова помилка на вході дескремблера призводить до кількості однібітових помилок, що дорівнює кількості відводів дескремблера. У наведеному на рис. 3.27 прикладі одна однібітова помилка на вході спричиняє три однібітові помилки на виході дескремблера. Такий недолік скремблювання компенсується тими перевагами, які забезпечує скремблювання, і тому скремблювання широко застосовують у сучасній апаратурі зв'язку. У різних напрямках передавання використовують різні породжувальні поліноми скремблювання.

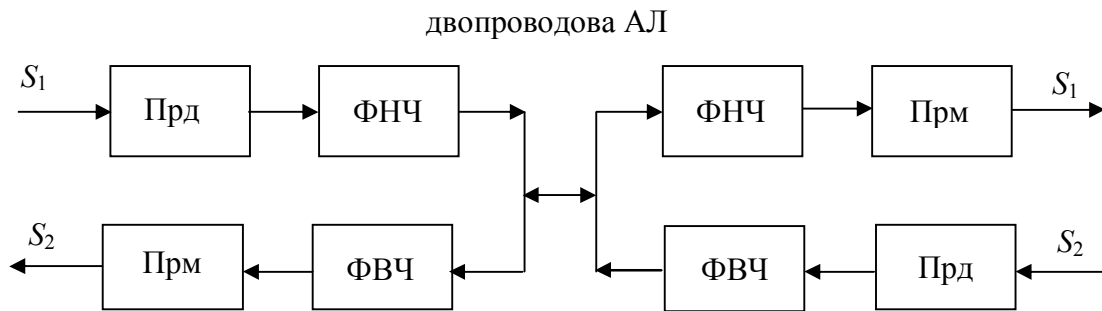
### 3.12 Методи розділення сигналів зустрічних напрямків передавання

Абонентські лінії будують переважно за двопроводовою схемою, й передавання цифрових сигналів в обох напрямках потребує застосування заходів щодо їх розділення. Для забезпечення дуплексного передавання двопроводовими лініями застосовують здебільшого частотне або ехокомпенсаційне розділення сигналів зустрічних напрямків передавання. У деяких моделях обладнання цифрових абонентських ліній (ЦАЛ) на базовій швидкості передавання (144 кбіт/с) використовувався також часове розділення сигналів. За часового розділення (рис. 3.28) двопроводова лінія зв'язку на кожному кінці по чергово синхронно комутується або на передавання сигналів  $S_1$  одного передавача, або на приймання сигналів  $S_2$  протилежного передавача. При цьому швидкість передавання сигналів абонентською лінією більш ніж удвічі вища за потрібну для передавання сигналів одного напрямку. Це спричинює скорочення віддалі зв'язку, що обмежує застосування цього методу розділення незначними швидкостями передавання. Достоїнством цього методу розділення є його простота й можливість реалізації СП винятково на цифрових елементах.



**Рисунок 3.28** – Часове розділення сигналів зустрічних напрямків передавання:  
Прд – передавач СП; Прм – приймач СП

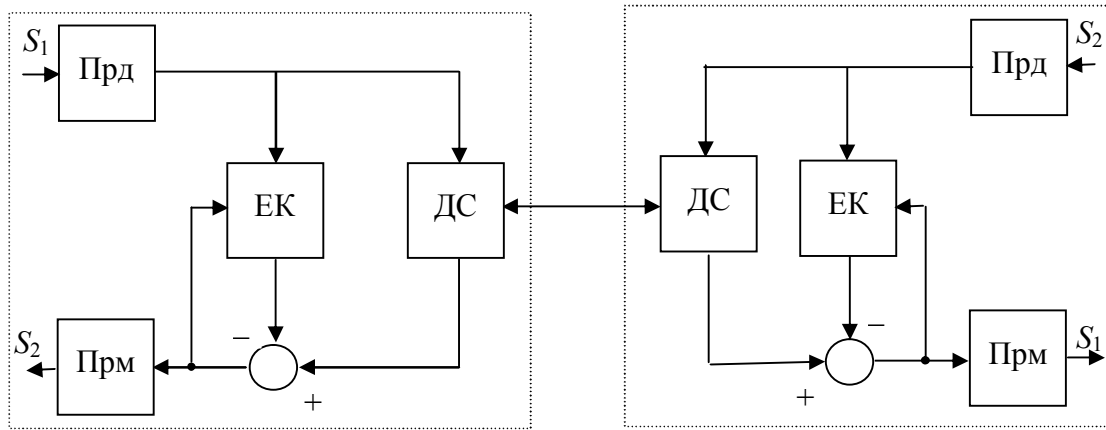
Розділення сигналів  $S_1$  і  $S_2$  зустрічних напрямків передавання за смугами частот здебільшого здійснюється парою (вилкою) фільтрів, що складається з низькочастотного й високочастотного фільтрів (ФНЧ і ФВЧ), які включаються в кожному з напрямків передавання (рис. 3.29). До переваг цього методу розділення можна віднести відсутність перехідних завад на ближньому кінці, які обмежують віддаль зв'язку за низького перехідного загасання на ближньому кінці між паралельно працюючими СП. Однак розширення смуги частот, потрібної для передавання сигналів зустрічних напрямків у різних смугах частот, нівелює це достоїнство.



**Рисунок 3.29** – Розділення сигналів зустрічних напрямків передавання за смугами частот: Прд – передавач СП; Прм – приймач СП

У СП xDSL розділення сигналів зустрічних напрямків передавання за смугами частот, які займаються сигналами, знайшло застосування в приймально-передавальному обладнанні типу ADSL, що використовує асиметричне за швидкістю передавання в різних напрямках. Це зумовлено тим, що, по-перше, асиметрія за швидкістю передавання значно знизилася втрати від розширення смуги частот, а, по-друге, ортогональність і частотна вибірковість сигналів-носіїв ADSL-обладнання дозволяє за синхронізації передавачів різних напрямків передавання здійснити розділення їхніх сигналів без застосування фільтрів або з використанням досить простих фільтрів.

Достоїнством ехокомпенсаційного методу розділення сигналів зустрічних напрямків передавання є висока частотна ефективність передавання інформації, яка зумовлена тим, що сигнали зустрічних напрямків передаються одночасно у всій смузі частот, доступній (виділеній) для передавання. Для розділення таких сигналів застосовують диференційні системи (ДС). Однак принцип, покладений в основу функціонування традиційних (не адаптивних) ДС, не дозволяє забезпечити потрібну величину розв'язки напрямків передавання й приймання. Для забезпечення вимог до розв'язки напрямків передавання застосовують спеціальний пристрій – ехокомпенсатор (ЕК), який вмикається паралельно до ДС (рис. 3.30).



**Рисунок 3.30** – Ехокомпенсаційний метод розділення сигналів: ЕК – ехокомпенсатор; ДС – диференційна система; Прд – передавач СП; Прм – приймач СП

Ехокомпенсатор являє собою цифровий адаптивний фільтр, на вхід якого надходить сигнал передавача, а вихідний сигнал якого віднімається із вхідного сигналу приймача, що являє собою суміш корисного сигналу (сигналу далекого передавача) й завади (сигналу власного передавача). Ехокомпенсатор налаштовується за критерієм мінімуму енергії сигналу передавача на вході власного приймача. Цей метод розділення сигналів  $S_1$  і  $S_2$  зустрічних напрямків передавання набув переважного застосування в СП xDSL.

### **Запитання для закріплення**

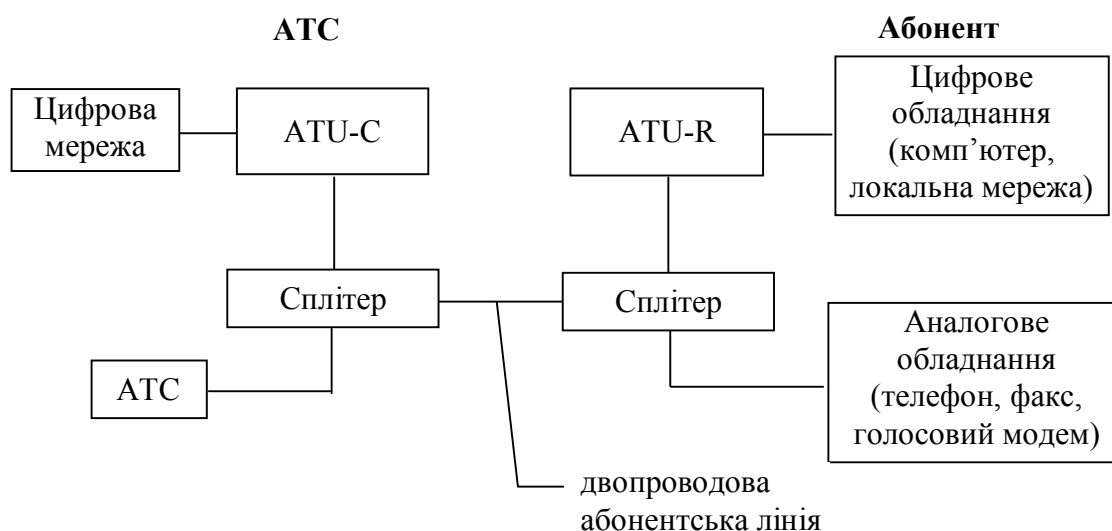
1. Дати характеристику системи ортогональних гармонічних сигналів.
2. Сформулювати переваги гармонічних сигналів.
3. З якою метою створюється захисний інтервал у груповому сигналі?
4. Записати алгоритм модуляції-демодуляції групового сигналу.
5. Які фактори визначають кількість ортогональних несучих?
6. Види та природа інтерференційних завад в СП xDSL.
7. Які переваги має каскадне кодування?

## 4 СИСТЕМИ ПЕРЕДАВАННЯ ЗГІДНО З РЕКОМЕНДАЦІЯМИ МСЕ-T G.992 – G.993

### 4.1 Загальні характеристики СП

В основу функціонування СП за рекомендаціями G.992 – G.993 [32-38] покладено метод передавання ортогональними гармонічними сигналами (ОГС). Відмітною рисою цього класу СП є те, що, з огляду на характер трафіка під час роботи в мережі Інтернет, швидкості передавання в напрямках до абонента й від абонента обрано різними (асиметричними), хоча передбачено також варіант симетричних швидкостей передавання. У силу цього цифрові абонентські лінії, побудовані із застосуванням обладнання цього класу, отримали назву асиметричних цифрових АЛ – ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line). Варіанти регламентованих рекомендаціями МСЕ-T СП ADSL принципово відрізняються один від одного лише кількістю ортогональних несучих і відповідно швидкостями передавання. Так, наприклад, СП ADSL за Рекомендацією G.992.1 МСЕ-T може використовувати максимум 255 ортогональних несучих, а СП VDSL за Рекомендацією G.993.1 використовує вже 2782 ортогональних несучих. Інші відмінності носять непринциповий, інженерний характер. Тому надалі буде розглянуто докладно лише характеристики й алгоритми функціонування СП ADSL за Рекомендацією G.992.1 МСЕ-T, для інших СП буде зазначено в міру потреби лише відмінності.

Важливим достоїнством СП ADSL є можливість одночасної роботи по одній АЛ з аналоговим телефоном традиційної телефонної мережі. Для розв'язки сигналів і збереження телефонного зв'язку на станційному і абонентському боці СП ADSL містять розділювальні пристрої – сплітери (рис. 4.1).



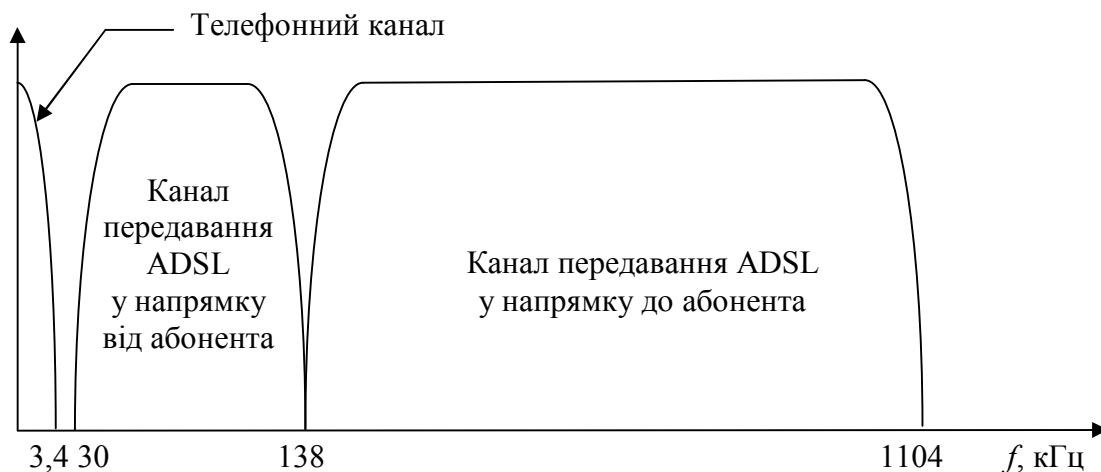
ATU-C – ADSL Transceiver Unit-Central Office End (приймач-передавач ADSL на станційному боці)

ATU-R – ADSL Transceiver Unit-Remote Terminal End (приймач-передавач ADSL на боці абонента)

**Рисунок 4.1** – Сполучення СП ADSL з телефонним обладнанням, що використовує смугу частот 0,3 кГц – 3,4 кГц

Розділення сигналів зустрічних напрямків передавання в СП ADSL здійснюється або за частотою за допомогою фільтрів чи за рахунок частотної вибіркості сигналів-носіїв, або ехокомпенсаційним способом за допомогою ехокомпенсатора, що включається між виходом передавача й входом приймача (див. підрозділ 3.12).

Спектр лінійного сигналу ADSL для варіанта частотного розділення сигналів зустрічних напрямків передавання подано на рис. 4.2. Знизу спектр сигналу обмежений частотою біля 30 кГц (точніше – 25,875 кГц, згідно з G.992.1 Annex A), що дозволяє зберегти телефонний канал. Є також варіант спектра ADSL, який починається з частоти 138 кГц, що забезпечує сумісність із сигналами ISDN при роботі на одній лінії (G.992.1 Annex B). Існують і варіанти «повністю цифрового режиму» ADSL2 і ADSL2+, за якого використовується смуга частот, що починається від 3 кГц (G.992.3 Annex I і Annex J, G.992.5 Annex I і Annex J). Докладно технічні характеристики різних варіантів систем ADSL і VDSL, регламентованих Додатками (Annex) до рекомендацій G.992 і G.993 MCE-T, наведено у розд. 5. Гнучкість у формуванні спектра лінійного сигналу є одним із достоїнств технології ADSL.



**Рисунок 4.2** – Спектр лінійного сигналу ADSL (частотне розділення сигналів зустрічних напрямків передавання)

## 4.2 Структура спектра сигналу

Рекомендацією G.992.1 MCE-T визначено такі основні параметри групового сигналу СП ADSL:

- рознесення за частотою між сусідніми несучими  $\Delta F = 4,3125$  кГц,
- максимальна кількість несучих (включаючи невикористовувані)

становить:

- у низхідному напрямку (downstream) –  $N = 256$ ,
- у висхідному напрямку (upstream) –  $N = 32$ ,
- використовувані несучі мають номери  $l_1, \dots, l_2$ ,

– несуча  $l = 64$  (відповідна частоті  $l\Delta F = 276$  кГц) призначена для передавання пілот-сигналу в низхідному напрямку.

Відповідно до алгоритмів модуляції сигналів у СП ADSL, отримані в результаті кодування сузір'їв у станційному передавачі (ATU-C) координати сигнальних точок  $a_l$  і  $b_l$ ,  $l = l_1, l_1 + 1, l_1 + 2, \dots, l_2 - 1, l_2$ , утворюють комплексний вектор  $\mathbf{R}_l$  згідно з таким правилом:

$$\begin{aligned} R_l &= 0, \quad l = 0, 1, 2, \dots, l_1 - 1, l = l_2 + 1, \dots, 256; \\ R_l &= a_l + ib_l, \quad l = l_1, l_1 + 1, l_1 + 2, \dots, l_2 - 1, l_2; \\ R_{64} &= a_{64} + ib_{64}; \\ R_l &= R_{512-l}^*, \quad l = 256, 257, \dots, 511, \end{aligned} \quad (4.1)$$

де  $a_{64}, b_{64}$  – немодульовані амплітуди синфазної й квадратурної складових пілот-сигналу, а знак (\*) означає операцію комплексного спряження.

У результаті виконання зворотного дискретного перетворення Фур'є (ЗДПФ) вектора  $\mathbf{R}_l$

$$s_{sp}(n) = \sum_{l=0}^{511} R_l e^{i2\pi \frac{ln}{512}}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, 511, \quad (4.2)$$

формується 512 відліків групового сигналу, що доповнюються відліками префікса (захисного інтервалу), які збігаються з 32-ма відліками з номерами  $n = 480 \dots 511$ , отриманими в результаті ЗДПФ-перетворення, що дозволяє сформуванню 544 відліки групового сигналу в низхідному напрямку на кожному тактовому інтервалі.

В абонентському передавачі (ATU-R) вектор  $\mathbf{R}_l$ , що відповідає висхідному потоку, формується в такий спосіб:

$$\begin{aligned} R_l &= 0, \quad l = 0, 1, 2, \dots, l_1 - 1, l = l_2 + 1, \dots, 32, \\ R_l &= a_l + ib_l, \quad l = l_1, l_1 + 1, l_1 + 2, \dots, l_2 - 1, l_2, \\ R_l &= R_{64-l}^*, \quad l = 32, 33, \dots, 63. \end{aligned}$$

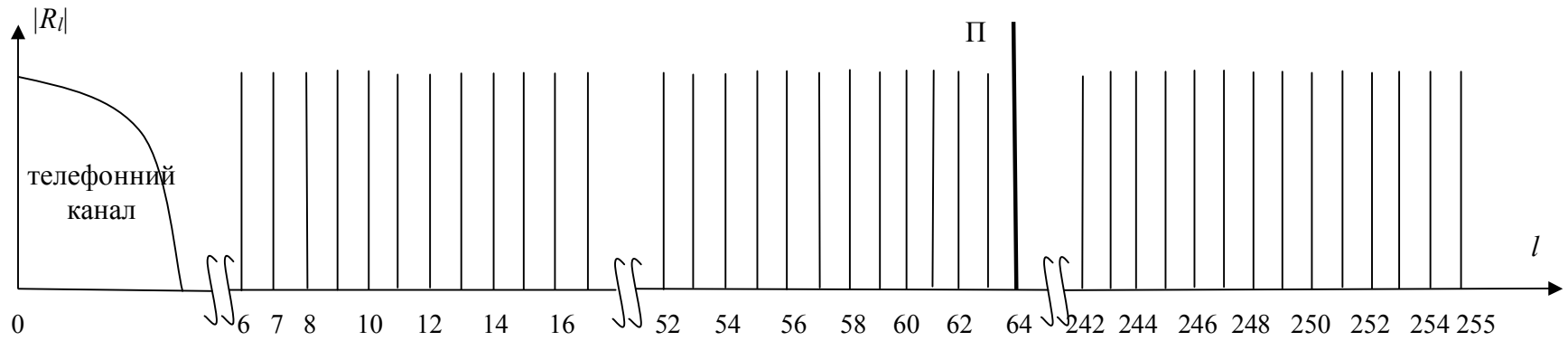
У результаті здійснення ЗДПФ-перетворення вектора  $\mathbf{R}_l$

$$s_{sp}(n) = \sum_{l=0}^{63} R_l e^{i2\pi \frac{ln}{64}}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, 63,$$

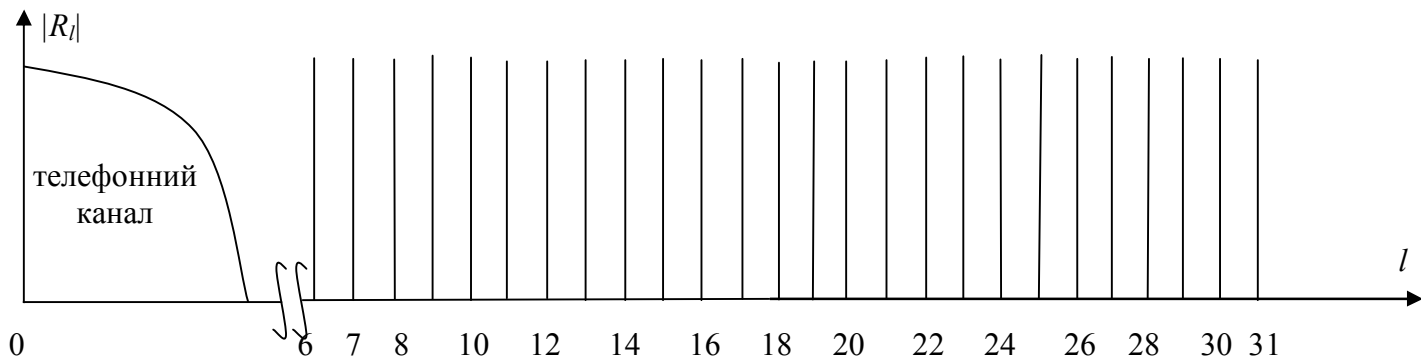
формується 64 відліки групового сигналу, що доповнюються відліками префікса (захисного інтервалу), які збігаються з 4-ма відліками з номерами  $n = 60 \dots 63$ , отриманими в результаті ЗДПФ-перетворення, що дозволяє сформуванню 68 відліків групового сигналу у висхідному напрямку на кожному тактовому інтервалі.

Дискретні спектри, що формуються передавачем ATU-C, за ехокомпенсаційного і фільтрового розділення сигналів наведено на рис. 4.3 і 4.5 відповідно. На рис. 4.6 наведено дискретний сигнал ATU-C. Дискретний спектр і груповий сигнал, формовані передавачем ATU-R, наведено на рис. 4.4 і 4.7 відповідно. Штрихуванням на рис. 4.6 і 4.7 відзначено збіжні (внаслідок додавання захисного інтервалу) області групового сигналу на тактовому інтервалі.

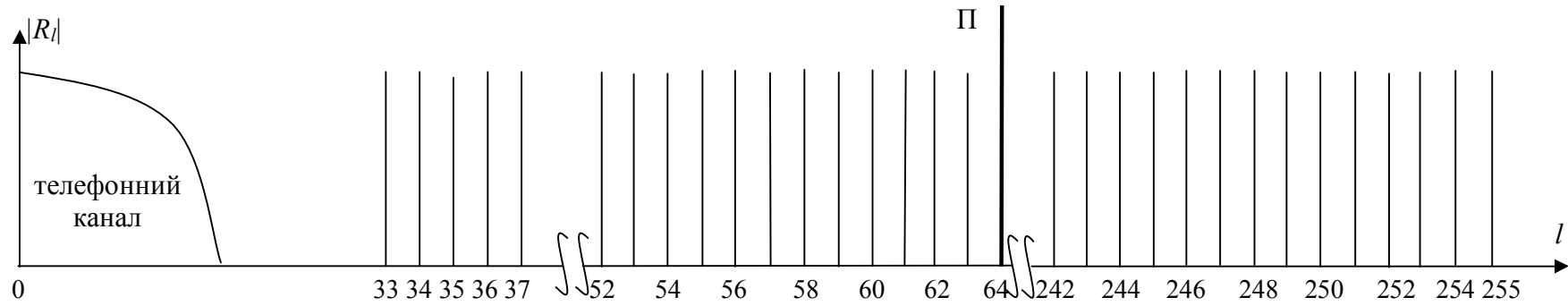




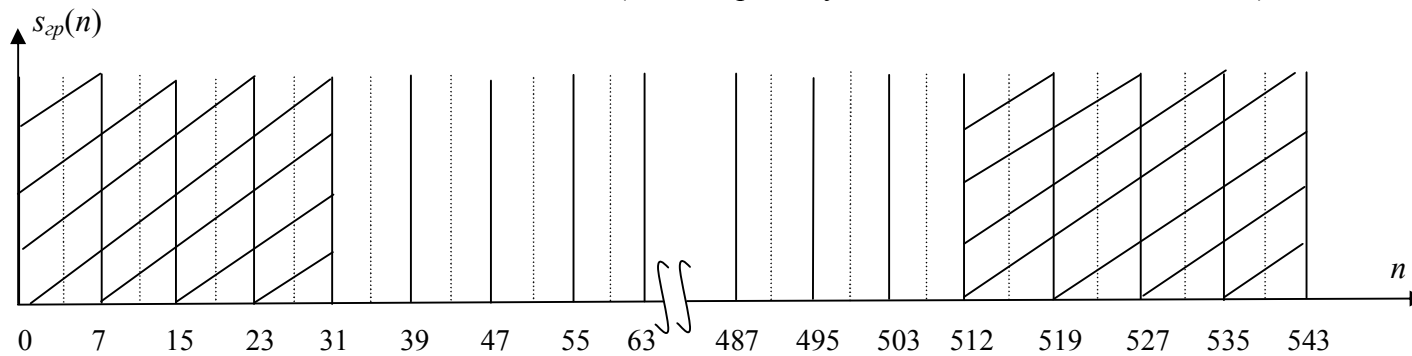
**Рисунок 4.3** – Дискретний спектр ADSL (ATU-C) за ехокомпенсаційного розділення сигналів зустрічних напрямків передавання ( $l$  – номери несучих сигналів, П – пілот-сигнал)



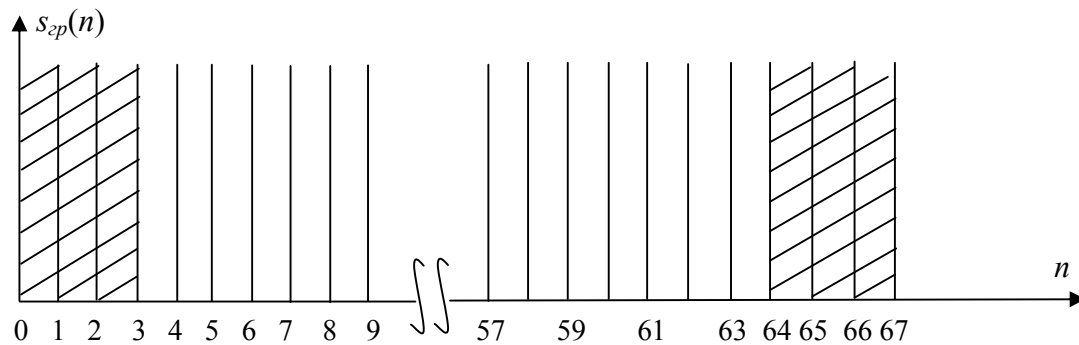
**Рисунок 4.4** – Дискретний спектр ADSL (ATU-R) ( $l$  – номери несучих сигналів)



**Рисунок 4.5** – Дискретний спектр ADSL (ATU-C) за фільтрового розділення сигналів зустрічних напрямків передавання ( $l$  – номери несучих сигналів,  $\Pi$  – пілот-сигнал)



**Рисунок 4.6** – Дискретний сигнал ADSL (ATU-C) ( $n$  – номер відліку, заштриховано збіжні області групового сигналу)



**Рисунок 4.7** – Дискретний сигнал ADSL (ATU-R) ( $n$  – номер відліку) (заштриховано збіжні області групового сигналу)

### 4.3 Структурна схема передавача

Структурну схему передавача ADSL станційного боку (ATU-C) за Рекомендацією G.992.1 MCE-T наведено на рис. 4.8.

Уведено наступні визначення. Фізичний канал ADSL називається *фізичним каналом*, а всі інформаційні й службові канали називаються *логічними, або транзитними, каналами*. Всі види інформації, крім корисної інформації, називаються *службовою інформацією*.

СП ADSL дозволяє одночасно передавати сигнали більше одного інформаційного каналу. Для передавання службової інформації використовуються вмонтований робочий канал – EOC (*Embedded Operations Channel*), службовий канал керування – AOC (*ADSL Overhead control Channel*), а також службові біти. Комбінування й розділення логічних каналів у передавачі й приймачі здійснюється за допомогою кадрової структури, що викладена нижче. Отже, у фізичному каналі ADSL створюється низка *логічних каналів*.

У СП ADSL у низхідному напрямку (у напрямку від станції до абонента) може бути організовано до чотирьох симплексних логічних каналів і до трьох повнодуплексних логічних каналів, які мультиплексуються в єдиний фізичний канал блоком «Мультиплексор» (див. рис. 4.8). Симплексні канали позначені як AS0, AS1, AS2 і AS3, а дуплексні – як LS0, LS1 і LS2. Дуплексні канали можуть мати різні швидкості передавання в різних напрямках, включаючи й нульову швидкість в одному або обох напрямках. Коли швидкість дуплексного каналу дорівнює нулю в одному напрямку, він перетворюється в симплексний канал у напрямку з ненульовою швидкістю. Припустимі швидкості різних транзитних каналів перелічені в таблиці 4.1. Для всіх логічних каналів реальні швидкості передавання кратні 32 кбіт/с. У багатьох реалізаціях у низхідному напрямку використовується тільки один симплексний канал, а у висхідному напрямку дуплексний канал використовується в симплексному режимі. Зазвичай в цих випадках використовуються канали AS0 і LS0.

Можливість використання різних логічних каналів дозволяє ADSL бути досить гнучкою для підтримки різних застосувань. Наприклад, одним із застосувань ADSL є відео за запитом по телефонній лінії. У цьому випадку для передавання цифрового відеозапису й аудіозапису може використовуватися, наприклад, низхідний симплексний канал AS0, тоді як для передавання й приймання керувальної інформації (команди паузи або перемотування) може використовуватися, наприклад, дуплексний канал LS0.

**Таблиця 4.1 – Логічні канали ADSL**

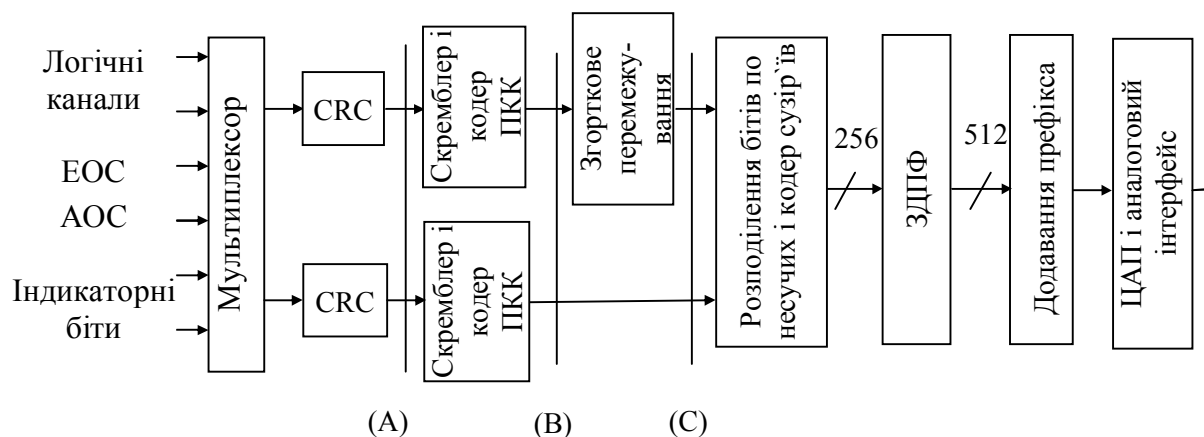
Канал	Тип каналу	Припустима швидкість	Коментарі
AS0	Низхідний симплексний	0 – 6,144 Мбіт/с	Найчастіше використовується як єдиний низхідний канал
AS1	Низхідний симплексний	0 – 4,608 Мбіт/с	
AS2	Низхідний симплексний	0 – 3,072 Мбіт/с	
AS3	Низхідний симплексний	0 – 1,536 Мбіт/с	
LS0	Дуплексний	0 – 640 кбіт/с	Може мати різні швидкості в кожному напрямку. Цей канал найчастіше використовується як висхідний симплексний канал
LS1	Дуплексний	0 – 640 кбіт/с	Може мати різні швидкості в кожному напрямку
LS2	Дуплексний	0 – 640 кбіт/с	Може мати різні швидкості в кожному напрямку

Характерною рисою передавача є наявність у ньому двох трактив – *швидкого й з перемежуванням*. Ці назви зобов'язані своїм походженням тому фактові, що дані тракту з перемежуванням (називані далі *даними з перемежуванням*) з метою декореляції потоку помилок (що призводить до підвищення завадозахищеності) піддаються операції згорткового перемежування, що вносить у ці дані затримку. Дані ж швидкого тракту (*швидкі дані*) не містять блока перемежування й тому проходять через цей тракт швидше. Таке рішення пов'язане з тим, що використовуваний в ADSL метод паралельного передавання ОГС вносить у передавані дані значні затримки, зумовлені тривалістю тактового інтервалу. Але для деяких видів передаваної інформації, наприклад телефонних повідомлень, затримки строго нормуються й великі затримки неприпустимі. І для того, щоб не вносити в такі сигнали додаткову затримку, викликувану перемежуванням, ці дані передають окремим (швидким) трактом, у якому відсутнє перемежування.

Слід зазначити, що будь-який логічний канал призначається або швидкому тракту, або тракту з перемежуванням, але ніяк не обом. Проте, обидва тракти можуть бути активними одночасно (якщо кожному буде призначений один або більше логічних каналів). Однак у багатьох реалізаціях використовується лише один тракт.

Функціонально передавач станційного модему ATU-C і передавач абонентського модему ATU-R реалізуються за тими самими алгоритмами. Однак між ними існують і незначні розбіжності, пов'язані з різними швидкостями передавання “вниз “ і “вверх“. Насамперед, ATU-C і ATU-R

відрізняються кількістю використовуваних несучих сигналів. Інші розбіжності між ATU-C і ATU-R впливають із цього й будуть розглянуті при описуванні передавача ADSL.



**Рисунок 4.8** – Структурна схема передавача ADSL (ATU-C)

Розглянемо призначення блоків передавача. Блок мультиплексування поєднує до чотирьох симплексних (AS0 – AS3) і до трьох дуплексних (LS0 – LS2) інформаційних (логічних) сигналів, синхронізованих з тактовою частотою 4 кГц, із сигналами керування, адміністрування й експлуатації у два окремих потоки даних: швидкий і з перемежуванням. Кожний з потоків підлягає незалежному CRC-кодуванню, скремблюванню й кодуванню кодом, що виправляє помилки (пряме коригувальне кодування – ПКК), – кодом Ріда–Соломона. Потім дані тракту з перемежуванням піддаються операції згорткового перемежування. Сформовані потоки двійкових символів розподіляються по каналах (несучих) передавача відповідно до оптимального розподілу потужності передавача й числа бітів передаваної інформації по несучих. Цей розподіл визначається в приймачі модему ATU-R і передається на протилежний бік. Відповідно до цього розподілу обираються вид сигнального сузір'я (при цьому використовуються сигнально-кодові конструкції) і коефіцієнт підсилення в кожному каналі. У результаті формується комплексний вектор (3.17), що перетворюється за алгоритмом ЗДПФ (3.15). Цифровий сигнал, отриманий у результаті ЗДПФ-перетворення, доповнюється сигналами префікса, перетворюється в аналоговий сигнал і передається абонентською лінією.

#### 4.4 Структура сигналу ADSL

*Кадрова й надкадрова структура* сигналу ADSL дозволяє поєднувати (мультиплексувати) і розділяти логічні канали за передавання їх фізичним каналом ADSL.

Самим великим елементом сигналу ADSL є надкадр. Надкадр має тривалість 17 мс і складається з 68 інформаційних кадрів, нумерованих від 0 до 67, і одного кадру (символу) синхронізації. Кадр синхронізації має ту саму

тривалість, що й кадр даних, і він може розглядатися як кадр, що не переносить даних користувача.

Кожний кадр ADSL, включаючи й кадр синхронізації, відповідає одному ADSL-символу. Частота надходження кадрів становить  $\frac{69 \text{ кадрів}}{17 \text{ мс}} \approx 4,0588 \text{ кГц}$ .

Оскільки *інформаційних* кадрів за 17 мс передається всього 68 (символ синхронізації є службовим і тут не враховується), то частота передавання інформаційних кадрів становить  $\frac{68 \text{ кадрів даних}}{17 \text{ мс}} = 4 \text{ кГц}$ .

Структуру кадра й надкадра передавача ATU-C наведено на рис. 4.9. Всі інформаційні кадри мають аналогічну структуру. Кожний кадр розбивається на дві частини: півкадр, що містить дані швидкого тракту, і півкадр, що містить дані тракту з перемежуванням.

Півкадри, у свою чергу, розбиваються на байти. Кожний півкадр містить точно визначену кількість байтів даних, приналежних кожному з активних логічних каналів. У кожному півкадрі даних містяться також і байти службової інформації; однак ці службові байти різні для різних номерів кадрів. На рис. 4.10 зображено загальну структуру інформаційного кадра ADSL, що відповідає точці (А) рис. 4.8 (на виході блока CRC або на вході скремблера).

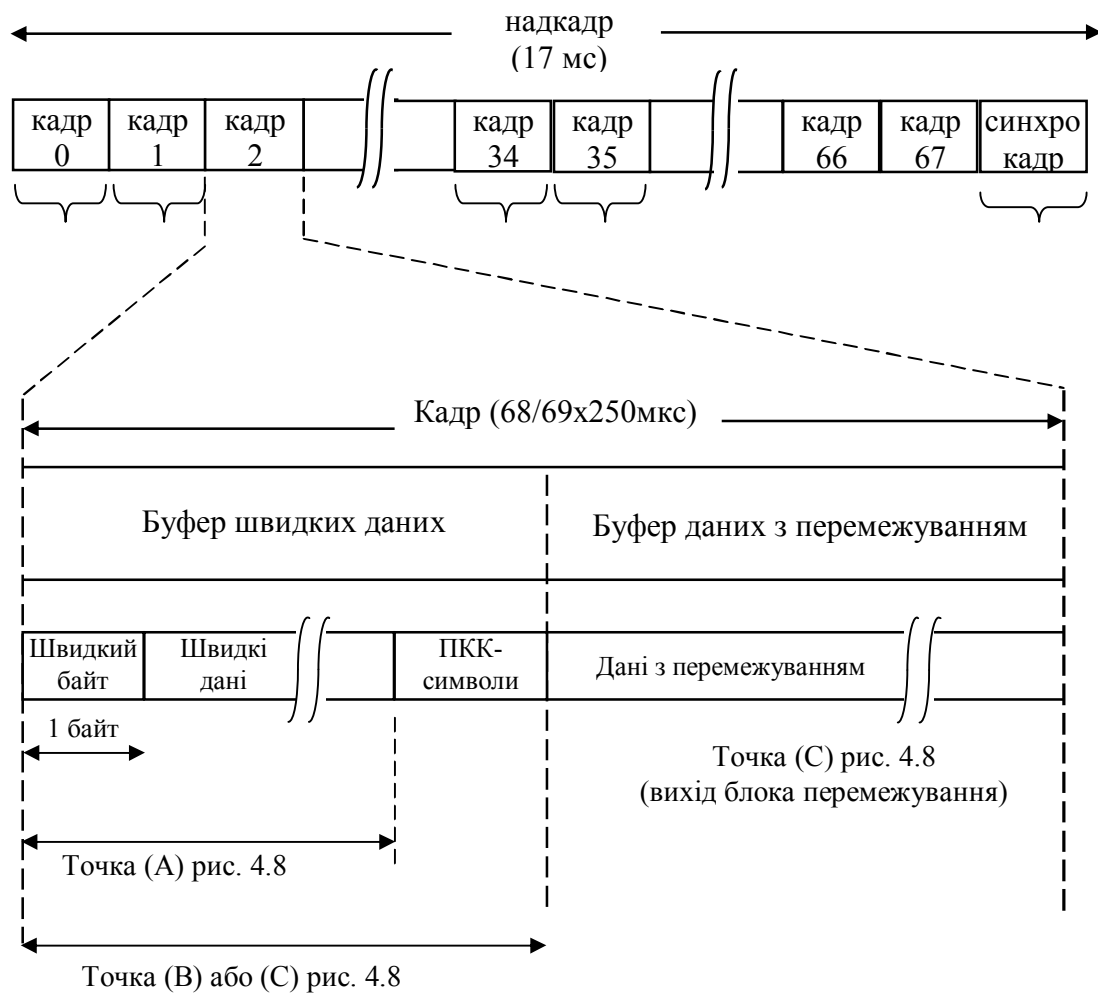
На рис. 4.11 зображено більш детальну структуру півкадра висхідного й низхідного напрямків передавання швидкого тракту на виході блока CRC.

З рис. 4.11 видно, що кожний логічний канал наділяється певною кількістю байтів. Кадр даних, що використовується в низхідному напрямку, має місця для всіх семи транзитних каналів, а кадр висхідного напрямку може переносити лише байти LS-каналів, тому що у висхідному напрямку AS-канали не передаються. Якщо певний логічний канал не використовується у швидкому тракті, то кількість відповідних цьому каналу байтів дорівнює нулю (тому він не буде займати місце в цьому тракті).

Через те що розподіл інформації по кадрах (а інформаційні кадри надходять один за одним із частотою 4 кГц) відбувається байтами, а не частинами байтів, швидкість передавання даних інформаційним каналом кратна величині  $4 \text{ кГц} \times 8 \text{ біт} = 32 \text{ кбіт/с}$ . Фактично швидкість передавання даних інформаційним каналом можна визначити з такого виразу:

$$R_{channel} = \text{кількість байтів на кадр} \times 8 \frac{\text{біт}}{\text{байт}} \times 4000 \frac{\text{кадрів}}{\text{с}}$$

У кадрі даних швидкого буфера присутні декілька службових байтів – *швидкий байт*, АЕХ-Байт і LEX-байт у низхідному напрямку й LEX-байт у висхідному напрямку.



**Рисунок 4.9** – Структура надкадра ADSL (передавач ATU-C)

Службова інформація швидкого тракту	Дані швидкого тракту	Службова інформація швидкого тракту	Службова інформація тракту з перемешуванням	Дані тракту з перемешуванням	Службова інформація тракту з перемешуванням
-------------------------------------	----------------------	-------------------------------------	---	------------------------------	---

**Рисунок 4.10** – Структура кадру, що містить компоненти швидкого тракту й тракту з перемешуванням (відповідає точці (А) на рис. 4.8)

Швидкий байт	Байти AS0	Байти AS1	Байти AS2	Байти AS3	Байти LS0	Байти LS1	Байти LS2	Байт AEX	Байт LEX
--------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------	----------

а)

Швидкий байт	Байти LS0	Байти LS1	Байти LS2	Байт LEX
--------------	-----------	-----------	-----------	----------

б)

**Рисунок 4.11** – Детальна структура швидкої частини кадру ADSL для низхідного напрямку (а) і висхідного напрямку (б), що відповідає точці (А) на рис. 4.8

Перший байт швидкої частини кадру називається «швидким байтом» і служить для передавання кодової, службової й синхронізуючої інформації. Швидкий байт – це скорочення для *байта синхронізації швидкого тракту*. Швидкий байт завжди присутній, навіть якщо швидкий тракт не використовується жодним транзитним каналом. Він виконує чотири різні функції залежно від номера кадру (від 0 до 67). Ці чотири функції такі:

- перенесення CRC-інформації щодо попереднього надкадру швидкого тракту;
- передавання індикаторних бітів;
- перенесення вкладеного (внутрішнього) робочого каналу – EOC (*embedded operations channel*);
- перенесення інформації керування синхронізацією для того, аби керувати вкладенням і вилученням байтів із метою синхронізації (вирівнювання) швидкості логічного каналу з користувальницькою швидкістю (швидкістю, яку потрібно забезпечити).

Призначення каналу EOC і індикаторних бітів залишається за межами розгляду даного керівництва.

Байти AEX і LEX використовуються для того, щоб включати додатковий байт в AS- і LS-канал з метою вирівнювання швидкості логічного каналу з користувальницькою швидкістю.

На рис. 4.12, *а* і 4.12, *б* зображено структуру швидкої частини кадру ADSL на виході блока скремблювання й кодування для висхідного й низхідного напрямків відповідно. Відмінністю структури сигналу швидкої частини в цій точці від структури на виході блока CRC є скремблювання даних і наявність доданих кодером байтів ПКК.

Швидкий байт	Байти LS0	Байти LS1	Байти LS2	LEX-Байт	Перевірні байти коду Ріда–Соломона
--------------	-----------	-----------	-----------	----------	------------------------------------

*а)*

Швидкий байт	Байти AS0	Байти AS1	Байти AS2	Байти AS3	Байти LS0	Байти LS1	Байти LS2	Байт AEX	Байт LEX	Перевірні байти коду Ріда–Соломона
--------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------	----------	------------------------------------

*б)*

**Рисунок 4.12** – Структура швидкої частини кадру ADSL після блока ПКК (точка *B* на рис. 4.8): *а*) – для висхідного напрямку, *б*) – для низхідного напрямку

На рис. 4.13, *а* і 4.13, *б* зображено структуру півкадру з перемежуванням, що відповідає виходу блока CRC (див. рис. 4.8).

Перший байт півкадру з перемежуванням називається *байтом синхронізації* й виконує такі основні функції (деякі із цих функцій аналогічні функціям швидкого байта):

- передавання CRC-інформації щодо попереднього надкадру тракту з перемежуванням;



- перенесення інформації керування синхронізацією для додавання й вилучення байтів із транзитних каналів тракту з перемешуванням;
- перенесення АОС-каналу, коли тракт із перемешуванням не використовується жодним із транзитних каналів.

Призначення каналу АОС залишається за межами розгляду даного посібника.

Байт синхронізації	Байти LS0	Байти LS1	Байти LS2	Байт LEX
--------------------	-----------	-----------	-----------	----------

а)

Байт синхронізації	Байти AS0	Байти AS1	Байти AS2	Байти AS3	Байти LS0	Байти LS1	Байти LS2	Байт AEX	Байт LEX
--------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------	----------

б)

**Рисунок 4.13** – Структура півкадра з перемешуванням на виході блока CRC (точка (А) на рис. 4.8): *a* – для висхідного напрямку, *б* – для низхідного напрямку

У тракті з перемешуванням кодове слово ПКК, на відміну від кодового слова у швидкому тракті, може бути складене з декількох кадрів. Реальна кількість кадрів  $S$  у кодовому слові ПКК тракту з перемешуванням установлюється в процесі ініціалізації. Якщо кожний із цих кадрів містить  $K$  корисних байтів, то кодер Ріда–Соломона додає до  $S \times K$  корисних даних  $R$  перевірних байтів, формуючи кодове слово завдовжки  $S \times K + R$  байт. Після рівномірного розподілу перевірних байтів по  $S$  кадрах на виході блока ПКК кожний кадр тракту з перемешуванням буде містити  $(S \times K + R) / S$  байт. Після кодування Ріда–Соломона кодові слова ПКК піддаються згортковому перемешуванню, у результаті якого кадри, що надходять на вхід кодера сузір'їв (точка (С) на рис. 4.8), складаються з байтів, приналежних декільком кодовим словам ПКК.

## 4.5 Алгоритми перетворення сигналів в передавачі

### 4.5.1 Циклічна надлишкова перевірка. Скремблювання сигналу

Алгоритми циклічної надлишкової перевірки та скремблювання сигналу в системі передавання ADSL за Рекомендацією G.992.1 описано в підрозд. 3.10 та 3.11.

### 4.5.2 Попередня корекція помилок і перемешування

Після скремблювання дані обох трактів (швидкого й з перемешуванням) піддаються незалежно попередньому коригувальному кодуванню (ПКК). Обидва тракти використовують код Ріда–Соломона в полі Галуа GF(256). Кількість  $k$  перевірних байтів і кількість  $n$  корисних байтів, які становлять кодове слово, визначаються в процесі ініціалізації ADSL-з'єднання. У

швидкому тракту кожному кадру відповідає одне кодове слово. У тракту з перемежуванням кодове слово може складатися із цілого числа  $S$  кадрів, де  $S$  – число, дорівнюване ступені двох і яке менше або дорівнює 16 ( $S = 1, 2, 4, 8$  або 16). Для обох трактів кількість перевірних байтів може бути будь-яким парним числом між 0 і 16 включно. Відношення кількості перевірних байтів до кількості корисних байтів має бути близьким до нуля. Таке співвідношення дає прийнятний виграш кодування без значної надлишковості.

Для формування кодового слова Ріда–Соломона розміром  $n = k + r$  байт до  $k$  інформаційних байтів  $m_0, m_1, \dots, m_{k-2}, m_{k-1}$  мають додаватися  $r$  перевірних надлишкових байтів  $c_0, c_1, \dots, c_{r-2}, c_{r-1}$ . Перевірні байти обчислюються з інформаційних байтів в такий спосіб:

$$C(D) = M(D) D^r \text{ mod } G(D),$$

де

$$M(D) = m_0 D^{k-1} \oplus m_1 D^{k-2} \oplus \dots \oplus m_{k-2} D \oplus m_{k-1} - \text{поліном повідомлення};$$

$$C(D) = c_0 D^{r-1} \oplus c_1 D^{r-2} \oplus \dots \oplus c_{r-2} D \oplus c_{r-1} - \text{перевірний поліном};$$

$G(D) = \prod (D \oplus \alpha^i)$  – породжувальний поліном коду Ріда–Соломона, де  $\Pi$  позначає множення, а  $i$  змінюється від 0 до  $r-1$ .

Арифметика виконується в полі Галуа  $GF(256)$ , де  $\alpha$  – примітивний елемент, що задовольняє примітивному бінарному поліному  $x^8 \oplus x^4 \oplus x^3 \oplus x^2 \oplus 1$  (є його коренем). Байт даних  $(d_7, d_6, \dots, d_1, d_0)$  ідентичний елементу поля Галуа  $d_7 \alpha^7 \oplus d_6 \alpha^6 \oplus \dots \oplus d_1 \alpha \oplus d_0$ .

Кількість перевірних байтів  $r$  і розмір кодового слова  $n$  можуть змінюватися.

Кодований сигнал у тракту з перемежуванням піддається операції згорткового перемежування. Глибина перемежування варіюється, але завжди має бути кратна 2. Згорткове перемежування здійснюється за наступним правилом.

*Кожен байт кодової конструкції Ріда–Соломона  $V_0, V_1, \dots, V_{N-1}$  затримується на величину, що пропорційна індексу байта. Інакше кажучи, байт  $V_i$  (з індексом  $i$ ) затримується на  $(D-1) \times i$  байт, де  $D$  – глибина перемежування.*

Приклад для  $n = 5, d = 2$  показано у табл. 4.2, де  $V_i^j$  відповідає  $i$ -му байту  $j$ -го кодового слова.

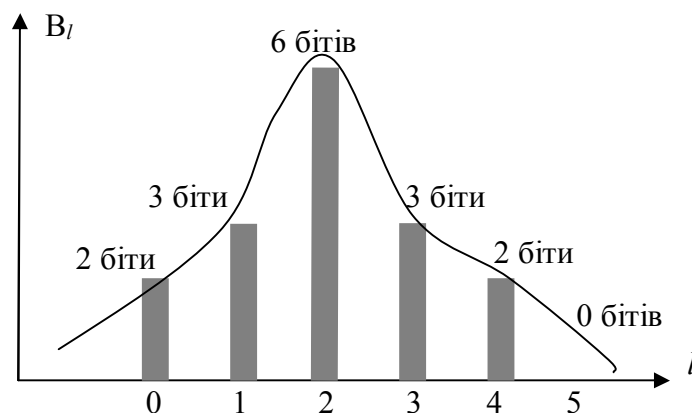
Відповідно до розглянутого правила й обраної глибини перемежування (кратної 2), у разі непарного  $n$  байти на виході буфера з перемежуванням завжди займають «свій» часовий інтервал. Нескладно перевірити, що якщо  $n$  є парним, то таке перемежування здійснити неможливо: байти з попереднього кодового слова «накладаються» на байти наступного кодового слова. Наприклад, при  $d = 2$  і  $n = 4$  байт  $V_2^1$  мав би зайняти місце байта  $V_0^{j+1}$ . Виходом із цього становища є додавання незаповненого байта до початку кодового слова на вході блока перемежування, завдяки чому довжина кодового слова стає непарною. Отримане кодове слово потім піддається згортковому перемежуванню, а незаповнений байт вилучається на виході блока перемежування.

**Таблиця 4.2** – Згорткове перемешування для  $n = 5, d = 2$

Вхід блока перемешування	$B^J_0$	$B^J_1$	$B^J_2$	$B^J_3$	$B^J_4$	$B^{J+1}_0$	$B^{J+1}_1$	$B^{J+1}_2$	$B^{J+1}_3$	$B^{J+1}_4$
Вихід блока перемешування	$B^J_0$	$B^{J-1}_3$	$B^J_1$	$B^{J-1}_4$	$B^J_2$	$B^{J+1}_0$	$B^J_3$	$B^{J+1}_1$	$B^J_4$	$B^{J+1}_2$

### 4.5.3 Розподіл бітів по несучих

Перед надходженням на блок модуляції дані, що підлягають передаванню, накопичуються в буферах даних швидкого тракту й тракту з перемешуванням. Перед модуляцією несучих визначається кількість бітів даних, що мають передаватися на кожній несучій упродовж одного тактового інтервалу. Ця інформація визначається в процесі ініціалізації, коли вимірюється захищеність прийманого на протилежному боці сигналу на частоті кожної несучої. За результатами вимірень у приймачі ATU-R розраховуються припустима кількість бітів і передавана потужність на кожній несучій, і результати розрахунків передаються на ATU-C. Для ADSL кількість бітів на одну несучу може бути від двох до 15-ти включно, або нулем (в ADSL2 і ADSL2+ забезпечена можливість передавання одного біта на несучій). Приклад розподілу по несучих бітів, що підлягають передаванню, наведено на рис. 4.14.



**Рисунок 4.14** – Приклад розподілу кількості передаваних упродовж тактового інтервалу бітів  $V_l$  по несучих  $l$

Важливою особливістю розподілу бітів по несучих є те, що біти швидкого тракту розподіляються по несучих з невеликою кількістю бітів, а біти тракту з перемешуванням – з більшою кількістю бітів. Це здійснюється з метою мінімізувати ймовірність помилки під час дії в каналі зв'язку імпульсних завад. Імпульсні завади абонентської лінії практично однаково впливають на кожну несучу завдяки рівномірному спектру завади. Однак помилок при цьому буде породжуватися більше при демодуляції несучих, промодульованих більш щільними сигнальними сузір'ями. Це збільшення числа помилок після демодуляції й здійснення внутрішнього рівня декодування буде компенсовано більшою виправною здатністю зовнішнього коду в тракті з перемешуванням.

#### 4.5.4 Ґратчасте кодування й перетворення бітів

Розподілені по несучих біти передаваної інформації до перетворення у відповідні сигнали сигнальних сузір'їв піддаються внутрішньому кодуванню, алгоритми якого ілюструє рис. 4.15.

На вхід схеми перетворення надходить двійковий символ  $u = (u_{z'}, u_{z'-1}, \dots, u_1)$ , що складається з  $z' = x + y - 1$  бітів, які підлягають передаванню на двох сусідніх несучих СП ADSL, де  $x$  і  $y$  – кількість бітів, що підлягають передаванню на першій і другій із цих несучих відповідно (віднімання одиниці пов'язане з тим, що на дві несучі припадає один надлишковий біт, отриманий у результаті згорткового кодування). Молодші біти символу  $u$  ( $u_1$  і  $u_2$ ) перетворюються за допомогою згорткового кодера (див. рис. 4.16) у біти  $u_0$ ,  $u_1$  і  $u_2$ .

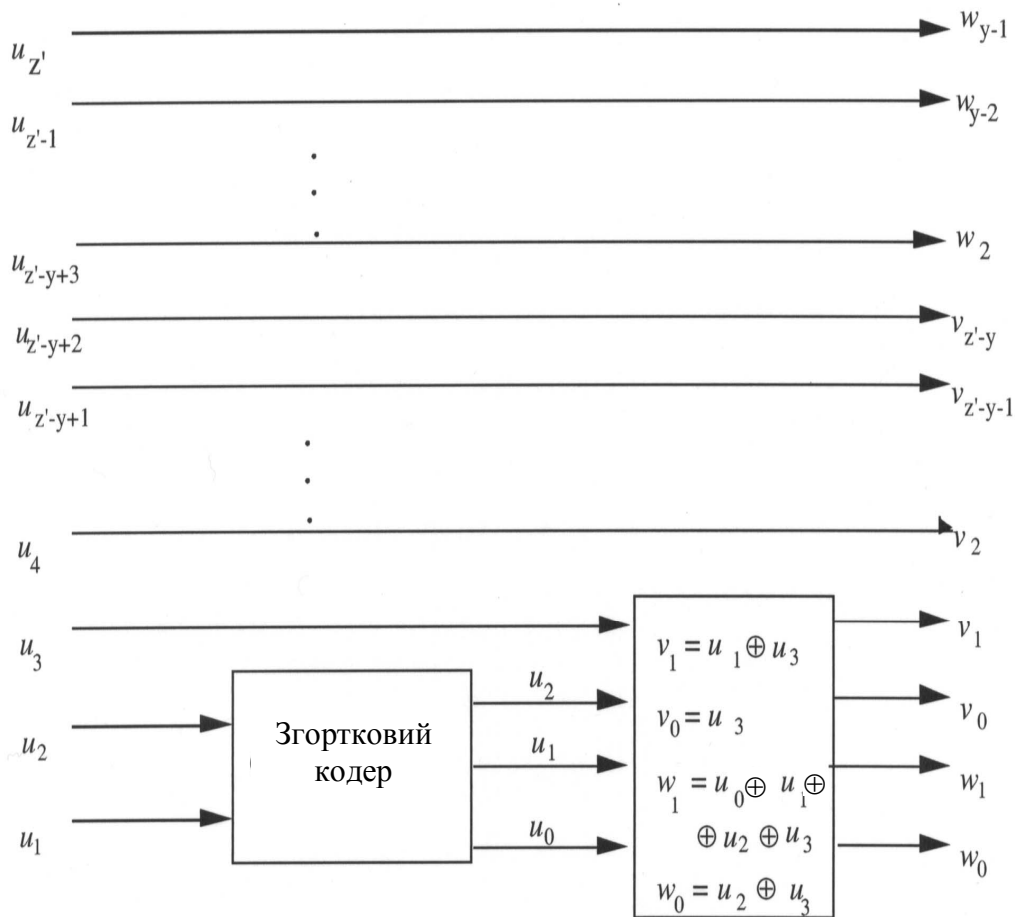


Рисунок 4.15 – Схема перетворення бітів

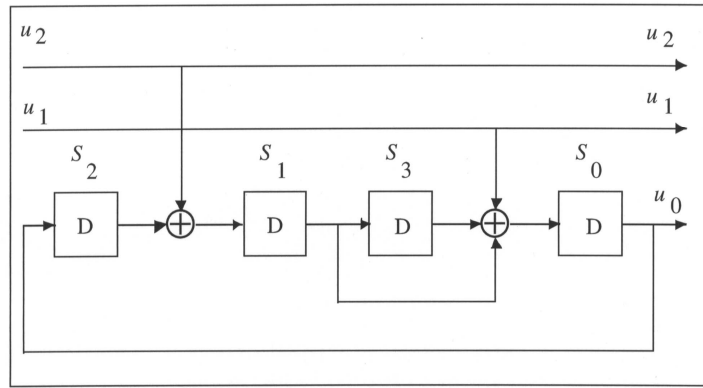


Рисунок 4.16 – Схема згорткового кодера

Відповідну згортковому кодеру гратчасту діаграму наведено на рис. 4.17.

На рис. 4.17  $S = (S_3, S_2, S_1, S_0)$  є двійковим поданням поточного стану (від 0 до F), тоді як  $T = (T_3, T_2, T_1, T_0)$  є двійковим поданням наступного стану (також від 0 до F). Розглянута гратчаста діаграма використовується при декодуванні коду за алгоритмом Вітербі. У результаті кодування двійкове слово  $u = (u_{z'}, u_{z'-1}, \dots, u_1)$  перетворюється у два двійкових слова:  $v = (v_{z'-y}, \dots, v_0)$  і  $w = (w_{y-1}, \dots, w_0)$ , кожне з яких використовується для задання точки сузір'я на відповідній несучій.

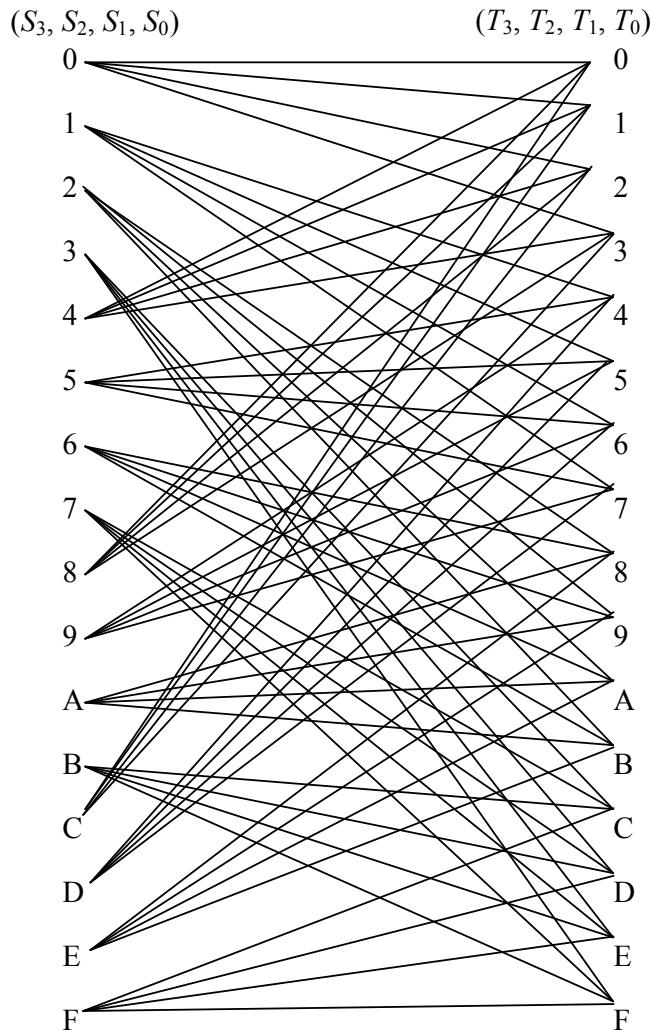


Рисунок 4.17 – Гратчаста діаграма

### 4.5.5 Кодер сузір'їв

Для кожної несучої кодер сузір'їв має перетворити двійкові слова (символи)  $v$  або  $w$  у точку  $(a_l, b_l)$  сигнального сузір'я, де координати  $a_l$  і  $b_l$  є непарними цілими числами. Для зручності описування кожна точка сузір'я позначається цілим числом, двійкове подання якого відповідає набору бітів, що підлягає кодуванню. Наприклад, при кількості бітів, що підлягають кодуванню,  $n = 2$  сузір'я складаються із чотирьох точок, які позначаються як 0, 1, 2, 3 і відповідають наборам бітів (0, 0), (0,1), (1, 0), (1, 1) відповідно. На рис. 4.18 зображено приклади сузір'їв для  $n = 2$  і  $n = 4$ .

Чотирибітове сузір'я може бути отримане з двобітового сузір'я шляхом заміни кожної точки  $x$  блоком точок  $2 \times 2$ :

$$\begin{array}{cc} 4x + 1 & 4x + 3 \\ 4x & 4x + 2 \end{array}$$

Така сама процедура може бути застосована для конструювання сузір'їв з більшим парним числом бітів. Сузір'я для парного числа  $n$  являють собою квадрат.

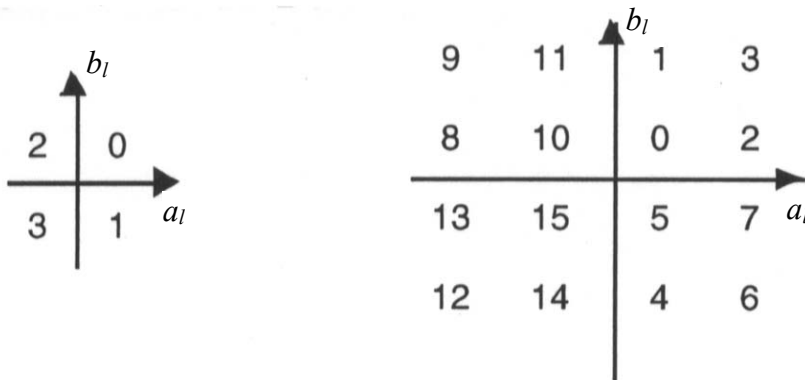


Рисунок 4.18 – Точки сузір'я для  $n = 2$  і  $n = 4$

На рис. 4.19 і 4.20 показано сузір'я для  $n = 3$  і  $n = 5$  відповідно.

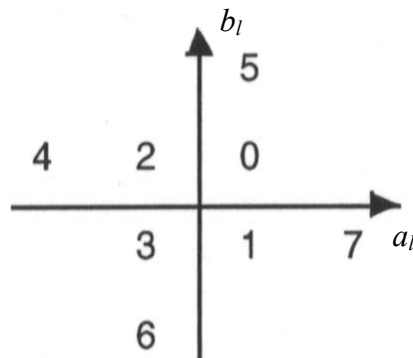
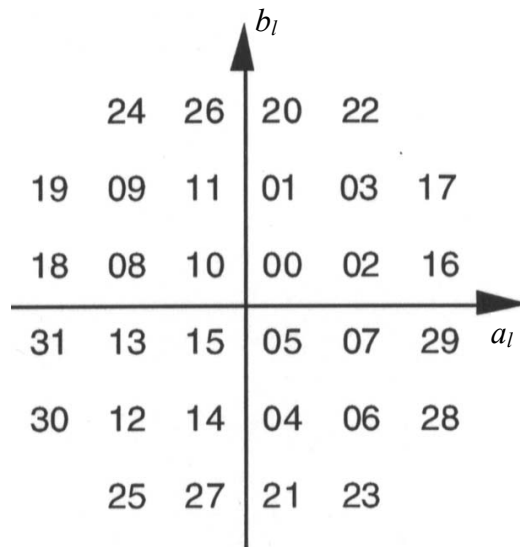


Рисунок 4.19 – Точки сузір'я для  $n = 3$



**Рисунок 4.20** – Точки сузір'я для  $n = 5$

Семибітове сузір'я може бути отримане з п'ятибітового шляхом заміни кожної точки  $x$  блоком точок  $2 \times 2$ :

$$\begin{array}{cc} 4x + 1 & 4x + 3 \\ 4x & 4x + 2 \end{array}$$

Така сама процедура може потім здійснюватися для конструювання сузір'їв з великим непарним числом бітів.

### **Запитання для закріплення**

1. Назвати основні характеристики та достоїнства систем передавання за технологією xDSL.
2. Дати характеристику варіантів дискретних спектрів СП ADSL.
3. Особливості побудови передавача ADSL.
4. Призначення алгоритмів циклічної надлишкової перевірки, скремблювання, перемежування.
5. Особливості алгоритму завадозахисного кодування.
6. Алгоритм розподілу бітів інформації по несучих.
7. Алгоритм гратчастого кодування.
8. Алгоритм кодування сузір'їв.

## 5 ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛІНІЙНИХ ІНТЕРФЕЙСІВ ОБЛАДНАННЯ xDSL-ДОСТУПУ

### 5.1 Рекомендації MCE-T, що стандартизують СП xDSL

Характеристики приймачів-передавачів xDSL регламентовано рекомендаціями G.991 – G.993 MCE-T [30–38]. У табл. 5.1 наведено відповідність між типами СП xDSL і рекомендаціями MCE-T, що їх регламентують.

**Таблиця 5.1** – Відповідність між типами СП xDSL і рекомендаціями MCE-T

Тип СП xDSL	Позначення рекомендацій MCE-T	Рік публікації останньої версії
HDSL	G.991.1	1998
SHDSL	G.991.2	2003
ADSL	G.992.1	1999
ADSL G.Lite (Splitterless ADSL – ADSL без сплітера)	G.992.2	1999
ADSL2	G.992.3	2005
Splitterless ADSL2 (ADSL2 без сплітера)	G.992.4	2002
ADSL2+	G.992.5	2005
VDSL	G.993.1	2004
VDSL2	G.993.2	2006

Різноманіття різновидів СП xDSL не вичерпується наведеними в табл. 5.1 типами. СП кожного типу може бути реалізовано в різних варіантах, визначених додатками (Annex – в англійському варіанті) до відповідної рекомендації. Варіанти СП, регламентовані відповідними додатками, відрізняються здебільшого діапазоном частот сигналу на виході передавача в низхідному й висхідному напрямках передавання й маскою спектральної густини потужності сигналу на виході передавача (маска визначає максимально припустимі значення спектральної густини потужності сигналу на кожній частоті).

У списку літератури (п.п. 30 – 38) подано назви додатків для всіх типів СП xDSL, крім HDSL і SHDSL. СП HDSL далі не згадується, оскільки її фактично витиснено СП SHDSL, а останню описано в розділі 6.

### 5.2 Еволюція ADSL і VDSL

Технології ADSL і VDSL стрімко розвиваються: упродовж 7 років, починаючи з 1999 року, коли було прийнято Рекомендацію G.992.1 MCE-T



(ADSL), стандартизовано п'ять типів систем ADSL і два типи систем VDSL (див. табл. 5.1). Нижче наведено короткий опис кожного з цих типів СП.

*Асиметрична цифрова абонентська лінія ADSL (Asymmetric DSL)* за Рекомендацією МСЕ-Т G.992.1 забезпечує швидкість передавання до 6,144 Мбіт/с у низхідному напрямку й до 640 кбіт/с – у висхідному. Обладнання більшості виробників забезпечує швидкість передавання до 8 Мбіт/с у низхідному напрямку й до 1 Мбіт/с – у висхідному. Асиметричність швидкості передавання в комплексі з постійно встановленим з'єднанням (коли зникає потреба щоразу набирати телефонний номер і очікувати встановлення з'єднання) робить технологію ADSL ідеальною для організації доступу до мережі Інтернет. Технологія ADSL дозволяє зберігати телефонний зв'язок шляхом використання частотних роздільників (сплітерів): одного – на АТС, а іншого – у приміщенні користувача. До одного входу сплітера в приміщенні користувача вмикається аналоговий телефонний апарат, а до другого – ADSL-модем, що, залежно від реалізації, може виконувати також функції маршрутизатора, комутатора або моста. При цьому робота ADSL-модему не заважає функціонуванню традиційного телефонного зв'язку, який працює незалежно від того, функціонує чи ні канал ADSL.

**Примітка 1.** У Додатку Н до Рекомендації МСЕ-Т G.992.1 описано симетричний варіант ADSL, який забезпечує швидкість передавання від 192 кбіт/с до 1600 кбіт/с як у низхідному, так і у висхідному напрямках. Передбачено використання повністю цифрового режиму передавання (коли використовуються несучі із частотами  $n \cdot 4,3125$  кГц, де  $n = 1, 2, \dots, 5$ ).

**Примітка 2.** У Додатку І Зміни 1 від 2003 р. до Рекомендації МСЕ-Т G.992.1 фактично описано прототип ADSL 2+, що забезпечує швидкість передавання до 24 Мбіт/с у низхідному напрямку.

*Асиметрична цифрова абонентська лінія ADSL G.Lite* за Рекомендацією МСЕ-Т G.992.2 – це варіант технології ADSL, що забезпечує швидкість передавання в низхідному напрямку до 1,5 Мбіт/с, а у висхідному – до 512 кбіт/с. Обладнання за технологією G.Lite є простішим в установлянні й дешевшим за ADSL. Одним із шляхів спрощення установляння модемів ADSL G.Lite стало введення високочастотної частини сплітера в корпус модемів, що позбавило від потреби встановлення зовнішнього сплітера (звідси й назва – Splitterless ADSL (ADSL без сплітера)).

*Асиметрична цифрова абонентська лінія ADSL2* за Рекомендацією МСЕ-Т G.992.3 є вдосконаленою версією ADSL. Технологія ADSL2 забезпечує швидкість передавання в низхідному напрямку до 8 Мбіт/с, а у висхідному – до 800 кбіт/с. Обладнання більшості виробників забезпечує швидкість передавання до 12 Мбіт/с у низхідному напрямку й до 1 Мбіт/с – у висхідному. Збільшення швидкості передавання, порівняно з ADSL за Рекомендацією G.992.1, зумовлено внесенням цілого ряду описаних нижче вдосконалень.

1) Більш гнучка й ефективна побудова кадру, що дозволяє керувати кількістю службової інформації (від 4 кбіт/с до 64 кбіт/с), тобто зменшити її кількість, а отже збільшити швидкість передавання корисної інформації, що особливо важливо на довгих лініях.

- 2) Структура кадрів дозволяє більш ефективно використовувати виграш кодування Ріда–Соломона.
- 3) Оновлено процедури діагностики лінії, призначені для виявлення несправностей і моніторингу характеристик ліній ADSL2 під час роботи: приймачі-передавачі ADSL2 здатні вимірювати рівень шуму в лінії, загасання й відношення сигнал/шум на обох кінцях лінії. При цьому вимірювання таких параметрів може здійснюватися навіть за неможливості встановлення нормального з'єднання на даній лінії.
- 4) Додано підтримку однобітових кодових сузір'їв, що дозволяє забезпечити більшу віддачу роботи системи на малих швидкостях.
- 5) Поліпшено процедури керування передаванням. Наприклад, система може адаптувати швидкість передавання даних у режимі реального часу. Це нововведення, назване фоновою адаптацією швидкості (Seamless Rate Adaptation, SRA), дозволяє системам ADSL2 змінювати швидкість передавання даних прямо під час роботи без переривань зв'язку або бітових помилок. Для цього система діагностує зміни характеристик каналу зв'язку (наприклад коли місцева АМ-радіостанція вимикає свій передавач на ніч) і непомітно для користувача змінює швидкість передавання.
- 6) Додано функцію регулювання споживаної потужності, що дозволяє системі перебувати в сталому режимі  $L0$  (режимі неперервного передавання корисної інформації), режимі низького споживання потужності  $L2$  (споживана потужність залежить від характеру трафіка) або в режимі холостого ходу  $L3$  (сплячий режим, коли інформація тривалий час не передається).

*Асиметрична цифрова абонентська лінія ADSL2 без сплітера* за Рекомендацією G.992.4 – наступне покоління технології ADSL G.Lite. Порівняно з технологією ADSL G.Lite, ADSL2 без сплітера має низку удосконалень:

- оптимізовано підтримку цифрових служб і передавання голосу;
- оптимізовано можливість змінювання характеристик лінії «на ходу»;
- оптимізовано процедури керування спектром передавання;
- додано підтримку однобітових кодових сузір'їв;
- додано цілком цифровий режим роботи.

*Асиметрична цифрова абонентська лінія ADSL2+* за Рекомендацією G.992.5 забезпечує швидкість передавання в низхідному напрямку до 16 Мбіт/с, а у висхідному – до 800 кбіт/с. Обладнання ADSL2+ більшості виробників забезпечує швидкість передавання у висхідному напрямку до 1 Мбіт/с, а в низхідному – до 24 Мбіт/с. Таке збільшення швидкості передавання стало можливим за рахунок майже дворазового (до 2,208 МГц) розширення смуги частот, використовуваної для передавання в низхідному напрямку.

Основні відмінності ADSL2+ від ADSL2:

- підтримка до трьох кодових слів коду Ріда–Соломона на один DMT-символ;

– удосконалено процедури керування спектром за встановлення з'єднання й під час передавання інформації;

– поліпшено підтримку послуг, які потребують високих швидкостей передавання даних у низхідному напрямку (наприклад, широкосмугові розважальні послуги).

**Примітка.** Прототип ADSL2+, який забезпечує швидкість передавання до 24 Мбіт/с у низхідному напрямку, фактично описано у Додатку І Зміни 1 від 2003 р. до Рекомендації MCE-T G.992.1.

*Надвисокошвидкісна цифрова абонентська лінія VDSL (Very high speed Digital Subscriber Line) за Рекомендацією G.993.1 забезпечує в асиметричному варіанті швидкість передавання в низхідному напрямку до 57 Мбіт/с, а у висхідному – до 33 Мбіт/с. У симетричному варіанті швидкість передавання в обох напрямках становить до 33 Мбіт/с (однак таку високу швидкість передавання може бути досягнуто лише на невеликих відстанях: близько 300 м за швидкості 57 Мбіт/с і близько 1,8 км – за швидкості 13 Мбіт/с). Технологія VDSL може використовуватися у тих самих цілях, що й ADSL, а також для передавання сигналів телебачення високої чіткості (HDTV), відео за запитом тощо.*

*Надвисокошвидкісна цифрова абонентська лінія VDSL2 за Рекомендацією G.993.2 забезпечує сумарну швидкість передавання в низхідному й висхідному напрямках до 200 Мбіт/с.*

Основні відмінності VDSL2 від VDSL:

– визначено плани частот до 30 МГц, що дозволяє отримати сумарну швидкість передавання до 200 Мбіт/с (швидкість передавання в низхідному напрямку плюс швидкість передавання у висхідному напрямку);

– визначено більшу кількість профілів для підтримки широкого спектра сценаріїв установа (наприклад, на АТС, у розподільному ящику з підведеною до нього оптоволоконною лінією, у будинку абонента тощо);

– збільшено до 20,5 дБм максимальну потужність передавання в низхідному напрямку;

– регламентовано обов'язкову підтримку гратчастого кодування;

– поліпшено процедури ініціалізації;

– регламентовано обов'язкову підтримку всіх типів сигнальних сузір'їв для передавання від 1 біт до 15 біт упродовж тактового інтервалу;

– забезпечено підтримку широкого спектра параметрів тестування (за аналогією з ADSL 2);

– поліпшено будову кадру, засновану на ADSL2, з вдосконаленим службовим каналом;

– поліпшено можливості надлишкового кодування й перемежування, розширено спектр настроювань кодувального пристрою коду Ріда–Соломона й пристрою перемежування;

– забезпечено підтримку повністю цифрового режиму роботи.

### 5.3 Характеристики інтерфейсів ADSL і VDSL

Характеристики інтерфейсів ADSL і VDSL зведено в табл. 5.2, в якій надано посилання на відповідні рисунки.

Для кожного різновиду СП xDSL на рис. 5.1 – 5.41 подано маски спектральної густини потужності (СГП) сигналу на виході передавача, які визначають максимально припустимі значення спектральної густини потужності (СГП) сигналу на кожній частоті. У ряді випадків сумарна потужність у діапазоні частот від 0 кГц до 4 кГц (позначуваному на рис. фігурною дужкою) обмежена величиною 15 дБ(пВт) (одиниця виміру дБ(пВт) означає децибели щодо нульового рівня 1 пВт). Швидкість зростання СГП вимірюється в «дБ/октава»: наприклад, запис «21 дБ/окт.» означає, що СГП сигналу зростає на 21 дБ при зростанні частоти вдвічі.

У підписах до рисунків використовуються такі скорочення:

- ATU-C – ADSL Transceiver Unit, Central office end (приймач-передавач ADSL на станційному боці);
- ATU-R – ADSL Transceiver Unit, Remote terminal end (приймач-передавач ADSL на боці користувача);
- VTU-O – VDSL(2) Transceiver Unit at the Optical network unit (приймач-передавач VDSL(2) на оптичному мережному вузлі);
- VTU-R – VDSL(2) Transceiver Unit at the Remote site (приймач-передавач VDSL(2) на боці користувача).

**Примітка.** VDSL (2) означає VDSL або VDSL2.

**Таблиця 5.2 – Характеристики інтерфейсів ADSL і VDSL**

Різнovid СП xDSL	Рекомендація MSE-T	Швидкість передавання, кбіт/с		Номинальна СГП в смузі частот найбільшого зосередження спектра, дБм/Гц		Максимальна потужність сигналу на виході передавача в смузі пропускання, дБм		Діапазон частот, кГц		Рознесен- ня між сусідніми несучими, кГц	Мінімальне загасання асиметрії, дБ		Маска спектра сигналу на виході передавача	
		низх.	висх.	низх.	висх.	низх.	висх.	низх.	висх.		низх.	висх.	низх.	висх.
1	2	3		4		5		6		7	8		9	
ADSL Annex A	G.992.1	32–6144 з кроком 32	32 – 640 з кроком 32	-40	-38	20,4	12,5	від 25,875 до 1104 (з перекриттям спектрів сигналів зустрічних напрямків передавання) або від 138 до 1104 (без перекр.)	від 25,875 до 138	4,3125	40 (у діапа- зоні частот від 30 до 1104 кГц)	Рис. 5.1 і 5.2	Рис. 5.3	
ADSL Annex B		32– 6144 з кроком 32	32 –640 з кроком 32	-40	-38	19,9	13,3	від 138 до 1104	від 138 до 276	4,3125	40 (у діапазоні частот від 138 до 1104 кГц)	Рис. 5.4	Рис. 5.5	
ADSL Annex C		32–6144 з кроком 32	32–640 з кроком 32	-40	-38	20,4	12,5	від 25,875 до 1104 (з перекр.) або від 138 до 1104 (без перекр.)	від 25,875 до 138	4,3125	40 (у діапазоні частот від 30 до 1104 кГц)	Рис. 5.1 і 5.2	Рис. 5.3	

Таблиця 5.2 (продовження)

1	2	3		4		5		6		7	8	9	
ADSL Annex I	G.992.1	32–6144 (опція 24448) із кроком 32 (опція 96)	32–640 з кроком 32	-40	-38	20,9 (з перекр.) 20,4 (без перекр.)	12,5	від 25,875 до 2208 (з перекр.) або від 138 до 2208 (без перекр.)	від 25,875 до 138	4,3125	40 (у діапазоні частот від 30 до 2208 кГц)	Рис. 5.6 і 5.7	Рис. 5.3
ADSL Annex H		192–1600 з кроком 32	192–1600 з кроком 32	-40	-40	20,4	20,4	від 25,875 до 1104 або від 4,3125 до 1104	від 25,875 до 1104 або від 4,3125 до 1104	4,3125	40 (у діапазоні частот від 4,3125 до 1104 кГц)	Рис. 5.8	Рис. 5.8
ADSL G.Lite Annex A	G.992.2	32–1536 з кроком 32	32–512 з кроком 32	-40	-38	16,2	12,5	від 138 до 552	від 25,875 до 138	4,3125	40 (у діапазоні частот від 30 до 552 кГц)	Рис. 5.9	Рис. 5.3
ADSL G.Lite Annex B		32–1536 з кроком 32	32–512 з кроком 32	-40	-38	17,2	12,5	від 25,875 до 552	від 25,875 до 138	4,3125	40 (у діапазоні частот від 30 до 552 кГц)	Рис. 5.10	Рис. 5.3
ADSL G.Lite Annex C		32–1536 з кроком 32	32–512 з кроком 32	-40	-38	16,2 або 17,2	12,5	від 138 до 552 або від 25,875 до 552	від 25,875 до 138	4,3125	40 (у діапазоні частот від 30 до 552 кГц)	Рис. 5.9 або рис. 5.10	Рис. 5.3

Таблиця 5.2 (продовження)

1	2	3		4		5		6		7	8		9	
ADSL2 Annex A	G.992.3	32–8000 із кроком 32	32–800 із кроком 32	- 40	- 38	20,9 (з перекр.) 20,4 (без перекр.)	13	від 25,875 до 1104 (з перекр.) або від 138 до 1104 (без перекр.)	від 25,875 до 138	4,3125	50 (у діап. від 30 до 138 кГц), 40 (у діап. від 138 до 1104 кГц)	50 (у діап. від 30 до 1104 кГц)	Рис. 5.11, 5.12	Рис. 5.3
ADSL2 Annex B		32–8000 із кроком 32	32–800 із кроком 32	- 40	- 38	20,4 (з перекр.) 19,8 (без перекр.)	13,8	від 120 до 1104 (з перекр.) або від 254 до 1104 (без перекр.)	від 120 до 276	4,3125	50 (у діап. від 120 до 276 кГц), 40 (у діап. від 276 до 1104 кГц)	50 (у діап. від 120 до 1104 кГц)	Рис. 5.13, 5.14	Рис. 5.15
ADSL2 Annex C.A		32–8000 із кроком 32	32–800 із кроком 32	- 40	- 38	20,9 (з перекр.) 20,4 (без перекр.)	13	від 25,875 до 1104 (з перекр.) або від 138 до 1104 (без перекр.)	від 25,875 до 138	4,3125	50 (у діап. від 30 до 138 кГц), 40 (у діап. від 138 до 1104 кГц)	50 (у діап. від 30 до 1104 кГц)	Рис. 5.11, 5.12	Рис. 5.3
ADSL2 Annex C.B		32–8000 із кроком 32	32–800 із кроком 32	- 40	- 41	20,9 (з перекр.) 20,4 (без перекр.)	13	від 25,875 до 1104 (з перекр.) або від 138 до 1104 (без перекр.)	від 25,875 до 276	4,3125	50 (у діап. від 120 до 276 кГц), 40 (у діап. від 276 до 1104 кГц)	50 (у діап. від 30 до 1104 кГц)	Рис. 5.11, 5.12	Рис. 5.16

96 Таблица 5.2 (продовження)

1	2	3		4		5		6		7	8		9	
ADSL2 Annex I	G.992.3	32–8000 із кроком 32	32 –800 із кроком 32	- 40	- 38	20,9 (з перекр.) 20,4 (без перекр.)	13,8	від 3 до 1104 (з перекр.) або від 138 до 1104 (без перекр.)	від 3 до 138	4,3125	50 (у діап. від 4 до 138 кГц), 40 (у діап. від 138 до 1104 кГц)	50 (у діап. від 4 до 1104 кГц)	Рис. 5.17, 5.18	Рис. 5.19
ADSL2 Annex J		32–8000 із кроком 32	32–800 із кроком 32	- 40	- 38 (див. табл. 5.4)	20,9 (з перекр.) 19,8 (без перекр.)	13,9	від 3 до 1104 (з перекр.) або від 254 до 1104 (без перекр.)	від 3 до $f_1$ (див. табл. 5.4)	4,3125	50 (у діап. від 4 до 276 кГц), 40 (у діап. від 276 до 1104 кГц)	50 (у діап. від 4 до 1104 кГц)	Рис. 5.17, 5.14	Рис. 5.20
ADSL2 Annex L		32– 8000 із кроком 32	32 – 800 із кроком 32	- 40	- 36,4 (маска 1), - 32,9 (маска 2)	19,4 (з перекр.) 19,3 (без перекр.)	13	від 25,875 до 552 (з перекр.) або від 138 до 552 (без перекр.)	від 25,875 до 103,5 (маска 1) або від 25,875 до 60,375 (маска 2)	4,3125	50 (у діап. від 30 до 103,5 кГц), 40 (у діап. від 103,5 до 552 кГц)	0 (у діап. від 30 до 552 кГц)	Рис. 5.21, 5.22	Рис. 5.23 (маска 1) 5.24 (маска 2)
ADSL2 Annex M		32– 8000 із кроком 32	32–800 із кроком 32	- 40	- 38 (див. табл. 5.3)	20,9 (з перекр.) 19,8 (без перекр.)	13 (див. табл. 5.3)	від 25,875 до 1104 (з перекр.) або від 254 до 1104 (без перекр.)	від 25,875 до $f_1$ (див. табл. 5.3)	4,3125	50 (у діап. від 30 до 276 кГц), 40 (у діап. від 276 до 1104 кГц)	50 (у діап. від 30 до 1104кГц)	Рис. 5.11 і 5.14	Рис. 5.16



Таблиця 5.2 (продовження)

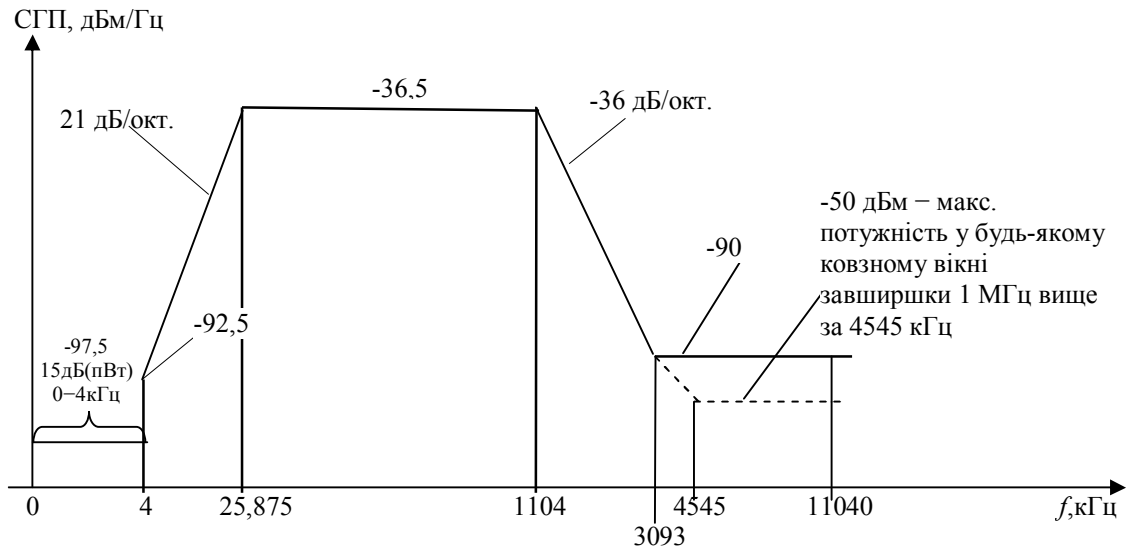
1	2	3		4		5		6		7	8		9	
Splitterless ADSL2 Annex A	G.992.4	32–1536 із кроком 32	32–512 із кроком 32	- 40	- 38	17,7 (з перекр.) 16,7 (без перекр.)	13	від 25,875 до 552 (з перекр.) або від 138 до 552 (без перекр.)	від 25,875 до 138	4,3125	50 (у діап. від 30 до 138 кГц), 40 (у діап. від 138 до 552 кГц)	50 (у діап. від 30 до 552 кГц)	Рис. 5.10, 5.9	Рис. 5.3
Splitterless ADSL2 Annex I		32–1536 із кроком 32	32–512 із кроком 32	- 40	- 38	17,7 (з перекр.) 16,7 (без перекр.)	13,8	від 3 до 552 (з перекр.) або від 138 до 552 (без перекр.)	від 3 до 138	4,3125	50 (у діап. від 4 до 138 кГц), 40 (у діап. від 138 до 552 кГц)	50 (у діап. від 4 до 552 кГц)	Рис. 5.25, 5.26	Рис. 5.19
ADSL2+ Annex A	G.992.5	32–16000 із кроком 32	32–800 із кроком 32	- 40	- 38	20,9 (з перекр.) 20,4 (без перекр.)	13	від 25,875 до 2208 (з перекр.) або від 138 до 2208 (без перекр.)	від 25,875 до 138	4,3125	50 (у діап. від 30 до 138 кГц), 40 (у діап. від 138 до 2208 кГц)	50 (у діап. від 30 до 1104 кГц), 40 (у діап. від 1104 до 2208 кГц)	Рис. 5.6, 5.7	Рис. 5.27
ADSL2+ Annex B		32–16000 із кроком 32	32–800 із кроком 32	- 40	- 38	20,4 (з перекр.) 19,8 (без перекр.)	13,8	від 120 до 2208 (з перекр.) або від 254 до 2208 (без перекр.)	від 120 до 276	4,3125	50 (у діап. від 120 до 276 кГц), 40 (у діап. від 276 до 2208 кГц)	50 (у діап. від 120 до 1104 кГц), 40 (у діап. від 1104 до 2208 кГц)	Рис. 5.28, 5.29	Рис. 5.30

86 Таблица 5.2 (продовження)

1	2	3		4		5		6		7	8		9	
ADSL2+ Annex C.A	G.992.5	32–16000 із кроком 32	32– 800 із кроком 32	- 40	- 38	20,9 (з перекр.) 20,4 (без перекр.)	13	25,875- 2208 (з перекр.) або від 138 до 2208 (без перекр.)	від 25,875 до 138	4,3125	50 (у діап. від 30 до 138 кГц), 40 (у діап. від 138 до 2208 кГц)	50 (у діап. від 30 до 1104 кГц), 40 (у діап. від 1104 до 2208 кГц)	Рис. 5.6, 5.7	Рис. 5.27
ADSL2+ Annex C.B		32–16000 із кроком 32	32– 800 із кроком 32	- 40	- 41	20,9 (з перекр.) 20,4 (без перекр.)	13	25,875- 2208 (з перекр.) або від 138 до 2208 (без перекр.)	від 25,875 до 276	4,3125	50 (у діап. від 120 до 276 кГц), 40 (у діап. від 276 до 2208 кГц)	50 (у діап. від 30 до 2208 кГц)	Рис. 5.6, 5.7	Рис. 5.16
ADSL2+ Annex I		32–16000 із кроком 32	32– 800 із кроком 32	- 40	- 38	20,9 (з перекр.) 20,4 (без перекр.)	13,8	3– 2208 (з перекр.) або від 138 до 2208 (без перекр.)	від 3 до 138	4,3125	50 (у діап. від 4 до 138 кГц), 40 (у діап. від 138 до 2208 кГц)	50 (у діап. від 4 до 1104 кГц), 40 (у діап. від 1104 до 2208 кГц)	Рис. 5.31, 5.32	Рис. 5.33
ADSL2+ Annex J		32–16000 із кроком 32	32– 800 із кроком 32	- 40	- 38 (див. табл. 5.4)	20,9 (з перекр.) 19,8 (без перекр.)	13,9	3- 2208 (з перекр.) або від 254 до 2208 (без перекр.)	від 3 до $f_1$ (табл. 5.4)	4,3125	50 (у діап. від 4 до 276 кГц), 40 (у діап. від 276 до 2208 кГц)	50 (у діап. від 4 до 1104 кГц), 40 (у діап. від 1104 до 2208 кГц)	Рис. 5.31, 5.29	Рис. 5.20
ADSL2+ Annex M		32–16000 із кроком 32	32– 800 із кроком 32	- 40	- 38 (див. табл. 5.3)	20,9 (з перекр.) 19,8 (без перекр.)	13 (див. табл. 5.3)	25,875 – 2208 (з перекр.) або від 254 до 2208 (без перекр.)	від 25,875 до $f_1$ (табл. 5.3)	4,3125	50 (у діап. від 30 до 276 кГц), 40 (у діап. від 276 до 2208 кГц)	50 (у діап. від 30 до 1104 кГц), 40 (у діап. від 1104 до 2208 кГц)	Рис. 5.6, 5.29	Рис. 5.16

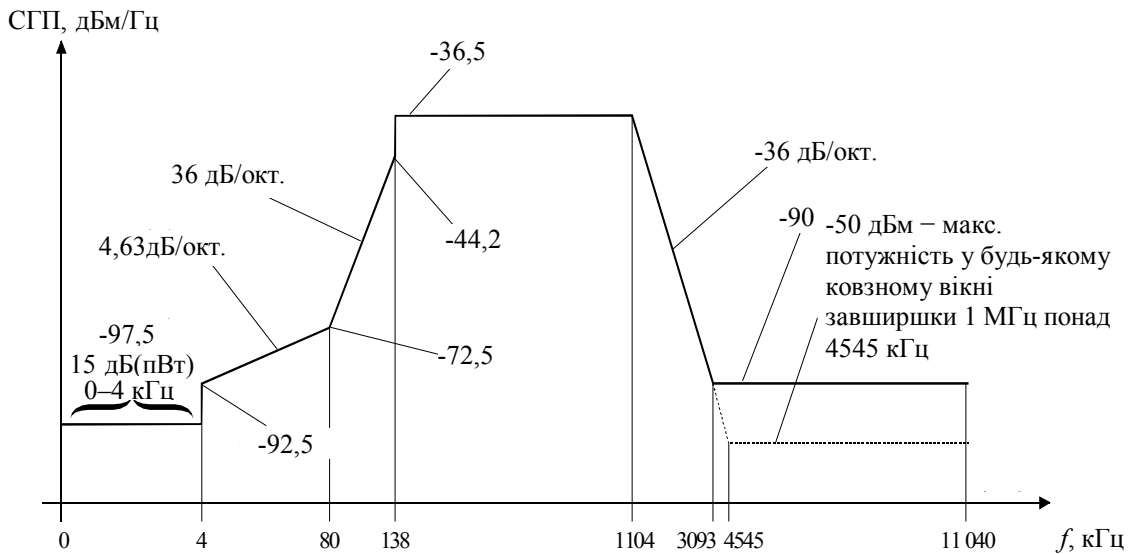
66 Закінчення таблиці 5.2

1	2	3		4		5		6		7	8	9	
VDSL Annex E	G.993.1	Від 64 до 57024 із кроком 64	Від 64 до 33024 із кроком 64	- 40	- 38	14,5	11,5	смуги плану частот А: від 25,875 до 138 (опціональна), від 138 до 3750, від 5200 до 8500; смуги плану частот В: від 25,875 до 138 (опціональна), від 138 до 3000, від 5100 до 7050	смуги плану частот А: від 25,875 до 138 (опціональна), від 3750 до 5200, від 8500 до 12000; смуги плану частот В: від 25,875 до 138 (опціональна), від 3000 до 5100, від 7050 до 12000	4,3125	55 (у діап. від 0 до 25 кГц), від 55 на част. 25 кГц до 43 на частоті 30 МГц (див. п. 8.1.3 [45])	див. п. 8.1.5.3 [45], рис. 5.34, 5.35	див. п. 8.1.5.3 [45], рис. 5.36, 5.37
VDSL Appendix III	G.993.1	Від 64 до 57024 із кроком 64	Від 64 до 33024 із кроком 64	- 40	- 38	14,5	11,5	смуги плану частот А: від 25,875 до 138 (опціональна), від 138 до 3750, від 5200 до 8500; смуги плану частот В: від 25,875 до 138 (опціональна), від 138 до 3000, від 5100 до 7050	смуги плану частот А: від 25,875 до 138 (опціональна), від 3750 до 5200, від 8500 до 12000; смуги плану частот В: від 25,875 до 138 (опціональна), від 3000 до 5100, від 7050 до 12000	8,625	55 (у діап. до 25 кГц), від 55 на част. 25 кГц до 43 на частоті 30 МГц (див. п. 8.1.3 [45])	див. п. 8.1.5.3 [45], рис. 5.34, 5.35	див. п. 8.1.5.3 [45], рис. 5.36, 5.37
VDSL2 Annex B	G.993.2	до 100000	до 100000	- 40	- 38	20,5	14,5	смуги плану частот А: від 25,875 до 138 (опціональна), від 138 до 3750, від 5200 до 8500; смуги плану частот В: від 25,875 до 138 (опціональна), від 138 до 3000, від 5100 до 7050	смуги плану частот А: від 25,875 до 138 (опціональна), від 3750 до 5200, від 8500 до 12000; смуги плану частот В: від 25,875 до 138 (опціональна), від 3000 до 5100, від 7050 до 12000	4,3125 або 8,625	38 (у діап. до 12 МГц)	див. п. В.2 Рек. G.993.2 [38], рис. 5.38, 5.39	див. п. В.2 Рек. G.993.2 [38], рис. 5.40, 5.41



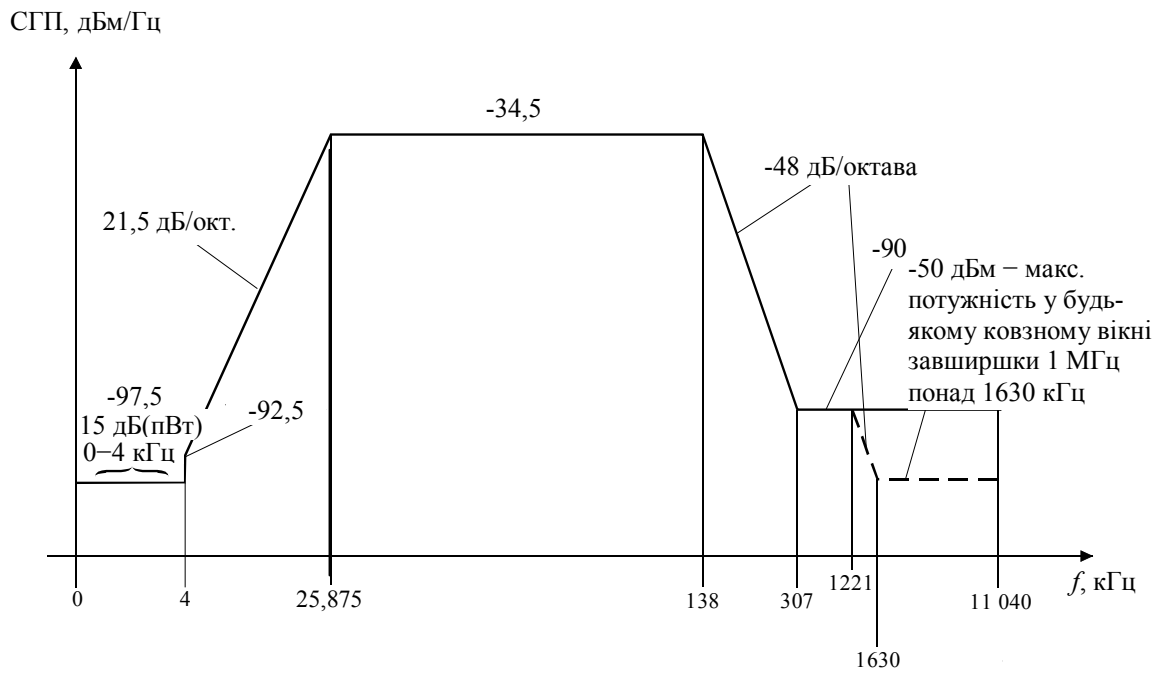
**Примітка.** Штриховою лінією зображено графік залежності від частоти сумарної потужності в ковзному вікні завширшки 1 МГц у діапазоні від  $f$  до  $f + 1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.1** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача АТУ-С (G.992.1 Annex A) у режимі з перекриттям спектрів передавання й приймання



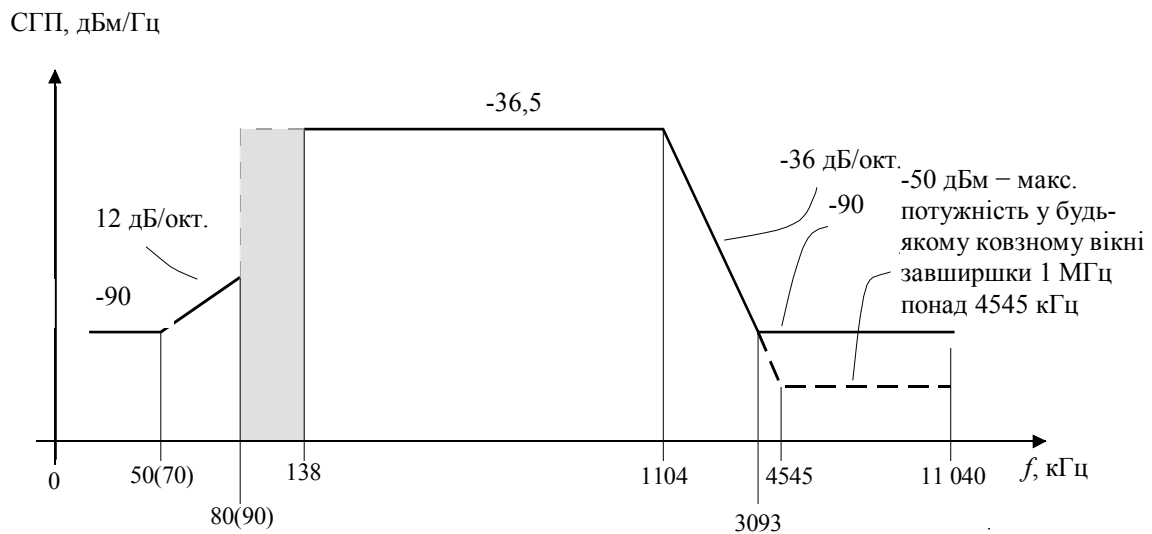
**Примітка.** Штриховою лінією зображено графік залежності від частоти сумарної потужності в ковзному вікні завширшки 1 МГц у діапазоні від  $f$  до  $f + 1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.2** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача АТУ-С (G.992.1 Annex A) у режимі без перекриття спектрів передавання й приймання



**Примітка.** Штриховою лінією зображено графік залежності від частоти сумарної потужності в ковзному вікні завширшки 1 МГц у діапазоні від  $f$  до  $f + 1$  МГц ( $f > 1221$  кГц).

**Рисунок 5.3** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-R (G.992.1 Annex A)

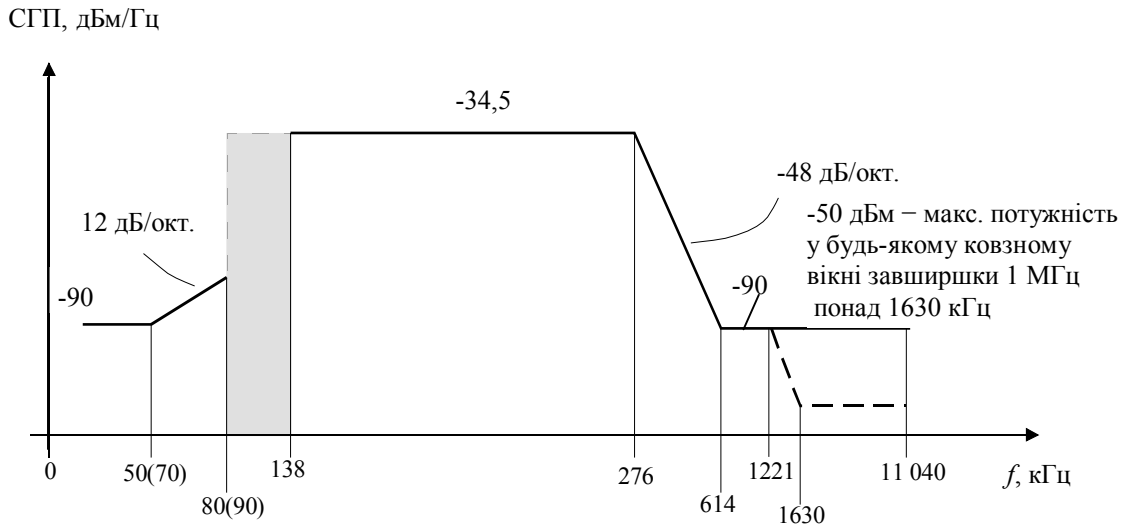


**Примітка 1.** Штриховою лінією зображено графік залежності від частоти сумарної потужності в ковзному вікні завширшки 1 МГц у діапазоні від  $f$  до  $f + 1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Примітка 2.** Значення спектральної густини потужності в смузі від 80(90) кГц до 138 кГц залежать від реалізації фільтрів.

**Примітка 3.** Частоти 50 і 80 кГц стосуються випадку, коли ISDN використовує лінійний код 2B1Q (G.961 Appendix II). Частоти 70 і 90 кГц стосуються випадку, коли ISDN використовує лінійний код 4B3T (G.961 Appendix I).

**Рисунок 5.4** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-C (G.992.1 Annex B) за роботи на одній лінії з ISDN

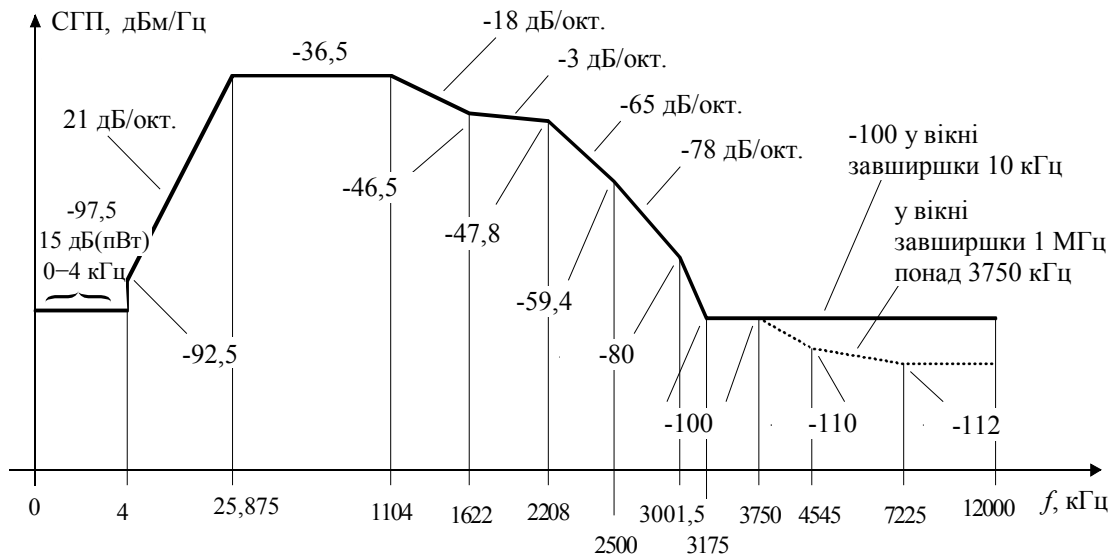


**Примітка 1.** Штриховою лінією зображено графік залежності від частоти сумарної потужності в ковзному вікні завширшки 1 МГц у діапазоні від  $f$  до  $f + 1$  МГц ( $f > 1221$  кГц).

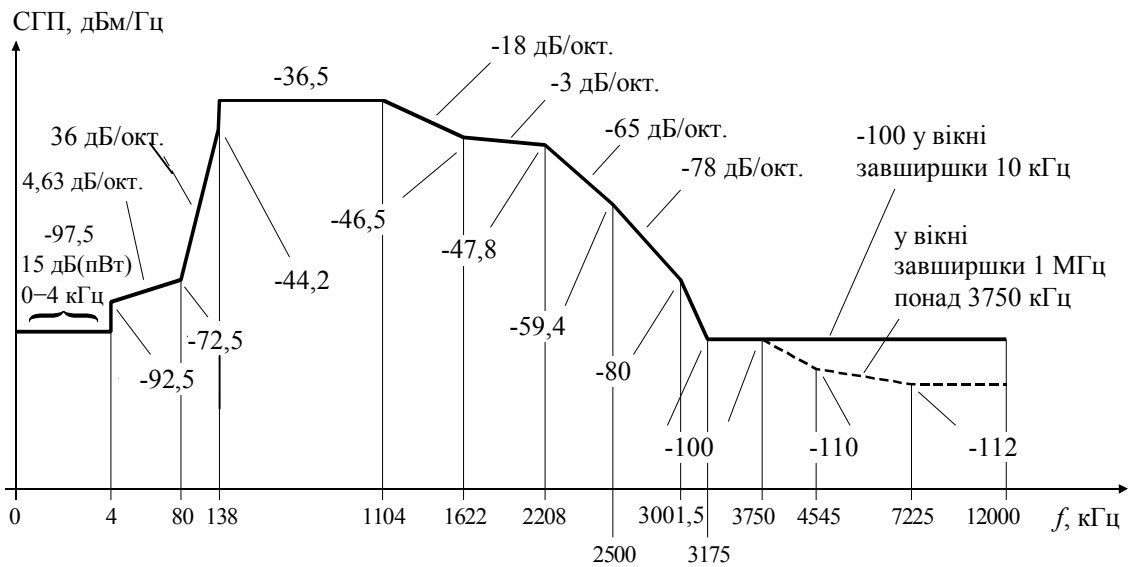
**Примітка 2.** Значення спектральної густини потужності в смузі від 80(90) кГц до 138 кГц залежать від реалізації фільтрів.

**Примітка 3.** Частоти 50 і 80 кГц є стосовні до випадку, коли ISDN використовує лінійний код 2B1Q (G.961 Appendix II). Частоти 70 і 90 кГц є стосовні до випадку, коли ISDN використовує лінійний код 4B3T (G.961 Appendix I).

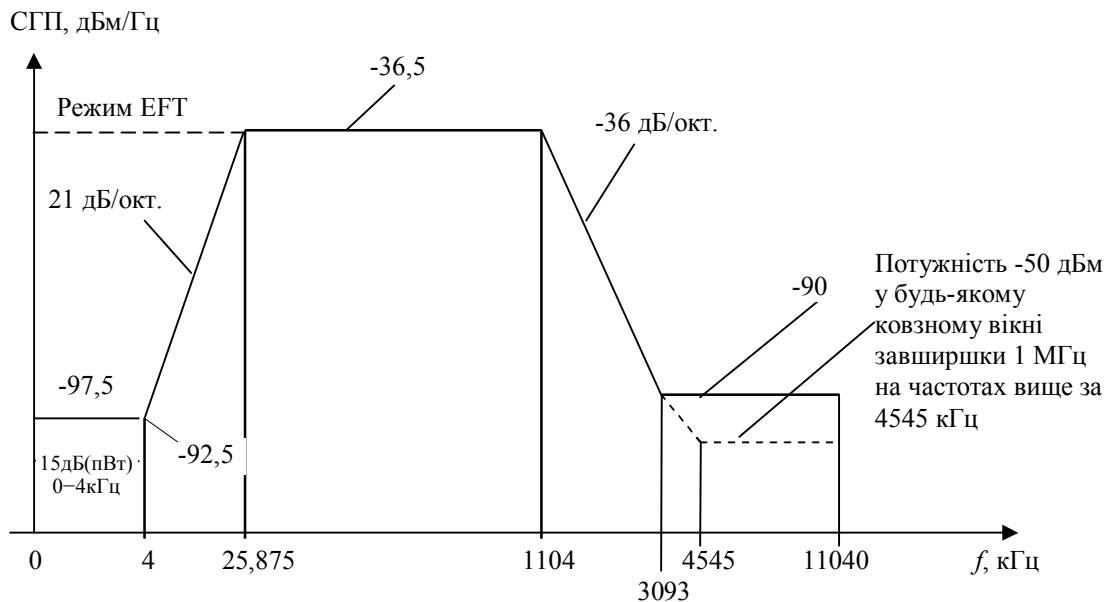
**Рисунок 5.5** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-R (G.992.1 Annex B) при роботі на одній лінії з ISDN



**Рисунок 5.6** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-C (G.992.1 Annex I) у режимі з перекриттям спектрів передавання й приймання



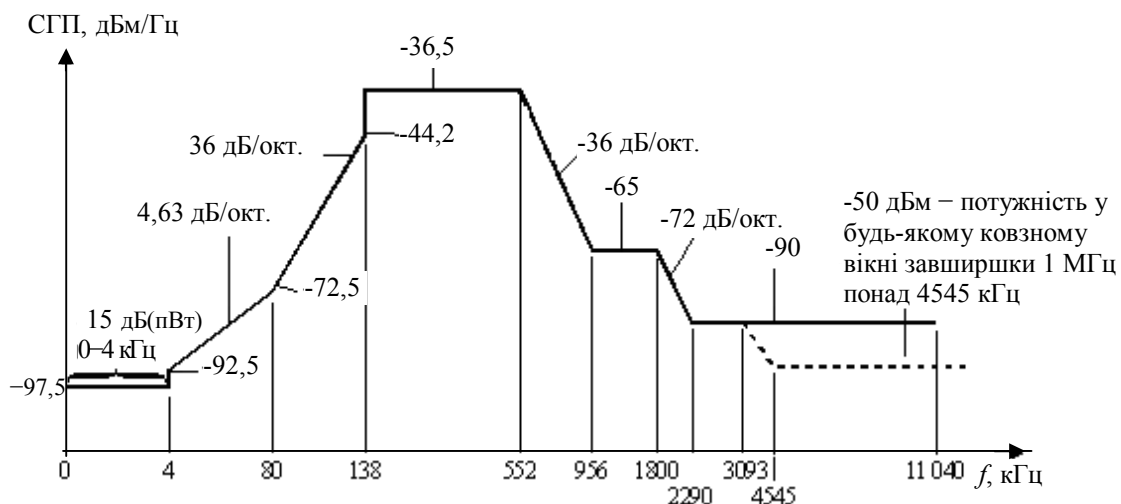
**Рисунок 5.7** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-C (G.992.1 Annex I) у режимі без перекриття спектрів передавання й приймання



**Примітка 1.** Штриховою лінією зображено графік залежності від частоти сумарної потужності в ковзному вікні завширшки 1 МГц у діапазоні від  $f$  до  $f + 1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

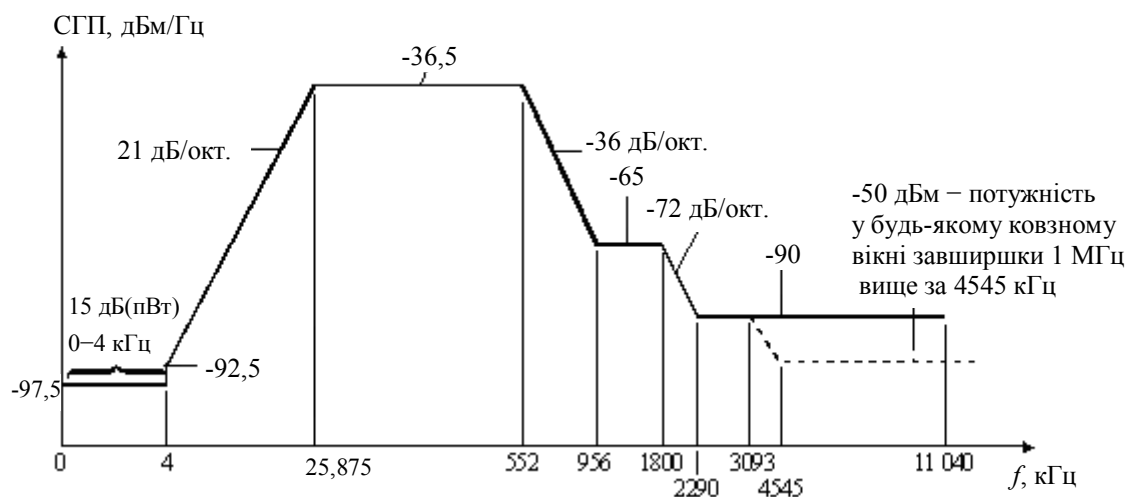
**Примітка 2.** У режимі EFT (Expanded Frequency band Transmission – передавання в розширеній смузі частот) для передавання цифрової інформації використовуються також несучі із частотами  $n \cdot 4,3125$  кГц, де  $n = 1, 2, \dots, 5$ .

**Рисунок 5.8** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-C (G.992.1 Annex H)



**Примітка.** Штриховою лінією зображено графік залежності від частоти сумарної потужності в ковзному вікні завширшки 1 МГц у діапазоні від  $f$  до  $f + 1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

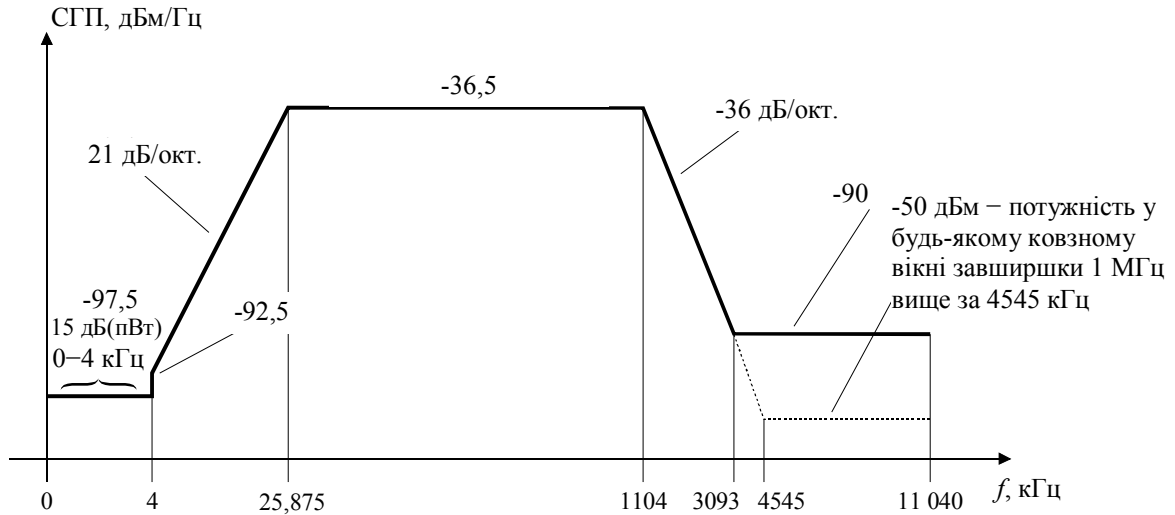
**Рисунок 5.9** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-C (G.992.2 Annex A) у режимі без перекриття спектрів передавання й приймання



**Примітка.** Штриховою лінією зображено графік залежності від частоти сумарної потужності в ковзному вікні завширшки 1 МГц у діапазоні від  $f$  до  $f + 1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

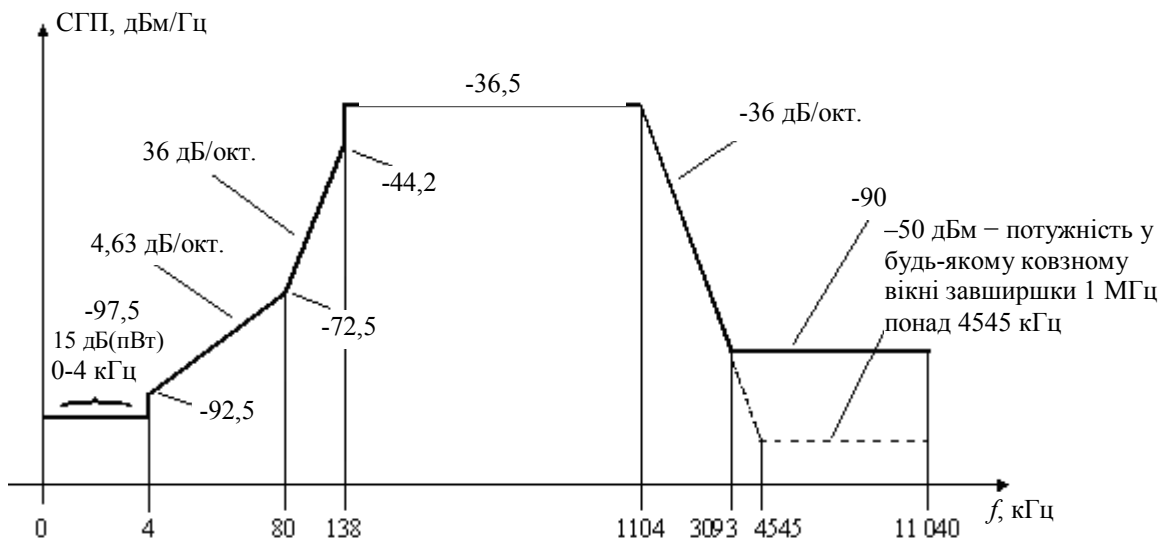
**Рисунок 5.10** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-C (G.992.2 Annex B) у режимі з перекриттям спектрів передавання й приймання





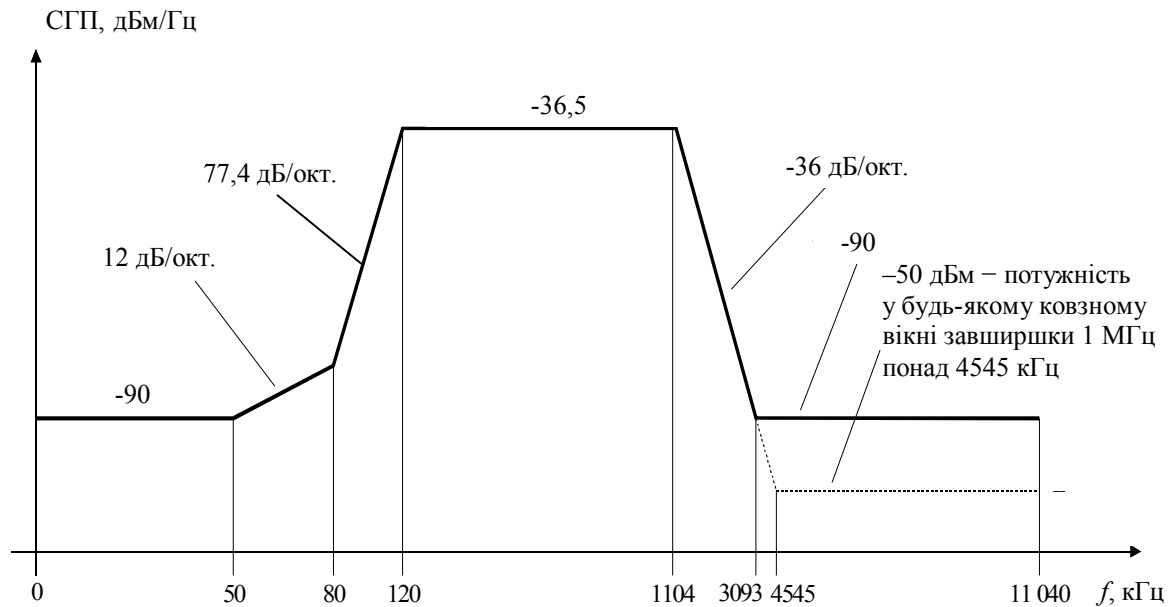
**Примітка.** Штриховою лінією зображено графік залежності від частоти сумарної потужності в ковзному вікні завширшки 1 МГц у діапазоні від  $f$  до  $f + 1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.11** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача АТУ-С (G.992.3 Annex A) у режимі з перекриттям спектрів передавання й приймання



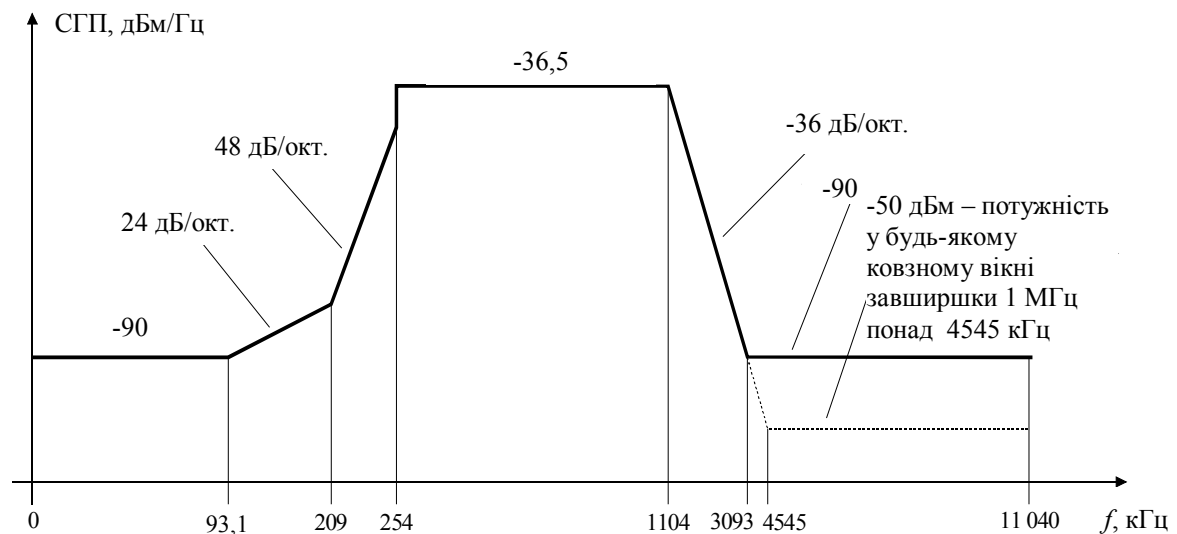
**Примітка.** Штриховою лінією зображено графік залежності від частоти сумарної потужності в ковзному вікні завширшки 1 МГц у діапазоні від  $f$  до  $f + 1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.12** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача АТУ-С (G.992.3 Annex A) у режимі без перекриття спектрів передавання й приймання



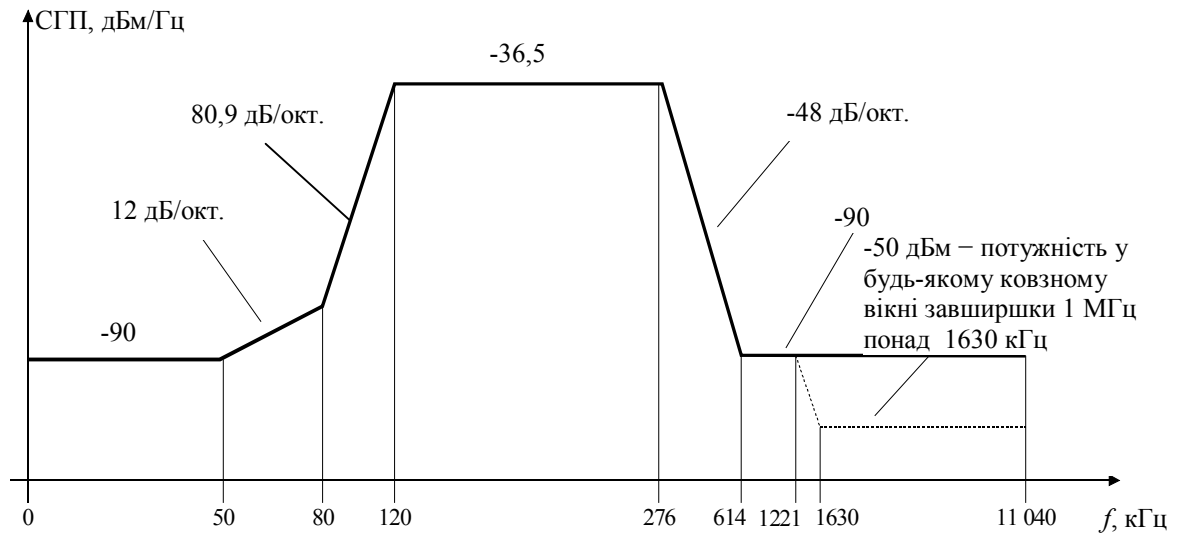
**Примітка.** Штриховою лінією зображено графік залежності від частоти сумарної потужності в ковзному вікні завширшки 1 МГц у діапазоні від  $f$  до  $f + 1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.13** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-C (G.992.3 Annex B) у режимі з перекриттям спектрів передавання й приймання



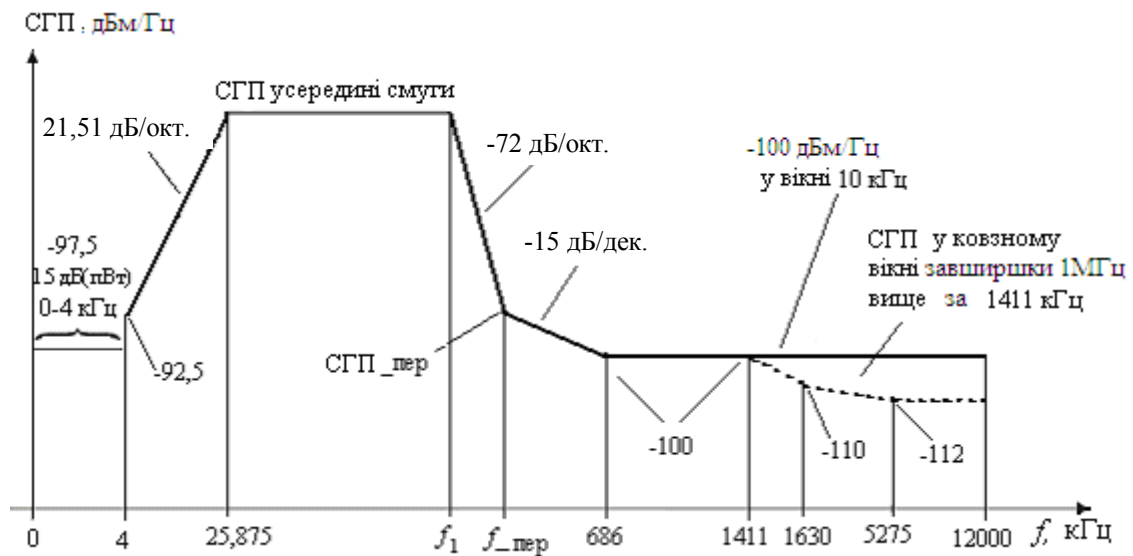
**Примітка.** Штриховою лінією зображено графік залежності від частоти сумарної потужності в ковзному вікні завширшки 1 МГц у діапазоні від  $f$  до  $f + 1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.14** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-C (G.992.3 Annex B) у режимі без перекриття спектрів передавання й приймання



**Примітка.** Штриховою лінією зображено графік залежності від частоти сумарної потужності в ковзному вікні завширшки 1 МГц у діапазоні від  $f$  до  $f+1$  МГц ( $f > 1221$  кГц).

**Рисунок 5.15** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-R (G.992.3 Annex B)



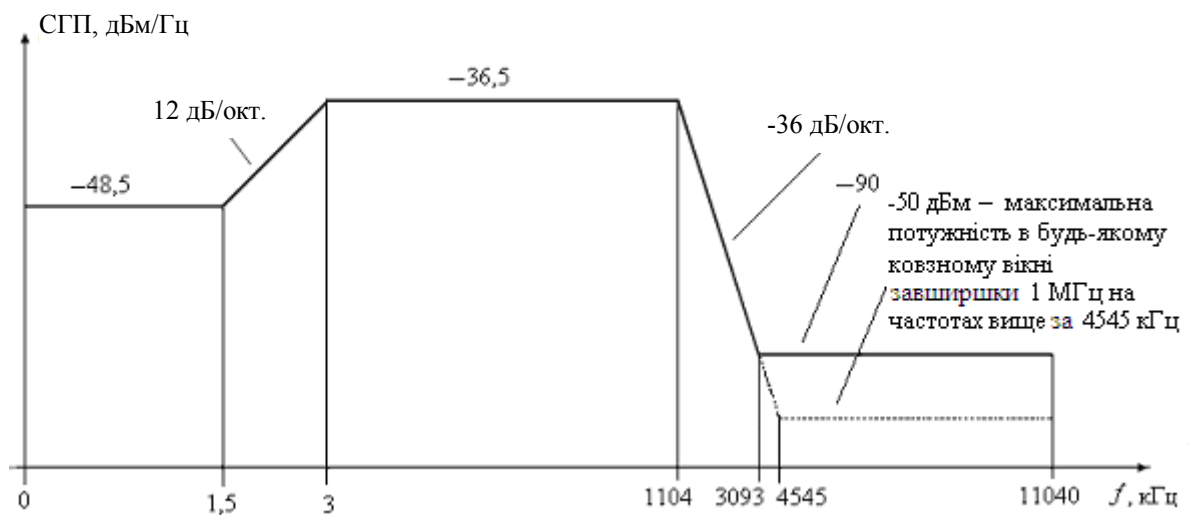
**Примітка 1.** Значення невизначених на рис. параметрів маски визначено в табл. 5.3.

**Примітка 2.** Для G.992.3 Annex M і G.992.5 Annex M може застосовуватися будь-який варіант маски із поданих у табл. 5.3, а для G.992.3 Annex C.B і G.992.5 Annex C.B – лише варіант EU-64.

**Рисунок 5.16** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-R (G.992.3 Annex C.B і Annex M)

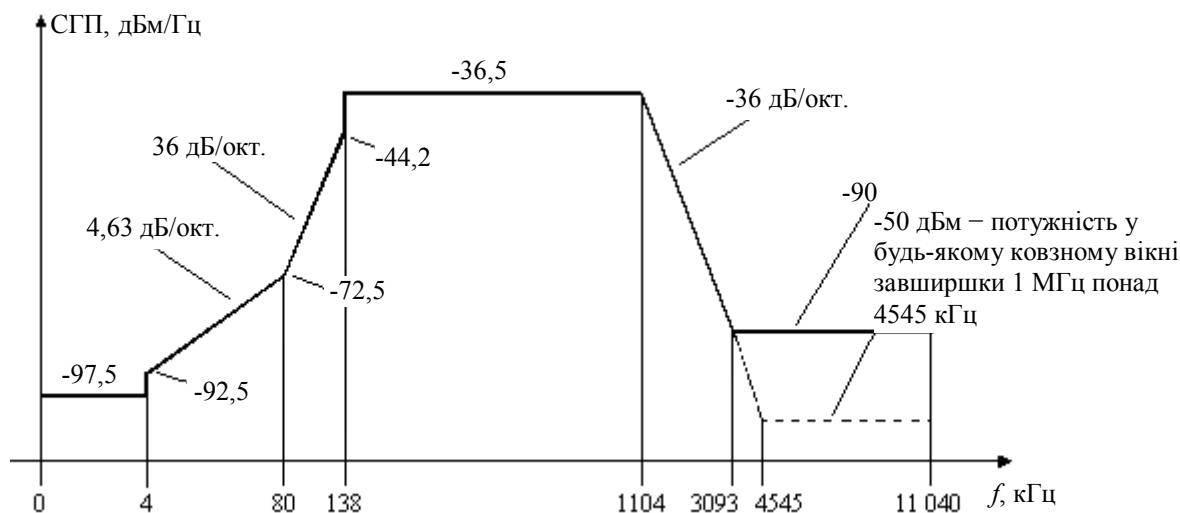
**Таблиця 5.3** – Параметри сімейства масок СГП сигналу на виході передавача ATU-R (G.992.3 Annex C.B)

Номер маски для висхідного потоку	Позначення	Номінальна СГП, дБм/Гц	Макс. сумарна потужність передавання, дБм	Пікова СГП усередині смуги, дБм/Гц	Частота $f_1$ , кГц	Частота перетинання $f_{пер}$ , кГц	СГП на частоті перетинання СГП пер, дБм/Гц
1	EU-32	- 38,0	12,5	- 34,5	138,00	242,92	- 93,2
2	EU-36	- 38,5	12,62	- 35,0	155,25	274,00	- 94,0
3	EU-40	- 39,0	12,66	- 35,5	172,50	305,16	- 94,7
4	EU-44	- 39,4	12,75	- 35,9	189,75	336,40	- 95,4
5	EU-48	- 39,8	12,78	- 36,3	207,00	367,69	- 95,9
6	EU-52	- 40,1	12,87	- 36,6	224,25	399,04	- 96,5
7	EU-56	- 40,4	12,94	- 36,9	241,50	430,45	- 97,0
8	EU-60	- 40,7	12,97	- 37,2	258,75	461,90	-97,4
9	EU-64	- 41,0	12,98	- 37,5	276,00	493,41	-97,9



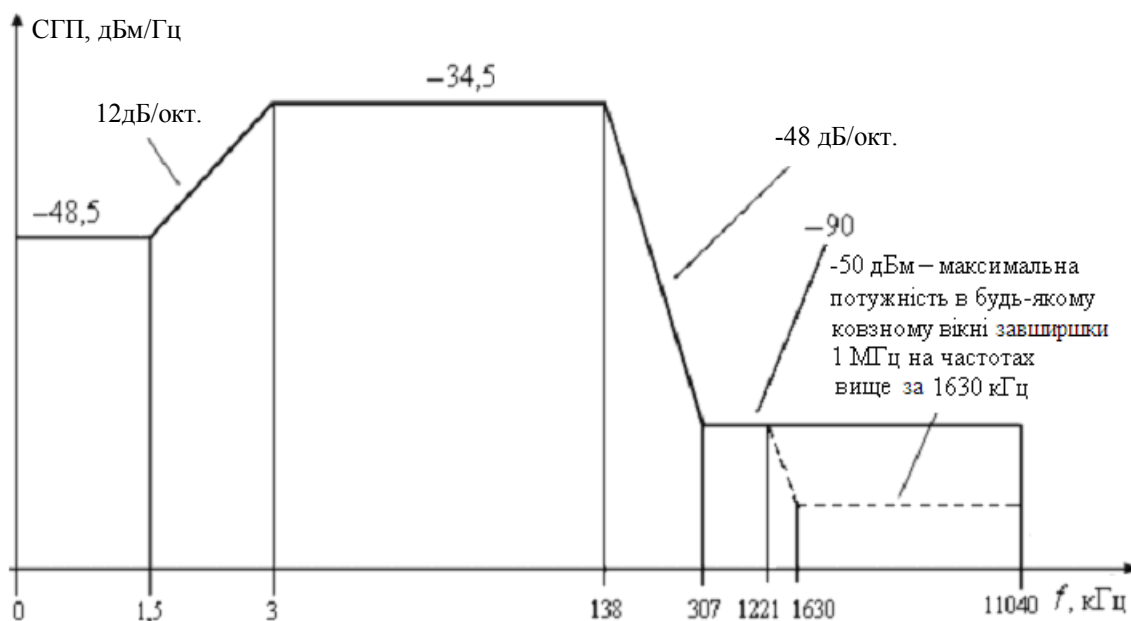
**Примітка.** Штриховою лінією зображено графік залежності від частоти сумарної потужності в ковзному вікні завширшки 1 МГц у діапазоні від  $f$  до  $f + 1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.17** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-C (G.992.3 Annex I) у режимі з перекриттям спектрів передавання й приймання



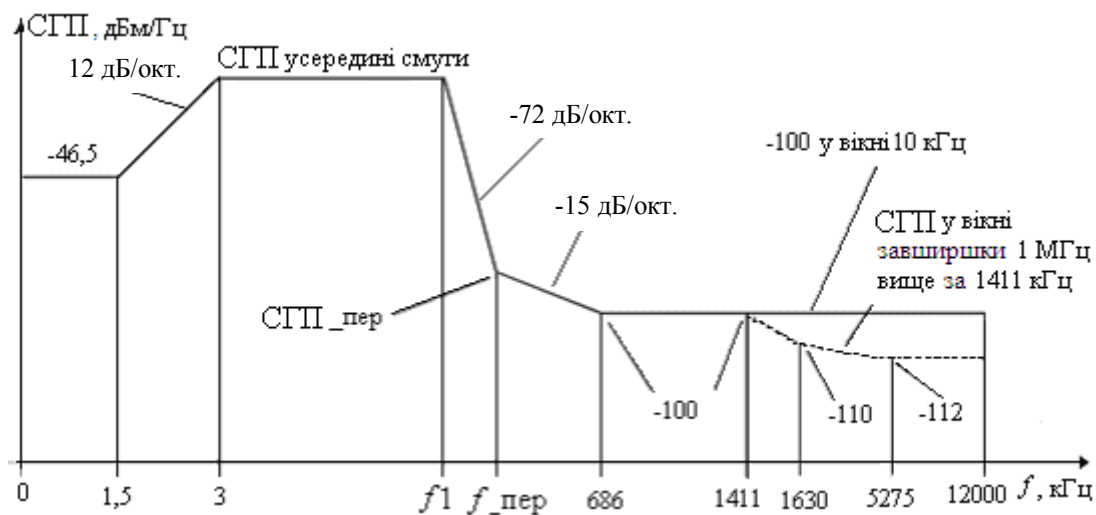
**Примітка.** Штриховою лінією зображено графік залежності від частоти сумарної потужності в ковзному вікні завширшки 1 МГц у діапазоні від  $f$  до  $f + 1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.18** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-C (G.992.3 Annex I) у режимі без перекриття спектрів передавання й приймання



**Примітка.** Штриховою лінією зображено графік залежності від частоти сумарної потужності в ковзному вікні завширшки 1 МГц у діапазоні від  $f$  до  $f + 1$  МГц ( $f > 1221$  кГц).

**Рисунок 5.19** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-R (G.992.3 Annex I)

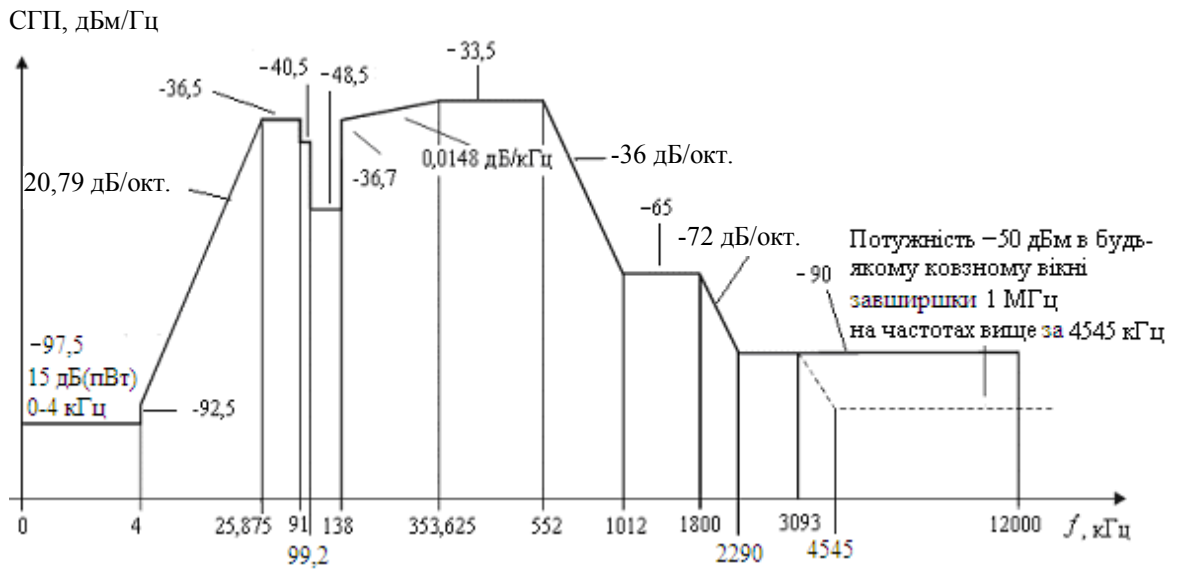


**Примітка.** Значення не позначених на рисунку параметрів маски подано в табл. 5.4.

**Рисунок 5.20** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-R (G.992.3 Annex J)

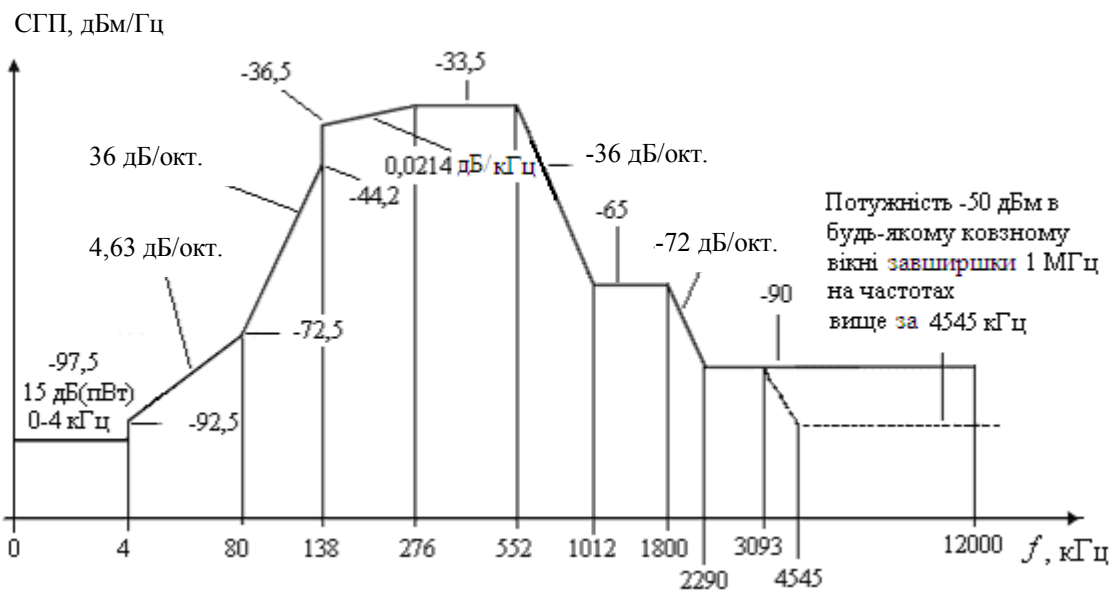
**Таблиця 5.4** – Параметри сімейства масок СГП сигналу на виході передавача ATU-R (G.992.3 Annex J). Максимальна сумарна потужність передавання становить 13,4 дБм

Номер маски для висхідного потоку	Позначення	Номінальна СГП, дБм/Гц	Пікова СГП усередині смуги, дБм/Гц	Частота $f_1$ , кГц	Частота перетинання $f_{пер}$ , кГц	СГП на частоті перетинання СГП пер, дБм/Гц
1	ADLU-32	- 38,0	- 34,5	138,00	242,92	- 93,2
2	ADLU-36	- 38,5	- 35,0	155,25	274,00	- 94,0
3	ADLU-40	- 39,0	- 35,5	172,50	305,16	- 94,7
4	ADLU-44	- 39,4	- 35,9	189,75	336,40	- 95,4
5	ADLU-48	- 39,8	- 36,3	207,00	367,69	- 95,9
6	ADLU-52	- 40,1	- 36,6	224,25	399,04	- 96,5
7	ADLU-56	- 40,4	- 36,9	241,50	430,45	- 97,0
8	ADLU-60	- 40,7	- 37,2	258,75	461,90	-97,4
9	ADLU-64	- 41,0	- 37,5	276,00	493,41	-97,9



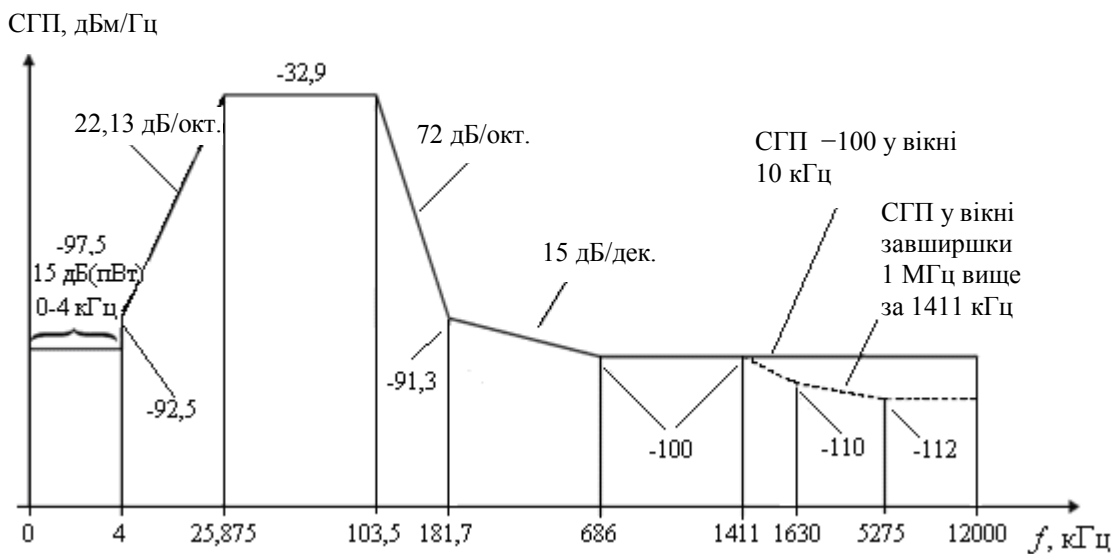
**Примітка.** Штриховою лінією зображено графік залежності від частоти сумарної потужності в ковзному вікні завширшки 1 МГц у діапазоні від  $f$  до  $f + 1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.21** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-C (G.992.3 Annex L) у режимі з перекриттям спектрів передавання й приймання

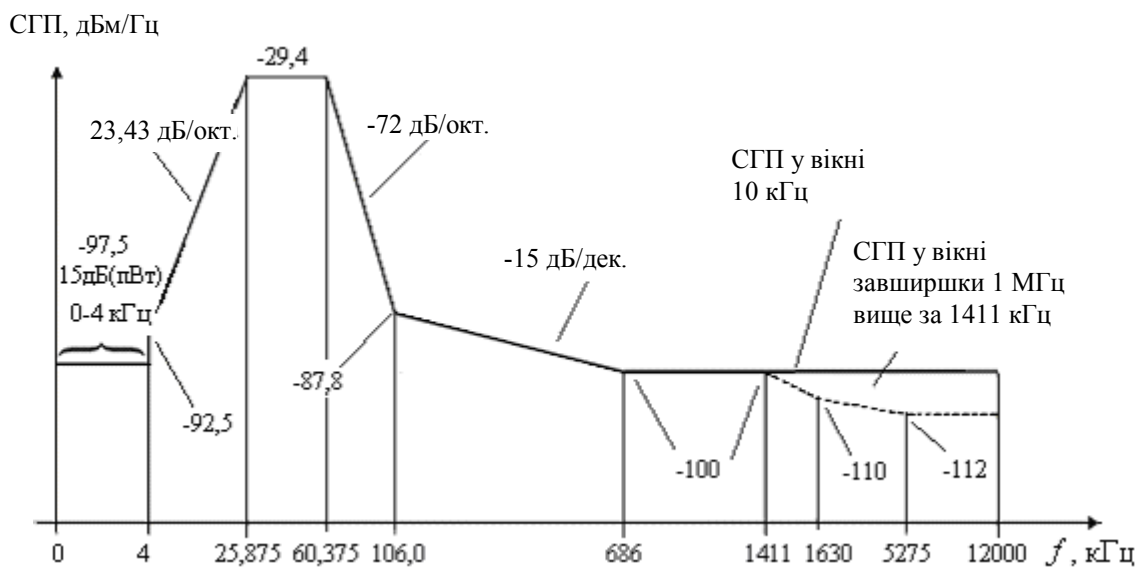


**Примітка.** Штриховою лінією зображено графік залежності від частоти сумарної потужності в ковзному вікні завширшки 1 МГц у діапазоні від  $f$  до  $f + 1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.22** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-C (G.992.3 Annex L) у режимі без перекриття спектрів передавання й приймання

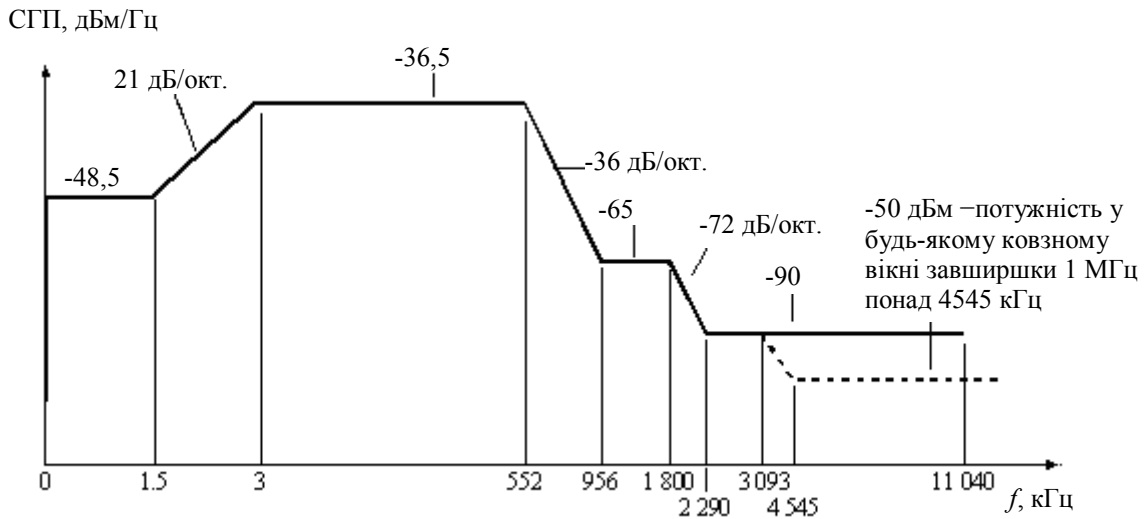


**Рисунок 5.23** – Маска 1 спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-R (G.992.3 Annex L)



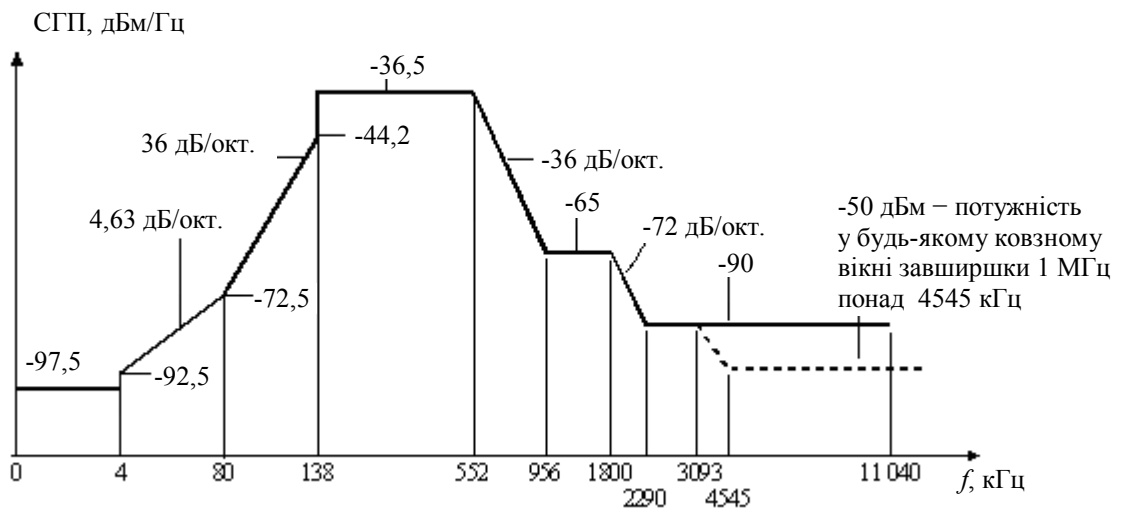
**Рисунок 5.24** – Маска 2 спектральні густини потужності сигналу на виході передавача ATU-R (G.992.3 Annex L)





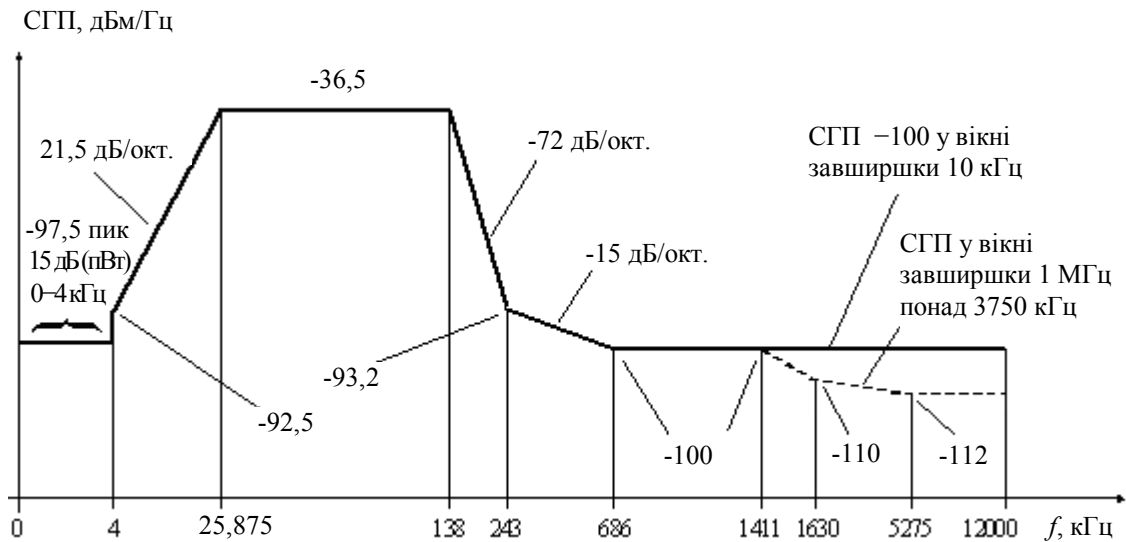
**Примітка.** Штриховою лінією зображено графік залежності від частоти сумарної потужності в ковзному вікні завширшки 1 МГц у діапазоні від  $f$  до  $f + 1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

**Рисунок 5.25** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-C (G.992.4 Annex I) у режимі з перекриттям спектрів передавання й приймання

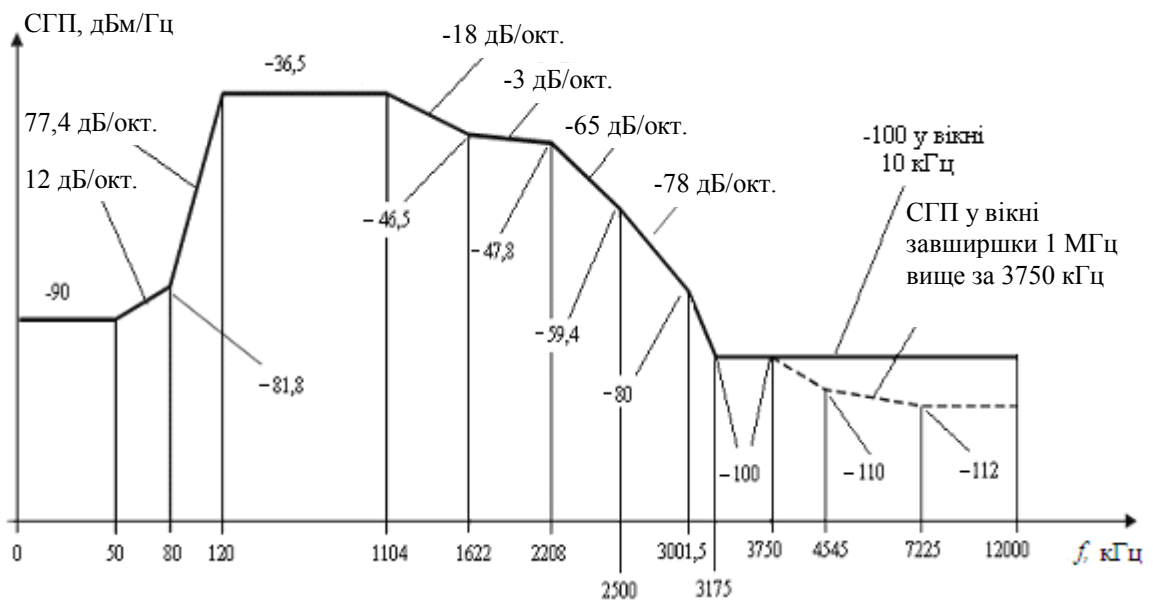


**Примітка.** Штриховою лінією зображено графік залежності від частоти сумарної потужності в ковзному вікні завширшки 1 МГц у діапазоні від  $f$  до  $f + 1$  МГц ( $f > 3093$  кГц).

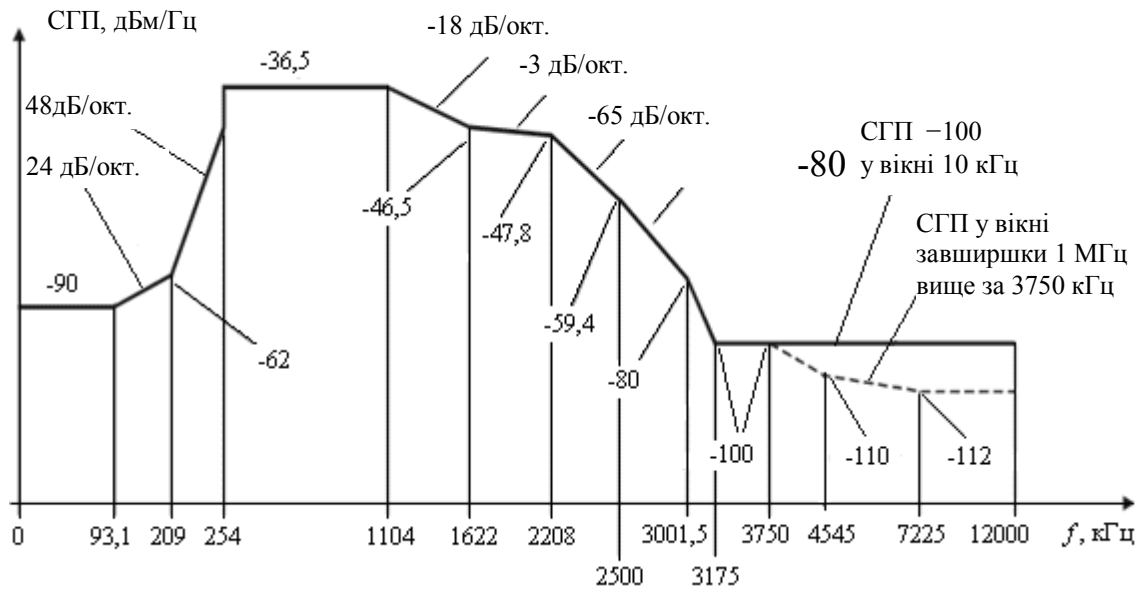
**Рисунок 5.26** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-C (G.992.4 Annex I) у режимі без перекриття спектрів передавання й приймання



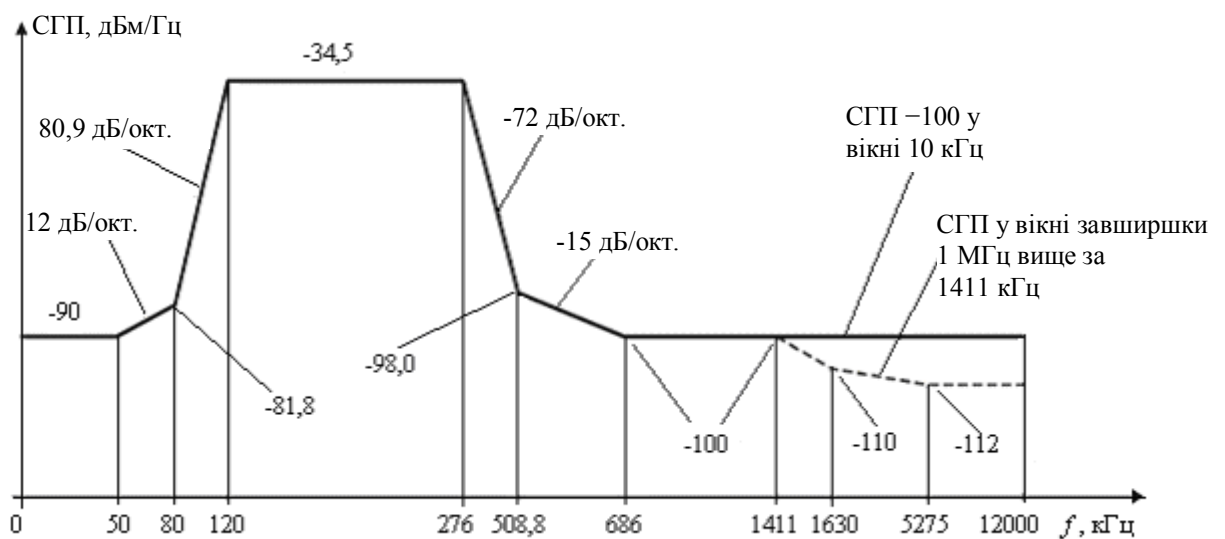
**Рисунок 5.27** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-R (G.992.5 Annex A)



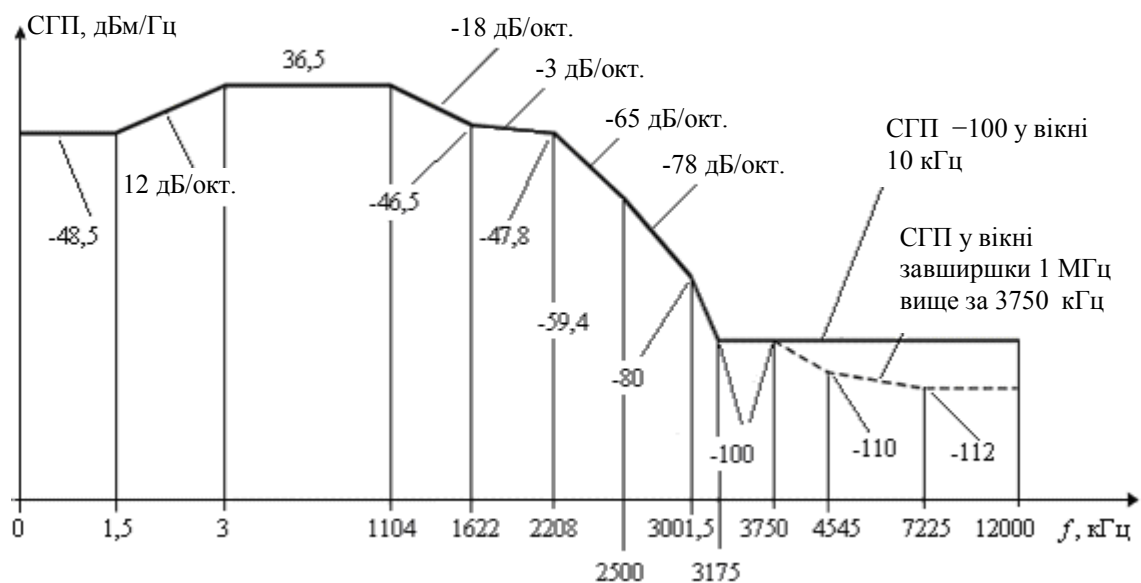
**Рисунок 5.28** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-C (G.992.5 Annex B) у режимі з перекриттям спектрів передавання й приймання



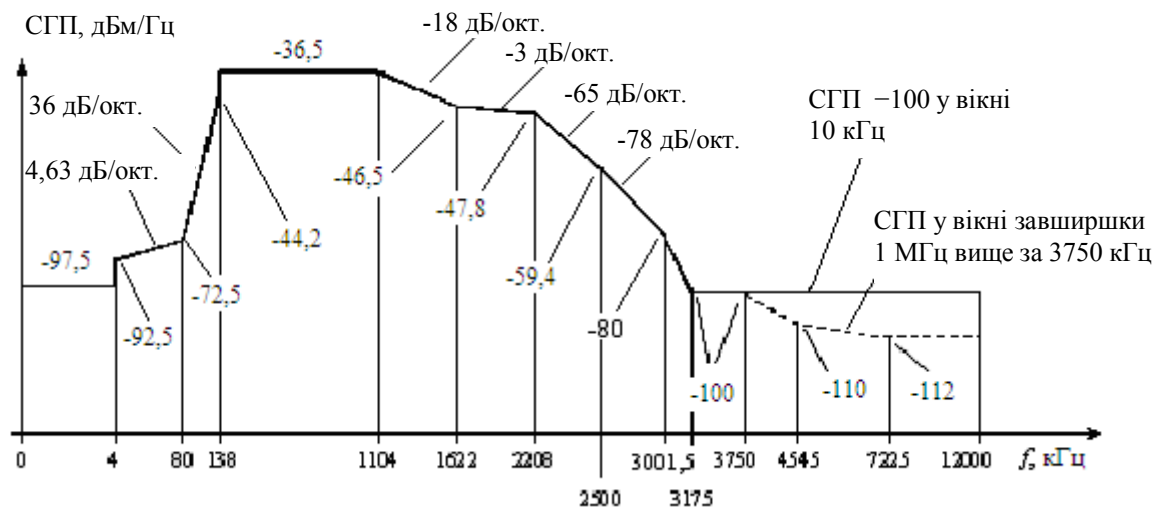
**Рисунок 5.29** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-C (G.992.5 Annex B) у режимі без перекриття спектрів передавання й приймання



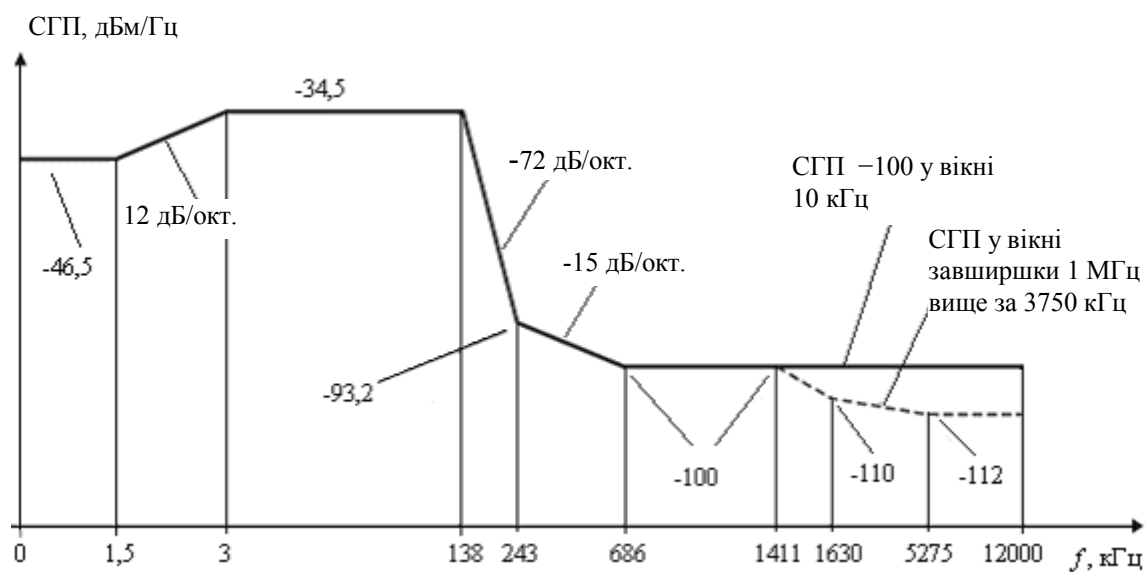
**Рисунок 5.30** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-R (G.992.5 Annex B)



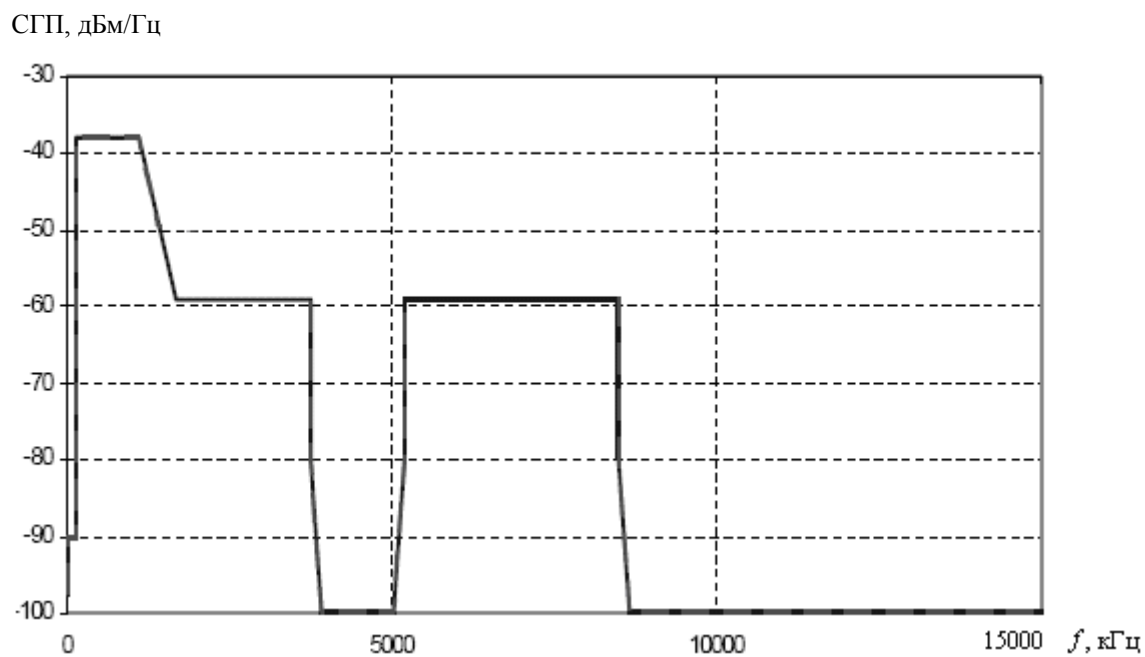
**Рисунок 5.31** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача АТУ-С (G.992.5 Annex I) у режимі з перекриттям спектрів передавання й приймання



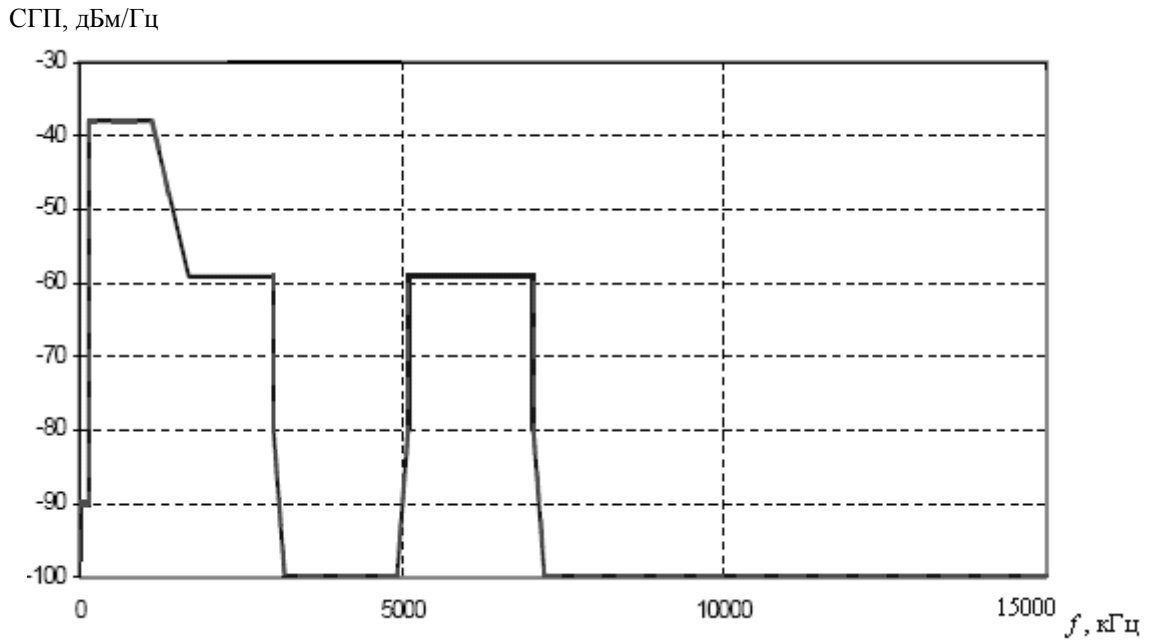
**Рисунок 5.32** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача АТУ-С (G.992.5 Annex I) у режимі без перекриття спектрів передавання й приймання



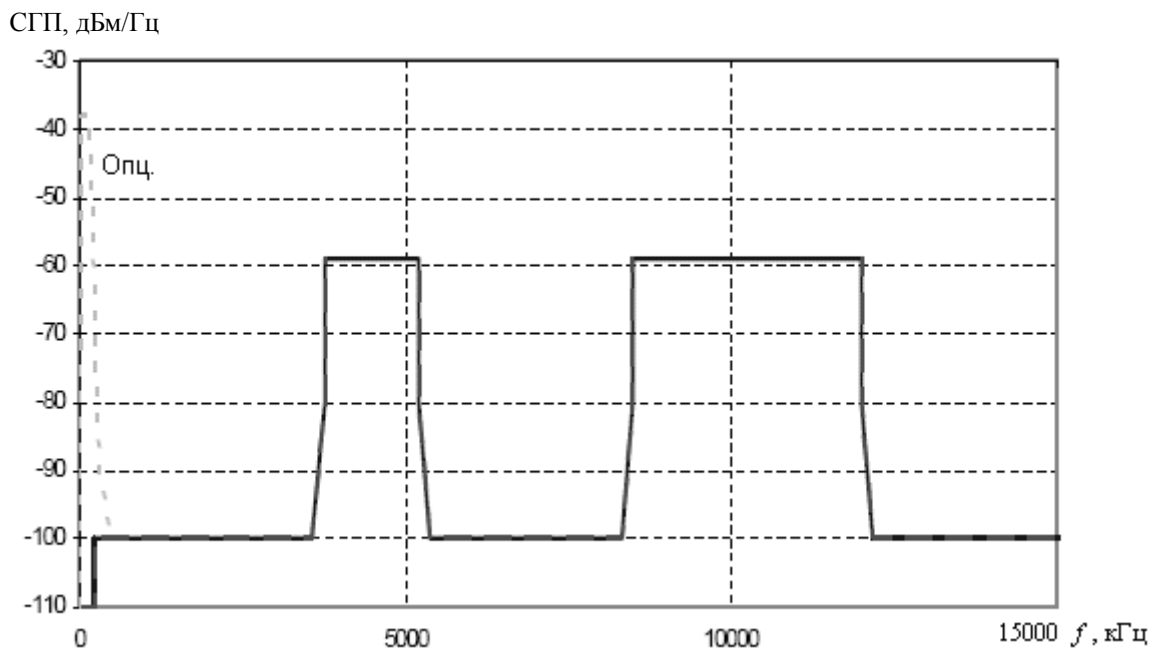
**Рисунок 5.33** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача ATU-R (G.992.5 Annex I)



**Рисунок 5.34** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача VTU-O (G.993.1) для плану частот А (варіант FTTEh)

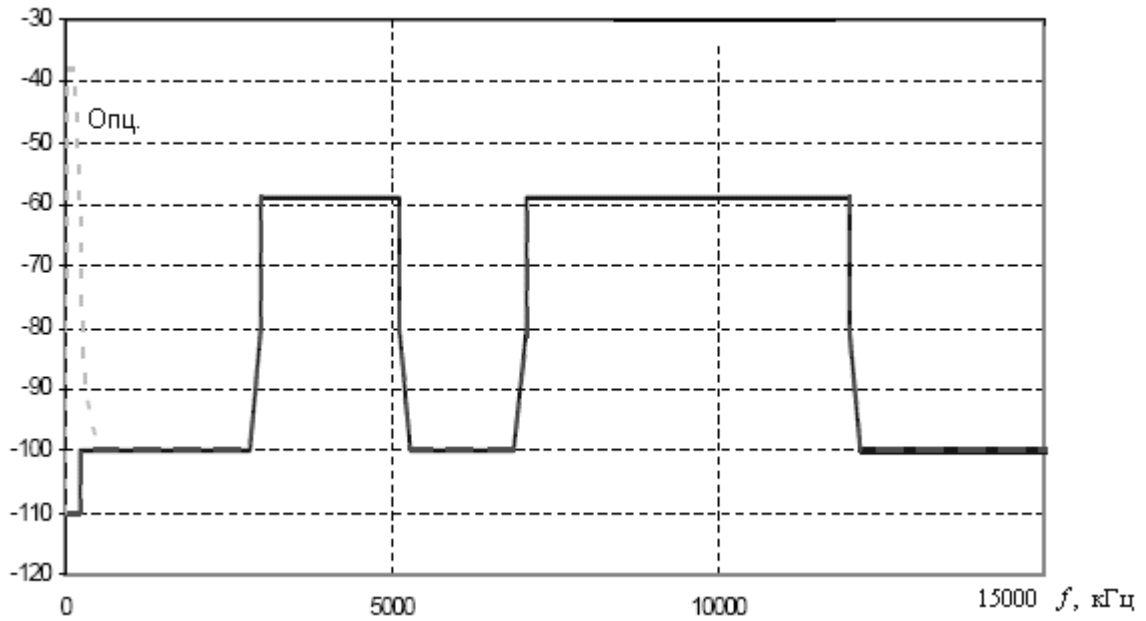


**Рисунок 5.35** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача VTU-O (G.993.1) для плану частот В (варіант FTTEh)



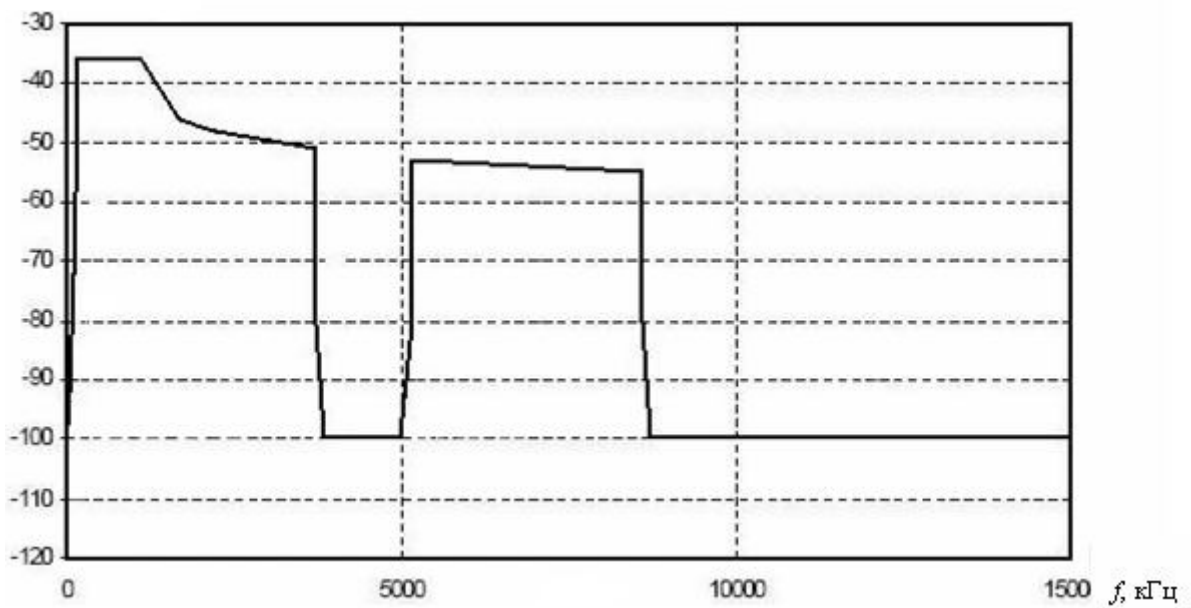
**Рисунок 5.36** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача VTU-R (G.993.1) для плану частот А

СПП, дБм/Гц



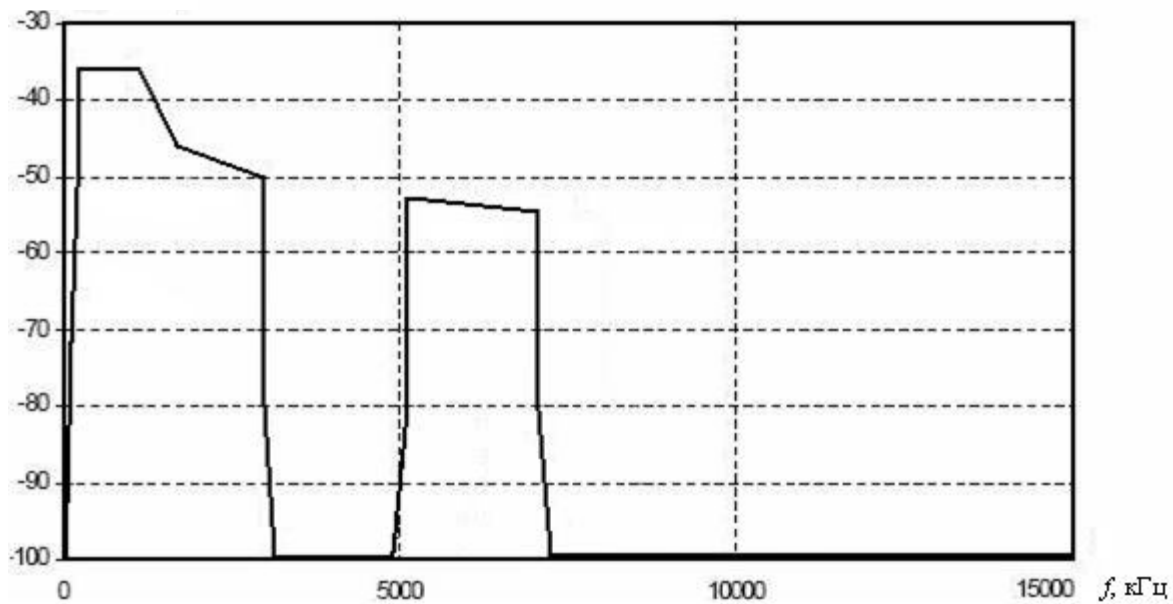
**Рисунок 5.37** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача VTU-R (G.993.1) для плану частот В

СПП, дБм/Гц



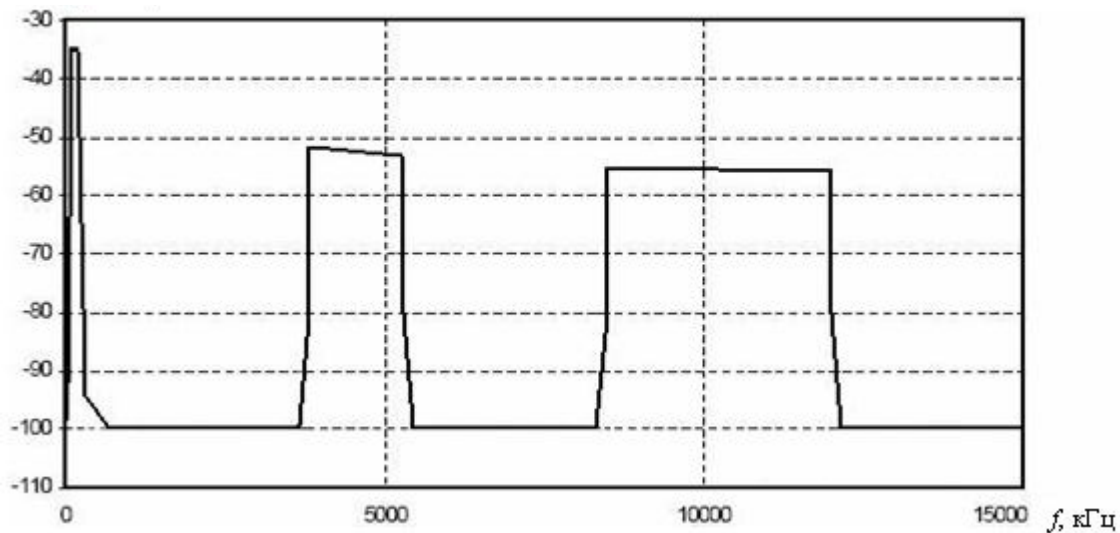
**Рисунок 5.38** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача VTU-O (G.993.2) для плану частот А (варіант 998-M2x-A)

СПП, дБм/Гц



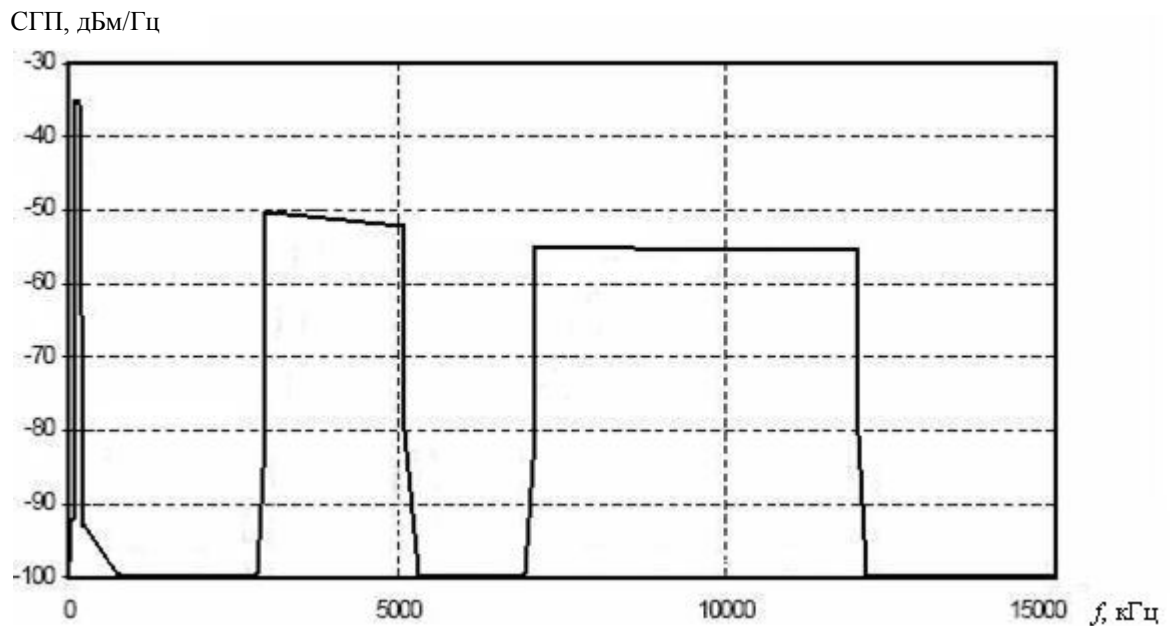
**Рисунок 5.39** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача VTU-O (G.993.2) для плану частот В (варіант 997-M2x-A)

СПП, дБм/Гц



**Рисунок 5.40** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача VTU-R (G.993.2) для плану частот А (варіант 998-M2x-A)





**Рисунок 5.41** – Маска спектральної густини потужності сигналу на виході передавача VTU-R (G.993.2) для плану частот В (варіант 998-M2x-A)

## 5.4 Методи вимірювання параметрів інтерфейсів xDSL

### *Вимірювання потужності та спектральної густини потужності передаваного сигналу*

Вимірювання потужності передаваного сигналу проводяться високоомним широкосмуговим вимірювачем рівня, підключеним паралельно до навантажувального опору 100 Ом (для ADSL) або 135 Ом (для SHDSL, VDSL).

Спектральну густину потужності передаваного сигналу вимірюють за допомогою високоомного селективного вимірювача рівня, підключеного паралельно навантажувальному опору. Оскільки припустимі величини спектральної густини потужності зазначені в дБм на 1 Гц смуги частот, то визначення результату вимірювання здійснюється з урахуванням ширини смуги пропускання селективного вимірювача рівня. Якщо ширина смуги пропускання селективного вимірювача рівня дорівнює  $X$  Гц, то результати вимірювань мають бути зменшені в  $X$  разів за потужністю або на  $10\lg(X)$  дБм за рівнем.

Виміряні значення потужності та спектральної густини потужності сигналу, який передається, мають задовольняти нормам, наведеним у табл. 5.2.

### *Визначення загасання неузгодженості*

Загасання неузгодженості (або загасання відбиття) інтерфейсу – параметр, який характеризує ступінь неузгодженості навантажувального опору із вхідним опором вимірюваного інтерфейсу. Відмінність навантажувального опору від вхідного опору інтерфейсу призводить до того, що певна частина енергії електричного сигналу, який надходить на вхід інтерфейсу, відбивається, утворюючи відбитий сигнал. Визначається загасання неузгодженості як 20 десяткових логарифмів відношення напруги, прикладеної до інтерфейсу, до відбитої напруги. Також загасання неузгодженості можна визначити як 20

десятичних логарифмів відношення модуля суми навантажувального опору і вхідного опору інтерфейсу до модуля різниці цих опорів.

Загасання неузгодженості на виході лінійного стику xDSL відносно номінального навантажувального опору визначається за допомогою схеми, поданої на рис. 5.42. Опір  $R1 = R2$  може бути обрано будь-яким з ряду номінальних опорів. Опір  $R3$  дорівнює  $135 \text{ Ом} \pm 1 \%$  (для SHDSL і VDSL) або  $100 \text{ Ом} \pm 1 \%$  (для ADSL), а опір  $R4$  дорівнює  $0,25R3$ .

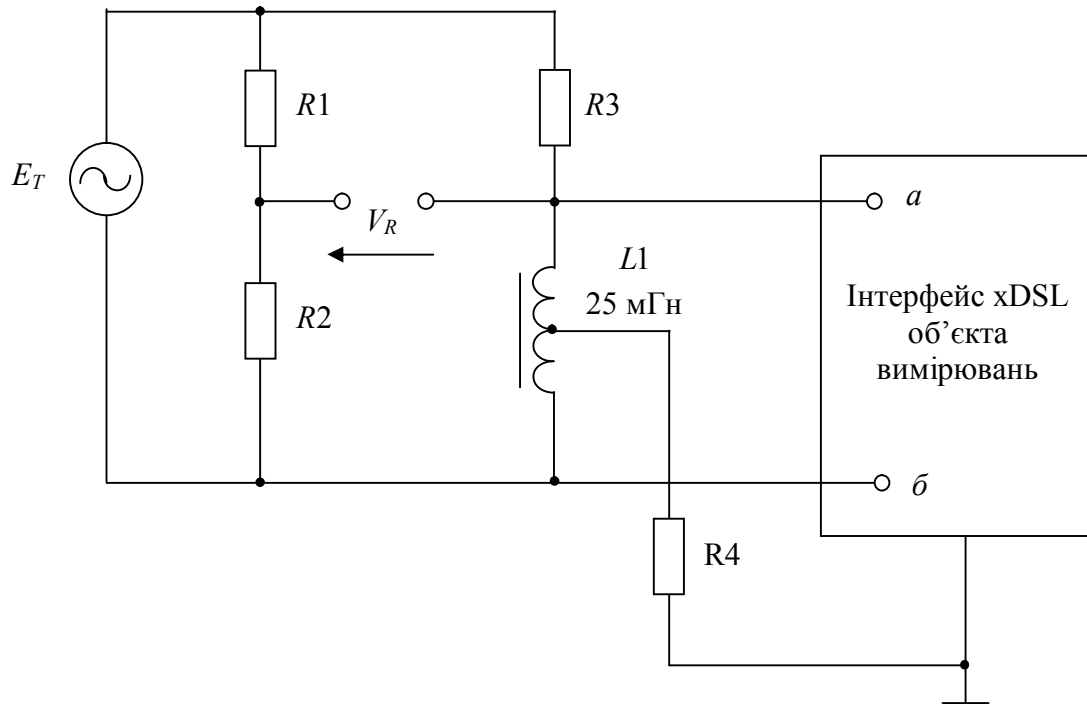


Рисунок 5.42 – Визначення загасання неузгодженості

Значення загасання неузгодженості  $A_{\text{нУ}}$ , дБ, обчислюється за формулою:

$$A_{\text{нУ}} = 20 \lg \left| \frac{E_T}{2V_R} \right| = 20 \lg \left| \frac{E_T}{\sqrt{0,6}} \right| - 20 \lg \left| \frac{V_R}{\sqrt{0,6}} \right| - 20 \lg 2 = p_{E_T} - p_{V_R} - 6, \quad (5.1)$$

де  $E_T$  – пряма напруга;  
 $V_R$  – відбита напруга;  
 $p_{E_T}$  – рівень прямої напруги;  
 $p_{V_R}$  – рівень відбитої напруги.

Віднайдені значення загасання неузгодженості мають задовольняти нормам, наведеним у табл. 5.2.

Пояснимо наведену схему.

Відсутності відбитої хвилі відповідає ситуація, коли вхідний опір інтерфейсу xDSL, тобто опір між клемми  $a$  і  $b$  об'єкта вимірювання, дорівнює навантажувальному опору  $R3$ . У цьому випадку напруга між цими клемми дорівнює  $E_T/2$ . Тоді, оскільки  $R1 = R2$ , то напруга  $V_R$  дорівнює нулю. Чим більше неузгодженість між навантажувальним опором і вхідним опором

інтерфейсу xDSL, тим більше є значення напруги  $V_R$  і, відповідно, тим менше є загасання неузгодженості.

### ***Визначення загасання асиметрії***

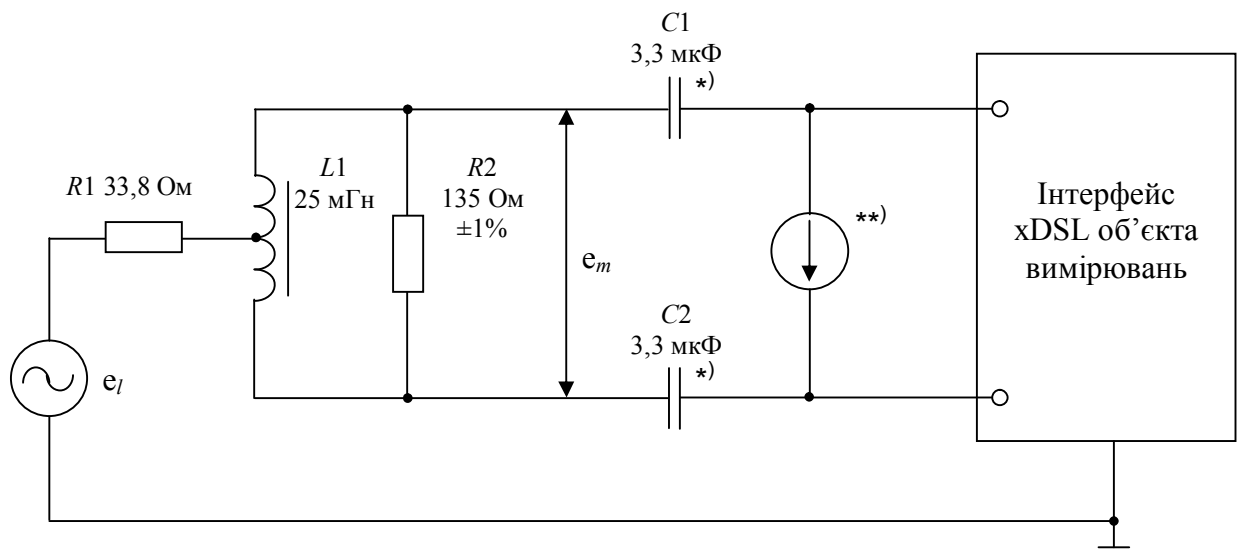
Загасання асиметрії характеризує ступінь симетрії кола відносно землі. Загасання асиметрії визначається як 20 десяткових логарифмів відношення напруги на виході генератора, під'єданого між середньою точкою на виході робочої пари і землею (екраном), до напруги, дістанної між середньою точкою на виході робочої пари і землею (екраном). Чим більшою є асиметричність кола відносно землі, тим більш чутливим є це коло до завад, тобто за тої самої напруженості електромагнітного поля завада, що «наводиться» у колі, стає більшою.

Для SHDSL загасання асиметрії визначають відповідно до рис. 5.42, *а, б*.

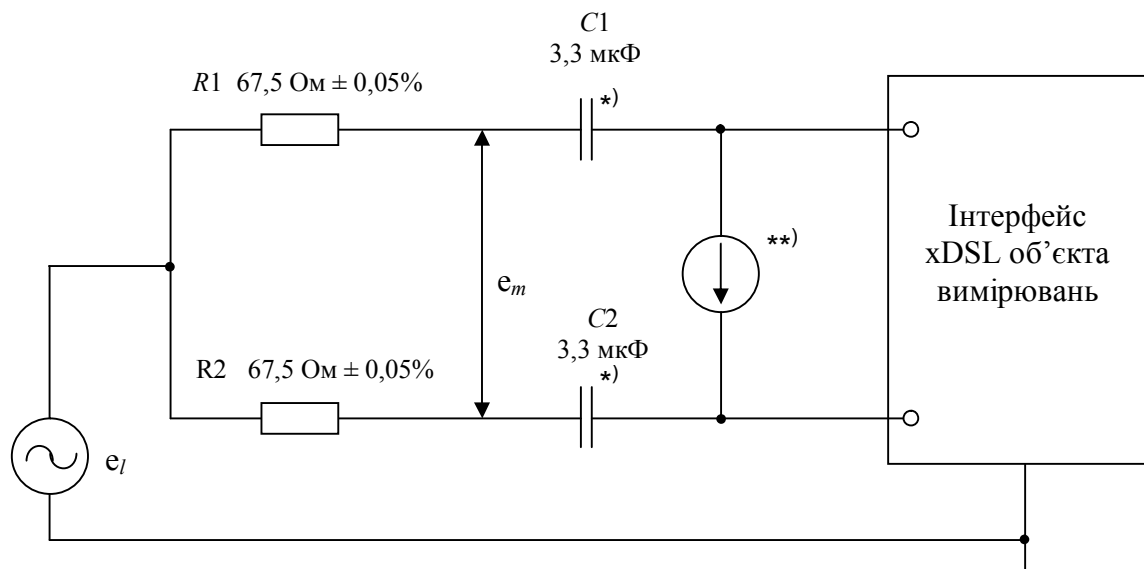
Для ADSL загасання асиметрії визначають відповідно до рис. 5.43, *а, б*, а для VDSL – відповідно до рекомендацій MCE-T G.117 та O.9.

Значення загасання асиметрії мають задовольняти нормам, наведеним у табл. 5.2.

Надамо пояснення до цих схем. Напруга генератора прикладається до середньої точки кола, у склад якого входить інтерфейс xDSL (об'єкт вимірювань). Якщо коло всередині об'єкта вимірювань є несиметричним відносно землі, то між точками *а* і *б*, що належать однаковим відносно землі фрагментам вимірювальної схеми, утворюється певна напруга  $e_m$ . Чим більше ця напруга, тим менше загасання асиметрії. В ідеальному випадку, коли внутрішня схема об'єкта вимірювань є повністю симетричною відносно землі,  $e_m$  дорівнює нулю і загасання асиметрії дорівнює нескінченності.



а)



б)

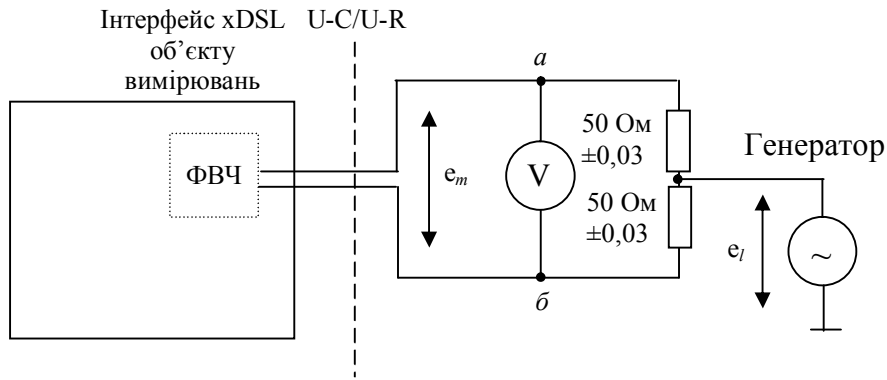
\*) застосовуються за наявності дистанційного живлення.

\*\*\*) застосовуються за наявності дистанційного живлення: за тестування абонентського обладнання – джерело постійної напруги; за тестуванні станційного обладнання – навантаження по постійному струму.

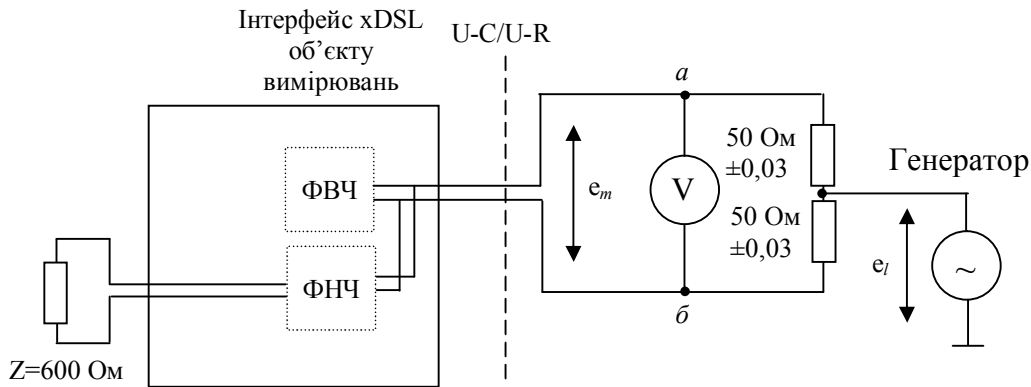
**Рисунок 5.43** – Визначення загасання асиметрії для SHDSL:

а) – схема із застосуванням дроселю

б) – схема із застосуванням резисторів



а) Схема для випадку, коли високочастотну частину сплітера (ФВЧ) інтегровано до ADSL-модема



б) Схема для випадку, коли сплітер повністю інтегровано до ADSL-модема

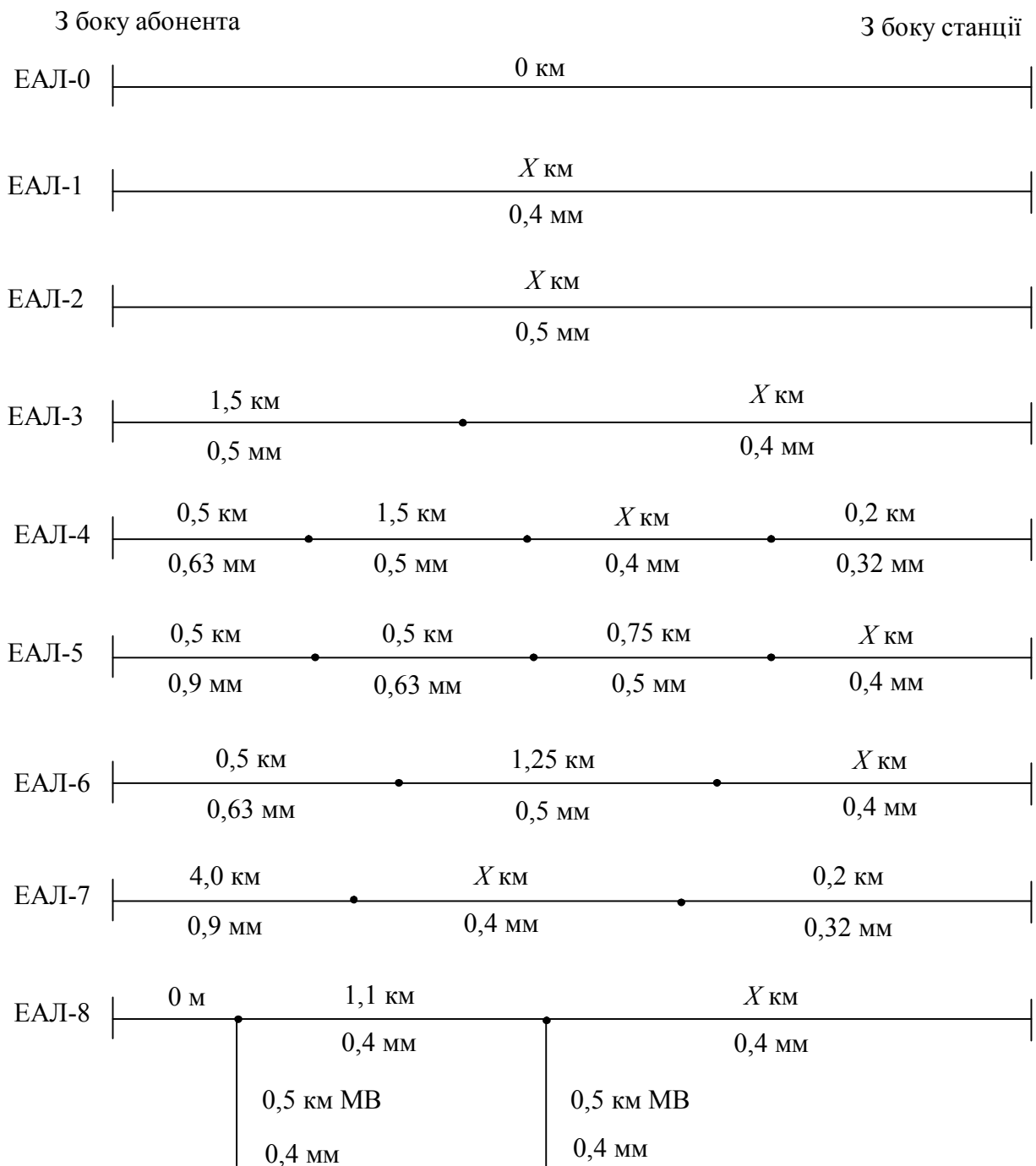
**Рисунок 5.44** – Визначення загасання асиметрії для ADSL

Загасання асиметрії  $A_{ac}$ , дБ, обчислюють за формулою:

$$A_{ac} = 20 \lg \left| \frac{e_l}{e_m} \right|. \quad (5.2)$$

**Тестування швидкості передавання еталонними абонентськими лініями**

Для тестування швидкості передавання обладнання xDSL-доступу (xDSL-модему та DSLAM) застосовуються еталонні абонентські лінії (ЕАЛ) [40]. Варіанти європейських ЕАЛ наведено на рис. 5.45. У табл. 5.5 наведено номінальні значення складової «X» довжини ЕАЛ.



**Примітка.**

1 Усі кабелі мають поліетиленову ізоляцію жил.

2 МВ – мостове відгалуження – паралельно підключений відрізок ненавантаженого на кінці кабелю.

**Рисунок 5.45** – Європейські моделі еталонних абонентських ліній

**Таблиця 5.5** – Номінальні значення складової «X» довжин європейських ЕАЛ

Номер ЕАЛ	Номінальні значення довжини «X», км, за загасання ЕАЛ на частоті 300 кГц		
	36 дБ	51 дБ	61 дБ
1	2,55	3,6	4,3
2	3,4	4,8	5,7
3	1,4	2,45	3,15
4	0,9	1,9	2,65
5	1,45	2,5	3,2
6	1,3	2,35	3,05
7	0,6	1,6	2,2
8	0,75	1,8	2,5

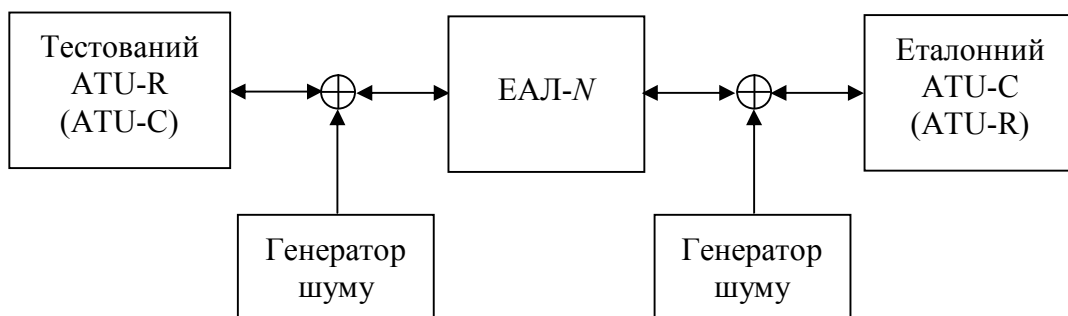
Тестування швидкості передавання по ЕАЛ провадяться у відповідності до схеми рис. 5.46 на ЕАЛ- $N$ ,  $N = 0 - 8$ . Генератори шуму (рис. 5.46) вводять на входи приймачів обладнання шум з характеристикою ETSI A, ETSI B, Euro-K або адитивний білий гауссовий шум (AWGN-140) із спектральною густиною потужності мінус 140 дБм/Гц (параметри чотирьох видів шумів наведено на рис. 5.47 та в табл. 5.6 – 5.8).

**Примітка.** До моделі шуму ETSI A входять частоти 99; 207; 333; 387; 531; 603; 711; 801; 909 і 981 кГц, на яких відбувається вплив радіосигналів на кола кабелів. Потужність шуму на кожній з цих частот має не перевищувати мінус 70 дБм.

Потужність шуму у діапазоні частот від 1 кГц до 1,5 МГц для моделі ETSI A має не перевищувати мінус  $49,4 \pm 0,5$  дБм, а для моделі шуму ETSI B – мінус  $43 \pm 0,5$  дБм. Похибка вимірювання спектральної густини потужності шуму в діапазоні частот від 1 кГц до 1,5 МГц має не перевищувати  $\pm 1$  дБ за застосування вимірювального приладу зі смугою пропускання 1 кГц.

При тестуванні контролюється швидкість передавання інформації xDSL-лінією (із забезпеченням імовірності помилки не вище за  $10^{-7}$ ).

Швидкість передавання даних для системи ADSL має бути не меншою за зазначену в табл. 5.9 (з урахуванням запасу заводо захищеності 6 дБ).



**Рисунок 5.46** – Тестування обладнання xDSL-доступу

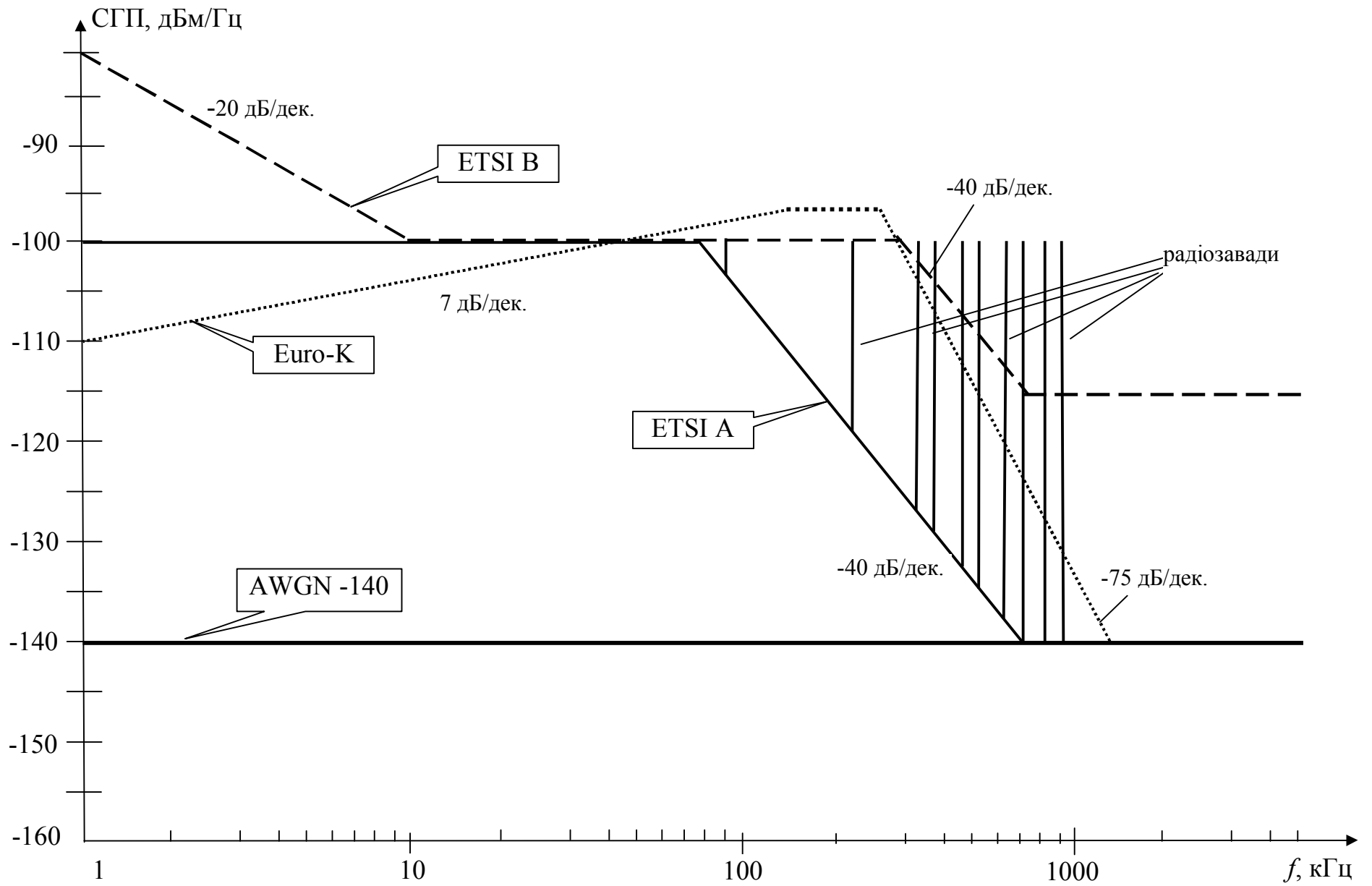


Рисунок 5.47 – Залежність спектральної густини потужності від частоти для чотирьох моделей шуму



**Таблиця 5.6 – Залежність спектральної густини потужності шуму ETSI A від частоти**

Частота, кГц	Спектральна густина потужності, дБм/Гц
1	-100
79,5	-100
795	-140
1500	-140

**Примітка.**  
 1 У діапазоні частот від 79,5 кГц до 795 кГц спектральна густина потужності шуму зменшується з нахилом 40 дБ/декаду.  
 2 На частотах 99; 207; 333; 387; 531; 603; 711; 801; 909; 981 кГц потужність шуму має не перевищувати мінус 70 дБм.

**Таблиця 5.7 – Залежність спектральної густини потужності шуму ETSI B від частоти**

Частота, кГц	Спектральна густина потужності, дБм/Гц
1	-80
10	-100
300	-100
711	-115
1500	-115

**Примітка.**  
 1 У діапазоні частот від 1 кГц до 10 кГц спектральна густина потужності зменшується з нахилом 20 дБ/декаду.  
 2 У діапазоні частот від 300 кГц до 711 кГц спектральна густина потужності шуму зменшується з нахилом 40 дБ/декаду.

**Таблиця 5.8 – Залежність спектральної густини потужності шуму Euro-K від частоти**

Частота, кГц	Спектральна густина потужності, дБм/Гц
1	-110
135	-94
260	-94
1060	-140
1500	-140

**Примітка.**  
 1 У діапазоні частот від 1 кГц до 135 кГц спектральна густина потужності зростає з нахилом 7 дБ/декаду.  
 2 У діапазоні частот від 260 кГц до 1060 кГц спектральна густина потужності шуму зменшується з нахилом 75 дБ/декаду.

**Таблиця 5.9** – Нормована швидкість передавання даних системи ADSL для різних моделей шуму і параметрів європейських ЕАЛ

Номер ЕАЛ	Загасання ЕАЛ, дБ, на частоті 300 кГц	Номінальна довжина X, км	Швидкість передавання, кбіт/с, у напрямку		Модель шуму на вході АЛ	
			низхідному	висхідному	з боку станції	з боку абонента
0	0	0	6144	640	шум відсутній	шум відсутній
1	40	2,8	4096	320	Euro-K	ETSI-A
1	50	3,5	2048	128	Euro-K	ETSI-A
1	20	1,4	6144	640	ETSI-B	ETSI-B
1	30	2,15	2048	512	ETSI-B	ETSI-B
1	60	4,2	576	128	ETSI-A	ETSI-A
1	60	4,2	1536	256	AWGN -140	AWGN -140

### **Запитання для закріплення**

1. Які варіанти СП ADSL регламентовано МСЕ-Т? Їх основні характеристики.
2. Пояснити особливості форми спектрів на рис. 5.1 – 5.22.
3. Як швидкість передавання пов'язана з характеристиками каналів?
4. Якими параметрами відрізняються СП xDSL за рекомендаціями G.992.1 та G.992.5?
5. Які особливості має спектр СП xDSL за рекомендаціями G.993.1 та G.993.2?
6. Виходячи з яких критеріїв визначаються маски спектральної густини потужності, наведені у даному розділі?

## 6 ЦИФРОВА СИСТЕМА ПЕРЕДАВАННЯ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ SHDSL

Система передавання SHDSL (Single-pair High-speed Digital Subscriber Line – Рекомендація МСЕ-Т G.991.2 [31]) базового варіанта використовує 16-позиційну амплітудно-імпульсну модуляцію (АІМ) з ґратчастим кодуванням – 16-ТСПАМ (ТСПАМ – Trellis Coded PAM). Цей спосіб модуляції забезпечує передавання чотирьох бітів (трьох бітів корисної інформації й додаткового біта кодування) на одному тактовому інтервалі. Використання ґратчастих (trellis) кодів надає вигреш у 5 дБ, що дозволяє знизити ймовірність помилки за передавання й збільшити віддаль зв'язку. Для декодування в приймачі використовується ефективний алгоритм Вітербі. Додатковий вигреш у СП SHDSL здобуто за рахунок застосування передкодування Томлінсона (Tomlinson) – передкорекції сигналу в передавачі на основі знання імпульсної характеристики каналу. Унаслідок застосування цих алгоритмів SHDSL, порівняно з однопарним варіантом СП за технологією HDSL (Рекомендація МСЕ-Т G.991.1 [30]), що використовує код 2B1Q, як показала експлуатація, дозволяє збільшити на 35 – 45 % швидкість передавання за тієї самої віддалі або збільшити віддаль на 15 – 20 % за тієї самої швидкості.

З метою забезпечення надання послуг різного рівня в СП SHDSL передбачена можливість вибору швидкості в діапазоні від 192 кбіт/с до 2312 кбіт/с із кроком 8 кбіт/с. За рахунок розширення набору швидкостей передавання оператор може сформувати маркетингову політику, що більш повно задовольняє потребам клієнтів. Крім того, до зниження швидкості передавання вдаються в тих випадках, коли необхідно домогтися збільшення віддалі передавання, а встановлення регенераторів неможливе або недоцільно. За максимальної швидкості передавання довжина цифрової АЛ на базі СП SHDSL становить близько 2 км (для кабелю типу ТП із діаметром жил 0,4 мм), за мінімальної – понад 6 км.

Для збільшення швидкості передавання в СП SHDSL передбачено можливість використання для передавання даних одночасно до чотирьох пар, що дозволяє забезпечити швидкість передавання до 9,248 Мбіт/с.

Уведена в грудні 2003 року редакція Рекомендації G.991.2 передбачає опцію СП SHDSL зі збільшеною швидкістю передавання інформації однією парою кабелю до 5696 кбіт/с, при цьому можливо використання як модуляції 16-ТСПАМ, так і 32-ТСПАМ. Це дозволяє СП SHDSL за роботи в чотирипарному режимі передавання сягати швидкості 22784 кбіт/с.

В 2007 році з'явилися повідомлення про подальше збільшення максимальної швидкості передавання СП SHDSL однією парою до 15200 кбіт/с шляхом реалізації методів модуляції 64-ТСПАМ і 128-ТСПАМ. Подальший опис СП SHDSL буде стосуватися базового варіанту системи зі швидкістю передавання від 192 кбіт/с до 2312 кбіт/с.

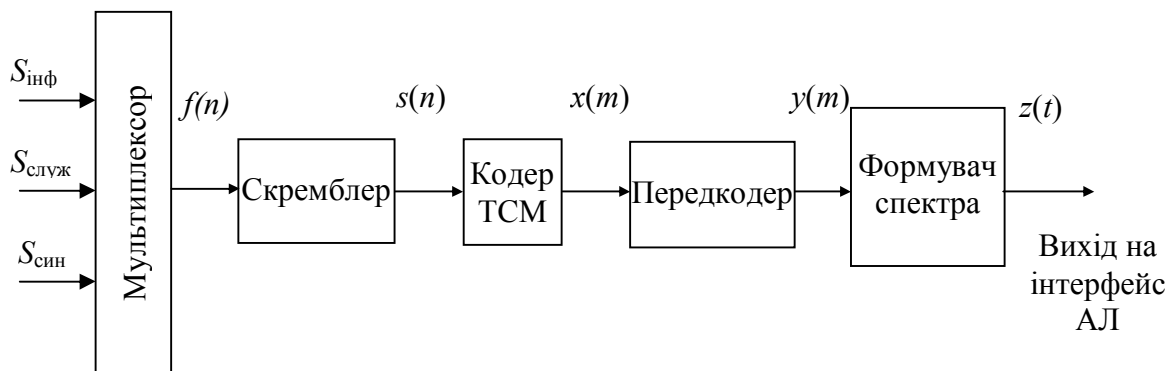
Найбільшим елементом структури сигналу SHDSL є кадр, що складається з 4-х блоків корисних даних і службової інформації (див. рис. 6.1).

Синхро- нізація кадра	Служ. інформ.	Блок даних	Служ. інформ.	Блок даних	Служ. інформ.	Блок даних	Служ. інформ.	Блок даних
-----------------------------	------------------	---------------	------------------	---------------	------------------	---------------	------------------	---------------

**Рисунок 6.1** – Структура кадру SHDSL

Кожний блок даних містить 12 підблоків. Тривалість кадру у разі синхронного режиму передавання дорівнює 6 мс, а у разі плезіохронного режиму –  $6 + 3/(k + 12)$  мс, де  $k$  – це розмір кожного блока корисної інформації,  $k = 12(i + 8n)$  біт. Швидкість передавання інформації дорівнює  $64n + 8i$  кбіт/с, де  $3 \leq n \leq 36$  і  $0 \leq i \leq 7$ . За  $n = 36$   $i$  може набувати лише двох значень: 0 і 1. Значення швидкості передавання інформації встановлюється в процесі ініціалізації.

Структурну схему передавача STU-C (SHDSL Transceiver Unit at the Central Office – приймач-передавач SHDSL на станційній стороні) або STU-R (SHDSL Transceiver Unit at the Remote End – приймач-передавач SHDSL на стороні користувача) зображено на рис. 6.2.



**Рисунок 6.2** – Структурна схема передавача SHDSL

Вхідний мультиплексор передавача поєднує інформаційні сигнали  $S_{інф}$  і службові  $S_{служ}$  з сигналами синхронізації й керування  $S_{син}$  у єдиний цифровий потік  $f(n)$ ,  $n = 1, 2, \dots$ , ( $n$  – номер біта) відповідно до кадрової структури сигналу. Сформований цифровий потік скремблюється, й псевдовипадковий сигнал  $s(n)$ ,  $n = 1, 2, \dots$ , надходить на вхід кодера TCM (Trellis Coded Modulation). Вихідним сигналом TCM-кодера є  $K$ -бітові інформаційні символи –  $x(m)$ ,  $m = 1, 2, \dots$  ( $m$  – номер символу). Потім символи  $x(m)$  перераховуються за алгоритмом передкодування Томлінсона в символи  $y(m)$ ,  $m = 1, 2, \dots$ , і надходять у формувач спектра, що здійснює перетворення цифрового сигналу  $y(m)$  в аналоговий сигнал  $z(t)$  з потрібною спектральною характеристикою.

За передавання  $K$  інформаційних бітів на один АІМ-символ тривалість символу в  $K$  разів перевищує тривалість біта, тому біти за певного  $m$  нумеруються так:  $\{mK + 0, mK + 1, \dots, mK + K - 1\}$ . Символьна швидкість  $f_{sym}$  (символ/с) пов'язана зі швидкістю передавання корисної інформації  $R$  (біт/с) таким співвідношенням:

$$f_{sym} = (R + 8) / 3.$$

Схему кодера TCM зображено на рис. 6.3. Послідовний потік бітів  $s(n)$  з виходу скремблера перетворюється в  $K$ -бітове паралельне слово  $m$ -го символу, що потім оброблюється згортковим кодером. Отримане в результаті цього  $(K + 1)$ -бітове слово подається одним з  $2^{K+1}$  певних рівнів АІМ-сигналу, формуючи  $x(m)$ . Правило перетворення бітового слова в 16-рівневий АІМ-сигнал (АІМ-16) наведено в табл. 6.1.

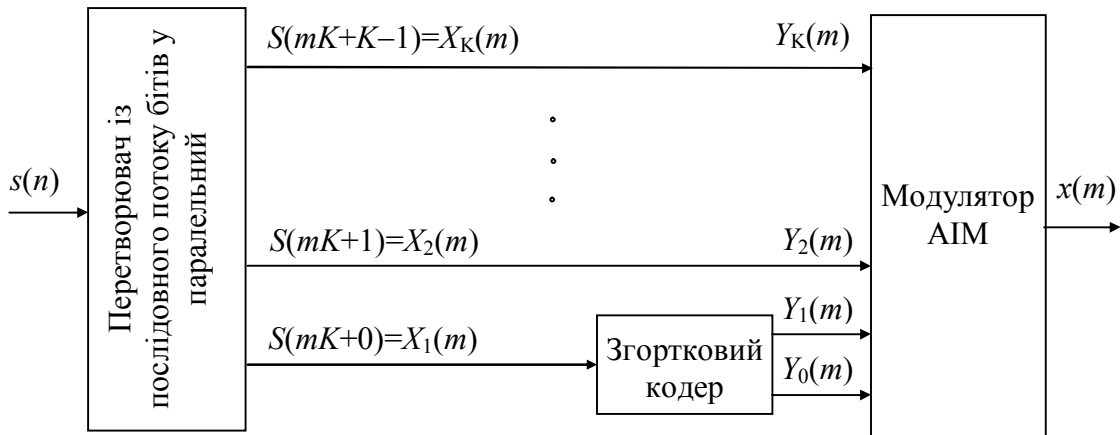


Рисунок 6.3 – Кодер TCM

Таблиця 6.1 – Перетворення бітового слова в рівні АІМ

$Y_3(m)$	$Y_2(m)$	$Y_1(m)$	$Y_0(m)$	$x(m)$ для АІМ-16
0	0	0	0	-15/16
0	0	0	1	-13/16
0	0	1	0	-11/16
0	0	1	1	-9/16
0	1	0	0	-7/16
0	1	0	1	-5/16
0	1	1	0	-3/16
0	1	1	1	-1/16
1	1	0	0	1/16
1	1	0	1	3/16
1	1	1	0	5/16
1	1	1	1	7/16
1	0	0	0	9/16
1	0	0	1	11/16
1	0	1	0	13/16
1	0	1	1	15/16

Схему згорткового кодера наведено на рис. 6.4, на якому, як і раніше,  $D$  означає операцію затримки на один такт,  $\oplus$  – операцію додавання за модулем 2,  $\otimes$  – операцію двійкового множення.

Значення коефіцієнтів двійкових поліномів  $A$  і  $B$  визначаються в процесі ініціалізації СП SHDSL:

$$A = a_{20} 2^{20} + a_{19} 2^{19} + a_{18} 2^{18} + \dots + a_0 2^0; \quad B = b_{20} 2^{20} + b_{19} 2^{19} + b_{18} 2^{18} + \dots + b_0 2^0.$$

Сигнал з виходу кодера TCM надходить на попередній кодер, схему якого наведено на рис. 6.5.

Значення коефіцієнтів  $C_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, N$ , визначаються приймачем протилежного обладнання СП і передаються на передавальний бік в процесі ініціалізації, що забезпечує попередню корекцію спектра формованого сигналу, яка частково компенсує частотні спотворення сигналу за його поширення в лінії зв'язку.

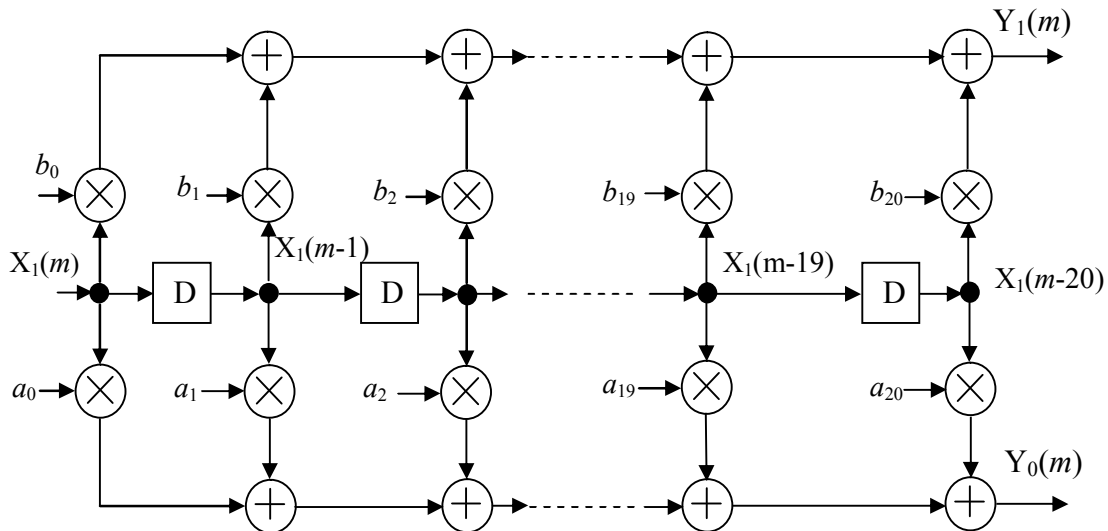


Рисунок 6.4 – Згортковий кодер

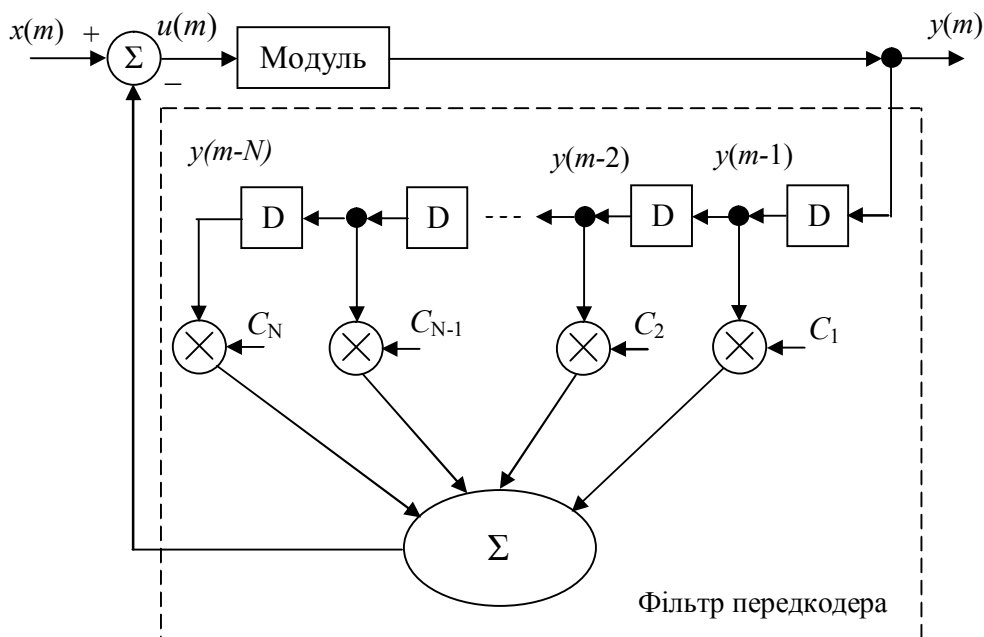


Рисунок 6.5 – Попередній кодер (передкодер)

Функцією блока «Модуль» є визначення  $y(m)$ : для кожної величини  $u(m)$  знайти таке ціле число  $d(m)$ , коли виконується:

$$-1 \leq u(m) + 2d(m) < 1,$$

тоді

$$y(m) = u(m) + 2d(m).$$

Для скремблювання сигналу в СП SHDSL використовується скремблер-дескремблер, що сам синхронізується.

Поліном скремблювання в низхідному напрямку описується виразом:

$$G(D) = D^{23} + D^5 + 1.$$

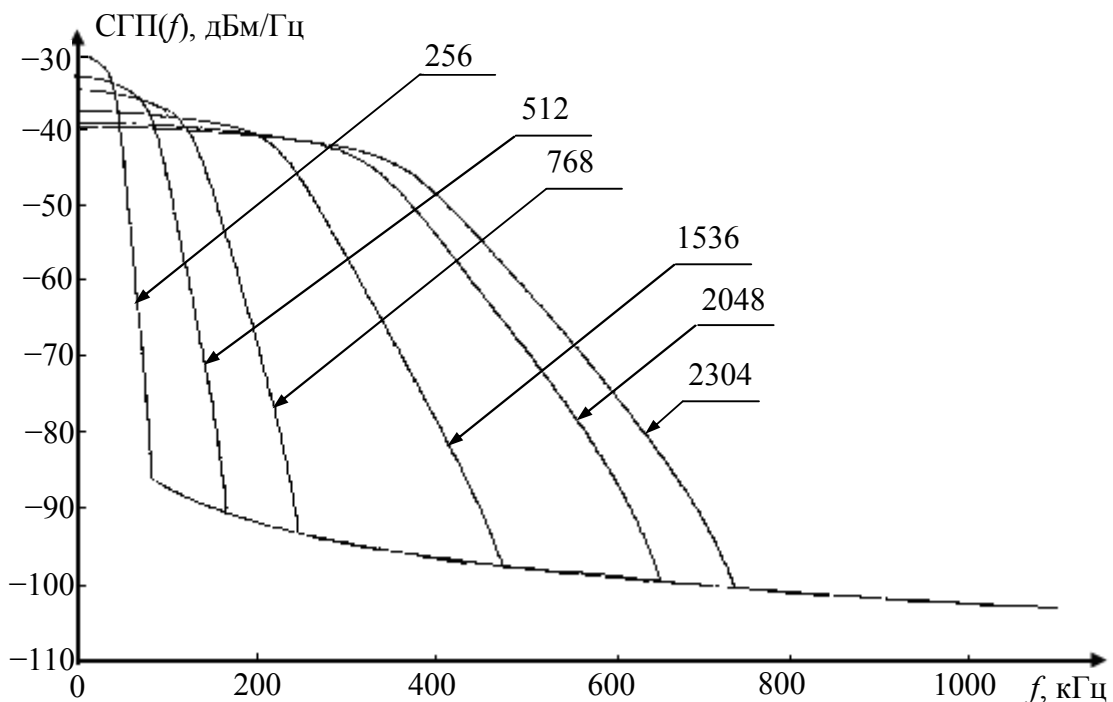
А у висхідному напрямку передавання використовується поліном скремблювання:

$$G(D) = D^{23} + D^{18} + 1.$$

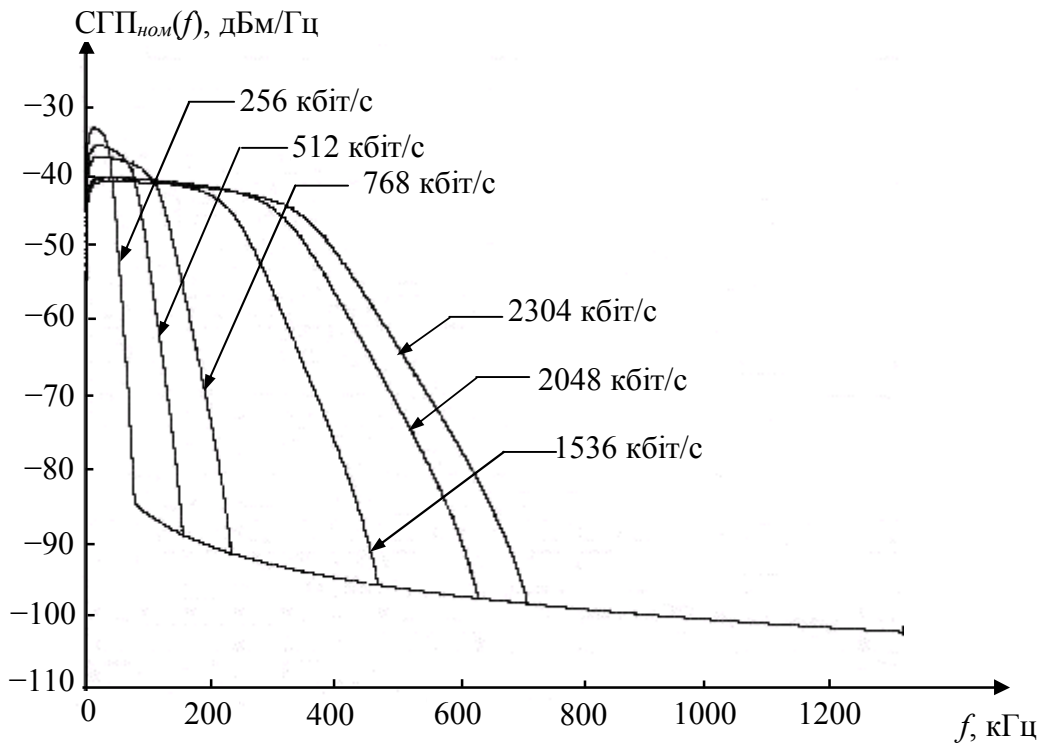
Схему скремблера наведено на рис. 3.26.

Пристрій формування спектра створює на виході сигнал, спектральна густина потужності якого задовольняє маскам потужності, наведеним на рис. 6.6-6.7. Одна з особливостей СП SHDSL полягає в тому, що ширина спектра передаваного сигналу змінюється пропорційно швидкості передавання інформації. На рис. 6.6 зображено маски спектральної густини потужності передаваного сигналу  $СПП(f)$  для швидкостей 256, 512, 768, 1536, 2048 і 2304 кбіт/с, а на рис. 6.7 – графіки залежності номінальної спектральної густини потужності передаваного сигналу  $СПП_{ном}(f)$  від частоти для тих самих швидкостей. На рис. 6.8 зображено маски спектральної густини потужності передаваного сигналу для опціональних швидкостей 3848 кбіт/с і 5696 кбіт/с.

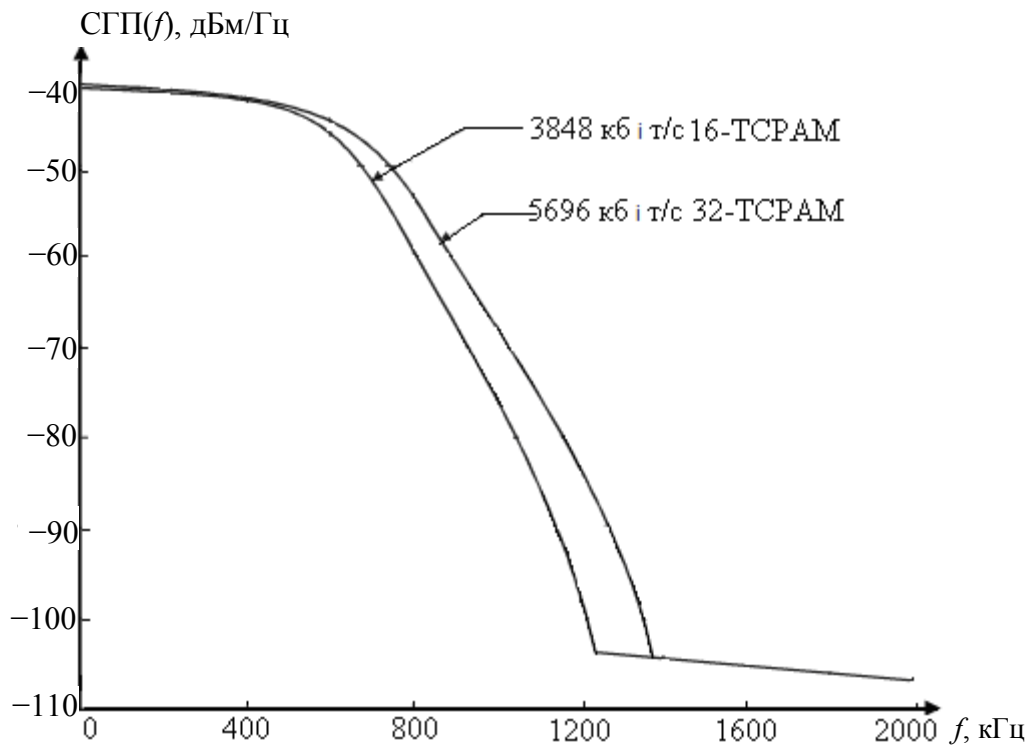
У СП SHDSL припускається опціональне використання несиметричних (різних на станційному і абонентському боці) масок спектральної густини потужності.



**Рисунок 6.6** – Маски спектральної густини потужності сигналу SHDSL для швидкостей 256; 512; 768; 1536; 2048 і 2304 кбіт/с (16-TSPAM)



**Рисунок 6.7** – Номінальна спектральна густина потужності сигналу SHDSL для швидкостей 256; 512; 768; 1536; 2048 і 2304 кбіт/с (16-ТСРАМ)



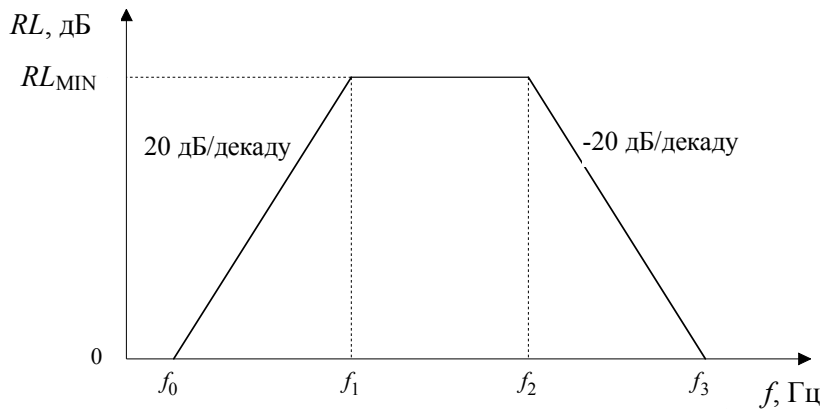
**Рисунок 6.8** – Маски спектральної густини потужності для швидкостей 3848 кбіт/с (16-ТСРАМ) і 5696 кбіт/с (32-ТСРАМ)

Максимальний рівень потужності на виході передавача становить 15 дБм за швидкостей, що є більшими або дорівнюють 2048 кбіт/с, і 14 дБм за швидкостей, нижчих за 2048 кбіт/с.

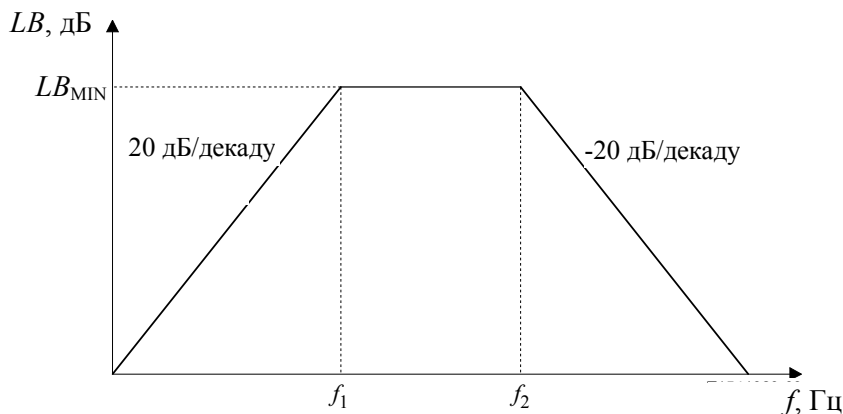


Значення загасання неузгодженості, визначені щодо навантажувального опору 135 Ом, мають задовольняти масці, наведеній на рис. 3.9. На цьому рисунку  $RL_{\text{MIN}} = 12$  дБ,  $f_0 = 12,56$  кГц,  $f_1 = 50$  кГц,  $f_2 = f_{\text{sym}}/2$ ,  $f_3 = 1,99 f_{\text{sym}}$ , де  $f_{\text{sym}}$  – символна швидкість;  $f_{\text{sym}} = (R + 8)/3$ ,  $R$  – корисна швидкість передавання.

Значення загасання асиметрії мають задовольняти масці, наведеній на рис. 6.10. На цьому рисунку  $LB_{\text{MIN}} = 40$  дБ,  $f_1 = 5$  кГц,  $f_2 = f_{\text{sym}}/2$ .



**Рисунок 6.9** – Маска значень загасання неузгодженості для інтерфейсів SHDSL



**Рисунок 6.10** – Маска значень загасання асиметрії для інтерфейсів SHDSL

### Запитання для закріплення

1. Який метод передавання використовується в СП SHDSL?
2. Який метод корекції частотних спотворень характеристик каналу зв'язку використовується в СП SHDSL?
3. Пояснити залежність спектру сигналу на виході передавача СП SHDSL від швидкості передавання (рис. 6.7).
4. Який метод розділення сигналів зустрічних напрямків передавання використовується в СП SHDSL?

## 7 ХАРАКТЕРИСТИКИ АБОНЕНТСЬКИХ ЛІНІЙ

### 7.1 Характеристика кабелів абонентських ліній

Складовою мережі доступу є абонентські лінії (АЛ), які будуються на використанні як низькочастотних, так і високочастотних кабелів. Швидкість передавання інформації абонентськими лініями залежить від значень електричних параметрів кабелів, з'єднувальних муфт, кросового обладнання АТС, розподільних шаф, коробок та ящиків, обладнання xDSL тощо. Нижче наведено стислі дані про кабелі, які використовуються на МТМ.

#### 7.1.1 Типи кабелів, що застосовуються на абонентських лініях

*Кабелем* називають конструкцію, яка складається із скручених в осердя ізольованих жил, поверх якого (осердя) розміщуються оболонка для захисту від проникнення вологи та броньоване покриття.

Залежно від умов прокладання і експлуатації, кабелі поділяють на підземні, підводні, для підвішування і прокладання в телефонній каналізації.

За спектром частот кабелі поділяють на низькочастотні і високочастотні. За конструкцією та взаємним розміщенням жил розрізняють симетричні і коаксіальні кабелі, до складу яких входять відповідно симетричні і коаксіальні пари.

Симетрична пара – пара, у якій ізольовані жили однакової конструкції – паралельні або скручені – розташовані симетрично відносно до її поздовжньої осі.

Коаксіальна пара – пара, жили якої розділені ізоляцією і мають спільну вісь.

На МТМ використовують малопарні та багатопарні кабелі. Нижче наведено характеристики найбільш поширених кабелів для побудови АЛ.

Багатопарні кабелі типу Т:

– з мідними жилами діаметром 0,4; 0,5; 0,7 мм, парним скрученням, з паперовою ізоляцією жил, у сталевій гофрованій або алюмінієвій оболонці (марки ТСтШп, ТАШп, ТАгШп);

– з мідними жилами діаметром 0,4; 0,5; 0,7 мм, з паперовою ізоляцією жил і у свинцевій вологозахисній оболонці (марки ТГ, ТГШп, ТБ, ТБпШп, ТБГ, ТК, ТКпШп тощо).

Багатопарні кабелі типу ТП:

– з мідними жилами, парним скрученням, з поліетиленовою ізоляцією, з жилами діаметром 0,32; 0,4; 0,5; 0,64; 0,7; 0,9 мм, у поліетиленовій оболонці, із заповненням або без заповнення осердя гідрофобною масою;

– з жилами діаметром 0,4; 0,5; 0,64 мм – у полівінілхлоридній оболонці (марки ТПВ);

– з жилами 0,5 мм в алюмінієвій оболонці, захищеній поліетиленовим або полівінілхлоридним шлангом (марки СТПА).

Малопарні кабелі марки КТПЗББШп містять мідні жили діаметром 0,64 мм, поліетиленову ізоляцію й оболонку. Кабелі призначено для застосування на місцевих мережах зв'язку в цифрових лінійних трактах передавання сигналів зі швидкістю до 2048 кбіт/с.

Високочастотні (цифрові) абонентські кабелі місцевого зв'язку КВППэпЗ, КЦППэпЗ із мідними жилами діаметром 0,5 і 0,64 мм, поліетиленовою ізоляцією жил, алюмінієвим екраном, поліетиленовою оболонкою заповнено гідрофобним компаундом. Кабелі забезпечують роботу обладнання xDSL зі швидкістю 2048 кбіт/с.

Кабелі марок, призначені для застосування на місцевих мережах зв'язку для експлуатації на магістральних, групових абонентських лініях, в цифрових лінійних трактах передавання сигналів зі швидкістю до 2048 кбіт/с:

– ТПВ-ЭЦ містять мідні струмопровідні жили діаметром 0,5 і 0,64 мм. Ізоляція жил суцільна, поліетиленова. Жили скручуються у четвірки, утворюючи пари, розташовані за діагоналлю. Осердя кабелю складається з 1, 2, 4, 6 або 10 індивідуально екранованих четвірок. Зовнішня оболонка виготовлена з світлостабілізованого поліетилену;

– ТППэп-МЦ містять мідні струмопровідні жили діаметром 0,5 і 0,64 мм. Ізоляція жил суцільна поліетиленова. Жили скручуються у четвірки, утворюючи пари, розташовані за діагоналлю. Осердя кабелю складається з модулів. Модуль, скручений з 4 – 5 неекранованих четвірок, має екран. Осердя кабелю складається з 10, 16, 20, 30 або 40 четвірок. У кабелі поверх поясної ізоляції розташовано екран із алюмінієво-полімерної стрічки. Зовнішня оболонка виготовлена з світлостабілізованого поліетилену;

– ТППэпЗ-ЭЦ містять мідні жили діаметром 0,4; 0,5 або 0,64 мм. Ізоляція жил – поліетиленова, суцільна. Жили скручено в пари. Осердя кабелю складається з 1, 2, 4, 6 або 10 четвірок. У кабелі поверх поясної ізоляції розташовано екран із алюмінієво-полімерної стрічки. Зовнішня оболонка виготовлена з світлостабілізованого поліетилену.

Однопарні кабелі марки ПРППМ і ПРПВМ містять мідні жили діаметром 0,9 і 1,2 мм, поліетиленову ізоляцію жил, поліетиленову й полівінілхлоридну оболонку відповідно.

Замість низькочастотного кабелю ПРППМ може використовуватися захищений від гризунів і зовнішніх електромагнітних полів абонентський кабель КАПЗоп з мідними жилами діаметром 0,5; 0,64 і 0,9 мм, поліетиленовою ізоляцією жил, гідрофобним заповненням осердя, обплетенням з оцинкованих дротів і поліетиленовим шлангом.

Станційні кабелі марки ТСВ мають мідні жили діаметром 0,4 і 0,5 мм, поліетиленову ізоляцію жил і полівінілхлоридну оболонку.

Для абонентської проводки застосовують однопарні телефонні розподільні проводи марок ТРП, ТРВ із мідними жилами діаметром 0,4 і 0,5 мм, з поліетиленовою й полівінілхлоридною ізоляцією відповідно.

Для внутрішньобудинкового проводу за організації зв'язку із застосуванням обладнання СП у діапазоні частот до 2048 кГц застосовують кабелі типу ТПВЭ АД 2, які містять дві паралельно покладені екрановані групи

з однією, двома або чотирма парами мідних жил діаметром 0,5 мм, ізольовані суцільним поліетиленом і покриті полівінілхлоридною оболонкою.

Інсталяційні кабелі призначено для прокладання усередині будівель, станцій, споруд, апаратури, для експлуатації в структурованих кабельних системах (СКС) у частотному діапазоні до 16, 20 або 100 МГц.

Кабелі СКС для широкосмугового доступу: малопарні ЭКС-ГВПВ-5 (2, 4 пари); багатопарні ЭКС-МВПВ (до 100 пар). Діаметр жил дорівнює 0,52 і 0,64 мм.

З'єднання в кросах і розподільних шафах виконуються кросувальними проводами марки ПКСВ із діаметром мідних жил 0,4 і 0,5 мм.

У табл. 7.1 наведено стисло характеристику типів кабелів з мідними жилами, застосовуваних на АЛ місцевої телефонної мережі.

**Таблиця 7.1** – Типи кабелів, застосовуваних на АЛ місцевої телефонної мережі

Тип кабелю	Діаметр жил, мм	Матеріал ізоляції жил/оболонки	Гідрофобне заповнення осердя	Діапазон частот	Сфера застосування
Т	0,4; 0,5; 0,7	кабельний папір	немає	низькі частоти	магістральна і розподільна ділянки МТМ і СТМ
ТП	0,32; 0,4; 0,5; 0,64; 0,7; 0,9	поліетилен/ поліетилен	є / немає	низькі частоти	магістральна і розподільна ділянки МТМ і СТМ
КТПЗББШп	0,64	поліетилен/ поліетилен	є	низькі частоти	СТМ
КВППЭпЗ КЦППЭпЗ	0,5; 0,64	поліетилен/ поліетилен	є	високі частоти	ущільнення АЛ обладнанням xDSL
ТППЭпЗ-МЦ ТППЭпЗ-ЭЦ ТПВ-ЭЦ	0,5; 0,64	поліетилен/ поліетилен/ поліетилен/ поліетилен/ полівінілхлорид	є є немає	високі частоти	магістральна ділянка, групові абонентські лінії
ПРППМ ПРПВМ	0,8; 0,9; 1,2	поліетилен (поліетилен/полі- вінілхлорид)	немає	низькі частоти	СТМ
КАПЗоп	0,5; 0,64; 0,9	поліетилен/ поліетилен	є	низькі й високі частоти	СТМ, ущільнення АЛ обладнанням xDSL
ТСВ	0,4; 0,5	полівінілхлорид/ полівінілхлорид	немає	низькі частоти	станційна ділянка
ТРП ТРВ	0,4; 0,5	поліетилен, полівінілхлорид	немає	низькі частоти	абонентська проводка
ТПВЭ АД	0,5	поліетилен/ полівінілхлорид	немає	до 200 кГц	у будинках з підвищенням електромагнітним впливом
ЭКС-ГВПВ-5 ЭКС-МВПВ	0,52 0,52; 0,64	поліетилен/ полівінілхлорид	немає	до 16 - 100 МГц	СКС, цифрові мережі абонентського доступу

*Структурована кабельна система (СКС)* – основа інформаційної інфраструктури підприємства, яка являє собою кабельну систему, до складу якої входять кабелі, муфти, з'єднувальні шнури, кабельні роз'єми, модульні гнізда, інформаційні розетки і допоміжне обладнання.

СКС дозволяє звести у єдину систему інформаційні сервіси різного призначення: локальні обчислювальні (ЛОМ) і телефонні мережі; системи безпеки; системи відеонагляду тощо.

СКС підтримує передавання сигналів мовлення, даних і відеозображення мультимедійним середовищем з використанням коаксіального кабелю, екранованої та неекранованої вити пари, оптичного волокна.

*Вита пара* – скручена симетрична пара з високим ступенем симетрії електричних параметрів відносно поздовжньої осі.

Класифікацію кабелів СКС за категоріями наведено в табл. 7.2. Неекранована вита пара є основним середовищем передавання сигналів.

**Таблиця 7.2** – Класифікація кабелів СКС за категоріями

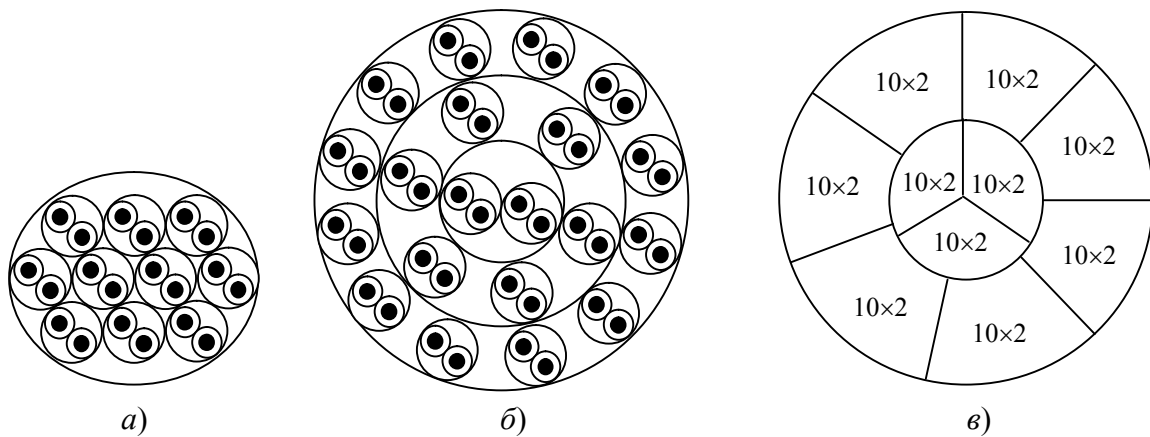
Категорія кабелю	Максимальна частота сигналу, МГц	Сфера застосування
Категорія 3	до 16	ЛОМ, Ethernet, Token Ring, телефонія
Категорія 5 і 5e	до 100	ЛОМ, Ethernet, Fast Ethernet, ATM, Token Ring, телефонія
Категорія 6	до 250	ЛОМ, Gigabit Ethernet, Ethernet, Fast Ethernet, ATM, Token Ring (пари екрануються або не екрануються)
Категорія 7	до 600	ЛОМ, Gigabit Ethernet, Ethernet, Fast Ethernet, ATM, Token Ring (пари обов'язково екрануються).

### ***Кабелі з пучковою побудовою осердя***

*Пучок* – елемент конструкції осердя кабелю, що складається із сукупності груп (пар, четвірок і т.п.), скручених в один бік з однаковим кроком.

*Пара* – група чи частина групи з двох ізольованих між собою жил (провідників), призначених для роботи в одному електричному колі.

Пари жил скручують в елементарні пучки (п'яти- або десятипарні) або осердя (п'яти- або десятипарного кабелю) односпрямованим або різноспрямованим скрученням. На рис. 7.1, а наведено схему утворення осердя кабелю ємністю 10 пар. Пари в елементарному десятипарному пучку й десятипарному осерді мають певне забарвлення.



**Рисунок 7.1** – Схеми утворення осердя кабелю ємністю 10 пар з пучковим скрученням (а), 20 пар з повивним скрученням (б) та 100 пар з пучковим скрученням (в)

Пари в елементарному п'ятипарному пучку або п'ятипарному осерді мають забарвлення перших або других п'яти пар десятипарного елементарного пучка.

На елементарний пучок накладається за спіраллю скріплювальна обмотка із синтетичних ниток або ідентифікаційних стрічок. Елементарні пучки скручують у головні (50- або 100-парні) пучки односпрямованим або різноспрямованим скрученням. На рис. 7.1, в наведено схему утворення 100-парного пучка. Головні пучки скручують в осердя кабелю односпрямованим або різноспрямованим скрученням.

Допускається маркування за допомогою лічильного і напрямного елементарних пучків у кожному повиві осердя або головного пучка, які відрізняються від інших пучків кольором скріплювальної нитки або стрічки. Лічильний елементарний пучок обмотують скріплювальною синтетичною ниткою або ідентифікаційною стрічкою червоного кольору, напрямний – ниткою або стрічкою зеленого або синього кольору.

#### **Кабелі з повивною побудовою осердя**

*Повив* – шар елементів скручення, розташованих коаксіально або відносно до інших аналогічних елементів, що утворюють у сукупності скручену частину конструкції кабельного виробу (струмопровідну жилу, осердя), або коаксіально поверх внутрішньої (відносно до цього шару) частини кабельного виробу.

Пари в осерді кабелю розташовують у повивах. Повиви із взаємно протилежним напрямком скручення обмотують синтетичною ниткою або стрічкою. У кожному повиві має бути одна лічильна й одна напрямна пари, забарвлення яких мають бути відмінні від забарвлення інших пар у повиві. Забарвлення лічильної й напрямної пар також відрізняються між собою. Пари, розташовані в центрі осердя, можуть не скручуватися між собою й не відокремлюватися синтетичною ниткою або стрічкою від суміжного повиву. На рис. 7.1, б наведено схему утворення осердя кабелю ємністю 20 пар.

Системи скручення елементарних пучків і пар в осердях кабелю ємністю до 100 пар наведено в табл. 7.3 і 7.4.

**Таблиця 7.3** – Системи скручення елементарних пучків в осердя кабелю ємністю до 100 пар з пучковою побудовою

Номінальна кількість пар	Система скручення
5	1×(5×2)
10	1×(10×2)
20	2×(10×2)
20	4×(5×2)
30	6×(5×2)
30	3×(10×2)
50	5×(10×2)
100	(3+7)×(10×2)
100	(2+8)×(10×2)

**Примітка.** У правій частині позначення системи побудови осердя міститься позначення кількості пар (5 або 10) в елементарному пучку (5 × 2 або 10 × 2). Одна (дві) цифри перед (5 × 2) або (10 × 2) означає кількість елементарних пучків у центральному (центральному й першому) повивах.

**Таблиця 7.4** – Системи скручення осердя кабелю ємністю до 100 пар з повивною побудовою

Номінальна кількість пар	Система скручення
10	2+8
20	2+6+12
30	4+10+16
50	4+10+16+20
100	2+8+14+20+26+30

**Примітка.** Позначення системи побудови осердя містить декілька чисел, кількість яких дорівнює кількості повивів. Перша цифра вказує на кількість пар у центральному повиві, друга цифра – на кількість пар у першому повиві тощо.

### 7.1.2 Електричні параметри передавання кабелів

До електричних параметрів передавання кабелів належать: електричний опір струмопровідних жил постійному струму  $R_{ж}$ , Ом/км; електричний опір ізоляції жил  $R_{із}$ , МОм·км; робоча (електрична) ємність  $C_0$ , нФ/км; коефіцієнт загасання  $\alpha$ , дБ/км; коефіцієнт фази  $\beta$ , рад/км; модуль хвильового опору  $|Z_{хв}|$ , Ом, і його фаза  $\varphi_{хв}$ , градуси; електричний опір ізоляції зовнішньої оболонки  $R_{із об}$  й шланга  $R_{із ш}$ , МОм·км; перехідне загасання на ближньому кінці  $A_0$ , далекому кінці  $A_l$  й захищеність на далекому кінці  $A_3$ , дБ; загасання неузгодженості  $A_{ну}$  і загасання асиметрії  $A_{ас}$ , дБ.

Середні значення електричних параметрів передавання кабелів типу ТП наведено в табл. 7.5 і 7.6. Низькочастотні та високочастотні параметри передавання кабелів категорій 3, 5 і 5е наведено в табл. 7.7 – 7.9.

**Таблиця 7.5** – Середні значення електричного опору, омичної асиметрії та робочої ємності кабелів типу ТП

Параметр	Частота, Гц	Середнє значення
1 Електричний опір струмопровідної жили завдовжки 1 км за температури 20 °С, Ом/км, для діаметра жил, мм: 0,32 0,40 0,50 0,64 0,70 0,90	0	223 144 92,1 56,5 47,0 28,3
2 Омична асиметрія жил пари, %, не більше за	0	1
3 Електричний опір ізоляції 1 км жил кабелю постійному струму, МОм	0	5 000
4 Робоча ємність, перерахована на довжину 1 км, за температури 20 °С, нФ/км, не більше за: - для кабелів без гідрофобного заповнення - для кабелів з гідрофобним заповненням - для кабелів з гідрофобним заповненням «Зв»	800 або 1000	48 54 57
<b>Примітка.</b> 1 Омична асиметрія пари постійному струму – різниця електричних опорів провідників пари постійному струму. 2 Опір ізоляції пари – електричний опір постійному струму між двома провідниками пари, ізольованими один від одного. 3 Робоча ємність пари – електрична ємність між двома ізольованими провідниками пари.		

**Таблиця 7.6** – Припустимі значення коефіцієнту загасання кабелів типу ТП на частотах 1, 512 і 1024 кГц

Діаметр жил, мм	Частота, кГц	Коефіцієнт загасання, дБ/км, не більше за	
		кабель без гідрофобного заповнення	кабель з гідрофобним заповненням
0,32	1	2,4	2,5
0,4		1,9	2,0
0,5		1,5	1,6
0,64		1,2	1,3
0,7		1,1	1,2
0,9		0,7	0,8
0,4	512	19,5	20,8
0,5		16,7	18,0
0,4	1024	27,2	29,1
0,5		23,4	25,2
<b>Примітка.</b> Коефіцієнт загасання – загасання синусоїдного сигналу за поширення узгодженою на вході і виході парою завдовжки 1 км.			



**Таблиця 7.7** – Низькочастотні параметри передавання кабелів категорій 3, 5 і 5e

Категорія кабелю	Електричні характеристики кабелю завдовжки 100 м			
	опір жили, Ом, не більше за	омічна асиметрія жил пари, %, не більше за	опір ізоляції, МОм, не менше за	робоча ємність, нФ, не більше за
3, 5, 5e	9,5	3	50 000	5,2

**Таблиця 7.8** – Електричні параметри передавання кабелів категорій 5 і 5e завдовжки 100 м на частотах до 2 МГц

Частота, кГц	Загасання, дБ	Модуль хвильового опору, Ом
64	0,65	130
100	0,93	126
256	1,04	117
512	1,34	114
1000	1,81	107
2000	2,40	104

**Примітка.** 1 *Хвильовий опір* – опір, який зазнає синусоїдна електромагнітна хвиля за поширення уздовж однорідної пари без відбиття.  
 2 *Хвильовий опір* визначається як відношення комплексної амплітуди напруги до комплексної амплітуди струму, має модуль і фазу.  
 3 *Загасання* – величина, що характеризує зміну потужності (напруги) сигналу за передавання його парою і визначається логарифмом відношення значень потужності  $P_{вх}$  (напруги  $U_{вх}$ ) на вході пари до потужності  $P_{вих}$  (напруги  $U_{вих}$ ) на виході пари, дБ:

$$A = 10 \lg \left| \frac{P_{вх}}{P_{вих}} \right| = 20 \lg \left| \frac{U_{вх}}{U_{вих}} \right|.$$

**Таблиця 7.9** – Максимально припустиме загасання кабелів категорій 3, 5 і 5e завдовжки 100 м

Частота, МГц	Загасання пар кабелю, дБ, не більше за	
	Категорія 3	Категорія 5, 5e
0,772	2,2	1,8
1	2,6	2,0
4	5,6	4,1
10	9,7	6,5
16	13,1	8,2
20	–	9,3
31,25	–	11,7
62,5	–	17,0
100	–	22,0

### ***Залежність параметрів передавання пар кабелю від частоти***

Первинні параметри передавання кабелю залежать від частоти. Наприклад, активний опір пари кабелю за збільшення частоти збільшується внаслідок впливу поверхневого ефекту, ефекту близькості та впливу сусідніх жил. Індуктивність пари кабелю за збільшення частоти зменшується внаслідок того, що під впливом поверхневого ефекту зменшується внутрішня індуктивність, а зовнішня індуктивність від частоти не залежить. Робоча ємність пари кабелю від частоти не залежить. Провідність ізоляції за збільшення частоти зростає внаслідок збільшення втрат на поляризацію матеріалу ізоляції.

Вторинні параметри передавання кабелю визначаються первинними параметрами передавання і тому залежать від частоти. Коефіцієнт загасання пари кабелю за збільшення частоти збільшується внаслідок збільшення втрат за рахунок вихрових струмів в металевих жилах та втрат на поляризацію матеріалу ізоляції. Модуль хвильового опору пари кабелю за збільшення частоти спочатку зменшується за рахунок зменшення внутрішньої індуктивності, а потім стає незалежним від частоти. Фаза хвильового опору за збільшення частоти має від'ємний знак і наближається поступово до нуля в діапазоні високих частот.

### ***Залежність параметрів передавання пар кабелю від довжини***

Опір і робоча ємність пари прямо пропорційно залежать від довжини кабелю. Опір ізоляції залежить від довжини пари кабелю обернено пропорційно. Загасання залежить прямо пропорційно від довжини пари кабелю. Модуль і фаза хвильового опору від довжини пари кабелю не залежать.

### ***Залежність параметрів передавання пар кабелю від терміну експлуатації***

Внаслідок процесу старіння усі електричні параметри передавання кабелю змінюються. Найбільшу залежність від терміну експлуатації мають опір ізоляції, робоча ємність і коефіцієнт загасання. Деякі дані щодо впливу терміну експлуатації на електричний опір ізоляції та робочу ємність кабелів типу ТП і ТППЗ наведено в табл. 7.10 – 7.11.

**Таблиця 7.10** – Електричний опір ізоляції 1 км жил кабелю постійному струму без прикінцевих пристроїв з урахуванням строку експлуатації

Тип кабелю	Електричний опір ізоляції 1 км жил, МОм, не менше, за терміну експлуатації		
	до 5-ти років	до 10-ти років	понад 15-ти років
ТП	1 000	500	300
ТППЗ	1 000	800	500

**Примітка.** Кабель ТППЗ має гідروفобне заповнення.

**Таблиця 7.11** – Робоча ємність 1 км жил кабелю

Тип кабелю	Робоча ємність, нФ/км, за терміну експлуатації		
	до 5-ти років	до 10-ти років	понад 15-ти років
ТП	50	55	60
ТППЗ	50	50	55

### 7.1.3 Параметри взаємного впливу

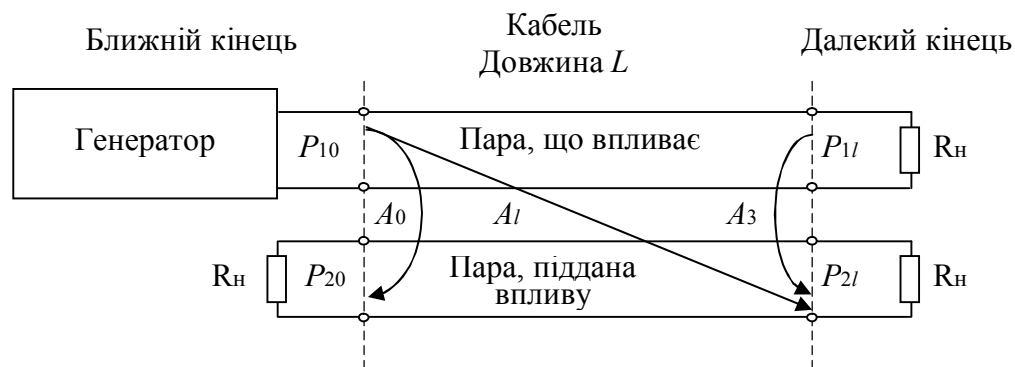
Взаємний вплив в кабелі виникає внаслідок електромагнітного зв'язку між парами. Рівень взаємних завад, що виникають усередині кабелю, визначається перехідними загасаннями між парами.

*Перехідне загасання* – загасання синусоїдного сигналу за переходу з пари, що впливає, до пари, підданої впливу.

Розрізняють перехідні загасання на ближньому кінці  $A_0$ , на далекому кінці  $A_1$  та захищеність на далекому кінці  $A_3$ .

На рис. 7.2 наведено приклад розміщення двох пар в кабелі. Літерами  $a$  і  $b$  позначено жили пар. Вертикальні штрихові лінії позначають два кінці кабелю.

Пара, до якої підімкнено генератор, є *парою, що впливає*. Пара, до кінців якої підключено опори навантаження, є *парою, підданою впливу*. Кінець кабелю, до пари якого підключено генератор, є *ближнім кінцем*. Кінець кабелю, до пар якого підключено лише опори навантаження  $R_H$ , є *далеким кінцем*. Опори навантаження  $R_H$  має бути узгоджено з хвильовим опором пар  $Z_{ХВ}$ .



**Рисунок 7.2** – Пояснення до перехідних загасань на ближньому кінці  $A_0$ , на далекому кінці  $A_1$  і захищеності на далекому кінці  $A_3$  кабелю

*Перехідне загасання на ближньому кінці* – загасання синусоїдного сигналу за переходу з ближнього кінця пари, що впливає, до ближнього кінця пари, підданої впливу, за умови узгодження пар на кінцях.

Величина перехідного загасання на ближньому кінці  $A_0$  (NEXT), в дБ, дорівнює 10 десятковим логарифмам модуля відношення потужності сигналу  $P_{10}$  на ближньому кінці пари, що впливає, до потужності завади  $P_{20}$  на ближньому кінці пари, підданої впливу:

$$A_0 = 10 \lg \left| P_{10} / P_{20} \right| .$$

*Перехідне загасання на далекому кінці* – загасання синусоїдного сигналу за переходу з ближнього кінця пари, що впливає, до далекого кінця пари, що піддана впливу, за умови узгодження пар на кінцях.

Величина перехідного загасання на далекому кінці  $A_l$  (FEXT), в дБ, дорівнює 10 десятковим логарифмам модуля відношення потужності сигналу  $P_{10}$  на ближньому кінці пари, що впливає, до потужності завади  $P_{2l}$  на далекому кінці пари, підданої впливу:

$$A_l = 10 \lg | P_{10} / P_{2l} | .$$

*Захищеність між парами на далекому кінці (захищеність)* – загасання (перехідне) синусоїдного сигналу за переходу з далекого кінця пари, що впливає, до далекого кінця пари, підданої впливу, за умови узгодження пар на кінцях.

**Примітка.** Захищеність між парами визначається як різниця між рівнем сигналу в кінці пари, що впливає, і рівнем завади в кінці пари, підданої впливу.

Величина захищеності на далекому кінці  $A_3$  (ELFEXT), в дБ, дорівнює 10 десятковим логарифмам модуля відношення потужності сигналу  $P_{1l}$  на далекому кінці пари, що впливає, до потужності завади  $P_{2l}$  на далекому кінці пари, підданої впливу:

$$A_3 = 10 \lg | P_{1l} / P_{2l} | .$$

Перехідне загасання на далекому кінці і захищеність на далекому кінці пов'язані між собою власним загасанням пари, яке дорівнює добутку коефіцієнта загасання  $\alpha$  на довжину кабелю  $l$ :

$$A_l = A_3 + \alpha l .$$

#### ***Залежність перехідних загасань від довжини***

Як довели вимірення на АЛ, середнє значення перехідного загасання на ближньому кінці в багатопарних кабелях не залежить від довжини і визначається перехідним загасанням на ближньому кінці першої будівельної довжини.

*Будівельна довжина кабелю* – виготовлений на кабельному заводі відрізок кабелю певної протяжності, намотаний на барабан.

Середні значення перехідного загасання на далекому кінці й захищеності на далекому кінці багатопарного кабелю МТМ залежать від частоти і довжини АЛ та визначаються за допомогою таких формул:

$$A_{3\text{АЛ}} = A_{3\text{бд}} - 10 \lg (l / l_{\text{бд}}) ;$$

$$A_{l\text{АЛ}} = A_{3\text{АЛ}} + \alpha l ,$$

де  $A_{3\text{АЛ}}$  – захищеність на далекому кінці АЛ, дБ, завдовжки  $l$  км;

$A_{3\text{бд}}$  – захищеність на далекому кінці однієї будівельної довжини кабелю, дБ;

$A_{l\text{АЛ}}$  – перехідне загасання на далекому кінці АЛ, дБ;

$\alpha$  – коефіцієнт загасання кабелю, дБ/км, на частоті  $f$ ;

$l_{\text{бд}}$  – протяжність будівельної довжини кабелю, км.

Аналіз вище наведених формул для  $A_{3\text{АЛ}}$  і  $A_{l\text{АЛ}}$  доводить, що за збільшення довжини АЛ захищеність на далекому кінці зменшується, а

перехідне загасання на далекому кінці спочатку зменшується, а потім починає збільшуватися за рахунок збільшення власного загасання  $\alpha l$ .

***Залежність перехідного загасання на ближньому кінці від частоти***

Залежність середнього значення перехідного загасання між парами на ближньому кінці в кабелях типу ТП від частоти в діапазоні частот від 10 кГц до 2 МГц можна визначити з наступної, заснованої на аналізі результатів проведених авторами вимірювань, наближеної формули:

$$A_0(f) = A_{01} - 15 \lg(f),$$

де  $A_{01}$  – значення перехідного загасання на ближньому кінці на частоті 1 МГц (табл. 7.12 і 7.14);  $f$  – частота, МГц.

Основною причиною зменшення перехідного загасання на ближньому кінці за збільшення частоти є збільшення електромагнітних зв'язків між парами.

***Залежність перехідних загасань від взаємного розміщення пар в кабелі з повивною побудовою осердя***

Середні значення і середньоквадратичні відхилення перехідного загасання на ближньому кінці кабелів типу ТП з повивною побудовою осердя на частоті 1 МГц наведено в табл. 7.12.

**Таблиця 7.12** – Середні значення і середньоквадратичні відхилення перехідного загасання на ближньому кінці кабелів типу ТП з повивною побудовою осердя на частоті 1 МГц

<b>Розміщення пар в осерді кабелю</b>	<b>Середнє значення перехідного загасання на ближньому кінці, дБ</b>	<b>Середньоквадратичне відхилення, дБ</b>
Суміжні в повиві	53	4,7
Через одну пару в повиві	65	5,5
Через дві пари в повиві	73	7,4
Через три пари в повиві	74	7,2
Через чотири пари в повиві	75	5,2
У суміжних повивах	68	5,6
Через один повив	75	6,3
Через два повиви	79	6,8
Через три повиви	81	6,2
Через чотири повиви	81,5	6,9

Середнє значення захищеності на далекому кінці кабелів типу ТП завдовжки 280 м між парами, розміщеними поряд усередині одного повиву, на частотах понад 10 кГц приблизно визначається за допомогою виразу, заснованого на результатах проведених авторами вимірювань:

$$A_{збд}(f) = 105 - 15 \lg(f),$$

де  $f$  – частота, кГц.

У тому разі, якщо протяжність будівельної довжини кабелю  $l_{\text{бд}}$  відмінна від 280 м, величина захищеності на далекому кінці змінюється на величину, дорівнювану мінус  $10\lg(l_{\text{бд}}/280)$ .

Величина захищеності  $A_{\text{з бд1}}$  на далекому кінці *між не поряд розміщеними парами* (між не сусідніми парами одного повиву або між парами різних повивів) однієї будівельної довжини кабелю визначається за формулою:

$$A_{\text{з бд1}} = A_{\text{з бд}} + \delta A_{\text{з}},$$

де  $\delta A_{\text{з}}$  – збільшення захищеності за рахунок віддалення взаємовпливних пар, встановлене на основі результатів проведених авторами вимірювань і наведене в табл. 7.13.

**Таблиця 7.13** – Значення збільшення захищеності на далекому кінці ( $\delta A_{\text{з}}$ ) будівельної довжини кабелю типу ТП з повивною побудовою осердя за різного взаєморозміщення пар

Розміщення пар в осерді кабелю	Збільшення захищеності на далекому кінці, дБ
Через одну пару в повиві	6
Через дві пари в повиві	10
Через три пари в повиві	11
Через чотири пари в повиві	12
У суміжних повивах	8
Через один повив	13
Через два повиви	15
Через три повиви	16
Через чотири повиви	16,5

Аналіз даних, наведених в табл. 7.12 і 7.13, доводить, що за розміщення взаємовпливних пар подалі між собою взаємний вплив між ними зменшується.

***Залежність перехідних загасань від взаємного розміщення пар в осерді з пучковою побудовою осердя кабелю***

Середні значення і середньоквадратичні відхилення перехідного загасання на ближньому кінці кабелів типу ТП з пучковою побудовою осердя на частоті 1 МГц наведено в табл. 7.14.

**Таблиця 7.14** – Середні значення і середньоквадратичні відхилення перехідного загасання на ближньому кінці кабелів типу ТП з пучковою побудовою осердя на частоті 1 МГц

Розміщення пар в осерді кабелю	Середнє значення перехідного загасання на ближньому кінці, дБ	Середньоквадратичне відхилення, дБ
У середині елементарного пучка	65	8,1
У суміжних елементарних пучках	69	7,2
Через один елементарний пучок	84	6,5
Через два елементарні пучки	88	5,2
В елементарних пучках суміжних повивів	75	7,7

Середнє значення захищеності на далекому кінці будівельної довжини багатопарного кабелю типу ТП завдовжки 280 м між розміщеними поряд парами (у середині одного елементарного пучка) на частотах понад 10 кГц визначається за допомогою виразу, визначеного за результатами проведених авторами вимірювань:

$$A_{збд}(f) = 125 - 20 \lg(f),$$

де  $f$  – частота, кГц.

Слід зазначити, що в тому разі, якщо протяжність будівельної довжини кабелю  $l_{бд}$  відрізняється від 280 м, величина захищеності на далекому кінці змінюється на величину, дорівнювану мінус  $10 \lg(l_{бд}/280)$ .

Величина захищеності  $A_{збд1}$  на далекому кінці між не поряд розміщеними парами (у різних елементарних пучках одного повиву або осердя) однієї будівельної довжини кабелю визначається за формулою:

$$A_{збд1} = A_{збд} + \delta A_3,$$

де  $\delta A_3$  – збільшення захищеності за рахунок віддалення взаємовпливних пар, визначене за результатами проведених авторами вимірювань і наведене в табл. 7.15.

**Таблиця 7.15** – Значення збільшення захищеності на далекому кінці ( $\delta A_3$ ) будівельної довжини кабелю типу ТП із пучковою побудовою осердя за різного взаємного розміщення пар

Розміщення пар в осерді кабелю	Збільшення захищеності на далекому кінці, дБ
У суміжних елементарних пучках	10
Через один елементарний пучок	11,5
Через два елементарні пучки	12
В елементарних пучках суміжних повивів	11
Через 1 повив пучків	13
Через 2 повиви пучків	14,5
Через 3 повиви пучків	15

Аналіз результатів, наведених в табл. 7.14 і 7.15, доводить, що за збільшення віддалення пар взаємний вплив між ними зменшується.

Електричні параметри взаємного впливу між парами високочастотних кабелів місцевої телефонної мережі, кабелів категорій 3, 5 і 5е, ЭКС-ГВПВ-5 4×2×0,52 наведено в табл. 7.16 – 7.18.

**Таблиця 7.16** – Електричні параметри взаємного впливу високочастотних кабелів місцевої телефонної мережі ТППЭпЗ-МЦ, ТПВ-ЭЦ, ТППЭпЗ-ЭЦ

Параметри взаємного впливу	Марка кабелю		
	ТППЭпЗ-МЦ	ТПВ-ЭЦ	ТППЭпЗ-ЭЦ
Перехідне загасання на ближньому кінці, перераховане на довжину 500 м, на частоті 1024 кГц, дБ, не менше за: - між парами в одночетвіркових кабелях - між парами різних екранованих четвірок (модулів)	– 90	60 70	– 90
Захищеність на далекому кінці, перерахована на довжину 500 м, на частоті 1024 кГц, дБ, не менше за: - між парами однієї четвірки - між парами різних четвірок	40 55	40 40	40 55

**Таблиця 7.17** – Перехідне загасання на ближньому кінці (NEXT) між парами кабелів категорій 3, 5 і 5е завдовжки 100 м

Частота, МГц	Перехідне загасання на ближньому кінці (NEXT), дБ		
	Категорія 3	Категорія 5	Категорія 5е
0,772	43	64	67
1	41	62	65
4	32	53	60
10	26	47	50
16	23	44	47
20	–	42	45
31,25	–	39	42
62,5	–	35	38
100	–	32	35



**Таблиця 7.18** – Середні значення параметрів впливу в кабелі ЭКС-ГВПВ-5 4×2×0,52 завдовжки 300 м

Частота, кГц	Середні значення перехідного загасання на ближньому кінці, дБ		Середні значення захищеності на далекому кінці, дБ	
	між суміжними парами	через одну пару	між суміжними парами	через одну пару
1	92	95	92,5	97,5
80	88,5	92,5	87	84,5
160	87,5	88,5	81,5	80,5
512	84,5	82,8	71	71
1024	78	78,8	65	68,5
2048	66	72,8	61,5	67,5

Відповідно до чинних нормативів для телефонного зв'язку може бути використано пари кабелю, перехідне загасання між якими на ближньому кінці  $A_0$  становить величину, не меншу за 69,5 дБ на частоті 1020 Гц. Для передавання сигналів дискретної інформації потрібні пари, які мають підвищене значення  $A_0$ .

Припустимі значення перехідного загасання на ближньому кінці  $A_{0 \text{ прип}}$  (NEXT) і захищеності на далекому кінці  $A_{з \text{ прип}}$  (ELFEXT) кабелів з пучковою побудовою осердя визначаються за формулами:

$$A_{0 \text{ прип}}(f, m) = 58 - 6 \lg(m - 1) - 15 \lg(f / 300),$$

$$A_{з \text{ прип}}(f, l, m) = 56 - 6 \lg(m - 1) - 20 \lg(f / 300) - 10 \lg(l),$$

де  $f$  – частота, кГц;

$l$  – довжина кабелю, км;

$m$  – кількість пар кабелю, використовуваних для організації xDSL-ліній;

58 і 56 дБ – відповідають мінімально припустимим значенням перехідного загасання на ближньому кінці й захищеності на далекому кінці лише для двох взаємовпливних пар в елементарному пучку кабелю завдовжки 1 км на частоті 300 кГц.

#### **Чинники додаткового впливу між парами кабелю**

Недостатні однорідність, симетрія кабельної пари, а також неузгодженість кабельних пар з обладнанням xDSL є джерелами додаткового впливу як зовнішніх, так і перехідних завад. Для їх оцінки використовують електричні параметри – загасання асиметрії і неузгодженості.

*Загасання асиметрії* – загасання синусоїдного сигналу за переходу зі штучного кола, утвореного жилами кабелю та «землею», в робочу пару кабелю; визначається як 20 десяткових логарифмів відношення напруги на виході генератора, під'єданого між середньою точкою на вході робочої пари і землею (екраном), до напруги, дістаной між середньою точкою на виході робочої пари і землею (екраном).

Приміром, загасання асиметрії для ADSL має становити не менше за 40 дБ у діапазоні частот 25 – 1104 кГц. У діапазоні частот 8 – 800 кГц величина загасання асиметрії  $A_{ac}$  має бути не менша за

$$A_{ac} \geq 44 - 5 \lg(f / 80),$$

де  $f$  – частота, кГц.

*Загасання неузгодженості* – параметр, який характеризує ступінь неузгодженості хвильового опору пари із опором навантаження, і показує, у скільки разів відбита від навантаження потужність менша за падаючу; визначається як 20 десяткових логарифмів відношення модуля суми вхідного (вихідного) опору пари і опору навантаження до модуля різниці цих опорів.

Мінімальна величина загасання неузгодженості пари кабелю у діапазоні частот 50 – 400 кГц становить не менше 10 дБ за внутрішнього опору вимірювального приладу 100 Ом, 13 дБ – за 120 Ом і 15 дБ – за 135 Ом.

## **7.2 Відбір пар у багатопарних кабелях місцевого зв'язку для організації xDSL-ліній**

Нижче розглянуто три підходи для вирішення питання відбору пар для підмикання обладнання xDSL. Перший підхід, заснований на результатах вимірювання перехідних загасань на ближньому кінці в десятипарному кабелі пучкового скручення, викладено у підрозд. 7.2.1.

Другий підхід полягає у визначенні послідовності завантаження пар багатопарного кабелю сигналами xDSL з урахуванням статистики, що описує залежність перехідних загасань від взаємного розміщення пар. Інакше кажучи, другий підхід базовано на розрахунках рівня завад у кожній парі кабелю з урахуванням впливу всіх інших взаємовпливових пар. Критерієм вибору першої й наступної пар є мінімальне розраховане значення рівня завад за впливу всіх інших пар. За розрахунків використовуються середні значення перехідних загасань між парами кабелів з повивною і пучковою побудовою осердя, які наведено в підрозд. 7.1.3. Результати відбору пар у кабелях з повивною і пучковою побудовою осердя, виконаного у відповідності до другого підходу, наведено в підрозд. 7.2.2 і 7.2.3 відповідно.

Врешті, третій підхід, зреалізований аналізаторами мереж абонентського доступу полягає в тому, що в ході вимірювань аналізатор здійснює контроль пари за рядом параметрів, визначаючи їхню відповідність системі норм, що охоплює погонні параметри кабелю, частотні характеристики загасання, узгодженості і асиметрії, спектр завад, максимально досягну швидкість передавання тощо. Результати контролю дозволяють кваліфікувати пару як якісно (норма/не норма), так і кількісно.

### 7.2.1 Відбір пар у кабелях за результатами вимірювання перехідного загасання на ближньому кінці

Практика оцінювання придатності пар кабелю для цифрового ущільнення заснована на тестуванні пар за результатами вимірювань електричних параметрів пар і характеристик шуму.

За малих зовнішніх електромагнітних впливів основним джерелом шумів є обладнання xDSL, що працює по сусідніх парах кабелю. Рівень завад, створений роботою обладнання xDSL, визначається перехідними загасаннями в кабелі. Найменші значення перехідних загасань спостерігаються у десятипарному пучку кабелю.

Для відбору пар у десятипарному кабелі для підмикання обладнання xDSL використовується пристрій автоматичного відбору пар ТКП (Тестер кабельних пар). Відбір пар проводиться за результатами вимірювань перехідного загасання на ближньому кінці між всіма парами пучка в десятипарній розподільній коробці. У приладі реалізовано алгоритм відбору пар, що містить у собі:

- вимірювання та порівняння з припустимими значеннями опору шлейфа всіх пар;
- виведення на блок індикації номерів пар, які не відповідають вимогам щодо опору шлейфа;
- оцінювання перехідного загасання на ближньому кінці між всіма відібраними за опором шлейфа парами кабелю на відповідність установленому оператором порогу;
- відбір пар, у яких перехідне загасання на ближньому кінці є більше (або дорівнює) за встановлений оператором поріг;
- виведення на блок індикації номерів відібраних пар.

**Примітка.** *Шлейф пари* – пара струмопровідних жил, закорочена на далекому кінці (жили поєднано між собою).

### 7.2.2 Відбір пар у кабелях з повивною побудовою осердя

Становить інтерес визначення послідовності підмикання обладнання xDSL до пар багатопарного кабелю, за якої забезпечується мінімальний сумарний рівень перехідних завад на ближньому кінці кожної з пар. З цією метою було розроблено програму розрахунку сумарних завад, що дозволила визначати порядок завантаження багатопарних кабелів. Приклади порядку завантаження деяких кабелів наведено в табл. 7.19 – 7.22 та на рис. 7.3.

**Таблиця 7.19** – Порядок завантаження кабелю пучкової побудови ємністю 10×2

Номер кроку	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер пари	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

**Таблиця 7.20** – Порядок завантаження кабелю повивної побудови ємністю 10×2

Номер кроку	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер пари	3	7	0	0	5	1	2	6	4	8

**Примітка.** Порядок завантаження складається із кроків і являє собою черговість відбору пар кабелю для підмикання обладнання xDSL. На першому кроці обирається та пара кабелю, у якій за результатами розрахунку впливу всіх навколишніх пар рівень завади має бути мінімальним. Так, наприклад, для кабелю з повивною побудовою осердя ємністю 10×2 на першому кроці обирається пара № 3. Якщо виникне потреба вибору другої й третьої пар для підмикання обладнання xDSL у цьому самому кабелі, то відповідно до таблиці 7.20 обираємо пари 7 і 0.

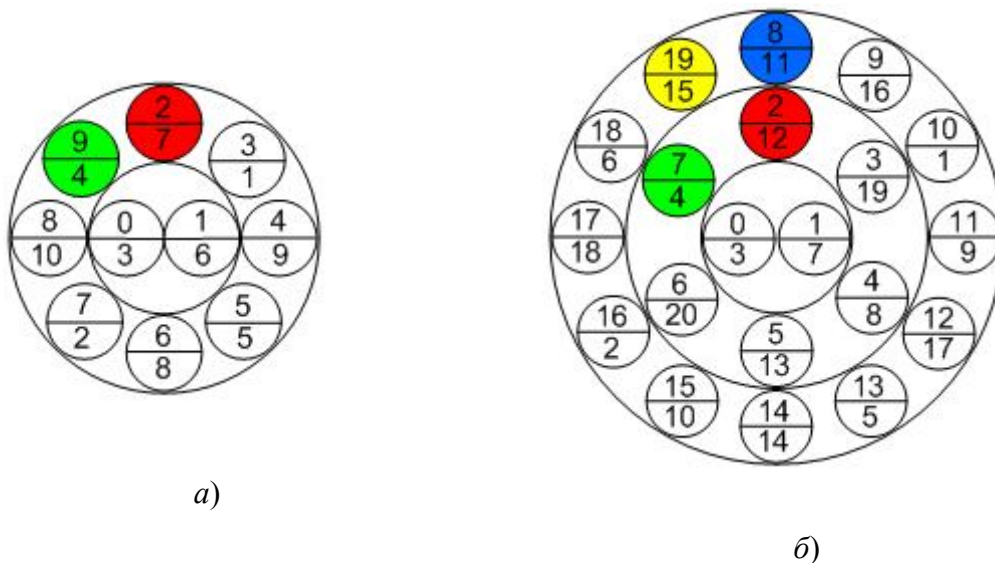
**Таблиця 7.21**– Порядок завантаження кабелю пучкової побудови ємністю 20×2

Номер кроку	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номер пари	0	10	1	11	2	12	3	13	4	14	5	15	6	16	7	17	8	18	9	19

**Таблиця 7.22** – Порядок завантаження кабелю повивної побудови ємністю 20×2

Номер кроку	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номер пари	10	16	0	7	13	18	1	4	11	15	8	2	5	14	19	9	12	17	3	6

На рис. 7.3 в колах малого діаметра, які символізують пари, вписано два числа. Число в чисельнику позначає номер пари, а в знаменнику – черговість підмикання пари до обладнання xDSL. Колір напрямних і лічильних пар у повивах наведено довільно.



**Рисунок 7.3** – Порядок завантаження кабелю повивної побудови осердя ємністю 10 пар (а), 20 пар (б)

У кабелях ємністю понад 100 пар відбір відбувається за таким правилом:

1) якщо потрібна кількість пар для підмикання xDSL-обладнання не перевищує кількість повивів в осерді кабелю, то пари обирають по одній парі в повиві в такий спосіб, щоб найближчі використовувані повиви розташовувалися на максимальній відстані один від одного;

2) якщо потрібна кількість пар для підмикання xDSL-обладнання більша за кількість повивів в осерді кабелю, то спочатку обирають по одній парі в кожному повиві, а потім обирають решту пар на максимальній відстані одна від одної усередині повивів.

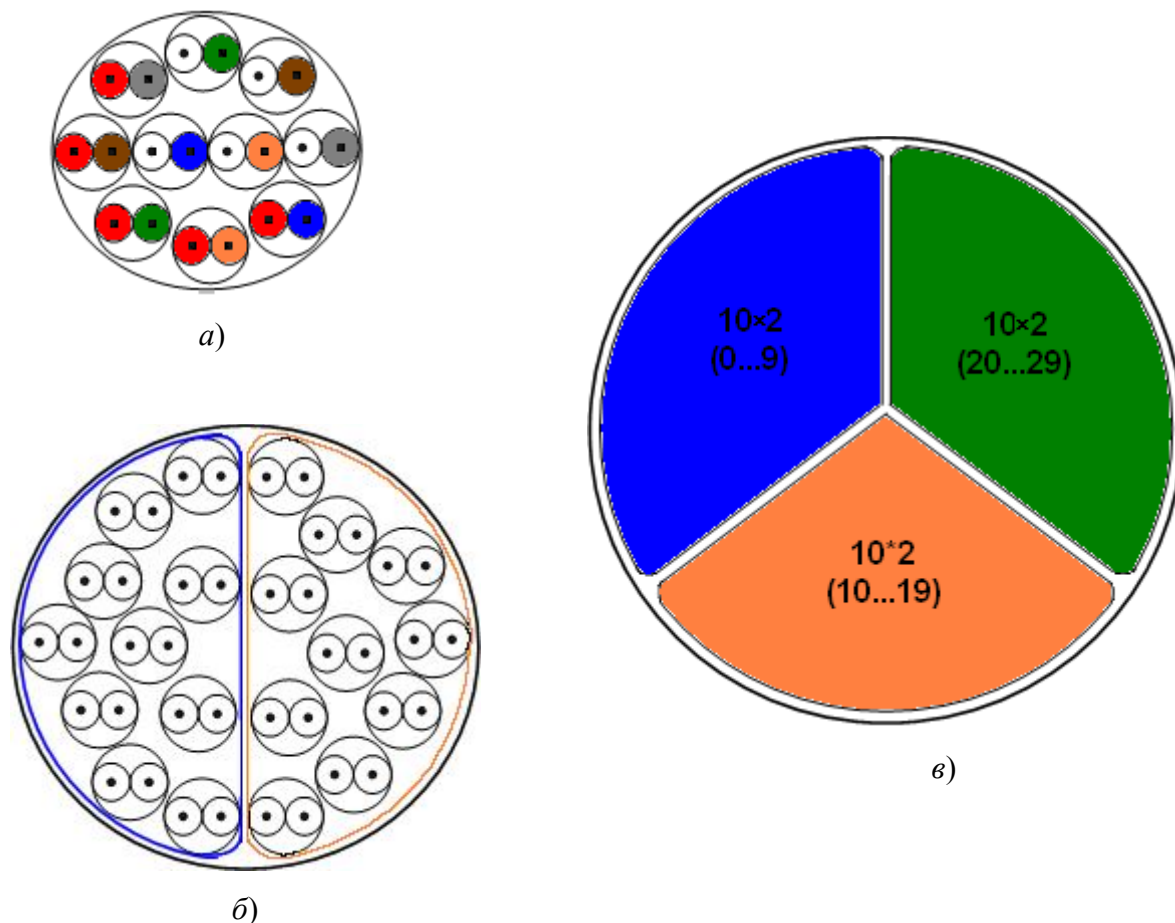
### 7.2.3 Відбір пар у кабелях з пучковою побудовою осердя

Кольори ізоляції жил однієї пари кабелю відрізняються між собою. Окремі пари скручуються в п'яти- або десятипарні (елементарні) пучки. Опис забарвлення ізоляції жил в елементарному пучку, скріплювальних обмоток або ідентифікаційних стрічок у п'ятдесятипарних або стопарних (головних) пучках наведено в табл. 7.23.

**Таблиця 7.23** – Забарвлення ізоляції жил в елементарному пучку й пучків в 100-парному кабелі або головних пучках

Номер пари/ елементарного пучка	Колір		
	ізоляції жил пари		скріплювальної обмотки або ідентифікаційної стрічки
	<i>a</i>	<i>б</i>	
0	білий	блакитний (синій)	блакитний
1	білий	жовтогарячий	жовтогарячий
2	білий	зелений	зелений
3	білий	коричневий	коричневий
4	білий	сірий	сірий
5	червоний	блакитний (синій)	білий
6	червоний	жовтогарячий	червоний
7	червоний	зелений	чорний
8	червоний	коричневий	жовтий
9	червоний	сірий	фіолетовий

На рис. 7.4 наведено умовні поперечні перерізи осердь кабелів ємністю 10, 20, 30 пар з пучковим способом побудови. Поперечний переріз осердя кабелю зображується набором секторів, колір яких збігається з кольором скріплювальної стрічки. Кольори скріплювальних обмоток або ідентифікаційних стрічок наведено в табл. 7.23.



**Рисунок 7.4** – Поперечний переріз осердя пучкової побудови кабелю ємністю 10 пар (а), 20 пар (б) і 30 пар (в)

Для визначення місця розміщення шуканої пари в поперечному перерізі кабелю з пучковим способом побудови осердя потрібно спочатку обрати потрібний поперечний переріз кабелю, потім сектор поперечного перерізу (елементарний пучок), у якому виявилася шукана пара, а далі визначити колір ізоляції жил шуканої пари (табл. 7.23).

У кабелях ємністю більше 100 пар відбір пар виконується згідно з такими правилами:

1) якщо потрібна кількість пар для підмикання xDSL-обладнання є менша за кількість пучків в осерді кабелю, то пари обирають по одній парі в пучку в такий спосіб, щоб найближчі використовувані пучки розташовувалися на максимальній відстані один від одного;

2) якщо потрібна кількість пар для підмикання xDSL-обладнання більша за кількість пучків в осерді кабелю, то пари обирають рівномірно по усіх пучках.

### **Запитання для закріплення**

- 1 Чим відрізняються між собою кабелі МТМ?
- 2 Як і чому кабелі МТМ впливають на віддаль роботи СП і швидкість передавання цифрового потоку?
- 3 Який зв'язок між віддаллю і швидкістю роботи СП по кабелях МТМ?
- 4 Чому в науково-технічній літературі наведено середні значення електричних параметрів кабелів зв'язку і до чого це призводить?
- 5 Які достоїнства і недоліки методів відбору пар в багатопарних кабелях МТМ?
- 6 Чим відрізняється методика відбору пар в кабелях з пучковим і повивним способом побудови осердя?

## 8 ПОТЕНЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВИХ АБОНЕНТСЬКИХ ЛІНІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ xDSL

### 8.1 Потенційні характеристики СП ADSL і VDSL за рівномірного адитивного шуму на вході приймача

Під потенційними характеристиками цифрових абонентських ліній розуміють отримані розрахунковим шляхом залежності швидкості передавання xDSL-лінією від типу обладнання xDSL, типу телефонного кабелю, довжини абонентської лінії й спектра адитивних завад на вході приймача. Даний підрозділ присвячено потенційним характеристикам СП ADSL і VDSL за рівномірної за частотою спектральної густини потужності адитивних завад на вході приймача. Вважається, що до складу цих завад можуть входити різного роду завади й шуми від різних джерел, у тому числі й перехідні завади між парами багатопарних кабелів.

Наведені в даному розділі графіки потенційних характеристик для СП ADSL і VDSL розраховано за методикою, викладеною нижче.

Сумарна швидкість передавання  $R$  xDSL-лінією складається зі швидкостей передавання всіма DMT-несучими. Кількість несучих  $n$  і кількість передаваних на кожній несучій біт інформації  $b(i)$  задаються адаптивно залежно від характеристик каналу зв'язку, що визначає як швидкість передавання, так і займану смугу частот каналу.

$$R = 4000 \sum_{i=l_1}^{l_2} b(i), \quad (8.1)$$

де  $i$  – номер несучої, що відповідає частоті  $i \cdot 4,3125$  кГц;

$l_1$  і  $l_2$  – номери першої й останньої з використовуваних несучих;

4000 – кількість інформаційних кадрів у секунду.

Максимальна кількість  $b(i)$  передаваних упродовж послідовно на  $i$ -й несучій бітів інформації пов'язана з відношенням сигнал/шум  $SNR(i)$  на частоті  $i$ -ї несучої й імовірністю помилки  $p$  на виході приймача співвідношенням [4, 5]:

$$b(i) = \text{floor} \left\{ \log_2 \left( 1 + \frac{3 \cdot SNR(i)}{h^2} \right) \right\}, \quad (8.2)$$

де  $\text{floor}\{x\}$  – операція відкидання дробової частини числа  $x$ ,

$h$  – відношення “напіввідстані” між найближчими точками сигнального сузір'я до середньоквадратичного значення гауссового шуму в  $i$ -му каналі модема.

Величина  $h$  розраховується за формулою:

$$h = Q^{-1} \left( \frac{p}{1,7} \right), \quad (8.3)$$

де  $Q^{-1}(x)$  – функція, обернена до  $Q(x)$ ,  $Q(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy$ .

**Примітка.** За  $p = 10^{-7}$   $h \approx 5,3$ .



Проте, треба врахувати, що в системах ADSL і VDSL [32-38] швидкість передавання інформації має бути кратна 32 кбіт/с, тому праву частину формули (8.1) треба округлити в нижню сторону до найближчого кратного 32 кбіт/с:

$$R = 32 \cdot \text{floor} \left\{ \frac{4000 \sum_{i=l_1}^{l_2} b(i)}{32000} \right\} \text{ кбіт/с.} \quad (8.4)$$

Відношення сигнал/завада на вході приймача на частоті  $i$ -ї несучої:

$$SNR(i) = 10^{0,1(PSD(i) - A(i) - N(i))},$$

де  $PSD(i)$  – номінальна спектральна густина потужності передаваного сигналу на частоті  $i$ -ї несучої,

$A(i)$  – загасання на частоті  $i$ -ї несучої, яке визначається частотною характеристикою абонентського кабелю (кілометричним загасанням і довжиною кабелю),

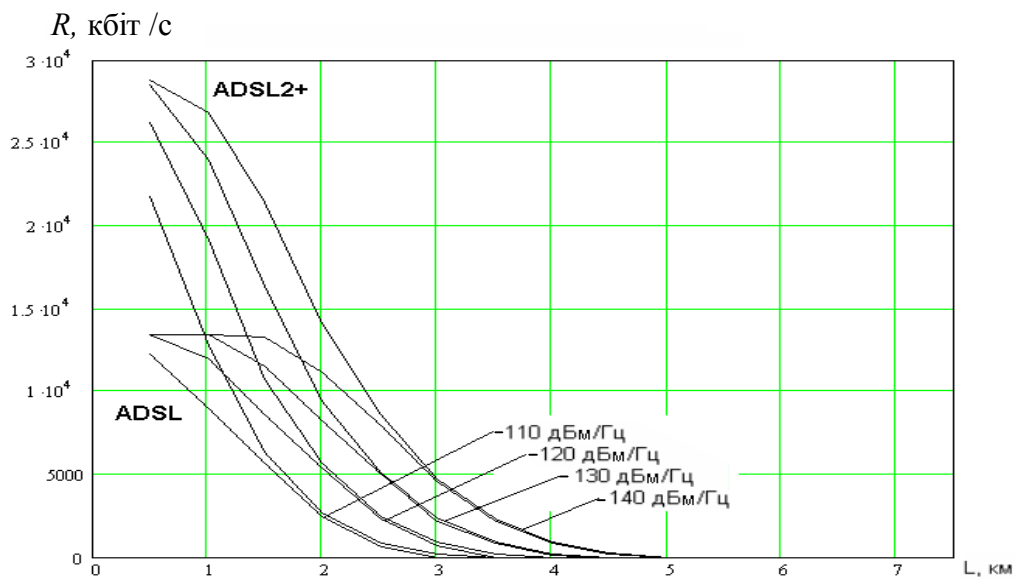
$N(i)$  – спектральна густина потужності завади на частоті  $i$ -ї несучої на вході приймача.

В обладнанні xDSL кількість бітів  $b(i)$  встановлюється зазвичай трохи нижче максимальної, визначеної формулою (8.2), з метою недопущення розриву з'єднання внаслідок непередбаченої зміни рівня завад. Тому в розрахунках потрібно врахувати запас завадозахищеності (SNR margin)  $\Delta SNR(i)$ , і у формулу (8.2) підставляється

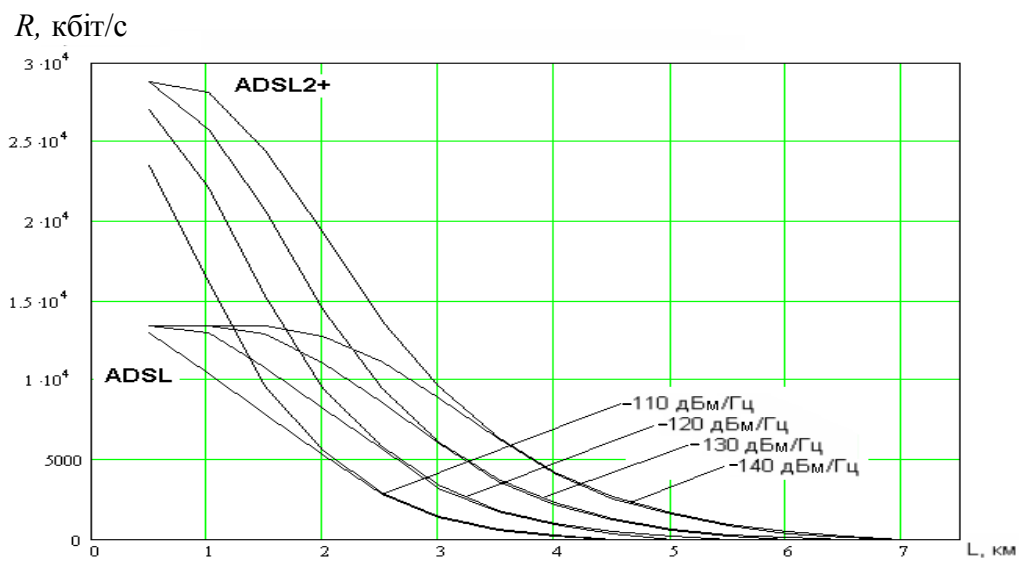
$$SNR(i) = 10^{0,1(PSD(i) - A(i) - N(i) - \Delta SNR(i))}.$$

Отже, знаючи відношення сигнал/завада на вході приймача й задавшись необхідною ймовірністю помилки  $p$ , можна визначити кількість передаваних упродовж посилки на  $i$ -й несучій бітів інформації  $b(i)$ , а потім і сумарну швидкість передавання інформації конкретною лінією.

Деякі результати розрахунків досяжних швидкостей передавання xDSL-лінією за описаною методикою наведено у вигляді графіків на рис. 8.1 – 8.4. Розрахунки проведено для випадку рівномірної за частотою спектральної густини потужності завад і  $p = 10^{-7}$ .

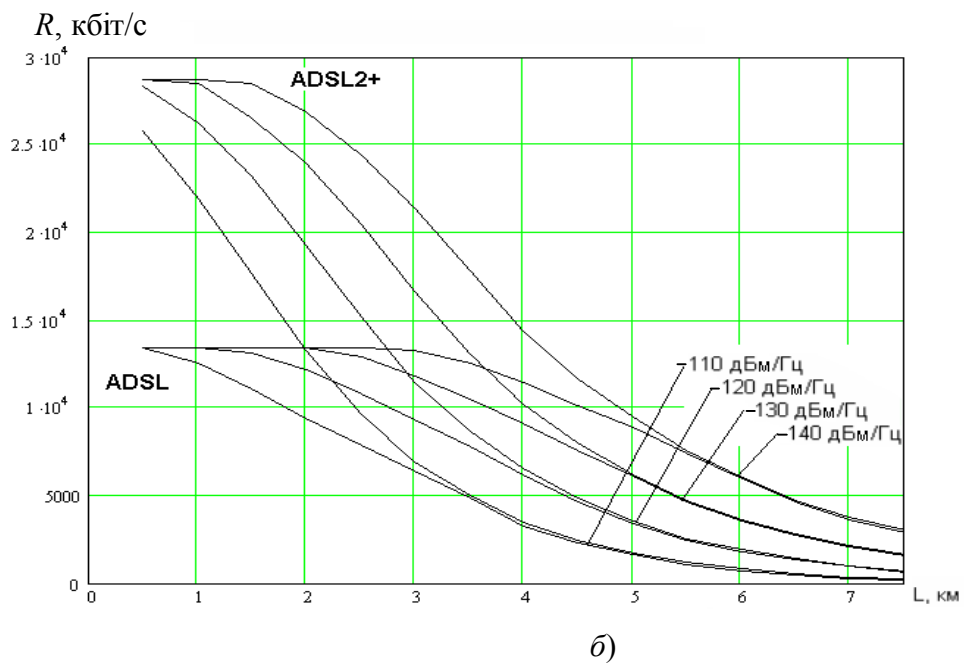
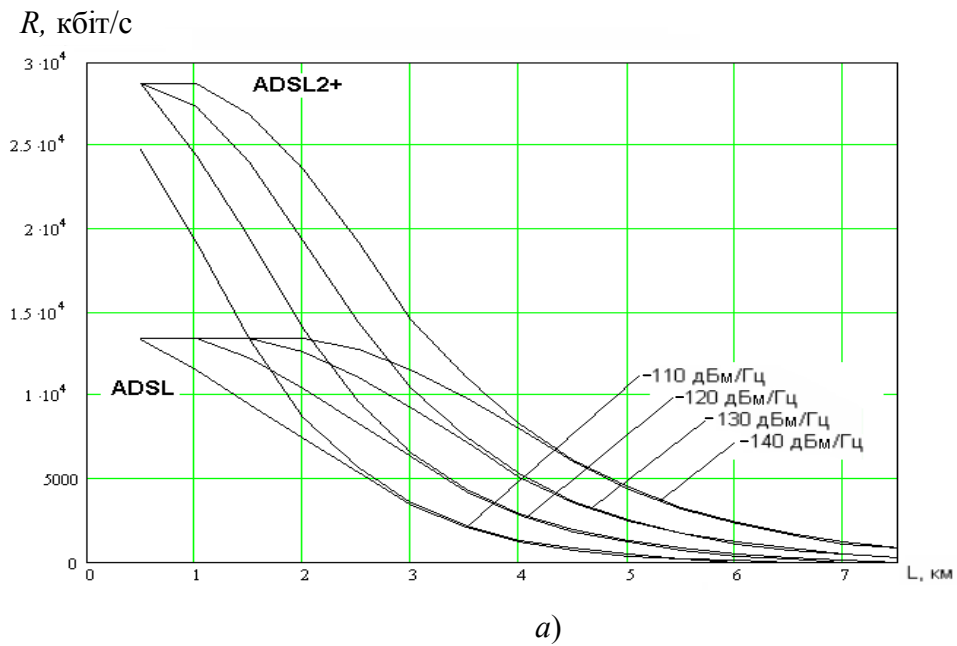


a)

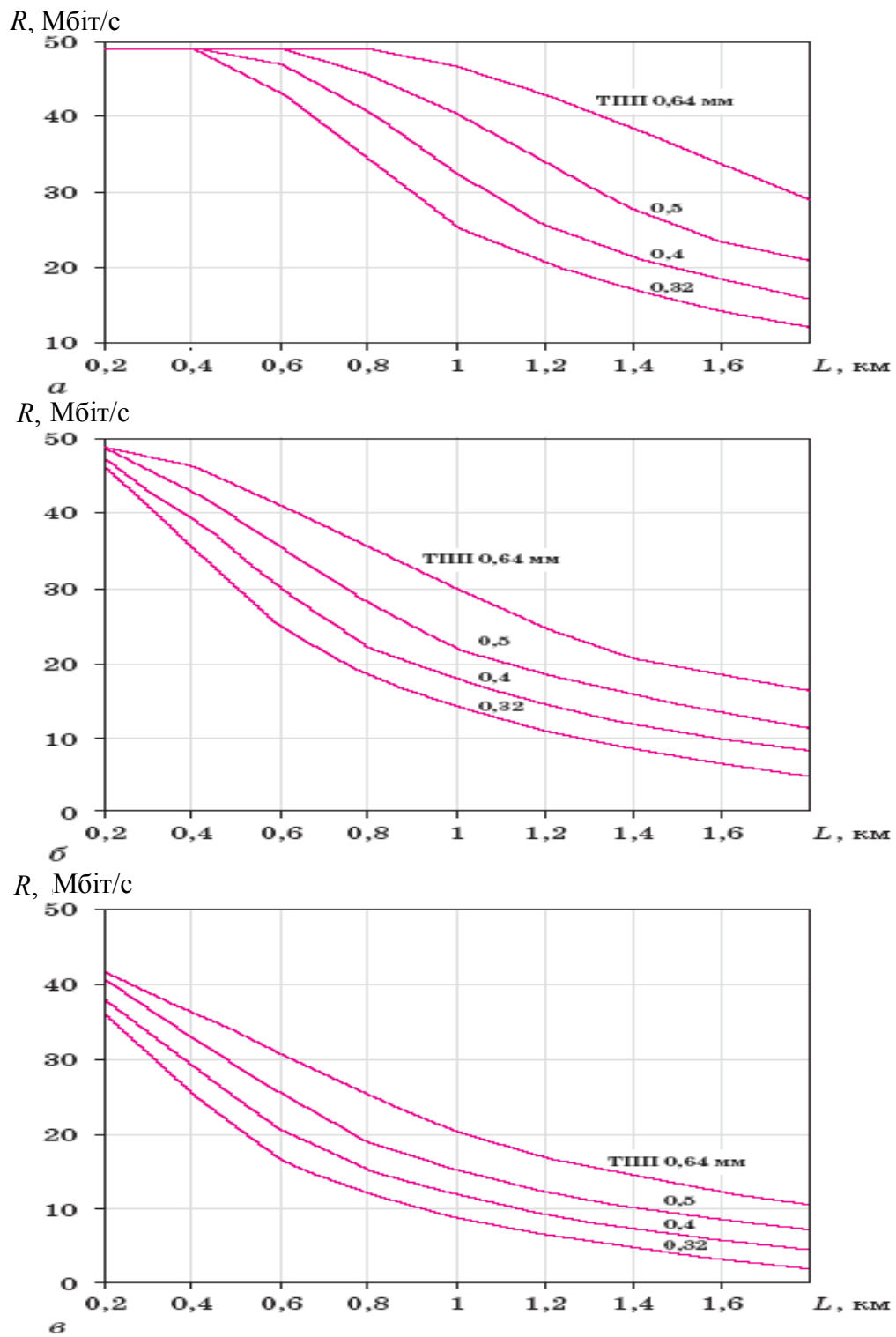


б)

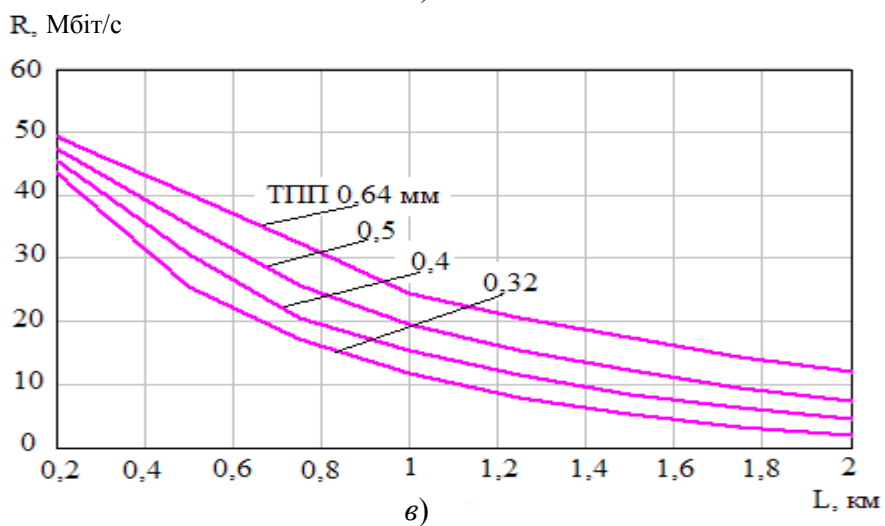
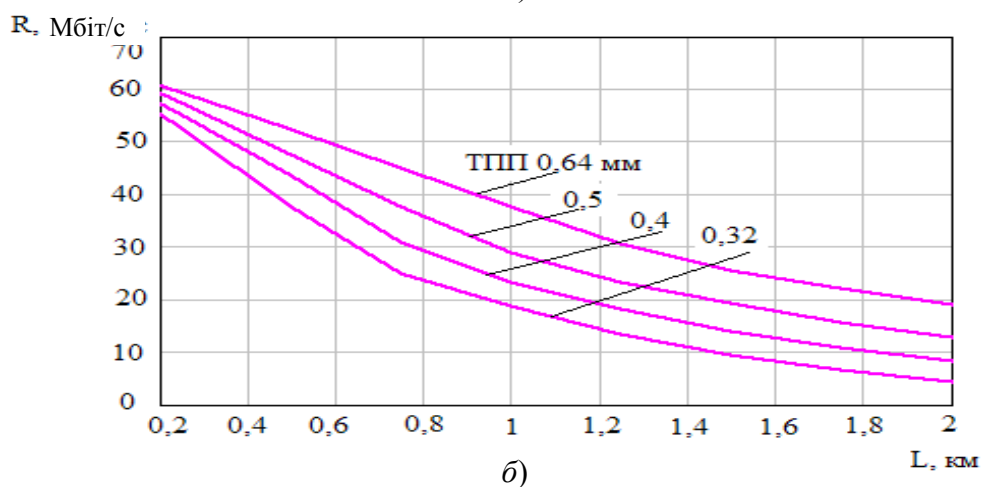
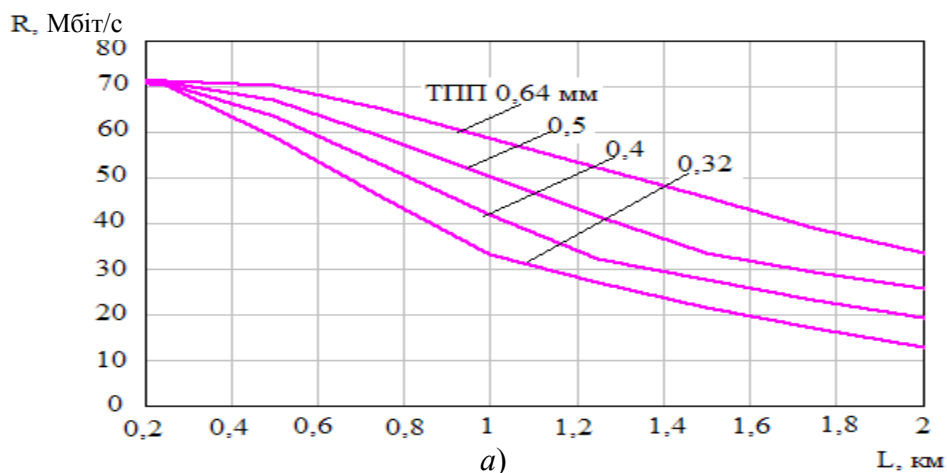
**Рисунок 8.1** – Залежність швидкості передавання інформації в низхідному напрямку від довжини лінії кабелю ТП з діаметром жил 0,32 мм (а) і 0,4 мм (б) за різної спектральної густини потужності завад на вході приймача ADSL і ADSL2+



**Рисунок 8.2** – Залежність швидкості передавання інформації в низхідному напрямку від довжини лінії кабелю ТП із діаметром жил 0,5 мм (а) і 0,64 мм (б) за різної спектральної густини потужності завад на вході приймача ADSL і ADSL2+



**Рисунок 8.3** – Залежність швидкості передавання інформації в низхідному напрямку від довжини лінії кабелю ТП із діаметрами жил 0,32; 0,4; 0,5 і 0,64 мм за спектральної густини потужності завад на вході приймача VDSL (план частот В) мінус 140 дБм/Гц (*а*), мінус 120 дБм/Гц (*б*) і мінус 110 дБм/Гц (*в*)



**Рисунок 8.4** – Залежність швидкості передавання інформації в низхідному напрямку від довжини лінії кабелю ТП із діаметрами жил 0,32; 0,4; 0,5 і 0,64 мм за спектральної густини потужності завад на вході приймача VDSL2 (план частот В) мінус 140 дБм/Гц (а), мінус 120 дБм/Гц (б) і мінус 110 дБм/Гц (в)

СП ADSL2 характеризується такою самою, як і ADSL, маскою потужності передаваного сигналу. Тому результати розрахунків за описаною методикою для СП ADSL, наведені на рис. 8.1 – 8.2, справедливі також і для ADSL2.

## 8.2 Оцінка потенційних характеристик цифрових абонентських ліній на багатопарних телефонних кабелях

Одним з основних чинників, які обмежують швидкість і віддасть передавання абонентськими лініями, є перехідні впливи за паралельної роботи цифрових абонентських ліній (ЦАЛ) по багатопарних телефонних кабелях. Для ілюстрації алгоритму розрахунку перехідних впливів між ЦАЛ наведено рис. 8.5, на якому схематично зображено дві ЦАЛ ( $DSL_i$  і  $DSL_j$ ), що впливають, і одна ЦАЛ, піддана впливу ( $DSL_k$ ). Потужність сигналу, що надходить на вхід  $i$ -ї DSL, позначена  $P_{i \text{ пер}}$ . На вхід приймача  $DSL_k$  надходить послаблений у лінії зв'язку власний корисний сигнал потужністю  $P_{k \text{ пр}}$  і перехідні завади від ближнього ( $P_{\text{бл},i,k}$ ,  $P_{\text{бл},j,k}$ ) і далекого ( $P_{\text{д},i,k}$  і  $P_{\text{д},j,k}$ ) кінців, спричинені передаваними сигналами  $DSL_i$  і  $DSL_j$ .

Відношення сигнал/шум на вході приймача  $k$ -ї DSL визначається виразом:

$$SNR_k = 10 \lg \frac{P_{k \text{ пр}}}{\sum_{i,i \neq k} P_{\text{бл},i,k} + \sum_{i,i \neq k} P_{\text{д},i,k} + \sum_m n_m},$$

де  $P_{k \text{ пр}} = \int PSD_k(f) \cdot H^2(f) df$ ;

$PSD_k(f)$  – залежність спектральної густини потужності сигналу на виході передавача  $k$ -ї DSL від частоти;

$H(f)$  – амплітудно-частотна характеристика каналу зв'язку;

$\sum_m n_m$  – сума всіх інших завад  $n_m$ , що діють на вході приймача  $DSL_k$ .

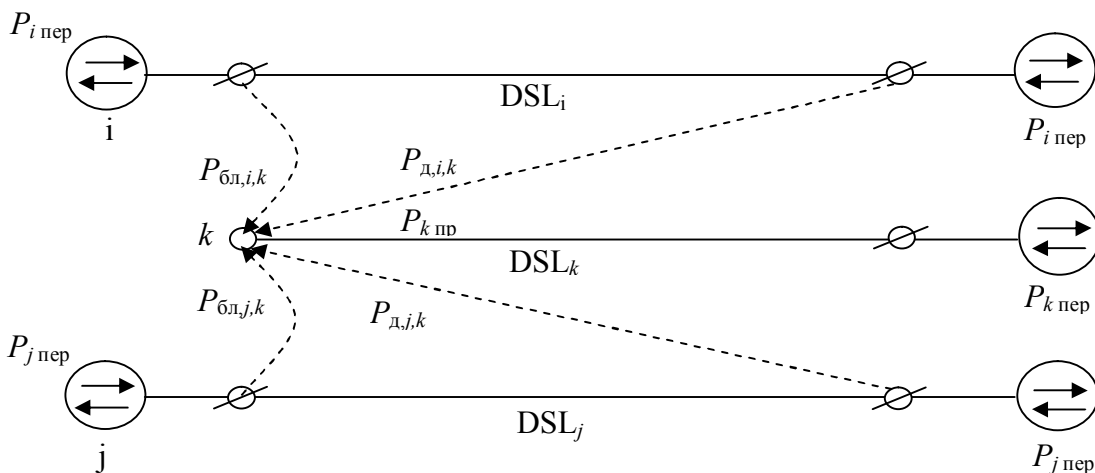


Рисунок 8.5 – Модель електромагнітних взаємодій DSL у багатопарному кабелі

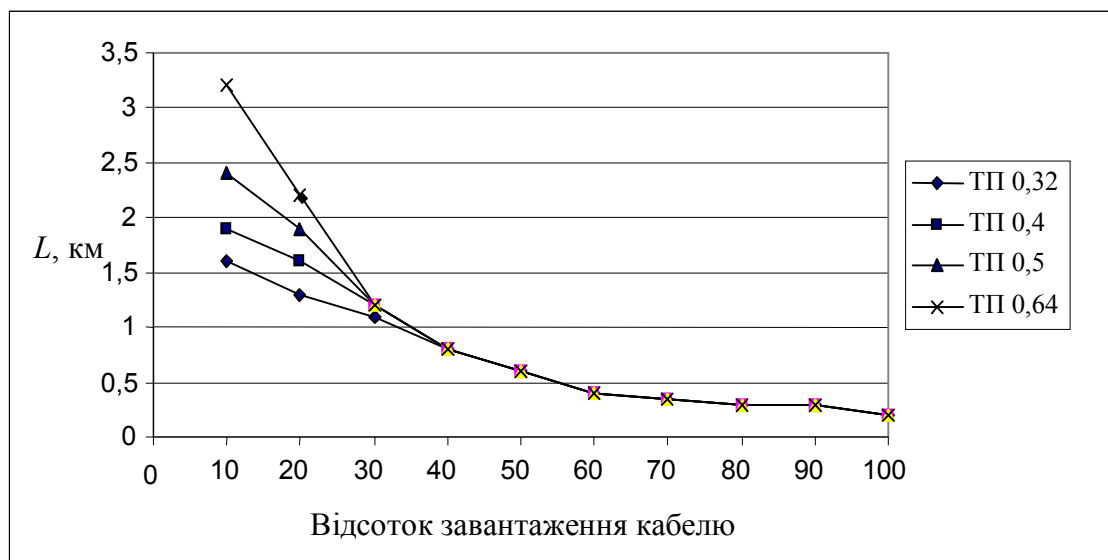
Величини  $P_{\text{бл},i,k}$  і  $P_{\text{д},i,k}$  визначаються аналогічно  $P_{k \text{ пр}}$  за формулами, у яких  $H^2(f)$  замінено на частотні функції перехідних характеристик між  $i$ -юю і  $k$ -юю парами на ближньому й далекому кінцях  $H_{\text{бл},i,k}(f)$  і  $H_{\text{д},i,k}(f)$  відповідно:

$$P_{\text{бл},i,k} = \int PSD_i(f) \cdot H_{\text{бл},i,k}^2(f) df.$$

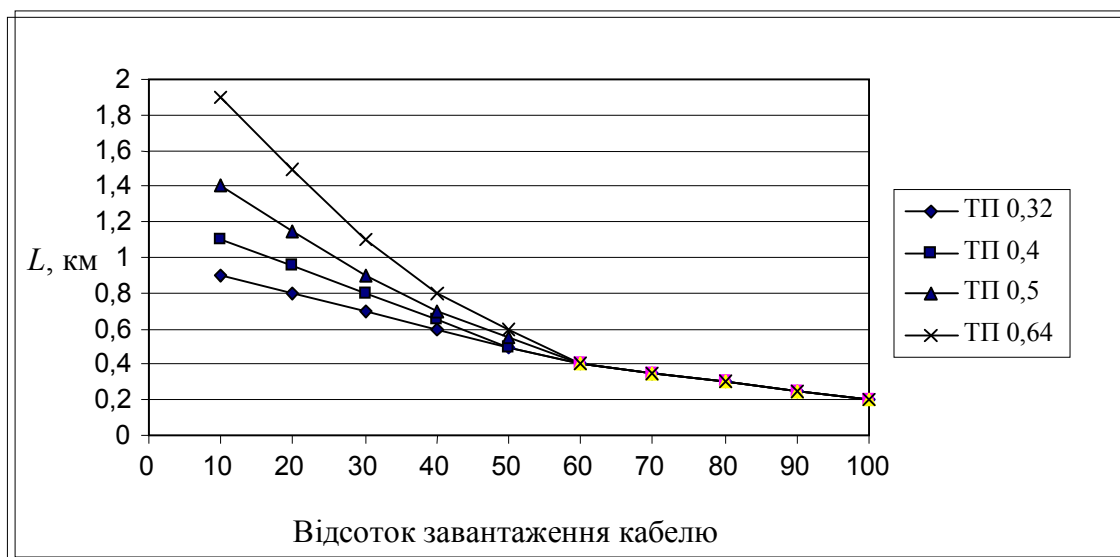
За наведеною моделлю електромагнітної сумісності було розроблено програму «xDSL-Liner» для розрахунку довжини й швидкості передавання у

висхідному й низхідному напрямках цифровими абонентськими лініями за різних варіантів xDSL-обладнання, завантаження, рівня шуму, числа пар, діаметра жил, застосування однорідного й неоднорідного (складеного) кабелю. На рис. 8.6 – 8.14 наведено деякі результати розрахунків граничної довжини лінії ADSL2+ за використання 10-парних кабелів типу ТП пучкового скручення осердя з діаметрами жил 0,32; 0,4; 0,5 і 0,64 мм для різних рівнів спектральної густини потужності (СГП) білого шуму на вході приймача і різних заданих швидкостей передавання залежно від відсотка пар кабелю, використовуваних для передавання сигналів ADSL2+.

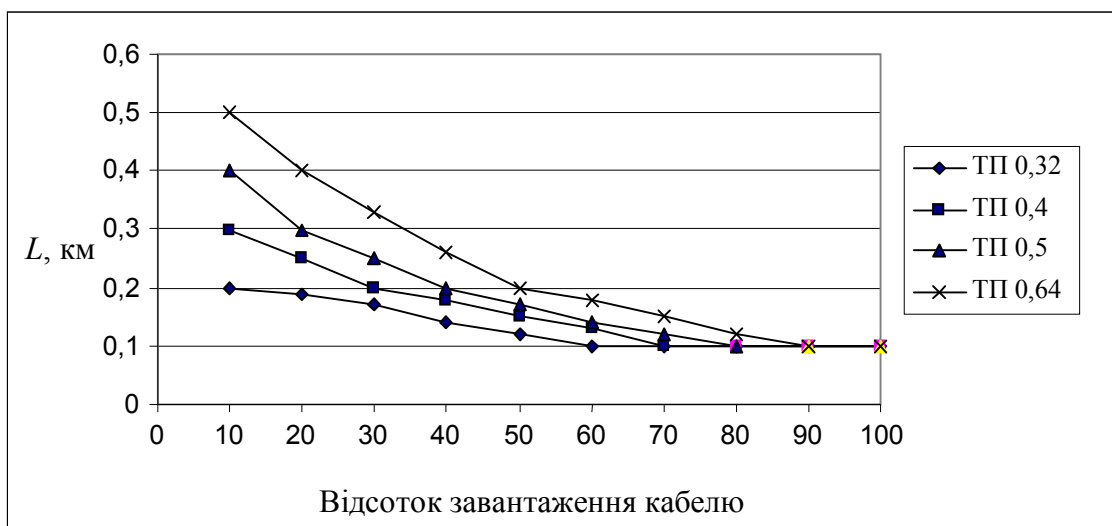
Результати розрахунків підтверджують відомий факт зменшення граничної довжини лінії ADSL2+ за зростання відсотка навантаження кабелю. Причому чим більше СГП шуму, тим менш вираженою є ця залежність – це впливає з порівняння рис. 8.6, 8.7 і 8.8 (так само як і з порівняння рис. 8.9, 8.10 і 8.11 та рис. 8.12, 8.13 і 8.14). Така закономірність пояснюється тим, що зі збільшенням СГП шуму «питома вага» перехідних завад у сумарній заваді, що являє собою суму перехідних завад і білого шуму, зменшується. Так само зменшується частка перехідних завад у сумарній заваді із зменшенням потрібної (заданої) швидкості передавання, оскільки меншій швидкості передавання відповідає більша гранична довжина лінії, а перехідні завади на далекому кінці, як впливає з п. 7.1.3, зменшуються із зростанням довжини лінії. Відповідно й швидкість зменшення граничної довжини лінії ADSL2+ із зростанням відсотка завантаження кабелю падає. Це видно з рис. 8.6, 8.9 і 8.12 (так само як і з рис. 8.7, 8.10 і 8.13 та рис. 8.8, 8.11 і 8.14).



**Рисунок 8.6** – Досяжна довжина лінії ADSL2+ для швидкості 19648 кбіт/с у низхідному напрямку й 928 кбіт/с – у висхідному за використання 10-парного кабелю типу ТП і СГП білого шуму мінус 140 дБм/Гц залежно від відсотка завантаження пар кабелю лініями ADSL2+

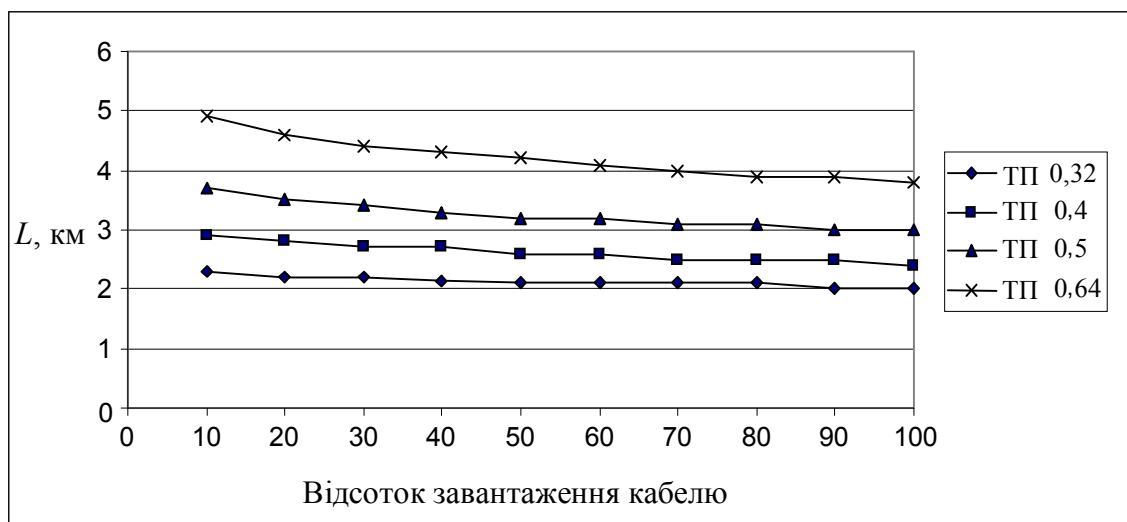


**Рисунок 8.7** – Досяжна довжина лінії ADSL2+ для швидкості 19648 кбіт/с у низхідному напрямку й 928 кбіт/с – у висхідному за використання 10-парного кабелю типу ТП і СГП білого шуму мінус 120 дБм/Гц залежно від відсотка завантаження пар кабелю лініями ADSL2+

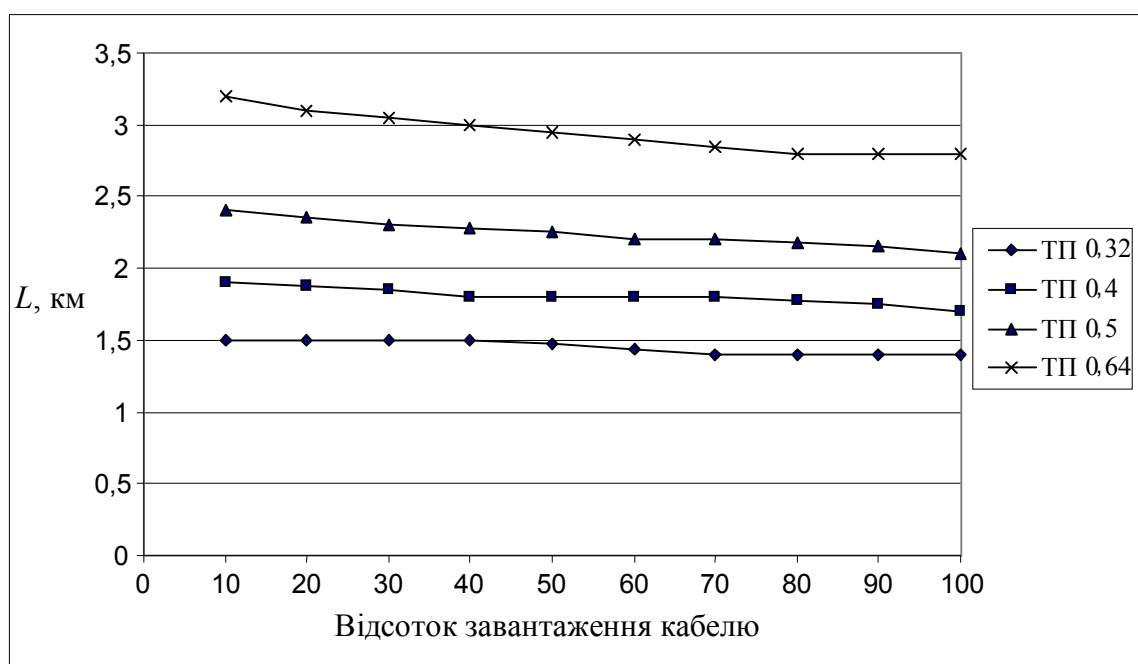


**Рисунок 8.8** – Досяжна довжина лінії ADSL2+ для швидкості 19648 кбіт/с у низхідному напрямку й 928 кбіт/с – у висхідному за використання 10-парного кабелю типу ТП і СГП білого шуму мінус 100 дБм/Гц залежно від відсотка завантаження пар кабелю лініями ADSL2+

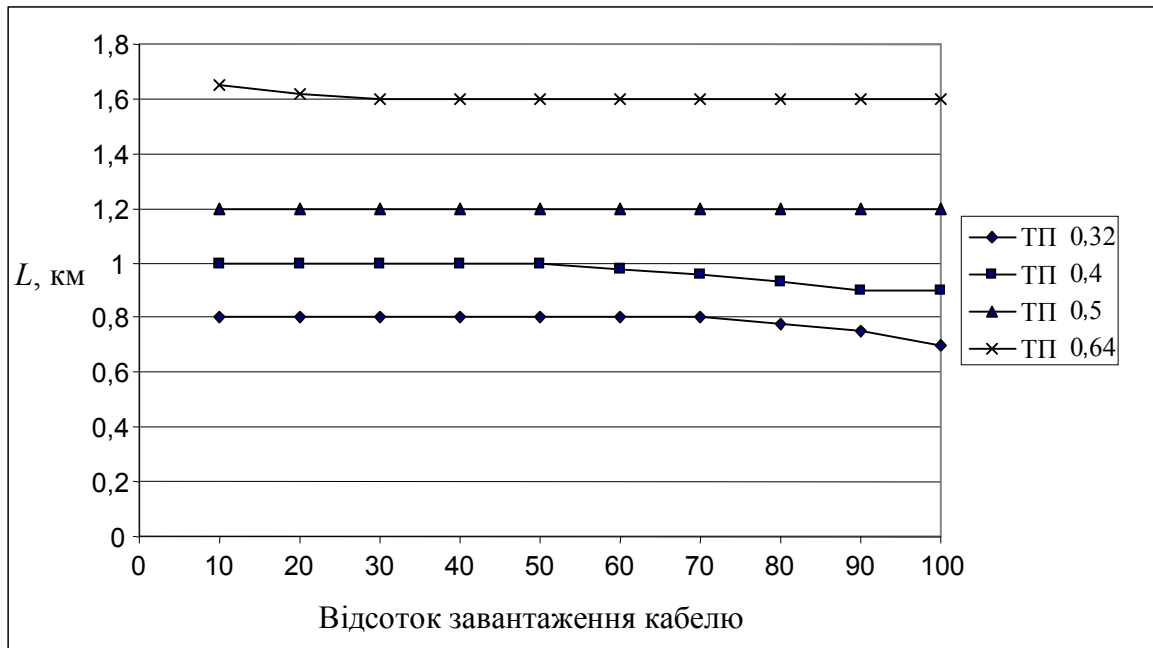




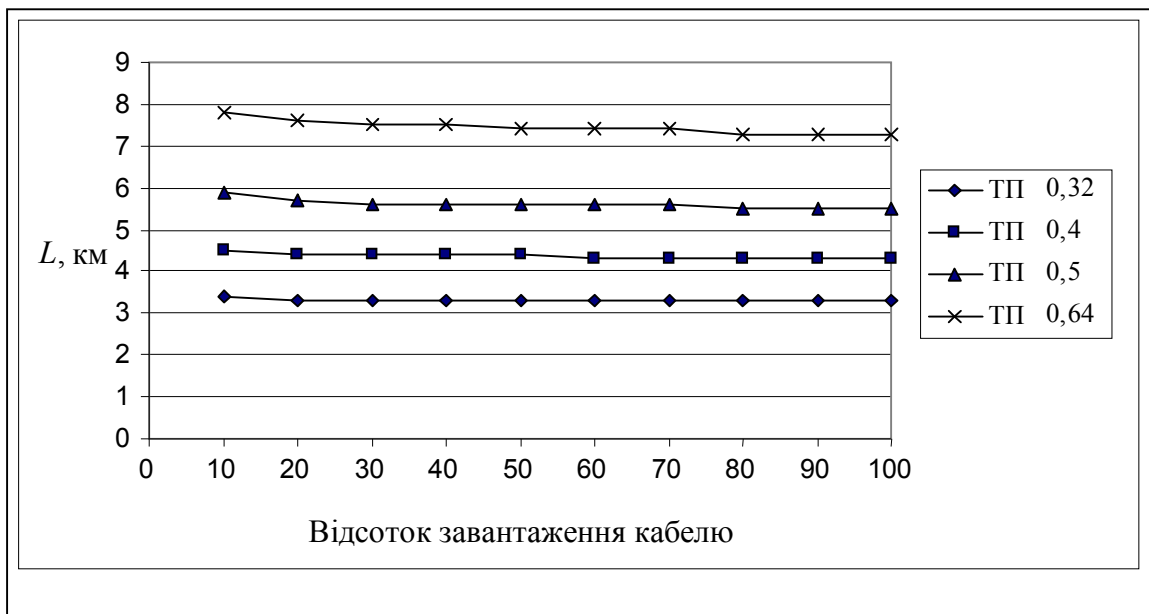
**Рисунок 8.9** – Досяжна довжина лінії ADSL2+ для швидкості 9824 кбіт/с у низхідному напрямку й 928 кбіт/с – у висхідному за використання 10-парного кабелю типу ТП і СГП білого шуму мінус 140 дБм/Гц залежно від відсотка завантаження пар кабелю лініями ADSL2+



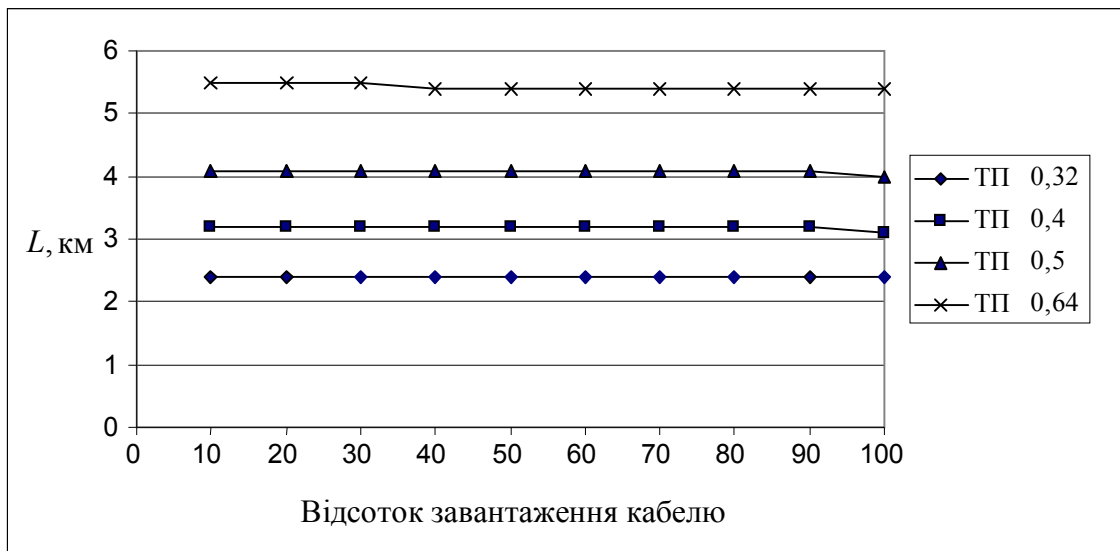
**Рисунок 8.10** – Досяжна довжина лінії ADSL2+ для швидкості 9824 кбіт/с у низхідному напрямку й 928 кбіт/с – у висхідному за використання 10-парного кабелю типу ТП і СГП білого шуму мінус 120 дБм/Гц залежно від відсотка завантаження пар кабелю лініями ADSL2+



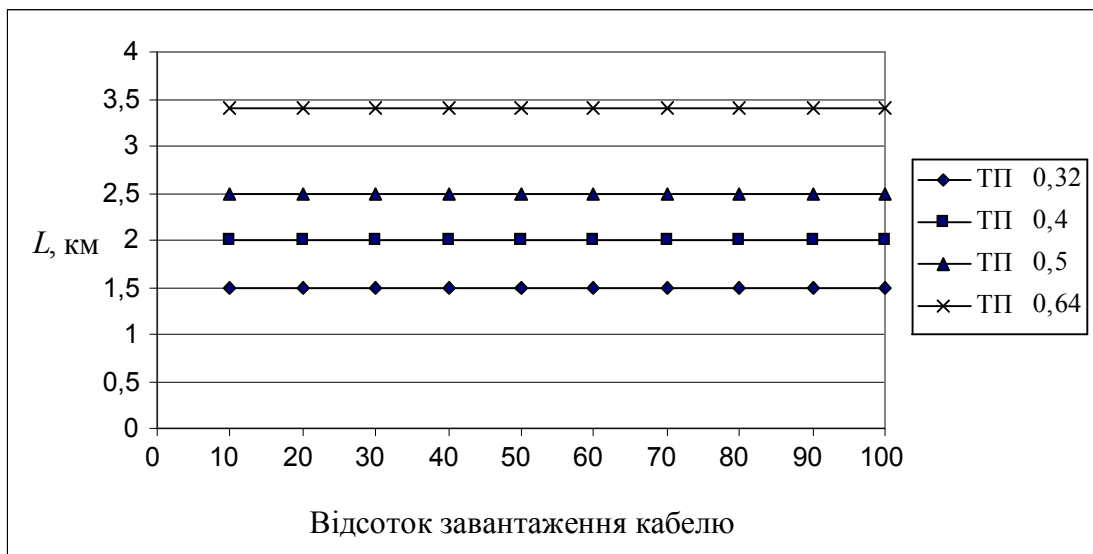
**Рисунок 8.11** – Досяжна довжина лінії ADSL2+ для швидкості 9824 кбіт/с у низхідному напрямку й 928 кбіт/с – у висхідному за використання 10-парного кабелю типу ТП і СГП білого шуму мінус 100 дБм/Гц залежно від відсотка завантаження пар кабелю лініями ADSL2+



**Рисунок 8.12** – Досяжна довжина лінії ADSL2+ для швидкості 2464 кбіт/с у низхідному напрямку й 608 кбіт/с – у висхідному за використання 10-парного кабелю типу ТП і СГП білого шуму мінус 140 дБм/Гц залежно від відсотка завантаження пар кабелю лініями ADSL2+



**Рисунок 8.13** – Досяжна довжина лінії ADSL2+ для швидкості 2464 кбіт/с у низхідному напрямку й 608 кбіт/с – у висхідному за використання 10-парного кабелю типу ТП і СГП білого шуму мінус 120 дБм/Гц залежно від відсотка завантаження пар кабелю лініями ADSL2+



**Рисунок 8.14** – Досяжна довжина лінії ADSL2+ для швидкості 2464 кбіт/с у низхідному напрямку й 608 кбіт/с – у висхідному за використання 10-парного кабелю типу ТП і СГП білого шуму мінус 100 дБм/Гц залежно від відсотка завантаження пар кабелю лініями ADSL2+

Також результати розрахунків підтверджують відомий факт залежності віддалі передавання від діаметру жил кабелю: із зростанням діаметра жил віддалі передавання також зростає (рис. 8.6 – 8.14). Однак за невеликих довжин кабелю і відсотка завантаження кабелю системами передавання ADSL2+ понад 40 % гранична (досяжна) довжина ліній ADSL2+ не залежить від діаметру жил кабелю. Це пояснюється тим, що найпотужнішою завадою для СП ADSL2+ у разі невеликих довжин кабелю є перехідні завади на далекому кінці, а перехідні завади на далекому кінці не залежать від діаметра жил кабелю.

### **Запитання для закріплення**

1. Якими обмеженнями визначається кількість бітів інформації на несучу?
2. Пояснити характер графіків рис. 8.1 – 8.2.
3. Які завади виникають у кабелях телефонної мережі?
4. Пояснити характер графіків рис. 8.6 – 8.8, 8.9 – 8.11, 8.12 – 8.13.

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

АВП	–	абонентський високочастотний пристрій
АІМ	–	амплітудно-імпульсна модуляція
АЛ	–	абонентська лінія
АМ	–	амплітудна модуляція
АРП	–	автоматичне регулювання посилення
АТС	–	автоматична телефонна станція
АЧХ	–	амплітудно-частотна характеристика
дБм	–	абсолютний рівень сигналу за потужністю, в децибелах
ДПФ	–	дискретне перетворення Фур'є
ДС	–	диференційна система
ЕК	–	ехокомпенсатор
ЗДПФ	–	зворотне дискретне перетворення Фур'є
ЗЛ	–	з'єднувальна лінія
ЗПЖ	–	зона прямого живлення
ІР	–	імпульсна реакція
КАМ	–	квадратурна амплітудна модуляція
КВЗЗ	–	коректор з вирішальним зворотним зв'язком
МСЕ-Т	–	сектор стандартизації електрозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку
МТМ	–	міська телефонна мережа
ПДПФ	–	пряме дискретне перетворення Фур'є
ПКК	–	пряме коригувальне кодування
ПФ	–	передатна функція
РАТС	–	районна автоматична телефонна станція
РК	–	розподільна коробка
РШ	–	розподільна шафа
СГП	–	спектральна густина потужності
СКК	–	сигнально-кодова конструкція
СКС	–	структурована кабельна система
СП ОГС	–	СП ортогональними гармонічними сигналами
СП ОС	–	СП ортогональними сигналами
СП	–	система передавання
СФ	–	смуговий фільтр
ТМЗК	–	телефонна мережа загального користування
УАТС	–	установча АТС
ФВЧ	–	фільтр верхніх частот
ФМ	–	фазова модуляція
ФНЧ	–	фільтр нижніх частот
ФЧХ	–	фазочастотна характеристика
ЦАЛ	–	цифрова абонентська лінія
ЧМ	–	частотна модуляція
ШД	–	широкосмуговий доступ

ADSL	– Asymmetrical Digital Subscriber Line	– асиметрична цифрова абонентська лінія
AOC	– ADSL Overhead Control Channel	– службовий канал керування ADSL
ATM	– Asynchronous Transfer Mode	– асинхронний режим передавання
ATU-C	– ADSL Transceiver Unit-Central Office End	– приймач-передавач ADSL на станційному боці
ATU-R	– ADSL Transceiver Unit-Remote Terminal End	– приймач-передавач ADSL на боці абонента
CAP	– Carrierless Amplitude-Phase Modulation	– амплітудно-фазова модуляція з подавленою несучою
CRC	– Cyclic Redundancy Check	– циклічна надлишкова перевірка
DMT	– Discrete MultiTone	– дискретна багатотонава модуляція
DSL	– Digital Subscriber Line	– цифрова абонентська лінія
EOC	– Embedded Operations Channel	– вмонтований робочий канал
ETSI	– European Telecommunications Standards Institute	– Європейський інститут стандартів електрозв'язку
HDSL	– High bit rate Digital Subscriber Line	– високошвидкісна цифрова абонентська лінія
HDTV	– High Definition TeleVision	– телебачення високої чіткості
IEC	– International Electrotechnical Commission	– Міжнародна електротехнічна комісія
ISDN	– Integrated Services Digital Network	– цифрова мережа з інтеграцією служб
ISO	– International Standardization Organization	– Міжнародна організація зі стандартизації
NT	– Network Termination	– мережне закінчення
OFDM	– Orthogonal Frequency Division Multiplexing	– мультиплексування з ортогональним частотним розділенням
PHY	– PHYSical layer	– фізичний рівень
PSD	– Power Spectral Density	– спектральна густина потужності
SHDSL	– Single-pair High-speed Digital Subscriber Line	– однопарна високошвидкісна цифрова абонентська лінія
SNI	– ServiceNode Interface	– інтерфейс вузла послуг
SRU	– SHDSL Repeater Unit	– ретранслятор SHDSL
STU-C	– SHDSL Transceiver Unit at the Central Office	– приймач-передавач SHDSL на станційному боці
STU-R	– SHDSL Transceiver Unit	– приймач-передавач SHDSL на боці користувача
TA	– Terminal Adapter	– термінальний адаптер
TCM	– Trellis Coded Modulation	– модуляція із ґратчастим кодуванням
TCPAM	– Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation	– амплітудно-імпульсна модуляція із ґратчастим кодуванням

VDSL	– Very high speed Digital Subscriber Line	– надвисокошвидкісна цифрова абонентська лінія
VTU-O	– VDSL(2) Transceiver Unit at the Optical network unit	– приймач-передавач VDSL(2) на оптичному мережному вузлі
VTU-R	– VDSL(2) Transceiver Unit at the Remote site	– приймач-передавач VDSL(2) на боці користувача
xDSL	– xDigital Subscriber Line	– цифрова абонентська лінія x-типу
XNI	– Access Network Interface	– інтерфейс мережі доступу
2B1Q	– 2-Binary, 1-Quaternary	– лінійний чотирирівневий код, у якому пара двійкових символів кодується в один з чотирьох рівнів сигналу

## ГЛОСАРІЙ

### абонент

Користувач телекомунікаційними послугами, з яким постачальником послуг укладено договір на надання таких послуг

en subscriber

ru абонент

Пользователь

телекоммуникационными услугами, с которым поставщик услуг заключил договор на предоставление таких услуг

### абонентська лінія

#### АЛ

Лінія кабельна, проводова або радіолінія, що з'єднує термінал (або обладнання) абонента з вузлом доступу

en subscriber line

ru абонентская линия

АЛ

Линия кабельная, проводная или радиолиния, соединяющая терминал (или оборудование) абонента с узлом доступа

### абонентська проводка

Ділянка абонентської лінії від розподільної коробки до телефонної розетки абонента

ru абонентская проводка

Участок абонентской линии от распределительной коробки до телефонной розетки абонента

### автентифікація

Процес перевірки, що користувач, який здійснює спробу одержання доступу до певного ресурсу, є тим, за кого себе видає

**Примітка.** Виконується з метою забезпечення інформаційної безпеки, ґрунтується на використанні додаткових ідентифікаторів – паролів, цифрового підпису тощо

en authentication

ru аутентификация

Процесс проверки, что пользователь, который осуществляет попытку получения доступа к определенному ресурсу, является тем, за кого себя выдает

**Примечание.** Выполняется с целью обеспечения информационной безопасности, основывается на использовании дополнительных идентификаторов – паролей, цифровой подписи и др.

### **авторизація**

Процес перевіряння прав доступу об'єкта (користувача, пристрою, програми тощо) у процесі його звертання до ресурсів систем і надання йому можливості доступу до цих ресурсів згідно з установленими правами. Виконується після успішної автентифікації

en authorization

ru Процесс проверки прав доступа объекта (пользователя, устройства, программы и т.д.) в процессе его обращения к ресурсам системы и предоставления ему возможности доступа к этим ресурсам в соответствии с установленными правами. Выполняется после успешной аутентификации

### **адреса**

Унікальний номер або символічне ім'я, що надається мережі, вузлу або мережному пристрою, щоб інші мережі, вузли або пристрої могли розпізнати його у процесі обміну інформацією

**Примітка.** Адреси бувають логічними (символічними або умовними), фізичними (апаратними) та мережними

en address

ru адрес

Уникальный номер или символическое имя, присвоенное сети, узлу или сетевому устройству, чтобы другие сети или устройства могли распознать его в процессе обмена информацией  
**Примечание.** Адреса бывают логическими (символическими или условными), физическими (апаратными) или сетевыми

### **адреса MAC**

Унікальна фіксована адреса обладнання (елемента обладнання), яка зазвичай встановлюється виробником і використовується у протоколах ЛОМ

en MAC address

ru адрес MAC

Уникальный фиксированный адрес оборудования (элемента оборудования), обычно устанавливаемый производителем и используемый в протоколах ЛВС

### **адреса IP**

Адреса, що надається вузлам мережі, побудованої на базі протоколів TCP/IP.

**Примітка.** У разі використання протоколу IPv4 ця адреса є 32-бітовою, а у разі IPv6 – 128-бітовою

en IP-address

ru адрес IP

Адрес, присваиваемый узлам сети, построенной на базе протоколов TCP/IP

**Примечание.** В случае использования протокола IPv4 этот адрес является 32-битовым, а в случае IPv6 – 128-битовым

### **адреса призначення**

У мережах зв'язку – адреса елемента мережі, до якого надсилаються повідомлення

en destination address

ru адрес назначения

В сетях связи – адрес элемента сети, к которому посылаются сообщения

### **асиметрична цифрова абонентська лінія (ADSL; Splitterless ADSL; ADSL 2; Splitterless ADSL 2; ADSL 2+; ADSL 2++)**

xDSL-лінія, яка характеризується асиметричною швидкістю передавання у висхідному і низхідному напрямках. В обладнанні

en asymmetric digital subscriber line (ADSL; Splitterless ADSL; ADSL 2; Splitterless ADSL 2; ADSL 2+; ADSL 2++)

асимметричная цифровая абонентская линия (ADSL; Splitterless ADSL; ADSL 2; Splitterless ADSL 2; ADSL 2+;

ru ADSL 2++)



ADSL використовується метод передавання ортогональними гармонічними сигналами – DMT (Discrete MultiTone)

xDSL-линия, характеризующаяся асимметричной скоростью передачи в восходящем и нисходящем направлениях. В оборудовании ADSL используется метод передачи ортогональными гармоническими сигналами – DMT (Discrete MultiTone)

**біт**

1 Знак, символ, елемент сигналу, що представляє одне з двох можливих значень, приміром, у двійковій системі числення – цифра 0 або цифра 1

2 Одиниця вимірювання кількості інформації

**Примітка.** Один біт дорівнює кількості інформації, що міститься в одному елементі двійкового сигналу за умови рівноймовірності прийманих ним значень

en bit

ru бит

1 Знак, символ, элемент сигнала, представляющий одно из двух возможных значений, например, в двоичной системе исчисления – цифра 0 или цифра 1

2 Единица измерения количества информации

**Примечание.** Один бит равен количеству информации, содержащейся в одном элементе двоичного сигнала при условии равновероятности принимаемых им значений

**веб-браузер**

Спеціальна програма, за допомогою якої встановлюється з'єднання з веб-сервером і забезпечується перегляд HTML-документів, що зберігаються або формуються у вузлах мережі Інтернет

en web browser

ru веб-браузер

Специальная программа, с помощью которой устанавливается соединение с веб-сервером и обеспечивается просмотр HTML-документов, хранимых или формируемых в узлах сети Интернет

**веб-сайт**

Логічний вузол мережі Інтернет, який визначається своїм URL-ім'ям і являє собою організовану сукупність HTML-сторінок

en web site

ru веб-сайт

Логический узел сети Интернет, определяемый своим URL-именем и представляющий собой организованную совокупность HTML-страниц

**веб-сервер**

Вузол у мережі Інтернет, призначений для оброблення запитів користувачів і надання документів, складених мовою HTML (або іншими мовами)

en web server

ru веб-сервер

Узел в сети Интернет, предназначенный для обработки запросов пользователей и предоставления документов, составленных на языке HTML (или других языках)

**веб-сторінка**

Складений мовою HTML (або іншими мовами) документ, який є основою інформаційного обміну в мережі Інтернет.

en web page

ru веб-страница

Составленный на языке HTML (или других языках) документ, являющийся основой информационного обмена в

**Примітка.** Наявність гіперпосилань дозволяє користувачеві отримати швидкий доступ до інших сторінок того самого або іншого документа за допомогою веб-браузера

сети інтернет

**Примечание.** Наличие гиперссылок позволяет пользователю получить быстрый доступ к другим страницам того же или другого документа с помощью веб-браузера

### **висхідний потік**

Потік даних, передаваний від користувача до місцевого центру електрозв'язку, від периферійного вузла до центрального

en upstream

ru восходящий поток

Поток данных, передаваемый от пользователя к местному центру электросвязи, от периферийного узла к центральному

### **вита пара**

Симетрична пара з високим ступенем симетрії електричних параметрів відносно поздовжньої осі

en twisted pair

ru витая пара

симметричная пара с высокой степенью симметрии электрических параметров относительно продольной оси

### **віртуальний канал**

Канал зв'язку мережі з комутацією пакетів, що створюється для передавання пакетів повідомлення між вузлами мережі, при цьому різні пакети повідомлення можуть передаватися методами пакетного передавання різними фізичними каналами зв'язку, які пов'язують ці вузли, зі збереженням цілісності передаваного повідомлення на приймальному боці

en virtual channel (circuit)

ru виртуальный канал

Канал связи сети с коммутацией пакетов, создаваемый для передачи пакетов сообщения между узлами сети, при этом разные пакеты сообщения могут передаваться методами пакетной передачи по различным физическим каналам связи, связывающим эти узлы, с сохранением целостности передаваемого сообщения на приеме

### **віртуальний тракт**

Маршрут, що об'єднує групу односпрямованих віртуальних каналів, які мають спільний ідентифікатор віртуального тракту

en virtual path

ru виртуальный тракт

Маршрут, объединяющий группу однонаправленных виртуальных каналов, которые имеют общий идентификатор виртуального тракта

### **власне загасання (лінії)**

Загасання синусоїдного сигналу при поширенні вздовж однорідної лінії за узгодженого на її кінцях навантаження

en non-reflection attenuation

ru собственное затухание (линии)

Затухание синусоидального сигнала при распространении вдоль однородной линии при согласованной на ее концах нагрузке

### **вузол доступу**

#### **пункт доступу**

Вузол телекомунікаційної мережі, який забезпечує користувачам доступ до мережних ресурсів

en access node

ru узел доступа; пункт доступа

Узел телекоммуникационной сети, обеспечивающий пользователям доступ к сетевым ресурсам

**глобальна мережа (WAN)**

Телекомунікаційна мережа, що охоплює велику географічну територію

en wide-area network  
WAN

ru глобальная сеть (WAN)  
Телекоммуникационная сеть, охватывающая большую географическую территорию

**голос поверх міжмережного протоколу (VoIP)**

Спосіб передавання голосу (мови) мережею Інтернет або будь-якою іншою мережею з пакетним передаванням, базованим на протоколі IP

en voice over internet protocol  
VoIP

ru голос поверх межсетевго протокола (VoIP)  
Способ передачи голоса (речи) по сети Интернет или по любой другой сети с пакетной передачей, основанной на протоколе IP

**двійковий сигнал**

1 Цифровий сигнал, кожний елемент якого являє собою сигнал з ансамблю, що складається з двох можливих сигналів

2 Цифровий сигнал, інформаційний(і) параметр(и) кожного елемента якого може(уть) набувати одного з двох можливих значень

en binary signal

ru двоичный сигнал  
1 Цифровой сигнал, каждый элемент которого представляет собой сигнал из ансамбля, состоящего из двух возможных сигналов  
2 Цифровой сигнал, информационный(ые) параметр(ы) каждого элемента которого может(ут) принимать одно из двух возможных значений

**демультиплексор (DEMUX)**

Технічний засіб, що здійснює розділення складеного (групового) сигналу на його складники.

**Примітка.** Дана операція є зворотною до операції мультиплексування

en demultiplexer  
DEMUX

ru демультиплексор (DEMUX)  
Техническое средство, осуществляющее разделение составного (группового) сигнала на его составляющие.  
**Примечание.** Данная операция является обратной по отношению к операции мультиплексирования

**дискретний багатотональний сигнал (DMT)**

Цифровий сигнал, кожний елемент якого складається з множини ортогональних гармонічних частот-носіїв, які незалежно модулюються передаваними сигналами

en discrete multitone  
DMT

ru дискретный многотональный сигнал (DMT)  
Цифровой сигнал, каждый элемент которого состоит из множества ортогональных гармонических несущих частот, независимо модулируемых передаваемыми сигналами

**дискретний сигнал**

Сигнал, який складається із послідовно слідуючих у часі елементів

en discrete signal

ru дискретный сигнал  
Сигнал, состоящий из последовательно следующих во времени элементов

### **документи RFC**

Серія нормативних документів, видаваних з 1969 р. під егідою IETF з метою стандартизації та розвитку протоколів Інтернету. Не всі документи RFC є офіційним стандартом Інтернету. Частина з них має рекомендаційний характер, містить довідковий матеріал або опис певної проблеми

en RFC documents  
RFC

ru документы RFC  
Серия нормативных документов, издаваемых с 1969 г. под эгидой IETF с целью стандартизации и развития протоколов Интернета. Не все документы RFC являются официальным стандартом Интернета. Часть из них носит рекомендательный характер, содержит справочный материал или описание какой-либо проблемы

### **домен**

Частина ієрархічного адресного простору мережі Інтернет, яка має ідентифікуючу її унікальну назву, обслуговується групою серверів доменних імен і централізовано адмініструється

en domain

ru домен  
Часть иерархического адресного пространства сети Интернет, которая имеет идентифицирующее ее уникальное название, обслуживается группой серверов доменных имен и централизованно администрируется

### **домен UA**

Домен верхнього рівня ієрархічного адресного простору мережі Інтернет, створений на основі кодування назв країн відповідно до міжнародних стандартів для обслуговування адресного простору українського сегмента мережі Інтернет

en UA-domain

ru домен UA  
Домен верхнего уровня иерархического адресного пространства сети Интернет, созданный на основе кодирования названий стран в соответствии с международными стандартами для обслуживания адресного пространства украинского сегмента сети Интернет

### **домен другого рівня**

Частина адресного простору мережі Інтернет, розташована на другому рівні ієрархії імен у цій мережі

ru домен второго уровня

Часть адресного пространства сети Интернет, расположенная на втором уровне иерархии имен в этой сети

### **екстранет**

Мережа, що базується на протоколах TCP/IP, належить організації, зазвичай корпорації, і доступна лише для членів, співробітників цієї організації, а також для авторизованих зовнішніх користувачів. За допомогою екстранету підприємство встановлює зв'язок з постачальниками і споживачами

en extranet

ru экстранет  
Сеть, основанная на протоколах TCP/IP, принадлежащая организации, обычно корпорации, и доступная только членам, сотрудникам этой организации, а также авторизованным внешним пользователям. С помощью экстранета предприятие устанавливает связь с поставщиками и потребителями

### **електромагнітна сумісність**

Здатність технічних засобів або

en electromagnetic compatibility

ru Способность технических средств или

систем функціювати у даному електромагнітному середовищі із заданою якістю, не створюючи при цьому неприпустимих завад для цього середовища

#### **ехокомпенсація**

Метод придушення небажаного сигналу (завади) шляхом його адаптивного оцінювання і віднімання оціненого значення з сигналу, що приймається

#### **завадостійкість**

Здатність системи функціонувати, забезпечуючи задану якість зв'язку в умовах впливу завад

#### **загасання (сигналу, електричного кола, пристрою)**

Величина, що характеризує змінювання потужності (напруги) сигналу під час передавання його середовищем поширення (електричним колом, пристроєм) і визначається логарифмом відношення значень потужності  $P_{\text{вх}}$  (напруги  $U_{\text{вх}}$ ) на вході середовища поширення до потужності  $P_{\text{вих}}$  (напруги  $U_{\text{вих}}$ ) на виході цього середовища поширення:

$$A = 10 \lg \left| \frac{P_{\text{вх}}}{P_{\text{вих}}} \right| = 20 \lg \left| \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{вих}}} \right|.$$

**Примітка.** Загасання вимірюється у децибелах (дБ). Від'ємне значення загасання означає, що у середовищі поширення має місце посилення сигналу

#### **запас завадозахищеності**

Різниця дійсного відношення сигнал/шум на вході приймача (дБ) і мінімального відношення сигнал/шум на вході приймача (дБ), за якого виконуються вимоги щодо коефіцієнта бітових помилок xDSL-лінії

систем функціонувати в даній електромагнітній середі з заданим качеством, не создавая при этом недопустимых помех для этой среды

en echo cancellation

ru эхокомпенсация

Метод подавления нежелательного сигнала (помехи) путем его адаптивного оценивания и вычитания оцененного значения из принимаемого сигнала

en noise-immunity

ru помехоустойчивость

Способность системы функционировать, обеспечивая заданное качество связи в условиях воздействия помех

en attenuation

ru затухание (сигнала, электрической цепи, устройства)

Величина, характеризующая изменение мощности (напряжения) сигнала при передаче его по среде распространения (электрической цепи, устройству) и определяемая логарифмом отношения значений мощности  $P_{\text{вх}}$  (напряжения  $U_{\text{вх}}$ ) на входе среды распространения к мощности  $P_{\text{вых}}$  (напряжению  $U_{\text{вых}}$ ) на выходе этой среды распространения:

$$A = 10 \lg \left| \frac{P_{\text{вх}}}{P_{\text{вых}}} \right| = 20 \lg \left| \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{вых}}} \right|.$$

**Примечание.** Затухание измеряется в децибелах (дБ). Отрицательное значение затухания означает, что в среде распространения имеет место усиление сигнала

en signal-to-noise ratio margin  
SNR margin

ru запас помехозащищенности

Разность действительного отношения сигнал/шум на входе приемника (дБ) и минимального отношения сигнал/шум на входе приемника (дБ), при котором выполняются требования по коэффициенту битовых ошибок xDSL-линии

**захищеність між колами на далекому кінці (захищеність)**  
Загасання (перехідне) синусоїдного сигналу при переході з далекого кінця кола, що впливає, на далекий кінець кола, підданого впливу, за умови узгодження кіл на кінцях.

**Примітка.** Захищеність між колами визначається як різниця між рівнем сигналу в кінці кола, що впливає, і рівнем завади в кінці кола, підданого впливу

### **ідентифікатор**

Код або символічне ім'я, що однозначно характеризує об'єкт і дозволяє виділити його серед множини інших об'єктів

### **ідентифікація**

Процедура встановлення тотожності об'єкта (користувача, пристрою, програми тощо) з одним із відомих системі об'єктів за його ідентифікатором з метою визначення його належності до цієї системи

**Примітка.** Зазвичай ідентифікація передус операції автентифікації користувача

### **імовірність помилки по бітах**

Показник вірогідності приймання двійкових сигналів, що використовується для оцінювання якості каналів зв'язку на фізичному рівні

### **інкапсуляція**

Перетворення даних, що дозволяє передавати їх через багатопрокоольну мережу у прозорому режимі. Формування інкапсульованого пакета здійснюється шляхом додавання до нього заголовка та допоміжної інформації. За передавання в мережах з багаторівневою ієрархією інкапсульований пакет може містити кілька заголовків різного рівня: на початку пакета зазвичай

gu захищенность между цепями на дальнем конце (защищенность)  
Затухание (переходное)  
синусоидального сигнала при переходе с дальнего конца влияющей цепи на дальний конец цепи, подверженной влиянию, при условии согласования цепей по концам.

**Примечание.** Защищенность между цепями определяется как разность между уровнем сигнала в конце влияющей цепи и уровнем помехи в конце цепи, подверженной влиянию

en identifier

gu ідентифікатор  
Код или символическое имя, однозначно характеризующее объект и позволяющее выделить его среди множества других объектов

en identification

gu ідентифікація  
Процедура установления тождественности объекта (пользователя, устройства, программы и т.д.) с одним из известных системе объектов по его идентификатору с целью определения его принадлежности этой системе  
**Примечание.** Обычно идентификация предшествует операции аутентификации пользователя

en bit error rate  
BER

gu вероятность ошибки по битам  
Показатель достоверности приема двоичных сигналов, используемый для оценки качества каналов связи на физическом уровне

en encapsulation

gu інкапсуляція  
Преобразование данных, позволяющее передавать их через многопротокольную сеть в прозрачном режиме. Формирование инкапсулированного пакета осуществляется путем добавления к нему заголовка и вспомогательной информации.  
При передаче в сетях с многоуровневой иерархией инкапсулированный пакет может содержать несколько заголовков

знаходиться заголовок фізичного рівня, за ним іде заголовок мережного рівня, і після цього – заголовок транспортного рівня. Далі можуть міститись дані прикладних протоколів

разного рівня: в началі пакета обычно находится заголовок физического уровня, за ним следует заголовок сетевого уровня и после этого – заголовок транспортного уровня. Далее могут располагаться данные прикладных протоколов

### **інтерактивність**

Характеристика способу організації взаємодії людини з людиною, людини з системою або системи з системою в реальному часі за принципом "запит-відповідь"

en interactivity

ru интерактивность

Характеристика способа организации взаимодействия человека с человеком, человека с системой или системы с системой в реальном времени по принципу «запрос-ответ»

### **інтернет**

Сукупність телекомунікаційних мереж, які базуються на наборі протоколів TCP/IP і логічно зв'язані глобальним адресним простором, що забезпечує їх функціонування як єдиної мережі

en internet

ru интернет

Совокупность телекоммуникационных сетей, базирующихся на наборе протоколов TCP/IP и логически связанных глобальным адресным пространством, что обеспечивает им функционирование как единой сети

### **інтерфейс (стик)**

- 1 Сукупність засобів, що забезпечують логічні, електричні та конструктивні умови сумісності в точках з'єднання функціональних блоків і їх взаємодію.
- 2 Спільна межа двох об'єктів, взаємодію через яку цілковито визначено

en interface

ru интерфейс (стык)

- 1 Совокупность средств, которые обеспечивают логические, электрические и конструктивные условия совместимости в точках соединения функциональных блоков.
- 2 Общая граница двух объектов, взаимодействие через которую целиком определено

### **інтерфейс T**

Інтерфейс між xDSL-модемом та іншим обладнанням приміщення користувача

en T interface

ru интерфейс T

Інтерфейс между xDSL-модемом и другим оборудованием помещения пользователя

### **інтерфейс U**

Інтерфейс між DSLAM і xDSL-модемом

en U interface

ru интерфейс U

Інтерфейс между DSLAM и xDSL-модемом

### **інтерфейс USB**

Інтерфейс послідовного передавання даних для периферійних пристроїв.

**Примітка.** Інтерфейс USB відповідає специфікації USB 2.0, яка регламентує три

en USB interface

USB

ru интерфейс USB

Інтерфейс последовательной передачи

швидкості передавання: High-speed (480 Мбіт/с), Full-speed (12 Мбіт/с) та Low-speed (1,5 Мбіт/с)

### **інтранет**

Мережа, яка базується на протоколах TCP/IP, належить певній організації, зазвичай корпорації, і доступна лише для членів, співробітників цієї організації, але, на відміну від мережі екстранет, не є доступна для зовнішніх користувачів

### **інформаційна безпека (систем електрозв'язку)**

Захищеність систем електрозв'язку від витіку, спотворення, руйнування або знищення циркулюючої в них інформації

### **кабель (з металевими жилами)**

З'єднувальний елемент, що являє собою певну кількість металевих провідників, ізолюваних один від одного і призначених для передавання електричних сигналів.

**Примітка.** Кабелі розрізняють за: конструкцією робочого кола – симетричні та коаксіальні; видом електрозв'язку – телефонні, радіомовні, телевізійні, комбіновані тощо.; діапазоном ущільнення – низькочастотні та високочастотні; видом ізоляції жил – повітряно-паперові, повітряно-пластмасові, суцільні поліетиленові тощо.; групами – з двох, чотирьох тощо ізолюваних і скручених між собою жил, які утворюють фізичні кола; складом конструктивних елементів – однорідні та комбіновані; ступенем заводо захищеності – екрановані та неекрановані; матеріалом оболонки – свинцеві, алюмінієві, сталеві, пластмасові та комбіновані; захисними покриттями – голі, броньовані сталевими стрічками або круглими дротами; умовами прокладення – підземні, підводні та підвісні

данных для периферийных устройств.

**Примечание.** Интерфейс USB соответствует спецификации USB 2.0, которая регламентирует три скорости передачи: High-speed (480 Мбит/с), Full-speed (12 Мбит/с) и Low-speed (1,5 Мбит/с)

en intranet

ru интранет

Сеть, основанная на протоколах TCP/IP, принадлежащая определенной организации, обычно корпорации, и доступная только членам, сотрудникам этой организации, но, в отличие от сети экстранет, не доступная внешним пользователям

en информационная безопасность (систем электрозв'язку)

ru электросвязи)

Защищенность систем электросвязи от утечки, искажения или уничтожения циркулирующей в ней информации

en cable

ru кабель (с металлическими жилами)

Соединительный элемент, представляющий собой некоторое количество металлических проводников, изолированных друг от друга и предназначенных для передачи электрических сигналов.

**Примечание.** Кабели различаются по: конструкции рабочей цепи – симметричные и коаксиальные; виду электросвязи – телефонные, радиовещательные, телевизионные, комбинированные и др.; диапазону уплотнения – низкочастотные и высокочастотные; виду изоляции жил – воздушно-бумажные, воздушно-пластмассовые, сплошные полиэтиленовые и др.; группам – из двух, четырех и т.д. изолированных и скрученных между собой жил, образующих физические цепи; составу конструктивных элементов – однородные и комбинированные; степени помехозащищенности – экранированные и неэкранированные; материалу оболочки – свинцовые, алюминиевые, стальные, пластмассовые и комбинированные; защитным покровам – голые, бронированные стальными лентами или круглыми проволоками; условиям прокладки – подземные, подводные и подвесные



**кабель повивного скручення**

Кабель, в осерді якого ізольовані жили чи групи розташовано коаксіальними повивами з напрямками, що чергуються

ru кабель повивной скрутки  
Кабель, в сердечнике которого изолированные жилы или группы расположены коаксиальными повивами чередующихся направлений

**кабель пучкового скручення**

Кабель, у якому ізольовані жили чи групи утворюють пучки, а пучки, в свою чергу, – осердя

ru кабель пучковой скрутки  
Кабель, в котором изолированные жилы или группы образуют пучки, а пучки, в свою очередь, – сердечник

**канальний рівень (рівень ланки даних)**

Другий рівень в еталонній моделі OSI, який є передатним середовищем між мережним і фізичним рівнями.

**Примітка.** На каналному рівні реалізуються механізми керування мережними ресурсами, а також забезпечується підтримка різноманітних вимог протоколів верхнього рівня щодо вірогідності, якості обслуговування та часу очікування. Обмін інформацією на каналному рівні забезпечується у двох режимах: із встановленням з'єднання і без встановлення з'єднання

en link layer (data link layer)  
ru канальный уровень (уровень звена данных)  
Второй уровень в эталонной модели OSI, который является передаточной средой между сетевым и физическим уровнями.

**Примечание.** На канальном уровне реализуются механизмы управления сетевыми ресурсами, а также обеспечивается поддержка разнообразных требований протоколов верхнего уровня по достоверности, качеству обслуживания и времени ожидания. Обмен информацией на канальном уровне обеспечивается в двух режимах: с установлением соединения и без установления соединения

**квадратурна амплітудна модуляція КАМ**

Вид модуляції, що здійснюється шляхом одночасної незалежної амплітудної модуляції передаваним сигналом, розділеним на два потоки, двох гармонічних квадратурних несучих (несучих, зсунених за фазою на 90°) і подальшого їх складання.

en quadrature amplitude modulation  
QAM

ru квадратурная амплитудная модуляция КАМ  
Вид модуляции, осуществляемый путем одновременной независимой амплитудной модуляции передаваемым сигналом, разделенным на два потока, двух гармонических квадратурных несущих (несущих, сдвинутых по фазе на 90°) и последующего их сложения.

**квадратурний канал**

Канал, у якого фазу сигналу зсунено відносно опорного сигналу на 90°

en q-channel

ru квадратурный канал  
Канал, у которого фаза сигнала сдвинута относительно опорного сигнала на 90°

**керування доступом до (фізичного) середовища (МАС)**

1 Загальний термін, використовуваний для описування методу доступу мережних пристроїв до середовища передавання даних.

en media access control  
MAC

ru управление доступом к (физической) среде (МАС)  
1 Общий термин, используемый для описания метода доступа сетевых устройств к среде передачи данных.

2 Нижній підрівень каналного рівня еталонної моделі OSI, який забезпечує керування доступом до фізичних каналів.

**Примітка.** Протоколи цього підрівня підтримують оптимальний розподіл ресурсів, зводячи до мінімуму конфлікти між об'єктами, що обслуговуються

**клієнт**

Робоча станція в мережі, яка використовує для роботи станції ресурси іншого мережного пристрою (зазвичай сервера)

**коаксіальний кабель**

Коаксіальний кабель – кабель, до осердя якого входять коаксіальні пари.

**Примітка.** Коаксіальна пара – два ізолюваних між собою металевих провідника зі спільною віссю

**коефіцієнт загасання (лінії)**

Загасання синусоїдного сигналу за поширення узгодженою на вході і виході лінією завдовжки 1 км

**комутатор**

Технічний засіб, що забезпечує проходження інформаційних сигналів між певними його входами і виходами у відповідності до керувальних сигналів

**комутація пакетів**

Технологія передавання даних, яка характеризується тим, що потік інформації розбивається на пакети фіксованої або змінної довжини, які обробляються і передаються в мережі як незалежні блоки

**комутовна телефонна мережа загального користування КТМЗК**

2 Нижний подуровень каналного уровня эталонной модели OSI, обеспечивающий управление доступом к физическим каналам.

**Примечание.** Протоколы этого подуровня поддерживают оптимальное распределение ресурсов, сводя к минимуму конфликты между обслуживаемыми объектами

en client

ru клиент

Рабочая станция в сети, которая использует для работы станции ресурсы другого сетевого устройства (обычно сервера)

en coaxial cable

ru коаксиальный кабель

Коаксиальный кабель – кабель, в сердечник которого входят коаксиальные пары.

**Примечание.** Коаксиальная пара – два изолированных между собой и соосно расположенных металлических проводника

en attenuation factor

ru коэффициент затухания (линии)

Затухание синусоидального сигнала при распространении по согласованной на входе и выходе линии длиной 1 км

en switch

ru коммутатор

Техническое средство, обеспечивающее прохождение информационных сигналов между определенными его входами и выходами в соответствии с управляющими сигналами

en packet switching

ru коммутация пакетов

Технология передачи данных, характеризующаяся тем, что поток информации разбивается на пакеты фиксированной или переменной длины, которые обрабатываются и передаются в сети как независимые блоки

en public switched telephone network PSTN

ru коммутируемая телефонная сеть

Сукупність місцевих, міжміських та міжнародних автоматичних телефонних станцій, комутаційних вузлів, ліній, каналів телефонної мережі та прикінцевих абонентських телефонних пристроїв для забезпечення потреб населення, установ, організацій та підприємств у автоматизованому телефонному зв'язку

общего пользования КТСОП  
Совокупность местных, междугородных и международных автоматических телефонных станций, коммутационных узлов, линий, каналов телефонной сети и оконечных абонентских телефонных устройств для обеспечения потребностей населения, учреждений, организаций и предприятий в автоматизированной телефонной связи

**коригування характеристик каналу (сигналу)**

Механізм (спосіб) приведення характеристик каналів (сигналів) до прийнятих норм

**Примітка.** Найбільш поширений спосіб коригування частотних характеристик каналу зв'язку полягає у включенні до тракту передавання чотириполюсника – коректора (еквалайзера), характеристики якого адаптуються в такий спосіб, аби наскрізна характеристика тракту «канал плюс коректор» задовольняла заданому критерію

en equalization

ru коррекция характеристик канала (сигнала)

Механизм (способ) приведения характеристик каналов (сигналов) к принятым нормам.

**Примечание.** Наиболее распространенный способ коррекции частотных характеристик канала связи заключается во включении в тракт передачи четырехполюсника – корректора (эквалайзера), характеристики которого адаптируются таким образом, чтобы сквозная характеристика тракта «канал плюс корректор» удовлетворяла заданному критерию

**користувач (послуг електровз'язку)**

Юридична або фізична особа, яка користується послугами електровз'язку

en user

ru пользователь (услугами электросвязи)  
Юридическое или физическое лицо, которое пользуется услугами электросвязи

**корпоративна (установча) мережа**

Мережа зв'язку одного підприємства, яка поєднує розрізнені відділення та адміністративні офіси

en enterprise(-wide) network

ru корпоративная (учрежденческая) сеть  
Сеть связи одного предприятия, соединяющая разрозненные отделения и административные офисы

**лінійна швидкість передавання сигналів**

Кількість сигналів, передаваних лінією зв'язку в одиницю часу

ru линейная скорость передачи сигналов

Количество сигналов, передаваемых по линии связи в единицу времени

**локальна мережа (LAN)**

Виділена мережа передавання даних, що обслуговує користувачів на невеликій території.

**Примітка.** Локальна мережа дозволяє поєднати між собою робочі місця користувачів та периферійні пристрої в єдине середовище, яке працює під керуванням єдиної мережної операційної системи

en local area network

LAN

ru локальная сеть (LAN)

Выделенная сеть передачи данных, обслуживающая пользователей на небольшой территории.

**Примечание.** Локальная сеть позволяет объединить между собой рабочие места пользователей и периферийные устройства в единую среду, работающую под управлением единой сетевой операционной системы

**магістральна ділянка  
(абонентської лінії)**

Ділянка абонентської лінії від кросу АТС до останньої розподільної шафи

en main cable  
ru магистральный участок (абонентской линии)  
Участок абонентской линии от кросса АТС до последнего распределительного шкафа

**маршрутизатор**

Технічний засіб, що здійснює приймання пакетів, вибір для кожного з них маршруту передавання на основі таблиці маршрутизації та адресної інформації, що міститься у заголовках пакетів, і їх передавання до визначених ним суміжних вузлів мережі

**Примітка.** Вибір маршруту також може здійснюватися з урахуванням інформації про стан мережі та певних критеріїв, наприклад мінімального часу доставлення пакетів, мінімальної вартості тощо

en router  
ru маршрутизатор  
Техническое средство, осуществляющее прием пакетов, выбор для каждого из них маршрута передачи на основе таблицы маршрутизации и адресной информации, содержащейся в заголовках пакетов, и их передачу определенным им смежным узлам сети  
**Примечание.** Выбор маршрута также может осуществляться с учетом информации о состоянии сети и определенных критериев, например минимального времени доставки пакетов, минимальной стоимости и т.д.

**мережа (електрозов'язку)  
транспортна**

Мережа електрозов'язку, призначена для передавання високошвидкісних потоків даних, до якої користувачі не підімкнені безпосередньо і яка здійснює взаємоп'єднання мереж доступу

en core network  
ru сеть (электросвязи) транспортная  
Сеть электросвязи, предназначенная для передачи высокоскоростных потоков данных, к которой пользователи не подключены непосредственно и которая осуществляет взаимосоединение сетей доступа

**мережа WWW**

Система гіпертекстових та інших ресурсів, доступних по всьому світу через мережу Інтернет

en world wide web  
WWW  
ru сеть WWW  
Система гипертекстовых и иных ресурсов, доступных по всему миру через сеть Интернет

**мережа xDSL-доступу**

Широкопосмугова мережа доступу, що побудована на базі xDSL-систем передавання (див. також Мережа доступу).

**Примітка.** Технічні характеристики xDSL-систем передавання визначено рекомендаціями МСЕ-Т G.991 – G.993

en xDSL access network  
ru сеть xDSL-доступа  
Широкополосная сеть доступа, которая построена на базе xDSL-систем передачи (см. также Сеть доступа)  
**Примечание.** Технические характеристики xDSL-систем передачи определены рекомендациями МСЭ-Т G.991 – G.993

**мережа доступу**

Частина мережі електрозов'язку, що забезпечує з'єднання обладнання користувачів з найближчим вузлом транспортної мережі з метою забезпечення користувачів доступом

en access network  
ru сеть доступа  
Часть сети электросвязи, которая обеспечивает соединение оборудования пользователей с ближайшим узлом транспортной сети с

до інфокомунікаційних послуг

целью обеспечения пользователей доступом к инфокоммуникационным услугам

**мережа електровз'язку  
(телекомунікаційна мережа)**

Комплекс об'єднаних в єдиному технологічному процесі мережних вузлів і ліній передавання, що забезпечує надання користувачам телекомунікаційних послуг

en telecommunication network  
gu сеть электросвязи  
(телекоммуникационная сеть)  
Комплекс объединенных в едином технологическом процессе сетевых узлов и линий передачи, обеспечивающий предоставление пользователям телекоммуникационных услуг

**мережний рівень (NWL)**

Третій рівень еталонної моделі OSI, що забезпечує адресацію і маршрутизацію інформаційних потоків та виконує функції, пов'язані з розпізнаванням протоколів та ідентифікацією пакетів мережними службами.

en network layer  
NWL  
gu сетевой уровень (NWL)  
Третий уровень эталонной модели OSI, который обеспечивает адресацию и маршрутизацию информационных потоков и выполняет функции, связанные с распознаванием протоколов и идентификацией пакетов сетевыми службами.

**міжмережний протокол (IP)**

Протокол мережного рівня, який використовується у наборі протоколів TCP/IP (див. також стек протоколів TCP/IP)

en internet protocol  
IP  
gu межсетевой протокол (IP)  
Протокол сетевого уровня, используемый в наборе протоколов TCP/IP (см. также стек протоколов TCP/IP)

**міст**

Пристрій, який поєднує декілька однотипних сегментів мережі з однаковими протоколами обміну в мережні фрагменти більшого розміру

en bridge  
gu мост  
Устройство, объединяющее несколько однотипных сегментов сети с одинаковыми протоколами обмена в сетевые фрагменты большего размера

**множинний доступ**

Спосіб сумісного використання певним чином мережного обладнання (каналу, ресурсу) низкою терміналів

en multiple access  
gu множественный доступ  
Способ совместного использования определенным образом сетевого оборудования (канала, ресурса) рядом терминалов

**модель взаємодії відкритих систем**

Розроблена ISO концептуальна основа взаємодії телекомунікаційних систем, що передбачає поділення всіх процесів взаємодії

en open system interconnection model  
OSI  
gu модель взаимодействия открытых систем  
Разработанная ISO концептуальная

телекомунікаційних систем на сім рівнів із характерними для кожного рівня функціями. Термін "відкритий" означає, що стандартизований набір протоколів і специфікацій гарантує можливість взаємодії обладнання різних виробників

основа взаимодействия телекоммуникационных систем, предполагающая разделение всех процессов взаимодействия телекоммуникационных систем на семь уровней с характерными для каждого уровня функциями. Термин "открытый" означает, что стандартизованный набор протоколов и спецификаций гарантирует возможность взаимодействия оборудования различных производителей

#### **модем xDSL**

Технічний засіб, який реалізує функції приймача-передавача за технологією xDSL.

**Примітка.** Модем xDSL може також виконувати функції моста і маршрутизатора

en xDSL-modem

ru модем xDSL

Техническое средство, реализующее функции приемопередатчика по технологии xDSL.

**Примечание.** Модем xDSL может также выполнять функции моста и маршрутизатора

#### **модуляція**

Процес змінювання одного або декількох параметрів сигналу-носія інформації відповідно до передаваного сигналу

en modulation

ru модуляция

Процесс изменения одного или нескольких параметров сигнала-носителя информации в соответствии с передаваемым сигналом

#### **мультиплексор (MUX)**

Технічний засіб, що об'єднує декілька окремих сигналів у один складений (груповий) сигнал із можливістю подальшого розділення цього сигналу на його складники

**Примітка.** Терміном "мультиплексор" часто називають пристрій, який містить як мультиплексор, так і демультиплексор

en multiplexer

MUX

ru мультиплексор (MUX)

Техническое средство, объединяющее несколько отдельных сигналов в один составной (групповой) сигнал с возможностью дальнейшего разделения этого сигнала на его составляющие

**Примечание.** Термином «мультиплексор» часто называют устройство, которое содержит как мультиплексор, так и демультиплексор

#### **мультиплексор доступу цифрових абонентських ліній (DSLAM)**

Пристрій, що об'єднує певну множину цифрових потоків xDSL-ліній та виконує зворотну операцію відповідно до заданого алгоритму роботи

en digital subscriber line access multiplexer  
DSLAM

ru мультиплексор доступа цифровых абонентских линий (DSLAM)

Устройство, объединяющее определенное множество цифровых потоков xDSL-линий и выполняющее обратную операцию в соответствии с заданным алгоритмом работы

**надвисокошвидкісна цифрова абонентська лінія (VDSL; VDSL2)**  
xDSL-лінія, технічні характеристики якої регламентовано Рекомендацією МСЕ-Т G.993 і яка використовує метод передавання ортогональними гармонічними сигналами – DMT (Discrete MultiTone)

**Примітка 1.** VDSL, згідно з Рекомендацією МСЕ-Т G.993.1, забезпечує швидкість передавання у низхідному напрямку до 57 Мбіт/с, а у висхідному напрямку – до 33 Мбіт/с

**Примітка 2.** VDSL2, згідно з Рекомендацією МСЕ-Т G.993.2, забезпечує сумарну швидкість передавання інформації у низхідному і висхідному напрямках до 200 Мбіт/с

#### **низхідний потік**

Потік даних, передаваний у напрямку від центрального вузла мережі до периферійного, від вузла до користувача

#### **номер**

Різновид ідентифікатора, що являє собою унікальний числовий код, який надається абоненту або пристрою і використовується в подальшому для його ідентифікації

#### **однопарна високошвидкісна цифрова абонентська лінія (SHDSL)**

xDSL-лінія, яка характеризується симетричним передаванням (даних) зі швидкістю до 5 Мбіт/с однією парою. В обладнанні SHDSL використовується амплітудно-імпульсна модуляція з ґратчастим кодуванням (Trellis-Coded Pulse Amplitude Modulation, TC-PAM).

**Примітка.** Технічні характеристики обладнання SHDSL регламентовано Рекомендацією МСЕ-Т G.991.2

en very high speed digital subscriber line  
VDSL  
VDSL2

ru сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия (VDSL; VDSL2)  
xDSL-линия, технические характеристики которой регламентированы Рекомендацией МСЭ-Т G.993 и использующая метод передачи ортогональными гармоническими сигналами – DMT (Discrete MultiTone).

**Примечание 1.** VDSL, согласно Рекомендации МСЭ-Т G.993.1, обеспечивает скорость передачи в нисходящем направлении до 57 Мбит/с, а в восходящем направлении – до 33 Мбит/с

**Примечание 2.** VDSL2, согласно Рекомендации МСЭ-Т G.993.2, обеспечивает суммарную скорость передачи информации в нисходящем и восходящем направлениях до 200 Мбит/с

en downstream

ru нисходящий поток  
Поток данных, передаваемый в направлении от центрального узла сети к периферийному, от узла к пользователю

en number

ru номер  
Разновидность идентификатора, представляющая собой уникальный числовой код, предоставляемый абоненту или устройству и используемый в дальнейшем для его идентификации

en single-pair high-speed digital subscriber line

ru SHDSL  
однопарная высокоскоростная цифровая абонентская линия (SHDSL)  
xDSL-линия, характеризующаяся симметричной передачей (данных) со скоростью до 5 Мбит/с по одной паре. В оборудовании SHDSL используется амплитудно-импульсная модуляция с решетчатым кодированием (Trellis-Coded Pulse Amplitude Modulation, TC-PAM).

**Примечание.** Технические характеристики оборудования SHDSL регламентированы Рекомендацией МСЭ-T G.991.2

**ортогональність**

Унікальна властивість певних ансамблів сигналів, яка полягає у тому, що коефіцієнт взаємної кореляції між будь-якою парою сигналів з ансамблю дорівнює нулю

en orthogonality

ru ортогональность

Уникальное свойство некоторых ансамблей сигналов, заключающееся в том, что коэффициент взаимной корреляции между любой парой сигналов из ансамбля равен нулю

**пакет**

Послідовність інформаційних і службових символів, що передаються, обробляються і комутуються як одне ціле

en packet

ru пакет

Последовательность информационных и служебных символов, передаваемых, обрабатываемых и коммутируемых как одно целое

**пара**

Група чи частина групи з двох ізольованих між собою жил (провідників), призначених для роботи в одному електричному колі

ru пара

Группа или часть группы из двух изолированных между собой жил (проводников), предназначенных для работы в одной электрической цепи

**перехідне загасання**

Загасання синусоїдного сигналу за переходу з кола, що впливає, до кола, підданого впливу

en crosstalk attenuation

ru переходное затухание

Затухание синусоидального сигнала при переходе из влияющей цепи в цепь, подверженную влиянию

**перехідне загасання на ближньому кінці**

Загасання синусоїдного сигналу за переходу з ближнього кінця кола, що впливає, на ближній кінець кола, підданого впливу, за умови узгодження кіл на кінцях

en near-end crosstalk attenuation

ru переходное затухание на ближнем конце

Затухание синусоидального сигнала при переходе с ближнего конца влияющей цепи на ближний конец цепи, подверженной влиянию, при условии согласования цепей по концам

**перехідне загасання на далекому кінці**

Загасання синусоїдного сигналу за переходу з ближнього кінця кола, що впливає, на далекий кінець кола, підданого впливу, за умови узгодження кіл на кінцях

en far-end crosstalk attenuation

ru переходное затухание на дальнем конце

Затухание синусоидального сигнала при переходе с ближнего конца влияющей цепи на дальний конец цепи, подверженной влиянию, при условии согласования цепей по концам

**повив**

Шар елементів скручення, розташованих коаксіально або відносно до інших аналогічних

ru повив

Слой элементов скрутки, расположенных коаксиально либо по отношению к остальным аналогичным



елементів, що утворюють у сукупності скручену частину конструкції кабельного виробу (струмопровідну жилу, осердя), або коаксіально поверх внутрішньої (стосовно до цього шару) частини кабельного виробу

#### **права доступу**

Права, визначені переліком дозволених дій та мережних ресурсів, які при роботі з даною системою можуть бути доступні конкретному користувачеві

#### **прикінцеве обладнання термінальне обладнання**

Обладнання, що підмикається до пункту закінчення телекомунікаційної мережі, перетворює інформацію користувачів у електромагнітні сигнали для передавання їх цією мережею та здійснює зворотне перетворення

#### **пріоритизація трафіка**

Механізм, що полягає у розділенні всього трафіка на класи, що визначають черговість передавання елементів трафіка відповідно до класу

#### **пріоритет**

Ранг (число), який присвоюється завданню, процесу або операції та визначає черговість його (її) виконання або обслуговування

#### **проксі-сервер**

Сервер-посередник, який отримує запити від клієнтських застосувань, таких як веб-браузер, і оброблює їх самостійно, якщо має таку можливість, чи, в протилежному випадку, спрямовує запити на основний сервер

**Примітка.** Проксі-сервери використовуються для зменшення навантаження на мережу, збільшення

елементам, образующим в совокупности скрученную часть конструкции кабельного изделия (токопроводящую жилу, сердечник), либо коаксиально поверх внутренней (по отношению к этому слою) части кабельного изделия

en access rights

ru права доступа

Права, определенные перечнем разрешенных действий и сетевых ресурсов, которые при работе с данной системой могут быть доступны конкретному пользователю

en terminal equipment

ru оконечное оборудование

терминальное оборудование

Оборудование, которое подключается к пункту окончания телекоммуникационной сети, преобразовывает информацию пользователей в электромагнитные сигналы для передачи их по этой сети и осуществляет обратное преобразование

en traffic prioritization

ru приоритезация трафика

Механизм, заключающийся в разделении всего трафика на классы, определяющие очередность передачи элементов трафика в соответствии с классом

en priority

ru приоритет

Ранг (число), который присваивается заданию, процессу или операции и определяет очередность его (ее) выполнения или обслуживания

en proxy server

ru прокси-сервер

Сервер-посредник, который получает запросы от клиентских приложений, таких как веб-браузер, и обрабатывает их самостоятельно, если имеет такую возможность, или, в противном случае, направляет запросы на основной сервер.

**Примечание.** Прокси-серверы используются для уменьшения нагрузки на сеть, увеличения

продуктивності мережі і фільтрації  
небажаних запитів користувачів

производительности сети и фильтрации  
нежелательных запросов пользователей

### **пропускна здатність**

Показник, який визначає  
максимально припустиму швидкість  
передавання інформації каналом,  
трактом або системою (біт/с)

en telecommunication channel capacity  
ru пропускная способность  
Показатель, определяющий  
максимально допустимую скорость  
передачи информации по каналу,  
тракту или системе (бит/с)

### **протокол TCP**

Основний протокол транспортного й  
сеансового рівнів у наборі протоколів  
TCP/IP, що гарантує доставлення  
передаваних пакетів даних,  
ґрунтується на встановленні  
логічного з'єднання між обладнанням  
користувача й сервером та містить  
механізм контролю перевантаження  
мережі. Протокол TCP  
регламентовано RFC-793, RFC-1180

en TCP protocol  
TCP  
ru протокол TCP  
Основной протокол транспортного и  
сеансового уровней в наборе  
протоколов TCP/IP, гарантирующий  
доставку передаваемых пакетов  
данных, основывающийся на  
установлении логического соединения  
между оборудованием пользователя и  
сервером и содержащий механизм  
контроля перегрузки сети. Протокол  
TCP регламентирован RFC-793, RFC-  
1180

### **протокол UDP**

Мережний протокол транспортного  
рівня, що входить до складу набору  
протоколів TCP/IP, на якому  
базуються мережна файлова система,  
служба імен і низка інших служб,  
однак, на відміну від TCP, UDP  
забезпечує обмін даними без  
підтвердження доставлення.  
Протокол UDP регламентовано RFC-  
768

en UDP protocol  
UDP  
ru протокол UDP  
Сетевой протокол транспортного  
уровня, входящий в состав набора  
протоколов TCP/IP, на котором  
базируются сетевая файловая система,  
служба имён и ряд других служб,  
однако, в отличие от TCP, UDP  
обеспечивает обмен данными без  
подтверждения доставки. Протокол  
UDP регламентирован RFC-768

### **пучок**

Елемент конструкції осердя кабелю,  
що складається із сукупності груп  
(пар, четвірок тощо), скручених в  
один бік і з однаковим кроком

ru пучок  
Элемент конструкции сердечника  
кабеля, состоящий из совокупности  
групп (пар, четверок и т.п.),  
скрученных в одну сторону и с  
одинаковым шагом

### **регенератор**

Технічний засіб, що здійснює  
приймання спотвореного в процесі  
передавання цифрового сигналу, його  
відновлення та подальше  
передавання і призначений для  
збільшення довжини лінії зв'язку

en regenerator  
ru repeater  
регенератор  
Техническое средство,  
осуществляющее прием искаженного в  
процессе передачи цифрового сигнала,  
его восстановление и дальнейшую  
передачу и предназначенный для  
увеличения длины линии связи

**рівень (ієрархії)**

В архітектурі системи – сукупність правил і протоколів, стосовних до одного типу обміну інформацією (наприклад, модель OSI визначає 7 рівнів ієрархії протоколів взаємодії систем)

en layer

ru уровень (иерархии)

В архитектуре системы – совокупность правил и протоколов, относящихся к одному типу обмена информацией (например, модель OSI определяет 7 уровней иерархии протоколов взаимодействия систем)

**рівень подавання даних**

Шостий рівень еталонної моделі OSI, що визначає спосіб подавання (синтаксичну структуру) даних у процесі обміну даними між двома прикладними процесами або користувачами

en data presentation layer

ru уровень представления данных

Шестой уровень эталонной модели OSI, определяющий способ представления (синтаксическую структуру) данных в процессе обмена данными между двумя прикладными процессами или пользователями

**розподільна ділянка абонентської лінії**

Ділянка абонентської лінії від розподільної шафи до розподільної коробки

en distribution cable

ru распределительный участок абонентской линии

Участок абонентской линии от распределительного шкафа до распределительной коробки

**сеансовий рівень**

П'ятий рівень еталонної моделі OSI, який визначає способи встановлення, підтримання та розривання з'єднання, а також регламентує способи діалогового обміну (дуплекс, полудуплекс) і процеси встановлення синхронізації при обміні даними

en session layer

ru сеансовый уровень

Пятый уровень эталонной модели OSI, который определяет способы установления, поддержания и разрыва соединения, а также регламентирует способы диалогового обмена (дуплекс, полудуплекс) и процессы установления синхронизации при обмене данными

**сервер**

Технічний засіб, що виконує функції обслуговування за запитами користувачів або мережних об'єктів (пристроїв, програм, процесів тощо), надаючи їм доступ до певних ресурсів телекомунікаційної мережі

en server

ru сервер

Техническое средство, выполняющее функции обслуживания по запросам пользователей или сетевых объектов (устройств, программ, процессов и т.д.), предоставляя им доступ к определенным ресурсам телекоммуникационной сети

**сервер віддаленого широкосмугового доступу (BRAS)**

Вузол транспортної мережі, що забезпечує агрегацію трафіка користувачів широкосмугового доступу, автентифікацію, авторизацію та облік надаваних

en broadband remote access server  
BRAS

ru сервер удаленного широкополосного доступа (BRAS)

Узел транспортной сети, который обеспечивает агрегацию трафика пользователей широкополосного

послуг, а також формування політики обслуговування кожного користувача

доступа, аутентифікацію, авторизацію і учет предоставляемых услуг, а также формирование политики обслуживания каждого пользователя

### **сервер доменних імен (DNS)**

Службовий комп'ютер мережі, що перетворює імена мережних елементів у доменних записах на IP-адреси

en domain name server  
DNS

ru сервер доменных имён (DNS)  
Служебный компьютер сети, преобразовывающий имена сетевых элементов в доменных записях в IP-адреса

### **сигнал**

1 Фізичний процес-носіє інформації в часі або в просторі  
2 Фізичне явище, наявність, відсутність або зміна якого розглядається як подання інформації

en signal

ru сигнал  
1 Физический процесс-носитель информации во времени или в пространстве  
2 Физическое явление, наличие, отсутствие или изменение которого рассматривается как представление информации

### **симетрична пара**

Пара, у якій ізольовані жили однакової конструкції – паралельні або скручені – розташовано симетрично відносно її поздовжньої осі

en balanced pair

ru симметричная пара  
Пара, в которой изолированные жилы одинаковой конструкции – параллельные или скрученные – расположены симметрично относительно ее продольной оси

### **служба імен доменів (DNS)**

Служба імен Інтернету, стандартна служба TCP/IP, що встановлює відповідність між IP-адресами у числовому і текстовому вигляді.

**Примітка.** Служба DNS надає можливість клієнтським комп'ютерам у мережі реєструвати і дозволяти доменні імена, використовувати за пошуку ресурсів мережі, і звертання до них

en domain name system  
DNS

ru служба имён доменов (DNS)  
Служба имен Интернета, стандартная служба TCP/IP, устанавливающая соответствие между IP-адресами в числовом и текстовом виде.  
**Примечание.** Служба DNS дает возможность клиентским компьютерам в сети регистрировать и разрешать доменные имена, которые используются при поиске ресурсов сети, и обращения к ним

### **сплітер**

Обладнання (частотний фільтр), що забезпечує частотне розділення сигналів ADSL/VDSL і POTS/ISDN (вузол, що міститься у DSLAM, а також самостійний вузол або вузол, що міститься у ADSL/VDSL-модемі)

en splitter

ru сплиттер  
Оборудование (частотный фильтр), обеспечивающее частотное разделение сигналов ADSL/VDSL и POTS/ISDN (узел, содержащийся в DSLAM, а также самостоятельный узел или узел, содержащийся в ADSL/VDSL-модеме)

### **стек протоколів**

Концептуальна модель багаторівневої архітектури для комунікаційних протоколів, у якій рівні подаються в порядку їх цифрового позначення і яка вимагає, щоб передавані дані оброблювалися послідовно кожним рівнем у порядку їх подавання. Графічно стек зображується вертикально з рівнями. При цьому рівні з меншим числовим позначенням мають розміщуватися нижче

### **стек протоколів TCP/IP**

Стек протоколів, який використовують як у глобальних, так і в локальних мережах. У повну специфікацію TCP/IP входять протоколи: мережного рівня (IP), транспортного рівня (TCP), мережного керування (SNMP), а також протоколи прикладного рівня (Telnet, FTP, SMTP) тощо. Протокол IP призначається для міжмережного обміну. Питання вірогідного доставляння пакетів вирішує протокол TCP. Відмітною особливістю стека TCP/IP є гнучка система адресації, яка дозволяє більш просто, порівняно з протоколами аналогічного призначення, створювати глобальні мережі з розгалуженою структурою

### **технологія Ethernet**

Технологія, в основу якої покладено множинний доступ з контролем несучої та виявленням конфліктів. Технологію Ethernet регламентовано стандартом IEEE 802.3.

**Примітка.** Спочатку технологію Ethernet було розроблено для побудови локальних обчислювальних мереж з пропускнуою здатністю до 10 Мбіт/с

### **технологія Fast Ethernet**

Модифікована технологія Ethernet з підвищеною пропускнуою здатністю (до 100 Мбіт/с). Технологію Fast

en protocol stack

ru стек протоколов

Концептуальная модель многоуровневой архитектуры для коммуникационных протоколов, в которой уровни представляются в порядке их цифрового обозначения, и требующая, чтобы передаваемые данные обрабатывались последовательно каждым уровнем в порядке их представления. Графически стек изображается вертикально с уровнями. При этом уровни с меньшим числовым обозначением должны находиться ниже

en TCP/IP protocol stack  
TCP/IP

ru стек протоколов TCP/IP

Стек протоколов, используемый как в глобальных, так и в локальных сетях. В полную спецификацию TCP/IP входят протоколы: сетевого уровня (IP), транспортного уровня (TCP), сетевого управления (SNMP), а также протоколы прикладного уровня (Telnet, FTP, SMTP) и др. Протокол IP предназначается для межсетевого обмена. Вопросы достоверной доставки пакетов решает протокол TCP. Отличительной особенностью стека TCP/IP является гибкая система адресации, позволяющая более просто, по сравнению с протоколами аналогичного назначения, создавать глобальные сети с разветвленной структурой

en Ethernet

ru технология Ethernet

Технология, в основу которой положен множественный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов. Технология Ethernet регламентирована стандартом IEEE 802.3.

**Примечание.** Первоначально технология Ethernet была разработана для построения локальных вычислительных сетей с пропускной способностью до 10 Мбит/с

en Fast Ethernet

ru технология Fast Ethernet

Модифицированная технология Ethernet с повышенной пропускной

Ethernet регламентовано стандартом IEEE 802.3.

**Примітка.** Всі основні відмінності технології Fast Ethernet від Ethernet зосереджено на фізичному рівні. Збережено метод випадкового доступу (CSMA/CD), але введено напівдуплексний, а в окремих випадках і дуплексний режим роботи, обрано інші методи кодування (4b/5b, NRZI на відміну від Манчестерського в Ethernet)

### технологія Gigabit Ethernet

Високошвидкісна технологія сімейства технологій Ethernet, що забезпечує передавання даних зі швидкістю до 1 Гбіт/с. Технологію Gigabit Ethernet регламентовано стандартом IEEE 802.3.

**Примітка.** Порівняно з попередніми версіями Ethernet, мінімальний розмір кадру збільшено з 64 байт до 512 байт. В якості середовища передавання припускається використання трьох типів кабелів: оптоволоконних одномодового та багатомодового, а також неекранованої витой пари

### технологія VLAN

Технологія логічного ділення локальної мережі на частини (віртуальні мережі), регламентована стандартом IEEE 802.1Q

### технологія VPN

Технологія створення на базі існуючої мережі загального користування віртуальної мережі, що характеризується високим рівнем інформаційної безпеки та надає набір послуг, схожий з набором послуг, надаваних існуючою мережею загального користування

### транспортний рівень

Четвертий рівень еталонної моделі OSI, який визначає способи транспортування інформації між

способністю (до 100 Мбіт/с).

Технологія Fast Ethernet регламентована стандартом IEEE 802.3.

**Примечание.** Все основные отличия технологии Fast Ethernet от Ethernet сосредоточены на физическом уровне. Сохранен метод случайного доступа (CSMA/CD), но введен полудуплексный, а в отдельных случаях и дуплексный режим работы, выбраны другие методы кодирования (4b/5b, NRZI в отличие от Манчестерского в Ethernet)

en Gigabit Ethernet

ru технология Gigabit Ethernet  
Высокоскоростная технология семейства технологий Ethernet, обеспечивающая передачу данных со скоростью до 1 Гбит/с. Технология Gigabit Ethernet регламентирована стандартом IEEE 802.3.

**Примечание.** По сравнению с предыдущими версиями Ethernet, минимальный размер кадра увеличен с 64 до 512 байт. В качестве передающей среды допускается использование трех типов кабелей: оптоволоконных одномодового и многомодового, а также неэкранированной витой пары

en VLAN technology  
VLAN

ru технология VLAN  
Технология логического деления локальной сети на части (виртуальные сети), регламентированная стандартом IEEE 802.1Q

en VPN technology  
VPN

ru технология VPN  
Технология создания на базе существующей сети общего пользования виртуальной сети, характеризующейся высоким уровнем информационной безопасности и предоставляющей набор услуг, сходный с набором услуг, предоставляемых существующей сетью общего пользования

en transport layer

ru транспортный уровень  
Четвертый уровень эталонной модели OSI, который определяет способы

кінцевими пунктами мережі.

**Примітка.** Фактично транспортний рівень діє як інтерфейс між трьома більш високими рівнями (5 – 7), орієнтованими на взаємодію з прикладними процесами, та трьома нижніми рівнями (1 – 3)

### **узгоджене навантаження**

1 Навантаження, параметри якого відповідають отриманню на ньому найбільшої потужності.

2 Навантаження лінії, за якого у лінії відсутня відбита хвиля

### **фізичний рівень**

Найнижчий рівень еталонної моделі OSI, який забезпечує фізичний та електричний зв'язок між обладнанням.

**Примітка.** На фізичному рівні реалізуються функції, пов'язані з модуляцією/демодуляцією сигналів, перемиканням режимів приймання/передавання, змінюванням частоти, керуванням потужністю передавача, встановленням тактової синхронізації, обміном даними з більш високим канальним рівнем

### **хост**

Комп'ютер, який передає і приймає інформацію з використанням протоколів Інтернет. Хост виконує функції маршрутизації (тобто працює на мережному рівні) і може виконувати додаткові функції, включаючи функції протоколів вищих і нижчих рівнів

### **цифрова абонентська лінія (DSL) ЦАЛ**

Абонентська лінія кабельна, обладнана апаратурою зв'язку для передавання цифрових електричних сигналів

### **цифрова абонентська лінія xDSL-доступу**

транспортування інформації между конечными пунктами сети.

**Примечание.** Фактически транспортный уровень действует как интерфейс между тремя более высокими уровнями (5 – 7), ориентированными на взаимодействие с прикладными процессами, и тремя нижними уровнями (1 – 3)

en matched load

ru согласованная нагрузка

1 Нагрузка, параметры которой соответствуют получению на ней наибольшей мощности.

2 Нагрузка линии, при которой в линии отсутствует отраженная волна

en physical layer

ru физический уровень

Самый нижний уровень эталонной модели OSI, который обеспечивает физическую и электрическую связь между оборудованием.

**Примечание.** На физическом уровне реализуются функции, связанные с модуляцией/демодуляцией сигналов, переключением режимов приема/передачи, сменой частоты, управлением мощностью передатчика, установлением тактовой синхронизации, обменом данными с более высоким канальным уровнем

en host

ru хост

Компьютер, передающий и принимающий информацию с использованием протоколов Интернета. Хост выполняет функции маршрутизации (т. е. работает на сетевом уровне) и может выполнять дополнительные функции, включая функции протоколов верхних и нижних уровней

en digital subscriber line  
DSL

ru цифровая абонентская линия (DSL)  
ЦАЛ

Абонентская линия кабельная, оборудованная аппаратурой связи с целью передачи цифровых электрических сигналов

en x Digital Subscriber Line  
xDSL

### **xDSL-лінія**

Абонентська лінія кабельна, обладнана апаратурою зв'язку за рекомендаціями МСЕ-Т G.99х для передавання цифрових електричних сигналів

### **цифровий сигнал**

1 Дискретний у часі сигнал, кожний елемент якого являє собою сигнал з обмеженого за числом сигналів ансамблю (набору), які відрізняються між собою формою, амплітудою, фазою або частотою тощо

2 Дискретний у часі сигнал, інформаційний(і) параметр(и) кожного елемента якого може(уть) приймати набувати одного з обмеженого набору припустимих значень

### **швидкість передавання інформації**

Кількість інформації, що передається каналом, трактом або системою тощо за одиницю часу

**Примітка.** Одиницею вимірювання швидкості передавання інформації є біт/с

### **швидкість передавання сигналів**

Кількість елементів цифрового сигналу (у випадку двійкового сигналу – бітів), що передаються каналом, трактом або системою за одиницю часу

**Примітка.** Одиницею вимірювання швидкості передавання сигналів є символ/с (у випадку двійкового сигналу – біт/с)

ru цифровая абонентская линия xDSL-доступа  
xDSL-линия

Абонентская линия кабельная, оборудованная аппаратурой связи по рекомендациям МСЭ-Т G.99х для цифровых электрических сигналов

en digital signal

ru цифровой сигнал

1 Дискретный во времени сигнал, каждый элемент которого представляет собой сигнал из ограниченного по числу сигналов ансамбля (набора), отличающихся между собой формой, амплитудой, фазой, частотой и т.д.

2 Дискретный во времени сигнал, информационный(е) параметр(ы) каждого элемента которого может(ут) принимать одно из ограниченного набора допустимых значений

en data transmission rate

ru скорость передачи информации

Количество информации, передаваемой по каналу, тракту, системе и т.д. в единицу времени

**Примечание.** Единицей измерения скорости передачи информации является бит/с

en signalling rate

ru скорость передачи сигналов

Количество элементов цифрового сигнала (в случае двоичного сигнала – битов), передаваемых по каналу, тракту или системе в единицу времени

**Примечание.** Единицей измерения скорости передачи сигналов является символ/с (в случае двоичного сигнала – бит/с)



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Состояние и тенденции развития широкополосного доступа к Интернет / В. А. Балашов, А. В. Балашова, В. П. Ефремов, Л. М. Ляховецкий. – Вісник ДУІКТ, 2009. – С 32-36. – (Спецвип.).
- 2 Балашов В. А. Технологии широкополосного доступа xDSL: [Инж.-техн. справочник] / В. А. Балашов, А. Г. Лашко, Л. М. Ляховецкий. – М.: Эко-Трендз, 2009.–256 с.
- 3 Бакланов И. Г. Технологии ADSL/ADSL2+: теория и практика применения / И. Г. Бакланов. – М.: Метротек, 2007.
- 4 Балашов В. А. Системы передачи, основанные на Рекомендации ITU G.992 / В. А. Балашов, В. П. Ефремов, Л. М. Ляховецкий. – Зв'язок. – 2001. – №2. – С. 34-40.
- 5 Балашов В. А. VDSL – ближайшее будущее цифрового абонентского доступа / В. А. Балашов, О. В. Копийка, Л. М. Ляховецкий. – Зв'язок. – 2005. – №4. – С. 10-16.
- 6 Балашов В. А. Алгоритмы оптимизации спектра группового сигнала в многоканальных модемах / В. А. Балашов, Л. М. Ляховецкий. – Наукові праці УДАЗ ім. О. С. Попова. – 1999. – №1. – С. 37-43.
- 7 Белецкий А. Ф. Теория электрических цепей / А. Ф. Белецкий – М.: Радио и связь, 2001.
- 8 Брискер А. С. Городские телефонные кабели: Справочник / А. С. Брискер, А. Д. Руга, Д. Л. Шарле. – М.: Радио и связь, 1984.
- 9 Кабели СКС на сетях электросвязи: теория, конструирование, применение / В. Е. Власов, Ю. А. Парфенов, Л. Г. Рысин, Л. И. Кайзер – М.: Эко-Трендз, 2006.
- 10 Галлагер Г. Теория информации и надежная связь / Г. Галлагер – М.: Советское радио, 1974.
- 11 Горальски В. Технологии ADSL и DSL / В. Горальски – М.: Лори, 2000.
- 12 Гроднев И. И. Линии связи / И. И. Гроднев, С. М. Верник – М.: Радио и связь, 1988.
- 13 Захарченко Н. В. Основы передачи дискретных сообщений / Н. В. Захарченко, П. Я. Нудельман, В. Г. Кононович – М.: Радио и связь, 1990
- 14 Парфенов Ю. А. Кабели электросвязи / Ю. А. Парфенов – М.: Эко-Трендз, 2003.
- 15 Парфенов Ю. А. Цифровые сети доступа. Медные кабели и оборудование / Ю. А. Парфенов, Д. Г. Мирошников – М.: Эко-Трендз, 2005.
- 16 Прокис Дж. Цифровая связь / Дж. Прокис – М.: Радио и связь, 2000.
- 17 Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б.Скляр – М.: Вильямс, 2003.
- 18 Forney G. D. Concatenated Codes / G. D. Forney– Cambridge.: MIT Press Jг, 1966.
- 19 РД 45.120-2000 Нормы технологического проектирования. Городские и сельские телефонные сети.

20 ГОСТ 20802-75. Городские симметричные телефонные кабели с медными жилами в свинцовой оболочке.

21 ГОСТ 22498-77. Городские телефонные кабели с полиэтиленовой изоляцией в пластмассовой оболочке.

22 ГОСТ Р 51311-99. Кабели телефонные, кабели с полиэтиленовой изоляцией в пластмассовой оболочке.

23 ОСТ 45.36-97. Линии кабельные, воздушные и смешанные городских телефонных сетей. Нормы электрические эксплуатационные.

24 ОСТ 45.82-96. Сеть телефонная городская. Линии абонентские кабельные с металлическими жилами. Нормы эксплуатационные.

25 ОСТ 45.83-96. Сеть телефонная сельская. Линии абонентские кабельные с металлическими жилами. Нормы эксплуатационные.

26 Руководство по строительству линейных сооружений местных сетей связи. – М.: ССКТЬ-ТОМАСС, 1996.

27 Руководство по эксплуатации линейно-кабельных сооружений местных сетей связи. – М.: Информсвязь, 1998.

28 Рекомендация МСЕ-Т G.961. Digital transmission system on metallic local lines for ISDN basic access (Цифровая система передавання на металевих лініях для доступу на базовій швидкості ЦСІС).

29 Рекомендация МСЕ-Т G.902 Framework Recommendation on functional access networks. Architecture and functions, access types, management and service node access (Базова Рекомендация щодо функційних мереж доступу. Архітектура і функції, типи доступу, доступ до вузла керування і послуг);

30 Рекомендация МСЕ-Т G.991.1 High bit rate Digital Subscriber Line (HDSL) transceivers (Приймачі-передавачі високошвидкісної цифрової абонентської лінії (HDSL));

31 Рекомендация МСЕ-Т G.991.2 Single-pair high-speed digital subscriber line (SHDSL) transceivers (Приймачі-передавачі однопарної високошвидкісної цифрової абонентської лінії (SHDSL));

32 Рекомендация МСЕ-Т G.992.1 Asymmetrical digital subscriber line (ADSL) transceivers (Приймачі-передавачі асиметричної цифрової абонентської лінії (ADSL));

Ann. A. Specific requirements for an ADSL system operating in the frequency band above POTS (Особливі вимоги до ADSL-системи, що працює в смузі частот вище тональної);

Ann. B. Specific requirements for an ADSL system operating in the frequency band above ISDN as defined in ITU-T Recommendation G.961 Appendices I and II (Особливі вимоги до ADSL-системи, що працює в смузі частот вище займаної системою ISDN, визначеною в Додатках I і II до Рекомендації G.961 МСЕ-Т);

Ann. C. Specific requirements for an ADSL system operating in the same cable as ISDN as defined in ITU-T Recommendation G.961 Appendix III (Особливі вимоги до ADSL-системи, що працює в тому самому кабелі, що і система ISDN, визначена в Додатку III до Рекомендації G.961 МСЕ-Т);

Ann. I. Specific requirements for an ADSL system with improved performance on short loops operating in the same cable as ISDN as defined in Appendix III of

ITU-T Rec. G.961 (Особливі вимоги до ADSL-системи з покращеними характеристиками на коротких шлейфах, що працює в тому самому кабелі, що і система ISDN, визначена в Додатку III до Рекомендації MCE-T G.961);

Ann. H. Specific requirements for a synchronized symmetrical DSL (SSDSL) system operating in the same cable binder as ISDN as defined in ITU-T G.961 Appendix III (Особливі вимоги до синхронізованої симетричної системи DSL (SSDSL), що діє в тому самому кабелі, що і система ISDN, визначена в Додатку III до Рекомендації MCE-T G.961);

33 Рекомендація MCE-T G.992.2 Splitterless asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers (Приймачі-передавачі асиметричної цифрової абонентської лінії (ADSL) без сплітера));

Ann. A. Non-overlapped spectrum operation (Робота без перекриття спектрів зустрічних напрямків передавання);

Ann. B. Overlapped spectrum operation (Робота з перекриттям спектрів зустрічних напрямків передавання);

Ann. C. ADSL above POTS co-existing in the same binder as TCM-ISDN DSL (Одночасне функціонування ADSL поверх POTS в одному і тому самому середовищі зв'язку з цифровою абонентською лінією TCM-ISDN);

34 Рекомендація MCE-T G.992.3 Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) (Приймачі-передавачі асиметричної цифрової абонентської лінії 2 (ADSL2));

Ann. A. Specific requirements for an ADSL system operating in the frequency band above POTS (Особливі вимоги до ADSL-системи, що працює в смузі частот вище тональної)

Ann. B. Specific requirements for an ADSL system operating in the frequency band above ISDN as defined in ITU-T Rec. G.961 Appendices I and II (Особливі вимоги до ADSL-системи, що працює в смузі частот вище займаної системою ISDN, визначеною в Додатках I і II до Рекомендації G.961 MCE-T)

Ann. C. Specific requirements for an ADSL system operating in the same cable as ISDN as defined in ITU-T Rec. G.961 Appendix III (Особливі вимоги до ADSL-системи, що працює в тому самому кабелі, що і система ISDN, визначена в Додатку III до Рекомендації G.961 MCE-T)

Ann. C.A. Specific requirements for an Annex C-based ADSL system operating with a downstream bandwidth of 1104 kHz and an upstream bandwidth of 138 kHz (Особливі вимоги до базованої на Додатку C системи ADSL, працюючої в смузі частот 1104 кГц в низхідному напрямку і в смузі частот 138 кГц у висхідному напрямку)

Ann. C.B. Specific requirements for an Annex C-based ADSL system operating with a downstream bandwidth of 1104 kHz and an upstream bandwidth of 276 kHz (Особливі вимоги до базованої на Додатку C системи ADSL, працюючої в смузі частот 1104 кГц в низхідному напрямку і в смузі частот 276 кГц у висхідному напрямку)

Ann. I. All digital mode ADSL with improved spectral compatibility with ADSL over POTS (Система ADSL повністю цифрового режиму з покращеною спектральною сумісністю з системою ADSL поверх POTS)

Ann. J. All digital mode ADSL with improved spectral compatibility with ADSL over ISDN (Система ADSL повністю цифрового режиму з покращеною спектральною сумісністю з системою ADSL поверх ISDN)

Ann. L. Specific requirements for a Reach Extended ADSL2 (READSL2) system operating in the frequency band above POTS (Особливі вимоги до системи ADSL2 зі збільшеною дальністю дії (READSL2), що працює в смузі частот вище тональної)

Ann. M. Specific requirements for an ADSL system with extended upstream bandwidth, operating in the frequency band above POTS (Особливі вимоги до системи ADSL із розширеною смугою частот висхідного напрямку передавання, що працює в смузі частот вище тональної)

35 Рекомендація MCE-T G.992.4 Splitterless asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (splitterless ADSL2) (Приймачі-передавачі асиметричної цифрової абонентської лінії без сплітера 2);

Ann. A. Specific requirements for an ADSL system operating in the frequency band above POTS (Особливі вимоги до ADSL-системи, що працює в смузі частот вище тональної)

Ann. I. All digital mode ADSL with improved spectral compatibility with ADSL over POTS (Система ADSL повністю цифрового режиму з покращеною спектральною сумісністю з системою ADSL поверх POTS)

36 Рекомендація MCE-T G.992.5 Asymmetrical Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers - Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2+) (Приймачі-передавачі асиметричної цифрової абонентської лінії – розширена смуга частот ADSL2 (ADSL2+));

Ann. A. Specific requirements for an ADSL system operating in the frequency band above POTS (Особливі вимоги до ADSL-системи, що працює в смузі частот вище тональної)

Ann. B. Specific requirements for an ADSL system operating in the frequency band above ISDN as defined in ITU-T Rec. G.961, Appendices I and II (Особливі вимоги до ADSL-системи, що працює в смузі частот вище займаної системою ISDN, визначеною в Додатках I і II до Рекомендації G.961 MCE-T)

Ann. C. Specific requirements for an ADSL system operating in the same cable as ISDN as defined in ITU-T Rec. G.961, Appendix III (Особливі вимоги до ADSL-системи, що працює в тому самому кабелі, що і система ISDN, визначена в Додатку III до Рекомендації G.961 MCE-T)

Ann. C.A. Specific requirements for an Annex C-based ADSL system operating with a downstream bandwidth of 2208 kHz and an upstream bandwidth of 138 kHz (Особливі вимоги до базованої на Додатку C системи ADSL, працюючої в смузі частот 2208 кГц в низхідному напрямку і в смузі частот 138 кГц у висхідному напрямку)

Ann. C.B. Specific requirements for an Annex C-based ADSL system operating with a downstream bandwidth of 2208 kHz and an upstream bandwidth of 276 kHz (Особливі вимоги до базованої на Додатку C системи ADSL, працюючої в смузі частот 2208 кГц в низхідному напрямку і в смузі частот 276 кГц у висхідному напрямку)

Ann. I. All Digital Mode ADSL with improved spectral compatibility with ADSL over POTS (Система ADSL повністю цифрового режиму з покращеною спектральною сумісністю з системою ADSL поверх POTS)

Ann. J. All Digital Mode ADSL with improved spectral compatibility with ADSL over ISDN (Система ADSL повністю цифрового режиму з покращеною спектральною сумісністю з системою ADSL поверх ISDN)

Ann. M. Specific requirements for an ADSL system with extended upstream bandwidth, operating in the frequency band above POTS (Особливі вимоги до системи ADSL із розширеною смугою частот висхідного напрямку передавання, що працює в смузі частот вище тональної)

37 Рекомендація MCE-T G.993.1 Very high speed digital subscriber line transceivers (Приймачі-передавачі надвисокошвидкісної цифрової абонентської лінії);

Ann. E. Requirements for Region B (Europe) (Вимоги для регіона B (Європа))

Ann. F. Regional requirements for environment coexisting with TCM-ISDN DSL as defined in Appendix III/G.961 (Регіональні вимоги для середовища, що співіснує з системою TCM-ISDN DSL, визначеною в Додатку III до Рекомендації G.961 MCE-T))

Appendix III 8.625-kHz tone spacing (Рознесення між несучими 8,625 кГц)

38 Рекомендація MCE-T G.993.2 Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2) (Приймачі-передавачі надвисокошвидкісної цифрової абонентської лінії 2 (VDSL2));

Ann. B . Region B (Europe) (Регіон B (Європа))

39 Рекомендація MCE-T G.995.1 Overview of digital subscriber line (DSL) Recommendations (Огляд рекомендацій з цифрових абонентських ліній (DSL));

40 Рекомендація MCE-T G.996.1 Test procedures for digital subscriber line (DSL) transceivers (Процедури тестування приймачів-передавачів цифрової абонентської лінії (DSL));

41 Рекомендація MCE-T G.997.1 Physical layer management for digital subscriber line (DSL) transceivers (Керування на фізичному рівні для приймачів-передавачів цифрових абонентських ліній);

42 Рекомендація MCE-T L.19 Multi-pair copper network cable supporting shared multiple services such as POTS, ISDN and xDSL (Багатопарні мідні мережні кабелі, що забезпечують одночасну роботу декількох служб, таких як POTS, ISDN і xDSL);

43 ANSI T1.417 - 2001. American National Standard for Telecommunications. - Spectrum Management for Loop Transmission Systems (Керування спектром для систем передавання абонентськими лініями);

44 ETSI TR 101 830 -2v.1.1.1. Technical Report. Transmission and multiplexing (TM); Access networks; Spectral management on metallic access networks; Part 2: Technical methods for performance evaluation (Передавання і мультиплексування; Мережі доступу. Керування спектром на мережах доступу, побудованих на кабелях з металевими жилами; Частина 2. Технічні методи для оцінювання характеристик);

45 ETSI TS 101 270-1 Transmission and Multiplexing (TM); Access transmission systems on metallic access cables; Very high speed Digital Subscriber Line (VDSL); Part 1: Functional requirements (Передавання і мультиплексування; Системи передавання для доступу по металевих кабелях доступу; Надвисокошвидкісна цифрова абонентська лінія (VDSL); Частина 1: Функціональні вимоги).



*Навчальне видання*

**БАЛАШОВ Віталій Олександрович**  
**ВОРОБІЄНКО Петро Петрович**  
**ЛАШКО Анатолій Григорович**  
**ЛЯХОВЕЦЬКИЙ Леонід Михайлович**

**Мережі та обладнання  
широкосмугового доступу  
за технологіями xDSL**

Навчальний посібник

Редактор *І.В. Ращупкіна*  
Комп'ютерне макетування *Ж.А. Гардиман*

Здано в набір 7.05.2010 Підписано до друку 9.06.2010  
Формат 60x90/8 Зам. № 42  
Наклад 200 прим. Обсяг 13,0 др. арк.  
Віддруковано на видавничому обладнанні фірми RISO  
у типографії редакційно-видавничого центра ОНАЗ ім. О.С. Попова  
м. Одеса, вул. Старопортофранківська, 61  
Тел. 720-78-94  
**ОНАЗ, 2010**