

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»
на тему:

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДУЛЯЦІЙ В МУЛЬТИСЕРВІСНІЙ СИСТЕМІ
ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ADSL-ТЕХНОЛОГІЇ
08-34.МКР.010.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу,
групи ТКС-18м
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

_____ Савчук В.І.

Керівник: к.т.н., проф. каф. ТКСТБ

_____ Барась С.Т.

« ____ » _____ 2019 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Білинський Й.Й.

« ____ » _____ 2019 р.

Вінницький національний технічний університет
 Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
 Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення
 Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
 Галузь знань 17– Електроніка та телекомунікації
 (шифр і назва)
 Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
 (шифр і назва)
 Освітня програма Телекомунікаційні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри ТКСТБ
 к.т.н., професор Г.Г. Бортник
 “ ___ ” _____ 2019 року

ЗАВДАННЯ
 НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Савчуку Віталію Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи Дослідження модуляції в мультисервісній системі широкосмугового доступу на основі ADSL-технології
 керівник роботи Барась Святослав Тадіонович, канд. техн. наук, професор,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 затверджені наказом вищого навчального закладу від “02” 10 2019 р. № 254
- Строк подання студентом роботи 02 грудня 2019 року.
- Вихідні дані до роботи Швидкість низхідного потоку $V=1,5 - 8,0$ Мбіт/с,
 висхідного потоку $V=640$ кбіт/с – $1,5$ Мбіт/с; види модуляції: BPSK, QPSK,
QAM-N, DMT; імовірність помилки $p=10^{-7}$; співвідношення с/ш= 0, 5, 10, 15, 20
дБ; коефіцієнт загасання $A_3=40, 50, 60, 70$ дБ; діаметр жил абонентського
 кабеля 0,32 мм та 0,5 мм.
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Технічна реалізація технології ADSL. Модуляції в технології ADSL. Потенційні характеристики технології. Комп'ютерне моделювання характеристик цифрових абонентських ліній, побудованих по ADSL-технології. Економічна частина та охорона праці.
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Структурна схема приймально-передавального пристрою ADSL, Структурна схема передавального вузла ADSL-модема, Приймально-передавальний пристрій QAM, Залежності швидкостей передавання інформації, Структурна схема моделювання, Результати моделювання.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Барась С.Т., професор кафедри ТКСТБ		
Економічна частина	Кавецький В.В., старший викладач		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Березюк О.В., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 02 вересня 2019 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка технічного завдання	12.09.2019 р.	
2.	Техніко-економічне обґрунтування розробки	20.09.2019 р.	
3.	Аналіз технічної реалізації технології ADSL	12.10.2019 р.	
4.	Розробка структури приймально-передавального пристрою	20.10.2019 р.	
5.	Дослідження параметрів і характеристик модуляцій, що застосовуються в ADSL-технології	03.11.2019 р.	
6.	Комп'ютерне моделювання характеристик цифрових абонентських ліній	10.11.2019р.	
7.	Аналіз економічної ефективності розробки	14.11.2019 р.	
8.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	20.11.2019 р.	
9.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	25.11.2019 р.	
10.	Нормоконтроль МКР	02.12.2019 р.	
11.	Попередній захист МКР, рецензування МКР	06.12.2019 р.	
12.	Захист МКР ЕК	12.12.2019 р.	

Студент _____

(підпис)

Савчук В.І.

Керівник роботи _____

(підпис)

Барась С.Т.

РЕФЕРАТ

Дослідження модуляцій в мультисервісній системі широкосмугового доступу на основі ADSL-технології. Магістерська кваліфікаційна робота / В.І.Савчук – ВНТУ, 2019р.– 119 с., 41 рис., - українською мовою.

Ключові слова: широкосмуговий доступ, абонентська лінія, модуляція, інформаційна швидкість.

Проведено аналіз технічної реалізації технології ADSL, сумісної з ТМЗК, досліджені всі види модуляцій, що застосовуються у цій технології. Проаналізовано досяжні швидкості передачі інформації залежно від завадової обстановки та довжини абонентської лінії. Показана адаптивність технології при виборі виду модуляції залежно від співвідношення сигнал-завада в підканалах DMT. Розглянуто вплив довжини лінії на швидкість передачі інформації в технологіях ADSL та ADSL2+. Проведено комп'ютерне моделювання характеристик цифрових абонентських ліній, побудованих по технології ADSL та ADSL2+.

ABSTRACT

Investigation of modulations in multiservice broadband access system based on ADSL technology. Master's qualification work / VI Savchuk - VNTU, 2019– 119 p., 41 figs. - in Ukrainian.

Keywords: broadband, subscriber line, modulation, information speed.

The technical realization of ADL technology compatible with TMZK is analyzed, all types of modulations used in this technology are investigated. The achievable data transmission speeds are analyzed depending on the interference situation and the length of the subscriber line. The adaptability of the technology is shown when choosing the type of modulation depending on the signal-to-noise ratio in the DMT subchannels. The influence of line length on the speed of information transfer in ADSL and ADSL2 + technologies is considered. Computer simulation of ADSL and ADSL2 + digital subscriber line characteristics has been performed.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ADSL.....	10
1.1 Еволюція технології ADSL	11
1.2 Трансформація абонентської лінії	14
1.3 Функціонування ADSL на рівні мережних протоколів	16
1.4 Обладнання ADSL.....	19
1.4.1 Сплітер.....	19
1.4.2 Приймально-передавальний пристрій	23
1.4.3 Структура модема	27
Висновки.....	28
2 МОДУЛЯЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ ADSL.....	30
2.1 Бінарна фазова модуляція BPSK	30
2.2 Квадратурна фазова модуляція QPSK	34
2.3 Квадратурна амплітудна модуляція QAM	42
2.4 Дискретна багаточастотна модуляція DMT	48
Висновки.....	52
3 ПОТЕНЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГІЇ ADSL.....	53
3.1 Потенційні характеристики СП ADSL при рівномірному адитивному шумі на вході приймача.....	53
3.2 Оцінка потенційних характеристик цифрових абонентських ліній на багатопарних телефонних кабелях.....	57
Висновки	62
4 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИФРОВИХ АБОНЕНТСЬКИХ ЛІНІЙ, ПОБУДОВАНИХ ПО ADSL – ТЕХНОЛОГІЇ.....	64
4.1 Методика моделювання.....	64
4.2 Характеристики ADSL2+.....	66
Висновки	68

ВИСНОВКИ	69
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	70
5.1 Розрахунок витрат на проведення НДР.....	70
5.2 Визначення коефіцієнта наукової значимості отриманих результатів.....	76
5.3 Внесок магістранта-дослідника в досягнення отриманих результатів.....	78
Висновки.....	78
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	79
6.1 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	79
6.2 Технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення дослідження.....	83
6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	85
Висновки	89
ВИСНОВКИ	90
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	91
ДОДАТКИ.....	94
Додаток А. Технічне завдання	95
Додаток Б. Структурна схема приймально-передавального пристрою ADSL.....	102
Додаток В. Структурна схема передавального вузла ADSL-модема	104
Додаток Г. Спрощена структурна схема та осцилограми напруг BPSK модулятора.....	106
Додаток Д. Приймально-передавальний пристрій QAM.....	108
Додаток Е. Залежність інтенсивності помилкових бітів від відношення сигнал/шум.....	110
Додаток Ж. Залежності швидкості передавання інформації.....	112
Додаток З. Результати моделювання	114
Додаток К. Нормовані значення виробничих факторів.....	117

ВСТУП

Актуальність теми. Технологія широкосмугового доступу ADSL будується на основі використання провідних ліній зв'язку, зокрема, існуючих мідних абонентських ліній. Такі лінії не є надвисокочастотними, отже, мають місце обмеження у досягненні високої швидкості передачі інформації. Але ця технологія відноситься до групи дротових технологій, які дозволяють значно підвищити пропускну здатність абонентської лінії телефонної мережі загального користування (ТМЗК) шляхом використання ефективних лінійних кодів і адаптивних методів корекції спотворень у лінії на основі сучасних досягнень мікроелектроніки і методів цифрової обробки сигналу.

Технологія є зручною, оскільки базується на основі існуючої телефонної мережі загального користування. При цьому зберігається можливість телефонного зв'язку, причому паралельно з передачею даних. Це дає підставу вважати дослідження різних аспектів технології ADSL актуальними. А дослідження модуляцій, що застосовуються у даній технології, є також актуальними, оскільки мають кінцевою метою забезпечення високих швидкостей передачі інформації.

Аналіз останніх досліджень. Останні дослідження стосуються питань забезпечення необхідної завадостійкості при використанні багатопозиційних видів модуляції, а також адаптації спектральної ефективності (виду модуляції) до заводового стану каналів (підканалів) передачі даних та аналізу факторів, що обмежують швидкість і дальність зв'язку [1-4].

Мета та постановка задачі. Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка в рамках технології ADSL рекомендацій щодо вибору таких видів модуляції, які забезпечать найефективніше збільшення швидкості передачі інформації та надійну роботу при різних довжинах абонентської лінії. Ці дослідження враховують апаратно-алгоритмічні можливості пристроїв обробки інформації, робота яких безпосередньо залежить від так званої «якості сигналу», яка оцінюється співвідношенням сигнал/шум.

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

- аналіз технічної реалізації системи широкосмугового доступу ADSL, що будується на використанні абонентської лінії;
- аналіз видів модуляцій для забезпечення високої швидкості передачі в обох напрямках передачі;
- розрахунки завадозахищеності абонентської лінії та потенційної швидкості для різних абонентських ліній;
- аналіз факторів, що обмежують швидкість та дальність передачі інформаційного сигналу.

Об'єктом дослідження є система широкосмугового доступу на основі ADSL-технології.

Предмет дослідження є швидкість та дальність передачі інформаційного сигналу з аналізом факторів, що їх обмежують.

Методи досліджень базуються на використанні теорії електричного зв'язку для оцінки проходження сигналу абонентською лінією, основоположних принципів передачі інформації для визначення досяжних швидкостей передачі, а також теорії планування експерименту і комп'ютерного моделювання для перевірки отриманих результатів.

Наукова новизна одержаних результатів. В результаті виконання даної кваліфікаційної роботи було визначено причини обмеження швидкості та дальності передачі інформаційного сигналу, а також встановлені залежності швидкості та дальності передачі інформаційного сигналу від співвідношення сигнал/шум. Визначені потенційні характеристики СП ADSL при рівномірному адитивному шумі на вході приймача та виконана оцінка потенційних характеристик цифрових абонентських ліній на багатопарних телефонних кабелях.

Практичне значення. Практичне значення роботи полягає у визначенні умов для отримання якісної інформації при найбільших значеннях швидкості та довжини абонентської лінії.

Крім того, результати роботи можна використовувати в навчальному процесі в дисциплінах «Сигнали та широкосмугові технології в телекомунікаціях» та «Системи доступу».

Апробація результатів роботи. Основні ідеї роботи доповідались і обговорювались на I Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем" і на науковій конференції ВНТУ у 2019 році.

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

1 ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ADSL

Розширення ринку телекомунікаційних послуг вимагає адекватного розвитку мережі абонентського доступу. Найближчим часом необхідна пропускна здатність для звичайних користувачів складатиме від 6 до 24 Мбіт/с. Одним із варіантів є використання мереж доступу на основі технологій високошвидкісної цифрової абонентської лінії (Digital Subscriber Line, DSL). Символ «x» у назві використовується для позначення конкретної технології. Швидкість передачі залежить від довжини абонентської лінії, її типу, параметрів зовнішніх впливів [5].

Ці технології забезпечують високу пропускну здатність, якщо використовують як середовище передачі виту мідну пару місцевої телефонної мережі, при цьому деякі технології xDSL дозволяють зберегти існуючий телефонний канал. Під час впровадження технологій xDSL не потрібна заміна лінійних споруджень, що істотно зменшує загальну вартість мережі доступу. Таким чином, технології xDSL перетворюють телефонну лінію у високошвидкісний канал.

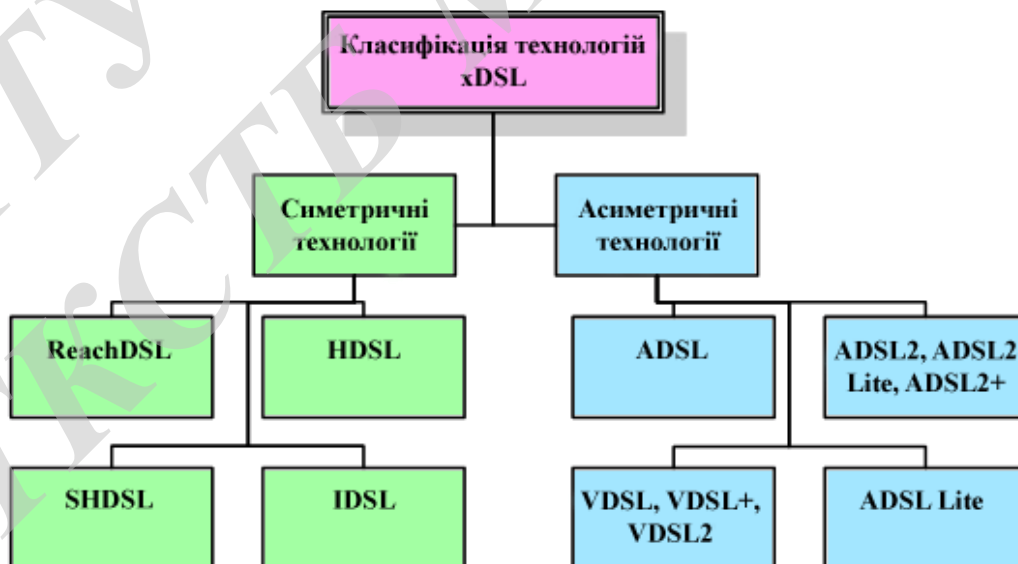


Рисунок 1.1 – Класифікація технологій xDSL

Усі технології xDSL можна класифікувати за декількома ознаками, одним з основних є рівність швидкостей висхідного (від абонента, upstream) і низхідного (до абонента, downstream) інформаційних потоків (рис. 1.1).

1.1 Еволюція технологій ADSL

Технологія ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) (асиметрична цифрова абонентська лінія) була розроблена для забезпечення високошвидкісного (мегабітного) доступу до інтерактивних відеопослуг (відео за запитом, відеоігри і т.п.) і не менш швидкої передачі даних (доступ в Інтернет, віддалений доступ до ЛВС і інших мереж).

Перш за все, ADSL є технологією, що дозволяє перетворити виту пару телефонних проводів у тракт високошвидкісної передачі даних. Лінія ADSL, які підключені до кожного кінця кручений пари телефонного кабелю, з'єднує два модеми ADSL.

При цьому організуються три інформаційних канали - "спадний" потік передачі даних, "вихідний" потік передачі даних і канал звичайного телефонного зв'язку (POTS). Канал телефонного зв'язку виділяється за допомогою фільтрів, що гарантує роботу телефону навіть при аварії з'єднання ADSL.

ADSL є асиметричною технологією - швидкість "вхідного" потоку даних (тобто тих даних, які передаються вбік кінцевого користувача) вище, ніж швидкість "висхідного" потоку даних (в свою чергу переданого від користувача вбік мережі). Відразу ж слід сказати, що не слід шукати тут причину для занепокоєння. Швидкість передачі даних від користувача (більш "повільне" напрямом передачі даних) все одно значно вище, ніж при використанні аналогового модему. Фактично ж вона також значно вище, ніж ISDN (Integrated Services Digital Network – Інтегральна цифрова мережа зв'язку). Технологія ADSL описується в рекомендації ITU-T G.992.1 (повношвидкісна версія) і

G.992.2 (спрощений варіант G.Lite). В результаті її подальшого вдосконалення з'явилося два нових варіанти:

- технології ADSL2 зі стандартами G.992.3 (розвиток стандарту G.992.1) і G.992.4 (розвиток стандарту G.992.2);
- технології ADSL2plus зі стандартом G.992.5.

Обидві технології зазвичай називають другим поколінням ADSL.

Головним стандартом другого покоління ADSL, в якому визначаються його основні особливості, є G.992.3. Стандарт G.992.5 відрізняється від нього тільки розширеним вдвічі діапазоном частот. Нижче перераховуються переваги другого покоління технологій ADSL (в порівнянні з традиційною технологією ADSL) [6].

Збільшення пропускної здатності і перекриваємих відстаней.
Модифікація ADSL2 спеціально створювалася для збільшення пропускної спроможності і перекриваємих відстаней. Зазначені поліпшення були досягнуті за рахунок застосування більш досконалих методів обробки сигналу, скорочення обсягу службової інформації в циклі передачі та ін.

Зокрема, в ADSL2 використовується модифікований метод передачі DMT. Високошвидкісний сигнал передачі даних перетворюється в сукупність низькошвидкісних потоків даних, які розподіляються по вузькосмуговим субканалам лінійного сигналу DMT [7, 8].

У кожному з цих субканалів використовується так звана двухбітова квадратурна амплітудна модуляція QAM. У разі двухбітової QAM смуга частот в 1 Гц кожного субканала може транспортувати 0 або 2-16 біт/с, в залежності від характерної для нього величини відносини сигнал / шум SNR. Таким чином, при смузі частот субканала в 4 кГц він може переносити 0 біт / с або 8-64 кбіт/с. Як бачимо, при такому методі QAM градація 1 біт/с/Гц, при якій в кожному каналі можна було б передати ще 4 Кбіт / с, виявляється незатребуваною. Саме ця градація задіюється в модифікованій однобітовій QAM. Така ситуація часто зустрічається на довгих лініях, де велике число субканалів може мати досить

низькі значення SNR і де підвищення пропускної здатності лінії DSL особливо актуально.

Введені поліпшення дозволили підвищити якість довгих ліній ADSL по пропускній здатності на 50 кбіт/с для обох напрямків передачі, а по протяжності до 200 м (600 футів), завдяки чому зона охоплення потенційних користувачів може бути збільшена на 6%.

Розширення діагностичних можливостей. Це нововведення є, мабуть, одним з найважливіших. В результаті було суттєво збільшено кількість діагностованих параметрів, стало можливим виявляти причини неполадок в процесі інсталяції пристроїв ADSL і після неї, виконувати моніторинг продуктивності устаткування, що експлуатується (в тому числі в режимі реального часу) і визначати необхідність його модернізації. Нові специфікації регламентують вимір загасання лінії і переданих сигналів, рівня сигналу, величини відносини сигнал/шум SNR і безліч інших параметрів на обох кінцях з'єднання, причому запуск діагностичного режиму лінії ADSL здатна ініціювати будь-яка зі сторін. Передбачений на етапі первинного запуску лінії DSL спеціальний діагностичний режим забезпечує збір необхідної інформації, навіть якщо якість абонентської лінії (АЛ) занадто низька для організації нормального широкосмугового доступу [9]. Ця інформація автоматично інтерпретується за допомогою спеціального програмного забезпечення, що дозволяє об'єктивно контролювати якість системи і прогнозувати відмови.

Управління енергоспоживанням. Пристрої ADSL першого покоління працюють в режимі максимального енергоспоживання, навіть якщо по абонентської лінії трафік не передається. У специфікаціях ADSL2 цей режим позначений як L0. Крім нього передбачені два більш економних режими: L2 передбачає зниження енергоспоживання вузлом доступу статистичним способом, т. Е. З урахуванням поточної інтенсивності переданого трафіку, а L3 переводить модеми лінії ADSL в «сплячий» (sleep) режим в разі тривалої відсутності завантаження лінії. Переходи між L2 і L0 здійснюються без

переривання з'єднання і прозорі для користувача. Реініціалізація з'єднання і вихід на постійну швидкість передачі зі стану L3 займає близько 3 с.

Можна назвати ще низку переваг:

- Управління вибором номіналів несучих і пілотних сигналів з боку приймачів модемів.
- Повністю цифровий режим.
- Автоматична установка оптимального режиму лінії передачі.
- Автоматичне регулювання вихідної потужності передавача модему.
- Адаптація швидкості передачі.

1.2 Трансформація абонентської лінії

Однією з актуальних проблем зв'язку є збільшення дальності передачі без додаткової витрати кольорових металів. Для вирішення цього завдання виробники постійно вдосконалюють апаратуру і прагнуть зменшити затухання на лініях. Найбільш простий спосіб мінімізації згасання полягає в штучному збільшенні індуктивності ліній. Цей спосіб отримав назву «Пупінізація» - по імені його винахідника М. Пупіна, який для зменшення загасання абонентської лінії в діапазоні частот до 3 кГц запропонував періодично включати в лінію котушки з індуктивністю, приблизно на два порядки перевищує індуктивність самої абонентської лінії, і визначив оптимальну відстань між ними. Такі котушки зазвичай називають пупіновськими котушками, а відстань між двома сусідніми котушками - кроком пупінізації.

Пупінівські котушки порушують однорідність мідної пари, перетворюючи її в ідеальний фільтр нижніх частот, затухання якого різко зростає на високих частотах.

Абонентські лінії телефонних мереж загального користування є основою для технології xDSL і повинні бути пристосовані для проходження високошвидкісних потоків інформації. Споживачів цієї інформації не задовольняють швидкості навіть у сотні кбіт/с. Цей параметр постійно зростає і

вже зараз складає, як мінімум, декілька Мбіт/с. Збільшення інформаційної швидкості при відносно невеликих значеннях модуляційної швидкості передбачає використання багатопозиційних методів модуляції. Ці причини і викликають необхідність трансформації абонентських ліній.

Два звичайних елемента телефонних кабельних ліній - пупинівські котушки і кабельні відводи - є найбільш частими причинами неможливості використання певної телефонної лінії для високошвидкісної передачі даних. Тому для організації цифрової передачі дані елементи повинні бути видалені або модифіковані. Ключем до спрощення підготовки кабельної мережі для високошвидкісної передачі даних є проведення послідовності перевірок, які дозволять оцінити якість лінії і виявити будь-які потенційні проблеми.

Порядок проведення перевірок кожен може вибрати самостійно. Насправді кінцевий результат (як позитивний, так і, на жаль, негативний) набагато важливіший, ніж порядок дій по його досягненню. По-перше, необхідно точно і акуратно виміряти повну довжину лінії. Всі технології DSL вельми чутливі до довжини використовуваної лінії. Пропускна здатність лінії DSL обернено пропорційна довжині абонентської лінії (До речі, при цьому непогано б перевірити електричну безперервність обраної пари проводів.). По-друге, пупиновських котушки. Що це таке і навіщо вони потрібні, ми детальніше розглянемо нижче. Поки ж слід усвідомити, що пупиновських котушки блокують передачу по будь-якій лінії DSL, тому що значно звужують її смугу пропускання. Для того, щоб кваліфікувати лінію, як придатну для високошвидкісної передачі даних, обов'язково необхідно переконатися у відсутності пупиновських котушок. Під третім номером поставимо кабельні відводи. Довжина кабельних відводів впливає на характеристики кожної технології DSL по-різному. Тому при підготовці лінії бажано визначити загальну довжину всіх наявних кабельних відводів. І, нарешті, під номером чотири зведені разом деякі інші проблеми, які також властиві телефонним абонентським лініям. Це втрати в лінії, ненавмисне перехрещення проводів і т.д.

Сучасна апаратура передачі даних, ефективно використовується на існуючих кабельних мережах, вимагає не менше сучасної і, бажано, не менш ефективним перевіркою апаратури. Для проведення згаданих вище (і описаних нижче) перевірок можуть використовуватися, наприклад, тональні генератори і пробники, вимірювачі відстані до обриву проводки і, звичайно ж, рефлектометри. Останні є досить універсальними приладами, які дозволяють вирішити практично всі проблеми, пов'язані з підготовкою абонентської лінії для використання технології DSL. Загальні мережні вимоги стосуються таких мережних аспектів, як надійність функціонування; стійкість до факторів впливу і загроз; безпека користування; стійкість послуги телефонного зв'язку до перебоїв енергопостачання; трудомісткість експлуатації, у тому числі, її відносини з користувачами; забезпечення можливості нарощування мережі, її надійності, керованості та якості обслуговування.

Кабельне відведення це паралельне відгалуження, що представляє собою пару жил, підключених паралельно абонентській лінії, які розімкнуті на кінці. Для звичайного аналогового телефонного зв'язку кабельні відводи практично не впливають. А в робочих діапазонах частот технологій xDSL їх вплив практично проявляється. Отже кабельні відводи АЛ, що використовуються для роботи обладнання xDSL, повинні вилучатися.

1.3 Функціонування ADSL на рівні мережних протоколів

Розглядаючи ADSL як технологію використання існуючої пари провідників абонентської лінії, перейдемо до вивчення всього набору пристроїв в складі абонентського включення ADSL. Для цього ми будемо відстежувати перетворення даних в різних протоколах з комп'ютера на сервер Інтернет-провайдера (ISP). Ми знаємо, що широкосмуговий зв'язок створюється в першу чергу для активної роботи користувача в Інтернеті. Весь ланцюжок різних пристроїв, що беруть участь в процесі передачі даних, і найпоширеніший рівень протоколу за рівнем протоколу показано на рис. 1.4

Призначені для користувача дані передаються у вигляді запитів до HTTP-протоколу верхнього рівня, що використовується в Інтернеті. При передачі даних на модем ADSL кадри HTTP упаковуються в транспортні кадри TCP/IP. Різні інтерфейси, найчастіше Ethernet або USB, можуть використовуватися для цієї мети.

Перетворення призначених для користувача даних в дружній ADSL формат – ключова роль модему ADSL. Модем не працює з даними верхнього рівня, для нього є тільки кадри TCP/IP. Модем генерує чотирьохрівневу структуру ADSL, це потрібно для передачі кадрів за схемою абонентського доступу, включаючи фізичний рівень протоколу ADSL, каналний рівень на основі ATM, а для управління з'єднанням двохточечного каналу TCP/Сам IP і PPP-рівень.

На рис.1.4 зображено етапи перетворення даних в різних протоколах від комп'ютера (CPE – Costumer Premise Equipment – обладнання кінцевого користувача) до сервера Інтернет-провайдера (ISP – Internet Service Provider).

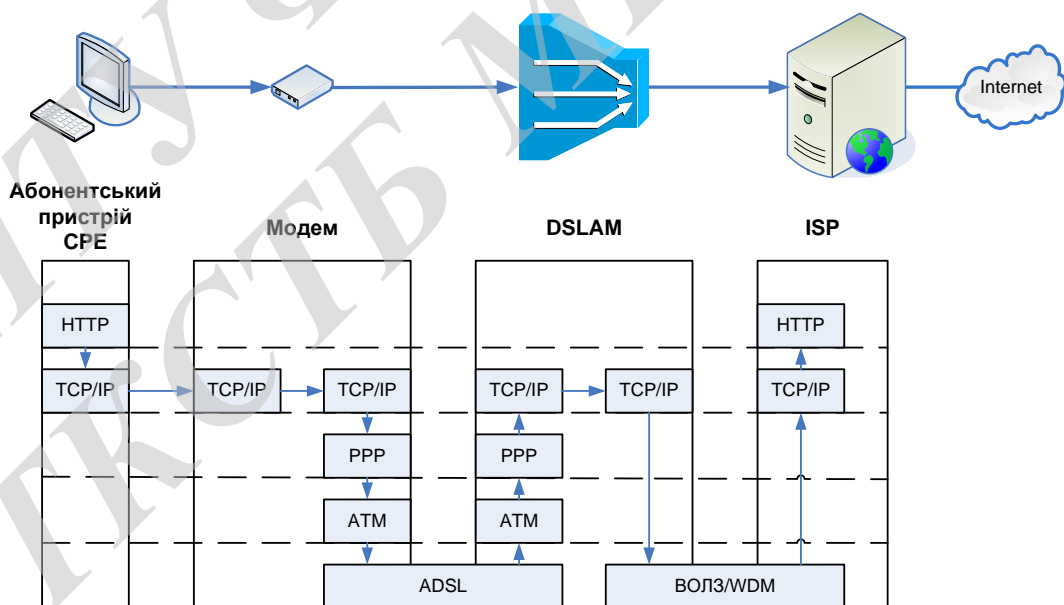


Рисунок 1.4 – Схема підключень в ADSL на рівні протоколів

Протоколи цих рівнів повністю реалізують функціональні можливості моделі OSI. На стеку протоколів TCP/IP побудована вся взаємодія користувачів в IP-мережах. Стек є незалежним від фізичного середовища передачі даних.

Кадри ADSL, які сформовані в модемі у вигляді модульованого сигналу надходять для передачі телефонну лінію і передаються в DSLAM. Як правило, одне (іноді кілька сотень) модемних з'єднань в одному DSLAM є досить простим пристроєм, який працює тільки з даними ADSL і ATM [17]. Відновити дані з кадрів ADSL і сформувати потік осередків ATM, який буде передаватися далі по мережі - основне завдання DSLAM. Технологія ADSL народилася в середині 1990-х років, коли технологія ATM була стратегічною концепцією для побудови мультисервісних мереж.

З даними верхніх рівнів модем не працює, для нього існують лише пакети TCP/IP. Для передачі кадрів модем формує 4-рівневу структуру ADSL:

- фізичний рівень протоколу ADSL;
- канальний рівень на основі ATM;
- рівень PPP для контролю цілісності каналу в режимі «точка-точка»;
- рівень протоколу TCP/IP.

Перетворення призначених для користувача даних в осередку ATM на стороні мережі забезпечує функції широкопasmового доступу. У нинішній концепції NGN технологія ATM зберігається тільки як службова. У зв'язку з цим для сучасних мереж виникла необхідність в перетворенні осередки ATM в більш традиційну форму на основі TCP/IP. Інший пристрій, названий сервером широкопasmового віддаленого доступу (BRAS), було включено в ланцюг абонентського доступу. Такий пристрій є крайовий IP-маршрутизатором для інтелектуального управління широкопasmовим доступом. управляти параметрами трафіку від користувачів ADSL на рівні канального рівня передачі даних дозволяє BRAS. Наприклад, саме BRAS регулює швидкість передачі даних від користувача до мережі. Оператори мережі доступу DSL тепер використовують профілі фіксованої швидкості на вузлах доступу ATM, які можуть бути реалізовані без BRAS. Але в довгостроковій перспективі для

забезпечення гнучкої адаптивної пропускної здатності потрібні більш точні механізми, і такі функції важко реалізувати без крайового маршрутизатора. Крім того, в умовах зростаючого попиту на пропускну здатність регіональні оператори і оператори мереж доступу потребують більш гнучкою масштабованості, і тут BRAS також стає важливим елементом.

Також DSLAM виконує функцію організації абонентських з'єднань, регулювання трафіку. Управління пакетного трафіку IP в DSLAM не може бути реалізовано адже DSLAM підтримує лише рівень ATM. На додаток до функцій управління потоками BRAS виконує важливу функцію це перетворення форматів даних, тому цей елемент дійсно виконує крайову задачу, а потім дані передаються по мережі.

Відзначимо, що у функціонуванні системи ADSL, критичною є зв'язка модем і DSLAM, де, ADSL присутня. Всі інші елементи схеми можуть бути віднесені до абонентських пристрів NGN або складовим частинам транспортної мережі NGN.

1.4 Обладнання ADSL

1.4.1 Сплітер

Для передачі даних за технологією ADSL використовується діапазон частот, що знаходиться вище смуги частот, відведеної для передачі голосу, тому дані і звичайний телефонний трафік можна передавати по одній і тій же лінії [20]. Для цього, правда, з кожного боку доводиться встановлювати так званий частотний роздільник (POTS splitter). Він забезпечує передачу низькочастотного голосового сигналу на обладнання ТфЗК (з боку клієнта - на телефонний апарат, з боку телефонної станції - на комутатор), а високочастотного сигналу передачі даних - на обладнання ADSL. Ці роздільники випускаються в двох основних конфігураціях - поодинокі пристрої, розташовані на абонентському кінці каналу зв'язку, і множинні,

розраховані на обслуговування декількох з'єднань і встановлюються в центральних офісах (рис. 1.5).

Мідні телефонні лінії прокладалися для забезпечення передачі мовного сигналу. Очевидно, для організації передачі такою лінією даних необхідно придбати модем, який буде конвертувати дані в аналоговий сигнал і передавати їх існуючою телефонною лінією.

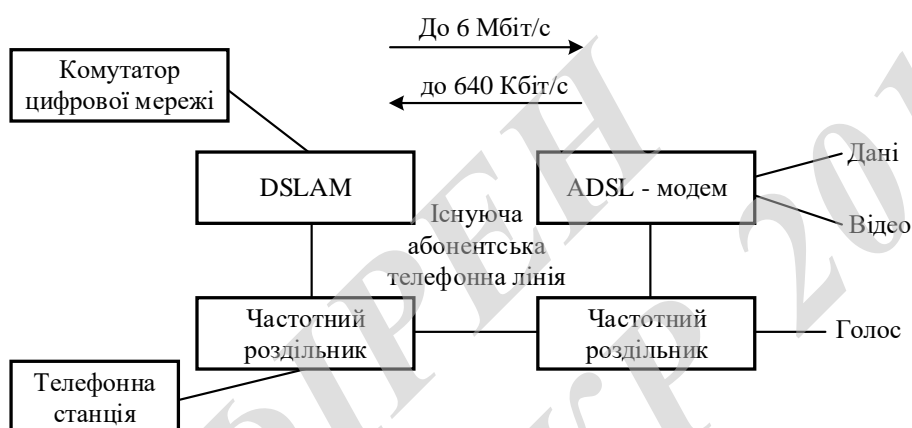


Рисунок 1.5 - Структурна схема технології ADSL

Використання найсучасніших технологій не виключає потреби в традиційному спілкуванні по телефону. Технологія ADSL дозволяє одночасно передавати дані і передавати мовний сигнал, використовуючи одну і ту ж (у багатьох випадках єдину) телефонну лінію. З цією метою смуга пропускання мідного телефонного кабелю розділяється на дві нерівні частини - частоти до 4 кГц використовуються для традиційного телефонного зв'язку, а вся інша смуга використовується для високошвидкісної передачі даних (рис. 1.6). Голос і дані об'єднуються на абонентській стороні лінії і поділяються на боці АТС за допомогою сплітерів.

Одночасне використання цифрової телефонної лінії для традиційної передачі голосу і для високошвидкісної передачі даних завжди є

найголовнішою перевагою технології ADSL. Сплітер є одним з ключових пристроїв цієї технології.

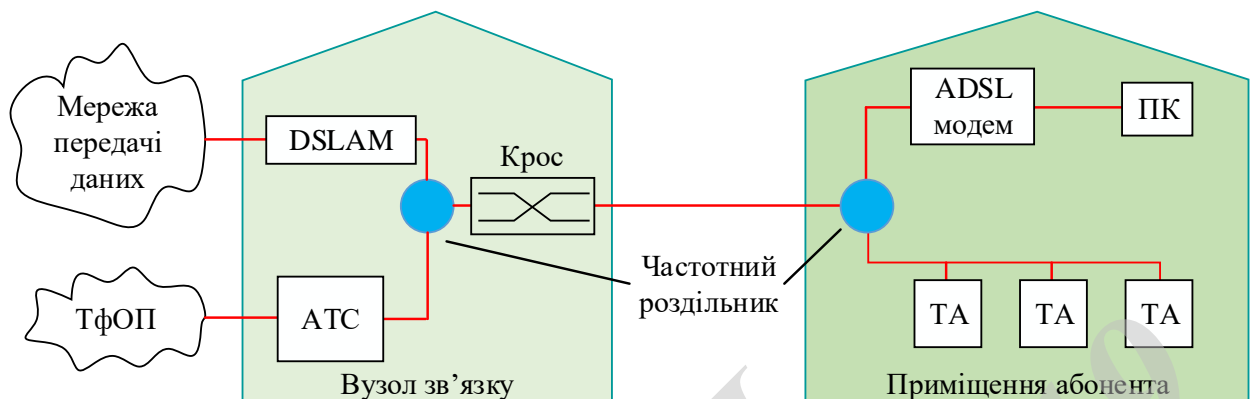


Рисунок 1.6 - Використання частотних розділювачів на лініях ADSL

Насправді сплітер це фільтр, який має три порти. Зазвичай він виконується як пасивний пристрій, що дає низку переваг. Пасивний сплітер підтримує функціонування телефонної лінії навіть тоді, коли несправний модем, тому що традиційний телефонний апарат отримує живлення постійного струму по абонентській телефонній лінії. Сплітер включає в себе два фільтри - нижніх і верхніх частот. Фільтр верхніх частот працює з сигналами даних, які формуються у модемі. Фільтр нижніх частот призначений для виділення мовного сигналу. Крім цього функцією сплітера є фільтрація імпульсних завад, що створюються телефонним апаратом і комутаційним устаткуванням АТС, які можуть перешкодити нормальній роботі модему. З іншого боку здійснюється фільтрація високочастотного сигналу модему ADSL, який може знизити якість роботи телефонного зв'язку.

Пасивні пристрої характеризуються більш високою надійністю, яка вкрай необхідна для забезпечення надійного телефонного зв'язку.

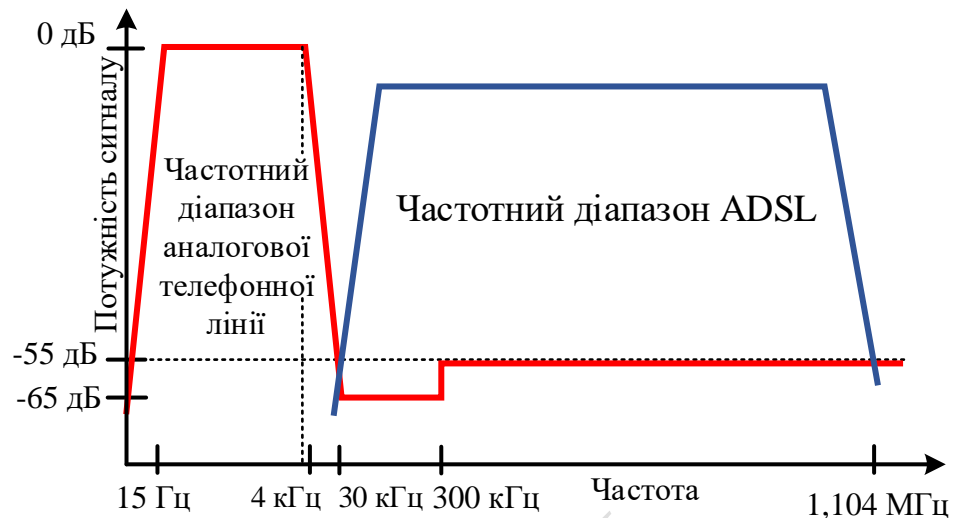


Рисунок 1.7 – Приклад розділення спектру мовного сигналу та ADSL

Робочі параметри системи визначаються наступними характеристиками сплітера, рисунок. 1.7:

- мінімальне згасання в діапазоні частот 0 - 4 кГц і максимальні для сигналів даних в тому ж частотному діапазоні;
- необхідною формою характеристики в перехідній смузі частот (4 кГц - 16 кГц);
- мінімальними частотними спотвореннями через нерівномірність АЧХ в діапазоні голосових частот і діапазоні ADSL;
- узгодження вхідних опорів портів у всьому діапазоні частот;
- мінімальними фазовими спотвореннями сигналу в робочому діапазоні частот;
- використанням відповідних розділових елементів, з урахуванням наявності індуктивності між контактами роз'єму;
- параметрами, необхідними для підтримки функціонування факсимільного зв'язку.

Вибір відповідного сплітера - це не просте завдання. В обов'язковому порядку повинні враховуватися всі технічні стандарти, які використовуються в

місцевому телефонному зв'язку, а також технічні характеристики абонентської лінії. Використання обладнання повинно відповідати прийнятим стандартам.

Адаптувати систему до умов роботи дозволяє технологія ADSL. Це технологія реагує на різні негативні зовнішні ефекти, такі як шум, уповільнюючи швидкість передачі даних. Мінімальний вплив спліттера на сигнал, підвищує продуктивність системи. Більш висока продуктивність означає збільшення робочої відстані і, отже, можливість обслуговувати віддалених абонентів, що розширює ринок високошвидкісних послуг передачі даних.

1.4.2 Приймально-передавальний пристрій

Оскільки для технології широкосмугових систем абонентського доступу на базі ADSL інтерес представляє в основному зв'язка модем-DSLAM, розглянемо загальні параметри цих пристроїв відповідно до рис.1.8. Проаналізуємо принципи роботи протоколу ADSL в частині експлуатації мереж ADSL.

Вимоги до протоколу ADSL можна сформулювати коротко в вигляді нескількох вимог до самої технології ADSL:

- узгодження імпедансів;
- мінімізація втрат;
- поділ спектрів телефонного зв'язку і ADSL;
- збереження якості телефонного зв'язку;
- забезпечення стабільного каналу передачі даних для ADSL;
- залежність швидкості передачі по лінії вгору / вниз від параметрів лінії.

На рисунку 1.8 показано, яким чином все перераховане було реалізовано в рамках протоколу ADSL.

Структурну схему формування ADSL-сигналу наведено на рис.1.8.

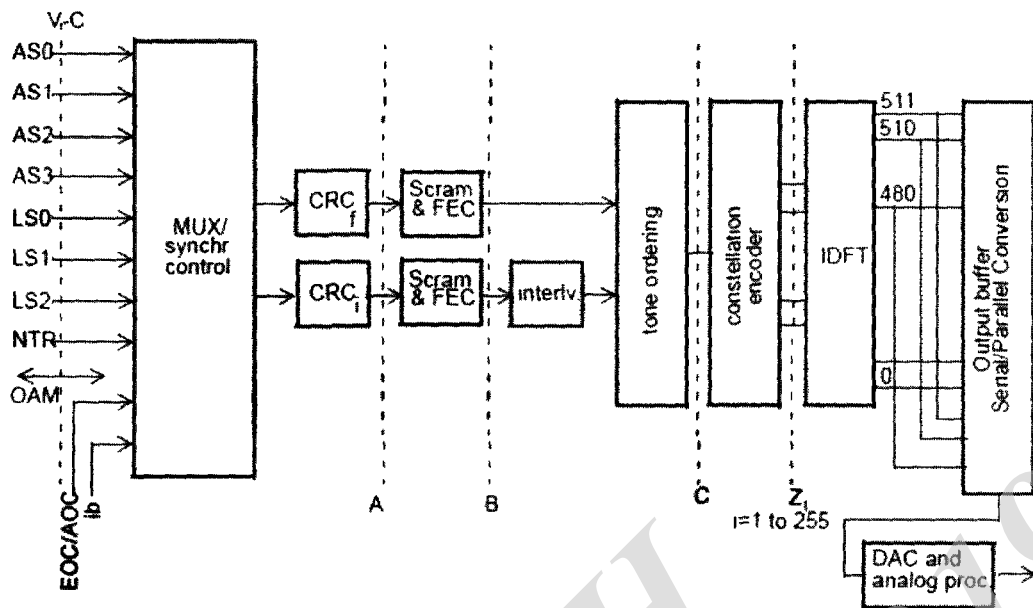


Рисунок 1.8 – Структура передавача ATU-C

Спрощений алгоритм формування сигналу ADSL можна представити у вигляді послідовної схеми, рис. 1.9.

Спочатку дані перетворюються в потік комірок ATM. В технології ADSL використовуються до 7 незалежних потоків комірок ATM: симплексні потоки AS0-AS1 забезпечують режим передачі даних лише від DSLAM до модему, дуплексні потоки LS0-LS2 дозволяють встановлювати обмін даними по лінії вгору і вниз. Отримані потоки комірок ATM надходять в мультиплекор, де формується циклова і надциклова структура. Потім до отриманих даних у вигляді кадрів додаються поля CRC для контролю помилок в каналі «DSLAM-модем». Отриманий потік проходить процедуру скремблювання, що забезпечує лінеаризацію його параметрів [21].

Далі, потік даних, упакований в циклову структуру ADSL, забезпечений сигналізацією управління з'єднанням, службовими полями контролю помилок та ін., надходить в модуль, що отримав назву Tone ordering. Тут з'являється специфічна особливість ADSL, а саме – використання модуляції 256DMT (для ADSL2+ - 512DMT).

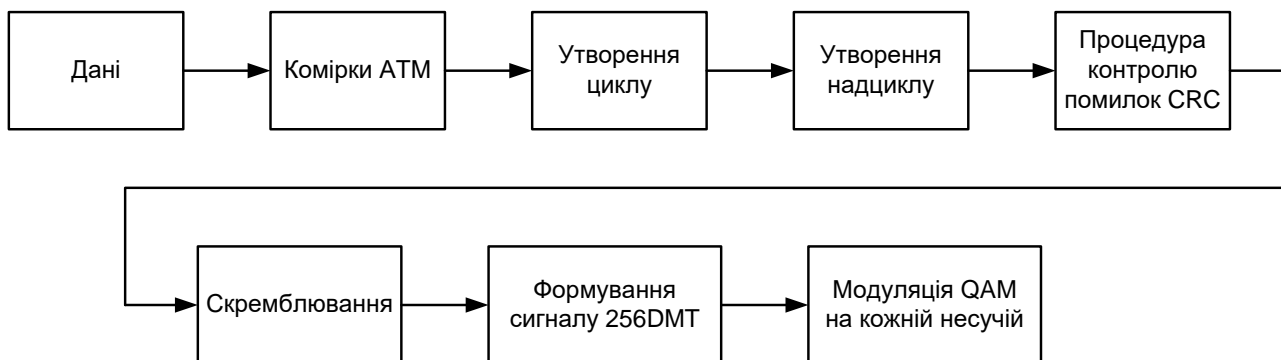


Рисунок 1.9 – Послідовне перетворення сигналів в технології ADSL

Метод передачі інформації, розроблений для ADSL, полягає в тому, що для передачі сигналів використовуються 256 несучих. Це означає, що в каналі передачі сигналів працюють 256 міні-модемів, кожен з яких передає інформацію на своїй несучій частоті. Застосування такої методики дозволяє підвищити ефективність використання частотного ресурсу за рахунок компенсації будь-яких селективних шумових впливів на параметри передачі. Між несущими встановлюється захисний інтервал 4312,5 Гц. Частина несучих віддається під передачу даних по лінії вгору (upstream), частина – для передачі по лінії вниз (downstream).

Передача даних на несучій здійснюється за допомогою амплітудно-фазової модуляції (Quadrature Amplitude Modulation, QAM).

На рис. 1.10 наведена структурна схема приймально-передавального пристрою.

FEC (безпосереднє виправлення помилок) - передані дані кодують, використовуючи коди Ріда-Соломона, таким чином, в приймачі може бути виправлено значне число помилок. Для декодування в приймачі може бути використаний алгоритм Breklamp і Massey.

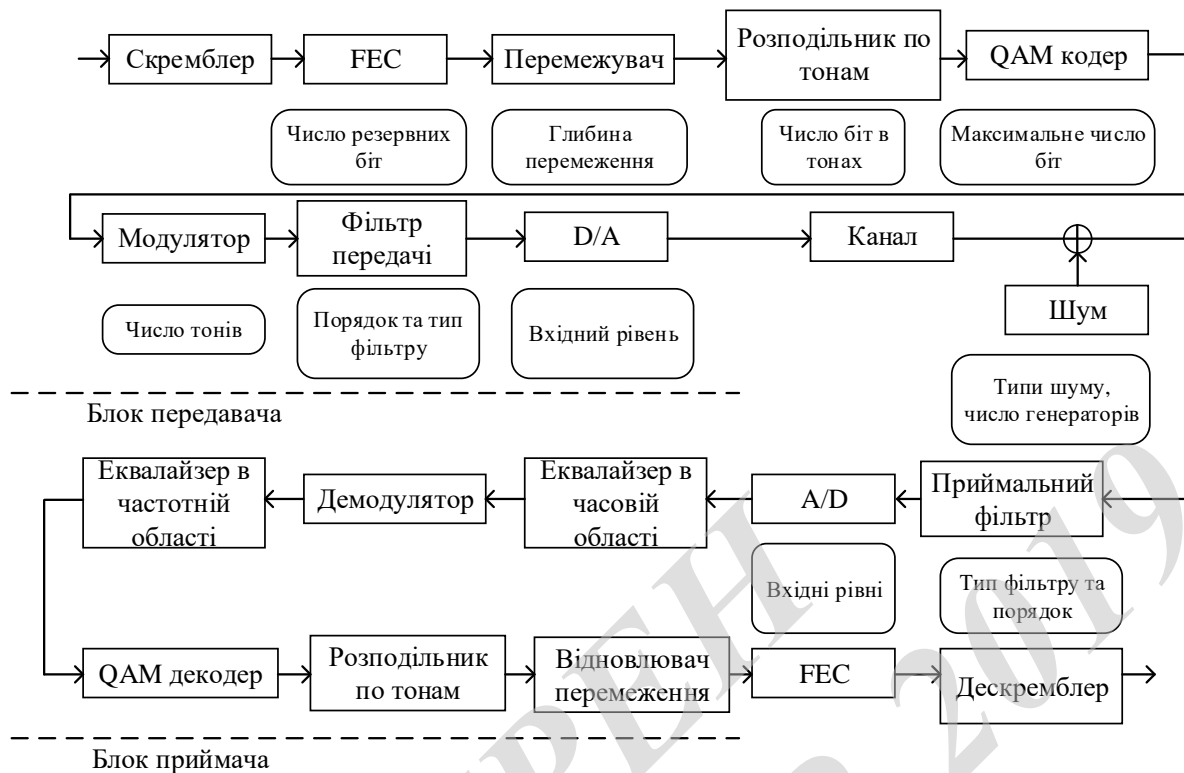


Рисунок 1.10 – Структурна схема приймально-передавального пристрою ADSL

Перемеження - кодовані за рекомендованим стандартом дані згортково перемежуються, щоб розподіляти помилки в пакетах, що виникли в кількох кадрах через імпульсний шум, таким чином, дія FEC може виправити їх. Збільшення глибини перемежувача розподіляє помилку в більшій кількості кадрів, але в той же час перевищує граничну затримку.

Розрядність тону - закодовані дані розподіляються по тонах відповідно до числа біт переданих в кожному тоні.

QAM кодер - закріплені за кожним тоном біти перетворюються в складні QAM значення. Ці значення також покриваються спеціальною PSD маскою.

Модулятор - QAM сигнали модулюються, використовуючи IFFT і демодулюються, використовуючи FFT. Спочатку 32 відліки IFFT додаються до залишку DMT символу, щоб виключити міжсимвольні і міжкадрові впливи. Після кожних 68 DMT символів передається один синхронізуючий для коригування FEQ приймача.

TEQ (вирівнювач в часовій області) - часовий інтервал стабілізатора скорочує імпульсний відгук в каналі, щоб він став меншим за час циклічного префікса (32 відліку).

FEQ (вирівнювач в частотній області) - залишок канального відгуку компенсується 256 1-кнальними комплексними фільтрами в частотній області.

1.4.3 Структура модема

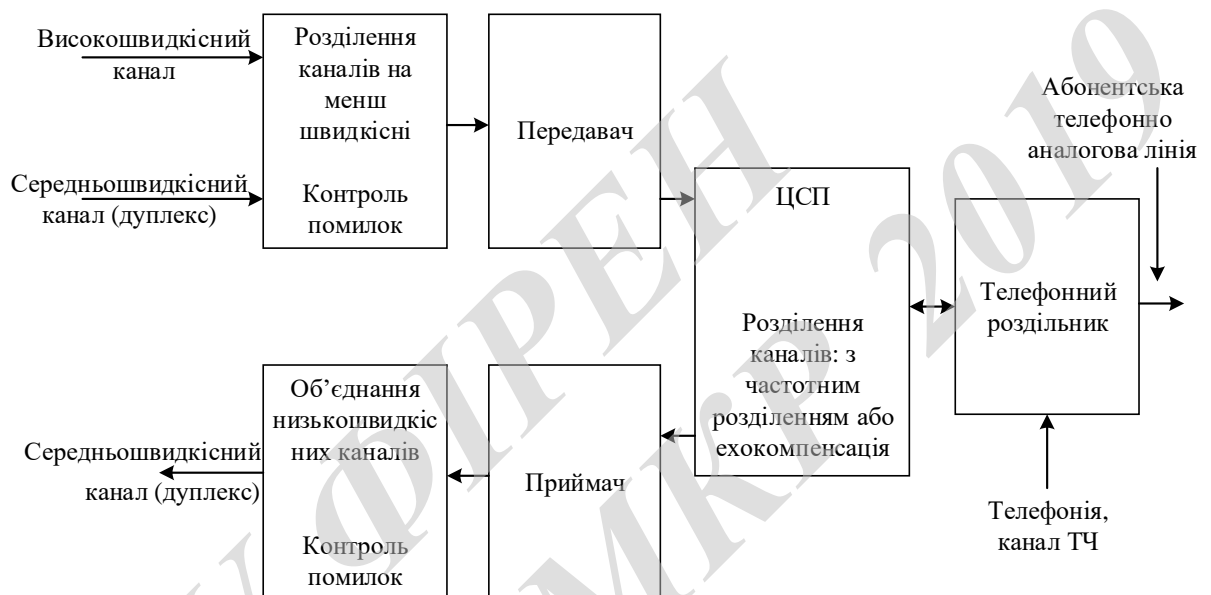


Рисунок 1.11 - Структурна схема передавального вузла ADSL-модема

ADSL-модем являє собою пристрій, побудований на базі цифрового сигнального процесора (ЦСП або DSP), аналогічно тому, що застосовується в звичайних модемах. Мережевий ADSL-модем перетворює цифрові дані від персонального комп'ютера або будь-якого іншого пристрою в аналоговий сигнал, придатний для передачі по крученій парі. Для контролю парності в передану цифрову послідовність вставляються надлишкові біти. Це гарантує надійність передачі інформації до телефонної станції, де ця послідовність демодулюється і перевіряється на наявність помилок. У загальному випадку, вся пропускна здатність лінії ділиться на дві ділянки. Перший ділянка

призначена для передачі голосу, і знаходиться в діапазоні 0,3-3,4 кГц. Діапазон сигналу для передачі даних лежить в межах від 4 кГц до 1 МГц. Фізичні параметри більшості ліній не дозволяють передавати дані з частотою понад 1 МГц. Для створення цих потоків використовуються два методи: метод з частотним поділом каналів і метод ехокомпенсації.

Метод з частотним поділом полягає в тому, що кожному з потоків виділяється своя смуга пропускання частот. Високошвидкісний потік може розділятися на один або більше низькошвидкісних потоків. Передача цих потоків здійснюється методом "дискретної багатотональної модуляції" (DMT).

Метод відлуння компенсації полягає в тому, що діапазони високошвидкісного і службового потоків накладаються один на одного. Поділ потоків здійснюється за допомогою диференціальної системи, вбудованої в модем. Цей спосіб використовується в роботі сучасних модемів V.32 і V.34 [33]. Високошвидкісний потік може розділятися на один або більше низькошвидкісних потоків. Передача цими потоками здійснюється методом "дискретної багатотональної модуляції" (DMT). При передачі безлічі потоків відбувається поділ кожного з них на блоки. Кожен блок постачається кодом виправлення помилок (ECC).

Висновки

Технологія широкосмугового доступу ADSL базується на використанні існуючих мідних абонентських ліній. Ця технологія дозволяє значно підвищити пропускну здатність абонентської лінії телефонної мережі загального користування шляхом використання багатопозиційних видів модуляції і методів цифрової обробки сигналу незважаючи на невелику ширину смуги пропускання.

Практичному застосуванню технології ADSL зазвичай передують відповідне пристосування (трансформація) абонентських ліній, основна мета якого – створення широкосмугового каналу передачі інформації. У даному розділі розглянуті основні види цих робіт, а також обґрунтована їх необхідність.

Технологія ADSL передбачає паралельне існування в абонентській лінії телефонного зв'язку. Це означає одночасну передачу спільною лінією як мовних сигналів, так і даних. Розділення цих сигналів на боці абонента та АТС забезпечують відповідні частотні розділювачі – сплітери, які зазвичай є пасивними вузлами. ADSL-модем та DSLAM використовуються для формування потоків інформації у абонентській лінії згідно з установленим методом модуляції сигналів.

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

2 МОДУЛЯЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ ADSL

2.1 Бінарна фазова модуляція BPSK

Існує два типи фазової модуляції:

- фазова модуляція;
- відносно фазова модуляція

Для передачі логічних нулів і одиниць при фазовій модуляції (Phase Shift Key, PSK) використовуються сигнали однієї і тієї ж частоти і амплітуди, проте вони зміщені відносно один одного по фазі. Наприклад, логічний нуль передається синфазним сигналом, а логічна одиниця - сигналом, які зрушені за фазою на 180° .

Зміну фази яка приймає всього два значення, називають **двійковою** фазовою модуляцією (Binary Phase Shift Key, **BPSK**). Сигнал, що відповідає логічному нулю, математично, можна представити як

$$S_0(t) = A \sin(2\pi ft),$$

а сигнал, що відповідає логічній одиниці, - як

$$S_1(t) = A \sin(2\pi ft + \pi) = -A \sin(2\pi ft).$$

Тоді модульований сигнал можна записати у вигляді:

$$S_{BPSK}(t) = AV(t) \sin(2\pi ft),$$

де $V(t)$ - керуючий сигнал, що приймає значення $+1$ і -1 . Значення сигналу $+1$ відповідає логічному нулю, а значення сигналу -1 - логічній одиниці.

Розглянемо сигнал у вигляді послідовності імпульсів цифрової інформації, як це показано на рисунку 2.1.

Уніполярний цифровий сигнал показаний на верхньому графіку, в якому інформаційному логічному нулю відповідає $b(t)=0$, а на нижньому графіку біполярний цифровий сигнал $b_0(t)$, в якому інформаційному логічному нулю відповідає $b_0(t)=-1$.

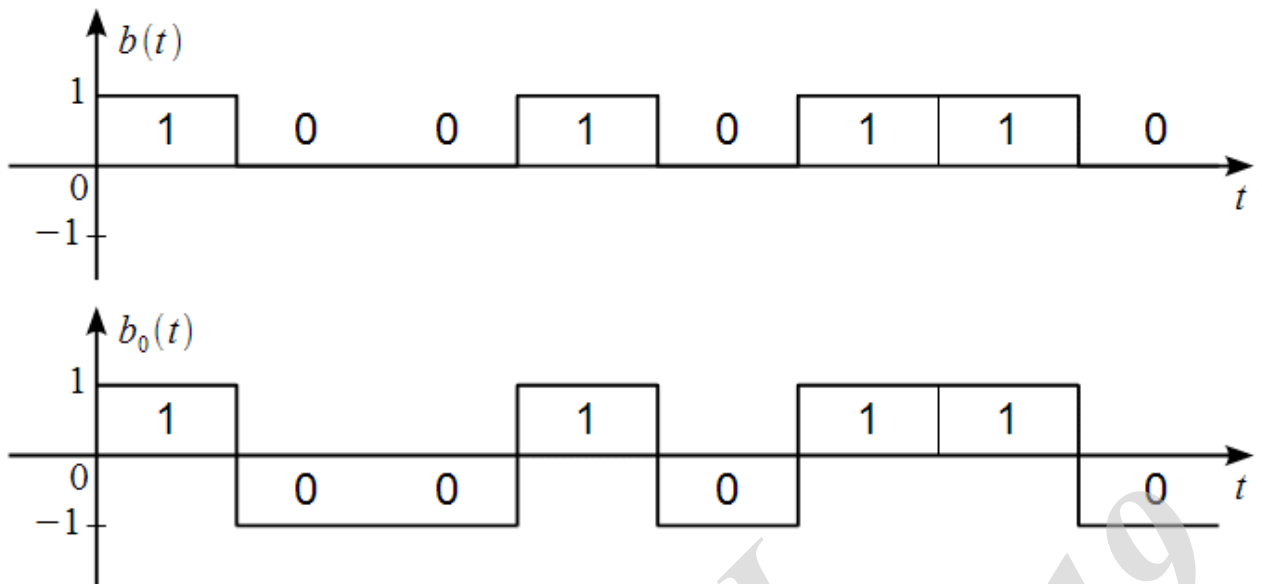


Рисунок 2.1 – Уніполярний і біполярний цифрові сигнали

Сигнал $b(t) = s_m(t)$ є модулюючим і він подається на фазовий модулятор, що формує несуче коливання з девіацією фази, що дорівнює π радіан.

Оскільки $b_0(t)$ приймає тільки значення рівні 0 і 1, то квадратурна $Q(t)$ і синфазна $I(t)$ компоненти комплексної обвідної $z(t)=I(t)+jQ(t)$ BPSK- сигналу відповідно дорівнюють:

$$I(t) = \cos(\pi \cdot b(t)) = \pm 1$$

$$Q(t) = \sin(\pi \cdot b(t)) = 0.$$

Тоді BPSK-сигнал можна записати:

$$S_{BPSK}(t) = I(t) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \phi_0) - Q(t) \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + \phi_0) = b_0(t) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \phi_0),$$

а структурну схему модулятора спрощується, рис.2.2.

Осцилограми напруг, які пояснюють роботу BPSK-модулятора наведені на рис. 2.3

Інформація передається зі швидкістю V_r біт/с, тривалість одного імпульса цифрової інформації дорівнює $T=1/V_r$. Вихідний модулюючий сигнал $s_m(t)=b_0(t)$ множиться на несуче коливання і формується фазоманіпульований сигнал зі стрибком фази на π . Отже, BPSK- модуляція це фазова маніпуляція, яка

збігається з балансною амплітудною модуляцією при біполярному цифровому модулюючому сигналі.

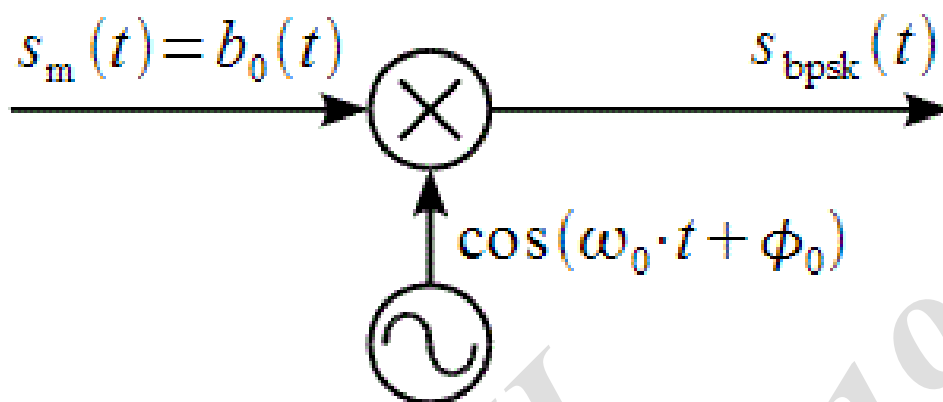


Рисунок 2.2 – Спрощена структурна схема BPSK-модулятора

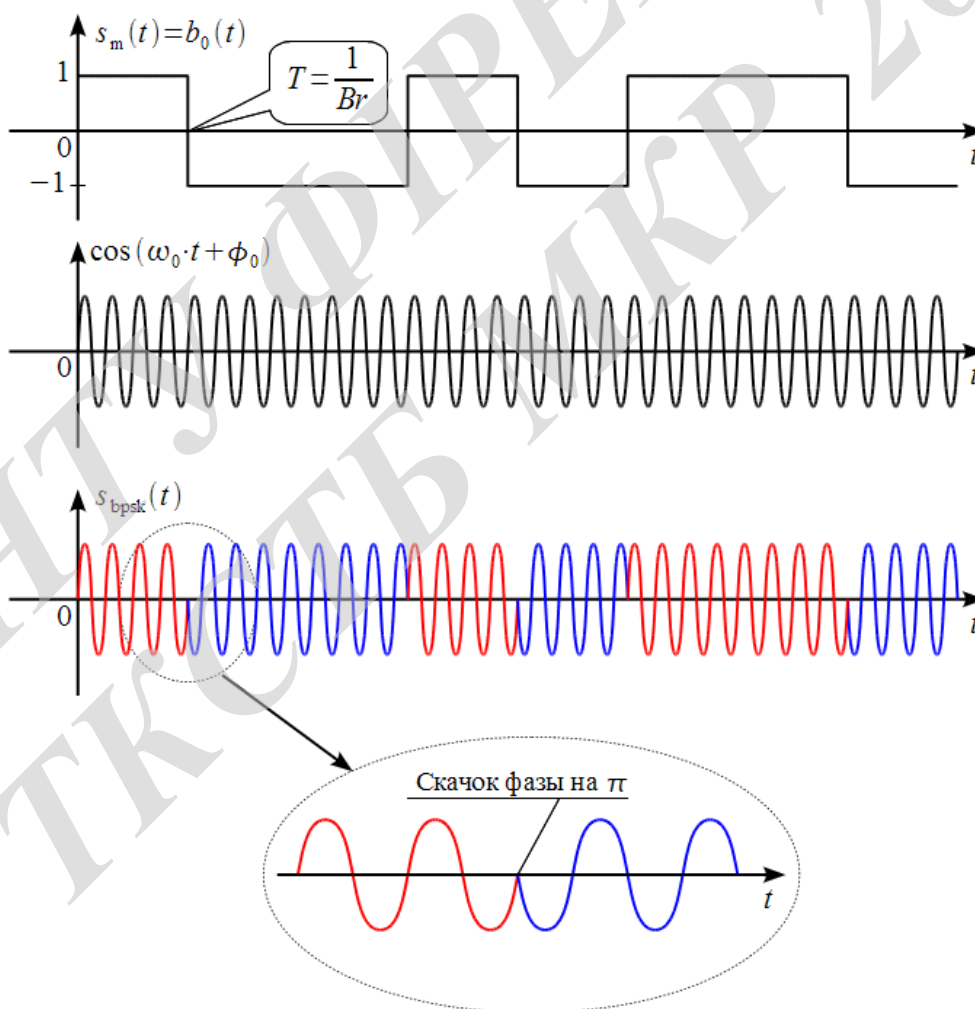


Рисунок 2.3 – Осцилограми напруг BPSK-модулятора

Спектр сигналу BPSK є перенесений на несучу частоту спектр цифрового біполярного модулюючого сигналу $b_0(t)$. На малюнку 2.3 показаний спектр сигналу BPSK при швидкості передачі інформації $B_r = 20$ кбіт / с і частоті $f_0 = 250$ кГц. З рис.2.4. видно, що спектр сигналу BPSK має головну пелюстку і бічні, які повільно зменшуються бічні пелюстки.

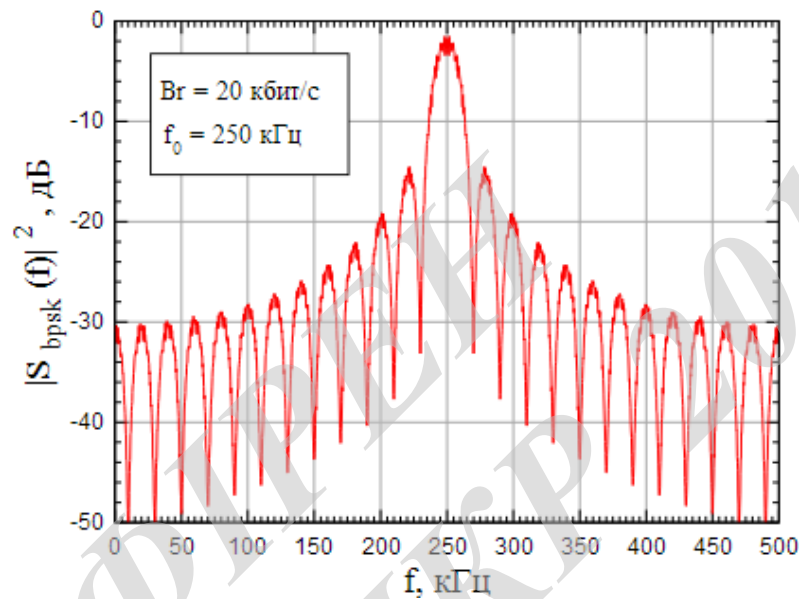


Рисунок 2.4 – Спектр BPSK-сигналу

Головна пелюстка спектру BPSK має ширину, яка дорівнює подвоєній швидкості передачі інформації $2B_r$. Вона є симетричною відносно несучої частоти f_0 , а рівень максимуму першої бічної пелюстки спектру дорівнює -13 дБ. Можна зазначити, що ширина бічних пелюсток дорівнює B_r .

BPSK-модуляція є найбільш завадостійкою, тому вона застосовується в таких каналах xDSL, у яких співвідношення сигнал/шум є мінімальним [11]. Інформаційна швидкість передачі залишається рівною модуляційній (символьній), яка є похідною від ширини смуги пропускання каналу[4].

2.2 Квадратурна фазова модуляція QPSK

Якщо зміна фази може має більше двох значень, то у такому випадку говорять про **квадратурну фазову модуляцію** (Quadrature Phase ShiftKey, **QPSK**).

Розглянемо загальний вигляд сигналу, модульованого по фазі:

$$S(t) = A \sin(2\pi ft + \varphi(t)).$$

З огляду на найпростіші тригонометричні відносини, цю формулу легко записати так:

$$S(t) = A \sin(2\pi ft) \cos \varphi(t) + A \cos(2\pi ft) \sin \varphi(t).$$

Отриманий вираз показує, що вихідний сигнал можна представити у вигляді суми двох гармонійних складових, зміщених щодо один одного по фазі на 90° , оскільки

$$\cos(2\pi ft) = \sin\left(2\pi ft + \frac{\pi}{2}\right).$$

Українська



У передатчике, вповільнювачем модуляції, один із етих компонентів являється однофазним генератором сигналу, а другий зводиться в квадрат відносно цього сигналу (слідователно, квадратурна модуляція). Сінфазний компонент позначається як I (In Phase), а квадратура - Q (Quadrature).

Ісходний сигнал не легко перетворити, але слідует заранеє отметити, що буде зручно, якщо ви передасте RCH-сигнал початкової фази. В цьому випадку будуть доступні як сінфазні, так і квадратурні компоненти, і, крім того, для квадратурної фазової модуляції вони будуть однаково по модулю (фази 45° , 135° , 225° , 315° (- 45°) градусів).

У передавачі, що виконує модуляцію, один з цих компонентів є однофазним генератором сигналу, а інший зводиться в квадрат щодо цього

сигналу (отже, квадратурная модуляція). Синфазних компонент позначається як I (In Phase), а квадратура - Q (Quadrature).

Вихідний сигнал нескладно перетворити, але слід заздалегідь відзначити, що буде зручно, якщо надати ВЧ-сигнал початкову фазу $\frac{\pi}{4}$. В цьому випадку будуть доступні як синфазних, так і квадратурні компоненти, і, крім того, для квадратурної фазової модуляції вони будуть однаковими по модулю (фази 45, 135, 225, 315 (-45) градусів). Тоді вхідні дібіти будуть визначати такі фази: 0, 90, 180 і 270 градусів. Початкова фаза несучої повинна бути прийнята такою, щоб за умови нульової фази φ кінець вектора знаходився у першому квадранті, тобто рівною мінус $\frac{\pi}{4}$.

Отже,

$$\begin{aligned} S(t) &= A \sin(2\pi ft + \varphi) = A \sin\left[\left(2\pi ft - \frac{\pi}{4}\right) + \left(\varphi + \frac{\pi}{4}\right)\right] = A \sin\left(2\pi ft - \frac{\pi}{4}\right) \cos\left(\varphi + \frac{\pi}{4}\right) + \\ &+ A \cos\left(2\pi ft - \frac{\pi}{4}\right) \sin\left(\varphi + \frac{\pi}{4}\right) = A \sin\left(2\pi ft - \frac{\pi}{4}\right) \left(\cos \varphi \cos \frac{\pi}{4} - \sin \varphi \sin \frac{\pi}{4}\right) + A \cos\left(2\pi ft - \frac{\pi}{4}\right) \times \\ &\times \left(\sin \varphi \cos \frac{\pi}{4} + \cos \varphi \sin \frac{\pi}{4}\right) = A \frac{\sqrt{2}}{2} \sin\left(2\pi ft - \frac{\pi}{4}\right) (\cos \varphi - \sin \varphi) + \\ &+ A \frac{\sqrt{2}}{2} \cos\left(2\pi ft - \frac{\pi}{4}\right) (\sin \varphi + \cos \varphi). \end{aligned}$$

Якщо ввести позначення: $d_i = (\cos \varphi - \sin \varphi)$, $d_q = (\cos \varphi + \sin \varphi)$, то отримаємо такий вигляд сигналу:

$$\begin{aligned} S_{QPSK}(t) &= \frac{A}{\sqrt{2}} d_i \sin\left(2\pi ft - \frac{\pi}{4}\right) + \frac{A}{\sqrt{2}} d_q \cos\left(2\pi ft - \frac{\pi}{4}\right). \\ I &= \frac{A}{\sqrt{2}} d_i \sin\left(2\pi ft - \frac{\pi}{4}\right); \quad Q = \frac{A}{\sqrt{2}} d_q \cos\left(2\pi ft - \frac{\pi}{4}\right) \end{aligned}$$

d_i та d_q коефіцієнти є сигналами кодування. При враховувати реальні значення фази φ для квадратурної модуляції ці коефіцієнти можуть приймати значення +1 і -1. Амплітуди синфазної та квадратурної компонент визначають сигнали кодування або. Нижче наведено співвідношення між зрушенням фази і сигналами кодування.

Фаза	d_i	d_q	дібіт
0°	+1	+1	00
90°	-1	+1	10
180°	-1	-1	11
270°	+1	-1	01

Вхідний потік бітів, при реалізації квадратурної фазової модуляції, перетворюється в кодувальну послідовність $\{d_k\}$ так, що біт +1 кодування відповідає логічному нулю, а біт -1 кодування - логічній одиниці. Після цього потік кодування ділиться на парні і непарні біти. Парні біти входять в I-канал, а непарні біти входять в Q-канал. Більш того, тривалість кожного імпульсу кодування d_i і d_q вдвічі більше тривалості початкового імпульсу d_k (елементів вхідної цифрової послідовності). Тимчасова діаграма модулятора QPSK показана на рисунку 2.5.

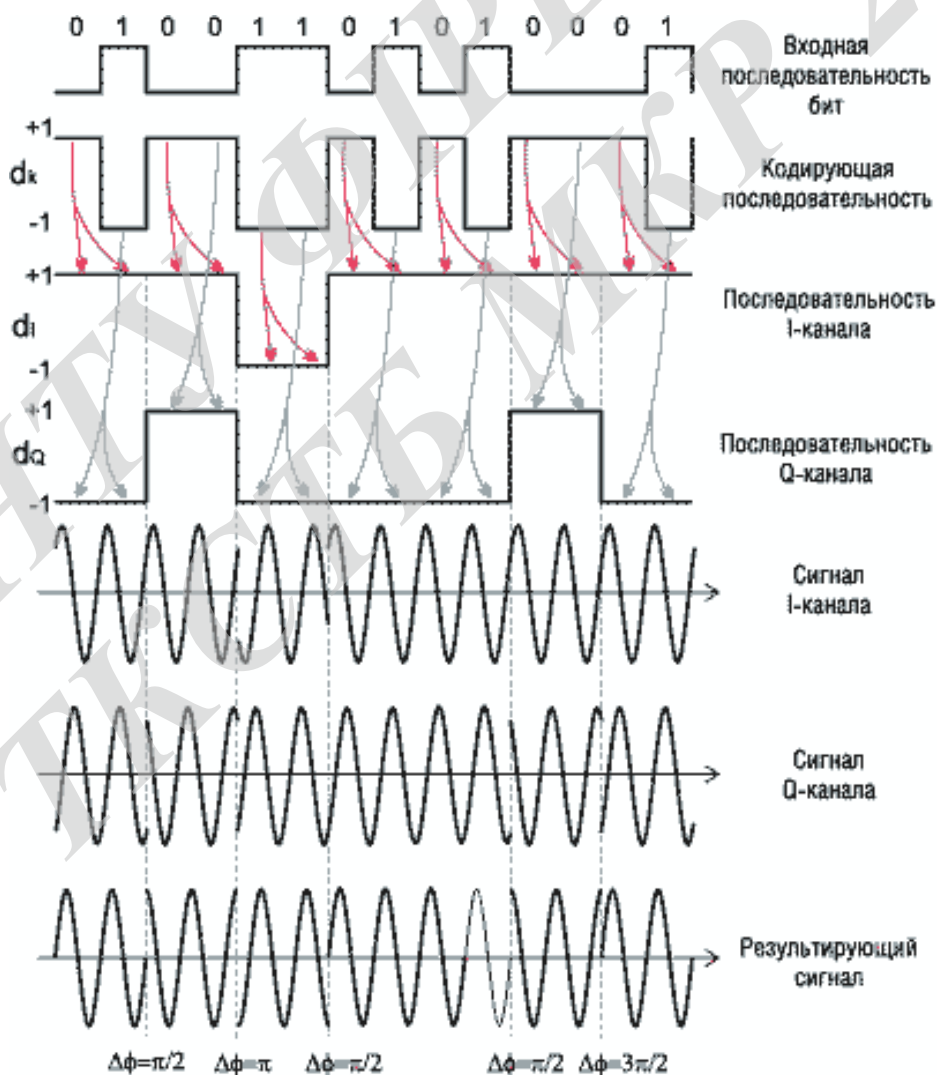


Рисунок 2.5 - Квадратурна фазова модуляція QPSK

Кодувальні біти d_i модулюють по фазі сигнал $\sin\left(2\pi ft - \frac{\pi}{4}\right)$, а ортогональний сигнал (зміщений по фазі на 90°) модулюють біти d_q , тобто $\cos\left(2\pi ft - \frac{\pi}{4}\right)$. Після цього обидва сигнали додаються і утворюється модульований сигнал.

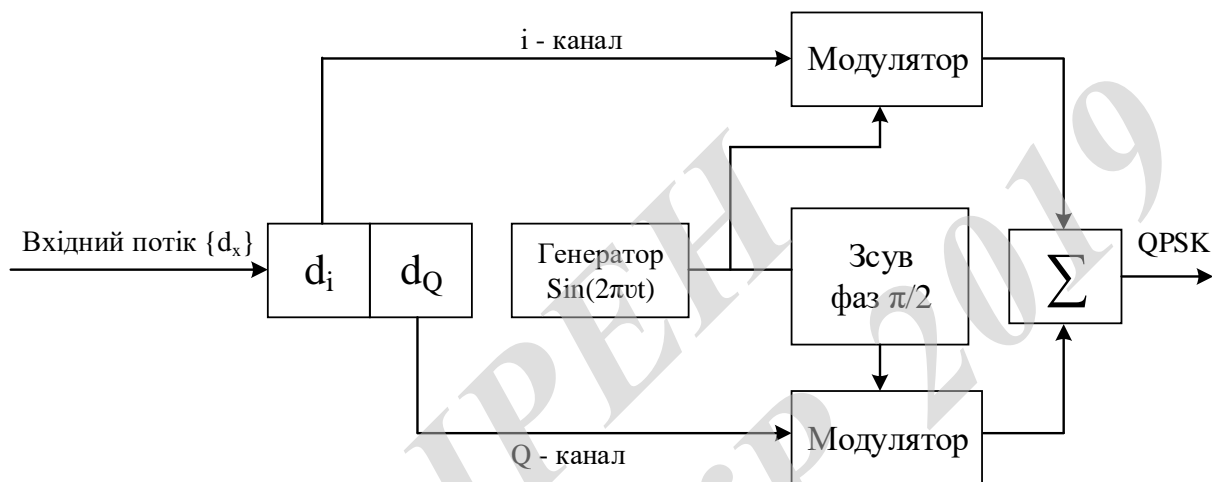


Рисунок 2.6 - Реалізація квадратурної фазової модуляції

У наведеній схемі квадратурної фазової модуляції, рисунок 2.6, результуюча фаза сигналу може змінюватися тільки кожні $2T$ секунди. Наявність чотирьох дискретних станів сигналу, що відповідають різним фазам, є відмінною особливістю квадратурної фазової модуляції. Це дозволяє кодувати в одному дискретному стані послідовність яка складається з двох інформаційних бітів (так званий дебет). Послідовність з двох бітів може мати тільки чотири різні комбінації: 00, 01, 10 і 11. Тому, швидкість передачі даних подвоюється, тобто швидкість передачі в два рази менше біт (1 бод = 2 біт / с).

Прийнято зображати на векторній діаграмі стану або на площині сигнального сузір'я можливі дискретні стани сигналу [16]. При використанні векторної діаграми стану ставиться у відповідність вектор кожному значенню сигналу, довжина якого є умовною амплітудою сигналу, а кут повороту вектора

відносно горизонтальної осі є фазою сигналу. Отже векторна діаграма - це уявлення векторів стану в полярній системі координат.

Широко поширеним є спосіб відображення різних станів сигналу в на сигнальному сузір'ї. Сигнальне сузір'я є декартовою системою координат, вісь абсцис якої визначає значення сигналу кодування d_i (вісь I), а значення сигналу кодування d_q (вісь Q) вісь ординат. Площина вироджується в пряму лінію, у разі двійкової фазової модуляції. Уздовж цієї лінії розташовуються значення кодує сигналу d_k . В цьому випадку є тільки дві точки в сигнальному сузір'ї, що відповідають значенням бітів кодування 1 і -1. Ці дві точки відповідають всім можливим станам сигналу. У разі модуляції QPSK сукупність сигналів складається з чотирьох точок з координатами (1, 1), (1, -1), (-1, 1), (-1, -1), які відповідають чотирьом можливим дібітам і утворюють сукупність всіх можливих станів сигналу.

Метод фазової модуляції, має деякі недоліки, які пов'язані з труднощами технічної реалізації. В разі квадратурної фазової модуляції при зміні символів в обох каналах модулятора (від +1, -1 до -1, +1 або +1, +1 до -1, -1) QPSK сигнал має фазовий стрибок 180° , це є одним з недоліків. Такі скачки фази, які мають місце під час звичайної двухфазної модуляції, викликають паразитну амплітудну модуляцію обвідного сигналу. В результаті, коли сигнал проходить через вузькосмуговий фільтр, відбувається збій обвідної до нуля. Такі зміни сигналу небажані, вони призводять до перешкод в каналі зв'язку та збільшення енергії бічний смуги.

До так званої квадратурної фазової модуляції (зміщення QPSK, OQPSK) вдаються, щоб уникнути цього небажаного явища. При цьому типі модуляції формування сигналу в квадратурній схемою таке ж, як в модуляторі QPSK, за винятком того, що біти кодування в Q-каналі мають затримку часу в один елемент T. Зміна фази при такому зсуві кодування потоків визначається тільки одним елементом. послідовність, а не дві. В результаті стрибок фази на 180° відсутній, оскільки кожен елемент послідовності, що надходить на вхід

модулятора синфазного або квадратурного каналу, може викликати зміну фази на 0 , 90 або 270° (-90°).

Більш серйозним недоліком фазової модуляції є те, що під час декодування сигналу приймач повинен визначати абсолютне значення фази сигналу, оскільки при фазовій модуляції інформація кодується точно за абсолютним значенням фази сигналу. Щоб зробити це, приймач повинен мати інформацію про «еталонної» синфазного сигналу передавача. Потім, порівнюючи прийнятий сигнал з опорним, можна визначити абсолютний фазовий зсув. Тому необхідно якимось чином синхронізувати сигнал передавача з опорним сигналом приймача (з цієї причини фазова модуляція називається синхронною). Реалізація синхронної передачі досить складна, тому тип фазової модуляції, так звана диференціальна фазова маніпуляція (DPSK), став більш поширеним. При відносній фазовій модуляції (або відносній фазовій маніпуляції) кодування інформації відбувається через фазовий зсув щодо попереднього стану сигналу. Отже, приймач повинен фіксувати не абсолютне значення фази сигналу, а тільки зміну цієї фази. Інакше кажучи, інформація кодується зміною фази. Природно, що така модуляція більше не є синхронною і її легше реалізувати. У всіх інших відносинах модуляція DPSK нічим не відрізняється від модуляції PSK.

Кодування двох біт інформації, що передається, одним символом будують QPSK-модуляцію. При цьому символна швидкість в два рази нижча швидкості передачі інформації. Те як один символ кодує відразу два біти показано на рисинку 2.5.

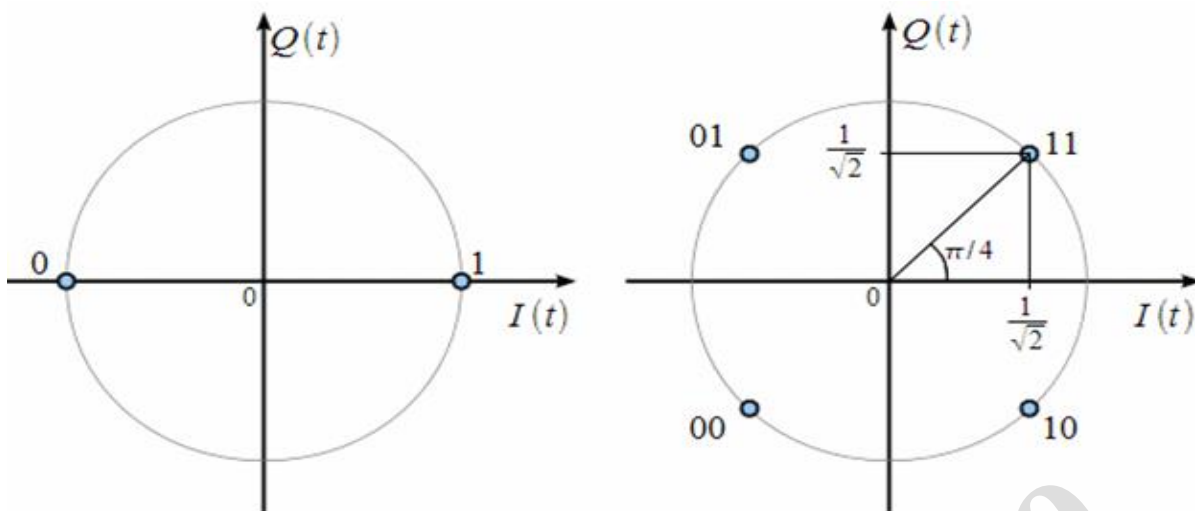


Рисунок 2.7 – Векторна діаграма BPSK и QPSK сигналів

Векторні діаграми BPSK і QPSK сигналів показані на рисунку 2.7. BPSK сигнал був розглянутий раніше, і один символ BPSK кодує один біт інформації, при цьому на синфазній осі $I(t)$ векторної діаграми BPSK всього дві точки, які відповідають одиниці і нулю інформації, що передається. Як показано на векторній діаграмі QPSK на рисунку 2.5, якщо сузір'я складалося з чотирьох точок, то кодування двох біт інформації здійснюється одним символом. Кодування виглядає наступним чином: потік бітів ділиться на парні і непарні біти, тоді $I(t)$ буде кодувати парні біти, а $Q(t)$ - непарні. Дві біти, які послідовно ідуть у початковому битовому потоці кодуються одночасно синфазним сигналом $I(t)$ і квадратурних $Q(t)$. Це показано на осцилограмах, показаних на рисунку 2.8. для інформаційного потоку "1100101101100001".

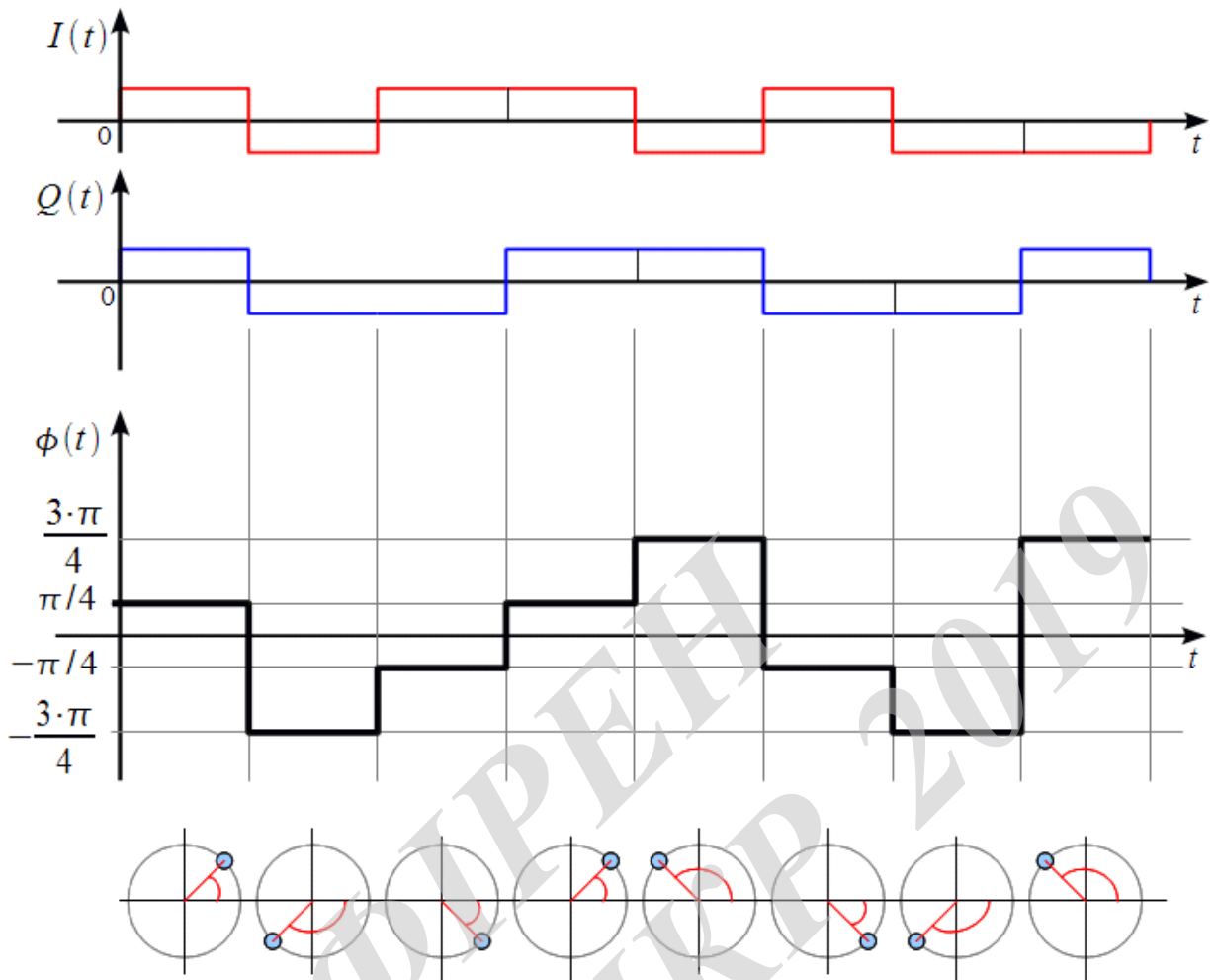


Рисунок 2.8 – Фазова обвідна QPSK-сигналу

Фазова обвідна є ступінчастою функцією часу, що зазнає порушень у момент зміни символу QPSK. В цьому випадку в межах одного символу векторна діаграма QPSK завжди знаходиться в одній точці сузір'я, як показано внизу рисунка, і стрибкоподібно переходить в точку, що відповідає наступному символу при зміні символу. Оскільки QPSK має тільки чотири точки в сузір'ї, то обвідна фази може приймати тільки чотири значення. Амплітудну обвідної сигналу QPSK також можна отримати з комплексної обвідної:

$$a(t) = \sqrt{I^2(t) + Q^2(t)}$$

Відмітимо, що амплітудна обвідна QPSK-сигналу всюди дорівнює 1, лише у моментах зміни символів, які передаються, тобто у моменти перескоку переходу та фази у наступну точку сузір'я.

2.3 Квадратурна амплітудна модуляція QAM

Типом багатопозиційною амплітудно-фазової модуляції є алгоритм квадратурної амплітудної модуляції (QAM) є. В технології ADL широко використовується цей алгоритм.

Якщо використовується алгоритму QAM сигнал, що передається, кодується одночасними змінами амплітуди синфазної складової $I(t)$ і квадратури $Q(t)$ компонент несущого гармонійного коливани. Результуючий сигнал $Z(t)$ формується при складанні цих коливани. Отже, сигнал QAM може бути представлений співвідношенням:

$$Z_m(t) = I_m \cdot \cos(2\pi f_c t) + Q_m \cdot \sin(2\pi f_c t),$$

де t – змінюється в діапазоні $[(m-1) \cdot \Delta t \dots m \cdot \Delta t]$;

m – порядковий номер дискретного відліку часу;

Δt – крок квантування вхідного сигналу за часом;

p – крок квантування вхідного сигналу за амплітудою;

α_m і β_m – модуляційні коефіцієнти.

$$I_m = \alpha_m \cdot p$$

$$Q_m = \beta_m \cdot p$$

В комплексному вигляді може бути поданий цей сигнал також:

$$Z_m = A_m \cdot \exp(2\pi f_c t + \phi_m),$$

де $A_m = \sqrt{Q_m^2 + I_m^2}$ – алгоритм зміни амплітуди модульованого сигналу;

$\phi_m = \arctg\left(\frac{Q_m}{I_m}\right)$ – алгоритм зміни фази модульованого сигналу.

Таким чином, при використанні квадратурної амплітудної модуляції інформація кодується одночасними змінами амплітуди і фази несучого коливання.

Шляхом додавання векторів квадратурних і синфазних компонентів на рисунку 2.9 показано принцип формування результуючого коливання. співвідношенням для A_m визначається амплітуда вектора Z_m , а кут що утворює цей вектор з абсцисою, визначається співвідношенням для $\phi_m = \arctg\left(\frac{Q_m}{I_m}\right)$.

Одне і те ж значення дискрета зміни амплітуди використовується при модуляції синфазної і квадратурної складових коливань несучої. Тому на фазовій площині дійсної та уявної складових вектора модульованого сигналу ці кінці векторів модульованого коливання утворюють прямокутну сітку. Кількість вузлів в цій сітці визначається типом використовуваного алгоритму QAM.

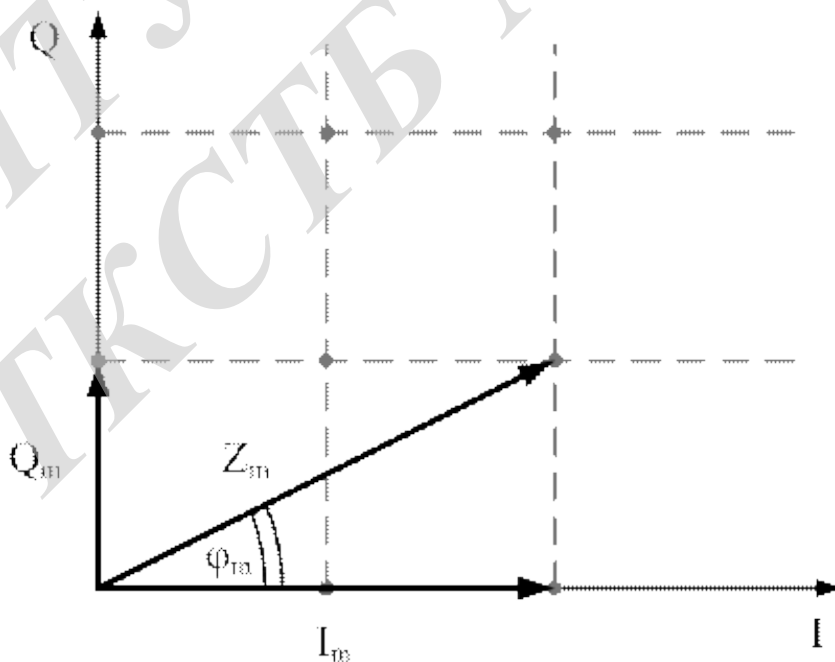


Рисунок 2.9 – Комплексне подання QAM

На рис.2.10 наведено спрощену структуру модулятора QAM-сигналу.

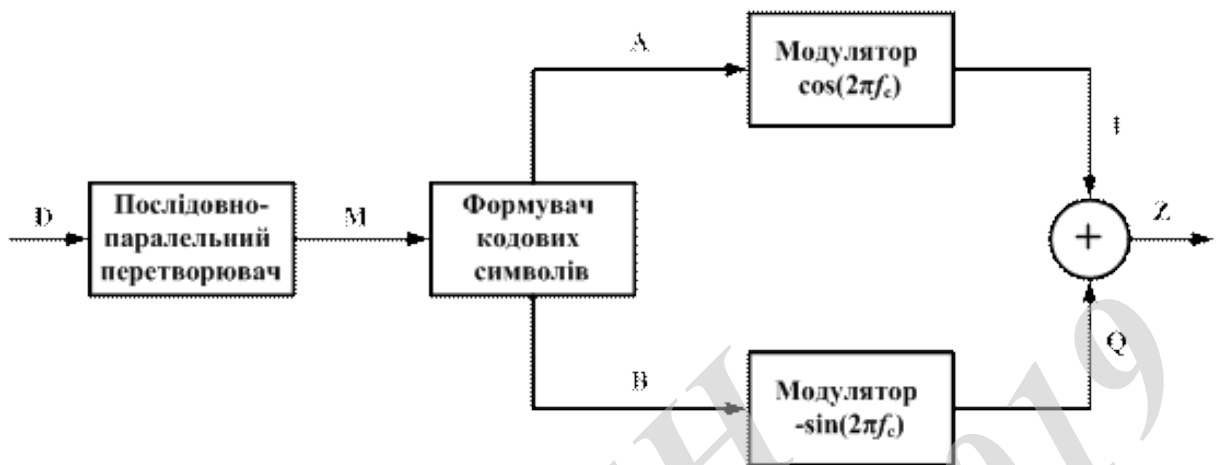


Рисунок 2.10 – Структура модулятора QAM

QAM-передавач складається з скремблера, кодера, модулятора, ЦАП, і ФНЧ-фільтра, рисунок 2.11.

У приймальній частині сигнал ділиться на два ортогональних підканали для подальшої обробки, що включає в себе розпізнавання складних символів, подання їх в двійковому вигляді і дескремблювання. Для компенсації дисперсії, викликані властивостями каналу, в приймачі застосовується еквалайзер.

Однак у зв'язку з недостатньою завадозахищеністю кодування при використанні QAM використовується різновид цього метода - модуляція з ґратчастим кодуванням, або трелліс-кодуванням [19]. Вона підвищує завадозахищеність передачі інформації, знижуючи вимоги до відношення сигнал / шум в каналі на величину від 3 до 6 дБ. Суть цього кодування полягає у введенні надмірності інформації, що передається. Простір сигналів розширюється вдвічі шляхом додавання до інформаційних бітів чергового, який утворюється шляхом згорткового кодування частини інформаційних бітів і введення елементів запізнювання. Розширена таким чином група піддається QAM-модуляції. При демодуляції прийнятий сигнал декодується за алгоритмом

Віттербі, що дозволяє за рахунок введення надмірності і знання передісторії вибрати найбільш достовірну точку з сигнального простору за критерієм максимальної правдоподібності і визначити значення інформаційних біт.

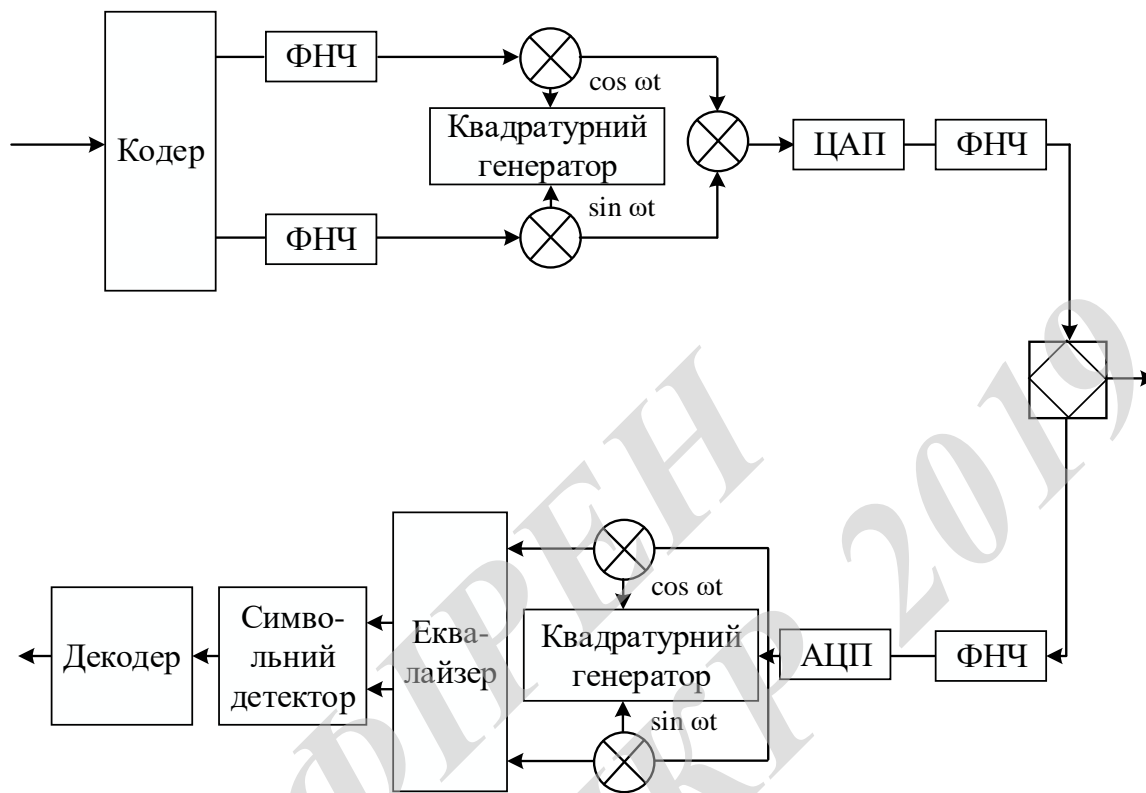


Рисунок 2.11 – Приймально-передавальний пристрій QAM

В ADSL технології набули поширення кілька типів QAM: від алгоритму модуляції QAM-4, який має назву QPSK, до алгоритмів QAM-16, 32, 64, 128 і 256.

По суті різновидом алгоритму гармонічної амплітудної модуляції є алгоритм квадратурної амплітудної модуляції, і тому має такі важливі властивості:

- ширина спектра QAM-коливання не перевищує ширини спектра модулюючого сигналу;
- частотою несущого коливання визначається положення спектра QAM-коливання в частотній області.

Ці властивості алгоритму дозволяють будувати високошвидкісні системи передачі даних xDSL по двухпроводній лінії з частотним поділом прийнятого (низхідного) і переданого (висхідного) інформаційних потоків.

Реалізація алгоритму QAM-N визначає значення таких параметрів:

- розмірність модуляційного символу, який визначається як двійковий логарифм від кількості точок сузір'я N [біт];
- символна швидкість [Бод];
- центральна частота f_0 .

Для алгоритму QAM характерно те, що його завадостійкість тим нижча, чим більша спектральна ефективність. Завади призводять до виникнення неконтрольованих змін амплітуди і фази переданого сигналу. Оскільки відстань між точками на фазовій площині зменшується, рисунок 2.12, що означає зменшення у певному розумінні різниці між символами сигналу і їх стає важко відрізнити один від одного, то зростає ймовірність помилкового розпізнавання спотвореного прийнятого вектора z_m^* на приймальній стороні.

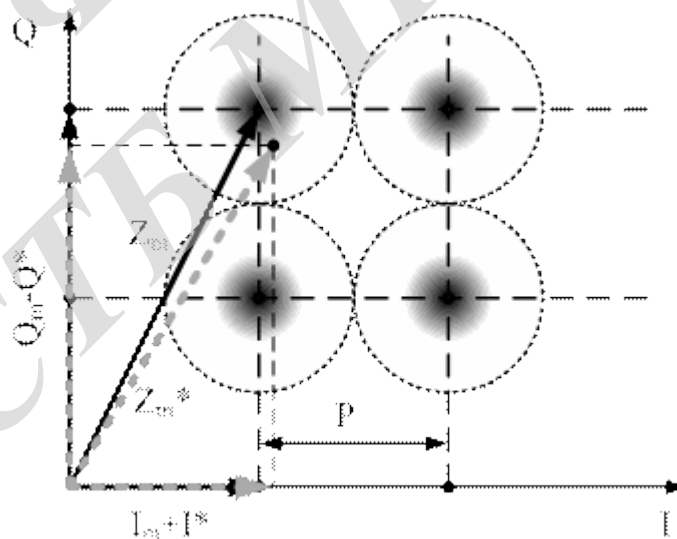


Рисунок 2.12 – Вплив дії завад на сигнал QAM у комплексній площині

На рисунку 2.12 показаний умовно граничний рівень допустимих амплітудних і фазових спотворень модульованого сигналу QAM у вигляді кола діаметром P . Центр цього кола є вузлом квадратурної сітки на фазовій площині.

Спотворений вектор модульованого QAM-коливання представлений заштрихованими областями на рисунку. Це відповідає координатам при дії на корисний сигнал завади, відносний рівень якої визначається співвідношенням SNR від 20 до 30 дБ.

Рисунок 2.13 дає пояснення розрахункової залежності очікуваного значення BER (Bit Error Rate) від співвідношення SNR для алгоритму QAM з різними значеннями багато позиційності. Можна використати додаткове кодування (пунктирні лінії), наприклад, за допомогою алгоритму Ріда-Соломона (Reed-Solomon). Це дозволить підвищити завадостійкість модульованого сигналу.

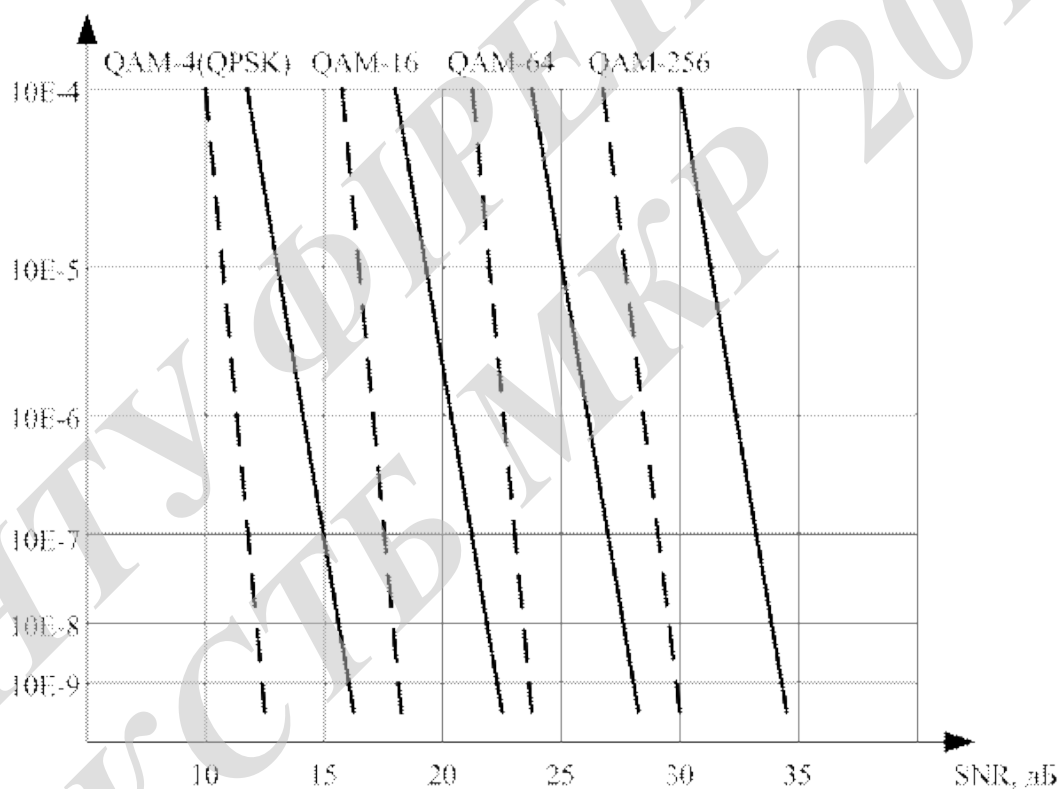


Рисунок 2.13 – Залежність інтенсивності помилкових бітів від відношення сигнал/шум

Реалізація алгоритму квадратурної амплітудної модуляції забезпечує достатньо високі показники спектральної ефективності. З іншого боку він є відносно простим з точки зору технічної реалізації, але ефективним алгоритмом кодування xDSL-сигналів [22]. Уже зазначалось, що спектр QAM-сигналу є

обмеженим, а тому в сукупності з відносно високим рівнем завадостійкості алгоритм квадратурної амплітудної модуляції забезпечує можливість побудови на основі цієї технології високошвидкісних систем передачі даних.

Суттєвим недоліком алгоритму квадратурної амплітудної модуляції можна вважати відносно невисокий у спектрі модульованого коливання рівень корисного сигналу. Цей недолік спостерігається в усіх алгоритмах гармонійної амплітудної модуляції і проявляється в тому, що максимальну амплітуду в спектрі модульованого коливання має гармоніка з частотою несущого коливання.

2.4 Дискретна багаточастотна модуляція DMT

Всупереч існуючій думці, багаточастотний алгоритм Discrete Multi Tone (DMT) не є принципово новим. Основні положення цього алгоритму модуляції були сформульовані і запатентовані фахівцями Amati Communications (на момент написання статті ця компанія була частиною Texas Instruments Internet Access group) ще на початку 1990 років. У 1993 році технологія була обрана ANSI як алгоритм лінійного кодування для перспективних систем передачі даних. Складність технічної реалізації даного алгоритму на початковому етапі розвитку DSL-технологій обмежувала область його можливого застосування. Однак на даний момент алгоритм DMT має численні технічні реалізації і є одним з основних алгоритмів модуляції найбільш перспективних технологій ADSL і VDSL.

Алгоритм DMT побудований за принципово іншою, ніж у наведених вище алгоритмів, схемою. На відміну від алгоритмів QAM, даний алгоритм використовує не одну, а групу частот несучих коливань. При використанні цього алгоритму модуляції весь розрахунковий частотний діапазон лінії ділиться на кілька ділянок шириною по 4,3125 кГц. Кожен з цих ділянок використовується для організації незалежного каналу передачі даних.

DMT використовує модуляцію з багатьма несучими. Час розбивається на стандартні «періоди символу» (symbol period), в кожен з яких передається один DMT - символ, що переносить фіксовану кількість біт. Біти об'єднуються в групи і присвоюються сигнальним несучим різної частоти. Отже, з частотної точки зору, DMT розбиває канал на велике число підканалов. Пропускна здатність залежить від смуги частот, тобто підканали з більшою пропускнуою здатністю переносять більше біт. Біти для кожного підканала перетворюються в складне число, від значення якого залежить амплітуда і фаза відповідного сигнальної несучої частоти. Таким чином, DMT можна уявити як набір КАМ систем, які функціонують паралельно, кожна на частоті несучої відповідній частоті підканала DMT (дивися малюнок 15). Отже, DMT передавач по суті здійснює модуляцію шляхом формування пакетів сигнальних несучих для відповідного кількості частотних підканалов, об'єднання їх разом і потім посилки їх в лінію як «символу DMT».

Рисунок 2.14 ілюструє приклад частотної організації вхідного потоку. В напрямку абонента створюється 249 частотних каналів. У процесі перевірки якості лінії передавач вибирає для кожного з каналів найбільш оптимальний вид модуляції. У каналах з невисоким рівнем шумів бути використовуються алгоритми з великими значеннями позиційності, наприклад, QAM-64, в той час, як на зашумлених ділянках використовується більш простий вид модуляції, наприклад QPSK. Отже такий принцип регулювання швидкості передачі даних дозволяє узгодити фактично структуру символу з параметрами лінії, по якій сигнал буде передаватися. Кількісно інформація, таким чином, розподіляється між незалежними каналами відповідно до їх пропускнуої спроможності, а приймач відновлює початковий інформаційний потік. На рисунку 2.15 наведений описаний вище процес.

Рисунки 2.15 та 2.16 відповідають однаковому стану каналі передачі з точки зору співвідношення сигнал/шум.

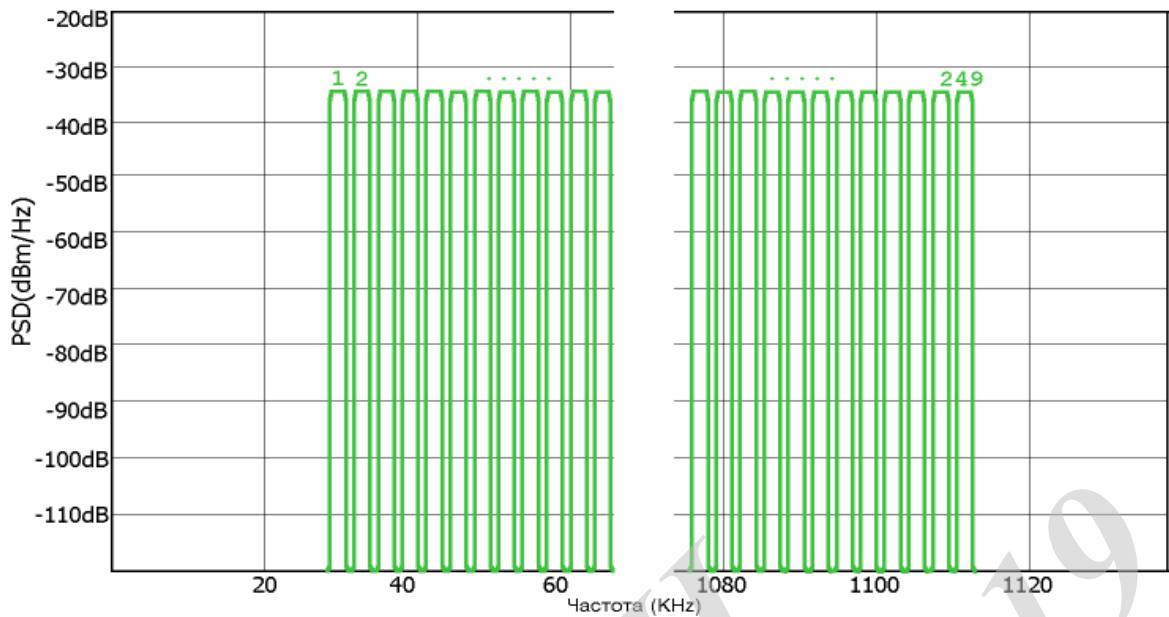


Рисунок 2.14 – Частотна організація вхідного потоку стандарту DMT

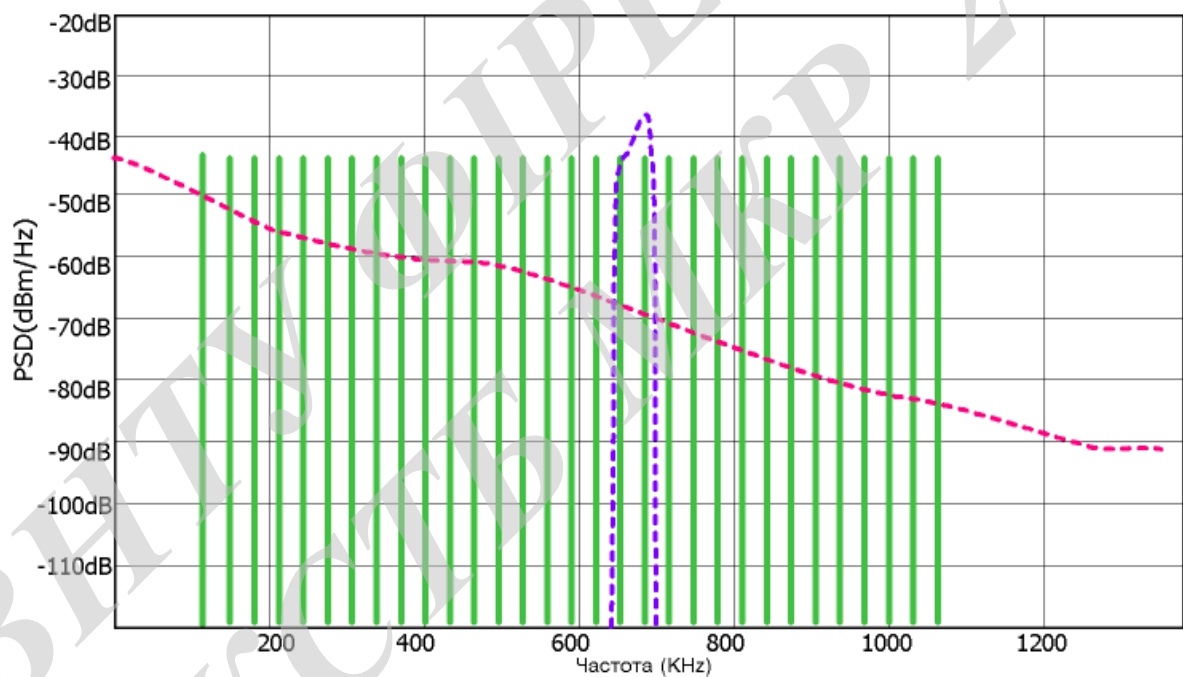


Рисунок 2.15 – Адаптація до стану каналу

Модуляція / демодуляція з використанням багатьох несущих реалізується в повністю цифровій схемі за допомогою розвитку методів швидкого перетворення Фур'є БПФ (Fast Fourier Transform - FFT). Ранні реалізації DMT функціонували погано через складність забезпечення рівних проміжків між підканалами. Сучасні реалізації функціонують успішно завдяки наявності

інтегральних мікросхем, що реалізують БПФ-перетворення апаратно, що дозволяє ефективно синтезувати сукупність КАМ-модульованих несущих.

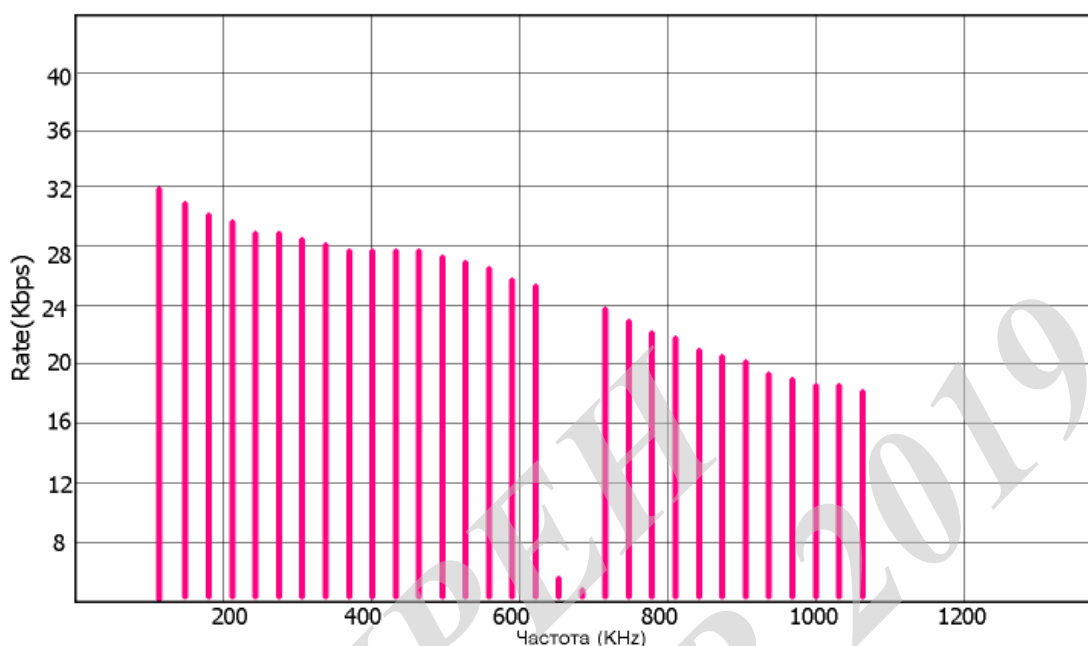


Рисунок 2.16 – Залежність швидкостей передачі даних

Суттєвою проблемою для DMT є міжсимвольна інтерференція, яка проявляється у тому, що частина попереднього DMT-символа спотворює початок наступного символу. Таким чином, підканали не є повністю незалежними один від одного з точки зору частоти. Боротьба з цим явищем полягає у тому, що:

вводять додатковий інтервал перед кожним символом;

вводять коректор часу (Time Domain Equalizer - TEQ) для компенсації функції передачі по каналу; це рішення вважається складним;

вводять «циклічний префікс» (cyclic prefix), який додається до кожного модульованого сигналу.

При використанні DMT кількість біт даних, переданих по кожному підканалі може змінюватися залежно від рівня сигналу і шуму в даному підканалі. Кількість біт даних, переданих по кожному підканалі визначається на фазі ініціалізації. На більш високих частотах використовується КАМ нижчої

розрядності, а на низьких - КАМ вищої розрядності. У доповненні до цього, розподіл кількості біт по підканалах може адаптуватися на фазі передачі даних, в залежності від якості каналу.

Висновки

Технологія ADSL базується на використанні в обох напрямках передачі дискретної багаточастотної модуляції DMT. Стандарти передбачають роботу в частотних смугах 1,1 та 2,2 МГц, що суттєво обмежує модуляційну швидкість передачі. Для досягнення комерційних значень інформаційної швидкості передачі у кожному з підканалів DMT, зокрема, використовуються багатопозиційні методи модуляції. У даному розділі розглянуті методи модуляції, які застосовує ця технологія.

Бінарна фазова модуляція BPSK є найбільш завадостійкою, але не дає збільшення інформаційної швидкості. Квадратурна фазова модуляція QPSK дає збільшення інформаційної швидкості вдвічі порівняно з бодовою швидкістю, що визначається смугою пропускання підканалу DMT. Модуляція QAM має найвищу спектральну ефективність, дає можливість одним символом переносити декілька біт інформації, але із збільшенням кратності зменшується її завадостійкість.

Важливою особливістю модуляції DMT є можливість адаптованого застосування будь-якого з розглянутих видів модуляції в окремих підканалах залежно від завадової обстановки – чим більший рівень завади, тим менша швидкість передачі інформації реалізується, оскільки у цьому випадку виявляється вищою завадостійкість. Низький рівень завади у певному підканалі дає можливість використати модуляцію, яка забезпечить високу швидкість передачі. Отже, цей вид модуляції дозволяє ефективно боротися з так званою селективною завадою, залишаючи при цьому можливість досягнення значної спектральної ефективності в каналі передачі.

3 ПОТЕНЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГІЙ ADSL

3.1 Потенційні характеристики СП ADSL при рівномірному адитивному шумі на вході приймача

Потенційними характеристиками цифрових абонентських ліній є ті, які розраховуються по залежності швидкості передачі лінії ADSL від типу обладнання ADSL, типу телефонного кабелю, довжини абонентської лінії і спектра адитивних перешкод на вході приймача. , Вважається, що цей вплив може включати в себе різні перешкоди і перешкоди від різних джерел, включаючи перехідні перешкоди між парами багатопарних кабелів.

У даному розділі наведені графіки потенційних характеристик для СП ADSL, які розраховано за методикою, викладеною нижче. Сумарна швидкість передавання R ADSL-лінією складається зі швидкостей передавання всіма DMT-несущими [23]. Кількість несущих n і кількість передаваних на кожній несущій біт інформації $b(i)$ залежно від характеристик каналу зв'язку задаються адаптивно, що визначає займану смугу частот та швидкість передавання каналу.

$$R = 4000 \sum_{i=l_1}^{l_2} b(i) \quad (3.1)$$

де i – номер несучої, що відповідає частоті $i \cdot 4,3125$ кГц;

l_1 і l_2 – номери першої й останньої з використовуваних несущих;

4000 – кількість інформаційних кадрів у секунду.

Найбільша кількість $b(i)$ передаваних упродовж послідовної послідовності 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]:

$$b(i) = \text{floor} \left\{ \log_2 \left(1 + \frac{3SNR(i)}{h^2} \right) \right\} \quad (3.2)$$

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:

$$h = Q^{-1}\left(\frac{p}{1,7}\right) \quad (3.3)$$

де $Q^{-1}(x)$ – функція, обернена до $Q(x)$,

Примітка. Прийнято, що $p = 10^{-7}$, $h \approx 5,3$.

Проте, треба врахувати, що в системах ADSL [] швидкість передавання інформації має бути кратна 32 кбіт/с, тому праву частину формули (3.1) треба округлити в нижню сторону до найближчого кратного 32 кбіт/с:

$$R = 32 \cdot \left\lfloor \frac{4000 \sum_{i=l_1}^{l_2} b(i)}{32000} \right\rfloor \text{ кбіт/с.} \quad (3.4)$$

Співвідношення на вході приймача сигнал/завада на частоті i -ї несучої:

$$SNR(i) = 10^{0,1(HSD(i)-A(i)-N(i))},$$

де $PSD(i)$ – спектральна номінальна щільність потужності переданого сигналу на частоті i -ї несучої;

$A(i)$ – згасання на частоті i -ї несучої. Воно визначається частотними властивостями абонентського кабелю (довжиною кабелю і кілометричним згасанням);

$N(i)$ – спектральна щільність потужності завади на частоті i -ї несучої на вході приймача.

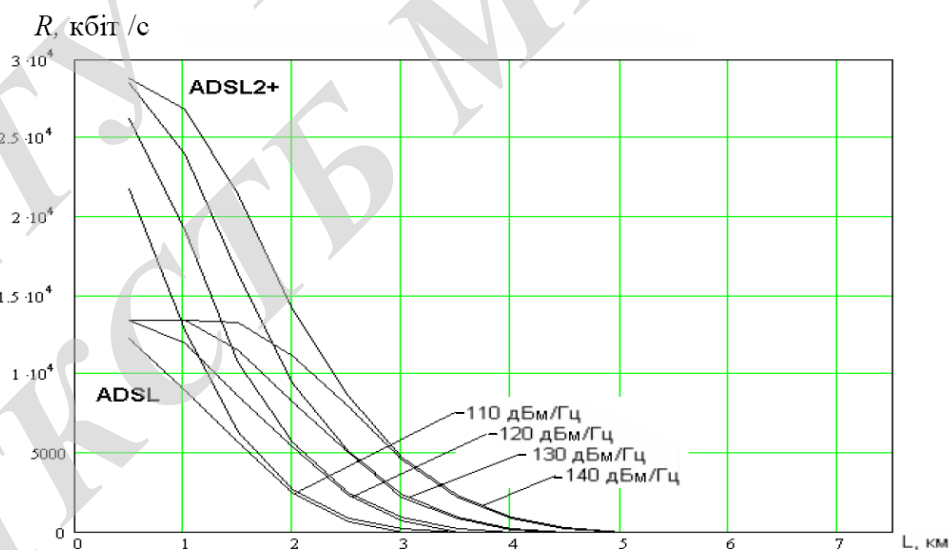
Технічні характеристики обладнання xDSL такі, що кількість бітів $b(i)$ доцільно встановлювати трохи нижчими від максимального значення, яке визначається формулою (3.2). Тому в розрахунках закладено запас завадозахищеності (SNR margin) $\Delta SNR(i)$, і у формулу (3.2) підставляється

$$SNR(i) = 10^{0,1(HSD(i) - A(i) - \Delta SNR(i))}$$

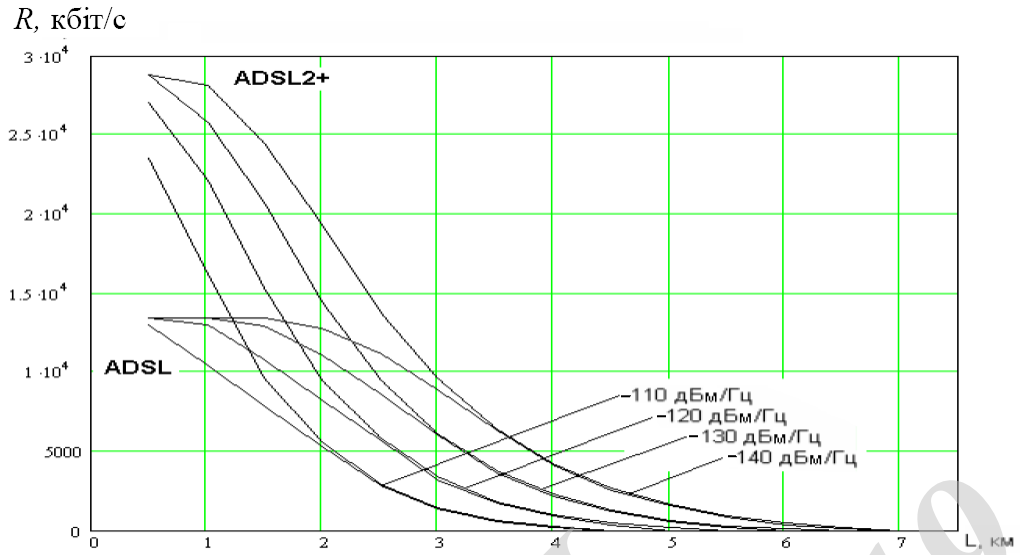
Таким чином, за відомим співвідношенням сигнал/завада на вході приймача та заданою необхідною ймовірністю помилки p , можна визначити кількість переданих протягом послідовності на i -й несущій бітів інформації $b(i)$, а потім і сумарну швидкість передавання інформації конкретною лінією.

Деякі результати розрахунків досяжних швидкостей передавання xDSL-лінією за описаною методикою наведено у вигляді графіків на рис. 3.1 – 3.4.

Розрахунки проведено для випадку рівномірної за частотою спектральної щільності потужності завад і $p = 10^{-7}$.

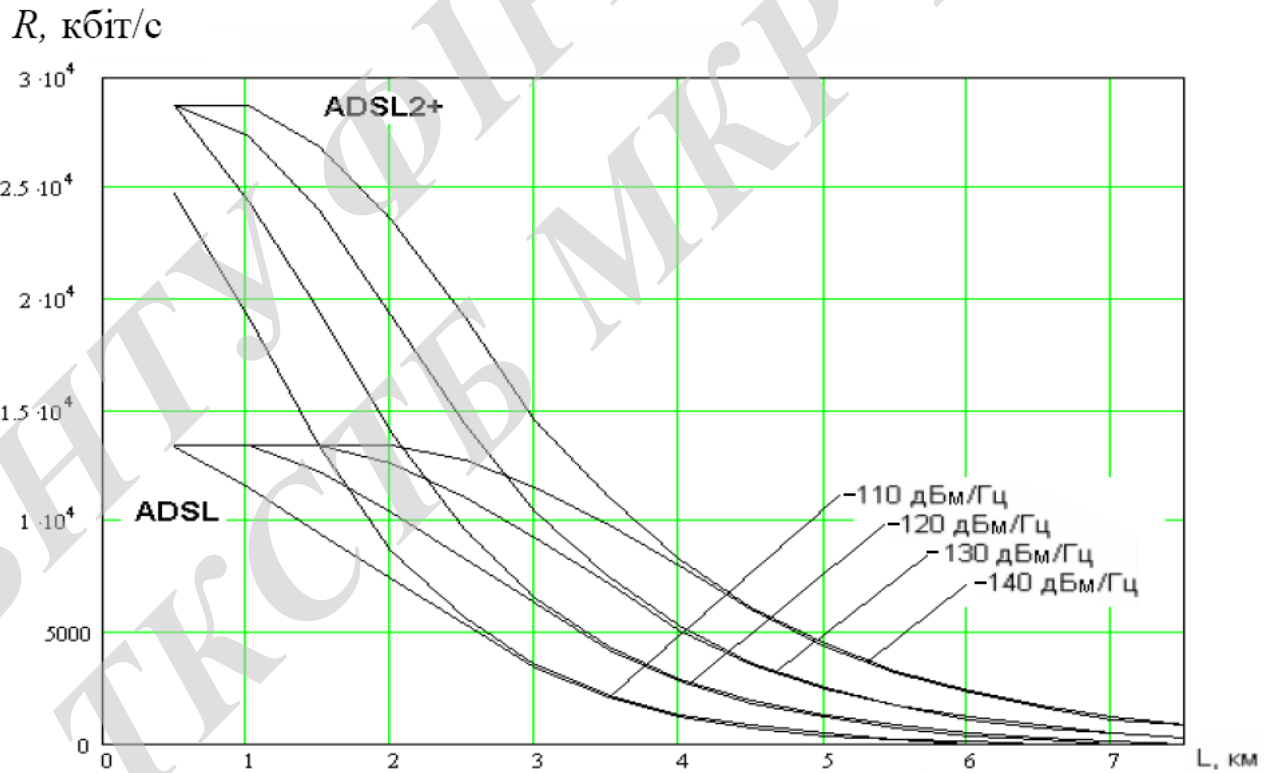


a)



б)

Рисунок 3.1 – Залежність швидкості передачі інформації в низхідному напрямку від довжини лінії кабелю з діаметром жил 0,32 мм (а) і 0,4 мм (б) за різної спектральної щільності потужності завад на вході приймача ADSL і ADSL2+



а)

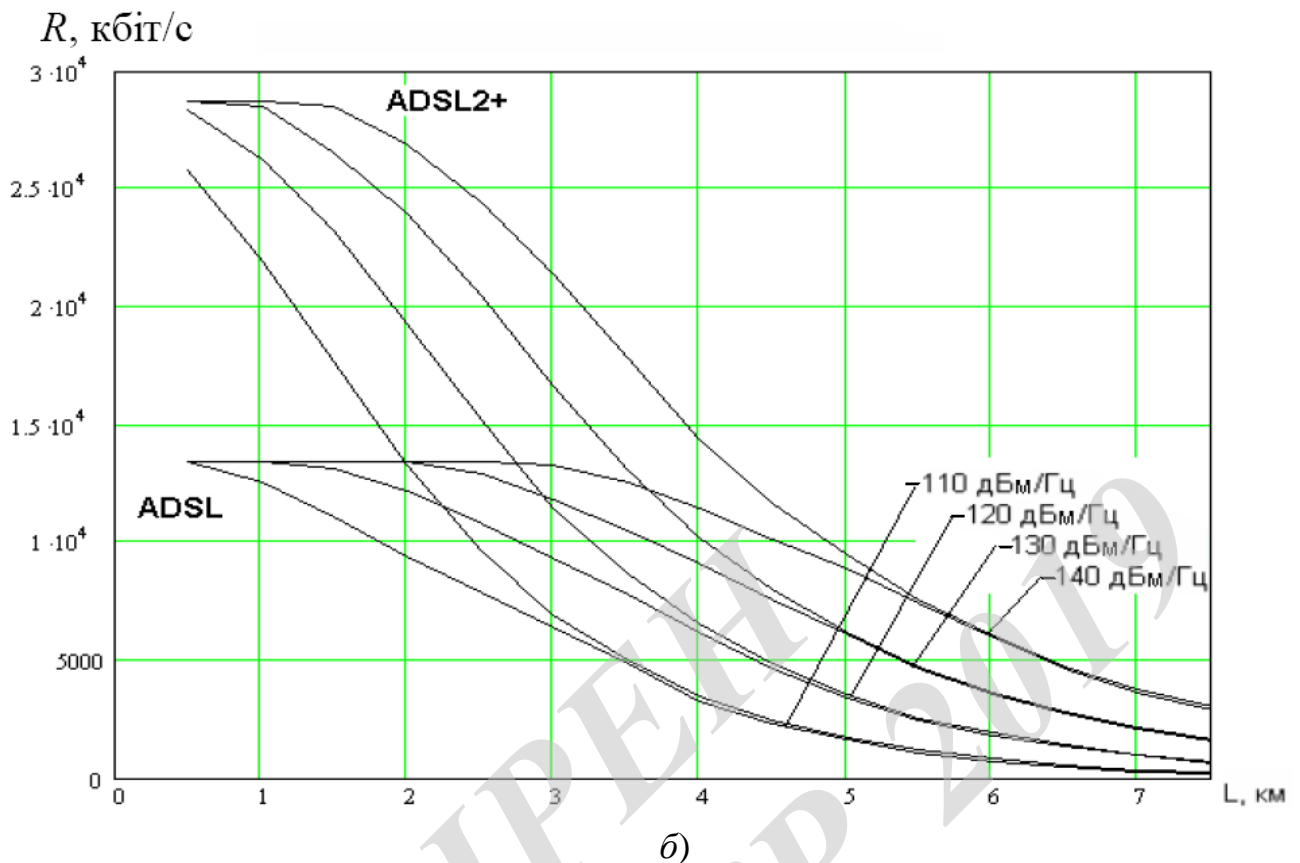


Рисунок 3.2 – Залежність швидкості передачі інформації в низхідному напрямку від довжини лінії кабелю із діаметром жил 0,5 мм (а) і 0,64 мм (б) за різної спектральної густини потужності завад на вході приймача ADSL і ADSL2+

Системи передачі ADSL2 і ADSL мають схожі сигнальні символи Тому результати розрахунків для систем передачі ADSL, що наведені на рисунку 3.1 – 3.2, справедливі і для ADSL2.

3.2 Оцінка потенційних характеристик цифрових абонентських ліній на багатопарних телефонних кабелях

Перехідні впливи у цифрових абонентських лініях при їх паралельній роботі є основним чинником, що обмежує швидкість і дальність передавання інформації по багатопарних телефонних кабелях. Це ілюструється рисунком 3.3, на якому схематично зображено дві цифрові абонентські лінії (DSL_i і DSL_j), що впливають одна на одну. Потужність сигналу, що поступає на вхід i -ї DSL, позначена $P_{inер}$. На приймач DSL_k надходить зменшений за рівнем у лінії зв'язку власний корисний сигнал потужністю $P_{кпр}$. Тому перехідні завади від

ближнього ($P_{\text{бл},i,k}$, $P_{\text{бл},j,k}$) та дальнього ($P_{\text{д},i,k}$ і $P_{\text{д},j,k}$) кінців залежать від переданих сигналів DSL_i і DSL_j.

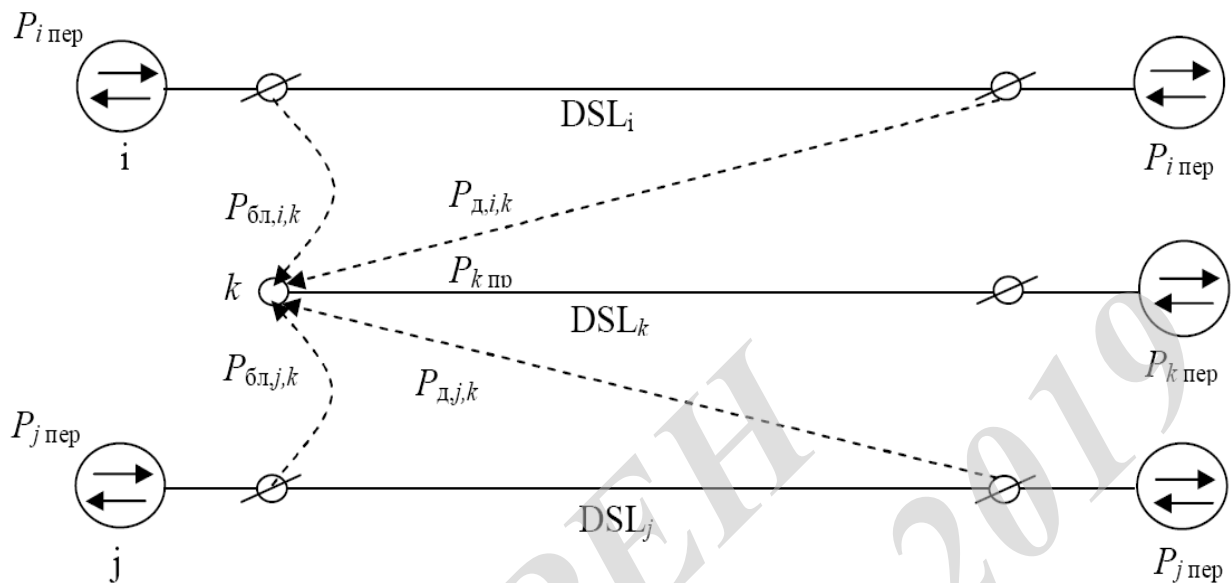


Рисунок 3.3 – Модель електромагнітних взаємодій DSL у багатопарному кабелі

Наведена модель електромагнітної сумісності послугувала для розробки програми «xDSL-Liner», що дозволяє виконувати розрахунок довжини та швидкості передавання для двох зустрічних напрямків цифровими абонентськими лініями для різних варіантів xDSL-обладнання, рівня шуму, числа пар, завантаження, діаметра жил, різних структур кабельної лінії.

Рисунок 3.4 демонструє певні результати розрахунків граничної довжини лінії ADSL2+ при використанні 10-парних кабелів типу ТП з діаметрами жил 0,32; 0,4; 0,5 і 0,64 мм для різних рівнів спектральної щільності потужності білого шуму на вході приймача і різних заданих швидкостей передавання сигналів ADSL2+.

Результати розрахунків підтверджують те, що гранична довжини лінії ADSL2+ за умови зростання відсотка навантаження кабелю зменшується. Установлено, що чим більша величина спектральної щільності потужності шуму, тим менш вираженою є ця залежність. Така закономірність пояснюється тим, що зі збільшенням спектральної щільності потужності шуму «питома

вага» перехідних завад у сумарній заваді, що є сумою перехідних завад і білого шуму, зменшується. Аналогічно зменшується частка перехідних завад у сумарній заваді із зменшенням необхідної швидкості передавання, оскільки меншій швидкості передавання відповідає більша гранична довжина лінії, а перехідні завади на дальньому кінці зменшуються зі зростанням довжини лінії. Отже і швидкість зменшення граничної довжини лінії ADSL2+ із зростанням відсотка завантаження кабелю зменшується.

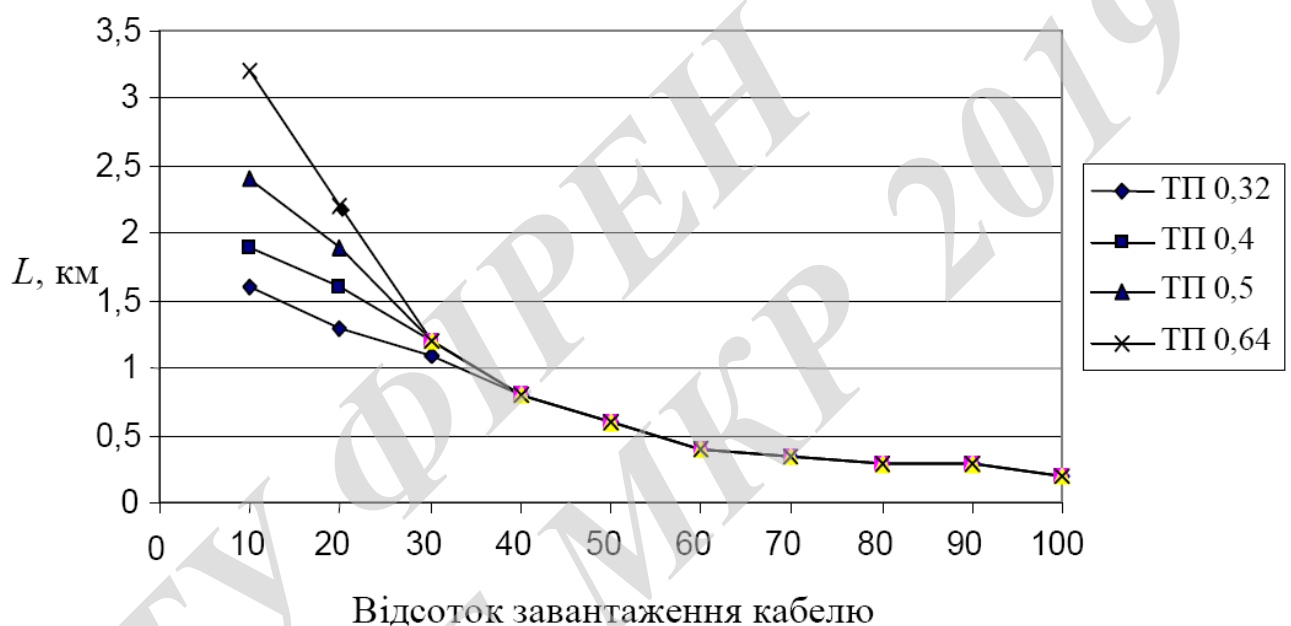


Рисунок 3.4 - □ Довжина лінії ADSL2+ для швидкості 930 кбіт/с у висхідному напрямку і для швидкості 19650 кбіт/с у низхідному при використанні 10-парного кабелю і спектральної щільності потужності білого шуму мінус 140 дБм/Гц залежно від відсотка завантаження пар кабелю лініями ADSL2+

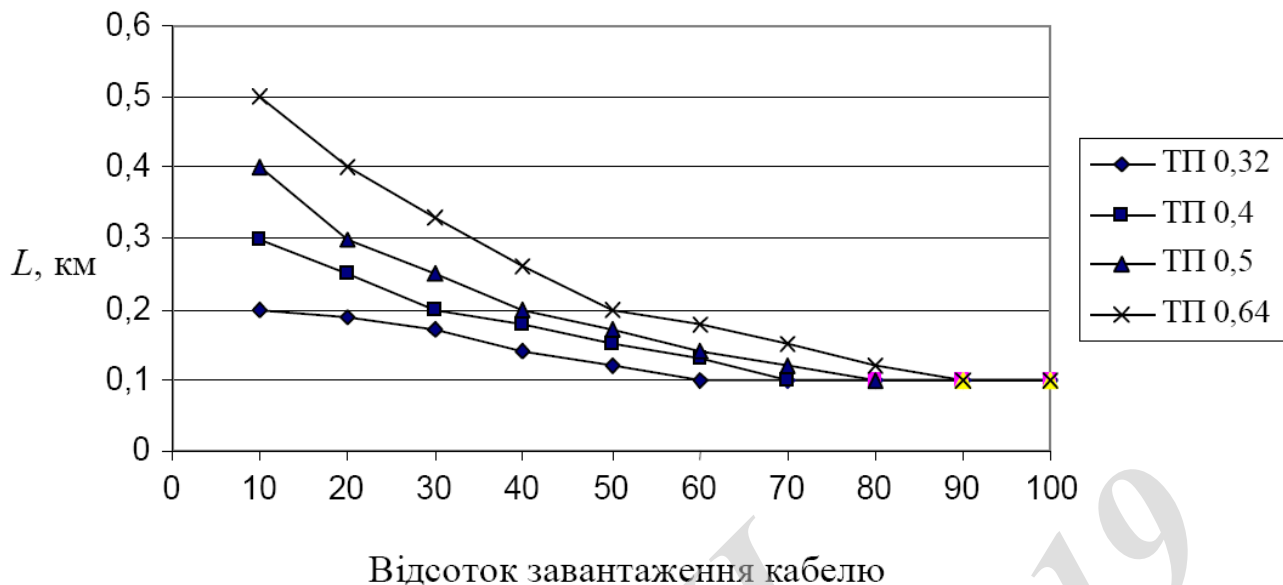


Рисунок 3.5 – Довжина лінії ADSL2+ для швидкості 930 кбіт/с у висхідному напрямку і для швидкості 19650 кбіт/с у низхідному при використанні 10-парного кабелю і спектральної щільності потужності білого шуму мінус 100 дБм/Гц залежно від відсотка завантаження пар кабелю лініями ADSL2+

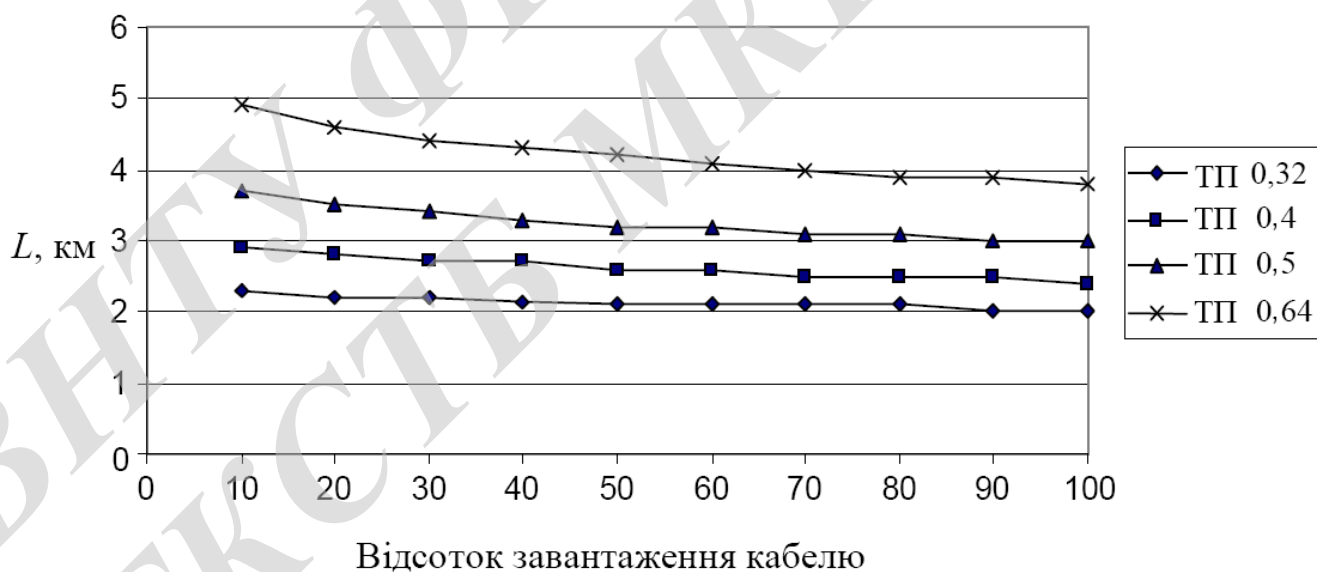


Рисунок 3.6 – Довжина лінії ADSL2+ для швидкості 930 кбіт/с у висхідному напрямку і для швидкості 9830 кбіт/с у низхідному при використанні 10-парного кабелю і спектральної щільності потужності білого шуму мінус 140 дБм/Гц залежно від відсотка завантаження пар кабелю лініями ADSL2+

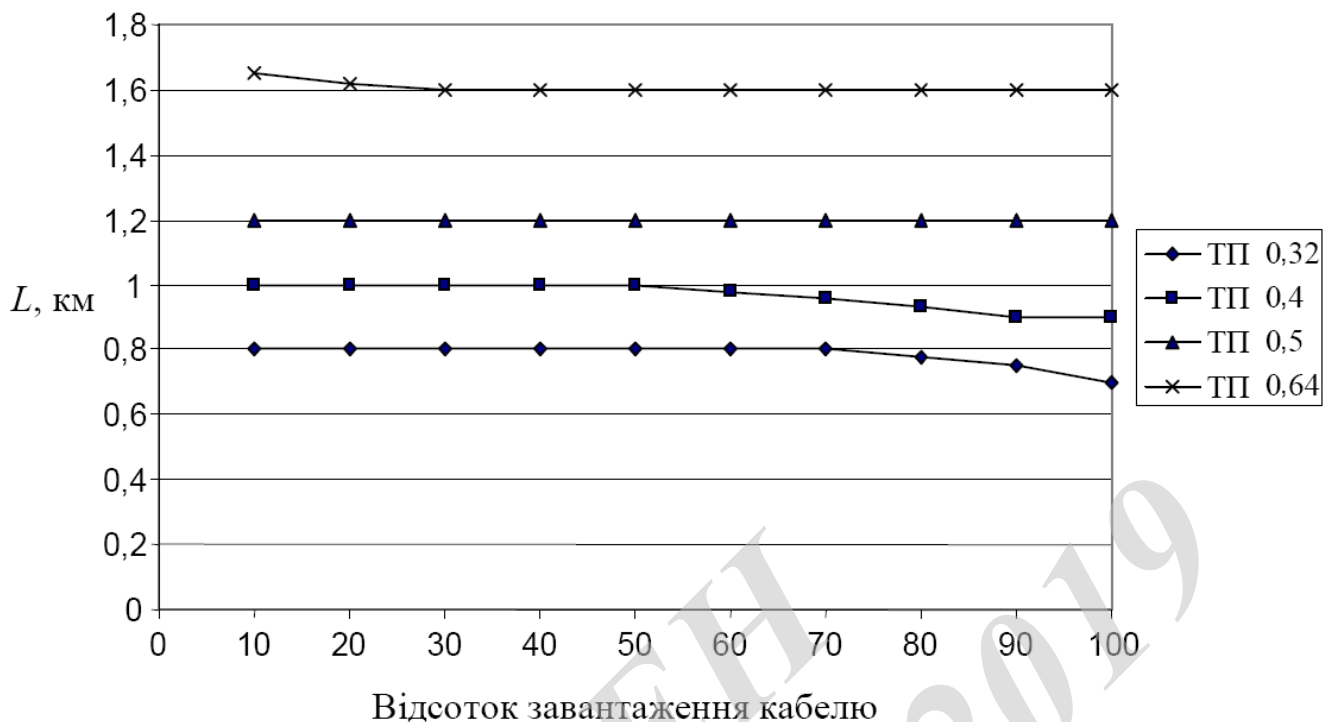


Рисунок 3.7 – Довжина лінії ADSL2+ для швидкості 930 кбіт/с у висхідному напрямку і для швидкості 9830 кбіт/с у низхідному при використанні 10-парного кабелю і спектральної щільності потужності білого шуму мінус 100 дБм/Гц залежно від відсотка завантаження пар кабелю лініями ADSL2+

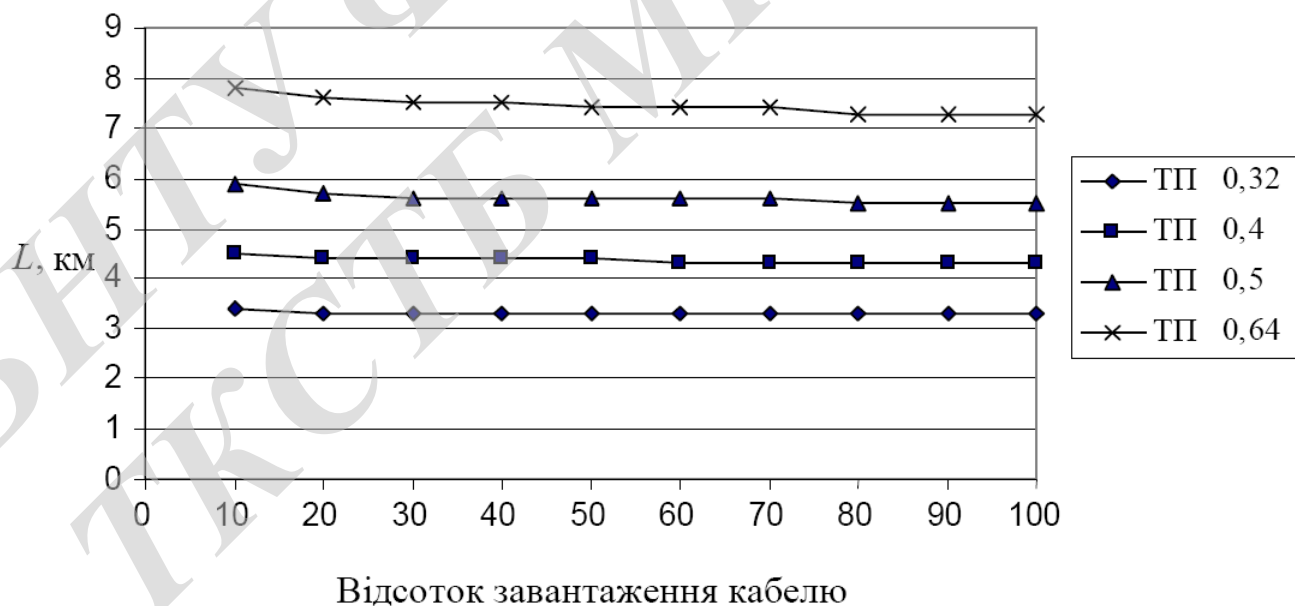


Рисунок 3.8 - Довжина лінії ADSL2+ для швидкості 2464 кбіт/с у низхідному напрямку й 608 кбіт/с – у висхідному за використання 10-парного кабелю і спектральної щільності потужності білого шуму мінус 140 дБм/Гц залежно від відсотка завантаження пар кабелю лініями ADSL2+

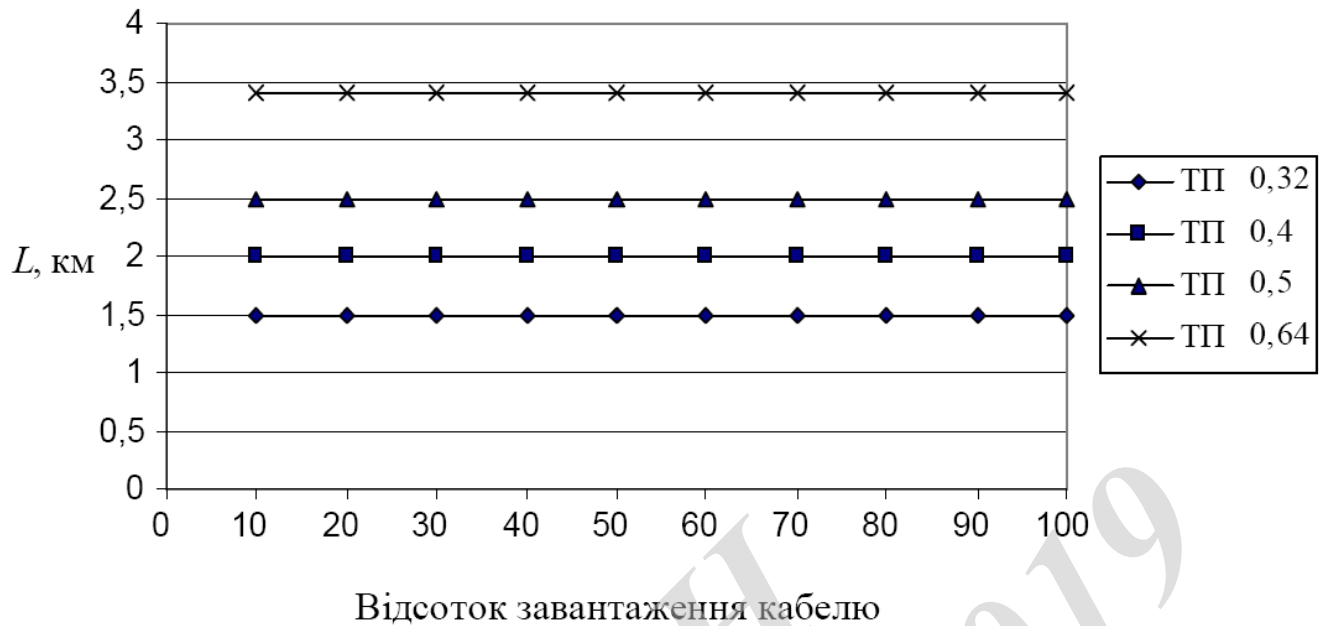


Рисунок 3.9 - □ Довжина лінії ADSL2+ для швидкості 2464 кбіт/с у низхідному напрямку й 608 кбіт/с – у висхідному за використання 10-парного кабелю і спектральної щільності потужності білого шуму мінус 100 дБм/Гц залежно від відсотка завантаження пар кабелю лініями ADSL2+

Висновки

Ослаблення сигналів при передачі викликано наявністю втрат в лінії. Чим менше діаметр проводу і більше його довжина, тим менший рівень сигналу отримає приймач. Отже, прийнятий сигнал складніше буде розпізнати на тлі шуму і зросте рівень помилок. Як характеристики якості прийнятого сигналу в системах передачі даних використовують відношення сигнал/шум (Signal - Noise Ratio - SNR) обчислюється в децибелах (dB). Рівень сигналів прийнято вказувати у вигляді відношення до мілівата, яке також обчислюється в децибелах (dBm).

Теоретично значення відношення сигнал/шум можна збільшити, якщо підняти рівень сигналу, що передається. Однак в цьому випадку зросте і рівень перешкод, які даний сигнал буде давати в сусідні канали. Стандарти DSL чітко визначають максимальний рівень сигналу, що може передаватися в лінію - стандартно цей рівень відповідає значенню -13.5 dBm. Крім електричних наведень від зовнішніх джерел електромагнітного випромінювання (атмосферні розряди, комутація сільноточних ланцюгів і т.д.), найбільший вплив на сигнал

надають якраз ті перешкоди, що викликані передачею даних на високій швидкості по інших парах багатожильного кабелю. У термінології DSL такі перешкоди називаються NEXT (Near End Cross talk). Значення NEXT збільшується зі зростанням числа пар кабелю, використовуваних для передачі даних, і при збільшенні частоти переданих сигналів. Забезпечення спектральної сумісності є однією з найбільш важливих завдань, що вирішуються при розробці та реалізації різних алгоритмів лінійного кодування даних.

Результати розрахунків підтверджують залежності відстані передавання від діаметру жил кабелю: із зростанням діаметра жил відстань передавання також зростає (рисунки 3.4 – 3.9). 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.

4 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИФРОВИХ АБОНЕНТСЬКИХ ЛІНІЙ, ПОБУДОВАНИХ ПО ADSL - ТЕХНОЛОГІЇ

У зв'язку із стрімким розвитком технологій xDSL і появою на вітчизняному ринку великої кількості устаткування зв'язку, яке використовується цією технологією, проблема оцінки характеристик цифрового абонентського доступу xDSL [11] з урахуванням характеристик реальних ліній місцевих мереж набуває особливої гостроти.

Характеристики вітчизняних АЛ відрізняються від закордонних, тому застосовувати результати закордонних досліджень для оцінки характеристик xDSL-устаткування при використанні вітчизняних телефонних кабелів недоцільно. Дослідження характеристик DSL-устаткування на вітчизняних телефонних кабелях носять несистематичний і неметодичний характер, в публікаціях про результати тестування DSL- устаткування відсутні відомості про умови тестування (наприклад, про рівень завад в абонентській лінії), що не дозволяє зробити висновки про реальні можливості устаткування.

Ціль даного моделювання цифрових абонентських ліній, побудованих на базі ADSL (як найбільш розповсюдженої і перспективної на сьогоднішній день), дає можливість отримати залежність швидкості передачі по ADSL-лінії від типу телефонного кабелю, довжини абонентської лінії і рівня завад на вході приймача.

4.1 Методика моделювання

В результаті аналізу характеристик і алгоритмів функціонування ADSL була розроблена математична модель, що включає параметри, які визначають її завадозахищеність (рисунок 4.1). Модель ADSL включає:

- блок формування спектру групового сигналу;
- DMT-модулятор і відповідно демодулятор;

- передавальний і приймальний фільтри з передавальними функціями (ПФ) $P(\omega)$ і $F(\omega)$ відповідно;
- канал зв'язку з ПФ $H(\omega)$ і джерело білого шуму із спектральною щільністю потужності шуму N_0 .

У модель не включені алгоритми кодування кодом Ріда-Соломона, яке присутнє в системі передачі ADSL. Це пов'язано з тим, що облік цих алгоритмів спричинив би значне ускладнення моделі, що небажано, а окрім цього, виграш від 3 до 5 дБ, забезпечуваний цими алгоритмами, практично не пов'язаний з частотними характеристиками лінії передачі і може бути додатково врахований в результатах моделювання.

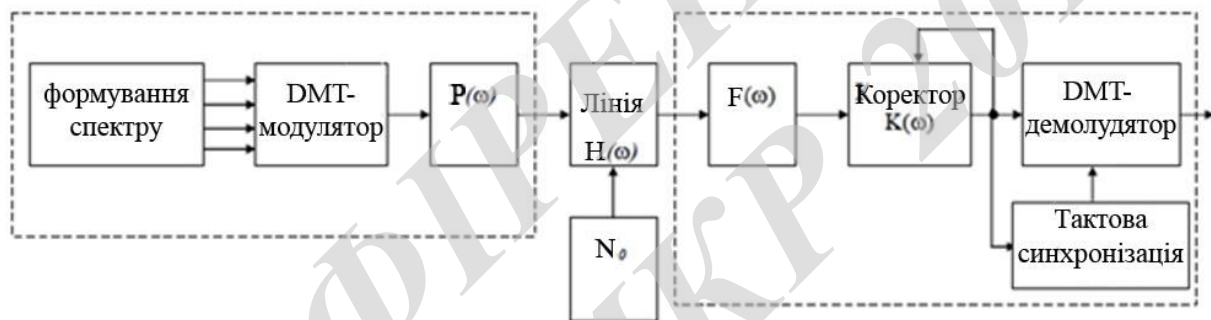


Рисунок 4.1 – Модель ADSL

Дальність зв'язку по ADSL і досяжній при цьому швидкості передачі інформації визначаються перш за все захищеністю сигналу, що приймається, від адитивних перешкод, а також необхідною вірогідністю помилки, яка регламентується рекомендаціями ITU, яка є рівною 10^{-7} .

Скориставшись приведеною математичною моделлю, здійснимо моделювання характеристик ADSL для різних АЛ, що задаються відповідними передавальними функціями. В якості заважаючого чинника враховуватимемо тільки білий адитивний шум гауса, що діє в лінії передачі.

Результатами моделювання є графічні залежності, що відповідають різним рівням спектральної густини потужності завади на вході приймача. Графіки наведені на рисунках 4.2 – 4.5 для кабелів 0,32 та 0,5 мм².

СП ADSL2, регламентована в [11], характеризується так же, як і в ADSL, маскою потужності переданого сигналу. Тому результати, представлені на рисунках 4.4–4.5. справедливі і для ADSL2.

4.2 Характеристики ADSL2+

Основною відмінністю СП ADSL2+ від ADSL є збільшення максимальної частоти в 2 рази і відповідно, майже двократне збільшення смуги частот переданого в вихідному напрямі сигналу, що дозволяє досягати значно більшої швидкості передачі інформації в вихідному напрямі.

Отримані графіки залежності швидкості передачі інформації в вихідному напрямі від довжини АЛ при різних потужностях завад на вході приймача ADSL2+ зображені на рисунках 4.6–4.9. для кабелів 0,32 та 0,5 мм².

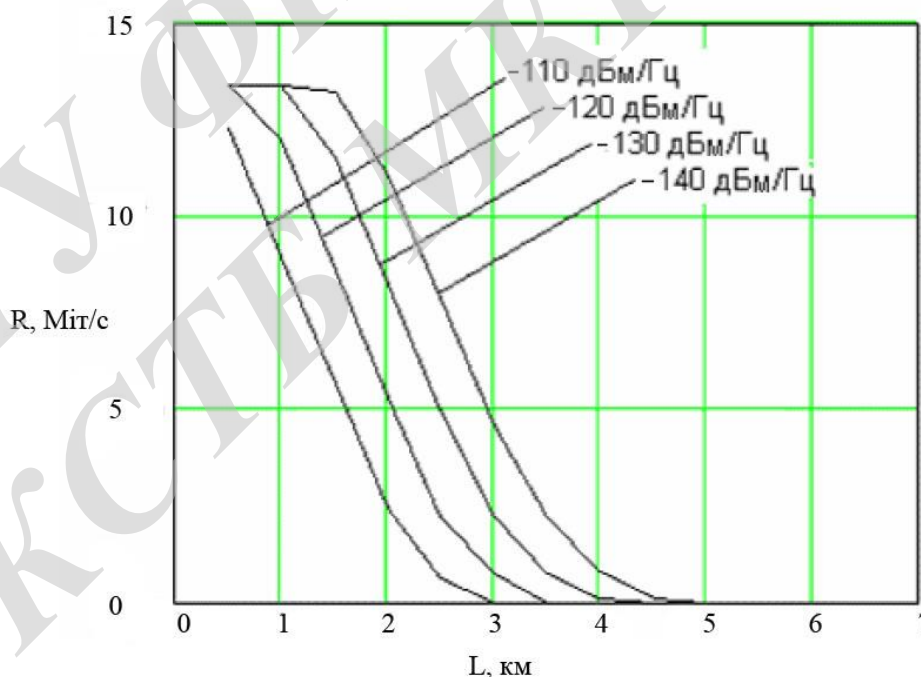


Рисунок 4.2 – Залежність довжини лінії від швидкостей передачі інформації, досяжних на АЛ кабелю ТПП 0,32 мм при різній спектральній густині потужності шумів на вході приймача ADSL

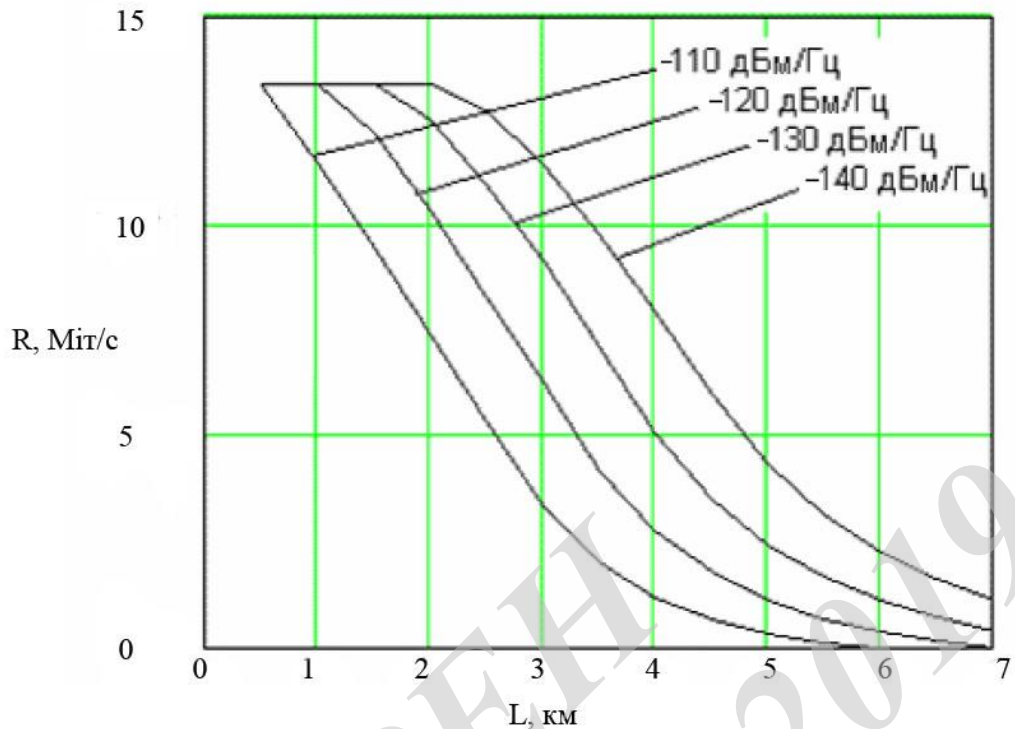


Рисунок 4.3 – Залежність довжини лінії від швидкостей передачі інформації, досяжних на АЛ кабелю ТПП 0,5 мм при різній спектральній густині потужності шумів на вході приймача ADSL

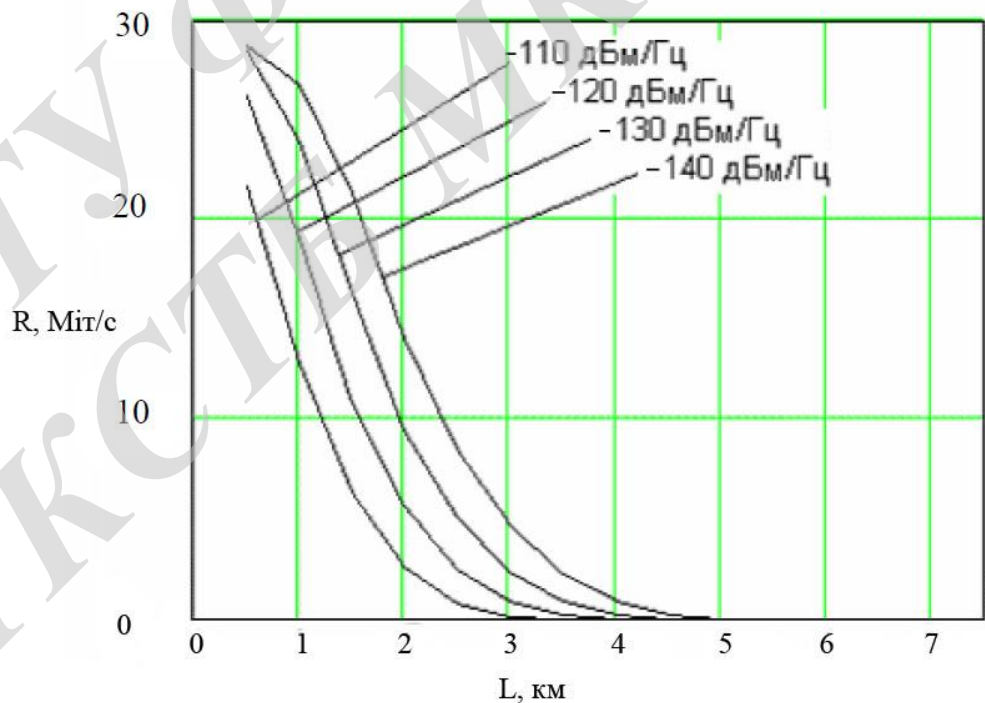


Рисунок 4.4 – Залежність довжини лінії від швидкостей передачі інформації, досяжних на АЛ кабелю ТПП 0,32 мм при різній спектральній густині потужності шумів на вході приймача ADSL2+

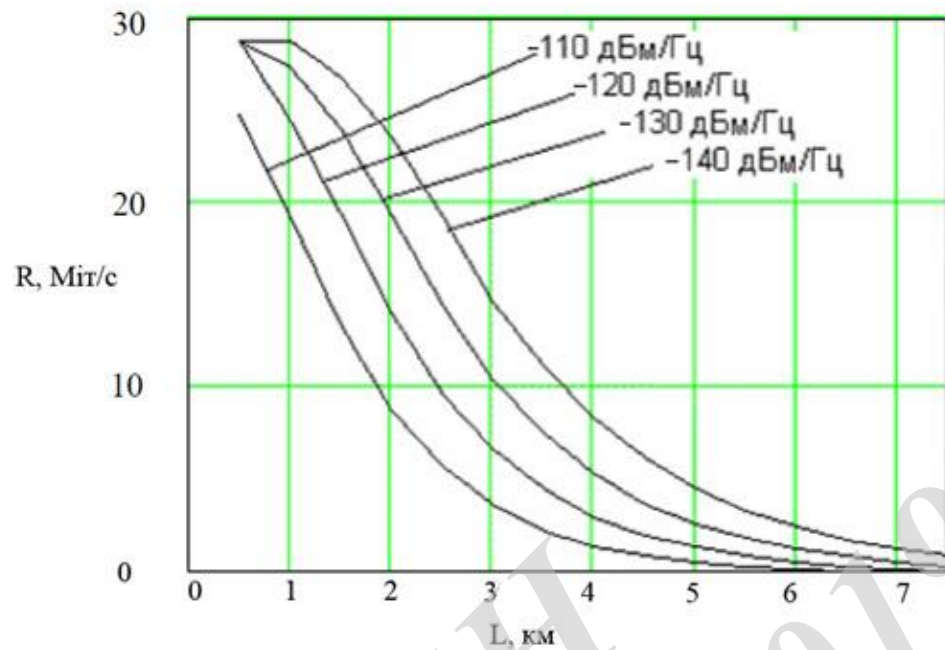


Рисунок 4.5 – Залежність довжини лінії від швидкостей передачі інформації, досяжних на АЛ кабелю ТПП 0,5 мм при різній спектральній густині потужності шумів на вході приймача ADSL2+

Висновки

Можна відзначити, що результати розрахунків демонструють значні переваги апаратури зв'язку ADSL2+ за швидкістю передачі по відношенню до ADSL при довжинах абонентських ліній менше 2 км. Цей факт має цілком строге фізичне пояснення: при довжинах абонентських ліній більше 2 км переваги розширення смуги частот переданого сигналу повністю нівелюються високим загасанням ліній. Отримані графіки дозволяють оцінювати можливості різних типів ADSL-устаткування і максимально досяжні характеристики цифрових абонентських ліній, побудованих на вітчизняних телефонних кабелях типу ТПП із застосуванням цього устаткування.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок витрат на проведення НДР

Для економічного розрахунку проведення НДР потрібно скласти кошторис витрат, який передбачає розрахунок визначених основних статей витрат.

Основна заробітна плата дослідників та розробників, яка розраховується за формулою [26]:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (5.1)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (дослідника), грн.;

T_p – число робочих днів в місяці, 22 дн.;

t – число днів роботи розробника (дослідника).

Проведені розрахунки зводимо до таблиці.

Таблиця 5.1 – Основна заробітна плата дослідників та розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
1. Керівник проекту	11000,00	500,00	44	22000,00
2. Ст. науковий співробітник	9500,00	431,82	44	19000,00
3. Інженер-конструктор телекомунікаційних систем	7550,00	343,18	30	10295,45
4. Спеціаліст з аналітично-математичних досліджень	8200,00	372,73	30	11181,82
5. Інженер-схемотехнік вищ. кат.	7550,00	343,18	44	15100,00
6. Консультант-аналітик цифрових мереж	9500,00	431,82	44	19000,00
7. Технік	5100,00	231,82	22	5100,00
Разом				101677,27

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p), що здійснюють підготовку робочих місць та пристроїв необхідних для досліджень, підготовку та формування баз даних для розрахунків тощо, розраховуються на основі норм часу, які необхідні для виконання даної роботи, за формулою [26]:

$$Z_p = \sum_1^n t_i \cdot C_i \cdot K_c, \quad (5.2)$$

де t_i - норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин;

n - число робіт по видах та розрядах;

K_c - коефіцієнт співвідношень, який установлений в даний час Генеральною тарифною угодою між Урядом України і профспілками, $K_c = 1,26$;

C_i - погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує відповідну роботу, грн./год.

C_i визначається за формулою [26]:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i}{T_p \cdot T_{зм}}, \quad (5.3)$$

де, M_m - мінімальна місячна оплата праці, грн., $M_m = 4173,00$ грн.;

K_i - тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду;

T_p - число робочих днів в місяці, $T_p = 22$ дн.;

$T_{зм}$ - тривалість зміни, $T_{зм} = 8$ годин.

Проведені розрахунки внесемо до таблиці.

Таблиця 5.2 – Витрати на основну заробітну плату працівників

Найменування робіт	Трудоміст- кість, нормо- годин	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, 70рн..	Величина оплати, 70рн..
1. Встановлення допоміжного обладнання	16	2	1,1	23,27	524,94
2. Інсталяція програмного забезпечення	4	4	1,35	28,56	161,06
3. Налаштування цифрових мереж	2,3	5	1,7	35,96	116,62
4. Відлагодження інтерполяційних модулів	2,5	5	1,7	35,96	126,76
5. Формування цифрової експериментальної моделі мультисервісної	12	2	1,1	23,27	393,71

системи					
6. Формування структурної схеми інтерполятора	3,5	3	1,35	28,56	140,93
7. Монтаж експериментальної мережі	4	3	1,35	28,56	161,06
8. Узгодження параметрів цифрових блоків	4	5	1,7	35,96	202,82
9. Монтаж системи	6	4	1,7	35,96	304,23
10. Тренування системи	4	4	1,7	35,96	202,82
11. Регулювання компонентів системи	2,5	6	2	42,31	149,13
12. Випробування системи	2,5	7	2,2	46,54	164,04
13. Регулювання остаточне системи	1,0	7	2,2	46,54	65,62
Разом					2713,75

Додаткова заробітна плата розробників, дослідників та працівників, які приймали участь в дослідженнях та розробці НДР розраховується як 12 % від основної заробітної плати розробників та працівників:

$$Z_d = Z_o \cdot 12 / 100\% \quad (5.4)$$

$$Z_d = (101677,27 + 2713,75) \cdot 12 / 100 \% = 12526,92 \text{ (грн.)}$$

Нарахування на заробітну плату дослідників та працівників.

Згідно діючого законодавства нарахування на заробітну плату складають 22 % від суми основної та додаткової заробітної плати:

$$H_z = (Z_o + Z_d) \cdot 22 / 100\% \quad (5.5)$$

$$H_z = (101677,27 + 2713,75 + 12526,92) \cdot 22 / 100\% = 25721,95 \text{ (грн.)}$$

Витрати на матеріали на даному етапі проведення НДР пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальної моделі мережі, тому дані витрати формуються на основі офісно-лабораторних матеріалів. Розроблена модель лінії зв'язку з ADSL в середовищі програмування Matlab. Для дослідження ліній зв'язку складених з ділянок з різними первинними параметрами, використані А-параметри чотирьохполюсників, що дозволяє проводити аналіз характеристик абонентських ліній довільної конфігурації (як однорідних, так і неоднорідних; з ненавантаженими відводами при довільних первинних параметрах кожної ділянки ліній). Розроблений механізм досліджень довільних абонентських ліній зв'язку ADSL дозволяє адекватно оцінити можливості кожної лінії, що особливо цінно при установці устаткування ADSL на абонентські лінії.

Витрати на матеріали, що були використані при проведенні досліджень, розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою [26]:

$$M = \sum_{i=1}^n H_i \cdot C_i \cdot K_i, \quad (5.6)$$

де, - H_i - витрати матеріалу i -го найменування, кг;

C_i - вартість матеріалу i -го найменування, грн./кг.;

K_i - коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = 1,1$;

n - кількість видів матеріалів,

Проведені розрахунки зводимо до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Витрати на основні матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Одиниця виміру	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Папір канцелярський офісний (A4)	уп.	100,00	7,0	700,00
Папір для заміток (A5)	уп.	30,00	8,0	240,00
Папір креслярський (A1)	шт.	21,00	21,0	441,00
Папір креслярський (A3)	шт.	9,50	15,0	142,50
Начиння канцелярське	шт.	140,00	8,0	1120,00

Органайзер офісний	шт.	240,00	8,0	1920,00
Картридж для плотера (HP-2106)	шт.	350,00	2,0	700,00
Картридж для принтера (HP-2002)	шт.	1180,00	2,0	2360,00
Диск оптичний (CD-R)	шт.	10,00	4,0	40,00
Диск оптичний (CD-RW)	шт.	10,00	4,0	40,00
FLASH-пам'ять (16 ГБ)	шт.	350,00	2,0	700,00
Всього				8403,50

З врахуванням транспортних витрат вартість матеріалів складе

$$M = 8403,50 * 1,1 = 9309,85 \text{ грн.}$$

Амортизація обладнання для проведення досліджень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню можуть бути розраховані з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_б}{T_в} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.7)$$

де $Ц_б$ – балансова вартість обладнання, приміщень тощо, які використовувались для розробки нового технічного рішення, грн.;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, приміщень під час розробки, місяців;

$T_в$ – строк корисного використання обладнання, приміщень тощо, років.

Проведені розрахунки необхідно звести до таблиці.

Таблиця 5.4 - Величина амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн
Програмно-аналітичний комплекс	22800,00	5	2	760,00
Графічно-	24840,00	5	2	828,00

обчислювальний комплекс обробки даних				
Програмний продукт обробки даних	5600,00	3	2	311,11
Програмний продукт моделювання мереж MatLab8.0	6000,00	3	2	333,33
Місце оператора спеціалізоване	9200,00	5	2	306,67
Офісна оргтехніка	11300,00	4	2	470,83
Дослідницька лабораторія	211500,00	25	2	1410,00
Всього				4419,94

Витрати на силову електроенергію на проведення досліджень розраховують за формулою [26]:

$$V_e = V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_n, \quad (5.8)$$

де, V – вартість 1 кВт-години електроенергії, $V = 2,83$ грн./кВт –година;

P – встановлена потужність обладнання, кВт.;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин. ;

K_n – коефіцієнт використання потужності.

Всі проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Витрати на електроенергію при проведенні досліджень

Найменування обладнання	Кількість годин роботи обладнання, год.	Встановлена потужність, кВт	Коефіцієнт використання потужності	Величина оплати
Програмно-аналітичний комплекс	320,00	0,72	1	652,03
Графічно-обчислювальний комплекс обробки даних	320,00	0,76	1	688,26

Офісна оргтехніка	40,00	1,2	1	135,84
Місце оператора спеціалізоване	300,00	0,32	1	271,68
Всього				1747,81

Інші витрати охоплюють: загальнопромислові витрати, адміністративні витрати, витрати на відрядження, матеріали, окремі непередбачені витрати, зв'язок, витрати на інтернет-послуги тощо.

Інші витрати доцільно приймати як 200...300% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників.

Величина інших витрат складе:

$$I = (101677,27 + 2713,75) \cdot 210 / 100 = 219221,14 \text{ (грн.)}$$

Загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи.

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи:

$$B = 101677,27 + 2713,75 + 12526,92 + 25721,95 + 9309,85 + 132717,20 + 4419,94 + 1747,81 + 219221,14 = 377338,63 \text{ (грн.)}$$

5.2 Визначення коефіцієнта наукової значимості отриманих результатів

Коефіцієнт наукової значимості результатів проведеної НДР $K_{ЗН}$ можна підрахувати за формулою [26]:

$$K_{ЗН} = \frac{\sum_1^3 b_i \cdot d_i}{\sum_1^3 b_{\max} \cdot d_i}, \quad (5.9)$$

де b_i - значимість отриманих результатів: b_1 - ступінь наукової новизни, b_2 - рівень теоретичної обґрунтованості, b_3 - ступінь експериментальної перевірки результатів.

Бальна оцінка отриманих результатів наведена в таблиці .

Максимальне значення отриманих результатів можна прийняти в межах 7...10 балів;

d_i - питома вага кожної характеристики, значення якої наведено в таблиці;

3 – кількість характеристик, за якими була зроблена оцінка результатів науково-дослідної роботи.

Таблиця 5.6 – Показники для оцінювання наукової значимості результатів виконання НДР

Характеристики	Питома вага характеристик	Бальна оцінка характеристик		
		Ступінь новизни b_1	Рівень теоретичної обґрунтованості b_2	Ступінь експериментальної перевірки результатів b_3
		1	3...5	7...10
b_1	0,500	Часткове удосконалення виробів, технологій, матеріалів, програмного продукту, тощо	Суттєве удосконалення виробів, технологій, матеріалів, програмного продукту, тощо	Нові напрямки в розробці виробів, технологій, матеріалів, програмного продукту, тощо. Створення принципово нової техніки
b_2	0,333	Позитивне рішення на основі зроблених узагальнень	Установлення залежностей, які використовувались в інших випадках	Відкриття нових шляхів рішення задачі
b_3	0,167	Експериментальна перевірка не робилась	Результати перевірялись на невеликій кількості даних	Результати перевірені на великій кількості даних

Підставляючи числові дані $d_1 = 0,5$, $d_2 = 0,333$, $d_3 = 0,167$, $b_{\max} = 10$ у

вираз () оцінимо наукову значимість отриманих результатів:

$$K_{3H} = \frac{5 \cdot 0,5 + 7 \cdot 0,333 + 9 \cdot 0,167}{3 \cdot 0,5 + 7 \cdot 0,333 + 10 \cdot 0,167} = 0,96 .$$

5.3 Внесок магістранта-дослідника в досягнення отриманих результатів

Внесок дослідника в досягнення отриманих результатів НДР з дослідження модуляцій в мультисервісній системі широкосмугового доступу на основі ADSL-технології можна розрахувати за формулою [26]:

$$V = \frac{k_{ТВИ} \cdot Z_i}{\sum_1^n k_{ТВИ} \cdot Z_i}, \quad (5.10)$$

де $k_{ТВИ}$ - коефіцієнт творчої участі кожного виконавця НДР, який оцінюється наступним чином: проведення досліджень – 3 бали, робоче проектування – 1,5 бали, освоєння – 1,0 бал.

Якщо виконавець приймав участь в декількох видах робіт, то береться сума відповідних балів;

Z_i - заробітна плата кожного виконавця НДР;

n - кількість всіх виконавців НДР,

Розраховуємо внесок дослідника:

$$V = \frac{3 \cdot 5100,00}{3 \cdot 22000,00 + 1,5 \cdot 15100,00 + 3 \cdot 32450,00} = 0,02.$$

що загалом складає 2%

Висновки

Загалом запланована науково-дослідна робота з проведення досліджень модуляцій в мультисервісній системі широкосмугового доступу на основі ADSL-технології вимагає вкладення для проведення досліджень в межах 377388,00 грн.

Отримані результати досліджень мають високий рівень наукової значимості (в межах 0,96), що свідчить про доцільність проведення розробок та значимість науково-дослідної роботи з дослідження модуляцій в мультисервісній системі широкосмугового доступу на основі ADSL-технології.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Промислова безпека, що її розглядає охорона праці, має велике значення для трудової діяльності тому, що саме вона контролює фізичний стан працівника, що не може не позначитись на його житті, здоров'ї, а також результативності роботи в тому числі і в сфері радіоелектроніки.

В даному розділі наводиться аналіз небезпечних, шкідливих [1] і уражаючих для людини і оточуючого довкілля факторів, що виникають при проведенні дослідження модуляцій в мультисервісній системі широкопasmового доступу на основі ADSL-технології. Тут розглядаються, в тому числі, технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення допустимої довжини провідника (антени), при якій напруженість електричного поля на робочому місці знаходиться в межах норми, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення дослідження, безпека у надзвичайних ситуаціях.

6.1 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

6.1.1 Склад повітря робочої зони та мікроклімат

Вибираємо для приміщення для проведення дослідження модуляцій в мультисервісній системі широкопasmового доступу на основі ADSL-технології, категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Іа.

Згідно із [2] допустимі показники мікроклімату у робочій зоні для холодного та теплого періодів року приведені у таблиці К.1 додатку К.

При опроміненні менше 25% поверхні тіла людини, допустима інтенсивність теплового опромінення складає 100 Вт/м².

Повітря робочої зони не повинно містити шкідливих речовин з концентраціями вище гранично допустимих концентрацій (ГДК) в повітрі робочої зони і підлягає систематичному контролю з метою запобігання

можливості перевищення ГДК, значення яких для роботи з ЕОМ наведено в таблиці К.2 додатку К.

При використанні ЕОМ джерелом зараження повітря є також іонізація молекул речовин, що містяться у повітрі. Рівні додатних та від'ємних іонів мають відповідати [4] і наведені в таблиці К.3 додатку К.

З метою забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату і складу повітря робочої зони передбачено такі заходи:

- 1) у приміщенні повинна бути розміщена система опалення для холодного і кондиціонування для теплого періодів року;
- 2) припливно-витяжна система вентиляції, а при несприятливих погодних умовах кондиціонування.

6.1.2 Виробниче освітлення

Для створення раціональних гігієнічних умов на робочих місцях значні вимоги пред'являються до кількісних та якісних параметрів освітлення.

З погляду задач зорової роботи в приміщенні, де проводиться робота з дослідження модуляцій в мультисервісній системі широкопasmового доступу на основі ADSL-технології, відповідно до [3] знаходимо, що вони відносяться до IV розряду зорових робіт. Вибираємо контраст об'єкта з фоном – великий, а характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд 2.

Нормативні значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) та мінімальні значення освітленості для штучного освітлення приведені в таблиці К.4 додатку К.

Оскільки приміщення знаходиться у м. Вінниця (2-га група забезпеченості природним світлом), а світлові пройми розташовані за азимутом 90°, то для таких обставин КЕО розраховується за виразом [3, 4]

$$e_N = e_n m_N [\%], \quad (6.1)$$

де e_n – табличне значення КЕО для бокового освітлення, %;

m_N – коефіцієнт світлового клімату;

N – порядковий номер групи забезпеченості природним світлом.

За відомими значеннями одержимо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

$$e_{N,6} = 1,5 \cdot 0,85 = 1,28 (\%);$$

$$e_{N,c} = 0,9 \cdot 0,85 = 0,77 (\%).$$

З метою забезпечення нормованих значень параметрів освітлення запропоновано:

1) за недостатнього природного освітлення у світлий час доби доповнення штучним завдяки використанню люмінесцентних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення;

2) застосування штучного освітлення в темний час доби.

6.1.3 Виробничі віброакустичні коливання

Зважаючи на те, що при використанні пристроїв крім усього іншого устаткування застосовується обладнання, робота якого генерує шум та вібрацію, потрібно передбачити захист від шуму та вібрації.

Встановлено, що приміщення, в якому відбувається робота з дослідження модуляцій в мультисервісній системі широкосмугового доступу на основі ADSL-технології може містити робочі місця із шумом та вібрацією, що спричиняється вентиляторами блоку живлення комп'ютера та кулерами мікропроцесора, відеоадаптера.

Для запобігання травмуванню працівників від дії шуму він підлягає нормуванню. Основним документом стосовно промислового шуму, що діє на території нашої країни, є [5], у відповідності з яким нормовані рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні шуму на робочих місцях в виробничих приміщеннях не мають перевищувати значень, що наведено в таблиці К.5

додатку К. Норми виробничих вібрацій наведені в таблиці К.6 додатку К для локальної вібрації.

З метою поліпшення віброакустичного клімату у приміщенні передбачено:

- 1) періодичне змащування підшипників вентиляторів блоку живлення комп'ютера і кулерів мікропроцесора та відеоадаптера;
- 2) передбачено використовувати в приміщенні штори із щільної тканини.

6.1.4 Виробничі випромінювання

Проведений аналіз умов праці показав, що приміщення, в якому проводиться робота з дослідження може містити електромагнітні випромінювання.

Гранично допустимі рівні електромагнітних полів наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 6.1 – Гранично допустимі значення електромагнітних полів на робочих місцях згідно [14]

Параметри та одиниці вимірювання	Граничні значення в діапазонах частот					
	1-10 кГц	10-60 кГц	0,06-3 МГц	3-30 МГц	30-50 МГц	50-300 МГц
$E_{Гд}$, В/м	1000	700	500	300	80	
$E_{H_{Гд}}$, $(В/м)^2 \cdot год$	120000	40000	20000	7000	800	
$H_{Гд}$, А/м	75	57	50	–	3,0	–
$E_{H_{H_{Гд}}}$, $(А/м)^2 \cdot год$	675	390	200	–	0,72	–

Для забезпечення захисту та досягнення нормативних рівнів випромінювань потрібно використовувати екранування робочого місця і скорочення часу опромінення за рахунок перерв на відпочинок.

Визначимо допустиму довжину провідника (антени), по якому протікає струм силою в $I = 75$ А, при якій напруженість електричної складової ЕМВ на робочому місці, віддаленому на $r = 0,4$ м, знаходиться в межах норми. Частота поля $f = 3$ МГц.

Біля джерела ЕМВ виділяють ближню зону (зону індукції), що знаходиться на відстані $r \leq \lambda / 2\pi$, і далеку зону (зону випромінювання), для якої $r > \lambda / 2\pi$, де λ – довжина хвилі, м.

Допустиму довжину провідника (антени) в умовах електричного поля для ближньої зони можна визначити з формули

$$E_{\text{бл}} = \frac{IL_E}{4\pi^2 f \epsilon r^3} \text{ [В/м]}, \quad (6.2)$$

звідки

$$L_E = \frac{4\pi^2 f \epsilon r^3 E_{\text{бл}}}{I} \text{ [м]}, \quad (6.3)$$

де $E_{\text{бл}}$ – напруженість електричного поля ближньої зони, В/м;

I – сила струму в провіднику (антені), А;

r – віддаленість робочого місця, м;

f – частота електромагнітного поля, Гц;

ϵ – діелектрична проникність середовища, Ф/м (для повітря $\epsilon = 1$ Ф/м).

Для діапазону частот 3...30 МГц $E_{\text{ГД}} = 3$ В/м.

Після підстановки відомих значень у формулу (6.3), одержимо:

$$L_E = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 3 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 0,4^3 \cdot 3}{75} = 302886,91 \text{ (м)}.$$

6.2 Технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення дослідження

На теперішньому етапі розвитку техніки, автоматизації розробок та досліджень широкого використання на робочому місці набули ЕОМ. Наявність великої кількості прикладних програм сприяє тому, що ЕОМ є основним робочим інструментом інженера в галузі радіотехніки.

6.2.1 Безпека щодо організації робочих місць

Оснащені відеодисплейним терміналом робочі місця повинні розміщатися на відстані не менше ніж 1,5 м від стіни з вікнами, від інших стін – на відстані 1 м, одне від одного на віддалі не менше ніж 1,5 м. У випадку розміщення робочих місць потрібно виключити ймовірність прямого засвічування екрану джерелом природного освітлення. Робоче місце доцільно розташовувати так, щоб природне світло падало на нього збоку, переважно зліва [7].

Розташовувати відеодисплейний термінал на робочому місці необхідно так, щоб поверхня екрана повинна розташовуватись на віддалі 0,4-0,7 м від очей користувача. Висота робочої поверхні столу при виконанні роботи сидячи повинна налаштовуватись в діапазоні 0,68-0,8 м. Робочий стіл повинен мати простір для ніг висотою не менше 0,6 м, шириною не менше як 0,5 м, глибиною на рівні колін не менше 0,45 м та на рівні витягнутої ноги не менше як 0,65 м [8].

6.2.2 Електробезпека

У середині приміщення, в якому проводиться робота з дослідження модуляцій в мультисервісній системі широкосмугового доступу на основі ADSL-технології, значну увагу потрібно надати уникненню небезпеки ураження електричним струмом. Згідно [9] це приміщення належить до приміщень із підвищеною небезпекою ураження електричним струмом в наслідок наявності значної (більше 75 %) відносної вологості. Через це безпека використання електрообладнання має забезпечуватись рядом заходів, які включають застосування ізоляції струмовідних елементів, захисних блокувань, захисного заземлення та ін [10].

6.2.3 Пожежна безпека

Відповідно до [11] приміщення, де проводиться робота з дослідження модуляцій в мультисервісній системі широкосмугового доступу на основі ADSL-

технології, відноситься до категорії пожежної небезпеки В. Дане приміщення відноситься до 3-го ступеня вогнестійкості, в якому приміщення знаходяться в будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1, Г2. До елементів покриттів не висовуються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку.

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій розглядуваного приміщення наведені в таблиці К.7. В таблиці К.8 приведено протипожежні норми проектування будівель і споруд.

Вибираємо, що приміщення, в якому проводиться робота з дослідження, має бути обладнане двома вогнегасниками, пожежним щитом, а також ємністю з піском [12].

6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Вплив радіації приводить як до оборотних, так і необоротних змін електричних властивостей твердотільних приладів та інтегральних схем. Оскільки вказані зміни можуть спричиняти відмови електронних підсистем, значні зусилля останнім часом скеровуються на розробку методів, що дозволяють уникнути погіршення параметрів радіоелектронної апаратури (РЕА) під час опромінення.

Електромагнітний імпульс (ЕМІ) ушкоджує напівпровідникові прилади, резистори, конденсатори та ін. Це являє значну небезпеку для апаратури, добре захищеної від дії інших загрозливих факторів. Тому слід пам'ятати про те, що захист РЕА від механічних ушкоджень не оберігає від впливу ЕМІ. Апаратури може втратити працездатність, перебуваючи у безпечних захисних спорудженнях.

6.3.1 Дослідження безпеки роботи ADSL мережі в умовах дії іонізуючих випромінювань

Як критерій безпеки роботи приймаємо максимальне значення дози опромінення елементної бази, при якому в елементній базі ADSL мережі можуть виникнути зміни, але пристрій ще буде працювати з необхідною якістю. Дані аналіз елементної бази ADSL мережі заносимо в таблиці 6.2.

Знаходимо елемент, що найбільше піддається дії випромінювання, тобто елемент з мінімальним значенням $D_{зв.min} = 10^4$ Р.

Визначаємо граничне значення дози:

$$D_{гр} = k \cdot D_{зв} \cdot k_{носл} [P]; \quad (6.4)$$

$$D_{гр} = 0,93 \cdot 10^4 \cdot 1,9 = 17670 (P),$$

де k – коефіцієнт надійності (приймається $k = 0,93$);

$D_{зв}$ – доза, яка відповідає початку зворотних змін в елементах;

$k_{носл}$ – коефіцієнт послаблення радіації (приймається $k_{носл} = 1,9$).

Таблиця 6.2 – Максимально допустимі дози опромінення елементів РЕА

Блоки	Елементи ADSL мережі	$D_{зв.i}, P$	$D_{зв.Б}, P$	$D_{зв.min}, P$
Блок живлення	Резистори 75С	10^6	10^5	10^4
	Діоди Д18	10^5		
Блок керування	Конденсатори DA7	10^6	10^4	
	Транзистори S2000AF	10^4		
	Мікросхеми CD4000	10^5		

Отже, безпечне функціонування ADSL мережі в умовах дії іонізуючих випромінювань забезпечується для $D_{гр} < 17670$ Р, що є достатньо великим значенням.

6.3.2 Дослідження безпеки роботи ADSL мережі в умовах впливу

електромагнітного імпульсу

Вихідні дані: напруга живлення $U_{жс} = 220 \pm 5\%$ В; максимальна довжина горизонтальної струмопровідної частини електричної принципової схеми $l_B = 0,22$ м.

За критерій безпеки роботи радіоелектронних систем в цих умовах приймаємо коефіцієнт безпеки:

$$K_e = 20 \lg \frac{U_\delta}{U_{e(z)}} \geq 40 \text{ [дБ]}, \quad (6.5)$$

де U_δ – допустимі коливання напруги живлення, В;

$U_{e(z)}$ – напруга наведення за рахунок електромагнітного імпульсу в вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах, В.

Визначаємо спочатку допустиме коливання напруги живлення:

$$U_\delta = U_{жс} + \frac{U_{жс}}{100} N \text{ [В]}, \quad (6.6)$$

де $U_{жс}$ – робоча напруга живлення, В;

N – допустимі коливання напруги, %.

Визначаємо максимально очікувану напруга в горизонтальних лініях:

$$U_e = \frac{U_\delta}{10^{K/20}} \text{ [В]}. \quad (6.7)$$

де K – коефіцієнт безпеки ($K = 40$ дБ).

Розраховуємо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля за формулою:

$$E_z = \frac{U_e}{l_e} \text{ [В/м]}. \quad (6.8)$$

Визначаємо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля за формулою

$$E_g = 10^3 E_z \text{ [В/м]}, \quad (6.9)$$

Підставляючи відомі значення у формули (6.6, ..., 6.9) отримаємо

$$U_D = 220 + \frac{220}{100} \cdot 5 = 231 \text{ (В)};$$

$$U_g = \frac{231}{10} = 2,31 \text{ (В)};$$

$$E_z = \frac{2,31}{0,22} = 10,5 \text{ (В/м)};$$

$$E_g = 10^3 \cdot 10,5 = 10500 \text{ (В/м)}.$$

Згідно з виконаними розрахунками безпека роботи ADSL мережі в умовах впливу електромагнітного імпульсу можлива при напруженості вертикальної складової електричного поля $E_g < 10500 \text{ В/м}$.

6.3.3 Розробка превентивних заходів по підвищенню безпеки роботи ADSL мережі в умовах надзвичайних ситуацій

З метою зниження негативного впливу на РЕА ADSL мережі можна використати наступні методи.

Для захисту ADSL мережі від впливу іонізуючих випромінювань потрібно застосувати алюмінієві сплави, леговані елементами з високим атомним номером (рідкоземельними елементами та лантаноїдами), багатошарові матеріали, а також сплави на основі рідкоземельних та тугоплавких елементів.

Також дієвим заходом захисту від впливу іонізуючих випромінювань є захист відстанню. Чим далі ADSL мережа від джерела іонізуючого

випромінювання, тим менша отримана доза опромінення. Залежність обернено квадратична, тому що від джерела промені йдуть радіально і розподіляються по сфері. Таким чином, щільність потоку буде зменшуватися пропорційно до квадрату відстані. Для цього використовують прилади дистанційного управління.

З метою захисту від впливу електромагнітного імпульсу потрібно використати захищене металічним екраном приміщення, в якому розміщена РЕА.

Товщину пасивного екрану визначаємо за формулою:

$$t = \frac{A}{k\sqrt{f}} \text{ [см]}; \quad (6.10)$$

$$t = \frac{16}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,025 \text{ (см)} = 0,25 \text{ (мм)},$$

де A – перехідне затухання енергії електричного поля сталевим екраном ($A = 16$ дБ);

k – коефіцієнт, який для сталевого екрана дорівнює 5,2;

f – найбільш характерна частота ($f = 15000$ Гц).

Висновки

Отже в даному розділі нами було розглянуто технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, промислової та пожежної безпеки.

Також у даному розділі нами було досліджено безпеку роботи ADSL мережі в умовах впливу загрозливих факторів надзвичайних ситуацій. Розроблено дієві заходи з підвищення безпеки роботи ADSL мережі в умовах НС. Використання екранування РЕА суттєво підвищує її стійкість в умовах дії електромагнітного імпульсу.

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто модуляції, які знайшли застосування у технології ADSL. В основі лежить дискретна багаточастотна модуляція DMT. Вона дозволяє реалізувати адаптивне використання багатопозиційних методів модуляції у кожному вузькосмуговому каналі залежно від реального співвідношення сигнал/завада, яке визначається при процедурі ADSL-з'єднання. Таким чином, крива залежності швидкості передачі інформації практично повторює криву залежності реальних співвідношень сигнал/завада для послідовності вузькосмугових каналів.

Аналіз потенційних характеристик ADSL-технології виконано на основі відповідних розрахунків та комп'ютерного моделювання. Показана залежність швидкості передачі інформації від довжини абонентської лінії. При цьому враховано, що із збільшенням довжини лінії збільшується загасання сигналу, тобто зменшується співвідношення сигнал/завада. Установлена також залежність швидкісних характеристик ADSL-технології від параметрів телефонного кабеля. Розрахунки і моделювання виконувалися для технологій ADSL та ADSL2+. Враховуючи ту обставину, що технології ADSL2+ використовує вдвічі ширшу смугу частот, вона забезпечує більші швидкості передачі інформації, але це спостерігається лише при довжинах абонентської лінії приблизно до 3 км. Чим більша довжина абонентської лінії, тим різниця між технологіями ADSL та ADSL2+ виявляється менш помітною.

Економічні розрахунки показали, що робота з проведення досліджень модуляцій в мультисервісній системі широкосмугового доступу на основі ADSL-технології вимагає вкладення для проведення досліджень в межах 377388,00 грн.

У роботі також розроблено комплекс заходів з охорони праці та безпеки в умовах надзвичайних ситуацій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Столингс В. Беспроводные линии связи и сети / Столингс В. –2003. – 634 с.
2. Волков Л. Н. Системы цифровой радиосвязи. Базовые методы и характеристики/ Л. Н. Волков, М. С. Немировский, Ю. С. Шинок. – Москва: Еко-Тренд, 2005. – 392с.
3. Карташевский В.Г. Сети подвижной связи/ Карташевский В.Г., Семенов С.Н., Фирстова Т.В. – М.: ЭКОТRENДЗ, 2001. – 296 с.
4. Бортник Г. Г. Мережі абонентського доступу: Навчальний посібник. / Бортник Г. Г., Кичак В. М., Стальченко О. В., Яблонський В. Ф. – УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 201 с.
5. Крук Б.І. Телекомунікаційні системи та мережі/ Крук Б.І., Попантонопуло В.М., Шувалов В.П. — К. : Наша культура і наука, 2009. —647с.
6. Денисьєва О. М. Цифровые системы передачи для абонентских линий / Денисьєва О. М. – Вестник связи №9. – 1995. – С. 37-38.
7. Васин В.А. Радиосистемы передачи информации / В.А. Васин, В.В. Калмыков. – К : Телеком, 2005. – 472с.
8. Прагер Е. І. Цифровая техника в связи / Е. І. Прагер, Б. О. Шимек, В.П. Дмитриев. – Прага : Радио і зв'язок, 1999. – 280 с.
9. Скляр Б. Цифровая связь / Б. Скляр. – К: Видавничий дім Вільямс, 2003.—1104с.
10. Назаров М.В. Методы цифровой обработки и передачи речевых сигналов / М.В. Назаров, Ю.Н. Прохоров. – Москва: 2001. – 392с.
11. Гроднев И.И. Линии связи : Учебник для вузов . / И.И. Гроднев, С.М. Верник. – М. : Радио и связь, 1988. – 544 с.
12. Давыдов Г.Б. Сети элетросвязи. / Г.Б. Давыдов. – М. : Связь, 1977. – 180с.

13. Теория передачи сигналов: Учебник для вузов / Зюко А.Г. (и др.) –М. : Радио и связь, 1986.- 304 с.
14. Парамонов А. Цифровая обработка при когерентной демодуляции сигналов / Парамонов А., Куропаткин О. – Chip News, 2000, № 8, с.2.
15. Кириллов В. И. Многоканальные системы передачи: Учебник для вузов. / Кириллов В. И– М.: Новое знание, 2002. – 751 с.
16. Бортник Г. Г., Методи та засоби оцінювання параметрів абонентських ліній зв'язку. / Бортник Г. Г., Кичак В. М., Яблонський В. Ф. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 139 с.
17. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / В. В. Поповський [та ін.]. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 564 с.
18. Прокис Дж. Цифровая связь. / Прокис Дж. – К. : Радио и связь, 2000. – 260с.
19. В.С. Сюваткин WiMAX — технология беспроводной связи: теоретические основы, стандарты, применение/ В.С. Сюваткин В.И., ЕсипенкоИ.П. Ковалев —К. : Техносвіт , 2005. —368с.
20. Ирвин Д. Передача данных в сетях. Инженерный подход / Ирвин Д. — Петербург : 2003. — 448 с.
21. Соколов Н. А. Сети абонентского доступа. / Соколов Н. А. – М.: „Энтер”, 2004.– 254 с.
22. Парфенов Ю.А., Мирошников Д.Г Цифровые сети доступа. Медные кабели и оборудование. Москва: Эко-Трендз, 2005. 288 с.
23. Балашов В.А., Лашко А.Г., Ляховецкий Л.М. Технологии широкополосного доступа xDSL. Инженерно-технический справочник / Под об-щей редакцией В.А. Балашова. Москва: Эко-Трендз, 2009. 256 с.
24. Кочеров А.В. Расчет и контроль кабелей для цифровых линий xDSL // Электросвязь. 2008. №6. С. 61-63.
25. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами наукового напрямку економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. В.О. Козловський – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 22 с.

26. Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – Вінниця : ВДТУ, 2003. – 75с.
27. ГОСТ 12.0.003-74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
28. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
29. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
30. Пособие по расчету и проектированию, естественного, искусственного и совмещенного освещения НИИСФ – М.: Стройиздат. 1985. – 384 с.
31. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
32. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.
33. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
34. Березюк О. В. Охорона праці. Підсумкова державна атестація спеціалістів, магістрів в галузях електроніки, радіотехніки, радіоелектронних апаратів та зв'язку : навчальний посібник / О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 104 с.
35. Правила улаштування електроустановок. 2-е вид., перероб. і доп. – Х: "Форт", 2009. – 736 с.
36. ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд.
37. ДБН В.1.1.7-2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
38. НАПБ Б.03.001-2004. Типові норми належності вогнегасників.
39. СНиП 2.09.02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.
40. ДСанПіН 3.3.6-096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів.

ДОДАТКИ

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток А
(обов'язковий)

ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедри ТКСТБ ВНТУ,

канд. техн. наук, професор

_____ Г.Г.Бортник

“___” _____ 2019 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДУЛЯЦІЙ В МУЛЬТИСЕРВІСНІЙ СИСТЕМІ
ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ADSL-ТЕХНОЛОГІЇ
08-34.МКР.010.00.000ТЗ

Керівник роботи

к.т.н., проф. кафедри ТКСТБ ВНТУ

Барась С.Т.

Виконавець: ст. гр. ТСМ-18м

Савчук В.І.

Вінниця-2019

1 ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету від “02” 10 2019 року № 254 та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: 02.09.2019 р.

Дата закінчення: 09.12.2019 р.

2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є розробка в рамках технології ADSL рекомендацій щодо вибору таких видів модуляції, які забезпечать найефективніше збільшення швидкості передачі інформації та надійну роботу при різних довжинах абонентської лінії.

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

- розробка технічного завдання;
- аналіз технічної реалізації системи широкопasmового доступу ADSL, що будується на використанні абонентської лінії;
- аналіз видів модуляцій для забезпечення високої швидкості передачі в обох напрямках передачі;
- розрахунки завадозахищеності абонентської лінії та потенційної швидкості для різних абонентських ліній;
- аналіз факторів, що обмежують швидкість та дальність передачі інформаційного сигналу.

Об'єктом дослідження є система широкопasmового доступу на основі ADSL-технології.

Предмет дослідження є швидкість та дальність передачі інформаційного сигналу з аналізом факторів, що їх обмежують.

Основними завданнями роботи є:

- аналіз технічної реалізації технологій ADSL;
- розробка структурної електричної схеми приймально-передавального модуля ADSL;

- аналіз характеристик модуляцій, що використовується в технології ADSL;
- визначення потенційних характеристик технології;
- комп'ютерне моделювання;
- аналіз економічної ефективності проведеної розробки;
- дослідження питань безпеки життєдіяльності.

В результаті виконання даної кваліфікаційної роботи будуть встановлені потенційні можливості різних видів модуляції з точки зору швидкості та дальності передачі інформаційного сигналу, а також встановлені залежності швидкості та дальності передачі інформаційного сигналу від співвідношення сигнал/шум.

3 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МКР

Робота базується на результатах бакалаврської дипломної роботи “Мультисервісна система широкосмугового доступу на основі ADSL-технології”, яка виконувалась у ВНТУ у 2017/2018 н.р. Під час підготовки магістерської кваліфікаційної роботи будуть використані матеріали цієї БДР.

Список використаних джерел розробки:

- 3.1 Столингс В. Беспроводные линии связи и сети / Столингс В. –2003. – 634 с.
- 3.2 Волков Л. Н. Системы цифровой радиосвязи. Базовые методы и характеристики/ Л. Н. Волков, М. С. Немировский, Ю. С. Шиоков. – Москва: Еко-Тренд, 2005. – 392с.
- 3.3Карташевский В.Г. Сети подвижной связи/ Карташевский В.Г., Семенов С.Н., Фирстова Т.В. – М.: ЭКОТРЕНДЗ, 2001. – 296 с.
- 3.4 Бортник Г. Г. Мережі абонентського доступу: Навчальний посібник. / Бортник Г. Г., Кичак В. М., Стальченко О. В., Яблонський В. Ф. –УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 201 с.

3.5 Крук Б.І. Телекомунікаційні системи та мережі / Крук Б.І., Попантонопуло В.М., Шувалов В.П. — К. : Наша культура і наука, 2009. — 647с.

3.6 Тяпичев Г.А. Спутники и цифровая радиосвязь / Г.А. Тяпичев. — Москва – 2001. – 250с.

3.7 Денисьева О. М. Цифровые системы передачи для абонентских линий / Денисьева О. М. – Вестник связи №9. – 1995. – С. 37-38.

3.8 Положення про кваліфікаційну роботу у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. О. Н. Романюк, Р. Р. Обертюх, Т. О. Савчук, Л. П. Громова – Вінниця : ВНТУ, 2015 – 27 с.

3.9 Кухарчук В.В., Ігнатенко О.Г., Обертюх Р.Р. Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) для студентів всіх спеціальностей.- В.: ВДТУ, 2002.

3.10 Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – В.: ВДТУ, 2003.

3.11 ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація, звіти у сфері науки і техніки.- К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

3.12 Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры. Справочник. Под ред. Э.Т.Романьчевой.- М: Радио и связь, 1989.

3.13 Бортник Г.Г., Стальченко О.В. Методичні вказівки до дипломного проектування для студентів спеціальності «Телекомунікаційні системи та мережі» усіх форм навчання.- Вінниця:ВНТУ, 2009.- 54 с.

4 ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра телекомунікаційних систем і телебачення, студент групи ТСМ-18м Савчук В. І.

5 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується виконати дослідження модуляцій у мультисервісній системі широкосмугового доступу технології ADSL.

Технічні вимоги, яким повинна відповідати розробка, наступні:

Швидкість низхідного потоку $V=1,5 - 8,0$ Мбіт/с, висхідного потоку $V=640$ кбіт/с – 1,5 Мбіт/с; види модуляції: BPSK, QPSK, QAM-N, DMT; імовірність помилки $p=10^{-7}$; співвідношення с/ш= 0, 5, 10, 15, 20 дБ; коефіцієнт загасання $A_z=40, 50, 60, 70$ дБ; діаметр жил абонентського кабеля 0,32 мм та 0,5 мм.

6 ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документація
		початок	закінчення		
1.	Розробка технічного завдання	5.09.2019р.	12.09.2019 р.	Розроблене ТЗ	Додаток А
2.	Техніко-економічне обґрунтування розробки	13.09.2019р.	20.09.2019 р.	Проведений аналіз	Вступ. Розділ 1
3.	Аналіз технічної реалізації технології ADSL	21.09.2019р.	12.10.2019 р.	Проведений аналіз	Розділ 1
4.	Розробка структури приймально-передавального пристрою	13.10.2019р	20.10.2019 р.	Структурна схема	Розділ 1
5.	Дослідження параметрів і характеристик модуляцій, що застосовуються в ADSL-технології	21.10.2019р.	03.11.2019 р.	Характеристики і параметри	Розділ 2,3

6.	Комп'ютерне моделювання характеристик цифрових абонентських ліній	04.11.2019р.	10.11.2019р.	Результати моделювання	Розділ 4
7.	Аналіз економічної ефективності розробки	11.11.2019р.	14.11.2019 р.	Проведений аналіз	Розділ 5
8.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	15.11.2019р.	20.11.2019 р.	Проведений аналіз	Розділ 6
9.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	21.11. 2019р.	25.11.2019 р.	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина
10.	Нормоконтроль МКР	26.11.2019р.	30.11.2019 р.	Позитивний захист	Відзив. рецензія
11.	Попередній захист МКР, рецензування МКР	30.11.2019р.	02.12.2019 р.	Позитивні відзиви	Протокол ЕК
12.	Захист МКР ЕК	12.12.2019 р.		Захист	

7 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть розроблені:

- структура приймально-передавального пристрою технології ADSL;
- рекомендації щодо ефективного використання видів модуляцій та абонентської лінії;
- економічна частина МКР;
- розділ ОП та БНС.

Результати, отримані в процесі виконання даної роботи, будуть впроваджені в галузі телекомунікацій, зокрема, у навчальному процесі.

Очікуваний техніко-економічний ефект. При впровадженні результатів досліджень очікується підвищення ефективності використання технології ADSL.

8 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, відзив і рецензія.

9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.

10 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

- нову структуру приймально-передавального пристрою;
- аналіз і розрахунки характеристик різних видів модуляції;
- економічну частину та розділ БЖД і ЦЗ;
- рекомендації щодо подальшого використання приладу.

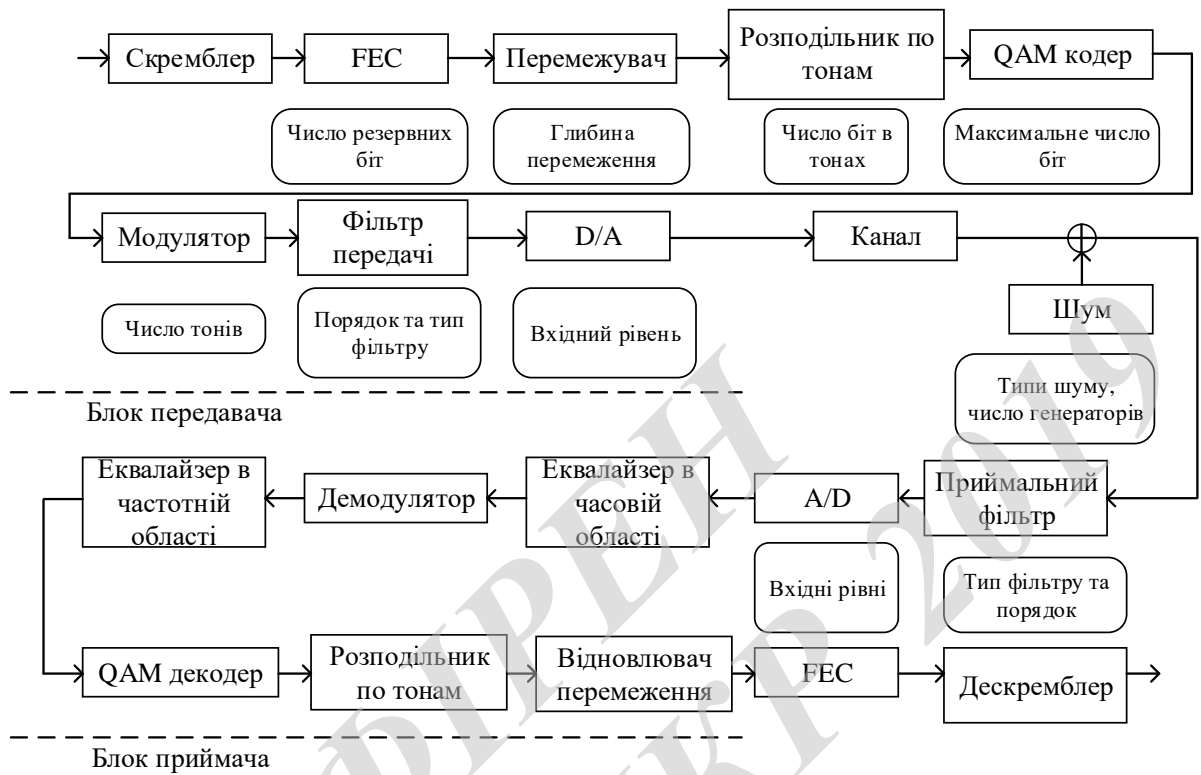
11 ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

У зв'язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються.

Додаток Б
(обов'язковий)

Структурна схема приймально-передавального пристрою ADSL

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

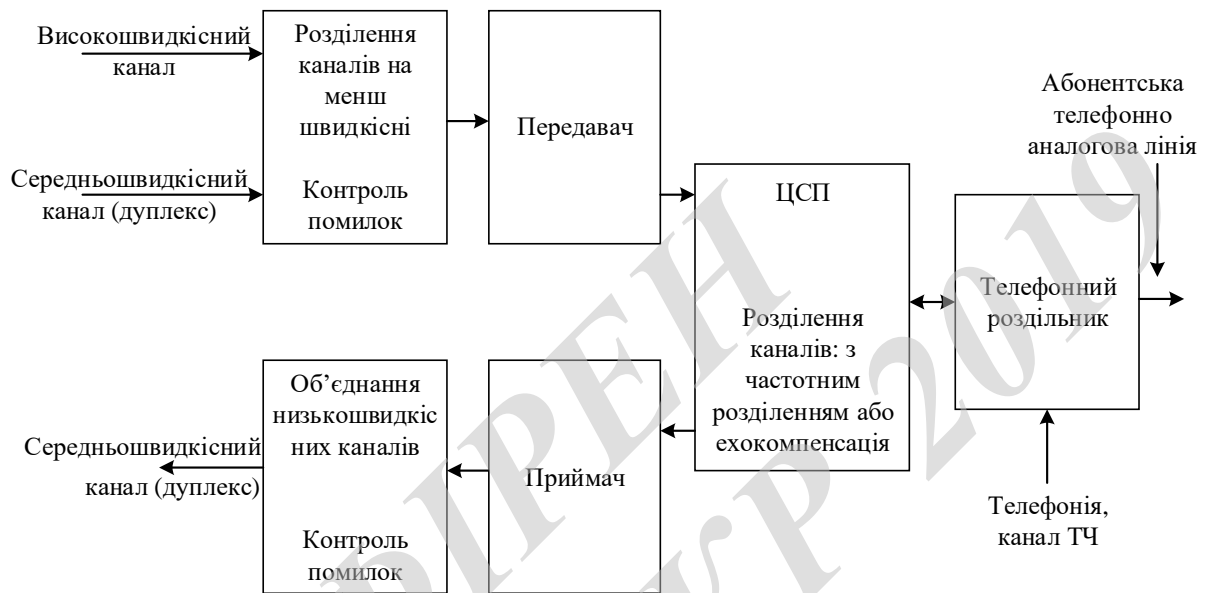


Структурна схема приймально-передавального пристрою ADSL

Додаток В
(обов'язковий)

Структурна схема передавального вузла ADSL-модема

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

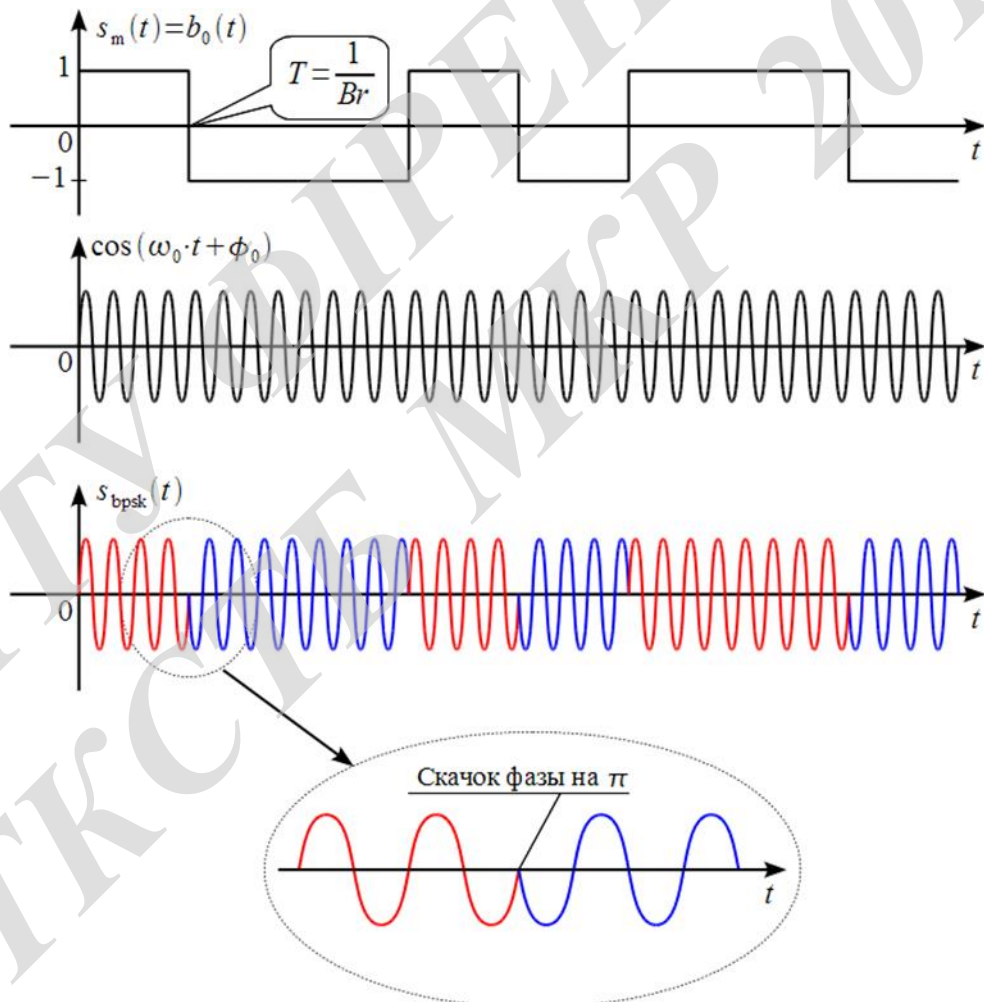
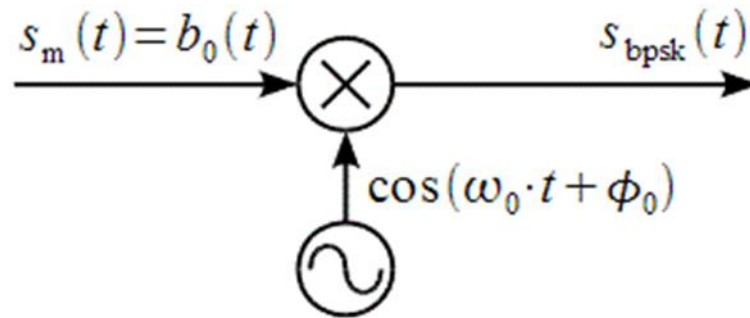


Структурна схема передавального вузла ADSL-модема

Додаток Г
(обов'язковий)

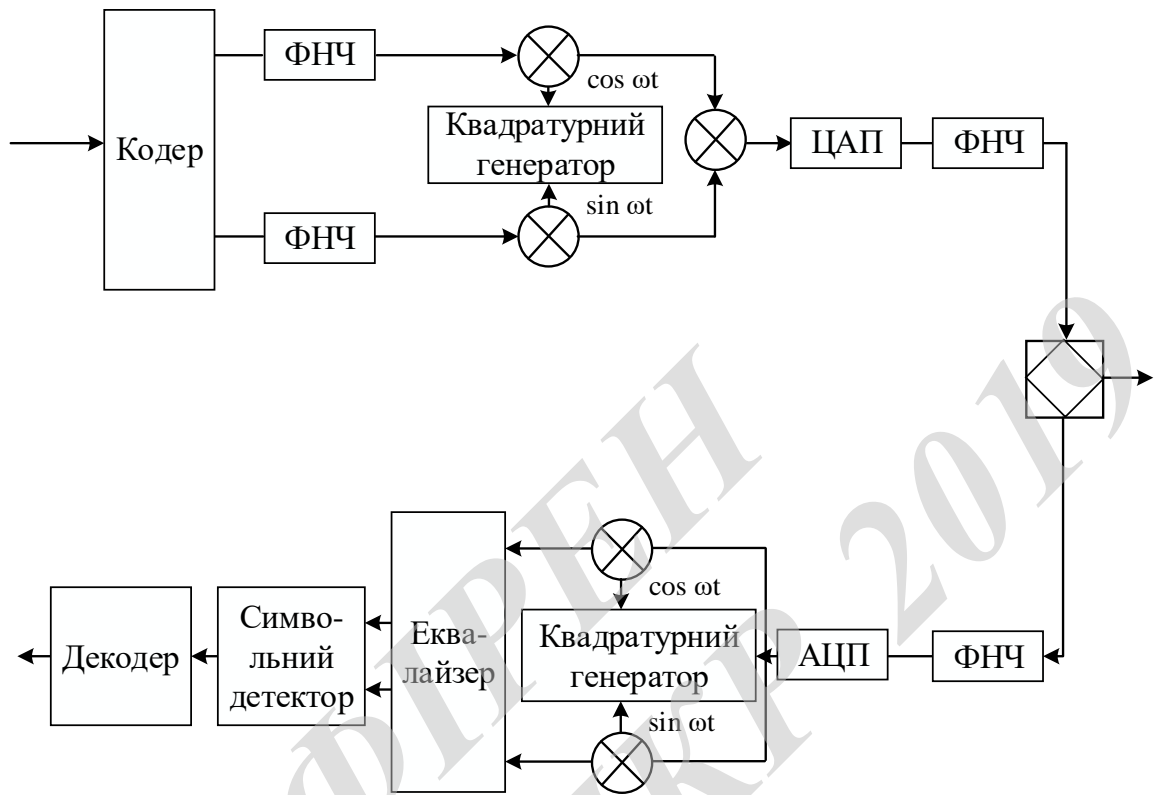
Спрощена структурна схема та осцилограми напруг BPSK-модулятора

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019



Додаток Д
(обов'язковий)

Приймально-передавальний пристрій QAM



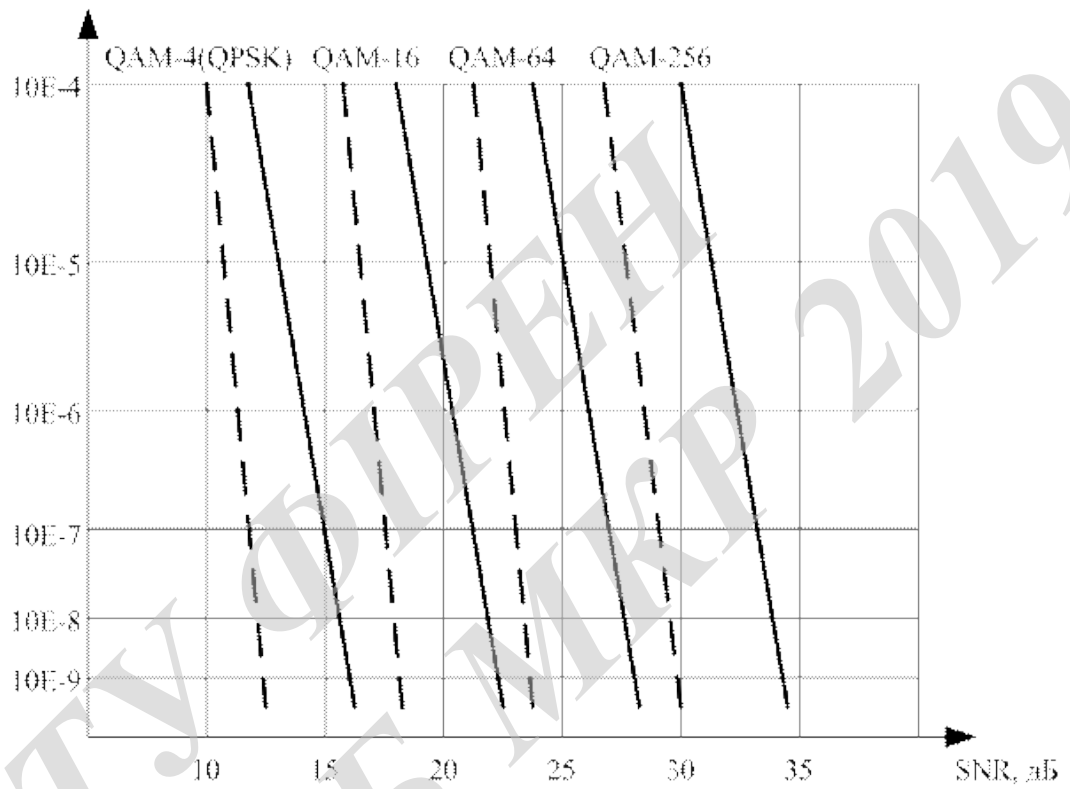
Приймально-передавальний пристрій QAM

Структурна схема модулятора КAM

та комплексне подання формування КAM-сигналу

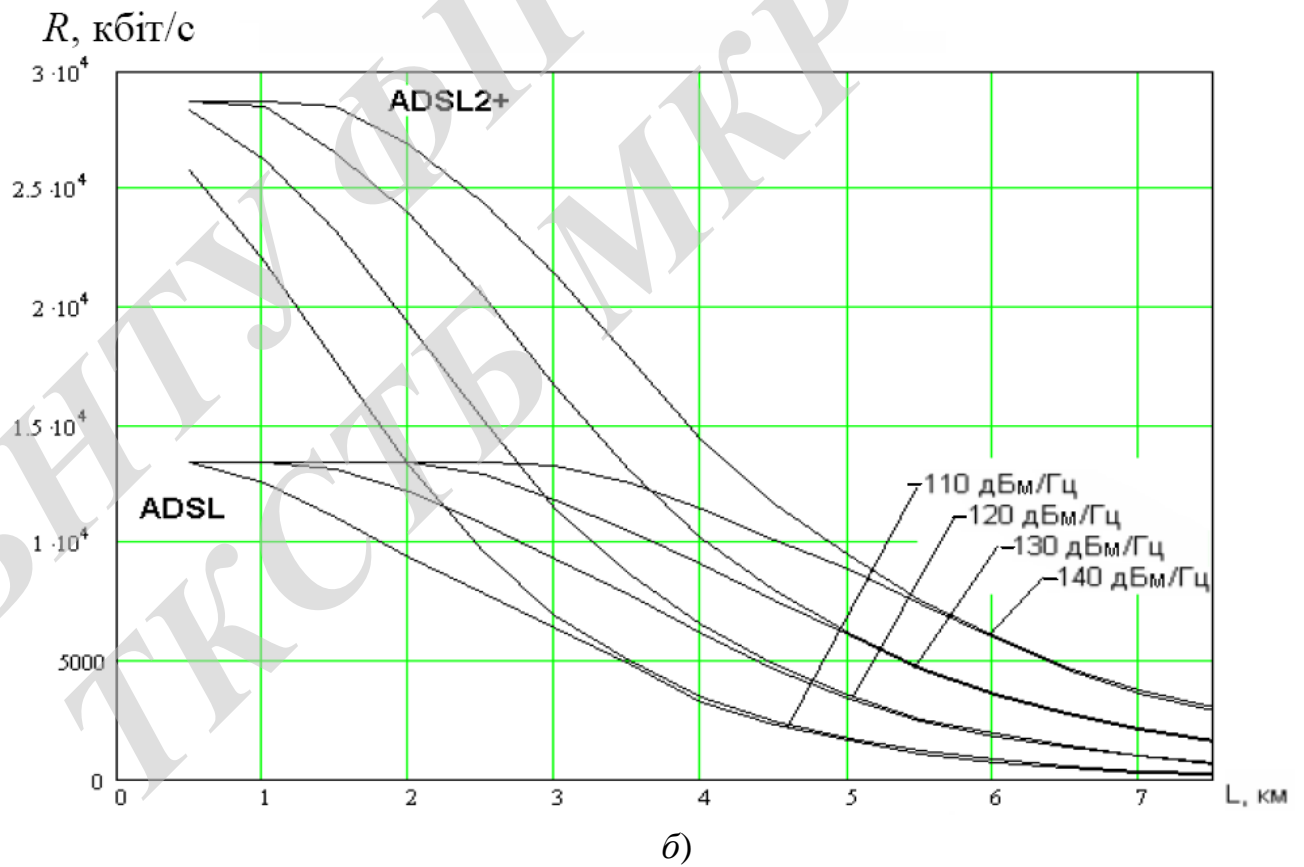
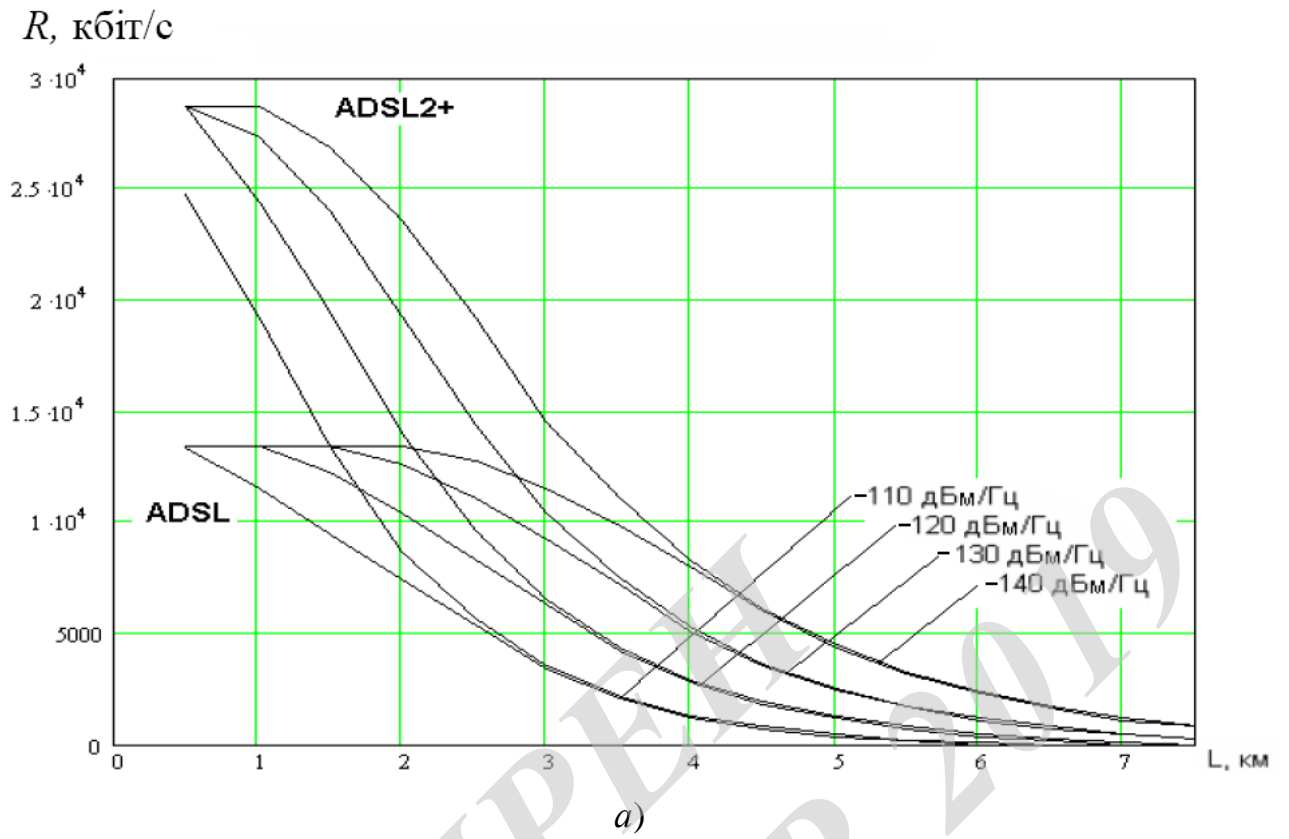
Додаток Е
(обов'язковий)

Залежність інтенсивності помилкових бітів
від відношення сигнал/шум



Додаток Ж
(обов'язковий)

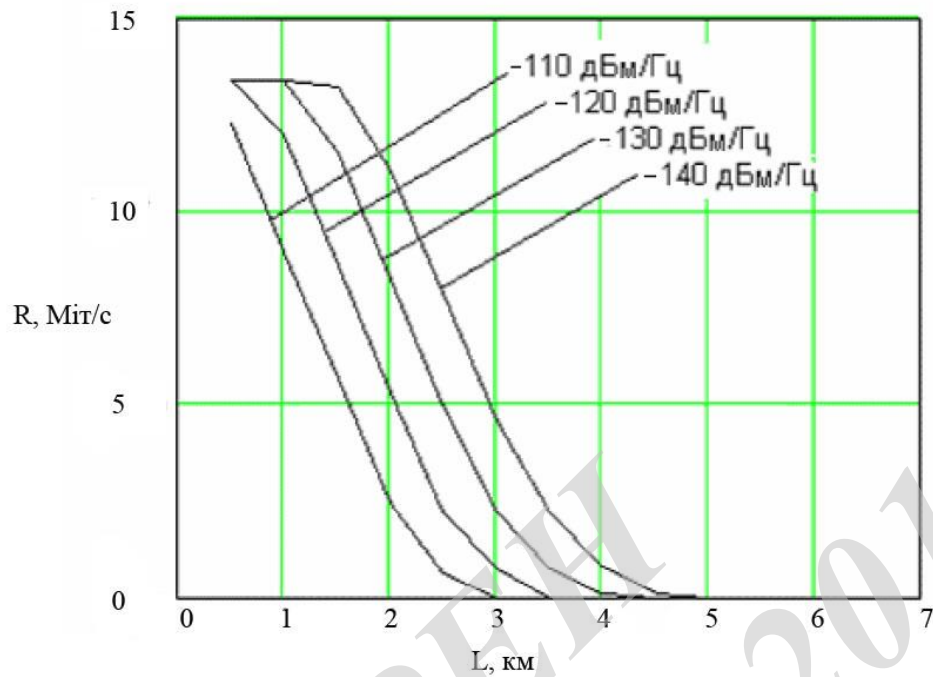
Залежності швидкості передавання інформації в низхідному напрямку від довжини лінії кабелю ТП із діаметром жил 0,5 мм (*a*) і 0,64 мм (*b*) за різної спектральної густини потужності завад на вході приймача ADSL і ADSL2+



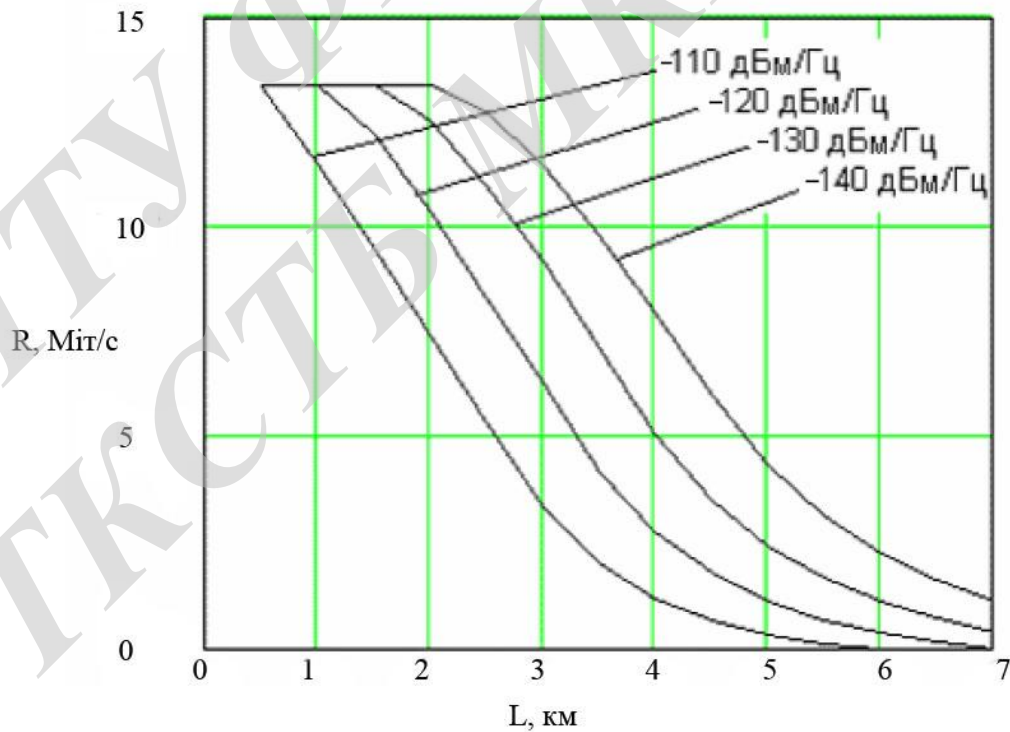
Додаток 3
(обов'язковий)

Результати моделювання

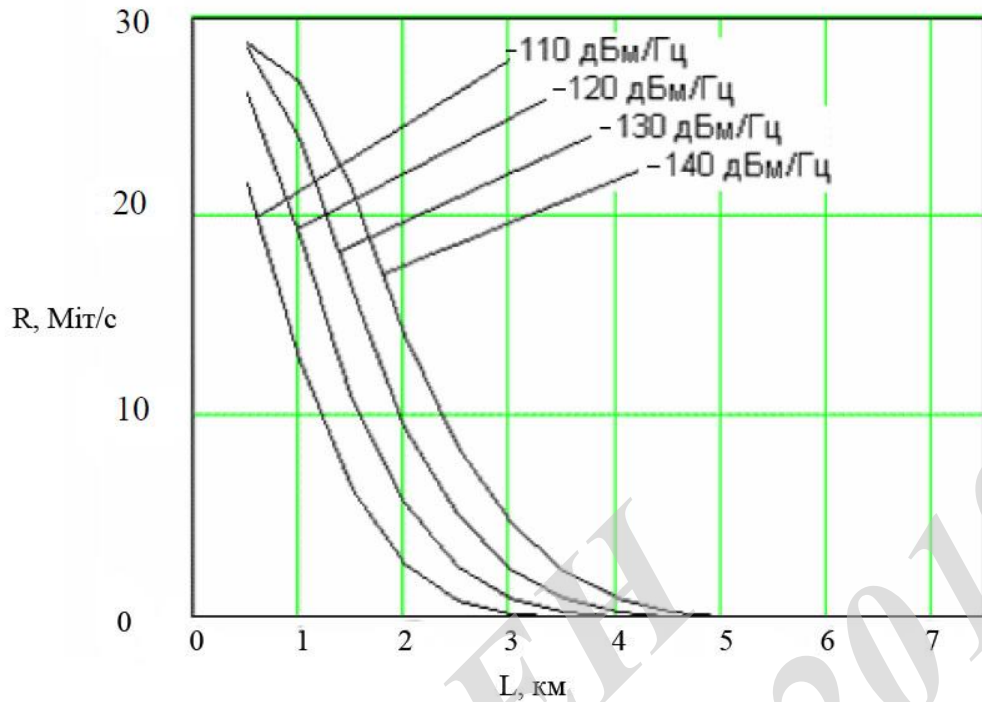
ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019



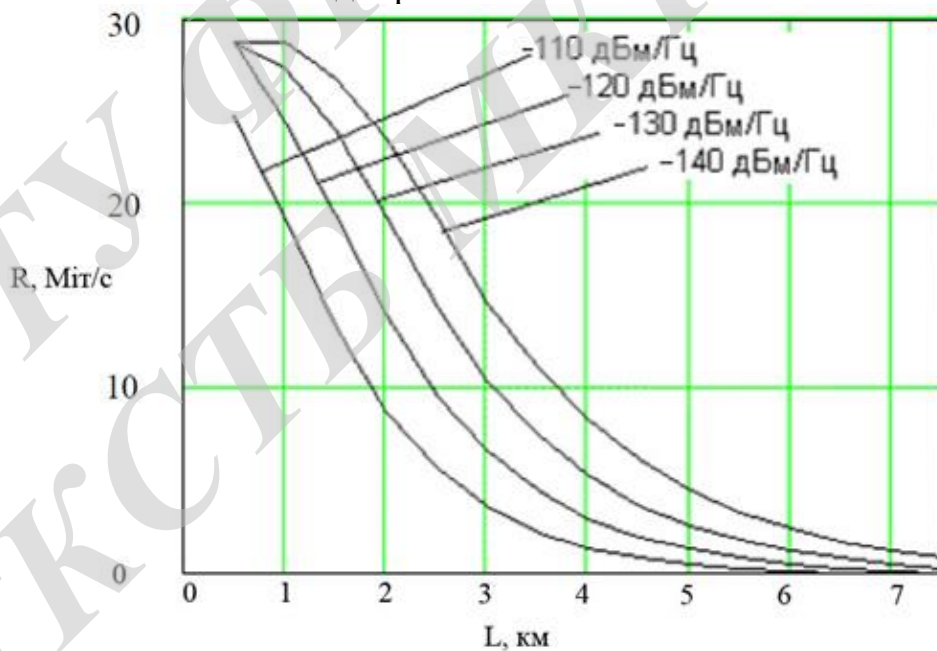
Залежність довжини лінії від швидкостей передачі інформації, досяжних на АЛ кабелю ТПП 0,32 мм при різній спектральній густині потужності шумів на вході приймача ADSL



Залежність довжини лінії від швидкостей передачі інформації, досяжних на АЛ кабелю ТПП 0,5 мм при різній спектральній густині потужності шумів на вході приймача ADSL



Залежність довжини лінії від швидкостей передачі інформації, досяжних на АЛ кабелю ТПП 0,32 мм при різній спектральній густині потужності шумів на вході приймача ADSL2+



Залежність довжини лінії від швидкостей передачі інформації, досяжних на АЛ кабелю ТПП 0,5 мм при різній спектральній густині потужності шумів на вході приймача ADSL2+

Додаток К
(довідниковий)

Нормовані значення виробничих факторів

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Таблиця К.1 – Допустимі показники мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С для робочих місць		Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
		постійних	непостійних		
Холодний	Іа	21-25	18-26	75	≤0,1
Теплий		22-28	20-30	55 при 28°С	0,1-0,2

Таблиця К.2 – ГДК шкідливих речовин [4]

Назва шкідливої речовини	ГДК, мг/м ³	Агрегатний стан	Клас небезпеки
Озон	0,1	Пара	4
Оксиди азоту	5	Пара	2
Пил	4	Аерозоль	2

Таблиця К.3 – Кількість іонів у 1 см³ повітря приміщення під час роботи на ЕОМ

Рівні	Мінімально необхідні	Оптимальні	Максимально допустимі
додатній	400	1500-3000	50000
від'ємний	600	3000-5000	50000

Таблиця К.4 – Нормативні значення КПО та мінімальні освітленості для штучного освітлення

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Освітленість для штучного освітлення, лк			КПО для бокового освітлення, %	
						комбіноване		загальне	Природного	Суміщеного
						всього	у т. ч. від загального			
Середньої точності	0,5-1	IV	г	великий	середній	300	150	150	1,5	0,9

Таблиця К.5 – Допустимі рівні звукового тиску та еквівалентні рівні звуку

Рівні звукового тиску в дБ в октавних полосах із середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Таблиця К.6 – Допустимі рівні вібрації [6]

Гранично допустимі рівні віброприскорення, дБ, в октавних полосах із середньо-геометричними частотами, Гц								Коректовані рівні віброприскорення, дБА
8	16	31,5	63	125	250	500	1000	
73	73	79	85	91	97	103	109	76

Таблиця К.7 – Значення мінімальних меж вогнестійкості приміщення [11]

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни					Колони	Східчасті майданчики	Плити та інші несучі конструкції	Елементи покриття	
	Несучі та східчасті клітки	Самонесучі	Зовнішні несучі	Перегородки	Плити, прогони				Балки, ферми	
3	REI 120	REI 60	E 15	EI 15	R 120	R 60	REI 45	нн	нн	
	M0	M0	M0	M1	M0	M0	M1	нн	нн	

Примітка. R – втрати несучої здатності; E – втрати цілісності; I – втрати теплоізолювальної спроможності; M – показник здатності будівельної конструкції поширювати вогонь (межа поширення вогню); M0 – межа поширення вогню дорівнює 0 см; M1 – $M \leq 25$ см – для горизонтальних конструкцій; $M \leq 40$ см – для вертикальних і похилих конструкцій; нн – не нормується.

Таблиця К.8 – Протипожежні норми проектування будівель і споруд [13]

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія пожежної безпеки	Ступінь вогнестійкості	Відстань, м, для щільності людського потоку в загальному проході, осіб/м ²			Кількість людей на 1 м ширини евакуиходу	Протипожежні розриви, м, при ступені їх вогнестійкості			Найбільша кількість поверхів	Площа поверху в межах пожежного відсіку, м ² , для числа поверхів		
			до 1	2-3	4-5		I, II	III	IV, V		1	2	3 і більше
до 15	B	3	100	60	40	110	9	12	15	3	5200	3500	2600