

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**  
Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій  
(назва інституту)

Комп'ютерних наук  
(назва кафедри)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Комп'ютерних наук

В. В. Вишнівський

(підпис, ініціали, прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**МЕТОДИЧНА РОЗРОБКА**

для проведення \_\_\_\_\_ практичного заняття

(вид заняття)

зі студентами інституту \_\_\_\_\_ **ІНІТ**

(назва інституту)

з навчальної дисципліни: \_\_\_\_\_ Проектування інформаційних систем

(назва навчальної дисципліни)

**Тема 6. Особливості проектування інтегрованих інтерактивних систем на  
прикладі телекомунікаційних мереж**

(номер і назва теми в програмі навчальної дисципліни)

**Змістовний модуль 2. Інформаційні системи та мережі у складі інформаційної  
інфраструктури**

**Практичне заняття 7/2. Дослідження методів кодування технології xDSL**

(номер і назва заняття в тематичному плані)

**Час:** 2 години

**Навчальна та виховна мета**

1. Ознайомлення з методичним керівництвом до практичного заняття.
2. Навчатись здійснювати вибір видів обладнання для вузлів мереж доступу міста.
3. Виховувати відповідальність слухачів за виконання робіт та розрахунків при проектуванні МД.

**Навчально-методичне забезпечення**

1. Слайди

Обговорено та схвалено на засіданні кафедри  
Комп'ютерних наук  
протокол від «11» лютого 2021р. № 8.

ЧАС: 4 навчальних години  
МІСЦЕ: ауд 216 (221).

## **УЧБОВО-МАТЕРІАЛЬНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

1.Комплект документації, що містить в собі:

-методичні вказівки для студентів денної та заочної форми навчання на курсове проектування МД;

-ДСТУ 34.601. Інформаційна технологія. Комплекс стандартів на автоматизовані системи. Автоматизовані системи. Стадії створення;

-ДСТУ 34.602. Інформаційна технологія. Комплекс стандартів на автоматизовані системи. Технічне завдання на створення автоматизованої системи.

## **РАЗПОДІЛ ЧАСУ ЗАНЯТТЯ**

Вступна частина

5 хв.

Перевірка підготовки студентів до заняття

10 хв.

Навчальні питання

1. Визначити фактори, які визначають параметри з'єднань у DSL 25

хв

2. Побудувати залежність величини сигналу від довжини лінії і частоти 25 хв

3. Закодувати сигнал методом кодування 2B1Q, визначити основні його характеристики 20 хв.

Заключення 3 хв.

Завдання на СРС. 2 хв.

1. Підготовка до обговорення проблем, винесених на лабораторне заняття.

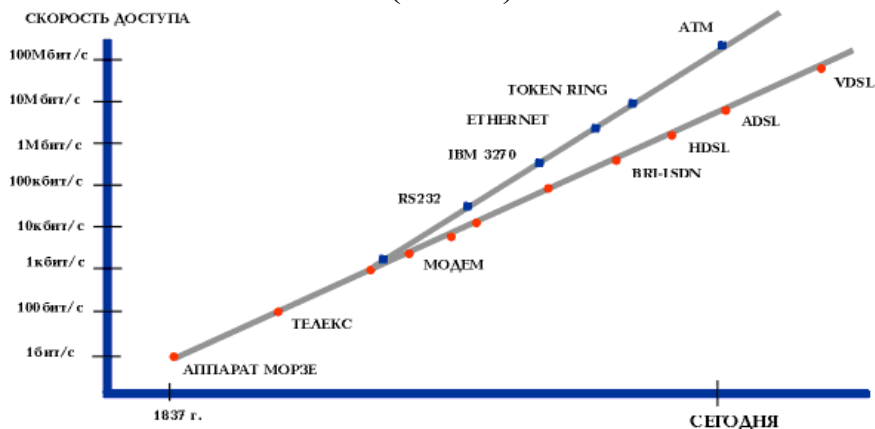
## **ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КОДУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ DSL**

### **Теоретичні положення**

**1. Фактори, які визначають параметри якості з'єднань у DSL**

З розробкою концепції DSL значно змінилася ідеологія розвитку мережі зв'язку. Якщо раніше широко існувала думка, що довести "цифру в кожному будинок" можна лише за допомогою масового впровадження оптичних кабелів, то після практичної апробації технологій DSL, особливо HDSL (див. нижче), у операторів зв'язку з'явилася упевненість в тому, що існуюча мережа мідних кабелів зв'язку ще довго залишиться тією основою, на якій будується вся телекомунікаційна інфраструктура.

На рисунку1 показана еволюція мідно-кабельних ліній як середовища передачі цифрової інформації від азбуки Морзе (10 біт/с) до технологій VDSL (51 Мбіт/с). Технології цифрових абонентних ліній, що почали свій розвиток в 70-х роках створенням пристроїв доступу Basic Rate ISDN (144 кбіт/с) і обіцяючи в недалекому майбутньому масове впровадження обладнання VDSL, дозволяють досягти на мідному кабелі швидкостей передачі, раніше доступних лише на волоконно-оптичних лініях (ВОЛС).



Рисунк1 – Зростання швидкості цифрової передачі по мідних лініях зв'язку

Основоположним принципом, на якому побудовано сімейство технологій Digital Subscriber Line (DSL), є використання для передачі даних мідних дротів, які спочатку були призначені для підключення абонентів до АТС - Plain Old Telephone Service (POTS). При передачі інформації по комунікаціях POTS - мідним дротам різної товщини - відсутній основний фактор, який обмежує швидкість передачі даних в самій АТС - обмеження спектру інформаційного сигналу діапазоном 3,1кГц. Всі передачі подібного типу виконуються по схемі точка - точка, і в загальному випадку, між передавачем і приймачем сигналу знаходиться тільки мідний сполучений провід. Отже, принаймні, - теоретично, по такій лінії можна передавати інформацію з якою завгодно великою швидкістю. Проте реальні лінії, з якими доводиться мати справу xDSL - пристроям, істотно відрізняються від цієї спрощеної математичної моделі і мають ряд особливостей, без урахування яких неможлива побудова сучасної високопродуктивної системи передачі даних.

Найцікавішими для експлуатації чинником, безпосередньо впливаючим на параметри якості DSL, є параметри абонентної кабельної пари. Оскільки абонентний кабель і його параметри не привноситься технологією DSL ззовні, а вже є у оператора в тому вигляді і стані, в якому він дожив до ери NGN, то тут міститься найслабкіший елемент технологічного ланцюга DSL. І хоча між

вимірюваннями параметрів кабелю і вимірюваннями DSL не можна поставити знак рівності, вимірювання параметрів абонентних пар - це більше 50% всіх експлуатаційних вимірювань на початкових етапах впровадження DSL.

Розглянемо коротко, які параметри абонентних ліній можуть виявитися критичними для якості DSL.

### *Базові параметри абонентних кабелів*

Почнемо із загальних (або базових) параметрів абонентних кабелів. До них відносяться всі ті параметри, які історично використовувалися для паспортизації кабельної системи оператора. Можна стверджувати, що це група параметрів і методів їх аналізу, однакова для будь-яких абонентних кабелів, не дивлячись на їх тип і спосіб використання. Дійсно, якщо є металевий кабель, то він має опір, ємність, параметри ізоляції, і всі перераховані параметри не залежать від того, з якою метою кабель прокладений. Він може використовуватися для звичайного телефонного зв'язку, для DSL, для системи радіофікації і ін. І для всіх додатків необхідний певний набір параметрів, що дозволяють судити про якість абонентної пари. Саме тому такі параметри називаються базовими.

Базові параметри абонентної пари повністю описані в нормативних документах і добре відомі. До основних базових параметрів можна віднести:

- наявність постійної/змінної напруги на лінії;
- опір абонентного шлейфу;
- опір ізоляції абонентного шлейфу;
- ємність і індуктивність абонентного шлейфу;
- комплексний опір лінії на певній частоті;
- симетрію пари в значенні омичного опору.

Значення перерахованих параметрів визначають якість абонентної пари, і вже на цій підставі можна говорити, що вони важливі для паспортизації кабелів під DSL.

### *Спеціалізовані параметри кабелю*

Процедурно спеціалізовані параметри відрізняються від базових тим, що будь-які вимірювання цих параметрів завжди спираються на методики частотного тестування лінії. Згідно даним методикам для діагностики абонентного кабелю слід подати тестовий спеціалізований сигнал і аналізувати якість проходження такого сигналу по лінії (відгук).

До спеціалізованих параметрів відносяться:

- загасання в кабелі;
- шум в широкій смузі частот і відношення сигнал/шум (SNR);
- амплітудно-частотна характеристика (АЧХ);
- перехідне загасання на ближньому кінці (NEXT);
- перехідне загасання на дальньому кінці (FEXT);
- імпульсні перешкоди;

- поворотні втрати;
- симетрія пари в значенні нерівномірності характеристик передачі.

**Ослаблення сигналу.** Загасання сигналу в кабельній лінії залежить від типу кабелю, його довжини і частоти сигналу. Чим довше лінія і вище частота сигналу, тим вище загасання. Ослаблення при передачі інформаційного сигналу викликано наявністю омичного опору лінії. Чим менше діаметр перетину дроту і чим довше провід, який сполучає приймач сигналу з передавачем, тим менший рівень сигналу отримає користувач. Отже, буде складніше розпізнати прийнятий сигнал на фоні шуму, і зросте рівень помилок при передачі даних. Для характеристики якості прийнятого сигналу в системах передачі даних використовують співвідношення сигнал/шум Signal - Noise Ratio (SNR), яке обчислюється в децибелах (dB). Рівень сигналів прийнято указувати у вигляді відношення до милівату, яке також обчислюється в децибелах (dBm). Крім активної, опір лінії має також реактивні складові, слідством цього є частотна нерівномірність ослаблення сигналу.

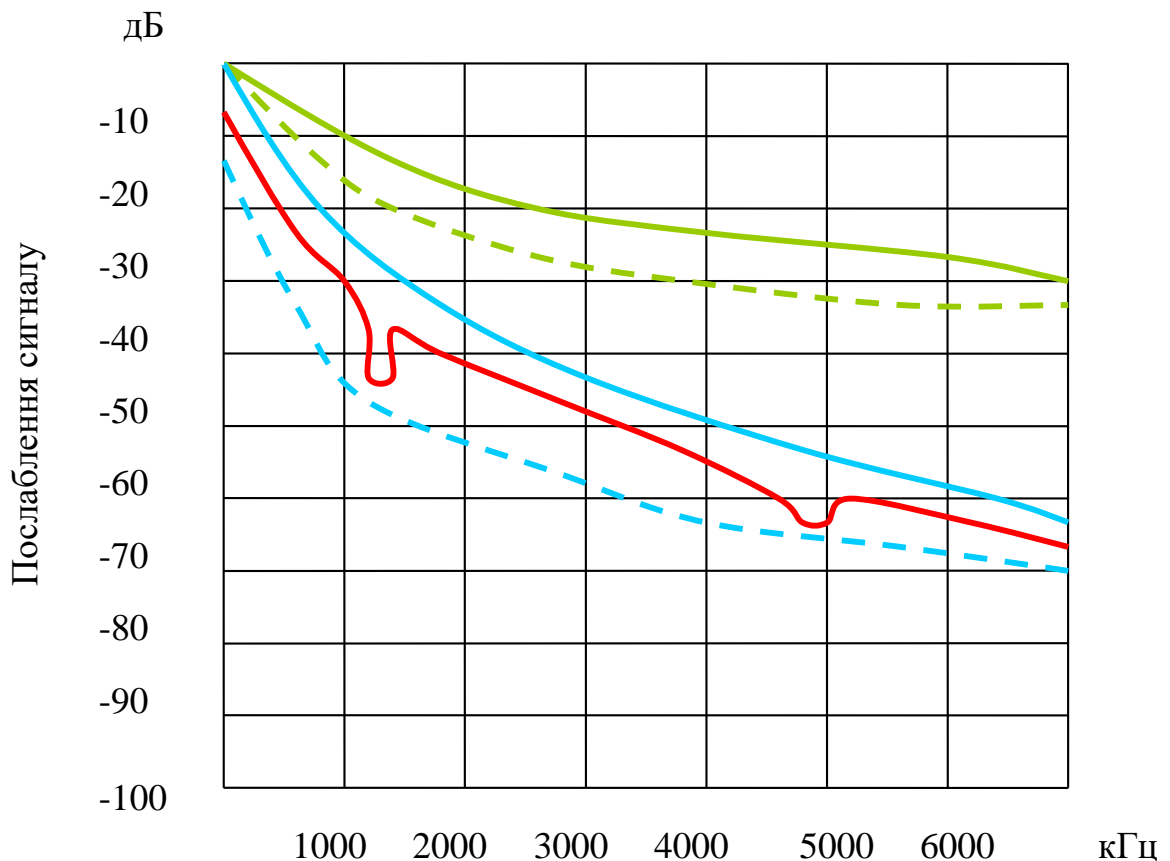


Рисунок 2 – Залежність величини сигналу від довжини лінії і частоти переданого сигналу

Найбільш часто для передачі сигналів DSL використовуються лінії з провід, який має перетин 0.4 мм (26 AWG) і 0.5 мм (24 AWG). На приведеній вище діаграмі представлена залежність величини загасання сигналу в лінії від довжини цієї лінії і частоти сигналу, що передається. Суцільними лініями на цій діаграмі відображена залежність, яка відповідає перетину дроту 0.5 мм (24 AWG). Пунктирні лінії відповідають перетину дроту 0.4 мм (26 AWG). Червона лінія на діаграмі відображає залежність величини загасання сигналу в лінії, яка має пасивне (неузгоджене) відгалуження (bridged tap) довжина якого складає 30 метрів (100ft).

При використуванні двох провідної сполучної лінії, сигнал що передається відображається від закінчення неузгодженого відгалуження і поступає на приймач вже як перешкода. Наявність таких відгалужень у лінії приводить до збільшення частотної нерівномірності ослаблення сигналу в лінії.

**2. Нелінійність АЧХ.** Як правило, кабельна лінія зв'язку є фільтром нижніх частот.

### **3. Перехресні перешкоди сусідніх каналів**

Теоретично значення співвідношення SNR можна збільшити, якщо підняти рівень сигналу, що передається. Проте в цьому випадку зросте і рівень перешкоди, яку даний сигнал надаватиме на сусідні канали. Тому стандарти DSL чітко визначають максимальний рівень сигналу, який може передаватися в лінію - звичайно цей рівень відповідає значенню -13.5 dBm. Крім електричних наведень від зовнішніх джерел електромагнітного випромінювання (атмосферні розряди) найбільший вплив на сигнал, що приймається, надають якраз ті перешкоди, які викликані високошвидкісною передачею даних по решті пар багатожильного кабелю. В термінології DSL такі перешкоди називаються NEXT (Near End Cross talk). Значення NEXT збільшується при збільшенні числа пар даного кабелю, які використовуються для передачі даних і при збільшенні частоти, з якою передаються ці дані. Забезпечення спектральної сумісності є однією з найважливіших задач, які розв'язуються при розробці і реалізації різних алгоритмів лінійного кодування даних, що передаються. Третій фактор, який безпосередньо впливає на параметри якості DSL на рівні абонентного кабелю, - наявність в кабелі неоднородностей. Будь-які неоднорідності в абонентному кабелі негативно позначаються на параметрах передачі. Як ілюстрація процесів, що відбуваються в системі передачі, на рис.3 показано паралельне відпаювання, що є досить частим явищем на вітчизняній мережі

У разі передачі широкосмугового сигналу через паралельне відпаювання передаваний сигнал спочатку розгалужується, а потім відображається неузгоджено від кінця відпаювання. В результаті на стороні приймача два сигнали - прямий і відображений - накладаються один на одного, причому відображений сигнал може розглядатися як шумовий. Оскільки шумовий сигнал у випадку, зображеному на рис.3, має ту ж структуру, що і звичайний сигнал, його вплив виявляється максимальним на параметри якості передачі.

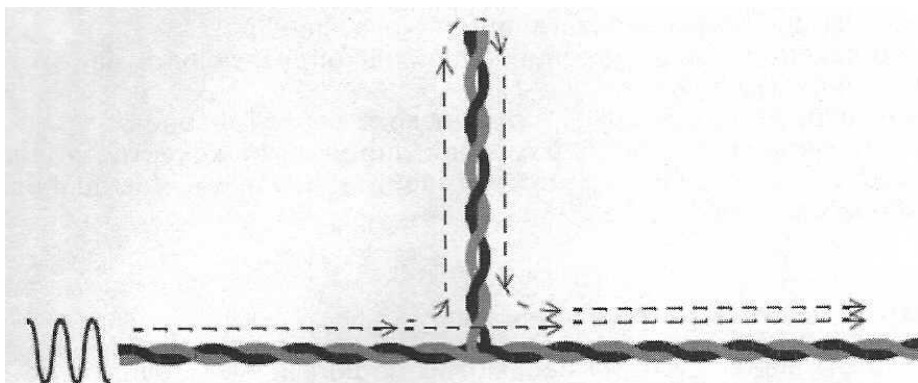


Рисунок 3 - Ілюстрація процесів, що відбуваються в системі передачі (прямий і відображений сигнал)

*Рівень* деструктивного впливу відображеного сигналу напряму залежатиме від рівня віддзеркалення на відпаюванні. З теорії сигналів рівень віддзеркалення буде тим вище, чим більше частота сигналу, що передається. В результаті будь-які системи широкосмужової передачі виявляються дуже чутливими до будь-кого неоднорідностям в кабелі. У разі DSL чутливість до неоднородностей трохи компенсується адаптивним підстроюванням пари модем-DSLAM, так що наявність відпаювань не відміняє можливість передачі. Але у разі відпаювання швидкість передачі DSL різко падає, що дозволяє виробникам обладнання і системщикам висувати вимоги про неприпустимість ніяких неоднородностей в кабелі для DSL.

#### *Перехідні перешкоди*

Четвертим чинником, що впливає в кабелі на параметри передачі ADSL, виступає фактор взаємного впливу абонентних кабелів один на одного. Методично параметри взаємного впливу отримали назву перехідних перешкод, або перехідного загасання. Розрізняють два параметри перехідних перешкод (рис.4).

- перехідне загасання на ближньому кінці (тобто вплив ближнього передавача на приймач на ближньому кінці);
- перехідне загасання на дальньому кінці (тобто вплив дальнього передавача на приймач на ближньому кінці).

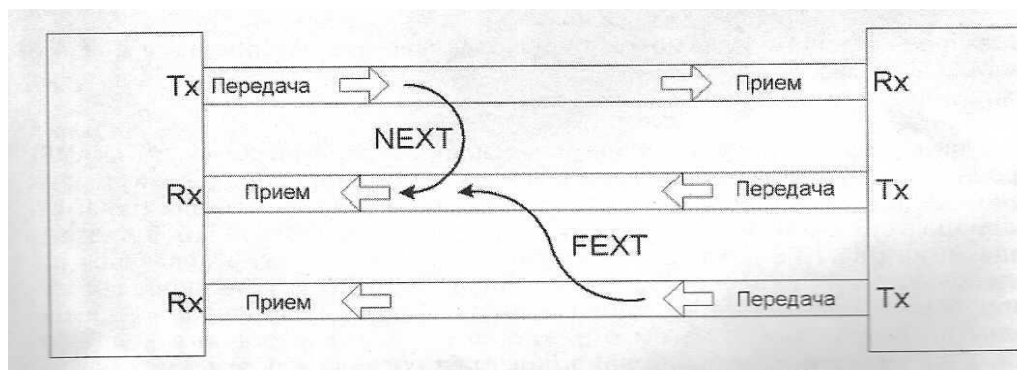


Рисунок 4 - Перехідні перешкоди

Номінально FEXT і NEXT відносяться до спеціалізованих параметрів кабельної пари. Але роль цього параметра настільки унікальна, що вимагає окремого розгляду і дослідження. Достатньо сказати, що, не дивлячись на існування понять NEXT і FEXT вже не один десяток літ, загальної методології вимірювань цих параметрів немає, і в умовах абонентних мережі NGN її навряд чи можна побудувати. Далі, сам вплив на параметри якості з боку перехідних перешкод може бути дуже складним. Для явища перехідних перешкод характерний фактор випадковості. Наприклад, взаємний вплив однієї пари на іншу може існувати потенційно, але ніяк не виявлятися до тих пір, поки по одній парі йде телефонія, а по іншій DSL. Та варто підключити нового абонента DSL - і цей вплив може «убити» якість зв'язку в обох парах. Те ж відноситься до

перешкод від зовнішніх джерел електромагнітного випромінювання - в загальному випадку передбачити їх прояв на окремій парі неможливо.

Можна вказати як найважливіших для параметрів якості DSL наступні типи можливих перехідних перешкод.

- Вплив абонента DSL на іншого абонента DSL.
  - Вплив радіочастот діапазону АМ на DSL.
  - Вплив зовнішніх електромагнітних перешкод.
  - Вплив від цифрових систем передачі (Е1, HDSL і ін.).
- інших процесів в системі експлуатації.

#### **4. Радіочастотна інтерференція.**

**5. Груповий час затримки.** Швидкість розповсюдження сигналу в кабелі залежить від його частоти, таким чином, навіть при рівномірній АЧХ форма імпульсу при передачі спотворюється.

Таким чином для того, щоб бути привабливою для споживача, технологія повинна забезпечити якомога велику швидкість передачі даних. Проте, підвищення швидкості, з якою передаються дані по мідному дроту, приводить до погіршення якості сигналу, що приймається, і до зростання перешкод, які даний інформаційний сигнал надає на сусідні канали. Для того, щоб забезпечити можливість рішення цих сукупності цих проблем застосовуються спеціальні методи лінійного кодування (алгоритми модуляції), використання яких дозволяє передавати дані з достатньо високими швидкостями. При цьому передаваний в лінію інформаційний сигнал має такі параметри, які забезпечують можливість достовірного прийому і не роблять катастрофічного впливу на якість сусідніх інформаційних каналів.

## **2 Кодування 2B1Q**

Першою була розроблена технологія 2B1Q, яка залишається широко поширеною в країнах Західної Європи і США. Технологія 2B1Q спочатку використовувалася в мережах ISDN для передачі потоку 144 кбіт/с (2B+D, BR ISDN). Потім вона була модернізована для передачі більш високошвидкісних потоків. Код 2B1Q є модульованим сигналом, що має 4 рівні, тобто в кожний момент годині передається 2 біти інформації (4 кодові стани). Спектр лінійного сигналу симетричний і достатньо високочастотний (див. рисунок 5), присутні також низькочастотні і постійна складова.



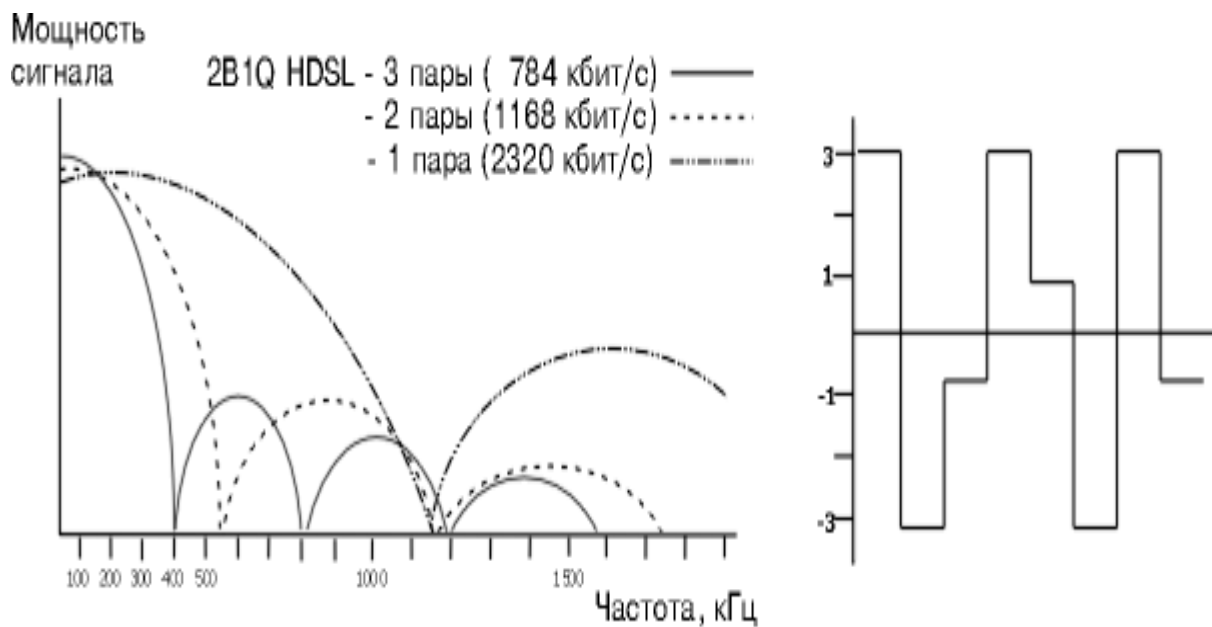


Рисунок 5 – Технологія кодування 2B1Q

Алгоритм 2B1Q є одним з варіантів реалізації алгоритму амплітудно-імпульсної модуляції з чотирьома рівнями вихідної напруги без повернення до нульового рівня (NRZ).

Для формування лінійного коду вхідний інформаційний потік ділиться на кодові групи по два біти в кожній. Поклад від комбінації значень бітів кодової групи їй ставитися у відповідність один з чотирьох кодових символів, кожному з яких у свою чергу ставитися у відповідність один з рівнів кодової напруги.

Таким чином, закодований відповідно до правил алгоритму 2B1Q, сигнал є послідовністю напруги, що стрибкоподібно змінюється:

Таблиця 1 – Значення бітів кодової групи

Кодова група	Кодовий символ	Кодова напруга
00	-3	-2,5В
01	-1	-0.833В
10	+3	2.5В
11	+1	0.833В

Розглянемо, як впливають на передачу коду 2B1Q різні чинники.

В міських умовах створюється велика кількість низькочастотних наведень, наприклад при пуску могутніх електричних машин (метро, трамваї і ті.), електрозварюванню, крім того, в кабелях зв'язку створюється велика кількість імпульсних перешкод (набір номера, передача сигналів сигналізації і ті.). Комплекти ВІС (великих інтегральних схем), що реалізують технологію 2B1Q, використовують достатньо складні методи корекції спотворень в низькочастотній області спектру і забезпечують задовільну якість передачі. Разом з тим кодування 2B1Q все ж таки залишається чутливим до спотворень, оскільки сигнал має

постійну складову, і більш того, максимум енергетичного спектру доводиться на низькі частоти.

Великий розкид частот в спектрі сигналу 2B1Q веде до виникнення труднощів, пов'язаних з груповим часом затримки. Мікропроцесорна обробка, втім, допомагає розв'язати і ці проблеми, хоча алгоритм обробки сигналу істотно ускладнюється.

Серйозний вплив на передачу надає радіочастотна інтерференція. Радіопередачі в діапазонах довгих і середніх хвиль, робота могутніх радіорелейних ліній викликають наведення на кабельну лінію і заважають передачі коду 2B1Q, якщо мають співпадаючі ділянки спектрів. Цей чинник особливо негативно позначається при використуванні апаратури HDSL для з'єднання студій і радіо передаючих центрів, а також при монтажі устаткування в приміщеннях або в безпосередній близькості телерадіоцентрів.

Спектр коду 2B1Q містить високочастотні складові, максимум енергії передається в першій "пелюстці", ширина його пропорційна швидкості на лінії. Як вже наголошувалося, загасання сигналу в кабелі росте із збільшенням його частоти, тому залежно від необхідної дальності застосовується одна з трьох швидкостей лінійного сигналу (784, 1168 або 2320 кбіт/с). Технологія 2B1Q для передачі потоку 2 Мбіт/с використовує одну, дві або три пари мідного кабелю. По кожній з пар передається частина потоку (див. рисунок 5) з вищезазначеними швидкостями. Найбільша дальність роботи досягається при використуванні трьох пар (близько 4 км по жилі 0,4 мм), як найменша — при роботі по одній парі (менше 2 км).

З огляду на те, що дистанція роботи систем HDSL (кодування 2B1Q), що використовують одну пару, не задовольняє базовим вимогам по дальності, такі системи не знайшли широкого розповсюдження. Системи, що працюють по трьох парах, дотепер достатньо широко використовуються, проте поступово витісняються системами, що застосовують технологію CAP і забезпечуючими ту ж дальність по двох парах. З систем з кодуванням 2B1Q найбільше розповсюдження мають системи, що працюють по двох парах. Їх дальність роботи (близько 3 км по жилі 0,4 мм) забезпечує переважну більшість задач доступу в країнах Західної Європи і США, де довжина АЛ в 80% випадків (дані Schmid Telecom AG) не перевищує 3 км.

На думку більшості експертів, з технічної точки зору технологія 2B1Q дещо поступається більш пізній технології лінійного кодування — CAP. Проте в світі дотепер проводиться велика кількість устаткування, яке використовує 2B1Q. Чому? Відповідь достатньо очевидна. По-перше, довжина абонентних ліній в США і Західній Європі, як правило, достатньо невелика, так що дальності 2B1Q цілком достатньо. Якість кабелю у вищезазначених регіонах також достатньо висока, що знижує вплив різних чинників, що заважають. По-друге, важливою гідністю технології 2B1Q є її дешевизна. Близько десяти крупних виробників ВІС поставляють комплексні рішення для створення устаткування HDSL за технологією 2B1Q. Наявність конкуренції, природно, позитивно позначається на ціні мікросхем і готових модулів приймачів-передавач. На думку зарубіжних експертів, технологія 2B1Q стає все більш і більш "доступною": багато компаній,

що навіть не спеціалізуються на виробництві устаткування HDSL, отримують можливість швидко і дешево розробити власний пристрій або блок HDSL з використанням готових рішень (іноді цілих HDSL модулів) від постачальників BIC, таких, як Metalink, Brooktree (Rockwell), PairGain Technologies і ін.

### **Заключення**

Підведення підсумків заняття. Відмічаються кращі бригади.

### **Завдання на СРС.**

Виконати самостійне завдання № 11.

Оформити загальну таблицю порівняння методів кодування із визначенням кількості можливих різновидів сигналів.

Використана література:

1. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проективання телекомунікаційних мереж. Київ, “Техніка”, 2003 – 923 с.

2. ГОСТ 34.601. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания.

3. ГОСТ 34.602. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы.

4. С.О. Сєрих, Г. І. Гайдур Методичні вказівки по курсовому проекту з дисципліни "Телекомунікаційні та інформаційні мережі" – Київ, 2006. – 17 с.

Методичну розробку склав  
Доцент кафедри КН  
\_\_\_\_\_ С.О. Сєрих

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021\_р.