

Функції фізичного рівня

Фізичний рівень призначено безпосередньо для передачі потоку даних і реалізації інтерфейсу між хост-модулем та середовищем передачі. Функції фізичного рівня обов'язково реалізуються **апаратно** за допомогою мережного адаптера або послідовного порту на всіх модулях, що підключаються до мережі. Тобто визначаються інтерфейсні схеми підключення до каналу передачі даних, а саме механічні, електричні, функціональні та процедурні параметри та особливості даного з'єднання.

Функції фізичного рівня

Основні функції фізичного рівня полягають у:

- формуванні послідовності сигналів;
- її передачі по фізичних каналах;
- синхронізації та виконанні процедур модуляції або кодування (залежно від типу фізичного каналу).

Крім того фізичний рівень визначає:

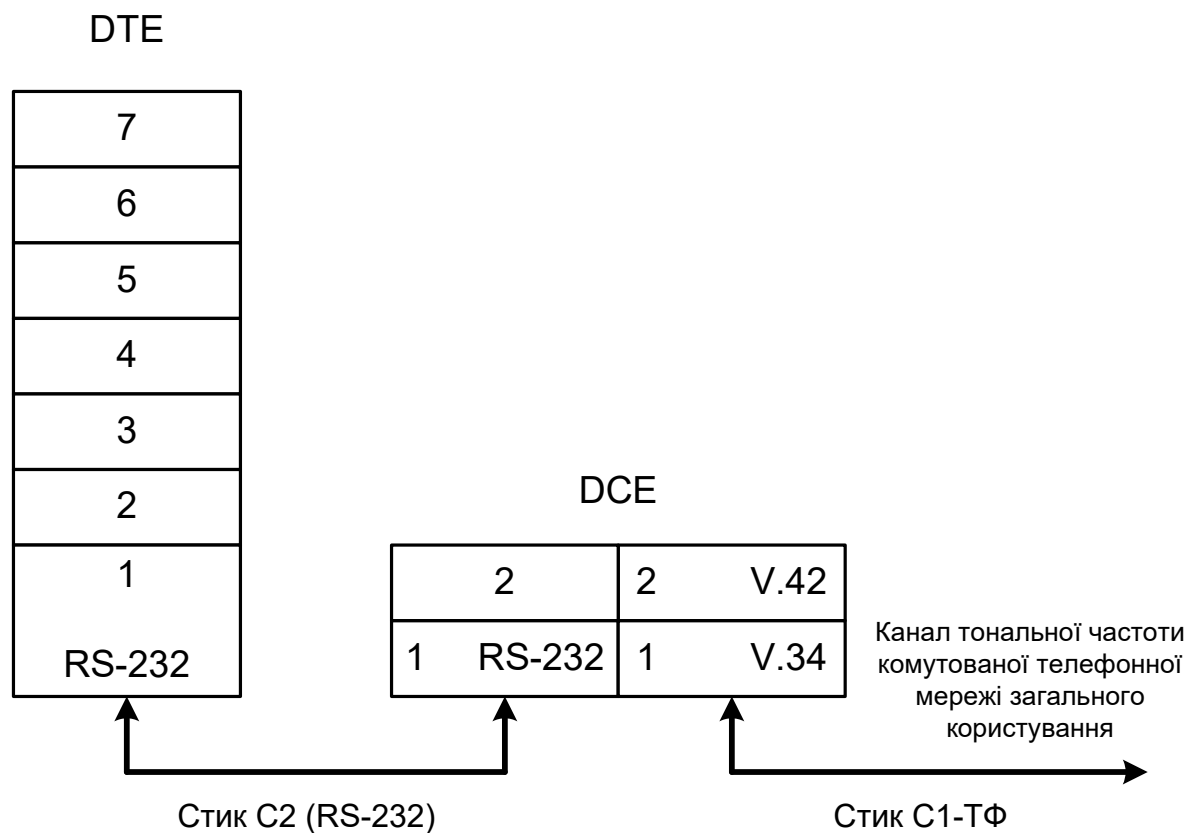
- процедури передачі сигналів у канал та отримання їх з каналу;
- спосіб представлення та вид сигналів, що передаються в канал у тому вигляді, який використовується в даному фізичному середовищі (фізичному каналі).

Функції фізичного рівня

Фізичний рівень виконує такі **основні функції**:

- встановлення і розрив зв'язків;
- перетворення сигналів;
- реалізація інтерфейсу.

Профіль протоколів DCE з функціями фізичного та канального рівнів



Приклади мережних інтерфейсів

Прикладами мережних інтерфейсів, які реалізують фізичний рівень, є інтерфейси стику C2:

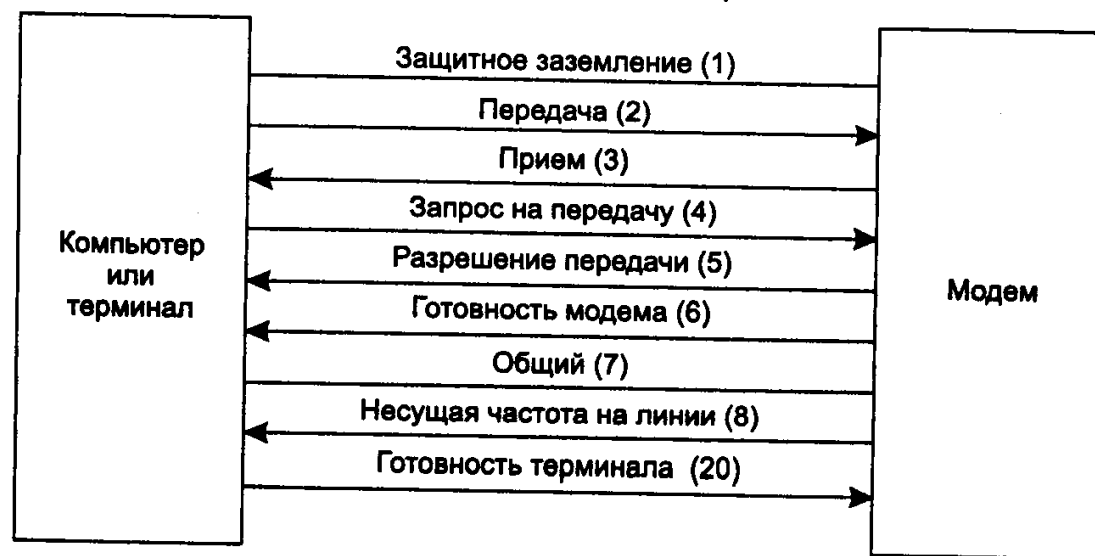
- RS-232;
- RS-422A;
- RS-423A;
- RS-449;
- RS-485;
- V.35;
- V.90 тощо.

Приклади мережних інтерфейсів

RS-232-C			ССПТ V.24			RS-449		
Код	Контакт	Цепь	Код	Контакт	Цепь	Код	Контакт	Цепь
AA AB	1 7	Защитное заземление Сигнальное заземление	101 102	1 7	Защитное заземление Сигнальное заземление	— SG SC RC	1 19 37 20	Сигнальное заземление Общий передачи Общий приема
BA BB	2 3	Переданные данные Принятые данные	103 104	2 3	Переданные данные Принятые данные	SD RD	4,22 6,24	Послать данные Принять данные
CA CB CC CD CE CF CG CH CI	4 5 6 20 22 8 21 23 18	Запрос на передачу Разрешение передачи Готовность модема Готовность терминала Индикатор звонка Определитель линии Качество сигнала Скорость терминала Скорость модема	105 106 107 108 125 109 110 11 112	4 5 6 20 22 8 21 23 18	Запрос на передачу Готовность к передаче Готовность модема Готовность терминала Индикатор вызова Определитель линии Качество сигнала Скорость терминала Скорость модема	RS CS DM TR IC RR SQ SR SI IS NS SF	7,25 9,27 11,29 12,30 15 13,31 33 16 2 28 34 16	Запрос на передачу Разрешение передачи Режим данных Готовность терминала Входящий звонок Приемник готов Качество сигнала Скорость сигнала Индикаторы сигнала Терминал действует Новый сигнал Выбор частоты
DS DB DD	24 15 17	Синхронизация терминала Синхронизация модема Синхронизация приемника	113 114 115	24 15 17	Синхронизация терминала Синхронизация модема Синхронизация приемника	TT ST RT	17,25 5,23 8,26	Синхронизация терминала Синхронизация передачи Синхронизация приема
SBA SBB SCA SCB SCF	14 16 19 13 12	Переданные данные Принятые данные Запрос на передачу Разрешение передачи Определитель линии	118 119 120 121 122	14 16 19 13 12	Переданные данные Принятые данные Сигнал линии Готовность канала Определитель линии	SSD SRD SRS SCS SRR	3 4 7 8 2	Послать данные Принять данные Запрос на передачу Разрешение передачи Приемник готов
						LL RL TM	10 14 18	Локальная проверка по шлейфу Дистанционная проверка по шлейфу Режим тестирования
						SS SB	32 36	Выбор режима ожидания Индикатор режима ожидания

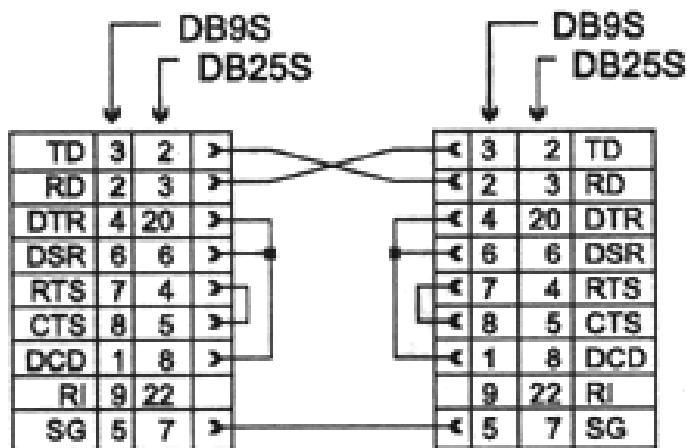
Вторичный канал

Підключення модема до терміналу

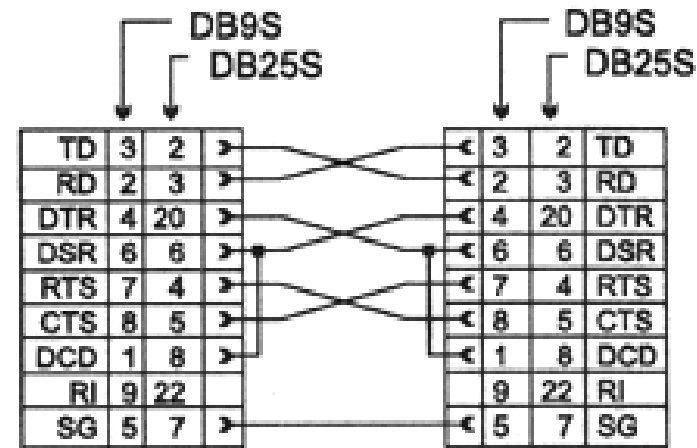


Нуль-модемне з'єднання

При підключенні термінального обладнання DTE без модемів роз'єми пристроїв з'єднуються між собою нуль-модемним кабелем (Zero modem или Z-modem): а – мінімальний кабель, б – максимальний кабель.



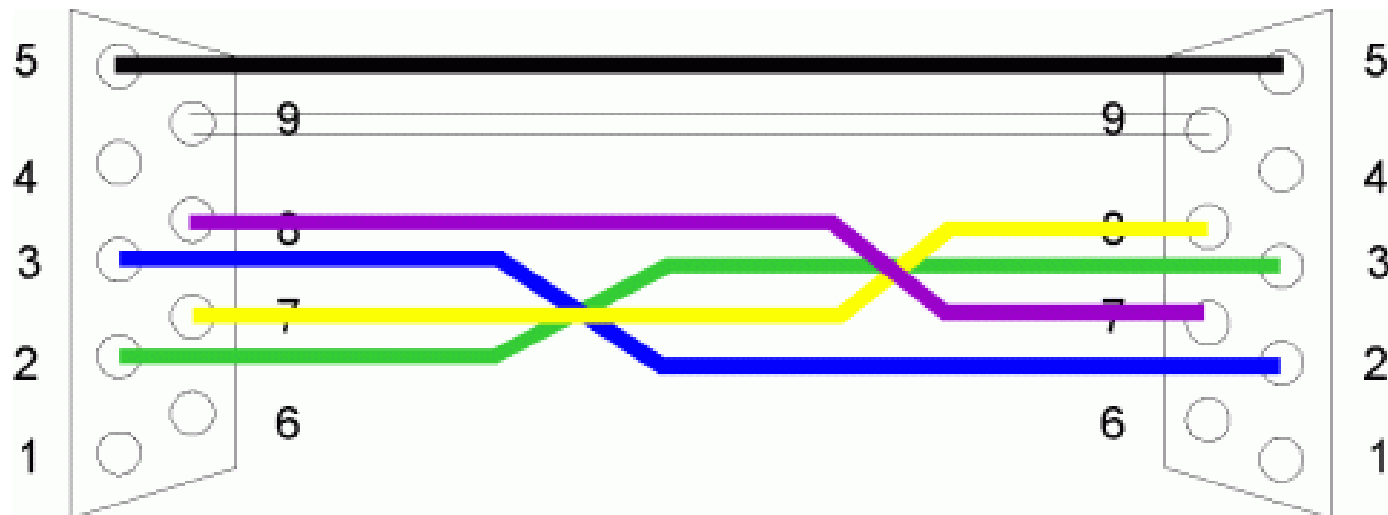
а



б

Нуль-модемне з'єднання

Багато мережних пристроїв, особливо маршрутизаторів, доступні для управління тільки через послідовний СОМ порт. Для підключення цього пристрою до комп'ютера необхідно використовувати нуль-модемний кабель.



Приклади мережних інтерфейсів

Прикладами мережних інтерфейсів, які реалізують перетворення сигналів, є інтерфейси стику С1:

- **С1-ТФ** (ГОСТи 23504-79, 25007-81, 26557-85) – для каналів КТМЗК;
- **С1-ТЧ** (ГОСТи 23475-79, 23504-79, 23578-79, 25007-81, 16557-85) – для виділених каналів тональної частоти;
- **С1-ТГ** (ГОСТ 22937-78) – для телеграфних каналів зв'язку та інші.

Характеристики каналу зв'язку

Будь-який канал зв'язку визначається сукупністю взаємопов'язаних характеристик, основними з яких є:

- амплітудно-частотна характеристика;
- ширина смуги пропускання (bandwidth);
- завадостійкість;
- затухання (attenuation);
- пропускна спроможність (throughput);
- перехресні наводки на ближньому кінці лінії NEXT (Near End Cross Talk) тощо.

Характеристики каналу зв'язку

Ширина смуги пропускання каналу характеризує неперервний діапазон частот, для якого затухання (відношення амплітуди вихідного сигналу до вхідного) не перевищує деякого наперед заданого значення (зазвичай 0,5). Тобто смуга пропускання визначає діапазон частот сигналу, в якому сигнал передається в каналі зв'язку без значних спотворень.

Пропускна спроможність лінії зв'язку характеризує максимально можливу швидкість, з якою можуть передаватися дані. Цей параметр, з одного боку, залежить від параметрів фізичного середовища, а з іншого – визначається способом передачі даних та їх представлення.

Зв'язок між пропускною спроможністю каналу та його смугою пропускання. Формула Найквіста

Для каналу без шуму:

$$C = 2 F \log_2 M ,$$

де: C – максимальна швидкість передачі даних (біт/с);

F – ширина смуги пропускання лінії (Гц);

M – кількість станів сигналу.

Зв'язок між пропускною спроможністю каналу та його смугою пропускання. Формула Клода Шеннона

Для каналів з випадковим (термодинамічним) шумом:

$$C = F \log_2 (1 + P_c/P_{ш}) ,$$

де: C – максимальна пропускна спроможність лінії (біт/с);

F – ширина смуги пропускання (Гц);

$P_c, P_{ш}$ – потужності сигналу та шуму відповідно.

Замість $P_c/P_{ш}$ використовують значення $10 \lg S/N$,

де: S – потужність корисного сигналу;

N – потужність шуму.

Така одиниця називається **децибелом (дБ)**. Наприклад, якщо:

- відношення сигнал/шум має значення 10, то ця величина дорівнює 10 дБ;
- якщо це відношення дорівнює 100, то – 20 дБ тощо.

Методи передачі дискретних даних на фізичному рівні

При видачі інформації в канал зв'язку визначається спосіб представлення даних сигналами такої форми, яка використовується в даному середовищі передачі. В загальному випадку ця процедура реалізується з використанням логічного і фізичного кодування.

Логічне кодування виконується до фізичного і виконує заміну бітів вихідної послідовності такою новою послідовністю бітів, яка передає ту ж саму інформацію, але має і додаткові можливості для приймаючої станції (зазвичай це можливість виявляти помилки передачі).

Фізичне кодування передбачає вибір способу представлення дискретної інформації у вигляді послідовності сигналів, які передаються в канал.

Логічне кодування

Логічне кодування виконується до фізичного і виконує заміну бітів вихідної послідовності такою новою послідовністю бітів, яка передає ту ж саму інформацію, але має і додаткові можливості для приймаючої станції (зазвичай це можливість виявляти помилки передачі).

Логічне кодування дозволяє:

- забезпечити конфіденційність передачі даних за рахунок їх шифрування;
- виявити помилки в прийнятій послідовності сигналів;
- визначити довгі монотонні послідовності нульових та одиничних сигналів, пов'язаних з особливими станами каналу.

Методи логічного кодування

Розрізняють два методи **логічного кодування**:

- надлишкові коди;
- скремблювання.

Надлишкові коди

В комп'ютерних мережах найбільше використання знайшли наступні коди, в яких комбінація з деякої кількості інформаційних бітів (В) замінюється в передавачеві на більшу кількість бітів (В) або трійкових цифр (Т), що передаються в канал:

- **4В/5В** (використовується в мережах Ethernet стандарту 100Base-FX (оптоволоконний кабель) та в мережі FDDI);
- **5В/6В** (використовується в мережі 100VG-Any LAN);
- **8В/6Т** (використовується в мережах 100BASE-T4 мережі Fast Ethernet - велика збитковість, оскільки замість 2^8 (256 комбінацій) використовується 3^6 (729 комбінацій));
- **8В/10В** (використовується в мережах Gigabit Ethernet).

Код 4В/5В

Інформаційна послідовність	Результуюча послідовність
0000	11110
0001	01001
0010	10100
0011	10101
0100	01010
0101	01011
0110	01110
0111	01111
1000	10010
1001	10011
1010	10110
1011	10111
1100	11010
1101	11011
1110	11100
1111	11101

Скремблювання

Скремблювання передбачає побітове обчислення вихідної кодової послідовності на основі значень вхідної інформаційної послідовності і вже обчислених у попередніх тактах бітів результуючого коду. Наприклад, скремблер реалізує наступне співвідношення:

$$B_i = A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5} ,$$

де: B_i - двійкова цифра результуючої кодової послідовності,
 A_i - двійкова цифра вхідної інформаційної послідовності,
 B_{i-3} та B_{i-5} - двійкові цифри результуючого коду, які отримані на попередніх тактах роботи скремблера, відповідно на 3 та 5 тактів раніше поточного такту,
 \oplus – операція додавання по модулю 2.

Алгоритми скремблювання

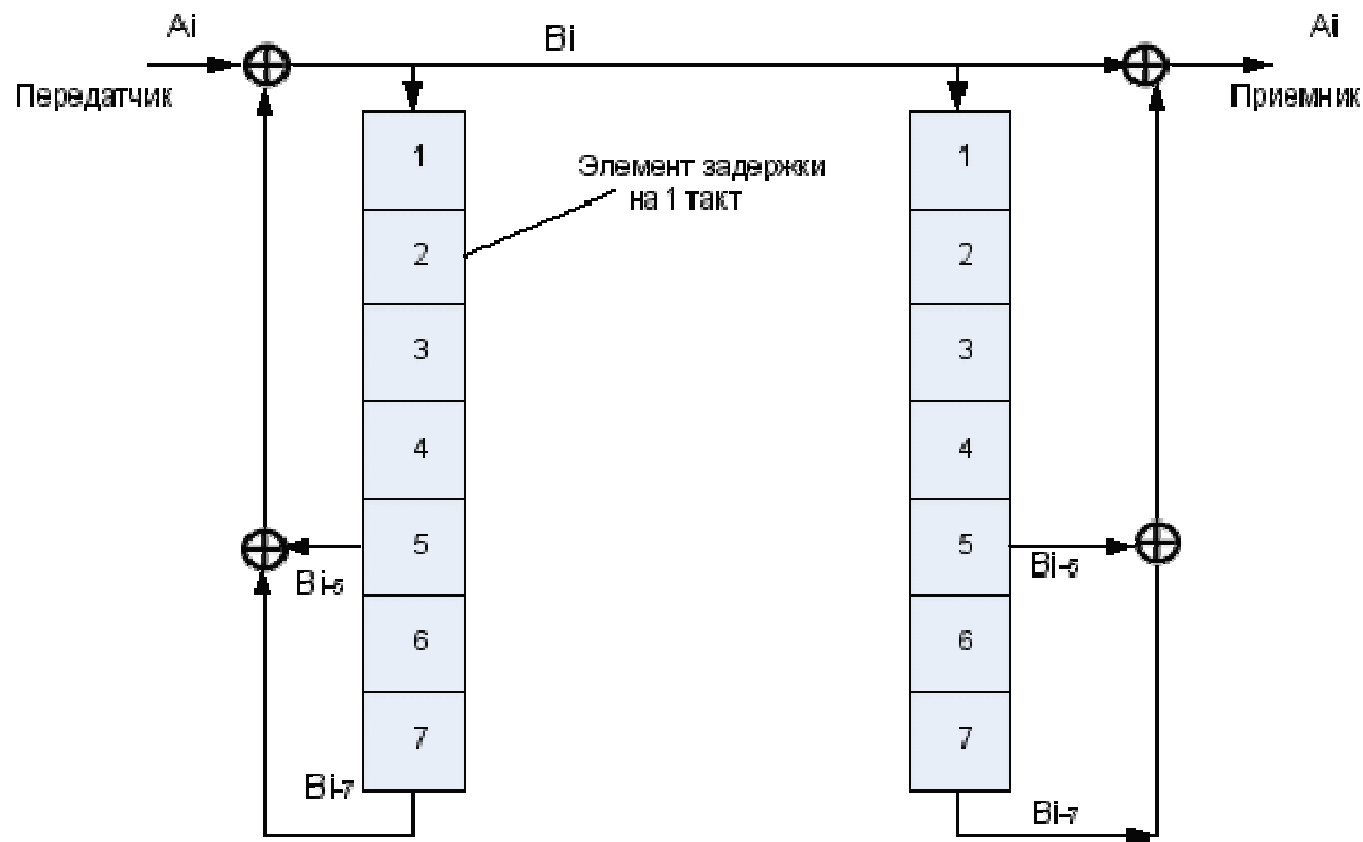
Алгоритми скремблювання відрізняються різною кількістю доданків та різним зсувом між доданками.

В мережах ISDN використовується два варіанти скремблювання:

- зі зсувом 5 і 23;
- зі зсувом 18 і 23.

Реалізація скремблювання

Схема скремблювання для $B_i = A_i \oplus B_{i-5} \oplus B_{i-7}$



Фізичне кодування

Фізичне кодування передбачає вибір способу представлення дискретної інформації у вигляді послідовності сигналів, які передаються в канал.

Типи фізичного кодування:

- на основі синусоїдального несучого сигналу — цей спосіб часто називають *аналоговою модуляцією* чи просто *модуляцією (маніпуляцією)*;
- на основі послідовності прямокутних імпульсів — цей спосіб зазвичай називають *цифровим кодуванням*.

Процес представлення аналогових за своєю природою даних (голосові, аудіо та відео потоки) у вигляді дискретних сигналів для передачі каналами зв'язку називається *цифровою (дискретною) або імпульсною модуляцією*.

Модуляція та маніпуляція

Терміни **модуляції** та **кодування** часто використовують як синоніми, а замість терміну «**модуляція**» в літературі використовують поняття «**маніпуляція**». Однак між цими двома поняттями існують деякі відмінності, а саме:

- якщо модульований сигнал передає *дискретну інформацію*, то замість терміну «модуляція» використовують поняття «**маніпуляція**»,
- в інших випадках – тільки термін «**модуляція**».

Порівняння аналогового та цифрового сигналів

- Затухання цифрового сигналу та порушення (зміна) його форми значно менші, ніж при передачі аналогового сигналу.
- При ретрансляції цифрового сигналу значно простіше відновити початкову форму сигналу, яка на відміну від аналогового сигналу, точно відома. При ретрансляції ж аналогового сигналу помилка передачі накопичується.
- Цифрова передача більш надійна.
- Цифровими каналами можна **одночасно** передавати дані, голосові потоки, аудіо- та відео-потоки з великою швидкістю.
- Цифрова передача дешевше, оскільки не треба великих зусиль на відновлення форми сигналу.
- Цифрову мережу значно простіше експлуатувати та підтримувати її в робочому стані.

Передача даних аналоговими каналами

Голосовий потік може займати діапазон **100 Гц – 18000 Гц**.

Для передачі голосового сигналу **прийнятної якості** використовується канал з вузькою смугою пропускання (смугою частот):

для Європи - **300 – 3400 Гц**,

для Америки - **300 – 3300 Гц**.

Типова амплітудно-частотна характеристика каналу тональної частоти



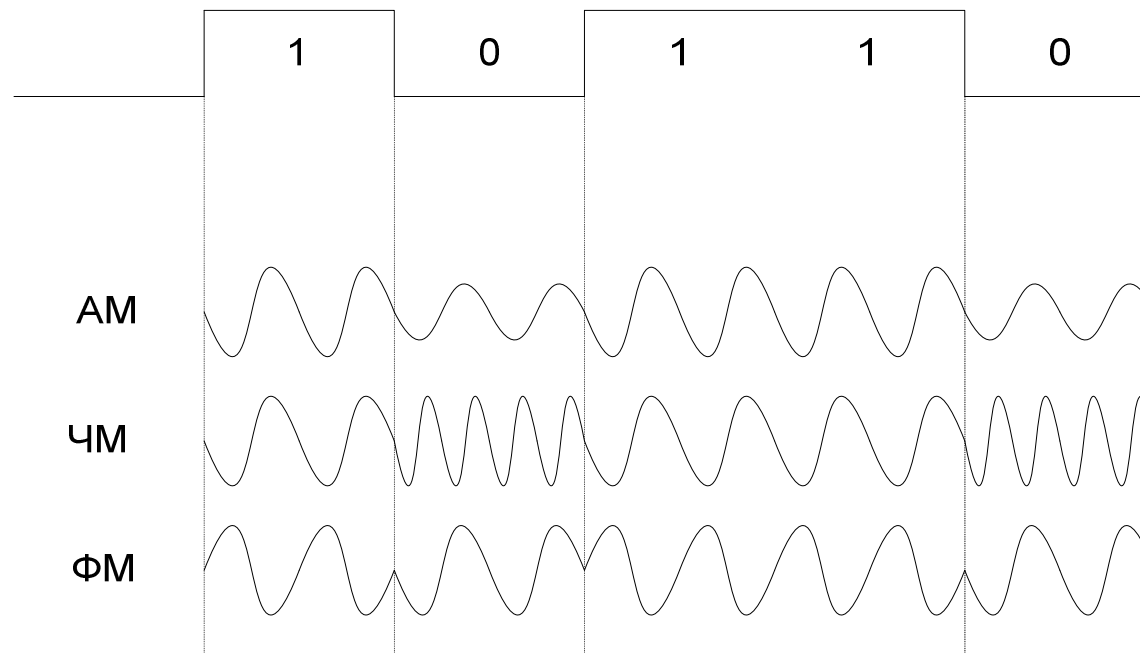
Модуляція

Строге обмеження смуги пропускання каналу тональної частоти пов'язано з використанням апаратури ущільнення та комутації каналів у телефонних мережах. Перенос сигналу в канал заданої частоти виконується модемом за допомогою **модуляції**.

Модуляція — процес зміни одного чи декількох параметрів вихідного сигналу по закону зміни вхідного. При цьому вхідний сигнал (який може біти як аналоговим, так і цифровим) називається ***модулюючим***, а вихідний (аналоговий) — ***модульованим***. Залежно від того, який сигнал (аналоговий чи цифровий) є вхідним, розрізняють відповідно аналогову та цифрову модуляції.

Типи модуляції

Оскільки для аналогових каналів основними характеристиками сигналів є амплітуда, частота та фаза, використовують **амплітудну, частотну, фазову** модуляції, а також їх комбінації.



Амплітудна модуляція

При амплітудній модуляції (AM) ASK (Amplitude Shift Keying) змінної є тільки амплітуда сигналу, при цьому і частота, і фаза мають постійне значення. На практиці в чистому вигляді використовується дуже рідко через низьку завадостійкість. Тому даний підхід використовують зазвичай разом з фазовою модуляцією.

Частотна модуляція

При частотній модуляції (**ЧМ**) **FSK** (Frequency Shift Keying) для передачі нульових та одиничних бітів змінюється тільки частота сигналу, при цьому і його амплітуда, і фаза залишаються незмінними. Розрізняють:

- двійкову **FSK** (**BFSK** - Binary FSC), при якій при передачі використовується тільки два значення частоти сигналу,
- чотирирівневу **FSK** (**FFSK** - Four-level FSK), при використанні якої використовується чотири значення частоти сигналу і відповідно за один такт (один період зчитування з каналу) передається чи приймається з каналу одразу два біти інформації, т
- багаторівневу **FSK** (**MFSK** - Multi-level FSK).

Зазвичай способи частотної модуляції використовуються в низькошвидкісних модемах.

Фазова модуляція

При **фазовій модуляції (ФМ) PSK** (Phase Shift Keying) нульові та одиничні біти передаються сигналами однакової амплітуди та частоти, але з різною фазою.

Розрізняють:

- **двійкову PSK (BPSK - Binary PSK)**, якщо використовується два значення фази (0° та 180°),
- **квадратурну фазову модуляцію Quadrature PSK**, якщо використовується чотири фази (0° , 90° , 180° та 270°).

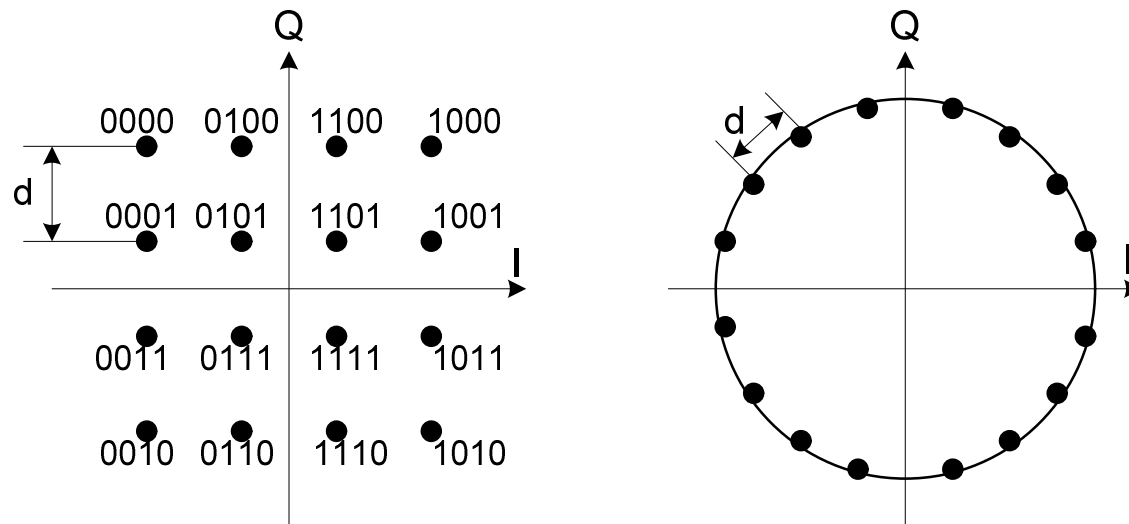
Квадратурно-амплітудна модуляція

Способи квадратурної амплітудної модуляції **QAM-N** (Quadrature Amplitude Modulation) є комбінацією амплітудної та фазової модуляції (для визначення цього способу модуляції часто використовується аббревіатура **КАМ** – квадратурно-амплітудна модуляція).

N означає кількість станів несучого сигналу і може приймати значення 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256. Кількість біт, яка передається одним станом, визначається як $\log_2 N$, де **N** означає рівень модуляції.

Порівняння модуляцій QAM-16 та PSK-16

Кодова відстань d між сусідніми точками сигнальної сукупності в системі QAM вища за аналогічний показник в системі PSK, що означає і більшу захищеність від помилок.



Використання модуляції QAM-N

QAM-32 - для ретрансляції супутникових потоків.

QAM-64 — в коаксіальних лініях, які характеризуються високим співвідношенням сигнал/шум (може використовуватись і QAM іншого рівня).

QAM-128 та **QAM-256** - в сучасних кабельних мережах, що пов'язано з більш жорсткими вимогами до амплітудно-частотних характеристик сигналу і рівня ехо-сигналів в тракті.

QAM модуляція також широко використовується для передачі даних в мережах кабельного телебачення.

Трелліс-модуляція

Трелліс-модуляція TCM (*Trellis Coded Modulation*) - це більш сучасний, довершений метод модуляції. Його перевагою є не тільки збільшення кількості біт, які передаються в одному такті, а й зниження вимог до каналу зв'язку (знижено співвідношення S/N на 3 – 6 дБ), що використовується у високошвидкісних модемах і відповідає рекомендаціям стандарту V.34.

Стандартизовані типи модуляції

Абревіатура	Type of signal modulation	Тип модуляції
$\pi/4$ QPSK	Quaternary Phase Shift Keying	$\pi/4$ четверично-фазова маніпуляція
ADM	Adaptive Delta Modulation	Адаптивна дельта модуляція
AFM	Amplitude-Frequency Modulation	Амплітудно-частотна модуляція
APM	Amplitude Phase Modulation	Амплітудно-фазова модуляція
BFSK	Binary Frequency Shift Keying	Двійкова частотна маніпуляція
BPSK	Binary Phase Shift Keying	Відносна фазова маніпуляція
CAP	Carrierless AM-PM	Амплітудно-фазова модуляція без несучої
CDM	Companded Delta Modulation	Компенсована дельта модуляція
DFSK	Double Frequency Shift Keying	Двійкова частотна модуляція
DM	Delta Modulation	Дельта модуляція
DPM	Differential Phase Modulation	Диференціальна фазова модуляція
FM	Frequency Modulation	Частотна модуляція
FM-PM	Frequency Modulation- Phase Modulation	Частотна-фазова модуляція
FSK	Frequency Shift Keying	Частотна маніпуляція
MFSK	Multiple (Multilevel) FSK	Багатократна (багаторівнева) частотна маніпуляція
PAM	Phase (Pulse) Amplitude Modulation	Амплітудно-фазова(імпульсна) модуляція
PM	Phase Modulation	Фазова модуляція
PSK	Phase Shift Keying	Фазова маніпуляція
QAM-N (N=4, 16, 32, 128, 256)	Quadrature Amplitude Modulation	Квадратурно-амплітудна модуляція
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying	Квадратурно-фазова маніпуляція

Модем

Модемом називають пристрій передачі даних, який на стороні передавача приймає потік біт від терміналу (DTE) і перетворює його в модульований сигнал відповідної форми, що передається в канал, а при отриманні сигналу на стороні приймача виконуються зворотні дії – модульований сигнал перетворює в цифрові імпульси, які передаються в термінал пункту призначення.

Однак на сьогодні модем виконує значно більший набір функцій залежно від особливостей його реалізації та використання. В більш широкому сенсі модемом називають пристрій передачі даних (DCE), який забезпечує інтерфейс між терміналом та каналом зв'язку.

Класифікація модемів

Ознаки класифікації модемів:

- область застосування;
- тип каналу, який використовується для передачі;
- метод передачі даних;
- режим роботи;
- конструктивне виконання;
- підтримка протоколів модуляції, стискання даних, корекції помилок тощо.

Класифікація модемів

За областю застосування виділяють наступні групи:

- для комутованих телефонних каналів;
- для виділених (орендованих) телефонних каналів;
- для фізичних ліній:
 - модеми на короткі відстані (short range: SR-модеми, від 1,75 до 10 км), на середні відстані (medium range: MR-модеми, від 8 до 9 км), на великі відстані (extended range: ER-модеми, до 15 км);
 - модеми основної смуги (baseband);
- для цифрових систем передачі (CSU/DSU, каналів E1/T1 або ISDN);
- для сотових систем зв'язку;
- для пакетних радіомереж тощо.

Класифікація модемів

Модеми для фізичних ліній враховують її смугу пропускання, яка не обмежена значенням 3,1 кГц. Смуга пропускання фізичної лінії залежить від типу середовища передачі (скручена пара, коаксіальний кабель тощо) та її довжини. При цьому модеми на короткі відстані (низького рівня) передають в канал цифрові сигнали без їх модуляції, а модеми основної смуги використовують відповідні методи модуляції.

Модеми для цифрових ліній забезпечують підключення до стандартних цифрових каналів, наприклад, T1/E1 або ISDN, та підтримують функції відповідних каналних інтерфейсів.

Модеми для сотових систем підтримують спеціальні протоколи модуляції та корекції помилок, що дозволяє ефективно передавати інформацію в сотових каналах з високим рівнем завад.

Модеми для пакетних радіомереж призначені для передачі даних в радіоканалі між мобільними користувачами, використовуючи при цьому один канал в режимі множинного доступу (зазвичай з контролем несучої) і відповідний метод модуляції.

Класифікація модемів

За типом каналу, який використовується для передачі, розрізняють:

- модеми для 2-проводових мідних ліній (звичайні, професійні, ADSL-модеми, SR-модеми, ER-модеми);
- модеми для 4-проводових мідних ліній (звичайні, професійні, HDSL-модеми, ISDN-модеми, SR-модеми, ER-модеми, MR-модеми);
- модеми для оптоволоконних ліній (FOM, FOM-T1/E1, FOM-T2/E2, FOM-T2/E2);
- модеми для радіоканалів (радіомодем, сотовий модем);
- кабельні модеми (для коаксіального кабеля).

Класифікація модемів

За методом передачі модеми розділяють на асинхронні та синхронні, маючи на увазі спосіб передачі даних в каналі зв'язку між модемами. При цьому модем може працювати з терміналом DTE в асинхронному режимі і одночасно з віддаленим модемом у синхронному режимі та навпаки.

За режимом роботи розрізняють модеми дуплексні, напівдуплексні та симплексні, тобто враховується спосіб організації каналу передачі.

За конструктивним виконанням розрізняють модеми:

- внутрішні;
- зовнішні;
- групові;
- портативні.

Класифікація модемів

За інтелектуальними можливостями виділяють наступні типи модемів:

- без системи керування;
- з підтримкою набору AT-команд (Hayes-сумісні модеми);
- з підтримкою команд V.25bis (дозволяють управляти режимами встановлення з'єднання між взаємодіючими модулями та процедурою передачі);
- з фірмовою системою команд;
- з підтримкою протоколу управління мережею SMNP (Simple Manager Network Protocol).

Методи кодування даних

При цифровому кодуванні дискретної інформації використовують:

- **потенціальні коди**, при використанні яких біти логічного 0 та логічної 1 представлені різними потенціалами, тобто різними рівнями напруги сигналу;
- **імпульсні коди**, в яких для представлення бітів логічного 0 та логічної 1 використовується або перепад потенціалу відповідного напрямку, або імпульс відповідної полярності.

Вимоги до методів кодування

- При одній бітовій швидкості мав би найменшу ширину спектру результуючого сигналу, який отримано в результаті кодування.
- Забезпечував синхронізацію між модулем-відправником та модулем-отримувачем даних.
- Мав би невисокий рівень постійної напруги в лінії зв'язку.
- Мав можливість розпізнавати помилки і, по можливості, їх виправляти.
- Мінімізував потужність передавача.
- Мав підключення, що не потребує врахування полярності проводів у кожній парі.
- Мав би низьку вартість передачі.

Синхронізація модулів в мережі

Синхронізація пристроїв в мережі ускладнена, оскільки:

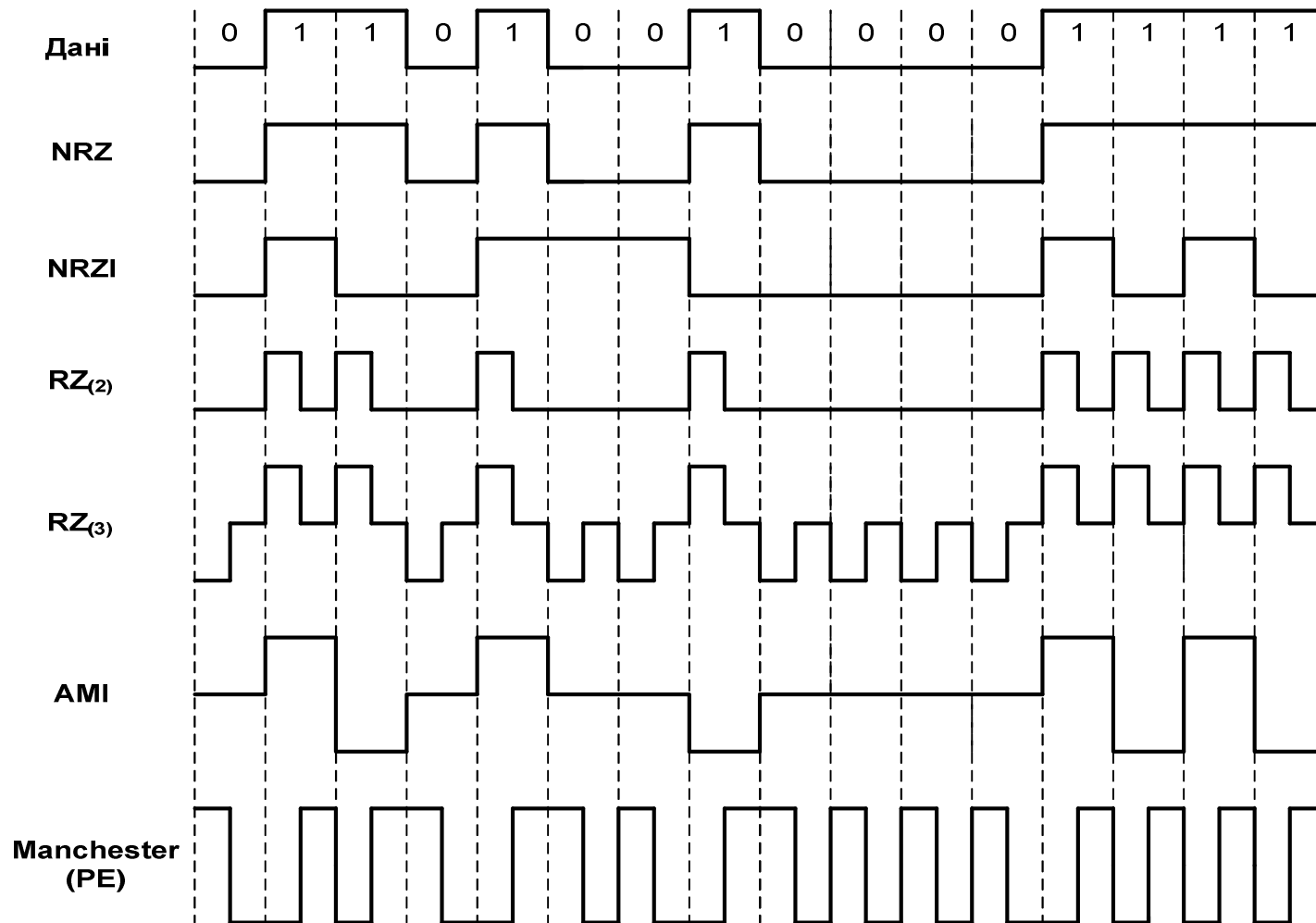
- провідники в кабельних системах характеризуються неоднорідністю;
- економія проводів в кабелях за рахунок відмови від використання імпульсів, що тактують.

Тому в мережах використовуються **коди, що самосинхронізуються**, тобто сигнали яких переносять для пристрою вказівки про те, в який момент часу необхідно розпізнавати черговий біт (або декілька бітів). Будь-який перепад сигналу (фронт) – достатня вказівка для синхронізації взаємодіючих пристроїв.

При використанні **неперервних сигналів** такої проблеми не виникає, оскільки несучий сигнал має властивості самосинхронізації.

Методи кодування даних

Найбільш поширені коди



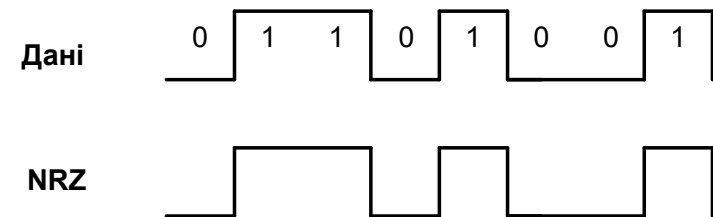
Код без повернення до нуля NRZ

Варіант коду **NRZI** (***Non Return to Zero Inverted***) - відповідає зворотній полярності.

Використовується в інтерфейсі **RS-232**, який застосовується для підключення через послідовний порт.

Недоліками даних кодів є:

- високий рівень постійної напруги при передачі послідовностей з однаковою кількістю одиничних та нульових бітів);
- широка смуга сигналу;
- при передачі довгої послідовності одиничних чи нульових бітів ускладнюється синхронізація взаємодіючих модулів;
- сигнал є полярним.



Диференціальний NRZ

Диференціальний NRZ (NRZI - Non Return to Zero Invert to ones) - модифікація попереднього способу кодування.

Стан біту, який використовується для кодування поточного біта, залежить від стану попереднього біту, тобто виконується диференціальне кодування.

Якщо поточний біт послідовності, що повинна передаватися в канал, дорівнює **0**, то зберігається (повторюється) значення попереднього біта.

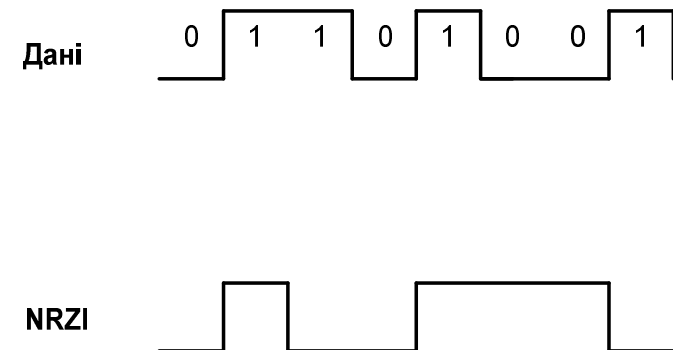
Якщо ж поточний біт **1**, то його стан є інверсією попереднього.

Характеристики:

- невелика смуга пропускання;
- не має можливості самосинхронізації;
- неполярність сигналу.

Використання:

- мережі **FDDI**;
- **Ethernet** стандарту **100Base-FX**;
- в стандарті **ATM155**.



Код з поверненням до нуля RZ

Модифікації коду **RZ (Return to Zero)**: з двома станами біта і з трьома.

Інформаційний перехід здійснюється на початку передачі біта, повернення до нульового рівня - у середині біта.

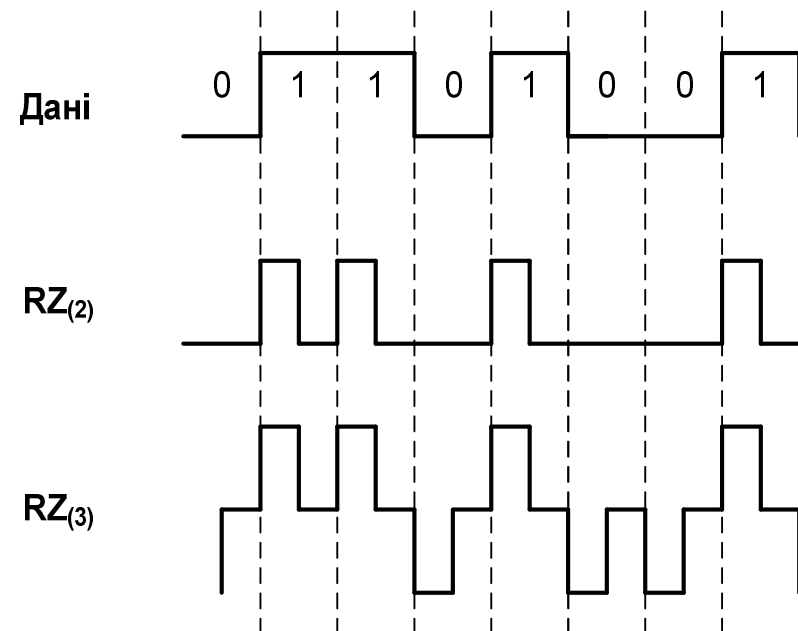
Особливість даного коду - в середині інтервалу передачі біта є позитивний або негативний перехід, що забезпечує **синхронізацію** взаємодіючих модулів.

Недоліки:

- забезпечує ту ж швидкість передачі, що і попередні, тобто для забезпечення пропускну здатності в 10 Мбіт/с необхідна частота несучої 10 МГц;
- для розрізнення трьох рівнів необхідне краще співвідношення сигнал/шум на вході в приймач, ніж для дворівневих кодів.

Використання: в оптоволоконних каналах.

Високий рівень біта відповідає наявності світла («сильне світло»), а низький – його відсутності. Використання трирівневого коду дозволяє навіть при відсутності передачі сигналу легко визначити цілісність лінії завдяки використанню третього стану сигналу («середнє світло»).



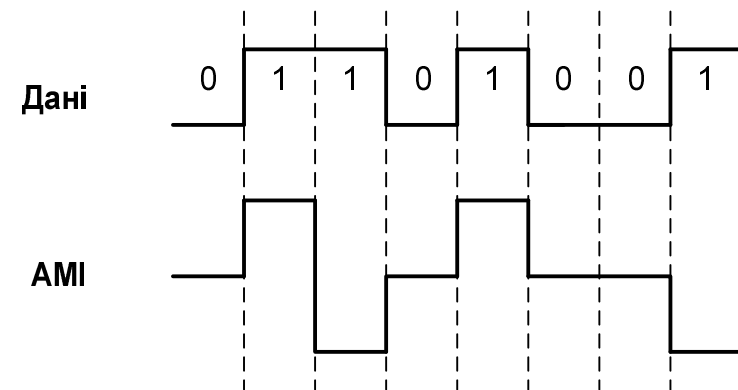
Біполярне кодування з альтернативною інверсією АМІ

Код **АМІ** (*Alternate Mark Inversion*, **квазітрійковий код**) використовує три стани: нульовий, позитивний і негативний.

Логічний нуль кодується нульовим бітом, а **логічна одиниця** – бітами, значення яких змінюється по черзі: $+V$, $-V$.

Переваги:

- забезпечення нульового рівня напруги в каналі (при рівноймовірних 0 та 1 в послідовності);
- можливість підтримки синхронізації модулів у каналі при передачі довгих послідовностей одиниць;
- порівняно з кодом **NRZ** має менший спектр сигналу, отже забезпечує більшу пропускну спроможність;
- розпізнавання деяких помилкових сигналів.

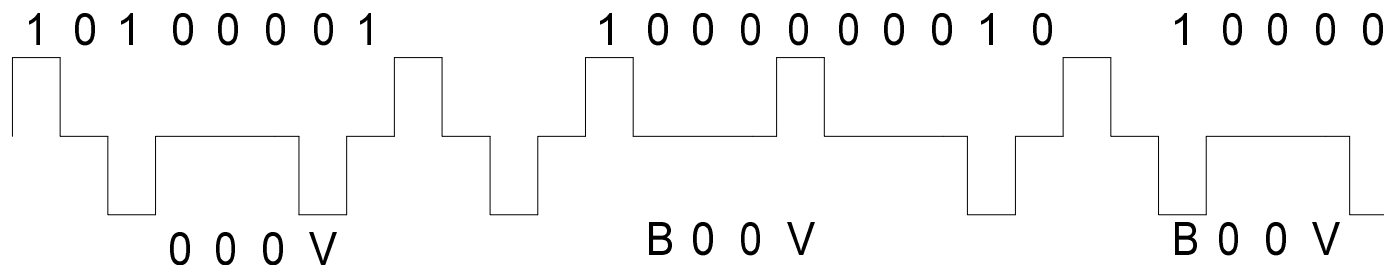


Використання: в мережах **ISDN** і каналах типу **DS-n**.

Методи кодування даних

Кодування з високою щільністю HDB3

Біполярне кодування з високою щільністю **HDB3** (*High Density Bipolar 3*) – модифікація АМІ - дозволяє забезпечити синхронізацію і при передачі довгих нульових послідовностей. Для цього передача чотирьох послідовних нульових бітів замінюється послідовністю 000V, де значення біта V буде таким же, що і попереднього одиничного імпульсу (використовується в каналах E1 та E2).



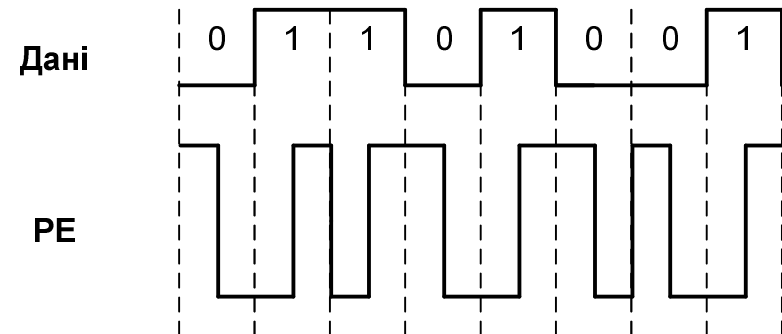
В Америці використовують модифікацію даного підходу – схему кодування **B8ZS** (**Bipolar with 8 Zeros Substitution**), у якій таким же чином замінюється послідовність з 8 нульових бітів.

Манчестерське кодування

Манчестерський код
(*Manchester Encoding* чи *PE - Phase Encode*) - двофазний полярний код, що самосинхронізується.

Логічна 1 кодується перепадом потенціалу від низького рівня до високого, **логічний 0** - зворотним перепадом.

Даний код задовольняє всім необхідним вимогам, але має широку смугу пропускання та є полярним.



Кодування CDP

Кодування **CDP** (*Conditional Diphase*) - комбінація методів **NRZI** та **Manchester**, яке розроблене компанією Cisco System.

Представлення бітів цифрового потоку:

- **біти 0** кодуються переходом у тому є напрямку, що і попередній біт (від $+V$ до $-V$ або навпаки від $-V$ до $+V$);
- **біти 1** — переходом у напрямку, протилежному попередньому біту.

Забезпечується неполярний сигнал, який займає достатньо широку смугу пропускання.

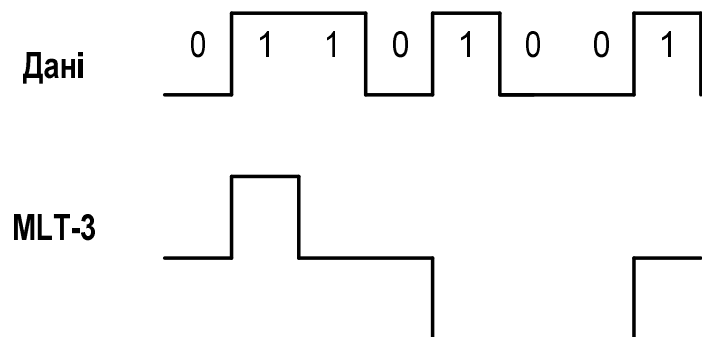
Код MLT-3

Код **MLT-3** (*Multi Level Transmission-3*) порівняно з кодом NRZ використовує для передачі три рівні сигналу.

Одиничному біту відповідає перехід з одного рівня сигналу на інший, **нульовий біт** кодується як співпадіння зі станом попереднього біта.

Недолік даного коду — відсутність синхронізації.

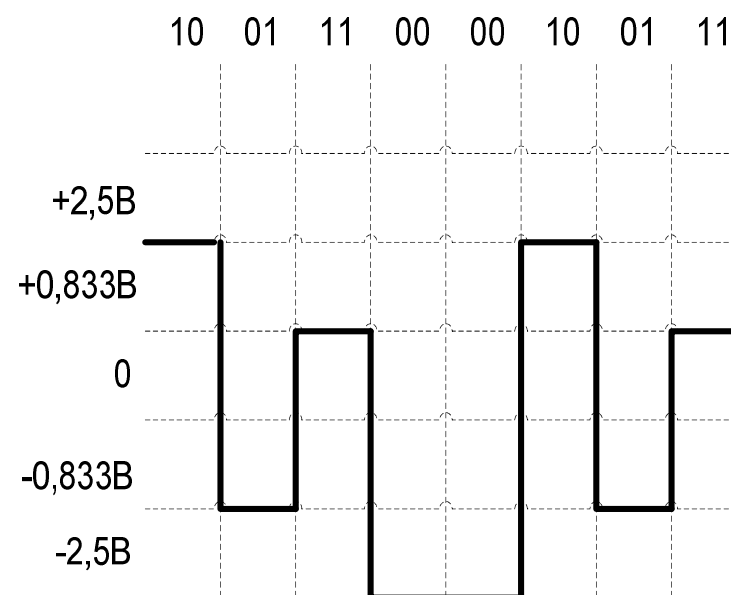
Використовується в мережах FDDI (CDDI), Fast Ethernet стандарту 100Base-FX, а також у комунікаційних модулях компанії Cisco System.



Методи кодування даних

Лінійний код 2B1Q (2 Binary 1 Quarternary)

00	- 2,5 В
01	- 0,833 В
10	+ 2,5 В
11	+ 0,833 В

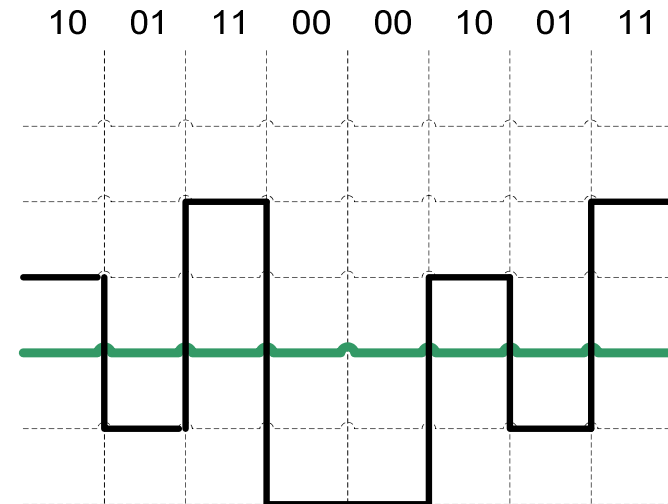


Методи кодування даних

Кодування PAM-5 (Pulse-Amplitude Modulation 5)

Кодування **PAM-5** - модифікація лінійного коду 2B1Q (використовується 4 рівні амплітуди для передачі сигналу плюс п'ятий рівень для виявлення та корекції помилок).

Необхідні додаткові заходи для боротьби з довгими послідовностями однакових пар біт, оскільки сигнал буде мати постійну складову.



Методи кодування даних

Кодування PAM-5 (Pulse-Amplitude Modulation 5)

Використовується у мережі **1000 Base-T Gigabit Ethernet**, де забезпечує передачу даних зі швидкістю 1 Гбіт/с при ширині спектру сигналу 125 МГц. Дані передаються по чотирьом парам одночасно зі швидкістю 250 Мбіт/с. Максимальна частота спектра несучої при передачі двобітових символів коду PAM-5 становить 62,5 МГц. З врахуванням передачі першої гармоніки протоколу 1000Base-T необхідна смуга частот до 125 МГц.

На практиці знаходять використання також коди **PAM-8**, **PAM-16**, **PAM-32**, які використовують іншу кількість станів сигналу.

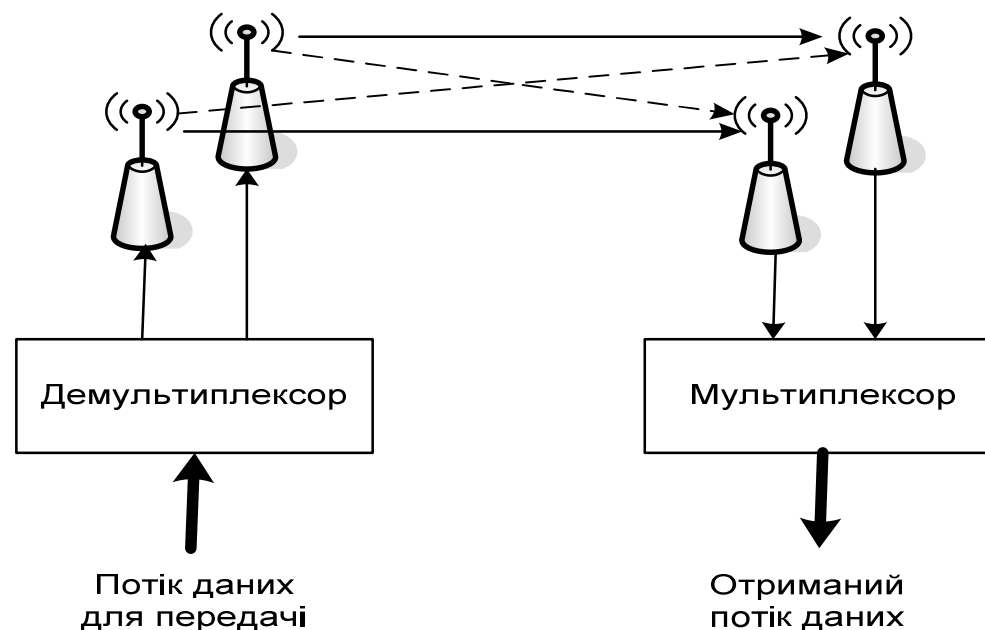
Методи мультиплексування інформаційних потоків

В сучасних комп'ютерних мережах широке застосування знаходять наступні методи мультиплексування:

- частотне ущільнення **FDM** (*Frequency Division Multiplexing*);
- часове ущільнення **TDM** (*Time Division Multiplexing*);
- мультиплексування за довжиною хвилі **WDM** (*Wavelength Division*);
- кодове ущільнення **CDM** (*Code Division Multiplexing*);
- мультиплексування за поляризацією **PDM** (*Polarization Division Multiplexing*);
- модове ущільнення **MDM** (*Mode Division Multiplexing*).₅₉

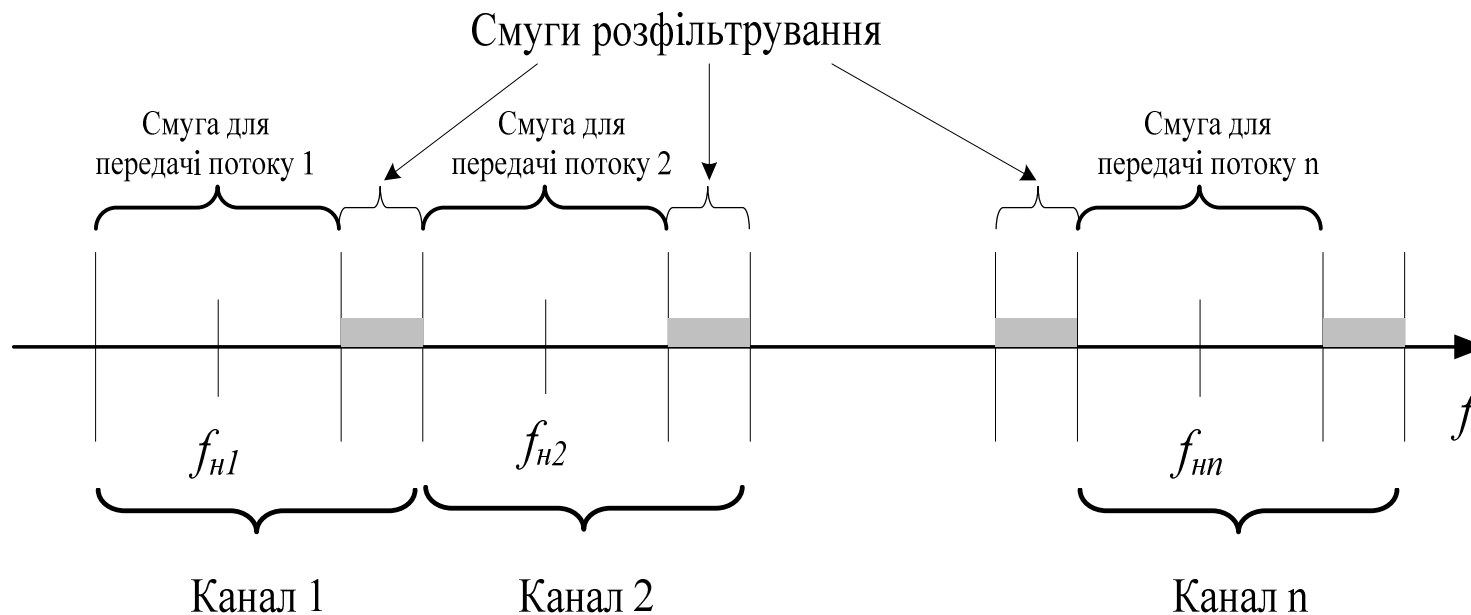
Методи мультиплексування інформаційних потоків

В безпроводових комп'ютерних мережах широко використовується просторове ущільнення **MIMO** (*Multiple Input Multiple Output*), який передбачає використання мінімум двох систем, що передають інформацію, і двох систем, що її приймають (на рисунку 2x2).



Частотне ущільнення

Частотне ущільнення використовується в аналогових каналах зв'язку.



Частотне ущільнення

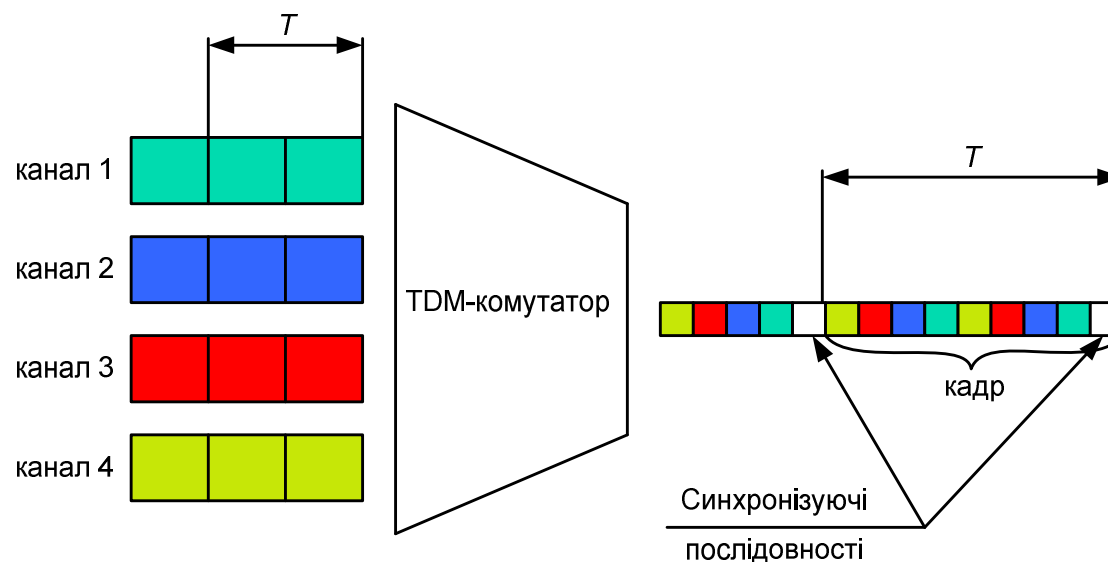
Міжнародний консультативний комітет по телефонії і телеграфії встановив наступну ієрархію каналів із частотним ущільненням:

- **первинна** група шириною 48 кГц містить 12 каналів у діапазоні **60 – 108 кГц**;
- **вторинна** група зі смугою частот 240 кГц містить 5 первинних груп (60 каналів) у діапазоні **312 – 552 кГц**;
- **третинна** група зі смугою частот 1234 кГц містить 5 вторинних груп (300 каналів) у діапазоні **564 – 1798 кГц**;
- **четвертинна** група зі смугою частот 3872 кГц містить 3 третинних групи (900 каналів).

Часове ущільнення

Часове ущільнення може бути двох типів:

- *асинхронним* або *плезіохронним* (мережі АТМ та технологія PDH);
- *синхронним* (технологія SDH/SONET).



Часове ущільнення

Сучасні технології з часовим ущільненням дозволяють передавати потоки даних зі швидкостями:

- 40 Гбіт/с (канал STM-256);
- 80 Гбіт/с (канал STM-512);
- 160 Гбіт/с (канал STM-1024).

Мультиплексування за довжиною хвилі WDM

Мультиплексування за довжиною хвилі WDM (іноді називають **хвильове мультиплексування**) широко використовується в оптоволоконних каналах.

Суть даного підходу полягає в об'єднанні декількох оптичних несучих λ_i за допомогою спеціального комутатора на стороні передавача і передачі отриманого мультиплексованого потоку $\sum \lambda_i$ по одному оптоволоконному каналу. В станції-отримувачі за допомогою фільтрації окремі несучі виділяються з отриманого потоку.

Мультиплексування за довжиною хвилі WDM

Розрізняють три типи WDM мультиплексування:

- **звичайні WDM-системи** (часто називають грубими WDM-системами: **CWDM** - Coarse WDM), які дозволяють мультиплексувати не більше **16** каналів;
- **щільні DWDM-системи** (Dense WDM), які дозволяють мультиплексувати не більше **64** каналів;
- **надщільні HWDM-системи** (High Dense WDM), які дозволяють ущільнити більше **64** каналів.

Кодове ущільнення

Кодове ущільнення **CDM** передбачає передачу сигналів з використанням різних кодів, тобто кожному абоненту надається унікальний код и всі дані кодуються з його допомогою. Як правило, послідовність одиничних сигналів у потоці даних замінюється на деякий CDM-код, а для заміни послідовності нульових сигналів – той же код, але інвертований. Модуль-отримувач знає CDM-код передавача, сигнали якого повинен отримувати. Сигнали від інших передавачів з іншими CDM-кодами отримувач сприймає як адитивний шум і не звертає на нього уваги. Даний метод часто називають ще методом розширення спектра прямої послідовності (**DSSS** - *Direct Sequence Spread Spectrum*).

Кодове ущільнення

Переваги:

- підвищена захищеність передачі даних;
- можливість присвоєння кожному передавачу свого індивідуального коду.

Суттєві *недоліки* кодового ущільнення:

- складність технічної реалізації та
- необхідність забезпечення точної синхронізації модулів передавача та отримувача для гарантованої передачі.

Кодове ущільнення **використовується** в технології зв'язку, яка реалізує множинний доступ з кодовим ущільненням (**CDMA - CDM Access**). Прикладом таких систем є стандарт щільникового телефонного зв'язку **IS-95a**, а також ряд стандартів третього покоління щільникових систем зв'язку **CDMA2000, WCDMA** та інших.

Мультиплексування за поляризацією

Мультиплексування за **поляризацією PDM** – це ущільнення інформаційних потоків за допомогою оптичних несучих, які мають лінійну поляризацію. При цьому площина поляризації кожної несучої повинна бути розташована під своїм кутом. Таке мультиплексування виконується за допомогою спеціальних оптичних призм і можливе тільки при відсутності неоднорідностей в оптоволоконному кабелі.

Використовується в оптичних ізоляторах та підсилювачах.

Модове ущільнення

Модове ущільнення **MDM** використовується в каналах передачі на основі багатомодового оптоволокна. Кожний інформаційний потік передається за допомогою оптичного променя, який вводиться в канал під своїм кутом. Модове ущільнення може використовуватись при відсутності перемішування та взаємного перетворення мод оптичних променів. Це призводить до підвищених вимог до оптоволоконних каналів по відсутності неоднорідностей та згинання кабелю.