

#### § 13 Фізичні основи комп'ютерних та телекомунікаційних електричних мереж

##### 13.1 Загальна характеристика мереж

**Телекомунікації** – це сукупність засобів, які забезпечують передачу інформації на значну відстань за допомогою поширення сигналів в фізичному середовищі.

**Телекомунікаційна та комп'ютерна мережа** – це сукупність засобів телекомунікацій на певній території, які обмінюються інформацією шляхом обміну сигналами (електричними, оптичними або радіосигналами).

**Фізична модель включає в себе** фізичні пристрої та програмні засоби, які функціонально з'єднані між собою, інші елементи мережі та фізичні середовища передавання сигналів.

**Транспортування інформації** означає **перенесення інформації**, перетвореної в сигнал з одного кінця в інший від джерела до одержувача. **Передача сигналу** означає процес **поширення сигналу** у фізичному середовищі між двома пунктами мережі.

**Фізичною основою** будь-якої телекомунікаційної мережі є лінії зв'язку та комунікаційне (мережеве) обладнання.

**Лінія зв'язку** – це складова частина мережі, до якої входить:

**ланка** (Link) – це фізичний сегмент, який забезпечує передавання сигналів між суміжними вузлами мережі без використання проміжного комунікаційного обладнання мультиплексування й комутації;

**канал** (Channel) – це частина пропускну здатності ланки, яка незалежно використовується під час комутації. Канали в ланці можуть бути утворені за допомогою мультиплексора або апаратури ущільнення;

**комутований канал** (Circuit) – це складений канал, який утворюється в сегменті з комутованою топологією з окремих проміжних ланок або каналів та комутаційного обладнання вузлів;

**тракт передавання** (Highway) – це всі пристрої та споруди, які беруть участь в утворенні шляху проходження інформації з кінця в кінець. Тракт, як правило, утворюють засоби кросової комутації декількох каналів у транзитних вузлах мережі.

**Лінії зв'язку** відрізняються фізичним середовищем, яке використовується для передавання інформації. В сучасних телекомунікаційних системах інформація передається за допомогою електричного струму або напруги, радіосигналів або світлових сигналів – всі ці фізичні процеси є коливаннями електромагнітного поля різної частоти.

**Проводові (повітряні) лінії** зв'язку являють собою проводи без будь-яких ізолюючих або екрануючих покриттів, що прокладені між стовпами і висять в повітрі. Ще в недалекому минулому такі лінії зв'язку були основними для передачі телефонних і телеграфних сигналів. Сьогодні проводові лінії зв'язку швидко витісняються кабельними.

**Кабельні лінії** складаються з кабелів та інших елементів. У телекомунікаційних мережах застосовуються три основні типи кабелю: **кабелі на основі скручених пар мідних проводів** – неекранована скручена пара (Unshielded Twisted Pair, UTP) і екранована скручена пара (Shielded Twisted Pair, STP), **коаксіальні кабелі** з мідною жилою, **волоконно-оптичні кабелі**. Перші два типи кабелів називають також **мідними кабелями**.

**Радіоканали** наземного і супутникового зв'язку утворюються за допомогою передавача і приймача радіохвиль. Існує багато типів радіоканалів, які відрізняються як частотним діапазоном, так і дальністю каналу. Діапазони широкотрансляційного радіо (довгих, середніх і коротких хвиль), відомі як **діапазони амплітудної модуляції** (Amplitude Modulation, AM), забезпечують далекий зв'язок, але при невисокій швидкості передачі даних. Більш швидкісними є канали, які використовують діапазони дуже високих частот (Very High Frequency, VHF), в яких застосовується **частотна модуляція** (Frequency Modulation, FM). Для передачі даних також використовуються діапазони ультрависоких частот (Ultra High Frequency, UHF), звані ще **діапазонами мікрохвиль** (понад 300 МГц).

**Лінії зв'язку** складаються не лише з середовища передавання, але й з апаратури. Апаратура, разом з середовищем передавання даних утворює **фізичне мережеве середовище**. Воно відображається моделлю, яка називається фізичною структурою мережі.

Під **фізичною структурою мережі** розуміють склад її активного і пасивного обладнання та топологію його розміщення в просторі.

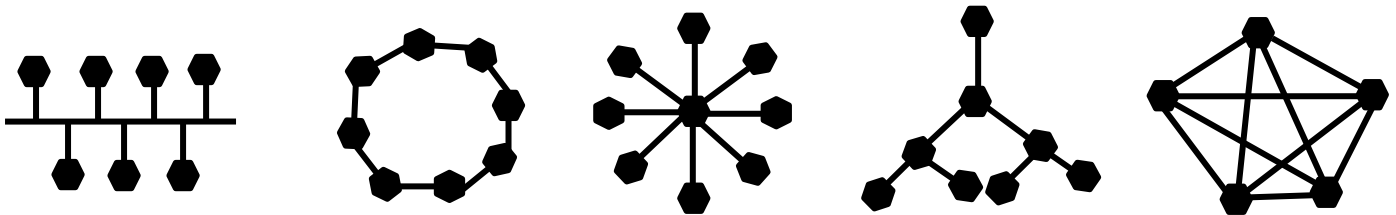
**Активне мережеве обладнання** складається з комунікаційного устаткування мережі, функціонування якого забезпечується за рахунок споживання електроенергії від зовнішніх джерел живлення.

**Пасивне обладнання мережі**, на відміну від активного, не має потреби в джерелах електроживлення й містить у собі кабельну систему, телекомунікаційні роз'єми, комутаційні панелі, комутаційні шнури, монтажне обладнання тощо.

**Топологія** (архітектура, структура) – це конфігурація фізичних зв'язків. Від виду топології істотно залежать такі важливі характеристики мережі як надійність, живучість, вартість тощо. За топологією мережі можна поділити на дві групи: з повнозв'язною і з неповнозв'язною топологією.

У мережах з **повнозв'язною** топологією кожен з вузлів безпосередньо пов'язаний з усіма іншими вузлами. Незважаючи на логічну простоту, цей вид топології є громіздким і малоефективним. Для його реалізації кожен вузол повинен мати велику кількість портів. Тому цей вид топології застосовується тільки в мережах з невеликою кількістю вузлів.

**Неповнозв'язна** топологія – це така топологія, в якій для обміну інформацією між вузлами може знадобитись її проміжна передача через інші вузли мережі. Вона застосовується для створення як великих, так і малих мереж.



Різновиди топологій мереж: шина, кільце, зірка, дерево, повнозв'язна топологія.

### 13.2 Характеристики ліній передачі даних

Інформаційні сигнали, які передаються у лініях зв'язку, характеризуються певною тривалістю, амплітудою та частотою (спектром). Під час передачі лініями зв'язку параметри сигналів змінюються під впливом факторів, які діють на лінію передачі ззовні, а також факторів, які зумовлені безпосередньо фізичною структурою прямої системи цієї лінії. Так, під час передачі імпульсних сигналів, характерних для комп'ютерних мереж, зовнішні та внутрішні впливи спотворюють низькочастотні і високочастотні гармоніки спектру сигналу, що призводить до того, що фронти імпульсів втрачають прямокутну форму, а це, в свою чергу, може призвести до ускладнення розпізнавання сигналів під час приймання. Через це лінії та апаратуру зв'язку прийнято характеризувати певними параметрами, які враховують той чи інший вплив на якість передачі інформації. Основними характеристиками передачі даних лініями комп'ютерних мереж є: **згасання сигналу, хвильовий опір, пропускна здатність, завадостійкість, перехресні наведення на ближньому кінці лінії, коефіцієнт бітових помилок**.

**Згасання** (Attenuation, АТТ) – це послаблення потужності сигналу під час поширення його по лініях передачі. Згасання вимірюється в децибелах і розраховується за формулою :

$$A = 10 \lg \frac{P_{вих}}{P_{вх}}$$

де Р<sub>вих</sub>, Р<sub>вхід</sub> – потужності сигналу відповідно на виході та на вході лінії передачі. Для кабельних ліній передачі згасання на 1 км лінії називається кілометричним. Найменше згасають сигнали в оптичних лініях. Так, кілометричне згасання сигналу на довжині хвилі 1550 нм становить 0,2 дБ/км, а на довжині хвилі 1310 нм становить 0,3 дБ/км. Згасання сигналу при передаванні на великі відстані компенсується застосуванням ретрансляторів, що підсилюють і відновлюють його форму.

**Децибел** (українське позначення: **дБ**, міжнародне: **dB**) — відносна одиниця вимірювання рівня сигналу, підсилення або послаблення його потужності. Значення цієї величини дорівнює одній десятій бела (вимірюється у логарифмічному масштабі).

Величина, виражена в децибелах, чисельно дорівнює десяти десятковим логарифмам відношення фізичної величини до однойменної фізичної величини, прийнятої за основу.

**Хвильовий опір** – це опір, який зустрічає електромагнітна хвиля при поширенні уздовж однорідної лінії без відбиття.

**Пропускна здатність** – обсяг даних, що передається за одиницю часу.

**Завадостійкість** – здатність лінії передачі зменшувати рівень завад, що виникають у зовнішньому середовищі та у внутрішніх провідниках.

**Перехресні наведення** на ближньому кінці (Near End Cross Talk, NEXT) визначають завадостійкість кабелю до власних внутрішніх джерел завад.

**Коефіцієнт бітових помилок** (Bit Error Rate, BER) характеризує ймовірність помилкового прийому 1 біта.

Відповідність між децибелами і відношенням потужності та відношенням амплітуди сигналу

А, дБ	Відношення потужності $P_{\text{вих}}/P_{\text{вхід}}$	Відношення амплітуди $A_{\text{вих}}/A_{\text{вхід}}$	А, дБ	Відношення потужності $P_{\text{вих}}/P_{\text{вхід}}$	Відношення амплітуди $A_{\text{вих}}/A_{\text{вхід}}$
100	10000000000	100000	-1	0,794	0,891
90	1000000000	31623	-3	$0,501 \approx 1/2$	0,708
80	100000000	10000	-6	$0,251 \approx 1/4$	$0,501 \approx 1/2$
70	10000000	3162	-10	0,1	0,3162
60	1000000	1000	-20	0,01	0,1
50	100000	316,2	-30	0,001	0,03162
40	10000	100	-40	0,0001	0,01
30	1000	31,62	-50	0,00001	0,003162
20	100	10	-60	0,000001	0,001
10	10	3,162	-70	0,0000001	0,0003162
6	$3,981 \approx 4$	$1,995 \approx 2$	-80	0,00000001	0,0001
3	$1,995 \approx 2$	1,413	-90	0,000000001	0,00003162
1	$1,259 \approx 1,3$	1,122	-100	0,0000000001	0,00001
0	1	1	0	1	1

### 13.3 Класифікація електричних кабелів зв'язку

**Кабельна лінія зв'язку** є складною інженерною конструкцією, яка складається із **кабелів зв'язку**, що містять відповідну напрямну систему, по якій здійснюється передача сигналу, **муфт** для з'єднання будівельних довжин кабелів та влаштування розгалужень телекомунікаційної мережі, кінцевого **кросового обладнання** із **роз'ємами (конекторами)**, з допомогою яких можна безперешкодно під'єднувати апаратуру передачі даних до лінії, а також різноманітні пристрої захисту лінії від негативних впливів, наприклад, заземлення, контрольно-вимірювальні пункти (КВП) тощо.

Основними видами електричних кабелів зв'язку є симетричні кабелі типу **вита (кручена) пара** і несиметричні **коаксіальні кабелі**.

Кабелі типу вита пара являють собою скручені між собою пари ізольованих мідних провідників, кожна із яких може мати окрему ізоляцію і екранування у вигляді алюмінієвої фольги чи обмотки із дроту. Кабель може мати дві, чотири чи більше пар, які можуть мати спільне екранування, захисну броню і мають полімерну ізоляцію.



Кабелі зв'язку на основі виті пари, коаксіальні кабелі та кабель телефонний типу ТПП

Характеристики кабелів типу вита пара представлені в таблиці:

Категорія кабелю (TIA/EIA-568)	Верхня частота діапазону, МГц	Швидкість передачі даних, Гбіт/сек	Специфікації фізичного рівня
Сат 3	16	0,1	10BASE-T, TOKEN RING, 100BASE-T4
Сат 5e	100	1	100BASE-TX, 1000BASE-T, 2.5GBASE-T
Сат 6	250	10	1000BASE-TX, 5GBASE-T
Сат 6a	500	10	10GBASE-T
Сат 7	600	10	10GBASE-T
Сат 7a	1000	40-100	10GBA

Види екранування кабелів типу вита пара представлені в таблиці

Тип кабелю	Характеристика екранування	Наявність і тип екрану	
		кабелю	пар
UTP або U/UTP	Неекранована вита пара	Ні	Ні
F/UTP	Загальний екран із фольги	Алюмінієва фольга	Ні
U/FTP	Кожна пара екранована	Ні	Алюмінієва фольга
S/FTP	Кожна пара екранована + загальний екран з обплетення	Обплетення	Алюмінієва фольга
SF/UTP	Загальний екран із фольги + загальний екран з обплетення	Алюмінієва фольга + Обплетення	Ні
F/FTP	Загальний екран із фольги + кожна пара екранована	Алюмінієва фольга	Алюмінієва фольга

Таблиця коефіцієнту згасання кабелю вита пара UTP Cat 5e 2x4 (4 пари) при різних частотах

<b>Частота, МГц</b>	1	4	8	10	16	20	25	31,25	62,5	100
<b>Згасання, дБ/100м</b>	2,1	4,1	5,8	6,5	8,3	9,3	10,4	11,7	17	22

Таблиця коефіцієнту згасання в коаксіальному кабелі RG-8 при різних частотах (швидкість передачі даних, 10 Гбіт/сек)

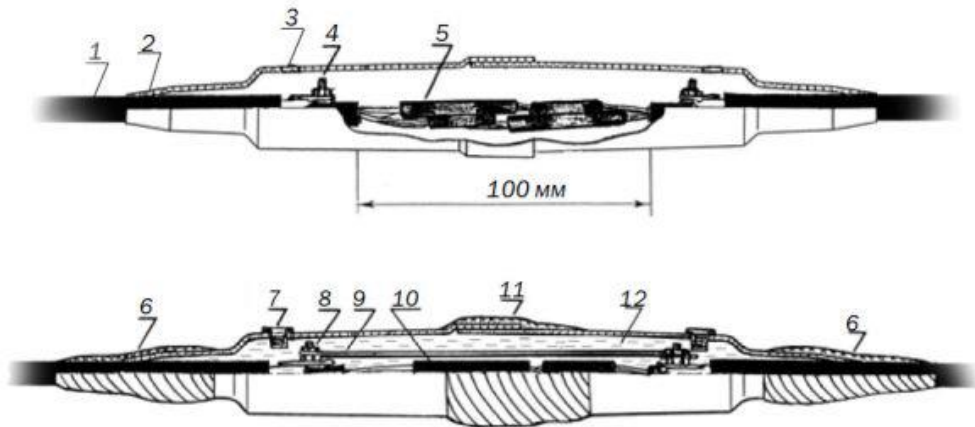
<b>Частота, МГц</b>	150	450	900	1800	2000	2500	5800
<b>Згасання, дБ/100м</b>	5,0	8,9	12,8	18,6	19,6	22,2	35,5

Таблиця переведення перерізу одножильного дроту з американської системи AWG у метричну.

<b>Калібр перерізу AWG</b>	<b>Діаметр, мм</b>	<b>Площа перерізу, мм<sup>2</sup></b>	<b>Найближчий номінал, мідь, мм<sup>2</sup></b>
10	2,588	5,26	6
11	2,305	4,17	6
12	2,053	3,31	4
13	1,828	2,62	4
14	1,628	2,08	2,5
15	1,45	1,65	2,5
16	1,291	1,31	1,5
17	1,15	1,04	1,5
18	1,024	0,823	1
19	0,912	0,653	0,75
20	0,812	0,518	0,75
21	0,723	0,41	0,5
22	0,644	0,326	0,5
23	0,573	0,258	0,25
24	0,511	0,205	0,25
25	0,455	0,162	
26	0,405	0,129	
27	0,361	0,102	
28	0,321	0,081	

### 13.4 З'єднання електричних кабелів зв'язку

Для з'єднання кабелів між собою а також їхнього розгалуження використовують з'єднувальні та розгалужувальні муфти, шафи, бокси (коробки), розетки, панелі та інше обладнання.



Муфта МП для симетричних кабелів зв'язку



Навісний бокс (шафа) з кросовим обладнанням, 10-парний плінт типу KRONE

Для з'єднання мідних жил (провідників) між собою використовують багатопарні з'єднувачі (плінти, модульні з'єднувачі) а також одножильні і однопарні з'єднувачі. Для підключення кабелів до обладнання використовують конектори та адаптери.



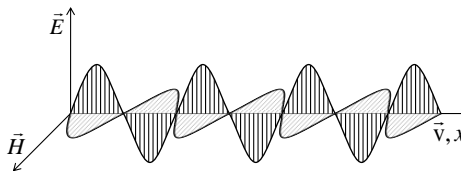
З'єднувач мідних жил UY, UY2, U1B, конектор типу RJ45 (8p8c), конектор типу USB

## § 14 Фізичні основи комп'ютерних та телекомунікаційних оптичних мереж

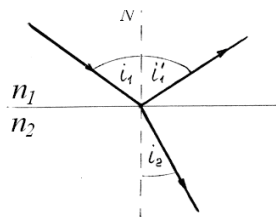
### 14.1 Властивості світла. Основи геометричної оптики

Світло має подвійну природу. З одного боку світло - це поперечна електромагнітна хвиля. При цьому напрямки коливань напруженості електричного  $\vec{E}$  та магнітного  $\vec{H}$  полів взаємно перпендикулярні і перпендикулярні до напрямку поширення хвилі.

Тому одні оптичні явища – інтерференція, дифракція, поляризація, дисперсія світла – є предметом хвильової (класичної) оптики. Інші оптичні явища – теплове випромінювання, фотоэффект, тиск світла, ефект Комптона – є предметом квантової оптики. Електромагнітні хвилі мають широкий діапазон



довжин хвиль або частот, які залежать від способу їх генерації; зокрема, радіохвилі мають довжини хвиль від  $10^4$  м до  $10^{-4}$  м, для світлових хвиль (інфрачервоних, видимих, ультрафіолетових): від  $10^{-4}$  м до  $10^{-6}$  м, для рентгенівського і  $\gamma$ -випромінювання: від  $10^{-8}$  м до  $10^{-13}$  м.



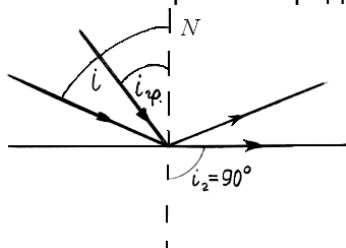
Як окремий розділ виділимо **геометричну оптику**. Основою геометричної оптики є закони прямолінійного поширення, відбивання і заломлення світла.

**Закон прямолінійного поширення світла:** в оптично однорідному середовищі світло поширюється прямолінійно.

**Закон відбивання світла:** падаючий промінь, відбитий промінь і перпендикуляр, поставлений до межі поділу двох середовищ в точці падіння, лежать в одній площині. Кут падіння дорівнює куту відбивання.

$$i_1 = i_1'.$$

**Закон заломлення світла** (закон Снеліуса): падаючий промінь, заломлений промінь і перпендикуляр, поставлений до межі поділу двох середовищ в точці падіння, лежать в одній площині. Відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення є величина стала для даних двох середовищ і рівна відношенню показника заломлення другого середовища до показника заломлення першого середовища (відносному показнику заломлення):



$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}.$$

Відносний показник заломлення  $n_{21}$  – це відношення абсолютних показників заломлення середовищ  $n_2$  і  $n_1$ , де  $n_1 = \frac{c}{v_1}$ ,  $n_2 = \frac{c}{v_2}$  ( $c$  – швидкість світла у вакуумі,  $v_1$  і  $v_2$  – швидкості світла

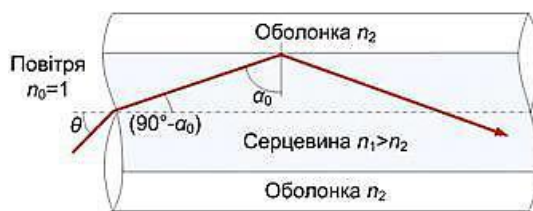
першому і другому середовищах). Отже,  $n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$ .

Якщо промінь поширюється з оптично більш густого середовища в менш густе середовище ( $n_1 > n_2$ ), то при деякому граничному куті падіння  $i_{cp}$  заломлений промінь буде ковзати вздовж межі поділу двох середовищ, тобто  $i_2 = 90^\circ$ . При куті падіння  $i > i_{cp}$  світловий промінь повністю відбивається. В цьому полягає суть явища **повного внутрішнього відбивання**. В цьому випадку

$$\sin i_{cp} = n_{21}.$$

## 14.2 Оптичні волокна

Явище повного внутрішнього відбивання використовується для передачі світла по волоконних світловодах (оптичних волокнах).

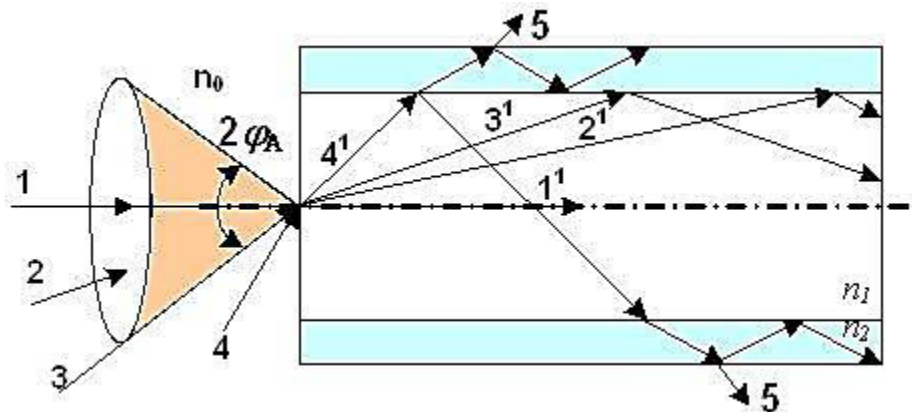


Розповсюдження світла в оптичному волокні.

**Оптичні волокна (ОВ)** виготовляють з кварцового скла з показником заломлення серцевини  $n_1$  дещо більшим, ніж показник заломлення оболонки  $n_2$ . Максимально можливий кут між віссю ОВ і вхідним променем називається вхідною кутовою апертурою, а синус цього кута – вхідною числовою апертурою (NA). Апертура оптичного волокна характеризує ефективність введення оптичного випромінювання у світловод.

$$NA = \sin \theta = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Апертурні характеристики оптичного волокна (ОВ) визначають діапазон кутів, за яких світло розповсюджується без втрат на випромінювання в оболонку. Ці кути визначаються умовою повного внутрішнього відбиття на границі серцевина - оболонка як показано на рисунку.



Хід променів при різних кутах падіння.

На рисунку: 1, 2 – промені, що падають на торець ОВ під кутом  $\varphi < \varphi_A$ , відбиваються від границі між серцевиною та оболонкою і розповсюджуються у серцевині волокна як промені  $1^1$  та  $2^1$ . Це так звані "напрямлєвані моди" (на рисунку промінь  $1^1$  осьовий).

3 – промінь, що падає на торець ОВ під кутом  $\varphi = \varphi_A$ , відбивається від границі між серцевиною та оболонкою у серцевину волокна та розповсюджується у ній. Промінь  $3^1$  - це також напрямлювана мода.

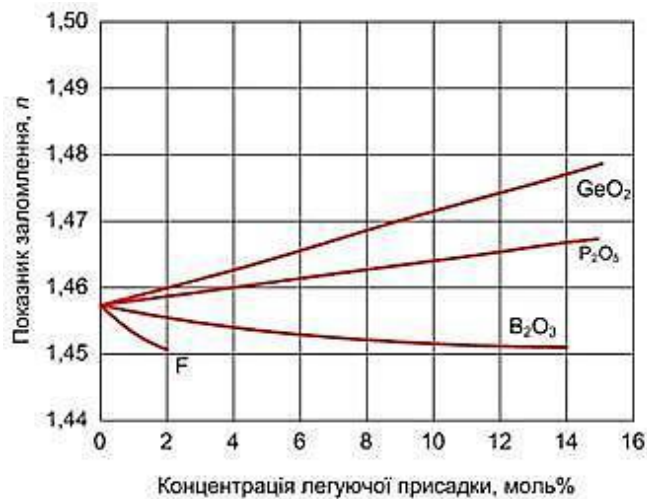
4 – це промені, що падають на торець ОВ під кутом  $\varphi > \varphi_A$ , частково відбиваються від границі між серцевиною та оболонкою у серцевину волокна, і заломлюються в оболонку, де втрачають свою енергію, не передаючи енергію сигналу, що розповсюджується по ОВ. Промені  $4^1$  – це "витікаючі моди (моди оболонки)". Якщо маємо у якомусь місці згин ОВ, то промінь  $3^1$  після заломлення на границі між серцевиною та оболонкою так само стає частково витікаючою модою.

5 – це промені, що випромінюються з оболонки в оточуюче середовище, тобто "моди випромінювання".

Конструктивно ОВ складається з трьох частин: центральної частини - серцевини з показником заломлення  $n_1$ , відбиваючої оболонки з показником заломлення  $n_2$  ( $n_2 < n_1$ ) та захисного покриття.

Показник заломлення серцевини може бути постійним або змінюватись вздовж радіусу перетину ОВ, формуючи відповідний профіль показника заломлення. Для усіх профілів показника заломлення головним є те, що показник заломлення серцевини має бути більшим ніж показник заломлення оболонки. Цього досягають за рахунок легування матеріалу серцевини або оболонки, тобто додаванням певної кількості деяких оксидів в процесі виготовлення преформ з котрих виготовляються ОВ. В залежності від виду оксиду та його кількості можна підвищувати або зменшувати показник заломлення кварцового скла.

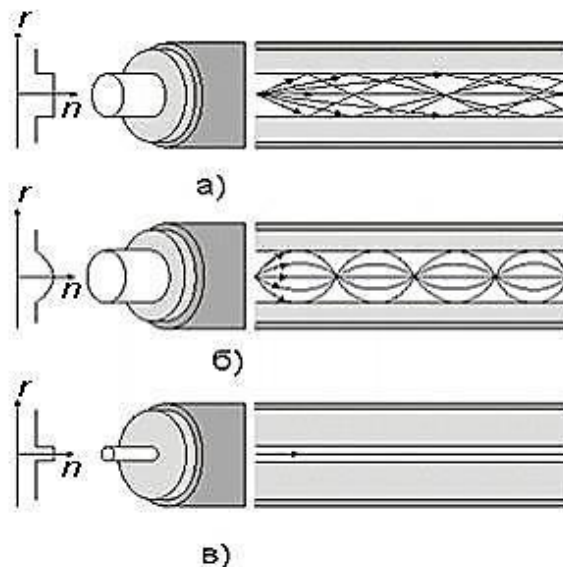




Показники заломлення кварцового скла з різними легуючими домішками.

В залежності від закону, за яким змінюється показник заломлення в ОВ, розрізняють ОВ із ступінчастими та градієнтними профілем показника заломлення. ОВ, що характеризується постійним показником заломлення в серцевині та різким зменшенням показника заломлення на границі серцевини та оболонки називають ступінчастим. ОВ, в якому профіль показника заломлення постійно зменшується в серцевині, як функція відстані від осі, називають градієнтним.

За кількістю мод, що розповсюджуються по ОВ, розрізняють **одномодові (SM)** та **багатомодові (MM)** оптичні волокна. Основні типи ОВ подано на рисунку.



Основні типи оптичних волокон: а – багатомодове ступінчасте, б – багатомодове градієнтне, в – одномодове.

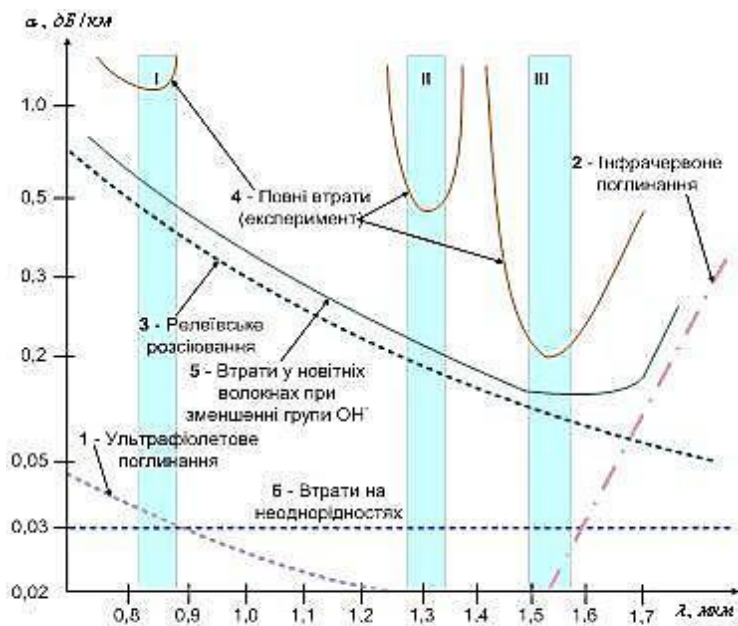
Загасання сигналу  $A$  в ОВ обумовлене втратами потужності і визначається формулою:

$$A = A_{\text{вл}} + A_{\text{дод}},$$

де  $A_{\text{вл}}$  - втрати, обумовлені власними (внутрішніми) втратами потужності в ОВ,  $A_{\text{дод}}$  - втрати, обумовлені додатковими (зовнішніми) втратами потужності в ОВ. Головними причинами власних втрат потужності в ОВ є поглинання та розсіювання енергії електромагнітних хвиль оптичного діапазону, котрі розповсюджуються в ОВ.

Області власного поглинання кварцу лежать в ультрафіолетовій та в інфрачервоній частині спектру. Вони розташовані далеко від області спектра, що нас цікавить (800 ÷ 1600 нм).

На рисунку показана спектральна характеристика коефіцієнта загасання в кварцовому ОВ з низьким рівнем втрат.



Залежність втрат в оптичному волокні від довжини світлової хвилі.

Області: I – (820÷860 нм); II – (1280÷1330 нм); III – (1520÷1580 нм) – вікна прозорості.

Крива 1 – ультрафіолетове поглинання, 2 – інфрачервоне поглинання, 3 – Релеєвське розсіювання.

Втрати на поглинання складаються з власного поглинання енергії хвиль в матеріалі скла та поглинання через наявність в склі домішок іонів перехідної групи металів  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$  та іонів гідроксильної групи  $\text{OH}^-$ .

Найбільш небажаними є домішки води і перехідних металів першої групи (ванадію, хрому, магнію, заліза, кобальту та нікелю). Довжини хвиль, на яких поглинають домішки металів, залежить від міри окислення іону металу. Для того, щоб приріст поглинання не перевищував 1 дБ/км, концентрація домішок повинна бути нижчого від  $10^{-9}$ .

Експериментальна крива (4) на рисунку має три локальних мінімуми - вікна прозорості на довжинах хвиль 850; 1300 та 1550 нм.

Додаткові втрати потужності в ОВ виникають за рахунок розсіювання через різноманітні порушення геометрії ОВ в процесі виробництва. Втрати в ОВ через порушення його геометрії обумовлюються нерегулярностями границі розділу серцевини та оболонки, варіаціями розмірів поперечного перетину, мікровигинами, що пов'язані з нанесенням захисного покриття та виготовленням ОК. Ще одною причиною додаткових втрат є втрати на з'єднаннях ОВ (стикові втрати). Величина втрат на з'єднаннях залежить від типу з'єднання (зварюванням, механічні з'єднувачі), відхиленням від норми параметрів ОВ (некруглість оболонки, неконцентричність оболонки та серцевини, різниця діаметрів модових полів або числових апертур, тощо).

Сучасні технології з'єднань ОВ дозволяють отримувати з'єднання з втратами на рівні, що не перевищує 0,1...0,2 дБ.

Виробництво ОВ складний процес, що включає в себе послідовність кількох технологічних операцій. Кожна з цих операцій націлена на оптимізацію механічних, геометричних та оптичних характеристик ОВ. Крім того, застосовувані технологічні операції дозволяють здійснювати швидке та економічне масове виробництво. Загальна технологічна схема виготовлення ОВ включає виробництво заготовок (преформ) та витягування з них ОВ. Преформа являє собою скляний стрижень, що складається зі скла серцевини та оболонки. Причому профіль показника заломлення ОВ відповідає профілю показника заломлення преформи. Пропорції геометричних розмірів преформи відповідають пропорціям геометричних розмірів ОВ. Виготовлення преформ здійснюється різними технологічними методами, в основі яких лежать метод рідкої фази, паровидна техніка та

золь-гель процес. Преформи ОВ для телекомунікацій головним чином виготовляються методом парофазного осаджування.



Витягування оптичного волокна з преформи

Найбільш поширеними оптичними волокнами є:

Тип волокна	Стандарт, маркування
Стандартне одномодове волокно Singlemode (SM)	G.652.D
Одномодове волокно з малим радіусом згину Singlemode (SM)	G.657.A; G.657.B
Одномодове волокно з ненульовим зміщенням дисперсії Singlemode (SM)	NZDS
Багатомодове волокно Multimode (MM)	OM1
Багатомодове волокно Multimode (MM)	OM2
Багатомодове волокно Multimode (MM)	OM3
Багатомодове волокно Multimode (MM)	OM4

**Багатомодові ОВ (ММ)** використовуються головним чином на місцевих мережах зв'язку на базі систем передавання плезіохронної цифрової ієрархії з робочою довжиною хвилі 850 та 1300 нм.

**Одномодові ОВ (SM)** використовуються головним чином на магістральних лініях зв'язку з робочою довжиною хвилі 850, 1300 та 1550 нм.

Технічні характеристики багатомодових ОВ представлені в таблиці

Технічні характеристики	OM1	OM2	OM3	OM4	OM5
Коеф. Згасання (850нм)	2,6 / 3,5 дБ/км	2,2 / 3,5 дБ/км			2,2 / 3,0 дБ/км
Коеф. Згасання (1300нм)	0,5 / 1,5 дБ/км				
Довжина хвилі з нульовою дисперсією	1320-1365 нм	1295-1340 нм			1297-1328 нм
Числовая апертура	0.275 ± 0.015	0.200 ± 0.015			
Довжина волокна при швидкості передачі	1 Гбит/с		10 Гбит/с		
на довжині хвилі 850 нм	≥ 300 - ≥ 500 м	≥ 500 м	300 м	550 м	
на довжині хвилі 1300 нм	≥ 550 - ≥ 1000 м	≥ 500 м	300 м	300 м	
Діаметр серцевини	62.5 ± 2.5	50 ± 2.5 мкм			

	МКМ	
Діаметр оболонки	125,0 ± 1,0 мкм	
Втрати при 100 витках радіусом 37,5 мм при 850 нм	≤ 0,5 дБ	
Втрати при 100 витках радіусом 37,5 мм при 1300 нм	≤ 0,5 дБ	≤ 0,15 дБ

У наведеній вище таблиці показані параметри відносно недавно стандартизованого волокна OM5 (Optical Multimode Category 5).

В даний час стандарт ISO/IEC 11801 (3-я редакція) для позначення широкосмугових оптичних волокон (WBMMF - WideBand Multimode Fiber) ввів позначення OM5.

Кабелі з волокнами OM5 підтримують усі додатки та повністю сумісні та взаємозамінні з кабелями, що містять волокна OM3 та OM4.

Однак якщо волокна OM3 і OM4 мають продуктивні смуги пропускання при 850 нм то волокна OM5 роблять можливість впровадження технологій спектрального ущільнення на багатомодових волокнах, так як вони призначені для підтримки чотирьох довжин хвиль в діапазоні 850-950 нм, що забезпечує оптимальну підтримку й реалізацію каналів 200G, 400G та 800G Ethernet на базі багатомодового волокна.

Впровадження SDWM, при використанні OM5, дає можливість зменшити кількість паралельних волокон щонайменше в чотири рази, використовуючи для передачі 40 Гбіт/с і 100 Гбіт/с тільки два волокна (а не вісім) і зменшує необхідну кількість волокон для більш високих швидкостей.

Технічні характеристики одномодових ОВ представлені в таблиці

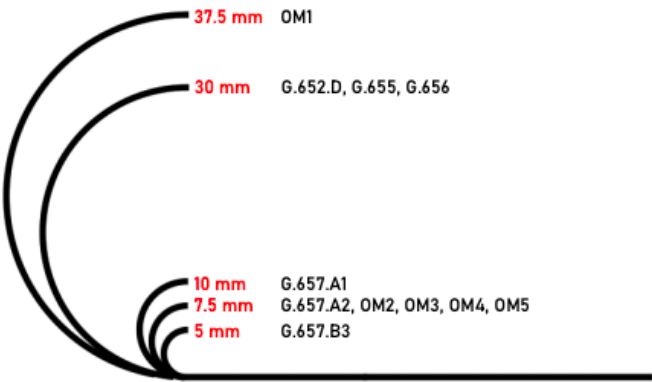
Технічні характеристики	D.652.D	D.657.A1	D.657.A2	D.657.B3	D.655.D	D.656
Коефіцієнт згасання при 1310 нм	0,32 / 0,36 дБ/км					
Коефіцієнт згасання при 1550 нм	0,19 / 0,24 дБ/км				0,23 / 0,4 дБ/км	
Коефіцієнт згасання при 1625 нм	0,22 / 0,26 дБ/км				0,26 / 0,4 дБ/км	
Довжина хвилі з нульовою дисперсією	1302-1322 нм	1302-1324 нм		1300-1324 нм		
Діаметр модового поля при 1310 нм	9,2 ± 0,4 мкм	8,9 ± 0,4 мкм	8,6 ± 0,4 мкм			
Діаметр модового поля при 1550 нм	10,4 ± 0,5 мкм				9,6 ± 0,4 мкм	9,2 ± 0,5 мкм
Діаметр оболонки	125,0 ± 0,7 мкм					125,0 ± 1,0 мкм
Діаметр покриття волокна	250 ± 10 мкм					
Втрати при 100 витках радіусом 25 мм при 1550 нм	≤ 0,05 дБ				≤ 0,05 дБ	
Втрати при 10 витках радіусом 15 мм при 1550 нм		≤ 0,25 дБ	≤ 0,03 дБ			
Втрати при 1 витку радіусом 16 мм при 1550 нм	≤ 0,05 дБ				≤ 0,5 дБ	
Втрати при 1 витку радіусом 10 мм при 1550 нм		≤ 0,75 дБ	≤ 0,1 дБ	≤ 0,03 дБ		

Оскільки кілька мод/світлових пучків проходять багатомодовим ОВ, він забезпечує високу пропускну здатність тільки на короткій відстані. При запуску сигналу на більш довгі відстані модальна дисперсія (спотворення) стає проблемою. Зазвичай це виявляється у характеристиці «ефективна модальна смуга пропускання» волокна, яка є зворотною залежністю між шириною смуги пропускання волокна та відстанню до нього. У міру збільшення смуги пропускання дальність дії зменшується – і навпаки – через ефект модальної дисперсії.

В одномодовому волокні все світло від імпульсу проходить приблизно з однаковою швидкістю і приходить приблизно за той же час, усуваючи ефекти модальної дисперсії, які виявлені в багатомодовому волокні. Це підтримує вищі рівні пропускнуї спроможності з меншими втратами сигналу на великих відстанях. Тому одномодове волокно ідеально підходить для передачі сигналів на великі відстані, наприклад, між виробничими філіями, під водою або у віддалені офіси. Фактично, йому немає обмежень по відстані.

Оптимальні варіанти застосування одномодових ОВ

	≥160	CWDM G.652.C G.655				3 WDM G.655, G.656		
≤40	≤160	G.652		WDM G.652.B,D G.655 G.656		Без WDM G.653 3 WDM G.652.D, G.655, G.656		
≤10	≤40							
≤10	≤10					G.652 G.655 G.656		
≤2,5	≤10							
≤2,5	≤2,5							
	≤1	G.657						
Поточна	Майбутня	0-500 м	0-20 км	0-70 км	70-200 км	200-500 км	500-1200 км	>1200 км
Швидкість передачі, Гбіт/с		Домові мережі	Мережі доступу	Міські мережі		Довгі мережі		Наддовгі мережі



Допустимий радіус згину різних типів ОВ

### 14.3 Класифікація волоконно-оптичних кабелів зв'язку

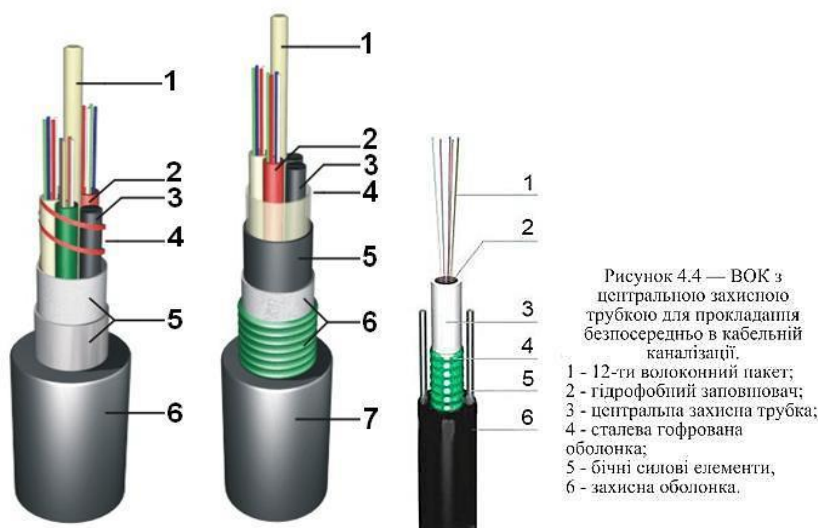
Оптичний кабель (ОК) або Волоконнооптичний кабель (ВОК) – це кабельний виріб, що містить одне або більше оптичних волокон (ОВ) чи пучків ОВ всередині спільної оболонки, поверх якої в залежності від умов експлуатації, може знаходитись відповідне захисне покриття, в тому числі броня, силові та несучі елементи. За необхідності ОК може мати в своєму складі також електричні

провідники. ВОК можуть класифікуватись за різними ознаками: галузь застосування, наявність чи відсутність металевих елементів, кількість та тип ОВ тощо.

ВОК зв'язку традиційно класифікуються за умовами прокладання та експлуатації: для безпосереднього прокладання в ґрунт; для прокладання в каналах кабельної каналізації та тунелях; для підвішування на опорах (ЛЕП, ПЛЗ, контактної мережі залізниць); для прокладання через водні перешкоди; морські; внутрішні; для абонентської проводки та міжблочних з'єднань.

Ця класифікація визначає механічні характеристики та характеристики стійкості до впливу чинників довкілля. Конструкції ВОК досить різноманітні, але як правило вони містять в собі: осердя, що складається з оптичних волокон та інших елементів котрі знаходяться під першою зовнішньою оболонкою кабелю; силовий елемент, котрий має приймати на себе повздовжні розтягуючі зусилля прикладені до кабелю. Силовий елемент може бути як в структурі осердя так і самостійно розташований в структурі кабелю; ахисні оболонки, одна або декілька оболонок котрі мають захищати ВОК від різноманітних зовнішніх впливів, а на зовнішній оболонці також міститься інформація про кабель; заповнювачі (гідрофоби, корделі) призначені для захисту від потрапляння вологи (при порушенні цілісності зовнішніх захисних оболонок), та заповнення місця в структурі кабелю для утримання потрібної форми осердя та кабелю.

Основними типами конструкції кабельних осердь є: модульна - навколо центрального силового елемента розташовані модулі з оптичними волокнами; трубчаста - в полімерній або металевій трубці, що розташована в центрі ВОК, розміщені одиночні оптичні волокна, пучки волокон або блоки стрічок волокон; рофільована - фігурна полімерна або металева структура з пазами для укладання в них одиночних волокон або модулів з волокнами.



Типи волоконно-оптичних кабелів

**Пасивна оптична мережа (PON)** PON (Passive Optical Network) – це оптична мережа, що вказує на відсутність підсилювального обладнання (та обладнання регенерації оптичних сигналів) в мережі (між лінійним обладнанням та мережними закінченнями).

**Активна оптична мережа** – це оптична мережа, яка крім пасивного обладнання містить також активні компоненти (підсилювачі, передавачі, приймачі, медіаконвертори та інші), які розташовуються лише в вузлах надання послуг зв'язку та абонентському вузлі.

#### 14.4 З'єднання оптичних волокон

Для з'єднання ОВ між собою використовують метод зварювання ОВ і метод механічного з'єднання. Зварювання ОВ є найбільш надійним. Його використовують переважно на магістральних волоконно-оптичних лініях і здійснюють з допомогою спеціальних зварювальних апаратів:





Зварювальний апарат Fujikura FSM-60S

Механічне з'єднання ОВ буває нероз'ємне, яке здійснюється з допомогою спеціальних гільз і роз'ємне, яке здійснюється з допомогою спеціальних конекторів:



Набір інструментів зі з'єднувачем волокон

В конекторах роз'ємних з'єднувачів оптичне волокно вставлене в спеціальний керамічний циліндр (ферулу), торець якої відполірований спеціальним чином. Існує декілька типів полірувань ферул у з'єднувачах. Один з таких способів отримав назву «фізичний контакт» (Physically Contact - PC). При цьому способі ОВ фіксуються у ферулі, після чого їх кінці певним чином поліруються з метою досягнення повного контакту торцевих поверхонь. В залежності від ступеня та форми полірування торцевих поверхонь розрізняють «супер фізичний контакт» (Super Physically Contact – SPC) та «ультра фізичний контакт» (Ultra Physically Contact - UPC). Іншим способом зниження рівня потужності відбитого сигналу є метод полірування торців ОВ під кутом  $7...12^{\circ}$  від перпендикуляра до осі ОВ. Зниження рівня френелівського відбиття досягається тому, що відбитий промінь намагається розповсюджуватись з більшим кутом ніж кут, під яким ОВ може його прийняти. Рівень втрат в рознімних з'єднувачах із кутовим поліруванням торців ОВ дещо більший ніж за наявності фізичного контакту, але їх можна знизити за рахунок створення фізичного контракту (Angle Physically Contact - APC).

#### 14.5 Елементи оптичних мереж

**Оптична муфта** - пасивний вузловий елемент волоконно-оптичної лінії зв'язку, що призначений для герметизації місць вводу волоконно-оптичних кабелів та захисту систем організації волокон від механічних та кліматичних впливів.



Різні типи оптичних муфт: плоска і ковпакові



Розподільчі коробки

**Транспондер** (прийомопередавач) (словосполучення transponder від слів transmitter + responder: передавач + відповідач) - призначений для узгодження спектральних параметрів інтерфейсів ВОСП однієї технології систем передачі (наприклад мультиплексорів SDH) із спектральними параметрами ВОСП іншої технології систем передачі (наприклад WDM мультиплексорів), окрім цього транспондер здійснює регенерацію сигналів.

**Мультиплексор/демультиплексор.** Мультиплексування за довжиною хвиль - об'єднання декількох оптичних каналних сигналів, спектри яких не перекриваються, в один груповий оптичний сигнал, призначений для передавання по одному оптичному волокну. Демультиплексування за довжиною хвиль - розділення групового оптичного сигналу на каналні оптичні сигнали. Оптичний мультиплексор/демультиплексор - пристрій для поєднання (розділення) оптичних сигналів різної довжини хвиль.

**Оптичний передавач** (optical transmitter) є пристроєм для генерації потужності оптичного випромінювання. Оптичний передавач виконує перетворення сигналу.

**Оптичний приймач.** Фотоприймач (фотодетектор-фотодіод) є пристроєм, котрий перетворює вхідні оптичні сигнали у електричні (перетворення) та здійснює, (у такий спосіб) їхню демодуляцію.



Оптичний передавач і приймач.

**Оптичний атенюатор.** Атенюатор (attenuer) - послаблювач, пристрій для зменшення інтенсивності оптичного сигналу.

**Оптичний комутатор.** Розрізняють оптичні комутатори та повністю оптичні комутатори. Звичайні оптичні комутатори в ВОСП це просто мережні комутатори з одним або кількома



оптичними портами, котрі виконують функції керування потоками даних та виконують перетворення середовища передачі сигналу і можуть бути як керовані так і не керовані.

**Оптичний та хвильовий розгалужувач (сплітер).** Оптичний розгалужувач - пасивний елемент мережі, котрий має три і більше оптичних портів та розподіляє енергію оптичного сигналу на свої порти відповідно до завчасно встановлених правил без виконання активних змін сигналу (підсилення, регенерація, тощо).



Оптичний розгалужувач (сплітер)

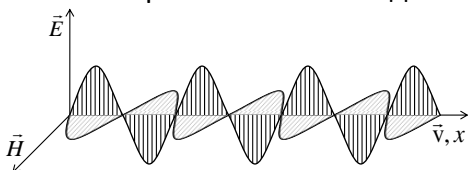
**Оптичний підсилювач.** – пристрій волоконно-оптичної системи передавання, котрий призначений для підсилення оптичного сигналу без перетворення його в електричний.

## § 15 Фізичні основи комп'ютерних та телекомунікаційних радіомереж

### 15.1 Електромагнітні хвилі. Шкала електромагнітних хвиль

Електромагнітні хвилі – це процес поширення у просторі коливань електричного і магнітного полів, які взаємно пов'язані і перетворюються одне в одне. Електромагнітні хвилі були теоретично передбачені шотландським вченим Д. К. Максвеллом і були експериментально отримані і вивчені німецьким вченим Г. Герцем.

Електромагнітні хвилі є поперечними. Вектори напруженості електричного  $\vec{E}$  та магнітного  $\vec{H}$  полів взаємно перпендикулярні і перпендикулярні до напрямку поширення хвилі. Рівняння гармонічної електромагнітної хвилі для векторів  $\vec{E}$  та  $\vec{H}$  мають вигляд:



$$E = E_0 \cos(\omega t - kx)$$

$$H = H_0 \cos(\omega t - kx)$$

де  $E_0$  і  $H_0$  – амплітудні значення напруженості електричного та магнітного полів,  $\omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T}$ ,

$\omega$  - циклічна частота,  $f$  - частота хвилі,  $T$  – період коливань,  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  - хвильове число,  $\lambda$  - довжина хвилі.

Фазова швидкість поширення електромагнітної хвилі рівна:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}},$$

де  $c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$  – швидкість поширення хвиль у вакуумі,  $\varepsilon_0, \mu_0$  - електрична і магнітна сталі  $\varepsilon, \mu$  - діелектрична і магнітна відносна проникність середовища.

Електромагнітні хвилі мають широкий діапазон довжин хвиль та частот, які залежать від способу їх генерації; зокрема, радіохвилі мають довжини  $\lambda = 10^4 \div 10^{-4} м$ , для світлових хвиль (інфрачервоних, видимих, ультрафіолетових):  $\lambda = 10^{-4} \div 10^{-6} м$ , для рентгенівського і  $\gamma$ -випромінювання:  $\lambda = 10^{-8} \div 10^{-13} м$ . Радіохвилі генеруються вібраторами (антенами); світлові та рентгенівські хвилі – молекулами і атомами;  $\gamma$ -промені – атомними ядрами. В таблиці наведено поділ електромагнітних хвиль на діапазони

#### Радіочастотні діапазони

Назва хвиль/частот	Довжина хвиль $\lambda$ , м	Частота (f)	Приклади використання
Кілометрові або довгі хвилі (ДХ) – <i>LW</i> / низькі частоти (НЧ) – <i>LF</i>	1000-10000	(30-300) кГц	Зв'язок з підводними човнами, підземний зв'язок
Гектометрові або середні хвилі (СХ) – <i>MW</i> / середні частоти (СЧ) – <i>MF</i>	100-1000	(0,3-3) МГц	Радіомовлення
Декаметрові або короткі хвилі (КХ) – <i>SW</i> / високі частоти (ВЧ) – <i>HF</i>	10-100	(3-30) МГц	Радіозв'язок на трасах великої протяжності, радіомовлення
Метрові хвилі (МХ) / дуже високі частоти (ДВЧ) – <i>VHF</i>	1-10	(30-300) МГц	Теле-, професійний радіомовлення, радіозв'язок, транкінговий зв'язок
Дециметрові хвилі (ДМХ) / ультрависокі частоти (УВЧ) – <i>UHF</i>	0,1-1	(300-3000) МГц	Радіорелейний, тропосферний та стільниковий зв'язок, професійний радіозв'язок

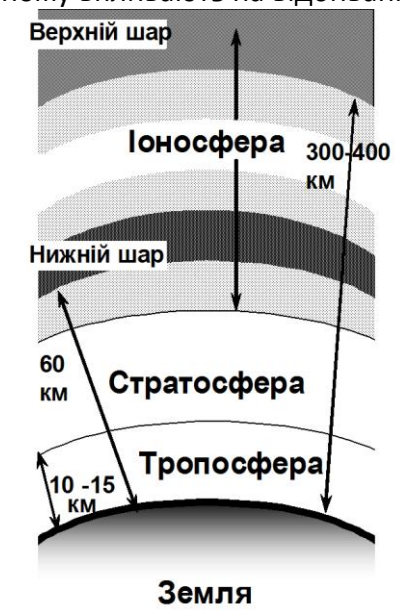
### 15.2 Розповсюдження радіохвиль в атмосфері Землі

Радіохвилі, що випромінюються антеною, розповсюджуються наступним чином: паралельно до земної поверхні; під кутом до обрію. Перші хвилі називаються поверхневими, другі - просторовими.

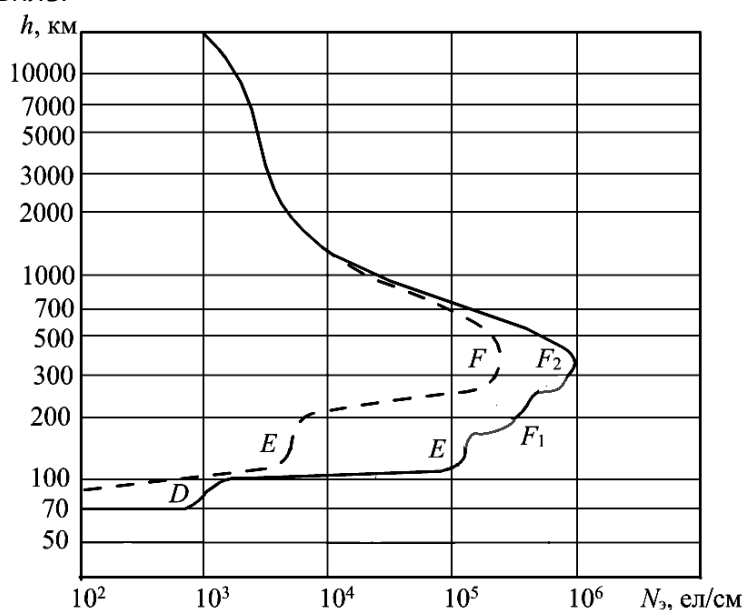
Характер розповсюдження радіохвиль залежить від: довжини хвилі; кривини Землі; типу ґрунту; складу атмосфери; часу доби і року; стану іоносфери; магнітного поля Землі; метеорологічних умов.

Розглянемо будову атмосфери, яка має великий вплив на розповсюдження радіохвиль. Повітря, що оточує земну поверхню, утворює атмосферу, висота якої складає 300 – 400 км. Склад земної атмосфери неоднорідний. На висоті 100-130 км шари атмосфери за своїм складом однорідні. В цих шарах є повітря, що містить 78% азоту, 21% кисню. Нижній шар атмосфери товщиною 10-15 км називається **тропосферою**. В цьому шарі є водяна пара, кількість якої різко змінюється із зміною метеорологічних умов. Тропосфера переходить у **стратосферу**. Межею тропосфери вважається висота, на якій припиняється зниження температури. Верхній шар атмосфери називається іоносферою. Іоносфера (іонізоване повітря) суттєво впливає на розповсюдження радіохвиль. На висотах від 60 км і вище над Землею під впливом сонячних і космічних променів в атмосфері відбувається іонізація повітря: частина атомів розпадається на вільні електрони та іони. В верхніх шарах іонізація незначна, оскільки газ дуже розріджений. По мірі того, як сонячні промені проникають в більш щільні шари атмосфери, ступінь іонізації збільшується. З наближенням до Землі енергія сонячних променів спадає і ступінь іонізації знову зменшується. Крім цього, в нижніх шарах атмосфери, внаслідок великої концентрації від'ємні заряди довго існувати не можуть; відбувається

процес відновлення нейтральних молекул. Іонізовані шари атмосфери мають різний ступінь іонізації, тому по різному впливають на відбивання хвиль.



Структура атмосфери Землі.



Розподіл електронної густини іоносфери  
(суцільна лінія – вдень, штрихова лінія – вночі)

Залежно від рівня іонізації розрізняють шари **D**, **E**, **F1**, **F2**. Шар **D** існує тільки вдень. Зникнення його вночі пояснюється відсутністю впливу сонячних променів, внаслідок чого електрони та іони знову з'єднуються, утворюючи нейтральні атоми і молекули. В шарах **E** і **F2** рівень іонізації дуже високий і в нічний час не всі іони та електрони встигають з'єднатися, тому ці шари залишаються, тільки зменшуються по товщині. Зміна рівня іонізації шарів атмосфери спостерігається і за порами року. Зимом ступінь іонізації обох шарів буде менший, ніж літом. Збільшення рівня іонізації спостерігається в роки повторення максимумів активності сонячної активності, тобто, через кожні 11 років. В цей період значно збільшується інтенсивність ультрафіолетового випромінювання. Різкі зменшення рівня іонізації шарів атмосфери бувають під час магнітних збурень, що відбуваються в атмосфері.

Розповсюдження поверхневих хвиль не залежить від зміни дня і ночі, пір року, тому зв'язок поверхневими хвилями сталий у будь-який час доби і не залежить від пори року. Інколи радіозв'язок одночасно здійснюється поверхневими і просторовими хвилями. Однак накладання цих хвиль може викликати "завмирання" сигналу, що приймається.

**Довгі хвилі (ДХ)** в основному розповсюджуються поверхневою хвилею. За рахунок явища дифракції хвилі цього діапазону легко огинають кривизну земної кулі. Довгі хвилі відчутно згасають в шарі **D** (у них мала енергія). Чим більша провідність ґрунту і довша хвиля, тим менші втрати електромагнітної енергії. Зазнаючи великого заломлення в іоносфері, довгі хвилі можуть, багаторазово відбиватися від нижніх шарів (від шару **D** - вдень, від шару **E** - вночі) і від землі, розповсюджуючись на дуже великі відстані. В значній мірі поглинають електромагнітну енергію піщані сухі ґрунти і гірські породи, і в дуже малій - поверхня морської води. Вдень через шар **D** поглинання електромагнітної енергії стає більшим. Вночі через відсутність шару **D**, якість прийому радіохвиль зростає. Проходження довгих хвиль вночі краще, ніж вдень. Для зв'язку на великі відстані необхідно мати передавачі великої потужності, а також розміри антен, що співрозмірні з довжиною хвилі.

**Середні хвилі (СХ)** можуть розповсюджуватися поверхневими і просторовими хвилями. Проте, дальність зв'язку поверхневою хвилею у них менша, оскільки енергія у **СХ** більша, ніж у **ДХ**, і тому вони поглинаються ґрунтом більше. Середні хвилі проникають глибше в іоносферу і відбиваються від високих шарів. Від шару **D** і від нижньої частини шару **E** вони не відбиваються, а

проникають крізь них, при цьому частково поглинаються. В діапазоні **CX** різко визначена залежність дальності зв'язку від часу доби. В денні години середні хвилі настільки сильно поглинаються при проходженні іоносфери, що просторовий промінь практично відсутній. В нічний час шар **D** і нижня частина шару **E** зникають, тому поглинання середніх хвиль зменшується і просторові хвилі починають відігравати головну роль. Важливою особливістю середніх хвиль є те, що вдень зв'язок на них підтримується поверхневим променем. Тому вночі на **CX** краще чути. В тих випадках, коли в місце прийому приходять одночасно дві хвилі, вони можуть підсилювати або послаблювати одна одну, викликаючи періодичні "завмирання" сигналу.

**Короткі хвилі (KX)** можуть розповсюджуватись поверхневою і просторовою хвилею. Поверхневі хвилі **KX** діапазону інтенсивно поглинаються поверхнею Землі через велику енергію. Це поглинання настільки значне, що зв'язок обмежується відстанню 25-40 км і залежить від потужності та частоти передавача, властивостей ґрунту, рельєфу місцевості, направленості антени. Чим вища робоча частота передавача, тим більша інтенсивність поглинання електромагнітної енергії. Чим вища електропровідність Землі, тим більша частина випромінюваної енергії відбивається від Землі і менша частина поглинається ґрунтом. В зв'язку з цим поверхневі хвилі **KX** діапазону розповсюджуються над вологими ґрунтами і над морями та океанами з солоною водою на більші відстані, ніж над сухим ґрунтом і прісноводними водосховищами та озерами. При встановленні зв'язку на великі відстані важливу роль відіграють іоносферні шари, що відбивають хвилі цього діапазону. Відбивання радіохвиль від іоносфери і дальність зв'язку залежать від кута падіння радіохвилі на іоносферні шари і частоти передавача. На певній висоті, в різний час доби і пори року радіохвилі не відбиваються від іоносфери, а проходять крізь неї і прямують в космічний простір. Тому оптимальні робочі частоти в діапазоні **KX** для зв'язку на дальні відстані вибираються на основі короткострокових і довгострокових прогнозів, що виконуються спеціальною службою на іоносферних станціях з урахуванням стану іоносфери, сонячної активності, стану земного магнетизму.

**Ультракороткі хвилі (УКХ)** не можуть відбиватися іоносферою (мають велику енергію і тому проходять всі шари атмосфери) і розповсюджуються лише поверхневою хвилею. Дальність зв'язку на **УКХ** при порівняно невеликій потужності передавача визначається відстанню прямої видимості між передаючою та приймаючою антенами і визначається за формулою:

$$R = 3,6(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

де: R - відстань в км; h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub> - висоти приймальної і передаючої антен. Очевидно, що для збільшення дальності зв'язку, слід збільшувати висоту антен. Практично хвилі **УКХ** діапазону, завдячуючи явищам дифракції (огинання радіохвилями перешкод) і рефракції (викривлення шляхів радіохвиль в різноманітних шарах атмосфери) розповсюджуються на відстані, що перевищують пряму видимість. Радіозв'язок на **УКХ** відрізняється низьким рівнем атмосферних та індустриальних завад, дозволяє випромінювати енергію вузьким скерованим пучком. Таким чином, розповсюдження радіохвиль має складний характер і залежить від електричних характеристик атмосфери і поверхні землі, а також від рельєфу місцевості.

### 15.3 Радіозв'язок. Види радіозв'язку.

**Радіозв'язок** – вид електрозв'язку, призначений для передачі на відстань та прийому інформації за допомогою радіохвиль.

**Лінією радіозв'язку** називається середовище, через яке відбувається перенесення повідомлення від джерела до адресата за допомогою радіохвиль. Лінію радіозв'язку утворює область простору над поверхнею землі, в якій розповсюджуються електромагнітні хвилі. Для передачі повідомлення по лінії радіозв'язку необхідне попереднє перетворення повідомлення в електричні коливання, які називаються первинним сигналом електрозв'язку, а потім у електромагнітні хвилі. Так при передачі мовних повідомлень коливання звукового тиску повітря перетворюються мікрофоном в електричну напругу (струм), а при передачі телеграм кожний символ (літера, цифра) перетворюється телеграфним апаратом у визначену послідовність електричних імпульсів.

У **передавачі** є внутрішній генератор високої частоти (ГВЧ) і модулятор. Посилені коливання низької частоти змінюють у **модуляторі** один із параметрів (амплітуду, частоту або фазу), високочастотних коливань або перетворюють їх у імпульси. Потім промодульовані таким чином високочастотні коливання посиляються через **фідерну лінію** (коаксіальний кабель, хвилевід) в антену. **Антену передавача** перетворює енергію коливань високої частоти у енергію радіохвиль, які випромінюються у простір. Конструкція і спеціальна форма антени, яка передає, дозволяють направити радіохвилі у бік радіоприймального пристрою. У **радіоприймальному пристрої** електромагнітні коливання приймаються **приймальною антеною** і посилюються **підсилювачем** радіосигналу, що настроюється на частоту випромінюваних електромагнітних коливань. Потім цей радіосигнал зазнає зворотного перетворення: він **детектується** і декодується, тобто перетворюється в низькочастотну напругу, яка відповідає переданому повідомленню. Отримана після детектування напруга низької (звукової) частоти посилюється і подається на гучномовець, що перетворює її в звукові коливання. Подібним чином відбувається передача цифрової інформації.

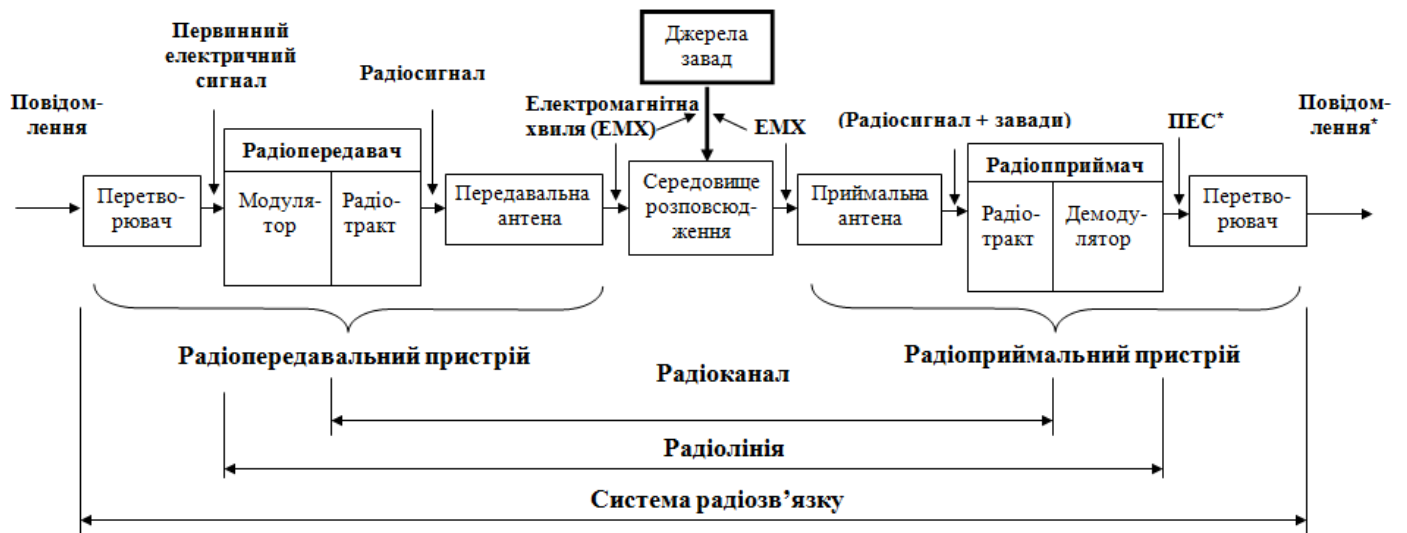
Антену в системі радіозв'язку виконують дві функції: 1) перетворення радіосигналів у радіохвилі і випромінювання радіохвиль у певному напрямку, 2) зворотного перетворення радіохвиль, що приходять з певного напрямку, у радіосигнали.



Види антен зв'язку

Якщо інформація поступає тільки у один бік, то такий зв'язок називається **однобічним**. В такій системі одна радіостанція є передавальною, інша – приймальною. Всі трансляційні радіостанції є передавальними (наприклад – ефірне телебачення). Якщо інформація може поступати також у протилежний бік, то такий зв'язок буде **двобічним**. Для організації двобічного зв'язку кожен абонент має використовувати радіостанцію, у складі якої є передавач і приймач. Оскільки радіозв'язок найчастіше буває двобічним, то на кожному пункті радіозв'язку розміщують і приймальну і передавальну апаратуру: радіостанції на кожному пункті стають приймально-передавальними. Двобічний радіозв'язок може бути **симплексним** (від джерела до адресата) або **дуплексним**. В останньому випадку кожний радіопередавач і радіоприймач працюють на різних частотах і можуть мати свої антени. Дуплексний радіозв'язок характеризується подвійною пропускнуною спроможністю. У **півдуплексному** режимі прийом та передача робиться по черзі на різних частотах. Відмінність півдуплексної радіостанції від дуплексної, яка має різні частоти прийому та передачі, в тому, що вона не може, як правило, включити одночасно приймач і передавач, як це відбувається під час сеансу дуплексного радіозв'язку. Система радіозв'язку називається **багатоканальною**, якщо їй належить декілька одночасно задіяних каналів, по яких передаються сигнали, що несуть різні або однакові повідомлення. Якщо ні – **одноканальна**.

Крім мовної інформації радіоканалами можуть передаватися телеграфні сигнали (в тому числі – фототелеграф) або телекодова цифрова інформація.



Блок-схема радіозв'язку.

**Системи радіозв'язку** за особливостями механізму розповсюдження радіохвиль, побудови та використання поділяють на: **системи іоносферного радіозв'язку; системи радіорелейного зв'язку; системи тропосферного зв'язку; системи супутникового зв'язку.**

**Системи іоносферного радіозв'язку** працюють в декаметровому (короткохвильовому) діапазоні радіохвиль ( $\lambda=100\ldots10$  м;  $f = 3\ldots30$  МГц). Розповсюдження декаметрових хвиль в навколосемному середовищі здійснюється шляхом вторинного відбиття від іонізованих шарів іоносфери (F1, F2,) з великою електронною густиною та від поверхні Землі. За умовою вибору відповідної довжини хвилі та кута, декаметрові хвилі розповсюджуються на великі відстані. Один "стрибок" відповідає 2,5...3,5 тис. км. На лініях зв'язку можна використовувати 2...3 "стрибки". Втрати на вторинне відбиття відносно невеликі. На декаметрових лініях зв'язку не можна уникнути ефекту багатопроменевого розповсюдження. Воно зумовлене прибуттям в точку приймання хвиль, що отримали різну кількість відбивань від іоносфери. Така складна структура поля призводить до того, що приймання декаметрових хвиль завжди супроводжується замираннями частотно-селективного характеру. Через це не викривлена смуга передавання оцінюється величиною  $\Delta f_{\max}=100\ldots3000$  Гц. Під час передавання дискретного сигналу в частотно-селективному каналі виникають міжсимвольні перешкоди, величина яких залежить від часу затримки променів, яка, в свою чергу, залежить від довжини траси і стану іоносфери та в середньому становить  $\Delta t_{\max}= 1,5\ldots2,5$  мс. Для забезпечення високої перешкодостійкості приймання тривалість дискретних сигналів має бути якнайменше в два рази більшою від середньої величини міжсимвольної перешкоди, тобто:  $T_c \min= 3\ldots5$  мс. Тому максимальна швидкість передавання інформації  $\max$  становить 200...350 біт/с. В наш час роль декаметрових систем зв'язку невисока, але вони мають ряд переваг порівняно з іншими системами: - велика дальність зв'язку; - можливість дальнього зв'язку з мобільними об'єктами. Ці особливості визначили області використання іоносферних систем: - зв'язок з українською науково-дослідною антарктичною станцією "Академік Вернадський"; - зв'язок з українським флотом, як військовим так і цивільним; - використання у глобальній пошуково-рятувальній системі.

**Системи радіорелейного зв'язку** дозволяють передавати телевізійні програми і одночасно тисячі телефонних повідомлень на значні відстані. Для таких потоків інформації потрібні смуги частот до сотень МГц, і, відповідно, несучі частоти до десятків ГГц. Такі радіосигнали розповсюджуються тільки в межах прямої видимості. Тому для організації зв'язку на великі відстані вимушені використовувати ретрансляцію радіосигналів. На радіорелейних лініях прямої видимості, в основному, використовують активну ретрансляцію, в процесі якої сигнали відновлюються та підсилюються. Протяжність прогонів між сусідніми станціями залежить від профілю рельєфу місцевості і висоти встановлення антен. В реальних умовах це 40...70 км, а висота антен  $h = 50\ldots80$  м.



**Системи тропосферного зв'язку** ґрунтуються на використанні радіохвиль, відбитих від об'ємних неоднорідностей тропосфери. Радіохвилі діапазону 0,3 – 5 ГГц здатні розсіюватись на цих неоднорідностях і поширюватись на великі відстані (сотні кілометрів). Системи тропосферного зв'язку будують у важко доступних і віддалених регіонах, оскільки станції можуть бути розміщені на великій відстані одна від одної. Через нестабільність неоднорідностей тропосфери організація якісного зв'язку ускладнена.

**Системи супутникового зв'язку** - це технологія передачі інформації, яка використовує штучні супутники Землі для передачі сигналів між різними точками на Землі або інших об'єктах у космосі. Ця технологія стала важливою складовою сучасної телекомунікаційної інфраструктури і знаходить застосування у багатьох сферах, включаючи зв'язок, трансляцію телебачення, навігацію та наукові дослідження. Системи супутникового зв'язку охоплюють своїми послугами дистанційне зондування Землі, комерційну та військову сфери, забезпечують важливі глобальні можливості підключення та спостереження, підтримку мобільного зв'язку у вигляді доступу до Інтернету і телеметрії в режимі реального часу з літаків та кораблів.

**Основні елементи супутникового зв'язку включають в себе:**

**Штучні супутники Землі:** об'єкти, які обертаються навколо Землі або іншого небесного тіла і використовуються для передачі сигналів. Супутники можуть бути розташовані на різних орбітах і мати різні місії, такі як забезпечення глобального зв'язку, збір і передача даних, спостереження тощо.

**Земні станції:** приймально-передавальні антени та обладнання на Землі, які взаємодіють з супутниками. Ці станції можуть відправляти команди супутникам, отримувати інформацію від них та взаємодіяти з інфраструктурою супутникової системи.

**Інфраструктура:** Системи керування, обробки даних та передачі інформації, які забезпечують роботу всієї супутникової системи.

Супутниковий зв'язок забезпечує мобільність та доступ до зв'язку в областях, де традиційні земні мережі можуть бути недоступними або неефективними. Він також використовується для забезпечення глобального Інтернет-зв'язку, навігації, військового зв'язку та інших застосувань.

**За призначенням використовуються такі види радіозв'язку: телеграфний; радіотелефонний; телебачення; фототелеграфний; радіоуправління; комп'ютерний зв'язок.**

**Телеграфний радіозв'язок** – передавання текстової інформації за допомогою спеціальних знаків (азбука Морзе) та телеграфного ключа або букводрукувального апарату.

**Радіотелефонний зв'язок** – передавання інформації здійснюється голосом за допомогою радіостанцій.

**Телебачення** – передавання рухомого, динамічного зображення на відстань.

**Фототелеграфія** – передавання по радіозв'язку нерухомих, статичних зображень відразу на папір (передавання карт, схем, фотороботів, фотографій, малюнків).

**Радіоуправління** – дистанційне управління електронними, механічними та іншими об'єктами за допомогою радіохвиль.

**Комп'ютерний радіозв'язок** – двосторонній обмін інформацією між комп'ютерами. Дозволяє забезпечити всі вищезазначені види зв'язку, а також передавати комп'ютерні дані. Є сучасним видом зв'язку і витісняє всі інші.

**Транкінговий радіозв'язок** - призначений для забезпечення голосового зв'язку між великою кількістю рухомих абонентів при обмеженій кількості радіоканалів. Принцип транкінгового радіозв'язку полягає у вільному доступі абонентів до декількох радіоканалів. При цьому конкретна лінія зв'язку надається абоненту автоматично за певним протоколом. Зараз існує декілька транкінгових протоколів, які розроблялись фірмами-виробниками радіоустаткування. Всі ці протоколи закриті для широкого використання і не є стандартизованими. Тому абонентське устаткування різних фірм-виробників не має сумісності і це є великим недоліком таких систем.

**Телебачення** є видом аудіовізуальних застосувань, основне призначення яких – передавання відеосцен зі звуковим супроводом. Подібні системи можуть реалізуватися на технологічній базі

різних рівнів – від найпростіших аналогових до досконалих цифрових систем з високим ступенем інтелектуалізації. Системи можуть бути мовленнєвими або прикладними, монохромними або кольоровими, моноскопічними або стереоскопічними тощо. В них можуть сполучатися функції відтворення зображень, звуку та виконання інших операцій, наприклад, у спеціалізованих прикладних системах – розпізнавання образів.

**Звукове мовлення (радіомовлення)** – технологія передачі необмеженому числу слухачів мови, музики та інших звукових ефектів або звукової інформації в радіоефірі, в провідних мережах (провідне радіомовлення) або в мережах з пакетною комутацією (в комп'ютерних мережах – інтернет-радіо). В залежності від рівня застосованих технологій, звукове мовлення може реалізовуватися на різних рівнях – від звичайного вузькосмугового монофонічного аналогового звукового мовлення і до стереофонічного мовлення, в тому числі – і цифрового. Логічним продовженням телевізійного і звукового мовлення є **мультимедійне мовлення**, що передбачає використання комп'ютерних технологій, причому аудіовізуальні сцени сполучають у собі натурні відео- і аудіосцени, відеоінформацію в графічному та векторному форматах, текстову інформацію, синтетичний звук. Важливою відмінною рисою мультимедійного мовлення є також об'єктно-орієнтоване передавання інтерактивних аудіовізуальних сцен.

**Системи кабельного телебачення** Джерелами телевізійних сигналів в системах кабельного телебачення є головні станції. Телевізійний сигнал в системах кабельного телебачення передається в закритому середовищі поширення – по оптичним або коаксіальним кабелям. Системи кабельного телебачення отримали широке застосування в крупних і середніх населених пунктах. Вони є засобом колективного розподілу телевізійного сигналу. Перевагами систем прийому кабельного телебачення можна назвати високу якість телевізійного сигналу і підвищену завадостійкість, особливо в цифрових системах.

**Системи супутникового телебачення** Супутникове телевізійне мовлення – це передача через космічний супутник-ретранслятор телевізійного зображення і звукового супроводу від наземних передавальних станцій до користувачьких приймачів. В поєднанні з кабельними мережами, супутникова телевізійна ретрансляція сьогодні є основним засобом забезпечення багатопрограмного високоякісного телевізійного мовлення. Значні переваги надає використання космічного апарату, розташованого на так званій геостаціонарній орбіті, що знаходиться в площині екватора і має нульовий нахил кругової орбіти з радіусом 35735 км. Такий супутник робить один оберт навколо Землі точно за одну земну добу. Якщо напрямок його руху збігається з напрямом обертання Землі, то з поверхні Землі він здається нерухомим. Антени станцій, що працюють з геостаціонарним супутником, не вимагають складних систем наведення і супроводу, а в разі необхідності можуть бути встановлені пристрої для компенсації невеликих зміщень орбіти. Завдяки цій обставині в даний час майже всі супутники зв'язку, призначені для комерційного використання, знаходяться на геостаціонарній орбіті. Приблизно в однаковій позиції на одній географічній довготі можуть перебувати декілька супутників, розташованих на відстані близько 100 км один від одного. Супутникова лінія зв'язку з ретранслятором на геостаціонарній орбіті має ряд серйозних переваг: відсутність пристрою супроводу супутника в антенній системі наземного комплексу; висока стабільність рівня сигналу в радіоканалі; відсутність ефекту Доплера; простота організації зв'язку в глобальному масштабі тощо. Недоліками таких систем є перенасиченість геостаціонарної орбіти на багатьох ділянках, неможливість обслуговування областей які наближені до полюсів, необхідність прямої видимості антени супутника і приймальної антени користувача.

Система супутникового телевізійного мовлення включає в себе наступні підсистеми: передавальний телевізійний центр; активний супутник-ретранслятор; приймальне абонентське обладнання. Для систем супутникового мовлення виділені певні смуги частот.

**Інтернет - телебачення** включає в себе цифрову технологію пакетної передачі відеоданих в мережах за протоколом IP, тобто це телебачення через Інтернет. Обмін інформацією через Інтернет може бути двостороннім, що дозволяє не тільки отримувати відеодані, але і користуватися послугами інтерактивного телебачення, які надає оператор IPTV. Перелік послуг може бути дуже



великим, їх кількість нічим не обмежена, а можливості визначаються наявністю відповідного обладнання та програмного забезпечення. В якості джерела телевізійних фільмів і будь-яких відеоматеріалів використовується сервер IPTV, у найпростішому варіанті він представляє собою звичайний комп'ютер із серверною операційною системою і жорсткими дисками великої ємності, які використовуються для зберігання відеоінформації. Сервер з'єднується з мережею Інтернет або з внутрішньою локальною мережею. До цієї ж мережі підключаються абоненти IP- телебачення. Для доставки відеоінформації від сервера до абонентів використовується пакетно-адресна передача інформації на базі IP-адресації мережі.

## § 16 Модуляція сигналів. Кодування сигналів. Методи і протоколи передачі даних

### 16.1 Аналогова модуляція. Амплітудна, частотна і фазова модуляція

В звичайній проводовій системі телефонного зв'язку голос, перетворений в електричний сигнал, передається від одного абонента до іншого безпосередньо по проводах. Вухом людини може сприймати звукові коливання від 20 Гц до 20 кГц. Такі коливання можуть бути передані безпосередньо по проводових лініях зв'язку. Однак при використанні радіомереж радіохвилі з таким частотним інтервалом не можуть бути використані, оскільки для цього потрібна буде антена в декілька кілометрів.

Очевидно, що голос через повітряне середовище з допомогою радіохвиль безпосередньо передати не можна. Для вирішення даної проблеми здійснюють накладання низькочастотного інформаційного (звукового) сигналу на високочастотний несучий сигнал. Цей процес називається **модуляцією** – зміна одного із параметрів (амплітуди чи частоти) високочастотного несучого сигналу по закону зміни низькочастотного сигналу. На рис. 1 приведена **амплітудна модуляція** (Amplitude Modulation, AM) голосового сигналу. В якості інформаційного параметру використовують також частоту синусоїдального сигналу – **частотна модуляція** (Frequency Modulation, FM) (рис. 2).

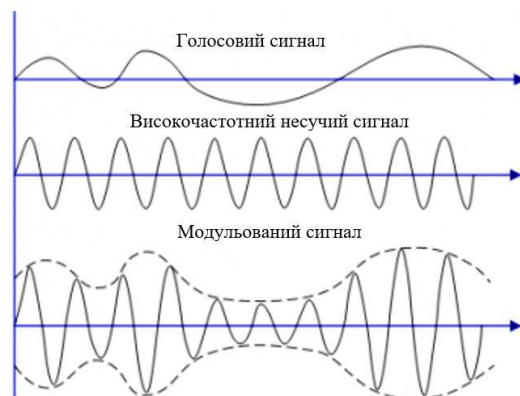


Рис. 1. Амплітудна модуляція звукового сигналу 49

В результаті модуляції сигнали переносяться в область більш високих частот. Використання модуляції дозволяє узгоджувати параметри сигналу з параметрами лінії, підвищити стійкість сигналів, збільшити дальність передачі сигналів, організовувати багатоканальні системи передачі.

Основні переваги амплітудної модуляції (рис. 2): вузька ширина спектру АМ сигналу, простота отримання модульованих сигналів.

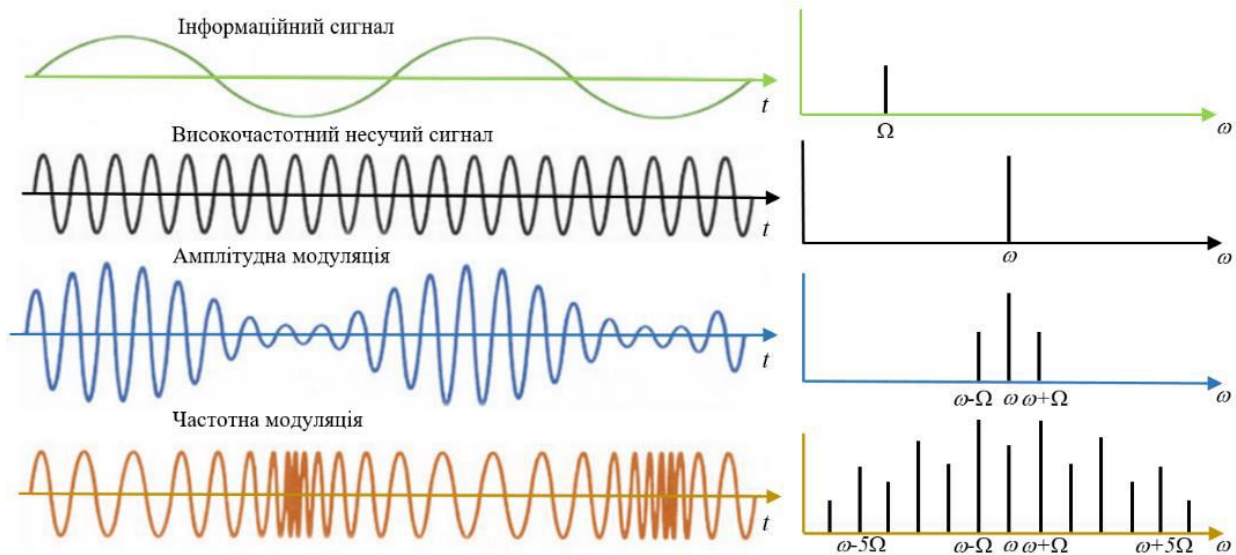


Рис. 2. Амплітудна та частотна модуляція аналогового сигналу

Недоліки амплітудної модуляції: низька стійкість (при впливі перешкоди на сигнал спотворюється його форма – огинаюча, яка і містить передані дані); неефективне використання потужності передавача (найбільша частина енергії модульованого сигналу міститься в складовій несучого сигналу до 64%, а на інформаційні бічні смуги доводиться по 18%).

Амплітудна модуляція знайшла широке застосування: в системах телевізійного мовлення (для передачі телевізійних сигналів); в системах звукового радіомовлення і радіозв'язку на довгих і середніх хвилях (АМ-діапазон).

Переваги частотної модуляції (ЧМ): висока завадостійкість; більш ефективне використання потужності передавача; відносно просте отримання модульованих сигналів.

Основним недоліком даної модуляції є велика ширина спектру модульованого сигналу.

Частотна модуляція використовується: в системах телевізійного мовлення (для передачі сигналів звукового супроводу); в системах супутникового теле- і радіомовлення; в системах високоякісного стереофонічного мовлення (FM діапазон); в радіорелейних лініях (РРЛ); При модуляції спектр результуючого сигналу потрапляє в потрібний високочастотний діапазон, що дозволяє використовувати методи мультиплексування або ущільнення.

## 16.2 Дискретна модуляція (маніпуляція)

**Дискретна модуляція** застосовується для передачі дискретних даних по каналах з вузькою смугою частот, наприклад, каналами тональної частоти, що використовується у загальних телефонних мережах. У разі, коли модульовані сигнали передають дискретну інформацію, замість терміну «модуляція» часто використовується термін «маніпуляція»: амплітудна маніпуляція (Amplitude Shift Keying, ASK), частотна маніпуляція (Frequency Shift Keying, FSK), фазова маніпуляція (Phase Shift Keying, PSK).

Вухо людини може сприймати звукові коливання в діапазоні 20 Гц - 20000 Гц. Однак дослідження показали, що цей дапазон в реальному житті людей є занадто великим. Для якісного сприйняття і відтворення голосу і музики достатній вужчий діапазон частот від 300 Гц до 3400 Гц, який прийнятий міжнародними організаціями як стандартний канал тональної частоти.

Типова амплітудно-частотна характеристика стандартного абонентського каналу тональної частоти, показана на рис. 3. Цей комутований канал проходить через комутатори телефонної мережі і з'єднує телефони абонентів. Канал тональної частоти передає частоти в діапазоні від 300 до 3400 Гц, таким чином, його смуга пропускання складає 3100 Гц. Така вузька смуга пропускання цілком достатня для якісної передачі голосу, однак вона недостатньо широка для передачі комп'ютерних даних у вигляді прямокутних імпульсів. Рішення проблеми було знайдено завдяки дискретній

модуляції (аналогова модуляція дискретних сигналів). Пристрій, що виконує функції модуляції несучої синусоїди на стороні, яка передає сигнали, і демодуляції на прийомній стороні, називається модемом (модулятор-демодулятор).



Рис. 3. Амплітудно-частотна характеристика каналу тональної частоти

На рис. 4 показані різні типи модуляції, які застосовуються при передачі дискретної інформації.

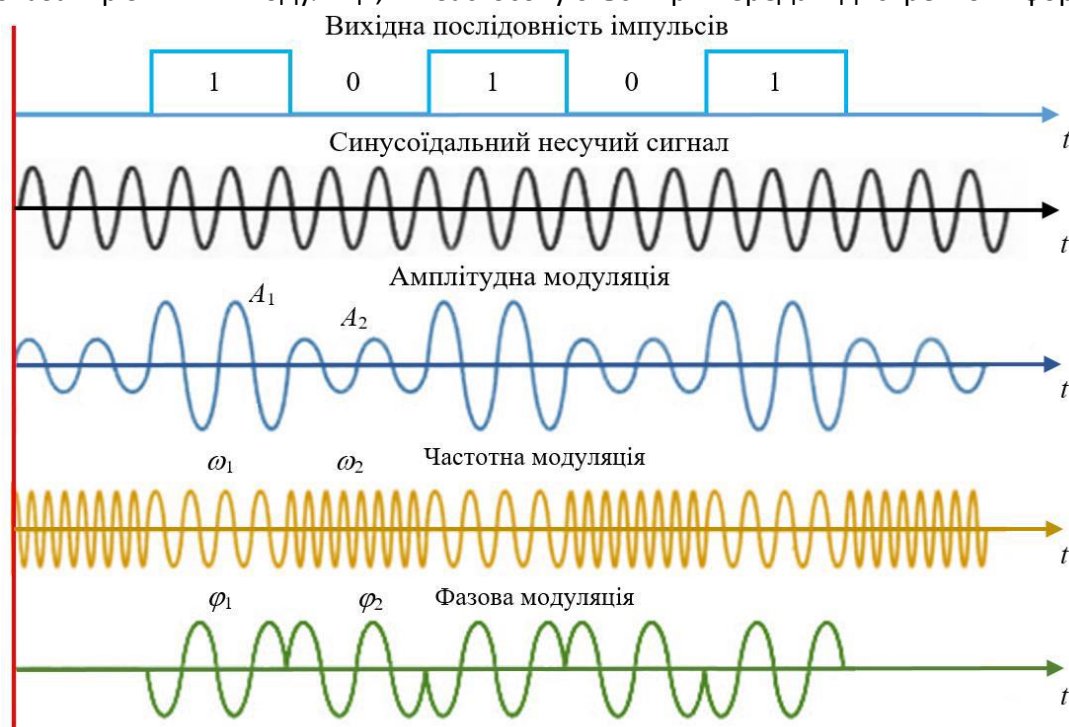


Рис. 4. Різні типи дискретної модуляції (маніпуляції): амплітудна, частотна, фазова.

При **амплітудній модуляції** для логічної одиниці вибирається один рівень амплітуди синусоїди несучої частоти, а для логічного нуля – інший ( $A_1$  та  $A_2$ ). Цей спосіб в чистому вигляді практично не використовується через низку завадостійкості, але часто застосовується в поєднанні з фазовою модуляцією.

При **частотній модуляції** значення нуля і одиниці вихідних даних передаються синусоїдами з різною частотою ( $\omega_1$  та  $\omega_2$ ). Цей спосіб модуляції не вимагає складних схем і зазвичай застосовується в низькошвидкісних модемах, які працюють на швидкостях 300 і 1200 біт/с. При використанні тільки двох частот за один такт передається один біт інформації, тому такий спосіб називається двійковою частотною маніпуляцією (Binary FSK, BFSK). Можуть також використовуватися чотири різні частоти для кодування двох бітів інформації в одному такті – чотирирівнева частотна маніпуляція (four-level FSK). Використовується також назва багаторівнева частотна маніпуляція (Multilevel FSK, MFSK).

При **фазовій модуляції** значенням даних 0 і 1 відповідають сигнали однакової частоти, але різної фази, наприклад 0 і 180° або 0, 90, 180 і 270°. У першому випадку така модуляція носить назву двійкової фазової маніпуляції (Binary PSK, BPSK), а в другому – квадратурної фазової маніпуляції (Quadrature PSK, QPSK).

Для підвищення швидкості передачі даних використовують комбіновані методи модуляції. Найбільш поширеними є методи квадратурної амплітудної модуляції (Quadrature Amplitude Modulation, QAM). Ці методи засновані на поєднанні фазової і амплітудної модуляції.

Квадратурна амплітудна модуляція – різновид амплітудної модуляції сигналу, яка є сумою двох несучих коливань однієї частоти, але зсунутих по фазі один відносно одного на 90° (тому «квадратурна»), кожне з яких модульоване по амплітуді своїм модулюючим сигналом.

Квадратурна модуляція застосовується для передачі сигналів кольору в телевізійному стандарті PAL і NTSC, в стереофонічному радіомовленні.

### 16.3 Імпульсно-кодова модуляція

**Імпульсно-кодова модуляція (ІКМ або РСМ – Pulse Code Modulation)** – процес перетворення аналогового сигналу у цифровий сигнал, коли через певні інтервали часу беруться відліки аналогового сигналу і незалежно один від одного квантуються і далі кодуються цифрами. ІКМ використовується для оцифровування аналогових сигналів перед їхньою передачею по телекомунікаційній мережі. Практично всі види аналогових даних (відео, голос, музика, дані телеметрії) допускають застосування ІК-модуляції.

Імпульсно-кодова модуляція заснована на теорії відображення Найквіста-Котельникова. Відповідно до цієї теорії, аналогова неперервна функція, яка представлена у вигляді послідовності її дискретних за часом значень, може бути точно відтворена, якщо частота дискретизації була в два або більше разів вище, ніж частота найвищої гармоніки спектру вихідної функції. Якщо ця умова не дотримується, то відновлена функція буде істотно відрізнятися від початкової.

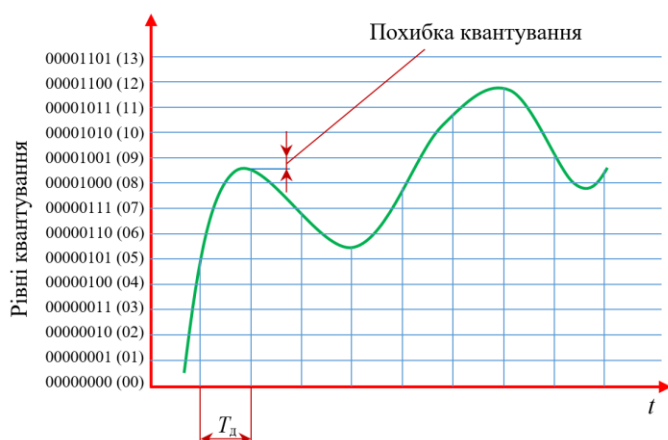


Рис. 5. Імпульсно-кодова модуляція

Імпульсно-кодове перетворення складається з наступних етапів:

#### 1. Дискретизація аналогового сигналу.

В аналоговій телефонії для передачі голосу був обраний діапазон від 300 до 3400 Гц (рис. 3), який досить якісно передає всі основні гармоніки співрозмовників. Відповідно до теорії Найквіста-Котельникова для якісної передачі голосу досить вибрати частоту дискретизації, яка в два рази перевищує найвищу гармоніку безперервного сигналу, тобто  $2 \times 3400 = 6800$  Гц. Для забезпечення деякого запасу якості обрано частоту дискретизації 8000 Гц, що відповідає періоду дискретизації:

$$T_d = 1/8000 = 0,000125 \text{ с} = 125 \text{ мкс}$$

#### 2. Квантування амплітуд дискретних відліків сигналу.

Для якісного передавання голосу приймають 256 рівнів квантування (8-бітний код для представлення величини амплітуди одного виміру). Величиною амплітуди дискретного відліку голосового сигналу вибирають найближчий до її значення рівень квантування. Різницю між значеннями амплітуди

сигналу й найближчим рівнем квантування визначає похибка перетворення голосового сигналу в цифрову форму, яку називають похибкою квантування  $\Delta$ .

### 3. Кодування квантованих амплітуд дискретних відліків сигналу.

Якщо номери рівнів квантування подати в двійковому коді, то процес кодування зводиться до вибору номера найближчого до значення дискретної амплітуди сигналу рівня квантування. Номер рівня квантування в двійковому коді передається в лінію. Кодову комбінацію, яка відповідає одному дискретного відліку амплітуди голосового сигналу, називають вибіркою. Зважаючи на те, що вибірки голосового сигналу надходять у лінію з частотою 8 кГц, послідовно одна за одною, отримуємо цифровий потік зі швидкістю

$$C = 8 \text{ біт} \times 8000 \text{ Гц} = 64 \text{ Кбіт/с.}$$

Швидкість 64 Кбіт/с визначено Міжнародним телекомунікаційним союзом (ITU-T) швидкістю основного цифрового каналу, який ще називають потоком нульового рівня DSO (Digital Service/Signal of Level 0). Цифровий канал 64 Кбіт/с також називається елементарним каналом цифрових телефонних мереж. Оскільки ІКМ була першою стандартною технологією, що отримала широке застосування в цифрових системах передачі, пропускна здатність каналу, рівна 64 Кбіт/с, стала всесвітнім стандартом для цифрових мереж всіх видів. Всі сьогоденні цифрові лінії мають пропускну здатність, або рівну 64 Кбіт/с, або кратну цій величині. Наприклад, пропускна здатність цифрового тракту Е1 становить 2.048 Мбіт/с, що еквівалентно 32 каналам по 64 Кбіт/с кожен. Позначення Е1 стало загальноприйнятим для європейського стандарту тракту 2.048 Мбіт/с.

## 16.4 Комутація каналів та пакетів

**Комутація каналів.** Історично комутація каналів з'явилась набагато раніше комутації пакетів і веде свій відлік від перших телефонних мереж. Мережі, що побудовані за принципом комутації каналів, мають багату історію, вони і сьогодні знайшли широке застосування в світі телекомунікацій, будучи основою високошвидкісних магістральних каналів зв'язку.

В якості інформаційних потоків в мережах з комутацією каналів є дані, якими обмінюються пари абонентів. Відповідно глобальною ознакою потоку є пара адрес (телефонних номерів) абонентів, що з'єднуються між собою. Для всіх можливих потоків заздалегідь визначаються маршрути. Маршрути в мережах з комутацією каналів задаються або «вручну» адміністратором мережі, або знаходяться автоматично із залученням спеціальних програмних і апаратних засобів. Маршрути фіксуються в таблицях, в яких ознакам потоку ставляться у відповідність ідентифікатори вихідних інтерфейсів комутаторів. На підставі цих таблиць відбувається просування і мультиплексування даних.

Однією з особливостей мереж з комутацією каналів є поняття **елементарного каналу**. Елементарний канал (або просто канал) – це базова технічна характеристика мережі з комутацією каналів, що являє собою деяке фіксоване в межах даного типу мереж значення пропускну спроможності. Будь-яка лінія зв'язку в мережі з комутацією каналів має пропускну спроможність, кратну елементарному каналу, прийнятому для даного типу мережі. Значення елементарного каналу, або, іншими словами, мінімальна одиниця пропускну спроможності лінії зв'язку, вибирається з урахуванням різних факторів. Наприклад, в традиційних телефонних мережах, для якісної цифрової передачі голосу, найбільш поширеним **значенням елементарного каналу сьогодні є швидкість 64 Кбіт/с.**

Особливістю мереж з комутацією каналів є те, що пропускна спроможність кожної лінії зв'язку повинна дорівнювати цілому числу елементарних каналів. Так, лінії зв'язку, що під'єднують абонентів до телефонної мережі, можуть містити 2, 24 або 30 елементарних каналів, а лінії, що з'єднують комутатори – 480 або 1920 каналів.

Зв'язок, побудований шляхом комутації (з'єднання) елементарних каналів, називають **комутованим каналом або складовим каналом.**

**Основні властивості комутованого каналу:**



- комутований канал на всьому своєму шляху складається з однакової кількості елементарних каналів;
- комутований канал має постійну і фіксовану пропускну спроможність на всьому своєму протязі;
- комутований канал створюється тимчасово на період сеансу зв'язку двох абонентів;
- на час сеансу зв'язку всі елементарні канали, що входять в комутований канал, надаються у виключне користування абонентів, для яких був створений цей комутований канал;
- протягом всього сеансу зв'язку абоненти можуть посылати в мережу дані зі швидкістю, що не перевищує пропускну спроможність комутованого каналу;
- дані, що надійшли в комутований канал, гарантовано доставляються до абонента без затримок, втрат і з тією ж швидкістю (швидкістю джерела) незалежно від того, чи існують в цей час в мережі інші з'єднання;
- після закінчення сеансу зв'язку елементарні канали, що входили до відповідного комутованого каналу, оголошуються вільними і повертаються в пул розподільчих ресурсів для використання іншими абонентами.

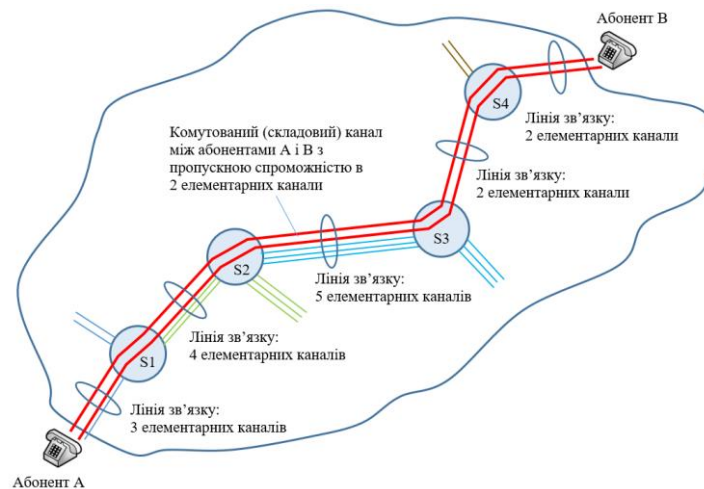


Рис. 6. Комутований (складовий) канал в мережі з комутацією каналів

У мережі може одночасно відбуватися декілька сеансів зв'язку. Поділ мережі між сеансами зв'язку відбувається на рівні елементарних каналів за допомогою процесу мультиплексування. Мультиплексування дозволяє одночасно передавати через кожен фізичний канал трафік декількох логічних з'єднань.

Можливі ситуації, коли деяка проміжна лінія зв'язку вже вичерпала вільні елементарні канали, тоді новий сеанс зв'язку, маршрут якого пролягає через дану лінію зв'язку, не може відбутися. Для того, щоб розпізнати такі ситуації, обмін даними в мережі з комутацією каналів передуює процедура встановлення з'єднання. Відповідно до цієї процедури абонент, який є ініціатором сеансу зв'язку (наприклад, абонент А), посилає в комутаційну мережу запит, який представляє собою повідомлення, в якому міститься адреса абонента, наприклад абонента В. Мета запиту – перевірити, чи можна утворити комутований канал між абонентами А і В. А для цього потрібно дотримання двох умов: наявність необхідного числа вільних елементарних каналів в кожній лінії зв'язку, що лежить на шляху від А до В, і незайнятість абонента в іншому з'єднанні.

Запит переміщується по маршруту, визначеному для інформаційного потоку даної пари абонентів. При цьому використовуються глобальні таблиці комутації, що ставлять у відповідність глобальній ознаці потоку (адресу абонента) ідентифікатор вихідного інтерфейсу комутатора (такі таблиці часто називають таблицями маршрутизації). Якщо в результаті проходження запиту від абонента А до абонента В з'ясувалося, що ніщо не перешкоджає встановленню з'єднання, відбувається фіксація комутованого каналу. Для цього у всіх комутаторах уздовж шляху від А до В створюються записи в локальних таблицях комутації, в яких вказується відповідність між локальними ознаками потоку та номерами елементарних каналів, зарезервованих для цього сеансу зв'язку. Тільки після цього комутований канал вважається встановленим, і абоненти А і В можуть почати свій сеанс зв'язку.

Запити на встановлення з'єднання не завжди завершуються успішно. Якщо на шляху між абонентами відсутні вільні елементарні канали або абонент, що викликається зайнятий, то відбувається відмова у встановленні з'єднання. Наприклад, якщо під час сеансу зв'язку абонентів А і В, абонент С відправить запит в мережу на встановлення з'єднання з абонентом D, то він отримає відмову, оскільки обидва необхідних йому елементарних канали, що складають лінію зв'язку комутаторів, вже виділені для з'єднання абонентів А і В. При відмові у встановленні з'єднання мережа інформує абонента спеціальним повідомленням.

Розглянута процедура встановлення з'єднання, що базується на здатності абонентів відправляти в мережу сервісні повідомлення (запити на встановлення з'єднання) і здатності вузлів мережі обробляти такі повідомлення називається автоматичним динамічним режимом встановлення з'єднання.

Інший режим – статичний ручний режим встановлення з'єднання. Цей режим характерний для випадків, коли необхідно встановити комутований канал не на час одного сеансу зв'язку абонентів, а на більш тривалий термін. Створення такого довготривалого каналу не можуть ініціювати абоненти, він створюється адміністратором мережі. Очевидно, що статичний ручний режим мало придатний для традиційної телефонної мережі з її короткими сеансами зв'язку, однак він добре підходить для створення високошвидкісних телекомунікаційних каналів між містами і країнами.

Мережі з комутацією каналів найбільш ефективно передають користувацький трафік в тому випадку, коли швидкість його постійна протягом усього сеансу зв'язку і максимально відповідає фіксованій пропускної спроможності фізичних ліній зв'язку мережі. Ефективність роботи мережі знижується, коли інформаційні потоки, які генеруються абонентами, набувають пульсуючий характер. Це відбувається при передачі комп'ютерного трафіку, тобто трафіку, що генерується додатками, з якими працює користувач.

**Комутація пакетів.** Важливим принципом функціонування мереж з комутацією пакетів є представлення інформації, що передається по мережі, у вигляді структурно відділених один від одного порцій даних, які називаються пакетами.

Процедура формування пакету здійснюється за допомогою інкапсуляції даних при якій дані на певному рівні доповнюються заголовками, закінченнями та іншою інформацією з протоколів вищого рівня OSI моделі (Open Systems Interconnection).

Кожен пакет забезпечений заголовком (рис. 7), який містить адреси відправника та отримувача і іншу допоміжну інформацію (довжина поля даних, контрольна сума і іншу), необхідну для доставки пакету адресату. Наявність адреси в кожному пакеті є однією з найважливіших особливостей техніки комутації пакетів, так як кожен пакет може бути оброблений комутатором незалежно від інших пакетів, що складають мережевий трафік. Крім заголовка у пакета може бути ще одне додаткове поле, яке розміщується в кінці пакета і тому назване закінчення. У закінченні, зазвичай, поміщається контрольна сума, яка дозволяє перевірити, чи була спотворена інформація при передачі через мережу.

Залежно від конкретної реалізації технології комутації пакетів пакети можуть мати фіксовану або змінну довжину, крім того, може змінюватися склад інформації, розміщеної в заголовках пакетів. Наприклад, в технології АТМ (Asynchronous Transfer Mode) пакети (звані там комірки) мають фіксовану довжину, а в технології Ethernet (ефірна мережа - сімейство технологій пакетної передачі даних між пристроями для комп'ютерних і промислових мереж) встановлені лише мінімально і максимально можливі розміри пакетів (кадрів).

Пакети надходять в мережу без попереднього резервування ліній зв'язку і не з фіксованою заздалегідь заданою швидкістю, як це робиться в мережах з комутацією каналів, а в тому темпі, в якому їх генерує відправник. Передбачається, що мережа з комутацією пакетів, на відміну від мережі з комутацією каналів, завжди готова прийняти пакет від кінцевого вузла.

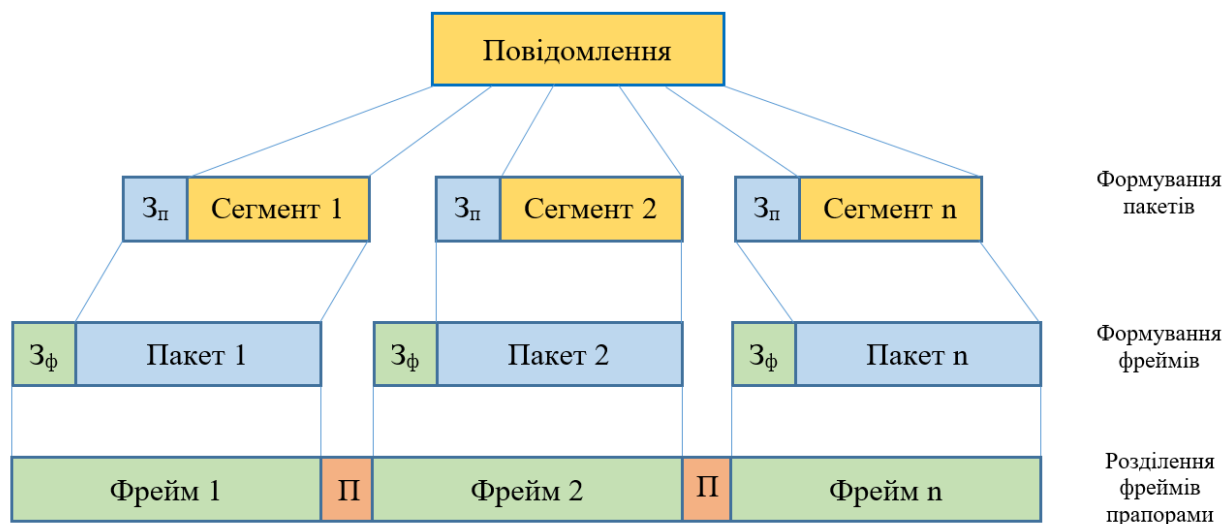


Рис. 7. Формування пакетів в мережах з комутацією пакетів

Як і в мережах з комутацією каналів, в мережах з комутацією пакетів для кожного потоку вручну або автоматично визначається маршрут, що зберігається на комутаторах (маршрутизаторах) у таблицях комутації (маршрутизації). Пакети, потрапляючи на комутатор, обробляються і надсилаються з того чи іншого маршруту на підставі інформації, що міститься в їх заголовках, а також в таблиці комутації.

Пакети, що належать одному або різним інформаційним потокам, при переміщенні по мережі можуть «перемішуватися» між собою, утворювати черги і навіть губитися на шляху проходження. На шляху пакетів можуть зустрічатися лінії зв'язку, що мають різну пропускну спроможність. В залежності від часу доби може сильно змінюватися і ступінь завантаженості ліній зв'язку. В таких умовах не виключені ситуації, коли пакети, що належать одному і тому ж потоку, можуть переміщатися по мережі з різними швидкостями і навіть прийти до місця призначення не в тому порядку, в якому вони були відправлені.

Поділ даних на пакети дозволяє передавати нерівномірний комп'ютерний трафік більш ефективно, ніж в мережах з комутацією каналів. Це пояснюється тим, що пульсації трафіку від окремих комп'ютерів носять випадковий характер і розподіляються в часі так, що їх піки найчастіше не збігаються. Тому коли лінія зв'язку передає трафік великої кількості кінцевих вузлів, в сумарному потоці пульсації згладжуються і пропускну спроможність лінії використовується більш раціонально, без тривалих простоїв.

Невизначеність і асинхронність переміщення даних в мережах з комутацією пакетів висуває особливі вимоги до роботи комутаторів в таких мережах. Головна відмінність пакетних комутаторів від комутаторів в мережах з комутацією каналів полягає в тому, що вони мають внутрішню буферну пам'ять для тимчасового зберігання пакетів. Пакетний комутатор не може прийняти рішення про просування пакета, не маючи в своїй пам'яті всього пакету. Комутатор перевіряє контрольну суму, і лише після того як визначить, що дані пакета не спотворені, починає обробляти пакет і за адресою призначення визначає наступний комутатор. Тому кожен пакет послідовно біт за бітом поміщається у вхідний буфер.

Комутатору потрібні буфери для узгодження швидкостей передачі даних в лініях зв'язку, що під'єднанні до його інтерфейсів. Якщо швидкість надходження пакетів з однієї лінії зв'язку протягом деякого періоду перевищує пропускну спроможність тієї лінії зв'язку, в яку ці пакети повинні бути спрямовані, то щоб уникнути втрат пакетів на цільовому інтерфейсі необхідно організувати вихідну чергу. Буферизація необхідна пакетному комутатору також для узгодження швидкості надходження пакетів зі швидкістю їх комутації. Якщо комутуючий блок не встигає обробляти пакети (аналізувати заголовки і перекидати пакети на потрібний інтерфейс), то на інтерфейсах комутатора виникають вхідні черги.



Оскільки обсяг буферів пам'яті в комутаторах обмежений, іноді відбувається втрата пакетів через переповнення буферів при тимчасовому перевантаженні частини мережі, коли збігаються періоди пульсації декількох інформаційних потоків. Для мереж з комутацією пакетів втрата пакетів є звичайним явищем, і для компенсації таких втрат в даній технології передбачений ряд спеціальних механізмів.

Пакетний комутатор може працювати на основі одного з трьох методів просування пакетів:

- датаграмна передача;
- передача з встановленням логічного з'єднання;
- передача з встановленням віртуального каналу.

**Датаграмний метод** передачі даних базується на тому, що всі пакети просуваються (передаються від одного вузла мережі до іншого) незалежно один від одного на підставі одних і тих же правил. Процедура обробки пакета визначається лише значеннями параметрів, які він містить у собі, і поточним станом мережі (наприклад, в залежності від її навантаження пакет може стояти в черзі на обслуговування більший чи менший час). Кожен окремий пакет розглядається мережею як абсолютно незалежна одиниця передачі – датаграма. Рішення про просування пакета приймається на основі таблиці комутації, що ставить у відповідність адресам призначення пакетів інформацію, що однозначно визначає наступний за маршрутом транзитний (або кінцевий) вузол. В якості такої інформації можуть виступати ідентифікатори інтерфейсів даного комутатора або адреси вхідних інтерфейсів комутаторів, наступних за маршрутом.

Датаграмний метод працює швидко, так як ніяких попередніх дій перед відправкою даних проводити не потрібно. Однак, при такому методі важко перевірити факт доставки пакету вузлу призначення. Цей метод не гарантує доставку пакету, він робить це в міру можливості – для опису такої властивості використовується термін доставка по можливості (best effort).

**Метод передачі із встановленням логічного з'єднання** ґрунтується на процедурі погодження двома кінцевими вузлами мережі деяких параметрів процесу обміну пакетами. Параметри, про які домовляються два взаємодіючих вузли, називаються параметрами логічного з'єднання. Наявність логічного з'єднання дозволяє більш раціонально в порівнянні з датаграмним методом обробляти пакети. Наприклад, при втраті декількох попередніх пакетів може бути знижена швидкість відправки наступних. Коли відправник і одержувач фіксують початок нового з'єднання, вони, перш за все, «домовляються» про початкові значення параметрів процедури обміну і тільки після цього починають передачу даних. Процедура встановлення з'єднання складається з трьох кроків:

1. Вузол-ініціатор з'єднання відправляє вузлу-одержувачу службовий пакет з пропозицією встановити з'єднання.
2. Якщо вузол-одержувач згоден з цим, то він посилає у відповідь інший службовий пакет, який підтверджує встановлення з'єднання і пропонує деякі параметри, які будуть використовуватися в рамках даного логічного з'єднання. Це можуть бути, наприклад, ідентифікатор з'єднання, кількість кадрів, які можна відправити без отримання підтвердження і т. п.
3. Вузол-ініціатор з'єднання може закінчити процес встановлення з'єднання відправкою третього службового пакета, в якому повідомить, що запропоновані параметри йому підходять.

На відміну від передачі датаграмного типу, в якій підтримується тільки один тип кадру – інформаційний, передача із встановленням з'єднання повинна підтримувати як мінімум два типи кадрів – інформаційні кадри містять дані користувача, а службові призначені для встановлення (розриву) з'єднання.

Після того як з'єднання встановлено і всі параметри погоджені, кінцеві вузли починають передачу даних. Пакети даних обробляються комутаторами так само, як і при датаграмній передачі: з заголовків пакетів зчитуються адреси призначення і порівнюються із записами в таблицях комутації, що містять інформацію про наступні шляхи по маршруту. Так само як датаграми, пакети, що відносяться до одного логічного з'єднання, в деяких випадках (наприклад, при відмові лінії зв'язку) можуть доставлятися адресату за різними маршрутами. Однак передача з встановленням з'єднання

має важливу відмінність від датаграмної передачі, оскільки в ній крім обробки пакетів на комутаторах має місце додаткова обробка пакетів на кінцевих вузлах.

Після передачі деякого закінченого набору даних, наприклад певного файлу, вузол-відправник ініціює розрив даного логічного з'єднання, посилаючи відповідний службовий кадр. Передача з встановленням логічного з'єднання надає більше можливостей в плані надійності та безпеки обміну даними, ніж датаграмна передача. Однак цей спосіб більш повільний, так як він використовує додаткові обчислювальні витрати на встановлення і підтримання логічного з'єднання.

**Метод передачі із встановленням віртуального каналу** базується на окремому випадку логічного з'єднання, в число параметрів якого входить жорстко визначений для всіх пакетів маршрут. Тобто всі пакети, що передаються в рамках даного з'єднання, повинні проходити по одному і тому ж закріпленому за цим з'єднанням маршруту.

Єдиний заздалегідь прокладений фіксований маршрут, який з'єднує кінцеві вузли в мережі з комутацією пакетів, називають віртуальним каналом (virtual circuit або virtual channel). Віртуальні канали прокладаються для стійких інформаційних потоків. З метою виділення потоку даних із загального трафіку кожен пакет цього потоку позначається спеціальною міткою.

Так само як в мережах із встановленням логічних з'єднань, прокладка віртуального каналу починається з відправки з вузла-джерела спеціального пакету-запиту на встановлення з'єднання. У запиті зазначаються адреса призначення і мітка потоку, для якого прокладається цей віртуальний канал. Запит, проходячи по мережі, формує новий запис в кожному з комутаторів, розташованих на шляху від відправника до одержувача. Запис говорить про те, яким чином комутатор повинен обслуговувати пакет, що має задану мітку. Утворений віртуальний канал ідентифікується тією ж міткою.

Після прокладки віртуального каналу мережа може передавати по ньому відповідний потік даних. У всіх пакетах, які передають дані користувача, адреса призначення вже не вказується, її роль відіграє мітка віртуального каналу. При надходженні пакету на вхідний інтерфейс комутатор читає значення мітки з заголовку пакету і переглядає свою таблицю комутації, по якій визначає, на який вихідний порт передати пакет.

Таблиця комутації в мережах, що використовують віртуальні канали, відрізняється від таблиці комутації в датаграмних мережах. Вона містить записи тільки про віртуальні канали, що проходять через комутатор, а не про всі можливі адреси призначення, як це має місце в мережах з датаграмним алгоритмом просування.

В одній і тій же мережевій технології можуть бути задіяні різні способи просування даних. Так, датаграмний протокол IP використовується для передачі даних між різними мережами, складовими Інтернет. У той же час забезпеченням надійної доставки даних між кінцевими вузлами цієї мережі займається протокол TCP (Transmission Control Protocol, TCP - Протокол управління передачею), що встановлює логічні з'єднання без фіксації маршруту. І нарешті, Інтернет – це приклад мережі, яка застосовує техніку віртуальних каналів, так як до складу Інтернету входить чимало мереж ATM і Frame Relay, що підтримують віртуальні канали.

Переваги мереж з комутацією пакетів:

- Висока загальна пропускна здатність мережі при передачі пульсуючого трафіку.
- Можливість динамічно перерозподіляти пропускну спроможність фізичних каналів зв'язку між абонентами відповідно до реальних потреб їх трафіку.

Недоліки мереж з комутацією пакетів:

- Невизначеність швидкості передачі даних між абонентами мережі, обумовлена тим, що затримки в чергах буферів комутаторів мережі залежать від загального завантаження мережі.
- Змінна величина затримки пакетів даних, яка може бути досить тривалою в моменти миттєвих перевантажень мережі.
- Можливі втрати даних через переповнення буферів.

### 16.5 Мультиплексування та комутація

Щоб визначити, на який інтерфейс слід передати дані, комутатор повинен з'ясувати, до якого потоку вони відносяться. Це завдання має вирішуватися незалежно від того, надходить на вхід комутатора тільки один «чистий» потік або «змішаний» потік, який є результатом агрегування декількох потоків. В останньому випадку до завдання розпізнавання потоків додається завдання **мультиплексування/демультиплексування**.

**Мультиплексування** – утворення з декількох окремих потоків загального агрегованого потоку, який передається по одному фізичному каналу зв'язку. Іншими словами, мультиплексування – це спосіб поділу одного наявного фізичного каналу між декількома одночасно протікають сеансами зв'язку між абонентами мережі.

**Демультиплексування** – поділ сумарного агрегованого потоку на кілька складових потоків.

В даний час для мультиплексування абонентських каналів використовуються наступні технології:

- частотне мультиплексування (Frequency Division Multiplexing, FDM);
- хвильове мультиплексування (Wave Division Multiplexing, WDM);
- часове мультиплексування (Time Division Multiplexing, TDM);
- множинний доступ з кодовим поділом (Code Division Multiple Access, CDMA).

**Метод TDM** використовується при комутації як каналів, так і пакетів. **Методи FDM, WDM і CDMA** придатні виключно для комутації каналів. Метод CDMA застосовується тільки в техніці розширеного спектру і використовується при бездротовій передачі. Для ефективної передачі нерівномірного комп'ютерного трафіку була спеціально розроблена техніка комутації пакетів.

### 16.6 Характеристика деяких радіомереж і протоколів передачі даних

Майже всі комп'ютери світу сьогодні підключені до інтернету і робота в мережі здійснюється за допомогою мережевих протоколів.

Мережевий протокол — це комплекс установок, завдяки яким визначається і регулюється процес інформаційного обміну між комп'ютерами, підключеними до інтернету. Протокол в певному сенсі вважається мовою, необхідною машинам для взаємодії. Серед його ключових особливостей — структурованість і стандартизація.

#### Типи мережевих протоколів

Функціонування мережі ґрунтується на роботі відразу декількох протоколів, наявних на різних рівнях. Виділяють такі рівні протоколів:

- фізичний — середовище, де здійснюється обмін даними, на цьому рівні трансформуються в бінарний код електричні імпульси, які далі передаються на більш високі рівні (на даному рівні функціонують медіаконвертори, сигнальні ретранслятори, хаби - вузли);
- каналний — рівень, на якому дані передаються на хост (приймаючий вузол) з метою обробки, а щоб ідентифікувати інформацію, застосовується MAC-адреси. Хост – це будь-який комп'ютерний пристрій, що має доступ до IP мережі тобто синонім терміна вузол мережі. У сучасних мережах цей термін поширюється не тільки на традиційні комп'ютери (ЕОМ), а також і на смартфони, планшети, телевізори з доступом до Інтернету та інші подібні пристрої;
- мережевий — актуалізуються IP-адреси, завдяки яким в інтернеті ідентифікуються користувачі, дані надходять пакетами;
- транспортний — в обов'язковому порядку здійснюється доставка пакетів до адресатів, протокол відстежує цілісність і коректність донесення інформації, для цих цілей використовуються алгоритми фрагментування або об'єднання;
- сесійний — протоколи забезпечують підтримку мережевого сеансу, синхронність початку і кінця з'єднання, а також перевіряють дозволи на доступ;
- репрезентативний (рівень представлення) — отримана інформація декодується або кодується, файли розпаковуються або стискаються, тобто здійснюється переклад даних на рівень, який підійде конкретному браузеру (прикладна програма, призначена для отримання

інформації). Браузер, переглядач — програмне забезпечення для комп'ютера або іншого електронного пристрою, як правило, під'єданого до Інтернету, що дає можливість користувачеві взаємодіяти з текстом, малюнками або іншою інформацією на вебсторінці.

- прикладний — відбувається регулювання зв'язку користувачів і мережі, даються дозволи на доступ, реалізовується робота протоколів вищого рівня.

Дані типи представлені в порядку ієрархії, тобто з дій, які здійснюються на нижчому рівні, впливають алгоритми нового рівня.

### **Особливості та призначення поширених мережевих протоколів**

Різниця між мережевими протоколами буде більш наочною, якщо порівнювати найбільш популярні види, розібратися з особливостями і функціями кожного.

#### **HTTP**

Hyper Text Transfer protocol є основним для функціонування всіх інтернет-ресурсів. Завдання даного протоколу здійснюється надання можливості запиту ресурсів, які потрібні в віддаленій системі (наприклад, файлів).

HTTP вважається клієнт-серверним протоколом, що означає надсилання даних однією конкретною стороною. Головні особливості HTTP пов'язані з:

- простотою — алгоритми легко сприймаються людьми;
- розширюваністю — досить навіть звичайного узгодження між клієнтами і серверами, щоб поміняти щось в семантиці;
- сесійній — між запитами відсутній послідовний зв'язок, на кожній сесії можна ділитися певним контекстом;
- транспортним рівнем — завдяки управлінню на транспортному рівні протокол знаходиться за межами HTTP.

#### **IP**

Internet Protocol є протоколом маршрутизації на мережевому рівні TCP/IP. Завдяки IP стало можливим об'єднати у всесвітню мережу різні комп'ютерні мережі. Головною метою протоколу є доставка пакетів між різноманітним мережевим обладнанням. У числі характерних властивостей:

- відсутність надійності — гарантію доставки без помилок забезпечують на більш високих рівнях протоколів, в той час як IP не виключає дублі, пошкодження, порушення порядку та навіть відсутність надсилання даних;
- унікальність — для кожного комп'ютера існують окремі IP-адреси, завдяки яким машини знаходять і ідентифікують один одного в інтернеті;
- фрагментованість — протокол проходить через різноманітні канали доставки, і в разі перевищення можливостей певних вузлів передбачено дроблення пакетів.

Даний алгоритм реалізований за допомогою таких видів, як IPv4 і IPv6. У моделі TCP/IP він відноситься до мережевого рівня.

#### **SSH**

Протокол Secure Shell реалізований на рівні додатків і призначений, щоб дистанційно керувати системою за допомогою захищеного каналу. Даний варіант застосовується в роботі багатьох технологій. Підключення по SSH включають такі особливості:

- шифрування — характерна властивість SSH — авторизація по ключу, тобто відбувається кодування всього трафіку, в тому числі паролів, за допомогою різних алгоритмів;
- безпеку — це властивість впливає з попереднього, так як завдяки шифруванню збільшується надійність віддаленої роботи;
- можливість стиснення — ця особливість актуальна при передачі інформації.

Копіювання файлів по SSH дозволяє підвищити рівень захисту при передачі інформації. Secure Shell вважається протоколом прикладного рівня, і його пряме призначення — забезпечення віддаленого доступу.

#### **FTP**

File Transfer Protocol — один з найстаріших прикладних варіантів. Протокол FTP служить для доступу до віддалених хостів і передачі програмного забезпечення. Щоб точніше розуміти, що таке FTP, слід розібратися з його особливостями. Так, властивості протоколу мають на увазі:

- результативність — протокол гарантує надсилання або видачу помилки, так як застосовується квотна система;
- варіативність шифрування — в різних випадках можливі або анонімні підключення, або передача паролів і логінів відкритим текстом;
- вбудовану аутентифікацію — користувачі автентифіковані за замовчуванням;
- застосовується декілька портів — FTP-протокол як мінімум застосовує подвійне підключення.

Завдяки бінарному режиму передачі (аналогічна особливість є у HTTP) зменшуються витрати трафіку і час, необхідних для надсилання великих файлів.

### **POP3**

Post Office Protocol Version 3 — стандартний варіант на прикладному рівні, який використовується клієнтами email-сервісів. Головне завдання POP3 — забезпечити отримання пошти з віддаленого сервера за допомогою TCP-з'єднання.

Крім цього стандарту, щоб отримати електронну пошту, також використовується IMAP. Як правило, на сучасних клієнтах реалізовані обидва варіанти. Особливості POP3:

- постійний доступ до листів, які збережені на комп'ютері (навіть якщо немає зв'язку з мережею);
- відкриття вкладень одночасно з повідомленням;
- постійне звільнення пам'яті ящика — листи перевантажуються на жорсткий диск комп'ютера.

Проте, крім переваг, є істотний недолік — ризик зараження вірусами комп'ютерів користувачів. Також може знадобитися досить частий бекап. Щоб правильно організувати резервне копіювання даних, необхідно заручитися підтримкою надійного хостинг-провайдера.

### **MAC**

Media Access Control є протоколом, розміщеним на низькому рівні. Його завдання полягає в тому, щоб ідентифікувати пристрої локальних мереж. Властивості MAC мають на увазі:

- унікальність — для кожного пристрою є унікальний MAC-адреса, яка спочатку задана виробником;
- захист від помилок — завдяки створенню і перевірці алгоритмів забезпечується додатковий захист на цьому рівні;
- контроль — MAC контролює доступ до фізичного середовища передачі.

Механізми управління доступом до каналу на MAC-рівні реалізовані як метод множинного доступу. Таким чином, відразу кілька станцій можуть застосовувати одне й те ж фізичне середовище.

Правильна настройка допоможе домогтися максимального результату від сервісу хостингового провайдера. Щоб отримати професійну консультацію і замовити послуги оренди серверів, звертайтеся до представників хостинг-провайдера Дельтахост.