

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Кафедра телекомунікаційних технологій

«Затверджую»

Завідувач кафедри ТТ Манько О.О.  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2014 року

**НАПРЯМНІ СИСТЕМИ  
ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ЗВ'ЯЗКУ ПО НИХ**

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК ПО ВИВЧЕННЮ ДИСЦИПЛІНИ**

дисципліна: **Напрямні системи зв'язку**  
напряму підготовки: «Телекомунікації»  
освітньо-кваліфікаційного рівня: бакалавр  
спеціальності: ТСМ, ІМЗ

## Напрямні системи та організація зв'язку по них

### Дротовий зв'язок (лінії передачі, мережі ліній, організація зв'язку)

#### Канали та лінії зв'язку

Електричний зв'язок - це передача інформації за допомогою електричних сигналів. Мовлення - це передача інформації одночасно багатьом приймачам. Для здійснення зв'язку або мовлення треба мати канал зв'язку. Поняття каналу зв'язку дуже важливе, тому розглянемо це поняття більш детально.

Відомо, що в сьогоденний час по одній парі провідів можна передати багато розмов, тому для пояснення поняття каналу зв'язку розглянемо будову багатоканальної, але некомутованої системи зв'язку, тобто такої системі в якій є багато каналів, але вони не можуть бути з'єднані один з одним. Структурна схема системи, що має  $n$  каналів без комутації, показана на рисунку 1.

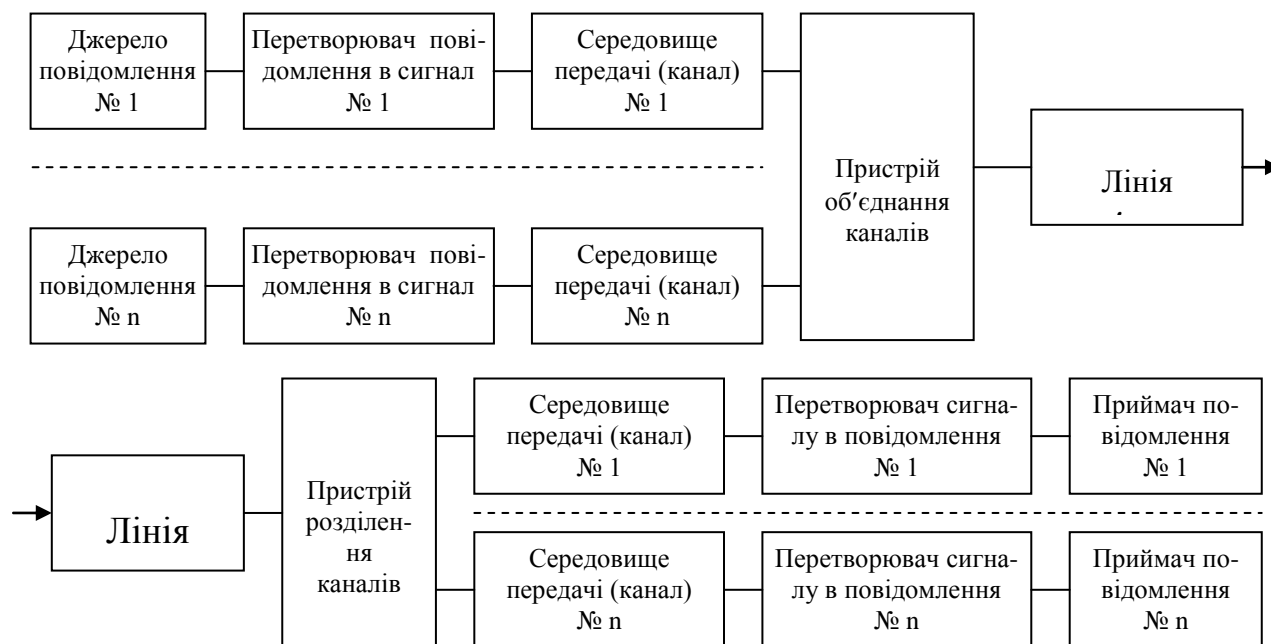


Рисунок 1 - Структурна схема  $n$ -канальної некомутованої системи зв'язку

Джерело повідомлення – розмова, текст на папері та таке інше. Перетворювач перетворює, наприклад, коливання повітря, що виникле завдяки розмові, в електричний сигнал. Цей сигнал потрапляє в середовище передачі (частіше за все це дводротова лінія). Сигнали, що розповсюджуються у кожному  $i$ -му середовищі передачі об'єднуються у пристрої об'єднання каналів та потрапляють у лінію зв'язку (дводротову лінію). На прийимальному кінці відбувається зворотній процес.

Назвемо каналом зв'язку сукупність пристроїв, що забезпечують передачу інформації від джерела повідомлення до приймача. Таким чином, до складу каналу входять: перетворювач повідомлення в сигнал, середовище передачі від перетворювача до пристрою об'єднання каналів, частина пристрою об'єднання каналів, частина лінії зв'язку, частина пристрою розділення каналів, середовище передачі від пристрою розділення до перетворювача сигналу в повідомлення, перетворювач сигналу в повідомлення.

Канали зв'язку розрізняються по пропускній здатності. При цьому них варто розділити на аналогові та дискретні. По аналогових каналах передається безперервний електричний сигнал, що складається з нескінченної кількості значень амплітуди. Електричний аналоговий сигнал змінюється по амплітуді та частоті у відповідності із зміною звука або світла (передача зображення), тобто аналогічно первинному неелектричному сигналу, тому і назва – аналоговий. По дискретних каналах передається дискретний сигнал, котрий складається з обмеженої кількості значень амплітуд, що взяті в певні (дискретні, тобто окремі – відділені один від одного проміжками) розривні в часі моменти. Ці значення перетворюються в цифри, тому такі канали називають цифровими. Цифри представляються

в вигляді імпульсів, наприклад, напруги, а далі ці імпульси потрапляють в лінію. Аналогові канали характеризуються шириною смуги частот пропускання, часом поширення сигналу, перешкодами. Дискретні канали характеризуються швидкістю передачі й перешкодами.

По напрямку передачі інформації розрізняються симплексні канали, по яких інформація передається в одному напрямку (мовлення); дуплексні – інформація передається одночасно в обох напрямках (телефон); напівдуплексні (реверсивні) – передача в кожен момент часу в одному напрямку (радіотелефон).

По виду інформації, що передається, розрізняють канали телефонні, телеграфні, радіомовлення, телевізійні, сигнальні і таке інше.

Поділ каналів у лінії може здійснюватися по різних параметрах: просторове, частотне, часове (про це у розділі “організація зв’язку”).

По використанню в мережі зв’язку канали поділяють на прямі, тобто канали без переключення (комутації), та ті, що комутируються. Канали, що комутируються, у свою чергу поділяються на канали одnobічної дії (вихідні, вхідні) і двосторонньої дії.

Лінія - це сукупність каналів між двома пунктами в одній системі зв’язку. В залежності від того, що є середовищем передачі, тобто яке фізичне середовище використовується в лінії зв’язку, розрізняють радіо та дротові лінії. Це показано на рисунку 2.

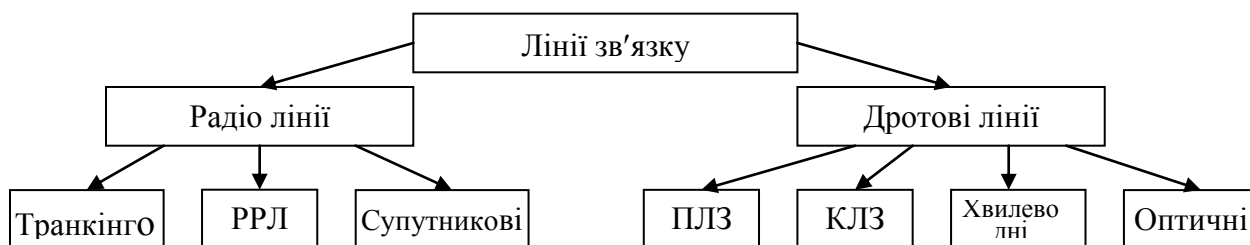


Рисунок 2 - Типи ліній зв’язку

На цьому рисунку: РРЛ – радіорелейні лінії; ПЛЗ – повітряні лінії зв’язку; КЛЗ – кабельні лінії зв’язку.

Порівняння дротових та радіо ліній. Недоліки радіо ліній у порівнянні з провідними: залежність якості зв’язку від стану середовища і сторонніх електромагнітних полів; відносно низька швидкість передачі; погана електромагнітна сумісність і прихованість; складність передачі й прийому; вузька смуга (особливо на довгих та середніх хвилях). Перевага радіо ліній в основному у швидкості розгортання та вартості.

В даний час на мережах зв’язку використовуються всі вищезгадані типи ліній окрім хвильоводних.

Дисципліна “Направляючі системи зв’язку” вивчає дротові лінії, тобто: повітряні, кабельні, хвильовідні, оптичні. У відповідності із змістом дисципліни курс, що вивчається, ділиться на такі основні розділи: побудова мереж зв’язку; конструкція направляючих систем; теорія передачі електромагнітної енергії по направляючим системам; теорія впливу електромагнітних полів на направляючі системи, проектування, будівництво та технічна експлуатація систем зв’язку.

### Класифікація зв’язку

Відповідно до поділу каналів по виду переданої інформації, дротовий зв’язок розділяється на:

1. Телефонний зв’язок – один з основних вид зв’язку. До 80-х років минулого сторіччя приблизно 75% інформації, що передавалося по лініях зв’язку, це були телефонні розмови. Наразі переважає передача даних. Телефонний зв’язок призначений для передачі мовної інформації. Чутливість слухового апарата людини різна на різних частотах. Приблизно вона характеризується графіком, що представлений на рисунку 3.

У смузі частот 300-3400 Гц в основному зосереджена вся енергія сигнал, інші частоти дають незначний вклад, тому їх можна відкинути і таким чином одержати економію частотного ресурсу. Така процедура проводиться при передачі по однієї парі дротів

декількох телефонних розмов. Це відбувається на міжміських лініях та на лініях, що з'єднують міські автоматичні телефонні станції (АТС).

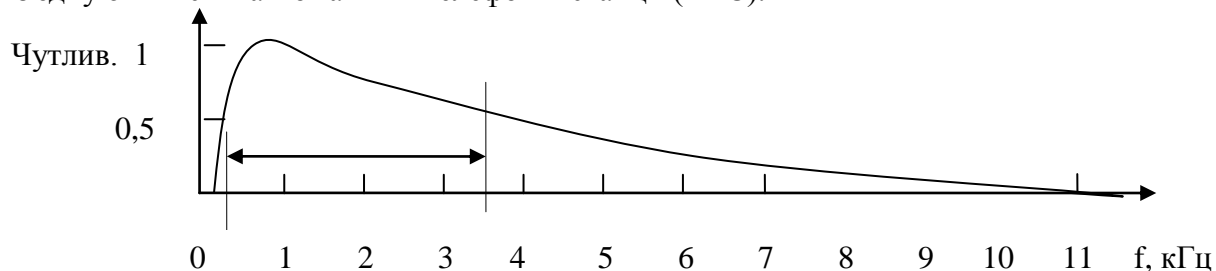


Рисунок 3 - Частотна характеристика чутливості слухового апарату людини

Якщо телефонний зв'язок здійснюється між двома абонентами однієї аналогової АТС, то по телефонному каналу передається весь спектр частот голосу людини. Завдяки тому, що телефонний канал вважається основним, інші канали зв'язують із телефонним і ємність інших видів зв'язку виражають через кількість телефонних каналів. За ширину смуги частот стандартного телефонного каналу беруть смугу, що дорівнює 4 кГц.

2. Телеграфний зв'язок призначений для передачі повідомлень з малою швидкістю. В одному телефонному каналі може бути розміщено 48-96 телеграфних. Це залежить від якості фільтрів.

3. Дротове радіомовлення здійснюється шляхом об'єднання декількох (звичайно трьох) телефонних каналів смуга частот при цьому до 12 кГц.

4. Передача даних високою швидкістю – відносно новий вид зв'язку. Це передача даних від різних джерел, наприклад, передача газетних смуг, і передача даних між електронними обчислювальними машинами. Для організації такого каналу можуть бути об'єднані декілька телефонних каналів, тому смуга частот збільшується.

5. Телебачення – один з найбільш широкосмугових видів зв'язку, смуга частот складає 6 МГц, при цьому об'єднуються 1500 телефонних каналів.

Відповідно до характеру обслуговування районів зв'язок підрозділяється на: місцевий (у середині міста, села, району); магістральний (міжміський). Магістральний зв'язок повинен забезпечити передачу усіх видів інформації, а міський не обов'язково.

#### Основні вимоги до напрямних систем зв'язку

1. Здійснення зв'язку на практично необхідні відстані. Сучасні вимоги до дальності зв'язку – 25 тис. км.

2. Придатність ЛЗ для передачі необхідного діапазону частот і імпульсної інформації. При частотному розділенні каналів визначальною характеристикою електричних кіл є загасання ( $\alpha$ ). На рисунку 4 наведені характеристики загасання: реальної провідної лінії (1), ідеальної лінії з постійним по частоті загасанням (2) та ідеальної лінії з нульовим загасанням. З рисунка видно, що при розповсюдженні сигналу по реальній лінії відбувається його перевертання, бо нижні частоти проходять по лінії з меншим загасанням ніж верхні. Верхні частоти треба підсилювати більш ніж нижні.

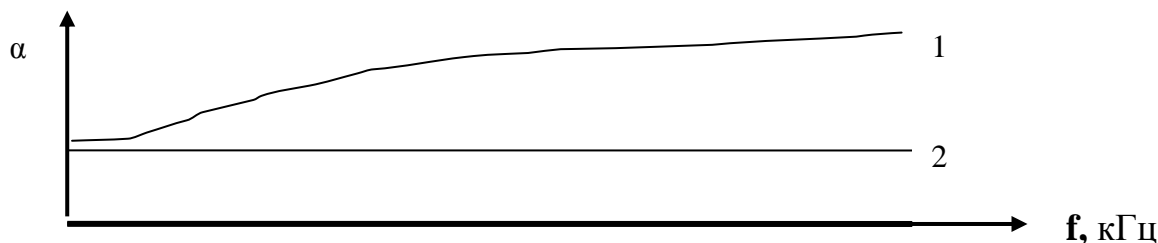


Рисунок 4 - Частотна характеристика загасання ліній: 1 – реальної; 2,3 – ідеальних з ненульовим та нульовим коефіцієнтом загасання

У системах із часовим розділенням каналів найважливішою є фазова характеристика, тобто залежність фазової сталої лінії від частоти. Необхідно, щоб фазові характеристики каналу були лінійними і розбіг характеристик групового часу розповсюдження був мінімальним.

3. Захищеність лінії від взаємних впливів та впливів зовнішніх електромагнітних полів, а також від корозії і ударів блискавки .
4. Стабільність параметрів лінії, стійкість і надійність зв'язку.
5. Економічність зв'язку в цілому.

### Організація зв'язку по кабельних лініях

#### Фізичні та ущільнені кабельні кола

На початку розвитку ліній зв'язку використовувалися тільки фізичні не ущільнені електричні кола (одне і дводотові). В однодротовій лінії другим проводом є земля.

З розвитком зв'язку виникла задача: по одному фізичному електричному колу передати одночасно кілька розмов, тобто виникла задача ущільнення. Спочатку для рішення цієї задачі створювалися штучні електричні кола.

Пікарівське штучне коло показане на рисунку 5. Генератор і навантаження основного кола включені до лінії через трансформатори. Дроти штучного кола підключені на середню точку трансформатора, тому переговори по цьому колу не заважають переговорам по основному колу. В такий спосіб можна по двом дротам передати дві розмови, що дозволяє економити витрати міді. Недоліком є те, що одним із дротів штучного кола є земля, тому передачі заважають перешкоди (струми в землі).

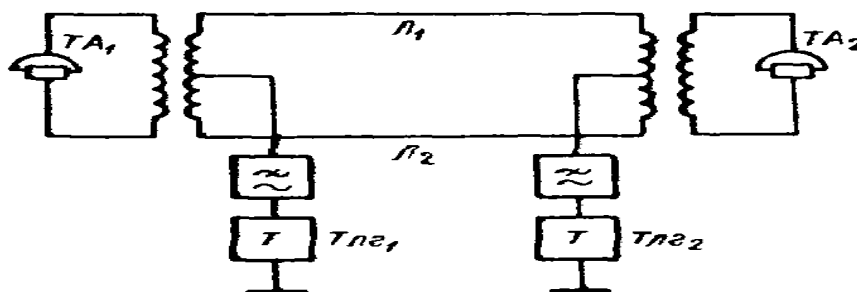


Рисунок 5 – Пікарівське штучне коло

Фантомне штучне коло (рисунку 6). В цьому випадку по чотирьом дротам можна організувати три канали, а не два і відсутні перешкоди, бо немає струмів у землі. Такі штучні кола були вигідні, тому що вартість трансформатора набагато менша, ніж вартість дротів між розмовними пунктами.

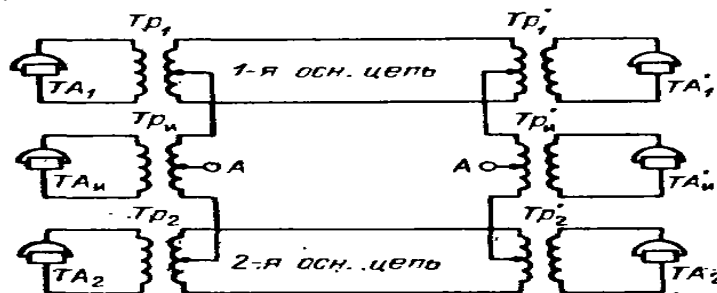


Рисунок 6 – Фантомне штучне коло

Зараз дводотові електричні кола ущільнюють шляхом організації каналів, що працюють на високих частотах (ВЧ). Сутність цього методу в тому, що по дводотовому колу передаються не тільки тональні частоти від джерела повідомлення  $D_0$  через фільтр  $\Phi_0$  (0-12 кГц), але і більш високі частоти, що виробляються перетворювачами. Перетворювач перетворює тональні частоти від джерел повідомлень  $D_i$  ( $i > 0$ ) у високі частоти. Ці частоти проходять через свої фільтри та несуть інформацію (розмови інших абонентів). На приймальному кінці відбувається зворотне перетворення. Такий спосіб ущільнення зветься частотним, або аналоговим. Його структурна схема показана на рисунку 7. На цьому рисунку вказані джерела та приймачі повідомлень, а також перетворювачі повідомлень в сигнал та сигналу в повідомлення й фільтри. На рисунку 8 показана типова частотна характеристика фільтрів.

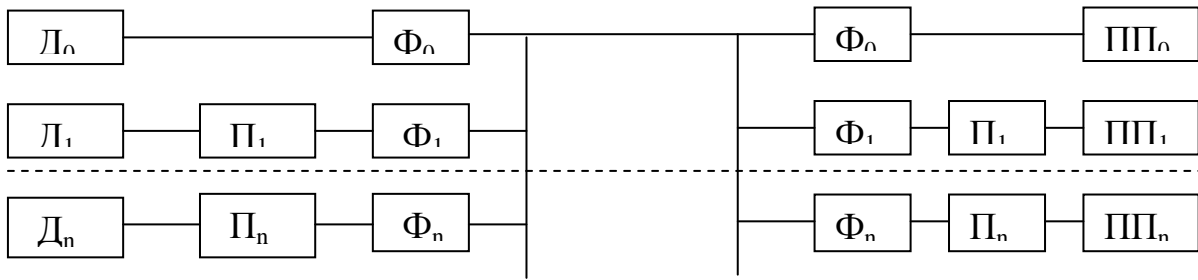


Рисунок 7 – Структурна схема аналогового (частотного) ущільнення

Сучасний спосіб ущільнення це часове ущільнення, при якому в лінію передається не сигнал, а його значення в певні моменти часу. У проміжках між цими моментами часу в лінію передаються значення сигналів від інших абонентів. Значення сигналів передаються у вигляді цифр, тому такий зв'язок називають цифровим. Цифрове ущільнення має великі переваги над аналоговим, тому що при ньому сигнал краще захищений від завад.

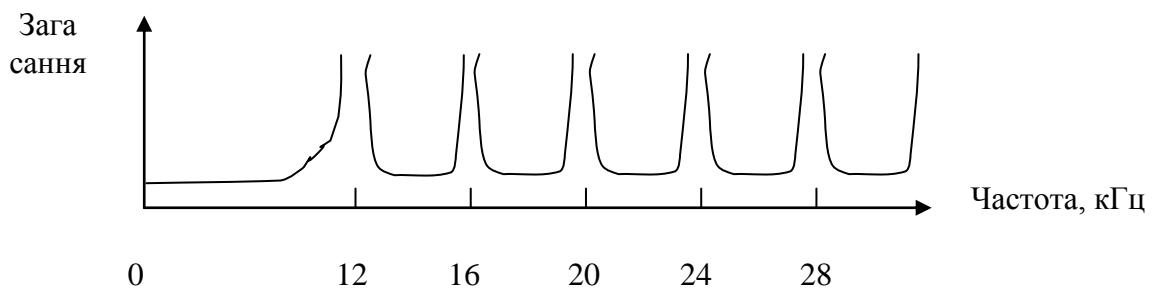


Рисунок 8 - Типова частотна характеристика загасання каналних фільтрів

Спрощена структурна схема цифрової системи ущільнення наведена на рисунку 9. Аналоговий (безперервний) сигнал від джерел повідомлень  $D_i$  кодується у кодуючих (декодуючих) пристроях  $K_i$ , тобто дискретизується та перетворюється в цифрове значення. Комутатор передає в лінію по черзі цифрові значення сигналів від різних каналів. На приймальному кінці відбувається зворотне перетворення й сигнал потрапляє на приймач повідомлення  $ПП_i$ .

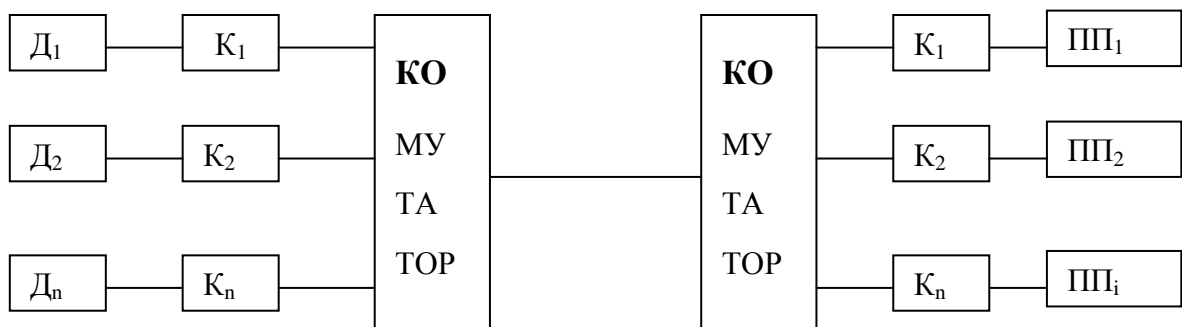


Рисунок 9 - Спрощена структурна схема системи цифрового ущільнення

### Дводротова та чотиредротова схеми організації зв'язку

На сучасних міжміських лініях зв'язок організується по дводротовій чи чотиредротовій схемі. При дводротовій схемі зв'язок у прямому й зворотному напрямку здійснюється по одній парі дротів. При чотиредротовій - по одній парі зв'язок здійснюється у прямому напрямку, а по іншій - у зворотному. На рисунках 10, 11 показані ці дві схеми організації зв'язку. По кількості каналів, що можна організувати, дво та чотиредротові схеми еквівалентні. При використанні аналогової системи передачі К-30 (кабельна, 30-тиканальна) нижня частина спектру (12-132 кГц) слугує для передачі в одному напрямку (30 однобічних каналів), а верхня (132-252 кГц) – для передачі в іншому напрямку (теж 30 однобічних

каналів). Усього створюється 30 двобічних каналів при використанні частотного ресурсу 12-252 кГц. Якщо додати ще два дроти, то можна створити 60 двобічних каналів по чотирех дротах і вказаному вище частотному ресурсі. При чотиредротової схемі по двох дротах організується 60 каналів в один бік, а по двох інших 60 - в іншій, тобто усього теж 60 двобічних каналів та той самий частотний ресурс.

По стійкості та дальності зв'язку перевага за чотиредротовою схемою. Це пояснюється тим, що на підсилюючих пунктах для поділу передачі в прямому й зворотному напрямках у дводротової схемі необхідно ставити фільтри (Рисунок 12). Вони вносять перекручення, збільшують час затримки, і тим самим обмежують дальність зв'язку. У чотиредротової схемі такі фільтри не потрібні. Це спрощує підсилювальне устаткування і дозволяє здійснити більш стійкий зв'язок.

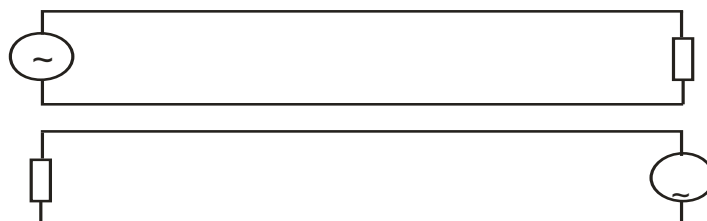


Рисунок 10 – Чотиредротова схема організації зв'язку



Рисунок 11 – Дводротова система організації зв'язку

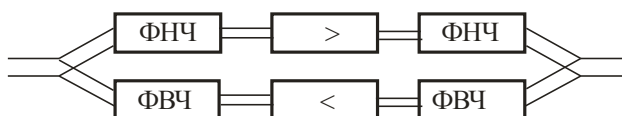


Рисунок 12 - Схема включення підсилювачів при дводротовій схемі організації зв'язку

По захищеності від взаємних перешкод перевага за двопровідними системами. Електричні кола в кабелі можуть бути в співпадаючому чи зустрічному режимі передачі (Рисунок 13). При зустрічній передачі високий рівень вихідного сигналу першого кола оказує значний вплив на друге коло, тобто сигнал від першого кола, що впливає, переходячи у друге коло, що піддане впливу, може бути досить великим порівняно з корисним сигналом у другому колі. Нагадаємо, що по обох лініях передається сигнал з однаковою смугою частот. В чотиредротової системі зв'язку зустрічний режим передачі, смуги частот співпадають, тому впливи між електричними колами можуть бути великими. У дводротової системі теж зустрічний режим, але смуги частот різні, тому впливів немає.

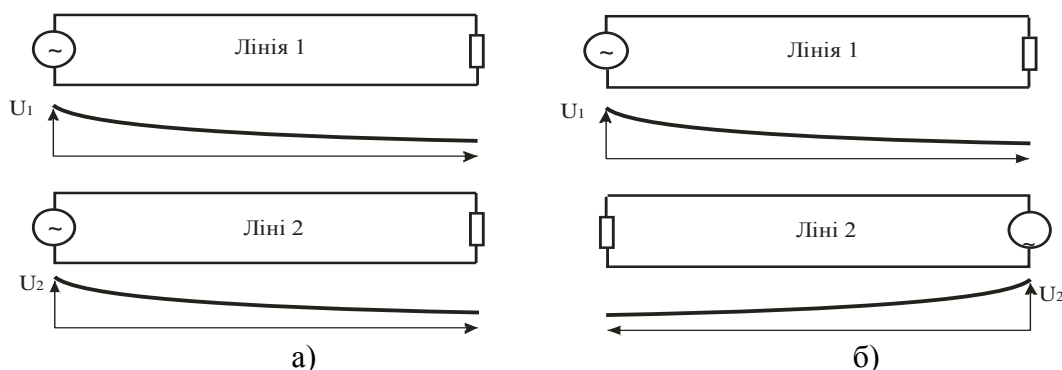


Рисунок 13 – Режимы передачі по лініях зв'язку  
а) співпадаючий; б) зустрічний

На кабельних магістралях в основному застосовується чотиредротова схема, тому що зв'язок за цією схемою більш стійкий, більш далекий і дешевий. Для підвищення захищеності при чотиредротовій схемі застосовується двокабельна схема організації зв'язку, тобто прямі і зворотні електричні кола розміщуються в різних кабелях.

На ПЛЗ застосовується дводротова схема організації зв'язку, тому що довжина підсилювальної ділянки на ПЛЗ велика, тому обмеження дальності зв'язку, що вноситься фільтрами, незначне.

На коаксіальних кабельних магістралях застосовується чотиредротова однокабельна схема організації зв'язку, тому що вплив між коаксіальними парами значно менше, ніж між симетричними і можна розташувати в одному кабелі пари різного напрямку передачі.

Таким чином, на існуючих ЛЗ прийняті наступні організації зв'язку:

Симетричні кабелі - чотиредротова, двокабельна;

Коаксіальні кабелі - чотиредротова, однокабельна;

Повітряні лінії зв'язку - дводротова.

### **Побудова мереж електрозв'язку**

Раніше були дані визначення каналів та ліній зв'язку. Точки, у якій канали (лінії) зв'язку починаються, закінчуються, з'єднуються або перетинаються, називаються пунктами зв'язку.

Пункти зв'язку мережі поділяються на: прикінцеві (у тому числі абонентські) з апаратурою введення та виведення інформації, вузли зв'язку (вони забезпечують розподіл інформації), і обчислювальні центри (вони здійснюють обробку і збереження інформації). Вузли зв'язку поділяються на комутаційні (комутація каналів чи повідомлень – короткострокове з'єднання) і мережні (кросировка – довгострокове з'єднання) для розподілу пучків каналів.

Пункти і лінії в більшості випадків є стаціонарними, але існують і нестаціонарні (пересувні) пункти (на кораблях, літаках, штучних супутниках Землі) і відповідно канали.

Прикінцеві пункти містять апаратуру введення-виведення чи обробки інформації. Вони забезпечують взаємодію користувача з мережею по введенню-виведенню й обробці, але не здійснюють транзиту. Прикінцеві пункти характеризується типом апаратури введення-виведення. Прикінцевий пункт, що розташований у абонента називається абонентським пунктом.

Вузли зв'язку здійснюють розподіл інформації на мережі. Вони бувають двох типів: комутаційні і мережні. Комутаційні вузли забезпечують комутацію каналів між усіма каналами, що сходяться у вузлі від прикінцевих пунктів та інших вузлів. Комутаційні вузли, у які включаються абонентські пункти називають станціями, а комутаційні вузли, що об'єднують навантаження називають концентраторами.

У мережних вузлах здійснюються кросування (довгострокові переключення) лінійних трактів, що сходяться у вузлі, каналів і ліній для організації пучків прямих каналів.

У концентратор з однієї сторони включається велике число каналів, що мало навантажені (звичайно абонентські лінії), а з іншого боку – невелике число гарне використовуваних каналів. При надходженні виклику від абонента в концентраторі автоматично вибирається вільний канал до вузла, а при виклику абонента в концентраторі відбувається вимушене шукання. На міській телефонній мережі роль концентраторів грають підстанції і групові установки.

Мережа зв'язку – сукупність пунктів, у яких відбувається розподіл та введення-виведення інформації, а також ліній чи каналів зв'язку, що забезпечують перенос інформації в просторі. При такій інтерпретації можна виділити два класи мереж:

- мережа пунктів, ліній і каналів зв'язку різних типів (кабельні, повітряні, радіорелейні, супутникові, телефонні, телеграфні, мовлення та т.і.), що з'єднують два чи більш пункти мережі і визначають максимальну здатність мережі по передачі повідомлень між цими пунктами; вона називається первинною мережею; ця мережа є базою для усіх видів зв'язку, у її склад входять лінії і каналоутворююча апаратура; на основі первинної мережі будуються вторинні мережі;



- мережа пунктів і тільки каналів, виділених з ліній для деякого конкретного використання (визначеного виду зв'язку, відомства та т.і.), що з'єднують прикінцеві чи комутаційні пристрої пунктів зв'язку; вона називається вторинною мережею; вторинні мережі розрізняються по призначенню (телефонні, телеграфні і т.і.), по території, що обслуговується, відомчій приналежності і т.і.

Схема організації первинної і вторинної мереж показана на рисунку 14.

В цифрових мережах розрізняють:

- транспортну мережу – це сукупність функціональних засобів, що забезпечують перенесення інформації між вузлами;
- мережу доступу до транспортної мережі, котра забезпечує передачу інформації від прикінцевого пункту відповідної вторинної мережі до вузла.

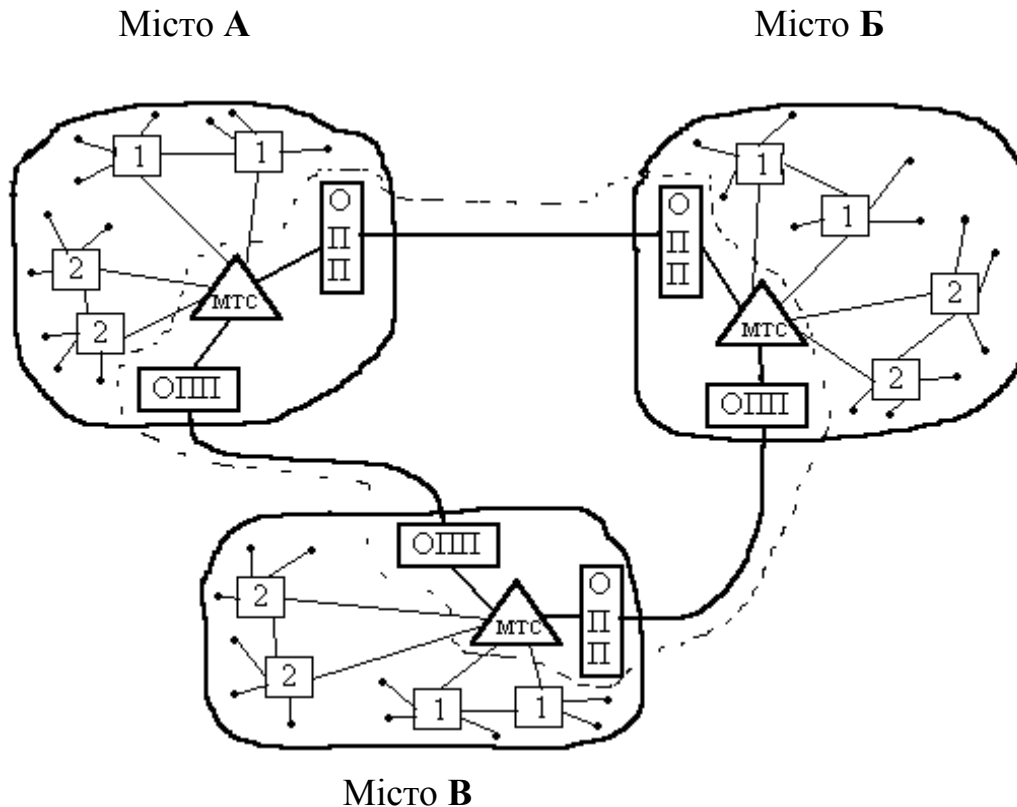


Рисунок 14 - Приклад організації первинної та двох вторинних мереж.  
 МТС – міжміська телефонна станція; ОПП – обслуговуємий підсилюючий (регенераторний) пункт; 1- вузол комутації першої вторинної мережі;  
 2 – вузол комутації другої вторинної мережі; точками позначені прикінцеві пункти вторинних мереж; пунктиром вказані границі первинної мережі.

Розглянемо загальні принципи побудови мереж, тобто різні принципи з'єднання вузлів.

1. З'єднання вузлів за принципом “кожний з кожним”. Інакше така мережа називається “повнозв’язаною”. У такій мережі при N вузлах число ліній M дорівнює  $M = N(N-1)/2$ . (Рисунок 15)

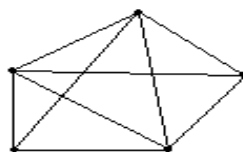


Рисунок 15 - Приклад повнозв’язної мережі з п'ятьма вузлами

2. Деревоподібна мережа – між кожною парою вузлів може бути тільки один шлях. Число ребер (ліній)  $M = N - 1$ . Окремі приклади деревоподібної мережі наведено на рисунку 16:

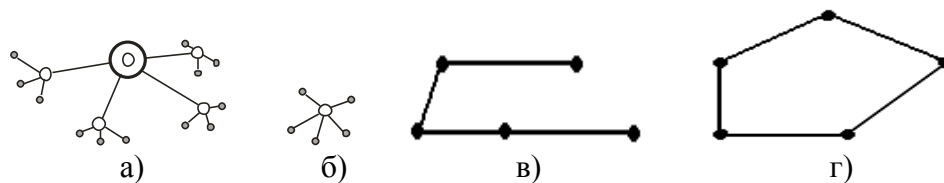


Рисунок 16 - Окремі приклади деревоподібної мережі

2.1 Вузлова мережа з ієрархічною побудовою і з'єднанням вузлів (Рисунок 16, а).

2.2 Радіальна мережа (зіркоподібна) з одним вузлом (Рисунок 16, б).

2.3 Лінійна мережа (Рисунок 16, в).

2.4 Кільцева (Рисунок 16, г).

3. Мережеподібна мережа. Тут кожен вузол є суміжним тільки з невеликим числом інших вузлів звичайно найближчих чи таких, що мають більше тяжіння один до одного. Тут ще розрізняють планарну мережу (без перетинання ліній) і непланарну (з перетинанням ліній) рисунок 17.

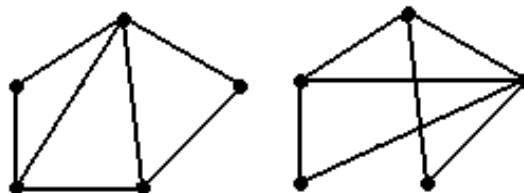


Рисунок 17 – Приклади мереже подібних мереж

Вибір тієї чи іншої структури визначається економічними вимогами і вимогами надійності мережі.

### Територіальна структура мережі (первинної)

Виходячи з особливостей експлуатації, а також зі сформованої структури адміністративно-технічного керування первинна мережа по територіальному принципі поділяється на: магістральну, зонову, місцеву мережі.

1. Місцеві мережі зв'язуються з територією міста, району. Місцеві мережі сільського району утворюються як сукупність каналів, що з'єднують вузли і станції сільського району між собою і з абонентами. Аналогічно міські.

2. Внутрізонова мережа зв'язує центр зони (звичайно обласний центр) з райцентрами й останні між собою. Поняття внутрізонова мережа звичайно співпадає з поняттям внутріобласна за винятком тих випадків, коли зона нумерації не збігається з адміністративним розподілом.

3. Магістральна мережа – з'єднує столицю з центрами зон (обласні та республіканські центри) і центри зон між собою.

Розглянута територіальна структура мережі припускає триярусну структуру первинної мережі.

Перший ярус включає МТМ і СТМ, другий – внутрізонові мережі і третій – магістральну мережу. З глобальної точки зору існує ще четвертий ярус – світова (міжнародна) мережа зв'язку.

Міжміська мережа України побудована по радіально-вузловому принципі. Це поєднання радіального і вузлового принципів. Це вузлова мережа, у якій можуть бути лінії між вузлами одного рангу (тобто немає ієрархічної побудови). Така побудова забезпечує вимоги економічності, резервування, надійності і розгалуженості мережі.

Місцеві мережі поділяються на мержі міст та сільські мережі. Мережі міст будуються за вузловим принципом. В великих містах вузли з'єднуються за кільцевою схемою, в невеликих за принципом повнозв'язної мережі. Сільські мережі будуються в основному за ієрархічним принципом.